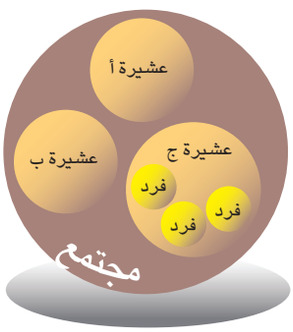
الفصل الثالث (ج)

العوامل الأحيائية: تنظيم وعمليات في المجتمع

الفصل الثالث (ج) العوامل الأحيائية: تنظيم وعمليات في المجتمع

ج1. عوامل أحيائية: أفراد، عشيرة (مجموعة) ومجتمع

جميع الكائنات الحية، تُشكل **العوامل الأحيائية** في بيت التنمية (موطن). تنتمي العوامل الأحيائية إلى عدة مستويات تنظيم: **جميع الأفراد** – من نوع معين – الذين يعيشون في نفس المكان، في زمن معين، هم **عشيرة** (مجموعة). وإذا كانت عدة عشائر (مجموعات) لأنواع مختلفة، تعيش الواحدة بجانب الأخرى في نفس بيت التنمية، فإنّها تُشكل معًا **المجتمع** (الرسمة ج– 1)، حيث يكون تنوع الأنواع أحد مميزاته. المجتمع والبيئة المحيطة الفيزيائية تشكل معًا **نظامًا بيئيًا**.



الرسمة ج– ١ مجتمع

في الفصل الثاني، بحثنا **مستوى تنظيم** الفرد: وهذا يعني ملاءمة الأفراد للظروف ولموارد بيت التنمية. في هذا الفصل، سنبحث مستوى تنظيم المجتمع والنظام البيئي. من المهم أن نفهم أنه كلما صعدنا في مستوى التنظيم، فإننا نكتشف ظواهر لا نستطيع أن نتوقعها ونتعلم عنها من خلال بحث المستوى السابق (وهذا يعني الأقل)، مثلاً: إنّ بحث تصرفات **فرد** معين، لا يكفي، كي نفهم ظواهر وعمليات، مثل: نسبة الولادة والوفيات في مجموعة كبيرة مكونة من أفراد مماثلة للفرد الذي تمّ بحثه، وهذا يعني **في العشيرة**. كما أننا لا نستطيع من خلال تعلّمنا عن عشيرة معينة أن نتعلّم عن فهم عمليات في **المجتمع** والنظام البيئي. مثل: **تحولات (نقل) الطاقة** وتغييرات تحدث فيها مدة طويلة.

الجنبة والعصافير التي تقف عليها تشكل مجتمعًا

للمزيد عن
مستويات تنظيم عوامل أحيائية، انظروا الفصل الأول، الرسمة أ–1).

ج2. الموارد المطلوبة للعوامل الأحيائية

كما لاحظنا في الفصل السابق، فإنّ الكائنات الحية تعيش في ظروف بيئية متنوعة، وحتى في المتطرفة منها. إضافةً إلى ذلك، معظمها ملائمة للبيئة المحيطة التي تعيش فيها، وهذا يعني للعوامل الأحيائية والعوامل اللاأحيائية التي تميزها. التنوع الكبير للكائنات الحية – التي تعيش في بيئات محيطية مختلفة – يميّزه "عامل مشترك"، وهو الحاجة إلى **موارد** بقائه، مثل:

1. **مصدر طاقة** لتنفيذ عمليات الحياة، مثل: بناء مركبات ونقلها من مكان إلى آخر في الكائن الحي (إلى الخلية ومنها، وبين أعضاء في الجسم)، بناء مكونات الخلية (غشاء الخلية وعضيات)، انقسام خلايا، نمو وحركة.
2. **مواد** مختلفة تُستعمل للبناء، النمو، التكاثر ومصدر طاقة لعمليات الحياة:

- **مركبات كربون عضوية**: مركبات مبنية من العنصرين كربون (C) وهيدروجين (H)، وعلى الأغلب تشمل أكسجين (O) وعناصر أخرى، مثل: النيتروجين (N)، الفوسفور (P) والكبريت (S). الكربوهيدرات (السكريات)، الدهنيات، البروتينات والحوامض النووية، هي مركبات عضوية: قسم من المركبات العضوية، يوجد لها وظيفة مزدوجة: فهي تُستخدم لبناء أجسام الكائنات الحياة، ومصدر طاقة لنشاطاتها.
- **مواد غير عضوية (أملاح)**: هي عناصر ومركبات، مثل: البوتاسيوم (K)، الكالسيوم (Ca)، الفوسفور (P) والحديد (Fe).
- **ماء**: والماء هو مادة غير عضوية أيضًا، لكن بسبب أهميته سنتحدث عنه في بند منفصل.

للمزيد عن
مصطلحات **غذاء، مادة عضوية وطاقة**، انظروا ملحق المصطلحات الأساسية.

علاقة بموضوع
بيولوجيا الإنسان: الغذاء هو مصدر لمواد البناء ولإنتاج الطاقة

للمزيد عن
أهمية المياه، انظروا الفصل الثاني، بند ب2.

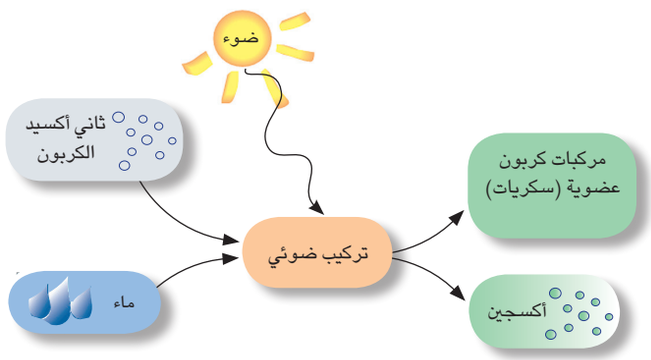
مصادر الطاقة والمواد: طرق التغذية

من أين وكيف تحصل الكائنات الحية على الموارد المختلفة التي تحتاجها؟

العملية التي تحصل فيها الكائنات الحية على مركبات كربون عضوية، ماء وأملاح نسمّيها **تغذية**. وبحسب نوع التغذية، فإننا نُقسِّم الكائنات الحية إلى مجموعتين: **ذاتية التغذية وغير ذاتية التغذية**.

التغذية الذاتية

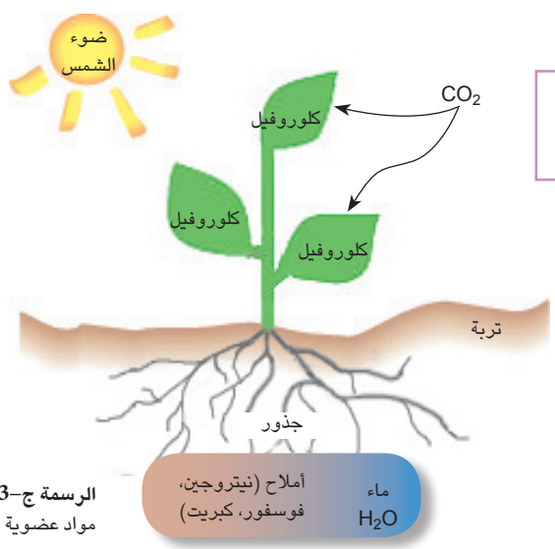
يوجد للكائنات الحية الذاتية التغذية طريقة خاصة من خلالها تستطيع أن تحصل على طاقة وعلى مركبات كربون عضوية، فهي تبني بذاتها مركبات كربون عضوية من مركبين غير عضويين تستوعبهما من البيئة المحيطة وهما ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وماء (H_2O)، حيث يتم ذلك في عملية **التركيب الضوئي** بمساعدة **الطاقة الضوئية** (الرسمة ج – 2). النباتات الخضراء، هي المجموعة المعروفة لكم على أنها الكائنات الحية التي تُنفِّذ عملية التركيب الضوئي. من الجدير أن تعرفوا أن عملية التركيب الضوئي تتم أيضًا في طحالب أحادية الخلية ومتعددة الخلايا تعيش في بحيرات وبحار، كما تتم هذه العملية في مجموعات بكتيريا معينة.



$$CO_2 + H_2O \xrightarrow[\text{انزيمات}]{\text{ضوء، كلوروفيل}} [CH_2O] + O_2$$

الرسمة ج 2: صيغة ورسم تخطيطي لعملية التركيب الضوئي

نواتج التركيب الضوئي: مركبات الكربون العضوية كالسكريات تُستخدم "كهيكل" لبناء سائر المركبات العضوية، مثل: الدهنيات والبروتينات التي تبني جسم النبتة. في هذه العملية من بناء البروتينات والدهنيات، يشترك الماء وأملاح أخرى (مثل: النيتروجين والفوسفور) يستوعبها النبات مع الماء من التربة عبر الجذور (الرسمة ج–3). ناتج مهم آخر لعملية التركيب الضوئي، هو الأكسجين الذي يُستخدم للتنفس الخلوي الهوائي الذي يتم في معظم الكائنات الحية.



الرسمة ج–3: جميع العوامل التي تشترك في إنتاج مواد عضوية في النباتات

للمزيد عن
***الضوء والاكسجين**، انظروا الفصل الثاني، البندان ب3، ب4.*

توسع: تغذية ذاتية – مع ضوء ودونه

الكائنات الحية التي تقوم بعملية التركيب الضوئي هي: نباتات، طحالب وبكتيريا معينة، وهي ذاتية التغذية ضوئية. قسم من البكتيريا، تُنْتِج مركّبات عضوية من الكربون، لكنها لا تستخدم الضوء كمصدر للطاقة لبناء مواد عضوية. إنّ مصدر الطاقة لهذه البكتيريا، هو مركبات غير عضوية مُختَزَلة، مثل: الآمونيا (NH_3)، الميثان (CH_4)، كبريتيد الهيدروجين (H_2S). و تأكسد هذه المركّبات، يزوّد الطاقة والهيدروجين (H) لاختزال الكربون ولبناء مركبات عضوية من CO_2. هذه البكتيريا، هي **ذاتية التغذية كيميائية**.

غير ذاتية التغذية

جميعنا يعرف أن **الغذاء** هو مصدر للحصول على مواد وطاقة، وهذا يعني أن **نأكل كائنات حية أخرى** (أو أقسامها)، وأن نشرب الماء. يأكل الإنسان الخبز المصنوع من دقيق حبوب القمح، والعصافير تتغذى البذور، الثمار والحشرات الصغيرة، والأبقار تتغذى الأعشاب الموجودة في حقول المراعي، والأفعى يتغذى الفئران.

إنّ أكل كائنات حية أخرى وشُرب الماء هو تغذية غير ذاتية، وهذا يعني أن غذاء الكائنات الحية **غير ذاتية التغذية** هو مركبات كربون عضوية ومواد أخرى تبني أجسام الكائنات الحية التي تتغذى عليها.

المصطلحات: غذاء وطرق التغذية – ماذا نقصد؟

"الغذاء" (أو الأكل) – هو كلمة نستعملها كثيرًا في حياتنا اليومية، فنحن نشتري غذاءً من السوق والحوانيت ونستمتع به بوجباتنا. في هذا الكتاب، نتطرق إلى المعنى الواسع للمصطلح غذاء وهو: **جميع المواد التي تُستخدم كمصدر للمواد المطلوبة لبناء الجسم، ولإنتاج الطاقة**. وبحسب هذا التعريف، فإنّ ذاتية التغذية، تُنْتِج بذاتها قسمًا من غذائها، وقسمًا آخر كالماء والأملاح (تغذية أملاح معدنية)، فإنها تستوعبها من البيئة المحيطة.

للمزيد عن

الغذاء، انظروا ملحق المصطلحات الأساسية

يرقة فراش — فطريات — فطريات عفن على برتقال — خراف

غير ذاتية التغذية

يلخص الجدول ج –1 ما تعلّمناه حتى الآن عن كائنات حية ذاتية التغذية وكائنات حية غير ذاتية التغذية

الجدول ج – 1: مصادر الطاقة ومصادر المواد الذاتية التغذية وغير ذاتية التغذية

	ذاتية التغذية		غير ذاتية التغذية
	ذاتية التغذية ضوئية: نباتات، طحالب، بكتيريا	ذاتية التغذية كيميائية: بكتيريا	حيوانات (بما في ذلك الإنسان)، فطريات، بكتيريا
مصدر طاقة أولي (أول) لإنتاج مركبات عضوية من مركبات غير عضوية	ضوء الشمس	أكسدة مركّبات غير عضوية، مثل: H_2S (كبريتيد الهيدروجين)، CH_4 (ميثان)، NH_3 (آمونيا).	لا تحتاجه، لأنها لا تُنْتِج مركبات عضوية من مركبات غير عضوية
مواد خام لإنتاج مواد عضوية للنمو والتكاثر	مواد غير عضوية: CO_2، ماء وأملاح من البيئة المحيطة (الهواء، التربة والماء)		مركبات كربون عضوية، مركبات غير عضوية من البيئة المحيطة (غذاء، بقايا وفضلات كائنات حية) وماء
مصدر طاقة لإنتاج ATP لتنفيذ عمليات الحياة	مركبات كربون عضوية		

انتبهوا إلى الفروق المهمة التي تنبع من الجدول:

1. تتميز الكائنات الحية الذاتية التغذية أنها تستغل مصدر طاقة (ضوء أو أكسدة مركّبات غير عضوية) ومواد غير عضوية (CO_2) لإنتاج مواد عضوية، لكن الكائنات الحية غير ذاتية التغذية **لا تستطيع** أن تستغل المواد غير العضوية لإنتاج مواد عضوية.
2. الكائنات الحية غير ذاتية التغذية، تستخدم مركّبات كربون عضوية كمصدر للطاقة وكمواد أساسية لمركّبات يحتاجها الجسم للبناء.
3. جميع الكائنات الحية الذاتية التغذية وغير ذاتية التغذية، تُنْتِج طاقة لنشاطات الحياة، حيث يتم ذلك من خلال أكسدة مركبات عضوية في **التنفس الخلوي** الهوائي و/ أو في عمليات لا هوائية كعملية التخمر.

ج3. تنظيم الآكل والمأكول في بيت التنمية

مُنْتِجون، مستهلكون ومحللون

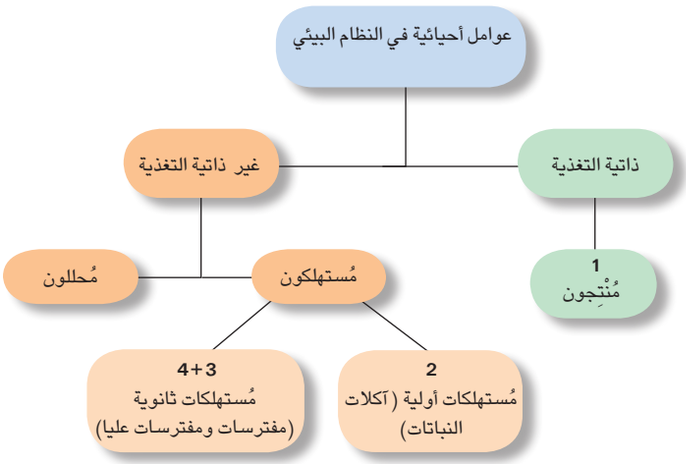
إنّ الحاجة إلى مصدر طاقة ومواد، تؤثر على العلاقة المتبادلة بين الكائنات الحية (عوامل أحيائية)، وهي تشكل قاعدة لفهم تنظيم المجتمع في بيت التنمية ولفهم العمليات التي تحدث فيه. عندما نتمعّن في الطبيعة، فمن الصعب أن نَصف التنظيم الموجود فيها، مثل: الأشجار، الجنبات (الشجيرت)، الأعشاب التي تنمو في الحرش، الحيوانات التي تتجول فيها وعليها، والتي تعطي طابعًا على وجود فوضى وعشوائية. لكن الاختلاف الجوهري في طريقة التغذية، هو الذي يُحدّد علاقة التغذية بين الكائنات الحية، وهذا يعني بين الآكل والمأكول. الكائنات الحية الذاتية التغذية، هي **المُنْتِجات** في بيت التنمية، لأنها هي التي تُنْتِج المواد العضوية التي تستهلكها النباتات ذاتها وسائر الكائنات الحية أيضًا. من هنا ينبع أن بقاء الكائنات الحية غير ذاتية التغذية متعلق بذاتية التغذية.

الكائنات الحية غير ذاتية التغذية، تستهلك مواد عضوية، وهي تنقسم إلى مجموعتين: **مُستهلكات ومحللات**. وتنقسم المُستهلكات إلى مجموعتين ثانويتين: **مُستهلكات أولية** (أولى)، وهي التي تتغذى نباتات فقط، **ومستهلكات ثانوية** (الثانية)، وهي التي تتغذى حيوانات حية، أو حيوانات بعد موتها.

تعمل المحللات بالأساس في التربة، وهي تقوم بتحليل المواد العضوية الموجودة في الإفرازات وفي بقايا الكائنات الحية التي ماتت. الرسمة ج– 4، تصف العلاقة بين طريقة التغذية وبين المُنْتِجين، المستهلكين والمحللين.

المحللات تستهلك مركبات عضوية أيضًا، لكنها تتميز بالعملية التي تحصل، أو تستوعب فيها المركبات العضوية. يُدخل المُستهلكون الغذاء **إلى داخل** أجسامهم. وهكذا الأمر عند البراميسيوم، الآميبا، دودة الأرض، أنواع من الحشرات، الأسماك، الزواحف والإنسان. وفي داخل الجسم، يمر الغذاء بعمليات هضم، مثلاً: تحليل بواسطة انزيمات إلى جزيئات صغيرة، مثل: أحادية السكر وحوامض أمينية. تُنقل الجزيئات الصغيرة إلى الخلايا، وتُستخدم هناك للبناء ولإنتاج الطاقة.

أما المحللات (البكتيريا والفطريات)، فهي **تُفرز إنزيمات إلى بيئتها المحيطة**، وهذه الإنزيمات تساعد في تحليل المواد العضوية. كمية قليلة من نواتج التحليل، هي جزيئات عضوية صغيرة ذات ذائبية تُمتص داخل أجسام المحللات (كما هو الأمر في نواتج الهضم لدى الكائنات الحية المستهلكة)، وتُستخدم كمصدر للطاقة ولمركبات الكربون. أما نواتج تحليل أخرى، مثلاً: مواد غير عضوية (أملاح)، فهي تبقى في البيئة المحيطة وتَستغلها الكائنات الحية التي تعيش في التربة، أو النباتات التي تمتصها من خلال جذورها. وبهذه الطريقة، تقوم المحللات **بمدورة** (إعادة بناء) مواد كثيرة، وتوجد لها وظيفة مهمة جدًا في دورات المواد في الطبيعة (صفحة 91).



الرسمة ج 4–: تصنيف كائنات حية بحسب طريقة التغذية (تتطرق الأعداد إلى مستويات التغذية، انظروا صفحة 80)

علاقة مع الموضوع

بيولوجيا الإنسان: الجهاز الهضمي

انتبهوا:

لا تنسوا، ليس المحللون فقط، وإنما كل الكائنات الحية، وفي معظمها المستهلكات والمُنْتِجات، تقوم بتحليل مواد عضوية خلال عملية التنفس وتُفرز مادة غير عضوية إلى البيئة المحيطة، وهي ثاني أكسيد الكربون (CO_2).

سؤال ج – 1

هل النظام الاصطناعي (مثلاً: حوض سمك) الذي جميع عشائره مُستهلكة يمكن أن يعيش مدة طويلة؟ عللوا.

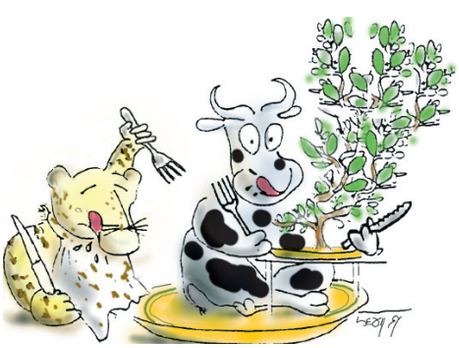
السلسلة الغذائية، الشبكة الغذائية وأهرام بيئية

الكائنات الحية المستهلكة والمحللة في بيت التنمية تكون متعلقة بالمُنْتِجات وببعضها لتزويد المواد والطاقة المطلوبة لبقائها. العلاقة المتبادلة بين المُنتِجات، المستهلكات والمحللات في بيت التنمية يمكن عرضها بطريقتين:

1. عرض كيفي، من خلال **سلسلة الغذاء وشبكة الغذاء**.
2. عرض كمي، من خلال **أهرام بيئية**.

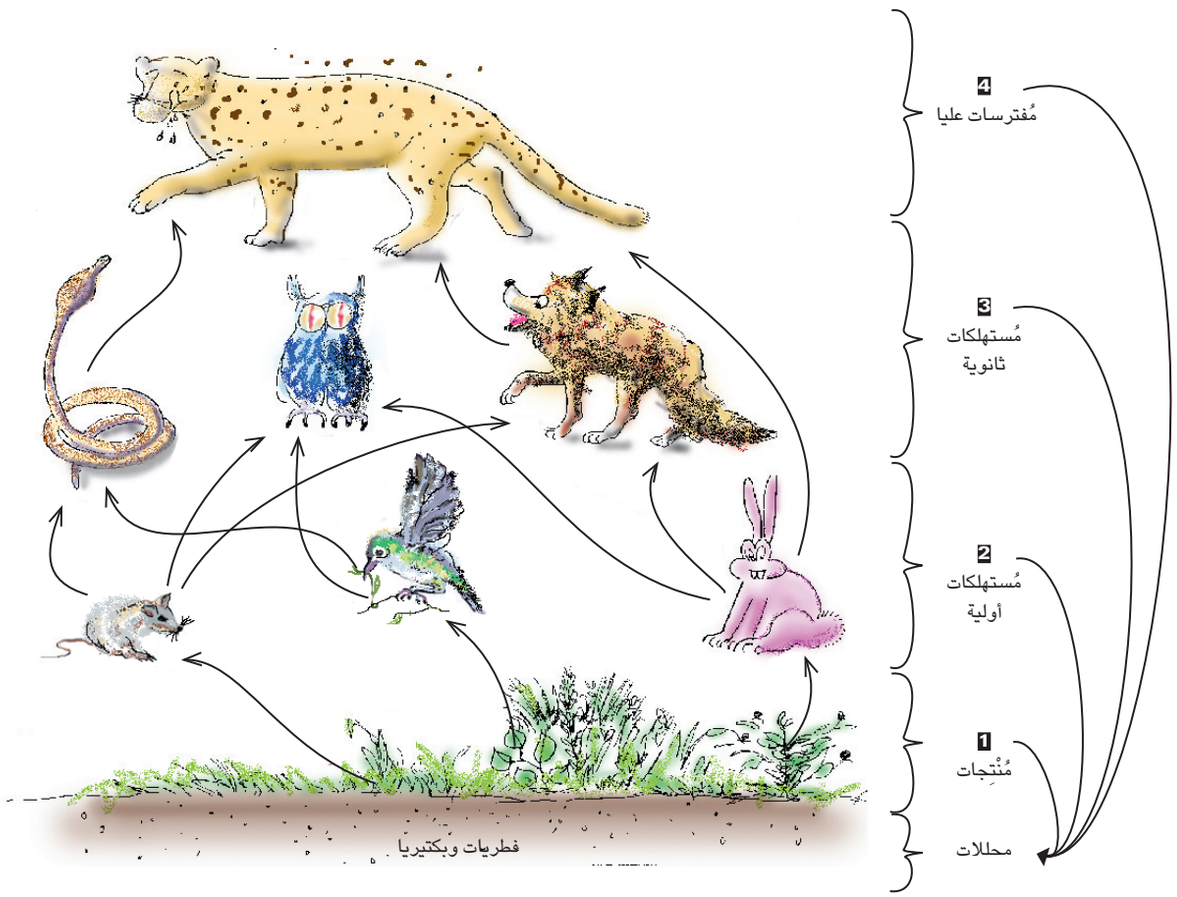
عرض كيفي: سلسلة الغذاء وشبكة الغذاء

في سلسلة الغذاء، وفي شبكة الغذاء نعرض الكائنات الحية الآكلة والمأكولة بأسمائها، وهكذا نعرف الآكل والمأكول في النظام البيئي الذي نبحثه.



سلسلة غذاء

في **السلسلة الغذائية**، نعرض **تسلسلاً واحدًا** للآكل والمأكول، لكن الواقع الموجود في كثير من الأنظمة البيئية معقد أكثر من ذلك: يوجد كائنات حية تتغذى أكثر من نوع واحد من الغذاء، ويوجد فريسة واحدة لأكثر من نوع واحد من المفترسات. أما **شبكة الغذاء**، فهي تعرض مُجمل العلاقات المتبادلة بين الآكل والمأكول في بيت التنمية (الرسمة ج– 5).



الرسمة ج – 5: شبكة غذائية

سؤال ج – 2

اكتبوا السلسلة الغذائية التي تُمثِّل مزرعة تعتمد على تربية الأبقار للحوم والحليب في مرعى طبيعي.

نبحث البيئة: الشبكة الغذائية في بحيرة طبريا

بحيرة طبريا، هي مجمّع المياه الكبير في دولة إسرائيل، وهي عبارة عن مركز سياحة ومورد اقتصادي للصيادين. وبالقرب من البحيرة، يعمل مختبر لبحث البحيرة، ويتابع الباحثون – خلال عدة سنوات – التغييرات التي تحدث في المميزات الأحيائية واللا أحيائية في البحيرة. الشبكة الغذائية – في بحيرة طبريا – معقدة، وهي تشمل أسماكًا (مثل: سردين البحيرة، مشط الجليل ومشط طبريا)، **عوالق حيوانية** (مثل: السوطيات والهدبيات وسرطانات صغيرة مثل: يرغوف الماء (دافنية)، **عوالق نباتية** (مثلاً: طحالب البيريدينيوم) وبكتيريا (الرسمة ج – 6).

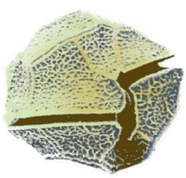
مصطلحات

الكائنات الحية الصغيرة جدًا التي تطفو على الماء، أو تعوم فيها، تُقسم إلى مجموعتين:

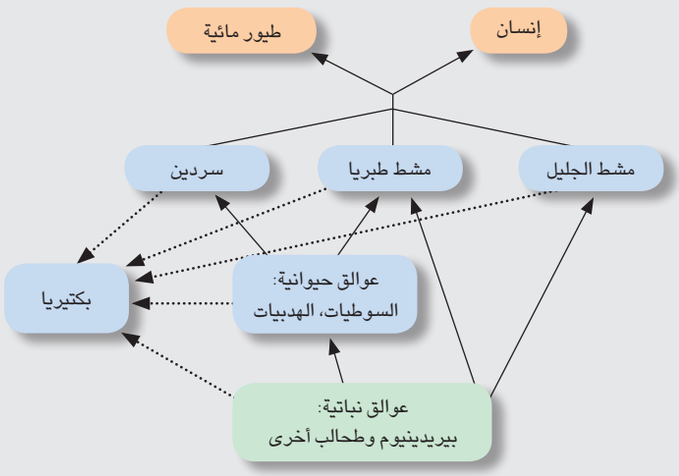
عوالق حيوانية: حيوانات صغيرة جدًا آكلة نباتات أو مفترسة.

عوالق نباتية: طحالب تقوم بعملية التركيب الضوئي.

بحيرة طبريا



بيريدينيوم (مكبر 600 ضعف تقريبًا)

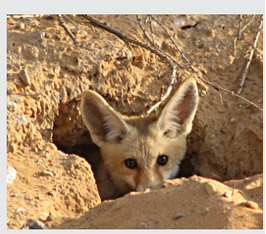


الرسمة ج – 6: جزء من الشبكة الغذائية في بحيرة طبريا

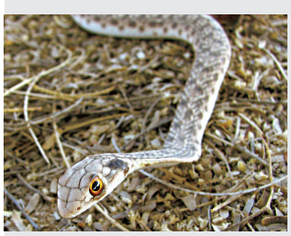
في هذه الرسمة، لم نُعبِّر عن التغيُّرات الموسمية التي تحدث في الشبكة الغذائية في البحيرة خلال السنة. مثلاً: في فصل الربيع، تكبر كمية الطحالب من نوع بيريدينيوم بكمية كبيرة جدًا، وفي هذا الفصل، تُستغل كمصدر غذائي لأسماك مشط الجليل.

نبحث البيئة: شبكة غذائية في النقب

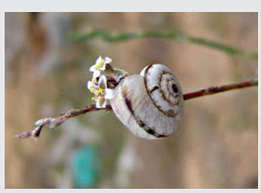
تعرض الرسمة ج – 7 شبكة غذائية تمّ بحثها في النقب. تشمل الشبكة الغذائية مفترسات، قوارض وحلزونات من أنواع مختلفة تتغذى على نباتات، طحالب وأشنات.



ثعلب

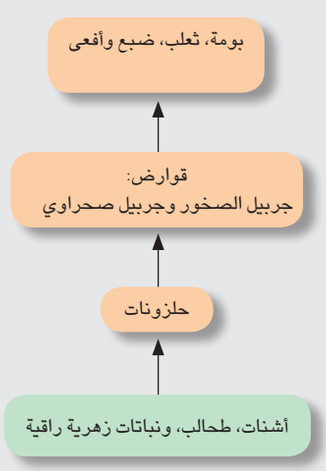


أفعى



حلزون

جربيل



الرسمة ج – 7: جزء من الشبكة الغذائية في النقب

سؤال ج – 3

أ. كيف يؤثر الصيد الكثير جدًا على العوالق الحيوانية والبكتيريا في بحيرة طبريا؟ عللوا بناءً على الرسمة ج–6.

ب. في بحث أُجري في النقب (الرسمة ج – 7)، تمّ تحضير مخبأً، لكي يحمي القوارض من المفترسات. كيف أثر الأمر على مكونات أخرى في الشبكة الغذائية؟ اشرحوا.

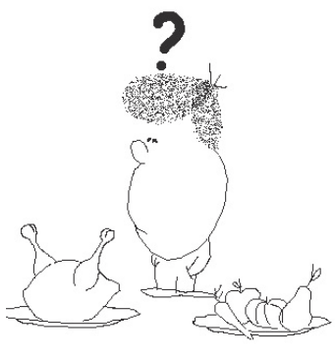
عرض كمّي: هرم بيئي لمستويات التغذية

يمكن أن ينتمي الكائن الحي في الشبكة الغذائية إلى عدة **مستويات تغذية** (الرسمة ج – 5، صفحة 80). **المُنْتجات** هي قاعدة الشبكة الغذائية، وهي تشكل مستوى التغذية الأول (مستوى تغذية 1). الكائنات الحية التي تتغذى نباتات فقط، هي **مستهلكات أولية**، وهي تُشكل مستوى التغذية الثاني (مستوى تغذية 2). الحيوانات المفترسة التي تتغذى حيوانات أخرى (عادةً أصغر منها)، هي **مستهلكات ثانوية**، وهي تُشكل مستوى التغذية الثالث، أما في مستوى التغذية الرابع، نجد المجموعة الأخيرة للمستهلكات، وهي **المفترسات العليا**. نُسمّيها بهذا الاسم لأنه لا يوجد حيوانات تفترسها. يعرض الجدول ج – 2 أمثلة لكائنات حية في مستويات تغذية مختلفة.

*بحسب ما وَرَدَ أعلاه، يمكن أن نعرّف **مستوى التغذية** كالتالي:*
مجموعة من الكائنات الحية التي تأخذ / تحصل على غذائها مباشرةً، أو بطريقة غير مباشرة من المُنْتِجات بعدد متماثل من المراحل. ووفقًا لهذا التعريف، كل الحيوانات التي تتغذى نباتات فقط (المُنْتِجات) تنتمي إلى مستوى التغذية – مستهلكات أولية (مستوى تغذية 2).

في سنة 1942، اقترح الباحث لندمن استعمال مصطلح **مستوى التغذية** لوصف أنظمة بيئية.

من المهم الانتباه إلى أن أنواعًا كثيرة يمكن أن تنتمي إلى أكثر من مستوى تغذية واحد. المثال البارز على ذلك، هو الإنسان الذي يتغذى مباشرة من النباتات والحيوانات أيضًا (المستويان 2+3). مثال آخر، هو أُحادي الخلية يوجلينا (Euglena= طحالب سوطية) الذي يتغذى بحسب ظروف البيئة المحيطة بطريقة التغذية الذاتية (مستوى تغذية 1)، وبطريقة غير ذاتية التغذية (مستوى تغذية 2).



في أي مستوى تغذية أنا موجود؟

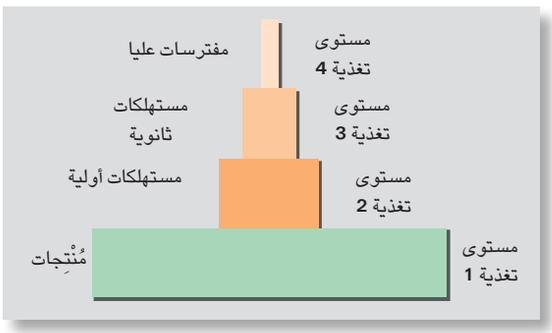
جدول ج – 2: أمثلة لكائنات حية تنتمي إلى مستويات مختلفة

مستوى التغذية	أمثلة
1. مُنْتِجات	النباتات الخضراء، الطحالب والبكتيريا التي تقوم بعملية التركيب الضوئي
2. مُستهلكات أولية – تأكل نباتات فقط	نباتات طفيلية حشرات: جندب زواحف: سلحفاة طيور: بلبل، قمير ثدييات: غزال، ضبي، بقرة، جمل، خروف
3. مُستهلكات ثانوية – تأكل حيوانات	مفصليات الأرجل: عناكب، جنادب، عقارب، أنواع من السرطانات البرمائيات: ضفدع زواحف: حرباء، أفعى طيور: أبو زريق، بجع ثدييات: كلب البحر، ابن أوى، كلب، ثعلب
4. مفترسات عليا	زواحف: تمساح طيور: نسر، باشق ثدييات: أسد، نمر، حوت

إنّ وجود المكونات الأحيائية في مستويات التغذية، وفي النظام البيئي، يعرض مبدأ مهمًّا جدًا وهو أن بقاء مجتمع كائنات حية في بيت تنمية معين متعلق **بالمواد العضوية** التي تُنْتِجها المُنْتِجات (ذاتية التغذية)التي تُشكل أساس المجتمع في بيت التنمية.

هذه المواد، تستعملها المُنْتِجات أولاً، وجميع الكائنات الحية غير ذاتية التغذية التي تتغذى عليها. **وكذلك الأمر بالنسبة للغذاء الذي تأكله المستهلكات (غير ذاتية التغذية)** التي تأكل النباتات، ففي البداية تستعمله الكائنات الحية الآكلة النباتات، لكن بعد ذلك، تستعمله المفترسات التي تتغذى عليها. لذا كمية المواد العضوية التي تُنْتِجها المُنْتِجات، يجب أن تزود احتياجات جميع الكائنات الحية التي تتغذى عليها بطريقة مباشرة أو غير مباشرة في جميع مستويات التغذية.

إذا رسمنا **كمية المواد** في كل مستوى تغذية، في بيت تنمية معين، نحصل على شكل هرم قاعدته كمية المواد (الكتلة الإحيائية) في مستوى التغذية الأول: المُنْتِجات (الرسمة ج – 8).

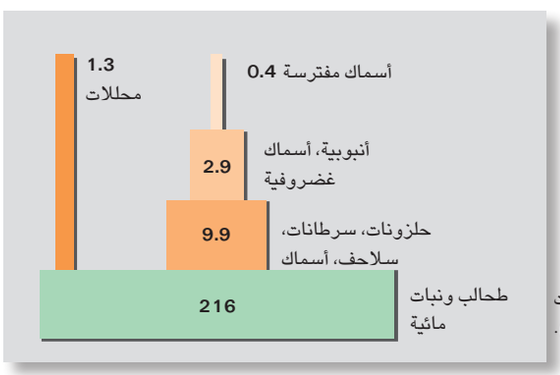


الرسمة ج – 8: هرم بيئي يُمثِّل الكتلة الأحيائية في مستويات التغذية، في نظام بيئي في اليابسة

كُبر الدرجة في **هرم الكتلة الأحيائية**، يُمثِّل كمية المواد الكامنة في مستوى تغذية واحد، ويتم التعبير عنها بوحدات الوزن الجاف للمادة العضوية لوحدة مساحة (غم/متر مربع). في معظم الأنظمة البيئية في اليابسة تكون الكتلة الأحيائية للمُنْتِجات في مستوى التغذية 1 هي الأكبر. الكتلة الأحيائية للمُستهلكات أصغر من الكتلة الأحيائية للمُنْتِجات، وكلما "صعدنا" في مستويات التغذية في الهرم، فإنّ الكتلة الأحيائية تصغر، وهكذا نحصل على شكل هرم.

ما هو مكان المحللات في الهرم البيئي؟ لأي مستوى تغذية تنتمي؟

الهرم البيئي المعروض في الرسمة ج – 8 ، لا يشمل المحللات على الرغم من أهميتها الكبرى. السبب لذلك أنه من الصعب أن نُمثِّلها بالشكل الصحيح، لأنها موجودة في كل مكان، وهي تُحلل البقايا التي لم تؤكل في كل مستوى. وعددها كبير جدًا، ولا نعرف عدد هذه الكائنات الحية الصغير جدًا الموجودة في كل بيت تنمية، ولا نعرف كتلتها الأحيائية. تعرض الرسمة ج – 9 حلاً معينًا لتمثيل المحللات، فهي مُمثَّلة بخط متواصل يُرافق جميع مستويات التغذية الموجودة فوق المُنْتِجات.

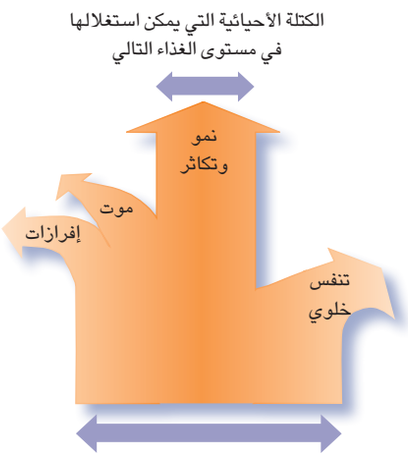


الرسمة ج – 9: هرم الكتلة الأحيائية في بيت تنمية رطب (في فلوريدا في الولايات المتحدة). تمّ التعبير عن القيم بوحدة غم لمتر مربع.

لماذا تقل الكتلة الأحيائية كلما صعدنا في مستويات التغذية في الهرم؟

ينبع شكل الهرم من الحقيقة أن كل كائن حي يستعمل **المواد** التي يُنْتِجُها، أو التي يأكلها أولاً ليلبي احتياجاته، مثل: إنتاج الطاقة المطلوبة له (من خلال التنفس الخلوي)، النمو والتكاثر. المركبات العضوية التي تأكسدت في عملية التنفس في الخلية إلى CO_2 (الذي ينطلق إلى الهواء) والماء، لا تستطيع أن تستغلها المستهلكات الموجودة في مستوى الغذاء التالي. وكذلك الأمر بالنسبة للمواد العضوية التي تُفرز في براز وبول الحيوانات، والأغصان التي ماتت، والأوراق التي تسقط على الأرض وتُحللها المحللات، فجميعها لا تستطيع أن تستغلها المستهلكات الموجودة في مستوى الغذاء التالي. لذا إذا فحصنا، ماذا يحدث للمواد التي تأكلها البقرة؟ نلاحظ أنه ليس جميع المواد العضوية الموجودة في العشب الذي أكلته خلال حياتها يستغله الإنسان الذي يأكل من لحمها ويشرب من حليبها، فقسمًا قليلاً من المواد التي أكلتها البقرة استغلتها لتنفسها، وقسمًا قليلاً أفرزته كفضلات (بول، بُراز).

وبهذه الطريقة، فإنّ **قسمًا** من المواد التي أنتجتها المُنْتِجات، أو أكلتها المستهلكات تُستغل في مستوى التغذية الآتي، كما نلاحظ ذلك في الرسمة ج – 10.



الرسمة ج – 10: ماذا يحدث للمواد التي أكلتها البقرة؟

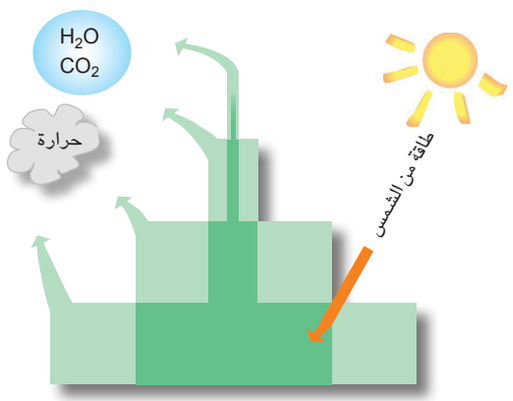
الكتلة الأحيائية والطاقة

للمزيد عن
الطاقة انظروا ملحق المصطلحات الأساسية

هرم الكتلة الأحيائية هو هرم طاقة أيضًا، لأن الكتلة الأحيائية تعكس كمية الطاقة الكيمائية في كل مستوى تغذية.

الكتلة الأحيائية، هي عبارة عن مواد نَتجت في عملية التركيب الضوئي، وتنتقل من كائن حي إلى آخر في شبكة الغذاء، وتُستغل لإنتاج الطاقة خلال التنفس الخلوي، وينطلق ثاني أكسيد الكربون وماء إلى البيئة المحيطة، وتتحول كل الطاقة الكيميائية إلى حرارة (نوع طاقة غير ميسرة).

عرضنا هذه الفكرة في الرسم التخطيطي ج – 11.



الرسمة ج – 11: الطاقة والكتلة الأحيائية المتوافرة للكائنات الحية في مستوى التغذية التالي

الطاقة والكتلة الأحيائية التي تفقدها الكائنات الحية إلى البيئة المحيطة أثناء حياتها

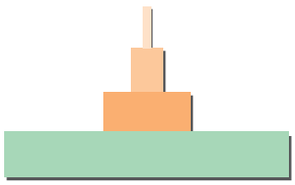
هرم الأعداد

نجد في بيوت تنمية كثيرة أن عدد النباتات (المُنْتِجات) أكبر من عدد آكلات النباتات، وعدد الكائنات الأخيرة أكبر من عدد المفترسات.

مثال على ذلك: في الحقل المفتوح، يوجد عدد كبير جدًا من النباتات، وعدد آكلات النباتات أصغر من عدد النباتات، وعدد المفترسات التي تتغذى على آكلات النباتات أصغر من عدد آكلات النباتات.

يمكن وصف النظام البيئي لحقل مفتوح من خلال هرم أعداد (الرسمة ج – 12). في هذا الهرم، عدد المُنْتِجات هو الأكبر، وكلما "صعدنا" في الهرم، يقل عدد الكائنات الحية في كل مستوى تغذية.

يوجد ظاهرة أخرى تُميز هرم الأعداد، وهي متعلقة بعدد **الأنواع** في مستويات التغذية المختلفة: في معظم الحالات يكون عدد أنواع المُنْتَجات أكبر من عدد أنواع المفترسات العليا.



الرسمة ج – 12: هرم الأعداد في حقل: عدد كبير من المُنْتَجات الصغيرة، وهي نباتات حوليّة.

يوجد سلبية واضحة لهرم الأعداد: جميع الأفراد في مستوى تغذية معين تُمثّل بشكل متماثل على الرغم من أن كتلتها مختلفة، مثلاً: الفيل الذي وزنه عدة أطنان والحشرة الصغيرة يُمَثّلان بنفس الطريقة. 100 فيل وَ 100 حشرات مُمَثّلان بنفس الطريقة بالضبط. لذا هرم الأعداد لا يعكس **كمية المواد** العضوية الموجودة في مستويات التغذية، وهذه هي السلبية البارزة لهرم الأعداد.

حقل: عدد كبير من المُنْتِجات الصغيرة

سؤال ج – 4

كيف يبدو هرم الأعداد الذي يُمثِّل الحالة التي فيها:

أ. حشرات كثيرة تتغذى على شجرة كبيرة، وعصافير تتغذى على الحشرات؟

ب. طفيليات كثيرة تعيش داخل عائل أو عليه؟

■ أهمية طرق الوصف والتمثيل لمعرفة النظام البيئي

لمعرفة بيت التنمية، مثلاً: البيئة المحيطة في البيت، أو البيئة المحيطة في المدرسة، يجب أن نعرف تنوع الأنواع التي تعيش في بيت التنمية، لكن هذا لا يكفي، لأن العلاقات بين الكائنات الحية التي تنعكس في شبكة الغذاء وفي الهرم البيئي لا تقل أهمية. ومن هذه العلاقات يمكن أن نحصل على صورة كاملة وشاملة عن بيت التنمية وعمّا يحصل فيه. يقارن عادةً باحثو علم البيئة بين بيوت التنمية من خلال تحليل شبكات الغذاء الموجودة فيها، ويقارنون بينها من خلال مقارنة مبنى الأهرامات التي تُمثِّل العلاقة المتبادلة في بيت التنمية بالمستوى الكمي، وبحسب شبكة الغذاء، يمكن – على سبيل المثال – أن نشرح ظواهر، أو نتنبأ التغييرات التي تحدث في النظام البيئي، في أعقاب تغيير أحد المكونات.

سؤال ج – 5

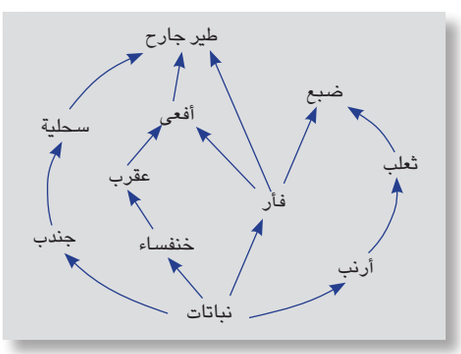
أمامكم شبكة غذاء في بيت تنمية في اليابسة. تمعّنوا فيه، ثم أجيبوا عن الأسئلة الآتية:

أ. صنِّفوا الكائنات الحية في شبكة الغذاء إلى مُنْتِجات ، مستهلكات أولية، مستهلكات ثانوية ومفترسات عليا.

ب. ماذا يحدث لمكونات شبكة الغذاء إذا نشب حريق وأدى إلى إبادة جميع النباتات؟

ج. في سنة ماطرة بشكل خاص، نلاحظ ظاهرتين مختلفتين: (أ) نمو كبير لجميع النباتات في بيت التنمية (ب) تغرق جراء الفئران في أوكارها.

لخصوا التأثيرات المتوقعة لهاتين الظاهرتين.



شبكة غذاء

ج4. عمليات في بيت التنمية: دورات المواد ونقل الطاقة

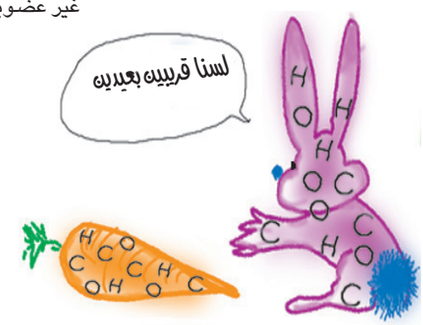
علاقة بموضوع

الخلية: *معظم المواد التي تبني خلايا الكائنات الحية، هي مركبات كربون عضوية من أنواع مختلفة. وفي الخلايا، يوجد أملاح أيضًا.*

إحدى الظواهر الرائعة في الحياة، هي تجانس المبنى الكيميائي للكائنات الحية.
تحتوي كل الكائنات الحية على نسبة عالية من الماء، وهي مبنية من سكريات، دهنيات بروتينات وحوامض نووية.

ما هي أهمية التشابه في المبنى الكيميائي؟

من حسنات التشابه في المبنى الكيميائي أن نفس المواد (**عناصر ومركبات**) مطلوبة لبقاء جميع الكائنات الحية، وكائن حي معين يستطيع أن يحصل على المطلوب له من خلال أكل جسم (أو قسم من جسم) كائن حي آخر. هكذا الأمر عند الكائنات الحية **غير ذاتية التغذية** التي تحصل على مواد عضوية من أكل كائنات حية أخرى أو تحليلها، ومن خلال ذلك تحصل أيضًا على مواد غير عضوية (أملاح)، وعلى قسم من الماء الذي تحتاجه.



ما هو المشترك بين الأرنب والجزرة؟

إنّ انتقال المواد من كائن حي إلى آخر في شبكة الغذاء وبين مستويات التغذية في الهرم البيئي، وإعادة استعمال المواد من خلال مكونات شبكة الغذاء، هي جزء من عملية **استرجاع (مدورة) المواد** في الغلاف الجوي وفي الكرة الأرضية بشكل عام. عند نقل المواد، تشترك جميع الكائنات الحية التي تعيش في بيت التنمية، ويرافقها **تغيير كيميائي** في المواد الموجودة فيها، وفي تحولات الطاقة أيضًا: من طاقة ضوئية إلى طاقة كيميائية، ومن ثم إلى طاقة حرارية.

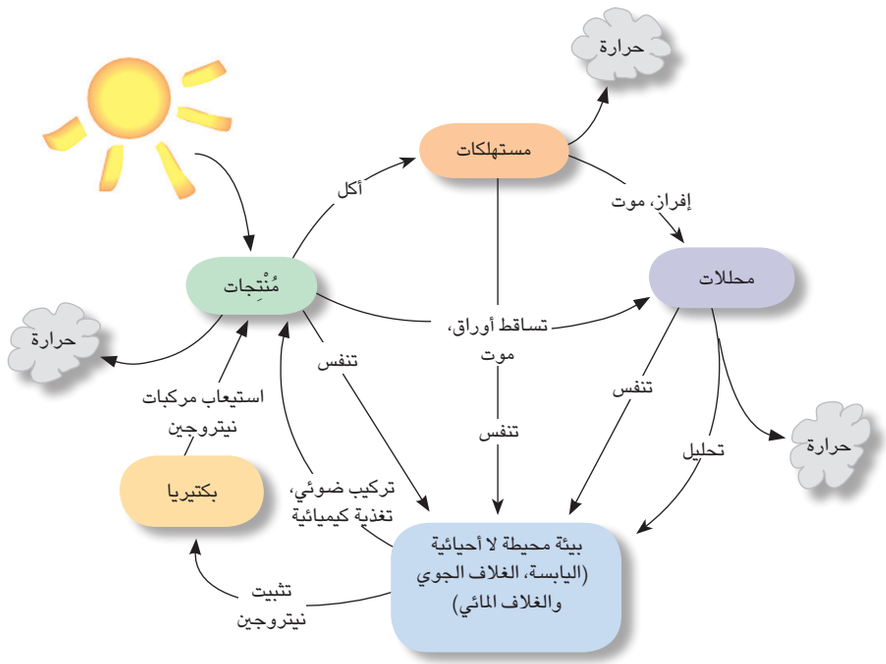
استرجاع (مدورة) مواد

الكرة الأرضية والغلاف الجوي الذي يُحيطها، يُشكلان **نظامًا مغلقًا** للمواد، وهذا يعني أن مواد لا تدخل الكرة الأرضية من الخارج، ولا تخرج مواد من الكرة الأرضية إلى الفضاء الخارجي (باستثناء النيازك التي تدخل الغلاف الجوي وتصل الكرة الأرضية، وباستثناء السفن الفضائية والأقمار الاصطناعية التي تُطلق من الكرة الأرضية إلى الفضاء الخارجي، ولا تعود إلى الكرة الأرضية، ومن الناحية الكمية، فإنّ مساهمتها وتأثيرها ضئيلانِ).

أين نجد جميع المواد؟

جميع المواد العضوية وغير العضوية نجدها في المجمعات الآتية:
الغلاف الحياتي: الكائنات الحية والميتة
الغلاف اليابسي: الصخور والتربة
الغلاف الجوي: غلاف الغازات الذي يحيط الكرة الأرضية
الغلاف المائي: المجمعات المائية على أنواعها الموجودة على سطح الكرة الأرضية: أنهار، ينابيع، وديان، بحيرات بحار ومحيطات.

العمليات الكيميائية – البيولوجية التي تتم في الكائنات الحية تؤدي إلى نقل هذه المواد بشكل دوري بين هذه المجمّعات الأربعة.
(العمليات الفيزيائية، كإذابة الصخور بواسطة المطر، تؤدي هي أيضًا لحركة المواد، لكن لا نبحثها هنا).
في الرسمة ج – 13، نلاحظ المسار العام للمواد التي تنتقل بين المكونات الأحيائية واللا أحيائية.



الرسمة ج – 13: مكونات النظام البيئي التي تشترك في مدورة المواد والعمليات التي تحدث فيها

سؤال ج – 6

أ. تمعّنوا في الرسمة ج– 13. ماذا يحدث لأشعة الشمس التي تستوعبها المُنْتِجات؟

ب. صنّفوا العمليات التي وردت في الرسم التخطيطي إلى ثلاث مجموعات:

(1) عمليات من خلالها تُنقل مواد من البيئة المحيطة اللا أحيائية إلى العوامل الأحيائية.

(2) عمليات من خلالها تُنقل مواد من العوامل الأحيائية إلى البيئة المحيطة اللا أحيائية.

(3) عمليات من خلالها تُنقل مواد بين العوامل الأحيائية.

لتجسيد فكرة مدورة (استرجاع) المواد، هيا بنا نتابع المسار الذي تمر به ذرة الكربون، من المرحلة التي تنتقل بها من الغلاف الجوي كـ CO_2 إلى النبتة في عملية التركيب الضوئي، ويتحول إلى جزء من جزيء عضوي معين (سكر، دهنيات أو بروتينات) في جسم النبات.

يمكن أن تنبعث هذه الذرة من الكربون خلال فترة قصيرة إلى الغلاف الجوي كجزء من عملية التنفس الخلوي للنبتة. معظم ذرات الكربون التي استوعبها النبات تتحول إلى قسم من جسمه، وعندما يؤكل النبات يصبح الكربون جزءًا من مركبات جسم الحيوان الذي أكله. وفي نهاية الأمر ينطلق إلى الغلاف الجوي (CO_2 كـ) كناتج لعملية التنفس التي تحدث في خلايا الحيوان أو خلايا المحللات التي تُحلل إفرازات الحيوانات أو أجسامها بعد موتها.

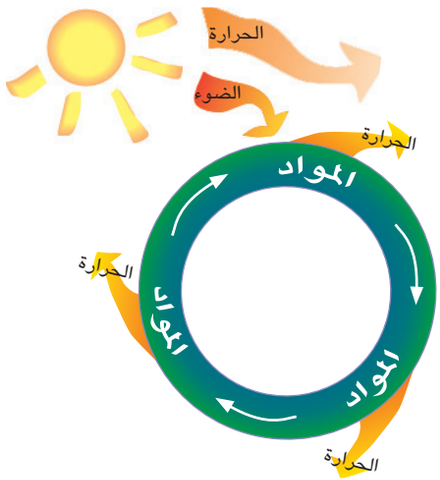
تحولات الطاقة في الطبيعة

العمليات في الكائنات الحية ومدورة المواد في النظام البيئي متعلقة بطاقة الشمس. ومن خلال عملية التركيب الضوئي "تُستوعب" طاقة الضوء من الشمس وتتحول إلى **طاقة كيميائية** في المواد العضوية التي هي نواتج عملية التركيب الضوئي. من هذه اللحظة، يكون تحول (انتقال) الطاقة الكيمائية في الطبيعة **مرافقًا** لمدورة المواد.

المواد العضوية هي مصدر لمواد البناء، وتُستعمل أيضًا لإنتاج الطاقة في جميع الكائنات الحية (المُنْتِجات، المُستهلكات والمحللات) (جدول ج – 1، الرسمة ج – 10). من المهم الانتباه إلى أنه يوجد فرق أساسي بين تحول الطاقة وبين تحول المواد (جدول ج – 1، الرسمة ج – 10).

في القطعة السابقة، شرحنا كيفية تدوير المواد، ولاحظنا أنه بعد أن تتحلل إلى عناصرها يمكن أن نستعملها مرةً أخرى لبناء مواد جديدة. أما بالنسبة للطاقة، فإنّ الأمر يختلف تمامًا: العمليات الحياتية للكائن الحي، التنفس الخلوي، الحركة، النقل الفعّال، البناء وغير ذلك يُرافقها إطلاق **طاقة حرارية.**

الطاقة الحرارية التي ليست كالطاقة الكيمائية، هي شكل (نوع) من أشكال الطاقة التي لا يستطيع الكائن الحي أن يستعملها خلال العمليات التي تحدث فيه. في الغلاف الجوي، الطاقة الحرارية ليست متوافرة بشكل كامل لتنفيذ عمل، أو لتحريك عمليات، لذا بقاء الحياة على سطح الكرة الأرضية متعلق بالتزويد المستمر للطاقة من الشمس.



الرسمة ج – 14: مدورة مواد مقارنة مع تحولات الطاقة

للمزيد عن

الطاقة في الأنظمة البيولوجية، انظروا **ملحق المصطلحات الأساسية**.

عكس المواد التي تتم إعادة بنائها من جديد دون توقف، فإنّ انتقال الطاقة في الغلاف الجوي وفي الأنظمة البيئية، هو عملية ذات اتجاه واحد: من الشمس إلى العوامل الأحيائية، وتنبعث كحرارة إلى الفضاء (الرسمة ج – 14).

أشعة الشمس – مصدر الطاقة الأولي

للمزيد عن

درجة الحرارة ودورة المياه، انظروا الفصل الثاني، بند ب 6.

الشمس هي مصدر الطاقة الأولي لمعظم الأنظمة البيئية. إضافةً إلى ذلك، فإنّ الشمس أيضًا، هي مصدر الطاقة الأولي للإنسان. الشجرة، النفط، الغاز والفحم هي أشكال للطاقة الكيميائية التي تُستعمل لتشغيل السيارات والأجهزة الصناعية، ولتوليد الكهرباء ولتسخين وإضاءة البيوت. النفط والفحم نتجا من نباتات وحيوانات قديمة، لذا يمكن القول أنها نتجت نتيجةً لعمليات التركيب الضوئي التي نفّذتها النباتات القديمة قبل ملايين السنين بمساعدة الطاقة الضوئية من الشمس. ينبع من ذلك بطريقة غير مباشرة أن الشمس تُشكل مصدر طاقة أوليًا لإنتاج الطاقة الكهربائية أيضًا في محطات القوة التي تعمل بواسطة الفحم، الغاز أو الوقود السائل.

الشمس هي مصدر الطاقة الأولي لمحطات القوة التي تعمل بواسطة شلالات المياه أو الرياح.

في هذه الأيام، تُستعمل أيضًا الطاقة النووية التي تُنْتَج في المفاعلات النووية كمصدر طاقة بديل.

محطات لإنتاج الكهرباء من الرياح

في المجتمع الحديث الذي نعيش فيه اليوم، تتحول كميات كبيرة من الطاقة الكيميائية (نفط، وقود، غاز، خشب وفحم) إلى أشكال طاقة أخرى. لكن من المهم أن نتذكر أن **الطاقة الكيميائية هي مورد يتنافد**. نتيجةً لنشاط الإنسان، فإن **الطاقة الكيميائية** تتحول إلى أشكال أخرى من الطاقة (مثلاً: كهرباء، حركة)، وتنطلق في نهاية الأمر كحرارة إلى الفضاء، ولا نستطيع أن نستخدمها ثانيةً. لذا يجب علينا أن نوفّر في استخدام المورد الغالي للطاقة الكيميائية التي تراكمت في التربة خلال فترات قديمة.

سؤال ج – 7

أ. لماذا يعتبر النفط والفحم موردين متنافذين. هل يمكن تجديد هذين الموردين؟ عللوا.

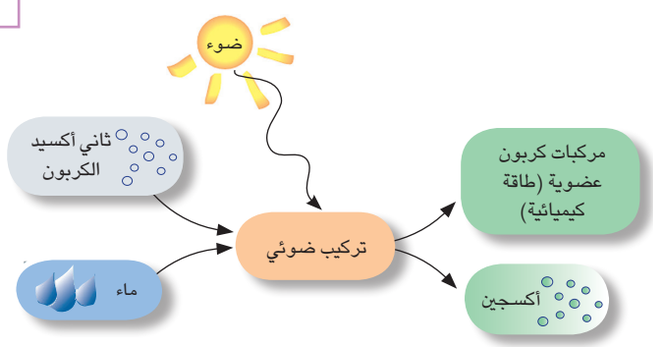
ب. هل الطاقة الكهربائية التي تُنْتَج في محطات القوى التي تعمل بواسطة الماء هي مورد يتنافذ؟ عللوا.

علاقة بموضوع

الخلية: تتم في الخلايا عمليات تحليل، بناء وتغيير – تبادل مواد (عمليات أيضية)، وترافقها تغييرات في الطاقة، وتنشطها إنزيمات.

الترافق بين مدورة المواد وبين تحولات الطاقة

لكي نفهم مدورة المواد وعمليات تحول الطاقة في النظام البيئي، يجب علينا أن نفهم عمليات البناء وعمليات الهدم الكيميائية التي تحدث في **خلايا** الكائن الحي. من المهم أن نتذكر أن جميع العمليات البيوكيميائية في الكائن الحي متعلقة ببعضها كالشبكة المكونة من عدة مسارات لعمليات أيضية (تبادل مواد). يُستعمل قسم من نواتج عملية **التركيب الضوئي** لبناء بروتينات ودهنيات، وتُستعمل نواتج وسطية من تحليل البروتينات والدهنيات أثناء عمليات البناء في الخلايا. عملية التركيب الضوئي، هي مثال لعملية بناء: بفضل الطاقة الشمسية، يتم بناء مركبات عضوية في النبات، مثل: السكر أو النشا، حيث يتم بناء ذلك من مركبات غير عضوية، مثل: ثاني أكسيد الكربون CO_2 وماء (H_2O) (الرسمة ج – 15).



الرسمة ج – 15: مدورة مواد وتحويل الطاقة في عملية التركيب الضوئي

تمّت هنا عمليتان في نفس الوقت:

1. تحويل (نقل) طاقة: تحولت **طاقة ضوئية إلى طاقة كيميائية**.
2. مدورة عناصر الكربون، والأكسجين (من CO_2)، والهيدروجين من الماء. هذه العناصر كانت جزءًا من جزيئات غير عضوية، والآن أصبحت جزءًا من جزيء عضوي.

فمن خلال عملية التركيب الضوئي، انتقلت العناصر كربون، أكسجين وهيدروجين من المكون اللا أحيائي للنظام البيئي إلى المكون الأحيائي، والطاقة الضوئية من الشمس، تتحول إلى طاقة كيميائية يستغلها الكائن الحي لإنتاج طاقة **متوافرة** (ATP) لنشاطاته.

من الجدير بالمعرفة

فقط حوالي 1% – 2% من كمية الطاقة الضوئية للشمس تتحول إلى طاقة كيميائية من خلال عملية التركيب الضوئي. ومن هذه النسبة الصغيرة جدًا تعيش معظم الكائنات الحية في العالَم.

معدل إنتاج التركيب الضوئي خلال سنة واحدة في المناطق المختلفة هو: 2000 غم للمتر المربع في الغابات الاستوائية، 600 غم للمتر المربع في السهول العشبية، 155 غم للمتر المربع في المحيطات. على الرغم من ذلك، يصل مجموع إنتاج عملية التركيب الضوئي في المحيطات حوالي 34% من مجموع إنتاج عملية التركيب الضوئي في العالم، وذلك بسبب مساحتها الهائلة، فمساحة المحيطات حوالي 71%من مساحة السطح الخارجي للكرة الأرضية.

يُنْتِج النبات جميع المواد العضوية – التي تبني جسمه – من نواتج عملية التركيب الضوئي. من أجل ذلك، يستعمل عناصر أخرى تُستوعب من التربة، مثلاً: لبناء بروتينات يستعمل مركبات نيتروجين وكبريت غير عضوية، ولبناء حوامض نووية يستعمل فوسفور (الرسمة ج – 3، صفحة 76).

علاقة بموضوع

بيولوجيا الإنسان: الطاقة الحرارية هي ناتج التنفس الخلوي.

التنفس الخلوي هو عملية يتم فيها **تحليل مركبات عضوية**. وفي التنفس الخلوي يوجد ترافق بين تحويل الطاقة ومدورة المواد: فمن الطاقة الموجودة في المواد العضوية (الطاقة الكيميائية)، تَنْتُج طاقة كيميائية متوافرة كـ **ATP** وحرارة (الرسمة ج – 16).

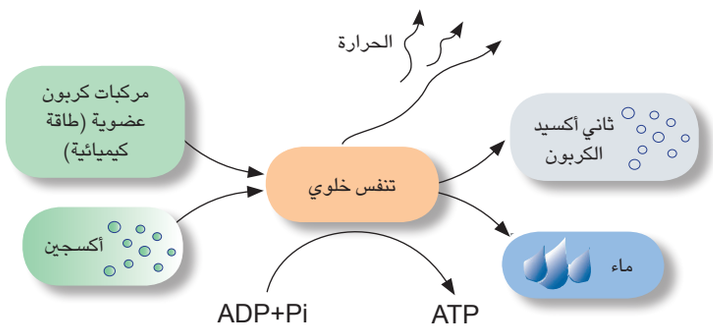
بماذا تختلف الطاقة الكيميائية في المواد العضوية وفي الـ ATP؟

تحتاج عمليات الحياة في الخلايا (بناء مواد، نقل فعّال وغير ذلك) إلى **طاقة كيميائية متوافرة** كالـ ATP، وهو ناتج عملية التنفس الخلوي الذي يتم فيه تأكسد مركبات عضوية.

يُستعمل قسم من الطاقة المنطلقة أثناء التأكسد لبناء الـ ATP الذي يُستخدم كمصدر طاقة للعمليات التي تتم في الخلية. الـ ATP لا ينتقل من خلية إلى أخرى ولا يُخزَّن في الخلايا. أما مواد عضوية أخرى كالسكريات، النشا والجلايكوجين، فهي تُنقل بين الكائنات الحية وفي داخلها، وتُخزّن فيها، لكنها لا تشكل مصدرًا متوافرًا للطاقة.

علاقة بموضوع

الخلية: التنفس الخلوي، هو عملية إنزيماتية متعددة المراحل، حيث يتم فيها إنتاج طاقة كيميائية ATP، وهي تُستعمل لتنفيذ جميع عمليات الحياة في الخلية.



الرسمة ج – 16: مدورة مواد وتحويل طاقة في التنفس الخلوي

وماذا حدث للمواد؟

حُلِّلت المواد العضوية في مراحل كثيرة إلى مركبات بسيطة. ومن التحليل الكامل للجلوكوز في عملية التنفس الخلوي، فإننا نحصل على CO_2 وماء. وهكذا يعود الكربون، الأكسجين والهيدروجين لتصبح جزءًا من المكون اللا أحيائي.

التنفس وعملية التركيب الضوئي، هما عمليتان مهمتان في تحويل الطاقة ومدورة المواد في الغلاف الجوي، لكنهما ليستا العمليتين الوحيدتين. فهناك عمليات إضافية تحدث في دورة الكربون، ودورة النيتروجين (سنشرح لاحقًا عن هاتين الدورتين).

سؤال ج – 8

أ. ادمجوا الرسوم التخطيطية التي تصف عمليّتَي التركيب الضوئي والتنفس في رسم تخطيطي واحد، بحيث يعرض مدورة المواد وتحول الطاقة.

ب. التركيب الضوئي والتنفس، هما عمليتان **تُكملان** الواحدة الأخرى في توازن المواد في الغلاف الجوي. اشرحوا هذه الجملة.

ج. هل يصح القول: "إنّ التركيب الضوئي والتنفس، هما عمليتان متعاكستان"؟ علّلوا.

د. هل يمكن القول: إنّ نسبة التنفس في الغلاف الجوي أكبر أو أصغر من نسبة التركيب الضوئي؟ عللوا.

أمثلة لدورات مواد

في دورة المواد، تشترك جميع الكائنات الحية التي تُشكل المجتمع في بيت التنمية. وكل عنصر يمر بمسار مدورة خاص به. تختلف الأنظمة البيئية عن بعضها بكمية المواد التي يُعاد بناؤها من جديد (مدورة) وبوتيرة المدورة.

دورة الكربون في الطبيعة

العناصر كربون (C)، أكسجين (O) وهيدروجين (H) مدمجة ببعضها في دورات المواد في الطبيعة، ولذلك يوجد سببان:

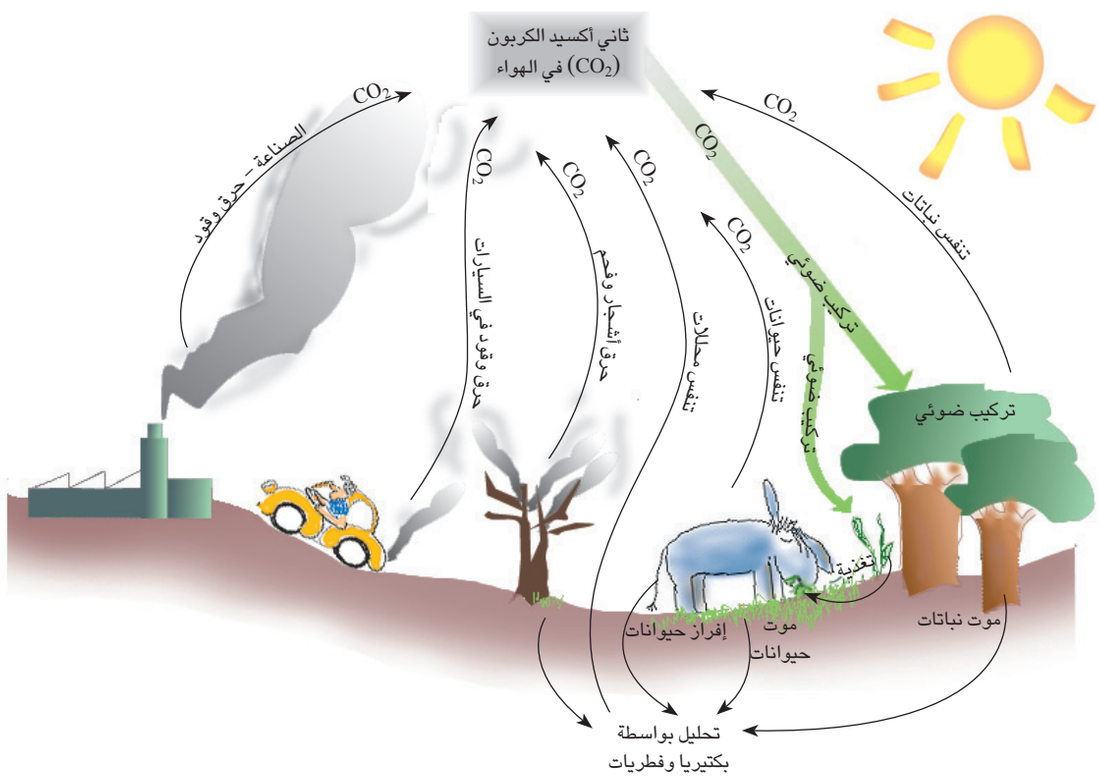
1. يظهر الكربون، الأكسجين والهيدروجين معًا في مركبات عضوية تبني أجسام الكائنات الحية.
2. العمليتان الأساسيتان اللتان تشتركان في دورة الكربون – التركيب الضوئي والتنفس – هما العمليتان الأساسيتان في دورتي الأكسجين والهيدروجين، وهما يُكملان بعضهما في دورة المدورة.

سؤال ج – 9

أ. أعطوا أمثلة لمركبات عضوية يوجد فيها كربون وأكسجين أيضًا.

ب. عودوا وافحصوا: ما هو مصدر الأكسجين المنبعث في عملية التركيب الضوئي؟

الرسمة ج – 17، تعرض رسمًا تخطيطيًا جزئيًا لدورة الكربون. تمر ذرة الكربون دورة كاملة واحدة كل 400 سنة تقريبًا.



الرسمة ج – 17: دورة الكربون في الطبيعة

سؤال ج – 10

أجيبوا عن الأسئلة الآتية بمساعدة الرسم التخطيطي الذي وَرَدَ في الرسمة ج – 17:

أ. ما هي العملية الأساسية التي يرتبط بها كربون غير عضوي بمركب كربون عضوي؟

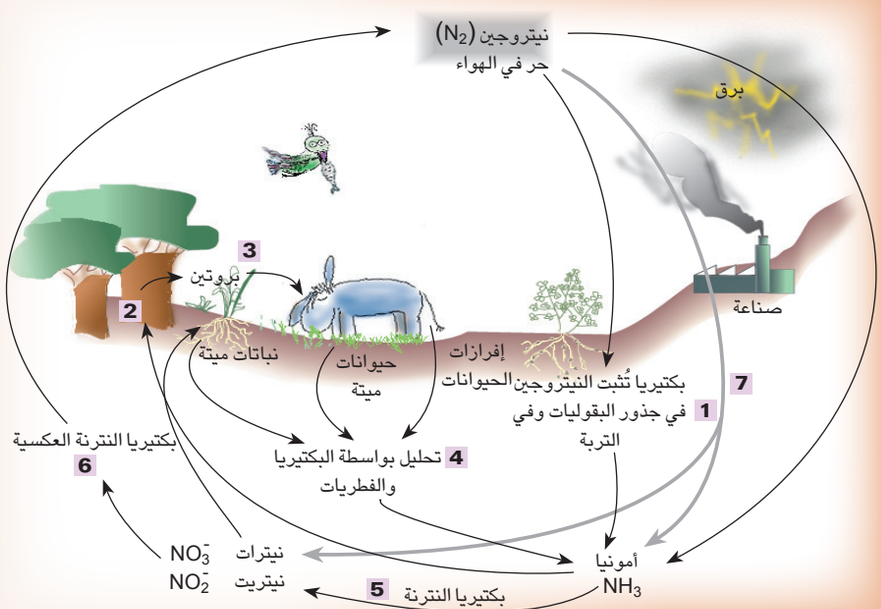
ب. ماذا يمكن أن يكون تأثير زيادة السيارات وحرق الغابات التي قُطعت على دورة الكربون؟

توسع: دورة النيتروجين

النيتروجين هو عنصر مهم جدًا في جسم الكائن الحي. فهو يكوّن جزيئات بروتينات وأحماضًا نووية. دورة النيتروجين، عكس دورة الكربون، لأن دورة النيتروجين غير مرتبطة مباشرةً بعمليتَي التركيب الضوئي والتنفس. مجمّعات النيتروجين الأساسية موجودة في الهواء والتربة كبقايا عضوية لكائنات حية مَيتة وكمركبات غير عضوية. تعتبر دورة النيتروجين خاصة لعدة أسباب:

1. يُشكل النيتروجين % 79 (!) من الغلاف الجوي (الأكسجين يُشكل حوالي % 20 وثاني أكسيد الكربون حوالي % 0.04)، لكن معظم الكائنات الحية **لا تستطيع** أن تستغل مجمّع النيتروجين الضخم الموجود في الهواء.
2. توجد **للبكتيريا** وظيفة مركزية في دورة النيتروجين في الطبيعة وفي دورات عناصر أخرى. إنّ مدورة النيتروجين في الطبيعة متعلقة بقدرة بكتيريا معينة على تنفيذ عمليات لا تُنفِّذها كائنات حية أخرى. مثلاً: تثبيت نيتروجين حُرّ من الهواء إلى مركبات نيتروجين متوافرة للنباتات وإطلاق نيتروجين حر إلى الهواء من المركبات.
3. معظم العمليات المتعلقة بدورة النيتروجين تتم في التربة.

نتابع دورة النيتروجين من خلال الرسم التخطيطي في الرسمة ج – 18 (الأعداد في الرسمة مناسبة للعمليات التي نَصفها فيما بعد).



الرسمة ج – 18: دورة النيتروجين

فيما يلي العمليات التي تتم في دورة النيتروجين:

1. **تثبيت** نيتروجين حر من الهواء بواسطة بكتيريا موجودة في التربة بالأساس.
2. النباتات تقوم باستيعاب مركبات النيتروجين.
3. نقل مركبات النيتروجين (كبروتينات) في شبكة الغذاء.
4. تقوم الفطريات والبكتيريا بتحليل المادة العضوية التي مصدرها من الكائنات الحية الميتة، من الأوراق والثمار التي سقطت، من الإفرازات، وإطلاق النيتروجين على شكل أمونيا.
5. أكسدة النيتروجين من الأمونيوم حتى النيترات.
6. تقوم البكتيريا باختزال النيترات إلى نيتروجين حر.
7. تثبيت النيتروجين لصناعة الأسمدة.

درنات نيتروجين على الجذور

إنّ استغلال النيتروجين الموجود في الهواء لاحتياجات الكائنات الحية في النظام البيئي يتم بفضل النشاط الخاص **للبكتيريا التي تقوم بتثبيت النيتروجين**. وعملية تثبيت نيتروجين الهواء في مركبات متوافرة (الرقم 1 في الرسمة)، هي عملية مهمة جدًا للنظام البيئي كله، لأنها تستغل مصدر نيتروجين **غير متوافر** لباقي الكائنات الحية.

البكتيريا التي تستغل نيتروجين الهواء، يعيش قسم منها بشكل حر في التربة، وقسم آخر يعيش بالتعاون مع جذور نباتات خاصة من عائلة البقوليات. وتعيش البكتيريا في درنات خاصة في الجذور وتزوّد النباتات بنيترات، لكي تستغلها النباتات. وتقوم نباتات من عائلة البقوليات بإثراء التربة **بمركبات نيتروجينية متوافرة** للنبات، لذا يزرع المزارعون بقوليات في حقولهم كل عدة سنوات، لكي يُجدِّدوا مخزون مركبات النيتروجين في التربة.

وسيلة أخرى شائعة لإثراء التربة الزراعية بمركبات النيتروجين المتوافرة للنباتات، هي تسميد التربة بمركبات نيتروجينية صناعية.

ترمس – نبات من عائلة البقوليات

للمزيد عن
- ***حياة المشاركة،*** *انظروا الفصل الرابع.*
- ***دورة المزروعات والتسميد،*** *انظروا الفصل السابع*

تدخُّل الإنسان في دورات المواد

نشاطات الإنسان المتنوعة في مجالات الحياة المختلفة، يوجد لها تأثير على دورات المواد في الغلاف الجوي، ونتيجةً لذلك، يوجد تأثير على الأنظمة البيئية وعلى جودة البيئة المحيطة. في هذا البند، سنعرض ثلاثة أمثلة لهذا التأثير.

1. قَطع الغابات

إنّ قَطع غابات المطر وحرقها، هو أحد العوامل لارتفاع تركيز CO_2 في الغلاف الجوي. يقوم الإنسان بقَطع الغابات، لكي يستعمل الأراضي للزراعة، ولكي يستخدم الأشجار كمصدر للطاقة، ولصناعة الأوراق والأثاث.

إنّ تأثير قَطع الغابات على تركيز CO_2 في الغلاف الجوي مزدوج:

1. تقل بشكل كبير جدًا مساحات الغابات التي تقوم بتثبيت CO_2 في عملية التركيب الضوئي.
2. يؤدي حرق الشجرة المقطوعة إلى انطلاق CO_2 مرةً واحدة، ومن المعروف أن هذا الغاز تراكم في الأقسام الخشبية في الشجرة خلال مئات (وربما آلاف السنين).

للمزيد عن
تأثير الإنسان على الأنظمة البيئية، *انظروا الفصل السادس.*

من الجدير بالمعرفة

بحسب وثيقة كيوطو من سنة 1997، تستطيع الدول الصناعية أو الشركات التجارية التي تؤدي إلى انبعاث CO_2 أكثر من المستوى المتفق عليه، أن تقوم بتمويل غرس غابات في دول أخرى، بدلاً من أن تُقلص انبعاث CO_2 إلى الغلاف الجوي.

من وجهة نظر زراعية

يدعي الأشخاص الذين يقطعون غابات المطر أن تحويل الغابات إلى مساحات زراعية يجعل المحاصيل الزراعية وفيرة، لأن أراضي هذه الغابات خصبة، لكن بعد عدة سنوات تنخفض خصوبة التربة بشكل ملحوظ، وهي لا تُعطي المحاصيل المتوقعة منها، لذا يجب تسميدها (ومن المعروف أن سعر السماد باهظ، وفي معظم الحالات لا يتوفر لدى هؤلاء المزارعين في هذه المناطق).

ما هو سبب تناقص خصوبة التربة؟ اتضح أن مدورة المواد في تربة الغابة الاستوائية تكون سريعة جدًا، لأنّ كل ورقة تسقط أو كل كائن حي يموت يتحللان بسرعة، وتقوم النباتات باستيعاب العناصر واستغلالها لبناء جذوعها، أوراقها وثمارها، ومن هنا معظم العناصر مخزونة في الكتلة الأحيائية وكميتها في التربة تكون قليلة. تُباع الأشجار التي يتم قطعها، ويؤدي إخراجها من الأرض إلى إبعاد المواد الموجودة فيها، وهكذا تبقى أرضًا فقيرة بالمواد الغذائية (الأملاح)، وإضافة إلى ذلك، يؤدي حرق المواد المتبقية إلى فقدان هذه العناصر (بالأساس النيتروجين) إلى الغلاف الجوي.

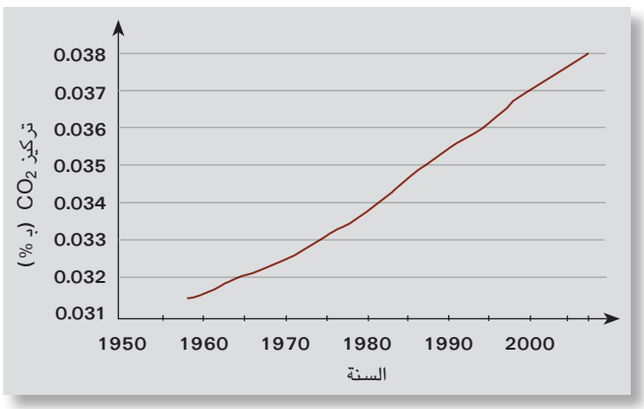
2. استعمال الوقود السائل والفحم بشكل متزايد

إن الاستعمال المتزايد للوقود السائل والفحم في الصناعة، وفي تشغيل السيارات، وإنتاج الكهرباء، يؤدي إلى إطلاق CO_2 (جدول ج – 3) وارتفاع تركيزه في الغلاف الجوي (للتذكير: النفط والفحم، هما ناتجا عملية التركيب الضوئي في الفترات القديمة).

جدول ج –3: نشاطات احتياجات الإنسان التي تؤدي إلى ارتفاع كمية CO_2 في الغلاف الجوي

نشاط الإنسان	مساهمة النشاط في إطلاق CO_2 (بالنسبة المئوية)
محطات قوة لإنتاج الكهرباء (بالأساس المحطات التي تحرق فحمًا)	33
مواصلات	31
صناعة	24
تسخين وتدفئة	12

يعتقد العلماء أن ارتفاع تركيز CO_2 (الرسمة ج – 19) في الهواء يؤدي إلى **زيادة تأثير الدفيئة (الاحتباس الحراري)** – وهو عبارة عن ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي بشكل بطيء. وفي أعقاب ذلك، يتوقع العلماء ارتفاع درجة الحرارة بـ 3 – 4 درجات، وقد يؤدي ذلك إلى **تغييرات كبيرة في مناخ** مناطق واسعة على سطح الكرة الأرضية، مثلاً: تحويل مناطق مغطاة اليوم بنباتات إلى صحارى (تصحُّر)، ذوبان الجليد الذي في أعقابه يرتفع مستوى سطح مياه البحر، حيث يؤدي ذلك إلى غمر المدن التي تقع على شواطئ اليابسة.



الرسمة ج – 19: ارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي

من الجدير بالمعرفة

من المهم أن تعرفوا أن تأثير الدفيئة (الاحتباس الحراري) بحد ذاته هو ظاهرة إيجابية، لأنه يؤدي إلى ظروف درجة حرارة مريحة، وبفضل ذلك، تتم الحياة على سطح الكرة الأرضية. تساهم غازات أخرى في تأثير الدفيئة، مثل: أكاسيد النيتروجين والكبريت، الميثان وغير ذلك. المشكلة في أيامنا، هي الزيادة السريعة في تأثير الدفيئة، وفي أعقابها ارتفاع درجة الحرارة.

للمزيد عن
تأثير درجة الحرارة، انظروا الفصل الثاني، بند ب 6.

3. استعمال مواد التسميد بشكل متزايد

إنّ عدد سكان العالم يتزايد، وفي أعقاب ذلك، يزداد الطلب إلى الغذاء. لذا يستعملون الأسمدة في الزراعة (بالأساس الأسمدة التي تُنْتَج في عمليات صناعية تقوم بتثبيت النيتروجين من الهواء إلى مركبات، مثل: أملاح الأمونيا والنيترات) لزيادة المحاصيل. عندما نضيف مواد تسميد إلى التربة، فإن كمية المحاصيل الزراعية التي نحصل عليها من كل قطعة أرض ترتفع بشكل ملحوظ. لكن إلى جانب الفائدة، يوجد ضرر أيضًا. إنّ الاستعمال الزائد للأسمدة التي تحتوي على نيتروجين وفوسفور يؤدي إلى فائض في كمية السماد الذي لا تستوعبه النباتات الزراعية ويبقى في التربة. يُشطف فائض السماد إلى المياه الجوفية ويصل إلى مجمعات الماء الأخرى. وفي أعقاب ذلك، تنخفض جودة المياه، وتحدث أضرار في صحة الإنسان.

للمزيد عن
طلب الغذاء، الزراعة والتسميد، انظروا الفصل السابع.

إنّ فائض مركبات النيتروجين والفوسفور يؤدي إلى تكاثر الطحالب في البحيرات. وعندما تصل البحيرة مياه من أراضٍ زراعية تمّ تسميدها، فإنَّ ذلك يؤدي إلى إضافة مركّبات نيتروجين وفوسفور كثيرة تؤدي إلى تكاثر الطحالب بشكل كبير جدًا. إذا لم تتوفر في البحيرة كائنات حية كافية لأكل الطحالب، فإن ذلك يؤدي مع مرور الوقت إلى أن البكتيريا تقوم بتحليل معظم الطحالب. وتؤدي عمليات التحليل إلى تناقص مصادر الأكسجين في البحيرة (البكتيريا التي تُحلِّل الطحالب، تستغل الأكسجين لتنفسها!)، وفي حالة النقص في الأكسجين، فإن ذلك يؤدي إلى موت الأسماك، وفي نهاية الأمر يتغيّر النظام البيئي بشكل ملحوظ. وفي حالات كثيرة، يؤثر هذا الوضع على جودة المياه، وعلى اقتصاد الإنسان الذي يعيش على شاطئ البحيرة ويرتزق منها. يحدث ضرر إضافي للنظام البيئي، لأن قسمًا من الطحالب يُفرز مركبات سامة. يصل الفوسفور إلى الوديان وإلى مجمّعات المياه من خلال مواد أخرى، مثلاً: مياه مجارٍ غير نقية تحتوي على بقايا مساحيق غسيل. في دول عديدة في العالم، يستعملون مساحيق غسيل لا تحتوي على فوسفور، لكي يحافظوا على جودة المياه.

سؤال ج – 11

في الأمثلة التي عُرضت أعلاه، عرضنا تدخُّل الإنسان في دورات المواد. ما هو الفرق بين تدخُّل الإنسان في التسميد وبين تدخُّله في استعمال الوقود؟

من وجهة نظر زراعية: مدورة (إعادة بناء) مواد في الزراعة

النشاطات التي يقوم بها المزارع لزيادة المحاصيل الزراعية تؤثر على دورات المواد. من ناحية معينة، يؤدي تسميد الحقول والكروم إلى زيادة النيترات والفوسفات وعناصر أخرى في التربة، والتي قسم منها تُشطف إلى مناطق طبيعية، ومن ناحية أخرى، فإنّ المحاصيل التي نجمعها تؤدي إلى "إبعاد" مواد – تقوم النباتات باستيعابها –من التربة. إفرازات الحيوانات، مثل: الأبقار والطيور، قد تؤدي إلى تلويث مصادر المياه والتربة إذا لم تتم معالجتها بالشكل الصحيح.

إحدى الطرق لمنع تلوث البيئة المحيطة، هي تسميد التربة بإفرازات حيوانات **وبكومبوست**، ويُعتبر الأخير مادة عضوية تُنْتَج من زبل عضوي، حيث يتم إنتاجه من بقايا مواد عضوية (بقايا غذاء، أوراق تساقطت وغير ذلك) بمساعدة كائنات حية دقيقة وبوجود أكسجين.

تلخيص الفصل

1. العوامل الأحيائية في النظام البيئي هي: المُنْتِجات، المُستهلكات والمحللات، وهي متعلقة ببعضها بالتغذية.
2. إنّ بقاء مجتمع من الكائنات الحية في بيت تنمية معين متعلق بالمواد العضوية التي تُنْتِجها مُنْتِجات ذاتية التغذية.
3. علاقة الآكل والمأكول، هي أحد الأمثلة المهمة جدًا للعلاقة المتبادلة في النظام البيئي.
4. السلسلة الغذائية، شبكة الغذاء والهرم البيئي، هي طرق مختلفة لتمثيل العلاقة المتبادلة بين الآكل والمأكول، ولتمثيل مستويات التغذية التي تنتمي إليها. تختلف طرق التمثيل بالجوانب التي تُبرزها، فمن خلال السلسلة الغذائية وشبكة الغذاء، نعرض الجانب الكيفي للعلاقة بين الآكل والمأكول، ومن خلال الهرم البيئي، نعرض الجانب الكمي.
5. تقل كمية المواد التي تنتقل من مستوى تغذية معين إلى المستوى الأعلى منه، لأن قسمًا قليلاً من المواد استُغل لإنتاج الطاقة، أو أُفرز إلى البيئة المحيطة كبراز، أو بول، أو بقايا كائنات حية.
6. إنّ تنظيم عشائر (مجموعات) الكائنات الحية والعلاقة المتبادلة بينها ينبع من العمليات البيوكيميائية التي تحدث في خلايا الكائن الحي، حيث يتم التعبير عنها في العمليات التي تحدث في مستوى تنظيم النظام البيئي، وهذا يعني: في عمليات مدورة المواد ونقل الطاقة.
7. تنتقل المواد بدورية من خلال المكونات الأحيائية واللا أحيائية في البيئة المحيطة. تتم عملية نقل الطاقة باتجاه واحد من الشمس إلى العوامل الأحيائية ومنها تنطلق حرارة إلى الفضاء، وهذا عكس مدورة المواد التي تتم دون توقف.
8. التركيب الضوئي، التنفس والتحليل (في عمليات التعفن والاحتراق)، هي عمليات مهمة جدًا في دورات المواد، وفي نقل (تحويل) الطاقة.
9. إنّ نشاطات الإنسان كالتسميد بالأساس، حرق الغابات واستعمال الوقود تؤثر على دورات المواد، وقد تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي (زيادة تأثير الدفيئة).

مصطلحات مهمة

غلاف جوي

طاقة (تحويل، نقل)

طاقة كيميائية

طاقة حرارية

تأثير الدفيئة

الكتلة الأحيائية

التسميد

التغذية (ذاتية التغذية، غير ذاتية التغذية)

غير ذاتية التغذية

مواد (عضوية وغير عضوية)

بكتيريا

نيتروجين (توافر)

مفترس

مُنْتِجات

شبكة الغذاء

دورات مواد (كربون، نيتروجين، ماء)

مدورة (إعادة بناء) مواد

تنفس خلوي

تركيب ضوئي

كربوهيدرات

هرم بيئي (كتلة أحيائية، طاقة، أعداد)

مُستهلكات (أولية، ثانوية)

تثبيت نيتروجين

مستوى تغذية

سلسلة غذائية