الضوضاء والحرائق ووجوه التبايُن

قضايا ناشئة تُثير مخاوف بيئية

تقرير آفاق 2022

برنامج الأمم المتحدة للبيئة

50 | 2022-1972

تقرير آفاق 2022

© 2022 برنامج الأمم المتحدة للبيئة

الرقم الدولي المعياري للكتاب: 978-92-807-3960-2
رقم المهمة: DEW/2457/NA

يجوز إعادة إنتاج هذا المنشور كلياً أو جزئياً بأي شكلٍ من الأشكال لأغراض الخدمات التعليمية أو غير الربحية بدون إذنٍ خاص من حامل حقوق التأليف والنشر، شريطة ذكر المصدر.
ويقدّر برنامج الأمم المتحدة للبيئة استلام نسخةٍ من أي منشور يستخدم هذه المادة المطبوعة مصدراً له.

ولا يجوز استخدام هذا المنشور في إعادة بيعه أو في أي غرضٍ تجاري آخر أياً كان دون الحصول على إذنٍ خطيٍّ مُسبَق من برنامج الأمم المتحدة للبيئة. وتُقدَّم طلبات الحصول على مثل هذا التصريح، متضمنة بياناً بالغرض من النسخ ونطاقه إلى مدير شعبة الاتصالات على العنوان التالي: برنامج الأمم المتحدة للبيئة، ص.ب. 30552، نيروبي 00100، كينيا.

بيانات إخلاء المسؤولية

لا تنطوي التسميات المُستخدَمة في هذا المنشور، ولا طريقة عرض المواد التي يتضمَّنها، على الإعراب عن أي رأيٍ كان من جانب الأمانة العامة للأمم المتحدة بشأن المركز القانوني لأي بلدٍ أو إقليمٍ أو مدينةٍ أو سلطات أيٍّ منها، أو بشأن تعيين حدودها أو تخومها.

قد تكون بعض الصور أو الرسوم البيانية الواردة في هذا المنشور مُستوحاة من محتوياتٍ نشرتها أطراف خارجية وجيء بها بغرض توضيح فهم المؤلفين لأهم الرسائل المستقاة من تلك الصور أو الرسومات. وعلى ذلك، فإنَّ المواد الواردة في هذا المنشور لا توحي بالتعبير عن أي رأيٍ كان من جانب برنامج الأمم المتحدة للبيئة بخصوص المواد المصدرية المُستخدَمة كأساسٍ لتلك الصور أو الرسومات.

إنّ ذكر أي شركة أو منتج تجاري في هذه الوثيقة لا يقتضي ضمناً تزكية تلك الشركة أو ذلك المنتج مِن قِبل برنامج الأمم المتحدة للبيئة أو مؤلفي هذه الوثيقة. لا يُسمح باستخدام المعلومات الواردة في هذه الوثيقة بغرض الدعاية أو الإعلان التجاري؛ أما الأسماء التجارية والرموز فهي مُستخدَمة بأسلوبٍ تحريري من دون أي نيةٍ لانتهاك العلامة التجارية أو حقوق التأليف والنشر.

الآراء الواردة في هذا المنشور هي آراء المؤلفين ولا تعبر بالضرورة عن آراء برنامج الأمم المتحدة للبيئة. ونعتذر عن أي خطأ أو حذف حدث بغير قصد.

© الخرائط والصور والتوضيحات حسبما هو محدد

صيغة الاقتباس المقترحة

برنامج الأمم المتحدة للبيئة (2022). *تقرير آفاق 2022: الضوضاء والحرائق ووجوه التبايُن - قضايا ناشئة تُثير مخاوف بيئية*. نيروبي.

الإنتاج

برنامج الأمم المتحدة للبيئة.
https://www.unep.org/frontiers

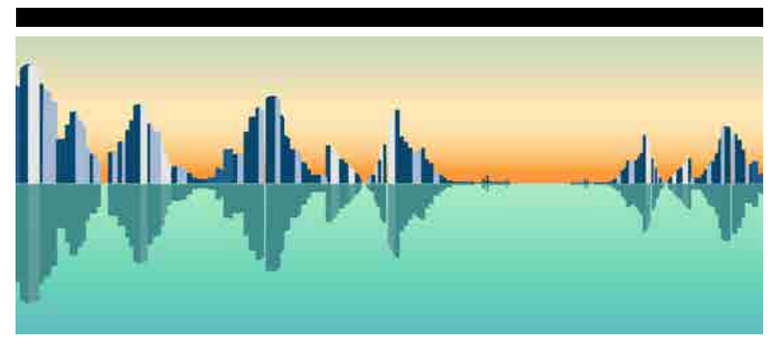
تقرير آفاق 2022

قضايا ناشئة تُثير مخاوف بيئية

المحتويات

هذا التقرير مُصمَّم للقراءة على الشاشات. فقد يتعذر طبعة بعض صفحاته بخطٍّ مقروء على ورقة معيارية بقياس A4.

1-
الاستماع إلى المُدُن
من بيئاتٍ شديدة الضوضاء إلى بيئاتٍ صوتية إيجابية



1- الصوت المحيطي: بيئتنا الصوتية	8
2- التأثيرات الصوتية	9
3- خفض الصوت	11
4- قرارات صحية من أجل بيئاتٍ صوتية إيجابية	12
المَراجع	13

2-
حرائق الغابات في ظل تغيُّر المناخ
قضية ساخنة

1- موجات من حرائق الغابات الشديدة	24
2- التأثيرات البشرية في حرائق الغابات	26
3- تغيُّر المناخ يعني تغيُّر الطقس ليصبح مؤاتياً للحرائق	28
4- تحسينات إدارة حرائق الغابات في مواجهة تغيُّراتٍ مناخية أخرى	30
المَراجع	31

3-
الفينولوجيا
ظاهرة تغيُّر المناخ تُحدثُ تغييراً في إيقاع الطبيعة

1- تناغُم النُّظم الإيكولوجية يعتمد كُلياً على التوقيت	42
2- الخلل في تناغُم النُّظم الإيكولوجية	43
3- التطوُّر نحو تزامُناتٍ جديدة	45
4- جسورٌ للوصول إلى أوجه تناغُمٍ جديدة	46
المَراجع	47

تمهيد

إنغر أندرسن
المديرة التنفيذية
برنامج الأمم المتحدة للبيئة

افتعلَت البشرية تغيُّراتٍ متعددة في كوكب الأرض عبر طُرُقٍ كثيرةٍ ضارة، بدءاً من احترار المناخ ووصولاً إلى التناقُص المستمر للحياة الفطرية البرية والبحرية. ولكن النظام المُعقَّد لكوكب الأرض يوجب على العلماء البحث الدائم – أي البحث عن حلولٍ لمشكلاتٍ رُصدَت بالفعل وللتهديدات المُستجدَّة التي تلوح في الأفق.

وهنا يكمن الهدف من تقرير الآفاق الصادر عن برنامج الأمم المتحدة للبيئة عبر تحديد واستكشاف المجالات التي تُثير المخاوف البيئية، الناشئة منها أو المستمرة. ويدرس إصدار عام 2022 القضايا الثلاث التالية: التلوُّث الضوضائي في المدن، والتهديد المُتنامي للحرائق الحرجية، والتحوُّلات في الأحداث الموسمية – مثل الإزهار والهجرة والسبات الشتوي؛ وهو مجال دراسي يُعرَف علمياً باسم "الفينولوجيا".

يترافق نمو المدن مع تفاقُم التلوُّث الضوضائي بوصفه أحد المخاطر البيئية الرئيسة. والجدير بالذكر أنَّ مستويات الضوضاء المرتفعة تضرُّ بصحة الإنسان ورفاهه – وذلك بإحداث اضطراباتٍ في النوم أو بإخفات الاتصالات الصوتية الإيجابية والمفيدة بين أنواع الحيوانات الكثيرة التي تعيش في هذه المناطق. ومع ذلك، هناك بعض الحلول المُمكنة – بدءاً من وسائل النقل المشحونة كهربائياً ووصولاً إلى المساحات الخضراء، مع ضرورة إدراج جميع هذه الحلول في تخطيط المُدُن سعياً إلى الحد من التلوث الضوضائي.

ومن ناحيةٍ أخرى، شهد العالم خلال السنوات القليلة الماضية حرائق حرجية مُدمِّرة – من أستراليا إلى بيرو. وتُرجّح التوقعات زيادةً في الاتجاهات نحو مزيدٍ من ظروف الطقس المواتي للحرائق بسبب التركيزات المتزايدة لغازات الدفيئة في الجو وأيضاً جرّاء التزايُد المستمر في عوامل الخطر المسببة
للحرائق الحرجية. لذلك، يُعَدُّ العقد المقبل مهماً جداً لبناء قدرةٍ أكبر على الصمود والتكيُّف في مواجهة حرائق الغابات – بما في ذلك في المناطق الفاصلة بين البراري والمُدُن الحضرية. وعلى وجه الخصوص، ينبغي إجراء المزيد من البحوث من أجل دراسة مدى تعرُّض الفئات المُستضعَفة لمختلف الأخطار قبل، وأثناء، وبعد حدوث حرائق الغابات بالغة الشدة، ومن أجل دراسة الإجراءات المُتَّخذة لتعزيز الجهود الرامية إلى منع تلك الحرائق والتأهُّب لها.

ورغم أنَّ حرائق الغابات هي بمثابة أثرٍ صارخٍ ناجمٍ عن تغيُّر المناخ، فإنَّ التحوُّلات الفينولوجية تثير القلق نفسه. غالباً ما تُدرك النباتات والحيوانات إشارات المرحلة التالية في الدورة الموسمية من شعورها بدرجات الحرارة وهطول الأمطار وطول النهار. لكن تغيُّر المناخ يتسارع كثيراً بدرجةٍ تفوق القدرة على التكيُّف لدى العديد من أنواع النباتات والحيوانات، ما يسبب اضطراباً في أداء النُّظم الإيكولوجية. لذا، يُمكن احتواء هذه الظاهرة بفضل بعد التدخُّلات العاجلة التي تقتضي مثلاً إعادة تأهيل الموائل، وبناء ممرات للحياة البرية من أجل تعزيز الترابط بين الموائل، وتغيير تخوم المناطق المحمية، والمحافظة على التنوُّع البيولوجي في المناطق الطبيعية المُنتِجة. لكن تدابير الحماية هذه لن تؤدي إلا إلى تأجيل انهيار الخدمات الأساسية التي تُقدّمها النُّظم الإيكولوجية، ما لم تُبذَل جهودٌ جبّارة للحد من انبعاثات غازات الدفيئة،

يساعدنا هذا التقرير كي نفهم أنَّ التعلُّم من النُّظم الإيكولوجية وكيفية العيش فيها بتناغُمٍ إنَّما هي أهداف ينبغي لنا جميعاً الأخذ بها، إذ لا سبيل إلى بناء مجتمعٍ صحي بدون بيئةٍ صحية. ويتعيَّن علينا أن نلجأ إلى العلم النافع لإرشاد السياسات المسؤولة التي تدعم بناء البيئة الصحية التي ينشدها تقرير الآفاق.

شُكر وتقرير

الاستماع إلى المُدُن: من بيئاتٍ شديدة الضوضاء إلى بيئاتٍ صوتية إيجابية

المؤلف

فرانشيسكو أليتا، كلية بارتليت للبيئة والطاقة والموارد، كلية لندن الجامعية، لندن، المملكة المتحدة.

المراجعون

آنجل دزامبوف، كلية الصحة العامة، جامعة بلوفديف الطبية، بلوفديف، بلغاريا
سيسيليا أندرسن، برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية (موئل الأمم المتحدة)، نيروبي، كينيا
دومينيك بوتفين، كلية العلوم والصحة والتعليم والهندسة، جامعة صنشاين كوست، خليج مورتن باي، أستراليا
غييرمو راي-غوزالو، قسم الفيزياء التطبيقية، جامعة إكستريمادورا، باداخوز، إسبانيا
هوي ما، كلية الهندسة المعمارية، جامعة تيانجين، تيانجين، الصين
جين يونغ جيون، قسم الهندسة المعمارية، جامعة هانيانغ، سول، جمهورية كوريا
خوسيه تشونغ، برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية، نيروبي، كينيا
باولو هنريكي ترومبيتا زانين، قسم الهندسة الميكانيكية، جامعة بارانيا الفيدرالية، بارانيا، البرازيل
سهيل رانا، برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية، نيروبي، كينيا

حرائق الغابات في ظل تغيُّر المناخ: قضية ساخنة

المؤلفون

أندرو داودي، جامعة ملبورن، ملبورن، أستراليا
ليوك بيورسل، مركز AFAC الوطني لمشاركة الموارد، ملبورن، أستراليا
سارة بولتر، جامعة غريفيث، بريزبن، أستراليا
ليفيا كارفالهو مورا، معهد المجتمع والسكان والطبيعة، برازيليا، البرازيل

المراجعون

كريستينا ديل روسيو مونتيل-مولينا، قسم الجغرافيا، جامعة كومبلوتينس في مدريد، مدريد، إسبانيا
خوان بابلو أرغانياراز، معهد غوليتش (CONAE-UNC)، كونيسيت، كوردوبا، الأرجنتين
ماثيو بي تومسن، محط روكي ماونتن للبحوث، الولايات المتحدة الأمريكية هيئة خدمات الغابات، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية
شيلدون ستراردوم، قسم الجغرافيا والعلوم البيئية، كلية علوم الجغرافيا والأماكن، جامعة نورث-ويست، مافيكينغ، جنوب أفريقيا

الفينولوجيا: ظاهرة تغيُّر المناخ تُحدثُ تغييراً في إيقاع الطبيعة

المؤلف

مارسيل إي فيسر، قسم إيكولوجيا الحيوانات، معهد هولندا للإيكولوجيا (NIOO-KNAW)، واغينينغين، هولندا

المراجعون

إلسا كليلاند، شعبة العلوم البيولوجية، جامعة كاليفورنيا، سان دييغو، الولايات المتحدة الأمريكية
غاري تابور، مركز المحافظة على المساحات الشاسعة، مونتانا، الولايات المتحدة الأمريكية
غيثا راماسوامي، مؤسسة الحفاظ على الطبيعة، بنغالور، الهند
جان فان غيلز، المعهد الملكي الهولندي لبحوث البحار، (t' Horntje)، هولندا
كيلي أورتيغا-سيسنيروس، قسم العلوم البيولوجية، جامعة كيب تاون، جنوب أفريقيا
لينور باتريشيا سيرديرا مريلاتو، قسم علوم النبات، جامعة ولاية ساو باولو، ساو باولو، البرازيل
ريبيكا أش، قسم البيولوجيا، جامعة إيست كارولاينا، الولايات المتحدة الأمريكية
شوكو ساكاي، مركز البحوث الإيكولوجية، جامعة كيوتو، اليابان
يان فيتاس، المعهد السويسري الفيدرالي للبحوث (WSL)، بيرمنزدورف، سويسرا

المراجعون لدى برنامج الأمم المتحدة للبيئة

أندريا هينوود، ديانا كوبانسكي، إدواردو داندري، جيان ليو، مارتن كابيل وسوزان موتيبي-ريتشاردز، برنامج الأمم المتحدة للبيئة، نيروبي، كينيا

الشكر الجزيل يمتدُّ إلى

ياسويوكي أونو، جامعة أوساكا برفكتشر، اليابان؛ تاتيانا بوغدانوفا، منظمة غلوبال فوريست ووتش، الولايات المتحدة الأمريكية؛ كاثرين كلبرستن، جامعة كاليفورنيا، بيركلي، الولايات المتحدة الأمريكية؛ أليغزاندر هورتن، المملكة المتحدة؛ فريدريك بومغارتن، المعد السويسري الفيدرالي للبحوث، سويسرا، أنجلين جامبو، أودري رينغلر،
بيرجيتأوهانغا، كارولين موريتي، كونور بورسل، دانيل كوني، جين موريتي، جوزفين وامبوا، كايسا يوسيما، كاتي إيليس، كيشامازا روكيكير،
ماغدا بيسيادا، ماريا فيتوريا غالاسي، ميراندا غراندا، موزيز أوساني، ندى متى، نانديتا سوريندران، نيها سود، نيكولين شونفيلد-دي لانج، بولين موغو،
بوجا مونشي، ريغن سيرينغو، ريتشارد وايغوتشا، سالومي تشامانجي، ساموبل أوبيو، شريف شوقي، صوفيا مينديز، تيتو كيماتي، تال هاريس، فيرجينيا جيتاري، وامبوي إندونغو، ياوو كونكو، يونتينغ دوان، برنامج الأمم المتحدة للبيئة، نيروبي، كينيا

فريق الإنتاج

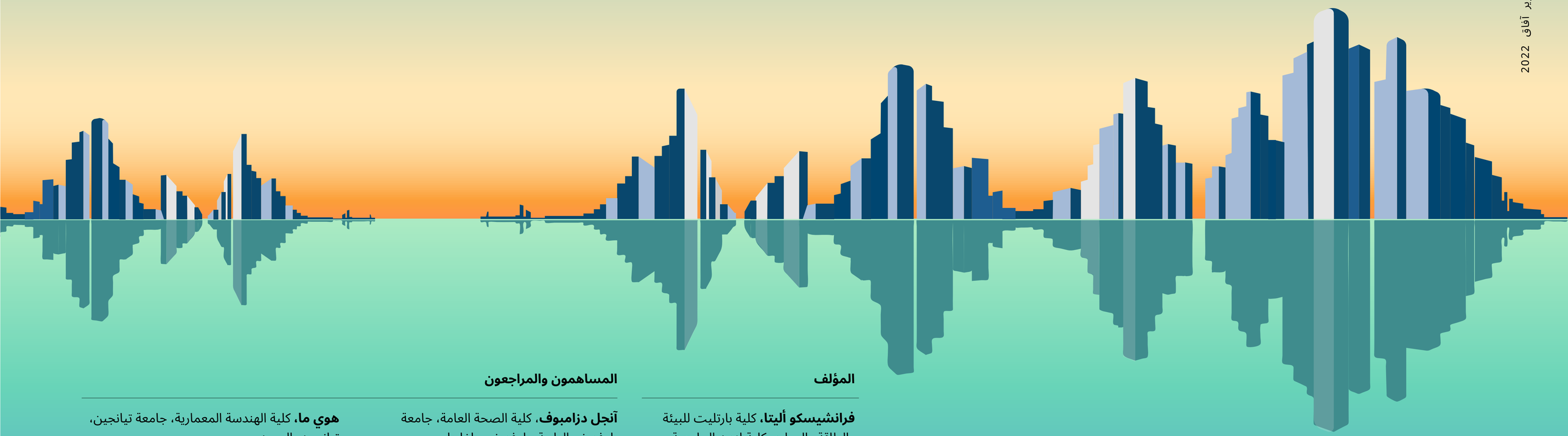
رؤساء مهام الإنتاج: إدواردو زاندري ومارتن كابيل، برنامج الأمم المتحدة للبيئة، نيروبي، كينيا
كبير المحررين : بينيا ساراساس، برنامج الأمم المتحدة للبيئة، نيروبي، كينيا
الدعم التقني: آلان ليلي وريتشل كوس، برنامج الأمم المتحدة للبيئة، نيروبي، كينيا
المحرر العلمي : كاثرين ماكمولن، كندا

الصور التوضيحية والتصميم والتنسيق

كارلوس رايس، رايس وورك، برشلونا، إسبانيا

الاستماع إلى المُدُن

من بيئاتٍ شديدة الضوضاء إلى بيئاتٍ صوتية إيجابية



المؤلف

فرانشيسكو أليتا، كلية بارتليت للبيئة والطاقة والموارد، كلية لندن الجامعية، المملكة المتحدة

المساهمون والمراجعون

آنجل دزامبوف، كلية الصحة العامة، جامعة بلوفديف الطبية، بلوفديف، بلغاريا
سيسيليا أندرسن، برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية (موئل الأمم المتحدة)، نيروبي، كينيا
دومينيك بوتفين، كلية العلوم والصحة والتعليم والهندسة، جامعة صنشاين كوست، خليج مورتن باي، أستراليا
غييرمو راي-غوزالو، قسم الفيزياء التطبيقية، جامعة إكستريمادورا، باداخوز، إسبانيا
هوي ما، كلية الهندسة المعمارية، جامعة تيانجين، تيانجين، الصين
جين يونغ جيون، قسم الهندسة المعمارية، جامعة هانيانغ، سول، جمهورية كوريا
خوسيه تشونغ، برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية، نيروبي، كينيا
باولو هنريكي ترومبيتا زانين، قسم الهندسة الميكانيكية، جامعة بارانيا الفيدرالية، بارانيا، البرازيل
سهيل رانا، برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية، نيروبي، كينيا

عودة لأسفل الصفحة

1- الصوت المحيطي: بيئتنا الصوتية

الأصوات هي ظواهر فيزيائية معقدة تنشأ عن الاهتزاز الحاصل من مصدرٍ يبثُّ طاقةً في وسَطٍ ما على هيئة موجةٍ صوتية. تصدر الأصوات باستمرار وتتواجد في كل مكان: فـ "الصمت" غير موجود على وجه الأرض. وبما أنَّ الأصوات هي عبارة عن ظواهر فيزيائية، لا يُمكن تصنيفها على أنها إيجابية ولا سلبية. فالصوت لا يكتسب معنىً ولا ينتج أثراً إلا عندما يقع على مسمع المُنصِت الذي يُفكِّرُ فيه. لذا، تتحوَّل الأصوات إلى ضوضاء عندما تنتفي الحاجة إليها. وعندما تكون الضوضاء صاخبة وتستمر لوقتٍ طويل، تتحوَّل إلى تلوُّثٍ ضوضائي.

واليوم، يشكل التلوُّث الضوضائي مشكلةً بيئية كبيرة ويُطرَح بوصفه خطراً بيئياً ذي أولوية يُحدق بصحة البشر من جميع الفئات العمرية والاجتماعية، إضافةً إلى كونه عبئاً على الصحة العامة. إن التعرُّض المُطوَّل لمستوياتٍ مرتفعةٍ من الضوضاء يضرُّ بصحة الإنسان ورفاهه، ما يثير المزيد من القلق بالنسبة إلى عامّة الناس وصُناع السياسات.[1] حالياً، يتعرَّض ما لا يقل عن 20 في المائة من مواطني الاتحاد الأوروبي لمستويات الضوضاء الناتجة من حركة السير على الطُّرُق، وهذه الضوضاء تُصنَّف باعتبارها ضارّة بالصحة. وهذا تقديرٌ متوسّطٌ فحسب، إذ تبيَّن أنَّ النسبة أعلى بكثير في المناطق الحضرية.[2] يولد التلوُّث الضوضائي من مصادر تقليدية مثل الطُّرُق وسكك الحديد والمطارات والمصانع؛ وقد تأتي مستويات الضوضاء المرتفعة أيضاً من بعض الأنشطة المنزلية أو الترفيهية. وإنَّ الضوضاء الناتجة عن حركة السير على الطُّرُق وسائر أشكال الضوضاء الحضرية لا تؤثر على رفاه الإنسان فحسب، بل تُخلُّ أيضاً بأنواع الكائنات الحية الأخرى التي تُعَدُّ شديدة الأهمية بالنسبة إلى البيئة الحضرية، وتهدد بقاءها على قيد الحياة.[3]

مقياس الديسبل (dB) هو وحدة قياس تُشير إلى كثافة الصوت أو صَخبه، وتساعد في التنبؤ بحدود الضوضاء عندما تبدأ بإزعاج البشر أو عندما تتسبَّب باضطراباتٍ في النوم. وفي حين يُعتبر صخب الضوضاء مهماً، تُعَدُّ الأنماط الزمنية ومعدل تردُّد الصوت من حيث ارتفاع أو انخفاض الحدة بمثابة عوامل تحدد التأثيرات الجسدية والنفسية على المُستمع.[4]

فمن الناحية الجسدية، إنَّ الاقتراب من الأصوات الحادة المرتفعة جداً، مثل إطلاق ناري بقوةٍ تفوق 140 ديسبل، قد يؤدي إلى تمزُّق غشاء الطبلة في الأذن، ما يُسبّب فقدان السمع فوراً. أما الاستماع إلى الموسيقى بسماعات الأذن ورفع الصوت إلى الحد الأقصى (المتراوح بين 90 و100 ديسبل قرب طبلة الأذن) فمن شأنه التسبُّب في تلف حاسة السمع بعد الاستماع لمدة 15 دقيقة فقط في اليوم.[5] والتعرُّض المنتظم لصوتٍ بقوةٍ تزيد عن 85 ديسبل لـ 8 ساعاتٍ أو أكثر في اليوم فمن شأنه التسبُّب بتَلَفٍ دائمٍ في حاسة السمع. وأما التعرُّض للضوضاء خلال فتراتٍ طويلة، حتى لو كانت مستويات الضوضاء منخفضة نسبياً كما يشيع في المناطق الحضرية، فمن شأنه الإضرار بالصحة الجسدية والعقلية على حدٍّ السواء.

ولكن لا يمكن الحُكم على نوعية الصوت بالنظر إلى خصائصه الفيزيائية وحسب؛ فتعريف الضوضاء بوصفها أصواتاً غير مرغوبٍ بها ينطوي على مفهومٍ نفسي.[6] وفي حين أنَّ تقليل مستويات الضوضاء ضرورياً عندما تكون مضرة بالبشر بدنياً، لا يبدو هذا التقييم كافياً على نطاقٍ واسعٍ. لذا، أصبح من المهم أكثر فأكثر دراسة البيئات الصوتية التي تساهم في رفاه البشر بدنياً ونفسياً، لا سيما في البيئة الحضرية.[7]

ومع ذلك، يتَّفق الكثيرون على أنَّ العالم الصامت ليس بمرغوب لأنَّ الأصوات كفيلة بإثراء حياتنا واستعادة مشاعر الصحة والرفاه وبث المعاني في تجارب الحياة اليومية.[7] فالأصوات تساعد في تحديد خصائص الأماكن والثقافات وتُبلورُ نوعية الحياة التي نعيشها. وربما كانت بعض الأصوات الحضرية فريدةً بالنسبة إلى مجتمعٍ ما، ولعلّها تُضيف إلى تنوُّعه الثقافي، حتى أنَّها قد تتحوَّل إلى معالم صوتية تاريخية.[9] فعلى سبيل المثال، تُعَدُّ بعض الأصوات، مثل رنين ساعة بيغ بن في لندن أو دعوات المؤذن إلى الصلاة في المسجد الحرام في مكة المكرَّمة، أصواتاً مؤثرة راسخة في الذاكرة. وفي مفهومه الأوسع، يجب ألا تُحصَر الراحة الصوتية في غياب الضوضاء وحسب؛ بل هي حالة تتيح فيها الأصوات البيئية فرصاً وافية للناس كي يزدهروا ويعتنوا برفاههم البدني والعقلي.

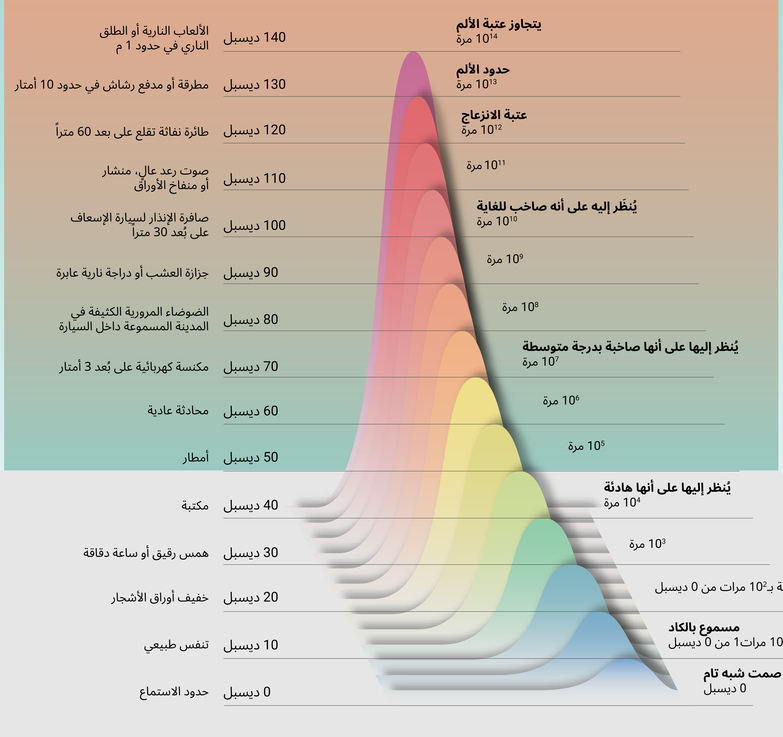
ما معنى "البيئة الصوتية"؟

تعرف المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس (أيزو) "البيئة الصوتية" على أنها "البيئة الصوتية المحسوسة أو الملموسة و/ أو المفهومة لدى شخص أو أشخاص في سياق ما".[10] وبعبارة أخرى، تشمل البيئة الصوتية أسلوب إدراك الناس لكامل مجموع الأصوات في مكان ما لمدة ما، وطريقة استقبالهم إياها وتجاوبهم معها.[11] ودراسات البيئة الصوتية تخصص ناشئ، علماً بأنها تهدف إلى النظر في قضية البيئات الصوتية الحضرية من منظور أشمل، مع اتباع نهج مرتكز على المنصت.[12] ويهدف نهج البيئة الصوتية إلى التركيز على السياق، وعلى الأصوات المرغوبة في مقابل الأصوات غير المرغوبة، وعلى التفضيل الفردي بدلاً من الإزعاج.[13]

قياس الضوضاء

عادةً ما يُعبَّر عن معدل ضغط الصوت أو كثافته بمقياس الديسبل (أو dB). وبما أنَّ مدى الضغط الصوتي الذي يمكن لأذن الإنسان رصده هو مدى واسع للغاية، يُعَدُّ نطاق الديسبل لوغاريتمي: مقياس يستند إلى قوى قوامها 10.

وعلى مقياس الديسبل (dB)، تبلغ أدنى وحدة صوتية مسموعة صفر ديسبل (التي يدركها الإنسان بأنها مقاربة للصمت التام). ويبلغ مستوى الصوت قوة 10 ديسبل عندما يكون ضغطه أقوى بعشرة (10)[1] أضعاف مقارنةً بمستوى صفر ديسبل. غير أنَّ هذه الزيادة البالغة 10 ديسبل تُعَدُّ عموماً مضاعفة للصخب الذي تستشعره الأذن. أما الصوت الذي يكون 100 مرة أقوى من مستوى صفر أو 10 ديسبل[2] فيُسجَّل بقوة 20 ديسبل، وهكذا. أي أنَّ كل زيادة قوامها 10 ديسبل تعادل زيادةً في ضغط الصوت بمعامل آخر قوامه 10.



انظر الصفحة 39 لمطالعة المَراجع كاملة.

2- التأثيرات الصوتية

الآثار السلبية للضوضاء على الصحة العامة هي آثار متشعبة تُثير القلق أكثر فأكثر على المستوى العالمي. وتشمل هذه الآثار مجموعةً كبيرة ومتنوعة من النتائج التي تتراوح بين المعاناة النفسية البسيطة والمؤقتة والعاهة البدنية الحادة والمزمنة. أما الضوضاء الليلية فتسبب اضطراباً في النوم وتؤثر على رفاه الإنسان في اليوم التالي. وتشير التقديرات في أوروبا إلى أنَّ 22 مليون نسمة من السكان يعانون من ضوضاء مزعجة ومزمنة و6.5 مليون نسمة يعانون من إضراباتٍ في النوم؛ [2] علماً بأنَّ المعرضين لمخاطر اضطرابات النوم بسبب الضوضاء هم كبار السن والحوامل وعمال المناوبات.[2، 14]

وقد يُسفر الاستيقاظ بسبب الضوضاء عن مجموعةٍ من الاستجابات المرتبطة بالإجهاد النفسي والفسيولوجي لأنَّ النوم يُعدُّ ضرورياً لانتظام أداء الهرمونات ووظائف القلب والأوعية الدموية في الجسم. [14، 15] وتتزايد الأدلة التي تثبت أنَّ التعرُّض لضوضاء حركة المرور يشكل عامل خطرٍ يسبب اضطراباتٍ في القلب والأوعية الدموية واضطرابات التمثيل الغذائي – مثل ارتفاع ضغط الدم، وارتفاع ضغط الدم الشرياني، واعتلال القلب التاجي، والسكري.[16] ويؤكد أحد التقديرات المتحفظة أن التعرُّض المُطوَّل للضوضاء البيئية يسهم في إحداث 48 ألف حالة جديدة من مرض القلب الإقفاري، فضلاً عن التسبُّب في 12 ألف وفاة مبكرة سنوياً في أوروبا. [2]

تناولت دراستان استمرتا لمدة 15 عاماً مقيمين لفتراتٍ مطوَّلة في تورنتو، كندا، وتبيَّن أنَّ التعرُّض لضوضاء المرور قد أدى إلى زيادة مخاطر احتشاء عضلة القلب الحاد وفشل القلب الاحتقاني، وزيادة الإصابة السكري من النوع الثاني بنسبة 8 في المائة، وزيادة عدد المُصابين بارتفاع ضغط الدم بنسبة 2 في المائة. [17، 18] وقد راعت الدراستان الآثار المربكة لتلوُّث الهواء المرتبط بحركة المرور، وهي آثار متصلة بنتائج مماثلة. وأفاد تحليلٌ يستند إلى البيانات الوطنية عن الصحة والضوضاء في كوريا بأن كل زيادة بمعدل واحد ديسبل في التعرُّض للضوضاء خلال النهار قد أفضت إلى زيادةٍ في أمراض القلب والأوعية الدموية بنسبة 0.17 إلى 0.66 في المائة. [19]

أجرى المكتب الإقليمي لأوروبا التابع لمنظمة الصحة العالمية استعراضات منهجية لتقييم أوجه الارتباط بين نتائج الضوضاء والصحة من أجل وضع مبادئ توجيهية وتقديم توصيات لحماية صحة الإنسان من التعرُّض للضوضاء البيئية المُتأتية من مصادر مختلفة. [1] وتشمل النتائج الصحية الانزعاج؛ والآثار المتعلقة بوظائف القلب والأوعية الدموية والتمثيل الغذائي (الاستقلاب)؛ والضعف الإدراكي؛ والآثار المُخلَّة بالنوم؛ والإعاقة السمعية وطنين الأذن؛ ونتائج الولادة السلبية؛ والتأثير على نوعية الحياة والصحة العقلية والرفاه. أما مصادر الضوضاء المشمولة بتلك الاستعراضات فكان من بينها حركة السير على الطرق وسكك الحديد والطائرات والتربينات الهوائية والأنشطة الترفيهية – مثل حضور الأحداث الرياضية أو الموسيقية، والاستماع إلى الموسيقى عبر الأجهزة الشخصية، وغيرها من سُبُل الترفيه.

واستناداً إلى تلك الاستعراضات، توصي منظمة الصحة العالمية بتحديد حدود للتعرُّض تجنُّباً للتبعات الصحية السلبية. وقد رُصدَت الحدود من واقع مستويات التعرُّض خلال النهار والمساء والليل مجتمعة؛ ومن خلال قياس مستوى الضوضاء ليلاً فقط. ومؤشرات الضوضاء هذه تُحتسب لفتراتٍ زمنيةٍ متوسطة بالنسبة إلى الفترة المشمولة بالدراسة، وهي مثبتة بمقياس الديسيبل، وتُرصَد لدى الطرف المتلقي في الجانب الأشد تعرُّضاً للضوضاء في المبنى. كانت الحدود الموصى بها لفترة الليل أدنى في المعتاد من فترة الأربع والعشرين ساعة الكاملة، وذلك لأنَّ مصادر الضوضاء والأحداث المحددة قد تكون ملحوظة وأقل نشاطاً، ما يعني الإفضاء إلى اضطراب النوم وازدياد مرات الاستيقاظ. [1، 20] والأدلة العلمية المُستخدَمة في استعراض منظمة الصحة العالمية -من واقع الدراسات الممثَّلة لمناطق متعددة في قاراتٍ مختلفة- تُشكِّلُ أساساً لتحديد حدود التعرُّض الموصى بها. وهذه التغطية الشاملة تدعم اعتمادَ هذه الحدود ليُسترشَد بها أثناء وضع سياسات مكافحة الضوضاء حول العالم.

في المقابل، تُعَدُّ بعض الأصوات مفيدة صحياً – لا سيَّما أصوات الطبيعة. وقد وثَّق عددٌ من الاستعراضات المنهجية بحوثاً تجريبية عن الرفاه مستقاة من دراسات نفسية سريرية ونفسية ذاتية؛ وذلك من واقع الاستجابة إلى البيئات الصوتية. [21، 22] أفادت الاستعراضات بالتأثير الإيجابي للصوت الطبيعي ولوقعه اللطيف على الصحة البدنية والعقلية. ويمكن أيضاً الرَّبط بين أهمية الأصوات الطبيعية والرفاه العام من جهة، والمزايا التطوُّرية من جهةٍ أخرى؛ ذلك أنَّ الأصوات الطبيعية قد تُشير إلى بيئةٍ آمنة، وتقلل نسبة القلق، وتُساهم في التعافي العقلي؛ في حين أنَّ غياب الأصوات الطبيعية قد تتسبَّب بحالةٍ تتَّسم بمزيدٍ من التنبُّه واليقظة، لا سيَّما بالنسبة إلى الفئات المُعَرَّضة للضرر. [23، 24]

في أوروبا، يتسبب التعرض المُطوَّل للضوضاء البيئية في

12,000

وفاة مبكرة، ويساهم في

48,000

حالة جديدة لاعتلال القلب الإقفاري سنوياً.

يعاني 22 مليون

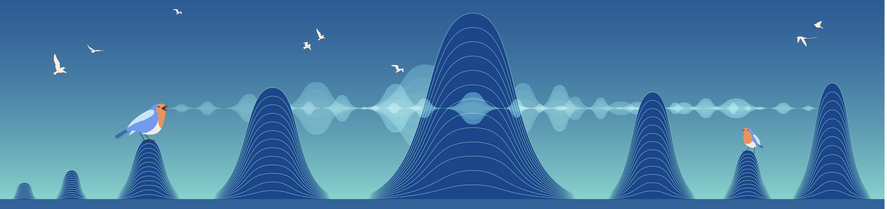
نسمة في أوروبا من الضيق المزمن بالضوضاء.

توصيات منظمة الصحة العالمية بشأن مستويات الضوضاء

ينبغي الإبقاء على مستوى التعرُّض للضوضاء دون المستويات التالية تجنُّباً للآثار الصحية الضارة. [1]

مصدر الضوضاء	أقصى مستوى للتعرُّض للضوضاء طوال النهار والمساء والليل (Lden)	أقصى مستوى للتعرُّض للضوضاء ليلاً (ألتيني)
حركة السير على الطُّرُق	53 ديسبل	45 ديسبل
سكك الحديد	54 ديسبل	44 ديسبل
الطائرات	45 ديسبل	40 ديسبل
توربينات الرياح	45 ديسبل	(أدلة غير كافية للتوصية بحدٍّ مُعيَّن)

كائنات المدينة: غارقة في الضوضاء



تُعَدُّ الاتصالات الصوتية مهمة للغاية بالنسبة إلى الكثير من أنواع الحيوانات؛ وتُستَخدَم الإشارات الصوتية في مجموعة متنوِّعة من سياقات الاتصال، بما في ذلك الدفاع عن الأرض، والتحذير من الخطر، وإيجاد رفيقٍ أو جذبه، ورعاية الصغار. وفي حين أنَّ الحيوانات قد تعتبر الأصواتَ المفاجئة وغير المتوقعة تهديداً لها، فإنَّ القلق الصوتي المُزمِن – مثل ضوضاء حركة المرور – قد تتداخل مع الاتصال الصوتي لدى مجموعةٍ من أنواع الحيوانات وتتسبَّب بتغيير سلوكياتها. [1، 25-27]

وإذا ما راقبنا الاستجابة الظاهرية للحيوانات، قد نظنُّ أنَّها تستجيب للضوضاء عبر هجْر المواقع الصاخبة، ولكن بعضها يعمد إلى التكيُّف مع الضوضاء بدلاً من هجر المكان، إذ تلجأ بعض الحيوانات إلى تغيير التوقيت أو النمط الخاصَّيْن بإشاراتها الصوتية كي لا تُطمَسَ بفعل الضوضاء. ففي المدن الأوروبية، يبدو أنَّ طيور أبي الحناء تُكثر من التغريد ليلاً تجنُّباً للتداخل الصوتي المرتفع أثناء النهار، فيما تبدأ العصافير ذات الياقة الحمراء في منتزهات مدينة بوغوتا الكولومبية بالتغريد الجماعي فجراً في المواقع ذات حركة مرور كثيفة في النهار. [28، 29] كما أنَّ بعض الضفادع تُبدي سلوكاً للتواصل عن بُعد وتختار التواصُل في أوقات الاستراحة من الضوضاء. [30]

تعمد بعض الأنواع الأخرى إلى تعديل إشاراتها عبر تحويل تردُّدها الصوتي أو طبقتها ونطاقها كي تتصدّى لضوضاء المرور المنخفضة التردد. فالكثير من أنواع الطيور التي تعيش في المُدُن والتي تتميّز بأصواتٍ منخفضة التردُّد بطبيعتها، اعتادَت أن ترفع تردُّد تغريداتها في المساحات المغمورة بالضوضاء الحضرية.[31-33] وقد أُجريَت بعض الدراسات في ٣٠ موقعاً يجمع بين مساحاتٍ حضرية وحرجية في قلب أوروبا واليابان والمملكة المتحدة، وخلصت إلى أنَّ الطيور الحضرية الكبيرة تغرد بطبقاتٍ صوتية أعلى من الطيور التي تقطن في الغابات.[34-36] أما عصافير الزيرا والعصافير ذات التاج الأبيض فتُبطِئُ أنغامها للتجاوب مع ضوضاء المدينة.[37-38] وقد رُصدَت هذه الأشكال من التعديل الصوتي أيضاً لدى الضفادع والحشرات، مثل الجنادب، التي تعيش بالقرب من الطُّرُق السريعة الصاخبة.[39-42]

ولا شك في أنَّ هذه التغييرات تعزز إمكانية استماعنا للحيوانات في البيئات الصاخبة، ولكن أنماط الإشارات الصوتية المُعدَّلة تكون أقل جذباً أحياناً للرفاق المحتملين، ما يؤثر على نجاح عملية التكاثُر.[3، 30] وإذا لم تتمتَّع الأنواع الحية بمرونةٍ سلوكية في إنتاج الإشارات أو استقبالها، فقد يُفضي عجزها عن الاتصال إلى القضاء على وجودها في موائلها، وقد يترافق ذلك مع مضاعفاتٍ كبيرة على مستوى النظام الإيكولوجي.[3، 27]

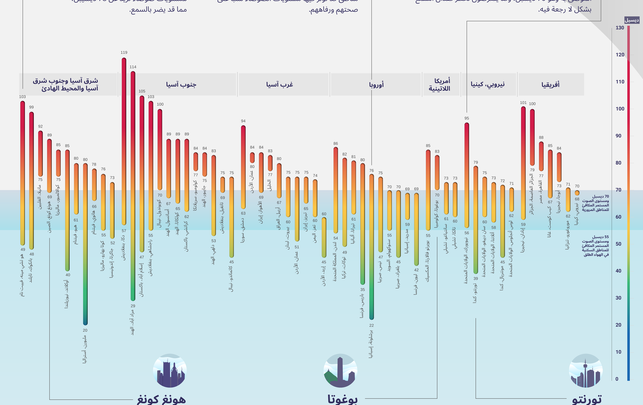
قياس معدلات الصوت:
كم بلغت الضوضاء من المدن؟

يعرض الرسم التوضيحي مستويات الضوضاء المتعلقة بحركة السير (ديسيل ومستوى الصوت المستمر المكافئ (LAeq) المقاسة لمدة نهارية محددة في مدن مختلفة. وجُمعت البيانات من مختلف الدراسات المنشورة التي استعانت بمنهجيات مختلفة. ووفقاً للمبادئ التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية لعام 1999 بشأن الضوضاء المجتمعية، بلغت الحدود الموصى بها 55 ديسيل للمناطق السكنية في الهواء الطلق و70 ديسيل للمناطق المرورية والتجارية.19 وأرست أحدث إرشادات منظمة الصحة العالمية لعام 2018 توصية وقائية صحية لمستويات ضوضاء حركة السير على الطرق تبلغ 53 ديسيل بناءً على مؤشر Lden، وهو متوسط مستوى الضوضاء خلال النهار والمساء والليل الذي يختلف عن مؤشر LAeq.

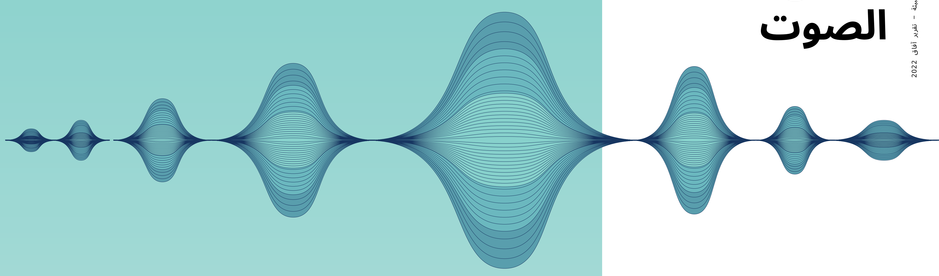
نيويورك
يشغل أكثر من مليوني شخص بوسائل النقل العام في المناطق الحضرية في نيويورك، يتعرض 9 من كل 10 مستخدمين للنقل الجماعي في مدينة نيويورك لمستويات ضوضاء تتجاوز الحد الموصى به وهو 70 ديسيل. وقد يتعرضون لخطر فقدان السمع بشكل لا رجعة فيه.

برشلونة
يتعرض أكثر من 272 من سكان المدينة لمستويات ضوضاء تزيد عن 55 ديسيل. ويعيش أكثر من نصف سكان المدن الأوروبية الكبيرة في مناطق قد تؤثر فيها مستويات الضوضاء سلباً على صحتهم ورفاههم.

مدينة هو تشي مينه
أظهرت دراسة تتبعت ركّبي الدراجات الذين ركبوا أكثر من 1000 كيلومتر داخل المدينة أن ركّبي الدراجات تعرضوا لمستويات ضوضاء تزيد عن 78 ديسيبل، مما قد يضر بالسمع.


ديسيل
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
أفريقيا
ديربوي، كينيا
أمريكا اللاتينية
أوروبا
غرب آسيا
جنوب آسيا
شرق آسيا وجنوب شرق آسيا والمحيط الهادئ
ديسيل
79 مستوى الضوضاء المتوسط في المناطق السكنية
15 مستوى الضوضاء المتوسط في المناطق السكنية في أوقات الذروة
ديسيل
مستوى الضوضاء المتوسط في المناطق السكنية

3- خفض الصوت



"متى كان من الصعب تقليل الضوضاء بصفة عامة، فمن المهم التحقق من توفير الهدوء محلياً للناس في الأماكن العامة."

تُشكِّل الضوضاء مشكلةً يتعيَّن التعامل معها وإدارتها، شأنها شأن معظم مصادر التلوُّث. لقد وضعت بُلدان كثيرة أُطُراً تنظيمية ومتطلبات قانونية موضع التنفيذ يجري تنسيقها بين أطرافٍ متعددة في بعض الأحيان كما هي الحال في الاتحاد الأوروبي. [43، 44] وجرت العادة أن تُتَّخَذ تدابير مشتركة لمعالجة مصادر الضوضاء باعتبارها التدابير الأفضل من حيث فاعلية التكلفة والوضوح في التنفيذ. وتشمل التدخُّلات المصدرية إدارةَ تدفُّق الحركة على الطُّرُق وسكك الحديد والطيران، واستخدام الطُّرُق البرية وسكك الحديد المنخفضة الضوضاء، والتحريك الهوائي المُحسَّن ومكوّنات الطائرات المُحسَّنة، مع التحوُّل من المحركات القائمة على الاحتراق الداخلي إلى اعتماد نُظُم الدفع الأكثر هدوءاً. [2]

وقد ركَّزت الهيئات العامة والمؤسسات الصناعية والبحثية بصورةٍ أساسية على هذه الأنواع من المستجدّات التكنولوجية. والتدابير البديلة الموجَّهة إلى المتلقي مثل تركيب حواجز الضوضاء، هي عادةً أقل فاعلية من حيث التكلفة ولا تحل المشكلة إلا موضعياً؛ كما أنَّها تترافق مع مشكلة إضافية تكمن في التأثيرات السلبية المحتملة التي تطال المناظر الطبيعية.

يمكن التخفيف من الضوضاء في المدن باتباع نُهُج غير مباشرة أيضاً؛ فقد أدرجت الحكومة المصرية تدابير ذات منافع بيئية مشتركةً في الخطة الوطنية لمكافحة الضوضاء وتخفيف مصادرها. وتشمل هذه التدابير التشجيع على استخدام الدراجات الهوائية، واعتماد بناء معايير الطاقة الكفيلة بالحد من انبعاث الضوضاء من نُظُم تكييف الهواء. [43، 45] وفي مدينة برلين الألمانية، استُحدِثَت مسارات جديدة منفصلة للدراجات على الطرق الفسيحة كجزءٍ من استراتيجيةٍ غير مباشرة للحد من الضوضاء بهدف تقليل مساحة القيادة المُخصَّصة للمركبات المُزوَّدة بمحركات. كان أصلاً أكثر من 500 ألف نسمة من السكان يتعرَّضون لمستويات ضوضاءٍ مرتفعة أعلى من 50 ديسبل، لذا جرى تضييق الكثير من طُرُق المدينة ذات مسارَيْن اثنَيْن لكل اتجاه وذات معدلات حركة تبلغ 20 ألف وحدة يومياً لتتضمَّن مساراً واحداً فقط، ما أفسح مساحة للدراجات الهوائية والمشاة. أدّى هذا التدبير إلى انتقال مصدر انبعاث الصوت نحو منتصف الطرق بعيداً عن المناطق السكانية. وبصفةٍ عامة، حقق ذلك انخفاضاً في مستويات الضوضاء الليلية بالنسبة إلى أكثر من 50 ألف نسمة. [2]

وفي نيسان/أبريل 2019، استحدثت العاصمة البريطانية "منطقة الانبعاثات الشديدة الانخفاض" في وسط لندن وتوسَّعت في نهاية عام 2021 لتشمل 3.8 مليون نسمة من السكان. [46، 47] وفي حين كانت الخطة مدفوعة في المقام الأول بالرغبة في تعزيز نوعية الهواء، إلا أنَّ التشجيع على استخدام المركبات الكهربائية والهجينة ساعد في تقليل الضوضاء لأنَّ هذه المركبات أكثر هدوءاً من تلك المدفوعة بمحركات الاحتراق الداخلي، لا سيَّما عند السير بسرعاتٍ منخفضة. [48] ومع ذلك، فإن إمكانية التنبّه إلى وجود مركباتٍ هادئة قد يشكل مصدر قلقٍ بالنسبة إلى سلامة المشاة؛ ما يفرض بالتالي تحدياً جديداً. [49، 50]

وبالنظر إلى المُدُن ذات نشاطٍ تطوُّري رأسي معقد وشبكات طُرُقٍ ضيقة، نجد أن هونغ كونغ تتفرَّد بكونها مثالاً لاستخدام الأراضي والمورفولوجيا الحَضَرية (أي النسيج المعماري في المدينة) باعتبارهما عاملَيْن رئيسَيْن مؤثرَيْن في التوزيع المكاني لمصادر الضوضاء في البيئة المبنيّة. [51، 52] ومع وجود أكثر من مليون ساكن معرَّضين لضوضاء حركة الطُّرُق بمستوياتٍ تفوق حد السبعين (70) ديسبل، فقد اعتمدَت السلطات سياسةً مُشدَّدة نسبياً تتركز على تصميم البنية التحتية والتخطيط لاستخدامات الأراضي – لكن هذه السياسة لم تنجح إلا بصورةٍ محدودة. [53-55]

تركّز المبادئ التوجيهية المتعلقة بالضوضاء والصادرة عن منظمة الصحة العالمية على ألّا تنحصر السياسة بالاهتمام بالمناطق ذات مستويات ضوضاءٍ مرتفعة فحسب، بل أن تشمل البيئات الصوتية الإيجابية حيثما وُجدت أو حيثما يمكن إنشاؤها. [1، 56، 57] ويتضمَّن عددٌ كبيرٌ من سياسات الضوضاء البيئية وإجراءات السلطات المحلية اعترافاً بأنَّه عندما يصعب الحد من الضوضاء عموماً، من المهم حينئذٍ ضمان وصول السكان إلى الهدوء محلياً في الأماكن العامة. [57] لذلك، اتَّجه التركيز في السياقات الأكثر حضرية على تحديد مناطق الهدوء وحمايتها، واستعادة الأصول البيئية الراسخة في نسيج المدينة.[45] ويمكن لسكان المدينة أن يهربوا من ضوضائها إلى المنتزهات الحضرية الهادئة، والممرات المُحوَّلة لسحب القوارب، والسكك الحديدة، والمساحات الخضراء والزرقاء الصغيرة ضمن المربعات السكنية، في الساحات والحدائق وغيرها من أماكن الاستجمام. فالوصول إلى مناطق هادئة قريبة يعزز الصحة والرفاه لدى المجتمعات المحلية. [58] وفي حين يعد مستوى الضوضاء جانباً مهماً في المدينة، إلا أنَّ نوعية البيئة الصوتية تتَّسم أيضاً بسماتٍ سياقية وتتأثر بعوامل غير صوتية، بما في ذلك الشعور بالأمان، وهذا جانب بالغ الأهمية بالنسبة إلى النساء وأولياء الأمور. [23، 58، 60] يُنظَر إلى المناطق الهادئة باعتبارها أماكن ذات مشاهد صوتية ممتعة أو خالية من الأصوات المزعجة؛ وغالباً ما تقترن بعناصر إيجابية خاصة بالمناظر الطبيعية مثل النباتات والمناظر المائية. [59-61] وعلى ذلك، فإن توفير أو حماية المساحات التي تمتاز بهذه الخصائص يُشكِّل طريقةً سلبية لكن قيِّمة في الوقت نفسه لتنظيم مكافحة الضوضاء في المناطق الحضرية.

"يوجد فهم عام للمناطق الهادئة على أنها أماكن ذات بيئات صوتية سارّة أو يغيب عنها الأصوات المنفِّرة."

آثارٌ مضاعفة على الفئات المُهمَّشة والقابلة للتأثُّر

إنَّ التأثيرات التي تُحدثها الضوضاء في صحة الإنسان ليست نفسها بين جميع الأفراد والفئات السكانية. بل يمكن لاختلافاتٍ فرديةٍ مُحدَّدة أن تزيد من قابلية تأثُّر الفرد. وتعد حساسية الفرد تجاه الضوضاء ميزةً ثابتة نسبياً ووراثية جزئياً، أياً كان مستوى التعرُّض لها.[62] وتتجلىّ الحساسية تجاه الضوضاء بوصفها درجة مرتفعة من اليقظة إزاء الأصوات والتفاعُل النفسي معها. ويمكن للحساسية المرتفعة تجاه الضوضاء أن تفاقم استجابات الإجهاد وقد ترتبط باعتلال الصحة العامة لدى الفرد. [63]

ويبدو أنَّ الفئة العمرية تُساهم في بلورة تفاعُلنا مع الأصوات، فالسكان الأصغر سناً والأكبر سناً هم أكثر عُرضةً للخطر بسبب الآثار لناجمة عن صَحِيج ضوضائيٍّ مُحدَّد. [64-66] أما الأدلة المتوفرة على الاختلاف من حيث قابلية التأثُّر بالضوضاء بين الجنسَيْن فهي أدلة متداخلة النتائج، وقد تكمن هذه الاختلافات في طريقة تلقِّي النساء والرجال لعوامل الضغط وكيفية التعامُل معها عموماً.[67، 68]

يفيد المقياس السكاني بأن بعض الفئات الاجتماعية أشد عرضة للتأثر من غيرها. [69] فالأفراد الأكثر فقراً لديهم خيارات إسكانية أقل من غيرهم، وغالباً ما يضطرهم ذلك إلى العيش بالقرب من عوامل الإجهاد البيئي، مثل مدافن النفايات والمناطق الصناعية والطرق ذات كثافة مرورية مرتفعة. [70، 71]

غير أنَّ التعرُّض طويلاً لعوامل الضغط البيئية هذه من شأنه أن يؤثر على صحة الأفراد الذين يعيشون ضمن هذه المجتمعات. [72] وتفيد الدراسات التي أُجرِيَت في العديد من المُدُن الكبرى بأنَّ المجتمعات المُهمَّشة أشد تعرُّضاً لمستويات الضوضاء البيئية، كما أشارت إلى أدلة عن مستويات متفاوتة في التعرُّض للضوضاء، وأتت المستويات مختلفة على أساسٍ إثني في بعض المجتمعات المتعددة الأعراق. [73-79]

وتجدر الإشارة إلى أنَّ إمكانية الوصول إلى مساحاتٍ خضراء عامة ومناطق محلية هادئة من شأنها تعزيز جودة البيئة الصوتية والحد من التأثير السلبي للضوضاء. وتفيد الأدلة بأنَّ الآثار الصحية الإيجابية للمساحات الخضراء ولاخضرار الأحياء السكنية تصبح أكثر فاعلية في المجتمعات التي تضمُّ الفئات الأشد حرماناً على الصعيد الاقتصادي الاجتماعي. [80] غير أنَّ وصول الفئات المهمشة إلى مساحاتٍ عامة خضراء عالية الجودة هو وصولٌ محدود مقارنةً بالمُتاح للمجتمعات الميسورة. [80-84]

4- قرارات صحية من أجل بيئاتٍ صوتية إيجابية

"ينبغي النظر إلى التلوث الضوضائي ضمن مجموعة أوسع نطاقاً من التحديات البيئية – وذلك عبر سياسات متكاملة، لا سيما للجمع بين التلوث الضوضائي وتلوث الهواء."

حقَّق صُنّاع السياسات بعض التقدُّم على مدار العديد من العقود المنصرمة في التصدي للتلوُّث الضوضائي بوصفه قضيةً بيئية وصحية عامة. لكن ذلك كشف عن عيْبَيْن مهمَّيْن: الأوَّل هو القصور الكامن في اتباع نهج تفاعلي – فالتركيز مُنصبٌّ بالأساس على تقليل مستويات الضوضاء بأثرٍ رجعي. والثاني هو النظر إلى الصوت نظرةً تقتصر على الإزعاج – كما هي الحال في الضوضاء الناتجة عن حركة النقل والأنشطة الصناعية – بدلاً من البحث في كيفية إذكاء الأصوات الباعثة على الراحة. لذلك، لا بدَّ من التصدي عاجلاً لهاتَيْن النقطتَيْن من أجل إيجاد مُدُن صالحة للعيش؛ علماً بأنَّ دعم التدخُّلات المستندة إلى البحوث يُعدُّ مطلباً حاسماً في هذه العملية.

سعياً إلى التغلُّب على العيب الأول، ينبغي لأي استراتيجيةٍ إنمائية حضرية أن تدرسَ الأصوات البيئية بدقة في أولى مراحل التخطيط والتصميم، وذلك تجنُّباً للنظر فيها في وقتٍ لاحق أثناء التنفيذ – علماً بأنَّ أي خطوة لاحقة قد تنطوي على تكاليف باهظة. واستناداً إلى البيانات الواردة من أوروبا، فإنَّ أكثر من 50 في المائة من الإجراءات التي تستهدف إدارة الضوضاء تركز على مصادرها، وعلى الرغم من فاعليتها في معظم الأحيان، إلّا أنَّها قد لا توفر بيئةً صوتيةً جيدة بالضرورة. [2] والجدير بالذكر أنَّ هناك نسبة محدودة جداً من التدابير التي تعالج الأصوات البيئية تلجأ إلى استخدام الأراضي أو التخطيط الحضري، فيما تتنامى الأدلة المستقاة من البحوث على أن هذا النهج سيكون أكثر استدامةً. [85، 86] وعلى ذلك، فمن الضروري أن يُدعى الخبراء في مجال الأصوات البيئية والبيئات الصوتية الحضرية للمشاركة في عمليات التطوير، ولا بدَّ أيضاً من إشراكهم في التواصل مع أصحاب المصلحة المحليين. [87]

فضلاً عن ذلك، ينبغي النظر إلى التلوُّث الضوضائي ضمن مجموعةٍ أوسع من التحديات البيئية – وذلك عبر سياساتٍ متكاملة، لا سيَّما السياسات التي تجمع بين التلوُّث الضوضائي وتلوُّث الهواء. تفيد بلدان كثيرة مشمولة بتقرير "الوكالة الأوروبية للبيئة" بنجاح السياسات التي تكفل مزايا مشتركة، من بينها تدابير تخفيف حركة المرور، وأساطيل المركبات الخضراء، والأبنية ذات الكفاءة في استهلاك الطاقة، وزراعة الأشجار والنباتات لخلق مسارات خضراء متصلة، وإدراج مواد معاد تدويرها بجودة أدنى ضمن الحلول الهندسية لمكافحة الضوضاء. [2]

أما التعامل مع العيب الثاني فيقتضي تلبية احتياجات التوسع في نطاق صنع السياسات عبر إحداث تحول عن الاكتفاء بإدارة الأصوات البيئية متى كانت قادرة على التسبب في تلوث ضوضائي، ليصبح بذلك التحول إلى اعتبار الأصوات البيئية فرصاً لتعزيز بيئات العيش الصحي لكل الأعمار والأجناس والفئات الاجتماعية. لذا تتطلع حكومة ويلز إلى المحافظة على البيئات الصوتية الإيجابية أو إيجادها، علماً بأن تعريفها هو "محل الأصوات الطبيعية مثل خرير تدفق المياه وتغريد الطير وهبوب الرياح على الأشجار والمحادثات البشرية، حيثما كان ذلك أظهر من ضوضاء حركة المرور المصاحبة".[57]

لكن الجمع بين ازدهار البيئات الصوتية الإيجابية وإبقاء معدلات التلوث الضوضائي ضمن حدود مقبولة يقتضي اتباع نُهُج جديدة تراعي استقبال الناس للأصوات دون الاكتفاء بتعرض الناس لها؛ فهذا من شأنه تتميم مقياس الديسبل وتقويته عند استقراء تشخيص البيئات الصوتية. وعلى الرغم من أن الصمت البسيط أو الهدوء البسيط محبب في بعض السياقات -مثل المنتزهات الحضرية أو الأماكن السكنية- فإنه من المتعذر اعتباره معياراً لقياس الجودة في كل مساحة حضرية. إننا في احتياج إلى التنويع والشمول الصوتيان في مدننا، مع دعم الاستخدامات المختلطة؛ وهذا مطلب لا يمكن للصمت وحده تلبيته.

"إننا في احتياج إلى التنويع والشمول الصوتيين في مدننا، مع دعم الاستخدامات المختلطة؛ وهذا مطلب لا يمكن للصمت وحده تلبيته."

كما أن الارتباط بين الوقت المنقضي في البيئات الطبيعية والرفاه العام هو ارتباط تزايد قبوله بعد تجارب الجائحة. [97] فقد أسفرت إغلاقات كوفيد-19 عن تقدير جديد للمساحات الخضراء الحضرية من كل نوع. [98، 99] وعلى ذلك، يتطلع المخططون الحضريون إلى "التعافي الجيد" بعد الجائحة عبر زيادة المساحات الخضراء، علماً بأن بعضهم مهتم بصفة خاصة بتحقيق فوائد تلك المساحات الخضراء ومزاياها في الأحياء الفقيرة المهملة في الغالب وفي أوساط الفئات المهمشة على مستوى الإسكان. [100، 101] لذا لا بد لصُناعالسياسات والمخططين الحضريين وأفراد المجتمع وغيرهم من أصحاب الشأن المتدخلين في بناء مدن أفضل حالاً للعيش أن يبقوا على مراعاة الأصوات في المساحات الجديدة والمساحات الخاضعة للتجديد.

البيئات الصوتية للإغلاقات العامة

عندما انتشر فيروس كورونا المسبب للمتلازمة التنفسية الحادة الوخيم 2 أواخر عام 2019، ردت الحكومات بأنحاء العالم بتدابير لاحتواء معدلات العدوى. [88]وأدى تعليق معظم الأنشطة التجارية والاجتماعية غير الأساسية، والتنقلات الاجتماعية، وغيرها من أشكال التنقل، إلى تقليل معدلات التلوث – ومنها التلوث الضوضائي. [89]

وأفاد كثير من الأفرقة البحثية والوكالات الحكومية بانخفاض مستويات الضوضاء، لا سيما في المناطق الحضرية. [90]ففي باريس، كشف جهود الرصد عن انخفاض بمتوسط قوامه 7.6 ديسبل في ضوضاء حركة السير على الطرق بكامل شبكتها خلال الإغلاق العام الأول في 17 من آذار/مارس 2020. [91]أما ضوضاء حركة الطيران في منطقة مطار شارل ديغول فقد انخفضت بشدة أيضاً، إذ بلغ انخفاضها 20.4 ديسبل.

وفي مدريد، أدى تقليل حركة المرور وغياب الناس عن الشوارع إلى انخفاضات في مستويات الصوت تراوحت بين 4 و6 ديسبل. [92]كما أجريت دراسة في لندن شملت 11 موقعاً وقورنت نتائجها ببيانات ذروة تدابير الإغلاقات العامة المحلية لتكشف عن انخفاض بمتوسط 5.4 ديسبل. [93]وفي سان فرانسيسكو أدى الانخفاض المفاجئ في الضوضاء البشرية إلى تمكين الناس من سماع أصوات طبيعية أكثر مما سبق، مثل شدو الطيور. [94]أما في مومباي فقد رُصِدَت مستويات الضوضاء في أماكن خلال احتفالات مهرجان غانيش تشاتورتي التي أجريت تحت قيود البلدية المتعلقة بكوفيد-19 في 2020. وبالمقارنة بنتائج القياس في 2018 و2019، تبين أن انخفاض مستويات الضوضاء تراوح بين 27.5 و28.5 ديسبل. [95]وهذا الهدوء العام المرتبط بالجائحة ملموس على نطاق عالمي من واقع الاستقصاءات السايزمية التي رصدت انخفاضات ضخمة في الضوضاء إبان فترة الإغلاقات العامة. [96]

إنَّ التداعيات البيئية الطويلة الأمد لأزمة كوفيد-19 ما زالت غير واضحة، وينبغي أن تتيح البحوث العالمية الجارية بصائر أوفى في هذا الشأن. وقد أدى الصمت غير المتوقع من المصادر البشرية إلى نقاش في الأوساط الأكاديمية والعامة بشأن الهيئة الصوتية الممكنة للمدن الحديثة، وما إذا كنا نبذل ما يكفي لتحقيق بيئات صوتية إيجابية.

وعلى الرغم من الإجماع القائم على أن القيود المفروضة بسبب تدابير الإغلاقات العامة أفضت إلى انخفاض مستويات الضوضاء في مدن كثيرة، فإنَّ أقوى الانخفاضات المسجلة في الضوضاء الناتجة عن حركة المرور تراوحت بين 6 و10 ديسبل في المعتاد، وفي حين يتسنى لمس ذلك في معظم الأحوال، إلا أنه لا يكفي -في الغالب الأعم- النزول بالتلوث الضوضائي إلى مستويات آمنة وفق توصيات منظمة الصحة العالمية. ذلك بأن تحسين جودة البيئات الصوتية في المدن يقتضي من الاستراتيجيات المختلفة في مجال التخطيط ومن تغييرات البنية التحتية أن توجِد بيئات صوتية أصح.

المَراجع

1. World Health Organization (2018). Environmental Noise Guidelines for the European Region. *Copenhagen: WHO Regional Office for Europe*. https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region

2. European Environment Agency (2020). Environmental noise in Europe — 2020. *Luxembourg: Publications Office of the European Union*. https://doi.org/10.2800/686249

3. Francis, C.D. and Barber, J.R. (2013). A framework for understanding noise impacts on wildlife: an urgent conservation priority. Frontiers in Ecology and the Environment 11(6). https://doi.org/10.1890/120183

4. Basner, M., Brink, M., Bristow, A., de Kluizenaar, Y., Finegold, L., Hong, J. *et al.* (2015). ICBEN review of research on the biological effects of noise 2011-2014 17(75), 57-82. https://doi.org/10.4103/1463-1741.153373

5. World Health Organization (2015). Hearing loss due to recreational exposure to loud sounds: A review. *Geneva: World Health Organization*. https://www.who.int/pbd/deafness/Hearing_loss_due_to_recreational_exposure_to_loud_sounds.pdf

6. Kjellberg, A. (1990). Subjective, behavioral and psychophysiological effects of noise. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* 16(suppl 1), 29-38. https://doi.org/10.5271/sjweh.1825

7. Kang, J., Aletta, F., Gjestland, T.T., Brown, L.A., Botteldooren, D., Schulte-Fortkamp, B. *et al*. (2016). Ten questions on the soundscapes of the built environment. *Building and Environment* 108, 284-294. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.011

8. Brown, A.L. (2010). Soundscapes and environmental noise management. *Noise Control Engineering Journal* 58(5), 493-500. https://doi.org/10.3397/1.3484178

9. Yelmi, P. (2016). Protecting contemporary cultural soundscapes as intangible cultural heritage: sounds of Istanbul. *International Journal of Heritage Studies* 22(4), 302-311. http://dx.doi.org/10.1080/13527258.2016.1138237

10. International Organization for Standardization (2014). ISO 12913-1:2014 Acoustics — Soundscape — Part 1: Definition and conceptual framework. *Geneva: ISO*.

11. Sztubecka, M., Skiba, M., Mrówczý, M. and Mathias, M. (2020). Noise as a Factor of Green Areas Soundscape Creation. *Sustainability* 12(3), 999. https://doi.org/10.3390/su12030999

12. Kang, J., and Schulte-Fortkamp, B. (eds.). (2015). Soundscape and the Built Environment. *Boca Raton: CRC Press*.

13. Brown, A.L. (2012). A Review of Progress in Soundscapes and an Approach to Soundscape Planning. *International Journal of Acoustics and Vibration*, 17(2), 73-81. http://doi.org/10.20855/ijav.2012.17.2302

14. Halperin, D. (2014). Environmental noise and sleep disturbances: A threat to health? *Sleep Science*, 7(4), 209-212. http://doi.org/10.1016/j.slsci.2014.11.003

15. Münzel, T., Gori, T., Babisch, W. and Basner, M. (2014). Cardiovascular effects of environmental noise exposure. *European Heart Journal* 35(13), 829–836. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu030

16. Münzel, R., Schmidt, F.P., Steven, S., Herzog, J., Daiber, A. and Sørensen, M. (2018). Environmental Noise and the Cardiovascular System. *Journal of the American College of Cardiology*, 71(6), 688-697. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.12.015

17. Bai, L., Shin, S., Oiamo, T.H., Burnett, R.T., Weichenthal, S., Jerrett, M. *et al*. (2020). Exposure to Road Traffic Noise and Incidence of Acute Myocardial Infarction and Congestive Heart Failure: A Population-Based Cohort Study in Toronto, Canada. *Environmental Health Perspectives* 128(8). https://doi.org/10.1289/EHP5809

18. Shin, S., Bai, L., Oiamo, T.H., Burnett, R.T., Weichenthal, S., Jerrett, M. *et al*. (2020). Association Between Road Traffic Noise and Incidence of Diabetes Mellitus and Hypertension in Toronto, Canada: A Population-Based Cohort Study. *Journal of the American Heart Association*, 9(6). https://doi.org/10.1161/JAHA.119.013021

19. Oh, M., Shin, K., Kim, K. and Shin, J. (2019). Influence of noise exposure on cardiocerebrovascular disease in Korea. *Science of The Total Environment*, 651, Part 2, 1867-1876. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.081

20. World Health Organization (1999). Guidelines for Community Noise. *Geneva: World Health Organization*.

21. Erfanian, M., Mitchell, A.J., Kang, J. and Aletta, F. (2019). The Psychophysiological Implications of Soundscape: A Systematic Review of Empirical Literature and a Research Agenda. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(19), 3533. https://doi.org/10.3390/ijerph16193533

22. Aletta, F., Oberman, T. and Kang, J. (2018). Associations between Positive Health-Related Effects and Soundscapes Perceptual Constructs: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15(11), 2392. https://doi.org/10.3390/ijerph15112392

23. Andringa, T.C., and Lanser, J.J.L. (2013). How pleasant sounds promote and annoying sounds impede health: A cognitive approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(4), 1439-1461. https://doi.org/10.3390/ijerph10041439

24. Buxton, R.T., Pearson, A.L., Allou, C., Fristrup, K. and Wittemyer, G. (2021). A synthesis of health benefits of natural sounds and their distribution in national parks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(14). https://doi.org/10.1073/pnas.2013097118

25. Francis, C.D., Ortega, C.P. and Cruz, A. (2011). Noise Pollution Filters Bird Communities Based on Vocal Frequency. *PLoS ONE* 6(11): e27052. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027052

26. Halfwerk, W., Lohr, B. and Slabbekoorn, H. (2018). Impact of Man-Made Sound on Birds and Their Songs. In *Effects of Anthropogenic Noise on Animals*. Slabbekoorn, H., Dooling, R., Popper, A., Fay, R. (eds). *Springer Handbook of Auditory Research*, 66. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8574-6_8

27. Kunc, H.P. and Schmidt, R. (2019). The effects of anthropogenic noise on animals: a meta-analysis. *Biology Letters*, 15(11). http://doi.org/10.1098/rsbl.2019.0649

28. Fuller, R.A., Warren, P.H. and Gaston, K.J. (2007). Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. *Biology Letters* 3(4), 368-370. http://doi.org/10.1098/rsbl.2007.0134

29. Dorado-Correa, A.M., Rodríguez-Rocha, M. and Brumm, H. (2016). Anthropogenic noise, but not artificial light levels predicts song behaviour in an equatorial bird. *Royal Society Open Science*, 3(7). http://doi.org/10.1098/rsos.160231

30. Potvin, D.A. (2017). Coping with a changing soundscape: avoidance, adjustments and adaptations. *Animal Cognition* 20(1), 9-18. https://doi.org/10.1007/s10071-016-0999-9

31. Brumm, H. and Zollinger, S.A. (2013). Chapter 7, 187-227: Avian Vocal Production in Noise. In *Animal communication and noise*. Brumm, H. (ed.). Berlin: Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41494-7

32. Francis, C.D., Ortega, C.P. and Cruz, A. (2011). Noise Pollution Filters Bird Communities Based on Vocal Frequency. *PLoS ONE* 6(11), 305-313. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027052

33. Slabbekoorn, H. and den Boer-Visser, A. (2006). Cities change the songs of birds. *Current Biology* 16(23), 2326-2331. http://doi.org/10.1016/j.cub.2006.10.008

34. Hamao, S., Watanabe, M. and Mori, Y. (2011). Urban noise and male density affect songs in the great tit *Parus major*. *Ethology Ecology & Evolution*, 23(2), 111-119. http://doi.org/10.1080/03949370.2011.554881

35. Mockford, E.J. and Marshall, R.C. (2009). Effects of urban noise on song and response behaviour in great tits. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 276(1669), 2979-2985. http://doi.org/10.1098/rspb.2009.0586

36. Zollinger, S.A., Slater, P.J.B., Nemeth, E. and Brumm, H. (2017). Higher songs of city birds may not be an individual response to noise. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1860), 20170602. http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2017.0602

37. Potvin, D.A., Curcio, M.T., Swaddle, J.P. and MacDougall-Shackleton, S.A. (2016). Experimental exposure to urban and pink noise affects brain development and song learning in zebra finches (*Taenopygia guttata*). *PeerJ – Life and Environment,* 4. https://doi.org/10.7717/peerj.2287

38. Moseley, D.L., Derryberry, G.E., Phillips, J.N., Danner, J.E., Danner, R.M., Luther, D.A. *et al*. (2018). Acoustic adaptation to city noise through vocal learning by a songbird. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 285(1888). http://doi.org/10.1098/rspb.2018.1356

39. Caorsi, V.Z., Both, C., Cechin, S., Antunes, R. and Borges-Martins, M. (2017). Effects of traffic noise on the calling behavior of two Neotropical hylid frogs. *PLoS one,* 12(8). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183342

40. Higham, V., Deal, N.D.S., Chan, Y.K., Chanin, C., Davine, E., Gibbings, G. *et al*. (2021). Traffic noise drives an immediate increase in call pitch in an urban frog. *Journal of Zoology* 313(4). https://doi.org/10.1111/jzo.12866

41. Lampe, U., Reinhold, K. and Schmoll, T. (2014). How grasshoppers respond to road noise: developmental plasticity and population differentiation in acoustic signalling. *Functional Ecology*, 28(3), 660–668. https://doi.org/10.1111/1365-2435.12215

42. Parris, K.M., Velik-Lord, M. and North, J.M.A. (2009). Frogs call at a higher pitch in traffic noise. *Ecology and Society* 14(1), 25. http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art25

43. Schwela, D. (2021). Environmental noise challenges and policies in low- and middle-income countries. *South Florida Journal of Health*, 2(1). https://doi.org/10.46981/sfjhv2n1-003

44. European Parliament and Council (2002). Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise. *Brussels: Publications Office of the European Union*.

45. Egypt, Ministry of Environment (2021). The National Plan to Combat Noise and Reduce its Sources. *Egyptian Environmental Affairs Agency*. https://www.eeaa.gov.eg/ar-eg/موضوعاتبيئية/الهواء/الضوضاء/خطةمكافحةالضوضاء.aspx (in Arabic). Accessed 21 September 2021.

46. Greater London Authority (2019). Central London Ultra Low Emission Zone – Four month report. *London: Greater London Authority*.

47. Transport for London (2021). Guide to ULEZ expansion. *Transport for London*. https://tfl.gov.uk/modes/driving/ultra-low-emission-zone/ulez-expansion. Accessed 21 September 2021.

48. Campello-Vicente, H., Peral-Orts, R., Campillo-Davo, N. and Velasco-Sanchez, E. (2017). The effect of electric vehicles on urban noise maps. *Applied Acoustics,* 116, 59-64. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.09.018

49. Misdariis, N. and Pardo, L.F. (2017). The sound of silence of electric vehicles – Issues and answers. *The 46th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (InterNoise)*. Hong-Kong, China, 27-30 August 2017. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01708883

50. Neurauter, L., Roan, M., Song, M., Miller, M., Glenn, E. and Walters, J. (2020). Quiet car detectability: Impact of artificial noise on ability of pedestrians to safely detect approaching electric vehicles. *Virginia Tech*. http://hdl.handle.net/10919/97586

51. Brown, A.L., Lam, K.C. and van Kamp, I. (2015). Quantification of the exposure and effects of road traffic noise in a dense Asian city: a comparison with western cities. *Environmental Health*, 14(22). http://doi.org/10.1186/s12940-015-0009-8

52. Lam, K.C., Ma, W., Chan, P.K., Hui, W.C., Chung, K.L., Chung, Y.T. *et al*. (2013). Relationship between road traffic noisescape and urban form in Hong Kong. *Environmental Monitoring and Assessment* 185, 9683-9695. https:/doi.org/10.1007/s10661-013-3282-4

53. Cai, C., Mak, C.M. and He, X. (2019). Analysis of Urban Road Traffic Noise Exposure of Residential Buildings in Hong Kong Over the Past Decade. *Noise /& Health* 21(101), 142-154. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32719301

54. Cheung, K.M.C., Wong, H.Y.C., Hung, W.C.T., Lau, K.K., Yim, Y.C.S. and Lee, Y.C.R. (2019). Development and application of specially designed windows and balconies for noise mitigation in Hong Kong. *Inter-Noise and Noise-Con Congress and Conference Proceedings, InterNoise19*. Madrid, Spain, September 2019. http://www.sea-acustica.es/fileadmin/INTERNOISE_2019/Fchrs/Proceedings/2101.pdf

.55 China-Hong Kong, Environmental Protection Department (2020). *Environmental Noise*. https://www.epd.gov.hk/epd/noise_education/web/ENG_EPD_HTML/index/index.html Accessed 21 September 2021.

.56 UN-Habitat (2020). City-wide Public Space Assessment Toolkit - A guide to community-led digital inventory and assessment of public spaces. *Nairobi: United Nations Human Settlements Programme*.

.57 Wales, Ministry of Environment (2018). Noise and Soundscape Action Plan 2018-2023. *Cardiff: Ministry of Environment*. https://gov.wales/sites/default/files/publications/2019-04/noise-and-soundscape-action-plan.pdf

.58 Payne, S.R. and Bruce, N. (2019). Exploring the Relationship between Urban Quiet Areas and Perceived Restorative Benefits. *International Journal of Environmental Research and Public Health,* 16(9), 1611. https://doi.org/10.3390/ijerph16091611

.59 Cerwén, G. (2019). Listening to Japanese Gardens: An Autoethnographic Study on the Soundscape Action Design Tool. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16(23), 4648. https://doi.org/10.3390/ijerph16234648

.60 European Environment Agency (2014). Good practice guide on quiet areas. *Luxembourg: Publications Office of the European Union.* https://doi.org/10.2800/12611

.61 European Environment Agency (2016). Quiet Areas in Europe - The environment unaffected by noise pollution. *Luxembourg: Publications Office of the European Union*. https://doi.org/10.2800/7586

.62 Kliuchko, M., Heinonen-Guzejev, M., Vuust, P., Tervaniemi, M. and Brattico, E. (2016). A window into the brain mechanisms associated with noise sensitivity. *Scientific Reports*, 6, 39236. https://doi.org/10.1038/srep39236

.63 Baliatsas, C., van Kamp, I., Swart, W., Hooiveld, M. and Yzermans, J. (2016). Noise sensitivity: symptoms, health status, illness behavior and co-occurring environmental sensitivities. *Environmental Research*, 150, 8-13. https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.05.029

.64 Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S. *et al*. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383(9925), 1325-1332. https://doi.org/10.1016/s0140-6736(13)61613-x

.65 Stansfeld, S. and Clark, C. (2015). Health Effects of Noise Exposure in Children. *Current Environmental Health Report*, 2, 171-178. https://doi.org/10.1007/S40572-015-0044-1

.66 Van Kamp, I. and Davies, H. (2013). Noise and health in vulnerable groups: A review. *Noise & Health*, 15(64), 153-159. https://doi.org/10.4103/1463-1741.112361

.67 Eriksson, C., Bluhm, G., Hilding, A., Östenson, C.G. and Pershagen, G. (2010). Aircraft noise and incidence of hypertension – Gender specific effects. *Environmental research*, 110(8), 764-772. https://doi.org/10.1016/j.envres.2010.09.001

.68 Orban, E., McDonald, K., Sutcliffe, R., Hoffmann, B., Fuks, K.B., Dragano, N. *et al*. (2016). Residential road traffic noise and high depressive symptoms after five years of follow-up: Results from the Heinz Nixdorf recall study. *Environmental health perspectives*, 124(5), 578-585. https://doi.org/10.1289/ehp.1409400

.69 Dreger, S., Schüle, S.A., Hilz, L.K. and Bolte, G. (2019). Social inequalities in environmental noise exposure: A review of evidence in the WHO European Region. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 1011. https://doi.org/10.3390/ijerph16061011

.70 Dale, L.M., Goudreau, S., Perron, S., Ragettli, M.S., Hatzopoulou, M. and Smargiassi, A. (2015). Socioeconomic status and environmental noise exposure in Montreal, Canada. *BMC Public Health*, 15(1), 1-8. https://doi.org/10.1186/s12889-015-1571-2

.71 Taylor, D.E. (2014). Toxic Communities: Environmental Racism, Industrial Pollution, and Residential Mobility. *NYU Press*. https://www.jstor.org/stable/24889758

.72 Hajat, A., Hsia, C. and O'Neill, M.S. (2015). Socioeconomic disparities and air pollution exposure: a global review. *Current Environmental Health Reports*, 2(4), 440-450. https://doi.org/10.1007/s40572-015-0069-5

73. Casey, J.A., Morello-Frosch, R., Mennitt, D.J., Fristrup, K., Ogburn, E.L. and James, P. (2017). Race/ethnicity, socioeconomic status, residential segregation, and spatial variation in noise exposure in the contiguous United States. *Environmental Health Perspectives*, 125(7), 077017. https://doi.org/10.1289/EHP898

74. Choi, E., Bhandari, T.R. and Shrestha, N. (2020). Social inequality, noise pollution, and quality of life of slum dwellers in Pokhara, Nepal. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 1-12. https://doi.org/10.1080/19338244.2020.1860880

75. Hoffimann, E., Barros, H. and Ribeiro, A.I. (2017). Socioeconomic inequalities in green space quality and accessibility – Evidence from a Southern European city. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(8), 916. https://doi.org/10.3390/ijerph14080916

76. Kohlhuber, M., Mielck, A., Weiland, S.K. and Bolte, G. (2006). Social inequality in perceived environmental exposures in relation to housing conditions in Germany. *Environmental Research*, 101(2), 246-255. https://doi.org/10.1016/j.envres.2005.09.008

77. Lam, K.C. and Chan, P.K. (2008). Socio-economic status and inequalities in exposure to transportation noise in Hong Kong. *Open Environmental Sciences Journal*, 2(1), 107-113. http://doi.org/10.2174/1876325100802010107

78. Nega, T.H., Chihara, L., Smith, K. and Jayaraman, M. (2013). Traffic noise and inequality in the twin cities, Minnesota. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 19(3), 601-619. https://doi.org/10.1080/10807039.2012.691409

79. Verbeek, T. (2019). Unequal residential exposure to air pollution and noise: A geospatial environmental justice analysis for Ghent, Belgium. *SSM-Population Health*, 7, 100340. https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2018.100340

80. World Health Organization (2016). Urban green spaces and health. *Copenhagen: WHO Regional Office for Europe*. https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/urban-health/publications/2016/urban-green-spaces-and-health-a-review-of-evidence-2016

81. Casey, J.A, James, P., Cushing, L., Jesdale, B.M. and Morello-Frosch, R. (2017). Race, Ethnicity, Income Concentration and 10-Year Change in Urban Greenness in the United States. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14(12), 1546. https://doi.org/10.3390/ijerph14121546

82. De Vries, S., Buijs, A.E. and Snep, R.P. (2020). Environmental Justice in The Netherlands: Presence and Quality of Greenspace Differ by Socioeconomic Status of Neighbourhoods. *Sustainability* 12(15), 5889. https://doi.org/10.3390/su12155889

83. Mitchell, R.J., Richardson, E.A., Shortt, N.K. and Pearce, J.R. (2015). Neighborhood Environments and Socioeconomic Inequalities in Mental Well-Being. *American Journal of Preventive Medicine* 49(1), 80-84. https://doi.org/10.1016/j.amepre.2015.01.017

84. Wolch, J.R., Byrne, J. and Newell, J.P. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and Urban Planning,* 125, 234-244. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.017

85. Bild, E., Coler, M., Pfeffer, K., and Bertolini, L. (2016). Considering sound in planning and designing public spaces: A review of theory and applications and a proposed framework for integrating research and practice. *Journal of Planning Literature,* 31(4), 419-439. http://doi.org/10.1177/0885412216662001

86. Lam, K.C., Ma, W., Chan, P.K., Hui, W.C., Chung, K.L., Chung, Y.T. *et al*. (2013). Relationship between road traffic noisescape and urban form in Hong Kong. *Environmental Monitoring and Assessment,* 185(12), 9683-9695. https://doi.org/10.1007/s10661-013-3282-4

87. Van Renterghem, T., Dekoninck, L. and Botteldooren, D. (2020). Multi-stage sound planning methodology for urban redevelopment. *Sustainable Cities and Society,* 62, 102362. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102362

88. Brown, A.L. and Horton, R. (2020). A planetary health perspective on COVID-19: a call for papers. *The Lancet,* 395(10230). http://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30742-X

89. Dutheil, F., Baker, J.S. and Navel, V. (2020). COVID-19 as a factor influencing air pollution? *Environmental pollution*, 263. http://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114466

90. Asensio, C., Aumond, P., Can, A., Gascó, L., Lercher, P., Wunderli, J.M. *et al*. (2020). A Taxonomy Proposal for the Assessment of the Changes in Soundscape Resulting from the COVID-19 Lockdown. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(12), 4205. https://doi.org/10.3390/ijerph17124205

91. Bruitparif (2020). *Les effets du confinement sur l'environnement sonore au sein de la zone dense francilienne*. 11 mai 2020. https://www.bruitparif.fr/bruitparif/

92. Asensio, C., Pavón, I. and de Arcas, G. (2020). Changes in noise levels in the city of Madrid during COVID-19 lockdown in 2020. *Journal of the Acoustical Society of America,* 148(3), 1748-1755. https://doi.org/10.1121/10.0002008

93. Aletta, F., Oberman, T., Mitchell, A., Tong, H., and Kang, J. (2020). Assessing the changing urban sound environment during the COVID-19 lockdown period using short-term acoustic measurements. *Noise Mapping* 7(1), 123-134. https://doi.org/10.1515/noise-2020-0011

94. Derryberry, E.P., Phillips, J.N., Derryberry, G.E., Blum, M.J., and Luther, D. (2020). Singing in a silent spring: Birds respond to a half-century soundscape reversion during the COVID-19 shutdown. *Science,* 370(6516), 575-579. https://doi.org/10.1126/science.abd5777

95. Kalawapudi, K., Singh, T., Vijay, R., Goyal, N. and Kumar, R. (2020). Effects of COVID-19 pandemic on festival celebrations and noise pollution levels. *Noise Mapping* 8, 89-93. https://doi.org/10.1515/noise-2021-0006

96. Lecocq, T., Hicks, S.P., Van Noten, K., Van Wijk, K., Koelemeijer, P., De Plaen *et al*. (2020). Global quieting of high-frequency seismic noise due to COVID-19 pandemic lockdown measures. *Science*, 369(6509), 1338-1343. https://doi.org/10.1126/science.abd2438

97. Frumkin, H. (2021). COVID-19, the Built Environment, and Health. *Environmental Health Perspectives*, 129(7), 075001. https://doi.org/10.1289/EHP8888

98. Berdejo Espinola, V., Suárez Castro, A.F., Amano, T., Fielding, K.S., Oh, R.R.Y., and Fuller, R.A. (2021). Urban green space use during a time of stress: A case study during the COVID-19 pandemic in Brisbane, Australia. *People and Nature*. https://doi.org/10.1002/pan3.10218

99. Ugolini, F., Massetti, L., Calaza-Martínez, P., Cariñanos, P., Dobbs, C., Ostoić, S.K. *et al*. (2020). Effects of the COVID-19 pandemic on the use and perceptions of urban green space: An international exploratory study. *Urban Forestry & Urban Greening*, 56, 126888. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126888

100. Geary, R.S., Wheeler, B., Lovell, R., Jepson, R., Hunter, R., and Rodgers, S. (2021). A call to action: Improving urban green spaces to reduce health inequalities exacerbated by COVID-19. *Preventive Medicine*, 145, 106425. https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2021.106425

101. Mell, I. and Whitten, M. (2021). Access to nature in a post Covid-19 world: Opportunities for green infrastructure financing, distribution and equitability in urban planning. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1527. https://doi.org/10.3390/ijerph18041527

مراجع الصور

قياس الضوضاء

Encyclopedia Britannica. (2021). The decibel scale. https://www.britannica.com/science/sound-physics/The-decibel-scale Accessed 30 December 2021

Hearing Health Foundation. (2021). What are safe decibels? https://hearinghealthfoundation.org/keeplistening/decibels Accessed 31 August 2021.

Münzel, T., Sørensen, M., Gori, T., Schmidt, F.P., Rao, X., Brook, J. *et al.* (2017). Environmental stressors and cardio-metabolic disease: part I-epidemiologic evidence supporting a role for noise and air pollution and effects of mitigation strategies. European Heart Journal 38(8), 550-556. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw269

قياس معدلات الصوت: كم بلغت الضوضاء من المدن؟

أفريقيا

أبوجا، نيجيريا – الجزائر، الجزائر – كيب كوست، ميتروبوليس، غانا – إبادان، نيجيريا – موروغورو، تنزانيا – نيروبي، كينيا

Schwela, D. (2021). Environmental noise challenges and policies in low-and middle-income countries. *South Florida Journal of Health* 2(1), 26-45. https://doi.org/10.46981/sfjhv2n1-003

القاهرة، مصر

Abas, S. and Tamura, A. (2003). Analysis of road traffic noise level and control in Greater Cairo, Egypt. *Acoustical Science and Technology* 24(6), 358-364. https://doi.org/10.1250/ast.24.358

أمريكا الشمالية

أتلانتا، الولايات المتحدة الأمريكية؛ لوس آنجلس، الولايات المتحدة الأمريكية

Lee, E. Y., Jerrett, M., Ross, Z., Coogan, P. F. and Seto, E. Y. (2014). Assessment of traffic-related noise in three cities in the United States. *Environmental Research* 132, 182-189. https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.03.005

مونتريال، كندا

Ragettli, M. S., Goudreau, S., Plante, C., Fournier, M., Hatzopoulou, M., Perron, S. *et al.* (2016). Statistical modeling of the spatial variability of environmental noise levels in Montreal, Canada, using noise measurements and land use characteristics. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* 26(6), 597-605. https://doi.org/10.1038/jes.2015.82

نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية

McAlexander, T.P., Gershon, R.R. and Neitzel, R.L. (2015). Street-level noise in an urban setting: assessment and contribution to personal exposure. *Environmental Health* 14(1), 1-10. https://doi.org/10.1186/s12940-015-0006-y

Neitzel, R.L., Gershon, R.R.M., McAlexander, T.P., Magda, L.A. and Pearson, J.M. (2012). Exposures to Transit and Other Sources of Noise among New York City Residents. *Environmental Science and Technology* 46(1), 500–508. https://doi.org/10.1021/es2025406

United States of America, Department of Commerce (2019). *Commuting by public transportation in the United States: 2019.* American Community Survey Reports. U.S. Census Bureau. https://www.census.gov/content/dam/Census/library/publications/2021/acs/acs-48.pdf

سان دييغو، الولايات المتحدة الأمريكية

San Diego County Government (2015). Noise Element. City of San Diego General Plan, 29 June. https://www.sandiego.gov/planning/programs/genplan. Accessed 7 July 2021

تورونتو، كندا

16. Bai *et al.* 2020

17. Shin *et al.* 2020

Drudge, C., Johnson, J., MacIntyre, E., Li, Y., Copes, R., Ing, S. *et al*. (2018). Exploring night-time road traffic noise: A comprehensive predictive surface for Toronto, Canada. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 15(5), 389-398. https://doi.org/10.1080/15459624.2018.1442006

أمريكا اللاتينية

بوغوتا، كولومبيا – بورتو فالارتا، المكسيك

Schwela, D. (2021). Environmental noise challenges and policies in low-and middle-income countries. *South Florida Journal of Health* 2(1), 26-45. https://doi.org/10.46981/sfjhv2n1-003

29. Dorado-Correa *et al.* (2016)

سانتياغو، تشيلي

Suárez, E. and Barros, J.L. (2014). Traffic noise mapping of the city of Santiago de Chile. *Science of the Total Environment* 466, 539-546. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.013

تالكا، تشيلي

Calquín, F., Ponce-Donoso, M., Vallejos-Barra, Ó. and Plaza, E. (2019). Influence of urban trees on noise levels in a central Chilean city. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo* 51(1), 41-53. https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCA/article/view/2336/1709

أوروبا

برشلونة إسبانيا

2- European Environment Agency (2020)

Lagonigro, R., Martori, J. C. and Apparicio, P. (2018). Environmental noise inequity in the city of Barcelona. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 63, 309-319. https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.06.007

بلغراد، صربيا

Paunović, K., Belojević, G. and Jakovljević, B. (2014). Noise annoyance is related to the presence of urban public transport. *Science of the Total Environment* 481, 479-487. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.092

لندن، المملكة المتحدة

Smith, R.B., Beevers, S.D., Gulliver, J., Dajnak, D., Fecht, D., Blangiardo, M. *et al.* (2020). Impacts of air pollution and noise on risk of preterm birth and stillbirth in London. *Environment International* 134, 105290. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105290

ليون، فرنسا

Pierrette, M., Marquis-Favre, C., Morel, J., Rioux, L., Vallet, M., Viollon, S. *et al.* (2012). Noise annoyance from industrial and road traffic combined noises: A survey and a total annoyance model comparison. *Journal of Environmental Psychology* 32(2), 178-186. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2012.01.006

مدريد، إسبانيا

Linares, C., Culqui, D., Carmona, R., Ortiz, C. and Díaz, J. (2017). Short-term association between environmental factors and hospital admissions due to dementia in Madrid. *Environmental Research* 152, 214-220. https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.10.020

نيس، صربيا

Prascevic, M.R., Mihajlov, D.I. and Cvetkovic, D.S. (2014). Measurement and evaluation of the environmental noise levels in the urban areas of the city of Nis (Serbia). *Environmental Monitoring and Assessment* 186(2), 1157-1165. https://doi.org/10.1007/s10661-013-3446-2

باريس، فرنسا

Méline, J., Van Hulst, A., Thomas, F., Karusisi, N. and Chaix, B. (2013). Transportation noise and annoyance related to road traffic in the French RECORD study. *International Journal of Health Geographics* 12(1), 1-13. https://doi.org/10.1186/1476-072X-12-44

روما، إيطاليا

Ancona, C., Badaloni, C., Mattei, F., Cesaroni, G., Stafoggia, M. and Forastiere, F. (2017). 2053-Health impact assessment of air pollution, noise, and lack of green in Rome. *Journal of Transport & Health* 5, S42-S43. https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.05.331

استوكهولم، السويد

Edqvist, M. and Wärnsby, M. (2014). Environmental Noise in Urban Areas - Moving towards Greater Acceptance?. *Noise & Vibration Worldwide*, 45(2). https://doi.org/10.1260%2F0957-4565.45.2.25

تيرانا، ألبانيا

Laze, K. (2017). Findings from measurements of noise levels in indoor and outdoor environments in an expanding urban area: a case of Tirana. *Noise Mapping* 4(1), 45-56. https://doi.org/10.1515/noise-2017-0003

توكات، تركيا

Ozer, S., Yilmaz, H., Yeşil, M. and Yeşil, P. (2009). Evaluation of noise pollution caused by vehicles in the city of Tokat, Turkey. *Scientific Research and Essays* 4(11), 1205-1212. https://academicjournals.org/journal/SRE/article-abstract/5C0659218851

WEST ASIA

الأحواز، إيران

Mohammadi, M. J., Charkhloo, E., Geravandi, S., Takdastan, A., Rahimi, S., Yari, A. R. *et al.* (2017). Road traffic noise in urban environments in Ahvaz city, Iran. *Fresenius Environmental Bulletin* 26(4), 2746-2751. https://core.ac.uk/download/pdf/211573334.pdf

عمّان، الأردن

Jamrah, A., Al-Omari, A. and Sharabi, R. (2006). Evaluation of traffic noise pollution in Amman, Jordan. *Environmental Monitoring and Assessment* 120(1), 499-525. https://doi.org/10.1007/s10661-005-9077-5

بيروت، لبنان – دمشق، سوريا – تبريز، إيران

Schwela, D. (2021). Environmental noise challenges and policies in low-and middle-income countries. *South Florida Journal of Health* 2(1), 26-45. https://doi.org/10.46981/sfjhv2n1-003

إربيل، لعراق

Saber, S. (2014). Environmental noise with solutions: A case study. *International Journal of Advanced and Applied Sciences* 1(2), 6-14. http://www.science-gate.com/IJAAS/V1I2.html

الخليل

Salhab, Z. and Amro, H. (2012). Evaluation Of Vehicular Noise Pollution In The City Of Hebron, Palestine. *International Journal of Modern Engineering Research* 2(6), 4307-4310. https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluation-Of-Vehicular-Noise-Pollution-In-The-City-Salhab-Amro/1b657b61eeee5caffeab7b7a98f8fbe5b9c750f6

إربد، الأردن

Odat, S.A. (2015). Noise Pollution in Irbid City-Jordan. *Fluctuation and Noise Letters* 14(04), 1550037. https://doi.org/10.1142/S0219477515500376

جنوب آسيا

أسانسول، الهند – كثمندو، نيبال – مراد أباد، الهند

Schwela, D. (2021). Environmental noise challenges and policies in low-and middle-income countries. *South Florida Journal of Health* 2(1), 26-45. https://doi.org/10.46981/sfjhv2n1-003

كولومبو، سريلانكا

Nagodawithana, N. S., Pathmeswaran, A., Pannila, A. S., Wickramasinghe, A. R. and Sathiakumar, N. (2016). Environmental pollution by traffic noise in the city of Colombo, Sri Lanka. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution* 13(3), 67-72. https://doi.org/10.3233/AJW-160028

دلهي، الهند

Akhtar, N., Ahmad, K. and Gangopadhyay, S. (2012). Road traffic noise mapping and a case study for Delhi region. *International Journal of Applied Engineering and Technology* 2(4), 39-45. https://www.cibtech.org/J-ENGINEERING-TECHNOLOGY/PUBLICATIONS/2012/Vol_2_No_4/06-015...Nasim...Road...Region...39-45.pdf

دكا، بنغلاديش

Riyad, R.H., Amin, A. and Mazumder, M. (2020). A Study of Noise Pollution by Traffic during Peak and Off Peak Hour in Dhaka City. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology*, 2(2), 43-53. https://dergipark.org.tr/en/pub/jiciviltech/issue/58477/787543

فيصل أباد، باكستان – إسلام أباد، باكستان – كراتشي، باكستان

Rahman Farooqi, Z. U., Nasir, M. S., Nasir, A., Zeeshan, N., Ayub, I., Rashid, H. *et al.* (2017). Evaluation and analysis of traffic noise in different zones of Faisalabad–an industrial city of Pakistan. *Geology, Ecology, and Landscapes* 1(4), 232-240. https://doi.org/10.1080/24749508.2017.1389454

جيبور، الهند

Agarwal, S. and Swami, B. L. (2010). Status of ambient noise levels in Jaipur City. *Environment Conservation Journal* 11(1-2), 105-108. https://environcj.in/wp-content/uploads/issues/2010/12/105-108.pdf

كلكتا، الهند

Buragohain, D. (2020). A report on noise level status in different areas of South Kolkata, India. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science* 2(3), 395-398. https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/volume2/issue_3_march_2020/249/1628082963.pdf

راجشاهي، بنغلاديش

Bari, M.N., Biswas, A. and Baki, A.A. (2018). *Conference*: *Determination of Noise Level of Different Places of Rajshahi City*. Khulna, 9-11 February 2018. Khulna University of Engineering & Technology, Bangladesh

تانغيل، بنغلاديش

Hoque, M. M. M., Basak, L. K., Rokanuzzaman, M. and Roy, S. (2013). Level of noise pollution at different locations in Tangail municipal area, Bangladesh. *Bangladesh Journal of Scientific Research* 26(1-2), 29-36. https://doi.org/10.3329/bjsr.v26i1-2.20228

شرق آسيا، جنوب شرق آسيا، والمحيط الهادئ

أوكلاند، نيوزيلندا

Auckland Council (2016). Noise and vibration, 8 July. https://unitaryplan.aucklandcouncil.govt.nz/HTMLSept/Part%203/Chapter%20H/6%20General/Chapter%20H%20-%206.2%20Noise%20and%20vibration.htm. Accessed 7 July 2021

بانغكوك، تايلاند – كوتا بهارو، ماليزيا – كوالالمبور، ماليزيا

Schwela, D. (2021). Environmental noise challenges and policies in low-and middle-income countries. *South Florida Journal of Health* 2(1), 26-45. https://doi.org/10.46981/sfjhv2n1-003

هونغ كونغ، الصين

(Lam *et al.* (2013 .52

(Cai *et al.* (2019 .53

Lam, K.C. and Chan, P.K. (2008). Socio-economic status and inequalities in exposure to transportation noise in Hong Kong. *Open Environmental Sciences Journal* 2(1). https:/doi.org/10.2174/1876325100802010107

To, W. M., Mak, C. M. and Chung, W. L. (2015). Are the noise levels acceptable in a built environment like Hong Kong? *Noise & Health* 17(79), 429. https://doi.org/10.4103/1463-1741.169739

هانوي، فيتنام – مدينة هو شي منه، فيتنام

Nguyen, T.L., Nguyen, H.Q., Yano, T., Nishimura, T., Sato, T. Morihara, T. et al. (2012). Comparison of models to predict annoyance from combined noise in Ho Chi Minh City and Hanoi. *Applied Acoustics* 73(9), 952-959. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2012.04.005

هيو، فيتنام

Gelb, J. and Apparicio, P. (2019). Noise exposure of cyclists in Ho Chi Minh City: A spatio-temporal analysis using non-linear models. *Applied Acoustics* 148, 332–343. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.12.031

Nguyen, M. K. (2014). Community response to road traffic noise in Hue City, Vietnam. *Environment and Natural Resources J* 12(2), 24-28. https://ssrn.com/abstract=3237251

Ky, N.M., Lap, B.Q., Hung, N.T.Q., Thanh, L.M. and Linh, P.G. (2021). Investigation and assessment of road traffic noise: a case study in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Water, Air, & Soil Pollution* 232, 259. https://doi.org/10.1007/s11270-021-05210-3

جاكرتا، إندونيسا

Prasetyo, S., Kusnoputranto, H., Alikodra, H. and Koestoer, R. (2016). Model of noise propagation in urban area: A case study in Jakarta. *OIDA International Journal of Sustainable Development* 9(02), 45-50. https://ssrn.com/abstract=2739810

مانيلا، الفلبين

Dulay, L.E.R., Galvan, M.D.K.P., Puyaoan, R.J.M., Sison, A.A.Y., Natanauan, N.S. and Hernandez, P.M.R. (2018). Occupational noise exposure of traffic enforcers in selected streets in the city of Manila. *Acta Medica Philippina* 52(3). https://doi.org/10.47895/amp.v52i3.406

ملبورن، أستراليا

Hanigan, I. C., Chaston, T. B., Hinze, B., Dennekamp, M., Jalaludin, B., Kinfu, Y. *et al*. (2019). A statistical downscaling approach for generating high spatial resolution health risk maps: a case study of road noise and ischemic heart disease mortality in Melbourne, Australia. *International Journal of Health Geographics* 18(1), 1-10. https://doi.org/10.1186/s12942-019-0184-x

إدارة البيئات الصوتية:
من تخفيف الضوضاء إلى البيئة الصوتية المرغوبة

المنظر والصوت

Ratcliffe, E. (2021). Sound and soundscape in restorative natural environments. *Frontiers in Psychology* 12:570563. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.570563

حلول خضراء

Van Renterghem, T. (2019). Towards explaining the positive effect of vegetation on the perception of environmental noise. *Urban Forestry & Urban Greening* 40. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.007

البيئة الصوتية

Brown, L. A. (2012). A Review of Progress in Soundscapes and an Approach to Soundscape Planning. *International Journal of Acoustics and Vibration* 17(2), 73-81. https://doi.org/10.20855/ijav.2012.17.2302

Epstein, M.J. (2019). Healing the urban soundscape: reflections and reverberations. *Cities & Health* 5, 74-81. https://doi.org/10.1080/23748834.2019.1676628

Kang, J., Aletta, F., Gjestland, T.T., Brown, L.A., Botteldooren, D., Schulte-Fortkamp, B., Lercher, P. et al. (2016). Ten questions on the soundscapes of the built environment. *Building and Environment* 108, 284-294. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.011

Sztubecka, M., Skiba, M., Mrówczy´, M. and Mathias, M. (2020). Noise as a Factor of Green Areas Soundscape Creation. *Sustainability* 12, 999. https://doi.org/10.3390/su12030999

الأحزمة الشجرية

Van Renterghem, T. (2014). Guidelines for optimizing road traffic noise shielding by non-deep tree belts. *Ecological Engineering* 69, 276-286. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.04.029

الأسطح الخضراء

Nilsson, M., Klæboe, R., Bengtsson, J., Forssén, J., Hornikx, M., Van der Aa, B., Rådsten-Ekman, M. *et al.* (2013). Novel solutions for quieter and greener cities. Report of the research project "HOlistic and Sustainable Abatement of Noise by optimized combinations of Natural and Artificial means" (HOSANNA). Chalmers University of Technology. https://research.chalmers.se/en/publication/208780

المركبات الكهربائية

Campello-Vicente, H., Peral-Orts, R., Campillo-Davo, N. and Velasco-Sanchez, E., (2017). The effect of electric vehicles on urban noise maps. *Applied Acoustics*, 116. http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.09.018

Cesbron, J., Bianchetti, S., Pallas, M-A., Le Bellec, A., Gary, V. and Klein, P. (2021). Road surface influence on electric vehicle noise emission at urban speed. *Noise Mapping* 8(1), 217-227. https://doi.org/10.1515/noise-2021-0017

تحويل المسارات

Brown, A.L. and van Kamp, I. (2017). WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review of Transport Noise Interventions and Their Impacts on Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14, 873. https://doi.org/10.3390/ijerph14080873

التخفيف من المنبع

Nilsson, M., Klæboe, R., Bengtsson, J., Forssén, J., Hornikx, M., Van der Aa, B., Rådsten-Ekman, M. *et al.* (2013). Novel solutions for quieter and greener cities. Report of the research project "HOlistic and Sustainable Abatement of Noise by optimized combinations of Natural and Artificial means" (HOSANNA). Chalmers University of Technology. https://research.chalmers.se/en/publication/208780

حواجز الضوضاء

European Environment Agency (2020). Environmental noise in Europe — 2020. *Luxembourg: Publications Office of the European Union*. https://doi.org/10.2800/686249

الحواجز النباتية للضوضاء

Nilsson, M., Klæboe, R., Bengtsson, J., Forssén, J., Hornikx, M., Van der Aa, B., Rådsten-Ekman, M. *et al.* (2013). Novel solutions for quieter and greener cities. Report of the research project "HOlistic and Sustainable Abatement of Noise by optimized combinations of Natural and Artificial means" (HOSANNA). Chalmers University of Technology. https://research.chalmers.se/en/publication/208780

Van Renterghem, T., Forssén, J., Attenborough, K., Jean, P., Defrance, J., Hornikx, M. and Kang, J. (2015). Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors. *Applied Acoustics*, 92. http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.01.004

خدمات النُّظم الإيكولوجية

Bratman, G.N., Hamilton, J.P. and Daily, G.C. (2012). The impacts of nature experience on human cognitive function and mental health. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1249(1), 118-136. http://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06400.x

Francis, C.D., Newman, P., Taff, B.D., White, C., Monz, C.A., Levenhagen, M. *et al.* (2017). Acoustic environments matter: Synergistic benefits to humans and ecological communities. *Journal of Environmental Management* 203, 245-254. http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.041

Ratcliffe, E. (2021). Sound and soundscape in restorative natural environments. *Frontiers in Psychology* 12:570563. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.570563

Veisten, K., Smyrnova, Y., Klæboe, R., Hornikx, M., Mosslemi, M. and Kang, J. (2012). Valuation of Green Walls and Green Roofs as Soundscape Measures: Including Monetised Amenity Values Together with Noise-attenuation Values in a Cost-benefit Analysis of a Green Wall Affecting Courtyards. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 9, 3770-3788. https://doi.org/10.3390/ijerph9113770

المساحة الخضراء

Alvarsson, J.J., Wiens, S. and Nilsson, M.E. (2010). Stress recovery during exposure to nature sound and environmental noise. *International Journal of Environment & Public Health* 7, 1036–1046. https://doi.org/10.3390/ijerph7031036

Van Renterghem, T. (2019). Towards explaining the positive effect of vegetation on the perception of environmental noise. *Urban Forestry & Urban Greening* 40. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.007

المساحة الهادئة

Cerwén, G. (2019). Listening to Japanese Gardens: An Autoethnographic Study on the Soundscape Action Design Tool. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16(23), 4648; https://doi.org/10.3390/ijerph16234648

Matsinos, G.Y., Tsaligopoulos, A. and Economou, C. (2017). Identifying the Quiet Areas of a Small Urban Setting: The Case of Mytilene. *Global NEST Journal* 19, 674–681. https://doi.org/10.30955/gnj.001817

صنع الأماكن

Yelmi, P. (2016). Protecting contemporary cultural soundscapes as intangible cultural heritage: sounds of Istanbul. *International Journal of Heritage Studies* 22(4), 302-311. http://dx.doi.org/10.1080/13527258.2016.1138237

حرائق الغابات في ظل تغيُّر المناخ

قضية ساخنة

المؤلفون

أندرو داودي، جامعة ملبورن، ملبورن، أستراليا
لوك بوريل، مركز AFAC الوطني لمشاركة الموارد، ملبورن، أستراليا
سارة بولتر، جامعة غريفيث، بريزبن، أستراليا
ليفيا كارفالهو مورا، معهد المجتمع والسكان والطبيعة، برازيليا، البرازيل

المراجعون

كريستينا ديل روسيو مونتيل-مولينا، قسم الجغرافيا بجامعة كومبلوتينس في مدريد، مدريد، إسبانيا
خوان بابلو أرغانياراز، معهد غوليتش (CONAE-UNC)، كونيسيت، كوردوبا، الأرجنتين
ماثيو بي تومسن، محط روكي ماونتن للبحوث، الولايات المتحدة الأمريكية هيئة خدمات الغابات، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية
شيلدون ستراردوم، قسم الجغرافيا والعلوم البيئية، كلية علوم الجغرافيا والأماكن، جامعة نورث-ويست، مافيكينغ، جنوب أفريقيا

1- لفحات من حرائق الغابات

بتاريخ 11 من تموز/يوليو 2012، كانت الحرائق مستعرة في أكثر من 25 ألف هكتار بالغابات الشمالة وسط سيبيريا وشرقها في روسيا. وكانت الحرائق الجامحة مستعرة من يوغرا في الغرب حتى سخالين في الشرق. توضح هذه الصورة الساتلية حرائق مستعرة بالقرب من نهر ألدان في ياقوتيا بتاريخ 10 من تموز/يوليو 2012.

المصدر: مرصد الأرض بوكالة ناسا

شهدت السنوات القليلة الماضية حرائق مدمرة في الغابات والمناطق البرية في كثير من مناطق إثر حدوث موجات احترار وجفاف. وقد ركز جانب كبير من التناول الإخباري على حرائق الغابات في نصف الكوكب الشمالي حيث أدت إلى تدمير المدن، كما حدث خلال موسم حرائق 2020 الاستثنائي غربي الولايات المتحدة. [1]أما عمليات الإخلاء المكثف من جزيرة وابية اليونانية في 2021 فقد حملت صوراً صادمة لما يرى الباحثون أنه نمط لأحداث ستتزايد في بلدان المتوسط. [2]

غير أن حرائق الغابات الكارثية مستعرة في نصف الكوكب الجنوبي أيضاً؛ فقد شهدت أستراليا في 2019/2020 حرائق الصيف الأسود غير المسبوقة، إذ تواردت الأخبار والصور الصادمة من هناك إلى العالم أجمع. [3]وعلى الرغم من أن أستراليا بلد تشكل بفعل الحرائق التي اتخذت صوراً شتى، فإنَّ النطاق المهول والكثافة الشديدة لحرائق الصيف الأسود سلطت الضوء على قضية الاحترار العالمي لأنها تُزيد من مخاطر نشوب حرائق الغابات. [4-7] أتت الحرائق على 24 مليون هكتار، وتسببت في تدمير آلاف المنازل، ومقتل 33 نسمة. [3] كما دمرت الحرائق الهائلة في 2019-2020 موائل شديدة الأهمية لمئات الأنواع، بما في ذلك أنواع مهددة بالانقراض بالفعل. [8]

أما في أمريكا اللاتينية فقد تلاقت إزالة أحراج السافانا والغابات المطيرة الاستوائية على نطاق واسع مع موجات الحفاف ومحدودية سياسات إدارة الحرائق الحالية، وأدى ذلك التلاقي إلى حرائق غابات كارثية خلال العقود الماضية. [9-11] وفي 2019، احترق أكثر من 6 ملايين هكتار في تشيكيتانيا بكولومبيا وباراغواي وبيرو، ومعظم تلك المساحة ضمن مناطق محمية لنباتات أصلية. [12،13] كما تخلل موسم الجفاف 2020 هبوب موجة أخرى طويلة ومدمرة من حرائق الغابات على المنطقة. [14،15] وفي جميع أنحاء أفريقيا، فقد رُصدت الحرائق بصور الأقمار الاصطناعية على مدار العام، وأضحتْ من بين المساحات الشاسعة المحترقة المدونة في سجلات الملاحظة والرصد. [15]

ثمة أوجه للتماثل بين القارات والمناطق البيولوجية من حيث حرائق الغابات بالغة الشدة، وذلك على صعيد عوامل الخطر والأخطار والتبعات الكامنة بالنسبة إلى المجتمع والبيئة. والآثار البعيدة المدى على الصحة البدنية والعقلية ليست قاصرة على مكافحة حرائق الغابات أو الإخلاء أو الخسائر الفادحة فحسب؛ [16-20] فالدخان والمواد العضوية الدقيقة الناجمة عن حرائق الغابات تتسبب في تبعات شديدة على صحة الإنسان في المستوطنات البشرية التي تصلها ريح الحرائق، ولو كانت على مسافة آلاف الكيلومترات من مصدرها. [21-23] وتشير البحوث إلى أن الفئات الأشد عرضة للتأثر (النساء والأطفال والمسنين وذوي الإعاقة والفقراء) تعاني من أسوأ الأضرار الناتجة عنالتعرض لحرائق الغابات، وهو ما يثبت الفهم المسلم به حيال هذه النتيجة بوصفها نتيجة مشتركة بين معظم الكوارث. [24،25]

تعبر الاتجاهات المرصودة نحو ظروف الطقس الأشد خطورة وإلهاباً لحرائق الغابات عن اتجاهات مستمرة في التزايد على الأرجح، بسبب تعاظم تركيزات غازات الدفيئة والتصعيد المصاحب لعوامل خطر حرائق الغابات الشديدة.[4،6،26-34] وبعيداً عن تغيُّر المناخ، يمكن عزو الكثافة المتفاقمة لبعض حرائق الغابات إلى تغيُّر استخدامات الأراضي وإلى نُهُج إدارة الحرائق التي لا تحترم العلاقات المترابطة بين النبات والحرائق – وهي علاقات تطورت على مر آلاف السنين. [11،35-38]

ومع تلاقي آثار احترار المناخ التي مددت مواسم الحرائق ةوكان بإمكانها إحداث المزيد من حوادث الاشتعال في الطبيعة، إلى جانب التغيير في استخدامات الأراضي بما استدعى وجود مخاطر أكثر على صعيد الوقود القابل للاحتراق ومخاطر الاشتعال، وتزايد أعداد التجمعات السكانية التي قامت عند مناطق التماس بين الحضر والأراضي الفطرية؛ فإننا بصدد تحديات ضخمة ماثلة ونحن نستقصي المزيد عن كيفية التعايش مع مكون النار في النُّظم الإيكولوجية التي نشْغَلُها.

"الاتجاهات المرصودة نحو ظروف طقس أشد خطورة وأشد إلهاباً لحرائق الغابات هي اتجاهات مستمرة في التزايد على الأرجح، بسبب تعاظم تركيزات الغازات الجوية المسببة للاحتباس الحراري وبسبب عوامل الخطر المقيمة التي تفاقم من احتمالات نشوب حرائق."

المناطق المحترقة في العقدين الماضيين

يوضح هذا الرسم البياني أنماط المناطق المحترقة العالمية من عام 2000 إلى آذار/مارس 2021، باستخدام مجموعة بيانات الاستشعار عن بعد من مقياس الطيف التصويري متوسط التحليل (MODIS) التابع لناسا.

من عام 2002 إلى عام 2016، أُحرق ما يقرب من 423 مليون هكتار من سطح الأرض سنوياً، معظمها (67٪) في القارة الأفريقية.[39] وقدر تحليل ذي صلة أنه من 2003 إلى 2016 حدث أكثر من 13 مليون حريق فردي على مستوى العالم، استمر كل منها 5-4 أيام.[15] وفي المتوسط، أحرقت كل عملية إشعال مساحة 440 هكتاراً على مستوى العالم، بينما أحرقت النيران الفردية في أستراليا ما يصل إلى 1790 هكتاراً.[15]

وتشمل البيانات جميع أنواع المناطق المحروقة المكتشفة - بما في ذلك الأراضي الزراعية والمراعي والنبات الطبيعية - بغض النظر عن مصدر الاشتعال أو أنواع الحرائق أو سبب الاحتراق.

مصدر البيانات: MODIS Burned Area Product (MCD64A1 v006) الشهري، وهو متاح للتنزيل من منظمة رصد الغابات العالمية (https://globalforestwatch.org/topics/fires)

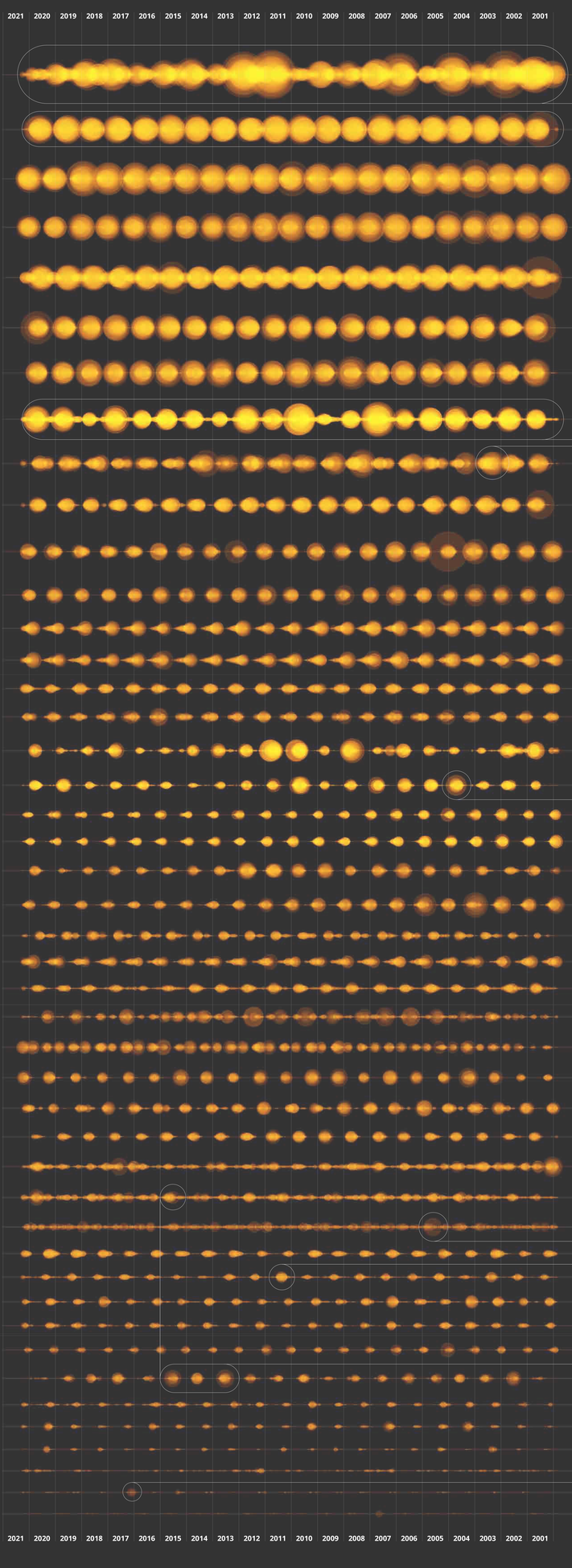
المساحة المحترقة بالهكتار

10,000 | 50,000 | 100,000 | 500,000 | 1,000,000 | 2,500,000 | 5,000,000 | 7,500,000

يمثل حجم كل دائرة بيانات المساحة المحترقة أسبوعياً. يُحسب إجمالي المساحة المحترقة عن طريق جمع التقديرات اليومية، حيث تُحتسب الحروق متعددة الأيام خلال الفترة الزمنية عدة مرات، مما يجعل الدوائر المتداخلة تبدو أكثر إشراقاً.

مرتبة حسب إجمالي المساحة المحروقة

2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021



يرتبط الاتجاه المتزايد في سنوات حرائق الغابات الضخمة إلى جانب مناطق محترقة تزيد مساحتها عن 1 مليون هكتار منذ عام 2000 بظروف مناخية خطرة أكثر تكرارًا، بما في ذلك زيادة حدوث العواصف الرعدية الناتجة عن الحرائق والاشتعال من البرق الجاف.

تحترق نسبة 30٪ من مساحة الأرض الأنغولية كل عام، مع تركز أكبر التأثيرات في المناطق ذات النسبة العالية من الغابات وجزء صغير من أراضي الشجيرات الطبيعية والأراضي العشبية. أدت ممارسة قطع الغابات لتهيئة أراضي مفتوحة لتنمية العشب إلى زيادة حدة الحرائق في موسم الجفاف.

وتغطي السافانا البرازيلية، أو سيرادو، حوالي 23٪ من إجمالي مساحة الأرض، وهي ثاني أكبر منطقة بيولوجية بعد غابات الأمازون المطيرة (48٪). وزادت الحرائق في سيرادو من حيث التكرار والتركيز في موسم الجفاف وتميل الآن إلى الاشتعال كل 2-3 سنوات، كما هو الحال في عام 2004 و 2007 و2010 و2012 و2015 و2017.

وتقع نسبة 70-90٪ من إجمالي المساحة المحترقة في روسيا في سيبيريا، حيث تحدث غالبية حرائق الغابات في سيبيريا في الغابات التي يهيمن عليها أشجار الصنوبر. وفي جنوب سيبيريا، تأثرت الحرائق الشديدة في غابات الصنوبر ذات التربة الصقيعية السفلية في عام 2003 بانخفاض رطوبة سطح البحر وعدم هطول الأمطار في السنة السابقة، وارتفاع درجات الحرارة في أوائل عام 2003.

وقد ارتبطت أحداث الحريق غير العادية في بوليفيا في عام 2004 بأثر الجفاف وفقدان الغابات.

ووفقاً للبحوث المتعلقة بالاتجاهات طويلة الأجل، ارتبطت حرائق الغابات في باراغواي في عام 2005 بارتفاعٍ في إزالة الغابات.

وكان العدد القياسي لحرائق الغابات في المكسيك في عام 2011 مرتبطًا على الأرجح بفترات الجفاف الطويلة بسبب انخفاض أمطار الشتاء في العام السابق.

وتُعزى المناطق المحترقة الواسعة النطاق في الغابات الشمالية الغربية في الأقاليم الشمالية الغربية في كندا في عام 2014 والولايات المتحدة "ألاسكا" في عام 2015 إلى عدد قياسي من عمليات إشعال البرق الناتج عن المناخ.

وأدى تحويل الغابات المحلية إلى مناطق ذات نباتات شديدة الاشتعال، جنبًا إلى جنب مع الجفاف الشديد المستمر في وسط تشيلي إلى تسهيل اندلاع حرائق كبيرة خلال موسم الحرائق 2017/2016.

* حصل جنوب السودان على استقلاله عن السودان في 9 تموز/يوليو 2011. عُيِّنت بيانات المنطقة المحترقة قبل التاريخ لترسيم الحدود الحالية لكلا البلدين.

انظر صفحة 38 لمطالعة المراجع كاملة.

2- مؤثرات بشرية في حرائق الغابات

بتاريخ 13 من حزيران/يونيو 2020، أفضى حريق في مركبة إلى إشعال النار في الغطاء النباتي بالقرب من الطريق السريع في فينيكس بولاية أريزونا الأمريكية، ما أدى إلى احتراق نحو 26 ألف هكتار في 3 أيام.

توضح الصورة الساتلية التي التقطتها أداة تصوير الأرض (OLI) بساتل "لاندسات 8" مدى رقعة الحريق وبعض جبهات الاشتعال المستعرة كما سُجلت في 14 من حزيران/يونيو 2020. يعين المزيج القائم بين اللون الطبيعي مع إشارة الأشعة تحت الحمراء التي تعني استعار الحرائق في رصد الحرائق المستمر عبر تصاعد الدخان.

المصدر: مرصد الأرض بوكالة ناسا

حرائق الغابات هي سمة طبيعية لنظام كوكب الأرض، وهي ضرورية حتى تضطلع الكثير من النُّظم الإيكولوجية بمهامها. فالتفاعلات بين الغطاء النباتي والمناخ على مر فترات مديدة قد أوجدت نمطاً معيناً لتعاقب الحرائق ضمن نظام إيكولوجي محدد – وهو ما يُعرف باسم "نظام الحرائق".[40] غير أن الانحرافات عن "نظام الحرائق" السائد (أي: من حيث التوقيت والتكرار والحجم والكثافة في حرائق الغابات) من شأنه إحداث تغييرات إيكولوجية كبيرة في النُّظم الإيكولوجية المعتمدة على الحرائق (أي التي تحتاج إلى الحرائق كي تزدهر) وكذلك في النُّظم الإيكولوجية الحساسة للحرائق (أي التي ترى في النار مؤثرات سلبية أكثر منها إيجابية). [37,41-45]

لكن البشر يغيرون تغييراً مباشراً وغير مباشر في نُظُم الحرائق، وذلك بتعديل المناظر الطبيعية وغطائها النباتي، وباستهلال الحرائق بوصفها ممارسة من ممارسات إدارة الأراضي في الأماكن التي يندر فيها حدوث حرائق طبيعية، وقمع الحرائق ومنع حدوثها لحماية المجتمعات البشرية، وتغيير خواص المناخ. [42]كما أن قطع الأشجار وإزالة الغابات والتوسع الزراعي واستخراج الموارد والتنمية الحضرية والريفية كلها من قبيل التغييرات الكبرى في استخدامات الأراضي؛ ما يجعلها كفيلة بإحداث التداخل مع نُظُم الحرائق الطبيعية. [41]

إنَّ الغابات الاستوائية المطيرة الحساسة للحرائق نادراً ما تتعرض لحريق طبيعي لأن اشتعال الحرائق نادراً ما يدوم في بيئة رطبة ذات غطاء نباتي رطب. [45]لكن حرائق الغابات صارت أكثر شيوعاً في بعض المناطق على الرغم من انتفاء توقعها فيها، وذلك لأسباب من بينها تغيُّر المناخ وغيره من العوامل – مثل تغيير استخدامات الأراضي وإزالة الغابات. ومن ذلك أن الإنسان يتسبب في حرائق الغابات المطيرة في الأمازون: وذلك بإزالة الغطاء النباتي الأصلي للمنطقة، واختيار الأخشاب الأعلى قيمة لقطعها، وترك البقايا على الأرض لتجف حتى تصبح حطباً يحرقه البشر عمداً لإيجاد مساحات مناسبة للزراعة وللرعي.[10,11] ويضاف إلى ذلك أن تجزئة الغابات وتقسيمها في النهاية إلى مناطق سافانا ومناطق رعي إنما يخلق ظروف مواتية لحرائق الغابات في المستقبل، ما يعني إحداث خسارة دائمة في النُّظم الإيكولوجية للغابات الاستوائية. [46]

وأما التوسع الحضري فهو شكل آخر مهم من أشكال التغيير في استخدامات الأراضي وتحويل المناظر الخضراء في ظل توسع المدن صوب البراري. وقد شهدت العقود القليلة الماضية توسعاً متسارعاً في المدن صوب مناطق الغابات بمناطق كثيرة. [47]وهذا التلاقي بين البراري والحضر يمثل المنطقة الأبرز لنشوب مخاطر الحرائق. [48]

ويضاف لما سبق السياسات غير الموفقة لإدارة الحرائق، بما في ذلك القمع الشديد للحرائق والفهم المتدني لأهمية الممارسات التقليدية لإدارة الحرائق ولمعارف الشعوب الأصلية في هذا الصدد؛ وهذه عوامل من شأنها إيجاد موجة من التحديات. [11,49-51] وفي أحيان أخرى يمكن أن تفضي محاولات منع نشوب النار في النُّظم الإيكولوجية -بما في ذلك النظم المعتمدة على النار- إلى تراكم أحمال الوقود بما يعني زيادة متوقعة في احتمالات الاشتعال. [52-55] ويمكن لسياسات إدارة الحرائق من هذا القبيل أن تسفر عن تحولات في "نُظُم الحرائق"، فيشيع بذلك حدوث حرائق الغابات على مساحات ضخمة وبوتيرة متكررة. [37,56]

شهدت العقود القليلة الماضية إدراكاً متنامياً لضرورة وجود نظام نهج شامل للمناظر الطبيعية يتكامل مع الأهمية الثقافية والإيكولوجية لإدارة أراضي الشعوب الأصلية؛ وهذا النهج يسهم في تعزيز الصحة الإيكولوجية ومنع الحرائق الجامحة الأشد تدميراً في النُّظم الإيكولوجية. [57,58] فمثلاً: تمكنت مبادرات إدارة الحرائق في السافانا الأسترالية من قياس ورصد آثار التحريق المحدد في النُّظم الإيكولوجية بما يتيح إدراج أساليب أصيلة للتعامل مع حرائق الغابات، وتكلل ذلك بنتائج إيجابية. [57] وقد أتاح هذا النهج أمثلة ملهمة لبلدان أخرى، ومنها النُّظم الإيكولوجية للسافانا في سيرادو البرازيلية وفي بوتسوانا. [59]

حرائق الغابات في مرحلة الأنثروبوسين

بيئة الحرائق

ما المقصود بحرائق الغابات؟

حريق الغابات هو حريق يحدث دون أي تدخل، ويشمل الحرائق التي يمكن أن تشكل خطراً كبيراً على القيم الاجتماعية أو الاقتصادية أو البيئية. ويمكن أن يندلع من سببه فيه أو عن طريق الخطأ أو عن طال الوسائل الطبيعية.[1]

وقد تكون حرائق الغابات قصيرة الأمد وصغيرة في المساحة ولكنها تحترق في العموم لفترة طويلة من الوقت وعلى مساحة واسعة. ومن الممكن أن يكون سلوك حرائق الغابات حميداً إلى حد كبير مثل محيطها بما أنها تستمر أحياناً بقدرات انتشار سريع وصلوات مكثف في جوهها، وإلى قد يكون إحداها وجود تخفيف المخاطر الأخرى غير ظاهرة من مواجهتها، وقد تكون تأثيرات حرائق الغابات واسعة ومأساوية أو قد تتحقق بعد وقت من إحداث الحريق.[2]

وفي حين أن حرائق الغابات يمكن أن تحدث بطبيعة الحال، يتجم معظمها عن أعمال بشرية مثل تطهير الأراضي بعد إزالة الغابات الصناعية والأغراض الزراعية أو المستوطنات البشرية، وإدارة المراعي في المناطق، والإهمال.[3]

وحسب التفاعلات بين الغطاء النباتي والمناخ، تندلع حرائق الغابات عموماً وفقاً لنمط محدد في المكان والزمان. وتختلف الحريق، وتشمل سمات نظام الحريق التواتر ومدى الحرق والشدة والحجم والموسمية.

حرائق الغابات والنُّظم الإيكولوجية

تؤدي حرائق الغابات دوراً رئيساً في الحفاظ على الوظائف الإيكولوجية والتنوع البيولوجي. وقد تطور الكثير من النظم الإيكولوجية لتشمل تكرار حرائق الغابات وتعتمد هذه النظم عليها للحفاظ على صحة النظام البيئي. على سبيل المثال، تحتاج بعض البساتين إلى حرائق دورية لتحرير الإبرات وحرق الغطاء النباتي السائب. وبالرغم من أن الأنواع الموجودة في موئل معين قد تكيفت مع نظام حريق محدد، فإن أي تغيير يمكن أن يؤثر على الأنواع والنظام الإيكولوجي ككل.

أنواع حرائق الغابات

ثمة ثلاثة أنواع من حرائق الغابات بناءً على وقود الكتلة الحيوية والطريق المحيط. فو تغريض حدث حريق واحد، كل أنواع الحرائق الثلاثة أو مزيجاً منها.

حرائق التاج

حرائق تصعد من الأرض إلى تاج الشجرة ويمكن أن تنتشر من خلال قُلَّة الغابات. وهي شائعة في الغابات المدارية، الغابات الاستوائية والغابات الشمالية وهي أشد حرائق الغابات خطورة. وغالباً ما يكون إخمادها أصعب. ويتطلب الانتشار عموماً حمولات ثقيلة من الوقود والرياح القوية.

الحرائق الأرضية

يحرق هذا النوع الطبقات العضوية المتحللة من التربة أو تنتج عادةً ألسنة اللهب المرئية. ومن الصعب إخمادها بالكامل، ويمكن أن تشتعل الحرائق الأرضية خلال فصل الشتاء وقد تظهر مرة أخرى في الربيع. وهي الأكثر شيوعاً في أراضي الخث والمستنقعات. ويمكن أن تتطور إلى حرائق سطحية.

الحرائق السطحية

تندلع هذه الحروق من خلال قصاصات الأوراق والمواد العينة والنباتات على الأرض. وهي سائدة ومنكرة في الأراضي العشبية والسافانا ضمن الإنتاجية عالية. كما أنها تشيع في الغابات والأدغال حيث أُمثل القمامة الوقود الرئيسي. ويمكن أن تنشر الحرائق السطحية عموماً عن طريق إشعال الأعشاب المتساقطة والشجيرات لتصبح حرائق تاج.

ويمكن أن تحدث حرائق الغابات بشكل طبيعي عندما تجتمع ثلاثة عناصر:

- **الإشعال**: الحرارة من الشمس أو ضربة البرق وإشعال النار
- **الوقود**: مواد قابلة للاحتراق تكون وفيرة أو سهلة الاشتعال
- **حالة الطقس**: ظروف مثل درجة الحرارة أو الرياح أو الرطوبة النسبية لتمكين الانتشار

النباتات المعتمدة على الحرائق

في النظم الإيكولوجية المعرضة للنيران، يعتمد الكثير من أنواع النباتات على الحرائق في البقاء وفي دورة حياتها. فالحرائق تؤدي إلى الإزهار، أو تشتيت البذور، أو إنباتها.[4]

وتعمل بعض الأنواع الشائعة في الغابات الشمالية والمناطق ذات مناخ البحر الأبيض المتوسط على تخزين البذور في الأقماع أسفلت من يؤدي حدوث حريق إلى إطلاقها.

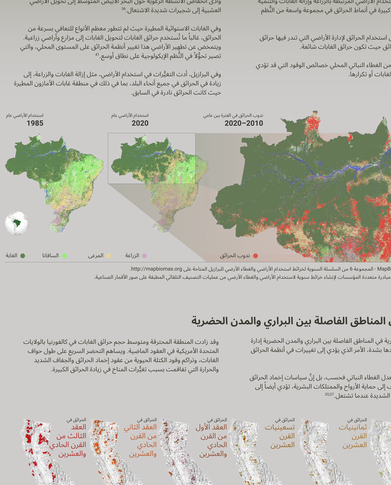
وتحفز أحداث حرائق الغابات الإزهار في النباتات المنتجة للبصلات مثل بساتين الفكهة والزنابق، وفي الأعشاب البرية المعمرة.

ويمكن أن يؤدي الدخان والخشب المستمرّ أيضاً إلى إنبات البذور في أنواع كثيرة من الشجيرات المعرضة للنيران.

حيث تشتعل النيران

تُسير الخريطة الحرائق النشطة من جميع الأنواع التي أُوجدت في الفترة من 1 كانون الثاني/يناير إلى 20 أيلول/سبتمبر 2021. وقد أُعشيت هذه الصورة من خلال دمج الإطارات الثانية المستخرجة من قيدمو الفاصل الزمني للحرائق النشطة التابع لوكالة ناسا. ومن أجل مشاهدة التطورات الديناميية في كثافة الحرائق على أفضل وجه مع مرور الوقت، انقل إلى أسبوعيو التصوُّر العلمي التابع لوكالة ناسا.

انظر الفاصل الزمني



من عام 2003 إلى عام 2016، وقع أكثر من 13 مليون حريق فردي على مستوى العالم، بمدة متوسطة تتراوح من 4 إلى 5 أيام. ومقوفوة حسب القارة وظروف الحريق، وبلغ متوسط الحجم المحترقة من كل حريق 440 هكتاراً.[5]

أنظمة الحريق آخذة في التغيُّرات

تغيير أنظمة الحريق في مناطق حيوية مختارة

المنطقة البيولوجية	الغابة المطيرة المدارية	منطقة السافانا المدارية	الصحراء التي تقطعها خطوط العرض الوسطى	غابات أمريكا الشمالية اتجاهه موسمياً التي تقطعها خطوط العرض الوسطى	الغابة الشمالية
نظام حرائق ما قبل الصناعة	ندرة الحرائق السطحية منخفضة الكثافة مع تراكم بين المدى الطويل على التنوع البيولوجي	تسبب الحرائق المتكررة في موسم الجفاف عبر السافانا، المحافظ في كثافة الأشجار	الحرائق غير المتكررة بعد الفترات الرطبة التي تمكّن من تراكم الوقود	ندرة حرائق التاج عالية الكثافة بسبب استبدال الشجيرات الجريبة بالنفها	
نظام الحرائق في مرحلة ما بعد الصناعة	الحرائق السطحية المتكررة المدمرة، وإزالة الغابات في المرتفعات، وفي المناطق في الأراضي العشبية أو الحقول الزراعية الغابة للاشتعال	انخفاض عدد الحرائق بسبب الرعي المفرط، مما يؤدي إلى زيادة استخدام الأنواع العشبية	الحرائق المتكررة بسبب الإدخال أشجار غريبة قابلة للاشتعال.	زيادة حرائق الغابات عالية الكثافة المرتبطة بالاحتراق الصناعي مما يتسبب في فقدان كربون التربة والتحول إلى الغطاء النباتي الخالي من الأشجار	

المصدر: ماتيوا من يومان وآخرون (2011)[6]، ثم يولن من شيلا John Wiley & Sons Ltd

تعليق صورة بعد الحريق الوسيط لغابة أميزة الطبيعية (في المنطقة الموسمية) لبيكسلز / Shutterstock.com

تغيُّر استخدام الأراضي

تؤدي التغيُّرات في استخدام الأراضي المرتبطة بالزراعة وإزالة الغابات والتنمية الحضرية إلى تغييرات كبيرة في أنماط الحرائق في مجموعة واسعة من النُّظم الإيكولوجية.[7]

كثيراً ما يأخذ الناس إلى استخدام الحرائق لإدارة الأراضي التي تندر فيها حرائق الغابات. أو إخماد الحرائق حيث تكون حرائق الغابات شائعة.

ويغير تحويل الأراضي من الغطاء النباتي المحلي خصائص الوقود التي قد تؤدي إلى زيادة شدة حرائق الغابات أو تكرارها.

وأدى انخفاض الأنشطة الرعوية حول البحر الأبيض المتوسط إلى تحويل الأراضي العشبية إلى شجيرات شديدة الاشتعال.[8]

وفي الغابات الاستوائية الشمالية حيث تم تنظير معظم الأنواع للتعافي بسرعة من الحرائق، فإنها ما أُستخدم حرائق الغابات لتحويل الغابات إلى مراع وأراضي زراعية. ويتمخض عن تطهير الأراضي هذا تغيير لغطاء الحرائق على المستوى المحلي، والتي تسير تحوُّلاً في النُّظم الإيكولوجية على نطاق أوسع.[9]

وفي البرازيل، أدت التغيُّرات في استخدام الأراضي، مثل إزالة الغابات والزراعة، إلى زيادة في الحرائق في جميع أنحاء البلد، بما في ذلك في منطقة غابات الأمازون المطيرة حيث كانت الحرائق نادرة في الماضي.

3-
تغيُّر المناخ يعني تغيُّر الطقس ليصبح مؤاتياً للحرائق

شهد تشرين الثاني/نوفمبر/2019اندلاع حرائق كثيرة شمالي سيدني في أستراليا، وتصاعد دخان كثيف باتجاه مدينتين ساحليتين هما كوفس هاربر وبور ماكواري. وصل تدهور جودة الهواء في المدن المتأثرة إلى مستويات خطرة. وقد أدى اجتماع درجات الحرارة القياسية وشدة الريح والانقطاع المستمر للمطر إلى حرائق هائلة في الغابات في ولاية نيو ساوث ويلز.

المصدر: مرصد الأرض بوكالة ناسا.

يشهد العالم أجمع وتيرة أشد كثافة وتكراراً من أحوال الطقس القاسية مقارنة بالماضي، ومَرَدّ ذلك إلى التغيُّر البشري المنشأ في المناخ. [27,28] وتفيد اتجاهات الاحترار الطويلة الأمد بأن معظم السنوات أصبحت أحر من المرصود قبل عام 1950 في 41 منطقة من أصل 45 منطقة على مستوى العالم. [28]وعندما يتلاقى التزايد في درجات الحرارة مع التزايد في موجات الجفاف تتولد مواسم حرائق أطول، مقترنة باحتمالية أقوى لحدوث ظروف الطقس الخطرة المواتية للحرائق. [1,26-34,60,66]

كشفت البحوث المركِزة على غربي أمريكا الشمالية عن أن موجات الحرارة وموجات الجفاف المتعددة السنوات لا تذكي الزيادة في حرائق الغابات فحسب، بل إنَّ تلك الحرائق تتزايد من حيث الحدة والنطاق. [30,34,61] وفي أمريكا الجنوبية، ترتبط موجات الجفاف الحادة المطولة وارتفاع درجات حرارة الهواء بتزايد حدوث الحرائق وتزايد حدتها في المناطق الاستوائية الرطبة والأراضي الرطبة ذات الفيضانات الموسمية؛ بما في ذلك المناطق التي لم تكن فيها حرائق الغابات معهودة. [14,62-65] أما في منطقة الحرارة المعتدلة في أستراليا، فقد تراجع معدل هطول الأمطار في الفترة السابقة على موسم الحرائق بأكثر من 10 في المائة من أواخر التسعينيات. [67] واستناداً إلى بيانات جُمِعَت على مدار أكثر من 100 عام، فقد كان عام 2019 الأشد حرارة وجفافاً في التاريخ المسجل لأستراليا. [5,66,67] وتشير البحوث في تشيلي ونيوزيلندا وأجزاء من أفريقيا إلى تأثير تغيُّر المناخ في زيادة ظروف الجفاف وأنشطة حرائق الغابات. [62,68-71] أما في جنوب أوروبا وحول البحر المتوسط فإن تغيُّر المناخ آخذ أيضاً في توجيه أشد ظروف الطقس المواتي للحرائق خطورةً مع تحول الحوض البحري بأكمله إلى نظام أكثر جفافاً. [2,28,35,72,73]

البرق مصدر طبيعي مهم من مصادر الاشتعال في حرائق الغابات، كما أنه من المتوقع أن يزيد وتيرة ضربات البرق في بعض مناطق العالم مع تغيُّر المناخ. [74-81] وقد استأثرت الحرائق المشتعلة بفعل البرق الناجم عن تغيُّر المناخ خلال السنوات القليلة الماضية بأغلبية المناطق المحترقة بالغابات الشمالية في أمريكا الشمالية.[82] وواكب ذلك توثيق الزيادة في وتيرة البرق الجاف (وهو نوع من البرق يواكبه هطول محدود للأمطار أو تنعدم معه الأمطار) في بعض مناطق جنوب شرقي أستراليا خلال العقود الماضية، في حين شهدت بعض المناطق انخفاضاً فيه. [83] ومن إجمالي المنطقة المحترقة بفعل حرائق الغابات توجد نسبة كبيرة معزوة إلى الاشتعال بفعل بالبرق لأنها قد تتفاوت في حدوثها على مر الوقت وعلى امتداد المكان، في حين أنها تمتد إلى مناطق نائية يصعب الوصول إليها بقدرات الاستجابة. [74]

من الظواهر الأخرى التي سُجِلت مراراً في أستراليا وأمريكا الشمالية خلال العقود القليلة الماضية هو ظاهرة العاصفة الرعدية المتولدة من الحرائق. [4,6,84-89] وتلك العواصف الرعدية سمة من سمات الحرائق الأكثر شدة، علماً بأنها تتشكل على هيئة أعمدة دخانية لحرائق الغابات فتولد ما يعرف باسم "السحب الحرارية". تتزايد وتيرة ظروف الطقس المرتبطة بحدوث العواصف الرعدية المتولدة من الحرائق، وهذا التزايد ملحوظ بمرور الوقت في أجزاء من جنوب أستراليا، ومن المتوقع أن تستمر وتيرة التزايد تلك. [4,77,86,90] ويمكن لتلك العواصف الرعدية النارية أن تساهم في إيجاد ظروف أشد خطورة للحرائق على سطح الأرض، ومن ذلك حدوث سرعات وتغيُّرات أشد ضرراً في الرياح، فضلاً عن توليد البرق القادر على إشعال حرائق جديدة تتجاوز جبهة الحريق. [85] وبذلك تقف تلك العواصف شاهداً على مخاطر التلاقي الشديدة بين الحريق والعمليات الجوية.

وقود الكتلة الحيوية المتوفر من العوامل الرئيسة التي تعزز حدة الحرائق في ظل التأثير غير الميقون لتغيُّر المناخ. وقد تزيد أحمال الوقود من أثر التخصيب عندما تؤدي تركيزات ثاني أكسيد الكربون المرتفعة عند مستوى سطح الأرض إلى ازدهار أنواع بعينها من النباتات. [91-93] وفي حين أنه من الممكن أن يزيد مجموع المواد العضوية، إلا أن انخفاض الرطوبة النسبية سيحيل ذلك المجموع الزائد إلى أنواع وقود جافة لحرائق الغابات. كما زاد حِمل الوقود بسبب قمع حرائق الغابات في بعض المناطق. [26,94] غير أن الارتقاء بفهم النُّظم الإيكولوجية المعتمدة على الحرائق (وإيكولوجيا الحرائق ككل) يعزز التحول نحو إدارة متكاملة للحرائق بما يشمل استغلال التحريق المنضبط والمحدد في توقيتات مناسبة وفي ظل ظروف مناسبة من أجل تقليل أحمال الوقود. [42,95]

وفي حين يؤثر تغيُّر المناخ بالفعل في حرائق الغابات، إلا أن حرائق البراري قد تتأثر هي الأخرى بتغيُّر المناخ. [28,96,97] ويعتبر فقدان الغابات المطيرة في الأمازون وذوبان التربة الصقيعية في القطب الشمالي من العناصر المساعدة التي من شأنها تسريع تغيُّر المناخ. [28,98,99] وقد أكدت البحوث الحديثة أن إزالة الغابات في الأمازون يؤدي إلى تحويل المنطقة من بالوعة كربونية إلى مصدر كربوني؛ فيما يتسارع ذوبان التربة الصقيعية في المنطقة القطبية بسيبيريا، إذ تعد الحرائق عوامل مساعدة في كلتا الحالتين. [87,88,100]

"يشهد العالم أجمع وتيرة أشد كثافة وتكراراً من الأحوال الجوية القاسية مقارنة بالماضي، ومَرَدّ ذلك إلى التغيُّر البشري المنشأ في المناخ. وعندما يتلاقى التزايد في درجات الحرارة مع التزايد في موجات الجفاف تتولد مواسم حرائق أطول، مقترنة باحتمالية أقوى لحدوث ظروف الطقس الخطرة المواتية للحرائق."

تغيُّر المناخ:
أصبح طقس الحرائق أكثر قسوة

يزيد تغيُّر المناخ من خطر نشوب حرائق كبيرة وأكثر كثافة.[5,6,42] ويؤثر المناخ بشكل مباشر على إنتاج الكتلة الحيوية وحالتها، إلى جانب الطقس الذي يدعم اشتعال الحرائق وانتشارها. في الأشهر التي سبقت موسم الحرائق، يقلل الطقس الدافئ والجاف لفترات طويلة من رطوبة الغطاء النباتي، مما يزيد من مخاطر اشتعال الحرائق التي قد تتطور إلى حرائق الغابات وتنتشر. في المقابل، يؤدي ارتفاع هطول الأمطار بشكل غير عادي إلى زيادة نمو النبات الذي قد يُستخدم بعد ذلك كوقود في موسم الجفاف التالي. وتحدث حرائق كبيرة في النُّظم الإيكولوجية الخشبية خلال فترات الجفاف الطويلة، كما هو الحال في المناطق المتضررة من تقلب ظاهرة النينيو.[5,36]

الاشتعال الناتج عن البرق

يُعدُّ البرق مصدراً هاماً من مصادر الاشتعال الطبيعي لحرائق الغابات. ومن المتوقع أن تزداد وتيرة الصواعق في بعض أجزاء العالم مع تغيُّر المناخ. إنَّ اشتعال البرق هو المحرك الرئيسي لحرائق الغابات الضخمة في الغابات الشمالية في أمريكا الشمالية وشمال سيبيريا.[60]

العواصف الرعدية الناتجة عن الحرائق

يمكن أن تؤدي الحرائق الشديدة للغاية إلى حدوث عواصف رعدية مملوءة بالدخان يمكن أن تسبب سلوكاً أكثر خطورة للحرائق بالإضافة إلى إشعال حرائق جديدة من خلال البرق.

1 عمود الدخان
يتصاعد عمود من الهواء الساخن المضطرب والدخان فوق منطقة كبيرة من النيران المشتعلة بشدة.

2 تبريد العمود
يمتزج الهواء الأكثر برودة في العمود أثناء ارتفاعه، مما يؤدي إلى اتساعه وتبريده.

3 السحابة
عندما يرتفع العمود عالياً بدرجة كافية، يؤدي انخفاض الضغط الجوي إلى مزيد من التبريد وتشكُّل السحب.

4 العاصفة الرعدية
في الظروف البيئية المناسبة (المعروفة باسم الغلاف الجوي الضعيف الاستقرار) قد تتطور عاصفة رعدية.

5 العاصفة الهابطة
يتبخر المطر من السحابة أحياناً عند سقوطه ويبرد عندما يتلامس مع الهواء الجاف، مما ينتج عنه موجة رياح.

6 البرق
قد ينتج البرق ويمكن أن يشعل حرائق جديدة بعيداً عن جبهة الحريق.

المصدر:
مقتبس من البرنامج الوطني للعلوم البيئية التابع للحكومة الأسترالية
2020

آثار حرائق الغابات الشديدة على نظام الأرض

التلوث الجوي
تنبعث من حرائق الغابات الضخمة كميات هائلة من ملوثات الغلاف الجوي، مثل الكربون الأسود والجسيمات وغازات الدفيئة. ويمكن نقل هذه الملوثات لمسافة طويلة وترسيبها عبر الأسطح الطبيعية النائية، بما في ذلك الأنهار الجليدية.

تغيُّر البياض
يؤدي انتقال السخام وترسيبه في الغلاف الجوي إلى تقليل البياض السطحي وتعزيز ذوبان الجليد والثلج. وقد عُثر على رواسب السخام من حرائق الغابات في حوض الأمازون وأدت إلى زيادة ذوبان الأنهار الجليدية في الأنديز.

حوض الكربون يتحول إلى مصدر للكربون
قد تؤدي حرائق الغابات الضخمة والمتكررة في الغابات الشمالية والاستوائية إلى تحويل مخزون الكربون الأرضي إلى مصدر رئيسية لغازات الدفيئة.

تلوث المياه
في أعقاب حرائق الغابات الشديدة، تؤدي مستويات الرواسب المرتفعة في الأنهار إلى تعكُّر المياه وتغيُّر درجات حرارتها والتأثير على وفرة الأسماك.

وتجلب التعرية التالية لحرائق الغابات مجموعة من العناصر الغذائية والملوثات إلى المسطحات المائية، مما يؤثر على جودة المياه والأنواع المائية.

ويمكن أن تسبب المغذيات مثل النيتروجين والفوسفور المنبعثة في المسطحات المائية إغناء المياه بالمغذيات وتقليل مستويات الأكسجين المذاب، الأمر الذي يُشكل خطراً على الكائنات المائية.

انظر الصفحة 40 لمطالعة المَراجع كاملة.

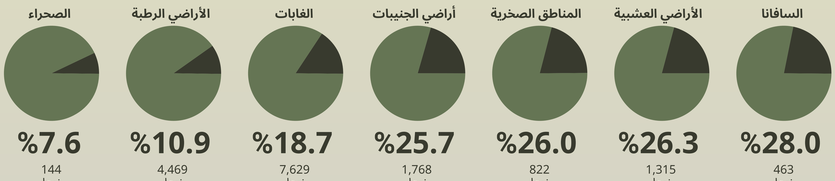
التعرية
تزيد حرائق الغابات من قابلية التربة للتعرية عند تعرضها لهطول الأمطار بعد الحرائق. وتحدث التعرية عادةً قبل إعادة نمو الغطاء النباتي. ويمكن أن تؤدي الاضطرابات في المنحدرات إلى تدفقات حطام كارثية وانهيارات أرضية في بعض البيئات.

تخصيب المحيطات
تطلق حرائق الغابات الضخمة والشديدة كميات هائلة من الهباء الجوي، بما في ذلك المعادن النزرة الضرورية بيولوجياً مثل الحديد. وتسبب النقل الجوي للهباء الجوي الغني بالحديد من حرائق الغابات الأسترالية الشديدة في عامي 2020/2019 في تكاثر الطحالب على نطاق واسع في جنوب المحيط الهادئ على مدى 4 أشهر.

فقدان التنوع البيولوجي
يمكن أن تؤدي حرائق الغابات الأكثر تواتراً وشدة إلى تغيير طويل الأجل في تكوين الأنواع النباتية وهيكل النُّظم الإيكولوجية الحرجية. وقد تصبح عمليات إعادة الحرق أكثر شيوعًا، مما قد يقلل من تجدد الحرائق بعد اندلاعها. واعتماداً على نوع الغابة الأصلي، يمكن أن تؤدي عمليات تجدد الحرائق إلى التحول إلى الغطاء النباتي غير الحرجي.

الأنواع المهددة بتغيير نُظُم الحرائق

النسبة المئوية للأنواع المهددة من جراء تغيُّر نُظُم الحرائق بما في ذلك نوع الحرائق الحصري لكل موئل



المصدر: كيلي وآخرون. (عام 2020). انظر الصفحة 40 لمطالعة المَراجع كاملة.

4- التحسينات في إدارة حرائق الغابات في مواجهة تغيُّرات المناخ الأخرى

تتفاقم الخسائر والأضرار الناتجة عن حرائق الغابات البالغة الشدة، وهو ما لفت الانتباه إلى ضرورة اتباع نُهُج إدارية تستهدف الوقاية والاستجابة. فالتهديدات لن تكف عن التفاقم في ظل اشتداد تغيُّرات المناخ ذات المنشأ البشري، ومن ذلك الحالات التي يتخللها الإخفاق في انضباط تغييرات استخدامات الأراضي بأفضل الممارسات في مجال المحافظة على المرونة وفي النُّظم الإيكولوجية وعلى سلامة المناطق الطبيعية.

وفي حين ركزت ممارسات البلدان المتقدمة تركيزاً في الغالب على إخماد الحرائق، إلا أن كثيراً من البلدان النامية تفتقر إلى القدرة على إدارة الحرائق – وذلك بخلاف الاستجابة بعد أن تصبح الكارثة تهديداً محدقاً بالأرواح والممتلكات. لا بد من الإدارة الفعالة للحرائق في النُّظم الإيكولوجية المعتمدة على الحرائق، مثل السافانا والأراضي العشبية حيث تتراكم أحمال الوقود وتزيد مخاطر الحرائق؛ لا سيما في ذروة موسم الجفاف.[55] وسواء أكانت أحمال الوقود مشتعلة بفعل البرق أو أنشطة بشرية، فإن المتراكم من تلك الأحمال على مر السنين أو العقود قد يؤدي إلى حرائق تصعب السيطرة عليها. وفي مقابل النُّهج القاطعة كلياً للحرائق، أصبح من قبيل الممارسات الشائعة في بعض المناطق إدراك أهمية ممارسات الشعوب الأصلية التي حافظت على أحمال وقود قابلة للإدارة وعلى نُظُم إيكولوجية منتجة.[50,57,58,107,110] غير أن بعض البلدان ما زالت تتبع سياسات إخماد حرائق الغابات، علماً بأن محاولات الإخماد التام لحرائق المناطق الخضراء الطبيعية قد تُفضي إلى كثافة وحدة في حرائق الغابات بمواسم الجفاف.[55]

الحلول المجتمعية المحلية في أمريكا اللاتينية

ديفيتوبوليس، ميناس جيرايس، البرازيل **حقوق الصورة:** كريستيام دي ليما / Shutterstock.com

يعود غياب سياسات مناسبة لإدارة الحرائق في أمريكا اللاتينية إلى قرون مضت.[55,101,102] غير أن زيادة أحداث الحرائق بالغة الشدة فرضت اهتماماً خاصاً من المجتمعات الريفية والتقليدية والشعوب الأصلية التي لا تتأثر تأثراً مباشراً بتلك الأحداث فحسب، بل إنها مغلولة اليد في التعامل مع أراضيها في بعض الحالات.[10] لذا نفذت تلك الشعوب ممارسات قديمة لإدارة الحرائق تمكنت بها من تحقيق أسرع النتائج عبر حمايةٍ لأنفسهم والمحافظة على النُّظم الإيكولوجية الطبيعية اللازمة لأسباب كسب العيش لديها، فضلاً عن التمكن من إنتاج المحاصيل ومنع انتشار حرائق الغابات.[10,50,103]

وقد شهد العقد الماضي إقرار بعض الحكومات في أمريكا اللاتينية بالمعارف التقليدية في التعامل مع الحرائق، وحرصت على استغلالها في معرفة الأساليب القديمة لإدارة الحرائق بغية تعديل استراتيجياتها في منع حرائق الغابات.[55,103] وعلى ذلك، استهَّل برنامج في 2014 للإدارة المتكاملة للحرائق في البرازيل، وذلك بتشجيع من مشروع تعاوني بين البرازيل وألمانيا تحت عنوان "الوقاية والسيطرة والرصد لحرائق الغابات في سيرادو" – وهذا البرنامج مستلهم من منهجية ناجحة اتبعتها أستراليا للتخفيف واحتجاز الكربون.[104,105]

وبدأ تنفيذ المشروع في 3 مناطق محمية بسيرادو، ثم جرى التوسع فيه وصولاً إلى 74 منطقة موزعة بأنحاء المناطق البيولوجية في البرازيل.

قللت هذه الإدارة المتكاملة للحرائق من مساحات المناطق المحترقة بحلول نهاية حرائق الغابات في موسم الجفاف بنسبة بلغت 57٪، وخفف 36٪ من انبعاثات غازات الدفيئة المرتبطة بتلك الحرائق.[50,106] علاوة على ذلك، جرى توظيف أكثر من 2000 فرد في فرق الإطفاء التقليدية والأصلية إلى جانب تدريبهم على تفعيل أنشطة الوقاية والقمع؛ فضلاً عن جمع بيانات تقييم آثار نُظُم الحرائق المختلفة في الأنواع النباتية والحيوانية.[107,108] وثمة جهد متصاعد لتوظيف نساء من الشعوب الأصلية وتدريبهن (في مجتمع شيرينتي)، ويشمل ذلك التركيز على المعدات والتعبئة وأساليب التحريق المنضبطة والسلامة، إلى جانب التوعية البيئية العامة.[108]

وما زال نطاق البرنامج محدوداً لكونه مقصوراً على بعض المناطق المحمية، فمعظم المناطق البرازيلية معرضة بشدة لحرائق غابات كارثية كتلك التي حدثت عامَي 2019 و2020. ومع ذلك، فمع أفق رحب لتوسع ملاك الأراضي الريفيين والحكومة في تلك الممارسات الإدارية الناجحة بغية الحد من الخسائر والمخاطر المتكررة المرتبطة بحرائق الغابات السنوية.

إنَّ طول مواسم الحرائق عن ما هي عليه يفعل احتدار المناخ من شأنه تعويق ممارسة التحريق المنضبط نظراً لمحدودية ظروف تنفيذ الآمن لتلك العمليات الرامية إلى خفض الوقود. قد يتسبب ارتفاع درجات الحرارة -وتوافر الوقود عبر طول موسم الزراعة وازدياد حرار الطقس وجفافه- في تغيير الفرص المواتية للتحريق المنضبط الآمن؛ ولذلك تبعات على إدارة مخاطر حرائق الغابات على المدى البعيد.[91]

كما أن التخطيط البعيد المدى متوقف على مكونات تعاونية متنوعة فيما بين البلدان ومناطق العالم. ومن ذلك مشاركة الموارد – مثل الطائرات ورجال الإطفاء بين شمال العالم وجنوبه. كان لهذا نتيجة جيدة عندما كانت مواسم الحرائق غير متداخلة؛ أما الآن فمواسم الحرائق تزداد طولاً بما يزيد الطلب بحدة على موارد الإطفاء خلال الحرائق بالغة الشدة؛ وهو ما يعني صعوبة متفاقمة في مشاركة القدرات.[3,4]

قدمت اللجنة الملكية المعنية باستقصاء حرائق أستراليا 2019/2020 مجموعة متنوعة من التوصيات التي حوت منظوراً شاملاً تجاه الارتقاء بالتخطيط والسياسات والممارسات؛ وزيادة قدرات الإطفاء؛ وتعزيز المرونة المجتمعية؛ واستراتيجيات إدارة الأراضي التي شملت ممارسات الشعوب الأصلية للتحريق المنضبط.[3] ودعمت تلك التوصيات تحسين معايير تصميم المباني والبنية التحتية في مناطق التماس بين البراري والمدن الحضرية. ومن الممكن أن يتبع ذلك وسيلة عملية لإدماج علوم تغيُّر المناخ في الممارسات المعتادة لتعزيز المرونة، وذلك بالتعويل على المعرفة المتعلقة بطبيعة التغيير الذي شهدته عوامل الحظر، وبالاستمرار المرتقب في ذلك التغيير.

سيكون العقد المقبل مرحلة حاسمة في تعزيز المرونة والقدرة التكيفية تجاه التعامل مع حرائق الغابات. لذلك لا بُد من اتباع نُهُج تشاركية وإشراك الفئات المعرضة للتأثر في جميع مراحل التأهب والاستجابة.[109] فالتبعات المجتمعية بالنسبة إلى الأطفال والنساء والمسنين وذوي الإعاقة وغيرهم من الفئات المعرضة للخطر من شأنها التأثير في المجتمعات المحلية بأسرها وفي المجتمعات على إطلاقها، وذلك أثناء حدوث الأحداث الخطيرة وبعدها لسنوات أيضاً. وللمعرفة المحلية القدرة على المساعدة في التعاطي مع مسائل السلامة الإيكولوجية والعدالة الاجتماعية.[110] وينبغي أن تشتمل الدعوات إلى إجراء بحوث أخرى على الاهتمام بانكشاف الفئات المعرضة للتأثر على الأخطار قبل حدوث حرائق الغابات العاتية وأثناء حدوثها وبعده.

ينبغي أن تشمل البحوث الإضافية المحسّنة في مجال الحد من مخاطر الحرائق تقييمات للتكاليف بحيث تتكامل نتائجها مع العلوم الاجتماعية والتقييمات البيئية لمدى نجاعة الإجراءات المختلفة ذات الصلة.[19] وينبغي أن ينظر الفهم العلمي المعزز لحرائق الغابات العاتية في طبيعة التغيير في استخدامات الأراضي أو في كيفية تأثير إدارة الأراضي في تلك الأحداث. كذلك ينبغي التوسع في البحوث التي تستكشف كيفية التغير المحتمل في أحوال البرق والغطاء النباتي في المستقبل، مع مراعاة عدم اليقين الكبير المتمخض عن محدودية الطرق المتاحة حالياً لعمل النمذجة المناخية. لا سيما عبر الملحوظات وجمع البيانات المتعلقة بالأحوال القاسية – شاملة نظم العواصف الرعدية المتولدة عن حرائق الغابات.[84]

سيشتد ظهور الضغوط مع تزايد الخسائر والأضرار المترتبة على تغيرات المناخ. وتجنباً للتأثيرات الكارثية لتفاقم حرائق الغابات بالغة الشدة، فإن قدرتنا -بوصفنا مجتمعات محلية- على التأهب لتلك الأحداث القاسية والاستجابة لها وإدارتها إنما يجب أن تكافئ (أو تفوق) معدل تأثير تغيُّر المناخ الذي يسرّع هذا التهديد.

بناء مقومات المرونة: أدوات ونُهج جديدة لإدارة حرائق الغابات

التقطت الصورة بتاريخ 5 كانون الثاني/يناير 2020 وتوضح انتقال الهباء جواً على مدى واسع بسبب حرائق الغابات غير المسيطرة بطول الساحل الجنوبي الشرقي لأستراليا صوب جنوب المحيط الهادئ. أدى التزسب المحيطي لهباء حرائق الغابات إلى تحفيز تبرُّد العوالق النباتية على نطاق واسع.

المصدر: وكالة الأرصاد الجوية الوطنية ووكالة ناسا

زيادة الوتيرة والحدة للكوارث الطبيعية تفرضان تحدياً أضخم أمام النُّهج الحالية المتبعة في الحد من مخاطر الكوارث، تتيح الأدوات الجديدة قدرةً معززةً على التصدي لمخاطر الكوارث المنهجية. إن التحسينات في النمذجة وبيانات الرصد عالمياً، بما في ذلك ما يُستقى من قدرات الاستشعار عن بُعد – أي: السواتل والرادارات الأرضية ورصد البرق ومعالجة البيانات – من شأنها تيسير الارتقاء بقدرات النُّظم على مراقبة حرائق الغابات والتنبؤ بها وإدارتها.

ثمة قوة مستمد من جهود الرصد والمراقبة والتعامل مع البيانات بفضل نظم من قبيل برنامج كوبرنيكس للاتحاد الأوروبي بشأن رصد الأرض، فيما تقدم "الإدارة الوطنية الأمريكية للملاحة الجوية والفضاء" الدعم إلى جميع أنحاء العالم.[114] أما الشبكة الإقليمية لأمريكا اللاتينية للاستشعار عن بعد وحرائق الغابات فتتيح تمكين الجهود المشتركة والقرارات المشتركة إزاء عمليات إدارة الحرائق في أمريكا اللاتينية. 113 كما يوجد المعهد الوطني البرازيلي لبحوث الفضاء، وهو هيئة معنية بتعزيز البحوث وقدرات المتابعة في عموم المنطقة في إطار برنامج كومبداماس الذي يتيح إعداد أدوات مبتكرة لرصد مخاطر حرائق الغابات والتحديث المستمر لمعلومات مصار الحرارة.[114]

وأما جنوب أفريقيا فتستعين بنموذج مدمج لمنع الحرائق وإدارتها، وذلك عبر برنامج "التفاعل التعاملي مع الحرائق" – وهو برنامج يضم اتحادات محلية للحماية من الحرائق ويتمثل دورها في التنسيق مع الجهات النظيرة على المستويين المحلي والإقليمي من أجل إذكاء المهارات المجتمعية والعمل المختص بإدارة الحرائق والإطفاء.[115]

تمتلك أستراليا حالياً قدرة طويلة المدى للتنبؤ بأحوال الطقس، بما يتيح توجيه هيئات الإطفاء من أجل المساعدة في اتخاذ القرارات على نطاق واسع من الجداول الزمنية. ويقترن ذلك بتقديم توقعات بشأن تغيرات المناخ إلى أفرقة إدارة الطوارئ، بما في ذلك هيئات الإطفاء وجهات التخطيط ذات الصلة. يتيح ذلك تعضيد صنع القرار المستند إلى الأدلة بشأن أخطار المناخ المتعلقة بقطاعات الإدارة البيئية والطاقة والبنية التحتية والصحة والتمويل.[116]

The تعتمد *استراليا إطاراً يحمل اسم "إطار العمل الوطني للحد من مخاطر الكوارث"*، وهو إطار استحال إلى سياسة وطنية في آذار/مارس 2020، وقد استقر على أن تعُزّ المناخ محرك رئيس لبناء مقومات المرونة في مواجهة الكوارث واتباع نهج منظم لحُكم إدارة التنفيذ الكامن في جهود الحد من الكوارث والاستجابة لها.[117] كما تسلم تلك السياسة الوطنية بأهمية إيجاد مجتمعات محلية ذات مرونة تكفلها الشبكات الاجتماعية والاقتصادية التي تتعاون وتشترك في المسؤولية عند الاستجابة للكوارث والتكيُّف مع تغيُّر المناخ.[118,119] وقد شمل النهج القُطري المتبع خلال السنوات القليلة الماضية حيال إدارة الكوارث تركيزاً على تقوية مقومات المرونة والقدرة قبل حلول الكوارث.[117] غير أن إنشاء شبكة مقتدرة بتقوية القدرة الوطنية المتمثلة في المعارف والمهارات عبر الشركات وبرامج التعليم والبرامج المهنية في شتى القطاعات إنما هي مطلوبات رئيسة لا لإدارة حرائق الغابات فحسب، بل لتعزيز المرونة في مواجهة الكوارث الطبيعية.[120]

المَراجع

1. Higuera, P.E. and Abatzoglou, J.T. (2021). Record-setting climate enabled the extraordinary 2020 fire season in the western United States. *Global Change Biology* 27(1), 1-2. https://doi.org/10.1111/gcb.15388

2. Ruffault, J., Curt, T., Moron, V., Trigo, R.M., Mouillot, F., Koutsias, N. *et al.* (2020). Increased likelihood of heat-induced large wildfires in the Mediterranean Basin. *Scientific Reports* 10(1), 1-9. https://doi.org/10.1038/s41598-020-70069-z

3. Australia, Commonwealth of Australia (2020). Royal Commission into National Natural Disaster Arrangements. Australian Government. https://naturaldisaster.royalcommission.gov.au

4. Dowdy, A.J., Ye, H., Pepler, A., Thatcher, M., Osbrough, S.L., Evans, J.P. et al. (2019). Future changes in extreme weather and pyroconvection risk factors for Australian wildfires. *Scientific Reports* 9(1), 1-11. https://doi.org/10.1038/s41598-019-46362-x

5. Abram, N.J., Henley, B.J., Gupta, A.S., Lippmann, T.J., Clarke, H., Dowdy, A.J. *et al.* (2021). Connections of climate change and variability to large and extreme forest fires in southeast Australia. *Communications Earth & Environment* 2(1), 1-17. https://doi.org/10.1038/s43247-020-00065-8

6. Canadell, J.G., Meyer, C.P., Cook, G.D., Dowdy, A., Briggs, P.R., Knauer, J. *et al.* (2021). Multi-decadal increase of forest burned area in Australia is linked to climate change. *Nature Communications* 12, 6921. https://doi.org/10.1038/s41467-021-27225-4

7. Van Oldenborgh, G.J., Krikken, F., Lewis, S., Leach, N.J., Lehner, F., Saunders, K.R. *et al.* (2021). Attribution of the Australian bushfire risk to anthropogenic climate change. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 21(3), 941-960. https://doi.org/10.5194/nhess-21-941-2021

8. Ward, M., Tulloch, A.I., Radford, J.Q., Williams, B.A., Reside, A.E., Macdonald, S.L. *et al.* (2020). Impact of 2019–2020 mega-fires on Australian fauna habitat. *Nature Ecology & Evolution* 4(10), 1321-1326. https://doi.org/10.1038/s41559-020-1251-1

9. Holz, A., Paritsis, J., Mundo, I.A., Veblen, T.T., Kitzberger, T., Williamson, G.J. *et al*. (2017). Southern Annular Mode drives multicentury wildfire activity in southern South America. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(36), 9552–9557. https://doi.org/10.1073/pnas.1705168114

10. Eloy, L., Hecht, S., Steward, A., Mistry, J. (2019). Firing up: Policy, politics and polemics under new and old burning regimes. *The Geographical Journal* 185(1), 2–9. https://doi.org/10.1111/geoj.12293

11. Schmidt, I.B. and Eloy, L. (2020). Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management. *Flora* 268, 151613. https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151613

12. INPE (2020). Portal de dados abertos e sistema de monitoramento do Programa Queimadas. *Instuto Nacional de Pesquisas Espacias*. https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/dados-abertos

13. Vargas-Cuentas, N.I. and Roman-Gonzalez, A. (2021). Satellite-Based Analysis of Forest Fires in the Bolivian Chiquitania and Amazon Region: Case 2019. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine* 36(2), 38-54. https://doi.org/10.1109/MAES.2020.3033392

14. Garcia, L.C., Szabo, J.K., de Oliveira Roque, F., Pereira, A.D.M.M., da Cunha, C.N., Damasceno-Júnior, G.A. *et al.* (2021). Record-breaking wildfires in the world's largest continuous tropical wetland: Integrative fire management is urgently needed for both biodiversity and humans. *Journal of Environmental Management* 293, 112870. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112870

15. Andela, N., Morton, D.C., Giglio, L., Paugam, R., Chen, Y., Hantson, S. *et al.* (2019). The Global Fire Atlas of individual fire size, duration, speed and direction. *Earth System Science Data*, 11, 529–552. https://doi.org/10.5194/essd-11-529-2019

16. Navarro, K.M., Kleinman, M.T., Mackay, C.E., Reinhardt, T.E., Balmes, J.R., Broyles, G.A. *et al.* (2019). Wildland firefighter smoke exposure and risk of lung cancer and cardiovascular disease mortality. *Environmental Research* 173, 462-468. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.03.060

17. Marlier, M.E., Bonilla, E.X. and Mickley, L.J. (2020). How do Brazilian fires affect air pollution and public health?. *GeoHealth* 4(12), e2020GH000331. https://doi.org/10.1029/2020GH000331

18. Aguilera, R., Corringham, T., Gershunov, A., and Benmarhnia, T. (2021). Wildfire smoke impacts respiratory health more than fine particles from other sources: observational evidence from Southern California. *Nature Communications*, 12(1), 1-8. https://doi.org/10.1038/s41467-021-21708-0

19. Chen, G., Guo, Y., Yue, X., Tong, S., Gasparrini, A., Bell, M.L. *et al*. (2021). Mortality risk attributable to wildfire-related PM2.5 pollution: a global time series study in 749 locations. *The Lancet Planetary Health*, 5(9), E579-E587. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00200-X

20. Silveira, S., Kornbluh, M., Withers, M.C., Grennan, G., Ramanathan, V. and Mishra, J. (2021). Chronic Mental Health Sequelae of Climate Change Extremes: A Case Study of the Deadliest Californian Wildfire. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18(4), 1487. https://doi.org/10.3390/ijerph18041487

21. Ikeda, K. and Tanimoto, H. (2015). Exceedances of air quality standard level of PM2.5 in Japan caused by Siberian wildfires. *Environmental Research Letters* 10(10), 105001. https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/10/105001

22. Ford, B., Val Martin, M., Zelasky, S.E., Fischer, E.V., Anenberg, S.C., Heald, C.L. *et al.* (2018). Future fire impacts on smoke concentrations, visibility, and health in the contiguous United States. *GeoHealth* 2(8), 229-247. https://doi.org/10.1029/2018GH000144

23. Bencherif, H., Bègue, N., Kirsch Pinheiro, D., du Preez, D.J., Cadet, J-M, da Silva Lopes, F.J. *et al.* (2019). Investigating the Long-Range Transport of Aerosol Plumes Following the Amazon Fires (August 2019): A Multi-Instrumental Approach from Ground-Based and Satellite Observations. *Remote Sensing* 12(22), 3846. https://doi.org/10.3390/rs12223846

24. Machado-Silva, F., Libonati, R., Melo de Lima, T.F., Peixoto, R.B., de Almeida França, J.R., de Avelar Figueiredo Mafra Magalhães, M. *et al.* (2020). Drought and fires influence the respiratory diseases hospitalizations in the Amazon. *Ecological Indicators* 109, 105817. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105817

25. Masri, S., Scaduto, E., Jin, Y. and Wu, J. (2021). Disproportionate Impacts of Wildfires among Elderly and Low-Income Communities in California from 2000–2020. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18(8), 3921. https://doi.org/10.3390/ijerph18083921

26. Abatzoglou, J.T. and Williams, A.P. (2016). Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113(42), 11770-11775. https://doi.org/10.1073/pnas.1607171113

27. Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I. *et al*. (2018). Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. In *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P.R. *et al*. (eds.). In Press. /https://www.ipcc.ch/sr15

28. The Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). Summary for Policymakers. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/

29. Kirchmeier-Young, M.C., Gillett, N.P., Zwiers, F.W., Cannon, A.J. and Anslow, F.S. (2019). Attribution of the influence of human-induced climate change on an extreme fire season. *Earth's Future* 7(1), 2–10. https://doi.org/10.1029/2018EF001050

30. Williams, A.P., Abatzoglou, J.T., Gershunov, A., Guzman-Morales, J., Bishop, D.A., Balch, J.K. *et al.* (2019). Observed impacts of anthropogenic climate change on wildfire in California. *Earth's Future* 7(8), 892-910. https://doi.org/10.1029/2019EF001210

31. Australia, Bureau of Meteorology (2020). Special Climate Statement #73. Bureau of Meteorology, Victoria, Australia. http://www.bom.gov.au/climate/current/statements/

32. Barbero, R., Abatzoglou, J.T., Pimont, F., Ruffault, J. and Curt, T. (2020). Attributing increases in fire weather to anthropogenic climate change over France. *Frontiers in Earth Science* 8, 104. https://doi.org/10.3389/feart.2020.00104

33. Lewis, S.C., Blake, S.A., Trewin, B., Black, M.T., Dowdy, A.J., Perkins-Kirkpatrick, S.E. *et al.* (2020). Deconstructing factors contributing to the 2018 fire weather in Queensland, Australia. *Bulletin of the American Meteorological Society* 101(1), S115-S122. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0144.1

34. Abatzoglou, J.T., Juang, C.S., Williams, A.P., Kolden, C.A. and Westerling, A.L. (2021). Increasing synchronous fire danger in forests of the western United States. *Geophysical Research Letters* 48(2), e2020GL091377. https://doi.org/10.1029/2020GL091377

35. Bowman, D.M.J.S., Balch, J., Artaxo, P., Bond, W.J., Cochrane, M.A., D'Antonio, C.M. *et al*. (2011). The human dimension of fire regimes on Earth. *Journal of Biogeography* 38(12), 2223-2236. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02595.x

36. Bond, W.J. and Keane, R.E. (2017). Fires, Ecological Effects of. *Elsevier*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.02098-7

37. Cochrane, M.A. and Bowman, D.M.J.S. (2021). Manage fire regimes, not fires. *Nature Geoscience* 14(7), 455-457. https://doi.org/10.1038/s41561-021-00791-4

38. United Nations Environment Programme and GRID-Arendal (2021). Spreading like Wildfire: The Rising Threat of Extraordinary Landscape Fires. UNEP: Nairobi, GRID-Arendal, Arendal. https://www.grida.no

39. Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D.P., Humber, M.L. and Justice, C.O. (2018). The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. Remote Sensing of Environment, 217, 72-85. https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005

Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D.P., Humber, M.L. and Justice, C.O. (2018). Monthly MODIS Burned Area Product (MCD64A1 v006). Accessed on (/07/10/2021 from Global Forest Watch (https://globalforestwatch.org

40. Krebs, P., Pezzatti, G.B., Mazzoleni, S., Talbot, L.M. and Conedera, M. (2010). Fire regime: history and definition of a key concept in disturbance ecology. *Theory in Biosciences*, 129(1), 53–69. https://doi.org/10.1007/s12064-010-0082-z

41. Myers, R.L. (2006). Living with Fire – Sustaining Ecosystems & Livelihoods through Integrated Fire Management. *The Nature Conservancy.* https://www.cbd.int/doc/pa/tools/Living%20with%20Fire.pdf

42. Bowman, D.M., Kolden, C.A., Abatzoglou, J.T., Johnston, F.H., van der Werf, G.R. and Flannigan, M. (2020). Vegetation fires in the Anthropocene. *Nature Reviews Earth & Environment* 1(10), 500-515. https://doi.org/10.1038/s43017-020-0085-3

43. Fidelis, A. (2020). Is fire always the "bad guy"?. *Flora* 268, 151611. https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151611

44. Fusco, E.J., Finn, J.T., Balch, J.K., Chelsea Nagy, R. and Bradley, B.A. (2019). Invasive grasses increase fire occurrence and frequency across US ecoregions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116(47) 23594-23599. https://doi.org/10.1073/pnas.1908253116

45. Pivello, V.R., Vieira, I., Christianini, A.V., Ribeiro, D.B., da Silva Menezes, L., Berlinck, C.N. *et al.* (2021). Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. *Perspectives in Ecology and Conservation* 19(3), 233-255. .https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.06.005

46. Armenteras, D., Dávalos, L.M., Barreto, J.S., Miranda, A., Hernández-Moreno, A., Zamorano-Elgueta, C. *et al.* (2021). Fire-induced loss of the world's most biodiverse forests in Latin America. *Science Advances* 7(33), eabd3357. https://doi.org/10.1126/sciadv.abd3357

47. Bento-Gonçalves, A. and Vieira, A. (2020). Wildfires in the wildland-urban interface: Key concepts and evaluation methodologies. *Science of the Total Environment* 707, 135592. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135592

48. Baylis, P. and Boomhower, J. (2019). *Moral hazard, wildfires, and the economic incidence of natural disasters.* National Bureau of Economic Research, Working paper 26550. https://doi.org/10.3386/w26550

49. Laris, P. and Wardell, D.A. (2006). Good, bad or 'necessary evil'? Reinterpreting the colonial burning experiments in the savanna landscapes of West Africa. *Geographical Journal* 172(4), 271-290. https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2006.00215.x

50. Mistry, J., Bilbao, B.A. and Berardi, A. (2016). Community owned solutions for fire management in tropical ecosystems: case studies from Indigenous communities of South America. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 371(1696), 20150174. http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2015.0174

51. Thompson, M.P., MacGregor, D.G., Dunn, C.J., Calkin, D.E. and Phipps, J. (2018). Rethinking the Wildland Fire Management System. *Journal of Forestry* 116(4), 382–390. https://doi.org/10.1093/jofore/fvy020

52. Brotons, L., Aquilué, N., de Cáceres, M., Fortin, M-J. and Fall, A. (2013) How Fire History, Fire Suppression Practices and Climate Change Affect Wildfire Regimes in Mediterranean Landscapes. *PLoS ONE* 8(5), e62392. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062392

53. Durigan, G. and Ratter, J.A. (2016). The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. *Journal of Applied Ecology* 53(1), 11-15. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12559

54. Batista, E.K.L., Russell-Smith, J., França, H. and Figueira, J.E.C. (2018). An evaluation of contemporary savanna fire regimes in the Canastra National Park, Brazil: Outcomes of fire suppression policies. *Journal of Environmental Management* 205, 40-49. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.053

55. Moura, L.C., Scariot, A.O., Schmidt, I.B., Beatty, R. and Russell-Smith, J. (2019). The legacy of colonial fire management policies on traditional livelihoods and ecological sustainability in savannas: Impacts, consequences, new directions. *Journal of Environmental Management* 232, 600-606. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.057

56. Cochrane, M.A. (2019). Burning questions about ecosystems. *Nature Geoscience* 12, 86–87. https://doi.org/10.1038/s41561-019-0306-x

57. Russell-Smith, J., Cook, G.D., Cooke, P.M., Edwards, A.C., Lendrum, M., Meyer, C.P. and Whitehead P.J. (2013). Managing fire regimes in north Australian savannas: applying Aboriginal approaches to contemporary global problems. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11(s1), e55-e63. https://doi.org/10.1890/120251

58. Russell-Smith, J., McCaw, L. and Leavesley, A. (2020). Adaptive prescribed burning in Australia for the early 21st Century–context, status, challenges. *International Journal of Wildland Fire* 29(5), 305-313. https://doi.org/10.1071/WF20027

59. Russell-Smith, J., Moura, L.C., Yates, C., Beatty, R., Mafoko, J. and Johnston, S. (2021). Market-based options for supporting sustainable fire management of fire-prone Cerrado (savanna) remnant landscapes. *Biodiversidade Brasileira - BioBrasil* (2), 153–167. https://doi.org/10.37002/biobrasil.v11i2.1725

60. Kharuk, V.I., Ponomarev, E.I., Ivanova, G.A., Dvinskaya, M.L., Coogan, S.C. and Flannigan, M.D. (2021). Wildfires in the Siberian taiga. *Ambio* 50(11), 1953-1974. https://doi.org/10.1007/s13280-020-01490-x

61. Hanes, C.C., Wang, X., Jain, P., Parisien, M.A., Little, J.M. and Flannigan, M.D. (2019). Fire-regime changes in Canada over the last half century. *Canadian Journal of Forest Research* 49(3), 256-269. https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0293

62. Kitzberger, T., Perry, G.L.W., Paritsis, J., Gowda, J.H., Tepley, A.J., Holz, A. *et al.* (2016). Fire-vegetation feedbacks and alternative states: common mechanisms of temperate forest vulnerability to fire in southern South America and New Zealand. *New Zealand Journal of Botany* 54(2), 247-272. https://doi.org/10.1080/0028825X.2016.1151903

63. Brando, P., Macedo, M., Silvério, D., Rattis, L., Paolucci, L., Alencar, A. *et al*. (2020). Amazon wildfires: Scenes from a foreseeable disaster. *Flora* 268, 151609. https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151609

64. Marengo, J.A., Cunha, A.P., Cuartas, L.A., Deusdará Leal, K.R., Broedel, E., Seluchi, M.E. *et al.* (2021). Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, Causes, and Impacts. *Frontiers in Water* 3, 13. https://doi.org/10.3389/frwa.2021.639204

65. Naumann, G., Podesta, G., Marengo, J., Luterbacher, J., Bavera, D., Arias-Muñoz, C. et al. (2021). The 2019-2021 extreme drought episode in La Plata Basin. Publications Office of the European Union, Luxembourg. https://doi.org/10.2760/773

66. Dowdy, A.J. (2018). Climatological Variability of Fire Weather in Australia. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 57(2), 221-234. https://doi.org/10.1175/JAMC-D-17-0167.1

67. Australia, Bureau of Meteorology and CSIRO (2020). State of the Climate /2020. http://www.bom.gov.au/state-of-the-climate

68. Strydom, S. and Savage, M.J. (2017). Potential impacts of climate change on wildfire dynamics in the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Climatic Change* 143(3), 385-397. https://doi.org/10.1007/s10584-017-2019-8

69. González, M.E., Gómez-González, S., Lara, A., Garreaud, R. and Díaz-Hormazábal, I. (2018). The 2010–2015 Megadrought and its influence on the fire regime in central and south-central Chile. *Ecosphere* 9(8), e02300. https://doi.org/10.1002/ecs2.2300

70. Kouassi, J-L.K., Wandan, N.E. and Mbow, C. (2018). Assessing the Impact of Climate Variability on Wildfires in the N'Zi River Watershed in Central Côte d'Ivoire. *Fire* 1(3),36. https://doi.org/10.3390/fire1030036

71. Kraaij, T., Baard, J.A., Arndt, J., Vhengani, L. and Van Wilgen, B.W. (2018). An assessment of climate, weather, and fuel factors influencing a large, destructive wildfire in the Knysna region, South Africa. *Fire Ecology* 14(2), 1-12. https://doi.org/10.1186/s42408-018-0001-0

72. Dupuy, J., Fargeon, H., Martin, N., Pimont, F., Ruffault, J., Guijarro, M. *et al*. (2019). Climate Change Impact on Future Wildfire Danger and Activityin Southern Europe: A Review. *Annals of Forest Science* 77(2), 1-24. https://doi.org/10.1007/s13595-020-00933-5

73. Ertugrul, M., Varol, T., Ozel, H.B., Cetin, M. and Sevik, H. (2021). Influence of climatic factor of changes in forest fire danger and fire season length in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 193(1), 1-17. https://doi.org/10.1007/s10661-020-08800-6

74. Dowdy, A.J. and Mills, G.A. (2012). Characteristics of lightning-attributed wildland fires in south-east Australia. *International Journal of Wildland Fire* 21(5), 521-524. https://doi.org/10.1071/WF10145

75. Ganteaume, A., Camia, A., Jappiot, M., San-Miguel-Ayanz, J., Long-Fournel, M. and Lampin, C. (2012). A review of the main driving factors of forest fire ignition over Europe. *Environmental Management* 51(3), 651-662. https://doi.org/10.1007/s00267-012-9961-z

76. Romps, D.M., Seeley, J.T., Vollaro, D. and Molinari, J. (2014). Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming. *Science* 346(6211), 851-854. https://doi.org/10.1126/science.1259100

77. Collins, K.M., Price, O.F. and Penman, T.D. (2015). Spatial patterns of wildfire ignitions in south-eastern Australia. *International Journal of Wildland Fire* 24(8), 1098-1108. https://doi.org/10.1071/WF15054

78. Abatzoglou, J.T., Kolden, C.A., Balch, J.K., and Bradley, B.A. (2016). Controls on interannual variability in lightning-caused fire activity in the western US. *Environmental Research Letters* 11(4), 045005. https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/4/045005r

79. Balch, J.K., Bradley, B.A., Abatzoglou, J.T., Nagy, R.C., Fusco, E.J. and Mahood, A.L. (2017). Human-started wildfires expand the fire niche across the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(11), 2946-2951. https://doi.org/10.1073/pnas.1617394114

80. Mariani, M., Holz, A., Veblen, T.T., Williamson, G., Fletcher, M.-S., and Bowman, D.M.J.S. (2018). Climate change amplifications of climate-fire teleconnections in the Southern Hemisphere. *Geophysical Research Letters* 45(10), 5071–5081. https://doi.org/10.1029/2018GL078294

81. Nagy, R., Fusco, E., Bradley, B., Abatzoglou, J.T. and Balch, J. (2018). Human-related ignitions increase the number of large wildfires across US ecoregions. *Fire* 1(1), 4. https://doi.org/10.3390/fire1010004

82. Veraverbeke, S., Rogers, B., Goulden, M., Jandt, R.R., Miller, C.E., Wiggins, E.B. *et al*. (2017). Lightning as a major driver of recent large fire years in North American boreal forests. *Nature Climate Change* 7(7), 529–534. https://doi.org/10.1038/nclimate3329

83. Dowdy, A. J. (2020). Climatology of thunderstorms, convective rainfall and dry lightning environments in Australia. *Climate Dynamics* 54(5), 3041-3052. https://doi.org/10.1007/s00382-020-05167-9

84. Fromm, M., Lindsey, D.T., Servranckx, R., Yue, G., Trickl, T., Sica, R. *et al*. (2010). The untold story of pyrocumulonimbus. *Bulletin of the American Meteorological Society* 91(9),1193-1210. https://doi.org/10.1175/2010BAMS3004.1

85. Dowdy, A.J., Fromm, M.D and McCarthy, N. (2017). Pyrocumulonimbus lightning and fire ignition on Black Saturday in southeast Australia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 122(14), 7342-7354. https://doi.org/10.1002/2017JD026577

86. Dowdy, A.J. and Pepler, A. (2018). Pyroconvection risk in Australia: Climatological changes in atmospheric stability and surface fire weather conditions. *Geophysical Research Letters* 45(4), 2005-2013. https://doi.org/10.1002/2017GL076654

87. Kablick III, G., Fromm, M., Miller, S., Partain, P., Peterson, D., Lee, S. *et al.* (2018). The Great Slave Lake pyroCb of 5 August 2014: Observations, simulations, comparisons with regular convection, and impact on UTLS water vapor. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 123(21), 12-332. https://doi.org/10.1029/2018JD028965

88. Peterson, D.A., Campbell, J.R., Hyer, E.J., Fromm, M.D., Kablick, G.P., Cossuth, J.H. *et al*. (2018). Wildfire-driven thunderstorms cause a volcano-like stratospheric injection of smoke. *NPJ Climate and Atmospheric Science* 1(1), 1-8. https://doi.org/10.1038/s41612-018-0039-3

89. Zuev, V.V., Gerasimov, V.V., Nevzorov, A.V. and Savelieva, E.S. (2019). Lidar observations of pyrocumulonimbus smoke plumes in the UTLS over Tomsk (Western Siberia, Russia) from 2000 to 2017. *Atmospheric Chemistry and Physics* 19(5), 3341-3356. https://doi.org/10.5194/acp-19-3341-2019

90. Di Virgilio, G., Evans, J.P., Blake, S.A., Armstrong, M., Dowdy, A.J., Sharples, J. *et al.* (2019). Climate change increases the potential for extreme wildfires. *Geophysical Research Letters* 46(14), 8517-8526. https://doi.org/10.1029/2019GL083699

91. Clarke, H., Pitman, A.J., Kala, J., Carouge, C., Haverd, V. and Evans, J. (2016). An investigation of future fuel load and fire weather in Australia. *Climatic Change* 139(3), 591-605. https://doi.org/10.1007/s10584-016-1808-9

92. Haverd, V., Smith, B., Canadell, J.G., Cuntz, M., Mikaloff-Fletcher, S., Farquhar, G. *et al*. (2020). Higher than expected CO2 fertilization inferred from leaf to global observations. *Global Change Biology*, 26(4), 2390-2402. https://doi.org/10.1111/gcb.14950

93. Mondal, P. and McDermid, S.S. (2021). Editorial for Special Issue: "Global Vegetation and Land Surface Dynamics in a Changing Climate". *Land* 10(1), 45. https://doi.org/10.3390/land10010045

94. Moreira, F., Ascoli, D., Safford, H., Adams, M.A., Moreno, J.M., Pereira, J.M.C. *et al.* (2020). Wildfire management in Mediterranean-type regions: paradigm change needed. *Environmental Research Letters* 15(1), 011001. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab541e

95. Ingalsbee, T. (2017). Whither the paradigm shift? Large wildland fires and the wildfire paradox offer opportunities for a new paradigm of ecological fire management. *International Journal of Wildland Fire*, 26(7), 557-561. https://doi.org/10.1071/WF17062

96. Hugelius, G., Loisel, J., Chadburn, S., Jackson, R.B., Jones, M., MacDonald, G. *et al*. (2020). Large stocks of peatland carbon and nitrogen are vulnerable to permafrost thaw. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(34), 20438-20446. https://doi.org/10.1073/pnas.1916387117

97. Yanagiya, K. and Furuya, M. (2020). Post-Wildfire Surface Deformation Near Batagay, Eastern Siberia, Detected by L-Band and C-Band InSAR. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 125(7), e2019JF005473. https://doi.org/10.1029/2019JF005473

98. Lenton, T.M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J.W., Lucht, W., Rahmstorf, S. and Schellnhuber, H.J. (2008). Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105(6), 1786-1793. https://doi.org/10.1073/pnas.0705414105

99. Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T.M., Folke, C., Liverman, D. *et al*. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115(33), 8252-8259. https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115

100. Gatti, L.V., Basso, L.S., Miller, J.B., Gloor, M., Gatti Domingues, L., Cassol, H.L. *et al*. (2021). Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature* 595(7867), 388-393. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6

101. Rodríguez-Trejo, D. A., Martínez-Hernández, P. A., Ortiz-Contla, H., Chavarría-Sánchez, M. R. and Hernandez-Santiago, F. (2011). The present status of fire ecology, traditional use of fire, and fire management in Mexico and Central America. *Fire Ecology* 7(1), 40-56. https://doi.org/10.4996/fireecology.0701040

102. Sletto, B. (2008). The knowledge that counts: institutional identities, policy science, and the conflict over fire management in the Gran Sabana, Venezuela. *World Development* 36(10), 1938-1955. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2008.02.008

103. Bilbao, B., Mistry, J., Millán, A. and Berardi, A. (2019). Sharing Multiple Perspectives on Burning: Towards a Participatory and Intercultural Fire Management Policy in Venezuela, Brazil, and Guyana. *Fire* 2(3), 39. https://doi.org/10.3390/fire2030039

104. Australia, Commonwealth of Australia (2018). Carbon Credits (Carbon Farming Initiative – Savanna Fire Management – Emissions Avoidance) Methodology Determination. https://www.industry.gov.au/regulations-and-standards/methods-for-the-emissions-reduction-fund/savanna-fire-management-emissions-avoidance-method

105. Schmidt, I.B., Moura, L.C., Ferreira, M.C., Eloy, L., Sampaio, A.B., Dias, P.A. *et al*. (2018). Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward. *Journal of Applied Ecology* 55(5), 2094-2101. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13118

106. Berlinck, C.N. and Batista, E.K. (2020). Good fire, bad fire: It depends on who burns. *Flora* 268, 151610. https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151610

107. de Moraes Falleiro, R., Steil, L., de Oliveira, M.S., Lando, I., Machado, L.D.O.R., Cunha, A.M.C. *et al*. (2021). Histórico, Avaliação, Oportunidades e Desafios do Manejo Integrado do Fogo nas Terras Indígenas Brasileiras. *Biodiversidade Brasileira - BioBrasil* (2), 75-98. https://revistaeletronica.icmbio.gov.br/BioBR/article/view/1742

108. Government of Brazil (2021). Ibama contrata mais de 1,5 mil brigadistas, o equivalente a 89,8% do previsto no edital. 22 September 2021. https://www.gov.br/pt-br/noticias/meio-ambiente-e-clima/2021/09/ibama-contrata-mais-de-1-5-mil-brigadistas-o-equivalente-a-89-8-do-previsto-no-edital. Accessed 12 January 2022

109. Bello, O., Bustamante, A. and Pizarro, P. (2021). Planning for disaster risk reduction within the flamework of the 2030 Agenda for Sustainable Development. *Project Documents* (LC/TS.2020/108), Santiago, Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC). https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46639/1/S2000452_en.pdf

110. Douglas K. Bardsley, Thomas A.A. Prowse & Caren Siegfriedt (2019). Seeking knowledge of traditional Indigenous burning practices to inform regional bushfire management. *Local Environment* 24:8, 727-745, https://doi.org/10.1080/13549839.2019.1640667

111. Paveglio, T.B. (2021). From Checkers to Chess: Using Social Science Lessons to Advance Wildfire Adaptation Processes. *Journal of Forestry*, 119(6), 618-639. https://doi.org/10.1093/jofore/fvab028

112. United States of America, National Aeronautics and Space Administration. (2022). Fire Information for Resource Management System. https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/. Accessed 4 February 2022.

113. RedLaTIF (2021). Red Latinoamericana de Teledetección e Incendios Forestales. http://www.redlatif.org/en/. Accessed 10 December 2021.

114. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2021). Situação Atual, 9 December. https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/situacao-atual. Accessed 9 December 2021.

115. South Africa, Department of Forestry, Fisheries, and the Environment (2021). Working on Fire. https://www.dffe.gov.za/projectsprogrammes/workingonfire

116. AFAC (2018). Fire and Emergency Services and Climate Change. Position Version 1.0, 24 October 2018. https://www.afac.com.au/docs/default-source/doctrine/afac-position-fire-and-emergency-services-and-climate-change.pdf

117. Australia, Department of Home Affairs (2018). *National Disaster Risk Reduction Framework*. https://www.homeaffairs.gov.au/emergency/files/national-disaster-risk-reduction-framework.pdf

118. Westcott, R., Ronan, K., Bambrick, H. and Taylor, M. (2020). Natural hazards and adaptive response choices in a changing climate: Promoting bushfire preparedness and risk reduction decision-making. *Social Sciences & Humanities Open* 2(1), 100065. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2020.100065

119. Wunder, S., Calkin, D.E., Charlton, V., Feder, S., de Arano, I.M., Moore, P. *et al*. (2021). Resilient landscapes to prevent catastrophic forest fires: Socioeconomic insights towards a new paradigm. *Forest Policy and Economics* 128, 102458. http://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102458

120. Australian Institute for Disaster Resilience (2021). AIDR Service Statement 2021-2025 - Our approach. https://www.aidr.org.au/media/8807/aidr-approach-2021-25_2021-07-13_v11_digital.pdf

مراجع الصور

المناطق التي أحرقتها الحرائق في العقدين الماضيين

أنغولا

Catarino, S., Romeiras, M.M., Figueira, R., Aubard, V., Silva, J.M.N. and Pereira, J.M.C. (2020). Spatial and Temporal Trends of Burnt Area in Angola: Implications for Natural Vegetation and Protected Area Management. *Diversity*, 12, 307. https://doi.org/10.3390/d12080307

أستراليا

Canadell, J.G., Meyer, C.P., Cook, G.D., Dowdy, A., Briggs, P.R., Knauer, J. *et al.* (2021). Multi-decadal increase of forest burned area in Australia is linked to climate change. *Nature Communications* 12, 6921. https://doi.org/10.1038/s41467-021-27225-4

بوليفيا

Heyer, J.P., Power, M.J., Field, R.D. and van Marle, M.J. (2018). The impacts of recent drought and fire in lowland Bolivia on forest loss and regional smoke emissions. *Biogeosciences*. https://doi.org/10.5194/bg-2017-462

البرازيل

Le Stradic, S. and Buisson, E. (2021). Restoring savannas and tropical herbaceous ecosystems, Encyclopedia of the Environment: The Cerrado biome. https://www.encyclopedie-environnement.org/en/zoom/cerrado-/biome

Schmidt, I.B. and Eloy, L. (2020). Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management. *Flora* 268, 151613. https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151613

كندا

Veraverbeke, S., Rogers, B., Goulden, M., Jandt, R.R., Miller, C.E., Wiggins, E.B. *et al*. (2017) Lightning as a major driver of recent large fire years in North American boreal forests. *Nature Climate Change* 7, 529–534. https://doi.org/10.1038/nclimate3329

تشيلي

McWethy, D.B., Pauchard, A., Garcı´a, R.A., Holz, A., Gonza´lez, M.E., Veblen, T.T. *et al*. (2018) Landscape drivers of recent fire activity (2001-2017) in south-central Chile. *PLoS ONE* 13(8):e0201195. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201195

المكسيك

Zúñiga-Vásquez, J.M., Cisneros-González, D. and Pompa-García, M. (2017). Drought regulates the burned forest areas in Mexico: the case of 2011, a record year. *Geocarto International* 34, 1–14. https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1415986

باراغواي

Chen, Y., Morton, D.C., Jin, Y., Collatz, G.J., Kasibhatla, P.S., van der Werf, G.R. *et al*. (2013). Long-term trends and interannual variability of forest, savanna and agricultural fires in South America. *Carbon Management*, 4(6), 617-638. https://doi.org/10.4155/cmt.13.61

روسيا 2003

Forkel, M., Thonicke, K., Beer, C., Cramer, W., Bartalev, S. and Schmullius, C. (2012). Extreme fire events are related to previous-year surface moisture conditions in permafrost-underlain larch forests of Siberia. *Environmental Research Letters*, 7(4), 044021. https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/044021

Ponomarev E.I., Kharuk, V.I. and Ranson, K.J. (2016). Wildfires Dynamics in Siberian Larch Forests. *Forests*, 7(6), 125. https://doi.org/10.3390/f7060125

ماذا يُقصَد بحرائق الغابات؟

38. UNEP and GRID-Arendal (2021).

حرائق الغابات والنظم الإيكولوجية

36. Bond and Keane (2017).

Keane R.E. (2019). Fire Ecology. In: Manzello S. (eds) Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_254-1

أنواع حرائق الغابات

Keeley, J. E. (2012). Ecology and evolution of pine life histories. *Annals of Forest Science* 69, 445–453. https://doi.org/10.1007/s13595-012-0201-8

Pyne, S. (2010). The Ecology of Fire. *Nature Education Knowledge* 3(10):30. https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/the-ecology-of-fire-13259892/

Xanthopoulos G. and Athanasiou, M. (2020). Crown Fire. In: Manzello S.L. (eds) Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52090-2_13

النباتات المعتمدة على الحرائق

36. Bond and Keane (2017)

Keeley, J. E. (2012). Ecology and evolution of pine life histories. *Annals of Forest Science* 69, 445–453. https://doi.org/10.1007/s13595-012-0201-8

Keeley, J.E. and Fotheringham, C.J. (2000). Role of fire in regeneration from seed. In Fenner, M. (ed.), Seeds: the ecology of regeneration in plant communities. Chapter 13. CAB International. http://dx.doi.org/10.1079/9780851994321.0000

الأماكن التي تشتعل فيها الحرائق

15. Andela *et al*. (2019)

Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D.P., Humber, M.L. and Justice, C.O. (2018). The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. *Remote Sensing of Environment*, 217, 72-85. https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005

نظم الحرائق آخذة في التغيير

نظم الحرائق الآخذة في التغيير في المناطق الأحيائية المختارة وتغير استخدام الأراضي

35. Bowman *et al*. (2011)

36. Bond and Keane (2017)

42. Bowman *et al*. (2020)

Shlisky, A. (2007). Fire, ecosystems and people: Threats and strategies for global biodiversity conservation. Wildfire conference 2007, Seville, Spain. https://www.researchgate.net/publication/259657820

MapBiomas Project (2020). Collection 6 of the Annual Series of Land Use and Land Cover Maps of Brazil, 16 August. https://mapbiomas.org/infograficos-1?cama_set_language=en. Accessed 1 December 2021.

Souza, C.M. Jr., Shimbo, Z.J., Rosa, M.R., Parente, L.L., Alencar, A.A., Rudorff, B.F.T. *et al*. (2020). Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing* 12(17), 2735. https://doi.org/10.3390/rs12172735

NASA Earth Observatory (2022). What's behind California's surge of large fires? https://earthobservatory.nasa.gov/images/148908/whats-behind-californias-surge-of-large-fires

الحرائق والأنواع الغازية

44. Fusco et al. (2019)

Halofsky, J.E., Peterson, D.L. and Harvey, B.J. (2020). Changing wildfire, changing forests: the effects of climate change on fire regimes and vegetation in the Pacific Northwest, USA. *Fire Ecology*, 16, 4 https://doi.org/10.1186/s42408-019-0062-8

Hamilton, N.P., Yelenik, S.G., Durboraw, T.D., Cox, R.D. and Gill, N.S. (2021). Understanding Grass Invasion, Fire Severity, and *Acacia koa* Regeneration for Forest Restoration in Hawai'i Volcanoes National Park. *Land* 10, 962. https://doi.org/10.3390/land10090962

Pausas, J.G. and Keeley, J.E. (2014). Abrupt Climate-Independent Fire Regime Changes. *Ecosystems* 17, 1109–1120. https://doi.org/10.1007/s10021-014-9773-5

تغير المناخ:
أصبح طقس الحرائق أكثر تطرفاً

36. Bond and Keane (2017)

42. Bowman *et al*. (2020)

Keeley, J.E. and Syphard, A.D. (2016). Climate Change and Future Fire Regimes: Examples from California. *Geosciences*, 6(3):37. https://doi.org/10.3390/geosciences6030037

Rogers, B.M., Balch, J.K., Goetz, S.J., Lehmann, C.E.R. and Turetsky, M. (2020). Focus on changing fire regimes: interactions with climate, ecosystems, and society. *Environmental Research Letters*, 15(3), p.030201. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6d3a

اشتعال البرق

36. Bond and Keane (2017)

42. Bowman *et al*. (2020)

Kharuk, V.I., Ponomarev, E.I., Ivanova, G.A. Dvinskaya, M.L., Coogan, S.C.P. and Flannigan, M.D. (2021). Wildfires in the Siberian taiga. Ambio. https://doi.org/10.1007/s13280-020-01490-x

Veraverbeke, S., Rogers, B., Goulden, M., Jandt, R.R., Miller, C.E., Wiggins, E.B. *et al*. (2017). Lightning as a major driver of recent large fire years in North American boreal forests. *Nature Climate Change* 7, 529–534. https://doi.org/10.1038/nclimate3329

العواصف الرعدية الناتجة عن الحرائق

Australia, National Environmental Science Programme (2020). Fire-generated thunderstorms and climate change in Australia. https://nespclimate.com.au/wp-content/uploads/2021/05/ESCC_Fire-Generated-Thunderstorms_Brochure.pdf

آثار حرائق الغابات البالغة الشدة على النظام الأرضي

تلوث الغلاف الجوي

Lapere, R., Mailler, S. and Menut, L. (2021). The 2017 Mega-Fires in Central Chile: Impacts on Regional Atmospheric Composition and Meteorology Assessed from Satellite Data and Chemistry-Transport Modeling. *Atmosphere* 12, 344. https://doi.org/10.3390/atmos12030344

الألبيدو المتغير

42. Bowman *et al*. (2020)

de Magalhães, N., Evangelista, H., Condom, T., Rabatel, A. and Ginot, P. (2019). Amazonian biomass burning enhances tropical Andean glaciers melting. *Scientific Reports*, 9(1), 1-12. https://doi.org/10.1038/s41598-019-53284-1

تحول بالوعة الكربون إلى مصدر للكربون

42. Bowman *et al*. (2020)

تلوث المياه

Bladon, K.D., Emelko, M.B., Silins, U. and Stone, M. (2014). Wildfire and the future of water supply. *International Journal of Environmental Science and Technology* 48(16), 8936–8943. https://doi.org/10.1021/es500130g

Hauer, F.R. and Spencer, C.N. (1998). Phosphorus and nitrogen dynamics in streams associated with wildfire: a study of immediate and longterm effects. *International Journal of Wildland Fire* 8(4), 183-198. https://doi.org/10.1071/WF9980183

Yu, M., Bishop, T.F. and Van Ogtrop, F.F. (2019). Assessment of the decadal impact of wildfire on water quality in forested catchments. *Water* 11(3) 533. https://doi.org/10.3390/w11030533

التحات

Bladon, K.D., Emelko, M.B., Silins, U. and Stone, M. (2014). Wildfire and the future of water supply. *International Journal of Environmental Science and Technology* 48(16), 8936–8943. https:/doi.org/10.1021/es500130g

إخصاب المحيطات

Tang, W., Llort, J., Weis, J., Perron, M.M.G., Basart, S., Li, Z. *et al*. (2021). Widespread phytoplankton blooms triggered by 2019–2020 Australian wildfires. *Nature*, 597(7876), 370–375. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03805-8

فقدان التنوع البيولوجي

Halofsky, J.E., Peterson, D.L. and Harvey, B.J. (2020). Changing wildfire, changing forests: the effects of climate change on fire regimes and vegetation in the Pacific Northwest, USA. *Fire Ecology* 16(4), 1-26. https://doi.org/10.1186/s42408-019-0062-8

الأنواع المعرضة للخطر المترتب على تغير نظم الحرائق

Kelly, L.T., Giljohann, K.M., Duane, A., Aquilué, N., Archibald, S., Batllori, E. *et al*. (2020). Fire and biodiversity in the Anthropocene. *Science*, 370(6519). https://doi.org/10.1126/science.abb0355

الفينولوجيا

تغيُّر المناخ يغير إيقاع الطبيعة

المؤلف

مارسيل إي فيسر، قسم الإيكولوجيا الحيوانية، معهد هولندا للإيكولوجيا (NIOO-KNAW)، واغينينغين، هولندا

المراجعون

إلسا كليلاند، شعبة العلوم البيولوجية، جامعة كاليفورنيا، سان دييغو، الولايات المتحدة الأمريكية
غاري تابور، مركز المحافظة على المساحات الشاسعة، مونتانا، الولايات المتحدة الأمريكية
غيثا راماسوامي، مؤسسة الحفاظ على الطبيعة، بنغالور، الهند
جان فان غيلز، المعهد الملكي الهولندي لبحوث البحار، ('t Horntje)، هولندا
كيلي أورتيغا-سيسنيروس، قسم العلوم البيولوجية، جامعة كيب تاون، جنوب أفريقيا
لينور باتريشيا سيرديرا مريلاتو، قسم علوم النبات،
جامعة ولاية ساو باولو، ساو باولو، البرازيل
ريبيكا أش، قسم البيولوجيا، جامعة إيست كارولاينا، الولايات المتحدة الأمريكية
شوكو ساكاي، مركز البحوث الإيكولوجية، جامعة كيوتو، اليابان
يان فيتاس، المعهد السويسري الفيدرالي للبحوث (WSL)، بيرمنزدورف، سويسرا

1- تناغُم النُّظم الإيكولوجية يعتمد كُلياً على التوقيت

التوقيت عنصر حاسم في العالم الطبيعي؛ إذ يجب أن تفقس فراخ الطير والغذاء متوفر لها، ويجب أن تنشط المُلَقِّحات عندما تزهر نباتاتها المضيفة، ويجب أن تغير أرانب الثلج لونها من الأبيض إلى البني مع اختفاء الثلج. هنا يبرز علم الفينولوجيا للنظر في توقيت حدوث المراحل التي تتألف منها دورة الحياة، مدفوعةً بالقوى البيئية، وفي كيفية استجابة الأنواع المتفاعلة مع التغييرات في النُّظم الإيكولوجية من حيث التوقيت. [1,2] وغالباً ما تستعين النباتات والحيوانات بعوامل الحرارة وطول اليوم وهطول المطر وغيرها من التغيُّرات المادية بوصفها دلائل على حلول المرحلة التالية من دورتها الموسمية. غير أن وصول الربيع في موعد مبكر يعني تجاوب كثير من الطيور معه بتعجيل التكاثر لمواكبة الظهور المعجَّل لغذاء فراخها مع ارتفاع درجات الحرارة. ولما كانت الحرارة ذات تأثير قوي في تلك الدلائل، فإنَّ التحولات الفينولوجية على مدار العقود الماضية أصبحت من أبرز تبعات تغيُّر المناخ عالمياً، أو في المناطق القطبية المعتدلة الحرارة من عالمنا على الأقل.

وليست درجة الحرار المتغير البيئي الأوحد المؤثر في الفينولوجيات؛ فعند مناطق خطوط الطول الأعلى يوجد متغير آخر حاسم هو "الفترة الضوئية" (أو "طول النهار")، وهي فترة تتغير في أوقات مختلفة من العام. [3-5] وفي حين لا يتأثر طول النهار نفسه بتغيُّر المناخ، تتوقف درجة تأثير درجة الحرارة في الفينولوجيا على ذلك: ففي بعض النُّظم تكون ارتفاعات درجات الحرارة دليلاً على بدء المرحلة التالية خلال فترة النهار الطويلة، دون القصيرة. [3,6,7] وفي مناطق خطوط الطول العليا، تحتاج بعض النباتات والحشرات أيضاً إلى نفحة من انخفاض درجات الحرارة تُسمى "برد الشتاء" حتى يتسنى لها التجاوب جيداً مع درجات الحرارة الأعلى عندما تأتي. [8-10] كما أن بعض الأنواع تعتمد على الحرائق للاستدلال على مراحل دورة الحياة، كما هي الحال في انطلاق البذور المستحث بالحرائق من الأقماع النباتية وإنبات البذور. [11,12] ومن الأمثلة المائية في هذا الصدد تأثير المطر في تصريف الأنهار الذي يؤثر بدوره في توقيت هجرة الأسماك ومدة هجرتها، إلى جانب عوامل درجة حرارة الماء والفترة الضوئية. [13-15]

ومن ثم، فإنَّ فهم الفينولوجيا في المناطق الاستوائية أعقد حقاً من المناطق ذات الدورات السنوية الموسمية الصريحة، ومَرَدّ ذلك إلى قلة التباينات في درجات الحرارة وطول النهار، [16-18] علماً بأنَّ الأنواع الاستوائية تُبدي استراتيجيات فينولوجية، وقد تضم أفراداً غير متناغمة ضمن سرب أو قطيع، فضلاً عن دورات قد تقل عن 12 شهراً. وثمة عوامل مختلفة -من بينها المطر والجفاف والرطوبة والتعرض المفرط لضوء الشمس- قد تؤدي إلى المرحلة التالية من دورة الحياة في المناطق الاستوائية. [17-21]

من المخاوف الكبرى إزاء التغيُّرات الفينولوجية على سبيل الاستجابة لتغيُّر المناخ أن الأنواع المترابطة في نظام إيكولوجي معين لا تتحول كلها إلى اتجاه واحد أو وفق معدل واحد. [16,22-26] وسبب التباين في التحولات هو أن كل كائن يحمل حساسية لعوامل بيئية مختلفة أو يبدى مستويات مختلفة من الحساسية تجاه محرك بيئي معين. [5,17,27,28] وفي ما يتعلق بسلاسل الغذاء نجد أن النباتات قد تحول نموها بوتيرة أسرع من الحيوانات التي تتغذى عليها، وهو ما قد يفضي إلى تنافرات فينولوجية. أجريت دراسات دقيقة على مراحل متنوعة من دورات الحياة لمجموعة كبيرة من الأنواع النباتية والحيوانية، وكشفت عن تنافرات فينولوجية مهمة. [16,22,30-34] وتلك التنافرات بين المفترس ومصدر الطعام ضمن شبكة الغذاء من شأنها التأثير في نمو الأفراد ومعدلات التكاثر والبقاء، وسيكون لذلك تبعات في النهاية على كامل التجمعات الحيوانية والنُّظم الإيكولوجية.

حقوق الصورة: كتاب مايرز ليكسيكون من 1908، ونيكو / Shutterstock.com

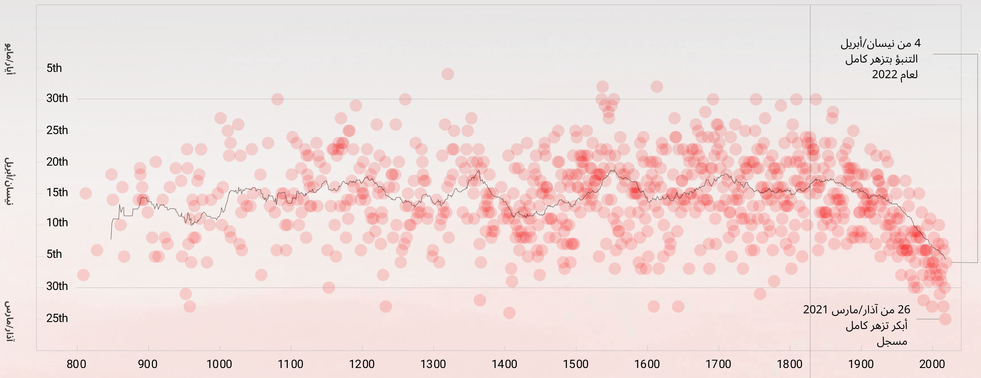
الفينولوجيا في المناطق الاستوائية

من السمات الرئيسة لأنواع المناخ الاستوائي انعدام التباينات الموسمية الكبيرة في درجات الحرارة. [18] وفي المقابل، نجد أن التغيرات في معدلات هطول الأمطار والتقلب بين مواسم الجفاف والرطوبة تحدد المراحل التي تتألف منها الدورات السنوية للحياة في المناطق الاستوائية. [16,18] أما وتيرة هطول المطر وشدته، أو حتى غيابه، فهي محرك بالغ الأهمية في التغيُّرات الفينولوجية لدى النباتات الاستوائية – ومثلها في ذلك ضوء الشمس والرطوبة والتغيُّرات الطفيفة في درجات الحرارة. [16-21] وبالنظر إلى التنوع الكبير في الأنواع الحية بالنُّظم الإيكولوجية الاستوائية، فإنَّ الاستجابات الفينولوجية لتلك المحركات متنوعة ومعقدة، وهذه حقيقة ماثلة حتى داخل الأنواع والتجمعات. [19,35]

تتأثر أنماط هطول المطر في المناطق الاستوائية تأثراً شديداً بظاهرة التذبذب الجنوبي (النينو / لا نينا)، وهي ظاهرة من خواصها الأطوار الدافئة والباردة المتبدلة لدرجة حرارة سطح البحر في المنطقة الاستوائية من المحيط الهادئ. و[36]تحدث تلك التشوهات كل عامين إلى سبعة أعوام، وتستمر في المعتاد لنحو 9 أو 12 شهراً. [36]وتستجيب تجمعات النباتات الاستوائية لظاهرة "النينو" للتذبذب الاستوائي – ومن أوجه ذلك الإزهار الجماعي المستحث بظاهرة النينو أو الإثمار المتأثر بالجفاف.[17,18,20,37] ومن المرجح أن تتسبب كثرة حدوث أحوال الطقس القاسية وازدياد حدتها (بفعل التذبذب الجنوبي وتغيُّر المناخ) في إحداث مزيد من الاضطراب في توقيت التوريق والإزهار وإنتاج الثمار. [17,18] وسيكون لتلك التغيرات الفينولوجية تأثيرات متتالية في آكلات الأعشاب وآكلات الرحيق وآكلات الفواكه، وكذلك في المجموعات الوظيفية الأخرى ضمن النُّظم الإيكولوجية. [17,19] ومع ذلك، فالثابت أن عمليات الرصد الطويلة الأمد للتغيُّر الفينولوجي في المناطق الاستوائية ما زال نادراً، ويظل التنبؤ بحجم التحولات والتنافرات الفينولوجية تحدياً قائماً. [18]

تزهر براعم الكرز على مدار 1200 عام

خط الاتجاه يوازي متوسط الحركة في 50 عاماً



وقد تقدمت مواعيد الإزهار عن ذلك منذ العقد البادئ في 1830، وتصادف ذلك مع ارتفاع درجات الحرارة استناداً إلى بيانات الأرصاد الجوية، وذلك مع القضاء على التأثيرات التحيزية للحرارة بالمناطق الحضرية. [41,42]

تزهّر براعم الكرز (المعروف علمياً باسم *Prunus jamasakura*) يدلل على مجيء الربيع في اليابان؛ ولهذه النبتة حضور محوري في الثقافة اليابانية. أمكن تتبع الاحتفال بإزهار براعم الكرز إلى سنة 712 قبل الميلاد تقريباً. [38] وقد وُثِّقَت المتابعات الفينولوجية في كيوتو توثيقاً تاريخياً في يوميات وسرديات قديمة. [39-41] وتمكن الباحثون من جمع سلسلة من البيانات الفينولوجية لتواريخ الإزهار الكامل لبراعم الكرز من تلك الوثائق التي يعود تاريخها إلى العام 812 قبل الميلاد تقريباً. [39-41]

ظلت بداية تواريخ الإزهار الكامل في آذار/مارس، ةوإن تأخرت، ففي أوائل أيار/مايو؛ وذلك على مدار 1200 عام.

مصدر البيانات:
البيانات التاريخية إهداء من الدكتور ياسويوكي أونو، جامعة أوساكا بريفيكتشر، اليابان؛ وهي متاحة عبر الرابط
http://atmenv.envi.osakafu-u.ac.jp/aono/kyophenotemp4/

البيانات من عام 1950 إهداء من وكالة الأرصاد الجوية اليابانية، وهي متاحة عبر الرابط http://www.data.jma.go.jp/sakura/data/index.html

2- الخلل في تناغُم النُّظم الإيكولوجية

التحولات الفينولوجية الناجمة عن تغيُّر المناخ هي تحولات مرصودة عبر مراحل متنوعة: التكاثر، والإزهار، والتوريق، وبداية تشكّل اليرقات، وطرح الريش، والإبسات، والهجرة، وغيرها من المراحل. تتوارد البيانات المؤيِّدَة من دراسات تقارن بين التحولات الفينولوجية في مجموعات كبيرة من الأنواع الحية – النباتات والحشرات والأسماك والبرمائيات والطيور والثدييات؛ وكلها أنواع طالتها أحداث فينولوجية مسجلة على مدى طويل كما أثبتته عمليات الرصد والمتابعة في كلا شطري العالم.[16,23,29-33,43-51] كذلك تتبع الباحثون احتمالات متزايدة للتنافر الفينولوجي في مناطق متعددة، ومن ذلك ما يُستقى من 10 آلاف مجموعة بيانات عن نباتات وحيوانات في المملكة المتحدة والأنواع البرية في منطقة الألب، وأكثر من 1200 سلسلة زمنية للاتجاهات الفينولوجية في شطر الكوكب الجنوبي، والأنواع المائية في محيطات مختلفة؛ وغيرها.[16,19,23,32,43,51]

رصد التحولات، واقتفاء الاتجاهات

نشر باحثون في مطلع العقد الأول من القرن الحالي بعض تقييمات رائدة واسعة النطاق لتحولات فينولوجية أصبحت بدورها نماذج لعمل مستمر.[22,29,30] ويكشف الجمع بين قواعد البيانات الخاصة بتلك التقييمات عن أن مراحل الحياة لعدد 203 نبتة ونوع حيواني قد شهدت تبكيراً بنحو 2.8 يوماً في العقد الواحد.[30] ومنذ ذلك الحين، خضعت نظم إيكولوجية ومناطق بيولوجية إضافية للتقييم من أجل الوقوف على الاتجاهات الفينولوجية فيها. ويشير العرض البياني أدناه إلى التحولات الفينولوجية المرصودة ضمن مجموعات مصنفة إثر تتبعها في تقييمات حديثة.[31-33,49]

تمثل كل دائرة معدلاً محدداً تحديداً كمياً للاستجابة الفينولوجية لدى أنواع معينة وهي تغيّر مرحلة من مراحل دورة الحياة عبر التبكير أو التأخير بعدد من الأيام في كل عِقد. تظهر الدوائر متداخلة عندما يُحْدِث نوع أو أكثر ضمن الفئة التصنيفية نفسها تحولاً بمعدلات متماثلة.

انظر صفحة 57 لمطالعة المراجع كاملة.

تكشف الدراسات المعنية بالطيور عن أدلة دامغة على حدوث تنافرات تؤثر في نجاح الاستنسال. ذلك بأن أنواعاً مثل صائد الذباب الأرقط (طائر اسمه العلمي *Ficedula hypoleuca*) والعصافير الكبيرة (اسمها العلمي *Parus major*) لا بد لفراخها من الفقس أثناء وجود الإمداد الغذائي الطبيعي الأوفر من اليرقات.[52-55] لكن ذروة الوفرة من هذا الإمداد الغذائي الطبيعي قصيرة الأمد، إذ تحدث خلال أسبوعين فقط – ما يعني الأهمية الحاسمة لانضباط التوقيت. وهناك طيور أخرى مثل المور الشائع (اسمه العلمي *Uria aalge*) لا بد لها من ضبط توقيت تكاثرها ضبطاً دقيقاً مع الهجرة البحرية لغذائها الأهم – أي أسماك التغذية الصغيرة.[56]

أي أن الدورة السنوية للأنواع تقتضي التزامن والتناغم بين مختلف مراحل الحياة. فبالنسبة إلى الأنواع المهاجرة، تنطوي الدورات السنوية على مراحل الانتقال إلى أراضي الاستنسال، والتكاثر، وطرح الريش، والعودة إلى أراضي المشاتي. كما أن بعض مراحل دورة الحياة -مثل التكاثر- حساسة للغاية لدرجات الحرارة. ومع ارتفاع درجات الحرارة، يحدث التحول الفينولوجي التناسلي؛ فيما تتسم مراحل أخرى (مثل طرح الريش) بدرجة أعلى من الحساسية تجاه فترات النهار، ما يعني عدم الحدوث المتزامن.[57,58]

تختلف الاستجابات الفينولوجية فيما بين النُّظم الإيكولوجية البحرية والدورات الموسمية، وهذه الاختلافات تؤدي إلى تنافرات بين الأنواع الحية وبين فصائل الأحياء في شبكة الغذاء.[31,32,43,59] وتفيد البحوث بأن الاستجابات الفينولوجية لتغيُّر المناخ تحدث بوتيرة أسرع في البيئات البحرية منها في البيئات البرية.[31,32] علماً بأن مختلف الفصائل البحرية -من العوالق حتى المفترسات العالية الرتبة- كلها تغير خصائصها الفينولوجية بمعدلات مختلفة؛ ما يؤكد أن تغيُّر المناخ قد يتسبب في تنافرات في كل تجمعات الأحياء المحيطية أيضاً.[31,32,60,61]

من الوارد أن تؤثر الاختلافات -على صعيد معدلات الاستجابات الفينولوجية للاحترار في النُّظم الإيكولوجية البرية والمائية العذبة والبحرية- في الأنواع التي تعتمد على النُّظم الإيكولوجية المختلفة في نهاية المطاف، وذلك من حيث استضافة الأنشطة الفينولوجية الانتقالية صوب المرحلة المقبلة من دورة الحياة. ومن الأمثلة الأخرى الأسماك التي تهاجر بين نُظُم إيكولوجية بحرية وعذبة، وكذلك الكثير من الحشرات والبرمائيات والطيور التي لها مراحل دورات حياة في النُّظم الإيكولوجية البرية والمائية على السواء.[24,62-64] وعلى ذلك، فإنَّ التنافر في التحولات الفينولوجية من شأنه الإفضاء إلى انقطاعات واسعة الانتشار في شبكة الغذاء، وإلى تبعات إيكولوجية.[26]

وفي حين أن الاستجابات الفينولوجية لتغيُّر المناخ موثقة توثيقاً جيداً، تظل التساؤلات قائمة بشأن ارتباطاتها بالتجمعات الأحيائية والتبعات الواقعة على النُّظم الإيكولوجية، وهي تساؤلات تقتضي اهتماماً أكبر.[34,51] وفي القطب الشمالي، وتحديداً بعد ذوبان الجليد، انتشر الغطاء النباتي الذي تعتمد عليه أمهات الوعل (اسمها العلمي *Rangifer tarandus*) وسخالها انتشاراً كبيراً بسبب ارتفاع درجات الحرارة. غير أن سخال الوعل أصبحت تولد في مواعيد متأخرة للغاية، وهو ما يؤدي إلى انخفاض بنسبة 75 في المائة في النسل. أما بالنسبة إلى ظبي الرو[65] (اسمه العلمي*Capreolus capreolus*) فإنَّ ازدياد التنافر بين تاريخ الميلاد وتوافر الغذاء يقلص أيضاً من فرص نجاة السخال.[66]

إنَّ التغيُّرات اللاتزامنية في الخصائص الفينولوجية لمجموعة كبيرة من الأنواع المترابطة لهي تغييرات كفيلة بإحداث اضطراب في أداء نُظُم إيكولوجية كاملة وفي توفير خدمات النُّظم الإيكولوجية التي تعتمد عليها النُّظم البشرية.[34,61] وللتحولات في فينولوجيا الأنواع البحرية ذات الأهمية التجارية وفي غذائها تبعات كبيرة بالنسبة إلى مختلف جوانب المصايد.[47,67-69] وستنطوي الاستجابات الفينولوجية في المحاصيل للاختلافات الموسمية على تحديات تتعلق بإنتاج الغذاء، وذلك في ظل تغيُّر المناخ. فمثلاً: تسفر أشجار الفاكهة التي تزهر مبكراً ثم تمر بتجمدات أواخر الموسم عن خسائر اقتصادية ضخمة في البساتين.[70] كما أن التحولات الفينولوجية باتت تتسبب في تعقيد التكيُّف الزراعي مع تغيُّر المناخ في المحاصيل الكبرى حول العالم.[71]

طيور جائعة ويرقات مبكرة

من الأمثلة القديمة المعروفة للتنافر الفينولوجي هو ما يحدث بين العصفور الكبير (المعروف علمياً باسم *Parus major*) وغذائه المتمثل في اليرقات.[54,55] ويعيش هذا الطائر الصغير المغرد ذو العش الثقبي في آسيا وأوروبا، وينتج فراخاً كبيرة على خلاف المعتاد. تضطر الأمهات والآباء إلى توفير كميات ضخمة من الغذاء لتسريع نمو الصغار خلال 18 يوماً هي قوام مدة النمو. وربما وفرت الطيور البالغة اليرقات بمعدل يرقة كل دقيقة خلال تلك الفترة.[72] وحرصاً على تدبير هذا المستوى من الإمداد الغذائي، فإنَّ الطيور تستعين بدرجات الحرارة بوصفها دليلاً على توقيت التناسل حتى تفقس الفراخ في ذروة توافر اليرقات على أشجار البلوط. وفي مواسم مماثلة نجد أن فقس بيض اليرقات موقوت مع ظهور البراعم الورقية لأشجار البلوط.[73]

وتفيد الملحوظات الميدانية بوجد استجابات فينولوجية متغيرة في هذين النوعين المترابطين في مواقع مختلفة.[54,55,74,75] وقد عجّل تجمّع العصفور الكبير في هولندا بموعد وضع البيض استجابةً منه لاتجاهات الاحترار، غير أن التحول غير كافٍ لمواكبة وقت الذروة لفقس اليرقات.[54,55,74] وتفيد التوقعات بأن فينولوجيات اليرقات ستواصل التقدم بوتيرة أسرع من الطيور خلال العقود المقبلة، وهو ما يزيد من حدة التنافر القائم.[76] في المقابل، انتهت دراسة استمرت لنحو 47 عاماً على تلك التجمعات في المملكة المتحدة إلى أن كلاً من الطيور واليرقات تغيرت توقيتهما بمعدل يكاد يكون متطابقاً، وهو يبقي على التزامن في التفاعل.[75] وثمة نتائج مماثلة مسجلة في بلجيكا وجمهورية التشيك.[77,78] وتوضح تلك النتائج مدى التعقيد في الاستجابات الفينولوجية بين الأنواع الحية وتجمعاتها في البيئات المختلفة.[27,80]

رحلات مذهلة:
تحدي الهجرة السيئة التوقيت

الهجرة هي التأقلم السلوكي مع الموسمية.[81] علماً بأن التحركات الدورية للحيوانات بين الموائل تتيح لها تحسين الموارد في مواقع متعددة في أوقات مختلفة من العام. والهجرة ضرورية أيضاً عندما تصبح درجة حرارة الهواء أو الماء غير مواتية للاستنسال أو لتربية النسل. لذلك، نجد أن معظم الأنواع المهاجرة هي من المناطق ذات دوائر العرض العليا التي تحوي أظهر التغيرات في المواسم وفي الموارد المتاحة. [81] لذا تلجأ أنواع مختلفة من الحشرات والفشريات والزواحف والأسماك والثدييات إلى الهجرة؛ وكثير منها يجتاز مسافات شاسعة. وبعض الأحياء الطيرية المهاجرة تبني أعشاشها في أعالي القطب الشمالي وتهرب من شتائه سوب دوائر عرض أدنى؛ فقصيلة الحوتيات تهاجر بين خط الاستواء ومناطق الغذاء القطبية؛ فيما تتبع الثدييات المهاجرة العاشبة التغيرات الموسمية في الغطاء النباتي بين القارات.[81,82]

الأحياء المهاجرة لمسافات طويلة معرضة بصفة خاصة لتغيُّر فينولوجي جراء تأثيرات احترار المناخ، وهي تأثيرات غير متسقة بين المناطق. ولم تعد الدلائل المناخية المحلية التي تؤدي إلى الهجرة في المعتاد قادرة على التنبؤ الدقيق بالظروف في الوجهة وفي مواقع التوقف العابر على طول مسار الهجرة. ويصبح التحدي أشد بالنسبة إلى الأحياء المهاجرة العائدة على مناطق قطبية تشهد أكبر معدلات تغيُّر المناخ من حيث التسارع والحجم.[83,84] وترتيباً على ذلك، فإنَّ كثيراً من الأحياء المهاجرة تناضل من أجل الوصول في فترات تتسم بوفرة الغذاء الجيد لها وبتناسب الطقس لمراحل محددة من دورة حياتها، أو تتسم بانخفاض معدلات الافتراس أو ضغوط التنافس، أو بقلة وجود الطفيليات ومسببات الأمراض.[34,81,85,86] وقد أدى التقدم في فينولوجيا الربيع في دوائر عرض عالية إلى ازدياد درجات التنافر الإيكولوجي للأنواع المهاجرة، وهو ما يعني وجود تبعات ديمغرافية محتملة.[81,86,87]

وقد أثبتت الأنواع قدرتها على تعديل سلوكها في الهجرة، بداية من تعديل توقيت الهجرة إلى تغيير المسارات والمواقع.[81,85,88,89] لكن القدرة التكيفية المستجابة لتغيُّر المناخ متضررة بالفعل من تهديدات أخرى مستمرة. غير أن التدهور الإيكولوجي ولجزئة الموائل وفقدان موائل الغذاء والتناسل والارتياح، والصيد، والتلوث، بالإضافة إلى الأخطار الأخرى على طول رحلات الهجرة، هي كلها عوامل تهديد للأنواع المهاجرة في ظل تزايد الضغوط للتأقلم مع التغيُّرات البيئية المتسارعة.[88,90]

إنَّ توفير ما يلزم لتعظيم القدرة التكيفية وبناء مقومات المرونة في تجمعات الأنواع الحية يقتضي تقليل التهديدات التقليدية وتعديل سياسات واستراتيجيات المحافظة القائمة بما يراعي مستجدات تغيُّر المناخ.[81,91] أما وجود شبكة موسعة من المواقع المتنوعة المهمة والموائل المحمية فمن شأنه تعظيم قدرات التكيُّف لدى الأنواع المهاجرة،[68] ومن اللازم أيضاً التحقق من ترابط الموائل البرية والبحرية وتعزيز ذلك الترابط حرصاً على الانتشار في الحاضر وفي المستقبل.[68,92] وسيُعين ترابط الموائل في الإبقاء على التنوع الوراثي التكيُّفي وقدرة التجمعات على الحياة، وهي قدرة لازمة حتى يُكتَب لها البقاء.

الطيور الأوروبية المهاجرة

تفيد تحليلات مواعيد الوصول الربيعي لدى 117 نوعاً من الطيور الأوروبية المهاجرة على مدار 5 عقود بتزايد مستويات التنافر الفينولوجي مع الأحداث الربيعية. وقد أسهم ذلك في انخفاض تجمعات بعض الأنواع المهاجرة، لا سيما التي تقضي شتاءها في أفريقيا جنوب الصحراء. [87]

اللقلق الأبيض *(الاسم العلمي Ciconia Ciconia)*

اللقلق الأبيض طائر مهاجر طويل العمر يقضي الشتاء في عموم أفريقيا. [93] يكيف هذا الطائر توقيت هجرته ليبكّر وصوله إلى أراضي الاستنسال في مختلف أنحاء أوروبا، ويحضن بيضه مبكراً تجنباً للتنافر مع توقيت الإمدادات الغذائية.

غير أن الاستنسال المبكريعرِّض الصغار لطوفس غير مواتية، مثل الرياح القوية والأمطار الشديدة. ومع توقعات الاشتداد في وتيرة أحوال الطقس القاسية بسبب تغيُّر المناخ، فقد تزيد معدلات موت صغار اللقلق الأبيض في المستقبل.[94,95]

الفراشة الملكية *(الاسم العلمي Danaus plexippus)*

تشتهر الفراشة الملكية الأمريكية الشمالية برحلتها البالغة 4300 كم بين أراضي الاستنسال الصيفية في جنوب كندا وشمال الولايات المتحدة؛ ومواقع المشتى في وسط المكسيك.[96]

غير أن تقاطُر طول النهار وانخفاض درجات الحرار في الخريف يدفعها إلى الطيران جنوباً. وقد كشفت تحليلات على مدار 29 عاماً عن تأخير تلك الفراشة هجرتها بنحو 6 أيام في كل عقد بسبب درجات الحرارة الأعلى من المعتاد. تقل احتمالات وصول الطيور المهاجرة في نهاية الموسم إلى مواقع قضاء الشتاء عن الطيور المبكرة بالهجرة في موسم الهجرة، ولعل ذلك يسبب مواجهة التنافرات في توافر الغذاء على طول الطريق.[97]

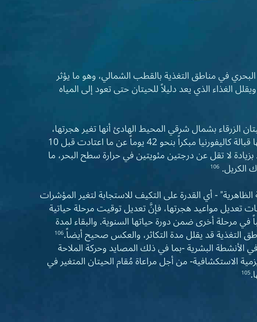
الإوز الأبيض الرأس *(الاسم العلمي Branta leucopsis)*

اعتادت أسراب الإوز الأبيض الرأس الهجرة من أرض المشتى على سواحل بحر الشمال إلى أراضي الاستنسال الربيعية في شمال روسيا وسفالبارد. وفي إطار تكيُّفه مع تغيرات المناخ، بدأ الإوز في الهجرة مبكراً تجنباً للتنافر مع مواعيد توافر الغذاء في وجهتها، علماً بأنها تميل إلى اجتياز مواقع الغذاء المؤقت من أجل تسريع رحلتها بطول بحر البلطيق. [98]وعلى الرغم من الوصول المبكر، فإنه يتعذر عليها وضع بيضها لحين بناء محميات كافية لإنتاج البيض. ولذلك، تفقس فراخها متأخرة، وغالباً ما يتعذر عليها النجاة.

السلاحف البحرية

استجابت مجموعة من السلاحف البحرية المهاجرة لارتفاع درجات حرارة مياه البحر بأن غيرت توقيت وضع البيض. ثبت أن السلاحف البحرية الضخمة الرأس (المعروفة علمياً باسم *Caretta caretta*) تبيض مبكراً، فيما أخرت السلاحف البحرية الجلدية الظهر (المعروفة علمياً باسم *Dermochelys coriacea*) موعد وضع البيض.[99,100]

غير أن التحولات المرصودة في فينولوجيا التعشيش ووضع البيض هي تحولات غير كافية على الأرجح لتتبع الظروف البيئية المتالية. [101] علماً بأن درجات حرارة الشواطئ أثناء الحضانة تؤثر في نجاح الفقس وتتدخل تدخلاً ماشراً في تحديد نوع الكائنات الفاقسة – فالإناث تأتي مع ارتفاع درجات الحرارة. وفي ظل التغيُّر المناخي المتسارع، سيكون لنجاح الفقس ولرجوح نسبة أحد النوعين في النسل تبعات في تجمعات السلاحف البحرية.



الحيتان البالينية

يهاجر معظم الحيتان البالينية هجرة موسمية بين مناطق تفريخ عند دوائر عرض منخفضة ومناطق تغذية عند دوائر عرض مرتفعة حيث يتسنى لها التغذي على التركيزات المرتفعة من سمك الكريل أو أسماك التغذية.[85,104,105]

والمعلوم عن كثير من الأنواع البالينية أنها تغير مواعيد هجرتها حسب توافر الغذاء. وعلى مدار 27 عاماً مضت، بكَّرت الحيتان ذات الزعانف والحيتان المحدبة وصولها بنحو يوم كل عام إلى مناطق الغذاء في خليج سان لورنس قبالة شرق كندا. ولعل السبب في ذلك هو الانفصال الجليدي المبكر وارتفاع درجة حرار سطح البحر، بما يؤدي إلى تزهر العوالق مبكراً والتأثير في وفرة الغذاء. [105] أما الكائنات المهاجرة لمسافات أقصر -مثل الحيتان ذات الزعانف- فقد تقلل الهجرة بسبب تغيُّرات درجات الحرارة وقلة الجليد البحري في الشتاء، غير أن الصعوبة تزيد على الكائنات المهاجرة لمسافات أطول -مثل الحيتان المحدبة- لضبط توقيت وصولها إلى حيث يتوافر الغذاء.[85]

منتزه غورغونا الوطني الطبيعي في كولومبيا هو منطقة مهمة للاستنسال والتفريخ بالنسبة إلى الحيتان المحدبة في جنوب شرقي المحيط الهادئ. غير أن وصولها تقدم بمعدل شهر واحد على مدار 3 عقود. والسبب الأرجح لذلك هو التغيُّرات الحاصلة في تكون الجليد البحري في مناطق التغذية بالقطب الشمالي، وهو ما يؤثر في توافر أسماك الكريل، وبقلل الغذاء الذي يعد دليلاً للحيتان حتى تعود إلى المياه الاستوائية.[105]

من المعلوم أيضاً عن الحيتان الزرقاء بشمال شرقي المحيط الهادئ أنها تغير هجرتها، إذ تصل إلى مناطق غذائها قبالة كاليفورنيا مبكرا بنحو 2ء يوماً عن ما اعتادت قبل 10 سنين. وهذا التغيُّر مرتبط بزيادة لا تقل عن درجتين مئويتين في حرارة سطح البحر، ما يعني قلة الوفرة من أسماك الكريل.[106]

على الرغم من أن "المرونة الظاهرية" - أي القدرة على التكيف للاستجابة لتغير المؤشرات البيئية – تتيح لتلك الكائنات تعديل مواعيد هجرتها، فإنَّ تعديل توقيت مرحلة حياتية لديها من شبَّاه التأثير سلباً في مرحلة أخرى ضمن دورة حياتها السنوية. والبقاء لمدة أطول من المعتاد في مناطق التغذية قد يقلل مدة التكاثر، والعكس صحيح أيضاً.[106] كذلك يلزم مراعاة التأقلم في الأنشطة البشرية -بما في ذلك المصايد وحركة الملاحة البحرية والاختبارات السابرمية الاستكشافية- من أجل مراعاة مُقام الحيتان المتغير في المناطق المحمية وخارجها.[105]

3- التطور نحو تزامنات جديدة

تعليل التنافرات المرصودة بتغيُّر المناخ رهن بإعداد بحوث طويلة الأمد في الخصائص الفينولوجية لتفاعل الأنواع الحية مع النُّظم الإيكولوجية. كما يلزم إجراء دراسات طويلة الأمد، لكن التحدي الأكبر يتمثل في إثبات الارتباط السببي. إنَّ تغيُّر المناخ قد يؤثر في درجات الحرارة وهطول الأمطار، غير أن عوامل أخرى قد تؤثر تأثيراً متزامناً في استجابات الأنواع الحية – مثل تغيُّر استخدامات الأراضي، والاستغلال المفرط للموارد، والأنواع المغيرة، وغيرها من عوامل الضغط الإيكولوجية. يمكن التعامل جزئياً مع عدم اليقين الذي يحف الارتباط السببي عبر تقليل المتغيرات لأدنى حد ممكن: رصد الاستجابات في المواقع المختلفة ومقارنة التجمعات في المناطق ذات الاحترار الزائد بنظيرتها في المناطق ذات الاحترار الأقل أو بعقد المقارنة بين فترات مختلفة، ومقارنة التجمعات في السنوات ذات درجات الحرارة المتزايدة بسرعة بنظيرتها في السنوات ذات الزيادة الأقل.[76,107] ذلك بأن تلك النُّهج تتيح تقديراً أوفى للأثر المحدد لزيادة درجة الحرارة في الفينولوجيا – على الرغم من أنها لا تحل مشكلات تنطوي على عوامل بيئية أخرى متأثرة بدرجة الحرارة. فمثلاً: تتغير أنماط الهطول في مناطق كثيرة تغيراً ضخماً مصحوبة بظروف مناخية متغيرة تتسبب في تغيير التوقيت والوتيرة والكثافة في مواسم الأمطار.[108,109] ومع تراكم البيانات، يدرك الباحثون أن اجتماع الآليات الفينولوجية – أي درجة الحرارة والفترة الضوئية والهطول، مثلا – قد يلزم فيه التماهي حتى يحدث المؤشر الفينولوجي.

إنَّ وجود تحويل فينولوجي قوي في تجمع أحيائي على سبيل الاستجابة لتغيُّر بيئي إنما يؤكد قدرة قطاع كبير من الأفراد على تغيير التوقيت في الاتجاه نفسه – وهذه ظاهرة تعرف باسم "المرونة الفينولوجية".[110] هنا تشير الأدلة التجريبية إلى أن هذه المرونة هي المصدر الرئيس للتحولات الفينولوجية المرصودة المرتبطة بالمناخ.[111] غير أن مرونة الفرد أو التجمع الأحيائي قد لا تكفي لمواكبة التغيُّرات البيئية السريعة التي نشهدها.[112] كما أن الأنواع الحية تتطلب تغيُّراً وراثياً حتى تنجح في التكيف، وهذا أقرب للحدوث في الأنواع ذات الحقبة الجيلية القصيرة، مثل الحشرات، مقارنة بالأشجار التي تتوالد على مر عقود كاملة.[113] توجد أمثلة قليلة علي إمكانية رصد التغيُّر الوراثي (الحادث على سبيل الاستجابة للتغيُّر المناخي) بوصفه "تطوراً دقيقاً" – وهو حاصل بالأساس في الحشرات وبعض الطيور.[114,115] وبصفة عامة، تحدث التغيُّرات الوراثية بمعدل أبطأ بكثير من تغيُّر المناخ.

"التطور الفينولوجي الدقيق" هو عملية الانتقاء الطبيعي التي تشهد تسبب التغيُّرات الوراثية في تحويل فينولوجيا الأنواع تحويلاً يمكّنها من التأقلم بصورة أفضل مع تغيُّر المناخ – والأرجح أن هذه العملية تضطلع بدور مهم في تأقلم الأنواع والنُّظم الإيكولوجية مع فترات الاحترار السابقة. [113] ومع ذلك، وفي ظل التسارع المتزايد حالياً في معدل الاحترار (ربما بمُعامل 100)، فإنَّ التطور الدقيق سيحدث بوتيرة أبطأ بكثير من مواكبة المعدلات الحالية لتغيُّر المناخ. [116]

أما الجانب العملي فيكشف عن إمكانية اتخاذ تدابير لإدارة المحافظة والنُّظم الإيكولوجية بما يهيأ ظروفاً مواتيةً لحدوث التطور الدقيق. [117] ومن التدابير ما يراد به دعم التنوع الوراثي وتعزيزه في التجمعات الأحيائية – إذ يعد ذلك شرطاً مسبقاً حاسماً لحدوث التطور الدقيق والانتقاء الطبيعي. كما أن زيادة الترابط الإيكولوجي عبر ممرات الموائل من شأنه التمكين من توطّن النبات وتيسير حركة الأنواع الحيوانية ذات المادة الوراثية المستحدثة في نظام إيكولوجي معين، وهو ما يعزز التنوع الوراثي ويزيد فرص التكيُّف الناجح. [118]

صعب المنال

طائر الدريجة الحمراء (المعروف علمياً باسم *Calidris canutus*) طائر ساحلي متوسط الحجم من عائلة زمار الرمل. تتراجع أعداد هذا الطائر على مستوى العالم، وبات في عداد الأنواع شبه المهددة بالانقراض. تهاجر الأنواع الفرعية الستة من هذا الطائر لمسافات طويلة للغاية من مناطق التغذية بالقطب الشمالي إلى مناطق المشتى في قارات مختلفة. [119]

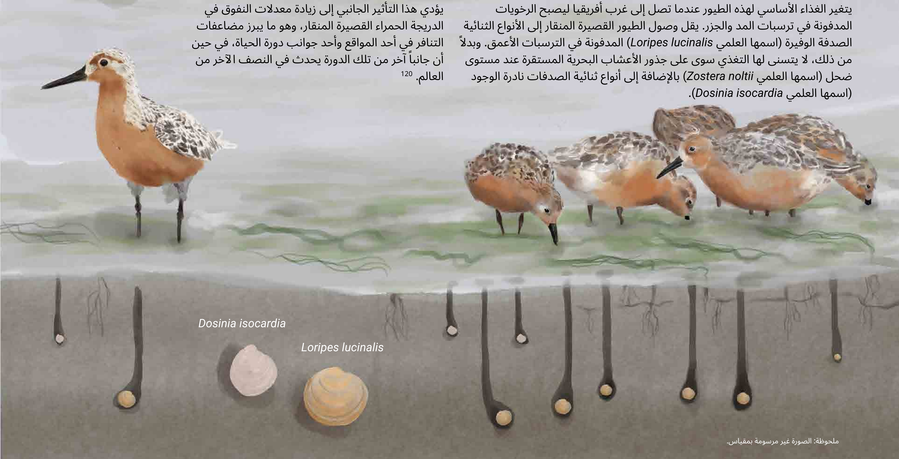
يتكاثر أحد أنواع هذا الطائر (معروف علمياً باسم *Calidris canutus canutus*) في وسط سيبيريا وشمالها، ويهاجر إلى مناطق أكثر دفئاً على طول ساح موريتانيا، خصوصاً منتزه بانك دوأرغوين الوطني. يبدأ هذا النوع في التزاوج ووضع البيض عندما يبدأ الجليد في الذوبان. تتغذي فراخ الدريجة الحمراء على الحشرات التي تظهر موسمياً إثر ذوبان تربة التندرا الصقيعية، وذلك استعداداً لرحلة طويلة إلى أفريقيا. [120]

تقدمت فترة ذوبان الجليد خلال العقود الثلاثة الماضية في أعالي القطب الشمالي بنحو نصف يوم كل عام، وهو أسفر عن ظهور مبكر ووفير للحشرات. يتسبب هذا التحول بفينولوجيا الحشرات في سلسلة من التبعات التي تلحق بالطائر في المراحل اللاحقة من الحياة. [120,121]

ونظراً لعدم تعديل الطيور فينولوجيا الاستنسال لديها فإنه يضيع على فراخها ذروة الوفرة في الغذاء؛ وسوء الموارد الغذائية يعني ضعف النمو، إذ تصبح صغار الدريجة الحمراء أصغر حجماً ومنقاراً خلال الأصياف ذات الذوبان المبكر للجليد. [120]

يتغير الغذاء الأساسي لهذه الطيور عندما تصل إلى غرب أفريقيا ليصبح الرخويات المدفونة في ترسبات المد والجزر. يقل وصول الطيور القصيرة المنقار إلى الأنواع الثنائية الصدفة الوفيرة (اسمها العلمي *Loripes lucinalis*) المدفونة في الترسبات الأعمق. وبدلاً من ذلك، لا يتسنى لها التغذي سوى على جذور الأعشاب البحرية المستقرة عند مستوى ضحل (اسمها العلمي *Zostera noltii*) بالإضافة إلى أنواع ثنائية الصدفات نادرة الوجود (اسمها العلمي *Dosinia isocardia*).

يؤدي هذا التأثير الجانبي إلى زيادة معدلات النفوق في الدريجة الحمراء القصيرة المنقار، وهو ما يبرز مضاعفات التنافر في أحد المواقع وأحد جوانب دورة الحياة، في حين أن جانباً آخر من تلك الدورة يحدث في النصف الآخر من العالم. [120]



ملحوظة: الصورة غير مرسومة بمقياس.

4- جسور صوب تناغمات جديدة

لا يمكن الوقوف على تحولات فينولوجية إلا مع واقع سجلات طويلة الأمد؛ علماً بأن من يقوم على جمع البيانات هم المؤسسات العلمية والجامعات والجمعيات والمنظمات غير الحكومية، وتجد مبادرات من قبيل الشبكة الفينولوجية الأفريقية، ومشروع TERN في أستراليا، ومبادرة SeasonWatch الهندية، والمفهوم الطبيعي بالمملكة المتحدة، وشبكة الفينولوجيا الوطنية الأمريكية؛ وكلها تضع مشاهدات وأعمال من موظفين من أجل تتبع النبات والحشرات والطيور والثدييات. وتتبع مجاميع البيانات الشاملة المعتمدة من تلك المبادرات للعمل والتوظيف على الأنواع والمواقع الأشد عرضة للخطر كما تتيح تلك المجاميع بيانات بخصوص تقديرات الفينولوجيا الدولية المعنية بتغاير المناخ (IPCC)، لتستند إليها الأهداف الحكومية لتقليل الاختزار العالمي وصولاً إلى الحدود المقررة في اتفاق باريس.[122]

الرصد الفينولوجي والعلوم التشاركية

دأب المزارعون والبستانيون ومحبو الطبيعة على تطبيق مفاهيمهم المتعلقة بالمراقبة الفينولوجية، وذلك على مدار قرون في شتى أنحاء العالم، كما تتيح الشبكات الإقليمية والمحلية للمشاركين تبادل المعارف والمشورة بشأن البيئات المتنوعة والنظم الإيكولوجية المتنوعة. وفي ظل وجود أدوات اتصال حديثة، أصبح رصد تطور النبات والحيوانات وتتبع تطورها نشاطاً شائعاً للتسلية في بلدان كثيرة.[123]

تضم الحدائق الفينولوجية النظامية مجموعة مختارة من النباتات لمتابعة استجابتها لعامل الظروف المحلية. ويتولى العلماء، المتطوعون مع الحدائق البيانية الوطنية والجهود الأخرى المستمرة منذ زمن، إنشاء مناطق داخل تلك الأنواع البانية لزراعة النباتات المختارة نفسها على امتداد مناطق مختلفة من حيث خطوط الطول وخواص العرض ومستويات الارتفاع مع جمع البيانات لمقارنة الاستجابات الفينولوجية بمرور الوقت. تتيح تلك النظم الواسعة النطاق لرصد سلوكيات النباتات مجموعات كبيرة من البيانات للباحثين حتى يتسنى وضع خط الأساس والاقتداء الاتجاهات تيسيراً لعملهم.[124]

تضم الحدائق الفينولوجية النظامية مجموعة مختارة من النباتات لمتابعة استجابتها لعامل الظروف المحلية. ويتولى العلماء، المتطوعون مع الحدائق البيانية الوطنية والجهود الأخرى المستمرة منذ زمن، إنشاء مناطق داخل تلك الأنواع البانية لزراعة النباتات المختارة نفسها على امتداد مناطق مختلفة من حيث خطوط الطول وخواص العرض ومستويات الارتفاع مع جمع البيانات لمقارنة الاستجابات الفينولوجية بمرور الوقت. تتيح تلك النظم الواسعة النطاق لرصد سلوكيات النباتات مجموعات كبيرة من البيانات للباحثين حتى يتسنى وضع خط الأساس والاقتداء الاتجاهات تيسيراً لعملهم.[124]

مختارات من مشاريع وأنشطة العلوم الفينولوجية التشاركية

التغطية العالمية

- Earthdive
- برنامج الرصد الفينولوجي العالمي
- بروتوكولات علم الفينولوجيا لبرنامج GLOBE
- التعداد الدولي لطيور المائية
- WorldBirds

التغطية الإقليمية

- شبكة الفينولوجيا الأفريقية
- e-Butterfly
- شبكة الحفاظ على الطيور الغنائية
- الحدائق الفينولوجية الدولية في أوروبا
- MonarchWatch
- مشروع فينولوجيا عموم أوروبا

التغطية الوطنية

- مركز المعلومات في ساوتي سيلفستر
- بد الشبكة الصينية لرصد الفينولوجي
- ClimateWatch، أستراليا.
- الهوم الحية البرية للمراقبين، أيرلندا
- Nature Today، هولندا
- NatureWatch، كندا
- Phaenomet، سويسرا
- PhenoRangers، سويسرا
- SeasonWatch، الهند
- شبكة التغاير البيئي في المملكة المتحدة
- الشبكة الوطنية للفينولوجيا بالولايات المتحدة الأمريكية

ودراسة التغيرات الفينولوجية والتكيفية لدى الأنواع الرئيسة بتنسي تحصيل أدلة بيولوجية داعمة- سق واقع البيانات المجموعة- على تغيرات المناخ والاستجابات التكيفية التي تبديها المجموعات المحلية التي تدعم جهود الرصد الطويل الأمد للحواف البيولوجية من المناخ.[125]

أما الحدائق الفينولوجية الأقل نظامية فهي أداة تثقيفية مهمة بأهمية التوقيت في دورات حياة الأنواع الحية. غير أنه يجب اتباع بروتوكولات معينة فيها حرصاً على جودة البيانات الخارجة منها. يتبع البرنامج العالمي للتعلم والمراقبة لصالح البيئة (برنامج جلوب) توجيهات زيادة الأدلة المدارس المشاركة في 125 بلداً[126] وتجد ثلاثة بلدة، يعكف البرنامج حالياً على مناهجه وبروتوكولاته وقواعد بياناته كي تشمل ملحوظات العلوم التشاركية (التي يجمعها مواطنون علميون).[127] وتدرج تلك الملحوظات التي تعتمد الفينولوجية بين رصد توارير الإزهار في الحدائق ورصد الملحوظات عن الأسراب المهاجرة من أجل التحقق من الحدود الوبائية والسائلية.[128] ووجد مشروع مستمر للعلوم التشاركية يحمل اسم "عداد طيور عبر العيلاد"، وقد استهلته جمعية أودوبون الوطنية في الولايات المتحدة عام 1900، ويضطر معظم مناطق أمريكا الشمالية، وتمكن من تقديم بيانات فريدة بشأن تراجع أعداد تجمعات الطيور لأكثر من قرن.[129]

إنتاج الغذاء والفينولوجيا

الأنشطة المعتمدة على جميع العواسم هي أنشطة منطوية على مخاطر لأنسة. فالمزارعون في المناطق التي تسفر عن حصاد ضعيف من محاصيل الفصح، أو موجات الحرار البحرية التي تؤثر عن مخزون الأسماك الحساب، وصولاً إلى أحداث الطقس غير الموسمية التي تؤثر على السفر والسياحة، غير أن إنتاج الغذاء هو النشاط الاقتصادي الاجتماعي الأشد أهمية وتأثراً بالتحولات الفينولوجية في ظل تسارع تغاير المناخ.[2]

وقد أدت اتجاهات الاحتدار إلى تغيير المراحل الفينولوجية لمجموعة من المحاصيل الأساسية على مر العقود وفي مختلف القارات.[130، 131، 132] وللتغاير في مراحل النمو تبعات على ناتج المحصول ومجوله.[133] زمجدت التحولات في محاصيل تتراوح بين فئات الحبوب -مثل الشعير والذرة وفول والشمام والذرة الرفيعة وفول الصويا والقمح- وفئات الفطر والكروم وأشجار الفاكهة مثل التفاح والكرز والكمثرى والمانجو.[134، 135، 136، 137] وفي الوقت ذاته، تغيرات إدارة المحاصيل، المتعلقة بتوقيت الري، واختيار الأصناف بالمبرات مناسبة في فينولوجيا المحاصيل.[138، 139] وغالباً ما تكون هي صورة استراتيجيات تكيّف للتأقلم مع التغيّرات الفينولوجية التي سببها المناخ.[21]

ومع الاستجابات المستمر لأنواع جديدة واختلافات متجددة في توقيت البذر، فسيكون لممارسات الإدارة والمناخ أثر مشترك في تغيّرات متنوعة في فينولوجيات المحاصيل.[21،131،139،140]

تعاني مناطق كثيرة غابية الإنتاجية من أحداث متكررة بالغة الشدة مقاسة بالأمطار، وهي أحداث تتداخل مع مراحل نمو بالغة الأهمية.[141] وتتبنا نماذج المحاصيل العالمية تغيرات الصلة في مراحل النمو بالمناطق المنشود أنماطاً في ناتج المحاصيل. ويوثق تلك تحديات أخرى جراء شهور الشرة والرائحة غير المستدامة والحشرات وتلح المياه.[142]

تركز ممارسات الإدارة على تنظيم إدارة المستدامة، ويدخل في عداها استخدام المحصيات العضوية والجمع بين المحاصيل الطويلة والوريقة. وتحسين الري، والاستنساخ الانتقائي للنباتات، واختيار الأصناف الأشد مرونة.[143] عاتباً ما تحقق توقيت الإنتاجية الزراعية على التكيّف مع تغاير المناخ في التبنيات الأولية. ويقترن ذلك بالدعوة إلى إيجاد أدلة أقوى للرصد والملاحظة على فاعلية ممارسات التكيّف.[144]

المصايد

إن نجاح النمو حتى مراحل النضج والإنتاج في التجمعات السمكية هو نجاح مثار بشدة بأية تغيرات مناخية تخلل فينولوجيا الأسماك وغذائها وحضانتي توزيعها.[21] ذلك بأن كثيراً من أنواع الأسماك البحرية معروفة بحساسية فينولوجيا التفريخ لدى المؤشرات المدارية.[21،145] فتوقيت التفريخ والتدعيم للأخ بقاء ثرثارات الأسماك طوال مرحلة الغذاء على العوامل ومدى توفر الغذاء المناسب كلها عوامل بالغة الأهمية للنمو المبكر للأسماك وبقائها.[146،147،148،149] وطرق تقليل مهلكات النجاح في مراحل الحياة الأولى إلى قلة الإنتاجات الواحدة إلى تجمع الأحياء البالغين.[150] وقد أمكن رصد تغيّرات في توقيت التكاثر والهجرة والتغايرات الفينولوجية الناجمة عن ذلك، واقترانها بمدى توفر الغذاء، في أنواع مهمة للمصايد الداخلية والبحرية في بعض المناطق. وهو بعزز تبوئات الأضرار المحدقة بتلك المصايد جراء ذلك.[151]

وعلى ذلك، فإن التحولات في فينولوجيا الأنواع وظروفها البيئية في ظل تغاير المناخ هي تحولات تفرض تحديات على إدارة المصايد.[152] وفي ظل التحولات الموجودة من حيث توقيت المراحل الحياتية الهامة والتوزيع الجغرافي، فقد لا تتوفر الحماية الكافية من بعض الممارسات الشائعة الخنيعة من سلطات المصايد؛ مثل مواسم وأماكن الصيد المغلقة.[153،154] إذا يحدر تباين الإدارة وفورها في تأدي الهوائل الحياتية والتنشئة الهوية. وينسحب الأمر ذاته على مواقع التفريخ والحضانة ومسارات الهجرة. ملك يتحتى لزوم اتباع نهج شامل للتأقلم الإيكولوجية يراعي قابلية التأقلم مع تغاير المناخ والتغيرات البيئية حتى تتسنى إدارة المصايد إدارة مستدامة ضمن نظم إيكولوجية مرنة.[155]

المصايد الداخلية

تؤثر أنماط هطول الأمطار والتنوع الذي تغيرت بفعل تغاير المناخ تأثيراً ملموساً في مدى توافر المياه العذبة ومجودها وانتظام تدفقها وتكمّم دلائل فينولوجية مهمة للأنواع الحية في موائل المياه العذبة. علماً بأن التغيرات في تدفق المياه ومستويات تدفقها، واحتدام الفيضانات، تؤثر هي الأخرى في توقيت الهجرة والتفريخ.[156،157]

الموجات الحرارية البحرية

أدت موجة الحرارة البحرية الشديدة في عام 2012 إلى تدفقة مياه القطب الشمالي بمعدل تراوح بين درجة إلى 2 درجات مئوية. فتحخص عنها استجابة فينولوجية في الروبيان، مع تأثير صحو في المصايد. يحتج من يهدى الروبيان بارتفاع درجات الحرارة في الهجرة الداخلية المبكرة، مع طرح الرزيش مبكراً. ما يعني التبكير بتلوغ الحجم المقاوض للصيد. وأدى طول موسم الصيد والاحتمال الخطرة وعدم وجود طلب سوقي مكافئ، إلى انهيار الأسعار.[158]

هجرة السردين

تحدث هجرة سنوية موسمية جماعية لأسماك السردين (المعروفة علمياً باسم Sardinops sagax) من مياه منطقة الحرارة في أنهوانهس بلك نحو المياه دون الاستوائية بالقرب من الساحل الشمالي لكوازولوناتال بجنوب أفريقيا. تستمر هذه الظاهرة من أيار/مايو إلى شهر أيلول/يونيو، وهي تجذب كثيراً من المفترسات البحرية الانتهازية. فمثل من أسنتهة السردين والسيوانة.[159]

تكشف السجلات التي يقوق عمرها 60 عاماً عن تأخر في وصول أسماك السردين إلى ديربان بنحو 3.1 يوم في كل عقد. وتأتي هذا التبا مع تغاير في حدود النطاق الحراري لأسماك السردين مع تحرك خط تساوي درجة الحرارة البالغة 21 درجة مئوية صوب الجنوب.[160] وإذا استمرت الجاهات التحول تلك في الحدوث فربما لا تعد هجرة السردين إلى الشمال، وربما انهارت تماماً على المدى البعيد؛ وهو ما يعني تبعات سلبية على المفترسات المعتمدة عليه والمصايد والسياحة.[161،162]

المَراجع

1. Lieth, H. (1974). Purposes of a Phenology Book. In *Phenology and Seasonality Modeling. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*. Lieth H. (ed.). Springer, Berlin, Heidelberg. Vol. 8. https://doi.org/10.1007/978-3-642-51863-8_1

2. Liang, L. (2019). Phenology. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11739-7

3. Flynn, D.F.B. and Wolkovich, E.M. (2018). Temperature and photoperiod drive spring phenology across all species in a temperate forest community. *New Phytologist* 219(4), 1353-1362. https://doi.org/10.1111/nph.15232

4. Adole, T., Dash, J., Rodriguez-Galiano, V. and Atkinson, P.M. (2019). Photoperiod controls vegetation phenology across Africa. *Communications Biology,* 2, 391. https://doi.org/10.1038/s42003-019-0636-7

5. Ren, S., Vitasse, Y., Chen, X., Peichl, M. and An, S. (2022). Assessing the relative importance of sunshine, temperature, precipitation, and spring phenology in regulating leaf senescence timing of herbaceous species in China. *Agricultural and Forest Meteorology* 313, 108770. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108770

6. Gienapp, P., Hemerik, L. and Visser, M.E. (2005). A new statistical tool to predict phenology under climate change scenarios. *Global Change Biology* 11(4), 600–606. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00925.x

7. Way, D.A. and Montgomery, R.A. (2014). Photoperiod constraints on tree phenology, performance and migration in a warming world. *Plant, Cell & Environment* 38(9), 1725-1736. https://doi.org/10.1111/pce.12431

8. Forrest, J.R.K. (2016). Complex responses of insect phenology to climate change. *Current Opinion in Insect Science* 17, 49-54. https://doi.org/10.1016/j.cois.2016.07.002

9. Marshall, K.E., Gotthard,K. and Williams, C.M. (2020). Evolutionary impacts of winter climate change on insects. *Current Opinion in Insect Science* 41, 54-62. https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.06.003

10. Wang, H., Wang, H., Ge, Q. and Dai, J. (2020) The Interactive Effects of Chilling, Photoperiod, and Forcing Temperature on Flowering Phenology of Temperate Woody Plants. *Frontiers in Plant Science* 11(443), 1-12. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00443

11. Bowman, D.M.J.S., Kolden, C.A., Abatzoglou, J.T., Johnston, F.H., van der Werf, G.R., Flannigan, M. (2020). Vegetation fires in the Anthropocene. *Nature Reviews Earth & Environment* 1, 500–515. https://doi.org/10.1038/s43017-020-0085-3

12. Keeley, J.E. and Fotheringham, C.J. (2000). Role of fire in regeneration from seed. In *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*. Fenner, M. (Eds.). CABI. Chapter 14. 311-330. https://doi.org/10.1079/9780851994321.0311

13. Bailly, D., Agostinho, A.A. and Suzuki, H.I. (2008). Influence of the flood regime on the reproduction of fish species with different reproductive strategies in the Cuiabá River, Upper Pantanal, Brazil. *River Research and Applications* 24(9), 1218-1219. https://doi.org/10.1002/rra.1147

14. Arevalo, E., Maire, A., Tétard, S., Prévost, E., Lange, F., Marchand, F. *et al.* (2021). Does global change increase the risk of maladaptation of Atlantic salmon migration through joint modifications of river temperature and discharge? *Proceedings of the Royal Society B* 288(1964), 20211882. http://doi.org/10.1098/rspb.2021.1882

15. Teichert, N., Benitez, J.P., Dierckx, A., Tétard, S., De Oliveira, E., Trancart, T., Feunteun, E. and Ovidio, M. (2020). Development of an accurate model to predict the phenology of Atlantic salmon smolt spring migration. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 30(8), 1552-1565. https://doi.org/10.1002/aqc.3382

16. Chambers, L.E., Altwegg, R., Barbraud, C., Barnard, P., Beaumont, L.J. *et al*. (2013) Phenological Changes in the Southern Hemisphere. *PLOS ONE* 8(10), e75514. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075514

17. Butt, N., Seabrook, L., Maron, M., Law, B.S., Dawson, T.P., Syktus, J. *et al*. (2015). Cascading effects of climate extremes on vertebrate fauna through changes to low-latitude tree flowering and fruiting phenology. *Global Change Biology* 21(9), 3267-3277. https://doi.org/10.1111/gcb.12869

18. Sheldon, K.S. (2019). Climate Change in the Tropics: Ecological and Evolutionary Responses at Low Latitudes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 50, 303–33. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110218-025005

19. Morellato, L.P.C., Alberton, B., Alvarado, S.T., Borges, B., Buisson, E., Camargo, M.G.G. *et al.* (2016). Linking plant phenology to conservation biology. *Biological Conservation* 195, 60-72. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.12.033

20. Ramaswami, G., Datta, A., Reddy, A., and Quader, S. (2018). Tracking phenology in the tropics and in India: the impacts of climate change. In *Biodiversity and Climate Change: An Indian Perspective*. Bhatt, J.R., Das, A. and Shanker, K. (eds.). 45-69. New Delhi: Ministry of Environment, Forest and Climate Change, Government of India. https://www.ncf-india.org/other/1116

21. Sakai, S. and Kitajima, K. (2019). Tropical phenology: Recent advances and perspectives. *Ecological Research*, 34(1), 50-54. https://doi.org/10.1111/1440-1703.1131

22. Parmesan, C. and Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421(6918), 37-42. https://doi.org/10.1038/nature01286

23. Thackeray, S.J., Sparks, T.H., Frederiksen, M., Burthe, S., Bacon, P.J., Bell, J.R. *et al.* (2010). Trophic level asynchrony in rates of phenological change for marine, freshwater and terrestrial environments. *Global Change Biology* 16(12), 3304-3313. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02165.x

24. Donnelly, A., Caffarra, A. and O'Neill, B.F. (2011). A review of climate-driven mismatches between interdependent phenophases in terrestrial and aquatic ecosystems. *International Journal of Biometerology* 55(6), 805-817. https://doi.org/10.1007/s00484-011-0426-5

25. Stevenson, T.J., Visser, M.E., Arnold, W., Barrett, P., Biello, S., Dawson, A. *et al*. (2015). Disrupted seasonal biology impacts health, food security and ecosystems. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 282(1817), 20151453. https://doi.org/10.1098/rspb.2015.1453

26. Kharouba, H.M., Ehrlén, J., Gelman, A., Bolmgren, K., Allen, J.M., Travers, S.E. and Wolkovich, E.M. (2018). Global shifts in the phenological synchrony of species interactions over recent decades. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115(20), 5211–5216. https://doi.org/10.1073/pnas.1714511115

27. Chmura, H.E., Kharouba, H.M., Ashander, J., Ehlman, S.M., Rivest, E.B. and Yang, L.H. (2019). The mechanisms of phenology: the patterns and processes of phenological shifts. *Ecological Monographs* 89(1), e01337. https://doi.org/10.1002/ecm.1337

28. Stemkovski, M., Pearse, W.D., Griffin, S.R., Pardee, G.L., Gibbs, J., Griswold, T. *et al.* (2020). Bee phenology is predicted by climatic variation and functional traits. *Ecology Letters* 23(11), 1589-1598. https://doi.org/10.1111/ele.13583

29. Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rosenzweig, C. and Pounds, J.A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421(6918), 57-60. https://doi.org/10.1038/nature01333

30. Parmesan, C. (2007). Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Global Change Biology* 13(9), 1860–1872. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01404.x

31. Poloczanska, E.S., Brown, C.J., Sydeman, W.J., Kiessling, W., Schoeman, D.S., Moore, P.J. *et al.* (2013). Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change* 3(10), 919-925. https://doi.org/10.1038/nclimate1958

32. Poloczanska, E.S., Burrows, M.T., Brown, C.J., Molinos, J.G., Halpern, B.S., Hoegh-Guldberg, O. *et al.* (2016). Responses of marine organisms to climate change across oceans. *Frontiers in Marine Science* 3(62). https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00062

33. Renner, S.S. and Zohner, C.M. (2018). Climate change and phenological mismatch in trophic interactions among plants, insects, and vertebrates. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 49, 165-182. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062535

34. Visser, M.E. and Gienapp, P. (2019). Evolutionary and demographic consequences of phenological mismatches. *Nature Ecology & Evolution* 3(6), 879-885. https://doi.org/10.1038/s41559-019-0880-8

35. Staggemeier, V.G.,Camargo, M.G.G., Diniz-Filho, J.A.F., Freckleton, R., Jardim, L. and Morellato, L.P.C. (2019). The circular nature of recurrent life cycle events: a test comparing tropical and temperate phenology. *Journal of Ecology* 108(2), 393-404. https://doi.org/10.1111/1365-2745.13266

36. World Meteorological Organization (2021). FAQs - El Niño/La Niña. https://public.wmo.int/en/about-us/frequently-asked-questions/el-niño-la-niña. Accessed 22 January 2021.

37. Detto, M., Wright, S.J., Calderón, O. and Muller-Landau, H.C. (2018). Resource acquisition and reproductive strategies of tropical forest in response to the El Niño–Southern Oscillation. *Nature Communications* 9, 913. https://doi.org/10.1038/s41467-018-03306-9

38. Moriuchi E. and Basil, M. (2019). The Sustainability of Ohanami Cherry Blossom Festivals as a Cultural Icon. *Sustainability* 11(6), 1820. https://doi.org/10.3390/su11061820

39. Aono, Y. and Kazui, K. (2008). Phenological data series of cherry tree flowering in Kyoto, Japan, and its application to reconstruction of springtime temperatures since the 9th century. *International Journal of Climatology* 28(7), 905-914. https://doi.org/10.1002/joc.1594

40. Aono, Y. and Saito, S. (2010). Clarifying springtime temperature reconstructions of the medieval period by gap-filling the cherry blossom phenological data series at Kyoto, Japan. *International Journal of Biometeorology* 54, 211-219. https://doi.org/10.1007/s00484-009-0272-x

41. Aono, Y. (2015). Cherry blossom phenological data since the seventeenth century for Edo (Tokyo), Japan, and their application to estimation of March temperatures. *International Journal of Biometeorology* 59, 427–434. https://doi.org/10.1007/s00484-014-0854-0

42. Primack, R.B., Higuchi, H. and Miller-Rushing, A.J. (2009). The impact of climate change on cherry trees and other species in Japan. *Biological Conservation* 142(9),1943-1949. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.03.016

43. Edwards, M. and Richardson, A.J. (2004). Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature* 430, 881–84. https://doi.org/10.1038/nature02808

44. Cleland, E.E., Chuine, I., Menzel, A., Mooney, H.A. and Schwartz, M.D. (2007). Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology & Evolution* 22(7), 357-365. https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.04.003

45. Morellato, L.P.C., Camargo, M.G.G. and Gressler, E. (2013). A review of plant phenology in South and Central America. In *Phenology: an integrative environmental science*. Schwartz, M.D. (eds.). Chapter 6. 91–113. Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6925-0_6

46. Vitasse, Y., Signarbieux, C. and Fu, Y.H. (2018). More uniform spring phenology across elevations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115(5), 1004-1008. https://doi.org/10.1073/pnas.1717342115

47. Staudinger, M.D., Mills, K.E., Stamieszkin, K., Record, N.R., Hudak, C.A. *et al.* (2019). It's about time: a synthesis of changing phenology in the Gulf of Maine ecosystem. *Fisheries Oceanography* 28(5), 532–566. https://doi.org/10.1111/fog.12429

48. Gérard, M., Vanderplanck, M., Wood, T. and Michez, D. (2020). Global warming and plant–pollinator mismatches. *Emerging Topics in Life Sciences* 4(1), 77–86. https://doi.org/10.1042/ETLS20190139

49. Iler, A.M., CaraDonna, P.J., Forrest, J.R.K. and Post, E. (2021). Demographic Consequences of Phenological Shifts in Response to Climate Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 52, 221–245. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-011921-032939

50. Lima, D.F., Mello, J.H.F., Lopes, I.T., Forzza, R.C., Goldenberg, R. and Freitas, L. (2021). Phenological responses to climate change based on a hundred years of herbarium collections of tropical Melastomataceae. *PLOS ONE* 16(5), e0251360. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251360

51. Vitasse, Y., Ursenbacher, S., Klein, G., Bohnenstengel, T., Chittaro, Y., Delestrade, A. *et al.* (2021). Phenological and elevational shifts of plants, animals and fungi under climate change in the European Alps. *Biological Reviews* 96(5),1816–1835. https://doi.org/10.1111/brv.12727

52. Visser, M.E., Noordwijk, A.V., Tinbergen, J.M. and Lessells, C.M. (1998). Warmer springs lead to mistimed reproduction in great tits (Parus major). *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 265(1408), 1867-1870. https://doi.org/10.1098/rspb.1998.0514

53. Both, C. and Visser, M.E. (2001). Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long-distance migrant bird. *Nature* 411(6835), 296–298. https://doi.org/10.1038/35077063

54. Visser, M.E., Holleman, L.J.M. and Gienapp, P. (2006). Shifts in caterpillar biomass phenology due to climate change and its impact on the breeding biology of an insectivorous bird. *Oecologia* 147, 164–172. https://doi.org/10.1007/s00442-005-0299-6

55. Visser, M.E., te Marvelde, L. and Lof, M.E. (2012). Adaptive phenological mismatches of birds and their food in a warming world. *Journal of Ornithology* 153(1), 75–84. https://doi.org/10.1007/s10336-011-0770-6

56. Regular, P.M., Hedd, A., Montevecchi, W.A., Robertson, G.J., Storey, A.E. and Walsh, C.J. (2014). Why timing is everything: Energetic costs and reproductive consequences of resource mismatch for a chick-rearing seabird. *Ecosphere* 5(12), 1-13. https://doi.org/10.1890/es14-00182.1

57. Moyes, K., Nussey, D.H., Clements, M.N., Guinness, F.E., Morris, A., Morris, S. *et al.* (2011). Advancing breeding phenology in response to environmental change in a wild red deer population. *Global Change Biology* 17(7), 2455–2469. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02382.x

58. Tomotani, B.M., van der Jeugd, H., Gienapp, P., de la Hera, I., Pilzecker, J., Teichmann, C. and Visser, M.E. (2018). Climate change leads to differential shifts in the timing of annual cycle stages in a migratory bird. *Global Change Biology* 24(2), 823-835. https://doi.org/10.1111/gcb.14006

59. Asch, R.G., Stock, C.A. and Sarmiento, J.L. (2019). Climate change impacts on mismatches between phytoplankton blooms and fish spawning phenology. *Global Change Biology* 25(8), 2544–2559. https://doi.org/10.1111/gcb.14650

60. Asch, R.G. (2015). Climate change and decadal shifts in the phenology of larval fishes in the California Current ecosystem. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112(30), E4065-E4074. https://doi.org/10.1073/pnas.1421946112

61. Asch, R.G. (2019). Changing seasonality of the sea: past, present, and future. In *Predicting Future Oceans, Sustainability of Ocean and Human Systems Amidst Global Environmental Change*. Cisneros-Montemayor, A.M., Cheung, W.W.L. and Ota, Y. (eds.). Chapter 4. 39-51. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817945-1.00004-6

62. Dahl, J., Dannewitz, J., Karlsson, L., Petersson, E., Löf, A. and Ragnarsson, B. (2004). The timing of spawning migration: implications of environmental variation, life history, and sex. *Canadian Journal of Zoology* 82(12), 1864–1870. https://doi.org/10.1139/z04-184

63. Li, Y., Cohen, J.M. and Rohr, J.R. (2013). Review and synthesis of the effects of climate change on amphibians. *Integrative Zoology* 8(2), 145-161. https://doi.org/10.1111/1749-4877.12001

64. Nash, L.N., Antiqueira, P.A.P., Romero, G.Q., de Omena, P.M. and Kratina, P. (2021). Warming of aquatic ecosystems disrupts aquatic–terrestrial linkages in the tropics. *Journal of Animal Ecology* 90(7), 1623-1634. https://doi.org/10.1111/1365-2656.13505

65. Post, E. and Forchhammer, M.C. (2008). Climate change reduces reproductive success of an Arctic herbivore through trophic mismatch. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363(1501), 2367-2373. https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2207

66. Plard, F., Gaillard, J.M., Coulson, T., Hewison, A.M., Delorme, D., Warnant, C. and Bonenfant, C. (2014). Mismatch between birth date and vegetation phenology slows the demography of roe deer. *PLoS Biology* 12(4), e1001828. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001828

67. Brander, K. (2010). Impacts of climate change on fisheries. *Journal of Marine Systems* 79(3-4), 389-402. https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.12.015

68. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2018). *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*. http://www.fao.org/3/i9705en/I9705EN.pdf

69. Rogers, L.A. and Dougherty, A.B. (2019). Effects of climate and demography on reproductive phenology of a harvested marine fish population. *Global Change Biology* 25(2), 708-720. https://doi.org/10.1111/gcb.14483

70. Vitasse, Y., Schneider, L., Rixen, C., Christen, D. and Rebetez, M. (2018). Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades. *Agricultural and Forest Meteorology* 248, 60-69. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.09.005

71. Fatima, Z., Ahmed, M., Hussain, M., Abbas, G., Ul-Allah, S., Ahmad, S. *et al.* (2020). The fingerprints of climate warming on cereal crops phenology and adaptation options. *Scientific Reports* 10(1), 18013. https://doi.org/10.1038/s41598-020-74740-3

72. Perrins, C.M. (1991). Tits and their caterpillar food supply. *Ibis* 133(1), 49-54. https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1991.tb07668.x

73. Van Asch, M., Tienderen, P.H., Holleman, L.J.M. and Visser, M.E. (2007). Predicting adaptation of phenology in response to climate change, an insect herbivore example. *Global Change Biology* 13(8), 1596–1604. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01400.x

74. Visser, M.E., Gienapp, P., Husby, A., Morrisey, M., de la Hera, I., Pulido, F. *et al*. (2015). Effects of spring temperatures on the strength of selection on timing of reproduction in a long-distance migratory bird. *PLoS Biology* 13(4), e1002120. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002120

75. Charmantier, A., Mccleery, R.H., Cole, L.R., Perrins, C., Kruuk, L.E.B. and Sheldon, B.C. (2008). Adaptive Phenotypic Plasticity in Response to Climate Change in a Wild Bird Population. *Science* 320(5877), 800-803. https://doi.org/10.1126/science.1157174

76. Visser, M.E., Lindner, M., Gienapp, P., Long, M.C. and Jenouvrier, S. (2021). Recent natural variability in global warming weakened phenological mismatch and selection on seasonal timing in great tits (*Parus major*). *Proceedings of the Royal Society B* 288(1963), 20211337. https://doi.org/10.1098/rspb.2021.1337

77. Bauer, Z., Trnka, M., Bauerová, J., Možný, M., Štěpánek, P., Bartošová, L. *et al*. (2010). Changing climate and the phenological response of great tit and collared flycatcher populations in floodplain forest ecosystems in Central Europe. *International Journal of Biometeorology* 54, 99–111. https://doi.org/10.1007/s00484-009-0259-7

78. Matthysen, E., Adriaensen, F. and Dhondt, A.A. (2010). Multiple responses to increasing spring temperatures in the breeding cycle of blue and great tits (*Cyanistes caeruleus, Parus major*). *Global Change Biology* 17(1), 1-16. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02213.x

79. Bonamour, S. (2021). Great tit response to climate change. *Nature Climate Change* 11, 802-807. https://doi.org/10.1038/s41558-021-01160-0

80. Cole, E.F., Regan, C.E. and Sheldon, B.C. (2021). Spatial variation in avian phenological response to climate change linked to tree health. *Nature Climate Change* 11, 872–878. https://doi.org/10.1038/s41558-021-01140-4

81. Robinson, R.A., Crick, H.Q.P., Learmonth, J.A., Maclean, I.M.D., Thomas, C.D., Bairlein, F. *et al*. (2009). Travelling through a warming world: climate change and migratory species. *Endangered Species Research* 7(2), 87-99. https://doi.org/10.3354/esr00095

82. Joly, K., Gurarie, E., Sorum, M.S., Kaczensky, P., Cameron, M.D., Jakes, A.F. *et al*. (2019). Longest terrestrial migrations and movements around the world. *Scientific Reports* 9, 15333. https://doi.org/10.1038/s41598-019-51884-5

83. Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). Summary for Policymakers. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/summary-for-/policymakers

84. Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* https://www.ipcc.ch/report/ /ar6/wg1

85. Ramp, C., Delarue, J., Palsbøll, P.J., Sears, R. and Hammond, P.S. (2015). Adapting to a Warmer Ocean—Seasonal Shift of Baleen Whale Movements over Three Decades. *PLOS ONE* 10(3), e0121374. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121374

86. Kubelka, V., Sandercock, B.K., Székely, R. and Freckleton, R.P. (2022). Animal migration to northern latitudes: environmental changes and increasing threats. *Trends in Ecology & Evolution* 37(1), 30-41. https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.08.010

87. Saino, N., Ambrosini, R., Rubolini, D., von Hardenberg, J., Provenzale, A., Hüppop, K. *et al*. (2011). Climate warming, ecological mismatch at arrival and population decline in migratory birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 278(1707), 835–842. https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1778

88. Secretariat of the Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals (2014). *A Review of Migratory Bird Flyways and Priorities for Management.* https://www.cms.int/sites/default/files/publication/CMS_Flyways_Reviews_Web.pdf

89. Lamaris, *et al*. (2018). Arctic geese tune migration to a warming climate but still suffer from a phenological mismatch. *Current Biology* 28(15), 2467–2473. https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.05.077

90. Bairlein, F. (2016). Migratory birds under threat. *Science* 354(6312), 547-548. https://doi.org/10.1126/science.aah6647

91. The Zoological Society of London (ZSL) (2010*). Climate change impacts on migratory species - The path ahead*. https://www.cbd.int/cop/cop-10/doc/unep-cms-cop10-cc-en.pdf.

92. Secretariat of the Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals (2022). *Ecological Connectivity*. https://www.cms.int/en/topics/ecological-connectivity

93. BirdLife International (2021*). IUCN Red List for birds*. http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/white-stork-ciconia-ciconia/text

94. Jovani, R. AND Tella, J.L. (2004) Age-related environmental sensitivity and weather mediated nestling mortality in white storks *Ciconia ciconia*. *Ecography* 27(5), 611–618. https://www.jstor.org/stable/3683463

95. Tobolka, M., Zolnierowicz, K.M. and Reeve, N.F. (2015). The effect of extreme weather events on breeding parameters of the White Stork *Ciconia ciconia. Bird Study* 62(3), 377-385. https://doi.org/10.1080/00063657.2015.1058745

96. Culbertson, K.A., Garland, M.S., Walton, R.K., Zemaitis, L. and Pocius, V.M. (2021). Long-term monitoring indicates shifting fall migration timing in monarch butterflies (*Danaus plexippus*). *Global Change Biology* 28(3), 727-738. https://doi.org/10.1111/gcb.15957

97. Taylor, O.R., Lovett, J.P., Gibo, D.L., Weiser, E.L., Thogmartin, W.E., Semmens, D.J. *et al.* (2019). Is the timing, pace, and success of the monarch migration associated with sun angle? *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 442. https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00442

98. Lameris, T.K., van der Jeugd, H.P., Eichhorn, G., Dokter, A.M., Bouten, W., Boom, M.P. *et al*. (2018). Arctic geese tune migration to a warming climate but still suffer from a phenological mismatch. *Current Biology*, *28*(15), 2467-2473. https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.05.077

99. Robinson, N.J., Valentine, S.E., Tomillo, P.S., Saba, V.S., Spotila, J.R. and Paladino, F.V. (2014). Multidecadal trends in the nesting phenology of Pacific and Atlantic leatherback turtles are associated with population demography. *Endangered Species Research*, 24(3), 197-206. https://doi.org/10.3354/esr00604

100. Patrício, A.R., Hawkes, L.A., Monsinjon, J.R., Godley, B.J. and Fuentes, M.M.P.B. (2021). Climate change and marine turtles: recent advances and future directions. *Endangered Species Research* 44, 363-395. https://doi.org/10.3354/esr01110

101. Almpanidou, V., Katragkou, E. and Mazaris, A.D. (2017). The efficiency of phenological shifts as an adaptive response against climate change: a case study of loggerhead sea turtles (Caretta caretta) in the Mediterranean. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 23(7), 1143–1158. https://doi.org/10.1007/s11027-017-9777-5

102. Butler, C.J. (2019). A Review of the Effects of Climate Change on Chelonians. *Diversity*11(8), 138. https://doi.org/10.3390/d11080138

103. Monsinjon, J., Lopez-Mendilaharsu, M., Lara, P., Santos, A., dei Marcovaldi, M.A., Girondot, M. and Fuentes, M.M. (2019). Effects of temperature and demography on the phenology of loggerhead sea turtles in Brazil. *Marine Ecology Progress Series*, *623*, 209-219. https://doi.org/10.3354/meps12988

104. Moore, S.E., Haug, T., Víkingsson, G.A. and Stenson, G.B. (2019). Baleen whale ecology in arctic and subarctic seas in an era of rapid habitat alteration. *Progress in Oceanography* 176, 102118. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.05.010

105. Avila, I.C., Dormann, C.F., García, C., Payán, L.F. and Zorrilla, M.Z. (2020). Humpback whales extend their stay in a breeding ground in the Tropical Eastern Pacific. *ICES Journal of Marine Science* 77(1), 109–118. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz251

106. Szesciorka, A.R., Ballance, L.T., Širović, A., Rice, A., Ohman, M.D., Hildebrand, J.A. and Frank, P.J.S. (2020). Timing is everything: Drivers of interannual variability in blue whale migration. *Scientific Reports* 10, 7710. https://doi.org/10.1038/s41598-020-64855-y

107. Both, C., Artemyev, A.V., Blaauw, B., Cowie, R.J., Dekhuijzen, A.J., Eeva, T. *et al.* (2004). Large–scale geographical variation confirms that climate change causes birds to lay earlier. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 271(1549), 1657–1662. https://doi.org/10.1098/rspb.2004.2770

108. Dunham, A.E., Razafindratsima, O.H., Rakotonirina, P., Wright, P.C. (2018). Fruiting phenology is linked to rainfall variability in a tropical rain forest. *Biotropica* 50(3), 396-404. https://doi.org/10.1111/btp.12564

109. Suonan, J., Classen, A.T., Sanders, N.J. and He, J.S. (2019). Plant phenological sensitivity to climate change on the Tibetan Plateau and relative to other areas of the world. *Ecosphere* 10(1), e02543. https://doi.org/10.1002/ecs2.2543

110. Bradshaw, A.D. (1965). Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. *Advances in Genetics* 13, 115–155. https://doi.org/10.1016/S0065-2660(08)60048-6

111. Charmantier, A. and Gienapp, P. (2014). Climate change and timing of avian breeding and migration: evolutionary versus plastic changes. *Evolutionary Applications* 7(1), 15–28. https://doi.org/10.1111/eva.12126

112. Zettlemoyer, M.A. and Peterson, M.L. (2021). Does Phenological Plasticity Help or Hinder Range Shifts Under Climate Change? *Frontiers in Ecology and Evolution* 9, 392. https://doi.org/10.3389/fevo.2021.689192

113. Visser, M.E. (2008). Keeping up with a warming world: assessing the rate of adaptation to climate change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 275(1635), 649-659. https://doi.org/10.1098/rspb.2007.0997

114. Van Asch, M., Salis, L., Holleman, L.J., Van Lith, B. and Visser, M.E. (2013). Evolutionary response of the egg hatching date of a herbivorous insect under climate change. *Nature Climate Change* 3(3), 244–248. https://doi.org/10.1038/nclimate1717

115. Helm, B., Van Doren, B.M., Hoffmann, D. and Hoffmann, U. (2019). Evolutionary response to climate change in migratory pied flycatchers. *Current Biology* 29(21), 3714-3719. https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.08.072

116. Diffenbaugh, N.S. and Field, C.B. (2013). Changes in ecologically critical terrestrial climate conditions. *Science* 341(6145), 486–492. https://doi.org/10.1126/science.1237123

117. Hoffmann, A.A. and Sgrò, C.M. (2011). Climate change and evolutionary adaptation. *Nature* 470(7335), 479-85. https://doi.org/10.1038/nature09670.

118. Tabor, G. (2019). Ecological connectivity: A bridge to preserving biodiversity. في تقرير آفاق 2018/19 الصادر عن برنامج *الأمم المتحدة للبيئة - قضايا ناشئة تُثير مخاوف بيئية*. United Nations Environment Programme, Nairobi. https://www.unep.org/frontiers

119. BirdLife International (2018*). Species factsheet: Calidris canutus*. http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/red-knot-calidris-canutus. Accessed on 09 December 2021.

120. van Gils, J.A., Lisovski, S., Lok, T., Meissner, W., Ożarowska, A., de Fouw, J. *et al.* (2016). Body shrinkage due to Arctic warming reduces red knot fitness in tropical wintering range. *Science* 352(6287), 819-821. https://doi.org/10.1126/science.aad6351

121. Bowden, J.J., Eskildsen, A., Hansen, R.R., Olsen, K., Kurle, C.M. and Høye, T.T. (2015). High-Arctic butterflies become smaller with rising temperatures. *Biology Letters* 11(10), 20150574. http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2015.0574

122. Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects.* Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment. https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/

123. Mäder, P., Boho, D., Rzanny, M., Seeland, M., Wittich, H.C., Deggelmann, A. *et al*. (2021). The Flora Incognita app – Interactive plant species identification. *Methods in Ecology and Evolution* 12(7), 1335-1342. https://doi.org/10.1111/2041-210X.13611

124. Renner, S.S. and Chmielewski, F.M. (2022). The International Phenological Garden network (1959 to 2021): its 131 gardens, cloned study species, data archiving, and future. *International Journal of Biometeorology* 66(1), 35-43. https://doi.org/10.1007/s00484-021-02185-y

125. Huang, H., Liao, J., Zhang, Z. and Zhan, Q. (2017). Ex situ flora of China. *Plant Diversity* 39(6), 357-364. https://doi.org/10.1016/j.pld.2017.12.001

126. The GLOBE Program (2021). GLOBE Impact Around the World. https:// www.globe.gov/about/impact-and-metrics. Accessed 24 Dec 2021

127. Murphy, T., Riebeek Kohl, H., Ristvey Jr, J.D., Chambers, L.H., and Bourgeault, J. (2018). Global citizen science using the GLOBE Program. https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018AGUFMED54A..03M/abstract

128. Dickinson, J.L., Zuckerberg, B. and Bonter, D.N. (2010). Citizen science as an ecological research tool: challenges and benefits. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 41(1), 149–172. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144636

129. Langham, G.M., Schuetz, J.G., Distler, T., Soykan, C.U. and Wilsey, C. (2015). Conservation Status of North American Birds in the Face of Future Climate Change. *PLOS ONE* 10(9), e0135350. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135350

130. Castex, V., Beniston, M., Calanca, P., Fleury, D. and Moreau, J. (2018). Pest management under climate change: The importance of understanding tritrophic relations. *Science of The Total Environment* 616-617, 397-407. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.027

131. Marcinkowski, P. and Piniewski, M. (2019). Effect of climate change on sowing and harvest dates of spring barley and maize in Poland. *International Agrophysics* 32(2), 265-271. https://doi.org/10.1515/intag-2017-0015

132. Bai, H., Xiao, D., Zhang, H., Tao, F. and Hu, Y. (2019). Impact of warming climate, sowing date, and cultivar shift on rice phenology across China during 1981–2010. *International Journal of Biometeorology* 63(8), 1077–1089. https://doi.org/10.1007/s00484-019-01723-z

133. Acevedo, M., Pixley, K., Zinyengere, N., Meng, S., Tufan, H., Cichy, K. *et al*. (2020). A scoping review of adoption of climate-resilient crops by small-scale producers in low-and middle-income countries. *Nature Plants* 6(10), 1231-1241. https://doi.org/10.1038/s41477-020-00783-z

134. Zilberman, D., Lipper, L., McCarthy, N., and Gordon, B. (2018). Innovation in response to climate change. In *Climate smart agriculture*. Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B.M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M. *et al.* (Eds). Springer, Cham. Vol 52. 49-74. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61194-5

135. Enquist, C.A., Kellermann, J.L., Gerst, K.L. and Miller-Rushing, A.J. (2014). Phenology research for natural resource management in the United States. *International Journal of Biometeorology* 58(4), 579–589. https://doi.org/10.1007/s00484-013-0772-6

136. Kharouba, H.M. and Wolkovich, E.M. (2020). Disconnects between ecological theory and data in phenological mismatch research. *Nature Climate Change* 10(5), 406-415. https://doi.org/10.1038/s41558-020-0752-x.

137. Seddon, N., Turner, B., Berry, P., Chausson, A. and Girardin, C.A.J. (2019). Grounding nature-based climate solutions in sound biodiversity science. *Nature Climate Change* 9(2), 84–87. https://doi.org/10.1038/s41558-019-0405-0

138. Prober, S.M., Doerr, V.A.J., Broadhurst, L.M., Williams, K.J. and Dickson, F. (2019). Shifting the conservation paradigm: a synthesis of options for renovating nature under climate change. *Ecological Monographs* 89(1), e01333. https://doi.org/10.1002/ecm.1333

139. Bergstrom, D. M., Wienecke, B. C., van den Hoff, J., Hughes, L., Lindenmayer, D. B., Ainsworth, T. D. *et al.* (2021). Combating ecosystem collapse from the tropics to the Antarctic. *Global change Biology* 27(9), 1692-1703. https://doi.org/10.1111/gcb.15539

140. Radchuk, V., Reed, T., Teplitsky, C. Van De Pol, M., Charmantier, A., Hassall, C. *et al*. (2019). Adaptive responses of animals to climate change are most likely insufficient. *Nature Communications* 10, 3109. https://doi.org/10.1038/s41467-019-10924-4

141. Estrella, N., Sparks, T.H. and Menzel, A. (2007). Trends and temperature response in the phenology of crops in Germany. *Global Change Biology* 13(8), 1737-1747. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01374.x

142. Wang, Z., Chen, J., Xing, F., Han, Y., Chen, F., Zhang, L. *et al*. (2017). Response of cotton phenology to climate change on the North China Plain from 1981 to 2012. *Scientific Reports* 7, 6628. https://doi.org/10.1038/s41598-017-07056-4

143. Abed, A., Bonhomme, M., Lacointe, A., Bourgeois, G. and Baali-Cherif, D. (2019). Climate change effect on the bud break and flowering dates of the apple trees in mountainous and plain regions of Algeria. *Advances in Horticultural Science* 33 (3), 417-431. https://doi.org/10.13128/ahs-24618

144. Chmielewski, F.-M., Müller, A. and Bruns, E. (2004). Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. *Agricultural and Forest Meteorology* 121(1–2), 69-78. https://doi.org/10.1016/S0168-1923(03)00161-8

145. Tao, F., Yokozawa, M., Xu, Y., Hayashi, Y. and Zhang, Z. (2006). Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981–2000. *Agricultural and Forest Meteorology* 138(1-4), 82–92. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.014

146. Nguyen-Sy, T., Cheng, W., Tawaraya, K., Sugawara, K. and Kobayashi, K. (2019). Impacts of climatic and varietal changes on phenology and yield components in rice production in Shonai region of Yamagata Prefecture, Northeast Japan for 36 years. *Agronomy & Crop Ecology* 22(3), 382-394. https://doi.org/10.1080/1343943X.2019.1571421

147. Azmat, M., Ilyas, F., Sarwar, A., Huggel, C., Ashra, S.V., Hui, T. *et al*. (2021). Impacts of climate change on wheat phenology and yield in Indus Basin, Pakistan. *Science of The Total Environment* 790, 148221. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148221

148. Tomasi, D., Jones, G.V., Giust, M., Lovat, L. and Gaiotti, F. (2011). Grapevine Phenology and Climate Change: Relationships and Trends in the Veneto Region of Italy for 1964–2009. *American Journal of Enology and Viticulture* 62, 329-339. https://doi.org/10.5344/ajev.2011.10108

149. Rajan, S. (2012). Phenological Responses to Temperature and Rainfall: A Case Study of Mango. In *Tropical Fruit Tree Species and Climate Change.* Sthapit, B.R., Ramanatha Rao, V. and Sthapit, S.R. (Eds.) Bioversity International, New Delhi, India. https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/105191

150. Xiao, D., Tao, F., Liu, Y., Shi, W., Wang, M., Liu, F. *et al*. (2013) Observed changes in winter wheat phenology in the North China Plain for 1981–2009. *International Journal of Biometeorology* 57, 275–285. https://doi.org/10.1007/s00484-012-0552-8

151. Ahmad, S., Abbas, G., Fatima, Z., Khan, R.J., Anjum, M.A., Ahmed, M. *et al*. (2017). Quantification of the impacts of climate warming and crop management on canola phenology in Punjab, Pakistan. *Journal of Agronomy and Crop Science* 203(5), 442-452. https://doi.org/10.1111/jac.12206

152. Subedi, S. (2019). Climate change effects of Nepalese fruit production. *Advances in Plants & Agriculture Research* 9(1), 141-145. https://doi.org/10.15406/apar.2019.09.00426

153. Tan, Q., Liu, Y., Dai, L. and Pan, T. (2021). Shortened key growth periods of soybean observed in China under climate change. *Scientific Reports* 11, 8197. https://doi.org/10.1038/s41598-021-87618-9

154. Kunz, A. and Blanke, M. (2022). "60 Years on"—Effects of climatic change on tree phenology—A Case Study Using Pome Fruit. *Horticulturae* 8(2), 110. https://doi.org/10.3390/horticulturae8020110

155. Rezaei, E.E., Siebert, S. and Ewert, F. (2017). Climate and management interaction cause diverse crop phenology trends. *Agricultural and Forest Meteorology* 233, 55-70. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.11.003

156. Zhang, T., Huang, Y. and Yang, X. (2012). Climate warming over the past three decades has shortened rice growth duration in China and cultivar shifts have further accelerated the process for late rice. *Global Change Biology* 19(2), 563-570. https://doi.org/10.1111/gcb.12057

157. He, L., Asseng, S., Zhao, G., Wu, D., Yang, X., Zhuang, W. *et al*. (2015). Impacts of recent climate warming, cultivar changes, and crop management on winter wheat phenology across the Loess Plateau of China. *Agricultural and Forest Meteorology* 200, 135-143. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.09.001

158. Abbas, G., Ahmad, S., Ahmad, A., Nasim, W., Fatima, Z., Hussain, S. *et al*. (2017). Quantification the impacts of climate change and crop management on phenology of maize-based cropping system in Punjab, Pakistan. *Agricultural and Forest Meteorology* 247, 42-55. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.07.012

159. Karapinar, B. and Özertan, G. (2020). Yield implications of date and cultivar adaptation to wheat phenological shifts: a survey of farmers in Turkey. *Climatic Change* 158, 453–472. https://doi.org/10.1007/s10584-019-02532-4

160. Liu, Y., Chen, Q., Ge, Q., Dai, J. and Dou, Y. (2018). Effects of climate change and agronomic practice on changes in wheat phenology. *Climatic Change* 150(3-4), 273-287. https://doi.org/10.1007/s10584-018-2264-5

161. Porter, J.R., L. Xie, A.J., Challinor, K., Cochrane, S.M., Howden, M.M., Iqbal, D.B. *et al*. (2014) Food security and food production systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Field, C.B. Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E. *et al*. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New /York, NY, USA. pp. 485-533. https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

162. Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A. *et al*. (2014). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111(9), 3268-3273. https://doi.org/10.1073/pnas.1222463110

163. Peer, A.C. and Miller, T.J. (2014). Climate Change, Migration Phenology, and Fisheries Management Interact with Unanticipated Consequences. *North American Journal of Fisheries Management* 34, 94–110, 2014. https://doi.org/10.1080/02755947.2013.847877

164. Doney, S.C., Ruckelshaus, M., Emmett Duffy, J., Barry, J.P., Chan, F., English, C.A. *et al*. (2012). Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annual Review of Marine Science* 4(1), 11-37. https://doi.org/10.1146/annurev-marine-041911-111611

165. Thaxton, W., Taylor, J. and Asch, R. (2020). Climate-associated trends and variability in ichthyoplankton phenology from the longest continuous larval fish time series on the east coast of the United States. *Marine Ecology Progress Series* 650, 269–287. https://doi.org/10.3354/meps13404

166. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2018). *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*. http://www.fao.org/3/i9705en/I9705EN.pdf

167. Krabbenhoft, T.J., Platania, S.P. and Turner, T.F. (2014). Interannual variation in reproductive phenology in a riverine fish assemblage: implications for predicting the effects of climate change and altered flow regimes. *Freshwater Biology* 59(8), 1744-1754. https://doi.org/10.1111/fwb.12379

168. Woods, T., Kaz, A. and Giam, X. (2021). Phenology in freshwaters: a review and recommendations for future research. *Ecography*(44), 1-14. https://doi.org/10.1111/ecog.05564

169. Mills, K., Pershing, A., Brown, C., Chen, Y., Chiang, F.-S., Holland, D. *et al*. (2013). Fisheries management in a changing climate: Lessons from the 2012 ocean heat wave in the Northwest Atlantic. *Oceanography* 26(2), 191–195. https://doi.org/10.5670/oceanog.2013.27

170. Fitchett, J.M., Grab, S.W. and Portwig, H. (2019). Progressive delays in the timing of sardine migration in the southwest Indian Ocean. *South Africa Journal of Science* 115(7/8), 5887. https://doi.org/10.17159/sajs.2019/5887

171. Teske, P.R., Emami-Khoyi, A., Golla, T.R., Sandoval-Castillo, J., Lamont, T., Chiazzari, B. *et al*. (2021). The sardine run in southeastern Africa is a mass migration into an ecological trap. *Science Advances* 7(38), eabf4514. https://doi.org/10.1126/sciadv.abf4514

مراجع الصور

تحديد التحولات وتتبع الاتجاهات

النباتات

Renner and Zohner (2018) .33

Anderson, J.T., Inouye, D.W., McKinney, A.M., Colautti, R.I. and Mitchell-Olds, T. (2012). Phenotypic plasticity and adaptive evolution contribute to advancing flowering phenology in response to climate change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 279(1743), 3843-3852. https://doi.org/10.1098/rspb.2012.1051

Askeyev, O.V., Tischin, D., Sparks, T.H. and Askeyev, I.V. (2005). The effect of climate on the phenology, acorn crop and radial increment of pedunculate oak (*Quercus robur*) in the middle Volga region, Tatarstan, Russia. *International Journal of Biometeorology* 49(4), 262-266. https://doi.org/10.1007/s00484-004-0233-3

Ehrlén, J. and Valdés, A. (2020). Climate drives among-year variation in natural selection on flowering time. *Ecology Letters 23*(4), 653-662. https://doi.org/10.1111/ele.13468

Lambert, A.M., Miller-Rushing, A.J. and Inouye, D.W. (2010). Changes in snowmelt date and summer precipitation affect the flowering phenology of *Erythronium grandiflorum* (glacier lily; Liliaceae). *American Journal of Botany 97*(9), 1431-1437. https://doi.org/10.3732/ajb.1000095

Kudo, G. and Cooper, E.J. (2019). When spring ephemerals fail to meet pollinators: mechanism of phenological mismatch and its impact on plant reproduction. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 286*(1904), 20190573. https://doi.org/10.1098/rspb.2019.0573

الحشرات

Konvicka, M., Benes, J., Cízek, O., Kuras, T. and Kleckova, I. (2016). Has the currently warming climate affected populations of the mountain ringlet butterfly, *Erebia epiphron* (Lepidoptera: Nymphalidae), in low-elevation mountains? *European Journal of Entomology* 113, 295. https://doi.org/10.14411/eje.2016.036

Macgregor, C.J., Thomas, C.D., Roy, D.B., Beaumont, M.A., Bell, J.R., Brereton, T. *et al*. (2019). Climate-induced phenology shifts linked to range expansions in species with multiple reproductive cycles per year. *Nature Communications* 10(1), 1-10. https://doi.org/10.1038/s41467-019-12479-w

ذوات الحوافر

Froy, H., Martin, J., Stopher, K.V., Morris, A., Morris, S., Clutton-Brock, T.H. *et al*. (2019). Consistent within-individual plasticity is sufficient to explain temperature responses in red deer reproductive traits. *Journal of Evolutionary Biology* 32(11), 1194-1206. https://doi.org/10.1111/jeb.13521

Plard, F., Gaillard, J-M., Coulson, T., Hewison, A.J.M., Delorme, D., Warnant, C. *et al.* (2014). Mismatch between birth date and vegetation phenology slows the demography of roe deer. *PLOS Biology* 12, e1001828. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001828

Renaud, L.A., Pigeon, G., Festa-Bianchet, M. and Pelletier, F. (2019). Phenotypic plasticity in bighorn sheep reproductive phenology: from individual to population. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 73(4), 1-13. https://doi.org/10.1007/s00265-019-2656-1

Stopher, K.V., Bento, A.I., Clutton-Brock, T.H., Pemberton, J.M. and Kruuk, L.E. (2014). Multiple pathways mediate the effects of climate change on maternal reproductive traits in a red deer population. *Ecology 95*(11), 3124-3138. https://doi.org/10.1890/13-0967.1

الأسماك

Friedland, K.D., Reddin, D.G., McMenemy, J.R. and Drinkwater, K.F. (2003). Multidecadal trends in North American Atlantic salmon (*Salmo s*alar) stocks and climate trends relevant to juvenile survival. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60(5), 563-583. https://doi.org/10.1139/f03-047

Kennedy, R.J. and Crozier, W.W. (2010). Evidence of changing migratory patterns of wild Atlantic salmon *Salmo salar* smolts in the River Bush, Northern Ireland, and possible associations with climate change. *Journal of Fish Biology* 76(7), 1786-1805. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02617.x

Kovach, R.P., Joyce, J.E., Echave, J.D., Lindberg, M.S. and Tallmon, D.A. (2013). Earlier migration timing, decreasing phenotypic variation, and biocomplexity in multiple salmonid species. *PloS one* 8(1), e53807. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053807

Ohlberger, J., Thackeray, S.J., Winfield, I.J., Maberly, S.C. and Vøllestad, L.A. (2014). When phenology matters: age–size truncation alters population response to trophic mismatch. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281(1793), 20140938. https://doi.org/10.1098/rspb.2014.0938

الطيور

Arlt, D. and Pärt, T. (2017). Marked reduction in demographic rates and reduced fitness advantage for early breeding is not linked to reduced thermal matching of breeding time. *Ecology and Evolution* 7(24), 10782-10796. https://doi.org/10.1002/ece3.3603

Both, C. and Visser, M.E. (2005). The effect of climate change on the correlation between avian life-history traits. *Global Change Biology* 11(10), 1606-1613. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01038.x

D'Alba, L., Monaghan, P. and Nager, R.G. (2010). Advances in laying date and increasing population size suggest positive responses to climate change in common eiders *Somateria mollissima* in Iceland. *Ibis* 152(1), 19-28. https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2009.00978.x

de Villemereuil, P., Rutschmann, A., Ewen, J.G., Santure, A.W. and Brekke, P. (2019). Can threatened species adapt in a restored habitat? No expected evolutionary response in lay date for the New Zealand hihi. *Evolutionary Applications* 12(3), 482-497. https://doi.org/10.1111/eva.12727

Fletcher, K., Howarth, D., Kirby, A., Dunn, R. and Smith, A. (2013). Effect of climate change on breeding phenology, clutch size and chick survival of an upland bird. *Ibis* 155(3), 456-463. https://doi.org/10.1111/ibi.12055

Gaston, A.J., Gilchrist, H.G., Mallory, M.L. and Smith, P.A. (2009). Changes in seasonal events, peak food availability, and consequent breeding adjustment in a marine bird: a case of progressive mismatching. *The Condor* 111(1), 111-119. https://doi.org/10.1525/cond.2009.080077

Imlay, T.L., Mills, J., Saldanha, S., Wheelwright, N.T. and Leonard, M.L. (2018). Breeding phenology and performance for four swallows over 57 years: relationships with temperature and precipitation. *Ecosphere* 9(4), e02166. https://doi.org/10.1002/ecs2.2166

Kentie, R., Coulson, T., Hooijmeijer, J.C., Howison, R.A., Loonstra, A.J., Verhoeven, M.A. *et al*. (2018). Breeding phenology and performance for four swallows over 57 years: relationships with temperature and precipitation. *Ecosphere* 9(4), e02166. https://doi.org/10.1002/ecs2.2166

Kentie, R., Coulson, T., Hooijmeijer, J.C., Howison, R.A., Loonstra, A.J., Verhoeven, M.A. et al. (2006). Short-and long-term population dynamical consequences of asymmetric climate change in black grouse. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 273(1597), 2009-2016. https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3538

McDermott, M.E. and DeGroote, L.W. (2016). Long-term climate impacts on breeding bird phenology in Pennsylvania, USA. *Global Change Biology 22(10), 3304-3319.* https://doi.org/10.1111/gcb.13363

McDermott, M.E. and DeGroote, L.W. (2017). Linking phenological events in migratory passerines with a changing climate: 50 years in the Laurel Highlands of Pennsylvania. *PLoS One* 12(4), e0174247. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174247

Moe, B., Stempniewicz, L., Jakubas, D., Angelier, F., Chastel, O., Dinessen, F. *et al. (2009). Climate change and phenological responses of two seabird species breeding in the high-Arctic. Marine Ecology Progress Series* 393, 235-246. https://doi.org/10.3354/meps08222

Møller, A.P. (2008). Climate change and micro-geographic variation in laying date. *Oecologia* 155(4), 845-857. https://doi.org/10.1007/s00442-007-0944-3

Nilsson, A.L.K., Slagsvold, T., Røstad, O.W., Knudsen, E., Jerstad, K., Cadahia, L. *et al. (2019). Territory location and quality, together with climate, affect the timing of breeding in the white-throated dipper. Scientific Reports 9(1), 1-11.* https://doi.org/10.1038/s41598-019-43792-5

Rosenfield, R.N., Hardin, M.G., Bielefeldt, J. and Keyel, E.R. (2017). Are life history events of a northern breeding population of Cooper's Hawks influenced by changing climate? *Ecology and Evolution 7(1), 399-408.* https://doi.org/10.1002/ece3.2619

Sanz, J.J., Potti, J., Moreno, J., Merino, S. and Frias, O. (2003). Climate change and fitness components of a migratory bird breeding in the Mediterranean region. *Global Change Biology* 9(3), 461-472. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00575.x

Sauve, D., Divoky, G. and Friesen, V.L. (2019). Phenotypic plasticity or evolutionary change? An examination of the phenological response of an arctic seabird to climate change. *Functional Ecology 33(11), 2180-2190.* https://doi.org/10.1111/1365-2435.13406

Schaefer, T., Ledebur, G., Beier, J. and Leisler, B. (2006). Reproductive responses of two related coexisting songbird species to environmental changes: global warming, competition, and population sizes. *Journal of Ornithology* 147(1), 47-56. https://doi.org/10.1007/s10336-005-0011-y

Vatka, E., Orell, M. and Rytkönen, S. (2011). Warming climate advances breeding and improves synchrony of food demand and food availability in a boreal passerine. *Global Change Biology* 17(9), 3002-3009. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02430.x

Visser, M.E., Gienapp, P., Husby, A., Morrisey, M., de la Hera, I., Pulido, F. *et al*. (2015). Effects of spring temperatures on the strength of selection on timing of reproduction in a long-distance migratory bird. *PLoS Biology* 13(4), e1002120. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002120

Watanuki, Y., Ito, M., Deguchi, T. and Minobe, S. (2009). Climate-forced seasonal mismatch between the hatching of rhinoceros auklets and the availability of anchovy. *Marine Ecology Progress Series* 393, 259-271. https://doi.org/10.3354/meps08264

Weatherhead, P.J. (2005). Effects of climate variation on timing of nesting, reproductive success, and offspring sex ratios of red-winged blackbirds. *Oecologia* 144(1), 168-175. https://doi.org/10.1007/s00442-005-0009-4

Wegge, P. and Rolstad, J. (2017). Climate change and bird reproduction: warmer springs benefit breeding success in boreal forest grouse. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 284(1866), 20171528. https://doi.org/10.1098/rspb.2017.1528

الخفافيش

Linton, D.M. and Macdonald, D.W. (2018). Spring weather conditions influence breeding phenology and reproductive success in sympatric bat populations. *Journal of Animal Ecology* 87(4), 1080-1090. https://doi.org/10.1111/1365-2656.12832

الأنواع البحرية

31. Poloczanska *et al*. (2013)

32. Poloczanska *et al*. (2016)

تقرير آفاق 2022

قضايا ناشئة تُثير مخاوف بيئية

برنامج الأمم المتحدة للبيئة

2022-1972

United Nations Avenue, Gigiri
P.O. Box 30552, 00100 Nairobi, Kenya
الهاتف: 254+ 20 762 1234
unep-publications@un.org
www.unep.org