وزارة التربية

كويت جديدة
NEWKUWAIT

الكيمياء ١٢

الصف الثاني عشر

الجزء الثاني

كتاب الطالب

المرحلة الثانوية

الطبعة الثانية

وزارة التربية

الكيمياء

كتاب الطالب

الصفّ الثاني عشر

١٢

الجزء الثاني

المرحلة الثانويّة

اللجنة الإشرافية لدراسة ومواءمة سلسلة كتب العلوم

أ. ليلى علي حسين الوهيب (رئيسًا)

أ. سعاد عبد العزيز الرشود
أ. مصطفى محمد مصطفى
أ. فتوح عبد الله طاهر الشمالي
أ. تهاني ذعار المطيري

الطبعة الثانية

١٤٣٩ - ١٤٤٠ هـ
٢٠١٨ - ٢٠١٩ م

الطبعة الأولى ٢٠١٤ - ٢٠١٥ م
الطبعة الثانية ٢٠١٦ - ٢٠١٧ م
٢٠١٨ - ٢٠١٩ م

فريق عمل دراسة ومواءمة كتب الكيمياء للصف الثاني عشر الثانوي

أ. علي محمد محمد الششتاوي

أ. نادية سعد الغريب **أ. فتحية محمد رضا سيد هاشم**

أ. ليالي غايب العتيبي **أ. طيف حمود العدواني**

دار التَّربَويّون House of Education **ش . م . م . وبيرسون إديوكيشن** ٢٠١٤

الكتاب كاملًا

شاركنا بتقييم مناهجنا

صاحب السمو الشيخ صباح الأحمد الجابر الصباح

أمير دولة الكويت

سمو الشيخ نواف الأحمد الجابر الصباح

ولي عهد دولة الكويت

مقدمـــة

الحمدلله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيد المرسلين، محمد بن عبدالله وصحبه أجمعين.

عندما شرعت وزارة التربية في عملية تطوير المناهج، استندت في ذلك إلى جملة من الأسس والمرتكزات العلمية والفنية والمهنية، حيث راعت متطلبات الدولة وارتباط ذلك بسوق العمل، وحاجات المتعلمين والتطور المعرفي والعلمي، بالإضافة إلى جملة من التحديات التي تمثلت بالتحدي القيمي والاجتماعي والاقتصادي والتكنولوجي وغيرها، وإن كنا ندرك أن هذه الجوانب لها صلة وثيقة بالنظام التعليمي بشكل عام وليس المناهج بشكل خاص.

ومما يجب التأكيد عليه، أن المنهج عبارة عن كم الخبرات التربوية والتعليمية التي تُقدم للمتعلم، وهذا يرتبط أيضًا بعمليات التخطط والتنفيذ، والتي في محصلتها النهائية تأتي لتحقيق الأهداف التربوية، وعليه أصبحت عملية بناء المناهج الدراسية من أهم مكونات النظام التعليمي، لأنها تأتي في جانبين مهمين لقياس كفاءة النظام التعليمي، فهي من جهة تمثل أحد المدخلات الأساسية ومقياسًا أو معيارًا من معايير كفاءته من جهة أخرى، عدا أن المناهج تدخل في عملية إنماء شخصية المتعلم في جميع جوانبها الجسمية والعقلية والوجدانية والروحية والاجتماعية.

من جانب آخر، فنحن في قطاع البحوث التربوية والمناهج، عندما نبدأ في عملية تطوير المناهج الدراسية، ننطلق من كل الأسس والمرتكزات التي سبق ذكرها، بل إننا نراها محفزات واقعية تدفعنا لبذل قصارى جهدنا والمضي قدمًا في البحث في المستجدات التربوية سواء في شكل المناهج أم في مضامينها، وهذا ما قام به القطاع خلال السنوات الماضية، حيث البحث عن أفضل ما توصلت إليه عملية صناعة المناهج الدراسية، ومن ثم إعدادها وتأليفها وفق معايير عالمية استعدادًا لتطبيقها في البيئة التعليمية.

ولقد كانت مناهج العلوم والرياضيات من أول المناهج التي بدأنا بها عملية التطوير، إيمانًا بأهميتها وانطلاقًا من أنها ذات صفة عالمية، مع الأخذ بالحسبان خصوصية المجتمع الكويتي وبيئته المحلية، وعندما أدركنا أنها تتضمن جوانب عملية التعلم ونعني بذلك المعرفة والقيم والمهارات، قمنا بدراستها وجعلها تتوافق مع نظام التعليم في دولة الكويت، مركزين ليس فقط على الكتاب المقرر ولكن شمل ذلك طرائق وأساليب التدريس والبيئة التعليمية ودور المتعلم، مؤكدين على أهمية التكامل بين الجوانب العلمية والتطبيقية حتى تكون ذات طبيعة وظيفية مرتبطة بحياة المتعلم.

وفي ضوء ما سبق من معطيات وغيرها من الجوانب ذات الصفة التعليمية والتربوية تم اختيار سلسلة مناهج العلوم والرياضيات التي أكملناها بشكل ووقت مناسبين، ولنحقق نقلة نوعية في مناهج تلك المواد، وهذا كله تزامن مع عملية التقويم والقياس للأثر الذي تركته تلك المناهج، ومن ثم عمليات التعديل التي طرأت أثناء وبعد تنفيذها، مع التأكيد على الاستمرار في القياس المستمر والمتابعة الدائمة حتى تكون مناهجنا أكثر تفاعلية.

د. سعود هلال الحربي

الوكيل المساعد لقطاع البحوث التربوية والمناهج

المحتويات

الجزء الأوّل

الجزء الثاني

محتويات الجزء الثاني

الوحدة الرابعة

الأملاح ومعايرة الأحماض والقواعد
Salts and Titration of Acids and Bases

الأملاح واسعة الانتشار ومتعدّدة الأنواع، أشهرها ملح الطعام الموجود في مياه البحر أو تكون على هيئة طبقات صخرية تُسمّى الملح الصخري. والمياه المعدنية أيضًا تحتوي على أملاح تتكوّن عندما تذيب مياه المطر صخور الحجر الجيري. هي في الواقع موادّ كيميائية مفيدة ومتعدّدة الاستعمالات، بحيث تدخل في صناعة الأدوية وصناعات أخرى.
تتكوّن الأملاح من خلال تفاعل ما بين الأحماض والقواعد. فما هو الملح؟ وكيف يتمّ تميّزه؟ وما هي المعايرة؟

فصول الوحدة

الفصل الأوّل
- الأملاح

الفصل الثاني
- معايرة الأحماض والقواعد

أهداف الوحدة

- يعرّف الملح.
- يصنّف الأملاح بحسب التركيب الكيميائي والتأثير ويسمّيها.
- يستنتج مفهوم تميّؤ الأملاح.
- يفسّر تأثير المحاليل المائية للأملاح.
- يعرّف المحلول المشبّع.
- يستنتج مفهوم حاصل الإذابة، ويكتب تعبير ثابت حاصل الإذابة.
- يتوقّع الظروف التي يمكن عندها ترسيب مادّة ذائبة من محلولها المشبّع.
- يتوقّع الظروف التي يمكن عندها إذابة إلكتروليت شحيح الذوبان.
- يتعرّف كيفية تحضير المحاليل المنظِّمة وآلية عملها.
- يعرّف المحاليل المنظِّمة وأهمّيتها.
- يتعرّف المعايرة بين محلول حمضي ومحلول قاعدي.
- يمثّل بيانيًّا المعايرة بين محلول حمضي ومحلول قاعدي.
- يحدّد نقاط التكافؤ على منحنيات التعادل بين الأحماض أحادية البروتون والقواعد أحادية الهيدروكسيد.

معالم الوحدة

اكتشف بنفسك: المحاليل المائية للأملاح

الأملاح
Salts

نادرًا ما يتواجد الماء نقيًّا في الطبيعة مثل الماء المقطّر. إذ يحتوي الماء على أملاح ذائبة وغيرها بتركيزات محدّدة تعتمد على الظروف التي تحيط بمصدر الماء.

وللماء أيضًا خواصّ قابلة للقياس يشيع استخدامها لتحديد كيميائية الماء، يُذكَر منها الأس الهيدروجيني (pH) ودرجة عسره ودرجة ملوحته. يتغيّر الأس الهيدروجيني للماء تبعًا لطبيعة الملح المذاب فيه. وقد يكون هذا التغيير مضرًّا أو مميتًا للحياة المائية وحتى البشرية. يجب إذًا المحافظة على قيمة ثابتة للأس الهيدروجيني. على سبيل المثال، عندما يتغيّر الأس الهيدروجيني في مزارع الأسماك، تتأثّر الأسماك الصغيرة وتموت، ما يؤدّي إلى تناقصها مع الوقت.

هل تذوب الأملاح كلّها في الماء؟ هل تتفاعل الأملاح مع الماء أم تحافظ على تركيزها الأساسي؟ هل يمكن المحافظة على ثبات الأس الهيدروجيني لمحلول ما؟ ما هي خواصّ هذا المحلول؟

دروس الفصل

الدرس 1-1

مفهوم الملح وأنواع الأملاح
The Salt Concept and Types of Salts

الأهداف العامة

- يعرّف الملح.
- يصنّف الأملاح بحسب التركيب الكيميائي وتأثير محاليلها المائية ويسمّيها.

شكل (1)
ملح الطعام

تؤدّي الأملاح المعدنية دورًا أساسيًّا في العمليات الحيوية المهمّة التي تحدث في جسم الإنسان. تساعد الأملاح في إتمام التفاعلات الكيميائية المختلفة، كالمحافظة على ضربات القلب وتنظيم الدم، كما أنّها تدخل في تكوين الأنسجة الحيّة كلّها. وللأملاح أهمّية كبيرة في نموّ أنواع من خلايا جسم الإنسان، فهي تدخل في بناء العظام وتساعد في انقباض العضلات وانبساطها. وتُعتبَر الأملاح موادّ غذائية دقيقة لأنّها أساسية لجسم الإنسان على الرغم من حاجته إلى كمّيات قليلة منها.

يشكّل كلوريد الصوديوم أهمّ هذه الأملاح وهو من ضروريات الحياة. عُرِف كلوريد الصوديوم أو ملح الطعام منذ القدم لخواصّه المختلفة (شكل 1). واستخدمه الإنسان في المطبخ لتحضير الأطعمة وحفظها، وفي عدّة صناعات وفي الطبّ أيضًا. هذا ويحافظ الملح على التوازن المائي في الجسم.

فما هي الأملاح؟ وكيف تتكوّن؟ وما هي أنواع الأملاح وكيف تتمّ تسميتها؟

1. تعريف الأملاح وأنواعها
Definition and Types of Salts

الأملاح Salts مركّبات أيونية تتكوّن من تفاعل الحمض مع القاعدة وتنتج عن اتّحاد كاتيون القاعدة وأنيون الحمض. يكون كاتيون القاعدة عادةً كاتيون فلزّ أو كاتيون الأمونيوم. تُقسَم الأملاح إلى ثلاثة أنواع تبعًا لتأثير محاليلها المائية:

- **أملاح متعادلة Neutral Salts: هي أملاح تتكوّن نتيجة التفاعل بين حمض قوي وقاعدة قوية**، مثل كلوريد الصوديوم NaCl الذي ينتج عن تفاعل حمض الهيدروكلوريك HCl وهيدروكسيد الصوديوم NaOH كما هو موضّح في المعادلة التالية:

$$HCl_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \longrightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

- **أملاح قاعدية Basic Salts: هي أملاح تتكوّن نتيجة التفاعل بين حمض ضعيف وقاعدة قوية**، مثل أسيتات الصوديوم CH_3COONa الذي ينتج عن تفاعل حمض الأستيك CH_3COOH وهيدروكسيد الصوديوم NaOH كما هو موضّح في المعادلة التالية:

$$CH_3COOH_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \longrightarrow CH_3COONa_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

- **أملاح حمضية Acidic Salts: هي أملاح تتكوّن نتيجة التفاعل بين حمض قوي وقاعدة ضعيفة**، مثل كلوريد الأمونيوم NH_4Cl الذي ينتج عن تفاعل حمض الهيدروكلوريك HCl ومحلول الأمونيا NH_3 كما هو موضّح في المعادلة التالية:

$$HCl_{(aq)} + NH_{3(aq)} \longrightarrow NH_4Cl_{(aq)}$$

ملاحظة: يمكن للأملاح أن تتكوّن نتيجة التفاعل بين حمض ضعيف وقاعدة ضعيفة، وتُصنَّف محاليل هذه الأملاح كمحاليل متعادلة أو قاعدية أو حمضية تبعًا لثابت تأيّن الحمض K_a وثابت تأيّن القاعدة K_b. مثال على ذلك، أسيتات الأمونيوم CH_3COONH_4 الذي ينتج عن تفاعل حمض الأستيك CH_3COOH ومحلول الأمونيا NH_3 كما هو موضّح في المعادلة التالية:

$$CH_3COOH_{(aq)} + NH_{3(aq)} \longrightarrow CH_3COONH_{4(aq)}$$

2. تسمية الأملاح Salt Nomenclature

سبق أن تعلّمت أنّ الملح مركّب أيوني يتكوّن من كاتيون مصدره قاعدة وأنيون مصدره حمض.

سنبدأ بتسمية الشقوق الحمضية ومن ثمّ ننتقل إلى تسمية الأملاح بحسب تركيبها الكيميائي.

1.2 تسمية الشقوق الحمضية (القواعد المرافقة)

Nomenclature of Acid Radicals (Conjugated Base)

(أ) تسمية الشقوق الحمضية للأحماض غير الأكسجينية

Nomenclature of Acid Radicals for Non – Oxygenated Acid

تتمّ تسمية الشقوق الحمضية للأحماض غير الأكسجينية (جدول 1) كما يلي:

- إذا الشقّ لا يحتوي على هيدروجين بدول:

اسم اللافلزّ (أو المجموعة الذرّية) + يد

- إذا الشقّ لا زال يحتوي على هيدروجين بدول:

اسم اللافلزّ (أو المجموعة الذرّية) + يد + هيدروجيني

صيغة الحمض	اسم الحمض	صيغة الشقّ	اسم الشقّ الحمضي
HF	حمض الهيدروفلوريك	F^-	فلوريد
HCl	حمض الهيدروكلوريك	Cl^-	كلوريد
HBr	حمض الهيدروبروميك	Br^-	بروميد
HI	حمض الهيدرويوديك	I^-	يوديد
HCN	حمض الهيدروسيانيك	CN^-	سيانيد
H_2S	حمض الهيدروكبريتيك	HS^-	كبريتيد هيدروجيني
		S^{2-}	كبريتيد

جدول (1)

أسماء بعض الأحماض غير الأكسجينية وشقوقها

(ب) تسمية الشقوق الحمضية للأحماض الأكسجينية

Nomenclature of Acid Radicals for Oxygenated Acids

تتمّ تسمية الشقوق الحمضية للأحماض الأكسجينية (جدول 2) كما يلي:

- تُحذف كلمة «حمض» وتُستبدَل اللاحقة (وز) بـِ (يت).
- تُحذف كلمة «حمض» وتُستبدَل اللاحقة (يك) بـِ (آت).
- إذا كان الشقّ لا يزال يحتوي على هيدروجين بدول، يجب ذكر عدد ذرّات الهيدروجين الحمضية التي لا تزال موجودة في الشقّ (أحادي = 1، ثنائي = 2، ثلاثي = 3).
- تبقى السابقة كما هي عند تسمية الشقوق.

صيغة الحمض	اسم الحمض	صيغة الشقّ	اسم الشقّ الحمضي
$HClO$	حمض هيبوكلوروز	ClO^-	هيبوكلوريت
$HClO_2$	حمض كلوروز	ClO_2^-	كلوريت
H_2SO_3	حمض كبريتوز	HSO_3^-	كبريتيت هيدروجيني
		SO_3^{2-}	كبريتيت
H_2CO_3	حمض كربونيك	HCO_3^-	كربونات هيدروجيني
		CO_3^{2-}	كربونات
H_2SO_4	حمض كبريتيك	HSO_4^-	كبريتات هيدروجيني
		SO_4^{2-}	كبريتات
H_3PO_4	حمض فوسفوريك	$H_2PO_4^-$	فوسفات ثنائي الهيدروجين
		HPO_4^{2-}	فوسفات أحادي الهيدروجين
		PO_4^{3-}	فوسفات

جدول (2)
أسماء بعض الأحماض الأكسجينية وشقوقها

2.2 تسمية الأملاح بحسب تركيبها الكيميائي

Nomenclature of Salts Based on the Chemical Formula

(أ) تسمية الأملاح غير الهيدروجينية

Nomenclature of Non – Hydrogenated Salts

تُسمّى الأملاح غير الهيدروجينية التي تحتوي على فلزّات (أو الأمونيوم) أعداد تأكسدها ثابتة كما يلي:

اسم الشقّ الحمضي + اسم الفلزّ (أو الأمونيوم)

تُسمّى الأملاح غير الهيدروجينية التي تحتوي على فلزّات أعداد تأكسدها متغيّرة كما يلي: اسم الشقّ الحمضي + اسم الفلزّ + عدد تأكسد الفلزّ

يوضّح الجدول (3) بعض أسماء الأملاح غير الهيدروجينية.

الأملاح غير الهيدروجينية التي تحتوي على فلزّات أعداد تأكسدها ثابتة		الأملاح غير الهيدروجينية التي تحتوي على فلزّات أعداد تأكسدها متغيّرة	
NH_4Cl	كلوريد الأمونيوم	$CuSO_4$	كبريتات النحاس II
Na_2SO_4	كبريتات الصوديوم	$FeCl_3$	كلوريد الحديد III
$Ca(NO_3)_2$	نيترات الكالسيوم	$FeSO_4$	كبريتات الحديد II
$MgCO_3$	كربونات المغنسيوم	$Fe_2(SO_4)_3$	كبريتات الحديد III
K_3PO_4	فوسفات البوتاسيوم		

جدول (3)
أسماء بعض الأملاح غير الهيدروجينية

(ب) تسمية الأملاح الهيدروجينية

Nomenclature of Hydrogenated Salts

تشتقّ أسماء الأملاح الهيدروجينية بالطريقة نفسها المتّبعة في تسمية الأملاح غير الهيدروجينية مع إضافة كلمة "هيدروجينية" في نهاية الاسم. وفي حال وجود أكثر من ذرّة هيدروجين بدول نستخدم كلمة ثنائي أو ثلاثي الهيدروجين. يوضّح الجدول (4) أدناه أسماء بعض الأملاح الهيدروجينية.

الأملاح الهيدروجينية للفلزّات ذوات أعداد التأكسد الثابتة		الأملاح الهيدروجينية للفلزّات ذوات أعداد التأكسد المتغيّرة	
$NaHSO_4$	كبريتات الصوديوم الهيدروجينية	$Fe(HSO_4)_2$	كبريتات الحديد II الهيدروجينية
$NaHCO_3$	كربونات الصوديوم الهيدروجينية	$Fe(H_2PO_4)_3$	فوسفات الحديد III ثنائية الهيدروجين
$Ca(HCO_3)_2$	كربونات الكالسيوم الهيدروجينية		

جدول (4)
أسماء بعض الأملاح الهيدروجينية

مراجعة الدرس 1-1

1. سمِّ كلًّا من الأملاح التالية وحدِّد الحمض والقاعدة المكوّنين لها:
   - (أ) $CaCl_2$
   - (ب) K_2S
   - (جـ) $CuCl_2$
   - (د) KNO_3
   - (هـ) $CuCl$
   - (و) KNO_2
2. اذكر أنواع الأملاح مع مثال لكلّ منها.

الدرس 1-2

تميّؤ الأملاح
Salts Hydrolysis

الأهداف العامة

- يستنتج مفهوم تميّؤ الأملاح.
- يفسّر تأثير المحاليل المائية للأملاح.

شكل (2)
أقراص مضادّة للحموضة

عندما يذوب ملح ما في الماء، قد يكون المحلول الناتج متعادلًا، مثل كلوريد الصوديوم ونيترات البوتاسيوم. كما أنّ الأس الهيدروجيني pH لهذه المحاليل يساوي 7. من ناحية أخرى، اشتهرت مركّبات كربونات الكالسيوم وكربونات المغنيسيوم وبيكربونات الصوديوم بأنّها أملاح مضادّة للحموضة (شكل 2). وتعمل عن طريق التفاعل المباشر مع حمض المعدة وتخفّف الحرقة فيها بواسطة معادلة هذا الحمض. يمكن الاستنتاج من ذلك أنّ محاليل هذه الأملاح لها خواصّ قاعدية كي تعادل فائض حمض الهيدروكلوريك الموجود في المعدة.

هل الأملاح كلّها متعادلة أو قاعدية؟ ما العملية التي تُنتج هذه المحاليل المتنوّعة؟ وما الذي يحدّد طبيعة المحلول المائي؟

ما هو تصنيف الأملاح بحسب تأثير محاليلها المائية؟

1. تميّؤ الأملاح Salt Hydrolysis

ينتج الملح عن اتّحاد كمّيات متكافئة من الحمض والقاعدة، لذا نتوقّع أن يكون متعادلًا. إلّا أنّ بعض الأملاح لا تكون متعادلة عند إذابتها في الماء، فبعضها يكون قاعديًّا وبعضها يكون حمضيًّا والبعض الآخر يكون متعادلًا. تتفكّك بعض الأملاح بشكل تامّ عندما تذوب في الماء. تتفاعل كاتيونات بعض هذه الأملاح وأنيوناتها مع الماء لتكوين حمض ضعيف أو قاعدة ضعيفة.

يُعرَف هذا التفاعل بتميّؤ الأملاح. **ويمكن تعريف تميّؤ الملح Hydrolysis of Salt على أنّه تفاعل بين أيونات الملح وجزيئات الماء لتكوين حمض وقاعدة أحدهما أو كلاهما ضعيف.**

2. المحاليل المائية للأملاح Salts Solutions

تختلف نواتج تميّؤ الأملاح تبعًا لانتمائها إلى أحد الأنواع الثلاثة السابقة. فمنها ما هو متعادل، ومنها ما هو حمضي، ومنها ما هو قاعدي.

يحدّد تميّؤ الملح ونوعه طبيعة المحلول المائي للملح الذي ينتج عن ذوبان الملح في الماء.

(أ) محاليل متعادلة Neutral Solutions

تنتج المحاليل المتعادلة عن ذوبان ملح متعادل ناتج عن تفاعل حمض قوي مع قاعدة قوية. على سبيل المثال، يتفكّك كلوريد الصوديوم NaCl بشكل تامّ في الماء لينتج كاتيون الصوديوم Na^+ وأنيون الكلوريد Cl^-. كما تتأيّن جزئيات الماء لتنتج كاتيون الهيدرونيوم H_3O^+ وأنيون الهيدروكسيد OH^-. فتكون المعادلة على الشكل التالي:

$$NaCl_{(s)} \longrightarrow Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

$$2H_2O_{(l)} \leftrightarrows H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

تتواجد الأيونات الأربعة Na^+ وCl^- وH_3O^+ وOH^- في المحلول المائي للملح.

لا تتفاعل أيونات Na^+ و Cl^- مع الماء لأنّها مشتقّة من قاعدة قوية وحمض قوي. لذلك، يكون تركيز كاتيون الهيدرونيوم H_3O^+ مساويًا لتركيز أنيون الهيدروكسيد OH^-.

$$[H_3O^+] = [OH^-] = \sqrt{K_w}$$

عند درجة حرارة 25 °C، يساوي ثابت تأيّن الماء K_w 10^{-14}. يدلّ ذلك على أنّ:

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}\ M$$

ويكون الأس الهيدروجيني pH للمحلول المائي لهذا الملح مساويًا لِـ 7 (pH = 7).

(ب) محاليل قاعدية Basic Solutions

تنتج المحاليل القاعدية عن تميّؤ ملح قاعدي ناتج عن تفاعل حمض ضعيف مع قاعدة قوية. على سبيل المثال، يتفكّك ملح أسيتات الصوديوم CH_3COONa بشكل تامّ في الماء لينتج كاتيون الصوديوم Na^+ وأنيون الأسيتات CH_3COO^-، كما تتأيّن جزيئات الماء لتنتج كاتيون الهيدرونيوم H_3O^+ وأنيون الهيدروكسيد OH^-.

$$CH_3COONa_{(s)} \longrightarrow CH_3COO^-_{(aq)} + Na^+_{(aq)}$$
$$2H_2O_{(l)} \leftrightharpoons H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

يتميّأ أنيون الأسيتات لينتج حمض الأستيك وأنيون الهيدروكسيد، كما هو موضّح في المعادلة التالية:

$$CH_3COO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \leftrightharpoons CH_3COOH_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

على الرغم من أنّ هذا التفاعل محدود جدًّا، إلّا أنّ تركيز أنيون الهيدروكسيد يزداد في المحلول، ما يؤدّي إلى زيادة في الأس الهيدروجيني ليصبح أكبر من 7 ($pH > 7$) فيكون المحلول قاعديًّا.

لا يتميّأ كاتيون Na^+ لأنّه يشتقّ من قاعدة قوية.

(جـ) محاليل حمضية Acidic Solutions

تنتج المحاليل الحمضية عن تميّؤ ملح حمضي ناتج عن تفاعل حمض قويّ مع قاعدة ضعيفة. على سبيل المثال، يتفكّك ملح كلوريد الأمونيوم NH_4Cl بشكل تامّ في الماء لينتج كاتيون الأمونيوم NH_4^+ وأنيون الكلوريد Cl^-، كما تتأيّن جزيئات الماء لتنتج كاتيون الهيدرونيوم H_3O^+ وأنيون الهيدروكسيد OH^-.

$$NH_4Cl_{(s)} \longrightarrow NH^+_{4(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$
$$2H_2O_{(l)} \leftrightharpoons H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

يتميّأ كاتيون الأمونيوم لينتج الأمونيا NH_3 وكاتيون الهيدرونيوم H_3O^+ كما هو موضّح في المعادلة التالية:

$$NH^+_{4(aq)} + H_2O_{(l)} \leftrightharpoons NH_{3(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

على الرغم من أنّ هذا التفاعل محدود جدًّا، إلّا أنّ تركيز كاتيون الهيدرونيوم يزداد في المحلول، ما يؤدّي إلى نقص في الأس الهدروجيني ليصبح أقلّ من 7 ($pH < 7$) فيكون المحلول حمضيًّا.

لا يتميّأ أنيون Cl^- مع الماء، لأنّه يشتقّ من حمض قوي.

ملاحظة: تعتمد طبيعة المحاليل الناتجة عن تفاعل حمض ضعيف وقاعدة ضعيفة على القوى النسبية للأحماض الضعيفة والقواعد الضعيفة. كما تعلّمت سابقًا أنّ الحمض الضعيف يتميّز بثابت تأيّن الحمض K_a والقاعدة الضعيفة بثابت تأيّن القاعدة K_b. تبعًا لقيم K_a و K_b، يمكن تصنيف المحاليل المائية التي تنتج في هذه الحالة على الشكل التالي:

- إذا كانت $K_a < K_b$ يكون المحلول قاعديًّا.
- إذا كانت $K_b < K_a$ يكون المحلول حمضيًّا.
- إذا كانت $K_a = K_b$ يكون المحلول متعادلًا.

اكتشف بنفسك

المحاليل المائية للأملاح

لإجراء هذا النشاط، يجب توفّر ما يلي: عدد 3 دورق مخروطي (100 mL)، مخبار مدرّج (50 mL)، قطّارة، أزرق البروموثيمول، المحاليل المائية التالية: محلول كلوريد الصوديوم NaCl بتركيز 0.1 M، محلول كلوريد الأمونيوم NH_4Cl بتركيز 0.1 M، محلول أسيتات الصوديوم CH_3COONa بتركيز 0.1 M.

1. ضَع 50 mL من كلّ محلول من المحاليل الثلاثة في ثلاثة دوارق مخروطية، كلّ على حدة بواسطة المخبار المدرّج.
2. أضِف من 5 إلى 10 قطرات من أزرق البروموثيمول إلى كلّ من المحاليل الثلاثة بواسطة القطّارة. رُجّ كلّ من الدوارق الثلاثة.
3. ماذا تلاحظ؟
4. هل يمكن استنتاج قيمة pH لكلّ من المحاليل الثلاثة؟

مراجعة الدرس 1-2

5. عرِّف تميّؤ الملح.
6. مستعينًا بالمعادلات، أيّ من المحاليل المائية التالية تتوقّع أن تكون حمضية أو قاعدية أو متعادلة؟

(أ) $KBr_{(aq)}$ (ب) $NH_4NO_{3(aq)}$ (جـ) $HCOONa_{(aq)}$

الدرس 1-3

حاصل الإذابة
Solubility Product

الأهداف العامة

- يعرّف المحلول المشبّع.
- يستنتج مفهوم حاصل الإذابة، ويكتب تعبير ثابت حاصل الإذابة.
- يتوقّع الظروف التي يمكن عندها ترسيب مادّة ذائبة من محلولها المشبّع.
- يتوقّع الظروف التي يمكن عندها إذابة إلكتروليت شحيح الذوبان.

شكل (3)
الصابون

تتلخّص الطريقة التقليدية لصناعة الصابون في المنزل، والتي ما زالت مستخدمة في بعض البلدان العربية، في أربع خطوات هي: التصبّن، وفصل الصابون، وإتمام التصبين، والعمليات النهائية إضافة عطور وقولبة الصابون وتقطيعه.

يشكّل الصابون (شكل 3) ملحًا يتكوّن من كاتيون الصوديوم Na^+ وأنيون كربوكسيلات $R-COO^-$ كما توضّح المعادلة التالية:

$$R-COONa_{(s)} \underset{\text{ذوبان}}{\overset{\text{ترسيب}}{\rightleftharpoons}} R-COO^-_{(aq)} + Na^+_{(aq)}$$

يُضاف محلول مركّز من كلوريد الصوديوم إلى مزيج التفاعل، فيطفو الصابون على سطح المزيج ثمّ يُفصَل عن الموادّ الأخرى التي تبقى في مزيج التفاعل.

ما دور ملح كلوريد الصوديوم في هذه العملية؟

1. أنواع المحاليل Types of Solutions

إذا أضفت ملعقة من ملح الطعام إلى كأس زجاجية تحتوي على 100 mL من الماء عند درجة حرارة 20 °C تقريبًا، فإنّ الملح يذوب في الماء بسهولة مع قليل من التحريك. وإذا أضفت ملعقة أخرى من الملح فقد لا تذوب كليًّا مهما طال التحريك، وتترسّب الكمّية الزائدة في قاع الكأس. ويكون المحلول قد أصبح مشبّعًا.

إذا سُخِّن المزيج، فسوف تذوب الكمّية الزائدة. وعند ترك الكأس جانبًا ليستعيد درجة الحرارة 20 °C، سوف تظهر بعض الترسيبات. وإن لم تظهر يكون المحلول فوق مشبّع.

يمكن تصنيف المحاليل إلى ثلاثة أنواع:

- **المحلول المشبّع Saturated Solution هو المحلول الذي يحتوي على أكبر كمّية من المذاب عند درجة حرارة معيّنة، ويكون في حالة اتّزان ديناميكي.**
- **المحلول فوق المشبّع Supersaturated Solution هو المحلول الذي يحتوي على كمّية من المادّة المذابة أكبر مما في المحلول المشبّع عند الظروف ذاتها.**
- **المحلول غير المشبّع Undersaturated Solution هو المحلول الذي يحتوي على كمّية من المادّة المذابة أقلّ مما في المحلول المشبّع عند الظروف ذاتها وله القدرة على إذابة كمّيات إضافية من المذاب عند إضافتها إليه من دون ترسيب.**

2. الذوبانية Solubility

عندما يصبح المحلول مشبّعًا، يتوقّف المذاب عن الذوبان. ولكن هذا لا يعني أنّه في حالة سكون، حيث إنّ عددًا من جسيمات المذاب يذوب في المحلول. وفي الوقت نفسه، فإنّ عددًا مساويًا من الجسيمات الذائبة تصطدم بالمادّة الصلبة المتبقية في قاع الإناء وتترسب. توصف هذه الحالة بحالة اتّزان ديناميكي، وهي الحالة التي يكون فيها معدّل ذوبان المذاب مساويًا تمامًا لمعدّل ترسّبه.

$$\text{محلول} \underset{\text{ذوبان}}{\overset{\text{ترسيب}}{\rightleftharpoons}} \text{مذيب} + \text{مذاب}$$

تدلّ الذوبانية Solubility على كمّية المذاب اللازمة لإنتاج محلول مشبّع في كمّية محددة من المذيب وعند درجة حرارة معيّنة. تعبر الذوبانية عن تركيز المحلول المشبّع عند درجة حرارة معيّنة.

3. ثابت حاصل الإذابة وأهمّيته

Solubility Product Constant and its Importance

تختلف الأملاح باختلاف ذوبانها في الماء. بشكل عامّ، تذوب مركّبات الفلزّات القلوية في الماء. مع ذلك، هناك الكثير من المركّبات الأيونية التي تكون غير قابلة للذوبان. على سبيل المثال، إنّ العديد من المركّبات التي تحتوي على الفوسفات، أو الكبريتيد، أو الكبريتيت، أو أيونات الكربونات هي غير قابلة للذوبان. نستثني منها المركّبات التي يتمّ فيها الجمع بين هذه الأنيونات وكاتيونات الأمونيوم أو كاتيونات الفلزّات القلوية.

يمكن أن تصنَّف الأملاح بحسب إذابتها في الماء إلى مجموعتين:

- **الأملاح القابلة للذوبان Soluble Salts:** هي أملاح تذوب كمّية كبيرة منها في الماء قبل أن يتكوّن راسب الملح.
- **الأملاح غير القابلة للذوبان Insoluble Salts:** هي أملاح تذوب كمّية قليلة جدًّا منها في الماء وتُسمّى أحيانًا الأملاح شحيحة الذوبان.

يلخّص الجدول (5) قابلية ذوبان بعض الأملاح في الماء:

المركّبات	الذوبان	الاستثناءات
أملاح المجموعة 1A الفلزّات والأمونيوم	قابلة للذوبان	بعض مركّبات الليثيوم
نيترات، كلورات وبيركلورات	قابلة للذوبان	
كبريتات	قابلة للذوبان	مركّبات الرصاص، الفضّة، الزئبق، الباريوم، الاسترانشيوم والكالسيوم
كلوريد، بروميد ويوديد	قابلة للذوبان	مركّبات الفضّة وبعض مركّبات الزئبق والرصاص
كبريتيد وهيدروكسيد	معظمها غير قابل للذوبان	كبريتيد الفلزّات القلوية والهيدروكسيد تذوب. مركّبات الباريوم، والاسترانشيوم والكالسيوم شحيحة الذوبان.
كربونات، فوسفات وكبريتيت	غير قابلة للذوبان	مركّبات الفلزّات القلوية وكاتيونات الأمونيوم

جدول (5)
قابلية ذوبان بعض الأملاح في الماء

بصفة عامّة، إذا افترضنا مركّبًا أيونيًّا شحيح الذوبان في الماء صيغته الكيميائية العامّة A_mB_n، تذوب كمّية صغيرة جدًّا منه ويتفكّك في محلوله المشبّع المتّزن كما يلي:

$$A_mB_n \rightleftharpoons mA + nB$$

حُذفَت الشحنات عن الأيونات لتبسيط المعادلة، بحيث A و B تمثّلان الكاتيونات والأنيونات المكوّنة للمركّب الأيوني، بينما m وn تمثّلان عدد مولات الكاتيونات والأنيونات في الصيغة الكيميائية على التوالي وعليه يتمّ التعبير عن ثابت الاتّزان لهذا المركّب بالعلاقة التالية:

$$K_{eq} = \frac{[A]^m \times [B]^n}{[A_m B_n]}$$

$$K_{eq} \times [A_m B_n] = [A]^m \times [B]^n$$

$$K_{sp} = [A]^m \times [B]^n$$

يُسمّى هذا الثابت **ثابت حاصل الإذابة Constant Solubility Product** ويُشار إليه بالرمز K_{sp}.

ويمكن تعريف **ثابت حاصل الإذابة K_{sp}**، لأيّ مركّب أيوني شحيح الذوبان، بأنّه **حاصل ضرب تركيز الأيونات، مقدّرًا بالمول / لتر $mol.L^{-1}$، والتي تتواجد في حالة اتّزان في محلولها المشبّع، كلّ مرفوع إلى الأسّ الذي يمثّل عدد مولات (معاملات) الأيونات الموجودة في معادلة التفكّك الموزونة عند درجة حرارة معيّنة.**

إنّ قيمة حاصل الإذابة K_{sp} لكلوريد الفضّة عند درجة الحرارة 25 °C تساوي 1.8×10^{-10}.

$$AgCl_{(s)} \rightleftharpoons Ag^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

$$K_{sp} = [Ag^+] \times [Cl^-] = 1.8 \times 10^{-10}$$

يوضّح الجدول (6) ثوابت حاصل الإذابة لبعض الأملاح عند درجة الحرارة 25 °C.

الملح	K_{sp}	الملح	K_{sp}
AgCl	1.8×10^{-10}	FeS	8×10^{-19}
CaF_2	3.9×10^{-11}	PbS	3×10^{-28}
$PbCrO_4$	1.8×10^{-14}	$Al(OH)_3$	3×10^{-34}
$PbSO_4$	6.3×10^{-7}	$Ca(OH)_2$	6.5×10^{-6}
$BaSO_4$	1.1×10^{-10}	$Fe(OH)_2$	7.9×10^{-16}
$CaSO_4$	2.4×10^{-5}	$CaCO_3$	4.5×10^{-9}
Ag_2S	8×10^{-51}	$BaCO_3$	5×10^{-9}

جدول (6)
قيمة ثابت حاصل الإذابة لبعض الأملاح عند 25 °C

مثال (1)

احسب تركيزات كاتيونات الفضّة وأنيونات الكلوريد في المحلول المشبّع لكلوريد الفضّة عند درجة الحرارة 25 °C، علمًا أنّ: $K_{sp(AgCl)} = 1.8 \times 10^{-10}$.

1. حلِّل: ضَع خطّة استراتيجية لحلّ السؤال.

اكتب معادلة تفكّك كلوريد الفضّة من المحلول المشبّع وتعبير ثابت حاصل الإذابة لحساب تركيزات كاتيونات الفضّة وأنيونات الكلوريد.

2. حلّ: طبّق الخطّة الاستراتيجية لحلّ السؤال.

المعادلة الكيميائية لتفكّك كلوريد الفضّة:

$$AgCl_{(s)} \rightleftharpoons Ag^{+}_{(aq)} + Cl^{-}_{(aq)}$$

عند الاتّزان الكيميائي:

$$[Cl^-] = [Ag^+]$$

ثابت حاصل الإذابة:

$$K_{sp} = [Ag^+] \times [Cl^-] = 1.8 \times 10^{-10}$$
$$K_{sp} = [Ag^+] \times [Ag^+] = 1.8 \times 10^{-10}$$
$$[Ag^+]^2 = 1.8 \times 10^{-10}$$
$$[Ag^+] = 1.3 \times 10^{-5}\ mol/L$$
$$[Cl^-] = 1.3 \times 10^{-5}\ mol/L$$

3. قيِّم: هل النتيجة لها معنًى؟

إنّ قيمة حاصل ضرب $[Ag^+]$ و$[Cl^-]$ تساوي قيمة ثابت حاصل الإذابة لـ AgCl.

أسئلة تطبيقية وحلّها

1. احسب تركيزات كاتيونات الكالسيوم وأنيونات الفلوريد في المحلول المشبّع فلوريد الكالسيوم عند درجة الحرارة 25 °C، علمًا أنّ $K_{sp(CaF_2)} = 3.9 \times 10^{-11}$.

   الحلّ: $[Ca^{2+}] = 2.13 \times 10^{-4}\ mol/L$

   $[F^-] = 4.27 \times 10^{-4}\ mol/L$

2. احسب تركيزات كاتيونات الفضّة وأنيونات الكبريتيد في المحلول المشبّع كبريتيد الفضّة عند درجة الحرارة 25 °C، علمًا أنّ $K_{sp(Ag_2S)} = 8 \times 10^{-51}$.

   الحلّ: $[Ag^+] = 2.52 \times 10^{-17}\ mol/L$

   $[S^{2-}] = 1.26 \times 10^{-17}\ mol/L$

4. ظروف الذوبان والترسيب في المحلول المشبّع

Conditions of Solubility and Precipitation in Saturated Solutions

يمكن تعريف الحاصل الأيوني (Q) على أنّه حاصل ضرب تركيزات الأيونات الموجودة في المحلول (سواء كان غير مشبّع، أو مشبّع أو فوق مشبّع) كلّ مرفوع إلى أسّ يساوي عدد مولاته في الصيغة.

يمكن توقُّع الظروف التي تؤدّي إلى ترسيب مادّة ذائبة في المحلول أو إذابة مادّة مترسّبة، وذلك بمقارنة ثابت حاصل الإذابة K_{sp} للمادّة مع الحاصل الأيوني Q لها، فإذا كان:

- $Q < K_{sp}$ يكون المحلول غير مشبّع ولديه القدرة على إذابة كمّية أكبر من المذاب.
- $Q = K_{sp}$ يكون المحلول مشبّع ومتّزن ولن يتكوّن راسب.
- $Q > K_{sp}$ يكون المحلول فوق مشبّع ويحدث ترسيب.

1.4 إذابة إلكتروليت شحيح الذوبان

Dissolution of a Low Soluble Electrolyte

الفكرة العامّة هي تقليل تركيز أحد أيونات الملح في المحلول المشبّع وذلك بإضافة مادّة تعمل على ذلك، فيختلّ الاتّزان. وبحسب مبدأ لوشاتيليه، تصبح قيمة الحاصل الأيوني Q في المحلول أقلّ من قيمة ثابت حاصل الإذابة (K_{sp}) لهذا الملح فتذوب كمّية جديدة منه لإعادة الاتّزان مرّة أخرى. ولكن كيف يتمّ ذلك؟

(أ) تكوين إلكتروليت ضعيف Formation of a Weak Electrolyte

هناك الكثير من الموادّ التي تكون شحيحة الذوبان في الماء، مثل هيدروكسيد المغنيسيوم وهيدروكسيد المنجنيز وكربونات الكالسيوم وكبريتيد الحديد II، وتذوب بإضافة حمض قوي مثل حمض الهيدروكلوريك أو حمض النيتريك إليها، فما السبب في ذلك؟

يذوب هيدروكسيد المنجنيز $Mn(OH)_2$ II شحيح الذوبان في الماء عند إضافة حمض الهيدروكلوريك إلى محلوله المشبع.

يتّحد أنيون الهيدروكسيد في المحلول مع كاتيون الهيدرونيوم من الحمض المضاف مكوّنًا معه إلكتروليت ضعيف التأيّن (الماء)، فتصبح قيمة الحاصل الأيوني لهيدروكسيد المنجنيز $[Mn^{2+}] \times [OH^-]^2$ أقلّ من قيمة ثابت حاصل الإذابة (K_{sp}) له فيذوب.

$$Mn(OH)_{2(s)} \rightleftharpoons Mn^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$$

$$H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightleftharpoons 2H_2O_{(l)}$$

بالمثل، عند إضافة حمض الهيدروكلوريك إلى ملح كربونات الكالسيوم

($CaCO_3$) شحيح الذوبان في الماء، فإنه يذوب لأنّ أنيون الكربونات في المحلول يتّحد مع كاتيون الهيدرونيوم من الحمض المضاف مكوّنًا معه إلكتروليت ضعيف التأيّن (حمض الكربونيك). فتصبح قيمة الحاصل الأيوني لكربونات الكالسيوم $[Ca^{2+}] \times [CO_3^{2-}]$ أقلّ من قيمة ثابت حاصل الإذابة K_{sp} له فيذوب.

$$CaCO_{3(s)} \rightleftharpoons Ca^{2+}_{(aq)} + CO^{2-}_{3(aq)}$$

$$2H_3O^{+}_{(aq)} + CO^{2-}_{3(aq)} \rightleftharpoons H_2CO_{3(aq)} + 2H_2O_{(l)}$$

(ب) تكوين أيون متراكب Formation of a Complex Ion

يمكن تقليل تركيز الأيونات الفلزّية (الكاتيونات) للمركّبات شحيحة الذوبان بارتباطها مع جزيئات متعادلة أو أيونات أخرى مكوّنة **أيونات متراكبة Complex Ions** ثابتة، مثل كاتيون النحاس الأموني المتراكب $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$، وكاتيون الفضّة الأموني المتراكب $[Ag(NH_3)_2]^{+}$.

فعند إضافة محلول الأمونيا إلى هيدروكسيد النحاس II ($Cu(OH)_2$) شحيح الذوبان في الماء، فإنّه يذوب لأنّ كاتيون النحاس II في المحلول يتّحد مع الأمونيا مكوّنًا معها كاتيون النحاس الأموني المتراكب $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ وهو أيون ثابت. فتصبح قيمة الحاصل الأيوني لهيدروكسيد النحاس II $[Cu^{2+}] \times [OH^{-}]^2$ أقلّ من قيمة ثابت حاصل الإذابة K_{sp} له فيذوب.

$$Cu(OH)_{2(s)} \rightleftharpoons Cu^{2+}_{(aq)} + 2OH^{-}_{(aq)}$$

$$4NH_{3(aq)} + Cu^{2+}_{(aq)} \longrightarrow [Cu(NH_3)_4]^{2+}$$

بالمثل، عند إضافة محلول الأمونيا إلى كلوريد الفضّة (AgCl) شحيح الذوبان في الماء، فإنّه يذوب، لماذا؟

5. تأثير الأيون المشترك Common Ion Effect

في النظام المتّزن التالي الذي يحدث في المحلول المشبّع لكلوريد الفضّة:

$$AgCl_{(s)} \rightleftharpoons Ag^{+}_{(aq)} + Cl^{-}_{(aq)}$$

ماذا يحدث إذا أضفنا مادّة تحتوي على أيون مشابه لأحد أيونات النظام السابق مثل كلوريد الصوديوم NaCl؟

يتفكّك NaCl في المحلول كما يلي:

$$NaCl_{(s)} \longrightarrow Na^{+}_{(aq)} + Cl^{-}_{(aq)}$$

يؤدّي ذلك إلى زيادة تركيز أنيون الكلوريد المشترك، وبالتالي تصبح قيمة الحاصل الأيوني (Q) لكلوريد الفضّة $[Cl^-] \times [Ag^+]$ أكبر من قيمة ثابت حاصل الإذابة (K_{sp}) له، فيختلّ الاتّزان ويتّجه النظام نحو الاتّجاه العكسي مسبّبًا بذلك ترسيب بعض من AgCl الذائب في المحلول.

يعني ذلك أنّ ذوبان AgCl في محلول يحتوي على NaCl يكون أقلّ من ذوبانه في الماء النقي، والسبب في ذلك هو وجود أنيون الكلوريد (Cl^-) المشترك (شكل 4).

شكل (4)
راسب كلوريد الفضّة

برأيك، ماذا يحدث عند إضافة ملح نيترات الفضّة ($AgNO_3$) بدلًا من كلوريد الصوديوم إلى النظام السابق؟

بالطريقة السابقة نفسها يتفكّك $AgNO_3$ في المحلول كما يلي:

$$AgNO_{3(s)} \longrightarrow Ag^+_{(aq)} + NO^-_{3(aq)}$$

يؤدّي ذلك إلى زيادة تركيز كاتيون الفضّة المشترك، وبالتالي تصبح قيمة الحاصل الأيوني (Q) لكلوريد الفضّة $[Cl^-] \times [Ag^+]$ أكبر من قيمة ثابت حاصل الإذابة (K_{sp}) له، فيختلّ الاتّزان ويتّجه النظام نحو الاتّجاه العكسي مسبّبًا بذلك ترسيب بعض من AgCl الذائب في المحلول.

يعني ذلك أنّ ذوبان AgCl في محلول يحتوي على $AgNO_3$ يكون أيضًا أقلّ من ذوبانه في الماء النقي، والسبب في ذلك هو وجود كاتيون الفضّة (Ag^+) المشترك.

نستنتج ممّا سبق أنّ تأثير الأيون المشترك هو عبارة عن تقليل تفكّك إلكتروليت ضعيف نتيجة إضافة أحد أيوناته لمحلوله المشبّع المتّزن.

ولكن هل يتكوّن الراسب عند إضافة مادّة فيها أيون مشترك للمحلول فحسب؟

مثال (2)

توقّع إذا كان هناك تكوين راسب لكبريتات الباريوم عند إضافة 0.5 L من محلول $Ba(NO_3)_2$ تركيزه 0.002 mol/L إلى 0.5 L من محلول Na_2SO_4 تركيزه 0.008 mol/L لتكوين محلول حجمه 1 L، علمًا أنّ: $K_{sp(BaSO_4)} = 1.1 \times 10^{-10}$.

1. حلِّل: ضَع خطّة استراتيجية لحلّ السؤال.

اكتب معادلة تفكّك كبريتات الباريوم في محلوله المشبّع واحسب قيمة حاصل الإذابة مع مقارنتها بثابت حاصل الإذابة.

2. حلّ: طبّق الخطّة الاستراتيجية لحلّ السؤال.

المعادلة الكيميائية لتفكّك كبريتات الباريوم في محلوله المشبّع هي:

$$BaSO_{4(s)} \rightleftharpoons Ba^{2+}_{(aq)} + SO_{4\,(aq)}^{2-}$$

حساب عدد مولات الأيونات:

$$n_{Ba^{2+}} = 0.5 \times 0.002 = 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n_{SO_4^{2-}} = 0.5 \times 0.008 = 4 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

حساب تركيزات الأيونات في 1L من المحلول:

$$[Ba^{2+}] = \frac{10^{-3}}{1} = 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$[SO_4^{2-}] = \frac{4 \times 10^{-3}}{1} = 4 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

حساب قيمة الحاصل الأيوني:

$$Q = [Ba^{2+}] \times [SO_4^{2-}] = 10^{-3} \times 4 \times 10^{-3} = 4 \times 10^{-6}$$

$$Q = [Ba^{2+}] \times [SO_4^{2-}] > K_{sp(BaSO_4)} = 1.1 \times 10^{-10}$$

∴ يتكون راسب.

3. قيِّم: هل النتيجة لها معنًى؟

إنّ الحاصل الأيوني أكبر من ثابت حاصل الإذابة، ما يعني ترسّب بعض من الملح في قاع المحلول.

أسئلة تطبيقية وحلّها

1. توقّع إذا كان هناك تكوين راسب كلوريد الرصاص $PbCl_2$ عند إضافة 0.025 mol من $CaCl_2$ إلى 0.015 mol من $Pb(NO_3)_2$ مع كمّية من الماء للحصول على محلول حجمه 1 L، علمًا أنّ: $K_{sp(PbCl_2)} = 1.7 \times 10^{-5}$.

   الحلّ: يتكوّن راسب.

2. توقّع إذا كان هناك تكوين راسب لكربونات الكالسيوم عند إضافة 0.5 L من محلول $Ca(NO_3)_2$ تركيزه 0.001 mol/L إلى 0.5 L من محلول Na_2CO_3 تركيزه 0.0008 mol/L لتكوين محلول حجمه 1L، علمًا أنّ: $K_{sp(CaCO_3)} = 4.5 \times 10^{-9}$.

   الحلّ: يتكوّن راسب.

مراجعة الدرس 3-1

1. ما هي أنواع المحاليل بحسب كمية المادة المذابة فيها؟ وما علاقتها بظروف الترسيب؟
2. فسّر تأثير الأيون المشترك على إمكانية ترسيب مادة من محلولها المشبّعة.
3. إذا كان تركيز أيون الرصاص Pb^{2+} في محلول مشبّع من يوديد الرصاص (PbI_2) هو 2×10^{-2} mol/L، احسب حاصل الإذابة.

فقرة إثرائية

معلومات إضافية

مكافحة تآكل الأسنان

تتركّب مينا الأسنان من مادّة غير قابلة للذوبان في الماء تُسمّى هيدروكسي أباتيت $Ca_5(PO_4)_3OH$. قد تذوب هذه المادّة أو تتآكل بحيث تتفكّك مينا الأسنان داخل الفم بحسب الاتّزان التالي:

$$Ca_5(PO_4)_3OH_{(s)} \rightleftharpoons 5Ca^{2+}_{(aq)} + 3PO^{3-}_{4(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

وعند تناول الإنسان موادّ سكّرية، تتخمّر هذه الأخيرة وينتج عنها كاتيونات الهيدرونيوم (H_3O^+) التي تتّحد مع أنيونات الهيدروكسيد (OH^-) ويتكوّن الماء، وتتّحد أيضًا مع (PO^{3-}_4) ويتكوّن (HPO^{2-}_4) فيختلّ الاتّزان.

وبحسب مبدأ لوشاتيليه، يؤدّي ذلك إلى المزيد من ذوبان مينا الأسنان وتآكله. وقد وُجد أنّ إضافة مركّبات الفلوريد تساعد على تقليل تآكل الأسنان عن طريق إحلال أنيون الفلوريد محلّ أنيون الهيدروكسيد (OH^-) في الهيدروكسي أباتيت، فينتج مركّب فلورو أباتيت $Ca_5(PO_4)_3F$ الذي يتميّز بثابت حاصل إذابة صغير جدًّا.

هل تستطيع الآن تفسير إضافة مركّبات الفلوريد إلى معاجين الأسنان وإلى مياه الشرب؟

المحاليل المنظِّمة
Buffer Solutions

الأهداف العامة

- يعرّف المحاليل المنظِّمة وأهمّيتها.
- يتعرّف كيفية تحضير المحاليل المنظِّمة وآلية عملها.

شكل (5)
مقطع طولي للمعدة

تؤدّي المحاليل المنظِّمة أدوارًا بالغة الأهمّية لصحّة الأجسام الحيّة ونموّها، فوجودها ضروري لضمان الانتظام الفيزيائي لعمل أجهزة الأجسام الحيّة وسير العمليات الحيوية فيها. تحتوي العصارة المعدية (شكل 5) في جسم الإنسان مثلاً، على محاليل منظِّمة حمضية لها أس هيدروجيني pH يساوي 1.4 وهي تُقارَن بحمضية محلول من حمض الهيدروكلوريك. هذه الحمضية العالية مهمّة جدًّا في عملية تحلّل البروتينات لأنّ جزيئاتها كبيرة ولا يمكن لجدران الأمعاء امتصاصها. أمّا جزيئات الأحماض الأمينية الناتجة، فتستطيع أن تنفذ عبر جدران الأمعاء ويمكن امتصاصها.

ما هو المحلول المنظِّم؟ وكيف يتمّ تحضير المحاليل المنظِّمة؟ وما هي آلية عمل المحاليل المنظِّمة؟

1. المحاليل المنظِّمة Buffer Solutions

يتطلّب إجراء الكثير من العمليات الكيميائية والحيوية وسطًا لا تتغيّر فيه قيمة الأس الهيدروجيني pH إلّا في حدود ضيّقة. تختلف محاليل الموادّ بعضها عن بعض من حيث مقاومة تغيير قيمة الأس الهيدروجيني pH.

المحلول المنظِّم Buffer Solution هو المحلول الذي يقاوم التغيُّر المفاجىء (الكبير) في قيمة الأس الهيدروجيني pH للوسط عند إضافة كمّيات قليلة من حمض (كاتيونات H_3O^+) أو قاعدة (أنيونات OH^-) إليه.

1.1 خواصّ المحلول المنظِّم

Buffer Solution Properties

يُضاف 25 mL من محلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيز 10^{-2} M إلى كأس زجاجية تحتوي على 50 mL من محلول حمض الأستيك بتركيز 10^{-2} M.

ينتج عن هذا الخليط محلول مائي يحتوي على أعداد مولات متساوية من حمض الأستيك (حمض ضعيف) وأسيتات الصوديوم. يُقسَم المحلول الناتج إلى حجمين متساويين، ويوضَع كلّ منها في كأس زجاجية سعتها 100 mL.

بعد قياس الأس الهيدروجيني pH لكلّ من المحاليل، نجد أنّه يساوي 4.8 (محلول منظِّم).

وعند إضافة 2 mL من محلول حمض الهيدروكلوريك، بتركيز 10^{-2} M إلى الكأس الأولى، ينخفض الأس الهيدروجيني بقيمة 0.2 وحدة pH.

وإذا أُضيفت كمّية أكبر من حمض الهيدروكلوريك، ينخفض الأس الهيدروجيني بشكل مفاجئ، وبالتالي يمكن استنتاج أنّ الأس الهيدروجيني pH لمحلول منظِّم ينخفض بشكل طفيف عند إضافة كمّية قليلة من حمض إليه.

عند إضافة 2 mL من محلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيز 10^{-2} M إلى الكأس الثاني، يزداد الأس الهيدروجيني بقيمة 0.2 وحدة pH.

وإذا أُضيفت كمّية أكبر من محلول هيدروكسيد الصوديوم، يزداد الأس الهيدروجيني بشكل مفاجئ. بالتالي، يمكن استنتاج أنّ الأس الهيدروجيني pH لمحلول منظِّم يزداد بشكل طفيف عند إضافة كمّية قليلة من قاعدة إليه.

بشكل عامّ، يتغيّر الأس الهيدروجيني pH بشكل طفيف عند إضافة حمض أو قاعدة بكمّيات قليلة.

ملاحظة: لا يشكّل الماء المقطَّر محلولًا منظِّمًا.

2.1 تحضير المحاليل المنظِّمة

Buffer Solution Preparation

يمكن أن يكون المحلول المنظِّم حمضيًّا أو قاعديًّا.

(أ) المحاليل المنظِّمة الحمضية Acidic Buffer Solution

يمكن الحصول على محلول منظِّم حمضي بالطرق التالية:

- بخلط محلول من حمض ضعيف ومحلول ملحه الصوديومي أو البوتاسيومي، مثل خلط محلول من حمض الأستيك (CH_3COOH) وأسيتات الصوديوم (CH_3COONa) أو البوتاسيوم، وخلط محلول من حمض الهيدروفلوريك (HF) وفلوريد الصوديوم (NaF) أو البوتاسيوم.
- بخلط محلول من حمض ضعيف وقاعدة قوية بشرط أن يكون عدد مولات الحمض الضعيف أكبر من عدد مولات القاعدة القوية، مثل خلط 0.4 mol من حمض الأستيك (CH_3COOH) مع 0.2 mol من هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) أو هيدروكسيد البوتاسيوم.

(ب) المحاليل المنظِّمة القاعدية Basic Buffer Solution

يمكن الحصول على محلول منظِّم قاعدي بالطرق التالية:

- بخلط محلول من قاعدة ضعيفة ومحلول ملحه يحتوي على الكلوريد أو النيترات، مثل محلول الأمونيا ($NH_{3(aq)}$) وكلوريد الأمونيوم (NH_4Cl) أو محلول الأمونيا ($NH_{3(aq)}$) ونيترات الأمونيوم (NH_4NO_3).
- بخلط محلول من قاعدة ضعيفة وحمض قوي بشرط أن يكون عدد مولات القاعدة الضعيفة أكبر من عدد مولات الحمض القوي، مثل 0.6 mol من محلول الأمونيا (NH_3) مع 0.3 mol من حمض الهيدروكلوريك (HCl). يوضّح الجدول (7) بعض المحاليل المنظِّمة.

اسم المحلول المنظِّم	زوج الحمض / القاعدة المرافق	pH المحلول المنظِّم (تركيز 0.1 mol/L)
حمض الأستيك/ أيون الأسيتات	CH_3COOH/CH_3COO^-	4.76
أيون الفوسفات ثنائي الهيدروجين/ أيون الفوسفات الهيدروجيني	$H_2PO_4^- / HPO_4^{2-}$	7.2
حمض الكربونيك/ أيون البيكربونات	H_2CO_3/HCO_3^-	6.46
أيون الأمونيوم/ الأمونيا	NH_4^+/NH_3	9.25

جدول (7)
بعض المحاليل المنظِّمة الشائعة

3.1 آلية عمل المحاليل المنظِّمة

Mechanisme of Buffer Solutions

(أ) المحاليل المنظِّمة الحمضية Acid Buffer Solution

في مخلوط مكوَّن من حمض الأستيك ومحلول أسيتات الصوديوم، يُعتبَر الملح هو المصدر الأساسي لأيون الأسيتات المشترك (القاعدة المرافقة) نظرًا إلى أنّ ملح أسيتات الصوديوم إلكتروليت قوي تامّ التفكّك بينما حمض الأستيك ضعيف التأيّن. وبذلك، يمكن التعبير عن معادلة تفكّك (تأيّن) المخلوط المكوَّن من حمض الأستيك وملح أسيتات الصوديوم كما يلي:

$$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

$$CH_3COONa_{(s)} \longrightarrow CH_3COO^-_{(aq)} + Na^+_{(aq)}$$

- عند إضافة كمّية قليلة من حمض قوي مثل حمض الهيدروكلوريك (HCl) إلى المخلوط، يتأيّن تمامًا كالتالي:

$$HCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

فيزداد تركيز كاتيونات الهيدرونيوم، وبالتالي يتّحد جزء من كاتيونات الهيدرونيوم مع أنيونات الأسيتات الموجودة في المحلول مكوِّنا حمض الأستيك ضعيف التأيّن، ويزول تأثير كاتيونات الهيدرونيوم الناتجة من الحمض القوي المضاف لأقصى حدّ ممكن، وبذلك تبقى قيمة pH للمخلوط ثابتة تقريبًا.

$$CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)} \rightleftharpoons CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

- عند إضافة كمّية قليلة من قاعدة قوية مثل هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) إلى المخلوط، تتفكّك القاعدة تمامًا في المحلول كالتالي:

$$NaOH_{(s)} \longrightarrow Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

وبذلك تتكوّن أنيونات الهيدروكسيد التي تتفاعل مع كاتيونات الهيدرونيوم الموجودة في المخلوط مكوِّنة الماء وهو إلكتروليت ضعيف:

$$OH^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)} \rightleftharpoons 2H_2O_{(l)}$$

فيزول أثر أنيونات الهيدروكسيد OH^- المضافة من القاعدة لأقصى حدّ ممكن. أمّا النقص في تركيز كاتيونات الهيدرونيوم $[H_3O^+]$، فيتمّ تعويضه عن طريق تأيّن جزء من حمض الأستيك الضعيف، بحسب مبدأ لوشاتيليه، وبذلك تبقى قيمة pH للمخلوط ثابتة تقريبًا.

يتّضح من هذا المثال أنّ المخلوط المكوَّن من محلول حمض الأستيك وأسيتات الصوديوم يصلح كمحلول منظِّم لأنّه يقاوم التغيّر في قيمة pH عند إضافة حمض قوي أو قاعدة قوية إليه بكمّيات قليلة.

(ب) المحاليل المنظِّمة القاعدية Base Buffer Solution

في مخلوط مكوَّن من محلول الأمونيا وكلوريد الأمونيوم:
يمكن توضيح الطريقة التي يعمل بها محلول الأمونيا وكلوريد الأمونيوم كمحلول منظِّم بكتابة معادلة تأيّن المخلوط بشكل مبسّط كالتالي:

$$NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH^+_{4(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

$$NH_4Cl_{(s)} \longrightarrow NH^+_{4(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

- عند إضافة كمّية قليلة من حمض قوي مثل حمض الهيدروكلوريك إلى هذا المخلوط، تصبح المعادلة كالتالي:

$$HCl_{(aq)} + H_2O \longrightarrow H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

يتفاعل جزء من كاتيونات الهيدرونيوم الناتجة عن تأيّن الحمض القوي المضاف مع أنيون الهيدروكسيد مكوِّنًا الماء وهو إلكتروليت ضعيف، فتكتَب المعادلة التالية:

$$OH^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)} \rightleftharpoons 2H_2O_{(l)}$$

أمّا النقص في تركيز أنيونات الهيدروكسيد $[OH^-]$ فيتمّ تعويضه لأقصى حدّ ممكن عن طريق تأيّن جزء من محلول الأمونيا الضعيف، بحسب مبدأ لوشاتيليه، وبذلك تبقى قيمة pH للمخلوط ثابتة.

- عند إضافة كمّية قليلة من قاعدة قوية مثل هيدروكسيد الصوديوم إلى هذا المخلوط، تصبح المعادلة كالتالي:

$$NaOH_{(aq)} \longrightarrow Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

يتّحد جزء من أنيونات الهيدروكسيد الناتجة عن تفكّك القاعدة القوية المضافة مع كاتيونات الأمونيوم الموجودة في المخلوط مكوِّنة محلول الأمونيا وهو إلكتروليت ضعيف:

$$NH^+_{4(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightleftharpoons NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$$

وبذلك يقلّ تأثير أنيونات الهيدروكسيد OH^- المضافة من القاعدة القوية لأقصى حدّ ممكن.

نستنتج من الأمثلة السابقة أنّ المحلول المنظِّم يتكوّن غالبًا من مخلوط مكوَّن من محلولين أحدهما إلكتروليت ضعيف (حمض أو قاعدة) والآخر إلكتروليت قوي (الملح) بينهما أيون مشترك.

4.1 أهمّية المحاليل المنظِّمة

Importance of Buffer Solutions

تؤدّي المحاليل المنظِّمة دورًا أساسيًّا في الكيمياء وفي علوم الحياة.

في الكيمياء، تُستخدَم المحاليل المنظِّمة لمعايرة جهاز قياس الأس الهيدروجيني، وتُستَخدم أيضًا في عدّة تجارب وأنشطة كيميائية بحيث تتطلّب بعض التفاعلات أن يكون للأس الهيدروجيني pH قيمة يمكن التحكّم بها.

في علوم الحياة، تتطلّب الكثير من العمليات الحيوية عدم إحداث تغيُّر كبير في قيمة الأس الهيدروجيني pH لوسط التفاعل، أي أن تبقى هذه القيمة قريبة من قيمة معيّنة.

لا يمكن أن يؤدّي الدم في جسم الإنسان وظيفة نقل الأكسجين إلى الخلايا إلّا إذا كانت قيمة الأس الهيدروجيني pH تساوي 7.4. كما تحتاج الإنزيمات إلى وسط تكون فيه قيمة الأس الهيدروجيني pH ثابتة تقريبًا لتعمل بنشاط. أمّا إذا تغيّر الأس الهيدروجيني pH للمحلول، فسيتغيّر شكل الإنزيمات أو ستفقد وظيفتها الحيوية.

مراجعة الدرس 1-4

1. عرِّف المحلول المنظِّم، وحدِّد آلية عمله.
2. وضِّح بالمعادلات ما يجري عند:
   (أ) إضافة حمض قوي إلى محلول منظِّم من كلوريد الأمونيوم/محلول الأمونيا.
   (ب) إضافة قاعدة قوية إلى محلول منظِّم من كلوريد الأمونيوم/محلول الأمونيا.
3. وضّح ما يجري لقيمة الأس الهيدروجيني في الحالات التالية وفسّر إجابتك:
   (أ) إضافة حمض قوي إلى محلول منظِّم من نيتريت الصوديوم/حمض النيتروز.
   (ب) إضافة قاعدة قوية إلى محلول منظِّم من نيتريت الصوديوم/حمض النيتروز.

معايرة الأحماض والقواعد
Titration of Acids and Bases

للأحماض والقواعد أهمّية كبيرة في حياتنا اليومية والعملية والصناعية. فحمضية المياه المستخدَمة لها أثر كبير على الإنسان والحيوان والأرض الزراعية والمباني. في وقتنا الحاضر، أصبحت دراسة البيئة والأمطار الحمضية محل اهتمام الكثير من العلماء. وتُستخدم بعض الأحماض، كحمض الكبريتيك وبعض القواعد كهيدروكسيد الصوديوم والأمونيا، في الكثير من الصناعات المهمّة والضرورية بدءًا بالمنظّفات المنزلية وصولًا إلى أسمدة التربة. والواقع أنّ دراسة هذا النوع من الموادّ له عدّة فوائد. وقد أصبح من المهمّ معرفة تركيز الحمض أو القاعدة في الموادّ التي نستخدمها في حياتنا اليومية وبشكل أساسي وفعّال. والمعايرة عملية تُستخدَم لتقدير تركيز مادّة معيّنة في محلول ما بواسطة محلول آخر معلوم التركيز يُسمّى المحلول القياسي. أمّا تطبيقات المعايرة فكثيرة بما في ذلك الرعاية الصحّية (اختبار السكّر في الدم)، وصناعة الموادّ الغذائية، وصناعة مستحضرات التجميل، وإنتاج موادّ التنظيف، ومحطّات المياه، ومصانع العصير وغيرها.

الدرس 2-1

معايرة الأحماض والقواعد
Titration of Acids and Bases

الأهداف العامة

- يتعرّف المعايرة بين محلول حمضي ومحلول قاعدي.
- يمثّل بيانيًّا المعايرة بين محلول حمضي ومحلول قاعدي.
- يحدّد نقاط التكافؤ على منحنيات المعايرة بين الأحماض أحادية البروتون والقواعد أحادية الهيدروكسيد.

شكل (6)
أسماك ميّتة في بحيرة جرّاء المطر الحمضي

عندما يحلّل الباحثون البيئيون ماء بحيرة تموت فيها الأسماك، يتعيّن عليهم معرفة تركيز الحمض الموجود في عيّنة من ماء هذه البحيرة (شكل 6).
لذلك، لا تكفي معرفة الأس الهيدروجيني pH لعيّنة ما في بعض الأحيان، إنّما نحتاج لمعرفة كمّية الحمض أو القاعدة الموجودة في هذه العيّنة.
تفسّر خواصّ الأحماض والقواعد الكثير من الظواهر. فنحن، على سبيل المثال، نتناول مضادّات الحموضة لمعادلة الحمض الزائد في المعدة.
ويستخدم المزارعون أيضًا عملية مشابهة لضبط الأس الهيدروجيني pH للتربة.

1. تفاعل التعادل بين حمض قوي (أحادي البروتون) وقاعدة قوية (أحادية الهيدروكسيد)

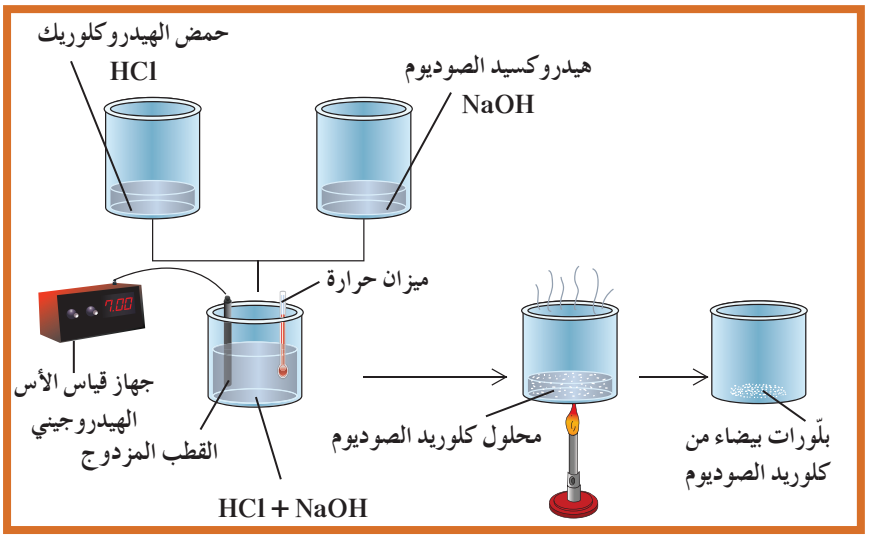
Neutralization Reaction Between a Strong Acid (Monoprotic Acid) and a Strong Base (Monohydroxy Base)

عند مزج 100 mL من محلول حمض الهيدروكلوريك (حمض أحادي البروتون) بتركيز 1 M مع 100 mL من هيدروكسيد الصوديوم (قاعدة أحادية الهيدروكسيد) بتركيز 1 M في كأس زجاجية سعتها 1 L تحتوي على ميزان للحرارة، وبعد تحريك المزيج، يشير الميزان إلى زيادة في الحرارة.

بعد ضبط جهاز قياس الأس الهيدروجيني وغسله بالماء المقطّر، يتمّ غمر القطب في المحلول الناتج (المزيج). يشير الجهاز إلى أنّ قيمة الأس الهيدروجيني pH تساوي 7. تدلّ قيمة الأس الهيدروجيني pH للمحلول الناتج على أنّ المحلول متعادل.

وعند تسخين عيّنة من المحلول الناتج وتبخُّر الماء كليًّا، تتكوّن بلّورات بيضاء من كلوريد الصوديوم (شكل 7).

عند إضافة الماء إلى كلوريد الصوديوم الذي تكوّن بعد التبخّر، يذوب الراسب وينتج محلولًا مائيًّا لكلوريد الصوديوم.



شكل (7)
تفاعل حمض الهيدروكلوريك مع هيدروكسيد الصوديوم

تدلّ ذوبانية كلوريد الصوديوم على عدم مشاركة كاتيون الصوديوم Na^+ وأنيون الكلوريد Cl^- في التفاعل. وفقًا للمعادلة الأيونية للتفاعل، نجد ما يلي:

$$(H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}) + (Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}) \longrightarrow (Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}) + 2H_2O_{(l)}$$

توضّح هذه المعادلة أنّ كاتيون الصوديوم وأنيون الكلوريد لم يشاركا في التفاعل. أمّا كاتيونات الهيدرونيوم وأنيونات الهيدروكسيد قد تفاعلا ليكوّنا الماء السائل. لذلك، يمكن كتابة المعادلة الأيونية التالية التي توضّح تفاعل التعادل بين حمض قوي وقاعدة قوية:

$$H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \longrightarrow 2H_2O_{(l)}$$

بناءً على ما سبق، إنّ تفاعل التعادل Neutralization Reaction هو تفاعل كاتيون الهيدرونيوم (كاتيون الهيدروجين) من الحمض مع أنيون الهيدروكسيد من القاعدة لتكوين الماء.

يتميّز التفاعل بين الأحماض القواعد بما يلي:

- يكون التفاعل طاردًا للحرارة.
- يكون التفاعل تامًّا عند مزج كمّيات متكافئة من الحمض والقاعدة، بحيث تُستهلَك كاتيونات الهيدرونيوم H_3O^+ وأنيونات الهيدروكسيد OH^- كلّيًّا.
- يكون المحلول المائي الناتج متعادلًا ($pH = 7$) عند تفاعل حمض قوي مع قاعدة قوية تمامًا.
- يكون المحلول المائي الناتج حمضيًّا ($pH < 7$) عند تفاعل حمض قوي مع قاعدة ضعيفة تمامًا.
- يكون المحلول المائي الناتج قاعديًّا ($pH > 7$) عند تفاعل حمض ضعيف مع قاعدة قوية تمامًا.

المحلول القياسي: هو المحلول المعلوم تركيزه بدقّة.

عندما يكون لدينا حمض وقاعدة أحدهما معلوم التركيز (محلول قياسي) والآخر مجهول التركيز ويُراد معرفة تركيزه، نقوم بإجراء عملية مخبرية تُسمّى المعايرة.

1. المعايرة Titration

1.2 معايرة قاعدة قوية بواسطة حمض قوي باستخدام أدلّة التعادل

Titration of a Strong Base with a Stong Acid Using Indicators

تتمّ معايرة حجم (20 mL) من محلول هيدروكسيد الصوديوم مجهول التركيز بمحلول قياسي من حمض الهيدروكلوريك تركيزه (0.1 M) وفقًا للخطوات التالية:

- تملأ السحاحة بحمض الهيدروكلوريك القياسي باستخدام قمع زجاجي ونضبط سطح المحلول عند صفر التدريج.
- يوضع حجم (20 mL) من محلول هيدروكسيد الصوديوم (مجهول التركيز) بواسطة الماصّة في الدورق المخروطي.
- تضاف قطرتين من دليل الميثيل البرتقالي إلى المحلول في الدورق المخروطي. يتحوّل لون المحلول إلى اللون الأصفر (لون الحالة القاعدية).
- يسحّ حمض الهيدروكلوريك من السحاحة تدريجيًّا على محلول هيدروكسيد الصوديوم في الدورق المخروطي مع رجّه باستمرار حتّى يتغيّر لون المحلول (يصبح برتقالي).
- تسجَّل حجم حمض الهيدروكلوريك المضاف من السحاحة.

- تكرَّر الخطوات من (1) إلى (5) ثلاث مرّات، وتسجَّل في كلّ مرّة حجم حمض الهيدروكلوريك المضاف من السحاحة ثمّ احسب المتوسّط الحسابي لحجم حمض الهيدروكلوريك.
- وجد حجم محلول حمض الهيدروكلوريك المضاف من السحاحة (20 mL).

عند انتهاء المعايرة التي يمكن تحديدها عند تغير لون الدليل، نكون قد وصلنا إلى نقطة التكافؤ Equivilence Point عندما يتساوى عندها عدد مولات كاتيونات هيدرونيوم الحمض مع عدد مولات أنيونات هيدروكسيد القاعدة.

يمكن التعبير عن التفاعل بالمعادلة التالية:

$$HCl_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \longrightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

$$OH^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)} \longrightarrow 2H_2O_{(l)}$$

نستنتج من المعادلة أعلاه أنّ عدد مولات كاتيونات الهيدرونيوم من حمض الهيدروكلوريك يتعادل مع عدد مولات أنيونات هيدروكسيد مساوية له من هيدروكسيد الصوديوم.

لذلك يمكن استنتاج العلاقة الرياضية التالية عند نقطة التكافؤ:

$$aA + bB \longrightarrow cC + dH_2O$$

الماء + الملح ⟵ القاعدة + الحمض

عدد مولات OH^- (من القاعدة) = عدد مولات H_3O^+ (من الحمض)

$$n_{a \times b} = n_{b \times a}$$

$$\frac{n_a}{a} = \frac{n_b}{b}$$

$$\frac{C_a \times V_a}{a} = \frac{C_b \times V_b}{b}$$

$$\frac{0.1 \times 20 \times 10^{-3}}{1} = \frac{20 \times 10^{-3} \times C_b}{1}$$

$$C_b = 0.1\ M$$

علمًا أن: C_a هي تركيز الحمض، V_a هي حجم الحمض، C_b هي تركيز القاعدة، V_b هي حجم القاعدة، a, b هي معاملات اتّحاديّة العناصر.

إنّ عملية المعايرة هي عملية كيميائية مخبرية يتمّ من خلالها معرفة حجم المحلول القياسي (حمض أو قاعدة) اللازم ليتفاعل تمامًا مع المحلول (حمض أو قاعدة) التي يُراد معرفة تركيزه.

ملاحظة: الدليل المناسب هو الدليل الذي يجب أن يتغيّر لونه عند حدوث التغيّر المفاجئ في قيمة الأس الهيدروجيني pH للمحلول حول نقطة التكافؤ ، أو الدليل الذي يتّفق مداه والمدى الذي يحدث عنده التغيّر المفاجئ في قيمة الأس الهيدروجيني pH للمحلول حول نقطة التكافؤ .
مثلًا لا يصلح الميثيل البرتقالي كدليل عند معايرة محلول حمض الأسيتيك مع محلول هيدروكسيد البوتاسيوم ، لأنّ حمض الأسيتيك ضعيف وهيدروكسيد البوتاسيوم قاعدة قوية . لذلك ، تكون قيمة الأسّ الهيدروجيني (pH) للمحلول عند نقطة التكافؤ أكبر من (7) ، ومدى دليل الميثيل البرتقالي أقلّ من (7) . بالتالي ، لا يتّفق مدى دليل الميثيل البرتقالي والمدى الذي يحدث عنده التغيّر المفاجئ في قيمة pH للمحلول حول نقطة التكافؤ .

مثال (1)

تَعادَل 10 mL من محلول حمض الكبريتيك تمامًا مع 25 mL من هيدروكسيد البوتاسيوم تركيزه $0.4\ mol.L^{-1}$. أُحسب تركيز حمض الكبريتيك .

1. حلِّل: ضَع خطّة استراتيجية لحلّ السؤال .

نكتب معادلة التفاعل:

$$H_2SO_{4(aq)} + 2KOH_{(aq)} \longrightarrow K_2SO_{4(aq)} + 2H_2O_{(l)}$$

يتبيّن من المعادلة أنّ عدد مولات القاعدة يساوي ضعف عدد مولات الحمض ، وبالتالي إذا عرفنا عدد مولات أحدهما يمكننا إيجاد عدد مولات الآخر .

2. حلّ: طبّق الخطّة الاستراتيجية لحلّ السؤال .

في هذا المثال يمكن إيجاد عدد مولات هيدروكسيد البوتاسيوم من العلاقة التالية:

$$n_{KOH} = C_b \times V_b$$
$$n_{KOH} = 0.4 \times 0.025 = 0.01\ mol$$
$$\frac{n_{KOH}}{2} = n_{H_2SO_4}$$
$$n_{H_2SO_4} = 0.005\ mol$$
$$n_a = C_a \times V_a$$
$$C_a \times 0.01 = 0.005$$
$$C_a = 0.5\ mol\ .\ L^{-1}$$

3. قيّم: هل النتيجة لها معنًى؟

يتساوى عدد مولات أنيونات الهيدروكسيد مع كاتيونات الهيدرونيوم .

أسئلة تطبيقية وحلّها

1. احسب تركيز محلول حمض الفوسفوريك إذا تَعادَل 30 mL منه مع 75 mL من محلول هيدروكسيد الصوديوم تركيزه 0.4 M لإتمام التعادل.

$$H_3PO_{4(aq)} + 3NaOH_{(aq)} \longrightarrow Na_3PO_{4(aq)} + 3H_2O_{(l)}$$

الحلّ: $C_a = 0.33\ M$

2. تمّت معايرة 20 mL من محلول هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ باستخدام حمض الهيدروكلوريك تركيزه 0.5 M. وعند تمام التفاعل، استُهلِك 25 mL من الحمض. احسب تركيز محلول هيدروكسيد الكالسيوم.

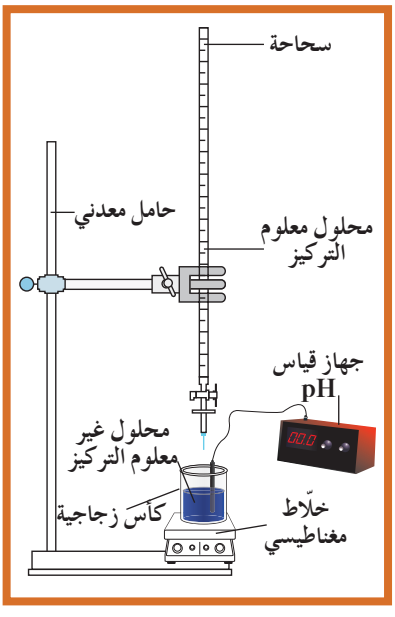
$$2HCl_{(aq)} + Ca(OH)_{2(aq)} \longrightarrow CaCl_{2(aq)} + 2H_2O_{(l)}$$

الحلّ: $C_b = 0.3125\ M$

2.2 معايرة حمض قوي (HA) مع قاعدة قوية (BOH) باستخدام جهاز قياس الأس الهيدروجيني pH

Titration of a Strong Acid with a Strong Base Using a pH Meter

يمكن إجراء عملية المعايرة وتحديد نقطة التكافؤ باستخدام جهاز قياس الأس الهيدروجيني pH ورسم منحنى المعايرة (شكل 8).



شكل (8)
الجهاز المستخدَم في المعايرة

تتمّ معايرة حمض الهيدروكلوريك (حمض قوي) بهيدروكسيد الصوديوم (قاعدة قوية) وفقًا للخطوات التالية (شكل 8):

- يُعايَر جهاز قياس الأس الهيدروجيني ويُغسَل القطب بالماء.

- تُملأ السحاحة بمحلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيز 10^{-2} M ، وتُوضَع كأس زجاجية سعتها 100 mL على خلّاط مغناطيسي وفيها 20 mL من محلول حمض الهيدروكلوريك بتركيز 10^{-2} M .
- يسجّل جهاز قياس الأس الهيدروجيني في الكأس الزجاجية قيمة pH = 2 .
- بعد تشغيل الخلّاط المغنطيسي ، يُضاف تدريجيًّا محلول هيدروكسيد الصوديوم إلى محلول حمض الهيدروكلوريك في الكأس الزجاجية .
- تُسجَّل قيمة pH عند إضافة 2 mL من المحلول القاعدي .
- تُكرَّر الخطوة السابقة وتُسجَّل في كلّ مرّة قيمة pH إلى أن تصبح قيمة الحجم الكلّي المضاف للقاعدة 30 mL (جدول 8) .

ملاحظة: عند إضافة 2 mL من محلول هيدروكسيد الصوديوم ، تتزايد قيمة pH . عندما تتزايد قيمة pH بشكل سريع ، يُضاف 0.5 mL بدل 2 mL .

V_b(mL)	pH	V_b(mL)	pH
0	2.0	19	3.6
2	2.1	19.5	4.2
4	2.2	20	7.0
6	2.3	20.5	9.4
8	2.4	21	10.1
10	2.5	22	10.5
12	2.6	24	10.9
14	2.7	26	11
16	2.9	28	11.1
18	3.3	30	11.2

جدول (8)

نتائج معايرة حمض الهيدروكلوريك بهيدروكسيد الصوديوم

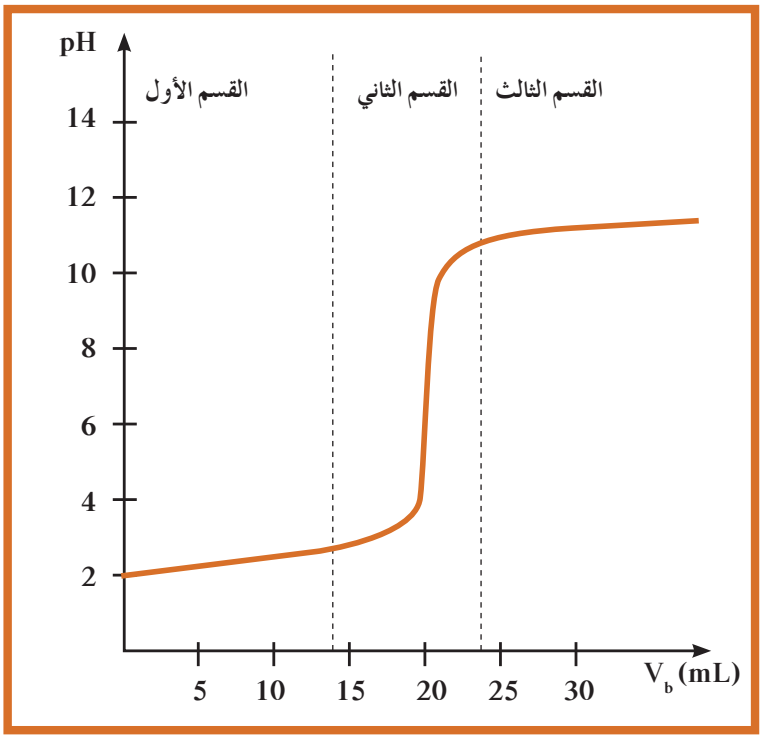
(أ) منحنى المعايرة Titration Curve

منحنى المعايرة هو العلاقة البيانية بين الأسّ الهيدروجيني (pH) للمحلول في الدورق المخروطي وحجم الحمض (أو القاعدة) المضاف من السحاحة في معايرة الأحماض والقواعد .

تساعد منحنيات المعايرة على:

- تحديد نقطة التكافؤ بدقّة ووضوح .
- اختيار الدليل المناسب للمعايرة .

باستخدام النتائج (قيم pH و V_b) الموضَّحة في الجدول (8) في خلال التجربة ، يمكن رسم منحنى المعايرة .



شكل (9)

رسم بياني يوضّح منحنى معايرة حمض قوي بواسطة قاعدة قوية.

يوضّح الرسم البياني (شكل 9) أنّ المنحنى تصاعدي ويتكوّن من ثلاثة أقسام مختلفة:

- القسم الأوّل ($V_b < 14$ mL): يوضّح أنّ الأس الهيدروجيني يتزايد بشكل بطيء. ويشكّل المنحنى في هذا القسم خطًّا شبه موازٍ للمحور الأفقي.
- القسم الثاني ($14 \text{ mL} < V_b < 24 \text{ mL}$): يوضّح أنّ الأس الهيدروجيني pH يتزايد بشكل مفاجئ على الرغم من إضافة كمّية قليلة من محلول هيدروكسيد الصوديوم. عند $V_b = 20$ mL، يغيّر المنحنى اتّجاه تقعُّره (نقطة الانقلاب).
- القسم الثالث ($V_b > 24$ mL): يوضّح أنّ الأس الهيدروجيني يعود ليتزايد بشكل بطيء في أثناء إضافة هيدروكسيد الصوديوم. يشكّل المنحنى في هذا القسم خطًّا مقاربًا.

(ب) تحديد نقطة التكافؤ Determination of Equivalence Point

يمكن تحديد نقطة التكافؤ باستخدام منحنى المعايرة.

في حالة معايرة حمض قوي بواسطة قاعدة قوية أو العكس، تكون نقطة التكافؤ عند $pH_E = 7$. بشكل عامّ، يمكن تطبيق طريقة المماسين المتوازيين الموضّحة في الشكل (10).

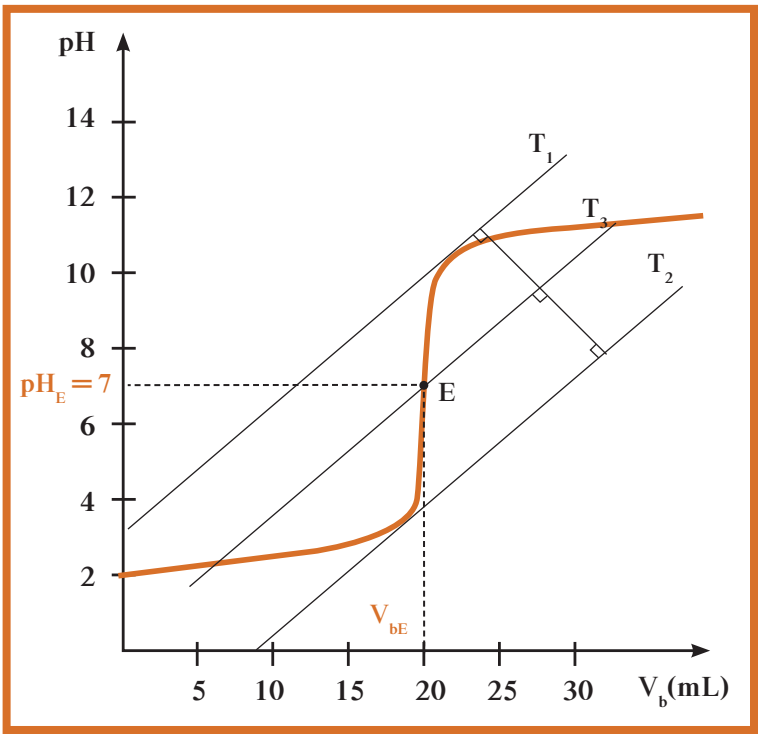
فقرة إثرائية

معلومات إضافية

طريقة المماسات المتوازية

يُرسَم أوّلًا مستقيمان T_1 و T_2 متوازيان ومماسان للمنحنى عند نقطتَي الانعطاف.

ثمّ يُرسَم مستقيم عمودي على المستقيمين T_1 و T_2. يُرسَم من منتصف هذا المستقيم مستقيم آخر عمودي عليه T_3. يعطي تقاطع المستقيم T_3 مع المنحنى نقطة التكافؤ E.



شكل (10)

رسم بياني يوضّح منحنى المعايرة مع تطبيق طريقة المماسين المتوازيين لتبيان نقطة التكافؤ .

3.2 معايرة حمض ضعيف بواسطة قاعدة قوية

Titration of a Weak Acid with a Strong Base

استخدم في هذه التجربة محلول حمض الأسيتيك بتركيز 10^{-2} mol/L ومحلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيز 10^{-2} mol/L . اتّبع الخطوات نفسها لمعايرة حمض قوي بواسطة قاعدة قوية . يوضّح الجدول (9) قيم pH المقابلة لكلّ حجم من هيدروكسيد الصوديوم أضيف إلى حمض الأسيتيك .

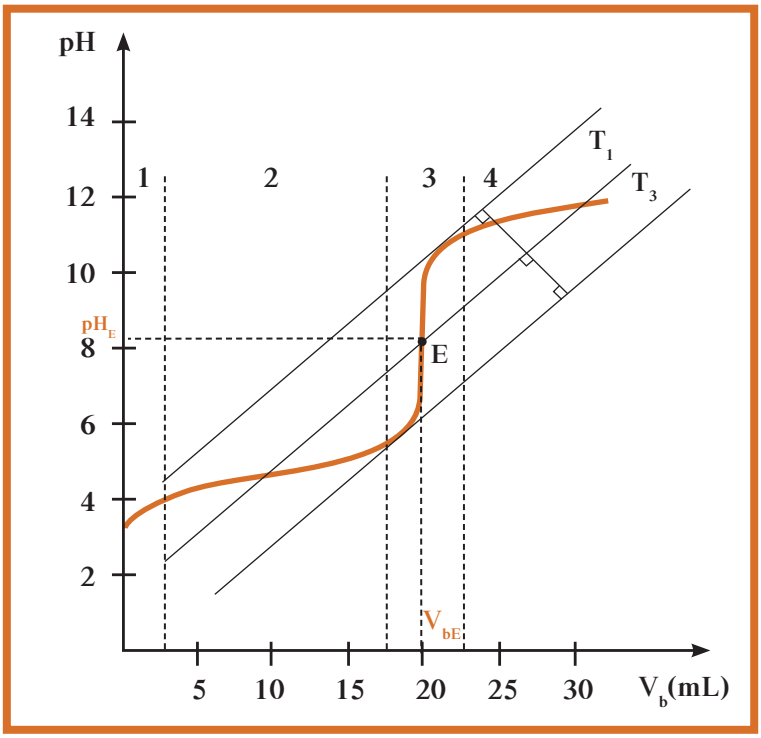
V_b(mL)	pH	V_b(mL)	pH
0	3.4	19	6.1
2	3.9	19.5	6.4
4	4.2	20	8.3
6	4.4	20.5	10.3
8	4.6	21	10.7
10	4.8	21.5	10.9
12	5.0	22	11
14	5.2	24	11.3
16	5.4	26	11.5
18	5.75	28	11.6
18.5	5.9	30	11.7

جدول (9)

نتائج معايرة حمض الأسيتيك بهيدروكسيد الصوديوم

(أ) منحنى المعايرة Titration Curve

باستخدام النتائج (قيم pH و V_b) الموضّحة في الجدول (9) في خلال التجربة، يمكنك رسم خطّ المنحنى (شكل 11).



شكل (11)
رسم بياني يوضّح منحنى معايرة حمض ضعيف بواسطة قاعدة قوية.

يوضّح الرسم البياني أنّ المنحنى تصاعدي ويتكوّن من أربعة أقسام:

- القسم الأوّل 1 (V_b < 3 mL): يوضّح أنّ الأس الهيدروجيني pH يتزايد بشكل ملحوظ، ويكون تقعُّر المنحنى نحو الأعلى.
- القسم الثاني 2 (3 mL < V_b < 18 mL): يوضّح أنّ الأس الهيدروجيني pH يتزايد بشكل بطيء.
- القسم الثالث 3 (18 mL < V_b < 22 mL): يوضّح تزايد الأس الهيدروجيني pH بشكل مفاجئ، ويكون شكل المنحنى عموديًّا تقريبًا (يقفز pH بشكل فجائي)، ويغيّر المنحنى تقعُّره مرّة ثانية عند النقطة (V_b = 20 mL ; pH_E = 8.3).
- القسم الرابع 4 (V_b > 22 mL): يوضّح تزايد الأس الهيدروجيني pH بشكل بطيء من جديد، ويشكّل المنحنى في هذا الجزء خطًّا مقاربًا.

(ب) نقطة التكافؤ Equivalence Point

يُعتبَر التفاعل بين الحمض الضعيف والقاعدة القوية تامًّا، لذلك يمكن تحديد نقطة التكافؤ على أنّها النقطة التي يتساوى فيها عدد مولات القاعدة المضافة (قاعدة أحادية الهيدروكسيد) مع عدد مولات الحمض الموجود أساسًا في الكأس في خلال المعايرة (حمض أحادي البروتون).

تختصر المعادلة التالية التفاعل بين حمض ضعيف وقاعدة قوية:

$$HA + OH^- \longrightarrow A^- + H_2O$$

يمكن كتابة المعادلة الرياضية التالية عند التكافؤ:

$$n_a = n_{OH^-} = n_b$$

علمًا أنّ: $n_a = C_a \times V_a$ و $n_b = C_b \times V_b$

عند التكافؤ: $\boxed{C_a \times V_a = C_b \times V_b}$

ملاحظة: يمكن استخدام هذه المعادلة لتحديد تركيز حمض ضعيف بمعلوم تركيز القاعدة القوية.

ويمكن تعيين إحداثيات نقطة التكافؤ على المنحنى بتطبيق طريقة المماسات المتوازية. نجد في هذه التجربة أنّ إحداثيات نقطة التكافؤ E هي: $E(V_b = 20\ mL\ ;\ pH_E = 8.3)$.

4.2 معايرة قاعدة ضعيفة بواسطة حمض قوي

Titration of a Weak Base with a Strong Acid

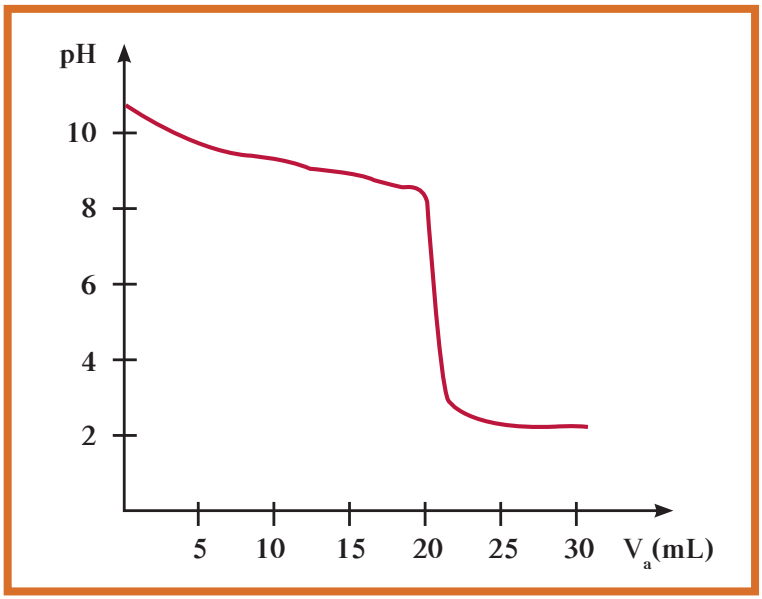
مثال على معايرة قاعدة ضعيفة بواسطة حمض قوي هو معايرة محلول مائي للأمونيا تركيزه 10^{-2} M بواسطة محلول مائي لحمض الهيدروكلوريك تركيزه 10^{-2} M. في خلال التجربة، يوضّح الجدول (10) قيم V_a المضاف والأس الهيدروجيني pH الذي يُقاس عند إضافة كلّ حجم 2 mL من الحمض.

يُرسَم منحنى المعايرة (شكل 12) ويتمّ تحديد نقطة التكافؤ.

V_a(mL)	pH	V_a(mL)	pH
0	10.6	19	8.4
2	10	19.5	8.05
4	9.7	20	5.6
6	9.5	20.5	3.15
8	9.35	21	2.9
10	9.2	22	2.6
12	9	24	2.4
14	8.85	26	2.3
16	87	28	2.28
18	8.5	30	2.25

جدول (10)

نتائج معايرة قاعدة ضعيفة بواسطة حمض قوي.



شكل (12)
منحنى معايرة قاعدة ضعيفة مع حمض قوي.

مراجعة الدرس 2-1

1. احسب عدد مولات هيدروكسيد الصوديوم التي تحتاج إليها لمعادلة 0.2 mol من حمض النيتريك.
2. احسب حجم محلول حمض الهيدروكلوريك بتركيز 0.45 M الذي يجب أن يُضاف إلى 25 mL من محلول هيدروكسيد البوتاسيوم بتركيز 1.00 M لإنتاج محلول متعادل.
3. أضيف 15 mL من محلول حمض الفوسفوريك إلى 38.5 mL من محلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيز 0.15 M. احسب التركيز المولاري لمحلول حمض الفوسفوريك إذا حدث طبقًا للتفاعل التالي:

$$H_3PO_{4(aq)} + NaOH_{(aq)} \longrightarrow H_2O_{(l)} + NaH_2PO_{4(aq)}$$

مراجعة الوحدة الرابعة

المفاهيم

الأملاح	Salts	أملاح حمضية	Acidic Salts
الأملاح غير القابلة للذوبان	Insoluble Salts	الأملاح القابلة للذوبان	Soluble Salts
أملاح قاعدية	Basic Salts	أملاح متعادلة	Neutral Salts
تأثير الأيون المشترك	Common Ion Effect	تفاعل التعادل	Neutralization Reaction
التميؤ	Hydrolysis	ثابت حاصل الإذابة	Solubility Product Constant
الذوبانية	Solubility	محلول غير مشبّع	Unsaturated Solution
محلول فوق مشبّع	Supersaturated Solution	محلول متعادل	Neutral Solution
محلول مشبّع	Saturated Solution	محلول منظِّم	Buffer Solution
المحلول المنظِّم الحمضي	Acidic Buffer Solution	المحلول المنظِّم القاعدي	Basic Buffer Solution
معايرة	Titration	نقطة التكافؤ	Equivalence Point

الأفكار الرئيسة للوحدة

(1–1) مفهوم الملح وأنواع الأملاح

- الملح هو مركّب من أنيون مصدره حمض ومن كاتيون مصدره قاعدة.
- تقسم الأملاح إلى قاعدية، حمضية ومتعادلة نتيجة التفاعل الذي تنتج عنه.
- تسمى الأملاح بحسب تركيبها الكيميائي: أملاح غير هيدروجينية وأملاح هيدروجينية.
- تشكل تسمية الشقوق الحمضية الأساس في تسمية الأملاح:
  - الشقوق الحمضية للأحماض غير الأكسجينية.
  - الشقوق الحمضية للأحماض الأكسجينية.

(2–1) تميؤ الأملاح

- تميؤ الملح هو تفاعل بين أيونات الملح وأيونات الماء لتكوين حمض وقاعدة أحدهما أو كلاهما ضعيف.
- تختلف طبيعة المحاليل الناتجة عن تميؤ الأملاح تبعًا لنوعها (متعادل، حمضي، قاعدي):
  - ينتج محلول متعادل عن تميؤ ملح متعادل ناتج عن تفاعل حمض قوي مع قاعدة قوية (pH = 7).
  - ينتج محلول قاعدي عن تميؤ ملح قاعدي ناتج عن تفاعل حمض ضعيف مع قاعدة قوية (pH > 7).
  - ينتج محلول حمضي عن تميؤ ملح حمضي ناتج عن تفاعل حمض قوي مع قاعدة ضعيفة (pH < 7).
- يُصنَّف المحلول الناتج عن تميؤ ملح ناتج عن تفاعل حمض ضعيف مع قاعدة ضعيفة تبعًا لثابت تأين الحمض والقاعدة (K_a,K_b).

(1–3) حاصل الإذابة

- الأملاح القابلة للذوبان هي أملاح تذوب كمّية كبيرة منها في الماء قبل أن يتكوّن راسب.
- تدل الذوبانية على كمية المذاب اللازمة لإنتاج محلول مشبع من كمية محددة من المذيب عند درجة حرارة معينة.
- المحلول المشبّع هو المحلول الذي يحتوي على أكبر كمّية ممكنة من المذاب وليس له القدرة على إذابة أيّ كمّية إضافية من المذاب فيه عند درجة حرارة معيّنة، بحيث تترسّب أيّ كمّية إضافية من المذاب ويكون في حالة اتّزان ديناميكي.
- المحلول فوق المشبّع هو المحلول الذي يحتوي على كمّية من المادّة المذابة أكبر مما في المحلول المشبّع عند الظروف ذاتها.
- المحلول غير المشبّع هو المحلول الذي يحتوي على كمّية من المادّة المذابة أقلّ مما في المحلول المشبّع عند الظروف ذاتها وله القدرة على إذابة كمّيات إضافية من المذاب عند إضافتها إليه من دون ترسيب.
- ويمكن تعريف ثابت حاصل الإذابة K_{sp}، لأيّ مركّب أيوني شحيح الذوبان، بأنّه حاصل ضرب تركيزات الأيونات التي تتواجد في حالة اتّزان في محلولها المشبّع، كلّ مرفوع إلى الأسّ الذي يمثّل عدد مولات الأيونات الموجودة في معادلة التفكّك الموزونة عند درجة حرارة معيّنة.
- تأثير الأيون المشترك عبارة عن تقليل تفكك الكتروليت ضعيف نتيجة إضافة أحد أيوناته لمحلوله المشبع المتزن.

(1–4) المحاليل المنظِّمة

- المحاليل المنظِّمة هي المحاليل التي تقاوم التغير في قيمة الأس الهيدروجيني pH للوسط عند إضافة كميات قليلة من حمض (كاتيونات H_3O^+) أو قاعدة (أنيونات OH^-) إليه.
- يتمّ تحضير المحاليل المنظِّمة الحمضية بمزج محلولَين أحدهما لحمض ضعيف ومحلول ملحه الصوديومي أو البوتاسيومي. وبمزج محلولَين أحدهما لحمض ضعيف قاعدة قوية شرط أن يكون عدد مولات الحمض الضعيف أكثر من عدد مولات القاعدة القوية.
- يتمّ تحضير المحاليل المنظِّمة القاعدية بمزج محلول من قاعدة ضعيفة ومحلول ملحي يحتوي على الكلوريد أو النيترات، وبمزج محلول من قاعدة ضعيفة وحمض قوي شرط أن يكون عدد مولات القاعدة الضعيفة أكبر من عدد مولات الحمض القوي.

(2–1) معايرة الأحماض والقواعد

- عند إضافة محلول حمض قوي إلى محلول قاعدة قوية، يتمّ التفاعل بين كاتيونات الهيدرونيوم H_3O^+ (الناتجة عن الحمض) وأنيونات الهيدروكسيد OH^- (الناتجة عن القاعدة).
- يكون التفاعل بين الحمض القوي والقاعدة القوية تامًّا عند إضافة كمّيات متكافئة تبعًا لمبدأ اتّحادية العناصر من الحمض والقاعدة. يُسمّى هذا التفاعل تفاعل التعادل وينتج عنه محلول مائي متعادل ($pH = 7$).
- المعايرة عملية كيميائية مخبرية يتم من خلالها معرفة حجم المحلول القياسي (حمض أو قاعدة) اللازم ليتفاعل تمامًا مع المادة (حمض أو قاعدة) التي يراد معرفة تركيزها.

- تهدف المعايرة معرفة تركيز حمض أم قاعدة معلومة الحجم بواسطة قاعدة أو حمض معلوم التركيز والحجم.
- تكون نقطة التكافؤ عندما يتساوى عدد مولات كاتيونات هيدرونيوم الحمض مع عدد مولات أنيونات هيدروكسيد القاعدة ($\frac{C_a \times V_a}{a} = \frac{C_b \times V_b}{b}$).
- يمكن تحديد نقطة التكافؤ بواسطة رسم بياني من خلال طريقة المماسات المتوازية أو باستعمال دليل تعادل ملوّن.

خريطة مفاهيم الوحدة

استخدم المفاهيم الموضَّحة في الشكل التالي لرسم خريطة تنظِّم الأفكار الرئيسة التي جاءت في الوحدة:

تحقق من فهمك

1. سمِّ الأملاح التالية:

K_2S ، $BaCl_2$ ، $Fe(NO_3)_2$ ، $FeCl_3$

2. استعِن بالمعادلات لتفسير السلوك الحمضي أو القاعدي أو المتعادل لكلّ من محاليل الأملاح التالية:

CH_3COONa ، $(NH_4)_2SO_4$ ، $NaBr$

3. اكتب معادلة موزونة لتفكك الأملاح التالية في الماء:

$Al(NO_3)_3$ ، $MgCl_2$ ، Li_2SO_4 ، $(NH_4)_2CO_3$

4. ما الحمض والقاعدة اللذان يكوّنان كلًّا من الأملاح التالية عند تفاعلهما؟

$NaNO_3$ ، CH_3COONa ، KBr ، NH_4Cl

5. اختر الإجابة الصحيحة:

(أ) ثابت حاصل الإذابة لهيدروكسيد المغنيسيوم $Mg(OH)_2$ هو:

i. $K_{sp} = [Mg^{2+}] \times [OH^-]^2$

ii. $K_{sp} = [Mg^{2+}] \times [OH^-]$

iii. $K_{sp} = [Mg^{2+}]^2 \times [OH^-]$

iv. $K_{sp} = [Mg^{2+}]^2 \times [OH^-]^2$

(ب) عند درجة الحرارة 25 °C ، يكون $[Ag^+]$ في المحلول المشبع لكلوريد الفضّة يساوي 1.26×10^{-5} mol/L. فتكون قيمة ثابت حاصل الإذابة K_{sp} تساوي:

i. 1.26×10^{-5}

ii. 8×10^{-15}

iii. 1.58×10^{-10}

iv. 1.58×10^{-25}

(جـ) الأيون المشترك في المحلول المكوّن من HCOOH والملح HCOONa هو:

i. $HCOO^+$

ii. $HCOO^-$

iii. H^+

iv. Na^+

(د) إضافة ملح ميثانوات الصوديوم HCOONa إلى محلول حمض الميثانويك HCOOH تؤدّي إلى:

i. خفض قيمة K_a للحمض

ii. زيادة تركيز H_3O^+

iii. خفض قيمة pH المحلول

iv. زيادة قيمة pH المحلول

6. بيِّن ما يحدث لقيمة pH (تقلّ، تبقى ثابتة) في الحالات التالية، ثمّ فسِّر إجابتك.

(أ) عند إضافة محلول $NaNO_3$ إلى محلول HNO_3

(ب) عند إضافة محلول NH_4Cl إلى محلول NH_3

اختبر مهاراتك

1. أضيف 100 mL من كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ تركيزه 0.02 mol/L إلى 100 mL من كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 تركيزه 4×10^{-4} mol/L. هل هناك تكوين راسب؟ $(Ksp = 2.4 \times 10^{-5})$

2. هل يتكوّن راسب إذا:

(أ) أضفنا 100 mL من محلول نيترات الفضّة $AgNO_3$ تركيزه 6×10^{-8} mol/L إلى 200 mL من محلول كلوريد الصوديوم تركيزه 9×10^{-3} mol/L. $(Ksp = 1.8 \times 10^{-16})$

(ب) أضفنا 250 mL من محلول نيترات الرصاص $Pb(NO_3)_2$ تركيزه 1.6×10^{-3} mol/L إلى 750 mL من محلول كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 تركيزه 2.4×10^{-3} mol/L. $(Ksp = 6.3 \times 10^{-7})$

3. وضِّح كيف يقاوم المحلول المنظِّم المكوّن من (NH_3/NH_4Cl) التغيُّر في قيمة pH عندما تُضاف إليه كمّية من قاعدة قوية مثل NaOH.

4. فسِّر ما يلي تفسيرًا علميًّا:

(أ) تزداد قيمة pH عند إضافة ملح أسيتات الصوديوم CH_3COONa إلى محلول حمض الأسيتيك CH_3COOH.

(ب) تتغيّر قيمة pH بدرجة قليلة لمحلول حمض الأسيتيك CH_3COOH وأسيتات الصوديوم CH_3COONa عندما يُضاف إليه القليل من حمض قوي.

5. تمت معايرة 20 mL من حمض ضعيف HA بقاعدة قوية من هيدروكسيد الصوديوم بتركيز 0.1 mol/L في خلال نشاط عملي. وقد تم تسجيل تغيّر قيمة الأس الهيدروجيني في الجدول التالي:

الأس الهيدروجيني pH	حجم القاعدة المضافة V_b (/mL)
2.65	0
3.2	2
3.6	4
3.8	6
4	8
4.2	10
4.3	12
4.45	14
4.7	16
5.05	18
5.3	19
6.45	20
9.1	20.4
10.35	20.6
11	21
11.45	23
11.6	25

(أ) ارسم منحنى المعايرة الذي يوضّح تغيّرات الأس الهيدروجيني بدالة حجم القاعدة المضافة.

(ب) حدِّد نقطة التكافؤ مستعينًا بالرسم البياني واحسب التركيز الابتدائي للحمض.

6. يُستخدَم حمض البنزويك وبنزوات الصوديوم في صناعة المشروبات الغازية المختلفة وفي صناعة العصائر. وهي موادّ بلّورية صلبة بيضاء اللون تُستخدَم كمادّة حافظة ويُشار إلى وجودها بالرقمين E – 120 و E – 211. تمّ تحضير محلول من حمض البنزويك وذلك بإذابة كتلة m من حمض البنزويك (C_6H_5COOH) حتى تكون محلول حجمه 200 mL.
تمّت معايرة 100 mL من المحلول بواسطة محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH بتركيز $C_b = 1 \times 10^{-1} mol \times L^{-1}$ ، وتمّ قياس الأسّ الهيدروجيني pH خلال المعايرة وذلك بعد إضافة أحجام مختلفة من القاعدة.
يوضّح الجدول التالي قيم الأسّ الهيدروجيني التي تم قياسها خلال المعايرة.
(أ) استخدم الجدول لرسم منحنى المعايرة الذي يوضّح تغيّرات الأسّ الهيدروجيني بدالّة حجم القاعدة المضافة.

V_b (mL)	0	1	2	3	5	6	8	9	9.4	9.8	9.9	10	10.2	11	12	14
pH	2.7	3.3	3.7	4	4.4	4.6	5	5.4	5.6	5.8	6.4	9	10.8	11.8	12	12.3

(ب) حدّد نقطة التكافؤ مستعينًا بالرسم البياني.
(جـ) احسب التركيز الابتدائي C_a للمحلول.
(د) افترض أنّ هذه المعايرة تمّت بواسطة دليل. أيّ من الأدلّة التالية يمكن استخدامها، ولماذا؟

الدليل	مدى الدليل
الميثيل البرتقالي	3.1 – 4.4
البروموثايمول الأزرق	6 – 7.6
الفينولفثالين	8.2 – 10

معطى: $M.wt.(H) = 1g.mol^{-1}$ ، $M.wt.(C) = 12g.mol^{-1}$ ، $M.wt.(O) = 16g.mol^{-1}$.

مشاريع الوحدة

1. أعِدّ جدولًا للأملاح الموجودة في التربة، واذكر في هذا الجدول أهمّية الأملاح للتربة.
2. الكتابة في الكيمياء: تؤدّي المحاليل المنظّمة أدوارًا ذات أهمّية بالغة في صحّة الأجسام الحيّة ونموّها. اكتب تقريرًا بحثيًّا عن المحاليل المنظّمة وأهمّيتها، واعرض تقريرك على زملائك ثمّ أحضِر معك بعض المنتجات المصنّعة من المحاليل المنظِّمة.

الوحدة الخامسة

المشتقات الهيدروكربونية
Hydrocarbon Derivatives

قد نفكّر أوّلًا في المركبات الهيدروكربونية في الوقود الأحفوري عند مناقشة الكيمياء العضوية. إلّا أنّ البروتينات والكربوهيدرات والليبيدات الموجودة في أجسامنا مصدرها الموادّ الغذائية، بالإضافة إلى أشياء أخرى كالعقاقير والموادّ البلاستيكية المؤلّفة من مركّبات عضوية. هناك عدد هائل من المركّبات العضوية ولا يزال يُكتشَف ويُصنَّع الآلاف منها سنويًّا. وقد كان لفرع الكيمياء الذي يدرسها تأثيرًا عميقًا في الصحّة في القرن العشرين من خلال صناعة مكمّلات غذائية.

اكتشف بنفسك

التعرّف على الحمض الكربوكسيلي

لإجراء هذا النشاط يجب توفّر ما يلي من الموادّ المطلوبة: أنابيب اختبار، مخبار مدرّج، ماسك أنابيب، ملعقة كيميائيات معدنية، حمض كربوكسيلي (خلّ أبيض)، وبيكربونات الصوديوم $NaHCO_3$ (على شكل مسحوق أبيض).

1. قس 5 mL من الخلّ الأبيض.
2. أضف هذا الحجم إلى أنبوب اختبار.
3. بواسطة ملعقة كيميائية معدنية، أضف حوالى 1 g من مسحوق بيكربونات الصوديوم إلى الخلّ الموجود في الأنبوب.
4. ماذا تلاحظ؟ هل يمكن التعرّف إلى نواتج التفاعل؟ ماذا تستنتج؟

فصول الوحدة

الفصل الأوّل

- المجموعات الوظيفية

الفصل الثاني

- مجموعة الكربونيل والأمينات

أهداف الوحدة

- يتعرّف المجموعات الوظيفية وتفاعلات الاستبدال والإضافة والانتزاع.
- يصف الهيدروكربونات الهالوجينية.
- يتعرّف المجموعات الوظيفية للكحولات والإيثرات.
- يتعرّف تفاعلات الاستبدال والانتزاع والأكسدة ويكتب معادلاتها الكيميائية.
- يصف تفاعلات المركّبات التي تحتوي على مجموعة الكربونيل الوظيفية.
- يميّز بين مجموعة الكربونيل في الألدهيدات والكيتونات.
- يصف تفاعلات المركّبات التي تحتوي على مجموعة الكربوكسيل.
- يميّز بين المجموعة الوظيفية للإستر ويستنتج كيفية تكوين الإستر.
- يصف تفاعلات مركّبات تحتوي على مجموعة الأمين.

معالم الوحدة

اكتشف بنفسك: التعرّف على الحمض الكربوكسيلي

علاقة الكيمياء بالبيئة: الميثانول كوقود

المجموعات الوظيفية
Functional Groups

تُعتَبر الفاكهة مصدرًا ممتازًا لكثير من الفيتامينات والموادّ المغذّية الأخرى. وقد أظهرت الأبحاث أنّ هذه الموادّ تساعد في مقاومة أمراض كثيرة منها السرطان. اقترح الباحثون إضافة الفواكه إلى وجبات الطعام اليومية لأنّها تحتوي على موادّ صحّية كثيرة ولا يمكن استبدالها بالمكمّلات الغذائية التي تحتوي على بعض منها فقط. ونصح الباحثون أيضًا بتناول كوبين من العصير الطازج إذ يحتوي على المغذّيات المطلوبة كلّها.

يوضّح الشكل أدناه مجموعة من الفواكه لكلّ منها رائحة خاصّة ومميّزة.

ما هو مصدر الروائح المختلفة لهذه الفواكه؟

دروس الفصل

الدرس 1-1

المجموعات الوظيفية
Functional Groups

الأهداف العامة

- يتعرّف المجموعات الوظيفية من خلال أمثلة عديدة عليها.
- يعرّف تفاعلات الاستبدال والإضافة والانتزاع.

شكل (13)
آلات موسيقية مختلفة

عند حضور حفل موسيقي تلاحظ أنّ الأضواء تخفت وتتوقّف الأحاديث المتبادلة بين الحاضرين بمجرّد اعتلاء أعضاء الفرقة الموسيقية المسرح. تلاحظ أيضًا أنّ جميع أعضاء الفرقة الموسيقية يرتدون بذلات سوداء، وإذا نظرت إليهم من بعيد يبدون متماثلين ولا يظهر الفرق بينهم إلّا عندما يمسك كلّ واحد منهم آلته الموسيقية (شكل 13). وعندما يعطي قائد الفرقة الموسيقية إشارة البدء، يُسمَع أوّلًا صوت الناي ويتبعه صوت الآلات الموسيقية الوترية ومن ثمّ الآلات القرعية حتّى يشارك الموسيقيون كلّهم في عزف المقطوعة. وبطريقة مماثلة، تبدو الهيدروكربونات متشابهة إلى أن تُضاف إليها المجموعة الوظيفية.

1. المجموعات الوظيفية Functional Groups

تعرّفت في الصفّ الحادي عشر السلاسل والحلقات الهيدروكربونية التي تُعتبَر أساس كلّ مركّب عضوي. تعرّفت أيضًا أنّ الهيدروكربونات المشبَّعة خاملة كيميائيًّا نسبيًّا في معظم التفاعلات الكيميائية العضوية.

إذًا، كيف تفسّر وجود مئات الأنواع من التفاعلات الكيميائية العضوية؟

صُنِّفت المركّبات العضوية لتسهيل عملية دراستها. التصنيف الأهمّ في هذا الدرس هو الذي يعتمد على نوع المجموعة الوظيفية في جزيء المركّب العضوي.

يُعتبَر هذا التصنيف الأكثر أهمّية وفائدة بسبب تشابه الخواصّ الفيزيائية والكيميائية للمركّبات ذات المجموعة الوظيفية نفسها، كما يسهّل هذا التصنيف تسميتها (جدول 11).

تُعرّف المجموعة الوظيفية Functional Group بأنّها عبارة عن ذرّة أو مجموعة ذريّة تمثّل الجزء النشط الذي ترتكز إليه التفاعلات الكيميائية للمركّب الذي يحتويها، وتحدّد الصيغة البنائية والخواصّ الكيميائية لعائلة من المركّبات العضوية.

المجموعة الوظيفية			الصيغة العامّة	مثال	
العائلة	الاسم	الصيغة		الاسم	الصيغة
الهيدروكربونات الهالوجينية	ذرّة الهالوجين	$-X$ (I, Br, Cl...)	$R-X$	كلوريد الميثيل	CH_3-Cl
الكحولات	هيدروكسيل	$-OH$	$R-OH$	ميثانول	CH_3-OH
الإيثرات	أوكسي	$-O-$	$R-O-R'$	ثنائي ميثيل إيثر	CH_3-O-CH_3
الألدهيدات	كربونيل (طرفية)	$-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H$	$R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H$	ميثانال (فورمالدهيد)	$H-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H$
الكيتونات	كربونيل (غير طرفية)	$-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-$	$R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-R'$	بروبانون	$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3$
الأحماض الكربوكسيلية	كربوكسيل	$-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH$	$R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH$	حمض الإيثانويك (حمض الأسيتيك)	$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH$
الإسترات	الكوكسي كربونيل	$-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR$	$R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR'$	إيثانوات الميثيل (أسيتات الميثيل)	$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-CH_3$
الأمينات	أمين	$-NH_2$	$R-NH_2$	إيثيل أمين	$CH_3-CH_2-NH_2$
تمثّل "R" و "R'" السلاسل الكربونية في المركّبات العضوية أعلاه. يمكن أن تكون "R" و "R'" متماثلتين أو مختلفتين.					

جدول (11)
تصنيف المركّبات العضوية بحسب المجموعة الوظيفية

2. أنواع التفاعلات الكيميائية في المركّبات العضوية

Types of Chemical Reactions For Organic Compound

تنقسم التفاعلات الكيميائية في المركّبات العضوية إلى ثلاثة أنواع أساسية هي:

- **تفاعلات الاستبدال**

هي تفاعلات تحلّ فيها ذرّة أو مجموعة ذرّية محلّ ذرّة أو مجموعة ذرّية أخرى متّصلة بذرّة الكربون.

$$CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{U.V} CH_3Cl + HCl$$

- **تفاعلات الانتزاع**

هي تفاعلات يتمّ فيها نزع ذرّتين أو ذرّة ومجموعة ذرّية من ذرّتي كربون متجاورتين لتكوين مركّبات غير مشبّعة.

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow[180°C]{\text{مركز } H_2SO_4} H_2O + H_2C = CH_2$$

- **تفاعلات الإضافة**

هي تفاعلات يتمّ فيها إضافة ذرّات أو مجموعات ذرّية إلى ذرّتي كربون متجاورتين ترتبطان برابطة تساهمية ثنائية أو ثلاثية غير مشبّعة.

$$H_2C = CH_2 + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CH_3$$

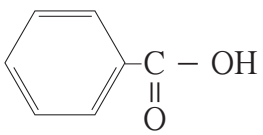
مراجعة الدرس 1-1

1. عرّف المجموعة الوظيفية؟
2. حدّد المجموعة الوظيفية في كلّ من المركبات التالية:

(أ) CH_3-OH

(ب) $CH_3-CH_2-NH_2$

(جـ)



(د) $CH_3-CH_2-CH_2-Br$

الهيدروكربونات الهالوجينية
Halogenated Hydrocarbons

الأهداف العامة

- يصف الهيدروكربونات الهالوجينية.

شكل (14)
أنابيب من كلوريد الڤينيل

أصبحت بعض الموادّ مهمّة جدًّا في الحياة العصرية بسبب تنوُّع الأغراض التي تُستخدم فيها ولصلاحيتها لهذه الأغراض. لكن هذه الموادّ غريبة عن البيئة الطبيعية ولا تتعرّض للتحلّل الحيوي. لذلك، تشكّل صورة من صور التلوّث إذا انتقلت إلى البيئة، ما يؤدّي إلى تفاقم آثارها يومًا بعد يوم.

تُستخدم مركبات الهيدروكربونات الهالوجينية في الكثير من مجالات الحياة العملية:

- يُستعمَل كلوريد الڤينيل $CH_2=CH-Cl$ في تحضير مادّة الـ PVC المستخدمة في صنع الأنابيب (شكل 14) والعوازل.
- يُستعمَل الكلوروفورم $CHCl_3$ كمخدّر وقد كان لاستخدامه أثر كبير في تقدّم الجراحة الطبيّة.
- يُستعمَل رابع كلوريد الكربون CCl_4 في صنع مركّبات الكلوروفلوروكربون CFC المستخدمة كعامل تبريد الثلّاجات وأجهزة التكييف وكغازات دفع في علب رشّ المبيدات الحشرية ومصفّفات الشعر ومعاجين الحلاقة.

ما هي هذه المركّبات وكيف يمكن تحضيرها؟ كيف يتم تسميتها؟
ما خواصّها الكيميائية والفيزيائية؟

1. الهيدروكربونات الهالوجينية

Halogenated Hydrocarbons

الهيدروكربونات الهالوجينية (الهاليدات العضوية) Halogenated Hydrocarbons مركّبات عضوية مشتقّة من الهيدروكربونات الأليفاتية أو الأروماتية باستبدال ذرّة هالوجين أو أكثر محلّ ما يماثل عددها من ذرّات الهيدروجين. تكون صيغتها العامّة R–X، بحيث تمثّل X ذرّة هالوجين (فلور، كلور، بروم ويود) وتمثّل R الشقّ العضويّ. **إذا اتّصلت ذرّة هالوجين واحدة بشقّ ألكيل يُسمّى الهيدروكربون الهالوجيني هاليد الألكيل Alkyl Halide أو هالو ألكان. وإذا اتّصلت ذرّة هالوجين واحدة بشقّ الفينيل (الأريل) يُسمّى الهيدروكربون الهالوجيني هاليد الفينيل Phenyl Halide أو هالو بنزين.** وتجدر الإشارة إلى أنّ هاليدات الألكيل أكثر نشاطًا من هاليدات الفينيل.

1.1 تسمية الهيدروكربونات الهالوجينية

Nomenclature of Halogenated Hydrocarbons

يعرَّف شقّ الألكيل (R) على أنّه الجزء المتبقّي من الألكان بعد نزع ذرّة هيدروجين واحدة فقط منه.

يُشتَقّ اسم شقّ الألكيل من اسم الألكان المقابل (الذي يحتوي على عدد ذرّات الكربون نفسه) بحذف المقطع (ان) وإضافة المقطع (يل) (جدول 12).

اسم شقّ الألكيل	صيغة شقّ الألكيل	صيغة الألكان	اسم الألكان
ميثيل	$-CH_3$	CH_4	ميثان
إيثيل	$-C_2H_5$	C_2H_6	إيثان
بروبيل	$-C_3H_7$	C_3H_8	بروبان
أيزوبروبيل أو بروبيل ثانوي	$CH_3-\underset{\vert}{CH}-CH_3$		
بيوتيل	$CH_3CH_2CH_2CH_2-$	C_4H_{10}	بيوتان
بيوتيل ثانوي	$CH_3\underset{\vert}{C}HCH_2CH_3$		
أيزو بيوتيل	$CH_3\underset{\vert}{C}HCH_2-$ $\vert$ CH_3	$CH_3\underset{\vert}{C}HCH_3$	2 – ميثيل بروبان
بيوتيل ثالثي	$CH_3\underset{\vert}{\overset{\vert}{C}}CH_3$ $\vert$ CH_3		

جدول (12)
أسماء شقوق الألكيل

فقرة إثرائية

يمكن تصنيف ذرّات الكربون في السلسلة الكربونية حسب عدد الشقوق العضوية المتصلة بها كما يلي:

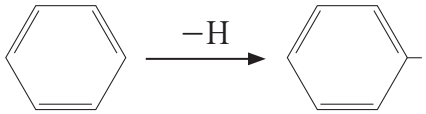
- إذا اتصلت ذرّة كربون بذرّة كربون واحدة (من شقّ عضوي واحد) أو بذرّات هيدروجين فقط تسمى ذرّة كربون أولية.
- إذا اتصلت ذرّة كربون بذرّتي كربون (من شقّين عضويين) تسمى ذرّة كربون ثانويّة.
- إذا اتصلت ذرّة كربون بثلاث ذرّات كربون (من ثلاثة شقوق عضوية) تسمى ذرّة كربون ثالثيّة.

يوضّح الجدول التالي بعض الأمثلة عن تصنيف ذرّات الكربون.

ذرّة كربون أولية	ذرّة كربون ثانويّة
CH_4	xxxx
CH_3CH_3	xxxx
$CH_3CH_2CH_3$	$CH_3CH_2CH_3$
$CH_3CH_2CH_2CH_3$	$CH_3CH_2CH_2CH_3$

ذرّة كربون ثالثيّة
xxxx
xxxx
xxxx
$CH_3\underset{\vert}{C}HCH_3$ $\vert$ CH_3

شقّ الفينيل أو الأريل (Ar) هو الجزء المتبقّي من البنزين بعد نزع ذرّة هيدروجين واحدة منه.



شقّ الفينيل　　البنزين C_6H_6

(أ) التسمية بحسب نظام الأيوباك Nomenclature Based on IUPAC

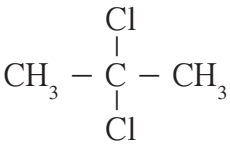
تُسمّى مركّبات الألكان الهالوجينية بحسب نظام الأيوباك كما يلي:

- يتمّ تحديد اسم أطول سلسلة كربونية متّصلة (مستمرّة) تحتوي على ذرّة الهالوجين.
- تُرَقَّم السلسلة من أقرب طرف لذرّة الهالوجين.
- تتمّ التسمية كما يلي: مكان اتّصال ذرّة الهالوجين بالسلسلة هالو ألكان

2– كلورو بيوتان

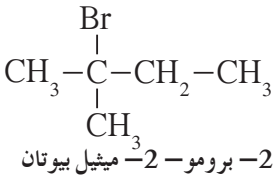
1– يودو بروبان

- في حال وجود أكثر من ذرّة هالوجين متشابهة تُستخدَم المقاطع "ثنائي" أو "ثلاثي" ... مع تحديد جميع أماكن اتّصالها بالسلسلة حتّى لو كانت متّصلة بذرّة الكربون نفسها.

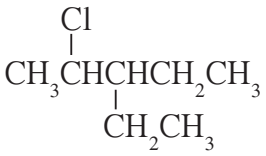


2، 2– ثنائي كلوروبروبان

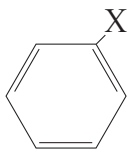
- في حال وجود أيّ شقوق أخرى يتمّ اتّباع أسس التسمية نفسها مع ترقيم السلسلة من ناحية أقرب هاليد.
- في حال تشابُه مكان الترقيم، تكون الأولوية للترتيب الأبجدي العربي، ثمّ توضع أسماء الشقوق أو الهالوجين أمام اسم الألكان بحسب الترتيب الأبجدي لكلّ منها.



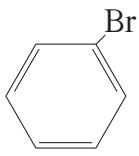
2– برومو– 2– ميثيل بيوتان



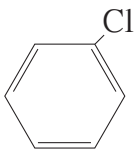
3– إيثيل–2–كلورو بنتان



هالو بنزين
هاليد الفينيل



بروموبنزين
بروميد الفينيل



كلورو بنزين
كلوريد الفينيل

(ب) التسمية الشائعة Common Nomenclature

التسمية الشائعة لمركّبات الألكان أحادية الهالوجين (R – X) تشبه طريقة تسمية الأملاح وتتمّ بكتابة اسم ذرّة الهالوجين منتهيًا بالمقطع "يد" يليه اسم شقّ الألكيل، مثلًا: هاليد الألكيل (جدول 13).

الاسم الشائع (هاليد الألكيل)	الاسم بحسب نظام الأيوباك (هالو ألكان)	الصيغة الكيميائية
يوديد الميثيل	يودو ميثان	CH_3I
بروميد الإيثيل	برومو إيثان	CH_3CH_2Br
بروميد البروبيل	1– بروموبروبان	$CH_3CH_2CH_2Br$
كلوريد أيزوبروبيل أو كلوريد البروبيل الثانوي	2– كلورو بروبان	$CH_3\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{C}}HCH_3$
كلوريد البيوتيل	1– كلورو بيوتان	$CH_3CH_2CH_2CH_2Cl$
بروميد البيوتيل الثانوي	2– برومو بيوتان	$CH_3\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{C}}HCH_2CH_3$
كلوريد أيزوبيوتيل	1– كلورو–2– ميثيل بروبان	$\begin{matrix}CH_3\\|\\CH_3CHCH_2Cl\end{matrix}$
كلوريد بيوتيل ثالثي	2– كلورو–2– ميثيل بروبان	$\begin{matrix}CH_3\\|\\CH_3\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{C}}CH_3\end{matrix}$

جدول (13)
أسماء بعض مركّبات الألكان الهالوجينية وأنواعها

2.1 تصنيف الهيدروكربونات الهالوجينية
Classfication of Halogenated Hydrocarbons

يُصنَّف الهيدروكربون الهالوجيني إلى هاليد ألكيل أوّلي أو ثانوي أو ثالثي. والفرق بينها هو عدد مجموعات الألكيل المتّصلة بذرّة الكربون (أولية) المرتبطة بالهالوجين (جدول 14):

هاليد ألكيل أوّلي Primary Alkyl Halide: ترتبط ذرّة الهالوجين بذرّة كربون (أولية) متّصلة بذرّتي هيدروجين ومجموعة ألكيل أو بذرات هيدروجين.

هاليد ألكيل ثانوي Secondary Alkyl Halide: ترتبط ذرّة الهالوجين بذرّة كربون (ثانوية) متّصلة بذرّة هيدروجين واحدة ومجموعتين ألكيل (R و'R).

هاليد ألكيل ثالثي Tertiary Alkyl Halide: ترتبط ذرّة الهالوجين بذرّة كربون (ثالثية) متّصلة بثلاث مجموعات ألكيلية (R و'R و"R).

ملاحظة: يمكن أن تكون المجموعات الألكيلية (R و'R و"R) متماثلة أو مختلفة.

	الصيغة العامّة	مثال	اسم المركّب
هاليد ألكيل أوّلي	$R-CH_2-X$	CH_3-CH_2-Cl $CH_3-CH_2-CH_2-I$	كلورو إيثان 1–يودوبروبان
هاليد ألكيل ثانوي	$R-\underset{\displaystyle R'}{\underset{\vert}{CH}}-X$	$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}}-Cl$ $CH_3-\underset{\displaystyle Br}{\underset{\vert}{CH}}-CH_2CH_3$	2–كلورو بروبان 2–بروموبيوتان
هاليد ألكيل ثالثي	$R-\underset{\displaystyle R''}{\underset{\vert}{\overset{\displaystyle R'}{\overset{\vert}{C}}}}-X$	$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{\vert}{C}}}}-Cl$	2–كلورو–2– ميثيل بروبان

جدول (14)
تصنيف الهيدروكربونات الهالوجينية

2. تحضير الهيدروكربونات الهالوجينية
Preparation of Halogenated Hydrocarbons

يوجد عدد قليل من الهيدروكربونات الهالوجينية في الطبيعة، ولكن يمكن تحضيرها بسهولة واستخدامها لأغراض عديدة. على سبيل المثال، يُستخدَم الهالوثان كمخدّر (شكل 15) وتُستخدَم مركّبات الهيدروفلوروكربون كموادّ مبرِّدة في أجهزة تكييف السيّارات. يمكن تحضير الهيدروكربونات الهالوجينية من خلال التفاعلات التالية:

- الهلجنة المباشرة للألكانات
- الهلجنة المباشرة للبنزين

(أ) الهلجنة المباشرة للألكانات Direct Halogenation of Alkanes

تتفاعل الألكانات مع الكلور أو البروم في وجود الأشعّة فوق البنفسجية (UV) حيث تحلّ ذرّة هالوجين أو أكثر محلّ ما يقابل عددها من ذرّات الهيدروجين. لكنّ هذه الطريقة لا يمكن استخدامها للحصول على هاليدات الألكيل النقية، حيث ينتج مخلوط من مركّبات الألكان الهالوجينية. ويمكن زيادة نسبة هاليدات الألكيل في النواتج عن طريق تقليل نسبة الهالوجين المارّة في الألكان أثناء التفاعل. توضح المعادلة التالية التفاعل:

$$\underset{\text{ألكان}}{R-H} + \underset{\text{هالوجين}}{X_2} \longrightarrow \underset{\text{هيدروكربون هالوجيني}}{R-X} + \underset{\text{هاليد الهيدروجين}}{HX}$$

مثال على ذلك:

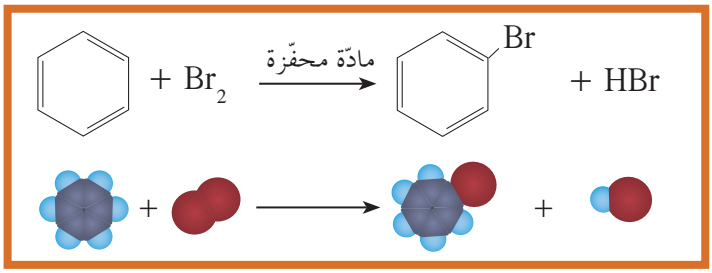
$$\underset{\text{ميثان}}{CH_4} + \underset{\text{كلور}}{Cl_2} \xrightarrow[\text{بنفسجية}]{\text{أشعّة فوق}} \underset{\text{كلورو ميثان/ كلوريد الميثيل}}{CH_3Cl} + \underset{\text{كلوريد الهيدروجين}}{HCl}$$

$$\underset{\text{إيثان}}{CH_3-CH_3} + \underset{\text{بروم}}{Br_2} \xrightarrow[\text{بنفسجية}]{\text{أشعّة فوق}} \underset{\text{بروميد الإيثيل}}{CH_3-CH_2Br} + HBr$$

شكل (15)
يُستخدَم الهالوثان (2–بروموـ 2 – كلورو – 1، 1، 1 – ثلاثي فلورو الإيثان) كمخدّر. هل هذا الجزيء مهلجن بالكامل (أي استُبدِلت جميع ذرّات الهيدروجين فيه بذرّات هالوجين)؟

(ب) الهلجنة المباشرة للبنزين Direct Halogenation of Benzene

يتفاعل البنزين مع الهالوجين حيث تحلّ ذرّة الهالوجين محلّ ذرّة هيدروجين من حلقة البنزين في وجود مادّة محفّزة مثل الحديد. (شكل 16). إذا أُسقِط، على سبيل المثال، مسمار صدئ في دورق التفاعل، يعمل كمادّة محفّزة.



شكل (16)
تُستخدَم نماذج التعبئة المجسّمة لتمثيل هذا التفاعل مرئيًّا.

3. الخواصّ الفيزيائية والكيميائية
Physical and Chemical Properties

1.3 الخواصّ الفيزيائية للهيدروكربونات الهالوجينية
Physical Properties of Halogenated Hydrocarbon

- الهيدروكربونات الهالوجينية شحيحة الذوبان في الماء على الرغم من أنّها مركّبات قطبية، ويعود ذلك إلى عدم تكوُّن روابط هيدروجينية بين جزيئاتها وجزيئات الماء.
- درجات غليان هاليدات الألكيل أعلى بكثير من درجات غليان الألكانات التي حُضِّرت منها. على سبيل المثال، إنّ درجة غليان (CH_3-Cl) أعلى من درجة غليان (CH_4)، لأنّ هاليدات الألكيل مركّبات قطبية وقوّة التجاذب بين جزيئاتها كبيرة بينما الألكانات مركّبات غير قطبية.
- تزداد درجة غليان هاليدات الألكيل التي تحتوي على ذرّة الهالوجين نفسها بزيادة كتلتها الجزيئية. على سبيل المثال، إنّ درجة غليان ($CH_3-CH_2-CH_2-Br$) أعلى من درجة غليان (CH_3-CH_2-Br).
- تزداد درجة غليان هاليدات الألكيل التي تحتوي على المجموعة العضوية نفسها بزيادة الكتلة الذرّية لذرّة الهالوجين (جدول 15).
- تتميّز مركّبات البروم واليود بكثافة أعلى من كثافة الماء (جدول 16).

الاسم	الصيغة التركيبية	درجة الغليان (°C)
فلورو ميثان	CH_3-F	−78.4
كلورو ميثان	CH_3-Cl	−24.2
برومو ميثان	CH_3-Br	3.6
يودو ميثان	CH_3-I	42.4

جدول (15)
درجات غليان هاليدات الميثان

الصيغة التركيبية	الكثافة (g/mL)	الصيغة التركيبية	الكثافة (g/mL)
$CHCl_3$	1.49	CH_3F	0.88
$CHBr_3$	2.89	CH_3Cl	0.91
CHF_3	1.24	CH_3Br	1.63
C_6H_5F	1.02	CH_3I	2.28
C_6H_5Cl	1.11	CH_3CH_2Cl	0.92
C_6H_5Br	1.49	CH_3CH_2Br	1.46
C_6H_5I	1.82	$CH_3(CH_2)_2CH_2Cl$	0.89

جدول (16)
كثافة بعض الهيدروكربونات الهالوجينية

2.3 الخواصّ الكيميائية للهيدروكربونات الهالوجينية
Chemical Properties of Halogenated Hydrocarbons

تُعتبَر هاليدات الألكيل موادّ نشطة غير مستقرّة تتفاعل بسهولة. يعود ذلك إلى أنّ ذرّة الهالوجين لها سالبية كهربائية مرتفعة ما يؤدّي إلى قطبية الرابطة، حيث تحمل ذرّة الهالوجين شحنة سالبة جزئية، وتحمل ذرّة الكربون شحنة موجبة جزئية. وتتفاعل هاليدات الألكيل إمّا بالاستبدال أو بالانتزاع. وسنكتفي هنا بتفاعلات الاستبدال.

(أ) تفاعل الهيدروكربونات الهالوجينية بالاستبدال
Substitution Reaction of Halogenated Hydrocarbons

تتفاعل الهيدروكربونات الهالوجينية بالاستبدال، حيث تخرج ذرّة الهالوجين على شكل أنيون هاليد (X^-)، ويحلّ محلّه أنيون آخر مثل أنيون الهيدروكسيد (OH^-) أو أنيون ألكوكسيد (OR^-) أو أنيون الأميد (NH_2^-). ويُستخدَم عادةً على شكل مركّبات الصوديوم أو البوتاسيوم ليسهّل تأيّنها.

- **مع القواعد (لتحضير الكحولات)**

يمكن استبدال ذرة الهالوجين بأنيون الهيدروكسيد من القاعدة لينتج كحولًا ومحلول مائي للملح، كما توضّح المعادلات الكيميائية التالية:

$$CH_3-CH_2-Cl_{(l)} + NaOH_{(aq)} \longrightarrow CH_3-CH_2-OH_{(l)} + NaCl_{(aq)}$$

كلوروإيثان / كلوريد الإيثيل — إيثانول / كحول الإيثيل

$$CH_3-Br_{(l)} + KOH_{(aq)} \longrightarrow CH_3-OH_{(l)} + KBr_{(aq)}$$

بروموميثان / بروميد الميثيل — ميثانول / كحول الميثيل

- **مع الألكوكسيدات (لتحضير الإيثرات)**

تتفاعل هاليدات الألكيل بالاستبدال مع الألكوكسيدات مثل ألكوكسيد الصوديوم (RONa)، حيث يحلّ أنيون الألكوكسيد (RO^-) محلّ أنيون الهاليد (X^-) مكوّنًا الإيثر. ويُسمّى هذا التفاعل طريقة وليامسون، ويُستخدَم لتحضير الإيثرات المتماثلة وغير المتماثلة، كما هو موضّح في الأمثلة التالية:

$$CH_3-CH_2-Cl_{(l)} + Na\,OCH_{3(aq)} \longrightarrow CH_3-CH_2-O-CH_3 + NaCl$$

كلوروايثان / كلوريد الإيثيل — ميثوكسيد الصوديوم — إيثيل ميثيل إيثر

$$C_2H_5-Br_{(l)} + Na\,OC_2H_{5(aq)} \longrightarrow C_2H_5-O-C_2H_5 + NaBr$$

بروموإيثان / بروميد الإيثيل — إيثوكسيد الصوديوم — ثنائي إيثيل إيثر

- **مع أميد الصوديوم (لتحضير الأمينات)**

تتفاعل هاليدات الألكيل بالاستبدال مع أميد الصوديوم ($NaNH_2$) حيث يحلّ أنيون الأميد (NH_2^-) محلّ أنيون الهاليد (X^-) مكوّنًا الأمين الأوّلي المقابل.

وسوف نكتفي بتحضير الأمينات الأوّلية فقط عن طريق تفاعل هاليد الألكيل مع أميد الصوديوم ($NaNH_2$).

$$CH_3-Cl + NaNH_2 \longrightarrow CH_3-NH_2 + NaCl$$

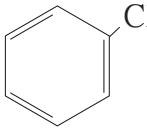
كلوروميثان / كلوريد الميثيل — ميثيل أمين

$$CH_3-CH_2-Br + NaNH_2 \longrightarrow CH_3-CH_2-NH_2 + NaBr$$

بروموإيثان / بروميد الإيثيل — إيثيل أمين

مراجعة الدرس 1-2

1. عرّف الهيدروكربون الهالوجيني. سمِّ المركّبات التالية بحسب قواعد IUPAC.

(أ) 

(ب) CH_3CH_2Cl

(جـ) $CH_3-\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_3$

2. اكتب الصيغ التركيبية لكلّ من المركّبات التالية:

(أ) كلوريد الإيزوبروبيل

(ب) 2 , 2− ثنائي ميثيل 1− يودو بنتان

(جـ) برومو بنزين

3. عرّف تفاعل الاستبدال؟ أعطِ المعادلات العامّة لاستبدال الألكان لتكوين هاليد ألكيل واستبدال هاليد ألكيل لتكوين كحول.

4. اكتب أسماء جميع مركّبات ثنائي كلوروبروبان الممكنة التي يمكن تكوينها.

الدرس 1-3

الكحولات والإيثرات
Alcohols and Ethers

الأهداف العامة

- يتعرّف المجموعة الوظيفية للكحولات والإيثرات.
- يتعرّف تفاعلات الاستبدال والانتزاع والأكسدة ويكتب معادلاتها الكيميائية.

شكل (17)
عملية جراحية

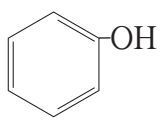
كان المرضى قبل عام 1840 يخضعون للعمليات الجراحية وهم في كامل وعيهم. أمّا في الوقت الحالي، وعند إجراء عملية جراحية كبيرة، يُعطَى للمريض مخدّر عامّ يُفقِده وعيه ويسبّب ارتخاء عضلاته. الهدف الرئيسي للمخدّر هو عدم شعور المريض بالآلام أثناء العملية الجراحية (شكل 17). تنتمي أقدم مواد التخدير إلى مجموعة مركّبات كيميائية تُعرَف بالإيثرات.

1. الكحولات Alcohols

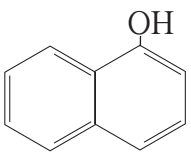
عندما تسمع كلمة كحول، قد لا يتوارد إلى ذهنك أنّها تصنيف عام لآلاف المركّبات العضوية. ولكنّ **الكحولات Alcohols** هي بالفعل **مركّبات عضوية تحتوي على مجموعة هيدروكسيل (OH–) واحدة أو أكثر مرتبطة بذرّة كربون مشبَّعة.**

تُسمّى المجموعة الوظيفية (OH–) في الكحولات مجموعة هيدروكسيل Hydroxyl Group. كيف تختلف مجموعة الهيدروكسيل عن أنيون الهيدروكسيد؟

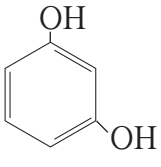
عند ارتباط مجموعة الهيدروكسيل (OH –) مباشرة بحلقة البنزين، لا يُعتبَر المركّب الناتج من الكحولات بل يُعتبَر من عائلة الفينولات، مثل:



الفينول



α نافثول

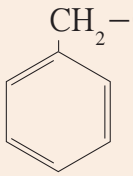


الريزورسينول

1.1 تسمية الكحولات Nomenclature of Alcohols

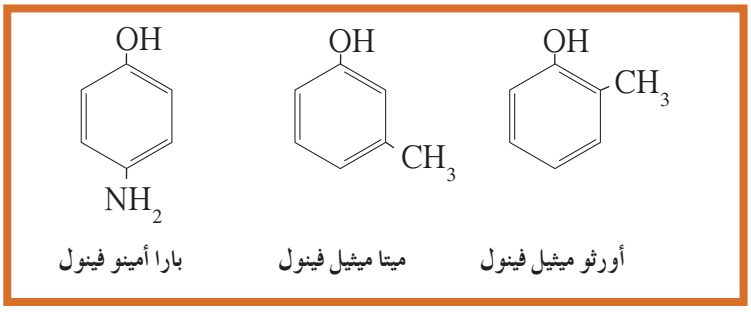
(أ) التسمية الشائعة Common Nomenclature

تمتلك بعض الكحولات الأليفاتية أسماء شائعة، وتُصاغ تسمية مجموعة الألكيل بإضافة كلمة كحول قبلها: كحول الألكيل. فالاسم الشائع للإيثانول، على سبيل المثال، هو كحول الإيثيل والاسم الشائع للميثانول هو كحول الميثيل. ما هي الصيغ التركيبية لـ 2 – بيوتانول (كحول البيوتيل الثانوي) و2 – ميثيل – 2 – بروبانول (كحول البيوتيل الثالثي)؟ يوضّح الجدول (17) بعض الأسماء الشائعة للكحولات:

صيغة الكحول	اسم الكحول الشائع
CH_3-OH	كحول الميثيل
CH_3-CH_2-OH أو C_2H_5-OH	كحول الإيثيل
$CH_3-CH_2-CH_2-OH$	كحول البروبيل (كحول البروبيل الأولي)
$CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH}}-CH_3$	كحول الأيزوبروبيل (كحول البروبيل الثانوي)
	كحول البنزايل
$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-OH$	كحول البيوتيل الثالثي

جدول (17)
الأسماء الشائعة للكحولات

أمّا الفينولات فهي عائلة من المركبات العضوية فيها ترتبط مجموعة الهيدروكسيل مباشرةً بحلقة البنزين، والفينول هو المركّب الأساسي لجميع المشتقات (شكل 18).



شكل (18)
الفينول وبعض مشتقاته

(ب) التسمية بحسب قواعد الأيوباك

Nomenclature Based on IUPAC

- تسمية الكحولات ذات السلسلة الكربونية غير المتفرّعة

يُكتَب اسم الألكان المقابل (الذي يحتوي على عدد ذرّات الكربون نفسه) ثمّ يُضاف المقطع "ول"، ويجب تحديد موضع مجموعة الهيدروكسيل في السلسلة الكربونية (ابتداءً من n=3 أي البروبانول) وذلك بترقيم ذرّات كربون السلسلة من الطرف الأقرب إلى مجموعة الهيدروكسيل (جدول 18).

صيغة الكحول	اسم الكحول بحسب الأيوباك
$CH_3 - OH$	ميثانول
$CH_3 - CH_2 - OH$	إيثانول
$CH_3 - CH_2 - CH_2 - OH$	1 – بروبانول
$CH_3 - \underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH}} - CH_3$	2 – بروبانول
$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - OH$	1 – بيوتانول
$CH_3 - \underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH}} - CH_2 - CH_3$	2 – بيوتانول
$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - \underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH_2}}$	1 – بنتانول

جدول (18)
التسمية بحسب قواعد الأيوباك للكحولات غير المتفرّعة

- تسمية الكحولات ذات السلسلة الكربونية المتفرّعة

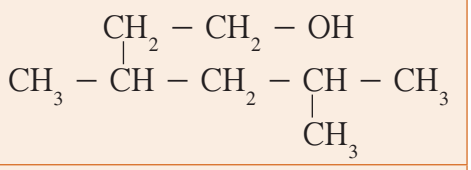
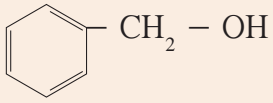
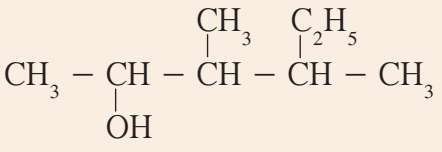
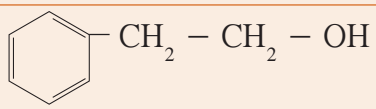
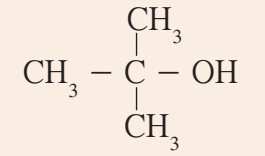
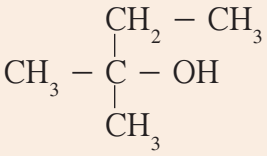
يتمّ اختيار أطول سلسلة كربونية متّصلة ترتبط بها مجموعة الهيدروكسيل (– OH).

تُرقَّم ذرّات الكربون في السلسلة الكربونية المختارة ويبدأ الترقيم من الطرف الأقرب إلى مجموعة الهيدروكسيل.

تُحدَّد مواضع التفرّعات، وتُكتَب التفرّعات بالترتيب الأبجدي العربي.

يُحدَّد موضع ارتباط مجموعة الهيدروكسيل، ثمّ يُكتَب اسم الألكان المقابل للسلسلة الكربونية المختارة ويُضاف المقطع "ول" (جدول 19).

في حال وجود أيّ شقوق أخرى، يتمّ اتّباع أسس التسمية نفسها التي سبق دراستها في الدرس السابق علمًا بأنّ أولوية الترقيم تكون لمجموعة الهيدروكسيل بالنسبة إلى شقوق الألكيل.

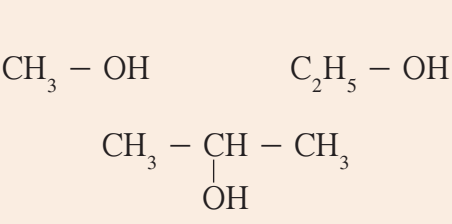
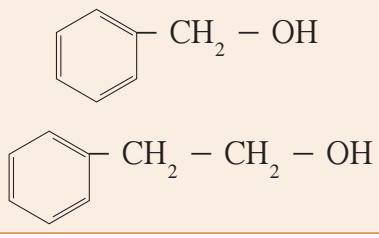
صيغة الكحول	اسم الكحول بحسب الأيوباك
	3 , 5 – ثنائي ميثيل – 1 – هكسانول
	فينيل ميثانول
	3 , 4 – ثنائي ميثيل – 2 – هكسانول
	2 – فينيل – 1 – إيثانول
	2 – ميثيل – 2 – بروبانول
	2 – ميثيل – 2 – بيوتانول

جدول (19)
التسمية بحسب قواعد الأيوباك للكحولات المتفرّعة

2.1 تصنيف الكحولات Classification of Alcohols

يمكن تصنيف الكحولات بحسب نوع الشق العضوي أو عدد مجموعة الهيدروكسيل أو تبعًا لنوع ذرّة الكربون المتبعة فيها مجموعة الهيدروكسيل.

يوضّح الجدول (20) تصنيف الكحولات بحسب نوع الشق العضوي:

الكحولات الأليفاتية المشبّعة	الكحولات الأروماتية
هي الكحولات التي تحتوي جزيئاتها على سلسلة كربونية أليفاتية.	هي الكحولات التي تحتوي جزيئاتها على حلقة بنزين لا تتّصل مباشرة بمجموعة الهيدوكسيل.
	

جدول (20)
تصنيف الكحولات بحسب نوع الشق العضوي

يوضّح الجدول (21) تصنيف الكحولات بحسب عدد مجموعات الهيدروكسيل:

كحولات أحادية الهيدروكسيل	كحولات ثنائية الهيدروكسيل	كحولات عديدة الهيدروكسيل
هي الكحولات التي تتميّز بوجود مجموعة هيدروكسيل واحدة في الجزيء.	هي الكحولات التي تتميّز بوجود مجموعتين من الهيدروكسيل في الجزيء.	هي الكحولات التي تتميّز بوجود ثلاث مجموعات هيدروكسيل (أو أكثر) في الجزيء.
$CH_3 - OH$ ميثانول $CH_3 - CH_2 - OH$ إيثانول $CH_3-CH_2-CH_2-OH$ 1– بروبانول	$CH_2(OH) - CH_2(OH)$ 1 ، 2 – إيثان ثنائي أول (جليكول الإيثيلين)	$CH_2(OH) - CH(OH) - CH_2(OH)$ 1 ، 2 ، 3 – بروبان ثلاثي أول (الجليسرول)

جدول (21)
تصنيف الكحولات بحسب عدد مجموعة الهيدروكسيل

يوضّح الجدول (22) تصنيف الكحولات بحسب نوع ذرّة الكربون المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل:

كحولات أوّلية	كحولات ثانوية	كحولات ثالثية
هي الكحولات التي لها الصيغة العامّة التالية: $R - CH_2 - OH$ وفيها ترتبط مجموعة الهيدروكسيل بذرّة كربون (أوّلية) متّصلة بذرّتي هيدروجين ومجموعة ألكيل أو بذرّات هيدروجين.	هي الكحولات التي لها الصيغة العامّة التالية: $R-CH(R')-OH$ وفيها ترتبط مجموعة الهيدروكسيل بذرّة كربون (ثانوية) متّصلة بذرّة هيدروجين ومجموعتي ألكيل.	هي الكحولات التي لها الصيغة العامّة التالية: $R-C(R')(R'')-OH$ وفيها ترتبط مجموعة الهيدروكسيل بذرّة كربون (ثالثية) متّصلة بثلاث مجموعات ألكيل.
$CH_3 - OH$ ميثانول $CH_3 - CH_2 - OH$ إيثانول $(CH_3)_2CH - CH_2 - OH$ 2– ميثيل 1– بروبانول	$CH_3 - CH(CH_3) - OH$ 2– بروبانول $CH_3-CH(CH_3)-CH(CH_3)-OH$ 3– ميثيل 2– بيوتانول	$CH_3-C(CH_3)(CH_3)-OH$ 2– ميثيل 2– بروبانول

جدول (22)
تصنيف الكحولات بحسب نوع ذرّة الكربون المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل

مثال (1)

اكتب الصيغ التركيبية للمركّب ذي الصيغة الجزيئية $C_5H_{12}O$ على أن تمثّل الصيغ التركيبية كحولات أوّلية. سمِّ كلّ منها.

1. حلِّل: صمِّم خطّة استراتيجية لحلّ السؤال.

الكحولات الأوّلية تمتاز باحتوائها على مجموعة ($-CH_2OH$) وتزيد درجة غليانها كلّما كانت السلسلة الرئيسة للمركّب أطول.

2. حلّ: طبِّق الخطّة الاستراتيجية لحلّ السؤال.

$$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2OH$$

1 – بنتانول

$$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_2OH$$

3 – ميثيل – 1 – بيوتانول

$$CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2OH$$

2 – ميثيل – 1 – بيوتانول

$$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}-CH_2OH$$

2,2 – ثنائي الميثيل – 1 – بروبانول

3. قيِّم: هل النتيجة لها معنى؟

كلّ المركّبات تحتوي على مجموعة $-CH_2OH$ أيّ كلّها كحولات أوّلية.

2. تحضير الكحولات Preparation of Alcohols

تُستعمَل الكحولات بكميّات كبيرة في الصناعات الكيميائية. تُستخدَم الكحولات كمذيبات أو كمركّبات وسطية في تحضير المركبات العضوية ولتصنيع الأدوية ومستحضرات التجميل وغيرها.

يُعتبَر الميثانول والإيثانول من أكثر الكحولات استعمالًا في الصناعة الكيميائية.

فقرة إثرائية

معلومات إضافية

التخمّر

التخمّر هو عملية استخلاص الطاقة من تفاعلات الأكسدة والاختزال للمركّبات الكيميائية (الكربوهيدرات). ويحدث التخمّر بوجود موادّ محفزّة بيولوجية هي إنزيمات مثل البكتيريا والعفن والخميرة.

(أ) إماهة الألكينات Hydration of Alkenes

تُعتبَر إماهة الألكينات من الطرق الحديثة التي تسمح بتحضير الكحولات.

تتمّ إضافة الماء إلى الألكينات في وسط حمضي لإنتاج الكحولات ويعتمد نوع الكحول على مدى تماثل الألكين (قاعدة ماركونيكوف). كما توضّح المعادلة التالية:

$$-\overset{|}{C}=\overset{|}{C}- + H_2O \xrightarrow{H_3O^+} H-\overset{|}{\underset{|}{C}}-\overset{|}{\underset{|}{C}}-OH$$

يحضر الإيثانول عند تفاعل الإيثين والماء تحت ضغط مرتفع ودرجة حرارة تساوي 300 °C وبوجود حمض الكبريتيك أو حمض الفسفوريك كمادّة محفّزة. توضّح المعادلة التالية إماهة الإيثين:

$$\underset{\text{الإيثين}}{CH_2=CH_2} + H_2O \xrightarrow[\text{ضغط /300 °C}]{H_3PO_4} \underset{\text{إيثانول}}{C_2H_5OH}$$

عند إضافة الماء إلى البروبين يكون الناتج الأساسي 2− بروبانول:

$$\underset{\text{بروبين}}{CH_3-CH=CH_2} + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} \underset{\text{2− بروبانول}}{CH_3-\overset{OH}{\overset{|}{CH}}-CH_3}$$

(ب) تميّؤ هاليدات الألكيل Hydrolysis of Alkyl Halides

تُحضَّر الكحولات بتميّؤ هاليدات الألكيل المقابلة (RX) في وجود مادّة قاعدية مثل هيدروكسيد الصوديوم والتسخين على النحو التالي:

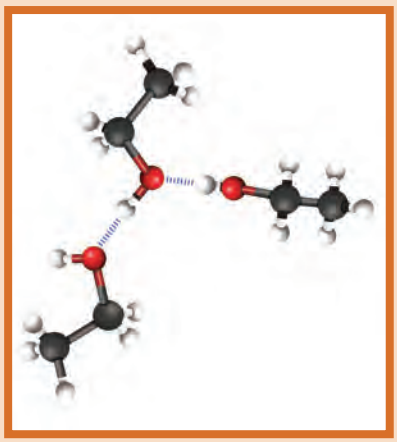
$$\underset{\text{هاليد الألكيل}}{R-X} + \underset{\substack{\text{هيدروكسيد}\\\text{الصوديوم}}}{Na-OH} \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{كحول}}{R-OH} + \underset{\text{ملح}}{NaX}$$

$$\underset{\text{كلوريد الميثيل}}{CH_3-Cl} + \underset{\substack{\text{هيدروكسيد}\\\text{الصوديوم}}}{NaOH} \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{ميثانول}}{CH_3-OH} + \underset{\substack{\text{كلوريد}\\\text{الصوديوم}}}{NaCl}$$

3. الخواصّ الفيزيائية والكيميائية Physical and Chemical Properties

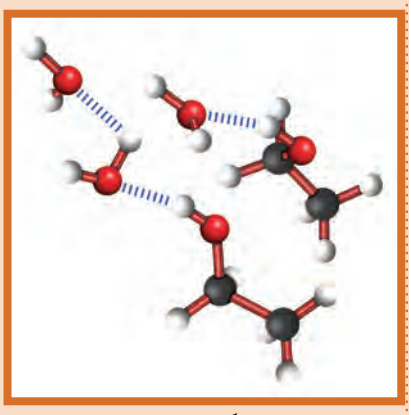
1.3 الخواصّ الفيزيائية للكحولات Physical Properties of Alcohol

- عند مقارنة درجات غليان الكحولات بالهيدروكربونات المتقاربة معها في الكتل المولية، نجد أنّ درجات غليان الكحولات أعلى. ويعود ذلك إلى وجود مجموعة الهيدروكسيل القطبية التي تعمل على تكوين روابط هيدروجينية (شكل 19) بين جزيئاتها، بينما الهيدروكربونات مركّبات غير قطبية وقوّة التجاذب بين جزيئاتها ضعيفة.



شكل (19)
الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الإيثانول

- تزداد درجات غليان الكحولات غير المتفرّعة والتي تحتوي على عدد مجموعات الهيدروكسيل نفسها بزيادة الكتلة المولية (جدول 23).
- تزداد درجة الغليان مع زيادة عدد مجموعات الهيدروكسيل في الجزيء وذلك بسبب زيادة عدد الروابط الهيدروجينية التي يمكن للجزيء أن يكوّنها مع جزيئات كحول أخرى.
- تذوب الكحولات ذات الكتل المولية المنخفضّة والتي تحتوي على ذرّة كربون أو ذرّتين أو ثلاث ذرّات بسهولة في الماء بسبب قدرتها على تكوين روابط هيدروجينية مع جزيئات الماء. وتقلّ الذوبانية في الماء بزيادة الكتلة المولية (أي بزيادة طول السلسلة الكربونية) لأنّ طول السلسلة الكربونية يقلّل من قطبية مجموعة الهيدروكسيل، وبالتالي لا تستطيع تكوين روابط هيدروجينية مع الماء (شكل 20).
- تزداد ذوبانية الكحولات في الماء مع زيادة عدد مجموعات الهيدروكسيل في الجزيء وذلك بسبب زيادة عدد الروابط الهيدروجينية التي يمكن للجزيء أن يكوّنها مع جزيئات الماء.



شكل (20)
الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الإيثانول وجزيئات الماء

اسم الكحول	درجة الانصهار (°C)	درجة الغليان (°C)	الكثافة (kg/L)
ميثانول	−97.6	64.7	0.792
إيثانول	−114	78.3	0.789
1 – بروبانول	−126	97.2	0.804
1 – بيوتانول	−90	117.7	0.810
1 – هكسانول	−52	155.8	0.814

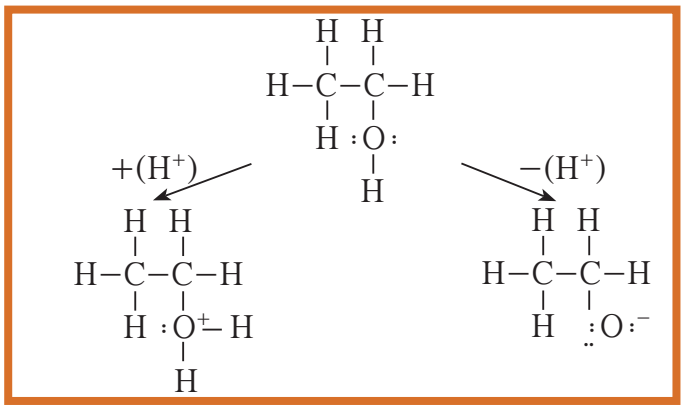
جدول (23)
درجات حرارة الانصهار والغليان والكثافة لبعض الكحولات.

2.3 الخواصّ الكيميائية للكحولات

Chemical Properties of Alcohols

تتميّز المجموعة الوظيفية هيدروكسيل في الكحولات بما يلي:

- الرابطة O–H قطبية تجعل من الكحول حمضًا ضعيفًا جدًّا.
- الرابطة C–O قطبية بحيث زوجا الإلكترونات غير المشاركة على ذرّة الأكسجين يجعلان الكحول قاعدة ضعيفة جدًّا (شكل 21).
- لذلك تنقسم تفاعلات الكحولات الكيميائية إلى:
- تفاعلات تنكسر فيها الرابطة التساهمية O–H.
- تفاعلات تنكسر فيها الرابطة التساهمية C–O.



شكل (21)
الحمض المرافق والقاعدة المرافقة للإيثانول

(أ) التفاعلات على الرابطة O—H Reactions on O—H Bond

- **استبدال الهيدروجين في مجموعة الهيدروكسيل**

Substitution of Hydrogen in the Hydroxyl Group

تتفاعل الكحولات مع الفلزّات النشطة (M) مثل (Na ، K) وتحلّ ذرّة الفلزّ النشط محلّ هيدروجين مجموعة الهيدروكسيل، فيتكوّن ملح الكوكسيد الفلزّ (R – OM) ويتصاعد غاز الهيدروجين (H_2).

$$2R-OH_{(l)} + 2M_{(s)} \longrightarrow 2ROM_{(aq)} + H_{2(g)}$$

كحول — فلز نشط — غاز الهيدروجين

مثال:

$$2CH_3-OH_{(l)} + 2K_{(s)} \longrightarrow 2CH_3OK_{(aq)} + H_{2(g)}$$

ميثانول — فلز البوتاسيوم — ميثوكسيد البوتاسيوم — غاز الهيدروجين

$$2CH_3CH_2OH_{(l)} + 2Na_{(s)} \longrightarrow 2CH_3-CH_2ONa_{(aq)} + H_{2(g)}$$

إيثانول — فلز الصوديوم — إيثوكسيد الصوديوم — غاز الهيدروجين

إذا أضفنا ناتج هذا التفاعل إلى وعاء يحتوي على الماء المقطَّر المضاف إليه عدّة نقاط من الفينولفثالين، يتغيّر لون المحلول إلى الزهري دالًّا على أنّ الوسط قاعدي ويمكن الحصول على الكحول.

$$CH_3CH_2ONa_{(aq)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow CH_3-CH_2-OH_{(l)} + NaOH_{(aq)}$$

إيثوكسيد الصوديوم — ماء — إيثانول — هيدروكسيد الصوديوم (قاعدة قوية)

ملاحظة: تسمى أملاح الكوكسيد الفلز (ROM) بحذف "يل" من شق الألكيل وإضافة «وكسيد» يليه اسم الفلز.

تفاعلات الأكسدة Oxidation Reactions

تعطي ذرّة الهيدروجين المرتبطة بذرّة الكربون المتّصلة بمجموعة الهيدروكسيل خواصّ العامل المختزل للكحول، ما يسمح للكحول بأن تتأكسد تحت ظروف معيّنة.

في هذا الدرس، سوف نركّز على تفاعلات الأكسدة المعتدلة حيث تتمّ الأكسدة من دون أن تنكسر السلسلة الكربونية. تتمّ تفاعلات الأكسدة على مجموعة الهيدروكسيل ويرتبط الناتج بنوع الكحول.

تتأكسد الكحولات الأوّلية والثانوية فقط ولا تتأكسد الكحولات الثالثية بالعوامل المؤكسدة. عند استخدام الأكسجين أو برمنجنات البوتاسيوم المحمّضة بحمض الكبريتيك المخفّف كعامل مؤكسد، لا يتوقّف التفاعل عند تكوين الألدهيد بل يستمرّ التفاعل حتى إنتاج الحمض الكربوكسيلي.

تعتمد عملية الأكسدة في الكحولات على ذرّات الهيدروجين المرتبطة بذرّة الكربون المتّصلة بمجموعة (OH−).

تتأكسد الكحولات الأوّلية ($R-CH_2-OH$) على مرحلتين بسبب ارتباط ذرّة الكربون المتّصلة بمجموعة الهيدروكسيل بذرّتي هيدروجين.

يتأكسد الكحول في المرحلة الأولى إلى الألدهيد. وإذا استمرّ الألدهيد في وسط التفاعل يتأكسد إلى الحمض الكربوكسيلي المقابل.

تتأكسد الكحولات الثانوية ($R-\underset{\displaystyle R'}{\underset{|}{CH}}-OH$) على مرحلة واحدة بسبب ارتباط ذرّة الكربون المتّصلة بمجموعة الهيدروكسيل بذرّة هيدروجين واحدة حيث يتأكسد إلى الكيتون المقابل.

لا تتأكسد الكحولات الثالثية ($R-\underset{\displaystyle R'}{\overset{\displaystyle R''}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-OH$) بسبب عدم ارتباط ذرّة الكربون المتّصلة بمجموعة الهيدروكسيل بذرّة هيدروجين.

أكسدة الكحولات الأوّلية

تتأكسد الكحولات الأوّلية بالعوامل المؤكسدة أو بالأكسجين على مرحلتين لوجود ذرّتي هيدروجين مرتبطتين بذرّة الكربون المتّصلة بمجموعة الهيدروكسيل، حيث يتأكسد الكحول الأوّلي إلى الألدهيد المقابل والماء. وباستمرار الأكسدة يتأكسد الألدهيد إلى الحمض الكربوكسيلي المقابل.

$$\underset{\text{كحول أولي}}{R-CH_2-OH} + [O] \longrightarrow H_2O + \underset{\text{ألدهيد}}{R-CHO}$$

$$\underset{\text{ألدهيد}}{R-CHO} + [O] \longrightarrow \underset{\text{حمض كربوسيلي}}{R-COOH}$$

أو

$$\underset{\text{كحول أولي}}{RCH_2OH} + 2[O] \longrightarrow H_2O + \underset{\text{حمض كربوكسيلي}}{RCOOH}$$

مثال على ذلك:

$$\underset{\text{إيثانول}}{CH_3-CH_2-OH} + [O] \longrightarrow \underset{\text{إيثانال}}{CH_3CHO} + H_2O$$

$$\underset{\text{إيثانال}}{CH_3-CHO} + [O] \longrightarrow \underset{\text{حمض إيثانويك}}{CH_3-COOH}$$

يمكن الحصول على الألدهيد من دون السماح للتفاعل بأنّ يتمّ كلّيًّا لإنتاج الحمض الكربوكسيلي، وذلك بنزع الهيدروجين من خلال تمرير أبخرة الكحول الأوّلي على نحاس مسخّن درجة حرارته (300 °C).

$$\underset{\text{ميثانول}}{CH_3OH} \xrightarrow[300\ ^\circ C]{Cu} H_2 + \underset{\text{ميثانال}}{H-CHO}$$

$$\underset{\text{إيثانول}}{CH_3-CH_2-OH} \xrightarrow[300\ ^\circ C]{Cu} H_2 + \underset{\text{أسيتالدهيد}}{CH_3CHO}$$

أكسدة الكحولات الثانوية

تتأكسد الكحولات الثانوية بالعوامل المؤكسدة أو بالأكسجين على مرحلة واحدة لوجود ذرّة هيدروجين واحدة مرتبطة بذرّة الكربون المتّصلة بمجموعة (OH –) حيث يتأكسد الكحول الثانوي إلى الكيتون المقابل والماء.

$$\underset{\text{كحول ثانوي}}{R-\overset{\overset{OH}{|}}{CH}-R'} + [O] \longrightarrow \underset{\text{كيتون}}{R-\overset{\overset{O}{||}}{C}-R'} + H_2O$$

$$CH_3-\underset{\text{2 – بروبانول}}{\overset{OH}{\overset{|}{CH}}}-CH_3 + [O] \longrightarrow CH_3-\underset{\text{بربانون}}{\overset{O}{\overset{||}{C}}}-CH_3 + H_2O$$

$$CH_3-\underset{\text{2 – بيوتانول}}{\overset{OH}{\overset{|}{CH}}}-CH_2-CH_3 + [O] \longrightarrow CH_3-\underset{\text{بيوتانون}}{\overset{O}{\overset{||}{C}}}-CH_2-CH_3 + H_2O$$

يمكن الحصول على الكيتون بنزع الهيدروجين، وذلك بتمرير بخار الكحول الثانوي على نحاس مسخّن درجة حرارته (300 °C).

$$CH_3-\underset{\text{2 – بيوتانول}}{\overset{OH}{\overset{|}{CH}}}-CH_2-CH_3 \xrightarrow[300\ ^\circ C]{Cu} H_2 + CH_3-\underset{\text{بيوتانون}}{\overset{O}{\overset{||}{C}}}-CH_2-CH_3$$

لا تتأكسد الكحولات الثالثية عند الظروف العادية لعدم وجود ذرّة هيدروجين متّصلة بذرّة الكربون المتّصلة بدورها بمجموعة الهيدروكسيل.

• تفاعل الأسترة Esterification Reaction

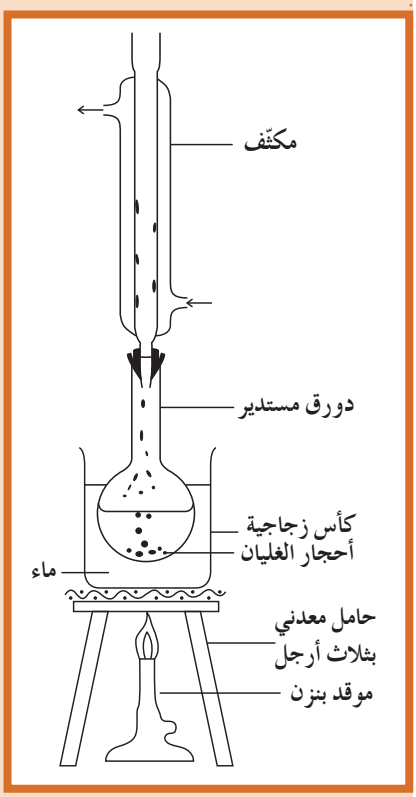
يتفاعل الكحول مع الحمض الكربوكسيلي لتكوين الأستر والماء، ويُسمّى هذا التفاعل تفاعل الأسترة. يتمّ هذا التفاعل في وجود حمض الكبريتيك المركز H_2SO_4 كمادّة محفّزة لنزع الماء ومنع التفاعل العكسي. لأن التفاعل يتميّز ببطئه وحدوثه في الاتّجاهين (تفاعل عكسي) (شكل 22).
يتكوّن الاستر بحسب المعادلة العامّة التالية:

$$R-\underset{\text{حمض كربوكسيلي}}{\overset{O}{\overset{||}{C}}}-OH + R'-OH \rightleftharpoons R-\underset{\text{استر}}{\overset{O}{\overset{||}{C}}}-OR' + \underset{\text{ماء}}{H_2O}$$
(كحول)

ملاحظة: تتمّ تسمية الإسترات بكتابة اسم الحمض (الشائع أو الأيوباك) مع استبدال المقطع «يك» بالمقطع «آت» يليه اسم شقّ الألكيل من الكحول.

مثال على ذلك، تفاعل حمض الإيثانويك والإيثانول لتكوين إيثانوات الإيثيل وماء:

$$CH_3-\underset{\text{حمض الايثانويك}}{\overset{O}{\overset{||}{C}}}-OH + H-\underset{\text{إيثانول}}{OCH_2CH_3} \rightleftharpoons CH_3-\underset{\text{إيثانوات الإيثيل}}{\overset{O}{\overset{||}{C}}}-OCH_2CH_3 + \underset{\text{ماء}}{H_2O}$$



شكل (22)
تُحضَّر الإسترات في المختبر.

(ب) التفاعلات على الرابطة (C–O) Reactions on C–O Bond

• تفاعل نزع الماء Dehydration Reaction

طبقًا للظروف التي يحدث عندها التفاعل، هناك نوعان من نزع الماء تعتمد على درجة حرارة التفاعل.
يمكن نزع عناصر الماء من الكحولات (مجموعة OH مع ذرّة H) بتسخينها مع مادّة نازعة للماء، مثل حمض الكبريتيك المركّز، ويختلف الناتج طبقًا لظروف التفاعل.

يتمّ تفاعل نزع الماء عند تسخين الكحول مع حمض الكبريتيك المركز كمادّة نازعة للماء عند درجة حرارة 140 °C. فعند تسخين المخلوط يتم نزع مجموعة هيدروكسيل (OH) من جزيء الكحول وذرة هيدروجين (H) من هيدروكسيل (OH) جزيء كحول آخر فيتكون الايثير والماء. ينتج من هذا التفاعل الإيثر والماء كما توضّح المعادلة التالية:

$$2R-OH \xrightarrow[140\ ^{\circ}C]{H_2SO_4} R-O-R + H_2O$$

كحول — إيثر — ماء

مثال على تفاعل نزع الماء من الإيثانول حيث يتم نزع الماء من جزيئين الكحول:

$$2CH_3-CH_2OH_{(l)} \xrightarrow[140\ ^{\circ}C]{H_2SO_4} CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_{3(l)} + H_2O_{(l)}$$

إيثانول — ثنائي إيثيل الإيثر — ماء

يتمّ تفاعل نزع الماء من جزيء الكحول نفسه عند تسخين الكحول مع حمض الكبريتيك المركز كمادّة نازعة للماء عند درجة حرارة 180 °C يتم نزع مجموعة الهيدروكسيل (OH) من ذرة كربون وذرة هيدروجين (H) من ذرة الكربون المجاورة في الكحول نفسه. ينتج من هذا التفاعل الألكين والماء كما توضّح المعادلة التالية:

$$R-CH_2-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH_2}} \xrightarrow[180\ ^{\circ}C]{H_2SO_4} R-CH=CH_2 + H_2O$$

كحول — ألكين — ماء

مثال على ذلك تفاعل نزع الماء من الإيثانول:

$$CH_3-CH_2OH_{(l)} \xrightarrow[180\ ^{\circ}C]{H_2SO_4} CH_2=CH_{2(g)} + H_2O_{(l)}$$

إيثانول — إيثين — ماء

ملاحظة: ناتج التفاعل يتوقف على درجة حرارة التفاعل.

- **التفاعل مع هاليدات الهيدروجين (HX)**

Reaction with Hydrogen Halides

تتفاعل الكحولات مع هاليدات الهيدروجين (HCl ، HBr ، HI) سواء كانت غازات أو محاليل مائية، ويحلّ الهالوجين محلّ مجموعة الهيدروكسيل ويتكوّن هاليد الألكيل (R−X) والماء.

$$R-OH + HX \longrightarrow R-X + H_2O$$

كحول — حمض

$$C_2H_5-OH + HCl \longrightarrow C_2H_5-Cl + H_2O$$

إيثانول — كلوريد الإيثيل

$$C_2H_5-CH_2-OH + HBr \longrightarrow C_2H_5-CH_2-Br + H_2O$$

بروبانول — بروميد البروبيل

فقرة إثرائية

علاقة الكيمياء بالبيئة

الميثانول كوقود

استُخدِم وقود الميثانول على نطاق واسع في وسائل النقل منذ اختراع محرِّك الاحتراق الداخلي (Internal Combustion Engine) ويستمرّ استخدامه حتّى أيّامنا هذه كبديل للوقود الذي يُشتَقّ من النفط.

يُعتبَر الميثانول وقود مثالي للنقل بسبب كفاءة احتراقه وانخفاض تكلفته مقارنة بجميع أنواع الوقود الأخرى. عندما يحترق الوقود ينتج عددًا من النواتج الثانوية الضارّة والسامّة والتي يمكن إزالتها أو تخفيضها من خلال استبدال الوقود بالميثانول.

عندما يستهلك الميثانول كوقود تقلّ كثيرًا انبعاثات الكربون غير المحترق وأوّل أكسيد الكربون. كما يقلّل استهلاك وقود الميثانول بدرجة كبيرة انبعاثات أكاسيد النيتروجين. يحترق الميثانول من دون أن يتفاعل مع الجسيمات التي تؤدّي إلى مشاكل تنفّسية ورئوية من مثل أمراض الربو.

4. الإيثرات Ethers

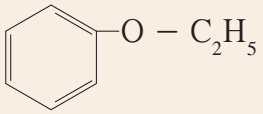
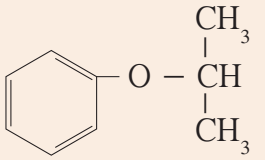
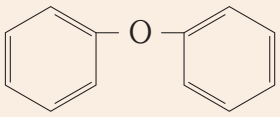
الإيثرات Ethers هي مركّبات عضوية تتميّز باحتوائها على مجموعة الأوكسي (– O –) كمجموعة وظيفية متّصلة بشقّين عضويين. تعرف الرابطة الإيثرية Ether Bond بالرابطة بين ذرة الكربون ومجموعة الأوكسي.

1.4 تسمية الإيثرات Nomenclature of Ethers

سنكتفي بالتسمية الشائعة حيث يُكتَب اسم الشقّين العضويين المرتبطين بذرّة الأكسجين بترتيب أبجدي عربي ثمّ يُتبعان بكلمة "إيثر". إذا كان الإيثر غير متماثل. أما إذا كان متماثل، يكتب إسم الإيثر بكتابة ثنائي مع إسم الشق كما يُتبعان بكلمة "إيثر" (جدول 24).

غير متماثل: أسماء الشقّين بحسب الأبجدية + إيثر.

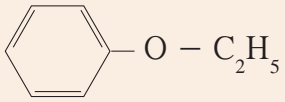
متماثل: ثنائي + اسم الشقّ + إيثر.

الصيغة الكيميائية للإيثر	الاسم الشائع
$CH_3 - O - C_2H_5$	إيثيل ميثيل ايثر
$CH_3 - O - CH_3$	ثنائي ميثيل ايثر
$C_3H_7 - O - C_2H_5$	إيثيل بروبيل ايثر
	إيثيل فينيل ايثر
	أيزوبروبيل فينيل ايثر
	ثنائي فينيل ايثر

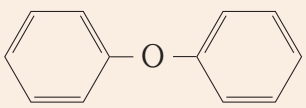
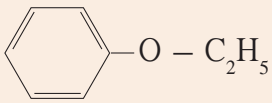
جدول (24)
بعض الأسماء الشائعة للإيثرات

2.4 تصنيف الإيثرات Classification of Ethers

تُصنَّف الإيثرات تبعًا لتماثل للشقّين العضويّين المتّصلين بمجموعة الأوكسي أو تبعًا للشقين العضويين كما هو موضح في الجدولين (25) و (26).

إيثرات متماثلة R – O – R	إيثرات غير متماثلة R – O – R'
هي الإيثرات التي يكون فيها الشقّان العضويان المرتبطان بمجموعة الأوكسي متماثلين.	هي الإيثرات التي يكون فيها الشقّان العضويان المرتبطان بمجموعة الأوكسي غير متماثلين (مختلفين).
$C_2H_5 - O - C_2H_5$ $CH_3 - O - CH_3$	$CH_3 - O - C_2H_5$ $C_3H_7 - O - C_2H_5$ 

جدول (25)
التقسيم بحسب تماثل الشقين العضويين

إيثرات أليفاتية	إيثرات أروماتية	أيثرات مختلطة
هي الإيثرات التي تكون فيها مجموعة الأوكسي متّصلة بمجموعتي ألكيل.	هي الإيثرات التي تكون فيها مجموعة الأوكسي متّصلة بمجموعتي فينيل (أريل).	هي الإيثرات التي تكون فيها مجموعة الأوكسي متّصلة بمجموعة ألكيل من جهة ومجموعة فينيل (أريل) من جهة أخرى.
$CH_3 - O - CH_3$ $C_2H_5 - O - C_2H_5$ $CH_3 - O - C_2H_5$ $C_3H_7 - O - C_2H_5$		

جدول (26)
التقسيم بحسب الشقين العضويين

3.4 تحضير الإيثرات Preparation of Ethers

• **تحضير الإيثرات المتماثلة**

يتمّ ذلك بتسخين الكحول مع مادّة نازعة للماء مثل حمض الكبريتيك (H_2SO_4) المركّز لدرجة (140 °C) بحيث يتمّ نزع جزيء ماء من جزيئين كحول.

$$\underset{\text{ميثانول}}{2CH_2-OH} \xrightarrow[140\ ^\circ C]{H_2SO_4} H_2O + \underset{\text{ثنائي ميثيل ايثر}}{CH_3-O-CH_3}$$

$$\underset{\text{إيثانول}}{2C_2H_5-OH} \xrightarrow[140\ ^\circ C]{H_2SO_4} H_2O + \underset{\text{ثنائي إيثيل ايثر}}{C_2H_5-O-C_2H_5}$$

• **طريقة وليمسون لتحضير الإيثرات المتماثلة وغير المتماثلة**

يتمّ ذلك بتفاعل هاليد الألكيل (R – X) بالاستبدال مع الكوكسيد الصوديوم (R – ONa) بحيث يحلّ أنيون الألكوكسيد (RO^-) محلّ أنيون الهاليد (X^-).

$$\underset{\text{إيثوكسيد الصوديوم}}{C_2H_5-ONa} + \underset{\text{بروميد الإيثيل}}{Br-C_2H_5} \longrightarrow NaBr + \underset{\text{ثنائي إيثيل ايثر}}{C_2H_5-O-C_2H_5}$$

$$\underset{\text{إيثوكسيد الصوديوم}}{C_2H_5-ONa} + \underset{\text{كلوريد الميثيل}}{Cl-CH_3} \longrightarrow NaCl + \underset{\text{إيثيل ميثيل ايثر}}{C_2H_5-O-CH_3}$$

4.4 الخواصّ الفيزيائية للإيثرات Physical Properties of Ethers

• الإيثرات هي مركّبات قطبية نظرًا لوجود فرق في السالبية الكهربائية بين الكربون والأكسجين C – O – C ولكن قطبيتها ضعيفة.

• الإيثرات شحيحة الذوبان في الماء، ولكن بعض الإيثرات البسيطة تذوب في الماء بسبب ارتباط هيدروجين الماء بأكسجين الإيثر برابطة هيدروجينية ضعيفة.

• تقلّ ذوبانية الإيثرات في الماء بزيادة كتلتها الجزيئية.

• ذوبانية الإيثرات في الماء أقلّ من ذوبانية الكحولات.

• تتميّز الإيثرات بدرجة غليان منخفضة نسبيًّا وذلك لأنّ جزيئات الإيثرات لا تحتوي على مجموعة الهيدروكسيل (–OH) لذا لا تنشأ بين جزيئات الإيثر روابط هيدروجينية.

- عند مقارنة درجات غليان الإيثرات مع درجات غليان الألكانات المتقاربة معها في الكتل المولية نجد أنّ درجات غليان الإيثرات أعلى بسبب قطبية جزيئات الإيثر.

- عند مقارنة درجات غليان الإيثرات مع درجات غليان الكحولات المتقاربة معها في الكتل المولية نجد أنّ درجات غليان الإيثرات أقلّ بسبب قدرة الكحولات على تكوين روابط هيدروجينية بين جزيئاتها (جدول 27).

الاسم	الصيغة التركيبية	الكتلة المولية (g/mol)	درجة الغليان (°C)
بروبان	$CH_3-CH_2-CH_3$	44	−42.1
ثنائي ميثيل ايثر	CH_3-O-CH_3	46	−23.7
الإيثانول	CH_3-CH_2-OH	46	78.3

جدول (27)
مقارنة بين درجة غليان ثنائي ميثيل الإيثر والبروبان والإيثانول.

5.4 الخواصّ الكيميائية للإيثرات
Chemical Properties of Ethers

الإيثرات مركّبات غير نشطة كيميائيًّا وأقلّ نشاط من الكحولات، فهي لا تتأثّر بالعوامل المؤكسدة القوية. ويعود السبب في ذلك إلى ثبات الرابطة الإيثرية التي يصعب كسرها في الظروف العادية (C − O − C) ولضعف الخاصية القطبية بالإيثرات.

تتفاعل الإيثرات بكسر الرابطة الإيثرية، بحيث تنشطر الرابطة الإيثيرية R − O − R إذا سُخِّن الإيثر بشدّة مع الأحماض القوية المركّزة مثل حمض الهيدروبروميك HBr وحمض الهيدرويوديك HI.

$$\underset{\text{ثنائي ميثيل إيثر}}{CH_3-O-CH_3} + 2HI \xrightarrow{\Delta} H_2O + \underset{\text{يوديد الميثيل}}{2CH_3-I}$$

$$\underset{\text{ثنائي إيثيل ايثر}}{C_2H_5-O-C_2H_5} + 2HBr \xrightarrow{\Delta} H_2O + \underset{\text{بروميد الإيثيل}}{2\,C_2H_5-Br}$$

6.4 استخدامات الإيثرات
Uses of Ethers

ثنائي إيثيل الإيثر هو سائل متطاير (درجة غليانه 35 °C) ويُعتبَر أوّل مخدّر عامّ سبق استخدامه.

مراجعة الدرس 1-3

1. اكتب الصيغ التركيبية العامّة للكحولات والإيثرات الأليفاتية.
   كيف يمكنك تسمية هذه الجزيئات؟
2. كيف يمكن مقارنة ذوبان الكحولات بالإيثرات وكذلك درجات غليانها؟ فسّر إجابتك.
3. اكتب أسماء الكحولات التالية بحسب قواعد IUPAC، وصنّفها إلى كحولات أوّلية وثانوية وثالثية.

(أ) $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$ (ب) $CH_3CH(CH_3)OH$

(جـ) $CH_3CH_2C(CH_3)(OH)CH_3$

4. اكتب الأسماء الشائعة للمركّبات التالية:

(أ) $CH_3CH_2CH(OH)CH_3$ (ب) $CH_3CH(CH_3)CH_2OH$

(جـ) $CH_3CH_2OCH_2CH_3$

(د) $CH_3CH_2CH_2OCH_2CH_2CH_2CH_3$

5. أكمل المعادلات التالية:

(أ) $CH_3-CH_2-OH_{(l)} + 2[O] \longrightarrow$

(ب) $CH_3-CH_2-CH(CH_3)OH + [O] \longrightarrow$

(جـ) $2CH_3-CH_2-OH_{(l)} \xrightarrow[140\ ^\circ C]{H_2SO_4}$

فقرة إثرائية

أكّد طبيب أميركي عام 1842 يُدعى كروفورد لونغ Crawford Long أنّ الأطباء استخدموا ثنائي إيثيل إيثر لأكثر من قرن من الزمان، ولقد تمّ استبداله بعد ذلك بأنواع أخرى من مواد التخدير نظرًا إلى قابليته الشديدة للاشتعال وتسببه الدوار في أغلب الأحيان. أحد موادّ التخدير التي تُستخدَم في الوقت الحالي هو الهالوثان وهو مركّب هيدروكربوني هالوجيني.
وتُستعمَل الإيثرات أيضًا كمذيبات في التفاعلات العضوية. يُستخدَم بيوتيل ثالثي ميثيل ايثر كمحسِّن لأوكتان الجازولين بدلًا من رباعي إيثيل الرصاص الذي ينبعث من احتراقه أكسيد الرصاص الملوِّث للبيئة.

شكّل الحصول على الغذاء المناسب أهمّ العوامل التي دفعت الإنسان إلى الخروج من الكهوف منذ بدء التكوين. ولا يزال الحصول على الغذاء من المشكلات التي تتفاقم مع ازدياد عدد السكّان بسرعة فائقة. كانت مشكلة التغذية في بداية القرن العشرين تكمن في تزويد الفرد بكمّية كافية من البروتينات والدهون والسكّريات. أمّا في القرن الحالي، فباتت تكمن في خطورة التغذية غير الصحّية.

تحتوي الكثير من الأطعمة الجاهزة والمعلّبة على موادّ حافظة ضارّة وخصوصًا الأطعمة التي يفضّلها الأطفال (السكّريات). لذلك، يجب أن نعي خطورة تلك الموادّ التي قد تسبّب الكثير من الأمراض الخطيرة. من أهمّ الموادّ الحافظة التي تُستخدَم في الأطعمة الجاهزة، نذكر:

- حمض البنزويك وأملاحه وهو يُستخدَم في عصائر الفاكهة.
- حمض السوربيك وأملاحه وهو يُستخدَم في المخلّلات.
- جلوتامات أحادي الصوديوم (MSG) وهو يُستخدَم في مكعّبات المرقة الجاهزة وبعض الصلصات الجاهزة، ويُعتبَر من أهمّ المنكّهات التي تُضاف إلى الأطعمة. أظهرت الدراسات أنّ هذه المادّة تسبّب الإدمان وخللًا في الجهاز العصبي مع مرور الوقت.

ما الذي يجمع بين هذه الموادّ وما الذي يميّز جزيئاتها؟

الدرس 2-1

الألدهيدات والكيتونات
Aldehydes and Ketones

الأهداف العامة

- يميّز بين المجموعة الكربونيل في الألدهيدات والكيتونات.
- يصف تفاعلات المركّبات التي تحتوي على مجموعة الكربونيل الوظيفية.

شكل (23)
تحتوي المثلّجات على مادّة الفانيلين.

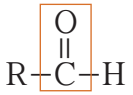
ما هي النكهة المفضَّلة لديك، السينامالدهيد أم الفانيلين؟ على الرغم من أنّ هذه النكهات توحي بأنّها تُستخدَم في أفلام الخيال العلمي، إلّا أنّك تناولت هذه الجزيئات العضوية في مناسبات كثيرة من دون شكّ (شكل 23).
تُسمّى هذه الجزيئات الألدهيدات وهي، إلى جانب المركّبات الكربونيلية الأخرى، تمتلك استخدامات عديدة في حياتنا اليومية على الرغم من أنّ أسماءها غير مألوفة بالنسبة إلينا.

1. الألدهيدات والكيتونات Aldehydes and Ketones

تعلّمت في الدرس السابق أنّ الكحولات تحتوي على ذرّة أكسجين مرتبطة بذرّة كربون مشبّعة في شق عضوي وبذرّة هيدروجين، وأنّ ذرّة الأكسجين في الإيثر تكون مرتبطة بشقين عضويين (ألكيل أو أريل).
تتكوّن مجموعة الكربونيل Carbonyl Group من ذرّة كربون وذرّة أكسجين مرتبطتين برابطة ثنائية تساهمية وهي مجموعة وظيفية في الألدهيدات والكيتونات.
الألدهيدات والكيتونات مركّبات واسعة الانتشار في الطبيعة بحيث تتواجد في الكربوهيدرات وفي بعض الهرمونات وفي بعض الحشرات والحيوانات (شكل 24).

شكل (24)
خنفساء الماء تفرز مادّة كيميائية، هي من الألدهيدات، للدفاع عن نفسها ولحفظ مكانتها ضمن مجموعاتها.

الألدهيدات Aldehydes هي مركّبات عضوية تكون فيها ذرّة كربون مجموعة الكربونيل طرفية (متّصلة بذرّة هيدروجين واحدة على الأقلّ) وتكون صيغتها التركيبية العامّة على الشكل التالي:



الكيتونات Ketones هي مركّبات عضوية تكون فيها ذرّة كربون مجموعة الكربونيل غير طرفية (متّصلة بذرّتي كربون) وتكون صيغتها التركيبية العامّة على الشكل التالي:

ملاحظة: المجموعتان R و'R يمكن أن تكونا متماثلتين أو مختلفتين ولكن لا يمكن أن تكون R أو 'R ذرّة هيدروجين في الكيتون.

تشترك الألدهيدات والكيتونات الأليفاتية في الصيغة الجزيئية العامّة $(C_nH_{2n}O)$. كما أنّ الألدهيدات أنشط من الكيتونات كيميائيا ذلك لارتباط مجموعة الكربونيل بذرّة هيدروجين.

2. تسمية الألدهيدات والكيتونات

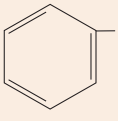
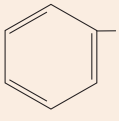
Nomenclature of Aldehydes and Ketones

1.2 تسمية الألدهيدات

Aldehyde Nomenclature

(أ) التسمية الشائعة Common Nomenclature

يُشتَقّ اسم الألدهيد الشائع من الاسم الشائع للحمض الكربوكسيلي المقابل له حيث يحلّ المقطع "الدهيد" محلّ المقطع الأخير من اسم الحمض "يك" (جدول 28).

صيغة الحمض الكربوكسيلي	الاسم الشائع للحمض الكربوكسيلي	صيغة الألدهيد	الاسم الشائع للألدهيد
$H-COOH$	حمض الفورميك	$HCHO$	الفورمالدهيد
CH_3-COOH	حمض الأسيتيك	CH_3CHO	الأسيتالدهيد
	حمض البنزويك		البنزالدهيد

جدول (28)
الأسماء الشائعة لبعض الألدهيدات

(ب) التسمية بحسب نظام الأيوباك Nomenclature Based on IUPAC

• تسمية الألدهيدات ذات السلسلة الكربونية غير المتفرّعة

يُسمّى الألدهيد بإضافة المقطع "ال" إلى اسم الألكان المقابل الذي يحتوي على عدد ذرّات الكربون نفسه جدول (29).

الصيغة الكيميائية للألدهيد	الاسم بحسب نظام الأيوباك
$H-CHO$	ميثانال
CH_3-CHO	إيثانال
C_2H_5-CHO	بروبانال
C_3H_7-CHO	بيوتانال
C_4H_9-CHO	بنتانال
$C_5H_{11}-CHO$	هكسانال

جدول (29)

الأسماء بحسب قواعد IUPAC لبعض الألدهيدات غير المتفرّعة

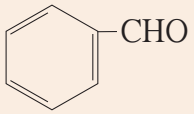
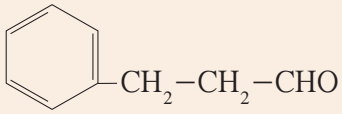
لماذا لا يُعتبَر الترقيم ضروريًّا عند تسمية الألدهيدات غير المتفرّعة؟

• تسمية الألدهيدات ذات السلسلة الكربونية المتفرّعة

يتمّ اختيار أطول سلسلة كربونية متّصلة بدايتها مجموعة الألدهيد $(-CHO)$.

تُرقَّم ذرّات الكربون في السلسلة الكربونية بدءًا من ذرّة كربون مجموعة الكربونيل (رقم 1).

تُحدَّد مواضع المجموعات البديلة (الشقوق العضوية)، تُكتَب التفرّعات بترتيب أبجدي العربي ثمّ يُكتَب اسم الألكان المقابل للسلسلة ويُضاف إليه المقطع :"ال" جدول (30).

الصيغة الكيميائية للألدهيد	الاسم بحسب نظام الأيوباك
$CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle CH_2-CHO}{\underset{\vert}{CH}}-CH_2-CH_3$	3 – إيثيل بنتانال
$CH_3-\underset{\displaystyle C_2H_5}{\underset{\vert}{CH}}-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}}-CHO$	2 , 4 – ثنائي ميثيل هكسانال
	فينيل ميثانال
	3 – فينيل بروبانال

جدول (30)

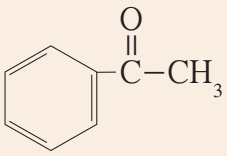
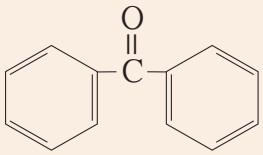
الأسماء بحسب قواعد IUPAC بعض الألدهيدات المتفرعة

2.2 تسمية الكيتونات

Nomenclature of Ketons

(أ) التسمية الشائعة Common Nomenclature

يُكتَب اسم الشقّين العضويين المرتبطين بمجموعة الكربونيل بترتيب أبجدي عربي ثمّ تُضاف إليهما كلمة "كيتون" (جدول 31).

صيغة الكيتون	الاسم الشائع للكيتون	الاسم التجاري
$CH_3-CO-CH_3$	ثنائي ميثيل كيتون	الأسيتون
$CH_3-CO-C_2H_5$	إيثيل ميثيل كيتون	
	فينيل ميثيل كيتون	الأسيتوفينون
	ثنائي فينيل كيتون	البنزوفينون

جدول (31)
الأسماء الشائعة لبعض الكيتونات

(ب) التسمية بحسب نظام الأيوباك Nomenclature Based on IUPAC

- **تسمية الكيتونات ذات السلسلة الكربونية غير المتفرّعة**

يُسمّى الكيتون بإضافة المقطع "ون" إلى اسم الألكان المقابل الذي يحتوي على عدد ذرّات الكربون نفسه مع ترقيم السلسلة الكربونية (بدءًا من 5 ذرّات كربون) من الطرف الأقرب إلى مجموعة الكربونيل (بحيث تأخذ أصغر رقم) (جدول 32).

صيغة الكيتون	الاسم بحسب نظام الأيوباك
$CH_3-CO-CH_3$	بروبانون
$CH_3-CO-CH_2-CH_3$	بيوتانون
$CH_3-CH_2-CO-CH_2-CH_3$	3 – بنتانون
$CH_3-CO-CH_2-CH_2-CH_3$	2 – بنتانون
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CO-CH_3$	2 – هكسانون

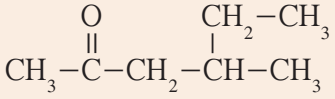
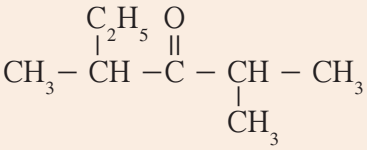
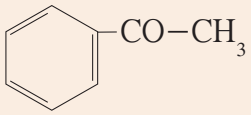
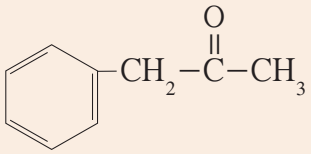
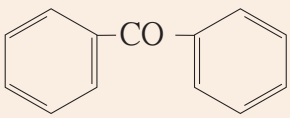
جدول (32)
الأسماء بحسب قواعد IUPAC للكيتونات غير المتفرّعة

تسمية الكيتونات ذات السلسلة الكربونية المتفرّعة

يتمّ اختيار أطول سلسلة كربونية متّصلة وتكون فيها مجموعة الكربونيل وتشكل السلسلة الرئيسة.

تُرقَّم ذرّات الكربون في السلسلة الكربونية من الطرف الأقرب إلى مجموعة الكربونيل.

تُحدَّد مواضع التفرّعات، وتُكتَب التفرّعات بترتيب أبجدي عربي، ثمّ يُحدَّد موضع مجموعة الكربونيل ويُكتَب اسم الألكان المقابل للسلسلة ثمّ يُضاف إليه المقطع "ون" (جدول 33).

صيغة الكيتون	الاسم بحسب نظام الأيوباك
	4 – ميثيل – 2 – هكسانون
	2 , 4 – ثنائي ميثيل 3 – هكسانون
	فينيل إيثانون
	1 – فينيل – 2 – بروبانون
	ثنائي فينيل ميثانون

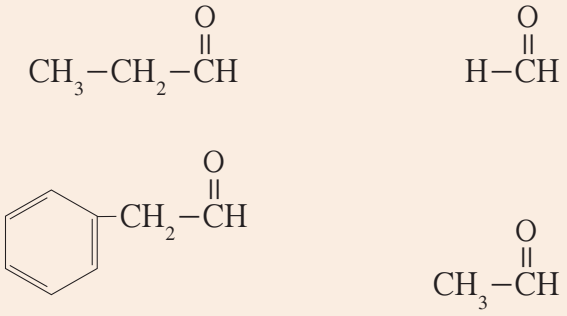
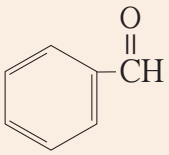
جدول (33)

الأسماء بحسب قواعد IUPAC للكيتونات المتفرّعة

3. تصنيف الألدهيدات والكيتونات

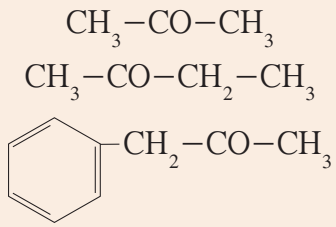
Classification of Aldehydes and Ketones

تنقسم الألدهيدات إلى نوعين تبعًا لنوع الشقوق العضوية المرتبطة بمجموعة الكربونيل كما يوضح الجدول (34).

ألدهيدات أليفاتية R–CHO	ألدهيدات أروماتية Ar–CHO
هي مركّبات عضوية تحتوي على مجموعة الألدهيد CHO– متّصلة بذرّة هيدروجين أو بشقّ ألكيل. الصيغة العامّة: R – CHO	هي مركّبات عضوية تحتوي على مجموعة الألدهيد CHO– متّصلة مباشرة بشقّ فينيل. الصيغة العامّة: Ar – CHO وإذا لم ترتبط مجموعة الألدهيد مباشرةً بحلقة البنزين يكون الألدهيد أليفاتي.
	

جدول (34)
تصنيف الألدهيدات

تنقسم الكيتونات إلى نوعين تبعًا لنوع الشقوق العضوية المرتبطة بمجموعة الكربونيل كما يوضح الجدول (35).

كيتونات أليفاتية R–CO–R	كيتونات أروماتية Ar–CO–Ar Ar–CO–R
هي مركّبات عضوية تحتوي على مجموعة كربونيل متّصلة بشقّي ألكيل.	هي مركّبات عضوية تحتوي على مجموعة كربونيل متّصلة بشقّي فينيل أو بشقّ فينيل وشقّ ألكيل.
	

جدول (35)
تصنيف الكيتونات

1. تحضير الألدهيدات والكيتونات

Preperation of Aldehydes and Ketones

تعتبر المركّبات الكربونيلية (الألدهيدات والكيتونات) من المركّبات العضوية المهمّة في الصناعات الكيميائية وبخاصّة الميثانال والإيثانال والبروبانون التي ينتج منها كمّيات كبيرة.

من أهمّ الطرق المتّبعة في تحضير هذه المركّبات هي التالية:

- أكسدة الكحولات: تعطي أكسدة الكحولات الأوّلية الألدهيدات وتعطي أكسدة الكحولات الثانوية الكيتونات.

(أ) تحضير الألدهيدات من خلال أكسدة الكحولات الأوّلية

Preperation of Aldehydes by Oxidation of Primary Alcohol

وذلك بإمرار بخار الكحول الأوّلي على نحاس مسخن لدرجة (300 °C)، يتحول الكحول الأوّلي إلى الألدهيد المقابل ويتصاعد غاز الهيدروجين.

$$\underset{\text{ميثانول}}{CH_3OH_{(aq)}} \xrightarrow[Cu]{300\ ^\circ C} H_{2(g)} + \underset{\text{ميثانال}}{H-CHO_{(aq)}}$$

$$\underset{\text{إيثانول}}{CH_3-CH_2-OH_{(aq)}} \xrightarrow[Cu]{300\ ^\circ C} H_{2(g)} + \underset{\text{أسيتالدهيد}}{CH_3-CHO_{(aq)}}$$

(ب) تحضير الكيتونات من خلال أكسدة الكحولات الثانوية

Preperation of Ketones by Oxidation of Secondary Alcohol

- تتأكسد الكحولات الثانوية بالعوامل المؤكسدة أو بالأكسجين ويتكون الكيتون المقابل والماء.

$$\underset{\text{كحول ثانوي}}{\begin{matrix} R \\ | \\ CH-OH_{(aq)} \\ | \\ R \end{matrix}} + [O] \longrightarrow \underset{\text{كيتون}}{\begin{matrix} R \\ | \\ C=O_{(aq)} \\ | \\ R \end{matrix}} + H_2O_{(l)}$$

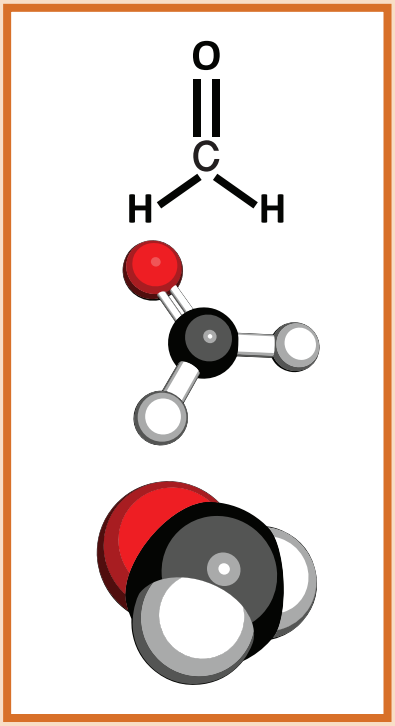
$$\begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CH-OH_{(aq)} \\ | \\ CH_3 \end{matrix} + [O] \longrightarrow \begin{matrix} CH_3 \\ | \\ C=O_{(aq)} \\ | \\ CH_3 \end{matrix} + H_2O_{(l)}$$

• يمكن الحصول على الكيتون وذلك بنزع الهيدروجين وذلك بإمرار أبخرة الكحول الثانوي على نحاس مسخن لدرجة (300 °C).

$$\underset{\text{2 – بيوتانول}}{CH_3-\overset{\overset{OH}{|}}{CH}-CH_2-CH_{3(aq)}} \xrightarrow[Cu]{300\ ^\circ C} H_{2(g)} + \underset{\text{بيوتانون}}{CH_3-\overset{\overset{O}{||}}{C}-CH_2-CH_{3(aq)}}$$

5. الخواصّ الفيزيائية والكيميائية
Physical and Chemical Properties

1.5 الخواصّ الفيزيائية للألدهيدات والكيتونات
Physical Properties of Aldehydes and Ketones



شكل (25)
الفورمالدهيد أو الميثانال هو أبسط ألدهيد.

• جميع الألدهيدات والكيتونات توجد في الحالة السائلة عند درجة حرارة الغرفة ما عدا الفورمالدهيد (شكل 25) فهو غاز.

• مجموعة الكربونيل في الألدهيدات والكيتونات قطبية لوجود فرق في السالبية الكهربائية بين الكربون والأكسجين.

• درجات غليان الألدهيدات والكيتونات أعلى من درجات غليان الهيدروكربونات والإيثرات المقاربة لها في الكتل المولية بسبب احتواء الألدهيدات والكيتونات على مجموعة الكربونيل القطبية (جدولان 36 و37).

CH_3-CH_3	$CH_3-\overset{\overset{O}{\|\|}}{C}-H$	CH_3-CH_2-OH
$T_b = -88.5\ ^\circ C$	$T_b = 20.8\ ^\circ C$	$T_b = 78.4\ ^\circ C$

$CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3$	$CH_3-\overset{\overset{O}{\|\|}}{C}-CH_3$	$CH_3-\overset{\overset{OH}{|}}{CH}-CH_3$
$T_b = -11.7\ ^\circ C$	$T_b = 56.5\ ^\circ C$	$T_b = 82.3\ ^\circ C$

جدول (36)
مقارنة بين درجات غليان الكحول والألدهيد والكيتون والهيدروكربون من الكتلة المولية المتقاربة.

• درجات غليان الألدهيدات والكيتونات أقل من درجات غليان الكحولات المقاربة لها في الكتل المولية ويعود ذلك إلى عدم قدرة الألدهيدات والكيتونات على تكوين روابط هيدروجينية بين جزيئاتها، بينما تستطيع الكحولات تكوين روابط هيدروجينية بين جزيئاتها (بين بعضها البعض) لاحتوائها على مجموعة الهيدروكسيل القطبية.

• تذوب الألدهيدات والكيتونات ذات الكتل المولية المنخفضّة (تحتوي على أقل من 4 ذرّات كربون) في الماء بنسب مختلفة لقدرتها على تكوين روابط هيدروجينية بين جزيئاتها وجزيئات الماء، وتقل الذوبانية بزيادة الكتل المولية لها أي بزيادة عدد ذرّات الكربون في الجزيء.

المركّب	الصيغة التركيبية	الكتلة المولية (g/mol)	درجة الغليان (°C)	ملاحظات
ميثان	CH_4	16	−161	لا توجد روابط هيدروجينية أو تجاذبات قطبية – قطبية
ميثانال	$\begin{matrix} O \\ \| \\ HC-H \end{matrix}$	30	−21	توجد تجاذبات قطبية – قطبية
ميثانول	CH_3-OH	32	64.7	توجد روابط هيدروجينية
إيثان	CH_3-CH_3	30	−88.5	لا توجد روابط هيدروجينية أو تجاذبات قطبية – قطبية
إيثانال	$\begin{matrix} O \\ \| \\ CH_3-C-H \end{matrix}$	44	20.8	توجد تجاذبات قطبية – قطبية
إيثانول	CH_3-CH_2-OH	46	78.4	توجد روابط هيدروجينية

جدول (37)

درجات غليان بعض المركّبات التي تحتوي على ذرّة كربون واحدة أو ذرّتين.

2.5 الخواصّ الكيميائية للألدهيدات والكيتونات

Chemical Properties of Aldehydes and Ketones

تتميّز البنية الإلكترونية لمجموعة الكربونيل بما يلي:

- وجود رابطة باي π بين ذرّتي الكربون والأكسجين.
- وجود رابطة تساهمية ثنائية قطبية مع زوجين من إلكترونات التكافؤ غير المشاركة في ذرّة الأكسجين ما يعطي مركّبات مجموعة الكربونيل خواصّ القاعدة الضعيفة.

توضّح هذه البنية الإلكترونية النشاط الكيميائي للألدهيدات والكيتونات إذ تسمح لها بالقيام بتفاعلات كيميائية مختلفة وخصوصًا تفاعلات الإضافة والأكسدة. كما أن مجموعة الكربونيل في الألدهيدات والكيتونات قطبية بسبب وجود فرق في السالبية الكهربائية بين الكربون والأكسجين.

(أ) تفاعلات الإضافة Addition Reactions

تحدث تفاعلات الإضافة بسهولة وذلك بكسر الرابطة باي π في مجموعة الكربونيل، ما يسمح بتكوين رابطتين سيجما σ.

تتفاعل الألدهيدات والكيتونات بالإضافة مع الهيدروجين، وفي هذا التفاعل تُختزل الألدهيدات إلى الكحولات الأوّلية، وتُختزل الكيتونات إلى الكحولات الثانوية وتتم عملية الاختزال في وجود عامل مساعد ساخن مثل النيكل أو البلاتين.

$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3-CH_2-OH$$

الأسيتالدهيد — الإيثانول

$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3 + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3-\overset{\overset{OH}{|}}{CH}-CH_3$$

الأسيتون — كحول الأيزوبروبيل

(ب) تفاعلات الأكسدة Oxidation Reaction

تتأكسد الألدهيدات بسهولة بمعظم العوامل المؤكسدة.

يعود السبب في ذلك إلى ارتباط مجموعة الكربونيل بذرّة هيدروجين نشطة تسهل أكسدتها $(-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H)$ إلى مجموعة هيدروكسيل $(-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH)$، وبالتالي تتأكسد الألدهيدات إلى الأحماض الكربوكسيلية المقابلة.

أمّا الكيتونات فلا تتأكسد عند الظروف العادية، لأنّ أكسدتها تحتاج إلى طاقة عالية تؤدّي إلى كسر الرابطة $(C - C)$.

- تتأكسد الألدهيدات بسهولة بالعوامل المؤكسدة القوية، مثل $(KMnO_4)$ وبأكسجين الهواء الجوي، وبالعوامل المؤكسدة الضعيفة، مثل محلول فهلنج ومحلول تولن (شكل 26 و27).

يتكوّن محلول فهلنج من خليط متساوي الحجوم يحتوي على محلول كبريتات النحاس II ومحلول طرطرات الصوديوم والبوتاسيوم.

$$CH_3-CHO + [2Cu^{2+} + 5OH^-] \longrightarrow CH_3 - COO^- + Cu_2O + 3H_2O$$

الأسيتالدهيد	محلول فهلنج	شقّ حمضي	أكسيد النحاس I
عامل مختزل	عامل مؤكسد ضعيف	لحمض الأسيتيك	راسب أحمر طوبي

محلول فهلنج أو بندكت يُؤكسد الألدهيد إلى الحمض الكربوكسيلي المقابل.

والألدهيد يَختزل محلول فهلنج أو بندكت إلى أكسيد النحاس I (راسب أحمر طوبي).

شكل (26)
يوضّح الأنبوب الأيمن النتيجة الإيجابية لإضافة محلول تولن إلى محلول يحتوي على ألدهيد. أمّا الأنبوب الأيسر فيوضّح النتيجة السلبية.

يتكوّن محلول تولن من نيترات الفضّة الأمونيومي $[Ag(NH_3)_2]NO_3$.

$$H - CHO + [2Ag^{2+} + 3OH^-] \longrightarrow H - COO^- + 2H_2O + 2Ag_{(s)}$$

الفورمالدهيد	كاشف تولن	شقّ حمضي	راسب من
عامل	عامل مؤكسد ضعيف	لحمض الفورميك	الفضّة

يُؤكسد محلول تولن الألدهيد إلى الحمض الكربوكسيلي المقابل ويَختزل الألدهيد محلول تولن إلى الفضّة التي تترسّب على الجدار الداخلي لأنبوب الاختبار مكوّنة مرآة لامعة.

لا تتأثّر الكيتونات (لا تتأكسد) بالعوامل المؤكسدة الضعيفة مثل محلول فهلنج أو محلول تولن، لذلك يمكن التمييز بين الألدهيدات والكيتونات عمليًّا باستخدام العوامل المؤكسدة الضعيفة.

شكل (27)
اللون الأحمر الطوبي يؤكّد النتيجة، أي وجود ألدهيد. أمّا بقاء اللون أزرق (محلول فهلنج) فيؤكّد غيابه.

6. استخدامات الألدهيدات والكيتونات

Uses of Aldehydes and Ketones

يمكن استخراج العديد من الألدهيدات والكيتونات من النباتات والحيوانات. للكثير من هذه المركّبات، وبخاصّة تلك التي تمتلك كتل مولية كبيرة، روائح عطرية، وغالبًا ما تُعرَف بأسمائها الشائعة التي يمكن أن تدلّ على مصادرها الطبيعية أو إحدى خواصّها المميّزة. وتُستخدَم الألدهيدات الأروماتية في معظم الأوقات كمنكّهات، وأبسط ألدهيد أروماتي هو البنزالدهيد. يُعرَف البنزالدهيد بأنّه زيت اللوز المرّ وهو مكوّن أساسي في اللوز وهو سائل عديم اللون تفوح منه رائحة اللوز الزكية. في حين أنّ مادّة السينامالدهيد تعطي الرائحة المميّزة لزيت القرفة. بالإضافة إلى ذلك، يوجد الفانيلين المسؤول عن الطعم الشائع للفانيليا في كبسولات تشبه غلاف حبّات البقول في بعض الأوركيدات المتسلّقة (نبتة من الفصيلة السحلبية) كتلك الموضّحة في الشكل (28)، لكنّه يُنتَج في الوقت الحالي بطرق صناعية.

شكل (28)
حبّات الفانيليا الموجودة في غلاف بذور الأوركيد هي المصدر الطبيعي لطعم الفانيليا الذي يدخل في تحضير المثلّجات وأطعمة أخرى.

للميثانال أيضًا أهمّية صناعية بحيث يُستخدَم بشكل واسع في تصنيع الموادّ البلاستيكية. يتوفّر عادةً كمحلول مائي (40%) يُعرَف بالفورمالين ويُستخدَم لحفظ العيّنات البيولوجية (شكل 29). يتّحد الميثانال في المحلول بالبروتين الموجود في الأنسجة ما يجعل الأنسجة صلبة وغير قابلة للذوبان في الماء. وهكذا تُحفَظ هذه العيّنات البيولوجية من التحلّل. لا يُستخدَم الفورمالين، في الوقت الحالي، بكثرة كمادّة حافظة نظرًا لأنّه مادّة مُسرطنة. أكثر الكيتونات أهمّية من الناحية الصناعية هو البروبانون ويُسمّى أيضًا الأسيتون، وهو سائل متطاير عديم اللون ويغلي عند درجة 56.5 °C. يُستخدَم البروبانون كمذيب للموادّ البلاستيكية، ويدخل غالبًا في تركيب السوائل التي تزيل طلاء الأظافر (شكل 30). يمتزج البروبانون بالماء بجميع النسب.

شكل (29)
جدي حديث الولادة محفوظ في الفورمالين يُستَخدم في البحث العلمي

شكل (30)
استخدام البروبانون في المراكز التجميلية لإزالة طلاء الأظافر.

مراجعة الدرس 2-1

1. ما هي مجموعة الكربونيل؟ صِف مجموعة الكربونيل المميِّزة للألدهيدات والكيتونات.
2. أُكتب اسم الألدهيد والكيتون للصيغ التالية بحسب قواعد IUPAC:

(أ) $CH_3CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$

(ب) $CH_3CH_2CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}CH_2CH_3$

(جـ) $CH_3CH_2\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$

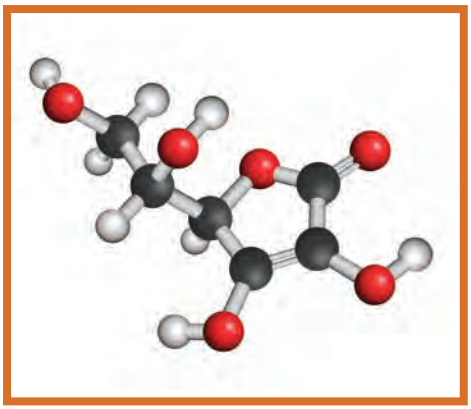
(د) $CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}CH_2CH_3$

الدرس 2-2

الأحماض الكربوكسيلية والأمينات
Carboxylic Acids and Amines

الأهداف العامة

- يصف تفاعلات المركّبات التي تحتوي على مجموعة الكربوكسيل.
- يستنتج كيفية تكوين الإستر ويميز مجموعته الوظيفية.
- يصف تفاعلات المركّبات التي تحتوي على مجموعة الأمين.



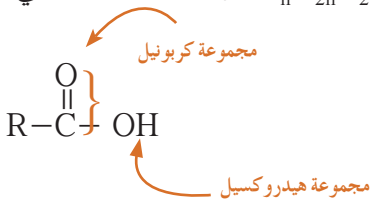
شكل (31)
فيتامين C

تؤدّي الأحماض الكربوكسيلية دورًا مهمًّا في حياتنا اليومية وفي الطبيعة. على سبيل المثال، نستخدم الخلّ في طعامنا وهو محلول مخفّف من حمض الإيثانويك أو الأسيتيك. ونستخدم الأسبيرين عندما نتوعّك صحّيًّا وهو حمض أسيتيل الساليسليك. أمّا فيتامين C (شكل 31)، وهو من أشهر أنواع الفيتامينات التي نتداولها في حياتنا اليومية، والذي عُرِف بدوره الكبير في رفع مقاومة الجسم وتنشيط أجهزة المناعة والدفاعية فيه، يتكوّن من حمض الأسكوربيك. يعطي هذا الحمض المذاق لليمون والبرتقال. من ناحية أخرى، تقوم الكائنات الحية بوظائفها الحيوية، كالدفاع عن النفس، عند التعرّض للخطر. فيفرز النمل مثلًا عند تعرّضه للخطر مادّة سائلة واخزة تحتوي على محلول لحمض الميثانويك ذي الصيغة HCOOH. وقد عُرِف هذا الحمض باسم حمض النمليك نسبة لهذه الحشرة.

سمِّ ثلاثة أحماض كربوكسيلية يمكن أن تتعرّف عليها من خلال حياتنا اليومية واذكر مصدرها.

1. الأحماض الكربوكسيلية Carboxylic Acids

الأحماض الكربوكسيلية Carboxylic Acids هي مركّبات تتميّز بوجود مجموعة الكربوكسيل أو أكثر، وتتكوّن مجموعة الكربوكسيل Carboxyl Group من مجموعة كربونيل متّصلة بمجموعة هيدروكسيل لذلك سمّيت بمجموعة الكربوكسيل. الصيغة الجزيئية العامّة للأحماض أحادية الكربوكسيل الأليفاتية المشبّعة هي $C_nH_{2n}O_2$. وصيغتها العامّة هي التالية:



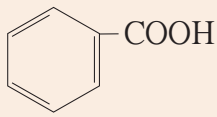
ملاحظة: تُعتبَر الأحماض الكربوكسيلية أكثر الموادّ العضوية حمضية (لها القدرة على إعطاء البروتون)، إلّا أنّها تُعتبَر أحماضًا ضعيفة وأقلّ قوّة من الأحماض غير العضوية مثل حمض HCl وحمض الكبريتيك H_2SO_4.

2. تسمية الأحماض الكربوكسيلية

Nomenclature of Carboxylic Acids

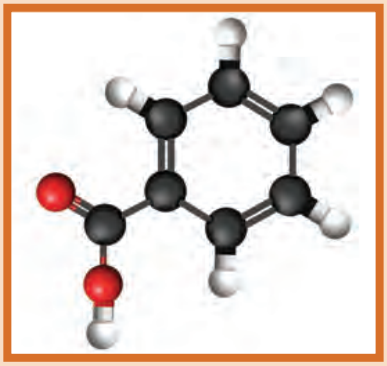
(أ) التسمية الشائعة Common Nomenclature

يُشتَقّ اسم الحمض الكربوكسيلي الشائع تبعًا لمصدره النباتي أو الحيواني (جدول 38).

صيغة الحمض الكربوكسيلي	الإسم الشائع
$H-COOH$	حمض الفورميك
CH_3-COOH	حمض الأسيتيك
$CH_3-CH_2-CH_2-COOH$	حمض البيوتيريك
$CH_3-(CH_2)_{14}-COOH$	حمض البالمتيك
	حمض البنزويك

جدول (38)
بعض الأسماء الشائعة

عندما تكون المجموعة R في الصيغة العامّة RCOOH حلقة بنزين (مجموعة أريل) يكون اسم الحمض حمض البنزويك (شكل 32).



شكل (32)
الصيغة التركيبية لحمض البنزويك

(ب) التسمية بحسب نظام الأيوباك Nomenclature Based on IUPAC

- تسمية الأحماض الكربوكسيلية ذات السلسلة الكربونية غير المتفرّعة.

يُسمّى الحمض الكربوكسيلي بكتابة كلمة "حمض" ثمّ إضافة المقطع "ويك" إلى اسم الألكان المقابل (جدول 39).

صيغة الحمض الكربوكسيلي	الاسم بحسب نظام الأيوباك
$H-COOH$	حمض ميثانويك
CH_3-COOH	حمض إيثانويك
CH_3-CH_2-COOH	حمض بروبانويك
$CH_3-CH_2-CH_2-COOH$	حمض بيوتانويك
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-COOH$	حمض بنتانويك

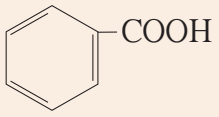
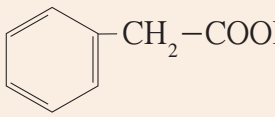
جدول (39)
بعض الأسماء للأحماض الكربوكسيلية غير المتفرّعة بحسب قواعد IUPAC

- تسمية الأحماض الكربوكسيلية ذات السلسلة الكربونية المتفرّعة

يتمّ اختيار أطول سلسلة كربونية متّصلة بدايتها بمجموعة الكربوكسيل ($-COOH$).

تُرقَّم ذرّات الكربون في السلسلة الكربونية بدءًا من مجموعة الكربوكسيل (رقم 1).

تُحدَّد مواضع التفرّعات (المجموعات البديلة)، وتُكتَب كلمة "حمض"، ثمّ تُكتَب التفرّعات وأرقامها بترتيب أبجدي عربي يليها اسم الألكان المقابل للسلسلة ويُضاف إليه المقطع "ويك" (جدول 40).

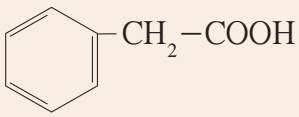
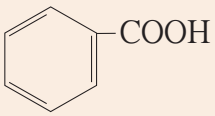
صيغة الحمض الكربوكسيلي	الاسم بحسب نظام الأيوباك
$CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle CH_2-COOH}{\underset{\vert}{CH}}-CH_2-CH_3$	حمض 3 – إيثيل بنتانويك
$CH_3-\underset{\displaystyle C_2H_5}{\underset{\vert}{CH}}-CH_2-\underset{\displaystyle C_2H_5}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	حمض 2 – إيثيل 4 – ميثيل هكسانويك
	حمض فينيل ميثانويك
	حمض فينيل إيثانويك

جدول (40)
بعض الأسماء للأحماض الكربوكسيلية المتفرّعة بحسب قواعد IUPAC

3. تصنيف الأحماض الكربوكسيلية

Classification of Carboxilic Acid

تنقسم الأحماض الكربوكسيلية إلى نوعين (بحسب نوع الشقّ العضوي) (جدول 41).

أحماض كربوكسيلية أليفاتية R–COOH	أحماض كربوكسيلية أروماتية Ar–COOH
هي مركّبات عضوية تحتوي على مجموعة الكربوكسيل COOH– متّصلة بسلسلة كربونية.	هي مركّبات عضوية تحتوي على مجموعة الكربوكسيل COOH– متّصلة مباشرةً بشقّ الفينيل. وإذا لم ترتبط مجموعة الكربوكسيل مباشرةً بشقّ الفينيل يكون الحمض الكربوكسيلي أليفاتي.
$H-COOH$ CH_3-COOH CH_3-CH_2-COOH 	 إنّ فينيل ميثانويك (حمض البنزويك) هو من أبسط الأحماض الأروماتية.

جدول (41)
تصنيف الأحماض الكربوكسيلية

4. تحضير الأحماض الكربوكسيلية

Preperation of Carboxylic Acids

تتميّز الأحماض الكربوكسيلية، وبخاصّة حمض الميثانويك وحمض الإيثانويك، بتعدّد تطبيقاتها في الكيمياء الصناعية وكيمياء التغذية (صناعة الأغذية) وصناعة الأدوية وغيرها. ويمكن تحضيرها من خلال الأكسدة للكحولات الأولية أو أكسدة الألدهيدات.

• أكسدة الكحولات الأوّلية

تتأكسد الكحولات الأولية بالعوامل المؤكسدة (مثل برمنجنات البوتاسيوم ($KMnO_4$)) أو بالأكسجين أكسدة تامّة لتنتج حمض كربوكسيلي مثال على ذلك:

$$R-CH_2-OH + 2[O] \longrightarrow H_2O + R-COOH$$

كحول أوّلي — حمض كربوكسيلي

$$CH_3-OH + 2[O] \longrightarrow H_2O + H-COOH$$

كحول الميثيل — حمض الفورميك

$$CH_3-CH_2-OH + 2[O] \longrightarrow H_2O + CH_3-COOH$$

كحول الإيثيل — حمض الأسيتيك

• **أكسدة الألدهيدات**

تتأكسد الألدهيدات بوجود الأكسيجين لتنتج حمض كربوكسيلي مثال على ذلك:

$$\underset{\text{الدهيد}}{R-CHO} + [O] \longrightarrow \underset{\text{حمض كربوكسيلي}}{R-COOH}$$

$$\underset{\text{الأسيتالدهيد}}{CH_3-CHO} + [O] \longrightarrow \underset{\text{حمض الأسيتيك}}{CH_3-COOH}$$

$$\underset{\text{البنزالدهيد}}{C_6H_5-CHO} + [O] \longrightarrow \underset{\text{حمض البنزويك}}{C_6H_5-COOH}$$

5. الخواصّ الفيزيائية والكيميائية
Physical and Chemical Properties

1.5 الخواصّ الفيزيائية للأحماض الكربوكسيلية
Physical Properties of Carboxylic Acids

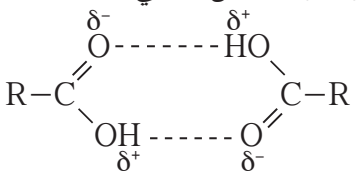
الأحماض الكربوكسيلية الأليفاتية التي تحتوي ما بين 1 و 4 ذرّات كربون سوائل خفيفة تذوب تمامًا في الماء، ويعود ذلك إلى قدرة هذه الأحماض على تكوين أكثر من رابطة هيدروجينية مع الماء.

تكون الأحماض الكربوكسيلية الأليفاتية سوائل ثقيلة عندما يحتوي الجزيء ما بين 5 و 9 ذرّات كربون. أمّا إذا احتوى الحمض الكربوكسيلي على عشر ذرّات كربون وما فوق يكون في الحالة الصلبة.

تقلّ ذوبانية الأحماض الكربوكسيلية في الماء كلّما ازدادت الكتلة الجزيئية. ويعود ذلك إلى أنّه بزيادة الكتلة الجزيئية، أي بزيادة عدد ذرّات الكربون، تقلّ فاعلية مجموعة الكربوكسيل وقطبيتها.

إنّ درجات غليان الأحماض الكربوكسيلية أعلى بكثير من درجات غليان الكحولات ذات الكتل الجزيئية المقاربة لها.

يعود السبب في ذلك إلى وجود مجموعة الهيدروكسيل القطبية في الكحولات التي تعمل على تجمّع الجزيئات فيما بينها بروابط هيدروجينية. أمّا في الأحماض الكربوكسيلية، فتوجد مجموعة الكربوكسيل التي تتكوّن من مجموعتي الكربونيل والهيدروكسيل اللتان تعملان على تكوين رابطتين هيدروجينيتين بين كلّ جزيئين. وينتج عن ذلك تجمّعات ثنائية وتكوّن شكل حلقي.



تزداد درجات غليان الأحماض الكربوكسيلية المتشابهة في التركيب بزيادة الكتل الجزيئية لها، أي بزيادة عدد ذرّات الكربون في الجزيء.

2.5 الخواصّ الكيميائية للأحماض الكربوكسيلية

Chemical Properties of Carboxylic Acids

(أ) الخواصّ الحمضية Acidic Properties

توصف الأحماض الكربوكسيلية بأنّها أحماض ضعيفة. لماذا؟

- تكوين الأملاح الكربوكسيلية

يتكوّن الملح الكربوكسيلي نتيجة إحلال ذرّة فلزّ (M) محلّ ذرّة هيدروجين مجموعة الكربوكسيل.

$$R-COOH_{(aq)} + M \longrightarrow RCOOM_{(aq)} + H_{2(g)}$$

$$R-COOH_{(aq)} + MOH_{(aq)} \longrightarrow RCOOM_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

$$R-COOH_{(aq)} + MCO_{3(aq)} \longrightarrow RCOOM_{(aq)} + H_2O_{(l)} + CO_2(g)$$

$$2H-COOH_{(aq)} + 2Na_{(l)} \longrightarrow 2H-COONa_{(aq)} + H_{2(g)}$$

حمض ميثانويك — ميثانوات الصوديوم

$$CH_3-COOH_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \longrightarrow CH_3-COONa_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

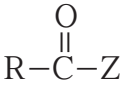
حمض الإيثانويك — أسيتات الصوديوم

$$2H-COOH_{(aq)} + Na_2CO_{3(aq)} \longrightarrow 2H-COONa_{(aq)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

حمض الفورميك — ميثانوات الصوديوم

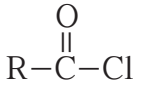
(ب) تفاعلات الاستبدال Substitution Reactions

عندما تُستبدَل مجموعة الهيدروكسيل في مجموعة الكربوكسيل بأيّ ذرّة أو مجموعة ذرّات ما عدا ذرّة الكربون والهيدروجين يُسمّى التفاعل تفاعل الاستبدال. ينتج من هذا التفاعل مجموعة وظيفية جديدة ويُعتبَر المركّب الجديد من مشتقّات الأحماض الكربوكسيلية. توضّح الصيغة التركيبية التالية مشتقّات الأحماض الكربوكسيلية:

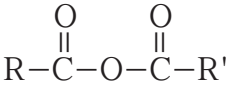


حيث Z يمكن أن تكون:

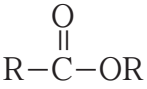
- ذرّة كلور Cl لإنتاج كلوريدات الحمض



- مجموعة الكربوكسيلات $O-C(=O)-R'$ لإنتاج أنهيدريدات الحمض



- مجموعةالكوكسي: RO' لإنتاج الأستر



• كلوريدات الحمض Acid Chlorides

يتفاعل الحمض الكربوكسيلي مع مركّب غني بالكلور (كلوريد الثيونيل، $SOCl_2$) لإنتاج كلوريد الحمض. تُستبدَل مجموعة الهيدروكسيل في هذا التفاعل بذرّة الكلور كما في المعادلة العامة التالية:

$$R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH + SOCl_2 \longrightarrow R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-Cl + SO_2 + HCl$$

توضّح المعادلة التالية تفاعل حمض الإيثانويك مع $SOCl_2$:

$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH_{(aq)} + SOCl_{2\,(s)} \longrightarrow CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-Cl_{(aq)} + SO_{2\,(g)} + HCl_{\,(g)}$$

حمض الإيثانويك — كلوريد الإيثانويك

• أنهيدريدات الحمض Acid Anhydrides

يتمّ في خلال التفاعل التالي نزع جزيء ماء من جزيئي حمض بوجود P_2O_5 كمادّة محفّزة لإنتاج أنهيدريد الحمض وفق المعادلة العامّة التالية:

$$2R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH \xrightarrow{P_2O_5} R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-R + H_2O$$

مثال على ذلك نزع جزيء الماء من حمض الإيثانويك:

$$2CH_3-COOH_{\,(aq)} \xrightarrow{P_2O_5} CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_{3\,(aq)} + H_2O_{\,(l)}$$

حمض الإيثانويك — أنهيدريد الإيثانويك — ماء

ملاحظة: تتمتّع كلوريدات الحمض وأنهيدريدات الحمض بنشاط كيميائي كبير مقارنة مع الحمض الكربوكسيلي المقابل لها. لذلك، وفي أغلب التفاعلات الكيميائية، تُستعمَل هذه المشتقّات مكان الحمض الكربوكسيلي كي يصبح التفاعل تامًّا، وأسرع، وأنشط.

• الأسترات Esters

يتفاعل الحمض الكربوكسيلي مع الكحول لإنتاج الأستر والماء وفقًا للمعادلة العامّة التالية:

$$R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH + R'OH \rightleftharpoons R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OR' + H_2O$$

مثال على ذلك تفاعل حمض الإيثانويك مع الإيثانول:

$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH + CH_3-CH_2-OH \rightleftharpoons CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OCH_2-CH_3 + H_2O$$

حمض الإيثانويك — إيثانول — أستر إيثانوات الإيثيل — ماء

فقرة إثرائية

الكيمياء في خدمة المستهلك

رائحة المجموعات الوظيفية الزكية

ماذا يحدث عندما تشمّ رائحة طعام مطهو بطريقة جيّدة ورائحة الماء المالح للبحار والمحيطات التي يحملها الهواء.

قوّة حاسّة الشمّ تقود الإنسان دائمًا إلى إيجاد طرق للحصول على روائح عطرية معيّنة وإنتاجها وبخاصّة الروائح المبهجة منها. وتوالت المحاولات للحصول على أنواع أوسع انتشارًا من الروائح في صورة مركّزة وقابلة للتخزين.

أول من استخلص الزيوت الأساسية لأجزاء النبات هم قدماء المصريين، فقد قاموا بنقع بتلات الزهور في دهن سائل الذي يعمل على إذابة الزيوت الأساسية ثمّ قاموا بمزج الدهن مع الإيثانول. وحيث إنّ الزيوت الأساسية أكثر ذوبانًا في الإيثانول عنها في الدهن، فإنّها تذوب في الإيثانول وينتج عن ذلك محلول عطر بتركيز كبير ما يسمح بتخزينه.

تمّ تطوير طرق أخرى لاستخلاص العطور تستغلّ الاختلاف في درجات الغليان بين الزيوت الأساسية باستخدام عملية التقطير.

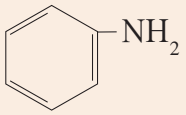
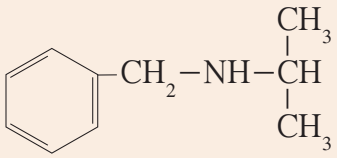
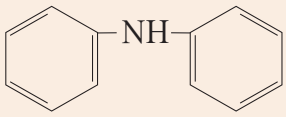
كشف تحليل الزيوت الأساسية أنّ الكثير من الروائح العطرية التي تعطي الإنسان شعورًا جميلًا تنتج بواسطة الكحولات والألدهيدات والأسترات. وفي معظم تلك المركّبات تحتوي السلسلة الكربونية في جزيئاتها على حلقة بنزين ورابطة تساهمية ثنائية كربون – كربون واحدة أو أكثر.

6. الأمينات Amines

الأمينات هي مركّبات عضوية مشتقّة من الأمونيا (NH_3) عن طريق استبدال ذرّة هيدروجين أو أكثر بما يقابلها من الشقوق العضوية. توجد مركّبات النيتروجين العضوية في جميع الأعضاء الحية في أشكال متعدّدة تشمل الأحماض الأمينية، والبروتينات، والهرمونات، والڤيتامينات، والأحماض النووية (RNA و DNA). يتخلّص جسم الإنسان من المركّبات النيتروجينية التي لا يحتاج إليها بعد عمليات الأيض في شكل مركّب اليوريا.

1.6 تسمية الأمينات Nomenclature of Amines

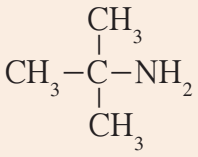
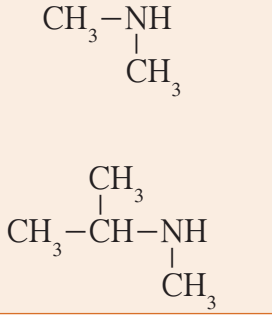
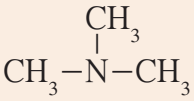
سنكتفي بالتسمية الشائعة، بحيث تُكتَب أسماء الشقوق العضوية المرتبطة بذرّة النيتروجين بترتيب أبجدي عربي ثمّ تُضاف كلمة "أمين" كما هو موضح في الجدول (42):

صيغة الأمين	الاسم الشائع
CH_3-NH_2	ميثيل أمين
$C_2H_5-NH_2$	إيثيل أمين
$C_3H_7-NH-C_2H_5$	إيثيل بروبيل أمين
	فينيل أمين
	أيزوبروبيل بنزايل أمين
	ثنائي فينيل أمين

جدول (42)
بعض الأسماء الشائعة للأمينات

2.6 تصنيف الأمينات Nomenclature of Amines

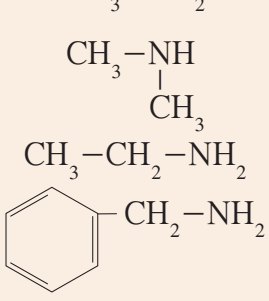
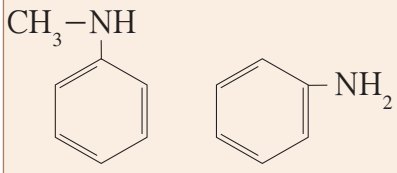
تنقسم الأمينات إلى ثلاثة أنواع تبعًا لعدد ذرّات الهيدروجين المستبدلة من الأمونيا. يوضح الجدول (43) هذا التصنيف:

الأمينات الأوّلية	الأمينات الثانوية	الأمينات الثالثية
هي الأمينات التي لها الصيغة العامّة التالية: $R-NH_2$ وهي ناتجة من إحلال شقّ عضوي محلّ ذرّة هيدروجين واحدة في جزيء الأمونيا.	هي الأمينات التي لها الصيغة العامّة التالية:  وهي ناتجة من إحلال شقّين عضويين محلّ ذرّتي هيدروجين في جزيء الأمونيا. $(R)_2-NH$	هي الأمينات التي لها الصيغة العامّة التالية:  وهي ناتجة من إحلال ثلاثة شقوق عضوية محلّ كلّ ذرّات الهيدروجين في جزيء الأمونيا. $(R)_3-N$
CH_3-NH_2 $CH_3-CH_2-NH_2$ 		

جدول (43)

تصنيف الأمينات بحسب عدد الشقوق المتصلة بالنيتروجين

كما تنقسم إلى نوعين بحسب نوع الشقّ العضوي المتصل بذرّة النتروجين. يوضح الجدول (44) هذا التصنيف:

أمينات أليفاتية	أمينات أروماتية
هي الأمينات التي فيها ترتبط ذرّة النيتروجين بشقوق ألكيل.	هي الأمينات التي فيها ترتبط ذرّة النيتروجين مباشرةً بشقّ فينيل واحد على الأقل.
CH_3-NH_2 	

جدول (44)

3.6 تحضير الأمينات Preperation of Amines

يمكن الحصول على الأمينات الأوّلية بتفاعل هاليدات الألكيل (RX) بالاستبدال مع أميد الصوديوم ($NaNH_2$) حيث يحلّ أنيون الأميد (NH_2^-) محلّ أنيون الهاليد (X^-).

$$CH_3Br + Na{-}NH_2 \longrightarrow NaBr + CH_3{-}NH_2$$

بروموميثان — ميثيل أمين

$$CH_3CH_2Cl + Na{-}NH_2 \longrightarrow NaCl + CH_3CH_2{-}NH_2$$

كلوروإيثان — إيثيل أمين

4.6 الخواصّ الفيزيائية للأمينات الأوّلية

Physical Properties of Primary Amines

- إنّ درجات غليان الأمينات الأوّلية أعلى من درجات غليان الألكانات أو المركّبات غير القطبية المقاربة لها في الكتل المولية، وذلك بسبب وجود مجموعة الأمينو القطبية التي تؤدّي إلى ارتباط جزيئات الأمين مع بعضها البعض بروابط هيدروجينية.
- إنّ درجات غليان الأمينات أقلّ من درجات غليان الكحولات أو الأحماض الكربوكسيلية المقاربة لها في الكتل المولية لأنّ الرابطة الهيدروجينية في الأمينات أضعف من تلك في الكحولات أو الأحماض الكربوكسيلية لأنّ قطبية الرابطة H−O أعلى من قطبية الرابطة H−N.
- تزداد درجات غليان الأمينات المتشابهة في التركيب بزيادة كتلتها المولية، أي بزيادة عدد ذرّات الكربون في الجزيء.
- تذوب الأمينات الأوّلية ذات الكتل الجزيئية الصغيرة في الماء بسبب قدرتها على تكوين الروابط الهيدروجينية مع الماء، وتقلّ الذوبانية بزيادة كتلتها المولية، أي بزيادة عدد ذرّات الكربون في الجزيء.

5.6 الخواصّ الكيميائية للأمينات الأوّلية

Chemical Properties of Primary Amines

تشبه الأمينات الأوّلية الأمونيا في احتواء كلّ منها على ذرّة نيتروجين لديها زوج حرّ من الإلكترونات تستطيع منحه لأيّ مادّة أخرى أثناء التفاعل. لذلك تسلك الأمينات سلوك القواعد بحيث تتفاعل مع الأحماض لتكوين الأملاح المقابلة لها، كما يلي:

$$CH_3{-}NH_2 + HCl \longrightarrow CH_3{-}NH_3^+Cl^-$$

ميثيل أمين — كلوريد ميثيل أمونيوم

$$C_2H_5{-}NH_2 + HNO_3 \longrightarrow C_2H_5{-}NH_3^+NO_3^-$$

إيثيل أمين — نيترات إيثيل أمونيوم

مراجعة الدرس 2-2

1. ما هي الموادّ المتفاعلة المطلوبة لتحضير استر إيثانوات البروبيل؟

2. أكمل المعادلات الكيميائية التالية:

(أ) $CH_3-CH_2-C(=O)-OH + SOCl_2 \longrightarrow SO_2 + HCl + \ldots$

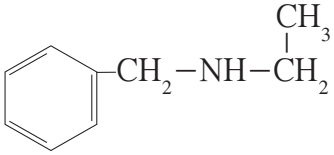
(ب) $CH_3-CH_2-C(=O)-OH + C_2H_5OH \longrightarrow \ldots + H_2O$

3. سمّ المركّبات التالية:

(أ) $C_3H_7-NH_2$

(ب) $CH_3-NH-C_3H_7$

(جـ)



مراجعة الوحدة الخامسة

المفاهيم

أمينات	Amines	ألدهيد	Aldehyde
ألدهيد أليفاتي	Aliphatic Aldehyde	إيثر	Ether
إيثر أروماتي	Aromatic Ether	إيثر أليفاتي	Aliphatic Ether
إيثر مختلط	Mixed Ether	حمض كربوكسيلي	Carboxylic Acid
رابطة إيثرية	Ether Bond	كحول	Alcohol
كحول أحادي الهيدروكسيل	Monoalcohol	كحول أروماتي	Aromatic Alcohol
كحول أليفاتي	Aliphatic Alcohol	كحول أوّلي	Primary Alcohol
كحول ثالثي	Tertiary Alcohol	كحول ثانوي	Secondary Alcohol
كحول ثلاثي الهيدروكسيل	Trialcohol	كحول ثنائي الهيدروكسيل	Dialcohol
كيتون	Ketone	كيتون أليفاتي	Aliphatic Ketone
مجموعة كربوكسيل	Carboxyl Group	مجموعة كربونيل	Carbonyl Group
مجموعة هيدروكسيل	Hydroxyl Group	مجموعة وظيفية	Functional Group
هاليد الأريل (هاليد أروماتي)	Aryl Halide (Aromatic Halide)	هاليد الألكيل	Alkyl Halide
هاليد ألكيل أوّلي	Primary Alkyl Halide	هاليد ألكيل ثالثي	Tertiary Alkyl Halide
هاليد ألكيل ثانوي	Secondary Alkyl Halide	هيدروكربون هالوجيني	Halogenated Hydrocarbon

الأفكار الرئيسة للوحدة

(1–1) المجموعات الوظيفية

- هي عبارة عن ذرّة أو مجموعة ذرية تمثل الجزء النشط الذي ترتكز إليه التفاعلات الكيميائية للمركب الذي يحتويها، وتحدد الصيغة البنائية والخواص الكيميائية لعائلة من المركبات العضوية.
- تنقسم التفاعلات الكيميائية في المركبات العضوية إلى ثلاثة أنواع أساسية: تفاعلات الاستبدال، تفاعلات الانتزاع وتفاعلات الإضافة.

(2–1) الهيدروكربونات الهالوجينية

- الهيدروكربونات الهالوجينية هي مركبات عضوية مشتقة من الهيدروكربونات الأليفاتية أو الأروماتية باستبدال ذرّة هالوجين أو أكثر محل ما يماثل عددها من ذرّات الهيدروجين.
- يمكن تحضير الهيدروكربونات بسهولة من خلال التفاعلات التالية:

– الهلجنة المباشرة للألكانات وهي تفاعل استبدال ينتج عنه هاليد الألكيل $R - X$ أو هالو ألكان.

– الهلجنة المباشرة للبنزين وهي تفاعل استبدال ينتج عنه هاليد الفينيل أو هالو بنزين $Ar - X$.

- تعتبر هاليدات الألكيل غير مستقرة ونشطة لذلك تتفاعل بسهولة. يعتبر تفاعل الاستبدال أهم تفاعلات هاليدات الألكيل.
- تتفاعل هاليدات الألكيل مع القواعد لتحضير الكحولات ومع الألكوكسيدات لتحضير الإيثرات ومع أميد الصوديوم لتحضير الأمينات.

(1–2) الكحولات والإيثرات

- الكحولات هي مركّبات عضوية تحتوي على مجموعة هيدروكسيل أو أكثر.
- تُصنَّف الكحولات إلى كحولات أحادية وثنائية وثلاثية الهيدروكسيل بحسب عدد مجموعات الهيدروكسيل الموجودة في الجزيء الواحد وتُصنَّف إلى أوّلية وثانوية وثالثية بحسب نوع ذرّة الكربون المتّصلة بمجموعة الهيدروكسيل.
- يمكن أن تكون الكحولات أليفاتية أو أروماتية بحيث لا ترتبط مجموعة الهيدروكسيل مباشرة بحلقة بنزين.
- للكحولات درجة غليان أعلى من الهيدروكربونات المقابلة لها في الكتلة المولية، ترتفع مع ازدياد كتلها المولية.
- تكوّن الكحولات روابط هيدروجينية مع جزيئات الماء، ما يعطيها خاصّية الذوبانية في الماء غير أنّ الذوبانية تقلّ مع زيادة كتلها المولية.
- ينتج من تفاعل أكسدة الكحول الأوّلية ألدهيد ثمّ حمض كربوكسيلي، ومن أكسدة الكحول الثانوية كيتون، أمّا الكحول الثالثية فلا تتأكسد. وينتج من تفاعل الكحول مع الحمض الكربوكسيلي أسترات.
- تتفاعل الكحولات مع الفلزات النشطة (فلزات المجموعة AI) لإنتاج ألكوكسيد الفلز $MO - R$ مع تصاعد غاز الهيدروجين.
- طبقًا للظروف التي يحدث عندها التفاعل، يمكن نزع عناصر الماء من الكحولات لإنتاج الألكين أو الإيثر.
- تتفاعل الكحولات مع هاليدات الهيدروجين لإنتاج هاليد الألكيل $X - R$.
- تحضر أهم الكحولات التي تستخدم على نطاق واسع في الصناعات بواسطة تفاعلات إماهة الألكينات أو التحلّل المائي لهاليدات الألكيل.
- الإيثرات هي مركّبات عضوية تحتوي على ذرّة أكسجين مرتبطة بذرّتي كربون صيغتها العامّة هي $R-O-R'$ وتُصنَّف إلى إيثرات أليفاتية وأروماتية ومختلطة بحسب المجموعات العضوية المتّصلة بذرّة الأكسجين.
- تحضر الإيثرات عن طريق تفاعل الاستبدال حيث يتفاعل هاليد الألكيل مع ألكوكسيد الصوديوم (طريقة وليامسون) أو عن طريق نزع الماء من الكحول عند ظروف خاصة.
- تتفاعل الإيثرات مع الأحماض القوية المركزة مثل HI لإنتاج هاليد الألكيل عن طريق كسر الرابطة الإيثرية.

(2–1) مجموعة الكربونيل

- مجموعة الكربونيل تتكوّن من ذرّة أكسجين وذرّة كربون مرتبطتين برابطة تساهمية ثنائية. من المركّبات العضوية التي تحتوي على هذه المجموعة الألدهيدات والكيتونات.
- درجة غليان الألدهيدات والكيتونات أعلى من الهيدروكربونات المقابلة لها في الكتلة المولية وأدنى من الكحولات المقابلة لها في الكتلة المولية.

- تصنف الألدهيدات والكيتونات إلى أليفاتية وأروماتية تبعًا للشقوق العضوية المرتبطة بمجموعة الكربونيل.
- تنتج تفاعلات الإضافة كحولات إن كانت المتفاعلات ألدهيد أو كيتون وهيدروجين بوجود فلزّ كمادّة محفّزة. يكون الناتج كحول أوّلي في حالة الألدهيد وكحول ثانوي في حالة الكيتون.
- تفاعلات الأكسدة للألدهيدات باستخدام محلول تولن ومحلول فهلنج تفرّق بين الألدهيدات والكيتونات.
- تحضر الألدهيدات من خلال أكسدة الكحولات الأولية وتحضر الكيتونات من خلال أكسدة الكحولات الثانوية.
- تتأكسد الألدهيدات بسبب وجود ذرّة هيدروجين مرتبطة بمجموعة الكربونيل بينما الكيتونات لا تتأكسد.
- تتأكسد الألدهيدات بسهولة بالعوامل المؤكسدة أو أكسجين الهواء لإنتاج الحمض الكربوكسيلي المقابل.

(2–2) الأحماض الكربوكسيلية والأمينات

- الأحماض الكربوكسيلية هي أحماض ضعيفة تتفاعل مع الفلزّات لإنتاج ملح وغاز الهيدروجين، ومع القواعد القوية لإنتاج ملح وماء كما تتفاعل مع الأملاح.
- تُنتَج مشتقّات الأحماض الكربوكسيلية عند استبدال مجموعة الهيدروكسيل في مجموعة الكربوكسيل بأيّ ذرّة أو مجموعة ذرّات ما عدا ذرّة الكربون والهيدروجين. مثال عليها كلوريدات الحمض والاستر وأنهيدريدات الحمض.
- يمكن تحضير الأحماض الكربوكسيلية عن طريق تفاعلات الأكسدة بوجود عامل مؤكسد أو أكسجين الهواء.
  – أكسدة الكحولات الأولية تمامًا.
  – أكسدة الألدهيدات.
- تذوب الأحماض الكربوكسيلية الأليفاتية تمامًا في الماء إذا كان عدد ذرّات الكربون في الجزيء أقل من أربعة ذرّات. تقل الذوبانية في الماء مع تزايد الكتلة الجزيئية.
- درجات غليان الأحماض الكربوكسيلية أعلى بكثير من درجات غليان الكحولات ذات الكتل الجزيئية المقاربة لها، بسبب وجود مجموعة الكربوكسيل التي تحتوي على مجموعة كربونيل ومجموعة هيدروكسيل.
- الأمينات مركبات عضوية تشتق من الأمونيا عن طريق استبدال ذرّة هيدروجين أو أكثر بما يقابلها من الشقوق العضوية.
- تصنف الأمينات إلى أولية وثانونية وثالثية تبعًا لعدد ذرّات الهيدروجين المستبدلة من الأمونيا.
- تنقسم الأمينات إلى أليفاتية وأروماتية بحسب نوع الشق العضوي المتصل بذرّة النيتروجين.
- تحضر الأمينات عن طريق تفاعل الاستبدال بين هاليدات الألكيل وأميد الصوديوم.
- بما أنها تشتق من الأمونيا، تسلك الأمينات سلوك القواعد فتتفاعل الأمينات الأولية مع الأحماض لتكوين الأملاح المقابلة.
- درجة غليان الأمينات الأولية أعلى من درجات غليان الألكانات المقابلة لها في الكتل المولية ولكنها أقل من درجات غليان الكحولات والأحماض الكربوكسيلية المقاربة لها في الكتل المولية.
- تذوب الأمينات الأولية ذات الكتل الجزيئية الصغيرة في الماء بسبب قدرتها على تكوين روابط هيدروجينية مع الماء. وتقل الذوبانية بزيادة الكتلة المولية (زيادة عدد الكربون في الجزيء).

خريطة مفاهيم الوحدة

اِستخدم المفاهيم الموضَّحة في الشكل التالي لرسم خريطة تُنظِّم الأفكار الرئيسة التي جاءت في الوحدة:

تحقق من فهمك

1. إلامَ يرمز الحرف R في الصيغة $R - CH_2Cl$؟
2. اكتب الصيغة التركيبية لكلّ من المركّبات التالية:

(أ) 1، 2، 2 – ثلاثي كلورو بيوتان

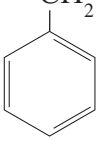
(ب) 1، 3 – ثنائي يودو بنتان

(جـ) 1، 2 – ثنائي كلورو هكسان

3. اكتب أسماء الهيدروكربونات الهالوجينية التالية:

(أ) $CH_3CH_2CH_2Cl$

(ب) $CH_3CHCH_2CHCH_2Cl$ (مع CH_3 و Cl)

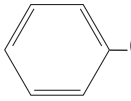
(جـ) 

4. اكتب الصيغ التركيبية وسمها بحسب قواعد IUPAC لجميع أيزوميرات المركّبين التاليين:

(أ) $C_3H_6Cl_2$

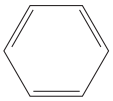
(ب) C_4H_9Br

5. ما النواتج العضوية للتفاعلات التالية:

(أ)  $+ NaOH \xrightarrow{\text{حرارة}} \_\_\_\_\_ + NaBr$

(ب) $CH_3CH_2Cl + NaOH \xrightarrow{\text{حرارة}} \_\_\_\_\_ + NaCl$

(جـ) $CH_3CHClCH_3 + NaOH \xrightarrow{\text{حرارة}} \_\_\_\_\_ + NaCl$

(د)  $+ Br_2 \xrightarrow[\text{محفّزة}]{\text{مادّة}} \_\_\_\_\_ + HBr$

6. اكتب أسماء الإيثرات التالية:

(أ) $CH_3OCH_2CH_3$

(ب)  $-O-CH_2CH_3$

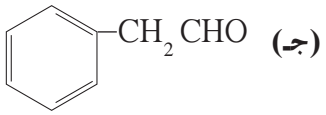
(جـ) $CH_3-CH_2OCH_2-CH_3$

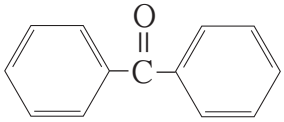
(د) $CH_3CHOCHCH_3$ (مع CH_3 و CH_3)

7. اشرح لماذا ثنائي إيثيل إيثر أكثر ذوبانًا في الماء من ثنائي هكسيل إيثر.
أيّ المركّبين، برأيك، أكثر ذوبانًا في الماء البروبان أم ثنائي إيثيل إيثر؟ ولماذا؟
8. فسّر لماذا يمتلك 1 – بيوتانول درجة غليان أعلى من ثنائي إيثيل إيثر.
أيّ المركّبين، برأيك، أكثر ذوبانًا في الماء؟ ولماذا؟
9. اكتب أسماء الألدهيدات والكيتونات التالية حسب النظام الشائع والأيوباك:

(أ) $CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}CH_3$

(ب) $CH_3\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}HCH_2CHO$

(جـ) 

(د) 

(هـ) CH_3CHO

(و) $CH_3CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}CH_2CH_2CH_3$

10. إلامَ تتوقّع أن تتوصّل عند مقارنة درجات غليان البروبان مع 1– بروبانول والبروبانال؟
11. يمتلك البروبان $CH_3CH_2CH_3$ والأسيتالدهيد CH_3CHO كتلًا مولية متساوية ولكنّ البروبان يغلي عند 42 °C– والأسيتالدهيد يغلي عند 20 °C. فسّر وعلّل هذا الاختلاف.
12. إلامَ تتوقّع أن تتوصّل عند مقارنة ذوبانية حمض الإيثانويك مع حمض الديكانويك؟
13. ما هي نواتج كلّ من التفاعلات التالية:

(أ) $HCOOH + K \longrightarrow$ (ب) $CH_3CH_2COOH + Na_2CO_3 \longrightarrow$

(جـ) $CH_3COOH + NaOH \longrightarrow$

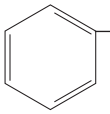
14. اكتب الاسم الشائع لكلّ حمض من الأحماض الكربوكسيلية التالية:

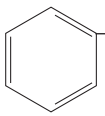
(أ) $HCOOH$ (ب) CH_3COOH (جـ) $CH_3CH_2CH_2COOH$

15. اكتب الاسم والصيغة التركيبية للكحول الذي يجب أن يتأكسد ليكوّن المركّبات التالية:

(أ) CH_3CH_2CHO (ب) $CH_3CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}CH_3$ (جـ) $CH_3CH_2\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}HCHO$

16. اكتب الصيغ التركيبية للموادّ الناتجة المتوقّعة من التفاعلات التالية:

(أ)  $CH_2-Br + NaNH_2$

(ب)  $CH_2-NH_2 + HBr$

17. اكتب الصيغة التركيبية واسم الاستر الذي يمكن أن يتكوّن من كلّ من التفاعلات التالية:

(أ) حمض فورميك + ميثانول

(ب) حمض بيوتريك + إيثانول

(جـ) حمض أسيتيك + 1− بروبانول

تحقق من مهاراتك

1. اكتب الصيغة التركيبية العامّة لكلّ نوع من أنواع المركّبات التالية:

(أ) الهيدروكربون أحادي الهالوجين **(ب)** الكيتون

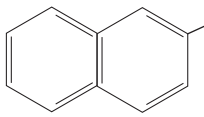
(جـ) الاستر **(د)** الأمين الأولي

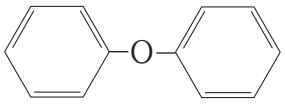
2. توقّع المركّب ذا درجة الغليان الأعلى مع الأخذ في الاعتبار الكتل المولية الجزيئية لكلّ مركّب الموضّحة بين قوسين.

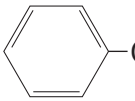
(أ) CH_3CHO (M.wt. = 44 g/mol) **(ب)** CH_3CH_2CHO (M.wt. = 58 g/mol)

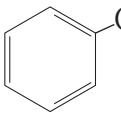
(جـ) $CH_3CH_2CH_3$ (M.wt. = 44 g/mol)

3. صنّف المركّبات التالية بين كحولات وإيثرات وفينولات.

(أ) 

(ب) 

(جـ) 

(د) 

(هـ) CH_3CH_2CHOH (with CH_3 branch)

4. أعدّ جدولًا لترتيب الهيدروكربونات الهالوجينية التالية تصاعديًّا بحسب درجات غليانها.

(أ) ثلاثي كلورو ميثان $CHCl_3$ **(ب)** ثنائي كلورو ميثان CH_2Cl_2

(جـ) رباعي كلورو ميثان CCl_4 **(د)** كلورو ميثان CH_3Cl

5. توضّح الصيغة الجزيئية التالية $C_4H_{10}O$ صيغة أحد الكحولات الأليفاتية المشبَّعة. لهذا الكحول أربعة أيزوميرات يُشار إليها بالأحرف A وB وC وD.

الأيزوميرات A وB وC، تمّ اختبار كلّ منها بتفاعل أكسدة وذلك بالتسخين لدرجة (300 °C) في وجود فلز النحاس كعامل حفّاز.

- أنتج المركّب A المركّب 'A.
- أنتج المركّب C المركّب 'C.
- المركّب B لم يتفاعل.

1. اكتب الصيغة التركيبية المكثَّفة لكلّ من الأيزوميرات الأربعة.
2. سمِّ كلّ من الكحولات الأربعة وحدِّد صنف كلّ منها (أولية أو ثانوية أو ثالثية).
3. أيّ من الأيزوميرات الأربعة لا يتأكسد؟ لماذا؟
4. أخضع المركّبين 'A و'C لاختبارين:

- الاختبار الأوّل مع محلول 4,2 ثنائي نيترو فينيل الهيدرازين (4,2 – DNPH).
- الاختبار الثاني مع محلول فهلنج.

المركّب	الاختبار الأوّل 2,4 – DNPH	الاختبار الثاني محلول فهلنج
'A	إيجابي	سلبي
'C	إيجابي	إيجابي

(أ) ماذا تلاحظ في الاختبار الأوّل؟ ما هي المجموعة الوظيفية التي يدلّ عليها هذا الاختبار؟ ما هي المركّبات التي تحتوي على هذه المجموعة؟

(ب) ما هي الخاصّية التي يدلّ عليها الاختبار الثاني؟ ما هي المجموعة الوظيفية للمركّب 'C التي يدلّ عليها هذا الاختبار؟

(جـ) إذا كان المركّب 'C لا يحتوي على سلسلة كربونية متفرّعة، فما هي صيغته التركيبية المكثّفة وما اسمه؟

(د) ما الصيغة التركيبية للمركّب 'A وما اسمه؟

6. وجد طلّاب الصف الثاني عشر خلال تجربة في المختبر 5 كؤوس زجاجية مرقّمة من 1 إلى 5 وتحتوي، على التوالي، على المركّبات: A وB وC وD وE.

المعطيات:

- يتكوّن جزيء كلّ من المركّبات السابقة من 3 ذرّات كربون وذرّات هيدروجين وذرّة أو ذرّتين من الأكسجين.
- لا تحتوي سلسلة ذرّات الكربون في الجزيء إلّا على روابط أحادية.
- اثنان فقط من هذه المركبات هما كحولات.

(أ) تعطي الأكسدة المتواصلة للمركبين (A) و(B) بواسطة محلول حمضي من برمنجنات البوتاسيوم النتائج التالية:

- يُنتج المركّب (A) المركّب (C) ثمّ المركّب (D).
- يُنتج المركّب (B) المركّب (E) فقط.

حدّد ما إذا كانت هذه النتائج المخبرية كافية لتحديد المركّبات A وB وC وD وE.

(ب) للتأكّد من النتائج السابقة، استخدم محلول (كاشف) فهلنج. أظهرت التجربة أنّ المركّب (C) قد تأكسد (تكوّن راسب أحمر طوبي).

حدّد المركّب (C)، واكتب المعادلة التي توضّح التفاعل بين محلول فهلنج والمركّب (C).

مشاريع الوحدة

1. ابحث عن فاكهتك المفضّلة. اعرض بطريقة مبتكرة مصدر هذه الفاكهة ومصدر طعمها ورائحتها المميّزين. اذكر اسم الاستر الذي تحتوي عليه والذي يعطيها رائحتها المميّزة ثمّ اذكر التغيّرات الكيميائية التي تحدث عند نضجها.

قد يهتمّ معظمنا بمذاق الطعام وأهميّته بالنسبة إلى نموّنا وحمايتنا من أمراض كثيرة. ولكنّ العلماء وأطباء الصحّة والتغذية والكيميائيين يدرسون الطعام في إطار الكيمياء الحيوية للتعمّق في فهم الجزيئات الحيوية وهي الكربوهيدرات والليبيدات والبروتينات والأحماض الأمينية. وهم يهتمّون أيضًا بدراسة صيغها التركيبية ووظائفها، وبالأدوار التي تؤدّيها في أجهزة أجسامنا. تتميّز الجزيئات الحيوية بأنّها كبيرة لذلك تُسمّى الجزيئات الضخمة، وبأنّها تتكوّن من مونومرات يرتبط بعضها ببعض في تفاعلات البلمرة لتصبح بوليمرات.

اكتشف بنفسك

موادّ بيولوجية محفّزة

لإجراء هذا النشاط يجب توفُّر ما يلي:

قطعة صغيرة من اللحم الأحمر النيء، قطعة مماثلة لها في الحجم من اللحم المطهو، كلّ منهما في طبق على حدة، فوق أكسيد الهيدروجين (3%)، وقطّارة.

1. أضِف، بواسطة القطّارة، قطرات قليلة من محلول فوق أكسيد الهيدروجين إلى عيّنتي اللحم. يجب أن تكون كلتاهما عند درجة حرارة الغرفة.
2. راقِب العيّنتين لمدّة خمس دقائق تقريبًا.
3. هل لاحظت أيّ فرق في مظهر فوق أكسيد الهيدروجين في العيّنتين؟ ما سبب الفرق برأيك؟ ماذا تستنتج من هذه التجربة؟ بعد دراستك العمليات الكيميائية في هذا الدرس، حاوِل تفسير ملاحظاتك.

فصول الوحدة

الفصل الأوّل
- الكربوهيدرات

الفصل الثاني
- البروتينات والليبيدات

أهداف الوحدة

- يصف الخواصّ المهمّة للسكّريات الأحادية والمحدودة والسكّريات العديدة.
- يذكر مصادر عدد من الكربوهيدرات المهمّة واستخداماتها.
- يكتب الصيغة العامّة للحمض الأميني ويصف الترابط بين الأحماض الأمينية في الببتيدات والبروتينات.
- يميّز الأحماض الدهنية ويعطي أمثلة متعددة لها.
- يميّز التراكيب الجزيئية للجليسريدات الثلاثية والفوسفوليبيدات والشموع.

معالم الوحدة

اكتشف بنفسك: موادّ بيولوجية محفّزة

معلومات إضافية: البوليمرات

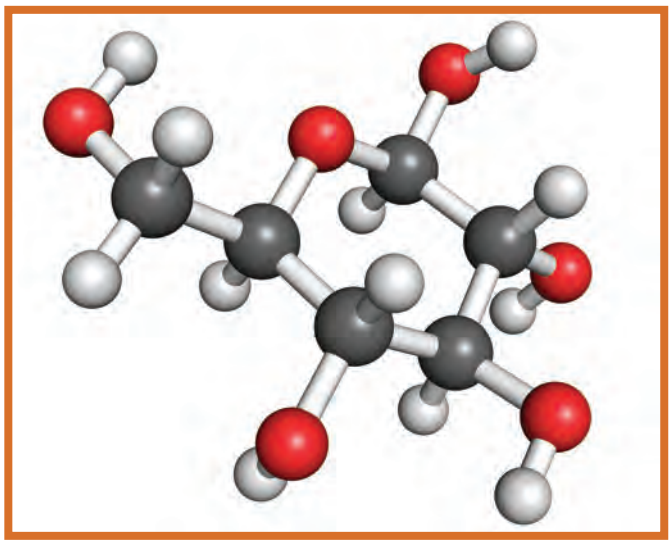
علاقة الكيمياء بالصناعة: صناعة الصابون

الكيمياء في خدمة المستهلك: الدهن المزيّف

الكربوهيدرات
Carbohydrates

تعرّفت في الوحدة السابقة المجموعات الوظيفية التي تميّز كلّ عائلة من المركّبات العضوية مثل مجموعة الهيدروكسيل للكحولات ومجموعة الكربونيل للألدهيدات والكيتونات اللتين تشكّلان محور هذا الفصل: الكربوهيدرات.

الكربوهيدرات هي مركّبات تحتوي على ذرّات الكربون والهيدروجين والأكسجين. وتُعتبَر هذه المركّبات الأساسية المصدر الأساسي للطاقة في جسم الإنسان. ويُعَدّ السكّر والنشا من الأمثلة الأكثر شيوعًا عليها.



دروس الفصل

الدرس الأوّل

- الكربوهيدرات

الدرس 1-1

الكربوهيدرات
Carbohydrates

الأهداف العامة

- يصف الخواصّ البنائية المهمّة للسكّريات الأحادية والسكّريات المحدودة والسكّريات العديدة.
- يذكر مصادر عدد من الكربوهيدرات المهمّة واستخداماتها.

شكل (33)
حرباء تطرح كساءها القشري

تطرح الحرباء (شكل 33) كساءها القشري الصلب الذي يحميها. فهي على غرار الحشرات وسرطانات البحر والحيوانات اللافقارية المفصلية، تحتاج عند نموّها إلى كساء قشري أكبر يتّسع لها. يتكوّن هذا الكساء الخارجي من نوع من البوليمر يُسمّى كيتين (لدى الحشرات والقشريات) وهو ينتمي إلى فئة من المركّبات العضوية تُسمّى كربوهيدرات.

1. الكربوهيدرات Carbohydrates

يتناول العدّاؤون، قبل سباقات الجري الطويلة، قدرًا كبيرًا من الأطعمة التي تحتوي على كربوهيدرات مثل الخبز والفطائر. تُعرَف هذه العملية بالتحميل الكربوهيدراتي.

تعرف الكربوهيدرات Carbohydrates بأنّها مركّبات عضوية عبارة عن ألدهيدات أو كيتونات عديدة الهيدروكسيل أو موادّ تكوّن هذه المركّبات عند تحلّلها مائيًّا.

وهي موادّ عضوية تحتوي على عناصر الكربون والهيدروجين والأكسجين، وقد سُمّيت بالكربوهيدرات، أي هيدرات الكربون، لاحتواء معظم مركّباتها على عنصري الهيدروجين والأكسجين بنسبة وجودهما في الماء.

لذلك يمكن التعبير عن الكربوهيدرات بالصيغة الجزيئية العامّة $C_n(H_2O)_m$.

فقرة إثرائية

معلومات إضافية

البوليمرات

تتمتّع البوليمرات العضوية في أيامنا هذه بالغة الأهمية في حياة الإنسان، فهي تدخل في مكونات غذائية وفي كسائه ومسكنه. ينتفع الإنسان من النشويات والسكريات والبروتينات التي يحصل عليها من الغذاء، ويستخدم القطن والصوف والحرير وجلود الحيوانات في صنع الملابس، ويستفيد من الخشب في تشييد المسكن والأثاث.

البوليمرات هي جزيئات ضخمة مكوّنة من ترابط عدد كبير جدًّا من الوحدات البنائية بعضها ببعض تسمّى مونومرات.

المونومرات هي الوحدات البنائية للبوليمر. ويتكوّن البوليمر من مونومرات من النوع نفسه أو من أنواع مختلفة.

عملية البلمرة اتحاد كيميائي لجزيئين أو أكثر من مادة واحدة أو أكثر ذات تركيب جزيئي بسيط لتكوين مركب كتلته الجزيئية كبيرة ويختلف في خواصه الكيميائية والفيزيائية عن المركّبات المكونة له.

ملاحظة: بعض الكربوهيدرات لا تخضع لهذه الصيغة الجزيئية مثل سكّر الرامنوز ($C_6H_{12}O_5$). وهناك مركّبات تخضع للصيغة العامّة ولكنّها ليست كربوهيدرات مثل حمض الأستيك ($C_2H_4O_2$) والفورمالدهيد (CH_2O) لذلك من الصعب الحكم على الكربوهيدرات من خلال الصيغة الجزيئية.

يُسمّى النظام الغذائي المعتمَد أساسًا على الخبز والفطائر نظام الغذاء النشوي، لأنّ الأطعمة تحتوي على أنواع من الكربوهيدرات تُعرَف بالنشويات. ما هي أوجه الشبه والاختلاف بين الأنواع المعروفة من الكربوهيدرات؟

2. تصنيف الكربوهيدرات
Classification of Carbohydrates

يمكن تصنيف الكربوهيدرات بحسب نواتج التحلل المائي إلى:
السكريات الأحادية، السكريات المحدودة، والسكريات العديدة.

1.2 السكّريات الأحادية Monosaccharides

تحتوي معظم أنواع الأطعمة على الكربوهيدرات كما هو موضّح في الشكل (34). **وتُسمّى أبسط جزيئات الكربوهيدرات السكّريات الأحادية أو السكّريات البسيطة Monosaccharides التي لا يتحلل الجزيء الواحد منها مائيًا إلى جزيئات أبسط منها.** مثال على السكّريات البسيطة، الجلوكوز والفركتوز وهما أيزوميران بما أنّهما يمتلكان الصيغة الجزيئية نفسها $C_6H_{12}O_6$.

شكل (34)
تُعتبَر الأطعمة التي تحتوي على كربوهيدرات من أهمّ مصادر الطاقة. تحتوي الأطعمة التي تظهر إلى اليمين (أ) على كربوهيدرات بسيطة تُسمّى السكّريات. أمّا الأطعمة التي تظهر إلى اليسار (ب) فتُعتبَر مصدرًا جيّدًا للكربوهيدرات العديدة التي تُعرَف بالنشويات.

يمكن تصنيف السكّريات الأحادية بحسب عدد ذرات الكربون.
في هذه الطريقة يتكوّن الوصف من مقطعين:

- سكّر يحتوي على (3) ذرّات كربون يُعرف بـِ (تراي + وز)
- سكّر يحتوي على (4) ذرّات كربون يُعرف بـِ (تتر + وز)
- سكّر يحتوي على (5) ذرّات كربون يُعرف بـِ (بنت + وز)
- سكّر يحتوي على (6) ذرّات كربون يُعرف بـِ (هكس + وز)

الجلوكوز، الفركتوز، الجلاكتوز، المانوز، أمثلة عن الهكسوزات
الرايبوز (وهو من أكثر السكّريات شيوعًا في الكائنات الحية) من أمثلة البنتوزات.

كما يمكن تصنيف السكريات الأحادية بحسب المجموعة الفعالة:

في هذه الطريقة يتكوّن الوصف من مقطعين:

- سكّر يحتوي على مجموعة الألدهيد الفعّالة يُعرف بـ "الدوز".
- سكّر يحتوي على مجموعة الكيتون الفعّالة يُعرف بـ "كيتوز".

من أمثلة الألدوزات: الجلوكوز، المانوز، الجلاكتوز، الرايبوز.

من أمثلة الكيتوزات: الفركتوز.

يمكن دمج الطريقتين والتعرّف على المجموعة الفعّالة وعدد ذرّات الكربون وسيتكوّن الوصف من ثلاثة مقاطع.

ألدو (إذا كان ألدهيد) أو كيتو (إذا كان كيتون) +
رقم لاتيني يدلّ على عدد ذرّات الكربون + وز

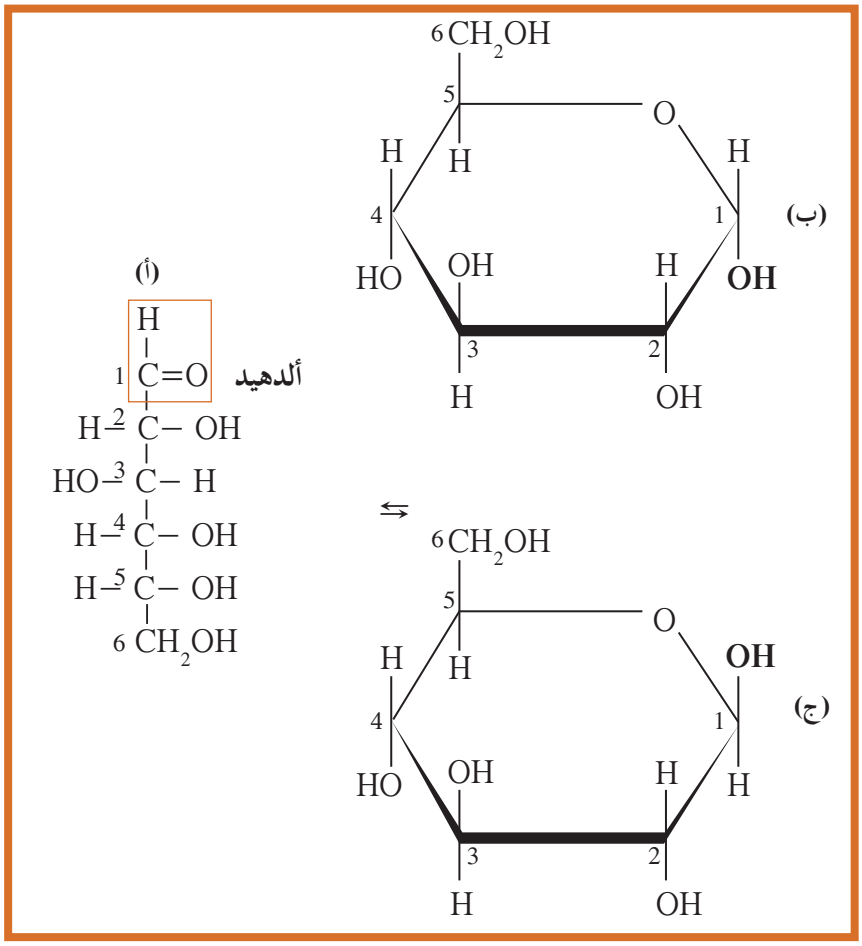
مثال على ذلك:

- سكّر يحتوي على مجموعة الألدهيد الفعّالة وفيه 5 ذرّات كربون يُعرف بالدوبنتوز.
- سكّر يحتوي على مجموعة الالدهيد الفعّالة وفيه 6 ذرّات كربون يُعرف بالدوهكسوز.
- سكّر يحتوي على مجموعة الكيتون الفعّالة وفيه 6 ذرّات كربون يُعرف بكيتوهكسوز.

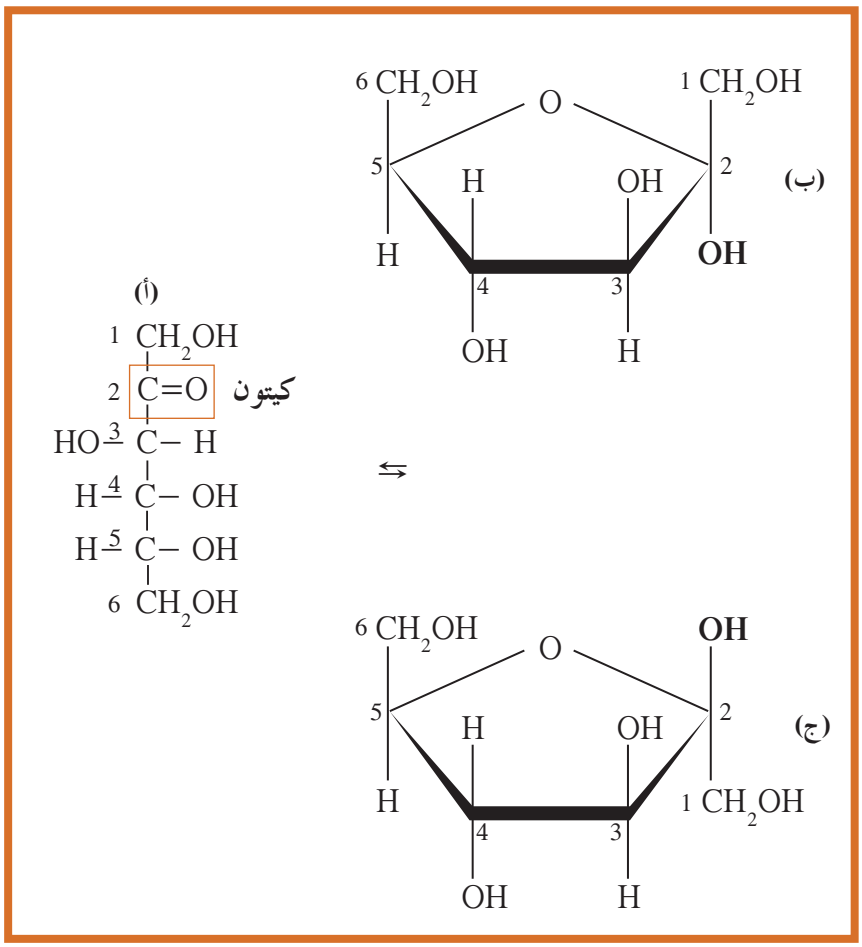
مثال على ذلك، نجد أنّ الجلوكوز يحتوي على المجموعة الوظيفية للألدهيد بينما يحتوي الفركتوز على المجموعة الوظيفية للكيتون، ويقوم كلّ منهما بالتفاعلات نفسها التي تقوم بها الألدهيدات والكيتونات العادية.

تتواجد السكّريات البسيطة، مثل الجلوكوز والفركتوز، في المحلول المائي في حالة اتّزان ديناميكي بين الشكل الحلقي (الغالب) وشكل السلسلة الكربونية المستقيمة. يوضّح الشكلان (35) و(36) المجموعة الوظيفية في كلّ من الجلوكوز والفركتوز وصيغتهما التركيبية المستقيمة والحلقية.

يتواجد الجلوكوز بوفرة في النباتات والحيوانات ويُسمّى بحسب مصدره سكّر الذرة أو سكّر العنب أو سكّر الدم، أمّا الفركتوز فهو موجود في عدد كبير من الفواكه والعسل.



شكل (35)
(أ) جلوكوز مستقيم السلسلة الكربونية
(ب) جلوكوز حلقي – α
(جـ) جلوكوز حلقي – β

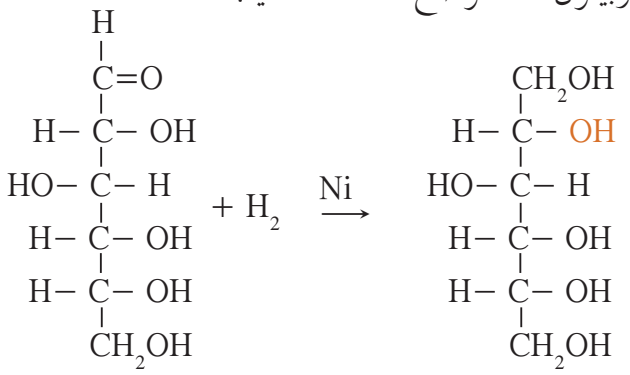


شكل (36)
(أ) فركتوز مستقيم السلسلة الكربونية
(ب) فركتوز حلقي – α
(جـ) فركتوز حلقي – β

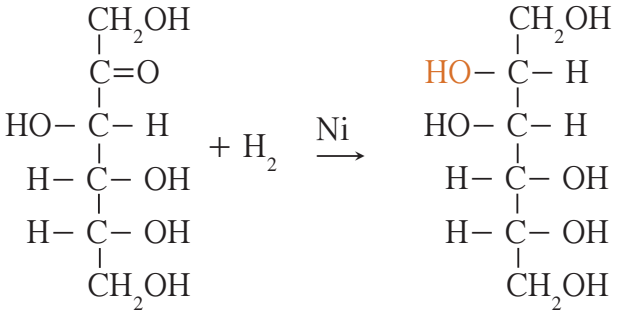
لاحِظ مجموعة الألدهيد الوظيفية في السلسلة الكربونية المستقيمة للجلوكوز ومجموعة الكيتون الوظيفية في السلسلة الكربونية المستقيمة للفركتوز. ما الفرق الذي تلاحظه بين الشكل الحلقي للجلوكوز والشكل الحلقي للفركتوز؟

- **اختزال الجلوكوز والفركتوز**

يتفاعل الجلوكوز مع الهيدروجين بوجود النيكل Ni كمادة حافزة لينتج كحول السوربيتول كما توضح المعادلة التالية:

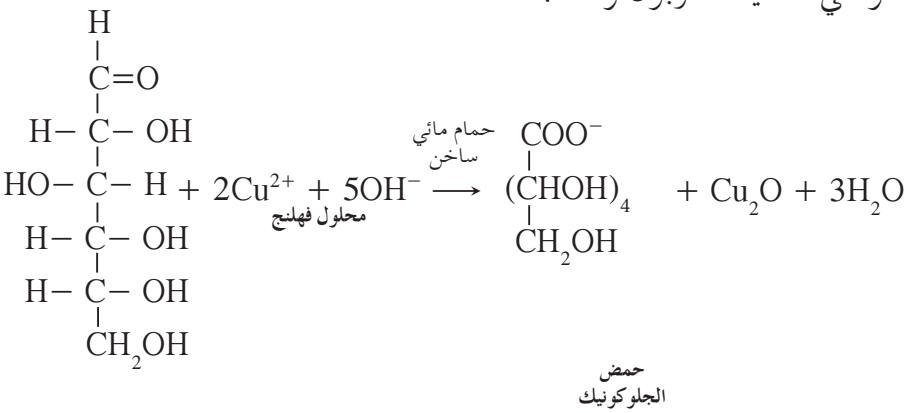


كما يمكن للفركتوز أن يختزل عندما يتفاعل مع الهيدروجين بوجود النيكل Ni كمادة حافزة لينتج كحول المانيتول كما توضح المعادلة التالية.



- **أكسدة الجلوكوز والفركتوز**

يتأكسد الجلوكوز بالعوامل المؤكسدة معتدلة القوة مثل ماء البروم وبالعوامل المؤكسدة الضعيفة مثل محلول فهلنج ويتكون حمض الجلوكونيك على اعتبار أنه ألدوز ويتأكسد بالأكسجين ليعطي الطاقة وثاني أكسيد الكربون والماء:



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

لا يتأكسد الفركتوز بالعوامل المؤكسدة معتدلة القوة مثل ماء البروم لأنه كيتوز (يحتوي على مجموعة الكيتون).

ملاحظة: المتوقع عدم أكسدة الفركتوز بالعوامل المؤكسدة الضعيفة مثل محلول الفهلنج، ولكن هذا محلول قاعدي يؤكسد الفركتوز لأنه يتحوّل في الوسط القاعدي إلى جلوكوز ويتأكسد بمحلول فهلنج. لذلك لا يمكن التمييز عمليًّا بين الجلوكوز والفركتوز بواسطة محلول فهلنج.

2.2 السكّريات المحدودة Oligosaccharides

السكّريات المحدودة هي الكربوهيدرات التي يتحلل الجزيء الواحد منها مائيًا ليعطي من (2 – 10) جزيئات من السكّريات الأحادية.

• السكّريات الثنائية Disaccharides

يمكن أن ترتبط الأشكال الحلقية لنوعَين من السكّر الأحادي (السكّر البسيط) ارتباطًا كيميائيًّا يفقدان أثناءه جزيئًا واحدًا من الماء (تفاعل التكثيف). مثال على ذلك ارتباط جزيء جلوكوز بجزيء فركتوز عن طريق إزالة جزيء ماء لينتج السكّروز أو سكّر المائدة شائع الاستعمال.

تُعرَف السكّريات التي تتكوّن من وحدتين من السكّريات الأحادية بالسكّريات الثنائية Disaccharides. مثال عليها السكّروز الذي يوضّح التفاعل في الشكل (37) كيفية تكوينه.

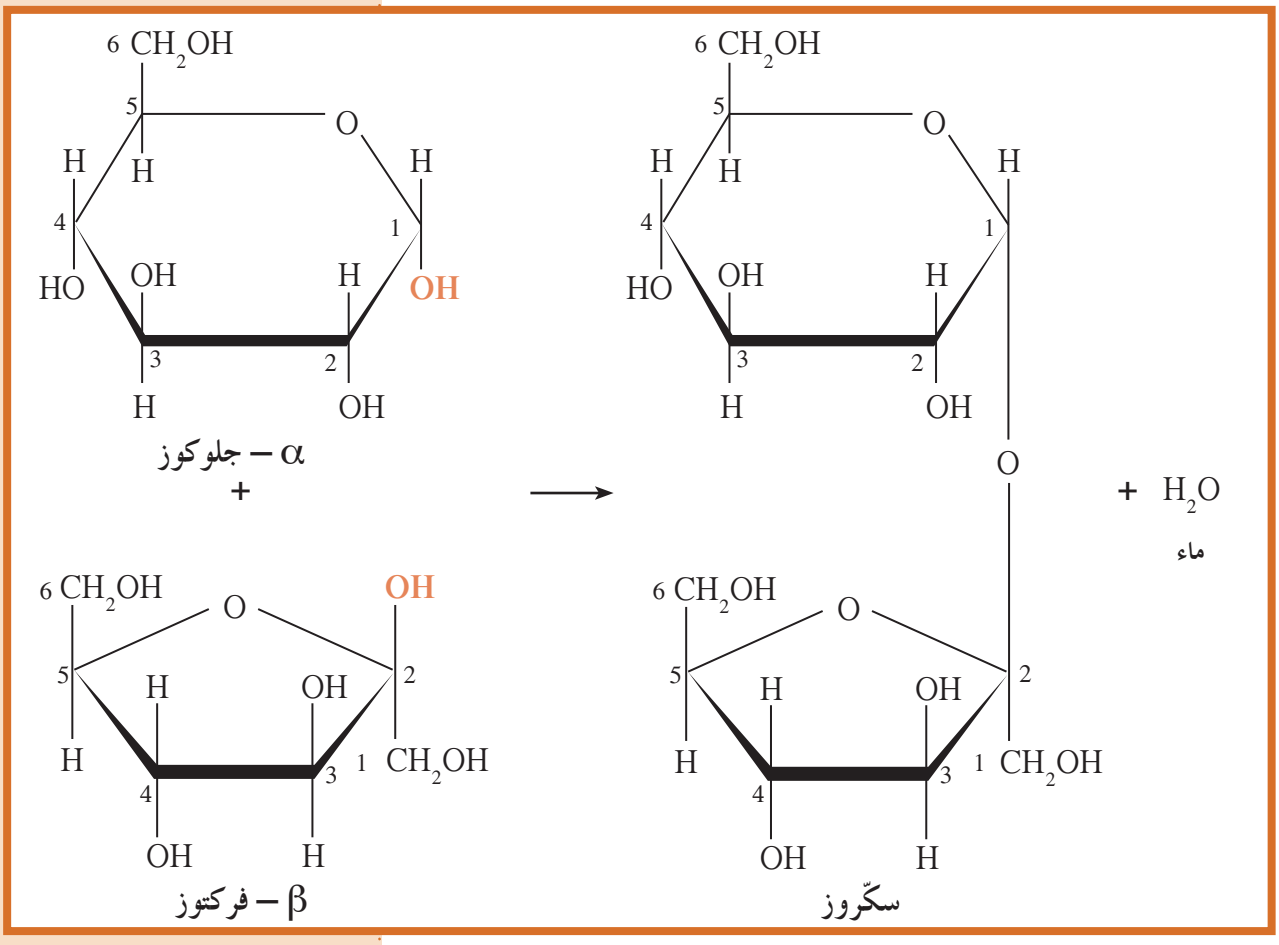
نحصل على السكّروز تجاريًّا من عصير قصب السكّر والشمندر السكّري ويزيد الإنتاج العالمي لهذين النوعين من السكّروز عن 7×10^9 أطنان مترية سنويًّا.

بعض أمثلة السكّريات الثنائية وكيفية الحصول عليها:

السكّروز ينتج من تكاثف (جزيء α – جلوكوز + جزيء β – فركتوز)

المالتوز ينتج من تكاثف (جزيء α – جلوكوز + جزيء α – جلوكوز)

اللاكتوز ينتج من تكاثف (جزيء α – جلوكوز + جزيء β – جلاكتوز)



شكل (37)
تفاعل تكوين السكّروز

3.2 السكّريات العديدة Polysaccharides

يُعتبَر تكوين السكّريات الثنائية أحيانًا الخطوة الأولى في عملية بلمرة التكثيف التي تنتج منها جزيئات ضخمة، و**تُعرَف السكّريات العديدة Polysaccharides بأنها الكربوهيدرات التي يتحلّل الجزيء الواحد منها مائيًّا ليعطي أكثر من عشرة جزيئات من السكّريات الأحادية أو من السكّريات الثنائية تبعًا لظروف التحلّل المائي.**» مثال عليها النشا والسيليولوز (شكل 38 – ب).

تتكون السكّريات العديدة من تكاثف عدد كبير جدًّا من جزيئات السكّريات الأحادية مع بعضها بنزع جزيئات ماء. إنّ الكتلة الجزيئية للسكّريات العديدة كبيرة جدًّا، وتُعتبَر النباتات هي المصدر الرئيس لمعظمها، مثل النشا (النباتي)، والسيليولوز، والجليكوجين (النشا الحيواني).

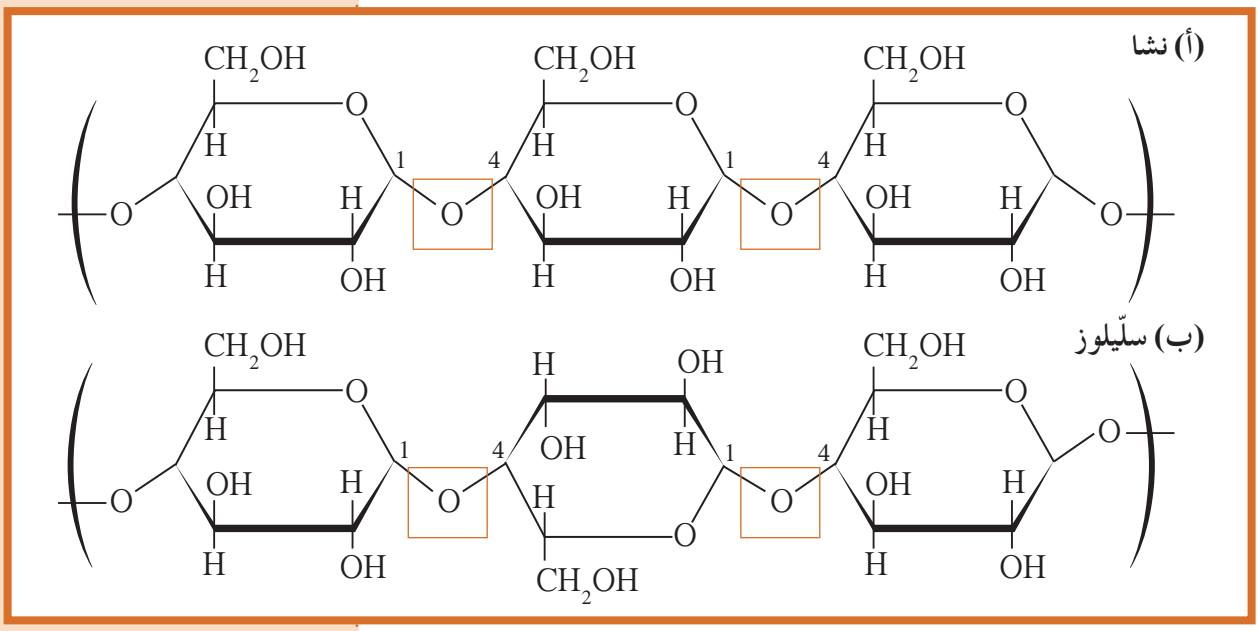
$$n C_6H_{12}O_6 \underset{\text{تحلّل مائي}}{\overset{\text{تكاثف}}{\rightleftharpoons}} (C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O$$

عدد كبير من جزيئات السكّر الأحادي — سكّر عديد

(أ) النشا النباتي $(C_6H_{10}O_5)_n$ Natural Starch

- ينتج من تكاثف عدد كبير من جزيئات α – جلوكوز مع بعضها البعض وذلك بفقدان جزيئات ماء.
- النشا النباتي خليط من نوعين هما الأميلوز والأميلوبكتين.
- الأميلوز هو سلسلة غير متفرّعة من جزيئات α – جلوكوز يذوب في الماء ويوجد في القسم الداخلي للخليّة، والأميلوبكتين هو سلسلة متفرّعة من جزيئات α – جلوكوز لا يذوب في الماء ويوجد في جدار الخليّة.
- يتحلّل النشا النباتي (شكل 38 أ) مائيًّا في وجود حمض الهيدروكلوريك المخفّف مع التسخين وينتج آلاف من جزيئات α – جلوكوز.

$$\underset{\text{النشا النباتي}}{(C_6H_{10}O_5)_n} + nH_2O \xrightarrow[\Delta]{HCl} \underset{\text{α – جلوكوز}}{nC_6H_{12}O_6}$$



شكل (38)
جزء من جزيئي النشا والسلّيلوز.

(ب) السيليولوز $(C_6H_{10}O_5)_n$ Cellulose

- نتج من تكاثف عدد كبير من جزيئات β – جلوكوز مع بعضها البعض وذلك بفقدان جزيئات ماء، وهو عبارة عن سلسلة غير متفرّعة.
- يوجد السيليولوز في جدار الخليّة النباتية، وهو المادّة الأساسية في تكوين هيكل النبات، وهو لا يذوب في الماء البارد أو الساخن(شكل 38 ب).

مراجعة الدرس 1-1

1. اكتب الصيغة الجزيئية العامّة لمركّبات الكربوهيدرات.
2. اذكر اسم المجموعات الوظيفية التي تتميّز بها مركّبات السكّريات الأحادية.
3. عرِّف السكّريات الأحادية والمحدودة والعديدة.
4. اكتب التفاعل الكيميائي الذي ينتج السكّروز.
5. قارِن ثلاثة اختلافات بين السلّيلوز والنشا.

الفصل الثاني

البروتينات والليبيدات
Proteins and Lipids

أثبتت عدّة دراسات وبحوث أنّ لبعض العناصر الغذائية التي تشكّل المكوّنات الأساسية لغذائنا تأثيرًا واضحًا في الصحّة. فاستهلاك هذه العناصر بصورة مفرطة أو عدم تناول كمّية كافية منها يؤدّي إلى ما يُعرَف بأمراض سوء التغذية التي تشمل السمنة، وارتفاع ضغط الدم، وأمراض القلب، وتصلّب الشرايين، إضافة إلى فقر الدم ولين العظام وغيرها.

نجد الليبيدات في الوجبات السريعة كلّها. ونجد البروتينات في اللّحوم والسمك والحليب. نذكر من البروتينات المهمة أيضًا الإنزيمات، فهي تعمل كموادّ محفّزة بيولوجية في التفاعلات الكيميائية الحيوية التي تحدث في الخلايا الحيّة (في الإنسان أو الحيوان أو النبات).

دروس الفصل

الدرس الأوّل
- الأحماض الأمينية وبوليمراتها (البيبتيدات والبروتينات)

الدرس الثاني
- الأحماض الدهنية والليبيدات

الدرس 2-1

الأحماض الأمينية وبوليمراتها (الببتيدات والبروتينات)

Amino Acids and their Polymers (Peptides and Proteins)

الأهداف العامة

- يكتب الصيغة العامّة للحمض الأميني ويصف الترابط بين الأحماض الأمينية في الببتيدات والبروتينات.

شكل (39)
منتجات الألبان

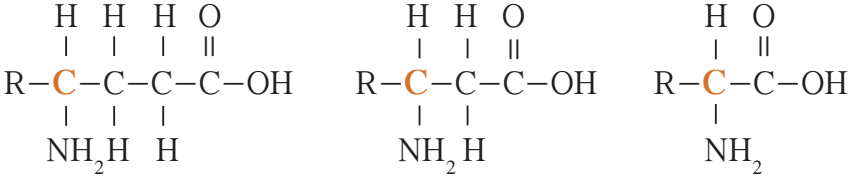
يتعسَّر على الكثير من الناس هضم منتجات الألبان (شكل 39) لأنّ أجسامهم لا تفرز إنزيم اللاكتاز الذي يهضم اللاكتوز وهو السكّر الموجود في اللبن. تُعرَف هذه الحالة المرضية باسم عوز اللاكتاز، ومن عوارضها الشعور بالانتفاخ وعدم ارتياح المعدة بسبب اللاكتوز غير المهضوم. يستطيع المصابون بهذه الحالة تناول منتجات الألبان إذا تناولوا أقراصًا تحتوي على إنزيم اللاكتاز قبل تناول الطعام.

1. الأحماض الأمينية Amino Acids

الأحماض الأمينية Amino Acids هي وحدات البناء الرئيسة لمادّة البروتين. وتحتوي كيميائيًّا على مجموعة الكربوكسيل الحمضية (−COOH) ومجموعة الأمين القاعدية ($-NH_2$). يتألّف البروتين من أحماض أمينية مختلفة يرتبط بعضها ببعض في جزيئات البروتين وتنتظم على شكل سلاسل طويلة ذات كتل جزيئية كبيرة.

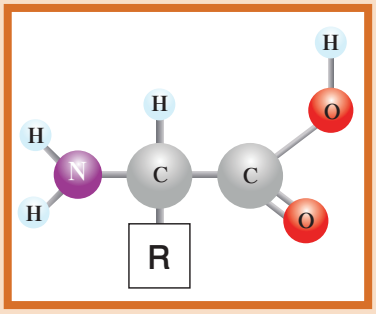
1.1 تركيب الأحماض الأمينية
Structure of Amino Acids

تختلف الأحماض الأمينية عن بعضها بعضًا بحسب موضع مجموعة الأمين بالنسبة إلى مجموعة الكربوكسيل في الجزيء.



ملاحظة: تتميّز البروتينات الطبيعية باحتوائها على الأحماض الأمينية من نوع ألفا التي تظهر صيغتها التركيبية العامّة في (الشكل 40).

تختلف الأحماض الأمينية بتركيبها بحسب نوع المجموعة R التي قد تكون سلسلة هيدروكربونية أليفاتية مستقيمة أو متفرّعة أو حلقية أو أروماتية. وسنكتفي بالإشارة إلى الأحماض الأمينية ألفا.



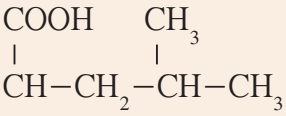
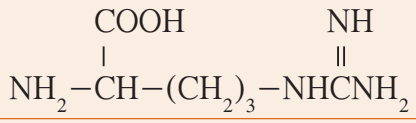
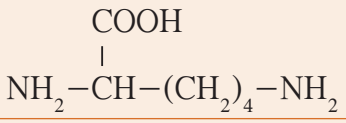
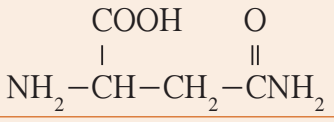
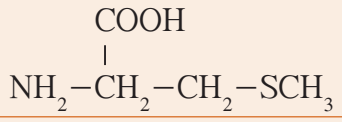
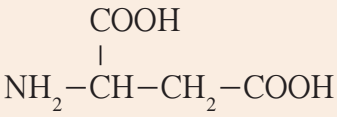
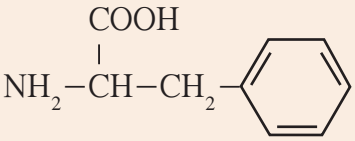
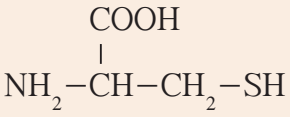
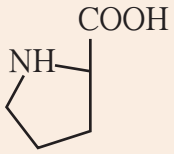
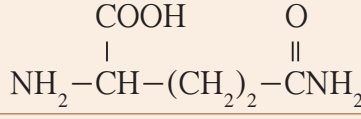
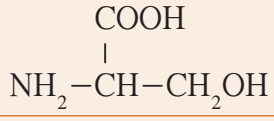
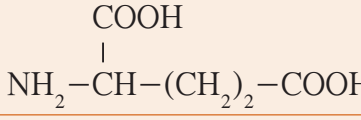
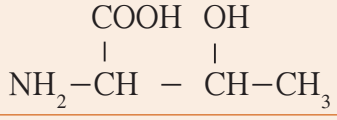
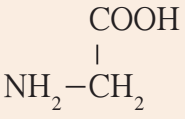
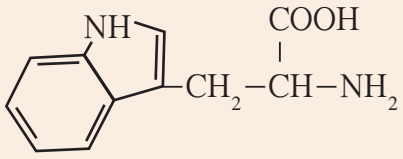
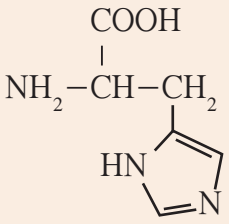
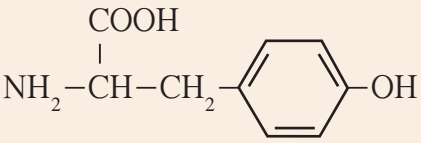
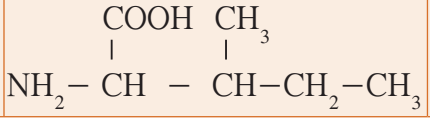
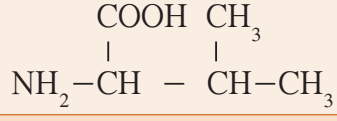
شكل (40)
الصيغة التركيبية العامّة للأحماض الأمينية ألفا

2.1 تصنيف الأحماض الأمينية
Classification of Amino Acids

تُصنَّف الأحماض الأمينية، تبعًا لعدد المجموعات الوظيفية الحمضية الكربوكسيلية والقاعدية الأمينية فيها (جدول 45). يوضح الجدول (46) صيغة الأحماض الأمينية العشرون واسمائها.

أحماض أمينية متعادلة	أحماض أمينية حمضية	أحماض أمينية قاعدية
يكون فيها عدد مجموعات الكربوكسيل مساوٍ لعدد مجموعات الأمينو.	يكون فيها عدد مجموعات الكربوكسيل أكثر من عدد مجموعات الأمينو.	يكون فيها عدد مجموعات الكربوكسيل أقلّ من عدد مجموعات الأمينو.
$H_2N - CH_2 - COOH$ جليسين	$HOOC - CH_2 - \underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}} - COOH$ حمض الأسبارتيك	$H_2N - (CH_2)_4 - \underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}} - COOH$ ليسين

جدول (45)
أصناف الأحماض الأمينية

اسم الحمض الأميني	صيغة الحمض الأميني	اسم الحمض الأميني	صيغة الحمض الأميني
ألانين		لوسين	
أرجنين		ليسين	
أسباراجين		ميثيونين	
حمض الأسبارتيك		فينيل ألانين	
سيستيين		برولين	
جلوتامين		سيرين	
حمض الجلوتاميك		ثريونين	
جليسين		تريبتوفان	
هستيدين		تيروسين	
أيزولوسين		فالين	

جدول (46)
أسماء وصيغ الأحماض الأمينية ألفا

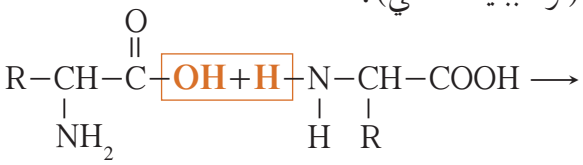
3.1 وظائف الأحماض الأمينية
Functions of Amino Acids

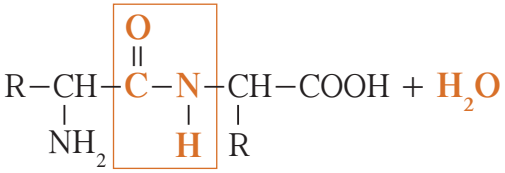
بما أنّ الأحماض الأمينية هي الوحدات البنائية للبروتينات فهي تشكّل مصدرًا للطاقة. يتمّ أكسدة الأحماض الأمينية للحصول على الطاقة في جسم الإنسان والحيوان. كما أنّها تسهم في إزالة الموادّ الضارّة من الجسم. إلى جانب ذلك، ينقل بعضها المجموعات الأمينية من مركّب إلى آخر في عمليات التكوين الحيوية داخل خلايا أنسجة الكائنات الحيّة. ويلزم وجود أنواع معيّنة من الأحماض الأمينية لتكوين بعض الهرمونات وغيرها من المركّبات التي تقوم بعمل حيوي كعوامل مساعِدة.

بالإضافة إلى ذلك، تُعتبَر الأحماض الأمينية عناصر غذائية أساسية يؤدّي نقصها إلى حالات مرضية، منها الهزال وسوء التغذية بالبروتين، ومن عوارضها فقدان الوزن، وتقلّص حجم العضلات، والإسهال والإرهاق الدائم وغيرها.

2. الببتيدات
Peptides

عندما يرتبط جزيئان من الأحماض الأمينية باتّحاد مجموعة كربوكسيل في أحدهما بمجموعة أمين في الحمض الآخر، يتمّ فقدان جزيء ماء وتكوين رابطة جديدة تُسمّى الرابطة الببتيدية Peptide Bond (شكل 41). ينتج من اتّحاد هذين الجزيئين من الأحماض الأمينية (متماثلين أو مختلفين) مركّب يُسمّى ثنائي الببتيد (أو الببتيد الثنائي).





رابطة ببتيدية

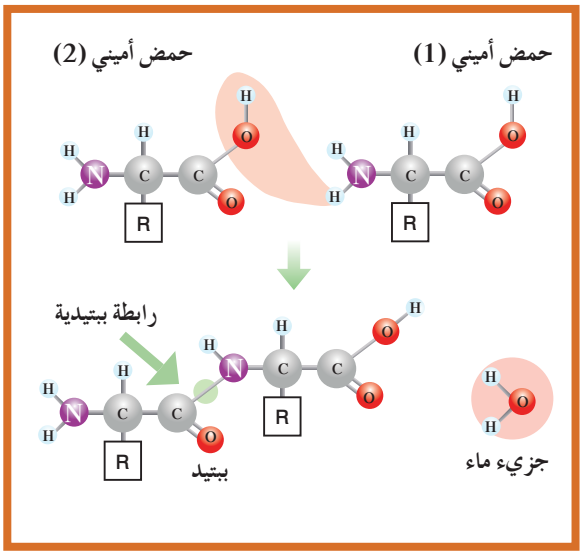
إذا نتج الببتيد عن تكاثف ثلاثة أحماض أمينيّة يُسمّى ثلاثي ببتيد (ببتيد ثلاثي). وإذا نتج عن تكاثف عدد كبير من الأحماض الأمينية فيسمى **بولي ببتيد Polypeptide (ببتيد عديد)**. لذا قد تكون السلاسل الببتيدية قصيرة أو طويلة تبعًا لعدد الوحدات المكوّنة لها بحيث يكون لها طرفان أحدهما يحتوي على مجموعة كربوكسيل حرّة والآخر يحتوي على مجموعة أمين حرّة. كقاعدة عامّة متّبَعة، تُكتَب الصيغة التركيبية للببتيد بحيث توضَع مجموعة الأمين الحرّة المتبقّية في نهاية الطرف الأيسر للجزيء ومجموعة كربوكسيل في نهاية الطرف الأيمن للجزيء.

فقرة إثرائية
معلومات إضافية

يبلغ عدد الأحماض الأمينية الموجودة في الموادّ الغذائية حوالى 80 حمضًا. أمّا الأحماض الأمينية المهمّة فهي 20 حمضًا، 8 منها يعجز جسم الإنسان عن تحضيرها، لذلك يجب الحصول عليها من الموادّ الغذائية.

تعني كلمة بروتين «يأتي في المقام الأوّل» وقد استُعمِل هذا المصطلح للمرّة الأولى في العام 1838.

يمكن إضافة عدد أكبر من الأحماض الأمينية إلى جزيء الببتيد لإطالة سلسلته عن طريق بلمرة التكاثف.



شكل (41)
الرابطة الببتيدية

3. البروتينات Proteins

البروتينات مركّبات كيميائية حيوية تنتمي إلى فئة المركّبات العضوية النيتروجينية. وهي موادّ معقّدة تركيبيًّا وتتكوّن أساسًا من عدّة عناصر تشمل الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين (C وH وO وN). يمكن أن تحتوي بعض البروتينات على الفوسفور P أو الكبريت S أو الحديد Fe أو النحاس Cu إلى جانب العناصر الأساسية.

من الناحية النظرية، يمكن أن تستمرّ عملية إضافة أحماض أمينية إلى سلسلة ببتيدية إلى ما لا نهاية. ويُسمّى الببتيد الذي نتج عن تكاثف ما يزيد عن عشرة أحماض أمينية بولي ببتيد **ويُسمّى الببتيد الذي نتج عن تكاثف أكثر من حوالى 100 حمض أميني باسم البروتين Protein** ويكون متوسّط كتلته المولية حوالى 10 000 g/mol. تنشأ الاختلافات في الخواصّ الكيميائية والفيزيائية للببتيدات والبروتينات نتيجة الاختلاف في تتابع الأحماض الأمينية.

1.3 تصنيف البروتينات Classification of Proteins

تُصنَّف البروتينات، وفقًا لتركيبها الكيميائي، إلى بروتينات بسيطة وبروتينات مقترنة وبروتينات مشتقّة.

(أ) البروتينات البسيطة Simple Proteins

تتكوّن البروتينات البسيطة Simple Proteins من البروتينات التي لا ترتبط فيها سلاسل الأحماض الأمينية بمركّبات أخرى. تنتج من إماهة هذه البروتينات أحماض أمينية أو مشتقّاتها فحسب، مثل:

- بروتينات الألبومين (في زلال البيض).
- بروتينات الجلوبولين (في الدم).
- بروتينات الجلوتينين (في القمح).

فقرة إثرائية

معلومات إضافية

أحماض أمينية أساسية

هي الأحماض الأمينية التي لا تُكوَّن داخليًّا ولا تُنتَج بالقدر، فالجسم بحاجة إليها ويمتصّها الغذاء المتنوّع، مثل اللايسين.

أحماض أمينية غير أساسية

هي الأحماض الأمينية التي يستطيع الجسم تكوينها داخليًّا وهو ليس بحاجة إلى امتصاصها من الغذاء، مثل الجليسين.

(ب) البروتينات المقترنة (المرتبطة) Conjugated Proteins

تتكوّن البروتينات المرتبطة Conjugated Proteins من البروتينات البسيطة التي ترتبط بها جزيئات أخرى غير بروتينية تُعرف بالمجموعات المقترنة أو المضافة، مثل:

- البروتينات الفوسفاتية مثل الكازين (بروتين الحليب).
- جليكوبروتين أو (البروتينات السكّرية) مثل الأجسام المضادّة الموجودة في جسم الإنسان.
- البروتينات الدهنية مثل سيروم الدم والمخّ والأنسجة العصبية.

(ج) البروتينات المشتقّة Derived Proteins

تنشأ البروتينات المشتقّة Derived Proteins من بروتينات بسيطة نتيجة تعرّضها لبعض العوامل الطبيعية أو الكيميائية أو الحيوية على أن تحتفظ بمعظم الخواصّ العامّة للبروتينات مثل زلال البيض الذي يتخثّر تحت تأثير الحرارة.

3.3 أهمّية البروتينات Importance of Proteins

تتواجد البروتينات في الكائنات الحيّة كلّها وتُعتبَر من أهمّ المركّبات العضوية. يمكن تلخيص أهمّية البروتينات كالتالي:

- تُعَدّ المكوّن الأساسي للخلايا الحيّة في الكثير من الأنسجة في جسم الإنسان والحيوان.
- تدخل في تكوين عدد من المركّبات المهمّة حيويًّا كالإنزيمات وبعض الهرمونات والأجسام المضادّة والمناعة.
- تُعتبَر موادّ غذائية ضرورية لكلّ من الإنسان والحيوان. تتوفّر في المنتجات الغذائية ذات المصدر الحيواني كالبيض واللحوم والألبان، وذات المصدر النباتي كالحبوب والبذور والبقوليات.
- تمتلك قيمة صناعية مهمّة كموادّ خام مثل الصوف والشعر والحوافر وتدخل في صناعة البلاستيك والمنسوجات الصناعية.

مراجعة الدرس 2-1

1. اكتب الصيغة العامّة لحمض ألفا أميني وصِف الترابط بين هذا الحمض في الببتيدات والبروتينات.
2. ما المقصود بتتابع الحمض الأميني للبروتين؟

الدرس 2-2

الأحماض الدهنية والليبيدات
Fatty Acids and Lipids

الأهداف العامة

- يميّز التراكيب الجزيئية للجليسريدات الثلاثية والفوسفوليبدات والشموع.
- يميّز الأحماض الدهنية ويعطي أمثلة متعددة لها.

شكل (42)
تُعَدّ الشمعدانات من التحف الفنّية وتُرصَّع أحيانًا بالأحجار الكريمة.

الشموع هي من الاختراعات المبكرة للحضارات القديمة، وقد عُثِر على شمعدانات مضى على صنعها 5000 سنة مع بعض المشغولات الفنّية تعود إلى الحضارات المصرية واليونانية القديمة. استفاد الإنسان القديم من الدهون الحيوانية لصناعة هذه الشموع التي كانت المصدر الأساسي للإضاءة في المنازل قبل اختراع الإضاءة الكهربائية (شكل 42). كما استطاع الإنسان حينها أن يستفيد من دهون الحيوانات وزيوتها وزيوت النباتات فاستخدمها كموادّ احتراق لإضاءة الشعلات.

شكل (43)
الكمّيات المعتدلة من الدهون وزيوت الطعام مهمّة وضرورية للصحّة.

1. الليبيدات Lipids

الليبيدات Lipids هي مركّبات عضوية ذات ملمس دهني، كثافتها أقلّ من كثافة الماء. تعمل الليبيدات كمخزن للطاقة، فالطاقة الناتجة عن احتراق كمّية معيّنة منها حوالى ضعف الطاقة الناتجة عن احتراق الكمّية نفسها من الكربوهيدرات، كما أنّها مصدر مهمّ للفيتامينات التي تذوب في الدهون مثل فيتامين A و D. وتُعتبَر الليبيدات من المركّبات الأساسية في تركيبات

الخلايا، وتدخل في صناعة الصابون والشحوم وزيوت الطلاء. وتُعتبَر الأحماض الدهنية أساس بناء الدهنيات. (شكل 43)

1.1 خواصّ الليبيدات Lipids Properties

تحتوي الليبيدات على ثلاثة عناصر أساسية هي الكربون والهيدروجين والأكسجين، وهي تتكوّن من استرات ناتجة من ارتباط أحماض دهنية بكحول. الليبيدات مركّبات غير قطبية لا تذوب في الماء وإنّما تذوب في المذيبات العضوية مثل الإيثر والكلوروفورم والبنزين.

2.1 تصنيف الليبيدات Classification of Lipids

تُصنَّف الليبيدات، على أساس مكوّناتها من الاسترات، إلى:

- **الليبيدات البسيطة Simple Lipids: هي عبارة عن إسترات تنتج من تفاعل الأحماض الدهنية مع الكحولات وتحتوي فقط على عناصر الكربون والهيدروجين والأكسجين.** وتنقسم الليبيدات البسيطة بحسب نوع الكحول إلى الجليسريدات الثلاثية (الزيوت والدهون) والشموع.
- **الليبيدات المركّبة Compound Lipids: هي عبارة عن استرات تنتج من تفاعل الأحماض الدهنية مع الكحولات ويدخل في تركيبها مجموعات جزيئية تحتوي على الفوسفور أو النيتروجين أو الكبريت أو الكربوهيدرات**، مثل الفوسفوليبيدات (الليبيدات الفوسفورية) والجليكوليبيدات (الليبيدات السكرية).
- **الليبيدات المشتقّة Derived Lipids: هي الليبيدات التي تنتج من التحلّل المائي للّيبيدات البسيطة والمركّبة.**

2. الأحماض الدهنية Fatty Acids

تعرف الأحماض الدهنية Fatty Acids بأنّها أحماض أحادية الكربوكسيل أليفاتية مشبّعة أو غير مشبّعة ذات سلاسل كربونية طويلة.

لا توجد الأحماض الدهنية في الخلايا أو الأنسجة بصورة حرّة، ولكنّها تنتج عند التحلّل المائي للدهنيات. ويكون معظم الأحماض الدهنية الموجودة في الطبيعة ذات سلاسل غير متفرّعة وتحتوي على أعداد زوجية من ذرّات الكربون. يوضّح الجدول (47) التالي أسماء بعض هذه الأحماض الدهنية الشائعة وصيغها.

الصيغة الجزيئية	تركيب الحمض	الاسم الشائع	التشبع
$C_{12}H_{24}O_2$	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	حمض لوريك	مشبّع
$C_{16}H_{32}O_2$	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	حمض بالميتيك	مشبّع
$C_{18}H_{36}O_2$	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	حمض استياريك	مشبّع
$C_{18}H_{34}O_2$	$CH_3(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_7COOH$	حمض أوّلييك	غير مشبّع
$C_{18}H_{32}O_2$	$C_{17}H_{31}COOH$ به رابطتين ثنائيتين	حمض لينولييك	غير مشبّع
$C_{18}H_{30}O_2$	$C_{17}H_{29}COOH$ به ثلاثة روابط ثنائية	حمض لينولينيك	غير مشبّع

جدول (47)

أسماء بعض الأحماض الدهنية الشائعة وصيغها

1.2 خواصّ الأحماض الدهنية الفيزيائية

Physical Properties of Fatty Acids

تنخفض درجة انصارها كلما قصرت السلسلة الكربونية وزاد عدد الروابط الثنائية. كما أنّ الأحماض الدهنية لا تذوب في الماء ولكن تكون فيه مواد غروية. تذوب الأحماض الدهنية في المذيبات العضوية غير القطبية من مثل البنزين والإيثر والكلوروفورم.

3. الجليسريدات الثلاثية (الزيوت والدهون)

Triglycerides (Oils and Waxes)

تتشابه الزيوت والدهون إلى حدّ كبير في التركيب الكيميائي، فكلاهما عبارة عن إسترات يكون الجزء الكحولي فيها دائمًا هو الجليسرول، أمّا الجزء الحمضي فهو عبارة عن ثلاثة جزيئات من الأحماض الدهنية التي غالبًا ما تكون مختلفة. وتُسمّى هذه الإسترات باسم إسترات الجليسرول أو الجليسريدات أو الجليسريدات الثلاثية. الصيغة العامّة لهذه الإسترات هي:

$$\begin{array}{l} CH_2OOCR \\ | \\ CHOOCR' \\ | \\ CH_2OOCR'' \end{array}$$

حيث R، R'، R'' هي ثلاثة شقوق متشابهة أو مختلفة بحسب نوع الزيت أو الدهن، وغالبًا ما تكون مختلفة.

تتكوّن الجليسريدات الثلاثية من تفاعل الجليسرول (كحول ثلاثي الهيدروكسيل) مع ثلاث جزيئات من الأحماض الدهنية.

وتنقسم الجليسريدات الثلاثية بحسب نوع الأحماض الدهنية الداخلة في تكوينها إلى:

فقرة إثرائية

علاقة الكيمياء بالصناعة

صناعة الصابون

يمكن تحضير الصابون بتسخين دهن، مثل زيت جوز الهند أو زيت الزيتون وهيدروكسيد الصوديوم. ثمّ يُضاف كلوريد الصوديوم إلى الخليط المتصبّن فينفصل ملح الصوديوم للحمض الدهني كخام سميك. يُعتبَر الجليسرول ناتجًا ثانويًّا مهمًّا لتفاعلات التصبّن ويمكن الحصول عليه بتبخير الطبقة السائلة. ثمّ يُنقّى الصابون الخامّ ويصبّ في قوالب ويمكن بعد ذلك طحنه إلى مسحوق أو تقطيعه مع إضافة عطر أو لون، ثمّ يُعاد صبّه في قوالب للحصول على الناتج النهائي.

الجليسريدات البسيطة: وهي الجليسريدات التي تتشابه فيها جزيئات الأحماض الدهنية الموجودة في الجزيء.

الجليسريدات المختلطة: وهي الجليسريدات التي تحتوي على نوعان من جزيئات الأحماض الدهنية أو أكثر في الجزيء. والجليسريدات الثلاثية المختلطة هي الأكثر شيوعًا في الطبيعة، مثل زيت الزيتون الذي يتكوّن من جليسريدات أحماض البالميتيك والأوّلييك واللينولييك. توجد الزيوت (Oils) في الحالة السائلة وعند درجات الحرارة العادية لأنّها نتجت عن أسترة أحماض دهنية غير مشبعة مع كحول الجليسرول ولذلك تشغل جزيئاتها حجمًا أكبر فتزداد المسافات بينها، ويقلّ تماسكها، فتقلّ درجات انصهارها، مثل زيت الأوّليين. المعادلة الكيميائية التي توضّح كيف نحصل على زيت الأوّليين من حمض الأوّلييك هي التالية:

$$\underset{\text{جليسرول}}{\begin{array}{l}CH_2OH\\|\\CHOH\\|\\CH_2OH\end{array}} + 3\underset{\text{حمض الأوّلييك}}{C_{17}H_{33}COOH} \rightleftharpoons \underset{\text{زيت الأوّليين}}{\begin{array}{l}CH_2OOC_{17}H_{33}\\|\\CHOOC_{17}H_{33}\\|\\CH_2OOC_{17}H_{33}\end{array}} + 3H_2O$$

توجد الدهون (Fats) في الحالة الصلبة لأنّها نتجت عن أسترة أحماض دهنية مشبعة مع كحول الجليسرول ولذلك تشغل جزيئاتها حجمًا أقلّ فتحتاج حرارة أعلى حتى تصل إلى درجة الانصهار، مثل دهن الإستيارين. المعادلة الكيميائية التي توضّح كيف نحصل على دهن الإستيارين من حمض الإستياريك هي التالية:

$$\underset{\text{جليسرول}}{\begin{array}{l}CH_2OH\\|\\CHOH\\|\\CH_2OH\end{array}} + 3\underset{\text{حمض الإستياريك}}{C_{17}H_{35}COOH} \rightleftharpoons \underset{\text{دهن الإستيارين}}{\begin{array}{l}CH_2OOCC_{17}H_{35}\\|\\CHOOCC_{17}H_{35}\\|\\CH_2OOCC_{17}H_{35}\end{array}} + 3H_2O$$

4. خواصّ الزيوت والدهون
Properties of Oils and Fats

(أ) ذوبان الزيوت والدهون Solubility of Oils and Fats

إنّ الزيوت والدهون شحيحة الذوبان في الماء، ولكنّها تذوب في بعض المذيبات العضوية، مثل الإيثر والبنزين والكلوروفورم.

(ب) تميّؤ الزيوت والدهون Hydration of Oils and Fats

- **في وسط حمضي**

تتحلّل الدهنيات مائيًّا في وجود الأحماض المعدنية المخفّفة مكوّنة الجليسرول والأحماض الدهنية المكوّنة لها، فعند تميّؤ زيت الأوّليين في وجود حمض HCl المخفّف يتكوّن الجليسرول (الكحول) وحمض الأوّلييك:

$$\begin{array}{l}CH_2OOCC_{17}H_{33}\\ |\\ CHOOCC_{17}H_{33}\\ |\\ CH_2OOCC_{17}H_{33}\end{array} + 3H_2O \xrightarrow{HCl} \begin{array}{l}CH_2OH\\ |\\ CHOH\\ |\\ CH_2OH\end{array} + 3C_{17}H_{33}COOH$$

زيت الأوّليين — جليسرول — حمض الأوّلييك

• **في وسط قاعدي (عملية التصبّن)**

تتحلّل الدهنيات مائيًّا في وسط قاعدي (NaOH ، KOH) مكوّنة الجليسرول (الكحول) وملح الصوديوم أو البوتاسيوم للحمض الدهني ، وهو ما يُسمّى «الصابون» .

تُسمّى عملية التحلّل المائي للزيوت والدهون في الوسط القاعدي مع الغليان عملية التصبّن Saponification .

المعادلة الكيميائية الرمزية التي توضّح التحلّل المائي لدهن الأستيارين في وجود محلول هيدروكسيد الصوديوم هي التالية:

$$\begin{array}{l}CH_2OOCC_{17}H_{35}\\ |\\ CHOOCC_{17}H_{35}\\ |\\ CH_2OOCC_{17}H_{35}\end{array} + 3NaOH \longrightarrow \begin{array}{l}CH_2-OH\\ |\\ CH-OH\\ |\\ CH_2-OH\end{array} + 3C_{17}H_{35}COONa$$

دهن الإستيارين — هيدروكسيد الصوديوم — جليسرول — استيارات الصوديوم

(جـ) هدرجة الزيوت Hydrogenation

تتمّ هدرجة الزيوت (غير المشبّعة) بتسخينها مع الهيدروجين في وجود عامل محفز ساخن مثل النيكل Ni ، بحيث تتحوّل من زيوت سائلة (غير مشبّعة) إلى دهون نباتية صلبة (مشبّعة) . وتُستخدَم هذه الطريقة على نطاق واسع لتحويل الزيوت النباتية إلى دهون نباتية صلبة .

المعادلة الكيميائية التي توضّح هدرجة زيت الأوّليين في وجود النيكل الساخن هي التالية:

$$\begin{array}{l}CH_2OOCC_{17}H_{33}\\ |\\ CHOOCC_{17}H_{33}\\ |\\ CH_2OOCC_{17}H_{33}\end{array} + 3H_2 \xrightarrow[\Delta]{Ni} \begin{array}{l}CH_2OOCC_{17}H_{35}\\ |\\ CHOOCC_{17}H_{35}\\ |\\ CH_2OOCC_{17}H_{35}\end{array}$$

زيت الأوّليين — دهن الإستيارين

فقرة إثرائية

الكيمياء في خدمة المستهلك

الدهن المزيّف

تتميّز الأطعمة الدسمة ، كالبيتزا والبطاطا المقلية ، بطعمها اللذيذ ، إلّا أنّها غنية بالدهون وقد تؤدّي إلى الإصابة بأمراض القلب ، والسرطان ، والسكّري ، ومشاكل صحّية أخرى . ونظرًا لصعوبة تقليل الدهن في الأطعمة ، توصّلت البحوث في الكيمياء الحيوية إلى إنتاج الدهن المزيّف المعروف بالأولسترا وهو بديل للدهن ولا يسبّب الأضرار التي تسبّبها الدهون الطبيعية .

يتكوّن هذا الجزيء من 6 إلى 8 مجموعات أحماض دهنية متّصلة بقاعدة سكّروز ، بينما يحتوي جزيء الزيت أو الدهن الطبيعي على قاعدة جليسرول . يشبه الأولسترا الدهون بدرجة كبيرة ، ونتيجة لذلك ، تتشابه خواصّهما ولكن استبدال قاعدة الجليسرول بقاعدة السكّروز يخدع إنزيمات القناة الهضمية في جسم الإنسان ولا ترتبط بجزيئات الأولسترا فيمرّ في القناة الهضمية للإنسان بدون تغيير . من مضارّه أنّه يرتبط بالفيتامينات التي تذوب في الدهون مثل فيتامينات A و D و E و K فيعجز الجسم عن امتصاصها .

5. الشموع Waxes

الشموع هي إسترات الأحماض الدهنية طويلة السلسلة مع كحولات طويلة السلسلة أحادية الهيدروكسيل.

يتراوح عدد ذرّات الكربون في السلاسل الكربونية لكلّ من الحمض الدهني والكحول بين 10 ذرّات كربون و30 ذرّة كربون.

الشموع مركّبات صلبة تتواجد في كلّ من النباتات والحيوانات وتكون درجة انصهارها منخفضة.

يؤدّي الشمع دورًا مهمًّا في تكوين غطاء يغلّف أوراق النبات ويحميها. يزيد الغطاء الشمعي الذي يغلّف فرو الحيوانات وريشها ليونة الحيوانات ويقيها من البلل.

6. الفوسفوليبيدات Phospholipids

تتكوّن الفوسفوليبيدات من إسترات الجليسرول مع الأحماض الدهنية وحمض الفوسفوريك وتدخل في تركيب أغشية الخلايا وتعمل كحاجز يحول دون مرور الجزيئات والأيونات من الخليّة وإليها.

مراجعة الدرس 2-2

1. أكتب الصيغة العامة لكلّ من الأحماض الدهنية المشبعة والجليسريدات الثلاثية والشموع.
2. أكتب معادلات التميؤ والهدرجة للزيت التالي:

$$\begin{array}{l} CH_2OOCC_{17}H_{33} \\ | \\ CHOOCC_{17}H_{33} \\ | \\ CH_2OOCC_{17}H_{33} \end{array}$$

فقرة إثرائية

معلومات إضافية

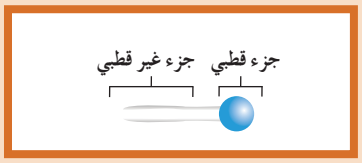
يتألّف معظم شمع النحل الذي تراه في الشكل أعلاه من بالميتات الميريسيل وهو أستر كحول الميريسيل وحمض البالميتيك.

$$CH_3(CH_2)_{14}-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-(CH_2)_{29}CH_3$$

بالميتات الميريسيل

فقرة إثرائية

معلومات إضافية



تحتوي الفسفوليبيدات على رأس أيوني قطبي يحب الماء (هيدروفيليك) وذيل هيدروكربوني غير قطبي لا يحب الماء (هيدروفوبيك).

مراجعة الوحدة السادسة

المفاهيم

Peptide	ببتيد	Enzymes	الإنزيمات
Simple Protein	بروتين بسيط	Protein	بروتين
Conjugate Protein	بروتين مقترن	Derived Protein	بروتين مشتقّ
Saponification	تصبّن	Polypeptide	بولي ببتيد
Amino Acid	حمض أميني	Triglyceride	جليسريد ثلاثي
Basic Amino Acid	حمض أميني قاعدي	Acidic Amino Acid	حمض أميني حمضي
Peptide Bond	رابطة ببتيدية	Neutral Amino Acid	حمض أميني متعادل
Disaccharide	سكّر ثنائي	Monosaccharide	سكّر أحادي
Wax	شمع	Polysaccharide	سكّر عديد
Carbohydrates	كربوهيدرات	Phosopholipid	فوسفوليبيد
Simple Lipid	ليبيد بسيط	Lipid	ليبيد
Derived Lipid	ليبيد مشتقّ	Compound Lipid	ليبيد مركّب
		Oligosaccharide	سكر محدود

الأفكار الرئيسة للوحدة

(1–1) الكربوهيدرات

- الكربوهيدرات هي مركبات عضوية عبارة عن الألدهيدات والكيتونات عديدة الهيدروكسيل.
- يمكن التعبير عن الكربوهيدرات بالصيغة الجزيئية $C_n(H_2O)_m$. تُسمّى أبسط جزيئات الكربوهيدرات السكّريات الأحادية، مثل الجلوكوز والفركتوز.
- تصنف الكربوهيدرات بحسب نواتج التحلل المائي إلى سكريات أحادية ومحدودة وعديدة.
- تصنف الكربوهيدرات أو السكريات الأحادية بحسب:

– عدد ذرات الكربون

– المجموعة الفعالة إلى الألدوزات وكيتوزات.

- تختزل الألدوزات والكيتوزات وتتفاعل مع الهيدروجين بوجود النيكل كعامل حفاز. بينما الألدوزات تتأكسد بسبب وجود ذرة هيدروجين مرتبطة بمجموعة الكربونيل.
- تُعرَف السكّريات التي تتكوّن من جزيئين إلى عشرة جزيئات من السكّريات الأحادية بالسكّريات المحدودة مثل السكّروز.
- تُعرَف السكريات التي ترتبط فيها أكثر من عشرة جزيئات من السكريات الأحادية بالسكريات العديدة مثل النشا والسليلوز.

(2 – 1) الأحماض الأمينية والبروتينات

- الحمض الأميني هو المركّب الذي يحتوي على مجموعة أمينو ($-NH_2$) ومجموعة كربوكسيل ($-COOH$) في الجزيء نفسه. وهناك عشرين حمضًا أمينيًّا شائعًا في الطبيعة.
- تصنف الأحماض الأمينية تبعًا لعدد المجموعات الوظيفية الكربوكسيلية والأمينية فيها إلى أحماض أمينية متعادلة وحمضية وقاعدية.
- تتألّف الببتيدات من الأحماض الأمينية التي ترتبط ببعضها بعضًا برابطة تُسمّى الرابطة الببتيدية.
- الببتيد الذي يزيد عن عشرة أحماض أمينية يُسمّى بولي ببتيد. والببتيد الذي يحتوي على أكثر من حوالى 100 حمض أميني يُسمّى بروتينًا.
- تصنف البروتينات بحسب تركيبها الكيميائي إلى بروتينات بسيطة وبروتينات مقترنة وبروتينات مشتقة.

(2 – 2) الأحماض الدهنية والليبيدات

- الليبيدات مركبات عضوية ذات ملمس وهي لا تذوب في الماء وإنما تذوب في المذيبات العضوية.
- تصنف الليبيدات على أساس مكوناتها من الاسترات إلى بسيطة ومركبة ومشتقة.
- الأحماض الدهنية هي أحماض أحادية الكربوكسيل أليفاتية مشبعة أو غير مشبعة ذات سلاسل كربونية طويلة لا تذوب في الماء بل تذوب في المذيبات العضوية.
- الجليسريدات الثلاثية الطبيعية هي ليبيدات تتكوّن من تفاعل استرات الجليسرول مع ثلاثة أحماض دهنية يمكن أن تكون بسيطة أو مختلطة.
- تُسمّى الدهون والزيوت والمركّبات التي لا تذوب في الماء ليبيدات.
- تتحلّل الزيوت والدهون في الماء وتعطي الجليسرول والأحماض الدهنية. كما يمكن أن تتفاعل مع قاعدة لتكوّن الصابون. كما يمكن للزيوت أن تتفاعل مع الهيدروجين لتكوين دهون صلبة.
- تُعتبَر الشموع جزءًا من عائلة الليبيدات وهي أسترات الأحماض الدهنية طويلة السلسلة مع كحولات طويلة السلسلة أحادية الهيدروكسيل.

خريطة مفاهيم الوحدة

استخدم المفاهيم الموضَّحة في الشكل التالي لرسم خريطة تُنظِّم الأفكار الرئيسة التي جاءت في الوحدة:

اختبر فهمك

1. اكتب معادلة موزونة لأكسدة الجلوكوز بمحلول فهلنج .
2. سمِّ اثنين من السكّريات الأحادية واذكر صيغتهما التركيبية .
3. اذكر مصادر الجلوكوز والفركتوز .
4. كيف تختلف مجموعة الكربونيل الوظيفية في الجلوكوز والفركتوز؟
5. ما هي أنواع السكّريات الأحادية التي ترتبط ببعضها بعضًا لتكوين السكّر الثنائي السكروز؟
6. ما هو ناتج التحلل المائي لكلّ من السكّريات العديدة التالية:

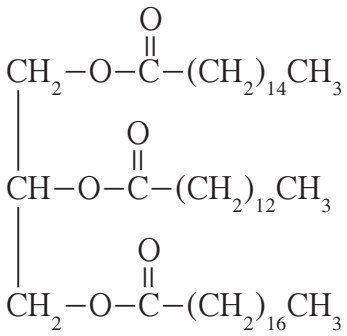
   (أ) النشا **(ب)** السيليلوز
7. ما اسم الرابطة التي تربط حمضين أمينين في سلسلة الببتيد؟
8. ميِّز بين الدهن والزيت .
9. ما هو الجليسريد الثلاثي؟
10. ما هو الصابون؟
11. اذكر تصنيفات البروتين وأعطِ أمثلة عليها .
12. ما هي الموادّ الناتجة في التفاعلات التالية:

    (أ) سكّر أحادي + سكّر أحادي **(ب)** جليسرول + 3 (أحماض دهنية)

اختبر مهاراتك

1. أيّ من فئات المركّبات التالية، أي الكربوهيدرات والليبيدات والبروتينات يحتوي دائمًا على النيتروجين؟
2. ما هو السيليلوز؟ وكيف يختلف عن النشا؟
3. اذكر أسماء الصيغ التركيبية للمركّبات التي تنتج بالتحليل المائي للسكّروز .

4. اكتب الصيغ التركيبية للموادّ الناتجة من التحلل المائي المركب التالي.



5. استعن بالبيانات الواردة في الملصقين الغذائيين أدناه للإجابة عن الأسئلة.

حساء	
معلومات غذائية	
حجم الحصّة: كوب واحد (250 mL)	
الكمّية لكلّ حصّة:	
السعرات الحرارية: 140 سعرًا حراريًّا	**السعرات الحرارية من الدهون:** 25 سعرًا حراريًّا
	*النسبة المئوية للمقادير اليومية (%)
الدهون الكلّية: 3 g	%5
الكربوهيدرات الكلّية: 12 g	%4
السكّريات: 12 g	
بروتينات: 9 g	
المكوّنات: مرقة دجاج، جزر، لحم دجاج، شعرية، كرفس، دهن دجاج، نشا، ملح	

معكرونة	
معلومات غذائية	
حجم الحصّة: كوب واحد (56 g)	
الكمّية لكلّ حصّة:	
السعرات الحرارية: 200 سعرًا حراريًّا	**السعرات الحرارية من الدهون:** 10 سعرات حرارية
	*النسبة المئوية للمقادير اليومية (%)
الدهون الكلّية: 1 g	%1
الكربوهيدرات الكلّية: 40 g	%13
السكّريات: 12 g	
بروتينات: 6 g	
المكوّنات: دقيق، نياسين، حديد، أحادي نترات الثيامين، ريبوفلافين، حمض الفوليك	

(أ) أيّ المنتجين من المفضَّل أن يتناوله رياضي محترف ليلة المباراة؟ ولماذا؟
(ب) لاحِظ محتويات كلّ منهما على حدة، ثمّ فسِّر وفرة الدهون في الحساء مقارنة مع المعكرونة.
(جـ) ما هي المحتويات التي تعتقد أنّها تحتوي على البروتين في هذين المنتجين؟

6. يتجنّب الكثيرون فاكهة الأفوكادو نظرًا لارتفاع نسبة الدهون فيها. يحتوي نصف ثمرة أفوكادو كبيرة الحجم على حوالى 20 g من الدهون. إنّها نسبة كبيرة، ولكن علينا أن نتذكّر أنّ ثلثي هذه الدهون الأحادية غير مشبَّعة. هذه الدهون مفيدة للصحّة ولصحّة القلب بشكل خاصّ كما أنّ ثمرة الأفوكادو لا تحتوي على الكوليسترول. تحتوي نصف ثمرة أفوكادو كبيرة على حوالى 9 g من الألياف (وهي ضعف كمّية الألياف الغذائية الموجودة في تفّاحتين) ما يعادل 25% من الكمّية الموصى بها يوميًّا للشخص البالغ.
تساعد الألياف على خفض الكوليسترول السيّء (LDL) وضبط مستوى السكّر في الدم للحدّ من الإصابة بمرض السكّري، وتساعد أيضًا في خفض الوزن والوقاية من الإمساك ومرض سرطان القولون.
بالإضافة إلى غنى الأفوكادو بالفيتامينات، فهو يساعد الجسم على امتصاص العناصر الغذائية من الأطعمة الأخرى ويحتوي على الكثير من الموادّ المضادّة للأكسدة، وعلى كمّية صغيرة من البروتين.
يوضّح الجدول التالي مكوّنات نصف ثمرة طازجة من الأفوكادو (كتلتها تساوي 100 g).

ثمرة أفوكادو طازجة
معلومات غذائية حجم الحصّة: نصف ثمرة (100 g)
الكمّية لكلّ حصّة:
السعرات الحرارية: 175 سعرًا حراريًّا
الدهون الكلّية: 14.7
الدهون المشبّعة: 2.6
الدهون الأحادية غير المشبّعة: 9.9 g
الدهون المتعدّدة غير المشبّعة: 2.1 g
الكوليسترول: 0 g
الكربوهيدرات: 8.6 g
ألياف غذائية: 6.7
أوميغا–3: 0.1 g
بروتينات: 2 g

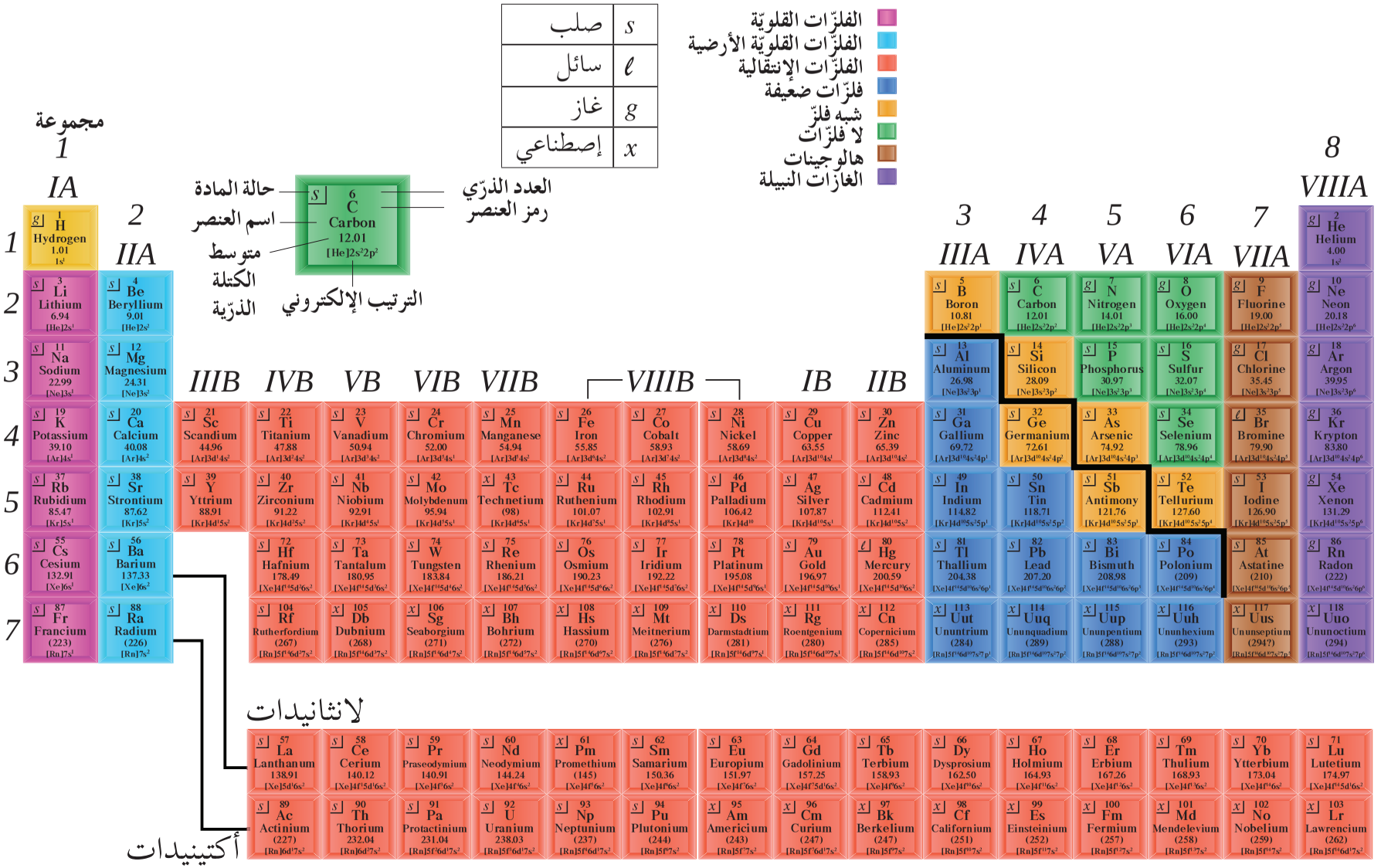
معطى: يوفّر 1 g من الكربوهيدرات أو البروتين 4 kcal للجسم.
يوفّر 1 g من الليبيدات 9 kcal للجسم.
(أ) لماذا لا يجب أن نخشى الدهون الموجودة في الأفوكادو؟
(ب) حدِّد أهمّية الألياف في الحمية الغذائية.
(جـ) ما الفرق بين الدهون المشبَّعة والدهون غير المشبَّعة؟
(د) هل يمكن تحويل الدهون غير المشبَّعة إلى دهون مشبَّعة؟ فسِّر واذكر تطبيقًا في الصناعة لهذه العملية.

(هـ) احسب كمّية السعرات الحرارية الموجودة في 100 g من الأفوكادو وقارِنها بالجدول.
(و) يحتوي الأفوكادو على كمّية صغيرة من البروتين. اكتب الصيغة البنائية العامّة للأحماض الأمينية وأشِر إلى المجموعات الوظيفية التي تحتوي عليها هذه الصيغة.
(ز) تحتوي ثمرة الأفوكادو على الكربوهيدرات. عدِّد الأصناف الثلاثة للكربوهيدرات وأعطِ مثالًا على كلّ صنف.

مشاريع الوحدة

1. هناك أنواع كثيرة من زيوت الطبخ قد تجدها في محلّات البقالة، منها زيت الكانولا، وزيت العصفر، وزيت الذرة، وزيت الزيتون، وزيت الفول السوداني. اِبحث عن الاستخدامات المختلفة لهذه الزيوت، وعن مصدرها، وعن فوائد كلّ نوع منها. أعطِ معلومات محدّدة عن نسبة الدهون المشبَّعة وغير المشبَّعة في كلّ منها، ثمّ اعرض ما توصّلت إليه على زملائك.

2. هناك أمراض واضطرابات عديدة في الجزيئات ناتجة عن نقص في البروتينات أو عن تغيّرات فيها، نذكر منها فقر الدم المنجلي (أو الانحلالي). استعِن بشبكة الإنترنت أو بالمراجع الموجودة في مكتبة المدرسة لتكتب لائحة بأربعة أمراض أو اضطرابات على الأقلّ تمّ ذكرها سابقًا في هذا الفصل (ليس ضروريًّا أن تكون أمراضًا تُصيب الإنسان)، ثمّ لخِّص عوارض كلّ منها وتأثيراته. صِف باختصار كيف تتطوّر عوارض كلّ من الأمراض والاضطرابات التي ذكرتها في لائحتك لدى الإنسان. تشارك ما كتبته مع زملائك وناقشه معهم.


مجموعة
1
IA
2
IIA
3
IIIA
4
IVA
5
VA
6
VIA
7
VIIA
8
VIIIA
1
2
3
4
5
6
7
IIIB
IVB
VB
VIB
VIIB
VIIIB
IB
IIB
حالة المادة
اسم العنصر
متوسط الكتلة الذرّية
العدد الذرّي
رمز العنصر
الترتيب الإلكتروني
6
C
Carbon
12.01
[He]2s²2p²
صلب
سائل
غاز
إصطناعي
الفلزّات القلويّة
الفلزّات القلويّة الأرضية
الفلزّات الإنتقالية
فلزّات ضعيفة
شبه فلزّ
لا فلزّات
هالوجينات
الغازات النبيلة
لانثانيدات
أكتينيدات

ثوابت التأيّن لبعض الأحماض الشائعة عند 25°C

اسم الحمض	الصيغة الكيميائية	قوة الحمض	ثوابت التأين		
			K_{a_1}	K_{a_2}	K_{a_3}
حمض الهيدروكلوريك	HCl	قوي	تأين بشكل تام		
حمض الهيدرويوديك	HI	قوي	تأين بشكل تام		
حمض الهيدروبروميك	HBr	قوي	تأين بشكل تام		
حمض البيركلوريك	$HClO_4$	قوي	تأين بشكل تام		
حمض الكلوريك	$HClO_3$	قوي	تأين بشكل تام		
حمض النيتريك	HNO_3	قوي	تأين بشكل تام		
حمض الكبريتيك	H_2SO_4	قوي	تأين بشكل تام		
حمض الهيدروفلوريك	HF	ضعيف	6.7×10^{-4}		
حمض الهيدروسيانيك	HCN	ضعيف	4.9×10^{-10}		
حمض الهيبوكلوروز	$HClO$	ضعيف	3.0×10^{-8}		
حمض الهيبوبروموز	$HBrO$	ضعيف	2.5×10^{-9}		
حمض النيتروز	HNO_2	ضعيف	4.5×10^{-4}		
حمض الهيدروكبريتيك	H_2S	ضعيف	1.1×10^{-7}	1×10^{-14}	
حمض الكربونيك	H_2CO_3	ضعيف	4.3×10^{-7}	4.8×10^{-11}	
حمض الفوسفوريك	H_3PO_4	ضعيف	7.5×10^{-3}	6.2×10^{-8}	4.8×10^{-13}
حمض الفورميك	$HCOOH$	ضعيف	1.8×10^{-4}		
حمض الأسيتيك	CH_3COOH	ضعيف	1.8×10^{-5}		
حمض البروبانويك	CH_3CH_2COOH	ضعيف	1.3×10^{-5}		
حمض البنزويك	C_6H_5COOH	ضعيف	6.3×10^{-5}		
حمض الأوكساليك	$\begin{matrix} COOH \\ \vert \\ COOH \end{matrix}$	ضعيف	5.6×10^{-2}	5.1×10^{-5}	

ثوابت التأيّن لبعض القواعد الشائعة عند 25°C

اسم القاعدة	الصيغة الكيميائية	قوة القاعدة	ثوابت التأين		
			K_{b_1}	K_{b_2}	K_{b_3}
هيدروكسيد الصوديوم	$NaOH$	قوي	تأين بشكل تام		
هيدروكسيد البوتاسيوم	KOH	قوي	تأين بشكل تام		
هيدروكسيد الليثيوم	$LiOH$	قوي	تأين بشكل تام		
هيدروكسيد الروبيديوم	$RbOH$	قوي	تأين بشكل تام		
هيدروكسيد السيزيوم	$CsOH$	قوي	تأين بشكل تام		
هيدروكسيد الباريوم	$Ba(OH)_2$	قوي	تأين بشكل تام		
هيدروكسيد المغنيسيوم	$Mg(OH)_2$	قوي	تأين بشكل تام		
هيدروكسيد الكالسيوم	$Ca(OH)_2$	قوي	تأين بشكل تام		
محلول الأمونيا	NH_3	ضعيف	1.8×10^{-5}		
هيدرازين	N_2H_4	ضعيف	1.3×10^{-6}		
ميثيل أمين	CH_3NH_2	ضعيف	4.4×10^{-4}		
إيثيل أمين	$C_2H_5NH_2$	ضعيف	6.4×10^{-4}		
أنيلين	$C_6H_5NH_2$	ضعيف	4.3×10^{-10}		

المركَّبات العشرة الأوائل من مجموعة الألكانات مستقيمة السلسلة

الأسماء	الصيغة التركيبية المكثَّفة	الصيغة الجزيئية
ميثان	CH_4	CH_4
إيثان	CH_3CH_3	C_2H_6
بروبان	$CH_3CH_2CH_3$	C_3H_8
بيوتان	$CH_3CH_2CH_2CH_3$	C_4H_{10}
بنتان	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$	C_5H_{12}
هكسان	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$	C_6H_{14}
هبتان	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$	C_7H_{16}
أوكتان	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$	C_8H_{18}
نونان	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$	C_9H_{20}
ديكان	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$	$C_{10}H_{22}$