



الكيمياء

كتاب الطالب المستوى الحادي عشر

CHEMISTRY
STUDENT BOOK

GRADE
11

الفصل الدراسي الثاني
SECOND SEMESTER

© وزارة التربية والتعليم العالي في دولة قطر

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويُخضع
للاستثناء التشريعي المسموح به قانوناً ولأحكام التراخيص
 ذات الصلة.

لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب من دون الحصول
على الإذن المكتوب من وزارة التربية والتعليم والتعليم
العالي في دولة قطر.

تم إعداد الكتاب بالتعاون مع شركة تكنولاب.

التأليف: فريق من الخبراء بقيادة الدكتور توم سو وبالتعاون
مع شركة باسكو العلمية.

الترجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.



النشيد الوطني

قَسَمًا بِمَنْ نَشَرَ الضِّيَاءَ	قَسَمًا بِمَنْ رَفَعَ السَّمَاءَ
سَمُونِي بِرُوحِ الْأَوْفِيَاءَ	قَطْرُ سَتَبْقَى حَرَّةً
وَعَلَى ضِيَاءِ الْأَنْبِيَاءَ	سِيرُوا عَلَى نَهْجِ الْأُلَى
عِزٌّ وَأَمْجَادُ الْإِبَاءَ	قَطْرُ بَقَلْبِي سِيرَةً
حُمَاتُنَا يَوْمَ النِّدَاءَ	قَطْرُ الرِّجَالِ الْأَوَّلِينَ
جَوَارِحُ يَوْمِ الْفِدَاءَ	وَحَمَائِمُ يَوْمَ السَّلَامَ



وزارة التربية والتعليم والتعليم العالي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولة قطر

المراجعة والتّدقيق العلمي والتّربوي

إدارة المناهج الدراسية ومصادر التّعلم

خبرات تربوية وأكاديمية من المدارس

الإشراف العلمي والتّربوي

إدارة المناهج الدراسية ومصادر التّعلم

يعدّ كتاب الطّالب مصدراً مثيراً لاهتمام الطّالب من ضمن سلسلة كتب العلوم لدولة قطر، فهو يستهدف جميع المعارف والمهارات التي يحتاجون إليها للنجاح في تنمية المهارات الحياتية وبعض المهارات في المواد الأخرى.

وبما أنّنا نهدف إلى أن يكون طّالبنا مميّزين، نودّ منهم أن يتّسموا بما يأتي:

- البراعة في العمل ضمن فريق.
- امتلاك الفضول العلميّ عن العالم من حولهم، والقدرة على البحث عن المعلومات وتوثيق مصادرها.
- القدرة على التّفكير بشكلٍ ناقدٍ وبناءً.
- الثّقة بقدرتهم على اتّباع طريقة الاستقصاء العلميّ، عبر جمع البيانات وتحليلها، وكتابة التّقارير، وإنتاج الرّسوم البيانية، واستخلاص الاستنتاجات، ومناقشة مراجعات الزّملاء.
- الوضوح في تواصلهم مع الآخرين لعرض نتائجهم وأفكارهم.
- التّمّرس في التّفكير الإبداعيّ.
- التّمسّك باحترام المبادئ الأخلاقية والقيم الإنسانية.

يتجسّد في المنهج الجديد العديد من التّوجّهات مثل:

- تطوير المنهج لجميع المستويات الدراسية بطريقة متكاملة، وذلك لتشكيل مجموعة شاملة من المفاهيم العلمية التي تتوافق مع أعمار الطّالب، والتي تسهم في إظهار تقدّمهم بوضوح.
- مواءمة محتوى المصادر الدراسية لتوافق مع الإطار العام للمنهج الوطني القطريّ بغية ضمان حصول الطّالب على المعارف والمهارات العلمية وتطوير المواقف (وهو ما يُعرف بالكفايات) مما يجعل أداء الطّالب يصل إلى الحدّ الأقصى.
- الانطلاق من نقطة محوريّة جديدة قوامها مهارات الاستقصاء العلميّ، ما أسّس للتنوع في الأنشطة والمشاريع في كتاب الطّالب.

- توزُّع المعرفة والأفكار العلميّة المخصّصة لـكُلّ عام دراسيٍّ ضمن وحدات بطريقة متسلسلة مصمّمة لتحقيق التنوّع والتّطوّر.
- تعدد الدّروس في كُلّ وحدة، بحيث يعالج كُلّ درس موضوعاً جديداً، منطلقاً ممّا تَمَّ اكتسابه في الدّروس السّابقة.
- إتاحة الفرصة للطلّاب، في كُلّ درسٍ، للتحقّق الذّاتي من معارفهـم ولممارسة قدرتهم على حلّ المشـكلات.
- احتـواء كـلّ وحدـة على تـقويم للـدرس وـتـقويم الـوحدةـ التي تمـكـنـ الطـلـابـ والأـهـلـ والـمـدـرـسـينـ منـ تـبـيـعـ التـعـلـمـ وـالـأـدـاءـ.

العلوم مجموعـةـ منـ المـعـارـفـ التيـ تـشـمـلـ الـحـقـائـقـ وـالـأـشـكـالـ وـالـنـظـرـيـاتـ وـالـأـفـكـارـ.ـ وـلـكـنـ العـالـمـ الجـيـدـ يـفـهـمـ أـنـ «ـطـرـيـقـةـ العـمـلـ»ـ فـيـ الـعـلـومـ أـكـثـرـ أـهـمـيـةـ مـنـ الـمـعـرـفـةـ الـتـيـ تـحـتـويـهـاـ.ـ سـوـفـ يـسـاعـدـ هـذـاـ الـكـتـابـ الـطـلـابـ عـلـىـ تـقـدـيرـ جـمـيعـ هـذـهـ الـأـبـعـادـ وـاعـتـمـادـهـاـ لـيـصـبـحـواـ عـلـمـاءـ نـاجـحـينـ وـلـيـواجهـوـ مـعـجـمـوـعـةـ وـاسـعـةـ مـنـ التـحـدـيـاتـ فـيـ حـيـاتـهـمـ الـمـهـنـيـةـ الـمـسـتـقـبـلـيـةـ.

مفتاح كفايات الإطار العام للمنهج التعليمي الوطني لدولة قطر

الاستقصاء والبحث



التعاون والمشاركة



ال التواصل



التفكير الإبداعي والنقد



حل المشـكلـاتـ



الـكـفـاـيـةـ الـعـدـدـيـةـ



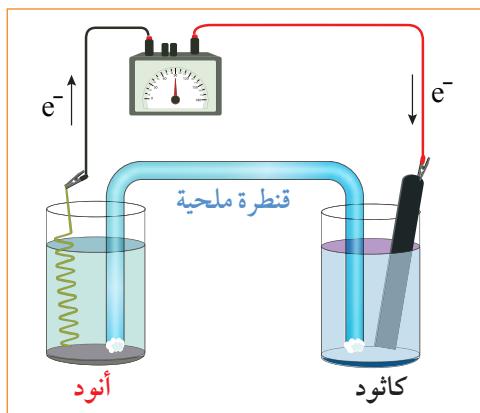
الـكـفـاـيـةـ الـلـغـوـيـةـ



الكيمياء

ماذا ستعلم من هذا الكتاب

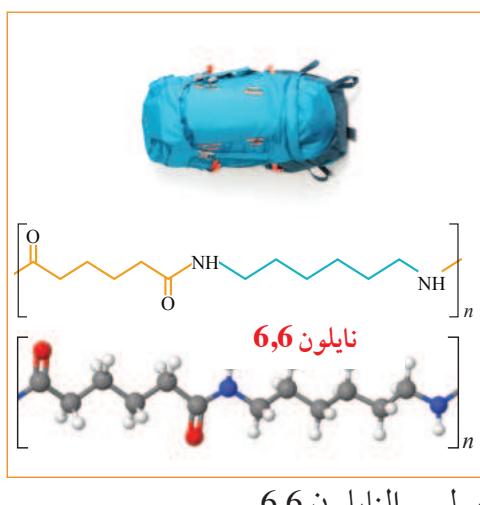
يبحث كتاب الكيمياء للفصل الدراسي الثاني في كيفية تطبيق الكيمياء على كل من؛ ابتكار التكنولوجيا، وفهم العالم الطبيعي، وقد تفاجأ بالكثير من جوانب حياتك اليومية التي ترتبط بالكيمياء بشكل عميق. إذا استخدمت هاتفك النقال في الوقت الحالي، فهذا يعني أنك استخدمت الكيمياء الكهربائية، فأيونات الليثيوم المستخدمة في الهاتف النقال تعد الأفضل في عملية التزويد بالكهرباء القابلة لإعادة الشحن



الكيمياء الأساسية للبطارية.

من خلال تفاعل كيميائي. حيث تعطي الوحدة 4 مقدمة حول الكيمياء الكهربائية، إضافة إلى الوظائف نفسها لكل من الأنوذ والكافود المستخدمة في الخلايا الفولتية في المختبر، والتي تكرر بشكل مصغر في بطارية هاتفك النقال.

الكيمياء العضوية هي كيمياء الكربون والمركبات الكربونية، حيث تناولت الوحدة 5 التنوع المدهش للكيمياء العضوية ابتداءً من الهيدروكربونات الأساسية، وصولاً إلى أمثلة لبعض التفاعلات العضوية.



وتتحدث الوحدة 6 عن البوليمرات، والتي تعد أكثر أنواع الجزيئات الكبيرة أهمية. فكل مادة بلاستيكية هي عبارة عن بوليمر كذلك البولي إيثيلين، والتيفلون، والكثير من أقمشة الملابس مثل البوليستر. كما أن كل جزيء حيوي كبير هو عبارة عن بوليمر أيضاً، وتتضمن الحمض النووي DNA والبروتينات، والنشويات، والسليلوز، إذ يعتبر DNA من أكبر الجزيئات المعروفة، بحيث يحتوي جزيء DNA في المتوسط على أكثر من عشرة ملايين ذرة.

أما الوحدة الأخيرة فتبحث في الموضوعات التي تربط الكيمياء بمجتمعنا، والتي تتضمن الأدوية، والغذاء، والمنتجات المبتكرة التي تعد ناتج إيجابية ناتجة من الكيمياء. كما تبين هذه الوحدة بعض النتائج السلبية الناتجة من الإفراط في استخدام المواد الكيميائية مثل تغير المناخ، والتلوث. فالعلم والهندسة يجب اعتبار كل منها سلاحاً ذا حدين، بحيث يجب النظر إلى كل منهما من الجوانب جميعها؛ الجيدة والسيئة على حد سواء.



تعتمد الكثير من الصناعات على المواد الأولية التي تنتج في مصافي النفط، مثل هذه المصانع.

بعض أقسام هذا الكتاب

أسئلة لمناقشة

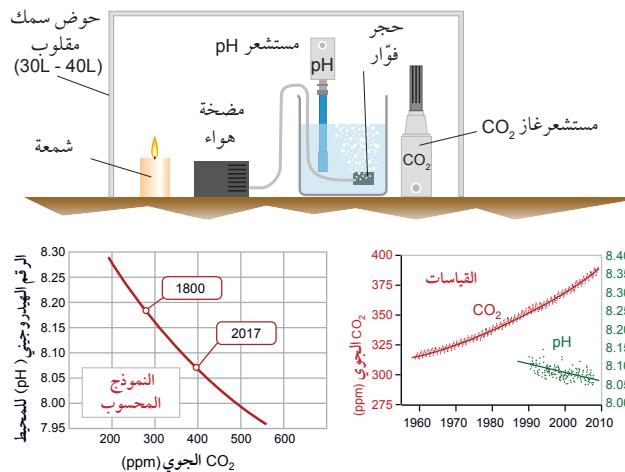
سؤال لمناقشة

ما الذي تفعله الكيمياء لي؟

أسئلة المناقشة تزود طلاب صفك بفرصة مناقشة المفاهيم والمعلومات الجديدة.

الرسوم التوضيحية والبيانية

قدمت المفاهيم، والبيانات، والأمثلة المهمة لكل فكرة جديدة بالتفصيل من خلال الرسم التوضيحي ومن خلال الكلمات.



شريط الأفكار المهمة

المواد الأولية هي المواد الخام المستخدمة في عملية التصنيع والإنتاج الصناعي. تحديد النقاط الرئيسية وتذكرها.

جدول توضيحية

جمعت المعلومات في جدول لتوضيح وتبسيط الأفكار.

النشا	الاستخدام
الطاقة المخزنة في الكائنات الحية.	الاستخدام
التكلف.	نوع البلمرة
الكريوهيدرات، الجلوكوز عادة.	المونومر
مجموعات الهايدروكسيل من الكريوهيدرات.	المجموعات الوظيفية المُنفعة

يبين الجدول أعلى الميزات الأساسية للنشا.

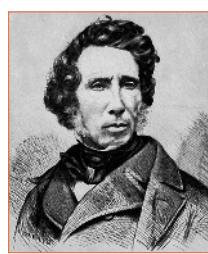
تشمل المصادر الشائعة للنشا الذرة والبطاطا والأرز والقمح. للنشا مجموعة متنوعة من الاستخدامات التجارية. حيث يستخدم بعضها في صناعة الورق كمادة لاصقة. يمكن أيضًا معالجة النشا لتحويلها إلى سُكريات، تستخدم في الأطعمة، أو تخميرها لإنتاج الوقود الحيوي.

العلم والعلماء

لقد تطورت معرفتنا بالعلوم على مدى أكثر من ثلاثة آلاف سنة؛ لذا توفر هذه القصص التبصّر والإلهام من الجانب الإنساني للعلم والتكنولوجيا. سوف تقابل بعضًا من هؤلاء الناس الرائعين على هذه الصفحات.

علماء في دائرة الضوء

Friedrich Wöhler



قبل العام 1828م، كان الاعتقاد السائد بأن المواد الكيميائية، والتي نصفها اليوم بأنها مركبات عضوية، يمكن أن تنتج في البكتيريا والحيوانات فقط. وهذا الاعتقاد كان يُعرف باسم المذهب الحيوي، أو نظرية القوة الحيوية. وفي العام 1828 أُنتج الكيميائي الألماني فريدرش فولر (1800-1882م) أول مركب عضوي في المختبر، باستخدام مواد كيميائية غير عضوية.

فببساطة خلط الأمونيوم (NH_4^+) مع أملاح السيانات (OCN^- ، أنتج فولر سيانات الأمونيوم، التي تفككت لانتاج المركب العضوي، وهو ما ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) المصححة بالمعادلة الكيميائية الآتية:

الكيمياء

الأنشطة والمراجعة والتقييم

الأنشطة

تضييف أنشطة التدريب العملي في المختبر، ومشاريع البحث، وغيرها من الأنشطة، معنى جديداً إلى الأفكار، وتطوير التطبيق العملي.

بناء نماذج للجُزيئات الهيدروكربونية	1-5
كيف يمكن تمثيل الجُزيئات الهيدروكربونية باستخدام النماذج ثلاثية الأبعاد؟	سؤال الاستقصاء
نماذج الكرات والعصي.	المواضي المطلوبة

الجزء 1: التحليل الجُزئي
1. ارسم الصيغ البنائية لكل جُزء في الجدول الآتي.

تقويم الدرس

يشمل كل درس مراجعة للدرس تحتوي على أسئلة تغطي المفاهيم والمعلومات في الدرس.

تقويم الدرس 4-2
1. عرف كلاً من الأنود والكاثود.
2. ما الغرض من وجود القنطرة الملحية في الخلية الفولتية؟
3. ما اتجاه سير الإلكترونات من خلال موصل يصل بينقطين السالب والموجب في الخلية الفولتية؟
4. قارن الشاططية النسبية (جهد الأكسدة) لأزواج الفلزات أدناه، باستخدام كل من سلسلة الشاطط وجهود القطب القياسية. هل هناك توافق بين المصادر؟
a. الألة منه و النكا .

مراجعة الوحدة

يُوفّر ملخص قصير في نهاية كل وحدة مرجعية سريعة للأفكار ومفردات اللغة الرئيسية.

الوحدة 6

مراجعة الوحدة

الدرس 6-1: البوليمرات والبلمرة

- البوليمرات Polymers** جُزيئات ذات سلسلة طويلة تتكون من تكرار جُزيئات أصغر تُسمى المونومرات.
- المونومرات Monomers** جُزيئات يمكن ربطها بشكل متكرر لتشكيل البوليمرات.
- يمكن أن تكون البوليمرات خطية أو متفرعة (شبكة ثلاثة الأبعاد).

تقويم الوحدة

تقويم الوحدة

لكل وحدة مجموعة من الأسئلة متعددة الخيارات، توفر الاستعداد لاختبار قياسي.

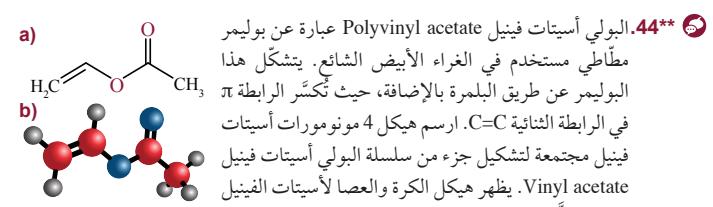
اختيار من متعدد

- لم تعد طريقة هابر- بوش مهمة جدًا؟
- لأن النتروجين لا يمكن استخدامه بشكل طبيعي.
- لأن بعض البقوليات غير متوفرة في كل مكان.
- لأن الأمونيا تسمح بإنتاج الغذاء بما يتجاوز المستويات الطبيعية.

تقويم الوحدة

تقويم الوحدة

توفر المسائل القصيرة والكمية ثلاثة مستويات من التحدي في نهاية كل وحدة.



الوحدة 4

الكيمياء الكهربائية

كيف تعمل البطارية؟ تحدث بعض التفاعلات الكيميائية من خلال تبادل الإلكترونات. بعض العناصر تميل إلى اكتساب الإلكترونات (إختزال)، بينما بعضها الآخر يميل إلى فقد الإلكترونات (أكسدة).

الوحدة 5

الكيمياء العضوية

ما هي المركبات العضوية؟ تعتبر معظم المركبات التي تحتوي على الكربون والهيدروجين من المركبات العضوية. ما القاسم المشترك بين الميثanol والإيثانول والبروبانول؟

إنّ الخصائص المميزة لبعض المركبات العضوية تعتمد على المجموعة الوظيفية التي تحتوي عليها جزيئات هذا المركب مثل ذلك مجموعة الهيدروكسيل -OH الموجدة في الكحولات والتي تعطيها خصائص فريدة.

الوحدة 6

البوليمرات

ممّ يتكون البلاستيك؟ وكيف يُصنع؟ تكون أكثر الجزيئات الضخمة بوليمرات، وهي إما جزيئات حيوية طبيعية كالبروتين والنشا، وإما صناعية، كالبلاستيك (البولي إيثين).

الوحدة 7

القضايا الاقتصادية والاجتماعية والبيئية

كيف استطاع علم الكيمياء أن يغيّر حياتنا وبيئتنا؟ أُسهم علم الكيمياء في إحراز تقدُّم كبير في حياتنا. لكنه في المقابل أثَّر تأثيراً بالغاً في تلوّث كوكبنا، وفي تغيير المناخ، وفي كمية المياه النظيفة التي نحصل عليها.

الوحدة 4 الكيمياء الكهربائية 2

4 تفاعلات الأكسدة والاختزال	الدرس 4-1
22 الخلايا الكهروكيميائية	الدرس 4-2
42 الكيمياء الكهربائية في حياتنا	الدرس 4-3

الوحدة 5 الكيمياء العضوية 58

60 الهيدروكربونات	الدرس 5-1
78 المركبات العضوية الأخرى	الدرس 5-2
100 التفاعلات العضوية	الدرس 5-3

الوحدة 6 البوليمرات 126

128 البوليمرات والبلمرة	الدرس 6-1
140 خصائص البوليمرات	الدرس 6-2
152 البوليمرات البترولية والاستدامة	الدرس 6-3

الوحدة 7 القضايا الاقتصادية والاجتماعية والبيئية 168

170 الكيمياء في حياتنا	الدرس 7-1
182 الكيمياء وتغير المناخ	الدرس 7-2
190 الكيمياء وموارد المياه	الدرس 7-3



الوحدة 4

الكيمياء الكهربائية

في هذه الوحدة

C1104

C1105

الدرس 1-4: تفاعلات الأكسدة والاختزال

الدرس 2-4: الخلايا الكهروكيميائية

الدرس 3-4: الكيمياء الكهربائية في حياتنا

الوحدة

4

مقدمة الوحدة

أنواع متعددة من التفاعلات الكيميائية تحدث عبر تبادل الإلكترونات بين الجسيمات المُتفاعلية. يعد الصدأ والاحتراق مثالين على تلك التفاعلات. أضف إلى ذلك أن التفاعلات التي تحدث داخل البطاريات الجافة والتي تُنتج الكهرباء تقع ضمن هذه الفئة من التفاعلات. وقد ثُفاجأً عندما تعرف أن عملية التمثيل الغذائي للجلوكوز (السكر البسيط) التي تحدث في الكائنات الحية تقع ضمن هذه الفئة من التفاعلات أيضًا. ومن الممكن أن تحدث تفاعلات الأكسدة والاختزال بصورة تلقائية، أو قد تجبر على الحدوث لدى تزويدها بتيار كهربائي.

الكيمياء الكهربائية هي دراسة عمليات تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية و العكس عبر تفاعلات الأكسدة والاختزال.

يحلل الدرس الأول عمليتي فقدان الإلكترونات واكتسابها؛ ويفسر كيفية كتابة تلك التفاعلات وزنها والتنبؤ بحدوثها. في حين يصف الدرس الثاني أنواع الخلايا الكهروكيميائية التي يعمل بعضها من خلال إنتاج التيار الكهربائي ويعمل بعضها الآخر من خلال استهلاكه للتيار الكهربائي. أما الدرس الثالث فيسلط الضوء على بعض التطبيقات المألوفة للكيمياء الكهربائية في حياتنا اليومية، والآثار الناجمة عن تلك التطبيقات.

الأنشطة والتجارب

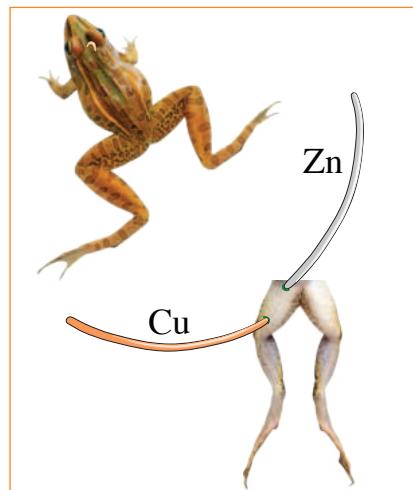
1-4 تفاعلات الأكسدة والاختزال

a2-4 الخلايا الفولتية

b2-4 خلايا التحليل الكهربائي

الدرس 1.4

تفاعلات الأكسدة والاختزال



الشكل 1-4 تجربة جلفاني على عضلات أرجل الضفدع.

في العام 1791 م، نشر الطبيب والفيزيائي الإيطالي لوينجي جلفاني (1737 - 1798 م) نتائجه بخصوص الاكتشاف الذي توصل إليه قبل عدّة سنوات. وقد لاحظ العالم جلفاني حدوث تقلّصات في عضلات أرجل الضفدع تم تشريحة، عند لمسها بفلزّين مختلفين. وكان تفسيره لتحرّك أرجل الضفدع موضع خلاف بينه وبين الفيزيائي الإيطالي أليساندرو فولتا (1745-1827 م). وقد أثار هذا الخلاف حواراً ودياً بين العالمين، ألهم بدوره علماء آخرين للبحث والاستقصاء في العلاقة بين التفاعلات الكيميائية والكهرباء.

المفردات



تفاعلات الأكسدة والاختزال	
Redox reactions	
Oxidation state	حالة (عدد) التأكسد
Oxidation	عملية الأكسدة
Reduction	عملية الاختزال
Oxidizing agent (oxidant)	العامل المؤكسد
أنصاف التفاعلات	
Half reactions	
Reducing agent (Reductant)	العامل المختزل
المعادلات الأيونية النهائية	
Net ionic equations	
Spectator ions	الأيونات المُنفّرة
Activity series	سلسلة النشاط

مخرجات التّعلم

C1104.1 يفسر الأكسدة والاختزال بدلالة كسب الأكسجين أو فقدانه، وبدلالة انتقال الإلكترونات.

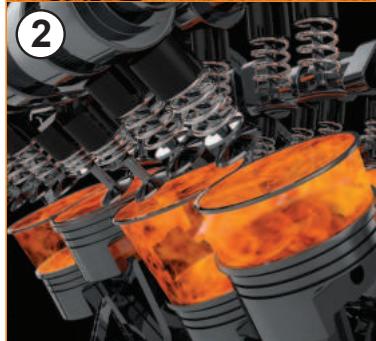
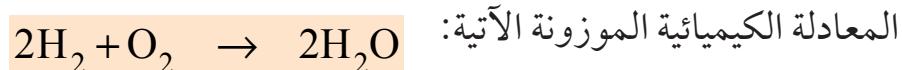
C1104.2 يشرح تفاعلات الأكسدة والاختزال (Redox) بدلالة التغيير في عدد التأكسد.

تفاعلات الأكسدة والاختزال

مصطلاح Redox (أي أكسدة - اختزال) باللغة الإنجليزية هو اختصار لمصطلح Reduction و Oxidation. و تعد **تفاعلات الأكسدة والاختزال Redox reactions** طريقة مهمة تحلل كيفية حدوث بعض التفاعلات الكيميائية.

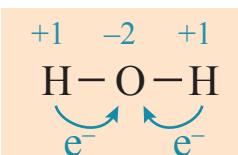
تتضمن تفاعلات الأكسدة والاختزال فقد إلكترونات و اكتسابها بين الذرات والجزئيات والأيونات.

كثير من التفاعلات الكيميائية، وليس جميعها، هي تفاعلات أكسدة واختزال. ولكي تكتسب إحدى الذرات إلكترونات، يجب أن تفقدها ذرة أخرى. ولا بد لعملية الفقد والاكتساب كليهما، أن تحدثا في جميع تفاعلات الأكسدة والاختزال أي أن عملية الأكسدة والاختزال عمليتين متلازمتين. فعملية احتراق غاز الهيدروجين بوجود غاز الأكسجين لإنتاج الماء، مثلاً على تفاعل أكسدة واختزال، تبيّنها



يتضمن تحليل تفاعل الأكسدة والاختزال تحديد إلكترونات المتبادلة بين الذرات اعتماداً على الاختلاف في السالبية الكهربائية لهذه الذرات. وعلى الرغم من وجود استثناءات، فإن الافتراض المبدئي الجيد هو تحديد الإلكترون الذي سيتقلل من الذرة ذات السالبية الكهربائية الأدنى إلى الذرة ذات السالبية الكهربائية الأعلى. ويسهل ذلك تتبع إلكترونات في التفاعل، وخاصة عندما تكون الرابطة تساهمية؛ فالإلكترونات لا تُفقد أو تكتسب فعلياً في المركبات التساهمية.

فمثلاً: تمتلك ذرة الأكسجين سالبية كهربائية أعلى من السالبية الكهربائية لذرة الهيدروجين. وعند تحليل تفاعل الأكسدة والاختزال لجزيء الماء، نلاحظ أن ذرة الأكسجين تجذب إلكترونين من ذرة الهيدروجين، كما موضح فيما يأتي:



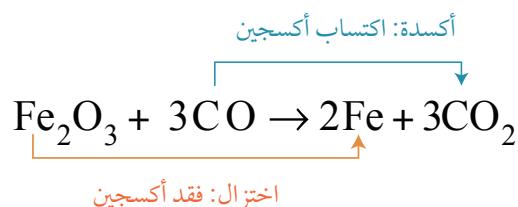
يبيّن الشكل 2-4 ثلاثة أمثلة على تفاعلات الأكسدة والاختزال، وهي: (1) صدأ الحديد، (2) احتراق الوقود في محرك السيارة، (3) الكيمياء التي تنتج الكهرباء في جميع البطاريات.

الشكل 2-4 ثلاثة أمثلة على تفاعلات الأكسدة والاختزال.

الأكسدة و الاختزال بدلالة انتقال الأكسجين

الأكسدة عملية تشير إلى تفاعل أي مادة كيميائياً مع الأكسجين. وهناك علاقة بين كسب المادة للأكسجين وفقد الإلكترونات، فالأكسجين يمتلك ثانوي أعلى سالبية كهربائية (القدرة على جذب الإلكترونات). لذلك، فإن أي عنصر (باستثناء الفلور الذي يمتلك أعلى سالبية كهربائية) يتفاعل مع الأكسجين، فيتأكسد ويفقد الإلكترونات، ليكتسحها الأكسجين.

أما عملية الاختزال فهي فقد المادة للأكسجين، ويمكن توضيح ذلك من خلال المعادلة الآتية:

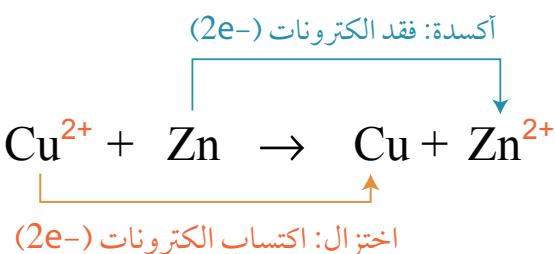


- الاكسدة : هي عملية اكتساب المادة للأكسجين.
- الاختزال : هو عملية فقد المادة للأكسجين.



الأكسدة والاختزال بدلالة انتقال الالكترونات

في تفاعلات الأكسدة والاختزال، يفقد أحد المتفاعلات الإلكترونات ويكتسبها متفاعلاً آخر. وتُعدّ **عملية الأكسدة Oxidation** نصف هذه العملية التي تتضمن فقد الإلكترونات. ويقال عن الجسيم الذي يفقد الإلكترونات إنه **تأكسد Oxidized**.



أما **عملية الاختزال Reduction** فهي عملية اكتساب ذرات المادة للإلكترونات. ولفهم عملية الاختزال بدقة أكثر، نقول إن **الجُسيم** الذي **اخْتُزل** (ذا السالبية الكهربائية الأعلى) اكتسب الإلكترونات من **الجُسيم** الذي **تَأَكَّسَد**. ويقال عن **الجُسيم** الذي اكتسب إلكترونات أنه **اخْتُزل Reduced**.

الاكسدة : هي عملية فقد ذرات المادة للإلكترونات.
الاختزال : هو عملية اكتساب ذرات المادة للإلكترونات.



الأكسدة والاختزال بدلالة التغير في عدد التأكسد

حالة (عدد) التأكسد **Oxidation state** تُمثل الشحنة الموجبة أو السالبة التي تظهر على كل ذرة عنصر في المركب، وهي تستخدم لتبسيط حركة الإلكترونات بين الذرات والأيونات والجزيئات من أجل التعرف على حدوث عملية الأكسدة والاختزال.

- في حالة المركبات الأيونية، تكون حالة التأكسد متساوية للشحنة التي تظهر على كل ذرة عنصر فقد أو اكتسب عدداً من الإلكترونات.
- في حالة المركبات التساهمية، تتم مشاركة عدد من الإلكترونات ولا تكون حالات التأكسد شحنات حقيقة.

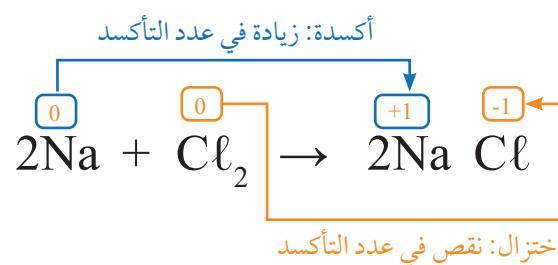
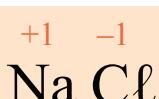
حالة التأكسد: هي عدد يمثل الشحنة (+ أو -) التي تظهر على كل ذرة عنصر سواء كان في مركب أيوني أو تساهمي، وهي تمثل حركة الإلكترونات.

تُكتب حالات التأكسد في هيئة عدد بعد إشارة، مثل $3+$. وهذا مختلف عن الشحنات الحقيقة التي تُكتب في هيئة عدد قبل إشارة، مثل $+3$. والشحنة التي قيمتها $+1$ ، أو -1 تُكتب من دون العدد واحد، في حين أن حالة التأكسد يجب أن يكتب العدد واحد فيها بعد الإشارة.



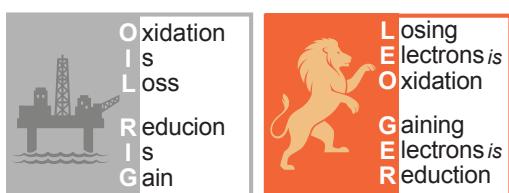
في حالات التأكسد للذرات الثلاث الموجودة في جزيء الماء، تمتلك كل ذرة هيدروجين حالة تأكسد تساوي $+1$ ، في حين تمتلك ذرة الأكسجين حالة تأكسد تساوي -2 ، لأن السالبية الكهربائية لذرة الأكسجين تساوي 3.44 ، في حين أن السالبية الكهربائية لذرة الهيدروجين تساوي 2.20 .

أما في حالة المركب الأيوني كلوريد الصوديوم (NaCl)، فإن ذرة الكلور الأعلى سالبية كهربائية، تكتسب إلكتروناً بالكامل وتكون أيون الكلوريد (Cl^-). بينما تتحول ذرة الصوديوم إلى أيون موجب Na^+ بعد أن تفقد إلكتروناً واحداً، وبالتالي يحصل أكسدة لذرة الصوديوم، واحتزال لذرة الكلور كما هو موضح في المعادلة الآتية:



الجدول 1-4 ملخص تعاريف مفهومي الأكسدة والاختزال.

مفهوم الاختزال	مفهوم الأكسدة	المثال
فقد أكسجين (ينقص عدد ذرات الأكسجين في Fe_2O_3 المُتفاعل)	اكتساب أكسجين (يزداد عدد ذرات الأكسجين في المُتفاعل CO)	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$ <p style="text-align: center;">أكسدة: اكتساب أكسجين اختزال: فقد أكسجين</p>
اكتساب إلكترونات (يكتسب Cu^{2+} إلكترونات)	فقد إلكترونات (يفقد Zn إلكترونات)	$\text{Cu}^{2+} + \text{Zn} \rightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$ <p style="text-align: center;">أكسدة: فقد إلكترونات $(2e^-)$ اختزال: اكتساب إلكترونات $(2e^-)$</p>
يقل عدد تأكسد (قل عدد تأكسد H من +1 إلى 0)	يزداد عدد تأكسد (ازداد عدد تأكسد Na من 0 إلى +1)	$\text{Na}_{(s)}^0 + \text{HCl}_{(aq)} \rightarrow \text{Na}_{(aq)}^{+1} + \text{Cl}_{(aq)}^{-1} + \text{H}_{2(g)}^0$



يبيّن الشكل 4-3 تلميحين كمساعدة للذاكرة. **OIL-RIG**: الأكسدة هي فقد إلكترونات، والاختزال هو اكتسابها.

الشكل 3-4 تلميحان يساعدان الذاكرة على تذكرة الأكسدة والاختزال.

مثال 1

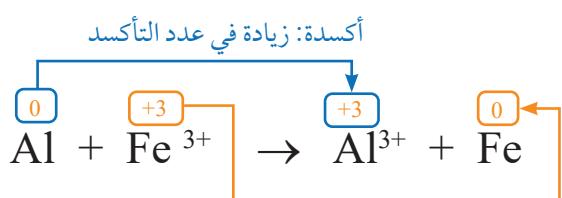
حدد المادة التي تأكسدت والمادة التي اختزالت في المعادلة الآتية:



الحل:

: حدث له عملية أكسدة حيث زاد عدد تأكسده من (0) إلى (+3) Al^{3+}

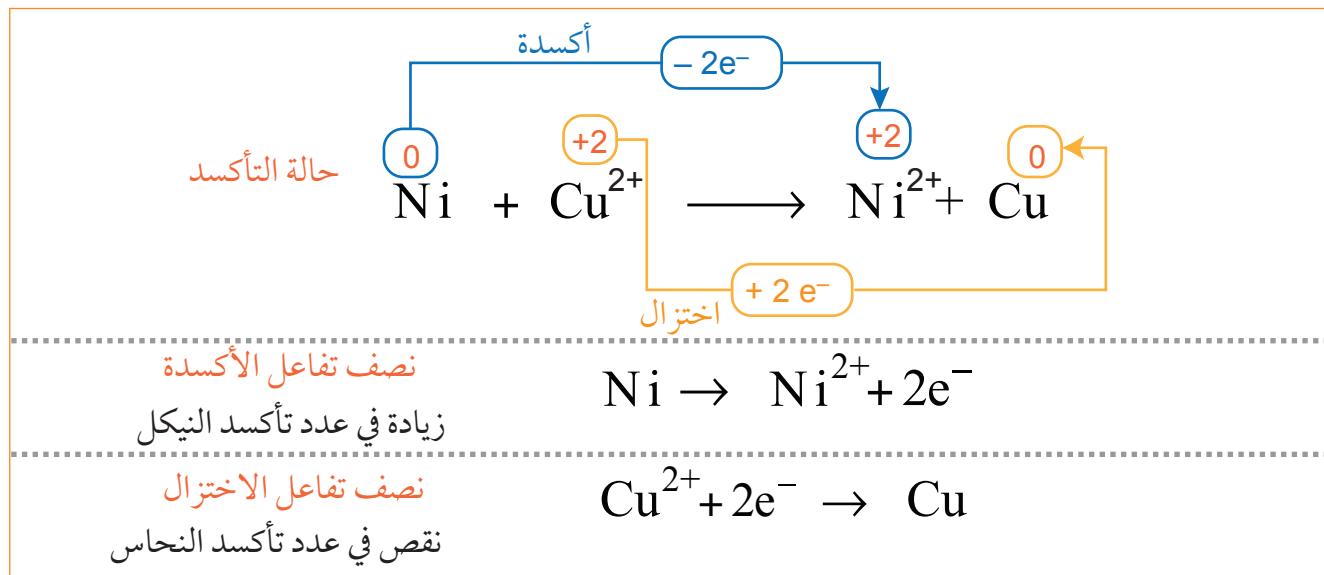
: حدث له عملية اختزال حيث قل عدد تأكسده من (+3) إلى (0) Fe^{3+}



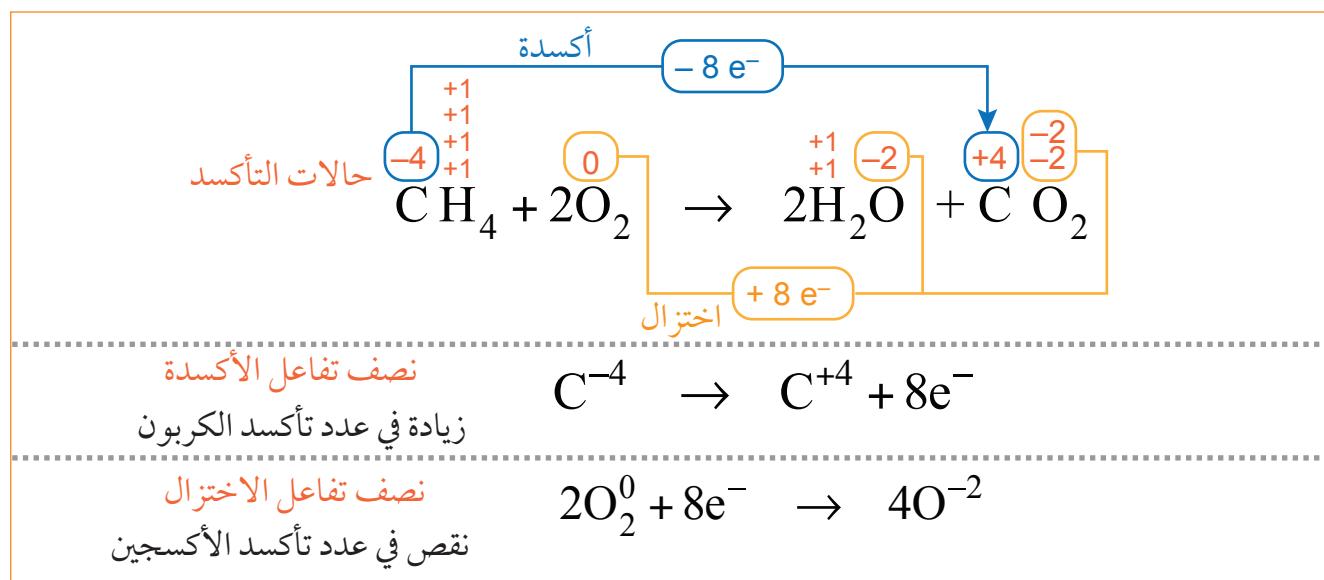
اختزال: نقص في عدد تأكسد

أنصاف التفاعلات

عملية الأكسدة والاختزال عمليتان متلازمتان، حيث يتساوى عدد الإلكترونات المفقودة في عملية الأكسدة مع عدد الإلكترونات المكتسبة في عملية الاختزال، يبيّن الشكل 4-4 تفاعل أكسدة واختزال. ففي هذا التفاعل، يتنتقل إلكترون من ذرة النيكل إلى أيون النحاس Cu^{2+} .



كذلك يبيّن الشكل 4-5 تفاعل أكسدة واختزال لاحتراق غاز الميثان. ففي هذا التفاعل، تنتقل ثمانية إلكترونات من ذرة الكربون الوحيدة في غاز الميثان إلى ذرات الأكسجين الأربع الموجودة في ثاني أكسيد الكربون والماء.

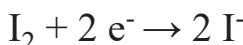
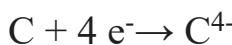
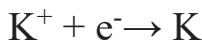


ولتوضيح حركة الإلكترونات، غالباً ما نكتب تفاعلات الأكسدة والاختزال على هيئة معادلات منفصلة تسمى **أنصاف التفاعلات** **Half reactions**، حيث يبيّن نصف تفاعل الأكسدة الإلكترونات التي فقدت، والتي اتفق أن تظهر في جانب المواد الناتجة في المعادلة الكيميائية، في حين يبيّن نصف تفاعل الاختزال الإلكترونات التي اكتسبت، والتي تظهر في جانب المُتفاعلات في المعادلة.

ويجب موازنة أنصاف التفاعلات، حيث تحفظ كلّ من الشحنة والكتلة. ففي المثال السابق، نجد أن الشحنة الكلية الموجودة في جانب المُتفاعلات لنصف تفاعل الأكسدة تساوي (4-)؛ وأن الشحنة الكلية الموجودة في جانب المواد الناتجة تساوي (4-) أيضاً. لكن في نصف تفاعل الاختزال، نجد أن الشحنة الكلية الموجودة على جانبي المعادلة تساوي (8-) مع ملاحظة أنّ عدد الإلكترونات المفقودة في نصف تفاعل الأكسدة (8 إلكترونات) يساوي عدد الإلكترونات المكتسبة في نصف تفاعل الاختزال (8 إلكترونات).

وعند كتابة تفاعلات الأكسدة التي تتضمّن عناصر ثنائية الذرة، تُكتب الحالة المتعادلة على هيئة جُزيء ثنائي الذّرات، مثل 2O_2 المبيّن في الشكل 4-5. في حين تُكتب الحالة المتأكسدة أو المُختزلة على هيئة ذرّات غير مرتبطة، مثل 4O^- المبيّن في الشكل 4-5.

أمثلة لأنصاف تفاعلات الاختزال



أمثلة لأنصاف تفاعلات الأكسدة

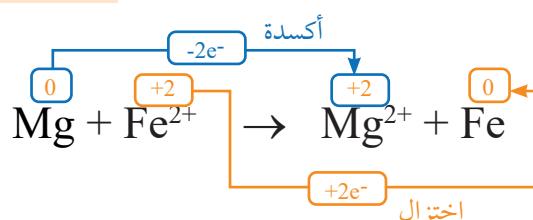


مثال 2



أكتب نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال للتفاعل الآتي:

الحل:



Mg : حدث له عملية أكسدة حيث زاد عدد تأكسده من (0) إلى (+2).

Fe : حدث له عملية اختزال حيث قل عدد تأكسده من (+2) إلى (0).



نصف تفاعل الأكسدة



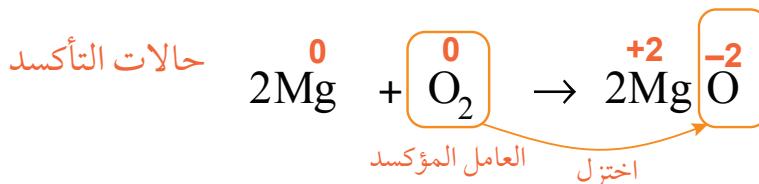
نصف تفاعل الاختزال

العوامل المؤكسدة والعوامل المختزلة

قد تكتسب بعض المواد الكيميائية إلكترونات في التفاعلات الكيميائية. ولما كان اكتساب إلكترونات يُعدّ اختزالاً، فإن المواد التي تكتسب إلكترونات تُسمى **عوامل مؤكسدة Oxidizing agents**. ويعدّ الأكسجين خير مثال على ذلك. فالأكسجين يميل إلى اكتساب إلكترونات من ذرات أخرى خلال التفاعلات الكيميائية.

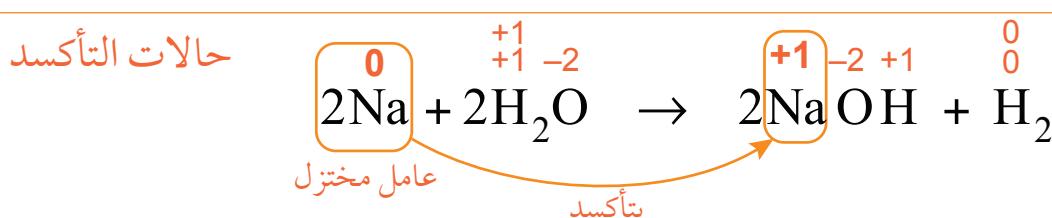
العامل المؤكسد: هو المادة الكيميائية التي تُختزل وتسبّب أكسدة مادة أخرى.

يعمل العامل المؤكسد على أكسدة مادة كيميائية أخرى. لذا، فإن العامل المؤكسد يُختزل؛ لأنّه يكتسب إلكترونات. يبيّن الشكل 6-4 أنّ الأكسجين O_2 ، الموجود في تفاعل احتراق المغنسيوم يُختزل من O^0 إلى O^{2-} ؛ لأنّ المغنسيوم يتأكسد من Mg^0 إلى Mg^{2+} .



الشكل 6-4 يؤدّي العامل المؤكسد إلى الأكسدة، ولكنه هو نفسه يُختزل.

العامل المختزل Reducing agent هو مادة تؤدي إلى اختزال مادة أخرى. فالصوديوم مثلاً يعدّ عالماً مختزالاً؛ لأنّه يكوّن أيونات موجبة، جاعلاً مادة كيميائية أخرى تكتسب إلكترونات. ويبين الشكل 7-4 أنّ الصوديوم يُختزل الهيدروجين في الماء من +1 إلى 0 في H_2 . فالعامل المختزل يتأكسد في التفاعل، ذلك أنّ الصوديوم يتأكسد من 0 إلى +1. تُعدّ الفلزات والوقود عوامل مختزلة شائعة.

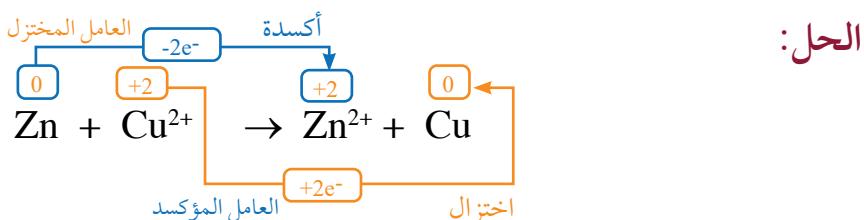


الشكل 7-4 يؤدّي العامل المختزل إلى الاختزال، ولكنه هو نفسه يتأكسد.

العامل المختزل: هو المادة الكيميائية التي تأكسدت وتسبّب اختزال مادة أخرى.

مثال 3

حدد العامل المختزل والعامل المؤكسد في التفاعل التالي:



تحديد حالات التأكسد: القواعد 1، 2، 3، 4

ليست كل التفاعلات الكيميائية تفاعلات أكسدة واحتزال. فكيف نتعرف على تفاعل الأكسدة والاحتزال؟

1. يعد التفاعل من تفاعلات الأكسدة والاحتزال إذا تغيرت حالة التأكسد لأي عنصر خلال حدوث التفاعل. يعني ذلك أن عدد التأكسد على جانب المتفاعلات يكون مختلفاً عما هو على جانب المواد الناتجة للمعادلة الكيميائية.

2. لا يعد التفاعل من تفاعلات الأكسدة والاحتزال عندما تكون حالات التأكسد للعناصر جميعها هي نفسها قبل التفاعل وبعده.

تمثل الخطوة الأولى لتحديد إن كان تفاعل أكسدة واحتزال، في تحديد حالة التأكسد لكل ذرة وأيون في المعادلة الكيميائية. فالأكسدة والاحتزال يجب أن يحدثا معًا على الدوام. فإذا حدث أن تأكسدت إحدى المواد الكيميائية، فيجب على الأقل أن تتحزّل مقابلها مادةً كيميائية أخرى.

القاعدة #1: يتم تحديد قيمة حالة التأكسد للعناصر المنفردة المُتعادلة (التي ليست أيونًا) بـ صفر (0). فالعناصر المنفردة هي تلك العناصر غير المرتبطة كيميائياً بأي عنصر مختلف آخر، وسواء كانت أحادية الذرة أم عديدة الذرات، يتم تحديد قيمة حالة التأكسد لكل عنصر منفرد بـ صفر (0). أما حالة التأكسد للأيون الأحادي الذرة فهي تساوي الشحنة الموجودة على ذلك الأيون.

المواد الكيميائية	حالة التأكسد
O_2	0
Na^+	+1
Mg	0
Cu	0
Al^{3+}	+3
N_2	0

القاعدة #2: في المركبات، تمتلك الفلزات القلوية (فلزات المجموعة 1) حالة تأكسد تساوي قيمتها +1، وهي غالباً ما تكون الشحنة الوحيدة أو حالة التأكسد الوحيدة الظاهرة على أي من تلك الفلزات.

القاعدة #3: في المركبات، تمتلك الفلزات القلوية الأرضية (فلزات المجموعة 2) حالة تأكسد تساوي قيمتها +2. وهي غالباً ما تكون الشحنة الوحيدة أو حالة التأكسد الوحيدة الظاهرة على أي من تلك الفلزات.

القاعدة #4: في المركبات، يمتلك الهيدروجين حالة تأكسد تساوي قيمتها +1، ولكن باستثناء وحيد، هو الآتي: عندما يرتبط الهيدروجين مع الفلزات (هيدريدات الفلز) تساوي قيمة حالة تأكسده (-1).

القاعدة	الاستثناءات
HCl	-1
CH_4	-1
H_3PO_4	-1
LiH	-1
CaH_2	-1
AlH_3	-1

تحديد حالات التأكسد: القاعدة 5، 6

القاعدة #5: في المركبات، يمتلك الأكسجين قيمة حالة تأكسد تساوي -2، مع وجود ثلاثة استثناءات، هي:

القاعدة			الاستثناءات
H_2O	-2	-2	ثنائي فلوريد
$\text{Ba}(\text{OH})_2$	-2	-2	(فلوريد الأكسجين)
H_3PO_4	-2	-1	بيروكسيد
		H_2O_2	KO_2
		-1	(سوبر أكسيد)
		OF_2	
		$+\frac{1}{2}$	
		O_2F_2	
		$+2$	

1. في أيون البيروكسيد (فوق الأكسيد) العديد الذرات (O_2), يتم تحديد قيمة حالة التأكسد لكل ذرة أكسجين بـ (-1).

2. في أيون سوبر أكسيد (الأكسيد الفائق) العديد الذرات (O_2^-), يتم تحديد حالة التأكسد لكل ذرة أكسجين بأنها تساوي (- $\frac{1}{2}$). لكن من غير الممكن اكتساب ($\frac{1}{2}$) إلكترون فقط؛ غير أن ذرّتي الأكسجين في أيون سوبر الأكسيد تكتسبان معًا إلكترونًا واحدًا، ويكون المعدل ($\frac{1}{2}$) إلكترون لكل ذرة.

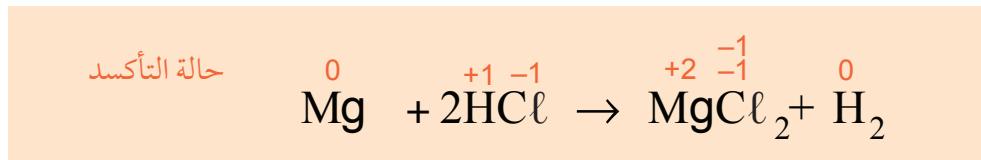
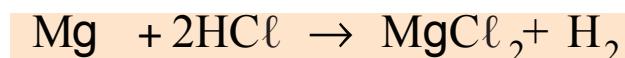
3. عند ارتباط الأكسجين مع الفلور، تمتلك ذرات الأكسجين حالة تأكسد موجبة. وتعتمد قيمة حالة التأكسد الموجبة هذه على نسبة الأكسجين إلى الفلور. وكما في سوبر الأكسيد، يمكن أن تكون قيمة حالة التأكسد عبارة عن كسر. آنذاك تُستخدم القاعدة 7 # لتحديد قيمة حالة التأكسد.

القاعدة #6: تمتلك الالوجينات (المجموعة 17) في المركبات الثنائية المرتبطة مع الفلزات حالة تأكسد تساوي قيمتها (-1)، وتعد هذه قاعدة فعالة لذكرها، لأن مثل تلك المركبات (هاليدات الفلزات) هي مركبات شائعة جدًا.

NaCl	AlI_3	CuBr_2
-1	-1	-1
	-1	-1

مثال 4

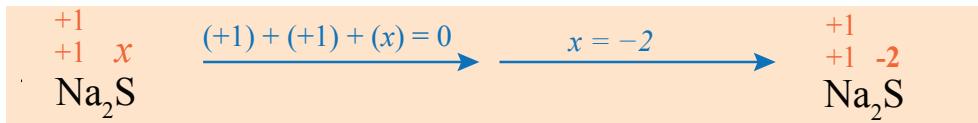
ما عدد تأكسد كل عنصر في المتفاعلات والنواتج لتفاعل المبيّن بالمعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:



تحديد حالات التأكسد: القواعد 7 (d,c,b,a)

تعدّ القواعد من 1 إلى 6 كافية لحل بعض المسائل، ويتم تطبيقها أولاً. ومع ذلك، فإن كثيراً من العناصر تمتلك حالات تأكسد متعددة. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تكون للحديد Fe حالات تأكسد تساوي قيمتها +2، أو +3، وكذلك المنجنيز Mn الذي يمكن أن تكون له حالات تأكسد تساوي قيمتها +2، أو +3، أو +4، أو +5، أو +6، أو +7. وبعد تطبيق القواعد من 1 إلى 6، تُستخدم في حساب حالات التأكسد الأخرى القواعد الآتية:

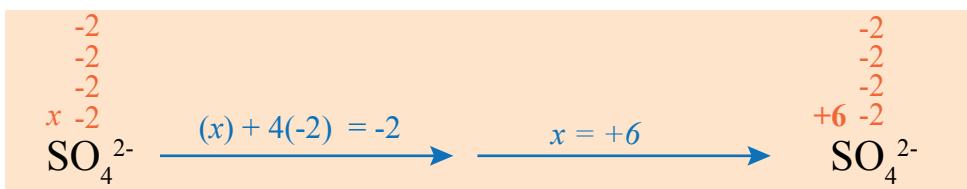
القاعدة 7a: مجموع قيم حالات التأكسد في المركب المتعادل تساوي صفرًا.



• باستخدام القاعدة 2#، يتم تحديد قيمة حالة التأكسد لـ كل من ذرّات Na بـ +1.

• وباستخدام القاعدة 7a#، يتم حساب قيمة حالة التأكسد للكبريت باعتبارها x، حيث يكون مجموع قيم حالات التأكسد مساوياً للصفر، وبذلك قيمة x تساوي (-2).

القاعدة 7b: مجموع قيم حالات التأكسد للذرات الموجودة في الأيون المتعدد الذرات يساوي الشحنة الموجودة على ذلك الأيون.



• باستخدام القاعدة 5#، يتم تحديد قيمة حالة التأكسد لـ كل من ذرّات الأكسجين جميعها، بـ -2.

• وباستخدام القاعدة 7b#، يتم حساب قيمة حالة التأكسد للكبريت باعتبارها x، حيث يكون مجموع قيم حالات التأكسد يساوي -2، وبذلك قيمة x تساوي (+6).

القاعدة 7c: بخصوص المركبات غير العضوية، يُكتب العنصر الذي يمتلك حالة تأكسد موجبة أولاً، أما المركبات العضوية، فيُكتب فيها الكربون أولاً.

القاعدة 7d: غالباً ما تمتلك الفلزات حالة تأكسد موجبة. وتعد هذه القاعدة فعالة، عندما لا يتم تحديد قيمة حالة التأكسد باستخدام القواعد من 1 إلى 6.



لا يمكن تحديد حالة التأكسد باستخدام القواعد من 1 إلى 6.

باستخدام القاعدتين #7c,d، يفترض أن يمتلك الحديد حالة تأكسد قيمتها موجبة. أما الكبريت فيفترض أن يمتلك حالة تأكسد قيمتها سالبة، لكي يكون مجموعهما مساوياً للصفر.

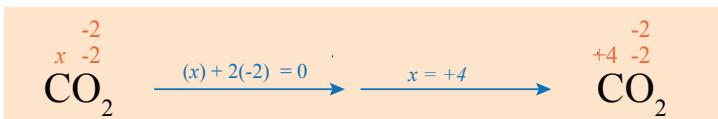
عند مقارنة حالات التأكسد المدرجة في الجدول الدوري للعناصر، فإن الاندماج الوحيد الذي يتاح أن يكون مجموع قيمتي حالة التأكسد مساوياً للصفر في هذا المركب، أن تكون قيمة حالة التأكسد للحديد تساوي +2، وقيمة حالة التأكسد للكبريت تساوي -2. لاحظ أن القاعدة #7d يجُب أن تستخدم فقط عندما تفشل القواعد من 1 إلى 6 في الوصول إلى الحل. يكمن السبب هنا في أن جداول قيم حالات التأكسد نادراً ما تكون شاملة. فهي في العادة تعطي القيم المختارة لحالات التأكسد للعنصر فقط، عوضاً عن قيم حالات التأكسد المحتملة جميعها.

مثال 5

حدّد قيم حالات التأكسد للعناصر المُكوّنة لمُركب ثاني أكسيد الكربون CO_2 .

الحل • يتم تحديد قيمة حالة التأكسد لذرة الأكسجين بـ -2.

• يتم تحديد قيمة حالة التأكسد لذرة الكربون بـ +4 لجعل المجموع الكلّي لقيم حالات التأكسد في الجُزء يساوي صفرًا.



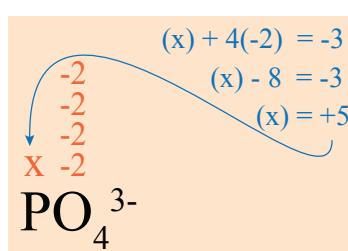
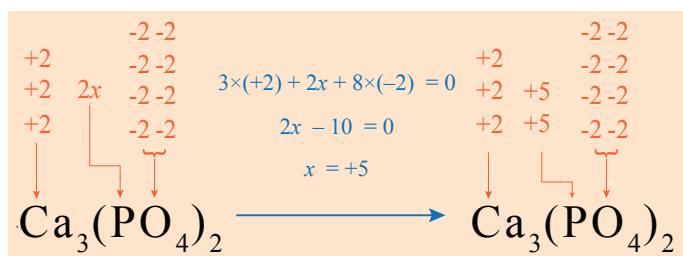
مثال 6

حدّد قيم حالات التأكسد للعناصر المُكوّنة لمُركب فوسفات الكالسيوم $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.

الحل • يتم تحديد قيمة حالة التأكسد لذرة الكالسيوم بـ +2.

• يتم تحديد قيمة حالة التأكسد لذرة الأكسجين بـ -2.

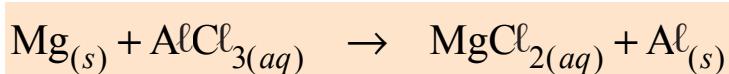
• اعتبر حالة تأكسد عنصر الفوسفور يساوي x ، وبما أن هناك ذرتين فوسفور في المركب فحالة التأكسد الكلية لعنصر الفوسفور هي $2x$.



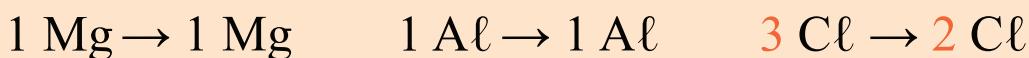
تتمثل الطريقة الأسهل لتحديد قيمة حالة تأكسد الفوسفور في تحديد حالة (عدد) تأكسده في أيون الفوسفات (PO_4^{3-}) . يتم حساب قيمة حالة التأكسد للفوسفور باعتبارها x ، وتلك لعنصر الأكسجين هي -2، ويكون مجموع حالات التأكسد يساوي -3، وهي شحنة أيون الفوسفات عندها نحسب قيمة حالة تأكسد الفوسفور لنجد أنها تساوي +5.

موازنة تفاعلات الأكسدة والاختزال

لا بدّ لعدد الإلكترونات المفقودة في تفاعل الأكسدة أن يساوي عدد الإلكترونات المكتسبة في تفاعل الاختزال، لكي يبقى محلول متوازلاً. يساعد ذلك الأمر على موازنة بعض أنواع المعادلات الكيميائية المعقّدة. فعندما تتم موازنة تفاعل الأكسدة والاختزال، يتم حفظ كل من الشحنة والكتلة. وكمثال على ذلك، افترض أن لديك التفاعل الآتي بين المغنيسيوم الصلب ومحلول كلوريد الألومنيوم، بحسب المعادلة الكيميائية الآتية:

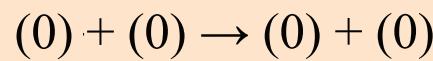


لاحظ في المعادلة الكيميائية السابقة أن عدد ذرات المغنيسيوم وعدد ذرات الألومنيوم موزونان، في حين أن عدد ذرات الكلور غير موزون:

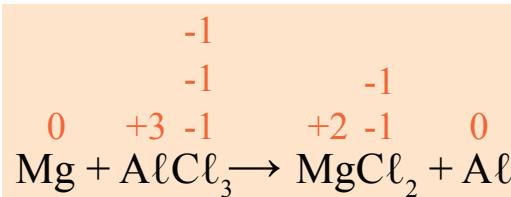


قانون حفظ الكتلة	ينبغي أن تتساوى أعداد الذرات وأنواعها للمُتفاعلات مع أعداد الذرات وأنواعها للنواتج.
قانون حفظ الشحنة	ينبغي أن يتساوى المجموع الجبri للشحنة الكهربائية للمُتفاعلات مع المجموع الجبri للشحنة الكهربائية للنواتج.

ولاحظ أيضًا أن الشحنة موزونة:



الخطوة 1: حدد قيمة حالات التأكيد للعناصر جميعها.



الخطوة 2: اكتب أنصاف التفاعلات للعناصر التي تغيرت حالة التأكسد لديها.

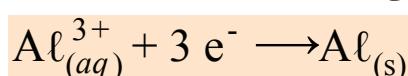
لاحظ أن عنصر المغنيسيوم قد تغير من حالة تأكسد تساوي قيمتها 0 إلى أيون مغنيسيوم في حالة تأكسد تساوي قيمتها 2^+ . وهذا يتضمن وضع إلكترونين إلى جانب النواة.



نصف تفاعلاً الأكسدة:

وبما أن المغنيسيوم يفقد الإلكترونات وتزداد حالة التأكسد لديه، نحدد ذلك بأنه نصف تفاعل الأكسدة. فالمغنيسيوم Mg قد تأكسد، أي إنه هو العامل المُختزل في هذا التفاعل.

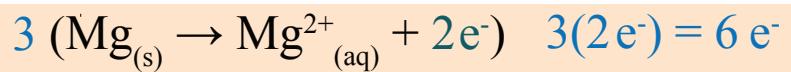
أما أيون الألومنيوم فقد تغير من حالة تأكسد تساوي قيمتها 3 إلى ذرة ألومنيوم بحالة تأكسد قيمتها 0، وهذا يتضمن وضع 3 إلكترونات إلها جانب المتفاعلات.



نصف تفاعلات الاختزال:

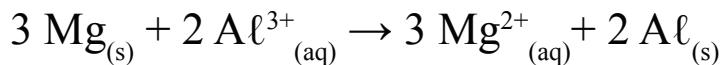
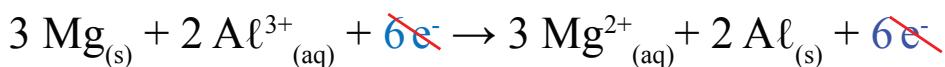
وبما أن أيون الألومنيوم يكتسب الإلكترونات، وتقل حالة التأكيد لديه، نحدد ذلك بأنه نصف تفاعل الاختزال. فالألومنيوم Al^{3+} قد اخترل، أي إن مصدره، AlCl_3 ، يعد العامل المؤكسد في هذا التفاعل.

الخطوة 3: وازن بين عددي الإلكترونات المفقودة والمكتسبة.



فقد إلكترونان، واكتسبت 3 إلكترونات، أي يجب أن تحدث 3 عمليات أكسدة لكل عملية اختزال، ويعني ذلك أن 6 إلكترونات فقدت و6 إلكترونات اكتسبت.

الخطوة 4: اجمع نصف التفاعلين الموزونين، ووزّع المعاملات المحددة خلال نصف التفاعلين، ثم اجمع المعادلين؛ أخيراً، احذف الإلكترونات المفقودة والإلكترونات المكتسبة.



(المعادلة الأيونية النهائية الموزونة)

تسمى المعادلة الناتجة **المعادلة الأيونية النهائية Net ionic equation**.

المعادلة الأيونية النهائية: معادلة تبيّن الأيونات والذرات التي تغيّرت حالة تأكسدها فقط.

فأيونات الكلوريد لم تكن جزءاً من عملية الأكسدة والاختزال؛ يطلق على مثل تلك الأيونات اسم **الأيونات المتفرّجة Spectator ions**.

الأيونات المتفرّجة: هي الأيونات التي لا تتأكسد ولا تخترل في تفاعل الأكسدة والاختزال.

الخطوة 5: استخدم المعاملات من المعادلة الأيونية النهائية الموزونة، لموازنة التفاعل الكلي (الأصلي)، ثم وازن الأيونات المتفرّجة إذا لزم الأمر.

تشير المعادلة الأيونية النهائية الموزونة إلى أن 3 ذرات Mg وذرّة Al توجد على كل جانب من جانبي المعادلة الكيميائية.



وتحقّق دائماً لتعرف أن الشحنة والكتلة كليّهما موزونتان في معادلك النهائية.

التفاعلات التلقائية وسلسلة النشاط الكيميائي

يحدث التفاعل التلقائي ضمن مجموعة محددة من الظروف دون الحاجة إلى أي تدخل خارجي (مثلاً دون الحاجة إلى إضافة الطاقة). فالتفاعل التلقائي لا يعني بالضرورة أنه يحدث بسرعة، أو أن ملاحظته ممكنة. فعلى سبيل المثال، يتحلل الألماس، عند الضغط الجوي ودرجة الحرارة الطبيعية، إلى جرافيت. وهذه العملية قد تحتاج إلى ملايين السنين لكي تكتمل. وهنا سوف نستخدم طريقة واحدة للتوقع إن كانت تفاعلات أكسدة واحتزال بسيطة ستحدث بشكل تلقائي أو لا.

سلسلة النشاط الكيميائي **Activity series** هي قائمة عناصر مرتبة وفق نشاطها الكيميائي. وتكون معظم سلاسل النشاط الكيميائي الشائعة للفلزات، متضمنة الهيدروجين.

سلسلة النشاط الكيميائي: قائمة عناصر مرتبة وفق نشاطها الكيميائي.



تبين سلسلة النشاط الكيميائي المدرجة في **الجدول 4-2 النشاط الكيميائي** للفلزات مرتبة من الأكثر نشاطاً (الأعلى) إلى الأقل نشاطاً (الأسفل). يمكننا أن نلاحظ أن الفلزات التي تقع أعلى H_2 في السلسلة تتفاعل مع الأحماض لإنتاج غاز الهيدروجين. أما الفلزات التي تقع أسفل H_2 ، فلا تتفاعل مع معظم الأحماض.

وبخصوص تفاعلات الأكسدة والاحتزال البسيطة من النوع الآتي:



- عندما يكون الفلز 1 أكثر نشاطاً من الفلز 2، يحدث التفاعل بشكل تلقائي.
- عندما يكون الفلز 2 أكثر نشاطاً من الفلز 1، لا يحدث التفاعل بشكل تلقائي، بل يحدث التفاعل العكسي بشكل تلقائي.

اللافلزات
F_2
Cl_2
Br_2
I_2

الجدول 3-4 مثال على سلسلة نشاط كيميائي للافلزات.

ويمكن أيضاً إعداد سلسلة النشاط الكيميائي للافلزات. وهي، في أي حال، تكون أقل شمولية، حيث يمكن استخدامها بالطريقة نفسها التي تُستخدم بها سلسلة النشاط الكيميائي للفلزات.

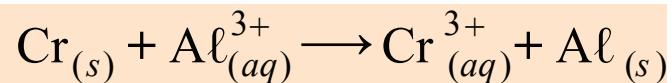
الفلزات
Li
Rb
K
Cs
Ba
Sr
Ca
Na
Mg
Al
Ti
Mn
Zn
Cr
Fe
Cd
Co
Ni
Sn
Pb
H_2
Cu
Hg
Ag
Pt
Au

الجدول 4-4 سلسلة النشاط الكيميائي للفلزات.

مثال 7

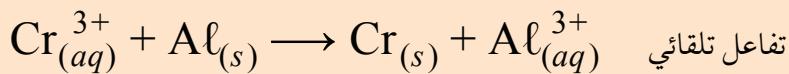
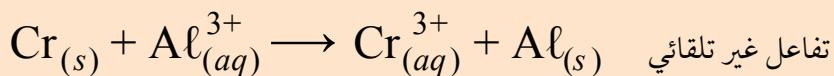
Li
Rb
K
Cs
Ba
Sr
Ca
Na
Mg
Al
Ti
Mn
Zn
Cr
Fe
Cd
Co
Ni
Sn
Pb
H₂
Cu
Hg
Ag
Pt
Au

السؤال توقع: هل سيحدث تفاعل الأكسدة والاختزال الآتي بشكل تلقائي أم لا؟



الحل يمثل هذا التفاعل غمس فلز الكروم في محلول يحتوي على أيونات الألومنيوم لإنتاج فلز الألومنيوم وأيونات الكروم. أي من هذين الفلزين: Al أو Cr، أكثر نشاطاً باستخدام سلسلة النشاط الكيميائي؟

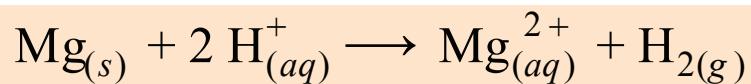
فلز الألومنيوم أكثر نشاطاً من فلز الكروم. لذلك، لن يحدث التفاعل بشكل تلقائي. ومع ذلك، فإن هذا التحليل يعني أن التفاعل العكسي سيحدث بشكل تلقائي.



مثال 8

Li
Rb
K
Cs
Ba
Sr
Ca
Na
Mg
Al
Ti
Mn
Zn
Cr
Fe
Cd
Co
Ni
Sn
Pb
H₂
Cu
Hg
Ag
Pt
Au

السؤال توقع: هل سيحدث تفاعل الأكسدة والاختزال الآتي بشكل تلقائي أم لا؟



الحل يمثل هذا التفاعل غمس فلز المغنيسيوم في محلول حمضي لإنتاج أيونات المغنيسيوم وغاز الهيدروجين. أي من هذين العنصرين: Mg أو H₂، أكثر نشاطاً باستخدام سلسلة النشاط الكيميائي؟

فلز المغنيسيوم أكثر نشاطاً من غاز الهيدروجين، لذلك سيحدث التفاعل بشكل تلقائي.



ويعني ذلك أن التفاعل العكسي لن يحدث بشكل تلقائي.





تفاعلات الأكسدة والاختزال

1-4

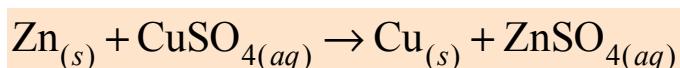
ما إذا يحدث عند غمس فلزّ الخارصين في محلول مائي لكبريتات النحاس؟	سؤال الاستقصاء
شريط خارصين، محلولكبريتات النحاس تركيزه $M = 1$ ، أنبوب اختبار، حامل أنابيب اختبار.	المواد المطلوبة

الجزء 1: لاحظ التفاعل

1. ضع 5ml من محلولكبريتات النحاس في أنبوب الاختبار.
2. أسقط قطعة من شريط خارصين في الأنبوب.
3. صف قطعة خارصين والمحلول بعد مضي 15 دقيقة. انتقل إلى الجزء 2 أثناء هذه المدة الزمنية.

الجزء 2: اكتب، وعنون، ووازن أنصاف التفاعلات

أعطيت معايير التفاعل الحادث الآتية:



حدّد قيمة التأكسد للعناصر التي تحتها خط الواردة في الجدول 4-4.

الجدول 4-4 حساب حالات التأكسد.

				حالات التأكسد
<u>Cu</u>	<u>ZnSO₄</u>	<u>CuSO₄</u>	<u>Zn</u>	الصيغة الكيميائية

الجدول 5-4 أنصاف التفاعلات
أكتب أنصاف تفاعلات الأكسدة والاختزال للتفاعل السابق

نصف تفاعل الأكسدة
نصف تفاعل الاختزال

وازن أنصاف تفاعلات الأكسدة والاختزال، ثم التفاعل الكلّي.

الأسئلة

- لماذا تغيّر لون محلول؟
- باستخدام سلسلة النشاط الكيميائي، توقع 3 فلزّات أخرى يمكن أن تتفاعل مع محلولكبريتات النحاس.
- باستخدام سلسلة النشاط الكيميائي، توقع فلزّين آخرين يمكن ألا يتفاعلاً مع محلولكبريتات النحاس.

1. عرّف كلاً من الأكسدة والاختزال، من حيث فقد الإلكترونات أو اكتسابها. 

2. عرّف حالة التأكسد. 

3. عرّف كلاً من الأكسدة والاختزال بدلالة التغير في حالات التأكسد. 

4. حدد قيمة حالة التأكسد لكل عنصر في المركبات الآتية: 

$K_2Cr_2O_7$.c AuF_3 .a

$CuCl_2$.d $Ca(ClO_3)_2$.b

5. حدد قيمة حالة التأكسد لكل عنصر في المركبات الآتية: 

CH_4 .c O_2F_2 .a

Na_2O_2 .d KH .b

6. اكتب أنصاف التفاعلات للتغيرات الآتية في حالة التأكسد، ثم حدد أي من التفاعلات أكسدة، وأي منها اختزال؛ وفسر إجابتك. 

S^0 إلى S^{-2} .c Fe^{+2} إلى Fe^{+3} .a

O^{-2} إلى O_2^0 .d Cl^{+7} إلى Cl^- .b

7. في تفاعل الأكسدة والاختزال الآتي: 

$KClO_3 \rightarrow KCl + O_2$

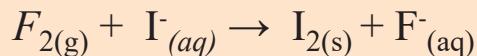
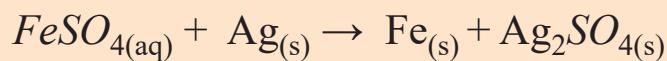
a. حدد قيم حالات التأكسد لكل عنصر في هذا التفاعل.

b. اكتب نصفي التفاعل، وحدد أيها يصف نصف تفاعل أكسدة وأيها نصف تفاعل اختزال.

c. وازن نصفي التفاعل.

d. وازن المعادلة الكيميائية النهائية.

8. باستخدام سلسلة النشاط الكيميائي، توقع: هل التفاعلات الآتية تلقائية أم غير تلقائية؟ 



الدرس 2.4

الخلايا الكهروكيميائية

تعمل البطاريات على تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، من خلال تفاعلات الأكسدة والاختزال. تتمحور مواضيع البحث المكثف هذه الأيام حول تصنيع البطاريات. حيث تجري البحوث باستمرار في هذا المجال، لأن أكبر عائق يقف أمام إنتاج الكهرباء من الطاقة المتجددة هو كيفية تخزينها. ففي الليل يجب أن تعتمد أنظمة الطاقة الشمسية على نوع من بطاريات التخزين. لكن لسوء الحظ لا تزال أفضل تكنولوجيا لبطاريات التخزين المتاحة تفتقر إلى جودة كيفية تخزين الطاقة الكهربائية على نطاق واسع.

مخرجات التعلم

C1105.2 يعرف الجهد الكهربائي القياسي للقطب بالنسبة إلى جهد قطب الهيدروجين القياسي، ويصف الطرق المستخدمة لقياس جهد القطب القياسي لفلزات ولافلزات متلامسة مع أيوناتها الموجودة في محلول المائي.

C1105.3 يحسب جهد الخلية القياسي باستخدام قيم جهود قطبين قياسيين.

C1104.3 يستقصي التحليل الكهربائي لمصاہير مركبات أيونية ومحاليل مائية لمركبات أيونية وملاحظة تفكك محلول الإلكتروليتي.

C1104.4 يكتب معادلة أنصاف التفاعلات الكيميائية التي تحدث عند الأقطاب، باستخدام البيانات اللازمة.

C1104.5 يصف عملية الطلاء الكهربائي للفلزات واستخداماته.

C1105.1 يقيس جهود الخلية ويربطها بموقع الفلزات في سلسلة نشاط العناصر، ويصف التغيرات الكيميائية التي تحدث في الخلية بدلالة معادلات نصف التفاعل.

C1105.4 يحسب كمية الشحنة التي تسري في دائرة التحليل الكهربائي وذلك بتطبيق المعادلة $L = F$ ، ومن ثم يحسب كتلة و/أو حجم المادة المتحركة (أو كليهما) خلال عملية التحليل الكهربائي. (حيث F هي ثابت فارادي، و L ثابت أفوجادرو و e شحنة الإلكترون).

المفردات



Voltaic cell	الخلايا الفولتية (الجلفانية)
Electrode	القطب
Cathode	الكاثود
Anode	الأنود
Salt bridge	القنطرة الملحية
Electrolytic cells	الخلايا الإلكترولية
Electrolysis	التحليل الكهربائي
Reduction potential series	سلسلة جهود الاختزال
Cell potential	جهد الخلية

الخلايا الفولتية (الجلفانية)

يعود مصدر الكهرباء في البطاريات إلى انتقال الإلكترونات في تفاعلات الأكسدة والاختزال التلقائية. يعمل فصل تفاعلات الأكسدة والاختزال على دفع الإلكترونات عبر سلك موصل وإنتاج تيار كهربائي منه. تُعدّ **الخلية الفولتية (الجلفانية)** **Voltaic (galvanic) cell** جهازاً كهروكيميائياً يعمل على هذا المبدأ. والتطبيق الأكثر انتشاراً لهذا المبدأ هو البطاريات.

الخلايا الفولتية (الجلفانية): تستخدم تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي لإنتاج الكهرباء أي تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية.



الشكل 4-4 تحتوي بطارية السيارة على عدّة خلايا فولتية، تبلغ ست خلايا في العادة.

هناك فرق تقني بين البطاريات والخلايا الفولتية:

- تستخدم الخلية الفولتية تفاعل أكسدة واختزال لتوليد جهد كهربائي بينقطبين كهربائيين.
- تحتوي البطارية على أكثر من خلية فولتية واحدة لإنتاج جهد أعلى، بوجود أزواج متعددة من الأقطاب الكهربائية.

غالباً ما يُسمى كل من الأجهزة ذات الخلية الواحدة والمتعلقة بالخلايا «بطاريات».

تتكون البطاريات المنزليّة، ذات الجهد الكهربائي $1.5V$ والأكثر انتشاراً من خلية واحدة. فالبطاريات ذات التمييز AAA و AA و C و D مثلاً، هي خلايا فولتية ذات جهد كهربائي مقداره $1.5V$. لذلك ينبغي أن تُطلق عليها تسمية خلايا بدلاً من تسمية بطاريات. أما البطارية ذات الجهد الكهربائي $9V$ هي بالفعل بطارية من ست خلايا، جهد كل منها $1.5V$ متصلة على التوالي. لذلك، يؤدّي نزع الغطاء عن البطارية ذات الجهد الكهربائي $9V$ إلى الكشف عن الخلايا الفردية الست.

(b)



(a)



الشكل 4-4 (a) خلايا مفردة ذات جهد كهربائي $9V$. (b) بطارية متعددة الخلايا ذات جهد كهربائي $1.5V$.

آلية عمل الخلية الجلفانية

تحتوي كل خلية فولتية على عُنصرين موصلين يسمّيان **القطبين** **Electrodes**. يحدث الاختزال عند قطب الكاثود بينما تحدث الأكسدة عند قطب الأنود.

الأنود: القطب السالب الذي تحدث عنده الأكسدة.

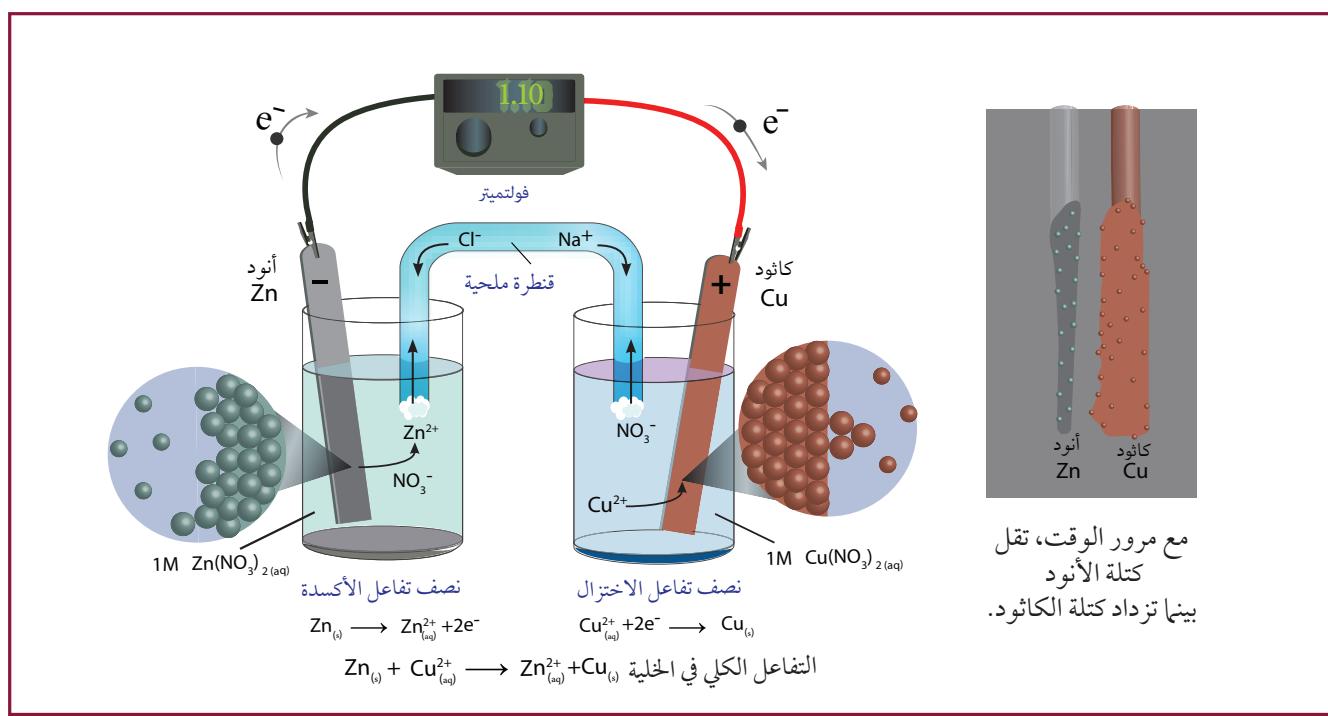


الكاثود: القطب الموجب الذي يحدث عنده الاختزال.



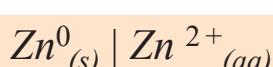
تتكوّن الخلايا الفولتية من **نصف خلية Half cells** يحتوي كل منهما على واحد من القطبين الكهربائيين. تحدث عملية الأكسدة عند الأنود، حيث يتم فقد الإلكترونات وتحدث عملية الاختزال عند الكاثود، حيث يتم اكتساب الإلكترونات، لذلك تتدفق الإلكترونات من الأنود إلى الكاثود كما هو موضّح في **الشكل 10-4**.

في الخلية الفولتية، تكون شحنة الأنود بصورة عامة سالبة وشحنة الكاثود موجبة، وذلك لأن الأنود هو مصدر الإلكترونات سالبة الشحنة.



الشكل 10-4 خلية جلفانية من قطبي النحاس والخارصين.

تتكوّن أنصاف الخلايا البسيطة من قطب فلزّي مغمور في محلول مائي يحتوي على أيونات من الفلز نفسه لذلّك القطب. عندما نضع، مثلاً، شريطاً من فلزّ الخارصين في محلول من نيترات الخارصين، نحصل على نصف خلية الخارصين. يتم التمثيل الرمزي لنصف هذه الخلية في الظروف القياسية، كما يأتي:

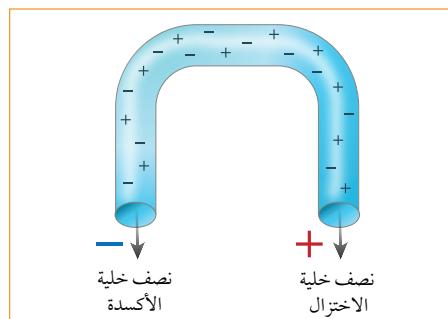


القنطرة الملحيّة (الجسر الملحي)

كل إلكترون يترك نصف خلية الأكسدة يجب أن يحل محله شحنة سالبة مساوية له. وإذا لم يحدث ذلك، فسوف تترافق الشحنة الموجبة؛ ويتوقف تدفق التيار الكهربائي بسرعة. تحدث الحالة نفسها مع الإلكترونات التي تدخل نصف خلية الاختزال. حيث يجب توفير كمية مساوية من الشحنة الموجبة للحفاظ على المحلول متعادلاً.

القنطرة الملحيّة: هي أنبوب مملوء بمحلول ملحي يُستخدم لمنع تراكم الشحنات في أنصاف الخلايا.

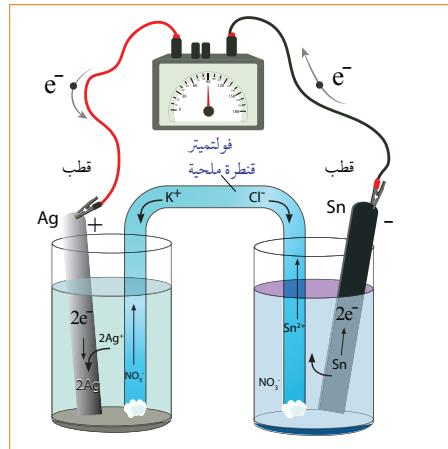
تملاء القنطرة الملحيّة **Salt bridge** بمحلول ملحي يحتوي على أيونات موجبة وأخرى سالبة. يتم اختيار الأيونات بشكل لا يؤثر على تفاعل الأكسدة والاختزال. يسكب المحلول في أنبوب



الشكل 4-11-4 القنطرة الملحيّة.

على شكل حرف «U»، ثم يغمر بالمقلوب نهاية كلا الطرفين (الشكل 4-11). توضع نهاية واحدة من الأنبوب في كل نصف خلية. يُمنع المحلول الملحي من الانسياق خارج الأنبوب باستخدام سدادتين من القطن، سداداة عند كل نهاية. تُترك الأيونات السالبة القنطرة الملحيّة لتدخل نصف خلية الأكسدة عبر سداداة القطن، وذلك لتحل محل شحنة الإلكترونات السالبة التي تترك الأنود. كذلك تهبط الأيونات الموجبة من القنطرة الملحيّة إلى نصف خلية الاختزال لمعادلة شحنة الإلكترونات التي تدخل الكاثود. يؤدي انتقال الإلكترونات والهجرة المعاكسة للأيونات إلى إكمال الدائرة الكهربائية (الشكل 4-12).

تؤدي القنطرة الملحيّة ثلاثة وظائف أساسية في الخلية الفولتية:



الشكل 4-12-4 خلية فولتية مع قنطرة ملحيّة.

1. تعمل على غلق الدائرة الكهربائية.

2. تمنع اختلال التوازن الكهربائي بين نصف الخلية.

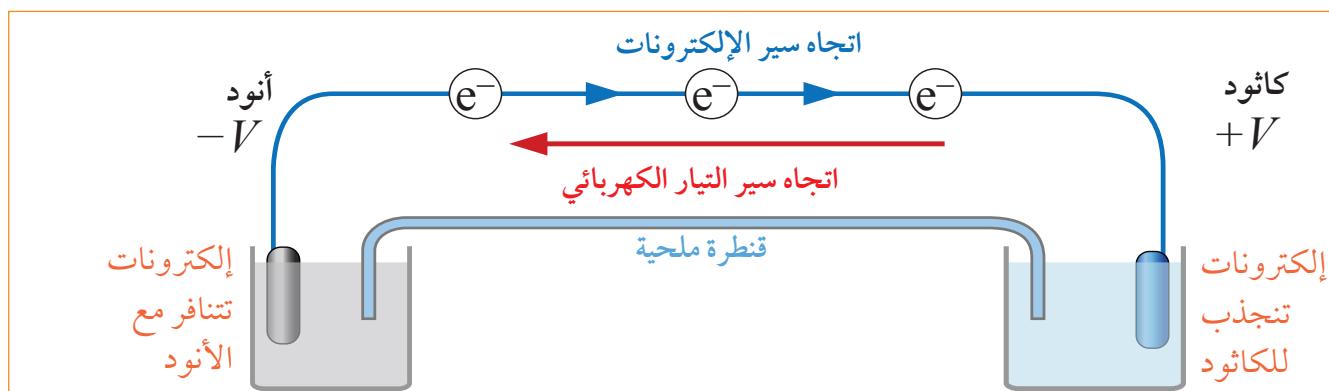
3. تعمل على استمرارية سريان التيار الكهربائي عن طريق توفير الأيونات المتنقلة بين نصفي الخلية.

قطب الهيدروجين القياسي

يتم في الخلية الجلفانية إنتاج التيار الكهربائي نتيجة دفع الإلكترونات المتكونة عند الأنود (موقع الأكسدة) إلى الكاثود الذي تحدث عنده عملية الاختزال عبر الأسلاك. وتحدث هذه العملية نتيجة وجود فرق في الجهد الكهربائي بين القطبين وهو ما يعرف بجهد الخلية ويقاس بوحدة الفولت ويساوي $1 \text{ جول لكل كولوم (} 1\text{V=1J/C) }$

لكل قطب جهد اختزال خاص به ولا يمكن تحديد جهد اختزال القطب بصورة مباشرة وذلك لأن نصف تفاعل الاختزال لا بد أن يقترن بنصف تفاعل الأكسدة.

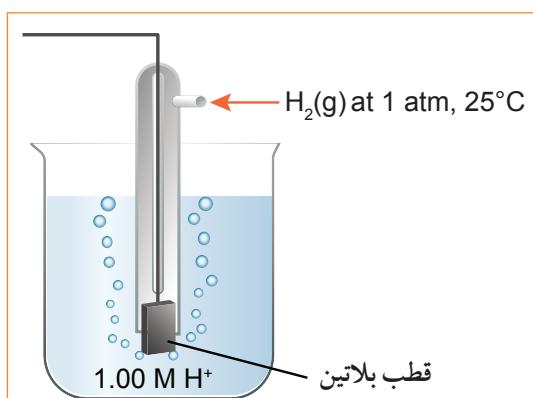
يتدفق التيار الكهربائي في الخلية الفولتية من القطب ذي الجهد الموجب إلى القطب ذي الجهد السالب. بينما تتحرك الإلكترونات في الإتجاه المعاكس من القطب السالب إلى القطب الموجب.



الشكل 13-4 إتجاه سير الإلكترونات والتيار الكهربائي في الخلية الفولتية.

اتفق علماء الكيمياء أن يقيسوا جهد الاختزال لكل الأقطاب لقطب واحد سمي بالقطب القياسي لأنه من الصعب قياس جهد قطب بشكل منفرد.

يُسمى القطب القياسي هذا بقطب الهيدروجين القياسي **Standard hydrogen electrode (SHE)**. وهو يتكون من قطب بلاatin مغمور في محلول حمضي تركيزه $1\text{M H}_2\text{O}$ ويتم ضخ غاز الهيدروجين في محلول عند ضغط جوي يساوي 1atm ودرجة حرارة 298K . اعتمد لجهد هذا القطب عند هذه الظروف قيمة 0.00V . وعند قياس جهد الخلية الأخرى التي تستخدم فلزات مختلفة، تتم مقارنتها مع قطب الهيدروجين القياسي.



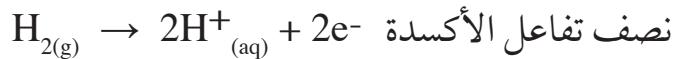
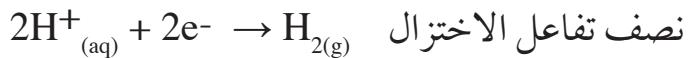
الشكل 14-4 قطب الهيدروجين القياسي (SHE).

فمثلاً خلية فولتية مكونة من قطب الهيدروجين القياسي (الكاثود) وقطب خارصين (أنود)، بما أن قيمة جهد قطب الهيدروجين القياسي 0.00V فإن قراءة الفولتميتر تمثل قيمة جهد قطب الخارصين.

تابع: قطب الهيدروجين القياسي

ويعمل هذا القطب بوصفه نصف تفاعل اختزال ، أو نصف تفاعل أكسدة ؛ اعتماداً على نصف الخلية الموصل به .

والتفاعلان اللذان يمكن حدوثهما عند قطب الهيدروجين القياسي هما:



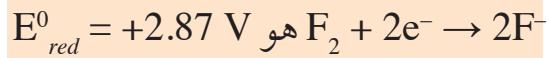
جهود الاختزال القياسية

يُدرج الجدول 4-6 جهود الاختزال عند الظروف القياسية (E^0) لمجموعة مختارة من أنصاف التفاعلات مقارنة بـ SHE. يشير الرمز « E^0 » في E^0 إلى الظروف القياسية (STP) :

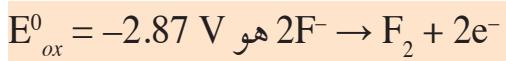
عند درجة حرارة K 298 (25°C) وتحت ضغط جوي يساوي atm 1 وتركيز أيونات M 1.

ملاحظة: يمكن أن يقيس العلماء كذلك جهود الأكسدة مع العلم بأنّ جهد الأكسدة يساوي تماماً جهد الاختزال مع عكس الإشارة.

فمثلاً إذا كان جهد الاختزال القياسي للتفاعل



فإن الجهد القياسي لتفاعل الأكسدة العكسي سيكون:



ومن خلال قيم جهود الاختزال القياسية في الجدول 4-6 في الصفحة التالية نلاحظ أنّ:

- قيمة جهد الاختزال الأكبر قيمة موجبة تعني سهولة الاختزال ويميل العنصر للعمل كاثود.
- قيمة جهد الاختزال الأقل قيمة سالبة تعني صعوبة الاختزال ويميل العنصر للعمل أنود.
- تزداد قوة العوامل المؤكسدة من الأسفل إلى الأعلى لذلك يعتبر الفلور أقوى عامل مؤكسد.
- تزداد قوة العوامل المختزلة من الأسفل إلى الأعلى لذلك يعتبر الليثيوم أقوى عامل مختزل.

الجدول 6-4 جهود الاختزال القياسية.

نصف تفاعل الاختزال	E^0 (V)
$\text{F}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{F}^-$	2.87
$\text{Ag}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}^+$	1.99
$\text{Co}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Co}^{2+}$	1.82
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	1.78
$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	1.69
$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \rightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1.68
$\text{IO}_4^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{IO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	1.60
$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1.51
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au}$	1.50
$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.46
$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cl}^-$	1.36
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1.33
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	1.23
$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.21
$\text{Br}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Br}^-$	1.09
$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \rightarrow \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	0.96
$\text{ClO}_2 + \text{e}^- \rightarrow \text{ClO}_2^-$	0.95
$2\text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Hg}_2^{2+}$	0.91
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	0.80
$2\text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Hg}$	0.80
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	0.77
$\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$	0.68
$\text{MnO}_4^- + \text{e}^- \rightarrow \text{MnO}_4^{2-}$	0.56
$\text{I}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{I}^-$	0.54
$\text{Cu}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	0.52
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$	0.40
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	0.34
$\text{AgCl} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0.22
$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	0.20
$\text{Cu}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^+$	0.16
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	0.00
$\text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-0.036
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	-0.13
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	-0.14
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	-0.23
$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Co}$	-0.28
$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd}$	-0.40
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-0.44
$\text{Cr}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cr}^{2+}$	-0.50
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	-0.73
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	-0.76
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.83
$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}$	-1.18
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	-1.66
$\text{H}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}^-$	-2.23
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$	-2.37
$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$	-2.71
$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ca}$	-2.76
$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$	-2.92
$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}$	-3.05

زيادة قوّة العامل المختزل

زيادة قوّة العامل الممؤثّر

سؤال للمناقشة

حساب جهد الخلية (فولتية الخلية)

كيف تتواءج جهد الخلية؟

الجهد الكلي ل الخلية فولتية هو الفرق بين جهد الاختزال القياسي عند الكاثود و ذلك عند الأنود. (المعادلة 1-4).

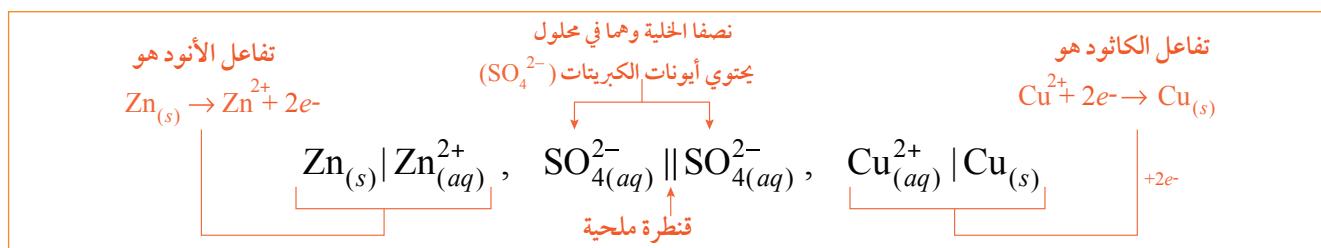
جهد الخلية القياسي (V)

1.4

جهد الخلية القياسي (V)	E_{cell}^0
جهد الاختزال القياسي (V) عند الكاثود	$E_{cathode}^0$
جهد الاختزال القياسي (V) عند الأنود	E_{anode}^0

$$E_{cell}^0 = E_{cathode}^0 - E_{anode}^0$$

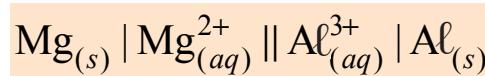
الرمز الاصطلاحي ل الخلية هو طريقة مختصرة لوصف الخلية الفولتية. يبيّن (الشكل 15-4) الرمز الاصطلاحي ل الخلية من الخارصين والنحاس بحيث تحتوي على أيونات الكبريتات SO_4^{2-} كأيونات سالبة.



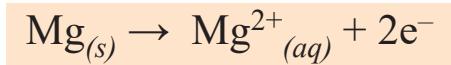
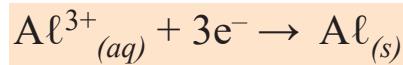
الشكل 15-4 الرمز الاصطلاحي ل الخلية فولتية.

مثال 9

المسألة احسب جهد الخلية القياسي ل الخلية فولتية، لديها الرمز الاصطلاحي الآتي:



الحل الخطوة 1: اكتب أنصاف التفاعلات:



الخطوة 2: جد جهد كل من أنصاف تفاعلات الأكسدة والاختزال.

اختزال الألومنيوم؛ لذا يعمل كاثود، ونحن، وبالتالي، نستخدم جهد اختزاله

$$E_{cathode}^0 = -1.66 \text{ V}$$

تأكسد فلز المغنيسيوم، لذا يعمل أنود، ونحن، وبالتالي، نستخدم جهد اختزاله

$$E_{anode}^0 = -2.37 \text{ V}$$

الخطوة 3: احسب جهد الخلية من خلال قيم جهود الاختزال للأنود والكاثود وفقاً للمعادلة

.1-4

$$E_{cell}^0 = E_{cathode}^0 - E_{anode}^0$$

$$E_{cell}^0 = (-1.66 \text{ V}) - (-2.37 \text{ V}) = +0.71 \text{ V}$$

ملاحظة: ليس من الضروري أن تكون أنصاف التفاعلات موزونة لكي تحسب جهد الخلية القياسي.

التفاعلات التلقائية

يحدث تفاعل الأكسدة والاختزال بصورة تلقائية إذا كان جهد الخلية أكبر من صفر. لذا يمكن استخدام هذه الخاصية مثلاً لتحديد إن كان الفلز سيعاشر مع الحمض، لأن جهد الاختزال القياسي يستخدم تفاعل الأكسدة والاختزال للهيدروجين كمراجع صفرية.

يكون التفاعل تلقائياً إذا كان جهد الخلية القياسي أكبر من صفر (قيمة موجبة) وغير تلقائي إذا كان جهد الخلية أقل من صفر (قيمة سالبة).



مثال 10

السؤال استخدم قيم جهود الاختزال القياسية، لتحديد ما إذا كان تفاعل الخارصين والنحاس مع محلول حمض الهيدروكلوريك هو تفاعل تلقائي؟

الحل

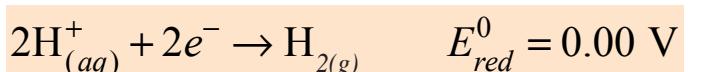
ابدأ بـ $\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Zn}$ $E_{red}^0 = -0.76 \text{ V}$ في الجدول 4-6 هو:

$\text{Zn}_{(s)} + 2\text{H}_{(aq)}^+ \rightarrow \text{Zn}_{(aq)}^{2+} + \text{H}_{2(g)}$ الناتج العام لتفاعل الفلز مع الحمض، هو إنتاج H_2 .

يمكننا كتابة ذلك على صورة نصفي تفاعل، وتحديد جهد الخلية E^0 .



نصف تفاعل الأكسدة (الأنود)

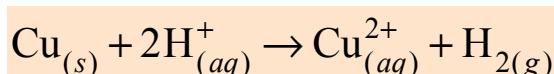


نصف تفاعل الاختزال (الكاثود)

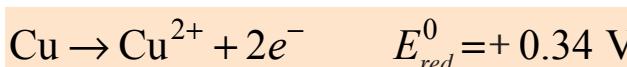
$$E_{cell}^0 = E_{cathode}^0 - E_{anode}^0 = 0.00 \text{ V} - (-0.76 \text{ V}) = +0.76 \text{ V}$$

جهد الخلية

جهد الخلية موجب، لذا يحدث هذا التفاعل تلقائياً، وسوف يتفاعل الخارصين مع حمض



كرر الأمر نفسه مع النحاس.



نصف تفاعل الأكسدة (الأنود)

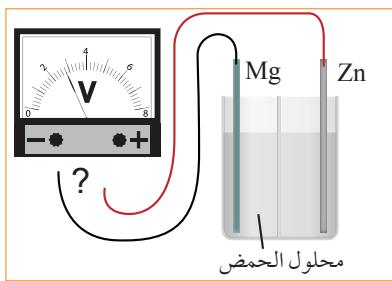


نصف تفاعل الاختزال (الكاثود)

$$E_{cell}^0 = E_{cathode}^0 - E_{anode}^0 = (0.00 \text{ V}) - (+0.34 \text{ V}) = -0.34 \text{ V}$$

جهد الخلية

جهد الخلية قيمة سالبة، وبالتالي فإن هذا التفاعل ليس تلقائياً، ولن يتفاعل النحاس مع حمض HCl .



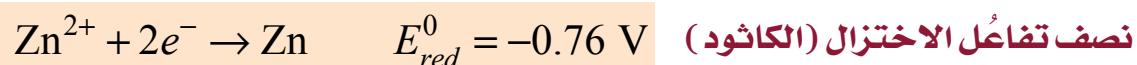
السؤال تم بناء خلية فولتية من قطبي الخارصين والمغنيسيوم. ما الجهد الناتج؟ وفي أي اتجاه يتدفق التيار الكهربائي؟

الحل جهود الاختزال القياسية للخارصين والمغنيسيوم، من الجدول 4-6 هي:



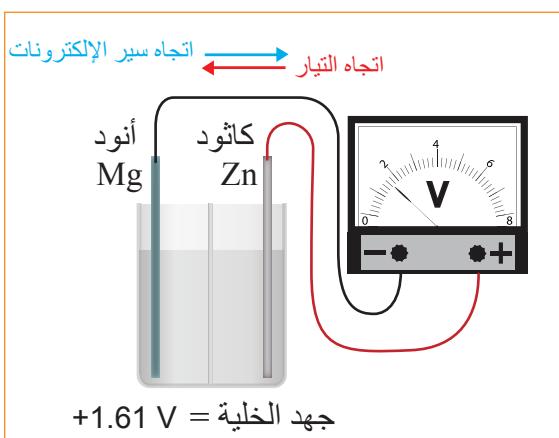
لكي يكون التفاعل تلقائي، يجب أن يكون جهد الخلية أكبر من الصفر. وهذا يعني أن نصف التفاعل ذا جهد الاختزال الأكبر يمثل تفاعل كاثود أما نصف التفاعل ذا جهد الاختزال الأقل يمثل تفاعل الأنود. جهد الاختزال لـ Mg (-2.37V) له قيمة أقل من جهد الاختزال لـ Zn (-0.76V)، لذلك Mg هو الأنود و Zn هو الكاثود.

لذلك، فإن $\text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2e^-$ هو تفاعل الأكسدة (أنود)، و $\text{Zn}^{2+} \rightarrow \text{Zn}$ هو تفاعل الاختزال (كاثود).



$$E_{cell}^0 = E_{cathode}^0 - E_{anode}^0 = -0.76 \text{ V} - (-2.37 \text{ V}) = +1.61 \text{ V}$$

جهد الخلية



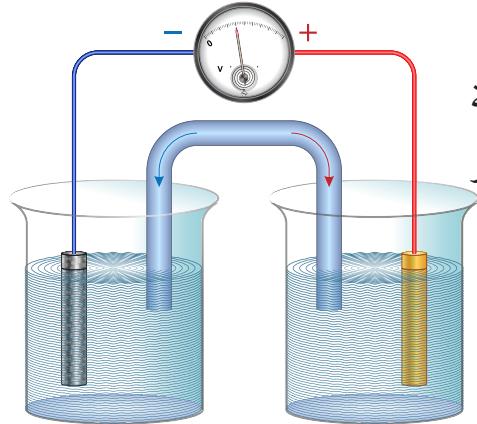
يحدث الاختزال عند الكاثود، حيث يكسب الإلكترونات ويصبح القطب الموجب للخلية. وبما أن جهد قطب الخارصين أكبر من جهد قطب المغنيسيوم، فسوف يتدفق التيار الكهربائي من قطب الخارصين إلى قطب المغنيسيوم. بينما تتحرك الإلكترونات من قطب Mg (أنود) إلى قطب Zn (كاثود).



الخلايا الفولتية

a2-4

سؤال الاستقصاء	كيف يمكن بناء خلية فولتية؟
المواد المطلوبة	كأس زجاجية (عدد 2)، أنبوب U، قطن، ملاقط التمساح، فولتميتر، أقطاب الخارصين والنحاس، محليل تحتوي على أيونات Cu^{2+} ، Zn^{2+} ، و محلول ملحي مثل KCl .



الجزء 1: بناء الخلية الفولتية

- اختر للقطبين اللذين أعطيك، محلولين مناسبين لبناء الخلية ثم استخدم أسلاك ملاقط التمساح لتوصيل الأقطاب بالفولتميتر بشكل صحيح ووضع القنطرة الملحية لغلق الدائرة الكهربائية.
- قس، ثم سجل جهد هذه الخلية.

الجزء 2: تحليل الخلية الفولتية

- توقع أي من أنصاف التفاعل سيحدث في الخلية التي أنشأتها؟
- اكتب نصفي التفاعل، ثم اوزنهم.

نصف تفاعل الأكسدة	
نصف تفاعل الاختزال	

- اجمع نصفي التفاعل للحصول على المعادلة الأيونية النهائية الموزونة.
- حدّد جهد الخلية القياسي، ثم قارن هذه القيمة مع القيمة المسجلة عملياً.

قيمة فرق الجهد المحسوبة	
قيمة فرق الجهد المقاس عملياً	

- حدّد على الخلية المرسومة أعلاه اتجاه تدفق الإلكترونات واتجاه حركة الأيونات الذي سيحدث في كلا جانبي القنطرة الملحية.

الأسئلة

- ما القطب الذي زادت كتلته؟
- ما القطب الذي تناقصت كتلته؟
- اقترح سببين على الأقل لكون الجهد المقاس للخلية أقل من القيمة المتوقعة حسابياً.
- كيف ستكون قراءة جهد الخلية الكهربائي، إذا أزيلت القنطرة الملحية؟

خلايا التحليل الكهربائي

تعلمت في هذا الدرس أنّ تفاعل الأكسدة والاختزال يكون تلقائيًّا إذا كان جهد الخلية القياسي للتفاعل موجباً، ويكون غير تلقائيًّا إذا كان جهد الخلية القياسي للتفاعل سالباً. لكن هذا لا يعني عدم حدوث التفاعل. إذ من الممكن دفع تفاعلات الأكسدة والاختزال إلى الحدوث من خلال تزويدتها بالطاقة الكهربائية على الدوام.

تُسمى الخلايا التي تستخدم الكهرباء لدفع التفاعلات غير التلقائية إلى الحدوث، **خلايا التحليل الكهربائي** **Electrolytic cells**. وبهذا تكون خلايا التحليل الكهربائي عكس الخلايا الفولتية. لذا يحتاج هذا النوع من الخلايا إلى تيار كهربائي بدلاً من إنتاج التيار.

 **خلايا التحليل الكهربائي:** تستخدم الكهرباء لدفع تفاعلات الأكسدة والاختزال غير التلقائية إلى الحدوث.

هناك اختلاف آخر بين الخلايا الفولتية وخلايا التحليل الكهربائي. ففي العادة يوضع قطباً الخلية (الأنود والكافود) في وعاءين منفصلين لنصف الخلية في الخلايا الفولتية، بينما يكون قطباً خلية التحليل الكهربائي الأنود والكافود في الوعاء نفسه، أي في مكان واحد من دون حواجز بينهما.

خلايا التحليل الكهربائي	الخلايا الفولتية	
تستخدم الكهرباء	تنتج الكهرباء	1. الطاقة الكهربائية
غير تلقائي	تلقائي	2. تفاعل الأكسدة والاختزال
عند الأنود	عند الأنود	3. تفاعل الأكسدة
عند الكافود	عند الكافود	4. تفاعل الاختزال
موجب	سالب	5. شحنة الأنود
سالب	موجب	6. شحنة الكافود
سالب	موجب	7. E^0 للخلية

تُسمى عملية استخدام التيار الكهربائي لدفع تفاعل كيميائي غير تلقائي للحدوث باسم **عملية التحليل الكهربائي** **Electrolysis**.

 **عملية التحليل الكهربائي:** هي عملية استخدام الكهرباء لدفع تفاعل الأكسدة والاختزال غير التلقائي إلى الحدوث.

للتحليل الكهربائي وخلايا التحليل الكهربائي تطبيقات عملية كثيرة منها:

- الطلاء الكهربائي لفلزٍ بفلزٍ آخر، مثل طلي النحاس بالكروم كهربائياً.
- التحليل الكهربائي لمصاہير المركبات الأيونية لفصلها إلى عناصرها الأساسية.
- تحليل الماء كهربائياً إلى عنصرٍ الهيدروجين والأكسجين.
- التحليل الكهربائي للمحاليل المائية لفصل العناصر المكونة للمركبات.

سؤال للمناقشة

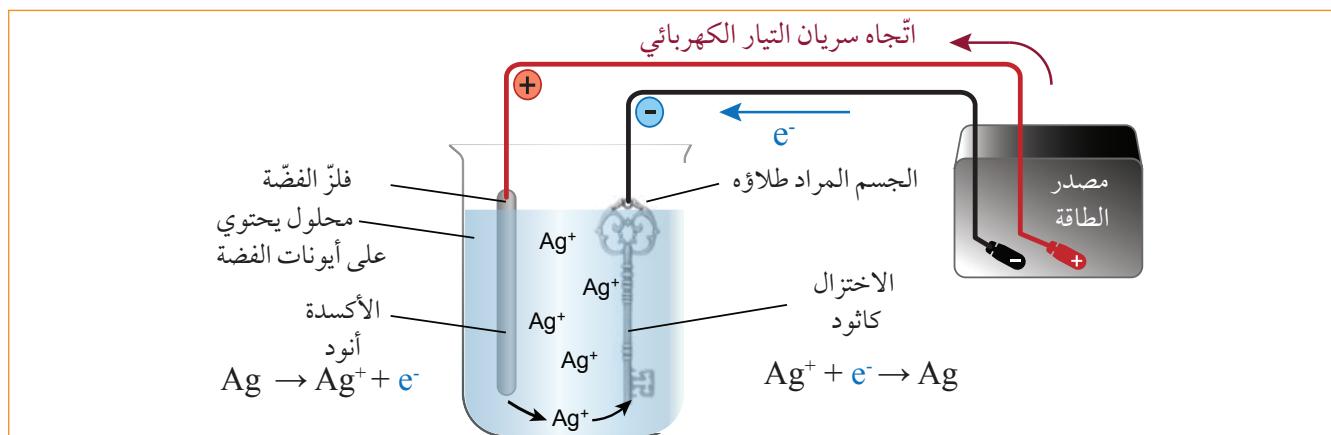
كيف يعمل الطلاء الكهربائي؟

الطلاء الكهربائي

الطلاء الكهربائي **Electroplating** هو عملية تغطية سطح فلزٍ بفلزٍ آخر، وهو عملية إلكتروليتية يختزل فيها أيون فلزٍ،

ويترسب خاللها على سطح الفلز الآخر. نقوم بذلك عادة لجعل سطح الفلز يبدو أجمل. ويمكن استخدام الطلاء الكهربائي أيضاً لحماية فلزٍ من التآكل من خلال طلائه بفلزٍ آخر، مثل طلاء الحديد الصلب بالكروم. ويتم الطلاء الكهربائي عن طريق جعل الكاثود الجسم المراد طلاؤه. وجعل الأنود الفلز الذي سيتم الطلاء به.

يوصى الكاثود بالقطب السالب لمصدر الطاقة. وهذا من شأنه أن يجعل شحنة الجسم المراد طلاؤه سالبة، مما يجعل أيونات الفلز المراد الطلاء به تنجذب إليه. يوصى الأنود بالقطب الموجب لمصدر الطاقة، ثم يوضع القطبان في محلول لأيونات الفلز المراد الطلاء به.



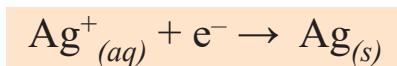
الشكل 16-4 طلاء كهربائي لمفتاح حديدي بفلز الفضة.

يوضح (الشكل 16-4) تأكسد ذرات الفضة إلى أيونات فضة عند الأنود وذوبانها في المحلول، وانتقالها من خلال المحلول إلى المفتاح. وسبب ذلك هو انجذاب أيونات الفضة الموجبة في المحلول إلى المفتاح السالب الشحنة، حيث يتم احتزالها إلى ذرات الفضة على سطح المفتاح.

تفاعل الأنود (الأكسدة): تفقد ذرات الفضة الإلكترونات، وتصبح أيونات فضة ذاتية في المحلول.



تفاعل الكاثود (الاختزال): تكتسب أيونات الفضة الإلكترونات، وتصبح ذرات فضة مرة أخرى، وتترسب على سطح المفتاح.



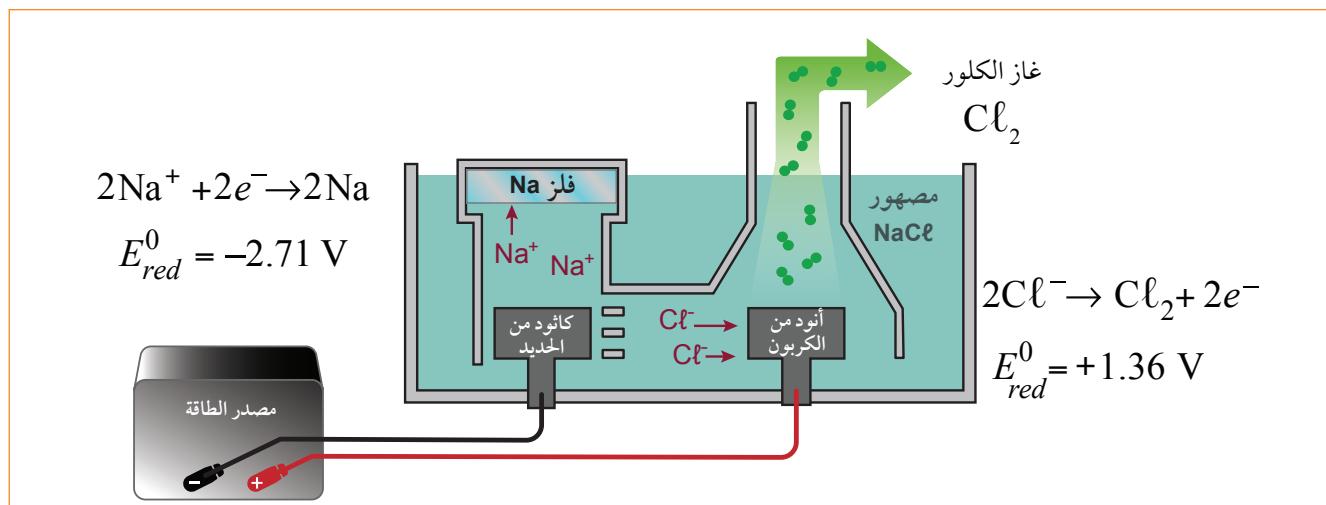
لجعل نظام الطلاء الكهربائي فعالاً، يجب أن يحتوي المحلول على أيونات الفلز المراد الطلاء به. يذوب مركب سيانيد الفضة، $AgCN$ في المحلول مُتيجاً أيونات Ag^{+} و CN^{-} . وهذا أمر شائع الاستخدام للطلاء بالفضة كهربائياً.

يمكن أيضاً إجراء الطلاء بفلز النحاس، باستخدام محلول كبريتات النحاس $CuSO_4$.

التحليل الكهربائي لمصاهير المركبات الأيونية

يمكن استخدام التحليل الكهربائي لفصل عناصر المركب الأيوني. حيث يتم الحصول على بعض الفلزات، على نطاق صناعي، وخاصة الفلزات القلوية (المجموعة 1)، وبعض الفلزات القلوية الأرضية (المجموعة 2)، باستخدام التحليل الكهربائي. ولتحليل المركبات الأيونية كهربائياً في المختبر، يتم صهرها في بوتقة. وسبب استعمال البوتقة وجود حاجة إلى درجات حرارة مرتفعة، لأن درجات انصهار المركبات الأيونية مرتفعة.

في هذه الحالة يتم وضع قطبين مقاومين للتآكل في الملح المنصهر. ثم توصل الأقطاب الكهربائية بطرف مصدر الطاقة. مثال ذلك، التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم NaCl الموضح في (الشكل 17-4).

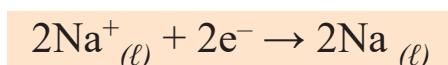


في (الشكل 17-4)، تنجذب أيونات الصوديوم الموجبة إلى الكاثود السالب، وتحتاز إلى ذرات الصوديوم. في حين تنجذب أيونات الكلوريد السالبة إلى الأنود الموجب، وتتأكسد إلى غاز الكلور الثنائي الذرّة.

تفاعل الأنود: تفقد الإلكترونات، وتتأكسد أيونات الكلوريد ويتصاعد غاز الكلور.



تفاعل الكاثود: تكتسب الإلكترونات، وتحتاز أيونات الصوديوم وتتكون ذرات فلز الصوديوم.

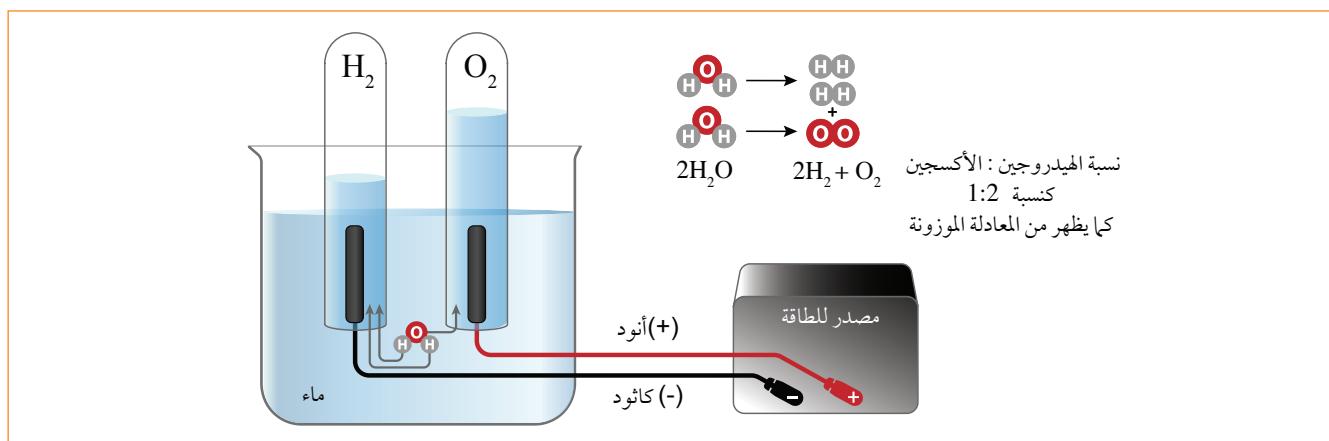


لاحظ أن مجموع جهد القطبين سالب. وهذا يدلّ، كما سبق أن أوضحنا، أن التفاعل غير تلقائي. ويبين جهد الخلية الكليّ أيضاً الحد الأدنى من الجهد الذي يجب توفره عبر القطبين لحدوث التفاعل.

$$E_{cell}^0 = E_{cathode}^0 - E_{anode}^0 = (-2.71 \text{ V}) - (1.36 \text{ V}) = -4.07 \text{ V}$$

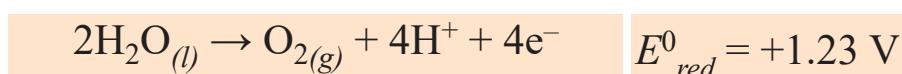
التحليل الكهربائي للماء

يمكن فصل الماء إلى غاز الهيدروجين والأكسجين باستخدام التحليل الكهربائي. وكما هي حال خلايا التحليل الكهربائي الأخرى، يُغمر كلا القطبين في خلية واحدة تحتوي على الماء. وبما أن الماء النقي ليس موصلاً جيداً للتيار الكهربائي، تضاف مادة إلكتروليتية إلى الماء. يتم اختيار المادة الإلكتروليتية لتوفير أيونات موجبة وأيونات سالبة. والمادة الإلكتروليتية الشائعة الاستخدام في هذه الخلايا هي حمض الكبريتيك (H_2SO_4).

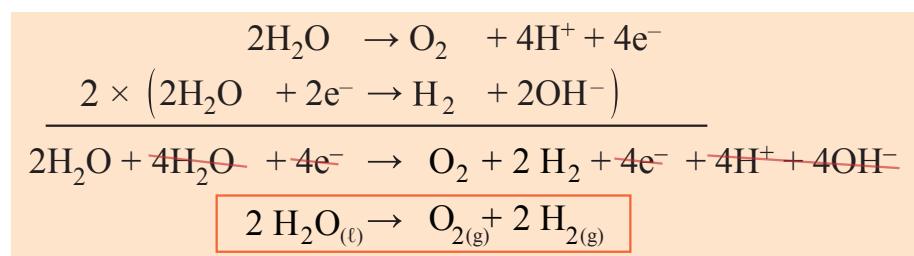


الشكل 18-4 التحليل الكهربائي للماء.

توضّح أنصاف التفاعلات الآتية أنّ الماء يتحلل عند الأنود، ليتّج أيونات الهيدروجين وغاز الأكسجين. كما يتحلل الماء عند الكاثود، مطلقاً غاز الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد (OH^-).



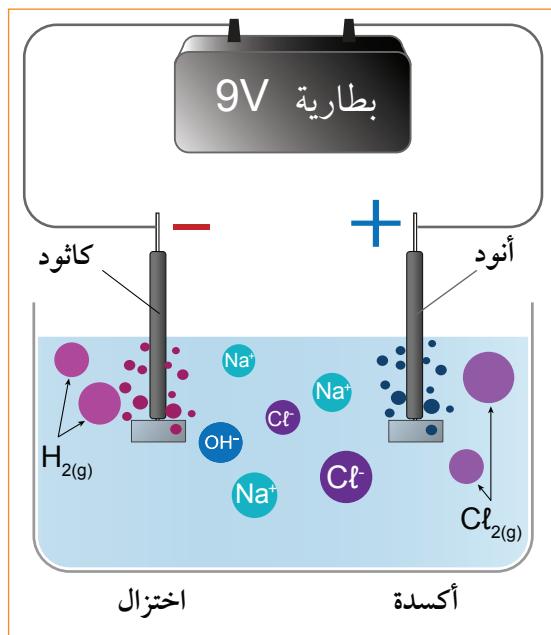
عند موازنة نصفي التفاعل وجمعهما، نحصل على التفاعل الكلي الموزون، الذي يمثّل بصورة عامة تحلل الماء، مع الإشارة إلى أن $4\text{OH}^- + 4\text{H}^+ = 4\text{H}_2\text{O}$.



وجهد الخلية الكليّ قيمة سالبة، الأمر الذي يعني أن هذه العملية غير تلقائية.

$$E_{cell}^0 = E_{cathode}^0 - E_{anode}^0 = (-0.83 \text{ V}) - (1.23 \text{ V}) = -2.06 \text{ V}$$

التحليل الكهربائي لمحاليل المركبات الأيونية



الشكل 19-4 التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم المائي.

يحتاج التحليل الكهربائي لمحاليل المائية الأيونية إلى مراعاة حدوث منافسة، عند كل قطب كهربائي بين أيونات المركب وجزيئات الماء. يمكن استخدام جهود الأكسدة والاختزال للتنبؤ: هل هو الأيون أم جزيء الماء الأسهل لتسهيل أكسدته أو اختزاله عند الكاثود والأنود.

مثال التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم المركب: يوضح (الشكل 19-4) التفاعلات التي تحدث في أثناء التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم. عند الكاثود السالب الشحنة يوجد تنافس على عملية الاختزال بين جزيئات الماء وأيونات الصوديوم. لكن عند الأنود الموجب الشحنة سنجد تنافساً على عملية التأكسد بين جزيئات الماء وأيونات الكلوريد. يبيّن الجدول 7-4 جهود أنصاف التفاعلات هذه.

الجدول 7-4 جهود أنصاف التفاعلات.

كاثود	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	$E_{red}^0 = -0.83 \text{ V}$
كاثود	$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$	$E_{red}^0 = -2.71 \text{ V}$
أنود	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$	$E_{red}^0 = 1.23 \text{ V}$
أنود	$2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$	$E_{red}^0 = 1.36 \text{ V}$

عند الكاثود، نلاحظ أن جهد اختزال جزيئات الماء أكبر من جهد اختزال أيونات Na^+ . لذلك، يتوقع أن تختزل جزيئات الماء بدلاً من أيونات الصوديوم. ونتيجة لذلك ينطلق غاز الهيدروجين وتتكون أيونات الهيدروكسيد السالبة عند الكاثود.

عند الأنود، يكون جهد إختزال الماء أقل من جهد إختزال Cl^- ، لذلك يتوقع أن تتأكسد جزيئات الماء عند الأنود وينطلق غاز الأكسجين، وتتكون أيونات الهيدروجين.

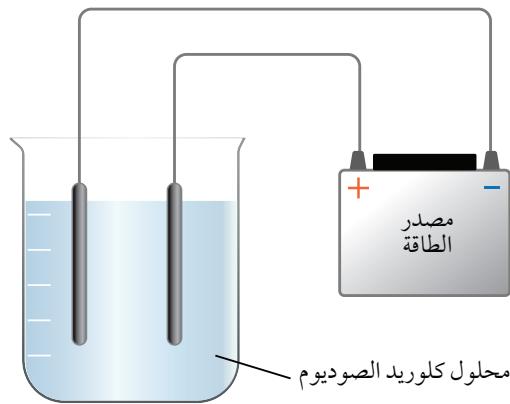
يبيّن (الشكل 19-4)، تأكسد أيونات الكلوريد وليس جزيئات الماء. إن التنبؤ بتتأكسد جزيئات الماء هو التنبؤ الكهروكيميائي الصحيح. ومع ذلك، فإن العوامل الحركية (مثل زيادة تركيز أيونات الكلوريد) تمنع أكسدة جزيئات الماء. وبما أن الفرق في الجهد صغير جداً، تتأكسد أيونات الكلوريد بدلاً من جزيئات الماء. يمكن تأكيد ذلك عملياً عن طريق وضع دليل للأحماض والقواعد في المحلول، حيث يصبح تأثير المحلول حول الكاثود قاعدياً، ولكن سيكون تأثير المحلول حول الأنود متعادلاً.



خلايا التحليل الكهربائي

b2-4

كيف يمكن بناء خلية تحليل كهربائي؟	سؤال الاستقصاء
كأس زجاجية، محلول NaCl ، فينولفتالين، حامل أقطاب، أقطاب كربون، ملقط فم التمساح، بطارية جهدتها الكهربائي 9V مع ملقط.	المواد المطلوبة



الجزء 1: بناء الخلية

1. املأ $\frac{3}{4}$ الكأس الزجاجية بمحلول NaCl المركز.
2. أضف 5 نقاط من دليل الفينولفتالين.
3. ثبت القطبين على الحامل، وضع الحامل على فوهة الكأس الزجاجية.
4. صل البطاريه بالقطبين مستخدماً ملقط فم التمساح.

الجزء 2: نصف التفاعل

المعطيات: يتم اختزال الماء بسهولة أكثر من أيونات الصوديوم، وسوف تتأكسد أيونات الكلوريد بدل جزيئات الماء.

1. اكتب نصفي التفاعل

نصف تفاعل الأكسدة	
نصف تفاعل الاختزال	

الأسئلة والتحليل

- عند أي من القطبين، الموجب أم السالب، ستلاحظ لوناً وردياً؟
- ما الذي سيتتج عند هذا القطب ويجعل المحلول وردي اللون؟
- ما الغاز الذي ستشم رائحته؟
- ما العنصر الذي سيتتج عند القطب الموجب؟
- ما العنصر الذي سيتتج عند القطب السالب؟
- حدد على الرسم الأنود والكافود.

قوانين فارادي وتفاعلات الأكسدة والاختزال

في العام 1834، أوجد العالم مايكيل فارادي قوانين توضح العلاقة بين كتل المواد الناتجة وكمية الشحنة التي تسرى خلال التحليل الكهربائي.

قانون فارادي الأول: تتناسب كتل المواد المتكوّنة عند أي قطب أثناء عملية التحليل الكهربائي تناصباً طردياً مع كمية الكهرباء المارة في الإلكتروليت.

قانون فارادي الثاني: عند مرور كمية معينة من الكهرباء في خلايا إلكتروليتية متصلة على التوالى، فإن كتل العناصر المتكوّنة عند مختلف الخلايا هي نسبة كتلتها المولية مقسومة على عدد الإلكترونات المكتسبة أو المفقودة لكل مول واحد.

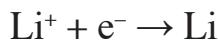
وتمثل المعادلتان 4-2 و4-3 ناتج بحث فارادي. وثابت فارادي، (F)، هو حاصل ضرب عدد أفوجادرو (N_A) في شحنة الإلكترون (e)، وهو يساوى 96485C لكل مول من الإلكترونات.

$$F = N_A \times e = (6.022141 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1})(1.602177 \times 10^{-19} \text{ C}) = 96485 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$$

كمية الكهرباء بوحدة الكولوم (C)	q	كمية الكهرباء	2.4
شدة التيار بوحدة الأمبير (A)	I		
زمن (s)	t	$q = I \times t$	
مولات المادة (mol)	n		قانون فارادي
ثابت فارادي (96485C/mol)	F		3.4
عدد الإلكترونات المتبادلة	z	$n = \frac{q}{Fz}$	

مثال 12

المسألة ينتج الليثيوم الفلزي في بطارية إلكتروليتية وفق المعادلة أدناه. ما كتلة الليثيوم التي يتتجها تيار شدّته 0.100A لمدة 8.00 hours ؟



الحل نطبق المعادلة 4-2 لنحدّد كمية الكهرباء

$$q = It = (0.100\text{A})(8.00\text{hr})(3600\text{s}) = 2880 \text{ C}$$

ثم نحدّد عدد مولات الليثيوم باستخدام المعادلة 4-3، ونحوّلها بعد ذلك إلى الجرام باستخدام الكتلة المولية لفلز الليثيوم (6.941g/mol) .

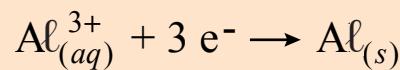
$$n = \frac{q}{Fz} = \frac{2880 \text{ C}}{(96485 \text{ C/mol})(1)} = 0.03 \text{ mol}$$

$$0.03 \text{ mol Li} \left(\frac{6.941 \text{ g Li}}{1 \text{ mol Li}} \right) = 0.208 \text{ g Li}$$

مثال 13

المسألة ما الزمن (بالثواني) اللازم لطلاء 0.405 g من الألومنيوم من محلول $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ باستخدام تيار كهربائي شدته 14.75 A .

الحل اكتب نصف تفاعل الاختزال لـأيون الألومنيوم.



ثم حدد عدد مولات Al باستخدام الكتلة المولية Al (26.982 g/mol)

$$\text{عدد مولات}(\text{Al}) = \frac{0.405\text{ g Al}}{26.982\text{ g Al}} \left(\frac{1\text{ mol Al}}{26.982\text{ g Al}} \right) = 0.015\text{ mol Al}$$

استخدم المعادلة 3-4، لحساب كمية الكهرباء. لاحظ أن هناك ثلاثة إلكترونات لازمة لاختزال أيون واحد من الألومنيوم Al^{3+} وبالتالي $z = 3$

$$n = \frac{q}{Fz} \rightarrow q = nFz = (0.015\text{ mol Al})(96,485\text{ C/mol})(3) = 4341.8\text{ C}$$

طبق المعادلة 4-2 لتحديد الزمن بالثواني.

$$q = It \rightarrow t = \frac{q}{I} = \left(\frac{4341.8\text{ C}}{14.75\text{ A}} \right) = 294.4\text{ s}$$

سؤال للمناقشة

التحليل الكهربائي في الصناعة

كيف يتم التحكم بعملية التحليل الكهربائي؟

يُستخدم الطلاء الكهربائي والتحليل الكهربائي

على نطاق واسع جدًا في العمليات الصناعية. كل ما تجده حولك من الألومنيوم تم تنشيطه باستخدام التحليل الكهربائي.

كل من طلاء الكروم اللامع على قطع غيار السيارات المصنوعة من الفولاذ والأجهزة المصنوعة من النحاس، تتم صناعته من خلال الطلاء الكهربائي.

يوضح الشكل (20-4) معملاً لل الطلاء الكهربائي، حيث يقوم الناقل بحمل العناصر الفلزية نحو محلول الطلاء الكهربائي.

يتحكم العامل في سمك طبقة الطلاء من خلال التحكم بشدة التيار والوقت الذي تكون فيه كل قطعة في محلول.



الشكل 20-4 عامل في معمل صناعي لل الطلاء الكهربائي.

1. عرّف كلاً من الأنود والكافود. 

2. ما الغرض من وجود القنطرة الملحيّة في الخلية الفولتية؟ 

3. ما اتجاه سير الإلكترونات عبر السلك الكهربائي في الخلية الفولتية؟ 

4. قارن النشاطية النسبية (جهد الاختزال) لأزواج الفلزات أدناه، باستخدام كل من سلسلة النشاط وجهود القطب القياسية. هل هناك توافق بين المصادرين؟

- a. الألومنيوم والنيكل.
- b. الذهب والفضة.
- c. الرصاص والقصدير.

5. احسب جهود الخلية القياسية لكلّ من التفاعلات الآتية مستعيناً بالجدول 4-6: 

$$\text{Mg}_{(s)} + \text{Sn}_{(aq)}^{2+} \rightarrow \text{Sn}_{(s)} + \text{Mg}_{(aq)}^{2+} \quad .a$$

$$\text{Mn}_{(s)} + \text{Cu}_{(aq)}^{2+} \rightarrow \text{Cu}_{(s)} + \text{Mn}_{(aq)}^{2+} \quad .b$$

$$\text{Cd}_{(s)} + 2\text{H}_{(aq)}^+ \rightarrow \text{H}_{2(g)} + \text{Cd}_{(aq)}^{2+} \quad .c$$

$$\text{Fe}_{(s)} + 2\text{Ag}_{(aq)}^+ \rightarrow 2\text{Ag}_{(s)} + \text{Fe}_{(aq)}^{2+} \quad .d$$

6. هل جهد الخلية الإلكترولية موجب أو سالب؟ ماذا يعني ذلك؟ 

7. إذا طلّيت قطعة من العملة بالذهب، فهل ستوصّل قطعة العملة بالقطب الموجب أم بالقطب السالب؟ 

8. إذا كان جسم ما سيعطى كهربائياً بالنحاس، فما الأيون الذي يجب أن يتوفّر في محلول؟ 

9. إذا تم تحليل مصهور CuCl_2 في خلية كهربائية، فما الذي سيتّجع عند الأنود؟ 

10. عند تحليل الماء في خلية للتخليل الكهربائي، ما الغاز الناتج بأكبر حجم؟ 

11. عند تمرير تيار كهربائي في محلول مركب أيوني ضمن خلية تحليل كهربائي، كيف تنبأ بالذى سوف يتآكسد أو يختزل: فهو أيون العنصر أم جزء الماء؟ 

12. كيف يتم حساب ثابت فارادي؟ 

13. عند التحليل الكهربائي لمصهور NaBr ، اكتب نصف التفاعل عند كل من الأنود والكافود. 

14. عند التحليل الكهربائي لمحلول KCl ، اكتب نصف التفاعل عند كل من الأنود والكافود. 

الدرس 3-4

الكيمياء الكهربائية في حياتنا



الشكل 21-4 بطارية أيون الليثيوم.

تُستخدم في الوقت الراهن بطارية أيون الليثيوم في الأجهزة الإلكترونية النقالة، كالهواتف الذكية النقالة، والأجهزة اللاسلكية، والسيارات الكهربائية. ذلك أن جهد الأكسدة المرتفع لليثيوم يجعله فعالاً للاستخدام في الخلايا. وتوجد إصدارات كثيرة مختلفة لهذا النوع من البطاريات تهدف إلى التقليل من التكلفة، والحصول على أقصى قدر من الطاقة، وتحسين شروط السلامة العامة، وتقليل المدة الزمنية للشحن، وإطالة المدة الزمنية للتشغيل.

فالليثيوم يمتلك كثافة منخفضة مما يعطيه أفضلية عن باقي البطاريات، من حيث الطاقة الأكبر والوزن الأقل. وفي أثناء دورتي الشحن والتفریغ لخلايا تلك البطاريات، تنتقل أيونات الليثيوم عبر الإلکترولیت (وهو محلول موصل للكهرباء) بين القطبين الأنود (المصعد) والكافود (المهبط). فأيونات الليثيوم يتم امتصاصها وإطلاقها بشكل متناوب على كل قطب. والميزة الأخرى لتلك البطاريات هي أن أيون الليثيوم يمتلك قابلية لإعادة شحنه بصورة مكرّرة أكثر من الأنواع الأخرى المستخدمة في البطاريات القابلة للشحن، من دون أن يؤدّي ذلك إلى تلف البطارия. ويرجح في الابتكارات المستقبلية جعل بطاريات أيون الليثيوم تمتلك طاقة أكثر، وتدوم مدة زمنية أطول.

مخرجات التعلم

C1104.5 يصف تفاعلات الأقطاب الكهربائية في عمليات التحليل الصناعية، مثل استخلاص الألمنيوم من مصهور أكسيد الألمنيوم المذاب في الكريوليت (Cryolite)، ويصف الطلاء الكهربائي بالفلزات واستخداماته.

C1105.5 يحدد أنصاف التفاعل للخلايا الكهربائية المستخدمة في الحياة اليومية، ويصف وظيفة (دور) خلية هيدروجين - أكسجين كخلية وقود.

C1105.6 يناقش قضية النفايات الإلكترونية، وال الحاجة إلى إعادة تدوير البطاريات القابلة لإعادة الشحن المستهلكة، مثل بطاريات أجهزة الكمبيوتر والهواتف النقالة.

المفردات



Fuel cells

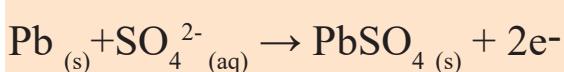
خلايا الوقود

E-waste

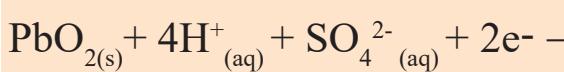
النفايات الإلكترونية

بطارия الرصاص الحمضية (المركم الرصاصي)

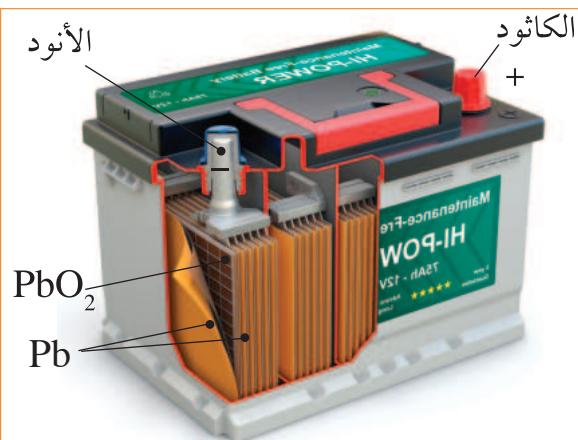
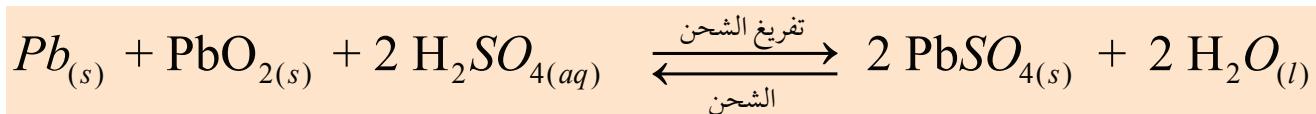
ذُكر سابقاً أن البطاريات مجموعة من الخلايا الفولتية؛ وأن من الصعب تخيل العيش من غير البطاريات في وقتنا الراهن. بطاريات السيارات مثلاً تعتبر الاستخدام الرئيسي لنوع من البطاريات هو بطارية الرصاص الحمضية. يتكون الأنود في كل خلية من هذه البطارية من شبكتين أو أكثر من الرصاص Pb. أما الكاثود فيتكون من شبكة واحدة مملوقة بأكسيد الرصاص الرباعي PbO_2 IV. كما يستخدم حمض الكبريتيك المخفف كإلكترووليت في هذه البطارية. وتمثل أنصاف التفاعلات الآتية نصف تفاعل الأكسدة للأنود ونصف تفاعل الاختزال للكاثود:



نصف تفاعل الأنود (الأكسدة)



نصف تفاعل الكاثود (الاختزال) لذا فإن معايرة التفاعل الكلي لبطاربة الرصاص الحمضية هي:



الشكل 22-4 بطارية الرصاص الحمضية المستخدمة في السيارة.

هذا التفاعل انعكاسي، يتيح للبطاربة أن يُعاد شحنها. أضف إلى ذلك أن التفاعل الأمامي يحدث بشكل تلقائي. هذا التفاعل هو الذي يُنتج الكهرباء، ويشار إليه باسم تفاعل تفريغ الشحن. وله جهد قياسي موجب يساوي 2.05V لكل خلية. بطاريات السيارات مثلاً تتكون من ست خلايا فولتية من تلك الخلايا الموصولة معاً على التوالي لرفع الجهد إلى ما يزيد على 12 volts. انظر (الشكل 22-4).

سؤال للمناقشة

ما عدد خلايا بطارية الرصاص الحمضية الموصولة على التوالي اللازمة لبطاربة قدرتها 100 v؟

يعاد شحن بطارية السيارة باستخدام التفاعل العكسي، وهذا التفاعل لا يحدث بشكل تلقائي، بل يتطلب تزويده بالطاقة الكهربائية. ويتم ذلك من خلال توصيل بطارية الرصاص الحمضية بمصدر تيار كهربائي جده أكبر بقليل من الجهد الذي تعطيه هذه البطاربة، فتنعكس التفاعلات السابقة عند الأقطاب، وتصبح خلية إلكترووليتية أثناء عملية الشحن.

وتجدر الإشارة إلى استخدام السيارات الهجينية (electric) والكهربائية (hybrid) بطاريات تختلف عن بطارية الرصاص الحمضية التقليدية لإنتاج القوة التي تلزمها. لذلك أصبحت تستخدم بطاريات أيونات الليثيوم، على الرغم من أنها غالبة الثمن، ولكنها أخف وزناً.

الخلايا القلوية

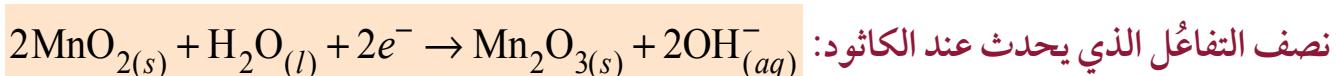
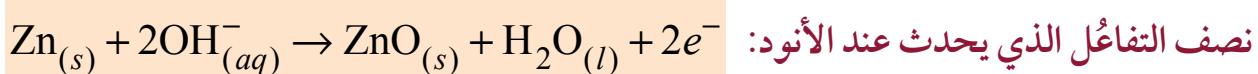


الشكل 4-23 خلايا قلوية جهدتها 1.5 فولت.

يطلق معظم الناس تسمية بطارية على أداة ليست بطارية بالمعنى التقني والفني؛ لأنها تتكون من خلية واحدة فقط. إن معظم تلك الخلايا الشائعة الانتشار يُشار إليها بالأحجام AAA، وA، وC، وD. تنتج الأحجام الكبيرة تياراً كهربائياً لمدة زمنية أطول؛ لأنها تحتوي على مواد كيميائية أكثر. غير أن الأحجام جميعها تُنتج الفولتية نفسها؛ لأنها تحتوي في داخلها على المواد الكيميائية نفسها.

ومن الجدير بالذكر أن معظم الخلايا الشائعة، التي لا يمكن إعادة شحنها، تُسمى خلايا قلوية، بالنظر إلى تكوينها الكيميائي الداخلي. ويشير مفهوم «قلوية» إلى المركبات التي تكون محاليل قاعدية. تحتوي الخلايا القلوية على فلز الخارصين المتكتل في مادة هلامية، حيث يكون متصلًا بهيدروكسيد البوتاسيوم المركّز، الذي يعتبر المادة القاعدية.

يُصنَع قطب الأنود من مسحوق فلز الخارصين، وهو متصل كهربائياً برأس البطارия المعدني. يزيد مسحوق فلز الخارصين من مساحة السطح، الأمر الذي يزيد سرعة التفاعل، ويحسن تدفق الإلكترونات. ويكون الكاثود مخلوط من ثاني أكسيد المanganيز وهيدروكسيد البوتاسيوم المركّز.



سؤال للمناقشة

ما المواد الكيميائية الموجودة في الخلايا القلوية، والتي يمكن استخلاصها وإعادة تدويرها؟ وكيف يمكن استخدام مثل تلك المواد فيها؟



الشكل 4-24 نفايات البطاريات

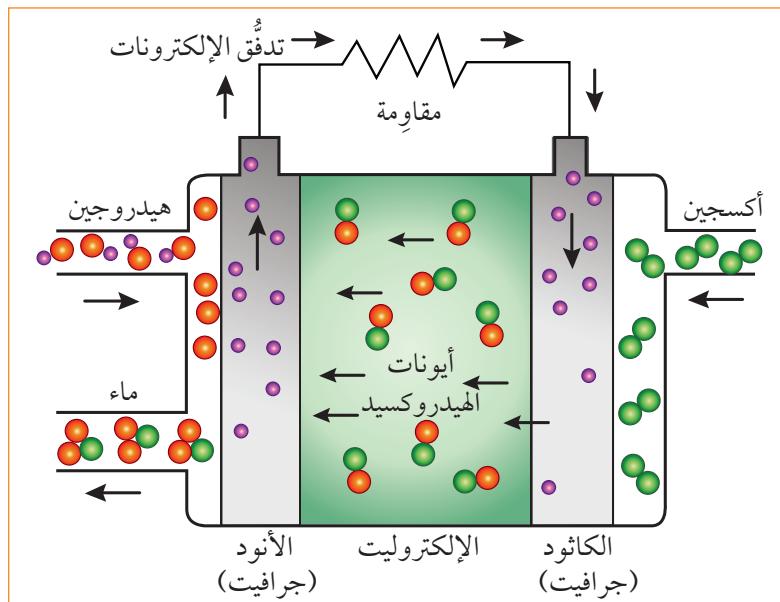
لما كانت الخلايا القلوية غير قابلة لإعادة الشحن، فهي تُستخدم لمرة واحدة ثم تلقى في النفايات. ويوجد في كل أنحاء العالم، ما يزيد على 10 بلايين خلية قلوية يتم إنتاجها والتخلص منها كل عام. في الماضي، كان التخلص من تلك الخلايا القلوية يتمّ برميها في النفايات، أما الآن فقد بدأت دول كثيرة بإنشاء محطّات لإعادة تدوير تلك البطاريات، تلقى فيها البطاريات من دون تحمل المستهلك أي تكالفة ماديّة إضافية.

خلايا الوقود

تستخدم **خلايا الوقود Fuel cells** مصدر وقود مستمر لإنتاج الكهرباء عبر تفاعل الأكسدة والاختزال. وبما أن تلك البطاريات ليست نظاماً قائماً بذاته، فلا يمكن تصنيفها بأنها خلايا فولتية، أو خلايا إلكتروليتية.

خلايا الوقود: هي خلايا تُنتج الكهرباء من مصدر وقود مستمر.

توجد أنواع كثيرة من خلايا الوقود. فخلايا الوقود الهيدروجينية، مثلاً، يتم تزويدها بغاز الهيدروجين بوصفه وقوداً لهذه الخلية. يوضح (الشكل 4-25) خلية وقود هيدروجينية قلوية يتفاعل فيها غاز الهيدروجين مع غاز الأكسجين النقي. وفي بعض خلايا الهيدروجين، يمكن أن يكون الهواء هو مصدر الأكسجين اللازم لتفاعل. أما الإلكتROLيت في هذه الخلية فهو محلول قلوي من هيدروكسيد البوتاسيوم KOH.



الشكل 4-25 خلية وقود هيدروجين قلوية.

ففي خلية وقود الهيدروجين القلوية، يتفاعل غاز الهيدروجين مع أيونات الهيدروكسيد الموجودة على قطب الأنود، لإنتاج الماء والإلكترونات.

تدفق الإلكترونات عبر المقاومة بوصفها تياراً كهربائياً قابلاً للاستخدام. يجري عند قطب الكاثود، إنتاج أيونات الهيدروكسيد لتنقل عبر الإلكتROLيت عائدة إلى قطب الأنود لإكمال الدائرة الكهربائية.

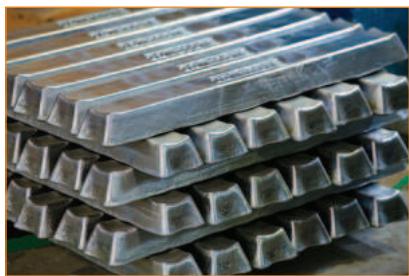
يوضح الشكل المجاور نصفاً التفاعل والتفاعل الكلي لخلية وقود الهيدروجين القلوية:

وقد استُخدمت خلايا الوقود في أنواع كثيرة من الأنظمة والمركبات بما فيها الأقمار الصناعية، والباصات، والسيارات الهجينة والمركبات الفضائية حيث تعتبر مصدراً لمياه الشرب لرواد الفضاء. وتعتبر هذه البطاريات صديقة للبيئة لأنها لا تنتج ملوثات ضارة بالبيئة. انظر (الشكل 4-26).



الشكل 4-26 خلية وقود في السيارة.

استخلاص الألومنيوم

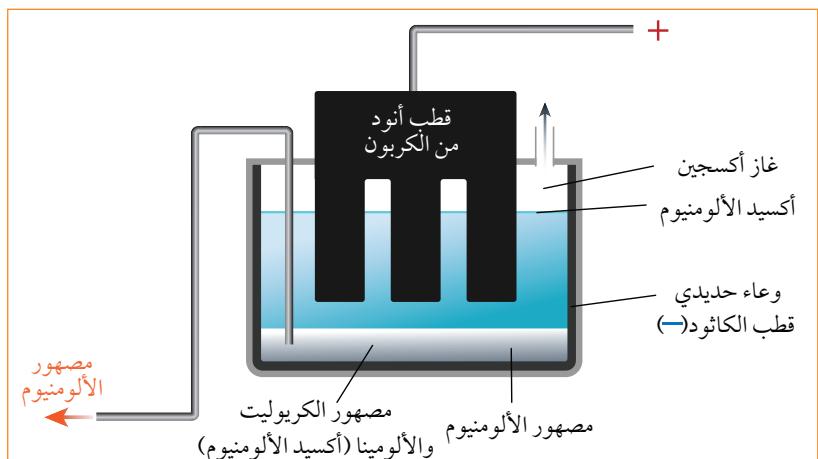


الشكل 27-4 سبائك الألومنيوم.

يتوارد فلز الألومنيوم بوفرة في القشرة الأرضية، ولكنه عنصر نشط كيميائياً، ولا يوجد بشكل طبيعي في صورة نقية. لذا يتم استخلاصه من خامات الألومنيوم مثل البوكسيت (Bauxite). قبل العام 1888م، كانت عملية استخلاص الألومنيوم من خام البوكسيت مكلفة جداً، فقد كانت تكلفة استخلاص كيلوجرام واحد من الألومنيوم النقي تساوي 128000 ريال قطري، أي إن الألومنيوم كان ثميناً مثل الذهب!

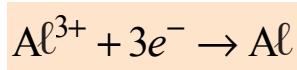
وَفَرَّ لنا ابتكار عملية التحليل الكهربائي عام 1888م طريقة فعالة وغير مكلفة لتنقية فلز الألومنيوم من خام البوكسيت وخاماته الأخرى. ففي العام 2019م أصبحت تكلفة إنتاج كيلوجرام واحد من فلز

الألومنيوم النقي تساوي 4 ريالات قطرية فقط. ويعُدّ مصنع ألومينيوم قطر (Qatalum) لصهر الألومنيوم، الذي أنشئ في مدينة مسيعيد الصناعية، أكبر مرحلة أولية صديقة للبيئة لصهر الألومنيوم تم بناؤها على الإطلاق. يتكون المصنع من مصهر، ومسبك، ومصنع للكربون، بالإضافة إلى محطة توليد للكهرباء تعمل بالغاز قدرتها تساوي 1,350 Mwatt تقريباً.

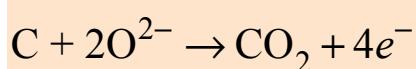


الشكل 28-4 التحليل الكهربائي لإنتاج فلز الألومنيوم.

يحدث اختزال لأيونات الألومنيوم عند قطب الكاثود، تفاعل أيونات الأكسيد مع قطب الأنود المكون من الكربون:

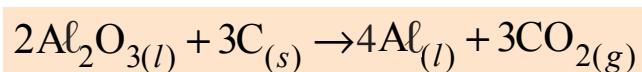


التفاعل الذي يحدث عند الكاثود:



التفاعل الذي يحدث عند الأنود:

ويوجد عملية هال-هيروليت (Hall-Héroult)، تتم معالجة خام البوكسيت لتحويله إلى أكسيد الألومنيوم (Al_2O_3)، ثم يُصهر أكسيد الألومنيوم مع الكريوليت الصناعي (الكريوليت Na_3AlF_6) يستخدم لخفض درجة انصهار الخليط)، يوضع بعد ذلك في خلية تحليل كهربائية صناعية. ويكون تفاعل الأكسدة والاختزال الذي يحدث في هذه الخلية على النحو الآتي:



النفايات الإلكترونية

يشير مصطلح **النفايات الإلكترونية E-waste** إلى الهاتف النقالة، وأجهزة الكمبيوتر الشخصية واللوحية، وأجهزة التلفاز، والكثير من الأجهزة الإلكترونية التي يتم التخلص منها.

النفايات الإلكترونية: هي الأجهزة الإلكترونية التي يتم التخلص منها.



الشكل 29-4 نفايات إلكترونية.

يتهمي المطاف بمعظم النفايات الإلكترونية في مكبات النفايات والمحارق؛ وهي غير قابلة للتتحلل، وغير قابلة للاحتراق، وغير قابلة لتقليل الحجم، ما يعني أن تلك النفايات الإلكترونية تشغل حيزاً كبيراً في مكبات النفايات.

يسهم كل ذلك في نشوء مخاوف كبيرة على الصحة العامة وتلوث المياه الجوفية، صعب إيجاد مكبات نفايات جديدة ذات مساحة متزايدة. ذلك لأن قلة من المجتمعات مستعدة لتقبيل وجود مكبات نفايات جديدة داخلها.

وتدرس الأمم المتحدة الكمية المقدّرة من النفايات الإلكترونية التي تبلغ 38 مليون طن متري والتي تم التخلص منها عام 2014م؛ ذلك أن معظمها تم التخلص منه بعمليات غير آمنة، على الرغم من القوانين التي تنظم تلك العمليات وتحكمها. فضلاً عن ذلك، فإن الكمية السنوية من تلك النفايات الإلكترونية تزداد ازدياداً كبيراً ومطرداً.



الشكل 30-4 النفايات الإلكترونية مشكلة متزايدة.

تحتوي النفايات الإلكترونية على مواد سامة، مثل الكادميوم، والرصاص، والزئبق (التي تسبب ارتفاعاً في مستويات الكوليستيول في الدم، ما ينجم عنه زيادة مخاطر الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية والسكريات الدماغية)، ومركبات ثنائية الفينيل عديدة الكلور. تأتي بعض هذه المواد من بطاريات الأجهزة التي تم التخلص منها. وهذه المواد يمكن أن تنفذ إلى المياه الجوفية، أو تتبّع إلى الغلاف الجوي من محارق النفايات.

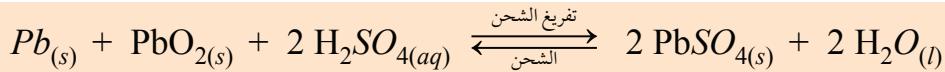
وما دامت الكمية السنوية للنفايات الإلكترونية في ازدياد مستمر، فقد أصبحت الحاجة إلى عملية إعادة التدوير أكثر أهمية من ذي قبل، حيث يمكن أن تُستخلص من تلك النفايات الإلكترونية فلزّات نفيسة، مثل الذهب، والفضة، والنحاس. ولكن برزت مشكلة واحدة لعملية إعادة تدوير النفايات الإلكترونية، هي أن الأجهزة الإلكترونية لم تُصنَّع بطريقة تجعل استخلاص المواد النفيسة منها عملية سهلة.

سؤال للمناقشة

ما هي الأمور التي يجب أخذها في الحسبان عند تصميم الأجهزة الإلكترونية، وجعل من إعادة تدوير المواد من النفايات الإلكترونية عملية أسهل؟

تقويم الدرس 3-4

1. أُعطيت المعادلة الآتية، التي تمثل التفاعل الانعكاسي الذي يحدث في بطارية الرصاص الحمضية:



a. اكتب حالات التأكُّد لكل عنصر.

b. اكتب نصف تفاعل الأكسدة، ونصف تفاعل الاختزال، مع كتابة اسم التفاعل إلى جانب كل نصف.

c. وازن نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال، واجمعهما لتحصل على المعادلة الأيونية الكلية الموزونة.

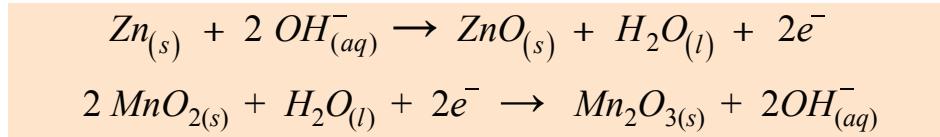
d. حدد العنصر الذي يفقد الإلكترونات، والعنصر الذي يكتسبها.

e. حدد المادة التي يتكون منها قطب الأنود، والمادة التي يتكون منها قطب الكاثود.

f. حدد المادة التي تكون عند القطب الموجب، والمادة التي تكون عند القطب السالب.

2. ما المشكلة التي يمكن أن تحدث عند وجود كمية غير ملائمة من الماء في بطارية الرصاص الحمضية؟

3. أُعطيت نصفي التفاعل للخلايا القلوية على النحو الآتي:



a. اكتب حالات التأكُّد لكل عنصر.

b. حدد أي من نصفي التفاعل السابقين يمثل نصف تفاعل أكسدة وأيها يمثل نصف تفاعل اختزال؟

c. وازن نصفي التفاعل، واجمعهما لتحصل على المعادلة الأيونية الكلية الموزونة.

d. حدد العنصر الذي يفقد الإلكترونات، والعنصر الذي يكتسبها.

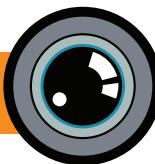
e. حدد المادة التي تكون عند قطب الأنود، والمادة التي تكون عند قطب الكاثود.

f. حدد المادة التي تكون عند القطب الموجب، والمادة التي تكون عند القطب السالب.

4. ما المواد التي تنتج في خلية وقود الهيدروجين القلوية؟

5. ما اسم العملية الكيميائية التي جعلت من إنتاج فلز الألومنيوم عملية غير مكلفة أبداً؟

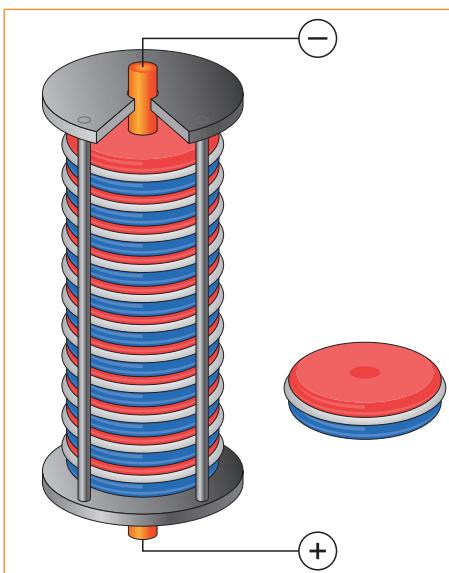
6. عدّ ثلاثة أمثلة على مواد يمكن إعادة تدويرها من النفايات الإلكترونية.



أليساندرو فولتا



الشكل 4-31 أليساندرو فولتا.



الشكل 4-32 عمود فولتا.

على الرغم من تشجيع عائلته له كي يصبح محامياً، كان أليساندرو فولتا (1745-1827) مفتوناً بالكهرباء، في حقبة لم يكن يعرف فيها عن الكهرباء إلا القليل. وكانت طرق إنتاج الكهرباء وتخزينها محدودة للغاية. وهذا ما جعل دراسة الكهرباء وآثارها صعبة للغاية.

قام فولتا بدراسة تجربة لوبيجي جالفاني التي نتجت منها حركة ساقٍ الضفدع بواسطة الكهرباء، عندما لمسهما بمعدنين مختلفين. في ذلك الوقت اعتقد جالفاني أن الكهرباء قد نتجت من عضلات أرجل الضفدع. حتى أنه أعطى اسمًا لهذا النوع من الكهرباء، هو «كهرباء الحيوان». لم يكن فولتا مقتنعاً بهذا التفسير. كما أنه لم يكن يعتقد أن عضلات الضفدع كانت مصدر الكهرباء. لذلك اشتبه بأن السائل في ساقٍ الضفدع كان مصدر الكهرباء، وقد اكتشافاً رائعاً.

ولكي يثبت أن الأجزاء الحيوانية لم تكن ضرورية لإنتاج الكهرباء، بنى فولتا قنطرة من أقراص الزنك وأقراص الفضة بالتناوب تفصل بينهما قطعة قماش مشبعة بالماء المالح. وعندما وصل نهايات القنطرة بسلك، تدفق تيار كهربائي بصورة مستمرة. وكانت تلك أول بطارية تم صنعها على الإطلاق. وأصبحت تسمى اليوم «عمود فولتا».

و جاءت تسمية وحدة الجهد الكهربائي (بالفولت) تخليداً لفولتا.

ألهם عمل فولتا وبطاريته علماء آخرين للبحث في الكهرباء وعلاقتها بالكيمياء. وكان أحد هؤلاء العلماء السير همפרי ديفي (1778-1829) الذي وضع المبادئ الأساسية للتحليل الكهربائي واستخدام البطاريات لفصل العديد من العناصر الشديدة التفاعل، بما في ذلك الصوديوم والبوتاسيوم.

الوحدة 4

مراجعة الوحدة

الدرس 4-1: تفاعلات الأكسدة والاختزال

- تتضمن **تفاعلات الأكسدة والاختزال Redox reactions** انتقال الإلكترونات.
- الأكسدة Oxidation** هي فقدان الإلكترونات، **والاختزال Reduction** هو اكتساب الإلكترونات في تفاعل الأكسدة والاختزال.
- العوامل المؤكسدة Oxidizing agent** هي المواد الكيميائية التي تسبب الأكسدة، **والعوامل المختزلة Reducing agent** هي المواد الكيميائية التي تسبب الاختزال.
- هناك سبع قواعد لتعيين حالات التأكسد.
- عند موازنة أنصاف التفاعل، يكون عدد الإلكترونات المفقودة مماثلاً لعدد الإلكترونات المكتسبة.
- سلسلة النشاط الكيميائي Activity series** لمجموعة عناصر، هي قائمة تسلسل العناصر حسب نشاطها الكيميائي.
- يمكن التنبؤ بتلقائية حدوث تفاعل الأكسدة والاختزال باستخدام سلسلة النشاط الكيميائي.

الدرس 4-2: الخلايا الكهروكيميائية

- تستخدم **الخلية الفولتية Voltaic cell** تفاعلات الأكسدة والاختزال التلقائية لإنتاج الكهرباء.
- الأنود Anode** هو القطب الذي تحدث عنده عملية الأكسدة **والكاثود Cathode** هو القطب الذي تحدث عنده عملية الاختزال.
- تعمل **القنطرة الملحية Salt bridge** على غلق الدائرة الكهربائية وكذلك السماح للأيونات في محلول الخلية أن تتحرّك خلاله، مما يمنع الشحنة من التجمع على القطبين.
- تُستخدم الأقطاب لتوقع قيم **جهد الخلية Cell potential**.
- تُستخدم **الخلايا الإلكترولية Electrolytic cells** الكهرباء لدفع تفاعلات الأكسدة والاختزال غير التلقائية إلى الحدوث من خلال عملية **التحليل الكهربائي Electrolysis**.
- تعمل مسائل الحسابات الكيميائية لتفاعلات الأكسدة والاختزال على ربط عدد مولات الإلكترونات مع التيار الكهربائي من خلال ثابت فارادي ومقداره 96485 C/mol .

الدرس 4-3: الكيمياء الكهربائية في حياتنا

- للحلايا الفولتية والإلكترولية مجموعة متنوعة من التطبيقات الشائعة، مثل البطاريات.
- تستخدم **خلايا الوقود Fuel cell** إمدادات مستمرة من الوقود لإنتاج الكهرباء.
- يستخلص عنصر الألومنيوم عن طريق التحليل الكهربائي.
- النفايات الإلكترونية Electronic waste** هي مُعدّات إلكترونية مستهلكة.

اختيار من متعدد

1. ما حالة تأكسد الذهب في AuCl 

- +1 .a
- +3 .b
- 1 .c
- 3 .d

2. ما حالة تأكسد الكلور في NaClO 

- +1 .a
- +3 .b
- 1 .c
- 3 .d

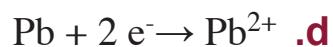
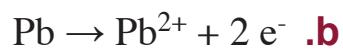
3. ما حالة تأكسد الكلور في $\text{Ca(ClO}_3\text{)}_2$ 

- +1 .a
- +3 .b
- +5 .c
- 1 .d

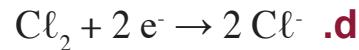
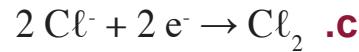
4. ما حالة تأكسد المنجنيز في MnO_4^- 

- +2 .a
- +4 .b
- +6 .c
- +7 .d

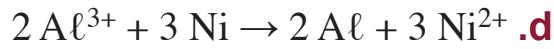
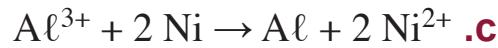
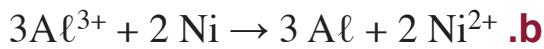
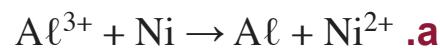
5. أي مما يأتي يمثل نصف تفاعل اختزال مكتوبًا بشكل صحيح؟ 



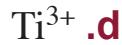
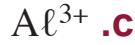
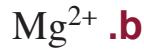
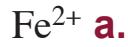
6. أي مما يأتي يمثل نصف تفاعل أكسدة مكتوبًا بشكل صحيح؟ 



7. أي مما يأتي يمثل معادلة أيونية نهائية موزونة بشكل صحيح؟ 



8. أي مما يأتي سيتفاعل مع عنصر الخارصين؟ 



9. ما جهد الخلية للتفاعل الآتي؟ 



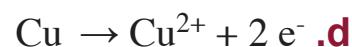
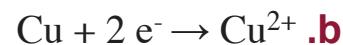
-2.30 v .a

+2.30 v .b

- 0.70 v .c

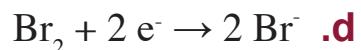
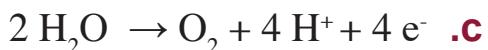
+0.70 v .d

10. ما نصف التفاعل الذي يحدث عند القطب السالب، لدى طلاء جسم بالنحاس كهربائيًا؟ 



تقويم الوحدة

11. ما نصف التفاعل الذي يحدث عند الكاثود في خلية التحليل الكهربائي لتفكك مصهور MgBr_2 



12. أي مما يأتي يعادل الأمبير (A) 

(1 C) · (1 s) .a

(1 C) / (1 s) .b

(1 s) · (1 C) .c

(1 s) / (1 C) .d

13. أي مما يأتي ليس مثلاً على النفايات الإلكترونية المستهلكة؟ 

.a. الهاتف المحمول.

.b. طباعة الحاسوب.

.c. موز متغصن.

.d. مُشغل الموسيقى الرقمية.

الدرس 1-4: تفاعلات الأكسدة والاختزال

14. اكتب نصف تفاعل أكسدة $\text{Fe}^{3+}_{(aq)}$ إلى $\text{Fe}^{2+}_{(aq)}$ 

15. اكتب نصف تفاعل اختزال $\text{F}^-_{(aq)}$ إلى $\text{F}_{2(g)}$ 

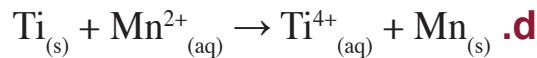
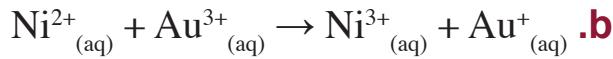
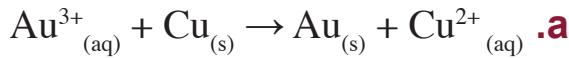
16. عِّين حالات تأكسد لكل عنصر في NaBrO_3 . 

17. ما عدد تأكسد اليود في IO_2^- ? 

18. ما عدد تأكسد الأكسجين في O_2F_2 ? 

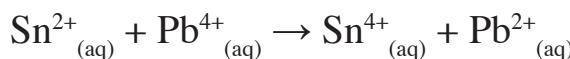
19. ما عدد تأكسد الهيدروجين في CaH_2 ? 

20. اكتب معادلتي نصفية التفاعل للمعادلات الآتية، ثم اوزن كل منها واجمعها:

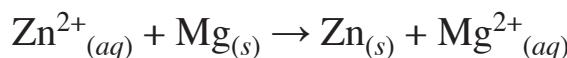


21. ما العنصر الذي تأكسد في التفاعل الآتي:

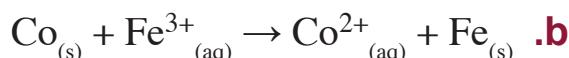
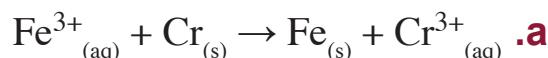
22. ما المادة التي اخترلت في التفاعل الآتي؟



23. ما العامل المختزل في التفاعل الآتي؟

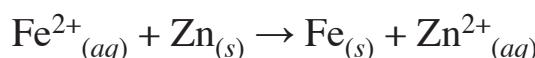


24. هل هذان التفاعلان تلقائيان؟

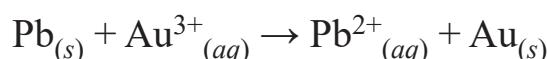


الدرس 4-4: الخلايا الكهروكيميائية

25. ما الأنود في الخلية الفولتية في التفاعل الآتي؟



26. ما الجهد القياسي للخلية الممثلة في التفاعل الآتي:



27. ما العملية التي تحدث دائماً عند الكاثود؟

28. ارسم خلية فولتية لتفاعل الآتي:

a. ضع أسماء الأنود والكاثود على الرسم.

b. بين القطبين الموجب والسلبي.

c. حدد شحنة الأيونات التي تخرج من كل طرف من طرفي القنطرة الملحيّة.

d. بين اتجاه تدفق الإلكترونات.

e. احسب جهد الخلية القياسي.

تقويم الوحدة

29. إذا أردنا طلاء جسم كهربائياً بالكروم، فهل سيكون الجسم موصولاً بالكافود؟ فسر إجابتك.

30. ارسم خلية من شأنها أن تطلي قطعة من الحديد كهربائياً بالفضة.

a. اكتب نصفي التفاعلات التي تحدث عند كل قطب.
b. حدد القطبين الموجب والسلب.
c. حدد الأنود والكافود.
d. بيّن اتجاه تدفق الإلكترونات.

31. في عملية التحليل الكهربائي لمصهور $ZnCl_2$ ، ما المادة الناتجة عند القطب السالب؟

32. ارسم خلية للتحليل الكهربائي لمصهور LiI .

a. اكتب نصفي التفاعل اللذين يحدثان عند كل قطب.
b. حدد القطبين الموجب والسلب.
c. حدد الأنود والكافود.
d. بيّن اتجاه تدفق الإلكترونات.

33. ما الغاز الناتج عند الأنود في أثناء التحليل الكهربائي للماء؟

34. بالنظر إلى أن الماء يتم اختزاله بسهولة أكثر من أيونات البوتاسيوم، وأن أيونات البروميد تتّم أكسدتها بسهولة أكثر من الماء، ارسم خلية تحليل كهربائي لمحلول KBr المائي.

a. اكتب نصفي التفاعل اللذين يحدثان عند كل قطب.
b. حدد القطبين الموجب والسلب.
c. حدد الأنود والكافود.
d. بيّن اتجاه تدفق الإلكترونات.

35. احسب كتلة النحاس التي يمكن الطلاء بها كهربائياً من محلول $CuSO_4$ ، إذا كانت شدة التيار $2.00\ A$ لمدة ساعتين و 15 دقيقة بالضبط.

36. احسب شدة التيار اللازم لطلاء $1.10\ g$ من الفضة من محلول $AgNO_3$ خلال مدة $355\ s$.

الدرس 4-3: الكيمياء الكهربائية في حياتنا

37. زن نصفٍ تفاعل خلية وقود الهيدروجين القلوية، واجمعهما.

38. شُكّل مجموعه نقاش، واطلب إليها تحديد الأسباب التي تجعل شخصاً يتخلص من جهاز إلكتروني لكونه مكسوراً، وناقش معهم السبل الصحيحة للتخلص من هذه الأجهزة وأهمية ذلك على البيئة.

39. اصنع ملصقاً يعالج بعض اعتبارات التصميم التي من شأنها تسهيل إعادة تدوير المعدّات الإلكترونية.

40. ابحث في السعر الحالي للذهب. إذا كان هناك 0.034 g من الذهب في كل هاتف خلوي، فكم عدد الهواتف المحمولة التي يجب إعادة تدويرها لتحصل على 1,000,000 ريال قطري من الذهب؟





الوحدة 5

الكيمياء العضوية

في هذه الوحدة

C1106

الدرس 1-5: الهيدروكربونات

الدرس 2-5: المركبات العضوية الأخرى

الدرس 3-5: التفاعلات العضوية

مقدمة الوحدة

الكيمياء العضوية هي دراسة للمركبات التي تحتوي على الكربون. تتيح الخواص الكيميائية الفريدة من نوعها لعنصر الكربون، وخلافاً لبقية العناصر، أن يكون تراكيب معقّدة تتضمّن أشكالاً في هيئة سلاسل طويلة أو حلقة، وفي هيئة أشكال كروية، وأخرى في هيئة أنابيب، فضلاً عن أشكال في هيئة صفائح مسطحة.

يصف الدرس الأول تركيب الهيدروكربونات وقواعد تسميتها النظامية (IUPAC)، التي تؤسّس لفهمنا تركيب الأنواع الأخرى من المركبات العضوية وطرق تسميتها النظامية.

ويصف الدرس الثاني مركبات عضوية أخرى تحتوي على مجموعات وظيفية مكوّنة من ذرة أو مجموعة ذرات (غير الكربون والهيدروجين) مسؤولة عن الخصائص النوعية للمركب العضوي.

أما الدرس الثالث، فيصف بعض الأنواع الشائعة للتفاعلات العضوية.

الأنشطة والتجارب

1-5 بناء نماذج للجزئيات الهيدروكربونية

a2-5 التمييز بين الألدهيدات والكيتونات

b2-5 بناء نماذج لجزئيات عضوية

a3-5 التمييز بين الكحولات

b3-5 تحضير الإسترات

الدرس 1-5

الهيدروكربونات



الشكل 1-5 استخدامات الهيدروكربونات كوقود.

يستطيع الهيدروجين تكون رابطة واحدة فقط، ولكنه يعُدُّ العنصر الأكثر وفرة في الكون. وُيعد الكربون العنصر الرابع من حيث الوفرة في الكون، فثلاث ذرّات من كل أربع موجودة في جسمك (75%) هي كربون أو هيدروجين. وعندما يجتمع الكربون والهيدروجين معًا يكونان تنوّعاً هائلاً من المركبات، ابتداءً من السلسل الطويلة، وانتهاءً بالمركبات ذات الحلقات المتعدّدة.

تتضمن الهيدروكربونات الكربون والهيدروجين فقط. ومع ذلك يمكن أن تكون تلك المركبات مُعقدة. وتدرج الهيدروكربونات ضمن المركبات المفيدة للغاية! ذلك أن معظم الطاقة الناتجة والمستخدمة في العالم اليوم مصدرها المركبات الهيدروكربونية؛ فمشتقات البترول التي تُستخدم في أنواع السيارات المختلفة، والغاز المستخدم في الأفران، كلاهما هيدروكربونات الشكل 1-5.

ستتعرّف في هذا الدرس على أنواع المركبات الهيدروكربونية المحتملة. بالإضافة إلى قواعد التسمية النظامية لهذه المركبات التي تُستخدم أيضًا لتسمية مليارات المركبات الأخرى.

المفردات



Hydrocarbons	هيدروكربونات
Aromatic	أروماتي
Aliphatic	أليفاتي
Saturated	مشبع
Unsaturated	غير مشبع
Functional groups	مجموعات وظيفية
Alkanes	ألكانات
Alkyl functional groups (R)	مجموعات الألكيل الوظيفية (R)
Skeletal formula	صيغة هيكلية
Alkenes	ألكينات

مخرجات التّعلم

C1106.1 (الجزء 1) يفسر ويستخدم التسميات النظامية والصيغ الجزيئية والبنائية لفئات المركبات الآتية:

- الألكانات والألكينات

جزئيات الهيدروكربونات

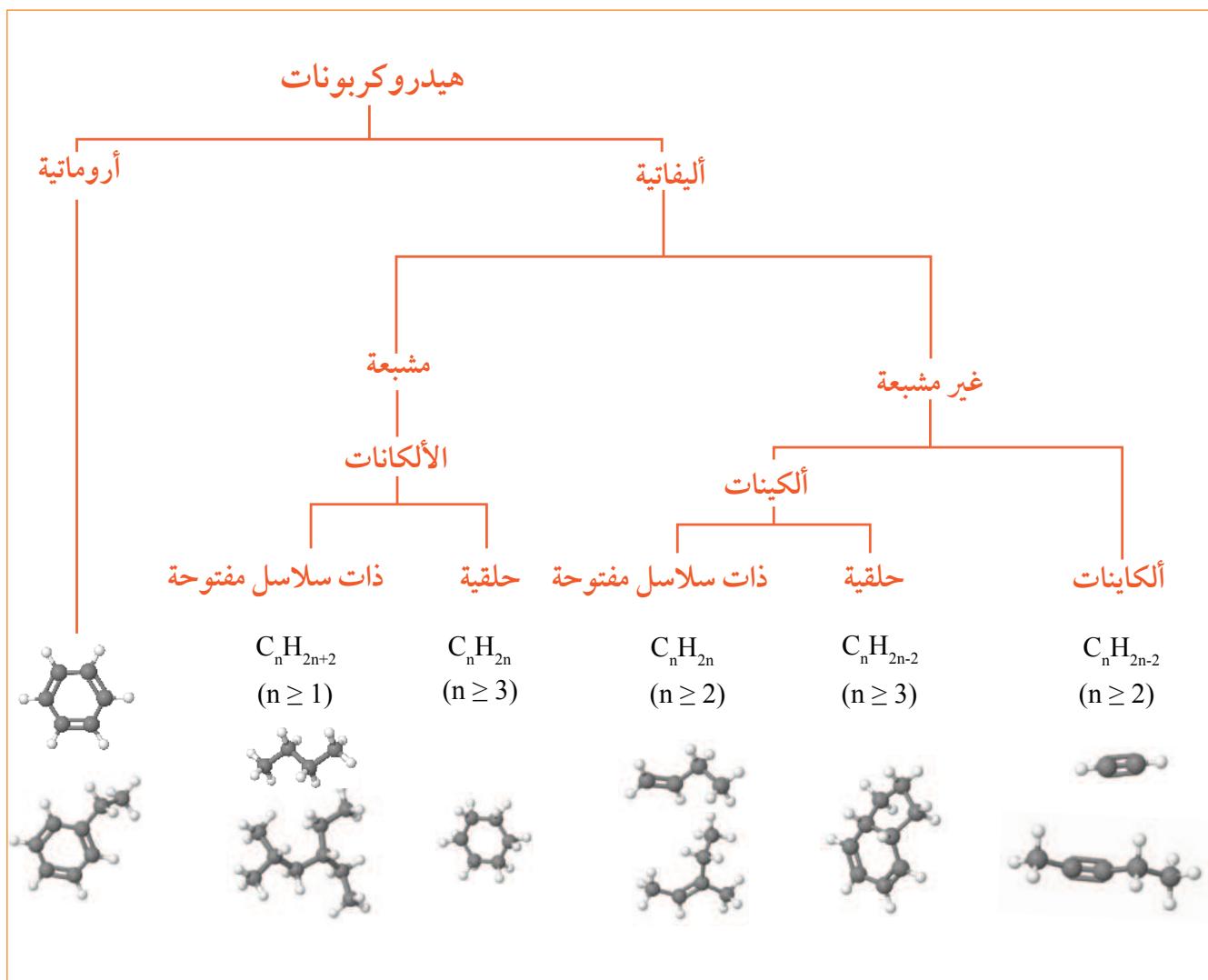
تعدّ **الهيدروكربونات Hydrocarbons** أبسط الجُزئيات العضوية، وهي تحتوي على الكربون والهيدروجين فقط وترتبط بروابط تساهمية. وعلى الرغم من أن الهيدروكربونات تحتوي على عنصرين فقط، إلا أنها تكون أنواعاً كثيرة من الجُزئيات، ولها جوانب استخدامات متعدّدة مثل:

- **المُركّبات البيولوجية** جميعها تمتلك أجزاءً هيدروكربونية.

- الزيوت والغاز الطبيعي ومشتقاتهما كلّها، هي في الأساس هيدروكربونات.

- الأصباغ والنكهات والمُركّبات العطرية، تمتلك تراكيب هيدروكربونية.

يوضح الشكل 5-2 مخطط يُبيّن الأنواع المختلفة من المركبات الهيدروكربونية. حيث تنقسم إلى **المركبات الأُروماتية Aromatic Compounds** وهي مركبات حلقة تحتوي على حلقة بنزين واحدة، أو عدة حلقات، في حين تتضمّن **المركبات الأليفاتية Aliphatic Compounds** سلاسل مستقيمة، وأخرى متفرّعة. سوف نناقش في هذا الدرس المركبات الأليفاتية.

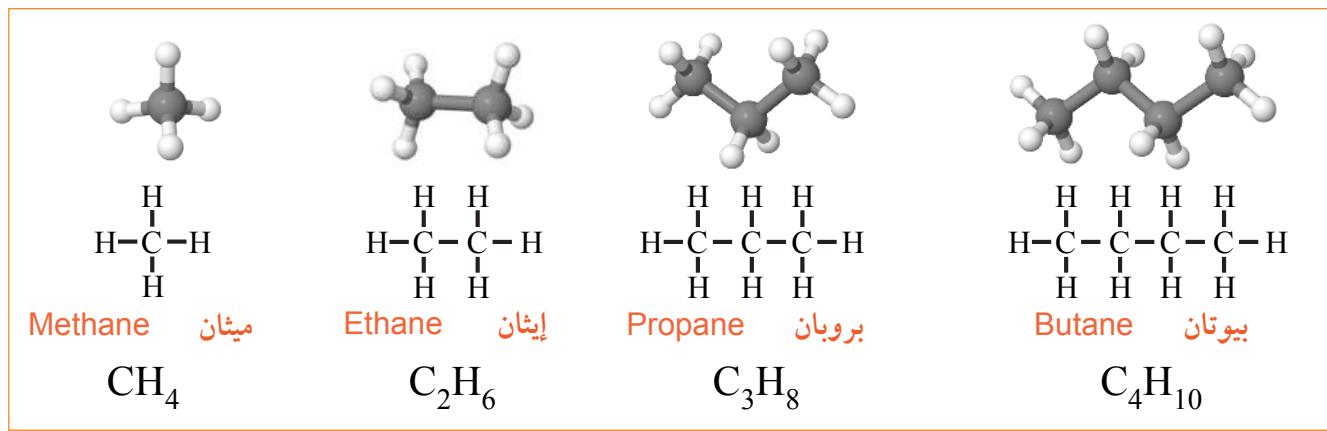


الشكل 5-2 تصنيف الهيدروكربونات.

الألكانات

يمثل كل من الميثان، والإيثان، والبروبان، والبيوتان، أول أربع هيدروكربونات بسيطة، انظر (الشكل 3-5). وهذه الجزيئات مشبعة **Saturated**، الأمر الذي يعني أنها تحتوي على روابط تساهمية أحادية فقط بين كل ذرّتي كربون. تعرف مجموعة الهيدروكربونات المشبعة باسم **الألكانات**، والأمثلة الأربع المذكورة هي الألكانات التي تُستخدم كوقود في حياتنا اليومية.

الصيغة الجُزئية العامة لجميع الألكانات مفتوحة السلسلة هي: C_nH_{2n+2} .



الشكل 3-5 أول أربع هيدروكربونات بسيطة.

الألكانات هي هيدروكربونات مشبعة صيغتها الجُزئية العامة C_nH_{2n+2} وتحتوي على روابط تساهمية أحادية فقط.



مثال 1

السؤال ما الصيغة الجُزئية للأكان يحتوي على:

a- 6 ذرات كربون

b- 8 ذرات هيدروجين.

الصيغة الجُزئية العامة لجميع الألكانات مفتوحة السلسلة هي: C_nH_{2n+2} .

الحل

a- ذرات الكربون $6 = n$ ، وبالتالي عدد ذرات الهيدروجين $14 = (6 \times 2) + 2$

لذلك تكون الصيغة الجُزئية C_6H_{14}

b- عدد ذرات هيدروجين $8 = 2n+2$ ، ومنها $2 = n$ ، وبالتالي $3 = n$

لذلك تكون الصيغة الجُزئية C_3H_8

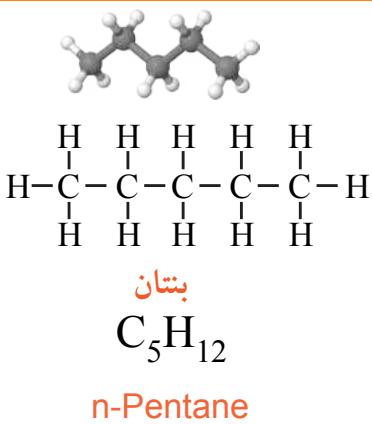
بادئات التسمية النظامية وفق (الأيو Bak) IUPAC

توجد مركبات عضوية كثيرة لها الصيغة الجزيئية نفسها؛ ولكن لها تراكيب مختلفة. لذلك يستخدم نظام الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية (IUPAC) لتسمية المركبات المختلفة. وتعتمد التسمية على استخدام البادئة (مقطع أولي) التي تحدد عدد ذرات الكربون الموجودة في أطول سلسلة كربون أو أكبر حلقة، ولاحقة (مقطع ثان) يدل على اسم الفئة التي ينتمي إليها المركب.

يوضح الجدول 1-5 تلك البادئات التي تشير إلى عدد ذرات الكربون من 1 إلى 10. فمثلاً الإيثان، الإيثين، الإيثانول هي جزيئات يحتوي كل منها على ذرتين كربون؛ لأنه يبدأ بالبادئة «إيث». أما الأوكتان، فهو جزيء يحتوي على سلسلة كربون مكونة من 8 ذرات كربون.

الجدول 1-5 بادئات المركبات العضوية.

البادئة	عدد ذرات الكربون	البادئة	عدد ذرات الكربون		
هكس	hex-	6	ميث	meth-	1
هبت	hept-	7	إيث	eth-	2
أوكت	oct-	8	بروب	prop-	3
نون	non-	9	بيوت	but-	4
ديك	dec-	10	بنت	pent-	5



الشكل 4-5 صيغ مختلفة لتمثيل البتان.

عندما تكون الألkanات مكونة فقط من سلاسل غير متفرّعة من ذرات الكربون يضاف الحرف - n عادة قبل البادئة عند تسميتها باللغة الإنجليزية، مشيرًا إلى سلسلة مستقيمة من ذرات الكربون، في حين أن السلسلة تكون متعرّجة؛ ولكننا للتسهيل، نرسم الصيغة البنائية لتلك الألkanات في هيئة خط مستقيم انظر (الشكل 4-5).

مثال 2

السؤال a - ما اسم الألkan الذي يحتوي على سلسلة مستقيمة من 7 ذرات كربون؟

b - ما اسم الألkan الذي يحتوي على سلسلة مستقيمة من 10 ذرات كربون؟

الحل a - تكون البادئة هبت-hept-، وبما أن المركب ألكان فإن إسمه يصبح هبتان heptane.

b - تكون البادئة ديك-dec-، وبما أن المركب ألكان فإن إسمه يصبح ديكان decane.

مجموعات الألكيل الوظيفية

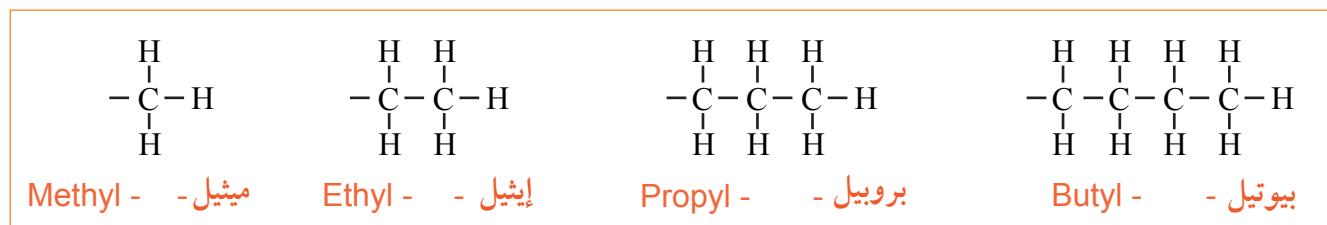
قد تحتوي المركبات الهيدروكربونية مفتوحة السلسلة أو الحلقة، على تفرع واحد أو أكثر من ذرات الكربون المرتبطة بها. تُسمى تلك السلالس الجانبية المتفرعة **مجموعات الألكيل الوظيفية** عندما تحتوي على ذرات كربون وهيدروجين فقط.

فمثلاً تُسمى السلسلة الجانبية المكونة من ذرة كربون واحدة (CH_3-) مجموعة الميثيل (Methyl group):

- «ميث، meth» تمثل ذرة كربون واحدة.

- اللاحقة «يل، yl» تعني أنها مجموعة ألكيل متفرعة من السلسلة الرئيسية.

أما السلسلة الجانبية المكونة من ذرتين كربون فتسمى «إيثيل، ethyl»، في حين أن السلسلة الجانبية المكونة من ثلاثة ذرات كربون تسمى «بروبيل، Propyl» انظر (الشكل 5-5).

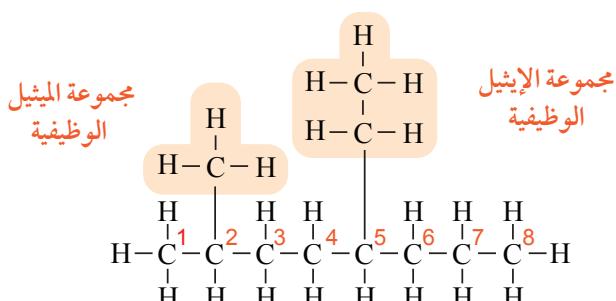


الشكل 5-5 أسماء السلالس الجانبية الهيدروكربونية الأربع الأولى.

مجموعات الألكيل الوظيفية هي سلسلة هيدروكربونية متفرعة من سلسلة كربون أطول منها، أو متفرعة من حلقة.



تُسمى السلسلة المستقيمة لمجموعات الألكيل الوظيفية باستخدام الbadئات العضوية نفسها المستخدمة في تسمية سلسلة الكربون الطويلة للجزيء (الجدول 5-1)، حيث تضاف اللاحقة «يل» لإظهار المجموعة بأنها مجموعة ألكيل وظيفية انظر (الشكل 5-6).



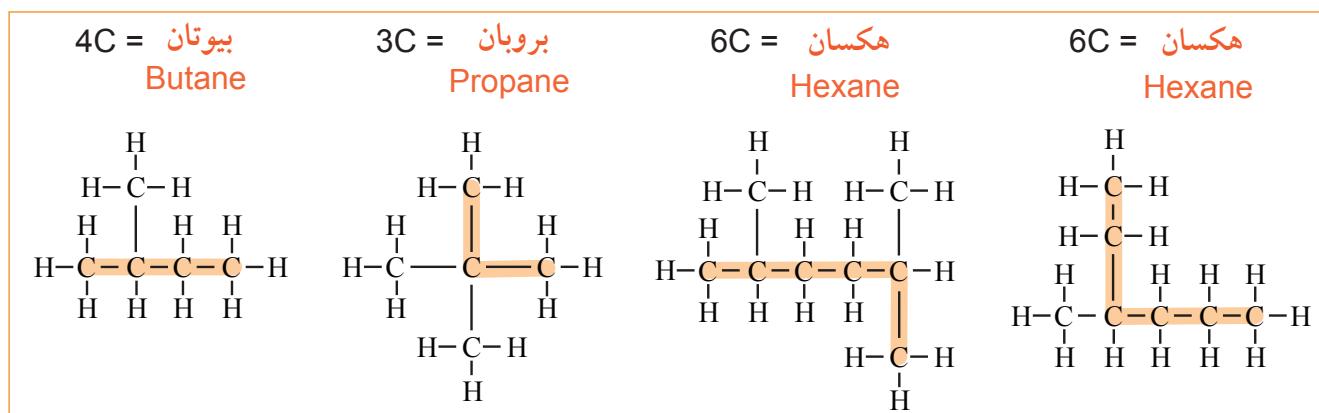
5-ethyl-2-methyloctane

5- إيثيل-2-ميثيل أوكتان

الشكل 5-6 مجموعات الألكيل الوظيفية في مركب هيدروكربوني.

تسمية الألكانات التي تحتوي على سلاسل جانبية

1. الخطوة الأولى في تحديد الاسم النظامي وفق IUPAC هي عدّ عدد ذرات الكربون المرتبطة معاً الموجودة في أطول سلسلة، ثم تضاف الخاتمة «-ان، ane» إلى البايطة التي تناسب عدد ذرات الكربون الموجودة في أطول سلسلة من الألكانات. لاحظ أن السلسلة قد تكون مستقيمة، أو تحتوي على سلاسل جانبية، انظر (الشكل 5-7)، توجد أكثر من طريقة لاختيار أطول سلسلة.



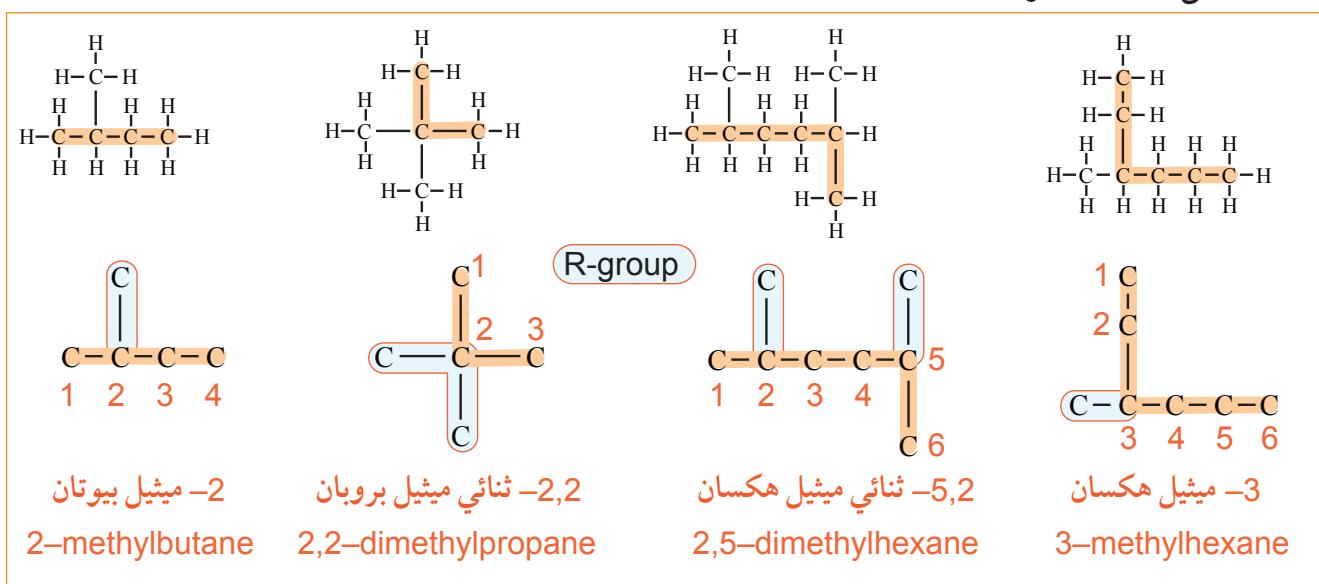
الشكل 5-5 كيفية عدّ ذرات الكربون في السلسلة الرئيسية

2. لتسمية ألكان يحتوي على سلسلة جانبية متفرّعة، نعدّ ذرات الكربون للسلسلة الرئيسية من أجل إظهار مكان ارتباط السلاسل الجانبية المتفرّعة.

3. ترقيم ذرات الكربون الموجودة في السلسلة الرئيسية باتّجاه معين، حيث يؤدي ذلك إلى أن يأخذ التفرع الأول أقل رقم ممكّن، كما هو مبيّن في (الشكل 5-8). تفحّص الأرقام من كلا الاتجاهين دائمًا! لاحظ، في الشكل 5-8، أن المركب 2,5-ثنائي ميثيل هكسان «2,5-dimethylhexane»، له الاسم نفسه من كلا الاتجاهين. في حين أن الاسم 3-ميثيل هكسان «3-methylhexane»، صحيح، نجد أن الاسم 4-ميثيل هكسان «4-methylhexane»، غير صحيح عند بدء الترقيم من اليمين.

4. لتسمية المركب، استخدم رقم ذرة الكربون التي تتصل بها السلسلة الجانبية للدلالة على موقعها، تليه الشرطة (ـ). فإذا كانت هنالك سلاسل جانبية متفرّعة متعدّدة ضع فاصلة بين الأرقام.

5. اكتب اسم السلسلة الجانبية المتفرّعة، واستخدم المقطع «ثنائي» أو «ثلاثي»، إذا كانت هناك سلاسل جانبية متفرّعة متشابهة.

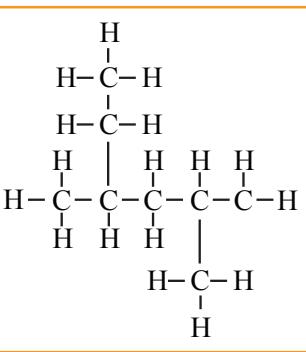
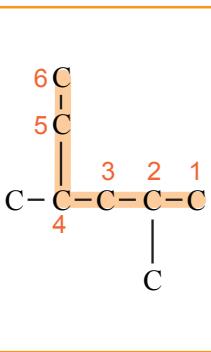
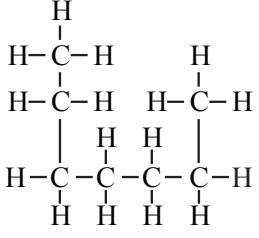
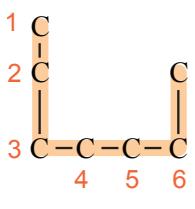
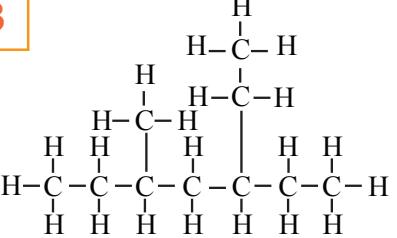
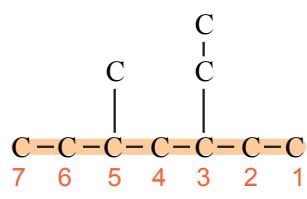
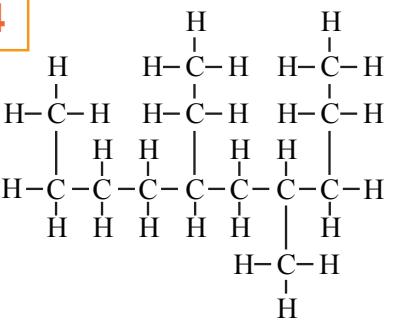
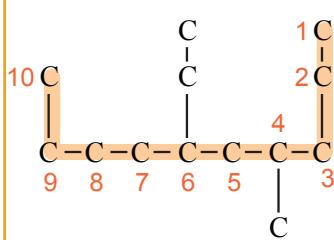
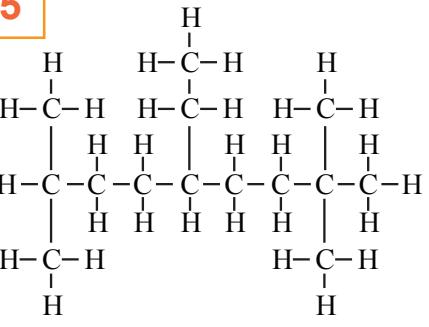
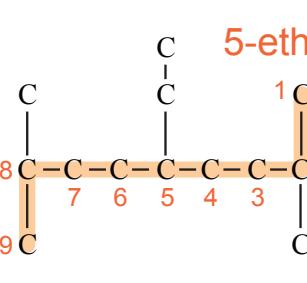


الشكل 5-5 تسمية الألكانات ذات السلاسل المتفرّعة.

أمثلة على تسمية الألكانات

يبين الجدول 2-5 أمثلة على تسمية الألكانات. لاحظ أن المثال (2) يbedo وكأنه يمتلك سلاسل جانبية متفرعة، ولكنّه في الحقيقة سلسلة رئيسة غير متفرعة، وفي المقابل يبيّن المثالان (3) و(5) بعض قواعد IUPAC الإضافية، عندما تكون نهايتها السلسلة تبعدان المسافة نفسها عن أول تفرع.

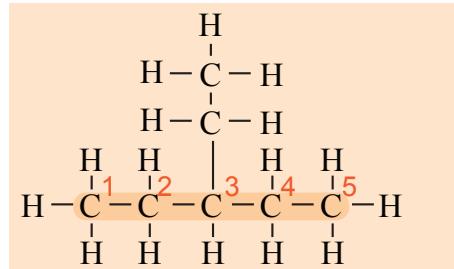
الجدول 2-5 أمثلة على تسمية الألكانات.

<p>1</p> 	<p>4,2-ثنائي ميثيل هكسان 2,4-dimethylhexane</p> <p>يبدأ الترقيم من النهاية الأقرب إلى التفرع الأول.</p> 
<p>2</p> 	<p>هبتان Heptane</p> <p>هذا الجُزء يمتلك سلسلة مستقيمة (غير متفرعة).</p> 
<p>3</p> 	<p>3-إيثيل-5-ميثيل هبتان 3-ethyl-5-methylheptane</p> <p>يراعي الترقيم الترتيب الأبجدي للسلسل الجانبية المتفرعة عند تساوي الترقيم للتفرع من طرف المركب.</p> 
<p>4</p> 	<p>6-إيثيل-4-ميثيل ديكان 6-ethyl-4-methyldecane</p> <p>يبدأ الترقيم من الطرف الأقرب إلى التفرع الأول.</p> 
<p>5</p> 	<p>5-إيثيل-2,2,8-ثلاثي ميثيل نونان 5-ethyl-2,2,8-trimethylnonane</p> <p>يبدأ الترقيم من النهاية الأقرب والتي تتضمن معظم السلاسل الجانبية المتفرعة على الموقع نفسه.</p> 

مثال 3

السؤال ارسم الصيغة البنائية، ثم سِّمَ المُرَكَّب الذي يتكون من 5 ذرات كربون متصلة بروابط تساهمية أحادية، والذي تتفرّع مجموعة إيثيل من ذرة الكربون الثالثة فيه.

الحل المركب يحتوي على خمس ذرات كربون في سلسلته الرئيسية متصلة بروابط أحادية فإذاً هذا المركب هو بستان، وتتفرّع منه مجموعة إيثيل أي ذرّتي كربون، لذلك فإنَّ الصيغة البنائية واسم هذا المركب النظامي (IUPAC) هما:

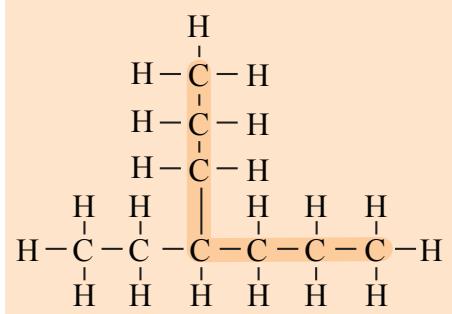


اسم المُرَكَّب هو: 3- إيثيل بستان «3- ethylpentane»

مثال 4

السؤال سِّمَ الألكان الذي يمتلك الصيغة البنائية المقابلة: IUPAC

الحل بما أن أطول سلسلة تمتلك سبع ذرات كربون، فإنَّ الاسم الرئيس يكون هبتان «Heptane». هنالك تفرُّع واحد يمتلك ذرّتي كربون، ويقع على ذرّة الكربون الرابعة من الجهتين. لذا يكون اسم هذا الألكان: 4-إيثيل هبتان «4- ethylheptane».



جزئيات لها أنواع مختلفة منمجموعات الألكيل الوظيفية

عندما تظهر المجموعة نفسها أكثر من مرة، تُستخدم الأرقام المتعددة ويفصل بينها فاصلة، وتُكتب قبل اسم مجموعة الألكيل، لإظهار عدد المجموعات، مثل «4, 5 - ثنائي ميثيل أوكتان، 4,5-dimethyloctane»، عندما تتوارد مجموعات وظيفية مختلفة ومتعددة، فإنَّ أسماء المجموعات الوظيفية، وأرقام ذرات الكربون المرتبطة بها في السلسلة الرئيسية توضعان قبل اسم السلسلة الرئيسية. مثال ذلك 3-إيثيل-5,4-ثنائي ميثيل أوكتان «3-ethyl-4,5-dimethyloctane». لاحظ أيضًا أنَّ البدائتين «ثنائي»، «ثلاثي» لا تُستخدمان لتحديد الترتيب الأبجدي. مثلاً: «ثلاثي إيثيل» قد تأتي قبل «ميثيل»، لأنَّ حرف «E» يأتي قبل «M» حسب ترتيب الحروف الإنجليزية.

مثال 5



السؤال

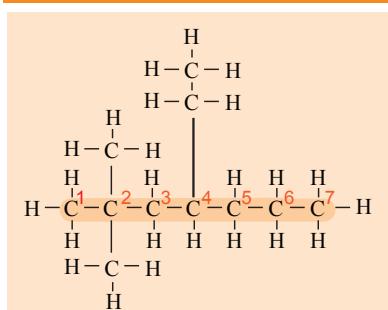
:IUPAC

الحل

بما أن أطول سلسلة تمتلك ست ذرات كربون، فإن الاسم الرئيس يكون هكسان «Hexane».

هناك مجموعة «إيثيل» واحدة متفرعة، ومجموعة «ميثيل» متفرعتان. يضع الترقيم الصحيح المتسلسل مجموعة الميثيل المتفرعة على ذرة الكربون رقم 2؛ وهذا بدوره يضع مجموعة الإيثيل المتفرعة على ذرة الكربون رقم 3، كما يضع مجموعة الميثيل الأخرى المتفرعة على ذرة الكربون رقم 5، تأتي مجموعة «الإيثيل» أبجدياً قبل مجموعة «الميثيل».

لذا، يكون الاسم الصحيح لهذا الألkan بحسب IUPAC هو: 3-إيثيل-2,5-ثنائي ميثيل هكسان «3-ethyl-2,5-dimethylhexane».



مثال 6



السؤال

:IUPAC

الحل

بما أن أطول سلسلة تمتلك سبع ذرات كربون، فإن الاسم الرئيس يكون هبتان «Heptane».

هناك مجموعة «إيثيل» واحدة متفرعة على ذرة كربون رقم 4، ومجموعة «ميثيل» متفرعتان على ذرة كربون رقم 2. لذا يكون اسم هذا الألkan: 4-إيثيل-2,2-ثنائي ميثيل هبتان «4-ethyl-2,2-dimethylheptane».

مثال 7

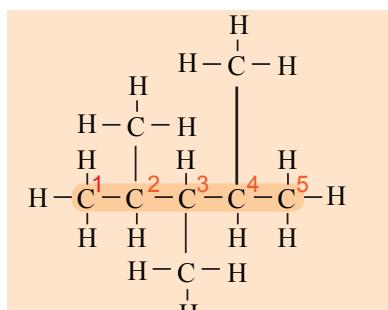


السؤال

رسم الصيغة البنائية للمركب 2,3,4-ثلاثي ميثيل بنتان بحسب IUPAC

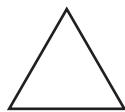
الحل

المركب يحتوي على خمس ذرات كربون في سسلته الرئيسية متصلة بروابط أحادية فإذاً هذا المركب هو بنتان، وتتفرع منه مجموعات ميثيل على ذرات كربون رقم 2, 3, 4. لذلك فإن الصيغة البنائية هي الموضحة بالشكل المجاور.



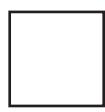
الألكانات الحلقية

تكون كل من الألكانات والألكينات تراكيب حلقية. وينتهي اسم الألكان أو الألكين في هذه الحالة بالخاتمة «حلقي» باللغة العربية وبالبادئة «cyclo» باللغة الإنجليزية. مثال ذلك، الألكانات الحلقيّة البسيطة الأربع الأوّليّة المبيّنة في (الشكل 9-5). وبما أن زوايا الرابطة تكون حادة جداً، يكون البروبان الحلقي، والبيوتان الحلقي، غير مستقرّين. ومع ذلك يكون البتان الحلقي والهكسان الحلقي مستقرّين وشائعين، وللألكانات الحلقيّة الصيغة الجزيئية العامة: C_nH_{2n} حيث أن $(n \geq 3)$.



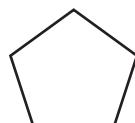
بروبان حلقي

Cyclopropane



بيوتان حلقي

Cyclobutane



بتان حلقي

Cyclopentane



هكسان حلقي

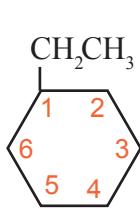
Cyclohexane

الشكل 9-5 أبسط أربعة ألكانات حلقيّة.

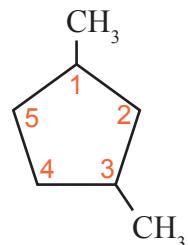
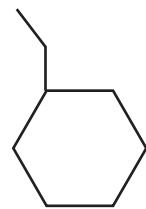
إن تسمية الألكانات الحلقيّة مشابهة للألكانات المستقيمة.

1. يرتبط اسم السلسلة الرئيسيّة بعدد ذرّات الكربون الموجودة في الحلقة، وينتهي بالقطع «حلقي»، أي يوضع بعد الاسم مباشرةً، أو «cyclo» ثم اسم الألكان بالإنجليزية.

2. يبدأ الترقيم من ذرة الكربون المرتبطة بأول مجموعة وظيفية بترتيب دائري، حيث تُتّخذ المجموعات الوظيفية الأخرى أقل ترقيم ممكّن، انظر (الشكل 10-5) سواء كان الترتيب مع أو عكس إتجاه عقارب الساعة.



إيثيل هكسان حلقي
ethylcyclohexane



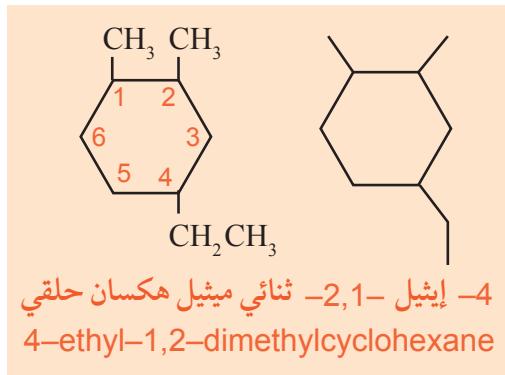
1,3-ثنائي ميتشيل بتان حلقي
1,3-dimethylcyclopentane

الشكل 10-5 ألكانات حلقيّة تحتوي على مجموعات وظيفية.

مثال 8

السؤال ارسم الصيغة البنائية للمركب 4-إيثيل-2,1-ثنائي ميثيل هكسان حلقي.

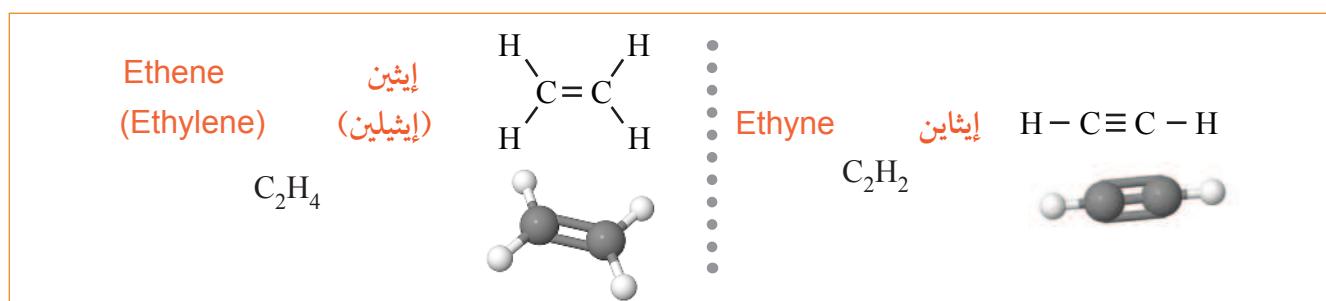
الحل



يخبرنا الاسم بأن الحلقة مكونة من 6 ذرات كربون، وأن الروابط جماعها بين تلك الذرات هي روابط تساهمية أحادية. ويشير الرقم «4» إلى أن هناك مجموعة إيثيل تقع على ذرة الكربون رقم 4، ويخبرنا «2,1-ثنائي ميثيل» أن هناك مجموعتي ميثيل تقعان على ذرتي الكربون رقم 1، ورقم 2. لاحظ اختيار الترقيم على الحلقة من الجهة التي تعطي ذرات الكربون المتصلة بالتفرع أقل أرقام ممكنة.

الهيدروكربونات غير المشبعة

يمتلك الكربون قدرة أيضًا على تكوين روابط ثنائية، وثلاثية، (انظر الشكل 11-5). وتعرف الهيدروكربونات **غير المشبعة** Unsaturated بأنها المركبات التي تحتوي على رابطة تساهمية ثنائية أو ثلثانية واحدة أو أكثر. فالإثين والإثيلين كلاهما غير مشبعين، حيث تتكون الروابط التساهمية الثنائية بين ذرتي الكربون في الألكينات، في حين أن الروابط التساهمية الثلاثية تتكون بين ذرتي الكربون في الألكاينات.



الشكل 11-5 الروابط التساهمية الثنائية والثلاثية بين ذرات الكربون.

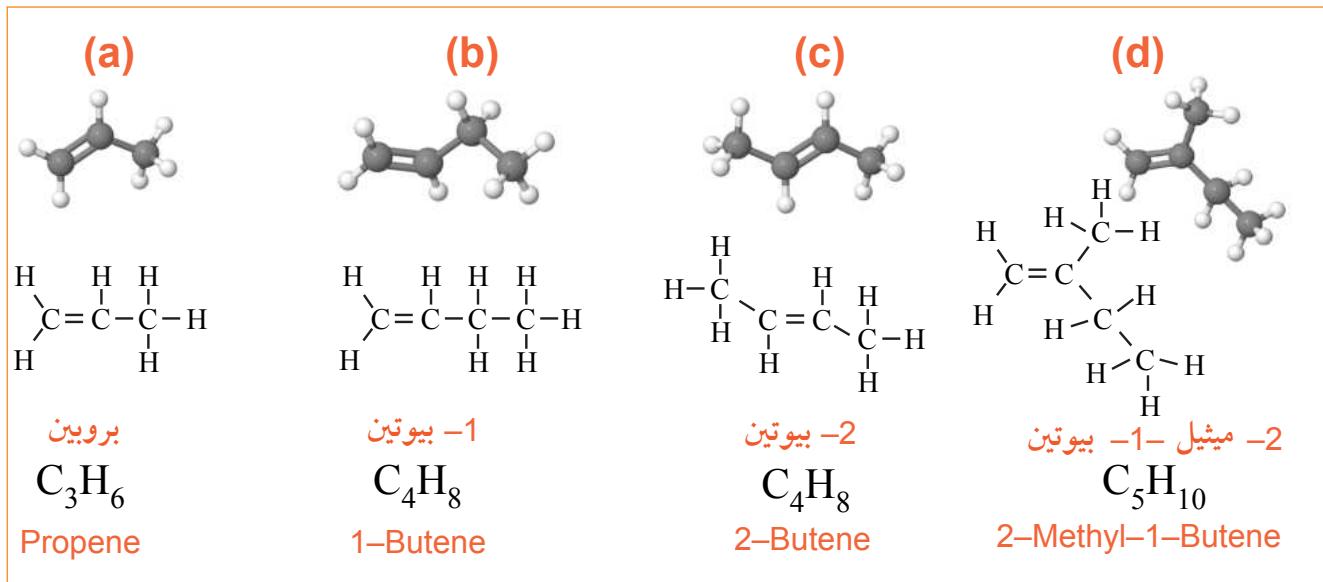
الهيدروكربونات غير المشبعة تحتوي على رابطة تساهمية ثنائية، أو ثلثانية واحدة على الأقل.



الألكينات

عندما يحتوي الهيدروكربون على رابطة تساهمية ثنائية واحدة بين ذرّتي كربون أو أكثر، يُوصف الجُزيء بأنه **الكين** **Alkene**. أسماء الألكينات جميعها تنتهي بالخاتمة «ين، -ene»، وتمتلك الألكينات ذات السلسلة المفتوحة الصيغة الجُزيئية العامة C_nH_{2n} حيث أن $(2 \leq n \leq 12)$. وكما هو مبيّن في (الشكل 5-12)، تمتلك الألكينات تركيّاً أكثر تعقيداً، لأنّ موقع الرابطة الثنائية يُحدّث فرقاً بالنسبة إلى الجُزيء.

الإلكينات هي هيدروكربونات غير مشبعة تتضمّن على الأقل رابطة تساهمية ثنائية واحدة بين ذرّتي كربون.



الشكل 5-12 أمثلة للألكينات.

تحتاج الألكينات إلى خطوات تسمية تحدّد موقع الرابطة الثنائية فيها. فإذا كان ممكناً أن يختلف موقع الرابطة الثنائية على طول سلسلة الكربون الأطول، فإنّ موقع الرابطة الثنائية يُحدّد بواسطة رقم يشير إلى موقع ذرّة الكربون الأولى من ذرّتي الكربون المرتبطتين معًا برابطة ثنائية. يبدو في (الشكل 5-12)، أنّ الرقم «1» الموجود في 1-بيوتين «1-butene» يشير إلى أنّ الرابطة الثنائية تقع بين ذرّة الكربون الأولى والثانية في السلسلة الرئيسية. أما الرقم «2» في 2-بيوتين «2-butene»، فيبيّن أنّ الرابطة الثنائية تقع بين ذرّة الكربون الثانية والثالثة.

ويبيّن الجُزيء (d) الظاهر في (الشكل 5-12) ألكينًا متفرّغاً حيث:

- تمتلك أطول سلسلة كربون أربع ذرات وتحتوي على رابطة تساهمية ثنائية، لذلك تُسمى «بيوتين، Butene».
- توجد مجموعة ميثيل تقع على ذرّة الكربون رقم 2، لذلك تبدأ التسمية بـ 2-ميثيل «2-Methyl».
- تقع الرابطة الثنائية بعد ذرّة الكربون الأولى، لذلك سوف يسبق الرقم «1» الاسم «بيوتين» ويليه الاسم «ميثيل».

بينما عندما يكون المركب ألكين حلقي:

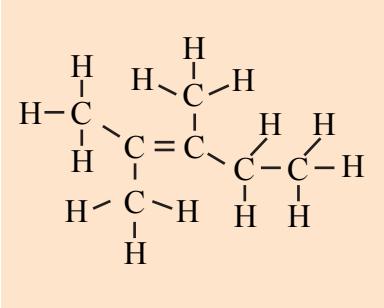
1. الرقم (1) يحدد أول ذرة كربون تبدأ عندها الرابطة الثنائية.

2. اتجاه الترقيم في الحلقة يحدد بالاتجاه الذي يعطي أول تفرع أصغر رقم.

3. مجموعات الألكيل المختلفة توضع بحسب الترتيب الأبجدي للحروف الإنجليزية.

مثال 9

السؤال سِمِّيَ الألْكِينَ الَّذِي يَمْتَلِكُ الصِّيَغَةَ الْبَنَائِيَّةَ الْمُقَابِلَةَ بِحَسْبِ IUPAC:



الحل تمتلك أطول سلسلة كربون خمس ذرات وتحتوي على رابطة تساهمية ثنائية، لذلك تُسمى «بنتين، pentene».

توجد مجموعتا ميثيل على ذرتي الكربون رقم 2، 3، لذلك تبدأ التسمية بـ 3,2-ثنائي ميثيل «2, 3-dimethyl».

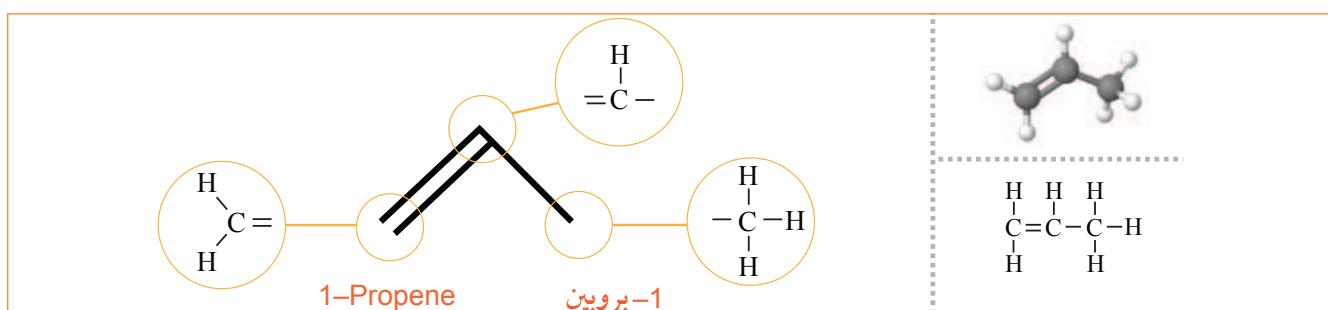
تقع الرابطة الثنائية بعد ذرة الكربون الثانية، لذلك سوف يسبق الرقم «2» الاسم «بنتين» ويليه الاسم «3,2-ثنائي ميثيل».

فيصبح اسم المركب: 2, 3-dimethyl-2-pentene: 2, 3-ثنائي ميثيل-2-بنتين،

فهم الصيغة الهيكلية

تعد الصيغة الهيكلية أكثر طريقة مختصرة لتمثيل المركب العضوي. وهذه هي قواعد قراءة الصيغة الهيكلية ورسمها:

1. كل زاوية، أو تقاطع، أو نهاية للخط، تمثل ذرة كربون.
2. كل ذرة كربون تكون أربع روابط.
3. تمثل الرابطة الأحادية بخط واحد بينما تمثل الرابطة الثنائية بخطين والرابطة الثلاثية بثلاث خطوط.
4. ذرات الهيدروجين لا ترسم.



الشكل 13-5 رسم الصيغة الهيكلية لمُركَب عضوي.

مثال 10



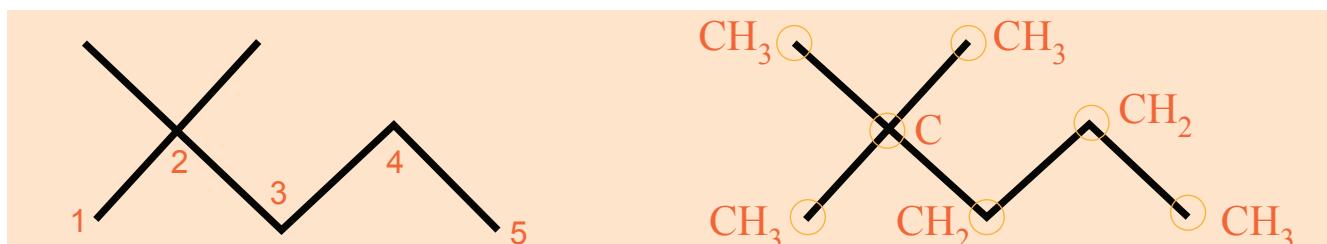
السؤال ارسم الصيغة الهيكلية، ثم اكتب الصيغة الجُزئية للمُركَب 2,2 - ثنائي ميثيل بنتان .«2,2-dimethyl pentane»



الحل

الخطوة 1: ارسم سلسلة الكربون الرئية، ورقمها.

الخطوة 2: أضف مجموعتي ميثيل إلى ذرّة الكربون رقم 2.



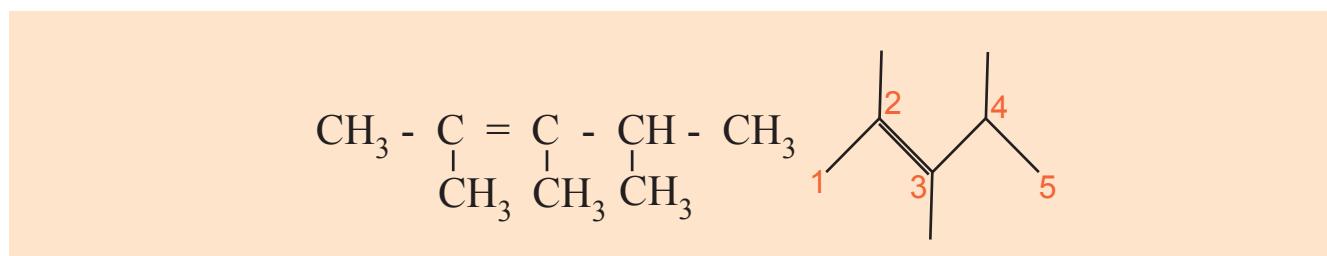
يوجد في نهاية كل خط 3 ذرّات H. أمّا التقاطعات التي تمتلك أربع روابط، فلا تحتوي على أي ذرّة هيدروجين، في حين أن الزوايا التي تمتلك رابطتين تحتوي على ذرّتي H؛ عندها ستكون الصيغة الجُزئية لهذا المُركَب: C_7H_{16} .

مثال 11



السؤال ارسم الصيغة البنائية، والصيغة الهيكلية للمركب: 4,3,2-ثلاثي ميثيل - 2-بنتين .«2,3,4-trimethyl-2-pentene»

الحل يخبرنا الاسم بأن السلسلة الرئية تحتوي على خمس ذرات كربون. والرقم «-2» يعني وجود رابطة تساهمية ثنائية بين ذرتي الكربون الثانية والثالثة، ويخبرنا «4,3,2-ثلاثي ميثيل» بأن هنالك ثلاث مجموعات ميثيل تقع على ذرات الكربون التي تحمل الأرقام 2، 3، و 4.

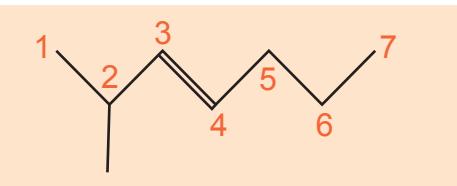


أمثلة على تسمية الألكينات

مثال 12



السؤال سِمِّيَ الألَكِينَ الَّذِي يَمْتَلِكُ الصِّيَغَةَ الْهِيَكِلِيَّةَ الْمُقَابِلَةَ بِحَسْبِ التَّسْمِيَّةِ النَّظَامِيَّةِ IUPAC.



الحل تَمْتَلِكُ السَّلْسَلَةُ الرَّئِيْسِيَّةَ 7 ذَرَّاتٍ كَرْبُونٍ، وَتَحْتَوِي عَلَى رَابِطَةٍ تَسَاهِمِيَّةٍ ثَنَائِيَّةٍ، لَذَا يُطْلَقُ عَلَى الْأَلَكِينِ اسْمَ هَبْتَيْنَ. نَبْدأُ التَّرْقِيمَ مِنَ النَّهَايَةِ الْأَقْرَبِ إِلَى الرَّابِطَةِ الثَّنَائِيَّةِ، وَهَذَا يَضْعُفُ مَجْمُوعَةَ الْمِيَشِيلِ عَلَى ذَرَّةِ الْكَرْبُونِ الثَّالِثَةِ وَالرَّابِعَةِ. لَذَا، سَيَكُونُ اسْمُ هَذَا الْمُرْكَبِ هُوَ: 2-مِيَشِيلِ-3-هَبْتَيْنِ «2-methyl-3-heptene».

موقع الرابطة الثنائية بين ذرّي الكربون 3 و 4

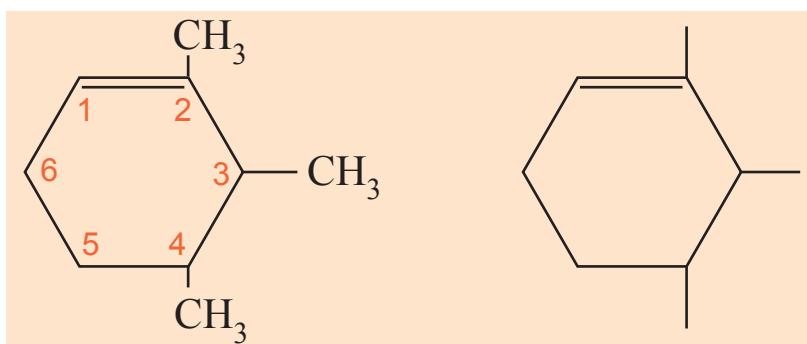
2-مِيَشِيلِ-3-

موقع مجموعة الميшиيل على ذرّة C رقم 2

مثال 13

السؤال ارسم الصيغة البنائية، والصيغة الهيكلية للمركب: 4,3,2-ثلاثي ميшиيل - 1-هكسين حلقي $(2,3,4\text{-trimethyl-1-cyclohexene})$.

الحل يَخْبُرُنَا الْاسْمُ بِأَنَّ الْحَلْقَةَ تَحْتَوِي عَلَى سِتٍّ ذَرَّاتٍ كَرْبُونٍ. فَنَبْدأُ التَّرْقِيمَ مِنَ أَوَّلِ ذَرَّةِ كَرْبُونٍ الَّتِي تَبْدِأُ عَنْهَا الرَّابِطَةُ التَّسَاهِمِيَّةُ الثَّنَائِيَّةُ، وَيَخْبُرُنَا «4,3,2-ثلاثي ميшиيل» أَنَّ هُنَالِكَ ثَلَاثَ مَجْمُوعَاتٍ مِيَشِيلٍ تَقْعُدُ عَلَى ذَرَّاتِ الْكَرْبُونِ الَّتِي تَحْمِلُ الْأَرْقَامَ 2، 3، وَ4.

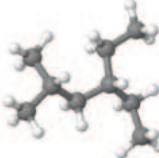
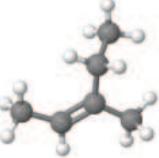
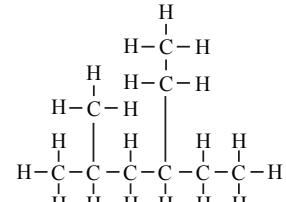
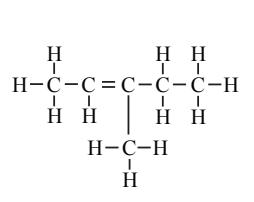
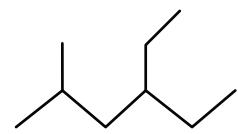


تمثيل الجُزئيات العضوية

يستخدم علماء الكيمياء العضوية طرائق متعددة لتمثيل الصيغة البنائية للصيغة الجُزئية للمركب العضوي نستطيع من خلالها استنتاج معلومات مختلفة عن هذا المركب، كما هو موضح في الجدول

3-5

الجدول 3-5 تمثيل الجُزئيات العضوية.

	Propane بروبان	1-Butene 1-بيوتين	4-ethyl-2-methylhexane 4-إيثيل-2-ميثيلهكسان	3-Methyl-2-pentene 3-ميثيل-2-بتين	
1	الصيغة الجُزئية				
2	C_3H_8 نموذج الكرات والعصي	C_4H_8	C_9H_{20}	C_6H_{12}	
3					
4	الصيغة البنائية				
5	الصيغة البنائية المكثفة	$CH_3CH_2CH_3$ $CH_2=CHCH_2CH_3$	CH_3 CH_2CH_3 CH_3CH CH_2CH C_2H_5	CH_3 $CH_3CH=C$ CC_2H_5	
6	التركيب الهيكل				

1. تبيّن الصيغة الجُزئية عدد الذّرات في الجُزيء ونوعها.
2. يبيّن نموذج الكرات والعصي التركيب في هيئة شكل ثلاثي الأبعاد.
3. يبيّن النموذج الفراغي سطح الجُزيء في هيئة شكل ثلاثي الأبعاد.
4. تبيّن الصيغة البنائية التركيب في هيئة شكل ثنائي الأبعاد.
5. تبيّن الصيغة البنائية المكثفة (المختصرة) التركيب في هيئة شكل ثنائي الأبعاد.
6. يبيّن التركيب الهيكل التراكب في هيئة شكل ثنائي الأبعاد بطريقة مختصرة ، وهو الطريقة المستخدمة أغلب الأحيان لتمثيل الجُزئيات العضوية.



بناء نماذج للجزئيات الهيدروكربونية

1-5

كيف يمكن تمثيل الجزيئات الهيدروكربونية باستخدام النماذج ثلاثة الأبعاد؟	سؤال الاستقصاء
نماذج الكرات والعصي.	المواد المطلوبة

الجزء 1: ارسم الصيغة البنائية للجزئيات

1. ارسم الصيغة البنائية لكل جُزِيءٍ في الجدول الآتي.

من الصيغة البنائية، حدد عدد ذرات الكربون، وعدد ذرات الهيدروجين، وعدد الروابط الأحادية بين ذرات الكربون، وعدد الروابط بين الكربون والهيدروجين، والتي ستلزم لكل نموذج جُزِيءٍ.

جدول التحليل الجُزئي

اسم الجُزِيء	الصيغة البنائية	عدد ذرات الكربون	عدد ذرات الهيدروجين	عدد روابط C-C	عدد روابط C-H
الميثان	methane	1	4	0	4
الهكسان الحلقي	cyclohexane	6	6	6	0
3-إيثيل-2-ميثيل هكسان	3-ethyl-2-methyl hexane	6	8	5	3
بروبين	propene	2	4	1	3
2-بيوتين ، 2	2-butene	4	6	3	2
2-ميثيل - 1 - بنتين	2-methyl-1-pentene	5	6	4	2

الجزء 2: ابن النماذج الجُزئية

استخدم دليل مجموعة الكرات والعصي لتحديد ذرات النموذج الصحيحة، وروابط النموذج التي ستسخدمها، ثم ابن النماذج الجُزئية واعرضها على معلمك للتتأكد من صحة النموذج.

تقويم الدرس 1-5

1. ما الفرق الرئيس بين الألkanات والألkenات؟ 

2. لماذا يعد مركب كيميائي يحمل اسم ميثن مركباً يستحيل وجوده؟ 

3. ما المقطع الذي يحدد أن هناك ثلاث مجموعات ألكيل مكونة من ذرّتي كربون موجودة في الجزيء؟ 

c.ثنائي ميثن Dimethyl a.ثنائي إيثيل Diethyl
d.ثلاثي ميثن Trimethyl b.ثلاثي إيثيل Triethyl

4. ما الاسم الصحيح لهيدروكربون يمتلك أطول سلسلة كربون مكونة من تسع ذرات كربون، ومجموعتي ألكيل مكونة من ذرّتي كربون.

a. 1,1 - ثنائي إيثيل نونان 1,1-diethylnonane
b. 3,2 - ثنائي ميثن أوكتان 2,3-dimethyloctane
c. 4 - بيوتيل بنتان 4-butylpentane
d. 4,4 - ثنائي إيثيل نونان 4,4-diethylnonane

5. كم عدد ذرات الكربون الموجودة في الجزيء 8,3,3 - ثلاثي ميثن-4 - بروبيل-1 - ديكين؟ 

16 .c 10 .a
20 .d 14 .b

6. كم عدد ذرات الهيدروجين الموجودة في الجزيء 2 - ميثن-2 - بيوتين «2-methyl-2-butene»؟ 

10 .c 8 .a
12 .d 9 .b

7. ارسم الصيغة البنائية والصيغة الهيكلية لكل من المركبين الآتيين: 

a. 3,2 - ثنائي ميثن أوكتان 2,3-dimethyloctane
b. 3,2 - ثنائي ميثن-2 - أوكتين 2,3-dimethyl-2-octene

الدرس 2-5

المركبات العضوية الأخرى

سبق أن تعلّمت أسماء المركبات العضوية عندما تعلّمت كيف تسمّى الألkanات والألkenات وترسم هياكلهما. أمّا المركبات العضوية الأخرى فتُحدّد تصنيفاتها بواسطة اللواحق وأسماء المجموعة الوظيفية. وبذلك يتعيّن، عند تسمية أنواع أخرى من المركبات العضوية، تحديد أطول سلسلة أو حلقة كربون، ثم إضافة اسم اللاحقة المناسبة، أو اسم المجموعة الوظيفية.

يتم تضمين الأرقام عندما يختلف اختيار موقع المجموعة الوظيفية. في هذا الدرس سنقوم بدراسة بعض المركبات العضوية الشائعة التي تحتوي على ذرات عناصر أخرى، إلى جانب ذرات الكربون والهيدروجين. فهناك هيدروكربونات تم فيها استبدال ذرة واحدة أو أكثر من ذرات الهيدروجين لتحول محلّها ذرة أو مجموعة من الذرات، مثل هاليدات الألکيل ، والکحولات ، والألدھيدات والکیتونات وغيرها.

المفردات



مخرجات التّعلم

Alkyl halide	هاليد الألکيل
Hydroxyl	هیدروکسیل
Alcohol	کحول
Monohydroxy alcohol	کحول أحادي الهيدروکسیل
Dihydroxy alcohol	کحول ثنائي الهيدروکسیل
Trihydroxy alcohol	کحول ثلاثي الهيدروکسیل
Carbonyl	الکربونيل
Aldehyde	ألدھید
Ketone	کیتون
Carboxyl	الکربوکسیل
Carboxylic acid	حمض کربوکسیلی
Acyl chloride	کلورید الأسیل
Primary alcohol	کحول أولی
Secondary alcohol	کحول ثانوي
Tertiary alcohol	کحول ثالثي

C1106.1 (الجزء 2) يفسر ويستخدم، التسميات النظمية والصيغ الجُزئية والبنائية لفئات المركبات الآتية:

- هاليدات ألكيل (مُركّبات الألkanات الھالوجینية)
- الكحولات
- الألدھيدات والکیتونات
- الأحماض الکربوکسیلية، والإسترات، وكلوريدات الأسیل

C1106.5 يصنف الكحولات بحسب عددمجموعات الهيدروکسیل ويميز بين الكحولات الأولية والثانوية والثالثية.

C1106.8 يصف كيمياء مجموعة الكربونيل، كما في الألدھيدات والکیتونات.

المجموعات الوظيفية

تعتمد خصائص كثيرة من خصائص المركبات العضوية على مجموعات مختلفة مرتبطة بها، أو تقع داخل الهيكل البني الرئيسي للمركب الهيدروكربوني. تسمى تلك المجموعات بالمجموعات الوظيفية. في الدرس (1-5)، درسنا مجموعات الميثيل والإيثيل وسواهما من المجموعات الوظيفية الهيدروكربونية. وسنقوم في هذا الدرس بوصف أهم المجموعات الوظيفية الأخرى.

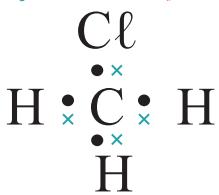
المجموعة الوظيفية: هي ذرة أو مجموعة ذرات متصلة بالهيكل الهيدروكربوني الرئيس، وتحدد الصفات الفيزيائية والكيميائية للمركب.

تُعد مجموعة الهيدروكسيل (OH) من الأمثلة الجيدة على مجموعة وظيفية شائعة جدًا. ذلك أن جميع الكحولات تحتوي على مجموعة OH واحدة على الأقل. وهناك مجموعة وظيفية مهمة أخرى، هي مجموعة الكربوكسيل COOH (الحمض الكربوكسيلي). وهي متضمنة في الأحماض العضوية، مثل حمض الستريك وحمض الأستيك. يلخص الجدول 5-4 المجموعات الوظيفية الأكثر شيوعًا.

الجدول 4-5 المجموعات الوظيفية الأكثر شيوعًا.

الصيغة البنيّة المختصرة للمثال	مثال على مركب يتضمّن المجموعة الوظيفية	المجموعة الوظيفية	اسم الفئة التي تحتوي على المجموعة الوظيفية
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	إيثanol Ethanol	$-\text{OH}$	الكحولات Alcohols
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$	كلوروإيثان Chloroethane	$-\text{F}$ $-\text{I}$ $-\text{Cl}$ $-\text{Br}$	هاليدات الألكيل Alkyl halides
CH_3COCl	كلوريد الإيثانول Ethanoyl chloride	$\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{Cl} \end{matrix}$	كلوريدات الأسيل Acylchlorides
HCHO	ميثانال (فورمالدهيد) Methanal (Formaldehyde)	$\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{H} \end{matrix}$	الألدهيدات Aldehydes
CH_3COCH_3	بروبانون (ثنائي ميثيل كيتون) (أسيتون) propanone (Dimethyl ketone) (acetone)	$\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}- \end{matrix}$	الكيتونات Ketones
CH_3COOH	حمض الإيثانويك (حمض الأستيك) Ethanoic acid (Acetic acid)	$\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{OH} \end{matrix}$	الأحماض الكربوكسيلية Carboxylic acids
$\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$	إيثيل إيثانوات Ethyl ethanoate	$\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{O}- \end{matrix}$	الإسّترات Esters

مركبات الألكانات الهايوجينية (هاليدات الألكيل)

جزيء كلوروميثان CH_3Cl 

الشكل 14-5 كلوروميثان.

ترتبط عناصر الهايوجينات (المجموعة 17) عموماً برابطة واحدة مع ذرة أخرى فقط. وهذا سلوك مشابه لسلوك ذرات الهيدروجين. وبسبب هذا التشابه، تحلل ذرات الهايوجينات في كثير من الأحيان محل ذرات الهيدروجين في الألكانات، لتشكل مركبات عضوية تُعرف باسم **هاليدات الألكيل** *Alkyl halides* مثل جزيء كلوروميثان في (الشكل 14-5).

قد تحتوي هاليدات الألكيل على ذرة هالوجين واحدة أو أكثر، مرتبطة بالهيكل البائي للمركب الهيدروكربوني.

هاليدات الألكيل: الألكانات حللت فيها ذرة هالوجين أو أكثر محل ذرة هيدروجين واحدة أو أكثر.

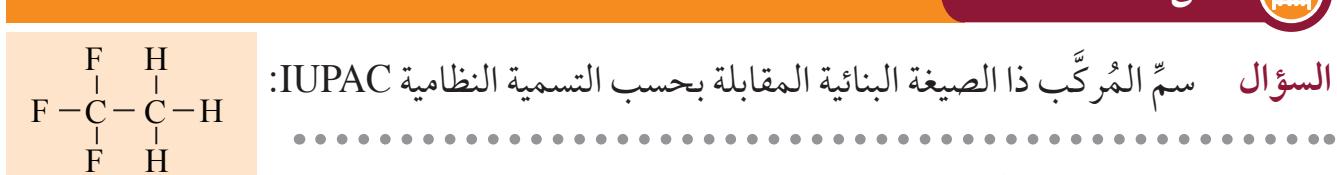


الجدول 5-5 بادئات الهايوجين.

الاسم	الرمز
Fluoro-	-F
Chloro-	-Cl
Bromo-	-Br
Iodo-	-I

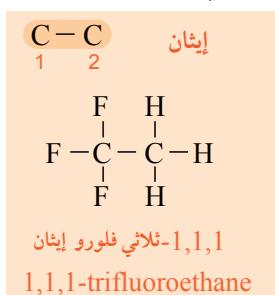
تسمى هاليدات الألكيل تبعاً للتسمية النظامية IUPAC اعتماداً على السلسلة الرئيسية للألكان. حيث تُعطى كل ذرة هالوجين اسم مجموعة وظيفية وفقاً للجدول 5-5. وإذا كان هناك احتمال لاختلاف الموقع، يُعرف الموقع عندئذ برقم ذرة الكربون في أطول سلسلة من ذرات الكربون، التي ترتبط بها ذرة الهايوجين. وفي حال وجود أكثر من ذرة هالوجين في الجزيء نفسه ترتيب أسماء الذرات أبجدياً بحسب ترتيب الأحرف الإنجليزية.

مثال 14



الحل **الخطوة 1:** حدد أطول سلسلة كربون، وعُيّن الاسم الرئيس للمركب.

الخطوة 2: أضف اللاحقة -ان، لأن جميع ذرات C-C ترتبط بروابط أحادية.



الخطوة 3: حدد ذرات الفلور المتصلة بذرات الكربون ورقم ذرة الكربون المتصلة بها.

الخطوة 4: اكتب اسم المركب: 1,1,1 - ثلاثي فلورو إيثان
1,1,1-trifluoroethane

الكحولات

تحتوي المجموعة الوظيفية **الهيدروكسيل Hydroxyl** على ذرة أكسجين مرتبطة برابطة أحادية مع سلسلة كربون وبرابطة أحادية مع ذرة هيدروجين.

مجموعة الهيدروكسيل: مجموعة وظيفية تتكون من ذرة أكسجين مرتبطة بذرة هيدروجين (-OH).



الجدول 6-5 مجموعة الهيدروكسيل.

الصيغة المكثفة	الصيغة البنائية
-OH	-O-H

يشار إلى المركبات العضوية، التي تتميز بخصائص كيميائية ناتجة من وجود مجموعة الهيدروكسيل، باسم **الكحولات Alcohols**. لذلك تُسمى مجموعة الهيدروكسيل أحياناً بمجموعة الكحول.

الكحولات: مركبات عضوية تتميز بخصائص كيميائية ناتجة من وجود مجموعة الهيدروكسيل.

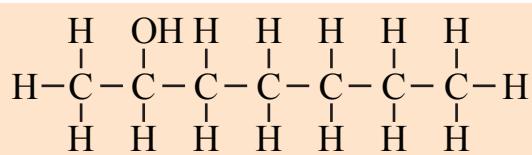


يشتق اسم الكحول من اسم الألكان المقابل له ثم إضافة اللامنطقة (-ول) (al-). ولأن موقع مجموعة الهيدروكسيل يمكن أن يتغير على أطول سلسلة كربون، سوف يستخدم رقم لتحديد ذرة الكربون في أطول سلسلة كربون ترتبط بها مجموعة الهيدروكسيل. يوضح **الجدول 7-5** أسماء بعض أبسط الكحولات وصيغها المختلفة.

الجدول 7-5 الكحولات الشائعة.

اسم الشائع	نموج الكرة والعصا	الصيغة المكثفة	الصيغة البنائية	IUPAC
كحول ميثيلي أو كحول الخشب methyl alcohol (Wood alcohol)		CH ₃ OH	$\begin{matrix} \text{H} & & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{OH} \\ & & \\ \text{H} & & \text{H} \end{matrix}$	ميثanol methanol
كحول إيثيلي أو كحول الحبوب ethyl alcohol (grain alcohol)		C ₂ H ₅ OH	$\begin{matrix} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C}-\text{OH} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{matrix}$	إيثanol ethanol
كحول بروبيلي propyl alcohol		C ₃ H ₇ OH	$\begin{matrix} \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{OH} \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{matrix}$	1-بروبانول 1-propanol
كحول آيزوبروبيلي isopropyl alcohol		CH ₃ CH(OH)CH ₃	$\begin{matrix} \text{H} & \text{OH} & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{matrix}$	2-بروبانول 2-propanol

مثال 17



السؤال: سُمِّيَ المُرَكَّبُ ذَا الصِّيغَةِ الْبُنَائِيَّةِ الْمُقَابِلَةِ بِحُسْنِ التَّسْمِيَّةِ النَّظَامِيَّةِ IUPAC:

الخطوة 1: حدد أطول سلسلة من ذرات الكربون،
وحدد البداءة المميزة لها.

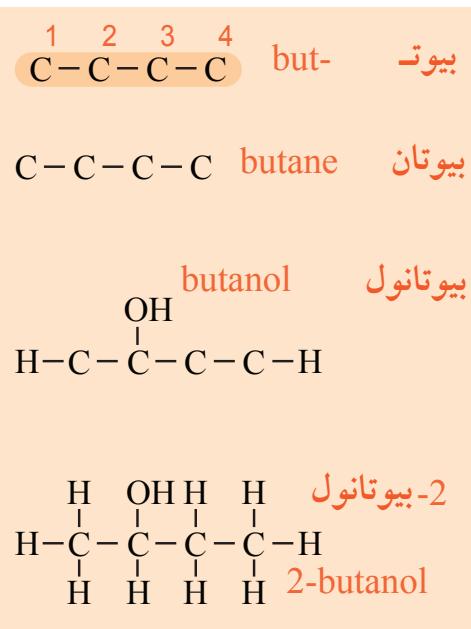
الخطوة 2: أضف اللاحقة «-ان»؛ ذلك لأن جميع الروابط بين ذرات الكربون في السلسلة، هي روابط تساهمية أحادية.

الخطوة 3: أضف اللاحقة «-ول» لظهور وجود مجموعة الهيدروكسيل.

الخطوة 4: أضف الرقم (2-) لتحديد موقع مجموعة الهيدروكسيل على أطول سلسلة من ذرات الكربون.

مثال 18

السؤال ارسم الصيغة البنائية لمركب اسمه بحسب IUPAC هو 2 - بيوتانول «2-butanol»:



الخطوة 1: تحديد البادئة «بيوت»، لوجود 4 ذرّات كربون في أطول سلسلة.

الخطوة 2: تشير اللاحقة «-ان» لأن جميع الروابط بين ذرات الكربون في أطول سلسلة هي روابط تساهمية أحادية.

الخطوة 3: تدل اللاحقة «-ول» على وجود مجموعة الهيدروكسيل. ويشير الرقم (2) إلى موقع المجموعة على ذرة الكربون الثانية من أطول سلسلة من ذرات الكربون.

الخطوة 4: أضف ذرات الهيدروجين إلى ذرات الكربون، حتى يصبح لكل ذرة كربون 4، وابط.

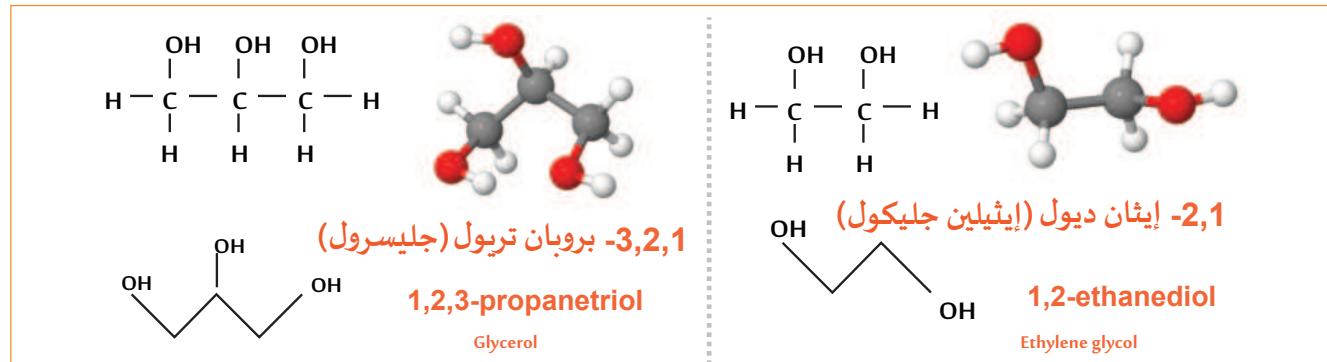
تصنيف الكحولات حسب عدد مجموعات الهيدروكسيل

يحتوي **الكحول الأحادي الهيدروكسيل** **Monohydroxy alcohol** على مجموعة هيدروكسيل واحدة فقط. ويُطلق على الكحولات التي تتضمن مجموعتين من الهيدروكسيل اسم **كحول ثانوي الهيدروكسيل** **Dihydroxy alcohol**. وبدلاً من اللاحقة -ول، التي تُستخدم لتحديد مجموعة هيدروكسيل واحدة، يتم استخدام المقطع «ديول، diol» لتحديد وجود مجموعة هيدروكسيل. يتم أيضًا تحديد موقع كل مجموعة هيدروكسيل برقم.

الكحول الأحادي الهيدروكسيل: كحول يحتوي مجموعة هيدروكسيل واحدة فقط.

الكحول الثنائي الهيدروكسيل: كحول يحتوي على مجموعة هيدروكسيل.

الكحول الثنائي الهيدروكسيل الشائع هو 1,2-إيثان دiol «1,2-ethanediol»، ويُسمى أيضًا إيثيلين جليكول «ethylene glycol». وهذا الكحول مادة كيميائية سامة تستخدم منذ فترة طويلة في المواد مضادة للتجمد في سائل تبريد السيارات. يوضح (الشكل 15-5) الصيغة الهيكلية لسلسلة ترابط ذرّتي كربون (إيثان)، مع وجود مجموعة هيدروكسيل «ديول: diol» على ذرّات الكربون 1 و2.



الشكل 15-5 كحولات ثنائية وثلاثية شائعة.

تُسمى الكحولات التي تحتوي على 3 مجموعات هيدروكسيل **بالكحولات الثلاثية الهيدروكسيل**. وتستخدم المقطع «تريول: triol» لتحديد وجود 3 مجموعات هيدروكسيل.

الكحول الثلاثي الهيدروكسيل: هو كحول يحتوي على 3 مجموعات هيدروكسيل.

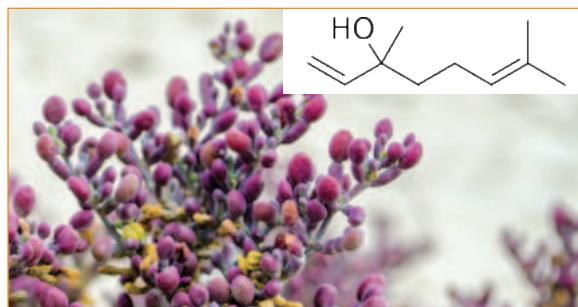
الكحول الثلاثي الهيدروكسيل الشائع هو 1,2,3-بروبان تريول «1,2,3-propanetriol». وهو يُعرف أيضًا باسم الجليسروول أو الجليسيرين. والجليسروول سائل لزج شفاف غير سام. يتميز هذا الكحول بكثرة استخداماته، بما في ذلك استخدامه في زيوت التشحيم، والتحلية، وعامل تكثيف. أضعف إلى ذلك أن الجليسروول هو أيضًا جزء بيولوجي مهم في تكوين الدهون. يوضح (الشكل 15-5) الصيغة الهيكلية التي تبيّن 3 ذرّات كربون مرتبطة معاً بروابط أحادية لتكوّن سلسلة (البروبان)، إضافة إلى ثلاثة مجموعات هيدروكسيل، مع وجود مجموعات الهيدروكسيل على ذرّات الكربون 1,2,3.

أنواع الكحولات الأحادية الهيدروكسيل

تحدد ذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل نوع الكحول الأحادي الهيدروكسيل. يبيّن الجدول 5-8 أمثلة على كل نوع من الكحولات.

ففي **الكحول الأولي** Primary alcohol، ترتبط ذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل مباشرة بذرّة واحدة أخرى من ذرات الكربون. وخير مثال على ذلك، هو الإيثانول أو كحول الجبوب، الذي يستخدم كمادة مضافة إلى البنزول في كثير من البلدان.

- **أما الكحول الثانيي** Secondary alcohol، فترتبط فيه ذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل مباشرة بذرّتي كربون أخرى. ومن الأمثلة على ذلك الأيزوبروبانول «2-بروبانول، 2-propanol»، المعروف أيضًا باسم الكحول المطهر، الذي يستخدم كمطهّر للجلد.



الشكل 16-5 للكثير من الكحولات الثالثية رواح مميزة.

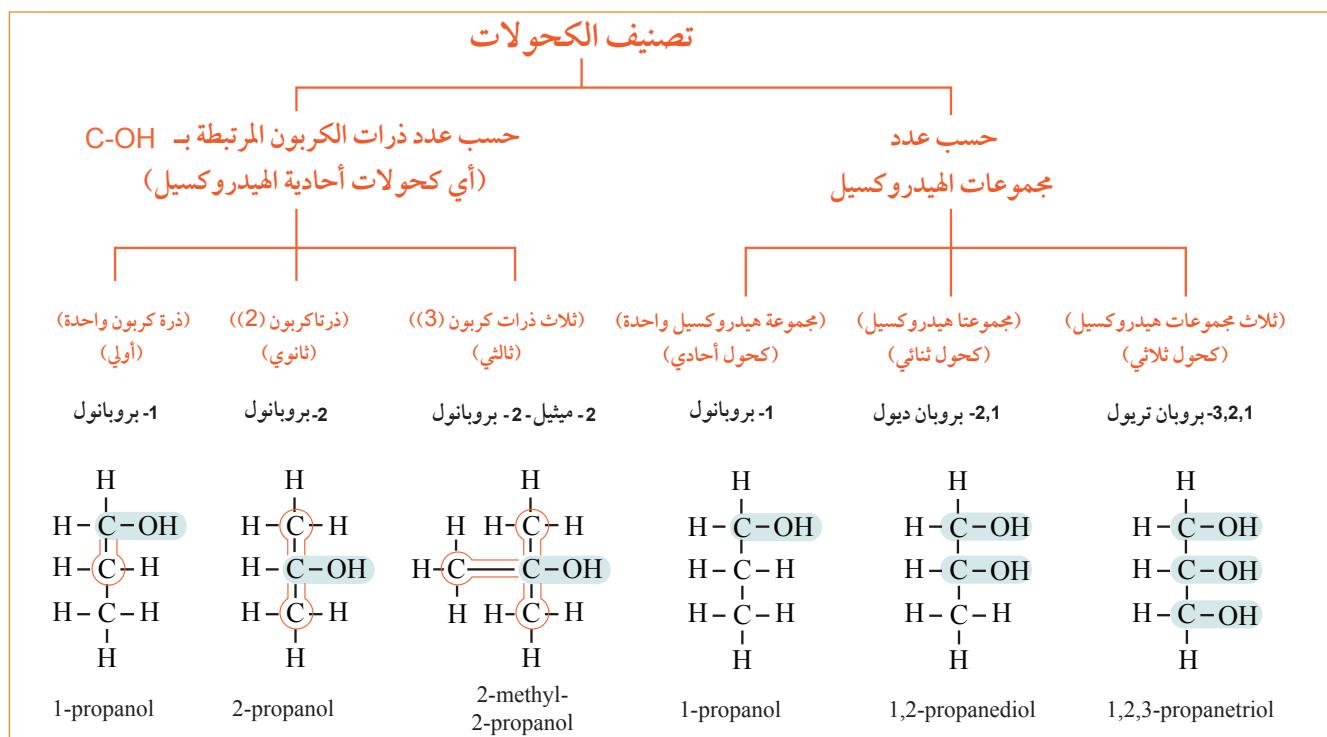
- **أما الكحول الثالثي** Tertiary alcohol، فتكون فيه ذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل مباشرة مرتّبة بثلاث ذرات أخرى من الكربون. وأفضل مثال على ذلك كحول لينالول «linalool»، وهو كحول يوجد بصورة طبيعية، ويعطي بعض الأزهار رائحتها (الشكل 16-5).

الجدول 5-8 الكحولات الأولية والثانوية والثالثية.

الروابط	الصيغة البنائية	نوع الكحول
مجموعة $\text{C}-\text{OH}$ غير مرتّبة بأي ذرة كربون أخرى.	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	حالة خاصة ولكنه يعتبر أولي
ترتّب $\text{C}-\text{OH}$ بذرّة كربون واحدة أخرى.	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	أولي (1°)
ترتّب $\text{C}-\text{OH}$ بذرّتي كربون أخرى.	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{OH} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	ثانوي (2°)
ترتّب $\text{C}-\text{OH}$ بثلاث ذرات كربون أخرى.	$\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	ثالثي (3°)

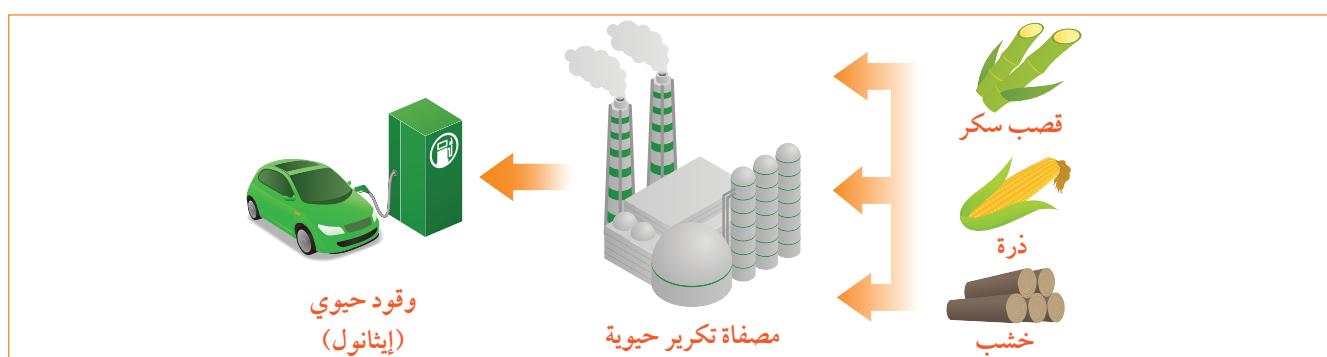
تصنيف الكحولات

يبين (الشكل 17-5) الطريقتين المختلفتين التي يتم تصنيف الكحولات من خلالهما، حيث تتدخل هاتان الطريقتان عند الكحول الأحادي الهيدروكسيل ، فعلى سبيل المثال، يعد 1-بروبانول كحولاً أولياً أحادي الهيدروكسيل، في حين يعد 2-بروبانول كحولاً ثانوياً أحادي الهيدروكسيل.



الشكل 17-5 مخطط بيّن طبقتين لتصنيف الكحولات.

تعد الكحولات إحدى أنواع الوقود السائلة الجيدة المتتجددة، وأكثر أنواعها استخداماً هو الإيثanol. فأول سيارة من طراز فورد تم تصميمها لكي تعمل بالإيثanol. والبرازيل هي الدولة التي تمتلك أكبر نظام وقود حيوي والأكثر نجاحاً في العالم، والذي يتضمن إنتاج وقود الإيثanol من قصب السكر، ففي عام 2006م، شكل وقود الإيثanol ما نسبته 18% من الوقود المستخدم في وسائل النقل والمواصلات في البرازيل، وبحلول عام 2008م، كان هنالك أكثر من 50% من السيارات والشاحنات التي تعمل على الإيثanol المتتجدد عوضاً عن البترول ومشتقاته.



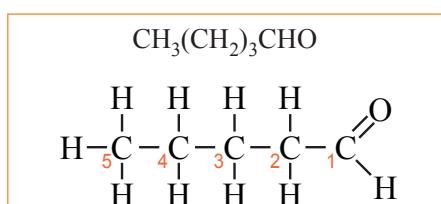
الشكل 5-18 إنتاج الإيثانول بصفه وقوداً.

الأدلة

مجموعة الكربونيل	
الصيغة المكثفة	الصيغة البنائية
$-\text{CO}-$	

توجد مجموعة وظيفية شائعة أخرى، هي مجموعة الكربونيل **Carbonyl**. تتألف هذه المجموعة من ذرة الكربون وذرة أكسجين تربط بينهما رابطة تساهمية ثنائية، وتشكل جزءاً من أطول سلسلة كربون.

مجموعة الكربونيل الوظيفية عبارة عن ذرة كربون تربطها رابطة تساهمية ثنائية بذرة أكسجين.

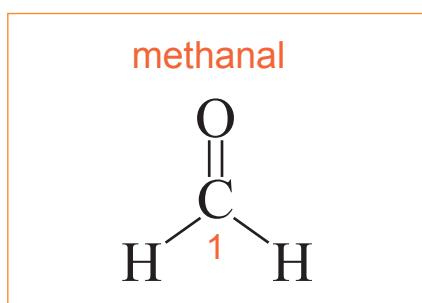


الشكل 19-5 الصيغة البنائية والبنائية المختصرة للأ LODs متتالية.

الألدهيدات مركبات تحتوي على مجموعة الكربونيل، مربطة بأول ذرة كربون في أطول سلسلة كربون. تكون ذرة الكربون في مجموعة الكربونيل مربطة عادة بذرة هيدروجين. لذلك، يتم في الغالب اختصار مجموعة الكربونيل بصورة CHO-. وتسمى مجموعة الفورميك في الصيغ المكثفة.

الألدييدات مركبات عضوية ترتبط فيها مجموعة الكربونيل بذرة كربون طرفية في أطول سلسلة كربون.

بعض النظر عن المجموعات الوظيفية الأخرى، ترقم سلسلة الكربون دائمًا بإعطاء ذرة كربون مجموعة الكربونيل الرقم (1). وتحدد أسماء الألدهيدات بواسطة اللاحقة «-al، -al».



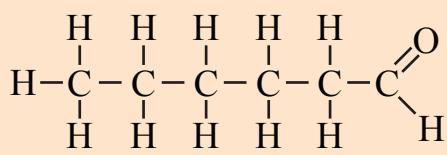
الشكل 5-20 الميثانال، ويعرف أيضاً باسم الفورمالدهيد.

أبسط الألدهيدات هو الألدهيد الذي يحتوي على ذرة كربون واحدة ويسمى المياثانال. والاسم الشائع لهذا الألدهيد هو الفورمالدهيد. ويعتقد خطأً أن الفورمالدهيد سائل، في حين أن هذا المركب غاز عند الظروف القياسية STP. يذوب الفورمالدهيد في الماء، ويسمى محلوله المائي بالفورمالين. وقد كان محلول الفورمالين المائي يستخدم لسنوات كمادة حافظة للأنسجة البيولوجية. لكنه حالياً لم يعد يستخدم على نطاق واسع، لأنّه مادة مسرطنة.

عند رسم الصيغة البنائية للألدهيدات، قد تكون مجموعة الكربونيل عند أي طرف من أطول سلسلة كربون.



مثال 19

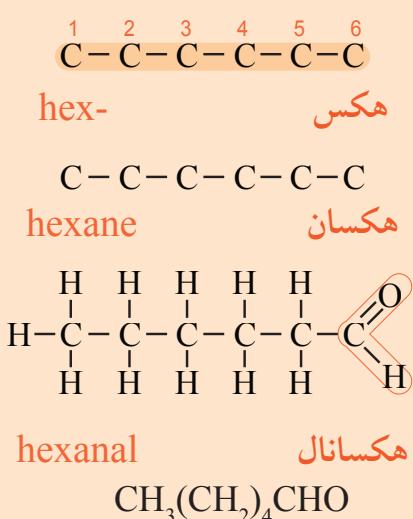


السؤال سُمِّيَ المُرْكَبُ ذَا الصيغة البنائية المقابلة واتُّبِعِي صيغته المكثفة.

الحل **الخطوة 1:** حَدَّدْ أَطْوَلْ سَلْسَلَةِ كَرْبُونْ وَعَرَّفَهَا بِالبَادَئَةِ هَكْسُ.

الخطوة 2: أَضْفِ اللاحقة «-ان، -ane»، لِأَنْ جَمِيعِ الْرَّوَابِطِ بَيْنِ ذَرَّاتِ الْكَرْبُونِ C-C هِيَ رَوَابِطٌ تَسَاهِمِيَّةٌ أَحَادِيَّةٌ.

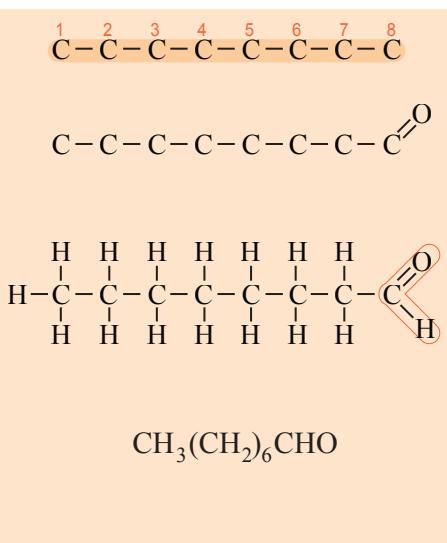
الخطوة 3: أَضْفِ اللاحقة «-ال، -al» لِتَحْدِيدِ مَجْمُوعَةِ الْكَرْبُونِيَّلِ فِي أَطْوَلِ سَلْسَلَةِ الْكَرْبُونِ.



الخطوة 4: اكتُبِ الصيغة المكثفة مع وضع -CHO في النهاية لِتَؤَكِّدِ أَنَّ المُرْكَبَ عِبَارَةً عَنْ أَلْدَهِيدٍ.

مثال 20

السؤال ارسم الصيغة البنائية، ثم اكتُبِ الصيغة المكثفة لمُرْكَبِ الْأَوْكَتَانَالِ «octanal» بِحُسْبِ IUPAC.



الحل **الخطوة 1:** تَحْدِدُ الْبَادَئَةُ أوكت- أَطْوَلُ سَلْسَلَةِ ثَمَانِيِّ ذَرَّاتِ كَرْبُونْ. وَتَشِيرُ اللاحقة «-ان» إِلَى أَنَّ جَمِيعِ رَوَابِطِ C-C هِيَ رَوَابِطٌ أَحَادِيَّةٌ.

الخطوة 2: تَشِيرُ اللاحقة «-ال» إِلَى أَنَّ أَوْلَ ذَرَّةِ كَرْبُونِ مِنِ السَّلْسَلَةِ (يسارًا أو يمينًا) هِيَ جَزْءٌ مِنْ مَجْمُوعَةِ الْكَرْبُونِيَّلِ. أَضْفِ رَابِطَةً ثَنَائِيَّةً بَيْنِ ذَرَّةِ الْكَرْبُونِ وَذَرَّةِ الْأَكْسِجِينِ.

الخطوة 3: أَضْفِ ذَرَّاتِ الْهَيْدِرُوجِينِ إِلَى ذَرَّاتِ الْكَرْبُونِ حَتَّى يَصِيرَ لِكُلِّ ذَرَّةِ كَرْبُونِ 4 رَوَابِطٌ.

الخطوة 4: اكتُبِ الصيغة المكثفة مع وضع -CHO في النهاية، لِتَؤَكِّدِ أَنَّ المُرْكَبَ عِبَارَةً عَنْ أَلْدَهِيدٍ.

الكيتونات



إذا وُجِدَت مجموَّعة الكربونيل مرتبطة بذرةَ كربون غير طرفية ضمن سلسلة الكربون في المركب العضوي، يصنَّف المركب على أنه **كيتون** **Ketone**.

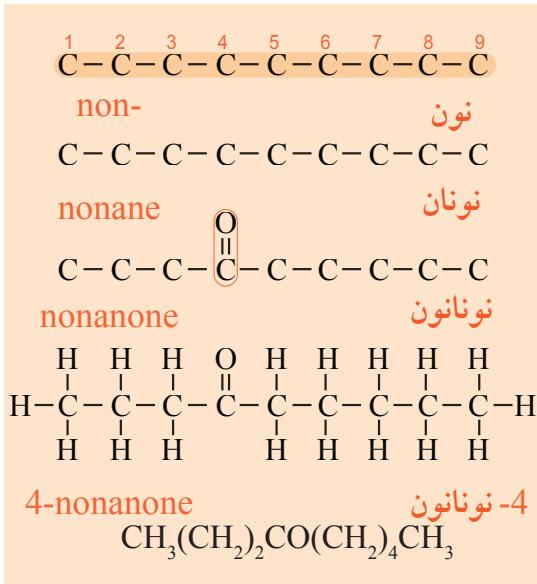
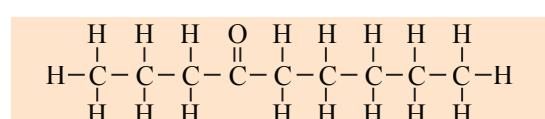
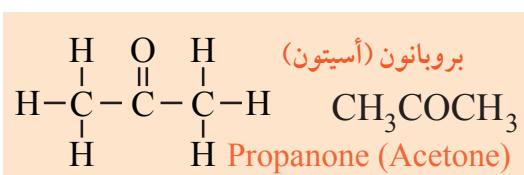
الكيتونات: مركبات عضوية ترتبط فيها مجموَّعة الكربونيل بذرةَ كربون تقع ضمن أطول سلسلة ذرات الكربون.



يُحدَّد اسم الكيتوَنات حسب التسمية النظامية IUPAC، بإضافة اللاحقة «-ون، -one». وبما أن مجموَّعة الكربونيل في الكيتوَنات تقع ضمن سلسلة الكربون، فلا توجد ذرات هيدروجين مرتبطة بها. لذلك تكتب مجموَّعة الكربونيل بـ-CO-. وبالتالي فإن أصغر كيتوَن يتَّألفُ من 3 ذرات كربون. ويطلق على أصغر الكيتوَنات اسم البروبانون «propanone»، المعروفة باسم الأسيتون «acetone».

لالأسيتون استخدامات كثيرة، فهو يستخدم مخفَّفاً لقوام الطلاء ومُزيلاً لطلاء الأظافر.

وعلى عكس الألدهيدات، إذا تكوَّنت سلسلة الكربون من ذرات كربون تفوق الأربع، يختلف موضع مجموَّعة الكربونيل في الكيتوَنات. وفي مثل تلك الحالات، يجب تحديد موقع مجموَّعة الكربونيل بوضع رقم موقع مجموَّعة الكربونيل في مقدمة الاسم حيث تأخذ أقل رقم ممكِّن.



السؤال سُمِّيَ المركب ذا الصيغة البنائية المقابلة، ثم اكتب صيغته المكثفة.

الحل حدد أطول سلسلة من ذرات الكربون، وحدَّد البادئة المناسبة لها: (نون).

أضف اللاحقة «-ان، -ane»، لأن جميع الروابط بين ذرات الكربون C-C في السلسلة هي روابط تساهمية أحادية.

أضف اللاحقة «-ون، -one» لبيان وجود مجموَّعة الكربونيل في سلسلة الكربون.

أضف رقم 4- لتحديد موقع مجموَّعة الكربونيل على سلسلة الكربون.

اكتُب الصيغة المكثفة، ووضع الصيغة -CO- في المنتصف، لتهكُّد أن المركب هو كيتوَن.



التمييز بين الألدهيدات والكيتونات

a2-5

سؤال الاستقصاء	كيف يمكننا إجراء اختبار للألدهيدات والكيتونات؟
3 أنابيب اختبار، سدادات مطاطية، حامل أنابيب اختبار، مُركب CuSO_4 المائي، حمض H_2SO_4 مُخفّف، تترات البوتاسيوم، هيدروكسيد الصوديوم، محلول AgNO_3 تركيزه 0.2M ، محلول NaOH تركيزه 3M ، محلول الأمونيا (2.8%) .	المواة المطلوبة

سيقوم مشرف المختبر، بتحضير ثلاثة محليلات مجهولة، ولكنها مركبات كربونيل، ويعنونها على النحو الآتي: X، Y، Z، وعلىنا أن نحدّد أيٌ منها يُعدّ كيتونات، وأيٌ منها يُعدّ ألدهيدات.

الجزء 1: اختبار فهلنجل (Fehling test)

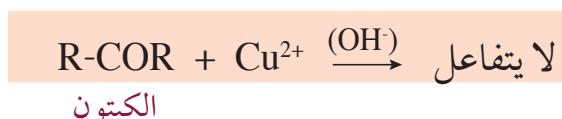
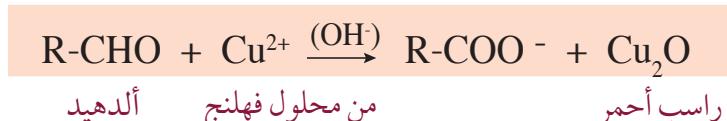
- يتم تحضير محلول فهلنج (A) بإذابة 7g من مركب $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ في 100mL من الماء المقطر الذي يحتوي على نقطتين من حمض الكبريتيك المُخفَّف.
- يتم تحضير محلول فهلنج (B) بإذابة 35g من ترترات البوتاسيوم، و12g من NaOH في 100mL من الماء المقطر.

١. اخلط 15mL من محلول (A) مع 15mL من محلول (B)، ثم ضع 2mL من هذا المخلوط في أنبوب اختبار فارغ.

2. أضف 3 نقاط من المركب المراد فحصه إلى هذا الأنبو.

3. ضع أنبوب الاختبار في حمام مائي درجة حرارته تساوي 60°C.

يعطي الاختبار نتيجة إيجابية مع الألدھيدات حيث يظهر معلق أخضر اللون، وراسب أحمر، والمعادلة العامة المبسطة الآتية توضح ذلك:





التمييز بين الألدهيدات والكيتونات - تابع

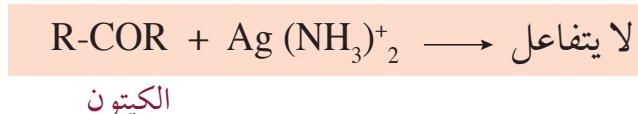
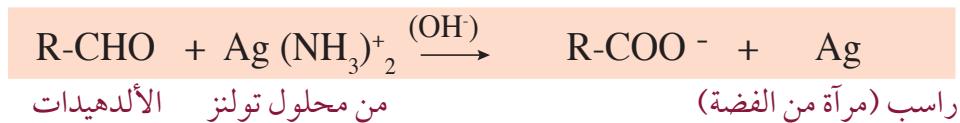
a2-5

الجزء 2: اختبار تولنر (Tollens' test)

ضع 2mL من محلول AgNO_3 تركيزه 0.2M في أنبوب اختبار نظيف، وأضف إليه نقطة واحدة من محلول NaOH تركيزه 3M، ثم أضف محلول الأمونيا (2.8%) نقطة تلو النقطة، مع التحريك الثابت والمستمر إلى أن يذوب راسب أكسيد الفضة، ثم خفف المحلول الناتج بالماء، حتى يبلغ حجمه النهائي 10mL (محلول تولنر).

1. ضع 1mL من محلول تولنر الذي حضرته أعلاه في أنبوب اختبار فارغ.
2. أضف ثلات نقط من المركب المراد فحصه إلى أنبوب الاختبار.
3. يُحتمل أن تشاهد تفاعلاً فوريًا يحدث في الحال. وإذا لم يحدث، ضع أنبوب الاختبار في حمام مائي درجة حرارته تساوي 60°C .

يعطي الاختبار نتيجة إيجابية مع الألدهيدات إذ يؤدي إلى تكون مرآة من الفضة، أو راسب أسود اللون في داخل أنبوب الاختبار، والمعادلة العامة المبسطة الآتية توضح ذلك:



الأسئلة

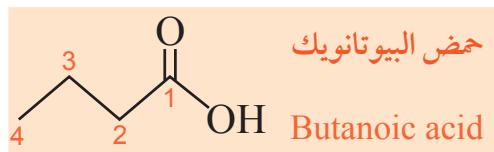
- ما سبب تغيير اللون في اختبار فهلنج؟
- فسر تحول السطح الداخلي لأنبوب الاختبار إلى مرآة من الفضة عند وجود الألدهيد في اختبار تولنر.
- حدد أي المحاليل X, Y, Z هي ألدهيدات وأي منها كيتونات. فسر اجابتك.

الأحماض الكربوكسيلية

مجموعة الكربوكسيل	
الصيغة المكثفة	الصيغة البنائية
$-\text{COOH}$	

تكون بعض المجموعات الوظيفية مزيجاً من مجموعات وظيفية أصغر. ومن تلك المجموعات الشائعة مجموعة **الكربوكسيل** (Carboxyl).

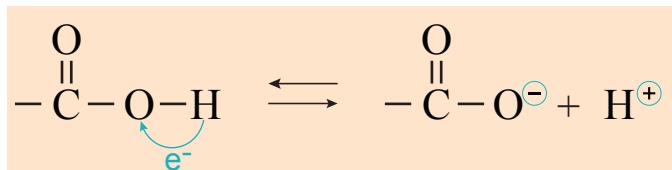
مجموعة الكربوكسيل الوظيفية: تتكون من مجموعة الكربونيل ومجموعة الهيدروكسيل (-COOH).



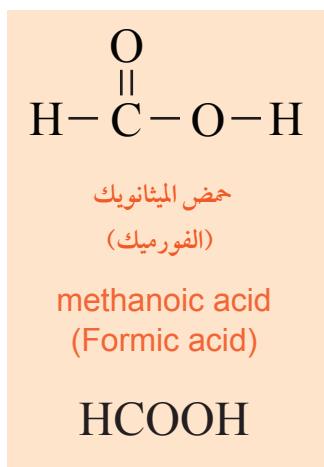
كما هي الحال في الألدهيدات، فإن ذرة الكربون في مجموعة الكربوكسيل تأتي في طرف السلسلة الكربونية، وتعطى دائمًا الرقم (1).

فإذا وجدت مجموعة كربوكسيل واحدة، أضف المقطع حمض إلى اسم الألكان المقابل، واللاحقة - ويك في نهاية الاسم. وتعرف تلك المركبات باسم **الأحماض الكربوكسيلية**، وأحياناً يشار إليها باسم الأحماض العضوية. **Carboxylic acids**

الأحماض الكربوكسيلية: عبارة عن جزيئات تتميز بوجود مجموعة الكربوكسيل الوظيفية.



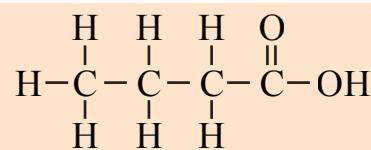
تعطي هذه المجموعة للجزيئات طبيعة حمضية، لأن ذرّتي الأكسجين (ذات السالبية الكهربائية العالية) تسحبان نسبة كبيرة من كثافة إلكترون ذرّة الهيدروجين. ونتيجة لذلك، يكون الحمض قابلاً للتأين في الماء ويعطي أيونات (H^+).



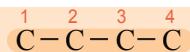
يُسمى أبسط حمض كربوكسيلي بحمض الميثانويك. واسمه الشائع حمض الفورميك، وهو مشتق من الاسم اللاتيني فورميكا، ويعني النمل. ذلك لأن حمض الفورميك تم الحصول عليه للمرة الأولى من أجسام النمل. كما أن الإحساس بلدغ النمل ناتج من حمض الفورميك.

عند كتابة الصيغ المكثفة، يرمز إلى مجموعة الكربوكسيل باستخدام $(-\text{COOH})$.

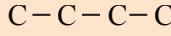
مثال 22



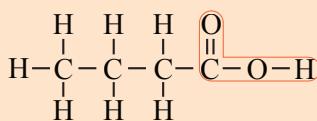
السؤال سِّم المُرْكَب ذَا الصيغة البنائية المُقابِلة بحسب نظام التسمية IUPAC، ثم اكتب صيغته البنائية المُكثِّفة.



but- بيوت



butane- بيوتان



butanoic acid حمض البيوتانويك



الحل **الخطوة 1:** حدد أطول سلسلة من ذرّات الكربون، واكتب البادئة بيوت.

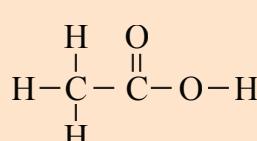
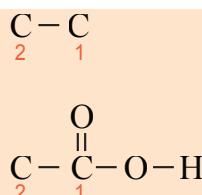
الخطوة 2: أضف اللاتقة «-ان، ane»، لأن جميع الروابط التي تربط بين ذرّات الكربون هي روابط تساهمية أحادية.

الخطوة 3: أضف اللاتقة «-ويك، -oic» والمقطع حمض، لتبين وجود مجموعة الكربوكسيل في بداية السلسلة الكربونية.

الخطوة 4: اكتب الصيغة المُكثِّفة، واضعًا الرمز COOH- عند نهاية السلسلة، لتوَّكِّد أن المُرْكَب هو من الأحماض الكربوكسيلية.

مثال 23

السؤال ارسم الصيغة البنائية، واكتب الصيغة البنائية المُكثِّفة لمُرْكَب حمض الإيثانويك



الاسم الشائع لحمض الإيثانويك ethanoic acid هو حمض الأستيك، أو حمض الخليك، لأن هذا الحمض هو المكون الرئيس للخل.

الحل **الخطوة 1:** تحدد البادئة «-إيث، eth-» أن أطول سلسلة من ذرّات الكربون مكوَّنة من ذرتين. وتشير اللاتقة «-ان، ane» إلى أن جميع روابط C-C هي روابط تساهمية أحادية.

الخطوة 2: يشير المقطع حمض واللاتقة «ويك» إلى أن أول ذرّة كربون (يسارًا أو يمينًا) من السلسلة هي جزء من مجموعة الكربوكسيل. أضف ذرّة الأكسجين المرتبطة مع ذرّة الكربون برابطة تساهمية ثنائية، وكذلك مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بذرّة الكربون نفسها.

الخطوة 3: أضف ذرّات الهيدروجين، حتى يصبح لكل ذرّة كربون أربع روابط.

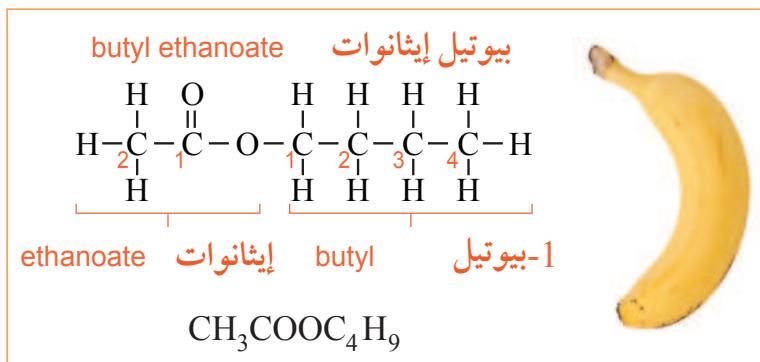
الخطوة 4: اكتب الصيغة المُكثِّفة، واضعًا المجموعة الوظيفية COOH- عند النهاية لتوَّكِّد أن المُرْكَب هو حمض الكربوكسيل.

الإسّترات

مجموّعة الإسّتر	
الصيغة المكثّفة	الصيغة البنائيّة
$-\text{COO}-$	مجموعة إيثر كربونيل

الإسّترات **Esters** مركّبات عضوية لديها مجموعة وظيفية هي مزيج من مجموعة الكربونيل وذرة الأكسجين التي تقسم سلسلة الكربون بواسطة المجموعة $(-\text{O}-)$ إلى قسمين، وتعرف بمجموّعة الإيثر.

تحتوي الإسّترات على مجموّعة $-\text{COO}-$ التي تقسم سلسلة الكربون إلى سلسلتين أصغر.

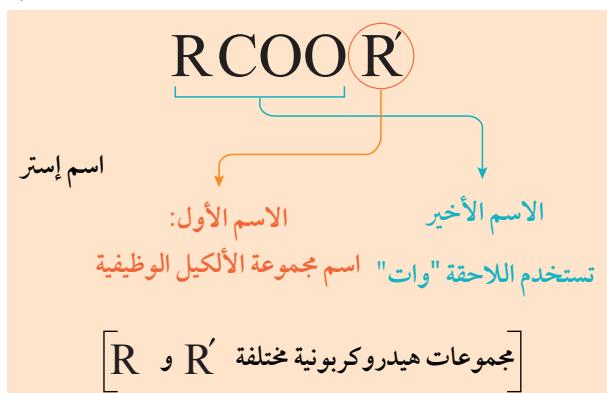


يتميز الكثير من الإسّترات برائحة زكية أو بطعم الفواكه. وتعزى مذاقات الفواكه والروائح المميّزة لها إلى إستر معين أو مزيج من الإسّترات. فرائحة الأزهار أو العطور ناتجة عن الإسّترات. (الشكل 21-5).

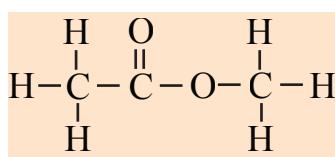
الشكل 21-5 رائحة الموز ناتجة عن الإسّتر 1-بيوتيل إيثانوات.

تختلف طريقة تسمية الإسّترات عن أنواع المركّبات العضوية التي درسناها حتى الآن. ولتسمية إستر، قم بكسر السلسلة بعد مجموعة $(\text{COO}-)$ ، مع الحفاظ على ذرة الكربون في مجموعة الكربونيل كجزء من السلسلة الموجودة على ذلك الجانب من الجزيء. يُسمى نصف السلسلة من دون ذرات الأكسجين كمجموعة الألکيل الوظيفية أولاً. ويستخدم النصف الثاني التسمية الهيدروكربونية النموذجية مع اللاحقة (ـوات) المضافة.

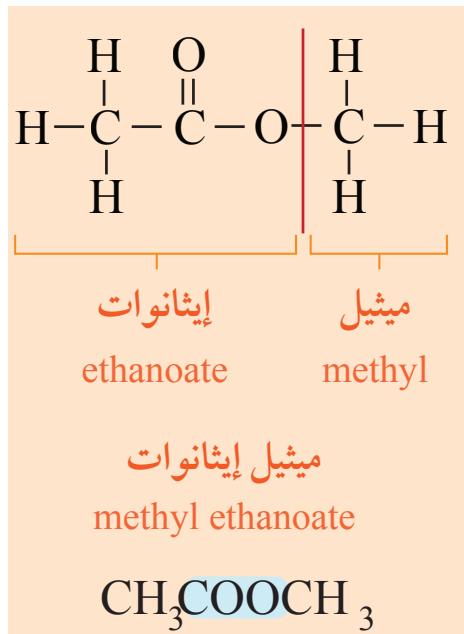
تُحضر الإسّترات بتفاعل حمض الكربوكسيل والكحول. ستناقش عملية الإسّتر هذه في



الدرس (3-5). من الجدير ملاحظته أن $\text{R}-\text{CO}$ والذي يشكّل نصف الإستر مصدره حمض الكربوكسيل (RCOOH ، ومصدر الألکيل ($\text{R}'-\text{O}$) نصف الإستر الثاني من الكحول ($\text{HO}-\text{R}'$). حيث ترتبط ذرة H من الكحول ومجموعة OH من الحمض، لتكوين الماء، كناتج ثانوي.



السؤال سُمِّيَ المُرْكَبُ ذَا الصيغة البنائية المقابلة بحسب نظام التسمية IUPAC، ثم اكتب صيغته البنائية المكثفة.



الحل **الخطوة 1:** قسم سلسلة الكربون ما بعد المجموعة $-\text{COO}-$.

الخطوة 2: سُمِّيَ النصف R من دون المجموعة $-\text{COO}-$ باعتبارها مجموعة ألكيل وظيفية. يحتوي هذا النصف على ذرَّة كربون واحدة فقط، لذلك تُسمَّى هذه المجموعة ميثيل.

الخطوة 3: سُمِّيَ النصف $-\text{R-COO-}$. يحتوي هذا الجزء على ذرَّة كربون متصلتين برابطة تساهمية أحادية. لذا يطلق على هذا الجزء اسم إيثان. أضف اللاحقة «وات، oate».

الخطوة 4: اجمع اسم النصفين لتحصل على اسم الإستر، ميثيل إيثانوات.

الخطوة 5: اكتب الصيغة المكثفة مع وضع $(-\text{COO}-)$ في منتصف الصيغة لتأكيد أن المركَب عبارة عن إستر.

سؤال للمناقشة

أين تتوافر الإسترات بصورة طبيعية؟

سؤال للمناقشة

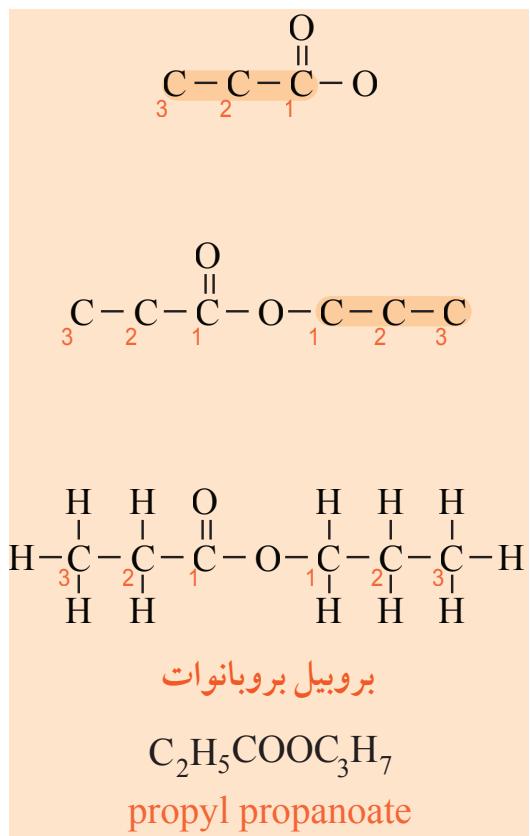
في أي مُنتجات يُستخدم الإستر؟

مثال 25



السؤال ارسم الصيغة البنائية للمركب بروبيل بروبانوات «propyl propanoate» بحسب IUPAC، ثم اكتب صيغته البنائية المكثفة.

الحل

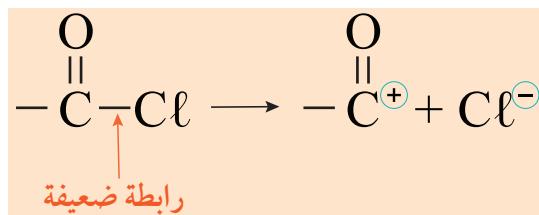


كلوريدات الأسييل

مجموعـة كلورـيد الإـسـيل	
الصـيـغـةـ المـخـتـصـرـة	الصـيـغـةـ الـهـيـكـلـيـة
$-\text{COCl}$	

المجموعة الوظيفية **لكلوريدات الأسيل** **Acyl chlorides** هي مزيج من مجموعة الكربونيل مع مجموعة الكلورو.

تحتوي مركبات كلوريدات الأسيل على المجموعة الوظيفية COCl_ℓ .



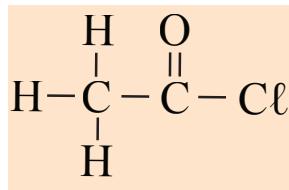
كلوريدات الأسيل لها نشاط كيميائي مرتفع. مما يجعلها خطيرة عند التعامل معها كما أن كلوريدات الأسيل تمثل أن تحول إلى أبخرة قوية جدًا من شأنها أن تحرق العيون والأنف. تشبه تسميات كلوريدات الأسيل طريقة تسمية الأحماض الكربوكسيلية، باستثناء استخدامها للعبارة البادئة «كلوريد، chloride»، واللاحقة «ـويال، oyl».

$$\text{O} \quad \text{O}$$

$$= \text{C} - \text{Cl} \longrightarrow - \text{C}^+ + \text{Cl}^-$$

↑
رابطة ضعيفة

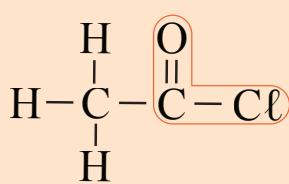
مثال 26



السؤال سُمِّيَ المُرَكَّبُ ذَا الصِّيغَةِ الْبَنَائِيَّةِ الْمُقَابِلَةِ، وَاَكْتُبْ صِيغَتِهِ الْبَنَائِيَّةِ الْمُكَثِّفَةِ.

eth- C — C اٹھ

ethane $\text{C} - \text{C}$ ایثان



ethanoyl chloride إيثانويول كلوريد



الخطوة 1: حدد أطول سلسلة من الكربون، ثم حدد البداية «-إيث، -eth».

الخطوة 2: أضف اللاحقة «-ان، ane»، لأن جميع الروابط C-C هي روابط تساهمية أحادية.

الخطوة 3: أضف اللاحقة «-oyl»، ووضع البادئة كلوريد، لتحديد وجود مجموعة كلوريد الأسيل على سلسلة الكربن.

الخطوة 4: اكتب الصيغة المكثفة COCl - عند نهاية الصيغة لتأكد أن المركب هو كلوريد الأسيل.



بناء نماذج لجزئيات عضوية

b2-5

كيف يمكن تمثيل الجزيئات العضوية باستخدام نماذج ثلاثة الأبعاد؟

سؤال الاستقصاء

نماذج الكرات والعصي.

المواد المطلوبة

الجزء 1: رسم الصيغة البنائية للمركبات العضوية

1. ارسم الصيغة البنائية لكل جُزئٍ.

من الصيغة البنائية، حدد تصنيف المُركب وعدد ذرات الكربون، وذرات الهيدروجين، وذرات الهالوجين، وذرات الأكسجين، والروابط التساهمية الأحادية للكربون-الكربون، والروابط التساهمية الثنائية، وروابط الكربون والهيدروجين التي سيطلبها كل نموذج جُزئي.

جدول التحليل الجُزئي

الاسم المركب	الصيغة البنائية	فئة المركب	عدد ذرات الكربون	عدد ذرات الهيدروجين	عدد ذرات الهالوجين	عدد ذرات الأكسجين	عدد روابط C-C الأحادية	عدد روابط C-H الثانوية	عدد روابط
الميثanol methanol									
البروبانال propanal									
2-برومو-3-كلوروبوتان 2-bromo-3-chlorobutane									
البروبانون propanone									
حمض الإيثانويك ethanoic acid									
ميثيل إيثانوات methylethanoate									

الجزء 2: بناء النماذج الجُزئية

استخدم دليل النماذج الجُزئية لتحديد ذرات النموذج الصحيحة وروابط النموذج المراد استخدامها، ثم قم ببناء النماذج الجُزئية. اعرض النموذج على معلمك للتتأكد من صحته.

1. ما اللواحق المستخدمة لتحديد الكحولات والألدهيدات؟ 

2. ما الفرق بين الألدهيدات والكيتونات بخصوص موقع مجموعة الكربونيل؟ 

3. اذكر اسم هاليد الألكيل الذي يحتوي على 5 ذرات كربون، وذرة فلور، عند أول ذرة كربون وذرة بروم عند ثاني ذرة كربون. 

4. ما الاسم المستخدم لمركب عضوي ينتمي إلى الكيتونات ومؤلف من 6 ذرات كربون مع مجموعة الكربونيل الموجودة على ذرة الكربون رقم 3؟ 

a. 6-بروبانون 6-propanone

b. 3-هكسانون 3-hexanone

c. 6-بروبانال 6-propanal

d. 3-هكسانال 3-hexanal

5. ما الاسم الصحيح لجزيء عضوي له سلسلة كربونية مؤلفة من سبع ذرات كربون ومجموعة كربوكسيل تقع عند ذرة الكربون الأخيرة؟ 

a. حمض الأوكتانويك octanoic acid

b. أوكتانال octanal

c. هبتانال heptanal

d. حمض الهبتانويك heptanoic acid

6. ما عدد ذرات الكربون والأكسجين الكلية في جزء 1-نونيل بيوتانوات؟ 

15 .c

16 .d

13 .a

14 .b

7. ما عدد ذرات الهيدروجين الموجودة في الجزيء الآتي: 

2-ثنائي بروموم-1,1,2-ثلاثي كلورو-3-ايودوبتان $2,3\text{-dibromo-1,1,2-trichloro-3-iodopentane}$

10 .c

12 .d

6 .a

8 .b

8. ما الخاصية المميزة للاسترات؟ 

9. ما العبارة اللاحقة التي تحدد كلوريد الأسيل؟ 

10. ما اسم المركب ذي الصيغة البنائية المكتففة HCOOCH_3 ؟ IUPAC بحسب 

الدرس 3-5

التفاعلات العضوية

قبل العام 1828م، كان يُعتقد بأن المركبات العضوية لا يمكن تحضيرها في المختبر؛ وأنّها تنتج وتنسخ من الكائنات الحية فقط، مثل النباتات والحيوانات. كان هذا الاعتقاد يُعرف باسم نظرية القوة الحيوية.

تم في عام 1828م، إنتاج أول مركب عضوي في المختبر باستخدام مُتفاعلات ليس مصدرها النباتات أو الحيوانات. أصبحت الآلاف من تلك التفاعلات معلومة في أيامنا. وهذا الدرس يلقي نظرة على بعض تلك التفاعلات الأكثر أهمية.

مخرجات التعلم

C1106.7 يصف تكوين الألدهيدات والكيتونات من أكسدة الكحولات، واستخدام حمض الكروميك كعامل مؤكسد.

C1106.9 يصف تكوين الأحماض الكربوكسيلية وتفاعلاتها لتكوين الإسترات والأملام.

C1106.10 يصف خصائص تركيب الإسترات، واستخداماتها، وتفاعل التحلل المائي لتكوين الكحولات والأحماض.

C1106.2 يصف كيمياء الألكانات من خلال تفاعلات الاحتراق، وتفاعلات استبدال الهيدروجين بالهالوجين (الهالجنة)، وحملها الكيميائي تجاه تفاعلات الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفilia (المحبة للإلكترونات) والنيوكليوفilia (المحبة للنواة).

C1106.3 يصف كيمياء الألكينات بأنها كيمياء الروابط التساهمية الثنائية، ومن خلال تفاعلات الإضافة والبلمرة.

C1106.4 يصف كيمياء هاليدات الألكيل من خلال تفاعلات الاستبدال (الإحلال)، وحذف هاليدات الهيدروجين لتكوين الألكين.

C1106.6 يصف كيمياء الكحولات من خلال الإيثanol، ويتضمن تفاعلات الاحتراق، وتفاعلات الاستبدال (الإحلال)، والتفاعل مع الصوديوم، وأكسدته إلى مركبات كربونية، وأحماض كربوكسيلية، وتفاعلات نزع (حذف) الماء، وتفاعل تكوين الإسترات.

المفردات



Substitution	الاستبدال
Elimination	الحذف
Combustion	الاحتراق
Esterification	الأسترة
Hydrolysis	التحلل المائي
Electrophile	إلكتروفيل
Nucleophile	نيوكليوفيل
Halogenation	الهالجنة

تفاعلات الألkanات

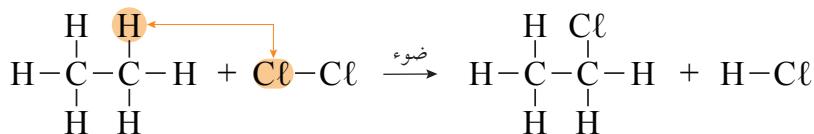
الاحتراق

هناك ألكانات كثيرة، وخاصة الصغيرة منها، شديدة الاشتعال. فالميثان، والبيوتان، والأوكتان هي ألكانات شائعة معلومة لديها قابلية للاحتراق بشكل كامل Complete combustion، لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون والماء. وهي تفاعلات طاردة للحرارة تعطي كميات كبيرة من الطاقة. تستخدم تفاعلات الاحتراق هذه في العمليات الصناعية إضافة إلى استخدامها في أغراض التسخين المنزلي وطهي الطعام.



الاستبدال (الإحلال)

• تتفاعل الألkanات مع جزيئات الهايوجين ضمن تفاعل يسمى تفاعل الاستبدال **Substitution**، **هلاجنة الألkanات Halogenation**. بأن يتم استبدال ذرة هيدروجين من جزء الألkan بذرة هاليوجين انظر (الشكل 5-22)، فينتج هاليد الألكيل كناتج رئيس وجذري هاليد الهيدروجين بوصفه ناتجاً ثانوياً. يحتاج هذا النوع من التفاعلات إلى ضوء الشمس (UV) أو إلى تسخين لدرجة حرارة معينة.



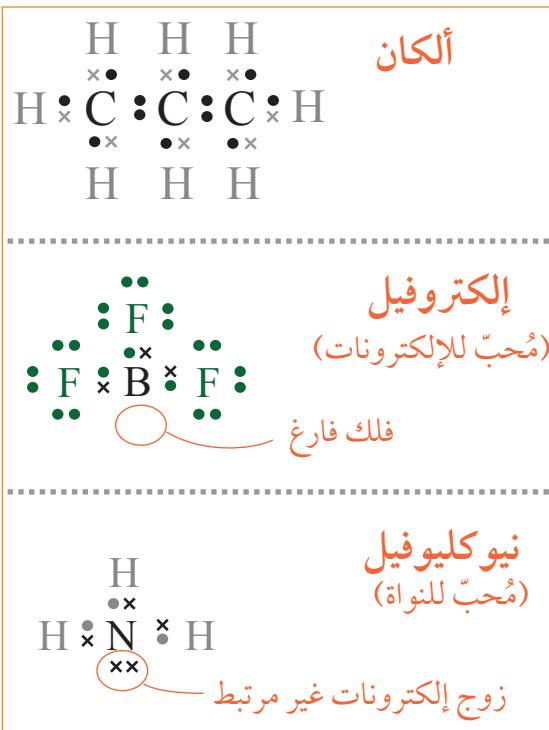
الشكل 5-22 تفاعل استبدال يوضح تفاعل الإيثان مع غاز الكلور.

نشاطية الألkanات

• تتكون جزيئات الألkan من ذرات لها أفلاماً ممتلئة، ولا تمتلك أزواج إلكترونات غير مرتبطة. كما تميز الروابط التساهمية الأحادية بين ذرات الكربون C-C و بين ذرات C-H بأنها روابط سيجما قوية صعبة الكسر. لذلك فإنّ الألkanات خاملة كيميائياً كما يتضح من عدم تفاعلها مع الإلكتروفيلات والنيوكليوفيلات، كما يلي:

• **الإلكتروفيلات** (المواد المحببة للإلكترونات) هي جسيمات مشحونة بشحنة موجبة أو مستقبلات لزوج من الإلكترونات، مثل ثلاثي فلوريد البورون (BF_3)، والألkanات لا تتفاعل مع الإلكتروفيلات.

• **النيوكليوفيلات** (المواد المحببة للنواة) هي مانحات لزوج من الإلكترونات، مثل الأمونيا (NH_3). فالنيوكليوفيلات تمتلك زوجاً من الإلكترونات يقع في فلك غير مرتبط، أو رابطة ثنائية أو أيون سالب، والألkanات لا تتفاعل مع النيوكليوفيلات.

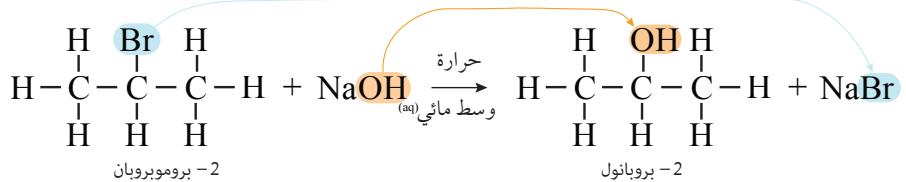


الشكل 5-23 ألكان، وإلكتروفيل، ونيوكليوفيل.

تفاعلات هاليدات الألكيل

الاستبدال (الإحلال)

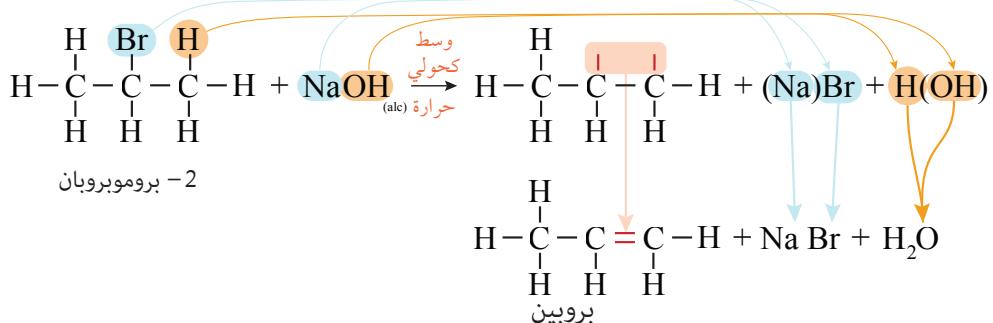
تعتبر هاليدات الألكيل مواد نشطة كيميائياً غير مستقرة تتفاعل بسهولة ولذا تعتبر مواد أولية هامة لتحضير الكثير من المركبات العضوية. من أهم تفاعلاتها: الاستبدال والحدف. خلال تفاعلات استبدال هاليدات الألكيل، تستبدل ذرة هالوجين بمجموعة وظيفية تأتي من مادة متفاعلة أخرى. انظر (الشكل 24-5)، الذي يبيّن تفاعل هاليد الألكيل مع قاعدة قوية في وسط مائي، وهذا الاستبدال يؤدي إلى تكوين كحول بالإضافة إلى ناتج ثانوي واحد يحتوي على ذرة الهالوجين التي نزعت.



الشكل 24-5 تفاعل استبدال هاليد الألكيل.

الحدف

خلال تفاعلات الحدف لفاليدات الألكيل، يتفاعل فاليد الألكيل مع قاعدة قوية في وسط كحولي انظر (الشكل 25-5)، حيث يتم حذف ذرة الهالوجين (بوصفها أيوناً سالباً) الموجودة في فاليد الألكيل، وحذف ذرة الهيدروجين (بوصفها أيوناً موجباً) التي تكون مترتبة بذرة الكربون المجاورة لذرة الكربون المرتبطة بذرة الهالوجين من فاليد الألكيل. يؤدي ذلك إلى تكوين موقعين للترابط موجودين على ذرتي الكربون المتجاورتين، ويكونان رابطة ثنائية معًا. تتفاعل ذرة الهالوجين مع الأيون الموجب لقاعدة القوية من أجل تكوين فاليد الفلز. كما تتفاعل ذرة الهيدروجين مع أيون الهيدروكسيد الآتي من القاعدة القوية لتكوين الماء.



الشكل 25-5 تفاعل حذف فاليد الألكيل.

سؤال للمناقشة

ما العوامل التي تؤدي إلى أن يكون أحد تفاعلي الاستبدال أو الحدف، مفضلاً على الآخر؟

لاحظ أن الأمثلة على استبدال هاليدات الألكيل وحذفها تبدأ بالتفاعلات نفسها. ترى ما الذي يحدد أي من التفاعلين سوف يحدث؟ في كثير من الحالات، يحدث كلا التفاعلين! وتكون النواتج عبارة عن مخلوط لكلا التفاعلين. ولكن هنالك عوامل أخرى، مثل تركيب فاليد الألكيل ونوع المذيب المستخدم ودرجة الحرارة التي يحدث عندها التفاعل تجعل أحد التفاعلين هو المفضل على الآخر، سواء الاستبدال، أو الحذف.

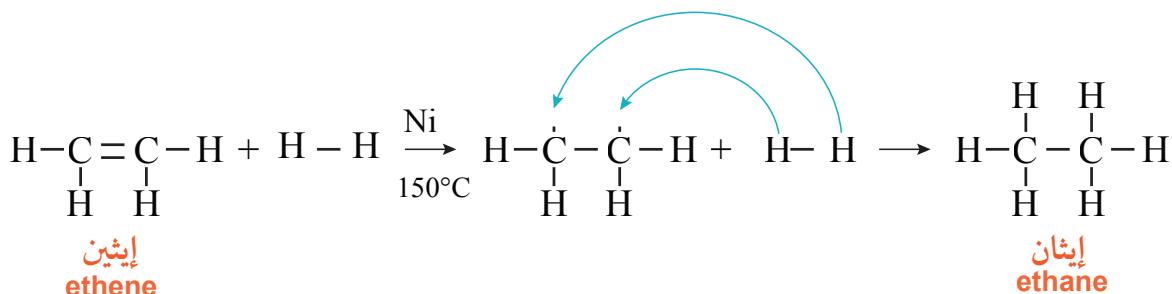
تفاعلات الألكينات

الألكينات أكثر نشاطاً من الألkanات بسبب وجود الرابطة الثنائية التي تحتوي رابطة باي الضعيفة، مما يسهل كسرها مكونة رابطة أحادية بين ذرّتي كربون C-C، بالإضافة إلى موقعٍ رابطة مفتوحين. وبالتالي إضافة رابطتين جديدتين على ذرّتي الكربون.

الإضافة

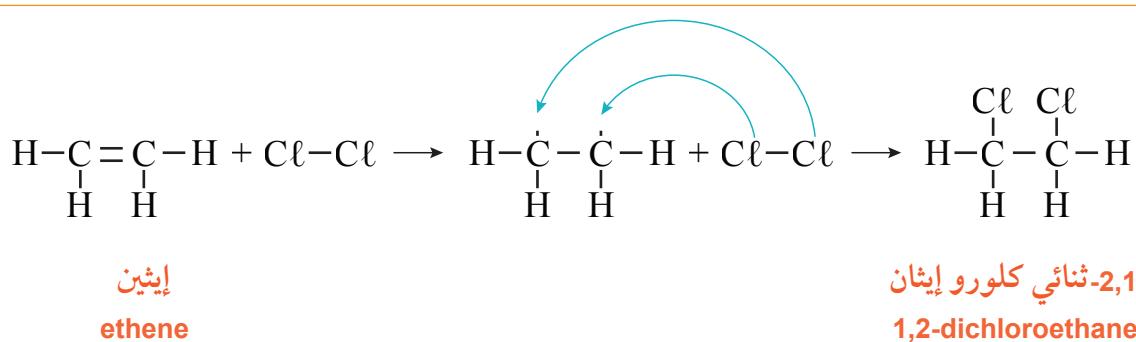
نتيجة لتكون موقعى رابطة قابلين للتفاعل، يمكن إضافة ذرّتين إلى الجُزء من دون إزالة أي ذرّات.

1. تفاعلات إضافة الهيدروجين: تضاف ذرتى الهيدروجين إلى موقعى الرابطة القابلة للتفاعل ويترتب عن ذلك الألكان المقابل، فمثلاً يتكون الإيثان من تفاعل الإيثين مع الهيدروجين بوجود عامل حفّاز مثل النيكل ودرجة حرارة 150°C انظر (الشكل 5-26).



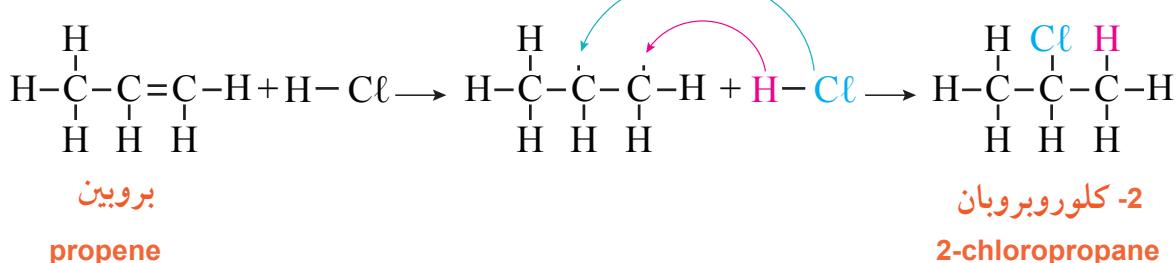
الشكل 5-26 تفاعلاً إضافياً لتكون ألكان.

2. تفاعلات إضافة الهالوجين: تضاف ذراتي الهالوجين إلى موقعى الرابطة القابلة للفيروس ويترافق عن ذلك هاليد الألكيل. انظر (الشكل 27-5).



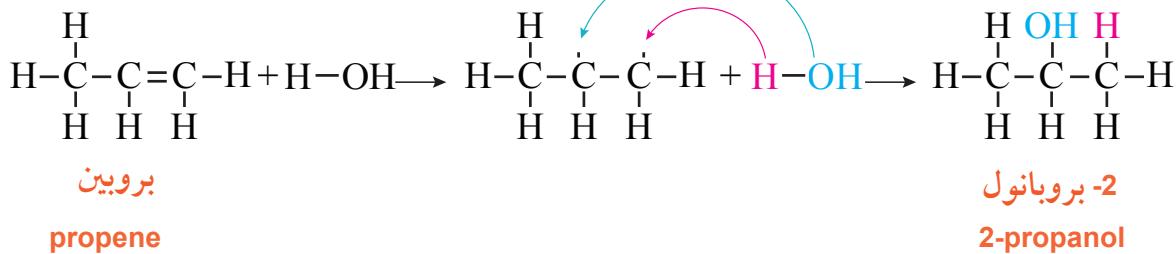
الشكل 5-27 تفاعل الإضافة لتكوين هاليد الألكيل.

3. تفاعلات إضافة هاليد الهيدروجين: في حالة الألكين المتماثل، تضاف ذرة الهيدروجين إلى إحدى ذرتين كربون الرابطة الثنائية وتضاف ذرة الهالوجين إلى ذرة الكربون الأخرى، ويتحقق عن ذلك هاليد الألكيل. وعندما يكون الألكين غير متماثل، تتبع الإضافة **قاعدة ماركوفنيكوف** **Markovnikov's Rule**. إذ تضاف ذرة الهيدروجين إلى ذرة الكربون الغير مشبعة المرتبطة بعدد أكثر من ذرات الهيدروجين في حين تضاف ذرة الهالوجين إلى ذرة الكربون الغير مشبعة الأخرى انظر (الشكل 5-28).



الشكل 28-5 تفاعل الإضافة لتكوين هاليد الألكيل.

4. تفاعلات إضافة الماء: يضاف الماء إلى الألكينات وتنتج الكحولات. و تتبع هذه الإضافة **قاعدة ماركوفنيكوف** بنفس طريقة إضافة هاليد الهيدروجين. انظر (الشكل 29-5).



الشكل 29-5 تفاعل الإضافة لتكوين الكحول.

عند إضافة الهيدروجين إلى الألكين ينتج الألكان المقابل. في حين ينتج هاليد الألكيل عند إضافة الهايوجين أو هاليد الهيدروجين إلى الألكين. بينما ينتج الكحول عند إضافة الماء إلى الألكين.



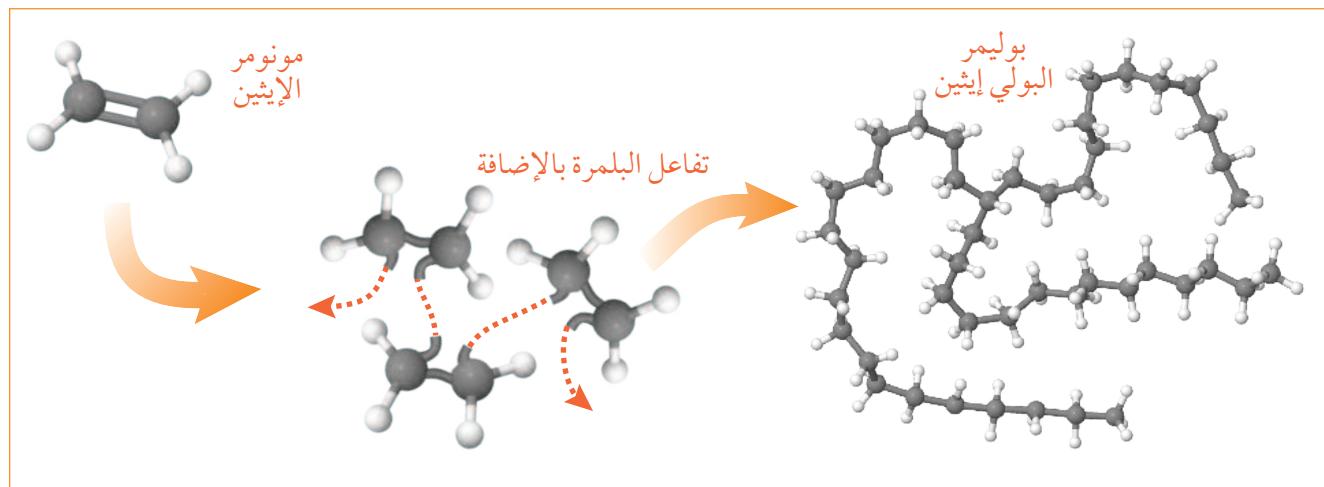
هناك اختلافان رئيسيان بين تفاعلات الإضافة والاستبدال، هما:

1. يحدث تفاعل الاستبدال مع الألكانات قليلة النشاط، أما تفاعل الإضافة، فيحدث مع الألكينات الأكثر نشاطاً.

2. ينتج عن تفاعل الاستبدال ناتجاً ثانوياً واحداً، أما تفاعل الإضافة فلا ينتج عنه أي ناتج ثانوي.

البلمرة

إن وجود الرابطة الثنائية في الألكينات والتي تنكسر بسهولة مكونة موقعين ترابط جديدين، ساعد على حدوث تفاعل البلمرة للألكينات. ففي تفاعلات البلمرة، ترتبط سلاسل الجزيئات معًا انظر (الشكل 30-5). وبالنظر إلى أهمية موضوع البلمرة، سوف نتناوله بشكل مفصل الوحدة القادمة.



الشكل 30-5 يؤدي تفاعل البلمرة بالإضافة إلى تكوين بوليمر من المونومر الإيثين.

تفاعلات الكحولات

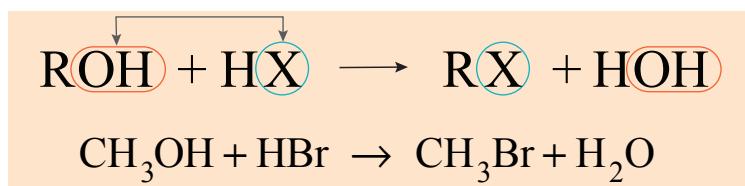
تحتوي الكحولات على مجموعة الهيدروكسيل OH القطبية، وتترابط الكحولات فيما بينها بروابط هيدروجينية. تزداد درجة غليان الكحولات وتقل ذائبتها في الماء بزيادة كتلتها المولية.

الاحتراق
يؤدي الاحتراق الكامل للكحولات إلى تكوين غاز ثاني أكسيد الكربون والماء، بوصفهما نواتج للاحتراق. وهذا مشابه لاحتراق الألkanات الكامل. فالإيثanol كحول ازدادت أهميته كثيراً في الدول التي تخلط الإيثanol بالجازولين (بنزين السيارات) لتسهم في إطالة أمد احتياطيات العالم من النفط. تمثل المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية تفاعل الاحتراق الكامل للإيثanol.



تفاعلات الاستبدال مع هاليدات الهيدروجين

يحدث في تفاعل استبدال الكحول أن تُستبدل مجموعة الهيدروكسيل للكحول بذرة هالوجين من هاليد الهيدروجيني الحمضي ويُنتج الماء كناتج ثانوي. وهذا مشابه لتفاعلات الاستبدال في الألkanات وهاليدات الألكيل.



المعادلة العامة:

مثال:

تفاعلات الاستبدال مع الفلزات النشطة مثل الصوديوم

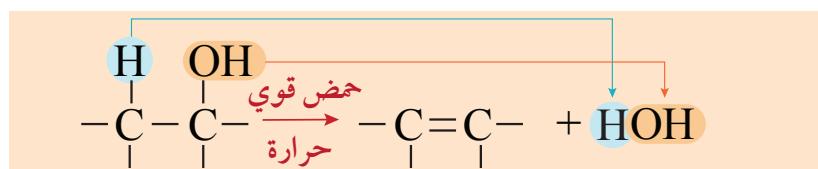
هناك تفاعل ممّيز للكحولات، هو تفاعلها مع فلز الصوديوم لإنتاج غاز الهيدروجين. وعلى الرغم من أنّ هذا التفاعل يستخدم لاختبار سائل غير معلوم، للكشف إن كان كحولاً نقياً أم لا، إلا أنه تفاعل خطير؛ ويكون الناتج العضوي في هذا التفاعل ملح إيثوكسيد الصوديوم، وهو قاعدة مرافقه. ويسمى الناتج في المعادلة التالية إيثوكسيد الصوديوم $\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}$.



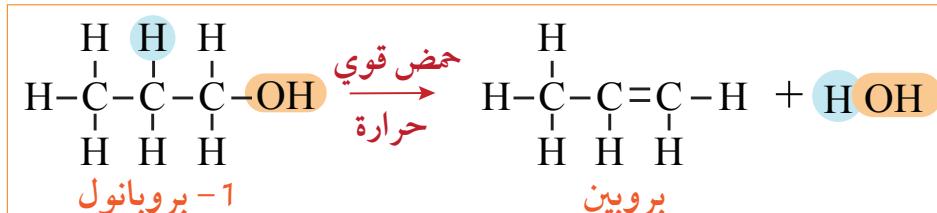
* المقطع (eth) السفلي يُظهر أن هذه الأيونات ذاتية في الكحول.

نزع الماء لتكوين الألkipنات

عندما يتم تسخين الكحولات تسخيناً كافياً بوجود حمض قوي، مثل حمض الكبريتيك، يُنزع الماء من الكحولات لتكوين الألكينات. فمجموعه الهيدروكسيل وذرة الهيدروجين الموجودتان على ذرتين كربون متقارتين ستتم إزالتها من الكحول، مما يؤدي إلى تكوين موقعين ترابط على ذرتين الكربون. يتداخل بعد ذلك موقع الترابط لتكوين رابطة ثنائية بين ذرتين الكربون المتقارتين، وبالتالي يؤدي ذلك إلى إنتاج الألكين.



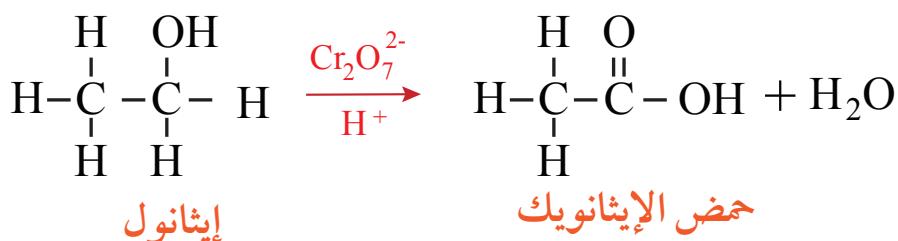
المعادلة العامة:



مثال:

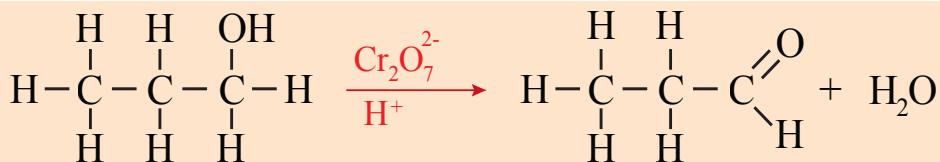
أكسدة الكحولات

عندما يحدث التسخين الكافي للكحول الأولي بوجود عامل مؤكسد، عادة يستخدم محلول ثنائي الكرومات (VI) $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ الحمضي، أو حمض الكروميك (H_2CrO_4)، تتحوّل مجموعة الهيدروكسيل إلى مجموعة كربونيل، ثم إلى مجموعة الكربوكسيل عند التأكسد التام، ويتكوّن الماء بوصفه ناتجاً ثانوياً. أي أن أكسدة الكحول تعني إزالة ذرة (H) من مجموعة (OH) وذرة (H) أخرى من ذرة الكربون نفسها.



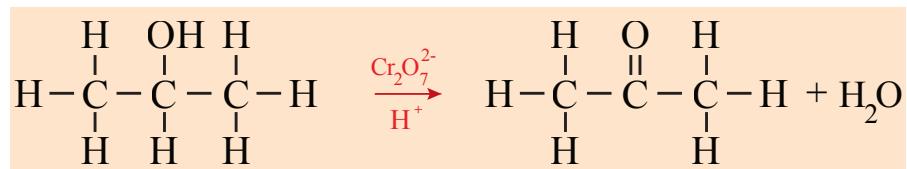
تحضير الألدهيدات من أكسدة الكحولات الأولية

تقع المجموعات الوظيفية لكل من الكحولات الأولية والألدهيدات في نهاية سلسلة الكربون. لذلك عندما تتأكسد مجموعة الهيدروكسيل التابعة للكحول الأولي، تتكون مجموعة كربونيل في نهاية سلسلة الكربون، مما يؤدي إلى تحضير الألدهيد. وتبقي سلسلة الكربون بلا تغيير. لذلك، عندما يكون الهدف تحضير ألدهيد مكون من ثلاث ذرات كربون، يجب أن يستخدم كحول أولي مكون من ثلاث ذرات كربون، بوصفه متفاعلاً.



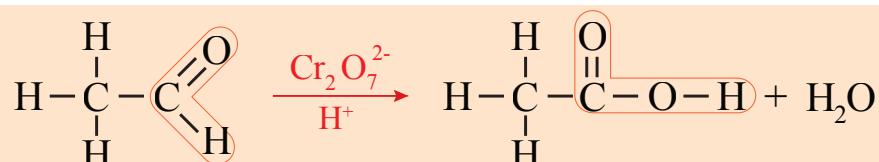
تحضير الكيتونات من أكسدة الكحولات الثانوية

تقع المجموعات الوظيفية لكل من الكحولات الثانوية والكيتونات في وسط سلسلة الكربون لذلك عندما يتآكسد الكحول الثانوي يكون كيتوناً، وتبقي سلسلة الكربون بلا تغيير أيضاً. لذلك عندما يكون الهدف تحضير 3-بنتانول، يجب أن يستخدم 3-بنتانول بوصفه متفاعلاً.



تحضير الأحماض الكربوكسيلية من أكسدة الألدهيدات

معلوم أن أكسدة الكحولات الأولية تُنتج ألدهيدات. وإذا أتيح لعملية الأكسدة أن تستمر بوجود عامل مؤكسد مناسب، تتأكسد مجموعة الكربونيل في الألدهيد إلى مجموعة كربوكسيل، منتجة بذلك حمضًا كربوكسيليًّا. وكما هي حال الألدهيدات والكيتونات، عندما يكون الهدف تحضير حمض كربوكسيلي مكون من ذرتين كربون، يجب أن يستخدم ألدهيد أو كحول أولي حتى تمام التأكسد، بوصفه متفاعلاً.



لا يمكن أكسدة الكحولات الثالثية بسبب عدم وجود ذرة هيدروجين مرتبطة بذرة الكربون الحاملة لمجموعة الهيدروكسيل.



التمييز بين الكحولات

a3-5

كيف يمكننا اختبار كل من الكحولات الأولية، والثانوية، والثالثية؟	سؤال الاستقصاء
3 أنابيب اختبار، سدادات مطاطية، حامل أنابيب اختبار، 1-بيوتانول، 2-بيوتانول، 2-ميثيل بروبانول (كحول بيوتيل ثالثي)، كاشف جونز، كاشف لوکاس وآسيتون.	المواد المطلوبة

الجزء 1: اختبار جونز للكحولات الأولية والثانوية

1. ضع 1mL من الآسيتون في أنابيب الاختبار التي تحمل الأرقام 1، و2، و3.
2. أضف 10mg أو نقطتين من كل كحول مجهول إلى كل أنبوب اختبار.
3. أضف نقطة واحدة من كاشف جونز الذي يتكون من حمض الكروميك وحمض الكبريتيك المخفف، مذابين في الآسيتون والماء إلى كل أنبوب اختبار.
4. سجل ملاحظاتك بعد مضي دقيقة واحدة، ثم تخلص من النفايات الناتجة بالطريقة الصحيحة، ونظف أنابيب الاختبار وجهزها للجزء الثاني.
5. يكون الاختبار الإيجابي لوناً أخضر خلال 15 ثانية بعد إضافة كاشف جونز ذي اللون الأصفر البرتقالي إلى الكحول الأولي، أو الكحول الثانوي، كما أن الألدهيدات تعطي نتيجة اختبار إيجابية أيضاً، أما الكحولات الثالثية فلا تعطي أي نتيجة.

الجزء 2: اختبار لوکاس للكحولات الأولية والثانوية والثالثية

1. أضف 2mL من كاشف لوکاس (كلوريد الخارصين في حمض الهيدروكلوريك المركّز) إلى كل أنبوب اختبار من الأنابيب الثلاثة في درجة حرارة الغرفة.
2. أضف 0.2mL أو 0.2g من كل كحول مجهول إلى كل أنبوب اختبار.
3. أغلق أنابيب الاختبار وهزّها بعنف، ولا حظ الزمن على ساعة التوقيت، ثم لاحظ كل محلول خلال 15 دقيقة التالية، وسجل التغيرات التي تراها، والزمن الذي تشاهد عنده كل تغير يحدث.
4. بعد مضي 15 دقيقة، تخلص من النفايات الناتجة بالطريقة الصحيحة، ونظف أنابيب الاختبار.
5. الكحولات الثالثية ستُتّج طبقة أخرى ضبابية أو مستحلبة بشكل فوري أو خلال 2-3 دقائق، في حين ستستغرق الكحولات الثانوية وقتاً أطول لإنتاج طبقة أخرى، وغالباً ما تستغرق 5-10 دقائق، أما الكحولات الأولية فلن يحدث لها أي تفاعل أو تغير يذكر.

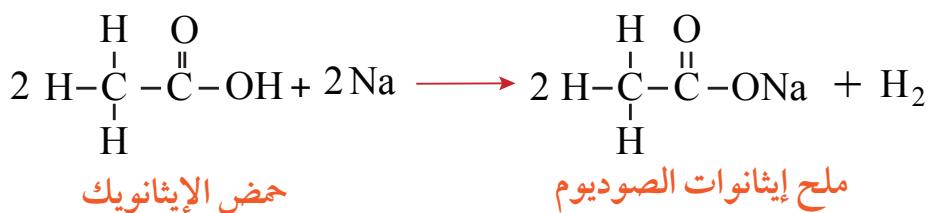
الأسئلة

- a. استناداً إلى نتائج الاختبار خاصتك، حدد الكحولات الثلاثة المجهولة وصنفها إلى أولي، أو ثانوي، أو ثالثي.
- b. صف التفاعل الذي يحدث مع حمض الكروميك الموجود في كاشف جونز، ولماذا لا يحدث هذا التفاعل مع الكحولات الثالثية.
- c. صف التفاعل الذي يحدث مع $ZnCl_2$ الموجود في كاشف لوکاس، ولماذا لا يحدث هذا التفاعل مع الكحولات الأولية.

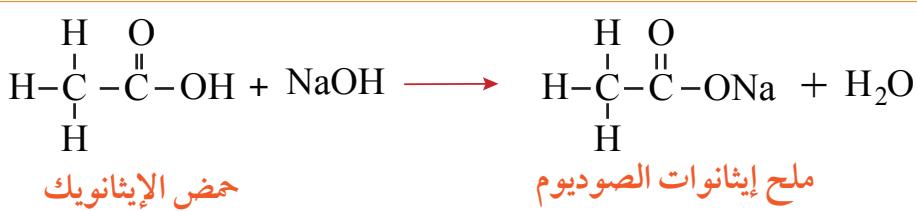
تفاعلات الأحماض الكربوكسيلية

تفاعل الأحماض الكربوكسيلية مع غالبية الفلزات فينتج ملح الحمض ويتصاعد غاز الهيدروجين، وتتفاعل أيضاً مع القواعد فينتج ملح الحمض والماء. كما في المعادلتين الآتتين:

١. تفاعلات الأحماض الكربوكسيلية مع الفلزات:



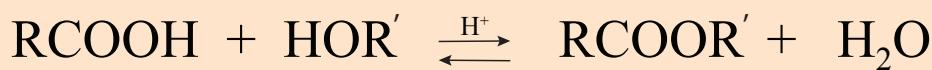
2. تفاعلات الأحماض الكربوكسيلية مع القواعد:



تفاعلات الإسترات

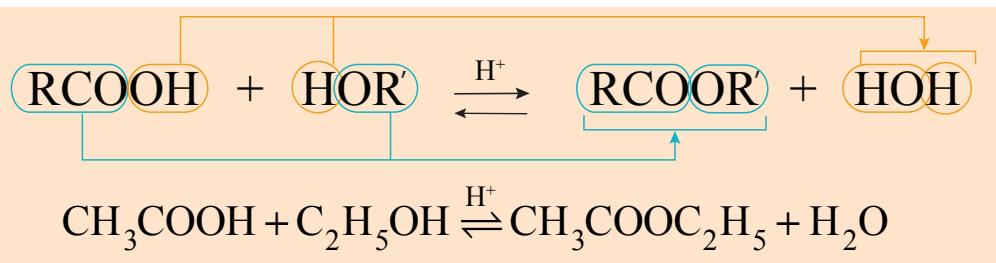
التحضير

يمكن تحضير الإسترات باستخدام حمض الكبريتيك بوصفه عاملاً حفازاً، وذلك من خلال تفاعل حمض كربوكسيلي مع كحول لتكوين إستر وماء. يُعرف هذا التفاعل باسم **الاسترة** (Esterification).



الأُسْتَرَة هي تفاعل حمض كربوكسيلي وكحول لإنتاج إستر وماء.

تفقد مجموعة الكربوكسيل، في الحمض الكربوكسيلي أيون هيدروكسيد (OH^-)، ويفقد الكحول أيون الهيدروجين (H^+) من مجموعة هيدروكسيل، فيندمج هذان الأيونان معًا لتكوين الماء بوصفه ناتجًا ثانويًا. ولهذا السبب يشار إلى تفاعل الأسترة بأنه عملية نزع الماء.



المعادلة العامة:

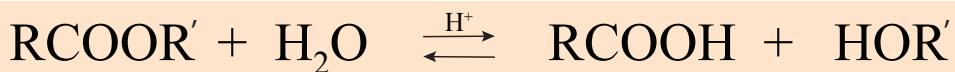
مثال:

التحلل المائي للإسترات

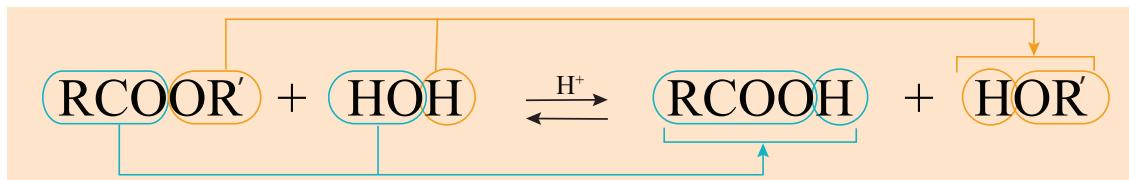
التحلل المائي هو تفكك مادة من خلال تفاعلها مع الماء.



يعد تفاعل الأسترة تفاعلاً انعكاسياً. لذا يمكن أن يحدث للاستر تحلل مائي من خلال تفاعله مع الماء بوجود وسط حمضي، لإنتاج حمض كربوكسيلي وكحول. يمثل التفاعل الآتي عملية **التحلل المائي للإستر** **Hydrolysis**:



يمكن توقع نواتج عملية التحلل المائي من خلال كسر الإستر بعد مجموعة CO_2 -، وإضافة OH من الماء إلى المجموعة $\text{R}-\text{CO}-$ لتكوين حمض كربوكسيلي، ثم إضافة H من الماء إلى مجموعة OR' لتكوين الكحول.



اعتماد الناس على استخدام مركب الأسبرين، بوصفه مسكنًا شائعاً للألم. فالأسبرين عبارة عن إستر. وهو يخضع لتفاعل التحلل المائي بمرور الوقت. هناك جزء من الأسبرين يُعد حمضاً كربوكسيليًّا هو حمض الإيثانويك، وهو نفسه الحمض الموجود في الخل. فرائحة الخل يمكن ملاحظتها في عبوات الأسبرين القديمة. لذلك تنتهي صلاحية الأسبرين بمرور الوقت.

مثال 27

السؤال توقع الإستر المكون من حمض البيوتانويك ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$)، والإيثanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$).



الحل **الخطوة 1:** اكتب حمض البيوتانويك بصيغته المختصرة.

الخطوة 2: انزع مجموعة OH من مجموعة COOH التابعة لحمض البيوتانويك، تاركًا المجموعة $\text{C}_3\text{H}_7\text{CO}$.

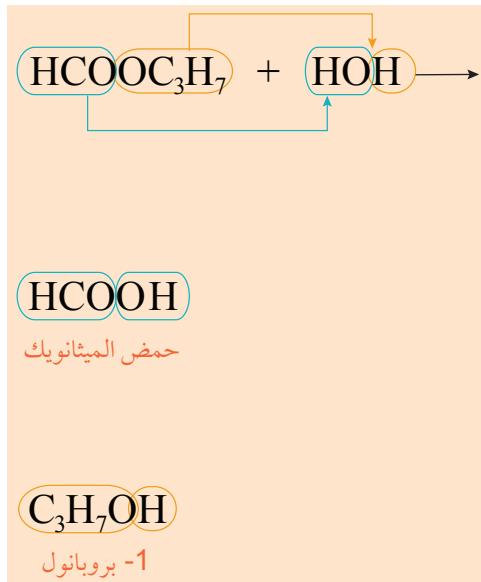
الخطوة 3: اكتب الإيثanol بصيغته المختصرة، ولكن ضع مجموعة الهيدروكسيل في بداية الصيغة المكثفة في هيئة HO .

الخطوة 4: انزع ذرة H من مجموعة HO من الإيثanol تاركًا المجموعة $-\text{OC}_2\text{H}_5$.

الخطوة 5: ادمج المجموعة من الخطوة 2، مع المجموعة من الخطوة 4؛ لتكوين الصيغة البنائية المختصرة للإستر.



السؤال توقع الحمض الكربوكسيلي والكحول اللذين قد يتفاعلان معًا لتكوين الإستر: بروبيل ميثانوات (HCOOC_3H_7).



الحل **الخطوة 1:** اكسر الإستر بعد المجموعة $-\text{HCO}-$.

الخطوة 2: أضف مجموعة OH إلى المجموعة $-\text{RCO}-$ لتكوين صيغة بنائية مختصرة للحمض الكربوكسيلي. هذا الحمض مكون من ذرة كربون واحدة، لذا يُسمى حمض الميثانويك.

الخطوة 3: أضف ذرة H إلى مجموعة $-\text{OR}'$ -لتكوين الصيغة البنائية للكحول. وهذا الكحول مكون من ثلاث ذرات كربون بالإضافة إلى مجموعة هيدروكسيل موجودة في نهاية الكربون، لذا يُسمى 1-بروبانول.



تحضير الإسترات

b 3-5

سؤال الاستقصاء	المواد المطلوبة
كيف يمكن تحضير الإستر من الحمض الكربوكسيلي والكحول؟	حمض إيثانويك مركز، إيثanol نقى، حمض الكبريتيك المركز، أنابيب اختبار عد 2، مخبار مدرج سعته 20 mL، مصدر لهب، كأس زجاجية 250 mL، شبك حديدي، ملقط لأنابيب، نظارات واقية وقفازات.

المقدمة

يترجع الإستر من تفاعل الحمض الكربوكسيلي مع الكحول بوجود قطرات من حمض الكبريتيك H_2SO_4 المركز، ويعد هذا التفاعل من تفاعلات الاستبدال حيث تُستبدل مجموعة OH من الحمض الكربوكسيلي مع مجموعة OR من الكحول ويسمى هذا التفاعل الأسترة.

الخطوات

- استخدم المخار المدرج لقياس 5 mL من الإيثanol، ثم ضع الكمية في أنبوب اختبار.
- كرر العملية لقياس 5 mL من حمض الإيثانويك وضعها في أنبوب الاختبار الثاني.
- أضف محتويات أنبوبة الاختبار الأولى إلى الثانية ثم أضف بحذر ثلاث قطرات من حمض الكبريتيك إلى الخليط وحركه جيداً.
- سخن كمية من الماء في الكأس الزجاجية سعة 250 mL دون الوصول إلى درجة الغليان (حمام مائي).
- استخدم الملقط لوضع أنبوب الاختبار المحتوي على الخليط في الحمام المائي لمدة 5min.
- تعرف إلى رائحة الإستر الناتج وذلك عن طريق نشر الرائحة من فوهة الأنبوب بواسطة اليد نحو الأنف.

الأسئلة

- أكتب معادلة التفاعل الحادث.
- فسر استخدام قطرات حمض الكبريتيك في التفاعل.

1. في أي نوع من التفاعلات الآتية تفاعل الألkanات لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون والماء؟

a. الإضافة
b. الاحتراق الكامل
c. الحذف
d. الاستبدال

2. أيٌ من تصنيفات المركبات الآتية يمكن أن تقوم بتفاعل البلمرة بالإضافة؟

a. الألkanات
b. هاليدات الألكيل
c. الألkenات
d. الكحولات

3. أيٌ من المركبات الآتية يتكون بنزع الماء من الكحولات؟

a. الألdeيدات
b. الألkenات
c. الألkanات
d. الأحماس الكربوكسيلية

4. أيٌ من المواد الكيميائية الآتية إذا أكسدت تتكون الألdeيدات؟

a. الكحولات الأولية.
b. الكحولات الثالثية.
c. الكحولات الثانية.
d. الأحماس الكربوكسيلية.

5. إذا تمَّت أكسدة 3-ديكانول 3-deanol بواسطة حمض الكروميك كعامل مؤكسد، فـي من الجـزيـات العـضـوـيـة الآـتـيـة يـنـتـجـ؟

a. 3-ديكين
b. 3-ديكانال
c. 3-ديكانون
d. حمض ديكانويك

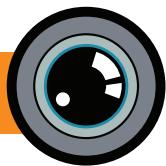
6. سـمـ تصـنيـفـين لـمـرـكـبـات يـمـكـنـ أـكـسـدـتهاـ لـإـنـتـاجـ حـمـضـ كـرـبـوكـسـيلـيـ.

7. ما المـتفـاعـلـاتـ وـالـمـوـادـ النـاتـجـةـ لـعـمـلـيـةـ الأـسـتـرـةـ؟

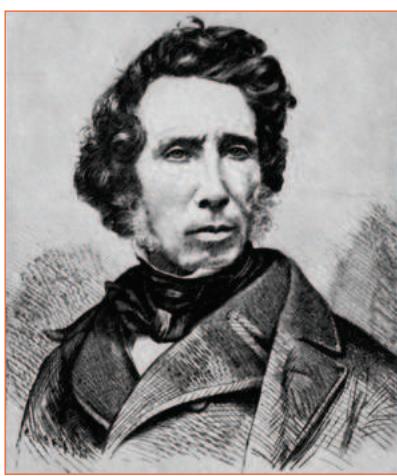
8. ما الغـازـ الـذـيـ يـنـتـجـ عـنـدـمـاـ يـتـفـاعـلـ فـلـزـ الصـوـدـيـومـ معـ الـكـحـولـ؟

9. قـارـنـ بـيـنـ الـإـلـكـتـرـوـفـيـلـاتـ وـالـنيـوـكـلـيـوـفـيـلـاتـ.

علماء في دائرة الضوء



فريدرش فولر Friedrich Wöhler



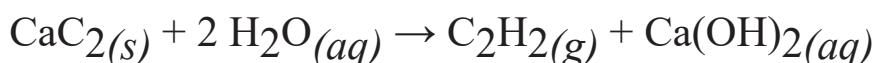
قبل العام 1828م، كان الاعتقاد السائد بأن المواد الكيميائية، والتي نصنفها اليوم بأنها مركبات عضوية، يمكن أن تنتج في النباتات والحيوانات فقط. وهذا الاعتقاد كان يُعرف باسم المذهب الحيوي، أو نظرية القوة الحيوية. وفي العام 1828 أنتج الكيميائي الألماني فريدرش فولر (1800-1882م) أول مركب عضوي في المختبر، باستخدام مواد كيميائية غير عضوية.

في بواسطة خلط الأمونيوم (NH_4^+) مع أملاح السيانات (OCN^-)، أنتج فولر سيانات الأمونيوم، التي تفككت لإنتاج المركب العضوي اليوريا ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) الموضحة بالمعادلة الكيميائية الآتية:



اليوريا، التي تعرف باسم الكارباميد، تحمل الاسم الكيميائي النظامي كربونيل ثنائي الأميد. وقد اكتشفت في البول عام 1727م اكتشفها العالم الهولندي هيرمان بورهافا (1668-1738م)، وإلى حين ظهور اكتشاف فولر، كان يعتقد أن بالإمكان الحصول عليها من البول فقط.

أسهمت أبحاث فولر واكتشافاته في ريادة مجال الكيمياء العضوية. أضف إلى ذلك أنه قدم الكثير من الإسهامات الكيميائية طوال حياته. وعلى الرغم من أنه لم يكتشف تلك العناصر، إلا أنه كان أول من عزل الإتريوم، والبريليوم، والسيليكون في هيئتها البلورية الندية. كما اكتشف أن غاز الأسيتيلين (C_2H_2) يمكن إنتاجه بواسطة إضافة الماء إلى كربيد الكالسيوم (CaC_2) وفق المعادلة الموزونة الآتية:



وقد تمت الإشارة إليه بعد وفاته عام 1882م في ملحق لمجلة علمية أمريكية من خلال الفقرة:

«يكفي بحثان أو ثلاثة من بحوثه ليتحقق أعظم تكرييم يمكن أن يحصل عليه عالم قط. أضف إلى ذلك أن مجموع أعماله تعد ساحقة للغاية. ولو أنه لم يعش بيننا، لكان مفهوم الكيمياء مختلفاً جدًا عما هو عليه الآن».

الدرس 5-1: الهيدروكربونات

- **الهيدروكربونات Hydrocarbons** هي أبسط أنواع المركبات العضوية المختلفة والتي تحتوي على الكربون والهيدروجين.
- **المجموعات الوظيفية Functional groups** ذرة أو مجموعة ذرات تحدد خصائص المركبات العضوية التي تحتوي عليها.
- **الألkanات Alkanes** مركبات هيدروكربونية مشبعة، تكون فيها الروابط بين ذرات الكربون تساهمية أحادية فقط.
- **مجموعات الألكيل الوظيفية Alkyl functional groups** هي سلاسل هيدروكربونية متفرعة من سلسلة كربون أطول منها أو متفرعة من حلقة.
- **الألkenات Alkenes** مركبات هيدروكربونية غير مشبعة تضم على الأقل رابطة تساهمية ثنائية واحدة بين ذرتين من الكربون في سلسلة الكربون المكونة للمركب.

الدرس 5-2: المركبات العضوية الأخرى

- **هاليدات الألكيل Alkyl halides** ألكانات تحتوي على مجموعات وظيفية من الهالوجينات.
- **تحتوي الكحولات Alcohols** على مجموعة الهيدروكسيل (-OH) الوظيفية.
- يحتوي الكحول الأحادي الهيدروكسيل **Monohydroxyalcohol**، والثاني الهيدروكسيل **dihydroxy**، وثلاثي الهيدروكسيل **Trihydroxy** على 1، 2، و 3 من مجموعات الهيدروكسيل على التوالي.
- تحتوي **الألدヒدات Aldehydes** على مجموعة الكربونيل ($\text{C}=\text{O}$) عند نهاية سلسلة الكربون، في حين تكون تلك المجموعة في وسط سلسلة الكربون في **الكيتونات ketones**.
- تحتوي **الأحماض الكربوكسيلية Carboxylic acids** على مجموعة الكربوكسيل (-COOH) في نهاية سلسلة الكربون.
- **الإسترات Esters** مركبات تحتوي على مجموعة $-\text{COO}-$ تتوسط سلسلة الكربون.
- تحتوي **كلوريدات الأسيل Acyl chlorides** على مجموعة $-\text{COCl}$ عند نهاية سلسلة الكربون.

الوحدة 5

مراجعة الوحدة

الدرس 3-5: التفاعلات العضوية

- تحترق الألkanات والكحولات احتراًفاً كاماًلاً لتنتج CO_2 و H_2O و حرارة.
- تفاعل الألkenيات بالإضافة. فعند إضافة الهيدروجين إلى الألken ينتج الألkan المقابل. في حين ينتج هاليد الألکيل عند إضافة الهالوجين أو هاليد الهيدروجين إلى الألken. بينما ينتج الكحول عند إضافة الماء إلى الألken.
- عندما تخضع هاليدات الألکيل لتفاعلات الحذف تتج الألkenيات.
- يمكن تكوين الألدهيدات والكيتونات من خلال عملية أكسدة الكحول الأولي والثانوي على التوالي.
- يمكن تكوين الأحماض الكربوكسيلية من خلال عملية أكسدة الألدهيدات والكحولات الأولية أكسدة تامة.
- الأسترة** Esterification هي تفاعل حمض كربوكسيلي مع كحول لتكوين الإستر والماء.
- التحلل المائي** Hydrolysis هو تفكيك مادة عن طريق تفاعلها مع الماء.

اختيار من متعدد

1. أي من الآتي هو مركب هيدروكربوني؟

CH₃OH .a

C₂H₅CHO .b

C₃H₆ .c

C₄H₉COCH₃ .d

2. ما البادئة التي تشير إلى وجود 4 ذرات من الكربون في السلسلة أو الحلقة؟

.a. ميث-

.b. إيث-

.c. بنت-

.d. بيوت-

3. أي من الآتي هو من ممیّزات الألkanات؟

a. تحتوي على رابطة تساهمية ثنائية واحدة بين ذرتين من كربون في سلسلة الكربون المكوّنة للمركب العضوي.

b. جميع الروابط الموجودة بين ذرات الكربون في السلسلة الكربونية هي روابط تساهمية أحادية.

c. تحتوي على مجموعة OH- الوظيفية.

d. تحتوي على ذرة أو أكثر من ذرات الها لو جينات.

4. ما اسم مجموعة الألکيل الوظيفية التي لها الصيغة المكثفة ?-C₃H₇?

.a. بروبيل

.b. هبتيل

.c. ديكيل

.d. ميثيل

5. ما الاسم النظامي للمركب بحسب IUPAC ذي الصيغة المكتّفة $\text{?CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{C}_4\text{H}_9$ ؟

.a. هبتان

.b. هبتين

.c. 2-ميثيل هكسان

.d. 3,2-ثنائي ميثيل بنتان

6. ما الاسم النظامي للمركب بحسب IUPAC ذي الصيغة المكتّفة $\text{?C}_2\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_2\text{C}_3\text{H}_7$ ؟

.a. 3-هبتين

.b. هبتان

.c. 2-ميثيل هكسان

.d. 3-ميثيل هكسان

7. ما ناتج إضافة الهيدروجين إلى الألكين؟

.a. هاليد الألكيل

.b. ألكان

.c. كحول

.d. ألدهيد

8. أيٌّ من الآتي هاليد ألكيل؟

C_4H_{10} .a

CH_3I .b

$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$.c

HCHO .d

9. كم مجموعة هيدروكسيل يحتوي الكحول ثلاثي الهيدروكسيل؟

1 .a

2 .b

3 .c

4 .d

تقويم الوحدة

؟ 10. ما تصنيف الكحول 2-ميثيل-3-هكسanol؟

.a. أولي

.b. ثانوي

.c. ثالثي

.d. ثنائي

؟ 11. ما الصيغة المكثفة لمجموعة الألديهيدات الوظيفية؟

-CHO .a

-COH .b

-CO- .c

-COO- .d

؟ 12. ما الاسم النظامي بحسب IUPAC للمركب ذي الصيغة المكثفة $\text{C}_2\text{H}_5\text{CHO}$ ؟

ethanol .a

1-propanol .b

ethanal .c

propanal .d

؟ 13. ما اسم المجموعة الوظيفية الموجودة في الكيتونات؟

hydroxyl .a

carbonyl .b

carboxyl .c

ethyl .d

؟ 14. ما الاسم النظامي بحسب IUPAC للمركب ذي الصيغة المكثفة $\text{CH}_3\text{COC}_7\text{H}_{15}$ ؟

2-nonal .a

2-heptanone .b

2-nonanone .c

2-heptanal .d

15. ما اسم المجموعة الوظيفية $-\text{COOH}$ ؟

.a. ميثيل methyl

.b. هيدروكسيل hydroxyl

.c. كربونيل carbonyl

.d. كربوكسيل carboxyl

16. ما الاسم النظامي بحسب IUPAC للمركب ذي الصيغة المكثفة HCOOH ؟

.a. ميثيل مياثانوات methyl methanoate

.b. مياثانول methanol

.c. حمض المياثانويك methanoic acid

.d. مياثانون methanone

17. ما الصيغة المكثفة للمجموعة الوظيفية المميزة للإسترات؟

.a. $-\text{CHO}$

.b. $-\text{COO}-$

.c. $-\text{CO}$

.d. $-\text{OO}-$

18. ما الاسم النظامي بحسب IUPAC للمركب ذي الصيغة المكثفة $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOC}_5\text{H}_{11}$ ؟

.a. بنتيل بيوتانوات pentyl butanoate

.b. بروبيل بنتانوات propyl pentanoate

.c. بيوتيل بنتانوات butyl pentanoate

.d. بنتيل بروبانوات pentyl propanoate

19. أي مجموعتين وظيفيتين تشكّلان مجموعة كلوريد الأسيل؟

.a. ميثيل وكلورو

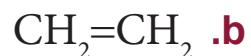
.b. هيدروكسيل وكلورو

.c. كربونيل وكلورو

.d. كربوكسيل وكلورو

تقويم الوحدة

20. ماصيغة المركب العضوي A الذي يتفاعل مع HCl وفق المعادلة: $\text{A} + \text{HCl} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$



21. ما نواتج الاحتراق الكامل للكحول؟

.a. أكسجين وماء

.b. أكسجين وثاني أكسيد الكربون

.c. ثاني أكسيد الكربون وألكين

.d. ثاني أكسيد الكربون وماء

22. أي مركب هو ناتج نزع الماء من الكحول؟

.a. ألكين

.b. ألكان

.c. ألدهيد

.d. كيتون

23. ما ناتج أكسدة الألدهيدات؟

.a. إسترات

.b. كيتونات

.c. كحولات أولية

.d. أحماض كربوكسيلية

الدرس 1-5: الهيدروكربونات

24. ارسم الصيغة البنائية للمركب 3-methyloctane



25. اكتب الصيغة البنائية المكثفة للمركب 2-hexene



26. اكتب الصيغتين الجُزئية و البنائية المكثفة للمركب 4,4-dimethyl heptane



4,4-dimethyl heptane

27. ارسم الصيغة البنائية للمركب 2,2,3-trimethylpentane .

28. ما اسم المركب ذي الصيغة البنائية المكثفة: $\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{C}_4\text{H}_9$.

29. ارسم الصيغة البنائية للمركب 3-methyl-2-nonene .

30. ما اسم الجزيء الذي يحتوي على سلسلة من الكربون تحتوي على 10 ذرات كربون، ورابطة تساهمية ثنائية بين ذرتي الكربون الثالثة والرابعة، وعلى مجموعتي ألكيل وظيفية مكونة من ذرتي كربون إحداها ترتبط بذرة الكربون الثالثة في السلسلة الكربونية والثانية ترتبط بذرة الكربون الخامسة .

31. اكتب الصيغة المكثفة للمركب 2,2,5-trimethylheptane .

32. اكتب الاسم النظامي للمركب بحسب IUPAC ذي الصيغة الهيكلية الآتية:

33. ما عدد ذرات الهيدروجين الموجودة في جزيء 3-ethyl-2,4,4-trimethyl-2-nonene؟

34. اكتب الاسم النظامي للمركب بحسب IUPAC ذي الصيغة الهيكلية في الشكل المجاور:

الشكل 31-5: المركبات العضوية الأخرى

35. ارسم الصيغة البنائية للمركب رباعي كلورو ميثان.

36. اكتب الصيغة المكثفة للمركب 1,1-ثنائي فلورو-3-ميثيل بنتان .

37. سِّم المركب في الشكل 31-5 .

38. ارسم الصيغة البنائية للمركب 2-heptanol .

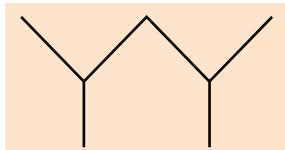
39. اكتب الصيغة البنائية المكثفة للمركب 1-hexanol .

40. اكتب الاسم النظامي بحسب IUPAC للمركب ذي الصيغة البنائية الآتية:

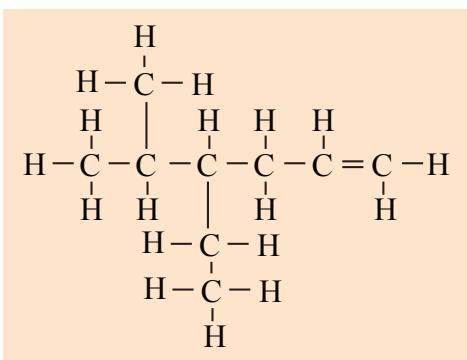
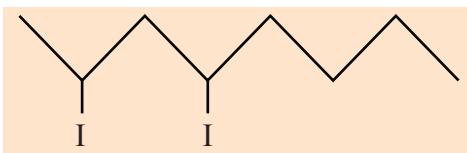
41. ارسم الصيغة البنائية للمركب بروبانال .

42. اكتب الصيغة البنائية المختصرة للمركب إيثانال .

43. سِّم هذا المركب:



32. اكتب الاسم النظامي للمركب بحسب IUPAC ذي الصيغة الهيكلية الآتية:



الشكل 31-5

34. اكتب الاسم النظامي للمركب بحسب IUPAC ذي الصيغة الهيكلية في الشكل المجاور:



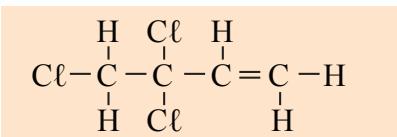
36. اكتب الصيغة المكثفة للمركب 1,1-ثنائي فلورو-3-ميثيل بنتان .

37. سِّم المركب في الشكل 31-5 .

38. ارسم الصيغة البنائية للمركب 2-heptanol .

39. اكتب الصيغة البنائية المكثفة للمركب 1-hexanol .

40. اكتب الاسم النظامي بحسب IUPAC للمركب ذي الصيغة البنائية الآتية:



41. ارسم الصيغة البنائية للمركب بروبانال .

42. اكتب الصيغة البنائية المختصرة للمركب إيثانال .



43. سِّم هذا المركب:

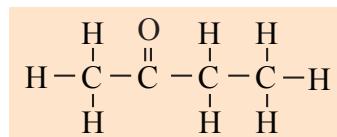


تقويم الوحدة

.44. ارسم الصيغة البنائية للمركب 1-bromo-3-hexanone «برومو-3-هكسانون».



.45. اكتب الاسم النظامي بحسب IUPAC للمركب ذي الصيغة المكتفة: $\text{C}_2\text{H}_5\text{COC}_2\text{H}_5$



.46. سِمِّي المركب:



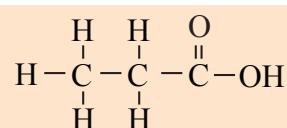
.47. لم لا يوجد مركب يُسمى الإيثانون «ethanone»؟



.48. ارسم الصيغة البنائية لحمض الأوكتانويك «octanoic acid».



.49. سِمِّي المركب بحسب IUPAC ذي الصيغة المكتفة:



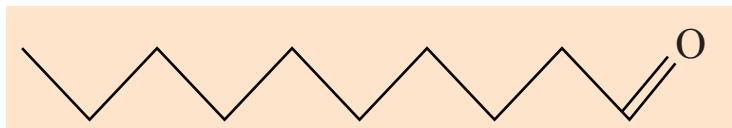
.50. سِمِّي المركب بحسب IUPAC ذي الصيغة البنائية المقابلة:



.51. ارسم الصيغة البنائية للمركب إيثيل إيثانوات «ethyl ethanoate».



.52. سِمِّي المركب بحسب IUPAC ذي الصيغة المكتفة: $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{COOC}_9\text{H}_{19}$



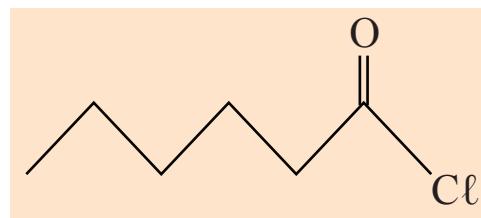
.53. سِمِّي المركب بحسب IUPAC:



.54. ارسم الصيغة البنائية للمركب كلوريد البيوتانوبل «butanoyl chloride».



.55. سِمِّي المركب بحسب IUPAC: HCOCl



الدرس 3-5: التفاعلات العضوية

.57. اكتب معادلة موزونة، مع وضع الحالات الفيزيائية للمواد، لتفاعل الاحتراق الكامل للبروبان .Propane



.58. اكتب معادلة لتفاعل الاستبدال بين مركب الإيثان Ethane والبروم Bromine مستخدماً الصيغ البنائية.



.59. اشرح لماذا لا تتفاعل الألكانات مع الإلكتروفيل والنيوكليوفيل.



.60. اكتب المعادلة البنائية لتفاعل إضافة بين المركب 2-بنتين «2-pentene» وغاز الكلور Chlorine



61. ما أنواع الجُزئيات التي يمكن أن تخضع لتفاعل بلمرة بالإضافة؟ 

62. ما الصيغة البنائية المكثفة لنواتج تفاعل 1- كلوروبنتان «1-chloropentane»: 

a. مع NaOH (تفاعل استبدال)? 

b. مع NaOH (تفاعل حذف)? 

63. اكتب معادلة تفاعل الاستبدال الذي يحدث عندما يتفاعل 2-بيوتانول «2-butanol» مع بروميد الهيدروجين HBr. 

64. ما اسم الألكينين اللذين يمكن أن يتتجان لدى إزالة الماء من 3- هبتانول «3-heptanol»؟ 

65. اكتب اسم الكحول بحسب IUPAC الذي يتآكسد لإنتاج الألدهيدات والكيتونات الآتية: 

a. ديكانال decanal 

b. بيوتانون butanone 

c. هكسانال hexanal 

d. 3- هبتانون 3-heptanone 

e. نونانال nonanal 

66. اكتب الصيغة البنائية المكثفة للألدهيد الذي يمكن أن يتآكسد لإنتاج حمض النونانويك «nonanoic acid». 

67. باستخدام الصيغة المكثفة، اكتب معادلة تفاعل حمض البيوتانويك «butanoic acid» و 1-بيوتانول «1-butanol»، توقع النواتج. 

68. ما اسم الإستر الناتج من تفاعل حمض الميثانويك «methanoic acid» و 1-هكسانول «1-hexanol»؟ 

69. ما الصيغة البنائية المكثفة لكل من حمض الكربوكسيل والكحول الناتجين من التحلل المائي للمركب $C_7H_{15}COOC_4H_9$ في وسط حمضي؟ 

70. ارسم الصيغة البنائية للإستر الناتج من تفاعل حمض البروبانويك «propanoic acid» و 1-أكتانول «1-octanol». 

71. اكتب معادلة لتفاعل إضافة حمض HBr إلى 1- بيوتين «1- butene». 

72. من خلال العصف الذهني، تحدّث عن مجموعة متنوّعة من الفواكه. ابحث عن خمسة إسّترات تعطي هذه الفواكه الروائح والنكّهات المميزة. أنشئ ملصقاً بأسماء تلك الشمار وإسّتراتها وأحماض الكربوكسيل والكحول، التي يمكن اشتقاّقها منها. ارسم الصيغ البنائية بجانب أسماء الإسّترات والأحماض الكربوكسيلية، والكحول. قد تكون بعض الأحماض الكربوكسيلية والكحولات غير مألوفة. سوف تحتاج إلى البحث في تلك الصيغ البنائية.



الوحدة 6

البوليمرات

في هذه الوحدة

C1108

الدرس 1-6: البوليمرات والبلمرة

الدرس 2-6: خصائص البوليمرات

الدرس 3-6: البوليمرات البترولية والاستدامة

مقدمة الوحدة

عند منتصف القرن التاسع عشر، بدأ العلماء، لأول مرة ، يدركون أن مُنتجات بعض التفاعلات الكيميائية العضوية مُنتجات لزجة، ولا تمر عبر ورقة الترشيح، وليس لها خصائص المركبات العضوية المعروفة. تلك المُنتجات هي ما نسميه الآن البوليمرات.

يقدم الدرس 1 الخصائص الفريدة للبوليمرات، ويناقش تفاعلين رئيسيين من أنواع تفاعلات البلمرة، ويقدم أمثلة محددة على بوليمرات ينتجها كل من هذين التفاعلين.

يركز الدرس 2 في البوليمرات الطبيعية والصناعية، ويقدم أمثلة محددة على كل منها، إلى جانب تركيباتها الكيميائية الفريدة.

يستقصي الدرس 3 الدور المهم للغاية الذي تؤديه صناعة البترول في كيمياء البوليمرات. ويستكشف أن إعادة تدوير بعض البوليمرات هي أسهل من غيرها. كما يبين كيف يمكن أن تتجه إلى استخدام بدائل أفضل للمحافظة على البيئة من استخدام النفط كمواد أولية لإنتاج البوليمرات.

الأنشطة والتجارب

1-6 بلمرة النايلون 6,10 «Nylon 6,10»

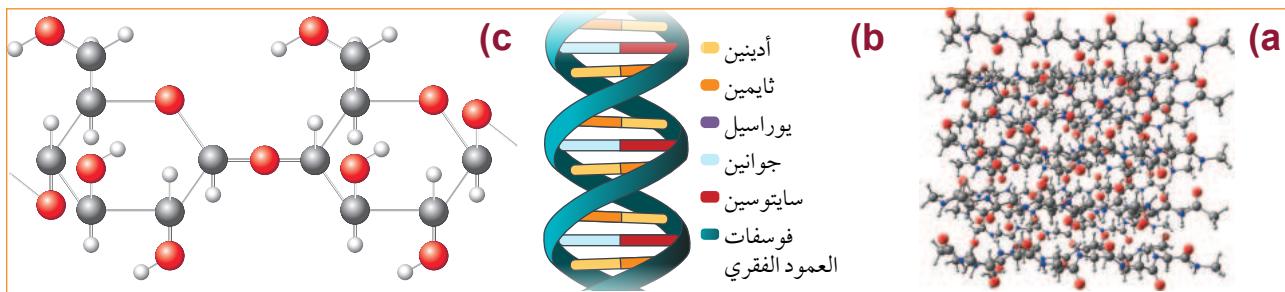
2-6 البلمرة

3-6 نماذج البوليمرات

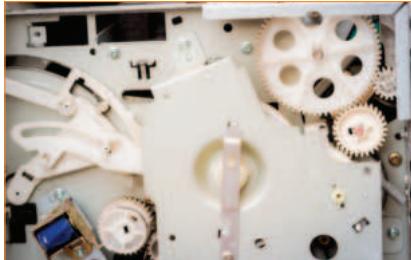
الدرس 1-6

البوليمرات والبلمرة

تنتشر البوليمرات في كل مكان. وتسهم النباتات والحيوانات في إنتاجها. كذلك يقوم الإنسان بتصنيعها. يتم إنتاج البروتينات مثلًا، باتحاد جزيئات الأحماض الأمينية. أما الحمض النووي فينتج بالاتحاد بين النيوكليوتيدات. ويتم إنتاج السيليلوز باتحاد جزيئات السكريات. تُعد تلك المواد جمیعًا بوليمرات تنتجه النباتات أو الحيوانات، أو كلتاهم، كما يبيّن الشكل 1-6.



الشكل 1-6 (a) نموذج من جزيئات البروتين Fibroin من خيوط العنكبوت، (b) نموذج جُزء من الحمض النووي، (c) الصيغة البنائية لجُزء من جزيء السيليلوز.



الشكل 2-6 مُكوّنات بلاستيكية داخل جهاز كهربائي.

أصبحت البوليمرات تحيط بنا وتنتشر حولنا، وأصبحنا نعتمد عليها في حياتنا اليومية اعتمادًا كبيرًا. ذلك أن جميع المواد البلاستيكية التي نستخدمها هي بوليمرات. ونحن نستخدم المواد البلاستيكية في تعبئة المواد الغذائية، وفي الملابس والأجهزة الإلكترونية. ونستخدمها أحياناً كأغلفة للأجهزة الإلكترونية وسواها، مثل أجهزة الحاسوب والطابعات، والتلفزيونات، ومكّيّفات الهواء، ومُزيلات الرطوبة، ومُجفّفات الشعر وغيرها. وإذا قمت بتفكيك جهاز كهربائي، ستجد الكثير من المكوّنات البلاستيكية (الشكل 2-2).

في هذا الدرس، سنلقي نظرة على طبيعة البوليمرات والتفاعلية الرئيسية اللذين يتم من خلالهما إنتاج البوليمرات الطبيعية والاصطناعية.

المفردات



Polymer	بوليمر
Monomer	المونومر
Condensation polymerization	البلمرة بالتكاثف
Addition polymerization	البلمرة بالإضافة

مخرجات التّعلم

C1108.1 يذكر أن البوليمرات هي جزيئات مكونة من وحدات جزيئية مكررة بينها روابط تساهمية. ويتعرف إلى الفرق بين بوليمرات التكاثف والإضافة.

تحضير ألياف الحرير الصناعي



- حضر محلول من السيليلوز في خزانة الأبخرة كما يأتي:
- ضع 5g من كربونات النحاس CuCO_3 و 50 mL من محلول الأمونيا NH_3 المركز في كأس زجاجية سعتها 200 mL ، حرك محلول جيداً و دعه يهدأ دقيقة أو دقيقتين.
- أضف قطع من الصوف إلى محلول السابق مع التحريك ببطء إلى أن يصبح محلول مشابه للصابون السائل.
- ضع 300 mL من حمض الكبريتيك في كأس زجاجية سعتها 1 L.
- إملأ حقنة بلاستيكية بمحلول السيليلوز ثم ضخه ببطء في حمض الكبريتيك تلاحظ تكون ألياف زرقاء اللون.
- أزل الألياف من محلول وإغسلها بالماء ثم جففها.
- يمكنك لمس هذه الألياف بعد أن تجف.
- تسمى هذه الألياف الحرير الصناعي.

يتكون الحرير الصناعي كيميائياً من سيليلوز تم تكسيره إلى مونومرات جلوكوز منفردة، وأعيدت بلمرتها، فجزيئات الحرير الصناعي تمتلك 400-700 مونومر، مقارنة بـ 5000 مونومر أو أكثر، يمتلكها السيليلوز الطبيعي.

المونومرات والبوليمرات

البوليمرات Polymers، «البولي - مرات» جزيئات ضخمة ذات سلاسل طويلة، مؤلفة من عدد كبير من الوحدات الصغيرة، تترابط خلال التفاعلات الكيميائية العضوية. تسمى تلك الوحدات الصغيرة **المتكررة المونومرات Monomers** أي وحدة واحدة. (مِر Mer) مقطع كلمة من أصل يوناني **«Meros»** ويعني **الجزء**.

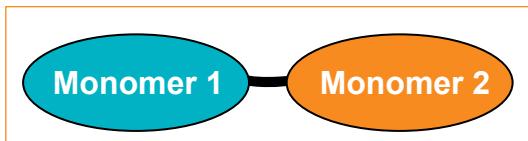
البوليمرات جزيئات ضخمة ذات سلاسل طويلة مؤلفة من جزيئات صغيرة تسمى المونومرات.



المونومرات جزيئات ترتبط بشكل متكرر من خلال تفاعلات كيميائية لتشكيل البوليمرات.



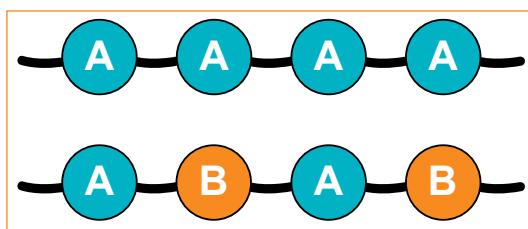
عدد المونومرات في البوليمر



الشكل 6-3 ثنائي الجزيء «دايمر».

تتكون بعض سلاسل البوليمر من مونومرات قليلة لا يتجاوز عددها 2. يُسمى مثل هذا الجُزيء ثنائي الجزيء (دايمر) (الشكل 6-3). لكن سلاسل البوليمرات تكون في العادة أطول كثيراً؛ ويمكن أن تتكون من مئات المونومرات، بل من مئات الملايين.

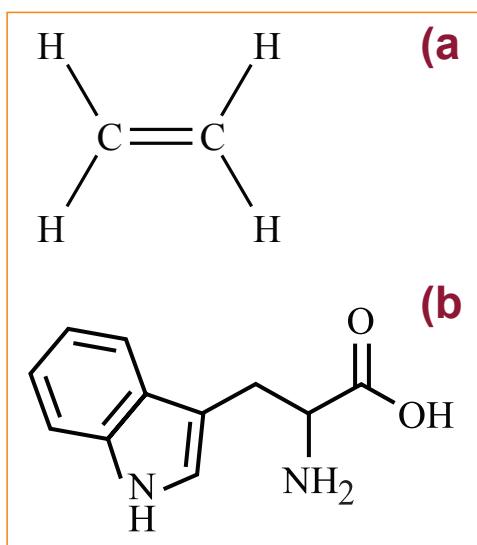
سلسل المونومرات في البوليمر



الشكل 6-4 سلسل المونومر.

قد تكون المونومرات في البوليمر متطابقة ومرتبطة وفق سلسل A-A-A. وتُسمى بالبوليمرات المُتجانسة Homopolymers. وقد يرتبط اثنان من المونومرات المختلفة وفق سلسل A-B-A-B. وقد تتوافر سلسلات أخرى. حيث تُسمى البوليمرات التي تضم أكثر من نوع واحد من المونومرات بالبوليمرات المُشتَركة (الشكل 6-4). Copolymers

عدد الذرات في المونومر



الشكل 6-5 (a) إيثين (b) تربوفان.

تتكون بعض المونومرات من ذرات قليلة مثل الإيثين، C_2H_4 (الشكل 6-5a). وقد تكون المونومرات أكبر من ذلك كثيراً، مثل مونomer الحمض الأميني التربوفان Tryptophan، $C_{11}H_{12}N_2O_2$ الذي يحتوي على 27 ذرة. (الشكل 6-5b). لكن هناك احتمال وجود مونومرات أكبر من ذلك.

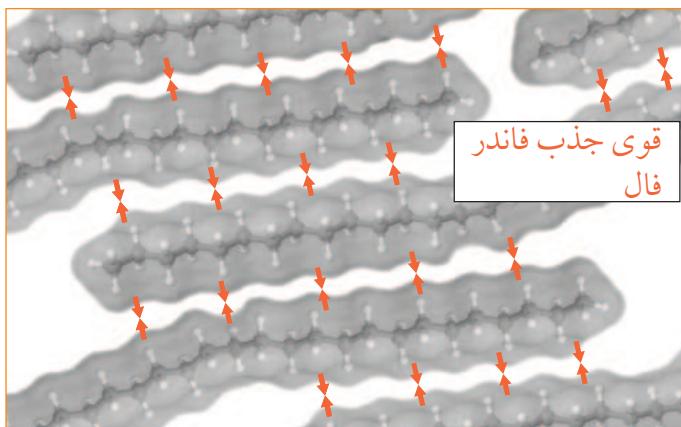
تعمل أنواع مختلفة من الجُزئيات كمونومرات. ومع ذلك، تمتلك المونومرات بعض الخصائص الهيكلية المُشتَركة.

الترانكيب البناية لجزئيات البوليمرات

الجدول 6-1 خصائص بستان و2-ميثيل بيوتان.

2-ميثيل بيوتان	بنantan	
C_5H_{12}	C_5H_{12}	الصيغة الجُزئية
$ \begin{array}{c} & H \\ & \\ H-C & -H \\ & \\ H & H \quad H \\ & \\ H-C & -C-C-C-H \\ & & & \\ H & H \quad H \quad H \quad H \end{array} $	$ \begin{array}{c} H \quad H \quad H \quad H \quad H \\ \quad \quad \quad \quad \\ H-C-C-C-C-H \\ \quad \quad \quad \\ H \quad H \quad H \quad H \end{array} $	الصيغة البنائية
ضعيفة	قوية	قوى الجذب النسبية
$27.8^\circ C$	$37^\circ C$	درجة الغليان

يُحدّد بناء أي جُزيء عضوي خصائصه، بما في ذلك البوليمرات. فالسلسلة الجانبية على 2-ميثيل بيوتان «2-methyl butane»، مثلاً، تعني أن هذه الجُزئيات لا تتقرب معًا بإحكام، كما هي الحال في جزيئات بنتان «pentane». ونتيجة لذلك، تكون قوى جذب فاندر فال غليان 2-ميثيل بيوتان أدنى من درجة غليان بنتان بسبب وجود التفرع، تضعف قوى لندن التشتتية بين جزيئات البوليمرات (الجدول 1-6).



الشكل 6-6 قوى جذب فاندرفال بين جزيئات البولي إيثيلين الخطية.

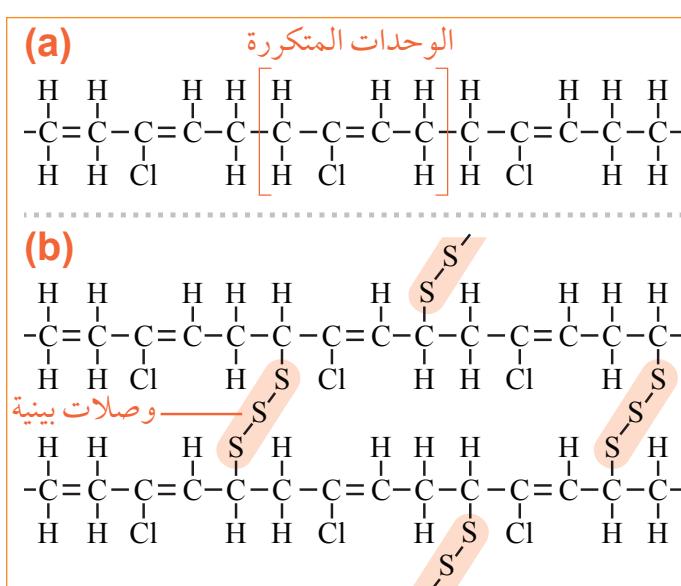
البوليمرات الخطية **Linear polymers** هي سلاسل مفردة من مونومرات مترابطة.

البوليمرات الخطية أقوى وأكثر كثافة، لأن جزيئاتها متراصة وأكثر تقاربًا، مثل بولي إيثيلين مرتفع الكثافة HDPE (انظر الشكل 6-6).

فَكُّرْ في الْبُولِيمِرَاتِ الْمُتَفَرِّعَةِ **Branched polymers** على أنها بوليمرات غير خطية وضعيفة الترابط.

تكون البوليمرات المتفرّعة أقل كثافة وأضعف، لأن جزيئاتها لا يمكن أن تتقرب، مثل بولي إيثيلين منخفض الكثافة LDPE.

تُكوّن المونومرات المجاورة في **البوليمرات المتشابكة** **Cross-linked polymers** روابط وسط السلسلة بينها وبين سلسلة أخرى (الشكل 7-6). وتشكّل البوليمرات المتشابكة شبكات ثلاثية الأبعاد تمدّد عملية البلمرة من خلال الهيكل بأكمله. ومقارنةً بالبوليمرات الخطية، يمكن اعتبار الجسم الصلب المصنوع من البولимер المتشابك جزئياً عملاً واحداً، سبب وجود روابط تساهمية قوية.



الشكل 6-7 النيوبرين Neoprene (a) يصبح المطاط الصناعي متشابك بوجود ذرات الكربون لربط (وصلات بینية) (b).

البلمرة بالإضافة

تشكّل معظم البوليمرات بآلية من آليتين، أو نوعين من البلمرة هما: البلمرة بالإضافة، والبلمرة بالتكاثف. تتمّ المونومرات في كل نوع من نوعي البلمرة بخصائص محدّدة.

ففي **البلمرة بالإضافة** **Addition polymerization**، تتم إضافة المونومرات من دون نزع أيّ من الذرّات أو استبدالها. ومثال ذلك تفاعل بالإضافة الذي يحدث بين جُزيئات الألكيّنات مع بعضها البعض أو الألكيّنات التي تحتوي على ذرات من الهالوجينات، والتي تتطلّب وجود رابطة ثنائية. أما الميزة الأخرى لهذا النوع من البلمرة، فهي أنها لا تنتج ناتجاً ثانوياً.

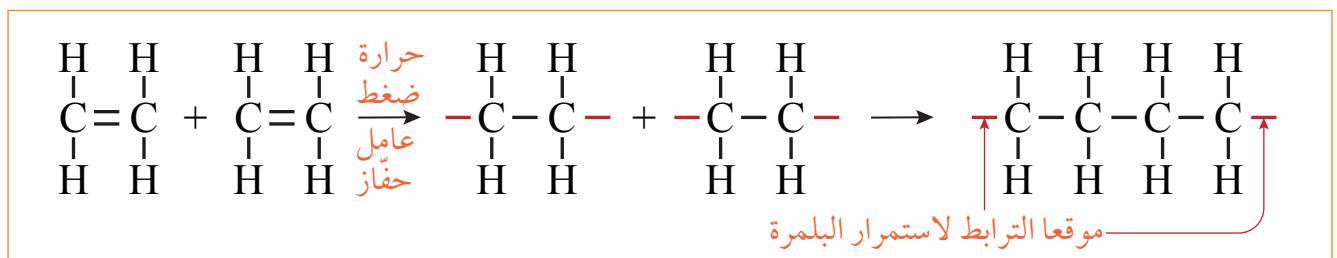


الشكل 8-6 كسر الرابطة الثنائية أثناء البلمرة بالإضافة.

يمكن بدء البلمرة بالإضافة من خلال مجموعة متنوّعة من الآليات، منها أن تنكسر الرابطة الثنائية في المونومر (المادة البدائة)، مُنشئّة موقعين للتراوّط. انظر (الشكل 8-8).

يتيح أحد المواقع في الرابطة الثنائية الارتباط بمونومر، ويتيح الموضع الآخر الارتباط بمونومر آخر. وبذلك تتمدد سلسلة البوليمر. تستمر البلمرة حتى يقل نشاط المادة البدائة، أو موقع الرابطة على البوليمر.

في الشكل 9-6، تتم بلمرة الإيثين «Ethene» (الإيثيلين «Ethylene») إلى بولي إيثيلين «Polyethylene». وعندما يكون الإيثيلين مونومراً، يسمى البوليمر (بولي إيثيلين).



الشكل 9-6 البلمرة بالإضافة.

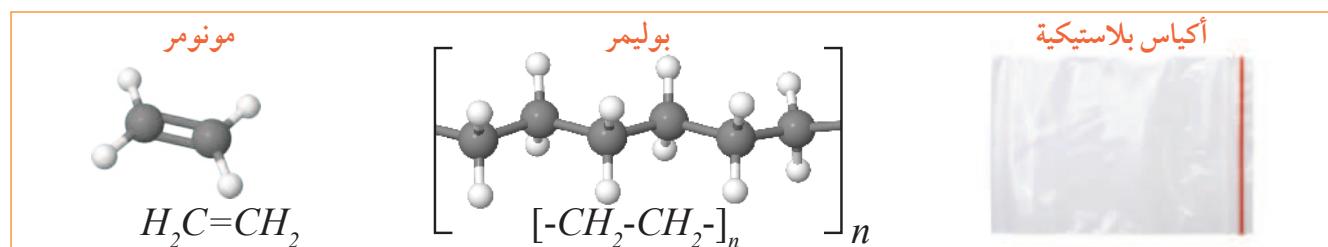
أثناء البلمرة بالإضافة، لا تتم إزالة أيّ من ذرات البوليمر أو المونومر، مع استمرار عملية البلمرة. ونتيجة لذلك ، تكون الكتلة الجُزئية للبوليمر تساوي عدداً مضاعفاً للكتلة الجُزئية للمونومر.

وما إن تتكوّن بوليمرات بالإضافة، ولا سيما الصناعية منها، حتى يميل الكثير منها أن يكون غير نشط كيميائياً. لذا يمكن أن تكون تلك الخاصّية ميزة جيدة لإعادة تدوير تلك البوليمرات وإعادة استخدامها. ولكن ذلك يشير بالمقابل أنها تميل إلى عدم قابليتها للتحلّل الحيوي.

أمثلة على بوليمرات الإضافة الشائعة

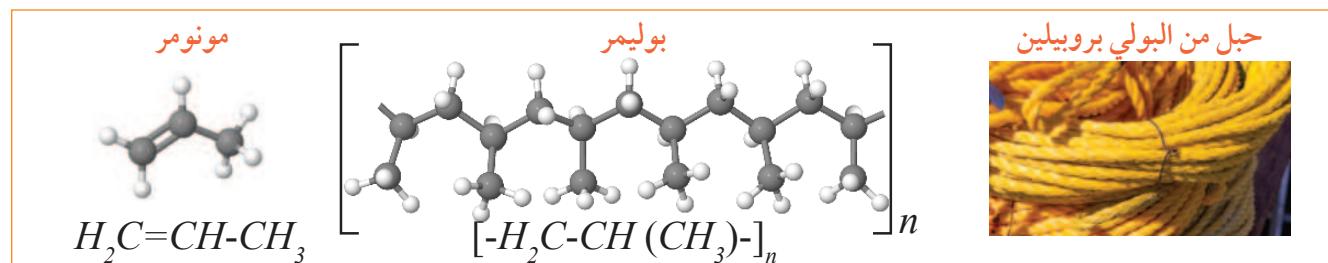
هناك الآلاف من بوليمرات الإضافة المعروفة، ومعظمها صناعية. في هذا الدرس، سنتعرف على تراكيب مونومرات وبوليمرات إضافة معروفة وشائعة.

1. يتكون البولي إيثيلين (PE)، من نوع واحد من المونومرات هو الإيثين (أو إيثيلين). أمّا الصيغة البنائية لمونomer الإيثيلين فهي $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$. وتبلغ كتلته الجُزئية 28.05 amu. وبالتالي تكون الكتل الجُزئية لسلسل البولي إيثيلين أعداداً صحيحة من مضاعفات 28.05 amu. للبولي إيثيلين هيكل من أبسط هيكل البوليمرات، غالباً ما يعبر عنه باستخدام صيغته المكثفة $[-\text{C}_2\text{H}_4-]_n$ حيث n عدد المونومرات في سلسلة البوليمر. غالباً ما تصنع الأكياس البلاستيكية من البولي إيثيلين (الشكل 10-6).



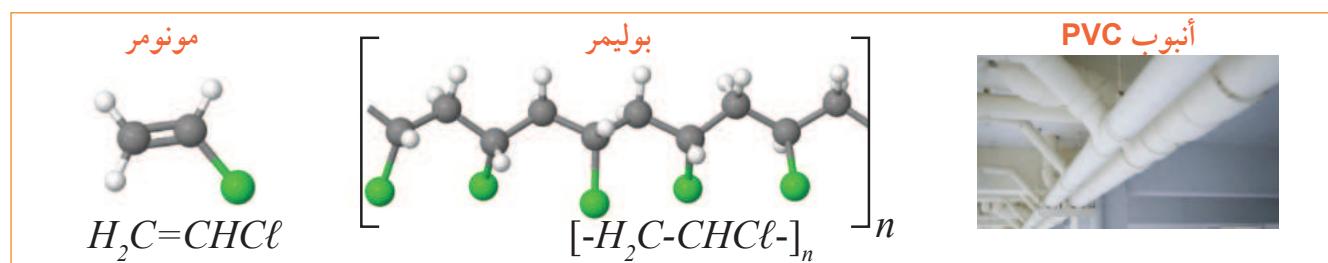
الشكل 10-6 البولي إيثيلين (PE).

2. يتكون البولي بروبيلين (PP) من مونومر البروبين (أو البروبيلين). والبروبين اللكين مكون من 3 ذرات كربون، وصيغته الجُزئية C_3H_6 . أما صيغته البنائية فهي $\text{H}_2\text{C}=\text{CHCH}_3$. تُكسّر الرابطة π في الرابطة الشائعة لكل مونومر من أجل تكوين موقع ارتباط نشط لتشكيل مادة البولي بروبيلين. تصنع الحال المجدولة من مادة البولي بروبيلين، لأنّ هذا البوليمر قويّ ومرن. (الشكل 11-6).



الشكل 11-6 البولي بروبيلين (PP).

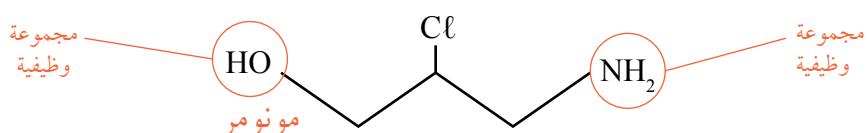
3. يتكون بولي كلوريد الفينيل «PVC»، من مونومر كلوريد الفينيل، وهو جُزيء الكلورو إيثين ذو الصيغة البنائية $\text{H}_2\text{C}=\text{CHCl}$. لاحظ التشابه في بنية هذا المونومر مع الإيثيلين. تصنع أنابيب التصريف من PVC لأنّه قويّ، وصلب، ويدوم لفترات طويلة. (الشكل 12-6).



الشكل 12-6 بولي كلوريد الفينيل (PVC).

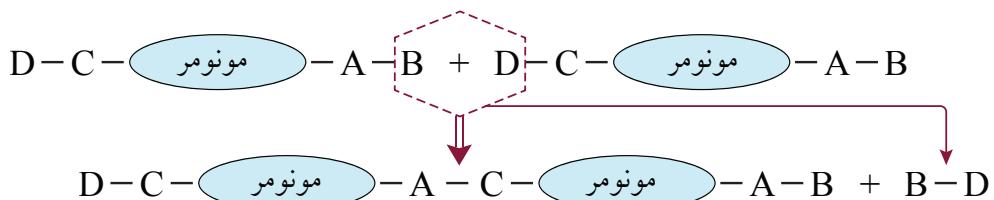
البلمرة بالتكاثف

عندما تترابط المونومرات لتكوين بوليمر مع فقد جُزيء صغير واحد أو أكثر كناتج ثانوي، تُسمى العملية آنذاك **البلمرة بالتكاثف Condensation polymerization**. تمتلك المونومرات في تفاعلات البلمرة بالتكاثف أكثر من مجموعة وظيفية نشطة. وهذا يختلف عن المونومرات في البلمرة بالإضافة التي تحتوي عادةً على مجموعة وظيفية واحدة فقط.

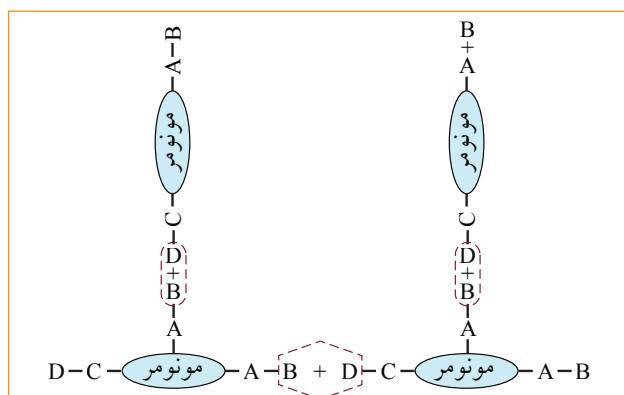


الشكل 13-6 مونومر مع مجموعتين وظيفيتين نشطتين كيميائياً.

عند تفاعل مونومرات تحتوي على اثنين من المجموعات الوظيفية على الأقل، تتحدد هذه المجموعات معًا ويصاحب ذلك فقد جزيء صغير غالباً ما يكون الماء. وفي هذه الحالة، تتكاثف بعض الذرات من كلتا المجموعتين الوظيفيتين المتفاعلتين كناتج ثانوي. وعند إضافة كل مونومر إلى سلسلة البوليمر المُكونة، تسمح المجموعة الوظيفية المتبقية على المونومر الجديد باستمرار الجذب باستمراره. الشكل 14-6.



الشكل 14-6 البلمرة الخطية بالتكاثف.



الشكل 15-6 بوليمرات شبكة ثلاثة الأبعاد نتاج بلمرة بالتكاثف.

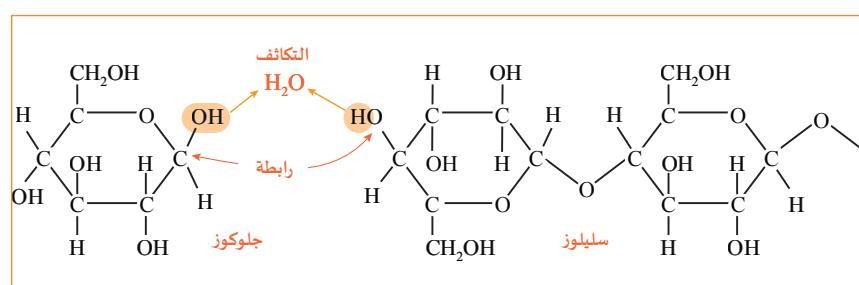
يعتمد الناتج الثانوي للبلمرة بالتكاثف على المجموعات الوظيفية المُتفاعلية. ويمثل الماء وهاليدات الهيدروجين اثنين من النواتج الثانوية الشائعة.

لكن إذا كان للمونومر أكثر من مجموعتين وظيفيتين نشطتين، فيمكن أن تحدث البلمرة عند المجموعات الوظيفية المتبقية. آنذاك تتكون بوليمرات شبكة ثلاثة الأبعاد. الشكل 15-6.

الفرق بين البلمرة بالإضافة والبلمرة بالتكاثف

- لا تكون الكتل الجُزئية لبوليمرات التكاثف أعداداً صحيحة من مضاعفات الكتلة الجُزئية للمونومر، كما هي بوليمرات الإضافة.
- يتم فقد بعض الذرات في صورة ناتج ثانوي أثناء عملية البلمرة بالتكاثف.
- غالباً ما تشارك مونومرات مختلفة في عملية البلمرة بالتكاثف.
- أما الفرق الآخر بين البلمرة بالإضافة والبلمرة بالتكاثف، فهو أن التفاعل الكيميائي بين المجموعات الوظيفية النشطة في بلمرة التكاثف لا يتطلب عادة عوامل حفازة لبدء التفاعل.

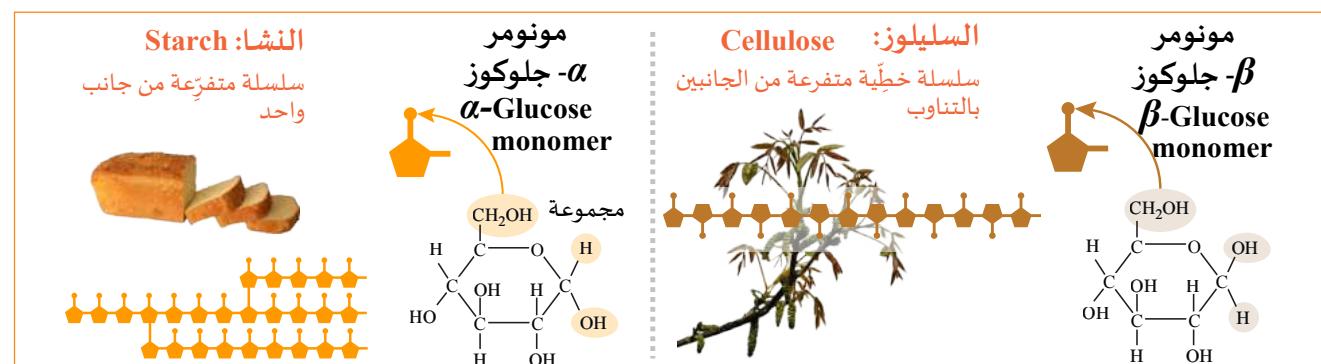
أمثلة على بوليمرات التكاثف الطبيعية



الشكل 16-6 بلمرة الجلوكوز (مونومر) بالتكاثف لإنتاج بوليمر السيليلوز الخطى.

مونومر السيليلوز هو β - جلوكوز β -Glucose $C_6H_{12}O_6$. وخلال عملية بلمرة الجلوكوز لإنتاج بوليمر السيليلوز، تُفقد مجموعة هيدروكسيل كاملة (OH-) من جزيء جلوكوز واحد. وتُفقد ذرة الهيدروجين (H-) من مجموعة الهيدروكسيل في جزيء الجلوكوز الآخر المتفاعلاً. تَسْتَحِدُ هذه الذرات لتكوين الماء، H_2O ، كناتج ثانوي (الشكل 16-6).

النشا (Starch) أيضاً من البوليمرات التي تنتج خلال عملية البلمرة بالتكاثف. والمونومر هنا هو أيضاً الجلوكوز، لكنه α - جلوكوز α -Glucose. أما الفرق، فهو أن مجموعة CH_2OH تكون متباوبة على الجانبين في السيليلوز، وتكون دائماً على الجانب نفسه في النشا. لذلك يتجزأ هذا الاختلاف خصائص مختلفة جدًا. فالإنسان مثلاً يستطيع هضم النشا، ولكن لا يستطيع هضم السيليلوز. كما أن السيليلوز هو على عكس النشا، بوليمر قوي للغاية، نتيجة الروابط الهيدروجينية الأقوى وإتجاه الترابط بين السلسلتين الخطيتين. وهذا ما يمنح الخشب قوة ومتانة. الشكل 17-6.



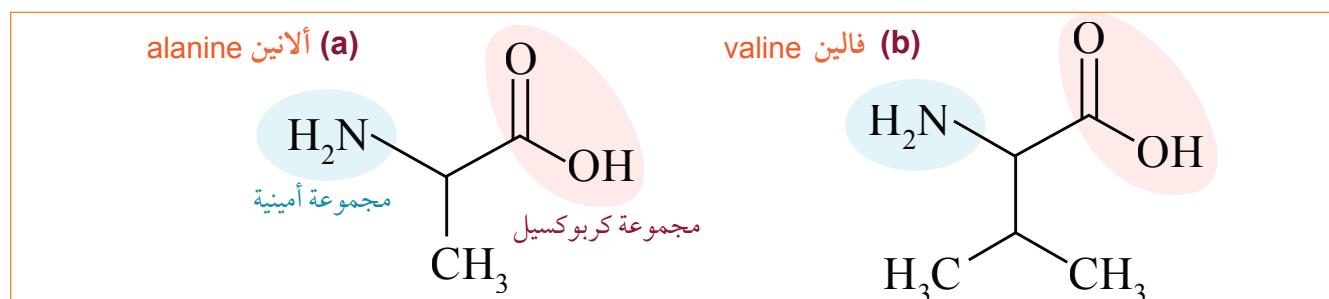
الشكل 17-6 الهياكل المختلفة للنشا والسليلوز المكونين من المونومر نفسه: الجلوكوز.

1 - السيليلوز والنشا

السليلوز (Cellulose) بوليمر تكاثف حيوي (بيولوجي). يحتوي السيليلوز الخطى، المعروف بالسليلوز، على سلسلة بوليمر يمكن تمثيلها بالصيغة المُكثفة $(C_6H_{10}O_5)_n$.

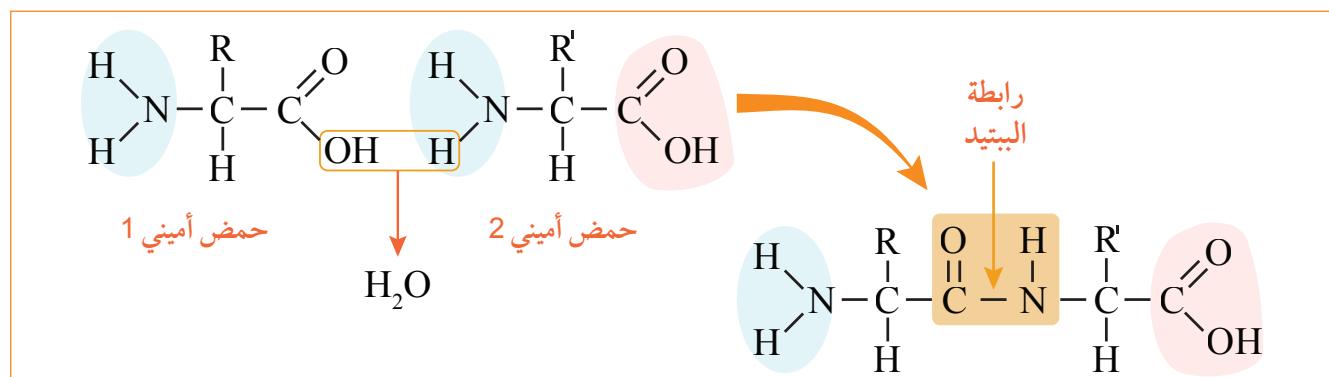
2- البروتينات

البروتينات «Proteins» التي تشكل جميع الكائنات الحية هي بوليمرات تحتوي على مونومرات من الأحماض الأمينية «Amino acids». هناك 20 حمضًا من الأحماض الأمينية الأساسية التي تشكل البروتينات في مختلف أشكال الحياة على الأرض. تتحدد تلك الأحماض الأمينية بطرق كثيرة من المتواлиات المختلفة لتشكيل البروتينات. لذلك تعتبر البروتينات بوليمرات مشتركة ناتجة من تفاعل عدداً من المونومرات المختلفة. أما العامل المشترك بين البروتينات المختلفة فهو كيفية ارتباط مونومرات الأحماض الأمينية المختلفة عند تشكيل سلسلة بوليمر البروتين. ذلك لأن كل تسلسل مختلف من الأحماض الأمينية يُتيح بروتيناً مختلفاً.



الشكل 18-6 الأحماض الأمينية (a) ألانين (b) فالين.

يحتوي كل حمض أميني على مجموعة كربوكسيل ومجموعة أمين. حيث تتفاعل مجموعتا الحمض الأميني لتكوين سلسلة بوليمر البروتين. تبلمر الأحماض الأمينية بتفاعل مجموعة الكربوكسيل (-COOH) مع مجموعة الأمين (-NH₂), حيث يُتيح التفاعل رابطة -CO-NH- ذات هندسة خاصة تُسمى رابطة البيتيد «Peptide bond». ويكون الماء هو الناتج الثانوي للبلمرة بالتكاثف.



الشكل 19-6 التفاعل العام للأحماض الأمينية التي تُشكّل رابطة البيتيد خلال بلمرة البروتين.

سؤال للمناقشة

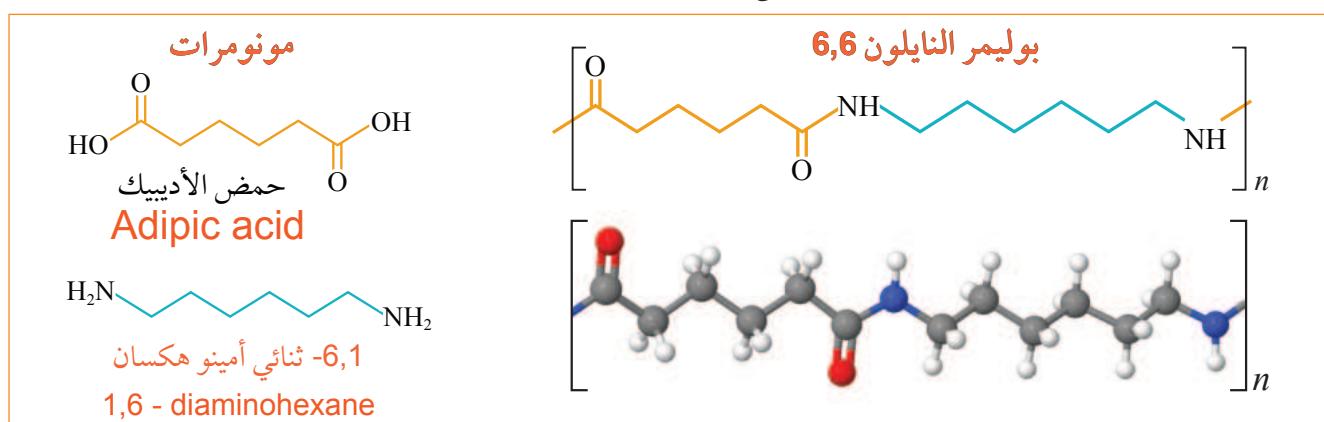
ما الناتج الثانوي للبلمرة
بالتكاثف تحتوي على مجموعة
أمينية ومجموعة كلورو؟

يمكن لأي حمض أميني الارتباط بأي حمض أميني آخر، لأن الأحماض الأمينية مشتركة في زوج المجموعات الوظيفية نفسها. وهذا هو السبب في التنوع الهائل للبروتينات في الكائنات الحية.

أمثلة على بوليمرات التكاثف الصناعية

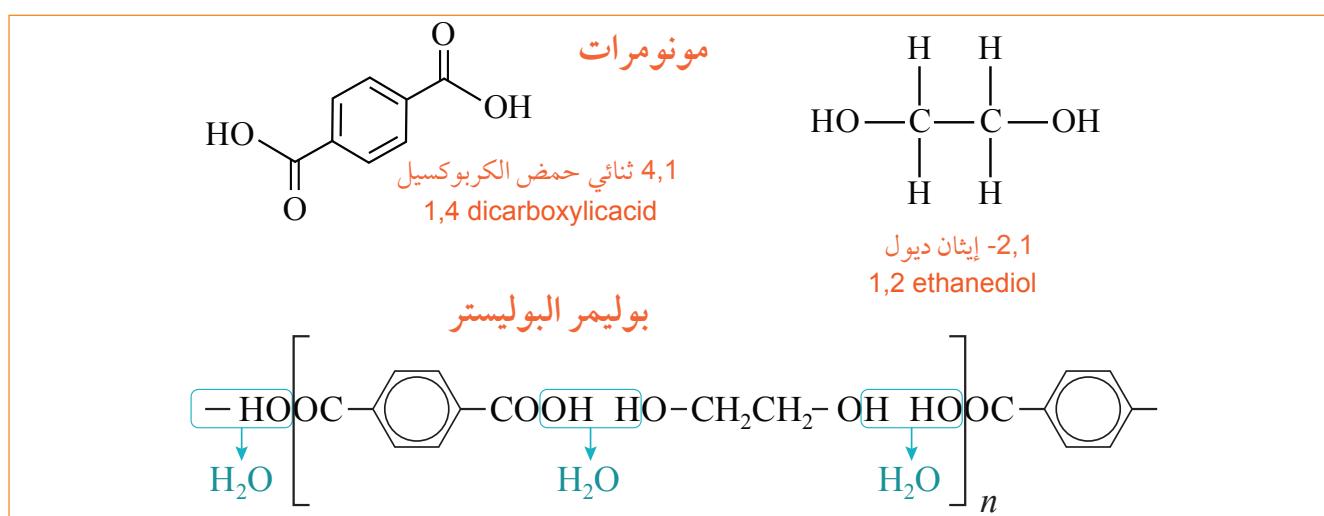
النایلون والبوليستر

النایلون «Nylons» نوع آخر من البوليمرات المشتركة المتكاثفة من البلمرة بالتكاثف التي تحدث بين مجموعة الكربوكسيل (COOH-) ومجموعة الأمين (NH₂-). والنایلون عبارة عن تناوب ثابت بين اثنين من البوليمرات المشتركة، بدلاً من 20. حيث يحتوي مونومر في النایلون على مجموعة كربوكسيل عند كلا الطرفين، ويحتوي المونومر الآخر على مجموعة أمين عند كلا الطرفين. تتم تسمية النایلون باستخدام أرقام لطول سلاسل الكربون في كل مونومر. فالنایلون 6,6 هو النایلون الذي يحتوي على 6 ذرات كربون من مونومر الكربوكسيل و6 ذرات كربون من مونومر الأمين. وكما هي رابطة الببتيد، يكون الماء ناتجاً ثانوياً لتفاعل البلمرة.



الشكل 20-6 المونومران اللذان يشكلان بوليمر النایلون 6,6.

البوليستر «Polyester» من البوليمرات المشتركة الشائعة الأخرى. تتشكل البوليسترات عن طريق البلمرة بالتكاثف التي تحدث بين مجموعة كربوكسيل (COOH-) ومجموعة هيدروكسيل (OH-). ويكون الماء ناتجاً ثانوياً لتلك البلمرة. وكما هي حال النایلون، تكون لكلاً من مونومرات البوليستر مجموعتان وظيفيتان متطابقتان. يوضح الشكل 21-6 المونومرات المستخدمة في صنع الألياف، التي يطلق عليها عادة اسم «البوليستر».



الشكل 21-6 المونومران الأثنان في البوليستر وجزء من بوليمر البوليستر.



بلمرة النايلون 10,6

1-6

سؤال الاستقصاء	المواد المطلوبة
كيف يمكن إنتاج النايلون 10,6 من خلال عملية البلمرة بالتكاثف؟	المحاليل: 6,1-ثنائي أمينو هكسان 1,6-diaminohexane كلوريد السيباكويل «Sebacyl chloride»، فينو لفتالين، دورق سعة 50 mL، ساق تحرير زجاجية، ملقط، نظارات واقية، قفازات.

الخطوات

- صب 10 mL تقريباً من محلول «6,1 - ثثنائي أمينو هكسان» في دورق سعة 50 mL.
- أضف 3 قطرات من محلول الفينولفتالين، وحرّكه، حتى يصبح اللون الوردي موّحداً.
- أمل الدورق بزاوية 45°، وصب 10 mL تقريباً من محلول كلوريد السيباكويل على الجدار الداخلي للدورق، وليس مباشرة على محلول 6,1-ثنائي أمينو هكسان. سيشكّل محلول كلوريد السيباكويل طبقة علوية منفصلة.
- استخدم الملقط، لتصل من خلال طبقة كلوريد السيباكويل وتنزع مركز الفيلم الرقيق الذي تشكّل بين الطبقتين. هذا هو بوليمر النايلون.
- لُفَّ الخيط حول ساق التحرير الزجاجية، حتى يلتصق بها.
- لُفَّ ساق التحرير لسحب خيط النايلون من الدورق، ولُفَّه حول الساق. ستندهش من طول الخيط الذي سيتم إنتاجه قبل نفاد محلول.
- اغسل الخيط بوضعه تحت الماء البارد، وأنت تضغط عليه، حتى يختفي لونه الوردي، ويصبح أبيض. تأكّد من ارتداء قفازي السلامة، وتأكد من أن نظارة الحماية لا تزال على عينيك.

التحليل

- فك خيط النايلون بعناية. قس طوله. وفي حال إنقطاعه، اجمع أطوال قطع الخيوط كلّها. قارن الأطوال مع زملائك في الصف. ما أطول طول إجمالي للخيط المنتج؟ ما هو أطول خيط مفرد؟
- لماذا أضيف محلول الفينولفتالين إلى محلول 6,1 - ثثنائي أمينو هكسان في الخطوة 2. وضح إجابتك.
- لماذا يجب عدم سكب محلول كلوريد السيباكويل على محلول 6,1 - ثثنائي أمينو هكسان في الخطوة 3.

تقويم الدرس 1-6

1. إذا تغير شكل البوليمر من خطٍّ إلى متفرعٍ، فهل تتوقع أن ترتفع درجة انصهاره، أم تنخفض، أم تبقى كما هي؟ علّل إجابتك. AT
MB

2. صفات الاختلاف في الشكل بين البوليمرات المتشابكة والترابط بين المونومرات في البوليمر. AT
MB

3. ما النوعان الرئيسيان لعمليات البلمرة؟ AT
MB

4. في أي نوع من البلمرة:
 a. لا يتجزأ ناتج ثانوي؟
 b. يتجزأ ناتج ثانوي؟ AT
MB

5. أيٌّ مما يأتي هو المونومر المستخدم لإنتاج البولي إيثيلين (Polyethylene)؟
 $C_6H_5CH = CH_2$.c $H_2C = CHCH_3$.a
 $H_2C = CH_2$.d $H_2C = CHCl$.b AT
MB

6. كم ذرة كربون في المونومر الذي يتجزأ البولي بروبيلين (PP)؟
 3 .c 8 .a
 2 .d 6 .b AT
MB

7. ما عدد المجموعات الوظيفية النشطة التي يمتلكها المونومر في تفاعلات البلمرة بالإضافة؟
 7 .c 1 .a
 10 .d 4 .b AT
MB

8. ما الفرق الرئيسي بين البوليمرات المُتجانسة (Homopolymers) والبوليمرات المشتركة (Copolymers)؟ AT
MB

9. ما المجموعات الوظيفية التي تتفاعلان لتنتجان:
 a. البروتينات؟
 b. النايلون؟
 c. البوليستر؟ AT
MB

10. ما المونومرات التي يتكون منها السيليوز؟ AT
MB

11. ما العامل المشترك بين البروتينات المختلفة عند تشكيل سلسلة بوليمر البروتين؟ AT
MB

خصائص البوليمرات

بين العامين 2010 و2018، أقيمت بطولات العالم لكرات البلياردو التسع في نادي العربي الرياضي في الدوحة بقطر. قد تتساءل عن علاقة ذلك بكيمياء البوليمرات. كانت كرات البلياردو تُصنَع في الماضي من العاج. لكن في عام 1863. عرضت أكبر شركة بلياردو في العالم جائزة بقيمة تعادل 40,000 ريال قطري لمن يستطع توفير مواد بديلة.



الشكل 6-22 كرات البلياردو.

وفي عام 1868، وبعد تجربة مجموعة متنوعة من التركيبات البوليمرية والعمليات، اخترع جون ويسلي حياة John Wesley وشقيقه أشعياء Isaiah Hyatt، إحدى أولى البوليمرات البلاستيكية في العالم. هذه المادة الجديدة مصنوعة كلياً من مواد طبيعية، بما في ذلك السيليلوز. وأطلقوا عليها اسم بلاستيك السيليلويد Celluloid. كانت تلك المادة بديلاً مناسباً للعاج في صُنْع كرات البلياردو، التي أصبحت أكثر متانة، وتقديم أداءً فائقاً. عُرِف عن السيليلويد أنه مُتعدد الاستخدامات بالنظر إلى قابليته للتشكيل بسهولة.

استُخدم السيليلويد عقوداً من الزمن لصناعة أفلام السينما. كما كان مرغوباً في صناعة الحلوي والألعاب الرخيصة. ولا يزال يستخدم في بعض الآلات الموسيقية. في هذا الدرس، ستفحص البوليمرات الطبيعية منها والصناعية، إلى جانب بعض خصائصها واستخداماتها الشائعة.

المفردات

Amber	عنبر
Natural polymer	بوليمر طبيعي
Synthetic polymer	بوليمر صناعي
Polyamides	بولي أميدات

مخرجات التعلم

C1108.2 يعطي أمثلة على البوليمرات الصناعية والطبيعية، ويصف العلاقة بين الخصائص المميزة للتركيب الجزيئي وطرق استخدامها.

البوليمرات الطبيعية

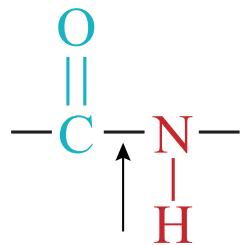
البوليمرات الطبيعية Natural polymers هي بوليمرات تنتجه النباتات والحيوانات، وتشمل البروتينات والسليلوز والنشا والحمض النووي (DNA) والمطاط الطبيعي. تكون البوليمرات الطبيعية مركبات قابلة في معظمها للتحلل بسهولة نسبية. وهذا يُعد الفرق الرئيس بين البوليمرات الطبيعية والصناعية.



الشكل 23-6 مجواهرات العنبر، والعنبر الذي يحتوي على الحشرات الأحفورية.

هناك استثناء فريد يعرف بالعنبر **Amber**. يتبع العنبر أو الكهرمان عندما تخضع راتنجات الشجر المقاومة للتآكل لقوى جيولوجية، مثل ارتفاع درجة الحرارة والضغط.

في ظل تلك الظروف، يمكن أن تبلمر راتنجات الشجر إلى عنبر. والعنبر مادة مطلوبة لجمالها ولاستخدامها في المجوهرات. يمكن أيضًا العثور على عينات من العنبر تُغلف الحشرات القديمة، وتحافظ على هيئاتها، مما يزيد من جمالها وقيمتها. يمكنك القول إن أهم البوليمرات الطبيعية هي الحمض النووي DNA، والحمض النووي الريبيوزي RNA، والبروتين.

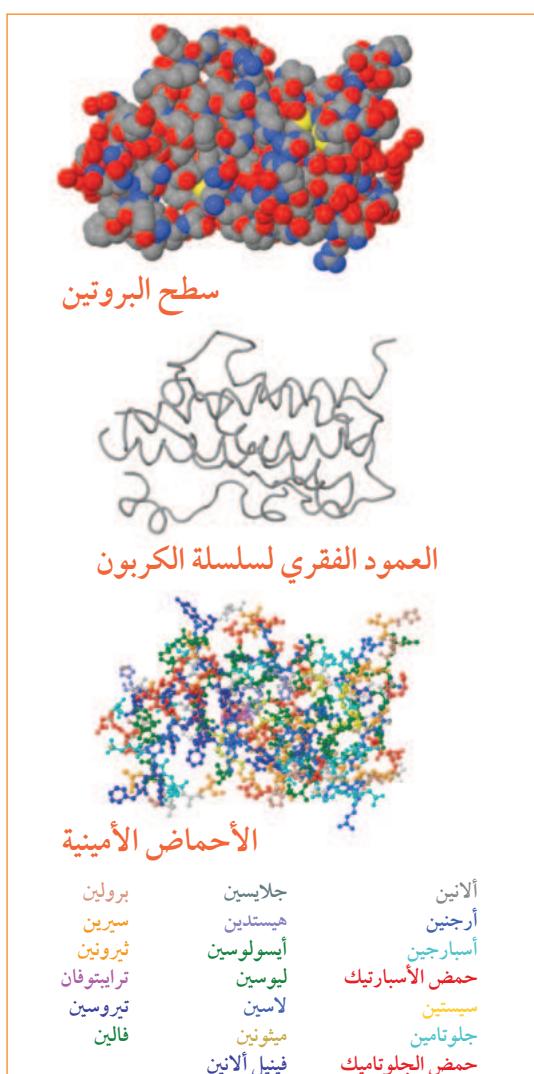


الشكل 24-6 رابطة أميد.

البروتينات هي **بولي أميدات Polyamides**. البولي أميدات بوليمرات تتشكل عندما ترتبط ذرة نيتروجين من مونومر بذرة كربون من مجموعة الكربونيل من مونومر آخر (الشكل 24-6). يُسمى هذا النوع من الروابط برابطة أميد Amide bond. تُعد روابط البيتيد التي تتشكل بين الأحماض الأمينية، نوع من روابط أميد. استخدام البروتينات وبعض مميزاتها مبينة في الجدول أدناه.

البروتينات	
بناء الخلايا وتكوين الأنزيمات وبعض الهرمونات.	الاستخدام
التكاثف	نوع البلمرة
20 نوعاً مختلفاً من الأحماض الأمينية.	المونومر
مجموعة الكربوكسيل (COOH-) ومجموعة الأمين (NH ₂ -).	المجموعات الوظيفية المُتفااعلة

بنية البروتين ووظيفته

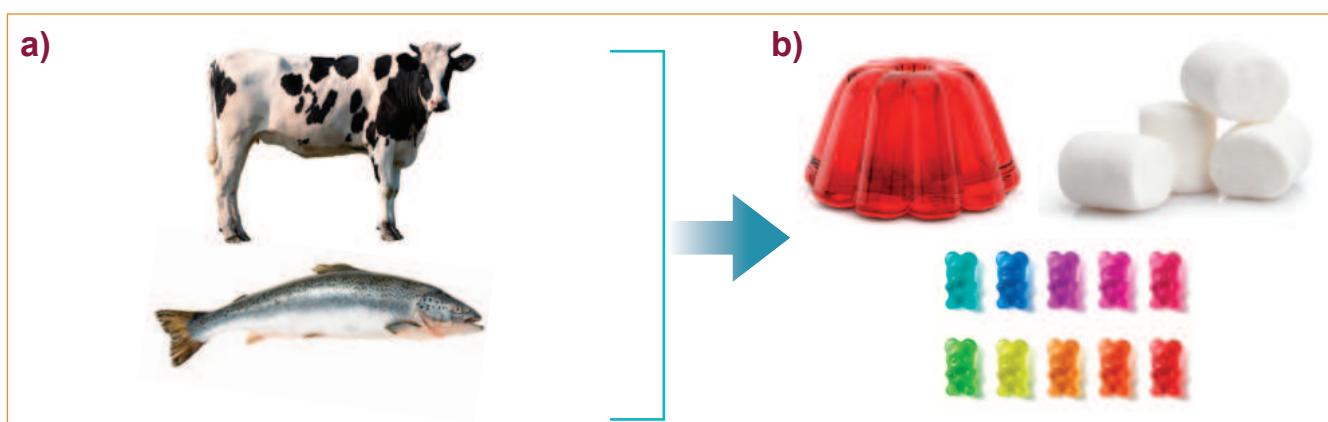


الشكل 25-6 هيكل البروتين.

للبروتينات مجموعة واسعة من الخصائص والوظائف المستمدّة من بنيتها الهيكلية. يوضّح الشكل 25-6 بنية هرمون النمو في الإنسان، وهو بروتين يحتوي على 191 حمضًا أمينيًّا في أربع سلاسل كربون متتشابكة.

- تسمح بنية الأحماض الأمينية -الكريوكسيلية الشائعة لـ 20 حمضًا أمينيًّا، أن تكون عددًا لا حصر له من البروتينات المختلفة تماماً بناء على تغيير ترتيبها، مثلما يمكن من بضعة أحرف تكوين عدد لا حصر له من الكلمات.
- تتخذ سلسلة البوليمر شكل لولبي، وتكون طيات في صورة من الأشكال المعقّدة الثلاثية الأبعاد بالاعتماد على الهوية المحدّدة، وتسلسل الأحماض الأمينية.
- قد تكون مونومرات الأحماض الأمينية المختلفة حمضية أو قاعدية، محبّة للماء أو كارهة للماء، قطبية أو غير قطبية. تحدّد البروتينات التي تنطوي إلى الخارج الكثير من وظائف البروتين.

الكولاجين **Collagen** هو البروتين الأكثر وفرة في جسم الإنسان. فهو يوجد في العظام والأوتار والأربطة والقرنية والأوعية الدموية والأسنان والعضلات، وسواها من الأماكن في الجسم. ويُطلق على الكولاجين الذي يتحلل إلى سلسل بوليمر أصغر، اسم الجيلاتين. يستخدم هذا البروتين في الأطعمة مثل الجيلاتين، والحلوى اللذيدة، والآيس كريم. الكولاجين المستخدم في الغذاء مصدره الماشية والدجاج والأسماك.



الشكل 26-6 (a) مصادر الكولاجين لإنتاج الجيلاتين؛ (b) استخدامات الجيلاتين.

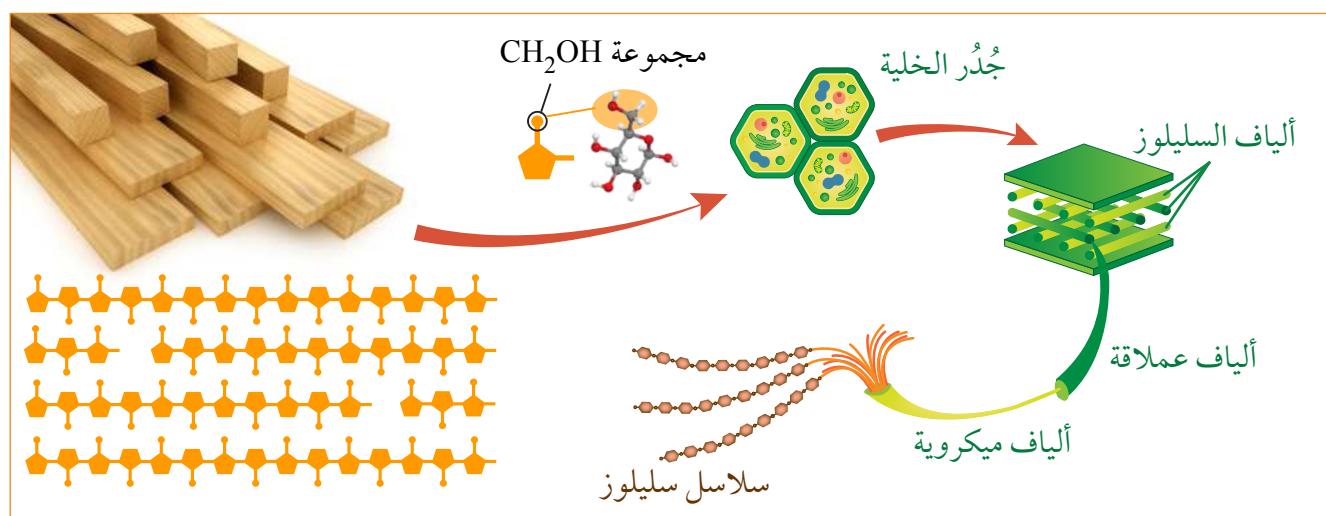
السليلوز

السليلوز Cellulose هو سلسلة بوليمر خطية عديد التسکر، تقوم فيه مونومرات الجلوکوز بالتناوب على الجانب الذي يوجد فيه CH_2OH . الميزات الأساسية للسليلوز مبينة بالجدول أدناه.

- تتألف السلسلة النموذجية من عدّة مئات إلى عشرةآلاف من المونومرات.
- تعني بنية السلسلة الخطية للسليلوز أن بإمكان ألياف السليلوز الاصطدام معًا.
- تكون مجموعات CH_2OH بالتناوب روابط هيدروجينية فيما بينها. الأمر الذي يربط الجزيئات معًا في ألياف قوية للغاية.
- تمثل ألياف السليلوز مكونات بنية النباتات جميعًا، وهذا يجعل الخشب مادة قوية.

السليلوز

الاستخدام	بنية الجزيء في جميع النباتات. وكذلك في إنتاج الورق ومشتقاته، وصنع البوليمرات الصناعية، مثل السيلوفان Cellophane. الذي يستخدم في تغليف الطعام، وفي الأشرطة الشفافة.
نوع البلمرة التكافث.	β - جلوکوز.
المونومر	مجموعة الهيدروكسيل (-OH) في β - جلوکوز.



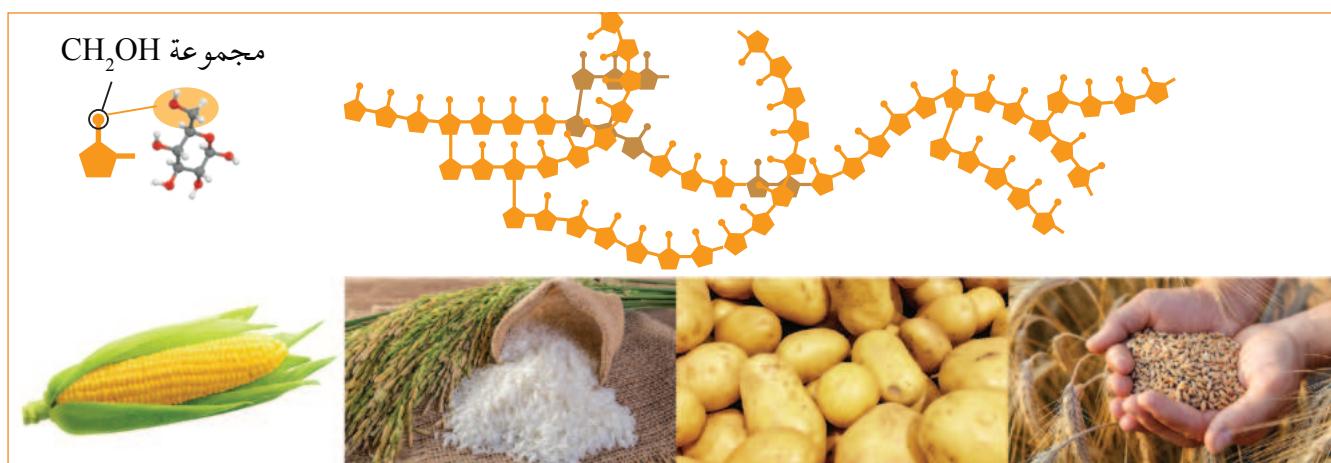
الشكل 27-6 السليلوز يمنح الألياف النباتية قوة.

السليلوز هو البوليمر الطبيعي الأكثر وفرة على وجه الأرض. فهو يوجد في جذر الخلايا النباتية ويُوفّر الدعم الهيكلي للخلية. تحتوي النباتات المختلفة على تركيزات مختلفة من السليلوز. فالقطن مثلاً يحتوي على واحدة من أعلى نسب التراكيب السيلولوزية (90 %)، أي ما يقرب من ضعف وجوده في الخشب.

النشا

النشا starch بولимерات عديدة التسّكّر تشبه السليلوز؛ لكن لها بنية مختلفة. تنتج النباتات النشا كوسيلة لتخزين الطاقة. ويستخلص البشر تلك الطاقة عن طريق هضم النشاء وتحویلاتها.

- النشا له سلسلة متفرعة، وتكون فيها مجموعات CH_2OH على الجانب نفسه من السلسلة بدلًا من التناوب.
- لا تمتلك سلاسل بوليمرات النشا بقّوة سلاسل السليلوز، لأن وجود التفرعات تمنع الجزيئات من التقارب بدرجة كافية لتشكيل قوى جذب قوية بين الجزيئات.
- يختلف تفرع النشا باختلاف النباتات، حيث تختلف الخصائص حسب المصدر.



الشكل 28-6 مصادر النشا: الذرة والبطاطا والأرز والقمح.

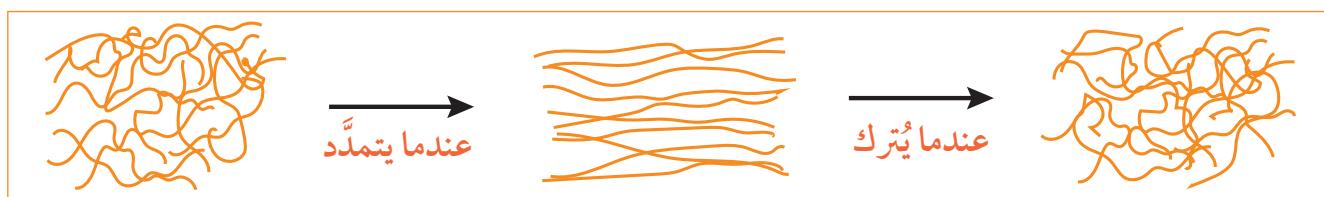
النشا	
الطاقة المخزّنة في الكائنات الحية. ويستخدم بعضها في صناعة الورق كمادة لاصقة. يمكن أيضًا معالجة النشا لتحويلها إلى سُكّريات، تستخدم في الأطعمة، أو تخميرها لإنتاج الوقود الحيوي.	الاستخدام
التكاثف.	نوع البلمرة
α - جلوكوز.	المونومر
مجموعات الهيدروكسيل من الكربوهيدرات.	المجموعات الوظيفية المُنفّاعلة

- يبيّن الجدول أعلاه الميزات الأساسية للنشا.
- تشمل المصادر الشائعة للنشا الذرة والبطاطا والأرز والقمح.

المطاط الطبيعي

على الرغم من أن معظم البوليمرات الطبيعية تتشكّل عن طريق البلمرة بالتكاّف، إلا أن المطاط الطبيعي يتكون من البلمرة بالإضافة. المطاط الطبيعي هو البولي إيزوبرين (Polyisoprene). يحتوي البوليمر في المتوسط على حوالي 10,000 مونومر إيزوبرين Isoprene. نحصل على المطاط الطبيعي من عصارة اللاتكس المتوفّرة في أشجار المطاط. (يشير مصطلح لاتكس Latex إلى بوليمر معلق في مذيب مائي. من المعروف أن بالإمكان منع الأيزوبرين في لاتكس المطاط من البلمرة كليّاً، عن طريق إزابته في محلول الأمونيا المائي). الميزات الأساسية للمطاط الطبيعي مبيّنة بالجدول أدناه.

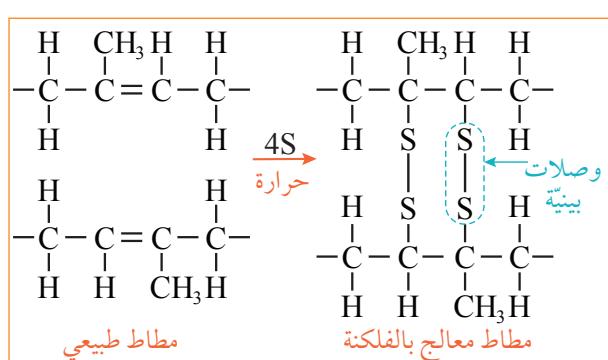
المطاط الطبيعي	الاستخدام
نوع البلمرة	الإضافة.
المونومر	إيزوبرين، $\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3) \text{CH} = \text{CH}_2$ - ميتشيل-1، 3- بيوتاديين 2-methyl-1,3-butadiene
المجموعات الوظيفية المُتفاعلة	مجمو عتان من $\text{C} = \text{C}$ (رابطان تساهميتان ثنائيتان)  إيزوبرين isoprene



الشكل 6-29 مرونة المطاط الطبيعي.

المطاط الطبيعي، من اللدائن Elastomer. يعني، ذلك أن لدى بنية الجُزِيء طاقة أقل في الهيئة المتجمدة:

- عندما يمدد جزء المطاط الطبيعي، تصبح جزيئاته المرنة مستقيمة من دون أن تنكسر.
- عند تحرير قوة التمدد، تراجع الجزيئات لتعود إلى وضعية الطاقة المنخفضة، في الهيئة المتجمدة.



يصبح هذا المطاط الطبيعي أكثر مقاومة للحرارة والأكسدة في عملية الفلكتنة Vulcanization، حيث يرتبط الكبريت بالمونومرات، والتي تترابط بدورها بين سلاسل البيوليمير (الشكل 30-6).

الشكل 6-30 فلكنة المطاط الطبيعي.

البوليمرات الصناعية

البوليمرات الصناعية Synthetic polymers هي بوليمرات من صنع الإنسان. يمكن أن تنتج أيضًا من مونومرات مصدرها طبيعي أي من النباتات والحيوانات. تنتج معظم البوليمرات الصناعية من نواتج تقطير البترول ومشتقاته. تكون البوليمرات الصناعية في العادة أقل قابلية للتحلل وأكثر دوامًا من البوليمرات الطبيعية. تنشأ عن هذه المتانة مشكلة في تحلل النفايات وإعادة التدوير. وسوف يتم تناول تلك المشكلة في الدرس 6-3. تشمل البوليمرات الصناعية على النايلون والداكرون™ Dacron™ والبوليسترين والبولي كلوريد الفينيل والبولي إيثيلين. الميزات الأساسية للنايلون مبينة بالجدول أدناه.

النَّايلُون

النایلون	الاستخدام
الأقمشة، الأجزاء الميكانيكية.	نوع البلمرة
التكاثف	المونومر
بوليمير مشترك من الأحماض الكربوكسيلية وأمين شنائي.	المجموعات الوظيفية المُتفااعلة
حمض الكربوكسيل (COOH) والأمين (-NH ₂).	

النایلون، مثله مثل البروتینات، يشكّل رابطة أميد بين مجموعة كربوكسيل ومجموعة أمينية، وهو يتميّز إلى مجموعة البولي أميدات. تعلّمنا في الدرس 6-1، أن مونومرات النایلون تشتتم على مجموعتي كربوكسيل، واحدة على كل جانب، أو مجموعتي أمين، واحدة على كل جانب. يمكن أيضًا أن تنتج بعض أنواع النایلون من مونومر واحد يحتوى على مجموعة كربوكسيل ومجموعة أمينية.

النایلون قویّ بشکل استثنائی. و مع ذلك فإنه خفيف الوزن جداً. أضعف إلى ذلك أنه قليل المرونة ويعمر طويلاً، ولا يمتص الماء جيداً (الشكل 6-31). وبالنظر إلى سهولة صبغ النایلون، تُعدّ أليافه ممتازة لصناعة الملابس. يدخل النایلون أيضاً في صناعة السجاد والحبال وأكياس النوم، والخيام والمظللات، وخيوط مضرب التنس (الشكل 6-32). أول نایلون أنتج كان نایلون 6,6. ثم أُنتجت أنواع أخرى منها النایلون 10,6، والنایلون 4، والنایلون 11.



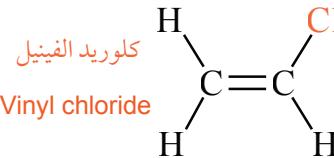
الشكل 31-6 قطعة قماش من النايلون نافرة للماء.



الشكل 6-32 متعجات النايلون (a) سترة واقية من المطر والرياح؛ (b) كيس نوم؛ (c) خيمة؛ (d) حبل.

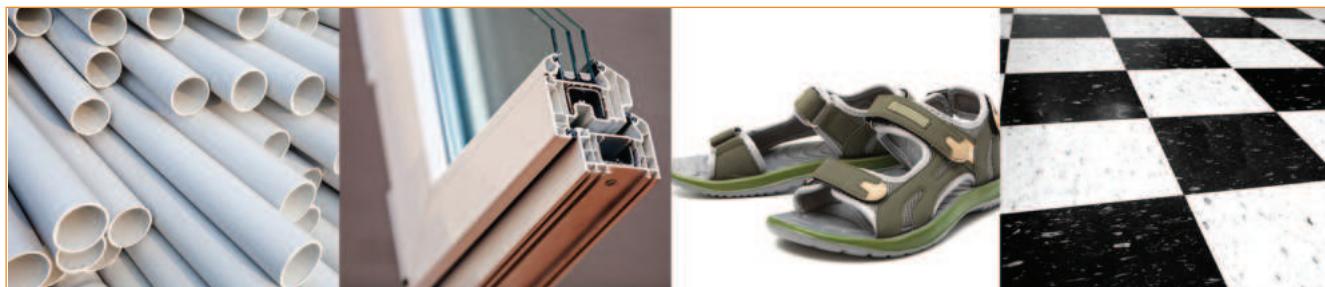
بولي كلوريد الفينيل (PVC)

بولي كلوريد الفينيل (Polyvinyl chloride) بوليمر غير ثابت حرارياً (Thermoplastic)؛ ما يعني أن بالإمكان صهره وتحوילه إلى سائل سهل التشكيل، وتبريده إلى مادة صلبة قوية بصورة متكررة. غالباً ما يتم إنتاج البوليمرات غير ثابتة حرارياً كحببات أو صفائح لكونها تتمتع بميزة القدرة على تحمل عمليات الاصهر والتصلب، قبل أن تتحلل بصورة كبيرة. PVC هو بوليمر البلاستيك الثالث أكثر إنتاجاً في العالم.

بولي كلوريد الفينيل (PVC)	
الأنابيب - مواد تغليف - مواد البناء	الاستخدام
الإضافة (لا يوجد ناتج ثانوي)	نوع البلمرة
 $\text{H} \backslash \text{C} = \text{C} / \text{Cl}$ $\text{H}_2\text{C} = \text{CHCl}$	المونومر
رابطة تساهمية ثنائية $\text{C} = \text{C}$ تكسر عند الرابطة π .	المجموعات الوظيفية المتفاولة

PVC بوليمر يدوم طويلاً ورخيص نسبياً. وهو مقاوم جداً للأشعة فوق البنفسجية من الشمس، وللمواد الكيميائية، والتجوية. لا يتحمل PVC الحرارة مثل النايلون والبوليستر؛ لذلك نادراً ما تُستخدم أليافه في الملابس.

PVC مثل معظم البوليمرات، يمكن تصنيعه ليحمل خصائص مختلفة. وله نوعان شائعان أحدهما مرن والآخر صلب. يستخدم PVC في تصنيع الأنابيب وإطارات النوافذ وعوازل الأسلامك الكهربائية ومواد الأرضيات ونعال الأحذية (الشكل 6-33).



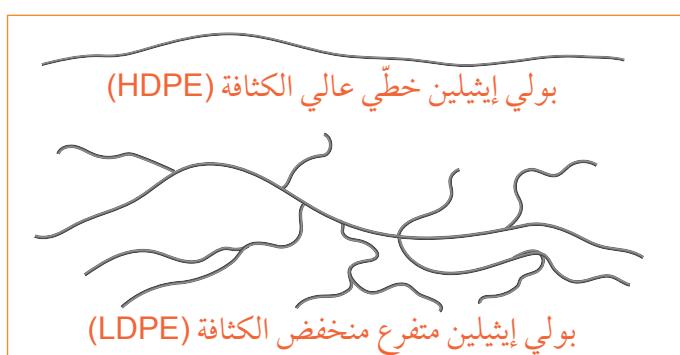
الشكل 6-33 تشمل منتجات PVC البلاستيكية الأنابيب، وإطارات النوافذ «فينيل»، أحذية، وبلاط أرضيات.

تتأثر خصائص PVC تأثراً بالغاً بإضافة **المواد المضافة Additives**، وهي مواد كيميائية تخلط مع البلاستيك نفسه. وتشمل مثبتات الأشعة فوق البنفسجية التي تحمي البلاستيك من التفكك تحت أشعة الشمس المباشرة. ومن الإضافات الشائعة: مواد التلوين، والمواد التي تزيد قوة البوليمر، والألياف الزجاجية (مواد حشو)، ومواد التحكم في القوام (عوامل التدفق).

البولي إيثيلين (PE)

البولي إيثيلين (Polyethylene) هو البلاستيك الأكثر شيوعاً في العالم. وهو أبسطها (انظر الدرس 6-1). يمكن إنتاج البولي إيثيلين بمجموعة متنوعة من الكثافة والكتل الجزيئية التي لها خواص فизيائية مختلفة. ومن أكثر أشكاله شيوعاً البولي إيثيلين الخطّي، والمُتفرّع (الشكل 34-6).

البولي إيثيلين (PE)	
أكياس البلاستيك، العبوات الطبية ، التعبئة والتغليف.	الاستخدام
الإضافة (لا يوجد ناتج ثانوي).	نوع البلمرة
 إيثيلين Ethylene	المونومر
رابطة تساهمية ثنائية $C=C$ تكسّر عند الرابطة π	المجموعات الوظيفية المُتفاعلة



الشكل 34-6 بولي إيثيلين خطّي ومتفرّع.

يكون البولي إيثيلين الخطّي عادةً ذو كثافة عالية، ويشار إليه باسم البولي إيثيلين العالي الكثافة (HDPE). تراوح كتلته الجزيئية بين 200,000g/mol إلى 500,000g/mol. يمكن إنتاج البولي إيثيلين الخطّي ذي الوزن الجزيئي العالي جداً بأوزان جزيئية في حدود تراوح بين 3 ملايين و 6 ملايين g/mol.

لا يمكن للبولي إيثيلين المتفرّع أن يضغط سلاسله بشكل متقارب؛ وهو وبالتالي ذو كثافة منخفضة ويسّمى البولي إيثيلين المنخفض الكثافة (LDPE). غالباً ما يتم توريد البولي إيثيلين إلى المصانع على شكل حبيبات أو أقراص، حيث تذاب هناك ويعاد تشكيلها (الشكل 35-6).



الشكل 35-6 كريات البولي إيثيلين ومحصل الركبة الصناعي.

البولي إيثيلين متعدد الاستعمالات ويدخل في كثير من المنتجات. تتمثل بعض استخداماته الأكثر شيوعاً في الأكياس البلاستيكية، والأأنابيب، والأفلام البلاستيكية، والزجاجات، ولعب الأطفال. أما البولي إيثيلين العالي الكثافة (HDPE) ذو الكتلة الجزيئية الكبيرة، فقد استخدم بدلاً من بوليمر كيفلر Kevlar كحشوة في الستر الواقية من الرصاص، وكعازل في الركب الصناعية.

أنواع البولي إيثيلين (PE)

تتعدد الاستخدامات المدهشة للبولي إيثيلين في الصناعات الحديثة، من بين عشرات الاستخدامات المتنوعة بتنوعه. يبيّن الجدول 6-3 ثلاثة أنواع من البولي إيثيلين تختلف في البنية الجزيئية والكتلة الجزيئية.

الجدول 6-3 ثلاثة أنواع من البولي إيثيلين المستخدمة في الصناعة.

UHMWPE	HDPE	LDPE	
بولي إيثيلين ذو الكتلة الجزيئية الكبيرة جدًا	بولي إيثيلين عالي الكثافة	بولي إيثيلين منخفض الكثافة	
935 - 945	941 - 970	910 - 940	تراوُح الكثافة (kg/m ³)
متفرّع	خطي	متفرّع	الشكل
4,500,000	200,000	50,000	الكتلة المولية (g/mol)
130 - 136	120 - 130	105 - 115	درجة الانصهار (°C)
2,600	26	10	قوّة المردود (MPa)
جبال - شبّاك صيد دروع واقية للجسم	عبوات البلاستيك مفاصل اصطناعية	أكياس بلاستيك حاويات النفايات	التطبيقات

يمتلك البولي إيثيلين المنخفض الكثافة LDPE أصغر كتلة مولية؛ ويعدّ الأضعف والأكثر ليونة من أنواع البولي إيثيلين الأخرى. ويرجع ذلك إلى كثرة التفرّعات التي تمنع التقارب بين الجزيئات. أمّا البولي إيثيلين العالي الكثافة HDPE، فيمتلك أكبر كتلة مولية، وله سلاسل خطية، الأمر الذي يسمح للجزيئات أن تترافق بقوّة. وبذلك يمتلك كثافة عالية جدًا، وتعد درجة انصهاره أعلى من درجة انصهار بوليمر LDPE.



الشكل 6-6 تُصنّع الجبال الفائقة القوّة، والخفيفة جدًا، من نسيج الألياف المصنوعة من UHMWPE.

أما البولي إيثيلين ذو الكتلة الجزيئية الكبيرة جدًا، UHMWPE، فيمتلك كتلة مولية كبيرة جدًا جدًا، وله سلاسل تحتوي على أكثر من 300.000 ذرة كربون. لكن شكله المتفرّع لا يجعله عالي الكثافة، غير أن الجزيئات الطويلة جدًا تجعل هذا النوع من البوليمرات ذات قوّة كبيرة جدًا.

في الصناعة، تشدُّ جُزيئات UHMWPE وتُغزل إلى ألياف طويلة جدًا، تعدُّ قوّتها أكبر من قوّة الفولاذ. تتميز ألياف UHMWPE بقوّة كبيرة قياسًا على كتلتها، الأمر الذي يجعلها مُتّجًا ملائمًا في صناعة الدروع وحبال تسلق الجبال (انظر الشكل 6-6).



البلمرة

2-6

سؤال الاستقصاء	المواد المطلوبة
كيف يمكن إنتاج البوليمر المرن؟	غراء البولي فينيل الكحولي PVA، محلول بوراكس مشبع (Saturated borax)، ماء مُقطر، كبريتيد الخارصين الفوسفوروي (Phosphorescent solution)، ميزان، دورق سعة 250 mL، مخار مدرج سعة 25 mL، ساق تحرير زجاجية، ورقة حشوة، كيس برباط.

خطوات العمل

1. قس 20.0 mL من الماء المُقطر عند درجة حرارة الغرفة في المخار المدرج ذي السعة 25 mL، واسكبها في دورق سعة 250 mL.
2. قس 25.0 mL من غراء PVA في المخار ذي السعة 25 mL واسكبها في دورق سعة 250 mL الذي يحتوي على الماء المُقطر. وعلى الفور، وبشكل كلي، اغسل الغراء من المخار.
3. حرك الخليط في الدورق ذي السعة 250 mL حتى يصبح متجانساً تماماً.
4. زن 1.00 g من كبريتيد الخارصين الفوسفوروي على ورقة الوزن، أضفه إلى الدورق ذي السعة 250 mL، وحركه حتى يصبح الخليط مرّة أخرى متجانساً.
5. قس 15.0 mL من محلول البوراكس المُشبع باستخدام المخار ذي السعة 25 mL، واسكبها في الدورق 250 mL.
6. حرك لمدة 30 ثانية عندما يتشكّل البوليمر على ساق التحرير الزجاجية.
7. اسحب البوليمر من ساق التحرير الزجاجية، وادلكه على سطح الطاولة لإزالة السائل الزائد. استمر في الدلك حتى يجف البوليمر ولا يعود ملمسه لزجاً. يجب ألا يستغرق ذلك سوى دقيقة واحدة أو دقيقةتين.
8. ضع البوليمر في الكيس ذي الرباط وأغلقه جدّاً. يكون البوليمر مستقرّاً بشكل مقبول عند درجة حرارة الغرفة. ولكن يمكن أن يبقى قابلاً للاستعمال لعدة أشهر، إذا تم تخزينه في الثلاجة، عندما تنتفي الحاجة إلى استخدامه.

التحليل

1. أجعل البوليمر في شكل دائرة مسطحة، وعرّضه لأشعة الشمس الساطعة، أو ضوء ساطع لمدة دقيقة واحدة. أطفئ الأنوار جميعها، أو انقله إلى غرفة مظلمة. ماذا تلاحظ؟
2. قطّع البوليمر إلى عشر قطع. ضع القطع في كومة، وهي متلامسة. بعد دقيقة واحدة، ما الذي تلاحظ حدوثه؟
3. اسحب البوليمر. إلى أي مدى يمكن مدّه قبل أن ينقطع؟
4. بالاستناد إلى الملاحظتين السابقتين، ماذا تستنتج بخصوص قوى الجذب بين سلاسل البوليمرات؟ ماذا تسمّى قوى الجذب هذه؟

تقويم الدرس 2-6

1. ما مونومرات البروتينات؟ 

2. أيّ البوليمرات تميل إلى أن تكون أكثر تحللاً، الطبيعية أم الصناعية؟ 

3. ما المجموعة الوظيفية التي تتفاعل في بلمرة السيليلوز؟ 

4. أي اثنين من البوليمرات الآتية لديهما المونومر نفسه؟ 

- a. السيليلوز والحمض النووي.
- b. السيليلوز والنشا.
- c. الحمض النووي والبولي إيثيلين.
- d. البولي إيثيلين والبولي بروبيلين.

5. أي اثنين من البوليمرات الآتية هما بوليمراً إضافي؟ 

- a. البروتينات والنایلون.
- b. البولي إستر والنایلون.
- c. السيليلوز والبوليسترين.
- d. البولي بروبيلين والمطاط الطبيعي.

6. ما الكتلة الجُزئية التقريبية لسلسلة بوليمر البولي إيثيلين تحتوي على 100 مونومر؟ 

- 1,600 amu .c
- 14 amu .a
- 2,800 amu .d
- 100 amu .b

7. ما الناتج الشانوي لبلمرة البولي كلوريد الفينيل؟ 

- H₂O .c
- OH .a
- La .d
- HCl .b

8. ما البوليمر الذي تم استخدامه ليحل محل بوليمر كيفلر (Kevlar) في الستّر الواقية من الرصاص؟ 

- النایلون .a
- المطاط الطبيعي .c
- البولي بروبيلين .d

9. ما اسم مونومر المطاط الطبيعي؟ 

10. ما اسم العملية المستخدمة لجعل المطاط الطبيعي أكثر دواماً؟ 

البوليمرات البترولية والاستدامة



الشكل 37-6 مدينة الدوحة، ومصنع تعبئة العصير.

تُرى كيف ستبدو الحياة إذا نضب الغاز الطبيعي؟ ماذا لو اختفت الأشياء جميعها المصنوعة من البترول والغاز الطبيعي ومشتقاتها من حولنا؟ ماذا لو اختفت أيضًا الأشياء التي لم تُصنع من منتجات بترولية، ولكنها مواد يتم إنتاجها ونقلها باستخدام الطاقة التي نحصل عليها من البترول ومنتجاته؟ ما الذي سيُبقي؟ غالباً ما نأخذ تلك الموارد بأنها أمر واقع ومفروغ منه، ولكن اعتمادنا عليها بات كبيراً جداً.

تُستخدم في السيارات، والباصات، والقطارات، والطائرات منتجات بترولية، أو مواد مصنوعة منها، حتى الطرق أُنشئت باستخدام المنتجات البترولية. أضف إلى ذلك أن الغذاء الذي

نتناوله، قد تمت زراعته، وتسميمه، وحصاده، وتنظيفه، وتعبئته، وشحنها، باستخدام تلك المنتجات البترولية. وفضلاً عن ذلك، يجري تصنيع معظم ملابسنا من المنتجات البترولية، وحتى الملابس المصنوعة من الأقمشة الطبيعية يتم تصنيعها، وتغليفها، وشحنها، باستخدام تلك المنتجات. وتضم المنازل والأبنية مواد تعتمد على البترول، وقد تم تشييدها باستخدام طاقة المنتجات البترولية، ناهيك بأن الأدوية والإمدادات الطبية مصنوعة من المنتجات البترولية، بالإضافة إلى أن معظم الكهرباء التي نستهلكها يتم توليدها باستخدام المنتجات البترولية، والطاقة التي نحصل عليها من الوقود البترولي.

سوف نعاين في هذا الدرس بعض البوليمرات الناتجة عن استخدام المشتقات البترولية، ونبحث في خيارات الحفاظ على هذا المورد القيّم للغاية، واستدامته.

المفردات

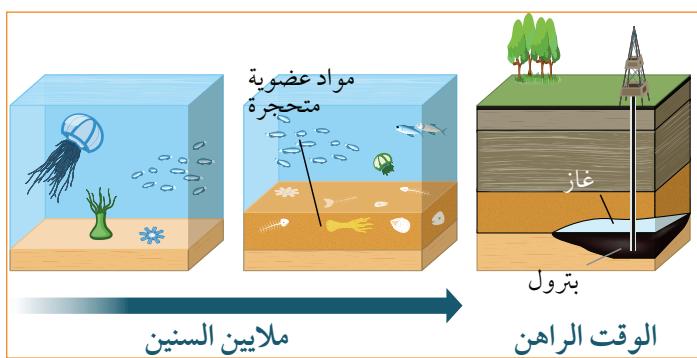


Petroleum	البترول
Feedstocks	المادة الأولية
Plastics	المواد البلاستيكية
Thermosetting	مواد بلاستيكية ثابتة حرارياً
Thermoplastic	مواد بلاستيكية غير ثابتة حرارياً

مخرجات التعلم

C1108.3 يدرك أن النفط والغاز الطبيعي يمثلان المواد الخام التي تستخدم لإنتاج البوليمرات الصناعية (البلاستيك والألياف الصناعية) حيث ينتج الكثير منها في دولة قطر.

البترول والغاز الطبيعي

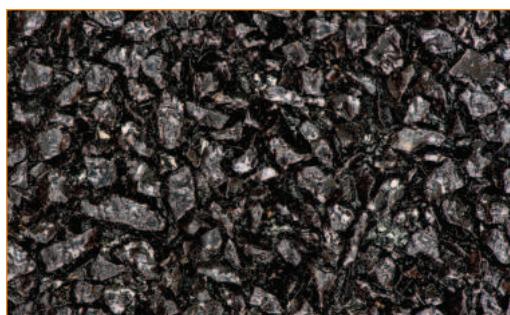


الشكل 6-38 تكون البترول.

البترول **Petroleum**، الذي يُعرف أيضًا بالنفط الخام، هو خليط يتضمن الكثير من المركبات من المواد الطبيعية التي تتكون في معظمها من الهيدروكربونات. ويرجع أصل تلك الهيدروكربونات إلى بقايا أحافير حية لكتائنات حية، كما هو مبين في الشكل 6-38.

يُعتقد أن معظم البترول تكون من بقايا كائنات حية بسيطة مثل الطحالب والعوالق الحيوانية. وبفعل النشاط الجيولوجي، انتهى المطاف بتلك الرواسب عميقاً تحت سطح الأرض. ومع مرور الزمن، حولت الحرارة والضغط الهائلان تلك المواد العضوية إلى مواد صلبة وسائلة، سُمّيت البترول.

يعود استخدام البترول عبر التاريخ إلى أكثر من 4000 عام. وقد استُخدم الأسفلت الطبيعي (الشكل 6-39) في بناء الجدران وأبراج بابلية Babylon. تصف بعض الألواح الفارسية القديمة استخدام



الشكل 6-39 الأسفلت الطبيعي، أو القار.

البترول في الطب والإضاءة. أما الكتابات الصينية الأولى، فقد وصفت استخدام البترول كوقود في أوائل القرن الرابع BCE (قبل الميلاد).

وقد ذُكرت عملية التقطر التجزئي للنفط الخام في كثير من الكتب العربية. وذكر أن أول من أجرى هذه العملية هم الكيميائيون المسلمين، أمثال محمد بن زكريا الرازى. كذلك أجرى كيميائيون عرب عملية تقطر النفط الخام لإنتاج مواد قابلة للاشتعال، واستخدامها لأهداف عسكرية. وقد كثرت التجارب العلمية والبحوث التي أجريت في مجال تكرير النفط إلى حد بعيد ابتداءً من منتصف القرن الأول من القرن التاسع عشر إلى أواخره. وقد تم تحفيز ذلك من خلال اختراع محرك الاحتراق الداخلي، والأسواق المت坦مية للمنتجات البترولية، مثل الكيروسين وشمع البرافين. فالعالم اليوم يُنتج 100 مليون برميل من النفط يومياً (الشكل 6-40).



الشكل 6-40 حقول النفط الروسية عام 1943 م تقريرًا.

معلوم أن البترول ليس مادة كيميائية ندية، بل هو خليط يحتوي على كثير من المركبات. ويتباين تركيب النفط؛ ويكون عادةً من الكربون والهيدروجين بنسبة تترواح بين 93% و 99% في حين أن معظم الكتلة المتبقية تتكون من الكبريت، والأكسجين، والنيتروجين. وغالباً ما يوجد الغاز الطبيعي (Natural gas) فوق تجمعات البترول. والغاز الطبيعي هو مادة هيدروكربونية غازية تحتوي على عدّة أنواع من الغازات، أهمّها وأكثرها الميثان.



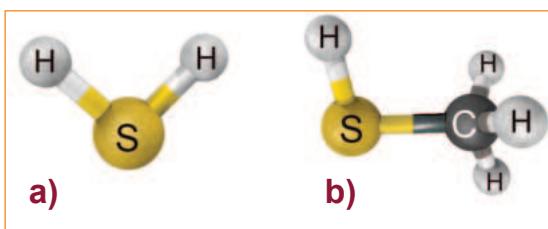
البترول القطري

بدأ تاريخ نفط دولة قطر مع الحفر الاستكشافي الذي تم عام 1938م، واكتشاف النفط في الساحل الغربي من مدينة دخان عام 1939م (الشكل 41-6). وبحلول العام 1979م، تم تأميم صناعة النفط في دولة قطر تأميمًا كليًّا، وأصبحت تديرها شركة قطر للبترول (شركة قطر للطاقة حالًياً) التي أُنشئت عام 1974م.

يُعدُّ البترول والغاز الطبيعي من **المواد الأولية** (Feedstocks) (مواد خام) (الشكل 41-6) حقل دُخان النفطي. التي حصلت عليها شركة قطر للطاقة، أضاف إلى ذلك أن الغاز الطبيعي تزايدت أهميته في العقود الماضيين.

المواد الأولية هي المواد الخام المستخدمة في عملية التصنيع والإنتاج الصناعي.

تمتلك شركة قطر للطاقة شركات تابعة لها، تستخدم المواد الأولية من البترول والغاز الطبيعي لتصنيع مئات المنتجات. إحدى تلك الشركات هي شركة قطر للبتروكيماويات (قابكو)، التي تعد إحدى أكبر الشركات في العالم لإنتاج البولي إيثيلين. فهي تُنتج أنواعًا متعددة ومتعددة من البولي إيثيلين المنخفض الكثافة (LDPE).

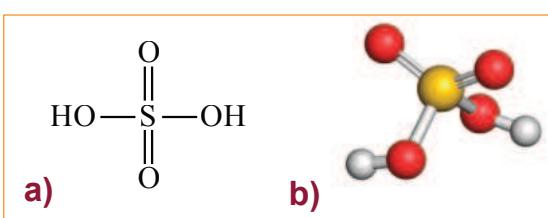


يتضمن البترول والغاز الطبيعي مركبات تحتوي على الكبريت، مثل كبريتيد الهيدروجين (H_2S) ، وثيول الميثان (CH_3SH) Methanethiol أو ميثيل ميركتان (الشكل 42-6).

الشكل 42-6 (a) كبريتيد الهيدروجين (b) ثيول الميثان.

غير أن مركبات الكبريت تلك التي يتضمنها البترول والغاز الطبيعي تلوث الوقود والمنتجات الأخرى. فعندما يحترق الوقود، تُنتج ملوثات الكبريت غازات خطرة على البشر وعلى البيئة. لكنَّ معظم الكبريت، الذي ينتج من البترول والغاز الطبيعي تتم إزالته، وتحويله إلى كبريت نقي. وهذا ما يجعل الوقود أكثر نظافة (أي ينتج عن احتراقه كمية أقل من الملوثات). حتى الكبريت نفسه يُباع بوصفه سلعة قيمة.

يُستخدم الكبريت النقي في إنتاج حمض الكبريتيك (H_2SO_4) (الشكل 43-6). فبالإضافة إلى الماء، ليس هناك مركب آخر يتم إنتاجه بشكل صناعي وبكميات كبيرة، مثل ذلك الحمض.



الشكل 43-6 حمض الكبريتيك (a) الصيغة البنائية، (b) نموذج الكرات والعصي.

يتم إنتاج حمض الكبريتيك من الكبريت بواسطة «عملية التلامس، Contact process»؛ وهو يستخدم لإنتاج الأسمدة، والمنتجات الدوائية. وعامل حفاز في كثير من التفاعلات. ويُستخدم أيضًا في تكرير النفط.

المواد البلاستيكية

ليست كل البوليمرات **مواد بلاستيكية** **Plastics**. لكنَّ كل المواد البلاستيكية بوليمرات، فالمواد البلاستيكية نوع خاص من البوليمرات التي يتم إنتاجها صناعياً فقط ولا توجد بشكل طبيعي مثل العديد من البوليمرات.

المواد البلاستيكية بوليمرات عضوية صناعية، أو شبه صناعية.



عوامل متعددة يجب أخذها في الحسبان عند اختيار عملية لتصنيع البلاستيك، من تلك العوامل:

5. قدرة تحمل أبعاده وإعادة تشكيله
6. كيفية إنتاجه: بشكل دوري أو دائم
7. مدى حاجتنا إلى إنتاجه في فترة زمنية محددة
1. مدى تعقيد ذلك المنتج
2. مدى حاجتنا إليه
3. مُدة ديمومته التي نحتاج إليها
4. تكلفة القطعة الواحدة منه

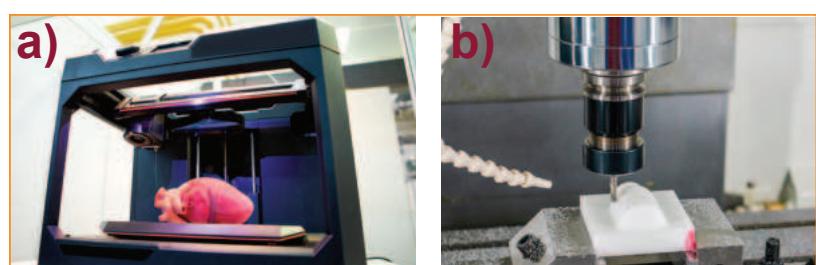
سؤال للمناقشة

اذْكُر عوامل أخرى التي نحتاجها عند اختيار عملية تصنيع البلاستيك.

تحتاج بعض العمليات إلى مدة إعداد وتجهيز طويلة. وتكون تكلفة بعضها باهظة، ويتم تسليمها مسبقاً قبل إنتاج القطع، وتستخدم التكنولوجيا لتقليل التكلفة والزمن وتحقيق أهداف رحلات الفضاء القادمة. يبيّن الشكل 6-44 بعض العمليات

الشائعة لتصنيع البلاستيك **المواد البلاستيكية الثابتة حرارياً Thermosetting** تتصلب متَّخذة شكلاً يتم صنعه بشكل دائم من خلال عملية معالجة تتكون فيها روابط كيميائية. الأمر الذي يمنع تلك المواد من الانصهار عند تسخينها،

فتبقى محافظة على شكلها الأصلي. وهذا ما يجعل إعادة تدوير المواد البلاستيكية الصلبة الثابتة حرارياً شبه مستحيلة. ومن الأمثلة على ذلك النوع من المواد البلاستيكية الإيبوكسي، والبولي يوريثان، والسيليكون، والمطاط المفلكون.



الشكل 6-44 (a) الطباعة الثلاثية الأبعاد لقلب الإنسان، (b) تصنيع قطعة بلاستيكية بالتحكم الرقمي من خلال استخدام الحاسوب.

تتميَّز **المواد البلاستيكية غير الثابتة حرارياً Thermoplastics** عن المواد البلاستيكية الصلبة المُعدَّة بالحرارة. ففي العادة تكون روابط كيميائية ضعيفة عندما تتصلب، إذ تنصهر عند تسخينها ويصبح بالإمكان إعادة تشكيلها مرات عدَّة. ومن الأمثلة على ذلك النوع من المواد البلاستيكية، النايلون، والبولي إيثيلين، والبولي بروبيلين، والبولي كلوريد الفينيل، والبولي كربونات، والبولي أميد، والبولي أكريليك الذي يُستخدم في صُنْع الزجاج الشبكي.

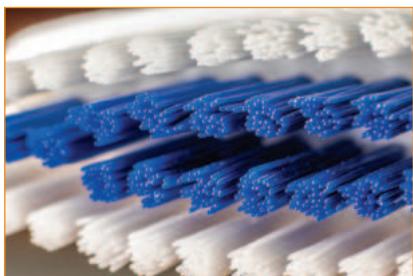
الألياف الصناعية

نحصل عادة على الألياف الطبيعية من مصادر نباتية وحيوانية، مثل القطن، والصوف، والحرير، والقنب. أما البلاستيك والألياف الصناعية مثل النايلون، والبوليستر، فيتم إنتاجهما عادة من مشتقات البترول. وينطوي استخدام البلاستيك والألياف الصناعية على الإيجابيات والسلبيات الآتية:

السلبيات	الإيجابيات
ينصهر كل منها عندما يسخن	يميل كل منها إلى أن يكون أكثر قوّة من الألياف الطبيعية
يمكن لبعضها أن يسبّ الحساسية	بعضها قابل لإعادة التدوير
مصدرهما مورد غير متجدد (البترول)	مقاومة للماء - وبعض أنواعها قابل للتحلل
معظم أنواعها غير قابل للتحلل	يقاوم التجعد ولبعض أنواعها خصائص مضادة للميكروبات.
	غير مكلفين

يتوافر الكثير من الألياف الصناعية. وسوف نتناول باختصار نوعين منها فقط.

النايلون



الشكل 45-6 45 شعيرات فراشي تنظيف الأسنان.

النايلون 6,6 قام بتصنيعه عام 1933م والاس كاروثر في مختبرات ديوبونت الصناعية للبحوث. ويمكن أن تمنحه الإضافات خصائص مميزة مختلفة لاستخدامه في تطبيقات مختلفة، مثل زيادة القوّة. فالنايلون مادة بلاستيكية غير ثابتة حراريًّا، لذا يمكن استخدامه في عمليات تصنيع مختلفة ومتنوّعة. أضف إلى ذلك أن ألياف النايلون يتم إنتاجها عن طريق دفع النايلون المنصهر من خلال فتحات صغيرة في جهاز يسمى المغزل. لذلك تدخل ألياف النايلون الناعمة في صنع الملابس، وتدخل الألياف الأكثر سماً في صُنْع منتجات أخرى، مثل شعيرات فراشي تنظيف الأسنان (الشكل 45-6).

البوليستر

نال براءة اختراع البوليستر عام 1941م العالمان البريطانيان جون ويندفيلد وجيمس ديكسون. وبات ممكناً صنع البوليستر في هيئة مادة بلاستيكية صلبة ثابتة حراريًّا، أو مادة بلاستيكية غير ثابتة حراريًّا، وهي النوع الأكثر شيوعاً. وبوصفه مادة بلاستيكية حرارية، أمكن إنتاج أليافه بواسطة عملية الغزل (الشكل 46-6).



الشكل 46-6 البوليستر (a) كريات قبل عملية الغزل، (b) ألياف تستخدم في الوسائل، (c) لفافات معدّة كي تنسج قماشاً.

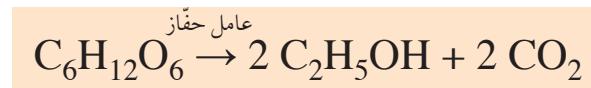
البوليمرات الخضراء

تُعدُّ البوليمرات الخضراء موضوع بحث في جميع أنحاء العالم، من أجل تطوير البوليمرات، لئلاً تسبّب ضررًا سوءً للبشر أو للبيئة، خلال دورة حياتها الآتية:

4. عمليات التصنيع لمستجاتها.
5. التخلص منها وتحللها.
1. إنتاج المواد الأولية (الزراعة، والتسميد).
2. حصاد المواد الأولية.
3. تحضير البوليمرات وتصنيعها.

يحتاج هذا الهدف الجليل إلى حلٌّ من مراحل متعددة، إذ لا يتفق العلماء جميعهم على كيفية إنشاء دورة حياة بوليمر أخضر. فبعضهم يعتقد أن البوليمرات الخضراء العائدة إلى النباتات يجب الحصول عليها من النباتات الموجودة بالفعل، في حين يعتقد بعضهم الآخر أن النباتات والبكتيريا المعدلة وراثيًا مطلوبتان.

ولمعالجة بداية دورة حياة البوليمر الأخضر، يتم إنتاج الإيثanol من خلال التحلل المحفز للكربوهيدرات في واحد من أنواع عمليات التخمر.



يتم إنتاج هذا الإيثanol الحيوي من أحد سكريات قصب السكر، أو الذرة، أو المواد السليولوزية الأخرى. ثم يتم تحويل الإيثanol الحيوي إلى مونومرات، مثل الإيثيلين والبروبيلين، يتم تصنيعها وتحويلها إلى



الشكل 47-6 مصنع الإيثanol الحيوي.

بوليمرات. ومن الناحية النظرية، يمكن جمع ثاني أكسيد الكربون واستخدامه لإنتاج مونومرات الكربون. فالكثير من المنشآت الصناعية المنتشرة في العالم تُنتج الإيثanol الحيوي في الوقت الحالي، (الشكل 47-6).

ويمكن للبلاستيك، الذي يذوب في الماء بسرعة وأمان، أن يحل لغز نهاية دورة حياة البوليمر. ففي العام 2018م، أدخل العالمان التشيليان روبرتو أستيتي وكريستيان أوليفر أكياسًا بلاستيكية ذائبة في الماء؛ فاكتشفا أن تفاعل بولي فينيل الكحول PVA مع كربونات الكالسيوم يكُون بوليمرًا يذوب في الماء خلال دقائق معدودة، مع عدم وجود بقايا سامة له، (الشكل 48-6)

ويُحتمل في أحد الأيام أن تكون خطوات دورة حياة البوليمر كلّها خضراء، وربما تمكّنت أنت من الإسهام في حل ذلك اللغز.



الشكل 48-6 أكياس بلاستيكية قابلة للتحلل تُستخدم في البقالة وتغليف الطعام.



نماذج البوليمرات

3-6

كيف يمكن تمثيل البوليمرات بواسطة النماذج؟	سؤال الاستقصاء
مجموعة النماذج الجزئية.	المواد المطلوبة

البلمرة بالتكلاف

1. ارسم تراكيب المونومرات لكل بوليمر مذكور في الجدول.
2. اكتب معادلة بنائية لاندماج مونومرين لتكوين دايمير (يحتوي على مونومرين)، والناتج الثانوي لعملية التكاثف.
3. ابن المونومرين باستخدام مجموعة النماذج البنائية، واطلب موافقة معلمك على النماذج.
4. ادمج المونومرين في دايمير من خلال إزالة الذرات، ثم ادمج الذرات التي تمت إزالتها لتكوين الناتج الثانوي، واطلب موافقة معلمك على النماذج.

اسم البوليمر	تركيب المونومرات	المعادلة الكيميائية باستخدام الصيغ البنائية لتكوين دايمير والناتج الثانوي
السليلوز	Cellulose	
البوليستر	Polyester	

البلمرة بالإضافة

1. ارسم تراكيب المونومرات لكل بوليمر مذكور في الجدول.
2. اكتب معادلة بنائية لاندماج مونومرين لتكوين دايمير (يحتوي على مونومرين).
3. ابن المونومرين باستخدام مجموعة النماذج البنائية، واطلب موافقة معلمك على النماذج.
4. ادمج المونومرين في دايمير، واطلب موافقة معلمك على النماذج.

اسم البوليمر	تركيب المونومر	المعادلة البنائية لتكوين دايمير
البولي إيثيلين	Polyethylene	
البولي بروبيلين	Polypropylene	
بولي كلوريد الفينيل	Polyvinyl chloride	

بناء نموذج البوليمر

1. تبني كل مجموعة 9 مونومرات إيثيلين، وتدمج تلك المونومرات في 9 وحدات بوليمر.
2. ادمج البوليمرات مع المجموعات كلّها في غرفة الصف لصنع سلسلة بوليمر طويلة جدًا.

تقويم الدرس 3-6

1. أي من الآتي لا ينطبق على استخدام البلاستيك والألياف الصناعية؟ (A1B)

- a. جميع أنواعها قابل للتحلل.
- b. غير مكلفين.
- c. بعضهما قابل لإعادة التدوير.
- d. يقاومان التجعد.

2. أي من الآتي، هو التعريف الأفضل للمادة الأولية الكيميائية؟ (A1B)

- a. مركب يحتوي على الكربون.
- b. مركب ينتج من البترول.
- c. مركب يستخدم في عملية صناعية كيميائية.
- d. هو الناتج النهائي لعملية صناعية كيميائية.

3. أي من المواد الآتية تنتج بكميات ضخمة أثناء عملية تكرير البترول؟ (A1B)

- c. الحديد
- d. الأكسجين
- a. الكبريت
- b. الزئبق

4. لم تُعتبر إعادة تدوير المواد البلاستيكية الثابتة حرارياً شبه مستحيلة؟ (A1B)

- a. لأنها مواد سامة.
- b. لأن لها درجة انصهار مرتفعة.
- c. لعدم وجود سوق لذلك النوع من المنتجات.
- d. لتشكل روابط كيميائية قوية في أثناء تكوُّنها.

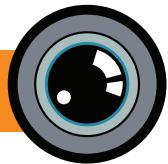
5. أي من البوليمرات الآتية تُستخدم لتصنيع شعرات فراشي تنظيف الأسنان؟ (A1B)

- a. النايلون.
- b. البوليستر.
- c. السليلوز.
- d. البولي إيثيلين.

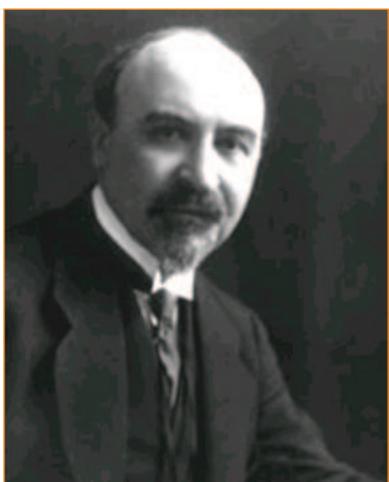
6. أي من الآتي ليس هدفاً للبوليمرات الخضراء؟ (A1B)

- a. أن تكون دائمة للغاية.
- b. أن تكون قابلة للتحلل مع عدم وجود مُنتجات سامة.
- c. لا تكون ملوّثات أثناء عملية التصنيع.
- d. لا تضرّ بالبيئة أثناء زراعتها وحصادها.

علماء في دائرة الضوء



ليو هندريك بايكلاند (1863 - 1944)



الشكل 6-49 ليو بايكلاند.

تم التعرّف إلى مفهوم البوليمرات في أوائل القرن التاسع عشر الميلادي. استمر التقدّم الطفيف في فهم البوليمرات وإنشائها خلال الأعوام المئية اللاحقة. كانت معظم البوليمرات التي صُنِعت خلال ذلك الوقت تأتي من مصادر طبيعية، مثل السيليلوز. غير أن القليل منها فحسب لاقى نجاحاً تجاريًّا. ومع نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين، تم إنتاج بعض البوليمرات الصناعية. لم يكن لأي منها خصائص مفيدة، حتى اخترع ليو بايكلاند Leo Baekeland الباكليت (Bakelite) فكان أول بوليمر صناعي بالكامل ناجح تجاريًّا. وبذلك بدأ عصر البلاستيك!

وُلد بايكلاند في بلجيكا، وحصل على درجة الدكتوراه من جامعة غنت Ghent ببلجيكا، وهو في الحادية والعشرين من عمره. وتم الاحتفال به وتخليده من خلال وضع صورته على طابع بلجيكي عام 1955 (الشكل 6-49).

قبل أن يخترع بايكلندي الباكليت، ابتكر عملية لتطوير لوحات فوتوجرافية يُستخدم فيها الماء بدلاً من المواد الكيميائية الأخرى. اخترع أيضًا الفيلوكس Velox، وهو أول ورق يمكن من خلاله تطهير الصور وتكبيرها.

وبعد أن باع إلى Eastman-Kodak حقوقه في مادة Velox بدأ بايكلاند يبحث عن بديل صناعي للشيلاك Shellac، أي الراتنج، وهو مادة صمغية تفرزها خففاس Lac التي تعيش في الهند وتايلاند، ولها كثير من التطبيقات، بما في ذلك طلاء الخشب. اكتشف بايكلاند بوليمرًا من تفاعل الفينول (هيدروكسيل البنزين) والفورمالدهايد (الميثانال) أطلق عليه اسم الباكليت. وكان بإمكانه أن يغيّر خصائص البوليمر عن طريق إنتاجه تحت درجات حرارة وضغط مختلفة. صنع بايكلاند بوليمرًا يتشكّل بالحرارة بسهولة قبل المعالجة. وهو بوليمر لا يذوب عند تسخينه ويعدّ عازلاً جيًّا للحرارة والكهرباء.



الشكل 6-50 أغلفة الباكليت المستخدمة (a) في الهاتف (b) في المذياع.

وتم من العام 1907 حتى العام 1944، إنتاج أكثر من 150000 طن متري من الباكليت لصناعة الهواتف وأجهزة الراديو والعوازل الكهربائية ومقابض الأواني، وأكثر من 15000 منتج آخر. حصل بايكلاند في حياته على أكثر من 100 براءة اختراع.



مراجعة الوحدة

الدرس 6-1: البوليمرات والبلمرة

- **البوليمرات Polymers** جزيئات ذات سلسلة طويلة تتكون من تكرار جزيئات أصغر تسمى المونومرات.
- **المونومرات Monomers** جزيئات يمكن ربطها بشكل متكرر لتشكيل البوليمرات.
- يمكن أن تكون البوليمرات خطية أو متفرعة (شبكة ثلاثة الأبعاد).
- أي تغيير في البنية التركيبية للبوليمر سيغير خصائصه.
- تتكون البوليمرات بالإضافة أو بالتكاثف.
- في تفاعل **البلمرة بالإضافة** **Addition polymerization**، تكسّر الرابطة الثنائية أو الثلاثية للربط بين المونومرات من دون تشكّل ناتج ثانوي.
- في تفاعل **البلمرة بالتكاثف** **Condensation polymerization** تتفاعل مجموعتان وظيفيتان تابعتان لمونومرين مختلفين عن طريق إزالة ذرات، لتكوين ناتج ثانوي.

الدرس 6-2: خصائص البوليمرات

- تنتج معظم البوليمرات الطبيعية من النباتات والحيوانات.
- اتخذت البوليمرات الصناعية اسمها هذا لأنها من صنع الإنسان. ويمكن إنتاجها باستخدام المونومرات الطبيعية أو المونومرات الصناعية.

الدرس 6-3: البوليمرات البترولية والاستدامة

- يُعدّ **البترول Petroleum** مصدر المونومرات لمعظم البوليمرات الصناعية.
- **المواد الأولية Feedstocks** هي المواد الخام المستخدمة في عملية التصنيع.
- تعدّ قطر واحداً من أكبر مُنتجي البولي إيثيلين في العالم.
- البلاستيك بوليمرات صناعية تصنّف على أنها ثابتة حرارياً Thermosetting، أو غير ثابتة حرارياً Thermoplastics.
- ينتج البلاستيك الثابت حرارياً، عن طريق المعالجة (تشكيل روابط كيميائية جديدة) ولا ينتحر عند تسخينه ولا يتحلل. وهو متين للغاية، ولكنه غير قابل لإعادة التدوير.
- تنصهر المواد البلاستيكية غير الثابتة حرارياً عند تسخينها، ويمكن إعادة تدويرها.
- البوليمرات «الخضراء» بوليمرات آمنة بيئياً، لها مصدر مستدام من المونومرات.

اختيار من متعدد

1. أي مما يأتي تسلسل مونومر متتجانس؟



2. كم عدد المونومرات التي يحتوي عليها دايمر Dimer؟

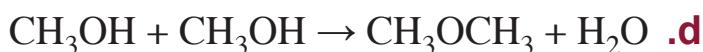
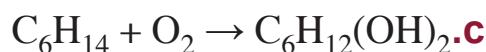
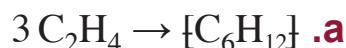
3.c

1.a

4.d

2.b

3. أي من الآتي يمثل بلمرة بالإضافة؟



4. أي من العبارات الآتية هي صحيحة؟

a. البلمرة بالإضافة لا تنتج ناتجاً ثانوياً.

b. البلمرة بالإضافة تنتج الماء دائمًا كناتج ثانوي.

c. البلمرة بالتكاثف لا تنتج ناتجاً ثانوياً.

d. البلمرة بالتكاثف تنتج الماء دائمًا كناتج ثانوي.

5. أي مما يأتي سمة من سمات البلمرة بالتكاثف؟

a. تُنتج ناتجاً ثانوياً.

b. تحدث في النباتات والحيوانات فقط.

c. تُنتج دائمًا الماء كناتج ثانوي.

d. تحتوي المونومرات على رابطة ثنائية أو ثلاثة.

6*. كم رابطة تتشكل عندما تنكسر الرابطة الثنائية في المونومر أثناء عملية البلمرة؟

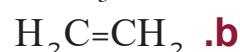
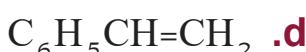
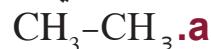
3.c

1.a

4.d

2.b

7. أي مما يأتي هو مونومر بولي كلوريد الفينيل؟



8. كم ذرة كربون في مونومر البولي كلوريد الفينيل؟

3. c 1. a
4. d 2. b

9. أي مما يأتي ليس مثلاً على بوليمر التكافث؟

c. البوليستر a. النشا
d. البولي بروبيلين. b. السيليلوز

10. ما الناتج الثانوي لبلمرة البروتينات بالتكاثف؟

c. كلوريد الهيدروجين. a. الماء
d. لا يتشكل ناتج ثانوي. b. الأمونيا

11. ما اسم المجموعة الوظيفية التي تتفاعل أثناء بلمرة النشا؟

c. الكربونيل a. الكلورو
d. الهيدروكسيل b. الكربوكسيل

12. ما المجموعات الوظيفية التي تتفاعل خلال عملية البلمرة لإنتاج النايلون؟

-OH و -COOH .c -Cl و -OH .a
-NH₂ و -COOH .d -NH₂ و -OH .b

13. كم ذرة كربون في بوليمر ثنائي (Dimer) النايلون 6,10؟

16 .c 6 .a
60 .d 10 .b

14. أي مما يأتي بوليمر طبيعي يتكون من عملية جيولوجية؟

c. البروتينات a. العنبر
d. الحجر الكلسي. b. الكوارتز

15. ما فئة البوليمرات التي تتسمى إليها البروتينات؟

c. الكربوهيدرات a. البوليستير
d. البولي سكارايد (عديد التسكير). b. البولي أميد.

16*. أي مما يأتي سمة من سمات البروتينات؟

a. تصنع من سلاسل متفرعة من الكربوهيدرات.
b. بوليمرات من الحمض الأميني.
c. تتكون من مونومرات الإيثيلين.
d. تتبع من الدهون.

17. أي مما يأتي لا يصحّ عن السيليلوز؟ 

- .a. يوجد في خلايا النبات.
- .b. مونومر لديه مجموعة أمينية.
- .c. يتح من فقدان الماء كناتج ثانوي.
- .d. هو البولимер الطبيعي الأكثر وفرة على الأرض.

18. ما المونومرات التي تتشكل منها DNA؟ 

- .c. الهيدروكربونات
- .d. الكربوهيدرات
- .a. النيوكليوتيادات
- .b. السكريات

19. ما المونومر الذي يتتشكل منه المطاط الطبيعي؟ 

- .c. النيوبرين
- .d. البروبيلين
- .a. الستايرين
- .b. الآيزوبرين

20. أي نوع من البوليمرات هو PE؟ 

- .c. البولي إيثيلين.
- .d. البولي بروبيلين.
- .a. البوليستر
- .b. البوليستيرين

21*. أي مما يأتي بلاستيك غير ثابت حرارياً؟ 

- .c. البولي يوريثان.
- .d. البولي كلوريد الفينيل.
- .a. الإيبوكسي
- .b. السيليكون

22. هل ستكون خواص البوليمرات مختلفة إذا كانت تحتوي على المونومرات نفسها، ولكن لها تراكيب بنائية مختلفة؟ 

23. صف الفرق البنائي بين البوليمرات الشبكية الخطية والثلاثية الأبعاد. 

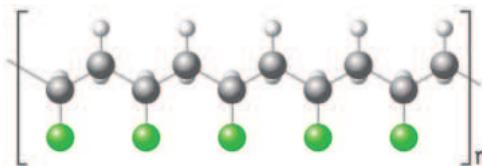
24. ما الذي يُكسر عندما يخضع مونومر للبلمرة بالإضافة؟ 

25. ماذا يمثل الرمز PP؟ 

الدرس 1-6: البوليمرات والبلمرة

تقويم الوحدة

26. ما البوليمر الممثل بواسطة نموذج الكرة والعصا في الرسم أدناه، مع العلم أن رموز اللون هي: أسود = الكربون والأبيض = الهيدروجين والأخضر = الكلور.



27. ما اسم المونومرات المكونة لبوليمر النايلون 6,6؟



28. ما المجموعات الوظيفية المشتركة في تكوين بوليمر البوليستر؟



29. ما الناتج الثانوي الشائع لبلمرة التكافث؟



30*. ماذا سيحدث لدرجة انصهار بوليمر شبكي ثلاثي الأبعاد مع زيادة عدد الفروع وطولها خارج سلسلة الكربون الرئيسية؟



31. يحتوي كل من السيليلوز والنشا على المونومرات نفسها. ما الذي يفسّر اختلاف خصائصهما؟



32. ارسم بنية رابطة الببتيد التي تربط مونومرات البروتينات.



33**. ما الناتج الثانوي للبلمرة بالتكافث، عندما تتفاعل مجموعة أمينية مع مجموعة بروموم؟



34. ما البوليمرات التي تتشكلّ عن طريق ربط المونومرات من خلال مجموعة -COO-؟



الدرس 2-6: خصائص البوليمرات

35. أي نوع من البوليمرات يُستمدّ من الحيوانات، ويُستخدم لصناعة الجيلاتين؟



36. ما العناصر التي تشكّل مونومرات السيليلوز؟



37. ما البوليمر الذي يُستخرج من الأرز والذرة والبطاطس كمصدر طبيعي؟



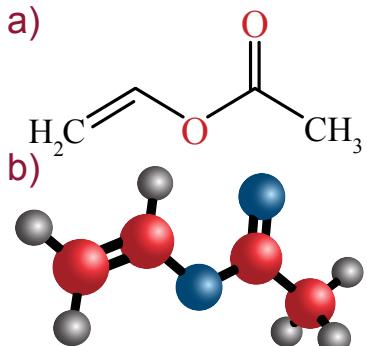
38. ما مصدر المطاط الطبيعي؟



39. ما الاسم الذي يُطلق على عملية الربط الكيميائي للكبريت في المطاط الطبيعي لجعله أكثر مثانة؟



40**. ارسم الشكل البنائي لأربعة مونومرات إيزوبرين مجتمعة، لتكوين جزء من سلسلة بوليمر المطاط الطبيعي.



41**. البولي أسيتات فينيل Polyvinyl acetate عبارة عن بوليمر مطاطي مستخدم في الغراء الأبيض الشائع. يتشكل هذا البوليمر عن طريق البلمرة بالإضافة، حيث تكسر الرابطة π في الرابطة الثنائية $C=C$. ارسم هيكل 4 مونومرات أسيتات فينيل مجتمعة لتشكيل جزء من سلسلة البولي أسيتات فينيل Vinyl acetate. يظهر هيكل الكرة والعصا لأسيدات الفينيل في المُخطط.

42. أي البوليمرات أكثر قابلية للتحلل: الصناعية أم الطبيعية؟

43*. النايلون بوليمر قوي، متين، خفيف الوزن، مقاوم للماء، ويُمكن تشكيله بسهولة لصناعة القماش. اكتب قائمة بثلاثة منتجات تستفيد من خصائص النايلون تلك.

44. ما نوع البوليمر الذي يتكون من البولي إيثيلين تيرافثالات Polyethylene terephthalate (PET)؟

45. ماذا يعني الاختصار PVC بخصوص البوليمر؟

46. أي نوع من البوليمر: الخطي أم الشبكي الثلاثي الأبعاد، يستخدم عادة لتشكيل البولي إيثيلين العالي الكثافة (HDPE)؟

الدرس 6-3: البوليمرات البترولية والاستدامة

47. دون قائمة بعشرة أشياء في الصنف مصنوعة من المنتجات البترولية، أو صُنعت باستخدام الطاقة من المنتجات البترولية.

48. ممَّ يتكون النفط؟

49. يمكن استخدام الكبريت المستخرج من تكرير البترول في إنتاج حمض الكبريتيك (H_2SO_4) من خلال مجموعة تفاعلات تسمى عملية التلامس. ابحث في عملية التلامس (Contact process)، واتكتب التفاعلات الفردية التي توضح كيفية إنتاج حمض الكبريتيك.

50. أي نوع من البلاستيك: البلاستيك الثابت حراريًّا أم غير ثابت حراريًّا، يتطلب معالجة لتشكيل روابط كيميائية إضافية؟

تقويم الوحدة

51. ميثيل ميثاكريليت Methyl methacrylate هو المونومر المستخدم في صُنع بوليمر بولي ميثيل ميثاكريليت (PMMA)، وهو البوليمر الذي يدخل في تركيب الزجاج البلاستيكي (Plexiglass). ابحث في هيكل ميثيل ميثاكريليت. ارسم هيكل أربع مونومرات ميثيل ميثاكريليت مجتمعة لتشكيل جزء من سلسلة بولي ميثيل ميثاكريليت.



52. حدد، أنت وزملاؤك كمجموعة، متنجاً بلاستيكياً لتصنيعه.



a. سجل الإجابات عن الأسئلة الآتية:

1. ما مدى تعقيد الأجزاء؟
2. هل تحتاج هذه الأجزاء يومياً أو يمكن للأجزاء الأولى أن توزع خلال أسابيع قليلة إلى شهر.
3. إلى أي مدى يجب أن تكون متانة الأجزاء؟
4. كم من المال يمكن أن تنفق على كل جزء؟
5. ما هي قدرة التحمل لأبعاد الأجزاء؟
6. هل سيتم إنتاج الأجزاء بشكل دوري أم مستمر؟
7. كم جزءاً يجب إنتاجه في فترة زمنية معينة؟

b. ابحث في خصائص عمليات التصنيع الثمانية الآتية:

1. التشكيل باستخدام المغزل
2. الطباعة الثلاثية الأبعاد
3. التشكيل عن طريق النفخ
4. التصنيع باستخدام الحاسوب الآلي
5. صبّ البوليمر
6. التشكيل عن طريق التفريغ
7. التشكيل عن طريق الحقن
8. التشكيل عن طريق تسخين أنبوب مجوف بالنار مع الدوران.

c. باستخدام إجاباتك عن الأسئلة الواردة في (a) حدد عملية التصنيع من القائمة (b) التي ستكون الأكثر مثالية. سجل اختيارك ووضحه. ضمّن إجاباتك صوراً لعملية التصنيع.

53. اختر مُنتجاً بلاستيكياً يمكنك حمله في يدك. قرّر إن كان بلاستيكياً ثابتاً حرارياً أو لدناً غير ثابت حرارياً، بالاستناد إلى الخصائص المرصودة للممنتج. وضح اختيارك.





الوحدة 7

القضايا الاقتصادية والاجتماعية والبيئية

في هذه الوحدة

C1107

الدرس 1-7: الكيمياء في حياتنا

الدرس 2-7: الكيمياء وتغيير المناخ

الدرس 3-7: الكيمياء وموارد المياه

الوحدة

7

مقدمة الوحدة

أينما نظرنا في هذا العالم، نجد أشياء تنتج من الكيمياء، من مواد التنظيف إلى الملابس، إلى السيارات والمباني والهواء الذي نتنفسه والماء الذي نستهلكه. ذلك أن كل ما ذكر له علاقة بتطبيق الإنسان للكيمياء. وفي حين أن مثل تلك التطبيقات يكون بعضها مفيداً جداً للحياة، يكون بعضها الآخر مضرراً جداً.

يوضح الدرس الأول الصناعة الكيميائية وتأثيراتها الاقتصادية، الاجتماعية، والبيئية. ويولي استخدامات الهيدروكربونات من المصادر غير المتجددة اهتماماً خاصاً، بوصفها مواد أولية لصناعة مُتّجّات أخرى.

ويُعني الدرس الثاني بـ**تغير المناخ العالمي**، حيث يناقش الآليات التي يؤثّر بها كل من غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 وغاز الميثان CH_4 الناتجين من النشاط البشري في المناخ. فالأدلة التي تم الحصول عليها من سجل الأحافير والعلم الحديث تتم مراجعتها، كما يتم استكشاف العوائق المحتملة، وطرق التخفيف منها.

أما الدرس الثالث، فيركّز على مدى توفر المياه للاستخدام البشري، حيث يبحث في مخزون مياه الأرض، والطرق التكنولوجية لتحلية المياه، وتنقيتها، ومعالجة المياه العادمة.

الأنشطة والتجارب

1-7 مُتّجّات نحصل عليها من الكيمياء
العصوية

2-7 حموضة المُحيطات

3-7 نوعية المياه

الكيمياء في حياتنا

تُعدّ النار وسيلة فريدة من نوعها يستخدمها البشر، دون سواهم من كائنات هذا الكوكب. فهي تُستخدم لبدء عملية كيميائية مهمة، ألا وهي عملية الطهو التي تُعدّ عملية أساسية لصنع الطعام للإنسان. فالطهو عملية تجعل كثيراً من الأطعمة مغذية أكثر، عبر تفكيك السليلوز غير القابل للهضم، وتلixin اللحوم لجعلها أسهل في المضغ والهضم، وإطلاق المواد المغذية مثل كاروتين اللايكوين من الطماطم. ويصف تفاعل ميلارد Maillard تفاعلات كيميائية أكثر تعقيداً مع الأحماض الأمينية والسكريات الموجودة في الغذاء، لإنتاج النكهة بوجود أشياء أخرى.



الشكل 1-7 مختبر كيمياء قديم.

حين يتوفّر طعام ذو قيمة غذائية أكبر، يوفر على الناس الوقت وهم يبحثون عن المؤن، ويتيح لهم وقتاً أطول لحل المشكلات التي كانت تواجههم، ومنها الإعتقاد بإمكانية تحويل الرصاص إلى ذهب.

ذلك أن الكيميائيين بعد إخفاقةهم في إنتاج الذهب، أنشأوا في وقت مبكر طريقة منهجية لتصنيف العناصر، وتسجيل نتائج التجارب بعناية (الشكل 1-7). فقد وضعوا أساس عملية التعدين وعلم المعادن، والأدوية والصيدلة، وكانوا بلا شك السباقين في الكيمياء الحديثة.

المفردات



Scaling-up	التوسيع
Feedstock	مواد أولية
Freon	الفريون
Photodissociation	تفكك ضوئي
Kerogen	الكيروجين
Fractional distillation	التنقير التجزيئي

مخرجات التّعلم

C1107.1 يناقش القضايا المهمة المتعلقة بالمنافع الاجتماعية والتكاليف البيئية المرتبطة بصناعة المواد الكيميائية العضوية بما في ذلك أن المواد الأولية لتلك الصناعات هي موارد محدودة.

أهمية الكيمياء في حياتنا

تؤثّر الكيمياء في اقتصادنا ونمط حياتنا وبيئتنا بآلاف الطرائق (انظر الشكل 7-2). يسهل ملاحظة بعض تلك الآثار كالأدوية الجديدة، أو النعال البلاستيكية في أحذية لاعبي كرة القدم. لكن الآثار الأخرى للكيمياء تبدو أقلّ وضوحاً، كمعالجة المياه العادمة لإنتاج الماء العذب، أو صناعة السبائك الخفيفة الوزن التي تتيح للطائرة أن تحلق عالياً.



الشكل 7-2 بعض الطرائق التي تؤثّر بها الكيمياء في اقتصادنا، وبيئتنا، ونمط حياتنا.

- تعتمد أشباه الموصّلات في الحاسوب والهاتف الذكي على كيمياء السيليكون والشوائب، مثل البورون والفوسفور.
- تعتمد كل تكنولوجيا ذات صلة بالبطاريات، على الكيمياء الكهربائية.
- لا يمكن فهم تغيير المناخ من دون معرفة الكيمياء، ومن دون إجراء تطبيقات في الكيمياء لإيجاد الحل المناسب.
- يُعرف في علم الأدوية، أن البحث تقود إلى ابتكار أدوية جديدة، إلا أن عملية تصنيعها تعتمد على الكيمياء.
- يتم إنتاج الأسمنت، ومنتجات مواد البناء، من التفاعلات الكيميائية.
- كان العالم يعاني من المجاعة. ولكن مع تصنيع الأسمدة باستخدام علم الكيمياء، ازداد إنتاج الغذاء بنسبة 800%.

تصنيع المواد الكيميائية

عندما نذكر تصنيع مواد كيميائية نعني إنتاج مركبات كيميائية بكميات كبيرة تلبي معايير النقاوة والتناسق. وقد عمد البشر إلى صناعة المواد الكيميائية عبر التاريخ، وأفضت مجالات التقدم التي رافق ت تصنيع المواد الكيميائية إلى حدوث الثورة الصناعية.

تصدّت تلك التطورات الصناعية وسواها لمعالجة مشكلة عملية **التوسيع Scaling-up**. فالعملية في الأصل حدثت في مختبر صغير، وأُعيد إنتاجها على نطاق واسع انظر (الشكل 3-7). تنشأ المشكلات عادة عند إجراء عملية التوسيع. فالطريقة التي تستهلك 5g في دورق حجمي سعته 100mL، مثلًا، ليس من السهولة أن تُضاعف إلى نطاق 500kg.



الشكل 3-7 التوسيع في علم الكيمياء من مختبر بحثي صغير إلى منشأة تصنيع رئيسية.

تُسبّب النفايات الناتجة من المصانع الكيميائية مشكلات بيئية خطيرة. لذلك تم سن التشريعات والقوانين لتحديد عمليات التخلص من تلك النفايات وتقييدها، وتوجيه شركات البحث إلى كيفية استخدام النفايات الناتجة بوصفها مواد أولية لمُنتجات جديدة، بالإضافة إلى الحد من النفايات، وازدياد الأرباح في الوقت نفسه.

المُنْتَجَاتُ الَّتِي نَحْصُلُ عَلَيْهَا مِنَ الْمَوَادِ الْكِيمِيَائِيَّةِ الْعُضُوَيَّةِ

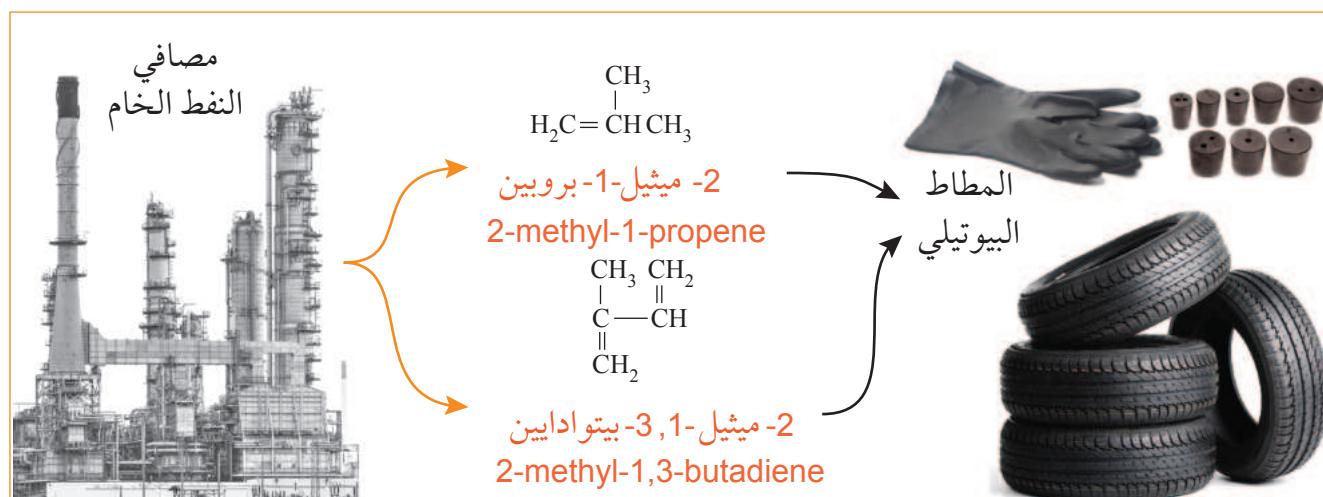
تُصْنَعُ جُمِيعُ الْمَوَادِ الْبِلَاسْتِيَكِيَّةِ عَمَلِيًّا مِنْ مَوَادٍ خَامٍ يَعُودُ أَصْلُهَا إِلَى الْبِتُرُولِ، أَوِ النَّفْطِ الْخَامِ. فِي الْكِيمِيَاءِ الصِّنَاعِيَّةِ، تُسْتَخَدِمُ الْمَوَادُ الْخَامَ لِإِنْتَاجِ الْمَوَادِ الْكِيمِيَائِيَّةِ الَّتِي تُسَمَّى **الْمَوَادُ الْأُولَى**. وَتَعُدُّ الْمَوَادُ الْأُولَى الْبِتُرُولِيَّةُ الْأَكْثَرُ شِيَوْعًا، لَأَنَّ جُزُيئَاتَ الْهِيْدِرُوكَرْبُونَاتِ مُتَعَدِّدَةُ الْعَسْرَاتِ، فَضَلَّاً عَنْ أَنَّ الْبِتُرُولَ مُتَوَافِرٌ وَغَيْرُ مَكْلُوفٍ، مَعَ مَصَادِرِ الْمَوَادِ الْأُولَى الْأُخْرَى.



الشكل 4-7 متوسط مكونات البترول الخام.

تَتَضَمَّنُ الْمَوَادُ الَّتِي تُصْنَعُ مِنَ النَّفْطِ الْخَامِ وَقُوْدِ السِّيَارَاتِ وَقُوْدِ الدِّيَزِيلِ وَزَيْتِ التَّسْخِينِ (الْمَازُوتِ) وَوَقُوْدِ الطَّائِرَاتِ وَالشَّعْمِ وَزَيْوَاتِ التَّشْحِيمِ وَالْأَسْفَلْتِ. أَضَفْ إِلَى ذَلِكَ أَنَّ الْمَوَادُ الْأُولَى الْبِتُرُولِيَّةِ الْكِيمِيَّةِ هِيَ مَوَادٌ خَامٌ تُسْتَخَدِمُ لِتَصْنِيعِ كَثِيرٍ مِنَ الْمُنْتَجَاتِ، ابْتِدَاءً مِنَ الْأَسْمَدَةِ مَرَوِّرًا بِالْبِلَاسْتِيَكِ وَالْمَطَاطِ وَالْأَدْوَيَةِ وَالْأَلْبَسَةِ وَصَوْلًا إِلَى الْعَطُورِ.

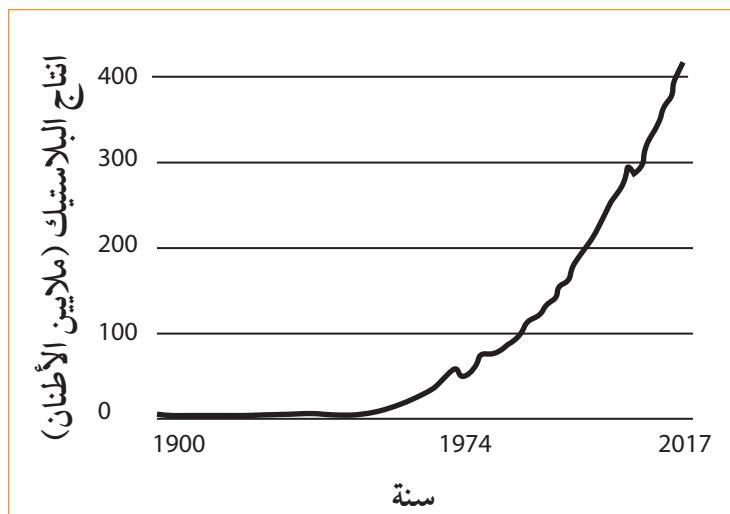
وَخَيْرُ مَثَالٍ عَلَى مَادَةٍ كِيمِيَائِيَّةٍ مُصَنَّعَةٍ مِنَ الْمَوَادِ الْأُولَى الْبِتُرُولِيَّةِ هُوَ الْمَطَاطُ الْبِيُوتِيَّلِيُّ Butyl rubber؛ فَهُوَ مَادَةٌ تُسْتَخَدِمُ لِلْاحْفَاظِ بِالْهَوَاءِ فِي عَجَلَاتِ السِّيَارَاتِ وَفِي السَّدَادَاتِ الْمَطَاطِيَّةِ وَالْإِطَارِ الْمَطَاطِيِّ لِنَوَافِذِ الْأَبْنِيَّةِ وَالْقَفَازَاتِ الْمَطَاطِيَّةِ وَكَثِيرٍ مِنَ التَّطَبِيقَاتِ الْأُخْرَى.



الشكل 5-7 المطاط البيوتيل مصنوع من مونومرات مشتقة من النفط.

تمّ تصنيع مونومرات 2-ميثيل-1-بروبين 2-methyl-1-propene، التي تكون 98% من المطّاط البيوتيلي، من خلال عملية تكرير للمواد الأُولية الهيدروكربونية المشتقة من البترول؛ فهناك 640 مصفاة بترول تقرّباً تعمل في مختلف أنحاء العالم، وهي تعالج ما مجموعه 20 مليون متر مكعب من البترول سنويّاً. وقد شيدت في دولة قطر ثلاث مصافي للنفط، هي مسيعيد، رأس لفان 1، ورأس لفان 2.

المواد البلاستيكية



الشكل 6-7 نمو إنتاج البلاستيك.

تكون المواد البلاستيكية الساخنة مواد سائلة، يسهل صبّها في قوالب لصنع آلاف القطع القوية وغير المكلفة ماديًّا. ذلك أن صبّ القوالب عملية تصنيع غير مكلفة. وقد نما استخدام العالم للمواد البلاستيكية أضعافاً مضاعفة (انظر الشكل 6-7). فهناك أكثر من 1000 مادة بلاستيكية مختلفة تُستخدم الآن، وجميعها مشتقة من المركبات العضوية.

ويمكن تصنيف المواد البلاستيكية بالاستناد إلى استخداماتها، أو تركيبها الجُزئي الأساسي، في مجموعتين هما: اللدائن الشائعة الاستخدام، واللدائن المُتخصصة.

اللدائن الشائعة الاستخدام

اللدائن الشائعة الاستخدام بوليمرات أليفاتية تحتوي على ذرات كربون في سلاسل مستقيمة مشابهة لسلسل العمود الفقري. وتشتمل تلك اللدائن على المواد البلاستيكية المنتجة بكميات كبيرة وبتكلفة منخفضة (انظر الجدول 1-7).

الجدول 1-7 اللدائن الشائعة الاستخدام.

الاستخدام	مثال على اللدائن الشائعة الاستخدام
زجاجات المشروبات الخفيفة، الملابس	بولي إيثيلين تيرفلات (PET)
عبوات الحليب والعصير، البلاستيك الخشبي	بولي إيثيلين العالي الكثافة (HDPE)
الخراطيم، أنابيب المياه	بولي كلوريد الفينيل (PVC)
حاويات المواد الغذائية العازلة	بولي ستايرين (PS)
مواد التعبئة والتغليف، مواد وضع العلامات (marker)	بولي بروبيلين (PP)

اللدائن التخصُّصية

اللدائن التخصُّصية بوليمرات ذات سلاسل غير متتجانسة، تحتوي على الكربون والأكسجين والنитروجين أو الكبريت، في سلاسل تشبه العمود الفقري. إضافة إلى أنها تمتلك خصائص مصممة لاستخدامات مُحدّدة، ويتم إنتاجها بكميّات قليلة، وبتكلفة مرتفعة (انظر الجدول 7-2).

الجدول 2-7 اللدائن التخصُّصية.

الاستخدام	مثال على اللدائن التخصُّصية
المنسوجات، السجاد، أواني المطبخ، الملابس الرياضية المصنوعة من النايلون.	البولي أميد polyamide
الطلاء غير اللاصق المستخدم في أواني الطبخ، الأنوب المستخدم في عمليات القسطرة (التفلون).	البولي رباعي فلورو إيثيلين polytetrafluoroethylene(PTFE)
أغطية الهواتف النقالة.	البولي كربونات polycarbonate

النفايات البلاستيكية

تواجّه عملية إعادة تدوير البوليمرات الكثیر من التحدیات، منها:

- قلّة من أنواع البوليمرات الكثیرة والمختلفة، يمكن إعادة تدويرها معًا، ولكن يجب فصل بعضها عن بعض قبل عملية إعادة التدوير.
- منتجات كثيرة تحتوي على خليط من البوليمرات وغير البوليمرات اللتين يجب فصل إحداهما عن الأخرى قبل إعادة تدوير البوليمرات.
- يجب تنظيف البوليمرات من الطعام والملوّثات الأخرى، قبل عملية إعادة التدوير.

يمكن إعادة تدوير كثیر من المواد البلاستيكية. ولكن يجب فصلها بالاستناد إلى رمز تعریف اللدائن الخاص بها (RIC)، ويكون في العادة مطبوعًا على المنتج البلاستيكي نفسه (انظر الشكل 7-7).



الشكل 7-7 رمز تعریف اللدائن من 1 إلى 6 لمواد بلاستيكية شائعة الاستخدام، ورقم 7 للدائن التخصُّصية.

يمكن إجراء عملية الفرز يدوياً. أما عمليات إعادة التدوير التجارية فيمكن بدؤها بإجراء عملية الفرز من خلال تقطیع هذه المواد البلاستيكية، واستخدام خصائص فيزيائية مثل الكثافة، أو تكنولوجيا قیاس الطيف الضوئي، أو استخدام الألوان بكل بساطة. وهنالك طرائق عدّة مستخدمة في إعادة تدوير البوليمرات الموجودة في المواد البلاستيكية، وإعادتها إلى أشكال قابلة للاستخدام، وهي:

- صهر البلاستيك وإعادة تشكيله إلى مكعبات تستخدم في البناء، أو خلطه مع مواد رصف الطرق.
- التحلل الحراري للبوليمرات يفكك بعض أنواع المواد البلاستيكية، ويعيدها إلى مونومرات أساسية، تتضمن وقود احتراق لتشغيل العملية نفسها.
- إعادة التدوير الكيميائية تفكك البولي إيثيلين تيرفالات (PET)، وتعيده إلى هيئته بوليمر نقي مناسب لإعادة استخدامه.

على الرغم من الجهد المبذول في عملية إعادة التدوير، ظلت كمية النفايات البلاستيكية كبيرة جدًا معظمها غير قابل للتحلل، وتركت بشكل مخيف سواء على اليابسة، أو في المحيطات، مُنبعة بنتائج كارثية (انظر الشكل 7-8). وتعد شباك الصيد المفقودة، والأنشطة الأخرى التي تحدث قرب مياه الشاطئ، مصدرين لمعظم النفايات البلاستيكية الملقاة في المحيطات؛ فالمواد البلاستيكية الدقيقة Micro-plastic تنجم عن عملية غسل المنتجات لتجد طريقها نحو مياه المحيطات. أضف إلى ذلك أن الدول ليست مستعدة للتعامل مع طريقة إلقاء نفاياتها وتفريغها إلى داخل المحيط. وبدأت الجهد تبذل لمعالجة تلك المشكلة البيئية.



الشكل 7-8 النفايات البلاستيكية تراكم على اليابسة، وفي المحيطات.

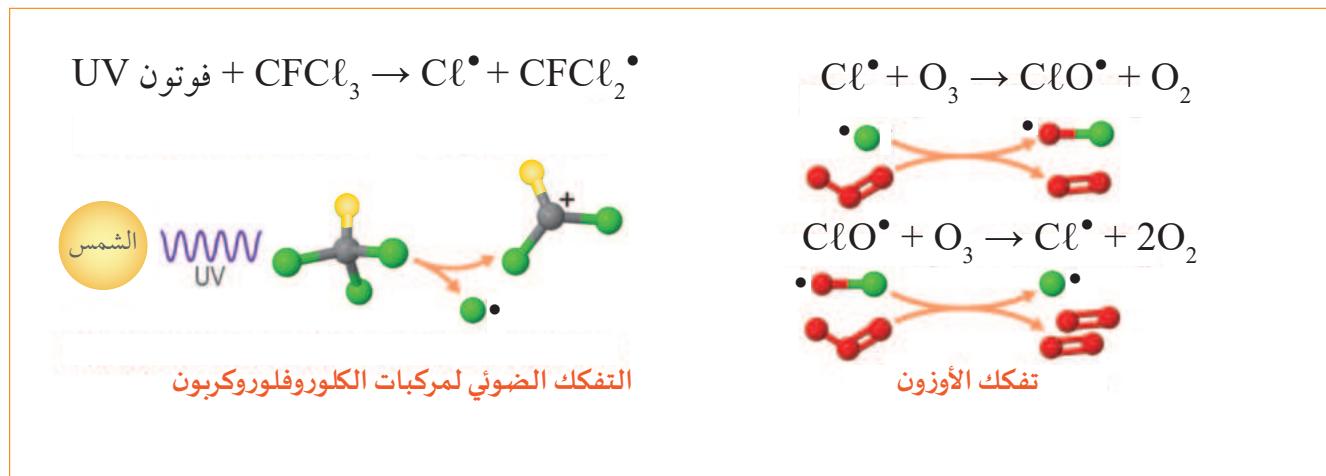
مُركّبات الكلوروفلوروكربون (CFCs)

قام الكيميائيان تشارلز كيترنج Charles Kettering وتوomas ميدلي Thomas Midgley عام 1928م، بتحضير مادة كيميائية غير سامة، وعديمة الرائحة والمذاق، وغير قابلة للاشتعال، وثبتة بشكل كبير، أطلقوا عليها اسم **الفريون Freon**. وهو أول مركّبات الكلوروفلوروكربون (CFCs) الصناعية، وله الصيغة الكيميائية CF_2Cl_2 ، وتقترب درجة غليانه من $0^{\circ}C$ ، وهو مادة مثالية بوصفها غازًا قابلاً للانضغاط في تطبيقات التبريد. وقد امتلكت شركة فريجيدير براءة هذا الاختراع. وبحلول العام 1935م، سيطرت على سوق الثلاجات والتبريد، بإحلال الفريون محل الأمونيا السامة. كما أن الفريون الذي كان مادة جيدة للاستخدام في كثير من الأمور، أصبح أيضًا المادة الدافعة الأساسية في

العبوات التي تحتوي على الهواء المضغوط في داخلها. وبحلول العام 1970م، تجاوز إنتاج العالم من الفريون المليون طن سنويًا، ووصل ثمن إنتاج مركبات CFCs إلى مiliar ریال قطري في التجارة العالمية.

في العام 1957، كان الباحثون البريطانيون أول من جهزوا محطة بحث لقياس سماكة طبقة الأوزون فوق قطبي الأرض. وبحلول السبعينيات، بدأ الباحثون بإعداد تقارير عن فقدان في تلك الطبقة خلال أشهر الربيع. فقياسات الأقمار الصناعية حددت وجود ظاهرة على مستوى القارة أطلقوا عليها اسم ثقب في طبقة الأوزون. كان ذلك يبعث على القلق ويشكل خطورة خصوصًا عند الارتفاعات المنخفضة، لأن الأوزون الموجود في طبقة الستراتوسفير له أهمية كبيرة إذ يحجب الإشعاعات فوق البنفسجية UV الصادرة من الشمس، ويعنها من الوصول إلى سطح الأرض وتدمیر الحياة العضوية.

وفي العام 1971، نشر الكيميائي المكسيكي ماريو مولينا Mario Molina ورقة افترض خلالها أن مركبات CFCs يمكن أن تدمر طبقة الأوزون. حيث أن تلك المركبات على ارتفاعات شاهقة قد يحدث لها ما يسمى **التفكك الضوئي Photodissociation**، أي إنها تتفكك بواسطة طاقة الأشعة فوق البنفسجية المرتفعة، ويتفاعل الكلور المتحرر منها مع الأوزون لإنتاج الأكسجين (انظر الشكل 9-7)، مما يؤدي إلى فقدان الغلاف الجوي للأوزون. فكل جزء من مركبات CFCs يمكن أن يؤدي إلى حدوث 100,000 تفاعل.



الشكل 9-7 الأشعة فوق البنفسجية UV تكسر الروابط في جزء CFC محرّرة الكلور، الذي بدوره يعمل على تفكيك جزء الأوزون، وبالتالي تدمير طبقة الأوزون.

تم تسجيل البيانات النهائية عام 1987م، مظهراً علاقة عكسية بين أول أكسيد الكلور والأوزون. فكلما ازداد تركيز ClO^\bullet ، انخفضت مستويات الأوزون.

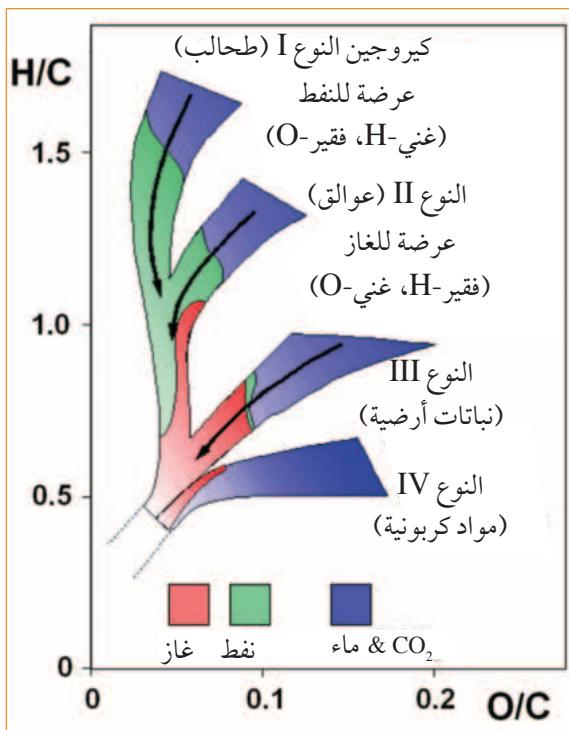
في شهر أغسطس من العام 1987م، تم إبرام معاهدة في مدينة مونتريال بكندا، وافقت بموجبها 197 دولة، من ضمنها دولة قطر، على تخفيض إنتاج مركبات CFCs واستخدامها. وقد عُرِفت المعاهدة باسم ميثاق مونتريال، الذي كان ناجحاً. وفي العام 1995م، حاز مولينا جائزة نوبل في الكيمياء على بحثه.

النفط

عندما تموت النباتات والحيوانات المجهرية الدقيقة، تغوص المادة العضوية إلى قاع المحيط، حيث تُغطى بالرمل والطين. تتحلل المادة العضوية الموجودة فيه بفعل البكتيريا. ولكي يتكون النفط (Oil)، لا بدّ من توافر بيئة لا هوائية، أو بيئة تحتوي على مستويات متذبذبة جدًا من الأكسجين؛ وهناك تُدفن المادة العضوية بواسطة المزيد من الرواسب، وتحوّل إلى صخور رسوبية، تُعرف بالصخر العضوي.

إذا دُفن ذلك الصخر العضوي على عمق بين 1.5km و4km، تكون درجة الحرارة مرتفعة نسبيًّا في القرب من الطبقة الداخلية للأرض. تُفَكِّك درجة الحرارة والضغط المواد الكربوهيدراتية والبروتينية، ويحوّلها إلى مواد شمعية تعرف باسم الكيروجين، ومادة شبيهة بالقطaran تسمى الأسفلت؛ ويسمى هذا الصخر الزيتي.

يتكون **الكيروجين Kerogen** من هيدروكربونات، ومجموعة مُعقدة من الجزيئات التي تعتمد على الموقع الذي سقطت فيه الرواسب الأصلية. فإذا تم تسخين الكيروجين بمرور الوقت، يكون قد خضع لعملية تعرف باسم النضج الحراري. حيث يتكون النفط بين درجتي الحرارة 50°C و150°C و150°C و200°C. الغاز الطبيعي بين درجتي الحرارة 150°C و200°C. وبواسطة تحليل نسبة الهيدروجين إلى الكربون، أو نسبة الأكسجين إلى الكربون كما هو مبين في مخطط فان كريفلين Van Krevelen (الشكل 10-7)، يستطيع الكيميائيون تحديد موقع الكيروجين في تلك الدورة، ومدى احتمال احتواء الصخور الكامنة على النفط أو الغاز الطبيعي.



الشكل 10-7 مخطط فان كريفلين.

ومع مرور الزمن، يتقدّم النفط، والغاز الطبيعي، عبر الصخور المسامية، إلى أن يصبحا محاصرين تحت الطبقات غير المنفذة. وعندما يحدّد علماء الكيمياء الجيولوجية عيّنات تلك الصخرة التي تشير إلى احتمال وجود النفط، يتم حفر الآبار للبحث عن تلك الجيوب. ومع استمرار استنذاف مصادر النفط بكل سهولة، يتم استخدام أساليب التنقيب المبتكرة للبحث عن خزانات إضافية.

يُستخدم كاشف يحتوي على عنصر الكاليفورنيوم، الذي يعُدّ باعثًا قويًا للنيوترون، وأكثر العناصر تكلفة في العالم (91 مليون ريال قطري للجرام الواحد) من أجل معرفة نفاذية الصخر، وعمق طبقات النفط والماء داخل بئر النفط.

تكرير النفط



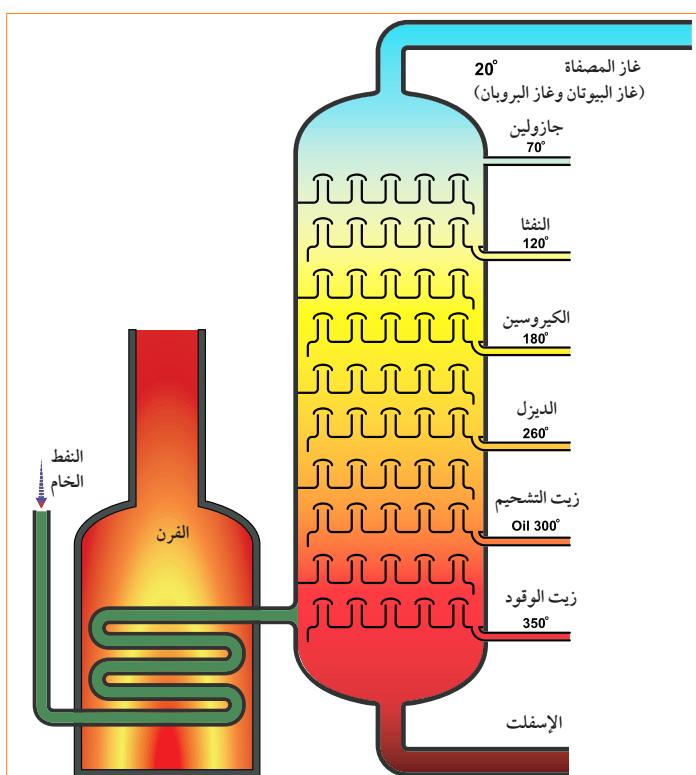
الشكل 11-7 مصفاة تكرير النفط.

يعود وصف عملية تقطير النفط الخام إلى العالم محمد بن زكريا الرازى Mohamad ibn zakeria Razi (854-925). حيث استُخدم القطران في تعبيد شوارع مدينة بغداد. ولا تزال مصافي النفط الحديثة تستخدم المبدأ الأساسي الموصوف في تلك المخطوطات الإسلامية القديمة (الشكل 11-7).

التقطير التجزيئي Fractional distillation عملية فيزيائية تُستخدم لفصل المواد اعتماداً على درجات غليانها المختلفة. أولاً يتم تسخين النفط الخام بعناية وتحوילه إلى بخار، ثم يتم جمع الجُزيئات من خلال تركها تبرد عند درجات حرارة مختلفة، حيث يُستخدم برج طويل، تُجمَع فيه المركبات التي لها درجات غليان مرتفعة (مركبات ثقيلة) أسفل البرج، والمواد التي لها درجات غليان منخفضة (مركبات خفيفة) أعلى البرج (انظر الشكل 12-7).

- تتضمن نواتج التقطير الثقيلة زيوت الوقود، والأسفلت، وزيوت التشحيم، والشمع.
- وتتضمن نواتج التقطير المتوسطة الكيروسين، ووقود дизيل للشاحنات. وزيت التسخين (المازوت).
- وتتضمن نواتج التقطير الخفيفة الغشا الثقيلة والخفيفة، ووقود السيارات.
- يتيح التكثيف بالتبريد للغاز البترولي بأن يُسال، ليتحول إلى غاز بترولي سائل.

يتعرّض كل ناتج من نواتج عملية التقطير للمزيد من التكرير بغية الحصول على المنتجات الكثيرة المشتقة من النفط الخام.



الشكل 12-7 رسم تخطيطي لبرج التقطير التجزيئي.



منتجات نحصل عليها من الكيمياء العضوية

1-7

ما المنتجات المصنوعة من النفط؟	سؤال الاستقصاء
البحث من خلال شبكة الانترنت.	المواد المطلوبة

قم بإجراء عصف ذهني للتکاليف والفوائد بخصوص صناعة المواد الكيميائية العضوية. استخدم السبورة للتركيز على المسائل والمواضيعات التي لها علاقة بالإنتاج، واستخدام المواد التي تعزز الحياة المدنية الحديثة.

يمكن أن تتضمن تلك الموضوعات:

- a. التحكم بالعملية.
- b. تقليل النفايات.
- c. تخزين المواد الخام ونقلها.
- d. استهلاك الطاقة والماء.
- e. الانبعاث الجوي.
- f. مبادرات التنظيم، مثل مجلس التعاون الخليجي.
- g. المصادر البديلة للمواد الأولية، مع الأخذ في الحسبان محدودية الموارد لحفظها على التنمية المستدامة.
- h. الفوائد الاجتماعية.
- i. التکاليف البيئية.
- j. الحوادث الصناعية.

اعمل ضمن مجموعات صغيرة لإعداد تقرير مختصر.

الفوائد	التكلفة
أمثلة على الفوائد بخصوص البيئة، والمجتمع، وأي أمثلة أخرى يتم تحديدها.	أمثلة على التكلفة بخصوص البيئة، والمجتمع، وأي أمثلة أخرى يتم تحديدها.

1. أي من الآتي ينتج غالباً باستخدام مركبات عضوية مشتقة من البترول؟ قد تحتاج إلى إجراء بعض البحوث للإجابة عن هذا السؤال.

- سترة رياضية مصنوعة من قماش البوليستر (Polyester).
- ملابس سباحة مصنوعة من ألياف لدنة (ليكرا، إيلاستان) (Lycra, Elastane).
- عبوة مشروب غازي مصنوعة من مادة أخرى غير الزجاج.
- شمعة.
- قطع من البولي يوريثان Polyurethane الخشبي مستخدمة في الأرضيات.
- مزيل طلاء الأظافر (الأسيتون) (Acetone).
- مسند فأرة حاسوب مصنوعة من المطاط.

2. افترض أنك اخترعت مادة كيميائية جديدة في المختبر الخاص بك. ما التحديات التي تواجهها لدى قيامك بعملية إنتاج كميات ضخمة من مادتك الكيميائية الجديدة.

3. صف البترول، وأعطِ أمثلة على مركبات يتضمنها.

4. لم يعد البترول مورداً غير متجدّد؟ فذرّات الكربون والهيدروجين جميعها ستبقى موجودة، بعد أن يتم «استهلاك» المنتج البترولي.

5. عدّد ثلاث طرائق تُحدِّث النفايات البلاستيكية من خلالها أضراراً للبيئة.

6. اطرح ثلاثة تغييرات حدثت في مجتمعك، من شأنها أن تقلّل من كمية النفايات البلاستيكية. صف على الأقل فائدة اقتصادية واحدة، وعقبة اقتصادية واحدة، لكلٍ من تلك التغييرات الثلاثة.

7. لم حظر ميثاق مونتريال عام 1987 مركبات الكلوروفلوروکربون، علماً أن عملية تصنيع مثل تلك المواد الكيميائية كانت من الأعمال التجارية الرائجة في جميع أنحاء العالم، حيث تجاوزت قيمة التعاملات فيها ملياري ريال قطري سنوياً؟

الدرس 2-7

الكيمياء وتغيير المناخ

تتيح لنا الصفائح الجليدية العودة بالزمن إلى الوراء، لقياس عملية تراكم الثلوج، ودرجة حرارة الهواء، وكيمياء الهواء، في زمان آخر. فقد أتاحت لنا سجلات العينات المأخوذة من الحفر الجليدية إعادة تشكيل للمناخ القديم، من خلال العودة إلى الوراء 800,000 عام على الأقل. ومن خلال معاينة تركيزات غازات الدفيئة الموجودة في طبقات الحفر الجليدية، يمكن للكيميائيين حساب الكميات الحديثة لغاز ثاني أكسيد الكربون وغاز الميثان، مقارنة بكمياتهما في الماضي؛ ويمكنهم، بشكل أساسي، مقارنة تركيزات غازات الدفيئة قياساً على درجة الحرارة.

بدأت عملية أخذ العينات من الحفر الجليدية منذ خمسينيات القرن الماضي. فالحفر الجليدية تم ثقبها في الصفائح الجليدية بمختلف أنحاء العالم، ولا سيما في جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا). وقد زوّدتنا المعدلات المرتفعة لترانكم الثلوج بحلول، وقرارات تُتخذ في الوقت المناسب. أضف إلى ذلك أن الفقاعات الموجودة في الحفر الجليدية تحفظ عينات للغلاف الجوي للأرض الذي كان سائداً في العصور القديمة. ومن خلال تحليل العينات المأخوذة من الحفر الجليدية، يتعلم الكيميائيون ماهية دورات الجليد، ومستويات تغيير غاز ثاني أكسيد الكربون، وثبات المناخ خلال 10,000 سنة الماضية.

المفردات



مخرجات التعلم

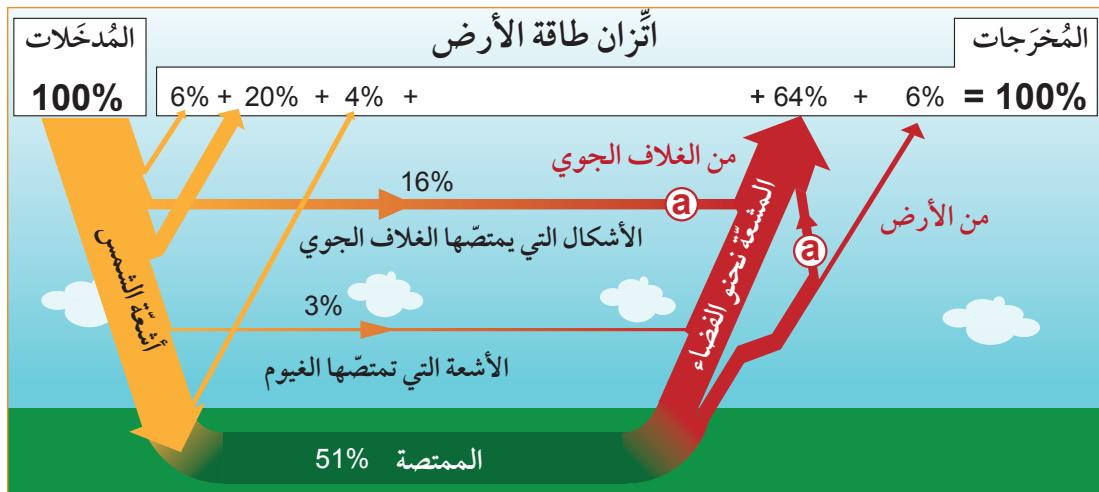
Anthropogenic	التأثير البشري على البيئة
Troposphere	طبقة التروبوسفير
Carbon footprint	البصمة الكربونية
Infiltration	التسرب
Carbon offset	تعويض الكربون

C1107.2 يقيّم الأدلة على تغيير المناخ الناتج من أنشطة البشر، بما في ذلك العلاقة بين التغيير في تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي واستهلاك الوقود الأحفوري، ويصف هامش الخطأ في قاعدة بيانات الأدلة.

C1107.3 يصف التأثيرات المحمّلة لزيادة مستويات ثاني أكسيد الكربون وغاز الميثان على مناخ الأرض، وكيف يمكن تخفيف هذه التأثيرات، مع الأخذ في الاعتبار التدرج والمخاطر والتأثيرات البيئية المترتبة على ذلك.

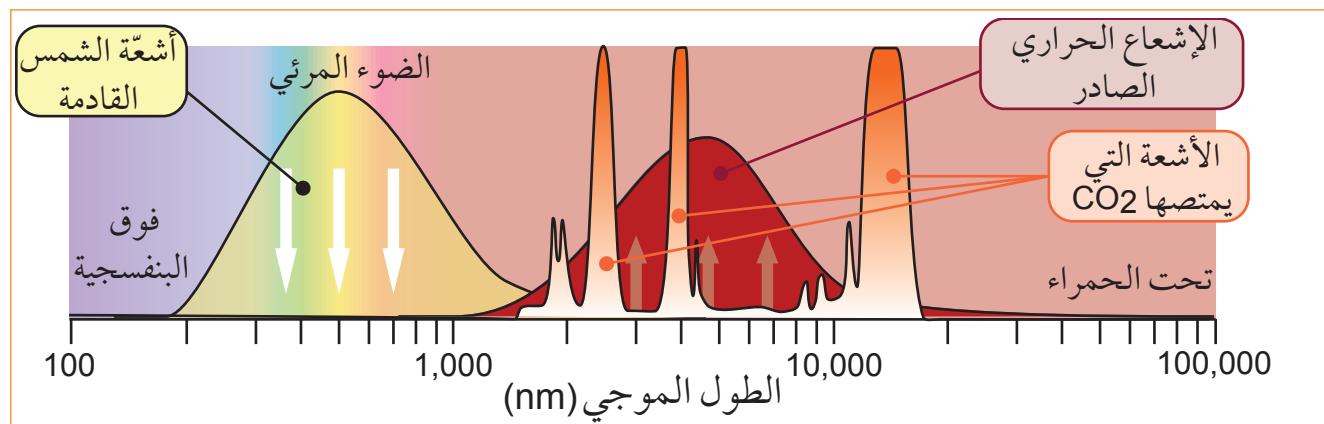
اتزان طاقة الأرض

لتحقيق الاتزان في طاقة الأرض، لا بد لمصادر الطاقة التي تمتّصها الأرض من الشمس من أن يُعاد إشعاعها نحو الفضاء مره أخرى (انظر الشكل 7-13). فكلّما كانت الأرض أكثر دفّاً، يعود المزيد من الطاقة، التي تُشعّها نحو الفضاء مره أخرى، حيث ترتفع درجة حرارة الأرض، إلى أن تصبح الطاقة التي تُشعّها متساوية للطاقة التي تمتّصها من الشمس.



الشكل 7-13 اتزان طاقة الأرض.

يبيّن الشكل 14-7 أن الغلاف الجوي شفاف يسمح بدخول الأشعة الضوئية من الشمس. تشعّ الأرض وتبعث نحو الفضاء أشعة ضوئية، هي الأشعة تحت الحمراء infrared. ويُعرف غاز ثاني أكسيد الكربون بأنه ذو قدرة امتصاص عالية للأشعة تحت الحمراء. فغاز CO_2 الجوي يمتصّ طاقة أكثر من تلك الطاقة التي تشعّها الأرض في العادة، وتُعيدها نحو الفضاء.



الشكل 14-7 تأثير انبعاث غازات الدفيئة على قيمة الإشعاع الحراري الصادر.

تغير المناخ يعود إلى أن الغلاف الجوي شفاف منفذ لأنشعة الشمس. لكن إشعاع الأرض الذي يعود مره أخرى نحو الفضاء هو أشعة تحت حمراء، تمتّصها غازات الدفيئة، مثل غاز CO_2 وغاز الميثان. لذلك، فإنّ الأنشطة البشرية تعتبر سبباً رئيسياً في تغيير المناخ، إذ أدّت الأنشطة الصناعية التي تعتمد عليها طبيعة الحياة الجديدة إلى رفع مستويات غازات الدفيئة.

درجة الحرارة، وغاز CO_2

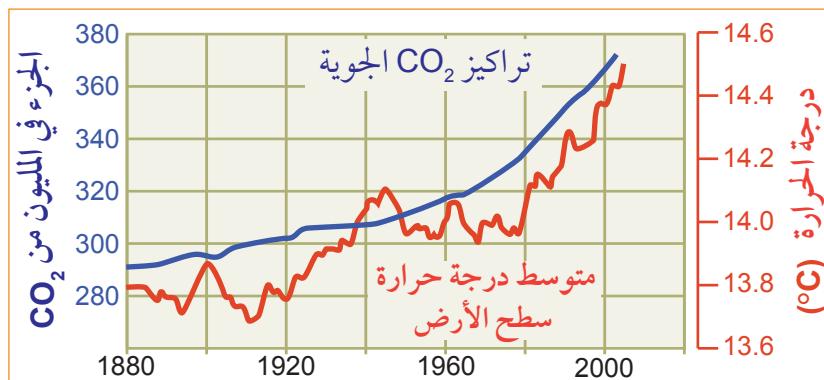
تمرر الجدران الزجاجية للبيوت الزجاجية أشعة الشمس، في حين تعكس الأشعة تحت الحمراء داخل البيت الزجاجي، مما يجعل داخل البيت الزجاجي أكثر دفئاً من الخارج. كذلك تفعل غازات الدفيئة كثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. فهي تسمح بمرور أشعة الشمس وتحتجز الأشعة تحت الحمراء. ويعدّ غاز ثانوي أكسيد الكربون جزءاً من النظام البيئي الطبيعي، حيث تتذبذب مستوياته بحسب ما يقع من أحداث طبيعية (انظر الشكل 15-7).



الشكل 15-7 بيانات تراكيز غاز CO_2 الجوية خلال 400,000 عام.

يعني مصطلح **«التأثير البشري» Anthropogenic** ما «يُنْتَج من أنشطة البشر». ومنذ اندلاع الثورة الصناعية، كان هنالك تأثير للنشاط البشري في مستويات غاز CO_2 الجوي. ففي العام 1900م، كان البشر يتتجرون مiliاري طن من الكربون سنوياً. وقد ارتفع هذا الرقم ليصل إلى 36 مليار طن. وفي العام 2019، وصلت تراكيز غاز CO_2 الجوية إلى 415 جزءاً في المليون؛ وهذا أعلى مستوى منذ العصر الحديث الأقرب (البليستوسين)، أي منذ 3 ملايين سنة تقريباً. ففي ذلك الوقت، كانت الأرض أكثر دفئاً ببعض درجات، ومستويات البحار أكثر ارتفاعاً، حيث تراوحت بين 12 متراً و18 متراً.

توجد علاقة قوية بين تراكيز CO_2 ودرجة الحرارة (انظر الشكل 16-7). ويدور جدل حول ارتفاع درجات حرارة الأرض، ويتمحور حول كونه نتيجة لأنشطة البشر، بالاستناد إلى:



الشكل 16-7 تراكيز غاز CO_2 الجوي، ودرجات الحرارة منذ العام 1880م.

- كمية الكربون الكبيرة الموجودة في البيئة بصورة طبيعية، مقارنة بالإسهامات البشرية.
- السجل الأحفوري، الذي يبيّن أن الأرض قد تعرّضت لدورات التسخين والتبريد من قبل.

غاز الميثان في البيئة



الشكل 17-7 الأبقار في مزارع صناعية.

تشكل البيئة الزراعية مصدرًا أساسياً لانبعاث غاز الميثان. ففي العالم ما يقارب 1.5 مليار بقرة، يربّى معظمها في مزارع تربية الحيوانات، أو ما يُعرف بالمزارع الصناعية انظر (الشكل 17-7). فالبقرة الواحدة تُطلق ما يقارب 120kg من غاز الميثان سنويًا. وتعد تربية الماشية مصدر تأثير بشري لغاز الميثان، الذي تصل نسبته إلى 18% من نسبة غازات الدفيئة العالمية.

يبين الجدول 3-7 غازات الدفيئة المتولدة من إنتاج 1kg من اللحم، باستخدام كمية CO_2 ، بوصفها قياسات مكافئة.

يعد غاز الميثان المكوّن الأساسي للغاز الطبيعي. ويسفر حرق الغاز الطبيعي المبين في (الشكل 18-7) عن إطلاق كميات من غاز ثاني أكسيد الكربون إلى البيئة تقلّعًا مما ينتج من حرق كمية مُعادلة من وقود أحفورى آخر. أمّا غاز الميثان المنتبعث دون احتراق فله تأثير أكبر في غازات الدفيئة. ذلك أن تأثيره يعادل 34 ضعف تأثير غاز CO_2 ، بحسب ما قيس خلال 100 عام، بالإضافة إلى تأثيره على المدى القصير (خلال 20 عامًا)، الذي يعادل 86 ضعف تأثير CO_2 .

الجدول 3-7 مصدر اللحم، وكمية CO_2 المكافئة الناتجة.

كمية CO_2 الناتجة بالكيلوجرام	1kg من لحم
34.6	البقر
17.4	الغنم
4.57	الدجاج



الشكل 18-7 حرق الغاز الطبيعي ينتج نسبة ثاني أكسيد كربون أقل، مع إنبعاث كبير لغاز الميثان.

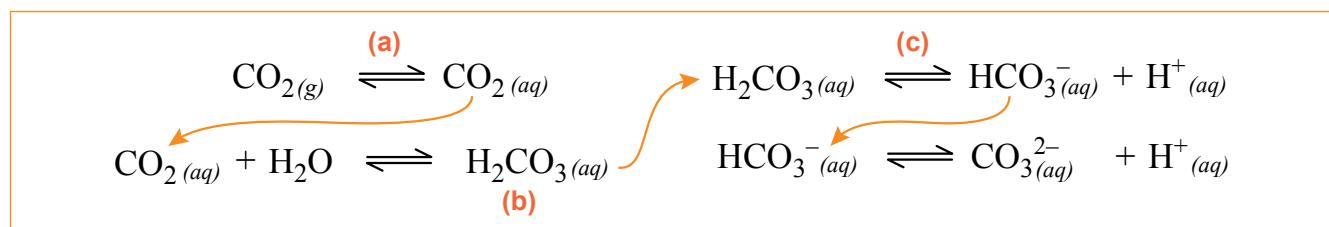
التروبوسفير Troposphere واحدة من طبقات الغلاف الجوي الأقرب إلى الأرض، والأكثر احتواء على غاز الميثان. يتفاعل الميثان في طبقة التروبوسفير مع الشقوق الحرّة لمجموعة الهيدروكسيل (OH)، مكوّنًا الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون بشكل رئيسي. فوجود غاز الميثان في طبقة التروبوسفير يُسرّع تأثير الملوثات الكيميائية الأخرى، مما يؤدّي إلى تأثير ضارّ وشامل.

تعدّ كلاّثرات (هيدرات) الميثان Methane clathrate مركّبًا صلّبًا يحتجز كميات كبيرة من الميثان في هيئة تركيب بلوري يشبه الثلج؛ وهو يوجد في رواسب المُحيطات العميقة. حيث يُسهم ارتفاع درجات حرارة الأرض في إطلاق كميات كبيرة من غاز الميثان من تلك الخزانات، ومن داخل طبقات الجليد الدائمة التي يُحتجز فيها، مما يسبب تسارع لتأثير الدفيئة (تأثير البيوت الزجاجية).

حموضة المحيطات

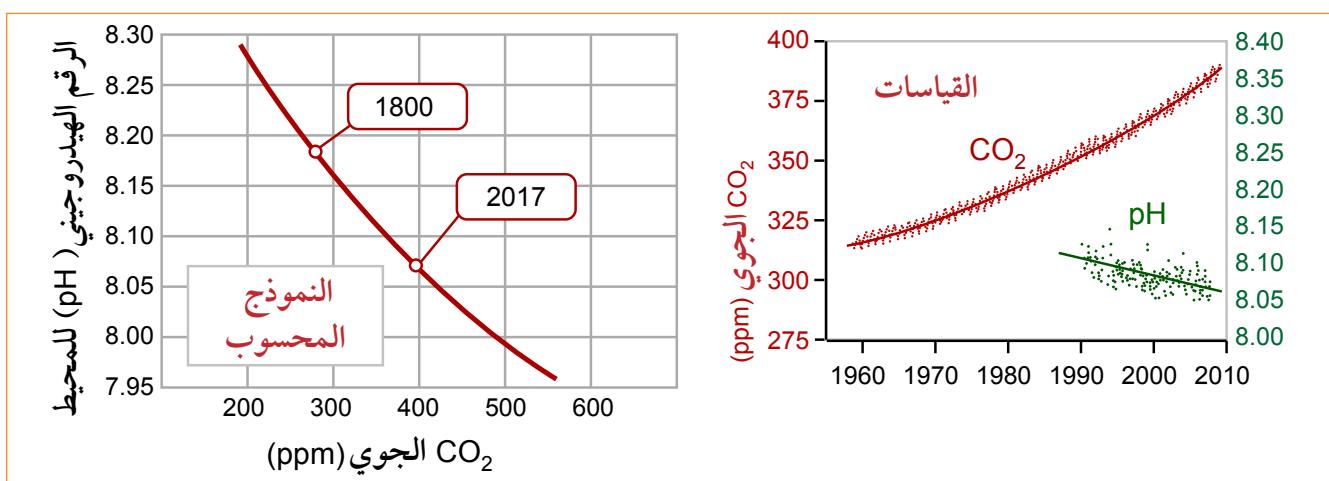
يتم تحديد الرقم الهيدروجيني (pH) لمياه المحيطات بعاملين اثنين، هما: تركيز أيونات الكربونات الناتجة من عوامل التجوية والجريان السطحي للمياه، وامتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون الجوي. فمياه المحيطات قاعدية قليلاً (pH ~ 8.1) بسبب أيونات الكربونات والبيكرbonات الذائبة فيها.

أضف إلى ذلك أن غاز ثاني أكسيد الكربون الجوي يتحكم بالاتزان مع غاز CO_2 الذائب في الماء انظر (الشكل 19-7). فعندما يزداد تركيز CO_2 الجوي، تزداد كمية CO_2 الذائبة في الماء أيضاً، حيث يتفاعل الماء مع غاز CO_2 الذائب لتكوين حمض الكربونيك (H_2CO_3)، الذي يتفكّك بشكل ضعيف إلى أيونات البيكرbonات (HCO_3^-)، وأيونات الهيدروجين (H^+).



الشكل 19-7 غاز CO_2 الجوي، وحمض الكربونيك الذائب.

غدت المحيطات خلال العقود الماضيين أقل قاعدية (أكثر حموضية) حيث انخفضت قيمة الرقم الهيدروجيني pH المقيسة لسطح المحيط 0.1 نقطة، من 8.07 إلى 8.017 انظر (الشكل 20-7). فعندما يزداد تركيز CO_2 الجوي، تزداد كمية CO_2 الذائبة في المحيط، ويزداد تركيز أيونات H^+ ، فينخفض الرقم الهيدروجيني pH.



الشكل 20-7 غاز CO_2 الجوي، وحمض الكربونيك الذائب.

تهدد الحموضة العوائق، قاعدة السلسلة الغذائية للمحيط، ومُتّجدة الأصداف والهيكل الخارجي من كربونات الكالسيوم (CaCO_3) في عملية التكّلُس. فأيونات Ca^{2+} ، وأيونات CO_3^{2-} تترسّب على شكل CaCO_3 صلب. فكل جُزيء مضاد من حمض الكربونيك إلى المحيط يحوّل أيونين من أيونات الكربونات إلى أيونات بيكرbonات HCO_3^- ، الذي لا يمكن استخدامها في عملية التكّلُس.



حموضة المحيطات

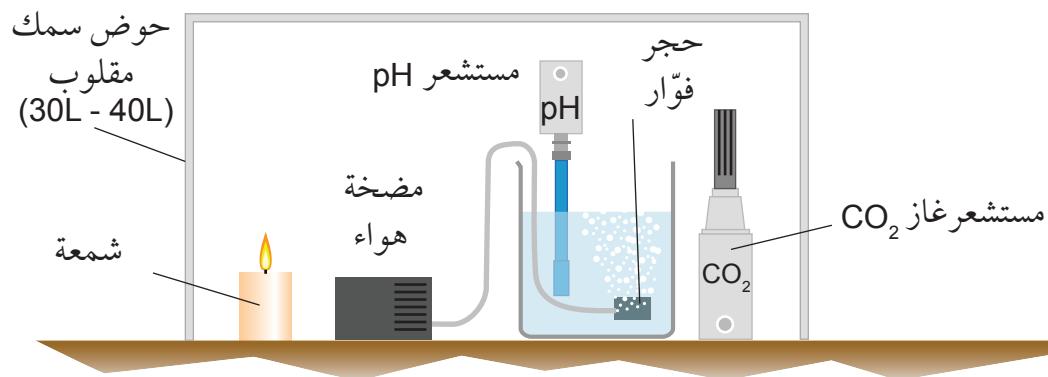
2-7

سؤال الاستقصاء

كيف تتأثر المحيطات بغاز CO_2 الجوي؟

المواد المطلوبة

حوض سمك صغير أو مخبار زجاجي كبير، كأس سعته 150 mL، شمعة، مستشعر غاز CO_2 ، مستشعر الرقم الهيدروجيني pH، مياه بحر، مضخة هواء لداخل الحوض، خرطوم، حجر فوار، مسجل بيانات.



الخطوات

1. جهز الأدوات، كما هو مبين في المخطط أعلاه؛ ولكن وضع حوض السمك جانباً حتى تصل إلى الخطوة 3، عندما يصبح الكأس محتوياً على ماء البحر، أو مخلوط من الماء مع ماء مالح.
2. سغل مضخة الفقاعات لتحريك الهواء داخل الماء. فهذا يسرّع الاتزان بين الماء والهواء.
3. ابدأ بتسجيل البيانات كل 10 ثوانٍ للمستشعرين، ثم أضئ الشمعة، ووضع حوض السمك مقلوباً على الأدوات التي تم إعدادها، كما هو مبين أعلاه. فهذا الحوض سوف يحتجز غاز CO_2 الناتج من الشمعة.
4. سجل البيانات لمدة 20 دقيقة تقريباً.

الأسئلة

- ما وظيفة الشمعة؟ وما الذي تمثله في العالم الحقيقي؟
- ماذا يحدث لمستوى غاز CO_2 خلال 20 دقيقة؟
- ماذا يحدث للرقم الهيدروجيني pH خلال المدة الزمنية نفسها؟
- اقترح تفسيراً للعلاقة التي تمت ملاحظتها بين الرقم الهيدروجيني pH وتركيز غاز CO_2 .
- اكتب المعادلات الكيميائية التي تدعم العلاقة التي لاحظتها.
- ابحث في ما يحدث للحياة البحرية، عندما يرتفع الرقم الهيدروجيني (pH) للمحيط، مع اهتمام خاص بالعوالق.



معالجة المشكلات البيئية

تناقش حكومات كثيرة في العالم طرائق مختلفة لمعالجة المشكلات المصاحبة للاحتباس الحراري، تتضمن تقليل الاعتماد على أنواع الوقود الأحفوري انظر (الشكل 7-21). فدولة قطر مثلاً قدّمت التزاماً طموحاً باستخدام الطاقة الشمسية، للاستفادة من إشعاعها الأفقي في توليد 2,150kWh لكل m^2 سنوياً، الأمر الذي يجعل ذلك مناسباً لأنظمة الألواح الضوئية الشمسية. ما الخطوات الصغيرة التي يمكنك اتخاذها للمساهمة في حل المشكلة، أو على الأقل للحدّ من تفاقمها؟ التقنية الشائعة هي «خفض البصمة الكربونية الخاصة بك».

البصمة الكربونية **Carbon footprint** الخاصة بك هي مجموع انبعاثات غاز CO_2 التي تكون أنت مسؤولاً عن إنتاجها. قد تستخدم مركبات هيدروكربونية مباشرة عندما تقود السيارة، أو بصورة غير مباشرة، عندما تقوم بتبريد منزلك باستخدام الكهرباء، التي تُنتج غاز CO_2 عند توليدها. حتى الغذاء الذي تتناوله يُصدر غاز CO_2 خلال عملية إنتاجه وشحنـه.

تتمثل أكبر استخدامات الطاقة المنزليـة في التدفئة وتبريد الهواء، و**التسرُّب** **Infiltration** أي عملية تسرُّب الهواء إلى داخل منزلك. فالتأكد من أن النوافذ والأبواب مغلقة ومعزولة بشكل صحيح، يقلل من التسرُّب، ويوفّر أكثر من 25% من الطاقة المستخدمة داخل المنزل.

وإذا أردت إجراء خفض مُناسب للبصمة الكربونية الخاصة بك، فعليك ألا تستخدم سيارتك الخاصة، وابدأ باستخدام الباصات والقطارات. لأن أي مقارنة للسيارة بوسائل النقل الشخصية الأخرى، تكون هي الأكثر تلويناً. وقد تم افتتاح قطار أنفاق الدوحة الجديد عام 2020م، يتضمن 76km من المسارات الجديدة، بالإضافة إلى 37 محطة. وعند اكتمال مشروع قطار الأنفاق ستكون هناك 100 محطة، وسوف يمثل أرقي نظام للنقل العام في منطقة الخليج.

هناك خطوة أخرى، تتمثل في خفض تناول لحم البقر. فغاز الميثان الذي تُنـتجه الأبقار يُعدّ من غازات الدفيئة الرئيسية. فإذا اعتـبرنا تلك الأبقار تابعة لـدولة معينة، فسوف تشـغل تلك الدولة المرتبة الثالثة في إنتاج غازات الدفيئة، بعد الصين والـولايات المتحدة الأمريكية. ذلك أن كل 1kg من اللـحم النـاجـج، يـنتـج مـقـابـلـه 35kg من الكـربـون.

وتعـدّ عملية **تعويض الكربون** **Carbon offset** طـرـيقـة لـتعـويـضـ البصـمةـ الكـربـونـيةـ الخـاصـةـ بـكـ. فـقد تكونـ فيـ مـوـقـعـ لاـ يـتـيحـ لـكـ أـنـ تـزـرـعـ 1,000ـ شـجـرـةـ. لـكـنـ يـمـكـنـكـ فـيـهـ أـنـ تـسـاـهـمـ معـ إـحـدـىـ المنـظـمـاتـ التيـ سـتـزـرـعـ تـلـكـ الأـشـجـارـ فيـ مـوـقـعـ منـاسـبـ لـكـ. اـبـحـثـ فـيـ تـلـكـ الـمـنـظـمـاتـ التيـ تـيـعـ الفـرـصـ لـتعـويـضـ الكـربـونـ، وـحدـدـهـاـ.

1. فَسِّرْ مفهوم اتّزان الطاقة المُطبَّق على كوكب الأرض.

a. ما مصدر طاقة الأرض؟

b. ما الذي يحدث لتلك الطاقة بمجرد دخولها كوكب الأرض؟

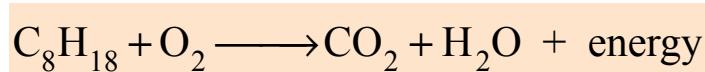
c. كيف تُطلق الأرض طاقة؟

d. ما العلاقة بين الطاقة الداخلة والطاقة الخارجة من الكوكب؟

2. هل يؤثر تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون الجوي في الوقت الراهن على الطاقة الخارجة من الكوكب؟

3. ماذا تعني البصمة الكربونية Carbon footprint.

4. تُمثِّلُ المعادلة الآتية احتراق الأوكتان:



a. وازن المعادلة.

b. ما النسبة المولية للأوكتان إلى ثاني أكسيد الكربون؟

c. تبلغ كتلة لتر واحد من البترول 75g. احسب كتلة البترول بوحدة الكيلوجرام، عندما يستهلك شخص ما 100L في أسبوع واحد.

d. احسب كتلة غاز CO_2 الناتج. هل تزيد كتلته على كتلة البترول المستهلك، أم تنقص؟ عُلِّل إجابتك.

الكيمياء وموارد المياه



الشكل 22-7 في دولة قطر، تستمتع بالماء النظيف، لكن في أجزاء كثيرة من العالم يمتلكون موارد محدودة للحصول على الماء النظيف، وغالبًا ما يتم حمله ونقله مسافة قد تبلغ بضعة كيلومترات.

العالمي في ازدياد، يصبح توفير المياه النظيفة والعذبة واحدًا من أهم وأكبر التحديات التي تواجه البشرية. فمشكلة توافر المياه متساوية في أهميتها لمشكلات **تغير المناخ**، واستدامة الغذاء، والطاقة **المُتجددة**.

المفردات



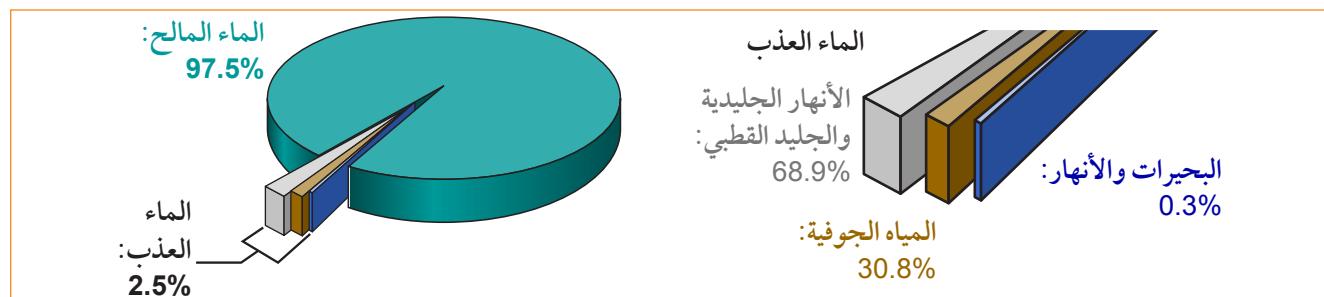
Potable	صالح للشرب
Virtual water	الماء الافتراضي
Aquifer	طبقة المياه الجوفية
Desalination	تحلية المياه
Reverse osmosis	الأسموزية المُعاكسة
Wastewater treatment	معالجة المياه العادمة
Thermal distillation	التنقير الحراري

مخرجات التعلم

C1107.4 يصف الطرق الرئيسية لزيادة توافر ماء الشرب، من حيث تقنيات الفصل المستخدمة، بما في ذلك سهولة معالجة النفايات والمياه الجوفية والمالحة.

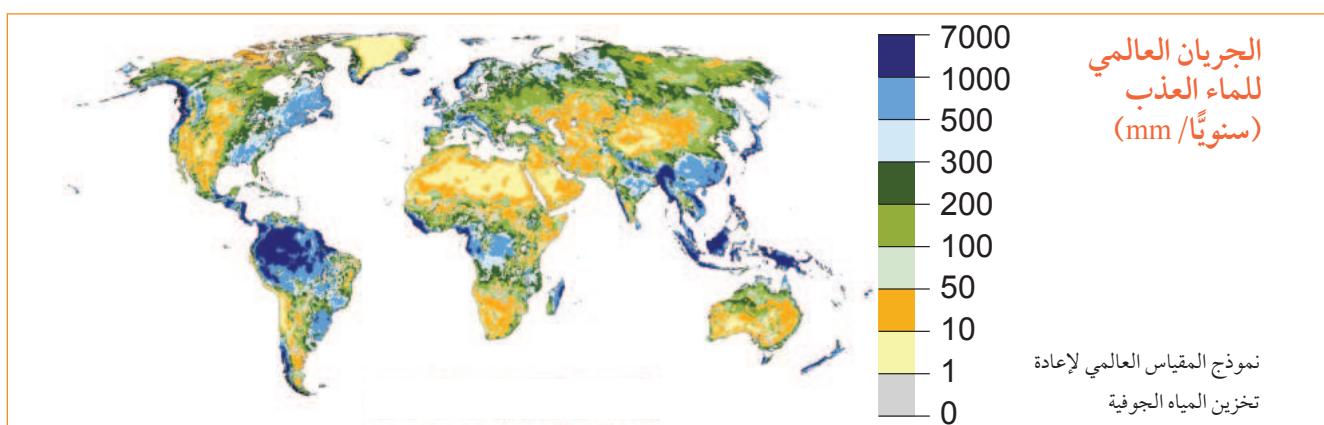
مخزون الأرض من الماء

يغطي الماء 75% تقريباً من سطح الأرض تُشكّل الغالبية العظمى منه، أي 97.5%، مياه المحيطات المالحة، و2.5% فقط من مياه الأرض هي ماء عذب. أضف إلى ذلك أن ثلثي الماء العذب متجمّداً في القمم الجليدية القطبية والأنهار الجليدية، والثلث المتبقّي يقع في الطبقات الصخرية المائية والمياه الجوفية الأخرى، أي إن 0.3% فقط من الماء العذب متوفّر في البحيرات والأنهار، أي ما يعادل 0.0075% من المجموع الكلي لمياه الأرض (انظر الشكل 23-7).



الشكل 23-7 مخزون مياه سطح الأرض.

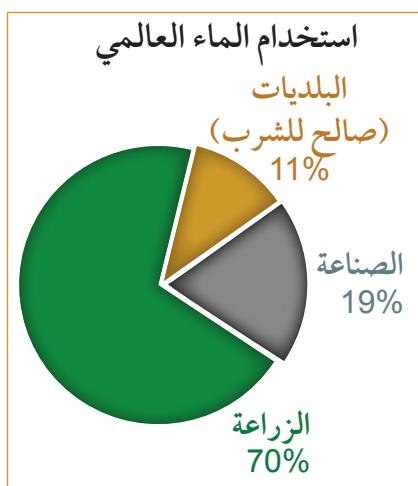
يتفاوت توزّع الماء العذب في مختلف أنحاء الأرض بحسب التضاريس وأنماط الرياح المختلفة. فالمناطق الشاسعة تحتوي على القليل من الماء العذب، وأحياناً تفتقده، وهي صحارى قاحلة. أما المناطق الأخرى، مثل الغابات المطيرة الواقعة في المنطقة الاستوائية بالبرازيل، فتمتلك أقصى هطول مطري، ب معدل 7 أمتار سنوياً تقريباً. يبيّن (الشكل 24-7) مُعدّل الجريان السنوي للماء العذب بالاستناد إلى الملاحظات المأخذة من الأقمار الاصطناعية، والنماذج الحاسوبية.



الشكل 24-7 التوزيع العالمي للماء العذب.

المياه الجوفية، هي المياه المُمحّتجزة في طبقات مائية تحت الأرض. وتعُد المصادر الأكثر وفرة للماء العذب على الأرض، حيث يعتمد 50% من سكّان العالم على المياه الجوفية. لكن لا تزال المعلومات قليلة عن توافر هذا المورد المهم. لذلك تم توظيف التصوير العالي الدقة بالأقمار الاصطناعية، ورادار اختراق الأرض، للبحث عن مصادر جديدة للمياه الجوفية. فعُثر على بعضها تحت صحراء سيرا Sierra desert. وفي الآونة الأخيرة تم العثور على خزان ضخم للماء العذب تحت المحيط الأطلسي.

الاستخدام البشري للماء



الشكل 25-7 استخدامات المياه.

يستخدم البشر الماء لأهداف عدّة، منها الزراعة التي يستخدم فيها 70% من الماء انظر (الشكل 25-7)، والمصانع، التي تحتاج إلى 19% منه، والبلديات التي تستخدم 11% منه في المدن والقرى. **الماء الصالح للشرب** Potable هو الماء النظيف الآمن للشرب. وما تضخّه البلدية من ماء يجب أن يكون صالحًا للشرب، في حين أن ما يُستخدم في الصناعة والزراعة لا يتطلب أن يكون كذلك.

ومن المتوقّع أن يزداد الطلب على الماء في العالم بنسبة 55% مع حلول العام 2025م. وسوف يحتاج إنتاج الغذاء حتى ينمو إلى نسبة 70% من المياه بحلول العام 2035م.

تقاس البصمة المائية من خلال معدّل الاستهلاك اليومي للفرد من المياه. يبيّن الجدول 4-7 البصمة المائية للاستهلاك المنزلي في مدينة حديثة. أما التفصيل المدهش والمثير للانتباه في البيانات، فهو كمية المياه المهدورة، جراء أشكال التسرب في شبكة المياه، سواء من تنقيط الصنابير، أو الأجهزة الأخرى. وهذا يستدعي الاهتمام على نطاق واسع بشبكات مياه البلديات، لتدارك الهدر الكبير في المياه سنويًّا.

الجدول 4-7 ميزانية المياه للمنزل الحديث.

التطبيق/ الجهاز	اللترات / يوميًّا	% الكلية
الحمام	125	24
مرشة الاستحمام	106	20
الصنبور	98	19
الغسالة الأوتوماتيكية	87	17
التسربات	64	12
حوض الاستحمام	15	3
الجلالية الأوتوماتيكية	7.6	1
أجهزة أخرى	19	4
المجموع الكلي	522	100

المياه الافتراضية Virtual water هي كمية المياه الازمة لإنجاص مادة ما أو تصنيعها. ويعدّ لحم البقري مثالاً أساسياً، حيث يحتاج كل كيلوجرام من لحم البقري إلى L 15,400 من الماء لإنجاصه، في حين أن الكيلوجرام الواحد من الشوكولاتة يحتاج إلى L 24,000 من الماء انظر (الشكل 26-7)، والورقة الواحدة إلى L 10 من الماء.



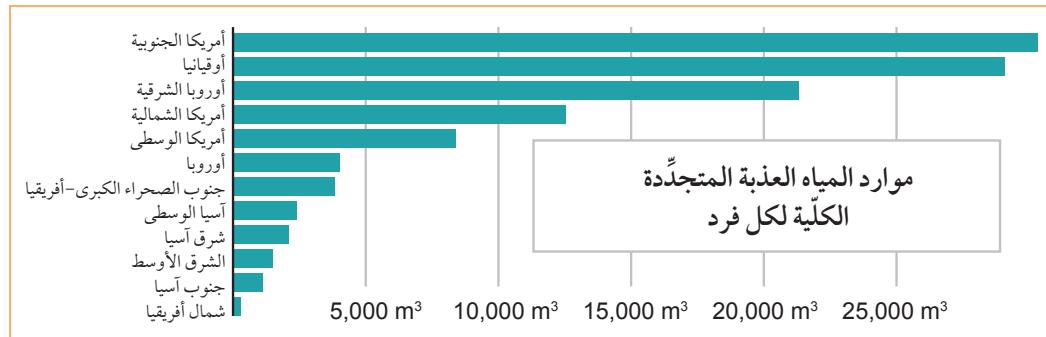
الشكل 26-7 المياه الافتراضية في الشوكولاتة.

يتفاوت توافر المياه واستخداماتها في العالم تفاوتاً كبيراً. فهناك مناطق تحتوي على إمدادات وافرة من المياه العذبة بعكس مناطق أخرى، مثل قطر، التي تشكو قلة في المياه العذبة. وللوضع الاقتصادي دور مهم في معدّلات استهلاك الماء. فدولة قطر مثلاً، تمتلك واحداً من أكبر معدّلات استهلاك الفرد الواحد من الماء في العالم.

توافر المزید من الماء العذب

يتجاوز الطلب على الماء العذب الكميات المتوافرة في كثير من أنحاء العالم. فالماء العذب المُخصص لاستخدام البشر يأتي من مصادر رئيسة ثلاثة:

- المياه السطحية في البحيرات، والجداول، والأنهار.
- المياه الجوفية المخزنة في الآبار.
- مياه البحار التي تستوجب تحليتها قبل أن تصبح قابلة للاستخدام.



الشكل 7-7 موارد المياه المتتجددة لكل فرد حول العالم.

معالجة المياه السطحية، وإعادة تدوير المياه العادمة

تكون المياه السطحية سهلة الاستخدام، على الرغم من التلوث والشوائب التي تجعل معظم مياه العالم السطحية غير آمنة للشرب. وتعُد معالجة المياه عملية ضرورية لإزالة الشوائب منها. أضف إلى ذلك أن معالجة المياه العادمة تزيد من إمدادات المياه النظيفة عبر تقليل التلوث، واستصلاح الماء، ليكون قابلاً لإعادة الاستخدام.

المياه الجوفية

ليس الجليد هو الذي يحتوي على أكبر كمية من الماء العذب، بل المياه الجوفية التي يتم سحبها من الآبار. وتشكل طبقات **المياه الجوفية Aquifer** منطقة من الصخور النفاذة تقع في باطن الأرض وتحتوي على المياه الجوفية. ومن الجدير بالذكر أن من 37 منطقة رئيسية لطبقات المياه الجوفية الموجودة في العالم، بدأت 21 منطقة تتحسر بسبب الاستخدام الجائر والجفاف. ويقدر العلماء أن إمدادات العالم كلها من المياه الجوفية قد استُنفدت بنسبة 20% خلال الأعوام المئية الماضية.

تحلية المياه

تحتوي مياه البحر على الملح بنسبة تترواح بين 40% و50%. ويؤدي شرب مياه البحر في الواقع إلى جفاف جسمك؛ لأن الملح يسحب الماء خارج الخلايا عبر الخاصية الأسموزية. وفضلاً عن ذلك لا يمكن استخدام مياه البحر في الزراعة؛ لأن الملح يسمم التربة لمعظم النباتات. وتعُد تكنولوجيا المياه عملية صناعية تزيل الملح من مياه البحر، لتنتج المياه العذبة. وتشكل المياه المحلاة نصف ما نشربه من مياه في دولة قطر. فقد توسيَّعَت عملية تحلية المياه توسيعاً كبيراً في معظم مناطق العالم القاحلة. ولسوء الحظ، تستهلك عملية تحلية المياه مقداراً كبيراً من الطاقة، بالإضافة إلى أنها مكلفة جداً.

معالجة المياه



الشكل 28-7 عمليات الترشيح والمعالجة بالكلور والتعقيم المستخدمة في معالجة المياه.

مهما يكن مصدر الماء، فإنه يحتوي على شوائب، وبكتيريا مُسببة للأمراض، وفيروسات، وكائنات أوّلية. لذا يجب معالجتها قبل استهلاكه ليصبح آمناً. فمنظمة الصحة العالمية (WHO)، قدرت أن نسبة 4% من الوفيات في العالم سببها مياه الشرب غير المعالجة، أو مياه ملوثة تحتوي على الشوائب.

وقد جعلت معظم الحكومات والبلديات من أولى أولوياتها تزويد مواطنيها بالمياه النظيفة، وهي تستخدم تقنيات متشابهة وموثوقة انظر (الشكل 28-7). وفي ما يأتي بعض من إجراءات معالجة الماء ليصبح آمناً للاستهلاك:

- إجراءات تسبق المعالجة بالكلور للسيطرة على الطحالب، وإيقاف النمو البكتيري.
- التهوية لزيادة معدل تركيز الأكسجين، وبذلك يزال الحديد الذائب كخطوة ما قبل المعالجة بالكلور (pre-chlorination).
- التخثير هي عملية تجميع (تكتل) أنواع عديدة من الجسيمات الملوثة حتى يمكن ترشيحها لاحقاً.
- الترسيب لإزالة المواد الصلبة المعلقة.
- الترشيح من خلال التمرير عبر حشوة رملية قابلة لإعادة الاستخدام، أو من خلال التمرير عبر مرشح يمكن غسله.
- التعقيم لقتل البكتيريا، والفيروسات، ومسّيات الأمراض الأخرى.

تعتمد متطلبات معالجة المياه على طريقة استخدامها:

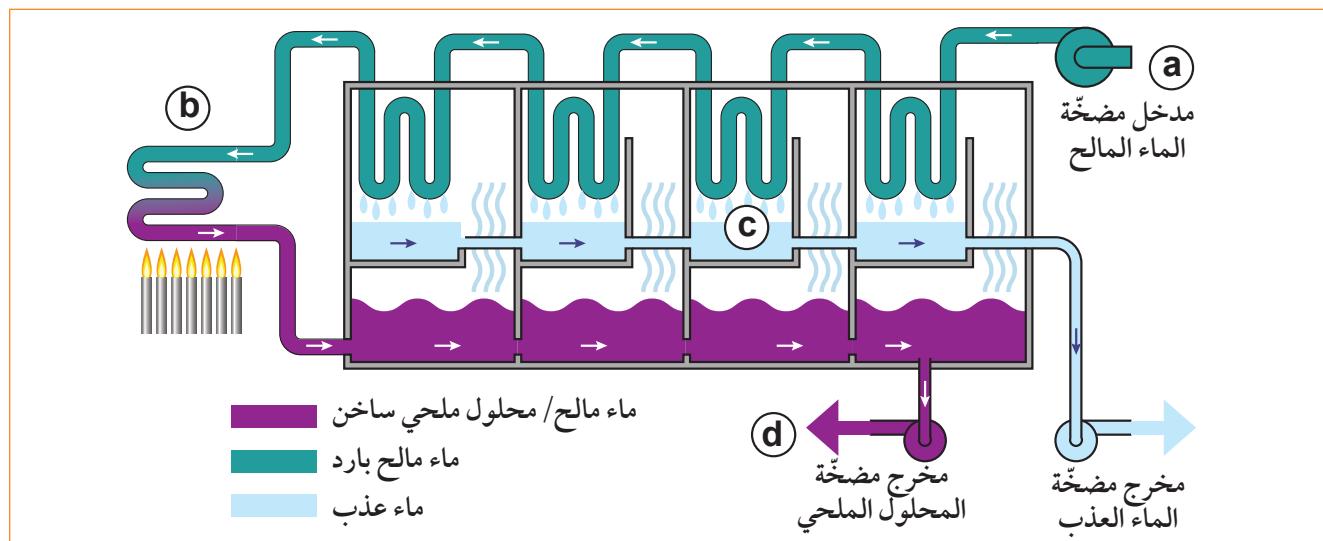
- فمياه الشرب والطبخ تتطلب أعلى مستويات المعالجة، وهي العملية الأكثر تكلفة، حيث يتم إجراء الفحوص خلال العملية، بما فيها التخزين وأنابيب النقل للتأكد من أعلى مستويات النقاء.
- أما التطبيقات الصناعية، فيتطلب الكثير منها ترشيح بعض المعادن التي يُحتمل أن تتدخل مع عملية التحلية، أو تصبح رواسب في الجهاز. بالمقابل تحتاج مياه تبريد محطات توليد الكهرباء إلى مستويات مختلفة من الترشيح.
- يفترض بمياه الري أن تحتوي على كثير من المعادن؛ ولكن يجب إزالة المعادن السامة منها، التي تلوّث المحاصيل أو تدمّرها، فضلاً عن إزالة الملح.

تحلية المياه

تتزوّد دولة قطر بأكثر من نصف مياهها عن طريق عملية تحلية المياه. و**تحلية المياه** هي العملية التي تتمّ فيها إزالة الملح والشوائب الأخرى من مياه البحر، أو المياه الجوفية. تُستخدم في هذه العملية تقنيتان رئستان، هما: التقطير الحراري، والأسموزية المعاكسة، بالإضافة إلى الديلزة الكهربائية (Electro-dialysis) وتبادل الأيونات.

التقطير الحراري

تتضمن عملية **التقطير الحراري Thermal distillation** تسخين مصدر الماء إلى أن يتبخر، ثم تكثيف البخار باستخدام صفائح تبريد، انظر (الشكل 29-7). تُستخدم عملية ضغط البخار لخفض الحرارة الالزمه، وإجراء سلسلة مراحل تنقية المياه. تُتحقق هذه الطريقة أعلى مستوى من النقاوة؛ لكنها تستهلك أكبر كمية من الطاقة.



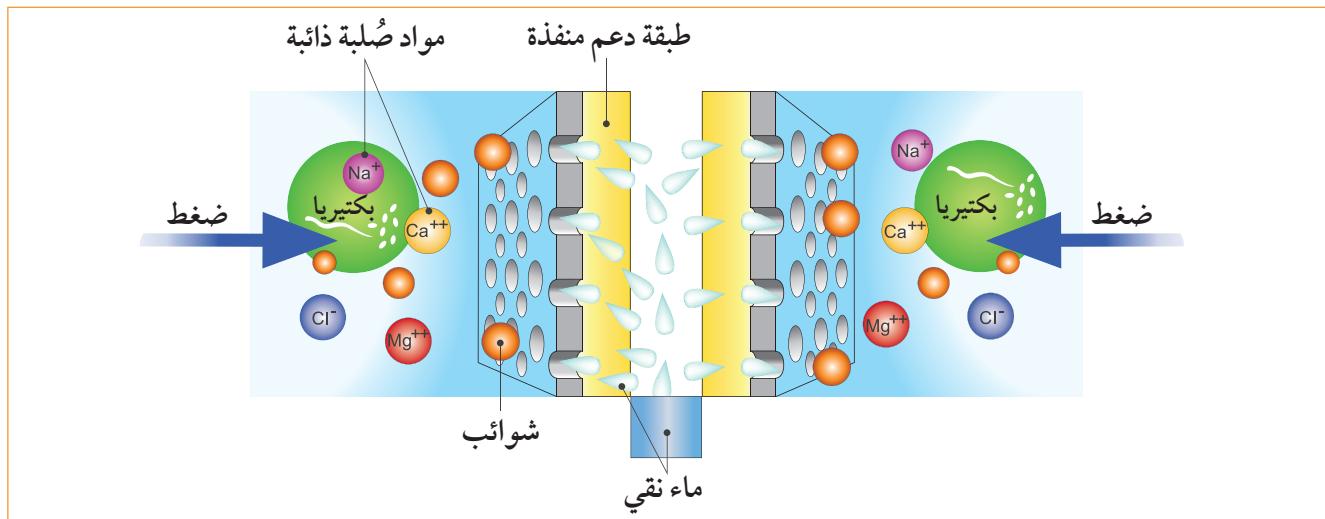
الشكل 29-7 رسم تخطيطي لعملية التقطير الحراري المتعددة المراحل.

- a.** يُضخّ الماء المالح البارد عبر المدخل المُخصص، ويتدفق عبر كل مرحلة.
- b.** يتم تزويد النظام بالحرارة؛ فيصبح الماء المالح محلولاً ملحيّاً ساخناً (ماء مالحاً ساخناً)، حيث يتبخر الماء المالح الساخن، ويتحول إلى بخار الماء الذي يعدّ عذباً.
- c.** يتكثّف بخار الماء على الأنابيب التي تحتوي على الماء المالح البارد، ويُقطّر إلى الأسفل نحو خزانات التجميع، التي يُضخّ منها خارجاً في هيئة ماء عذب.
- d.** يكون محلول الخارج محلولاً ملحيّاً مركّزاً (ماء مالحاً).

تجعل المراحل المتعددة العملية أكثر فاعلية، حيث يسخّن الماء المالح البارد ببطء، لدى امتصاصه الحرارة من البخار الساخن. عندها يتكاثف البخار ويتحول إلى سائل. يعني ذلك أن العملية لا تحتاج إلى تزويدها بالكثير من الحرارة لتسخين محلول الملح بشكل كافٍ، حيث يغلي هذا محلول ويتبخر بسرعة.

تحلية المياه بواسطة الأسموزية المعاكسة

الأسموزية المعاكسة Reverse osmosis تستخدم الضغط لدفع الماء عبر غشاء شبه منفذ انظر (الشكل 7-30)، حيث يمرّ هذا الغشاء جزيئات الماء ويمعن أيونات الملح من المرور. وبما أن الضغط الناشئ يستخدم طاقة أقل من تسخين الماء، تعد عملية الأسموزية المعاكسة عملية أكثر فاعلية. وبخصوص الطاقة المكافئة، يمكن للأسموزية المعاكسة أن تُنْتَج ضعف كمية الماء الذي تُنْتَجُه عملية التقطر الحراري. ومع ذلك، ستكون الأغشية رقيقة جدًا وناعمة، لأنها يجب أن تمنع الأيونات من المرور، وتسمح به لجزيئات الماء فقط، الأمر الذي يجعل تلك الأغشية تغلق بالأوساخ، والمعادن، والشوائب الأخرى.

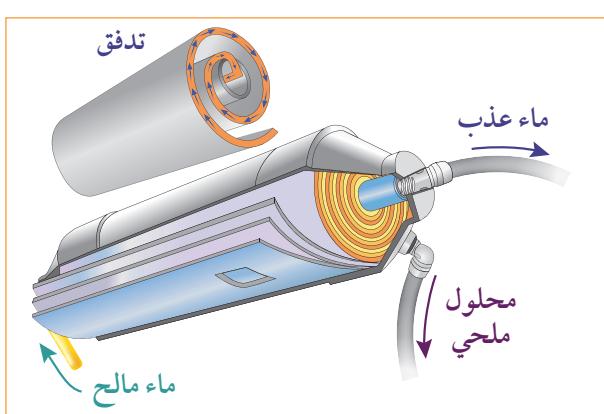


الشكل 7-30 عملية الأسموزية المعاكسة.

المواد المكونة للغشاء تتضمن البولي أميد Polyamide، وأسيتات السيليلوز Cellulose acetate. وهي تخضع لما يأتي:

- التضرر بالأحماض، والقواعد، والكلور الحر، والبكتيريا.
- التلوث الحيوي بالبكتيريا، والكائنات الدقيقة.

- تركيب مركّبات غير ذائبة من الكالسيوم، وكربونات المغنيسيوم، وكبريتات الكالسيوم، والسيليكا. تُعدّ أنظمة الأسموزية المعاكِسة المُبيَّنة في (الشكل 31-7) أنظمة شائعة للاستخدام المنزلي.



الشكل 31-7 نظام الأسموزية المعاكسة.

وتُستخدم أيضًا في مختلف المرافق الكبيرة لتحلية المياه في أنظمة البلديات. وقد بدأ العمل في محطة تحلية تستخدِم الأسموزية المعاكسة على نطاق واسع في دولة قطر عام 2017م. تقع تلك المحطة خارج مدينة الدوحة، وهي محطة تحلية مياه راس أبو فنطاس، التي تمتلك سعة مقدارها $164,000 \text{ m}^3/\text{d}$. وسوف تزود ما يقارب المليون شخص تقريبًا بالماء العذب.

تنقية المياه



الشكل 32-7 فحص عينات من الماء.

أيّاً يكن مصدر الماء، فإن من الضروري تنقيته ليكون صالحًا وأمنًا للشرب وللطبخ. ذلك أن الماء الآتي من الأراضي الرطبة، كما هو مبيّن في (الشكل 32-3)، والآبار الجوفية، ومحطّات التحلية، وحتى مياه الأمطار، قد يحتوي على كائنات دقيقة مُسبّبة للأمراض، تنتقل مع الماء. أثناء حدوث الفيضانات، يُطلب من الناس غلي الماء قبل استخدامه، عندما تكون أنظمة البلديات المحلية غير موثوقة.

فغلّي الماء يقتل مُسبّبات الأمراض جميعها في ثلاث دقائق. وتعدّ هذه العملية أقدم شكل من أشكال تنقية المياه، وهي تتطلّب كمية كبيرة من الطاقة. لذا تُستخدم طرائق أخرى بدلاً منها:

المعالجة بالكلور (الكلورات) Chlorination

يُستخدم الكلور لأنّه يقتل مجموعة كبيرة ومتنوّعة من مُسبّبات الأمراض التي تنتقل بالماء؛ ومنها مُسبّبات حمى التيفوئيد، والدوستاريا، والكوليرا. ومع أنّ الآلية التي يعمل بها الكلور غير مفهومه بشكل واضح، فإنّه يبدو وكأنّه يقتل تلك الكائنات الحية من خلال تدمير إنزيماتها، وأحماضها النوويّة، وأغشيتها الدهنية. تتم معادلة الكلور بكميّات قليلة خلال مسار عملية الهضم، لذلك لا يعدّ ضارًا عند شربه، فإنّضافة الكلور هي أكثر طريقة تنقية مستخدمة بشكل واسع؛ لأنّها تكلفتها، ولأنّها الطريقة الوحيدة المستخدمة في المناطق الفقيرة من العالم.

التعقيم بالأوزون Sterilization with ozone

يُستخدم الأوزون بشكل واسع في آسيا وأوروبا، وهو جُزيء غير مستقر مكوّن من ثلاث ذرّات أكسجين ترابطت بواسطة طاقة عالية. ونتيجة لعدم استقرار هذا الجُزيء الذي يبقى مدة ضئيلة جدًا (ثواني)، وسرعان ما يطلق ذرّة أكسجين نشطة، تؤكسد المواد العضوية، وتزيل الحديد، المنجنيز، وكبريتات الهيدروجين. والأوزون أكثر فاعلية في محاربة البكتيريا والفيروسات مقارنة مع المعالجة بالكلور. لكنه يحتاج إلى معدّات معقدّة؛ لذا يعدّ استخدامه أكثر تكلفة.

التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية Sterilization with UV

تُعتبر الأشعة فوق البنفسجية (UV) أكثر الطرائق فاعلية، وأكثرها تكلفة، لتدمير البكتيريا الموجودة في الماء. فالإشعاع المؤين يهاجم المادة الوراثية DNA للكائنات الحية المكشوفة. وتتطلّب هذه الطريقة نظام أنابيب خاصًا يسمح بأن يكون الماء كله معرّضًا للأشعة.

التريشيج بالفحم النشط

يُعدّ الفحم النشط جزءاً من معظم أنظمة التتقية، بوصفه الخطوة النهائية. ولهذا الفحم النشط مساحة سطح كبيرة، ويجذب الجزيئات القطبية المشتركة بين كثير من الشوائب، والمُلوثات. يُستخدم التريشيج باستخدام الفحم في أقنعة التنفس، ويعدّ جزءاً من مُرشحات (فلاتر) المياه المنزليّة. لكن يجب استبدال تلك المُرشحات مع مرور الوقت، للحفاظ على فاعليتها.



الشكل 7-33 خزان ترسيب مكشوف للهواءطلق.

معالجة المياه العادمة

معالجة المياه العادمة **Wastewater treatment** هي العملية التي تزيل الشوائب والمُلوثات من مياه المجاري، والمياه الجارية، والمياه العادمة، بهدف إعادةتها إلى دورة الماء في الطبيعة بأقل تأثير بيئي.

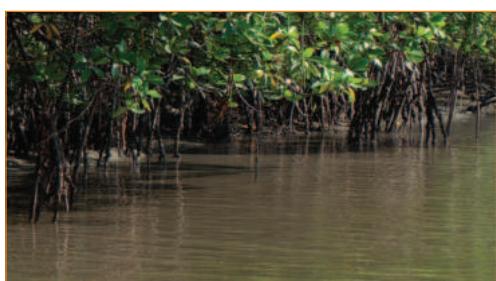
أينما يتواجد الماء، تُستخدم الخزانات المكشوفة للهواءطلق انظر (الشكل 7-33). وتم تنقية المياه بشكل كافٍ فقط لتلبية المعايير المحلية قبل إعادةتها إلى مصدر الماء الطبيعي. وأينما تكن المياه نادرة، يتم اللجوء إلى إعادة تدوير المياه العادمة المعالجة لاستخدامها في الزراعة، أو رى المساحات الخضراء، أو إعادة تزويد الطبقات التي تحتوي على المياه الجوفية؛ وذلك لإعادة إدخالها في النهاية إلى النظام المائي.

- تتضمن عملية الفصل في المرحلة الأولى خزانات ترسيب، حيث تترسب المواد الصلبة في القاع، وتستخدم البكتيريا لتفكيك العناصر العضوية. وقد تتطلب تلك العملية عدة خزانات ترسيب مختلفة للشوائب والمُلوثات ذات القياسات المختلفة.

- تستخدم عملية التريشيج سلسلة من الحواجز التي تصغر بشكل تدريجي للحصول على مزيد من إزالة الجسيمات. يمكن أيضاً إجراء التريشيج باستخدام الكربون، أو باستخدام الرمل. فمُرشحات الكربون تزيل المركبات العضوية الذائبة.

- تعزز عمليتا الأكسدة، والأكسدة الكيميائية الحيوية، فعالية البكتيريا لإجراء المزيد من تفكيك المواد العضوية إلى جزيئاتها المكونة لها. ويمكن إضافة المعقّمات من الكلور وإزالة الملح أيضاً. ويكون هذا الإجراء مناسباً للتطبيقات الزراعية.

بعد عملية المعالجة، يخضع الماء لعملية الأسموزية المعاكسة، وللأشعة فوق البنفسجية، والمعالجة بالأوزون، وأنذاك، يمكن اعتبار الماء صالحًا للشرب.



الشكل 7-34 غابات المانجروف.

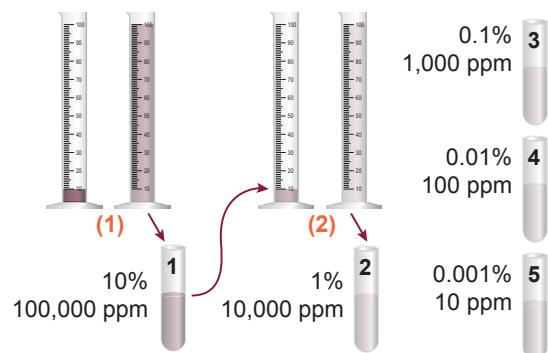
جرّت معالجة المياه الطبيعية في السهول الفيضية، والأراضي الرطبة الساحلية، وغابات المانجروف **Mangrove forests** انظر (الشكل 7-34)، منذ ما قبل عصر الديناصورات. ومن الجدير بالذكر أن الماء كمُركّب وُجد على الأرض من مليارات السنين.

نوعية المياه

3-7

سؤال الاستقصاء	كيف نقيس نوعية المياه؟
المواد المطلوبة	ماء مقطّر، سكر، مقياس الألوان، مستشعر الرقم الهيدروجيني pH ، أصباغ طعام ملوّنة، محلول HCl تركيزه 1M ، و محلول NaOH تركيزه 1M .

كثير من الملوثات والشوائب الموجودة في الماء يمكن قياسها بوحدة الجُزء بالمليون (ppm). في هذا النشاط، سوف ننشئ مستويات تلوث بوحدة الجُزء بالمليون، ونحاول الكشف عنها بتركيز منخفضة تصل إلى جزء واحد بالمليون (1ppm).



الخطوات

ملحوظة: الكثير من التفاصيل مدرجة في ورقة عمل المختبر.

- أضف 20 نقطة من صبغة طعام إلى 10 mL من الماء في مخبر مدرج، ثم املأ المخبر بالماء إلى 100 mL . احتفظ بكمية مقدارها 30 mL من هذه الكمية في أنبوب اختبار رقم 1 بوصفها محلولك الذي يبلغ تركيزه 10%.
- تخلّص من الكمية الموجودة في المخبر المدرج، ودع 10 mL فقط. ثم املأ المخبر المدرج مرة أخرى بالماء إلى 100 mL ، واحتفظ بكمية مقدارها 30 mL في أنبوب اختبار رقم 2، بوصفها محلولك الذي يبلغ تركيزه 1%.
- كرّر العملية إلى أن تحصل على 6 أنابيب اختبار مخففة بتركيزات مختلفة تبدأ من 10% ($100,000\text{ ppm}$) إلى 0.0001% (0.0001 ppm).
- افحص كل أنبوب اختبار بمقاييس الألوان، وسجل مستويات الامتصاص.
- كرّر العملية نفسها باستخدام محلول HCl تركيزه 1M ، و محلول NaOH تركيزه 1M ، واستخدم مستشعر pH لاختبار تلك المحاليل.
- كرّر العملية نفسها ابتداءً من 10 g من السكر، ثم اختبر محليل السكر باستخدام مستشعر pH .

الأسئلة

- عند أي تركيز يمكنك الكشف عن الصبغة؟ خمن الخطأ في قياساتك. ومن هذا التخمين، حدد أقل تركيز يمكنك الكشف عنه.
- ما التركيز الذي يمكنك الكشف عنه لكل من HCl ، NaOH باستخدام مستشعر pH ? استخدم الرسم البياني على ورقة العمل لرسم pH مقابل التركيز (C).
- أي من تقنيتي الاختبار كانت قادرة على الكشف عن السكر؟ فسر إجابتك.

تقويم الدرس 7-3

1. أي من المصادر الآتية يعدّ مصدراً رئيساً للماء العذب الذي يستخدمه البشر؟

- a. جليد القمم الجليدية القطبية.
- b. الأنهر، والبحيرات، والجداول.
- c. المياه الجوفية.
- d. مياه البحر في حالتها الطبيعية (ماء مالح).

2. أي من التطبيقات الآتية يستخدم البشر فيه ماء أكثر؟

- a. الزراعة
- b. المنازل والمكاتب.
- c. الاستخدامات الصناعية.
- d. الاستخدامات الترفيهية مثل القوارب.

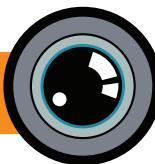
3. أيّ من الآتي يصح في الماء العذب الموجود في العالم؟

- a. أكثر من 97.5% من الماء العذب في الأرض موجود في طبقات المياه الجوفية.
- b. الماء العذب موزّع بالتساوي تقريباً على سطح الأرض.
- c. الماء العذب موزّع بشكل غير متساوٍ على سطح الأرض.
- d. الماء العذب يتوافر قرب المحيطات، ونادراً ما تكون أماكن توافره بعيدة عن المحيطات.

4. صف الطريقيتين الأساسيةتين اللتين تزيلان الملح من الماء بكميات كبيرة.

5. صف ثلاثة استخدامات مختلفة للماء، لا تحتاج فيها إلى ماء صالح للشرب.

6. عدّ على الأقل خمس خطوات تعدّ جزءاً من عملية معالجة الماء ليصبح صالحًا للشرب.



الشكل 4-35 كلير باترسون.

لم يكن كلير باترسون Clair Patterson (1922-1995) يخطّط لمحاربة واحدة من أكبر الصناعات الموجودة في العالم، مجبراً إياها على إزالة الرصاص من البنزين. لم تكن نيته المحافظة على الصحة، وسلامة الملايين من الناس. ذلك أنه عندما بدأ كان يبحث عن غرفة نظيفة، يمكنه فيها إجراء تجربته.

خمن بأن التحلل الإشعاعي لليورانيوم إلى رصاص قد يكشف عن أدلة على عمر الأرض.

وبوسعه طالب دراسات عليا، وزميلاً لجورج تيلتون George Tilton، بدأ بتحليل الصخور لحل تلك المشكلة. كان تيلتون يُعainي اليورانيوم، لكن تجاربه لم تنجح. فقد أدرك أن المختبر يجب أن يستخدم لتجارب اليورانيوم فقط. لذا، مضى بحثاً عن مختبر جديد. وسارت الأمور على ما يرام.

لم يُشكّل وجود مختبر جديد ونظيف حلاً في نظر العالم باترسون الذي كان يعاين الرصاص، فقد وجد أن الرصاص شائع في كل مكان: في الماء، والطلاء، وغبار الهواء، وفي الشعر، وزجاج التجهيزات. وآخر المطاف سوف يجد الرصاص في الرواسب المتراكمة على قاع المحيط، وفي الجليد الكامن في جرينلاند. أتاحت له تقنياته تتبع أصول ذلك الرصاص عبر التاريخ، وصولاً إلى إضافة رباعي إيثيل الرصاص إلى البنزين.

بعد 40 عاماً من صناعة البنزين، خضعت الإضافات التي تحتوي على الرصاص، لدراسة أشخاص يعملون في مجال الصناعة. وبدأ باترسون بنشر النتائج التي توصل إليها متجاوزاً تلك الشركات، ومن دون الحاجة إلى الحصول على موافقتها. حاولت المصانع تشويه سمعة باترسون، والحصول على حجب التمويل عن بحوثه. لكن بحوثه كانت شاملة جدّاً، وتقنياته المخبرية تولي الانتباه لأدق التفاصيل. وفي النهاية تم إعلام المجتمع العلمي بنتائجها، وأزيل الرصاص من البنزين في جميع دول العالم، باستثناء دول قليلة.

ماذا عن غرفته النظيفة؟ إن إصراره الشديد في النهاية على وجود مختبر غير ملوث رَسَخ طريقته إلى يومنا هذا. وتعدّ هذه الطريقة معيار الصناعة في البحث والتحليل للعمل في «غرفة نظيفة».

مراجعة الوحدة

الدرس 7-1: الكيمياء في حياتنا

- الكيمياء لها تأثير واسع وكبير في الاقتصاد، وفي كل جانب من جوانب الحياة تقريباً.
- يتوسّع **Scales-up** التصنيع الكيميائي بالتقنيات المخبرية لإنتاج كمّيات كبيرة من المركّبات من **المواد الأوليّة Feedstocks**.
- البترول Petroleum** المُشتّق من الهيدروكربونات هو مادة أولية شائعة تُستخدم في صنع المواد البلاستيكية، والمطاط، وفي تحضير المركّبات العضوية.
- النفايات البلاستيكية مشكلة بيئية خطيرة جدّاً.
- مركّبات الكلوروفلوروكربون، مثل **الفريون Freon** (CF_2Cl_2)، كانت مستخدمة بشكل واسع. لكن وُجد أنها تدمر طبقة أوزون الأرض، فحضرتها معاهدة مونتريال عام 1987م.
- الضغط ودرجة الحرارة المتوفران عميقاً تحت سطح الأرض يفكّان الكائنات الحية إلى **الكيروجين Kerogen** الذي يتحول إلى بترول وغاز طبيعي بمرور الزمن.
- تُستخدم في تكرير النفط عملية صناعية تسمّى **التقطير التجزيئي Fractional distillation** لفصل الهيدروكربونات المختلفة الموجودة في البترول الطبيعي، وتغييرها إلى أشكال يستفاد منها.
- احتياطيات النفط غير موزّعة بشكل متساوٍ في العالم، ذلك أن أكثر من نصف إنتاج العالم من النفط مصدره 5 دول فقط.

الدرس 7-2: الكيمياء وتغيير المناخ

- تحافظ الأرض على توازن الطاقة من خلال إشعاع الطاقة كلّها التي تستقبلها من الشمس وتعيدها نحو الفضاء مرة أخرى.
- السبب الرئيس لتغيير المناخ هو أن الغلاف الجوي شفاف لأشعة الشمس. لكن إشعاع الأرض الذي يعود مرة أخرى نحو الفضاء هو أشعة حمراء، تتصبّها غازات الدفيئة، مثل غاز CO_2 وغاز الميثان.
- يُعدّ المستوى الحالي لغاز CO_2 الجوي وقيمه 415ppm المستوى الأعلى منذ عصر البليستوسين، أي قبل 3 ملايين سنة، عندما كانت الأرض أكثر دفئاً بعده درجات مئوية، ومستويات البحر أعلى مما هي عليه الآن بـ 12 متراً إلى 18 متراً.
- يعدّ الميثان غاز دفيئة أكثر فاعلية من غاز CO_2 ، يسهم البشر بإنتاجه من خلال تربية الأبقار.

- تؤثّر درجة حموضة المحيطات تأثيراً مباشراً في غاز CO_2 الجوي، من خلال إنتاج حمض الكربونيكي. فعندما تكون درجة حموضة المحيط منخفضة يحدث خلل في السلسلة الغذائية، من خلال التداخل مع العوالق.

الدرس 7-3: الكيمياء وموارد المياه

- 97.5% من مياه الأرض مياه مالحة موجودة في المحيطات، في حين أن الماء العذب الذي تبلغ نسبة 2.5% يكون معظمها متجمّداً في القمم والأنهار الجليدية.
- الماء العذب غير موزّع بالتساوي على سطح الأرض.
- **الماء الصالح** **potable** للشرب هو ماء آمن للشرب. **والمياه الافتراضية** **Virtual water** هي المياه التي تُستخدم في تصنيع أشياء أخرى، مثل الغذاء أو الورق.
- المصادر الأساسية للماء العذب الذي يستهلكه البشر تتضمّن المياه السطحية في الأنهار، والبحيرات، والجداول، والمياه الجوفية، ومياه المحيطات التي تتمّ تحليلتها.
- طبقات **المياه الجوفية** **Aquifer** مصدر للمياه يقع تحت الأرض.
- تجعل عملية معالجة المياه الماء آمناً للشرب، وتتضمّن عمليات كثيرة، مثل المعالجة بالكلور، والترشيح، والتهوية، والترسيب.
- تأتي معظم مياه دولة قطر العذبة من تحلية **المياه المالحة** **Desalination**.
- الطرقتان الأساسيةان لتحلية الماء هما: **التقطير الحراري** **Thermal distillation**، **والأسمية** **Reverse osmosis**.
- تستخدم عملية تنقية الماء كي تجعله صالحًا للشرب.
- تتمّ معالجة **المياه العادمة** **Wastewater treatment** لإزالة الكائنات الحية والشوائب والملوّثات الأخرى من المياه التي استخدمت مسبقاً، قبل إعادتها إلى مصادرها الطبيعية، أو إعادة استخدامها للزراعة وسواها، باستثناء الشرب.

اختيار من متعدد

1. ما أهم مساهمة لشارلز تنانت في عملية التصنيع الكيميائي؟

- a. إنتاج حمض الكبريتيك بكميات ضخمة.
- b. براءة اختراع عملية لتحضير رماد الصودا.
- c. تطوير تقنية لإنتاج مسحوق التبييض.
- d. إنشاء أول مشروع لإنتاج المواد الكيميائية الصناعية.

2. ما المشكلة الرئيسة المرتبطة بالتوسيع في عملية التصنيع الكيميائية؟

- a. اتزان زمن التفاعل يعد خطأً.
- b. شراء كميات كبيرة تعد عملية مكلفة.
- c. التفاعلات الطاردة للحرارة تتطلب مساحة سطح تتغير بتغيير عملية التوسيع.
- d. نسبة الخلط الجزيئية يمكن موازنتها بحدرا باستخدام الكميات الكبيرة.

3. ما الفرق الأساسي بين اللدائن الشائعة الاستخدام، واللدائن التخصصية؟

- a. أصل المواد الأولية.
- b. الجزيئات ذات التفرع الفريد من نوعه.
- c. تركيب السلالسل التي تشبه العمود الفقري.
- d. نسبة الألكانات الحلقة إلى الألكانات.

4. ما الذي يحدد إن كان الكيروجين سيصبح نفطاً، أم غازاً طبيعياً؟

- a. نسبة الأكسجين إلى الكربون.
- b. نسبة الهيدروجين إلى الكربون.
- c. درجة الحرارة في أثناء عملية النضج الحراري.
- d. نوع الصخور الكامنة حيث يوجد الكيروجين.

5. ما أكبر مصدرين لغاز الميثان الناتج من التأثير البشري في البيئة؟

- a. انصهار كلاترات الميثان ومتارع تربية الماشية.
- b. متارع تربية الماشية وحرق الغاز الطبيعي.
- c. حرق الغاز الطبيعي وأسمدة الأمونيا الصناعية.
- d. أسمدة الأمونيا الصناعية وانصهار كلاترات الميثان.

6. أي مما يأتي يعد الترتيب المناسب عندما يذوب غاز CO_2 في الماء؟

- a. حمض الكربونيك، أيونات البيكربونات، أيونات الهيدروجين.
- b. أيونات الهيدروجين، حمض الكربونيك، أيونات البيكربونات.
- c. أيونات البيكربونات، حمض الكربونيك، أيونات الهيدروجين.
- d. أيونات البيكربونات، أيونات الهيدروجين، حمض الكربونيك.

7. ما هو تعويض الكربون؟

- a. كمية الكربون التي لا تستخدمها.
- b. البصمة الكربونية غير المتعمدة.
- c. الكربون المُخزن عندما تستخدم وسائل المواصلات العامة.
- d. زراعة الأشجار التي ستنزيل كمية الكربون المساوية للبصمة الكربونية الخاصة بك.

8. ما هي نسبة توزيع مياه الأرض: من أعلى نسبة إلى أدنىها؟

- a. المحيطات، الأنهر الجليدية، المياه الجوفية، البحيرات والأنهار.
- b. البحيرات والأنهر المحيطات، الأنهر الجليدية، المياه الجوفية.
- c. المياه الجوفية، البحيرات والأنهار، المحيطات، الأنهر الجليدية.
- d. الأنهر الجليدية، المياه الجوفية، البحيرات والأنهار، المحيطات.

9. ما الذي يُتيح التوزيع غير المتساوي للمياه العذبة على سطح الأرض؟

- a. الغابات المطيرة والصحراري.
- b. أنماط التضاريس والرياح.
- c. المياه الجوفية والطبقات التي تحتويها.
- d. النمو السكاني واستخدام اليابسة للزراعة.

10. ما المقصود بـ«المياه الافتراضية»؟

- a. المياه الجوفية.
- b. الماء الموجود في موقع آخر.
- c. الماء المستخدم في نقل المنتجات.
- d. الماء المستخدم في عملية تصنيع المنتجات.

11. أي مما يأتي لا يعد مصدراً رئيساً للماء العذب الصالح لاستخدام البشر؟

- a. المياه الجوفية المحصورة في الآبار.
- b. مياه الأمطار التي تم جمعها عن سطح جمع المياه.
- c. المياه السطحية الموجودة في البحيرات، والجداول، والأنهار.
- d. مياه البحر التي يجب تحليتها قبل أن تكون قابلة للاستخدام.

الدرس 7-1: الكيمياء في حياتنا

12. ما كان إنجاز الحاصلين على جائزة نوبل في الكيمياء للعام 2019م؟ 

13. ما الخطوات الالزمة لعملية إعادة تدوير المواد البلاستيكية؟ 

14. فسر لماذا كانت مركبات الكلوروفلوروكربون شائعة الاستخدام بشكل كبير. 

15. صف العملية التي تُنتج الكيروجين. 

الدرس 7-2: الكيمياء وتغيير المناخ

16. صف تأثير الدفيئة (البيوت الزجاجية). 

17. ما الأساس في الحجج والبراهين التي تدعى بأن الاحتباس الحراري الحالي ليس ناتجاً من المصادر الناجمة عن التأثير البشري؟ 

18. صف العلاقة التاريخية بين غاز CO_2 الجوي ومعدل درجة حرارة هواء سطح اليابسة.
ما الدليل على وجود هذه العلاقة؟ 

19. لم تُعد العوائق سريعة التأثير بانخفاض درجة الحموضة pH في المحيطات؟ 

20. ما المُتغيرات التي تسهم في بصمة الكربونية الخاصة بك؟ وما هو المساهم الأكبر فيها؟ 

21. ما الذي يجعل لحم البقر مصدر غذاء غير مستدام بيئياً؟ 

الدرس 3-7: الكيمياء وموارد المياه

22. فَسَّرْ لماذا لا يسهم انصهار الأنهر الجليدية في المياه العذبة المتوفرة في دولة قطر. 

23. صُفِّيَّة المُحتملة التي يمكن أن تفسِّر وجود خزان ضخم للمياه العذبة تحت المحيط الأطلسي. 

24. ما المياه الصالحة للشرب؟ ولماذا لا تحتاج عملية الزراعة إلى مثل تلك المياه؟ 

25. أُنشِئ نموذج ميزانية لِعِينَة من الماء، كي تُصُفِّي المياه الشخصية الخاصة بك التي تستهلكها في اليوم الواحد. 

26. صُفِّيَّة الخطوات المُتَعَارِفُ عَلَيْهَا بِالْمُسْتَخْدَمَةِ فِي عَمَلِيَّةِ مُعَالِجَةِ الْمَيَاهِ وَتَنْقِيَّتِهَا، لِلْوُصُولِ إِلَى مُسْتَوَيَّاتِ تَكُونُ فِيهَا الْمَيَاهُ صَالِحةً لِلْشَّرَبِ. 

الجدول الدوري الحديث للعناصر

أرقام المجموعات

VIIIA



18

6 C carbon
12.011

العنصر

اسم

13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
B Boron	C Carbon	N Nitrogen	O Oxygen	F Fluorine	He Helium

العدد الذري ————— الكتلة الذرية —————

5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne

1 H	2 He	3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne									
Hydrogen 1.008	Helium 4.002602	Lithium 6.94	Beryllium 9.0121831	Boron	Carbon	Nitrogen	Oxygen	Fluorine	Neon									
11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar											
Sodium 22.9976928	Magnesium 24.305	Aluminium 26.9815395	Silicon 28.085	Phosphorus 30.97376998	Sulfur 32.06	Chlorine 35.45	Argon 39.948											
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
Potassium 39.0983	Calcium 40.078	Scandium 44.959908	Titanium 41.067	Vandium 50.9415	Chromium 51.9961	Manganese 54.938044	Iron 55.845	Cobalt 58.933194	Nickel 58.953934	Copper 63.546	Zinc 65.38	Gallium 69.723	Germanium 72.630	Arsenic 74.921595	Selenium 78.971	Bromine 79.904	Krypton 83.798	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
Rubidium 85.4678	Strontrium 87.62	Yttrium 88.90584	Zirconium 91.224	Niobium 92.90037	Molybdenum 95.95	Technetium (98)	Ruthenium 101.07	Rhodium 102.90550	Palladium 106.42	Silver 107.8682	Cadmium 112.414	Indium 114.818	Tin 117.710	Antimony 121.760	Tellurium 122.60	Iodine 126.90447	Xenon 131.293	
55 Cs	56 Ba	57-71 *Lanthanoids	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
Cesium 132.905516	Barium 132.927	Hafnium 178.49	Tantalum 180.9478	Tungsten 183.84	Rhenium 186.207	Osmium 190.23	Iridium 192.217	Platinum 195.984	Gold 196.965698	Mercury 200.582	Thallium 204.438	Lead 207.2	Bismuth 208.98040	Polonium (209)	Astatine (210)	Radon (222)		
87 Fr	88 Ra	89-103 ***Actinoids	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og	
Francium (223)	Radium (226)	Rutherfordium (287)	Dubnium (288)	Seaborgium (289)	Bohrium (290)	Hassium (299)	Methrium (278)	Darmstadtium (281)	Roentgenium (282)	Copernicium (285)	Nihonium (286)	Flerovium (289)	Moscovium (289)	Livermorium (293)	Tennessee (294)	Organesson (294)		
57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu				
Lanthanum 138.90547	Cerium 140.016	Praseodymium 140.90766	Neodymium 144.242	Promethium (145)	Samarium 150.36	Europium 151.964	Gadolinium 157.225	Terbium 158.92335	Dysprosium 162.500	Holmium 164.93033	Erbium 167.229	Thulium 168.93422	Ytterbium 172.045	Lutetium 174.9668				
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr				
Actinium (227)	Thorium 232.0377	Protactinium 231.03588	Uranium 238.02891	Neprium (237)	Plutonium (244)	Americium (243)	Curium (247)	Berkelium (247)	Californium (251)	Einsteinium (252)	Fermium (257)	Mendeleyium (258)	Noelium (259)	Livermorium (259)	Tennessee (294)	Organesson (294)		

فلزات قلوية
فلزات قلوية أرضية
فلزات

اللانثانيدات
الأكتينيدات
أشباه فلزات

لا فلزات
هالوجينات
غازات نبيلة

الشكر والتقدير

يشكر المؤلفون والناشرون المصادر الآتية على السماح لهم باستخدام ملكياتهم الفكرية
كما أنهم ممتنون لهم لموافقتهم على نشر الصور.

Egoreichenkov Evgenii/Shutterstock; Doug McLean/Shutterstock; Alexander Gatsenko/Shutterstock; ARTSIOM ZAVADSKI/shutterstock; rumruay/Shutterstock; Fouad A. Saad/Shutterstock; Rugged Studio/Shutterstock; Rvector/Shutterstock; Menno van der Haven/Shutterstock; Maxim Gaigul/Shutterstock; Iri-s/Shutterstock; springsky/Shutterstock; Meggi/Shutterstock; Jo Theera/Shutterstock; Dmitry_Kosarev/Shutterstock; Shiyan Sergiy/Shutterstock; MicroOne/Shutterstock; Macrovector/Shutterstock; robuart/Shutterstock; Vector FX/Shutterstock; T VECTOR ICONS/Shutterstock; Krafted/Shutterstock; Serorion/Shutterstock; Prachaya Roekdeethaweesab/Shutterstock; vectorisland/Shutterstock; LWY Partnership/Shutterstock; Anatolir/Shutterstock; BigMouse/Shutterstock; yoojiwhan/Shutterstock; Ton Snoei/Shutterstock; CreateCamera/Shutterstock; Anton Starikov/Shutterstock; Liudmila Savushkina/Shutterstock; e X p o s e/Shutterstock; Ariyaporn chumkong/Shutterstock; Piart/Shutterstock; darsi/Shutterstock; RayPics/Shutterstock; Billion Photos/Shutterstock; Wstockstudio/Shutterstock; Sicco Hesselmans/Shutterstock; Tanakax3/Shutterstock; cobalt88/Shutterstock; Raman Shytsik/Shutterstock; John Mackintosh/Shutterstock; Timothy Hodgkinson/Shutterstock; Serorion/Shutterstock; Jan Babak/Shutterstock; Winai Tepsuttinun/Shutterstock; ParabolStudio/Shutterstock; Andrei Nekrassov/Shutterstock; Dmitry S. Gordienko/Shutterstock; Monika Wisniewska /Shutterstock; Joel Everard /Shutterstock; Monika Wisniewska /Shutterstock; Joel Everard /Shutterstock; Naeblys /Shutterstock; bicubic /Shutterstock; samray /Shutterstock; VectorMine /Shutterstock; OSweetNature /Shutterstock; Dietrich Leppert /Shutterstock; Fouad A. Saad /Shutterstock; BINKONTAN /Shutterstock; mTaira /Shutterstock; ghost design /Shutterstock; Doroniuk Anastasiia /Shutterstock; corbac40 /Shutterstock; austinding /Shutterstock; Andrea Danti /Shutterstock; inigocia/Shutterstock; vchal/Shutterstock; tinkivinki/Shutterstock; Naypong Studio/Shutterstock; Lukasz Janyst /Shutterstock; John D Sirlin /Shutterstock; Walkabout Photo Guides /Shutterstock; Eugene R Thieszen /Shutterstock; Huntstyle /Shutterstock; Justin Hobson /Shutterstock; Vladiczech /Shutterstock; NASAimages /Shutterstock; Arshad876 /Shutterstock; mapichai/Shutterstock; Minerva Studio/Shutterstock; Belish/Shutterstock; Christoph Burgstedt/Shutterstock; Mopic/Shutterstock; Peter Hermes Furian/Shutterstock; Nasky/Shutterstock; Draw Man/Shutterstock; Rainer Lesniewski/Shutterstock; Robert Adrian Hillman/Shutterstock; Designua/Shutterstock; Alexander Lukatskiy/Shutterstock; giedre vaitekune/Shutterstock; Fuss Sergey/Shutterstock; Pat_Hastings/Shutterstock; Jakkapan Sookjaroen/Shutterstock; ghost design/Shutterstock; Andrei Kuzmik/Shutterstock; Ras Abu Fontas A3 plant; Purple Anvil/Shutterstock; Eric Iselee/Shutterstock; Martin Voeller/Shutterstock; Sebastian Kaulitzki/Shutterstock; Michiel de Wit /Shutterstock; Flegiere/Shutterstock; Steve Bower/Shutterstock; terekov igor/Shutterstock; Kimberly Hall/Shutterstock; Oleksandr_Delyk/Shutterstock; grzym/Shutterstock; Anton Starikof/Shutterstock; marcinm111/Shutterstock; David Tonelson/Shutterstock; Ultrappek/Shutterstock; koosen/Shutterstock; Ebtikar/Shutterstock; royaltystockphoto.com/Shutterstock; juan gartnear/Shutterstock; Daojah/Shutterstock; Catherine Eckhart/Shutterstock; Sebastian Kaulitzki/Shutterstock; Burdun Illiya/Shutterstock; Kateryna Kon/Shutterstock; Maxx-studia/Shutterstock; lightboxx/Shutterstock; gorodenkoff/Shutterstock; okskaz/Shutterstock; Mike Workman/Shutterstock; Miss E Media/Shutterstock; Eric Agar/Shutterstock; IanRedding/Shutterstock; Aldona Griskeviciene/Shutterstock; Raland/Shutterstock; Okrasyuk/Shutterstock; Photomaster/Shutterstock; A7880S/Shutterstock; PhotocechCZ/Shutterstock; Rizik/Shutterstock; SunshineVector/Shutterstock; Lebendkulturen.de/Shutterstock; eranicle/Shutterstock; Bijanart/Shutterstock; JubalHarshaw/Shutterstock; Taiga/Shutterstock; /Shutterstock; /Shutterstock; /Shutterstock; /Shutterstock; /Shutterstock;



السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

نرحب بكم في

موقع منتديات صقر الجنوب التعليمية [المنهاج القطري](#)

ويسعدنا ويشرفا ان نستمر معكم في تقديم

كل ما هو جديد للمنهاج المحدث المطورة ولجميع
المستويات والمواد

ملفات نجمعها من كل مكان ونضعها لكم في مكان واحد
ليسهل تحميلها

علما ان جميع ما ننشر مجاني 100%

أخي الزائر - أخي الزائرة انا دعمكم لنا هو انمامكم لنا
 فهو شرف كبير لنا

صفحتنا على الفيس بوك [هنا](#)

مجموعتنا على الفيس بوك [هنا](#)

مجموعتنا على التلقرام [هنا](#)

قنواتنا على اليوتيوب [هنا](#)

جميع ملفاتنا نرفعها على مركز تحميل خاص في [صقر الجنوب](#)

نحن نسعى دائما الى تقديم كل ما هو افضل لكم و هذا وعد منا ان شاء الله
شجعونا دائما حتى نواصل في العطاء و [نسأله](#) الله ان يوفقنا و يسدد خطانا

**في حال واجهتك اي مشكلة في تحميل اي ملف
من منتديات صقر الجنوب [المنهاج القطري](#)
صفحة اتصل بنا**





قنوات تيليجرام منهاج قطر الفصل الأول والثاني محدث

[قناة المستوى الثالث](#)

[قناة المستوى الثاني](#)

[قناة المستوى الأول](#)

[قناة المستوى السادس](#)

[قناة المستوى الخامس](#)

[قناة المستوى الرابع](#)

[قناة المستوى التاسع](#)

[قناة المستوى الثامن](#)

[قناة المستوى السابع](#)

[قناة المستوى الثاني عشر](#)

[قناة المستوى الحادى عشر](#)

[قناة المستوى العاشر](#)



فَنَّوْتَ الْيُوْتَيُوبِ التَّعْلِيمِيَّةِ لِأَمْرَأَجَعِ الْقَطَرِيِّ مِنِ الْسَّطْوَى ١٠-٠١

قناة المستوى الثالث

قناة المستوى الثاني

قناة المستوى الأول

قناة المستوى السادس

قناة المستوى الخامس

قناة المستوى الرابع

قناة المستوى الثاني عشر

قناة المستوى الثامن

قناة المستوى السادس عشر

قناة المستوى الثاني عشر

قناة المستوى السادس عشر

قناة المستوى العاشر



مجموعات الفيس بوك للمنهاج القطري الفصل الاول والفصل الثاني محدث

[رياض الاطفال](#)

[مجموعة المستوى الثالث](#)

[مجموعة المستوى الثاني](#)

[مجموعة المستوى الأول](#)

[مجموعة المستوى السادس](#)

[مجموعة المستوى الخامس](#)

[مجموعة المستوى الرابع](#)

[مجموعة المستوى التاسع](#)

[مجموعة المستوى الثامن](#)

[مجموعة المستوى السابع](#)

[مجموعة المستوى الثاني عشر](#)

[مجموعة المستوى الحادى عشر](#)

[مجموعة المستوى العاشر](#)

[صفحتنا على الفيس بوك](#)

الهدف الرئيسي
لتنمية صقر الجنوب
هو

منصة تعليمية مجانية

هدفنا النفع ونشر العام

نشر العام مجاناً لطلب من يطلب العام في جميع أنحاء العالم
لا نفرض أي رسوم أو نفقات على العضويات في الواقع
على أننا مجانية بدون تسجيل عضوية

لنستمر في البقاء أن شاء الله

يمكن أن تساهم في استقرارنا والتحفيظ
عنا مصاريف السيرفر والاستضافة

مهما كانت مساهمتك صغيرة أو كبيرة، لها أثر كبير في استقرار
الواقع لتقديم خدمات المجانية من ملفات مصرية ومنقولات
من خلاله دعمنا على مسابنا الخاص على

[من خلال الضغط هنا PayPal](#)