



الكيمياء

كتاب الطالب المستوى الحادي عشر

CHEMISTRY
STUDENT BOOK

GRADE

11

الفصل الدراسي الثاني
SECOND SEMESTER

طبعة - (2025-1447)

© وزارة التربية والتعليم والتعليم العالي في دولة قطر

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر،
ويخضع 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.

تمّ إعداد الكتاب بالتعاون مع شركة تكنولوجيا.

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

الترجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.



حضرة صاحب السمو الشيخ تميم بن حمد آل ثاني
أمير دولة قطر

النشيد الوطني

قَسَمًا بِمَنْ رَفَعَ السَّمَاءَ قَسَمًا بِمَنْ نَشَرَ الضِّيَاءَ
قَطْرُ سَتَبَقَى حُرَّةً تَسْمُو بِرُوحِ الْأَوْفِيَاءِ
سِيرُوا عَلَى نَهْجِ الْأَلَى وَعَلَى ضِيَاءِ الْأَنْبِيَاءِ
قَطْرُ بَقَلْبِي سِيرَةً عِزٌّ وَأَمْجَادُ الْإِبَاءِ
قَطْرُ الرَّجَالِ الْأَوَّلِينَ حُمَاتُنَا يَوْمَ النَّدَاءِ
وَحَمَائِمُ يَوْمِ السَّلَامِ جَوَارِحُ يَوْمِ الْفِدَاءِ



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

المراجعة والتدقيق العلمي والتربوي

إدارة المناهج الدراسية ومصادر التعلم

خبرات تربوية وأكاديمية من المدارس

الإشراف العلمي والتربوي

إدارة المناهج الدراسية ومصادر التعلم

يعدّ كتاب الطالب مصدرًا مثيرًا لاهتمام الطلاب 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 أننا نهدف إلى أن يكون طلابنا مميزين، نودّ منهم أن يتسموا بما يأتي:

- البراعة في العمل ضمن فريق.
- امتلاك الفضول العلميّ عن العالم من حولهم، والقدرة على البحث عن المعلومات وتوثيق مصادرها.
- القدرة على التفكير بشكلٍ ناقدٍ وبناء.
- الثقة بقدرتهم على اتباع طريقة الاستقصاء العلميّ، عبر جمع البيانات وتحليلها، وكتابة التقارير، وإنتاج الرسوم البيانية، واستخلاص الاستنتاجات، ومناقشة مراجعات الزملاء.
- الوضوح في تواصلهم مع الآخرين لعرض نتائجهم وأفكارهم.
- التمرّس في التفكير الإبداعيّ.
- التمسك باحترام المبادئ الأخلاقية والقيم الإنسانية.

يتجسّد في المنهج الجديد العديد من التوجّهات مثل:

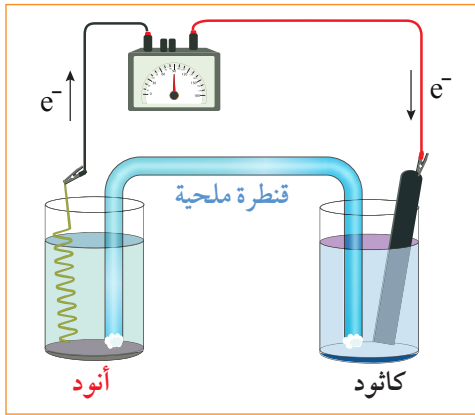
- تطوير المنهج لجميع المستويات الدراسية بطريقة متكاملة، وذلك لتشكيل مجموعة شاملة من المفاهيم العلمية التي تتوافق مع أعمار الطلاب، والتي تسهم في إظهار تقدّمهم بوضوح.
- مواءمة محتوى المصادر الدراسية لتتوافق مع الإطار العام للمنهج الوطني القطريّ بغية ضمان حصول الطلاب على المعارف والمهارات العلمية وتطوير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

- توزّع المعرفة والأفكار العلميّة المخصّصة لكلّ عام دراسيّ ضمن وحدات بطريقة متسلسلة مصمّمة لتحقيق التّنوع والتّطوّر.
 - تعدّد الدّروس في كلّ وحدة، بحيث يعالج كلّ درس موضوعاً جديداً، منطلقاً ممّا تمّ اكتسابه في الدّروس السّابقة.
 - إتاحة الفرصة للطلّاب، في كلّ درسٍ، للتحقّق الذاتيّ من معارفهم ولممارسة قدرتهم على حلّ المشكلات.
 - احتواء كلّ وحدة على تقويم للدّرس وتقويم الوحدة التي تمكّن الطّلاب والأهل والمدرّسين من تتبّع التّعلّم والأداء.
- العلوم مجموعة من المعارف التي تشمل الحقائق والأشكال والنّظريّات والأفكار. ولكنّ العالم الجيّد يفهم أنّ «طريقة العمل» في العلوم أكثر أهميّة من المعرفة التي تحتويها. سوف يساعد هذا الكتاب الطّلاب على تقدير جميع هذه الأبعاد واعتمادها ليصبحوا علماء ناجحين وليواجهوا مجموعة واسعة من التّحدّيات في حياتهم المهنيّة المستقبلية.

مفتاح كفايات الإطار العام للمنهج التعليمي الوطني لدولة قطر

- الاستقصاء والبحث 
- التّعاون والمشاركة 
- التّواصل 
- التّفكير الإبداعيّ والناقد 
- حلّ المشكلات 
- الكفاية العددية 
- الكفاية اللّغوية 

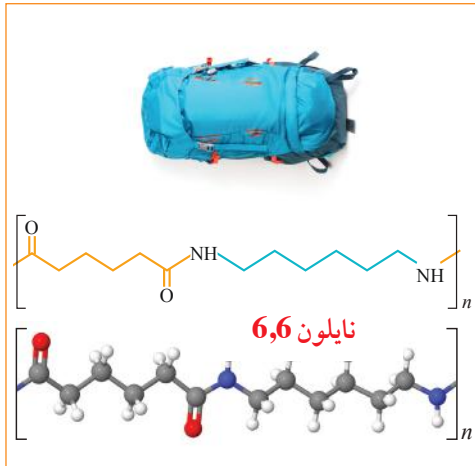
يبحث كتاب الكيمياء للفصل الدراسي الثاني في كيفية تطبيق الكيمياء على كل من؛ ابتكار التكنولوجيا، وفهم العالم الطبيعي، وقد تُفاجأ بالكثير من جوانب حياتك اليومية التي ترتبط بالكيمياء بشكل عميق. إذا استخدمت هاتفك النقال في الوقت الحالي، فهذا يعني أنك استخدمت الكيمياء الكهربائية، فأيونات الليثيوم المستخدمة 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 الأنود والكاثود المستخدمة في الخلايا الفولتية في المختبر، والتي تتكرر بشكل مصغر في بطارية هاتفك النقال.

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



بوليمر النايلون 6,6

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.



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

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

بعض أقسام هذا الكتاب

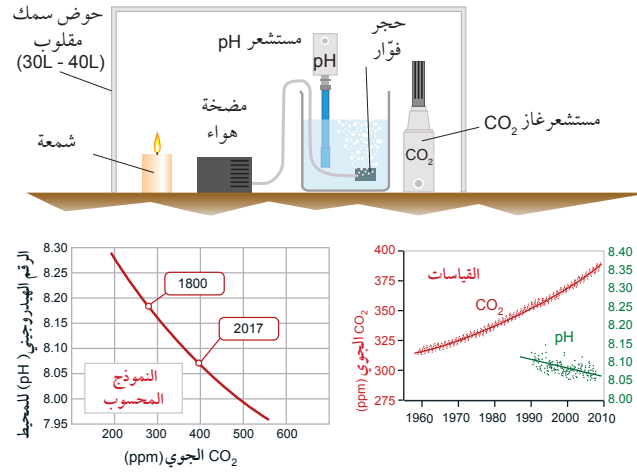
الرّسوم التّوضيحية والبيانية

أسئلة للمناقشة

سؤال للمناقشة

ما الذي تفعله الكيمياء لي؟

أسئلة المناقشة تزوّد
طلاب صفك بفرصة
مناقشة المفاهيم
والمعلومات الجديدة.



قدّمت المفاهيم،
والبيانات، والأمثلة
المهمّة لكل فكرة
جديدة بالتفصيل
من خلال الرّسوم
التّوضيحية ومن
خلال الكلمات.

شريط الأفكار المهمّة

الموادّ الأوليّة هي المواد الخام المُستخدّمة في عملية التصنيع والإنتاج الصناعي. تحديد النّقاط الرّئيسة وتذكّرها.

جداول توضيحية

جمعت المعلومات في جدول لتوضيح
وتبسيط الأفكار.

النشا	
الاستخدام	الطاقة المخزّنة في الكائنات الحية.
نوع البلمرة	التكاثف.
المونومر	الكربوهيدرات، الجلوكوز عادة.
المجموعات الوظيفية المتفاعلة	مجموعات الهيدروكسيل من الكربوهيدرات.

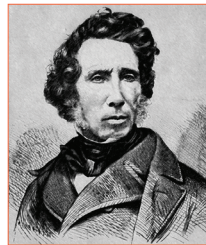
يبيّن الجدول أعلاه الميزات الأساسية للنشا.

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 سكريات، تستخدم في الأطعمة، أو تخميرها لإنتاج الوقود الحيوي.

العلم والعلماء

لقد تطوّرت معرفتنا بالعلوم على مدى
أكثر من ثلاثة آلاف سنة؛ لذا توفّر هذه
القصص التّبصّر والإلهام من الجانب
الإنسانيّ للعلم والتكنولوجيا. سوف
تقابل بعضًا من هؤلاء النّاس الرّائعين
على هذه الصّفحات.

علماء في دائرة الضوء



فريدريش فولر Friedrich Wöhler

قبل العام 1828م، كان الاعتقاد السائد بأن المواد الكيميائية، والتي نصنفها اليوم بأنها مركّبات 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 فريدريش فولر (1800-1882م) أول مركّب عضوي في المختبر، باستخدام مواد كيميائية غير عضوية.

فبوساطة خلط الأمونيوم (NH_4^+) مع أملاح السيانات (OCN^-)، أنتج فولر سيانات الأمونيوم، التي تفكّكت لإنتاج المركّب العضوي، اليوريا ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)، الموضّحة بالمعادلة الكيميائية الآتية:

الكيمياء

الصف
11

الفصل الدراسي 2

الأنشطة والمراجعة والتقييم

الأنشطة

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

1-5	بناء نماذج للجزيئات الهيدروكربونية
سؤال الاستقصاء	كيف يمكن تمثيل الجزيئات الهيدروكربونية باستخدام النماذج ثلاثية الأبعاد؟
المواد المطلوبة	نماذج الكرات والعصي.
الجزء 1: التحليل الجزيئي	
1. ارسم الصيغ البنائية لكل جزيء في الجدول الآتي.	

تقويم الدرس

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

تقويم الدرس 2-4

1. عرّف كلاً من الأنود والكاثود.
 2. ما الغرض من وجود القطرة الملحية في الخلية الفولتية؟
 3. ما اتجاه سير الإلكترونات من خلال موصل يصل بين القطبين السالب والموجب في الخلية الفولتية؟
 4. قارن النشاطية النسبية (جهد الأكسدة) لأزواج الفلزات أدناه، باستخدام كل من سلسلة النشاط وجهود القطب القياسية. هل هناك توافق بين المصدرين؟
- a. الألومنيوم والنيكل.

مراجعة الوحدة

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

الوحدة 6

مراجعة الوحدة

الدرس 1-6: البوليمرات والبلزمة

- **البوليمرات Polymers** جزيئات ذات سلسلة طويلة تتكوّن من تكرار جزيئات أصغر تُسمى المونومرات.
- **المونومرات Monomers** جزيئات يمكن ربطها بشكل متكرر لتشكيل البوليمرات.
- يمكن أن تكون البوليمرات خطيّة أو متفرّعة (شبكة ثلاثية الأبعاد).

تقويم الوحدة

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

تقويم الوحدة

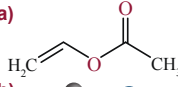
اختيار من متعدد

1. لم تعد طريقة هابر - بوش مهمة جدًا؟
- a. لأن النيتروجين لا يمكن استخلاصه بشكل طبيعي.
- b. لأن بعض البقوليات غير متوفرة في كل مكان.
- c. لأن الأمونيا تسمح بإنتاج الغذاء بما يتجاوز المستويات الطبيعية.

تقويم الوحدة

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

تقويم الوحدة

- a)  **44**** 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 لاسيتات الفينيل

4 الوحدة

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).

5 الوحدة

الكيمياء العضوية

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

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

6 الوحدة

البوليمرات

مِمّ يتكوّن البلاستيك؟ وكيف يُصنّع؟ تكوّن أكثر الجزيئات الضخمة بوليمرات، وهي إمّا جزيئات حيوية طبيعية كالبروتين والنشا، وإمّا صناعية، كالبلاستيك (البولي إيثين).

7 الوحدة

القضايا الاقتصادية والاجتماعية والبيئية

كيف استطاع علم الكيمياء أن يغيّر حياتنا وبيئتنا؟ أسهم علم الكيمياء في إحراز تقدّم كبير في حياتنا. لكنّه في المقابل أثر تأثيراً بالغاً في تلوث كوكبنا، وفي تغيّر المناخ، وفي كمّيّة المياه النظيفة التي نحصل عليها.

الوحدة 4 الكيمياء الكهربائية 2

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

الوحدة 5 الكيمياء العضوية 58

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

الوحدة 6 البوليمرات 126

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

الوحدة 7 القضايا الاقتصادية والاجتماعية والبيئية 168

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





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

مقدمة الوحدة

أنواع متعددة من التفاعلات الكيميائية تحدث عبر تبادل الإلكترونات بين الجسيمات المتفاعلة. 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 تُفاجأ 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 تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية والعكس عبر تفاعلات الأكسدة والاختزال.

يحلّل الدرس الأول عمليتي فقدان الإلكترونات واكتسابها؛ ويفسّر كيفية كتابة تلك التفاعلات ووزنها 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

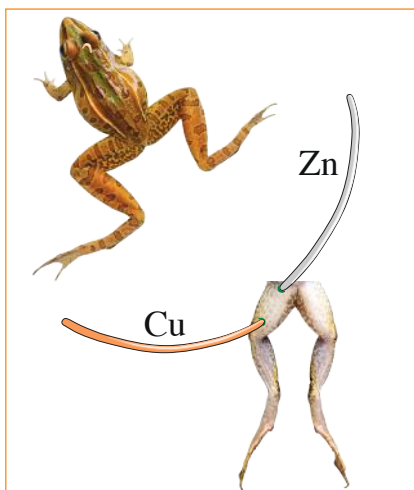
1-4 تفاعلات الأكسدة والاختزال

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 لويجي جلفاني (1737 - 1798 م) نتائجه بخصوص الاكتشاف الذي توصل إليه قبل عدة سنوات. وقد لاحظ العالم جلفاني حدوث تقلصات في عضلات أرجل الضفدع تم تشريحه، عند لمسها بفِلَزَيْن مختلفَيْن. وكان تفسيره لتحرك أرجل الضفدع موضع خلاف بينه وبين الفيزيائي الإيطالي أليساندرو فولتا (1745-1827 م). وقد أثار هذا الخلاف حوارًا وديًا بين العالمَيْن، ألهم بدوره علماء آخرين للبحث والاستقصاء في العلاقة بين التفاعلات الكيميائية والكهرباء.

المفردات



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

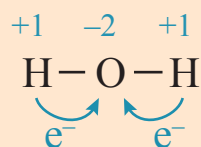
مخرجات التعلم

- C1104.1** يفسر الأكسدة والاختزال بدلالة كسب الأكسجين أو فقدته، وبدلالة انتقال الإلكترونات.
- C1104.2** يشرح تفاعلات الأكسدة والاختزال (Redox) بدلالة التغير في عدد التأكسد.

تتضمّن تفاعلات الأكسدة والاختزال فقد إلكترونات واكتسابها بين الذرّات والجُزيئات والأيونات.

$$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$$

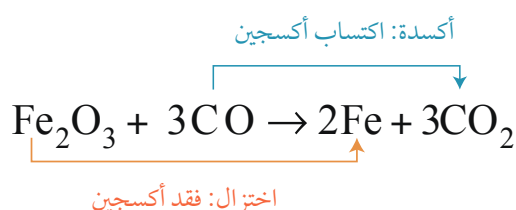
فمثلاً: تمتلك ذرّة الأكسجين سالبة كهربائية أعلى من السالبة الكهربائية لذرّة الهيدروجين. وعند تحليل تفاعل الأكسدة والاختزال لجُزيء الماء، نلاحظ أن ذرّة الأكسجين تجذب إلكترونين من ذرّتي الهيدروجين، كما موضح فيما يأتي:



الشكل 2-4 ثلاثة أمثلة على تفاعلات الأكسدة والاختزال.

الأكسدة و الاختزال بدلالة انتقال الأكسجين

الأكسدة عملية تشير إلى تفاعل أي مادة كيميائية مع الأكسجين. وهناك علاقة بين كسب المادة للأكسجين وفقد الإلكترونات، فالأكسجين يمتلك ثاني أعلى سالبية كهربائية (القدرة على جذب الإلكترونات). لذلك، فإن أي عنصر (باستثناء الفلور الذي يمتلك أعلى سالبية كهربائية) يتفاعل مع الأكسجين، فيتأكسد ويفقد الإلكترونات، ليكتسبها الأكسجين. أما عملية الاختزال فهي فقد المادة للأكسجين، ويمكن توضيح ذلك من خلال المعادلة الآتية:

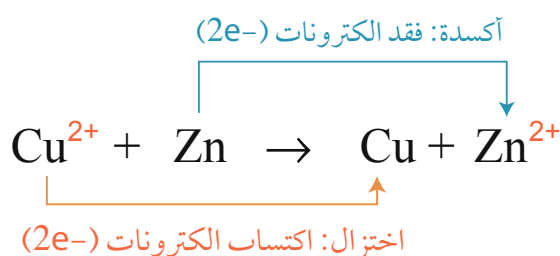


الأكسدة : هي عملية اكتساب المادة للأكسجين.
الاختزال : هو عملية فقد المادة للأكسجين.



الأكسدة و الاختزال بدلالة انتقال الإلكترونات

في تفاعلات الأكسدة والاختزال، يفقد أحد المتفاعلات الإلكترونات ويكتسبها متفاعل 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 الجسيم الذي اختزل (ذا السالبية الكهربائية الأعلى) اكتسب الإلكترونات من الجسيم الذي تأكسد. ويقال عن الجسيم الذي اكتسب إلكترونات أنه اختزل **Reduced**.

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



الأكسدة و الاختزال 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 لتتبع حركة الإلكترونات بين الذرات والأيونات والجزيئات من أجل التعرف على حدوث عمليتي الأكسدة والاختزال.

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

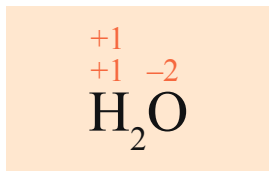
حالة التأكسد: هي عدد يمثل الشحنة (+ أو -) التي تظهر على كل ذرة عنصر سواء كان في مركب أيوني أو تساهمي، وهي تمثل حركة الإلكترونات.



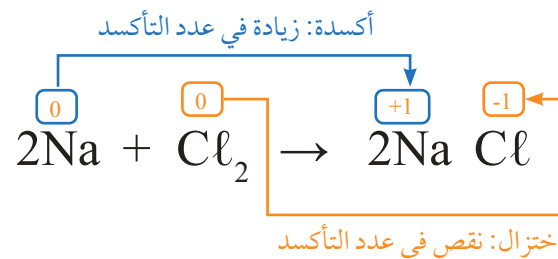
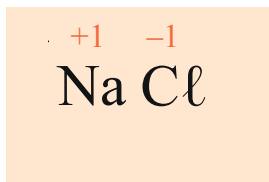
تُكتب حالات التأكسد في هيئة عدد بعد إشارة، مثل +3. وهذا يختلف عن الشحنات الحقيقية التي تُكتب في هيئة عدد قبل إشارة، مثل +3. والشحنة التي قيمتها +1، أو -1 تُكتب من دون العدد واحد، في حين أن حالة التأكسد يجب أن يكتب العدد واحد فيها بعد الإشارة.

Al^{3+}	Na^{+}	Mg^{2+}	Al^{+3}	Na^{+1}	Mg^{+2}
شحنات الأيون			حالات التأكسد		

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 السالبة الكهربائية لذرة الأكسجين تساوي 3.44، في حين أن السالبة الكهربائية لذرة الهيدروجين تساوي 2.20.

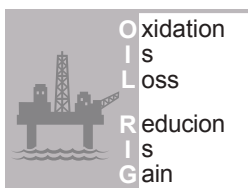


أما في حالة المركب الأيوني كلوريد الصوديوم ($NaCl$)، فإن ذرة الكلور الأعلى سالبة كهربائية، تكتسب إلكترونًا بالكامل وتكون أيون الكلوريد (Cl^{-}). بينما تتحول ذرة الصوديوم إلى أيون موجب Na^{+} بعد أن تفقد إلكترونًا واحدًا، وبالتالي يحصل أكسدة لذرة الصوديوم، واختزال لذرة الكلور كما هو موضح في المعادلة الآتية:



الجدول 1-4 ملخص تعاريف مفهومي الأكسدة والاختزال.

المثال	مفهوم الأكسدة	مفهوم الاختزال
أكسدة: اكتساب أكسجين $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$ اختزال: فقد أكسجين	اكتساب أكسجين (يزداد عدد ذرات الأكسجين في المتفاعل CO)	فقد أكسجين (ينقص عدد ذرات الأكسجين في المتفاعل Fe_2O_3)
أكسدة: فقد إلكترونات ($2e^-$) $\text{Cu}^{2+} + \text{Zn} \rightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$ اختزال: اكتساب إلكترونات ($2e^-$)	فقد إلكترونات (يفقد Zn إلكترونات)	اكتساب إلكترونات (يكتسب Cu^{2+} إلكترونات)
$\text{Na}_{(s)} + \text{HCl}_{(aq)} \rightarrow \text{Na}_{(aq)}^+ + \text{Cl}_{(aq)}^- + \text{H}_{2(g)}$ أكسدة: زيادة عدد التأكسد اختزال: نقص في عدد التأكسد	يزداد عدد التأكسد (ازداد عدد تأكسد Na من 0 إلى +1)	يقل عدد التأكسد (قل عدد تأكسد H من +1 إلى 0)



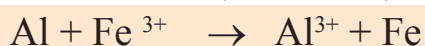
يبين الشكل 3-4 تلميحين كمساعدة للذاكرة.

OIL-RIG: الأكسدة هي فقد الإلكترونات، والاختزال هو اكتسابها.

LEO-GER: فقد الإلكترونات أكسدة، واكتسابها اختزال. **الشكل 3-4** تلميحيان يساعدان الذاكرة على تذكر الأكسدة والاختزال.

مثال 1

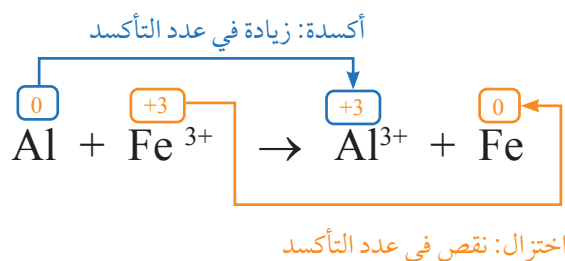
حدد المادة التي تأكسدت والمادة التي اختزلت في المعادلة الآتية:



الحل:

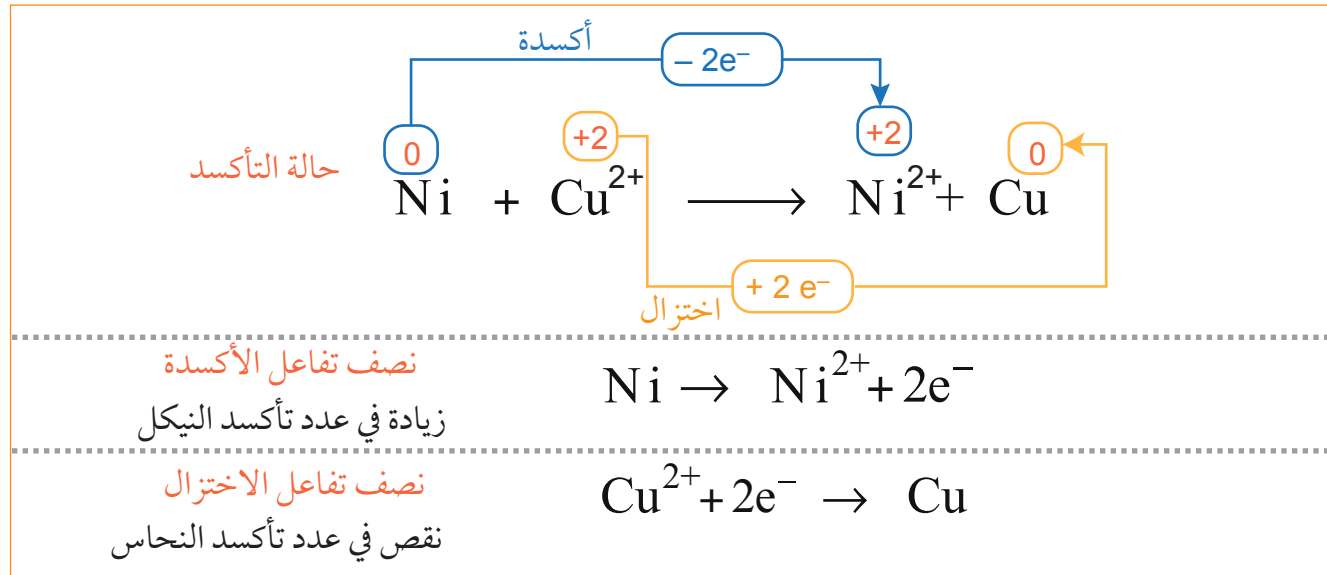
Al : حدث له عملية أكسدة حيث زاد عدد تأكسده من (0) إلى (+3)

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



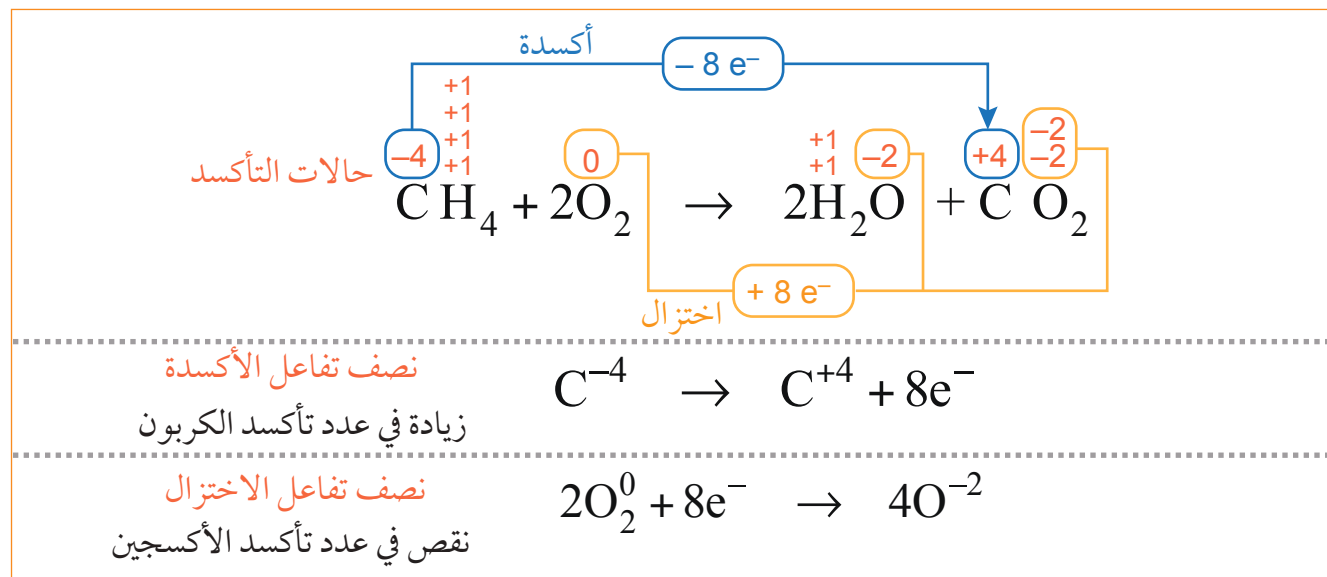
أنصاف التفاعلات

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



الشكل 4-4 تفاعل أكسدة واختزال.

كذلك يبين الشكل 5-4 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.



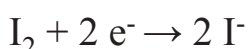
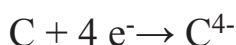
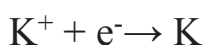
الشكل 5-4 حالات التأكسد، وأنصاف التفاعلات.

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

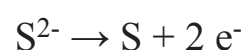
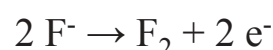
ويجب موازنة أنصاف التفاعلات، حيث تُحفظ كل من الشحنة والكتلة. ففي المثال السابق، نجد أن الشحنة الكلية الموجودة في جانب المتفاعلات لنصف تفاعل الأكسدة تساوي (-4)؛ وأن الشحنة الكلية الموجودة في جانب المواد الناتجة تساوي (-4) أيضًا. لكن في نصف تفاعل الاختزال، نجد أن الشحنة الكلية الموجودة على جانبي المعادلة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

وعند كتابة تفاعلات الأكسدة التي تتضمن عناصر ثنائية الذرة، تُكتب الحالة المتعادلة على هيئة جزيء ثنائي الذرات، مثل $2O_2$ المبين في الشكل 5-4. في حين تُكتب الحالة المتأكسدة أو المختزلة على هيئة ذرات غير مرتبطة، مثل $4O^{2-}$ المبين في الشكل 5-4.

أمثلة لأنصاف تفاعلات الاختزال



أمثلة لأنصاف تفاعلات الأكسدة

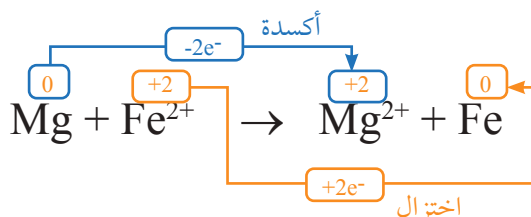


مثال 2



اكتب نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال للتفاعل الآتي:

الحل:



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

Fe²⁺ : حدث له عملية اختزال حيث قل عدد تأكسده من (+2) إلى (0).



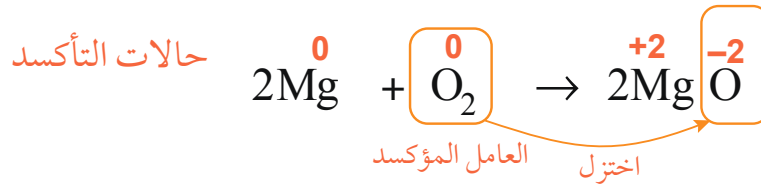
العوامل المؤكسدة والعوامل المختزلة

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

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

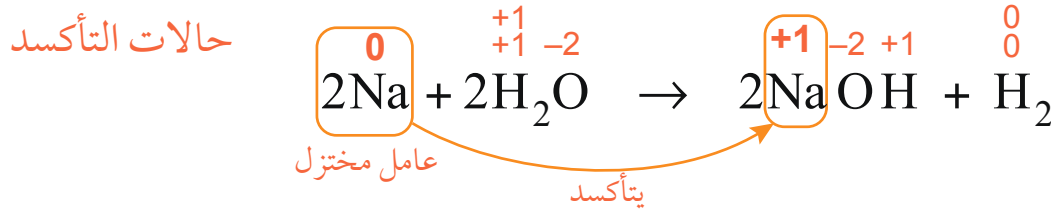


يعمل العامل المؤكسد على أكسدة مادة كيميائية أخرى. لذا، فإن العامل المؤكسد يُختزل؛ لأنه يكتسب الإلكترونات. يبين الشكل 4-6 أن الأكسجين O_2 ، الموجود في تفاعل احتراق المغنسيوم يُختزل من O^0 إلى O^{2-} ؛ لأن المغنسيوم يتأكسد من Mg^0 إلى Mg^{2+} .



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

العامل المختزل Reducing agent هو مادة تؤدي إلى اختزال مادة أخرى. فالصوديوم مثلاً يعد عاملاً مختزلاً؛ لأنه يكون أيونات موجبة، جاعلاً مادة كيميائية أخرى تكتسب الإلكترونات. ويبين الشكل 4-7 أن الصوديوم يختزل الهيدروجين في الماء من +1 إلى 0 في H_2 . فالعامل المختزل يتأكسد في التفاعل، ذلك أن الصوديوم يتأكسد من 0 إلى +1. تُعدّ الفلزات والوقود عوامل مختزلة شائعة.



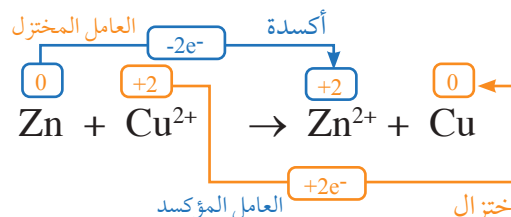
الشكل 4-7 يؤدي العامل المختزل إلى الاختزال، ولكنه هو نفسه يتأكسد.

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



مثال 3

حدد العامل المختزل و العامل المؤكسد في التفاعل التالي: $Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$



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

ليست كل التفاعلات الكيميائية تفاعلات أكسدة واختزال. فكيف نتعرف على تفاعل الأكسدة والاختزال؟

1. يعد التفاعل من تفاعلات الأكسدة والاختزال 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 والاختزال عندما تكون حالات التأكسد للعناصر جميعها هي نفسها قبل التفاعل وبعده.

تتمثل الخطوة الأولى لتحديد إن كان تفاعل ما هو تفاعل أكسدة واختزال، في تحديد حالة التأكسد لكل ذرة وأيون في المعادلة الكيميائية. فالأكسدة والاختزال يجب أن يحدثا معاً على الدوام. فإذا حدث أن تأكسد إحدى المواد الكيميائية، فيجب على الأقل أن تُختزل مقابله مادة كيميائية أخرى.

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

حالة التأكسد	0	+1	0	0	+3	0
المواد الكيميائية	O ₂	Na ⁺	Mg	Cu	Al ³⁺	N ₂

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

+1	NaCl	+1
+1		+1
+1		+1
	Li ₂ SO ₄	K ₃ PO ₄

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

+2	CaCl ₂	
+2		+2
	MgSO ₄	Ba ₃ (PO ₄) ₂

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

القاعدة	+1	+1	+1	الاستثناءات	-1	-1	-1
	+1	+1	+1		-1	-1	-1
	+1	+1	+1		-1	-1	-1
	+1	+1	+1		-1	-1	-1
	HCl	CH ₄	H ₃ PO ₄	LiH	CaH ₂	AlH ₃	

تحديد حالات التأكسد: القواعد 5، 6

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

القاعدة			الاستثناءات			
-2	-2	-2	-1	-1/2	+2	+1
H ₂ O	Ba(OH) ₂	H ₃ PO ₄	H ₂ O ₂	KO ₂	OF ₂	O ₂ F ₂
			(بيروكسيد)	(سوبر أكسيد)	(فلوريد الأكسجين)	(ثنائي فلوريد ثنائي الأكسجين)

1. في أيون البيروكسيد (فوق الأكسيد) العديد الذرات (O₂²⁻)، يتم تحديد قيمة حالة التأكسد لكل ذرة أكسجين بـ (-1).

2. في أيون سوبر أكسيد (الأكسيد الفائق) العديد الذرات (O₂⁻)، يتم تحديد حالة التأكسد لكل ذرة أكسجين بأنها تساوي (-1/2). لكن من غير الممكن اكتساب (1/2) إلكترون فقط؛ غير أن ذرتي الأكسجين في أيون سوبر الأكسيد تكتسبان معاً إلكترونًا واحدًا، ويكون المعدل (1/2) إلكترون لكل ذرة.

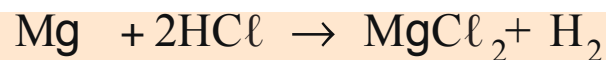
3. عند ارتباط الأكسجين مع الفلور، تمتلك ذرات الأكسجين حالة تأكسد موجبة. وتعتمد قيمة حالة التأكسد الموجبة هذه على نسبة الأكسجين إلى الفلور. وكما في سوبر الأكسيد، يمكن أن تكون قيمة حالة التأكسد عبارة عن كسر. آنذاك تُستخدم القاعدة #7 لتحديد قيمة حالة التأكسد.

القاعدة #6: تمتلك الهالوجينات (المجموعة 17) في المركبات الثنائية المرتبطة مع الفلزات حالة تأكسد تساوي قيمتها (-1)، وتعدّ هذه قاعدة فعّالة لتذكرها، لأن مثل تلك المركبات (هاليدات الفلزّات) هي مركّبات شائعة جدًا.

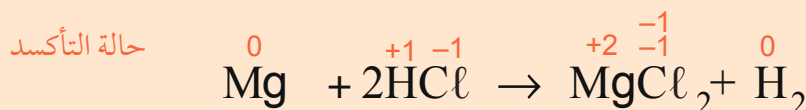
-1	-1	-1
-1	-1	-1
NaCl	AlI ₃	CuBr ₂

مثال 4

ما عدد تأكسد كل عنصر في المتفاعلات والنواتج للتفاعل المبين بالمعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:



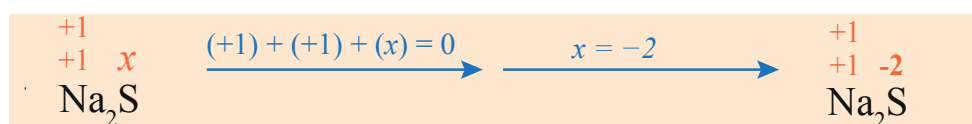
الحل



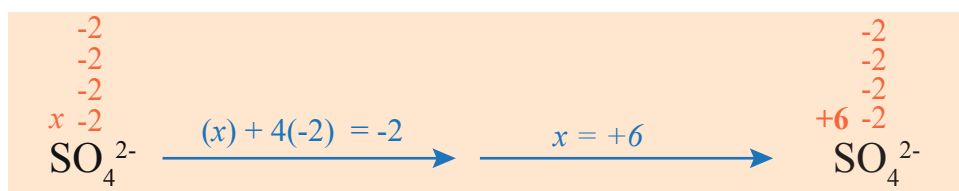
تحديد حالات التأكسد: القواعد 7 (a, b, c, d)

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 حالتا تأكسد تساوي قيمتهما +2، أو +3، وكذلك المنجنيز Mn الذي يمكن أن تكون له حالات تأكسد تساوي قيمتهما +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 a7: مجموع قيم حالات التأكسد في المركب المتعادل تساوي صفراً.



- باستخدام القاعدة #2، يتم تحديد قيمة حالة التأكسد لكل من ذرتي 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 b7:** مجموع قيم حالات التأكسد للذرات الموجودة في الأيون المتعدد الذرات يساوي الشحنة الموجودة على ذلك الأيون.



- باستخدام القاعدة #5، يتم تحديد قيمة حالة التأكسد لكل من ذرات 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 c7:** بخصوص المركبات غير العضوية، يُكتب العنصر الذي يمتلك حالة تأكسد موجبة أولاً، أما المركبات العضوية، فيُكتب فيها الكربون أولاً.
- القاعدة d7:** غالباً ما تمتلك الفلزّات حالة تأكسد موجبة. وتعد هذه القاعدة فعّالة، عندما لا يتم تحديد قيمة حالة التأكسد باستخدام القواعد من 1 إلى 6.



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

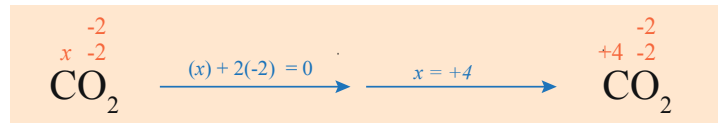
باستخدام القاعدتين #7(c,d)، يُفترض أن يمتلك الحديد حالة تأكسد قيمتها موجبة. أما الكبريت فيفترض أن يمتلك حالة تأكسد قيمتها سالبة، لكي يكون مجموعهما مساوياً للصفر.

عند مقارنة حالات التأكسد المدرجة في الجدول الدوري للعناصر، فإن الاندماج الوحيد الذي يتيح أن يكون مجموع قيمتي حالي التأكسد مساوياً للصفر في هذا المركب، أن تكون قيمة حالة التأكسد للحديد تساوي +2، وقيمة حالة التأكسد للكبريت تساوي -2. لاحظ أن القاعدة #7d يجب 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 المكوّنة لمركّب ثاني أكسيد الكربون CO_2 .

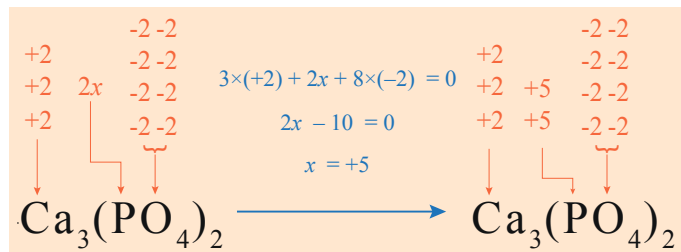
- الحل**
- يتم تحديد قيمة حالة التأكسد لذرة الأكسجين بـ -2.
 - يتم تحديد قيمة حالة التأكسد لذرة الكربون بـ +4 لجعل المجموع الكلي لقيم حالات التأكسد في الجزيء يساوي صفراً.



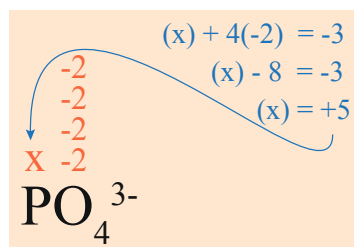
مثال 6

حدّد قيم حالات التأكسد للعناصر المكوّنة لمركّب 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.



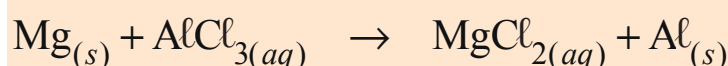
- اعتبر حالة تأكسد عنصر الفوسفور يساوي x، وبما أن هناك ذرتي فوسفور في المركب فحالة التأكسد الكلية لعنصر الفوسفور هي 2x.



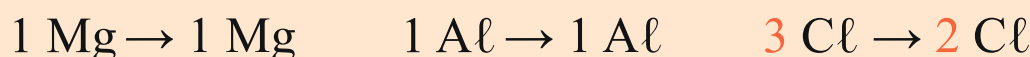
تمثّل الطريق الأسهل لتحديد قيمة حالة تأكسد الفوسفور في تحديد حالة (عدد) تأكسده في أيون الفوسفات (PO_4^{3-}). يتم حساب قيمة حالة التأكسد للفوسفور باعتبارها x، وتلك لعنصر الأكسجين هي -2، ويكون مجموع حالات التأكسد يساوي -3، وهي شحنة أيون الفوسفات عندها نحسب قيمة حالة تأكسد الفوسفور لنجدها تساوي +5.

موازنة تفاعلات الأكسدة والاختزال

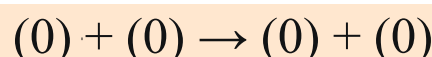
لا بُدَّ لعدد الإلكترونات المفقودة في تفاعل الأكسدة أن يساوي عدد الإلكترونات المكتسبة في تفاعل الاختزال، لكي يبقى المحلول متعادلاً. يساعد ذلك الأمر على موازنة بعض أنواع المعادلات الكيميائية المعقدة. فعندما تتم موازنة تفاعل الأكسدة والاختزال، يتم حفظ كل من الشحنة والكتلة. وكمثال على ذلك، افترض أن لديك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



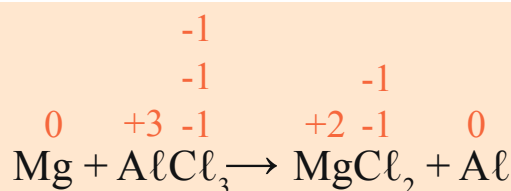
لاحظ في المعادلة الكيميائية السابقة أن عدد ذرات المغنيسيوم وعدد ذرات الألومنيوم موزونان، في حين أن عدد ذرات الكلور غير موزون:



ولاحظ أيضاً أن الشحنة موزونة:

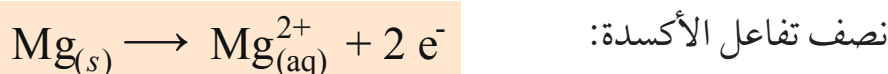


الخطوة 1: حدّد قيم حالات التأكسد للعناصر جميعها.



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

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

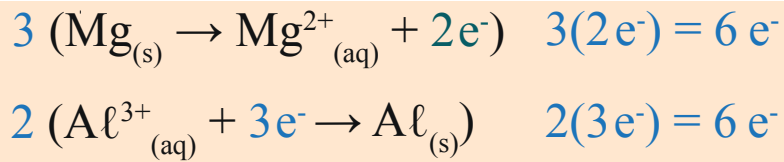


وبما أن المغنيسيوم يفقد الإلكترونات وتزداد حالة التأكسد لديه، نحدد ذلك بأنه نصف تفاعل الأكسدة. فالمغنيسيوم Mg قد تأكسد، أي إنه هو العامل المختزل في هذا التفاعل. أما أيون الألومنيوم فقد تغيّر من حالة تأكسد تساوي قيمتها +3 إلى ذرّة ألومنيوم بحالة تأكسد قيمتها 0، وهذا يتضمن وضع 3 إلكترونات إلى جانب المتفاعلات.



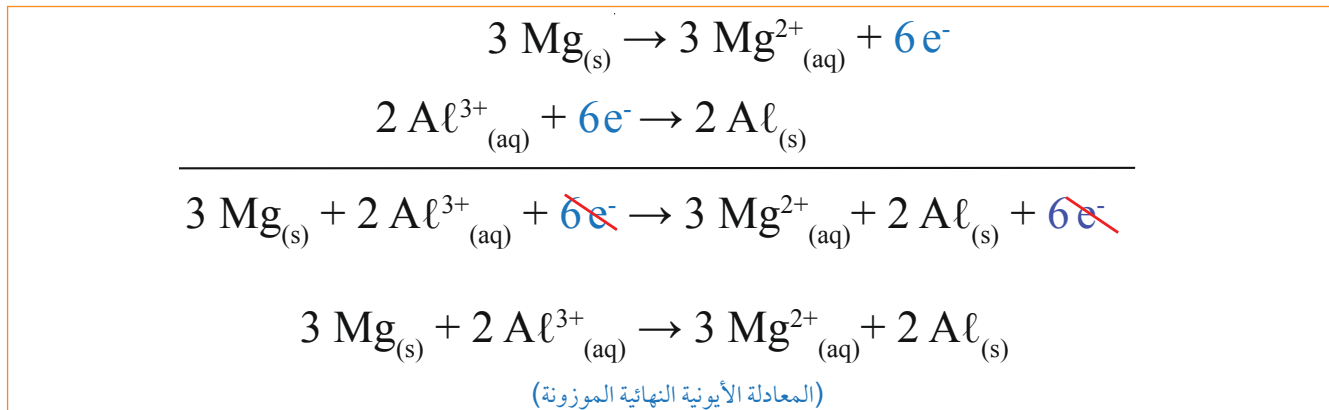
وبما أن أيون الألومنيوم يكتسب الإلكترونات، وتقلّ حالة التأكسد لديه، نحدّد ذلك بأنه نصف تفاعل الاختزال. فالألومنيوم Al^{3+} قد اختزل، أي إن مصدره، AlCl_3 ، يعدّ العامل المؤكسد في هذا التفاعل.

الخطوة 3: وازن بين عددي الإلكترونات المفقودة والمكتسبة.



فُقدَ إلكترونان، واكتُسبت 3 إلكترونات، أي يجب أن تحدث 3 عمليات أكسدة لكل عمليتي اختزال، ويعني ذلك أن 6 إلكترونات فُقدت و6 إلكترونات اكتُسبت.

الخطوة 4: اجمع نصفي التفاعلين الموزونين، ووزّع المُعاملات المُحددة خلال نصفي التفاعلين، ثم اجمع المعادلتين؛ أخيراً، احذف الإلكترونات المفقودة والإلكترونات المكتسبة.



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

المعادلة الأيونية النهائية: معادلة تبين الأيونات والذرات التي تغيرت حالة تأكسدها فقط.



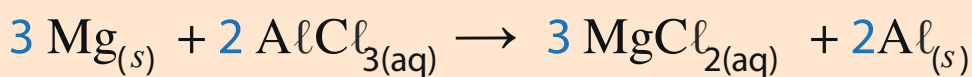
فأيونات الكلوريد لم تكن جزءاً من عملية الأكسدة والاختزال؛ يطلق على مثل تلك الأيونات اسم **الأيونات المتفرجة Spectator ions**.

الأيونات المتفرجة: هي الأيونات التي لا تتأكسد ولا تختزل في تفاعل الأكسدة والاختزال.



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

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



وتحقّق دائماً لتعرف أن الشحنة والكتلة كليهما موزونتان في معادلتك 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 الطبيعيين، إلى جرافيت. وهذه العملية قد تحتاج إلى ملايين السنين لكي تكتمل. وهنا سوف نستخدم طريقة واحدة لتوقع إن كانت تفاعلات أكسدة واختزال 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.



تبيّن سلسلة النشاط الكيميائي المدرجة في الجدول 4-2 النشاط الكيميائي للفلزات مرتبة من الأكثر نشاطاً (الأعلى) إلى الأقل نشاطاً (الأقل). 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 والاختزال 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 4-3 مثال على سلسلة نشاط كيميائي لللافلزات.

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

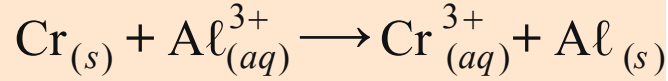
الفلزات
Li
Rb
K
Cs
Ba
Sr
Ca
Na
Mg
Al
Ti
Mn
Zn
Cr
Fe
Cd
Co
Ni
Sn
Pb
H_2
Cu
Hg
Ag
Pt
Au

الجدول 4-2 سلسلة النشاط الكيميائي للفلزات.

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

مثال 7

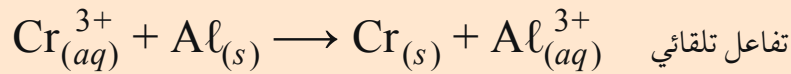
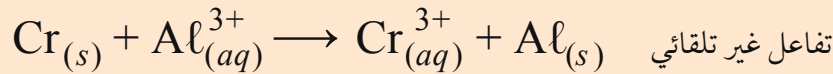
السؤال توقع: هل سيحدث تفاعل الأكسدة والاختزال الآتي بشكل تلقائي أم لا؟



الحل

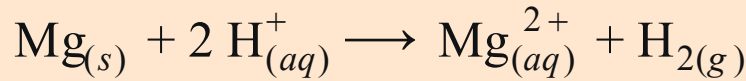
يمثل هذا التفاعل غمس فلز الكروم في محلول يحتوي على أيونات الألومنيوم لإنتاج فلز الألومنيوم وأيونات الكروم. أي من هذين الفلزّين: Cr أو Al، أكثر نشاطاً باستخدام سلسلة النشاط الكيميائي؟

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



مثال 8

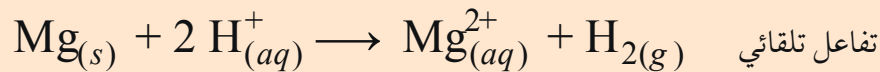
السؤال توقع: هل سيحدث تفاعل الأكسدة والاختزال الآتي بشكل تلقائي أم لا؟



الحل

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

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



ويعني ذلك أن التفاعل العكسي لن يحدث بشكل تلقائي.



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



تفاعلات الأكسدة والاختزال

1-4

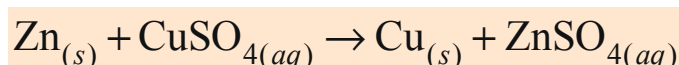
سؤال الاستقصاء	ماذا يحدث عند غمس فلز الخارصين في محلول مائي لكبريتات النحاس؟
المواد المطلوبة	شريط خارصين، محلول كبريتات النحاس تركيزه 1 M، أنبوب اختبار، حامل أنابيب اختبار.

الجزء 1: لاحظ التفاعل

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

الجزء 2: اكتب، وعنون، ووازن أنصاف التفاعلات

أعطيت معادلة التفاعل الحادث الآتية:



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

الجدول 4-4 حساب حالات التأكسد.

حالات التأكسد				
الصيغة الكيميائية	<u>Zn</u>	<u>CuSO</u> ₄	<u>ZnSO</u> ₄	<u>Cu</u>

الجدول 5-4 أنصاف التفاعلات

اكتب أنصاف تفاعلات الأكسدة و الاختزال للتفاعل السابق

نصف تفاعل الأكسدة	
نصف تفاعل الاختزال	

وازن أنصاف تفاعلات الأكسدة و الاختزال، ثم التفاعل الكليّ.

الأسئلة

- a. لماذا تغيّر لون المحلول؟
- b. باستخدام سلسلة النشاط الكيميائي، توقّع 3 فلزات أخرى يمكن أن تتفاعل مع محلول كبريتات النحاس.
- c. باستخدام سلسلة النشاط الكيميائي، توقّع فلزّين آخرين يمكن ألا يتفاعلا مع محلول كبريتات النحاس.

تقويم الدرس 1-4

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. حدّد قيمة حالة التأكسد لكل عنصر في المركّبات الآتية: 

a. AuF_3

b. $\text{Ca}(\text{ClO}_3)_2$

c. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

d. CuCl_2

5. حدّد قيمة حالة التأكسد لكل عنصر في المركّبات الآتية: 

a. O_2F_2

b. KH

c. CH_4

d. Na_2O_2

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

a. Fe^{+3} إلى Fe^{+2}

b. Cl^{-} إلى Cl^{+7}

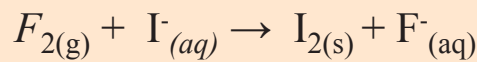
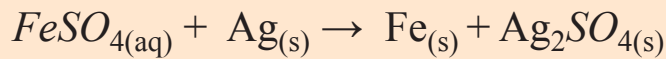
c. S^{-2} إلى S^0

d. O_2^0 إلى O^{-2}

7. في تفاعل الأكسدة والاختزال الآتي: $\text{KClO}_3 \rightarrow \text{KCl} + \text{O}_2$ 

 - a.** حدّد قيم حالات التأكسد لكل عنصر في هذا التفاعل.
 - b.** اكتب نصفي التفاعل، وحدّد أيها يصف نصف تفاعل أكسدة وأيها نصف تفاعل اختزال.
 - c.** وازن نصفي التفاعل.
 - d.** وازن المعادلة الكيميائية النهائية.

8. باستخدام سلسلة النشاط الكيميائي، توقّع: 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 تُجرى 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 المحلول المائي.

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

C1104.3 يستقصي التحليل الكهربائي لمصاهير مركبات أيونية ومحاليل مائية لمركبات أيونية وملاحظة تفكك المحلول الإلكتروليتي.

C1104.4 يكتب معادلة أنصاف التفاعلات مع كتابة رموز الحالة الفيزيائية للتفاعلات 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 $F = Le$ ، ومن ثم يحسب كتلة و/أو حجم المادة المتحررة (أو كليهما) خلال عملية التحليل الكهربائي. (حيث F هي ثابت فارادي، و L ثابت أفوجادرو و e شحنة الإلكترون).

المفردات

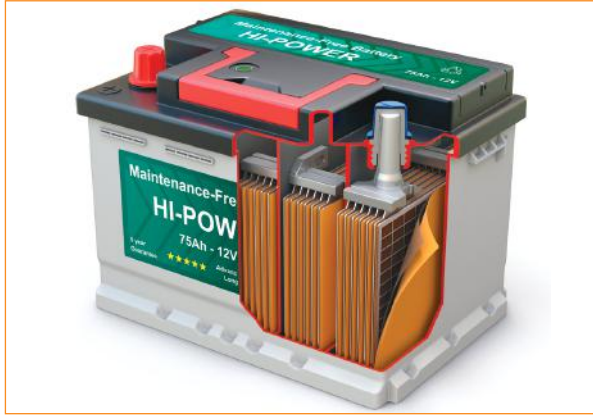


Voltaic cell	الخلايا الفولتية (الجلفانية)
Electrode	القطب
Cathode	الكاثود
Anode	الأنود
Salt bridge	القنطرة الملحية
Electrolytic cells	الخلايا الإلكتروليتية
Electrolysis	التحليل الكهربائي
Reduction potential series	سلسلة جهود الاختزال
Cell potential	جهد الخلية

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** جهازًا كهروكيميائيًا يعمل على هذا المبدأ. والتطبيق الأكثر انتشارًا لهذا المبدأ هو البطاريات.

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



الشكل 4-8 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 بين قطبين كهربائيين.
- تحتوي البطارية على أكثر من خلية فولتية واحدة لإنتاج جهد أعلى، بوجود أزواج متعدّدة من الأقطاب الكهربائية.

غالبًا ما يُسمّى كل من الأجهزة ذات الخلية الواحدة والمتعدّدة الخلايا «بطاريات».

تتكوّن البطاريات المنزلية، ذات الجهد الكهربائي 1.5V والأكثر انتشارًا من خلية واحدة. فالبطاريات ذات التمييز AAA و AA و C و D مثلًا، 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 متّصلة على التوالي. لذلك، يؤدّي نزع الغطاء عن البطارية ذات الجهد الكهربائي 9V إلى الكشف عن الخلايا الفردية الست.



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

آلية عمل الخلية الجلفانية

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

الأنود: القطب السالب الذي تحدث عنده الأكسدة.

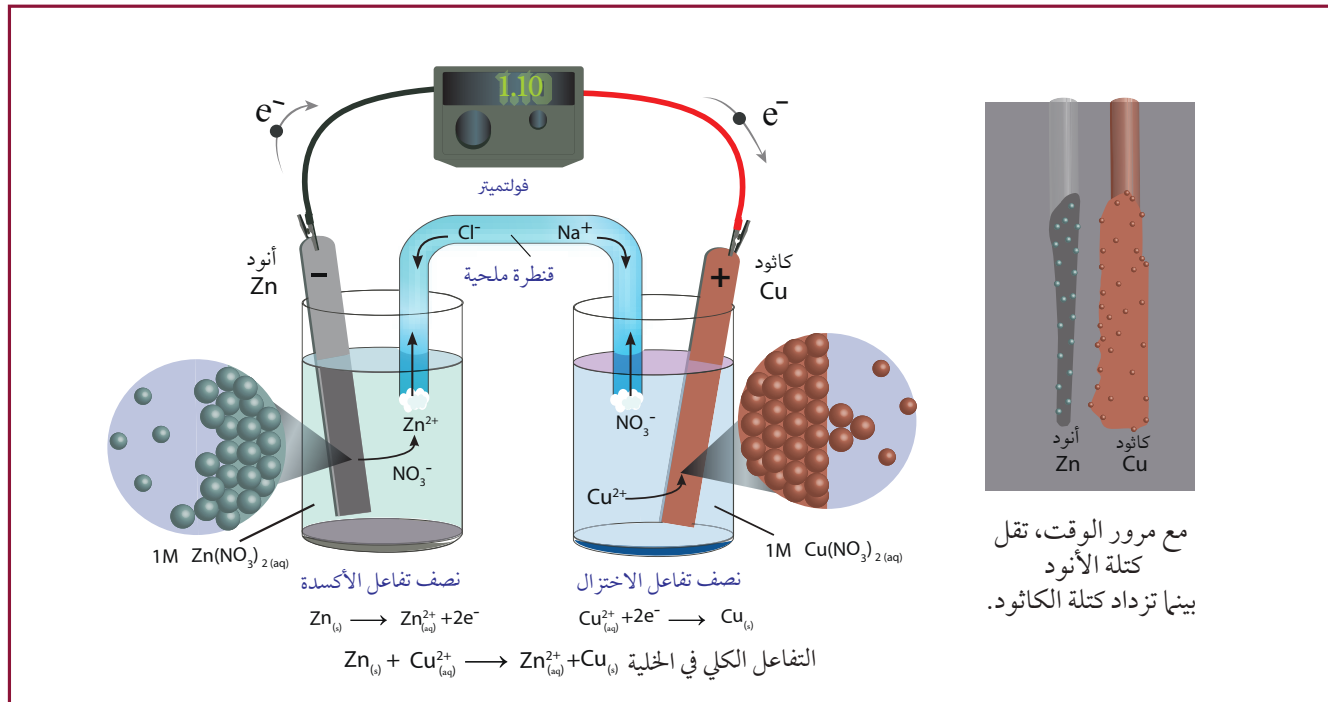


الكاثود: القطب الموجب الذي يحدث عنده الاختزال.



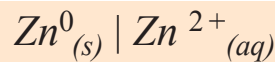
تتكوّن الخلايا الفولتية من **نصفَي خلية Half cells** يحتوي كل منهما على واحد من القطبين الكهربائيين. تحدث عملية الأكسدة عند الأنود، حيث يتم فقد الإلكترونات وتحدث عملية الاختزال عند الكاثود، حيث يتم اكتساب الإلكترونات، لذلك تتدفق الإلكترونات من الأنود إلى الكاثود كما هو موضح في الشكل 10-4 .

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 والزنك.

تتكوّن أنصاف الخلايا البسيطة من قطب فلزي مغمور في محلول مائي يحتوي على أيونات من الفلز نفسه لذلك القطب. عندما نضع، مثلاً، شريطاً من فلز الزنك في محلول من نترات الزنك، نحصل على نصف خلية الزنك. يتم التمثيل الرمزي لنصف الخلية في الظروف القياسية، كما يأتي:



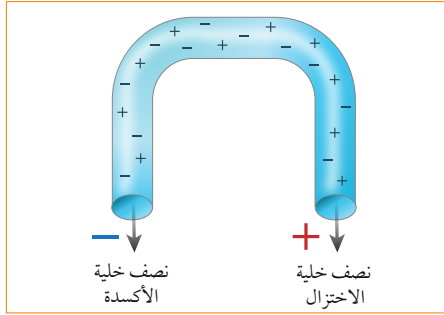
القنطرة الملحية (الجسر الملحي)

كل إلكترون يترك نصف خلية الأكسدة يجب أن يحل محله شحنة سالبة مساوية له. وإذا لم يحدث ذلك، فسوف تتراكم 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 الملحية: هي أنبوب مملوء بمحلول ملحي يُستخدم لمنع تراكم الشحنات في أنصاف الخلايا.

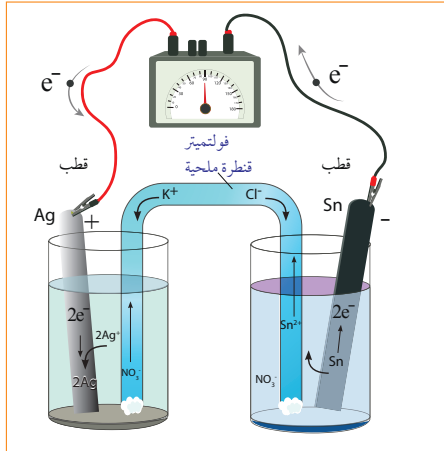


تُملأ **القنطرة الملحية Salt bridge** بمحلول ملحي يحتوي على أيونات موجبة وأخرى سالبة. يتم اختيار الأيونات بشكل لا يؤثر على تفاعلي الأكسدة والاختزال. يسكب المحلول في أنبوب



الشكل 11-4 القنطرة الملحية.

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



تؤدي القنطرة الملحية ثلاث وظائف أساسية في الخلية الفولتية:

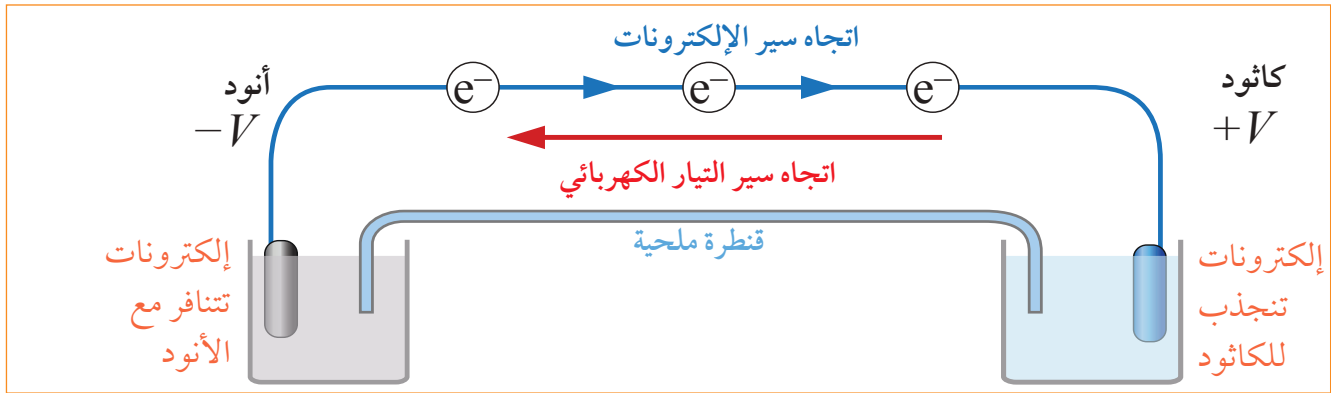
1. تعمل على غلق الدائرة الكهربائية.
2. تمنع اختلال التوازن الكهربائي بين نصفي الخلية.
3. تعمل على استمرارية سريان التيار الكهربائي عن طريق توفير الأيونات المتنقلة بين نصفي الخلية.

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 جول لكل كولوم ($1V=1J/C$)

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 الاتجاه المعاكس من القطب السالب إلى القطب الموجب.

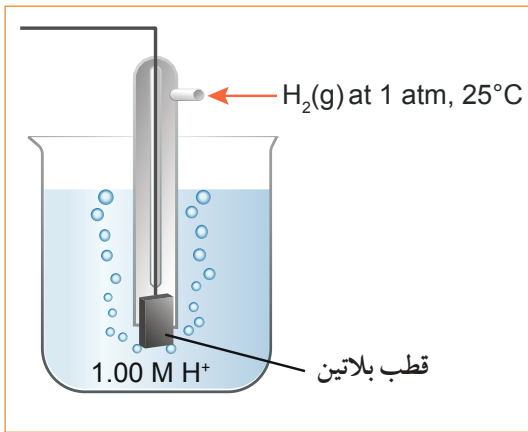


الشكل 13-4 اتجاه سير الإلكترونات والتيار الكهربائي في الخلية الفولتية.

اتفق علماء الكيمياء أن يقيسوا جهد الاختزال لكل الأقطاب بالنسبة 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

يتكوّن من قطب بلاتين مغمور في محلول حمضي تركيزه 1M ويتم ضخ غاز الهيدروجين في المحلول عند ضغط جوي يساوي 1 atm ودرجة حرارة 298 K ($25^\circ C$). اعتمد لجهد هذا القطب عند هذه الظروف قيمة 0.00V. وعند قياس جهد الخلايا الأخرى التي تستخدم فلزات مختلفة، تتم مقارنتها مع قطب الهيدروجين القياسي.



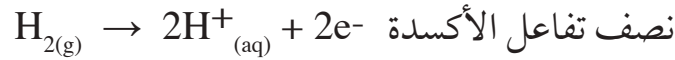
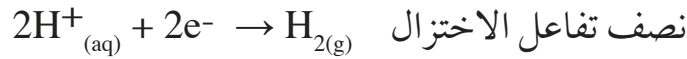
الشكل 14-4 قطب الهيدروجين القياسي (SHE).

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 .

والتفاعلات 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 مقارنةً بـ SHE. يشير الرمز « 0 » في E^0 إلى الظروف القياسية (STP):

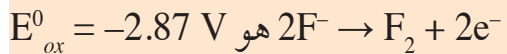
عند درجة حرارة 298 K (25°C) وتحت ضغط جوي يساوي 1 atm وتركيز أيونات 1 M.

ملاحظة: يمكن أن يقيس العلماء كذلك جهود الأكسدة مع العلم بأن 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 أن:

- 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 الأعلى إلى الأسفل لذلك يعتبر الليثيوم أقوى عامل مختزل.

الجدول 6-4 جهود الاختزال القياسية.

نصف تفاعل الاختزال	E^0 (V)
$F_2 + 2e^- \rightarrow 2F^-$	2.87
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	1.99
$Co^{3+} + e^- \rightarrow Co^{2+}$	1.82
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$	1.78
$PbO_2 + 4H^+ + SO_4^{2-} + 2e^- \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$	1.69
$MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow MnO_2 + 2H_2O$	1.68
$IO_4^- + 2H^+ + 2e^- \rightarrow IO_3^- + H_2O$	1.60
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	1.51
$Au^{3+} + 3e^- \rightarrow Au$	1.50
$PbO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Pb^{2+} + 2H_2O$	1.46
$Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	1.36
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$	1.33
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	1.23
$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	1.21
$Br_2 + 2e^- \rightarrow 2Br^-$	1.09
$NO_3^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow NO + 2H_2O$	0.96
$ClO_2 + e^- \rightarrow ClO_2^-$	0.95
$2Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg_2^{2+}$	0.91
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	0.80
$2Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow 2Hg$	0.80
$Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$	0.77
$O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O_2$	0.68
$MnO_4^- + e^- \rightarrow MnO_4^{2-}$	0.56
$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$	0.54
$Cu^+ + e^- \rightarrow Cu$	0.52
$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$	0.40
$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$	0.34
$AgCl + e^- \rightarrow Ag + Cl^-$	0.22
$SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \rightarrow H_2SO_3 + H_2O$	0.20
$Cu^{2+} + e^- \rightarrow Cu^+$	0.16
$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	0.00
$Fe^{3+} + 3e^- \rightarrow Fe$	-0.036
$Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb$	-0.13
$Sn^{2+} + 2e^- \rightarrow Sn$	-0.14
$Ni^{2+} + 2e^- \rightarrow Ni$	-0.23
$Co^{2+} + 2e^- \rightarrow Co$	-0.28
$Cd^{2+} + 2e^- \rightarrow Cd$	-0.40
$Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$	-0.44
$Cr^{3+} + e^- \rightarrow Cr^{2+}$	-0.50
$Cr^{3+} + 3e^- \rightarrow Cr$	-0.73
$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$	-0.76
$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$	-0.83
$Mn^{2+} + 2e^- \rightarrow Mn$	-1.18
$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	-1.66
$H_2 + 2e^- \rightarrow 2H^-$	-2.23
$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$	-2.37
$Na^+ + e^- \rightarrow Na$	-2.71
$Ca^{2+} + 2e^- \rightarrow Ca$	-2.76
$K^+ + e^- \rightarrow K$	-2.92
$Li^+ + e^- \rightarrow Li$	-3.05

تزداد قوة العامل المختزل

تزداد قوة العامل المؤكسد

سؤال للمناقشة

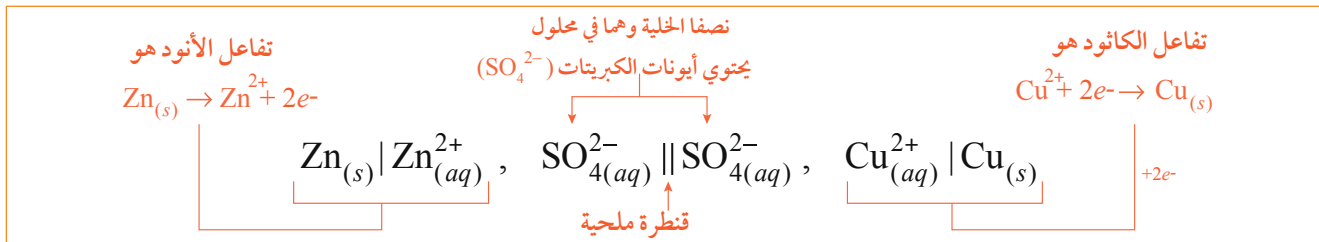
كيف نتوقع جهد الخلية؟

حساب جهد الخلية (فولتية الخلية)

الجهد الكلي لخلية فولتية هو الفرق بين جهد الاختزال القياسي عند الكاثود وذلك عند الأنود. (المعادلة 1-4).

جهد الخلية القياسي (V)	E^0_{cell}	جهد الخلية القياسي (V)	1.4
جهد الاختزال القياسي (V) عند الكاثود	$E^0_{cathode}$	$E^0_{cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode}$	
جهد الاختزال القياسي (V) عند الأنود	E^0_{anode}		

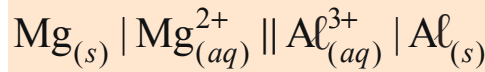
الرمز الاصطلاحي للخلية هو طريقة مختصرة لوصف الخلية الفولتية. يبين (الشكل 15-4) الرمز الاصطلاحي لخلية من الخارصين والنحاس بحيث تحتوي على أيونات الكبريتات SO_4^{2-} كأيونات سالبة.



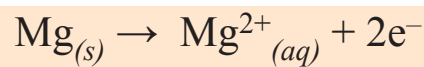
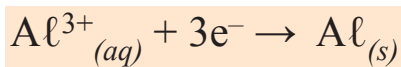
الشكل 15-4 الرمز الاصطلاحي لخلية فولتية.

مثال 9

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



الحل الخطوة 1: اكتب أنصاف التفاعلات:



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

اخترّل الألومنيوم؛ لذا يعمل كاثود، ونحن، بالتالي، نستخدم جهد اختزاله

$$E^0_{cathode} = -1.66 \text{ V} \quad \text{القياسي من الجدول 6-4}$$

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

$$E^0_{anode} = -2.37 \text{ V} \quad \text{القياسي من الجدول 6-4}$$

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

1-4.

$$E^0_{cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode}$$

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

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 سيتفاعل مع الحمض، لأن جهد الاختزال القياسي يستخدم لتفاعل الأكسدة والاختزال للهيدروجين كمرجع صفري.

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

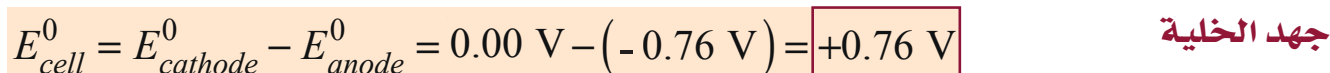
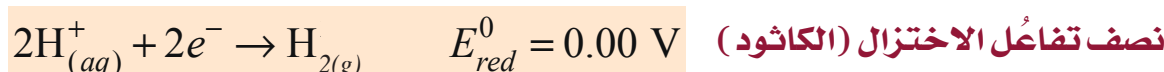
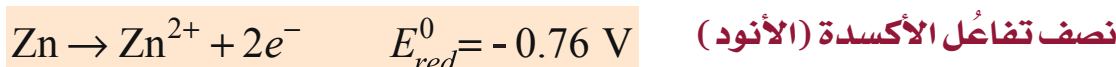
السؤال استخدم قيم جهود الاختزال القياسية، لتحديد ما إذا كان تفاعل الخارصين والنحاس مع محلول حمض الهيدروكلوريك هو تفاعل تلقائي؟

الحل

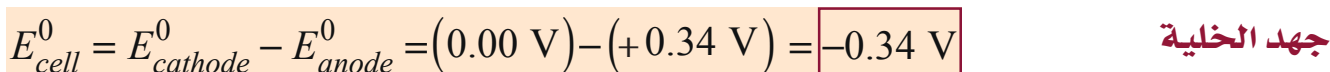
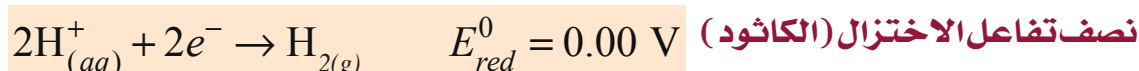
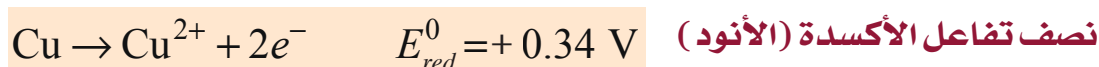
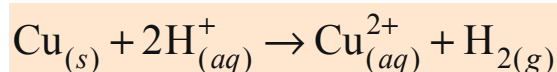
ابدأ بـ Zn. جهد اختزال الخارصين Zn في الجدول 4-6 هو: $E_{red}^0 = -0.76 \text{ V}$ $Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$

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

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

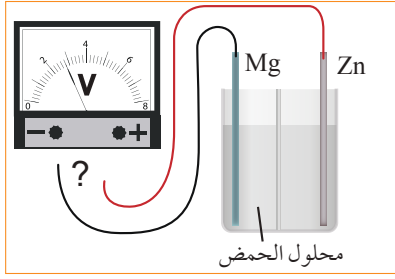


جهد الخلية موجب، لذا يحدث هذا التفاعل تلقائياً، وسوف يتفاعل الخارصين مع حمض الهيدروكلوريك HCl . كرر الأمر نفسه مع النحاس.



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

مثال 11



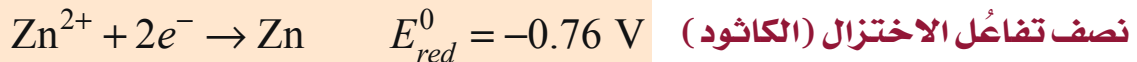
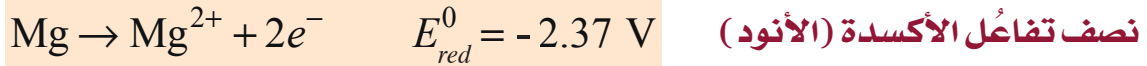
السؤال تم بناء خلية فولتية من قطبي الخارصين و المغنيسيوم. ما الجهد الناتج؟ وفي أي اتجاه يتدفق التيار الكهربائي؟

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

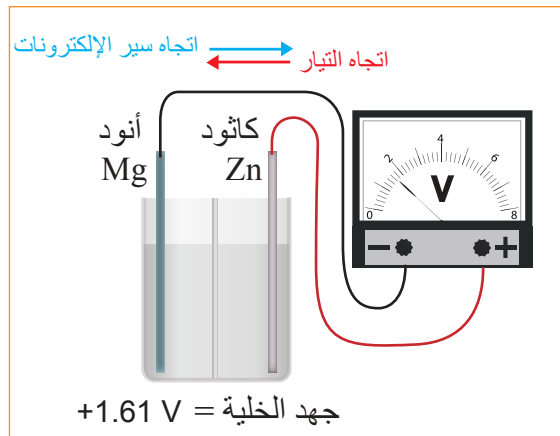


لكي يكون التفاعل تلقائي، يجب أن يكون جهد الخلية أكبر من الصفر. وهذا يعني أن نصف التفاعل ذا جهد الاختزال الأكبر يمثل تفاعل كاثود أما نصف التفاعل ذا جهد الاختزال الأقل يمثل تفاعل الأنود. جهد الاختزال لـ Mg (-2.37V) له قيمة أقل من جهد الاختزال لـ Zn (-0.76V)، لذلك Mg هو الأنود و Zn هو الكاثود.

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



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



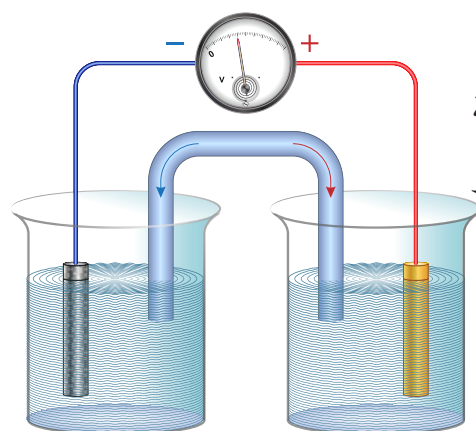
يحدث الاختزال عند الكاثود، حيث يكسب الإلكترونات ويصبح القطب الموجب للخلية. وبما أن جهد قطب الخارصين أكبر من جهد قطب المغنيسيوم، فسوف يتدفق التيار الكهربائي من قطب الخارصين إلى قطب المغنيسيوم. بينما تتحرك الإلكترونات من قطب Mg (أنود) إلى قطب Zn (كاثود).



الخلايا الفولتية

a2-4

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



الجزء 1: بناء الخلية الفولتية

- اختر للقطبين اللذين أُعطيا لك، محلولين مناسبين لبناء الخلية ثم استخدم أسلاك ملاقط التماسح 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 اوزنهما.

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 أن تفاعل الأكسدة والاختزال يكون تلقائي إذا كان جهد الخلية القياسي للتفاعل موجباً، ويكون غير تلقائي 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 تزويدها 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 قطبا الخلية (الأنود والكاثود) في وعاءين منفصلين لنصفَي الخلية في الخلايا الفولتية، بينما يكون قطبا خلية التحليل الكهربائي الأنود والكاثود 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 الكاثود	عند الكاثود	4. تفاعل الاختزال
موجب	سالب	5. شحنة الأنود
سالب	موجب	6. شحنة الكاثود
سالب	موجب	7. E^0 للخلية

تسمى 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 لفلز بفلز آخر، مثل طلي النحاس بالكروم كهربائياً.
- التحليل الكهربائي لمصاهير المركبات الأيونية لفصلها إلى عناصرها الأساسية.
- تحليل الماء كهربائياً إلى عنصري الهيدروجين والأكسجين.
- التحليل الكهربائي للمحاليل المائية لفصل العناصر المكونة للمركبات.

الطلاء الكهربائي

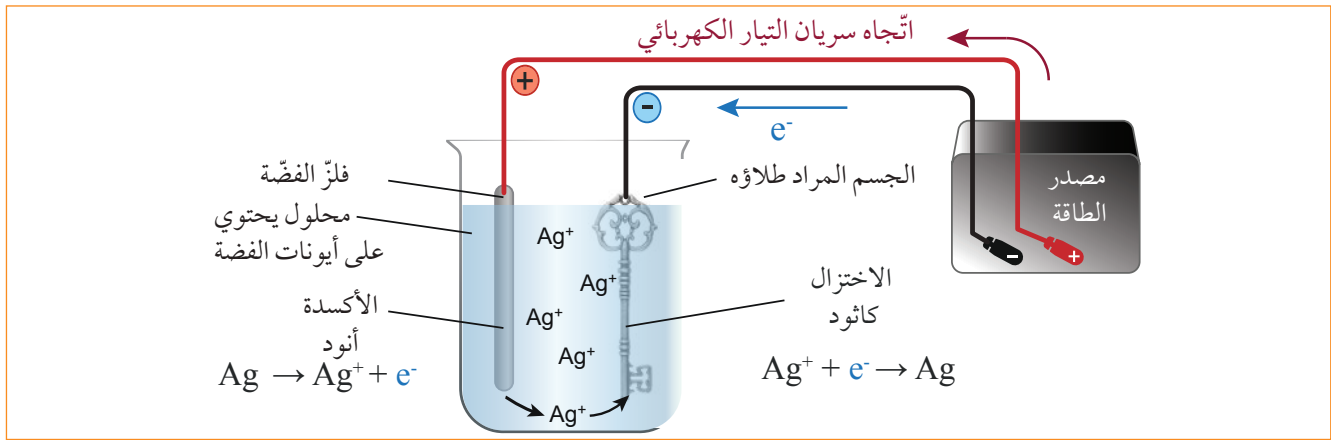
سؤال للمناقشة

كيف يعمل الطلاء الكهربائي؟

الطلاء الكهربائي Electroplating هو عملية تغطية سطح فلزي بفلز آخر، وهو عملية إلكتروليتيّة يُخترَل فيها أيون فلزي،

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

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



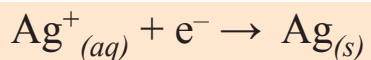
الشكل 16-4 طلاء كهربائي لمفتاح حديدي بفلز الفضة.

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 اختزالها إلى ذرات الفضة على سطح المفتاح.

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



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



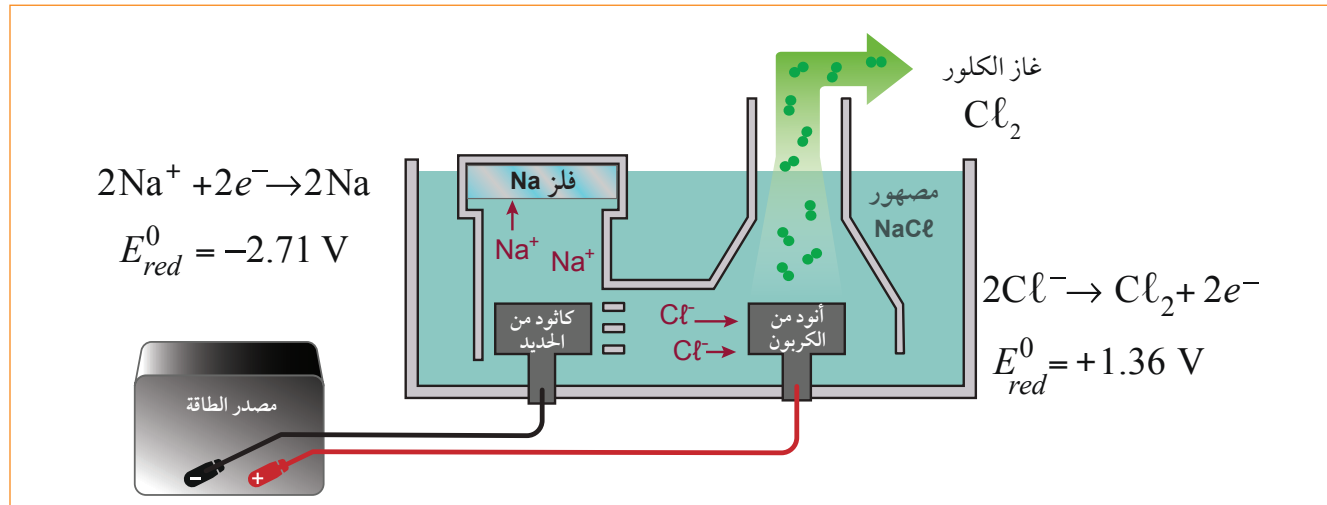
لجعل نظام الطلاء الكهربائي فعالاً، يجب أن يحتوي المحلول على أيونات الفلز المراد طلاؤه به. يذوب مركب سيانيد الفضة، AgCN في المحلول مُتَجَا أيونات Ag^+ و CN^- . وهذا أمر شائع الاستخدام للطلاء بالفضة كهربائياً.

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

التحليل الكهربائي لمصاهير المُركَّبات الأيونية

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

في هذه الحالة يتم وضع قطبين مقاومين للتآكل في الملح المنصهر. ثم توصَّل الأقطاب الكهربائيَّة بطرفي مصدر الطاقة. مثال ذلك، التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم NaCl الموضَّح في (الشكل 17-4).



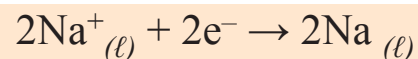
الشكل 17-4 التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم NaCl.

في (الشكل 17-4)، تنجذب أيونات الصوديوم الموجبة إلى الكاثود السالب، وتُختَرَل إلى ذرَّات الصوديوم. في حين تنجذب أيونات الكلوريد السالبة إلى الأنود الموجب، وتتأكسد إلى غاز الكلور الشائبي الذرة.

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



تفاعل الكاثود: تُكتسب الإلكترونات، وتختزل أيونات الصوديوم وتتكوَّن ذرَّات فلز الصوديوم.

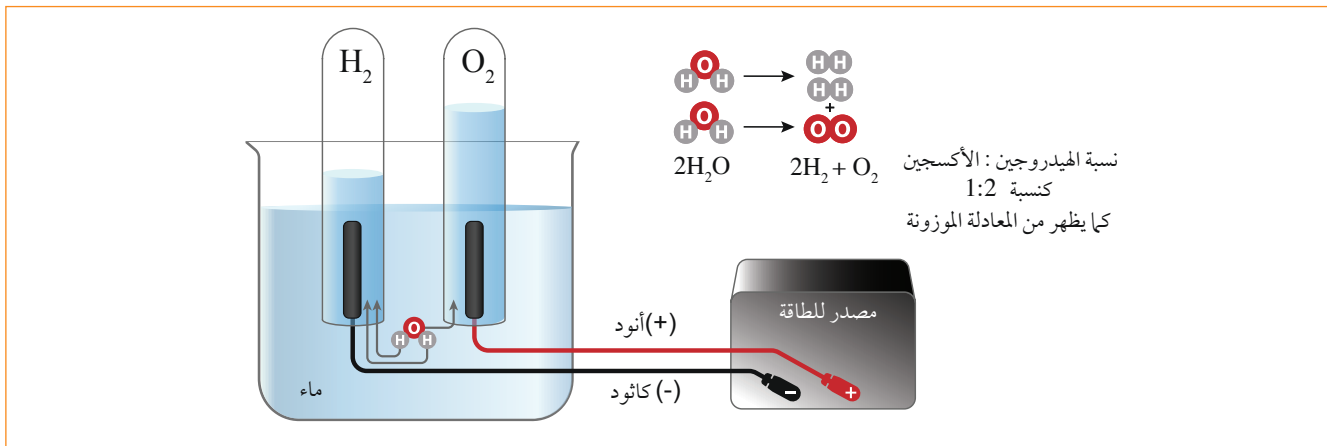


لاحظ أن مجموع جهد القطبين سالب. وهذا يدلُّ، كما سبق أن أوضحنا، أن التفاعل غير تلقائي. ويبيِّن جهد الخلية الكلي أيضًا الحد الأدنى من الجهد الذي يجب توفره عبر القطبين لحدوث التفاعل.

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

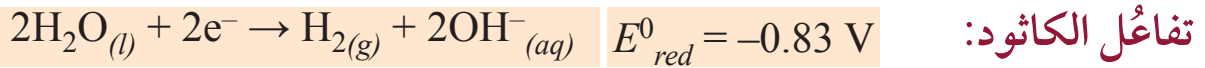
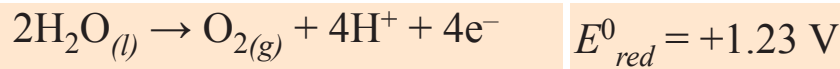
التحليل الكهربائي للماء

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

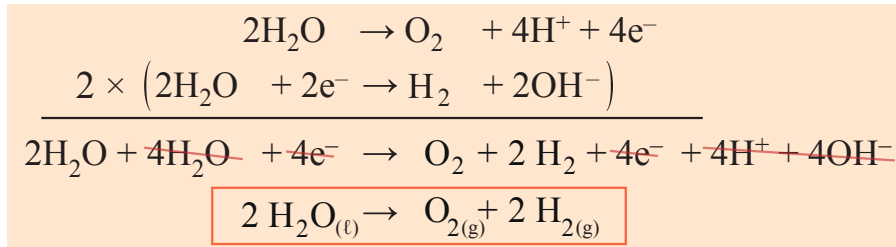


الشكل 18-4 التحليل الكهربائي للماء.

توضح أنصاف التفاعلات الآتية أن الماء يتحلل عند الأنود، لينتج أيونات الهيدروجين وغاز الأكسجين. كما يتحلل الماء عند الكاثود، مطلقًا غاز الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد (OH^-).



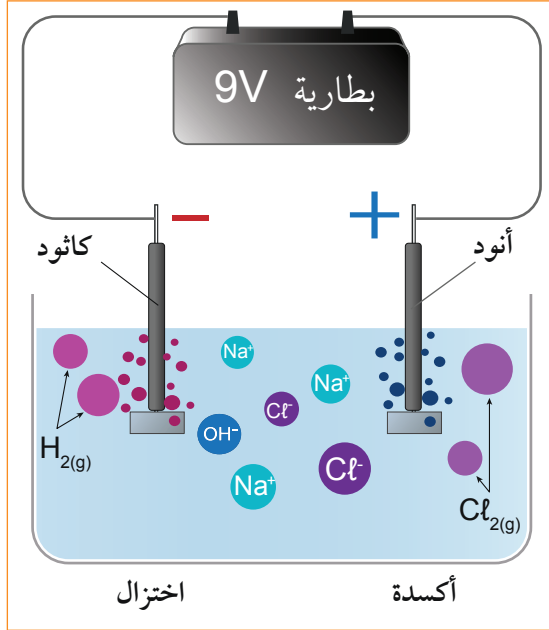
عند موازنة نصفَي التفاعل وجمعهما، نحصل على التفاعل الكلي الموزون، الذي يمثل بصورة عامة تحلل الماء، مع الإشارة إلى أن $4OH^- + 4H^+ = 4H_2O$.



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

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

التحليل الكهربائي لمحاليل المُرَكَّبَات الأيونية



الشكل 19-4 التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم المائي.

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

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

الجدول 7-4 جهود أنصاف التفاعلات.

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

عند الكاثود، نلاحظ أن جهد اختزال جُزيئات الماء أكبر من جهد اختزال أيونات Na^+ . لذلك، يُتوقع أن تُختزل جُزيئات الماء بدلاً من أيونات الصوديوم. ونتيجة لذلك ينطلق غاز الهيدروجين وتتكوّن أيونات الهيدروكسيد السالبة عند الكاثود.

عند الأنود، يكون جهد إختزال الماء أقل من جهد إختزال Cl^- ، لذلك يُتوقع أن تتأكسد جُزيئات الماء عند الأنود وينطلق غاز الأكسجين، وتتكوّن أيونات الهيدروجين.

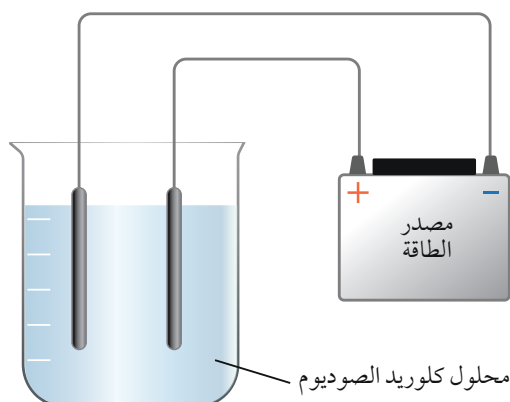
يبيّن (الشكل 19-4)، تأكسد أيونات الكلوريد وليس جُزيئات الماء. إن التنبؤ بتأكسد جُزيئات الماء هو التنبؤ الكهروكيميائي الصحيح. ومع ذلك، فإن العوامل الحركية (مثل زيادة تركيز أيونات الكلوريد) تمنع أكسدة جُزيئات الماء. وبما أن الفرق في الجهود صغير جدًا، تتأكسد أيونات الكلوريد بدلاً من جُزيئات الماء. يمكن تأكيد ذلك عمليًا عن طريق وضع دليل للأحماض والقواعد في المحلول، حيث يصبح تأثير المحلول حول الكاثود قاعديًا، ولكن سيكون تأثير المحلول حول الأنود مُتعادلاً.



خلايا التحليل الكهربائي

b2-4

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



الجزء 1: بناء الخلية

1. املاء 3/4 الكأس الزجاجية بمحلول NaCl المركز.
2. أضف 5 نقاط من دليل الفينولفثالين.
3. ثبّت القطبين على الحامل، وضع الحامل على فوهة الكأس الزجاجية.
4. صل البطارية بالقطبين مستخدمًا ملاقط 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

- a. عند أي من القطبين، الموجب أم السالب، ستلاحظ لونًا ورديًا؟
- b. ما الذي سينتج عند هذا القطب ويجعل المحلول وردي اللون؟
- c. ما الغاز الذي ستشم رائحته؟
- d. ما العنصر الذي سينتج عند القطب الموجب؟
- e. ما العنصر الذي سينتج عند القطب السالب؟
- f. حدّد على الرسم الأنود والكاثود.

قوانين فارادي وتفاعلات الأكسدة والاختزال

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

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

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

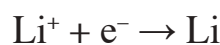
وتمثّل المعادلتان 2-4 و 3-4 ناتج بحث فارادي. وثابت فارادي، (F)، هو حاصل ضرب عدد أفوجادرو (N_A) في شحنة الإلكترون (e)، وهو يساوي 96485C لكل مول من الإلكترونات.

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

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

مثال 12

المسألة ينتج الليثيوم الفلزي في بطارية إلكتروليزية وفق المعادلة أدناه. ما كتلة الليثيوم التي ينتجها تيار شدته 0.100 A لمدة 8.00 ساعات؟



الحل نطبق المعادلة 2-4 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 3-4، ونحوّلها بعد ذلك إلى الجرام باستخدام الكتلة المولية لفلز الليثيوم Li (6.941g/mol).

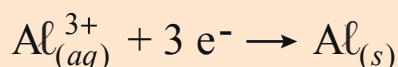
$$n = \frac{q}{Fz} = \frac{2880 \text{ C}}{(96485 \text{ C/mol})(1)} = 0.03 \text{ mol}$$

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

مثال 13

المسألة ما الزمن (بالثواني) اللازم لطلاء 0.405 g من الألومنيوم من محلول $Al(NO_3)_3$ باستخدام تيار كهربائي شدته 14.75 A.

الحل اكتب نصف تفاعل الاختزال لأيون الألومنيوم.



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

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

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

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

طبّق المعادلة 2-4 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

كيف يتم التحكم بعملية التحليل الكهربائي؟

التحليل الكهربائي في الصناعة

يُستخدم الطلاء الكهربائي والتحليل الكهربائي على نطاق واسع جدًا في العمليات الصناعية. كل ما تجده حولك من الألومنيوم تمت تنقيته باستخدام التحليل الكهربائي.

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

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

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



الشكل 20-4 عامل في معمل صناعي للطلاء الكهربائي.

تقويم الدرس 2-4

1. عرّف كلاً من الأنود والكاثود. 
2. ما الغرض من وجود القنطرة الملحية في الخلية الفولتية؟ 
3. ما اتجاه سير الإلكترونات عبر السلك الكهربائي في الخلية الفولتية؟ 
4. قارن النشاطية النسبية (جهد الاختزال) لأزواج الفلزّات أدناه، باستخدام كل من سلسلة النشاط وجهود القطب القياسية. هل هناك توافق بين المصدرين؟ 
 - a. الألومنيوم والنيكل.
 - b. الذهب والفضة.
 - c. الرصاص والقصدير.
5. احسب جهود الخلية القياسية لكل من التفاعلات الآتية مستعيناً بالجدول 4-6: 
 - a. $\text{Mg}_{(s)} + \text{Sn}_{(aq)}^{2+} \rightarrow \text{Sn}_{(s)} + \text{Mg}_{(aq)}^{2+}$
 - b. $\text{Mn}_{(s)} + \text{Cu}_{(aq)}^{2+} \rightarrow \text{Cu}_{(s)} + \text{Mn}_{(aq)}^{2+}$
 - c. $\text{Cd}_{(s)} + 2\text{H}_{(aq)}^{+} \rightarrow \text{H}_{2(g)} + \text{Cd}_{(aq)}^{2+}$
 - d. $\text{Fe}_{(s)} + 2\text{Ag}_{(aq)}^{+} \rightarrow 2\text{Ag}_{(s)} + \text{Fe}_{(aq)}^{2+}$
6. هل جهد الخلية الإلكتروليتية موجب أو سالب؟ ماذا يعني ذلك؟ 
7. إذا طُليت قطعة من العملة بالذهب، فهل ستوصل قطعة العملة بالقطب الموجب أم بالقطب السالب؟ 
8. إذا كان جسم ما سيطلى كهربائياً بالنحاس، فما الأيون الذي يجب أن يتوفّر في المحلول؟ 
9. إذا تم تحليل مصهور CuCl_2 في خلية كهربائية، فما الذي سينتج عند الأنود؟ 
10. عند تحليل الماء في خلية للتحليل الكهربائي، ما الغاز الناتج بأكبر حجم؟ 
11. عند تمرير تيار كهربائي في محلول مُركّب أيوني ضمن خلية تحليل كهربائي، كيف نتنبأ بالذي سوف يتأكسد أو يُختزل: أهو أيون العنصر أم جُزيء الماء؟ 
12. كيف يتم حساب ثابت فارادي؟ 
13. عند التحليل الكهربائي لمصهور NaBr ، اكتب نصفي التفاعل عند كل من الأنود والكاثود. 
14. عند التحليل الكهربائي لمحلول KCl ، اكتب نصفي التفاعل عند كل من الأنود والكاثود. 

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 والتفريغ لخلايا تلك البطاريات، تنتقل أيونات الليثيوم عبر الإلكتروليت (وهو محلول موصل للكهرباء) بين القطبين الأنود (المصعد) والكاثود (المهبط). فأيونات الليثيوم يتم امتصاصها وإطلاقها بشكل متناوب على كل قطب. والميزة الأخرى لتلك

البطاريات هي أن أيون الليثيوم يمتلك قابلية لإعادة شحنه بصورة مكررة أكثر من الأنواع الأخرى المستخدمة في البطاريات القابلة للشحن، من دون أن يؤدي ذلك إلى تلف البطارية. ويرجع 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، والحاجة إلى إعادة تدوير البطاريات القابلة لإعادة الشحن المستهلكة، مثل بطاريات أجهزة الكمبيوتر والهواتف النقالة.

المفردات



Fuel cells

خلايا الوقود

E-waste

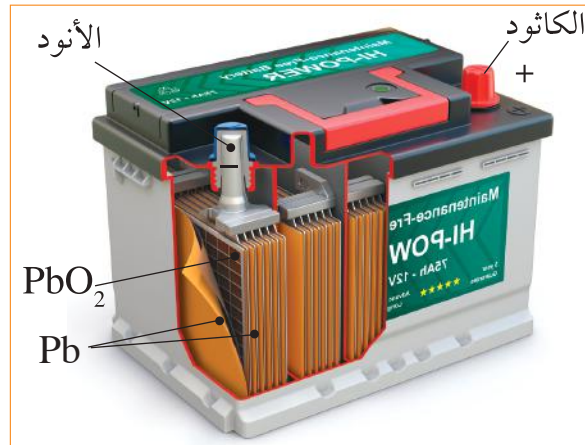
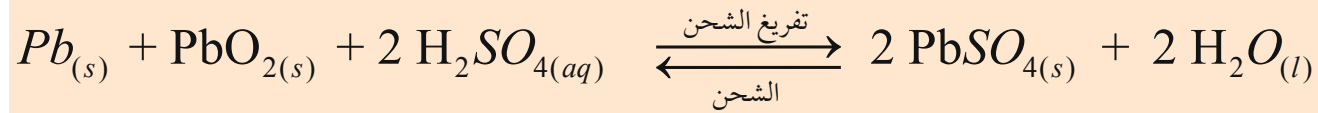
النفايات الإلكترونية

بطارية الرصاص الحمضية (المركم الرصاصي)

ذكر سابقاً أن البطاريات مجموعة من الخلايا الفولتية؛ وأن من الصعب تخيل العيش من غير البطاريات في وقتنا الراهن. فبطاريات السيارات مثلاً تعتبر الاستخدام الرئيسي لنوع من البطاريات هو بطارية الرصاص الحمضية. يتكوّن الأنود في كل خلية من هذه البطارية من شبكتين أو أكثر من الرصاص Pb. أما الكاثود فيتكوّن من شبكة واحدة مملوءة بأكسيد الرصاص الرباعي IV (PbO₂). كما يستخدم حمض الكبريتيك المخفف كإلكتروليت في هذه البطارية. وتمثل أنصاف التفاعلات الآتية نصف تفاعل الأكسدة للأنود ونصف تفاعل الاختزال للكاثود:



لذا فإن معادلة التفاعل الكلي لبطارية الرصاص الحمضية هي:



الشكل 4-22 بطارية الرصاص الحمضية المستخدمة في السيارة.

هذا التفاعل انعكاسي، يتيح للبطارية 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. فبطاريات السيارات مثلاً تتكوّن من ست خلايا فولتية من تلك الخلايا الموصلة معاً على التوالي لرفع الجهد إلى ما يزيد على 12 volts. انظر (الشكل 4-22).

يُعاد 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 جهده أكبر بقليل من الجهد الذي تعطيه هذه البطارية، فتنعكس التفاعلات السابقة عند الأقطاب، وتصبح خلية إلكترولية أثناء عملية الشحن.

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

سؤال للمناقشة

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

الخلايا القلوية



الشكل 4-23 خلايا قلوية جهدها 1.5 فولت.

يطلق معظم الناس تسمية بطارية على أداة ليست بطارية بالمفهوم التقني والفني؛ لأنها تتكوّن من خلية واحدة فقط. إن معظم تلك الخلايا الشائعة الانتشار يُشار إليها بالأحجام AAA، A، و C، و D. تنتج الأحجام الكبيرة تيارًا كهربائيًا 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، تُسمّى خلايا قلوية، بالنظر إلى تكوينها الكيميائي الداخلي. ويشير مفهوم «قلوية» إلى المركّبات التي تكوّن محاليل قاعدية. تحتوي الخلايا القلوية على فلزّ الزنك المتكثّل في مادة هلامية، حيث يكون متّصلًا بهيدروكسيد البوتاسيوم المُركّز، الذي يعتبر المادة القاعدية.

يُصنّع قطب الأنود من مسحوق فلزّ الزنك، وهو متّصل كهربائيًا برأس البطارية المعدني. يزيد مسحوق فلزّ الزنك من مساحة السطح، الأمر الذي يزيد سرعة التفاعل، ويحسن تدفق الإلكترونات. ويكون الكاثود مخلوط من ثاني أكسيد المنجنيز وهيدروكسيد البوتاسيوم المركز.

نصف التفاعل الذي يحدث عند الأنود: $\text{Zn}_{(s)} + 2\text{OH}^{-}_{(aq)} \rightarrow \text{ZnO}_{(s)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2e^{-}$

نصف التفاعل الذي يحدث عند الكاثود: $2\text{MnO}_{2(s)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2e^{-} \rightarrow \text{Mn}_2\text{O}_{3(s)} + 2\text{OH}^{-}_{(aq)}$

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 محطات لإعادة تدوير تلك البطاريات، تلقى فيها البطاريات من دون تحميل المُستهلك أي تكلفة ماديّة إضافية.

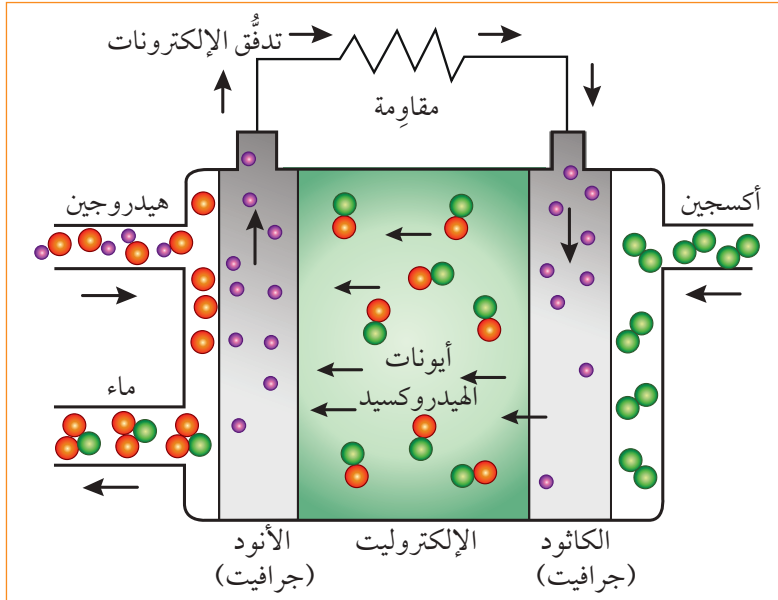
خلايا الوقود

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

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



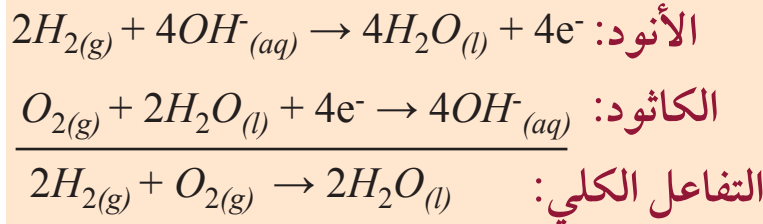
توجد أنواع كثيرة من خلايا الوقود. فخلايا الوقود الهيدروجينية، مثلاً، يتم تزويدها بغاز الهيدروجين بوصفه وقوداً لهذه الخلية. يوضح (الشكل 4-25) خلية وقود هيدروجينية قلوية يتفاعل فيها غاز الهيدروجين مع غاز الأكسجين النقي. وفي بعض خلايا الهيدروجين، يمكن أن يكون الهواء هو مصدر الأكسجين اللازم للتفاعل. أما الإلكتروليت 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. تتدفق الإلكترونات عبر المقاومة بوصفها تياراً كهربائياً قابلاً للاستخدام. يجري عند قطب الكاثود، إنتاج أيونات الهيدروكسيد لتنتقل عبر الإلكتروليت عائداً إلى قطب الأنود لإكمال الدائرة الكهربائية.

يوضح الشكل المجاور نصف 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.

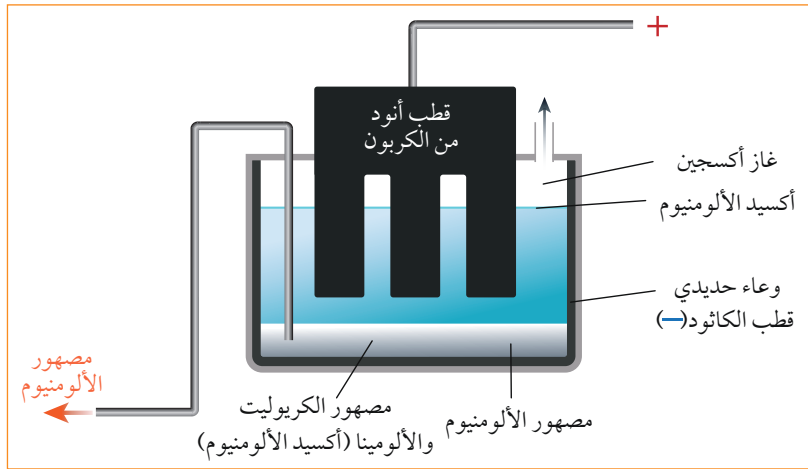
استخلاص الألمنيوم



الشكل 4-27 سبائك الألمنيوم.

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

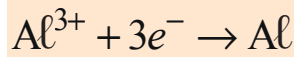
وفّر لنا ابتكار عملية التحليل الكهربائي عام 1888م طريقة فعّالة وغير مكلفة لتنقية فلزّ الألمنيوم من خام البوكسيت وخاماته الأخرى. ففي العام 2019م أصبحت تكلفة إنتاج كيلوجرام واحد من فلزّ



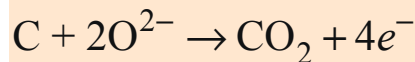
الشكل 4-28 التحليل الكهربائي لإنتاج فلزّ الألمنيوم.

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

يحدث اختزال لأيونات الألمنيوم عند قطب الكاثود، تتفاعل أيونات الأكسيد مع قطب الأنود المكوّن من الكربون:

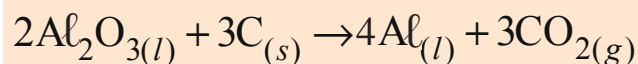


التفاعل الذي يحدث عند الكاثود:



التفاعل الذي يحدث عند الأنود:

وبوجود عملية هال-هيروليت (Hall-Héroult)، تتم معالجة خام البوكسيت لتحويله إلى أكسيد الألمنيوم (Al_2O_3)، ثم يُصهر أكسيد الألمنيوم مع الكريوليت الصناعي (Na_3AlF_6) الكريوليت. 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 الهواتف 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.

يتمهي المطاف بمعظم النفايات الإلكترونية في مكبات النفايات والمخارق؛ وهي غير قابلة للتحلل، وغير قابلة للاحتراق، وغير قابلة لتقليل الحجم، ما يعني أن تلك النفايات الإلكترونية تشغل حيزًا كبيرًا في مكبات النفايات. يسهم كل ذلك في نشوء مخاوف كبيرة على الصحة العامة وتلوث المياه الجوفية، صعبت إيجاد مكبات نفايات جديدة ذات مساحة متزايدة. ذلك أن قلة من المجتمعات مستعدة لتقبل وجود مكبات نفايات جديدة داخلها.

وتدرس الأمم المتحدة الكمية المقدرة 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. فضلًا عن ذلك، فإن الكمية السنوية من تلك النفايات الإلكترونية تزداد ازديادًا كبيرًا ومطرّدًا.



الشكل 30-4 النفايات الإلكترونية مشكلة متنامية.

تحتوي النفايات الإلكترونية على مواد سامة، مثل الكاديوم، والرصاص، والزرنيق (التي تسبب ارتفاعًا في مستويات الكوليسترول في الدم، ما ينجم عنه زيادة مخاطر الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية والسكتات 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 تنبعث إلى الغلاف الجوي من محارق النفايات.

ومادامت 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 فلزات نفيسة، مثل الذهب، والفضة، والنحاس.

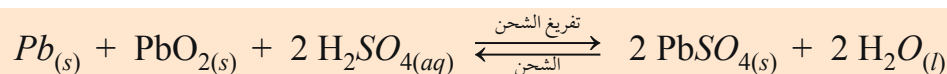
ولكن برزت مشكلة واحدة لعملية إعادة تدوير النفايات الإلكترونية، هي أن الأجهزة الإلكترونية لم تصنع بطريقة تجعل استخلاص المواد النفيسة منها عملية سهلة.

سؤال للمناقشة

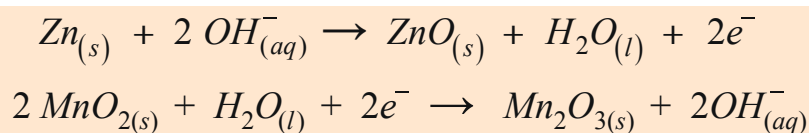
ما هي الأمور التي يجب أخذها في الحسبان عند تصميم الأجهزة الإلكترونية، وتجعل من إعادة تدوير المواد من النفايات الإلكترونية عملية أسهل؟

تقويم الدرس 3-4

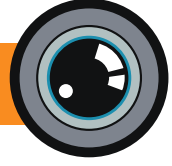
1. أعطيت المعادلة الآتية، التي تمثل التفاعل الانعكاسي الذي يحدث في بطارية الرصاص الحمضية:



- a. اكتب حالات التأكسد لكل عنصر.
- b. اكتب نصف تفاعل الأكسدة، ونصف تفاعل الاختزال، مع كتابة اسم التفاعل إلى جانب كل نصف.
- c. وازن نصفَي تفاعل الأكسدة والاختزال، واجمعهما لتحصل على المعادلة الأيونية الكلية الموزونة.
- d. حدّد العنصر الذي يفقد الإلكترونات، والعنصر الذي يكتسبها.
- e. حدّد المادة التي يتكوّن منها قطب الأنود، والمادة التي يتكوّن منها قطب الكاثود.
- f. حدّد 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. أعطيت نصفَي التفاعل للخلايا القلوية على النحو الآتي:



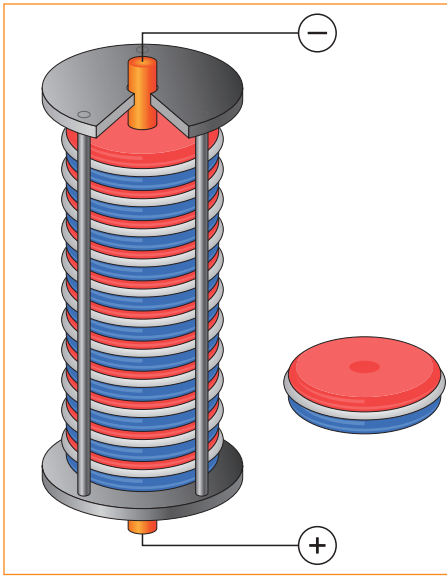
- a. اكتب حالات التأكسد لكل عنصر.
- b. حدّد أي من نصفَي التفاعل السابقين يمثل نصف تفاعل أكسدة وأيها يمثل نصف تفاعل اختزال؟
- c. وازن نصفَي التفاعل، واجمعهما لتحصل على المعادلة الأيونية الكلية الموزونة.
- d. حدّد العنصر الذي يفقد الإلكترونات، والعنصر الذي يكتسبها.
- e. حدّد المادة التي تكون عند قطب الأنود، والمادة التي تكون عند قطب الكاثود.
- f. حدّد 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 فلزّ الألومنيوم عملية غير مكلفة أبدًا؟
6. عدّد ثلاثة أمثلة على مواد يمكن إعادة تدويرها من النفايات الإلكترونية.



الشكل 4-31 أليساندرو فولتا.

أليساندرو 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.



الشكل 4-32 عمود فولتا.

قام فولتا بدراسة تجربة لويجي جالفاني التي نتجت منها حركة ساقَي الضفدع بواسطة الكهرباء، عندما لمسهما بمعدنين مختلفين. في ذلك الوقت اعتقد جالفاني أن الكهرباء قد نتجت من عضلات أرجل الضفدع. حتى أنه أعطى اسماً 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 ساقَي الضفدع كان مصدر الكهرباء، وقدّم 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». وجاءت تسمية وحدة الجهد الكهربائي (الفولت) تخليداً لفولتا.

ألهم عمل فولتا وبتناريته علماء آخرين للبحث في الكهرباء وعلاقتها بالكيمياء. وكان أحد هؤلاء العلماء السير همفري ديفي (1778-1829) الذي وضع المبادئ الأساسية لتحليل 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، و**الاختزال Reduction** هو اكتساب الإلكترونات في تفاعل الأكسدة والاختزال.
- **العوامل المؤكسدة Oxidizing agent** هي المواد الكيميائية التي تسبب الأكسدة، و**العوامل 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 و**الكاثود Cathode** هو القطب الذي تحدث عنده عملية الاختزال.
- تعمل **القنطرة الملحية Salt bridge** على غلق الدائرة الكهربائية وكذلك السماح للأيونات في محلول الخلية أن تتحرك خلاله، مما يمنع الشحنة من التجمع على القطبين.
- تُستخدم جهود الأقطاب لتوقع قيم **جهد الخلية Cell potential**.
- تُستخدم **الخلايا الإلكتروليتية 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

- للخليا الفولتية والإلكتروليتية 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 معدات إلكترونية مستهلكة.

اختيار من متعدد

1. ما حالة تأكسد الذهب في AuCl ؟ 

a. +1

b. +3

c. -1

d. -3

2. ما حالة تأكسد الكلور في NaClO ؟ 

a. +1

b. +3

c. -1

d. -3

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

a. +1

b. +3

c. +5

d. -1

4. ما حالة تأكسد المنجنيز في MnO_4^- ؟ 

a. +2

b. +4

c. +6

d. +7

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

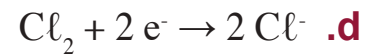
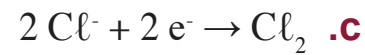
a. $\text{Pb}^{2+} \rightarrow \text{Pb} + 2 \text{e}^-$

b. $\text{Pb} \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2 \text{e}^-$

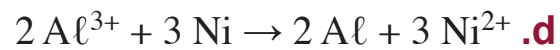
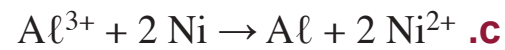
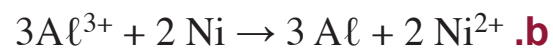
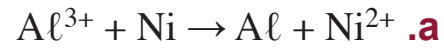
c. $\text{Pb}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$

d. $\text{Pb} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Pb}^{2+}$

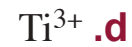
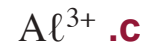
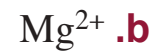
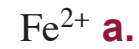
6. أي ممّا يأتي يمثل نصف تفاعل أكسدة مكتوباً بشكل صحيح؟ 



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



8. أي ممّا يأتي سيتفاعل مع عنصر الخارصين؟ 



9. ما جهد الخلية للتفاعل الآتي؟ 



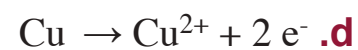
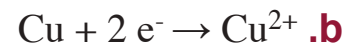
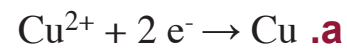
a. -2.30 v

b. +2.30 v

c. - 0.70 v

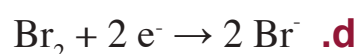
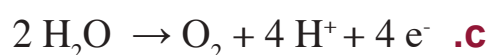
d. +0.70 v

10. ما نصف التفاعل الذي يحدث عند القطب السالب، لدى طلاء جسم بالنيحاس كهربائياً؟ 



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)؟ 

a. $(1 \text{ C}) \cdot (1 \text{ s})$

b. $(1 \text{ C}) / (1 \text{ s})$

c. $(1 \text{ s}) \cdot (1 \text{ C})$

d. $(1 \text{ s}) / (1 \text{ C})$

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

a. الهاتف المحمول.

b. طابعة الحاسوب.

c. موز متعفن.

d. مُشغِّل الموسيقى الرقمية.

الدرس 4-1: تفاعلات الأكسدة والاختزال

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

15. اكتب نصف تفاعل اختزال $\text{F}_2(g)$ إلى $\text{F}^-_{(aq)}$ 

16. عيِّن حالات التأكسد لكل عنصر في NaBrO_3 . 

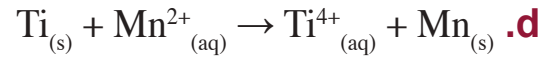
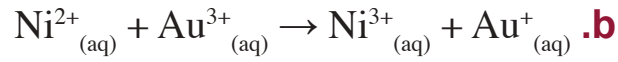
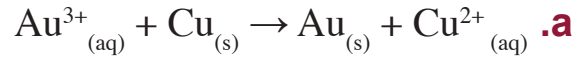
17. ما عدد تأكسد اليود في IO_2^- ؟ 

18. ما عدد تأكسد الأكسجين في O_2F_2 ؟ 

19. ما عدد تأكسد الهيدروجين في CaH_2 ؟ 

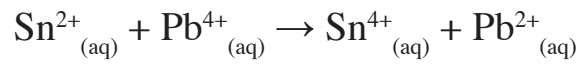
تقويم الوحدة

20. اكتب معادلتَي نصفَي التفاعل للمعادلات الآتية، ثم اوزن كلاً منها واجمعها:

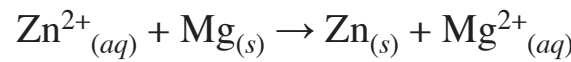


21. ما العنصر الذي تأكسد في التفاعل الآتي: $\text{Al}_{(s)} + \text{Ag}^{+}_{(aq)} \rightarrow \text{Al}^{3+}_{(aq)} + \text{Ag}_{(s)}$ ؟

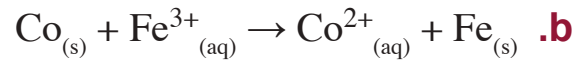
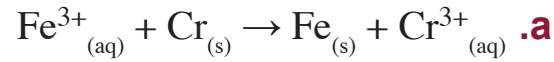
22. ما المادة التي اختزلت في التفاعل الآتي؟



23. ما العامل المختزل في التفاعل الآتي؟

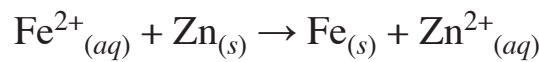


24. هل هذان التفاعلان تلقائيان؟

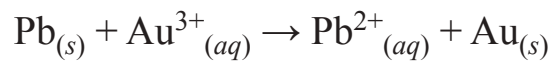


الدرس 2-4: الخلايا الكهروكيميائية

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 للتفاعل الآتي: $\text{Al}_{(s)} + \text{Ag}^{+}_{(aq)} \rightarrow \text{Al}^{3+}_{(aq)} + \text{Ag}_{(s)}$

a. ضع أسماء الأنود والكاثود على الرسم.

b. بين القطبين الموجب والسالب.

c. حدّد شحنة الأيونات التي تخرج من كل طرف من طرفي القنطرة الملحية.

d. بين اتجاه تدفق الإلكترونات.

e. احسب جهد الخلية القياسي.

تقويم الوحدة

- 29.** إذا أردنا طلاء جسم كهربائياً بالكروم، فهل سيكون الجسم موصولاً بالكاثود؟ فسّر إجابتك. 
- 30.** ارسم خلية من شأنها أن تطلي قطعة من الحديد كهربائياً بالفضة. 
- a.** اكتب نصفي التفاعلات التي تحدث عند كل قطب.
b. حدّد القطبين الموجب والسالب.
c. حدّد الأنود والكاثود.
d. بين 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. حدّد القطبين الموجب والسالب.
c. حدّد الأنود والكاثود.
d. بين 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 تتم أكسبتها بسهولة أكثر من الماء، ارسم خلية تحليل كهربائي لمحلول KBr المائي. 
- a.** اكتب نصفي التفاعل اللذين يحدثان عند كل قطب.
b. حدّد القطبين الموجب والسالب.
c. حدّد الأنود والكاثود.
d. بين 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 و15 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 نصفَي تفاعل خلية وقود الهيدروجين القلوية، واجمعهما.
38.  شكّل مجموعة نقاش، واطلب إليها تحديد الأسباب التي تجعل شخصاً يتخلص من جهاز إلكتروني لكونه مكسوراً، وناقش معهم السبل الصحيحة للتخلص من هذه الأجهزة و أهمية ذلك على البيئة.
39.  اصنع ملصقاً يعالج بعض اعتبارات التصميم التي من شأنها تسهيل إعادة تدوير المُعدّات 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: المُرَكَّبَات العضوية الأخرى
الدرس 3-5: التفاعلات العضوية

مقدمة الوحدة

الكيمياء العضوية هي دراسة للمركّبات التي تحتوي على الكربون. تتيح الخواص الكيميائية الفريدة من نوعها لعنصر الكربون، وخلافاً لبقية العناصر، أن يكون تراكيب مُعقّدة تتضمّن أشكالاً في هيئة سلاسل طويلة أو حلقيّة، 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 المركّبات 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 للجزيئات الهيدروكربونية
- a2-5 التمييز بين الألدهيدات والكيونات
- b2-5 بناء نماذج لجزيئات عضوية
- a3-5 التمييز بين الكحولات
- b3-5 تحضير الإسترات

الدرس 1-5

الهيدروكربونات



الشكل 1-5 استخدام الهيدروكربونات كوقود.

يستطيع الهيدروجين تكوين رابطة واحدة فقط، ولكنه يعدّ العنصر الأكثر وفرة في الكون. ويُعدّ الكربون العنصر الرابع من حيث الوفرة في الكون، فثلاث ذرات من كل أربع موجودة في جسمك (75%) هي كربون أو هيدروجين. وعندما يجتمع الكربون والهيدروجين معًا يكوّنان تنوعًا هائلًا من المركّبات، ابتداءً من السلاسل الطويلة، وانتهاءً بالمركّبات ذات الحلقات المتعدّدة.

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

ستعرّف في هذا الدرس على أنواع المركّبات الهيدروكربونية المُحتملة. بالإضافة إلى قواعد التسمية النظامية لهذه المركّبات التي تُستخدم أيضًا لتسمية مليارات المركّبات الأخرى.

المفردات



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

مخرجات التعلّم

C1106.1 (الجزء 1) يفسر ويستخدم

التسميات النظامية والصيغ
الجزيئية والبنائية لفئات المركّبات
الآتية:

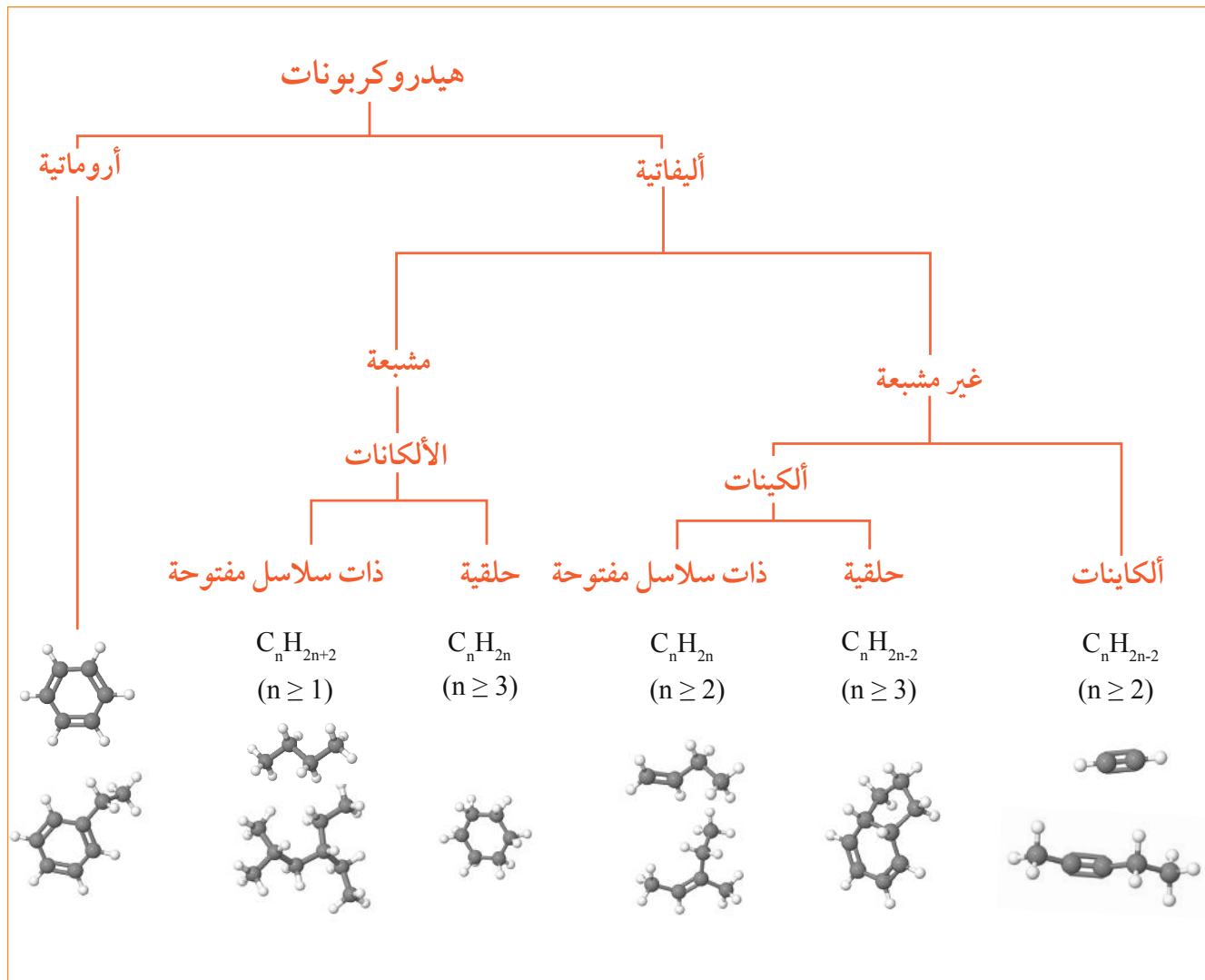
• الألكانات والألكينات

جزيئات الهيدروكربونات

تعدّ **الهيدروكربونات Hydrocarbons** أبسط الجزيئات 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 الجزيئات، ولها جوانب استخدامات متعددة مثل:

- المركّبات البيولوجية جميعها تمتلك أجزاءً هيدروكربونية.
- الزيوت والغاز الطبيعي ومشتقاتهما كلّها، هي في الأساس هيدروكربونات.
- الأصباغ والنكهات والمركّبات العطرية، تمتلك تراكيب هيدروكربونية.

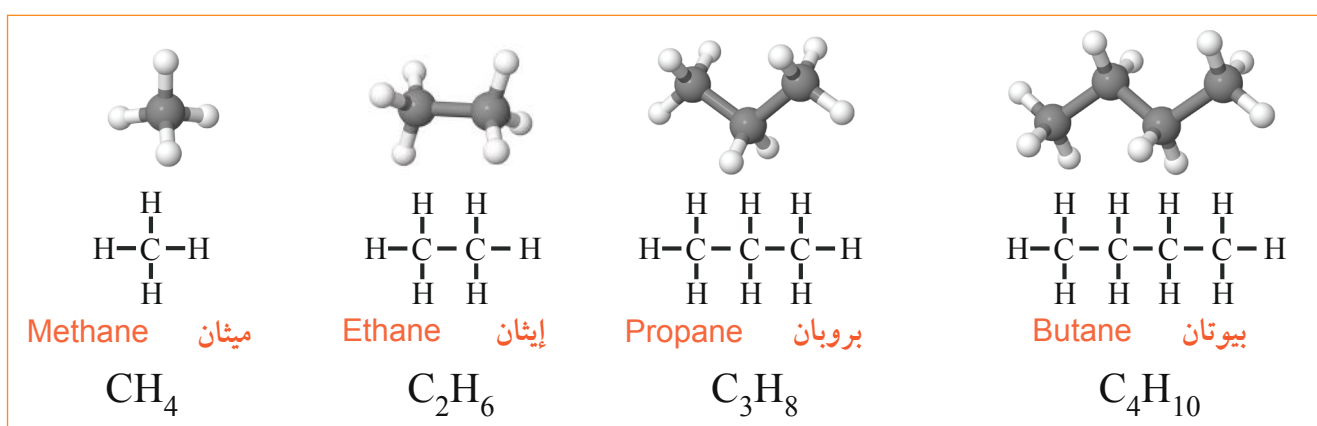
يوضح الشكل 2-5 مخطط يُبين الأنواع المختلفة من المركّبات الهيدروكربونية. حيث تنقسم إلى **المركّبات الأروماتية Aromatic Compounds** وهي مركّبات حلّقة تحتوي على حلقة بنزين واحدة، أو عدة حلقات، في حين تتضمّن **المركّبات الأليفاتية Aliphatic Compounds** سلاسل مستقيمة، وأخرى متفرّعة. سوف نناقش في هذا الدرس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



الشكل 2-5 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 ذرتي كربون. تعرف مجموعة الهيدروكربونات المشبعة باسم **الألكانات Alkanes**، والأمثلة الأربعة المذكورة هي الألكانات التي تُستخدم كوقود في حياتنا اليومية. الصيغة الجزيئية العامة لجميع الألكانات مفتوحة السلسلة هي: C_nH_{2n+2} ($n \geq 1$).



الشكل 3-5 أول أربع هيدروكربونات بسيطة.

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



مثال 1

السؤال ما الصيغة الجزيئية لألكان يحتوي على:

a- 6 ذرات كربون

b- 8 ذرات هيدروجين.

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

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

لذلك تكون الصيغة الجزيئية C_6H_{14}

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

لذلك تكون الصيغة الجزيئية C_3H_8

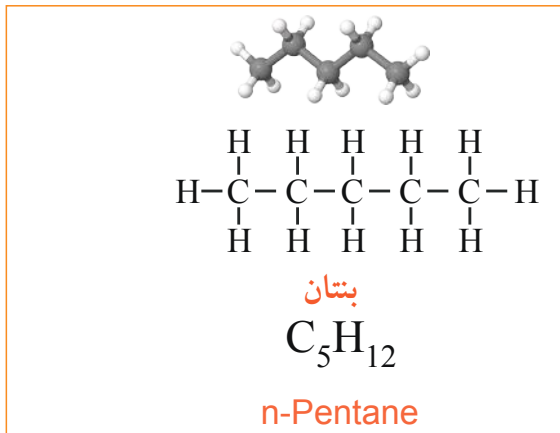
بادئات التسمية النظامية وفق (IUPAC) (الأيوباك)

توجد مركّبات عضوية كثيرة لها الصيغة الجزيئية نفسها؛ ولكن لها تراكيب مختلفة. لذلك يُستخدم 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، الإيثانين، والإيثانول هي جزيئات تحتوي كلاً منها على ذرتي كربون؛ لأنه يبدأ بالبادئة «إيث». أما الأوكتان، فهو جُزيء يحتوي على سلسلة كربون مكوّنة من 8 ذرات كربون.

الجدول 1-5 بادئات المركبات العضوية.

عدد ذرات الكربون	البادئة	عدد ذرات الكربون	البادئة
1	meth-	ميث	hex-
2	eth-	إيث	hept-
3	prop-	بروب	oct-
4	but-	بيوت	non-
5	pent-	بنت	dec-
			ديك



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

الشكل 4-5 صيغ مختلفة لتمثيل البنتان.

مثال 2

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

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

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

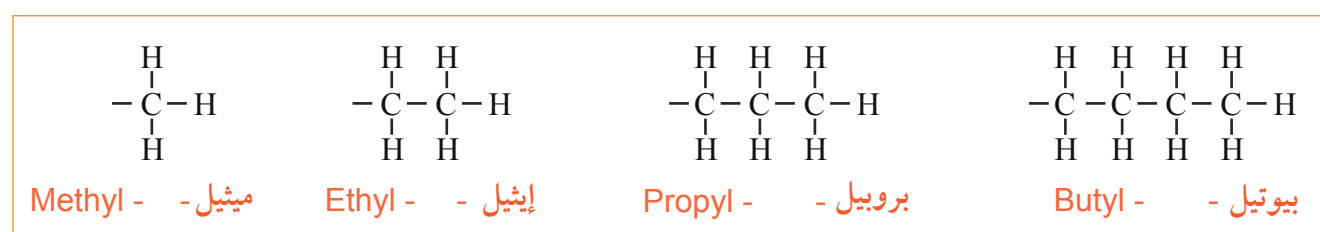
b- تكون البادئة ديك- dec، وبما أن المركب ألكان فإن اسمه يصبح ديكان decane.

مجموعات الألكيل

قد تحتوي المركبات الهيدروكربونية مفتوحة السلسلة أو الحلقية، على تفرُّع واحد أو أكثر من ذرات الكربون المرتبطة بها. تُسمَّى تلك السلاسل الجانبية المتفرَّعة **مجموعات الألكيل** **Alkyl groups** عندما تحتوي على ذرات كربون وهيدروجين فقط.

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

- «ميث، meth» تمثل ذرة كربون واحدة.
 - اللاحقة «يل، yl» تعني أنها مجموعة ألكيل متفرَّعة من السلسلة الرئيسة.
- أما السلسلة الجانبية المكوَّنة من ذرتي كربون فتسمَّى «إيثيل، ethyl»، في حين أن السلسلة الجانبية المكوَّنة من ثلاث ذرات كربون تسمَّى «بروبيل، Propyl» انظر (الشكل 5-5).

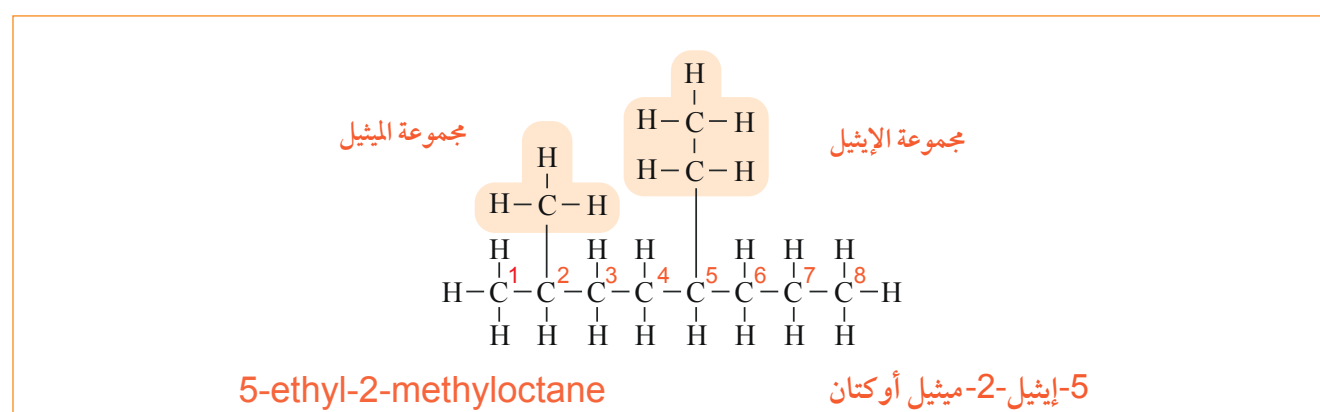


الشكل 5-5 أسماء السلاسل الجانبية الهيدروكربونية الأربع الأول.

مجموعات الألكيل هي سلاسل هيدروكربونية متفرَّعة من سلسلة كربون أطول منها، أو متفرَّعة من حلقة.



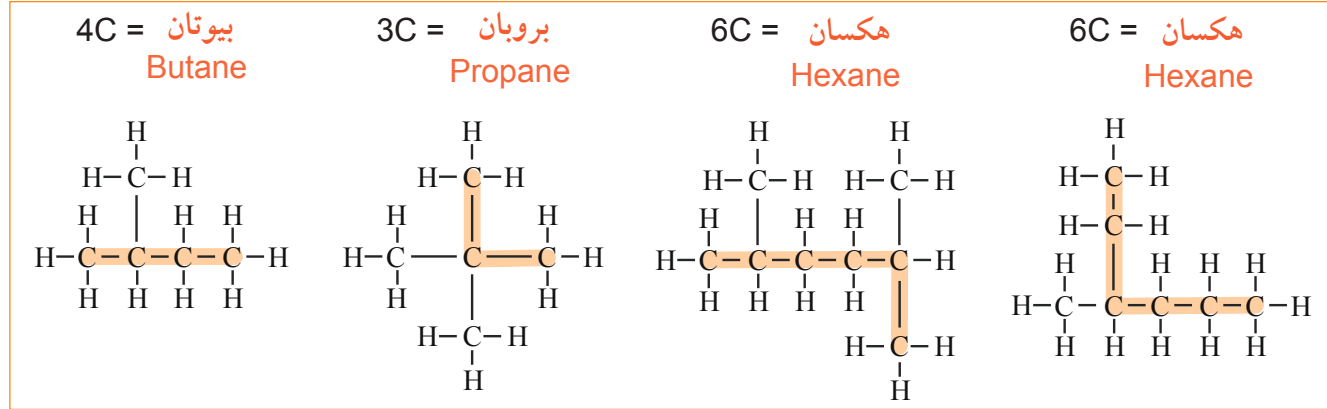
تُسمَّى السلاسل المستقيمة لمجموعات الألكيل باستخدام البادئات العضوية نفسها المستخدمة في تسمية سلاسل الكربون الطويلة للجُزيء (الجدول 1-5)، حيث تضاف اللاحقة «يل» لإظهار المجموعة بأنها مجموعة ألكيل انظر (الشكل 5-6).



الشكل 5-6 مجموعات الألكيل في مركب هيدروكربوني.

تسمية الألكانات التي تحتوي على سلاسل جانبية

1. الخطوة الأولى في تحديد الاسم النظامي وفق IUPAC هي عدد ذرات الكربون المرتبطة معًا والموجودة في أطول سلسلة، ثم تضاف الخاتمة «-ane، ان» إلى البادئة 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.



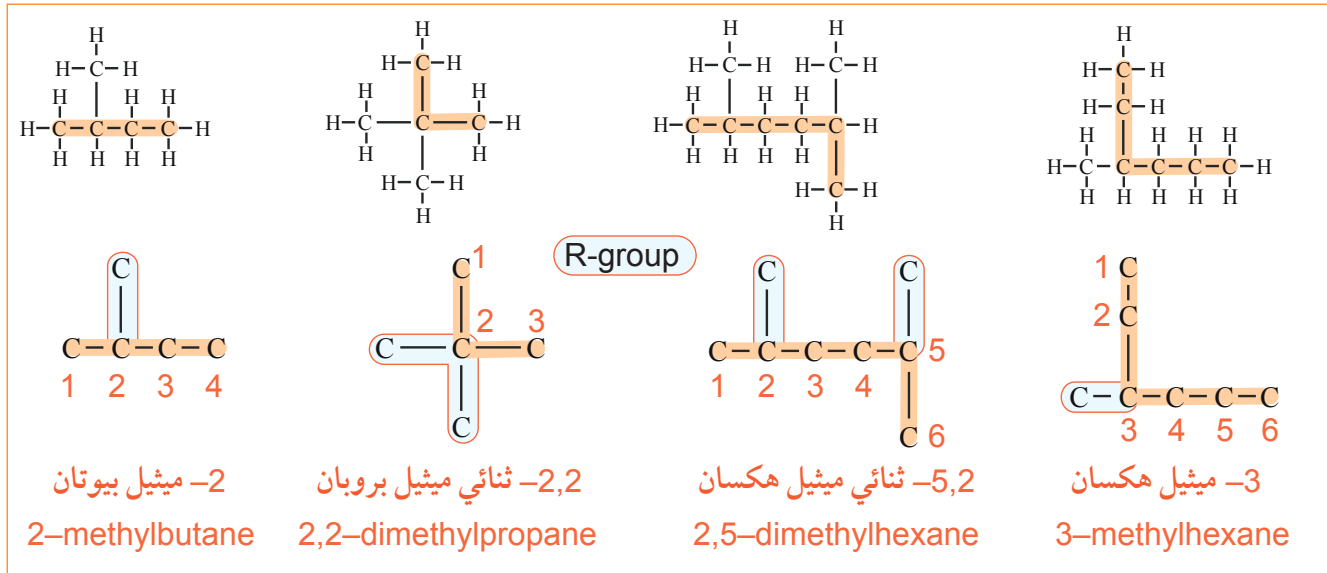
الشكل 5-7 كيفية عدد ذرات الكربون في السلسلة الرئيسية

2. لتسمية ألكان يحتوي على سلسلة جانبية متفرعة، نعد ذرات الكربون للسلسلة الرئيسية من أجل إظهار مكان ارتباط السلاسل الجانبية المتفرعة.

3. ترقيم ذرات الكربون الموجودة في السلسلة الرئيسية باتجاه معين، حيث يؤدي ذلك إلى أن يأخذ التفرع الأول أقل رقم ممكن، كما هو مبين في (الشكل 5-8). تفحص الأرقام من كلا الاتجاهين دائماً! 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 (-). فإذا كانت هنالك سلاسل جانبية متفرعة متعددة ضع فاصلة بين الأرقام.

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



الشكل 5-8 تسمية الألكانات ذات السلاسل المتفرعة.

أمثلة على تسمية الألكانات

يبيّن الجدول 2-5 أمثلة على تسمية الألكانات. لاحظ أن المثال (2) يبدو وكأنه يمتلك سلاسل جانبية متفرّعة، ولكنه في الحقيقة سلسلة رئيسية غير متفرّعة، وفي المقابل يبيّن المثالان (3) و(5) بعض قواعد IUPAC الإضافية، عندما تكون نهايتا السلسلة تبعدان المسافة نفسها عن أول تفرّع.

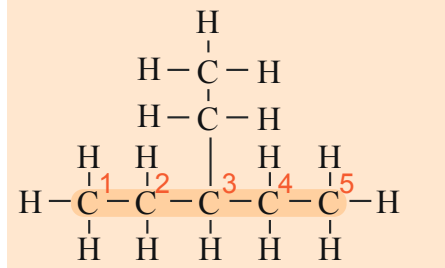
الجدول 2-5 أمثلة على تسمية الألكانات.

1 <pre> H H-C-H H-C-H H H H H H-C-C-C-C-C-H H H H H-C-H H </pre>	4,2-ثنائي ميثيل هكسان 2,4-dimethylhexane يبدأ الترقيم من النهاية الأقرب إلى التفرع الأول. <pre> 6C 5C C-4-3-2-1 C </pre>
2 <pre> H H-C-H H-C-H H-C-H H-C-C-C-C-H H H H </pre>	هبتان Heptane هذا الجُزء يمتلك سلسلة مستقيمة (غير متفرّعة). <pre> 1C 2C 3C-4-5-6-7 </pre>
3 <pre> H H-C-H H-C-H H-C-H H-C-C-C-C-C-H H H H </pre>	3-إيثيل - 5-ميثيل هبتان 3-ethyl-5-methylheptane يراعي الترقيم الترتيب الأبجدي للسلاسل الجانبية المتفرّعة عند تساوي الترقيم للتفرع من طرفي المركب. <pre> C C C-C-C-C-C-C-C 7 6 5 4 3 2 1 </pre>
4 <pre> H H H H-C-H H-C-H H-C-H H-C-C-C-C-C-C-C-H H H H H H </pre>	6-إيثيل - 4-ميثيل ديكان 6-ethyl-4-methyldecane يبدأ الترقيم من الطرف الأقرب إلى التفرع الأول. <pre> 10C C-C-C-C-C-C-C-C 9 8 7 6 5 4 3 2 C </pre>
5 <pre> H H H H-C-H H-C-H H-C-H H-C-C-C-C-C-C-C-H H H H H H </pre>	5-إيثيل - 2, 2, 8-ثلاثي ميثيل نونان 5-ethyl-2,2,8-trimethylnonane يبدأ الترقيم من النهاية الأقرب والتي تتضمن معظم السلاسل الجانبية المتفرّعة على الموقع نفسه. <pre> C C C C-C-C-C-C-C-C-C-C 8 7 6 5 4 3 2 1 9 C </pre>

مثال 3

السؤال ارسم الصيغة البنائية، ثم سمّ المركّب الذي يتكوّن من 5 ذرات كربون متصلة بروابط تساهمية أحادية، والذي تتفرّع مجموعة إيثيل من ذرّة الكربون الثالثة فيه.

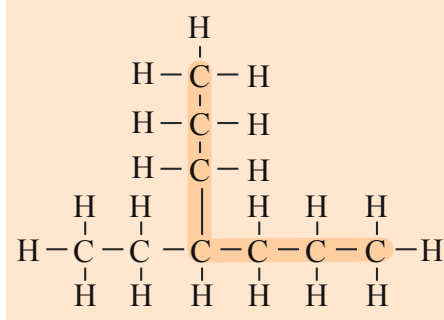
الحل المركب يحتوي على خمس ذرات كربون في سلسلته الرئيسة متصلة بروابط أحادية فإذاً هذا المركب هو بنتان، وتتفرّع منه مجموعة إيثيل أي ذرتي كربون، لذلك فإنّ الصيغة البنائية واسم هذا المركب النظامي (IUPAC) هما:



اسم المركّب هو: 3-إيثيل بنتان «3- ethylpentane»

مثال 4

السؤال سمّ الألكان الذي يمتلك الصيغة البنائية المقابلة بحسب IUPAC:

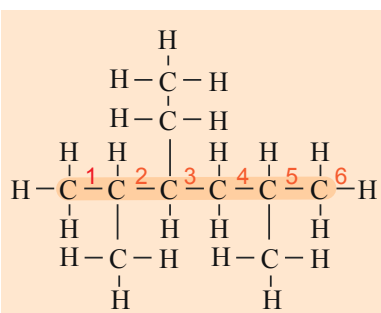


الحل بما أن أطول سلسلة تمتلك سبع ذرات كربون، فإن الاسم الرئيس يكون هبتان «Heptane». هنالك تفرّع واحد يمتلك ذرتي كربون، ويقع على ذرّة الكربون الرابعة من الجهتين. لذا يكون اسم هذا الألكان: 4-إيثيل هبتان «4- ethylheptane».

جزيئات لها أنواع مختلفة من مجموعات الألكيل

عندما تظهر المجموعة نفسها أكثر من مرة، تُستخدم الأرقام المتعدّدة ويفصل بينها فاصلة، وتكتب قبل اسم مجموعة الألكيل، لإظهار عدد المجموعات، مثل «4, 5 - ثنائي ميثيل أوكتان، 4,5-dimethyloctane»، عندما تتواجد مجموعات مختلفة ومتعدّدة، فإن أسماء مجموعات الألكيل، وأرقام ذرات الكربون المرتبطة بها في السلسلة الرئيسة توضعان قبل اسم السلسلة الرئيسة. مثال ذلك 3-إيثيل 4,5-ثنائي ميثيل أوكتان «3-ethyl-4,5-dimethyloctane». لاحظ أيضاً أن البادئين «ثنائي»، «ثلاثي» لا تُستخدمان لتحديد الترتيب الأبجدي. مثلاً: «ثلاثي إيثيل» قد تأتي قبل «ميثيل»، لأن حرف «E» يأتي قبل «M» حسب ترتيب الحروف الإنجليزية.

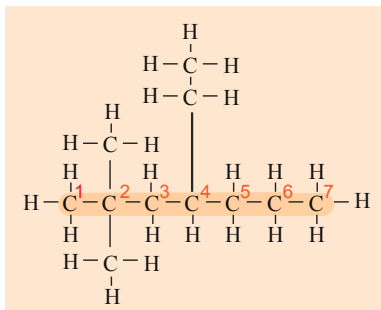
مثال 5



السؤال سمّ الألكان الذي يمتلك الصيغة البنائية المقابلة بحسب IUPAC:

الحل بما أن أطول سلسلة تمتلك ست ذرات كربون، فإن الاسم الرئيس يكون هكسان «Hexane». هنالك مجموعة «إيثيل» واحدة متفرعة، ومجموعتا «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 الألكان بحسب IUPAC هو: 3-إيثيل-5,2-ثنائي ميثيل هكسان «3-ethyl-2,5-dimethylhexane».

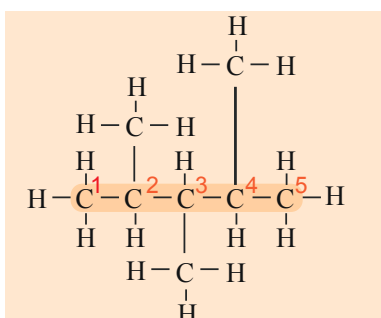
مثال 6



السؤال سمّ الألكان الذي يمتلك الصيغة البنائية المقابلة بحسب IUPAC:

الحل بما أن أطول سلسلة تمتلك سبع ذرات كربون، فإن الاسم الرئيس يكون هبتان «Heptane». هنالك مجموعة «إيثيل» واحدة متفرعة على ذرة كربون رقم 4، ومجموعتا «ميثيل» متفرعتان على ذرة كربون رقم 2. لذا يكون اسم هذا الألكان: 4-إيثيل-2,2-ثنائي ميثيل هبتان «4-ethyl-2,2-dimethylheptane».

مثال 7

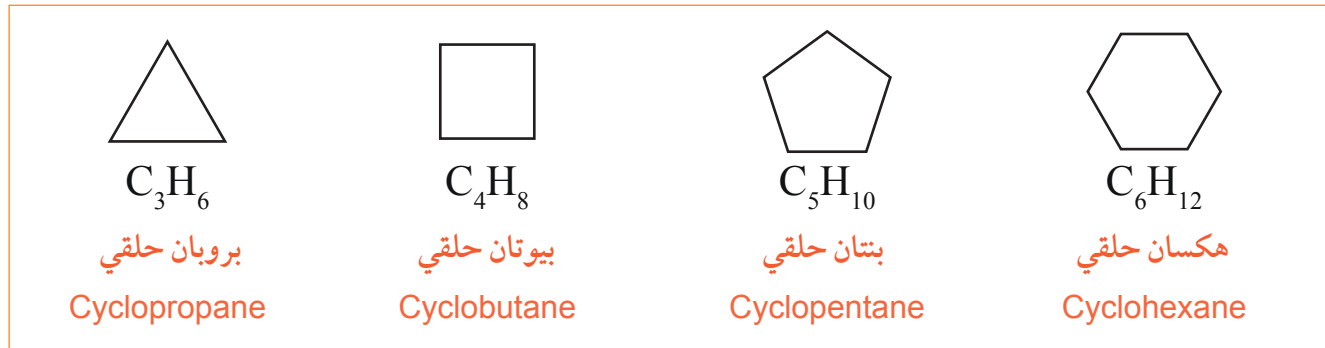


السؤال ارسم الصيغة البنائية للمركب 2, 3, 4-ثلاثي ميثيل بنتان بحسب IUPAC:

الحل المركب يحتوي على خمس ذرات كربون في سلسلته الرئيسة 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

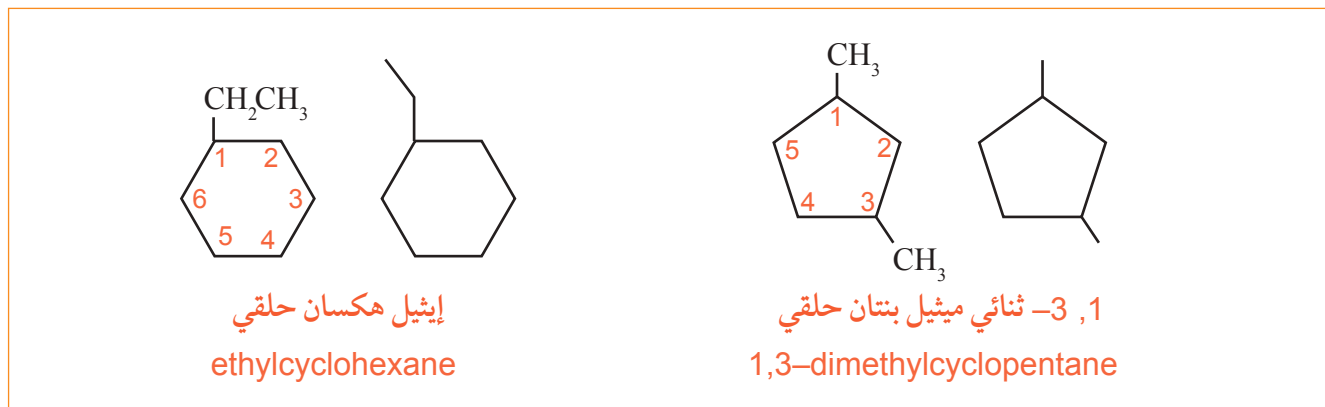
تكوّن كلٌّ من الألكانات والألكينات تراكيب حلقية. وينتهي اسم الألكان أو الألكين في هذه الحالة بالخاتمة «حلقي» باللغة العربية وبالبادئة «cyclo» باللغة الإنجليزية. مثال ذلك، الألكانات الحلقية البسيطة الأربعة الأولى المبينة في (الشكل 5-9). وبما أن زوايا الرابطة تكون حادة جدًا، يكون البروبان الحلقي، والبيوتان الحلقي، غير مستقرين. ومع ذلك يكون البنتان الحلقي والهكسان الحلقي مستقرّين وشائعين، وللألكانات الحلقية الصيغة الجزيئية العامة: C_nH_{2n} حيث أن $n \geq 3$.



الشكل 5-9 أبسط أربعة ألكانات حلقية.

إن تسمية الألكانات الحلقية مشابهة للألكانات المستقيمة.

1. يرتبط اسم السلسلة الرئيسة بعدد ذرات الكربون الموجودة في الحلقة، وينتهي بالمقطع «حلقي»، أي يوضع بعد الاسم مباشرة، أو «cyclo» ثم اسم الألكان بالإنجليزية.
2. يبدأ الترقيم من ذرة الكربون المرتبطة بأول مجموعة ألكيل بترتيب دائري، حيث تتخذ المجموعات الأخرى أقل ترقيم ممكن، انظر (الشكل 5-10) سواء كان الترتيب مع أو عكس اتجاه عقارب الساعة.

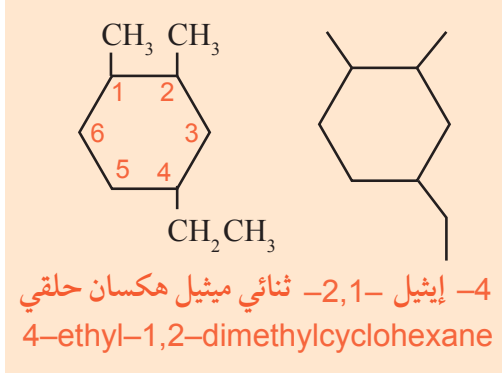


الشكل 5-10 ألكانات حلقية تحتوي على مجموعات ألكيل.

مثال 8

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

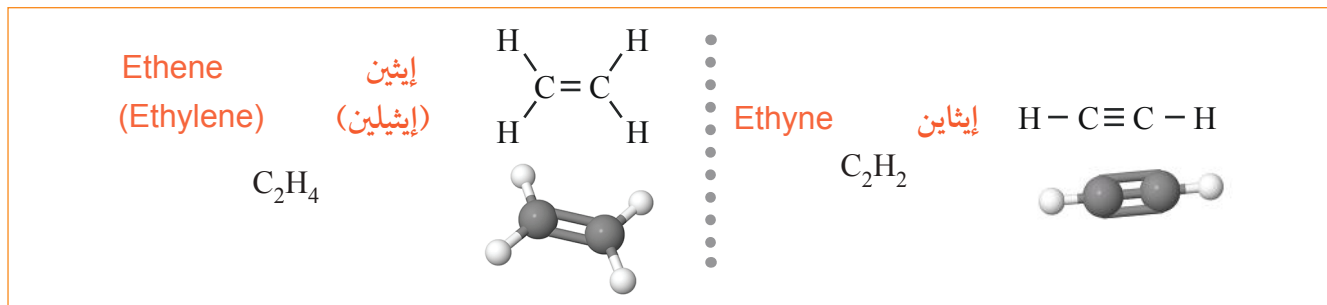
الحل



يخبرنا الاسم بأن الحلقة مكوّنة من 6 ذرات كربون، وأن الروابط جميعها 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 أيضاً على تكوين روابط ثنائية، وثلاثية، (انظر الشكل 11-5). وتعرف الهيدروكربونات غير المشبعة **Unsaturated** بأنها المركبات التي تحتوي على رابطة تساهمية ثنائية أو ثلاثية واحدة أو أكثر. فالإيثين والإيثاين كلاهما غير مُشبعين، حيث تتكوّن الروابط التساهمية الثنائية بين ذرتي الكربون في الألكينات، في حين أن الروابط التساهمية الثلاثية تتكوّن بين ذرتي الكربون في الألكاينات.



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

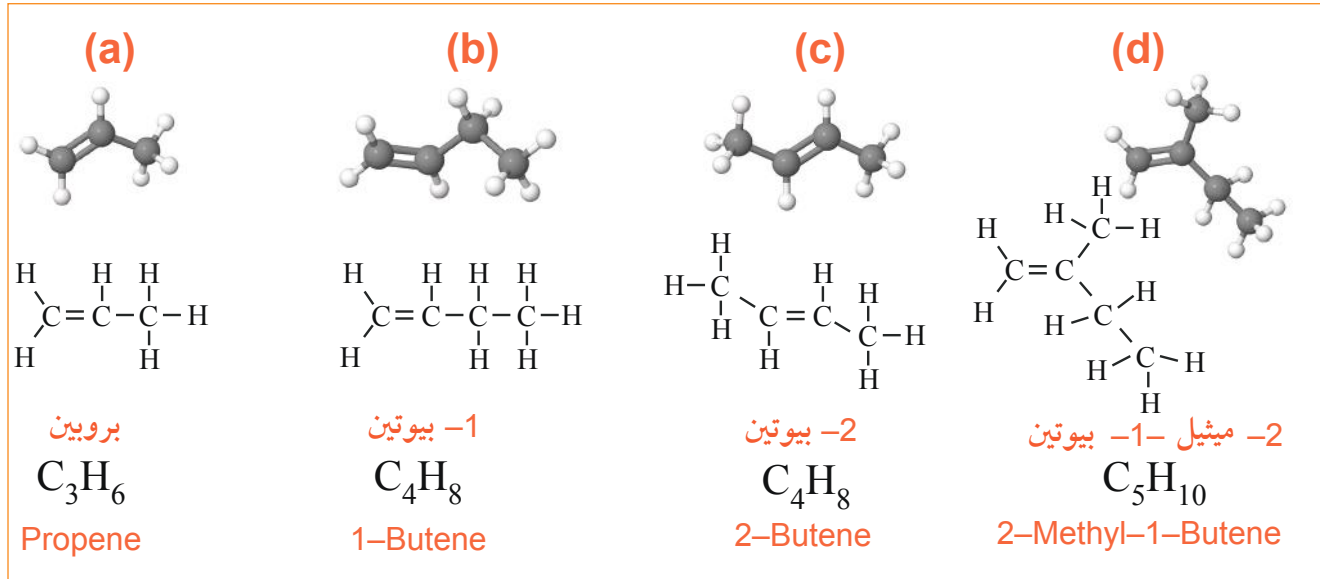
الهيدروكربونات غير المشبعة تحتوي على رابطة تساهمية ثنائية، أو ثلاثية واحدة على الأقل.



الألكينات

عندما يحتوي الهيدروكربون على رابطة تساهمية ثنائية واحدة بين ذرتي كربون أو أكثر، يُوصف الجزيء بأنه **ألكين Alkene**. أسماء الألكينات جميعها تنتهي بالخاتمة «ين، -ene»، وتمتلك الألكينات ذات السلسلة المفتوحة الصيغة الجزيئية العامة C_nH_{2n} حيث $n \geq 2$. وكما هو مبين في (الشكل 12-5)، تمتلك الألكينات تركيباً أكثر تعقيداً، لأن موقع الرابطة الثنائية يُحدّد فرقاً بالنسبة إلى الجزيء.

الألكينات هي هيدروكربونات غير مشبعة تتضمن على الأقل رابطة تساهمية ثنائية واحدة بين ذرتي كربون.



الشكل 12-5 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، فإن موقع الرابطة الثنائية يُحدّد بواسطة رقم يشير إلى موقع ذرة الكربون الأولى من ذرتي الكربون المرتبطتين معاً برابطة ثنائية. يبدو في (الشكل 12-5)، أن الرقم «1» الموجود في 1-بيوتين «1-butene» يشير إلى أن الرابطة الثنائية تقع بين ذرة الكربون الأولى والثانية في السلسلة الرئيسة. أما الرقم «2» في 2-بيوتين «2-butene»، فيبين أن الرابطة الثنائية تقع بين ذرة الكربون الثانية والثالثة.

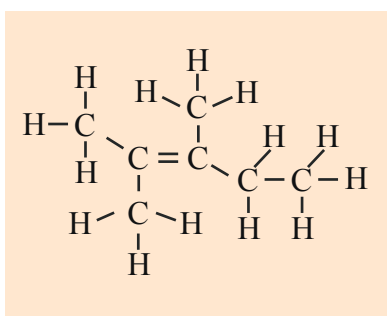
وبيّن الجزيء (d) الظاهر في (الشكل 12-5) ألكيناً متفرّعاً حيث:

- تمتلك أطول سلسلة كربون أربع ذرات وتحتوي على رابطة تساهمية ثنائية، لذلك تُسمّى «بيوتين، Butene».
 - توجد مجموعة ميثيل تقع على ذرة الكربون رقم 2، لذلك تبدأ التسمية بـ 2-ميثيل «2-Methyl».
 - تقع الرابطة الثنائية بعد ذرة الكربون الأولى، لذلك سوف يسبق الرقم «1» الاسم «بيوتين» يلي الاسم «ميثيل».
- بينما عندما يكون المركب ألكين حلقياً:

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 سمّ الألكين الذي يمتلك الصيغة البنائية المقابلة بحسب IUPAC:



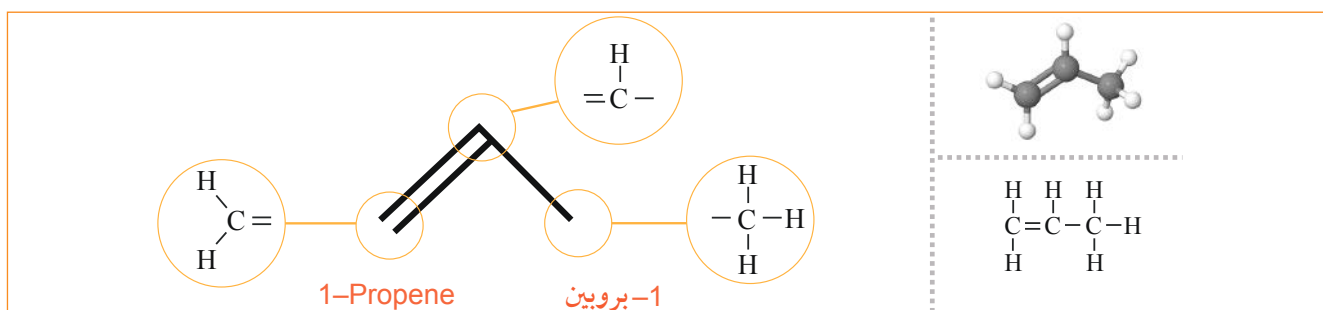
الحل تمتلك أطول سلسلة كربون خمس ذرات وتحتوي على رابطة تساهمية ثنائية، لذلك تُسمّى «بتين، pentene». توجد مجموعتا ميثيل على ذرتي الكربون رقم 2، 3، لذلك تبدأ التسمية بـ 3، 2-ثنائي ميثيل «3-dimethyl، 2». تقع الرابطة الثنائية بعد ذرة الكربون الثانية، لذلك سوف يسبق الرقم «2» الاسم «بتين» يلي الاسم «3، 2-ثنائي ميثيل».

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

فهم الصيغة الهيكلية

تعدّ الصيغة الهيكلية أكثر طريقة مختصرة لتمثيل المُركَّب 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 تُرسم.

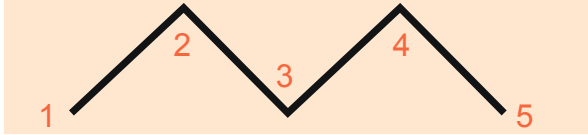


الشكل 13-5 رسم الصيغة الهيكلية لمُركَّب عضوي.

مثال 10

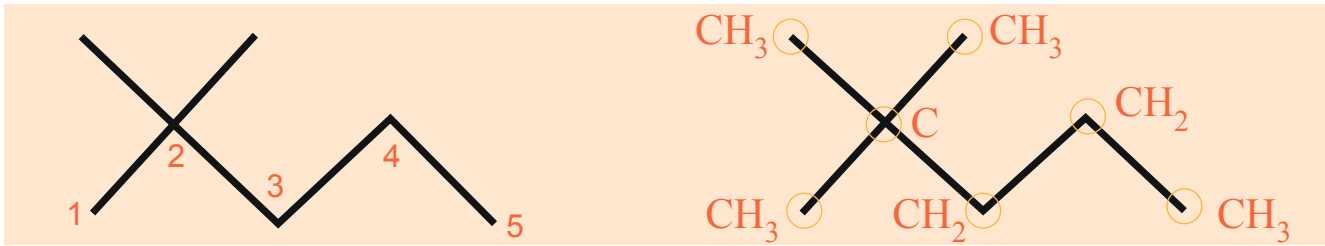
السؤال ارسم الصيغة الهيكلية، ثم اكتب الصيغة الجزيئية للمركب 2,2 - ثنائي ميثيل بنتان «2,2-dimethyl pentane».

الحل



الخطوة 1: ارسم سلسلة الكربون الرئيسة، ورقّمها.

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



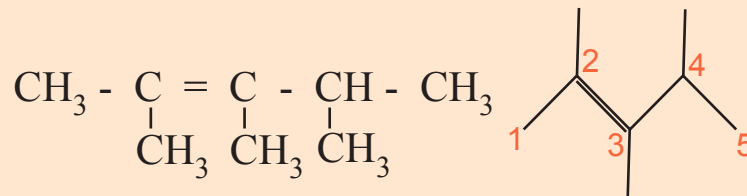
يوجد في نهاية كل خط 3 ذرات H. أما التقاطعات التي تمتلك أربع روابط، فلا تحتوي على أي ذرة هيدروجين، في حين أن الزوايا التي تمتلك رابطتين تحتوي على ذرتي H؛ عندها ستكون الصيغة الجزيئية لهذا المركب: C_7H_{16} .

مثال 11

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

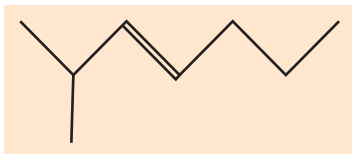
الحل

يخبرنا الاسم بأن السلسلة الرئيسة تحتوي على خمس ذرات كربون. والرقم «-2-» يعني وجود رابطة تساهمية ثنائية بين ذرتي الكربون الثانية والثالثة، ويخبرنا «2,3,4-ثلاثي ميثيل» بأن هنالك ثلاث مجموعات ميثيل تقع على ذرات الكربون التي تحمل الأرقام 2، و3، و4.

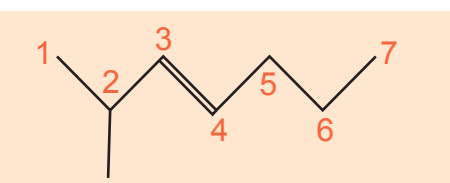


أمثلة على تسمية الألكينات

مثال 12



السؤال سمّ الألكين الذي يمتلك الصيغة الهيكلية المقابلة بحسب التسمية النظامية IUPAC.



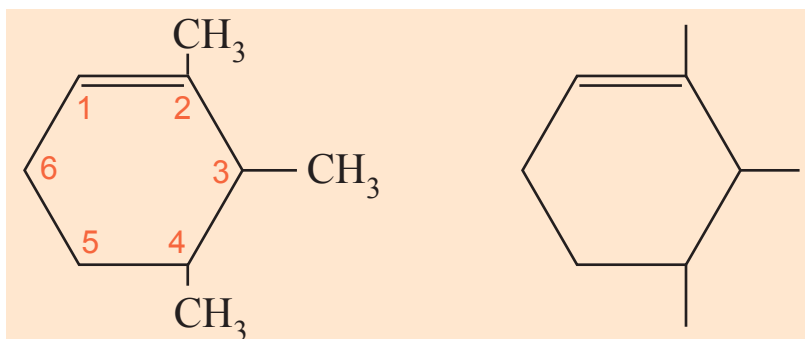
الحل تمتلك السلسلة الرئيسة 7 ذرات كربون، وتحتوي على رابطة تساهمية ثنائية، لذا يُطلق على الألكين اسم هبتين. نبدأ الترقيم من النهاية الأقرب إلى الرابطة الثنائية، وهذا يضع مجموعة الميثيل على ذرة الكربون الثانية، كما أن الرابطة الثنائية تقع بين ذرتي الكربون الثالثة والرابعة. لذا، سيكون اسم هذا المُرَكَّب هو: 2-ميثيل - 3 - هبتين «2-methyl-3-heptene».

موقع مجموعة الميثيل على ذرة C رقم 2 2-ميثيل - 3 - هبتين موقع الرابطة الثنائية بين ذرتي الكربون 3 و 4

مثال 13

السؤال ارسم الصيغة البنائية، والصيغة الهيكلية للمُرَكَّب: 2,3,4-ثلاثي ميثيل - 1-هكسين حلقي «2,3,4-trimethyl-1-cyclohexene».

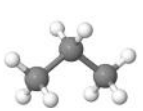
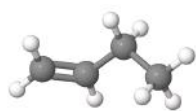
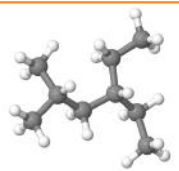
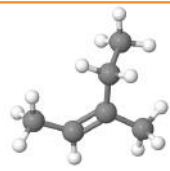
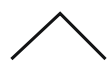
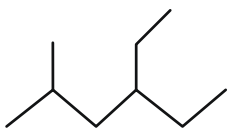
الحل يخبرنا الاسم بأن الحلقة تحتوي على ست ذرات كربون. فنبدأ الترقيم من أول ذرة كربون التي تبدأ عندها الرابطة التساهمية الثنائية، ويخبرنا «2,3,4-ثلاثي ميثيل» أن هناك ثلاث مجموعات ميثيل تقع على ذرات الكربون التي تحمل الأرقام 2، و3، و4.



تمثيل الجزيئات العضوية

يستخدم علماء الكيمياء العضوية طرائق متعددة لتمثيل الصيغة البنائية للصيغة الجزيئية للمركب العضوي نستطيع من خلالها استنتاج معلومات مختلفة عن هذا المركب، كما هو موضح في الجدول 3-5.

الجدول 3-5 تمثيل الجزيئات العضوية.

	Propane بروبان	1-Butene 1-بيوتين	4-ethyl-2-methylhexane 4-إيثيل-2-ميثيل هكسان	3-Methyl-2-pentene 3-ميثيل -2-بتين
1	الصيغة الجزيئية			
	C_3H_8	C_4H_8	C_9H_{20}	C_6H_{12}
2	نموذج الكرات والعصي			
				
3	النموذج الفراغي			
				
4	الصيغة البنائية			
	$\begin{array}{c} H & H & H \\ & & \\ H-C-C-C-H \\ & & \\ H & H & H \end{array}$	$\begin{array}{c} H & H & H & H \\ & & & \\ H-C=C-C-C-H \\ & & & \\ H & & H & H \end{array}$	$\begin{array}{c} H & & & & & & \\ & & & & & & \\ H-C-H & & & & & & \\ & & & & & & \\ H-C-H & & & & & & \\ & & & & & & \\ H-C-H & & & & & & \\ & & & & & & \\ H-C-C-C-C-C-H \\ & & & & & \\ H & H & H & H & H & H \end{array}$	$\begin{array}{c} H & & H & H & H \\ & & & & \\ H-C-C=C-C-C-H \\ & & & & \\ H & & H & H & H \\ & & & & \\ & & H & & \end{array}$
5	الصيغة البنائية المكثفة			
	$CH_3CH_2CH_3$	$CH_2=CHCH_2CH_3$	$\begin{array}{c} CH_3 & CH_2CH_3 \\ & \\ CH_3CH & CH_2CH & C_2H_5 \end{array}$	$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ CH_3CH=C & C_2H_5 \end{array}$
6	التركيب الهيكل			
				

1. تبين الصيغة الجزيئية عدد الذرات في الجزيء ونوعها.
2. يبين نموذج الكرات والعصي التركيب في هيئة شكل ثلاثي الأبعاد.
3. يبين النموذج الفراغي سطح الجزيء في هيئة شكل ثلاثي الأبعاد.
4. تبين الصيغة البنائية التركيب في هيئة شكل ثنائي الأبعاد.
5. تبين الصيغة البنائية المكثفة (المختصرة) التركيب في هيئة شكل ثنائي الأبعاد.
6. يبين التركيب الهيكل التركيب في هيئة شكل ثنائي الأبعاد بطريقة مختصرة ، وهو الطريقة المستخدمة أغلب الأحيان لتمثيل الجزيئات العضوية.



بناء نماذج للجزيئات الهيدروكربونية

1-5

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

الجزء 1: ارسم الصيغ البنائية للجزيئات

1. ارسم الصيغ البنائية لكل جزيء في الجدول الآتي.

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

جدول التحليل الجزيئي

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

الجزء 2: ابن النماذج الجزيئية

استخدم دليل مجموعة الكرات والعصي لتحديد ذرات النموذج الصحيحة، وروابط النموذج التي ستستخدمها، ثم ابن النماذج الجزيئية واعرضها على معلمك للتأكد من صحة النموذج.

تقويم الدرس 5-1

1. ما الفرق الرئيس بين الألكانات والألكينات؟ 
2. لماذا يعد مُركَّب كيميائي يحمل اسم ميثين مُركَّبًا يستحيل وجوده؟ 
3. ما المقطع الذي يحدّد أن هناك ثلاث مجموعات ألكيل مكوّنة من ذرّتي كربون موجودة في الجُزيء؟ 
 - a. ثنائي إيثيل Diethyl
 - b. ثلاثي إيثيل Triethyl
 - c. ثنائي ميثيل Dimethyl
 - d. ثلاثي ميثيل Trimethyl
4. ما الاسم الصحيح لهيدروكربون يمتلك أطول سلسلة كربون مكوّنة من تسع ذرّات كربون، ومجموعتي ألكيل مكوّنة من ذرّتي كربون. 
 - a. 1,1 - ثنائي إيثيل نونان 1,1-diethylnonane
 - b. 3,2 - ثنائي ميثيل أوكتان 2,3-dimethyloctane
 - c. 4 - بيوتيل بنتان 4-butylpentane
 - d. 4,4 - ثنائي إيثيل نونان 4,4-diethylnonane
5. كم عدد ذرّات الكربون الموجودة في الجُزيء 3,3,8 - ثلاثي ميثيل -4 - بروبيل -1 - ديكين «3,3,8-trimethyl-4-propyl-1-decene»؟ 
 - a. 10
 - b. 14
 - c. 16
 - d. 20
6. كم عدد ذرّات الهيدروجين الموجودة في الجُزيء 2 - ميثيل -2 - بيوتين «2-methyl-2-butene»؟ 
 - a. 8
 - b. 9
 - c. 10
 - d. 12
7. ارسم الصيغة البنائية والصيغة الهيكلية لكل من المركبين الآتين: 
 - a. 3,2 - ثنائي ميثيل أوكتان 2,3-dimethyloctane
 - b. 3,2 - ثنائي ميثيل -2 - أوكتين 2,3-dimethyl-2-octene

الدرس 2-5 المركبات العضوية الأخرى

سبق أن تعلّمت أسس تسمية المركّبات العضوية عندما تعلّمت كيف تسمّى الألكانات والألكينات وترسم هياكلهما. أمّا المركّبات العضوية الأخرى فتُحدّد تصنيفاتها بواسطة اللواحق وأسماء المجموعة الوظيفية. وبذلك يتعيّن، عند تسمية أنواع أخرى من المركّبات 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 المركّبات العضوية الشائعة التي تحتوي على ذرات عناصر أخرى، إلى جانب ذرات الكربون والهيدروجين. فهناك هيدروكربونات تمّ فيها استبدال ذرة واحدة أو أكثر من ذرات الهيدروجين لتحل محلّها ذرة أو مجموعة من الذرات، مثل هاليدات الألكيل، والكحولات، والألدهيدات والكيثونات وغيرها.

المفردات



Functional groups	مجموعات وظيفية
Alkyl halide	هاليد الألكيل
Hydroxyl	هيدروكسيل
Alcohol	كحول
	كحول أحادي الهيدروكسيل
Monohydroxy alcohol	
	كحول ثنائي الهيدروكسيل
Dihydroxy alcohol	
	كحول ثلاثي الهيدروكسيل
Trihydroxy alcohol	
Carbonyl	الكربونيل
Aldehyde	ألدهيد
Ketone	كيثون
Carboxyl	الكربوكسيل
Carboxylic acid	حمض كربوكسيلي
Acyl chloride	كلوريد الأسيل
Primary alcohol	كحول أولي
Secondary alcohol	كحول ثانوي
Tertiary alcohol	كحول ثالثي

مخرجات التعلّم

- C1106.1 (الجزء 2)** يفسر ويستخدم، التسميات النظامية والصيغ الجزيئية والبنائية لفئات المركّبات الآتية:
- هاليدات ألكيل (مركّبات الألكانات الهالوجينية)
 - الكحولات
 - الألدهيدات والكيثونات
 - الأحماض الكربوكسيلية، والإسترات، وكلوريدات الأسيل
- C1106.5** يصنف الكحولات بحسب عدد مجموعات الهيدروكسيل ويميز بين الكحولات الأولية والثانوية والثالثية.
- C1106.8** يصف كيميائياً مجموعة الكربونيل، كما في الألدهيدات والكيثونات.

المجموعات الوظيفية

تعتمد خصائص كثيرة من خصائص المُركَّبات العضوية على مجموعات مختلفة مرتبطة بها، أو تقع داخل الهيكل البنائي الرئيس للمُركَّب الهيدروكربوني. تُسمَّى تلك المجموعات بالمجموعات الوظيفية.

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

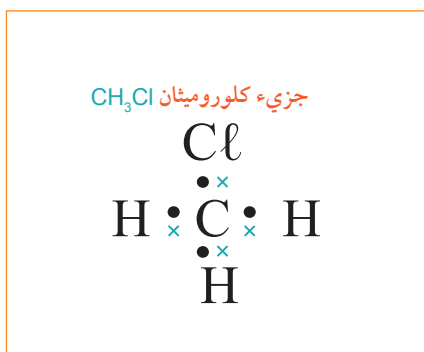


تُعدّ مجموعة الهيدروكسيل (OH) من الأمثلة الجيدة على مجموعة وظيفية شائعة جدًا. ذلك أن جميع الكحولات تحتوي على مجموعة OH واحدة على الأقل. وهناك مجموعة وظيفية مهمة أخرى، هي مجموعة الكربوكسيل COOH (الحمض الكربوكسيلي). وهي متضمنة في الأحماض العضوية، مثل حمض الستريك وحمض الأسيتك. يلخص الجدول 4-5 المجموعات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

الجدول 4-5 المجموعات الوظيفية الأكثر شيوعًا.

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

مركبات الألكانات الهالوجينية (هاليدات الألكيل)



الشكل 14-5 كلوروميثان.

ترتبط عناصر الهالوجينات (المجموعة 17) عمومًا برابطة واحدة مع ذرة أخرى فقط. وهذا سلوك مشابه لسلوك ذرات الهيدروجين. وبسبب هذا التشابه، تحل ذرات الهالوجينات 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 البنائي للمركب الهيدروكربوني.

هاليدات الألكيل: ألكانات حلت فيها ذرة هالوجين أو أكثر محل ذرة هيدروجين واحدة أو أكثر.

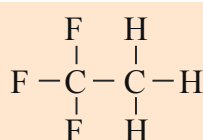


الجدول 5-5 بادئات الهالوجين.

الاسم	الرمز
Fluoro- فلورو	-F
Chloro- كلورو	-Cl
Bromo- برومو	-Br
Iodo- أيودو	-I

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

مثال 14



السؤال سمِّ المركب ذا الصيغة البنائية المقابلة بحسب التسمية النظامية IUPAC:

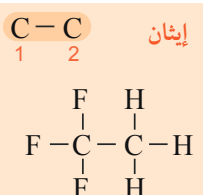
.....

الحل **الخطوة 1:** حدّد أطول سلسلة كربون، وعيّن الاسم الرئيس للمركب.

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

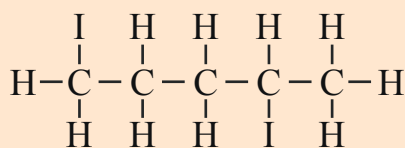
الخطوة 3: حدّد ذرات الفلور المتصلة بذرات الكربون ورقم ذرة الكربون المتصلة بها.

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

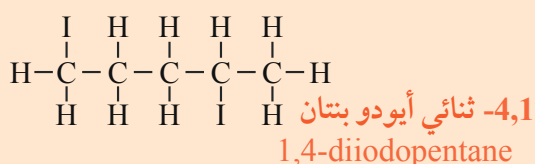
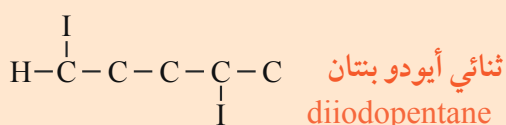
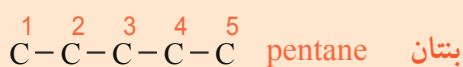
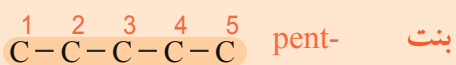


1,1,1-ثلاثي فلورو إيثان
1,1,1-trifluoroethane

مثال 15



السؤال سمِّ المُرَكَّب ذا الصيغة البنائية المقابلة بحسب التسمية النظامية IUPAC:



الحل **الخطوة 1:** حدّد أطول سلسلة كربون، وعيّن البادئة.

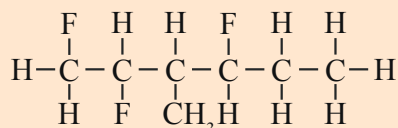
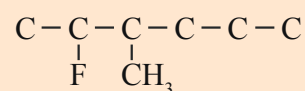
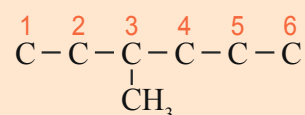
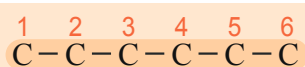
الخطوة 2: أضف اللاحقة -ان، لأن جميع ذرات C-C ترتبط بروابط أحادية.

الخطوة 3: أضف المقطع ثنائي أيودو diiodo لتحديد وجود ذرتي يود.

الخطوة 4: أضف الأرقام من 1 و 4 لتحديد موقع ذرات اليود على أطول سلسلة كربون.

مثال 16

السؤال اكتب الصيغة البنائية لمُرَكَّب اسمه بحسب IUPAC، هو 4,2,1-ثلاثي فلورو -3-ميثيل هكسان «1,2,4-trifluoro-3-methylhexane».



الحل ارسم وضع الأرقام على ذرات الكربون الست.

تحّدّد 3-ميثيل مكان مجموعة الألكيل ميثيل (CH₃-) على ذرة الكربون رقم 3، من أطول سلسلة كربون.

تحّدّد ثلاثي فلورو 3 مجموعات فلورو (ذرات الفلور). تحّدّد 4,2,1 - مواقع ذرات الفلور الثلاث، حيث ترتبط الأولى بذرة الكربون رقم 1، وترتبط ذرة الفلور الثانية بذرة الكربون رقم 2، وترتبط ذرة الفلور الثالثة بذرة الكربون رقم 4، من أطول سلسلة كربون.

أضف ذرات الهيدروجين إلى ذرات الكربون، حتى يصبح لكل ذرة كربون 4 روابط.

الكحولات

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

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



الجدول 5-6 مجموعة الهيدروكسيل.

الصيغة البنائية	الصيغة المكثفة
-O-H	-OH

يشار إلى المركّبات العضوية، التي تتميز بخصائص كيميائية ناتجة من وجود مجموعة الهيدروكسيل، باسم **الكحولات (Alcohols)**. لذلك تُسمّى مجموعة الهيدروكسيل أحياناً بمجموعة الكحول.

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

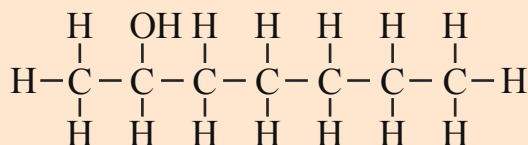


يشق اسم الكحول من اسم الألكان المقابل له ثم إضافة اللاحقة (-ول) (-ol). ولأن موقع مجموعة الهيدروكسيل يمكن أن يتغيّر على أطول سلسلة كربون، سوف يُستخدم رقم لتحديد ذرة الكربون في أطول سلسلة كربون ترتبط بها مجموعة الهيدروكسيل. يوضّح الجدول 5-7 أسماء بعض أبسط الكحولات وصيغها المختلفة.

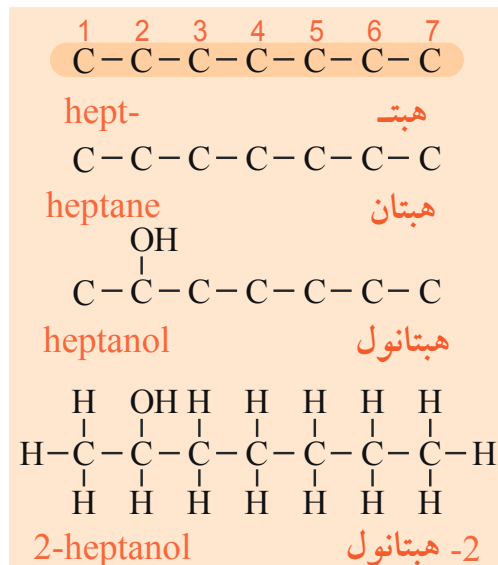
الجدول 5-7 الكحولات الشائعة.

اسم IUPAC	الصيغة البنائية	الصيغة المكثفة	نموذج الكرة والعصا	الاسم الشائع
ميثانول methanol	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	CH_3OH		كحول ميثيلي أو كحول الخشب methyl alcohol (Wood alcohol)
إيثانول ethanol	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$		كحول إيثيلي أو كحول الحبوب ethyl alcohol (grain alcohol)
1 - بروبانول 1-propanol	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$		كحول بروبيلي propyl alcohol
2 - بروبانول 2-propanol	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{OH} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$		كحول آيزوبروبيلي isopropyl alcohol

مثال 17



السؤال سمِّ المُرَكَّب ذا الصيغة البنائية المقابلة بحسب التسمية النظامية IUPAC:



الحل **الخطوة 1:** حدّد أطول سلسلة من ذرات الكربون، وحدّد البادئة المميزة لها.

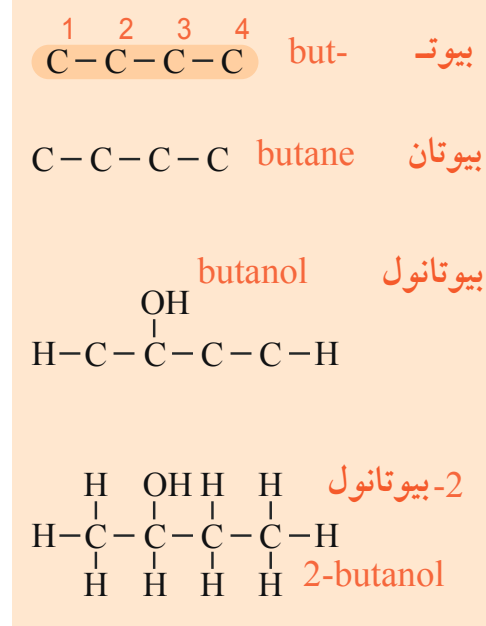
الخطوة 2: أضف اللاحقة «-ان»؛ ذلك أن جميع الروابط بين ذرات الكربون في السلسلة، هي روابط تساهمية أحادية.

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

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

مثال 18

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



الحل **الخطوة 1:** تحدّد البادئة «بيوت-»، لوجود 4 ذرات 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 روابط.

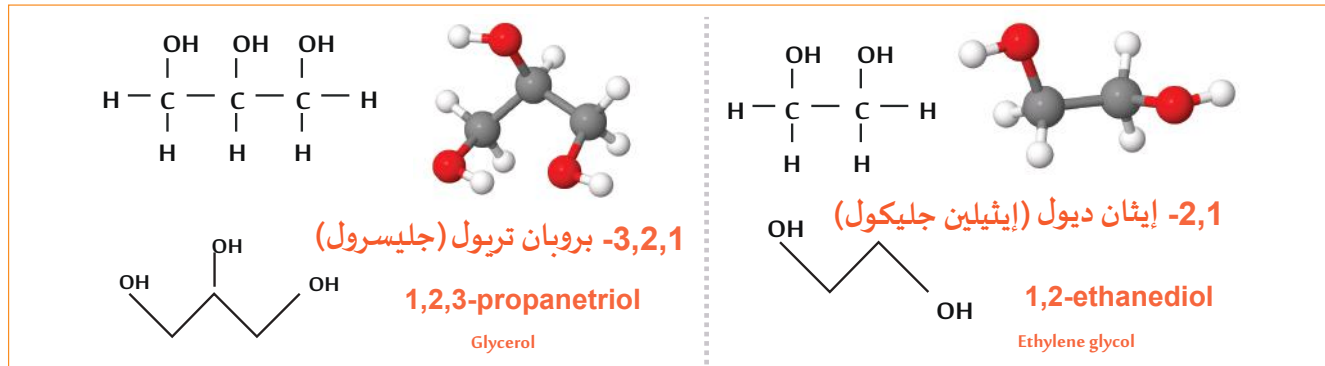
تصنيف الكحولات حسب عدد مجموعات الهيدروكسيل

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

💡 **الكحول الأحادي الهيدروكسيل:** كحول يحتوي مجموعة هيدروكسيل واحدة فقط.

💡 **الكحول الثنائي الهيدروكسيل:** كحول يحتوي على مجموعتي هيدروكسيل.

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



الشكل 5-15 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.

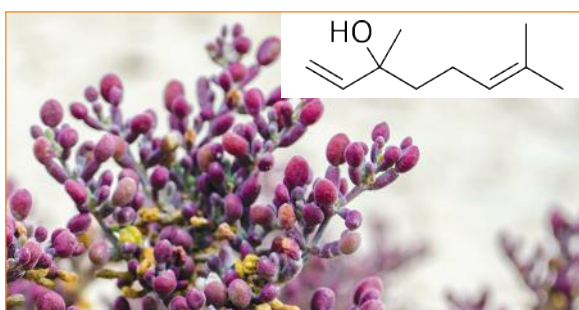
الكحول الثلاثي الهيدروكسيل الشائع هو 1,2,3-بروبان تريول «1,2,3-propanetriol». وهو يُعرف أيضاً باسم الجليسرول أو الجلسيرين. والجليسرول سائل لزج شفاف غير سام. يتميز هذا الكحول بكثرة استخداماته، بما في ذلك استخدامه في زيوت التشحيم، والتحلية، وكعامل تكثيف. أضيف إلى ذلك أن الجليسرول هو أيضاً جزيء بيولوجي مهم في تكوين الدهون. يوضح (الشكل 5-15) الصيغة الهيكلية التي تبين 3 ذرات كربون مرتبطة معاً بروابط أحادية لتكوّن سلسلة (البروبان)، إضافة إلى ثلاث مجموعات هيدروكسيل، مع وجود مجموعات الهيدروكسيل على ذرات الكربون 1، 2 و3.

أنواع الكحولات الأحادية الهيدروكسيل

تحدّد ذرّة الكربون المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل نوع الكحول الأحادي الهيدروكسيل. يبيّن الجدول 5-8 أمثلة على كل نوع من أنواع الكحولات.

ففي **الكحول الأوّلي Primary alcohol**، ترتبط ذرّة الكربون المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل مباشرة بذرّة واحدة أخرى من ذرّات الكربون. وخير مثال على ذلك، هو الإيثانول أو كحول الحبوب، الذي يُستخدم كمادة مضافة إلى البترول في كثير من البلدان.

• أما **الكحول الثانوي Secondary alcohol**، فترتبط فيه ذرّة الكربون المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل مباشرة بذرتي كربون أخرى. ومن الأمثلة على ذلك الأيزوبروبانول «2-بروبانول، 2-propanol»، المعروف أيضًا باسم الكحول المطهر، الذي يستخدم كمطهر للجلد.



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

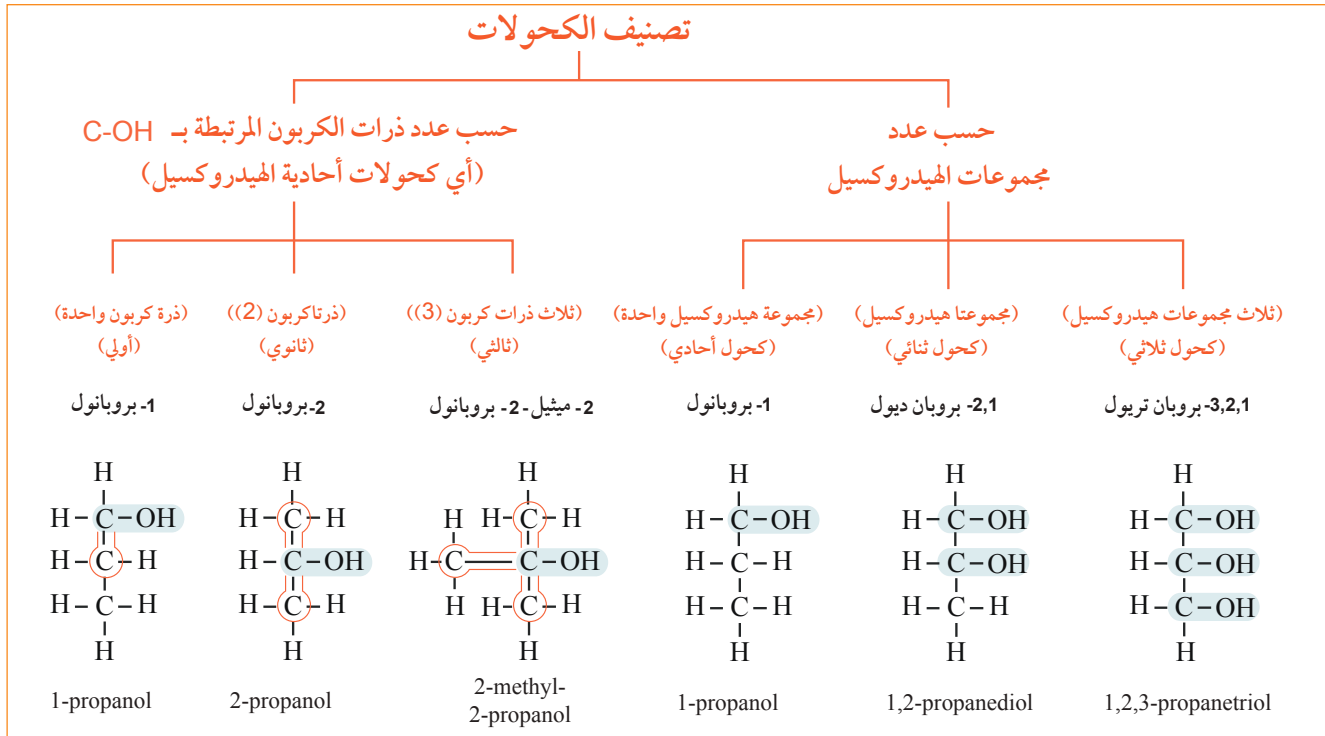
الشكل 5-16 للكثير من الكحولات الثالثية روائح مميزة.

الجدول 5-8 الكحولات الأولية والثانوية والثالثية.

نوع الكحول	الصيغة البنائية	الروابط
حالة خاصة ولكنه يعتبر أوّلي	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	مجموعة C – OH غير مرتبطة بأي ذرّة كربون أخرى.
أوّلي (1°)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	ترتبط C – OH بذرّة كربون واحدة أخرى.
ثانوي (2°)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{OH} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	ترتبط C – OH بذرتي كربون أخرى.
ثالثي (3°)	$\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	ترتبط C – OH بثلاث ذرّات كربون أخرى.

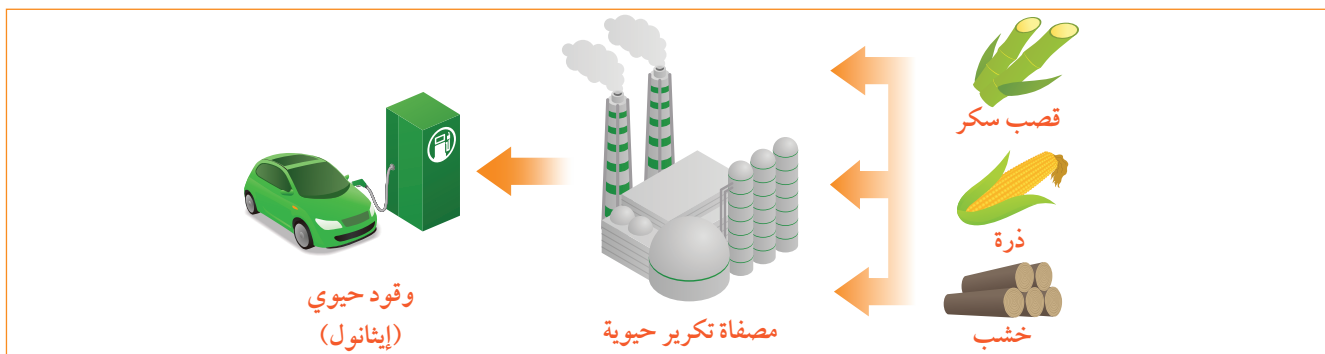
تصنيف الكحولات

يبين (الشكل 5-17) الطريقتين المختلفتين التي يتم تصنيف الكحولات من خلالهما، حيث تتداخل 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 5-17 مخطط يبين طريقتين لتصنيف الكحولات.

تعد الكحولات إحدى أنواع الوقود السائلة الجيدة المتجددة، وأكثر أنواعها استخداماً هو الإيثانول. فأول سيارة من طراز فورد تم تصميمها لكي تعمل بالإيثانول. والبرازيل هي الدولة التي تمتلك أكبر نظام وقود حيوي والأكثر نجاحاً في العالم، والذي يتضمن إنتاج وقود الإيثانول من قصب السكر، ففي عام 2006م، شكل وقود الإيثانول 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 الإيثانول المتجدد عوضاً عن البترول ومشتقاته.



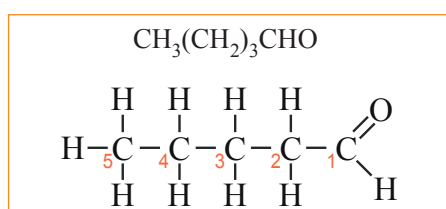
الشكل 5-18 إنتاج الإيثانول بوصفه وقوداً.

الألدهيدات

مجموعة الكربونيل	
الصيغة البنائية	الصيغة المكثفة
	-CO-

توجد مجموعة وظيفية شائعة أخرى، هي مجموعة **الكربونيل Carbonyl**. تتألف هذه المجموعة من ذرة كربون 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.



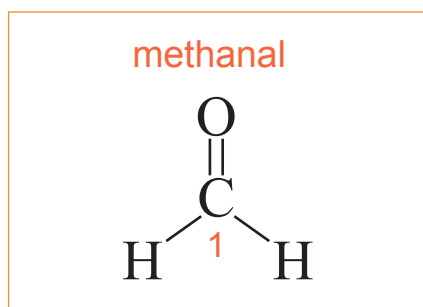
الشكل 5-19 الصيغة البنائية والبنائية المختصرة للألدهيد بنتانال.

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

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



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



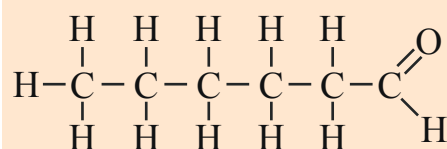
الشكل 5-20 الميثانال، ويعرف أيضاً باسم الفورمالدهيد.

أبسط الألدهيدات هو الألدهيد الذي يحتوي على ذرة كربون واحدة ويُسمى الميثانال. والاسم الشائع لهذا الألدهيد هو الفورمالدهيد. ويُعتقد 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، لأنه مادة مسرطنة.

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

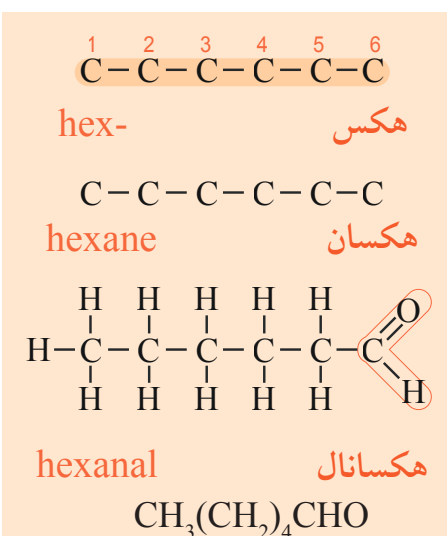


مثال 19



السؤال سمِّ المُرْكَب ذا الصيغة البنائية المقابلة واكتب صيغته المكثفة.

الحل **الخطوة 1:** حدّد أطول سلسلة كربون وعرفّها بالبادئة هكس.



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

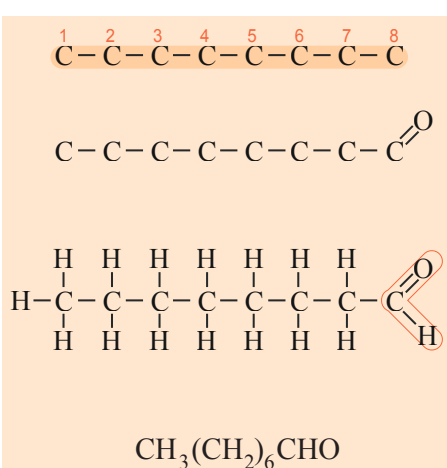
الخطوة 3: أضف اللاحقة «-al، -ال» لتحديد مجموعة الكربونيل في أطول سلسلة الكربون.

الخطوة 4: اكتب الصيغة المكثفة مع وضع -CHO في النهاية لتؤكد أن المُرْكَب عبارة عن ألدهيد.

مثال 20



السؤال ارسم الصيغة البنائية، ثم اكتب الصيغة المكثفة لمُرْكَب الأوكتانال «octanal» بحسب IUPAC.



الحل **الخطوة 1:** تحدّد البادئة أوكت- أطول سلسلة من ثماني ذرات كربون. وتشير اللاحقة «-ان» إلى أن جميع روابط C-C هي روابط أحادية.

الخطوة 2: تشير اللاحقة «-al» إلى أن أول ذرة كربون من السلسلة (يسارًا أو يمينًا) هي جزء من مجموعة الكربونيل. أضف رابطة ثنائية بين ذرة الكربون وذرة الأكسجين.

الخطوة 3: أضف ذرات الهيدروجين إلى ذرات الكربون حتى يصبح لكل ذرة كربون 4 روابط.

الخطوة 4: اكتب الصيغة المكثفة مع وضع -CHO في النهاية، لتؤكد أن المُرْكَب عبارة عن ألدهيد.

الكيتونات



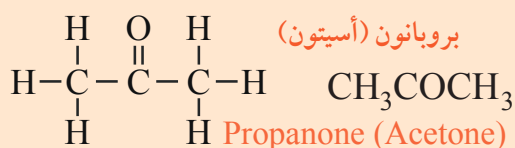
إذا وُجدت مجموعة الكربونيل مرتبطة بذرة كربون غير طرفية ضمن سلسلة الكربون في المركب العضوي، يصنّف المركب على أنه **كيتون Ketone**.

الكيتونات: مركّبات عضوية ترتبط فيها مجموعة الكربونيل بذرة كربون تقع ضمن أطول سلسلة ذرات الكربون.



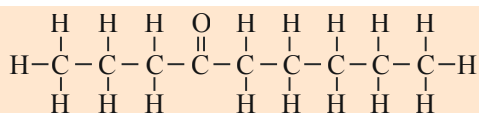
يُحدّد اسم الكيتونات حسب التسمية النظامية IUPAC، بإضافة اللاحقة «-ون، -one». وبما أن مجموعة الكربونيل في الكيتونات تقع ضمن سلسلة الكربون، فلا توجد ذرات هيدروجين مرتبطة بها. لذلك تكتب مجموعة الكربونيل بـ -CO-. وبالتالي فإن أصغر كيتون يتألّف من 3 ذرات كربون. ويطلق على أصغر الكيتونات اسم البروبانون «propanone»، المعروف باسم الأسيتون «acetone». للأسيتون استخدامات كثيرة، فهو يستخدم مخفّفًا لقوام الطلاء ومُزيلاً لطلاء الأظافر.

وعلى عكس الألهيدات، إذا تكوّنت سلسلة الكربون من ذرات كربون تفوق الأربع، يختلف موضع مجموعة الكربونيل في الكيتونات. وفي مثل تلك الحالات، يجب تحديد موقع مجموعة الكربونيل بوضع رقم موقع مجموعة الكربونيل في مقدّمة الاسم حيث تأخذ أقل رقم ممكن.

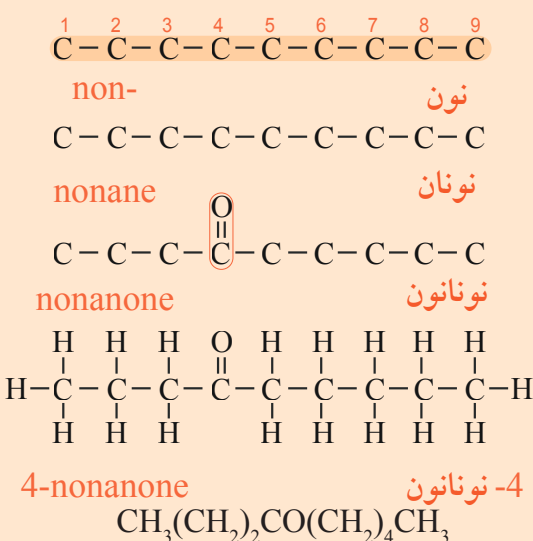


مثال 21

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



الحل حدّد أطول سلسلة من ذرات الكربون، وحدّد 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 مجموعة الكربونيل في سلسلة الكربون.
أضف رقم 4 لتحديد موقع مجموعة الكربونيل على سلسلة الكربون.
اكتب الصيغة المكثفة، وضع الصيغة -CO- في المنتصف، لتؤكد أن المركب هو كيتون.





التمييز بين الألدهيدات و الكيتونات

a2-5

سؤال الاستقصاء	كيف يمكننا إجراء اختبار للألدهيدات و الكيتونات؟
المواد المطلوبة	3 أنابيب اختبار، سدادات مطاطية، حامل أنابيب اختبار، مركب CuSO_4 المائي، حمض H_2SO_4 مخفف، تترات البوتاسيوم، هيدروكسيد الصوديوم NaOH ، محلول AgNO_3 تركيزه 0.2M، محلول NaOH تركيزه 3M، محلول الأمونيا (2.8%).

سيقوم مشرف المختبر، بتحضير ثلاثة محاليل مجهولة، ولكنها مركبات كربونيل، ويعنونها على النحو الآتي: X, Y, Z. وعلينا أن نحدد أي منها يُعدّ كيتونات، وأي منها يُعدّ ألدهيدات.

الجزء 1: اختبار فهلنج (Fehling test)

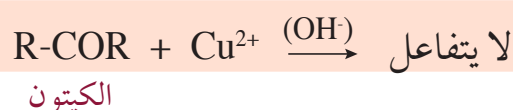
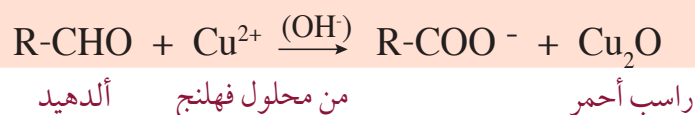
- يتم تحضير محلول فهلنج (A) بإذابة 7g من مركب $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ في 100mL من الماء المُقطّر الذي يحتوي على نقطتين من حمض الكبريتيك المُخفف.
- يتم تحضير محلول فهلنج (B) بإذابة 35g من تترات البوتاسيوم، و 12g من NaOH في 100mL من الماء المُقطّر.

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

2. أضف 3 نقط من المركب المراد فحصه إلى هذا الأنبوب.

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

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





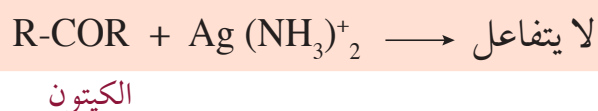
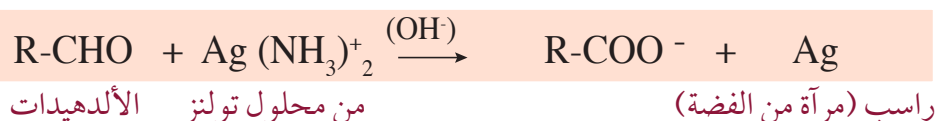
التمييز بين الألدهيدات والكيونات - تابع

a2-5

الجزء 2: اختبار تولنز (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 تولنز).

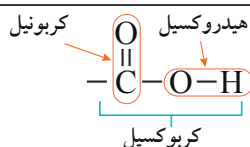
1. ضع 1mL من محلول تولنز الذي حضرته أعلاه في أنبوب اختبار فارغ.
 2. أضف ثلاث نقط من المركب المراد فحصه إلى أنبوب الاختبار.
 3. يُحتمل أن تشاهد تفاعلاً فورياً يحدث في الحال. وإذا لم يحدث، ضع أنبوب الاختبار في حمام مائي درجة حرارته تساوي 60°C .
- يعطي الاختبار نتيجة إيجابية مع الألدهيدات إذ يؤدي إلى تكون مرآة من الفضة، أو راسب أسود اللون في داخل أنبوب الاختبار، والمعادلة العامة المبسطة الآتية توضح ذلك:



الأسئلة

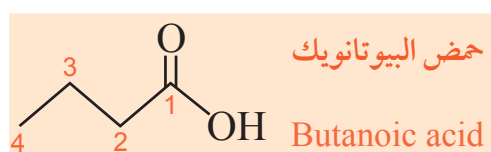
- ما سبب تغير اللون في اختبار فهلنج؟
- فسّر تحول السطح الداخلي لأنبوب الاختبار إلى مرآة من الفضة عند وجود الألدهيد في اختبار تولنز.
- حدد أي المحاليل X, Y, Z هي ألدهيدات و أي منها كيونات. فسر اجابتك.

الأحماض الكربوكسيلية

مجموعة الكربوكسيل	
الصيغة المكتفة	الصيغة البنائية
-COOH	

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

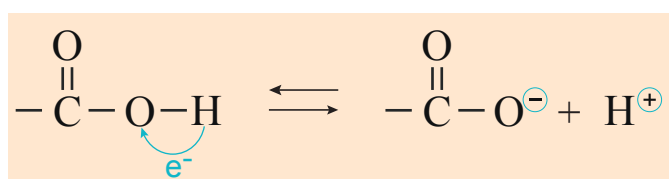
مجموعة الكربوكسيل الوظيفية: تتكوّن من مجموعة الكربونيل ومجموعة الهيدروكسيل (-COOH).



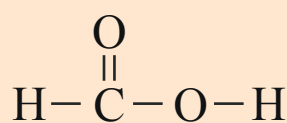
كما هي الحال في الألكهيدات، فإن ذرّة الكربون في مجموعة الكربوكسيل تأتي في طرف السلسلة الكربونية، وتعطى دائماً الرقم (1).

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

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



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



حمض الميثانويك
(الفورميك)

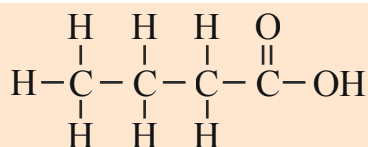
methanoic acid
(Formic acid)

HCOOH

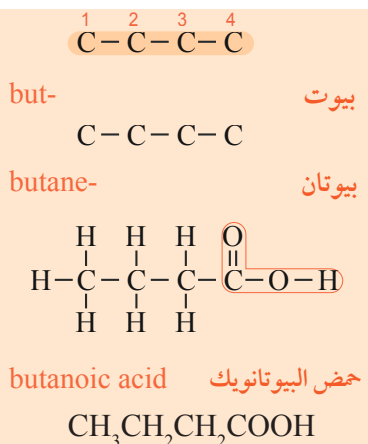
يُسمّى أبسط حمض كربوكسيلي بـحمض الميثانويك. واسمه الشائع حمض الفورميك، وهو مشتق من الاسم اللاتيني فورميك، ويعني النمل. ذلك أن حمض الفورميك تم الحصول عليه للمرة الأولى من أجسام النمل. كما أن الإحساس بلدغ النمل ناتج من حمض الفورميك.

عند كتابة الصيغ المكتفة، يرمز إلى مجموعة الكربوكسيل باستخدام (-COOH).

مثال 22



السؤال سمِّ المُرَكَّب ذا الصيغة البنائية المقابلة بحسب نظام التسمية IUPAC، ثم اكتب صيغته البنائية المكثفة.



الحل **الخطوة 1:** حدِّد أطول سلسلة من ذرات الكربون، واكتب البادئة بيوت.

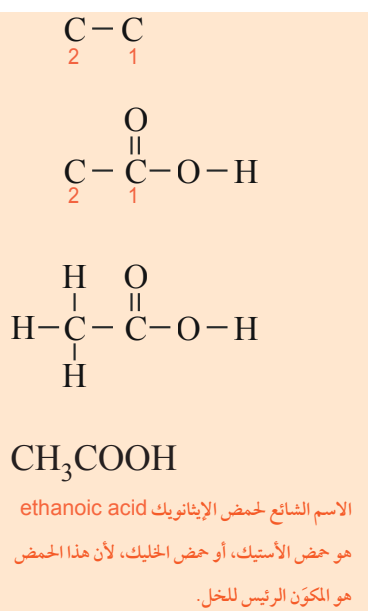
الخطوة 2: أضف اللاحقة «-ان، -ane»، لأن جميع الروابط التي تربط بين ذرات الكربون هي روابط تساهمية أحادية.

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

الخطوة 4: اكتب الصيغة المكثفة، واضعاً الرمز -COOH عند نهاية السلسلة، لتؤكد أن المُرَكَّب هو من الأحماض الكربوكسيلية.

مثال 23

السؤال ارسم الصيغة البنائية، واكتب الصيغة البنائية المكثفة لمُرَكَّب حمض الإيثانويك



الحل **الخطوة 1:** تحدِّد البادئة «-إيث، -eth» أن أطول سلسلة من ذرات الكربون مكوّنة من ذرتين. وتشير اللاحقة «-ان، -ane» إلى أن جميع روابط C-C هي روابط تساهمية أحادية.

الخطوة 2: يشير المقطع حمض واللاحقة «ويك» إلى أن أول ذرة كربون (يساراً أو يميناً) من السلسلة هي جزء من مجموعة الكربوكسيل. أضف ذرة الأكسجين المرتبطة مع ذرة الكربون برابطة تساهمية ثنائية، وكذلك مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بذرة الكربون نفسها.

الخطوة 3: أضف ذرات الهيدروجين، حتى يصبح لكل ذرة كربون أربع روابط.

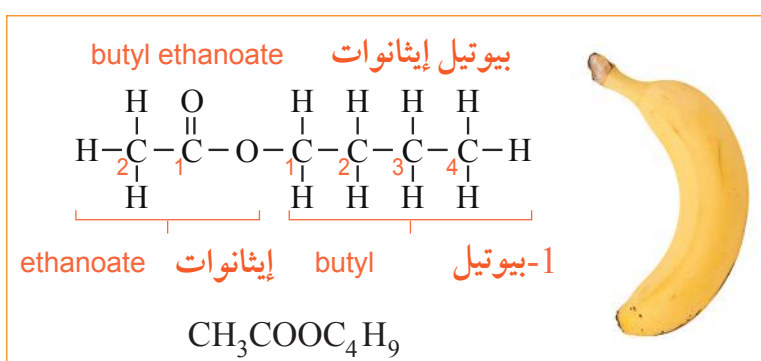
الخطوة 4: اكتب الصيغة المكثفة، واضعاً المجموعة الوظيفية -COOH عند النهاية لتؤكد أن المُرَكَّب هو حمض الكربوكسيل.

الإسترات

مجموعة الإستر	
الصيغة البنائية	الصيغة المكثفة
	-COO-

الإسترات Esters مركّبات عضوية لديها مجموعة وظيفية هي مزيج من مجموعة الكربونيل وذرة الأكسجين التي تقسم سلسلة الكربون بواسطة المجموعة (-O-) إلى قسمين، وتعرف بمجموعة الإيثر.

تحتوي الإسترات على مجموعة -COO- التي تقسم سلسلة الكربون إلى سلسلتين أصغر.

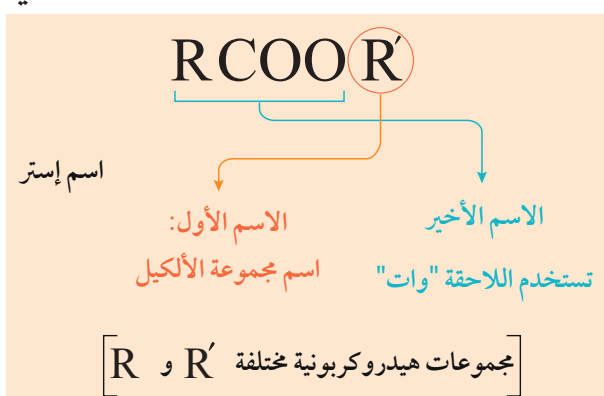


يتميّز الكثير من الإسترات برائحة زكية أو بطعم الفواكه. وتُعزى مذاقات الفواكه والروائح المميّزة لها إلى إستر مُعيّن أو مزيج من الإسترات. فرائحة الأزهار أو العطور ناتجة عن الإسترات. (الشكل 21-5).

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

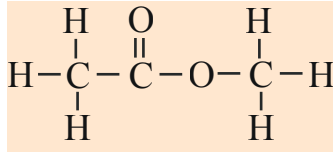
تختلف طريقة تسمية الإسترات عن أنواع المركّبات العضوية التي درسناها حتى الآن. ولتسمية إستر، قم بكسر السلسلة بعد مجموعة (-COO)، مع الحفاظ على ذرة الكربون في مجموعة الكربونيل كجزء من السلسلة الموجودة على ذلك الجانب من الجُزء. يُسمّى نصف السلسلة من دون ذرات الأكسجين كمجموعة الألكيل أولاً. ويستخدم النصف الثاني التسمية الهيدروكربونية النموذجية مع اللاحقة (-وات) المضافة.

تُحضّر الإسترات بتفاعل حمض الكربوكسيل والكحول. ستناقش عملية الأسترة هذه في

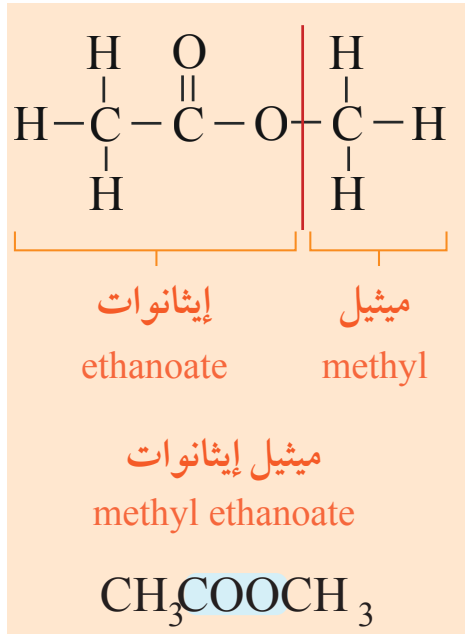


الدرس (3-5). من الجدير ملاحظته أن R-CO والذي يشكّل نصف الإستر مصدره حمض الكربوكسيل (RCOOH)، ومصدر الألكيل ($\text{R}'-\text{O}$) نصف الإستر الثاني من الكحول ($\text{HO-R}'$). حيث ترتبط ذرة H من الكحول ومجموعة OH من الحمض، لتكوين الماء، كناتج ثانوي.

مثال 24



السؤال سمِّ المُرَكَّب ذا الصيغة البنائية المقابلة بحسب نظام التسمية IUPAC، ثم اكتب صيغته البنائية المكثفة.



الحل **الخطوة 1:** قسم سلسلة الكربون ما بعد المجموعة -COO-

الخطوة 2: سمِّ النصف R من دون المجموعة -COO- باعتبارها مجموعة ألكيل. يحتوي هذا النصف على ذرة كربون واحدة فقط، لذلك تُسمَّى هذه المجموعة ميثيل.

الخطوة 3: سمِّ النصف R-COO- يحتوي هذا الجزء على ذرتي 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 (-COO-) في منتصف الصيغة لتؤكد أن المُرَكَّب عبارة عن إستر.

سؤال للمناقشة

أين تتوافر الإسترات بصورة طبيعية؟

سؤال للمناقشة

في أي منتجات يُستخدم الإستر؟

مثال 25

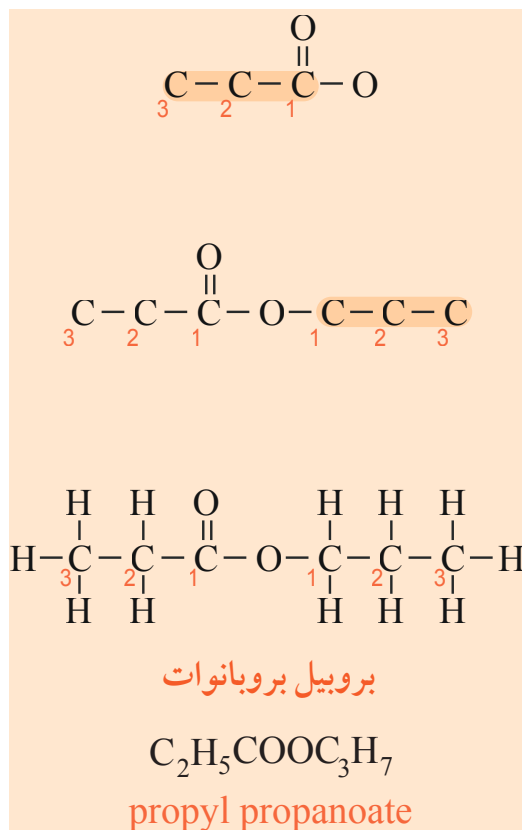


السؤال ارسم الصيغة البنائية للمركب بروبيل بروبانات «propyl propanoate» بحسب IUPAC، ثم اكتب صيغته البنائية المكثفة.

الحل

الخطوة 1: ابدأ باسم جزء السلسلة الذي ينتهي باللاحقة «أوات، oate». تحدّد البادئة «بروب» أطول سلسلة كربون في هذا النصف من الإستر بثلاث ذرات كربون. ستشمل ذرات الكربون الثلاث المجموعة الوظيفية (-COO-). وتشير اللاحقة «-ان، ane» إلى أن جميع الروابط C-C هي روابط تساهمية أحادية. أضف مجموعة (-COO-) إلى نهاية السلسلة الكربونية.

الخطوة 2: النصف الأول من الاسم هو المجموعة التي تلي المجموعة (-COO-). مرة أخرى، تحدّد البادئة «بروب» أطول سلسلة كربون في هذا النصف من الإستر أي ثلاث ذرات. أضف سلسلة من ثلاث ذرات كربون بعد المجموعة (-COO-). أما الرقم 1، فيدل على أن هذه السلسلة ترتبط بذرة الأكسجين من خلال الكربون رقم 1 ولا داعي لكتابته.



الخطوة 3: أضف ذرات الهيدروجين حتى يصبح لكل ذرة من ذرات الكربون أربع روابط أحادية.

الخطوة 4: اكتب الصيغة المكثفة مع وضع (-COO-) في منتصف الصيغة لتؤكد أن المركب عبارة عن إستر.

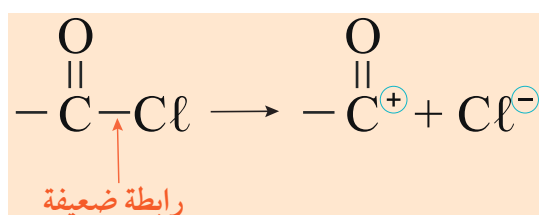
يوصف بروبيل بروبانات «propyl propanoate» بأن له رائحة فاكهة. يكتشف بعض الأشخاص الذين يشتمون رائحته بأنه يشبه رائحة الكمثرى. وسيكتشف بعضهم الآخر أنه يشبه رائحة الأناناس. وقد يصف آخرون الرائحة بأنها تشبه روائح ثمار أخرى. لذا من المعروف أن معظم روائح الفواكه ومذاقاتها ناجمة في الواقع عن مزيج من الإسترات. تنتج الفواكه تلك الإسترات بصورة طبيعية. ومع ذلك، يمكن إنتاجها صناعياً والجمع بينها، لتصنيع نكهات اصطناعية.

كلوريدات الأسيل

مجموعة كلوريد الأسيل	
الصيغة المختصرة	الصيغة الهيكلية
-COCl	

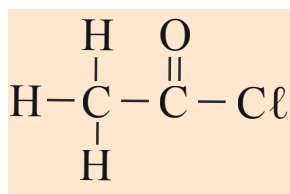
المجموعة الوظيفية **لكلوريدات الأسيل** **Acyl chlorides** هي مزيج من مجموعة الكربونيل مع مجموعة الكلورو.

تحتوي مركّبات كلوريدات الأسيل على المجموعة الوظيفية -COCl.



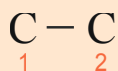
كلوريدات الأسيل لها نشاط كيميائي مرتفع. مما يجعلها خطيرة عند التعامل معها كما أن كلوريدات الأسيل تميل أن تتحوّل إلى أبخرة قوية جدًا من شأنها أن تحرق العيون والأنف. تشبه تسميات كلوريدات الأسيل طريقة تسمية الأحماض الكربوكسيلية، باستثناء استخدامها للعبارة البادئة «كلوريد، chloride»، واللاحقة «-ويل، -oyl».

مثال 26



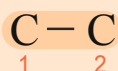
السؤال سمّ المركّب ذا الصيغة البنائية المقابلة، واكتب صيغته البنائية المكثّفة.

eth-

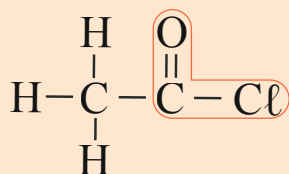


إيث

ethane



إيثان



ethanoyl chloride

كلوريد إيثانويل



الحل **الخطوة 1:** حدّد أطول سلسلة من الكربون، ثم حدّد البادئة «-إيث، -eth».

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

الخطوة 3: أضف اللاحقة «-ويل، -oyl»، وضع البادئة كلوريد، لتحديد وجود مجموعة كلوريد الأسيل على سلسلة الكربون.

الخطوة 4: اكتب الصيغة المكثّفة -COCl عند نهاية الصيغة لتؤكد أن المركّب هو كلوريد الأسيل.



بناء نماذج لجزيئات عضوية

b2-5

سؤال الاستقصاء	كيف يمكن تمثيل الجزيئات العضوية باستخدام نماذج ثلاثية الأبعاد؟
المواد المطلوبة	نماذج الكرات والعصي.

الجزء 1: رسم الصيغ البنائية للمركبات العضوية

1. ارسم الصيغ البنائية لكل جزيء.

من الصيغة البنائية، حدّد تصنيف المُركَّب وعدد ذرّات الكربون، وذرّات الهيدروجين، وذرّات الهالوجين، وذرّات الأكسجين، والروابط التساهمية الأحادية للكربون-الكربون، والروابط التساهمية الثنائية، وروابط الكربون والهيدروجين التي سيتطلّبها كل نموذج جزيئي.

جدول التحليل الجزيئي

اسم المركب	الصيغة البنائية	فئة المُركَّب	عدد ذرّات الكربون	عدد ذرّات الهيدروجين	عدد ذرّات الهالوجين	عدد ذرّات الأكسجين	عدد روابط C-C الأحادية	عدد الروابط الثنائية	عدد روابط C-H
الميثانول methanol									
البروبانال propanal									
2-برومو-3-كلوروبوتان 2-bromo-3-chlorobutane									
البروبانون propanone									
حمض الإيثانويك ethanoic acid									
ميثيل إيثانوات methylethanoate									

الجزء 2: بناء النماذج الجزيئية

استخدم دليل النماذج الجزيئية لتحديد ذرّات النموذج الصحيحة وروابط النموذج المراد استخدامها، ثم قم ببناء النماذج الجزيئية. اعرض النموذج على معلمك للتأكد من صحته.

تقويم الدرس 2-5

1. ما اللواحق المستخدمة لتحديد الكحولات والألدهيدات؟ 
2. ما الفرق بين الألدهيدات والكيونات 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 الكيونات 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 جزيء 1-نونيل بيوتانات «1-nonylbutanoate»؟ 
- a. 13
- b. 14
- c. 15
- d. 16
7. ما عدد ذرات الهيدروجين الموجودة في الجزيء الآتي: 2, 3-ثنائي برومو - 1, 1, 2-ثلاثي كلورو - 3-ايودوبنتان «2,3-dibromo-1,1,2-trichloro-3-iodopentane»؟ 
- a. 6
- b. 8
- c. 10
- d. 12
8. ما الخاصية المميزة للإسترات؟ 
9. ما العبارة اللاحقة التي تحدّد كلوريد الأسيل؟ 
10. ما اسم المركب ذي الصيغة البنائية المكثفة HCOOCH_3 بحسب IUPAC؟ 

الدرس 3-5

التفاعلات العضوية

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

تمّ في عام 1828م، إنتاج أوّل مُركَّب 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 التعلّم

- C1106.2** يصف كيمياء الألكانات من خلال تفاعلات الاحتراق، وتفاعلات استبدال الهيدروجين بالهالوجين (الهلجنة)، وخمولها الكيميائي تجاه تفاعلات الاستبدال (الإحلال) الإلكتروليتية (المحبة للإلكترونات) والنيوكليوفيلية (المحبة للنواة).
- C1106.3** يصف كيمياء الألكينات بأنها كيمياء الروابط التساهمية الثنائية، ومن خلال تفاعلات الإضافة والبلمر.
- C1106.4** يصف كيمياء هاليدات الألكيل من خلال تفاعلات الاستبدال (الإحلال)، وحذف هاليدات الهيدروجين لتكوين الألكين.
- C1106.6** يصف كيمياء الكحولات من خلال الإيثانول، ويتضمّن تفاعلات الاحتراق، وتفاعلات الاستبدال (الإحلال)، والتفاعل مع الصوديوم، وأكسده إلى مُركَّبات كربونية، وأحماض كربوكسيلية، وتفاعلات نزع (حذف) الماء، وتفاعل تكوين الإسترات.
- C1106.7** يصف تكوين الألكهيدات والكيتونات من أكسدة الكحولات، واستخدام حمض الكروميك كعامل مؤكسد.
- C1106.9** يصف تكون الأحماض الكربوكسيلية وتفاعلاتها لتكوين الإسترات والأملاح.
- C1106.10** يصف خصائص تركيب الإسترات، واستخداماتها، وتفاعل التحلل المائي لتكوين الكحولات والأحماض.

المفردات

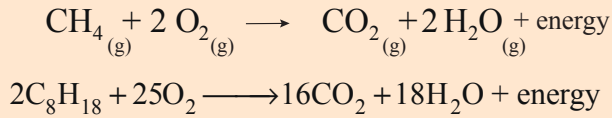


Substitution	الاستبدال
Elimination	الحذف
Combustion	الاحتراق
Esterification	الأسترة
Hydrolysis	التحلل المائي
Electrophile	إلكتروفيل
Nucleophile	نيوكليوفيل
Halogenation	الهلجنة

تفاعلات الألكانات

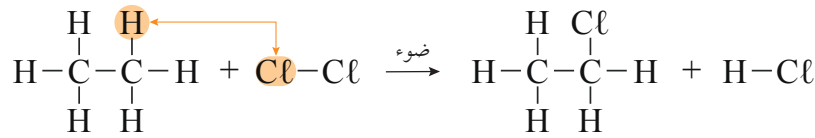
الاحتراق

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 التدفئة المنزلي وطهي الطعام.



الاستبدال (الإحلال)

• تتفاعل الألكانات مع جزيئات الهالوجين ضمن تفاعل يسمى **الاستبدال Substitution**، (هالجنة الألكانات Halogenation). بأن يتم استبدال ذرة هيدروجين من جزيء الألكان بذرة هالوجين انظر (الشكل 22-5)، فينتج هاليد الألكيل كناتج رئيس وجزيء هاليد الهيدروجين بوصفه ناتجاً ثانوياً. يحتاج هذا النوع من التفاعلات إلى ضوء الشمس (UV) أو إلى تسخين لدرجة حرارة معينة.



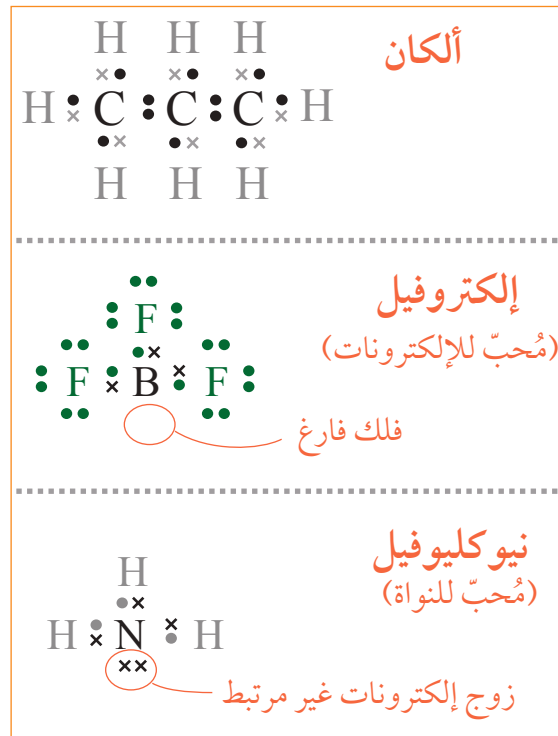
الشكل 22-5 تفاعل استبدال يوضح تفاعل الإيثان مع غاز الكلور.

نشاطية الألكانات

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

• **الإلكتروفيلات** (المواد المُحبّة للإلكترونات) هي جسيمات مشحونة بشحنة موجبة أو مُستقبلات لزوج من الإلكترونات، مثل ثلاثي فلوريد البورون (BF₃)، والألكانات لا تتفاعل مع الإلكترونات.

• **النيوكليوفيلات** (المواد المُحبّة للنواة) هي مانحات لزوج من الإلكترونات، مثل الأمونيا (NH₃). فالنيوكليوفيلات تمتلك زوجاً من الإلكترونات يقع في فلك غير مرتبط، أو رابطة ثنائية أو أيون سالب، والألكانات لا تتفاعل مع النيوكليوفيلات.

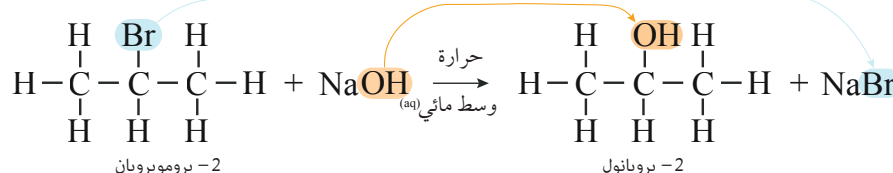


الشكل 23-5 ألكان، وإلكتروفيل، ونيوكليوفيل.

تفاعلات هاليدات الألكيل

الاستبدال (الإحلال)

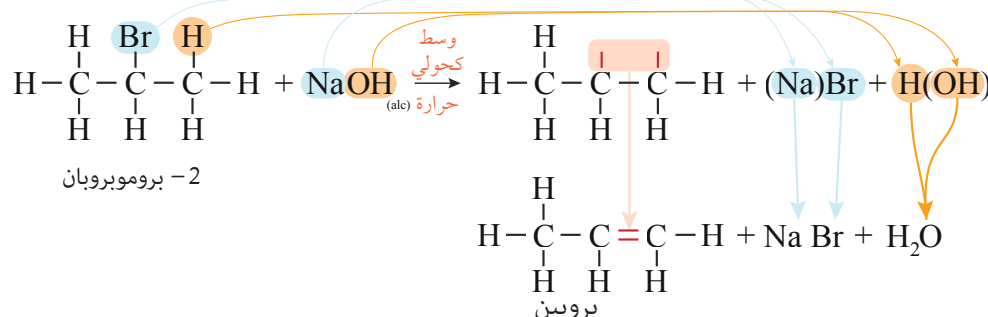
تعتبر هاليدات الألكيل مواد نشطة كيميائياً غير مستقرة تتفاعل بسهولة ولذا تعتبر مواد أولية هامة لتحضير الكثير من المركبات العضوية. من أهم تفاعلاتها: الاستبدال والحذف. خلال تفاعلات استبدال هاليدات الألكيل، تستبدل ذرة هالوجين بمجموعة وظيفية تأتي من مادة متفاعلة أخرى. انظر (الشكل 5-24)، الذي يبين تفاعل هاليد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



الشكل 5-24 تفاعل استبدال هاليد الألكيل.

الحذف

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



الشكل 5-25 تفاعل حذف هاليد الألكيل.

سؤال للمناقشة

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

لاحظ أن الأمثلة على استبدال هاليدات الألكيل وحذفها تبدأ بالمتفاعلات نفسها. ترى ما الذي يحدّد 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 هاليد الألكيل ونوع المذيب المستخدم ودرجة الحرارة التي يحدث عندها التفاعل تجعل أحد التفاعلين هو المفضل على الآخر، سواء الاستبدال، أو الحذف.

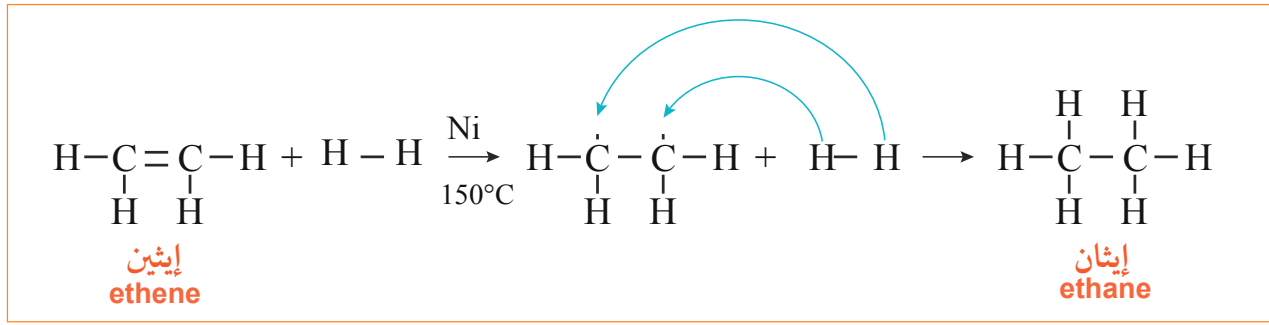
تفاعلات الألكينات

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

الإضافة

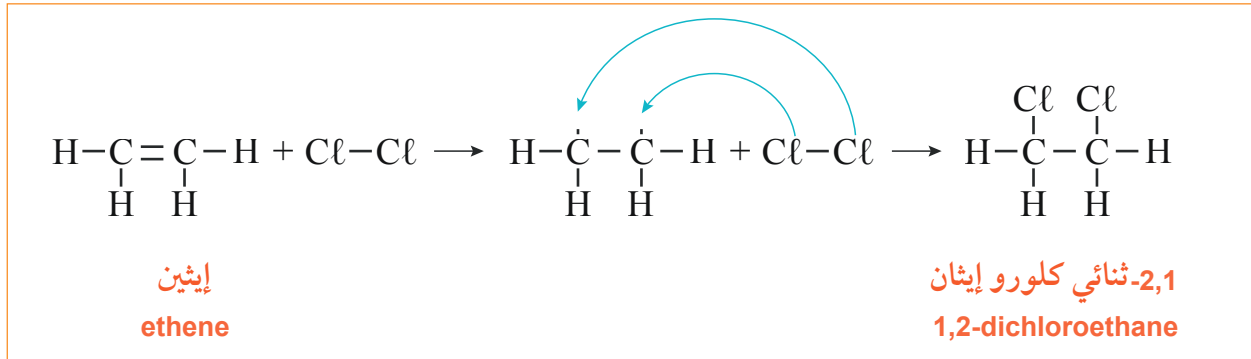
نتيجة لتكون موقعي رابطة قابلين للتفاعل، يمكن إضافة ذرتين إلى الجزيء من دون إزالة أي ذرات.

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



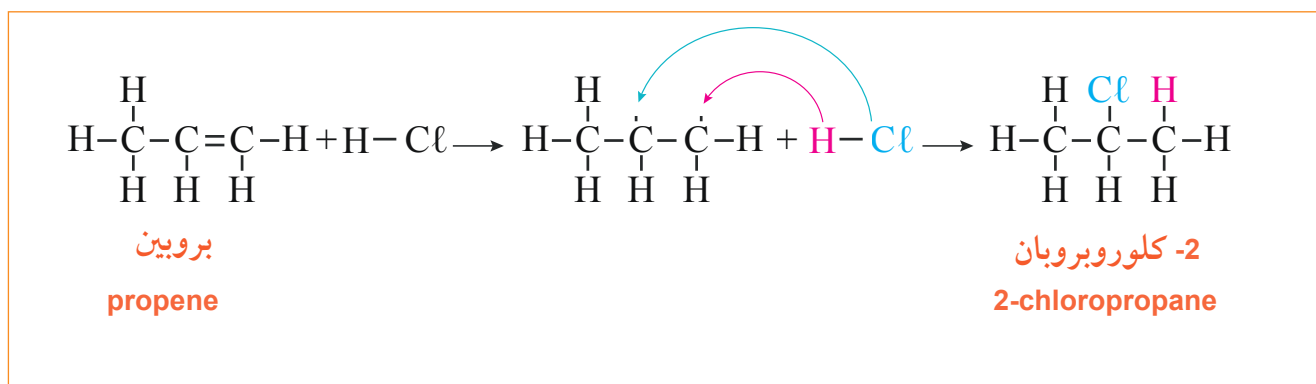
الشكل 26-5 تفاعل الإضافة لتكوين ألكان.

2. تفاعلات إضافة الهالوجين: تضاف ذرتي الهالوجين إلى موقعي الرابطة القابلة للتفاعل وينتج عن ذلك هاليد الألكيل. انظر (الشكل 27-5).



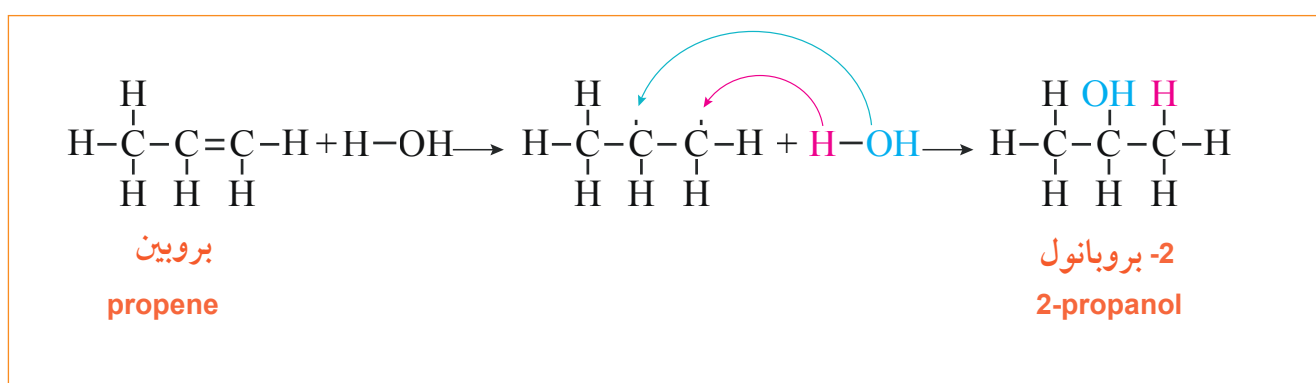
الشكل 27-5 تفاعل الإضافة لتكوين هاليد الألكيل.

3. تفاعلات إضافة هاليد الهيدروجين: في حالة الألكين المتمثل، تضاف ذرة الهيدروجين إلى إحدى ذرتي كربون الرابطة الثنائية وتضاف ذرة الهالوجين إلى ذرة الكربون الأخرى، وينتج عن ذلك هاليد الألكيل. وعندما يكون الألكين غير متمثل، 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 28-5).



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 الهالوجين أو هاليد الهيدروجين إلى الألكين. بينما ينتج الكحول عند إضافة الماء إلى الألكين.



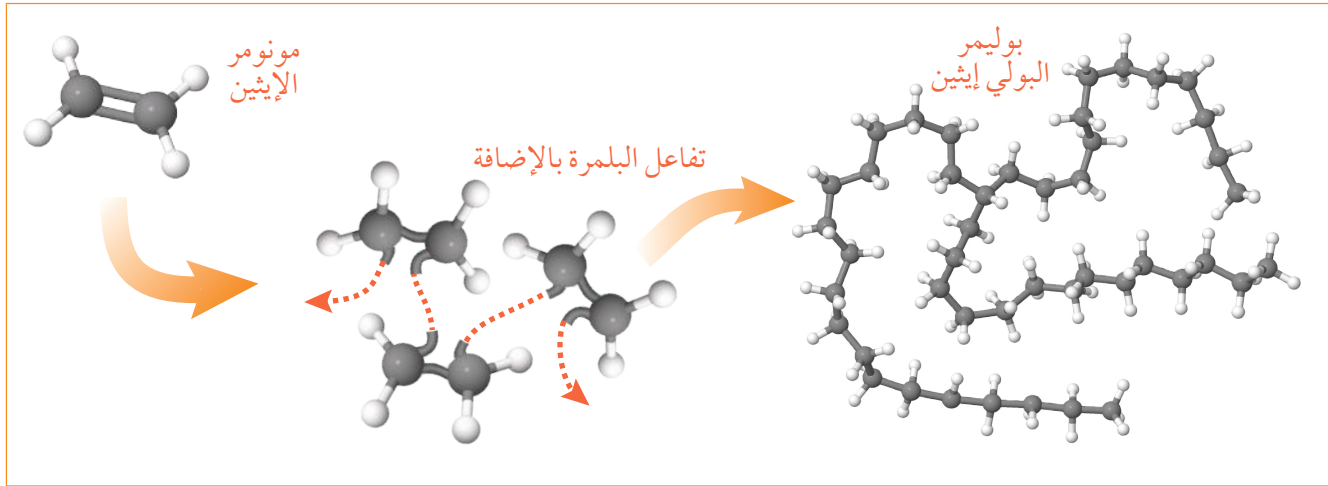
هناك اختلافان رئيسان بين تفاعلات الإضافة والاستبدال، هما:

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 موقعي ترابط جديدين، ساعد على حدوث تفاعل البلمرة للألكينات. ففي تفاعلات البلمرة، ترتبط سلاسل الجزيئات معاً انظر (الشكل 30-5). وبالنظر إلى أهمية موضوع البلمرة، سوف نتناوله بشكل مفصل الوحدة القادمة.



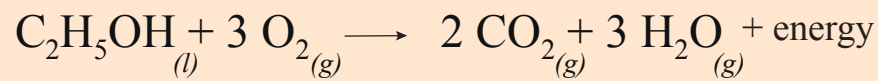
الشكل 30-5 يؤدي تفاعل البلمرة بالإضافة إلى تكوين بوليمر من المونومر الإيثين.

تفاعلات الكحولات

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

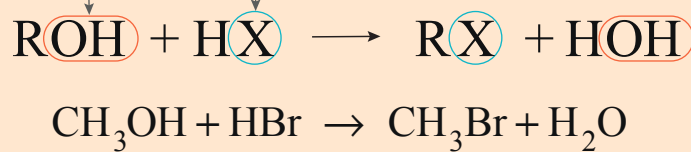
الاحتراق

يؤدي الاحتراق الكامل للكحولات إلى تكوين غاز ثاني أكسيد الكربون والماء، بوصفهما نواتج للتفاعل. وهذا مشابه لاحتراق الألكانات الكامل. فالإيثانول كحول ازدادت أهميته كثيرًا في الدول التي تخلط الإيثانول بالجازولين (بنزين السيارات) لتسهم في إطالة أمد احتياطات العالم من النفط. تمثل المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية تفاعل الاحتراق الكامل للإيثانول.



تفاعلات الاستبدال مع هاليدات الهيدروجين

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

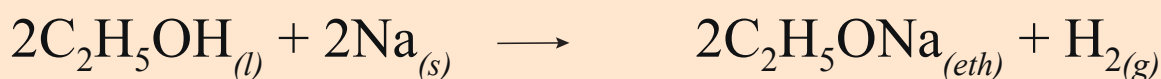


المعادلة العامة:

مثال:

تفاعلات الاستبدال مع الفلزات النشطة مثل الصوديوم

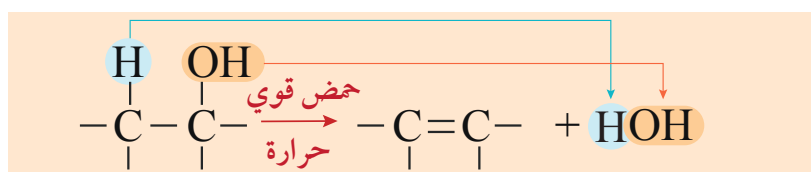
هنالك تفاعل مميز للكحولات، هو تفاعلها مع فلز الصوديوم لإنتاج غاز الهيدروجين. وعلى الرغم من أن هذا التفاعل يُستخدم لاختبار سائل غير معلوم، للكشف إن كان كحولاً نقياً أم لا، إلا أنه تفاعل خطير؛ ويكون الناتج العضوي في هذا التفاعل ملح ألكوكسيد الصوديوم، وهو قاعدة مرافقة. ويسمى الناتج في المعادلة التالية إيثوكسيد الصوديوم C_2H_5ONa .



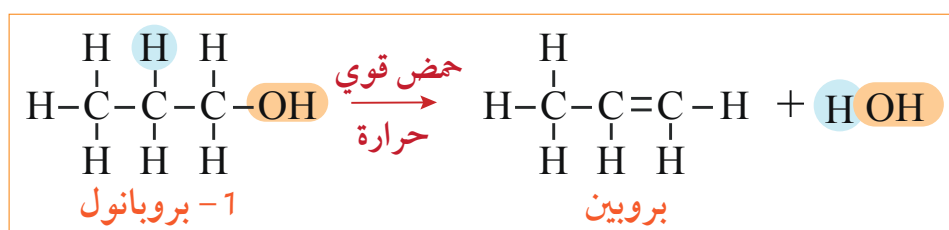
* المقطع (eth) السفلي يُظهر أن هذه الأيونات ذائبة في الكحول.

نزع الماء لتكوين الألكينات

عندما يتم تسخين الكحولات تسخيناً كافياً بوجود حمض قوي، مثل حمض الكبريتيك، يُنزع الماء «dehydration» من الكحولات لتكوين الألكينات. فمجموعة الهيدروكسيل وذرة الهيدروجين الموجودتان على ذرتي كربون متجاورتين ستتم إزالتها من الكحول، مما يؤدي إلى تكوين موقعي ترابط على ذرتي الكربون. يتداخل بعد ذلك موقعا الترابط لتكوين رابطة ثنائية بين ذرتي الكربون المتجاورتين، وبالتالي يؤدي ذلك إلى إنتاج الألكين.



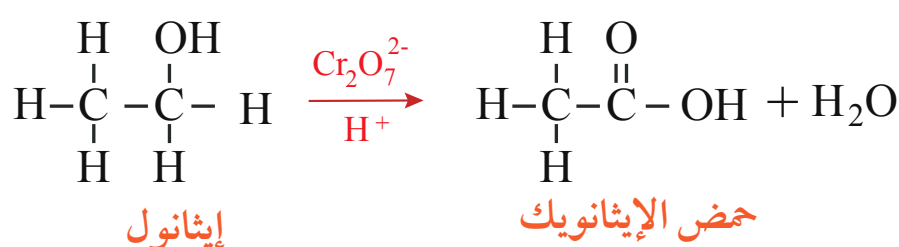
المعادلة العامة:



مثال:

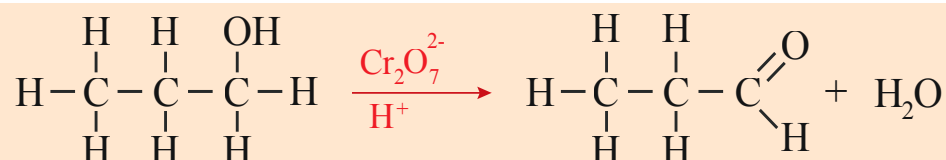
أكسدة الكحولات

عندما يحدث التسخين الكافي للكحول الأولي بوجود عامل مؤكسد، عادة يستخدم محلول ثنائي الكرومات $Cr_2O_7^{2-}$ (VI) الحمضي، أو حمض الكروميك (H_2CrO_4) ، تتحول مجموعة الهيدروكسيل إلى مجموعة كربونيل، ثم إلى مجموعة الكربوكسيل عند التأكسد التام، ويتكون الماء بوصفه ناتجاً ثانوياً. أي أن أكسدة الكحول تعني إزالة ذرة (H) من مجموعة (OH) وذرة (H) أخرى من ذرة الكربون نفسها.



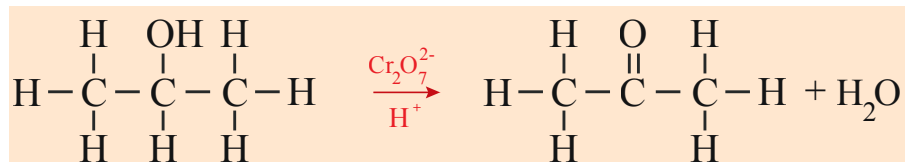
تحضير الألدهيدات من أكسدة الكحولات الأولية

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



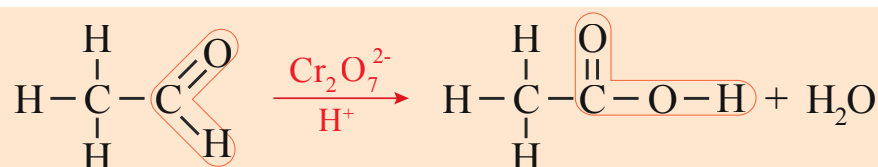
تحضير الكيتونات من أكسدة الكحولات الثانوية

تقع المجموعات الوظيفية لكل من الكحولات الثانوية والكيتونات في وسط سلسلة الكربون لذلك عندما يتأكسد الكحول الثانوي يكوّن كيتوناً، وتبقى سلسلة الكربون بلا تغيير أيضاً. لذلك عندما يكون الهدف تحضير 3-بتانول، يجب أن يُستخدم 3-بتانول بوصفه متفاعلاً.



تحضير الأحماض الكربوكسيلية من أكسدة الألدهيدات

معلوم أن أكسدة الكحولات الأولية تُنتج ألدهيدات. وإذا أُتيح لعملية الأكسدة أن تستمر بوجود عامل مؤكسد مناسب، تتأكسد مجموعة الكربونيل في الألدهيد إلى مجموعة كربوكسيل، منتجة بذلك حمضاً كربوكسيليّاً. وكما هي حال الألدهيدات والكيتونات، عندما يكون الهدف تحضير حمض كربوكسيلي مكوّن من ذرتي كربون، يجب أن يُستخدم 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

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

الجزء 1: اختبار جونز للكحولات الأولية والثانوية

1. ضع 1mL من الأستون 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 يتكوّن من حمض الكروميك وحمض الكبريتيك المخفف، مذابين في الأستون والماء إلى كل أنبوب اختبار.
4. سجل ملاحظاتك بعد مضي دقيقة واحدة، ثم تخلص من النفايات الناتجة بالطريقة الصحيحة، ونظف أنابيب الاختبار وجهازها 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 لوكاس للكحولات الأولية والثانوية والثالثية

1. أضف 2mL من كاشف لوكاس (كلوريد الخارصين في حمض الهيدروكلوريك المركز) 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، ولاحظ 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 ستنتج 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.

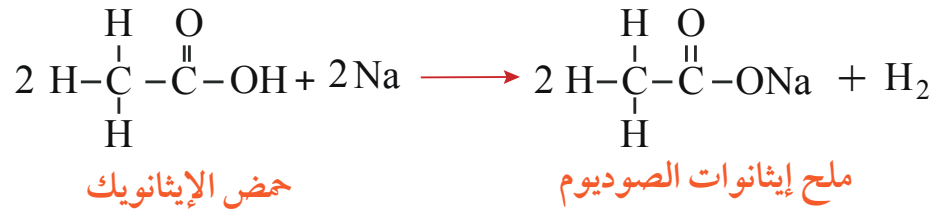
الأسئلة

- 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 لوكاس، ولماذا لا يحدث هذا التفاعل مع الكحولات الأولية.

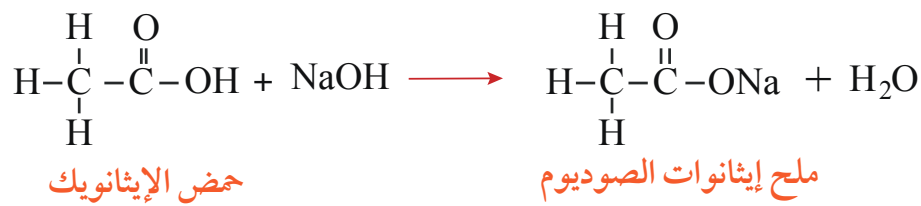
تفاعلات الأحماض الكربوكسيلية

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

1. تفاعلات الأحماض الكربوكسيلية مع الفلزات:



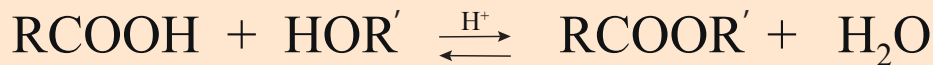
2. تفاعلات الأحماض الكربوكسيلية مع القواعد:



تفاعلات الإسترات

التحضير

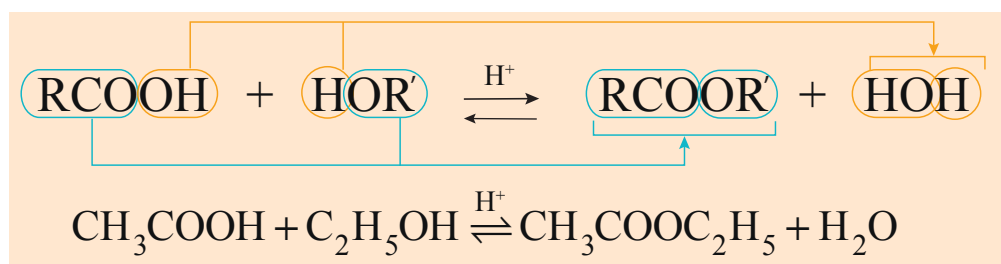
يمكن تحضير الإسترات باستخدام حمض الكبريتيك بوصفه عاملاً حفّازاً؛ وذلك من خلال تفاعل حمض كربوكسيلي مع كحول لتكوين إستر وماء. يعرف هذا التفاعل باسم **الأسترة Esterification**.



الأسترة 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 معاً لتكوين الماء بوصفه ناتجاً ثانوياً. ولهذا السبب يشار إلى تفاعل الأسترة بأنه عملية نزع الماء.



المعادلة العامة:

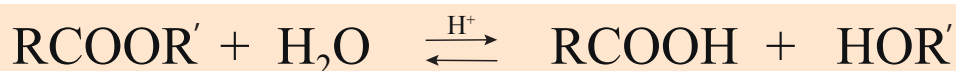
مثال:

التحلل المائي للإسترات

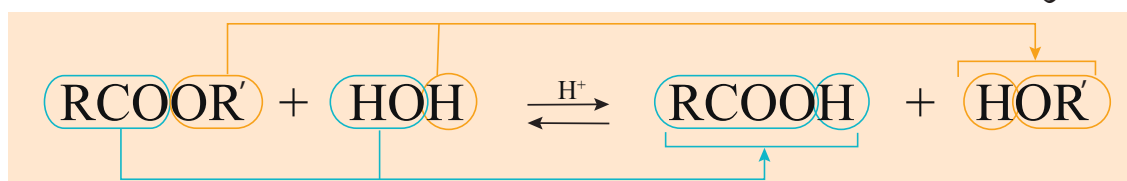
التحلل المائي هو تفكك مادة من خلال تفاعلها مع الماء.



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



يمكن توقع نواتج عملية التحلل المائي من خلال كسر الإستر بعد مجموعة (-CO-)، وإضافة OH من الماء إلى المجموعة R-CO- لتكوين حمض كربوكسيلي، ثم إضافة H من الماء إلى مجموعة OR' لتكوين الكحول.

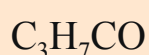


اعتاد الناس على استخدام مركب الأسبرين، بوصفه مسكناً شائعاً للألم. فالأسبرين عبارة عن إستر. وهو يخضع لتفاعل التحلل المائي بمرور الوقت. هناك جزء من الأسبرين يُعدّ حمضاً كربوكسيليّاً هو حمض الإيثانويك، وهو نفسه الحمض الموجود في الخل. فرائحة الخل يمكن ملاحظتها في عبوات الأسبرين القديمة. لذلك تنتهي صلاحية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

مثال 27



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



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

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

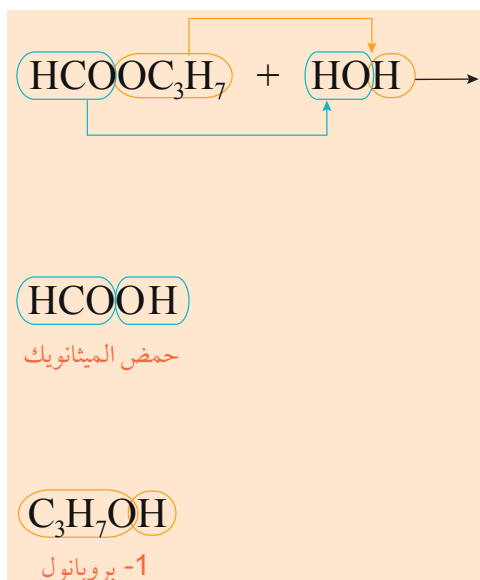
الخطوة 3: اكتب الإيثانول بصيغته المختصرة، ولكن ضع مجموعة الهيدروكسيل في بداية الصيغة المكثفة في هيئة HO.

الخطوة 4: انزع ذرة H من مجموعة HO من الإيثانول تاركاً 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 توقّع الحمض الكربوكسيلي والكحول اللذين قد يتفاعلان معًا لتكوين الإستر:
بروبيل ميثانوات (HCOOC_3H_7).



الحل

الخطوة 1: اكسر الإستر بعد المجموعة HCO- .

الخطوة 2: أضف مجموعة OH إلى المجموعة RCO- لتكوين صيغة بنائية مختصرة للحمض الكربوكسيلي. هذا الحمض مكوّن من ذرّة كربون واحدة، لذا يُسمّى حمض الميثانويك.

الخطوة 3: أضف ذرّة H إلى مجموعة OR' لتكوين الصيغة البنائية للكحول. وهذا الكحول مكوّن من ثلاث ذرّات كربون بالإضافة إلى مجموعة هيدروكسيل موجودة في نهاية الكربون، لذا يُسمّى 1-بروبانول.



تحضير الإسترات

b 3-5

سؤال الاستقصاء	كيف يمكن تحضير الإستر من الحمض الكربوكسيلي والكحول؟
المواد المطلوبة	حمض إيثانويك مركز، إيثانول نقي، حمض الكبريتيك المركز، أنابيب اختبار عدد 2، مخبر مدرّج سعته 20 mL، مصدر لهب، كأس زجاجية 250 mL، شبك حديدي، ملاقط للأنابيب، نظارات واقية وقفازات.

المقدمة

ينتج 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

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

الأسئلة

1. أكتب معادلة التفاعل الحادث.
2. فسر استخدام قطرات حمض الكبريتيك في التفاعل.

تقويم الدرس 3-5

1. في أي نوع من التفاعلات الآتية تتفاعل الألكانات لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون والماء؟
 - a. الإضافة
 - b. الاحتراق الكامل
 - c. الحذف
 - d. الاستبدال
2. أيُّ من تصنيفات المُركَّبات الآتية يمكن أن تقوم بتفاعل البلمرة بالإضافة؟
 - a. الألكانات
 - b. هاليدات الألكيل
 - c. الألكينات
 - d. الكحولات
3. أيُّ من المُركَّبات الآتية يتكوَّن بنزع الماء من الكحولات؟
 - a. الألدهيدات
 - b. الأحماض الكربوكسيلية
 - c. الألكانات
 - d. الألكينات
4. أيُّ من المواد الكيميائية الآتية إذا أُكسدت تتكوَّن الألدهيدات؟
 - a. الكحولات الأولية.
 - b. الكحولات الثانوية.
 - c. الكحولات الثالثية.
 - d. الأحماض الكربوكسيلية
5. إذا تمَّت أكسدة 3-ديكانول 3-decanol بواسطة حمض الكروميك كعامل مؤكسد، فأَيُّ من الجُزيئات العضوية الآتية ينتج؟
 - a. 3-ديكين
 - b. 3-ديكانال
 - c. 3-ديكانون
 - d. حمض ديكانويك
6. سمِّ تصنيفين لمُركَّبات يمكن أكسدتها لإنتاج حمض كربوكسيلي.

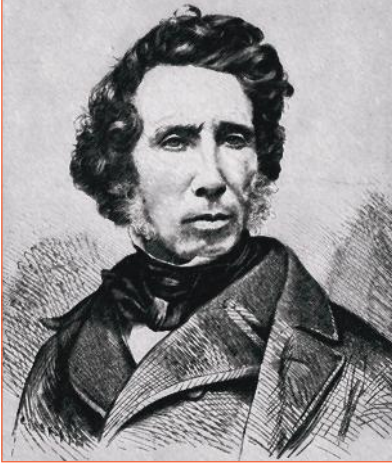
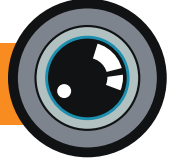

7. ما المتفاعلات والمواد الناتجة لعملية الأسترة؟


8. ما الغاز الذي ينتج عندما يتفاعل فلز الصوديوم مع الكحول؟


9. قارن بين الإلكتروليفيلات والنيوكليوفيلات.



علماء في دائرة الضوء



فريدريش فولر Friedrich Wöhler

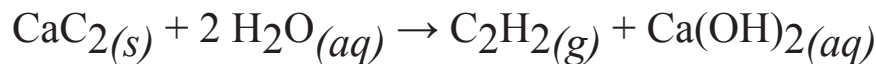
قبل العام 1828م، كان الاعتقاد السائد بأن المواد الكيميائية، والتي نصنفها اليوم بأنها مُركَّبات عضوية، يمكن أن تنتج في النباتات والحيوانات فقط. وهذا الاعتقاد كان يُعرف باسم المذهب الحيوي، أو نظرية القوة الحيوية. وفي العام 1828 أنتج الكيميائي الألماني فريدريش فولر (1800-1882م) أول مُركَّب عضوي في المختبر،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

فبواسطة خلط الأمونيوم (NH_4^+) مع أملاح السيانات (OCN^-)، أنتج فولر سيانات الأمونيوم، التي تفكَّكت لإنتاج المُركَّب العضوي اليوريا ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) الموضَّحة بالمعادلة الكيميائية الآتية:



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

أسهمت أبحاث فولر واكتشافاته في زيادة 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 النقية. 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 ليستحق أعظم تكريم يمكن أن يحصل عليه عالم قط. أضف إلى ذلك أن مجموع أعماله تعد ساحقة للغاية. ولو أنه لم يعيش بيننا، لكان مفهوم الكيمياء مختلفاً جداً عما هو عليه الآن».

الوحدة 5

مراجعة الوحدة

الدرس 5-1: الهيدروكربونات

- **الهيدروكربونات Hydrocarbons** هي أبسط أنواع المركبات العضوية المختلفة والتي تحتوي على الكربون والهيدروجين.
- **الألكانات Alkanes** مركبات هيدروكربونية مشبعة، تكون فيها الروابط بين ذرات الكربون تساهمية أحادية فقط.
- **مجموعات الألكيل Alkyl groups** هي سلاسل هيدروكربونية متفرعة من سلسلة كربون أطول منها أو متفرعة من حلقة.
- **الألكينات 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

- **المجموعات الوظيفية Functional groups** ذرة أو مجموعة ذرات تحدد خصائص المركبات العضوية التي تحتوي عليها.
- **هاليدات الألكيل Alkyl halides** ألكانات تحتوي على مجموعات وظيفية من الهالوجينات.
- **تحتوي الكحولات Alcohols** على مجموعة الهيدروكسيل ($-OH$) الوظيفية.
- **يحتوي الكحول الأحادي الهيدروكسيل Monohydroxyalcohol، والثنائي الهيدروكسيل dihydroxy، وثلاثي الهيدروكسيل Trihydroxy** على 1، 2، و3 من مجموعات الهيدروكسيل على التوالي.
- **تحتوي الألدهيدات Aldehydes** على مجموعة الكربونيل ($-C=O$) 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 $-COO-$ تتوسط سلسلة الكربون.
- **تحتوي كلوريدات الأسيل Acyl chlorides** على مجموعة $-COCl$ عند نهاية سلسلة الكربون.

الوحدة 5

مراجعة الوحدة

الدرس 3-5: التفاعلات العضوية

- تحترق الألكانات والكحولات احتراقاً كاملاً لتنتج CO_2 و H_2O وحرارة.
- تتفاعل الألكينات بالإضافة. فعند إضافة الهيدروجين إلى الألكين ينتج الألكان المقابل. في حين ينتج هاليد الألكيل عند إضافة الهالوجين أو هاليد الهيدروجين إلى الألكين. بينما ينتج الكحول عند إضافة الماء إلى الألكين.
- عندما تخضع هاليدات الألكيل لتفاعلات الحذف تنتج الألكينات.
- 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
- **الأسطرة Esterification** هي تفاعل حمض كربوكسيلي مع كحول لتكوين الإستر والماء.
- **التحلل المائي Hydrolysis** هو تفكك مادة عن طريق تفاعلها مع الماء.

اختيار من متعدد

1. أي من الآتي هو مُركَّب هيدروكربوني؟



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 مميّزات الألكانات؟

a. تحتوي على رابطة تساهمية ثنائية واحدة بين ذرتين من كربون في سلسلة الكربون المُكوّنة للمُركَّب 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 الهالوجينات.

4. ما اسم مجموعة الألكيل التي لها الصيغة المكثفة C_3H_7 -؟

a. برويل

b. هبتيل

c. ديكيل

d. ميثيل

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

a. هبتان heptane

b. هبتين heptene

c. 2-ميثيل هكسان 2-methylhexane

d. 2,3-ثنائي ميثيل بنتان 2,3-dimethylpentane

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

a. 3-هبتين 3-heptene

b. هبتان heptane

c. 2-ميثيل هكسان 2-methylhexane

d. 3-ميثيل هكسان 3-methylhexane

7. ما ناتج إضافة الهيدروجين إلى الألكين؟

a. هاليد الألكيل

b. ألكان

c. كحول

d. ألدهيد

8. أي من الآتي هاليد ألكيل؟

a. C_4H_{10}

b. CH_3I

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

d. HCHO

9. كم مجموعة هيدروكسيل يحتوي الكحول ثلاثي الهيدروكسيل؟

a. 1

b. 2

c. 3

d. 4

10. ما تصنيف الكحول 2-ميثيل-3-هكسانول 2-methyl-3-hexanol؟

a. أولي

b. ثانوي

c. ثالثي

d. ثنائي

11. ما الصيغة المكثفة لمجموعة الألكهيدات الوظيفية؟

a. -CHO

b. -COH

c. -CO-

d. -COO-

12. ما الاسم النظامي بحسب IUPAC للمركب ذي الصيغة المكثفة C_2H_5CHO ؟

a. إيثانول ethanol

b. 1-بروبانول 1-propanol

c. إيثانال ethanal

d. بروبانال propanal

13. ما اسم المجموعة الوظيفية الموجودة في الكيتونات؟

a. هيدروكسيل hydroxyl

b. كربونيل carbonyl

c. كربوكسيل carboxyl

d. إيثيل ethyl

14. ما الاسم النظامي بحسب IUPAC للمركب ذي الصيغة المكثفة $CH_3COC_7H_{15}$ ؟

a. 2-نونانال 2-nonanal

b. 2-هبتانون 2-heptanone

c. 2-نونانون 2-nonanone

d. 2-هبتانال 2-heptanal

15. ما اسم المجموعة الوظيفية -COOH ؟

a. ميثيل methyl

b. هيدروكسيل hydroxyl

c. كربونيل carbonyl

d. كربوكسيل carboxyl

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

a. ميثيل ميثانوات methyl methanoate

b. ميثانول methanol

c. حمض الميثانويك methanoic acid

d. ميثانون methanone

17. ما الصيغة المكتفة للمجموعة الوظيفية المُميّزة للإسترات؟

a. -CHO

b. -COO-

c. -CO

d. -OO-

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

a. بنتيل بيوتانوات pentyl butanoate

b. بروبيل بنتانوات propyl pentanoate

c. بيوتيل بنتانوات butyl pentanoate

d. بنتيل بروبانوات pentyl propanoate

19. أي مجموعتين وظيفيتين تُشكّلان مجموعة كلوريد الأسيل؟

a. ميثيل وكلورو

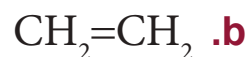
b. هيدروكسيل وكلورو

c. كربونيل وكلورو

d. كربوكسيل وكلورو

تقويم الوحدة

20. ما صيغة المركب العضوي A الذي يتفاعل مع HCl وفق المعادلة: $A + HCl \rightarrow CH_3CH_2Cl$



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. أيُّ مُركَّب 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 5-1: الهيدروكربونات

24. ارسم الصيغة البنائية للمُركَّب 3-ميثيل أوكتان 3-methyloctane. 

25. اكتب الصيغة البنائية المكثفة للمُركَّب 2-هكسين 2-hexene. 

26. اكتب الصيغتين الجزيئية و البنائية المكثفة للمُركَّب 4،4-ثنائي ميثيل هبتان 4,4-dimethyl heptane. 

تقويم الوحدة

27. ارسم الصيغة البنائية للمركب 3,2,2- ثلاثي ميثيل بنتان «2,2,3-trimethylpentane».



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



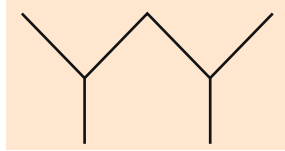
29. ارسم الصيغة البنائية للمركب 3- ميثيل -2- نونين «3-methyl-2-nonene».



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 مكونة من ذرتي كربون إحداها ترتبط بذرة الكربون الثالثة في السلسلة الكربونية والثانية ترتبط بذرة الكربون الخامسة .



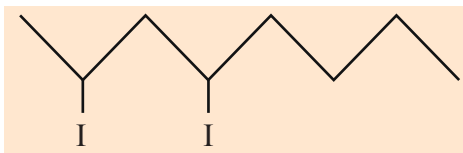
31. اكتب الصيغة المكثفة للمركب 5،2،2- ثلاثي ميثيل هبتان «2,2,5-trimethylheptane».



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



33. ما عدد ذرات الهيدروجين الموجودة في جزيء 3-إيثيل-4،4،2- ثلاثي ميثيل -2- نونين «3-ethyl-2,4,4-trimethyl-2-nonene»؟



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



الدرس 5-2: المركبات العضوية الأخرى

35. ارسم الصيغة البنائية للمركب رباعي كلورو ميثان.

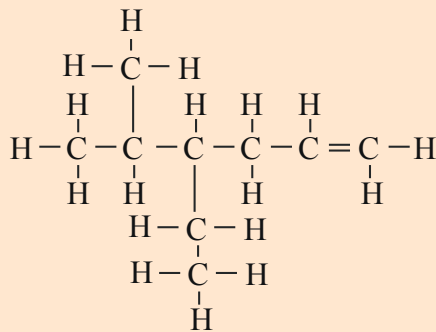


36. اكتب الصيغة المكثفة للمركب



1,1-ثنائي فلورو -3- ميثيل بنتان

«1,1-difluoro-3-methylpentane»؟



37. سمِّ المركب في الشكل 5-31.



الشكل 5-31

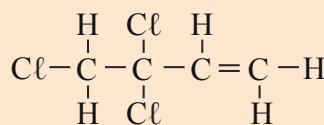
38. ارسم الصيغة البنائية للمركب 2- هبتانول «2-heptanol».



39. اكتب الصيغة البنائية المكثفة للمركب 1- هكسانول «1-hexanol».



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



41. ارسم الصيغة البنائية للمركب بروبانال «propanal».



42. اكتب الصيغة البنائية المختصرة للمركب إيثانال «ethanal».



43. سمِّ هذا المركب:



تقويم الوحدة

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

45. اكتب الاسم النظامي بحسب IUPAC للمركب ذي الصيغة المكثفة: $C_2H_5COC_2H_5$.

46. سمِّ المركب:

$$\begin{array}{ccccccc} & H & O & H & H & & \\ & | & || & | & | & & \\ H & -C & -C & -C & -C & -H \\ & | & & | & | & & \\ & H & & H & H & & \end{array}$$

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

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

49. سمِّ المركب بحسب IUPAC ذي الصيغة المكثفة:



50. سمِّ المركب بحسب IUPAC ذي الصيغة البنائية المقابلة:

$$\begin{array}{ccccccc} & H & H & O & & & \\ & | & | & || & & & \\ H & -C & -C & -C & -OH \\ & | & | & & & & \\ & H & H & & & & \end{array}$$

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

52. سمِّ المركب بحسب IUPAC ذي الصيغة المكثفة: $C_6H_{13}COOC_9H_{19}$.

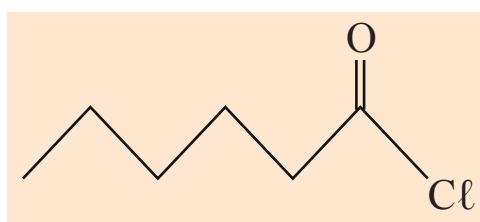
53. سمِّ المركب بحسب IUPAC:



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

55. سمِّ المركب $HCOC_6H_{13}$ بحسب IUPAC.

56. سمِّ المركب بحسب IUPAC:



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 والنيوكلوفيل.

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

61. ما أنواع الجزيئات التي يمكن أن تخضع لتفاعل بلمرة بالإضافة؟
62. ما الصيغ 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 يتجان لدى إزالة الماء من 3-هبتانول «3-heptanol»؟
65. اكتب اسم الكحول بحسب IUPAC الذي يتأكسد لإنتاج الألدهيدات والكيونات 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 يتأكسد لإنتاج حمض النونانويك «nonanoic acid».
67. باستخدام الصيغ 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 الصيغ 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-أوكتانول «1-octanol».
71. اكتب معادلة تفاعل إضافة حمض HBr إلى 1-بيوتين «1-butene».

تقويم الوحدة

72. من خلال العصف الذهني، تحدّث عن مجموعة متنوّعة من الفواكه. ابحث عن خمسة إسترات تعطي هذه الفواكه الروائح والنكهات المميزة. أنشئ ملصقًا بأسماء تلك الثمار وإستراتها وأحماض الكربوكسيل والكحول، التي يمكن اشتقاقها منها. ارسم الصيغ البنائية بجانب أسماء الإسترات 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 والبلورة
الدرس 2-6: خصائص البوليمرات
الدرس 3-6: البوليمرات البترولية والاستدامة

مقدمة الوحدة

عند منتصف القرن التاسع عشر، بدأ العلماء، لأول مرة، يدركون أن مُنتَجات بعض التفاعلات الكيميائية العضوية مُنتَجات لزجة، ولا تمر عبر ورقة الترشيح، وليس لها خصائص المُركَّبات العضوية المعروفة. تلك المُنتَجات هي ما نسمّيه الآن البوليمرات.

يقدمُ الدرس 1 الخصائص الفريدة للبوليمرات، ويناقش تفاعلين رئيسيين من أنواع تفاعلات البلمرة، ويقدمُ أمثلة محدَّدة على بوليمرات ينتجها كل من هذين التفاعلين.

يركّز الدرس 2 في البوليمرات الطبيعية والصناعية، ويقدمُ أمثلة محدَّدة 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 نتجه إلى استخدام بدائل أفضل للمحافظة على البيئة من استخدام النفط كمادة أولية لإنتاج البوليمرات.

الأنشطة والتجارب

1-6 بلمرة النايلون 6،10 «Nylon 6,10»

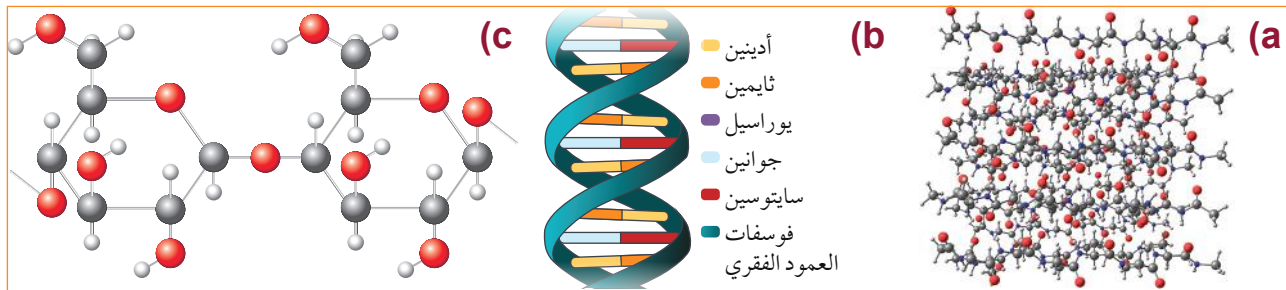
2-6 البلمرة

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 مثلاً، باتّحاد جزيئات الأحماض الأمينية. أما الحمض النووي فينتج بالاتحاد بين النيوكليوتيدات. ويتم إنتاج السليلوز باتّحاد جزيئات السكريات. تُعدّ تلك المواد جميعاً بوليمرات تنتجها النباتات أو الحيوانات، أو كليهما، كما يبيّن الشكل 1-6.



الشكل 1-6 (a) نموذج من جزيئات البروتين Fibroin من خيوط العنكبوت، (b) نموذج جزء من الحمض النووي، (c) الصيغة البنائية لجزء من جزيء السليلوز.



الشكل 2-6 مُكوّنات بلاستيكية داخل جهاز كهربائي.

أصبحت البوليمرات تحيط بنا وتنتشر حولنا، وأصبحنا نعتمد عليها في حياتنا اليومية اعتماداً كبيراً. 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، ومكيّفات الهواء، ومُزيلات الرطوبة، ومُجفّفات الشعر وغيرها. وإذا قمت بتفكيك جهاز كهربائي، ستجد الكثير من المُكوّنات البلاستيكية (الشكل 2-6).

في هذا الدرس، سنلقي نظرة على طبيعة البوليمرات والتفاعلين الرئيسيين اللذين يتم من خلالهما إنتاج البوليمرات الطبيعية والاصطناعية.

المفردات



Polymer	البوليمر
Monomer	المونومر
Condensation polymerization	البلمرة بالتكاثف
Addition polymerization	البلمرة بالإضافة

مخرجات التعلّم

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 السليلوز 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 ، حرّك المحلول جيداً ودعه يهدأ دقيقة أو دقيقتين.
 - أضف قطع من الصوف إلى المحلول السابق مع التحريك ببطء إلى أن يصبح المحلول مشابه للصابون السائل.
- ضع 300 mL من حمض الكبريتيك في كأس زجاجية سعتها 1 L.
- إملاً حقنة بلاستيكية بمحلول السليلوز ثم ضخه ببطء في حمض الكبريتيك تلاحظ تكوّن ألياف زرقاء اللون.
- أزل الألياف من المحلول وإغسلها بالماء ثم جففها .
- يمكنك لمس هذه الألياف بعد أن تجف.
- تسمى هذه الألياف الحرير الصناعي.
- يتكوّن الحرير الصناعي كيميائياً من سليلوز تمّ تكسيهه إلى مونومرات جلوكوز منفردة، وأعيدت بلمرتها، فـجُزئيات الحرير الصناعي تمتلك 400-700 مونومر، مقارنة بـ 5000 مونومر أو أكثر، يمتلكها السليلوز الطبيعيّ.

المونومرات والبوليمرات

البوليمرات Polymers، «البولي - مرات» جُزئيات ضخمة ذات سلاسل طويلة، مؤلفة من عدد كبير من الوحدات الصغيرة، تترايط خلال التفاعلات الكيميائية العضوية. تُسمّى تلك الوحدات الصغيرة المتكرّرة **المونومرات Monomers** أي وحدة واحدة. (مر Mer) مقطع كلمة من أصل يوناني «Meros» ويعني الجزء.

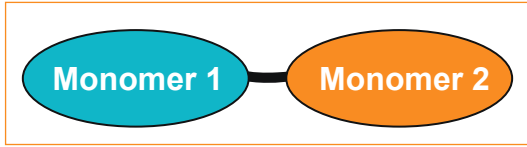
البوليمرات جُزئيات ضخمة ذات سلاسل طويلة مؤلفة من جُزئيات صغيرة تُسمّى المونومرات.



المونومرات جُزئيات ترتبط بشكل متكرّر من خلال تفاعلات كيميائية لتشكيل البوليمرات.



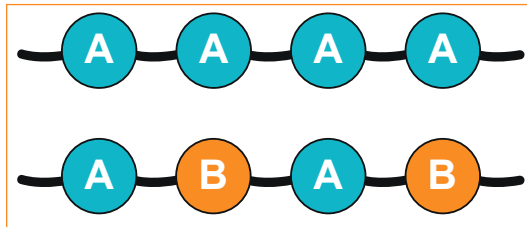
عدد المونومرات في البوليمر



الشكل 3-6 ثنائي الجزيء «دايمر».

تتكوّن بعض سلاسل البوليمر من مونومرات قليلة لا يتجاوز عددها 2. يُسمّى مثل هذا الجزيء ثنائي الجزيء (دايمر) «Dimer» (الشكل 3-6). لكنّ سلاسل البوليمرات تكون في العادة أطول كثيرًا؛ ويمكن أن تتكوّن من مئات المونومرات، بل من مئات الملايين.

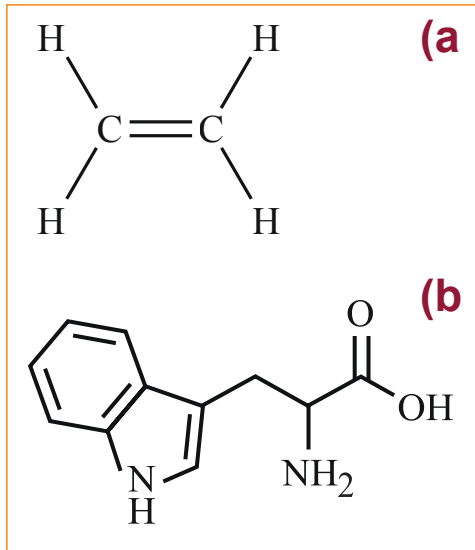
تسلسل المونومرات في البوليمر



الشكل 4-6 تسلسل المونومر.

قد تكون المونومرات في البوليمر متطابقة ومرتبطة وفق تسلسل A-A-A. وتُسمّى بالبوليمرات المتجانسة Homopolymers. وقد يرتبط اثنان من المونومرات المختلفة وفق تسلسل A-B-A-B. وقد تتوافر تسلسلات أخرى. حيث تُسمّى البوليمرات التي تضمّ أكثر من نوع واحد من المونومرات بالبوليمرات المشتركة Copolymers (الشكل 4-6).

عدد الذرات في المونومر



الشكل 5-6 (a) إيثين (b) تربتوفان.

تتكوّن بعض المونومرات من ذرات قليلة مثل الإيثين، C_2H_4 (الشكل 5-6a). وقد تكون المونومرات أكبر من ذلك كثيرًا، مثل مونومر الحمض الأميني التربتوفان Tryptophan، $C_{11}H_{12}N_2O_2$ الذي يحتوي على 27 ذرة. (الشكل 5-6b). لكن هناك احتمال وجود مونومرات أكبر من ذلك.

تعمل أنواع مختلفة من الجزيئات كمونومرات. ومع ذلك، تمتلك المونومرات بعض الخصائص الهيكلية المشتركة.

التراكيب البنائية لجُزَيئات البوليمرات

الجدول 1-6 خصائص بيتان و2-ميثيل، بيوتان.

2-ميثيل بيوتان	بنتان	
C_5H_{12}	C_5H_{12}	الصيغة الجُزيئية
<pre> H H - C - H H H H H H - C - C - C - C - H H H H H </pre>	<pre> H H H H H H - C - C - C - C - C - H H H H H H </pre>	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 الجُزيئات لا تتقارب معاً بإحكام، كما هي الحال في جزيئات بنتان «pentane». ونتيجة لذلك، تكون قوى جذب فاندر فال Van der Waals أقل. وهذا يعلّل أن درجة غليان 2-ميثيل بيوتان أدنى من درجة غليان بنتان بسبب وجود التفرع، تضعف قوى لندن التشتتية بين جزيئات البوليمرات (الجدول 1-6).

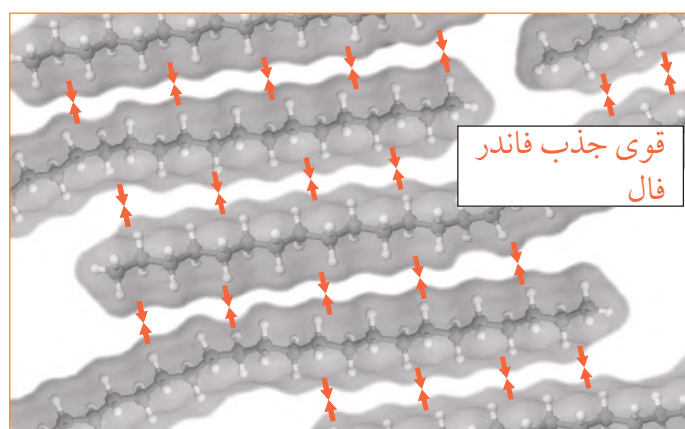
البوليمرات الخطية Linear polymers هي سلاسل مفردة من مونومرات مترابطة.

البوليمرات الخطيّة أقوى وأكثر كثافة، لأن جزيئاتها مترابطة وأكثر تقاربًا، مثال بولي إيثيلين مرتفع الكثافة HDPE (انظر الشكل 6-6).

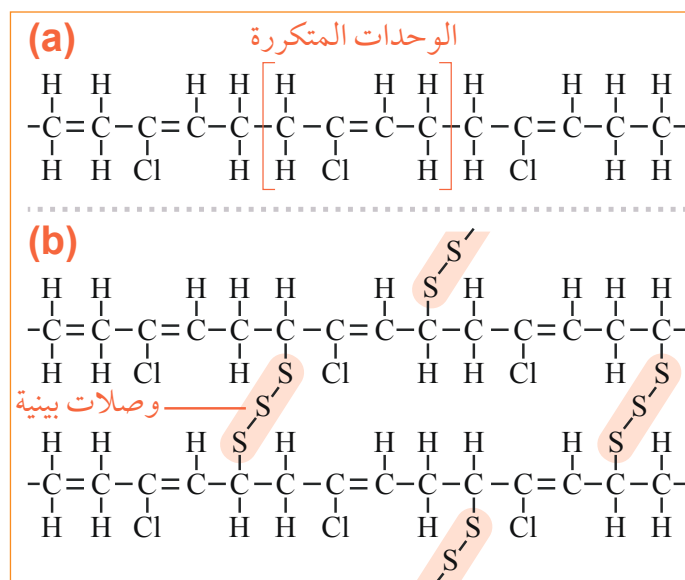
فكر في البوليمرات المتفرعة **Branched polymers** على أنها بوليمرات غير خطية وضعيفة الترابط.

تكون البوليمرات المتفرّعة أقلّ كثافة وأضعف،
لأن جُزئياتها لا يمكن أن تتقارب، مثال بولي
إيثيلين منخفض الكثافة LDPE.

تكوّن المونومرات المتجاورة في **البوليمرات المتشابكة** **Cross-linked polymers** روابط وسط السلسلة بينها وبين سلسلة أخرى (الشكل 6-7). وتشكّل البوليمرات المتشابكة شبكات ثلاثية الأبعاد تُمدّد عملية البلمرة من خلال الهيكل بأكمله. ومُقارنةً بالبوليمرات الخطيّة، يمكن اعتبار الجسم الصّلب المصنوع من البوليمر المتشابك جُزئيّاً عملاقاً واحداً، بسبب وجود روابط تساهمية قوية.



الشكل 6-6 قوى جذب فاندرفال بين جزيئات البولي إيثيلين الخطية.

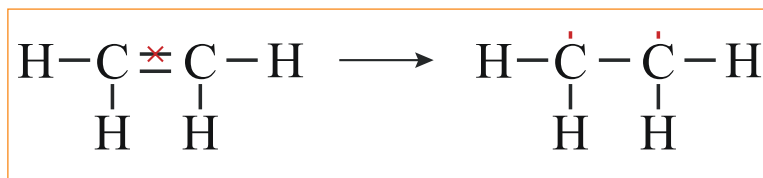


الشكل 6-7 النيوبرين Neoprene (a) يصبح المطاط الصناعي متشابك بوجود ذرات الكبريت للربط (وصلات بنية) (b).

البلمرة بالإضافة

تشكّل معظم البوليمرات بآلية من آليتين، أو نوعين من البلمرة هما: البلمرة بالإضافة، والبلمرة بالتكاثف. تتمتع المونومرات في كل نوع من نوعي البلمرة بخصائص مُحدّدة.

ففي **البلمرة بالإضافة Addition polymerization**، تتم إضافة المونومرات من دون نزع أيّ من الذرّات أو استبدالها. ومثال ذلك تفاعل الإضافة الذي يحدث بين جُزيئات الألكينات مع بعضها البعض أو الألكينات التي تحتوي على ذرات من الهالوجينات، والتي تتطلّب وجود رابطة ثنائية. أما الميزة الأخرى لهذا النوع من البلمرة، فهي أنها لا تنتج ناتجاً ثانوياً.

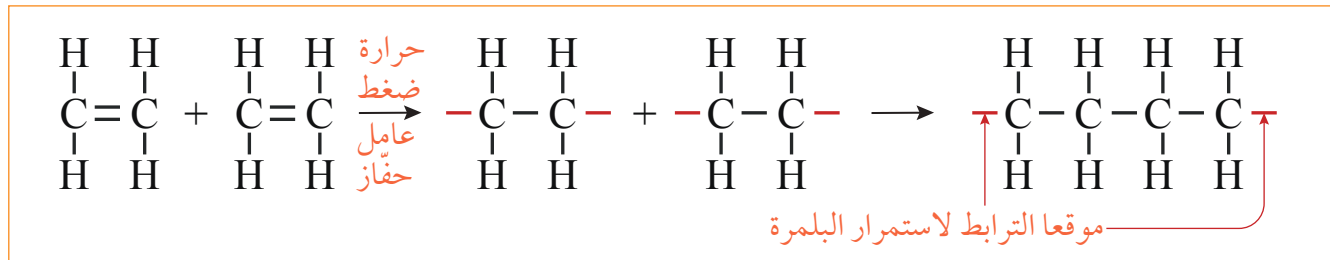


الشكل 8-6 كسر الرابطة الثنائية أثناء البلمرة بالإضافة.

يمكن بدء البلمرة بالإضافة من خلال مجموعة متنوعة من الآليات، منها أن تنكسر الرابطة الثنائية في المونومر (المادّة البادئة)، مُنشئة موقعين للترابط. انظر (الشكل 8-6).

يتيح أحد الموقعين في الرابطة الثنائية الارتباط بمونومر، ويتيح الموقع الآخر الارتباط بمونومر آخر. وبذلك تتمدّد سلسلة البوليمر. تستمر البلمرة حتى يقل نشاط المادّة البادئة، أو موقع الرابطة على البوليمر.

في الشكل 9-6، تتم بلمرة الإيثين «Ethene» (الإيثيلين «Ethylene») إلى بولي إيثيلين «Polyethylene». وعندما يكون الإيثيلين مونومراً، يسمّى البوليمر (بولي إيثيلين).



الشكل 9-6 البلمرة بالإضافة.

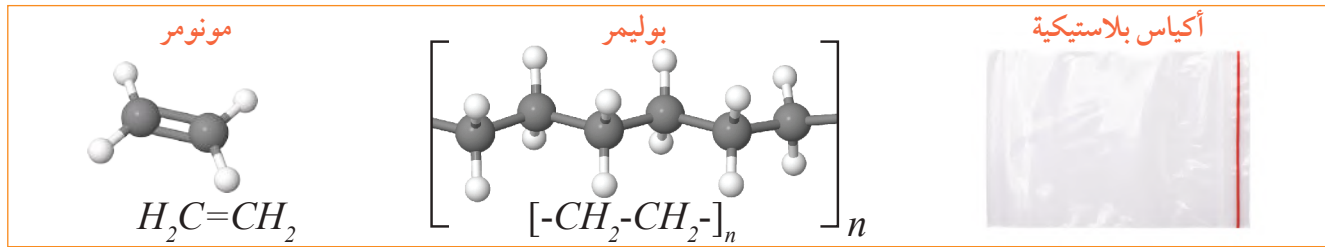
أثناء البلمرة بالإضافة، لا تتم إزالة أي من ذرّات البوليمر أو المونومر، مع استمرار عملية البلمرة. ونتيجة لذلك، تكون الكتلة الجُزيئية للبوليمر تساوي عدداً مضاعفاً للكتلة الجُزيئية للمونومر.

وما إن تتكوّن بوليمرات الإضافة، ولاسيما الصناعية منها، حتى يميل الكثير منها أن يكون غير نشط كيميائياً. لذا يمكن أن تكون تلك الخاصية ميزة جيدة لإعادة تدوير تلك البوليمرات وإعادة استخدامها. ولكن ذلك يشير بالمقابل أنها تميل إلى عدم قابليتها للتحلل الحيوي.

أمثلة على بوليمرات الإضافة الشائعة

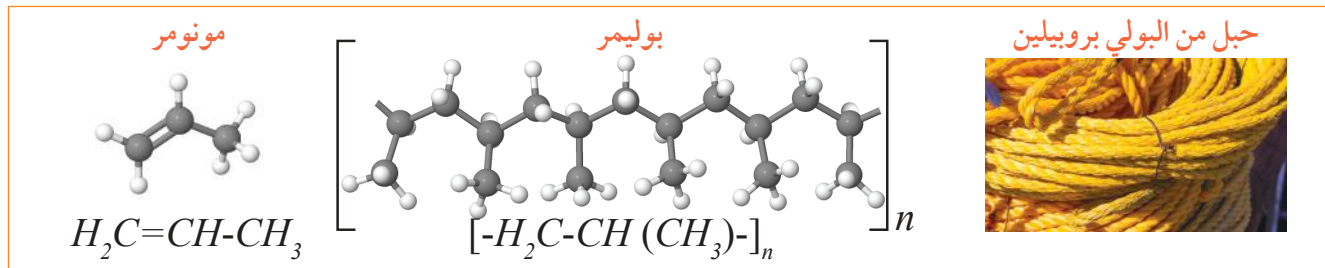
هناك الآلاف من بوليمرات الإضافة المعروفة، ومعظمها صناعية. في هذا الدرس، سنتعرف على تراكيب مونومرات وبوليمرات إضافة معروفة وشائعة.

1. يتكوّن البولي إيثيلين (PE) «Polyethylene»، من نوع واحد من المونومرات هو الإيثين (أو إيثيلين). أمّا الصيغة البنائية لمونومر الإيثيلين فهي $H_2C = CH_2$. وتبلغ كتلته الجزيئية 28.05 amu. وبالتالي تكون الكتل الجزيئية لسلاسل البولي إيثيلين أعداداً صحيحة من مضاعفات 28.05 amu. للبولي إيثيلين هيكل من أبسط هياكل البوليمرات، غالباً ما يعبر عنه باستخدام صيغته المكثفة $(-C_2H_4-)_n$ حيث n عدد المونومرات في سلسلة البوليمر. وغالباً ما تصنع الأكياس البلاستيكية من البولي إيثيلين (الشكل 10-6).



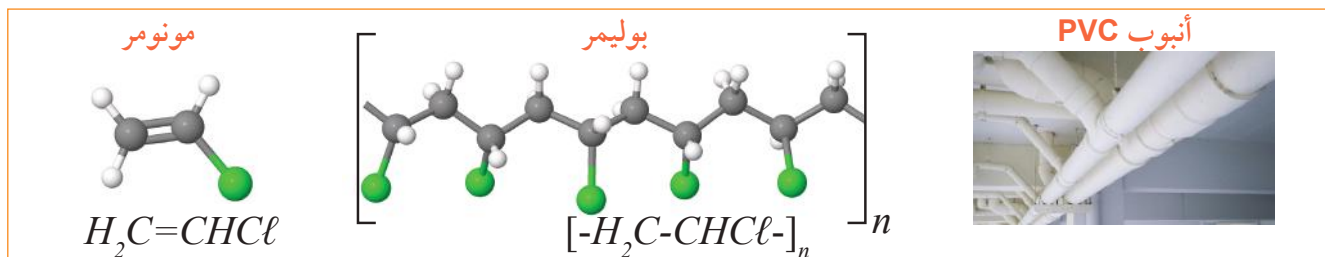
الشكل 10-6 البولي إيثيلين (PE).

2. يتكوّن البولي بروبيلين (PP) «Polypropylene» من مونومر البروبين (أو البروبيلين). والبروبين ألكين مكوّن من 3 ذرات كربون، وصيغته الجزيئية C_3H_6 . أما صيغته البنائية فهي $H_2C = CHCH_3$. تُكسّر الرابطة π في الرابطة الثنائية لكل مونومر من أجل تكوين موقع ارتباط نشط لتشكيل مادة البولي بروبيلين. تصنع الحبال المجدولة من مادة البولي بروبيلين، لأن هذا البوليمر قوي ومرن. (الشكل 11-6).



الشكل 11-6 البولي بروبيلين (PP).

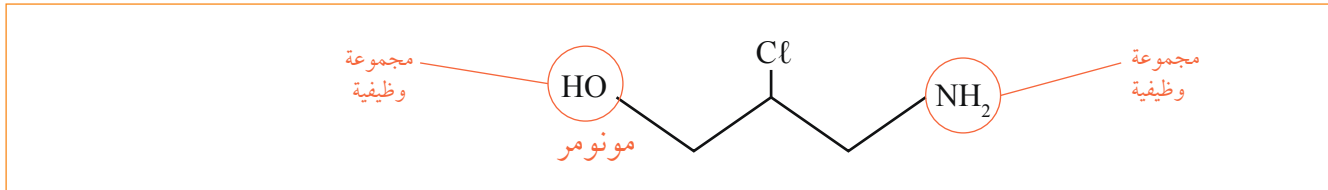
3. يتكوّن بولي كلوريد الفينيل «Polyvinyl chloride» (PVC)، من مونومر كلوريد الفينيل، وهو جزيء الكلورو إيثين ذو الصيغة البنائية $H_2C = CHCl$. لاحظ التشابه في بنية هذا المونومر مع الإيثيلين. تصنع أنابيب التصريف من PVC لأنه قوي، وصلب، ويدوم لفترات طويلة. (الشكل 12-6).



الشكل 12-6 بولي كلوريد الفينيل (PVC).

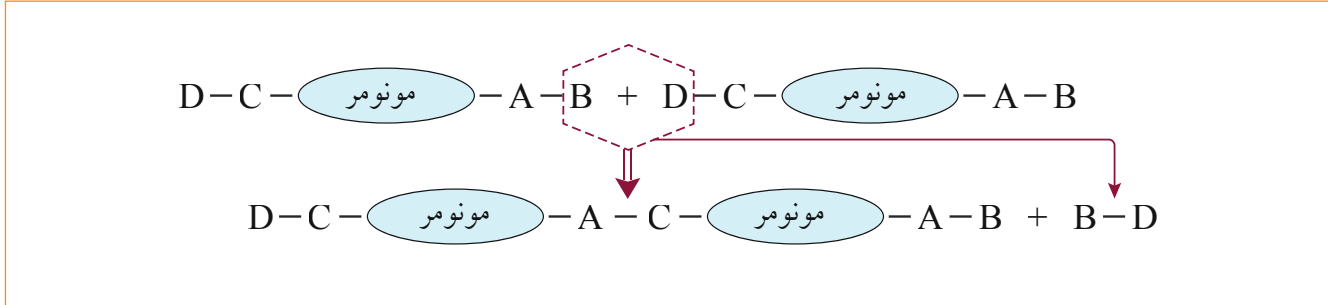
البلمرة بالتكاثف

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.

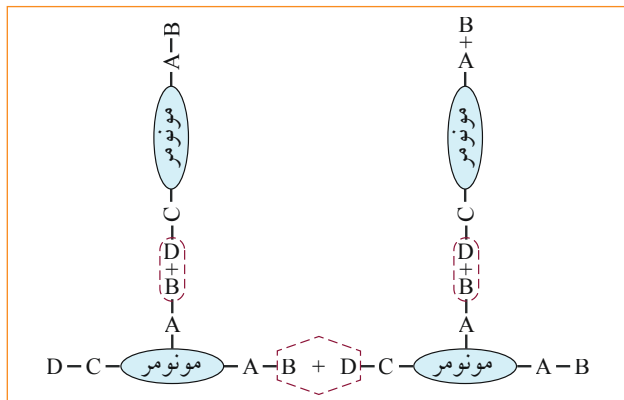


الشكل 13-6 مونومر مع مجموعتين وظيفيتين نشطتين كيميائياً.

عند تفاعل مونومرات تحتوي على اثنين من المجموعات الوظيفية على الأقل، تتحد هذه المجموعات معاً 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 المُكوّنة، تسمح المجموعة الوظيفية المتبقية على المونومر الجديد باستمرار عملية البلمرة. الشكل 14-6.



الشكل 14-6 البلمرة الخطية بالتكاثف.



الشكل 15-6 بوليمرات شبكية ثلاثية الأبعاد نتيجة بلمرة بالتكاثف.

يعتمد الناتج الثانوي للبلمرة بالتكاثف على المجموعات الوظيفية المتفاعلة. ويمثل الماء وهاليدات الهيدروجين اثنين من النواتج الثانوية الشائعة.

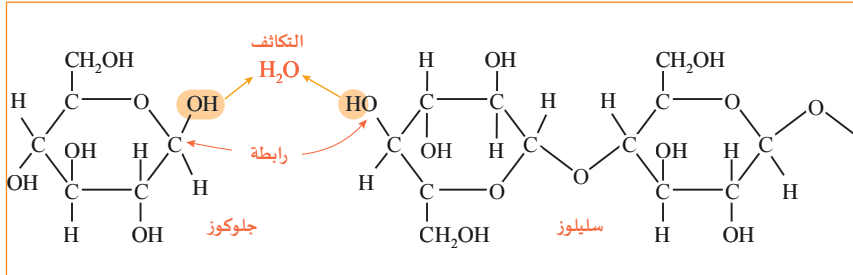
لكن إذا كان للمونومر أكثر من مجموعتين وظيفيتين نشطتين، فيمكن أن تحدث البلمرة عند المجموعات الوظيفية المتبقية. آنذاك تتكوّن بوليمرات شبكية ثلاثية الأبعاد. الشكل 15-6.

الفرق بين البلمرة بالإضافة و البلمرة بالتكاثف

1. لا تكون الكتل الجزيئية لبوليمرات التكاثف أعدادًا صحيحة من مضاعفات الكتلة الجزيئية للمونومر، كما هي بوليمرات بالإضافة.
2. يتم فقد بعض الذرات في صورة ناتج ثانوي أثناء عملية البلمرة بالتكاثف.
3. غالبًا ما تشارك مونومرات مختلفة في عملية البلمرة بالتكاثف.
4. أما الفرق الآخر بين البلمرة بالإضافة و البلمرة بالتكاثف، فهو أن التفاعل الكيميائي بين المجموعات الوظيفية النشطة في بلمرة التكاثف لا يتطلب عادة عوامل حفازة لبدء التفاعل.

أمثلة على بوليمرات التكاثف الطبيعية

1 - السيليلوز والنشا

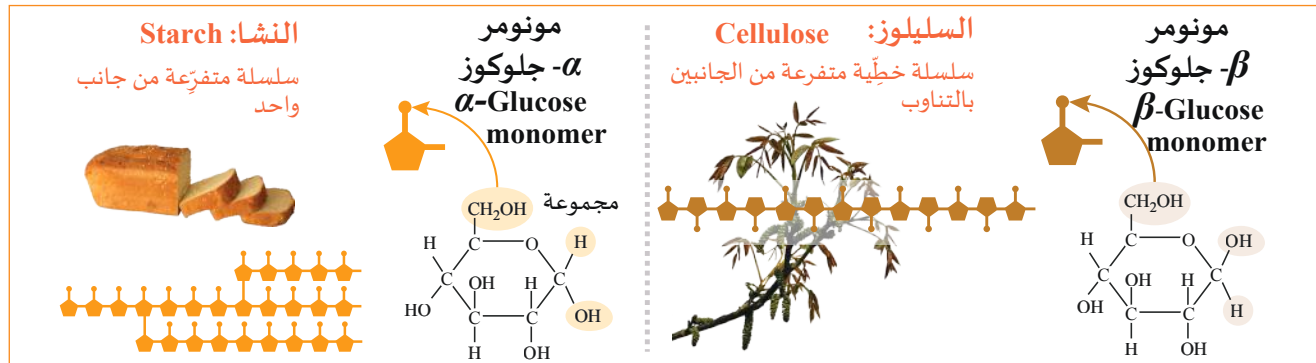


الشكل 16-6 بلمرة الجلوكوز (مونومر) بالتكاثف لإنتاج بوليمر السيليلوز الخطي.

السيليلوز «Cellulose» بوليمر تكاثف حيوي (بيولوجي). يحتوي السيليلوز الخطي، المعروف بالسيليلوز، على سلسلة بوليمر يمكن تمثيلها بالصيغة المكثفة $-(C_6H_{10}O_5)_n-$.

مونومر السيليلوز هو β - جلوكوز «Glucose»- β ، $C_6H_{12}O_6$. 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 المتفاعل. تتحد هذه الذرات لتكوين الماء، H_2O ، كناتج ثانوي (الشكل 16-6).

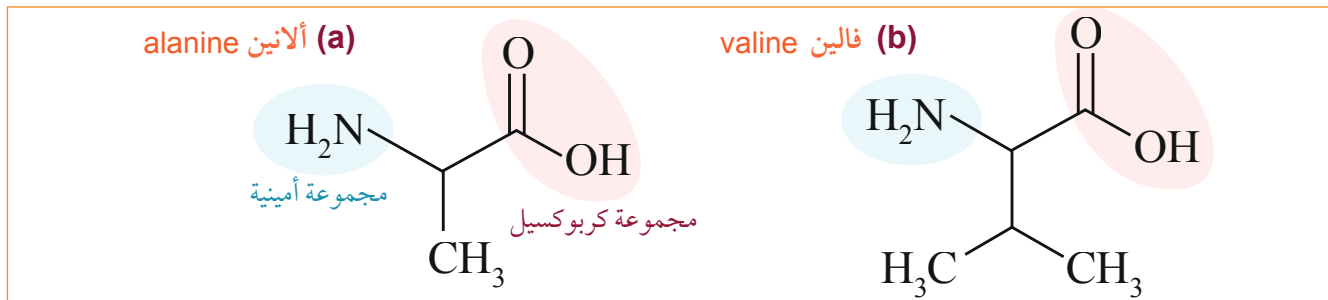
النشا «Starch» أيضًا من البوليمرات التي تنتج خلال عملية البلمرة بالتكاثف. والمونومر هنا هو أيضًا الجلوكوز، لكنه α - جلوكوز «Glucose»- α . أما الفرق، فهو أن مجموعة CH_2OH تكون متناوبة على الجانبين في السيليلوز، وتكون دائمًا على الجانب نفسه في النشا. لذلك ينتج هذا الاختلاف خصائص مختلفة جدًا. فالإنسان مثلاً يستطيع هضم النشا، ولكن لا يستطيع هضم السيليلوز. كما أن السيليلوز هو على عكس النشا، بوليمر قوي للغاية، نتيجة الروابط الهيدروجينية الأكثر وإتجاه الترابط بين السلاسل الخطية. وهذا ما يمنح الخشب قوة ومتانة. الشكل 17-6.



الشكل 17-6 الهياكل المختلفة للنشا والسيليلوز المكوّنين من المونومر نفسه: الجلوكوز.

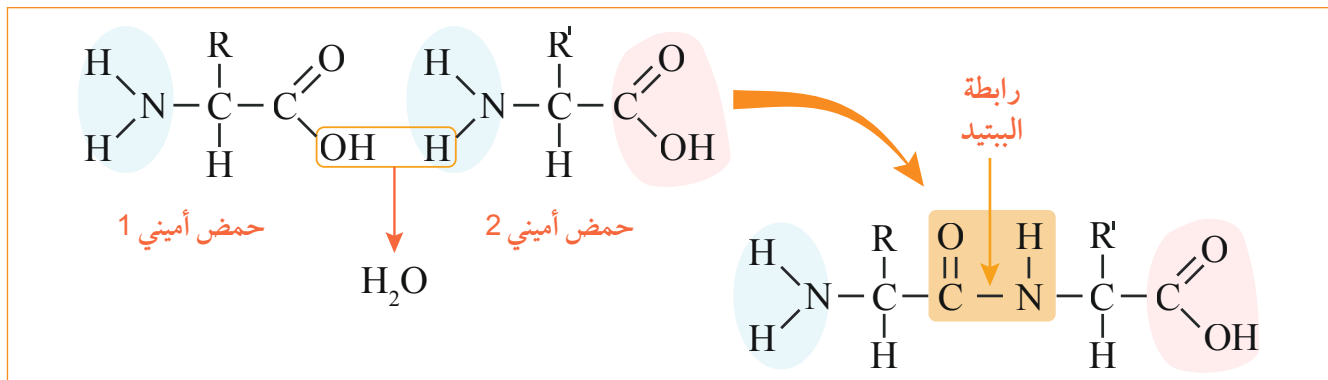
2- البروتينات

البروتينات «Proteins» التي تشكّل جميع الكائنات الحية هي بوليمرات تحتوي على مونومرات من الأحماض الأمينية «Amino acids». هناك 20 حمضاً من الأحماض الأمينية الأساسية التي تشكّل البروتينات في مختلف أشكال الحياة على الأرض. تتحد تلك الأحماض الأمينية بطرق كثيرة من المتواليات 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 أن كل تسلسل مختلف من الأحماض الأمينية يُنتج 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. تتبلر الأحماض الأمينية بتفاعل مجموعة الكربوكسيل (COOH-) مع مجموعة الأمين (NH₂-)، حيث يُنتج التفاعل رابطة CO-NH- ذات هندسة خاصة تُسمّى رابطة الببتيد «Peptide bond». ويكون الماء هو الناتج الثانوي للبلمرة بالتكاثف.



الشكل 19-6 التفاعل العام للأحماض الأمينية التي تُشكّل رابطة الببتيد خلال بلمرة البروتين.

سؤال للمناقشة

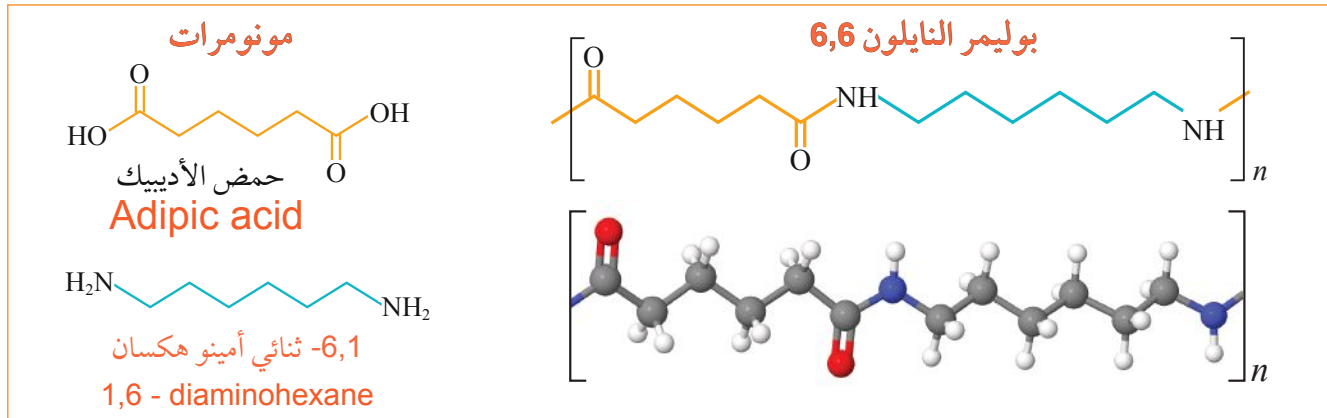
ما الناتج الثانوي لبلمرة
بالتكاثف تحتوي على مجموعة
أمينية ومجموعة كلورو؟

يمكن لأي حمض أميني الارتباط بأي حمض
أميني آخر، لأن الأحماض الأمينية تشترك في زوج
المجموعات الوظيفية نفسها. وهذا هو السبب في
التنوع الهائل للبروتينات في الكائنات الحية.

أمثلة على بوليمرات التكاثف الصناعية

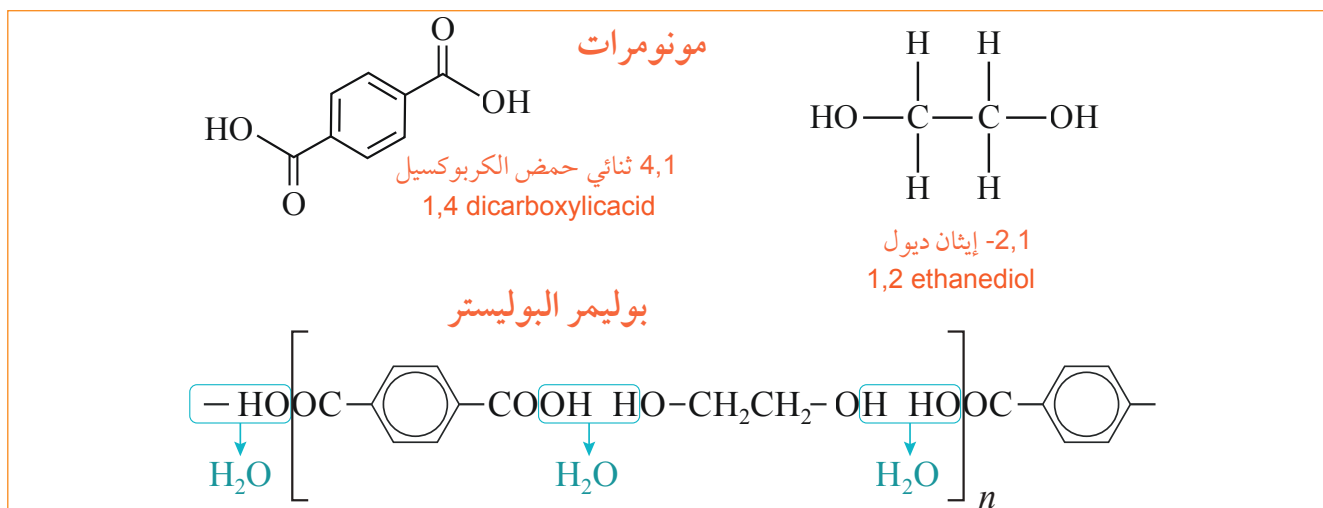
النايلون والبوليستر

النايلون «Nylons» نوع آخر من البوليمرات المشتركة المتكوّنة من البلمرة بالتكاثف التي تحدث بين مجموعة الكربوكسيل (COOH) ومجموعة الأمين (NH_2). والنايلون عبارة عن تناوب ثابت بين اثنين من البوليمرات المشتركة، بدلاً من 20. حيث يحتوي مونومر في النايلون على مجموعتي كربوكسيل عند كلا الطرفين، ويحتوي المونومر الآخر على مجموعتي أمين عند كلا الطرفين. تتم تسمية النايلون باستخدام أرقام لطول سلاسل الكربون في كل مونومر. فالنايلون 6,6 هو النايلون 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 6-20 المونومران اللذان يشكلان بوليمر النايلون 6,6.

البوليستر «Polyester» من البوليمرات المشتركة الشائعة الأخرى. تتشكّل البوليسترات عن طريق البلمرة بالتكاثف التي تحدث بين مجموعة كربوكسيل (COOH) ومجموعة هيدروكسيل (OH). ويكون الماء ناتجاً ثانوياً لتلك البلمرة. وكما هي حال النايلون، تكون لكل من مونومرات البوليستر مجموعتان وظيفيتان متطابقتان. يوضح الشكل 6-21 المونومرات المستخدمة في صنع الألياف، التي يطلق عليها عادة اسم «البوليستر».



الشكل 6-21 المونومران الاثنان في البوليستر وجزء من بوليمر البوليستر.



بلمرة النايلون 10,6

1-6

سؤال الاستقصاء	كيف يمكن إنتاج النايلون 10,6 من خلال عملية البلمرة بالتكاثف؟
المواد المطلوبة	المحاليل: 6,1-ثنائي أمينو هكسان 1,6-diaminohexane، كلوريد السيباكويل «Sebacoyl chloride»، فينو لفثالين، دورق سعة 50 mL، ساق تحريك زجاجية، ملقط، نظارات واقية، قفازات.

الخطوات

1. صُبَّ 10 mL تقريباً من محلول «6,1 - ثنائي أمينو هكسان» في دورق سعة 50 mL.
2. أضف 3 قطرات من محلول الفينولفثالين، وحرّكه، حتى يصبح اللون الوردي موحدًا.
3. أَمِلْ الدورق بزاوية 45° ، وصُبَّ 10 mL تقريباً من محلول كلوريد السيباكويل على الجدار الداخلي للدورق، وليس مباشرة على محلول 6,1-ثنائي أمينو هكسان. سيَشكُلُ محلول كلوريد السيباكويل طبقة علوية منفصلة.
4. استخدم الملقط، لتصل من خلال طبقة كلوريد السيباكويل وتنتزع مركز الفيلم الرقيق الذي تشكّل بين الطبقتين. هذا هو بوليمر النايلون.
5. لُفَّ الخيط حول ساق التحريك الزجاجية، حتى يلتصق بها.
6. لُفَّ ساق التحريك لسحب خيط النايلون من الدورق، ولُفَّه حول الساق. ستندھش من طول الخيط الذي سيتم إنتاجه قبل نفاد المحلول.
7. اغسل الخيط بوضعه تحت الماء البارد، وأنت تضغط عليه، حتى يختفي لونه الوردي، ويصبح أبيض. تأكد من ارتداء قفازي السلامة، وتأكد من أن نظارة الحماية لا تزال على عينيك.

التحليل

1. فك خيط النايلون بعناية. قس طوله. وفي حال إنقطاعه، اجمع أطوال قطع الخيوط كلها. قارن الأطوال مع زملائك في الصف. ما أطول طول إجمالي للخيط المُنتَج؟ ما هو أطول خيط مفرد؟
2. لماذا أضيف محلول الفينولفثالين إلى محلول 6,1 - ثنائي أمينو هكسان في الخطوة 2. وضح إجابتك.
3. لماذا يجب عدم سكب محلول كلوريد السيباكويل على محلول 6,1 - ثنائي أمينو هكسان في الخطوة 3.

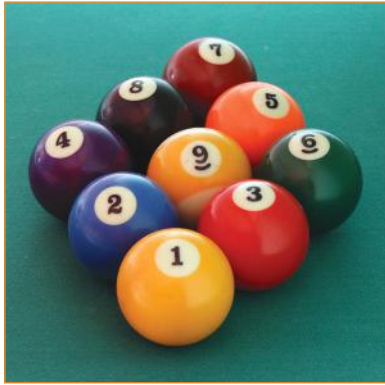
تقويم الدرس 1-6

1. إذا تغيّر شكل البوليمر من خطّي إلى مُتفرّع، فهل تتوقّع أن ترتفع درجة انصهاره، أم تنخفض، أم تبقى كما هي؟ علّل إجابتك. 
2. صف الاختلاف في الشكل بين البوليمرات المتشابكة والترابط بين المونومرات في البوليمر. 
3. ما النوعان الرئيسيان لعمليات البلمرة؟ 
4. في أي نوع من البلمرة:
 - a. لا ينتج ناتج ثانوي؟
 - b. ينتج ناتج ثانوي؟
5. أيّ مما يأتي هو المونومر المُستخدم لإنتاج البولي إيثيلين (Polyethylene)؟ 
 - a. $H_2C = CHCH_3$
 - b. $H_2C = CHCl$
 - c. $C_6H_5CH = CH_2$
 - d. $H_2C = CH_2$
6. كم ذرّة كربون في المونومر الذي ينتج البولي بروبيلين (PP) «Polypropylene»؟ 
 - a. 8
 - b. 6
 - c. 3
 - d. 2
7. ما عدد المجموعات الوظيفية النشطة التي يمتلكها المونومر في تفاعلات البلمرة بالإضافة؟ 
 - a. 1
 - b. 4
 - c. 7
 - d. 10
8. ما الفرق الرئيسي بين البوليمرات المُتجانسة (Homopolymers) والبوليمرات المُشتركة (Copolymers)؟ 
9. ما المجموعتان الوظيفيتان اللتان تتفاعلان لتنتجا:
 - a. البروتينات؟
 - b. النايلون؟
 - c. البوليستر؟
10. ما المونومرات التي يتكوّن منها السليلوز؟ 
11. ما العامل المشترك بين البروتينات المختلفة عند تشكيل سلسلة بوليمر البروتين؟ 

الدرس 6-2

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 تُصنع في الماضي من العاج. لكن في عام 1863. عرضت أكبر شركة بلياردو في العالم جائزة بقيمة تعادل 40,000 ريال قطري لمن يستطيع توفير مواد بديلة.



الشكل 6-22 كرات البلياردو.

وفي عام 1868، وبعد تجربة مجموعة متنوعة من التركيبات البوليمارية والعمليات، اخترع جون ويسلي حياة John Wesley Hyatt وشقيقه أشعيا Isaiah، إحدى أولى البوليمرات البلاستيكية في العالم. هذه المادة الجديدة مصنوعة كلياً من مواد طبيعية، بما في ذلك السليلوز. وأطلقوا عليها اسم بلاستيك السليلويد Celluloid. كانت تلك المادة بديلاً مناسباً للعاج في صنع كرات البلياردو، التي أصبحت أكثر متانة، وتقدم أداءً فائقاً. عُرف عن السليلويد أنه مُتعدد الاستخدامات بالنظر إلى قابليته للتشكيل بسهولة.

استُخدم السليلويد عقوداً من الزمن لصنع أفلام السينما. كما كان مرغوباً في صناعة الحلبي 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 تنتجها النباتات والحيوانات، وتشمل البروتينات والسليولوز والنشا والحمض النووي (DNA) والمطاط الطبيعي. تكون البوليمرات الطبيعية مركبات قابلة في معظمها للتحلل بسهولة نسبية. وهذا يُعد الفرق الرئيس بين البوليمرات الطبيعية والصناعية.

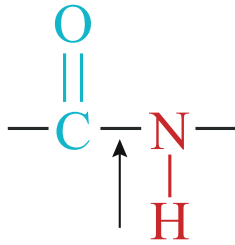


الشكل 23-6 مجوهرات العنبر، والعنبر الذي يحتوي على الحشرات الأحفورية.

هناك استثناء فريد يعرف **بالعنبر Amber**. ينتج العنبر أو الكهرمان عندما تخضع راتنجيات الشجر المقاومة للتآكل لقوى جيولوجية، مثل ارتفاع درجة الحرارة والضغط.

في ظل تلك الظروف، يمكن أن تتبلر راتنجيات الشجر إلى عنبر. والعنبر مادة مطلوبة لجمالها ولاستخدامها في المجوهرات. يمكن أيضًا العثور على عيّنات من العنبر تُغلّف الحشرات القديمة، وتحافظ على هيئتها، مما يزيد من جمالها وقيمتها.

يمكنك القول إن أهم البوليمرات الطبيعية هي الحمض النووي DNA، والحمض النووي الرايبوزي RNA، والبروتين.



الشكل 24-6 رابطة أميد.

البروتينات هي **بولي أميدات Polyamides**. البولي أميدات بوليمرات تتشكّل عندما ترتبط ذرّة نيتروجين من مونومر بذرّة كربون من مجموعة الكربونيل من مونومر آخر (الشكل 24-6). يُسمّى هذا النوع من الروابط برابطة أميد *Amide bond*. تُعد روابط الببتيد التي تتشكّل بين الأحماض الأمينية، نوع من روابط أميد. استخدام البروتينات وبعض مميزاتها مبينة في الجدول أدناه.

البروتينات	
الاستخدام	بناء الخلايا وتكوين الأنزيمات وبعض الهرمونات.
نوع البلمرة	التكاثف
المونومر	20 نوعًا مختلفًا من الأحماض الأمينية.
المجموعات الوظيفية المُتفاعلة	مجموعة الكربوكسيل (COOH-) ومجموعة الأمين (NH ₂ -).

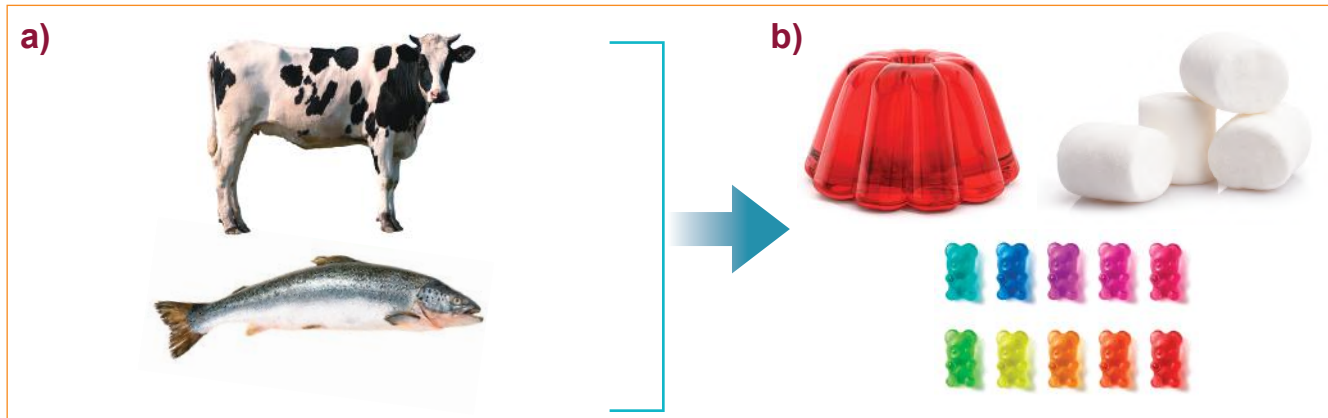
بنية البروتين ووظيفته



للبروتينات مجموعة واسعة من الخصائص والوظائف المُستمدّة من بنيتها الهيكلية. يوضّح الشكل 6-25 بنية هرمون النموّ في الإنسان، وهو بروتين يحتوي على 191 حمضاً أمينياً في أربع سلاسل كربون متشابكة.

- تسمح بنية الأحماض الأمينية -الكربوكسيلية الشائعة لـ 20 حمضاً أمينياً، أن تكون عدداً لا حصر له من البروتينات المختلفة تماماً بناء على تغيّر ترتيبها، مثلما يمكن من بضعة أحرف تكوين عدد لا حصر له من الكلمات.
- تتخذ سلسلة البوليمر شكل لولبي، وتكون طيّات في صورة من الأشكال المعقّدة الثلاثية الأبعاد بالاعتماد على الهوية المُحدّدة، وتسلسل الأحماض الأمينية.
- قد تكون مونومرات الأحماض الأمينية المختلفة حمضية أو قاعدية، مُحبّة للماء أو كارهة للماء، قطبية أو غير قطبية. تُحدّد 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 يتحلّل إلى سلاسل بوليمر أصغر، اسم الجيلاتين. يستخدم هذا البروتين في الأطعمة مثل الجيلاتين، والحلوى اللذيذة، والآيس كريم. الكولاجين المستخدم في الغذاء مصدره الماشية والدجاج والأسماك.

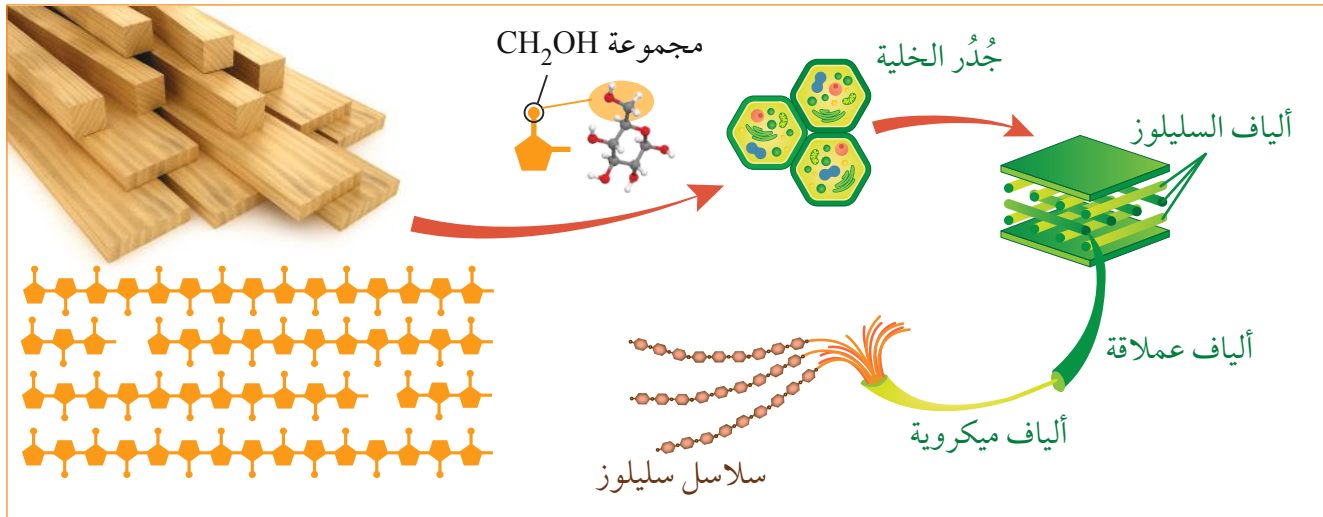


الشكل 6-26 (a) مصادر الكولاجين لإنتاج الجيلاتين؛ (b) استخدامات الجيلاتين.

السليولوز

- السليولوز Cellulose هو سلسلة بوليمر خطية عديدة التسكر، تقوم فيه مونومرات الجلوكوز بالتناوب على الجانب الذي يوجد فيه CH_2OH . الميزات الأساسية للسليولوز مبينة بالجدول أدناه.
- تتألف السلسلة النموذجية من عدة مئات إلى عشرة آلاف من المونومرات.
 - تعني بنية السلسلة الخطية للسليولوز أن بإمكان ألياف السليولوز الاصطفاف معًا.
 - تكون مجموعات CH_2OH بالتناوب روابط هيدروجينية فيما بينها. الأمر الذي يربط الجزيئات معًا في ألياف قوية للغاية.
 - تمثل ألياف السليولوز مكونات بنية النباتات جميعًا، وهذا يجعل الخشب مادة قوية.

السليولوز	
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 البلورة	التكاثف.
المونومر	β - جلوكوز.
المجموعات الوظيفية المتفاعلة	مجموعة الهيدروكسيل ($-\text{OH}$) في β - جلوكوز.

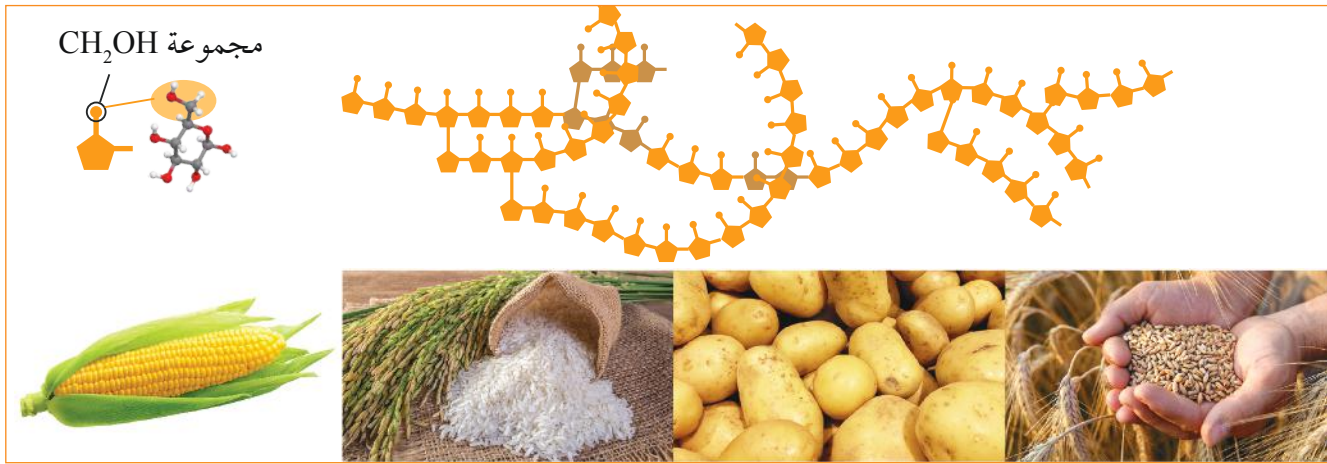


الشكل 6-27 السليولوز يمنح الألياف النباتية قوة.

السليولوز هو البوليمر الطبيعي الأكثر وفرة على وجه الأرض. فهو يوجد في جذر الخلايا النباتية ويوفر الدعم الهيكلي للخلية. تحتوي النباتات المختلفة على تركيزات مختلفة من السليولوز. فالقطن مثلاً يحتوي على واحدة من أعلى نسب التراكيب السليولوزية (90 %)، أي ما يقرب من ضعف وجوده في الخشب.

النشا

- النشا starch بوليمرات عديدة التسكّر تشبه السليلوز؛ لكن لها بنية مختلفة. تنتج النباتات النشا كوسيلة لتخزين الطاقة. ويستخلص البشر تلك الطاقة عن طريق هضم النشاء وتحويلاتها.
- النشاله سلسلة متفرعة، وتكون فيها مجموعات CH_2OH على الجانب نفسه من السلسلة بدلاً من التناوب.
 - لا تتمتع سلاسل بوليمرات النشا بقوة سلاسل السليلوز، لأن وجود التفرعات تمنع الجزيئات من التقارب بدرجة كافية لتشكيل قوى جذب قوية بين الجزيئات.
 - يختلف تفرّع النشا باختلاف النباتات، حيث تختلف الخصائص حسب المصدر.



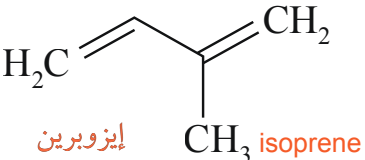
الشكل 28-6 مصادر النشا: الذرة والبطاطا والأرز والقمح.

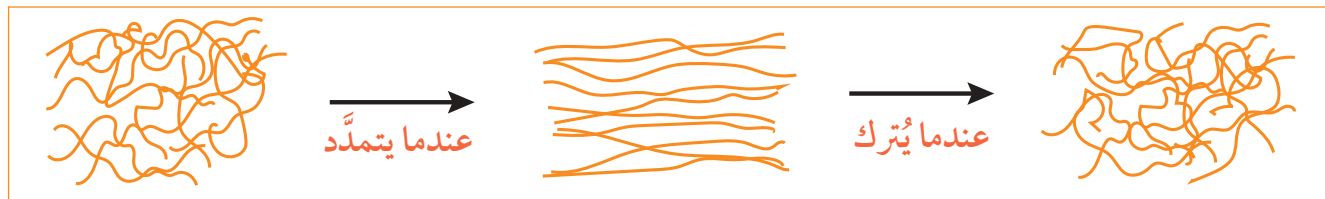
النشا	
الاستخدام	الطاقة المخزنة في الكائنات الحية. ويستخدم بعضها في صناعة الورق كمادة لاصقة. يمكن أيضاً معالجة النشا لتحويلها إلى سكريات، تستخدم في الأطعمة، أو تخميرها لإنتاج الوقود الحيوي.
نوع البلمرة	التكاثف.
المونومر	α - جلوكوز.
المجموعات الوظيفية المتفاعلة	مجموعات الهيدروكسيل من الكربوهيدرات.

- يبين الجدول أعلاه الميزات الأساسية للنشا.
- تشمل المصادر الشائعة للنشا الذرة والبطاطا والأرز والقمح.

المطاط الطبيعي

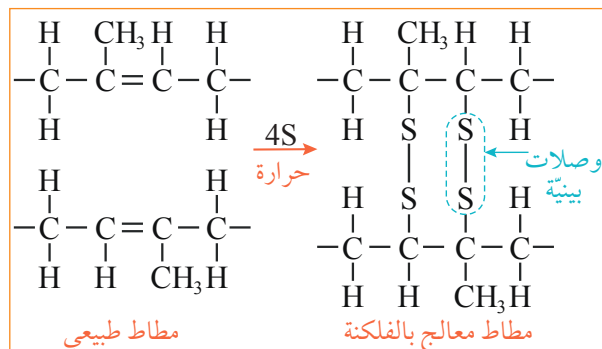
على الرغم من أن معظم البوليمرات الطبيعية تتشكل عن طريق البلمرة بالتكاثف، إلا أن المطاط الطبيعي يتكون من البلمرة بالإضافة. المطاط الطبيعي هو البولي إيزوبرين (Polyisoprene). يحتوي البوليمر في المتوسط على حوالي 10,000 مونومر أيزوبرين Isoprene. نحصل على المطاط الطبيعي من عصارة اللاتكس المتوفرة في أشجار المطاط. (يشير مصطلح لاتكس (Latex) إلى بوليمر معلق في مذيب مائي. من المعروف أن بالإمكان منع الأيزوبرين في لاتكس المطاط من البلمرة كلياً، عن طريق إذابته في محلول الأمونيا المائي). الميزات الأساسية للمطاط الطبيعي مبينة بالجدول أدناه.

المطاط الطبيعي	
الإطارات والقفاّزات والأنابيب والأحذية والموادّ اللاصقة.	الاستخدام
الإضافة.	نوع البلمرة
 إيزوبرين، $\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3) \text{CH} = \text{CH}_2$ 2-ميثيل-1،3-بيوتاديين 2-methyl-1,3-butadiene	المونومر
مجموعتان من $\text{C} = \text{C}$ (رابطتان تساهميتان ثنائيتان)	المجموعات الوظيفية المتفاعلة



الشكل 29-6 مرونة المطاط الطبيعي.

- المطاط الطبيعي من اللدائن Elastomer. يعني ذلك أن لدى بنية الجزيء طاقة أقل في الهيئة المتجعدة:
- عندما يُمدّد جزيء المطاط الطبيعي، تصبح جزيئاته المرنة مستقيمة من دون أن تنكسر.
 - عند تحرير قوة التمدد، تراجع الجزيئات لتعود إلى وضعية الطاقة المنخفضة، في الهيئة المتجعدة.



يصبح هذا المطاط الطبيعي أكثر مقاومة للحرارة والأكسدة في عملية الفلكنة Vulcanization، حيث يرتبط الكبريت بالمونومرات، والتي تترايط بدورها بين سلاسل البوليمر (الشكل 30-6).

الشكل 30-6 فلكنة المطاط الطبيعي.

البوليمرات الصناعية

البوليمرات الصناعية Synthetic polymers هي بوليمرات من صنع الإنسان. يُمكن 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 3-6. تشمل البوليمرات الصناعية على النايلون والداكرون Dacron™ والبوليسترين والبولي كلوريد الفينيل والبولي إيثيلين. الميزات الأساسية للنايلون مبينة بالجدول أدناه.

النايلون

النايلون	
الاستخدام	الأقمشة، الأجزاء الميكانيكية.
نوع البلمرة	التكاثف
المونومر	بوليمر مشترك من الأحماض الكربوكسيلية وأمين ثنائي.
المجموعات الوظيفية المتفاعلة	حمض الكربوكسيل (COOH-) والأمين (NH ₂ -).

النايلون، مثله مثل البروتينات، يشكّل رابطة أميد بين مجموعة كربوكسيل ومجموعة أمينية، وهو ينتمي إلى مجموعة البولي أميدات. تعلّمنا في الدرس 1-6، أن مونومرات النايلون تشتمل على مجموعتي كربوكسيل، واحدة على كل جانب، أو مجموعتي أمين، واحدة على كل جانب. يمكن أيضًا أن تنتج بعض أنواع النايلون من مونومر واحد يحتوي على مجموعة كربوكسيل ومجموعة أمينية.

النايلون قويّ بشكل استثنائي. ومع ذلك فإنه خفيف الوزن جدًا. أضف إلى ذلك أنه قليل المرونة ويعمر طويلاً، ولا يمتص الماء جيّدًا (الشكل 31-6). وبالنظر إلى سهولة صبغ النايلون، تُعدّ أليافه ممتازة لصناعة الملابس. يدخل النايلون أيضًا في صناعة السجاد والحبال وأكياس النوم، والخيام والمظلات، وخيوط مضرب التنس (الشكل 32-6). أول نايلون أنتج كان نايلون 6,6. ثم أُنتجت أنواع أخرى منها النايلون 10,6، والنايلون 4، والنايلون 11.



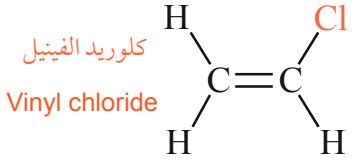
الشكل 31-6 قطعة قماش من النايلون نافرة للماء.



الشكل 32-6 منتجات 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 حراريًا (Thermoplastic)؛ ما يعني أن بالإمكان صهره وتحويله إلى سائل سهل التشكيل، وتبريده إلى مادة صلبة قوية بصورة متكررة. غالبًا ما يتم إنتاج البوليمرات غير ثابتة حراريًا كحبيبات أو صفائح لكونها تتمتع بميزة القدرة على تحمّل عمليات الصهر والتصلب، قبل أن تتحلّل بصورة كبيرة. PVC هو بوليمر البلاستيك الثالث أكثر إنتاجًا في العالم.

بولي كلوريد الفينيل (PVC)	
الاستخدام	الأنابيب - مواد تغليف - مواد البناء
نوع البلمرة	الإضافة (لا يوجد ناتج ثانوي)
المونومر	كلوريد الفينيل $\text{H}_2\text{C} = \text{CHCl}$ 
المجموعات الوظيفية المتفاعلة	رابطة تساهمية ثنائية C = C تكسر عند الرابطة π.

PVC بوليمر يدوم طويلاً ورخيص نسبياً. وهو مقاوم جداً للأشعة فوق البنفسجية من الشمس، وللمواد الكيميائية، والتجوية. لا يتحمّل PVC الحرارة مثل النايلون والبوليستر؛ لذلك نادراً ما تُستخدم أليافه في الملابس.

وPVC مثله مثل معظم البوليمرات، يمكن تصنيعه ليحمل خصائص مختلفة. وله نوعان شائعان أحدهما مرن والآخر صلب. يستخدم PVC في تصنيع الأنابيب وإطارات النوافذ وعوازل الأسلاك الكهربائية ومواد الأرضيات ونعال الأحذية (الشكل 6-33).



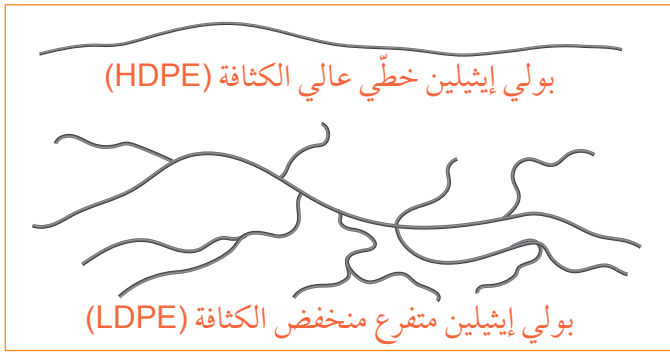
الشكل 6-33 تشمل منتجات PVC البلاستيكية الأنابيب، وإطارات النوافذ «فينيل»، أحذية، وبلاط أرضيات.

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 1-6). يمكن إنتاج البولي إيثيلين بمجموعة متنوعة من الكثافة والكتل الجزيئية التي لها خواص فيزيائية مختلفة. ومن أكثر أشكاله شيوعاً البولي إيثيلين الخطي، والمتفرع (الشكل 6-34).

البولي إيثيلين (PE)	
الاستخدام	أكياس البلاستيك، العبوات الطبية، التعبئة والتغليف.
نوع البلمرة	الإضافة (لا يوجد ناتج ثانوي).
المونومر	إيثين (إيثيلين) $H_2C = CH_2$ Ethene (ethylene)
المجموعات الوظيفية المتفاعلة	رابطة تساهمية ثنائية $C = C$ تكسر عند الرابطة π



الشكل 6-34 بولي إيثيلين خطي ومتفرع.

يكون البولي إيثيلين الخطي عادة ذا 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 الخطي ذي الوزن الجزيئي العالي جداً بأوزان جزيئية في حدود تراوح بين 3 ملايين و 6 ملايين g/mol.

لا يمكن للبولي إيثيلين المتفرع أن يضغط سلسله بشكل متقارب؛ وهو بالتالي ذو كثافة منخفضة ويسمى البولي إيثيلين المنخفض الكثافة (LDPE). وغالباً ما يتم توريد البولي إيثيلين إلى المصانع على شكل حبيبات أو أقراص، حيث تذاب هناك ويعاد تشكيلها (الشكل 6-35).



الشكل 6-35 كريات البولي إيثيلين ومفصل الركبة الصناعي.

البولي إيثيلين متعدد الاستعمالات ويدخل في كثير من المنتجات. تتمثل بعض استخداماته الأكثر شيوعاً في الأكياس البلاستيكية، والأنابيب، والأفلام البلاستيكية، والزجاجات، ولعب الأطفال. أما البولي إيثيلين العالي الكثافة (HDPE) وذو الكتلة الجزيئية الكبيرة، فقد استخدم بدلاً من بوليمر كيفلر Kevlar كحشوة في السترات الواقية من الرصاص، وكعازل في المركب الصناعية.

أنواع البولي إيثيلين (PE)

تتعدد الاستخدامات المدهشة للبوليمرات وسوف نلاحظ ثلاثة استخدامات للبولي إيثيلين في الصناعات الحديثة، من بين عشرات الاستخدامات المتنوعة بتنوعه. يبين الجدول 3-6 ثلاثة أنواع من البولي إيثيلين تختلف في البنية الجزيئية والكتلة الجزيئية.

الجدول 3-6 ثلاثة أنواع من البولي إيثيلين المستخدمة في الصناعة.

UHMWPE البولي إيثيلين ذو الكتلة الجزيئية الكبيرة جدًا	HDPE بولي إيثيلين عالي الكثافة	LDPE بولي إيثيلين منخفض الكثافة	
935 - 945	941 - 970	910 - 940	تراوح الكثافة (kg/m^3)
متفرّع	خطّي	متفرّع	الشكل
4,500,000	200,000	50,000	الكتلة المولية (g/mol)
130 - 136	120 - 130	105 - 115	درجة الانصهار ($^{\circ}\text{C}$)
2,600	26	10	قوة المردود (MPa)
حبال - شباك صيد درع واقية للجسم	عبوات البلاستيك مفاصل اصطناعية	أكياس بلاستيك حاويات النفايات	التطبيقات

يملك 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، فيملك أكبر كتلة مولية، وله سلاسل خطيّة، الأمر الذي يسمح للجزيئات أن تتراس بقوة. وبذلك يملك كثافة عالية جدًا، وتعد درجة انصهاره أعلى من درجة انصهار بوليمر LDPE.



الشكل 36-6 تُصنع الحبال الفائقة القوة، والخفيفة جدًا، من نسيج الألياف المصنوعة من UHMWPE.

أما البولي إيثيلين ذو الكتلة الجزيئية الكبيرة جدًا UHMWPE، فيملك 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 ذا قوة كبيرة جدًا.

في الصناعة، تشدّ جزيئات UHMWPE وتُغزل إلى ألياف طويلة جدًا، تعدّ قوتها أكبر من قوة الفولاذ. تتميز ألياف UHMWPE بقوة كبيرة قياسًا على كتلتها، الأمر الذي يجعلها مُنتجًا ملائمًا في صناعة الدروع وحبال تسلق الجبال (انظر الشكل 36-6).

	البلمرة	2-6
	كيف يمكن إنتاج البوليمر المرن؟	سؤال الاستقصاء
	غراء البولي فينيل الكحولي PVA، محلول بوراكس مشبع (Saturated borax solution)، ماء مُقَطَّر، كبريتيد الخارصين الفوسفوري (Phosphorescent zinc sulfide)، ميزان، دورق سعة 250 mL، مخبر مدرّج سعة 25 mL، ساق تحريك زجاجية، ورقة حشوة، كيس برباط.	المواد المطلوبة
خطوات العمل 1. قس 20.0 mL من الماء المُقَطَّر عند درجة حرارة الغرفة في المخبر المدرّج ذي السعة 25 mL، واسكبها في دورق سعة 250 mL. 2. قس 25.0 mL من غراء PVA في المخبر ذي السعة 25 mL واسكبها في دورق سعة 250 mL الذي يحتوي على الماء المُقَطَّر. وعلى الفور، وبشكل كلي، اغسل الغراء من المخبر. 3. حرّك الخليط في الدورق ذي السعة 250 mL حتى يصبح متجانسًا تمامًا. 4. زن 1.00 g من كبريتيد الخارصين الفوسفوري على ورقة الوزن، أضفه إلى الدورق ذي السعة 250 mL، وحرّكه حتى يصبح الخليط مرّة أخرى متجانسًا. 5. قس 15.0 mL من محلول البوراكس المُشَبَّع باستخدام المخبر ذي السعة 25 mL، واسكبها في الدورق 250 mL. 6. حرّك لمدة 30 ثانية عندما يتشكّل البوليمر على ساق التحريك الزجاجية. 7. اسحب البوليمر من ساق التحريك الزجاجية، وادلكه على سطح الطاولة لإزالة السائل الزائد. استمر في ذلك حتى يجف البوليمر ولا يعود ملمسه لزجًا. يجب ألا يستغرق ذلك سوى دقيقة واحدة أو دقيقتين. 8. ضع البوليمر في الكيس ذي الرباط وأغلقه جيدًا. يكون البوليمر مستقرًا 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. اجعل البوليمر في شكل دائرة مسطّحة، وعرضه لأشعة الشمس الساطعة، أو ضوء ساطع لمدة دقيقة واحدة. أطفئ الأنوار جميعها، أو انقله إلى غرفة مظلمة. ماذا تلاحظ؟ 2. قطع البوليمر إلى عشر قطع. ضع القطع في كومة، وهي متلامسة. بعد دقيقة واحدة، ما الذي تلاحظ حدوثه؟ 3. اسحب البوليمر. إلى أي مدى يمكن مده قبل أن ينقطع؟ 4. بالاستناد إلى الملاحظتين السابقتين، ماذا تستنتج بخصوص قوى الجذب بين سلاسل البوليمرات؟ ماذا تُسمّى قوى الجذب هذه؟		

تقويم الدرس 2-6

1. ما مونومرات البروتينات؟ 
2. أيّ البوليمرات تميل إلى أن تكون أكثر تحللًا، الطبيعية أم الصناعية؟ 
3. ما المجموعة الوظيفية التي تتفاعل في بلمرة السيلولوز؟ 
4. أي اثنين من البوليمرات الآتية لديهما المونومر نفسه؟ 
 - a. السيلولوز والحمض النووي.
 - b. السيلولوز والنشا.
 - c. الحمض النووي والبولي إيثيلين.
 - d. البولي إيثيلين والبولي بروبيلين.
5. أي اثنين من البوليمرات الآتية هما بوليمرا إضافة؟ 
 - a. البروتينات والنايلون.
 - b. البولي إستر والنايلون.
 - c. السيلولوز والبوليسترين.
 - d. البولي بروبيلين والمطاط الطبيعي.
6. ما الكتلة الجزيئية التقريبية لسلسلة بوليمر البولي إيثيلين تحتوي على 100 مونومر؟ 

a. 14 amu	c. 1,600 amu
b. 100 amu	d. 2,800 amu
7. ما الناتج الثانوي لبلمرة البولي كلوريد الفينيل؟ 

a. OH	c. H ₂ O
b. HCl	d. لا يوجد ناتج ثانوي.
8. ما البوليمر الذي تم استخدامه ليحل محل بوليمر كيفلر (Kevlar) في السترات الواقية من الرصاص؟ 

a. النايلون	c. المطاط الطبيعي.
b. البولي إيثيلين.	d. البولي بروبيلين.
9. ما اسم مونومر المطاط الطبيعي؟ 
10. ما اسم العملية المستخدمة لجعل المطاط الطبيعي أكثر دوامًا؟ 

الدرس 3-6 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 ومشتقاتهما من حولنا؟ ماذا لو اختفت أيضًا الأشياء التي لم تُصنع من منتجات بترولية، ولكنها موادّ يتم إنتاجها ونقلها باستخدام الطاقة التي نحصل عليها من البترول ومنتجاته؟ ما الذي سيبقى؟ غالبًا 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 أنشئت باستخدام المنتجات البترولية. أضف إلى ذلك أن الغذاء الذي

نتناوله، قد تمّت زراعته، وتسميده، وحصاده، وتنظيفه، وتعبئته، وشحنه، باستخدام تلك المُنتجات البترولية. وفضلاً عن ذلك، يجري تصنيع معظم ملابسنا من المنتجات البترولية، وحتى الملابس المصنوعة من الأقمشة الطبيعية يتم تصنيعها، وتغليفها، وشحنها، باستخدام تلك المنتجات. وتضمّ المنازل والأبنية موادّ تعتمد على البترول، وقد تم تشييدها باستخدام طاقة المُنتجات البترولية، ناهيك بأن الأدوية والإمدادات الطبية مصنوعة من المنتجات البترولية، بالإضافة إلى أن معظم الكهرباء التي نستهلكها يتم توليدها باستخدام المُنتجات 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.

المضردات

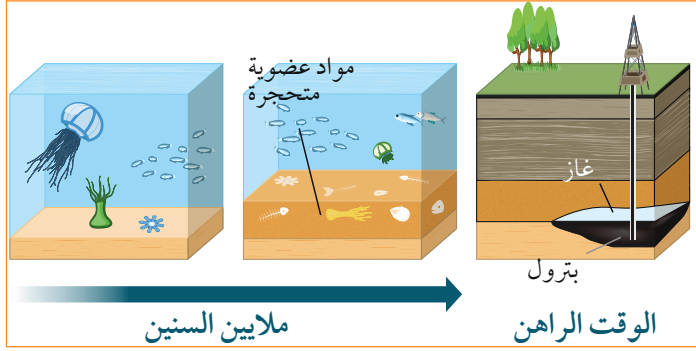


Petroleum	البترول
Feedstocks	المادّة الأولى
Plastics	الموادّ البلاستيكية
Thermosetting	مواد بلاستيكية ثابتة حراريًا
	مواد بلاستيكية غير ثابتة حراريًا
Thermoplastic	

مخرجات التعلّم

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 38-6 تكوّن البترول.

البترول Petroleum، الذي يُعرف أيضًا بالنفط الخام، هو خليط يتضمّن الكثير من المركّبات من المواد الطبيعية التي تتكوّن في معظمها من الهيدروكربونات. ويرجع أصل تلك الهيدروكربونات إلى بقايا أحفورية لكائنات حيّة، كما هو مبين في الشكل 38-6.

يُعتقد أن معظم البترول تكوّن من بقايا كائنات حية بسيطة مثل الطحالب والعوالق الحيوانية. وبفعل النشاط الجيولوجي، انتهى المطاف بتلك الرواسب عميقًا تحت سطح الأرض. ومع مرور الزمن، حوّلت الحرارة والضغط الهائلان تلك المواد العضوية إلى مواد صلبة وسائلة، سُمّيت البترول.

يعود استخدام البترول عبر التاريخ إلى أكثر من 4000 عام. وقد استخدم الأسفلت الطبيعي (الشكل 39-6) في بناء الجدران وأبراج بابلون Babylon. تصف بعض الألواح الفارسية القديمة استخدام



الشكل 39-6 الأسفلت الطبيعي، أو القار.



الشكل 40-6 حقول النفط الروسية عام 1943م تقريبًا.

البترول في الطب والإضاءة. أما الكتابات الصينية الأولى، فقد وصفت استخدام البترول كوقود في أوائل القرن الرابع BCE (قبل الميلاد).

وقد ذُكرت عملية التقطير التجزيئي للنفط الخام في كثير من الكتب العربية. وذكر أن أول من أجرى هذه العملية هم الكيميائيون المسلمون، أمثال محمد بن زكريا الرازي. كذلك أجرى كيميائيون عرب عملية تقطير 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 مُحرك الاحتراق الداخلي، والأسواق المتنامية للمنتجات البترولية، مثل الكيروسين وشمع البرافين. فالعالم اليوم يُنتج 100 مليون برميل من النفط يوميًا (الشكل 40-6).

معلوم أن البترول ليس مادة كيميائية نقية، بل هو خليط يحتوي على كثير من المركّبات. ويتباين تركيب النفط؛ ويتكوّن عادة من الكربون والهيدروجين بنسبة تتراوح بين 93 % و 99 % في حين أن معظم الكتلة المتبقية تتكوّن من الكبريت، والأكسجين، والنتروجين. وغالبًا ما يوجد الغاز الطبيعي (Natural gas) فوق تجمّعات البترول. والغاز الطبيعي هو مادة هيدروكربونية غازية تحتوي على عدة أنواع من الغازات، أهمّها وأكثرها الميثان.



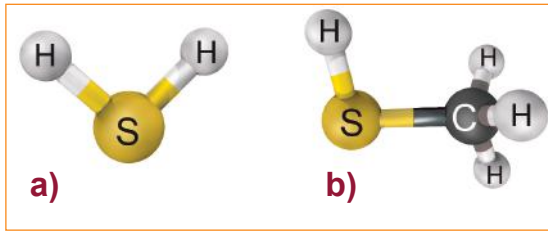
البتروال القطري

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 كليًا، وأصبحت تديرها شركة قطر للبتروال (شركة قطر للطاقة حاليًا) التي أنشئت عام 1974م.

يُعدُّ البتروال والغاز الطبيعي من **المواد الأولية Feedstocks** (مواد خام) الشكل 41-6 حقل دُخان النفطي. التي حصلت عليها شركة قطر للطاقة، أضف إلى ذلك أن الغاز الطبيعي تزايدت أهميته في العقدين الماضيين.

المواد الأولية هي المواد الخام المُستخدمة في عملية التصنيع والإنتاج الصناعي.

تمتلك شركة قطر للطاقة شركات تابعة لها، تستخدم المواد الأولية من البتروال والغاز الطبيعي لتصنيع مئات المنتجات. إحدى تلك الشركات هي شركة قطر للبتروليمياء (قابكو)، التي تعد إحدى أكبر الشركات في العالم لإنتاج البولي إيثيلين. فهي تُنتج أنواعًا متعددة ومتنوعة من البولي إيثيلين المنخفض الكثافة (LDPE).



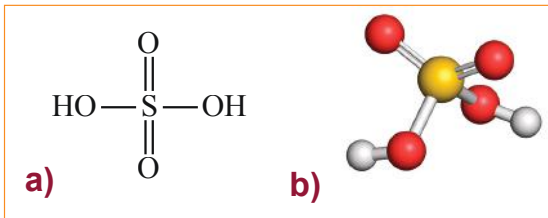
يتضمن البتروال والغاز الطبيعي مركبات تحتوي على الكبريت، مثل كبريتيد الهيدروجين (H_2S)، وثيول الميثان Methanethiol (CH_3SH)، أو ميثيل ميركبتان (الشكل 42-6).

الشكل 42-6 (a) كبريتيد الهيدروجين (b) ثيول الميثان.

غير أن مركبات الكبريت تلك التي يتضمنها البتروال والغاز الطبيعي تلوث الوقود والمنتجات الأخرى. فعندما

يحترق الوقود، تُنتج ملوثات الكبريت غازات خطيرة على البشر وعلى البيئة. لكن معظم الكبريت، الذي ينتج من البتروال 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 يُستخدم لإنتاج الأسمدة، والمنتجات الدوائية. وكعامل حفّاز في كثير من التفاعلات. ويُستخدم أيضًا في تكرير النفط.

المواد البلاستيكية

ليست كل البوليمرات **مواد بلاستيكية Plastics**. لكن 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:

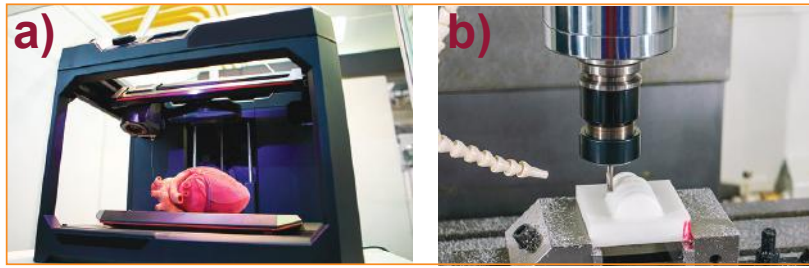
1. مدى تعقيد ذلك المنتج
2. مدى حاجتنا إليه
3. مدة ديمومته التي نحتاج إليها
4. تكلفة القطعة الواحدة منه
5. قدرة تحمل أبعاده وإعادة تشكيله
6. كفاءة إنتاجه: بشكل دوري أو دائم
7. مدى حاجتنا إلى إنتاجه في فترة زمنية محددة

سؤال للمناقشة

اذكر عوامل أخرى التي نحتاجها عند اختيار عملية تصنيع البلاستيك.

تحتاج بعض العمليات إلى مدة إعداد وتجهيز طويلة. وتكون تكلفة بعضها باهظة، ويتم تسديدها مسبقاً قبل إنتاج القطع، وتستخدم التكنولوجيا لتقليل التكلفة والزمن وتحقيق أهداف رحلات الفضاء القادمة. يبين الشكل 44-6 بعض العمليات

الشائعة لتصنيع البلاستيك **المواد البلاستيكية الثابتة حرارياً Thermosetting** تتصلب متخذة شكلاً يتم صنعه بشكل دائم من خلال عملية معالجة تتكوّن فيها روابط كيميائية. الأمر الذي يمنع تلك المواد من الانصهار عند تسخينها،



الشكل 44-6 (a) الطباعة الثلاثية الأبعاد لقلب الإنسان، (b) تصنيع قطعة بلاستيكية بالتحكم الرقمي من خلال استخدام الحاسوب.

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 المفلكن.

تتميز **المواد البلاستيكية غير الثابتة حرارياً Thermoplastics** عن المواد البلاستيكية الصلبة المعدة بالحرارة. ففي العادة تتكوّن روابط كيميائية ضعيفة عندما تتصلب، إذ تنصهر عند تسخينها ويصبح بالإمكان إعادة تشكيلها مرات عدة. 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 صنع الزجاج الشبكي.

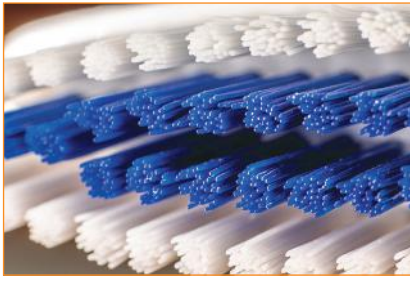
الألياف الصناعية

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:

الإيجابيات	السلبيات
يميل كل منهما إلى أن يكون أكثر قوة من الألياف الطبيعية	ينصهر كل منهما عندما يسخن
بعضهما قابل لإعادة التدوير	يمكن لبعضهما أن يسبب الحساسية
مقاومة للماء - وبعض أنواعها قابل للتحلل	مصدرهما مورد غير متجدد (البترول)
يقاومان التجعد ولبعض أنواعها خصائص مضادة للميكروبات.	معظم أنواعها غير قابل للتحلل
غير مكلفين	

يتوافر الكثير من الألياف الصناعية. وسوف نتناول باختصار نوعين منها فقط.

النايلون



الشكل 6-45 شعيرات فراشي تنظيف الأسنان.

النايلون 6,6 قام بتصنيعه عام 1933م والاس كاروثر في مختبرات ديبونت الصناعية للبحوث. ويمكن أن تمنحه الإضافات خصائص مميزة مختلفة لاستخدامه في تطبيقات مختلفة، مثل زيادة القوة. فالنايلون مادة بلاستيكية غير ثابتة حراريًا، لذا يمكن استخدامه في عمليات تصنيع مختلفة ومتنوعة. 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 سمكًا في صنع منتجات أخرى، مثل شعيرات فراشي تنظيف الأسنان (الشكل 6-45).

البوليستر

نال براءة اختراع البوليستر عام 1941م العالمان البريطانيان جون وينديلد وجيمس ديكسون. وبات ممكنًا صنع البوليستر في هيئة مادة بلاستيكية صلبة ثابتة حراريًا، أو مادة بلاستيكية غير ثابتة حراريًا، وهي النوع الأكثر شيوعًا. وبوصفه مادة بلاستيكية حرارية، أمكن إنتاج أليافه بواسطة عملية الغزل (الشكل 6-46).



الشكل 6-46 البوليستر (a) كريات قبل عملية الغزل، (b) ألياف تستخدم في الوسائد، (c) لفافات معدة كي تنسج قماشًا.

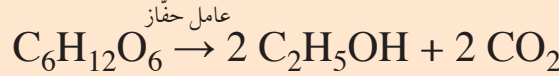
البوليمرات الخضراء

تُعَدُّ البوليمرات الخضراء موضوع بحث في جميع أنحاء العالم، من أجل تطوير البوليمرات، لئلا تسبب ضرراً سواء للبشر أو للبيئة، خلال دورة حياتها الآتية:

1. إنتاج المواد الأولية (الزراعة، والتسميد).
2. حصاد المواد الأولية.
3. تحضير البوليمرات وتصنيعها.
4. عمليات التصنيع لمنتجاتها.
5. التخلص منها وتحللها.

يحتاج هذا الهدف الجليل إلى حلٍّ من مراحل مُتعدِّدة، 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 وراثياً مطلوبتان.

ولمعالجة بداية دورة حياة البوليمر الأخضر، يتم إنتاج الإيثانول من خلال التحلل المُحفَّز للكربوهيدرات في واحد من أنواع عمليات التخمر.



يتم إنتاج هذا الإيثانول الحيوي من أحد سكريات قصب السكر، أو الذرة، أو المواد السليلوزية الأخرى. ثم يتم تحويل الإيثانول الحيوي إلى مونومرات، مثل الإيثيلين والبروبيلين، يتم تصنيعها وتحويلها إلى بوليمرات. ومن الناحية النظرية، يمكن جمع ثاني أكسيد الكربون واستخدامه لإنتاج مونومرات الكربون. فالكثير من المنشآت الصناعية المنتشرة في العالم تُنتج الإيثانول الحيوي في الوقت الحالي، (الشكل 6-47).



الشكل 6-47 مصنع الإيثانول الحيوي.

ويمكن للبلاستيك، الذي يذوب في الماء بسرعة وأمان، أن يحل لغز نهاية دورة حياة البوليمر. ففي العام 2018م، أدخل العالمان التشيليان روبرتو أستيتي وكريستيان أوليفرز أكياساً بلاستيكية ذائبة في الماء؛ فاكشفا أن تفاعل بولي فينيل الكحول PVA مع كربونات الكالسيوم يكوّن بوليمراً يذوب في الماء خلال دقائق معدودة، مع عدم وجود بقايا سامّة له، (الشكل 6-48)



الشكل 6-48 أكياس بلاستيكية قابلة للتحلل تُستخدم في البقالة وتغليف الطعام.

ويُحتمل في أحد الأيام أن تكون خطوات دورة حياة البوليمر كلها خضراء، وربما تمكّنت أنت من الإسهام في حل ذلك اللغز.



نماذج البوليمرات

3-6

سؤال الاستقصاء	كيف يمكن تمثيل البوليمرات بواسطة النماذج؟
المواد المطلوبة	مجموعة النماذج الجزيئية.

البلمرة بالتكاثف

1. ارسم تراكيب المونومرات لكل بوليمر مذكور في الجدول.
2. اكتب معادلة بنائية لاندماج مونومرين لتكوين دايمر (يحتوي على مونومرين)، والناتج الثانوي لعملية التكاثف.
3. ابن المونومرين باستخدام مجموعة النماذج البنائية، واطلب موافقة معلّمك على النماذج.
4. ادمج المونومرين في دايمر من خلال إزالة الذرات، ثم ادمج الذرات التي تمت إزالتها لتكوين الناتج الثانوي، واطلب موافقة معلّمك على النماذج.

اسم البوليمر	تركيب المونومرات	المعادلة الكيميائية باستخدام الصيغ البنائية لتكوّن دايمر والناتج الثانوي
السليولوز Cellulose		
البوليستر Polyester		

البلمرة بالإضافة

1. ارسم تراكيب المونومرات لكل بوليمر مذكور في الجدول.
2. اكتب معادلة بنائية لاندماج مونومرين لتكوين دايمر (يحتوي على مونومرين).
3. ابن المونومرين باستخدام مجموعة النماذج البنائية، واطلب موافقة معلّمك على النماذج.
4. ادمج المونومرين في دايمر، واطلب موافقة معلّمك على النماذج.

اسم البوليمر	تركيب المونومر	المعادلة البنائية لتكوين دايمر
البولي إيثيلين Polyethylene		
البولي بروبيلين Polypropylene		
بولي كلوريد الفينيل Polyvinyl chloride		

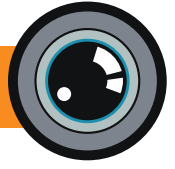
بناء نموذج البوليمر

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؟
 - 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؟
 - 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؟
 - a. الكبريت
 - b. الزئبق
 - c. الحديد
 - d. الأكسجين
4. لِمَ تُعتبر إعادة تدوير المواد البلاستيكية الثابتة حراريًا شبه مستحيلة؟
 - a. لأنها مواد سامة.
 - b. لأن لها درجة انصهار مرتفعة.
 - c. لعدم وجود سوق لذلك النوع من المنتجات.
 - d. لتشكّل روابط كيميائية قوية في أثناء تكوينها.
5. أي من البوليمرات الآتية تُستخدم لتصنيع شُعيرات فراشي تنظيف الأسنان؟
 - a. النايلون .
 - b. البوليستر.
 - c. السليلوز.
 - d. البولي إيثيلين.
6. أي من الآتي ليس هدفًا للبوليمرات الخضراء؟
 - a. أن تكون دائمة للغاية.
 - b. أن تكون قابلة للتحلل مع عدم وجود مُنتجات سامة.
 - c. لا تكون مُلوّثات أثناء عملية التصنيع.
 - d. لا تضرّ بالبيئة أثناء زراعتها وحصادها.

علماء في دائرة الضوء



الشكل 6-49 ليو بايكلاند.

ليو هندريك بايكلاند (1863 - 1944)

تم التعرف إلى مفهوم البوليمرات في أوائل القرن التاسع عشر الميلادي. استمر التقدم الطفيف في فهم البوليمرات وإنشائها خلال الأعوام المئة اللاحقة. كانت معظم البوليمرات التي صُنعت خلال ذلك الوقت تأتي من مصادر طبيعية، مثل السليلوز. غير أن القليل منها فحسب لاقى نجاحًا تجاريًا. 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 تجاريًا. وبذلك بدأ عصر البلاستيك!

وُلد بايكلاند في بلجيكا، وحصل على درجة الدكتوراه من جامعة غنت Ghent في بلجيكا، 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 بايكلاند الباكليت، ابتكر عملية لتطوير لوحات فوتوغرافية يُستخدم فيها الماء بدلاً من المواد الكيميائية الأخرى. اخترع أيضًا الفيلوكس Velox، وهو أول ورق يمكن من خلاله تظهير 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 خنفساء Lac التي تعيش في الهند وتايلاند، ولها كثير من التطبيقات، بما في ذلك طلاء الخشب. اكتشف بايكلاند بوليمراً من تفاعل الفينول (هيدروكسل البنزين) والفورمالدهايد (الميثانال) أطلق عليه اسم الباكليت. وكان بإمكانه أن يغيّر خصائص البوليمر عن طريق إنتاجه تحت درجات حرارة وضغوط مختلفة. صنع بايكلاند بوليمراً يتشكل بالحرارة بسهولة قبل المعالجة. وهو بوليمر لا يذوب عند تسخينه ويعدّ عازلاً جيّداً للحرارة والكهرباء.



الشكل 6-50 أغلفة الباكليت المستخدمة (a) في الهاتف (b) في المذياع.

وتمّ 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.

الوحدة 6

مراجعة الوحدة

الدرس 6-1: البوليمرات والبلمرة

- **البوليمرات Polymers** جزيئات ذات سلسلة طويلة تتكوّن من تكرار جزيئات أصغر تُسمّى المونومرات.
- **المونومرات Monomers** جزيئات يمكن ربطها بشكل متكرّر لتشكيل البوليمرات.
- يمكن أن تكون البوليمرات خطيّة أو متفرّعة (شبكة ثلاثية الأبعاد).
- أي تغيير في البنية التركيبية للبوليمر سيغيّر خصائصه.
- تتكوّن البوليمرات بالإضافة أو بالتكاثف.
- في تفاعل **البلمرة بالإضافة Addition polymerization**، تتكسر 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 المُستخدمة في عملية التصنيع.
- تعدّ قطر واحدًا من أكبر مُنتجي البولي إيثيلين في العالم.
- البلاستيك بوليمرات صناعية تصنّف على أنها ثابتة حراريًا Thermosetting، أو غير ثابتة حراريًا Thermoplastics.
- ينتج البلاستيك الثابت حراريًا، عن طريق المعالجة (تشكيل روابط كيميائية جديدة) ولا ينصهر عند تسخينه ولا يتحلّل. وهو متين للغاية، ولكنه غير قابل لإعادة التدوير.
- تنصهر المواد البلاستيكية غير الثابتة حراريًا عند تسخينها، ويمكن إعادة تدويرها.
- البوليمرات «الخضراء» بوليمرات آمنة بيئيًا، لها مصدر مستدام من المونومرات.

اختيار من متعدد

1. أي مما يأتي تسلسل مونومر متجانس؟

- A-B-C-A-B-C. **a**
A-A-B-A-B-B. **c**
A-B-A-B-A-B. **b**
A-A-A-A-A-A. **d**

2. كم عدد المونومرات التي يحتوي عليها دايمر Dimer؟

1. **a**
2. **b**
3. **c**
4. **d**

3. أي من الآتي يمثل بلمرة بالإضافة؟

- $3 \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow [\text{C}_6\text{H}_{12}]$. **a**
 $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. **b**
 $\text{C}_6\text{H}_{14} + \text{O}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}(\text{OH})_2$. **c**
 $\text{CH}_3\text{OH} + \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$. **d**

4. أي من العبارات الآتية هي صحيحة؟

- a.** البلمرة بالإضافة لا تنتج ناتجاً ثانوياً.
b. البلمرة بالإضافة تنتج الماء دائماً كناتج ثانوي.
c. البلمرة بالتكاثف لا تنتج ناتجاً ثانوياً.
d. البلمرة بالتكاثف تنتج الماء دائماً كناتج ثانوي.

5. أي مما يأتي سمة من سمات البلمرة بالتكاثف؟

- a.** تُنتج ناتجاً ثانوياً.
b. تحدث في النباتات والحيوانات فقط.
c. تُنتج دائماً الماء كناتج ثانوي.
d. تحتوي المونومرات على رابطة ثنائية أو ثلاثية.

6*. كم رابطة تتشكل عندما تنكسر الرابطة الشائبة في المونومر أثناء عملية البلمرة؟

1. **a**
2. **b**
3. **c**
4. **d**

7. أي مما يأتي هو مونومر بولي كلوريد الفينيل؟

- CH_3-CH_3 . **a**
 $\text{H}_2\text{C}=\text{CHCl}$. **c**
 $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$. **b**
 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$. **d**

تقويم الوحدة

8. كم ذرة كربون في مونومر البولي كلوريد الفينيل؟
- a. 1
b. 2
c. 3
d. 4
9. أي مما يأتي ليس مثالاً على بوليمر التكاثف؟
- a. النشا
b. السليلوز
c. البوليستر
d. البولي بروبيلين
10. ما الناتج الثانوي لبلمرة البروتينات بالتكاثف؟
- a. الماء
b. الأمونيا
c. كلوريد الهيدروجين
d. لا يتشكل ناتج ثانوي
11. ما اسم المجموعة الوظيفية التي تتفاعل أثناء بلمرة النشا؟
- a. الكلورو
b. الكربوكسيل
c. الكربونيل
d. الهيدروكسيل
12. ما المجموعتان الوظيفيتان اللتان تتفاعلان خلال عملية البلمرة لإنتاج النايلون؟
- a. -OH و -Cl
b. -OH و -NH₂
c. -COOH و -OH
d. -COOH و -NH₂
13. كم ذرة كربون في بوليمر ثنائي (Dimer) النايلون 6,10؟
- a. 6
b. 10
c. 16
d. 60
14. أي مما يأتي بوليمر طبيعي يتكوّن من عملية جيولوجية؟
- a. العنبر
b. الكوارتز
c. البروتينات
d. الحجر الكلسي
15. ما فئة البوليمرات التي تنتمي إليها البروتينات؟
- a. البوليستر
b. البولي أميد
c. الكربوهيدرات
d. البولي سكارايد (عديد التسكر)
- 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. تنتج من الدهون

17. أي مما يأتي لا يصحّ عن السليلوز؟ 

- a. يوجد في خلايا النبات.
- b. مونومر لديه مجموعة أمينية.
- c. ينتج من فقدان الماء كنتاج ثانوي.
- d. هو البوليمر الطبيعي الأكثر وفرة على الأرض.

18. ما المونومرات التي تتشكّل منها DNA؟ 

- a. النيوكليوتيدات
- b. السكريات
- c. الهيدروكربونات
- d. الكربوهيدرات

19. ما المونومر الذي يتشكّل منه المطاط الطبيعي؟ 

- a. الستايرين
- b. الأيزوبرين
- c. النيوبرين
- d. البروبيلين

20. أي نوع من البوليمرات هو PE؟ 

- a. البوليستر
- b. البوليستيرين
- c. البولي إيثيلين.
- d. البولي بروبيلين.

21*. أي مما يأتي بلاستيك غير ثابت حراريًا؟ 

- a. الإيوكسي
- b. السيليكون
- c. البولي يوريثان.
- d. البولي كلوريد الفينيل.

الدرس 1-6: البوليمرات والبلزمة

22. هل ستكون خواص البوليمرات مختلفة إذا كانت تحتوي على المونومرات نفسها، ولكن لها تراكيب بنائية مختلفة؟ 

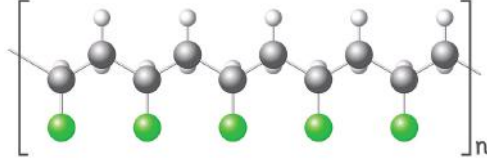
23. صفّ الفرق البنائي بين البوليمرات الشبكية الخطيّة والثلاثية الأبعاد. 

24. ما الذي يُكسر عندما يخضع مونومر للبلزمة بالإضافة؟ 

25. ماذا يمثل الرمز PP؟ 

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 للبلمرة التكاثف؟

30*. ماذا سيحدث لدرجة انصهار بوليمر شبكي ثلاثي الأبعاد مع زيادة عدد الفروع وطولها خارج سلسلة الكربون الرئيسية؟

31. يحتوي كل من السليلوز والنشا على المونومرات نفسها. ما الذي يفسر اختلاف خصائصهما؟

32. ارسم بنية رابطة الببتيد التي تربط مونومرات البروتينات.

33.** ما الناتج الثانوي للبلمرة بالتكاثف، عندما تتفاعل مجموعة أمينية مع مجموعة برومو؟

34. ما البوليمرات التي تتشكل عن طريق ربط المونومرات من خلال مجموعة -COO-؟

الدرس 2-6: خصائص البوليمرات

35. أي نوع من البوليمرات يُستمد من الحيوانات، ويُستخدم لصنع الجيلاتين؟

36. ما العناصر التي تشكل مونومرات السليلوز؟

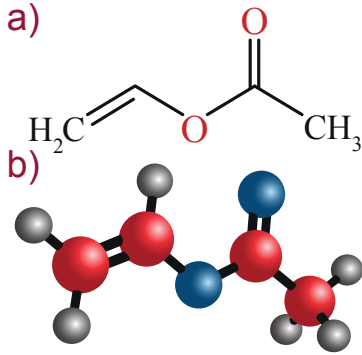
37. ما البوليمر الذي يُستخرج من الأرز والذرة والبطاطس كمصدر طبيعي؟

38. ما مصدر المطاط الطبيعي؟

39. ما الاسم الذي يُطلق على عملية الربط الكيميائي للكبريت في المطاط الطبيعي لجعله أكثر متانة؟

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 تُكسر 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 لأسيتات الفينيل في المخطط.



42 أي البوليمرات أكثر قابلية للتحلل: الصناعية أم الطبيعية؟

43* النايلون بوليمر قوي، متين، خفيف الوزن، مقاوم للماء، ويمكن تشكيله بسهولة لصناعة القماش. اكتب قائمة بثلاثة منتجات تستفيد من خصائص النايلون تلك.

44 ما نوع البوليمر الذي يتكوّن من البولي إيثيلين تيرافثالات Polyethylene terephthalate (PET)؟

45 ماذا يعني الاختصار PVC بخصوص البوليمر؟

46 أي نوع من البوليمر: الخطّي أم الشبكي الثلاثي الأبعاد، يُستخدم عادة لتشكيل البولي إيثيلين العالي الكثافة (HDPE)؟

الدرس 3-6: البوليمرات البترولية والاستدامة

47 دوّن قائمة بعشرة أشياء في الصف مصنوعة من المنتجات البترولية، أو صُنعت باستخدام الطاقة من المنتجات البترولية.

48 ممّ يتكون النفط؟

49 يمكن استخدام الكبريت المُستخرج من تكرير البترول في إنتاج حمض الكبريتيك (H_2SO_4) من خلال مجموعة تفاعلات تسمى عملية التلامس. ابحث في عملية التلامس (Contact process)، واكتب التفاعلات الفردية التي توضّح كيفية إنتاج حمض الكبريتيك.

50 أي نوع من البلاستيك: البلاستيك الثابت حراريًا أم غير ثابت حراريًا، يتطلّب معالجة لتشكيل روابط كيميائية إضافية؟

تقويم الوحدة

51.  ميثيل ميثاكريليت Methyl methacrylate هو المونومر المُستخدم 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.  حدّد، أنت وزملاؤك كمجموعة، منتجًا بلاستيكيًا لتصنيعه.

a. سجّل الإجابات عن الأسئلة الآتية:

1. ما مدى تعقيد الأجزاء؟
2. هل تحتاج هذه الأجزاء يوميًا 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 التحمّل لأبعاد الأجزاء؟
6. هل سيتم إنتاج الأجزاء بشكل دوري أم مستمر؟
7. كم جزءًا يجب إنتاجه في فترة زمنية معيّنة؟

b. ابحث في خصائص عمليات التصنيع الثماني الآتية:

1. التشكيل باستخدام المغزل
2. الطباعة الثلاثية الأبعاد
3. التشكيل عن طريق النفخ
4. التصنيع باستخدام الحاسب الآلي
5. صبّ البوليمر
6. التشكيل عن طريق التفريغ
7. التشكيل عن طريق الحقن
8. التشكيل عن طريق تسخين أنبوب مجوّف بالنار مع الدوران.

c. باستخدام إجاباتك عن الأسئلة الواردة في **(a)** حدّد عملية التصنيع من القائمة **(b)** التي ستكون الأكثر مثالية. سجّل اختيارك ووضّحه. ضمّن إجاباتك صورًا لعملية التصنيع.

53.  اختر مُنتجًا بلاستيكيًا يمكنك حمله في يدك. قرّر إن كان بلاستيكيًا ثابتًا حراريًا أو لدنًا غير ثابت حراريًا، بالاستناد إلى الخصائص المرصودة للمنتج. وضح اختيارك.



الوحدة 7

القضايا الاقتصادية والاجتماعية والبيئية

في هذه الوحدة

C1107

الدرس 1-7: الكيمياء في حياتنا
الدرس 2-7: الكيمياء وتغيّر المناخ
الدرس 3-7: الكيمياء وموارد المياه

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، والاجتماعية، والبيئية. ويولي استخدامات الهيدروكربونات من المصادر غير المتجددة اهتماماً خاصاً، بوصفها مواد أولية لصناعة منتجات أخرى.

ويعنى الدرس الثاني بتغير المناخ العالمي، حيث يناقش الآليات التي يؤثر 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 العواقب المحتملة، وطرائق التخفيف منها.

أما الدرس الثالث، فيركز على مدى توفر المياه للاستخدام البشري، حيث يبحث في مخزون مياه الأرض، والطرائق التكنولوجية لتحلية المياه، وتنقيتها، ومعالجة المياه العادمة.

الأنشطة والتجارب

- 1-7 مُنتجات نحصل عليها من الكيمياء العضوية
- 2-7 حموضة المحيطات
- 3-7 نوعية المياه

الدرس 1-7

الكيمياء في حياتنا

تُعدّ النار وسيلة فريدة من نوعها يستخدمها البشر، دون سواهم من كائنات هذا الكوكب. فهي تُستخدم لبدء عملية كيميائية مهمّة، ألا وهي عملية الطهو التي تُعدّ عملية أساسية لصنع الطعام للإنسان. فالطهو عملية تجعل كثيرًا من الأطعمة مغذية أكثر، عبر تفكيك السليولوز غير القابل للهضم، وتليّن اللحوم لجعلها أسهل في المضغ والهضم، وإطلاق المواد المغذية مثل كروتين اللايكوبين من الطماطم. ويصف تفاعل ميلارد Maillard تفاعلات كيميائية أكثر تعقيدًا 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، يوفرّ على الناس الوقت وهم يبحثون عن المؤن، ويتيح لهم وقتًا أطول لحل المشكلات التي كانت تواجههم، ومنها الاعتقاد بإمكانية تحويل الرصاص إلى ذهب.

ذلك أن الكيميائيين بعد إخفاقهم في إنتاج الذهب، أنشأوا في وقت مبكر طريقة منهجية لتصنيف العناصر، وتسجيل نتائج التجارب بعناية انظر (الشكل 1-7). فقد وضعوا أسس عملية التعدين وعلم المعادن، والأدوية والصيدلة، وكانوا بلا شك السّباقين في الكيمياء الحديثة.

المفردات



Scaling-up	التوسّع
Feedstock	مواد أولية
Freon	الفريون
Photodissociation	تفكك ضوئي
Kerogen	الكيروجين
Fractional distillation	التقطير التجزيئي

مخرجات التعلّم

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

تؤثر الكيمياء في اقتصادنا ونمط حياتنا وبيئتنا بآلاف الطرائق (انظر الشكل 2-7). يسهل ملاحظة بعض تلك الآثار كالأدوية الجديدة، أو النعال البلاستيكية في أحذية لاعبي كرة القدم. لكن الآثار الأخرى للكيمياء تبدو أقل وضوحاً، كمعالجة المياه العادمة لإنتاج الماء العذب، أو صناعة السبائك الخفيفة الوزن التي تتيح للطائرة أن تحلق عالياً.



الشكل 2-7 بعض الطرائق التي تؤثر بها الكيمياء في اقتصادنا، وبيئتنا، ونمط حياتنا.

- يُعرف في علم الأدوية، أن البحوث 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%.
- تعتمد أشباه الموصلات في الحاسوب والهاتف الذكي على كيمياء السيليكون والشوائب، مثل البورون والفوسفور.
- تعتمد كل تكنولوجيا ذات صلة بالبطاريات، على الكيمياء الكهربائية.
- لا يمكن فهم تغير المناخ من دون معرفة الكيمياء، ومن دون إجراء تطبيقات في الكيمياء لإيجاد الحل المناسب.

تصنيع المواد الكيميائية

عندما نذكر تصنيع مواد كيميائية نعني إنتاج مُركّبات كيميائية بكمّيات كبيرة تلبي معايير النقاوة والتناسق. وقد عمد البشر إلى صناعة المواد الكيميائية عبر التاريخ، وأفضت مجالات التقدّم التي رافقت تصنيع المواد الكيميائية إلى حدوث الثورة الصناعية.

تصدّت تلك التطوّرات الصناعية وسواها لمعالجة مشكلة عملية التوسّع **Scaling-up**. فالعملية في الأصل حدثت في مختبر صغير، وأُعيد إنتاجها على نطاق واسع انظر (الشكل 3-7). تنشأ المشكلات عادة عند إجراء عملية التوسّع. فالطريقة التي تستهلك 5g في دورق حجمي سعته 100mL، مثلاً، ليس من السهولة أن تُضاعف إلى نطاق 500kg.

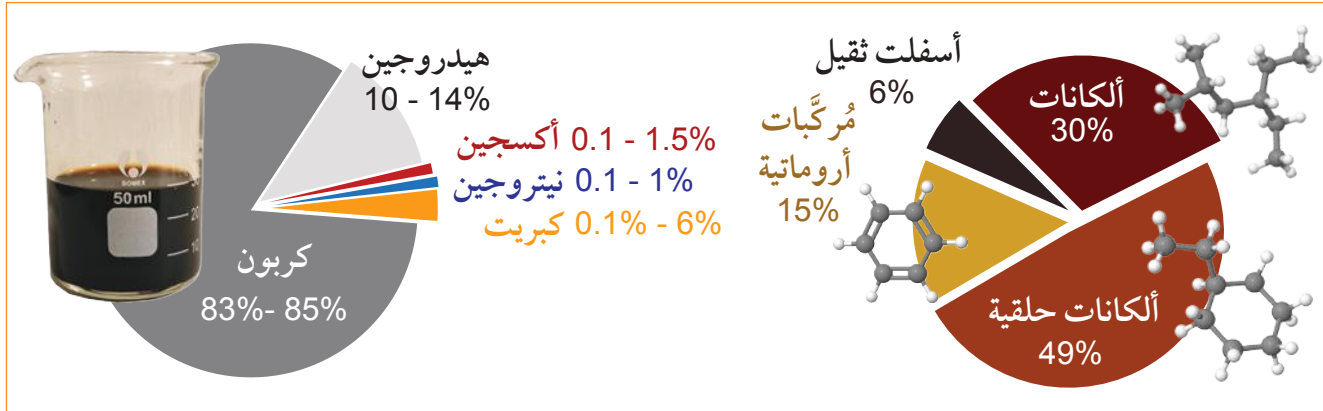


الشكل 3-7 التوسّع في علم الكيمياء من مختبر بحثي صغير إلى منشأة تصنيع رئيسية.

تُسبّب النفايات الناتجة من المصانع الكيميائية مشكلات بيئية خطيرة. لذلك تم سنّ التشريعات والقوانين لتحديد عمليات التخلص من تلك النفايات وتقييدها، وتوجيه شركات البحث إلى كيفية استخدام النفايات الناتجة بوصفها موادّ أولية لمُنتجات جديدة، بالإضافة إلى الحدّ من النفايات، وازدياد الأرباح في الوقت نفسه.

المنتجات التي نحصل عليها من المواد الكيميائية العضوية

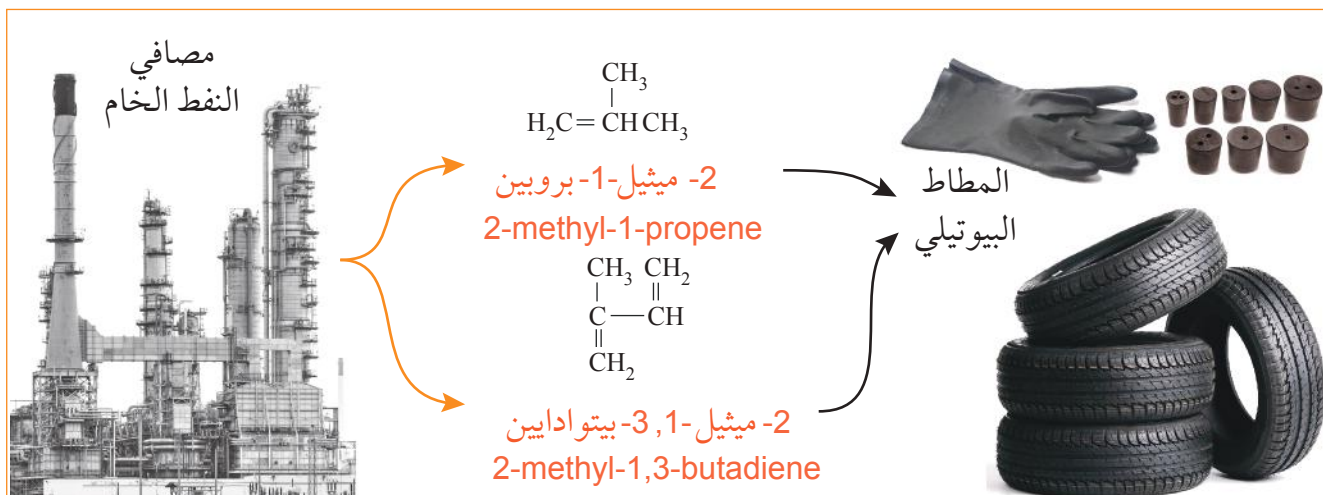
تُصنع جميع المواد البلاستيكية عملياً من مواد خام يعود أصلها إلى البترول، أو النفط الخام. ففي الكيمياء الصناعية، تُستخدم المواد الخام لإنتاج المواد الكيميائية التي تُسمى **المواد الأولية Feedstocks**. وتعدّ المواد الأولية البترولية الأكثر شيوعاً، لأن جزيئات الهيدروكربونات متعددة الاستخدامات، فضلاً عن أن البترول متوافر وغير مكلف، مقارنة بمصادر المواد الأولية الأخرى.



الشكل 4-7 متوسط مكونات البترول الخام.

تتضمن المواد التي تُصنع من النفط الخام وقود السيارات ووقود الديزل وزيت التسخين (المازوت) ووقود الطائرات والشمع وزيت التشحيم والأسفلت. أضف إلى ذلك أن المواد الأولية البترولية كيميائية هي مواد خام تُستخدم لتصنيع كثير من المنتجات، ابتداءً من الأسمدة مروراً بالبلاستيك والمطاط والأدوية والألبسة وصولاً إلى العطور.

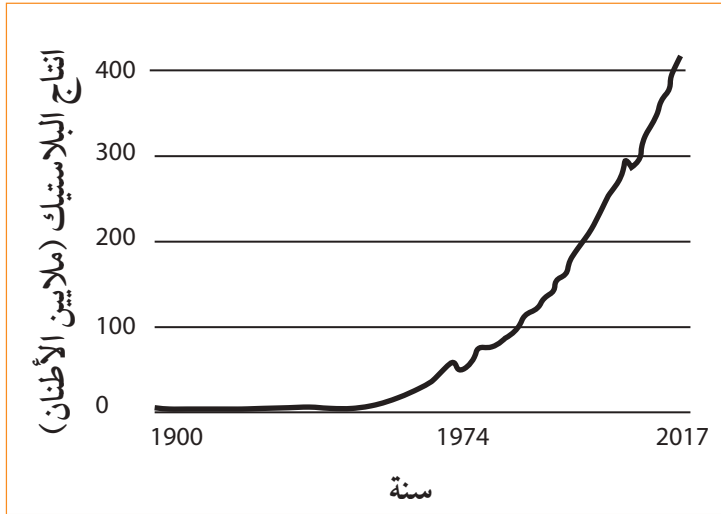
وخير مثال على مادة كيميائية مصنعة من المواد الأولية البترولية هو المطاط البيوتيلي Butyl rubber؛ فهو مادة تُستخدم للاحتفاظ بالهواء في عجلات السيارات وفي السدادات المطاطية والإطارات المطاطية لنوافذ الأبنية والقفاصات المطاطية وكثير من التطبيقات الأخرى.



الشكل 5-7 المطاط البيوتيلي مصنوع من مونومرات مشتقة من النفط.

تمّ تصنيع مونومرات 2-ميثيل-1-بروبين 2-methyl-1-propene، التي تكوّن 98% من المطاط الببوتيلي، من خلال عملية تكرير للموادّ الأولية الهيدروكربونية المشتقّة من البترول؛ فهناك 640 مصفاة بترول تقريباً تعمل في مختلف أنحاء العالم، وهي تعالج ما مجموعه 20 مليون متر مكعب من البترول سنوياً. وقد شيّدت في دولة قطر ثلاث مصافي للنفط، هي مسيعيد، رأس لفان 1، ورأس لفان 2.

المواد البلاستيكية



الشكل 6-7 نمو إنتاج البلاستيك.

تكون الموادّ البلاستيكية الساخنة موادّ سائلة، يسهل صبّها في قوالب لصنع آلاف القطع القوية وغير المكلفة مادياً. 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 مشتقّ من المركبات العضوية.

ويمكن تصنيف الموادّ البلاستيكية بالاستناد إلى استخداماتها، أو تركيبها الجزيئي الأساسي، في مجموعتين هما: اللدائن الشائعة الاستخدام، واللدائن المتخصّصة.

اللدائن الشائعة الاستخدام

اللدائن الشائعة الاستخدام بوليمرات أليفاتية تحتوي على ذرات كربون في سلاسل مستقيمة مشابهة لسلاسل 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	البولي إيثيلين تيرفثالات (PET)
عبوات الحليب والعصير، البلاستيك الخشبي	البولي إيثيلين العالي الكثافة (HDPE)
الخرطوم، أنابيب المياه	بولي كلوريد الفينيل (PVC)
حاويات المواد الغذائية العازلة	البولي ستايرين (PS)
مواد التعبئة والتغليف، مواد وضع العلامات (marker)	البولي بروبيلين (PP)

اللدائن التخصّصية

اللدائن التخصّصية بوليمرات ذات سلاسل غير متجانسة، تحتوي على الكربون والأكسجين والنيتروجين أو الكبريت، في سلاسل تشبه العمود الفقري. إضافة إلى أنها تمتلك خصائص مصمّمة لاستخدامات محدّدة، ويتم إنتاجها بكمّيات قليلة، وبتكلفة مرتفعة (انظر الجدول 2-7).

الجدول 2-7 اللدائن التخصّصية.

الاستخدام	مثال على اللدائن التخصّصية
المنسوجات، السجّاد، أواني المطبخ، الملابس الرياضية المصنوعة من النايلون.	البولي أميد polyamide
الطلاء غير اللاصق المستخدم في أواني الطبخ، الأنبوب المستخدم في عمليات القسطرة (التفلون).	البولي رباعي فلورو إيثيلين polytetrafluoroethylene (PTFE)
أغطية الهواتف النقالة.	البولي كربونات polycarbonate

النفائات البلاستيكية

- تواجه عملية إعادة تدوير البوليمرات الكثير من التحديات، منها:
- قلة من أنواع البوليمرات الكثيرة والمختلفة، يمكن إعادة تدويرها معاً، 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 والملوثات الأخرى، قبل عملية إعادة التدوير.
- يمكن إعادة تدوير كثير من المواد البلاستيكية. ولكن يجب فصلها بالاستناد إلى رمز تعريف اللدائن الخاص بها (RIC)، ويكون في العادة مطبوعاً على المُنتج البلاستيكي نفسه (انظر الشكل 7-7).



الشكل 7-7 رمز تعريف اللدائن من 1 إلى 6 لمواد بلاستيكية شائعة الاستخدام، ورقم 7 لللدائن التخصّصية.

يمكن إجراء عملية الفرز يدوياً. أما عمليات إعادة التدوير التجارية فيمكن بدؤها بإجراء عملية الفرز من خلال تقطيع هذه المواد البلاستيكية، واستخدام خصائص فيزيائية مثل الكثافة، أو تكنولوجيا قياس الطيف الضوئي، أو استخدام الألوان بكل بساطة. وهناك 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 للبولىمرات يُفكك بعض أنواع المواد البلاستيكية، ويعيدها إلى مونومرات أساسية، تتضمن وقود احتراق لتشغيل العملية نفسها.
- إعادة التدوير الكيميائية تُفكك البولي إيثيلين تيرفثالات (PET)، وتعيده إلى هيئته بوليمر نقي مناسب لإعادة استخدامه.

على الرغم من الجهود المبذولة في عملية إعادة التدوير، ظلت كمية النفايات البلاستيكية كبيرة جداً معظمها غير قابل للتحلل، وتراكمت بشكل مخيف سواء على اليابسة، أو في المحيطات، مُنبئة بنتائج كارثية (انظر الشكل 7-8). وتُعدّ شبك 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 الجهود تُبذل لمعالجة تلك المشكلة البيئية.



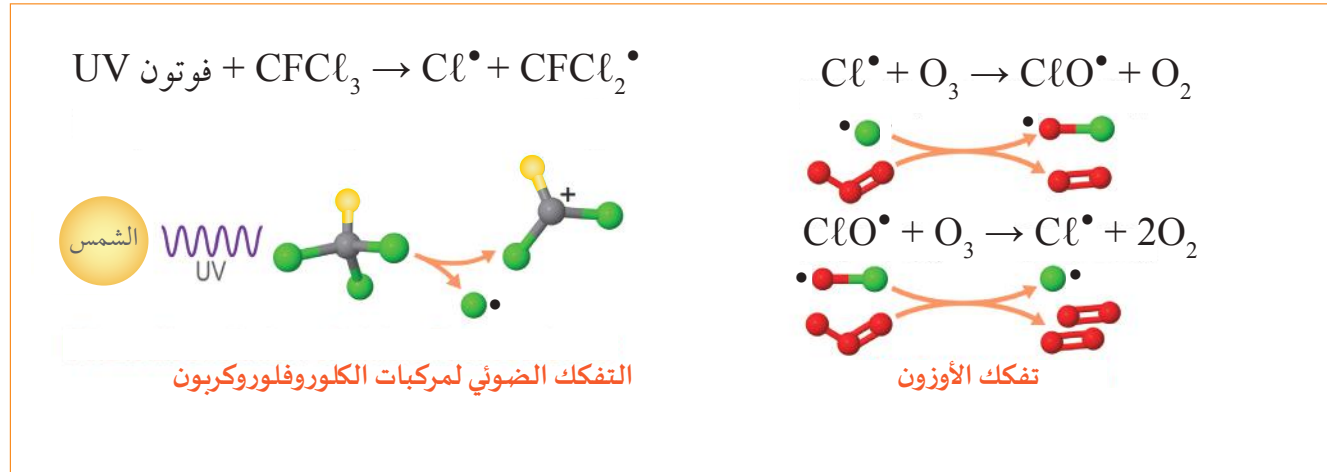
الشكل 7-8 النفايات البلاستيكية تتراكم على اليابسة، وفي المحيطات.

مُرَكَّبَات الكلوروفلوروكربون (CFCs)

قام الكيميائيان تشارلز كيترنج Charles Kettering وتوماس ميدلي Thomas Midgley عام 1928م، بتحضير مادة كيميائية غير سامة، وعديمة الرائحة والمذاق، وغير قابلة للاشتعال، وثابتة بشكل كبير، أطلقا عليها اسم **الفريون Freon**. وهو أول مُرَكَّبَات الكلوروفلوروكربون (CFCs) الصناعية، وله الصيغة الكيميائية CF_2Cl_2 ، وتقترب درجة غليانه من $0^\circ C$ ، وهو مادة مثالية بوصفها غازاً 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 أيضاً المادة الدافعة الأساسية في

العبوات التي تحتوي على الهواء المضغوط في داخلها. وبحلول العام 1970م، تجاوز إنتاج العالم من الفريون المليون طن سنوياً، ووصل ثمن إنتاج مُركّبات CFCs إلى ملياري ريال قطري في التجارة العالمية.

في العام 1957، كان الباحثون البريطانيون أول من جهّزوا محطة بحث لقياس سماكة طبقة الأوزون فوق قطبي الأرض. وبحلول السبعينات، بدأ الباحثون بإعداد تقارير عن فقدان في تلك الطبقة خلال أشهر الربيع. فقياسات الأقمار الصناعية حدّدت وجود ظاهرة على مستوى القارّة أطلقوا عليها اسم ثقب في طبقة الأوزون. كان ذلك يبعث على القلق ويشكّل خطورة خصوصاً عند الارتفاعات المنخفضة، لأن الأوزون الموجود في طبقة الستراتوسفير له أهمية كبيرة إذ يحجب الإشعاعات فوق البنفسجية UV الصادرة من الشمس، ويمنعها من الوصول إلى سطح الأرض وتدمير الحياة العضوية. وفي العام 1971، نشر الكيميائي المكسيكي ماريو مولينا Mario Molina ورقة افترض خلالها أن مُركّبات CFCs يمكن أن تدمّر طبقة الأوزون. حيث أن تلك المُركّبات على ارتفاعات شاهقة قد يحدث لها ما يسمّى **التفكك الضوئي Photodissociation**، أي إنها تتفكّك بواسطة طاقة الأشعة فوق البنفسجية المرتفعة، ويتفاعل الكلور المتحرّر منها مع الأوزون لإنتاج الأكسجين (انظر الشكل 9-7)، مما يؤدي إلى فقدان الغلاف الجوي للأوزون. فكل جُزيء من مُركّبات CFCs يمكن أن يؤدي إلى حدوث 100,000 تفاعل.



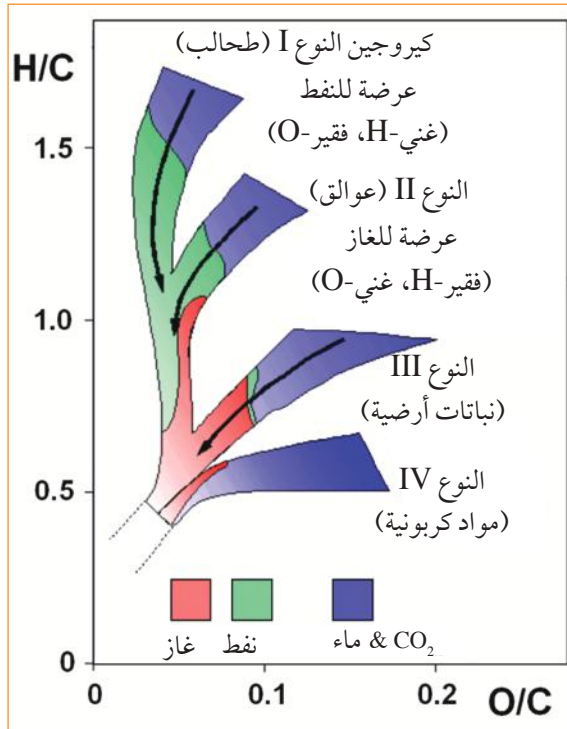
الشكل 9-7 الأشعة فوق البنفسجية UV تكسر الروابط في جُزيء CFC محرّرة الكلور، الذي بدوره يعمل على تفكيك جُزيء الأوزون، وبالتالي تدمير طبقة الأوزون.

تمّ تسجيل البيانات النهائية عام 1987م، مظهرة علاقة عكسية بين أول أكسيد الكلور والأوزون. فكلما ازداد تركيز $\text{ClO}^\bullet$ ، انخفضت مستويات الأوزون.

في شهر أغسطس من العام 1987م، تمّ إبرام معاهدة في مدينة مونتريال بكندا، وافقت بموجبها 197 دولة، من ضمنها دولة قطر، على تخفيض إنتاج مُركّبات CFCs واستخدامها. وقد عُرفت 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 يتكوّن النفط (Oil)، لا بُدّ من توافر بيئة لا هوائية، أو بيئة تحتوي على مستويات متدنية جداً من الأكسجين؛ وهناك تُدفن المادة العضوية بواسطة المزيد من الرواسب، وتتحول إلى صخور رسوبية، تُعرف بالصخر العضوي. فإذا دُفن ذلك الصخر العضوي على عمق بين 1.5km و 4km، تكون درجة الحرارة مرتفعة نتيجة القرب من الطبقة الداخلية للأرض. تُفكّك درجة الحرارة والضغط المواد الكربوهيدراتية والبروتينية، ويحوّلونها إلى مواد شمعية تعرف باسم الكيروجين، ومادة شبيهة بالقطران تسمى الأسفلت؛ ويسمى هذا الصخر الزيتي.



الشكل 10-7 مخطط فان كريفلين.

يتكوّن الكيروجين **Kerogen** من هيدروكربونات، ومجموعة مُعقّدة 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 يتكوّن النفط بين درجتي الحرارة 50°C و 150°C ويتكوّن الغاز الطبيعي بين درجتي الحرارة 150°C و 200°C. وبواسطة تحليل نسبة الهيدروجين إلى الكربون، أو نسبة الأكسجين إلى الكربون كما هو مبين في مخطط فان كريفلين (الشكل 10-7)، يستطيع الكيميائيون تحديد موقع الكيروجين في تلك الدورة، ومدى احتمال احتواء الصخور الكامنة على النفط أو الغاز الطبيعي.

ومع مرور الزمن، ينتقل النفط، والغاز الطبيعي، عبر الصخور المسامية، إلى أن يصبح محاصرًا تحت الطبقات غير المنفذة. وعندما يحدّد علماء الكيمياء الجيولوجية عينات تلك الصخرة التي تشير إلى احتمال وجود النفط، يتم حفر الآبار للبحث عن تلك الجيوب. ومع استمرار استنزاف مصادر النفط بكل سهولة، يتم استخدام أساليب التنقيب المبتكرة للبحث عن خزانات إضافية.

يُستخدم كاشف يحتوي على عنصر الكاليفورنيوم، الذي يعدّ باعًا 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 الرازي 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 وتحويله إلى بخار، ثم يتم جمع الجزيئات من خلال تركها تبرّد عند درجات حرارة مختلفة، حيث يُستخدم برج طويل، تُجمّع فيه المُركّبات التي لها درجات غليان مرتفعة (مركبات ثقيلة) أسفل البرج، والمواد التي لها درجات غليان منخفضة (مركبات خفيفة) أعلى البرج (انظر الشكل 12-7).

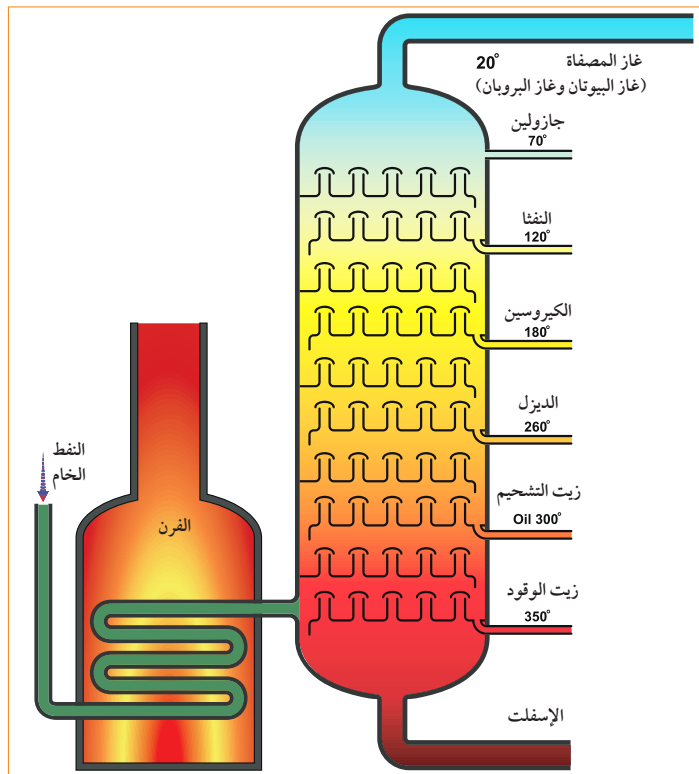
- تتضمّن نواتج التقطير الثقيلة زيوت الوقود، والأسفلت، وزيوت التشحيم، والشمع.

- وتتضمّن نواتج التقطير المتوسطة الكيروسين، ووقود الديزل للشاحنات. وزيت التسخين (المازوت).

- وتتضمّن نواتج التقطير الخفيفة النفثا الثقيلة والخفيفة، ووقود السيارات.

- يتيح التكثيف بالتبريد للغاز البترولي بأن يُسال، ليتحوّل إلى غاز بترولي سائل.

يتعرّض كل ناتج من نواتج عملية التقطير للمزيد من التكرير بغية الحصول على المُنتجات الكثيرة المشتقة من النفط الخام.



الشكل 12-7 رسم تخطيطي لبرج التقطير التجزيئي.



منتجات نحصل عليها من الكيمياء العضوية

1-7

سؤال الاستقصاء	ما المُنتجات المصنوعة من النفط؟
المواد المطلوبة	البحث من خلال شبكة الانترنت.

قم بإجراء عصف ذهني للتكاليف والفوائد بخصوص صناعة المواد الكيميائية العضوية. استخدم السبورة للتركيز على المسائل والموضوعات 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 للحفاظ على التنمية المستدامة.

h. الفوائد الاجتماعية.

i. التكاليف البيئية.

j. الحوادث الصناعية.

اعمل ضمن مجموعات صغيرة لإعداد تقرير مختصر.

التكلفة	الفوائد
أمثلة على التكلفة بخصوص البيئة، والمجتمع، وأي أمثلة أخرى يتم تحديدها.	أمثلة على الفوائد بخصوص البيئة، والمجتمع، وأي أمثلة أخرى يتم تحديدها.

تقويم الدرس 1-7

1.  أي من الآتي ينتج غالبًا باستخدام مُركَّبات عضوية مشتقة من البترول؟ قد تحتاج إلى إجراء بعض البحوث للإجابة عن هذا السؤال.
 - a. سترة رياضية مصنوعة من قماش البوليستر (Polyester).
 - b. ملابس سباحة مصنوعة من ألياف لدنة (ليكرا، إيلاستان) (Lycra, Elastane).
 - c. عبوة مشروب غازي مصنوعة من مادة أخرى غير الزجاج.
 - d. شمعة.
 - e. قطع من البولي يوريثان Polyurethane الخشبي مستخدمة في الأرضيات.
 - f. مزيل طلاء الأظافر (الأسيتون) (Acetone).
 - g. 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 مُركَّبات يتضمَّنُها.
4.  لم يعد البترول موردًا غير متجدد؟ فذرات الكربون والهيدروجين جميعها ستبقى موجودة، بعد أن يتم «استهلاك» المُنتج البترولي.
5.  عدد ثلاث طرائق تُحدث النفايات البلاستيكية من خلالها أضرارًا للبيئة.
6.  اطرح ثلاثة تغيُّرات حدثت في مجتمعك، من شأنها أن تقلل من كمية النفايات البلاستيكية. صف على الأقل فائدة اقتصادية واحدة، وعقبة اقتصادية واحدة، لكل من تلك التغيُّرات الثلاثة.
7.  لم حظر ميثاق مونتريال عام 1987م مُركَّبات الكلوروفلوروكربون، علمًا أن عملية تصنيع مثل تلك المواد الكيميائية كانت من الأعمال التجارية الرائجة في جميع أنحاء العالم، حيث تجاوزت قيمة التعاملات فيها ملياري ريال قطري سنويًا؟

الدرس 7-2 الكيمياء وتغير 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 الحُفَر الجليدية إعادة تشكيل للمناخ القديم، من خلال العودة إلى الوراء 800,000 عام على الأقل. ومن خلال مُعَاينة تركيزات غازات الدفيئة الموجودة في طبقات الحُفَر 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 الحُفَر الجليدية منذ خمسينات القرن الماضي. فالحُفَر الجليدية تم ثقبها في الصفائح الجليدية بمختلف أنحاء العالم، ولا سيما في جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا). وقد زوّدتنا المُعدَّلات المرتفعة لتراكم الثلوج بحلول، وقرارات تُتخذ في الوقت المناسب. أضف إلى ذلك أن الفقاعات الموجودة في الحُفَر الجليدية تحتفظ بعيّنات للغلاف الجوي للأرض الذي كان سائداً في العصور القديمة. ومن خلال تحليل العينات المأخوذة من الحُفَر الجليدية، يتعلّم الكيميائيون ماهية دورات الجليد، ومستويات تغيّر غاز ثاني أكسيد الكربون، وثبات المناخ خلال 10,000 سنة الماضية.

المفردات



Anthropogenic	التأثير البشري على البيئة
Troposphere	طبقة التروبوسفير
Carbon footprint	البصمة الكربونية
Infiltration	التسرّب
Carbon offset	تعويض الكربون

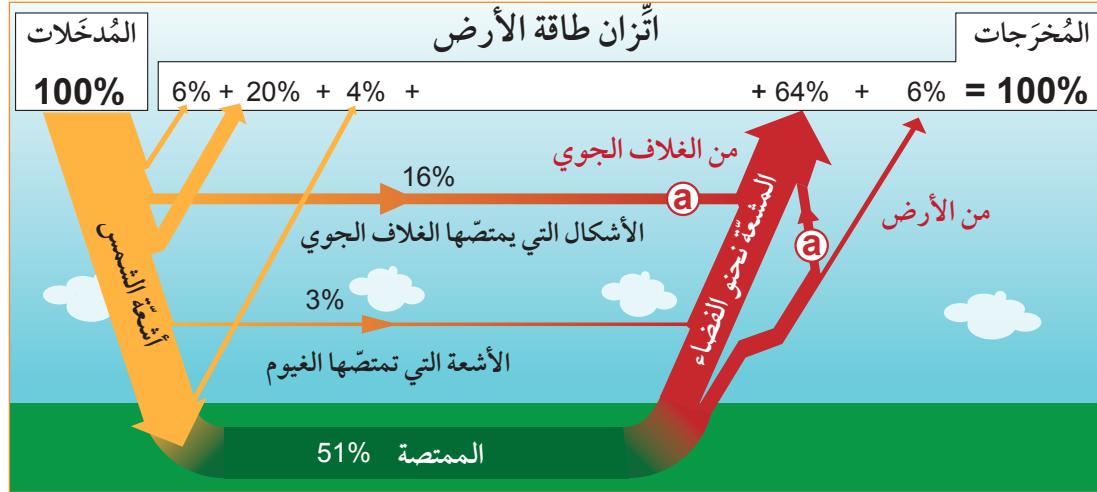
مخرجات التعلّم

C1107.2 يقيّم الأدلة على تغير المناخ الناتج من أنشطة البشر، بما في ذلك العلاقة بين التغير في تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي واستهلاك الوقود الأحفوري، ويصف هامش الخطأ في قاعدة بيانات الأدلة.

C1107.3 يصف التأثيرات المحتملة 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.

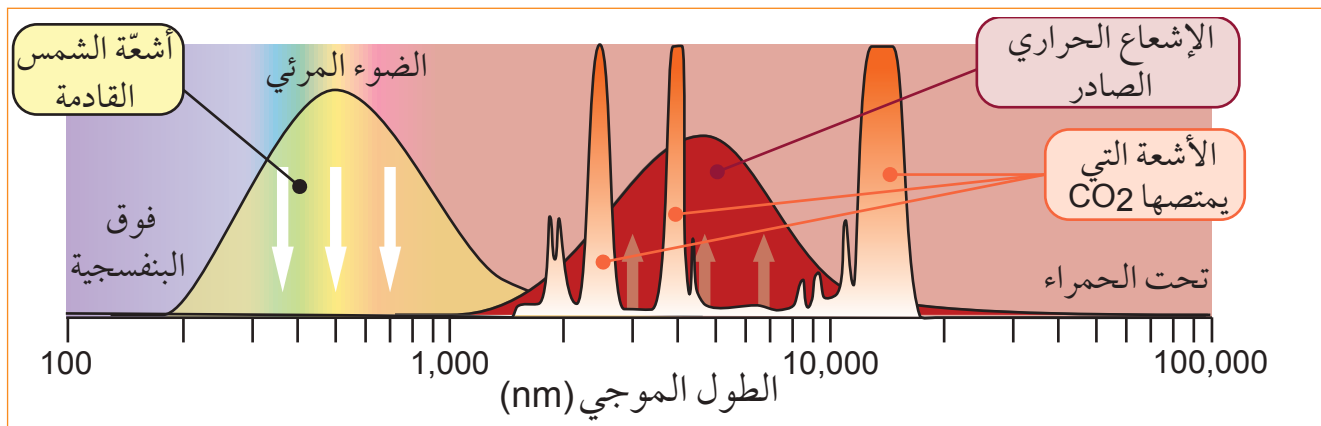
اتزان طاقة الأرض

لتحقيق الاتزان في طاقة الأرض، لا بُد لمصادر الطاقة التي تمتصها الأرض من الشمس من أن يُعاد إشعاعها نحو الفضاء مرة أخرى (انظر الشكل 13-7). فكلّما كانت الأرض أكثر دفئاً، يعود المزيد من الطاقة، التي تُشعّها نحو الفضاء مرّة أخرى، حيث ترتفع درجة حرارة الأرض، إلى أن تصبح الطاقة التي تُشعّها مساوية للطاقة التي تمتصّها من الشمس.



الشكل 13-7 اتزان طاقة الأرض.

يبين الشكل 14-7 أن الغلاف الجوي شفاف يسمح بدخول الأشعة الضوئية من الشمس. تشع 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، وتعيدها نحو الفضاء.

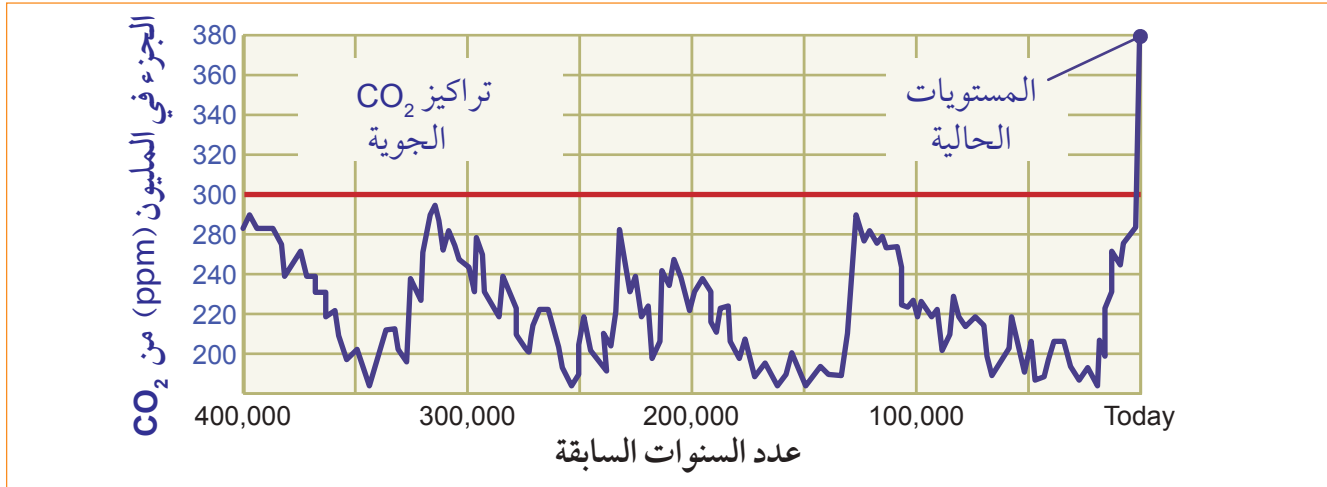


الشكل 14-7 تأثير انبعاث غازات الدفيئة على قيمة الإشعاع الحراري الصادر.

تغير المناخ يعود إلى أن الغلاف الجوي شفاف منفذ لأشعة الشمس. لكن إشعاع الأرض الذي يعود مرة أخرى نحو الفضاء هو أشعة تحت حمراء، تمتصّها غازات الدفيئة، مثل غاز CO_2 وغاز الميثان. لذلك، فإنّ الأنشطة البشرية تعتبر سبباً رئيسياً في تغير المناخ، إذ أدّت الأنشطة الصناعية التي تعتمد عليها طبيعة الحياة الجديدة إلى رفع مستويات غازات الدفيئة.

درجة الحرارة، وغاز CO₂

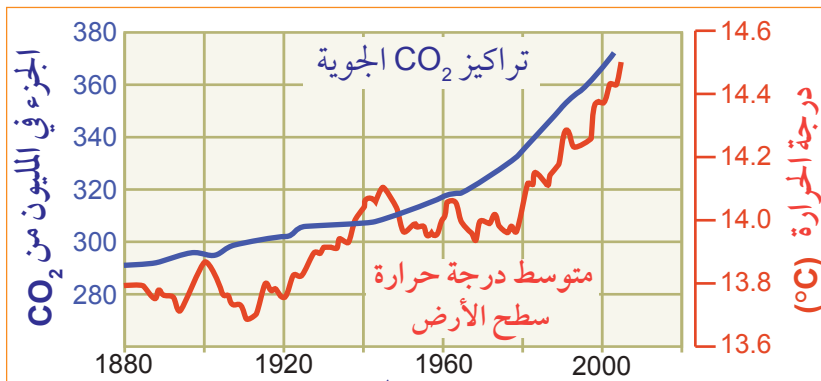
تُمرّر الجدران الزجاجية للبيوت الزجاجية أشعة الشمس، في حين تعكس الأشعة تحت الحمراء داخل البيت الزجاجي، مما يجعل داخل البيت الزجاجي أكثر دفئاً من الخارج. كذلك تفعل غازات الدفيئة كثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. فهي تسمح بمرور أشعة الشمس وتحتجز الأشعة تحت الحمراء. ويعدّ غاز ثاني أكسيد الكربون جزءاً من النظام البيئي الطبيعي، حيث تتذبذب مستوياته بحسب ما يقع من أحداث طبيعية (انظر الشكل 15-7).



الشكل 15-7 بيانات تراكيز غاز CO₂ الجوية خلال 400,000 عام.

يعني مصطلح «التأثير البشري» **Anthropogenic** ما «ينتج من أنشطة البشر». ومنذ اندلاع الثورة الصناعية، كان هنالك تأثير للنشاط البشري في مستويات غاز CO₂ الجوي. ففي العام 1900م، كان البشر ينتجون مليار طن من الكربون سنوياً. وقد ارتفع هذا الرقم ليصل إلى 36 مليار طن. وفي العام 2019، وصلت تراكيز غاز CO₂ 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 ببضع درجات، ومستويات البحار أكثر ارتفاعاً، حيث تراوحت بين 12 متراً و18 متراً.

توجد علاقة قوية بين تراكيز CO₂ ودرجة الحرارة (انظر الشكل 16-7). ويدور جدل حول ارتفاع درجات حرارة الأرض، ويتمحور حول كونه نتيجة لأنشطة البشر، بالاستناد إلى:



- كمية الكربون الكبيرة الموجودة في البيئة بصورة طبيعية، مقارنة بالإسهامات البشرية.
- السجلّ الأحفوري، الذي يبيّن أن الأرض قد تعرّضت لدورات التسخين والتبريد من قبل.

الشكل 16-7 تراكيز غاز CO₂ الجوي، ودرجات الحرارة منذ العام 1880 م.

غاز الميثان في البيئة



الشكل 7-17 الأبقار في مزارع صناعية.

تشكّل البيئة الزراعية مصدرًا أساسيًا لانبعاث غاز الميثان. ففي العالم ما يقارب 1.5 مليار بقرة، يُربى معظمها في مزارع تربية الحيوانات، أو ما يُعرف بالمزارع الصناعية انظر (الشكل 7-17). فالبقرة الواحدة تُطلق ما يقارب 120kg من غاز الميثان سنويًا. وتعدّ تربية الماشية مصدر تأثير بشري لغاز الميثان، الذي تصل نسبته إلى 18% من نسبة غازات الدفيئة العالمية.

الجدول 3-7 مصدر اللحم، وكمية CO₂ المكافئة الناتجة.

كمية CO ₂ الناتجة بالكيلوجرام	1kg من لحم
34.6	البقر
17.4	الغنم
4.57	الدجاج

يبيّن الجدول 3-7 غازات الدفيئة المتولّدة من إنتاج 1kg من اللحم، باستخدام كمية CO₂، بوصفها قياسات مكافئة.

يُعدّ غاز الميثان المكوّن الأساسي للغاز الطبيعي. ويسفر حرق الغاز الطبيعي المبين في (الشكل 7-18) عن إطلاق كمّيات من غاز ثاني أكسيد الكربون إلى البيئة تقلّ عمّا ينتج من حرق كمّية مُعادلة من وقود أحفوري آخر. أمّا غاز الميثان المنبعث دون احتراق فله تأثير أكبر في غازات الدفيئة. ذلك أن تأثيره يعادل 34 ضعف تأثير غاز CO₂، بحسب ما قيس خلال 100 عام، بالإضافة إلى تأثيره على المدى القصير (خلال 20 عامًا)، الذي يعادل 86 ضعف تأثير CO₂.



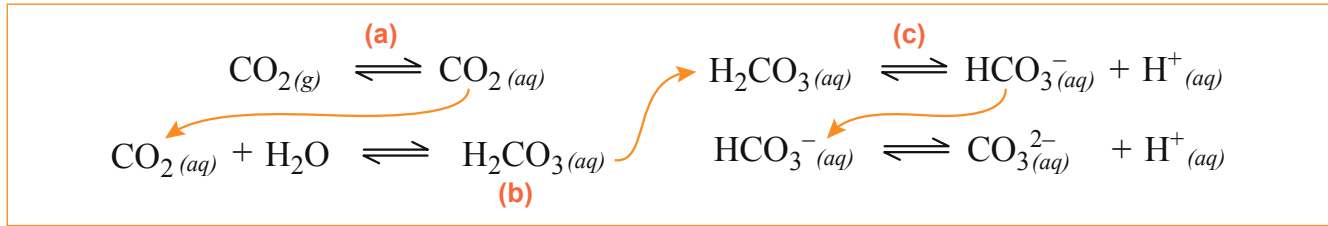
الشكل 7-18 حرق الغاز الطبيعي ينتج نسبة ثاني أكسيد كربون أقل، مع انبعاث كبير لغاز الميثان.

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، ممّا يؤدي إلى تأثير ضارّ وشامل.

تعدّ كلاثرات (هيدرات) الميثان Methane clathrate مُركّبًا صلبًا يحتجز كمّيات كبيرة من الميثان في هيئة تركيب بلوري يشبه الثلج؛ وهو يوجد في رواسب المحيطات العميقة. حيث يُسهم ارتفاع درجات حرارة الأرض في إطلاق كمّيات كبيرة من غاز الميثان من تلك الخزّانات، ومن داخل طبقات الجليد الدائمة التي يُحتجز فيها، مما يسبب تسارع لتأثير الدفيئة (تأثير البيوت الزجاجية).

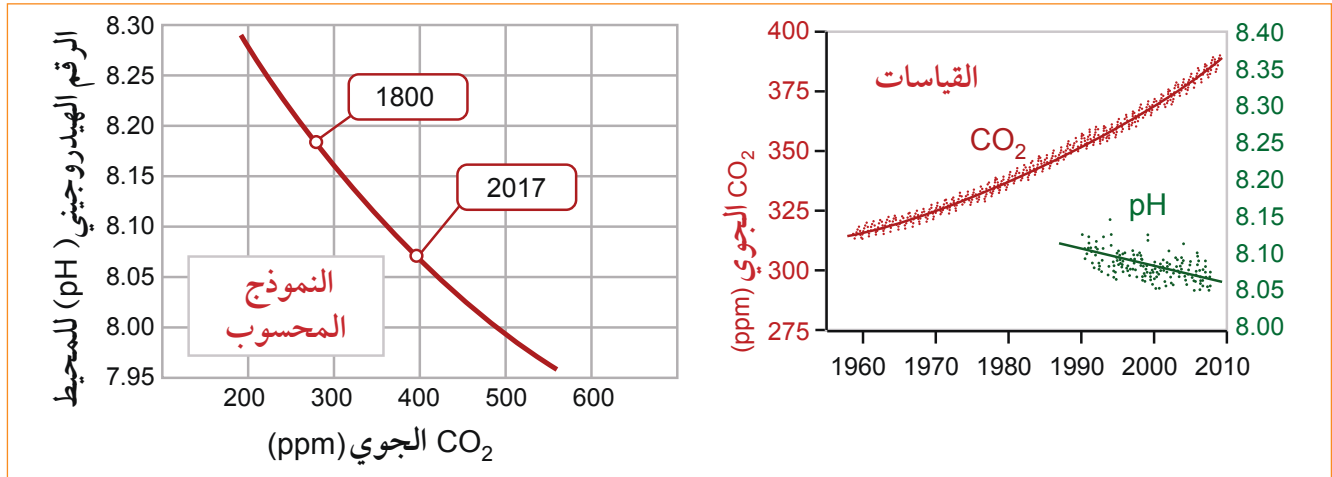
حموضة المحيطات

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 ($\text{pH} \sim 8.1$) بسبب أيونات الكربونات والبيكربونات الذائبة فيها. أضف إلى ذلك أن غاز ثاني أكسيد الكربون الجوي يتحكم بالتوازن 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 يتفكك بشكل ضعيف إلى أيونات البيكربونات (HCO_3^-)، وأيونات الهيدروجين (H^+).



الشكل 19-7 غاز CO_2 الجوي، وحمض الكربونيك الذائب.

غدت المحيطات خلال العقدتين الماضيتين أقل قاعدية (أكثر حمضية) حيث انخفضت قيمة الرقم الهيدروجيني pH المقاسة لسطح المحيط 0.1 نقطة، من 8.17 إلى 8.07 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.

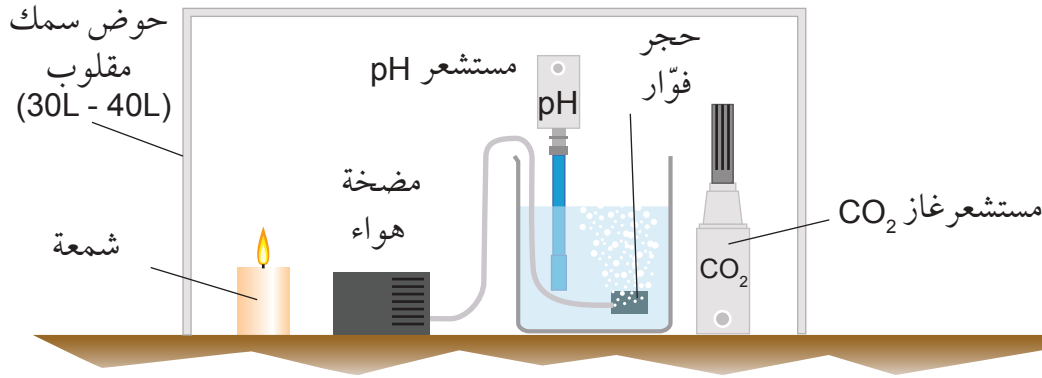
تهدد الحموضة العوالق، قاعدة السلسلة الغذائية للمحيط، ومُنتجة الأصداف والهياكل الخارجية من كربونات الكالسيوم (CaCO_3) في عملية التكلس. فأيونات Ca^{2+} ، و CO_3^{2-} تترسب على شكل CaCO_3 صلب. فكل جُزء مضاف من حمض الكربونيك إلى المحيط يحول أيونين من أيونات الكربونات إلى أيونات بيكربونات HCO_3^{1-} ، الذي لا يمكن استخدامها في عملية التكلس.



حموضة المحيطات

2-7

سؤال الاستقصاء	كيف تتأثر المحيطات بغاز CO_2 الجوي؟
المواد المطلوبة	حوض سمك صغير أو مخبر زجاجي كبير، كأس سعته 150mL، شمعة، مستشعر غاز CO_2 ، مستشعر الرقم الهيدروجيني pH، مياه بحر، مضخة هواء لداخل الحوض، خرطوم، حجر فوّار، مسجل بيانات.



الخطوات

1. جهّز الأدوات، كما هو مبين في المخطط أعلاه؛ ولكن ضع حوض السمك جانباً حتى تصل إلى الخطوة 3، عندما يصبح الكأس محتوياً على ماء البحر، أو مخلوط من الماء مع ماء مالح.
2. شغل مضخة الفقاعات لتحريك الهواء داخل الماء. فهذا يسرّع الاتزان بين الماء والهواء.
3. ابدأ بتسجيل البيانات كل 10 ثوانٍ للمستشعرين، ثم أضيء الشمعة، وضع حوض السمك مقلوباً على الأدوات التي تم إعدادها، كما هو مبين أعلاه. فهذا الحوض سوف يحتجز غاز CO_2 الناتج من الشمعة.
4. سجّل البيانات لمدة 20 دقيقة تقريباً.

الأسئلة

- a. ما وظيفة الشمعة؟ وما الذي تمثله في العالم الحقيقي؟
- b. ماذا يحدث لمستوى غاز CO_2 خلال 20 دقيقة؟
- c. ماذا يحدث للرقم الهيدروجيني pH خلال المدة الزمنية نفسها؟
- d. اقترح تفسيراً للعلاقة التي تمت ملاحظتها بين الرقم الهيدروجيني pH وتركيز غاز CO_2 .
- e. اكتب المعادلات الكيميائية التي تدعم العلاقة التي لاحظتها.
- f. ابحث في ما يحدث للحياة البحرية، عندما يرتفع الرقم الهيدروجيني (pH) للمحيط، مع اهتمام خاص بالعوالق.



معالجة المشكلات البيئية

الشكل 21-7 ألواح ضوئية شمسية.

تناقش حكومات كثيرة في العالم طرائق مختلفة لمعالجة المشكلات المصاحبة للاحتباس الحراري، تتضمن تقليل الاعتماد على أنواع الوقود الأحفوري انظر (الشكل 21-7). 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 للحد 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 وشحنه.

تتمثل أكبر استخدامات الطاقة المنزلية في التدفئة وتبريد الهواء، و**التسرب Infiltration** أي عملية تسرب الهواء إلى داخل منزلك. فالتأكد من أن النوافذ والأبواب مغلقة ومعزولة بشكل صحيح، يقلل من التسرب، ويوفر أكثر من 25% من الطاقة المستخدمة داخل المنزل.

وإذا أردت إجراء خفض مناسب للبصمة الكربونية الخاصة بك، فعليك ألا تستخدم سيارتك الخاصة، وابدأ باستخدام الباصات والقطارات. لأن أي مقارنة للسيارة بوسائل النقل الشخصية الأخرى، تكون هي الأكثر تلويثاً. 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 أرقى نظام للنقل العام في منطقة الخليج.

هنالك خطوة أخرى، تتمثل في خفض تناول لحم البقر. فغاز الميثان الذي تُنتجه الأبقار يعدّ من غازات الدفيئة الرئيسية. فإذا اعتبرنا تلك الأبقار تابعة لدولة معينة، فسوف تشغل تلك الدولة المرتبة الثالثة في إنتاج غازات الدفيئة، بعد الصين والولايات المتحدة الأمريكية. ذلك أن كل 1kg من اللحم الناتج، ينتج مقابله 35kg من الكربون.

وتعدّ عملية **تعويض الكربون Carbon offset** طريقة لتعويض البصمة الكربونية الخاصة بك. فقد تكون في موقع لا يتيح لك أن تزرع 1,000 شجرة. لكن يمكنك فيه أن تساهم مع إحدى المنظمات التي ستزرع تلك الأشجار في موقع مناسب لك. ابحث في تلك المنظمات التي تتيح الفرص لتعويض الكربون، وحددها.

تقويم الدرس 2-7

1.  فسّر مفهوم اتزان الطاقة المُطبّق 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 الجوّي في الوقت الراهن على الطاقة الخارجة من الكوكب؟
3.  ماذا تعني البصمة الكربونية Carbon footprint.
4.  تُمثّل 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؟ علّل إجابتك.

الدرس 3-7 الكيمياء وموارد المياه



الشكل 22-7 في دولة قطر، نستمتع 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.

يُعدّ الماء أساس أشكال الحياة كلّها على كوكب الأرض، فهو يمتلك خصائص كيميائية وفيزيائية فريدة من نوعها، ويغطي ثُلثي سطح الأرض تقريبًا؛ ومن السهل الافتراض أن الماء سيظلّ متوافرًا ونقيًا على الدوام. فعندما تذهب إلى أحد خزانات المياه الموجودة في دولة قطر، تتوقع أن ينتج من عملية فتح الصنبور ماء نقيّ ونظيف، لكن يُحتمل أنك لا تعرف مقدار الجهد المضني والشاق المبذول لتوفير الماء، خاصة في دولة قطر.

كثير من الناس في هذا العالم لا يعرفون إن كانوا سيحصلون على الماء العذب أم لا. وغالبًا ما يتحمّم عليهم قضاء ساعات يوميًا في السير لبلوغ المصدر الوحيد للماء العذب الموجود في مناطقهم. وقد أدّت الكيمياء دورًا رئيسًا في توفير المياه النظيفة وتطويرها، بالإضافة إلى معالجة تلوث المياه. وما دام تعداد السكان

العالمي في ازدياد، يصبح توفير المياه النظيفة والعذبة واحدًا من أهم وأكبر التحديات التي تواجه البشرية. فمشكلة توافر المياه مساوية في أهميتها لمشكلات تغيّر المناخ، واستدامة الغذاء، والطاقة المتجدّدة.

المفردات



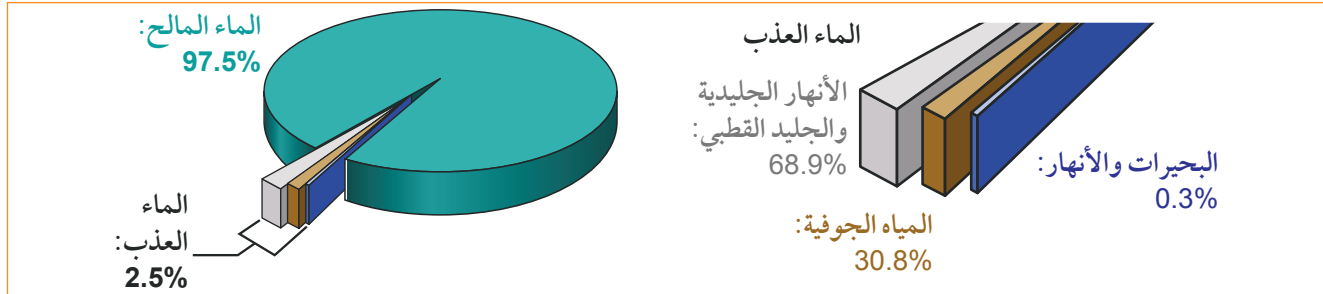
Potable	صالح للشرب
Virtual water	الماء الافتراضي
Aquifer	طبقة المياه الجوفية
Desalination	تحلية المياه
Reverse osmosis	الأسموزية المُعاكسة
Wastewater treatment	معالجة المياه العادمة
Thermal distillation	التقطير الحراري

مخرجات التعلّم

C1107.4 يصف الطرق الرئيسة لزيادة توافر ماء الشرب، من حيث تقنيات الفصل المستخدمة، بما في ذلك سهولة معالجة النفايات والمياه الجوفية والمالحة.

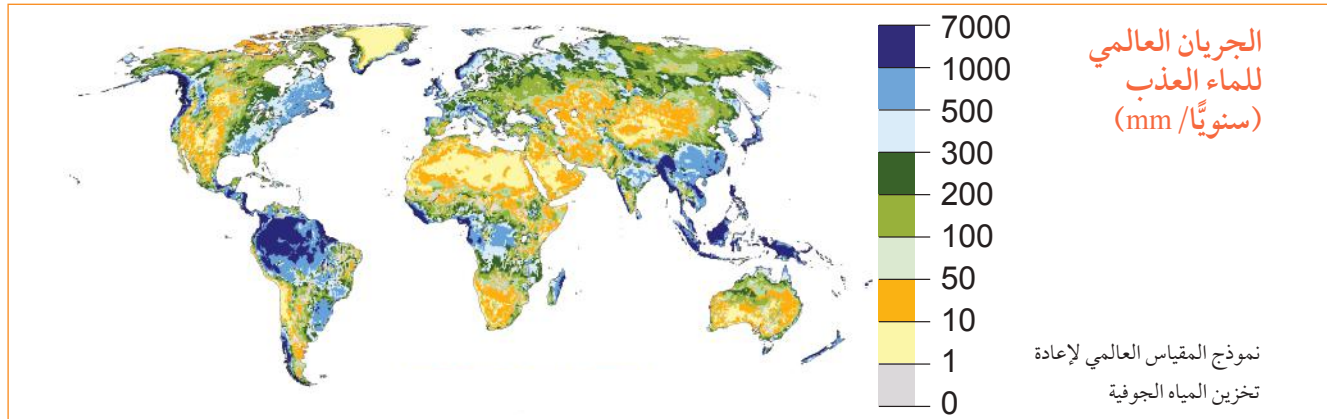
مخزون الأرض من الماء

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 متجمّدان في القمم الجليدية القطبية والأنهار الجليدية، والثلث المتبقي يقبع 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.

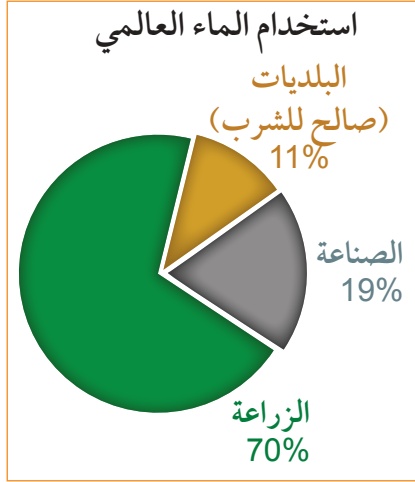
يتفاوت توزيع الماء العذب في مختلف أنحاء الأرض بحسب التضاريس وأنماط الرياح المختلفة. فالمناطق الشاسعة تحتوي على القليل من الماء العذب، وأحياناً تفتقده، وهي صحارى قاحلة. أما المناطق الأخرى، مثل الغابات المطيرة الواقعة في المنطقة الاستوائية بالبرازيل، فتمتلك أقصى هطول مطري، بمعدّل 7 أمتار سنوياً تقريباً. يبيّن (الشكل 24-7) مُعدّل الجريان السنوي للماء العذب بالاستناد إلى الملاحظات المأخوذة من الأقمار الاصطناعية، والنماذج الحاسوبية.



الشكل 24-7 التوزيع العالمي للماء العذب.

المياه الجوفية، هي المياه المُحتجزة في طبقات مائية تحت الأرض. وتُعدّ 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 خزّان ضخم للماء العذب تحت المحيط الأطلسي.

الاستخدام البشري للماء



الشكل 25-7 استخدامات المياه.

يستخدم البشر الماء لأهداف عدّة، منها الزراعة التي يُستخدم فيها 70% من الماء انظر (الشكل 25-7)، والمصانع، التي تحتاج إلى 19% منه، والبلديات التي تستخدم 11% منه في المدن والقرى. والماء الصالح للشرب **Potable** هو الماء النظيف الآمن للشرب. وما تضحّه البلدية من ماء يجب أن يكون صالحًا للشرب، في حين أن ما يُستخدم في الصناعة والزراعة لا يتطلب أن يكون كذلك. ومن المتوقع 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.

الجدول 4-7 ميزانية المياه للمنزل الحديث.

التطبيق/ الجهاز	الترات/ يوميًا	% الكلية
الحمام	125	24
مرشّة 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

تقاس البصمة المائية من خلال معدل 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، جرّاء أشكال التسرّب في شبكة المياه، سواء من تنقيط الصنابير، أو الأجهزة الأخرى. وهذا يستدعي الاهتمام على نطاق واسع بشبكات مياه البلديات، لتدارك الهدر الكبير في المياه سنويًا.

المياه الافتراضية Virtual water هي كمية المياه اللازمة لإنتاج مادة ما أو تصنيعها. ويعدّ لحم البقر مثالاً أساسيًا، حيث يحتاج كلّ كيلوجرام من لحم البقر إلى 15,400 L من الماء لإنتاجه، في حين أن الكيلوجرام الواحد من الشوكولاتة يحتاج إلى 24,000 L من الماء انظر (الشكل 26-7)، والورقة الواحدة إلى 10 L من الماء.



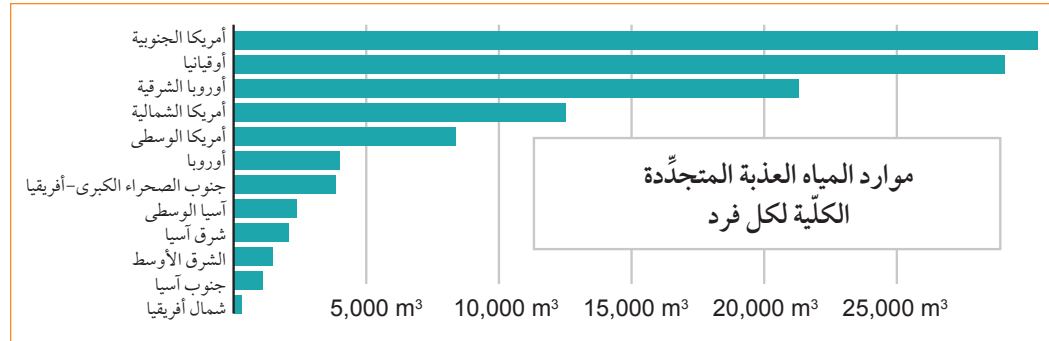
الشكل 26-7 المياه الافتراضية في الشوكولاتة.

يتفاوت توافر المياه واستخداماتها في العالم تفاوتًا كبيرًا. 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 معدلات استهلاك الماء. فدولة قطر مثلاً، تمتلك واحدًا من أكبر معدلات استهلاك الفرد الواحد من الماء في العالم.

توافر المزيد من الماء العذب

يتجاوز الطلب على الماء العذب الكميات المتوافرة في كثير من أنحاء العالم. فالماء العذب المُخصَّص 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 27-7 موارد المياه المتجددة 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. وتعدّ 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. وتشكّل طبقات المياه الجوفية **Aquifer** منطقة من الصخور النفاذة تقع في باطن الأرض وتحتوي على المياه الجوفية. ومن الجدير بالذكر أن 37 منطقة رئيسية لطبقات المياه الجوفية الموجودة في العالم، بدأت 21 منطقة تنحسر بسبب الاستخدام الجائر والجفاف. ويقدر العلماء أن إمدادات العالم كلها من المياه الجوفية قد استنفدت بنسبة 20% خلال الأعوام المئة الماضية.

تحلية المياه

تحتوي مياه البحر على الملح بنسبة تتراوح بين 40% و 50%. ويؤدّي 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 يسمّم التربة لمعظم النباتات. وتعدّ تكنولوجيا تحلية المياه عملية صناعية تزيل الملح من مياه البحر، لتنتج المياه العذبة. وتشكّل المياه المحلاة نصف ما نشربه من مياه في دولة قطر. فقد توسّعت عملية تحلية المياه توسّعاً 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 أولية. لذا يجب معالجته قبل استهلاكه ليصبح آمناً. فمنظمة الصحة العالمية (WHO)، قدّرت 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:

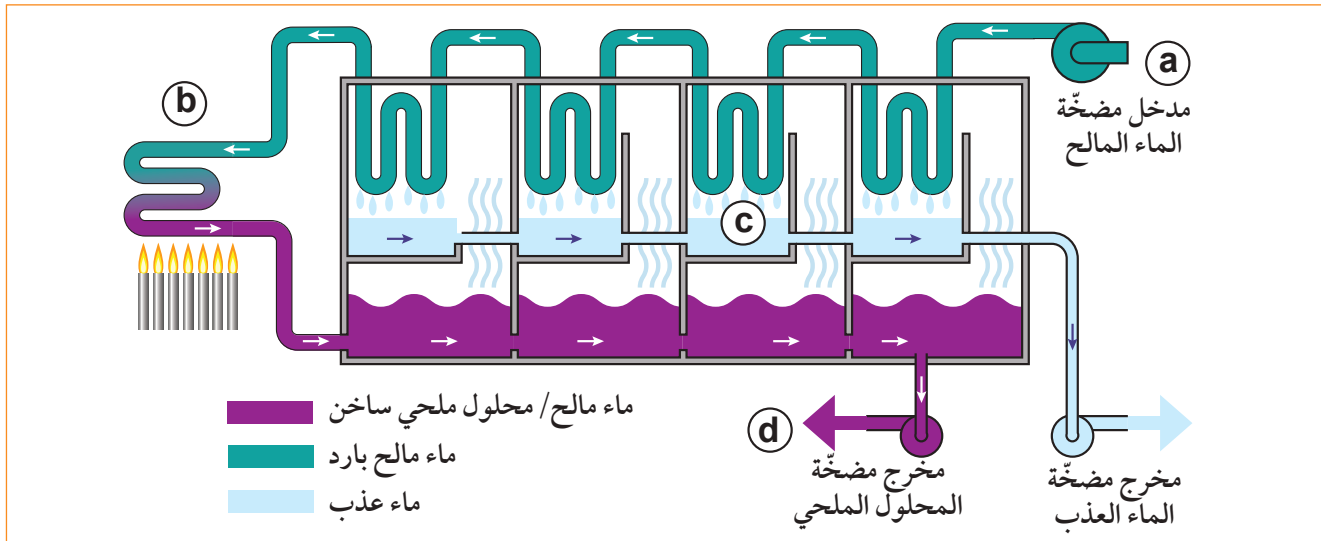
- إجراءات تسبق المعالجة بالكلور للسيطرة على الطحالب، وإيقاف النمو البكتيري.
 - التهوية لزيادة معدل تركيز الأكسجين، وبذلك يزال الحديد الذائب كخطوة ما قبل المعالجة بالكلور (pre-chlorination).
 - التخثير هي عملية تجميع (تكتل) أنواع عديدة من الجسيمات الملوثة حتى يمكن ترشيحها لاحقاً.
 - الترسيب لإزالة المواد الصلبة المُعلّقة.
 - الترشيح من خلال التمرير عبر حشوة رملية قابلة لإعادة الاستخدام، أو من خلال التمرير عبر مرشح يمكن غسله.
 - التعقيم لقتل البكتيريا، والفيروسات، ومُسببات 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 وأنايب النقل للتأكد من أعلى مستويات النقاء.
 - أما التطبيقات الصناعية، فيتطلب الكثير منها ترشيح بعض المعادن التي يُحتمل أن تتداخل مع عملية التحلية، أو تصبح رواسب في الجهاز. بالمقابل تحتاج مياه تبريد محطات توليد الكهرباء إلى مستويات مختلفة من الترشيح.
 - يُفترض بمياه الري أن تحتوي على كثير من المعادن؛ ولكن يجب إزالة المعادن السامة منها، التي تلوث المحاصيل أو تدمرها، فضلاً عن إزالة الملح.

تحلية المياه

تتزوّد دولة قطر بأكثر من نصف مياهها عن طريق عملية تحلية المياه. و**تحلية المياه Desalination** هي العملية التي تتم فيها إزالة الملح والشوائب الأخرى من مياه البحر، أو المياه الجوفية. تُستخدم في هذه العملية تقنيتان رئيسيتان، هما: التقطير الحراري، والأسموزية المعاكسة، بالإضافة إلى الديليزة الكهربائية (Electro-dialysis) وتبادل الأيونات.

التقطير الحراري

تتضمّن عملية **التقطير الحراري Thermal distillation** تسخين مصدر الماء إلى أن يتبخّر، ثم تكثيف البخار باستخدام صفائح تبريد، انظر (الشكل 7-29). تُستخدم عملية ضغط البخار لخفض الحرارة اللازمة، وإجراء سلسلة مراحل تنقية المياه. تُحقّق هذه الطريقة أعلى مستوى من النقاوة؛ لكنها تستهلك أكبر كمية من الطاقة.



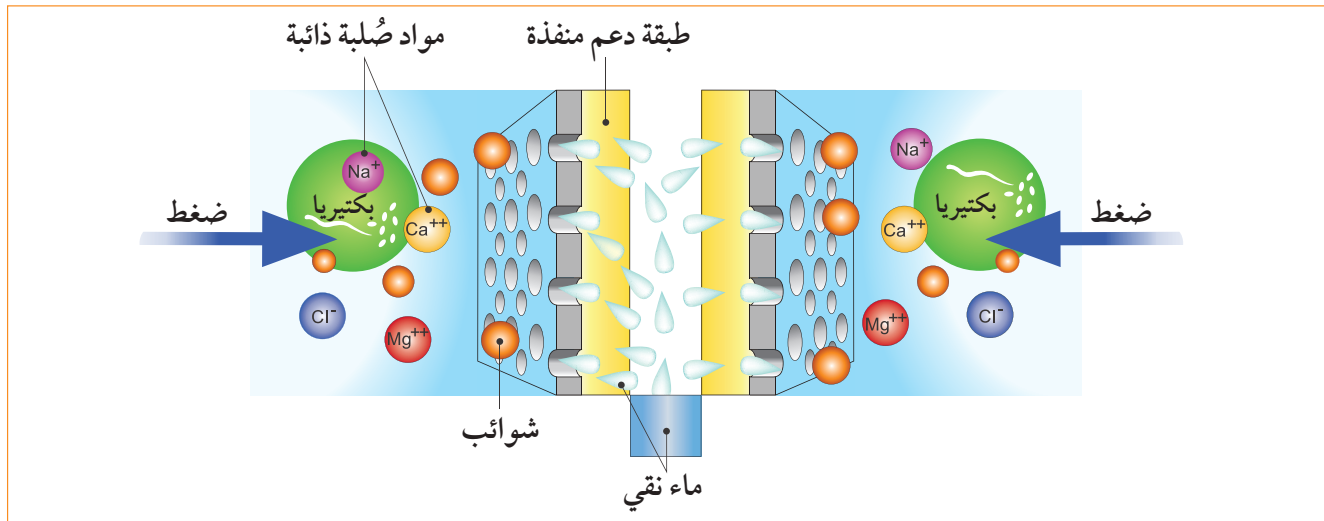
الشكل 7-29 رسم تخطيطي لعملية التقطير الحراري المتعددة المراحل.

- يُضخّ الماء المالح البارد عبر المدخل المُخصّص، ويتدفّق عبر كل مرحلة.
- يتم تزويد النظام بالحرارة؛ فيصبح الماء المالح محلولاً ملحياً ساخناً (ماء مالحاً ساخناً)، حيث يتبخّر الماء المالح الساخن، ويتحوّل إلى بخار الماء الذي يعدّ عذباً.
- 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.
- يكون المحلول الخارج محلولاً ملحياً مُركّزاً (ماء مالحاً).

تجعل المراحل المتعددة العملية أكثر فاعلية، حيث يسخّن الماء المالح البارد ببطء، لدى امتصاصه الحرارة من البخار الساخن. عندها يتكاثف البخار ويتحوّل إلى سائل. يعني ذلك أن العملية لا تحتاج إلى تزويدها بالكثير من الحرارة لتسخين المحلول الملحي بشكل كافٍ، حيث يغلي هذا المحلول ويتبخّر بسرعة.

تحلية المياه بواسطة الأسموزية المعاكسة

الأسموزية المعاكسة Reverse osmosis تستخدم الضغط لدفع الماء عبر غشاء شبه منفذ انظر (الشكل 30-7)، حيث يمرر هذا الغشاء جزيئات الماء ويمنع أيونات الملح من المرور. وبما أن الضغط الناشئ يستخدم طاقة أقل من تسخين الماء، تعدّ عملية الأسموزية المعاكسة عملية أكثر فاعلية. وبخصوص الطاقة المُكافئة، يمكن للأسموزية المعاكسة أن تُنتج ضعف كمية الماء الذي تُنتجه عملية التقطير الحراري. ومع ذلك، ستكون الأغشية رقيقة جداً وناعمة، لأنها يجب أن تمنع الأيونات من المرور، وتسمح به لجزيئات الماء فقط، الأمر الذي يجعل تلك الأغشية تنغلق بالأوساخ، والمعادن، والشوائب الأخرى.

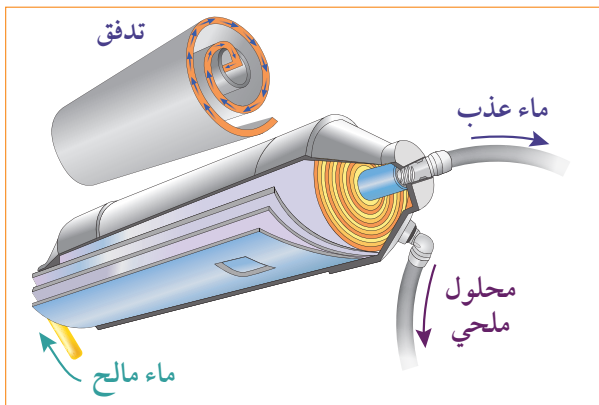


الشكل 30-7 عملية الأسموزية المعاكسة.

المواد المكوّنة للغشاء تتضمن البولي أميد Polyamide، وأستات السليلوز Cellulose acetate. وهي تخضع لما يأتي:

- التضرّر بالأحماض، والقواعد، والكلور الحر، والبكتيريا.
- التلوث الحيوي بالبكتيريا، والكائنات الدقيقة.
- تركيب مركّبات غير ذائبة من الكالسيوم، و كربونات المغنيسيوم، وكبريتات الكالسيوم، والسيليكا.

تُعدّ أنظمة الأسموزية المعاكسة المُبيّنة 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 تستخدم الأسموزية المعاكسة على نطاق واسع في دولة قطر عام 2017م. تقع تلك المحطة خارج مدينة الدوحة، وهي محطة تحلية مياه راس أبو فنتاس، 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 عيّنات من الماء.

أيًا يكن مصدر الماء، فإن من الضروري تنقيته ليكون صالحًا وآمنًا للشرب وللطبخ. ذلك أن الماء الآتي من الأراضي الرطبة، كما هو مبين في (الشكل 32-7)، والآبار الجوفية، ومحطات التحلية، وحتى مياه الأمطار، قد يحتوي على كائنات دقيقة مُسببة للأمراض، تنتقل مع الماء. أثناء حدوث الفيضانات، يُطلب من الناس غلي الماء قبل استخدامه، عندما تكون أنظمة البلديات المحلية غير موثوقة.

فغلي الماء يقتل مسببات الأمراض جميعها في ثلاث دقائق. وتعدّ هذه العملية أقدم شكل من أشكال تنقية المياه، وهي تتطلب كمية كبيرة من الطاقة. لذا تُستخدم طرائق أخرى بديلة منها:

المعالجة بالكلور (الكلورة) Chlorination

يُستخدم الكلور لأنه يقتل مجموعة كبيرة ومتنوعة من مسببات الأمراض التي تنتقل بالماء؛ ومنها مسببات حمى التيفوئيد، والدوسنتاريا، والكوليرا. ومع أن الآلية التي يعمل بها الكلور غير مفهومة بشكل واضح، فإنه يبدو وكأنه يقتل تلك الكائنات الحية من خلال تدمير إنزيماتها، وأحماضها النووية، وأغشيتها الدهنية. تتم معادلة الكلور بكميات قليلة خلال مسار عملية الهضم، لذلك لا يعدّ ضارًا عند شربه، فإضافة الكلور هي أكثر طريقة تنقية مستخدمة بشكل واسع؛ لانخفاض تكلفتها، ولأنها الطريقة الوحيدة المستخدمة في المناطق الفقيرة من العالم.

التعقيم بالأوزون Sterilization with ozone

يُستخدم الأوزون بشكل واسع في آسيا وأوروبا، وهو جُزيء غير مستقرّ مكوّن من ثلاث ذرات أكسجين ترابطت بواسطة طاقة عالية. ونتيجة لعدم استقرار هذا الجُزيء الذي يبقى مدة ضئيلة جدًا (ثواني)، وسرعان ما يطلق ذرة أكسجين نشطة، تؤكسد المواد العضوية، وتزيل الحديد، المنجنيز، وكبريتات الهيدروجين. والأوزون أكثر فاعلية في محاربة البكتيريا والفيروسات مقارنة مع المعالجة بالكلور. لكنه يحتاج إلى مُعدّات معقّدة؛ 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 المؤيّن يهاجم المادة الوراثية DNA للكائنات الحية المكشوفة. وتتطلب هذه الطريقة نظام أنابيب خاصًا يسمح بأن يكون الماء كله معرّضًا للأشعة.

الترشيح بالفحم النشط Filtration with activate carbon

يُعدّ الفحم النشط جزءًا من معظم أنظمة التنقية، بوصفه الخطوة النهائية. ولهذا الفحم النشط مساحة سطح كبيرة، ويجذب الجزيئات القطبية المشتركة بين كثير من الشوائب، والملوثات. يُستخدم الترشيح باستخدام الفحم في أقنعة التنفس، ويعدّ جزءًا من مرشحات (فلتر) المياه المنزلية. لكن يجب استبدال تلك المرشحات مع مرور الوقت، للحفاظ على فاعليتها.



الشكل 33-7 خزان ترسيب مكشوف للهواء الطلق.

معالجة المياه العادمة

معالجة المياه العادمة Wastewater treatment هي العملية التي تزيل الشوائب والملوثات من مياه المجاري، والمياه الجارية، والمياه العادمة، بهدف إعادتها إلى دورة الماء في الطبيعة بأقل تأثير بيئي.

- أينما يتوافر الماء، تُستخدم الخزانات المكشوفة للهواء الطلق انظر (الشكل 33-7). وتتم تنقية المياه بشكل كاف فقط لتلبية المعايير المحلية قبل إعادتها إلى مصدر الماء الطبيعي. وأينما تكن المياه نادرة، يتمّ اللجوء إلى إعادة تدوير المياه العادمة المعالجة لاستخدامها في الزراعة، أو ري 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 والملوثات ذات القياسات المختلفة.
- تستخدم عملية الترشيح سلسلة من الحواجز التي تصغر بشكل تدريجي للحصول على مزيد من إزالة الجسيمات. يمكن أيضًا إجراء الترشيح باستخدام الكربون، أو باستخدام الرمل. فمرشحات الكربون تزيل المركبات العضوية الذائبة.
- تعزز عمليتا الأكسدة، والأكسدة الكيميائية الحيوية، فعالية البكتيريا لإجراء المزيد من تفكك المواد العضوية إلى جزيئاتها المكونة لها. ويمكن إضافة المعقّمات من الكلور وإزالة الملح أيضًا. ويكون هذا الإجراء مناسبًا للتطبيقات الزراعية.
- بعد عملية المعالجة، يخضع الماء لعملية الأسموزية المعاكسة، وللأشعة فوق البنفسجية، والمعالجة بالأوزون، وأنداك، يمكن اعتبار الماء صالحًا للشرب.



الشكل 34-7 غابات المانجروف.

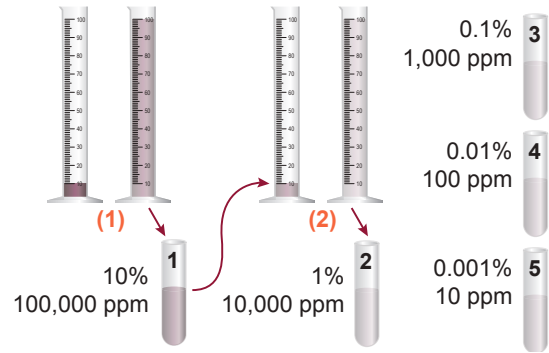
جرت معالجة المياه الطبيعية في السهول الفيضية، والأراضي الرطبة الساحلية، وغابات المانجروف Mangrove forests انظر (الشكل 34-7)، منذ ما قبل عصر الديناميكيات. ومن الجدير بالذكر أن الماء كمركّب وُجد على الأرض من مليارات السنين.

نوعية المياه

3-7

سؤال الاستقصاء	كيف نقيس نوعية المياه؟
المواد المطلوبة	ماء مقطر، سكر، مقياس الألوان، مستشعر الرقم الهيدروجيني pH، أصباغ طعام ملوثة، محلول HCl تركيزه 1M، ومحلول NaOH تركيزه 1M.

كثير من الملوثات والشوائب الموجودة في الماء يمكن قياسها بوحدة الجزء بالمليون (ppm). في هذا النشاط، سوف ننشئ مستويات تلوث بوحدة الجزء بالمليون، ونحاول الكشف عنها بتراكيز منخفضة تصل إلى جزء واحد بالمليون (1 ppm).



الخطوات

ملحوظة: الكثير من التفاصيل مُدرّجة في ورقة عمل المختبر.

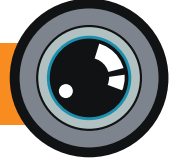
1. أضف 20 نقطة من صبغة طعام إلى 10 mL من الماء في مخبر مدرّج، ثم املاً المخبر بالماء إلى 100 mL. احتفظ بكمية مقدارها 30 mL من هذه الكمية في أنبوب اختبار رقم 1 بوصفها محلولك الذي يبلغ تركيزه 10%.
2. تخلص من الكمية الموجودة في المخبر المدرّج، ودع 10 mL فقط. ثم املاً المخبر المدرّج مرة أخرى بالماء إلى 100 mL، واحتفظ بكمية مقدارها 30 mL في أنبوب اختبار رقم 2، بوصفها محلولك الذي يبلغ تركيزه 1%.
3. كرّر العملية إلى أن تحصل على 6 أنابيب اختبار مخففة بتراكيز مختلفة تبدأ من 10% (100,000 ppm) إلى 0.0001% (1 ppm).
4. افحص كل أنبوب اختبار بمقياس الألوان، وسجّل مستويات الامتصاص.
5. كرّر العملية نفسها باستخدام محلول HCl تركيزه 1M، ومحلول NaOH تركيزه 1M، واستخدم مستشعر pH لاختبار تلك المحاليل.
6. كرّر العملية نفسها ابتداءً من 10g من السكر، ثم اختبر محاليل السكر باستخدام مستشعر pH.

الأسئلة

- a. عند أي تركيز يمكنك الكشف عن الصبغة؟ خمن الخطأ في قياساتك. ومن هذا التخمين، حدّد أقل تركيز يمكنك الكشف عنه.
- b. ما التركيز الذي يمكنك الكشف عنه لكل من HCl و NaOH باستخدام مستشعر pH؟ استخدم الرسم البياني على ورقة العمل لرسم pH مقابل التركيز (C).
- c. أي من تقنيتي الاختبار كانت قادرة على الكشف عن السكر؟ فسّر إجابتك.

تقويم الدرس 3-7

1.  أي من المصادر الآتية يعدّ مصدرًا رئيسًا للماء العذب الذي يستخدمه البشر؟
 - a. جليد القمم الجليدية القطبية.
 - b. الأنهار، 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.  أي 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 تقريبًا على سطح الأرض.
 - c. الماء العذب موزّع بشكل غير متساوٍ على سطح الأرض.
 - d. الماء العذب يتوافر قرب المحيطات، ونادرًا ما تكون أماكن توافره بعيدة عن المحيطات.
4.  صف الطريقتين الأساسيتين اللتين تزيلان الملح من الماء بكميات كبيرة.
5.  صف ثلاثة استخدامات مختلفة للماء، لا تحتاج فيها إلى ماء صالح للشرب.
6.  عدّد على الأقل خمس خطوات تعدّ جزءًا من عملية معالجة الماء ليصبح صالحًا للشرب.



الشكل 4-35 كلير باترسون.

لم يكن كلير باترسون (Clair Patterson 1922-1995م) يخطط لمحاربة واحدة من أكبر الصناعات الموجودة في العالم، مجبراً إياها على إزالة الرصاص من البترول. 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.

وبوصفه طالب دراسات عليا، وزمياً لجورج تيلتون (George Tilton)، بدأ بتحليل الصخور لحل تلك المشكلة. كان تيلتون يُعّين اليورانيوم، لكن تجاربه لم تنجح. فقد أدرك أن المختبر يجب أن يُستخدم 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 يعّين 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. أتاح له تقنياته تتبع أصول ذلك الرصاص عبر التاريخ، وصولاً إلى إضافة رباعي إيثيل الرصاص إلى البترول.

بعد 40 عاماً من صناعة البترول، 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 جداً، وتقنياته المخبرية تولي الانتباه لأدق التفاصيل. وفي النهاية تم إعلام المجتمع العلمي بنتائجه، وأزيل الرصاص من البترول في جميع دول العالم، باستثناء دول قليلة.

ماذا عن غرفته النظيفة؟ إن إصراره الشديد في النهاية على وجود مختبر غير ملوث رسّخ طريقته إلى يومنا هذا. وتعدّ هذه الطريقة معيار الصناعة في البحث والتحليل للعمل في «غرفة نظيفة».

الوحدة 7

مراجعة الوحدة

الدرس 7-1: الكيمياء في حياتنا

- الكيمياء لها تأثير واسع وكبير في الاقتصاد، وفي كل جانب من جوانب الحياة تقريبًا.
- يتوسّع Scales-up** التصنيع الكيميائي بالتقنيات المخبرية لإنتاج كمّيات كبيرة من المركّبات من **المواد الأولية Feedstocks**.
- البترو Petroleum** المشتقّ من الهيدروكربونات هو مادة أولية شائعة تُستخدم في صنع المواد البلاستيكية، والمطّاط، وفي تحضير المركّبات العضوية.
- النفايات البلاستيكية مشكلة بيئية خطيرة جدًا.
- مركّبات الكلوروفلوروكربون، مثل **الفريون Freon** (CF_2Cl_2)، كانت مستخدمة بشكل واسع. لكن وُجد أنها تدمّر طبقة أوزون الأرض، فحظرتها معاهدة مونتريال عام 1987م.
- الضغط ودرجة الحرارة المتوفّران عميقًا تحت سطح الأرض يفسّكان الكائنات الحية إلى **الكيروجين Kerogen** الذي يتحوّل 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 وتغيّر المناخ

- تحافظ الأرض على توازن الطاقة من خلال إشعاع الطاقة كلّها التي تستقبلها من الشمس وتعيدها نحو الفضاء مرة أخرى.
- السبب الرئيس لتغيّر المناخ هو أن الغلاف الجوي شفاف لأشعة الشمس. لكن إشعاع الأرض الذي يعود مرة أخرى نحو الفضاء هو أشعة حمراء، تمتصّها غازات الدفيئة، مثل غاز CO_2 وغاز الميثان.
- يُعدّ المستوى الحالي لغاز CO_2 الجوي وقيمته 415ppm المستوى الأعلى منذ عصر البليستوسين، أي قبل 3 ملايين سنة، عندما كانت الأرض أكثر دفئًا بعدّة درجات مئوية، ومستويات البحر أعلى مما هي عليه الآن بـ 12 مترًا إلى 18 مترًا.
- يعدّ الميثان غاز دفيئة أكثر فاعلية من غاز CO_2 ، يسهم البشر بإنتاجه من خلال تربية الأبقار.

الوحدة 7

مراجعة الوحدة

- تؤثر درجة حموضة المحيطات تأثيرًا مباشرًا في غاز CO_2 الجوي، من خلال إنتاج حمض الكربونيك. 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 نسبته 2.5% يكون معظمه متجمّدًا في القمم والأنهار الجليدية.
- الماء العذب غير موزّع بالتساوي على سطح الأرض.
- **الماء الصالح potable** للشرب هو ماء آمن للشرب. و**المياه الافتراضية Virtual water** هي المياه التي تُستخدم في تصنيع أشياء أخرى، مثل الغذاء أو الورق.
- المصادر الأساسية للماء العذب الذي يستهلكه البشر تتضمن المياه السطحية في الأنهار، والبحيرات، والجداول، والمياه الجوفية، ومياه المحيطات التي تتم تحليلتها.
- **طبقات المياه الجوفية Aquifer** مصدر للمياه يقع تحت الأرض.
- تجعل عملية معالجة المياه الماء آمنًا للشرب، وتتضمن عمليات كثيرة، مثل المعالجة بالكلور، والترشيح، والتهوية، والترسيب.
- تأتي معظم مياه دولة قطر العذبة من تحلية المياه المالحة **Desalination**.
- الطريقتان الأساسيتان لتحلية الماء هما: **التقطير الحراري Thermal distillation**، و**الأسموزية المعاكسة Reverse osmosis**.
- تستخدم عملية تنقية الماء كي تجعله صالحًا للشرب.
- تتم معالجة **المياه العادمة Wastewater treatment** لإزالة الكائنات الحية والشوائب والملوثات الأخرى من المياه التي استخدمت مسبقًا، 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 بالتوسع في عملية التصنيع الكيميائية؟

- a. اتزان زمن التفاعل يعد خطيًّا.
- b. شراء كميات كبيرة تعد عملية مكلفة.
- c. التفاعلات الطاردة للحرارة تتطلب مساحة سطح تتغير بتغير عملية التوسع.
- d. نسبة الخلط الجزيئية يمكن موازنتها بحذر 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 السلاسل التي تشبه العمود الفقري.
- d. نسبة الألكانات الحلقية إلى الألكانات.

4. ما الذي يُحدّد إن كان الكيروجين سيصبح نَفْطًا، أم غازًا طبيعيًّا؟

- 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 ومزارع تربية الماشية.
- b. مزارع 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 المُخزّن عندما تستخدم وسائل المواصلات العامة.
- d. زراعة الأشجار التي ستزيل كمية الكربون المساوية للبصمة الكربونية الخاصة بك.

8. ما هي نسبة توزيع مياه الأرض: من أعلى نسبة إلى أدناها؟

- a. المحيطات، الأنهار الجليدية، المياه الجوفية، البحيرات والأنهار.
- b. البحيرات والأنهار المحيطات، الأنهار الجليدية، المياه الجوفية.
- c. المياه الجوفية، البحيرات والأنهار، المحيطات، الأنهار الجليدية.
- d. الأنهار الجليدية، المياه الجوفية، البحيرات والأنهار، المحيطات.

9. ما الذي يُنتج التوزيع غير المتساوي للمياه العذبة على سطح الأرض؟

- a. الغابات المطيرة والصحاري.
- 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 مصدرًا رئيسًا للماء العذب الصالح لاستخدام البشر؟

- a. المياه الجوفية المحصورة في الآبار.
- b. مياه الأمطار التي تم جمعها عن أسطح جمع المياه.
- c. المياه السطحية الموجودة في البحيرات، والجداول، والأنهار.
- d. مياه البحر التي يجب تحليلها 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 اللازمة لعملية إعادة تدوير المواد البلاستيكية؟ 
- 14. فسّر لماذا كانت مُركّبات الكلوروفلوروكربون شائعة الاستخدام بشكل كبير. 
- 15. صف العملية التي تُنتج الكيروجين. 

الدرس 7-2: الكيمياء وتغيّر المناخ

- 16. صف تأثير الدفيئة (البيوت الزجاجية). 
- 17. ما الأساس في الحجج والبراهين التي تدّعي بأن الاحتباس الحراري الحالي ليس ناتجًا من المصادر الناجمة عن التأثير البشري؟ 
- 18. صف العلاقة التاريخية بين غاز CO_2 الجوي ومعدّل درجة حرارة هواء سطح اليابسة. ما الدليل على وجود هذه العلاقة؟ 
- 19. لم تُعدّ العوالق سريعة التأثير بانخفاض درجة الحموضة pH في المحيطات؟ 
- 20. ما المُتغيّرات التي تسهم في البصمة الكربونية الخاصة بك؟ وما هو المساهم الأكبر فيها؟ 
- 21. ما الذي يجعل لحم البقر مصدر غذاء غير مستدام بيئيًا؟ 

الدرس 7-3: الكيمياء وموارد المياه

- 22.** فسّر لماذا لا يسهم انصهار الأنهار الجليدية في المياه العذبة المتوافرة في دولة قطر. 
- 23.** صف الآلية المحتملة التي يمكن أن تفسّر وجود خزّان ضخّم للمياه العذبة تحت المحيط الأطلسي. 
- 24.** ما المياه الصالحة للشرب؟ ولماذا لا تحتاج عملية الزراعة إلى مثل تلك المياه؟ 
- 25.** أنشئ نموذج ميزانية لعيّنة من الماء، كي تصف المياه الشخصية الخاصة بك التي تستهلكها في اليوم الواحد. 
- 26.** صف الخطوات المتعارف عليها المستخدمة في عملية معالجة المياه وتنقيتها، للوصول إلى مستويات تكون فيها المياه صالحة للشرب. 

الجدول الدوري الحديث للعناصر

1
IA

العدد الذري

6
C
الرمز
العنصر
اسم العنصر
carbon
12.011

أرقام المجموعات
↓

18
VIIIA

1 H Hydrogen 1.008	2 He Helium 4.002602	3 Li Lithium 6.94	4 Be Beryllium 9.0121831	5 B Boron 10.81	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998403163	10 Ne Neon 20.1797	11 Na Sodium 22.98976928	12 Mg Magnesium 24.305	13 Al Aluminum 26.9815385	14 Si Silicon 28.085	15 P Phosphorus 30.973761998	16 S Sulfur 32.06	17 Cl Chlorine 35.45	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955908	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.936	25 Mn Manganese 54.938044	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933194	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.630	33 As Arsenic 74.921595	34 Se Selenium 78.971	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.798
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90584	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90637	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.414	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.293
55 Cs Caesium 132.90545196	56 Ba Barium 137.327	57 - 71 * Lanthanoids	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.94788	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.084	79 Au Gold 196.966569	80 Hg Mercury 200.592	81 Tl Thallium 204.38	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98040	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 - 103 ** Actinoids	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (269)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (277)	109 Mt Meitnerium (268)	110 Ds Darmstadtium (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Cn Copernicium (285)	113 Nh Nihonium (286)	114 Fl Flerovium (289)	115 Mc Moscovium (290)	116 Lv Livermorium (293)	117 Ts Tennessine (294)	118 Og Oganesson (294)

57 La Lanthanum 138.90547	58 Ce Cerium 140.16	59 Pr Praseodymium 140.90766	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92535	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.93033	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.93422	70 Yb Ytterbium 173.045	71 Lu Lutetium 174.9668
89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.0377	91 Pa Protactinium 231.03688	92 U Uranium 238.02891	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (260)

- فلزات قلوية

فلزات قلوية أرضية

فلزات
- اللائثانيدات

الأكثينيدات

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 Roekdeethaweasab/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 Thiesen /Shutterstock; Huntstyle /Shutterstock; Justin Hobson /Shutterstock; Vladiczech /Shutterstock; NASA images /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; Ultrapek/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-studio/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;