وزارة التعليم

رؤية عُمان 2040

نتقدم بثقة
Moving Forward with Confidence

العلوم البيئية

الصف الثاني عشر

كتاب الطالب

الفصل الدراسي الأول



CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

الطبعة التجريبية

1448 هـ - 2026 م



العلوم البيئية

الصف الثاني عشر

كتاب الطالب

الفصل الدراسي الأول

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

الطبعة التجريبية 1448 هـ - 2026 م

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

مطبعة جامعة كامبريدج، الرمز البريدي CB2 8BS، المملكة المتحدة.

تشكل مطبعة جامعة كامبريدج جزءًا من الجامعة.
وللمطبعة دور في تعزيز رسالة الجامعة من خلال نشر المعرفة، سعيًا وراء
تحقيق التعليم والتعلم وتوفير أدوات البحث على أعلى مستويات التميز العالمية.

© مطبعة جامعة كامبريدج ووزارة التعليم في سلطنة عُمان.

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويخضع للاستثناء التشريعي
المسموح به قانونًا ولأحكام التراخيص ذات الصلة.
لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب من دون الحصول على الإذن المكتوب من
مطبعة جامعة كامبريدج ومن وزارة التعليم في سلطنة عُمان.

الطبعة التجريبية ٢٠٢٥ م، طُبعت في سلطنة عُمان

هذه نسخة تمَّت مواءمتها من كتاب الطالب – العلوم البيئية – الصف الثاني عشر – من سلسلة كامبريدج للإدارة البيئية وسلسلة العلوم البحرية لمستوى الدبلوم العام والمستوى المتقدم AS & A Level .

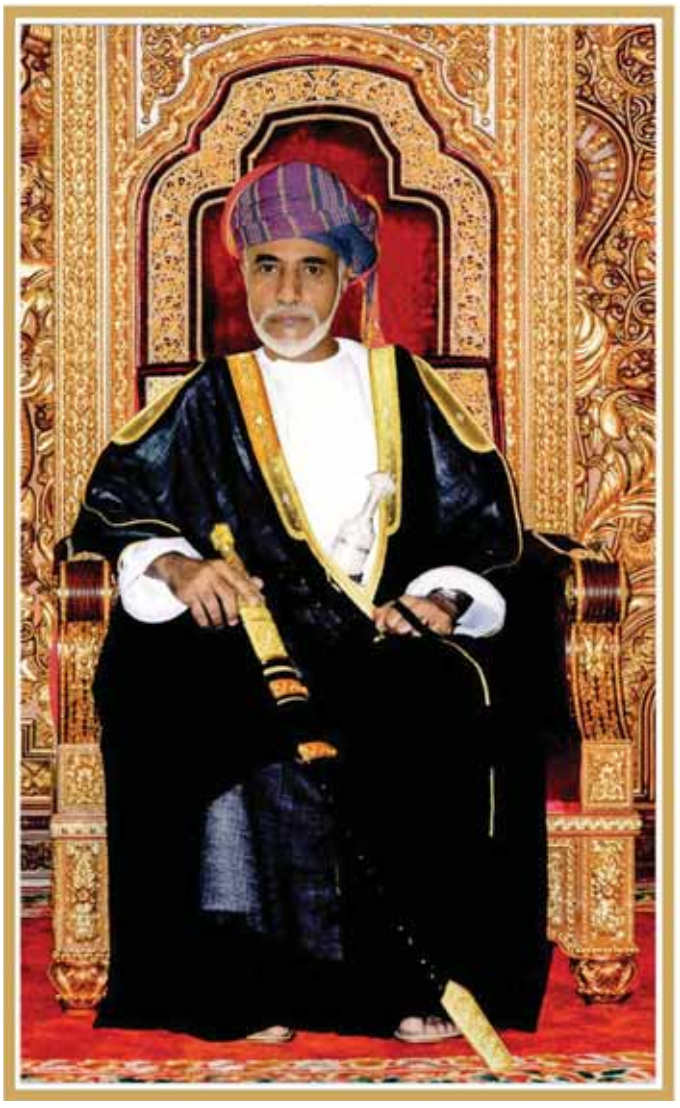
تمت مواءمة هذا الكتاب بناءً على العقد الموقع بين وزارة التربية التعليم ومطبعة جامعة كامبريدج.
لا تتحمل مطبعة جامعة كامبريدج المسؤولية تجاه المواقع الإلكترونية المستخدمة في هذا الكتاب أو دقّتها،
ولا تؤكد أن المحتوى الوارد على تلك المواقع دقيق وملائم، أو أنه سيبقى كذلك.

تمت مواءمة الكتاب

بموجب القرار الوزاري رقم ٢٠٢٤/٨٣ واللجان المنبثقة عنه



جميع حقوق الطبع والتأليف والنشر محفوظة لوزارة التعليم
ولا يجوز طبع الكتاب أو تصويره أو إعادة نسخه كاملاً أو مجزّأً أو ترجمته
أو تخزينه في نطاق استعادة المعلومات بهدف تجاري بأي شكل من الأشكال
إلا بإذن كتابي مسبق من الوزارة، وفي حالة الاقتباس القصير يجب ذكر المصدر.



المغفور لـه
السلطان قابوس بن سعيد
–طيّب الله ثراه–



حضرة صاحب الجلالة
السلطان هيثم بن طارق المعظم
– حفظه الله ورعاه –

سلطنـــــة عُمـــــان

(المحافظات والولايات)





النَّشيدُ الْوَطَنِيُّ

يا رَبَّنا احْفَظْ لنا جَلالَةَ السُّلْطان
وَالشَّعْبَ في الأَوْطان بِالْعِزِّ والأَمان
وَلْيَدُمْ مُؤَيَّدًا عاهِلاً مُمَجَّدًا
بِالنُّفوسِ يُفْتَدى

يا عُمانُ نَحْنُ مِنْ عَهْدِ النَّبي أَوْفِياءُ مِنْ كِرامِ الْعَرَبِ
فارْتَقي هامَ السَّماء وَامْلَئي الْكَوْنَ ضِيَاء
وَاسْعَدي وَانْعَمي بِالرَّخاء

تقديم

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على خير المرسلين، سيّدنا مُحمَّد، وعلى آله وصحبه أجمعين. وبعد:

لقد حرصت وزارة التعليم على تطوير المنظومة التعليمية في جوانبها ومجالاتها المختلفة كافة؛ لتُلبّي مُتطلّبات المجتمع الحالية، وتطلُّعاته المستقبلية، ولتتواكب مع المُستجدّات العالمية في اقتصاد المعرفة، والعلوم الحياتية المختلفة؛ بما يؤدّي إلى تمكين المخرجات التعليمية من المشاركة في مجالات التنمية الشاملة للسلطنة.

وقد حظيت المناهج الدراسية، باعتبارها مكوِّنًا أساسيًا من مكوِّنات المنظومة التعليمية، بمراجعة مستمرة وتطوير شامل في نواحيها المختلفة؛ بدءًا من المقرّرات الدراسية، وطرائق التدريس، وأساليب التقويم وغيرها؛ وذلك لتتناسب مع الرؤية المستقبلية للتعليم في السلطنة، ولتتوافق مع فلسفته وأهدافه.

وقد أولت الوزارة مجال تدريس العلوم والرياضيات اهتمامًا كبيرًا يتلاءم مع مستجدات التطور العلمي والتكنولوجي والمعرفي. ومن هذا المنطلق اتَّجهت إلى الاستفادة من الخبرات الدولية؛ اتساقًا مع التطوُّر المتسارع في هذا المجال، من خلال تبنّي مشروع السلاسل العالمية في تدريس هاتَين المادّتَين وفق المعايير الدولية؛ من أجل تنمية مهارات البحث والتقصّي والاستنتاج لدى الطلبة، وتعميق فهمهم للظواهر العلمية المختلفة، وتطوير قدراتهم التنافُسية في المسابقات العلمية والمعرفية، وتحقيق نتائج أفضل في الدراسات الدولية.

إن هذا الكتاب، بما يحويه من معارف ومهارات وقيَم واتجاهات، جاء مُحقِّقًا لأهداف التعليم في السلطنة، وموائمًا للبيئة العمانية، والخصوصية الثقافية للبلد، بما يتضمَّنه من أنشطة وصور ورسوم. وهو أحد مصادر المعرفة الداعمة لتعلُّم الطالب، بالإضافة إلى غيره من المصادر المختلفة.

نتمنّى لأبنائنا الطلبة النجاح، ولزملائنا المعلّمين التوفيق فيما يبذلونه من جهود مُخلِصة، لتحقيق أهداف الرسالة التربوية السامية؛ خدمة لهذا الوطن العزيز، تحت ظل القيادة الحكيمة لمولانا حضرة صاحب الجلالة السلطان هيثم بن طارق المعظّم، حفظه الله ورعاه.

والله ولي التوفيق

د. مديحة بنت أحمد الشيبانية

وزيرة التعليم

المحتويات

المقدمة xi

كيف تستخدم هذه السلسلة xiii

كيف تستخدم هذا الكتاب xv

الوحدة الأولى: فسيولوجيا الكائنات الحية البحرية

١-١ التركيب العام للخلية ٢٠

١-٢ حركة المواد ٣٤

١-٣ تبادل الغازات ٣٩

١-٤ التنظيم الأسموزي ٤٩

الوحدة الثانية: الطاقة في النظم البيئية البحرية

٢-١ التمثيل الضوئي ٦٧

٢-٢ التمثيل الكيميائي ٧٧

٢-٣ التنفّس ٨٠

الوحدة الثالثة: إدارة الغلاف الجوي

٣-١ الترسيب الحمضي والضباب الدخاني الكيميائي الضوئي ٩٨

٣-٢ إدارة تلوث الهواء ١٠٦

٣-٣ استنفاد الأوزون ١١٣

الوحدة الرابعة: إدارة تغير المناخ

٤-١ تغير المناخ ١٣١

٤-٢ تأثيرات تغير المناخ ١٤٠

٤-٣ إدارة تغير المناخ ١٤٩

قائمة المصطلحات ١٧١

المقدمة

تُعدّ العلوم البيئية دراسة للعالم الطبيعي، ولكيفية تفاعل الإنسان مع هذا العالم، يقوم بها من يهتم بدراسة الكائنات الحية في بيئته، مركّزًا على تأثير الإنسان على البيئة، وعلى إمكانية تغيير سلوكياته للمساعدة في حمايتها والحفاظ على مواردها للأجيال القادمة. من الصعب تقديم تعريف واحد فقط للعلوم البيئية. وذلك لأنه يعمل على مستويات عديدة ويؤثر على كل جانب من جوانب حياتنا، بدءًا من طريقة تأقلم الكائنات البحرية مع محيطها وصولًا إلى تلوث الغلاف الجوّي الذي يحيط بنا.

يدرس علماء البيئة كل جانب من جوانب عالمنا الطبيعي، وكيفية تفاعله بهدف فهم عمل النظم البيئية، من أصغر بركة مياه إلى كوكب الأرض ككل. ثمّة العديد من المجالات المختلفة للإدارة البيئية يرتكز كل مجال منها على معرفة أساسية، ولقد صمّم كتاب الطالب ليتناسب مع بيئة سلطنة عمان واحتياجاتها، مع التركيز بشكل خاص على العلوم البحرية، نظرًا إلى أهمية هذا الموطن البيئي في الصناعة والاقتصاد داخل سلطنة عُمان.

يمكن تطبيق المعرفة التي ستكتسبها في هذا المنهج عبر نطاق واسع من المهن المستقبلية.

يُستخدم كتاب الأنشطة والتجارب العملية ككتاب داعم لكتاب الطالب، وسيتيح أمام الطلبة فرصًا للبحث المعمّق في الموضوعات المطروحة، فيساعدهم على تطوير مهاراتهم الرياضية والتحليلية والتدريب على حل أسئلة مشابهة لأسئلة الامتحانات. قد يقوم المعلّم بتنفيذ بعض هذه الأنشطة داخل الصف، أو يعطيها كواجب منزلي؛ وإذا توافر الوقت يمكن للطلبة إجراء هذه الأنشطة بأنفسهم لتعزيز مهاراتهم الخاصة.

تُعدّ دراسة العلوم البيئية أمرًا ملحًا، فمع تأثير تغير المناخ، والحاجة إلى مصادر طاقة أكثر تجدّدًا، وزيادة المعرفة بأهمية التنوع البيولوجي، واستمرار الاكتشافات التكنولوجية الحديثة في هذا المجال، باتت حاجتنا اليوم إلى الوعي بالعلوم البيئية أكثر من أي وقت مضى. وسواء تابع الطلبة دراستهم وتخصصهم في المجال العلمي، أو قرروا الدخول في مجال آخر، يجب أن يكونوا جميعهم على دراية تامة بكيفية العمل معًا لخلق مستقبل مستدام وناجح لسلطنة عمان.

وللتعليم البيئي دور حيوي في تحقيق رؤية عمان ٢٠٤٠، من خلال توعية الأجيال القادمة بأهمية حماية البيئة والموارد الطبيعية، وتمكينهم من اتخاذ قرارات مستنيرة تساهم في بناء مستقبل أكثر استدامة.

استخدام العلوم البيئية

يمكن تطبيق العلوم البيئية بمجموعة متنوعة من الطرائق العملية من خلال مجموعة واسعة من المهن. فعلماء البيئة هم أشخاص متخصصون في الصناعة، ومحافظون على الطبيعة، ومهندسون، ومحامون، وصحفيون، ومتخصصون في الصحة البيئية، وموظفون حكوميون وعاملون في المنظمات غير الحكومية. غالبًا ما تتكوّن فرق العلوم البيئية من متخصصين في مجالات مختلفة، بحيث يعمل أعضاء الفريق معًا لإيجاد حلول للمخاوف البيئية المحتملة أو المحددة، ويتشارك كل حسب مجال تخصصه وخبرته، ويتبادلون الأفكار والأراء والمقترحات.

باعتبارك عالمًا بيئيًا، ستعمل كجزء من فريق يعمل على تحقيق هدف مشترك.

انضم إلى فريق العلوم البيئية

إن معرفتك بالبيئة ورغبتك في التأثير على كيفية تفاعل الإنسان مع العالم الطبيعي قد تؤدي إلى إحداث تغيير نحو الأفضل. عندما تدرس العلوم البيئية، فإنك:

- تعلم المزيد عن كوكب الأرض.
- تفكر في كيفية تأثير أفعالنا ككائنات حية على الأرض.
- تفكر بشكل ناقد، وتنظر في استراتيجيات كيفية إدارة تأثيرنا، كنوع، على عالمنا.
- تطوّر المهارات الأكاديمية الناقدة.

مهما كان مجال الدراسة الذي تسعى إليه، فإن المعرفة والمهارات البيئية التي تتعلمها في هذا الكتاب ستبقى معك. كلاهما سيساعدك على فهم التغيرات السريعة التي نشهدها في العالم اليوم.

ملاحظة على الخرائط: الحدود والأسماء الموضحة، والمسميات المستخدمة وعرض المواد على أي خرائط واردة في هذا الكتاب لا تعني تأييدًا رسميًا أو قبولًا من وزارة التربية والتعليم في سلطنة عُمان للوضع القانوني لأي دولة أو إقليم أو منطقة أو لأي سلطة فيها أو لترسيم حدودها أو تخومها.

كيف تستخدم هذه السلسلة

تقدّم هذه المكوّنات (أو المصادر) الدعم للطلبة في الصف الثاني عشر في سلطنة عمان لتعلم مادة العلوم البيئية واستيعابها، حيث تعمل كتب هذه السلسلة جميعها معًا لمساعدة الطلبة على تطوير المعرفة والمهارات العلمية اللازمة لمادة العلوم البيئية.



تم تصميم كتاب الطالب ليستخدمه الطلبة داخل الفصول الدراسية بتوجيه من المعلّمين. تحتوي الوحدات على تفسيرات وتعريفات وأسئلة ودراسة حالات وأمثلة عملية ومجموعة من الميزات الأخرى لإشراك الطلبة. كما تتيح لهم فرصًا كثيرة للمشاركة في نقاشات هادفة، والعمل في مجموعات ثنائية، والعمل الجماعي.



يحتوي «كتاب التجارب العملية والأنشطة» على أنشطة وأسئلة نهاية الوحدة، والتي تمّ اختيارها بعناية، بهدف مساعدة الطلبة على تطوير المهارات المختلفة التي يحتاجون إليها أثناء تقدمهم في دراسة كتاب العلوم البيئية. كما تساعد هذه الأسئلة الطلبة على تطوير فهمهم لمعنى الأفعال الإجرائية المستخدمة في الأسئلة، إضافة إلى دعمهم في الإجابة عن الأسئلة بشكل مناسب.

كما يحقّق هذا الكتاب للطلبة الدعم الكامل الذي يساعدهم على تطوير مهارات الاستقصاء العملية الأساسية. وكذلك مهارات تخطيط الاستقصاءات، واختيار الأداة أو الجهاز المناسب وكيفية التعامل معه، وطرح الفرضيات، وتدوين النتائج وعرضها، وتحليل البيانات وتقييمها.



يقدم دليل المعلّم عددًا من الأفكار العامة للتدريس والواجبات المنزلية الملهمة للمعلمين. ويزوّدهم بإجابات الأسئلة الموجودة في كتاب الطالب وأسئلة الأنشطة وإرشادات ودعم لتنفيذ الاستقصاءات العملية. تتوافر أيضًا في دليل المعلّم إرشادات تخطيط الدرس والدعم التربوي، إذ يتم تشجيع المعلّمين على استخدام مزيج من أنشطة كتاب الطالب ودليل المعلّم وفقًا لاحتياجات طلبة كل فصل.

كيف تستخدم هذا الكتاب

من خلال دراستك هذا الكتاب، ستلاحظ الكثير من الميزات المختلفة التي ستساعدك في التعلم. هذه الميزات موضحة على النحو الآتي:

أهداف التعلّم

تُمثّل هذه الأهداف مضمون كل وحدة دراسية، وتساعد على إرشاد الطلبة خلال دراسة «كتاب الطالب»، كما تشير إلى المفاهيم المهمة المطروحة في كل موضوع، ويتم التركيز عليها عند تقويم الطالب.

قبل أن تبدأ بدراسة الوَحدة

أنشطة استهلالية في بداية كل وحدة، تكون إما ثنائية أو جماعية أو صفية، وتتمحور حول المعرفة القبلية للموضوعات التي ستحتاج إليها قبل البدء بدراسة الوحدة.

العلوم البيئية ضمن سياقها

تُقدّم هذه الميزة أمثلة وتطبيقات واقعية للمحتوى الموجود في كل وحدة دراسية، ما يعني أنها تشجع الطلبة على إجراء المزيد من البحث في الموضوعات المختلفة. تتضمن أسئلة للمناقشة تحفز الطلبة على التفكير في فوائد ومشاكل هذه التطبيقات.

مهارات الاستقصاء

توفر لك هذه الميزة فرصة لتطوير مهاراتك في البحث العلمي. وقد يتضمن ذلك إجراء تجربة، أو معالجة البيانات، أو إكمال مهمة بحثية، أو توقع النتائج.

أمثلة

توضح لك الأمثلة كيفية التعامل مع عملية أو سؤال معيّن خطوة خطوة، ثم توفر لك الفرصة لتجربتها بنفسك. ستجد هذه الميزة مفيدة للأسئلة التي تتطلب استخدام صيغة رياضية للتوصل إلى الإجابة.

أسئلة

يتخلّل النص أسئلة تمنحك فرصة للتحقق من أنك قد فهمت الموضوع الذي قرأت عنه.

دراسة حالة

تتيح لك دراسة حالة ودراسة حالة موسعة والأسئلة المصاحبة استكشاف حالات واقعية في إدارة البيئة بشكل فعال. كما تتيح لك فرصًا لإنتاج عملك الخاص كعمل فردي، أو ثنائي أو ضمن مجموعات، وهي غير مرتبطة بأهداف التعلم.

مصطلحات علمية

يتم تمييز المصطلحات الأساسية في النص عند تقديمها لأول مرة؛ أما المصطلحات الأساسية الأخرى غير المرتبطة بأهداف التعلم فجرى تمييزها بعلامة (*). وقد جرى شرح معاني هذه المصطلحات في الهامش، وسوف تجد أيضًا تعريفات لها في قائمة المصطلحات الواردة في نهاية هذا الكتاب. المصطلحات التي لها علامة (*) هي غير مطلوبة للحفظ لكنها مفيدة للموضوع.

أفعال إجرائية

لقد تمّ إبراز الأفعال الإجرائية الواردة في المنهج الدراسي بلون غامق في مربعات مميزة تتضمن تعريفًا للفعل والمهارات التي يجب عليك تطبيقها عند الإجابة عن أنواع مختلفة من الأسئلة. ويقل ظهور المربعات التي تتضمن الأفعال الإجرائية كلما أصبحت أكثر دراية بها. سوف تجد أيضًا التعريفات نفسها في قائمة المصطلحات الواردة في نهاية هذا الكتاب.

دراسة حالة موسّعة

تتضمن كل وحدة دراسة حالة موسعة تتناول بالتفصيل مشكلة أو حالة معيّنة في إطار واقعي حقيقي. فدراسة الحالة الموسعة تفتح أمام الطلبة بابًا للتفكير في مسألة ما بمزيد من التعمق، وتتضمن أنشطة أو أسئلة أو مشاريع يمكنهم تحقيقها.

وبديهي القول إن الطلبة عندما يدرسون حالة من الحالات، لا يفعلون ذلك تحضيرًا للامتحان، وإنما المهارات التي يستخدمونها للإجابة عن الأسئلة ستساعدهم في تجاوز الامتحان بنجاح.

مهمّ

يتم في مربّعات النص هذه إدراج حقائق وإرشادات مهمّة للطلبة.

ملخّص

تحتوي مربّعات النص هذه على ملخّص للنقاط الرئيسية في نهاية كل وحدة.

أسئلة نهاية الوحدة

تقيس هذه الأسئلة مدى تحقّق الأهداف التعليمية في الوحدة، وقد يتطلب بعضها استخدام معارف علمية من وحدات سابقة. تتوافر إجابات هذه الأسئلة في دليل المعلّم.

قائمة تقييم ذاتي

تلي الملخّص عبارات تتضمّن عناوين منها: «أستطيع أن» التي تتطابق مع أهداف التعلم الموجودة في بداية الوحدة؛ و «أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد»، أو «اقترب من تحقيق الهدف» اللتَين تشيران إلى وجوب مراجعة ما تراه ضروريًا في هذا المجال. وقد تجد أنه من المفيد تقييم مدى ثقتك بكل من هذه العبارات أثناء عملية المراجعة.

أستطيع أن	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	أقترب من تحقيق الهدف	واثق من الاستمرار	أراجع الموضوع

الوحدة الأولى

فسيولوجيا الكائنات الحية البحرية

Physiology of Marine Organisms



أهداف التعلّم

١-١ يسمي ويحدد العضيات والتراكيب الخلوية التالية التي يمكن رؤيتها بالمجهر الضوئي و/أو المجهر الإلكتروني، ويذكر وظائفها:

- غشاء سطح الخلية
- النواة
- الشبكة الإندوبلازمية الخشنة والناعمة
- الرايبوسومات
- جهاز جولجي
- الميتوكندريا
- البلاستيدات الخضراء
- جدار الخلية
- فجوة دائمة كبيرة.

٢-١ يصف النموذج الفسيفسائي السائل لتركيب الغشاء، ويلخّص تركيب ووظائف الدهون المفسفرة والكوليسترول والبروتينات مقتصرًا على البروتينات الحاملة والبروتينات القنوية.

٣-١ يصف طبيعة النفاذية الانتقائية للأغشية ويربط ذلك بالنقل (السلبي والنشط) للمواد عبر الغشاء.

٤-١ يرسم رسومًا بيولوجية مشروحة لصور مكبرة للخلايا والأنسجة باستخدام شرائح المجهر الضوئي أو الصور المجهرية الضوئية.

٥-١ يذكر الصيغة التالية ويطبقها:

$$\text{مقدار التكبير} = \frac{\text{طول الصورة المشاهدة}}{\text{الطول الحقيقي}}$$

٦-١ يصف ويفسّر الصور المجهرية الضوئية والصور المجهرية الإلكترونية ورسوم الخلايا الحيوانية والنباتية النموذجية.

٧-١ يصف ويشرح عمليات الانتشار والانتشار المسهل والنقل النشط والأسموزية.

٨-١ يعرّف مصطلح جهد الماء ويشرح كيفية تأثير المواد المذابة على جهد الماء في المحلول أو الخلية (معرفة جهد المذاب غير مطلوبة).

٩-١ يشرح حركة الماء بين الخلايا والمحاليل ذات جهد ماء مختلف، ويشرح التأثيرات المختلفة على الخلايا النباتية والحيوانية.

١٠-١ يشرح لماذا تحتاج الكائنات الحية البحرية إلى تبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون مع محيطها.

١١-١ يحسب مساحات سطوح وحجوم الأشكال البسيطة لتوضيح المبدأ: نسبة مساحة السطح إلى الحجم تتناقص مع زيادة الحجم (سيتم توفير جميع الصيغ والرموز ذات الصلة).

١٢-١ يناقش كيف أن نسبة مساحة السطح إلى الحجم تعتمد على حجم وشكل الكائن الحي، ويربط ذلك بالحاجة إلى سطوح متخصصة لتبادل الغازات وأجهزة نقل في الحيوانات الكبيرة.

١٣-١ يصف تبادل الغازات عن طريق الانتشار والتهوية بالضخ والتهوية بالاندفاع، في أمثلة تشمل بوليبات المرجان والهامور والتونة.

١٤-١ يصف كيفية ارتباط طريقة تبادل الغازات لدى الكائن الحي بموطنه البيئي وحركته.

١٥-١ يشرح سبب حاجة الكائنات الحية البحرية إلى تنظيم محتواها المائي والأيوني، مع الإشارة إلى التركيز النسبي للأيونات في مياه البحر وسوائل الجسم.

١٦-١ يشرح المصطلحَين متوافق أسموزيًا ومنظم للأسموزية مع الإشارة إلى بلح البحر والتونة.

١٧-١ يشرح المصطلحَين ضيق المدى الملحي وواسع المدى الملحي مع الإشارة إلى سمك السلمون وبلح البحر والتونة.

١٨-١ يلخّص عمليات التنظيم الأسموزي في سمك السلمون كمثال.

قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة

١. ارسم خلية حيوانية نموذجية وخلية نباتية نموذجية. حاول تحديد أكبر عدد ممكن من العضيّات والتراكيب ملخّصًا وظائفها، ثم اكتب قائمة بأسماء العضيّات والتراكيب الخلوية الموجودة في كلتا الخليتَين وتلك الموجودة في الخلايا النباتية فقط. قارن رسمك برسوم زملائك.

٢. فكّر فيما تعرفه فعليًّا عن كيفية اختلاف الملوحة في المسطحات المائية المختلفة، ثم اكتب قائمة بأكبر عدد ممكن من العوامل التي يمكن أن تؤثر في مقدار ملوحتها.

لقد درست سابقًا الأسموزية، فحاول أن تكتب تعريفًا لها، ثم فكّر في التحدّيات التي تشكّلها الملوحة المختلفة للكائنات الحية البحرية. اكتب ما تتوقع أن يحدث إذا:

أ. وضعت أوراقًا ذابلة غير مبللة من الخس في ماء نقي لمدة ساعة واحدة.

ب. قمت برش سكّر نقي على فراولة ناضجة.

ج. وضعت خلايا دم حمراء في ماء نقي.

د. وضعت قطعًا من البطاطس النيئة في ماء نقي أو في محلول مركز من ماء مالح.

٣. فكّر فيما تعرفه مسبقًا عن تبادل الغازات في الكائنات الحية (استخدم نفسك كمثال)، ثم اكتب:

أ. اسم الغاز الذي تحصل عليه من الهواء.

ب. اسم الغاز الذي تخرجه إلى الهواء.

ج. كيف تقوم بتبادل الغازات؟ وكيف يعمل جهازك التنفسي على أداء مثل هذه العملية بكفاءة؟

د. اذكر أكبر عدد ممكن من طرائق تبادل الغازات الأخرى التي تعرفها (باستثناء الرئتَين).

قارن ملاحظاتك بملاحظات زملائك. علمًا بأن سمات جهازك التنفسي التي تُسهم في حدوث عملية تبادل الغازات بكفاءة هي نفسها السمات التي تتمتع بها الطرائق الأخرى.

العلوم البيئية ضمن سياقها

التحديات الفسيولوجية التي تواجه الكائنات الحية في عالم البحار

تُعدّ البيئة البحرية بيئة مستقرة، إلّا أن هذا لا يعني أنها لا تتغير أبدًا، فدرجة الحرارة، وتركيز الأكسجين والملوحة تشكل ثلاثة عوامل قد تختلف بين مناطق المياه المختلفة بمرور الزمن. وهذا يعني أن الكائنات الحية البحرية تحتاج إلى أن تتمتع بسمات تمكّنها من العيش مع هذه التغيّرات. ولكي نتمكن من فهم كيف يمكن للكائنات الحية البحرية أن تعيش في بيئاتها، فنحن بحاجة إلى فهم فسيولوجيتها. إن فسيولوجيا جميع الكائنات الحية تشبه آلة مُحكمة الدقة، تعمل جميع أجزائها معًا بانسجام.

الخلايا Cells هي الوحدات البنائية الأساسية للحياة، وهي أساس علم الفسيولوجيا (علم الوظائف). تتكوّن الكائنات الحية عديدة الخلايا من أنواع مختلفة من الخلايا، كل منها مهيّأ لتأدية دور في بقائها على قيد الحياة. وتتكوّن الخلايا من تراكيب أصغر، بما فيها التراكيب المحاطة بأغشية، تُسمى **العضيّات Organelles**، والتي تقوم جميعها بوظائف محددة من أجل قيام الخلية بعملها. من الضروري فهم طبيعة الخلايا التي تتكون منها الكائنات الحية، وكيف يؤدي كل تركيب دوره الخاص في هذه الخلايا.

يُذكر أن الأنشطة البشرية قد تؤثر على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمحيطات. فقد يؤدي الاحترار العالمي إلى زيادة درجات حرارتها، وتغيير تركيز ملوحتها وتركيز الأكسجين فيها. وقد يغيّر التلوّث نسب المواد المذابة، أو قد يؤدي ارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون في المحيطات لجعلها أكثر حمضية.

من المهم جعل بيئة المحيطات ملائمة للكائنات الحية التي تعيش فيها، إضافة إلى التنبّؤ بالآثار التي يمكن أن يسبّبها التلوث غير المتحكّم فيه. ولنتمكن من مساعدة الكائنات البحرية على البقاء، نحتاج إلى فهم الطريقة التي تعمل بها خلاياها، وأنسجتها، وأعضاؤها – ولهذا السبب تُعد دراسة فسيولوجيا الكائنات الحية البحرية ذات أهمية كبرى.

تابع

سؤال

كيف تؤدي التغييرات في الطبيعة الفيزيائية والكيميائية للمحيطات إلى صعوبة بقاء الكائنات الحية البحرية؟

مصطلحات علمية

الخلية Cell: أصغر وحدة تركيبية في الكائن الحي قادرة على العمل بشكل مستقل.

العضيّة Organelle: تركيب متخصص مُحاط بغشاء داخل الخلية له وظيفة محددة.

١-١ التركيب العام للخلية

تتكوّن جميع الكائنات الحية من خلايا، وهي تُعدّ أصغر وحدة تركيبية في الكائن الحي قادرة على العمل وأداء وظائفها بشكل مستقلّ. ومن المهم معرفة أساسيات علم الخلية عند دراسة علم الأحياء البحرية كجزء من العلوم البيئية. فالعديد من الكائنات الحية البحرية، مثل بعض العوالق الحيوانية والعوالق النباتية هي كائنات وحيدة الخلية؛ في حين أن أكبر حيوان حي، وهو الحوت الأزرق، عديد الخلايا. قد تُشاهد الخلايا باستخدام المجاهر، والتي يمكنها أن تكشف التفاصيل داخلها، وقد درست بعضًا من تراكيب الخلية في (الصف التاسع الوحدة الأولى، الخلايا). تتكوّن كل خلية من عضيّات وغيرها من التراكيب التي توجد في سيتوبلازم Cytoplasm الخلية، ولكل منها وظائف متخصصة.

تحتوي الخلايا الحيوانية والخلايا النباتية على أغشية سطح الخلية Cell surface membranes، ونوى Nuclei، وشبكة إندوبلازمية خشنة RER، وشبكة إندوبلازمية ناعمة SER ورايبوسومات Ribosomes، وجهاز جولجي Golgi body، وميتوكندريا Mitochondria. كما أن للخلايا النباتية عضيات لا توجد في الخلايا الحيوانية وهي: البلاستيدات الخضراء Chloroplasts، وجدران الخلية Cell walls والفجوات الدائمة الكبيرة Large permanent vacuoles.

مصطلحات علمية

سيتوبلازم Cytoplasm: سائل هلامي يوجد داخل الخلية، يحتوي على العضيات والتراكيب الخلوية المختلفة باستثناء النواة.

غشاء سطح الخلية Cell surface membrane: غشاء من الدهون المفسفرة يفصل محتويات الخلية الداخلية عن بيئتها الخارجية.

النواة Nucleus: عضيّة محاطة بغلاف نووي (غشاء مزدوج) تحتوي على المادة الجينية للخلية.

الشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic reticulum (ER):

شبكة من الأكياس المسطحة تمتد عبر سيتوبلازم الخلايا حقيقية النواة؛ قد تنتقل الجزيئات، وبخاصة البروتينات، داخل الأكياس منفصلة عن بقية السيتوبلازم. تكون الشبكة الإندوبلازمية متصلة بالغشاء الخارجي للغلاف النووي.

الشبكة الإندوبلازمية الخشنة RER: هي الشبكة الإندوبلازمية المغطاة بالعديد من الرايبوسومات. تقوم بطي وتغليف البروتينات المصنعة حديثًا في حويصلات لنقلها إلى جهاز جولجي.

الشبكة الإندوبلازمية الناعمة SER: هي الشبكة الإندوبلازمية غير المغطاة بالرايبوسومات؛ وتشارك في تصنيع (بناء) الهرمونات الستيرويدية والدهون المفسفرة الجديدة للأغشية.

الرايبوسومات Ribosomes: تراكيب خلوية صغيرة غير محاطة بغشاء تشارك في تصنيع البروتينات.

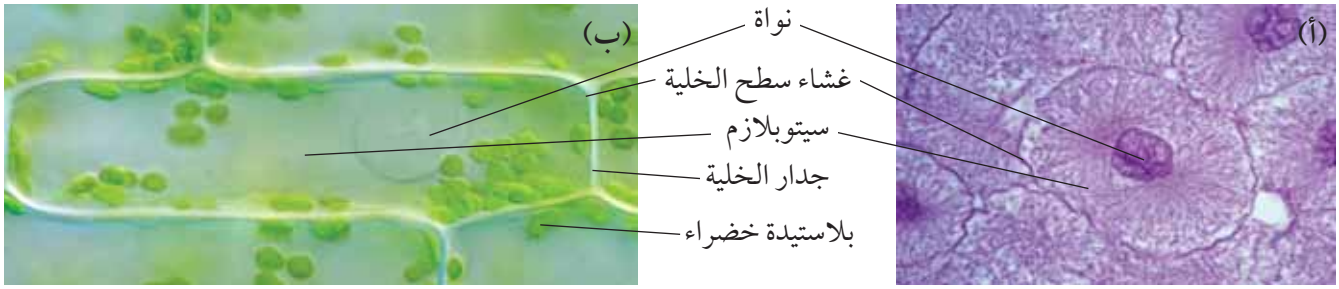
جهاز جولجي Golgi body: عضيّة خلوية تُعدّل البروتينات.

ميتوكندريون Mitochondrion: (جمعها: ميتوكندريا) العضيّة في الكائنات حقيقية النواة التي تحدث فيها عملية التنفّس الهوائي.

البلاستيدة الخضراء Chloroplast: العضيّة المسؤولة عن التمثيل الضوئي في الكائنات حقيقية النواة.

جدار الخلية Cell wall: طبقة تحيط ببعض أنواع الخلايا وتعطي القوة والدعامة؛ تتكوّن جدران الخلية النباتية من السليلوز.

الفجوة الدائمة الكبيرة Large permanent vacuole: عضيّة محاطة بغشاء موجودة في جميع الخلايا النباتية والفطرية؛ تحتوي على عصارة الخلية.

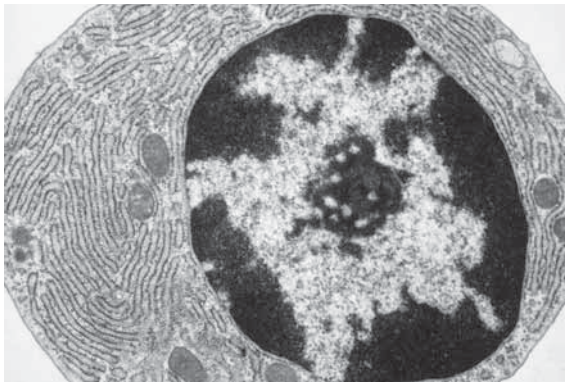


الصورة ١-١ صورتان مجهريتان ضوئيتان: (أ) خلايا من جنين سمكة (ب) خلايا من النبات العشبي الكندي: الإلوديا.

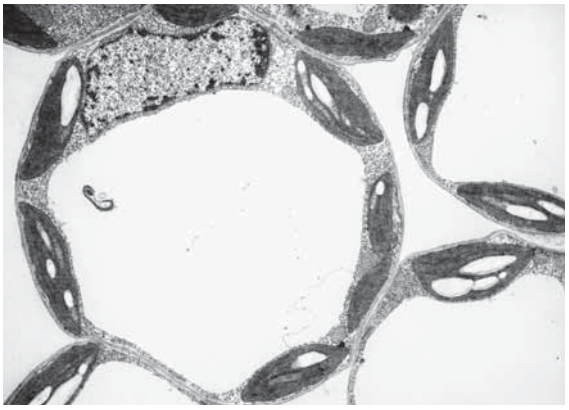
تُشاهَد عضيات الخلية وتراكيبها وتُصور باستخدام المجهر فينتج من ذلك صور مجهرية Micrographs. قد تلتقط الصورة المجهرية باستخدام المجهر الضوئي فينتج صورًا فوتوجرافية ضوئية Photomicrographs أو باستخدام المجهر الإلكتروني فينتج صورًا فوتوجرافية إلكترونية Electronmicrographs.

الصورة ١-١(أ) تُظهر صورة مجهرية ضوئية لخلايا مأخوذة من جنين سمكة. يمكن رؤية عدة خلايا بوضوح. يظهر في مركز الخلية بوضوح كل من النواة وغشاء سطح الخلية المحيط بها. ويظهر في السيتوبلازم، حول النواة، بعض التراكيب التي لا يمكن تمييزها في هذه الصورة.

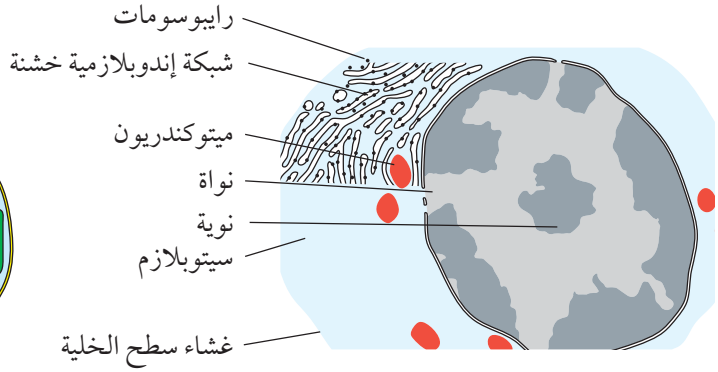
الصورة ١-١(ب) تُظهر صورة مجهرية ضوئية لخلية من النبات العشبي الكندي: الإلوديا *Elodea*. يمكن رؤية جدار الخلية، والنواة، والبلاستيدات الخضراء فيها، إلا أن التراكيب المرئية بوضوح داخل السيتوبلازم قليلة. الصورة (١-٢) تُظهر صورة مجهرية إلكترونية لخلية كبد حيوان من الثدييات؛ ويُظهر الشكل (١-١) رسمًا تخطيطيًّا لها. نلاحظ أن العديد من العضيّات، مثل الميتوكندريا، والشبكة الإندوبلازمية الخشنة مرئية داخل السيتوبلازم، ويمكننا أن نرى أن النواة محاطة بغلاف (غشاء مزدوج).



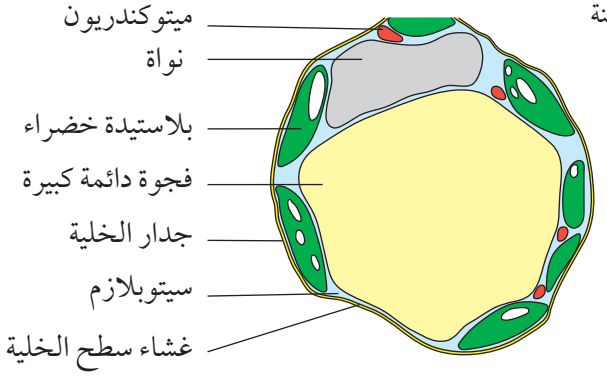
الصورة ١-٢ صورة مجهرية إلكترونية لخلية كبد.



الصورة ١-٣ صورة مجهرية إلكترونية لخلية نباتية.



الشكل ١-١ رسم تخطيطي لخلية كبد يُظهر بعض العضيّات الموجودة.



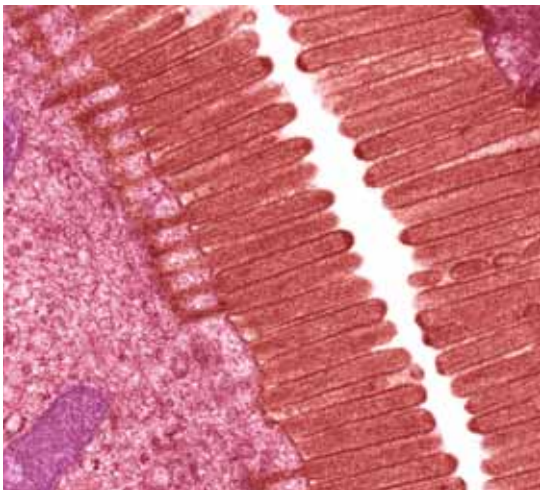
الشكل ١-٢ رسم تخطيطي لخلية نباتية.

الصورة (١-٣) والشكل (١-٢) يُظهران صورة مجهرية إلكترونية ورسمًا تخطيطيًا لخلية نباتية. الفجوة الدائمة الكبيرة والبلاستيدات الخضراء، والنواة مرئية بوضوح. ولكل من الميتوكندريا، والبلاستيدة الخضراء والنواة غشاءً مزدوجًا.

تركيب عضيّات الخلية ووظائفها

غشاء سطح الخلية

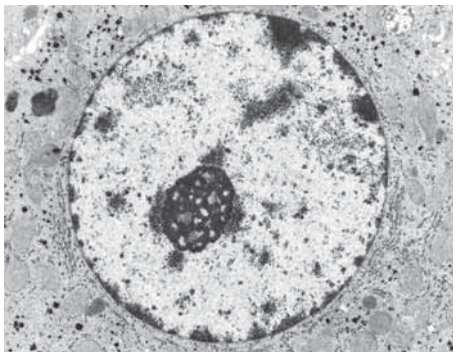
الغشاء الذي يشكّل الحد الفاصل بين الجزء الخارجي والجزء الداخلي للخلية يسمى غشاء سطح الخلية. وهو منفذ انتقائيًا Selectively permeable، ويتحكّم في حركة المواد إلى داخل الخلية وخارجها، ويؤدي دورًا مهمًا في التواصل بين الخلايا، مثل الارتباط بالهرمونات. في بعض الخلايا المتخصصة، مثل الخلايا الطلائية في الأمعاء، يحتوي غشاء سطح الخلية على بروزات تُسمى الخملات الدقيقة Microvilli، والتي تزيد من مساحة السطح لتسهيل عملية الانتشار عبر الغشاء (الصورة ١-٤).



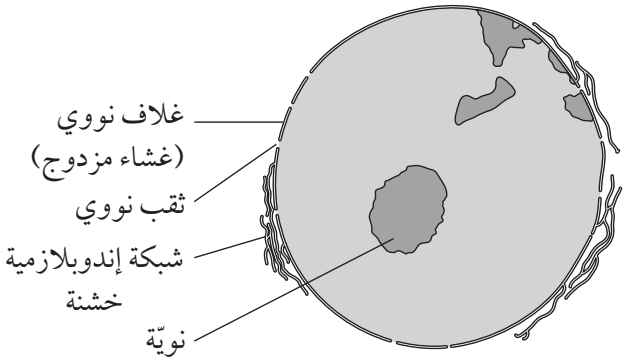
الصورة ١-٤ صورة مجهرية إلكترونية بألوان زائفة لخلية طلائية من الأمعاء تُظهر الخملات الدقيقة.

النواة

تُعدّ النواة من أكبر العضيات داخل الخلية، ويمكن رؤيتها باستخدام المجهر الضوئي والمجهر الإلكتروني على حدٍّ سواء. توجد النواة في الخلايا الحيوانية والنباتية، وتحتوي على الأحماض النووية (DNA وRNA) والبروتينات المرتبطة بها في مادة تسمى **الكروماتين Chromatin** وتتحكّم النواة في أنشطة الخلية. تُظهر الصور المجهرية الإلكترونية مناطق داكنة حيث يكون الكروماتين أكثر تكثفًا، ومناطق أخرى أفتح يكون فيها الكروماتين أقلّ تكثفًا (الصورة ١-٥ والشكل ١-٣). قد تكون هناك **نوية Nucleoli** واحدة أو أكثر داكنة ومرئية بوضوح، وهي أماكن بناء الرايبوسومات.



الصورة ١-٥ صورة مجهرية إلكترونية لنواة.



الشكل ١-٣ رسم تخطيطي لنواة.

مصطلحات علمية

الحمض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين DNA Deoxyribonucleic acid: الجزيء الذي يُستخدم كمادة وراثية يتم تمريرها عبر الأجيال اللاحقة؛ وهو يحتوي على شيفرة جميع جينات الكائن الحي.

الحمض النووي الرايبوزي RNA Ribonucleic acid: حمض نووي يتحكم في بناء البروتينات باستخدام الشيفرة الجينية في DNA؛ ويمكنه حمل المعلومات الجينية في الفيروسات.

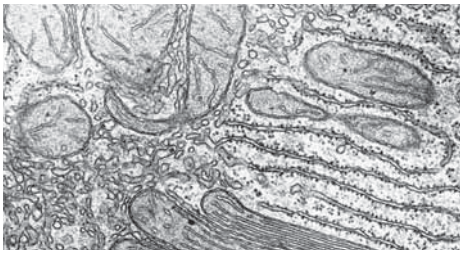
الكروماتين Chromatin: مادة مكونة من DNA وRNA وبروتين، يكون داخل نواة الخلية، ويحمل المعلومات الجينية.

النوية (جمعها النويات) Nucleolus: مناطق دائرية صغيرة داخل النواة تُنتج الرايبوسومات.

الشبكة الإندوبلازمية الخشنة والشبكة الإندوبلازمية الناعمة

أظهرت الصور الأولى الملتقطة بالمجهر الإلكتروني أن السيتوبلازم مليء بشبكة من الأغشية المتصلة بعضها ببعض، تُسمّى الشبكة الإندوبلازمية (ER).

يوجد شكلان من الشبكة الإندوبلازمية: الشبكة الإندوبلازمية الخشنة (RER) والشبكة الإندوبلازمية الناعمة (SER)، ويُمكن التمييز بينهما من خلال مظهرهما في الصور المجهرية الإلكترونية (الصورة ١-٦) ويظهر (الشكل ١-٤) رسمًا تخطيطيًّا لها.



الصورة ١-٦ صورة مجهرية إلكترونية لشبكة إندوبلازمية خشنة وناعمة.



الشكل ١-٤ رسم تخطيطي لشبكة إندوبلازمية خشنة وناعمة.

الشبكة الإندوبلازمية الخشنة (RER)

تشكّل الشبكة الإندوبلازمية الخشنة (RER) الجزء الأكبر من الشبكة الإندوبلازمية، وتتكوّن من العديد من الأغشية المسطحة المتصلة بعضها ببعض والتي تُسمى **الصهاريج Cisternae**. يعود سبب مظهرها الخشن إلى وجود العديد من الرايبوسومات على سطحها. تعمل هذه الرايبوسومات على بناء البروتينات، والتي يتم بعد ذلك طيّها وتجميعها وتغليفها داخل (RER).

تمر البروتينات عبر (RER) حتى يتم تغليفها في **حويصلة Vesicle** تتبرعم ثم تنفصل عن (RER) متجهة إلى جهاز جولجي. جميع البروتينات التي يتم إفرازها من الخلية تُصنع في (RER).

الشبكة الإندوبلازمية الناعمة (SER)

إن الشبكة الإندوبلازمية الناعمة (SER) أقل وفرة في معظم الخلايا، وتظهر بشكل أملس لعدم وجود الرايبوسومات على سطحها. وظيفتها الرئيسية هي بناء **الهرمونات الستيرويدية Steroid hormones** مثل **الإستروجين Oestrogen** و**التستوستيرون Testosterone**؛ لذلك، توجد بكميات كبيرة في خلايا الخصيتين والمبيضين.

الرايبوسومات

الرايبوسومات هي تراكيب خلوية صغيرة جدًا توجد في جميع الخلايا، وتتكوّن من بروتين وRNA، ووظيفتها هي بناء البروتينات. توجد الرايبوسومات إما حرة في السيتوبلازم أو مرتبطة بالشبكة الإندوبلازمية الخشنة.

مصطلحات علمية

الصهاريج Cisternae: أغشية مسطّحة تُشكّل جهاز جولجي والشبكة الإندوبلازمية.

الحويصلة Vesicle: تركيب صغير تحتوي على سائل محاط بغشاء، وتُستخدم لنقل المواد داخل الخلايا.

الهرمونات الستيرويدية Steroid hormones: مجموعة من الهرمونات المشتقة من الكوليسترول تؤدّي دورًا حيويًا في تنظيم وظائف الجسم المختلفة.

الإستروجين Oestrogen: هرمون ستيرويدي وهو الهرمون الجنسي الأساسي للإناث.

التستوستيرون Testosterone: هرمون ستيرويدي وهو الهرمون الجنسي الأساسي للذكور.

جهاز جولجي

يتكون جهاز جولجي من كومة من الأكياس الغشائية المتوازية تُسمى الصهاريج، (الصورة ١-٧ والشكل ١-٥). وله تركيب ثلاثي الأبعاد بحيث تكون الصهاريج متصلة بعضها ببعض.

ويؤدي جهاز جولجي مجموعة من الوظائف، منها:

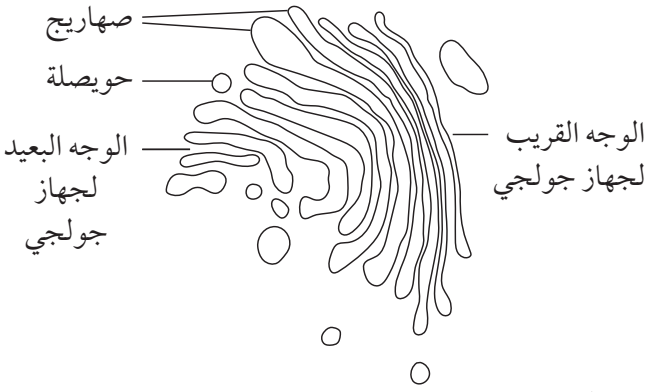
- يشارك في التعديل الكيميائي للبروتينات. حيث يتم استقبال الحويصلات القادمة من (RER) على الوجه القريب Cis face لجهاز جولجي، وإضافة مجموعات كيميائية إضافية إلى البروتينات، ثم إطلاق الحويصلات التي تحتوي على البروتينات المعدلة من الوجه البعيد Trans face لجهاز جولجي. يُظهر الشكل (١-٦) حركة بناء وتعديل البروتينات المفرَزة في الخلية.
- يُنتج المواد اللازمة لتكوين جدار الخلية النباتية.
- يُنتج عضيّات تُسمى **الليسوسومات Lysosomes** وهي كرات غشائية صغيرة تحتوي على إنزيمات هاضمة تستخدمها الخلايا لهضم المواد التي تبتلعها، ولتدمير العضيّات القديمة أو التالفة.

مصطلحات علمية

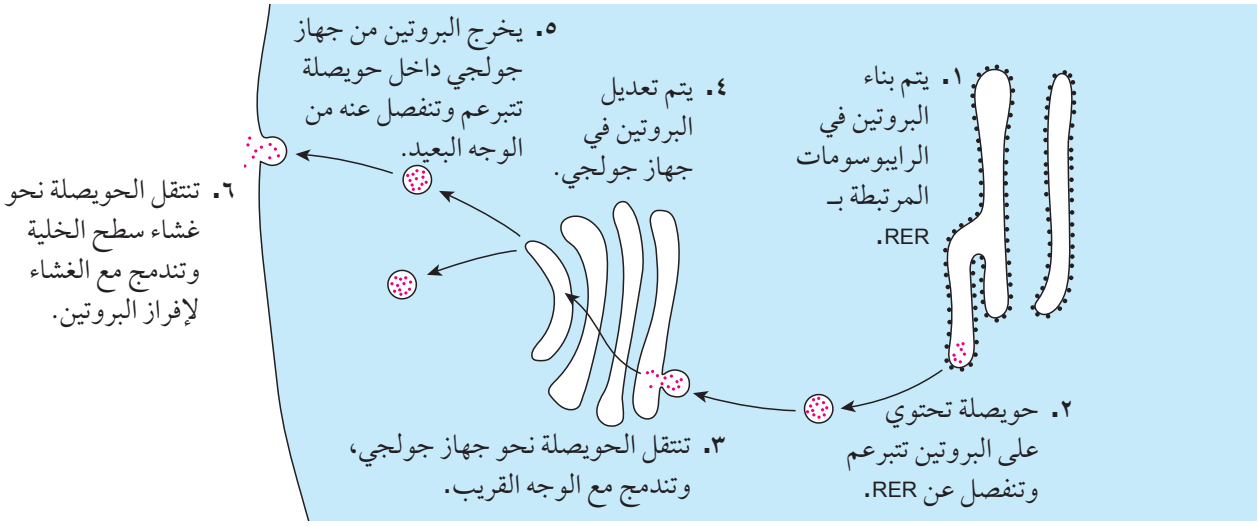
الليسوسومات Lysosomes: عضيّات محاطة بغشاء تحتوي على إنزيمات هاضمة.



الصورة ١-٧ صورة مجهرية إلكترونية لجهاز جولجي.



الشكل ١-٥ رسم تخطيطي لجهاز جولجي.



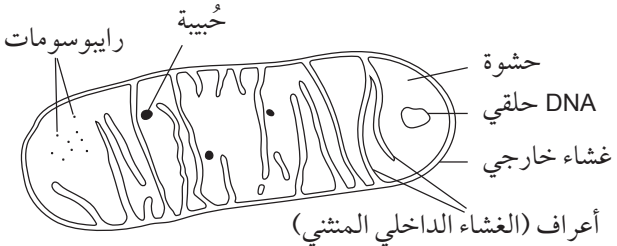
الشكل ١-٦ بناء وتعديل البروتينات المفرَزة في الخلية.

الميتوكندريا

الميتوكندريا هي عضيّات تُعرف غالبًا بـ «مولدات الطاقة Powerhouses» (الصورة ١-٨ والشكل ١-٧). وظيفتها الرئيسية هي إنتاج ATP عن طريق التنفّس الهوائي في الخلايا الحيوانية والنباتية. وهي أسطوانية الشكل ومحاطة بغشاء مزدوج يشبه ذلك الموجود في النواة والبلاستيدات الخضراء. ينثني الغشاء الداخلي نحو الداخل ليشكل تراكيب تُسمّى أعراف Cristae، محاطة بمادة سائلة غنية بالإنزيمات تُسمّى حشوة Matrix. ويوجد في الحشوة رايبوسومات وجزيء DNA حلقي صغير.



الصورة ١-٨ صورة مجهرية إلكترونية بألوان زائفة لميتوكندريون.



الشكل ١-٧ رسم تخطيطي لميتوكندريون.

البلاستيدات الخضراء

توجد البلاستيدات الخضراء في الخلايا النباتية وخلايا الطحالب، وهي عضيّات كبيرة يمكن رؤيتها بسهولة باستخدام المجهر الضوئي، إلا أن تركيبها المعقّد يظهر عند مشاهدتها باستخدام المجهر الإلكتروني (الصورة ١-٩ والشكل ١-٨). ولهذه العضيّات غشاء مزدوج يشكل الغلاف الخارجي، يحيط بسائل داخليّ يُسمى ستروما Stroma، الذي يحتوي على إنزيمات وسكريات.

يوجد داخل الستروما شبكة ضخمة من الأغشية تُسمّى أغشية الثايلاكويد Thylakoid membranes، تتكدّس الثايلاكويدات على شكل أكوام فوق بعضها تُسمى جرانا Grana، التي تتميز بمساحة سطح كبيرة جدًا. تحتوي الجرانا على صبغات مثل الكلوروفيل التي تمتص الطاقة الضوئية لاستخدامها في عملية التمثيل الضوئي Photosynthesis. تحدث تفاعلات التمثيل الضوئي على مرحلتين: المرحلة الأولى المعتمدة على الضوء والتي تحدث في أغشية الثايلاكويد، ثم المرحلة الثانية، غير المعتمدة على الضوء، والتي تحدث في الستروما داخل البلاستيدة الخضراء. غالبًا ما توجد حبيبات نشا داخل الستروما، وتحتوي البلاستيدات الخضراء أيضًا على DNA ورايبوسومات، كما هي الحال في الميتوكندريا.

مصطلحات علمية

ATP Adenosine triphosphate: الجزيء الذي يُعدّ عملة الطاقة العالمية في جميع الخلايا الحية؛ والهدف من عملية التنفّس هو إنتاج ATP.

أعراف Cristae: انثناءات الغشاء الداخلي للميتوكندريا؛ تشارك في عملية التنفّس الهوائي.

حشوة Matrix: السائل الذي يملأ المساحة داخل الغشاء الداخلي للميتوكندريا ويحتوي على إنزيمات وسكريات تشارك في عملية التنفّس.

ستروما Stroma: مادة سائلة داخل البلاستيدات الخضراء، تحيط بأغشية الثايلاكويد؛ حيث تحدث مرحلة التمثيل الضوئي غير المعتمدة على الضوء.

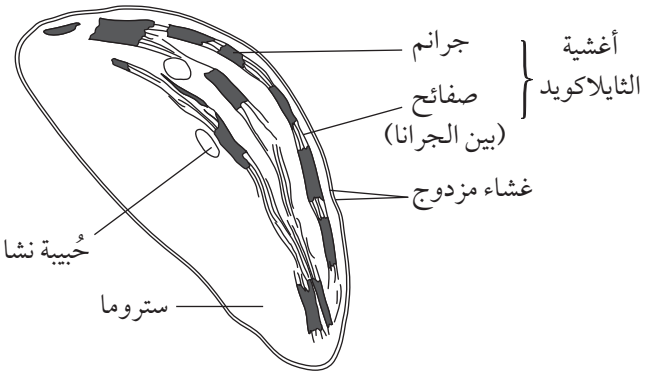
أغشية الثايلاكويد Thylakoid membranes: تراكيب غشائية توجد في ستروما البلاستيدات الخضراء؛ تتكدّس الثايلاكويدات فوق بعضها مكوّنة جرانا؛ وهي مكان حدوث المرحلة المعتمدة على الضوء من التمثيل الضوئي.

جرانا Grana: مناطق في ستروما البلاستيدات الخضراء حيث تتكدّس أغشية الثايلاكويد التي تحتوي على صبغات التمثيل الضوئي فوق بعضها.

التمثيل الضوئي Photosynthesis: عملية حيوية يتم فيها استخدام طاقة الضوء لبناء الجلوكوز من ثاني أكسيد الكربون والماء لإنتاج طاقة كيميائية.



الصورة ١-٩ صورة مجهرية إلكترونية لبلاستيدة خضراء.



الشكل ١-٨ رسم تخطيطي لبلاستيدة خضراء.

جدار الخلية

تفتقر الخلايا الحيوانية إلى وجود جدار خلية. وعلى الرغم من وجوده في خلايا الكائنات الحية الأخرى مثل الفطريات والبكتيريا إلا أن دراسة العلوم البحرية تقتصر فقط على الجدران الخلوية المكوّنة بشكل رئيسي من عديد التسكر وهو **السليلوز Cellulose** والتي تحيط بالخلايا النباتية (الصورة ١-٣ والشكل ١-٢). يُعدّ جدار الخلية النباتية تركيبًا مهمًا جدًا؛ إذ يوفر القوة والدعامة للنبات بأكمله، كما أنه يمنع انفجار الخلايا بسبب تدفق الماء إليها.

الفجوة الدائمة الكبيرة

تحتوي العديد من الخلايا على فجوات، وهي عبارة عن أكياس غشائية مملوءة بسائل. ولكن الخلايا النباتية فقط تحتوي على فجوات دائمة كبيرة قد تشغل معظم حجم الخلية (الصورة ١-٣).

تقوم الفجوات بمجموعة من الوظائف:

- تخزين **العصارة الخلوية Cell sap**، وهي سائل يحتوي على أملاح وسكريات. إنّ لعصارة الخلية جهدًا مائيًا منخفضًا يستحثّ الماء على دخول الخلية النباتية والحفاظ على الضغط داخلها. ويُسهم الضغط داخل الخلية في دعم النبات والحفاظ عليه قائمًا ومتماسكًا.
- تخزين الصبغات، والفضلات والسموم. ومن الأمثلة على الصبغات تلك التي تعطي الأزهار ألوانها، والتي غالبًا ما تُخزن في الفجوات مع الفضلات.

في بعض النباتات، يتم الاحتفاظ بالمواد الكيميائية المخزنة في الفجوة منفصلة عن المواد الكيميائية في السيتوبلازم. على سبيل المثال، عندما تُحطّم خلايا البصل، يُطلق إنزيم الأليناز Allinase في السيتوبلازم حيث يتفاعل مع الأليانين Allinin لتكوين الأليسين Allicin، وهو مادة كيميائية تسبب تهيج العيون وتجعلها تدمع.

مصطلحات علمية

السليلوز Cellulose: مكوّن مهم لجدران خلايا النبات، وهو يتكوّن من العديد من سلاسل الجلوكوز المستقيمة المرتبطة معًا بروابط هيدروجينية.

العصارة الخلوية Cell sap: السائل الموجود داخل الفجوة الدائمة الكبيرة.

تركيب غشاء سطح الخلية

تُحاط العديد من العضيّات بأغشية تؤدي أدوارًا أساسية في إنتاج ATP بواسطة الميتوكندريا، وامتصاص طاقة الضوء بواسطة البلاستيدات الخضراء. يشكّل غشاء سطح الخلية حدود الخلية، ويتحكّم في دخول وخروج جميع الجزيئات. وعلى الرغم من أن أنواع الأغشية المختلفة تختلف في خصائصها، إلا أنها تشترك جميعها في التركيب الأساسي والمكونات الكيميائية. وقد تم اقتراح نموذج لتركيب الأغشية من قبل سينجر ونيكولسون

Singer and Nicholson في عام 1972م يسمى **النموذج الفسيفسائي السائل Fluid mosaic model**.

تتكوّن أغشية الخلايا من ثلاثة أنواع رئيسية من الجزيئات:

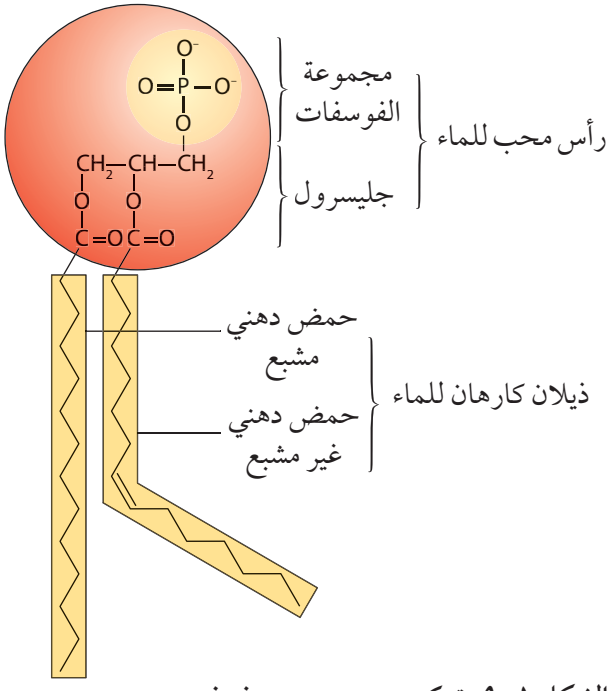
- الدهون المفسفرة
- البروتينات
- الكوليسترول

الدهون المفسفرة

يُظهر الشكل (١ ٩) جزيء دهن مفسفر Phospholipid. وهو جزيء يتكون من **الجليسرول Glycerol** الذي يشكل «العمود الفقري» المرتبط بسلسلتَين من **الأحماض الدهنية Fatty acids** ومجموعة فوسفات.

الأحماض الدهنية هي سلاسل هيدروكربونية طويلة غير مشحونة و**غير قطبية Nonpolar**. وهذا يعني أنها لن تذوب في الماء، وبالتالي فهي **كارهة للماء Hydrophobic**.

مجموعة الفوسفات هي جزيء مشحون، وقطبي (عندما تكون جوانب متقابلة من جزيء لها شحنات كهربائية متضادة)، ما يعني أنه سيذوب في الماء، وبالتالي هو **محب للماء Hydrophilic**.



الشكل ١ - ٩ تركيب جزيء دهن مفسفر.

وهذا يمنح الدهون المفسفرة خاصية مميزة؛ فعند خلطها مع الماء، تتجمّع ذيول الأحماض الدهنية معًا لإبعاد جزيئات الماء ومنعها من المرور، في حين تتجه الرؤوس الفوسفاتية إلى الخارج حيث تذوب في الماء.

مصطلحات علمية

النموذج الفسيفسائي السائل Fluid mosaic model. نموذج يشرح خصائص تركيب أغشية الخلايا.

الجليسرول Glycerol. جزيء بسيط، وهو من مكوّنات الدهون الثلاثية والدهون المفسفرة.

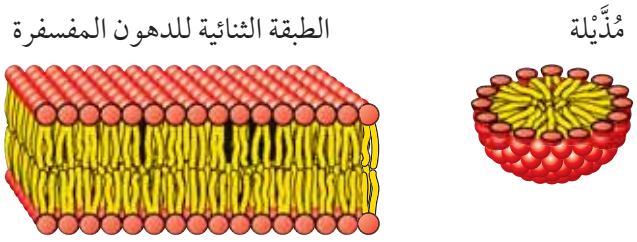
الأحماض الدهنية Fatty acids. جزيئات دهنية وهي من المكونات الرئيسية للدهون الثلاثية والدهون المفسفرة، وهي سلاسل هيدروكربونية طويلة.

غير قطبي Nonpolar. جزيئات لا تمتلك شحنة كهربائية.

كاره للماء Hydrophobic. مواد لا تمتزج مع الماء، ولا تذوب فيه.

محبّ للماء Hydrophilic. مواد تنجذب إلى جزيئات الماء؛ وتذوب فيه.

إن التركيب الذي تشكّله الدهون المفسفرة يسمى مُذَيْلة Micelle الشكل (١-١٠). في بعض الأحيان، يمكن أن تندمج عدة مُذَيْلات معًا لتشكيل طبقة ثنائية من الدهون المفسفرة؛ وتكون ذيول الأحماض الدهنية متجهة إلى الداخل في حين تكون رؤوس الفوسفات متجهة إلى الخارج.

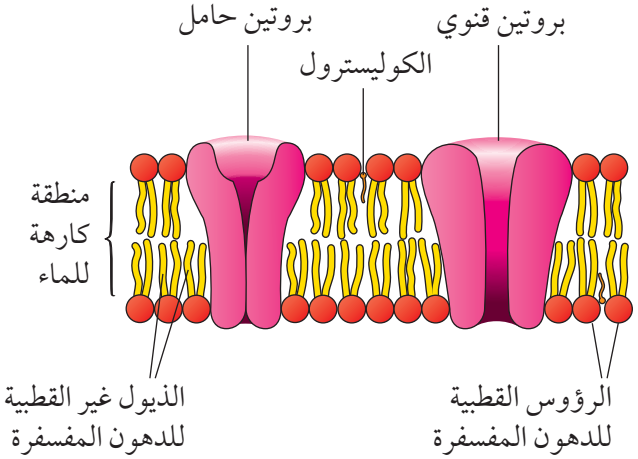


الشكل ١ - ١٠ دهون مفسفرة مرتبة على شكل مُذَيْلات وطبقة ثنائية من الدهون المفسفرة.

وبسبب تلك الخاصية المميزة، تعمل الدهون المفسفرة على منع الجزيئات القطبية المشحونة من المرور بينها، ومنع السكريات والأحماض الأمينية والبروتينات أن تتسرب من الخلية، ولا يمكن للجزيئات الذائبة في الماء غير المرغوب فيها أن تدخل الخلية. ويُعدّ تركيب الطبقة الثنائية للدهون المفسفرة أساس جميع أغشية الخلايا.

البروتينات

تمتد بروتينات معيّنة عبر الطبقة الثنائية للدهون المفسفرة وتُستخدم لنقل المواد إلى داخل الخلايا وخارجها (الشكل ١-١١). ونظرًا إلى أن الجزء الداخلي من الطبقة الثنائية للدهون المفسفرة غير مشحون وكاره للماء، فإن الجزيئات الذائبة في الماء والمحبة له لا يمكنها المرور عبرها. ولنقل المواد المحبة للماء، توجد **بروتينات حاملة Carrier proteins** و**بروتينات قنوية Channel proteins** يمكن أن تنتشر عبرها (**نقل سلبي Passive transport**)، كما توجد بروتينات حاملة تعمل كمضخات بروتينية نشطة تُجبر المواد على التحرك بعكس منحدر التركيز (**نقل نشط Active transport**). تكون هذه البروتينات الناقلة عادة محددة لجزيئات معيّنة (على سبيل المثال، بروتين قنوي للجلوكوز يسمح فقط بمرور الجلوكوز عبرها). وهذا يعني أن غشاء الخلية هو حاجز بانتقائية عالية، إذ تمر من خلاله المواد التي لها قنوات خاصة. وهكذا يكون في الخلايا المختلفة بروتينات نقل مختلفة.



الشكل ١-١١ رسم تخطيطي يُظهر النموذج الفسيفسائي السائل لتركيب الغشاء.

الكوليسترول

الكوليسترول هو جزيء دهني صغير يتكون من أربع حلقات هيدروكربونية، وله دور في الحفاظ على سيولة الغشاء. توجد جزيئات الكوليسترول بين ذيول الأحماض الدهنية للطبقة الثنائية للدهون المفسفرة (الشكل ١-١١). في درجات الحرارة المنخفضة، يحافظ الكوليسترول على سيولة الغشاء، وفي درجات الحرارة المرتفعة، يمنع الغشاء من أن يصبح شديد السيولة.

مصطلحات علمية

بروتينات حاملة Carrier proteins: بروتينات الغشاء التي تشارك في نقل المواد من أحد جوانب الأغشية إلى جانبها الآخر (من وإلى الخلية)؛ لها موقع ارتباط محدد ترتبط به المواد فتغير شكلها لنقل المادة عبر الغشاء.

بروتينات قنوية Channel proteins: بروتينات الغشاء التي تشارك في نقل المواد من جانب إلى آخر من الأغشية (من وإلى الخلية)؛ تحتوي على قناة (مسام داخلي) تسمح بمرور المواد عبرها.

النقل السلبي Passive transport: حركة الجزيئات عبر غشاء من دون الحاجة إلى طاقة؛ استخدام الانتشار كشكل من أشكال انتقال الجزيئات.

النقل النشط Active transport: حركة الجزيئات عبر الغشاء من منطقة ذات تركيز أقل إلى منطقة ذات تركيز أعلى؛ يتطلب تحرير الطاقة من ATP.

النموذج الفسيفسائي السائل

يوضح النموذج الفسيفسائي السائل أن الغشاء يتكوّن من طبقة ثنائية من الدهون المفسفرة مع بروتينات مغروسة فيها، تتناثر مثل قطع بلاط الفسيفساء (الشكل ١-١١). ويكون الغشاء سائلًا، لأن جزيئات الدهون وبعض البروتينات في حالة حركة وانتقال مستمر في الطبقة الثنائية.

رسم الخلايا، وحساب مقدار التكبير وتفسير الرسوم

ستتعلم أن تكون قادرًا على تحديد العضيّات على الصور المجهرية الضوئية والإلكترونية، وحساب مقدار تكبير الصور، واستخدامها أيضًا للتنبؤ بوظائف خلايا وأنسجة مختلفة من كائنات حية بحرية.

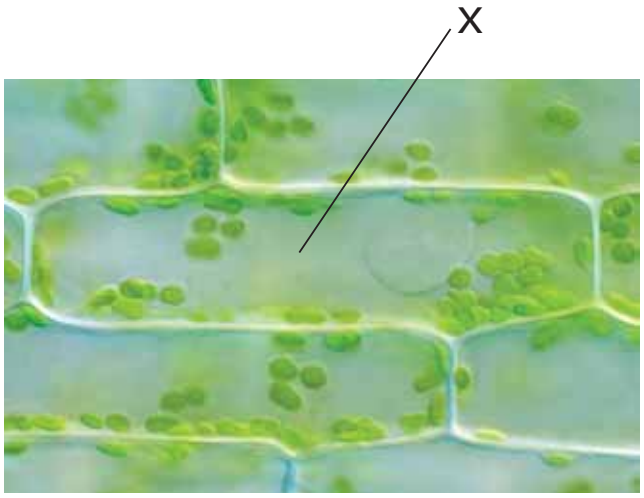
رسم الخلايا

تعلمت سابقًا (في الصف الحادي عشر، الوحدة الرابعة: التصنيف) كيفية تنفيذ رسوم بيولوجية ذات جودة عالية لكائنات حية كاملة. تنطبق قواعد تنفيذ الرسم البيولوجي ذاتها عند رسم الخلايا والأنسجة:

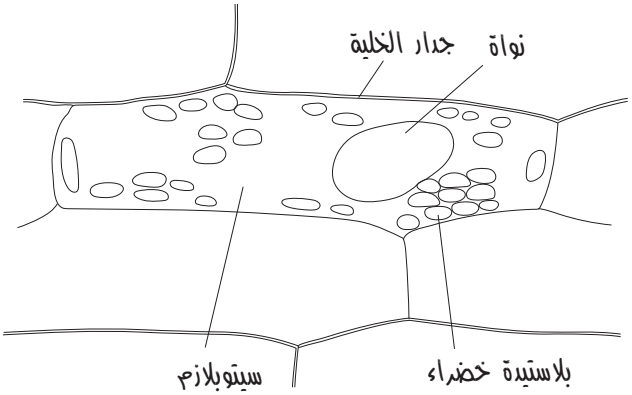
قواعد تنفيذ الرسم البيولوجي

- ارسم فقط ما تراه.
- استخدم قلم جرافيت حادًا 2H أو HB.
- ارسم خطوط التسمية باستخدام مسطرة.
- استخدم خطوطًا متصلة غير متقطعة.
- لا ترسم ظلالًا أو خطوطًا عشوائية.
- ضمّن شريط القياس (مقياس الرسم) Scale bar، ومقدار التكبير إذا كان ذلك مناسبًا.
- اكتب جميع المسميات.
- قم بعنونة الرسم التخطيطي.
- لا ترسم رسمًا تخطيطيًا صغيرًا جدًا.

يُظهر الشكل (١-١٢) مثالًا على كيفية رسم نسخة من صورة مجهرية ضوئية لخلية من نبات إلوديا *Elodea* (الصورة ١-١٠). لرسم خلية منفردة حاول التركيز على ما يصل إلى خمس خلايا من نوع معيّن، ثمّ أظهِر أكبر قدر ممكن من التفاصيل في إحداها على الأقل. خلية مسماة بـ 'X'.



الصورة ١-١٠ صورة مجهرية ضوئية لخلايا إلوديا.



رسم تخطيطي لخلية من ورقة نبات إلوديا

الشكل ١-١٢ رسم نفّذه أحد الطلبة لخلية إلوديا.

حساب مقدار التكبير وقياس الخلايا

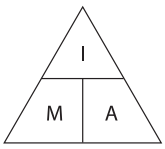
ستتعلم أن تكون قادرًا على حساب مقدار تكبير الصور المجهرية الضوئية والإلكترونية واستخدام المعلومات المقدمة لحساب القياسات الحقيقية للتراكيب.

تمكننا هذه الصيغة من حساب مقدار التكبير:

$$\text{مقدار التكبير} = \frac{\text{طول الصورة المشاهدة}}{\text{الطول الحقيقي}}$$

من المفيد تذكرها كـ «طريقة المثلث» إذا احتجت إلى اختصارها بالرموز وإعادة ترتيبها لحساب الطول الحقيقي للخلية أو لأحد التراكيب.

حيث:



I = طول الصورة المُشاهدة

A = الطول الحقيقي

M = مقدار التكبير

حساب مقدار التكبير من الصور المشاهدة

لحساب مقدار تكبير صورة (أو رسم تخطيطي)، تحتاج إلى:

- قياس طول الصورة باستخدام المسطرة.
- التأكد من أن لديك طول الصورة المشاهدة والطول الحقيقي بالوحدات نفسها.
- استخدام صيغة مقدار التكبير بقسمة طول الصورة أو الرسم التخطيطي على الطول الحقيقي.

على سبيل المثال: الخلية المسمّاة 'X' في الصورة (١-١٠) لها طول حقيقي قدره 81.8 µm، بينما يبلغ طول صورة الخلية المشاهدة في المجهر الضوئي 125 mm

لتحويل طول الصورة 125 mm إلى µm، نضرب في 1000 لنحصل على طول مقداره 125000 µm. وبالتالي،

$$\text{مقدار التكبير} = \frac{125\,000}{81.8}$$

$$= 1528\times$$

حساب الطول الحقيقي من الصور عندما يُعطى مقدار التكبير

لحساب الطول الحقيقي للخلية، نحتاج إلى:

- قياس طول الصورة باستخدام المسطرة (عادةً بالمليمترات).
- إعادة ترتيب صيغة مقدار التكبير لحساب الطول الحقيقي:

$$\text{الطول الحقيقي} = \frac{\text{طول الصورة المشاهدة}}{\text{مقدار التكبير}}$$

على سبيل المثال، مقدار تكبير الميتوكندريون في الصورة (١-٨) يساوي 40000×، طول الصورة المشاهدة هو 60 mm وبالتالي،

$$\text{الطول الحقيقي} = \frac{60}{40000}$$

$$= 0.0015 \text{ mm} = 1.5 \text{ µm}$$

مثال ١-١

تحويل الوحدات

البادئات Prefixes للوحدات تخبرنا بمقاديرها بمعاملات 1000. على سبيل المثال، وحدات الطول هي:

1 ميغامتر (Mm)	=	1000 كيلومتر (km)
1 كيلومتر (km)	=	1000 متر (m)
1 متر (m)	=	1000 مليمتر (mm)
1 مليمتر (mm)	=	1000 ميكرومتر (µm)
1 ميكرومتر (µm)	=	1000 نانومتر (nm)

نستخدم البادئات نفسها لجميع الوحدات (على سبيل المثال، 1000 g = 1 kg).

ستحتاج غالبًا إلى التحويل من مقدار إلى آخر. عند حساب مقدار التكبير، يكون التحويل الأكثر شيوعًا والذي ستحتاج إلى القيام به هو تحويل من مليمترات (mm) إلى ميكرومترات (µm)، أو من ميكرومترات (µm) إلى مليمترات (mm). لاحظ أنه عند قياس الصور، استُخدمت وحدة المليمتر (mm) بدلًا من السنتيمتر (cm).

لتحويل الوحدات من (mm) إلى (µm)، نحتاج إلى ضرب العدد في 1000.

مثال

0.02 mm تعادل 0.02 × 1000 = 20 µm.

لتحويل (µm) إلى (mm)، نحتاج إلى القسمة على 1000.

على سبيل المثال:

65.2 µm تعادل 65.2 ÷ 1000 = 0.0652 mm

أسئلة

١. حوّل الأطوال الآتية إلى (mm):

أ. 150 m

ب. 21.2 km

ج. 0.003 km

٢. حوّل الأطوال الآتية إلى (m):

أ. 250 mm

ب. 50 µm

ج. 270 nm

حساب الطول الحقيقي من الصور المجهرية عندما يُعطى شريط القياس

أحيانًا لا يتم إعطاء مقدار تكبير لصورة مجهرية، بل يوضع شريط القياس عليها (كما يظهر في الصورة ١-١١). ولحساب الطول الحقيقي للتركيب بدقة، نحتاج إلى:

- حساب مقدار تكبير للصورة باستخدام شريط القياس.
  - قياس طول شريط القياس في الصورة بمسطرة.
  - حساب مقدار تكبير شريط القياس بقسمة طول شريط القياس في الصورة على الطول الحقيقي (الرقم الذي يُكتب فوق شريط القياس)؛ تأكد من أن الوحدات متطابقة لكلا الطولَين.
- قياس طول صورة التركيب باستخدام المسطرة.
- استخدام صيغة مقدار التكبير المعاد ترتيبها لحساب الطول الحقيقي.

$$\text{الطول الحقيقي} = \frac{\text{طول الصورة المشاهدة}}{\text{مقدار التكبير}}$$

على سبيل المثال، تُظهر الصورة (١-١١) صورة مجهرية إلكترونية لدياتوم. إن طول شريط القياس بالمسطرة مقداره 20 mm (20000 µm)، والطول الحقيقي لشريط القياس هو 25 µm، لذا فإن مقدار التكبير هو:

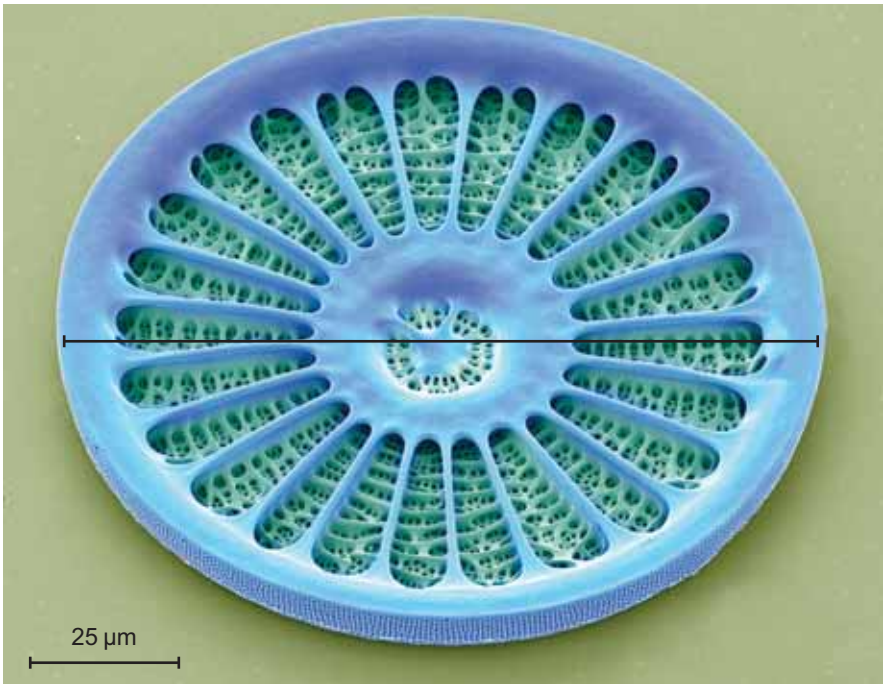
$$\frac{20000}{25} = \times 800$$

طول صورة الدياتوم = 100 mm، وبالتالي فإن الطول الحقيقي للدياتوم هو:

$$\frac{100}{800} = 0.125 \text{ mm أو } 125 \text{ µm}$$

تفسير الصور المجهرية والرسوم التخطيطية

سوف تحتاج إلى أن تكون قادرًا على تفحّص الصور والرسوم غير المألوفة للخلايا، واستخلاص استنتاجاتك الخاصة حول ما يمكنك رؤيته. فعلى سبيل المثال، إذا كانت الخلية تحتوي على عدد كبير من الميتوكندريا، فهذا يشير إلى أنها تتطلب الكثير من الطاقة؛ أما إذا كانت تحتوي على (RER) وأجهزة جولجي متطورة بشكل جيد، فإن الخلية ستُنتج الكثير من البروتينات المفرَزة. تُظهر الصورة (١-٤) خلية من بطانة الأمعاء الدقيقة تحتوي على العديد من الميتوكندريا، ويحتوي الغشاء على الكثير من الخملات الدقيقة. وتُشير كلا الملاحظتَين إلى أن الخلية تنقل المواد بعملية النقل النشط. فمساحة السطح كبيرة لامتصاص عدد كبير من الجزيئات، والعديد من عضيّات الميتوكندريا لتوفير الطاقة اللازمة للنقل النشط.



الصورة ١-١١ صورة مجهرية إلكترونية بألوان زائفة لدياتوم.

مهارة استقصاء عملي ١-١: رسم الخلايا

مقدمة

سبق أن تعرفت على كيفية رسم الكائنات الحية كاملة وأجزاء منها. ومن المهم أيضًا أن تكون قادرًا على رسم أنسجة وخلايا منفردة أثناء مشاهدتها تحت المجهر. سيساعدك هذا النشاط العملي على تطوير مهاراتك في الرسم، وذلك من خلال ملاحظتك لخلايا البصل وخلايا ورقة عشب البُركة. وبمجرد أن تصبح واثقًا من قدرتك على مشاهدة الأنسجة تحت المجهر، فمن الممكن أن ترغب في مشاهدة جميع أنواع الأنسجة والخلايا الأخرى مثل خياشيم الأسماك، وبيض الأسماك والعوالق. كما يمكنك مشاهدة شرائح جاهزة لمجموعة من الكائنات الحية البحرية، وتُعدّ ملاحظة عيّنات من مياه البحر أو مياه البرك تحت المجهر لمشاهدة ما يمكنك العثور عليه فيها ممتعًا ومثيرًا للاهتمام.

التمهيد

١. ستشاهد خلايا نباتية تحت المجهر الضوئي. ما التراكيب التي تعتقد أنك ستتمكن من رؤيتها؟
٢. اكتب قائمة بقواعد الرسم الرئيسية التي يجب تطبيقها على الرسوم البيولوجية.
٣. كيف ستختلف الخلايا النباتية عن الخلايا الحيوانية؟

المواد والأدوات

ستحتاج إلى:

- شرائح مجهرية زجاجية
- أغطية شرائح زجاجية
- مجهر ضوئي، قوة تكبير العدسة العينية فيه 10× وقوى تكبير العدسات الشيئية 4×، و10× و 40× على التوالي. قد يحتوي المجهر على مصدر ضوء داخلي (مدمج ضمن تركيبه) أو مرآة ومصدر ضوء خارجي
- محلول اليود
- عيدان قطنية معقّمة
- نبات حي من بركة ماء مثل الإلوديا
- ورق عادي
- أقلام جرافيت HB أو 2H، مبراة وممحاة
- مسطرة
- بصلة واحدة
- ملقط
- إبرة مثبِّتة
- مناديل ورقية (ورق تجفيف)
- قطارة بلاستيكية.

احتياطات الأمان والسلامة

- محلول اليود المركّز ضار وقد يشكّل خطرًا على البيئة. ويُصنف محلول اليود المخفّف على أنه منخفض الخطورة، إلا أنه يجب الحرص على غسل ما ينسكب منه بالماء مباشرة، وارتداء النظارات الواقية.
- يجب توخي الحذر عند استخدام الملقط الحاد.
- يجب توخي الحذر عند الضغط على غطاء الشريحة الزجاجي؛ إذ إن الأغطية الزجاجية هشّة جدًا وقد تتكسر بسهولة – يجب لف الشريحة وغطاء الشريحة بمناديل ورقية قبل الضغط عليها.

الطريقة

١. اقطع البصلة وأزل بعض طبقاتها الداخلية. وباستخدام الملقط، انزع طبقة رقيقة من نسيج البشرة من إحدى طبقاتها السميكة.
٢. اقطع قطعة صغيرة من البشرة، بقياس $1\ cm^2$ تقريبًا، واستخدم الملقط والإبرة المثبِّتة لوضعها على الشريحة مع ضرورة التأكد من أنها غير مطوية أو ملتفة، أي أن تكون ممدودة على الشريحة بشكل مسطح ومستوٍ.
٣. استخدم القطارة لوضع قطرة من محلول اليود على البشرة.
٤. ضع غطاء الشريحة برفق فوق البشرة، ثمّ اضغط عليه بلطف باستخدام الإبرة المثبِّتة، وغطّه مع الشريحة بالمناديل الورقية (ورق تجفيف) ثم اضغط عليه بشكل خفيف (لا تضغط بقوة كي لا ينكسر غطاء الشريحة) لإزالة أي فقاعات هواء.
٥. افحص الشريحة باستخدام العدسة الشيئية ذات قوة التكبير الصغرى – ستحتاج إلى ضبط التركيز.

تابع

٦. انتقل إلى العدسة الشيئية ذات قوة التكبير الوسطى، وذلك بتحريك القرص الذي يحمل العدسات الشيئية في المجهر؛ وانظر بعناية إلى الخلايا. يجب أن تتمكن من رؤية جدران الخلايا والنوى. قد تتمكن من رؤية أغشية سطح الخلايا تحت جدران الخلايا والنويات داخل النوى.

٧. باستخدام قلم جرافيت حاد، ارسم خمس خلايا متجاورة على الورقة الفارغة. ضع تسمية لرسمك التخطيطي. تذكر التزامك قواعد الرسم اكتب مقدار التكبير الكلّي المستخدم إلى جانب التسمية. إن مقدار التكبير الكلّي هو قوة تكبير العدسة الشيئية مضروبة في قوة تكبير العدسة العينية (على سبيل المثال، 100× = 10 × 10).

٨. حاول مشاهدة الخلايا تحت عدسة شيئية ذات قوة تكبير كبرى. كرر الخطوة ٧، ولكن هذه المرة ارسم ثلاث خلايا فقط.

٩. خذ شريحة مجهر جديدة لتضع عليها ورقة صغيرة وطازجة من نبات البركة، وتأكد من أن الورقة غير مطوية وممدودة جيدًا. ضع قطرة من الماء على الورقة، ثم ضع غطاء الشريحة فوقها.

١٠. شاهد الورقة باستخدام عدسة ذات قوة التكبير الصغرى. يجب أن تتمكن من رؤية جدران الخلايا والبلاستيدات الخضراء. وبما أنه لم تتم صباغة الخلايا فمن المحتمل ألا تكون النوى مرئية.

١١. انتقل إلى قوة التكبير الوسطى، لترسم خمس خلايا متجاورة.

١٢. شاهد الخلايا باستخدام عدسة ذات قوة التكبير الكبرى، ثم ارسم ثلاث خلايا.

النتائج

سينتج من هذه التجربة مجموعة من الرسوم المسمّاة، والتي يجب أن تكون كبيرة، ومرسومة بقلم الجرافيت، ومشار إلى مسمياتها بخطوط واضحة مستقيمة رُسمت بالمسطرة. يجب ألا تكون الرسوم على شكل رسم تخطيطي. راجع ما رسمته مع زميل آخر في الصف. ناقش مدى دقتها ومدى تقيّدك بقواعد الرسم.

التحليل والاستنتاج والتقويم

١. اشرح سبب أهمية التأكد من أن بشرة البصل وورقة النبات لم تكن مطوية أو ملتفة.

٢. اذكر الهدف من استخدام محلول اليود.

٣. قارن بين تراكيب خلايا ورقة النبات وخلايا البصل.

٤. اشرح سبب عدم رؤية الميتوكندريا والشبكة الإندوبلازمية والرايبوسومات عند استخدام المجهر الضوئي.

أسئلة

(١) انظر إلى الصورة (١-١٢):

أ. سمِّ العضيّات المشار إليها بالأحرف A، وB، وC.

ب. اذكر وظائف كل من العضيّات السابقة.

ج. اذكر مع تحديد الأسباب، إن كانت الخلايا حيوانية أو نباتية.

(٢) احسب أقصى طول حقيقي لكل من العضيّات A، وB، و C الظاهرة في الصورة (١-١٢).

(٣) صف تركيب غشاء سطح الخلية، واشرح تركيب ووظيفة كل مكوّن.



الصورة ١-١٢ صورة مجهرية إلكترونية لمجموعة من الخلايا بألوان زائفة، بتكبير 4275×.

١-٢ حركة المواد

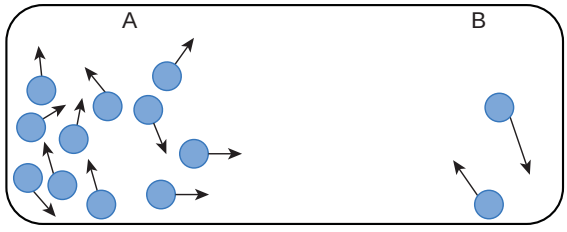
تعلمت سابقًا أن أحد الأدوار الرئيسية لغشاء سطح الخلية هو التحكم في نقل الجزيئات المختلفة عبره. يُعدّ غشاء سطح الخلية بالنسبة إلى الكائنات الحية أحادية الخلية مثل الدياتومات، هو الحاجز الوحيد بين وسطها الداخلي ومياه البحر الخارجية. أما الكائنات عديدة الخلايا، فتحتاج خلاياها إلى أن تنتظم في أنسجة، وأن يكون لديها أنظمة لنقل المواد إلى داخل خلاياها في جميع أنحاء الجسم وإلا ستبقى معزولة تمامًا عن البيئة الخارجية. في كلتا الحالتين، يُعدّ غشاء سطح الخلية ضروريًا للتحكم بدخول المواد إلى البيئة الداخلية للخلايا وخروجها منها.

هناك أربع عمليات رئيسية يتم فيها نقل الجزيئات عبر أغشية الخلايا:

- **الانتشار Diffusion**
- **الانتشار المسهّل Facilitated diffusion**
- النقل النشط Active transport
- **الأسموزية Osmosis**

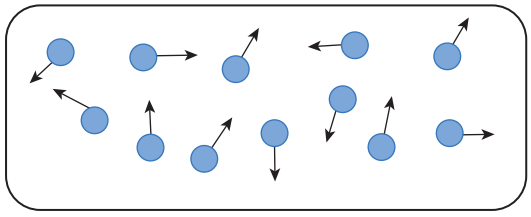
الانتشار

تمتلك الجزيئات جميعها **طاقة حركية Kinetic energy**، وتتحرك في اتجاهات عشوائية. لاحظ في الشكل (١-١٣) أن هناك تركيزًا غير متساوٍ للجزيئات بين المنطقتين A وB. ويُسمّى ذلك **منحدر التركيز Concentration gradient**، حيث يوجد تركيز أعلى للجزيئات في المنطقة A مقارنةً بالمنطقة B.



الشكل ١-١٣ محصلة انتشار الجزيئات من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل. تتحرك الجزيئات في اتجاهات عشوائية.

بسبب تحرّك الجزيئات باستمرار في اتجاهات مختلفة، فإن بعضها سينتقل من A إلى B، وبما أن هناك جزيئات أكثر في المنطقة A ، فإن احتمال انتقال المزيد منها من A إلى B أعلى من احتمال انتقالها من B إلى A. وتكون المحصلة انتشار الجزيئات من A إلى B. وفي النهاية، يقل التركيز في المنطقة A ويزداد التركيز في المنطقة B إلى أن يتساوى التركيز في المنطقتَين. وعندما يتساوى التركيز في المنطقتَين، لا يتوقف الانتشار الفيزيائي فعليًا حيث إن الجزيئات لا تزال تتحرك. ويكون معدل الحركة في كلا الاتجاهَين تقريبًا متساويًا بحيث يكون معدل محصلة الانتشار يساوي صفرًا (الشكل ١-١٤).



الشكل ١-١٤ تتوزع الجزيئات بالتساوي وهناك حركة متساوية في كلا الاتجاهَين.

مصطلحات علمية

الانتشار Diffusion: الحركة العشوائية للجزيئات (أو الجسيمات) من المنطقة ذات التركيز الأعلى إلى المنطقة ذات التركيز الأقل (مع منحدر التركيز)؛ وهو شكل من أشكال النقل السلبي، لا يتطلب طاقة إضافية.

الانتشار المسهل Facilitated diffusion: عملية تنتشر بها المواد القطبية عبر أغشية الخلايا عن طريق بروتينات حاملة أو قنوية.

الأسموزية Osmosis: محصلة حركة جزيئات الماء من منطقة ذات جهد ماء أعلى إلى منطقة ذات جهد ماء أقل عبر غشاء منفذ انتقائيًا.

الطاقة الحركية Kinetic energy: الطاقة التي تمتلكها الأجسام أو الجسيمات أو الجزيئات بسبب الحركة.

منحدر التركيز Concentration gradient: الفرق في تركيز الجزيئات بين منطقتَين.

الانتشار نقل سلبي، لا يتطلب طاقة لحدوثه، ويُعرّف بأنه «محصلة الحركة العشوائية للجزيئات من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل». وهي عملية مهمة جدًا ينتقل عن طريقها كثير من المواد من وإلى أجسام وخلايا الكائنات الحية. المواد الصغيرة وغير القطبية، مثل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون، قادرة على الانتشار عبر الطبقة الثنائية للدهون المفسفرة بين ذيول الأحماض الدهنية (الشكل ١-١٥).

يتأثر انتشار الجزيئات من وإلى الخلايا والأنسجة الأخرى بعدة عوامل، منها:

- درجة الحرارة
- منحدر التركيز
- مسافة الانتشار
- مساحة سطح التبادل.

درجة الحرارة

تمتلك الجزيئات المتحركة طاقة حركية. ومع ارتفاع درجة الحرارة، تزداد الطاقة الحركية للجزيئات، ما يجعلها تتحرك بسرعة أكبر، وبالتالي يكون معدل الانتشار أسرع.

منحدر التركيز

منحدر التركيز هو الفرق في تركيز مادة ما بين منطقتين، مثل الفرق في تركيز الأكسجين بين خلية عضلية والدم.

وكلما كان المنحدر أشد أو أعلى (فرق كبير في التركيز)، كان معدل الانتشار أسرع. تتحرك الجزيئات في اتجاهات عشوائية، لذا إذا وُجد المزيد من هذه الجزيئات في منطقة ما، يصبح تحركها في اتجاه معيّن، أكثر احتمالًا. وإذا كانت التراكيز متساوية على جانبَي الغشاء، فإن احتمال تحرّك الجزيئات في كل اتجاه يكون متساويًا، وبالتالي لا يوجد محصلة حركة.

مسافة الانتشار

لضمان حدوث انتشار سريع، يجب أن تكون المسافة التي تجتازها الجزيئات صغيرة قدر الإمكان. ولأن أغشية الخلايا جميعها رقيقة جدًا، تكون سرعة الانتشار عبرها كبيرة.

مساحة سطح التبادل

إن وجود مساحة سطح كبيرة تعني زيادة المساحة التي يحدث فيها الانتشار. تُظهر الصورة (١-٤) خلية من بطانة الأمعاء الدقيقة، حيث ينثني غشاء سطح الخلية مكونًا بروزات تُسمّى الخملات الدقيقة التي تزيد من مساحة السطح فيكون الانتشار سريعًا.

الانتشار المسهّل

الجزيئات المشحونة والمحبة للماء لا يمكنها أن تخترق ذيول الأحماض الدهنية الكارهة للماء في الدهون المفسفرة، أي أنها غير قادرة على الدخول أو الخروج من الخلايا عن طريق الانتشار. بينما الانتشار المسهّل يمكن من خلاله للجزيئات المشحونة والمحبة للماء أن تنتشر إلى داخل الخلايا (مع منحدر التركيز) عبر نوعَين من البروتينات الناقلة وهما:

- **البروتينات القنوية Channel proteins:** بروتينات تخترق الغشاء (كلا الطبقتين) ولديها قناة داخلية تنتقل عبرها الجزيئات الذائبة في الماء (الشكل ١-١٥). وتكون هذه البروتينات انتقائية (فعلى سبيل المثال، قناة أيون الصوديوم تسمح فقط بمرور أيونات الصوديوم).
- **البروتينات الحاملة Carrier proteins:** وهي أيضًا بروتينات تخترق الغشاء. حيث ترتبط بالجزيئات على جانب واحد من الغشاء ثم تغيّر شكلها لنقل الجزيء إلى الجانب الآخر منه (الشكل ١-١٥).

الانتشار المسهّل، هو أيضا نقل سلبي، لا يتطلب طاقة، بل يقتصر فقط على نقل الجزيئات مع منحدر التركيز.

كما أنه يتأثر بالعوامل نفسها التي تؤثر على الانتشار، وهي: درجة الحرارة، ومنحدر التركيز، ومسافة الانتشار، ومساحة سطح الغشاء. إضافة إلى هذه العوامل، قد يتأثر معدل الانتشار المسهّل بعدد البروتينات القنوية والحاملة المتوافرة؛ فإذا كانت بروتينات الغشاء هذه قليلة، يكون معدّل الانتشار المسهّل محدودًا، على الرغم من وجود منحدر التركيز.

النقل النشط

النقل النشط هو ضخ المواد (غالبًا أيونات) عبر غشاء الخلايا الحية عكس منحدر التركيز. ويتم ذلك عن طريق بروتينات حاملة، تُعرف غالبًا بـ «المضخات Pumps»، والتي تستخدم طاقة ATP لنقل الأيونات عكس منحدر التركيز.

يشبه النقل النشط الانتشار المسهّل؛ عندما ترتبط البروتينات الحاملة بالجزيئات الموجودة على أحد جانبي الغشاء. وفي النقل النشط يرتبط ATP بالبروتين الحامل ويتحلل إلى ADP وفوسفات، ما يحرّر طاقة تُستخدم لتغيير شكل البروتين لنقل الجزيئات عبر الغشاء. يعود البروتين الحامل بعد ذلك إلى شكله الأصلي ليتمكن من تكرار العملية (الشكل ١-١٥). نظرًا إلى أن هذه العملية تتطلب طاقة، فلا يمكن أن تحدث إلا في الخلايا الحية التي تقوم بالتنفس الخلوي. والخلايا التي تقوم بالنقل النشط عادةً ما تحتوي على الكثير من عضيّات الميتوكندريا.

الأسموزية

الأسموزية شكل خاص من الانتشار ينطبق فقط على حركة جزيئات الماء عبر الأغشية. تحتوي أغشية الخلايا على قنوات بروتينية خاصة بالماء تُسمى **الأكوابورينات Aquaporins**.

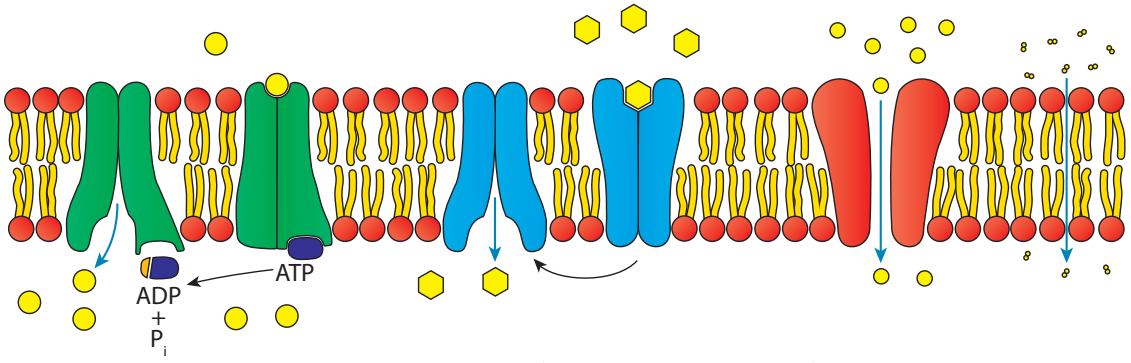
تُعرّف الأسموزية على أنها محصّلة حركة جزيئات الماء من منطقة ذات **جهد ماء Water potential** أعلى إلى منطقة ذات جهد ماء أقل عبر غشاء منفذ انتقائيًا.

مصطلحات علمية

ADP Adenosine diphosphate: هو جزيء يتحول إلى جزيء ATP بإضافة مجموعة الفوسفات، وهي عملية تتطلب طاقة. بينما عملية إزالة الفوسفات من ATP لإنتاج ADP تُحرّر الطاقة.

الأكوابورينات Aquaporins: بروتينات قنوية في الأغشية ينفذ عبرها الماء.

جهد الماء Water potential: طاقة الماء الكامنة في محلول مقارنة بالماء النقي؛ يتحرك الماء بالأسموزية من منطقة ذات جهد ماء أعلى إلى منطقة ذات جهد ماء أقل. ويكون جهد الماء النقي هو الأعلى ومقداره 0 kPa (0 كيلوباسكال). تعمل إضافة مواد مذابة إلى الماء على التقليل من جهد الماء ليصبح أكثر سالبية.

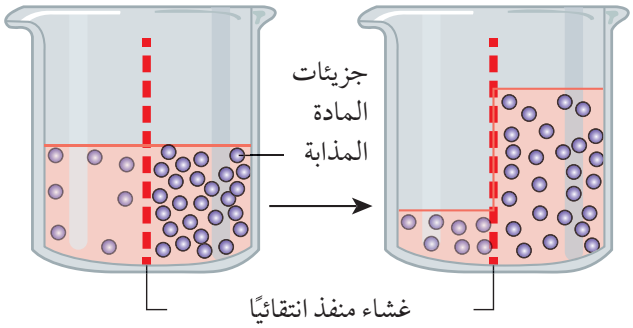


١. الانتشار ٢. الانتشار المسهّل عن طريق بروتين قنوي ٣. الانتشار المسهّل عن طريق بروتين حامل. يغير البروتين شكله مع دخول الجزيء ٤. النقل النشط. تستخدم المضخة البروتينية طاقة من ATP لضخ الجزيئات عكس منحدر التركيز.

الشكل ١-١٥ رسم تخطيطي يوضح عمليات الانتشار، والانتشار المسهّل، والنقل النشط عبر الغشاء.

جهد الماء هو مقياس لطاقة جزيئات الماء الكامنة في محلول؛ فكلما زاد عدد جزيئات الماء في المحلول، زاد جهد الماء. وإذا أُضيف مذاب مثل الملح إلى الماء، تقل نسبة جزيئات الماء (الحرة) في المحلول، فيقل جهد الماء. ببساطة، كلما زادت تراكيز المواد المذابة مثل الملح في محلول ما، انخفض جهد الماء. ويُعدّ جهد الماء النقي أعلى جهد ماء ممكن، يبلغ مقداره 0 kPa. وبالتالي أي مادة مذابة تُضاف إلى الماء، تُخفض جهد الماء إلى قيم سالبة بوحدة kPa.

إذا وضعت محلولَين ملحيَّين مختلفَين أحدهما قرب الآخر، مفصولَين بغشاء منفذ انتقائيًا، فستتحرك جزيئات الماء من المحلول الأقل تركيزًا (ذات جهد ماء عالٍ) إلى المحلول الأكثر تركيزًا (ذات جهد ماء منخفض) (الشكل ١ ١٦).



الشكل ١-١٦ انتقال الماء بالأسموزية من المحلول الأقل تركيزًا إلى المحلول الأكثر تركيزًا.

تُستخدم مصطلحات علمية معيّنة لوصف المحاليل ذوات جهد ماء عالٍ أو منخفض مقارنة بالخلايا وسوائل الجسم في كائن حي هي:

- **المحاليل عالية التركيز Hypertonic solutions** محاليل لها جهد ماء منخفض وتركيز عالٍ من المواد المذابة مقارنة بتركيز المواد المذابة داخل الخلايا. تعمل على سحب الماء من الخلايا.
- **المحاليل متساوية التركيز Isotonic solutions** لها جهد ماء مساوٍ لجهد ماء الخلايا. تراكيز المواد المذابة فيها مساوية لتلك التي داخل الخلايا؛ لذا لا توجد محصّلة حركة للماء.
- **المحاليل منخفضة التركيز Hypotonic solutions** يكون جهد الماء فيها أعلى، وتركيز المواد المذابة فيها أقل من تركيزها داخل الخلايا، فينتقل الماء إلى داخل الخلايا.

مصطلحات علمية

محلول عالي التركيز Hypertonic solution: محلول يحتوي على تركيز أعلى من المواد المذابة مقارنة بمحلول آخر.

محلول متساوي التركيز Isotonic solution: محلول يحتوي على التركيز نفسه للمواد المذابة مقارنة بمحلول آخر.

محلول منخفض التركيز Hypotonic solution: محلول يحتوي على تركيز أقل من المواد المذابة مقارنة بمحلول آخر.

الأسموزية في الخلايا الحيوانية

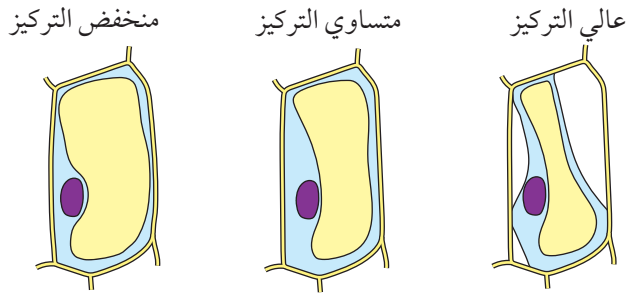
للتغيّرات في ملوحة البيئة الخارجية تأثيرات كبيرة على الخلايا الحيوانية. فهذه الخلايا لا تمتلك جدار خلية، وإنما تكون محاطة فقط بغشاء سطح خلية هش جدًا. إذا وضعت هذه الخلايا في محاليل عالية التركيز، يُسحب منها الماء بالأسموزية، ما يؤدي إلى انكماشها، وتوقف التفاعلات الكيميائية، وموت الخلية. أما إذا وضعت في محلول منخفض التركيز، فستمتص الماء بالأسموزية، ما يؤدي إلى انتفاخها وانفجارها في النهاية. يوضح الشكل (١ ١٧) خلايا دم حمراء تم وضعها في محاليل عالية التركيز، ومتساوية التركيز، ومنخفضة التركيز.



الشكل ١-١٧ رسم يوضح تأثير وضع خلايا دم حمراء في محاليل ذات جهد ماء مختلف.

الأسموزية في الخلايا النباتية

للخلايا النباتية وخلايا الطحالب جدار خلوي قويّ يحيط بها ويمنع انفجارها. إذا وضعت هذه الخلايا في محاليل منخفضة التركيز فإنها تمتص الماء بالأسموزية، فتتمدد الفجوة الدائمة الكبيرة، وينتفخ السيتوبلازم بحيث يلامس غشاء سطح الخلية جدار الخلية، فيُحدث السيتوبلازم ضغطًا على جدار الخلية يُسمى **ضغط الامتلاء Turgor pressure**. هذا الضغط يمنح النباتات الدعامة والقوة لتظل قائمة. أما إذا وضعت الخلايا في محاليل عالية التركيز، فإنها تفقد الماء، وتنكمش الفجوة الدائمة الكبيرة، وينفصل غشاء سطح الخلية عن جدار الخلية، فلا يحدث ضغط امتلاء، وعندها تفتقر النباتات إلى الدعامة، وتذبل وتفقد قدرتها على البقاء قائمة. يوضح الشكل (١ ١٨) خلايا نباتية وُضعت في محاليل عالية التركيز، ومتساوية التركيز، ومنخفضة التركيز.

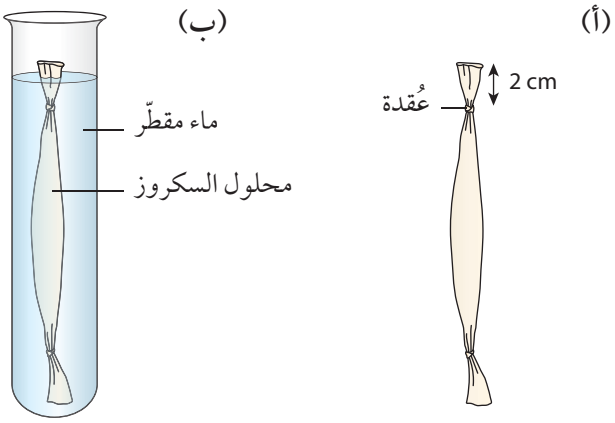


الشكل ١-١٨ رسم تخطيطي يوضح تأثير وضع الخلايا النباتية في محاليل ذات جهد ماء مختلف.

مقياس الأسموزية

مقياس الأسموزية Osmometer هو أداة بسيطة يمكن استخدامها لنمذجة الأسموزية (الشكل ١-١٩). يتكوّن مقياس الأسموزية من كيس غشائي مصنوع من مادة صناعية منفذة انتقائيًا تسمى أنابيب الديلسة Visking tubing. يسمح هذا الغشاء للجزيئات الصغيرة جدًا، مثل الماء بالمرور عبره فقط، ويمنع الجزيئات الأكبر حجمًا مثل السكروز من المرور عبره، وبالتالي يمثل نموذجًا لغشاء سطح الخلية.

ويمكن استخدام مقياس الأسموزية لاستقصاء ضغط الامتلاء، وذلك من خلال ملء أنبوبة ديلسة بمحلول سكروز ذي تركيز معروف، مع صبغة لتسهيل ملاحظة المحلول. يتم إنزال أنبوبة الديلسة في أنابيب اختبار كبيرة تحتوي على مياه مقطرة أو محاليل ذات تراكيز سكروز مختلفة تغمر أنابيب الديلسة. يدخل الماء إلى أنبوبة الديلسة أو يخرج منها بناءً على الفرق في جهد الماء، ما يؤدي إلى ارتفاع أو انخفاض مستوى السائل في أنبوبة الاختبار. على سبيل المثال، إذا كانت أنبوبة الديلسة المغمورة في الماء المقطر، فسيزداد حجم المحلول في داخلها، نتيجة حركة جزيئات الماء من جهد ماء مرتفع (الماء المقطر) إلى جهد ماء منخفض (محلول السكروز).



الشكل ١-١٩ مقياس الأسموزية (أ) أنبوبة ديلسة منفذة انتقائيًا تحتوي على محلول السكروز (ب) وضع أنبوبة الديلسة داخل أنبوبة اختبار كبيرة مغمورة بالماء المقطر. سوف ينتقل الماء إلى داخل أنبوبة الديلسة بالأسموزية.

مصطلحات علمية

ضغط الامتلاء Turgor Pressure. القوة داخل خلية نباتية التي تضغط غشاء الخلية باتجاه الجدار الخلوي.

أسئلة

٤ رتّب ما يأتي ترتيبًا تصاعديًّا بحسب مقدار جهد الماء لكل منها:
ماء نقي، محلول كلوريد الصوديوم بتركيز $2\ mol\ L^{-1}$، محلول كلوريد الصوديوم بتركيز $1.5\ mol\ L^{-1}$، محلول كلوريد الصوديوم بتركيز $0.2\ mol\ L^{-1}$.

٥ صمم جدولًا للمقارنة بين الانتشار، والأسموزية، والنقل النشط، باستخدام العناوين الآتية للأعمدة: العملية، المواد المنقولة، اتجاه منحدر التركيز، الحاجة إلى الطاقة، الحاجة إلى غشاء.

٣-١ تبادل الغازات

تحتاج الكائنات الحية النشطة إلى الطاقة، ويتم إطلاق هذه الطاقة عن طريق عملية التنفّس. يتطلب التنفّس الهوائي وجود الأكسجين كمادة خام ويُنتج ثاني أكسيد الكربون كناتج ثانوي يجب التخلص منه؛ أي أن الكائنات الحية تحتاج إلى الحصول على الأكسجين من بيئتها والتخلص من فضلات ثاني أكسيد الكربون.

يُستخدم مصطلح **تبادل الغازات Gas exchange** للإشارة إلى عملية الحصول على الأكسجين والتخلّص من ثاني أكسيد الكربون. وقد يشير إلى تبادل الغازات عبر أغشية سطوح الخلايا أو الأغشية التي تبطن الأنسجة مثل بطانة الخياشيم. كما توجد أيضًا سطوح تبادل الغازات في أجزاء النباتات للحصول على ثاني أكسيد الكربون وإطلاق الأكسجين، ولكن في هذه الوحدة سيتم التركيز فقط على تبادل الغازات بهدف التنفّس.

يجب نقل الغازات باستمرار بعيدًا عن الأسطح التنفسية من أجل الحفاظ على منحدر التركيز، ما يسمح بانتشار المزيد من الغاز عبر السطح. يتم إزالة الأكسجين من خلال سطح تبادل الغازات بواسطة الدم في الشعيرات الدموية، بحيث ينتشر باستمرار في الكائن الحي للحفاظ على إمدادات الأكسجين. أما ثاني أكسيد الكربون، وهو ناتج ثانوي عن التنفس في أنسجة الكائن الحي، فقد يؤدي تراكمه إلى خفض pH الدم، ما يؤثر على الإنزيمات والتفاعلات الخلوية. لذا يجب إزالته باستمرار من سطح تبادل الغازات لمنع تراكمه في الجسم.

مصطلحات علمية

تبادل الغازات Gas exchange: الحصول على الأكسجين واطلاق ثاني أكسيد الكربون بواسطة الخلايا أو السطوح الأخرى.

العوامل المؤثرة على معدلات تبادل الغازات

يتم تبادل الغازات عن طريق الانتشار، وكما ناقشنا سابقًا في هذه الوحدة، هناك عدة عوامل يمكن أن تؤثر على سرعة حدوث هذه العملية:

- درجة الحرارة
- منحدر التركيز
- مسافة الانتشار
- مساحة السطح.

درجة الحرارة

كما شُرح سابقًا، تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة معدل الانتشار؛ إذ تكتسب الجزيئات طاقة حركية أكبر.

منحدر التركيز

تستهلك عملية التنفّس الأكسجين بسرعة داخل الخلايا، ما يؤدي إلى انخفاض تركيزه داخل الخلية مقارنة بالسوائل المحيطة بها. ينشأ عن ذلك منحدر تركيز تكون فيه محصلة حركة الأكسجين إلى داخل الخلية.

تحافظ الكائنات الحية البحرية على تركيز الأكسجين في دمها بمقدار أقل من تركيزه في الماء الخارجي عن طريق حركة الدم وحركات التهوية. تضمن حركة الدم أن يتم جلب الدم ذي التركيز المنخفض من الأكسجين إلى داخل أنسجة تبادل الغازات، بينما تُسبّب حركة التهوية دخول الماء الجديد الذي يحتوي على تركيز عالٍ من الأكسجين إلى السطح المسؤول عن تبادل الغازات، ما يعزز من امتصاص الأكسجين من الماء.

ويتم الحفاظ على منحدر تركيز ثاني أكسيد الكربون بطريقة مشابهة، ولكن مع الحفاظ على محصّلة حركة الانتشار لخروج ثاني أكسيد الكربون من الخلايا إلى البيئة المحيطة.

مسافة الانتشار

لضمان انتشار سريع، يجب أن تكون مسافة الانتشار صغيرة جدًا. حيث تتميز أنظمة تبادل الغازات، مثل الخياشيم، بجدران رقيقة جدًا ما يسمح للغازات بالانتشار بسرعة.

مساحة السطح

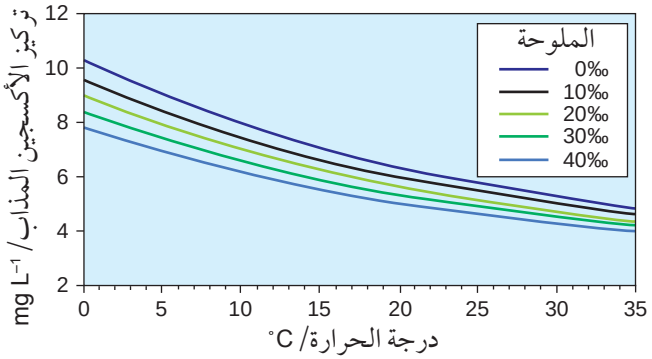
معظم أعضاء تبادل الغازات، مثل الخياشيم والرئتَين، تتميز بمساحات سطوح كبيرة جدًا. وإذا كانت مساحة السطح كبيرة، فإن معدل تبادل الغازات يكون مرتفعًا.

تبادل الغازات في الكائنات الحية البحرية

للكائنات الحية البحرية مجموعة طرائق تضمن تبادل غازي فعّال يأخذ في الاعتبار جميع العوامل التي تؤثر على معدلات الانتشار وخصائص الماء.

الماء كوسط لتبادل الغازات

تبادل الغازات في الماء يتطلب جهدًا أكبر وتأقلمات خاصة من الكائنات الحية مقارنة بتبادل الغازات في الهواء. حيث إن تركيز الأكسجين في الماء أقل بنحو 40 مرة مما هو عليه في الهواء؛ لذا يجب أن تكون أعضاء تبادل الغازات في الكائنات البحرية ذات كفاءة عالية. كما أن تركيز الأكسجين في الماء متغير جدًا ويتأثر بكل من درجة الحرارة والملوحة، كما هو موضح في الشكل (١-٢٠). فكلما ارتفعت درجة الحرارة والملوحة، انخفض تركيز الأكسجين المذاب.

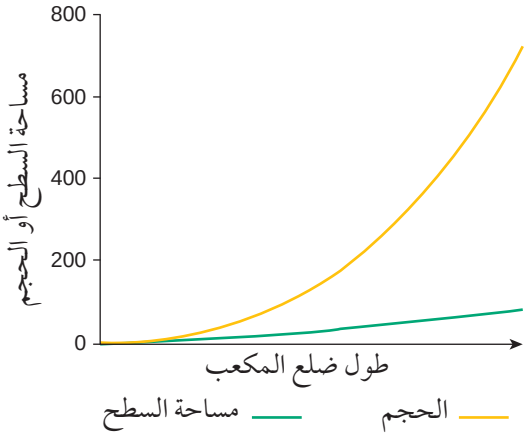


الشكل ١-٢٠ أثر زيادة درجة الحرارة والملوحة على تركيز الأكسجين المذاب.

فالماء أكثر كثافة ولزوجة من الهواء، لذا فإن تحريك الماء عبر جسم الكائن الحي يتطلب جهدًا أكبر مما يتطلبه تحريك الهواء، لذلك، عادة ما تمتلك الأعضاء مثل الخياشيم فتحتين: واحدة لدخول الماء وأخرى لخروجه، في حين أن الرئتَين تحتاجان فقط إلى فتحة واحدة يتم من خلالها استنشاق الهواء وإخراجه.

حجم وشكل الكائنات الحية البحرية وتبادل الغازات

لزيادة كفاءة تبادل الغازات، تحتاج الكائنات الحية إلى مساحة سطح كبيرة. وكلما ازداد حجم الكائنات الحية، ازدادت مساحة السطح والحجم، ولكن ليس بعلاقة خطية متناسبة. على سبيل المثال، إذا أخذنا مكعبًا وزدنا طول كل ضلع منه، فإن الحجم يزداد بمعدل أكبر نسبيًا من مساحة السطح (الشكل ١-٢١).



الشكل ١-٢١ أثر زيادة طول ضلع المكعب على الحجم ومساحة السطح.

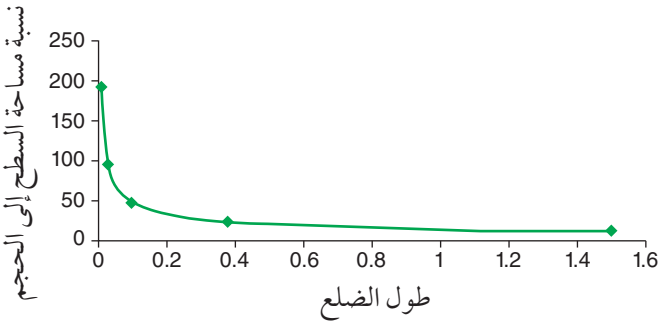
في الكائنات الحية، تؤدي زيادة مساحة السطح إلى زيادة معدل الانتشار، ولكن زيادة الحجم تقلّل من معدل الانتشار بسبب زيادة المسافة إلى مركز الكائن الحي، إضافة إلى أن الكائنات الحية الأكبر حجمًا تحتوي على عدد أكبر من الخلايا، ما يزيد من حاجتها إلى الأكسجين.

يتم استخدام **نسبة مساحة السطح إلى الحجم (Surface area : Volume ratio)** كمؤشر يأخذ في الاعتبار كلًّا من مساحة السطح وحجم الكائن الحي، ويُحسب باستخدام المعادلة:

$$\text{نسبة مساحة السطح إلى الحجم} = \frac{\text{مساحة السطح}}{\text{الحجم}}$$

- كلما زادت نسبة مساحة السطح إلى الحجم، زاد معدل الانتشار.
- كلما قلت نسبة مساحة السطح إلى الحجم، انخفض معدل الانتشار.

مع زيادة حجوم الأشكال الكروية أو المكعبة، تقل نسبة مساحة السطح إلى الحجم (الشكل ١-٢٢)، ما يعني أن معدلات انتشار المواد عبر السطح تصبح أقل. تساعد النتوءات البارزة من السطح (مثل لوامس شقائق نعمان البحر) على زيادة مساحة السطح، ما يزيد من نسبة مساحة السطح إلى الحجم ويجعل معدل الانتشار أسرع.



الشكل ١-٢٢ أثر زيادة طول ضلع مكعب على نسبة مساحة السطح إلى الحجم.

تؤثر نسبة مساحة السطح إلى الحجم للكائنات الحية على قدرتها في القيام بتبادل الغازات. تكون نسبة مساحة السطح إلى الحجم للكائنات الصغيرة جدًا (مثل الأوليات وحيدة الخلية) كبيرة، ما يجعل معدل الانتشار عبر سطحها سريعًا. ولا تحتاج هذه الكائنات إلى أعضاء متخصصة لتبادل الغازات؛ إذ تكون مساحة السطح كافية لتبادل الغازات، ومسافة الانتشار قصيرة جدًا. وبزيادة حجم الكائنات الحية، تنخفض نسبة مساحة السطح إلى الحجم، وتصبح مساحة سطح الكائن الحي غير كافية لحدوث تبادل الغازات. والمسافة التي يجب أن تنتشر عبرها الغازات من خارج الكائن الحي إلى مركزه تصبح كبيرة جدًا، ما يجعل الانتشار أقل كفاءة. وبسبب هذه المشكلات، فإن معظم الكائنات الحية الأكبر حجمًا لها أعضاء متخصصة لتبادل الغازات مثل الخياشيم أو الرئتَين، وبعض الكائنات الأكبر حجمًا لديها أشكال تزيد من مساحة السطح كما تزيد من نسبة مساحة السطح إلى الحجم. تحتوي البوليبات المرجانية وشقائق نعمان البحر على نتوءات بارزة سطحية مثل اللوامس، التي تزيد من نسبة مساحة السطح إلى الحجم.

تتأثر نسبة مساحة السطح إلى الحجم بالحجم الكلي للكائن الحي وشكله. فكلما كان شكل الكائن الحي أكثر كروية تقل مساحة سطح هذا الكائن، وتكون نسبة مساحة السطح إلى الحجم أقل، في حين أن الكائنات الحية الأرقّ والتي تتميز بسطح كثير الطي تكون فيها نسبة مساحة السطح إلى الحجم أكبر.

مصطلحات علمية

نسبة مساحة السطح إلى الحجم Surface area:volume ratio: مؤشر يعطي قياسًا نسبيًا لكل من مساحة السطح والحجم؛ تكون نسبة مساحة السطح إلى الحجم لأعضاء تبادل الغازات عمومًا كبيرة جدًا.

مثال ١-٢

نسبة مساحة السطح إلى الحجم وإعادة ترتيب الصيغ

يؤثر شكل وحجم الكائنات الحية على وظائفها الحيوية. إن مساحة سطح الكائن الحي هي المساحة التي يشغلها سطحه أو جلده كاملًا. الحجم هو مقدار الحيّز ثلاثي الأبعاد الذي يشغله شكل الكائن الحي. تُستخدم صيغ مختلفة لحساب مساحة السطح وحجوم الأشكال (الجدول ١-١).

الشكل	صيغة مساحة السطح	صيغة الحجم
مكعب طول ضلعه a	$6 \times a^2$	a^3
متوازي مستطيلات أبعاده: w, l, h (العرض w، الطول l، الارتفاع h)	$2(wl + hl + hw)$	$w \times l \times h$
أسطوانة ارتفاعها h ونصف قطر مقطعها العرضي الدائري r	$2\pi r(r + h)$	$\pi r^2 h$
كرة نصف قطرها، r	$4\pi r^2$	$\frac{4}{3}\pi r^3$

الجدول ١-١ صيغ مساحة السطح للأشكال المختلفة.

ملاحظة: جميع الصيغ والرموز ذات الصلة سيتم تزويدك بها في الامتحان.

حساب الحجم، ومساحات السطوح

من المهم أن تكون قادرًا على حساب الحجوم ومساحات السطوح لعدة أشكال، بما في ذلك حجوم الكرات، والأسطوانات، والمكعبات، ومتوازيات المستطيلات. لاحظ أنك ستحصل على قيم مختلفة اعتمادًا على ما إذا كنت تستخدم المفتاح π على الآلة الحاسبة أو تستخدم القيمة التقريبية "3.14". فكلا الطريقتَين مقبولتان، شريطة أن تكتب خطوات عملك بوضوح.

مثال

لكل من اللوامس الـ 12 لبوليب مرجاني شكل يقارب شكل أسطوانة بطول 7.5 cm ونصف قطر 2 mm:

احسب نسبة مساحة السطح إلى الحجم لأحد اللوامس الـ 12.

أولًا، نحتاج إلى حساب مساحة السطح (A) لكل لامسة باستخدام الصيغة:

مساحة السطح (A) = $2\pi r\ (r + h)$

نحتاج إلى تحويل جميع الوحدات إلى ملليمترات (mm):

نصف القطر = 2 mm والارتفاع = 75 mm

مساحة السطح (A) = $2 \times \pi \times 2 \times (2 + 75)$

مساحة السطح (A) = $2 \times \pi \times 2 \times 77$

مساحة السطح (A) = 967.61 mm^2

ثانيًا، نحتاج إلى حساب حجم كل لامسة

الحجم (V) = $\pi r^2 h$

الحجم (V) = $\pi \times 2^2 \times 75$

الحجم (V) = 942.47 mm^3

أخيرًا، يمكننا حساب نسبة مساحة السطح إلى الحجم لكل لامسة

مساحة السطح إلى الحجم

$= \frac{967.61}{942.47} = 1.03$

أسئلة

استخدم الصيغ الواردة في الجدول (١-١) للإجابة عن الأسئلة الآتية:

١. احسب مساحات السطوح للأشكال التالية:

أ. مكعب طول ضلعه 5 cm

ب. متوازي مستطيلات أبعاده 6 cm × 6 cm × 12 cm

ج. متوازي مستطيلات أبعاده 6 cm × 2 cm × 36 cm

د. كرة نصف قطرها 8 cm

هـ. أسطوانة قطر مقطع عرضها الدائري 4 cm وارتفاع 8 cm

٢. احسب حجوم كل من الأشكال (أ) إلى (هـ) المذكورة أعلاه. علّق على الفرق في نسب مساحة السطح إلى الحجم لكلا متوازيَي المستطيلات.

٣. يتم حساب نسبة مساحة السطح إلى الحجم عن طريق قسمة مساحة السطح على الحجم. استخدم إجاباتك عن الأسئلة (١) و(٢) لحساب نسب مساحة السطح إلى الحجم للأشكال (أ) إلى (هـ).

٤. لبوليب مرجاني 32 لامسة أسطوانية، لكل منها نصف قطر 2 mm وطول 10 mm:
احسب مساحة السطح الإجمالية للّوامس.

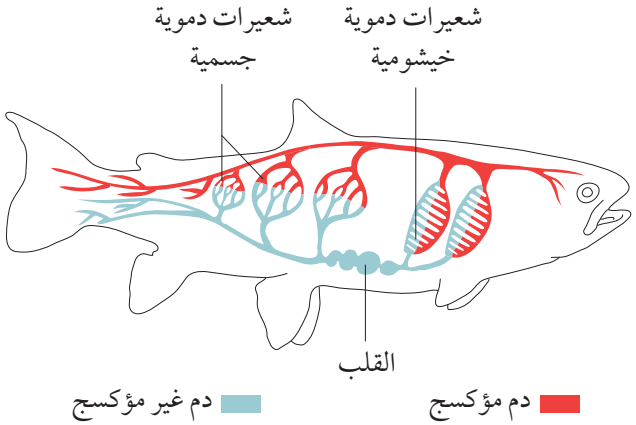
الجهاز الدوري

إن استخدام أعضاء تبادل الغازات المتخصصة يسبب مشكلة في كيفية نقل الغازات. الجهاز الدوري هو طريقة لإيصال الأكسجين إلى جميع أنسجة الجسم.

في الأسماك، يتم ضخ الدم بواسطة القلب وينقل الدم الأكسجين عبر شبكة من الشرايين والأوردة والشعيرات الدموية. وكما هي الحال في الإنسان، تحتوي خلايا الدم الحمراء في الأسماك على بروتين **الهيموجلوبين Haemoglobin** الذي يرتبط بالأكسجين في الخياشيم ليُكوّن **أوكسيهيموجلوبين Oxyhaemoglobin** (تفاعل عكسي). وفي بعض الأنسجة مثل العضلات التي تحتوي على مستويات منخفضة من الأكسجين، يُحرّر الأوكسيهيموجلوبين الأكسجين للتنفّس. وينقل الدم أيضًا ثاني أكسيد الكربون المذاب من الأنسجة إلى الخياشيم.

الهيموجلوبين + الأكسجين ⇌ الأوكسيهيموجلوبين
(في الأنسجة) (في الخياشيم)

في الجهاز الدوري النموذجي للأسماك، الموضح في الشكل (١-٢٣)، ينتقل الدم في جميع أنحاء الجسم قبل أن يعود إلى القلب في جهاز دوري مفرد.



الشكل ١-٢٣ الجهاز الدوري لسمكة عظمية نموذجية.

- يمر الدم عبر العضلات وأنسجة الجسم الأخرى في الشعيرات الدموية الجسمية، وهي أصغر الأوعية الدموية، حيث يُحرِّر الدم الأكسجين ويكتسب ثاني أكسيد الكربون.
- بعد ذلك، يعود الدم إلى القلب عبر الأوردة.
- يُضخ الدم بعد ذلك من القلب عبر الشرايين باتجاه الخياشيم.
- عند مرور الدم عبر الشعيرات الدموية في الخياشيم، يُحرِّر الدم ثاني أكسيد الكربون إلى الماء ويكتسب الأكسجين.
- يغادر الدم الخياشيم عبر الشرايين ويتجه إلى العضلات لتوصيل الأكسجين وإزالة ثاني أكسيد الكربون.

تحتاج الأسماك النشطة جدًا، مثل التونة، إلى حدوث تنفّس سريع في العضلات؛ لذا يُضخ الدم بسرعة إليها. يتميز الجهاز الدوري لهذه الأسماك النشطة بكفاءة عالية ويحافظ على معدل مرتفع من تدفق الدم.

أمثلة محددة على طرائق تبادل الغازات

توجد طرائق مختلفة لتبادل الغازات تعتمدها أنواع مختلفة من الكائنات الحية البحرية. سنستعرض الطرائق المختلفة لتبادل الغازات التي تستخدمها بوليبات المرجان والهامور والتونة.

مصطلحات علمية

الهيموجلوبين Haemoglobin: بروتين يوجد في خلايا الدم الحمراء ويعمل على نقل الأكسجين إلى جميع أنحاء الجسم.

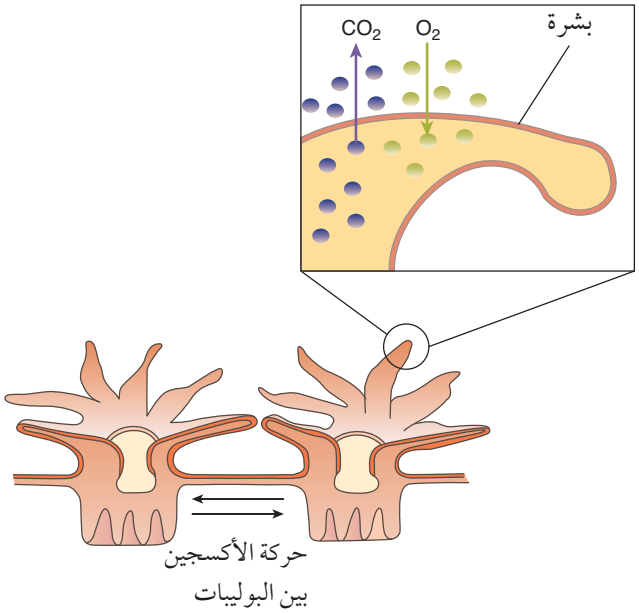
الأوكسيهيموجلوبين Oxyhaemoglobin: يتكوّن عندما يرتبط الهيموجلوبين مع الأكسجين في الخياشيم (تفاعل عكسي).

بوليبات المرجان

تفتقر بوليبات المرجان Coral polyps إلى أعضاء متخصصة لتبادل الغازات، ويتم تبادل الغازات مباشرة عبر سطح الجسم عن طريق الانتشار.

إن نسبة مساحة السطح إلى الحجم لبوليب المرجان فاعلة وكافية لأنه يمتلك عددًا كبيرًا من اللوامس (الشكل ١-٢٤)، إضافة إلى أن بشرة بوليب المرجان رقيقة ما

يجعل الانتشار سريعًا. أحيانًا، يقوم بوليب المرجان بتحريك لوامسه لتوليد تيارات مائية تعمل على تجديد الماء المحيط به. وهذه الحركة تجلب المزيد من الماء المؤكسج ليصبح على تماس مع اللوامس، ما يحافظ على منحدرات الانتشار بين داخل البوليب والماء. بعض بوليبات المرجان قادرة على ضخ سوائل مؤكسجة بين بعضها لضمان توزيع متساوٍ للأكسجين.



الشكل ١-٢٤ تركيب بوليب مرجاني. توفر اللوامس مساحة سطح كبيرة، وتكون البشرة رقيقة ما يقلل مسافة الانتشار. يمكن للأكسجين التحرك بين البوليبات.

تأقلم خياشيم الأسماك

تتنفّس الأسماك العظمية، مثل الهامور والتونة، عن طريق إدخال الماء عبر الفم، ثم تمريره فوق الخياشيم وإخراجه من خلال فتحات الخياشيم (الشكل ١-٢٥). إن الخياشيم مغطاة بصفيحة تُسمى الغطاء الخيشومي Operculum، (وهو عبارة عن شريحة عظمية جلدية رقيقة تغطي وتحمي الخياشيم) ويمكن فتحه وإغلاقه. يوجد على جانبَي الرأس أربعة أزواج من أقواس الخياشيم، وهي تراكيب عظمية تدعم الخياشيم. تتكون الخياشيم من العديد من **الخيوط Filaments** التي تحتوي على طيّات تُسمى **الصفائح Lamellae**، مرتبة بزاوية 90° على الخيوط. توفّر الخيوط والصفائح مساحة سطح كبيرة لتبادل الغازات. وتكون الصفائح رقيقة جدًا وتحتوي على شبكة كثيفة من الشعيرات الدموية. يتدفق الدم عبر شبكة الشعيرات الدموية، وتكون خلايا الدم الحمراء قريبة جدًا من الماء الخارجي، ما يقلل مسافة الانتشار. يوجد داخل الصفائح خلايا داعمة Pillar cells تساعد على إبطاء سرعة تدفق الدم وتضغط خلايا الدم الحمراء على سطح الصفائح. يدخل الدم غير المؤكسج إلى الخياشيم عبر الشُرينات الواردة، ويغادر الدم المؤكسج عبر الشُرينات الصادرة لينتقل بعد ذلك إلى أنسجة الجسم.

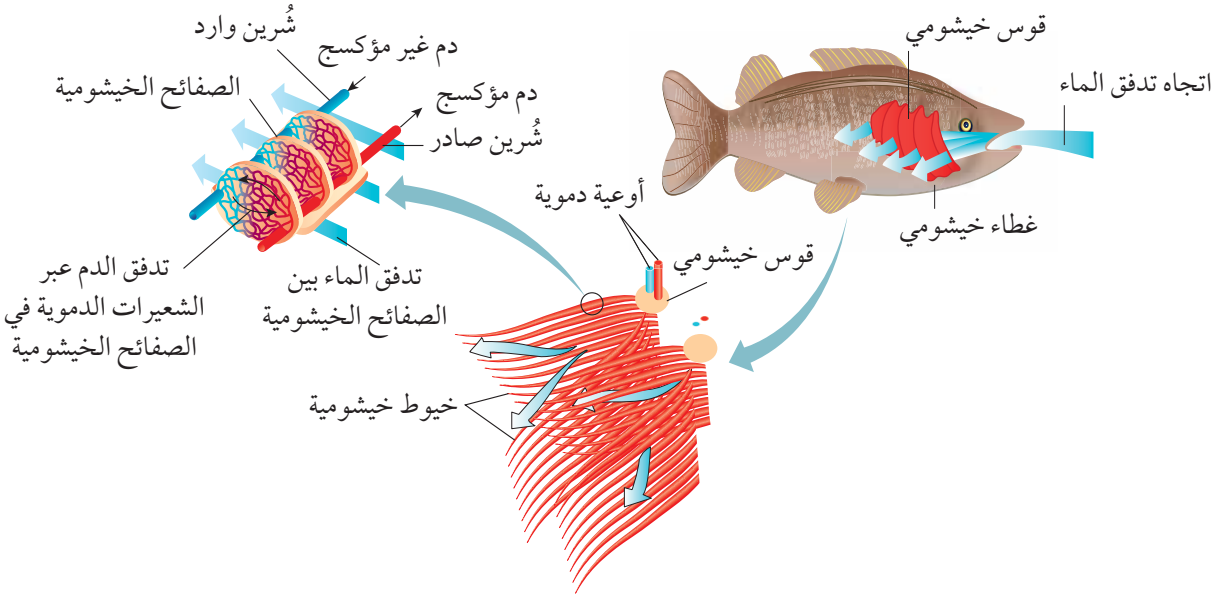
تختلف مساحات سطح الخياشيم باختلاف أنواع الأسماك وأعمارها بما يتناسب واحتياجاتها للأكسجين، فالأسماك النشطة وسريعة السباحة، مثل التونة والماكريل وسمك أبو سيف، لديها متطلبات عالية للأكسجين (وتحتاج إلى التخلص من ثاني أكسيد الكربون بسرعة) بسبب ارتفاع معدل التنفّس في عضلاتها، لذلك تكون مساحات سطح الخياشيم كبيرة جدًا.

أما الأسماك الأقل نشاطًا، مثل سمك موسى وسمك البلايس Plaice، التي تبقى ثابتة لفترات طويلة، فتكون مساحات سطح خياشيمها أصغر؛ إذ تتحرك هذه الأسماك لفترات قصيرة لتجنب المفترسات أو لالتقاط الطعام. ولذلك، غالبًا ما تحصل على الطاقة اللازمة عن طريق التنفّس اللاهوائي، وبالتالي يكون احتياجها إلى الأكسجين أقل.

مصطلحات علمية

الخيوط Filaments: أجزاء من الخياشيم تتفرع من الأقواس الخيشومية؛ تُسمّى أحيانًا الصفائح الأولية.

الصفائح Lamellae: تفرعات إضافية من الخيوط الخيشومية تزيد من مساحة سطح الخياشيم؛ تُسمّى أحيانًا الصفائح الثانوية.



الشكل ١-٢٥ تركيب الخيشوم في الأسماك العظمية يوضح الخيوط والصفائح الخيشومية، واتجاه تدفق الماء.

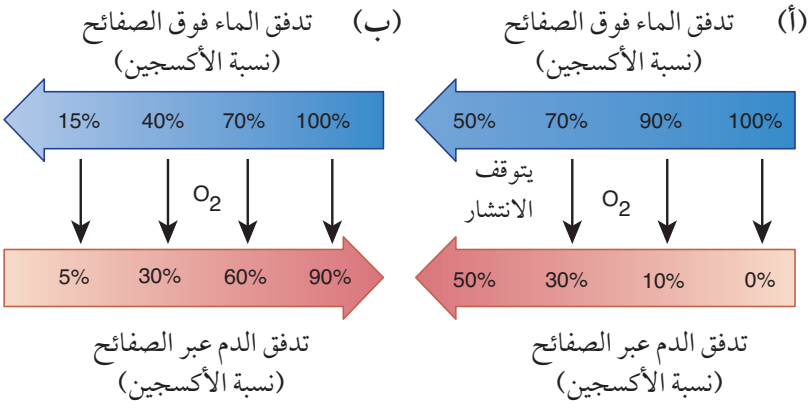
التبادل في التيار المتعاكس

يتدفق الدم عبر الشعيرات الدموية في الصفائح في اتجاه معاكس لتدفق الماء. وتعرف هذه الآلية **بالتيار المتعاكس** Counter-current. تضمن هذه الآلية أن يكون تبادل الغازات عالي الكفاءة؛ إذ يتم الحفاظ على منحدر الانتشار عبر سطح الخيشوم بالكامل.

إذا تدفق الدم والماء في الاتجاه نفسه، يسمى التدفق المترافق Concurrent كما هو موضح في الشكل (١-٢٦أ) يحدث منحدر الانتشار حتى نقطة الاتزان، والتي يتساوى عندها تركيز الأكسجين في الدم والماء، ما يقلل من كفاءة التبادل. أما في حالة تدفق التيار المتعاكس في الشكل (١-٢٦ب)، فيتم الحفاظ على منحدر الانتشار على امتداد طول الخيشوم، ما يجعل الانتشار أكثر كفاءة. ينتشر بهذه الطريقة الأكسجين إلى الدم على امتداد طول الخيشوم، في حين ينتشر ثاني أكسيد الكربون من الدم إلى الماء على امتداد طول الخيشوم.

مصطلحات علمية

التيار المتعاكس (في الخياشيم) Counter-current (in gills): آلية تجعل تبادل الغازات في الخياشيم أكثر كفاءة؛ وفيها يتدفق الماء والدم في اتجاهَين متعاكسَين للحفاظ على منحدر الانتشار على طول الخيشوم.



الشكل ١-٢٦ (أ) التدفق المترافق للدم والماء (ب) تدفق التيار المتعاكس للدم والماء.

حركات التهوية

للحفاظ على منحدرات الانتشار للأكسجين وثاني أكسيد الكربون، يتم تمرير الماء باستمرار فوق الخياشيم. تستخدم الأسماك طريقتَين مختلفتَين لتهوية الخياشيم: **التهوية بالاندفاع Ram ventilation** و**التهوية بالضخّ Pumped ventilation** (الجدول ١-٢).

التهوية بالاندفاع	التهوية بالضخ
ضخ غير نشط، يوفر الطاقة	ضخ نشط، يستهلك الطاقة
يحدث فقط أثناء السباحة	يمكن أن يحدث أثناء السباحة والراحة

الجدول ١-٢ الفروقات بين التهوية بالاندفاع والتهوية بالضخ.

التهوية بالاندفاع

الأسماك سريعة السباحة، مثل التونة وأسماك القرش تسبح وفمها مفتوح. وفي أثناء ذلك، يعبر الماء بقوة إلى الفم، مارًا فوق الخياشيم، ومن ثم يخرج عبر الغطاء الخيشومي أو الشقوق الخيشومية. لا يتطلب ذلك انقباض عضلات الفم، بل يتم توليد القوة اللازمة لتحريك الماء بواسطة الحركة الأمامية للأسماك. وبما أنه لا يُبذل جهد إضافي لضخ الماء فوق الخياشيم، يتم توفير الطاقة. ومن السلبيات أن الأسماك التي تعتمد فقط على التهوية بالاندفاع يجب أن تسبح باستمرار للحفاظ على تدفق ثابت للماء فوق الخياشيم. بعض أنواع الأسماك، مثل التونة، يمكنها التبديل بين التهوية بالاندفاع والتهوية بالضخ وذلك بحسب سرعة حركتها. وبزيادة سرعة السباحة وزيادة استهلاك الطاقة في العضلات، يزداد تلقائيًا معدل تدفق الماء فوق الخياشيم، ما يؤدي إلى زيادة معدل تبادل الغازات. قد يتسبّب التدفق السريع للماء الناتج من السباحة بسرعة كبيرة بتلف التراكيب الدقيقة للخياشيم. ولمنع هذا التلف، غالبًا ما تكون الأقواس الخيشومية مدمجة معًا في أنواع مثل التونة. بالنسبة إلى الأسماك الكبيرة المفترسة مثل التونة، فإن التهوية بالاندفاع تُمكّنها من التحرك بسرعة عبر مسافات شاسعة لاصطياد الفريسة.

التهوية بالضخّ

تضخ غالبية الأسماك الماء فوق خياشيمها لتهويتها، وهذا يعني أن هناك تدفقًا مستمرًا للماء فوق الخياشيم حتى عندما تكون السمكة ثابتة. إن الأسماك التي تستخدم هذه الطريقة، ومنها سمك الهامور، تعتمد على عضلات تجويف الفم، وهذا يتطلب مقدارًا كبيرًا من الطاقة. إن فائدة التهوية بالضخ هي أنه يمكن للسمك أن يستمر في التنفّس وإن لم يكن يتحرك، ما يتيح له البقاء في مكان واحد لمدة زمنية طويلة. عادة ما يعيش الهامور في المواطن البيئية للشعاب المرجانية، حيث يمكنه التحرك ببطء وتجنّب الافتراس بالانطلاق السريع إلى تجاويف الشعاب المرجانية. وعندما تسبح الأسماك بشكل سريع، تزداد حاجتها إلى الأكسجين، ويزداد معدل الضخّ أيضًا. يغيّر كثير من أنواع الأسماك من معدل تهوية الخياشيم استجابةً للتراكيز المختلفة من الأكسجين في الماء. وقد تغيّر الأسماك أيضًا سرعة التهوية استجابة لتركيز الأكسجين في الموطن البيئي. فالسمك الذهبي يزيد من معدل تهويته عندما تكون تراكيز الأكسجين في الماء أقل.

مصطلحات علمية

التهوية بالاندفاع Ram ventilation: تهوية الخياشيم عن طريق السباحة مع إبقاء الفم مفتوحًا ليتدفق الماء على نحوٍ مستمر عبر الفم وفوق الخياشيم؛ وهذه التهوية تحدث فقط عندما تسبح السمكة.

التهوية بالضخ Pumped ventilation: تهوية الخياشيم عن طريق حركة عضلات الفم لضخ الماء فوق الخياشيم؛ وتحدث عندما تكون السمكة ثابتة.

وعند تناول التهوية بالضخّ، من الجيد تذكّر ما يأتي:

- يتدفق الماء دائمًا من منطقة ذات ضغط أعلى إلى منطقة ذات ضغط أقل.
- كلما ازداد حجم تجويف الفم، ينخفض الضغط في داخله، والعكس صحيح.

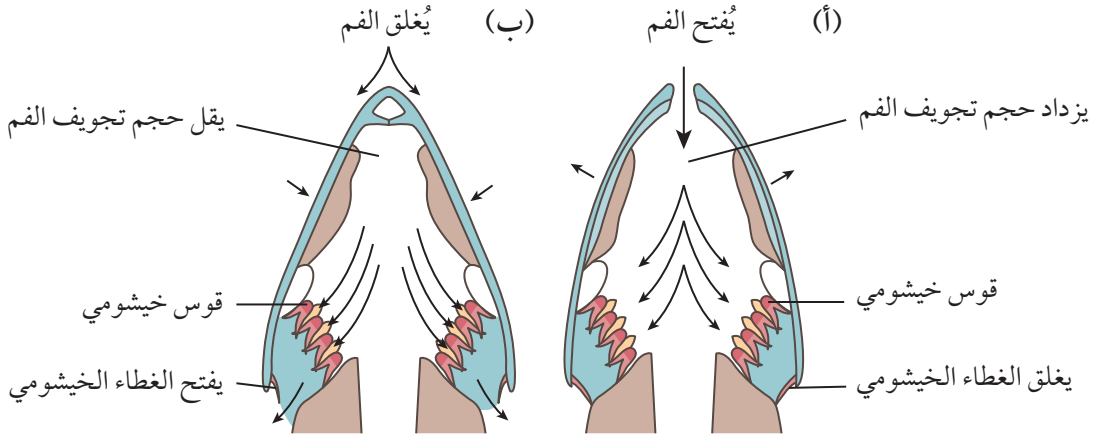
يوضّح الشكل (١-٢٧) مراحل تدفق الماء عبر تجويف الفم لسمكة عظمية.

أثناء تدفق الماء إلى الداخل:

- يُفتح الفم.
- يزداد حجم تجويف الفم بسبب انقباض وانبساط العضلات.
- يؤدي ذلك إلى خفض الضغط داخل تجويف الفم ليصبح أقل من الضغط الخارجي.
- يجري الماء إلى تجويف الفم مع منحدر الضغط.
- يُغلق الغطاء الخيشومي لمنع تدفق الماء مرة أخرى عبر الخياشيم.

أثناء تدفق الماء عبر الخياشيم إلى الخارج:

- يُغلق الفم.
- يقل حجم تجويف الفم بسبب انقباض وانبساط العضلات.
- يرتفع الضغط داخل تجويف الفم ليصبح أعلى من الضغط الخارجي.
- يتدفق الماء فوق الخياشيم، ويتم دفع الغطاء الخيشومي ليفتح، ما يسمح بخروج الماء.



الشكل ١-٢٧ حركة الماء فوق الخياشيم كما ترى من الأعلى (أ) يُفتح الفم، يزداد حجم تجويف الفم، يتم سحب الماء إلى تجويف الفم، يُغلق الغطاء الخيشومي (ب) يُغلق الفم، يقل حجم تجويف الفم، يفتح الغطاء الخيشومي ويتدفق الماء فوق الخياشيم.

النوع	سطح تبادل الغازات	مساحة سطح كبيرة	مسافة انتشار قصيرة	الحفاظ على منحدر الانتشار
بوليب المرجان	سطح الجسم	عدد كبير من اللوامس	طبقة رقيقة من البشرة على سطح الجسم	لا يوجد، على الرغم من أن اللوامس تتحرك
سمك الهامور	خيشوم	الخيوط الخيشومية والصفائح الخيشومية	بشرة رقيقة على الخياشيم	تدفق الدم عبر الشعيرات الدموية، التهوية بالضخّ
سمك التونة	خيشوم	الخيوط الخيشومية والصفائح الخيشومية	بشرة رقيقة على الخياشيم	تدفق الدم عبر الشعيرات الدموية، التهوية بالاندفاع

الجدول ١-٣ ملخص لأعضاء تبادل الغازات في أنواع مختلفة من الكائنات الحية البحرية.

دراسة حالة ١-١: الأسماك الرئوية - الأسماك القادرة على تنفّس الهواء

الأسماك الرئوية، كما يوحي اسمها، هي أسماك تستخدم الرئة للتنفّس من الهواء الجوي. وهناك فقط ستة أنواع معروفة على الكوكب: نوع واحد في أستراليا، وآخر في أمريكا الجنوبية، وأربعة أنواع في أفريقيا (أحدها يظهر في الصورة ١-١٣)؛ وهي أسماك كبيرة، إذ إن النوع الإثيوبي الأصفر الرخامي ينمو حتى يصل طوله إلى مترَين. لجميع أنواع الأسماك الرئوية أكياس كبيرة، أو رئات تمتد من الفم. تنقسم الرئات إلى العديد من الأكياس الهوائية الصغيرة، يتم تزويدها بالدم بغزارة مع جدار رقيق يفصل الهواء عن الدم. وعندما تنخفض مستويات الأكسجين لديها، تدفع الأسماك رؤوسها إلى خارج الماء لتتمكن من تنفّس الهواء. لكنّ نوعًا واحدًا من الأسماك الرئوية، وهو السمك الرئوي الأسترالي، لديه خياشيم إضافة إلى رئة واحدة، يمكنه تبادل الغازات تحت الماء وخارجه، أما جميع الأنواع الأخرى فلديها رئتان ولا تملك خياشيم وظيفية، لذا فهي تعتمد بالكامل على تنفس الهواء لتبادل الغازات.

جميع أنواع الأسماك الرئوية الستة تعيش في مياه غالبًا ما تكون تراكيز الأكسجين المذاب فيها منخفضة، وغالبًا ما تجف خلال المواسم الحارة. فالأسماك الرئوية الأسترالية تعيش عادة في برك مائية صغيرة ومعزولة، وتصعد إلى السطح كل ٤٠ إلى ٥٠ دقيقة للتنفّس.

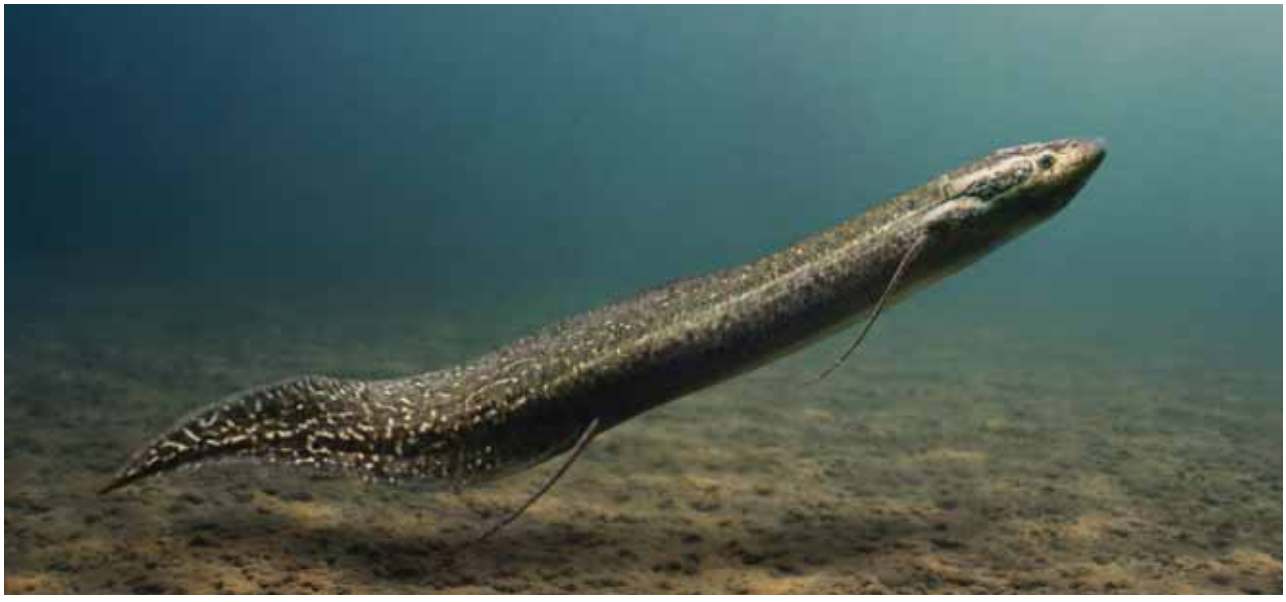
معظم أنواع الأسماك الأخرى تختنق وتموت عندما تصبح المياه ساخنة أو تكون على وشك الجفاف؛ فعندما توشك الأنهار على الجفاف خلال المواسم الحارة في أفريقيا، تغطي الأسماك الرئوية الأفريقية جسمها بطبقة سميكة من المخاط قبل أن تدفن نفسها في طين قاع النهر. وتبقى هذه الأسماك مدفونة في القاع في حالة سُبات لأكثر من عامَين أحيانًا، إلى أن تأتي الأمطار وتتدفق الأنهار مرة أخرى. لقد وجد العلماء أثناء السُّبات أن معدل التنفّس الخلوي للأسماك الرئوية يهبط إلى مستوى منخفض جدًا. والسُّبات يهدف إلى النجاة من الظروف الحارة والجافة ويُسمّى بالسُّبات الصيفي.

أسئلة

١. اشرح كيف تتواءم رئات الأسماك الرئوية مع تبادل الغازات بأقصى فاعلية.

٢. اقترح كيف تُمكّن الرئات الأسماك الرئوية من البقاء على قيد الحياة في برك مائية صغيرة في الطقس الحار.

٣. ناقش كيف يُمكّن السُّبات الصيفي الأسماك الرئوية الأفريقية من البقاء على قيد الحياة خلال فترة الجفاف.



الصورة ١-١٣ سمكة رئوية أفريقية.

أسئلة

٦ اشرح لماذا يؤدي التسارع في التنفس الهوائي داخل الخلية العضلية إلى زيادة معدل انتقال الأكسجين من الدم إلى الخلية، وزيادة معدل انتقال ثاني أكسيد الكربون من الخلية إلى الدم؟

٧ يؤدي الاحترار العالمي إلى زيادة في درجة حرارة البحر وانصهار الأغطية الجليدية. اقترح واشرح كيف يمكن أن يؤثر ذلك على محتوى الأكسجين المذاب في مياه البحر.

٨ صمم جدولًا تظهر فيه الطرائق المختلفة لتبادل الغازات التي تستخدمها: البوليبات المرجانية، وأسماك التونة والهامور، وإيجابيات وسلبيات كل طريقة.

٩ اشرح ما يأتي:

أ. تموت الأسماك الأكثر نشاطًا بشكل أسرع من الأسماك الأقل نشاطًا عندما ترتفع درجة حرارة الماء كثيرًا.

ب. الطفيليات الخيشومية والتي تأكل أجزاء من الصفائح الخيشومية تقلّل من معدل نمو السلمون المستزرع.

ج. إذا تم إخراج الأسماك من الماء، فإنها تختنق، وتنهار الصفائح الخيشومية، وتلتصق ببعضها البعض.

٤-١ التنظيم الأسموزي

تعيش الكائنات البحرية في بيئة ملوحتها عالية وجهد ماء منخفض. وعلى الرغم من أن معظم مياه البحر تكون متساوية التركيز مع سوائل الجسم، إلا أن وجود خطر فقدان الماء من أجسام هذه الكائنات إلى الماء المحيط لا يزال قائمًا. فبعض الكائنات قادرة على البقاء فقط في نطاق ضيّق من الملوحة وتُصنف كأنواع **ضيّقة المدى الملحي Stenohaline**، في حين بعض الأنواع مثل السلمون، قادرة على تحمل مدى واسع من مستويات الملوحة، تُصنّف كأنواع **واسعة المدى الملحي Euryhaline**.

المتوافقة أسموزيًا

الكائنات الحية **المتوافقة أسموزيًا Osmoconformers** لديها جهد ماء داخل خلاياها وسوائل جسمها يساوي جهد الماء المحيط بها. وهذا يعني أن سوائلها متساوية التركيز مع الماء، فلا توجد محصلة كسب أو فقدان للماء. معظم الكائنات الحية المتوافقة أسموزيًا هي اللافقاريات ضيّقة المدى الملحي، وبالتالي هي غير قادرة على تحمل التغيرات الكبيرة في ملوحة البيئة الخارجية.

بلح البحر هو من الكائنات المتوافقة أسموزيًا، واسعة المدى الملحي، وغالبًا ما يعيش في مصبات الأنهار، حيث من الممكن أن تكون ملوحة الماء متغيرة بشكل كبير. يمكن لبلح البحر البقاء حيث يعيش بطريقتَين:

- عند تغيّر الملوحة، يغلق بلح البحر صدفته بإحكام لمنع ملامسة مياه البحر أنسجة جسمه.
- يمكن لبلح البحر زيادة أو خفض تراكيز المواد المذابة في خلاياه إذا تغيّرت ملوحة البيئة الخارجية؛ لتتوافق تراكيز المواد المذابة داخل جسمه مع الماء خارج جسمه، وبذلك لا يكون هناك محصلة لتدفق الماء إلى الداخل أو إلى الخارج.

على الرغم من وجود درجة معيّنة من التحكم في التنظيم الأسموزي، إلا أن معظم أنواع بلح البحر يميل إلى العيش ضمن نطاق محدد من مستويات الملوحة. بعض الأنواع تعيش فقط في مياه مصبات الأنهار قليلة الملوحة، في حين تعيش أنواع أخرى في مياه البحر الأكثر ملوحة.

مصطلحات علمية

ضيّقة المدى الملحي Stenohaline: كائنات حية لا تستطيع تحمل تغيّرات واسعة في ملوحة الماء.

واسعة المدى الملحي Euryhaline: كائنات حية يمكنها تحمل تغيّرات كبيرة في ملوحة الماء.

المتوافقة أسموزيًا Osmoconformer: كائنات حية تكون ملوحة سوائل أجسامها الداخلية مساوية لملوحة الماء الخارجي.

المُنظّمة للأسموزية

الكائنات الحية **المنظمة للأسموزية Osmoregulators** تحافظ على ضغط أسموزي داخلي ثابت قد يختلف عن البيئة التي تعيش فيها. غالبية أنواع الأسماك العظمية منظمة للأسموزية ضيّقة المدى الملحي، حيث يمكنها العيش فقط في نطاق ضيّق من مستويات الملوحة. تحافظ هذه الكائنات الحية على درجة ملوحة معيّنة في خلاياها وسوائل أجسامها. ويُعدّ سمك التونة مثالًا نموذجيًا من البيئة البحرية على منظم للأسموزية، ضيّق المدى الملحي.

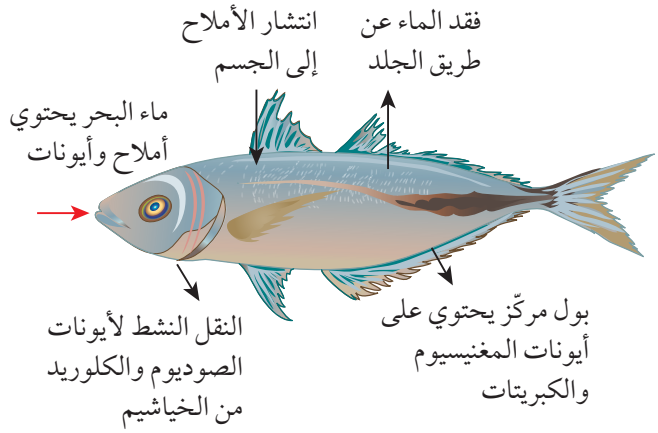
الأسماك البحرية ضيقة المدى الملحي

في معظم البحار والمحيطات، تكون ملوحة الماء المحيط بالأسماك أعلى (عالي التركيز) من ملوحة خلايا وسوائل الجسم. يُسحب الماء من الجسم عبر الخياشيم والجلد بواسطة الأسموزية وتنتشر الأملاح من الماء إلى داخل الجسم. قد يؤدي فقدان الماء المستمر إلى الجفاف، ما يؤدي إلى تلف الخلايا وبالتالي الموت. ولمنع فقدان الماء الزائد، تقوم الأسماك العظمية البحرية بعدة عمليات الشكل (١-٢٨).

- تشرب باستمرار مياه البحر لتعويض الماء الذي تفقده بالأسموزية.
- تتخلص من الأملاح الزائدة عن طريق إفراز أيونات الصوديوم والكلوريد بالنقل النشط عن طريق الخياشيم، ويوجد على الخيوط الخيشومية خلايا متخصصة تحتوي أغشيتها على مضخات بروتينية تضخ الأيونات إلى الماء، وهو ما يتطلب طاقة على شكل ATP.
- تقوم بإفراز أيونات المغنيسيوم والكبريتات بالنقل النشط من الكلى إلى البول.
- إعادة امتصاص الماء بواسطة الكلى لينتج كمية قليلة من البول المركز.

مصطلحات علمية

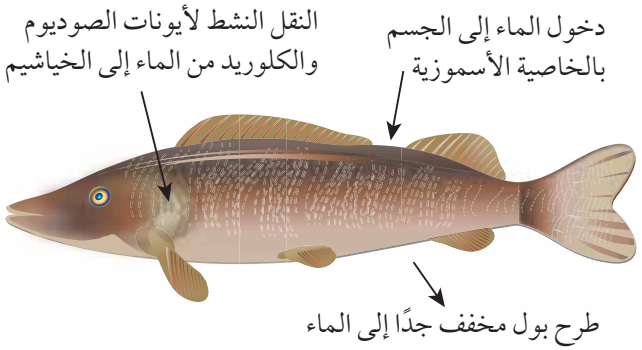
المنظمة للأسموزية Osmoregulators: كائنات حية تنظّم ملوحة سوائل جسمها الداخلية ضمن نطاق ضيّق.



الشكل ١-٢٨ التنظيم الأسموزي في الأسماك العظمية البحرية.

أسماك المياه العذبة ضيقة المدى الملحي

تواجه أنواع الأسماك التي تعيش في المياه العذبة مشكلة معاكسة لتلك التي تواجهها أسماك البحر. فالمياه العذبة ملوحتها منخفضة جدًا ولها جهد ماء عالٍ (منخفض التركيز). يدخل الماء باستمرار إلى الجسم عن طريق الخياشيم والجلد بالأسموزية (الشكل ١-٢٩).



الشكل ١-٢٩ التنظيم الأسموزي في أسماك المياه العذبة.

ولمنع الامتصاص الزائد للماء، تقوم الأسماك العظمية التي تعيش في المياه العذبة بعدة عمليات:

- تشرب كميات قليلة من الماء.
- تضخ الخياشيم أيونات الصوديوم والكلوريد بالنقل النشط إلى الدم وسوائل الجسم. يوجد في أغشية الخلايا المتخصصة مضخات بروتينية تضخ الأيونات بالنقل النشط من الماء الخارجي إلى سوائل الجسم الداخلية. تستخدم هذه المضخات ATP، كما في أسماك البحر.
- تنتج كميات كبيرة من البول المخفف.

الأسماك واسعة المدى الملحي

الكائنات المنظمة للأسموزية واسعة المدى الملحي، مثل السلمون والأنقليس، قادرة على العيش في مدى واسع من مستويات الملوحة، بدءًا من المياه العذبة للأنهار إلى المياه المالحة للمحيطات. ويمكن لهذه الأنواع تغيير اتجاه ضخ الأيونات اعتمادًا على ملوحة الماء المحيط (الجدول ١-٤).

	سوائل جسم السلمون	مياه المحيط	المياه العذبة
تركيز المواد الذائبة (%)	1.0	3.5	<0.1

الجدول ١-٤ مقارنة الملوحة في سوائل جسم السلمون، ومياه المحيط والمياه العذبة.

عندما تكون هذه الأسماك في المياه المالحة، تكون المياه المحيطة بها عالية التركيز مقارنةً بسوائل أجسامها؛ لذا يتم ضخ الأملاح إلى خارج الخياشيم، وتشرب هذه الأسماك الماء لتعويض الماء الذي فُقد بواسطة الأسموزية. وعندما تكون في المياه العذبة، تكون المياه المحيطة بها منخفضة التركيز مقارنةً بسوائل أجسامها، فتعمل مضخات الأيونات على نقل الأملاح في الاتجاه المعاكس، لتأخذها إلى الدم.

أسئلة

١٠ لخّص آليات عمليات التنظيم الأسموزي التي يستخدمها السلمون عند انتقاله من مياه النهر إلى البحر.

١١ اقترح واشرح سبب انخفاض معدلات نمو سمك السلمون الذي يعيش في مياه عالية الملوحة (ذات تركيز أعلى من تركيز سوائل جسمه)، مقارنةً بسمك السلمون الذي ينمو في مياه أقل ملوحة (متساوية التركيز مع سوائل جسمه).

مشروع: ألوان الدم

يعتقد الكثير منا أن جميع الكائنات الحية لديها دم لونه أحمر. لكن في الحقيقة هناك دماء باللون الأحمر، والأزرق، والأخضر، والبنفسجي موجودة في أنواع مختلفة من الكائنات الحية البحرية.

قم بإجراء بحث مختصر لتحديد الصبغات المختلفة التي تُنتج هذه الألوان الأربعة المختلفة من الدم في الطبيعة. يجب أن تُضمّن نتائج بحثك:

- الصبغات التنفسية الأربع المختلفة.
- الكائنات الحية التي توجد فيها هذه الصبغات (بما في ذلك الصور).
- وظيفة هذه الصبغات.
- الخصائص المختلفة لكل منها.

قدم نتائجك لزملائك على شكل صفحة ويب.

التفكير في المشروع

أعدّ مجموعة مكونة من خمسة أسئلة سريعة تطرحها على متابعيك، على صفحة الويب الخاصة بك.

يرشدك هذا الأمر إلى معرفة مدى جودة شرح نتائجك الواردة في صفحة الويب.

دراسة حالة موسعة: بحر آرال، كارثة بيئية

بحر آرال Aral Sea هو بحيرة مغلقة (محاطة باليابسة) غير متصلة بالمحيطات، تقع في وسط قارة آسيا على الحدود بين كازاخستان وأوزبكستان. في عام 1960م، كان بحر آرال رابع أكبر بحيرة في العالم بمساحة 67,499 km^2 (الصورة ١-١٤). وكان مجرّد بحيرة قليلة الملوحة تبلغ متوسط ملوحتها نحو 10 $g\ L^{-1}$، يغذيه نهران: نهر أمو داريا Amu Darya في الجنوب، ونهر سير داريا Syr Darya في الشرق. وكان يعيش فيه 20 نوعًا مختلفًا من الأسماك على الأقل وأكثر من 160 نوعًا من اللافقاريات.

كانت كازاخستان وأوزبكستان جزءًا من الاتحاد السوفيتي السابق، وفي أوائل الستينيات قررت الحكومة السوفيتية تحويل مجرى الأنهار المغذية لبناء شبكة ري ضخمة. وقد تم بناء أكثر من 20,000 ميلًا من القنوات و45 سدًا وأكثر من 80 خزانًا في محاولة لري المنطقة الصحراوية لأغراض زراعية، وبخاصة إنتاج القطن والقمح. كان نظام الري سيّئًا؛ إذ كان يُقدر أن 75% من الماء المحوّل يُفقَد نتيجة التسرب والتبخر.

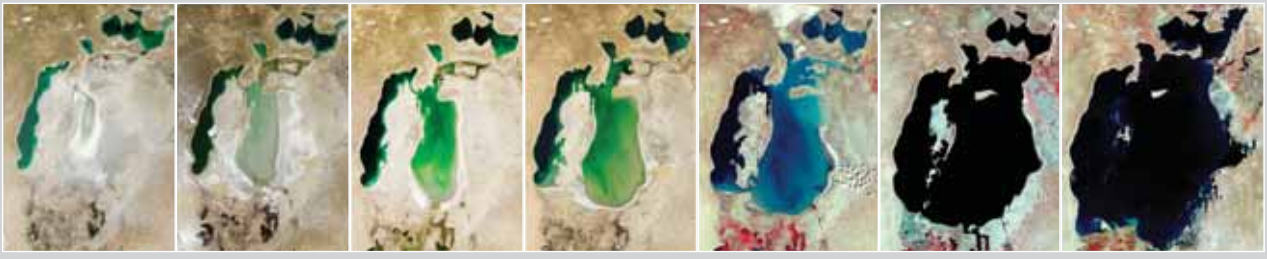
بحلول منتصف الستينيات، تم تحويل ما يصل إلى 60 كيلومترًا مكعبًا من مياه الأنهار كل عام إلى المشاريع الزراعية، بدلًا من تغذية (إعادة تزويد) بحر آرال بالماء. لذلك انخفض مستوى بحر آرال بين عامَي 1961 و1971م، بمتوسط 10 سنتيمترات سنويًا، وبدأت صناعة الصيد فيه تعاني مشاكل عديدة؛ إذ بدأت مخزونات أسماك المياه القليلة الملوحة والمالحة التي تعتمد عليها بالاختفاء.

ومع زيادة الإنتاج الزراعي خلال القرن العشرين، ازداد معدل انخفاض مستوى البحر في الثمانينيات بسرعة أكبر بمتوسط يزيد عن 90 cm سنويًا. وفي عام 1987م، أدى استمرار فقدان الماء إلى انقسام بحر آرال إلى بحرَين منفصلَين: بحر آرال الشمالي (أو الأصغر)، وبحر آرال الجنوبي (أو الأكبر). وفي عام 1991م، أصبحت كازاخستان وأوزبكستان دولتَين مستقلتَين، إلا أن استمرار إنتاج القطن على نطاق واسع أسهم في استنزاف بحر آرال. وبحلول عام 1998م، أصبح مجموع المساحة للبحرَين المنفصلَين 28,687 km^2، مع انخفاض يزيد عن 80% في الحجم، وارتفاع مستوى الملوحة إلى 45 $g\ L^{-1}$ (الملوحة النموذجية لمياه البحر نحو 35 $g\ L^{-1}$). فانقرضت العديد من الأسماك الأصلية (التي يُعدّ بحر آرال موطنها)، مثل الكارب، والأنواع اللافقارية، واستعيض عنها بأنواع بحرية واسعة المدى الملحي مثل البلطي flounder، التي كانت أكثر تلاؤمًا مع نسبة الملوحة العالية.

بحلول عام 2004م، تقلصت مساحة سطح جميع أجزاء بحر آرال إلى 17,160 km^2، تقريبًا 25% من حجمه الأصلي (الشكل ١-٣٠)، مع زيادة تقدّر تقريبًا بخمسة أضعاف في مستوى الملوحة والتي قتلت معظم الأنواع الأصلية. وقد انقرض عدد من الأنواع البحرية الدخيلة، لعدم قدرتها على التلاؤم مع الملوحة العالية.

لقد اعتبر العلماء السوفيتيين والحكومة السوفييتية أن خسارة بحر آرال يستحق تحمّل ثمنها مقابل الإنتاج الضخم للقطن.

القطن هو المحصول الرئيسي في أوزبكستان حيث يتم إنتاج أكثر من مليون طن سنويًا ويمثل 17% تقريبًا من صادرات أوزبكستان، وهي سادس أكبر منتج وثاني أكبر مصدر للقطن في العالم، وتوظّف صناعة القطن نسبة كبيرة من السكان.



الصورة ١-١٤ صور الأقمار الصناعية تُظهر التغيرات في بحر آرال منذ عام 1973 إلى عام 2009م.

تابع

مشروع استعادة بحر آرال الشمالي

في عام 2003م، بدأت الحكومة الكازاخستانية مشروعًا لاستعادة بحر آرال الشمالي، فبنت سدًا خرسانيًا كبيرًا لفصل بحرَي آرال الشمالي والجنوبي ومنع تدفق الماء من بحر آرال الشمالي والذي لا يزال تتدفق فيه مياه النهر، إلى بحر آرال الجنوبي. وقد تم الانتهاء من بناء السد في عام 2005م ومنذ ذلك الحين ازداد مستوى ماء بحر آرال الشمالي تدريجيًا، إلى جانب الانخفاض في ملوحته. وبحلول عام 2006م، انخفضت الملوحة إلى مستويات نموذجية مساوية لملوحة مصبات الأنهار، وعادت بعض أنواع الأسماك الأصلية إلى الظهور مجددًا، في المقابل بدأت مصائد الأسماك الإبلاغ عن انخفاض في أعداد الأنواع البحرية مثل سمك البلطي (المفلطح). ومن المفارقات، أن ذلك أدى إلى خسارة طفيفة في إيرادات الصيد لأن الناس كانوا يفضلون مذاق الأنواع البحرية.

من المؤسف أن يُترك بحر آرال الجنوبي لمصيره، فقد كان السد يمنع تدفق أي فائض من بحر آرال الشمالي من الدخول إليه، ونتيجة لذلك، وبحلول عام 2007م، انكمشت مساحة البحر إلى 10% من حجمه الأصلي، وازدادت ملوحة المياه المتبقية إلى أكثر من $100\ g\ L^{-1}$. لا تعيش في بحر آرال الجنوبي حاليًا أية أسماك أو أنواع بحرية أخرى؛ إذ لا تستطيع تحمّل ملوحته العالية. إلا أن بعض اللافقاريات التي يمكنها تحمل الملوحة الشديدة لا تزال تعيش فيه، بأعداد قليلة جدًا.

عواقب تدمير بحر آرال

كان لفقدان بحر آرال الكثير من العواقب، سواء البيئية أو الاجتماعية.

بيئيًا: بحر آرال الجنوبي هو الآن شبه «بحر ميت»؛ إذ لم يتبقَّ فيه أي نوع من الأسماك، ويعيش فيه قليل من اللافقاريات. وأصبحت الأنواع التي كانت تعتمد على الأسماك كجزء من السلسلة الغذائية مهددة بالانقراض. في الماضي كان يعيش أكثر من 173 نوعًا من الحيوانات حول بحر آرال، بما في ذلك الخنازير البرية، والغزلان، وابن آوى، والنمور؛ أما الآن فلا يتعدى عدد الأنواع الموجودة 38 نوعًا.

صحة الإنسان: تحتوي عواصف الغبار السامة على نسبة عالية من الأملاح، وهي شائعة الحدوث في المنطقة (منطقة وجود بحر آرال). وقد أدت هذه العواصف إلى زيادة الإصابة بأمراض الجهاز التنفسي، والكبد، والكلى والعيون. وارتفع معدل وفيات الأطفال ليصبح أكثر من 75 لكل 1000 ولادة. وقد أدى فقدان الأسماك والمحاصيل الغذائية نتيجة نقص المياه العذبة وترسّب الأملاح على الأرض إلى فقدان الغذاء، ما أدى إلى سوء التغذية.

اقتصاديًا: كانت صناعة صيد الأسماك في بحر آرال تمثل نسبة كبيرة من إجمالي صيد الأسماك في الاتحاد السوفييتي، حيث كانت توظف أكثر من 40,000 شخص، لكنها اندثرت، ولم يبقَ منها إلا قوارب الصيد المحطمة والملقاة على اليابسة التي كانت تغمرها المياه. وقد أدى ارتفاع معدل البطالة إلى زيادة الفقر، كما انخفض عدد السكان، إذ غادر معظمهم المنطقة بحثًا عن مورد رزق آخر.

أسئلة

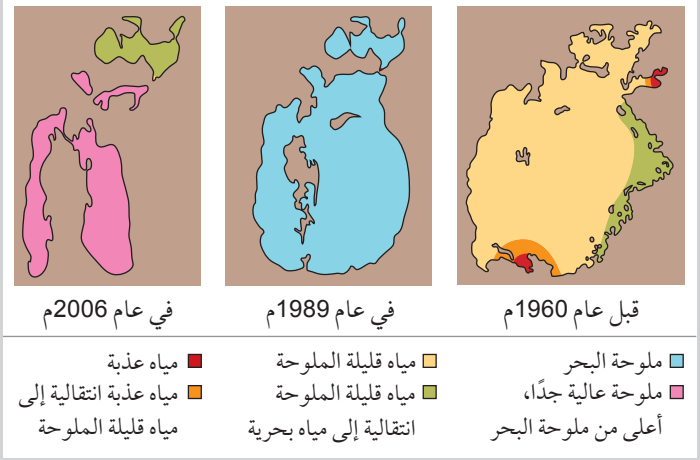
١. لخّص كيف أدى التأثير البشري إلى فقدان بحر آرال.

٢. اشرح التغيّرات في ملوحة المياه على مدى الزمن كما هو موضح في الشكل (١-٣٠).

٣. اشرح بالتفصيل سبب انقراض أسماك المياه العذبة ضيّقة المدى الملحي في بحر آرال.

٤. اشرح كيف كانت الأسماك البحرية واسعة المدى الملحي قادرة على العيش والبقاء بشكل أفضل في بحر آرال.

٥. قيّم أثر زراعة كميات كبيرة من القطن في كازاخستان وأوزبكستان.



الشكل ١-٣٠ التغيرات في ملوحة بحر آرال عبر الزمن.

ملخّص

تحتوي الخلايا على العضيّات الآتية:

- غشاء سطح الخلية – يتحكّم في حركة دخول وخروج المواد من الخلايا
- النواة – تحتوي على المعلومات الوراثية وتقوم ببناء الرايبوسومات
- الشبكة الإندوبلازمية الخشنة – تشارك في طي وتغليف البروتينات المصنعة حديثًا داخل الحويصلات لإفرازها ونقلها إلى جهاز جولجي
- الشبكة الإندوبلازمية الناعمة – بناء الهرمونات الستيرويدية
- الرايبوسومات – بناء البروتينات
- جهاز جولجي – يشارك في تعديل البروتينات
- الميتوكندريا – التنفس الهوائي وإنتاج ATP
- البلاستيدات الخضراء – التمثيل الضوئي وإنتاج الجلوكوز
- جدار الخلية – القوة والشكل
- الفجوة الدائمة الكبيرة – التخزين والدعامة

يصف النموذج الفسيفسائي السائل لتركيب الغشاء على أنه يحتوي على طبقة ثنائية من الدهون المفسفرة، تكون فيها الرؤوس المحبّة للماء متجهة نحو الخارج، في حين تكون الذيول الكارهة للماء متجهة نحو الداخل، مع وجود بروتينات حاملة وقنوية تخترق الغشاء، تنقل الجزيئات التي لا يمكنها الانتشار عبر الغشاء مباشرة.

يمكن للجزيئات الصغيرة مثل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون أن تنتشر عبر غشاء سطح الخلية مباشرة. وبسبب وجود بروتينات حاملة وقنوية فإنه يتم انتقاء المواد ذات الجزيئات الكبيرة التي ستكون قادرة على الانتشار عبر الغشاء، ما يجعل الغشاء منفذًا انتقائيًا.

يحدث الانتشار بشكل سلبي ولا يتطلب استهلاك أي طاقة.

بعض الجزيئات يتم نقلها بواسطة بروتينات حاملة، بعكس منحدر تركيزها عن طريق النقل النشط، الذي يتطلب استهلاك طاقة لتحقيق ذلك.

الصور المجهرية الضوئية، والمجهرية الإلكترونية ورسوم الخلايا الحيوانية والنباتية النموذجية تُظهر العضيّات الرئيسية. يجب أن تكون الرسوم كبيرة وواضحة ودقيقة، ومع مسمياتها المناسبة. لحساب مقدار التكبير، أو طول الصورة المشاهدة أو الطول الحقيقي للخلايا، استخدم الصيغة:

$$\text{مقدار التكبير} = \frac{\text{طول الصورة المشاهدة}}{\text{الطول الحقيقي}}$$

الانتشار هو نقل سلبي لا يتطلب طاقة؛ إذ تؤدي الحركة العشوائية للجزيئات إلى محصّلة حركة الجزيئات من منطقة ذات التركيز الأعلى إلى منطقة ذات التركيز الأقل، مع منحدر التركيز. يتطلب انتشار الجزيئات القطبية عبر الغشاء مساعدة من البروتينات القنوية أو الحاملة والذي يُسمى الانتشار المسهّل.

النقل النشط هو نقل الجزيئات بعكس منحدر تركيزها، ويتم تسهيل هذه العملية بواسطة بروتينات حاملة في الغشاء، وتتطلب استهلاك طاقة.

الأسموزية هي حالة خاصة من الانتشار تشمل حركة جزيئات الماء عبر غشاء منفذ انتقائيًا. تتحرك جزيئات الماء من مناطق ذات جهد ماء أعلى (المواد المذابة أقل) إلى مناطق ذات جهد ماء أقل (المواد المذابة أكثر).

تابع

للمحاليل عالية التركيز جهد ماء أقل، ويكون تركيز المواد المذابة فيها أعلى من تركيز المواد المذابة داخل الخلايا، فيخرج الماء من الخلايا بالأسموزية. ويؤدي ذلك إلى انكماش الخلايا الحيوانية وذبول الخلايا النباتية.

للمحاليل منخفضة التركيز جهد ماء أعلى، ويكون تركيز المواد المذابة فيها أقل من تركيز المواد المذابة داخل الخلايا، فيدخل الماء إلى الخلايا. ويؤدي ذلك إلى انتفاخ الخلايا الحيوانية، وبالتالي انفجارها، وانتفاخ الخلايا النباتية.

للمحاليل متساوية التركيز جهد ماء وتركيز مواد مذابة مماثل لما هو داخل الخلايا، ولا توجد محصّلة لحركة جزيئات الماء.

يكون للجسم الصغير الحجم مساحة سطح أكبر مقارنة بحجمه من الجسم الكبير. وبالتالي، تتناقص نسبة مساحة السطح إلى الحجم بزيادة الحجم.

تتطلب عملية التنفّس الهوائي الأكسجين وينتج منها ثاني أكسيد الكربون. ومن أجل الحفاظ على منحدر التركيز للسماح بانتشار سريع لهذه الجزيئات عبر سطح تبادل الغازات، يحتاج الكائن الحي إلى تحريك الدم عبر عضو تبادل الغازات وتهويته. وهذا يعني استبدال الدم المؤكسج ليحل مكانه الدم غير المؤكسج، ويزيل الماء المتحرك ثاني أكسيد الكربون المطروح.

تُعدّ نسبة مساحة السطح إلى الحجم مهمة عند دراسة تأثيرها على الانتشار في الكائنات الحية. ففي الكائنات الحية الكبيرة التي تكون نسبة مساحة السطح إلى الحجم قليلة نسبيًا، يتم زيادة مساحة السطح في عضو تبادل الغازات عن طريق وجود طيات أو بروزات، مثل الرئتَين أو الخياشيم. أما في الكائنات التي لا تحوي أعضاء تبادل غازات متخصصة، مثل الشعاب المرجانية، فتزداد مساحة السطح عن طريق البروزات السطحية مثل اللوامس.

لا يوجد في البوليبات المرجانية أعضاء تبادل غازات متخصصة، وعوضًا من ذلك تعتمد على انتشار الغازات عبر البشرة، وأحيانًا يكون لديها لوامس متحركة لزيادة معدلات الانتشار.

للأسماك العظمية أقواس خيشومية تدعم الخياشيم. تعمل الخياشيم على زيادة كفاءة تبادل الغازات عن طريق الانتشار:

- توفّر الخيوط والصفائح الخيشومية مساحة سطح كبيرة للانتشار.
- الصفائح الخيشومية رقيقة جدًا تسمح بانتشار الغازات عبرها.
- تحتوي الصفائح الخيشومية على شعيرات دموية، ما يسمح بوصول الدم بسرعة، للمحافظة على منحدر التركيز.
- تكون خلايا الدم في الصفائح الخيشومية قريبة جدًا من الماء الخارجي، ما يقلّل المسافة اللازمة للانتشار.
- تُحافظ آلية التيار المتعاكس على منحدر التركيز على سطح الخيشوم بالكامل.

التهوية بالاندفاع تشمل تهوية الخياشيم عن طريق تدفق مستمر للماء الذي يمر عبر الفم وفوق الخياشيم، يتحقق ذلك بالحركة الأمامية المستمرة/السباحة. تستخدم أسماك التونة المفترسة التهوية بالاندفاع عندما تتحرك بسرعة في الماء.

التهوية بالضخّ تشمل تهوية الخياشيم باستخدام عضلات تجويف الفم لضخّ الماء عن طريق الخياشيم، وقد يحدث عندما تكون السمكة في حالة حركة أو ثابتة. تستخدم أسماك الهامور التهوية بالضخّ؛ فهي أقل نشاطًا من سمك التونة، وتعتمد على استخدام دفعات قليلة من الطاقة، لتتجنب المفترسات.

مياه البحر ذات ملوحة كبيرة وجهد ماء قليل؛ لذا فمن الممكن أن تُعدّ بمثابة محلول عالي التركيز بالنسبة إلى خلايا الجسم. تنظم الكائنات الحية البحرية محتواها المائي والأيوني لبقائها متساوية التركيز مع مياه البحر.

تابع

الكائنات الحية المتوافقة أسموزيًا، مثل بلح البحر، تحافظ على سوائل الجسم بجهد ماء متساوي الأسموزية مع الماء المحيط بها. كثير من الكائنات الحية المتوافقة أسموزيًا هي لافقاريات ضيّقة المدى الملحي التي يمكن أن تعيش فقط في نطاق ضيّق من الملوحة. بلح البحر من اللافقاريات المتوافقة أسموزيًا، ويعيش في مدى ملحي واسع، يمكنه تحمل تغيّرات كبيرة في تراكيز ملوحة الماء عن طريق إغلاق الصدفة عندما تزداد الملوحة، أو تعديل تراكيز المواد المذابة الموجودة في الخلايا لتتوافق مع البيئة المحيطة.

تستطيع الكائنات المنظمة للأسموزية، مثل سمك التونة، الحفاظ على مستوى ملوحة داخلية ثابتة قد تختلف عن البيئة التي تعيش فيها. معظم الأسماك العظمية منظمة للأسموزية ضيّقة المدى الملحي ولا يمكنها البقاء إلا في نطاق محدود من الملوحة.

الكائنات المنظمة للأسموزية تمنع فقدان الماء من أجسامها بالرغم من وجودها في مياه عالية التركيز عن طريق:

- شرب الماء باستمرار لتعويض السوائل المفقودة.
- إفراز الخياشيم أيونات الصوديوم والكلوريد بالنقل النشط خارج الجسم إلى مياه البحر، للحفاظ على جهد ماء أعلى حول الخلايا الداخلية.
- إفراز الكلى أيونات المغنيسيوم والكبريتات في البول بالنقل النشط.
- إعادة امتصاص الماء بواسطة الكلى.

الكائنات المنظمة للأسموزية تمنع امتصاص الماء عند وجودها في ماء منخفض التركيز عن طريق:

- شرب كميات قليلة فقط من الماء.
- ضخ الخياشيم أيونات الصوديوم والكلوريد بالنقل النشط إلى الدم، ليكون الدم متساوي الأسموزية مع الخلايا الداخلية للجسم.
- إنتاج كميات كبيرة من البول المخفف جدًا.

الكائنات المنظمة للأسموزية واسعة المدى الملحي مثل السلمون يمكنها تغيير اتجاه مضخات الأيونات في خياشيمها لتتواءم مع البيئة المحيطة. في مياه البحر، تعمل المضخات البروتينية على نقل أيونات الملح الزائدة بالنقل النشط إلى مياه البحر بعكس منحدر تركيزها. أما في المياه العذبة، فتنعكس هذه المضخات البروتينية، وعوضًا من ذلك تنقل أيونات الملح بالنقل النشط من مياه البحر إلى الدم.

أسئلة نهاية الوحدة

١ أي العضيّات الآتية مسؤولة عن إنتاج ATP عن طريق التنفّس في الخلايا؟

أ. النواة

ب. جهاز جولجي

ج. الميتوكندريون

د. الشبكة الإندوبلازمية [1]

٢ ما دور التبادل في التيار المتعاكس في خياشيم الأسماك؟

أ. تنظيم الطفو أثناء السباحة.

ب. زيادة الاحتفاظ بالحرارة في المياه الباردة.

ج. زيادة امتصاص الأكسجين من الماء بالحد الأقصى.

د. زيادة امتصاص أيونات الملح من الماء بالحد الأقصى. [1]

٣ ما الطريقة التي تمنع الكائنات البحرية مثل أسماك القرش من فقدان الماء في بيئات المياه المالحة؟

أ. تخزين الأملاح الزائدة في عظامها.

ب. امتصاص الأملاح بالنقل النشط من محيطها.

ج. إنتاج كمّيات إضافية من البول للتخلّص من الأملاح.

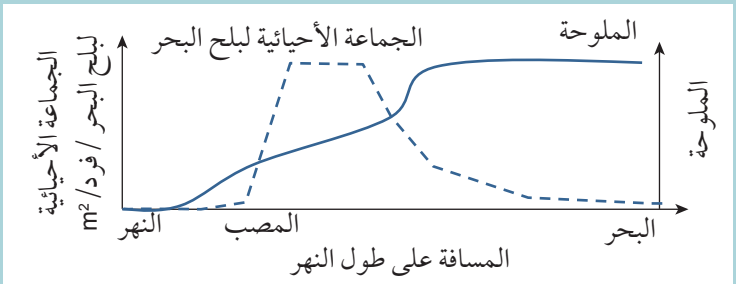
د. إفراز الأملاح الزائدة بواسطة خلايا متخصصة في خياشيمها. [1]

٤ أ. ١. اشرح المقصود بالمصطلحات العلمية الآتية:

- منظمة للأسموزية
- متوافق أسموزيًا
- واسع المدى الملحي [3]

٢. صف كيف تحافظ أسماك السلمون على توازن سوائل أجسامها أثناء سباحتها في مياه مالحة. [3]

ب. يُظهر الشكل (١-٣١) كيف تتغير أعداد من نوع بلح البحر، وملوحة الماء على طول النهر، وعند المصب، وصولاً إلى البحر.



الشكل ١-٣١ التغيرات في عدد أفراد الجماعة الأحيائية لنوع من بلح البحر وملوحة الماء على طول مجرى النهر وصولاً إلى البحر.

أفعال إجرائية

اشرح Explain:
اعرض الأهداف أو الأسباب /اجعل العلاقات بين الأشياء واضحة/توقّع لماذا و/أو كيف، وادعم إجابتك بأدلّة ذات صلة.

صف Describe:
قدّم الخصائص والميزات الرئيسية.

تابع

١. صف التغييرات في أفراد الجماعة الأحيائية لبلح البحر وملوحة الماء بزيادة المسافة. [2]

٢. اقترح واشرح التغييرات في أفراد الجماعة الأحيائية لبلح البحر. [4]

[المجموع: 12]

٥ أ. ١. اذكر اسم الغاز المستخدم كمادة خام والغاز الناتج كناتج ثانوي في عملية التنفس الهوائي. [1]

٢. استخدم معرفتك بالبيئة البحرية والتنفّس لشرح أسباب ميل أنواع الأسماك التي تعيش في المناطق الأعمق من المحيط إلى أن تكون مستويات نشاطها منخفضة وتسبح لمدة زمنية قصيرة وسريعة. [4]

ب. ١. اشرح: لماذا لا تمتلك الكائنات الحية وحيدة الخلية أعضاء متخصصة لتبادل الغازات. [3]

٢. اشرح كيفية تلاؤم الخياشيم في سمك الهامور مع حدوث تبادل الغازات بالحد الأقصى. [3]

[المجموع: 11]

٦ أ. ١. مستخدمًا أنواعًا محددة من الأسماك كأمثلة، قارن الاختلافات بين التهوية بالضخّ والتهوية بالاندفاع. [6]

٢. بعض أنواع الأسماك تستخدم التهوية بالضخّ عند السباحة بسرعات منخفضة، ولكنها تنتقل إلى التهوية بالاندفاع عند السباحة بسرعات عالية.

اشرح: سبب اعتبار قدرة هذه الأسماك على التبديل بين طريقتَي التهوية مفيدة؟ [3]

ب. يعيش السلمون في كل من المياه العذبة والمياه المالحة في أثناء دورة حياته.

استخدم معرفتك بالتنظيم الأسموزي والأسموزية لشرح كيف يمكن للسلمون العيش في كل من المياه العذبة والمياه المالحة. [6]

[المجموع: 15]

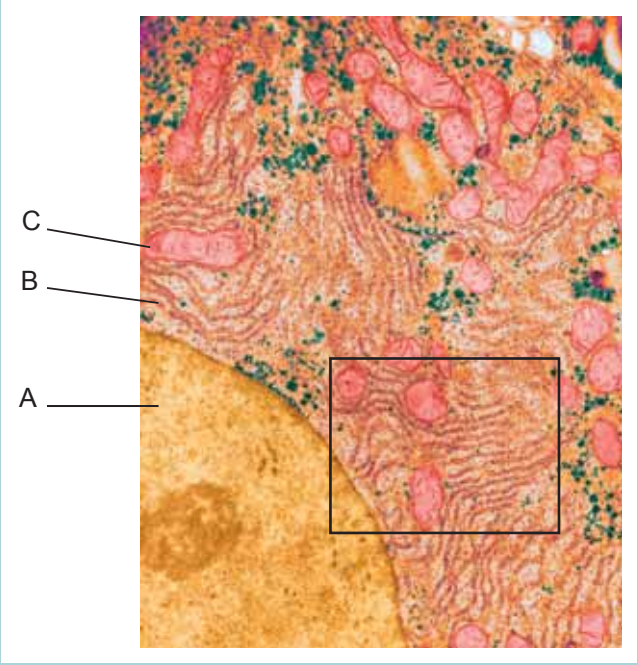
أفعال إجرائية

اقترح **Suggest**: طبّق المعرفة والفهم على المواقف التي تتضمّن مجموعة من الإجابات الصحيحة من أجل تقديم المقترحات.

قارن **Compare**: حدّد أوجه التشابه و/أو الاختلاف معلّقًا عليها.

تابع

٧ تُظهر الصورة (١-١٥) صورة مجهرية إلكترونية لخلية كبد.



الصورة ١-١٥ صورة مجهرية إلكترونية لخلية كبد، بمقدار تكبير 23000×.

أ. ارسم رسمًا تخطيطيًا للمنطقة التي يحيط بها المربع في الخلية. **[4]**

ب. احسب أقصى طول حقيقي، بالميكرومتر، للعضيّة (C) **[2]**

ج. اذكر أسماء العضيّات A و B و C **[3]**

د. اشرح الدلائل الظاهرة في الصورة (١-١٥) والتي تقترح أن هذه الخلية تُنتج كمّيات كبيرة من البروتين وتحتاج إلى مقدار كبير من الطاقة. **[4]**

[المجموع: 13]

٨ استقصى طالب معدّل استخدام السلمون للأكسجين، فوضع سمكة في خزان ماء سعته 5 L مع مجسّ قياس تركيز الأكسجين. تم الحفاظ على درجة حرارة الماء عند 5°C وتسجيل تركيز الأكسجين في الماء كل دقيقتَين ولمدة 10 دقائق. يتضمن الجدول (١-٥) النتائج التي حصل عليها الطالب.

الزمن/دقيقة	تركيز الأكسجين/ $mg\ L^{-1}$
0	11.0
2	10.6
4	10.1
6	9.6
8	9.2
10	8.9

الجدول ١-٥ التغير في تركيز الأكسجين بمرور الزمن.

أفعال إجرائية

احسب Calculate: استخلص، من الحقائق المعطاة، المعلومات أو الأرقام.

اذكر State: عبّر بكلمات واضحة.

تابع

أ. ١. صف التغير في تركيز الأكسجين خلال فترة الـ 10 دقائق. **[2]**

٢. اقترح سبب تغير تركيز الأكسجين. **[3]**

ب. خطّط لاستقصاء أثر زيادة درجة الحرارة على معدل حصول السلمون على الأكسجين.
يجب أن تضمّن عملك فرضية وأن تصف كيف ستحلّل بياناتك. **[10]**

[المجموع: 15]

٩ استقصت طالبة أثر نسبة مساحة السطح إلى الحجم على معدل الانتشار. قطّعت مكعبات أطوال أضلاعها مختلفة، وسجّلت الأوقات التي استغرقتها الصبغة للانتشار إلى مركز هذه المكعبات. يُظهر الجدول (١-٦) نتائجها.

طول ضلع المكعب / cm	مساحة السطح / cm^2	الحجم / cm^3	نسبة مساحة السطح إلى الحجم	الزمن الذي استغرقته الصبغة للوصول إلى مركز المكعب / s
0.5	1.5	0.125	12.0	25
1	6	1.000	6.0	50
2	24	8	3.0	100
3	54	27	2.0	155
4	96			350
5	150	125	1.2	475

الجدول ١-٦ أثر طول ضلع المكعب على الزمن الذي تستغرقه الصبغة للانتشار.

مهم

معلومة: حجم المكعب = مكعب طول الضلع، a^3

أ. ١. احسب الحجم ونسبة مساحة السطح إلى الحجم لمكعب طول ضلعه 4 cm. **[2]**

٢. ارسم تمثيلًا بيانيًا خطيًا واحدًا لإظهار كيف تؤثر زيادة طول ضلع المكعب على كل من الزمن اللازم لانتشار الصبغة إلى مركز المكعبات، وعلى نسبة مساحة السطح إلى الحجم للمكعبات. صِل نقاطك بخطوط مستقيمة. **[6]**

٣. صف أثر زيادة طول الضلع على نسبة مساحة السطح إلى الحجم للمكعبات. **[2]**

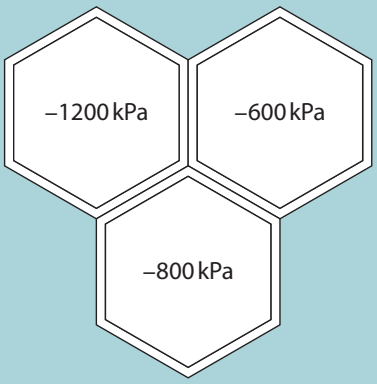
ب. تتكوّن خياشيم الأسماك من عدد كبير من الصفائح الخيشومية، وهي مسطحة ورقيقة في الشكل.

استخدم الجدول (١-٦) والتمثيل البياني الذي رسمته لشرح كيف يُناسب تركيب الصفائح الخيشومية تحقيق انتشار سريع لتبادل الغازات. **[5]**

[المجموع: 15]

تابع

١٠ يُظهر الشكل (١-٣٢) ثلاث خلايا في ورقة نوع من حشائش البحر. وجهد الماء لكل خلية.



الشكل ١-٣٢ جهد الماء في ثلاث خلايا في ورقة نوع من حشائش البحر.

أ. ١. عرّف الأسموزية. **[2]**

٢. ارسم الأسهم على الرسم التخطيطي لإظهار حركة الماء بالأسموزية. **[1]**

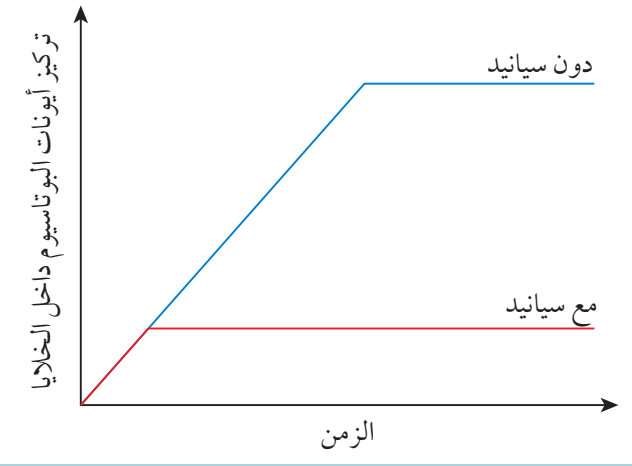
٣. خلايا حشائش البحر هي خلايا نباتية نموذجية. اشرح كيف يُسهم تركيب الخلايا في منع تلفها عند وضعها في الماء النقي. **[3]**

أفعال إجرائية

عرّف **Define**:
أعط معنى دقيقًا.

ب. اشرح كيف يؤثرتركيب غشاء سطح الخلية على حركة المواد المشحونة، والقطبية عبره. **[5]**

استقصى طالب نقل أيونات البوتاسيوم إلى خلايا جذور نبات حشائش البحر. وضع الخلايا في محلول من أيونات البوتاسيوم وسجّل حركة أيونات البوتاسيوم إلى الخلايا. كرّر التجربة بعد أن تمّت معالجة خلايا الجذور بالسيانيد، وهو مثبط للتنفّس. تظهر النتائج في الشكل (١-٣٣).



الشكل ١-٣٣ حركة أيونات البوتاسيوم إلى خلايا نبات حشائش البحر.

ج. استخدم المعلومات من الشكل (١-٣٣) لشرح كيفية امتصاص أيونات البوتاسيوم بواسطة خلايا جذور نبات حشائش البحر. **[4]**

[المجموع: 15]

قائمة تقييم ذاتي

أستطيع أن	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	أقترب من تحقيق الهدف	واثق من الاستمرار	أراجع الموضوع
أسمي وأحدد العضيات والتراكيب الخلوية التالية التي يمكن رؤيتها بالمجهر الضوئي و/أو المجهر الإلكتروني، وأذكر وظائفها: • غشاء سطح الخلية • النواة • الشبكة الإندوبلازمية الخشنة والناعمة • الرايبوسومات • جهاز جولجي • الميتوكندريا • البلاستيدات الخضراء • جدار الخلية • فجوة دائمة كبيرة.				١-١
أصف النموذج الفسيفسائي السائل لتركيب الغشاء، وألخّص تركيب ووظائف الدهون المفسفرة والكوليسترول والبروتينات مقتصرًا على البروتينات الحاملة والبروتينات القنوية.				١-١
أصف طبيعة النفاذية الانتقائية للأغشية وأربط ذلك بالنقل (السلبي والنشط) للمواد عبر الغشاء.				١-١
أرسم رسومًا بيولوجية مشروحة لصور مكبرة للخلايا والأنسجة باستخدام شرائح المجهر الضوئي أو الصور المجهرية الضوئية.				١-١
أذكر الصيغة التالية وأطبقها: مقدار التكبير = طول الصورة المشاهدة / الطول الحقيقي				١-١
أصف وأفسّر الصور المجهرية الضوئية والصور المجهرية الإلكترونية ورسوم الخلايا الحيوانية والنباتية النموذجية.				١-١
أصف وأشرح عمليات الانتشار والانتشار المسهل والنقل النشط والأسموزية.				٢-١
أعرّف مصطلح جهد الماء وأشرح كيفية تأثير المواد المذابة على جهد الماء في المحلول أو الخلية (معرفة جهد المذاب غير مطلوبة).				٢-١

تابع

أستطيع أن	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	أقترب من تحقيق الهدف	واثق من الاستمرار	أراجع الموضوع
أشرح حركة الماء بين الخلايا والمحاليل ذات جهد ماء مختلف، وأشرح التأثيرات المختلفة على الخلايا النباتية والحيوانية.				١-٢
أشرح لماذا تحتاج الكائنات الحية البحرية إلى تبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون مع محيطها.				١-٣
أحسب مساحات سطوح وحجوم الأشكال البسيطة لتوضيح المبدأ: نسبة مساحة السطح إلى الحجم تتناقص مع زيادة الحجم (سيتم توفير جميع الصيغ والرموز ذات الصلة).				١-٣
أناقش كيف أن نسبة مساحة السطح إلى الحجم تعتمد على حجم وشكل الكائن الحي، وأربط ذلك بالحاجة إلى سطوح متخصصة لتبادل الغازات وأجهزة نقل في الحيوانات الكبيرة.				١-٣
أصف تبادل الغازات عن طريق الانتشار والتهوية بالضخ والتهوية بالاندفاع، في أمثلة تشمل بوليبات المرجان والهامور والتونة.				١-٣
أصف كيفية ارتباط طريقة تبادل الغازات لدى الكائن الحي بموطنه البيئي وحركته.				١-٣
أشرح سبب حاجة الكائنات الحية البحرية إلى تنظيم محتواها المائي والأيوني، مع الإشارة إلى التركيز النسبي للأيونات في مياه البحر وسوائل الجسم.				١-٤
أشرح المصطلحَين متوافق أسموزيًا ومنظم للأسموزية مع الإشارة إلى بلح البحر والتونة.				١-٤
أشرح المصطلحَين ضيق المدى الملحي وواسع المدى الملحي مع الإشارة إلى سمك السلمون وبلح البحر والتونة.				١-٤
ألخّص عمليات التنظيم الأسموزي في سمك السلمون كمثال.				١-٤



الوحدة الثانية

الطاقة في النظم البيئية البحرية

Energy in Marine Ecosystems



أهداف التعلّم

٢-١ يذكر أن عملية التمثيل الضوئي هي سلسلة من التفاعلات الكيميائية التي تستخدمها جميع المُنْتِجات البحرية تقريبًا لتثبيت الكربون.

٢-٢ يصف عملية التمثيل الضوئي باستخدام المعادلة الكيميائية اللفظية والرمزية كالآتي:

أكسجين + جلوكوز $\xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{ضوء}}$ ماء + ثاني أكسيد الكربون

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{ضوء}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

٢-٣ يصف دور صبغات البلاستيدات الخضراء (كلوروفيل a والصبغات المساعدة) في امتصاص الضوء في البلاستيدة الخضراء.

٢-٤ يصف تقنية الكروماتوجرافيا ويستخدمها لفصل وتحديد صبغات البلاستيدات الخضراء (ينبغي الإشارة إلى قيم R_f).

٢-٥ يصف الضوء الأبيض بأنه يتكوّن من مجموعة من الألوان، لكل منها طول موجة مختلف.

٢-٦ يفسّر أطياف الامتصاص لصبغات البلاستيدات الخضراء وأطياف النشاط لعملية التمثيل الضوئي.

٢-٧ يصف تأثير طول موجة الضوء على معدل عملية التمثيل الضوئي.

٢-٨ يعرّف المصطلحات: طول الموجة وشدة الضوء واختراق الضوء.

٢-٩ يصف تأثير طول الموجة والتعكر على اختراق الضوء لأعماق مختلفة.

٢-١٠ يصف العلاقة بين وجود صبغات مساعدة، بما في ذلك الزانثوفيل والفيكوبيلين، في الكائنات الحية البحرية المنتِجة واختراق أطوال موجات مختلفة من الضوء.

٢-١١ يصف التمثيل الكيميائي على أنه تثبيت الكربون باستخدام الطاقة الكيميائية للمواد الذائبة، وتشمل هذه المواد كبريتيد الهيدروجين والميثان والهيدروجين والحديد.

٢-١٢ يصف العلاقة التكافلية بين الدودة الأنبوبية العملاقة ريفتيا، الموجودة في الفوهات الحرارية المائية، وبكتيريا التمثيل الكيميائي إندوريفتيا.

٢-١٣ يشرح أن بكتيريا إندوريفتيا تستخدم الطاقة الناتجة من كبريتيد الهيدروجين لتثبيت الكربون وبالتالي إنتاج مركبات عضوية مثل الجلوكوز (المعادلات اللفظية والكيميائية غير مطلوبة).

٢-١٤ يلخص كيف أن بكتيريا التمثيل الكيميائي في الفوهات الحرارية المائية تسمح بتكوين سلسلة غذائية.

٢-١٥ يذكر أن التنفّس الهوائي هو العملية التي تستخدمها الكائنات الحية لإطلاق الطاقة التي تحتاج إليها على شكل ATP عندما يتوافر الأكسجين.

٢-١٦ يصف التنفّس الهوائي باستخدام المعادلة الكيميائية اللفظية والرمزية كالآتي:

ماء + ثاني أكسيد الكربون ⟵ أكسجين + جلوكوز

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

٢-١٧ يصف أن معظم الكائنات الحية تستخدم التنفس اللاهوائي في الظروف التي يكون فيها الأكسجين محدودًا أو غير متوافر، والذي ينتج كمية أقل بكثير من ATP لكل جزيء من الجلوكوز (المعادلات الكيميائية اللفظية والرمزية غير مطلوبة).

قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة

١. درست في الصف الحادي عشر عن الفوهات الحرارية المائية، اذكر الأسباب التي تجعل الكائنات الحية التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي غير قادرة على العيش هناك.

٢. لقد درست عملية التمثيل الضوئي والتنفّس والشبكات الغذائية في الصف الحادي عشر. اكتب المعادلات اللفظية الأساسية لعمليتَي التمثيل الضوئي والتنفّس، وفكّر في كتابة قائمة تتضمن جميع العوامل التي ستؤثر على معدلاتهما.

٣. درست في الوحدة الأولى أدوار عضيّات مختلفة للخلايا. حاول أن تصمّم ورقة نبات (أو نباتًا) يمكنها القيام بعملية التمثيل الضوئي بسرعة عالية. فكّر في كيفية حصولها على جميع المواد الخام اللازمة للقيام بها، واشرح لزميلك ما توصلت إليه.

اشرح لماذا تُعدّ عملية التمثيل الضوئي في الكائنات الحية مثل حشائش البحر مهمة كثيرًا. قارن، ما كتبته من معادلات وعوامل مع مجموعات أخرى من الطلبة. ناقش مع زملائك سبب تأثير كل عامل على المعدلات.

العلوم البيئية ضمن سياقها

الحياة في أعماق المحيطات

ظلّت أعماق المحيط لغزًا غامضًا لآلاف السنين. وفيما وجد البشر طرائق جديدة لعبور تيارات المحيطات، إلّا أن أعماقها ظلّت عصيّة عليهم. فقد كان يُعتقد أن أعماق المحيط غير صالحة للسكن ومنطقة غريبة لا يمكن الوصول إليها، لكن بفضل التكنولوجيا الحديثة بدأت تتكشّف أسرار هذه البيئة البحرية المذهلة. وكان يُعتقد حتى القرن العشرين أن التمثيل الضوئي هو الطريقة الطبيعية الوحيدة التي يمكن أن تدخل بها الطاقة إلى السلاسل الغذائية والشبكات الغذائية. لذا كان ضوء الشمس ضروريًا للحياة، لكنه لم يكن يخترق أكثر من 200 m تقريبًا تحت سطح الماء. وأسفل هذه النقطة كان المحيط مظلمًا وباردًا، ودرجة حرارته ثابتة عند مستوى أعلى قليلًا من 0°C على عمق 4000 m تقريبًا، وهو متوسط عمق قاع البحر. وقد اعتقد العلماء أيضًا أن الكائنات الحية الصغيرة فقط قادرة على العيش في قاع البحر، وأنها تتغذى على المواد الميتة والمتحللة التي تسقط كجزء من الثلج البحري. وفي الغالب سينتهي المطاف بوصول أقل من 5% فقط من الغذاء المنتج على السطح إلى القاع، وذلك نتيجة لازدهار عابر للعوالق النباتية في الأعلى. وكانت جيف الحيتان التي تسقط بشكل عابر إلى القاع بعد نفوقها تغذي مجتمعًا أحيائيًا بأكمله لسنوات، بما في ذلك آكلة العظام، بحيث تتلاشى الجيفة تدريجيًا، إلا أن الطاقة التي تعتمد عليها الكائنات الحية الموجودة في قاع المحيط تأتي من ضوء الشمس على السطح، حيث تمتصها الكائنات الحية التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي على ارتفاع آلاف الأمتار.

هذه النظرة إلى الحياة تغيرت نهائيًا في عام 1977م، مع اكتشاف أول فوهة حرارية مائية (الصورة ٢-١)، حيث تصل درجة حرارة الماء في هذه الفوهات إلى 400°C، وهي حرارة كافية لصهر الرصاص، وعميقة لدرجة أن ضوء الشمس لا يصل إليها. لكن تبيّن أن هذه البيئة القاسية هي موطن مزدهر للرخويات والقشريات والديدان الأنبوبية العملاقة. وكشفت الاستقصاءات المستمرة أن وجود هذه الكائنات الحية يعتمد على بداية سلسلتها الغذائية، وهي بكتيريا التمثيل الكيميائي، التي تستخدم المعادن من الفوهات لتوفير الطاقة اللازمة



الصورة ٢-١ فوهة حرارية مائية دخانية سوداء في المحيط الهادئ. تغطي الديدان الأنبوبية قاعدة الفوهة. وقد وضع الباحثون جهازًا لتسجيل مستويات الصوت ومجسًّا للهيدروجين لمراقبة الفوهة.

تابع

للبقاء على قيد الحياة. كما كشفت عن تسرّب بارد لسوائل وغازات تحتوي على الهيدروجين والكربون يُفرز من شقوق في قشرة الأرض عند درجات حرارة منخفضة إلى الفوهات الحرارية المائية. وفي هذا الإطار توفر بكتيريا **التمثيل الكيميائي Chemosynthesis** الطاقة للشركاء التكافليين مثل الديدان الأنبوبية.

في سنة 2024 م، تمّ الإعلان عن اكتشاف آخر قد يكون له تأثيرات إضافية على النظريات المتعلقة بمصادر طاقة الكائنات الحية. ففي قاع المحيط العميق توجد عقيدات متعددة المعادن Polymetallic nodules يُفترض أنها تحلل مياه البحر كهربائيًا إلى أكسجين وهيدروجين (الصورة ٢-٢). وفي التجارب التي أُجريت على مياه المحيط احتوت على عقيدات موجودة ارتفعت تراكيز الأكسجين خلال يومَين إلى أكثر من ثلاثة أضعاف. وقد يكون هذا الأكسجين الناتج الذي يسمّى «الأكسجين الداكن Dark oxygen» هو الذي يوفر للكائنات الحية في أعماق البحار المواد الخام اللازمة لتنفّسها. ولا تزال الدراسات مستمرة لمعرفة ما إذا كانت هذه العقيدات تنتج فعلًا الأكسجين بمستويات تدعم الحياة. ومع ذلك، فإن الاهتمام التجاري بالعقيدات كمصدر للنيكل والليثيوم والكوبالت المستخدمة في البطاريات القابلة لإعادة الشحن وغيرها من التكنولوجيا الخضراء، قد يؤثر على أي مجتمعات بحرية في أعماق البحر.



الصورة ٢-٢ عقيدات متعددة المعادن، تحتوي على المنجنيز والحديد والنحاس والكوبالت والنيكل، توجد على قاع المحيط.

أسئلة

١. ناقش ما إذا كنت توافق على أن عملية التمثيل الضوئي تمثل التفاعل الكيميائي الأكثر أهمية على الأرض.

٢. اكتب ما تعرفه عن كيفية دخول الطاقة إلى السلاسل الغذائية.

مصطلحات علمية

التمثيل الكيميائي Chemosynthesis: هو تكوين/بناء المركبات العضوية بواسطة البكتيريا أو الكائنات الحية الأخرى، باستخدام الطاقة الناتجة من تفاعلات كيميائية تشمل مواد غير عضوية مثل كبريتيد الهيدروجين أو الميثان أو أملاح الحديد.

٢-١ التمثيل الضوئي

تستخدم جميع المنتِجات تقريبًا عملية التمثيل الضوئي لتثبيت الكربون في مواد كيميائية عضوية مثل الكربوهيدرات. ولهذه الكائنات ذاتية التغذية الضوئية أهمية حيوية لغالبية أشكال الحياة على كوكب الأرض، إذ تمثل أساس الشبكات الغذائية، وتوفر المأوى والمواطن البيئية، وتنتج الأكسجين. تتطلب عملية التمثيل الضوئي امتصاص طاقة الضوء بواسطة صبغات مثل الكلوروفيل، ثم تستخدم المنتجات هذه الطاقة لإنتاج الجلوكوز والأكسجين (كناتج ثانوي) من ثاني أكسيد الكربون والماء. يتم تثبيت ثاني أكسيد الكربون في مركّبات عضوية، وتتحول طاقة ضوء الشمس إلى طاقة كيميائية على شكل هذه المركبات العضوية.

لقد درست في الصف الحادي عشر المعادلة اللفظية الأساسية الآتية لعملية التمثيل الضوئي:

$$\text{أكسجين} + \text{جلوكوز} \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{ضوء}} \text{ماء} + \text{ثاني أكسيد الكربون}$$

وتكتب هذه العملية بالرموز الكيميائية كما في المعادلة الموزونة الآتية:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{ضوء}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

تحتوي خلايا المنتِجات على البلاستيدات الخضراء، وهي العُضيّات التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي.

البلاستيدات الخضراء

في الوحدة الأولى، تمّت مناقشة التركيب الأساسي للبلاستيدات الخضراء ووظائفها. توجد أنواع مختلفة من البلاستيدات الخضراء في أنواع المُنْتِجات المختلفة، على الرغم من أنها تشترك جميعها ببعض السمات.

تحتوي غالبية الطحالب الخضراء والنباتات على بلاستيدات خضراء لها التركيب العام الموضح في الشكل ٢-١.

يوجد داخل البلاستيدات الخضراء شبكة واسعة من الأغشية تسمّى الثايلاكويدات. تحتوي هذه الأغشية على مناطق متراصة تسمّى جرانا، التي تحتوي على الصبغات الضوئية، وتمتص أغشية الثايلاكويدات طاقة الضوء، وتضمن الشبكة الواسعة تعرّض مساحة سطحية كبيرة للضوء.

الصبغات الأساسية والصبغات المساعدة الموجودة في المُنْتِجات

تحتوي أغشية الثايلاكويدات على مجموعة من الصبغات المختلفة التي تمتص الضوء. **الصبغة الأساسية** **Primary pigment** الأكثر أهمية في عملية التمثيل الضوئي هي **كلوروفيل (a)** ***a*** **Chlorophyll**. لكن يوجد العديد من **الصبغات المساعدة** **Accessory pigments** الأخرى، بما فيها **كلوروفيل (b)** ***b*** **Chlorophyll** والكاروتينويدات Carotenoids، ومن أنواعها **الكاروتينات** **Carotens** و**الزانثوفيلات** **Xanthophylls**. يعطي الكلوروفيل معظم النباتات لونها الأخضر.

غالبًا ما يوجد في الأنواع المختلفة من المُنْتِجات صبغات مساعدة مختلفة بناء على مواطنها البيئية الخاصة، وسيناقش ذلك لاحقًا في هذه الوحدة.

يمكن فصل وتحديد الصبغات المختلفة بتقنية **ورق الكروماتوجرافيا** **Paper chromatography**.

مصطلحات علمية

الصبغة الأساسية **Primary pigment**: صبغة تمثيل ضوئي تشارك بشكل مباشر في عملية التمثيل الضوئي.

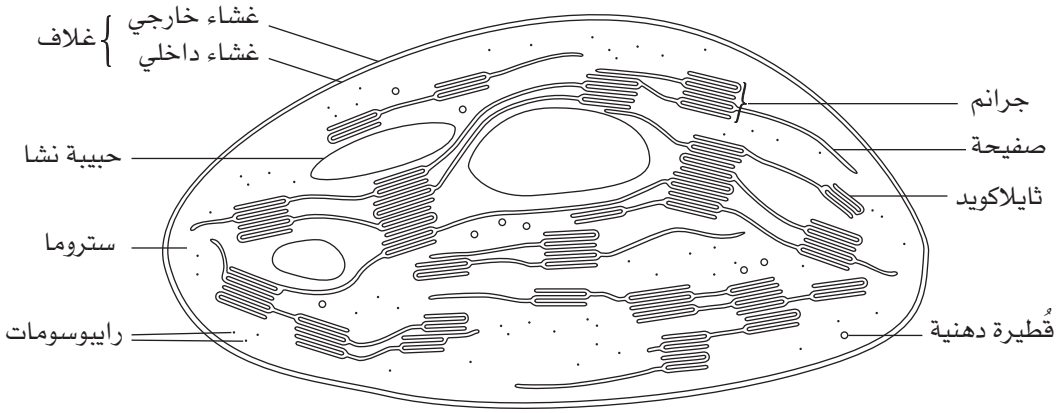
كلوروفيل (a و b) **Chlorophyll (a and b)**: الصبغات الخضراء المسؤولة عن امتصاص الضوء في عملية التمثيل الضوئي في الطحالب والنباتات.

الصبغة المساعدة **Accessory pigment**: صبغة ليست ضرورية في عملية التمثيل الضوئي، لكنها تمتص الضوء بأطوال موجية مختلفة، وتنقل الطاقة إلى الكلوروفيل (a)، مثل الكلوروفيل (b) والزانثوفيل، والفيكوبيلين.

الكاروتينات **Carotenes**: صبغة صفراء أو برتقالية أو حمراء تستخدم كصبغة مساعدة في عملية التمثيل الضوئي في الطحالب والنباتات.

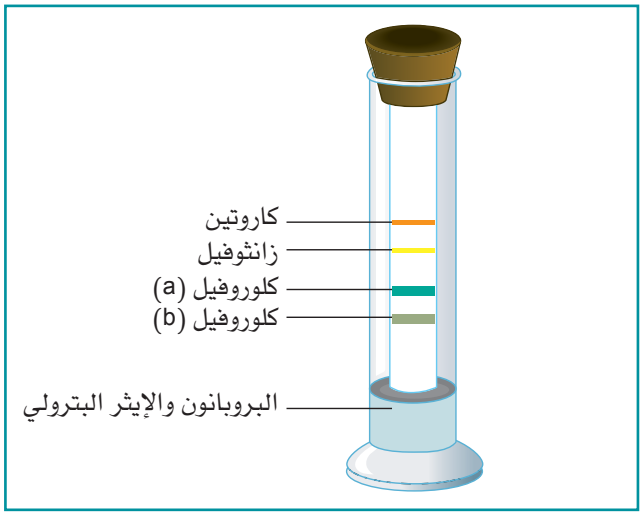
الزانثوفيل **Xanthophyll**: صبغة صفراء أو بنّية تستخدم كصبغة مساعدة في عملية التمثيل الضوئي في الطحالب والنباتات.

ورق الكروماتوجرافيا **Paper chromatography**: تقنية تستخدم لفصل المواد بحسب قابلية ذوبانها.



الشكل ٢-١ رسم تخطيطي لبلاستيدة خضراء توجد في النباتات الخضراء والطحالب النموذجية.

في هذه التقنية، يتم استخلاص الصبغات من المُنْتِجات وإذابتها في مذيب. ثم يوضع المستخلص على أحد طرفَي شريط ورق الكروماتوجرافيا، ويوضع هذا الطرف في كمية من المذيب. عندما يتحرك المذيب صاعدًا على الورق، تذوب الصبغات ويتم حملها مع المذيب. تتحرك الصبغات الأكثر قابلية للذوبان بشكل أسرع، وبالتالي تقطع مسافة أطول على الشريط الورقي، كما هو موضح في الشكل ٢-٢.



الشكل ٢-٢ فصل صبغات التمثيل الضوئي بالكروماتوجرافيا.

مهارة استقصاء عملي ٢-١: فصل صبغات التمثيل الضوئي بواسطة الكروماتوجرافيا

مقدمة

توجد عدة تقنيات كروماتوجرافيا يمكن استخدامها لاستخراج وفصل صبغات التمثيل الضوئي من الطحالب البحرية، بعضها أكثر تعقيدًا من غيرها. هذه الطريقة يمكن تعديلها لتتناسب مع مذيبات مختلفة. في هذا الاستقصاء العملي، ستفصل الصبغات من نبات أخضر مثل الحشائش.

الموادّ والأدوات

أنت بحاجة إلى:

- كأس زجاجية سعة 250 mL (أو مرطبان زجاجي بالحجم نفسه).
- ماصة ذات تجويف دقيق جدًا أو أنبوبة شعرية زجاجية.
- 10 g تقريبًا من الرمل المغسول.
- ورق كروماتوجرافيا (مثل ورق واتمان Whatman's paper رقم 1)، بحيث يقطع إلى شرائح طويلة يمكن تعليقها في الكأس الزجاجية مع طي الجزء العلوي.
- 50 mL من البروبانون (الأسيتون).
- 10 mL من مذيب الكروماتوجرافيا (مزيج بنسبة 9:1 من البروبانون إلى الإيثر البترولي Petroleum ether (درجة الغليان 100–120 °C).
- 1 g تقريبًا من مادة نباتية طازجة (على سبيل المثال، حشائش أو أعشاب بحرية).
- مقص.
- هاون ومدقة.
- قلم جرافيت.
- مسطرة.
- عود خشبي رفيع أو مصاصة شرب.

احتياطات الأمان والسلامة

- الإيثر البترولي (درجة الغليان 80–100 °C) شديد الاشتعال، لذلك يجب عدم وجود أي لهب مكشوف. وهو سام للكائنات الحية المائية، وقد يكون له تأثيرات طويلة الأمد على الحياة المائية، لذا يجب جمع المذيب المستخدم والتخلص منه بطريقة مناسبة. يكون الإيثر البترولي سامًا عند استنشاقه أو ابتلاعه، لذا يجب استخدامه فقط في منطقة جيدة التهوية. وقد يسبب استنشاقه النعاس أو الدوار. وهو مادة مهيّجة، لذا يجب ارتداء نظارات واقية في جميع الأوقات.
- البروبانون مادة قابلة للاشتعال ومهيّج، لذلك، يجب عدم وجود أي لهب مكشوف، ويجب ارتداء نظارات واقية، خصوصًا عند القيام بالهرس.
- الأنابيب الشعرية مصنوعة من زجاج رقيق يسهل كسره وتطايره ليصيب العينَين. لذلك، يجب ارتداء نظارات واقية، وتوخي الحذر عند التعامل معها.

قبل أن تبدأ

١. اكتب قائمة بالصبغات الأساسية والصبغات المساعدة الموجودة في المُنْتِجات.

٢. كيف يمكن تحديد كل صبغة منها؟

تابع

الطريقة

١. باستخدام المقص قطّع الحشائش أو أي من المُنْتَجات الأخرى إلى قطع صغيرة، ثم ضعها في الهاون.

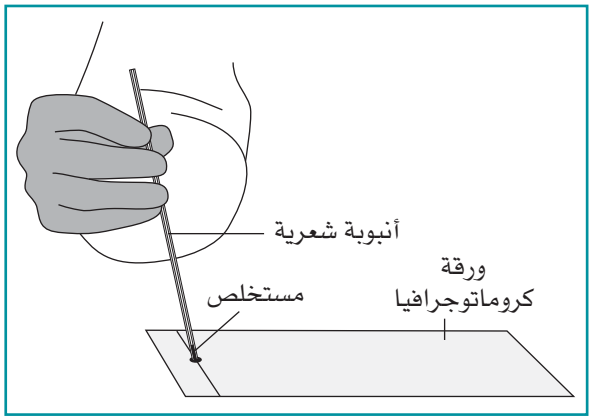
٢. أضف قليلًا (بضع رشات) من الرمل المغسول، واهرس الحشائش باستخدام المدقة حتى تتحول إلى مهروس (عجينة).

٣. أضف 4–8 mL من البروبانون، وتابع الهرس حتى يبدأ تكوّن محلول أخضر داكن. أضف مزيدًا من الحشائش إذا كان المحلول باهت اللون، واستمر في الهرس. وإذا كان المهروس يحتوي على القليل من المحلول الحر (المستخلص)، فأضف المزيد من البروبانون.

٤. عند تكوّن محلول أخضر داكن من البروبانون، اترك المزيج ليستقر لمدة دقيقة تقريبًا. في حال توافر جهاز الطرد المركزي، يمكن سكب البروبانون في أنابيب الطرد المركزي و«تدويره» لفصل الشوائب الصلبة وإزالتها، بحيث يبقى محلول البروبانون صافيًا.

٥. ارسم خطًا بقلم جرافيت على بُعد 20 mm من قاعدة شريط الكروماتوجرافيا الورقي وهذا يشكل الخط الأصلي.

٦. استخدم الماصة الدقيقة أو الأنبوبة الشعرية لسحب كمية صغيرة من مستخلص الصبغة من الهاون، وكوّن بعناية بقعة على الورق في منتصف خط قلم الجرافيت، كما هو موضح في الشكل ٢-٣. جفّف البقعة لبضع ثوانٍ، وكرر الإجراء في المكان نفسه تقريبًا. الهدف من هذا الإجراء وضع أكبر كمية من الصبغة في أصغر بقعة ممكنة. إذا لم تجفف الورقة، فسينتشر المحلول عبر الورقة ويتضاعف حجم البقعة كثيرًا.

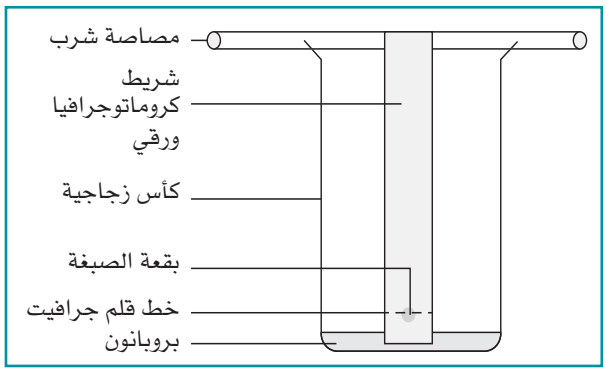


الشكل ٢-٣ وضع الصبغات على ورق الكروماتوجرافيا.

٧. ضع كمية صغيرة من مذيب الكروماتوجرافيا في الكأس الزجاجية، وعلّق ورقة الكروماتوجرافيا على العود الخشبي أو مصّاصة الشرب باستخدام شريط لاصق، كما هو موضح في الشكل ٢-٤. من المهم ألّا يتجاوز المذيب البقعة. انتظر الآن حتى تنفصل الصبغات.

٨. عندما تنفصل الصبغات بوضوح، حدّد بقلم الجرافيت أعلى نقطة وصل إليها المذيب.

٩. أزل ورقة الكروماتوجرافيا واتركها تجفّ.



الشكل ٢-٤ وضع ورقة الكروماتوجرافيا في المذيب.

احسب **قيم R_f R_f values** لتحديد الصبغات. قيمة R_f للصبغة هي مقياس للمسافة التي تقطعها الصبغة مقارنة بالمذيب. لكل صبغة قيمة R_f محددة لمذيب معيّن. لحساب قيم R_f، استخدم مسطرة لقياس المسافة التي قطعها المذيب من نقطة الأصل، ثم قياس المسافة التي قطعها مركز كل بقعة من الصبغة.

تستخدم المعادلة الآتية لحساب قيمة R_f:

$$R_f = \frac{\text{المسافة التي قطعتها الصبغة}}{\text{المسافة التي قطعها المذيب}}$$

مصطلحات علمية

قيم R_f R_f value: المسافة التي تقطعها المادة على ورقة كروماتوجرافيا مقسومة على المسافة التي تقطعها مقدمة المذيب.

تابع

استخدم الجدول ٢-١ لقيم R_f المعيارية للصبغات التي تم فصلها في البروبانون لتحديد كل صبغة.

الصبغة	اللون	قيمة R_f
كلوروفيل (b)	أخضر	0.45
كلوروفيل (a)	أخضر مزرقّ	0.65
زانثوفيل	بنّي مصفر	0.71
فيوفيتين	رمادي	0.83
كاروتين	برتقالي مصفر	0.95

الجدول ٢-١ قيم R_f لصبغات مختلفة في مذيب البروبانون.

التحليل والاستنتاجات والتقييم

١. استخدم الجدول ٢-١ لتحديد كل صبغة على ورقة الكروماتوجرافيا الخاصة بك.

٢. اشرح سبب رسم الخط بقلم جرافيت بدل الحبر.

٣. اشرح سبب عدم تأثر قيم R_f بطول زمن التجربة.

٤. اشرح السبب في أن استخدام قطعة أطول من ورق الكروماتوجرافيا تجعل تحديد الصبغات المختلفة أسهل.

٥. اقترح كيف ستختلف النتائج إذا استخدمت أنواعًا مختلفة من الطحالب البحرية والأعشاب البحرية.

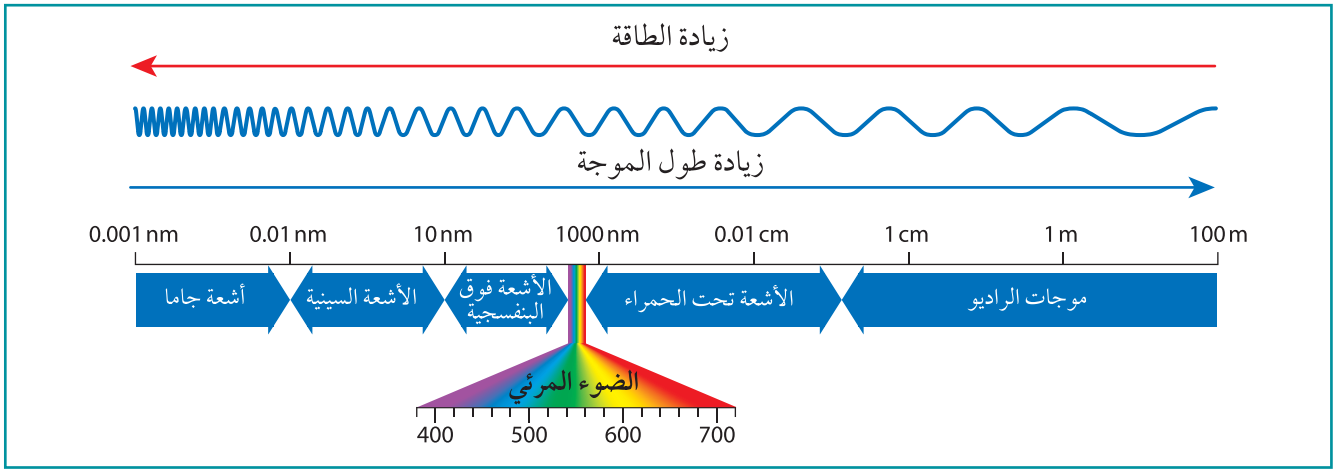
الامتصاص وأطياف النشاط

الضوء المرئي جزء من **الطيف الكهرومغناطيسي** **Electromagnetic spectrum** الذي يعرضه الشكل ٢-٥. الجزء المرئي من الطيف له **طول موجة** **Wavelength** يتراوح بين 380 nm و 750 nm. الألوان المختلفة للضوء لها أطوال موجية مختلفة. «الضوء الأبيض» مزيج من ألوان الطيف من جميع الأطوال الموجية المرئية المختلفة. تمتص الصبغات المختلفة في المُنْتِجات أطوالًا موجية للضوء بألوان مختلفة قليلًا.

مصطلحات علمية

***الطيف الكهرومغناطيسي** **Electromagnetic spectrum**: نطاق الترددات والأطوال الموجية لجميع أنواع الإشعاع الكهرومغناطيسي؛ يشمل الطيف الكهرومغناطيسي الضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء والموجات الدقيقة والأشعة السينية وموجات الراديو وأشعة جاما.

طول الموجة **Wavelength**: المسافة من نقطة واحدة لموجة إلى النقطة التالية من الطور نفسه، على سبيل المثال من القمة إلى القمة أو من القاع إلى القاع. يحدد طول الموجة لون الضوء.



الشكل ٢-٥ الطيف الكهرومغناطيسي متضمنًا أطوال الموجات للألوان المختلفة للضوء المرئي. لاحظ أنك لا تحتاج إلى معرفة الطيف الكهرومغناطيسي خارج نطاق الضوء المرئي.

يوضح **طيف الامتصاص** **Absorption spectrum** للصبغة كمّية الضوء لكل طول موجة تمتصه صبغة معيّنة.

يوضح الشكل ٢-٦ أطياف الامتصاص للكلوروفيل (a) والكلوروفيل (b) والكاروتينويدات. يبيّن التمثيل البياني بوضوح منطقتَي الذروة لامتصاص كِلا النوعين من الكلوروفيل حول الأطراف الزرقاء والحمراء من الطيف. تظهر معظم النباتات باللون الأخضر لأنها تعكس أو تسمح بانتقال الضوء الأخضر، لكنها تمتص الضوء في المنطقتَين الحمراء والزرقاء من الطيف. وبالتالي سيكون طيف الامتصاص الكلي لكائن حي منتِج معيّن هو مجموع أطياف الامتصاص لجميع الصبغات الموجودة فيه.

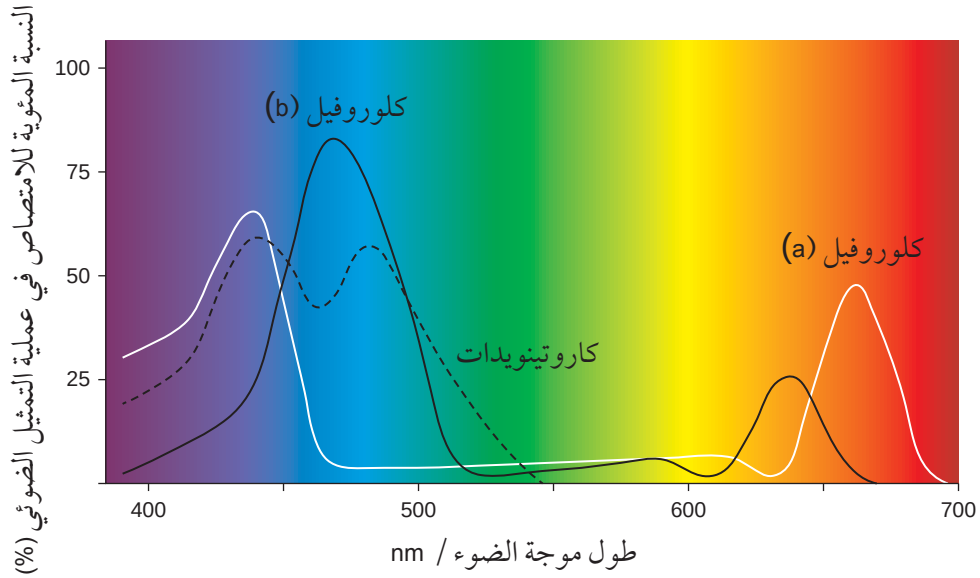
يمكن قياس معدل التمثيل الضوئي للنباتات المائية بسهولة، حيث إنها تطلق فقاعات أكسجين بمعدل يعتمد على معدل التمثيل الضوئي. يوضح الشكل ٢-٧ مقياس التمثيل الضوئي Photosynthometer لقياس معدل التمثيل الضوئي. يمكن تعريض النبات لأطوال موجية مختلفة من الضوء. يدفع الأكسجين الناتج مكبس المحقن إلى مسافة يمكن قياسها. وكلما زاد معدل التمثيل الضوئي كان إنتاج الأكسجين أسرع. يمكن استخدام النتائج لتكوين **أطياف النشاط** **Action spectra** لنباتات مختلفة.

عادة ما تكون أشكال أطياف النشاط والامتصاص متماثلة. وهذا يعني أن أطوال الموجات الضوئية المستخدمة في عملية التمثيل الضوئي هي نفسها الأطوال الموجية التي تمتص (الشكلان ٢-٦ و ٢-٨).

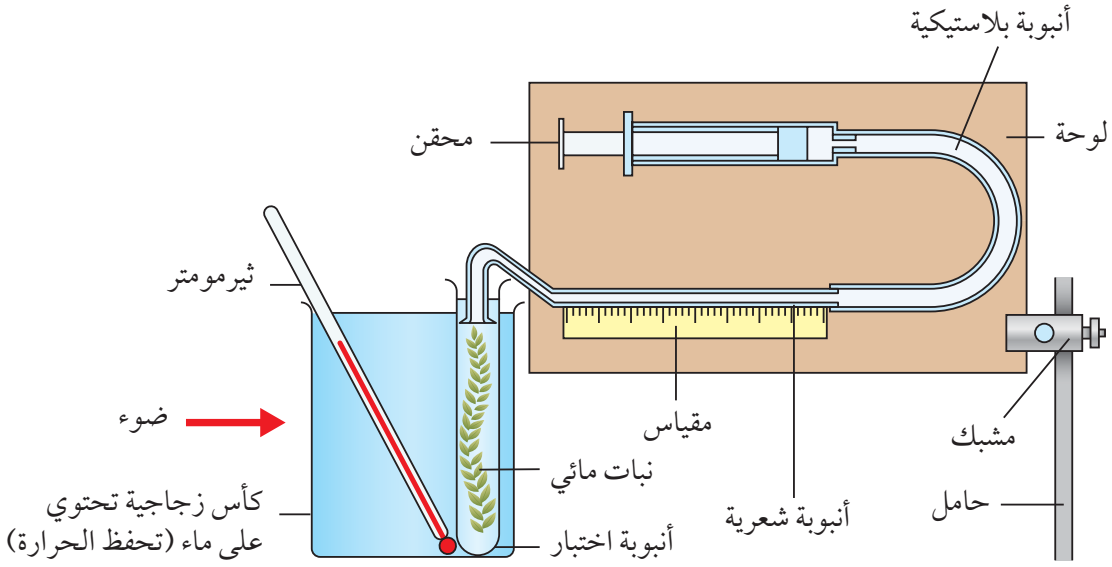
مصطلحات علمية

طيف الامتصاص **Absorption spectrum**: تمثيل بياني لامتصاص أطوال موجية مختلفة للضوء بواسطة مركب مثل صبغة تمثيل ضوئي.

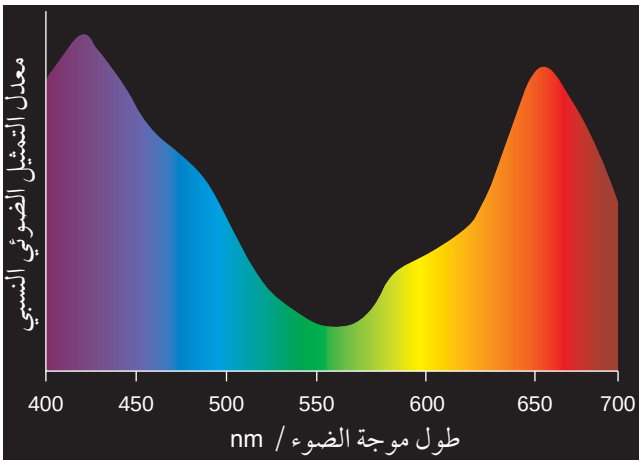
طيف النشاط **Action spectrum**: تمثيل بياني يوضح تأثير أطوال موجية مختلفة للضوء على عملية ما، مثل معدل التمثيل الضوئي.



الشكل ٢-٦ أطياف امتصاص كلوروفيل (a) وكلوروفيل (b) والكاروتينويدات.



الشكل ٢-٧ مقياس التمثيل الضوئي (يسمّى أيضًا جهاز أودوس Audus).



الشكل ٢-٨ طيف النشاط للتمثيل الضوئي لمنتِج نموذجي.

ترتبط الصبغات الموجودة في أنواع مختلفة من المُنْتِجات البحرية بعمق المياه التي تعيش فيها. تخترق أطوال الموجات المختلفة للضوء أعماقًا مختلفة في الماء، وبالتالي فإن أطوال موجات الضوء المتوافرة لمُنْتِج معيّن تعتمد على عمق موطنه البيئي الذي يعيش فيه.

اختراق الضوء في الماء: طول الموجة والتعكر

هناك عاملان رئيسيان يؤثران على مدى عمق اختراق الضوء للماء:

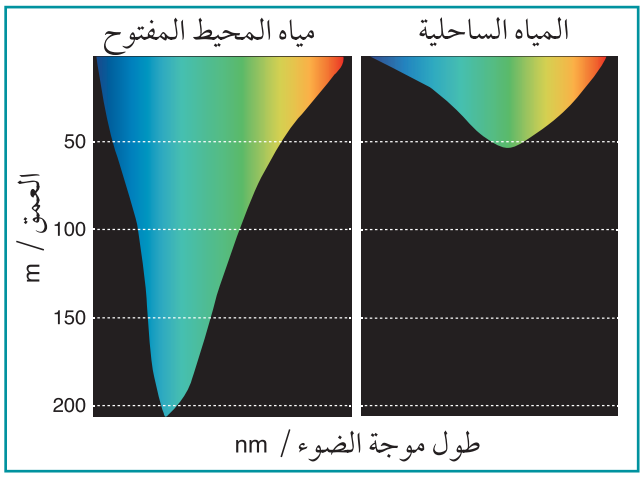
- طول الموجة أو لون الضوء.
- كمية الجسيمات الدقيقة في الماء المعروفة بالتعكر Turbidity (التعكر هو مستوى فقدان شفافية الماء لوجود جسيمات عالقة فيه، وكلما زاد التعكر أصبح من الصعب الرؤية عبر الماء).

طول موجة الضوء

اختراق الضوء Light penetration مقياس لمدى اختراق الضوء للماء. يوضح الشكل ٢-٩ أقصى أعماق تخترقها أطوال الموجات المختلفة للضوء. كما يوضح أن جميع أطوال موجات الضوء تخترق أعماق مياه المحيطات المفتوحة الصافية (الأقل عكارة) لمسافات أبعد مقارنة بالمياه الساحلية المتعكرة.

مصطلحات علمية

اختراق الضوء Light penetration: العمق الذي يمكن للضوء أن يخترق فيه مادة معيّنة.

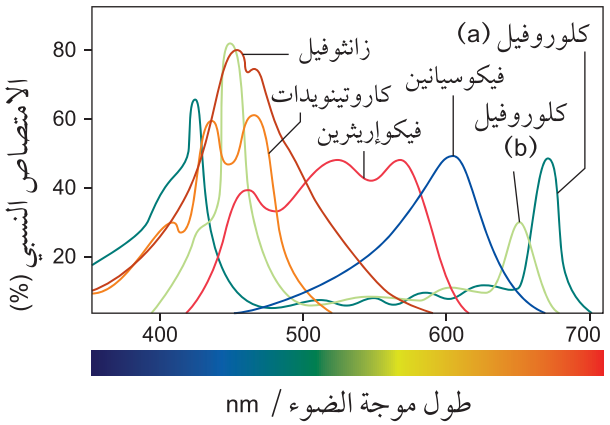


الشكل ٢-٩ اختراق أطوال موجات مختلفة للضوء في مياه المحيط الصافية والمياه الساحلية المتعكرة.

يصل الضوء الأزرق إلى المناطق الأكثر عمقًا من المحيط بحدّ أقصى يبلغ 200 m تقريبًا، في حين يخترق الضوء الأحمر مسافات أقل عمقًا ويتم امتصاصه في أول 10 m من سطح الماء، حيث المُنْتِجات التي تعيش تحت عمق 10 m، تحصل على الضوء من المناطق الزرقاء والخضراء من الطيف. يمتص كلٌّ من كلوروفيل (a) وكلوروفيل (b) والكاروتينويدات كميات ضئيلة جدًا من الضوء من المنطقة الخضراء من الطيف، ما قد يسبب مشكلة.

تعتمد الطحالب الموجودة في هذه الأعماق على صبغات مساعدة أخرى لامتصاص الضوء. تحتوي الطحالب البنّية على نسبة أكبر من الزانثوفيل، وتحتوي الطحالب الحمراء على مجموعة صبغات تسمّى **فيكوبيلينات Phycobilins**. والنوعان الرئيسيان منها هما **فيكوإريثرين Phycoerythrin** و**فيكوسيانين Phycocyanin**. يوضح الشكل ٢-١٠ أطياف امتصاصهما.

هذه الصبغات المساعدة تمكّن الطحالب الحمراء والبنّية من امتصاص الضوء من المناطق الزرقاء والخضراء والصفراء من الطيف الضوئي، ما يزيد من معدل التمثيل الضوئي لديها في الأعماق التي لا يتوافر فيها ضوء أحمر. وفي هذه الأعماق تكون الطحالب الحمراء والبنّية التي تحتوي على هذه الصبغات قادرة على المنافسة والبقاء



الشكل ٢-١٠ أطياف امتصاص كلوروفيل (a) وكلوروفيل (b) والزانثوفيل، والكاروتينويدات، والفيكوإريثرين، والفيكوسيانين.

على قيد الحياة بشكل أفضل من الطحالب الخضراء التي تفتقر إلى هذه الصبغات المساعدة.

تعكر الماء

إن وجود كميات كبيرة من الرواسب أو الجسيمات أو حتى الكائنات الحية مثل العوالق في الماء، تقلل من اختراق الضوء للماء، لأنها تقلل من **شدة الضوء Light intensity** أو سطوعه. يسمى مستوى صفاء الماء أو عدم صفائه بالتعكر. وعادة ما تكون مياه مصبات الأنهار والمياه الساحلية أكثر تعكرًا من مياه المحيطات المفتوحة، وبالتالي يكون الضوء أقل قدرة على اختراق الماء عند الأعماق السفلية (الشكل ٢-٩).

مصطلحات علمية

فيكوبيلينات Phycobilins: مجموعة الصبغات الماصة للضوء توجد في الطحالب الحمراء والبكتيريا الزرقاء وتشمل فيكوإريثرين وفيكوسيانين.

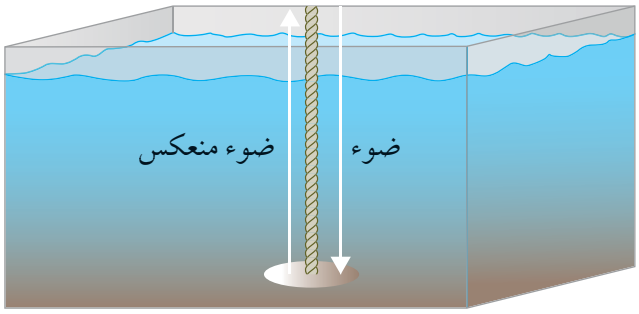
فيكوإريثرين Phycoerythrin: صبغة مساعدة حمراء توجد بشكل شائع في الطحالب الحمراء.

فيكوسيانين Phycocyanin: صبغة مساعدة خضراء مزرقة توجد في بعض الطحالب البحرية.

شدة الضوء Light intensity: مقياس قوة أو سطوع الضوء.

ويمكن قياس اختراق الضوء بسهولة باستخدام أداة تسمّى قرص سيكي Secchi disc، وهو قرص دائري أبيض اللون من المعدن أو البلاستيك يبلغ قطره 30 cm تقريبًا يكون مربوطًا بحبل، يتم إنزاله في الماء حتى يصبح غير مرئي. ويسجل طول الحبل، ثم يتم رفع القرص ليقاس طول الحبل عندما يصبح القرص مرئيًا (الشكل ٢ ١١)، ثم يحسب متوسط المسافة باستخدام القيمتَين.

في مناطق المحيط ذات التعكر المرتفع والاختراق المنخفض للضوء تكون المُنْتِجات أقل قدرة على العيش في الأعماق السفلية، لأنها غير قادرة على القيام بالتمثيل الضوئي.



الشكل ٢-١١ استخدام قرص سيكي البحري للكشف عن تعكر المياه.

مشروع: تأقلم الطحالب المختلفة

ابحث في كيفية تأقلم الأنواع المختلفة من الطحالب الحمراء والخضراء والبنّية المسماة، مع بيئاتها. اذكر مثالاً واحدًا على الأقل لطحالب حمراء وخضراء وبنّية، وفكر في:

- الموطن البيئي (على سبيل المثال، المناطق بين المد والجزر، البحر المفتوح، البحر العميق، البرك الصخرية الضحلة).
- التحديات التي تفرضها مواطنها البيئية الخاصة (على سبيل المثال، أطوال الموجات الضوئية المتاحة، المواد المتفاعلة المتغيرة، المياه المتحركة، العوامل التي تتعرض لها).
- كيفية تأقلم كل نوع مع موطنه البيئي.

عليك تقديم النتائج التي توصلت إليها على شكل عرض شرائح.

التفكير في المشروع

فكّر في ما تعتقد أنه كان جيدًا في محتوى عرضك التقديمي، وتلك التي كان يمكن تطويرها أكثر. اطلب إلى أحد زملائك (المستمعين) القيام بالشيء نفسه. قارن وجهة نظرك مع وجهة نظر زميلك.

دراسة حالة ٢-١

استخدام أعشاب البحر

قام البشر بحصاد الأعشاب البحرية منذ آلاف السنين. فبعض أسباب حصادها وزراعتها واضحة للعيان، لكنّ هناك أسبابًا عديدة أخرى ربما لم تكن في الحسبان، أهمها:

الغذاء

استخدمت المجتمعات الأحيائية في المناطق الساحلية الأعشاب البحرية كغذاء لعدة سنوات. في العديد من البلدان مثل اليابان وكوريا وآيسلندا وويلز، وفي اليابان يُستهلك أكثر من 20 نوعًا من الأعشاب البحرية كغذاء، ويجفف نوع الطحالب الحمراء بورفيرا Porphyra لصنع أغلفة نوري Nori التي تستخدم عادة غلافًا للفائف السوشي Sushi. من الناحية الغذائية، الأعشاب البحرية غنية بالبروتين والعديد من الفيتامينات والأملاح المعدنية، وبخاصة اليود، وهي منخفضة الدهون.

الهلام والمستحلبات

تُستخدم الأعشاب البحرية كمصدر لثلاث مواد تُستخدم لصناعة الهلام والمستحلبات التي تحافظ على المواد الغذائية معلقة، هذه المواد الثلاث هي: الألجينات Alginate والآجار Agar والكاراجينان Carrageenan. تُستخرج الألجينات من الأعشاب البحرية وتستخدم لتكوين مادة هلامية، كما تُستخدم كمادة مضافة في العديد من الأطعمة مثل الآيس كريم، وقد استُخدمت حديثًا لصنع كبسولات هلامية تحتوي

تابع

على نكهات مختلفة، مثل الكافيار الصناعي. كما يستخدم هلام الألجينات في ضمادات الحروق وملابس رجال الإطفاء. بالمقابل يُستخدم الآجار لصنع هلام نباتي، وأطباق الآجار التي يتم اعتمادها كثيرًا في علم الأحياء الدقيقة لزراعة البكتيريا. أما الكاراجينان فيُستخدم في صنع الأطعمة ذات مجموعة متنوعة من القوام، بما في ذلك مشروبات الحليب بالشوكولاتة وألواح الشوكولاتة بالحليب، لأنها تساعد في إبقاء الشوكولاتة معلّقة في السائل.

مستحضرات التجميل والأدوية العشبية

توجد مستخلصات الأعشاب البحرية غالبًا في كريمات ترطيب البشرة والعلاجات العشبية لمجموعة من الحالات بما في ذلك التهاب المفاصل ومرض السل ونزلات البرد الشائعة.

لقد أدى الطلب على الأعشاب البحرية إلى تطوير مزارع الأعشاب البحرية في العديد من أجزاء العالم، مثل الصين واليابان. فهي تُزرع على شباك أو حبال، ثم يتم ربطها في مكان غير مظلل من البحيرة، ومن الأفضل أن تكون درجة الحرارة بين 25 °C و 30 °C. تؤدي درجات الحرارة الأقل من ذلك إلى إبطاء عملية التمثيل الضوئي. ولكن عند درجات الحرارة المرتفعة تتمسخ إنزيمات التمثيل الضوئي، ما يؤدي إلى توقف عملية التمثيل الضوئي تمامًا.

يوضح الشكل ٢ ١٢ أعماقًا مختلفة يمكن زراعة الأعشاب البحرية عندها. ولا ينصح برش الأسمدة على الماء لأسباب بيئية.

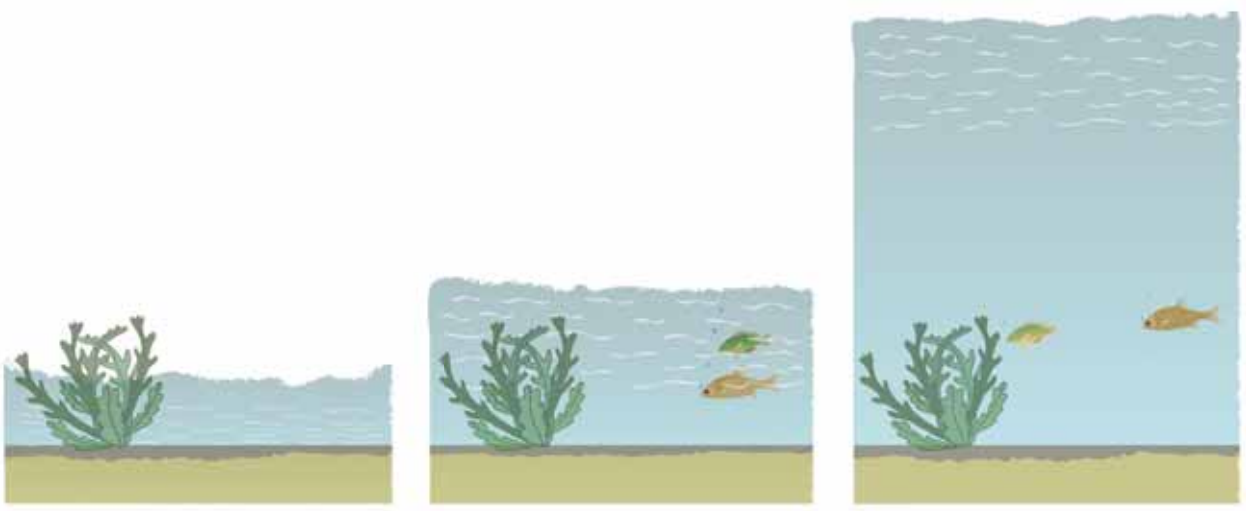
أسئلة

١. اشرح كيف يمكن للطلب المتزايد على الأعشاب البحرية التي يتم جمعها من المواقع الطبيعية أن يسبب مشكلات بيئية.

٢. اشرح: لماذا تنمو الأعشاب البحرية بأفضل شكل عند عمق المياه الموضح في الشكل ٢-١٢ (ب)؟

٣. اقترح سبب موت الأعشاب البحرية المزروعة في مياه عميقة جدًا ودافئة (30 °C) بسرعة.

٤. اشرح: لماذا لا ينصح باستخدام الأسمدة عند زراعة الأعشاب البحرية؟



(أ) مغمورة كليًا بالماء (ب) تحت سطح الماء مباشرة (ج) مكشوفة جزئيًا، فوق سطح الماء

الشكل ٢-١٢ الأعماق التي يمكن زراعة الأعشاب البحرية فيها.

أسئلة

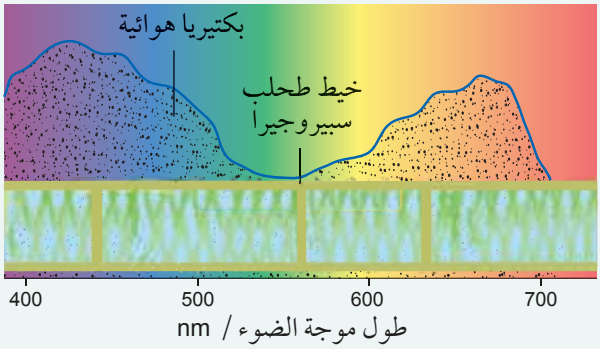
١ اشرح المقصود بالمصطلحَين: «طيف الامتصاص» و «طيف النشاط».

٢ أجرى ثيودور إنجلمان Theodor Engelmann في سنة 1882م تجربة لاستقصاء تأثير طول موجة الضوء على معدل التمثيل الضوئي في الطحالب الخيطية، سبيروجيرا Spirogyra. وضع خيطًا من الطحالب على شريحة مجهرية مع بعض البكتيريا الهوائية التي تحركت نحو المناطق ذات التركيز الأعلى من الأكسجين. وقد استخدم منشورًا لإضاءة خيط الطحلب بأطوال موجات مختلفة من الضوء ولاحظ حركة البكتيريا.

أ. اقترح سبب استخدام البكتيريا الهوائية التي تتحرك نحو الأكسجين.

ب. اذكر ما يبيّنه إنتاج الأكسجين بواسطة البلاستيدات الخضراء.

ج. اشرح النتائج الموضحة في الشكل ٢-١٣.



الشكل ٢-١٣ نتائج تجربة إنجلمان التي توضح أجزاء خيوط الطحالب التي تحركت نحوها البكتيريا الهوائية.

٣ اشرح سبب ظهور ساعة الغوّاص الحمراء باللون الأسود في المياه العميقة.

٤ اقتُرح أن إنتاج فيكوإريثرين وفيكوسيانين يتطلّب الكثير من الطاقة. اقترح سبب عدم احتواء الطحالب الموجودة على السطح على هذه الصبغات.

٥ اشرح سبب انخفاض قدرة اختراق الضوء في المياه الساحلية مقارنة بالمحيط المفتوح.

٦ اقترح سببٍ حساب متوسط المسافة لرؤية قرص سيكي بدلًا من الاعتماد على المسافة التي يصبح عندها القرص غير مرئي على الفور.

٧ اقترح واشرح السبب في أن زيادة تعكر المياه قد تؤدي إلى انخفاض إنتاجية النظام البيئي.

٢-٢ التمثيل الكيميائي

التمثيل الكيميائي هو طريقة للتغذية الذاتية حيث تستخدم الطاقة الكيميائية للمواد الذائبة لتثبيت الكربون في مركبات عضوية بدلًا من الضوء. تستخدم الأنواع المختلفة من الكائنات الحية ذاتية التغذية مواد ذائبة مختلفة كمصدر للطاقة الكيميائية مثل: كبريتيد الهيدروجين (H_2S)، والميثان (CH_4)، والهيدروجين (H_2)، وأملاح الحديد (التي تحتوي على أيونات Fe^{2+} أو Fe^{3+}).

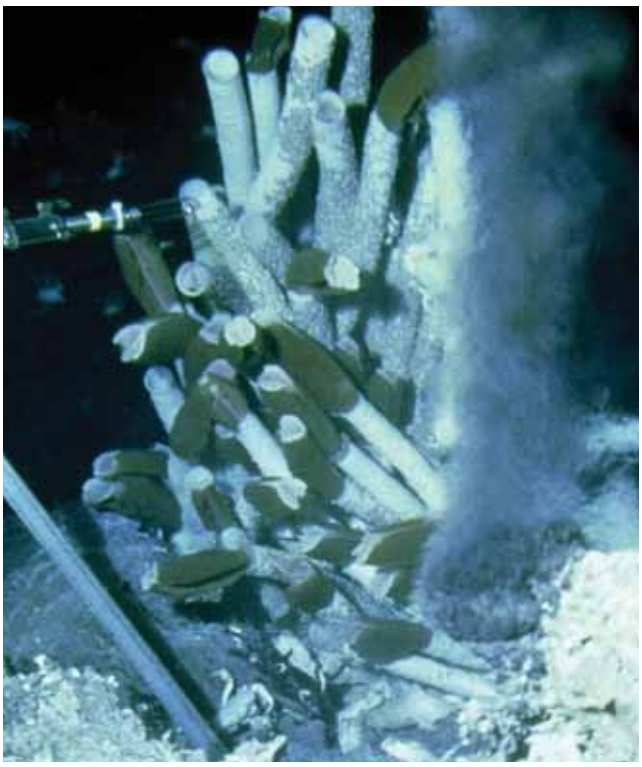
تقع الفوهات الحرارية المائية في قاع البحر، وبالتالي تتميز بظروف فريدة. ويؤدي نقص الضوء إلى استحالة تثبيت الكربون عبر عملية التمثيل الضوئي في النظام البيئي.

في سنة 1977م، كان فريق من الباحثين الأمريكيين بقيادة جاك كورليس Jack Corliss يستقصي الفوهات الحرارية المائية حول جزر جالاباجوس Galapagos Islands. وخلال الغوص في غواصة الأبحاث ألفين Alvin، لاحظ الباحثون أن الفوهات الحرارية المائية تحتوي على العديد من الكائنات الحية تعيش حولها، واكتشفوا نوعًا جديدًا من الديدان الأنبوبية العملاقة تسمّى ريفتيا ***Riftia*** (الصورة ٢ ٣).

توجد الريفتيا فقط حول الفوهات الحرارية المائية، ويمكنها أن تعيش في تراكيز عالية من كبريتيد الهيدروجين. قد تنمو هذه الديدان الأنبوبية ليصل طولها إلى أكثر من 2 m وقطرها إلى 4 cm.

مصطلحات علمية

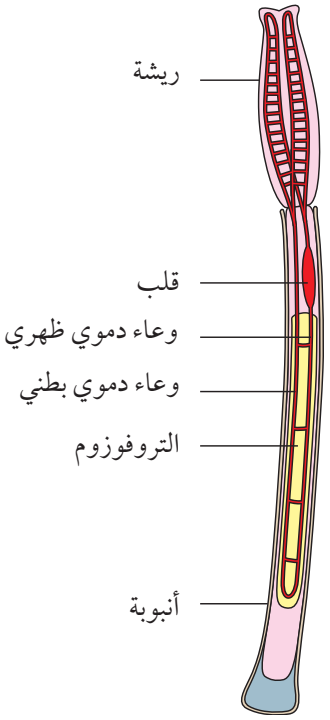
ريفتيا ***Riftia***: دودة أنبوبية عملاقة توجد حول الفوهات الحرارية المائية.



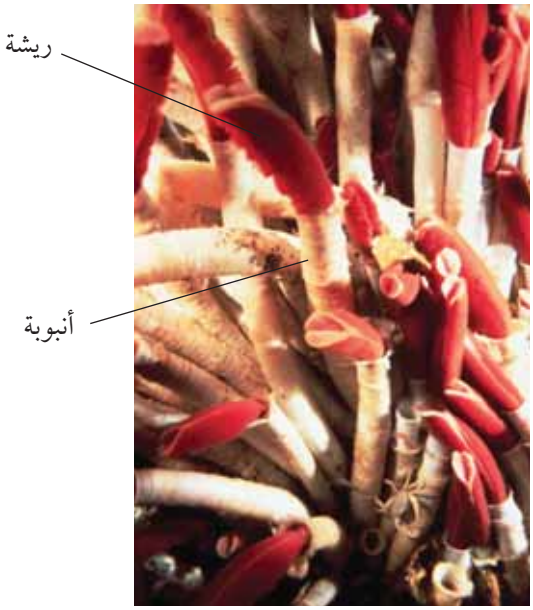
الصورة ٢-٣ فتحة حرارية مائية مع ريفتيا تنمو حولها.

وعندما أُخذت عيّنات من الريفتيا لدراستها في المختبر، تبيّن أن هذه الدودة لا تحتوي على قناة هضمية Gut، بل على تجويف يسمّى تروفوزوم **Trophosome** (الشكل ٢-١٤ والصورة ٢-٤). أدركت العالمة الأمريكية كولين كافانو Colleen Cavanaugh أن وجود بلورات الكبريت في التروفوزوم مع البكتيريا التكافلية يعني وجود بكتيريا تثبت الكربون عن طريق التمثيل الكيميائي. حيث تمتص الريشة Plume الأكسجين وثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين من الماء. وتمثل الأنبوبة الخارجية للريفتيا طبقة صلبة واقية، ويوجد جهاز دوري ينقل المغذيات في جميع أنحاء الجسم.

بكتيريا التمثيل الكيميائي الأكثر شيوعًا في الفوهات الحرارية المائية هي إندوريفتيا ***Endoriftia***. يعيش هذا النوع علاقة تكافلية داخل تروفوزوم دودة الريفتيا. بكتيريا الإندوريفتيا تصيب الديدان الأنبوبية ريفتيا عندما تكون في مرحلة اليرقات في قاع البحر.



الشكل ٢-١٤ مقطع تشريحي للريفتيا.



الصورة ٢-٤ صورة مقربة لدودة ريفتيا.

مصطلحات علمية

تروفوزوم **Trophosome**: عضو يوجد داخل بعض الكائنات الحية ويحتوي على بكتيريا تكافلية.

إندوريفتيا ***Endoriftia***: نوع من البكتيريا التكافلية يوجد في الدودة الأنبوبية ريفتيا.

وتسمى العلاقة بينهما علاقة تكافل داخلي Endosymbiosis. حيث تنتج البكتيريا الجلوكوز وجزيئات عضوية أخرى مثل الأحماض الأمينية التي تتغذى عليها الريفتيا. وفي المقابل تضمن الريفتيا أن تحصل البكتيريا على إمداد ثابت من المواد الخام لعملية التمثيل الكيميائي. تحصل دودة الريفتيا على كل غذائها من بكتيريا الإندوريفتيا وليس لها مصدر آخر للغذاء.

تستخدم بكتيريا الإندوريفتيا الطاقة من كبريتيد الهيدروجين لتثبيت الكربون وإنتاج الجلوكوز. وعلى الرغم من أنه لا يتطلب منك معرفة معادلة هذا الشكل من التمثيل الكيميائي، إلا أنه من المثير للاهتمام مقارنتها بمعادلة التمثيل الضوئي.

التمثيل الكيميائي:

كبريت + ماء + جلوكوز ⟶ ثاني أكسيد الكربون + كبريتيد الهيدروجين

$$12H_2S + 6CO_2 \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 12S$$

التمثيل الضوئي:

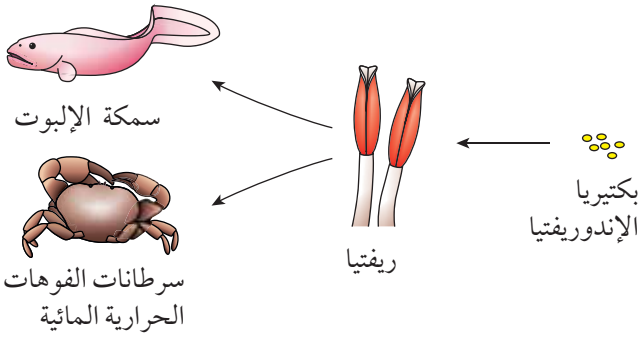
أكسجين + جلوكوز ⟵ ضوء / كلوروفيل ثاني أكسيد الكربون + ماء

$$6H_2O + 6CO_2 \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

توجد أوجه شبه وأوجه اختلاف بين العمليتَين:

أوجه الشبه	أوجه الاختلاف
كلاهما يتطلب مصدرًا للهيدروجين (كبريتيد الهيدروجين أو الماء).	مصدر الهيدروجين مختلف (كبريتيد الهيدروجين أو الماء).
كلاهما ينتج الجلوكوز.	ينتج من التمثيل الكيميائي الماء والكبريت، وينتج من التمثيل الضوئي الأكسجين.
كلاهما يتطلّب ثاني أكسيد الكربون.	يستخدم التمثيل الكيميائي كبريتيد الهيدروجين مصدرًا للطاقة، ويستخدم التمثيل الضوئي الضوء مصدرًا للطاقة.

الشبكات الغذائية الفعلية الموجودة عند الفوهات الحرارية المائية غير مفهومة بالكامل. إذ يوجد العديد من الكائنات الحية الأخرى، بما في ذلك المفترسات مثل سرطانات الفوهات الحرارية المائية Vent crabs وسمك الإلبوت Zoarcid fish (الشكل ٢ ١٥) التي يمكن أن تستهلك دودة ريفتيا. ومع ذلك، من المؤكد أن إندوريفتيا هي المنتج في الشبكة الغذائية، وريفتيا هي المستهلك الأولي. عندما تتوقف الفوهات الحرارية المائية عن إطلاق أيونات المعادن في الماء، فإن ريفتيا تموت سريعًا، ويختفي بالتالي بقية النظام البيئي. وهكذا، تمثل بكتيريا التمثيل الكيميائي عند الفوهات الحرارية المائية الأساس للسلاسل الغذائية في أعماق المحيطات، حيث تثبت الطاقة في شكل من أشكال الكربون العضوي الذي تعتمد عليه الكائنات الحية الأخرى.



الشكل ٢-١٥ شبكة غذائية محتملة لمجتمع الفوهات الحرارية المائية. بكتيريا الإندوريفتيا تمثل المُنْتِجات، وتتغذى ديدان الريفتيا على الإندوريفتيا لذا فإنها مستهلكات أولية. سرطانات الفتحات الحرارية المائية وأسماك الإلبوت، تستهلك الريفتيا، وبالتالي هي مستهلكات ثانوية.

أسئلة

٨ اشرح: لماذا تحتوي التروفوزوم في الريفتيا على بلورات الكبريت؟

٩ اشرح: لماذا يقال إن لدى الريفتيا و الإندوريفتيا علاقة تبادلية؟

٢-٣ التنفّس

التنفّس هو عملية إطلاق الطاقة من الجزيئات العضوية، ويحدث في كل خلية حية من خلايا الكائن الحي، وهو خاصية أساسية للحياة. يوجد نوعان رئيسيان من التنفّس: **التنفّس الهوائي** Aerobic respiration و**التنفّس اللاهوائي** Anaerobic respiration.

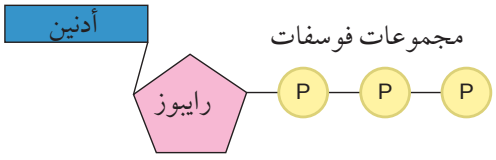
التنفّس الهوائي

أثناء التنفّس الهوائي يتم إطلاق الطاقة من الجلوكوز عن طريق الأكسدة، ما ينتج ثاني أكسيد الكربون والماء كفضلات. ومصطلح «الهوائي» يعني أن العملية تستخدم الأكسجين. وهي عملية الأكسدة الكاملة للجلوكوز. وفيما يأتي المعادلتان الكيميائية واللفظية لهذه العملية:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

ماء + ثاني أكسيد الكربون ← أكسجين + جلوكوز

تُستخدم الطاقة التي يتم إطلاقها لتكوين جزيء أساسي يسمّى أدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP)، والذي يوضحه الشكل ٢-١٦. يحدث التنفّس الهوائي في الميتوكندريا داخل الخلايا.



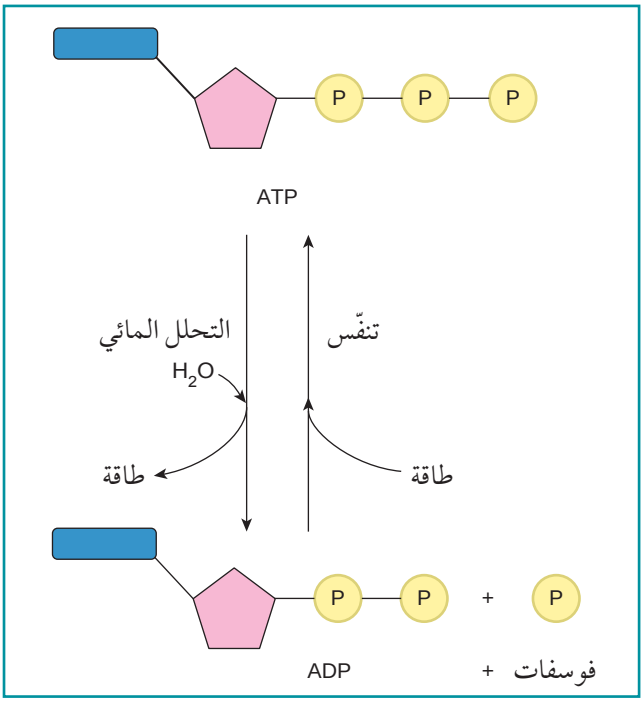
الشكل ٢-١٦ تركيب ATP.

ملاحظة: تركيب ATP محتوى توسعي، ولا يمثل جزءًا من الأهداف التعليمية لهذا الصف.

يتكوّن جزيء ATP من ثلاثة أجزاء رئيسية:

- قاعدة نيتروجينية تسمّى الأدنين، والتي توجد أيضًا في DNA و RNA.
- سكر كربوهيدراتي يسمّى رايبوز.
- ثلاث مجموعات فوسفات.

يُطلق التحلل المائي لجزيء واحد من ATP كمية كافية من الطاقة لتزويد عملية ما في الخلية، مثل انقباض العضلات والنقل النشط. وما يتبقى بعد ذلك هو جزيء يحتوي على مجموعتَي فوسفات يسمّى أدينوسين ثنائي الفوسفات ADP ومجموعة فوسفات حرة. ولإعادة تكوين ATP، تتنفّس الخلايا لإطلاق الطاقة من الجلوكوز، لتستخدم هذه الطاقة في إضافة مجموعة فوسفات مرة أخرى إلى ADP، كما هو موضح في الشكل ٢-١٧.



الشكل ٢-١٧ إنتاج وتفكيك ATP.

مصطلحات علمية

التنفّس الهوائي Aerobic respiration: هو عملية إطلاق الطاقة من الجلوكوز أو مادة متفاعلة عضوية أخرى بوجود الأكسجين، وينتج ثاني أكسيد الكربون والماء كنواتج فضلات.

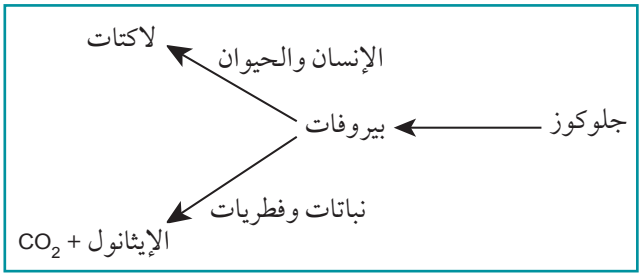
التنفّس اللاهوائي Anaerobic respiration: هو عملية إطلاق الطاقة من الجلوكوز أو أي مادة متفاعلة عضوية أخرى بغياب الأكسجين حيث تنتج الحيوانات اللاكتات كنواتج فضلات، في حين تنتج النباتات والفطريات الإيثانول وثاني أكسيد الكربون.

ملاحظة: التحويل بين ATP و ADP هو محتوى إضافي، وليس جزءًا من الأهداف التعليمية.

لا تتغير مستويات ATP في الخلية حتى لو كانت الخلية أكثر أو أقل نشاطًا. وهذا يعني أنه كلما استخدمت الخلية ATP بشكل أسرع (على سبيل المثال خلية عضلية في سمكة)، يجب أن تتنفّس بشكل أسرع لتجديدATP. يُعدّ التنفّس الهوائي عملية فعّالة، إذ يُطلق فيها ما يكفي من الطاقة من جزيء واحد من الجلوكوز لإنتاج 34 جزيئًا من ATP (مع أن ذلك يعتمد على نوع الخلية).

التنفّس اللاهوائي

تستطيع الخلايا الاستمرار في التنفّس في غياب الأكسجين باستخدام عملية تسمّى التنفّس اللاهوائي Anaerobic respiration وهي عملية أكسدة غير كاملة للجلوكوز، ولا تنتج سوى جزيئَين من ATP من جزيء واحد من الجلوكوز. وتختلف النواتج في الحيوانات، والنباتات والفطريات (الشكل ٢-١٨).



الشكل ٢-١٨ ملخص التنفّس اللاهوائي في كائنات حية مختلفة.

في الحيوانات، يتحلل الجلوكوز أولًا إلى بيروفات (سكّر وسيط يتحلل إليه الجلوكوز أثناء التنفّس)، والذي يتحول بعد ذلك إلى لاكتات. يغيّر اللاكتات الرقم الهيدروجيني (pH) للخلايا، ونتيجة لذلك تبدأ العمليات الخلوية الأخرى بالتوقف. يتم إزالة اللاكتات من الخلايا ويعاد تحويله مرة أخرى إلى جلوكوز.

أما في النباتات والفطريات، فيتحلل الجلوكوز أيضًا إلى بيروفات، لكن يتم تحويله بعد ذلك إلى الإيثانول وثاني أكسيد الكربون.

المرحلة الأولى من التنفّس الهوائي تشمل أيضًا تحلل الجلوكوز إلى بيروفات، والتي تحدث في سيتوبلازم الخلايا. وفي وجود الأكسجين ينتقل البيروفات إلى الميتوكندريا، لاستكمال باقي مراحل عملية التنفّس الهوائي. أما في حالة غياب الأكسجين فيتحول البيروفات إلى لاكتات أو إلى الإيثانول وثاني أكسيد الكربون في السيتوبلازم. تحتوي الخلايا النشطة جدًا والتي تحتاج إلى طاقة عالية، مثل خلايا العضلات الحمراء في سمك التونة، على العديد من الميتوكندريا لإنتاج كميات كبيرة من ATP.

سؤال

(١٠) صمّم جدولًا تقارن فيه بين التنفّس الهوائي والتنفّس اللاهوائي.

دراسة حالة ٢-٢

العضلات الحمراء والبيضاء في الأسماك

يوجد نوعان مختلفان من العضلات في الأسماك: العضلات الحمراء والعضلات البيضاء. توضح الصورة ٢-٥ توزيع نوعَي العضلات في سمك التونة. لكل من نوعَي العضلات وظائف مختلفة، تنعكس في تركيبهما.

العضلات الحمراء مخصصة للسباحة المستمرة. تكون العضلة حمراء اللون لأنها تحتوي على كمّيات كبيرة من الصبغة الحمراء التي ترتبط بالأكسجين وتسمى ميوجلوبين Myoglobin. يشبه الميوجلوبين إلى حدّ كبير الهيموجلوبين Haemoglobin، وهو الجزيء الذي ينقل الأكسجين الموجود في خلايا الدم الحمراء. كما تحتوي العضلة على نسبة مرتفعة من الدهون والعديد من الميتوكندريا وإمدادات دم عالية.

تابع

العضلات البيضاء مخصصة لاندفاعات السباحة السريعة أثناء الاصطياد المفاجئ للفرائس أو الهروب من الحيوانات المفترسة، بحيث يمكنها القيام بانقباضات قوية جدًا، لكن لا يمكن استخدامها إلا لفترات قصيرة من الزمن. حيث لا يوجد فيها ميوجلوبين، وتحتوي على عدد قليل من الميتوكندريا، وعلى محتوى منخفض من الدهون والأوعية الدموية.

تحتوي أنواع الأسماك المختلفة على نسب مختلفة من كِلا نوعَي العضلات. وتحتوي أسماك التونة وسمك أبو سيف Swordfish على نسبة مرتفعة من العضلات الحمراء، في حين تحتوي الأسماك الأقل نشاطًا مثل سمك موسى Pliace وسمك القد Cod على نسبة عالية من العضلات البيضاء. وفي سمك السلمون Salmon، تتغير نسب وجود نوعَي العضلات في المراحل المختلفة من دورة حياته. ففي المرحلة التي يكون فيها سمك السلمون في المحيط المفتوح، تكون نسبة العضلات الحمراء مرتفعة، وعندما يبدأ سمك السلمون هجرته إلى الأنهار، تحدث زيادة كبيرة في نسبة العضلات البيضاء.

أسئلة

١. استخدم معرفتك بالتنفّس اللاهوائي والتنفّس الهوائي لشرح أدوار وتركيب كلا النوعَين من العضلات.

٢. اشرح سبب احتواء أسماك التونة على نسبة مرتفعة من العضلات الحمراء.

٣. اقترح سبب تغيير سمك السلمون نسبة نوعَي العضلات لديه عند بدء هجرته إلى الأنهار.



الصورة ٢-٥ مقطع عرضي في سمكة التونة يوضح أنواع العضلات.

ملخّص

يتكوّن الضوء الأبيض من مجموعة من ألوان الطيف، ولكل منها طول موجة مختلف.

طول موجة الضوء يحدّد لون الضوء. شدة الضوء هو مقياس قوة أو سطوع الضوء. اختراق الضوء هو العمق الذي يمكن للضوء أن يخترق فيه مادة معيّنة.

يمكن للضوء ذي الأطوال الموجية الأقصر، مثل الضوء الأزرق، أن يخترق أعماقًا أكبر في المحيط. في حين لا يمكن للضوء ذي الأطوال الموجية الأطول، مثل الضوء الأحمر، أن يخترق المياه العميقة. اختراق الضوء محدود في المياه ذات التعكر الأعلى بسبب الجسيمات الموجودة في الماء.

عملية التمثيل الضوئي سلسلة من التفاعلات الكيميائية التي تستخدمها جميع المُنْتِجات تقريبًا لتثبيت الكربون، ويمكن تلخيصها بالمعادلة الكيميائية اللفظية والرمزية كالآتي:

$$\text{أكسجين} + \text{جلوكوز} \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{ضوء}} \text{ماء} + \text{ثاني أكسيد الكربون}$$

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{ضوء}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

صبغات البلاستيدات الخضراء (الكلوروفيل (a) والصبغات المساعدة) في البلاستيدات الخضراء تمتص الضوء. ويمثل الكلوروفيل (a) الصبغة الأساسية. وتشمل الصبغات المساعدة الكلوروفيل (b) والكاروتينات والزانثوفيل.

الكلوروفيل (a) والكلوروفيل (b) والكاروتينويدات تمتص الضوء في المنطقة الزرقاء من الطيف، ويمتص الكلوروفيل (a) أيضًا الضوء في المنطقة الحمراء من الطيف. ولا يمتص الكلوروفيل (a) والكلوروفيل (b) والكاروتينويدات الضوء في المناطق الخضراء من الطيف.

تكون الأطوال الموجية الزرقاء والخضراء للضوء في المياه العميقة سائدة. وبالتالي، تحتوي الكائنات البحرية المنتجة مثل الطحالب الحمراء والبنّية في هذه الأعماق أيضًا على صبغات زانثوفيل وفيكوبيلين وفيكوإيرثيرين لامتصاص الضوء من المناطق الخضراء والصفراء من الطيف.

يمكن استخدام الكروماتوجرافيا لفصل وتحديد صبغات البلاستيدات الخضراء. يوضع مستخلص الصبغات على علامة (خط) قلم جرافيت على شريط كروماتوجرافيا ورقي. يعلق الشريط في مذيب، فينسحب إلى أعلى الشريط الورقي، ويسحب معه جزيئات الصبغات. تنتقل الجزيئات الأكثر ذوبانًا إلى مسافة أبعد عن نقطة الأصل.

لحساب قيمة R_f للصبغة:

$$R_f = \frac{\text{المسافة التي قطعتها الصبغة}}{\text{المسافة التي قطعها المذيب}}$$

قارن الإجابة بجدول قيم R_f للمذيب المستخدم لتحديد الصبغة.

تبيّن أطياف الامتصاص للصبغات أطوال موجات الضوء التي يمكن لكل صبغة امتصاصها.

تبيّن أطياف النشاط تاثير أطوال الموجات الضوئية المختلفة على معدل التمثيل الضوئي.

يتطابق عادة طيف النشاط للمنتج بشكل وثيق مع أطياف الامتصاص للصبغات التي يحتوي عليها المنتج، حيث إن تلك الأطوال الموجية التي يتم امتصاصها هي التي تستخدم في التمثيل الضوئي.

يزداد معدل التمثيل الضوئي عندما يتطابق طول موجة الضوء مع قمم أطياف الامتصاص للصبغات التي يحتويها النبات. وهذا يعني بالنسبة إلى معظم المُنْتِجات التي تحتوي على الكلوروفيل (a) والكلوروفيل (b) والكاروتينويدات أن معدلات التمثيل الضوئي تكون أعلى في الأضواء الزرقاء والحمراء وأدنى في الأضواء الخضراء والصفراء.

التمثيل الكيميائي هو تثبيت الكربون باستخدام الطاقة الكيميائية للمواد الذائبة، وتشمل هذه المواد كبريتيد الهيدروجين والميثان والهيدروجين وأملاح الحديد.

بكتيريا التمثيل الكيميائي الموجودة في الفوهات الحرارية المائية تثبّت الطاقة الكيميائية على شكل يمكن للكائنات الحية الأخرى استخدامه، ما يسمح بتكوين سلسلة غذائية.

تابع

توجد علاقة تكافلية بين الدودة الأنبوبية العملاقة ريفتيا وبكتيريا التمثيل الكيميائي إندوريفتيا. تعيش البكتيريا داخل التروفوزوم في الدودة الأنبوبية. تمتص الريشة في الدودة الأنبوبية العملاقة الأكسجين وثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين.

تستخدم إندوريفتيا الطاقة من كبريتيد الهيدروجين لتثبيت الكربون وإنتاج مركبات عضوية مثل الجلوكوز. تزود الدودة الأنبوبية البكتيريا بالمواد الخام اللازمة للتمثيل الكيميائي، وتتغذى على المواد العضوية الناتجة من هذه العملية.

المعادلة الكيميائية اللفظية والرمزية للتنفّس الهوائي هما:

ماء + ثاني أكسيد الكربون ⟶ أكسجين + جلوكوز

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

تستخدم معظم الكائنات الحية أيضًا في الظروف التي يكون فيها الأكسجين محدودًا أو غير متوافر، التنفّس اللاهوائي الذي ينتج كمية أقل بكثير من ATP لكل جزيء من الجلوكوز.

أسئلة نهاية الوحدة

١ ما الصبغة الأساسية التي تستخدمها النباتات البحرية والطحالب في عملية التمثيل الضوئي؟

أ. كاروتينات.

ب. كلوروفيل (a).

ج. كلوروفيل (b).

د. زانثوفيل. **[1]**

٢ أيّ مما يأتي يُعدّ المصدر الرئيسي للطاقة لعملية التمثيل الكيميائي في الكائنات الحية في أعماق البحار؟

أ. ضوء الشمس.

ب. المركبات غير العضوية.

ج. الأكسجين في المياه المحيطة.

د. الكربون العضوي من الكائنات الميتة. **[1]**

٣ ما الوظيفة الأساسية للتنفّس الخلوي في الكائنات البحرية؟

أ. إنتاج الأكسجين لكي يتنفّس الكائن الحي.

ب. تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى جلوكوز.

ج. امتصاص ضوء الشمس لإنتاج الطاقة.

د. توليد ATP عن طريق تفكيك الجزيئات العضوية مثل الجلوكوز. **[1]**

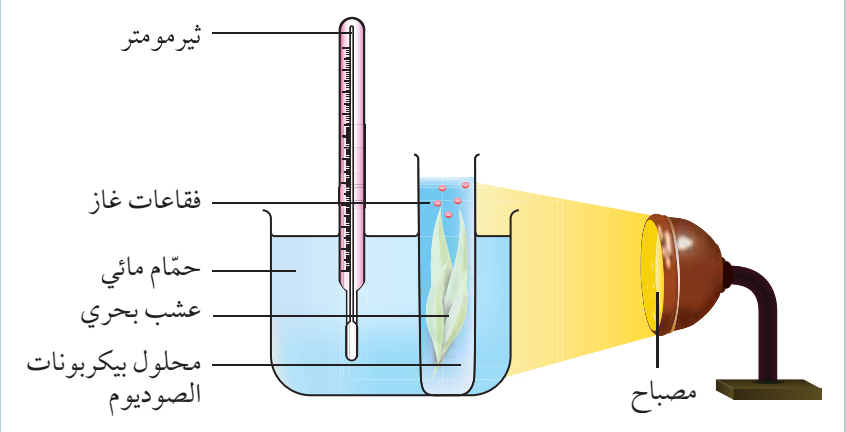
٤ **أ.** اشرح كيف يؤثر عمق وموقع مسطح مائي في المحيط على معدل التمثيل الضوئي للمنتجات البحرية. **[9]**

ب. الجريان السطحي غير المقيّد من الحقول الزراعية قد يدخل إلى البيئات البحرية، ما يوفر كمية كبيرة من المغذيات في فترة قصيرة من الزمن. صِف واشرح كيف سيؤثر هذا الإثراء بالمغذيات على قدرة المُنْتِجات البحرية على القيام بعملية التمثيل الضوئي. **[6]**

[المجموع: 15]

تابع

٥ أُجريت تجربة لمعرفة تأثير درجة الحرارة على معدل التمثيل الضوئي في الأعشاب البحرية. وضعت الأعشاب البحرية في أنبوبة غليان تحتوي على محلول ملحي به بيكربونات الصوديوم (مصدر لغاز ثاني أكسيد الكربون)، ووضعت أنبوبة الغليان في حمّام مائي كما هو موضح في الشكل ٢-١٩.



الشكل ٢-١٩ جهاز لاستقصاء تأثير درجة الحرارة على عملية التمثيل الضوئي في الأعشاب البحرية.

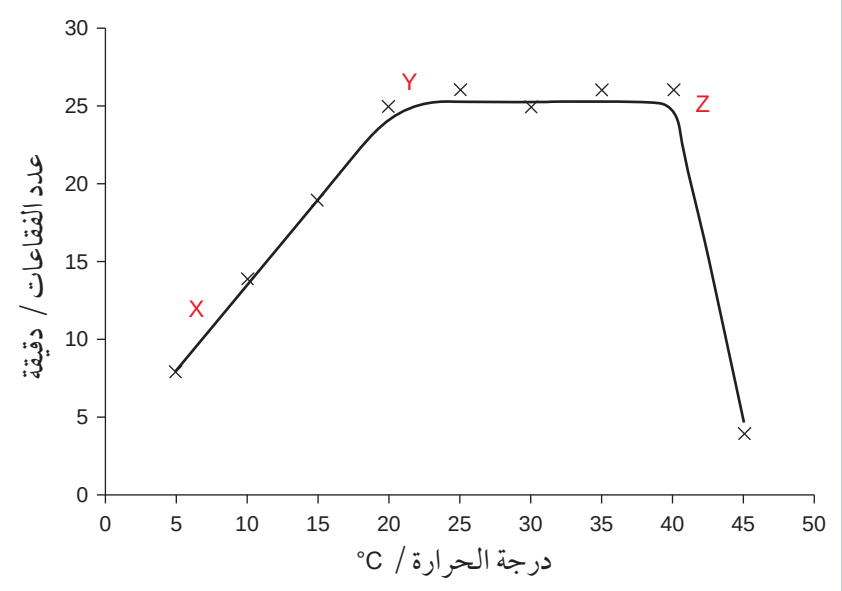
ضبطت درجة حرارة الحمّام المائي على 5 °C ووضع مصباح على بعد 5 cm من الكأس الزجاجية، ثم تركت الأعشاب البحرية لمدة 5 دقائق. لوحظ أن الأعشاب البحرية تنتج فقاعات من الغاز. جرى حساب عدد فقاعات الغاز لمدة 5 دقائق، مع تكرار هذه الخطوات على درجات حرارة مختلفة بفواصل من 5 °C حتى 45 °C.

أ. يوضح التمثيل البياني في الشكل ٢-٢٠ النتائج. اذكر كيف تختلف مكونات الغازات في الفقاعات عن مكونات الهواء الجوي. **[2]**

ب. ١. اقترح العامل الذي قد يحدّ من معدل التمثيل الضوئي بين X و Y على التمثيل البياني. اشرح الأسباب. **[2]**

٢. اقترح العامل الذي قد يحدّ من معدل التمثيل الضوئي بين Y و Z على التمثيل البياني. اشرح الأسباب. **[2]**

تابع



الشكل ٢-٢٠ تأثير ارتفاع درجة الحرارة على معدل التمثيل الضوئي في الأعشاب البحرية.

٣ **ارسم** مخططًا لتمثيل بياني مثل الشكل أعلاه **لتتنبّأ** بتأثير ارتفاع درجة الحرارة عند شدة ضوء أقل. **[2]**

٤. اشرح التغير في معدل التمثيل الضوئي بين 40 °C و 45 °C. **[2]**

ج. اقتُرح أنه يمكن تنمية الأعشاب البحرية في نظام مكثف باستخدام الأضواء الاصطناعية والسخانات. اقترح واشرح درجة الحرارة المثلى التي سيستخدمها مزارع الأعشاب البحرية بناء على شدة الضوء المستخدمة في هذه التجربة. **[2]**

[المجموع: 12]

أفعال إجرائية

ارسم Sketch: أنشئ رسمًا بسيطًا يوضح الميزات الرئيسية.

تنبّأ Predict: اقترح ما قد يحدث بناءً على المعلومات المتاحة.

تابع

٦ تربّى أسماك البلطي غالبًا في أنظمة التربية المائية. أجريت تجربة لاستقصاء تأثير درجة الحرارة على معدّل تنفّس أسماك البلطي الذكور. وضعت سمكة بلطي ذكر في خزان ماء مالح وضبطت درجة الحرارة على 10 °C ثم وضع مجسّ لقياس تركيز الأكسجين في الماء، وقد تم قياس تركيز الأكسجين في الماء كل 15 دقيقة لمدة 3 ساعات. وجرى تكرار الخطوات السابقة مع سمكة بلطي ذكر مختلفة عند درجة حرارة 20 °C. يوضح الجدول ٢-٢ النتائج.

الزمن/min	تركيز الأكسجين في الماء عند 10 °C / $mg\ L^{-1}$	تركيز الأكسجين في الماء عند 20 °C / $mg\ L^{-1}$
0	9.2	9.3
15	8.9	8.4
30	8.7	7.9
45	8.5	7.3
60	8.2	6.4
75	7.9	5.6
90	7.5	5.0
105	7.2	4.7
120	6.9	4.4
135	6.6	4.1
150	6.4	3.7
165	5.9	3.4
180	5.7	2.9

الجدول ٢-٢ تأثير درجة الحرارة على امتصاص ذكور أسماك البلطي للأكسجين.

أ. ١. اذكر **عاملَين** كان يجب التحكم بهما في التجربة. [2]

٢. اقترح كيف كان من الممكن تحسين موثوقية التجربة. [1]

٣. صف واشرح تأثير زيادة درجة الحرارة على معدل استهلاك أسماك البلطي للأكسجين. [3]

يوضح الجدول ٢-٣ تأثير زيادة درجة الحرارة على تركيز الأكسجين المذاب في مياه البحر.

درجة الحرارة/ °C	0	5	10	15	20	25	100
ذوبانية الأكسجين/ $mg\ L^{-1}$	14.6	12.8	11.3	10.2	9.2	8.6	0.0

الجدول ٢-٣ تأثير درجة الحرارة على تركيز الأكسجين.

تابع

ب. استخدم الجدولَين ٢-٢ و ٢-٣ ومعرفتك لشرح سبب حاجة التربية المائية المكثفة لأسماك البلطي في البلدان الأكثر دفئًا للمزيد من الأكسجين. **[4]**

[المجموع: 10]

٧ التمثيل الكيميائي طريقة تغذية ذاتية تستخدمها بعض أنواع بكتيريا الفوهات الحرارية المائية.

أ. ١. أعطِ اسم مادة **واحدة** تُستخدم كمصدر للطاقة في التمثيل الكيميائي. **[1]**

٢. اذكر اسم الجزيء العضوي الناتج من كل من عمليتَي التمثيل الضوئي والتمثيل الكيميائي. **[1]**

ب. ١. اشرح بالإشارة إلى بكتيريا إندوريفتيا وريفتيا معنى مصطلح التكافل. **[4]**

٢. اشرح سبب كون التمثيل الكيميائي طريقة أساسية للإنتاج حول الفوهات الحرارية المائية. **[2]**

[المجموع: 8]

٨ **أ.** أكمل المعادلة الكيميائية الرمزية للتنفّس الهوائي. **[2]**

$$\ldots\ldots\ldots + \ldots\ldots\ldots \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

ب. أرادت باحثة إجراء استقصاء حول تأثير درجة الحرارة على معدل تنفّس بلح البحر. وقرّرت أن معدل إنتاج فقاعات ثاني أكسيد الكربون يمثل طريقة مناسبة لقياس معدل التنفّس.

خطّط لاستقصاء تأثير درجة الحرارة على معدل تنفّس بلح البحر. يجب أن تشتمل خطتك على:

- بيان واضح للفرضية. **[2]**
- تحديد المتغيرات الرئيسية. **[2]**
- عرض التفاصيل الكاملة للطريقة. **[4]**
- وصف كيفية تحليل النتائج. **[2]**
- عناصر الأمان وأخلاقية البحث. **[2]**

[المجموع: 14]

أفعال إجرائية

قدّم/أعطِ **Give**: استخرج إجابة من مصدر معيّن أو من الذاكرة.

حدّد **Identify**: سمِّ، اختر، تعرّف.

تابع

٩ **أ.** صِف كيفية استخدام الكروماتوجرافيا لتحديد الصبغات الموجودة في نوع من الطحالب البحرية. **[5]**

ب. استقصى طالب تأثير طول موجة الضوء على معدل التمثيل الضوئي لثلاثة أنواع مختلفة من الطحالب، وقام بقياس معدل إنتاج الأكسجين لكل نوع من أنواع الطحالب عند إضاءته بالضوء الأحمر والأخضر والأزرق. كرّر كل حالة خمس مرات، وقام بحساب متوسط معدل التمثيل الضوئي والانحراف المعياري Standard deviation. يبيّن الجدول ٢-٤ نتائج التجربة.

نوع الطحلب	متوسط معدل التمثيل الضوئي/mm^3 من الأكسجين الناتج في الدقيقة		
	الضوء الأحمر	الضوء الأخضر	الضوء الأزرق
النوع (A)	12.2 ± 3.5	2.5 ± 1.1	16.4 ± 2.1
النوع (B)	10.1 ± 4.2	8.2 ± 1.5	
النوع (C)	12.4 ± 3.3	1.2 ± 0.2	17.6 ± 0.6

الجدول ٢-٤ تأثير طول موجة الضوء على معدل التمثيل الضوئي لثلاثة أنواع مختلفة من الطحالب.

١. اقترح سببًا قد يدفع الطالب إلى التحقق من نتائجه الفردية للنوع (B) عند وضعه تحت الضوء الأحمر. **[2]**

٢. من بين الألوان الثلاثة التي تمّ اختبارها، أيّها يخترق المياه إلى أعمق الأعماق؟ **[3]**

٣. استنتج طالب أن النوع (B) هو نوع من طحالب أعماق البحار ذات اللون الأحمر-البنّي والذي يحتوي على صبغات فيكوبيلين، بينما النوعان (A) و (C) يفتقران إلى هذه الصبغات.

قيّم هذا الاستنتاج باستخدام الجدول ٢-٤، وإجابتك عن الجزأين (ب ١) و (ب ٢)، ومعلوماتك لتبرّر إجابتك. **[5]**

[المجموع: 15]

أفعال إجرائية

قيّم **Evaluate**: احكم أو احسب جودة أو أهمية أو مقدار أو قيمة شيء ما.

برّر **Justify**: ادعم الموضوع بالأدلة والحجة.

تابع

١٠ يوضح الجدول ٢-٥ تأثير شدة الضوء على معدل إنتاج نوعَين من الطحالب البحرية للأكسجين.

شدة الضوء/ وحدات تقريبية	معدل إنتاج الأكسجين/ $mL\ h^{-1}$	
	النوع (A)	النوع (B)
0	−6.2	−2.4
5	−1.0	4.5
10	3.2	8.9
15	6.9	12.2
20	12.8	12.3
25	18.9	12.3

الجدول ٢-٥ تأثير شدة الضوء على معدل إنتاج الطحالب البحرية للأكسجين.

أ. ١. كوّن تمثيلًا بيانيًا خطيًا يوضح تأثير شدة الضوء على معدل إنتاج كِلا النوعَين من الطحالب للأكسجين. صِل النقاط بخطوط مستقيمة. **[3]**

٢. قارن بين تأثيرات تغيير شدة الضوء على معدل إنتاج كلا النوعَين للأكسجين. **[3]**

ب. ١. اشرح تأثير زيادة شدة الضوء على النوع (A). **[3]**

٢. حلّل المعلومات الواردة في الجدول ٢-٥ لشرح تأثير زيادة شدة الضوء على النوع (B) من 15 وحدة تقديرية إلى 25 وحدة تقديرية. **[3]**

ج. استنادًا إلى المعلومات الواردة في الجدول ٢-٥، اقترح أي نوع من نوعَي الطحالب يتلاءم مع العيش في المياه العكرة. **[2]**

[المجموع: 14]

أفعال إجرائية

حلّل **Analyse**: تفحّص بالتفصيل لإظهار المعنى وتحديد العناصر والعلاقة بينها.

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول الآتي:

أستطيع أن	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	أقترب من تحقيق الهدف	واثق من الاستمرار	أراجع الموضوع
أذكر أن عملية التمثيل الضوئي هي سلسلة من التفاعلات الكيميائية التي تستخدمها جميع المُنْتِجات البحرية تقريبًا لتثبيت الكربون.				١-٢
أصف عملية التمثيل الضوئي باستخدام المعادلة الكيميائية اللفظية والرمزية كالآتي: أكسجين + جلوكوز $\xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{ضوء}}$ ماء + ثاني أكسيد الكربون $6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{ضوء}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$				١-٢
أصف دور صبغات البلاستيدات الخضراء (كلوروفيل a والصبغات المساعدة) في امتصاص الضوء في البلاستيدة الخضراء.				١-٢
أصف تقنية الكروماتوجرافيا وأستخدمها لفصل وتحديد صبغات البلاستيدات الخضراء (ينبغي الإشارة إلى قيم R_f).				١-٢
أصف الضوء الأبيض بأنه يتكوّن من مجموعة من الألوان، لكل منها طول موجة مختلف.				١-٢
أفسر أطياف الامتصاص لصبغات البلاستيدات الخضراء وأطياف النشاط لعملية التمثيل الضوئي.				١-٢
أصف تأثير طول موجة الضوء على معدل عملية التمثيل الضوئي.				١-٢
أعرّف المصطلحات: طول الموجة وشدة الضوء واختراق الضوء.				١-٢
أصف تأثير طول الموجة والتعكر على اختراق الضوء لأعماق مختلفة.				١-٢
أصف العلاقة بين وجود صبغات مساعدة، بما في ذلك الزانثوفيل والفيكوبيلين، في الكائنات الحية البحرية المنتِجة واختراق أطوال موجات مختلفة من الضوء.				٢-٢
أصف التمثيل الكيميائي على أنه تثبيت الكربون باستخدام الطاقة الكيميائية للمواد الذائبة، وتشمل هذه المواد كبريتيد الهيدروجين والميثان والهيدروجين والحديد.				٢-٢

قائمة تقييم ذاتي (تابع)

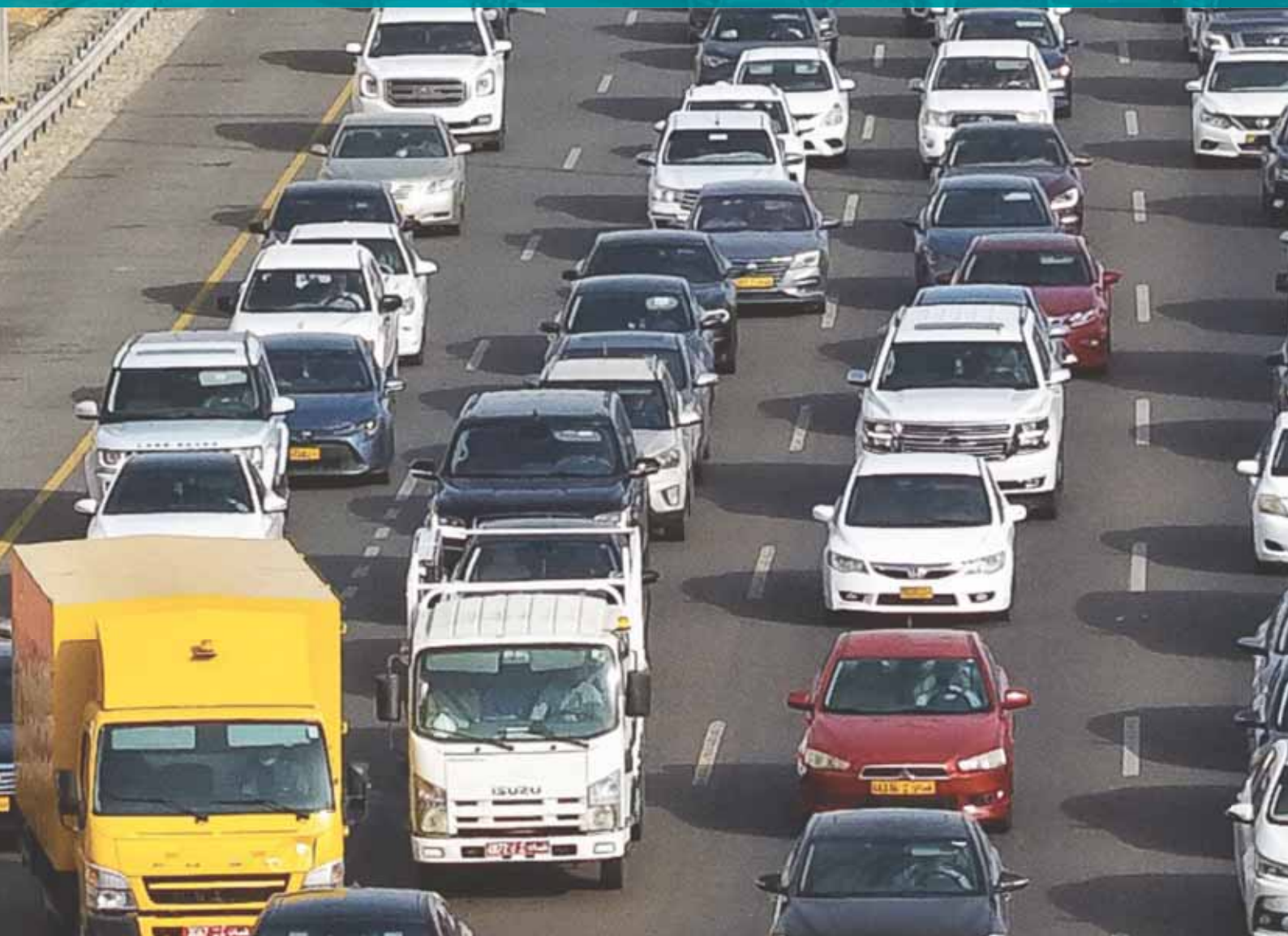
أستطيع أن	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	أقترب من تحقيق الهدف	واثق من الاستمرار	أراجع الموضوع
أصف العلاقة التكافلية بين الدودة الأنبوبية العملاقة ريفتيا، الموجودة في الفوهات الحرارية المائية، وبكتيريا التمثيل الكيميائي إندوريفتيا.				٢-٢
أشرح أن بكتيريا إندوريفتيا تستخدم الطاقة الناتجة من كبريتيد الهيدروجين لتثبيت الكربون وبالتالي إنتاج مركبات عضوية مثل الجلوكوز (المعادلات اللفظية والكيميائية غير مطلوبة).				٢-٢
ألخص كيف أن بكتيريا التمثيل الكيميائي في الفوهات الحرارية المائية تسمح بتكوين سلسلة غذائية.				٢-٢
أذكر أن التنفّس الهوائي هو العملية التي تستخدمها الكائنات الحية لإطلاق الطاقة التي تحتاج إليها على شكل ATP عندما يتوافر الأكسجين.				٣-٢
أصف التنفّس الهوائي باستخدام المعادلة الكيميائية اللفظية والرمزية كالآتي: ماء + ثاني أكسيد الكربون ⟶ أكسجين + جلوكوز $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$				٣-٢
أصف أن معظم الكائنات الحية تستخدم التنفس اللاهوائي في الظروف التي يكون فيها الأكسجين محدودًا أو غير متوافر، والذي ينتج كمية أقل بكثير من ATP لكل جزيء من الجلوكوز (المعادلات الكيميائية اللفظية والرمزية غير مطلوبة).				٣-٢



الوحدة الثالثة

إدارة الغلاف الجوي

Managing the atmosphere



أهداف التعلّم

٣-١ يعرّف الترسيب الحمضي بأنه مزيج من ملوثات الهواء التي تترسب من الغلاف الجوّي على شكل ترسيب حمضي رطب (pH < 5.6) أو ترسيب حمضي جاف.

٣-٢ يصف نوعَي الترسيب الحمضي:

- الترسيب الحمضي الرطب من خلال الثلج والمطر والبرد والضباب
- الترسيب الحمضي الجاف من خلال الغبار والغازات.

٣-٣ يلخص عملية تكوّن الترسيب الحمضي مقتصرًا على:

- عملية تفاعل الكبريت الموجود في الوقود الأحفوري لتكوين غاز ثاني أكسيد الكبريت أثناء الاحتراق ومن ثم تحويله من خلال سلسلة من الخطوات إلى حمض الكبريتيك في الغلاف الجوي
- عملية تحويل النيتروجين في الغلاف الجوي من خلال سلسلة من الخطوات إلى حمض النيتريك بوجود الحرارة الناتجة من محركات المركَبات.

٣-٤ يلخص تأثيرات الترسيب الحمضي مقتصرًا على:

- خياشيم الأسماك والجماعات الأحيائية للأسماك
- تساقط أوراق النبات وانخفاض إنتاجية المحاصيل
- زيادة التجوية الكيميائية للمباني الحجرية والطوبية.

٣-٥ يصف الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي بأنه مزيج من ملوثات الهواء والجسيمات العالقة، والمركّبات العضوية المتطايرة (VOCs) التي تتحول من ملوثات أولية إلى ملوثات ثانوية بوجود ضوء الشمس.

٣-٦ يذكر أن الأوزون الأرضي هو مثال على ملوث ثانوي في الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي، والذي يتشكّل من أكاسيد النيتروجين (NO_x) والمركّبات العضوية المتطايرة (VOCs) بفعل ضوء الشمس.

٣-٧ يصف تأثيرات الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي مقتصرًا على:

- تهيّج العين والجهاز التنفّسي
- انخفاض إنتاجية المحاصيل
- تدهور البلاستيك والمطاط.

٣-٨ يصف استراتيجيات إدارة تلوث الهواء، بما في ذلك:

- تقليل استخدام الوقود الأحفوري واعتماد الطاقة المتجددة
- الحدّ من انبعاثات:
  - ثاني أكسيد الكبريت (SO_2): عن طريق إزالة الكبريت من غاز المداخن وإزالة الكبريت من الوقود
  - أكاسيد النيتروجين (NO_x): باستخدام المحولات الحفازة
  - الجسيمات العالقة: باستخدام المرسبات الكهروستاتيكية
  - المركّبات العضوية المتطايرة (VOCs): بالاستخدام والتخزين والتخلص الآمن للمنتجات المنزلية.
- التشريعات:
  - مبدأ الملوّث يدفع
  - تقييد استخدام المركَبات في المناطق الحضرية.
  - التشريعات المحلية والوطنية والدولية (المعرفة التفصيلية بتشريعات واتفاقيات محددة غير مطلوبة).

٣-٩ يذكر أن تركيز الأوزون يُقاس باستخدام وحدة دوبسون.

٣-١٠ يعرّف مصطلح ثقب الأوزون بأنه المنطقة التي يكون فيها متوسط تركيز الأوزون أقل من 100 وحدة دوبسون.

٣-١١ يلخّص كيفية حدوث استنفاد الأوزون كالآتي:

- مركّبات الكلوروفلوروكربونات (CFCs) الموجودة في عبوات الهباء المضغوط، والثلاجات، هي مركبات غير متفاعلة ولا تتفكك في طبقة التروبوسفير
- تنتقل مركبات (CFCs) إلى طبقة الستراتوسفير وتتفكك بفعل الأشعة فوق البنفسجية لتطلق ذرة الكلور

(تابع)

- التفاعلات السريعة بين ذرات الكلور والأوزون تؤدي إلى تفكك الأوزون (O_3) إلى أكسجين (O_2)، الأمر الذي يتسبب باستنفاد الأوزون
- تبقى ذرات الكلور في طبقة الستراتوسفير ويمكن أن تستمر في تدمير الأوزون (المعرفة التفصيلية للآليات الكيميائية غير مطلوبة).

١٢-٣ يشرح سبب استنفاد الأوزون بشكل أكبر فوق القارة القطبية الجنوبية بما في ذلك: درجة الحرارة، والسحب الستراتوسفيرية القطبية (PSCs) والدوامة القطبية.

١٣-٣ يصف تأثيرات استنفاد الأوزون بسبب زيادة كميات الأشعة فوق البنفسجية بما في ذلك:

- صحة الإنسان (الساد، وسرطان الجلد)
- انخفاض إنتاج المحاصيل
- انخفاض التنوع البيولوجي للنظم البيئية الأرضية والمائية
- تدهور المواد المستخدمة في الملابس والبناء.

١٤-٣ يلخص التأثيرات المرتبطة باستخدام بعض بدائل المواد المستنفدة للأوزون بما في ذلك:

- مركّبات الهيدروكلوروفلوروكربونات (HCFCs)
- الغازات المفلورة (الغازات-F).

١٥-٣ يلخص أهمية الأدلة التجريبية لدعم فرضية ما، باستخدام فرضية تدمير الأوزون التي اقترحها رولاند ومولينا كمثال.

- في البداية لم تُقبل الفرضية الرئيسية
- لم يتم دعم بعض الفرضيات المساعدة بأدلة تجريبية
- أدت الفرضية إلى مزيد من الأبحاث وجمع البيانات من قبل علماء آخرين، والتي أكدت أن مركبات (CFCs) هي مركّبات مستنفدة للأوزون.

١٦-٣ يقيّم الاتفاقيات الدولية المستخدمة لتقليل استخدام المواد المستنفدة للأوزون والتخلص منها تدريجيًا (المعرفة التفصيلية لاتفاقيات دولية محددة غير مطلوبة).

قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة

في مجموعات صغيرة، ناقش زملاءك الأسئلة الآتية:

١. هل تلوث الهواء دائمًا أسوأ في المدن منه في المناطق الريفية؟ اشرح السبب.

٢. ما مصادر تلوّث الهواء التي لاحظتها في المنطقة التي تعيش فيها؟

٣. هل يؤثر الطقس على تلوث الهواء في المنطقة التي تعيش فيها؟

٤. صف التأثيرات التي يخلّفها تلوث الهواء على الناس.

٥. فكر في ما يمكن القيام به لإدارة تلوث الهواء.

العلوم البيئية ضمن سياقها

مؤشر جودة الهواء والرصد الفوري للتلوث

مؤشر جودة الهواء (Air Quality Index - AQI) هو مقياس لجودة الهواء، تستخدمه الحكومات لتقييم مدى تلوّث الهواء أو المقدار المتوقع للتلوث. يكون للدول المختلفة (AQIs) الخاصة بها، ويتم جمع بيانات (AQI) باستخدام معدّات رصد جودة الهواء. تزداد مستويات تلوّث الهواء نتيجة حركة المرور، أو الحرائق، أو التغييرات في الطقس (الصورة ٣-١). وكلما ازداد تلوّث الهواء، ازدادت المخاطر على الصحة العامة. إن الرصد الفوري Real-time monitoring لجودة الهواء يساعد الحكومات على تقديم التوجيهات والإرشادات للسكان في المناطق المتأثرة.



الصورة ٣-١ الضباب الدخاني يغطي مدينة شانغهاي، الصين في عام 2016 م.

الرصد الفوري لجودة الهواء هو عملية مستمرة لاختبار وتقييم مستوى التلوث في الغلاف الجوي. تهدف هذه العملية إلى تحديد تجاوزات (AQI)، ما قد يشكل خطرًا على البيئة والصحة العامة. يتطلب الرصد الفوري لجودة الهواء إنشاء شبكة معقدة وكثيفة من معدات الرصد لجمع أكبر قدر ممكن من البيانات. وتُعَد التغذية الراجعة (البيانات المستخلصة) التي يتم الحصول عليها من هذه المعدات أداة أساسية في تخطيط استراتيجيات فعالة لإدارة تلوث الهواء في منطقة معيّنة.

هناك العديد من أنظمة الرصد الفوري لجودة الهواء. وهذه الأنظمة تُستخدم لرصد المعايير أو المقاييس البيئية الحرجة Critical environmental parameters (العوامل القابلة للرصد والقياس) المتعلقة بجودة الهواء، بما في ذلك الضوضاء، والروائح، والطقس، والإشعاع، والملوّثات ومستويات حبوب اللقاح. المعايير الرئيسية للتلوّث مثل: **الجسيمات العالقة Particulates** (PM_{10}، $PM_{2.5}$، PM_1) وأول أكسيد الكربون (CO)، وثاني أكسيد الكربون (CO_2)، وثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وأكاسيد النيتروجين (NO_x) **والأوزون الأرضي** (O_3) **Ground-level ozone** يتم مراقبتها باستخدام أنظمة الرصد هذه في المدن حول العالم. تستخدم الحكومات وفِرَق إدارة المدن المعلومات من هذه الأنظمة لتحديد ما إذا كان قد تم تجاوز (AQI)، وما إذا كانت جودة الهواء تُشكّل تهديدًا على الصحة العامة والبيئة.

مصطلحات علمية

الجسيمات العالقة Particulates: جسيمات صلبة وقطيرات سائلة معلقة في الهواء. تنتج بشكلٍ عام من أي نوع من أنواع الاحتراق أو من الأنشطة المولدة للغبار.

***الجسيمات العالقة (PM) Paticulate matter**: هي جسيمات صغيرة جدًا، تبقى معلقة في الهواء، تصنف عادةً بحسب نطاقات أحجامها. يشير الرقم المجاور لـ PM إلى حجم الجسيمات العالقة التي يتم قياسها، على سبيل المثال، يشير PM_1 إلى الجسيمات العالقة التي يبلغ قطرها 1 µm وقد تُستنشق وتؤثر على صحة الإنسان.

الأوزون الأرضي Ground-level ozone: يتشكّل عندما تتفاعل أكاسيد النيتروجين (NO_x) والمركّبات العضوية المتطايرة (VOCs) بفعل ضوء الشمس.

(تابع)

تختلف جودة الهواء من مكان إلى آخر، حيث تتعرض مجتمعات مختلفة لأنواع ومستويات متفاوتة من الملوثات؛ ولتحسين جودة الهواء وحماية السكان في المناطق التي تكون جودة الهواء فيها سيئة، من الضروري تحديد ماهية الملوّثات ومصادرها (الصورة ٣-٢).



الصورة ٣-٢ تلوّث الهواء في منطقة ريفية في الهند. الرياح السائدة تحمل الملوّثات إلى الوديان المحيطة.

معظم أنظمة الرصد حول العالم ليست موزعة بكثافة كافية لتحديد كيف تختلف جودة الهواء مكانيًا، وبالتالي فهم كيفية تأثر المجتمعات المختلفة، الأمر الذي يحدّ من فاعلية هذه الأنظمة في تقديم بيانات دقيقة حول تلوث الهواء وتأثيراته.

أسئلة للمناقشة

١. كيف يمكن للجهات المختصة استخدام البيانات المجمّعة لإدارة تلوّث الهواء في منطقة حضرية؟

٢. اشرح سبب ضرورة أن تكون شبكة معدات رصد الهواء كثيفة نسبيًا لتكون مفيدة في إدارة تلوث الهواء.

٣. صف التحديات التي قد تواجهها الدول منخفضة الدخل (LIC) عند تطوير نظام لرصد الهواء.

٤. اشرح سبب أهمية رصد تلوث الهواء.

٣-١ الترسيب الحمضي والضباب الدخاني الكيميائي الضوئي

يحدث **الترسيب الحمضي** **Acid deposition** عندما يترسب مزيج من ملوّثات الهواء من الغلاف الجوّي، إما على شكل ترسيب حمضي رطب (مثل المطر الحمضي)، أو ترسيب حمضي جاف (مثل جزيئات الغاز والغبار). الترسيب الحمضي والضباب الدخاني الكيميائي الضوئي Photochemical smog كلاهما من أشكال تلوّث الهواء وهما ناتجان ثانويّان من الأنشطة الصناعية. وقد يكون لبعض الغازات الملوّثة للغلاف الجوّي مصدر طبيعيّ، مثل البراكين. ومع ذلك، فإن المصادر الرئيسية لتلوّث الهواء تأتي من احتراق الوقود الأحفوري، الذي يُطلِق غازات مثل ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وأكاسيد النيتروجين (NO_x) إلى الغلاف الجوّي.

قد تنقل الرياح هذه الملوّثات لمسافات طويلة، ما يتسبب بتلوث مناطق لم تكن مسؤولة عن إطلاق هذه الملوّثات، الأمر الذي يجعل تلوّث الهواء مشكلة عالمية.

ملوّثات الهواء الأوليّة **Primary air pollutants** هي الملوثات التي تنتج بشكل مباشر من عملية صناعية أو نشاط بركاني (الصورة ٣-٣) بحيث تُطلَق الملوثات الأولية من المصدر ولا تخضع لأي تغيير. ومن الأمثلة على الملوثات الأولية ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الذي ينبعث من محطات توليد الطاقة بالفحم.



الصورة ٣-٣ تلوّث الهواء الناتج من النشاط الصناعي.

ملوّثات الهواء الثانويّة Secondary air pollutants تنتج من تفاعل المواد الكيميائية الموجودة في الملوثات الأولية مع بعضها، أو مع ضوء الشمس، مكونةً مركبًا ثانويًا. ويُعدّ **الضباب الدخاني Smog** مثالًا على ملوّث ثانوي.

ويعد الترسيب الحمضي ناتجًا من ملوثات الهواء الثانوية، وهو إما ترسيب الملوّثات الرطبة، ويُسمّى **الترسيب الحمضي الرطب Wet acid deposition**، أو ترسيب الملوّثات الجافة، ويُسمّى **الترسيب الحمضي الجاف Dry acid deposition**، الذي يهبط من الغلاف الجوّي على سطح الأرض. وهذه الملوّثات حمضية بطبيعتها، وتبلغ قيمة (pH) < 5.6.

مصطلحات علمية

الترسيب الحمضي Acid deposition: مزيج من ملوّثات الهواء التي تترسّب من الغلاف الجوّي على شكل ترسيب حمضي رطب (pH < 5.6) أو ترسيب حمضي جاف.

ملوّث الهواء الأوليّ Primary air pollutant: ملوّث هواء ينبعث مباشرةً من المصدر.

ملوّث الهواء الثانوي Secondary air pollutant: ملوّث هواء يتكوّن عندما تتفاعل الملوّثات الأولية في الغلاف الجوي.

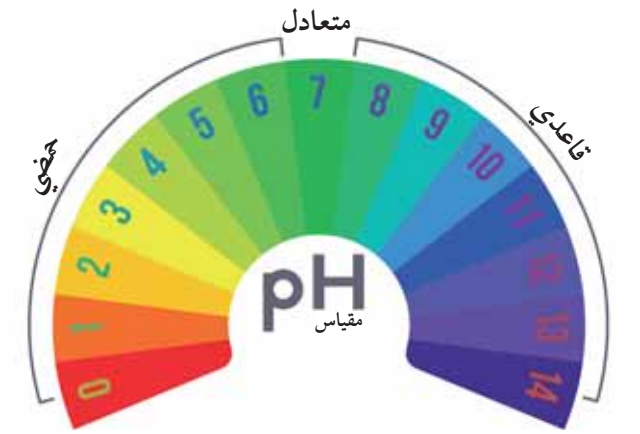
الضباب الدخاني Smog: ملوث ثانوي عبارة عن مزيج من الدخان والضباب؛ وهو يزيد من تلوّث الغلاف الجوّي.

الترسيب الحمضي الرطب Wet acid deposition: ترسب ملوّثات الغلاف الجوّي على سطح الأرض على شكل هطول مثل الثلج، والمطر، والبَرَد والضباب.

الترسيب الحمضي الجاف Dry acid deposition: ترسب ملوّثات الغلاف الجوّي على سطح الأرض في غياب الرطوبة مثل الغبار أو الغازات.

أنواع الترسيب الحمضي

الحمضيّة هي قياس (pH) لمركّب كيميائي. يمتد مقياس pH من الصفر (الأكثر حمضية) إلى 14 (الأكثر قاعدية) (الشكل ٣-١). المادة التي لا تكون حمضية ولا قاعدية، مثل الماء النقي، تكون متعادلة (pH يساوي 7).



الشكل ٣-١ مقياس pH يتراوح من الحمضية العالية عند 0 إلى القاعدية العالية عند 14، أما الرقم 7 فهو المتعادل.

الترسيب الحمضي الرطب هو تلوث جوّي حمضي يترسّب على شكل مطر، أو ثلج، أو جليد، أو ضباب أو بَرَد. يُعرف الترسيب الحمضي الرطب أيضًا على نطاق واسع باسم المطر الحمضي Acid rain. تم تسجيل ترسيب حمضي رطب بقيمة pH منخفضة تصل إلى 3 وهي مماثلة لقيمة pH الخل.

أما الترسيب الحمضي الجاف فيحدث عندما تتفاعل الغازات وجسيمات الغبار مع الملوثات الحمضية في الغلاف الجوّي، وتترسب على الأسطح دون إضافة رطوبة. وعندما يتم غسل الترسيب الحمضي الجاف المتراكم على الأسطح بواسطة الأمطار، يتدفق الماء الحمضي الناتج فوق الأرض وخلالها، ما يسبّب الضرر للنباتات والحياة البرية. يحتوي كلا نوعَي الترسيب الحمضي، الرطب والجاف، على مكوّنات حمضية مثل حمض الكبريتيك أو حمض النيتريك، وقد تنقل الرياح هذه الملوّثات إلى مسافات طويلة وعبر الحدود الدولية (الشكل ٣ ٢)، الأمر الذي يجعل من الترسيب الحمضي تحديًا دوليًا،



الشكل ٣-٢ يمكن للرياح أن تحمل التلوث الناتج من المصنع، ويعيده المطر إلى الأرض على شكل ترسيب حمضي رطب في منطقة أخرى.

وليس مجرد مشكلة لمن يعيشون بالقرب من مصدر الملوّثات. قد يحدث كل من الترسيب الحمضي الرطب والجاف على الأشجار، والتربة، والمسطحات المائية، والمركَبات والمباني. ويُعدّ كلا النوعين مسبّبَين للتآكل. ويُذكر أن الترسيب في البحيرات والأنهار، يجعل الماء أكثر حمضية.

تكوّن الترسيب الحمضي

يتكوّن الترسيب الحمضي عند انبعاث ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وأكاسيد النيتروجين (NO_x) إلى الغلاف الجوّي، وانتقال هذه المواد من مصدر التلوّث بواسطة الرياح وتيارات الهواء. وعندما تتفاعل هذه الغازات مع بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي، يتكون حمض الكبريتيك وحمض النيتريك.

تنتج نسبة صغيرة من (SO_2) و (NO_x) من مصادر طبيعية مثل الانفجارات البركانية، في حين يأتي معظمها من احتراق الوقود الأحفوري (الفحم، والنفط، والغاز).

يحتوي الوقود الأحفوري على مركبات الكبريت، وعندما تتعرّض هذه المركَبات للاحتراق، يتّحد الكبريت مع الأكسجين فيتكوّن غاز (SO_2) ثم يصعد إلى الغلاف الجوّي ويتفاعل مع الأكسجين وبخار الماء فيتكوّن حمض الكبريتيك (H_2SO_4).

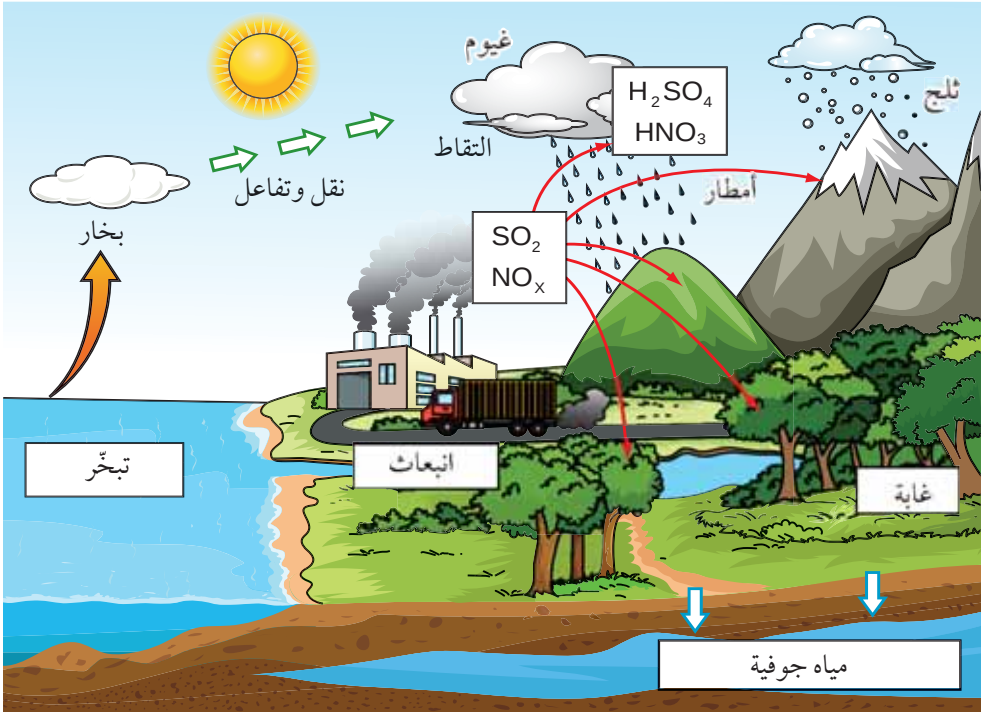
يتفاعل غاز النيتروجين من الغلاف الجوّي مع الأكسجين عند درجات الحرارة العالية في محركات المركَبات، فيتكون غاز أحادي أكسيد النيتروجين (NO)، الذي يُطلق من انبعاثات المركَبات إلى الغلاف الجوي، ويتفاعل مع الأكسجين وبخار الماء في الغلاف الجوي لتشكيل حمض النيتريك (HNO_3). هذه الخطوات ملخّصة في الشكل ٣ ٣. وفي كل هذه الحالات، تنقل الرياح التلوّث من مصدره إلى مواقع بعيدة.

يُقدّر أن ثلثَي (SO_2) وربع (NO_x) في الغلاف الجوّي مصدرها المولّدات التي تعمل بالديزل. أما أكبر قَدْر من الترسيب الحمضي فمصدره محطات توليد الطاقة بالفحم.

تأثيرات الترسيب الحمضي

البيئات المائية

يمكن ملاحظة التأثيرات الضارة للترسيب الحمضي على النظم البيئية بوضوح في البيئات المائية العذبة



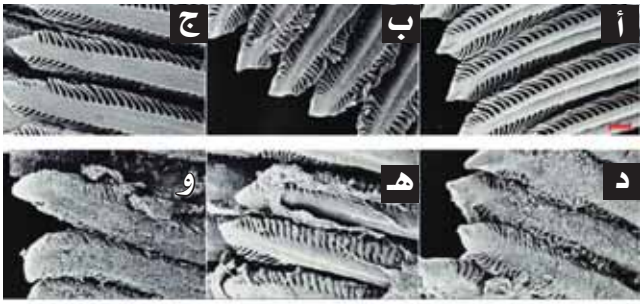
الشكل ٣-٣ تشكيل وحركة الترسيب الحمضي في الغلاف الجوي.

مثل البحيرات والجداول والأراضي الرطبة. حيث إن للعديد من الأسماك نطاقًا حرجًا لـ pH، تتمكن فيه من الازدهار. وانخفاض قيمة pH عن هذا النطاق يعد ضارًا.

عندما يتدفق الماء الحمضي عبر التربة، فإنه يرشِّح الألمنيوم من جزيئات الطين وينقله إلى المسطحات المائية. يعدُّ الألمنيوم سامًا بشكل خاص للكائنات الحية التي تتنفّس بالخياشيم مثل الأسماك. فهو يخفض من كفاءة عمل الخياشيم في التنفّس مسببًا بذلك صعوبة تنفّس الأسماك (الصورة ٣-٤)، ويُمكن للمستويات العالية من الألمنيوم أن تقتل خلايا الخياشيم بالكامل، ما يتسبب بنفوق الأسماك.

بشكل عام، معظم الكائنات الحية الصغيرة أكثر حساسية للظروف البيئية مقارنة بالكائنات البالغة، فعندما تكون قيم pH تساوي 5 أو أقل، لا يفقس كثير من بيض الأسماك، وعند مستويات pH أقل بكثير، تموت معظم الأسماك البالغة. وفي كثير من الحالات، قد تموت الأنواع التي يمكن أن تتحمل مستويات منخفضة من pH ومستويات مرتفعة من الألمنيوم، بسبب حدوث اضطراب في السلسلة الغذائية واختفاء مصدر غذائها.

يؤدّي النيتروجين الموجود في الترسيب الحمضي أيضًا إلى مشكلات في النظم البيئية المائية؛ إذ يزيد من كمية المغذيات في الماء ما يسبّب الإثراء الغذائي الذي يسبب مزيدًا من الضغط على النظام البيئي.



الصورة ٣-٤ صور مجهرية إلكترونية لخياشيم سمك السلمون البنّي المرقّط تُظهر تأثير التعرّض لمياه غنيّة بالألمنيوم لمدة زمنية مختلفة: (أ) قبل التعرّض (ب) نصف ساعة من التعرّض (ج) ساعتَين من التعرّض(د) ست ساعات من التعرّض (هـ) ثماني ساعات من التعرّض (و) إحدى عشرة ساعة من التعرّض.

النباتات والمحاصيل

تُعدّ مناطق النباتات الميتة أو فاقدة الاخضرار مشهدًا شائعًا في المناطق المتأثرة بالترسيب الحمضي، حيث يتسبب تزايد الحمضية بتسرب الألمنيوم من التربة، الذي يكون ضارًا للنباتات والحيوانات. كما تسبب الحمضية المتزايدة أيضًا إزالة المغذيات والمعادن المفيدة من التربة، ما يقلّل من نمو الحياة النباتية ويؤثر على إنتاجية المحاصيل.

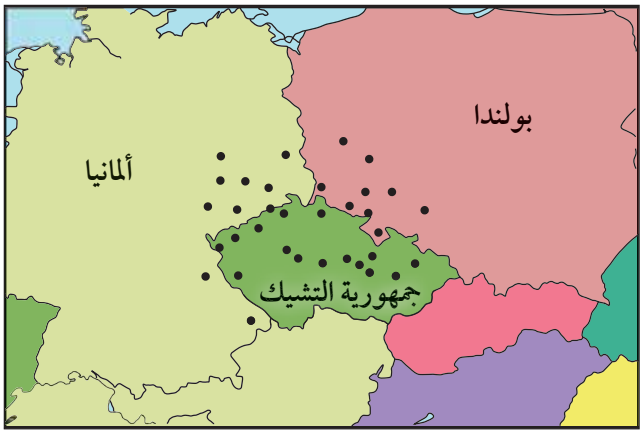
في الارتفاعات العالية، يغطّي الضباب الحمضي المنخفض النباتات بطبقة حمضية رقيقة، ونتيجة لذلك، يتم تجريد أوراق النباتات من المغذيات ما يتسبّب بتحوّلها إلى اللون البنّي. ومع زيادة شدة التأثير، تتساقط الأوراق Defoliation (الصورة ٣-٥)، التي من دونها لا تستطيع النباتات القيام بعملية التمثيل الضوئي. ويؤدي هذا الأمر إلى ضعف النباتات وعدم قدرتها على تحمّل درجات الحرارة المنخفضة. أما بالنسبة إلى المزارعين، فقد يؤدي هذا إلى تقليل إنتاجية المحاصيل.



الصورة ٣-٥ نباتات تساقطت أوراقها بسبب الترسيب الحمضي.

ومن الأمثلة على التلوث الشديد الناتج من الترسيب الحمضي ما حدث في السبعينيات والثمانينيات من القرن الماضي؛ إذ شهدت منطقة المثلث الأسود في أوروبا (الشكل ٣-٤)، والذي كان يشمل مناطق في جمهورية التشيك، وألمانيا وبولندا، ترسيبًا حمضيًا ثقيلًا، وقد نتج منه موت غابات بأكملها، وتآكل خطوط السكك الحديدية. ويعود سبب المشكلة للانبعاثات الصادرة من مصانع حرق الفحم في أوروبا الشرقية. وفي عام 1979م تمّ توقيع

اتفاقية جنيف – اتفاقية تلوث الهواء بعيد المدى عابر الحدود – ووضعت لوائح صارمة للسيطرة على الهطول الحمضي. وقد قلّل هذا من الترسيب الحمضي في المنطقة بشكل كبير.



الشكل ٣-٤ خريطة لشرق أوروبا تُظهر المنطقة الأكثر تأثرًا بتلوث الهواء، خلال السبعينيات والثمانينيات من القرن الماضي، والتي تُعرف باسم المثلث الأسود. تُظهر النقاط السوداء المناطق التي سُجّل فيها الترسيب الحمضي.

المباني الحجرية والطوبية

بعض الأضرار الناتجة من الترسيب الحمضي والأكثر وضوحًا تحدث في الأبنية والإنشاءات التي شيّدها الإنسان. فالمباني والنصب التذكارية والمقابر والتماثيل المصنوعة من الحجر الجيري والرخام تتدهور بالتجوية الكيميائية Chemical weathering بشكل أسرع عند تعرضها للترسيب الحمضي؛ إذ تتفاعل كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) في الحجر الجيري والرخام مع ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) لتشكّل مادة أكثر ليونة تُعرف باسم الجبس Gypsum، ويسبّب ذلك تقشر الصخر أو ذوبانه.

يمكن مشاهدة الأضرار الناجمة عن الترسيب الحمضي على السطوح والنقوش الحجرية والحجر الجيري أو قطع الرخام المستخدمة في البناء (الصورة ٣-٦). وقد حدثت هذه الأضرار في العديد من البلدان حول أوروبا، بما في ذلك المثلّث الأسود.

والترسيب الحمضي مكلف؛ إذ تحتاج المواد المتضررة إلى إصلاح أو استبدال. وفي بعض الحالات، قد تكون الأضرار الناجمة عنه لا يمكن إصلاحها. فعلى سبيل المثال، الكثير من النقوش الحجرية ذات قيمة ثقافية وحضارية ولا يمكن استبدالها أو إصلاحها بسهولة.



الصورة ٣-٦ أضرار مرئية ناتجة من الترسيب الحمضي على منحوتات الحجر الرملي فوق مبنى في لايبزيغ، ألمانيا، في عام 1990م. الترسيب الحمضي يُذيب الصخر ويُفقد المنحوتات شكلها ومعالمها.

الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي

المصادر الرئيسية للتلوّث في المدن هي المَركَبات (الصورة ٣ ٧) والمصانع ومدافئ حرق الخشب. وينبعث من هذه المصادر جميعها ملوّثات تشكّل أساس الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي، والذي يترك ضبابًا بنّيًا فوق المدينة (الصورة ٣ ٨).



الصورة ٣-٧ الطريق السريع في محافظة مسقط خلال ساعة الذروة.

الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي Photochemical smog هو خليط من ملوّثات الهواء، والجسيمات العالقة، **والمركّبات العضوية المتطايرة (VOCs) Volatile organic compounds** التي تتحوّل من ملوّثات أوليّة إلى ملوّثات ثانويّة بفعل ضوء الشمس. ومن الأمثلة على هذه الملوثات الثانوية **الأوزون Ozone** الأرضي الذي يتكون عندما تحدث تفاعلات كيميائية بين (NO_x) و (VOCs) بوجود ضوء الشمس. يحدث الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي في الصيف غالبًا؛ إذ يكون هناك عدد أكبر من ساعات ضوء الشمس كل يوم.



الصورة ٣-٨ الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي فوق نابولي، إيطاليا، في عام 2016 م.

مصطلحات علمية

الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي Photochemical smog: خليط من ملوّثات الهواء، والجسيمات العالقة، والمركّبات العضوية المتطايرة (VOCs) التي تتحول من ملوثات أولية إلى ملوثات ثانوية بوجود ضوء الشمس، بما في ذلك الأوزون الأرضي، الذي يتشكّل عندما تتفاعل أكاسيد النيتروجين مع (VOCs) بفعل ضوء الشمس.

المركّبات العضوية المتطايرة (VOCs) Volatile organic compounds: مركّبات لها ضغط بخار عالٍ وذوبانية منخفضة في الماء؛ تنبعث هذه المركّبات على شكل غازات من بعض المواد الصُّلبة أو السائلة بما في ذلك الطلاءات، ومزيلات الطلاءات، ومواد التنظيف، والمبيدات، ومواد البناء.

الأوزون Ozone: O_3، غاز عديم اللون والرائحة ويتكون من الأكسجين بفعل الأشعة فوق البنفسجية (UV).

تأثيرات الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي

للضباب الدخاني الكيميائي الضوئي تأثيرات ضارة على البشر والبيئة. ففي البشر والحيوانات، قد يسبّب تهيجًا مؤلمًا للجهاز التنفّسي، وصعوبة في التنفّس، وانخفاضًا في كفاءة وظيفة الرئة. يمكن لمستويات عالية من الضباب الدخاني أيضًا أن تحفّز نوبات الربو (الصورة ٣-٩).



الصورة ٣-٩ قد يؤدي الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي، الذي يهيّج الرئتَين، إلى تفاقم نوبات الربو.

يُعدّ الضباب الدخاني مهيّجًا للعيون أيضًا، ففي المناطق التي ينتشر فيها تلوّث الهواء على مستوى الأرض تكون حالات التهاب الملتحمة (الرمد) Conjunctivitis والتهاب العين أكثر شيوعًا. وقد يتسبّب الأوزون الأرضي الموجود في الضباب الدخاني بحدوث حالة تُعرف بجفاف العين. وتحدث هذه الحالة عندما لا تُنتج القنوات الدمعية سائلًا كافيًا للحفاظ على رطوبة العينَين.

تتأثر إنتاجية المحاصيل الزراعية أيضًا بالضباب الدخاني والأوزون الأرضي. يُضر الأوزون بإنتاج المحاصيل عن طريق دخوله إلى الأوراق أثناء تبادل الغازات الطبيعي. فالأوزون مؤكسد قوي يُسبّب الضرر للنباتات، إذ يؤدي إلى اصفرار الأوراق، وظهور بقع بُنية فاتحة، واحمرار وتبقع باللون البرونزي. نتيجة لذلك، يتضرّر نمو النبات وتنخفض إنتاجية المحاصيل الزراعية.

في عام 2014 م، أفادت دراسة أُجريت في الهند أن تلوّث الهواء كان يقلّل بشكل كبير من إنتاجية محاصيل القمح والأرز. ومقارنة بعام 1980 م، كانت إنتاجية المحاصيل أقل بنسبة 36% مما كان ينبغي أن تكون عليه في عام 2010 م.

ويُعادل هذا انخفاضًا في إنتاجية المحصول بما يقارب 24 مليون طن من القمح. وفي عام 2019م، فُقد ما بين 5% و 12% من محصول الغذاء الأساسي العالمي (الأرز، والذرة، والقمح، والصويا) بسبب آثار تلوّث الهواء.

يكون البلاستيك والمطاط عرضة للتدهور عند التعرّض للملوّثات والأشعة فوق البنفسجية، بحيث تلتصق الجسيمات العالقة والغبار على أسطح البلاستيك والمطاط، ما يسبب الضرر الكيميائي لها، وبالتالي يشوّهها. ويمكن لجسيمات ملوثات الهواء العالقة أن تُحدث خدوشًا في البلاستيك، ما يسبب ضعفًا كبيرًا فيه، كما أن البلاستيك والمطاط عرضة أيضًا لتكوين طبقة لزجة.

تُسرّع ملوثات الغلاف الجويّ الحمضية مثل (SO_2) و (NO_x) من تحلّل المطاط والبلاستيك، خصوصًا في البيئات الرطبة حيث تختلط هذه الملوّثات مع الرطوبة لتكوين ماء حمضي. إضافة إلى ذلك، يمكن للأوزون الأرضي أن يسبّب أكسدة سريعة للبلاستيك والمطاط، وبالتالي إضعافهما. تستجيب أنواع البلاستيك بطرائق مختلفة مع الملوّثات، ومع ذلك، فإن الأدلة مثل التصدعات والشقوق (الصورة ٣-١٠) تشير إلى أن البلاستيك تعرض للتدهور بفعل الملوثات أو الأوزون أو التعرض للأشعة فوق البنفسجية.



الصورة ٣-١٠ تشقُّق في أغطية بلاستيكية، والتي ستتلف وتتكسر إلى قطع أصغر.

أسئلة

١. اشرح الفرق بين الترسيب الحمضي الرطب والترسيب الحمضي الجاف.

٢. صف تأثيرات الترسيب الحمضي على البيئة.

٣. اشرح تأثير الترسيب الحمضي على النباتات والأبنية.

٤. صف الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي، وكيفية تكوّنه.

٥. اذكر ثلاثة تأثيرات للضباب الدخاني الكيميائي الضوئي.

دراسة حالة ٣-١

جودة الهواء في سلطنة عُمان

يُسهم الهواء الملوّث في وفاة ملايين الأشخاص سنويًا في جميع أنحاء العالم. وتُعدّ الجسيمات العالقة التي يبلغ قطرها 2.5 µm أو أقل ($PM_{2.5}$) الأكثر ضررًا على الصحة؛ إذ تُسبب مشكلات تنفسية وأضرارًا في العين. تنص إرشادات منظمة الصحة العالمية (WHO) أنه يجب أن تكون القراءات السنوية لـ ($PM_{2.5}$) أقل 5 µg / m³ للحصول على «هواء نظيف». في عام 2021 م، ذكر تقرير جودة الهواء العالمي في منصة IQAir أن ثلاث دول فقط استوفت المعيار الذي وضعته (WHO)، وهي: بورتوريكو، وجزر العذراء الأمريكية US Virgin Islands وكاليدونيا الجديدة.

وقد سجل التقرير قراءة سنوية تبلغ 53.9 µg / m³ لسلطنة عُمان. تُعاني مدن مثل مسقط وصلالة مشكلة في انخفاض جودة الهواء باستمرار، لكنها ليست الوحيدة إذ إن 12% فقط من المناطق الحضرية حول العالم استوفت معايير جودة الهواء التي وضعتها (WHO) في عام 2021 م.

ويُمكن ربط مصادر الجسيمات العالقة مباشرة بحرق الوقود الأحفوري، والانبعاثات من الصناعة، وترميد النفايات، والبناء، والمركبات التي تعمل بالاحتراق الداخلي. كما يُؤثر الوضع البيئي في سلطنة عُمان بشكل إضافي في رفع مستويات الجسيمات العالقة؛ إذ تؤدي العواصف الرملية إلى انبعاثات ($PM_{2.5}$) أكثر مما ينتج بفعل الأنشطة البشرية.

(تابع)



الصورة ٣-١١ عاصفة رملية في سلطنة عُمان.

يأتي معظم الغبار في هذه العواصف من مصادر طبيعية، وبخاصة صحراء الربع الخالي، إلا أن بعضه ناتج من تدهور الأراضي والتطور الحضري.

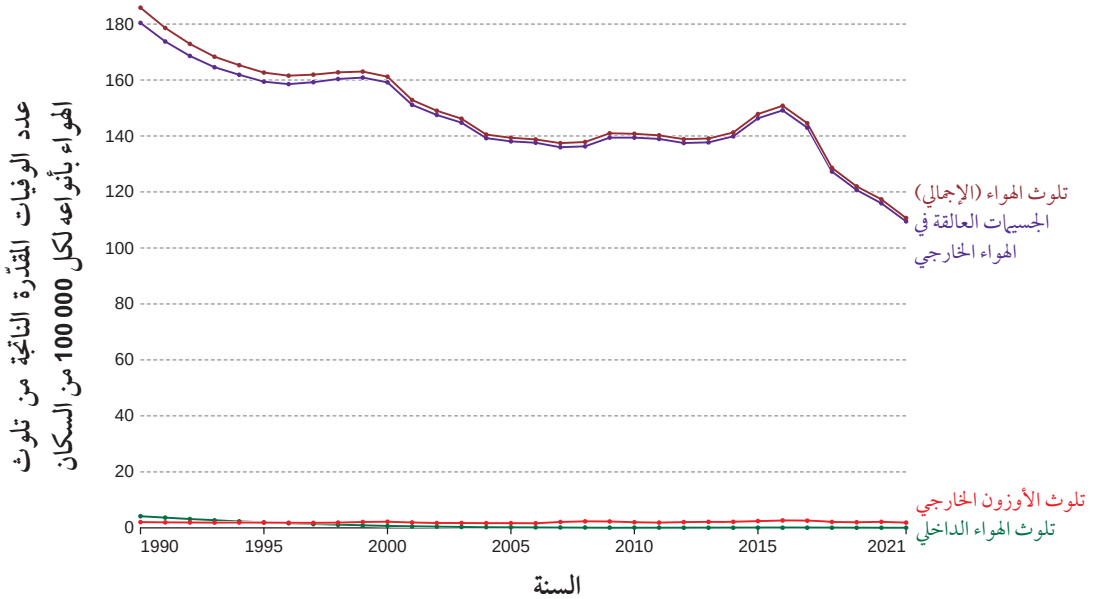
في يونيو 2021م حملت الرياح القوية الغبار القادم من وادي نهرَي دجلة والفرات (في العراق) إلى شبه الجزيرة العربية، مما أسهم في انخفاض جودة الهواء المسجل في تقرير 2021م (الصورة ٣-١١). وللأنشطة البشرية أيضًا تأثير؛ إذ تشهد ولاية صلالة، في محافظة ظفار، زيادة في السياحة خلال موسم الرياح الموسمية، ما يؤدي إلى ازدحامات مرورية شديدة وزيادة في مستويات تركيز (CO_2)، و (CO) و (NO_x).

على الرغم من انخفاض جودة الهواء نسبيًا، استطاعت سلطنة عُمان خفض عدد الوفيات الناجمة عن تلوّث الهواء بشكل كبير منذ عام 1990م، وذلك بفضل تحسّن الصحة والمعايير (الشكل ٣-٥).

إنّ تقليل الأنشطة البشرية التي تزيد من سوء جودة الهواء يُسهم أيضًا في تقليل المشكلات الصحية المرتبطة بالجسيمات العالقة؛ حيث تلتزم سلطنة عُمان بتحسين جودة الهواء لمواطنيها، لأن النظام الأساسي لسلطنة عُمان ينصّ على أن حماية البيئة ومنع التلوث مبدأ اجتماعيّ ومسؤولية الدولة.

حلول لتحديات جودة الهواء في سلطنة عُمان:

- مراقبة جودة الهواء: قامت هيئة البيئة في سلطنة عُمان بتزويد جميع محطّات رصد جودة الهواء التابعة لها بتقنيات الرصد الفورية، كما زادت عدد محطات الرصد في المناطق الصناعية، بحيث يمكن لعامة الناس في سلطنة عُمان استخدام مؤشر جودة الهواء للتحقق من جودة الهواء في منطقتهم.



الشكل ٣-٥ عدد الوفيات المقدّرة الناتجة من تلوث الهواء في سلطنة عُمان تُظهر انخفاضًا منذ التسعينيات.
ينتج تلوث الأوزون الخارجي من تكون الأوزون الأرضي نتيجة لتفاعل أكاسيد النيتروجين (NO_x) والمركّبات العضوية المتطايرة (VOCs) معًا، وهو أحد مكونات الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي.

(تابع)

- التنظيم والتشريع: تفرض هيئة البيئة على الشركات تنفيذ تدابير لتقليل تركيز الانبعاثات. وقد فرضت عقوبات صارمة على المصانع التي تطلق ملوثات بيئية تتجاوز الحد المسموح بها.
- الطاقة المتجددة: ستكون للعديد من المبادرات التي تشارك في تحقيق صافي انبعاثات صفري للكربون بحلول عام 2050م في سلطنة عُمان أيضًا تأثيرًا إيجابيًّا على جودة الهواء. لا ينتج من مصادر الطاقة المتجددة تلوُّثٌ في الهواء بقدر ما ينتج من احتراق الوقود الأحفوري عند توليد الكهرباء (على الرغم من أن بناء محطات الطاقة المتجددة قد يؤثر على جودة الهواء).
- تطوير شبكات النقل العام والدرّاجات الهوائية وتشجيع شراء المركَبات الحديثة والأكثر كفاءة، واستخدام الدراجات الهوائية والمركَبات الكهربائية.
- التثقيف والتوعية العامة يشجّعان على الممارسات التي تُسهم في تحسين جودة الهواء، مثل تقليل التنقل بالمركَبة وزراعة الأشجار.

أسئلة دراسة حالة

١. باستخدام المعلومات الواردة في الجدول المقابل، أجب عن الأسئلة التي تليه:

مركَبة قديمة	مركَبة جديدة
لكل 24 000 Km سيتم حرق 1890 L من الوقود	لكل 24 000 Km، سيتم حرق 1419 L من الوقود
على مدى سنة، سينبعث من المركَبة 4.35 طن CO_2	على مدى سنة سينبعث من المركَبة 3.25 طن من CO_2
المركَبات الأقدم تحتاج إلى المزيد من الصيانة، وقطع الغيار، وزيت المحرك. المركَبات من تسعينيات القرن الماضي أو ما قبلها تبعث كميات أكبر بكثير من الغازات مقارنة بالمركَبات الجديدة.	

أ. اشرح: لماذا تتسبب المركَبات القديمة بمشكلات تلوث هواء في المناطق الحضرية أكثر من المركَبات الجديدة؟

ب. احسب النسبة المئوية للتغير بين انبعاثات المركَبات القديمة والمركَبات الجديدة عند قطع 24 000 km.

٢. كيف يُسهم النقل العام وركوب الدراجات الهوائية في تقليل تلوث الهواء في المناطق الحضرية؟

٣. برأيك، ما هو أكبر تحدٍ تواجهه سلطنة عُمان في إدارة ورصد تلوث الغلاف الجوي؟

٣-٢ إدارة تلوث الهواء

استراتيجيات لإدارة تلوث الهواء

للسيطرة على تلوّث الهواء، لا بدّ من تحديد مصدر التلوّث، ثم تقليل التلوّث الناتج أو إزالته أو منع حدوثه. ويمكن القيام بذلك باستخدام مواد خام أو وقود أقل سمية. أو باستخدام تقنيات الحد من التلوث في الصناعة، أو عن طريق تحسين كفاءة الإنتاج في المصانع.

إن تلوّث الهواء لا يتوقف عند الحدود الجغرافية، بل قد ينتقل إلى مسافات بعيدة؛ لذا من الضروري اعتماد استراتيجيات محلية وإقليمية ووطنية ودولية لمكافحته وهذا يعني أن استراتيجيات تحسين جودة الهواء يجب أن تُدار على مستوى الحكومة لضمان وضع وتطبيق الضوابط على المستوى المحلي، وبالتالي على المستوى العالمي.

تقليل استخدام الوقود الأحفوري واعتماد الطاقة المتجددة

يُعدّ استخدام كميات أقل من الوقود الأحفوري إحدى أهم الاستراتيجيات المستخدَمة للسيطرة على تلوّث الغلاف الجوّي والترسيب الحمضي. ويتم تحقيق ذلك عن طريق تطوير مصادر طاقة متجددة وتقنيات أكثر كفاءة (الصورة ٣-١٢). تتطلب هذه الاستراتيجية طويلة الأمد زمنًا طويلًا لتنفيذها بشكل كامل؛ إذ ما زالت الكثير من العمليات اليومية تعتمد على حرق الوقود الأحفوري. ولا يكفي فقط الاعتماد على الانتقال إلى الطاقة النظيفة بشكل كامل، وإنما يجب أن يُدمَج مع تقنيات أخرى لتقليل التأثير المستمر الناتج من احتراق الوقود الأحفوري.



الصورة ٣-١٢ صورة جوية لمحطة عبري وهي إحدى أكبر محطات الطاقة الشمسية، في محافظة الظاهرة، سلطنة عُمان، أُقيمت على مساحة تبلغ نحو 13 مليون متر مربع، وتستخدم نحو 1.5 مليون لوح شمسي ثنائي الوجه لإنتاج الطاقة الشمسية النظيفة.



الصورة ٣-١٣ سيارة كهربائية تُشحن في محطة شحن عامة في برلين، ألمانيا.

يُشار غالبًا إلى الطاقة المتجددة على أنها طاقة نظيفة، يتم توليدها عن طريق استغلال المصادر الطبيعية التي تتجدد باستمرار مثل (الرياح، والمياه، والمد والجزر، وضوء الشمس) بحيث يمكن استخدامها بشكل مستدام.

إن إنتاج الطاقة المتجددة في توسّع، وأصبحت أكثر كفاءة من حيث التكلفة (تكلفة منخفضة مع عائد مرتفع) بفضل تطوير تقنيات جديدة. وبما أنه لا ينتج من استخدام مصادر الطاقة المتجددة انبعاثات، مثل (SO_2)، فإن ذلك يعني أن إنتاج الطاقة النظيفة لا يزيد من مشكلة الترسيب الحمضي، الأمر الذي يساعد في مكافحة تلوث الهواء.

المركَبات الكهربائية هي مثال آخر على التقنيات التي طُورت لتقليل استخدام الوقود الأحفوري (الصورة ٣-١٣). تُعدّ هذه التقنية أكثر فاعلية عندما تُشحن المركَبات من مصادر الطاقة المتجددة. إن توافر محطّات الشحن العامة يشجع الناس على شراء السيارات الكهربائية. وبما أنّ هذه المركَبات لا تحرق الوقود الأحفوري، فإنها لا تُنتج الكثير من الانبعاثات، الأمر الذي سينعكس إيجابًا على جودة الهواء في المدينة. ومع ذلك، فإن تصنيع المركَبات الجديدة والتخلّص من المركَبات القديمة له تأثير بيئي كبير.

تتبنى سلطنة عُمان السيارات الكهربائية ضمن جهودها لتحقيق الاستدامة وتقليل انبعاثات الكربون، مستهدفة إدخال 7000 سيارة بحلول عام 2030م. وتقدم الحكومة حوافز تشمل الإعفاءات الضريبية وتوسّع شبكة محطات الشحن، مع خطط لزيادة عدد هذه المحطات إلى 350 بحلول عام 2026م.

الحد من الانبعاثات

يُعدّ تنظيم الانبعاثات الصادرة عن المصانع أمرًا أساسيًا لتقليل تلوّث الغلاف الجوي، فعن طريق الحد من انبعاثات الكبريت وأكاسيد النيتروجين والجسيمات العالقة الصادرة عن الصناعات الملوِّثة بشكل كبير، يمكن وقف أو تقليل المشكلة من المصدر.

ويُمكن الحد من التلوّث من مصدره عن طريق عدد من التقنيات؛ فعلى سبيل المثال، يمكن تقليل انبعاثات الكبريت باستخدام الفحم منخفض الكبريت، أو غسل الفحم، أو عن طريق تركيب واستخدام تقنية «أجهزة تنقية الغازات» Scrubbers في المداخن Flues. ويمكن أيضًا تحويل محطات الطاقة من حرق الفحم إلى محطات تستخدم وقودًا منخفض الكبريت مثل الغاز الطبيعي أو مصادر الطاقة البديلة.

إزالة الكبريت من غاز المداخن

تعمل تقنية إزالة الكبريت من غاز المداخن Flue-gas desulfurisation (FGD) على إزالة (SO_2) من الغازات المنبعثة من المداخن الصناعية. ويُمكن لهذه الطريقة

أن تزيل ما يصل إلى 95% من (SO_2) من الغازات المنبعثة من الصناعة، الأمر الذي يساعد على تقليل الملوثات الداخلة إلى الغلاف الجوي.

إزالة الكبريت من الوقود

صمّمت طرائق إزالة الكبريت من الوقود Fuel desulferisation للتخلص من محتوى الكبريت من مصدر الوقود قبل حرقه، ومن هذه الطرائق:

- غسل الفحم Coal washing، وهو استخدام الماء ومواد كيميائية لإزالة الكبريت والشوائب من الفحم، وذلك لتقليل مستوى تلوث الهواء عند حرقه.
- الإزالة البيولوجية للكبريت Bio-desulfurisation؛ إذ تستخدم الكائنات الحية الدقيقة للتخلص من مركبات الكبريت من الوقود قبل حرقه.
- الوقود منخفض الكبريت Low-sulfur fuels، وهو وقود أحفوري يُستخدم في قطاع النقل. يتم تقليل كمية الكبريت قبل استخدام الوقود لتشغيل محرك المركَبة. ويقلل هذا من انبعاثات كل من: (NO_x)، و (CO) و (SO_2) في الهواء.

المحوّلات الحفّازة

المحوّلات الحفّازة Catalytic converters هي أجهزة توضع في محرّكات المركَبات، تُحوّل الغازات الضارة إلى مواد أقل ضررًا كيميائيًا، لتقليل تلوّث الهواء (الصورة ٣-١٤)،



الصورة ٣-١٤ محول حفاز يُظهر تركيبه الداخلي، والذي يشبه قرص العسل المصنوع من السيراميك، تحيطه طبقة من معادن تشكل طبقة حفازة تعمل على تفكيك غازات أكاسيد النيتروجين (NO_x) وتحويلها كيميائيًّا إلى نيتروجين وأكسجين.

واستحدثت لخفض انبعاثات (NO_x) من العادم في المركَبات. وقد أسهمت المحوّلات الحفّازة، بالاشتراك مع الوقود منخفض الكبريت والوقود الخالي من الرصاص في التقليل من تلوث الغلاف الجوي الناتج من المركَبات.

المرسّبات الكهروستاتيكية

المرسّبات الكهروستاتيكية Electrostatic precipitators هي أجهزة تستخدم شحنة كهربائية لإزالة الجسيمات العالقة (الجسيمات الصُّلبة وقُطيرات السوائل) من الغازات المنبعثة في دخان المصانع. يمكن استخدام المرسّبات لـ:

- إزالة رذاذ الزيوت النفطية في ورش الآلات الميكانيكية
- إزالة رذاذ الحمض في المصانع الكيميائية
- إزالة البكتيريا والفطريات في المرافق الطبية
- تنقية الهواء في أنظمة التكييف

يعمل المرسّب الكهروستاتيكي عن طريق تزويد الجسيمات العالقة التي يتم جمعها بشحنة كهربائية (عادة ما تكون سالبة)، فتنجذب هذه الجسيمات المشحونة إلى ألواح معدنية مشحونة بشحنة معاكسة (موجبة) لجمع الجسيمات العالقة داخل الجهاز. وتتم إزالة هذه الجسيمات عن طريق تنظيف الألواح منها عندما تتجمع بكميات كافية، ثم إعادة تدويرها أو التخلص منها.

غالبًا ما يكون ثمن هذه التكنولوجيا الجديدة مكلفًا جدًا بالنسبة إلى الدول ذات الدخل المنخفض (LICs) ويستهلك كميات كبيرة من المياه؛ لذا فمن الضروري تطوير آليات أكثر فاعلية من حيث التكلفة، تستخدم كمية ماء أقل.

المركّبات العضوية المتطايرة

المركّبات العضوية المتطايرة (VOCs) لها ضغط بخار عالٍ، ما يعني أنها تتبخر بسهولة، وقابليتها للذوبان في الماء منخفضة. تنبعث (VOCs) من بعض المواد الصلبة والسوائل على شكل غازات، ويسهُل تمييزها عادة لأنها تُصدر رائحة قوية (على سبيل المثال، رائحة النفط).



الصورة ٣-١٥ الطلاءات، شأنها شأن النفط أو الديزل، تحتوي على نسبة عالية من (VOCs). الكثير من الطلاءات الحديثة تحتوي على نسبة منخفضة من (VOCs).

تُستخدَم المنتجات التي تحتوي على مستويات عالية من (VOCs) بانتظام في المنازل، وتشمل الطلاءات (الصورة ٣-١٥)، ومزيلات الطلاءات، والمذيبات، ومواد حفظ الخشب، والبخاخات الهوائية، والمنظّفات، والمطهّرات، والوقود. وكذلك تُستخدم في التنظيف الجاف للملابس. لـ (VOCs) تأثيرات صحية قصيرة أو طويلة الأمد، تشمل الصداع، والغثيان، واضطراب الحركة، والسرطان، وضرر الكبد، والكلى، والجهاز العصبي المركزي.

وتشمل خطوات تقليل التعرض لـ (VOCs):

- زيادة التهوية عند استخدام المنتجات التي تحتوي على (VOCs).
- قراءة واتباع جميع المتطلبات والإرشادات الموجودة على ملصقات المنتجات.
- عدم تخزين الحاويات المفتوحة من المنتجات التي تحتوي على (VOCs).
- التخلّص من الحاويات الفارغة أو قليلة الاستخدام بأمان، وذلك باتباع إرشادات التخلّص الموجودة على الحاوية (كثير من المنتجات تحتاج إلى التخلص منها كنفايات خطرة).
- الاحتفاظ بها بعيدًا عن متناول الأطفال والحيوانات.
- شراء كميات محدودة، وعدم شراء أكثر مما هو مطلوب (لتجنب الحاجة إلى تخزين المنتج).
- تخزين منتجات (VOCs) بأمان، وبطريقة تمنع اختلاطها مع منتجات أخرى للحد من المخاطر.

التشريعات

التشريعات المحلية والإقليمية والدولية ضرورية من أجل إدارة تلوّث الغلاف الجوي وتأثيره، والمبدأ الأساسي لأي تشريع يتعلّق بتلوّث الغلاف الجوّي هو أن «الملوّث يجب أن يكون مسؤولًا»؛ وهذا ما يُعرف أيضًا بمبدأ «الملوّث يدفع» (الصورة ٣-١٦)، أي أن مسبّب التلوّث سواء أكان فردًا أو مُنشأة يجب أن يكون مسؤولًا عن تقليله أو منعه، ويجب عليهم تحّمل أي تكاليف مرتبطة بإصلاح الضرر الذي تم إحداثه.



الصورة ٣-١٦ وَضَعت الكثير من مناطق العالم رسومًا على الأكياس البلاستيكية. وهذا يعكس "مبدأ الملوّث يدفع" ويهدف إلى تقليل عدد الأكياس البلاستيكية التي يتم تصنيعها، والتي تنتهي في مرادم النفايات.

ومع ذلك، ما لم يكن مصدر التلوث سهل التحديد، فإنه من الصعب تحديد مصدر واحد لهذا التلوث. إن الاستخدام الواسع لمحطّات الطاقة بالفحم والمركَبات يعني أن مسؤولية وضع الضوابط لإدارة التلوث تقع غالبًا على عاتق الحكومات، وليس الأفراد، في العديد من الحالات.

بدأ التعاون الدولي لمكافحة تلوث الهواء والترسيب الحمضي في عام 1972م من خلال مؤتمر الأمم المتحدة حول البيئة البشرية في ستوكهولم، السويد. وفي عام 1979م، أُبرمت اتفاقية جنيف، وهي اتفاقية تلوث الهواء

عابر الحدود التي شكلت الإطار العام للسيطرة على الترسيب الحمضي وتقليل تلوّث الهواء في أوروبا. وكانت هذه الاتفاقية أولى الاتفاقيات التي تنصّ على التقليل من تلوّث الهواء وإدارته على أساس إقليمي. ثم عُدّلت هذه الاتفاقية عدة مرات بعد إبرامها.

وفي الولايات المتحدة، ساهم قانون الهواء النظيف لعام 1970م والتعديلات التي أُدخلت على هذا القانون في عام 1990م على تطوير اتفاقية بين الولايات المتحدة وكندا تهدف إلى تقليل الملوثات الشائعة في الهواء وخفض الترسيب الحمضي، ومع ذلك، لم يتم توثيق الاتفاقية حتى عام 1991م. وقد وضعت هذه الاتفاقية حدودًا دائمة لانبعاثات (SO_2) وانبثق منها إرشادات لتقليل انبعاثات (NO_x). أدت هذه الاتفاقية إلى تقليل انبعاثات (SO_2) بنسبة 88% بين عامَي 1990 و 2017م. وانخفضت انبعاثات (NO_x) بنسبة 50% خلال هذه الفترة.

وأدّت اتفاقيات كل من أوروبا والولايات المتحدة إلى تقليل الترسيب الحمضي في أوروبا وأمريكا الشمالية إلى حدٍّ كبير. على المستوى الوطني، يمكن للدول إصدار قوانين وتنظيمات لمنع تلوث الهواء. فلدى سلطنة عُمان «قانون حماية البيئة ومنع التلوّث» الذي يشمل التشريعات المتعلقة بإطلاق الملوّثات البيئية في الهواء والبحر. يُلزم هذا القانون الشركات بتقليل النفايات من المصدر واستخدام تقنيات لمنع التلوّث. ويُمكن فرض غرامات إذا فشلت الشركات في الامتثال لهذه التشريعات.

وتُعد مدينة لندن نموذجًا في إدارة عدد المركَبات وتخفيف التلوث من خلال تطبيق نظام رسوم الازدحام المروري (الصورة ٣-١٧). تم تطبيق هذا النظام في عام 2003م، حيث يُطلب من السائقين دفع رسوم عند دخولهم إلى منطقة الازدحام بين الساعة 7 صباحًا و 6 مساءً من يوم الإثنين إلى يوم الجمعة، وبين الساعة 12 ظهرًا و 6 مساءً خلال يومي السبت والأحد والعطلات الرسمية.

بالإضافة إلى ذلك، يوجد في لندن منطقة انبعاثات منخفضة جدًا (ULEZ)، والتي تتطلب من المركَبات القديمة، الأكثر تلويثًا، دفع رسوم للدخول إليها. معظم المركَبات التي تم تصنيعها بعد عام 2011م تفي بمعايير الانبعاثات، وبالتالي لا يترتّب عليها دفع هذه الرسوم.

يساعد هذا النظام في تقليل عدد المركَبات على الطرق، ما يؤدي إلى انخفاض مستويات تلوث الهواء. ومن الجدير بالذكر أن نجاح هذا النظام يعتمد على توفر نظام نقل عام متطور وبتكلفة معقولة، فيمنح السكان خيارًا بدفع الرسوم أو استخدام وسائل النقل العام كبديل أقل تكلفة.

وعلى المستوى المحلي في سلطنة عُمان ولمعالجة مشكلة الازدحام المروري، يمكن تحسين وتوسيع شبكات النقل العام لتكون أكثر راحة وكفاءة، ما يشجع السكان على استخدامها بدلًا من الاعتماد على المركَبات الخاصة. كما يمكن تطوير مسارات مظللة وآمنة للمشاة والدراجات الهوائية، مع مراعاة طبيعة الطقس الحار بتوفير مظلات ومحطات انتظار مكيفة.

بالإضافة إلى ذلك، يُمكن تطبيق نظام العمل المرن أو العمل عن بُعد في المؤسسات الحكومية والخاصة، بحيث يتم توزيع أوقات بدء وانتهاء العمل لتخفيف الضغط على الطرق خلال أوقات الذروة. كما أن إدارة حركة المرور من خلال تطوير أنظمة الإشارات الذكية وتوسيع الطرق في المناطق الأكثر ازدحامًا سيسهمان أيضًا في تسهيل الحركة وتقليل الازدحام.



الصورة ٣-١٧ تُشير علامات موضوعة على الطرق في لندن إلى السائقين أنهم يدخلون منطقة فرض رسوم الازدحام المروري، وسيتم تحصيل رسوم مقابل الوصول إلى هذه المنطقة.

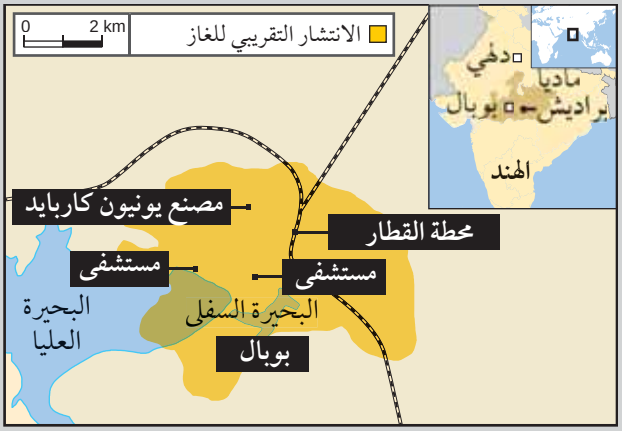
دراسة حالة موسعة

كارثة تلوّث الغلاف الجوّي

في عام 1969م، بُني مصنع للمواد الكيميائية في الهند تابع لشركة يونيون كارباید في بوبال لإنتاج مبيد آفات يُعرف باسم سيفين Sevin. ومع حلول عام 1976م، بدأت النقابات العمالية تشكو التلوث المرتبط بالمصنع، إلى أن توفي عامل جراء استنشاق غاز سام عن طريق الخطأ بعد بضع سنوات. وبعد تحذيرات من أن المصنع يشكّل خطرًا كبيرًا وقعت حادثة أخرى في عام 1982م، نقل إثرها نحو 45 عاملًا إلى المستشفى بعد تعرضهم لغاز فوسجين Phosgene gas. وبين عامَي 1983 و 1984م سُجّلت ثلاث حالات أخرى لتسرب الغاز السام.

يوم الحادثة

في 3 ديسمبر عام 1984م، تسرّب أكثر من 40 طنًا من غاز إيزوسيانات الميثيل (MIC) من مصنع للمبيدات الحشرية في مدينة بوبال في الهند، تُستخدم مادة (MIC) كمادة كيميائية وسطية لانتاج المبيد، توفي ما لا يقل عن 3800 شخص على الفور ولقي آلاف آخرون حتفهم في وقت لاحق بسبب الآثار الصحية الكارثية. وأصيب أكثر من 600 000 عامل. وأصبح هذا الحدث يعرف باسم كارثة بوبال (الشكل ٣ ٦) .



الشكل ٣-٦ خريطة لمنطقة بوبال في الهند، تُظهر المنطقة المتأثرة بتسرب الغاز.

سبب كارثة بوبال

في يوم الحادث، فَشل أحد الخزانات الذي كان يحتوي على غاز (MIC) في احتواء مكوناته. كانت لوائح الأمان تنصّ على أنه يجب عدم ملء خزانات التخزين لأكثر من 50% من سعتها وأنه يجب الحفاظ على الخزانات مضغوطة بغاز النيتروجين، الأمر الذي يعني أنه يمكن ضخّ (MIC) خارج الخزانات عند الحاجة. ومع ذلك، فقدَ أحد الخزانات قدرته على احتواء ضغط غاز النيتروجين، ونتيجة لذلك، تم ملء الخزان إلى نحو 75% من سعته. وقد أدى هذا الفشل إلى إيقاف إنتاج (MIC) أثناء محاولة إصلاح الخزان. والتي باءت بالفشل وتعطّلت أنظمة الأمان الأخرى. وفي 2 ديسمبر، دخلت المياه إلى الخزان المعطّل، وحدث تفاعل كيميائي وارتفع الضغط بسرعة داخل الخزان، ما أدى إلى تسرب (MIC) من الخزان وانتقاله إلى الغلاف الجوي.

كان هذا المصنع مرتبطًا بـ - **شركة عابرة للحدود (Transnational corporation-TNC)** مقرها في دولة ذات دخل مرتفع (HIC). غالبًا ما تكون لـ (HICs) ضوابط أكثر صرامة للصحة والسلامة مقارنة بالدول ذات الدخل المنخفض (LICs). إلا أن الشركات العابرة للحدود قد تطبّق متطلبات تنظيمية أقل عند إدارة مصنع في دولة ذات دخل منخفض، وقد تكون التدابير الأمنية الاحترازية المعمول بها أقل صرامة، الأمر الذي يزيد من خطر وقوع كارثة. في أعقاب كارثة بوبال، وُجهت اتهامات بخصوص دور الشركة العابرة للحدود، إلا أنه لم يثبت قانونيًا أن شركة (TNC) مسؤولة عن الحادث.

مصطلحات علمية

*شركة عابرة للحدود Transnational corporation (TNC)

هي شركة لها مقر رئيسي في بلد واحد، والعديد من الفروع أو المكاتب في بلدان أخرى. تعمل عبر الحدود الدولية.

تأثيرات كارثة بوبال

في المنطقة التي تعرّض فيها الناس للسموم، توفي أكثر من 15,000 شخص، وتأثر أكثر من 600,000 عامل بالكارثة. وارتفع معدل ولادات الأجنّة الميتة ومعدل وفيات الأطفال حديثي الولادة بما يصل إلى 300% و 200% على التوالي. لقد أدى حدث التلوث إلى مرض

(تابع)

أصبح يُعرف باسم مرض غاز بوبال الذي تسبب بالوخز، وآلام العضلات.

كما تأثرت البيئة الطبيعية أيضًا بالحدث، ففي غضون يومَين، فقدت الأشجار القريبة من موقع الحادثة جميع أوراقها، ونفق أكثر من 2000 حيوان من المواشي وكان لا بد من التخلص من جيفها. وامتصت مسطحات المياه المحلية الغاز الثقيل، ما جعل هذا الماء غير آمن للشرب، وأدى إلى تسميم الحياة المائية.

حلول لكارثة بوبال

لم يكن معروفًا الكثير عن السُّم، إلا أنه من المعروف أنه يتفاعل مع الماء عند درجات حرارة عالية ليطلق ما يصل إلى 300 مادة كيميائية سامة جدًا. وقد أدى عدم معرفة ما يحتويه الغاز بالضبط إلى عدم تأكد الطاقم الطبي من نوع العلاج المناسب الذي يجب أن يُعطى للمصابين، إضافة إلى عدم تمكّن الطاقم الطبي من العمل بأمان في المنطقة؛ إذ لم يكونوا يعرفون كيفية حماية أنفسهم من السموم.

لم يكن المجلس الهندي للبحوث الطبية قادرًا على تحديد السُّم الذي كان يسبّب مرض غاز بوبال حتى عام 2014 م. وأشارت دراسات مستقلة إلى أن مشاكل صحية خطرة مثل مرض السرطان وتشوهات الولادة ما زالت تحدث في السكان. وبسبب عدم وجود دراسة طبية للأمراض، من السهل تجاهل الأمراض التي تصيب السكان واعتبارها مرتبطة بالفقر ونقص خدمات الصرف الصحي.

دفعت الشركة الأم في النهاية 470 مليون دولار أمريكي في عام 1989م تعويضًا للعائلات التي عانت بسبب الكارثة. وفي المقابل، تم إسقاط جميع القضايا المدنية والجنائية ضد الشركة.

إن تلوث المياه السطحية ومخازن المياه الجوفية بـ (MIC) يعني أن الجيل الثاني والثالث من الأشخاص الذين يعيشون في المنطقة لا يزالون يعانون آثار الكارثة. مؤخرًا لذا تم التعامل مع مسألة إزالة التلوث، وذلك بهدف إزالة النفايات السامة المتبقية في المصنع (الصورة ٣-١٨) والتخلُّص منها بأمان.



الصورة ٣-١٨ خزانات تعرضت للصدأ داخل مجمع مصنع يونيون كارباید المهجور. شهدت السنوات التي تلت الكارثة تحلّل البنية التحتية المتبقية.

كانت للكارثة تأثيرات تتجاوز بكثير بيئة المنطقة التي حدث فيها التسرب وسكانها. وقد أدى الوعي المتزايد بالحوادث الصناعية إلى تغيير عالمي في الطريقة التي يتم بها تنفيذ إدارة المواد الكيميائية والنفايات الخطرة. كما تم تشديد التشريعات لمنع تكرار كارثة مماثلة.

سُنّت قوانين حماية البيئة لمنح السلطة للهيئات المركزية في اتخاذ القرارات، وبات لدى السلطات القدرة على وضع قواعد ولوائح ومعايير التلوث للنفايات الخطرة. وعلى الرغم من أن التخلّص من آثار كارثة بوبال لم يتم بعد، إلا أنها حدّت من تقليل خطر حدوث مثل هذه الكارثة مرة أخرى.

أسئلة دراسة حالة موسّعة

١. الشركة العابرة للحدود (TNC) هي شركة لها مقر رئيسي في بلد واحد، والعديد من المكاتب في بلدان أخرى.

اشرح كيف يمكن لتطبيق أنظمة وتعليمات ولوائح بيئية وصحية وأمنية مقبولة عالميًا أن يحد من خطر حدوث كارثة مثل هذه.

٢. اقترح ما يمكن عمله بشكل مختلف لمنع حدوث أمر كهذا.

٣. فكّر في المشكلات التي يسببّها إخفاء معلومات عن المواد الكيميائية في حال حدوث تسرّب لها.

(تابع)

مشروع دراسة حالة موسعة

اعمل، بالتعاون مع زميلك أو في مجموعات صغيرة، للبحث في تقويم ميلادي لكارثة بوبال. سجّل التواريخ الرئيسية والأحداث التي وقعت في تلك التواريخ.

- فكّر في الأحداث التي وقعت قبل اليوم الذي حدثت فيه كارثة بوبال.
- قد يقدّم التقويم الميلادي تفاصيل زمنية أكثر تحديدًا في ذلك اليوم الذي وقعت فيه الحادثة.
- فكّر في الأحداث التي وقعت بعد كارثة بوبال.
- اكتب ملاحظات مختصرة عن كل تاريخ و/أو زمن ضمّنته في الخط الزمني لكارثة بوبال.

صمم تقويمًا ميلاديًا موضحًا لكارثة بوبال. يجب أن يكون واضحًا وغنيًّا بالمعلومات، بحيث يمكن لأي زميل آخر يطلّع عليه أن يفهم بوضوح الأحداث التي جرت خلال الأيام والأسابيع والسنوات المتعلقة بالحدث.

أسئلة

٦ أعطِ **أربع** استخدامات للمرسّبات الكهروستاتيكية.

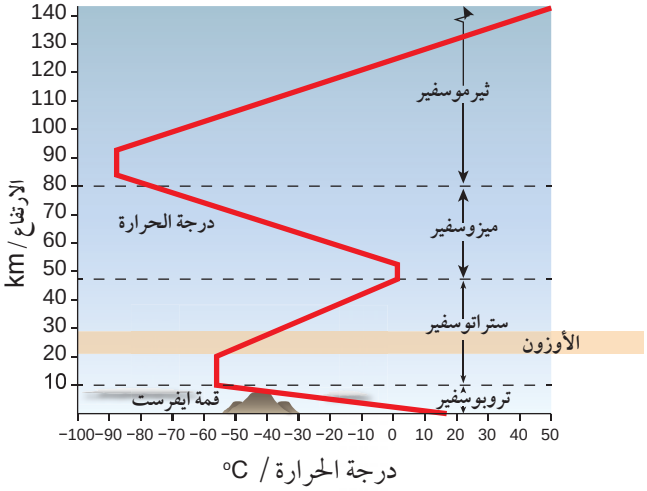
٧ كيف يُسهم تقليل استخدام الوقود الأحفوري في إدارة تلوّث الغلاف الجويّ؟

٨ صف ثلاثة إجراءات يمكن اتخاذها لتقليل تأثيرات (VOCs).

٩ اشرح بإيجاز التحدّيات المتعلقة بإدارة تلوّث الغلاف الجوي على المستوى العالمي.

٣-٣ استنفاد الأوزون

نحو 90% من أوزون (O_3) الغلاف الجوّي للأرض يوجد في الستراتوسفير (الشكل ٣-٧)، حيث يشكل هذا طبقة أكثر تركيزًا من أي مكان آخر في الغلاف الجوّي. يتم قياس التركيز الإجمالي للأوزون في الغلاف الجوّي بوحدة دوبسون Dobson units. تعادل وحدة دوبسون طبقة من الأوزون النقي بسُمك 0.01 mm عند درجة حرارة وضغط قياسيَّين. يُعدّ عمود الأوزون الذي يقل قياسه عن 220 وحدة دوبسون منطقة استنفاد للأوزون، في حين يشير قياس أقل من 100 وحدة دوبسون إلى وجود ثقب في طبقة الأوزون.



الشكل ٣-٧ تركيب الغلاف الجوي للأرض، متضمنًا التغيرات في درجات الحرارة مع الارتفاع.

أسباب استنفاد الأوزون

السبب الرئيسي لاستنفاد الأوزون وحدوث الثقب (الترقق) في طبقة الأوزون هو النشاط البشري المتمثّل في تصنيع المواد الكيميائية المعروفة باسم مركبات الكلوروفلوروكربونات (Chlorofluorocarbons-CFCs). لقد استُخدمت هذه المواد حتى أواخر الثمانينيات على نطاق واسع في الثلاجات، والمذيبات، وعبوات الهباء المضغوط (الصورة ٣ ١٩)، والعوامل الكيميائية المستخدمة في تشكيل الرغوة.

إن الكلوروفلوروكربونات هي مركبات غير متفاعلة ومستقرّة في الطبقة الدنيا من الغلاف الجوي، المعروفة باسم التروبوسفير.



الصورة ٣-١٩ كانت عبوات الهباء المضغوط تستخدم مركّبات (CFCs) كمادة دافعة. عبوات الهباء الحديثة لا تستخدم مركّبات (CFCs).

يمكن لمركّبات (CFCs) أن تبقى في التروبوسفير إلى أجل غير مسمّى لأنها لا تتحلل. ولكن، عندما تنتقل إلى الستراتوسفير، فإنها تتعرض للأشعة فوق البنفسجية التي تعمل على تكسير جزيئات (CFCs)، فتنتج ذرات الكلور. يتفكك الأوزون (O_3) بسرعة بواسطة ذرات الكلور لتكوين أحادي أكسيد الكلور (ClO) والأكسجين (O_2).

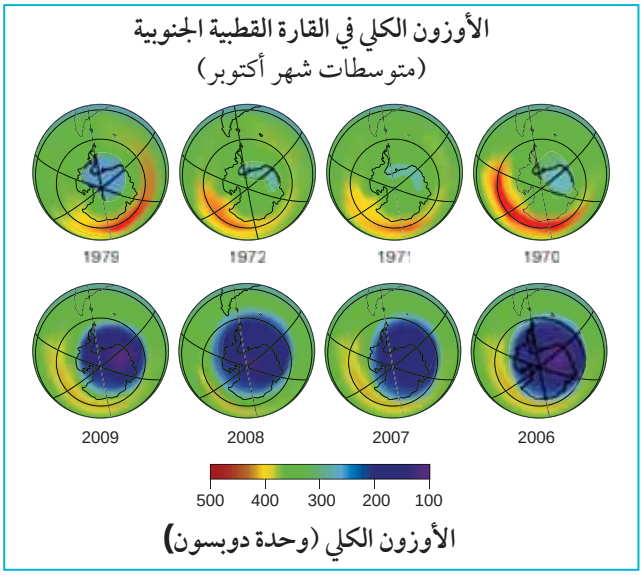
$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$$

يتجدّد الأوزون بشكل طبيعي في الستراتوسفير. ومع ذلك، فإن معدل استنفاده بسبب تأثير مركبات (CFCs) أكبر من معدل قدرته على التجدد، لأن ذرات الكلور تبقى في الستراتوسفير. يُمكن لأحادي أكسيد الكلور الذي يتشكّل في التفاعل أعلاه أن يتفكك مرة أخرى لإطلاق ذرات الكلور، التي تتفاعل مع المزيد من الأوزون. وجود جزيئات مثل الميثان (CH_4) التي تفكك الأوزون بشكل طبيعي في الغلاف الجوي، إلى جانب قدرة طبقة الأوزون على التعافي طبيعيًا من هذا الضرر، يشير إلى إمكانية تعافيها إذا توقف إنتاج مركبات (CFCs).

استنفاد الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية

في أوائل الثمانينيات، حدّد العلماء الضرر الذي لحق بطبقة الأوزون بسبب مركّبات (CFCs) إذ تكوّن ثقب في طبقة الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية Antarctica وتم تحديد المزيد من استنفاد الأوزون عند خطوط العرض المتوسطة (الشكل ٣ ٨). أثارَ هذا الاكتشاف قلقًا كبيرًا. ونتيجة لذلك، حثّ العلماءُ السياسيين على وضع أنظمة وقوانين عالمية للسيطرة على استخدام مركبات (CFCs).

توجد المواد المستنفدة للأوزون في جميع أنحاء الستراتوسفير؛ لأنها تُنقل لمسافات طويلة بواسطة الرياح في الغلاف الجوّي. وحدث الثقب في طبقة الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية بسبب الظروف الجوية الخاصة بذلك الجزء من الكوكب (الصورة ٣ ٢٠).



الشكل ٣-٨ استنفاد الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية. يُشير اللون الأزرق إلى تركيز منخفض (طبقة رقيقة) من الأوزون ويُشير اللون الأحمر إلى تركيز أعلى (طبقة أسمك). وفي عام 2006 م بلغ الثقب فيه أقصى حجم له وأقل سماكة كما هو موضح بالمنطقة الأرجوانية من الثقب، ثمّ استقر، إلى أن بدأ بالتعافي.

فدرجات الحرارة المنخفضة جدًا عند مستويات مختلفة في الستراتوسفير فوق منطقة واسعة من القارة القطبية الجنوبية، ولفترة زمنية طويلة في الشتاء، تؤدي إلى تكوين **السحب الستراتوسفيرية القطبية (PSCs) Polar stratospheric clouds**. حيث تسمح درجات الحرارة المنخفضة والرطوبة على ارتفاعات عالية بتكوّن (PSCs) السائلة والصلبة. تعمل التفاعلات الكيميائية على سطح السوائل والمواد الصلبة على وفرة الكلور النشط (غاز الكلور)،

الذي يتفاعل مع الأوزون، مسببًا تكوّن **ثقب الأوزون Ozone hole** فوق القارة القطبية الجنوبية في أواخر الشتاء وأوائل الربيع.



الصورة ٣-٢٠ سُحب عالية في سماء القارة القطبية الجنوبية خلال الصيف، ما يزيد من معدل استنفاد الأوزون في الغلاف الجوي فوق القارة القطبية الجنوبية.

تتفاقم المشكلة أكثر بسبب حقيقة أن الهواء الستراتوسفيري في منطقة القارة القطبية الجنوبية معزول نسبيًا عن مناطق ستراتوسفيرية أخرى لفترة طويلة من الزمن. ويعود سبب ذلك إلى الرياح التي تُحيط بالقطب أثناء أشهر الشتاء، الذي بدوره يُشكّل **دوامة قطبية Polar vortex**. تمنع هذه الدوامة القطبية اختلاط الهواء فوق القارة القطبية الجنوبية بالهواء خارج هذه المنطقة. لذا، بمجرد وجود غازات الكلور في هذه المنطقة أثناء الشتاء، فإنها تبقى لمدة زمنية طويلة، ما يتسبّب بالضرر المستمر لطبقة الأوزون الستراتوسفيرية.

مصطلحات علمية

ثقب الأوزون Ozone hole: منطقة يكون فيها متوسط تركيز الأوزون أقل من 100 وحدة دوبسون.

السحب الستراتوسفيرية القطبية (PSCs) Polar stratospheric clouds: هي السحب التي تتشكل في فصل الشتاء على ارتفاعات تتراوح بين 15000 متر و 25000 متر. تتكوّن إحدى أنواع (PSCs) الرئيسية في الغالب من قطرات الماء الباردة جدًا وحمض النيتريك.

الدوامة القطبية Polar vortex: نظام من الهواء البارد جدًا وضغط منخفض دوار واسع النطاق وطويل الأمد يقع فوق القطبَين الشمالي والجنوبي. يضعف في الصيف ويقوى في الشتاء.

الساد Cataract: إعتام عدسة العين (النزول الأبيض).

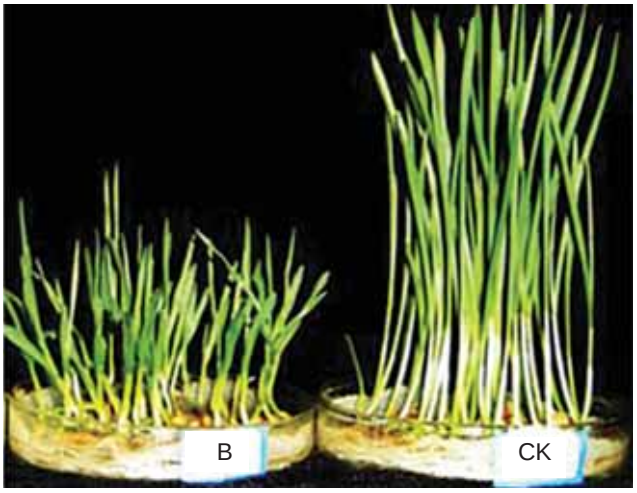
تأثيرات استنفاد الأوزون

يمتص الأوزون الأشعة فوق البنفسجية (UV) من الشمس، ما يمنعها من الوصول إلى الطبقة السفلى من الغلاف الجوي. يؤدي استنفاد طبقة الأوزون إلى زيادة كمية الأشعة فوق البنفسجية التي تصل إلى سطح الأرض. وقد أظهرت الدراسات على البشر أن هذا النوع من الأشعة قد يسبب أضرارًا مثل سرطان الجلد، وتثبيط جهاز المناعة، وتكوّن **الساد Cataract** (الصورة ٣-٢١).

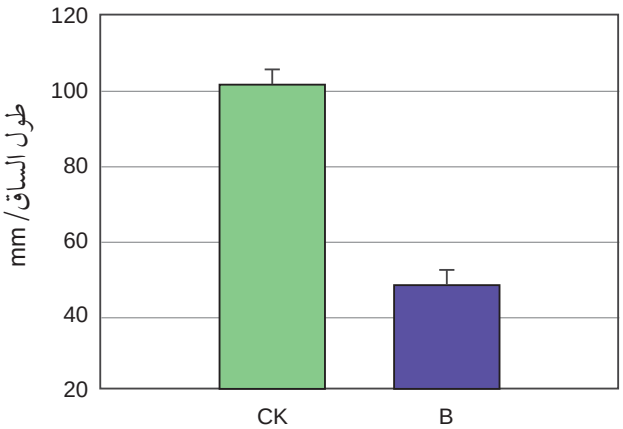
تؤثر الأشعة فوق البنفسجية مباشرة على نمو النباتات، وعلى كيفية تكوينها واستخدامها لمغذياتها. إن لهذه التغييرات تبعات مهمة على القدرة التنافسية للنباتات، ومقاومتها للأمراض، وصمودها في المناخ العالمي المتغير (الصورة ٣-٢٢ والشكل ٣-٩).



الصورة ٣-٢١ أضرار الجلد الناتجة من التعرض للأشعة فوق البنفسجية، والتي تزيد من حدوث حروق الشمس وسرطان الجلد في البشر.



الصورة ٣-٢٢ تقزم نمو النباتات بسبب المستويات العالية من الأشعة فوق البنفسجية. يُظهر الطبق البتري (CK) نمو نبات تحت ظروف الإضاءة العادية، ويُظهر الطبق الثاني (B) نمو نبات مع تعريضه المتزايد للأشعة فوق البنفسجية.



الشكل ٣-٩ النباتات في طبق بتري (B) تعرضت لمعدلات أعلى من الأشعة فوق البنفسجية مقارنة بالنباتات في طبق بتري (CK) تحت ظروف الإضاءة العادية.

يؤثر الضرر الذي يلحق بنمو النبات مباشرة على البشر؛ إذ يؤدي إلى انخفاض في إنتاج المحاصيل.

إن لتلف النباتات تأثيرات مباشرة على صحة المواطن البيئية والتنوع البيولوجي. فعند فقدان الغطاء النباتي الصحي، تتراجع أو تختفي المواطن البيئية للكائنات الحية التي تعتمد عليه.

الكائنات البحرية أيضًا تتأثر باستنفاد طبقة الأوزون. فالعوالق النباتية تشكل أساس الشبكات الغذائية البحرية، وتؤدي دورًا مهمًا في التنوع البيولوجي البحري. ثمة أدلة على وجود علاقة مباشرة بين زيادة معدلات الأشعة فوق البنفسجية وانخفاض أعداد العوالق النباتية. كما أن للأشعة فوق البنفسجية تأثيرًا سلبيًا على المراحل المبكرة من نمو العديد من الكائنات البحرية.

تتأثر العديد من المواد المستخدمة تجاريًا (سواء الاصطناعية أو الطبيعية) سلبًا بالأشعة فوق البنفسجية، وقد تفقد هذه المواد قوتها، فتصبح أقل مرونة، وتتشقّق وتتفتت. وعند تعرض مواد تصنيع الملابس، ومواد البناء مثل السيليكون وبعض أنواع الزجاج للأشعة فوق البنفسجية فإنها تتكسر، ما يقلل من فاعليتها في الاستخدامات الخارجية.

تأثير بدائل مركبات (CFCs)

كان لمركبات (CFCs) الدور المهم في مجموعة واسعة من التطبيقات الصناعية. وشملت هذه التطبيقات التبريد، والمكيفات الهوائية، وتنظيف الإلكترونيات، وحتى مكافحة الحرائق (الرغوات Foams). ولحماية هذه الصناعات والحفاظ عليها، كان من الضروري إيجاد مواد كيميائية بديلة تؤدي الوظيفة نفسها من دون إحداث التأثيرات البيئية المعروفة (الصورة ٣-٢٣).

المواد الكيميائية البديلة هي مركبات هيدروكلوروفلوروكربونات (HCFCs)، وهيدروفلوروكربونات (HFCs) والتي تعرف أيضًا بالغازات المفلورة (الغازات-F) Fluorinated gases.

تم استخدام مركبات (HCFCs) كمواد مبرّدة، في حين كانت الصناعة تتخلى تدريجيًا عن استخدام (CFCs)، إذ إن (HCFCs) تحتوي على الهيدروجين، وهي ليست مستقرة مثل (CFCs) فتتفكك بشكل أسرع في الغلاف الجوّي. وعلى الرغم من أنها لا تزال تؤثر على طبقة الأوزون، إلا أن تأثيرها أقل من تأثير (CFCs)، إضافة إلى أنها، كغازات دفيئة، تُسهم بشكل أقل في الاحترار العالمي مقارنةً بمركبات (CFCs).



الصورة ٣-٢٣ منتجات صديقة للأوزون خالية من المواد الكيميائية الضارة.

الغازات – F هي غازات مصنّعة تُستخدم غالبًا بدلًا من المواد المستنفدة للأوزون لأنها لا تضر بطبقة الأوزون. ومع ذلك، فإن الغازات المفلورة هي غازات دفيئة قوية، ويمكنها التسبب بالاحترار العالمي بشكل كبير؛ بمقدار يفوق تأثير (CO_2) بـ 23000 مرة. تثير الزيادة السريعة في استخدام الغازات المفلورة القلق لأنها قد تزيد تأثير احترار الغلاف الجوّي الذي يشهد بالفعل ارتفاعًا مستمرًا في درجات الحرارة.

وقد تضاعفت انبعاثات الغازات المفلورة بين عامَي (1990 و 2014) م في الاتحاد الأوروبي، في حين تم تقليل انبعاثات غازات الدفيئة الأخرى.

فرضية تدمير الأوزون

بدأت فرضية تدمير الأوزون على شكل تخمين مبني على الملاحظة والمعرفة. ولتكون الفرضية ذات قيمة، يجب أن تكون قابلة للاختبار. الفرضية الجيدة يمكن اختبارها واحتمال إثبات خطئها. ويجب أن ينتج من أي استقصاء علمي للفرضية معلومات مفيدة وموثوقة.

يُعدّ فشل دعم فرضية ما أمرًا شائعًا في العلوم. ومع ذلك، فإن الفرضيات التي لا تدعمها البيانات العلمية تسبب مشكلة عند محاولة إقناع الآخرين بأهميتها، مثل استنفاد الأوزون أو تغير المناخ. قد يسبب ذلك شكوكًا طويلة الأمد في نتائج علمية حقيقية.

فرضية تدمير الأوزون لرولاند ومولينا

في عام 1974م، كان شيروود رولاند Sherwood Rowland وماريو مولينا Mario Molina أول من اكتشفا أن طبقة الأوزون في الغلاف الجوي للأرض يمكن أن تُستنفد بواسطة مركبات (CFCs) (الصورة ٣-٢٤). وقد اقترحا أن مركبات (CFCs) طويلة الأمد قد تصل إلى الستراتوسفير حيث يتم تفككها بواسطة الأشعة فوق البنفسجية، ما يؤدي إلى إطلاق ذرات الكلور. وقد كانت فرضيتهما أن طبقة الأوزون الواقية للأرض تتضرر بواسطة المواد الكيميائية الاصطناعية المسماة (CFCs).



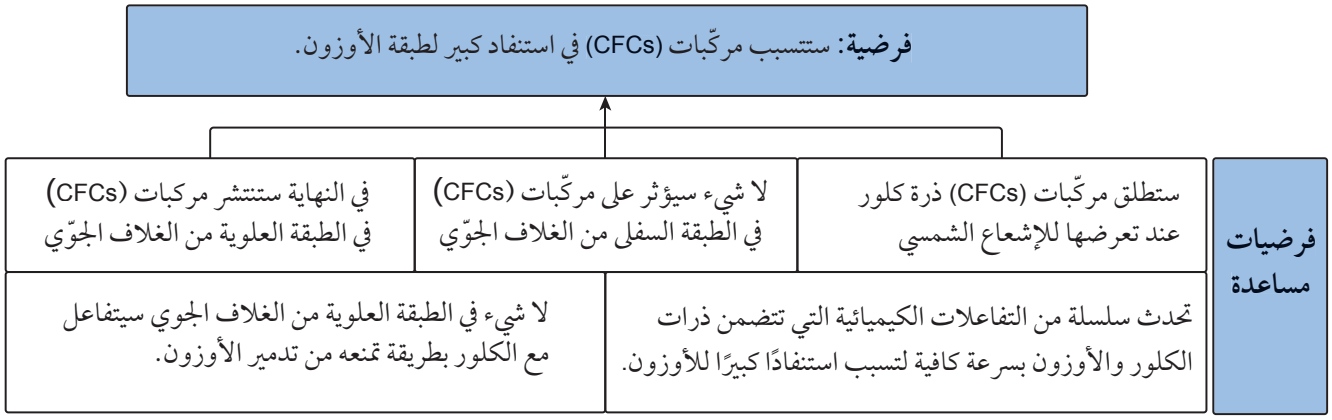
الصورة ٣-٢٤ تم منح رولاند ومولينا جزءًا من جائزة نوبل في الكيمياء لعام 1995 م وذلك بمقدار الثلث لكل منهما عن أبحاثهما المتعلقة باستنفاد طبقة الأوزون، بالإضافة إلى عالم ثالث، كروتزن Crutzen .

كان الاختراق الذي أدى إلى صياغة هذه الفرضية استثنائيًا. عادةً ما تكون الفرضيات الجديدة مبنية على أدلة جديدة مهمة. ومع ذلك، في هذه الحالة لم يعمل رولاند ومولينا على إجراء تجارب لجمع معلومات وبيانات جديدة، وإنما جمعا المعلومات المتوافرة عن التفاعلات الكيميائية والعمليات التي تحدث في الغلاف الجوّي. ثم استخدما هذه المعلومات ليظهر أن جميع العوامل مجتمعة تشكّل تهديدًا بيئيًا.

يوضح الشكل ٣-١٠ الفرضيات المساعدة hypotheses Auxiliary التي استندت إليها فرضية رولاند ومولينا. وقد كانت إحدى فرضياتهما المساعدة تتعلق بسرعة تفاعل الكلور مع جزيئات الأوزون، وفي حال ثبت خطأ إحدى هذه الفرضيات المساعدة، فإن فرضية رولاند ومولينا ستكون خاطئة أيضًا.

وقد قوبلت فرضيتهما في الأصل بمعارضة شديدة من قطاع الصناعة، لأنها لم تكن مدعومة ببيانات علمية.

ومع ذلك، قام العلماء بدراسة الظاهرة وإجراء مزيد من الاستقصاءات، وقدموا بيانات موثوقة حول كيفية تدمير طبقة الأوزون نتيجة التفاعل الكيميائي بين مركبات (CFCs) وجزيئات الأوزون.



الشكل ٣-١٠ بُنيت فرضية رولاند ومولينا على عدّة فرضيات مساعدة.

وقد أظهرت القياسات المختبرية والملاحظات التي تم رصدها في طبقة الستراتوسفير على مدى ثلاث سنوات، أن مركّبات (CFCs) كانت بالفعل مصدرًا رئيسيًا لاستنفاد الأوزون من الستراتوسفير. كما أظهرت هذه الملاحظات أن معظم مركّبات (CFCs) التي يتم إنتاجها ستصل في نهاية المطاف إلى طبقة الأوزون وتضرّ بها.

وقد خلُص البحث في النهاية إلى أنه يجب حظر استخدام مركبات (CFCs) وأنه يجب حماية طبقة الأوزون. وقد كان التحدي في إقناع الأشخاص الذين شكّكوا في الفرضية الأولية بسبب نقص الأدلة.

الاتفاقيات الدولية

تأسّس بروتوكول مونتريال Montreal Protocol لتقليل استخدام مركبات (CFCs)، وقد كانت هذه المرة الأولى التي تم فيها التوصل إلى اتفاق عالمي بدافع بيئي.

بدأ العالم يدرك أن التلوث الناتج من دولة واحدة قد يضر الكوكب بأكمله؛ لذا كانت هناك حاجة إلى التوصل إلى اتفاق عالمي للسيطرة على المشكلة.

وعلى الرغم من أن رولاند ومولينا بدءا العمل في منتصف السبعينيات، إلا أنه لم يتم إجراء بحوث دولية عن طبقة الأوزون وتأثيرات المواد الكيميائية التي تضر بها حتى عام 1985م. وفي هذا العام أيضًا تم اكتشاف ثقب الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية، ونتيجة لهذا الاكتشاف، تم التفاوض بشأن بروتوكول مونتريال (1987م) من قِبل 24 دولة والمجتمع الاقتصادي الأوروبي.

يهدف هذا البروتوكول إلى تقليل انبعاثات مركبات (CFCs) بنسبة 50% بحلول عام 2000م. وقد كانت هذه المرة الأولى التي تُلزَم فيها الدول قانونيًا بتقليل استخدام مركبات (CFCs) وفي النهاية، التوقف التام التدريجي عن استخدامها. وكان عدم القيام بذلك يُعرّضها لعقوبات مالية كبيرة. وقد تم تعزيز البروتوكول في عام 1990م (لندن) وعام 1992م (كوبنهاجن)؛ إذ وقّعت 191 دولة على اتفاقية للتوقف عن استخدام مركبات (CFCs) بحلول عام 1995م.

ومُنحت (LICs) وقتًا أطول لتحقيق هذه الأهداف؛ وذلك لأن مركبات (CFCs) أقل تكلفة من المواد الكيميائية البديلة. ومع ذلك، لم يُسمح لهم بزيادة استخدام مركبات (CFCs).

ولمساعدة هذه الدول على الانتقال إلى تقنيات ومواد كيميائية أكثر صداقة للبيئة، قُدّمت إلى هذه الدول مساعدات مالية.

تم توسيع هذا البروتوكول في السنوات الأخيرة ليشمل المواد الكيميائية البديلة الجديدة لمركبات (CFCs) التي ثبُت منذ ذلك الحين أنها تضر باستقرار الغلاف الجوي. فعلى سبيل المثال، أضاف تعديل كيجالي Kigali Amendment (2016) الغازات المفلورة إلى قائمة المواد الخاضعة للرقابة. وقد وافق جميع أعضاء هذا البروتوكول على تقليل إنتاج واستخدام الغازات المفلورة.

أسئلة

(١٠) صف السبب الرئيسي المرتبط بالبشر لاستنفاد الأوزون.

(١١) صف تأثيرات استنفاد الأوزون.

(١٢) هل تُعدّ بدائل مركبات (CFCs) حل طويل الأمد لمشكلة طبقة الأوزون؟ قدم أسبابًا لإجابتك.

(١٣) اشرح سبب عدم تصديق فرضية تدمير الأوزون في البداية.

(١٤) لماذا كان الاتفاق الدولي هو الحل الوحيد لإدارة الضرر الذي تسببه مواد (CFCs) بفعالية؟

ملخّص

تترسب ملوّثات الغلاف الجوّي على سطح الأرض على شكل ترسيب حمضي رطب أو جاف.
ينتج كل من ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وأكاسيد النيتروجين (NO_x) بشكل أساسي من احتراق الوقود الأحفوري. وقد تأتي من مصادر طبيعية أيضًا مثل الانفجارات البركانية.
الترسيب الحمضي ضارّ بالكائنات الحية في النظم البيئية المائية واليابسة.
قد يسبب ثاني أكسيد الكبريت مشكلات صحية للإنسان مرتبطة بالجلد والعيون والرئتَين.
يتشكّل الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي عندما تتفاعل الملوّثات على مستوى سطح الأرض مع ضوء الشمس. وهو ضار بالكائنات الحية ومواد البناء.
تتم إدارة تلوث الهواء عن طريق تحديد مصدره، ثم استخدام مجموعة متنوعة من الطرائق لتقليله أو إيقافه.
يجب تنفيذ التشريعات (النظم والقوانين)، سواء على المستوى المحلي أو الدولي، للسيطرة على انبعاث ملوّثات الهواء الجوّي.
استنفاد الأوزون في طبقة الستراتوسفير الذي يحجب الأشعة فوق البنفسجية يتم بسبب استخدام مركبات (CFCs).
تم وضع اللوائح والضوابط العالمية لتقليل ووقف استخدام مركبات (CFCs).
تكون بدائل مركّبات (CFCs)، مثل (HCFCs)، أقل استقرارًا وتتفكك بشكل أسرع. وهذا يعني أن لها تأثيرًا أقل على طبقة الأوزون.
تم التشكيك في فرضية تدمير الأوزون التي قدّمها رولاند ومولينا عام 1974م في البداية لأنها لم تكن مدعومة ببيانات علمية متوافرة في ذلك الزمان. ومع ذلك، دعمت الأبحاث اللاحقة هذه الفرضية.
تم استحداث بروتوكول مونتريال (1987م) للسيطرة أو الحد من استخدام مركبات (CFCs) عالميًا.

أسئلة نهاية الوحدة

١ ما السبب الرئيسي للترسيب الحمضي؟

أ. انبعاثات الميثان من المواشي.

ب. زيادة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من المصانع.

ج. مركَبات الكلوروفلوروكربون (CFCs) المنبعثة من المبردات.

د. انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وأكاسيد النيتروجين (NO_x). **[1]**

٢ أيّ مما يأتي هو أحد التأثيرات الصحية الرئيسية للضباب الدخاني الكيميائي الضوئي؟

أ. زيادة انبعاثات غازات الدفيئة.

ب. استنفاد طبقة الأوزون في الستراتوسفير.

ج. مشكلات تنفّسية مثل الربو والتهاب الشعب الهوائية.

د. تسريع الترسيب الحمضي في النظم البيئية المائية. **[1]**

٣ لماذا تُعدّ طبقة الأوزون مهمة للحياة على الأرض؟

أ. تحتجز الحرارة للحفاظ على درجة حرارة الأرض.

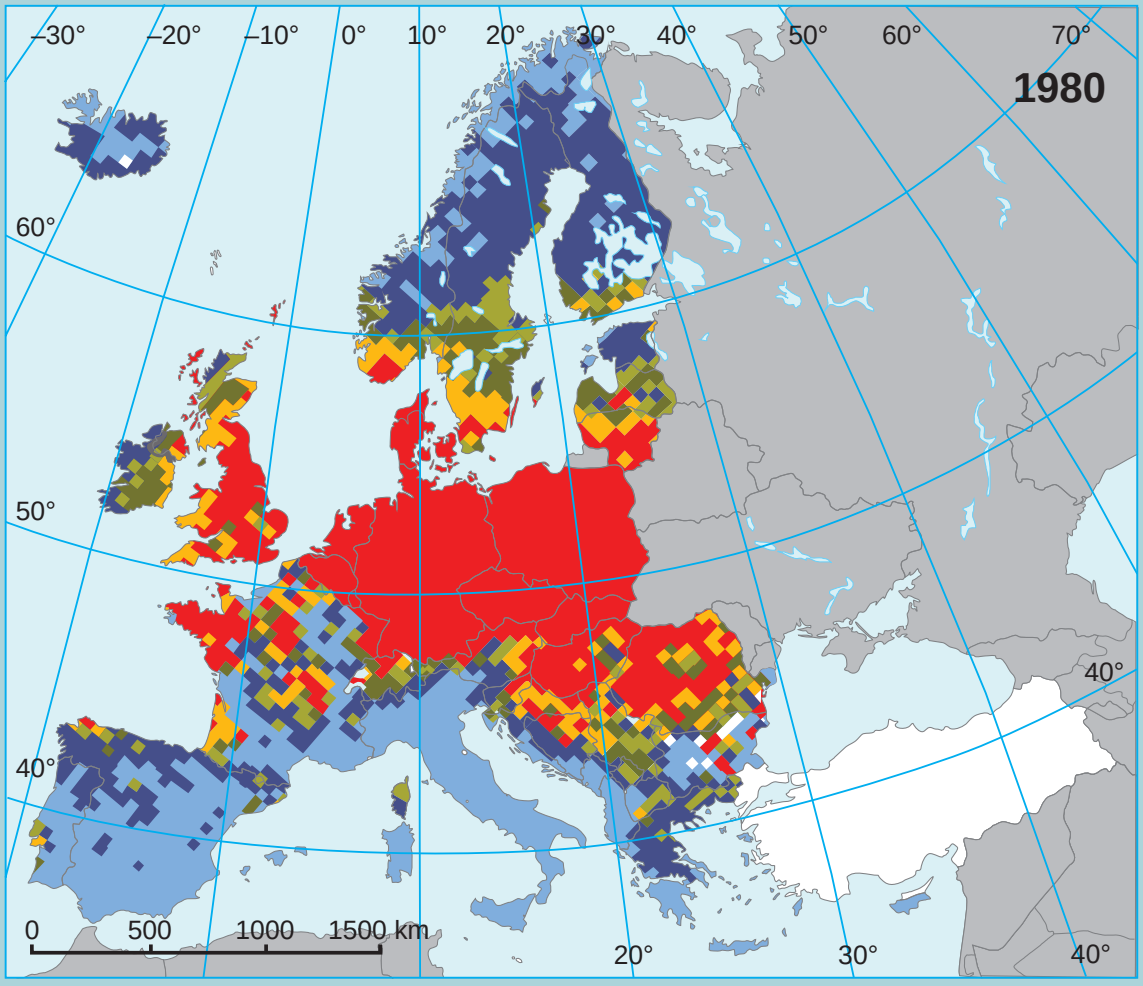
ب. تزيد من مستويات الأكسجين في الغلاف الجوّي.

ج. تمتص الأشعة فوق البنفسجية (UV) الضارة من الشمس.

د. تنقل الأشعة فوق البنفسجية (UV) من الشمس إلى الأرض. **[1]**

(تابع)

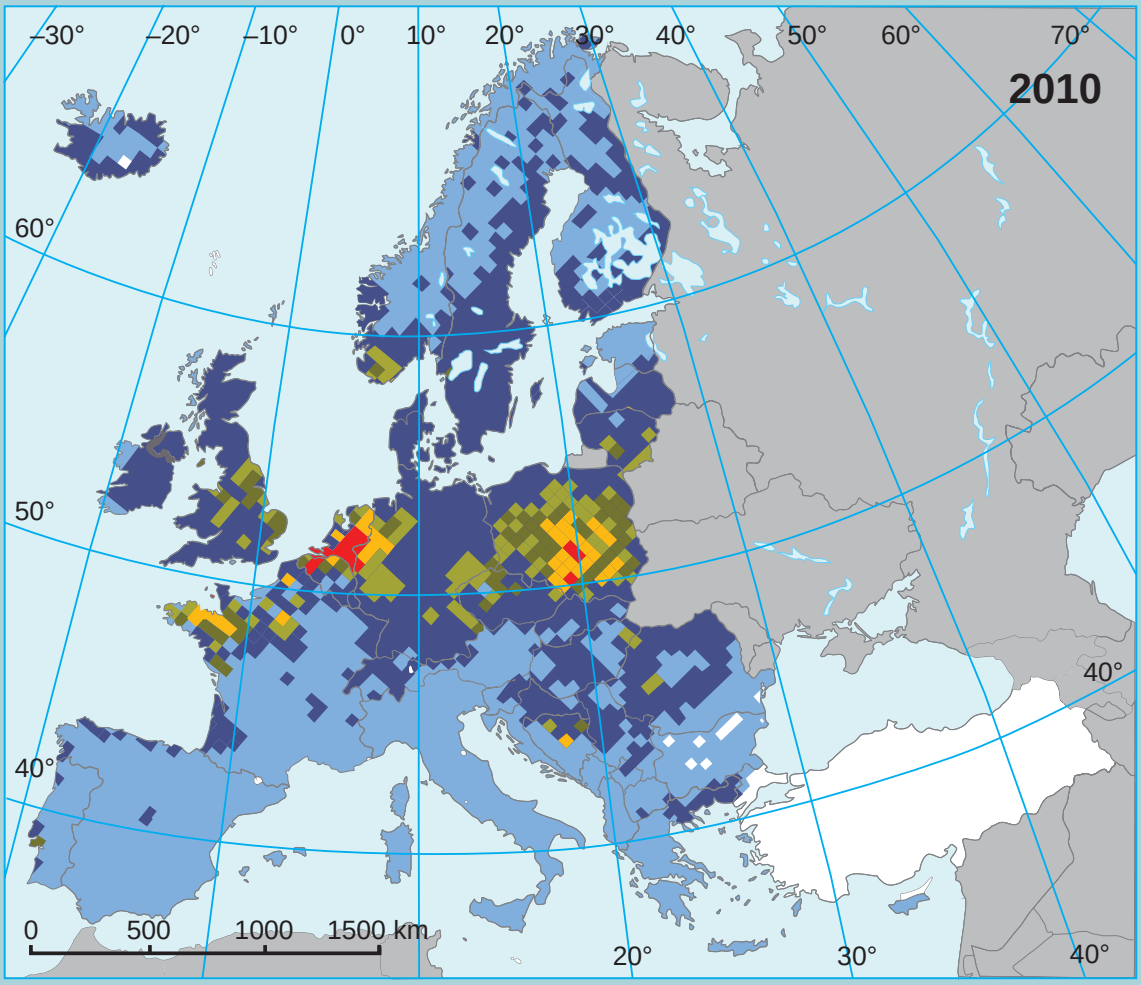
٤ يُظهر الشكل ٣-١١ مستويات الحموضة في الهطول في أوروبا في عام 1980 و 2010م. علمًا أن الأحمال الحرجة للحموضة هي تراكيز حموضة الأمطار التي يمكن أن تتحملها التربة من دون أن تلحق ضررًا بالكائنات الحية.



الأحمال الحرجة للحموضة
eq $ha^{-1}a^{-1}$

0	200–0	400–200	700–400
1200–700	1200 <	بدون بيانات	خارج التغطية

(تابع)



الأحمال الحرجة للحموضة
eq $ha^{-1}a^{-1}$

0	200–0	400–200	700–400
1200–700	> 1200	بدون بيانات	خارج التغطية

الشكل ٣-١١

أ. قارن توزيع تلوث الترسيب الحمضي في عام 1980م وعام 2010م. [3]

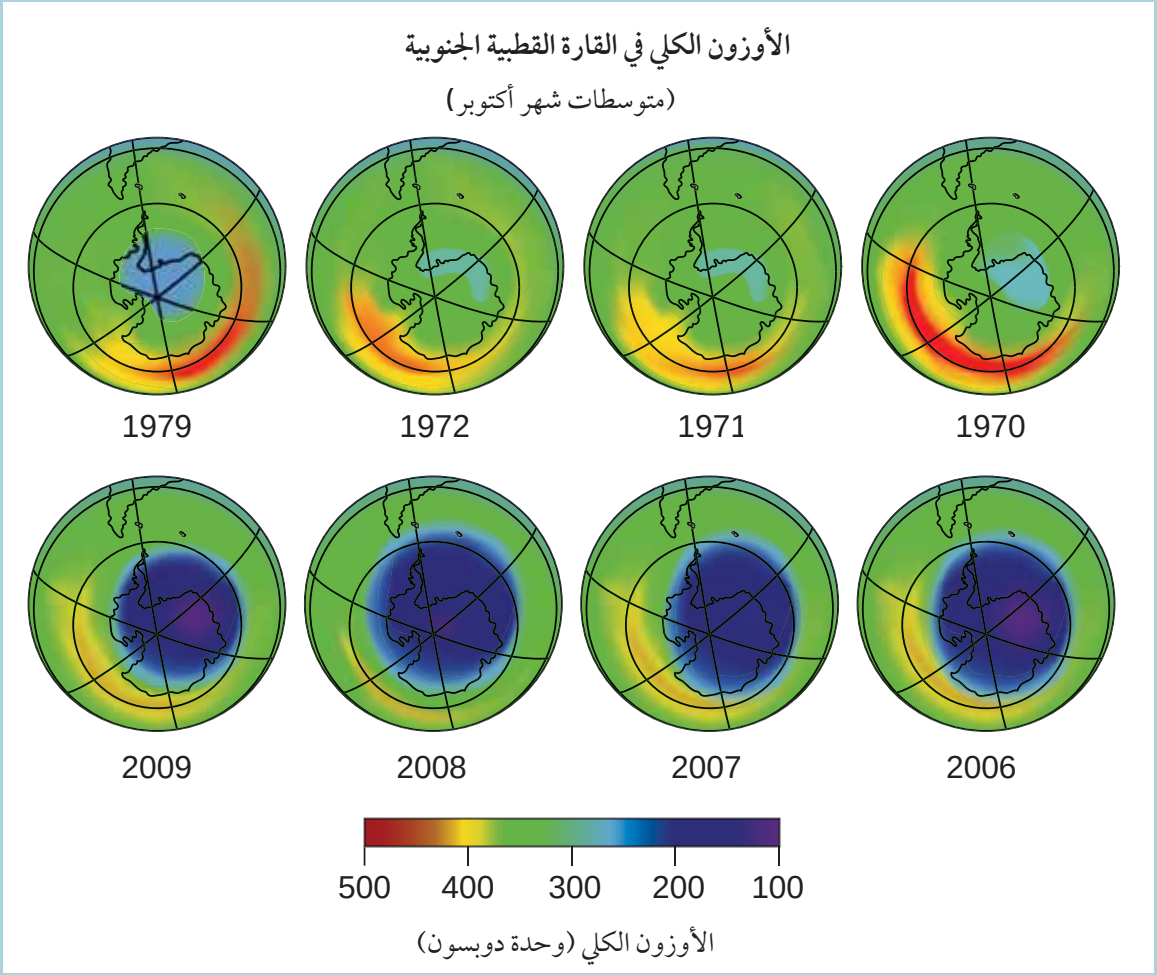
ب. اقترح أسبابًا للتغييرات في توزيع الترسيب الحمضي بين عامَي 1980م و 2010م. [2]

ج. صف تأثيرات الترسيب الحمضي على البشر والبيئات الطبيعية. [6]

[المجموع: 11]

(تابع)

٥ يُظهر الشكل ٣-١٢ توسّع ثقب الأوزون الستراتوسفيري فوق القارة القطبية الجنوبية بين عامي 1970 و 2009 م.



الشكل ٣-١٢

أ. صف التغيّرات في كثافة الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية بين عامَي 1970م و 2009 م. **[3]**

ب. في السبعينيات، تم اقتراح فرضية تدمير الأوزون من قبل رولاند ومولينا.

١. اذكر ما اقترحته فرضية تدمير الأوزون. **[1]**

٢. اشرح سبب عدم قبول الفرضية في البداية من قبل المجتمع. **[1]**

ج. تم استحداث بروتوكول مونتريال (1987م) لمعالجة المشكلات المتعلقة بطبقة الأوزون. اذكر الهدف الرئيسي لهذا البروتوكول. **[1]**

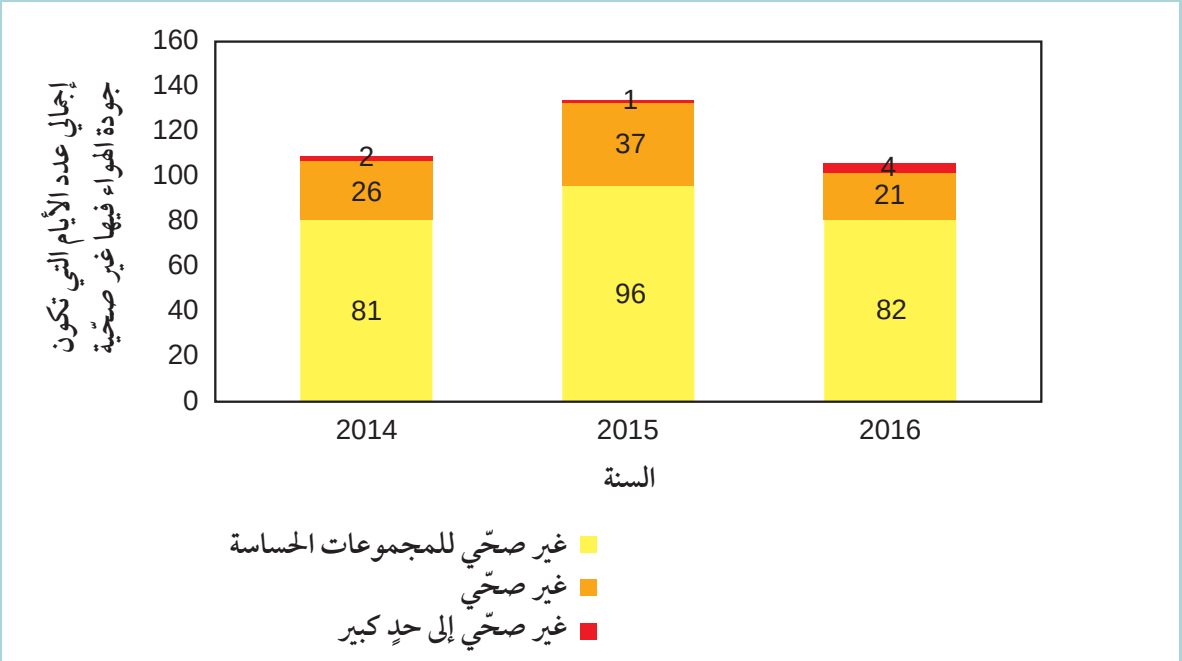
د. أعطِ **تأثيرَين** لاستنفاد الأوزون. **[2]**

هـ. اشرح كيف يُستنفد غاز الأوزون (O_3) في الستراتوسفير. **[3]**

[المجموع: 11]

(تابع)

٦ يُظهر الشكل ٣-١٣ والجدول ٣-١ عدد الأيام التي تعاني فيها المنطقة الحضرية لمدينة لوس أنجلوس من جودة هواء غير صحية (الضباب الدخاني).



الشكل ٣-١٣

	غير صحّي للمجموعات الحساسة	غير صحّي	غير صحّي إلى حدٍ كبير	النسبة المئوية (%) للأيام التي يكون فيها الهواء غير صحّي إلى حد كبير من إجمالي الأيام غير الصحّيّة
2014	81	26	2	1.83
2015	96	37	1	0.75
2016	82	21	4	3.74

الجدول ٣-١ عدد الأيام غير الصحّية في منطقة لوس أنجلوس الحضرية للأعوام 2014، و 2015، و 2016 م.

أ. زعم بعض الناشطين أن عام 2016 م كان أسوأ عام من حيث تلوث الهواء في مدينة لوس أنجلوس. استخدم البيانات من الشكل ٣-١٣ والجدول ٣-١ لتقييم هذا الادعاء. **[3]**

ب. أعطِ **تأثيرَين** للضباب الدخاني الكيميائي الضوئي. **[2]**

ج. اقترح طرائق قد تستخدمها أي مدينة لإدارة تلوث الهواء وتقليل خطر تكوين الضباب الدخاني. **[5]**

[المجموع: 10]

٧ «**لا يمكن إدارة تلوث الغلاف الجوّي**». إلى أي مدى توافق على هذه العبارة؟ قدّم أسبابًا مضمنًا أمثلة ذات الصلة لدعم إجابتك. **[10]**

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول الآتي.

أستطيع أن	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	أقترب من تحقيق الهدف	واثق من الاستمرار	أراجع الموضوع
أعرّف الترسيب الحمضي بأنه مزيج من ملوثات الهواء التي تترسب من الغلاف الجوّي على شكل ترسيب حمضي رطب (pH < 5.6) أو ترسيب حمضي جاف.				١-٣
أصف نوعَي الترسيب الحمضي: • الترسيب الحمضي الرطب من خلال الثلج والمطر والبرد والضباب • الترسيب الحمضي الجاف من خلال الغبار والغازات.				١-٣
ألخص عملية تكوّن الترسيب الحمضي مقتصرًا على: • عملية تفاعل الكبريت الموجود في الوقود الأحفوري لتكوين غاز ثاني أكسيد الكبريت أثناء الاحتراق ومن ثم تحويله من خلال سلسلة من الخطوات إلى حمض الكبريتيك في الغلاف الجوي • عملية تحويل النيتروجين في الغلاف الجوي من خلال سلسلة من الخطوات إلى حمض النيتريك بوجود الحرارة الناتجة من محركات المركَبات.				١-٣
ألخص تأثيرات الترسيب الحمضي مقتصرًا على: • خياشيم الأسماك والجماعات الأحيائية للأسماك • تساقط أوراق النبات وانخفاض إنتاجية المحاصيل • زيادة التجوية الكيميائية للمباني الحجرية والطوبية.				١-٣
أصف الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي بأنه مزيج من ملوثات الهواء والجسيمات العالقة، والمركّبات العضوية المتطايرة (VOCs) التي تتحول من ملوثات أولية إلى ملوثات ثانوية بوجود ضوء الشمس.				١-٣
أذكر أن الأوزون الأرضي هو مثال على ملوث ثانوي في الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي، والذي يتشكّل من أكاسيد النيتروجين (NO_x) مع المركّبات العضوية المتطايرة (VOCs) بفعل ضوء الشمس.				١-٣

(تابع)

أستطيع أن	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	أقترب من تحقيق الهدف	واثق من الاستمرار	أراجع الموضوع
أصف تأثيرات الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي مقتصرًا على: • تهيّج العين والجهاز التنفّسي • انخفاض إنتاجية المحاصيل • تدهور البلاستيك والمطاط.				١-٣
أصف استراتيجيات إدارة تلوث الهواء، بما في ذلك: • تقليل استخدام الوقود الأحفوري واعتماد الطاقة المتجددة • الحدّ من انبعاثات: – ثاني أكسيد الكبريت (SO_2): عن طريق إزالة الكبريت من غاز المداخن وإزالة الكبريت من الوقود – أكاسيد النيتروجين (NO_x): باستخدام المحولات الحفازة – الجسيمات العالقة: باستخدام المرسبات الكهروستاتيكية – المركّبات العضوية المتطايرة (VOCs): بالاستخدام الآمن والتخزين والتخلص الآمن للمنتجات المنزلية • التشريعات: – مبدأ الملوّث يدفع – تقييد استخدام المركَبات في المناطق الحضرية. – التشريعات المحلية والوطنية والدولية (المعرفة التفصيلية بتشريعات واتفاقيات محددة غير مطلوبة).				٢-٣
أذكر أن تركيز الأوزون يُقاس باستخدام وحدة دوبسون.				٣-٣
أعرّف مصطلح ثقب الأوزون بأنه المنطقة التي يكون فيها متوسط تركيز الأوزون أقل من 100 وحدة دوبسون.				٣-٣
ألخّص كيفية حدوث استنفاد الأوزون كالآتي: • مركبات الكلوروفلوروكربونات (CFCs) الموجودة في عبوات الهباء المضغوط، والثلاجات، هي مركبات غير متفاعلة ولا تتفكك في طبقة التروبوسفير • تنتقل مركبات (CFCs) إلى طبقة الستراتوسفير وتتفكك بفعل الأشعة فوق البنفسجية لتطلق ذرة الكلور				٣-٣

(تابع)

أستطيع أن	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	أقترب من تحقيق الهدف	واثق من الاستمرار	أراجع الموضوع
• التفاعلات السريعة بين ذرات الكلور والأوزون تؤدي إلى تفكك الأوزون (O_3) إلى أكسجين (O_2)، الأمر الذي يتسبب في استنفاد الأوزون • تبقى ذرات الكلور في طبقة الستراتوسفير ويمكن أن تستمر في تدمير الأوزون (المعرفة التفصيلية للآليات الكيميائية غير مطلوبة).				
يشرح سبب استنفاد الأوزون بشكل أكبر فوق القارة القطبية الجنوبية بما في ذلك: درجة الحرارة، والسحب الستراتوسفيرية القطبية (PSCs) والدوامة القطبية.				٣-٣
أصف تأثيرات استنفاد الأوزون بسبب زيادة كميات الأشعة فوق البنفسجية بما في ذلك: • صحة الإنسان (الساد، وسرطان الجلد) • انخفاض إنتاج المحاصيل • انخفاض التنوع البيولوجي للنظم البيئية الأرضية والمائية • تدهور المواد المستخدمة في الملابس والبناء.				٣-٣
ألخص التأثيرات المرتبطة باستخدام بعض بدائل المواد المستنفدة للأوزون بما في ذلك: • مركبات الهيدروكلوروفلوروكربونات (HCFCs) • الغازات المفلورة (الغازات -F).				٣-٣
ألخص أهمية الأدلة التجريبية لدعم فرضية ما، باستخدام فرضية تدمير الأوزون التي اقترحها رولاند ومولينا كمثال. • في البداية لم تُقبل الفرضية الرئيسية • لم يتم دعم بعض الفرضيات المساعدة بأدلة تجريبية • أدت الفرضية إلى مزيد من الأبحاث وجمع البيانات من قبل علماء آخرين، والتي أكدت أن مركبات (CFCs) هي مركبات مستنفدة للأوزون.				٣-٣
أقيّم الاتفاقيات الدولية المستخدمة لتقليل استخدام المواد المستنفدة للأوزون والتخلص منها تدريجيًا (المعرفة التفصيلية لاتفاقيات دولية محددة غير مطلوبة).				٣-٣



الوحدة الرابعة

إدارة تغير المناخ

Managing Climate Change



أهداف التعلّم

٤-١ يعرّف غازات الدفيئة بأنها الغازات الموجودة في الغلاف الجوي والتي تمتص الأشعة تحت الحمراء، ويحدد بعض غازات الدفيئة الشائعة مقتصرًا على: ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء والميثان.

٤ ٢ يصف المصادر الرئيسية لانبعاثات غازات الدفيئة الناتجة من الأنشطة البشرية بما في ذلك:

- احتراق الوقود الأحفوري (ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء)
- زراعة الأرز وتربية الماشية (الميثان)
- انصهار الجليد في التربة الصقيعية (ثاني أكسيد الكربون والميثان)
- مواقع ردم النفايات (الميثان).

٤ ٣ يشرح كيف يساعد تأثير الاحتباس الحراري الطبيعي في الحفاظ على دفء الأرض بما يكفي لاستدامة الحياة.

٤-٤ يشرح كيف أن زيادة تراكيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي تسبب زيادة تأثير الاحتباس الحراري المعزَّز، ما يؤدي إلى الاحترار العالمي وتغير المناخ.

٤ ٥ يلخّص صعوبات مراقبة تغير المناخ والتنبؤ به بما في ذلك:

- البيانات التاريخية المحدودة المستخدمة لإعادة بناء الظروف المناخية الماضية (عيّنات لُب الجليد، حلقات الأشجار، السجلات التاريخية)
- التنبؤات المناخية المستقبلية من خلال استخدام نماذج مناخية حاسوبية تستخدم متغيرات مختلفة
- آليات التغذية الراجعة المناخية ليست مفهومة تمامًا
- التأخير الزمني بين السبب والتأثير
- عدم اليقين بشأن استخدام بعض البيانات في استخلاص النتائج أدى إلى اختلاف وجهات النظر العلمية والسياسية.

٤-٦ يلخّص كيفية تأثر الجدل حول تغير المناخ بما يأتي:

- التحيز العلمي
- بيانات غير موثوقة
- الإبلاغ الكاذب عن الاستنتاجات العلمية.

٤-٧ يصف تأثيرات تغير المناخ على البيئة بما في ذلك التغيرات في:

- درجة الحرارة والهطول
- مستوى سطح البحر
- دوران المحيطات والرياح
- مدى امتداد السطوح الجليدية ومقدار الألبيدو لمخازن الجليد (الجليد البحري، والصفائح الجليدية، والأنهار الجليدية، والتربة الصقيعية)
- توزيع الأنواع والتنوع البيولوجي.

٤-٨ يصف تأثيرات تغير المناخ على الإنسان بما في ذلك:

- زيادة تكرار حدوث الطقس القاسي وشدته التي تؤدي إلى الفيضانات وفقدان الأراضي والجفاف وحرائق المناطق البرية، وتضرر الممتلكات، وفقدان الأرواح
- الهجرة القسرية
- التأثيرات على الأمن الغذائي من خلال انخفاض إنتاجية المحاصيل وزيادة تفشي الآفات
- التأثيرات على أمن الماء والطاقة.

٤ ٩ يصف استراتيجيات إدارة تغير المناخ من خلال التقليل من انبعاثات غازات الدفيئة بما في ذلك:

- الحد من استخدام الوقود الأحفوري
- التحوّل إلى الوقود منخفض الكربون
- استخدام أشكال بديلة للطاقة
- تحديث سياسات النقل
- الحد من البصمة الكربونية العالمية والفردية
- استخدام احتجاز الكربون وتخزينه
- الحد من إزالة الغابات وزيادة إعادة التحريج والتشجير
- المباني والبنية التحتية الموفرة للطاقة
- التأقلم مع تغير المناخ
- اتفاقيات وطنية ودولية مثل بروتوكول كيوتو 1992، واتفاقية باريس 2016 (المعرفة التفصيلية بالاتفاقيات الدولية غير مطلوبة)

٤-١٠ يلخّص استراتيجيات الهندسة الجيولوجية لمواجهة تغير المناخ بما في ذلك:

- إدارة الإشعاع الشمسي (SRM)
  - تعزيز ظاهرة الألبيدو، والعاكسات الفضائية، والهباء الستراتوسفيري.

٤-١١ يقيم استراتيجيات إدارة تغير المناخ.

قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة

ناقش من خلال العمل في مجموعات صغيرة وجهة نظرك حول الأسئلة الآتية. دوّن إجاباتك بحيث يمكنك الرجوع إليها لاحقًا في هذه الوحدة ومراجعة ما تعلمته.

أ. ما مفهومك للمصطلحين العلميين: تغيّر المناخ، والاحترار العالمي؟

ب. ما أسباب تغيّر المناخ؟

ج. ما تأثير تغيّر المناخ على البيئة الطبيعية؟

د. هل يمكن القيام بإجراءات للمساعدة في إدارة تغيّر المناخ؟

العلوم البيئية ضمن سياقها

العمارة المستدامة

عندما تكون البيئة والاستدامة من أهم الأولويات في تصميم وبناء واستخدام أي مبنى، يسمى ذلك **العمارة المستدامة Sustainable architecture**. ومع ازدياد وعي المستهلكين بتأثير البشر على البيئة، أصبحت العمارة المستدامة أكثر شيوعًا.

تتمثل أهداف العمارة المستدامة بما يأتي:

١. تقليل انبعاثات (CO_2) الناتجة أثناء بناء وتشغيل المبنى.

٢. تقليل تأثير التوسع الحضري على البيئة.

٣. أن تكون عملية وممتعة من الناحية الجمالية.

يجب أن تدوم المباني المستدامة لفترة طويلة دون أن تتطلب موارد إضافية، ومن المتوقع إعادة استخدامها لاحقًا عندما تنتهي الحاجة إليها حاليًا.

تسهم المباني المستدامة في تقليل انبعاثات غازات الدفيئة بعدة طرائق:

- تبنى من مواد تقلل من **بصمتها الكربونية Carbon footprint**.
- تصمم بطريقة تقلل من بصمتها الكربونية (على سبيل المثال، يراعى حجم النافذة لتحسين التبريد والتدفئة).
- تقلل من كمية النفايات التي تُرسل إلى المرادم.
- تستخدم مصادر الطاقة المتجددة.
- تحتوي على مساحات لتنمية المزروعات على السطوح أو حول الأبنية (الصورة ٤-١).
- تقلل من استهلاك المياه.



الصورة ٤-١ يشتمل البناء الأخضر على حدائق عمودية، ما يزيد من المساحة الخضراء في المدينة.

تسهم كافة هذه العوامل في تقليل انبعاثات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي ومكافحة تأثيرها المحتمل على المناخ العالمي.

مصطلحات علمية

البصمة الكربونية Carbon footprint: كمية انبعاثات (CO_2) إلى الغلاف الجوّي نتيجة لأنشطة يقوم بها فرد أو مؤسسة أو مجتمع ما.

أسئلة للمناقشة

١. لماذا من المهم أن يتمتع المهندسون المعماريون بفهم جيد للبيئة؟

٢. هل المهندس المعماري هو الشخص الوحيد ضمن فريق تشييد مبنى الذي يحتاج إلى معرفة بيئية؟ قدّم أسبابًا لإجابتك.

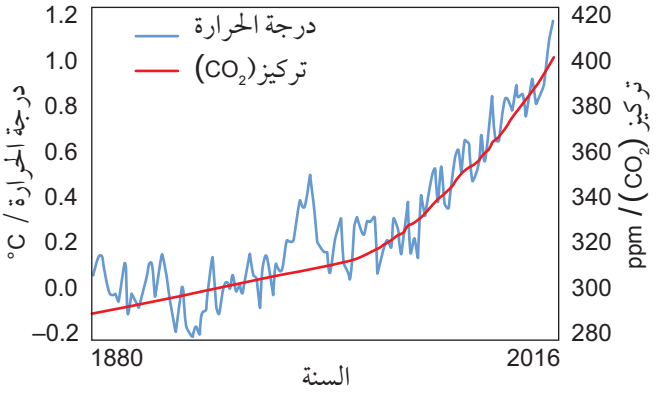
٣. كيف يسهم تقليل استخدام المياه وإنتاج النفايات التي ترسل إلى المرادم من انبعاثات الكربون في المبنى؟

٤-١ تغير المناخ

يتغير المناخ على الأرض باستمرار في دورة طبيعية من الاحترار والتبريد، ويسمى ذلك تغيّر المناخ Climate change.

وقد لوحظ في الأعوام الأخيرة تحول كبير في متوسط درجات الحرارة العالمية. حتى عام 2023 م فإن السنوات العشر الأشد حرارة هي على التوالي: 2023، 2016، 2020، 2019، 2017، 2015، 2022، 2021، 2018، 2014 م. ويعد عام 2023 م المرة الأولى التي كانت فيها درجة الحرارة كل يوم من أيام السنة أكثر بمقدار 1°C من متوسط درجات الحرارة العالمية ما قبل الثورة الصناعية. وتظهر السجلات أيضًا أن كل عقد، منذ ثمانينيات القرن الماضي، كان أكثر حرارة من العقد الذي سبقه، ومن المتوقع أن يستمر هذا الاتجاه التصاعدي في المستقبل.

غازات الدفيئة Greenhouse gases غازات داخل الغلاف الجوّي تمتص **الأشعة تحت الحمراء Infrared radiation** المنبعثة من سطح الأرض. تشمل غازات الدفيئة الشائعة ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وبخار الماء والميثان (CH_4). كما تشمل غازات الدفيئة الأخرى أكاسيد النيتروجين (NO_x) والأوزون (O_3) وبعض المواد الكيميائية الصناعية مثل الكلوروفلوروكربونات (CFCs). وتؤدي التغيرات في تركيز غازات الدفيئة إلى تغيرات في درجات حرارة الغلاف الجوّي (الشكل ٤-١). إن **الاحترار العالمي Global warming** الذي يحدث نتيجة لزيادة تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوّي يعزز ظاهرة **الاحتباس الحراري الطبيعي Natural greenhouse effect** ما يؤدي إلى تفاقم الظواهر المرتبطة بتغير المناخ.



الشكل ٤-١ الزيادة في درجات الحرارة وتراكيز (CO_2) في الغلاف الجوّي خلال الأعوام الـ 136 الماضية بأجزاء من المليون (ppm- part per million)، أي عدد جزيئات ثاني أكسيد الكربون لكل مليون جزيء غاز في العيّنة.

تنبؤات تغير المناخ Climate change predictions تبحث في كيفية تغير المناخ في المستقبل نتيجة للاحتباس الحراري. يتم تقدير هذه التنبؤات باستخدام نماذج حاسوبية عن تغير المناخ. أما حاليًا، فتتباين التنبؤات بشكل كبير بين النماذج، لكنها تشير بشكل عام إلى الزيادة في درجات الحرارة العالمية.

مصطلحات علمية

غازات الدفيئة Greenhouse gases: هي غازات موجودة في الغلاف الجوي تمتص الأشعة تحت الحمراء، مثل ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء والميثان.

الأشعة تحت الحمراء Infrared radiation: نوع من الإشعاع غير المرئي للعين البشرية، لكن يتم تحسسه على شكل حرارة.

الاحترار العالمي Global warming: زيادة متوسط درجات الحرارة على سطح الأرض بفعل ارتفاع مستويات غازات الدفيئة.

الاحتباس الحراري الطبيعي Natural greenhouse effect: ظاهرة طبيعية تحدث بسبب غازات الدفيئة في الغلاف الجوي لكوكب ما، حيث تعمل هذه الغازات كعازل يمنع تسرّب الحرارة إلى الفضاء، ما يحافظ على درجة حرارة سطح الكوكب أعلى مما سيكون عليه في غياب هذه الغازات.

تنبؤات تغير المناخ Climate change predictions: تقديرات للظروف المناخية المستقبلية، مع مراعاة كل من الزمن (الأشهر والأعوام والعقود) والمكان (عالمي أو إقليمي أو محلي).

المصادر البشرية لغازات الدفيئة

تطلق الأنشطة البشرية اليومية غازات الدفيئة إلى الغلاف الجوّي. هناك أربعة مصادر رئيسية لغازات الدفيئة وهي احتراق الوقود الأحفوري (الفحم الحجري والغاز والنفط)، وزراعة الأرز وتربية الماشية، وانصهار الجليد في التربة الصقيعية، والتخلص من النفايات في مرادم أنشئت لهذا الغرض.

احتراق الوقود الأحفوري

يتشكل الوقود الأحفوري من تحلل الكائنات الحية الغنية بالكربون والمدفونة تحت الأرض. ثم يتم بعد ذلك استخراجه وحرقه بهدف الحصول على الطاقة. يؤدي **احتراق Combustion** الوقود الأحفوري إلى إطلاق كميات كبيرة من (CO_2) من رواسب الكربون الموجودة تحت الأرض إلى الغلاف الجوّي. وينتج عند احتراق الوقود الأحفوري أيضًا الماء الذي يتم إطلاقه على شكل بخار ماء (الصورة ٤-٢). يعد كل من (CO_2) وبخار الماء من غازات الدفيئة، إذ تسبب التغيرات في تراكيزهما ارتفاع درجات الحرارة العالمية، وذلك بسبب قدرتهما على امتصاص الأشعة تحت الحمراء في الغلاف الجوّي.

الفحم هو الوقود الأحفوري الأكثر تلويثًا، حيث يُقدَّر أنه مسؤول عن ارتفاع قدره 0.3°C من إجمالي الزيادة البالغ 1°C من متوسط درجات الحرارة العالمية حتى الآن. ويُقدَّر أن احتراق الفحم يشكل أكثر من 40% من انبعاثات (CO_2) العالمية، في حين يشكل النفط نحو 30%، ويشكل الغاز الطبيعي نحو 20%.



الصورة ٤-٢ تحتوي الانبعاثات الصادرة عن عوادم السيارات على غازات دفيئة، تتضمن ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء.

زراعة الأرز وتربية الماشية

يبلغ العمر الافتراضي لغاز الميثان الدفيء في الغلاف الجوي (مقدار الزمن الذي يبقى فيه الميثان في الغلاف الجوّي) 12 عامًا تقريبًا. في حين يبلغ العمر الافتراضي لغاز (CO_2) في الغلاف الجوي أكثر من 100 عام. ومع ذلك، فإن الميثان أكثر فاعلية بمقدار 28 مرة في الاحتفاظ بالحرارة من (CO_2). ينبعث الميثان بشكل أساسي من أنشطة زراعية مثل زراعة الأرز وتربية الماشية، حيث إن المادة العضوية **تتحلل بيولوجيًا Biodegrades** عندما تفككها كائنات حية مثل البكتيريا، وأثناء هضمها بواسطة الحيوانات، ما يؤدي إلى إطلاق غاز الميثان (الصورة ٤-٣).



الصورة ٤-٣ قطيع كبير من الماشية في مزرعة تجارية لتربية المواشي.

مصطلحات علمية

الاحتراق Combustion: عملية حرق (الوقود الأحفوري) مع الأكسجين.

***التحلل البيولوجي Biodegrade**: تحلل المادة العضوية بفعل البكتيريا أو كائنات حية أخرى.

تتم زراعة الأرز التقليدية في الحقول المغمورة بالمياه (الصورة ٤-٤). تمنع كمّية المياه اللازمة لزراعة الأرز وصول الأكسجين إلى التربة، حيث يحدث التحلل البيولوجي، ويؤدي ذلك إلى خلق ظروف مناسبة تجعل البكتيريا تحلل النباتات وتطلق غاز الميثان. كما تمثل زراعة الأرز نحو 19% من إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة. وبالتالي، يجب أن يؤخذ تأثيرها الكبير بالاعتبار عند إدارة تغير المناخ. ويمكن تحقيق ذلك من خلال تغيير أساليب الزراعة؛ مثل التحول من الحقول المغمورة بالمياه إلى تقنيات أخرى مثل التناوب بين الترطيب والتجفيف (AWD) Alternate wetting and drying. وهذا لن يقلل فقط من انبعاثات غازات الدفيئة فحسب، بل يوفر المياه.



الصورة ٤-٤ مزارع يحصد الأرز من حقول الأرز المغمورة بالمياه.

تربية الماشية أيضًا لها تأثير كبير على انبعاثات غازات الدفيئة. ويوجد سببان رئيسيان لذلك، أولًا، تأكل الماشية كميات كبيرة من النباتات، وفي أثناء عملية الهضم تفكك الإنزيمات النباتات، ما يؤدي إلى إطلاق غاز الميثان. أما السبب الرئيسي الثاني فهو أن عملية إزالة مساحات كبيرة من الغابات من أجل تربية الماشية لتلبية الطلب في الأسواق العالمية تؤدي إلى زيادة مستويات (CO_2) في الغلاف الجوّي. تعمل الأشجار كمصارف للكربون، لذا فإن تقليل عدد الأشجار يقلل من قدرة الغابات على امتصاص (CO_2) من الغلاف الجوّي. كما أن لتربية الماشية تأثيرًا ملموسًا على التنوع البيولوجي، وبخاصة عندما تتم إزالة الأشجار لتوفير المساحات من أجل الثروة الحيوانية (الصورة ٤-٥).

انصهار الجليد في التربة الصقيعية

يطلق الميثان أيضًا عند انصهار الجليد المُخَزَّن في التربة الصقيعية. ففي مناطق مثل ألاسكا وروسيا يتسبب دفء المناخ بإطلاق غاز الميثان وغاز ثاني أكسيد الكربون الذي كان محتجزًا في المادة العضوية التي كانت سابقًا متجمدة في التربة الصقيعية. ويمثل هذا تأثيرًا تتابعيًا Knock-on effect، حيث يتسبّب حدث ما بوقوع حدث آخر، والحدث الثاني يصبح أسوأ من الحدث الأول، وبالتالي يتم تسريع ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوّي في **آلية تغذية راجعة مناخية** إيجابية **Positive Climate feedback mechanism** (الشكل ٤-٢). ويعني هذا أنه كلما زاد إطلاق غاز الميثان، زاد انصهار التربة الصقيعية، وبالتالي إطلاق المزيد من غاز الميثان.

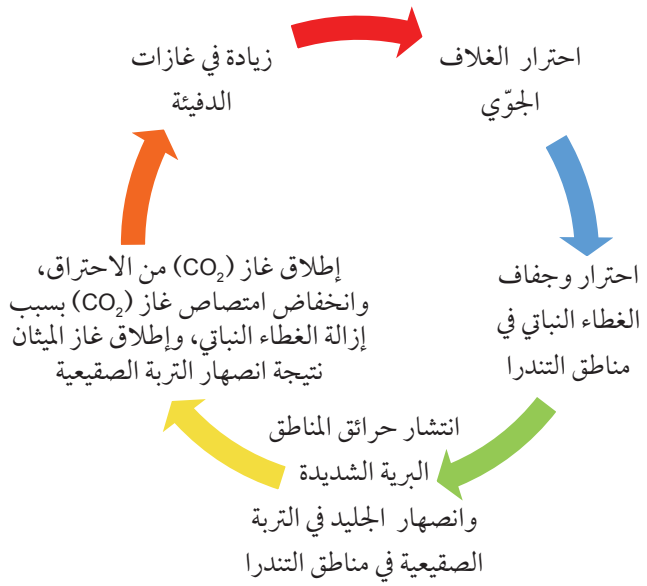


الصورة ٤-٥ ماشية في مرعى تمّ إزالة الغطاء النباتي منه في غابات الأمازون. فقدان الأشجار يزيد من مشكلة الاحترار العالمي.

مصطلحات علمية

آلية التغذية الراجعة المناخية Climate feedback mechanism: عملية تسبب تسريع أو إبطاء اتجاه ظاهرة الاحترار العالمي.

هذه الآلية غير واضحة تمامًا في الوقت الحالي، ويشار إليها أيضًا باسم حلقة تغير المناخ.



الشكل ٤-٢ آلية التغذية الراجعة للاحترار العالمي، حيث يسبب تغيير واحد حدوث تغيير آخر في توازن غازات الدفيئة في الغلاف الجوّي.

مواقع ردم النفايات

غاز ردم النفايات (Landfill gas-LFG) ناتج ثانوي طبيعي لتحلل المواد العضوية الموجودة في النفايات المدفونة. يتكون (LFG) غالبًا من الميثان و (CO_2) بنسب متساوية. وقد وجد في عام 2019م أن (LFGs) تمثل ثالث أكبر مصدر لانبعاثات الميثان المرتبطة بالبشر في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث تُسهم بنسبة 15% تقريبًا من غازات الدفيئة السنوية.

ومع ذلك، تستخرج العديد من البلدان الآن غاز الميثان من مواقع ردم النفايات لأنه يمكن استخدامه كمصدر للطاقة المتجددة، ما ساعد في تقليل الانبعاثات من بعض مواقع ردم النفايات (الصورة ٤-٦).



الصورة ٤-٦ استخراج غاز الميثان من موقع لردم النفايات في أليكانتي، كوستا بلانكا، مورسيا في إسبانيا.

تأثير الاحتباس الحراري المُعَزَّز

غازات الدفيئة هي الغازات الموجودة في الغلاف الجوّي وتؤثر على توازن الطاقة فيه. توجد غازات الدفيئة بشكل طبيعي، وتسبب ظاهرة **الاحتباس الحراري الطبيعي Natural greenhouse effect**، التي تساعد في الحفاظ على درجة حرارة سطح الأرض أعلى مما كانت ستبلغه في حال عدم وجود هذه الغازات.

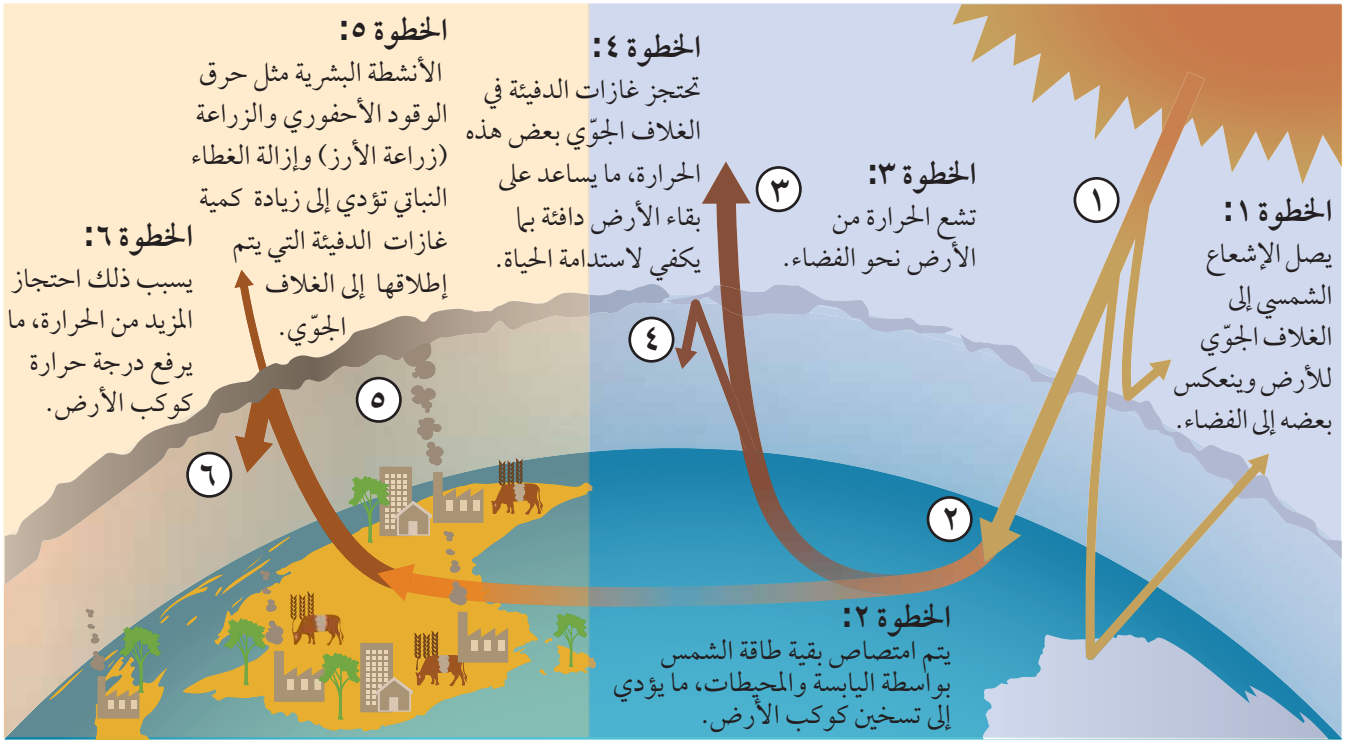
تعكس اليابسة والمحيطات جزءًا من الإشعاع الشمسي الساقط الذي يعبر الغلاف الجوي ويُعاد إلى الفضاء. ومع ذلك، تحتجز غازات الدفيئة جزءًا من الأشعة تحت الحمراء المنعكسة (الحرارة) في الغلاف الجوي، ما يسمح بالحفاظ على متوسط درجة حرارة سطح الأرض عند 15°C تقريبًا. وبدون هذا العازل من غازات الدفيئة، سيكون متوسط درجة الحرارة 18°C– تقريبًا، ولن تكون الأرض قادرة على تأمين استدامة الحياة حيث ستبقى مخازن المياه متجمدة.

إلا أنّ تراكيز غازات الدفيئة زادت بنسبة كبيرة في القرن الماضي بفعل مصادر بشرية مختلفة، وقد تسبب هذا بتفاقم **تأثير الاحتباس الحراري المُعَزَّز Enhanced greenhouse effect**، حيث ازدادت كمية الأشعة تحت الحمراء المحتجزة في الغلاف الجوي بشكل كبير خلال فترة زمنية قصيرة. وقد أدى ذلك إلى الاحترار العالمي وتغير المناخ (الشكل ٤-٣).

مصطلحات علمية

الاحتباس الحراري الطبيعي Natural greenhouse effect: ظاهرة طبيعية تحدث بسبب غازات الدفيئة في الغلاف الجوي لكوكب ما، حيث تعمل هذه الغازات كعازل يمنع تسرّب الحرارة إلى الفضاء، ما يحافظ على درجة حرارة سطح الأرض أعلى مما ستبلغه في حال عدم وجود هذه الغازات.

تأثير الاحتباس الحراري المعزّز Enhanced greenhouse effect: ظاهرة، تحدث عندما تؤدي الأنشطة البشرية إلى زيادة تراكيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي في فترة زمنية قصيرة، ما يسبب زيادة كبيرة في الحرارة المحتجزة في الغلاف الجوي ويؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض وتغير المناخ.



الشكل ٤-٣ الاحتباس الحراري الطبيعي وتأثير الاحتباس الحراري المُعَزَّز.

يؤدي الاحتباس الحراري المُعَزَّز إلى حدوث خلل في توازن غازات الدفيئة في الغلاف الجوي. وقد أدى هذا التراكم لغازات الدفيئة في الأعوام الأخيرة إلى زيادة في متوسط درجة حرارة سطح الأرض، والذي يسمى الاحترار العالمي.

صعوبات مراقبة تغير المناخ والتنبؤ به

يواجه مراقبة تغير المناخ والتنبؤ به عدة صعوبات، وقد أدى ذلك إلى فتح نقاش علمي شجع بدوره على تحسين البحث العلمي ومشاركة البيانات.

البيانات التاريخية

البيانات التاريخية Historical data هي دراسة المناخات الماضية، حيث يستخدم العلماء مصادر مثل لبّ الجليد Ice cores وحلقات الأشجار Tree rings للحصول على بيانات عن المناخات الماضية. ويتم استخدام هذه البيانات كمؤشر غير مباشر، وتسمى **البيانات البديلة Proxy data**، حيث تعتمد على السجلات الطبيعية من البيئة. كما يرجع العلماء إلى السجلات التاريخية من سجلات السفن والمزارعين ومذكرات المسافرين والصحف. توفر هذه المصادر بيانات كمية ونوعية تحدد من خلالها الظروف المناخية في الماضي.

تظهر عيّنات لبّ الجليد المأخوذة من مناطق قريبة من القطبَين تساقط الثلوج التي تراكمت على مدى فترات طويلة جدًا من الزمن. يقوم العلماء بحفر لبّ الجليد من الأعماق ويحللون الجليد للحصول على معلومات عن درجات الحرارة السابقة وهطول الأمطار ومكونات الغلاف الجوّي والنشاط البركاني (الصورة ٤-٧).

مصطلحات علمية

البيانات البديلة Proxy data: الخصائص الفيزيائية البيئية المحفوظة التي تمثل بديلًا لقياس المعلومات المناخية الفعلية، ما يساعد في فهم التغيرات المناخية الحالية والمستقبلية.



الصورة ٤-٧ علماء يحفرون بحثًا عن عيّنات لبّ الجليد في القارة القطبية الجنوبية لتحليلها.

تتكوّن حلقات الأشجار أثناء نمو الشجرة (الصورة ٤-٨)، بحيث تضيف الشجرة كل عام طبقة نمو جديدة إلى الجزء الخارجي من جذعها، ويمكن استخدام الحلقات التي تتكون لتحديد الظروف المناخية في زمن نموها. ويؤثر المناخ بشكل مباشر على معدل نمو الشجرة، إذ يعبّر سُمك حلقات الأشجار وكثافتها وتكوينها عن التغيرات في المناخ.



الصورة ٤-٨ قطاع عرضي في جذع شجرة يبيّن حلقات النمو السنوية التي تتكوّن عندما تنمو الشجرة.

موثوقية البيانات التاريخية

بدأت السجلات المناخية البشرية الحديثة الموثوقة فقط في أواخر القرن التاسع عشر. لذلك، تُعدّ البيانات التاريخية مهمة عند محاولة تحديد طبيعة المناخ في الماضي. ومع ذلك، فإن مجموعة بيانات واحدة من البيانات البديلة لا تُعدّ مؤشرًا موثوقًا به للمناخ في الماضي، لذا من المهم تقييم أكثر من مجموعة من البيانات البديلة من عدة مصادر عند تقدير طبيعة المناخ.

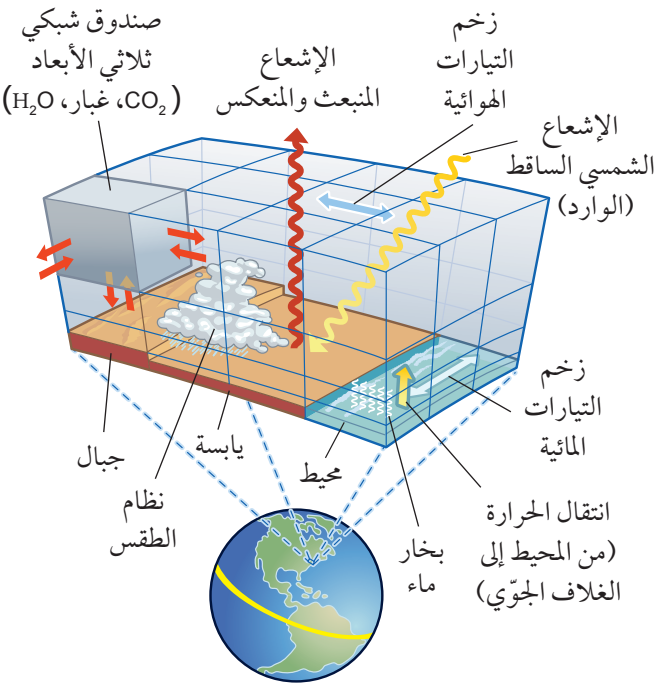
عند دراسة مجموعة واحدة من البيانات البديلة مثل حلقات الأشجار، لا تشكل هذه البيانات وحدها مصدرًا موثوقًا، لأن البيانات تُظهر أن حلقات الأشجار في القرن العشرين نمت بشكل أبطأ من المتوقع لها، في ضوء درجات الحرارة المسجلة. ولكن، إذا جمعنا ودمجنا مصادر متنوعة من البيانات المناخية التاريخية، يمكننا زيادة الموثوقية وفهم ما كان عليه المناخ في الماضي. على سبيل المثال، إذا أشارت جميع البيانات من المصادر المختلفة إلى فترة أكثر برودة، فإنها تصبح أكثر موثوقية. يمكن استخدام البيانات البديلة للبحث عن الاتجاهات في البيانات، لكنها لا تُعدّ قطعية حتى الآن.

النماذج المناخية الحاسوبية

تستخدم النماذج المناخية الحاسوبية Computer climate models للتنبؤ بالمناخ في المستقبل. تستخدم هذه النماذج مجموعة واسعة من المتغيرات التي تشمل على سبيل المثال لا الحصر:

- درجة الحرارة
- الهطول
- اتجاه الرياح وسرعتها
- درجات حرارة المحيطات والتيارات
- التغيرات في غازات الدفيئة
- معدلات انصهار الجليد على اليابسة وفي البحار
- معدل تجمد التربة الصقيعية.

إن تعقيد دمج هذه المتغيرات، إلى جانب النطاق الواسع من الاحتمالات لكيفية تغير هذه المتغيرات بمرور الزمن، يجعل صنع نماذج حاسوبية دقيقة في غاية الصعوبة. تعتمد النماذج على البيانات المناخية المعروفة والمعادلات الرياضية للتنبؤ بالتغير المناخي (الشكل ٤-٤). ومع ذلك، تؤدي العديد من العوامل إلى بقاء النماذج المناخية الحاسوبية غير موثوقة.



الشكل ٤-٤ مفهوم النمذجة المناخية الذي يبيّن تعقيد البيانات المتفاعلة الواجب أخذها بالاعتبار عند محاولة التنبؤ بالتغيرات في المناخات العالمية.

آليات التغذية الراجعة المناخية

آليات أو حلقات التغذية الراجعة المناخية هي عمليات يمكنها تسريع أو إبطاء العوامل المسببة لتغير المناخ (الشكل ٤-٢)، وهي تؤدي إلى تفاعل تسلسلي يتكرر مرارًا وتكرارًا. تسبب آلية التغذية الراجعة المناخية الإيجابية تسريع معدل التغير المناخي. يمكن استخدام انصهار الجليد المخزّن في التربة الصقيعية كمثال:

١. مع احتباس المزيد من الحرارة في الغلاف الجوي بسبب زيادة تراكيز غازات الدفيئة، بما فيها غاز الميثان يصبح الغلاف الجوي أكثر دفئًا.

٢. يُحفز ذلك انصهار الجليد المخزّن في التربة الصقيعية في مناطق التندرا.

٣. يؤدي انصهار الجليد في التربة الصقيعية إلى إطلاق المزيد من غاز الميثان إلى الغلاف الجوّي.

٤. يسبب هذا الميثان الإضافي ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوّي.

٥. ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوّي يؤدي إلى المزيد من انصهار الجليد في التربة الصقيعية.

من الصعب التنبؤ بآليات التغذية الراجعة هذه وتأثيرها على المناخ، لعدة اسباب منها الطبيعة المعقدة لآليات التغذية الراجعة المناخية، والعمليات الفيزيائية والكيميائية الحيوية المتضمنة، وعدم اليقين في تقدير كميات الكربون المحتجزة. كما أن النماذج المناخية الحاسوبية غالبًا ما تضطر إلى تبسيط بعض العمليات أو حتى إغفال بعض آليات التغذية الراجعة التي لم يتم فهمها جيدًا بعد أو يصعب تمثيلها رياضيًا، ما يجعل تنبؤاتها أقل موثوقية.

التأخير الزمني بين السبب والتأثير

يوجد تأخير زمني بين الأحداث (السبب) والنتيجة (التأثير) في المناخ العالمي. تقدر الدراسات احتمال وجود عقود من الزمن بين الزيادة أو الارتفاع الحاد في غازات الدفيئة (السبب) ومعظم الارتفاع في درجة حرارة سطح الأرض الذي تسببه (التأثير). ما يعني أن التغيرات المناخية الحالية تعود إلى انبعاثات غازات الدفيئة التي حدثت قبل عقود.

يعود هذا التأخير إلى الزمن الذي تستغرقه المحيطات لإظهار التغير في درجات حرارتها. تسخن المحيطات بشكل أبطأ بكثير من الغلاف الجوّي. وذلك لأن كتلة المحيط تبلغ 500 ضعف كتلة الغلاف الجوّي، ويلزم طاقة حرارية أكبر لرفع درجة حرارة الماء السائل أكثر مما يتطلبه الحجم نفسه من الهواء. لذلك، فالتأثيرات الفورية لغازات الدفيئة على الغلاف الجوّي تستغرق زمنًا طويلًا لتظهر في المحيطات. من الصعب حساب معدل التغير في المحيطات لأن اختلاط الطبقات الدافئة العليا والطبقات الباردة السفلى غير مفهوم تمامًا، ما يجعل النمذجة المناخية الحاسوبية معقدة وغير محسومة.

عدم اليقين في البيانات

الشك في التنبؤات التي تقدمها النماذج المناخية الحاسوبية سببها عدم اليقين في مجموعة من العوامل مثل:

- البيانات التاريخية
- آليات التغذية الراجعة
- التأخير الزمني بين سبب وتأثير التغير المناخي
- البيانات المفقودة المرتبطة بالعمليات في النظام المناخي والتي تحدث على نطاق صغير، بحيث يصعب قياسها أو مراقبتها بدقة
- آليات مناخية معقدة جدًا، بحيث لا تتوافر البيانات لإعادة تمثيلها في النماذج.

تتضافر هذه العوامل لتسبب حالة من عدم اليقين أدت إلى اختلافات في الرأي بشأن التغيرات المناخية المستقبلية المحتملة ضمن المجتمعات العلمية والسياسية في جميع أنحاء العالم. ولكن، مع خضوع النماذج المناخية الحاسوبية للاختبار والتحسين، زاد اليقين حول تغير المناخ وأسبابه، خصوصًا في المجتمع العلمي.

التحيّز العلمي وإساءة استخدام البيانات المناخية

التغيرات في المناخ العالمي معقدة، وهذا يعني أن العلماء يواجهون تحديًا لإثبات دون أي شكّ أو تحيّز، أن انبعاثات الكربون هي السبب الوحيد للتغيرات المناخية التي نشهدها. ويشكك بعض العلماء في البيانات التي تم جمعها، ويطبقون تحيّزهم الخاص لتفسيرها؛ في حين يعارض بعضهم الآخر وجود تغير مناخي لأسباب تتراوح بين سوء استخدام البيانات واختيار استخدام البيانات بشكل انتقائي وعدم فهم ما تشير إليه.

التحيز والبيانات غير الموثوقة تسببا في الماضي بتقارير خاطئة أو ما يسمّى **الإبلاغ الكاذب** **False reporting** عن المعلومات العلمية المرتبطة بالتغير المناخي. ونتيجة لذلك أُثيرت شكوك حول أسبابه، إضافة إلى تأثير مصادر التمويل على الموضوعات البحثية التي يتم تناولها. فالمجموعات التي تريد إثبات وجود تغير مناخي أو عدم وجوده تموّل الأبحاث التي تدعم حجتها. وتكون النتيجة بيانات غير متوازنة لها محددات مهمة لأنها لا تعالج جميع البيانات بالتساوي. هذا مثال على **التحيز التأكيدي** **Confirmation bias**، بحيث يسعى الباحث إلى الحصول على معلومات تدعم ما يعتقد أنه صحيح. ويثير التحيز التأكيدي المزيد من الشكوك في أذهان عامة الناس ووسائل الإعلام الذين قد يفتقرون إلى فهم علمي صحيح لتغير المناخ.

يزعم ويجادل بعض المشككين في أن الأسباب الرئيسية لاحترار المناخ الملحوظ ليست بالضرورة مرتبطة بالأنشطة البشرية التي تتسبب بانبعاثات وغازات الدفيئة. بدلًا من ذلك، يقترحون أن عوامل طبيعية مثل **النشاط البركاني** **Volcanism** (الصورة ٤-٩) و**دوران المحيطات** **Oceanic circulation** و**التباين الشمسي** **Solar variation** (الجدول ٤-١) هي التي تسبب احترار المناخ.

الاستخدام المتحيّز للبيانات المرتبطة بهذه العوامل يعزز حجج أولئك الذين ينكرون دور الأنشطة البشرية في تغير المناخ، كما يقلل من شأن البيانات التي توضح كيف تسبب الأنشطة البشرية تغير المناخ.

مصطلحات علمية

الإبلاغ الكاذب **False reporting**: تقديم معلومات خاطئة أو ملفقة أو متحيزة.

التحيز التأكيدي **Confirmation bias**: الميل إلى تجاهل أو استبعاد البيانات التي تتعارض مع الفرضية، مع التركيز فقط على المعلومات التي تدعمها، ولو لم تكن تلك البيانات تدعمها فعليًا.

النشاط البركاني **Volcanism**: أي عملية مرتبطة بالتدفق السطحي للصخور المنصهرة أو الماء الحار أو البخار من داخل الأرض.

دوران المحيطات **Oceanic circulation**: حركة واسعة النطاق للمياه في المحيطات من خلال التيارات المحيطية ونظام الحزام الناقل المحيطي.

التباين الشمسي **Solar variation**: التغيرات في كمية الإشعاع الصادر من الشمس.



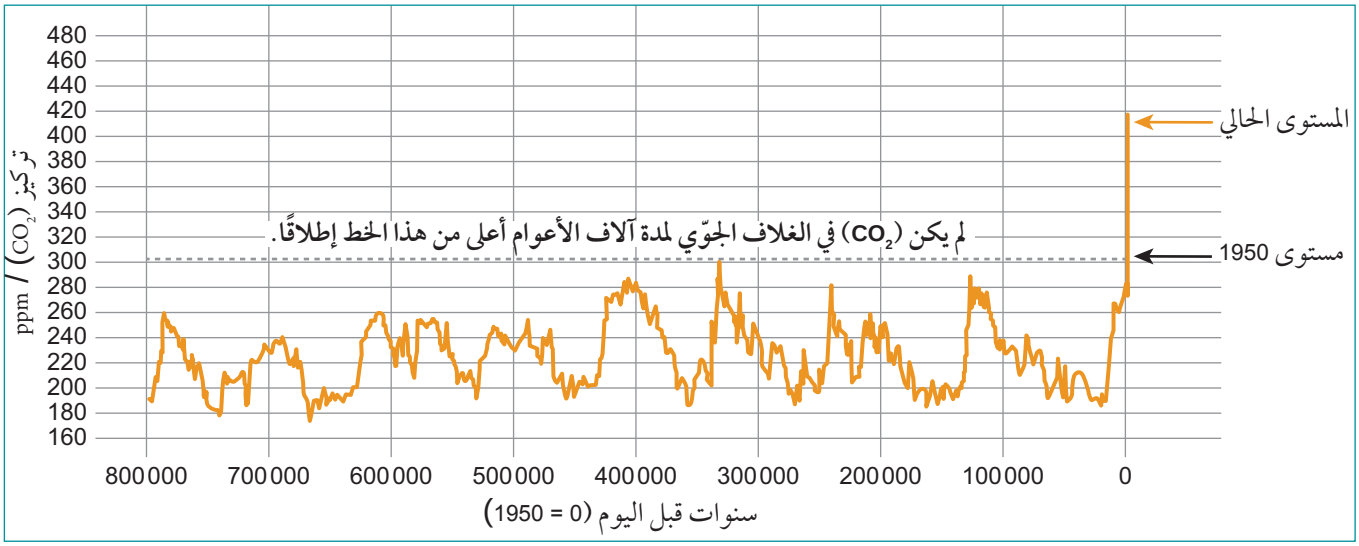
الصورة ٤-٩ ثوران بركاني تطلق فيه غازات الدفيئة إلى الغلاف الجوّي.

فالحجة القائلة بأن النشاط البركاني والتغيرات في دوران المحيطات وتقلبات الإشعاع الشمسي ومدار الأرض هي المسؤولة عن المعدل الحالي لتغير المناخ لا تدعمها البيانات العلمية.

في المقابل، لا يزال التقدم التكنولوجي والنمذجة الحاسوبية والفهم العلمي يظهر أن تأثير الاحتباس الحراري المُعَزّز هو نتيجة للأنشطة البشرية التي تطلق غازات الدفيئة، وبخاصة (CO_2) (الشكل ٤-٥).

البراكين
تطلق البراكين ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وجسيمات الغبار في الغلاف الجوّي. انبعاثات (CO_2) تغيّر درجات الحرارة في الغلاف الجوّي عن طريق احتجاز المزيد من الحرارة. يقلل (SO_2) وجسيمات الغبار مستويات الإشعاع الشمسي الساقط (الوارد)، ما يؤدي إلى خفض درجات حرارة الغلاف الجوّي، لذلك، يمكن للبراكين التأثير بشكل مباشر على الظروف في الغلاف الجوّي.
تيارات المحيط
تعمل تيارات المحيط على تدوير الحرارة حول الأرض، فتنقل الدفء من خط الاستواء نحو القطبَين، والمياه الأكثر برودة من القطبَين إلى خط الاستواء. وقد يتغير اتجاه وقوة هذه التيارات مع ازدياد دفء أو برودة المناطق.
الإشعاع الشمسي
التباين في الإشعاع الشمسي وكمية الطاقة التي تصل إلى كوكب الأرض يمكن أن تؤدي إلى تسخين أو تبريد الغلاف الجوّي.
مدار كوكب الأرض
يُعتقد أن مدار كوكب الأرض حول الشمس يتغير على مدى عشرات آلاف من الأعوام. وإذا تلقى كوكب الأرض قدرًا أكبر أو أقل من الإشعاع بسبب قربه أو بعده عن الشمس، فسيتأثر المناخ بهذه التغييرات.

الجدول ٤-١ الأسباب الطبيعية للتقلبات في المناخ العالمي.



الشكل ٤-٥ التغيرات المقدرة في كمية (CO_2) العالمية لآخر 450 000 عام. يوضح هذا الشكل التقلبات في (CO_2) في الماضي، إضافة إلى التغيرات الدورية في مستويات (CO_2). كما توضح البيانات كيف تتجاوز مستويات (CO_2) الحالية القيم التاريخية.

أسئلة

١ عرّف مصطلحَي الاحترار العالمي، وغازات الدفيئة.

٢ صف عاملين يؤثران في تكوين مناطق مناخية مختلفة في ظل الظروف الطبيعية.

٣ اشرح كيف أن زراعة الأرز وتربية الماشية تساهم في تأثير الاحتباس الحراري المُعَزَّز.

٤ اشرح: محددات البيانات المناخية التاريخية.

٥ اشرح: لماذا من الصعب إبطاء معدل الاحترار العالمي؟

٤-٢ تأثيرات تغير المناخ

تأثيرات تغير المناخ على البيئة

يؤثر تغير المناخ على العديد من جوانب البيئة الطبيعية، والتي تشمل درجة الحرارة، والهطول، ومستوى سطح البحر، ودوران المحيطات والرياح، وانصهار مخازن الجليد العالمية. وتؤثر هذه التغيرات بشكل مباشر على المواطن البيئية في جميع أنحاء العالم، حيث تؤثر على كل من توزيع الأنواع والتنوع البيولوجي.

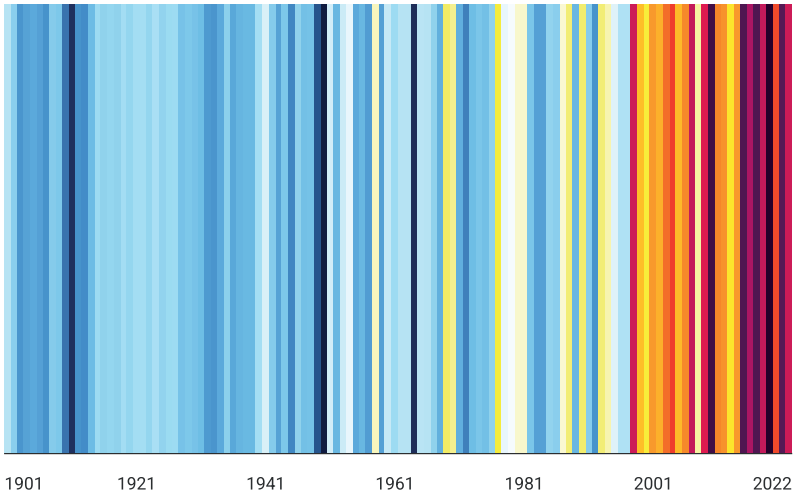
درجة الحرارة



الصورة ٤-١٠ أفراد يتمتعون بالبرودة في نافورة خلال موجة حر في بروكلين، نيويورك، يونيو 2021م.

أحد التأثيرات الملحوظة لتغير المناخ هو ارتفاع درجات الحرارة، مع تزايد عدد الأيام الحارة وموجات الحر (الصورة ٤-١٠). كان عام 2023م العام الأكثر حرارة على الإطلاق، وجميع السنوات العشر الأكثر حرارةً المسجلة كانت منذ عام 2014م وحتى 2023م. وقد أصبح كوكب الأرض الآن أكثر حرارة بمقدار 1.1°C عما كان عليه في القرن التاسع عشر قبل الثورة الصناعية.

وقد شهدت سلطنة عُمان زيادة في متوسط درجات الحرارة طوال القرن الماضي، حيث كانت الأعوام الأكثر حرارة منذ عام 2000م (الشكل ٤-٦).



الشكل ٤-٦ المتوسط السنوي لدرجات حرارة الهواء السطحية في سلطنة عُمان، 1901-2022م. جرى تمثيل درجات الحرارة في هذا الرسم بالألوان. كان العام 1950م أبرد الأعوام، مع درجة حرارة وصلت إلى 26.35°C، ويبدو كشريط أزرق داكن. والعام الأكثر حرارة كان عام 2019م، حيث بلغت درجة الحرارة 28.17°C ويبدو كشريط أسود.

الهطول



الصورة ٤-١١ انفجار سحابي، تظهر الكمية الكبيرة من الأمطار التي يمكن أن تسكبها سحابة ركامية مزنية ناجمة من شدة العواصف.

تؤدي التغيرات في درجات الحرارة إلى تغيرات في شدة وتكرار الهطول مثل:

- زيادة أو نقص في كمية الهطول.
- تزداد شدة العواصف مصحوبة بهطول غزير واحتمال حدوث فيضانات (الصورة ٤-١١).
- قد يؤدي الجريان السطحي لمياه الفيضانات إلى جرف الكائنات الحية المائية، وتقليل جودة المياه، والحد من التنوع البيولوجي المائي مع زيادة التعكر.
- المناطق التي تواجه عادة معدلات مرتفعة نسبيًا من الهطول قد تشهد زيادة في كمية الهطول.
- المناطق الواقعة في ظلال المطر أو التي تعاني انخفاض معدل الهطول تكون أكثر عرضة لظروف الجفاف الشديدة طويلة المدى.
- قد يؤدي الانخفاض المحتمل في تساقط الثلوج في فصل الشتاء إلى انخفاض في تراكم الثلوج السنوية، وهي ضرورية لتوفير المياه للينابيع والأنهار السطحية أثناء فترات الجفاف، حيث تنصهر وتطلق المياه.

مستوى سطح البحر



الصورة ٤-١٢ امرأة تريد أن تستقل حافلة وسط مياه الفيضانات الناتجة من المد المرتفع بشكل غير معتاد والذي تم ربطه بالاحترار العالمي.

يؤدي انصهار الجليد على اليابسة والصفائح الجليدية إلى دخول المزيد من المياه إلى المحيطات، ومع توسع المحيطات عند ارتفاع درجة حرارتها، ترتفع مستويات سطح البحر في جميع أنحاء العالم:

- تشير السجلات من عام 1900 م إلى عام 1990 م إلى ارتفاع مستوى سطح البحر بنحو (10-12.5 cm).
- من عام 1990 م إلى عام 2015 م كانت هناك زيادة بنحو 7 cm.
- ترتفع مستويات سطح البحر حاليًا بمعدل 0.3 cm تقريبًا كل عام.

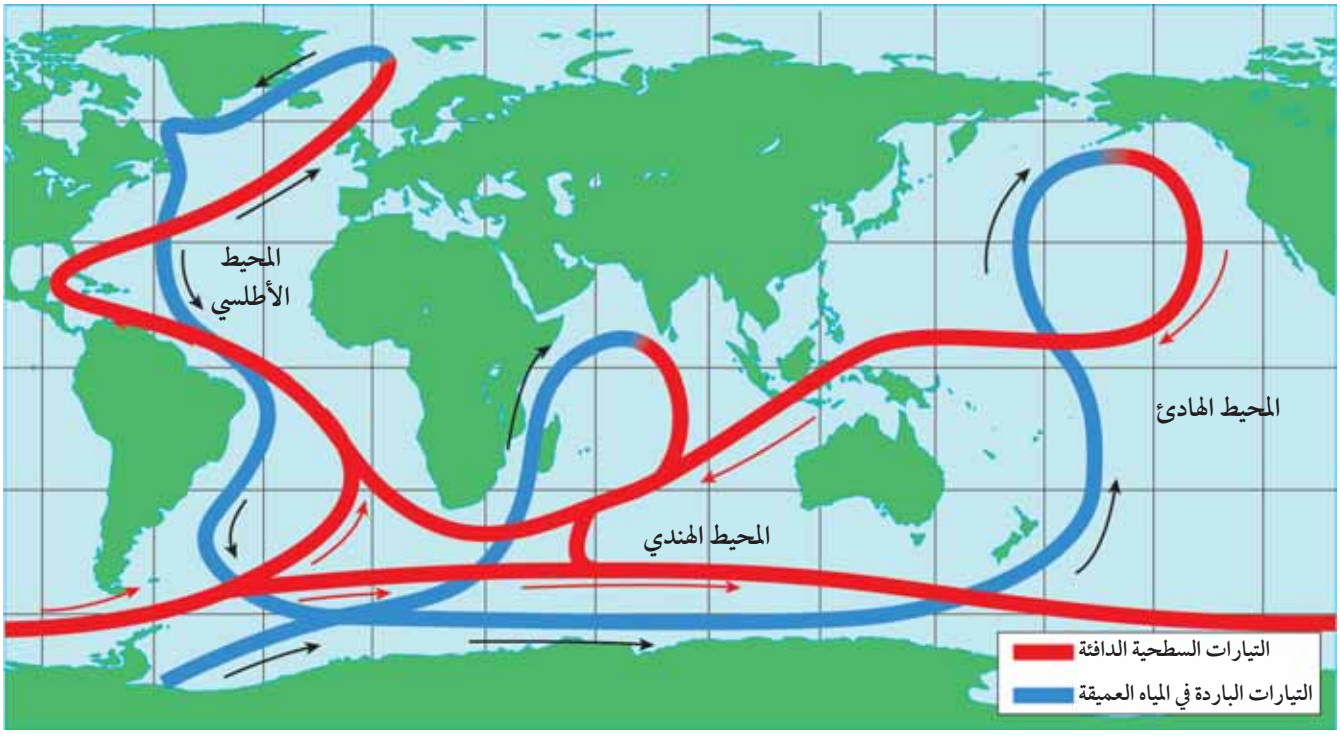
ويهدد هذا الارتفاع في مستوى سطح البحر المناطق الساحلية (الصورة ٤-١٢).

دوران المحيطات

تنظم المحيطات المناخ العالمي، وتنقل تيارات المحيط الطاقة حول الأرض. التيارات السطحية الدافئة تحمل الحرارة من خط الاستواء نحو القطبَين، بينما تحمل التيارات العميقة الباردة في المحيطات المياه الأكثر برودة من القطبَين نحو خط الاستواء. ويحدث هذا النقل عن طريق آلية محيطية تسمّى نظام الحزام الناقل المحيطي Ocean conveyor belt (الشكل ٤-٧).

تشير الأبحاث إلى أنه يمكن أن تتعرض تيارات المحيط للاضطراب. وإذا حدث ذلك فإنه من المرجح أن يتغير المناخ بشكل كبير. وتشمل التغيرات المناخية المتوقعة نتيجة تغير تيارات المحيط:

- زيادة الهطول في الشمال الأطلسي.
- انصهار الصفائح الجليدية القطبية والأنهار الجليدية.
- تدفق المياه العذبة الدافئة إلى البحر.
- عدم إمكانية تكوّن الجليد القطبي.



الشكل ٤-٧ يوضح الحزام الناقل المحيطي، حيث تتحرك المياه السطحية الدافئة من خط الاستواء نحو القطبَين، بينما تتحرك المياه القطبية الباردة ذات الكثافة المرتفعة من القطبَين نحو خط الاستواء في الأعماق.

دوران الرياح



الصورة ٤-١٣ اقتلعت الرياح القوية في كراكوف، بولندا (2022) الأشجار في المدينة.

الرياح هي حركة الهواء، وتنتج من تسخين سطح الأرض بشكل غير متساوٍ بفعل الشمس، ودوران الأرض. لذلك، يؤثر تغير درجات حرارة المحيطات والغلاف الجوي على الرياح التي تدور حول كوكب الأرض.

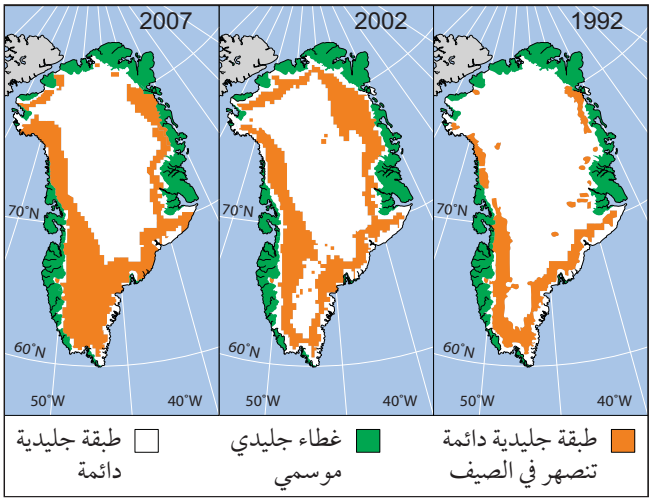
أظهرت نتائج دراسة أجريت عام 2019م أن سرعة الرياح العالمية زادت بمقدار 6% تقريبًا خلال تسعة أعوام. ومع ذلك، لا يعني هذا أن الرياح زادت بشكل متساوٍ في جميع أنحاء الأرض، ففي المناطق التي يتوافر فيها المزيد من الطاقة ستزداد فيها سرعة الرياح بسبب التباين بين الهواء الدافئ والبارد (الصورة ٤-١٣). ويؤدي انخفاض الاختلاف بين مناطق الهواء الدافئ والبارد في مناطق أخرى إلى انخفاض في سرعة الرياح.

انصهار مخازن الجليد



الصورة ٤-١٤ جبل جليدي ينصهر بالقرب من جرينلاند.

ارتفعت درجات حرارة سطح القطب الشمالي منذ منتصف الثمانينيات بمعدل لا يقل عن ضعف المتوسط العالمي، ما أدى إلى انكماش الصفائح الجليدية لتصبح أرقّ (الصورة ٤-١٤). كما حدث انخفاض كبير في الجليد البحري والصفائح الجليدية والأنهار الجليدية والتربة الصقيعية في جرينلاند (الشكل ٤-٨).



الشكل ٤-٨ التغير في الغطاء الجليدي في جرينلاند بين عامَي 1992 و 2007م.

لتسخين وانصهار مخازن المياه المتجمدة تأثير مباشر على كوكب الأرض:

- يؤدي انصهار الجليد السطحي إلى تقليل **ظاهرة الألبيدو Albedo**، وهي قدرة الجليد على عكس الضوء. ويؤدي تقليل هذه الظاهرة إلى زيادة كمية الطاقة الممتصة.
- يؤدي انصهار الجليد في مناطق التربة الصقيعية إلى زيادة معدلات إطلاق غاز الميثان، حيث تبدأ البكتيريا بتحليل المادة العضوية غير المتجمدة.
- يؤدي انصهار الجليد على اليابسة إلى ارتفاع مستويات سطح البحر.

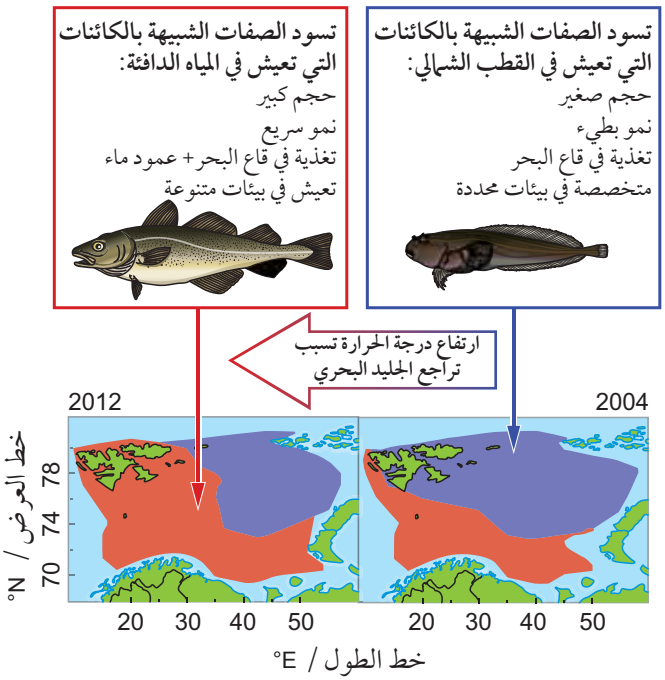
مصطلحات علمية

ظاهرة الألبيدو Albedo: قدرة السطح على عكس الضوء. تكون الأسطح البيضاء ذات ألبيدو عالٍ.

توزيع الأنواع والتنوع البيولوجي

يؤدي تغير المناخ إلى تغيير المواطن البيئية في جميع أنحاء العالم، ويؤثر على الأماكن التي يمكن لأنواع الكائنات الحية العيش فيها. ومع ارتفاع درجات الحرارة قد تتجه الأنواع المتنقلة إلى أماكن أكثر برودة.

- أظهرت نتائج تحاليل لأنواع المفصليات Arthropods والطيور والفراشات هجرة نحو القطبَين بمعدل 16.9km تقريبًا كل عقد.
- معدل تغير المناخ يحدّ من بقاء الأنواع. إذا لم تستطع الأشجار من استيطان أماكن جديدة بسرعة كافية، فقد يؤدي تغير المناخ إلى اختفاء هذه الأنواع من النباتات.
- فقدان الغطاء النباتي يعني أيضًا فقدان المواطن البيئية، ما يؤثر على التنوع البيولوجي حيث تختفي الأنواع بالترافق مع انكماش المواطن البيئية.
- انخفاض التنوع البيولوجي يقلل من مرونة النظم البيئية، ما يجعلها أكثر عرضة للانهيار مع فشل الشبكات الغذائية.
- تفشل الشبكات الغذائية عندما يختفي نوع واحد أو أكثر، فتحتاج الكائنات الحية المتبقية إلى إيجاد مصدر غذاء بديل، والذي لا يتوافر دائمًا.
- في النظم البيئية البحرية تنتقل الأنواع إلى المياه الأكثر برودة بحثًا عن درجات الحرارة التي يمكن تحملها. فالأنواع التي تفضل المياه الدافئة توسع أماكن تواجدها نحو الشمال، وتتفوق في المنافسة على الأنواع التي تعيش في المياه الباردة (الشكل ٤-٩).



الشكل ٤-٩ التغيرات في نطاقات أنواع الأسماك في بحر بارنتس (شمال غرب روسيا) بين عامَي 2004 و2012م.

تأثيرات تغير المناخ على الإنسان

أثّر تغير المناخ والتحوّل في أنماط المناخ على 68 مليون شخص تقريبًا في عام 2020م، وتسبب بأضرار تقدر بنحو 131 مليار دولار أمريكي. وكان من بين هذه الأضرار 95% تقريبًا بسبب العواصف والفيضانات وحرائق الغابات والجفاف. وقد تم تحديد الغذاء والمياه والصحة والمواطن البيئية البشرية والبنية التحتية على أنها معرّضة للخطر بفعل تغير المناخ.

زيادة تكرار حدوث الطقس القاسي وشدته

تواجه المناطق المعرّضة عادة لنظم العواصف الشديدة زيادة في تكرار وشدة الأحداث الجوية القاسية (الصورة ٤-١٥). ويسبب ذلك زيادة في:

- الفيضانات
- الرياح الشديدة
- فقدان الأراضي
- الأضرار التي تلحق بالممتلكات والبنية التحتية
- فقدان الأرواح

أما المناطق المعرضة لانخفاض الهطول وارتفاع درجات الحرارة فتواجه:

- جفافًا أكثر تكرارًا
- حرائق المناطق البرية تبدأ بسهولة أكبر وتشتعل بشكل أسرع



الصورة ٤-١٥ سان خوان أثناء الإعصار، لاحظ الرياح الشديدة التي أحدثها الإعصار.

الهجرة القسرية

الكوارث الطبيعية المرتبطة بتغير المناخ، مثل الفيضانات وحرائق الغابات والجفاف وارتفاع مستوى سطح البحر وزيادة تكرار حدوث العواصف تلقي ضغوطًا على المجتمعات. ولأن بعض أجزاء العالم أصبحت أكثر صعوبة للعيش فيها، يضطر الناس إلى الهجرة، بما يسمّى «لاجئو المناخ» Climate refugees (الصورة ٤-١٦). تناقش دراسة الحالة الموسعة حول جزر مارشال مفهوم **الهجرة القسرية** **Forced migration** بمزيد من التفصيل.



الصورة ٤-١٦ لافتات في مؤتمر المناخ COP26 تطالب بحماية حقوق لاجئي المناخ.

مصطلحات علمية

الهجرة القسرية Forced migration: الانتقال غير الطوعي لشخص أو أشخاص بعيدًا عن موطنهم أو منطقتهم الأصلية. وتشمل الأسباب الكوارث الطبيعية والحروب وانعدام الأمن الغذائي أو المائي.

الأمن الغذائي

تؤثر التغيرات في أنماط هطول الأمطار وتكرارها ومدتها على صحة المحاصيل وإنتاجيتها، كما تؤثر درجات الحرارة المرتفعة على طول مدة مواسم النمو وسرعة نضج المحاصيل.

- من المتوقع أن تنخفض إنتاجية الذرة في المناطق التي تستمر فيها درجات الحرارة في الارتفاع حول المناطق الاستوائية.
- تتأثر إنتاجية المحاصيل بشكل كبير في المناطق التي تزداد فيها شدة العواصف والجفاف.
- تتلف المحاصيل أثناء العواصف، وتفقد بعض المناطق إنتاجيتها السنوية بالكامل. وفي المناطق التي تنجو فيها المحاصيل، فإنها غالبًا ما تتعفّن في المياه الراكدة، أو تتلوّث بنفايات الصرف الصحي.
- في مناطق الجفاف، يحدث فشل مستمر للمحاصيل بسبب عدم كفاية المياه (الصورة ٤-١٧). تقل الإنتاجية العالمية للموارد الغذائية الأساسية مثل القمح والأرز، وبخاصة في البلدان التي تعاني مشكلة انعدام الأمن الغذائي.

يتأثر الأمن الغذائي بشدة بتغير المناخ في العديد من المناطق، وتكون المحاصيل الضعيفة أكثر عرضة لانتشار الأمراض. يؤدي تغير المناخ إلى انتشار الحشرات مثل أسراب الجراد، والتي ترتبط بأحداث الطقس غير المعتادة.

أدّت زيادة الأعاصير وموجات الطقس الأكثر رطوبة والأشد دفئًا إلى تفشي أسراب الجراد وانتشارها في مختلف أنحاء أفريقيا وباكستان والهند. وقد شهدت الفترة بين عامَي 2019 و2020م أسوأ أحداث لتفشي الجراد منذ 30 عامًا.



الصورة ٤-١٧ أدّى الجفاف في قوانغشي، الصين، إلى فشل المحاصيل.

أمن الماء

من المتوقع أن تؤثر ندرة المياه على (3-1) مليار شخص بحلول عام 2100م، ما سيؤدي إلى نشوب صراعات على شكل "حروب المياه". وقد تم التنبؤ بأن العديد من المناطق التي ستواجه نقصًا في المياه هي التي تقع في المناطق الأقل نموًا اقتصاديًا، لكن قد تتأثر أيضًا البلدان الأكثر نموًا اقتصاديًا (الصورة ٤-١٨). وترجع ندرة المياه إلى:

- زيادة معدلات التبخّر مع ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوّي.
- انخفاض الهطول بنسبة تصل إلى 20% في العديد من المناطق، مع تغير المناخ.

في المناطق التي تشهد زيادة في الهطول قد تؤدي الفيضانات إلى تلوث مياه الشرب، ما يسبب أمراضًا مثل الكوليرا. ولا يمكن استهلاك المياه الملوثة لأنها تشكل خطرًا على الصحة، ما يفرض ضغوطًا على الأمن المائي.



الصورة ٤-١٨ جلوسوب، إنجلترا، 2021م درجات الحرارة المرتفعة والجفاف والضغط السكاني المرتفع تعرِّض الأمن المائي في المملكة المتحدة للخطر.



الصورة ٤-١٩ تحتاج مدن مثل مدينة ترومسو Tromso في شمال النرويج إلى مصدر طاقة آمن لإضاءة المدينة وتدفئتها.

أمن الطاقة

يجب معالجة مسألة إنتاج الطاقة في ضوء تغير المناخ، إلا أنه من الصعب تحقيق التوازن بين الابتعاد عن الوقود الأحفوري والحاجة إلى الطاقة (الصورة ٤-١٩).

يمثل توليد الطاقة نحو 60% من انبعاثات غازات الدفيئة عالميًا؛ وخفض الانبعاثات من توليد الطاقة أمر ضروري لمكافحة تغير المناخ. ومع ذلك، فإن الفجوة بين توليد الطاقة من المصادر المتجددة وحرق الوقود الأحفوري لا تزال تمثل مشكلة. يشكل إيجاد طرائق لإدارة نقص الطاقة تحديًا، حيث إن الضغوط العالمية على إمدادات الطاقة كبيرة بالفعل.

أسئلة

٦. اشرح كيف تساعد تيارات المحيط ودوران المحيط في توازن مستويات الطاقة العالمية.

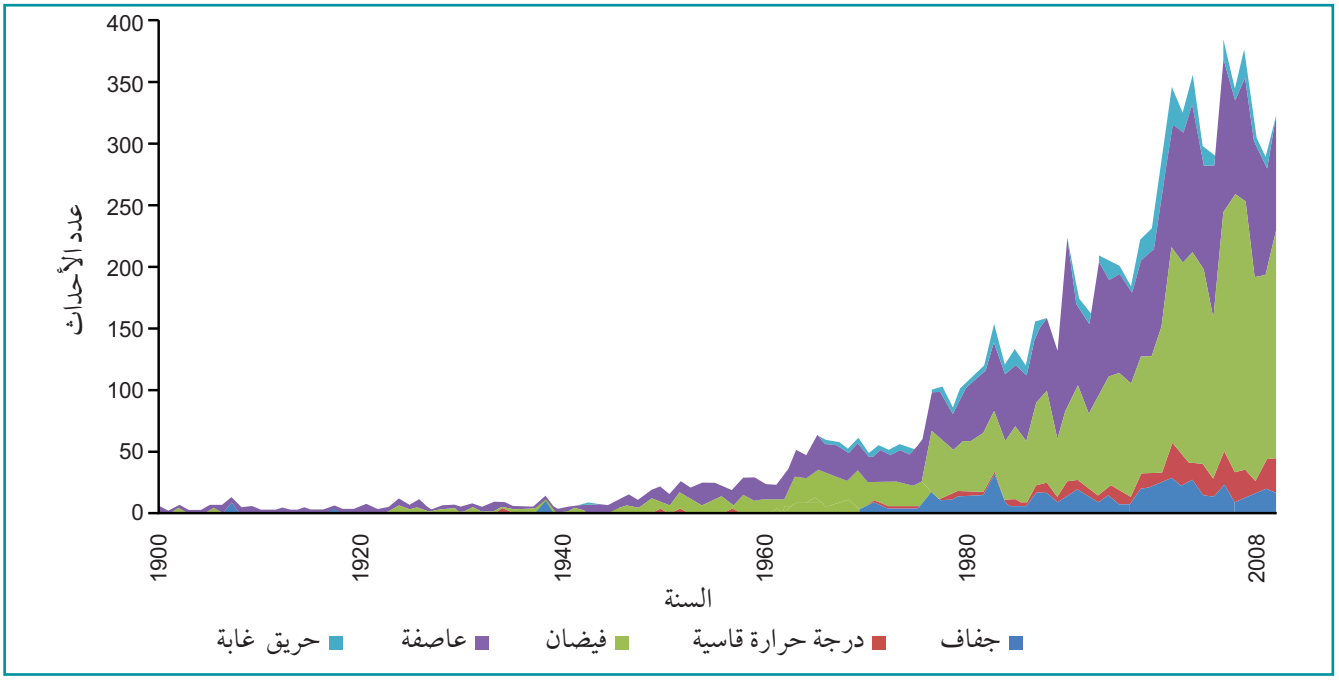
٧. ناقش كيف سيتأثر التنوع البيولوجي وتوزيع الأنواع بتغير المناخ العالمي.

٨. اشرح سبب توقع انخفاض إنتاجية المحاصيل إذا استمر المناخ في التغير.

٩. بالإشارة إلى الشكل ٤-١٠:

أ. صف الاتجاهات المسجلة لعدد أحداث الطقس القاسي.

ب. اشرح المحددات المحتملة للبيانات من الأعوام التي سبقت عام 1960م.



الشكل ٤-١٠ تمثيل بياني يوضح عدد الأحداث المناخية القاسية المسجلة بين عامَي 1900 و 2008 م.

دراسة حالة ٤-١

تأثير تغير المناخ على الحاجز المرجاني العظيم، الساحل الشرقي لأستراليا

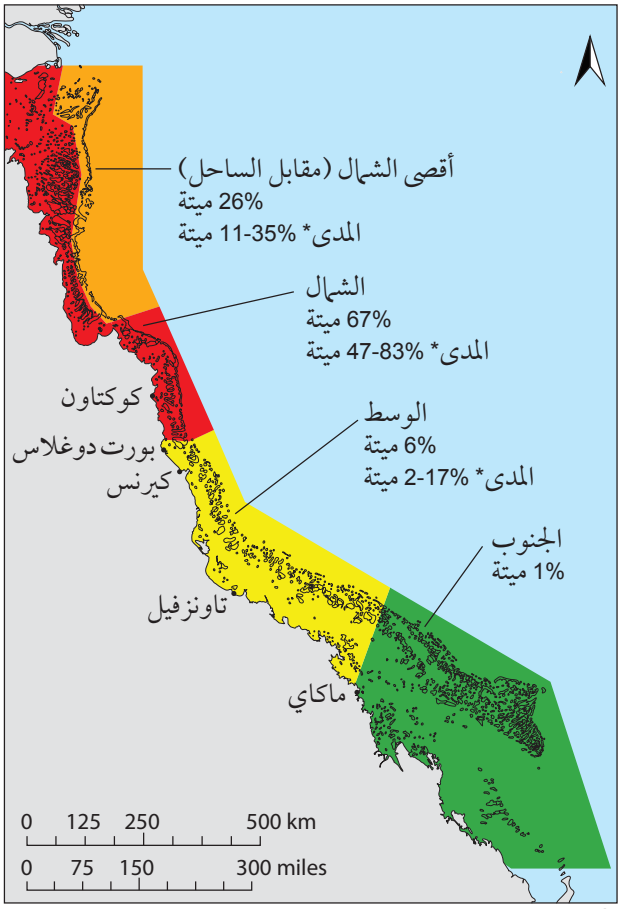
الحاجز المرجاني العظيم أطول وأكبر مجمّع للشعاب المرجانية في العالم. يمتد لأكثر من 2000 km في اتجاه الشمال الغربي والجنوب الشرقي على طول الساحل الشرقي لأستراليا. وهو يمتد بين 16 km و 160 km مقابل الساحل، ويتراوح عرضه بين 60 km و 250 km.

يتميز الحاجز المرجاني بتنوع بيولوجي واسع، ويتكوّن من نحو 2200 شعاب مرجانية و 800 شعاب مرجانية هامشية Fringing reefs. تتكون الشعاب المرجانية من كائنات حية وكائنات كانت حية سابقًا (الصورة ٤-٢٠). ولديها هياكل من كربونات الكالسيوم تكون عرضة لتغيرات حموضة المحيط.

تمثل المياه المالحة الصافية ذات درجة حرارة بين 23°C و 29°C البيئة المثالية لمعظم أنواع المرجان. يقتصر وجود معظم الشعاب المرجانية على **المنطقة الضوئية Euphotic zone**، وهي المنطقة التي تمتد إلى عمق يبلغ نحو 70 m، حيث يخترق ضوء الشمس الماء ما يسمح بحدوث عملية التمثيل الضوئي.



الصورة ٤-٢٠ جزء من الشعاب المرجانية الصحية في الحاجز المرجاني العظيم، أستراليا.



* الربع العلوي والسفلي

الشكل ٤-١١ يظهر خريطة لحدث ابيضاض المرجان في عام 2016 م، حيث تبيّن أعلى معدلات ابيضاض في المناطق الشمالية القصوى من الشعاب المرجانية.

مصطلحات علمية

المنطقة الضوئية Euphotic zone: الطبقة العليا من المحيط التي يخترقها ضوء الشمس ما يسمح بحدوث عملية التمثيل الضوئي.

(تابع)

ارتفاع مستوى سطح البحر	ارتفاع مستوى سطح البحر الناجم عن الاحترار العالمي يؤدي إلى تقليل كمية الضوء التي تصل إلى المرجان. وينتج عن ذلك، انخفاض مستويات التمثيل الضوئي بواسطة **الحييونات الصفراء Zooxanthellae** التي تعيش في **علاقة تبادلية Mutualistic relationship** مع المرجان، وتكسب المرجان ألوانه (الصورة ٤-٢٠). ويعتمد هذان الكائنان الحيّان أحدهما على الآخر للبقاء. يؤثر التغير في مستوى سطح البحر أيضًا على توازن عمليات التعرية والبناء التي تكوّن الشعاب المرجانية. وتؤدي زيادة تردد الأمواج وقوتها إلى إتلاف تراكيب المرجان. تؤدي العواصف الأكثر شدة الناجمة عن تغير المناخ إلى زيادة حجم وتكرار الأمواج التي تضرب الشعاب المرجانية مسببة إتلافها.
ابيضاض المرجان	تزيد درجات الحرارة المرتفعة للأسطح العلوية للمحيطات من حدوث ابيضاض المرجان (تحوله إلى اللون الأبيض). فعندما يتعرض المرجان للإجهاد بفعل عوامل البيئة، مثل ارتفاع درجة حرارة مياه المحيطات أو التلوث، والتي تتجاوز نطاق تحمله، فإنها تطرد الحييونات الصفراء، ما يضعف المرجان ويجعله عرضة للأمراض ويقلل من معدل نموه. وعند طرده للحييونات الصفراء، يحدث ابيضاض المرجان أي يتحول لونه إلى اللون الأبيض (الصورة ٤-٢١). قد يتعافى المرجان من حالات الابيضاض إذا كانت درجات الحرارة المرتفعة لا تحدث بشكل متكرر أو لا تكون مرتفعة جدًا. ومع ذلك، فإن تواتر وشدة ارتفاع درجة حرارة الماء آخذ في الازدياد، ما يعني موت المرجان في النهاية. حدثت حالات ابيضاض كبرى منذ عام 1998م، أدت إلى موت جزء كبير من الحاجز المرجاني العظيم. وقد لوحظ في عام 2016 م أن منطقة من الشعاب المرجانية على امتداد 700 km على طول ساحل المنطقة الشمالية من الحاجز المرجاني العظيم فقدت في المتوسط 67% من المرجان في المياه الضحلة (الشكل ٤-١١).
تحمض المحيطات	تمتص المحيطات (CO_2) من الغلاف الجوي كجزء من دورة الكربون. وتؤدي زيادة كمية (CO_2) في الغلاف الجوّي إلى امتصاص المحيطات للمزيد من (CO_2)، ما يؤدي إلى زيادة حموضة مياه المحيطات، وبالتالي تحمضها. تذيب المياه الحمضية كربونات الكالسيوم التي يستخدمها المرجان لبناء هياكله الخارجية. وبدون نمو الهياكل يتعرى المرجان وتتباطأ معدلات نموه، ما يمنعه من بناء الشعاب المرجانية التي يعيش فيها.
تغيرات المواطن البيئية	مع ارتفاع درجات حرارة المياه في المناطق الشمالية من الحاجز المرجاني، تهاجر العديد من الكائنات الحية جنوبًا إلى الأماكن الأكثر برودة، ما يزيد من المنافسة على الغذاء والمأوى في الشعاب المرجانية في الجنوب، ويؤدي إلى تهديد المرجان بسبب تجاوز القدرة الاستيعابية.

الجدول ٤ - ٢ تأثير تغير المناخ على الحاجز المرجاني العظيم.

مصطلحات علمية

الحييونات الصفراء Zooxanthellae: كائنات بحرية أحادية الخلية قادرة على التمثيل الضوئي وتعيش في البوليبات المرجانية.

علاقة تبادلية Mutualistic relationship: علاقة بين كائنَين حيث يستفيد كلاهما من تفاعلاتهما.

(تابع)



الصورة ٤-٢١ يوضح المرجان ذو قرون الوعل Staghorn corals تأثيرات الابيضاض بعد فترات من درجات الحرارة المرتفعة عن المعدل الطبيعي في الحاجز المرجاني العظيم الشمالي، أستراليا.

التقييم

ستتأثر الشعاب المرجانية بشدة إذا استمرت مستويات (CO_2) ودرجات الحرارة في الغلاف الجوّي في الارتفاع بمعدلها الحالي. وسيكون لخفض معدل مستويات تلوث غازات الدفيئة على مدى الأعوام والعقود القادمة تأثير كبير على هذه الكائنات الحية البحرية. ومن المرجح أن ترتفع درجة حرارة المحيطات كثيرًا (موجات الحر البحرية) بشكل أكثر انتظامًا، وستزيد من تواتر حالات ابيضاض المرجان. وستستمر في الوقت نفسه الزيادات المستمرة في مستويات (CO_2) التي تواصل تحمض المحيطات، ما يزيد من الضغط على المرجان.

التأثير المعقّد لتغير المناخ العالمي والمحلي، والمعدل الذي يحدث به، يعني أن المرجان والأنواع المرتبطة به والشبكات الغذائية التي تدعمها ستكون معرضة للخطر.

تظهر السجلات الأحفورية أن المرجان نجا من الضرر وتأقلم في الماضي مع التغيرات في مستوى سطح البحر ودرجة الحرارة. هذه المرونة والقدرة على التأقلم مع التغيرات على المدى الطويل ما زال يكتنفها الغموض. ومع ذلك، فإنها تمتلك آلية قد تحدّ من آثار تغير المناخ والبقاء.

أسئلة

١. صف عملية ابيضاض المرجان.

٢. اشرح تأثير ارتفاع مستوى سطح البحر وتحمض المحيطات على المرجان في الحاجز المرجاني العظيم.

٣. في مجموعات ثنائية، قم بإجراء بحث لمعرفة الضرر الذي قد يصيب الشعاب المرجانية على النظام البيئي البحري الأوسع. صمم مخططًا عنكبوتيًا يوضح النتائج التي توصلت إليها.

٤-٣ إدارة تغير المناخ

تتطلب استراتيجيات إدارة تغير المناخ جهدًا عالميًا. ولا يمكن لأي بلد أو شخص بمفرده أن يحدث تغييرًا كافيًا لحل مشكلة المناخ.

الحد من استخدام الوقود الأحفوري

إن تقليل انبعاثات الكربون للحد من كمية جزيئات الكربون التي تحتجز الحرارة في الغلاف الجوّي هو الإجراء الأساسي لمكافحة تغير المناخ، ويسمّى ذلك **التخفيف Mitigation**. يؤدي احتراق الفحم والنفط والغاز إلى إطلاق الكربون من دورة الكربون البطيئة في الغلاف الجوّي (الصورة ٤-٢٢). ويضيف ذلك إلى الحمل الكربوني ويزيد من تأثير الاحتباس الحراري المُعَزَّز.

مصطلحات علمية

التخفيف Mitigation: اتخاذ الإجراءات اللازمة لتقليل حدة أو خطورة شيء ما.



الصورة ٤-٢٢ منجم فحم سطحي يبيّن رواسب الفحم. يستخرج الفحم لتزويد محطات الطاقة بمصدر لتوليد الكهرباء.

توجد عدة طرائق يمكن من خلالها الحد من استخدام الوقود الأحفوري، منها:

- الإجراءات الفردية مثل الحفاظ على الطاقة في المنزل باستخدام الأجهزة الموفرة للطاقة، وعزل المنازل بشكل فعّال. إضافة إلى استخدام وسائل النقل العام أو مشاركة المركبات واختيار المشي أو ركوب الدراجة حيثما أمكن.
- قد تتضمن إجراءات الحكومات تطوير سياسات الطاقة النظيفة، مثل استخدام وسائل النقل العام التي تعمل بالطاقة النظيفة أو الوقود منخفض الكربون.

التحول إلى الوقود منخفض الكربون

الوقود منخفض الكربون Low carbon fuels (LCF) هو الوقود الذي يحتوي على نسبة كربون أقل من الوقود النفطي التقليدي (النفط والديزل). ويشمل ذلك مصادر الطاقة مثل الغاز الطبيعي أو الوقود الحيوي.

الهدف الرئيسي من استخدام الوقود منخفض الكربون هو تقليل كمية انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من المركبات ذات محركات الاحتراق الداخلي. جرى تطبيق مفهوم الوقود منخفض الكربون بين عامَي 2007 و 2011م في كاليفورنيا، الولايات المتحدة، ثم كولومبيا البريطانية، وكندا قبل اعتماده من الاتحاد الأوربي.

أحد محددات التحوّل إلى الوقود منخفض الكربون هو أنه يؤثر بشكل غير مباشر على استخدام الأراضي. يتم إنتاج الوقود الحيوي عن طريق معالجة محاصيل مثل الذرة وقصب السكر. وعلى سبيل المثال، فإن تحويل مساحات كبيرة من النباتات الطبيعية إلى قصب السكر، يؤثر على المواطن البيئية والتنوع البيولوجي.

تعد البرازيل من أكبر مستهلكي وقود الديزل الحيوي، حيث يُنتج أساسًا من زيت فول الصويا (79%) والدهون الحيوانية (15%) وفقًا لوكالة ANP في عام 2022. ويستخدم كبديل مستدام للوقود الأحفوري، ما يسهم في تقليل الانبعاثات وتعزيز أمن الطاقة.

استخدام أشكال بديلة للطاقة

يستخدم الإنسان الطاقة لتشغيل جميع أنظمته، من النقل إلى التدفئة والتبريد والإضاءة. لذا يمثل التحول من الوقود المعتمد على الكربون إلى مصادر الطاقة البديلة أمرًا أساسيًا لاستقرار مستويات ثاني أكسيد الكربون المتزايدة في الغلاف الجوّي الناتجة من الأنشطة البشرية.

وعلى الرغم من إطلاق الطاقة المتجددة (الصورة ٤-٢٣) بعض ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوّي، إلا أن هذه الكمية هي أقل بكثير من تلك التي يطلقها الوقود الأحفوري. على سبيل المثال، لإنتاج واحد كيلوواط/ساعة من الكهرباء ينبعث من الفحم 820 g من ثاني أكسيد الكربون، بينما ينبعث من طاقة الرياح 11 g. فالتحول إلى مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الحرارية الجوفية والطاقة الكهرومائية وطاقة الرياح سوف يقلل من كمية غاز (CO_2) المنبعثة يوميًا إلى الغلاف الجوّي، ويساعد في استقرار مستويات ثاني أكسيد الكربون المنبعث إليه.



الصورة ٤-٢٣ تشمل أشكال الطاقة البديلة مصادر الطاقة المتجددة مثل الكهرباء المولدة من الرياح في محافظة ظفار.

تحديث سياسات النقل

تستخدم تكنولوجيا النقل التقليدية الوقود الأحفوري كمصدر للطاقة. وهذا يعني أن مجال النقل مستهدف عند النظر في التعديلات والسياسات لتقليل انبعاثات (CO_2). يوجد اتفاق واسع النطاق لتحقيق خفض بنسبة 50% في انبعاثات (CO_2) بحلول عام 2050 م.

عند البحث عن حلول لمشكلة انبعاثات (CO_2) المرتفعة من وسائل النقل، يُعدّ مفهوم خفض **Abatement** (CO_2) ومفهوم تحسين كفاءة الوقود مفهومَين أساسيَّين.

- يمكن تحسين كفاءة الوقود من خلال تقنيات المركبات الجديدة، بما في ذلك أنظمة إدارة المحركات المتقدمة ووظائف المحرك الفعالة.
- يمكن تقليل انبعاثات المركبات من خلال استخدام التقانة مثل تقنية المحولات الحفازة.
- استخدام الوقود الحيوي المستدام، مثل الديزل الحيوي والغاز الحيوي لتشغيل المحركات.
- تطوير أنظمة النقل العام الموثوقة والفعالة من حيث التكلفة، تؤدي إلى تقليل عدد المركبات على الطريق.
- تحسين البنية التحتية للنقل لتقليل الازدحام وتشجيع استخدام وسائل النقل العام والدراجات الهوائية.
- تطوير تكنولوجيا جديدة، مثل المركبات الكهربائية، تؤدي إلى تقليل احتراق وقود المركبات.
- التشريعات، مثل دفع رسوم الازدحام congestion charges، وعلى سبيل المثال، تُفرض رسوم يومية في لندن، المملكة المتحدة، على السائقين لدخول وسط المدينة. وتُستخدم الأموال التي تُجمع من رسوم الازدحام في الحفاظ على نظام النقل العام. فيجعل ذلك من النقل العام خيارًا عمليًا ويقلل عدد المركبات على الطريق.

مصطلحات علمية

الخفض Abatement: تقليل أو إزالة شيء ما مثل انبعاثات (CO_2).

الحد من البصمة الكربونية العالمية والفردية

البصمة الكربونية هي إجمالي كمية غازات الدفيئة المنبعثة الناتجة من الأنشطة اليومية. يمكن تقليل البصمة الكربونية بعدة طرائق. على سبيل المثال، يمكن تغيير طريقة البناء (لتقليل استهلاك الطاقة)، وأنواع الطعام الذي نتناوله، واستخدام الكهرباء، وحتى تغيير عادات التسوّق (شراء السلع المحلية أو المستوردة، والاختيار بين السلع ذات العمر الافتراضي الطويل أو القصير). وعادة يكون مصدر الجزء الأكبر من البصمة الكربونية للفرد (الصورة ٤-٢٤) والمنازل والنقل والطعام.



الصورة ٤-٢٤ يمكن لأشكال النقل البديلة، مثل الدراجة الهوائية، أن تقلل من البصمة الكربونية للفرد.

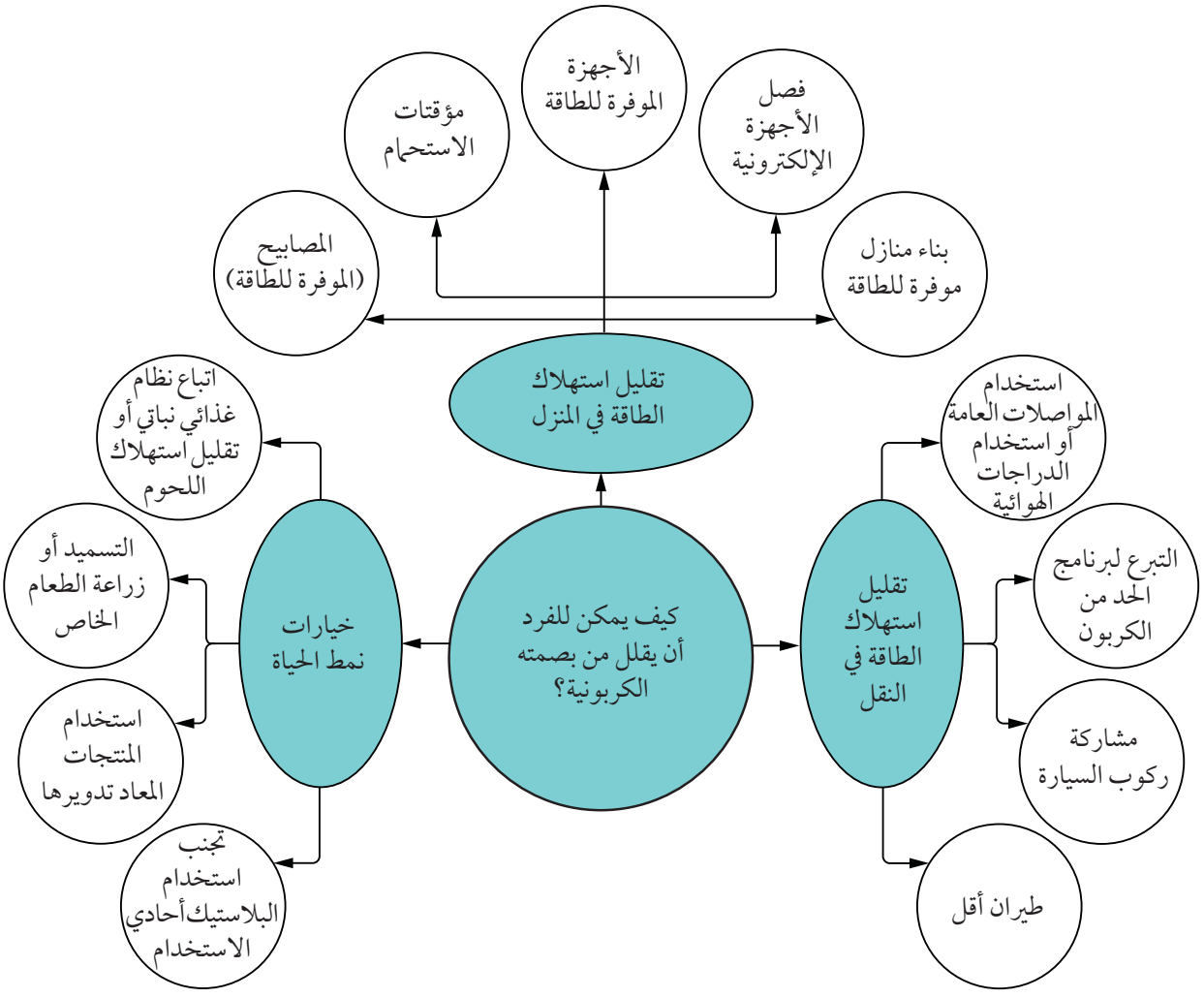
يتم تحديد بصمة الكربون للطعام بناءً على المسافة التي ينقل بها، وما إذا كان موسمه أم لا. إذا لم يكن ممكنًا زراعة المنتج محليًا، فسوف يتم استيراده، ما ينتج انبعاثات (CO_2) بسبب نقله لمسافات طويلة. كما أن تناول اللحوم له بصمة كربونية كبيرة مرتبطة به، بسبب الماء والغذاء والطاقة اللازمة لتربية الماشية. فالماشية تطلق بشكل خاص كميات كبيرة من غاز الميثان، فضلًا عن أن إقامة المزارع يسبب إزالة الغابات. لذلك فالتحول من تناول لحوم الأبقار إلى الدواجن يقلل من انبعاثات (CO_2) للفرد بنحو 700 kg من (CO_2) سنويًا. واتباع نظام

غذائي نباتي بالكامل قد يقلل من بصمة الفرد بنحو 1360kg سنويًا (الصورة ٤-٢٥). وحتى تقليل استهلاك اللحوم بشكل طفيف، كمثل تخصيص يوم أو يومَين من كل أسبوع بدون لحوم سيكون له تأثير إيجابي.

قد تساعد الأنشطة البسيطة اليومية في التخفيف من تغير المناخ، خصوصًا إذا اتّبعها الجميع (الشكل ٤-١٢).



الصورة ٤-٢٥ تقليل استهلاك اللحوم من خلال تناول البرجر النباتي المصنوع من المنتجات النباتية.



الشكل ٤-١٢ مخطط عنكبوتي يوضح كيف يمكن لاختيارات الفرد أن تقلل من بصمة الكربون.

استخدام احتجاز الكربون وتخزينه

تخزين الكربون هو عملية احتجاز (CO_2) قبل انبعاثه إلى الغلاف الجوّي وتخزينه. والطرائق الرئيسية لاحتجازه هي قبل الاحتراق Pre-combustion، وبعد الاحتراق Post-combustion، والوقود المؤكسج Oxyfuel.

- قبل الاحتراق يكون قبل حرق الوقود الأحفوري. وتتضمن تحويل الوقود الأحفوري إلى مزيج من (CO_2) والهيدروجين.
- تعمل تقنية بعد الاحتراق على إزالة (CO_2) بعد حرق الوقود الأحفوري من الغازات المنبعثة من المداخن.
- تتضمن تقنية الوقود المؤكسج حرق الوقود الأحفوري مع الأكسجين النقي تقريبًا، لينتج (CO_2) والبخار، بعد ذلك يتم احتجاز غاز (CO_2).

يمكن استخدام تقنيتَي بعد الاحتراق والوقود المؤكسج في محطات الطاقة الجديدة أو إضافتهما إلى محطات الطاقة القديمة (يضاف بعد بناء شيء ما مثل تركيب تكييف الهواء لمنزل بُني في القرن التاسع عشر). في حين تتطلب تقنية قبل الاحتراق تعديلات كبيرة على محطة الطاقة، لذلك، فإنها أكثر ملاءمة لمحطات الطاقة التي تم بناؤها حديثًا.

بمجرد احتجاز غاز (CO_2) يُضغط لتكوين سائل، ثم يتم نقله إلى موقع التخزين بواسطة الصهاريج أو الأنابيب. ويُضخّ بعد ذلك تحت الأرض على عمق 1km أو أكثر. وتستخدم غالبًا طبقات الفحم القديمة المستخرجة أو خزانات النفط المستنفدة لهذا الغرض. لهذا يقلل تخزين الكربون من نسبة الكربون في الغلاف الجوّي.

محددات هذه التقنية:

- كلفتها عالية.
- يوجد خطر منخفض لتسرب (CO_2) من مواقع التخزين.

تبذل سلطنة عُمان جهودًا رائدة في احتجاز الكربون وتخزينه للحد من الانبعاثات، ضمن استراتيجيتها للحياد الصفري. وتشمل هذه الجهود تقنيات متطورة لاحتجاز الكربون من المنشآت الصناعية وتخزينه جيولوجيًا بأمان، ما يسهم في تقليل البصمة الكربونية ودعم الاستدامة البيئية.

الحد من إزالة الغابات وزيادة إعادة التحريج والتشجير

يتم عكس عملية **عزل الكربون Carbon sequestration** من خلال قطع الأشجار أو حرقها، حيث يتم إطلاق (CO_2) إلى الغلاف الجوّي بينما تُفقد الأشجار التي تمتص (CO_2) من الغلاف الجوي وتخزنه ككتلة حيوية، ما يقلل من كمية (CO_2) التي تمتصها الغابات. كما تغير إزالة الغابات قدرة السطح على عكس أشعة الشمس، ما يقلل تأثير ظاهرة الألبيدو. وينتج من ذلك امتصاص المزيد من الطاقة ما يزيد من ظاهرة الاحترار العالمي.

إعادة التحريج Reforestation و**التشجير Afforestation** والحفاظ على الغابات تسمح بنمو مناطق غابات صحية (الصورة ٤-٢٦)، كلما زادت كثافة الأشجار وكتلتها الحيوية، زادت كمية الكربون المخزنة.



الصورة ٤-٢٦ إعادة التحريج والتشجير مصطلحان يشيران إلى زراعة الأشجار. هنا تزرع الأشجار في نظام بيئي للسافانا لتحل محل الأشجار التي فقدت أثناء إزالة الغابات من المنطقة.

مصطلحات علمية

عزل الكربون Carbon sequestration: عملية إزالة غاز (CO_2) من الغلاف الجوّي ثم تخزينه في الحالة الصلبة أو السائلة.

إعادة التحريج Reforestation: إعادة زراعة الأشجار في مناطق كانت في السابق مغطاة بالغابات، ولكنها أزيلت بسبب قطع الأشجار أو الحرائق أو غيرها من الأسباب.

التشجير Afforestation: زراعة الأشجار في منطقة لم تكن مشجرة من قبل.

التزمت سلطنة عُمان مشاريع إعادة التحريج والتشجير في جميع أنحاء البلاد، بما في ذلك محافظة ظفار اعتبارًا من عام 2020م. يهدف مشروع إعادة التحريج واسع النطاق إلى استعادة الغابات السحابية الطبيعية، باستخدام أنواع الأشجار المحلية المزروعة في خمسة مشاتل موزعة في أنحاء المنطقة. وفي عام 2024م، شارك سكان ظفار في حملة لغرس الأشجار أسفرت عن غرس 10 آلاف شجرة محلية أصيلة (الصورة ٤-٢٧).

تعد هذه طريقة فعالة نسبيًا من حيث التكلفة لمكافحة تغير المناخ، إذ إن تكلفة زراعة شجرة واحدة تُعدّ منخفضة مقارنة بتكاليف أنظمة إدارة الكربون الأخرى.



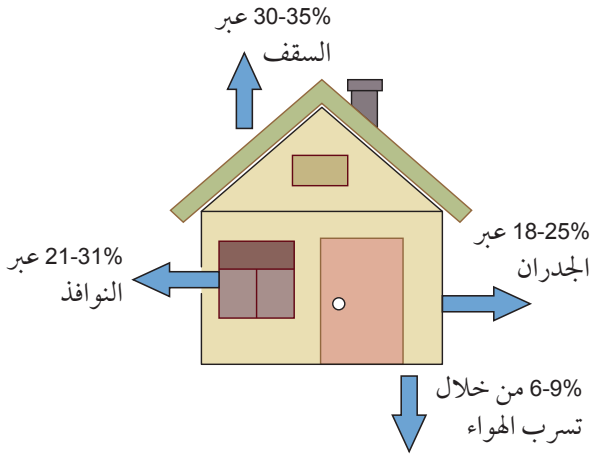
الصورة ٤-٢٧ تُنفَّذ مشاريع إعادة التحريج والتشجير في سلطنة عُمان، محافظة ظفار. هنا يظهر غرس شتلة كجزء من جهود التشجير والعمل البيئي.

المباني والبنية التحتية الموفرة للطاقة

تنتج المدن ما يُقدّر بنحو 75% من انبعاثات (CO_2) العالمية، وتُعدّ المباني أكبر العناصر المساهمة في ذلك (الشكل ٤-١٣). «تخضير» المباني يبني مستقبلًا أكثر استدامة؛ على سبيل المثال، يجب أن تكون جميع المباني الجديدة في الاتحاد الأوربي خاضعة للتصنيف الصفري، والتي تتميز بصفر استهلاك صافي للطاقة.

ينبغي أن تكون المباني في النصف الشمالي من الكرة الأرضية مواجهة للجنوب للاستفادة من طاقة الشمس (الإضاءة والتسخين الشمسي السلبي). ويجب أن تكون المباني في النصف الجنوبي للكرة الأرضية مواجهة للشمال لتبقى دافئة.

يمكن بناء المباني بشرفات Verandas توفر الظل عندما يكون الجو حارًا، لكنها تسمح بدخول أشعة الشمس في الأوقات الباردة من العام عندما تكون الشمس منخفضة. يجب عزل المباني جيدًا، وقد تكون النوافذ مزودة بزجاج مزدوج أو ثلاثي للحد من كمية الطاقة المتدفقة من خلالها. بالإضافة إلى ذلك، سوف يساعد استخدام الأدوات منخفضة الاستهلاك للطاقة مثل مصابيح (LED) والمعدات الكهربائية ذات الكفاءة من تقليل كمية الطاقة المستهلكة.



الشكل ٤-١٣ النسبة المئوية للحرارة المفقودة من منزل معزول في مناخ معتدل.

المباني السلبية

المنزل أو المبنى السلبي Passive house/building يتميز بأنه موفر للطاقة، ومريح، وميسور التكلفة، وصديق للبيئة. وهو مفهوم بناء يراعي مصدر، ونوع المواد المستخدمة، وتصميم المبنى. تستهلك المباني السلبية كميات منخفضة من الطاقة، وبالتالي تكون انبعاثات الكربون منخفضة، طوال مراحل تصنيعها وبنائها واستخدامها. قد تصل نسبة توفير الطاقة للتدفئة

والتبريد إلى 90% مقارنة بالمباني التقليدية. وهي تستخدم مصادر الطاقة داخل المبنى مثل الحرارة الشمسية، وتستعيد الحرارة لاحتوائها في المبنى.

في المباني السلبية، يوفر هيكل المبنى والنوافذ عزلًا جيدًا. وتحافظ الأسقف وألواح الأرضيات على الحرارة أثناء فصل الشتاء، في حين تعمل على إخراجها أثناء الصيف. تصمم هذه المباني أيضًا لتضمن إمدادًا مستمرًا من الهواء النقي.

تقلل المباني السلبية من انبعاثات غازات الدفيئة بشكل كبير. وهذا الأمر ليس وقفًا على المباني الجديدة، بل قد تكون المباني القديمة أيضًا سلبية إذا تم تعديلها لتتوافق مع مقتضيات الحال.

ويعد البيت البيئي العُماني في جامعة السلطان قابوس (الصورة ٤-٢٨) الذي تم افتتاحه في 22 فبراير 2017، مثالًا نموذجيًا على المباني السلبية. وقد تم تنفيذه من قِبل كلية الهندسة بجامعة السلطان قابوس بتمويل من مجلس البحث العلمي (TRC)، كخطوة نحو تعزيز مفهوم التصميم المستدام وممارسات البناء الصديقة للبيئة.

يتميز البيت البيئي بنظام طاقة شمسية كهروضوئية بقدرة 20 كيلوواط، ويتألف من 80 لوحًا شمسيًا توفر الطاقة اللازمة لتشغيل البيت، مع تصدير الفائض إلى الشبكة المحلية خلال النهار، بينما يتم استيراد الكهرباء خلال الليل.

أسئلة

١٠ عرف مصطلحَي إعادة التحريج والتشجير.

١١ اشرح كيف تقلل المباني الموفرة للطاقة من انبعاثات (CO_2).

١٢ يُسهم توليد الطاقة بشكل كبير في تغير المناخ. ناقش الطرائق التي يمكن بها تقليل هذا التأثير.

١٣ اشرح كيف يمكن أن يسهم احتجاز الكربون وتخزينه في تقليل تأثيرات ارتفاع مستويات (CO_2) على المناخ العالمي.

التأقلم مع تغير المناخ

يمكن للمجتمع إجراء تعديلات للتأقلم مع تأثيرات تغير المناخ. وتعتمد هذه التعديلات على تهديدات يواجهها. توجد مجموعة متنوعة من الاستراتيجيات المختلفة يلخصها الجدول ٤-٣.



الصورة ٤-٢٨ بيت بيئي مصمم على الطراز العماني في جامعة السلطان قابوس، ويظهر تكامل العمارة المحلية مع الاستدامة البيئية.

ارتفاع مستوى سطح البحر	من المتوقع أن يرتفع مستوى سطح البحر بمقدار يتراوح بين 20 cm و 200 cm بحلول عام 2100 م، ما يهدد المناطق الساحلية المنخفضة. تستثمر مدينة ميامي في ولاية فلوريدا في الولايات المتحدة في الهندسة الصلبة، مثل رفع مستويات الطرق، وتقوية الحواجز البحرية، وتركيب أنابيب الصرف والمضخات لضخ المياه خارجًا. وقد تم بناء حاجز فيضانات لنهر التيمز Thames Flood Barrier في لندن في المملكة المتحدة لمنع الفيضانات الناجمة عن العواصف (الصورة ٤-٢٩). وتلجأ مناطق أخرى إلى الهندسة الناعمة للحد من مخاطر تعرية السواحل والأضرار الناجمة عن هبوب العواصف. ومن الأمثلة على ذلك استعادة الأراضي الرطبة الساحلية وأشجار القرم (المانجروف).
حرائق الغابات	الاستعداد لفصول الصيف الأطول والأكثر جفافًا ودفئًا، وما يرافقها من حرائق الغابات أمر مهم في المناطق القاحلة. إن تثقيف السكان بشأن المخاطر وخطط الإجلاء يقللان من المخاطر التي تهدد الحياة. كما أن تدريب فرق الاستجابة السريعة وتطوير البنية التحتية والتكنولوجيا لمكافحة الحرائق التي تهدد المناطق المأهولة بالسكان يعد أمرًا اساسيًا أيضًا (الصورة ٤-٣٠).
الطقس القاسي	العواصف الأكثر شدة وموجات الحر تهدد الصحة والسلامة العامة. وتعمل العديد من المجتمعات على تحديث البنية التحتية للتأقلم مع هذه التغيرات. على سبيل المثال، تركيب حواجز بحرية أعلى ومصارف مياه العواصف بحجم أكبر أو بتصميم أفضل. كما تتغير أساليب تطوير العقارات بحيث تراعى مناطق الفيضانات المحتملة، بالإضافة إلى مواد البناء التي تحمي السكان في حالة الرياح القوية أو ارتفاع منسوب المياه أو الحرارة الشديدة.
التثقيف والتخطيط للطوارئ	التثقيف والتخطيط لمواجهة حالات الطوارئ أمران حيويان للمجتمعات المعرضة للمخاطر. إن فهم حجم المخاطر التي تواجهها تلك المجتمعات وتكرارها، وإجراءات الإخلاء والأماكن الآمنة أمر مهم. ويحتاج الأفراد إلى هذه المعرفة لحماية أنفسهم وأسرهم. تضع الحكومات والمنظمات غير الحكومية (NGOs) خططًا واسعة النطاق وطويلة الأمد وتوفر الاحتياطات اللازمة. وتشمل هذه الاحتياطات المواد الأساسية للبقاء مثل الأدوية والمياه والغذاء والمأوى (الصورة ٤-٣١).
حماية جودة الهواء	قد تؤدي التغيرات في المناخ إلى زيادة عدد الجسيمات العالقة المجهرية في الهواء، والتي تسبب تفاعلات وردود فعل تحسسية وزيادة حالات حمّى القش Hay fever. كما تضر بالجهاز التنفسي والقلب والأوعية الدموية. وتبحث المجتمعات في جميع أنحاء العالم عن طريق تقليل الانبعاثات في محيطها المباشر لضمان هواء أنظف.
التخطيط للانسحاب المنظم	عندما تتعرض إحدى المجتمعات لأضرار لا يمكن التعافي منها (بسبب الحرائق أو تعرية السواحل أو زيادة وتيرة العواصف أو ارتفاع مستوى سطح البحر) يمكنها اختيار الانتقال إلى منطقة جديدة أكثر أمانًا. وقد يعني هذا، الانتقال إلى أرض أعلى أو إلى مناطق أقل عرضة للكوارث المرتبطة بالمناخ.

الجدول ٤-٣ التأقلم مع تغير المناخ.



الصورة ٤-٢٩ حاجز الفيضانات في نهر التيمز، لندن، يمنع العواصف من إغراق المناطق المنخفضة عن نهر التيمز.



الصورة ٤-٣٠ معدات مكافحة الحرائق تقوم بإخماد حريق في فرنسا. استخدام تكنولوجيا مكافحة الحرائق مثل المروحيات والطائرات يقلل من المخاطر التي يتعرض لها الأشخاص على الأرض، وتتيح إمكانية الوصول إلى المناطق النائية.



الصورة ٤-٣١ تسليم الإمدادات الطارئة إلى ضحايا زلزال اليابان عام 2016م. التخطيط للكارثة يجعل هذه العملية أسهل.

الاتفاقيات الوطنية والدولية

الاتفاقيات الدولية مثل بروتوكول مونتريال (1987) وبروتوكول كيوتو (1997) واتفاقية باريس (2016) ومؤتمر الأطراف **Conference of the Parties** السادس والعشرين (2021) COP26 وُضعت بهدف الحد من ارتفاع درجة الحرارة العالمية إلى 2°C بحلول عام 2100م، وتهدف الآن إلى تقليص هذا الحد أكثر ليصل إلى 1.5°C فقط.

تأسس بروتوكول مونتريال (1987) لتسهيل التعاون الدولي للبحث حول طبقة الأوزون وتأثيرات مركبات الكلوروفلوروكربونات (CFCs) على غاز الأوزون في طبقة الستراتوسفير، وبما أن مركبات (CFCs) هي من غازات الدفيئة أيضًا، فإن ذلك سيؤثر أيضًا على درجات الحرارة العالمية. وكانت سلطنة عُمان من أوائل الدول المنفذة للاتفاقية.

نتج من قمة ريو (1992) Rio Summit اتفاق مهم حول تغير المناخ وتطوير بروتوكول كيوتو (1997)، وكان هذا الاتفاق الدولي يهدف إلى الحد من انبعاثات غازات الدفيئة بناءً على المسلّمات بأن:

١. الاحترار العالمي موجود.
٢. الانبعاثات الناجمة عن الأنشطة البشرية هي السبب الأساسي في تغير المناخ.

كانت اتفاقية باريس لعام 2016م ضمن الأمم المتحدة تتناول مسألة التخفيف من انبعاثات غازات الدفيئة والتأقلم معها وتمويلها، بدءًا من عام 2020م. وتستمر المؤتمرات السنوية في زيادة الوعي العالمي ومعالجة مشكلات الانبعاثات المرتفعة. وكان مؤتمر الأطراف الثامن والعشرين (COP28) في عام 2023م أكبر مؤتمر للمناخ من نوعه حتى الآن، وقد عقد في دبي، الإمارات العربية المتحدة. وتميز بإظهار أن التقدم الذي تحقق في التخفيف من تغير المناخ كان بطيئًا جدًا لتلبية الاتفاقيات السابقة للحد من الاحترار العالمي إلى 1.5°C. ونتيجة لذلك، قرر مندوبو الدول المشاركة تسريع العمل في كافة المجالات بحلول عام 2030م.

مصطلحات علمية

***مؤتمر الأطراف Conference of the Parties-COP:**
يشير مصطلح الأطراف إلى 197 دولة وافقت على ميثاق بيئي (اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ UNFCCC)، في عام 1992م.

يلزم مؤتمر (COP28) جميع الدول الموقعة على الاتفاقية بالابتعاد عن مصادر الطاقة الكربونية للتخفيف من أسوأ آثار تغير المناخ، وتحقيق صافي انبعاثات صفري بحلول عام 2050م. كان الاتفاق العالمي أول من ذكر بشكل واضح وصريح الحاجة إلى الحد من استخدام جميع أنواع الوقود الأحفوري، لكنه لا يزال يواجه انتقادات لعدم توضيحه ما إذا كان ينبغي على الدول التوقف تمامًا عن استخدام الوقود الأحفوري.

ومن ضمن المساعي الفاعلة لجهود سلطنة عُمان، شُكّلت "اللجنة الوطنية للتغيرات المناخية وحماية طبقة الأوزون". تُسهم هذه اللجنة في متابعة تنفيذ الاتفاقيات والبرتوكولات، والتأكّد من التزام سلطنة عُمان اتجاه تلك الاتفاقيات وإعداد الاستراتيجيات الوطنية المتعلقة بالشؤون المناخية وحماية طبقة الأوزون بما يتوافق مع رؤية عُمان 2040.

استراتيجيات الهندسة الجيولوجية لمواجهة تغير المناخ

الهندسة الجيولوجية هي استخدام تقنيات هندسية لمعالجة البيئة الطبيعية بشكل متعمد؛ وذلك للحد من التأثيرات البشرية على المناخ العالمي. لا تزال العديد من مفاهيم هذه الهندسة نظرية، ومع ذلك، فإنها جميعها تبحث في طرق للحد من آثار تغير المناخ. قد يكون ذلك عن طريق إعادة مخزون الكربون طويل الأمد إلى الأرض، أو عن طريق تقليل كمية الإشعاع الشمسي الساقط للحد من التأثير الحراري لغازات الدفيئة.

إدارة الإشعاع الشمسي

إدارة الإشعاع الشمسي Solar radiation management (SRM) أسلوب نظري لإدارة تغير المناخ. وإذا تم تطبيقه فإنه سيعمل على عكس جزء من الإشعاع الشمسي الساقط، بحيث يمنع ذلك من دخول الطاقة إلى الغلاف الجوّي، وبالتالي يحد من كمية الطاقة المحتجزة بواسطة غازات الدفيئة. ستعمل إدارة الإشعاع الشمسي بشكل فعال كدرع اصطناعي عاكس يوفر التبريد الإقليمي أو العالمي.

إحدى طرائق إدارة الإشعاع الشمسي هي زيادة كمية الإشعاع الشمسي المنعكس إلى الفضاء، من خلال تعزيز ظاهرة الألبيدو. وتتضمن مقترحات (SRM) على مستوى الأرض استخدام مضخات كبيرة تُدخل فقاعات دقيقة إلى المسطحات المائية الراكدة، ما يزيد من عاكسية سطح الماء. ويتلخص اقتراح آخر بنشر أغشية عاكسة فوق سطح المحيط، أو على أسطح مناطق الجليد الضعيفة. وحتى طلاء الطرق وأسطح المباني باللون الأبيض وتفتيح لون أوراق المحاصيل يُسهم في تبريد درجات الحرارة المحلية، حيث تُعكس أشعة الشمس بدلًا من امتصاصها، إذا تم تطبيق هذه الطرائق على نطاق واسع.

هناك ثلاثة مقترحات لإدارة (SRM) من الممكن أن تعمل داخل الغلاف الجوّي أو فوقه، هي:

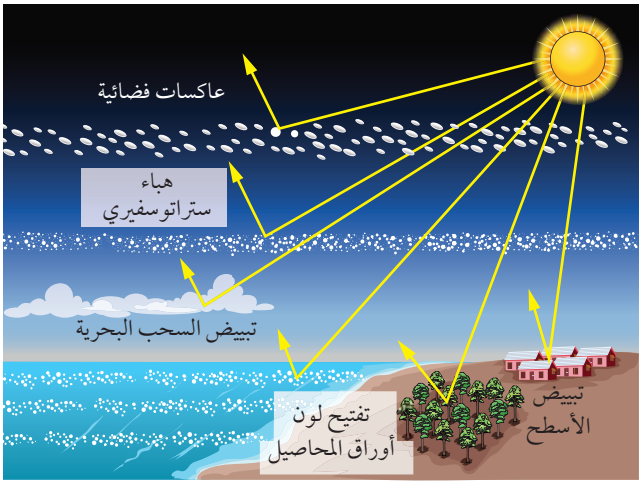
١. تعزيز الألبيدو: وتتمثل بتبييض السحب البحرية، بإدخال جسيمات المياه المالحة من المحيط إلى السحب. سيؤدي ذلك من الناحية النظرية إلى تكوين سحب جديدة أكثر بياضًا، ما يزيد من انعكاس أشعة الشمس. هذا واحد من العديد من المقترحات المختلفة الذي يتم النظر فيه في أستراليا للحد من آثار ارتفاع درجة الحرارة على الحاجز المرجاني العظيم. وفي عام 2020 م، استخدمت تجربة مبكرة توربينًا مزودًا بمئات الفوهات لرش بلورات الملح في السماء.

٢. الهباء الستراتوسفيري: تتمثل بحقن الهباء الستراتوسفيري في الغلاف الجوّي وتتضمن إدخال جسيمات عاكسة في الغلاف الجوّي العلوي.

٣. العاكسات الفضائية: المرايا الفضائية هي أقمار صناعية توضع خارج الغلاف الجوي، وهي مصممة لتغيير كمية الإشعاع الشمسي الداخل إليها. تعمل المرايا على انحراف جزء من كمية أشعة الشمس المتجهة إلى الغلاف الجوي، وبالتالي تقلل من درجات الحرارة العالمية (الشكل ٤-١٤).

تطرح (SRM) عددًا من المشكلات الأخلاقية والسياسية. فمثلًا هل ينبغي تطوير هذه التقنيات؟ وهل ينبغي استخدامها؟ ومن الذي يقرر التقنيات التي ينبغي استخدامها؟ وعلى أي أساس؟ ومن سيكون المسؤول عن هذه التقنيات؟ ومن سيدفع كلفتها؟ وهل يمكن أن تعاني بعض المجتمعات عند استخدام هذه التقنيات بشكل غير صحيح؟ تحتاج هذه الأسئلة إلى الاستقصاء، كما تحتاج الاتفاقيات الدولية الناتجة إلى معالجة المجالات التي تثير القلق لضمان عدم تسبب (SRM) بالضرر لبعض المجتمعات بينما تُفيد آخرين.

لا يمكن دائمًا فهم التأثيرات الجانبية السلبية أو غير المقصودة عند إجراء تغييرات على تدفقات الطاقة في النظام المعقد الذي يشكل ميزانيات الطاقة في العالم. وستتطلب (SRM) نمذجة شاملة لمحاولة ضمان أنها مفيدة وليست ضارة.



الشكل ٤-١٤ طرائق إدارة الإشعاع الشمسي.

تقييم استراتيجيات إدارة تغير المناخ

إدارة تغير المناخ مسألة معقدة، كما أن للعديد من الاستراتيجيات آثارًا سلبية، مثل تكاليف التنفيذ، وآثارًا بيئية إضافية، وآثارًا اجتماعية، وصعوبات سياسية. على سبيل المثال، قد يتطلب التحول إلى مصادر الطاقة المتجددة استخراج مادة الليثيوم للبطاريات من مناطق حساسة بيئيًا. إن بناء البنية التحتية مكلف، وقد يؤدي إلى تدمير النظم البيئية المحلية أو التأثير على المناطق السكنية. ومن الناحية الاجتماعية، قد يفقد الأشخاص الذين عملوا سابقًا في صناعة الوقود الأحفوري وظائفهم، وقد يحتاجون إلى إعادة التدريب في قطاعات جديدة. يجب موازنة الآثار السلبية لهذه الاستراتيجيات مع الفوائد طويلة الأمد للتخفيف من آثار تغير المناخ.

مدى الاستعداد للتأقلم والتغيير سوف يحدد شدة الاحترار العالمي. وقد قدّرت إحدى الدراسات أن النمو الاقتصادي في شبه الجزيرة العربية قد ينخفض بنسبة 69% بحلول عام 2100م إذا ارتفعت درجات الحرارة العالمية بمقدار 3°C. وإذا تم الحد من الزيادة إلى 1.5°C، فسوف ينخفض النمو الاقتصادي بنسبة 36% فقط. وقد تكون هناك أيضًا إمكانية لزيادة الأرباح من موارد الطاقة المتجددة. وقد التزمت سلطنة عُمان الوصول إلى صافي انبعاثات كربون صفري بحلول عام 2050م اعترافًا منها بأهمية الحد من ارتفاع درجات الحرارة العالمية.

أسئلة

١٤ يعد التأقلم مع تغير المناخ أحد الأساليب لإدارة تأثيراته. اشرح كيف يمكن للبشر التأقلم مع تغير المناخ.

١٥ باستخدام الأمثلة، اشرح كيف تؤدي الاتفاقيات الدولية دورًا مهمًا في إدارة تلوث الغلاف الجوّي.

١٦ اشرح محددات استخدام استراتيجيات الهندسة الجيولوجية لمواجهة تغير المناخ.

دراسة حالة موسعة

الدول الجُزُرية وارتفاع مستوى سطح البحر

العديد من الدول الواقعة في منطقة المحيط الهادئ والمكونة من مجموعات من الجزر مهددة بشكل مباشر بتغير المناخ وارتفاع مستوى سطح البحر الناتج منه. فالدول الجزرية مثل كيريباتي Kiribat وتوفالو Tuvalu وجزر مارشال Marshall (الشكل ٤-١٥) هي جزر منخفضة الارتفاع معرضة لخطر الاختفاء تحت سطح البحر في العقود القادمة.

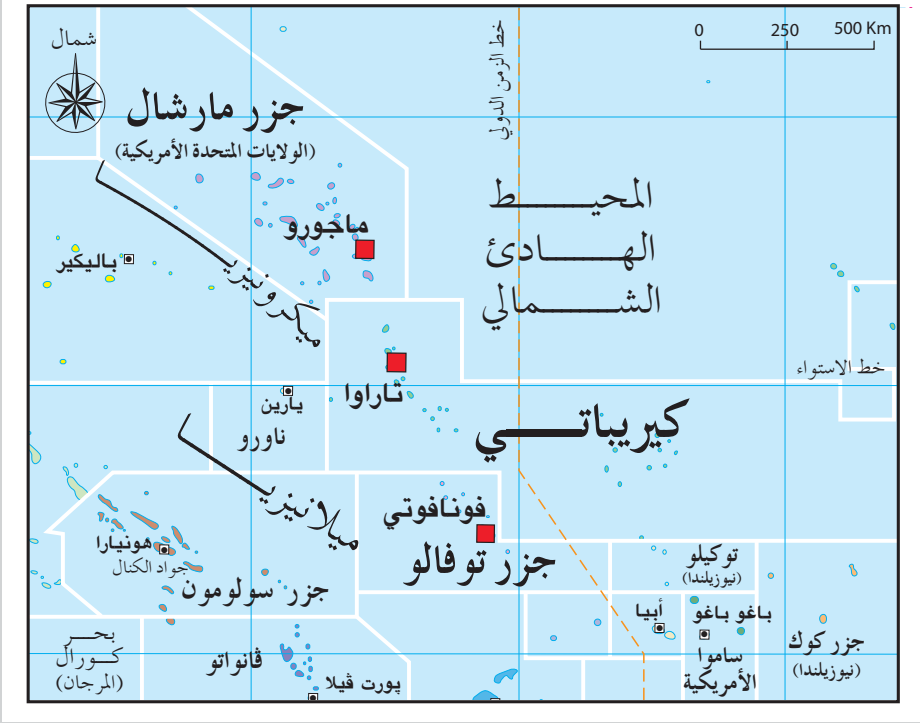
ومع ارتفاع مستوى سطح البحر تأتي التهديدات الإضافية بالفيضانات الأكثر تكرارًا وتسرّب المياه المالحة إلى مصادر المياه الجوفية، الأمر الذي يشكل خطرًا على الأمن الغذائي والمائي.

لقد فقدت ماجورو Majuro، عاصمة جزر مارشال، مساحة كبيرة من سطح الأرض بسبب البحر، واضطر السكان إلى بناء جدران بحرية لحماية منازلهم من المد والجزر لمياه البحر. وفي بعض الجزر مثل تاراوا Tarawa في دولة كيريباتي الواقعة في المحيط الهادئ، حاول السكان استرداد الأراضي من البحر. ومع ذلك، فإن معدل ارتفاع مستوى سطح البحر فاق هذه المحاولات.

وقد تأثرت أيضًا الجزر الواقعة مقابل سواحل بنغلاديش في البحر الهندي بارتفاع مستوى سطح البحر، فقد غمرت مياه البحر حقول الأرز (الصورة ٤-٣٢). وكانت زراعة الأرز هي النشاط الاقتصادي الرئيسي في البلاد، لذلك يحاول المزارعون التأقلم مع التغيير عن طريق تحويل حقول الأرز المغمورة بالمياه إلى "حقول ملح" واستخراج الملح بدل ذلك.



الصورة ٤-٣٢ أمواج البحر تضرب بقوة على طول جدار البحر، ما يتسبب بتعرية السواحل ويهدد منازل السكان الذين يعيشون على الجزر.



الشكل ٤-١٥ خريطة توضح موقع كيريباتي وتوفالو وجزر مارشال.

(تابع)



الصورة ٤-٣٣ الأضرار التي لحقت بالمباني بفعل ارتفاع منسوب مياه البحر والبحار العاصفة.

وهذه التأثيرات على الدول الجزرية النامية تسلط الضوء على الحاجة إلى خطط اجتماعية عادلة للمساعدة في الهجرة الناجمة عن تغير المناخ. ومع ذلك فهؤلاء المهاجرون ليسوا هم الذين سبّبوا المشكلة بالدرجة الأولى، فقد أصبح سكان هذه الجزر بدون مأوى، بل بدون أرض أيضًا، وهم بحاجة إلى فرصة للعيش في مكان آخر (الصورة ٤- ٣٣).

الكارثة البطيئة المتمثلة في ارتفاع مستوى سطح البحر ستدفع السكان إلى الانتقال وعدم العودة أبدًا. فحيثما يحدث ارتفاع في مستوى سطح البحر على طول سواحل القارات، يضطر السكان إلى الانتقال إلى الداخل من أجل البقاء. أما الدول الجزرية فلا تتمتع بهذا الترف، ومع انزلاق جزرها تحت الأمواج، فإنها تسعى للجوء إلى الدول المجاورة.

يكلف نقل السكان مبالغ كبيرة من المال. ليس النقل وحده ما يجب أخذه في الاعتبار بل تحتاج المناطق المستقبلة إلى البنية التحتية مثل الطرق والتخلص من النفايات والأمن المائي والغذائي والإسكان والمدارس والرعاية الطبية. ويجب تطوير فرص عمل ليتوفر للسكان الجدد إمكانية كسب لقمة العيش والاستقلال اقتصاديًا.

هذه مشكلة عالمية تتطلب جهدًا عالميًا. وتعمل المنظمات الدولية (NGOs) على دعم المهاجرين "النازحين بسبب المناخ" مثل مشروع مساعدة اللاجئين الدولي (International Refugee Assistance Project (IRAP)) للعمل من أجل حقوقهم القانونية. يعالج IRAP التفاوت الاجتماعي والسياسي والاقتصادي الذي يواجهه هؤلاء اللاجئون، والذي يؤثر على قدرتهم على الانتقال إلى مكان أكثر أمانًا. ويجد المهاجرون الذين لديهم موارد مالية أقل أو الذين يهتمون بآخرين صعوبة أكبر في بدء حياة جديدة في مكان جديد.

لا يكمن التفاوت الاجتماعي في حقيقة أن الأثرياء فقط يمكنهم الانتقال في حين أن الفقراء لا يستطيعون ذلك، ولكن أيضًا في أن النسبة الأكبر من تأثيرات تغير المناخ تُسببها الدول الغنية، بينما تكون التأثيرات الأكبر على الدول ذات الدخل المنخفض.

وتشير التقديرات إلى أن أصحاب الدخل المرتفع على مستوى العالم (1%) (63 مليون شخص تقريبًا) قد صدر عنهم ضعف كمية انبعاثات الكربون خلال الـ 25 عامًا المنصرمة بين عامَي 1990 و2015م مقارنة بـ 3.1 مليار شخص من أصحاب الدخل الأدنى 50%.

في عام 2015م، أدرك قادة العالم الحاجة إلى تطوير أسلوب متكامل لحل هذه المشكلات. وفي مؤتمر COP21 في باريس تم تكوين فريق عمل لبدء حوار مهم حول كيفية مساعدة لاجئي المناخ. وجرى إعداد الميثاق العالمي بشأن الهجرة الآمنة والمنظمة والمنتظمة Global Compact on Safe, Orderly and Regular Migration والميثاق العالمي للاجئين Global Compact of Refugees. ومع ذلك، فإن أحد العوائق أمام التقدم هو نقص التمويل المتاح للتخفيف من آثار تغير المناخ (الصورة ٤-٣٤).



الصورة ٤-٣٤ أكياس الرمل الموضوعة على طول الشواطئ في جزر مارشال لمنع المزيد من تعرية السواحل.

(تابع)

قدّر عدد الأشخاص النازحين بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر بحلول عام 2017 م في جميع أنحاء العالم بنحو 26 مليونًا. وقد يزيد هذا العدد بحلول عام 2050 م. ومع ذلك، تشير تقديرات أخرى إلى أن عدد الأشخاص النازحين بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر بحلول عام 2100 م قد يتراوح بين 410 ملايين و 2 مليار شخص (إذا وصل ارتفاع مستوى سطح البحر إلى مترَين فوق المستويات الحالية).

أسئلة دراسة الحالة الموسعة

١. اشرح أسباب ارتفاع مستوى سطح البحر.

٢. جزر مارشال تتعرض بشكل متكرر للأعاصير. صف كيف يفاقم ارتفاع مستوى سطح البحر آثار الإعصار.

٣. جرى تحديد تنبؤات ارتفاع مستوى سطح البحر لجزر مارشال لثلاثة مستويات مختلفة من الانبعاثات.

أ. استخدم البيانات الموضحة في الجدول أدناه ومثّلها بيانيًا على ورق التمثيل البياني في دفترك.

ب. صف واشرح الاختلافات في التنبؤات.

ج. احسب النسبة المئوية للتغير لجميع المستويات الثلاثة للانبعاثات بين عامَي 2030 م و 2090 م.

السنة	ارتفاع مستوى سطح البحر الذي تم التنبؤ به/ cm		
	2030	2055	2090
انبعاثات منخفضة	10	22	41
انبعاثات متوسطة	15	30	63
انبعاثات مرتفعة	16	37	72

مشروع دراسة حالة موسعة

ابحث حول تأثير ارتفاع مستوى سطح البحر على جزر المالديف. ضع في اعتبارك العوامل التالية:

- سبب ارتفاع مستوى سطح البحر.
- معدل ارتفاع مستوى سطح البحر.
- تأثيرات ارتفاع مستوى سطح البحر على السكان والبيئة.
- الإجراءات الجارية لمحاولة مكافحة المشكلة.
- التاريخ المتوقع أن تصبح فيه الجزر غير صالحة للسكن.

مهمة: افترض أنك تقيم في جزر المالديف، اكتب مقالة من 300 كلمة حول تأثير ارتفاع مستوى سطح البحر. اكتب رأيك حول كيفية تأثيره عليك.

ملخّص

الاحتباس الحراري الطبيعي هو ظاهرة طبيعية، لكن الاحتباس الحراري المُعَزّز يقوده النشاط البشري، بما في ذلك احتراق الوقود الأحفوري وتربية الماشية وزراعة الأرز ومواقع ردم النفايات.
تغير المناخ هو زيادة في درجات الحرارة حول العالم، ما يتسبب بحدوث تغييرات في الصفائح الجليدية والهطول ودرجات حرارة المحيطات وتحمض المحيطات وأنماط الرياح وتوزيع الأنواع والتنوع البيولوجي.
من المتوقع أن الأحداث الجوية القاسية مثل الفيضانات والجفاف سوف يزداد تكرارها وشدتها.
من المتوقع أن تتغير إنتاجية المحاصيل، ما يؤثر على الأمن الغذائي العالمي.
نماذج المناخ محدودة، حيث إن البيانات المرتبطة بها لم يتم فهمها بشكل كامل بعد، ولا تزال آليات التغذية الراجعة قيد الاكتشاف.
تتضمن إدارة تغير المناخ عوامل تقلل من انبعاثات غازات الدفيئة.
التأقلم مع تغير المناخ يتضمن التعديلات التي يجريها المجتمع للبقاء على قيد الحياة في مواجهة تهديدات تغير المناخ.
استراتيجيات الهندسة الجيولوجية باستخدام (SRM) تشمل زيادة الألبيدو على مستوى الأرض، وتبييض السحب البحرية، وحقن الهباء الستراتوسفيري.

أسئلة نهاية الوحدة

١ أي البدائل يمثل غاز الدفيئة الرئيسي المسؤول عن تغير المناخ الناجم عن النشاط البشري؟

أ. الأكسجين (O_2)

ب. النيتروجين (N_2)

ج. ثاني أكسيد الكربون (CO_2)

د. كلوروفلوروكربونات (CFCs) [1]

٢ أي البدائل تصف تأثير طويل الأمد لانصهار الجليد القطبي بسبب تغير المناخ؟

أ. زيادة توفر المياه العذبة.

ب. ارتفاع مستوى سطح البحر.

ج. انخفاض النشاط البركاني.

د. انخفاض درجات الحرارة المرتفعة. [1]

٣ أي مما يأتي يُعدّ استراتيجية رئيسية للتخفيف من تغير المناخ؟

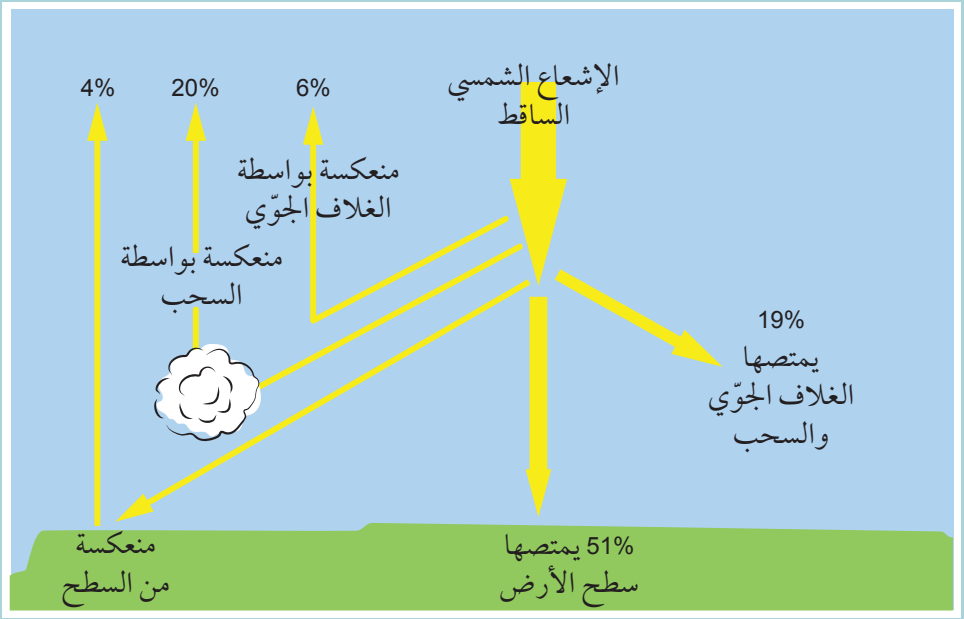
أ. زيادة استخدام الفحم في إنتاج الطاقة.

ب. توسعة نطاق إزالة الغابات لتوفير المزيد من الأراضي للزراعة.

ج. التحول إلى مصادر الطاقة المتجددة مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية.

د. إزالة ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوّي باستخدام مركبات CFCs [1]

٤ **الشكل ١٦-٤** هو نموذج يمثل الاحتباس الحراري الطبيعي وكمية الطاقة المتوافرة في الغلاف الجوّي.



الشكل ١٦-٤

أسئلة نهاية الوحدة

أ. اشرح: لماذا يُعدّ تأثير الاحتباس الحراري الطبيعي مهمًّا للحياة على الأرض. **[2]**

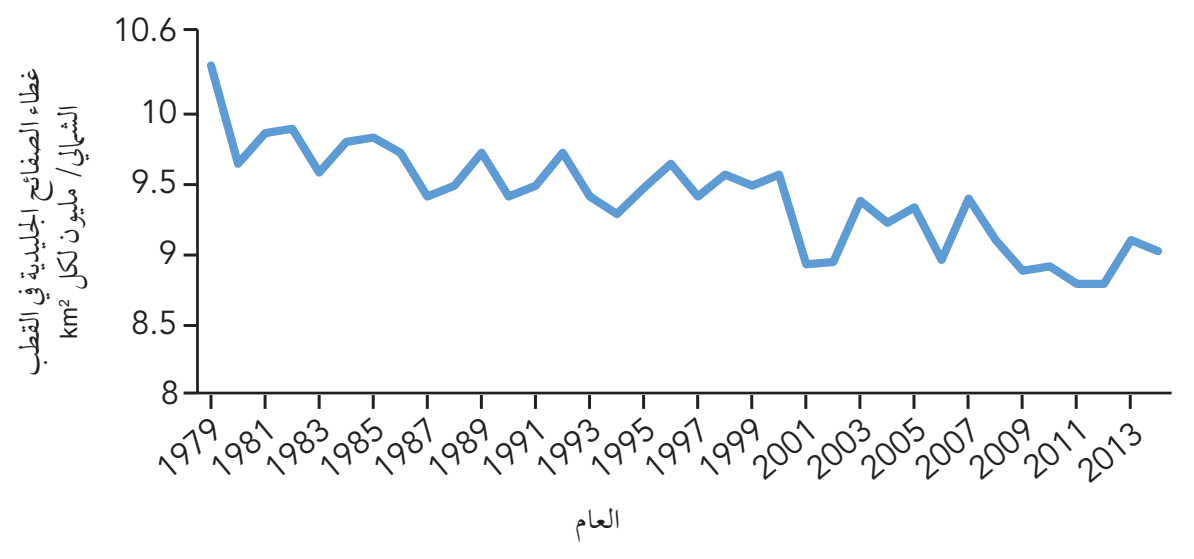
ب صف واشرح كيف من المتوقع أن تتغير ميزانية الطاقة بسبب الاحتباس الحراري المُعَزّ. **[3]**

ج. صف الأسباب الرئيسية للاحتباس الحراري المُعَزّ. **[2]**

د. ناقش بعض تأثيرات الاحتباس الحراري المُعَزّ على البيئة الطبيعية. **[6]**

[المجموع: 13]

٥ يوضح **الشكل ٤-١٧** التغير في الجليد البحري في القطب الشمالي في شهر مارس بين عامَي 1979 و 2013 م. يمثل شهر مارس عادة الشهر الذي يصل فيه الجليد البحري في القطب الشمالي إلى أقصى حد له.



الشكل ٤-١٧

أ. صف الاتجاه في غطاء الصفائح الجليدية بين عامَي 1979 و 2013 **[2]**

ب. اقترح تفسيراً لهذا الاتجاه. **[3]**

ج. صف تأثير انصهار جليد اليابسة على المناطق الساحلية حول العالم. **[3]**

[المجموع: 8]

(تابع)

٦ يناقش هذا النص الانخفاض المحتمل في إمدادات الغذاء وندرة المياه بحلول عام 2050م.

انخفاض إمدادات الغذاء وندرة المياه

القطاع الزراعي هو المستهلك الأكبر للمياه في العالم، حيث يستخدم نحو 70% من إجمالي المياه التي يستهلكها البشر. ومن المتوقع أن يزيد احتمال ضعف إنتاج المحاصيل بمقدار 4.5 مرة بحلول عام 2030م، وبمقدار 25 مرة بحلول عام 2050م، حيث تُعدّ ندرة المياه أحد الأسباب الرئيسية لهذه المشكلة. ومن المقدّر أن تنخفض المساحة المناسبة لزراعة القمح في كينيا، من 101666 km^2 حاليًا إلى 23792 km^2 عام 2050م وإلى 15435 km^2 في عام 2070م.

كما يتزايد الطلب العالمي على الغذاء والمياه بسبب التغيرات في أنماط الاستهلاك والزيادة المستمرة في عدد سكان العالم.

والاستراتيجيات الرئيسية لتلبية هذا الطلب على الغذاء هي زيادة تكثيف الأراضي الزراعية وتوسيع الأراضي الزراعية الحالية. ومع ذلك، فإن تغير المناخ يهدد موارد المياه المتاحة في معظم مناطق زراعة الغذاء على كوكب الأرض.

أ. أعط مثالين لممارسات زراعية تؤدي إلى تغير المناخ. **[2]**

ب. اشرح كيف من المتوقع أن يؤدي تغير المناخ إلى تغيير إمدادات المياه في جميع أنحاء العالم، وبالتالي يكون له تأثير على إنتاجية المحاصيل. **[3]**

ج. يُعتقد أن انبعاثات (CO_2) لها تأثير إيجابي محتمل على بعض المحاصيل. اشرح: لماذا من المتوقع أن تزيد إنتاجية بعض المحاصيل بسبب زيادة (CO_2) في الغلاف الجوّي؟ **[2]**

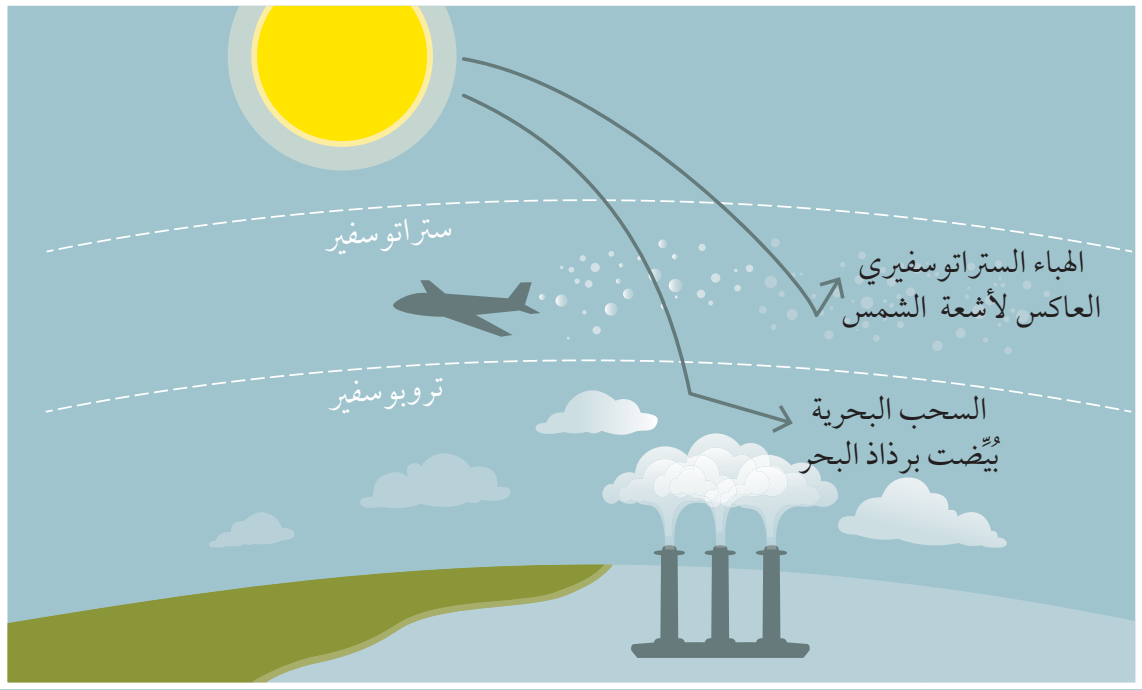
د. إدارة تغير المناخ أمر ممكن. ناقش بعض الاستراتيجيات التي يمكن استخدامها للمساعدة في إدارة التأثيرات التي يحدثها البشر على الغلاف الجوّي. **[6]**

هـ. التأقلم مع تغير المناخ أحد الخيارات المتاحة للبشر. اشرح: لماذا لا يكون هذا خيارًا للعديد من النظم البيئية؟ **[3]**

[المجموع: 16]

(تابع)

٧ يوضح **الشكل ٤-١٨** استراتيجيتَين مقترحتَين للهندسة الجيولوجية لمعالجة تأثيرات الاحترار العالمي على كوكب الأرض.



الشكل ٤-١٨

أ. اشرح المقصود بالهندسة الجيولوجية. **[2]**

ب. صف كيف تساعد هاتان الاستراتيجيتان في إدارة تغير المناخ العالمي. **[2]**

ج. اشرح المخاوف الحالية المرتبطة باستخدام حلول الهندسة الجيولوجية في تغير المناخ. **[3]**

[المجموع: 7]

٨ قيّم نجاح الاستراتيجيات المتبعة لإدارة تأثير تغير المناخ في مكان من اختيارك.
قدّم أسبابًا وضمّن معلومات من أمثلة ذات الصلة تدعم إجابتك. **[10]**

٩ «التأثير الأكثر أهمية لتغير المناخ هو ارتفاع مستوى سطح البحر». إلى أي مدى تتفق مع هذه العبارة؟
قدّم أسبابًا وضمّن معلومات من أمثلة ذات الصلة تدعم إجابتك. **[10]**

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول الآتي.

أستطيع أن	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	أقترب من تحقيق الهدف	واثق من الاستمرار	أراجع الموضوع
أعرّف غازات الدفيئة بأنها الغازات الموجودة في الغلاف الجوي والتي تمتص الأشعة تحت الحمراء، ويحدد بعض غازات الدفيئة الشائعة مقتصرًا على: ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء والميثان.				١-٤
أصف المصادر الرئيسية لانبعاثات غازات الدفيئة الناتجة من الأنشطة البشرية بما في ذلك: • احتراق الوقود الأحفوري (ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء) • زراعة الأرز وتربية الماشية (الميثان) • انصهار الجليد في التربة الصقيعية (ثاني أكسيد الكربون والميثان) • مواقع ردم النفايات (الميثان).				١-٤
أشرح كيف يساعد تأثير الاحتباس الحراري الطبيعي في الحفاظ على دفء الأرض بما يكفي لاستدامة الحياة.				١-٤
أشرح كيف أن زيادة تراكيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي تسبب زيادة تأثير الاحتباس الحراري المعزَّز، ما يؤدي إلى الاحترار العالمي وتغير المناخ.				
ألخص صعوبات مراقبة تغير المناخ والتنبؤ به بما في ذلك: • البيانات التنبؤات المناخية المستقبلية من خلال استخدام نماذج مناخية حاسوبية تستخدم متغيرات مختلفة • آليات التغذية الراجعة المناخية ليست مفهومة تمامًا • التأخير الزمني بين السبب والتأثير • عدم اليقين بشأن استخدام بعض البيانات في استخلاص النتائج أدى إلى اختلاف وجهات النظر العلمية والسياسية.				١-٤

(تابع)

أستطيع أن	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	أقترب من تحقيق الهدف	واثق من الاستمرار	أراجع الموضوع
ألخّص كيفية تأثر الجدل حول تغير المناخ بما يأتي: • التحيز العلمي • بيانات غير موثوقة • الإبلاغ الكاذب عن الاستنتاجات العلمية.				١-٤
أصف تأثيرات تغير المناخ على البيئة بما في ذلك التغيرات في: • درجة الحرارة والهطول • مستوى سطح البحر • دوران المحيطات والرياح • مدى امتداد السطوح الجليدية ومقدار الألبيدو لمخازن الجليد (الجليد البحري، والصفائح الجليدية، والأنهار الجليدية، والتربة الصقيعية) • توزيع الأنواع والتنوع البيولوجي.				٢-٤
أصف تأثيرات تغير المناخ على الإنسان بما في ذلك: • زيادة تكرار حدوث الطقس القاسي وشدته التي تؤدي إلى الفيضانات وفقدان الأراضي والجفاف وحرائق المناطق البرية، وتضرر الممتلكات، وفقدان الأرواح • الهجرة القسرية • التأثيرات على الأمن الغذائي من خلال انخفاض إنتاجية المحاصيل وزيادة تفشي الآفات • التأثيرات على أمن الماء والطاقة.				٢-٤

(تابع)

أستطيع أن	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	أقترب من تحقيق الهدف	واثق من الاستمرار	أراجع الموضوع
أصف استراتيجيات إدارة تغير المناخ من خلال التقليل من انبعاثات غازات الدفيئة بما في ذلك: • الحد من استخدام الوقود الأحفوري • التحوّل إلى الوقود منخفض الكربون • استخدام أشكال بديلة للطاقة • تحديث سياسات النقل • الحد من البصمة الكربونية العالمية والفردية • استخدام احتجاز الكربون وتخزينه • الحد من إزالة الغابات وزيادة إعادة التحريج والتشجير • المباني والبنية التحتية الموفرة للطاقة • التأقلم مع تغير المناخ • اتفاقيات وطنية ودولية مثل بروتوكول كيوتو 1992، واتفاقية باريس 2016 (المعرفة التفصيلية بالاتفاقيات الدولية غير مطلوبة)				٣-٤
ألخص استراتيجيات الهندسة الجيولوجية لمواجهة تغير المناخ بما في ذلك: • إدارة الإشعاع الشمسي (SRM) – تعزيز ظاهرة الألبيدو، والعاكسات الفضائية، والهباء الستراتوسفيري.				٣-٤
أقيّم استراتيجيات إدارة تغير المناخ.				٣-٤

مصطلحات

الأفعال الإجرائية

احسب Calculate: أوجد الحل استنادًا إلى الحقائق أو الأرقام أو المعلومات المقدمة.

ارسم Sketch: أنشئ رسمًا تخطيطيًا بسيطًا يوضح الملامح الرئيسية.

اذكر State: عبّر بكلمات واضحة.

اشرح Explain: اعرض الأهداف أو الأسباب/اجعل العلاقات بين الأشياء واضحة/توقّع لماذا و/أو كيف، وادعم إجابتك بأدلّة ذات صلة.

اقترح Suggest: طبّق المعرفة والفهم على المواقف التي تتضمّن مجموعة من الإجابات الصحيحة من أجل تقديم المقترحات.

برّر Justify: ادعم الموضوع بالأدلة والحجة.

تنبأ Predict: اقترح ما قد يحدث بناءً على المعلومات المتاحة.

حدّد Identify: سمِّ، اختر، تعرّف.

صِف Describe: قدّم/اذكر الخصائص أو السمات والميزات الرئيسية.

عرّف Define: اذكر المعنى الدقيق.

علّق Comment: أعطِ رأيًا مستنيرًا.

قارن Compare: حدّد أوجه التشابه و/أو الاختلاف معلّقًا عليها.

قدّم Give: استخرج إجابة من مصدر معيّن أو من الذاكرة.

قوِّم Assess: أصدر حكمًا مفيدًا أو مستنيرًا.

قيِّم Evaluate: قيّم شيئًا ما، أي احكم على جودته، أهميته، كميته، أو قيمته.

لخص Summarize: اختر وقدم النقاط الرئيسية بدون تفصيل.

ناقش Discuss: اكتب بعمق حول الموضوع بطريقة بنائية منظمة.

المصطلحات

الإبلاغ الكاذب False reporting: تقديم معلومات خاطئة أو ملفقة أو متحيزة. (ص ١٣٨)

الاحترار العالمي Global warming: زيادة متوسط درجات الحرارة السطحية على سطح الأرض بفعل ارتفاع مستويات غازات الدفيئة. (ص ١٣١)

الاحتباس الحراري الطبيعي Natural greenhouse effect: ظاهرة طبيعية تحدث بسبب غازات الدفيئة في الغلاف الجوي لكوكب ما، حيث تعمل هذه الغازات كعازل يمنع تسرّب الحرارة إلى الفضاء، ما يحافظ على درجة حرارة سطح الكوكب أعلى مما سيكون عليه في غياب هذه الغازات. (ص ١٣١)

الاحتباس الحراري المعزّز Enhanced greenhouse effect: ظاهرة تحدث عندما تؤدي الأنشطة البشرية إلى زيادة تراكيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي في فترة زمنية قصيرة، ما يسبب زيادة كبيرة في الحرارة المحتجزة في الغلاف الجوي ويؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض وتغير المناخ. (ص ١٣٤)

الاحتراق Combustion: عملية حرق (الوقود الأحفوري) مع الأكسجين. (ص ١٣٢)

الأحماض الدهنية Fatty acids: جزيئات دهنية وهي من المكونات الرئيسية للدهون الثلاثية والدهون المفسفرة، وهي سلاسل هيدروكربونية طويلة. (ص ٢٧)

اختراق الضوء Light penetration: العمق الذي يمكن للضوء أن يخترق فيه مادة معيّنة. (ص ٧٣)

ATP Adinosine triphosphate: الجزيء الذي يُعدّ عملة الطاقة العالمية في جميع الخلايا الحية؛ والهدف من عملية التنفّس هو إنتاج ATP. (ص ٢٥)

ADP Adenosine diphosphate: هو جزيء يتحول إلى جزيء ATP بإضافة مجموعة الفوسفات، وهي عملية تتطلب طاقة. بينما عملية إزالة الفوسفات من ATP لإنتاج ADP تحرّر الطاقة. (ص ٣٦)

الإستروجين Oestrogen: هرمون ستيرويدي وهو الهرمون الجنسي الأساسي للإناث. (ص ٢٣)

الأسموزية Osmosis: محصلة حركة جزيئات الماء من منطقة ذات جهد ماء أعلى إلى منطقة ذات جهد ماء أقل عبر غشاء منفذ انتقائيًا. (ص ٣٤)

الأشعة تحت الحمراء Infrared radiation: نوع من الإشعاع غير المرئي للعين البشرية، لكن يتم تحسسه على شكل حرارة. (ص ١٣١)

إعادة التحريج Reforestation: إعادة زراعة الأشجار في مناطق كانت في السابق مغطاة بالغابات، ولكنها أزيلت بسبب قطع الأشجار أو الحرائق أو غيرها من الأسباب. (ص ١٥٣)

أعراف Cristae: انثناءات الغشاء الداخلي للميتوكندريا؛ تشارك في عملية التنفّس الهوائي. (ص ٢٥)

أغشية الثايلاكويد Thylakoid membranes: تراكيب غشائية توجد في ستروما البلاستيدات الخضراء؛ تتكدّس الثايلاكويدات فوق بعضها مكوّنة جرانا؛ وهي مكان حدوث المرحلة المعتمدة على الضوء من التمثيل الضوئي. (ص ٢٥)

الأكوابورينات Aquaporins: بروتينات قنوية في الأغشية ينفذ عبرها الماء. (ص ٣٦)

آلية التغذية الراجعة المناخية Climate feedback mechanism: عملية تسبب تسريع أو إبطاء اتجاه ظاهرة الاحترار العالمي. (ص ١٣٣)

هذه الآلية غير واضحة تمامًا في الوقت الحالي، ويشار إليها أيضًا باسم حلقة تغير المناخ. (ص ١٣٢)

الانتشار Diffusion: الحركة العشوائية للجزيئات (أو الجسيمات) من المنطقة ذات التركيز الأعلى إلى المنطقة ذات التركيز الأقل، نتيجة الحركة العشوائية للجزيئات (مع منحدر التركيز)؛ وهو شكل من أشكال النقل السلبي، لا يتطلب طاقة إضافية. (ص ٣٤)

الانتشار المسهل Facilitated diffusion: عملية تنتشر بها المواد القطبية عبر أغشية الخلايا عن طريق بروتينات حاملة أو قنوية. (ص ٣٤)

إندوريفتيا Endoriftia: نوع من البكتيريا التكافلية يوجد في الدودة الأنبوبية ريفتيا. (ص ٨٧)

الأوزون Ozone: O_3، غاز عديم اللون والرائحة ويتكون من الأكسجين بفعل الأشعة فوق البنفسجية (UV). (ص ١٠٣)

الأوزون الأرضي Ground-level ozone: يتشكّل عندما تتفاعل أكاسيد النيتروجين (NO_x) والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs) بفعل ضوء الشمس. (ص ٩٧)

الأوكسيهيموجلوبين Oxyhaemoglobin: يتكوّن عندما يرتبط الهيموجلوبين مع الأكسجين في الخياشيم (تفاعل عكسي). (ص ٤٣)

بروتينات حاملة Carrier proteins: بروتينات الغشاء التي تشارك في نقل المواد من أحد جوانب الأغشية إلى جانبها الآخر (من وإلى الخلية)؛ لها موقع ارتباط محدد ترتبط به المواد فتغير شكلها لنقل المادة عبر الغشاء. (ص ٢٨)

بروتينات قنوية Channel proteins: بروتينات الغشاء التي تشارك في نقل المواد من جانب إلى آخر من الأغشية (من وإلى الخلية)؛ تحتوي على قناة (مسام داخلي) تسمح بمرور المواد عبرها. (ص ٢٨)

البصمة الكربونية Carbon footprint: كمية انبعاثات (CO_2) إلى الغلاف الجوّي نتيجة لأنشطة يقوم بها فرد أو مؤسسة أو مجتمع ما. (ص ١٣٠)

البلاستيدة الخضراء Chloroplast: العضيّة المسؤولة عن التمثيل الضوئي في الكائنات حقيقية النواة. (ص ٢٠)

***البيانات البديلة Proxy data:** الخصائص الفيزيائية البيئية المحفوظة التي تمثل بديلًا لقياس المعلومات المناخية الفعلية، ما يساعد في فهم التغيرات المناخية الحالية والمستقبلية. (ص ١٣٥)

تبادل الغازات Gas exchange: الحصول على الأكسجين واطلاق ثاني أكسيد الكربون بواسطة الخلايا أو السطوح الأخرى. (ص ٣٩)

***التباين الشمسي Solar variation:** التغيرات في كمية الإشعاع الصادر من الشمس. (ص ١٣٨)

***التحيز التأكيدي Confirmation bias:** الميل إلى تجاهل أو استبعاد البيانات التي تتعارض مع الفرضية، مع التركيز فقط على المعلومات التي تدعمها، ولو لم تكن تلك البيانات تدعمها فعليًا. (ص ١٣٨)

***التحلل البيولوجي Biodegrade:** تحلل المادة العضوية بفعل البكتيريا أو كائنات حية أخرى. (ص ١٣٢)

***التخفيف Mitigation:** اتخاذ الإجراءات اللازمة لتقليل حدة أو خطورة شيء ما. (ص ١٤٩)

الترسيب الحمضي Acid deposition: مزيج من ملوّثات الهواء التي تترسّب من الغلاف الجوّي على شكل ترسيب حمضي رطب (pH < 5.6) أو ترسيب حمضي جاف. (ص ٩٩)

الترسيب الحمضي الجاف Dry acid deposition: ترسب ملوّثات الغلاف الجوّي على سطح الأرض في غياب الرطوبة، مثل الغبار أو الغازات. (ص ٩٩)

الترسيب الحمضي الرطب Wet acid deposition: ترسب ملوّثات الغلاف الجوّي على سطح الأرض على شكل هطول، مثل الثلج، والمطر، والبَرَد والضباب. (ص ٩٩)

تروفوزوم Trophosome: عضو يوجد داخل بعض الكائنات الحية ويحتوي على بكتيريا تكافلية. (ص ٨٧)

التستوستيرون Testosterone: هرمون ستيرويدي وهو الهرمون الجنسي الأساسي للذكور. (ص ٢٣)

التشجير Afforestation: زراعة الأشجار في منطقة لم تكن مشجرة من قبل. (ص ١٥٣)

التمثيل الضوئي Photosynthesis: عملية حيوية يتم فيها استخدام طاقة الضوء لبناء الجلوكوز من ثاني أكسيد الكربون والماء لإنتاج طاقة كيميائية. (ص ٢٥)

التمثيل الكيميائي Chemosynthesis: هو بناء المركبات العضوية بواسطة البكتيريا أو الكائنات الحية الأخرى، باستخدام الطاقة الناتجة من تفاعلات كيميائية تشمل مواد غير عضوية مثل كبريتيد الهيدروجين أو الميثان أو أملاح الحديد. (ص ٦٧)

تنبؤات تغير المناخ Climate change predictions: تقديرات للظروف المناخية المستقبلية، مع مراعاة كل من الزمن (الأشهر والأعوام والعقود) والمكان (عالمي أو إقليمي أو محلي). (ص ١٣١)

التنفّس الهوائي Aerobic respiration: هو عملية إطلاق الطاقة من الجلوكوز أو مادة متفاعلة عضوية أخرى بوجود الأكسجين، وينتج ثاني أكسيد الكربون والماء كنواتج فضلات. (ص ٨٠)

التنفّس اللاهوائي Anaerobic respiration: هو عملية إطلاق الطاقة من الجلوكوز أو أي مادة متفاعلة عضوية أخرى بغياب الأكسجين حيث تنتج الحيوانات اللاكتات كنواتج فضلات، في حين تنتج النباتات والفطريات الإيثانول وثاني أكسيد الكربون. (ص ٨٠)

التهوية بالاندفاع Ram ventilation: تهوية الخياشيم عن طريق السباحة مع إبقاء الفم مفتوحًا ليتدفق الماء على نحو مستمر عبر الفم وفوق الخياشيم؛ وهذه التهوية تحدث فقطً عندما تسبح السمكة. (ص ٤٦)

التهوية بالضخ Pumped ventilation: تهوية الخياشيم عن طريق حركة عضلات الفم لضخ الماء فوق الخياشيم؛ وتحدث عندما تكون السمكة ثابتة. (ص ٤٦)

التيار المتعاكس (في الخياشيم) Counter-current (in gills): آلية تجعل تبادل الغازات في الخياشيم أكثر كفاءة؛ وفيها يتدفق الماء والدم في اتجاهَين متعاكسَين للحفاظ على منحدر الانتشار على طول الخيشوم. (ص ٤٥)

ثقب الأوزون Ozone hole: منطقة يكون فيها متوسط تركيز الأوزون أقل من 100 وحدة دوبسون. (ص ١١٥)

جدار الخلية Cell wall: طبقة تحيط ببعض أنواع الخلايا وتعطي القوة والدعامة؛ تتكوّن جدران الخلية النباتية من السليلوز. (ص ٢٠)

جرانا Grana: مناطق في ستروما البلاستيدات الخضراء حيث تتكدّس أغشية الثايلاكويد التي تحتوي على صبغات التمثيل الضوئي فوق بعضها. (ص ٢٥)

الجسيمات العالقة Particulates: جسيمات صلبة وقطيرات سائلة معلقة في الهواء. تنتج بشكل عام من أي نوع من أنواع الاحتراق أو من الأنشطة المولدة للغبار. (ص ٩٧)

***الجسيمات العالقة (PM) Paticulate matter**: هي جسيمات صغيرة جدًا، تبقى معلقة في الهواء، تصنف عادةً بحسب نطاقات أحجامها. يشير الرقم المجاور لـ PM إلى حجم الجسيمات العالقة التي يتم قياسها، على سبيل المثال، يشير PM_1 إلى الجسيمات العالقة التي يبلغ قطرها 1 µm وقد تُستنشق وتؤثر على صحة الإنسان. (ص ٩٧)

الجليسرول Glycerol: جزيء بسيط، وهو من مكوّنات الدهون الثلاثية والدهون المفسفرة. (ص ٢٧)

جهاز جولجي Golgi body: عضيّة خلوية تُعدّل البروتينات. (ص ٢٠)

جهد الماء Water potential: طاقة الماء الكامنة في محلول مقارنة بالماء النقي؛ يتحرك الماء بالأسموزية من منطقة ذات جهد ماء أعلى إلى منطقة ذات جهد ماء أقل. ويكون جهد الماء النقي هو الأعلى ومقداره 0 kPa (0 كيلوباسكال). تعمل إضافة مواد مذابة إلى الماء على التقليل من جهد الماء ليصبح أكثر سالبية. (ص ٣٦)

حشوة Matrix: السائل الذي يملأ المساحة داخل الغشاء الداخلي للميتوكندريا؛ يحتوي على إنزيمات وسكريات تشارك في عملية التنفّس. (ص ٢٥)

الحمض النووي الرايبوزي RNA Ribonucleic acid: حمض نووي يتحكم في بناء البروتينات باستخدام الشيفرة الجينية في DNA؛ ويمكنه حمل المعلومات الجينية في الفيروسات. (ص ٢٢)

الحمض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين DNA Deoxyribonucleic acid: الجزيء الذي يُستخدم كمادة وراثية يتم تمريرها عبر الأجيال اللاحقة؛ وهو يحتوي على شيفرة جميع جينات الكائن الحي. (ص ٢٢)

الحويصلة Vesicle: تركيب صغير تحتوي على سائل محاط بغشاء، وتُستخدم لنقل المواد داخل الخلايا. (ص ٢٣)

***الحييونات الصفراء** Zooxanthellae: كائنات بحرية أحادية الخلية قادرة على التمثيل الضوئي وتعيش في البوليبات المرجانية. (ص ١٤٨)

الخلية Cell: أصغر وحدة تركيبية في الكائن الحي قادرة على العمل بشكل مستقل. (ص ٢٠)

***الخفض** Abatement: تقليل أو إزالة شيء ما مثل انبعاثات (CO_2). (ص ١٥١)

الخيوط Filaments: أجزاء من الخياشيم تتفرع من الأقواس الخيشومية؛ تُسمّى أحيانًا الصفائح الأولية. (ص ٤٤)

الدوامة القطبية Polar vortex: نظام من الهواء البارد جدًا وضغط منخفض دوار واسع النطاق وطويل الأمد يقع فوق القطبَين الشمالي والجنوبي. يضعف في الصيف ويقوى في الشتاء. (ص ١١٥)

دوران المحيطات Oceanic circulation: حركة واسعة النطاق للمياه في المحيطات من خلال التيارات المحيطية ونظام الحزام الناقل المحيطي. (ص ١٣٨)

الرايبوسومات Ribosomes: تراكيب خلوية صغيرة غير محاطة بغشاء تشارك في تصنيع البروتينات. (ص ٢٠)

ريفتيا Riftia: دودة أنبوبية عملاقة توجد حول الفوهات الحرارية المائية. (ص ٧٧)

الزانثوفيل Xanthophyll: صبغة صفراء أو بنّية تستخدم كصبغة مساعدة في عملية التمثيل الضوئي في الطحالب والنباتات. (ص ٦٨)

الساد Cataract: إعتام عدسة العين (النزول الأبيض). (ص ١١٥)

ستروما Stroma: مادة سائلة داخل البلاستيدات الخضراء، تحيط بأغشية الثايلاكويد؛ حيث تحدث مرحلة التمثيل الضوئي غير المعتمدة على الضوء. (ص ٢٥)

السحب الستراتوسفيرية القطبية (PSCs) Polar stratospheric clouds: هي السحب التي تتشكل في فصل الشتاء على ارتفاعات تتراوح بين 15000 متر و 25000 متر. تتكوّن إحدى أنواع (PSCs) الرئيسية في الغالب من قطرات الماء الباردة جدًا وحمض النيتريك. (ص ١١٥)

السليلوز Cellulose: مكوّن مهم لجدران خلايا النبات، وهو يتكوّن من العديد من سلاسل الجلوكوز المستقيمة المرتبطة معًا بروابط هيدروجينية. (ص ٢٦)

سيتوبلازم Cytoplasm: جميع محتويات الخلية باستثناء النواة. (ص ٢٠)

الشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic reticulum (ER): شبكة من الأكياس المسطحة تمتد عبر سيتوبلازم الخلايا حقيقية النواة؛ قد تنتقل الجزيئات، وبخاصة البروتينات، داخل الأكياس منفصلة عن بقية السيتوبلازم. تكون الشبكة الإندوبلازمية متصلة بالغشاء الخارجي للغلاف النووي. (ص ٢٠)

الشبكة الإندوبلازمية الخشنة RER: هي الشبكة الإندوبلازمية المغطاة بالعديد من الرايبوسومات. تقوم بطي وتغليف البروتينات المصنعة حديثًا في حويصلات لنقلها إلى جهاز جولجي. (ص ٢٠)

الشبكة الإندوبلازمية الناعمة SER: هي الشبكة الإندوبلازمية غير المغطاة بالرايبوسومات؛ وتشارك في تصنيع (بناء) الهرمونات الستيرويدية والدهون المفسفرة الجديدة للأغشية. (ص ٢٠)

شدة الضوء Light intensity: مقياس قوة أو سطوع الضوء. (ص ٧٤)

***شركة عابرة للحدود** Transnational corporation (TNC): هي شركة لها مقر رئيسي في بلد واحد، والعديد من الفروع أو المكاتب في بلدان أخرى. تعمل عبر الحدود الدولية. (ص ١١١)

الصبغة الأساسية Primary pigment: صبغة تمثيل ضوئي تشارك بشكل مباشر في عملية التمثيل الضوئي. (ص ٦٨)

الصبغة المساعدة Accessory pigment: صبغة ليست ضرورية في عملية التمثيل الضوئي، لكنها تمتص الضوء بأطوال موجية مختلفة، وتنقل الطاقة إلى الكلوروفيل (a)، مثل الكلوروفيل (b) والزانثوفيل، والفيكوبيلين. (ص ٦٨)

الصفائح Lamellae: تفرعات إضافية من الخيوط الخيشومية تزيد من مساحة سطح الخياشيم؛ تُسمّى أحيانًا الصفائح الثانوية. (ص ٤٤)

الصهاريج Cisternae: أغشية مسطّحة تُشكّل الجهاز الجولجي والشبكة الإندوبلازمية. (ص ٢٣)

الضباب الدخاني Smog: ملوث ثانوي عبارة عن مزيج من الدخان والضباب؛ وهو يزيد من تلوّث الغلاف الجوّي. (ص ٩٩)

الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي Photochemical smog: خليط من ملوّثات الهواء، والجسيمات العالقة، والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs) التي تتحول من ملوثات أولية إلى ملوثات ثانوية بوجود ضوء الشمس، بما في ذلك الأوزون الأرضي، الذي يتشكّل عندما تتفاعل أكاسيد النيتروجين مع (VOCs) بفعل ضوء الشمس. (ص ١٠٣)

ضغط الامتلاء Turgor Pressure: القوة داخل خلية نباتية التي تضغط غشاء الخلية باتجاه الجدار الخلوي. (ص ٣٨)

ضيقة المدى الملحي Stenohaline: كائنات حية لا تستطيع تحمل تغيّرات واسعة في ملوحة الماء. (ص ٤٩)

الطاقة الحركية Kinetic energy: الطاقة التي تمتلكها الأجسام أو الجزيئات بسبب الحركة. (ص ٣٤)

طول الموجة Wavelength: المسافة من نقطة واحدة لموجة إلى النقطة التالية من الطور نفسه، على سبيل المثال من القمة إلى القمة أو من القاع إلى القاع. يحدد طول الموجة لون الضوء. (ص ٧١)

طيف الامتصاص Absorption spectrum: تمثيل بياني لامتصاص أطوال موجية مختلفة للضوء بواسطة مركب مثل صبغة تمثيل ضوئي. (ص ٧٢)

***الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic spectrum**: نطاق الترددات والأطوال الموجية لجميع أنواع الإشعاع الكهرومغناطيسي؛ يشمل الطيف الكهرومغناطيسي الضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء والموجات الدقيقة والأشعة السينية وموجات الراديو وموجات جاما. (ص ٧١)

طيف النشاط Action spectrum: تمثيل بياني يوضح تأثير أطوال موجية مختلفة للضوء على عملية ما، مثل معدل التمثيل الضوئي. (ص ٧٢)

ظاهرة الألبيدو Albedo: قدرة السطح على عكس الضوء. تكون الأسطح البيضاء ذات ألبيدو عالٍ. (ص ١٤٣)

عزل الكربون Carbon sequestration: عملية إزالة غاز (CO_2) من الغلاف الجوّي ثم تخزينه في الحالة الصلبة أو السائلة. (ص ١٥٣)

العصارة الخلوية Cell sap: السائل الموجود داخل الفجوة الدائمة الكبيرة. (ص ٢٦)

العضيّة Organelle: تركيب متخصص مُحاط بغشاء داخل الخلية له وظيفة محددة. (ص ٢٠)

***علاقة تبادلية Mutualistic relationship**: علاقة بين كائنَين حيث يستفيد كلاهما من تفاعلاتهما. (ص ١٤٨)

غازات الدفيئة Greenhouse gases: هي غازات موجودة في الغلاف الجوي تمتص الأشعة تحت الحمراء، مثل ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء والميثان. (ص ١٣١)

غشاء سطح الخلية Cell surface membrane: غشاء من الدهون المفسفرة يفصل محتويات الخلية الداخلية عن بيئتها الخارجية. (ص ٢٠)

غير قطبي Nonpolar: جزيئات لا تمتلك شحنة كهربائية. (ص ٢٧)

الفجوة الدائمة الكبيرة Large permanent vacuole: عضيّة محاطة بغشاء موجودة في جميع الخلايا النباتية والفطرية؛ تحتوي على عصارة الخلية. (ص ٢٠)

فيكوإريثرين Phycoerythrin: صبغة مساعدة حمراء توجد بشكل شائع في الطحالب الحمراء. (ص ٧٤)

فيكوبيلينات Phycobilins: مجموعة الصبغات الماصة للضوء توجد في الطحالب الحمراء والبكتيريا الزرقاء وتشمل فيكوإريثرين وفيكوسيانين. (ص ٧٤)

فيكوسيانين Phycocyanin: صبغة مساعدة خضراء مزرقة توجد في بعض الطحالب البحرية. (ص ٧٤)

قيم R_f R_f value: المسافة التي تقطعها المادة على ورقة كروماتوجرافيا مقسومة على المسافة التي تقطعها مقدمة المذيب. (ص ٧٠)

كاره للماء Hydrophobic: مواد لا تمتزج مع الماء، ولا تذوب فيه. (ص ٢٧)

الكاروتينات Carotenes: صبغة صفراء أو برتقالية أو حمراء تستخدم كصبغة مساعدة في عملية التمثيل الضوئي في الطحالب والنباتات. (ص ٦٨)

الكروماتين Chromatin: مادة مكونة من DNA و RNA وبروتين، يكون داخل نواة الخلية، ويحمل المعلومات الجينية. (ص ٢٢)

كلوروفيل (a و b) Chlorophyll (a and b): الصبغات الخضراء المسؤولة عن امتصاص الضوء في عملية التمثيل الضوئي في الطحالب والنباتات. (ص ٦٨)

الليسوسومات Lysosomes: عضيّات محاطة بغشاء تحتوي على إنزيمات هاضمة. (ص ٢٤)

المتوافقة أسموزيًا Osmoconformer: كائنات حية تكون ملوحة سوائل أجسامها الداخلية مطابقة لملوحة الماء الخارجي. (ص ٤٩)

محبّ للماء Hydrophylic: مواد تنجذب إلى جزيئات الماء؛ وتذوب فيه. (ص ٢٧)

محلول عالي التركيز Hypertonic solution: محلول يحتوي على تركيز أعلى من المواد المذابة مقارنة بمحلول آخر. (ص ٣٧)

محلول متساوي التركيز Isotonic solution: محلول يحتوي على التركيز نفسه للمواد المذابة مقارنة بمحلول آخر.(ص ٣٧)

محلول منخفض التركيز Hypotonic solution: محلول يحتوي على تركيز أقل من المواد المذابة مقارنة بمحلول آخر. (ص ٣٧)

المركبات العضوية المتطايرة (VOCs) Volatile organic compounds: مركّبات لها ضغط بخار عالٍ وذوبانية منخفضة في الماء؛ تنبعث هذه المركّبات على شكلٍ غازات من بعض المواد الصُّلبة أو السائلة بما في ذلك الطلاءات، ومزيلات الطلاءات، ومواد التنظيف، والمبيدات، ومواد البناء. (ص ١٠٣)

ملوّث الهواء الأوليّ Primary air pollutant: ملوّث هواء ينبعث مباشرةً من المصدر. (ص ٩٩)

ملوّث الهواء الثانوي Secondary air pollutant: ملوّث هواء يتكوّن عندما تتفاعل الملوّثات الأولية في الغلاف الجوي. (ص ٩٩)

منحدر التركيز Concentration gradient: الفرق في تركيز الجزيئات بين منطقتَين. (ص ٣٤)

المنظمة للأسموزية Osmoregulators: كائنات حية تنظّم ملوحة سوائل جسمها الداخلية ضمن ضيّق. (ص ٥٠)

***المنطقة الضوئية Euphotic zone**: الطبقة العليا من المحيط التي يخترقها ضوء الشمس ما يسمح بحدوث عملية التمثيل الضوئي. (ص ١٤٧)

***مؤتمر الأطراف Conference of the Parties-COP**: يشير مصطلح الأطراف إلى 197 دولة وافقت على ميثاق بيئي (اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ UNFCCC)، في عام 1992 م. (ص ١٥٧)

ميتوكندريون Mitochondrion: (جمع: ميتوكندريا) العضيّة في الكائنات حقيقية النواة التي تحدث فيها التنفّس الهوائي. (ص ٢٠)

نسبة مساحة السطح إلى الحجم Surface area:volume ratio: مؤشر يعطي قياسًا نسبيًا لكل من مساحة السطح والحجم؛ تكون نسبة مساحة السطح إلى الحجم لأعضاء تبادل الغازات عمومًا كبيرة جدًا. (ص ٤١)

***النشاط البركاني Volcanism**: أي عملية مرتبطة بالتدفق السطحي للصخور المنصهرة أو الماء الحار أو البخار من داخل الأرض. (ص ١٣٨)

النقل السلبي Passive transport: حركة الجزيئات عبر غشاء من دون الحاجة إلى طاقة؛ استخدام الانتشار كشكل من أشكال انتقال الجزيئات. (ص ٢٨)

النقل النشط Active transport: حركة الجزيئات عبر الغشاء من منطقة ذات تركيز أقل إلى منطقة ذات تركيز أعلى؛ يتطلب تحرير الطاقة من ATP. (ص ٢٨)

النموذج الفسيفسائي السائل Fluid mosaic model: نموذج يشرح خصائص تركيب أغشية الخلايا. (ص ٢٧)

النواة Nucleus: عضيّة محاطة بغلاف نووي (غشاء مزدوج) تحتوي على المادة الجينية للخلية. (ص ٢٠)

النوية (جمعها النويات) **Nucleolus**: مناطق دائرية صغيرة داخل النواة تُنتج الرايبوسومات. (ص ٢٢)

الهجرة القسرية **Forced migration** الانتقال غير الطوعي لشخص أو أشخاص بعيدًا عن موطنهم أو منطقتهم الأصلية. وتشمل الأسباب الكوارث الطبيعية والحروب وانعدام الأمن الغذائي أو المائي. (ص ١٤٥)

الهرمونات الستيرويدية **Steroid hormones**: مجموعة من الهرمونات المشتقة من الكوليسترول تؤدّي دورًا حيويًا في تنظيم وظائف الجسم المختلفة. (ص ٢٣)

الهيموجلوبين **Haemoglobin**: بروتين يوجد في خلايا الدم الحمراء ويعمل على نقل الأكسجين إلى جميع أنحاء الجسم. (ص ٤٣)

واسعة المدى الملحي **Euryhaline**: كائنات حية يمكنها تحمل تغيّرات كبيرة في ملوحة الماء. (ص ٤٩)

ورق الكروماتوجرافيا **Paper chromatography**: تقنية تستخدم لفصل المواد بحسب قابلية ذوبانها. (ص ٦٨)

شكر وتقدير

يتوجه المؤلفون والناشرون بالشكر الجزيل إلى جميع من منحهم حقوق استخدام مصادرهم أو مراجعهم. وبالرغم من رغبتهم فى الإعراب عن تقديرهم لكل جهد تم بذله، وذكر كل مصدر تم استخدامه لإنجاز هذا العمل، إلا أنه يستحيل ذكرها وحصرها جميعًا. وفي حال إغفالهم لأي مصدر أو مرجع فإنه يسرهم ذكره في النسخ القادمة من هذا الكتاب.

David Fleetham/Alamy Stock Photo; Ed Reschke/GI; HERVE CONGE, ISM/SPL; DON FAWCETT/SPL; DR.JEREMY BURGESS/SPL; Science Photo Library - STEVE GSCHMEISSNER/GI; DENNIS KUNKEL MICROSCOPY/SPL; DR DONALD FAWCETT AND ROBERT BOLENDER, VISUALS UNLIMITED/SPL; BIOPHOTO ASSOCIATES/SPL; Science Photo Library/GI; DR.JEREMY BURGESS/SPL; HERVE CONGE, ISM/SPL; STEVE GSCHMEISSNER/SCIENCE PHOTO LIBRARY/GI; BIOPHOTO ASSOCIATES/SPL; Paulo Oliveira/Alamy Stock Photo; ASA/SPL; KEITH R. PORTER/SPL; Shur_ca/GI; NOAA/SPL; TOM MCHUGH/SPL; Kenneth L. Smith, Jr./GI; Ralph White/GI; Marayok/GI; Oman Ministry of Education; Qilai Shen/GI; Puneet Vikram Singh, Nature and Concept photographer/GI; Douglas Sacha/GI; Figure 5 from 'Rapid recovery of normal gill morphology and blood physiology in brown trout (Salmo trutta) after short-term exposure to toxic concentrations of aqueous aluminium under non-steady state chemical conditions' May 2021 Journal of Limnology 80(2) DOI:10.4081/jlimnol.2021.2000 Antonio B S Poléo, Birgitte Marie Wilvang Kjelsberg, Nina Alstad Rukke, Leif Asbjørn Vøllestad (CC BY-NC 4.0); Will & Deni McIntyre/GI; Richard Baker/GI; Oman Ministry of Education; KONTROLAB/GI; RealPeopleGroup/GI; dimitris_k/GI; Hussain Warriach/500px/GI; Ahmed Abd Alkawey/Anadolu Agency via Getty Images; Carsten Koall/GI; Dorling Kindersley ltd/Alamy Stock Photo; Yuwadee Singthong/GI; Patrick Lane/GI; Mateusz Brzezinski/GI; Hindustan Times/GI; Mykhailo Polenok/GI; Patrick J Endres - AlaskaPhotoGraphics/GI; JodiJacobson/GI; Chen, Huize & Han, Rong. (2016). Characterization of Actin Filament Dynamics during Mitosis in Wheat Protoplasts under UV-B Radiation. Scientific Reports. 6. 20115. 10.1038/srep20115.; Stockbyte/GI; Album/Alamy Stock Photo; Daniel Mingo/GI; Artur Debat/GI; Bloomberg/GI; Monty Rakusen/GI; Chadchai Ra-ngubpai/GI; Lucas Ninno/GI; Ashley Cooper/GI; PHILIPPE DESMAZES/GI; GYRO PHOTOGRAPHY/GI; Salvatore Virzi/GI; YUKI IWAMURA/GI; Michael Burkholder/GI; Majority World/GI; NurPhoto/GI; Paul Souders/GI; Tony Arruza/GI; SOPA Images/GI; georgeclerk/GI; Christopher Furlong/GI; Dneutral Han/GI; Lea McQuillan/GI; Brett Monroe Garner/GI; Monty Rakusen/GI; Oman Ministry of Education; Maskot/GI; Yagi Studio/GI; Martin Harvey/GI; Oman Ministry of Education; fotoVoyager/GI; SYLVAIN THOMAS/GI; Anadolu Agency/GI; HILARY HOSIA/GI; The Washington Post/GI; Jonas Gratzer/GI

SPL = Science Photo Library

GI = Getty Images

Cover image Danita Delimont/Getty Images



رقم الإيداع

٢٠٢٥/٩٥٤٦

طبع بمطبعة عُمان ومكتبتها المحدودة ش.م.م هاتف: ٢٤٤٤٦١٦٠ (٩٦٨)

العلوم البيئية - كتاب الطالب

تم تصميم كتاب الطالب ليستخدمه بتوجيه من المعلم. تحتوي الوحدات على تفسيرات وتعريفات وأسئلة ودراسة حالات وأمثلة عملية ومجموعة من الميزات الأخرى لإشراك الطلبة في استيعاب المعلومة وفهمها بأساليب منهجية جاذبة. كما تتيح لهم فرصًا كثيرة للمشاركة في نقاشات هادفة، والعمل بشكل فردي أو ثنائي أو مع المجموعة.

- بعض الميزات مثل «قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة»، والملخصات، وكيفية التعلم النشط، وبناء المهارات، تمنح فرصًا للتفكير.
- تدعم «العلوم البيئية ضمن سياقها»، تفسير الأفكار ضمن سياق العالم الواقعي، وتحفز مناقشة المفاهيم مع الطلبة الآخرين.
- تتيح دراسة حالة ودراسة حالة موسعة والأسئلة المصاحبة لها استكشاف حالات واقعية في إدارة البيئة بشكل فعال. كما تتيح للطلبة فرصًا للعمل بشكل فردي، أو ثنائي أو ضمن مجموعات.
- تساعد أسئلة موضوعات الوحدات، والأمثلة المصاحبة والتمثيلات البيانية والصور والأشكال على تطوير مهارات القرن الحادي والعشرين.
- تشجع الأسئلة ذات الجزئيات المتعددة الموجودة في نهاية كل وحدة على التحضير لأداء الامتحانات بثقة.

يشمل منهج العلوم البيئية للصف الثاني عشر من هذه السلسلة أيضًا:

- كتاب التجارب العملية والأنشطة
- دليل المعلّم

ISBN 978-99992-1-307-3

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

www.moe.gov.om