# الوحدة 1

# كيمياء الحياة

# Chemistry of Life

قال تعالى:

﴿ فَلْيَنظُرِ ٱلْإِنسَٰنُ مِمَّ خُلِقَ ﴾ (سورة الطارق، الآية 5).



## أتأمَّل الصورة

تدخل المُركَّبات العضوية الحيوية في تركيب أجسام الكائنات الحيَّة، وهي مُركَّبات تُسهِم إسهامًا فاعلًا في العمليات الحيوية اللازمة لاستمرار الحياة، وتُمثِّل الصورة في الأعلى إنزيم إنتاج جزيء حفظ الطاقة ATP في الغشاء الداخلي للميتوكندريا. فمِمَّ تتكوَّن الأجزاء الظاهرة في هذه الصورة؟ ما أهميتها في حياة الكائنات الحيَّة؟

## الفكرة العامة:

تدخل المُركَّبات العضوية الحيوية في تركيب أجسام الكائنات الحيَّة، ويُعَدُّ وجودها ضروريًّا للتفاعلات الكيميائية التي تحدث في خلايا الكائنات الحيَّة، وينتج من هذه التفاعلات تغيُّرات في المادة والطاقة.

**الدرس الأوَّل:** المُركَّبات العضوية الحيوية.

**الفكرة الرئيسة:** تحتوي أجسام الكائنات الحيَّة على أربعة أنواع رئيسة من المُركَّبات العضوية الحيوية، هي: الكربوهيدرات، والبروتينات، والليبيدات، والحموض النووية. ولكلٍّ من هذه الأنواع دور حيوي في أجسام الكائنات الحيَّة.

**الدرس الثاني:** الإنزيمات وجزيء حفظ الطاقة ATP.

**الفكرة الرئيسة:** للإنزيمات دور مهم في تحفيز التفاعلات الكيميائية وتسريعها، ولجزيء حفظ الطاقة ATP أيضًا دور في بعض التفاعلات التي تُحفِّزها الإنزيمات.

**الدرس الثالث:** التفاعلات الكيميائية في الخلية.

**الفكرة الرئيسة:** تحدث داخل الخلايا المُكوِّنة لأجسام الكائنات الحيَّة تفاعلات كيميائية عِدَّة، منها ما يُخزِّن الطاقة في الروابط الكيميائية داخل المُركَّبات العضوية، ومنها ما يُحرِّر الطاقة المُخزَّنة اللازمة لأداء الأنشطة الحيوية.

# الكشف عن وجود الكربون في المُركَّبات العضوية

الكربون عنصر مهم يدخل في تركيب المُركَّبات العضوية جميعها، ويُمكِن الكشف عنه في المادة العضوية عن طريق تسخينها مع أكسيد النحاس؛ إذ يتأكسد الكربون (إنْ وُجِد)، وينتج غاز ثاني أكسيد الكربون $CO_2$ الذي يتفاعل مع ماء الجير (محلول هيدروكسيد الكالسيوم)، مُسبِّبًا تعكُّره وتكدُّره.

## المواد والأدوات:

كأسان زجاجيتان تحوي كلٌّ منهما mL (4) من ماء الجير الرائق، سُكَّر مائدة، ملح طعام، أكسيد النحاس، أنبوبا اختبار سعة كلٍّ منهما mL (10)، حاملا أنابيب اختبار، سِدادتا أنابيب اختبار مطّاطيتان مثقوبتان من المنتصف، أنبوبا وصل زجاجيان رفيعان على شكل حرف L، مصدرا حرارة (موقدا بنسن)، ميزان، مِنْصَب.

**إرشادات السلامة:** استعمال مصدر الحرارة والأنابيب الساخنة بحذر.

**ملحوظة:** يُحضَّر ماء الجير الرائق بإذابة هيدروكسيد الكالسيوم في ماء مُقطَّر حتى الإشباع، ثم تصفيته.

## خطوات العمل:

1. **أقيس** g (2) من سُكَّر المائدة و g (6) من أكسيد النحاس، ثم أضع الكتلتين في أنبوب الاختبار الأوَّل.
2. **أُصمِّم نموذجًا:** أُدخِل أحد طرفي أنبوب الوصل الزجاجي في ثقب السِّدادة، وأُثبِّتها على فتحة أنبوب الاختبار، ثم أُعلِّق أنبوب الاختبار بالحامل، ثم أضعه على المِنْصَب فوق مصدر الحرارة.
3. **أُجرِّب:** أغمس الطرف الآخر من أنبوب الوصل في ماء الجير الرائق الموجود في الكأس الزجاجية الأولى.
4. **أُلاحِظ:** أُوقد لهب بنسن تحت أنبوب الاختبار الأوَّل مدَّة min (5)، وألاحظ ما يحدث لماء الجير في الكأس الزجاجية.
5. **أقيس** g (2) من ملح الطعام وg (6) من أكسيد النحاس، ثم أضع الكتلتين في أنبوب الاختبار الثاني.
6. أُكرِّر الخطوات من الرقم (2) إلى الرقم (4)، وأستخدم الكأس الزجاجية الثانية.
7. **أُقارِن** ما يحدث لماء الجير في الكأسين الزجاجيتين في أثناء التفاعل، ثم أُدوِّن النتائج التي توصَّلْتُ إليها.

## التحليل والاستنتاج:

1. **أُفسِّر** النتائج التي توصَّلْتُ إليها.
2. **أتوقَّع** سبب استخدام ملح الطعام في الأنبوب الثاني.
3. **أتواصل:** أُناقِش زملائي/ زميلاتي في النتائج التي توصَّلْتُ إليها.

# المُركَّبات العضوية الحيوية
Bioorganic Compounds

الدرس 1

**الفكرة الرئيسة:**

تحتوي أجسام الكائنات الحيَّة على أربعة أنواع رئيسة من المُركَّبات العضوية الحيوية، هي: الكربوهيدرات، والبروتينات، والليبيدات، والحموض النووية. ولكلٍّ من هذه الأنواع دور حيوي في أجسام الكائنات الحيَّة.

**نتاجات التعلُّم:**

- أُوضِّح دور عنصر الكربون في تكوين أجسام الكائنات الحيَّة.
- أُقارِن بين تراكيب الأنواع الرئيسة من المُركَّبات العضوية الحيوية وخصائص كلٍّ منها.

**المفاهيم والمصطلحات:**

المُركَّبات العضوية الحيوية Bioorganic Compounds

السُّكَّريات الأُحادية Monosaccharides

السُّكَّريات الثنائية Disaccharides

السُّكَّريات المُتعدِّدة Polysaccharides

الدهون الثلاثية Triglycerides

الليبيدات المُفسفَرة Phospholipids

الستيرويدات Steroids

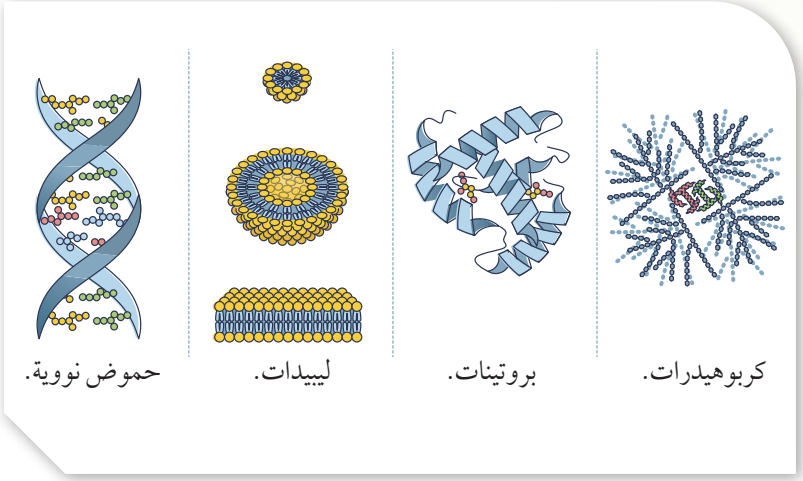
الرابطة الفوسفاتية ثنائية الإستر Phosphodiester Bond

الحمض النووي الرايبوزي Ribonucleic Acid (RNA)

## ما المُركَّبات العضوية الحيوية؟
## What are Bioorganic Compounds?

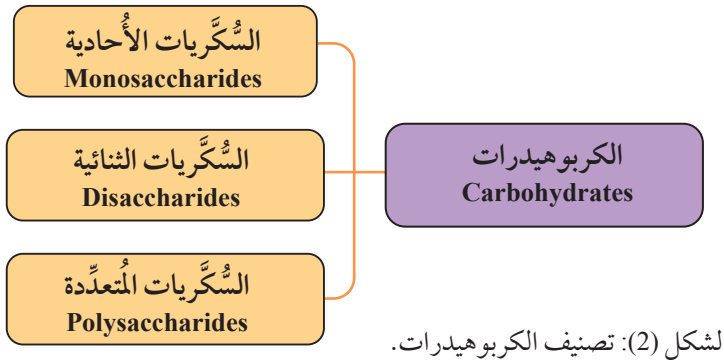
تحتوي أجسام الكائنات الحيَّة جميعها على ذَرّات عناصر مهمة، منها: الهيدروجين، والكربون، والأكسجين، والنيتروجين، والكالسيوم، والفسفور. ويُعَدُّ الكربون العنصر الأساس الذي يدخل في تركيب المُركَّبات العضوية جميعها.

**المُركَّبات العضوية الحيوية** **Bioorganic Compounds** مُركَّبات كيميائية توجد في أجسام الكائنات الحيَّة، ويدخل في تركيبها بصورة أساسية ذَرّات الكربون والهيدروجين، ويدخل في تركيب بعضها أيضًا ذَرّات عناصر أُخرى، مثل: النيتروجين، والأكسجين. ترتبط ذَرّات الكربون في المُركَّبات العضوية الحيوية بروابط تساهمية بعضها مع بعض، ومع ذَرّات العناصر الأُخرى. توجد أربعة أنواع رئيسة للمُركَّبات العضوية الحيوية، هي: الكربوهيدرات Carbohydrates، والبروتينات Proteins، والليبيدات Lipids، والحموض النووية Nucleic Acids، أنظر الشكل (1).




الشكل (1): مُركَّبات عضوية حيوية.

✓ **أتحقَّق:** ما أنواع المُركَّبات العضوية الحيوية الرئيسة في جسم الإنسان؟




الشكل (2): تصنيف الكربوهيدرات.

## الكربوهيدرات Carbohydrates

تحتوي الكربوهيدرات على ذَرّات كربون وهيدروجين وأكسجين، وهي تُصنَّف بحسب عدد الوحدات التي تتألَّف منها إلى ثلاثة أنواع رئيسة، أنظر الشكل (2).

### السُّكَّريات الأُحادية Monosaccharides

تُعَدُّ **السُّكَّريات الأُحادية** Monosaccharides أبسط أنواع الكربوهيدرات، وهي تذوب في الماء بسهولة؛ لأنَّها من المواد المُحِبَّة له Hydrophilic. أمّا صيغتها العامة فهي: $(CH_2O)n$، حيث n عدد ذَرّات الكربون في السُّكَّر الأُحادي.

تكون الصيغة البنائية للسُّكَّر الأُحادي على شكل حلقي، أو سلسلة مفتوحة غير مُتفرِّعة. ويُعَدُّ هذا النوع من السُّكَّريات وحدات بنائية لأنواع الكربوهيدرات الأُخرى، ومن الأمثلة عليه: الغلوكوز الذي يُمثِّل الوحدة البنائية لعدد من السُّكَّريات المُتعدِّدة في أجسام الكائنات الحيَّة، أنظر الشكل (3).

**مثال 1**

ما الصيغة الجزيئية لسُكَّر أُحادي يتكوَّن من (7) ذَرّات كربون؟

**الحل:**

الصيغة العامة هي: $(CH_2O)n$

$n = 7$

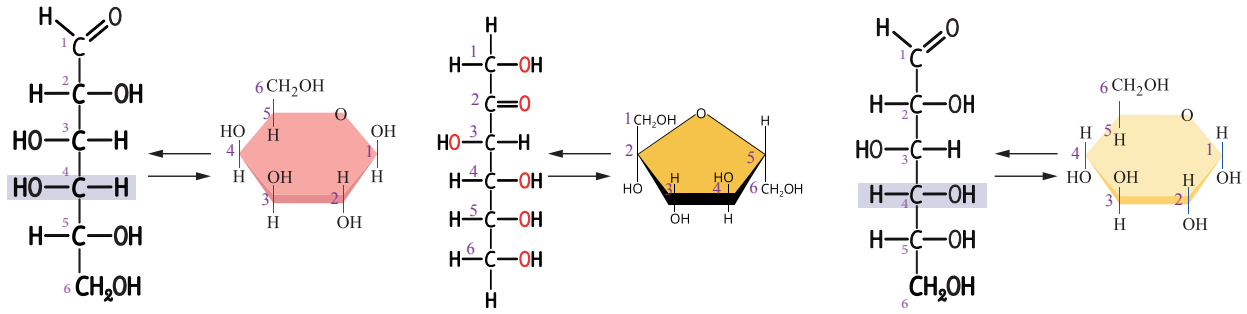
عدد ذَرّات الكربون = 7

عدد ذَرّات الهيدروجين: $(7\times2) = 14$

عدد ذَرّات الأكسجين = 7

ومن ثمّ فإن، الصيغة الجزيئية للسُّكَّر الأُحادي هي: $C_7H_{14}O_7$

**أُفكِّر:** يتكوَّن السُّكَّر الأُحادي (الرايبوز) من عشر ذَرّات هيدروجين، فما عدد ذَرّات الكربون فيه؟




الشكل (3): السُّكَّريات الأُحادية: (أ): الغلوكوز. (ب): الفركتوز. (جـ): الغلاكتوز

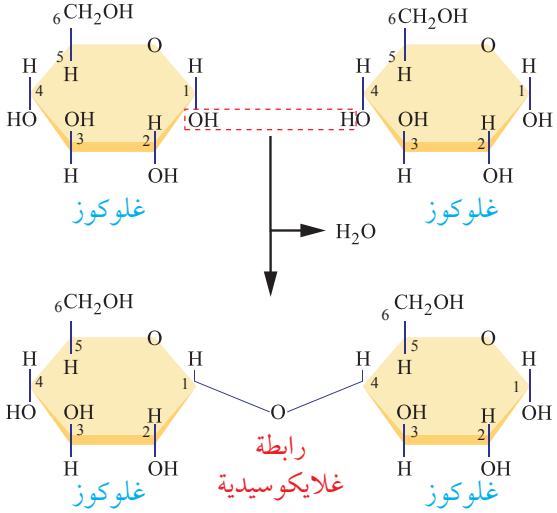
**الربط بالصحة**

يؤدّي الإكثار من تناول السُّكَّريات إلى تسوُّس الأسنان، وزيادة الوزن؛ ما يزيد خطر الإصابة بمرض السُّكَّري؛ لذا يوصي المركز الوطني للغُدد الصُّمِّ والسُّكَّري بعدم الإكثار من تناولها؛ للوقاية من الإصابة بمرض السُّكَّري. أُصمِّم مطوية عن ذلك، ثم أُوزِّعها على زملائي/ زميلاتي والمجتمع المحلي لتوعيتهم بأضرار الإكثار من تناول السُّكَّريات.

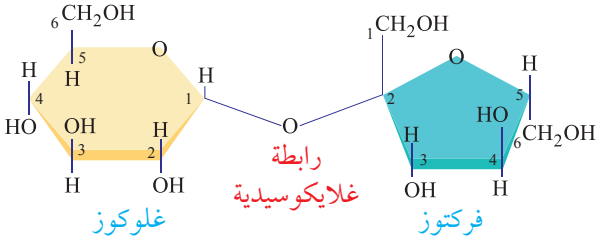
## السُّكَّريات الثنائية Disaccharides

يتكوَّن **السُّكَّر الثنائي** Disaccharide من وحدتين من السُّكَّريات الأُحادية، ترتبطان معًا برابطة تساهمية غلايكوسيدية Glycosidic Bond، ويحدث الارتباط عن طريق نزع جزيء ماء، أنظر الشكل (4/ أ) الذي يُبيِّن تفاعل نزع الماء Dehydration Reaction لإنتاج سُكَّر المالتوز. ومن الأمثلة على السُّكَّريات الثنائية أيضًا: السُّكروز، واللاكتوز، أنظر الشكل (4/ ب)، والشكل (4/ جـ).

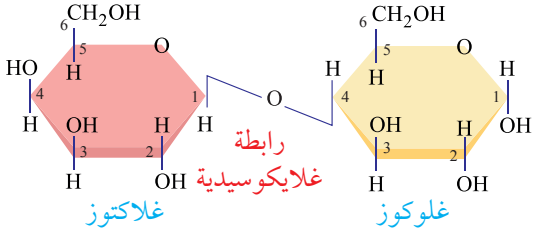
**أتحقَّق:** أُقارِن بين السُّكروز واللاكتوز من حيث السُّكَّريات الأُحادية التي تُكوِّن كُلًّا منهما.




(أ) المالتوز (سُكَّر الشعير).




(ب) السُّكروز (سُكَّر المائدة).




(جـ) اللاكتوز (سُكَّر الحليب).

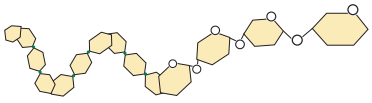
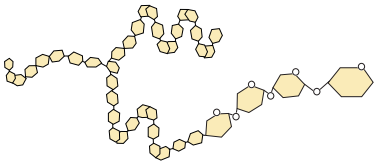
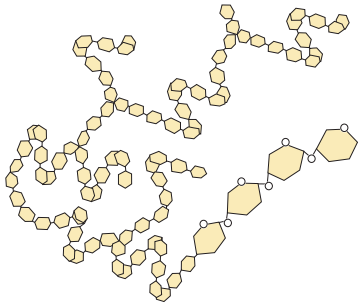
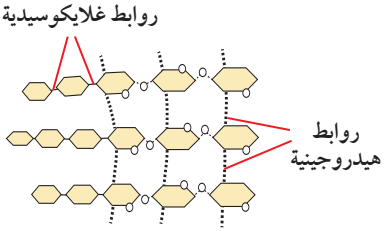
الشكل (4): السُّكَّريات الثنائية: (أ): المالتوز. (ب): السُّكروز. (جـ): اللاكتوز.

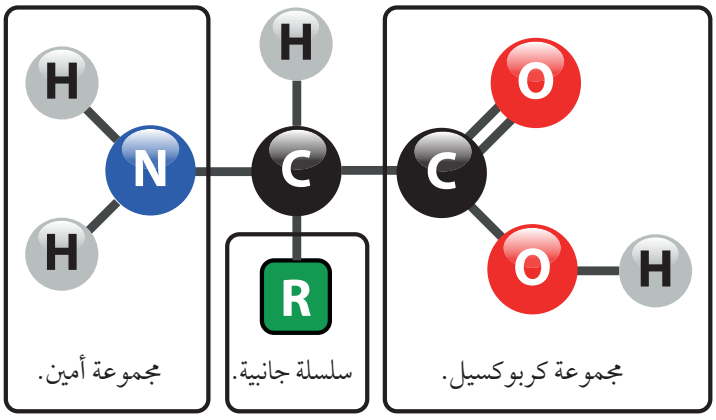
## السُّكَّريات المُتعدِّدة Polysaccharides

**السُّكَّريات المُتعدِّدة Polysaccharides** مُبلمرات تتكوَّن من سُكَّريات أُحادية ترتبط في ما بينها بروابط تساهمية غلايكوسيدية. ولكلٍّ من السُّكَّريات المُتعدِّدة خصائص تُميِّزها، أنظر الجدول (1).

**أتحقَّق:** أُقارِن الروابط الموجودة بين جزيئات الغلوكوز في السلسلة الواحدة من السيليلوز بالروابط الموجودة بين سلاسل الغلوكوز المُتوازِية في السيليلوز.

الجدول (1): السُّكَّريات المُتعدِّدة.

| المثال | الصيغة البنائية | الأهمية |
|---|---|---|
| النشا: يتكوَّن من:<br>- الأميلوز: من السُّكَّريات المُتعدِّدة، ويكون على شكل سلاسل غير مُتفرِّعة من الغلوكوز.<br>- الأميلوبكتين: من السُّكَّريات المُتعدِّدة، ويكون على شكل سلاسل من الغلوكوز مُتفرِّعة في بعض المواقع.<br>- يتكون النشا في غالبية النباتات من 20% - 30% أميلوز، ومن 70% - 80% على صورة أميلوبكتين. | <br>أميلوز.<br><br>أميلوبكتين. | تخزين سُكَّر الغلوكوز في النباتات. |
| الغلايكوجين: يتكوَّن من سلاسل من الغلوكوز كثيرة التفرُّع. | <br>غلايكوجين. | تخزين سُكَّر الغلوكوز في أكباد الحيوانات وعضلاتها. |
| السيليلوز: يتكوَّن من ألياف دقيقة، تتألَّف من وحدات من الغلوكوز ترتبط في ما بينها بروابط غلايكوسيدية، مُشكِّلةً سلاسل مُتوازِية غير مُتفرِّعة ترتبط معًا بروابط هيدروجينية. | <br>سيليلوز. | إكساب الجُدُر الخلوية في النباتات القوَّة والمرونة. |




الشكل (5): الصيغة البنائية العامة للحموض الأمينية.

## البروتينات Proteins

تتألَّف البروتينات من وحدات بنائية أساسية تُسمّى الحموض الأمينية Amino Acids، وترتبط الحموض الأمينية معًا بروابط تساهمية ببتيدية Peptide Bonds.

تشترك الحموض الأمينية – في ما بينها– في صيغتها العامة التي تحوي نوعين من المجموعات الكيميائية، هما: مجموعة الكربوكسيل (COOH)، ومجموعة الأمين ($NH_2$)، إضافةً إلى سلسلة جانبية مُتغيِّرة يُرمَز إليها بالرمز R، وتختلف من حمض أميني إلى آخر؛ ما يجعل لكلِّ حمض أميني خصائص ينفرد بها عن غيره، أنظر الشكل (5).

يحتوي الحمض الأميني غلايسين Glycine على ذَرَّة الهيدروجين H بدلًا من السلسلة الجانبية، في حين تحتوي السلسلة الجانبية في الحموض الأمينية الأُخرى على الكربون، ومن الأمثلة على هذه السلاسل الجانبية: $CH_2SH$ و $CH_2OH$، أنظر الشكل (6).

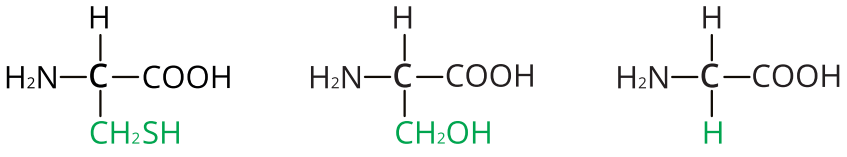
يدخل في تركيب البروتينات عشرون حمضًا أمينيًّا مختلفًا، وتختلف البروتينات بعضها عن بعض تبعًا لاختلاف الحموض الأمينية التي تدخل في تركيبها، وعددها، وتسلسلها، ويستطيع جسم الإنسان تصنيع أحد عشر حمضًا أمينيًّا منها فقط. أمّا الحموض الأمينية التسعة الأُخرى فيحصل عليها الجسم من الغذاء، وهي تُسمّى الحموض الأمينية الأساسية. تُصنَّف الحموض الأمينية وَفقًا لخصائص السلاسل الجانبية التي تحويها إلى مجموعتين رئيستين، هما: الحموض الأمينية المُحِبَّة للماء، والحموض الأمينية الكارهة للماء.

**الربط بالكيمياء**

المجموعة الوظيفية: مجموعة من الذَّرّات في المُركَّب العضوي، تُسهِم في تمييز مُركَّب من غيره من المُركَّبات، ومن أمثلتها:

- مجموعة الهيدروكسيل (OH).
- مجموعة الكربوكسيل (COOH).
- مجموعة الأمين ($NH_2$).
- مجموعة الفوسفات ($PO_4^{3-}$).

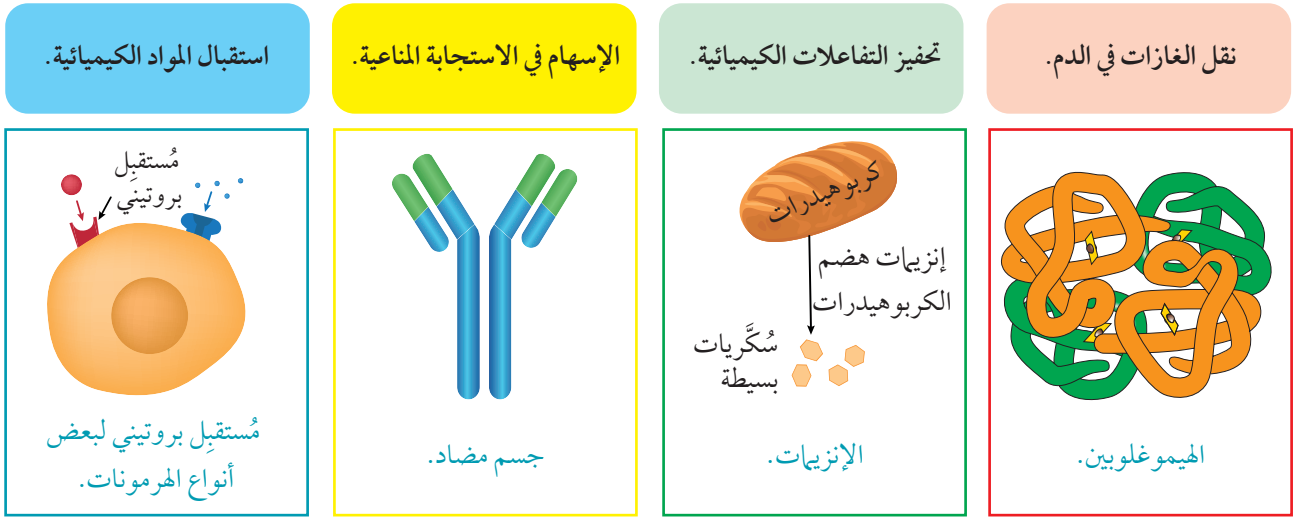
**أتحقَّق:** ما الذي يُميِّز حمضًا أمينيًّا من آخر؟




(أ) غلايسين. (ب) سيرين. (ج) سستيين.

الشكل (6): بعض أنواع الحموض الأمينية.

**أُحدِّد** السلسلة الجانبية في كل حمض أميني ورد ذكره في الشكل.




الشكل (7): بعض وظائف البروتينات.

تُمثِّل البروتينات أكثر من 50% من الكتلة الجافة لمعظم الخلايا، وهي تؤدّي وظائف مختلفة في أجسام الكائنات الحيَّة، مثل ألياف الكولاجين التي تمنح الغضاريف المرونة والقوَّة، أنظر الشكل (7) الذي يُبيِّن وظائف أُخرى للبروتينات.

قد ترتبط البروتينات بالسُّكَّريات، مُكوِّنةً بروتينات سُكَّرية Glycoproteins، ومن الأمثلة عليها مُولِّدات الضد Antigens التي توجد على سطوح خلايا الجسم، ولا يُسبِّب وجودها في الحالات الطبيعية حدوث استجابة مناعية ضدها في الجسم، في حين تُسبِّب مُولِّدات الضد الغريبة (غير الذاتية) التي تدخل الجسم حدوث استجابة مناعية ضدها في الجسم.

من الأمثلة على مُولِّدات الضد في جسم الإنسان: مُولِّد الضد (A) الذي يوجد على سطوح خلايا الدم الحمراء لدى كل شخص فصيلة دمه (A) بحسب نظام ABO لفصائل الدم. ووَفقًا لهذا النظام، فإنَّه توجد أربع فصائل لدم الإنسان، هي: فصيلة الدم A، وفصيلة الدم B، وفصيلة الدم AB، وفصيلة الدم O. وتُصنَّف هذه الفصائل بناءً

**أُفكِّر:** يحثُّ ديننا الحنيف على الاعتدال في المأكل والمشرب. قال تعالى:

﴿ وَكُلُوا۟ وَٱشْرَبُوا۟ وَلَا تُسْرِفُوٓا۟ ۚ إِنَّهُۥ لَا يُحِبُّ ٱلْمُسْرِفِينَ ﴾

(سورة الأعراف، الآية 31).

يُسهِم تناول الغذاء المُتوازِن في المحافظة على صحة الجسم. اعتمادًا على ما تعلَّمْتُه عن وظائف البروتينات، أُبيِّن أثر عدم تناول البروتينات بكمِّيات مُناسِبة في صحة جسمي.

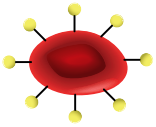
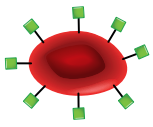
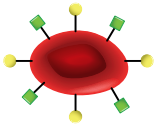
## الربط بالصحة النفسية

### أثر التربتوفان في تحسين المزاج

يحتاج جسم الإنسان إلى الحمض الأميني تربتوفان Tryptophan، الذي يُعَدُّ أحد الحموض الأمينية الأساسية التي تدخل في تصنيع الناقل العصبي الهرموني السيروتونين، ويُسمّى أيضًا هرمون السعادة.

وقد أشارت دراسات منشورة إلى أنَّ الحمض الأميني تربتوفان يُسهِم في تحسين المزاج وتخفيف التوتُّر لدى الأشخاص من مختلف الأعمار، فضلًا عن وجود علاقة بين احتواء حليب الأطفال الرُّضَّع على هذا الحمض وخلودهم إلى النوم براحة وهدوء.

الجدول (2): فصائل الدم بحسب نظام ABO.

| فصيلة الدم | O | A | B | AB |
|---|---|---|---|---|
| خلايا الدم الحمراء |  |  |  |  |
| مُولِّدات الضد على سطوح خلايا الدم الحمراء | لا يوجد |  A |  B |  A ,  B |
| الأجسام المضادة في البلازما |  Anti-B Anti-A |  Anti-B |  Anti- A | لا يوجد |

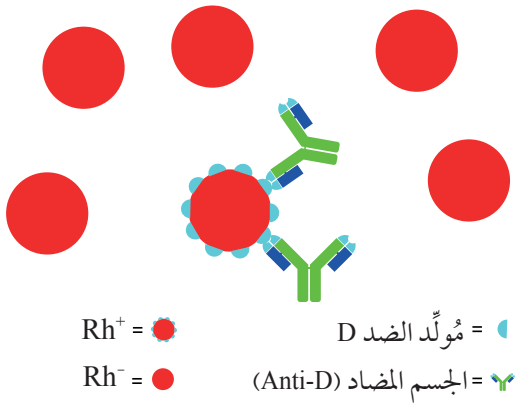
على وجود أحد مُولِّدي الضد A، أو B، أو كليهما، أو عدم وجودهما، أنظر الجدول (2) الذي يُبيِّن مُولِّدات الضد على سطوح خلايا الدم الحمراء والأجسام المضادة في البلازما لفصائل الدم الأربع بحسب نظام ABO.

يوجد نظام آخر يُعرَف بنظام العامل الريزيسي Rh، ويشير إلى وجود مُولِّد ضد على سطـوح خلايا الدم الحمراء يُسمّى مُولِّد الضد D، أو عدم وجوده. وفي حال وجود مُولِّد الضد D على سطوح خلايا الدم الحمراء، يوصَف الشخص بأنَّه موجب العامل الريزيسي $Rh^+$. أمّا في حال عدم وجوده، فيوصَف الشخص بأنَّه سالب العامل الريزيسي $Rh^-$، ولا يوجد في بلازما دمه أجسام مضادة (Anti-D)، إلّا أنَّه يُنتِجها في صورة استجابة مناعية إذا نُقِلت إليه خلايا دم حمراء من شخص موجب العامل الريزيسي.

عند نقل خلايا دم حمراء من شخص إلى آخر، فإنَّه يُنظَر إلى مُولِّدات الضد التي على سطوح خلايا الدم الحمراء لدى المُتبرِّع Donor، وإلى الأجسام المضادة في بلازما الدم لدى المُستقبِل Recipient. فمثلًا: عند نقل خلايا دم حمراء من مُتبرِّع فصيلة دمه A إلى مُستقبِل فصيلة دمه B، فإنَّ الأجسام المضادة (Anti-A) التي في بلازما دم المُستقبِل ترتبط بمُولِّدات الضد A على سطوح خلايا الدم الحمراء للمُتبرِّع، مُسبِّبةً تحلُّلها؛ فتظهر على المُستقبِل أعراض عديدة، مثل: القشعريرة، والحُمّى، وقد يصاب بقصور في وظائف الكُلى، وقد يؤدّي ذلك إلى وفاته. وفي سياق مُتَّصِل، إذا كان الشخص سالب العامل الريزيسي $Rh^-$ فلا يُمكِنه استقبال خلايا دم حمراء من مُتبرِّع موجب العامل الريزيسي $Rh^+$؛ ذلك أنَّ جسمه سيُكوِّن أجسامًا مضادةً (Anti-D)

أنظم المعلومات التي تعلمتها عن وظائف البروتينات، ثم أعد عرضًا تقديميًا عنها مدعمًا بالصور من شبكة الإنترنت، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

✓ **أتحقَّق:** أذكر الأعراض التي قـد تظهر على شخص فصيلـة دمه (A) عند نقل خلايا دم حمراء إليه من مُتبرِّع فصيلة دمه (B).




الشكل (8): ارتباط الأجسام المضادة (Anti-D) بمُولِّدات الضد D.

في بلازما دمه، بوصفها استجابةً مناعيةً، فترتبط الأجسام المضادة (Anti-D) في بلازما دم المُستقبِل بمُولِّدات الضد D على سطوح خلايا الدم الحمراء في دم المُتبرِّع، أنظر الشكل (8).

**أفكّر:** يحتاج مريض فصيلة دمه $O^-$ إلى نقل وحدتين من بلازما الدم. إذا توافرت وحدتا بلازما، إحداهما من مُتبرِّع فصيلة دمه $AB^+$، والأُخرى من مُتبرِّع فصيلة دمه $B^+$، فهل يُمكِن استخدام كلتا الوحدتين لنقل البلازما إليه، أم يُكتفى بإحداهما لعدم مُناسَبة الأُخرى لدمه؟ أُبرِّر إجابتي.

## مثال 2

أُصيب شخص فصيلة دمه $A^-$ في حادث سير، واستدعت حالته نقل خلايا دم حمراء إليه، ورغب اثنان من أصدقائه في التبرُّع بخلايا دم حمراء له، وكانت فصيلة دم أحدهما $AB^+$، وفصيلة دم الآخر $O^-$. أيُّ الصديقينِ يُمكِنه فقط التبرُّع له؟ (علمًا بأنَّ المصاب لم تُنقَل إليه خلايا دم حمراء من قبلُ).

**المعطيات:**

المُتبرِّعان المُحتمَلان: $AB^+$، و $O^-$، المُستقبِل: $A^-$.

**المطلوب:**

تحديد المُتبرِّع الذي فصيلة دمه تُناسِب الشخص المصاب (المُستقبِل).

**الحل:**

**1) في حالة المُتبرِّع الذي فصيلة دمه $AB^+$:**

| مُولِّدات الضد لدى المُتبرِّع المُحتمَل الأوَّل الذي فصيلة دمه $AB^+$ | الأجسام المضادة لدى المُستقبِل الذي فصيلة دمه $A^-$ |
|---|---|
| A ، B | Anti–B |
| D | سيُكوِّن Anti–D (استجابة مناعية). |

لا يُمكِن للمُتبرِّع الأوَّل التبرُّع بالدم؛ لأنَّ الأجسام المضادة (Anti–B) من بلازما دم المُستقبِل سترتبط بمُولِّدات الضد B على سطوح خلايا الدم الحمراء من دم المُتبرِّع، مُسبِّبةً تحلُّلها، وستظهر على المُستقبِل (المصاب) أعراض عديدة، مثل: القشعريرة، والحُمّى، وقد يصاب بقصور في وظائف الكُلى، وقد يؤدّي ذلك إلى وفاته.

في ما يتعلَّق بنظام Rh، سيُكوِّن المُستقبِل أجسامًا مضادةً (Anti–D) – بوصفها استجابةً مناعيةً – ترتبط بمُولِّدات الضد D على سطوح خلايا الدم الحمراء من دم المُتبرِّع.

**2) في حالة المُتبرِّع الذي فصيلة دمه $O^-$:**

| مُولِّدات الضد لدى المُتبرِّع المُحتمَل الثاني الذي فصيلة دمه $O^-$ | الأجسام المضادة لدى المُستقبِل الذي فصيلة دمه $A^-$ |
|---|---|
| ———— | Anti–B |

ومن ثمّ فإن المُتبرِّع الذي فصيلة دمه $O^-$ هو الذي يُمكِنه التبرُّع بالدم (بخلايا دمه الحمراء) للمصاب؛ نظرًا إلى عدم وجود مُولِّدات الضد B، وD على سطوح خلايا الدم الحمراء في دم هذا المُتبرِّع.

## مثال 3

يحتاج شخص فصيلة دمه $A^-$ إلى نقل وحدتين من بلازما الدم، وتقدّم اثنان من أصدقائه للتبرُّع، أحدهما فصيلة دمه $AB^+$، والآخر $O^-$، علمًا بأنّ المُتبرّع من فصيلة الدم $O^-$ لم يُكوّن أجسامًا مضادة Anti–D؛ لعدم تعرُّضه سابقًا لمولّد الضد D. في هذه الحالة، أيُّ الصديقينِ يُمكِنه فقط التبرُّع له؟

**المعطيات:**

مُتبرِّعان مُحتمَلان لوحدتي البلازما فصيلة دم أحدهما $AB^+$، والآخر $O^-$، المُستقبِل: $A^-$

**المطلوب:**

تحديد وحدة بلازما الدم من المُتبرِّعَين التي تُناسِب الشخص المستقبل.

**الحل:**

*عند نقل البلازما يجب الأخذ بعين الاعتبار الأجسام المضادة الموجودة في بلازما الشخص المتبرّع ومولّدات الضد لدى الشخص المستقبل.

1. **في حالة وحدة البلازما من المُتبرِّع الذي فصيلة دمه $AB^+$:**

| الأجسام المضادة لدى المُتبرِّع الذي فصيلة دمه $AB^+$: | مُولِّدات الضد لدى المستقبل الذي فصيلة دمه $A^-$: |
|---|---|
| ———— | A |

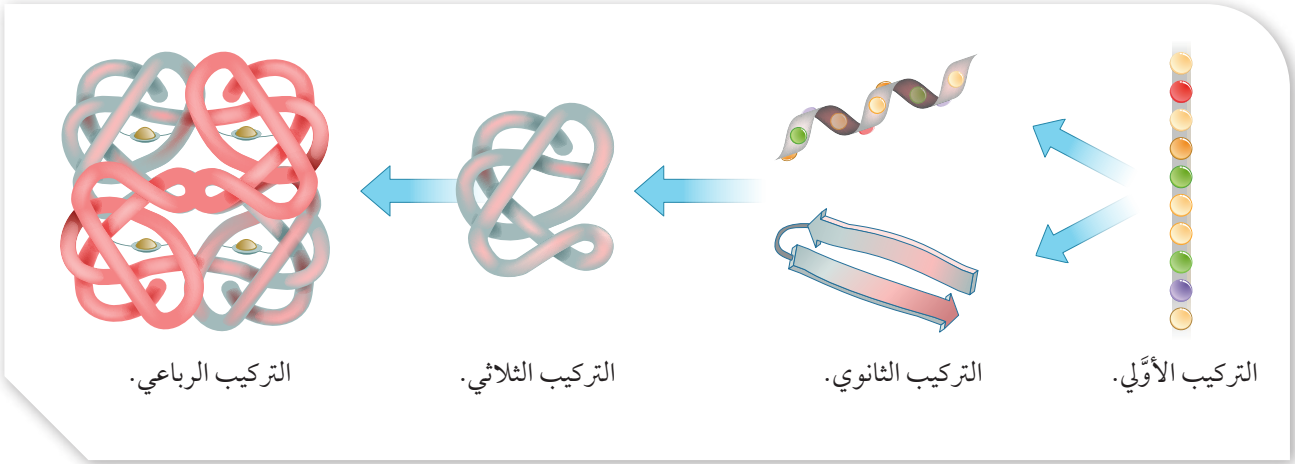
يمكن للمُتبرِّع الذي فصيلة دمه $AB^+$ أن يتبرّع بوحدة البلازما، لأنّ هذه البلازما لا تحتوي على أي نوع من الأجسام المضادة ضد فصائل الدم الأخرى.

2. **في حالة وحدة البلازما من المُتبرِّع الذي فصيلة دمه $O^-$:**

| الأجسام المضادة لدى المُتبرِّع الثاني الذي فصيلة دمه $O^-$ : | مُولِّدات الضد لدى المستقبل الذي فصيلة دمه $A^-$: |
|---|---|
| Anti–B و Anti–A | A |

لا يمكن لهذا المتبرع الذي فصيلة دمه $O^-$، أن يتبرع بوحدة البلازما، لأنّ هذه البلازما تحتوي على الأجسام المضادة (Anti–A)، التي سترتبط بمولدات الضد A الموجودة على سطوح خلايا الدم في جسم المستقبل الذي فصيلة دمه $A^-$، مُسبِّبةً تحلُّلها، وستظهر على المُستقبِل أعراض عديدة، مثل: القشعريرة، والحُمّى، وقد يصاب بقصور في وظائف الكُلى، وقد يؤدّي ذلك إلى وفاته.

أما في ما يتعلّق بنظام Rh، لا تحتوي هذه البلازما على أجسام مضادة (Anti–D)؛ لأن الشخص المُتبرِّع لم يتعرّض لمولّد الضد D سابقًا.




الشكل (9): مستويات تركيب البروتينات.

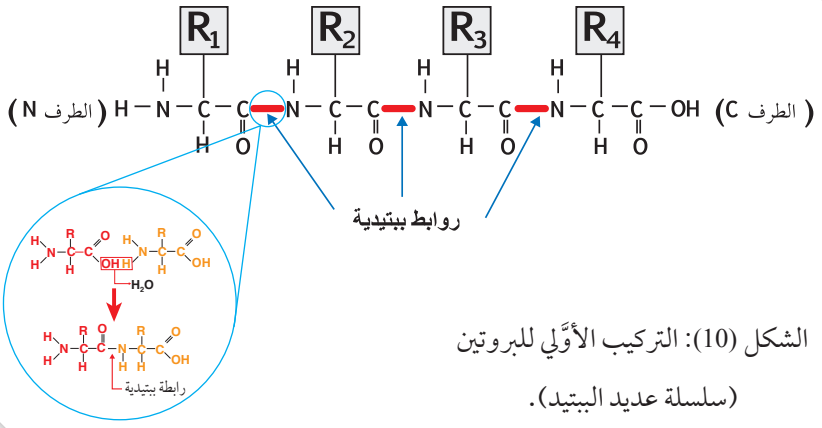
## مستويات تركيب البروتينات Levels of Proteins Structure

توجد أربعة مستويات تركيبية للبروتينات، هي: التركيب الأوَّلي Primary Structure، والتركيب الثانوي Secondary Strucrture، والتركيب الثلاثي Tertiary Structure، والتركيب الرباعي Quaternary Structure، أنظر الشكل (9).

### التركيب الأوَّلي Primary Structure

ترتبط الحموض الأمينية معًا بروابط تساهمية ببتيدية، ويُنزَع جزيء ماء عند تكوين كل رابطة ببتيدية، فتتشكَّل سلسلة عديد الببتيد. ويوصَف التسلسل الخطّي للحموض الأمينية في سلسلة عديد الببتيد بأنَّه التركيب الأوَّلي للبروتين، وتكون مجموعة الأمين في بدايتها (تُسمّى الطرف N)، وتكون مجموعة الكربوكسيل في نهايتها (تُسمّى الطرف C)، أنظر الشكل (10).

يُمثِّل التركيب الأوَّلي للبروتين الهيكل الأساسي لمستويات البروتين الأُخرى، وهو لا يؤدّي أيَّ وظيفة في صورته الأوَّلية.




الشكل (10): التركيب الأوَّلي للبروتين (سلسلة عديد الببتيد).

**أتحقَّق:** لماذا يُحتمَل أنْ تختلف سلسلتا عديد ببتيد، إحداهما عن الأُخرى، بالرغم من تكوُّنهما من الحموض الأمينية نفسها، واحتوائهما على العدد نفسه من هذه الحموض؟

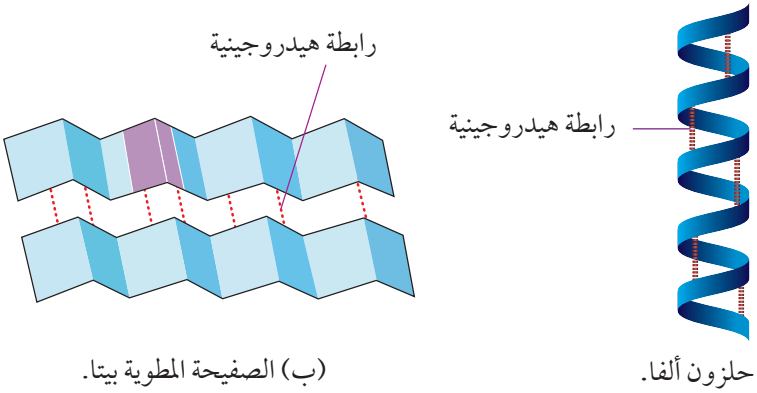
### مثال 4

سلسلة عديد ببتيد تتكوَّن من (10) حموض أمينية:

- أحسُبُ عدد الروابط الببتيدية المُتكوِّنة.
- أحسُبُ عدد جزيئات الماء الناتجة.

**الحل:**

- عدد الروابط الببتيدية المُتكوِّنة هو (9) روابط.
- عدد جزيئات الماء الناتجة هو (9) جزيئات.




(ب) الصفيحة المطوية بيتا.

(أ) حلزون ألفا.

الشكل (11): التركيب الثانوي للبروتين.

### التركيب الثانوي Secondary Structure

ينتج التركيب الثانوي من التفاف سلسلة عديد ببتيد واحدة، وتكوُّن روابط هيدروجينية في مناطق مُحدَّدة منها، وهي روابط تعمل على تثبيت التركيب الثانوي واستقراره.

يوجد تركيبان ثانويان شائعان، أحدهما حلزوني يُسمّى حلزون ألفا α-Helix، والآخر يُسمّى الصفيحة المطوية بيتا β-Sheet. يتكوَّن تركيب حلزون ألفا عند التفاف سلسلة عديد الببتيد، وتكوُّن روابط هيدروجينية بين ذَرَّة الأكسجين في مجموعة الكربوكسيل في حمض أميني وذَرَّة الهيدروجين في مجموعة الأمين في حمض أميني آخر يبعد عن الحمض الأميني الأوَّل أربعة حموض أمينية، أنظر الشكل (11/ أ). أمّا تركيب الصفيحة المطوية بيتا فيتكوَّن عند ارتباط جزأين أو أكثر من سلسلة عديد الببتيد نفسها بروابط هيدروجينية؛ إذ تكون هذه الأجزاء المُكوِّنة لسلسلة عديد الببتيد بجانب بعضها في شكل مُتعرِّج (zig-zag)؛ ما يتيح لها تكوين الروابط الهيدروجينية في ما بينها، أنظر الشكل (11/ ب).

### التركيب الثلاثي Tertiary Structure

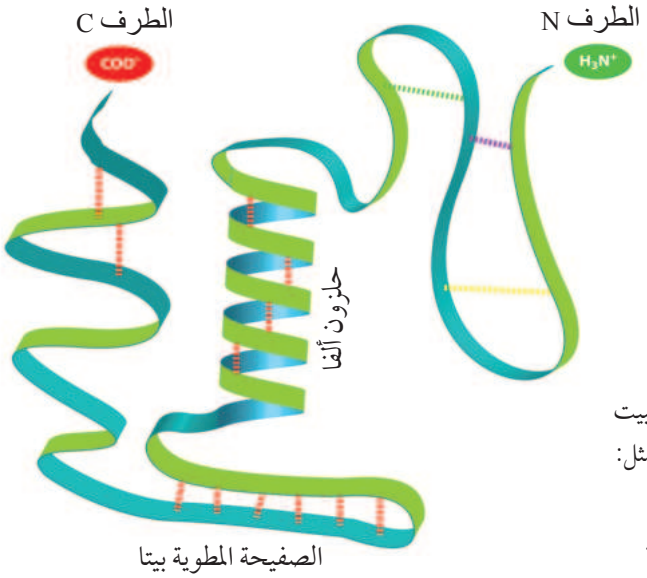
ينتج التركيب الثلاثي من طَيِّ التراكيب الثانوية في سلسلة عديد الببتيد التي تأخذ شكلاً ثلاثي الأبعاد. وتعمل أنواع مختلفة من الروابط تكون غالبًا بين ذَرّات السلاسل الجانبية R لسلسلة عديد الببتيد على تثبيت شكل التركيب الثلاثي، أنظر الشكل (12).

من الأمثلة على البروتينات ذات التركيب الثلاثي: بروتين الميوغلوبين الذي يحمل الأكسجين في العضلات، وينتج من طَيِّ التراكيب الثانوية لحلزون ألفا. وفي حال فَقَدَ أحد البروتينات تركيبه الثلاثي، فإنَّ ذلك يُفقِده القدرة على أداء وظيفته الحيوية، كما يحدث في الإنزيمات.

**أفكّر:** أُحدِّد الذَّرّات التي تتكوَّن بينها روابط هيدروجينية في حمضين أمينيين عند التفاف سلسلة عديد الببتيد، وتكوُّن تركيب حلزون ألفا.

أُنشِئ مُخطَّطًا مفاهيميًّا باستخدام رسوم SmartArt لتوضيح مستويات تركيب البروتينات، ثم أُضيف إليه تدريجيًّا ما سأتعلَّمه عنها في الصفحات التالية.

**أفكّر:** ما التراكيب الثانوية التي نتج من طيِّها بروتين الميوغلوبين؟




الشكل (12): التركيب الثلاثي للبروتين.

تعمل روابط مختلفة على تثبيت التركيب الثلاثي للبروتين، مثل:

- رابطة هيدروجينية.
- رابطة ثنائي الكبريتيد.
- رابطة أيونية.
- قوى ضعيفة، مثل قوى فاندرفال.

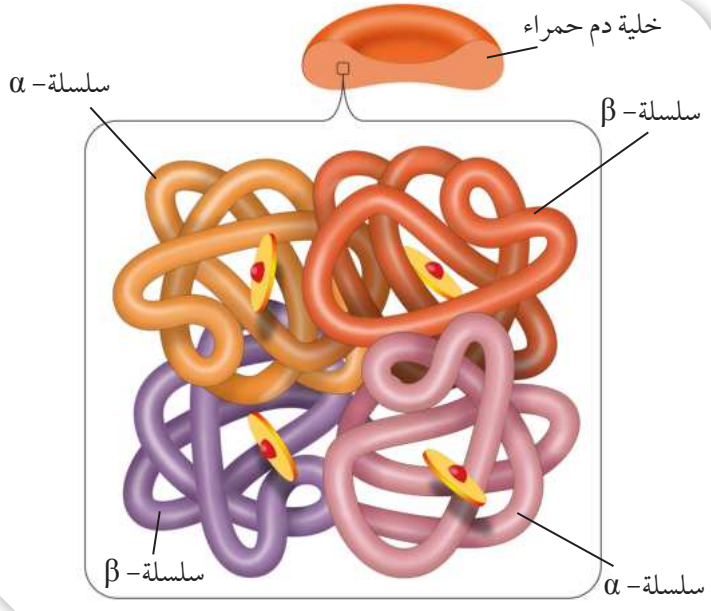
## التركيب الرباعي Quaternary Structure

يُطلَق اسم التركيب الرباعي على البروتينات التي تتكوَّن من سلسلتين أو أكثر من عديد الببتيد، خلافًا للتركيب الأوَّلي والتركيب الثانوي والتركيب الثلاثي؛ إذ يتكوَّن كلٌّ منها من سلسلة عديد ببتيد واحدة، علمًا بأنَّ التركيب الرباعي يُثبَّت عن طريق روابط مختلفة، شأنه في ذلك شأن التركيب الثلاثي.

✓ **أتحقَّق:** كيف يتكوَّن التركيب الثلاثي للبروتينات؟

من الأمثلة على البروتينات ذات التركيب الرباعي: الهيموغلوبين الذي يتألَّف من أربع سلاسل ببتيدية؛ اثنتان منها من النوع α، واثنتان أُخريان من النوع β، أنظر الشكل (13)، لكنَّ ذلك لا يعني بالضرورة أنَّ جميع البروتينات ذات التركيب الرباعي تتألَّف من أربع سلاسل ببتيدية؛ فالكولاجين مثلًا هو من البروتينات ذات التركيب الرباعي، إلّا أنَّه يتكوَّن من ثلاث سلاسل ببتيدية.

يُذكَر أنَّ سلسلتي ألفا وسلسلتي بيتا في الهيموغلوبين لا تعني حلزون ألفا والصفيحة المطوية بيتا.




الشكل (13): التركيب الرباعي للهيموغلوبين.

**تصنيف البروتينات Classification of Proteins**

تُصنَّف البروتينات وَفقًا لشكلها النهائي الثلاثي الأبعاد إلى نوعين، هما:

**البروتينات الكروية Globular Proteins:** يتكوَّن هذا النوع من بروتينات تركيبها ثلاثي أو رباعي، مثل الهيموغلوبين ومعظم الإنزيمات، أنظر الشكل (14/ أ).

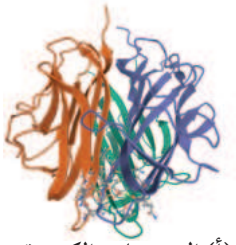
تؤدّي البروتينات الكروية دورًا في عمليات الجسم الحيوية، وتكون ذائبة في الماء؛ نظرًا إلى وجود سلاسلها الجانبية R القطبية (المُحِبَّة للماء) في اتجاه الخارج مُواجِهةً المحاليل المائية التي تحيطها، ووجود سلاسلها الجانبية R غير القطبية (الكارهة للماء) في اتجاه الداخل.

**البروتينات الليفية Fibrous Proteins:** يتكوَّن هذا النوع من بروتينات تركيبها ثنائي، أو ثلاثي، أو رباعي، ومن أمثلته: بروتين الفايبرين Fibrin الذي له دور في تجلُّط الدم ، أنظر الشكل (14/ ب).

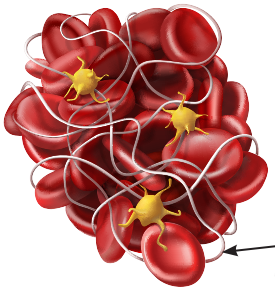
لا تكون البروتينات الليفية غالبًا ذائبة في الماء؛ لأنَّ سلاسلها الجانبية R غير القطبية (الكارهة للماء) تكون في اتجاه الخارج مُواجِهةً المحاليل المائية.

توجد بروتينات تتكوَّن من أجزاء ليفية وأُخرى كروية، مثل بروتين الميوسين في العضلة الهيكلية.

**أتحقَّق:** لماذا تكون البروتينات الكروية ذائبة في الماء؟



(أ) البروتينات الكروية.




(ب) البروتينات الليفية.

الشكل (14): البروتينات الكروية، والبروتينات الليفية.

## الليبيدات Lipids

لليبيدات وظائف عِدَّة في أجسام الكائنات الحيَّة؛ إذ تُشكِّل طبقة عازلة تحت جلد الإنسان وبعض الحيوانات؛ ما يحول دون فقدان الحرارة من أجسامهم، وتدخل في تركيب الأغشية البلازمية، والهرمونات الستيرويدية، وفي تركيب الفيتامينات الذائبة في الدهون (فيتامين A، وK، وE، وD)، وتُعَدُّ مصدرَ طاقةٍ مُهِمًّا للكائنات الحيَّة.

تُصنَّف الليبيدات إلى أنواع عِدَّة، منها: الحموض الدهنية، والدهون الثلاثية، والليبيدات المُفسفَرة ، والستيرويدات. توجد صفة مشتركة بين الليبيدات جميعها، تتمثَّل في عدم امتزاجها بالماء.



أُلخِّص وظائف الليبيدات التي درسْتُها في جسم الكائن الحيِّ بالاستعانة بصور من شبكة الإنترنت، ثم أستخدم برمجية Power point لعرضها أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

**الربط بالصحة**

تُجرى فحوص مخبرية لتعرُّف مستويات بعض البروتينات والإنزيمات في الدم؛ ما يساعد على كشف الإصابة بمرض مُعيَّن. فمثلًا: تُفحَص عيِّنة الدم للكشف عن إنزيم يُسمّى Alanine Aminotransferase (ALT)؛ وهو إنزيم يوجد في خلايا الكبد، ويعمل على تحويل الحمض الأميني ألانين إلى بيروفيت. وفي حال تسرَّب هذا الإنزيم من الكبد إلى الدم نتيجة خلل في خلايا الكبد، فإنَّ مستوياته في الدم سترتفع. أُعِدُّ منشورًا لتوعية المجتمع المحلي بأهمية الفحوص الطبية الدورية في المحافظة على الصحة.

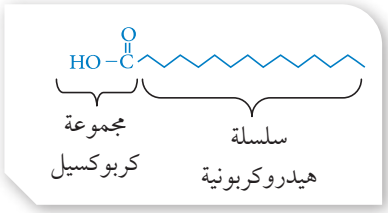
### الحموض الدهنية Fatty Acids

تدخل الحموض الدهنية في تركيب معظم الليبيدات، ومنها ما يكون حُرًّا.

يتكوَّن الحمض الدهني من مجموعة كربوكسيل (COOH)، وسلسلة هيدروكربونية.

تُصنَّف الحموض الدهنية إلى نوعين، هما:

- الحموض الدهنية المُشبَعة: وفيها تكون الروابط جميعها أُحادية بين ذرّات الكربون في السلسلة الهيدروكربونية، أنظر الشكل (15)، ومن أمثلتها: حمض البالميتك Palmitic Acid؛ وهو المُكوِّن الرئيس لزيت النخيل.
- الحموض الدهنية غير المُشبَعة: وفيها توجد رابطة ثنائية واحدة على الأقل بين ذرّات الكربون في السلسلة الهيدروكربونية، أنظر الشكل (16)، ومن أمثلتها: حمض الأوليك Oleic Acid؛ وهو المُكوِّن الرئيس لزيت الزيتون.




الشكل (15): حمض دهني مُشبَع.

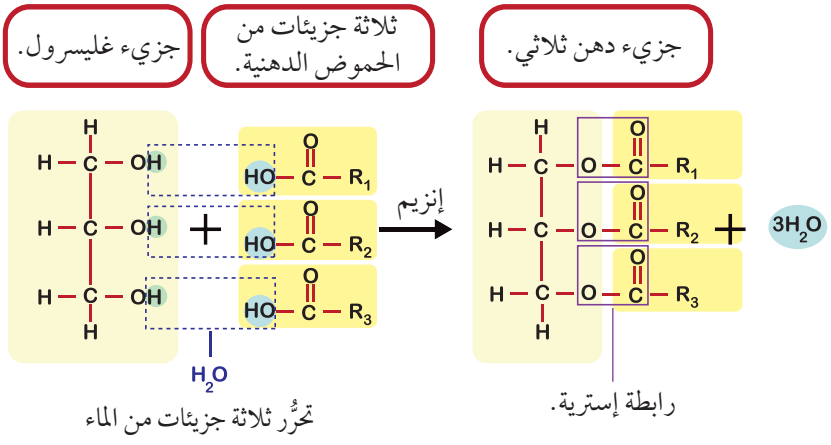



الشكل (16): حمض دهني غير مُشبَع.

### الدهون الثلاثية Triglycerides

**الدهون الثلاثية Triglycerides**: هي الليبيدات التي تتكوَّن من اتحاد جزيء غليسرول واحد مع ثلاثة جزيئات من الحموض الدهنية بروابط تساهمية إسترية، أنظر الشكل (17).

تعتمد خصائص الدهون الثلاثية على خصائص الحموض الدهنية المُكوِّنة لها؛ إذ تكون معظم الدهون الثلاثية غير المُشبَعة سائلة في درجة حرارة الغرفة، مثل معظم الزيوت النباتية، في حين تكون الدهون الثلاثية المُشبَعة صُلْبة في درجة حرارة الغرفة، وتُسمّى دهونًا، مثل: الزبدة، والسمن الحيواني.




الشكل (17): تكوُّن دهن ثلاثي.

أُوضِّح السبب الذي يؤدّي إلى إنتاج ثلاثة جزيئات ماء عند تكوُّن جزيء دهن ثلاثي.

### الربط بعلم التصنيع الغذائي

تعمل بعض مصانع الزيوت على تحويل الزيوت السائلة إلى سمن نباتي، أو زبدة شبه صُلْبة، عن طريق عملية كيميائية تُسمّى هدرجة الزيوت، وذلك بإضافة الهيدروجين إلى الزيوت السائلة غير المُشبَعة؛ لتحويلها إلى زيوت مُشبَعة ذات قوام مرغوب فيه.

من الأمثلة على الدهون المُهدرَجة صناعيًّا: السمن النباتي، والزبدة الصناعية (المارجرين)، وبعض أنواع زبدة الفول السوداني. وقد حذَّرت مُنظَّمات غذائية عِدَّة من استخدام الزيوت المُهدرَجة في الغذاء؛ نظرًا إلى ما تُسبِّبه من أمراضٍ للقلب، وتصلُّبٍ للشرايين، وأوصت بضرورة قراءة بطاقة المعلومات على المواد الغذائية بعناية.



### الليبيدات المُفسفَرة Phospholipids

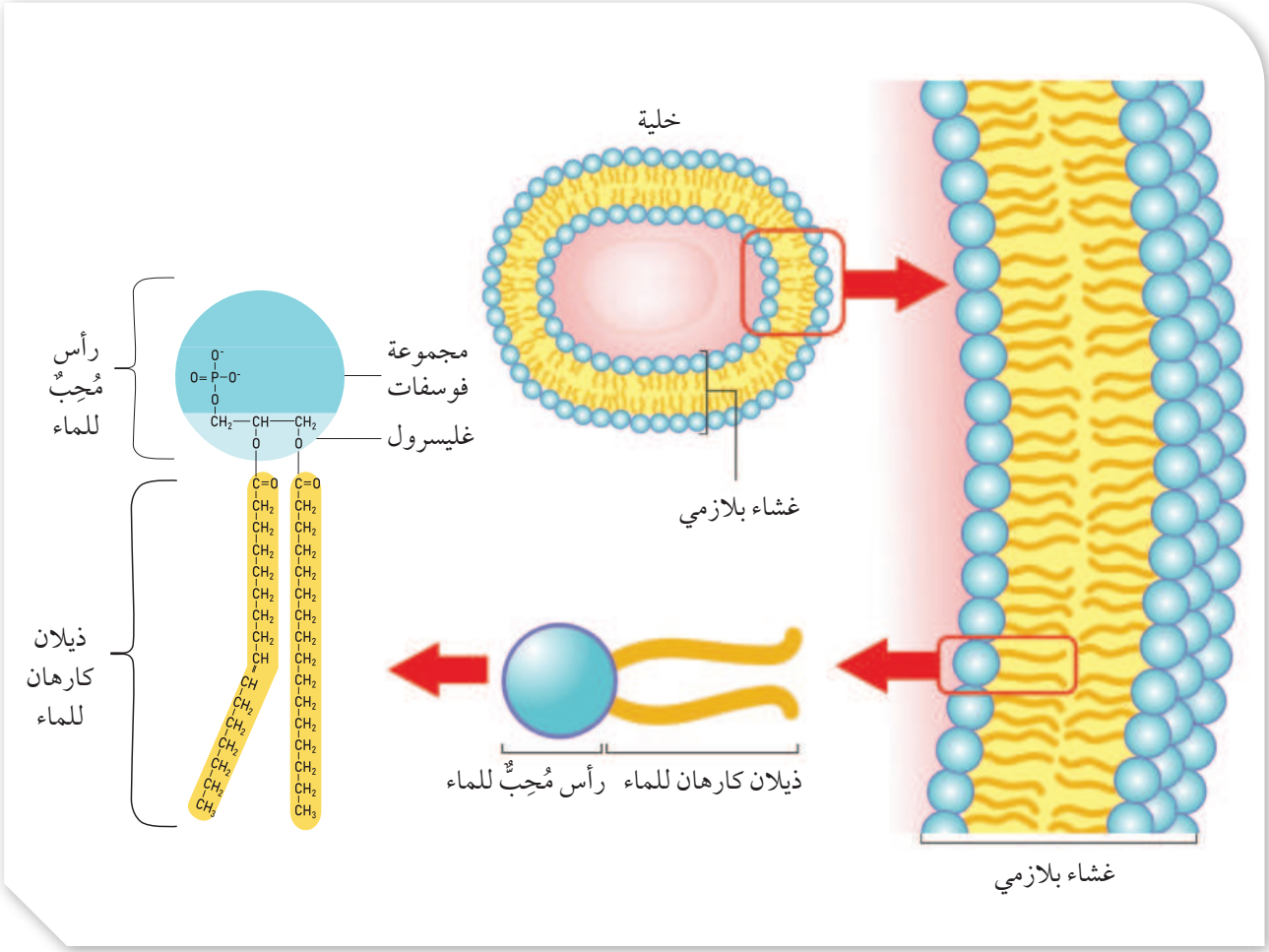
**الليبيدات المُفسفَرة Phospholipids**: هي الليبيدات التي تتكوَّن من جزيء غليسرول مُرتبِط بمجموعة فوسفات، فيتشكَّل رأس قطبي مُحِبٌّ للماء. وفي الوقت نفسه، يرتبط جزيء الغليسرول بجزيئين من الحموض الدهنية، فيتشكَّل ذيلان كارهان للماء.

يحتوي الغشاء البلازمي على طبقة مُزدوَجة من الليبيدات المُفسفَرة التي تترتَّب في صفَّين مُتقابِلين. وفيها تُقابِل الرؤوس القطبية الماء، في حين تبتعد عنه الذيول الكارهة له، أنظر الشكل (18).

لا تمرُّ المواد الذائبة في الماء بسهولة عبر الغشاء البلازمي؛ نظرًا إلى وجود الجزء غير القطبي (الذيول الكارهة للماء) الذي يقع وسط الغشاء، ويُعوِّق مرور هذه المواد؛ ما يُنظِّم حركة المواد بين داخل الخلية وخارجها.

**أُفكِّر:** لماذا تَتَّجِه ذيول الحموض الدهنية إلى الداخل في الغشاء البلازمي؟

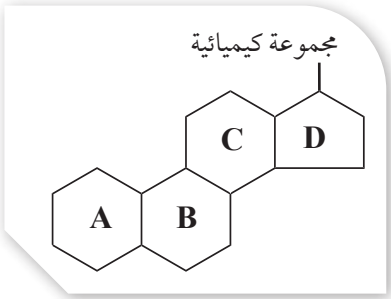
الشكل (18): توزيع الليبيدات المُفسفَرة في الغشاء البلازمي.



### الستيرويدات Steroids

**الستيرويدات Steroids**: هي الليبيدات التي تتكوَّن من أربع حلقات كربونية مُلتحِمة؛ ثلاث منها سداسية، وواحدة خماسية، إضافةً إلى مجموعة كيميائية ترتبط بالحلقة الرابعة، وتختلف من ستيرويد إلى آخر، أنظر الشكل (19).

يُعَدُّ الكولسترول مثالًا على الستيرويدات، ويستطيع جسم الإنسان تصنيعه في الكبد، ويُمكِن الحصول عليه من مصادر غذائية حيوانية. وهو يدخل في تركيب الأغشية البلازمية الحيوانية، والهرمونات الستيرويدية، مثل الألدوستيرون الذي يؤدّي دورًا في تنظيم عمل الوحدة الأنبوبية الكلوية. وبالرغم من أهمية الكولسترول، فإنَّ مستوياته العالية في الدم قد تكون لها صلة بأمراض القلب والأوعية الدموية.




الشكل (19): ستيرويد.

✓ **أتحقَّق: أُوضِّح** الفرق بين الدهون الثلاثية والستيرويدات من حيث التركيب.

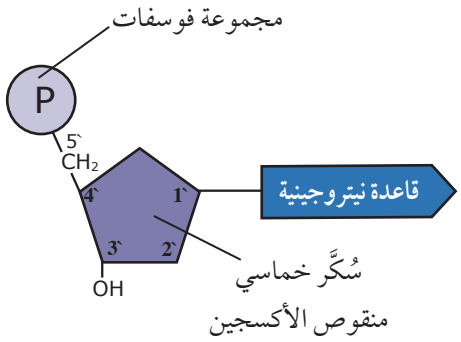
**الربط بعلم البحار**

### دور الليبيدات في تكيُّف أسماك القرش على العيش في أعماق البحار

أودع الله تعالى خصائص عِدَّة في أسماك القرش التي تعيش في أعماق البحار تساعدها على الطفو، منها: نسبة الليبيدات في أكبادها، وقوَّة عضلاتها. وقد أشارت دراسات عديدة إلى أنَّ أكباد أسماك القرش التي تعيش في أعماق البحار هي أكبر حجمًا من أكباد مثيلاتها التي تعيش في المياه الضحلة، وأنَّ نسبة الليبيدات في أكبادها أكثر أيضًا.

وجد العلماء أنَّ نسبة الألياف العضلية في أجسام أسماك القرش هذه هي أقل من نسبتها في أجسام مثيلاتها التي تعيش في المياه الضحلة. وقد انتهت نتائج الدراسات في هذا المجال إلى أنَّ نسبة الليبيدات المرتفعة تُقلِّل من كثافة أجسام أسماك القرش؛ ما يُمكِّنها من الطفو، والحفاظ على ارتفاع مُناسِب لها في الماء، من دون بذل مجهود عضلي كبير، وهو ما يُعَدُّ وسيلة لتقليل استهلاك الطاقة في بيئاتها الفقيرة بالغذاء.





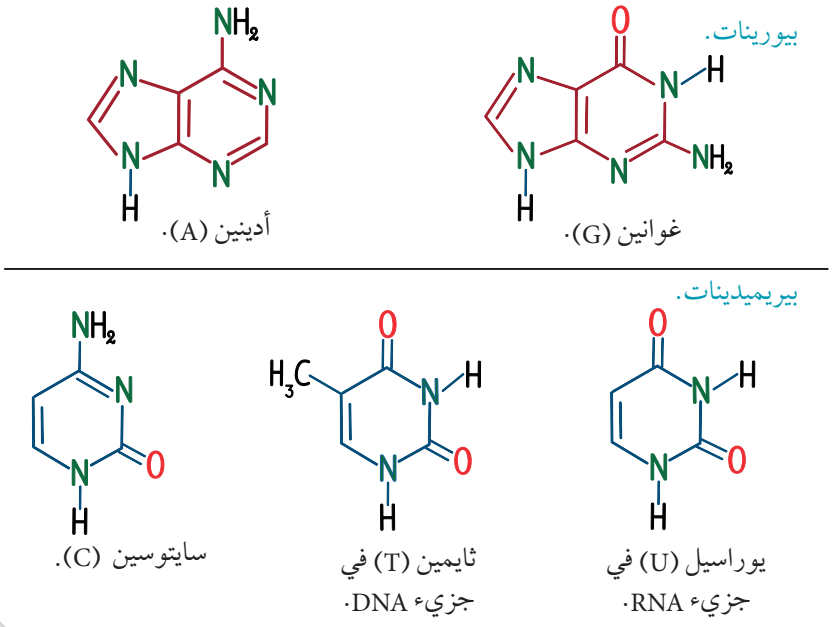

الشكل (20): تركيب نيوكليوتيد في جزيء DNA.

## الحموض النووية Nucleic Acids

تحتوي خلايا الكائنات الحية على المادة الوراثية التي تُحدِّد صفاتها، وتتكون المادة الوراثية من نوعين من الحموض النووية: حمض نووي رايبوزي منقوص الأكسجين DNA، وحمض نووي رايبوزي RNA.

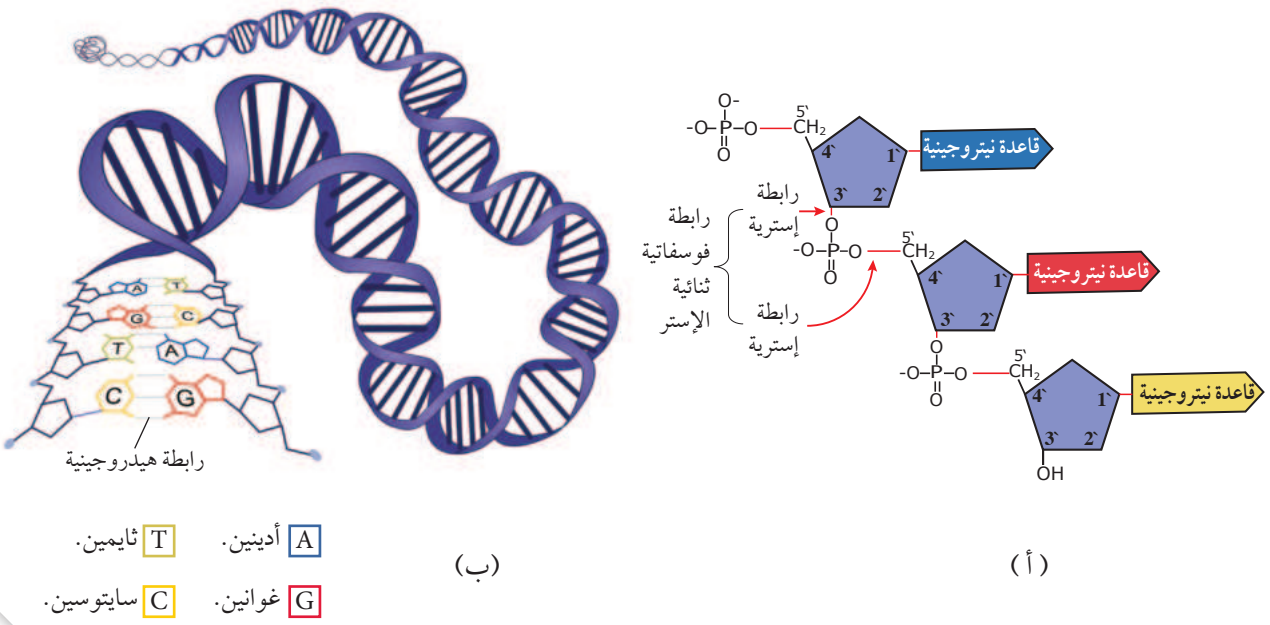
تتألَّف الحموض النووية من وحدات بنائية تُسمّى النيوكليوتيدات Nucleotides، ويتكوَّن كل نيوكليوتيد من إحدى القواعد النيتروجينية (أدنين، غوانين، ثايمين، سايتوسين، أو يوراسيل)، وسُكَّر خماسي، ومجموعة فوسفات، أنظر الشكل (20).

تُصنَّف القواعد النيتروجينية التي تدخل في تركيب النيوكليوتيدات إلى بيورينات Purines يتكوَّن كلٌّ منها من حلقتين، وبيريميدينات Pyrimidines يتكوَّن كلٌّ منها من حلقة واحدة، أنظر الشكل (21).




الشكل (21): البيورينات والبيريميدينات.

أيُّ القواعد النيتروجينية تُعَدُّ من البيورينات؟ وأيها تُعَدُّ من البيريميدينات؟




الشكل (22): جزيء DNA.

**الحمض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين Deoxyribonucleic Acid (DNA)**

يحمل الحمض النووي DNA الصفات الوراثية للكائنات الحية، كما يحمل المعلومات الوراثية اللازمة لبناء البروتينات، ويعمل على نقل الصفات الوراثية من الآباء إلى الأبناء. وفي عام 1953م توصَّل العالِمان واتسون Watson وكريك Crick إلى بناء نموذج لجزيء DNA، ونالا جائزة نوبل في الفسيولوجيا والطب؛ تكريمًا لهما على هذا الإنجاز.

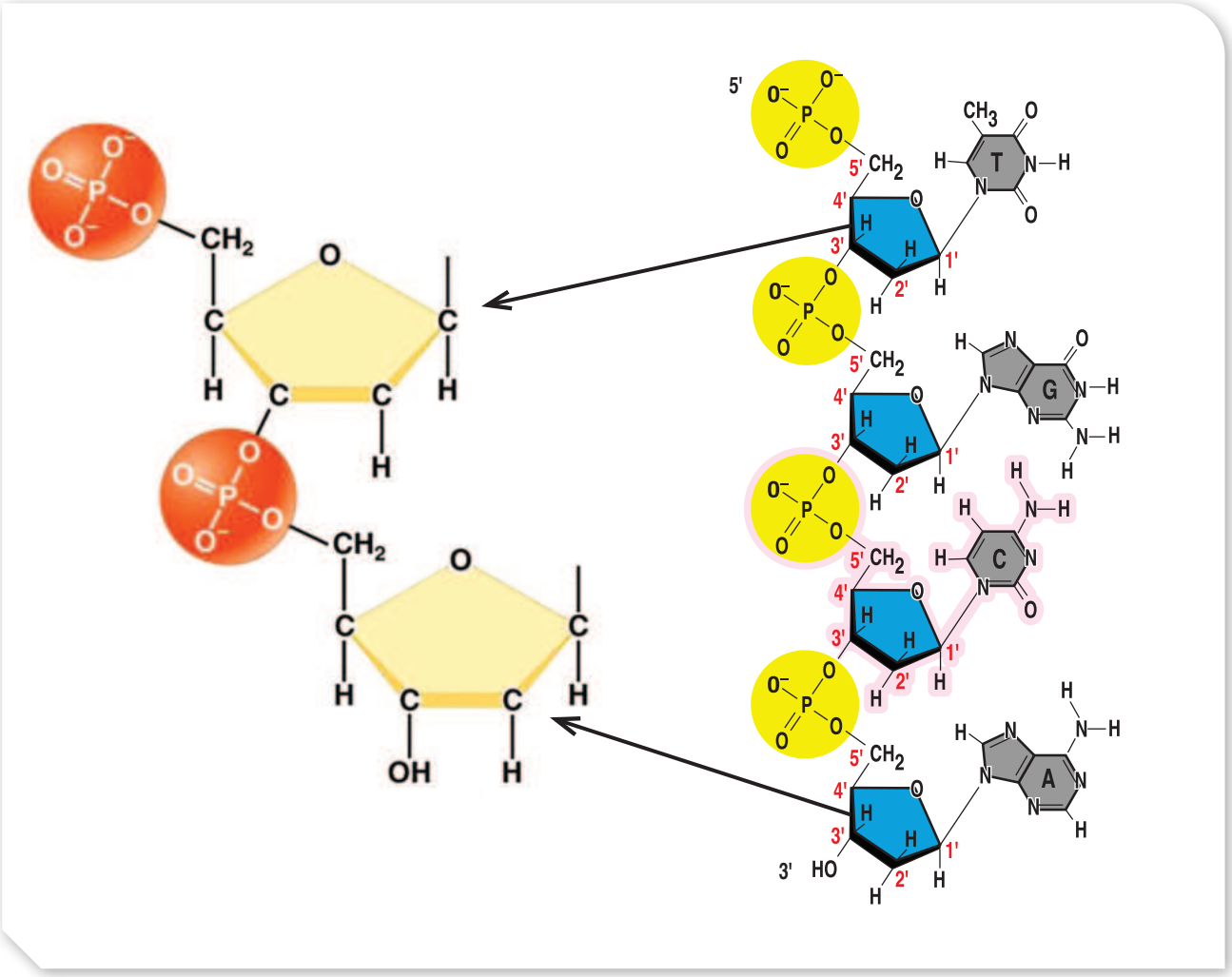
يتكوَّن جزيء DNA من سلسلتين من النيوكليوتيدات، تلتفّان على هيئة سُلَّم حلزوني مُزدوَج، حيث ترتبط النيوكليوتيدات المُكوِّنة للسلسلة الواحدة بعضها ببعض عن طريق **روابط فوسفاتية ثنائية الإستر Phosphodiester Bonds**، أنظر الشكل (22/ أ).

ترتبط البيورينات في إحدى سلسلتي الحمض النووي DNA بالبيريميدينات المُكمِّلة لها في السلسلة المُقابِلة عن طريق روابط هيدروجينية، حيث ترتبط القاعدة النيتروجينية الأدينين (A) مع الثايمين (T) برابطتين هيدروجينيتين، في حين يرتبط السايتوسين (C) مع الغوانين (G) بثلاث روابط هيدروجينية، أنظر الشكل (22/ ب). أمّا نسبة البيورينات إلى نسبة البيريميدينات في DNA فثابتة وَفقًا لقاعدةٍ تُعرَف بقاعدة تشارغاف Chargaff؛ ذلك أنَّ البيورين يرتبط دائمًا بالبيريميدين المُكمِّل له

**✓ أتحقَّق:** أكتب تسلسل النيوكليوتيدات في سلسلة DNA المُكمِّلة للسلسلة الآتية:

**AACAGCTTG**

ثم أَصِف تركيب جزيء DNA.




الشكل (23): جزء من سلسلة DNA.

**أُحدِّد** على الشكل نهايتي سلسلة DNA.

في السلسلة المُقابِلة. فمثلًا: إذا احتوت قطعة من DNA على (25%) من الأدينين، فإنَّ نسبة الثايمين في السلسلة المُقابِلة تكون مُساوِية لها.

أمّا مجموعة الفوسفات في النيوكليوتيد فتربط جزيء السُّكَّر بالآخر الذي يليه في السلسلة الواحدة من جزيء DNA. وتختلف نهايتا كل سلسلة من السلسلتين إحداهما عن الأُخرى؛ إذ تنتهي إحدى السلسلتين بمجموعة فوسفات مُرتبِطة بذَرَّة الكربون رقم (5) في جزيء السُّكَّر، ويُرمَز إلى هـذه النهايـة بالرمز (5′)، في حين تنتهي السلسلـة الأُخرى بمجموعـة هيدروكسيل مُرتبِطة بذَرَّة الكربون رقم (3) من جزيء السُّكَّر، ويُرمَز إلى هذه النهاية بالرمز (3′)، أنظر الشكل (23).

## مثال 5

حلَّلت باحثة قطعتي DNA، فوجدت أنَّ نسبة الأدينين في القطعة الأولى هي (31%)، وأنَّ نسبة السايتوسين في القطعة الثانية هي (27%). أيُّ القطعتين تحوي نسبة أعلى من الثايمين؟

**المعطيات:**

القطعة الأولى من DNA تحوي ما نسبته (31%) من الأدينين، والقطعة الثانية من DNA تحوي ما نسبته (27%) من السايتوسين.

**المطلوب:**

تحديد قطعة DNA التي فيها نسبة أعلى من الثايمين.

**الحل:**

نسبة الثايمين في DNA تساوي نسبة الأدينين؛ لذا، فإنَّ نسبة الثايمين في القطعة الأولى هي (31%). ولإيجاد نسبة الثايمين في القطعة الثانية، أحسُبُ نسبة السايتوسين والغوانين فيها:

$27\% \times 2 = 54\%$

ثم أطرح هذه النسبة من 100%:

$100\% - 54\% = 46\%$

ومن ثمّ فإن نسبة الثايمين والأدينين معًا هي: (46%).

لإيجاد نسبة الثايمين، أقسِم الناتج على 2:

$46\% / 2 = 23\%$

وبذلك فإن نسبة الثايمين هي: (23%).

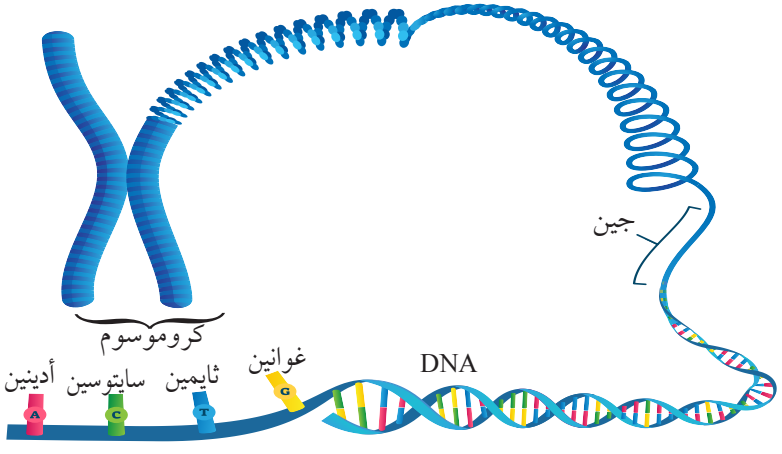
ومن ثمّ فإنَّ نسبة الثايمين في القطعة الأولى أعلى منها في القطعة الثانية.

### الجين Gene

يُمثِّل الجين وحدة المعلومات الوراثية، وهو جزء من DNA يحتوي على تسلسل مُحدَّد من النيوكليوتيدات، أنظر الشكل (24). تختلف الكروموسومات في ما بينها من حيث عدد الجينات؛ فقد يحمل بعضها آلاف الجينات، في حين يحمل بعضٌ آخرُ جيناتٍ يقل عددها عن ألفٍ.

**أتحقَّق:**

ما المقصود بالجين؟




الشكل (24): الجين في المادة الوراثية.

**أتحقَّق:** أُقارِن بين DNA و RNA من حيث:

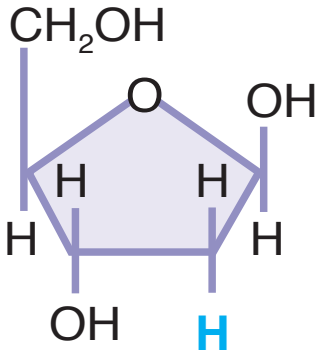
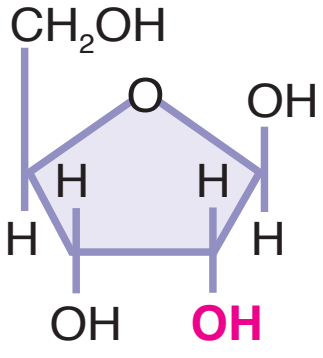
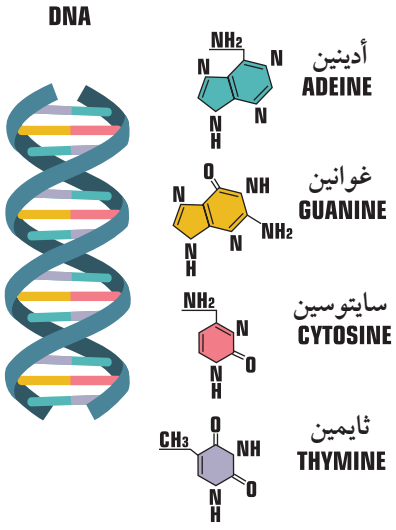
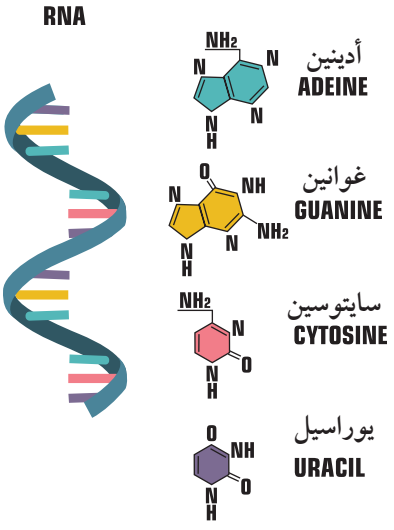
أ . وظيفة كلٍّ منهما.

ب. القواعد النيتروجينية الداخلة في تركيب كلٍّ منهما.

### الحمض النووي الرايبوزي Ribonucleic Acid (RNA)

يؤدي **الحمض النووي الرايبوزي** **Ribonucleic Acid (RNA)** دورًا مهمًّا في عملية تصنيع البروتينات، ويتكوَّن RNA غالبًا من سلسلة واحدة من النيوكليوتيدات، ولكنَّ بعض الفيروسات تحتوي على RNA يتكون من سلسلتين. ويختلف RNA عن الحمض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين (DNA) في أوجه عِدَّة، أنظر الجدول (3).

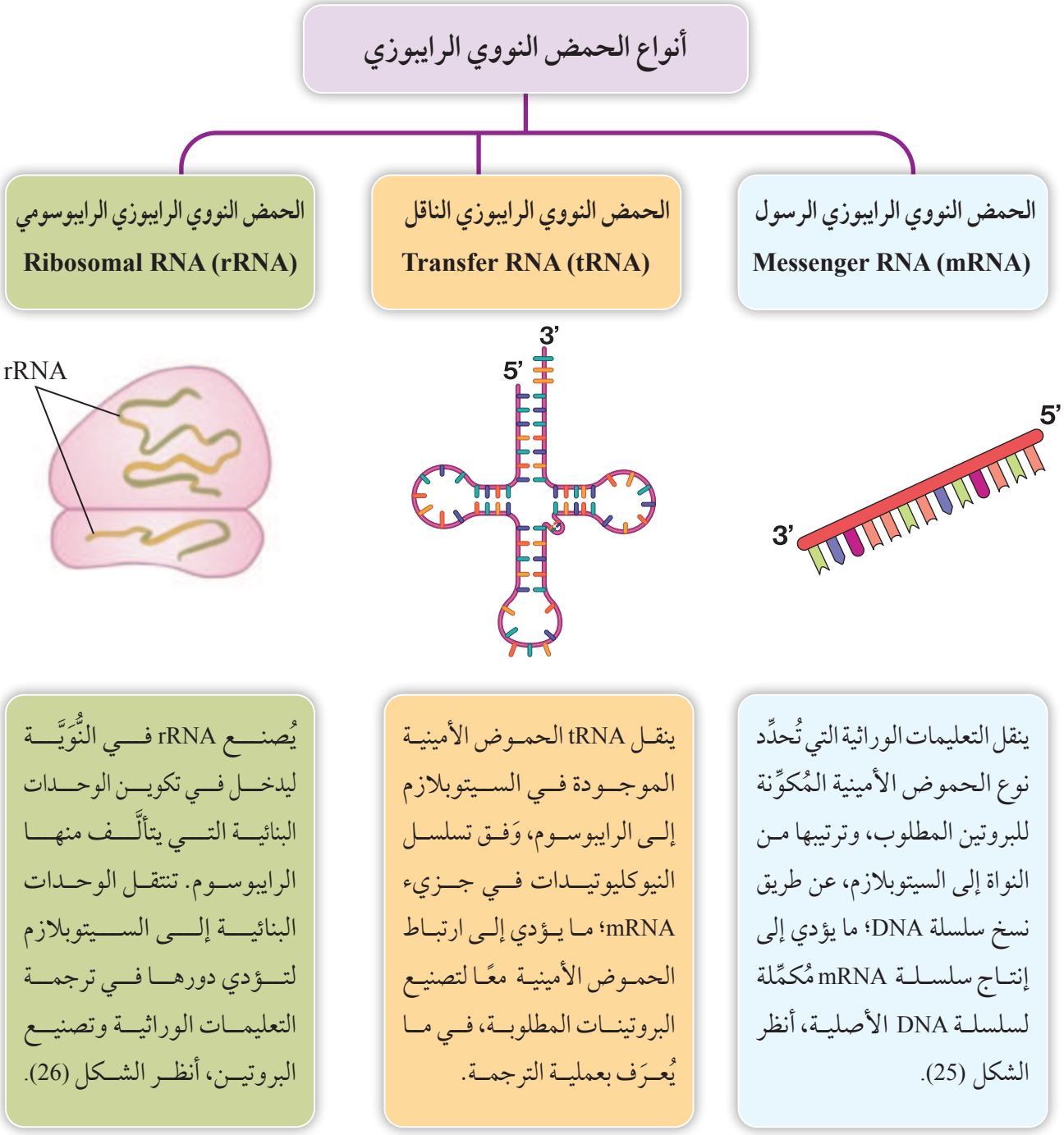
الجدول (3): مقارنة بين DNA و RNA.

| وجه المقارنة | DNA | RNA |
|---|---|---|
| تركيب السُّكَّر الرايبوزي في كلٍّ منهما |  السُّكَّر الرايبوزي منقوص الأكسجين |  السُّكَّر الرايبوزي |
| القواعد النيتروجينية المُكوِّنة لكلٍّ منهما |  |  |

## أنواع الحمض النووي الرايبوزي Types of Ribonucleic Acid

للحمض النووي الرايبوزي أنواع عِدَّة، يؤدي كلٌّ منها دورًا مختلفًا في عملية تصنيع البروتين التي تحدث في السيتوسول، وتحديدًا في الرايبوسومات، أنظر المُخطَّط الآتي:

✓ **أتحقَّق:** ما أنواع RNA؟



ACCATCGGCATGACGAC

نسخ

UGGUA؟؟؟؟ ؟؟؟؟G؟؟ G

تسلسل النيوكليوتيدات في سلسلة DNA المُراد نسخها.

تسلسل النيوكليوتيدات في سلسلة mRNA الناتجة من عملية النسخ.

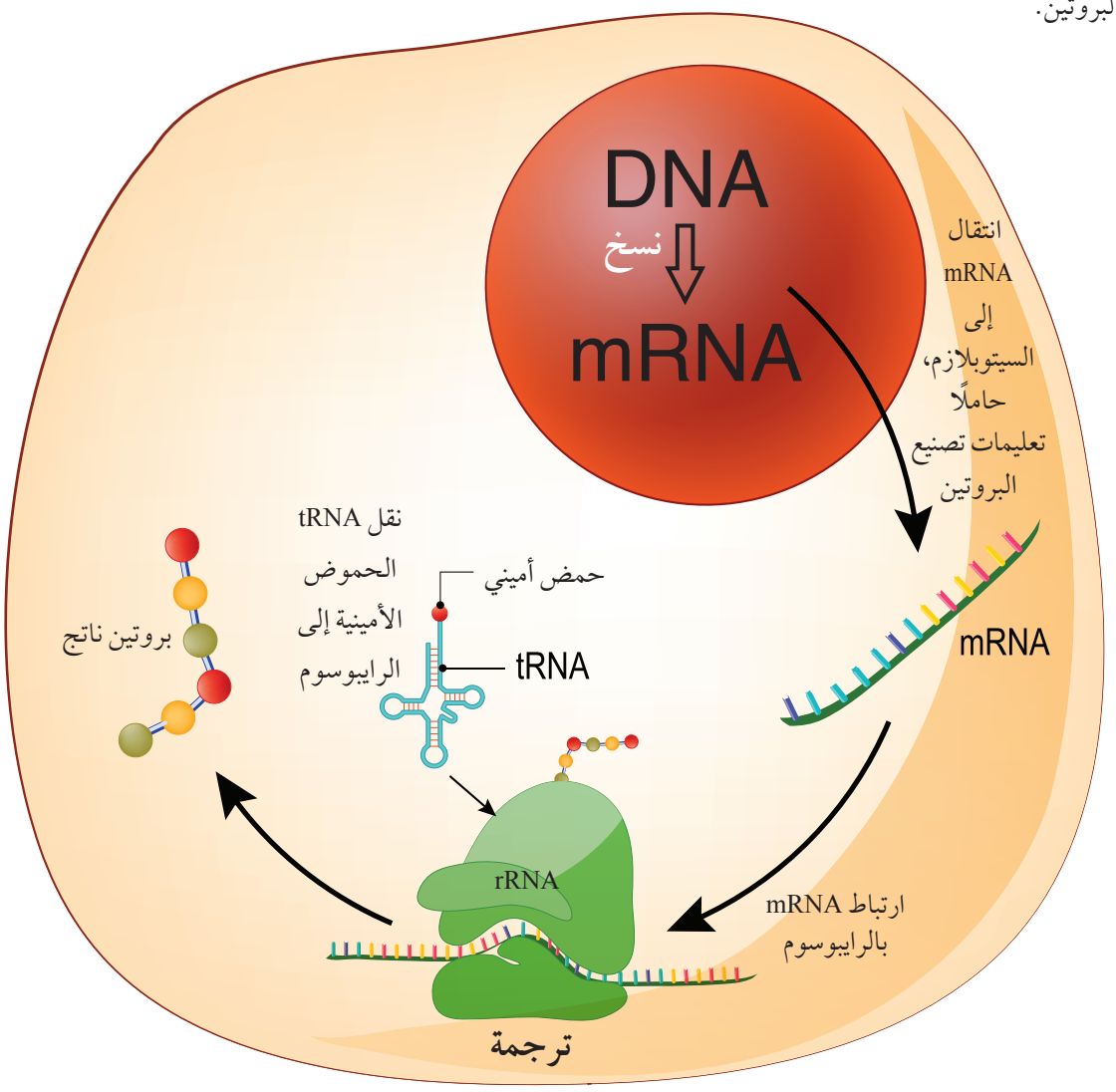
الشكل (25): عملية النسخ.

**أكتب** رمز النيوكليوتيد المناسب مكان كل علامة استفهام في سلسلة mRNA الناتجة من عملية النسخ.

يُبيِّن الشكل (26) مراحل تصنيع البروتينات بصورة مختصرة، وسأتعرَّف لاحقًا مراحل تكوينها مُفصَّلةً.

الشكل (26): مراحل تصنيع البروتين.

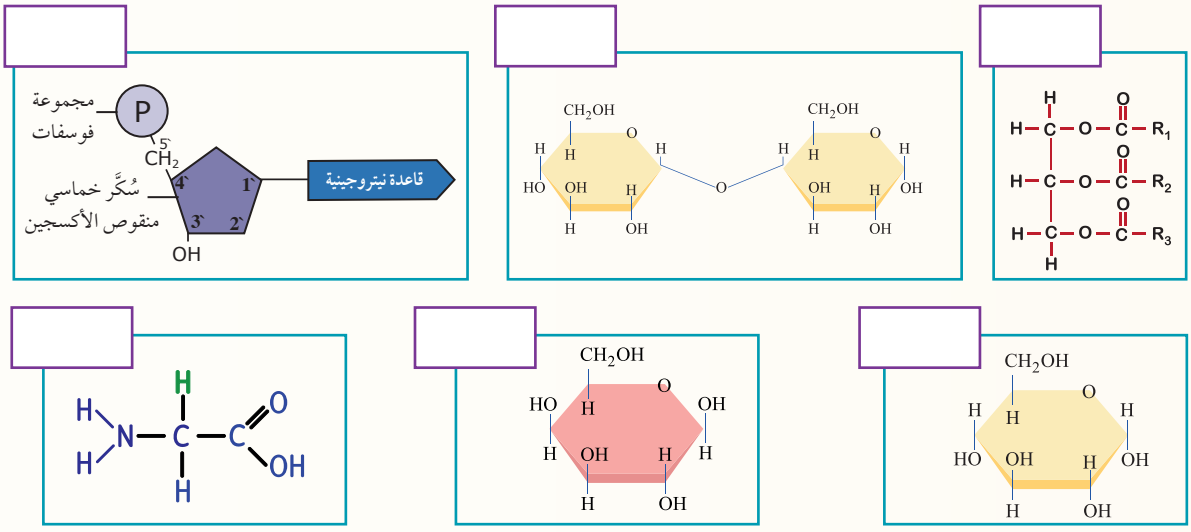
**أُحدِّد** الحموض النووية التي لها دور في تصنيع البروتين.



# مراجعة الدرس

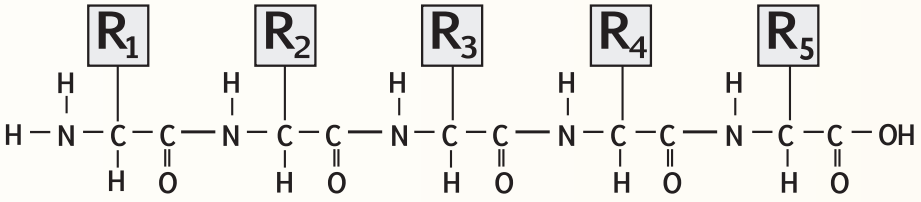
1. **الفكرة الرئيسة**: أذكر الأنواع الرئيسة للمُركَّبات العضوية الحيوية، وأحدّد دورًا واحدًا لكلٍّ منها في أجسام الكائنات الحيَّة.

2. أكتب في الصندوق المجاور لكل صيغة بنائية ممّا يلي اسم المُركَّب العضوي الذي تُمثِّله، باستخدام المفاهيم الآتية: سُكَّر ثنائي، حمض أميني، دهن ثلاثي، غلاكتوز، نيوكليوتيد، غلوكوز.

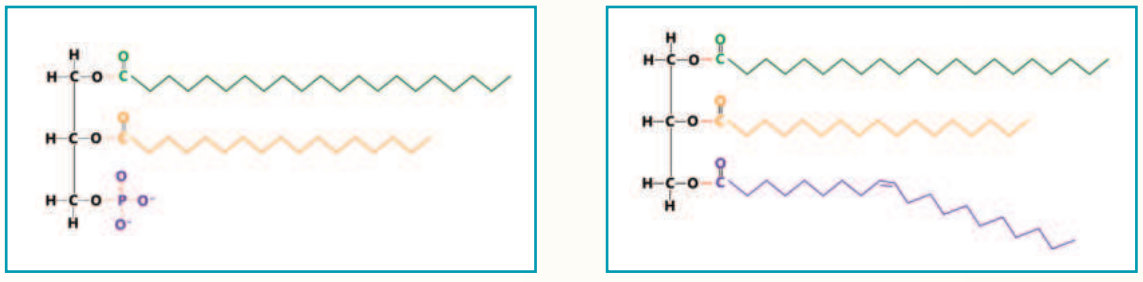



3. أذكر اثنين من أوجه الاختلاف بين الأميلوبكتين والغلايكوجين.

4. أُحدِّد عدد الحموض الأمينية وعدد الروابط الببتيدية التي توجد في سلسلة عديد الببتيد المُبيَّنة في الشكل الآتي.




5. **أُصنِّف** المُركَّبين العضويين الآتيين إلى ليبيد مُفسفَر، ودهن ثلاثي، وأفسّر إجابتي.



(أ) (ب)

6. أُجيب عمّا يأتي:

أ . فيمَ يختلف التركيب الرباعي للبروتين عن التراكيب في المستويات الأُخرى من حيث عدد سلاسل عديد الببتيد المُكوِّنة لكلٍّ منها؟

ب. أيُّ مُكوِّنات الستيرويد يُسبِّب اختلاف ستيرويد عن آخر؟

7. **أُفسِّر** أهمية وجود الليبيدات في كبد سمكة قرش تعيش في أعماق البحار.

8. هل يُمكِن لشخص فصيلة دمه $A^-$ أنْ يتبرَّع بخلايا دم حمراء لمريض فصيلة دمه $B^-$؟ أُبرِّر إجابتي.

9. أُحدِّد اسم الرابطة التساهمية التي تربط بين كلٍّ ممّا يأتي:

أ . الحموض الأمينية.

ب. الحموض الدهنية والغليسرول.

10. ما نوع الروابط بين سلسلتي DNA؟

11. أقارن بين نهايتي سلسلة DNA .

12. يُمثِّل الجدول الآتي بعض النتائج التي تُبيِّن نسب كلٍّ من القواعد النيتروجينية: (A)، و (T)، و (C)، و (G) التي جمعها العالِم إيروين تشارغاف Erwin Chargaff عام 1949م في أثناء دراسته المادة الوراثية:

| مصدر DNA | أدنين %(A) | ثايمين %(T) | غوانين %(G) | سايتوسين %(C) |
|---|---|---|---|---|
| بكتيريا كروية | 29.8 | 31.6 | 20.5 | 18.1 |
| الخميرة | 31.3 | 32.9 | 18.7 | 17.1 |
| الإنسان | 30.9 | 29.4 | 19.9 | 19.8 |
| بكتيريا *E. coli* | 24.7 | 23.6 | 26.0 | 25.7 |

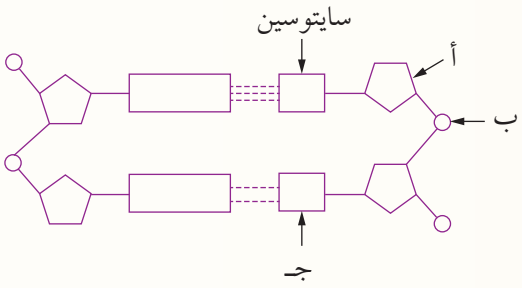
أ . **أُحلِّل البيانات**: أيُّ الكائنات الحية يُعَدُّ مصدرًا غنيًّا بالأدينين؟

ب. **أحسُب**: إذا كانت نسبة الثايمين في أحد الأنواع 32.9%، فما نسبة السايتوسين؟

جـ. **أستنتج**: أذكر استنتاجين من الجدول.

13. **لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أُحدِّدها:**

1. اعتمادًا على الشكل المجاور الذي يمثّل قطعة من جزيء DNA، فإن ما ترمز إليه الحروف (أ، ب، جـ) على الترتيب، هو:




أ . سكر الرايبوز منقوص الأكسجين، مجموعة فوسفات، ثايمين.

ب. سكر الرايبوز منقوص الأكسجين، مجموعة فوسفات، غوانين.

جـ. مجموعة فوسفات، سكر الرايبوز منقوص الأكسجين، غوانين.

د . مجموعة فوسفات، سكر الرايبوز منقوص الأكسجين، ثايمين.

2. الوحدات الأساسية المُكوِّنة للبروتينات والروابط التساهمية التي تربط بينها على التوالي هي:

أ . الحموض الدهنية، روابط ببتيدية.
ب. الحموض الأمينية، روابط استرية.
جـ. السكريات الأحادية، روابط غلايكوسيدية.
د . الحموض الأمينية، روابط ببتيدية.

3. جميع العبارات الآتية المتعلقة بالدهون الثلاثية المشبعة صحيحة **ما عدا**:

أ . من الأمثلة عليها: الزبدة، والسمن الحيواني.
ب. تحتوي روابط ثنائية متعددة في السلاسل الهيدروكربونية المُكوِّنة لحموضها الدهنية.
جـ. صلبة في درجة حرارة الغرفة.
د . جميع الروابط بين ذرات الكربون في السلاسل الهيدروكربونية المُكوِّنة لحموضها الدهنية أحادية.

4. أيّ المواد الآتية ينتج عن تفاعلها مع ثاني أكسيد الكربون تعكُّر ماء الجير؟

أ . المادة العضوية.
ب. محلول هيدروكسيد الكالسيوم.
جـ. أكسيد النحاس.
د . الماء.

5. عدد جزيئات الماء المنزوعة عند بناء سلسلة عديد ببتيد تحتوي على 72 حمضًا أمينيًّا، هو:

أ . 72
ب. 69
جـ. 71
د. 73

# الإنزيمات وجزيء حفظ الطاقة ATP

Enzymes and Energy Storing Molecule ATP

الدرس 2

**الفكرة الرئيسة:**

للإنزيمات دور مهم في تحفيز التفاعلات الكيميائية وتسريعها، ولجزيء حفظ الطاقة ATP أيضًا دور في بعض التفاعلات التي تُحفِّزها الإنزيمات.

**نتاجات التعلُّم:**

- أُوضِّح دور الإنزيمات في التفاعلات الكيميائية في الخلية.
- أستقصي بعض العوامل المُؤثِّرة في نشاط الإنزيم.
- أُوضِّح دور جزيئات حفظ الطاقة ATP في الخلية.

**المفاهيم والمصطلحات:**

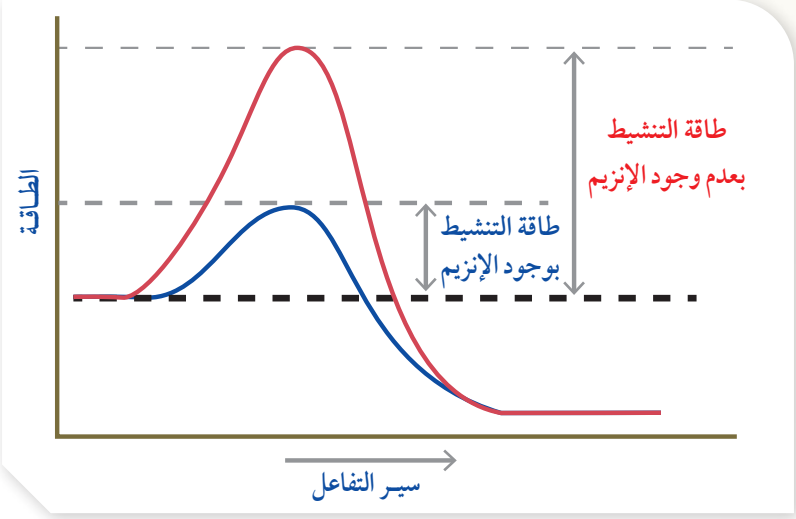
| | |
|---|---|
| طاقة التنشيط | Activation Energy |
| الموقع النشط | Active Site |
| مُعقَّد الإنزيم- المادة المُتفاعِلة | Enzyme- Substrate Complex |
| مُرافِق الإنزيم | Coenzyme |

## الإنزيمات Enzymes

لاحظ العالِم إدوارد بوخنر Buchner عند إضافته مُستخلَصًا من خلايا الخميرة إلى سُكَّر السُّكروز تحطُّم هذا السُّكَّر، وإنتاج كحول وغاز ثاني أكسيد الكربون. وقد أُطلِق على المواد المُستخلَصة من الخلايا اسم الإنزيمات Enzymes، وهي تعني "داخل الخميرة". وقد نال هذا العالِم جائزة نوبل في الكيمياء عام 1907م بعد هذا الاكتشاف.

وجد العلماء أنَّ معظم التفاعلات الكيميائية التي تحدث داخل أجسام الكائنات الحيَّة تحتاج إلى **طاقة تنشيط Activation Energy** عالية؛ وهي الطاقة اللازمة لبَدْء التفاعل الكيميائي، وقد تَبيَّن لهم أنَّ الإنزيمات تُسرِّع بعض التفاعلات الكيميائية عن طريق تقليل طاقة التنشيط، أنظر الشكل (27).

✓ **أتحقَّق:** ما المقصود بطاقة التنشيط؟




الشكل (27): تقليل طاقة التنشيط بوجود الإنزيم.

**الربط بعلم التصنيع**

**مساحيق الغسيل الحيوية Biological Washing Powders**

استطاع الإنسان صناعة مساحيق غسيل حيوية تحتوي على إنزيمات تُحلِّل المواد الموجودة في بقع الملابس مثلما تهضم الإنزيمات الهاضمة البروتينات، وذلك اعتمادًا على خصائص الإنزيمات؛ إذ تُحلِّل الإنزيمات الموجودة في مسحوق الغسيل البقع؛ ما يؤدّي إلى تنظيف الملابس. تعمل هذه المساحيق في درجات حرارة منخفضة؛ ما يُعَدُّ وسيلة من وسائل توفير الطاقة.

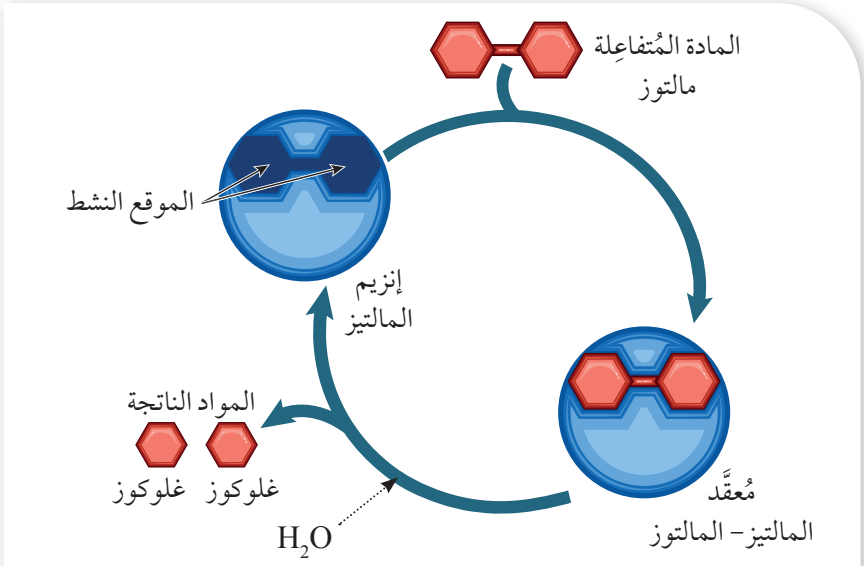
## آليَّة عمل الإنزيم Mechanism of Enzyme Action

درسْتُ سابقًا أنَّ معظم الإنزيمات بروتينات كروية الشكل، وأنَّ الإنزيمات عامَّة تُحفِّز التفاعلات الكيميائية من دون أنْ تُستهلَك فيها.

يوجد للإنزيم **موقع نشط Active Site** في صورة تجويف يتكوَّن من حموض أمينية مُعيَّنة، ويعمل قالَبًا ترتبط به المادة المُتفاعِلة Substrate التي يُؤثِّر فيها الإنزيم، أنظر الشكل (28)، علمًا بأنَّه قد يوجد للإنزيم أكثر من موقع نشط.

ترتبط المادة المُتفاعِلة بالموقع النشط للإنزيم؛ فيتشكَّل **مُعقَّد الإنزيم- المادة المُتفاعِلة Enzyme - Substrate Complex.**

من الأمثلة على عمل الإنزيمات: إنزيم تصنيع الغلايكوجين Glycogen Synthase الذي يعمل على ربط الوحدات البنائية (الغلوكوز) لتكوين الغلايكوجين، وإنزيم المالتيز Maltase الذي يعمل على تسريع تفكُّك المالتوز إلى جزيئي غلوكوز، أنظر الشكل (29).




الشكل (29): آليَّة عمل إنزيم المالتيز.

تُمثَّل آليَّة عمل الإنزيم بالمعادلة الآتية:

المادة المُتفاعِلة + إنزيم ⇌ (مُعقَّد الإنزيم – المادة المُتفاعِلة) ⟵ إنزيم + المادة الناتجة

مالتوز + إنزيم المالتيز ⇌ (مُعقَّد المالتيز – المالتوز) $\xleftarrow{H_2O}$ إنزيم المالتيز + (2) غلوكوز

✓ **أتحقَّق:** ما أهمية الموقع النشط؟

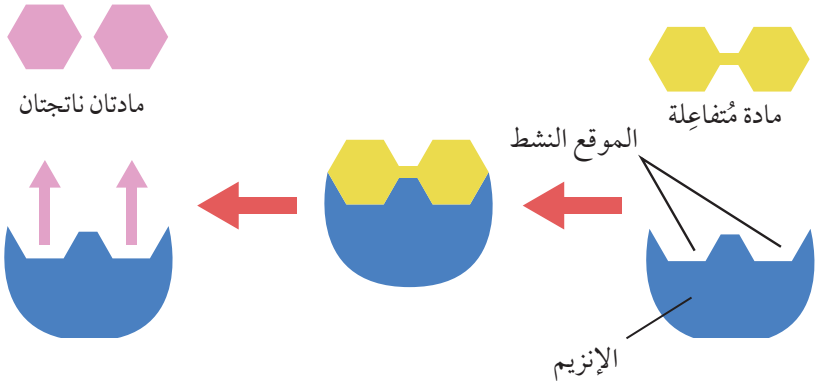



الشكل (28): الموقع النشط للإنزيم.

### الربط بتكنولوجيا النانو

**استخدام الإنزيمات المُستخلَصة من الفواكه الاستوائية في صناعة الخلايا الشمسية**

تتطلَّب صناعة بعض الشرائح الرقيقة المُستخدَمة في الخلايا الشمسية توافر درجات حرارة مرتفعة، ومبالغ مالية كثيرة. ولتقليل درجات الحرارة اللازمة لذلك، طوَّر باحثون تقنية عضوية تتضمَّن صناعة شرائح نانوية رقيقة من مادة أكسيد التيتانيوم، مستفيدين في ذلك من خصائص الإنزيمات؛ إذ تمكَّنوا من استخلاص إنزيم البابايين من ثمار فاكهة البابايا الاستوائية، ثم استعملوه مع أكسيد التيتانيوم لإنتاج هذه الشرائح ذات المسامية الكبيرة؛ بُغْيَةَ استخدامها في صناعة الخلايا الشمسية.




الشكل (30): ارتباط المادة المُتفاعِلة بالموقع النشط للإنزيم بحسب فرضية القُفْل والمفتاح.

## الفرضيات التي تُفسِّر ارتباط الإنزيم بالمادة التي يُؤثِّر فيها

### Enzyme- Substrate Binding Hypothesis

وضع العلماء فرضيتين لتفسير عملية ارتباط المادة المُتفاعِلة بالموقع النشط للإنزيم، هما: فرضية القُفْل والمفتاح Lock and Key Hypothesis، وفرضية التلاؤم المُستحَث Induced Fit Hypothesis.

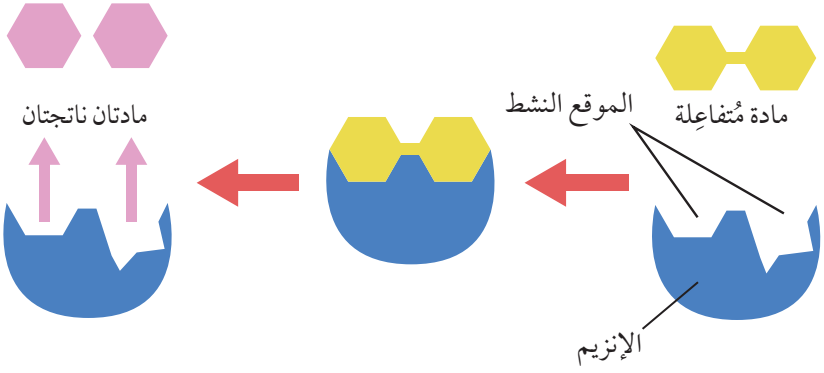
**فرضية القُفْل والمفتاح Lock and Key Hypothesis**

تقوم هذه الفرضية على أنَّ شكل المادة المُتفاعِلة يتوافق مع شكل الموقع النشط للإنزيم ؛ لذا ترتبط المادة المُتفاعِلة بالموقع النشط ارتباطًا كاملًا كما تتداخل مُسنَّنات المفتاح بالتجاويف المُتوافِقة مع شكلها في القُفْل، أنظر الشكل (30).

**فرضية التلاؤم المُستحَث Induced Fit Hypothesis**

تقوم هذه الفرضية على أنَّ شكل الموقع النشط للإنزيم يتغيَّر تغيُّرًا بسيطًا ومُؤقَّتًا عند ارتباط المادة المُتفاعِلة به؛ لكي يُصبِح مُناسِبًا لشكلها، أنظر الشكل (31).

✓ **أتحقَّق:** أيُّ الفرضيتين السابقتين تُفسِّر إمكانية ارتباط إنزيم له موقع نشط واحد بمادة مُتفاعِلة في تفاعل ما، وبمادة مُتفاعِلة أُخرى في تفاعل آخر؟




الشكل (31): ارتباط المادة المُتفاعِلة بالموقع النشط للإنزيم بحسب فرضية التلاؤم المُستحَث.

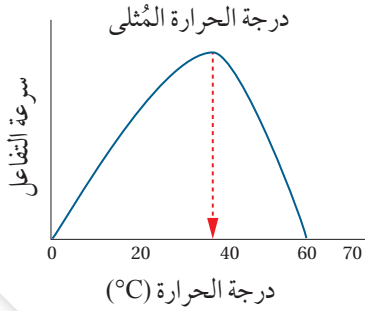
## العوامل المُؤثِّرة في نشاط الإنزيم Factors Affecting Enzyme Activity

تُؤثِّر بعض العوامل في نشاط الإنزيمات، مثل: درجة الحرارة، والرقم الهيدروجيني pH، وتركيز الإنزيم، وتركيز المادة المُتفاعِلة.

### درجة الحرارة Temperature

يتأثَّر نشاط الإنزيم بدرجة حرارة الوسط الذي يحدث فيه التفاعل؛ فلكل إنزيم درجة حرارة مُثلى تكون عندها سرعة التفاعل الذي يُحفِّزه الإنزيم أعلى ما يُمكِن. وعند ارتفاع درجة حرارة الوسط أكثر من درجة الحرارة المُثلى، فإنَّ شكل الموقع النشط يتغيَّر، ويصبح غير مُتوافِق مع المادة المُتفاعِلة التي يعمل عليها، فيقل نشاط الإنزيم تدريجيًّا باستمرار الارتفاع في درجة الحرارة حتى يفقد قدرته على العمل.

تعمل معظم الإنزيمات في جسم الإنسان بصورة مُثلى عند درجات الحرارة التي تتراوح بين (35°C) و(40°C)؛ أيْ درجات الحرارة القريبة من درجة حرارة جسم الإنسان (37°C)، أنظر الشكل (32).

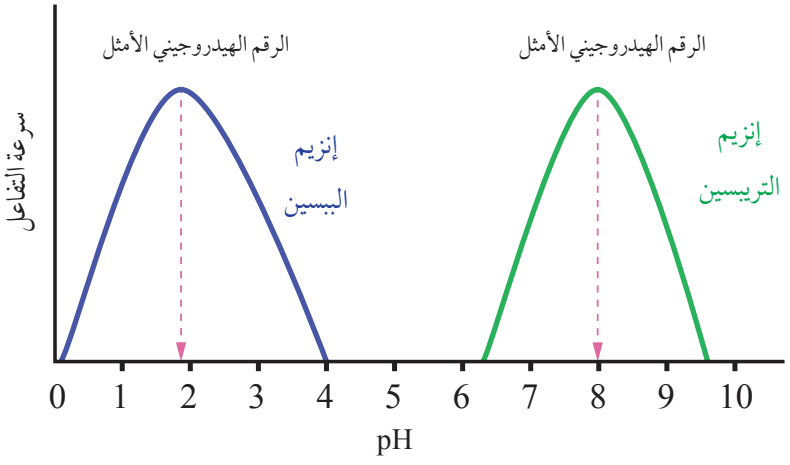



الشكل (32): أثر درجة الحرارة في سرعة تفاعل يُحفِّزه إنزيم.

**أتتبَّع** تأثُّر سرعة تفاعل يُحفِّزه إنزيم بزيادة درجة الحرارة.

### الرقم الهيدروجيني pH

يتأثَّر نشاط الإنزيم بالرقم الهيدروجيني pH للوسط الذي يحدث فيه التفاعل؛ فلكل إنزيم رقم هيدروجيني أمثل تكون عنده سرعة التفاعل الذي يُحفِّزه الإنزيم أعلى ما يُمكِن. فإذا تغيَّر الرقم الهيدروجيني pH للوسط، فإنَّ شكل الموقع النشط للإنزيم يتغيَّر. أمّا الرقم الهيدروجيني الأمثل لعمل معظم الإنزيمات في جسم الإنسان فهو (pH = 6.0 - 8.0). فمثلًا: يعمل إنزيم التريبسين في الأمعاء عند الرقم الهيدروجيني (pH = 8.0) تقريبًا. ويُعَدُّ إنزيم الببسين (إنزيم هضم في المعدة) من الاستثناءات؛ إذ يعمل بأقصى فاعلية عند الرقم الهيدروجيني (pH = 1.5 - 2.0) تقريبًا، أنظر الشكل (33).

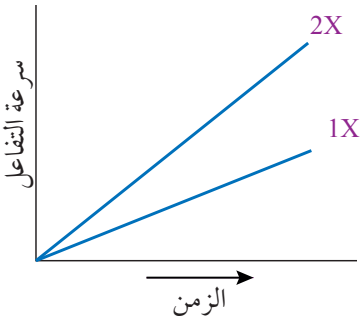



الشكل (33): أثر الرقم الهيدروجيني في سرعة تفاعلين يُحفِّز أحدهما إنزيم الببسين، ويُحفِّز الآخر إنزيم التريبسين.

## تركيز الإنزيم وتركيز المادة المُتفاعِلة
## Enzyme Concentration and Substrate Concentration

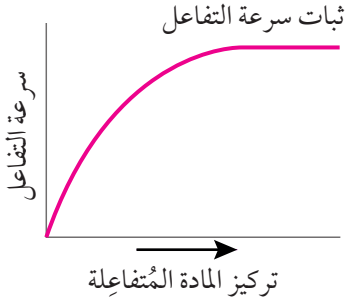
كلَّما زاد تركيز الإنزيم زادت سرعة التفاعل الكيميائي؛ إذ تتوافر أعداد أكبر من المواقع النشطة للارتباط بالمادة المُتفاعِلة. فعلى سبيل المثال، إذا قارنْتُ سرعة التفاعل نفسه في حالتين مختلفتين، بحيث أستخدم في الحالة الأولى تركيز X من الإنزيم، وأُضاعِف في الحالة الثانية تركيز الإنزيم ليصبح 2X، مع إبقاء جميع العوامل الأُخرى ثابتة؛ فإنَّني سأُلاحِظ زيادة سرعة التفاعل في الحالة الثانية؛ إذ ستكون مثلي سرعة التفاعل في الحالة الأولى. أنظر الشكل (34).

كلَّما زاد تركيز المادة المُتفاعِلة زادت سرعة التفاعل الكيميائي، وعندما تُشغَل جميع المواقع النشطة المتوافرة في جزيئات الإنزيم بجزيئات المادة المُتفاعِلة لا تحدث أيُّ زيادة في سرعة التفاعل (تثبت سرعة التفاعل) بصرف النظر عن مقدار الزيادة في تركيز المادة المُتفاعِلة، أنظر الشكل (35).




الشكل (34): سرعة التفاعل الكيميائي بوجود تراكيز مختلفة من الإنزيم.

**أتحقَّق:** أذكر سببًا لثبات سرعة تفاعل كيميائي يُحفِّزه إنزيم ما.




الشكل (35): العلاقة بين تركيز المادة المُتفاعِلة وسرعة التفاعل.

## العوامل المساعدة ومُرافِقات الإنزيمات Cofactors and Coenzymes

يتطلَّب عمل الإنزيمات في بعض التفاعلات توافر عوامل عديدة، تُسمّى العوامل المساعدة Cofactors. وفي حال كانت العوامل المساعدة للإنزيمات مواد عضوية، فإنَّها تُسمّى **مُرافِقات الإنزيمات Coenzymes**.

من الأمثلة على مُرافِقات الإنزيم: جزيئات Nicotinamide Adenine Dinucleotide ($NAD^+$)، وجزيئات Flavin Adenine Dinucleotide (FAD) التي تعمل بوصفها نواقل للإلكترونات في عديد من تفاعلات الأكسدة والاختزال في الخلية؛ إذ إنَّها تستقبل الإلكترونات ذات الطاقة الكبيرة مع البروتونات، فتُختزَل إلى NADH و $FADH_2$، ثم تتأكسد بفقدانها الإلكترونات إلى جزيئات أُخرى في سلسلة نقل الإلكترون في الغشاء الداخلي للميتوكندريا في أثناء عملية التنفُّس الخلوي، أنظر المعادلتين الآتيتين.

$$NAD^+ + 2H^+ + 2e^- \underset{\text{تأكسد}}{\overset{\text{اختزال}}{\rightleftharpoons}} NADH + H^+$$

$$FAD + 2H^+ + 2e^- \underset{\text{تأكسد}}{\overset{\text{اختزال}}{\rightleftharpoons}} FADH_2$$

من الأمثلة الأُخرى على مُرافِقات الإنزيم: جزيء $NADP^+$ Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate؛ وهو ناقل إلكترونات يُستخدَم في تفاعلات البناء، مثل عملية البناء الضوئي.

**أتحقَّق:** أكتب معادلة اختزال جزيء $NAD^+$ إلى NADH.

نشاط

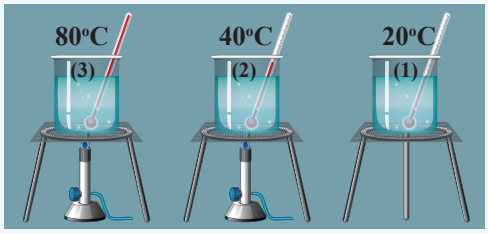
## أثر الحرارة في نشاط إنزيم التريبسين

يُحفِّز إنزيم التريبسين تحلُّل Hydrolysis بروتين الحليب كازيين Casein الذي يُعطي الحليب لونه الأبيض، فيتحوَّل إلى عديد ببتيد عديم اللون؛ ما يؤدّي إلى اختفاء اللون الأبيض للحليب.

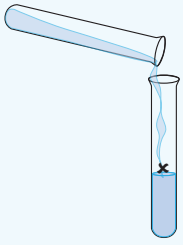
**المواد والأدوات:** mL (15) من إنزيم التريبسين، mL (15) من الحليب السائل، (3) أنابيب اختبار، مقياس درجة حرارة عدد (3)، حامل أنابيب اختبار، ماء من الصنبور، قلم تخطيط، (3) كؤوس سعة كلٍّ منها mL (250)، جليد، مخباران مُدرَّجان، مصدرا حرارة.

**إرشادات السلامة:** استعمال الماء الساخن ومصدر الحرارة بحذر.

**خطوات العمل:**




1. أُرقِّم أنابيب الاختبار بالأرقام (3-1)، ثم أضع علامة X عليها، ثم أضع كل أنبوب على حامل أنابيب الاختبار.
2. **أقيس:** أضع في كل أنبوب اختبار mL (5) من الحليب.
3. أضع في الكأس الأولى ماءً درجة حرارته 20°C، ثم أضع في الكأس الثانية ماءً درجة حرارته 40°C، ثم أضع في الكأس الثالثة ماءً درجة حرارته 80°C، وأحرص على أنْ تظلَّ درجة الحرارة في جميع الكؤوس ثابتة، وأستخدم التسخين، أو الجليد إذا لزم ذلك.



4. أضع أنبوب الاختبار الذي يحمل الرقم (1) في الكأس الأولى، ثم أضع أنبوب الاختبار الذي يحمل الرقم (2) في الكأس الثانية، ثم أضع أنبوب الاختبار الذي يحمل الرقم (3) في الكأس الثالثة، مع مراعاة ألّا تكون العلامة X ظاهرة لي؛ أيْ أنْ تكون على الجهة الأُخرى غير المُواجِهة لنظري.
5. **أُجرِّب:** أُضيف إلى كل أنبوب mL (5) من إنزيم التريبسين.
6. **أُلاحِظ** بقاء لون الحليب أو اختفاءَه، ثم أحسُبُ الوقت المُستغرَق لظهور علامة X على أنابيب الاختبار في حال اختفاء لون الحليب، وأدوّن ملاحظاتي.

**التحليل والاستنتاج:**

1. **أُصنِّف** الأنابيب إلى أنابيب ظهرت عليها علامة X، وأنابيب لم تظهر عليها هذه العلامة.
2. **أستنتج** درجة الحرارة المُثلى لعمل إنزيم التريبسين.
3. **أُفسِّر** سبب عدم ظهور علامة X على أحد أنابيب الاختبار.
4. **أتواصل:** أُناقِش زملائي/ زميلاتي في النتائج التي توصَّلْتُ إليها.

## جزيء حفظ الطاقة
## Energy Storing Molecule ATP

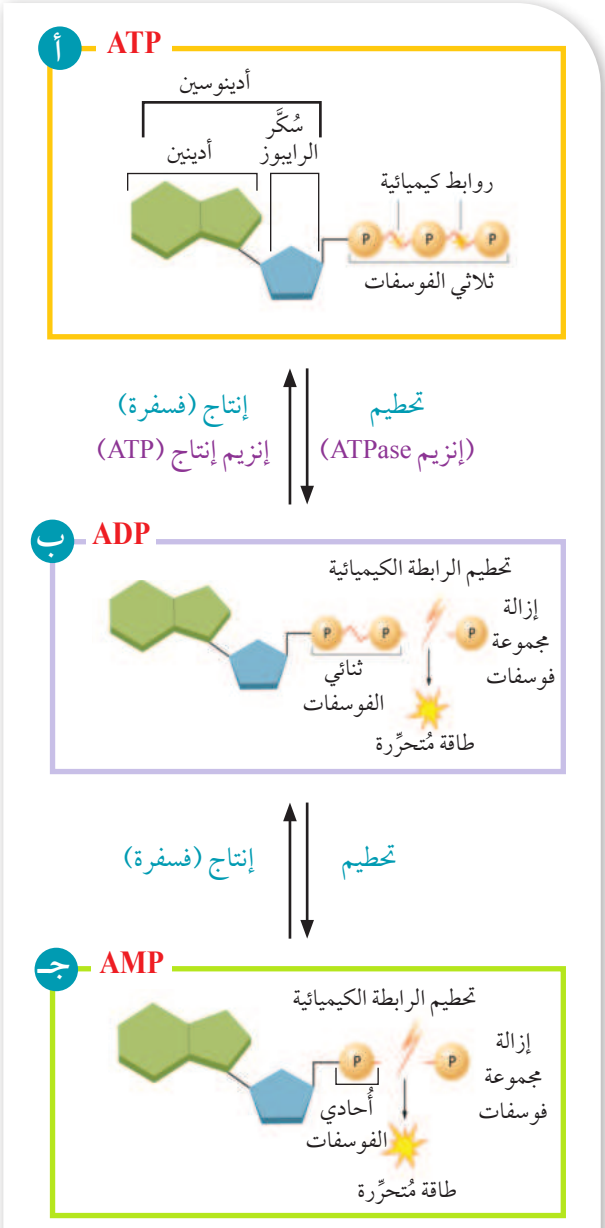
تحتوي الخلايا على جزيء عضوي يُسمّى أدينوسين ثلاثي الفوسفات Adenosine Triphosphate (ATP)، وهو يُخزِّن الطاقة اللازمة لمعظم العمليات التي تحدث داخل خلايا الكائنات الحيَّة.

يتكوَّن جزيء حفظ الطاقة ATP من القاعدة النيتروجينية أدينين Adenine، وسُكَّر الرايبوز، وثلاث مجموعات من الفوسفات التي تُخزِّن الروابط بينها طاقة كيميائية، أنظر الشكل (36/ أ).

يُنتَج جزيء حفظ الطاقة ATP بفعل إنزيم إنتاج ATP ATP Synthase، عن طريق إضافة مجموعة فوسفات إلى جزيء أدينوسين ثنائي الفوسفات ADP في عملية تُسمّى الفسفرة، وبذلك تُخزَّن الطاقة الكيميائية في الرابطة بين مجموعتي الفوسفات. يُحفِّز عملية الفسفرة إنزيم إنتاج ATP في عمليتي التنفُّس الخلوي والبناء الضوئي. وعند تحطيم رابطة بين مجموعتي الفوسفات الثالثة والثانية بفعل إنزيم ATPase تتحرَّر الطاقة المُختزَنة فيها، فينتج جزيء أدينوسين ثنائي الفوسفات ADP ومجموعة فوسفات حُرَّة، أنظر الشكل (36/ ب).

أمّا عند تحطيم الرابطة بين مجموعتي الفوسفات الثانية والأولى، فتتحرَّر الطاقة المُختزَنة فيها، وينتج جزيء أدينوسين أُحادي الفوسفات AMP ومجموعة فوسفات حُرَّة، أنظر الشكل (36/جـ).

**أتحقَّق:** كم مجموعة فوسفات تَلزم لتحويل جزيء ATP إلى جزيء AMP؟



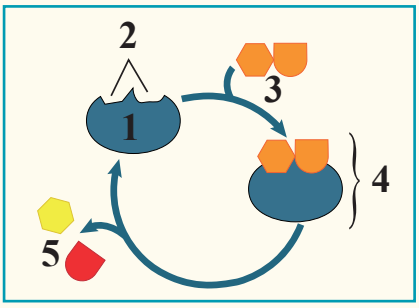

الشكل (36): جزيء حفظ الطاقة ATP.

**أُفكِّر:** مِمَّ يتكوَّن الأدينوسين؟

# مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أُوضِّح دور الإنزيمات في التفاعلات الكيميائية.

2. أدرس الشكل المجاور الذي يُوضِّح إحدى الفرضيات التي تُفسِّر عملية ارتباط المواد المُتفاعِلة بإنزيم مُعيَّن، ثم أُجيب عن الأسئلة الآتية:

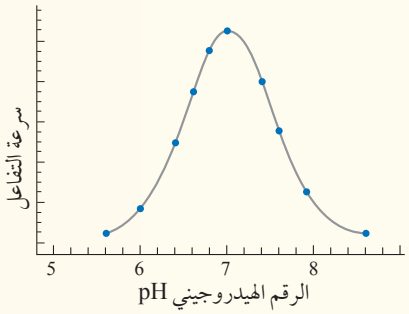



أ . أكتب اسم هذه الفرضية.

ب. أكتب اسم المفهوم الذي تشير إليه كلٌّ من الأرقام الآتية: (1)، (2)، (3)، (4)، (5).

جـ. أُوضِّح: ماذا سيحدث لنشاط إنزيم يعمل في درجة حرارة مُثلى 37 °C إذا استُخدِم في تفاعل درجة حرارته 60 °C؟ أُبرّر إجابتي.

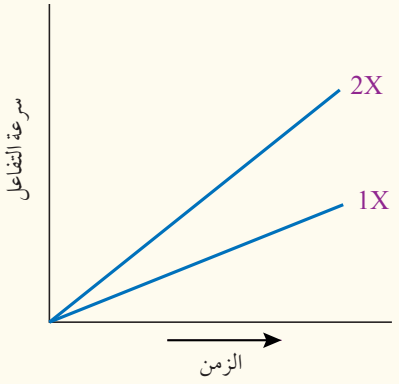
3. أدرس الرسم البياني المجاور الذي يُوضِّح أثر الرقم الهيدروجيني للوسط في سرعة تفاعل يُحفِّزه إنزيم مُعيَّن، ثم أُجيب عن السؤالين الآتيين:



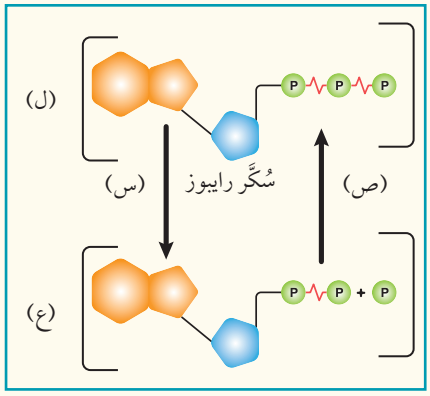

أ . أُحدِّد الرقم الهيدروجيني الأمثل لعمل هذا الإنزيم.

ب. **أستنتج:** كيف أعرف أنَّ هذا الإنزيم ليس إنزيم الببسين؟ أبرّر إجابتي.

4. أدرس الرسم البياني المجاور الذي يُوضِّح تأثير تركيز الإنزيم في سرعة تفاعل مُحفَّز بالإنزيم، ثم أَصِف العلاقة بين تركيز الإنزيم وسرعة التفاعل.




5. أدرس الشكل المجاور الذي يُمثِّل جزيء حفظ الطاقة في خلايا الكائن الحيِّ، ثم أُجيب عن السؤالين الآتيين:




أ . ما اسم كلٍّ من الجزيء المشار إليه بالرمز (ل)، والجزيء المشار إليه بالرمز (ع)؟

ب. أُوضِّح ما يحدث في كلٍّ من العمليتين المشار إليهما بالرمز (س)، والرمز (ص)، ثم أذكر أسماء الإنزيمات المشاركة في كلٍّ منهما.

6. **لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أُحدِّدها:**

1. تعمل الإنزيمات على تسريع التفاعلات من خلال:

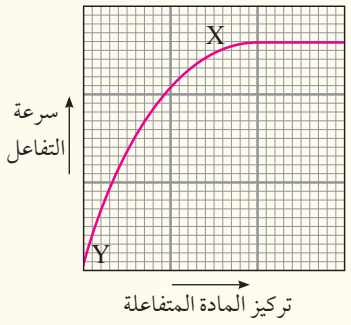
أ . توفير الطاقة الكيميائية اللازمة للتفاعل.

ب. تقليل طاقة التنشيط اللازمة لبدء التفاعل.

جـ. تغيير شكل الموقع النشط دائمًا عند تقليل طاقة التنشيط اللازمة لبدء التفاعل.

د . استبدال إحدى المواد المتفاعلة الضرورية للتفاعل.

2. يوضح الرسم البياني المجاور تأثير تركيز المادة المتفاعلة على معدل سرعة التفاعل المُحفَّز بالإنزيم، يمثّل الحرفان (X و Y) مراحل التفاعل، أي العبارات الآتية تعبّر عن المرحلة X من التفاعل؟




أ. في هذه المرحلة، يوجد فائض من جزيئات الإنزيم في المحلول.

ب. في هذه المرحلة، تكون المواقع النشطة للإنزيم مشبعة بالمادة المتفاعلة.

جـ. في هذه المرحلة، قد يؤدي إضافة مزيد من المادة المتفاعلة إلى زيادة سرعة التفاعل.

د. في هذه المرحلة، يوجد نقص في المادة المتفاعلة في المحلول.

3. إذا كانت درجة الحرارة المثلى لإنزيم ما في إحدى الكائنات الحية بدائية النوى هي (50 °C)، فإن إحدى العبارات الآتية تبيّن ماذا يحدث خلال تعرض هذا الإنزيم لدرجة حرارة متزايدة من (22 °C) إلى (37 °C):

أ . شكل الإنزيم يصبح غير متوافق مع المادة المتفاعلة.

ب . تزداد سرعة التفاعل.

جـ. يفقد الإنزيم قدرته على العمل.

د . تتناقص سرعة التفاعل.

4. يتكون جزيء حفظ الطاقة ATP من جميع ما يأتي **ما عدا**:

أ . القاعدة النيتروجينية غوانين.

ب. سكر رايبوز.

جـ. ثلاث مجموعات فوسفات.

د . القاعدة النيتروجينية أدينين.

5. الإنزيم الذي له دور في تحفيز عملية فسفرة ADP:

أ . إنتاج ATP.

ب. ATPase

جـ. المالتيز.

د- تربسين.

# التفاعلات الكيميائية في الخلية
Chemical Reactions in the Cell

الدرس 3

**الفكرة الرئيسة:**

تحدث داخل الخلايا المُكوِّنة لأجسام الكائنات الحيَّة تفاعلات كيميائية عِدَّة، منها ما يُخزِّن الطاقة في الروابط الكيميائية داخل المُركَّبات العضوية، ومنها ما يُحرِّر الطاقة المُخزَّنة اللازمة لأداء الأنشطة الحيوية.

**نتاجات التعلُّم:**

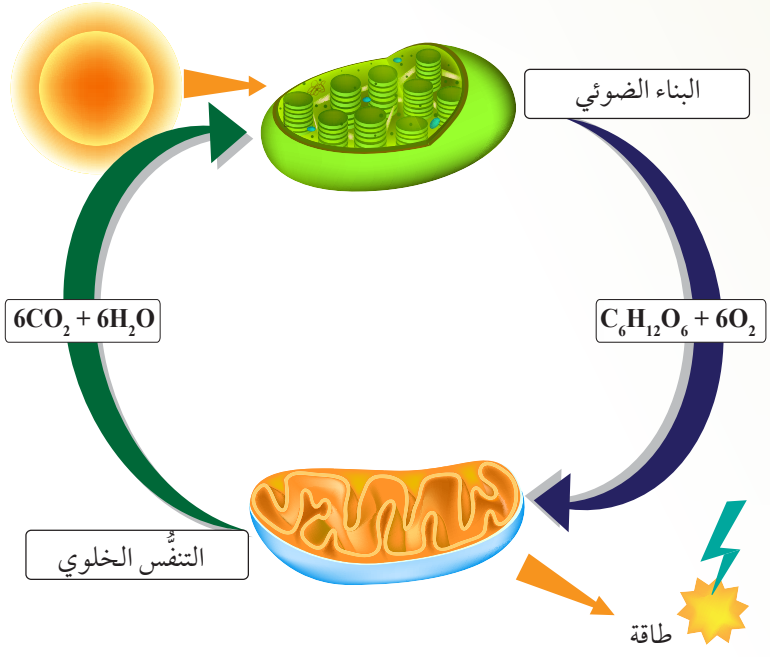
- أُفسِّر أهمية عمليات الأيض للكائنات الحيَّة.
- أُبيِّن أهمية بعض العمليات التي تحدث في الخلية، مثل: البناء الضوئي، والتنفُّس الخلوي.
- أستقصي آليَّة حدوث كلٍّ من: عملية البناء الضوئي، وعملية التنفُّس الخلوي.
- أُقارن بين عملية التنفُّس الهوائي وعملية التنفُّس اللاهوائي.

**المفاهيم والمصطلحات:**

| | |
|---|---|
| التحلُّل الغلايكولي | Glycolysis |
| حلقة كربس | Krebs Cycle |
| الأسموزية الكيميائية الفسفرة التأكسدية | Chemiosmosis Oxidative Phosphorylation |
| التخمُّر | Fermentation |
| النظام الضوئي | Photosystem |
| حلقة كالفن | Calvin Cycle |

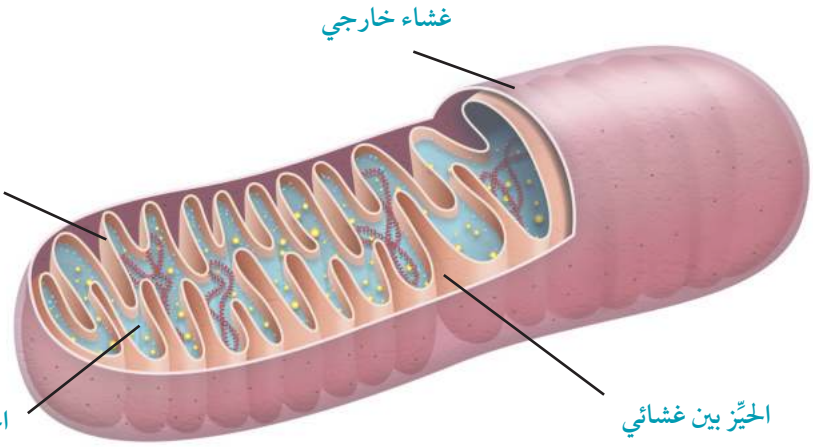
## عمليات الأيض Metabolism

تحدث داخل خلايا الكائن الحيِّ آلاف التفاعلات الكيميائية التي تُعرَف بعمليات الأيض Metabolism، وتتضمَّن عمليات البناء Anabolism؛ وهي مجموعة التفاعلات الكيميائية التي تُبْنى فيها جزيئات كبيرة ومُعقَّدة من جزيئات بسيطة، مثل عملية البناء الضوئي، وعمليات الهدم Catabolism؛ وهي مجموعة التفاعلات الكيميائية التي تُحطَّم فيها بعض الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات أبسط؛ لإنتاج الطاقة الكيميائية المُخزَّنة في روابطها، مثل عملية التنفُّس الخلوي، أنظر الشكل (37).




الشكل (37): التكامل بين عملية التنفُّس الخلوي وعملية البناء الضوئي.

✓ **أتحقَّق:** فيمَ يستفاد من عمليات البناء؟




الشكل (38): تركيب الميتوكندريا.

## التنفُّس الخلوي Cellular Respiration

تحدث في عملية التنفُّس الخلوي سلسلة من التفاعلات، تشمل تحطيم المُركَّبات العضوية (مثل الغلوكوز) داخل الخلايا لإنتاج الطاقة. وتحدث معظم تفاعلات التنفُّس الخلوي في الخلايا حقيقية النوى في الميتوكندريا، أنظر الشكل (38).

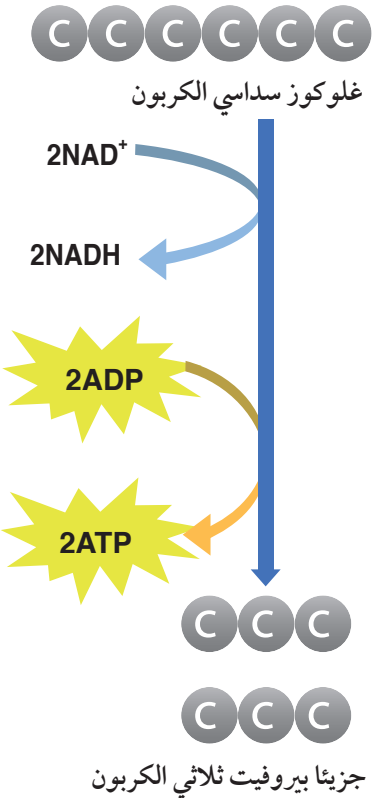
تُمثَّل تفاعلات التنفُّس الخلوي بالمعادلة الآتية:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \xrightarrow{\text{إنزيمات}} 6CO_2 + 6H_2O + \text{Energy}$$
(حرارة + ATP)

تحدث عملية التنفُّس الخلوي على مرحلتين، هما: مرحلة التحلُّل الغلايكولي (السُّكَّري) في السيتوسول، ومرحلة التنفُّس الهوائي في الميتوكندريا.

### التحلُّل الغلايكولي Glycolysis

**التحلُّل الغلايكولي Glycolysis:** هو سلسلة من التفاعلات الكيميائية، تحدث في السيتوسول، ولا تحتاج إلى أكسجين. وفيها يتحطَّم كل جزيء غلوكوز إلى جزيئين من البيروفيت ثلاثي الكربون، ويُختزَل جزيئا $NAD^+$ إلى جزيئي NADH، وينتج جزيئا ATP، أنظر الشكل (39).




الشكل (39): التحلُّل الغلايكولي.

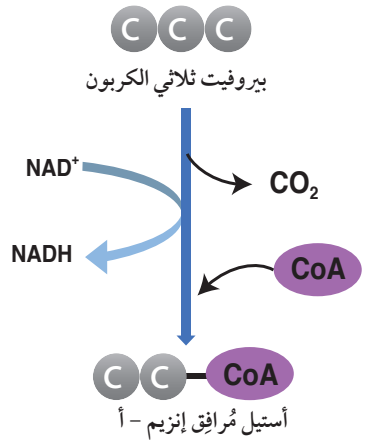
## التنفُّس الهوائي Aerobic Respiration

عند توافر الأكسجين، فإنَّ جزيئي البيروفيت ينتقلان إلى حشوة الميتوكندريا.

تشتمل عملية التنفُّس الهوائي على ثلاث خطوات، هي: أكسدة البيروفيت إلى أستيل مُرافِق إنزيم – أ، وحلقة كربس، والفسفرة التأكسدية.

### أكسدة البيروفيت إلى أستيل مُرافِق إنزيم – أ

يُنتزَع جزيء $CO_2$ من البيروفيت، فيتكوَّن مُركَّب ثنائي الكربون في الحشوة. بعد ذلك يتأكسد المُركَّب ثنائي الكربون الناتج مُختزِلًا $NAD^+$ إلى NADH، ثم يرتبط به مُرافِق إنزيم – أ (CoA)، فينتج أستيل مُرافِق إنزيم– أ (Acetyl CoA)، أنظر الشكل (40). يُذكَر أنَّ هذه الخطوة تربط بين التحلُّل الغلايكولي وحلقة كربس.




الشكل (40): أكسدة جزيء واحد من البيروفيت.
**أُحدِّد** نواتج أكسدة جزيء واحد من البيروفيت إلى أستيل مُرافِق إنزيم – أ.

**أفكِّر:** ما عدد جزيئات أستيل مُرافِق إنزيم – أ التي تنتج من جزيء غلوكوز؟

**أتحقَّق:** ما نواتج أكسدة جزيئي بيروفيت؟

### حلقة كربس Krebs Cycle

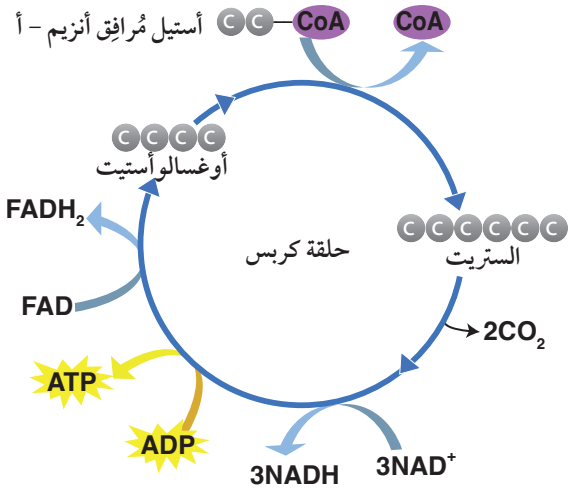
سُمِّيت حلقة كربس **Krebs Cycle** بهذا الاسم نسبةً إلى العالِم الذي أسهمت بحوثه في اكتشافها، وهي تُسمّى أيضًا حلقة حمض الستريك Citric Acid Cycle، وتحدث في الحشوة داخل الميتوكندريا.

تبدأ حلقة كربس بتفاعل أستيل مُرافِق إنزيم– أ ثنائي الكربون مع مُركَّب رباعي الكربون يُسمّى أوغسالوأستيت Oxaloacetate، فينتج الستريت Citrate (مُركَّب سداسي الكربون)، ثم يدخل الستريت في سلسلة من التفاعلات يفقد خلالها جزيئي $CO_2$، ليعاد إنتاج مُركَّب أوغسالوأستيت.

في أثناء هذه التفاعلات تُختزَل ثلاثة جزيئات من $NAD^+$ إلى NADH، ويُختزَل جزيء واحد من FAD إلى $FADH_2$، وينتج جزيء واحد من ATP بصورة مباشرة.

يُذكَر أنَّهُ يجب أنْ تتم دورتان من حلقة كربس لكلِّ جزيء غلوكوز، أنظر الشكل (41).

في ما يأتي تلخيص لنواتج تفاعلات التحلُّل الغلايكولي، وتفاعلات أكسدة البيروفيت إلى أستيل مُرافِق إنزيم – أ، والتفاعلات التي تحدث في حلقة كربس لجزيء غلوكوز واحد: (6) جزيئات من $CO_2$، و(4) جزيئات من ATP، و(10) جزيئات من NADH، وجزيئان من $FADH_2$.




**ملحوظة:** الستريت هو الشكل المُتأيِّن لحمض الستريك.

الشكل (41): حلقة كربس لدورة واحدة. **أُحدِّد** نواتج دورتي حلقة كربس.

## الفسفرة التأكسدية (سلسلة نقل الإلكترون والأسموزية الكيميائية)

**Oxidative Phosphorylation (Electron Transport Chain and Chemiosmosis)**

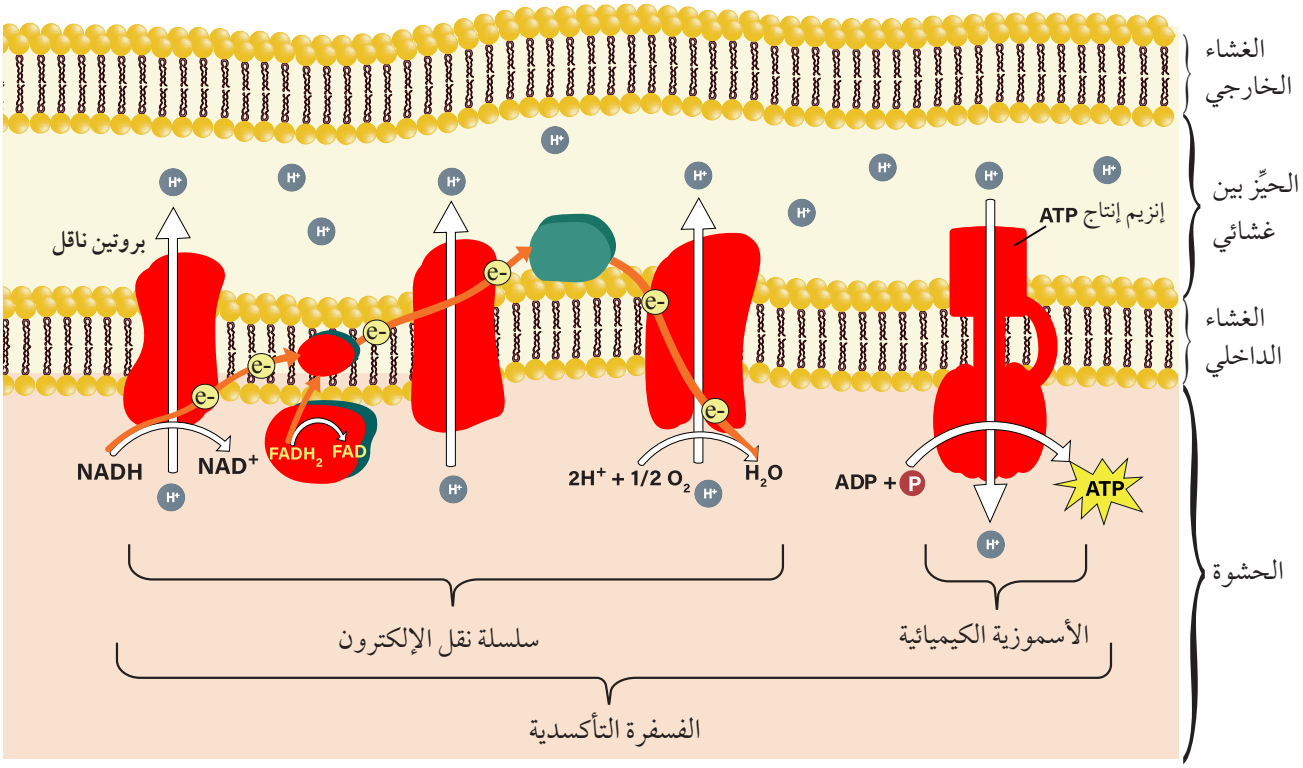
تتكوَّن سلسلة نقل الإلكترون من مجموعة من المكوِّنات، معظمها بروتينات ناقلة وإنزيمات. تستقبل هذه السلسلة الإلكترونات الناتجة من أكسدة NADH و $FADH_2$، ثم تنقلها من بروتين ناقل إلى آخر. وفي نهاية السلسلة، تصل هذه الإلكترونات إلى مُستقبِلها النهائي، وهو الأكسجين، ثم تتّحد معه ومع البروتونات؛ فيتكوَّن الماء.

يؤدي انتقال الإلكترونات من NADH و $FADH_2$ إلى الأكسجين خلال سلسلة نقل الإلكترون إلى ضَخِّ البروتونات ($H^+$) من الحشوة إلى الحيِّز بين غشائي، فينتج فرق في تركيز البروتونات بين الحيِّز بين غشائي والحشوة.

بعد ذلك تعود البروتونات ($H^+$) نتيجةً لفرق التركيز على جانبي غشاء الميتوكندريا الداخلي إلى داخل الحشوة عن طريق إنزيم إنتاج ATP Synthase ATP في عملية تُسمّى **الأسموزية الكيميائية Chemiosmosis**، وتحدث فيها فسفرة جزيئات ADP إلى ATP.

يُطلَق على عملية إنتاج ATP عن طريق سلسلة نقل الإلكترون والأسموزية الكيميائية اسم **الفسفرة التأكسدية Oxidative Phosphorylation**، أنظر الشكل (42).

أستخدم برمجية movie maker لتمثيل حركة البروتونات ($H^+$) من الحشوة إلى الحيِّز بين غشائي في أثناء عملية الفسفرة التأكسدية، وإحداث فرق في تركيز البروتونات بين الحيِّز بين غشائي والحشوة، ثم عودة البروتونات نتيجة فرق التركيز على جانبي غشاء الميتوكندريا الداخلي (إلى داخل الحشوة) عن طريق إنزيم إنتاج ATP synthase ATP في عملية الأسموزية الكيميائية، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.




الشكل (42): الفسفرة التأكسدية.

يُسهِم كل جزيء من NADH في إنتاج (2.5) جزيء منATP، في حين يُسهِم كل جزيء من $FADH_2$ في إنتاج (1.5) جزيء من ATP.

**ملحوظة:** يُعتمَد الآتي لتسهيل العمليات الحسابية:

عدد جزيئات ATP التي يُسهِم جزيء NADH في إنتاجها هو (3)، وعدد جزيئات ATP التي يُسهِم جزيء $FADH_2$ في إنتاجها هو (2).

## مثال 6

أحسُبُ عدد جزيئات ATP الناتجة من الفسفرة التأكسدية عند أكسدة جزيء واحد من الغلوكوز.

**المعطيات:**

عدد جزيئات الغلوكوز التي تأكسدت هو جزيء واحد.

**الحل:**

عدد جزيئات NADH الناتجة من التحلُّل الغلايكولي هو (2)، وعدد جزيئات NADH الناتجة من أكسدة حمض البيروفيت إلى أستيل مُرافِق إنزيم – أ هو (2)، وعدد جزيئات NADH الناتجة من دورتي حلقة كربس هو (6)، فيكون المجموع (10) جزيئات NADH، وعدد جزيئات $FADH_2$ الناتجة من تفاعلات دورتي حلقة كربس هو (2).

بما أنَّ كل جزيء NADH يُسهِم في إنتاج (3) جزيئات ATP، وكل جزيء $FADH_2$ يُسهِم في إنتاج جزيئي ATP، فإنَّ عدد جزيئات ATP الناتجة من عملية الفسفرة التأكسدية هو:

$(2 \times 2) + (10 \times 3) = (34)$ جزيئًا.

✓ **أتحقَّق:** أُحدِّد مكان حدوث العمليات الآتية في الخلية: التحلُّل الغلايكولي، أكسدة البيروفيت إلى مُرافِق إنزيم – أ، حلقة كربس، الفسفرة التأكسدية.

## التنفُّس اللاهوائي والتخمُّر Anaerobic Respiration and Fermentation

تعمل بعض الخلايا على أكسدة المواد العضوية وإنتاج الطاقة ATP، من دون استخدام الأكسجين، عن طريق التنفُّس اللاهوائي، والتخمُّر. تحدث عمليتا التنفُّس اللاهوائي والتخمُّر في السيتوسول.

### التنفُّس اللاهوائي Anaerobic Respiration

يلجأ إلى هذا النوع من التنفُّس بعضُ أنواع البكتيريا؛ إذ تَستخدم هذه الكائنات سلسلة نقل الإلكترون ، ولكنَّها لا تستخدم الأكسجين مُستقبِلًا نهائيًّا للإلكترونات. ومن الأمثلة عليها: بكتيريا اختزال الكبريتات التي تعيش في بيئة

تخلو من الأكسجين، وتَستخدم الكبريتات مُستقبِلًا نهائيًّا للإلكترونات، فينتج كبريتيد الهيدروجين $H_2S$ (مُركَّب غير عضوي).

### التخمُّر Fermentation

تحـدث عمليـة **التخمُّر** **Fermentation** في السيتوسول عنـد عدم توافر كمِّيات كافية من الأكسجين، وتبدأ بالتحلُّل الغلايكولي، ثم تنتقل الإلكترونات من NADH إلى البيروفيت (أو أحد مشتقاته) بوصفـه مُستقبِلًا نهائيًّا للإلكترونات؛ ليُعاد استخدام $NAD^+$ في التحلُّل الغلايكولي.

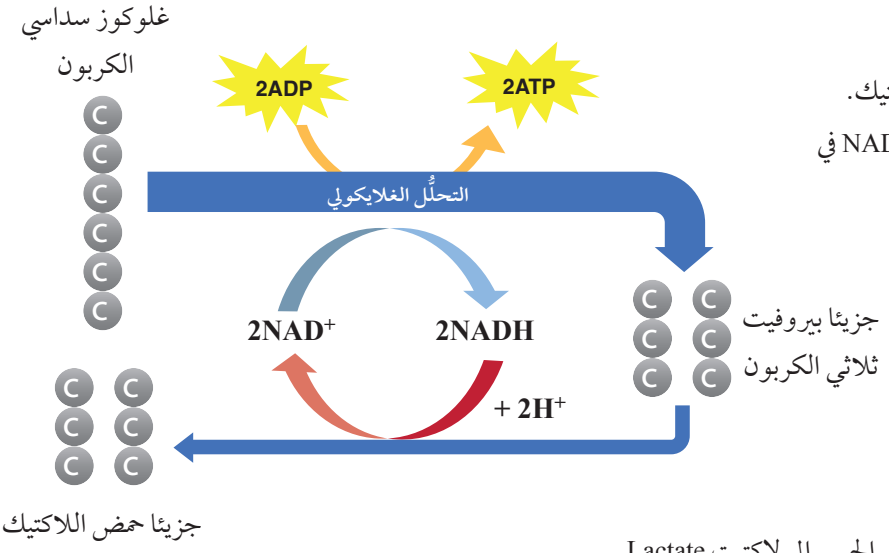
توجد أنواع عِدَّة من التخمُّر تُصنَّف بناءً على الناتج النهائي من العملية، مثل: تخمُّر حمض اللاكتيك، والتخمُّر الكحولي.

#### تخمُّر حمض اللاكتيك (التخمُّر اللبني) Lactic Acid Fermentation

تعمل أنواع من البكتيريا وبعض الفطريات على تحويل البيروفيت إلى حمض اللاكتيك، في ما يُعرَف باسم تخمُّر حمض اللاكتيك. وكذلك تلجأ العضلات الهيكلية إلى هذه العملية عند عدم توافر كمِّيات كافية من الأكسجين.

ينتج من تفاعلات تخمُّر جزيء واحد من الغلوكوز إلى حمض اللاكتيك جزيئان من ATP، وجزيئان من حمض اللاكتيك، أنظر الشكل (43).

**أتحقَّق:** أُقارِن بين التنفُّس اللاهوائي وعملية التخمُّر من حيث المُستقبِل النهائي للإلكترونات.




الشكل (43): تخمُّر حمض اللاكتيك.
**أُحدِّد** مصير جزيئات $NAD^+$ في نهاية عملية التخمُّر.

**ملحوظة:** يتأيّن حمض اللاكتيك في الجسم إلى لاكتيت Lactate.



استفاد الإنسان من البكتيريا والفطريات التي تُحوِّل البيروفيت إلى حمض اللاكتيك في صناعة الألبان والأجبان؛ إذ تُحلِّل هذه البكتيريا سُكَّر اللاكتوز في الحليب، ثم تُحوِّله إلى حمض اللاكتيك، فيتحوَّل الحليب إلى لبن، أنظر الشكل (44).

الشكل (44): صناعة اللبن.

### التخمُّر الكحولي Alcoholic Fermentation

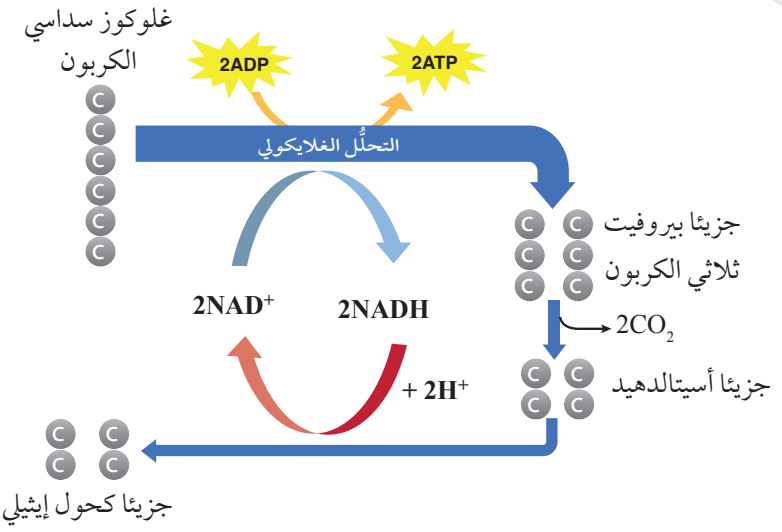
يعمل فطر الخميرة وبعض أنواع البكتيريا اللاهوائية على تحويل البيروفيت إلى كحول إيثيلي Ethanol.

يتحوَّل البيروفيت إلى مُركَّب ثنائي الكربون يُسمّى أسيتالدهيد، فيتحرَّر غاز ثاني أكسيد الكربون $CO_2$، ثم يُختزَل الأسيتالدهيد إلى كحول إيثيلي، أنظر الشكل (45).

**أتحقَّق:**

أ . أُحدِّد عدد جزيئات $CO_2$ الناتجة من عملية التخمُّر الكحولي لكل جزيء من الغلوكوز.

ب. أُحدِّد أوجه التشابه والاختلاف بين عمليتي التخمُّر في كلٍّ من الخميرة وإحدى الخلايا العضلية.




الشكل (45): التخمُّر الكحولي.

تُستخدَم الخميرة في إعداد المُعجّنات؛ إذ يعمل غاز ثاني أكسيد الكربون المُتحرِّر من عملية التخمُّر الكحولي على زيادة حجم العجين، أنظر الشكل (46).



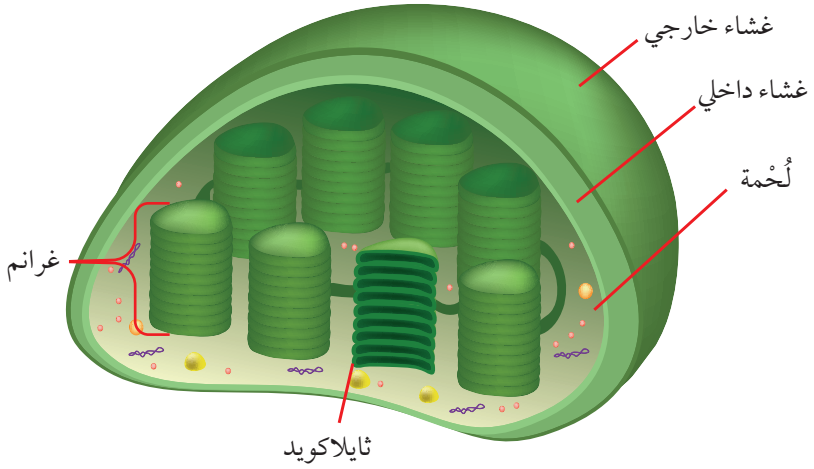
الشكل (46): زيادة حجم العجين.

## البناء الضوئي Photosynthesis

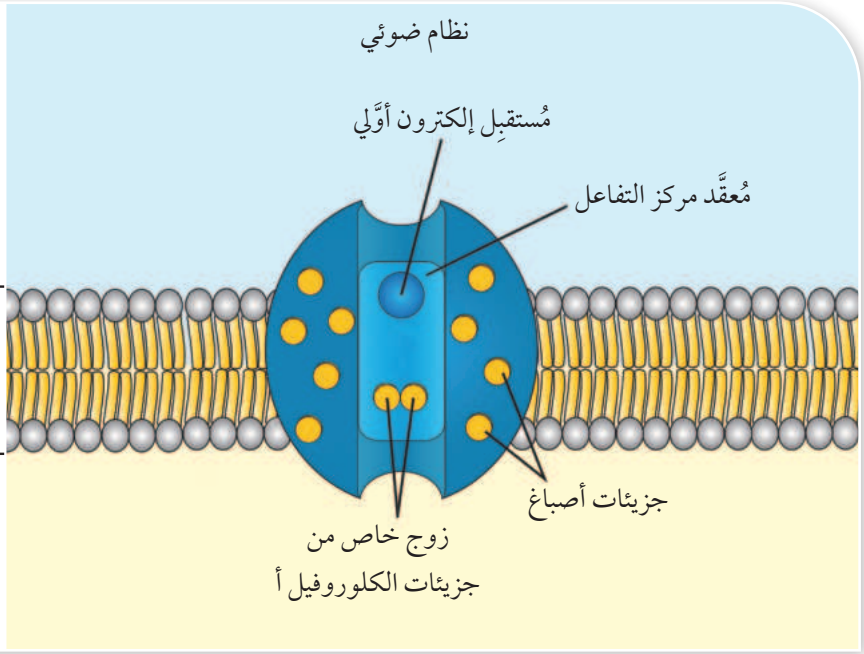
تحدث في عملية البناء الضوئي سلسلة من التفاعلات، تشمل امتصاص الطاقة الضوئية، ثم تحويلها إلى طاقة كيميائية تُختزَن في المُركَّبات العضوية. تُمثِّل المعادلة الكيميائية الآتية المعادلة النهائية لعملية البناء الضوئي:

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

تحدث عملية البناء الضوئي في البلاستيدات الخضراء؛ وهي عُضَيّات تحوي غشاءين (داخلي، وخارجي) يحيطان بالثايلاكويدات Thylakoids؛ وهي مجموعة من الأكياس الغشائية على هيئة أقراص يترتَّب بعضها فوق بعض، وتُسمّى الغرانا Grana (مفردها غرانم Granum)، وتمتلئ الفراغات المحيطة بها بسائل كثيف يُسمّى اللُّحْمة Stroma، أنظر الشكل (47).




الشكل (47): بلاستيدة خضراء. تحتوي أغشية الثايلاكويدات على الكلوروفيل، وأصباغ أُخرى، وبعض الإنزيمات، ونواقل للإلكترونات.




الشكل (48): نظام ضوئي.

## النظامان الضوئيان الأوَّل والثاني Photosystems: I and II

تحتوي أغشية الثايلاكويدات على نظامين ضوئيين، هما: النظام الضوئي الأوَّل PS I، والنظام الضوئي الثاني PS II.

يتكـوّن **النظام الضـوئي** **Photosystem** من مُعقَّد مركـز تفاعـل Reaction Center Complex يحتوي على زوج خـاص من الكلوروفيل أ، ومُستقبِل إلكترون أوَّلي Primary Electron Acceptor. ويحـاط مُعقَّد مركز التفاعـل بأصباغ أُخرى، مثل: الكلوروفيل ب، والكاروتين، أنظر الشكل (48).

يُعـرَف النظام الضوئي الأوَّل بِـ P700؛ لأنَّ الكلوروفيـل أ في مُعقَّد مركز التفاعل يمتص الضوء الذي طوله الموجي 700 نانومتر بأقصى فاعليـة. أمّا النظام الضـوئي الثاني فيُعـرَف بِـ P680؛ لأنَّ الكلوروفيل أ يمتص الضـوء الذي طولـه الموجي 680 نانومترًا بأقصى فاعلية.

## مراحل عملية البناء الضوئي

تمرُّ عملية البناء الضوئي بمرحلتين، هما: التفاعلات الضوئية Light Reactions التي تعتمد على الضوء، وتحدث في أغشية الثايلاكويدات. والتفاعلات التي لا تعتمد على الضوء، وتُسمّى أيضًا **حلقة كالفن** **Calvin Cycle**، وتحدث في اللُّحْمة.

**✓ أتحقَّق:**

- عـلامَ يحتـوي مُعقَّـد مـركز التفاعـل في النظـام الضـوئي؟
- مـا سـبب تسمـية كلٍّ مـن النظـام الضوئـي الأوَّل P700، والنظـام الضـوئي الثـاني P680 بهـذا الاسـم؟

**أُفكِّر:** لمـاذا يُطـلَق على مسـار التفاعـلات الضوئية الذي يشترك فيه النظام PSI والنظام PSII اسم التفاعلات اللاحلقية؟

## التفاعلات الضوئية Light Reactions

تُصنَّف التفاعلات الضوئية إلى مسارين، هما: مسار التفاعلات الضوئية اللاحلقية، ومسار التفاعلات الضوئية الحلقية.

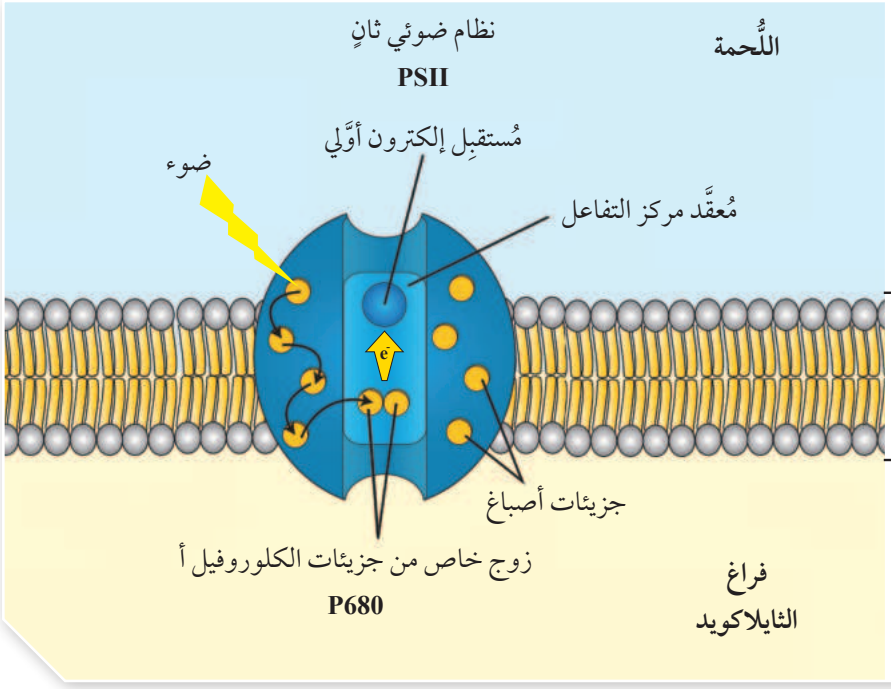
### مسار التفاعلات الضوئية اللاحلقية Non Cyclic Light Reactions Pathway

يُشارِك النظام PSI والنظام PSII في التفاعـلات الضوئيـة اللاحلقية؛ إذ تمتص جزيئات الصبغة الطاقـة الضوئية وتستخدمها في استثارة الإلكترونات في كلٍّ من النظامين.

تبدأ التفاعلات الضوئية اللاحلقية بامتصاص جزيء صبغة واحد في النظام الضوئي الثاني PSII الطاقة الضوئية، فيستثار إلكترون فيه، وينتقل إلى مستوى طاقة أعلى.

تُمرَّر هذه الطاقة من جزي صبغة إلى آخر حتى تصل إلى زوج الكلوروفيل أ في مُعقَّد مركز التفاعل الثاني P680، فيستثار إلكترون فيه. ونظرًا إلى امتلاك زوج الكلوروفيل أ مقدرة خاصة على نقل الإلكترونات إلى جزيء مختلف؛ فإنَّ هذا الإلكترون المستثار ينتقل إلى مُستقبِل الإلكترون الأوَّلي في النظام الضوئي، أنظر الشكل (49).

يعمل إنزيم على تحلُّل الماء في فراغ الثايلاكويد، وينتج من تحلُّل كل جزيء ماء إلكترونان، وبروتونان ($2H^+$)، وذَرَّة أكسجين، فتُعوِّض الإلكترونات الناتجة من تحلُّل الماء الإلكترونات التي فقدها زوج الكلوروفيل أ من مُعقَّد مركز التفاعل في PSII.




الشكل (49): امتصاص الضوء في النظام الضوئي الثاني.

أمّا ذَرَّة الأكسجين الناتجة من تحلُّل الماء، فإنَّها تتحد مع ذَرَّة أكسجين أُخرى ناتجة من تحلُّل جزيء آخر من الماء، فيتشكَّل جزي أكسجين، أنظر الشكل (50/ أ).

تنطلق الإلكترونات من مُستقبِل الإلكترون الأوَّلي في النظام الضوئي الثاني إلى النظام الضوئي الأوَّل خلال سلسلة نقل الإلكترون Electron Transport Chain التي تتكوَّن من نواقل للإلكترونات، أهمها السيتوكرومات. وفي أثناء انتقالها، تفقد هذه الإلكترونات جزءًا من طاقتها، ويُستخدَم هذا الجزء من الطاقة في نقل البروتونات ($H^+$) من اللُّحْمة إلى فراغ الثايلاكويد، فينتج فرق في تركيز البروتونات بين فراغ الثايلاكويد واللُّحْمة، أنظر الشكل (50/ أ، ب).

وبصورة مُشابِهة، يمتص جزيء صبغة واحد في النظام الضوئي الأوَّل PSI الطاقة الضوئية، فيُستثار إلكترون فيه، وينتقل إلى مستوى طاقة أعلى.

تُمرَّر هذه الطاقة من جزيء صبغة إلى آخر حتى تصل إلى زوج الكلوروفيل أ في مُعقَّد مركز التفاعل في النظام الضوئي الأوَّل، فيُستثار إلكترون فيه. ونظرًا إلى امتلاك زوج الكلوروفيل أ مقدرة خاصة على نقل الإلكترونات إلى جزيء مختلف؛ فإنَّ هذا الإلكترون المستثار ينتقل إلى مُستقبِل الإلكترون الأوَّلي في النظام الضوئي، ثم تنتقل هذه الإلكترونات من مُستقبِل الإلكترون الأوَّلي في هذا النظام (أي

**الربط بالفيزياء**

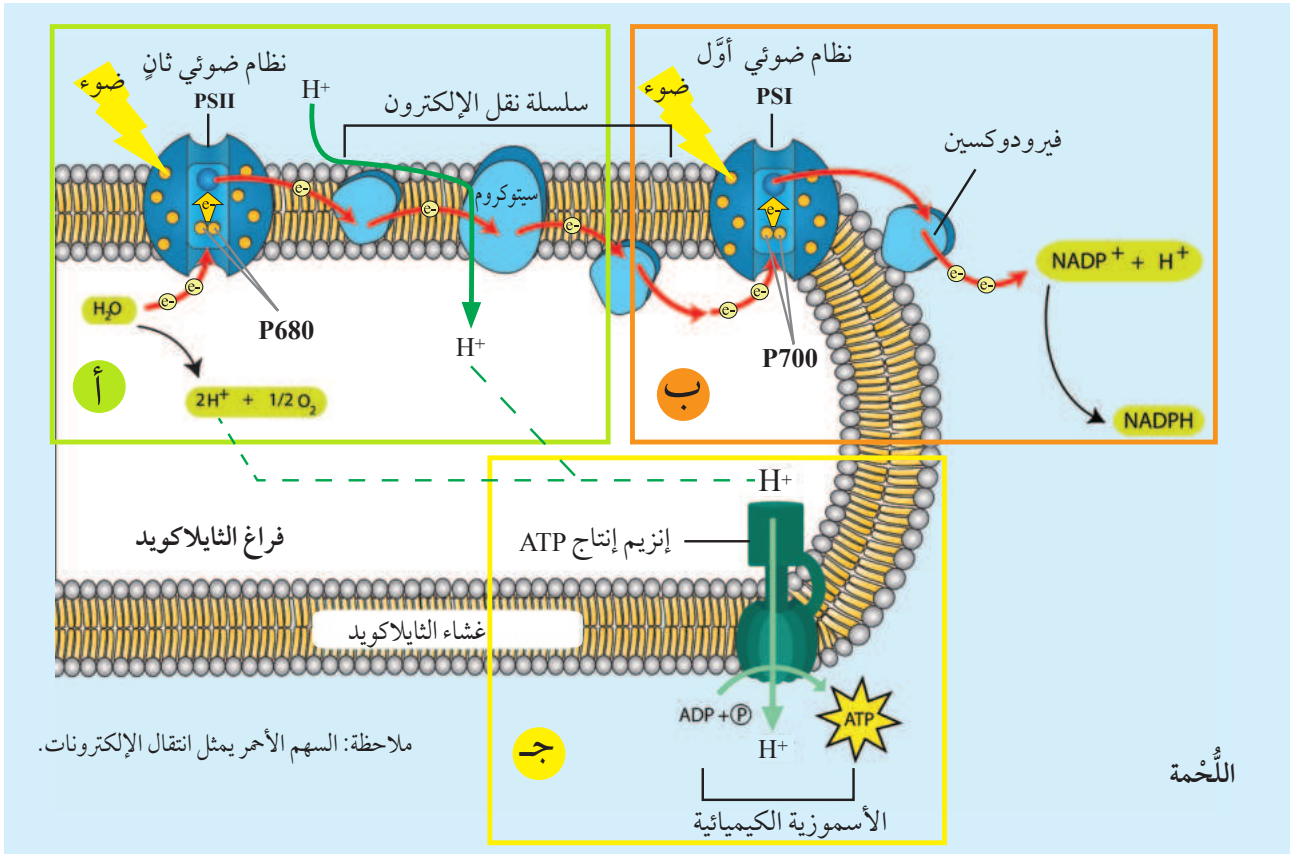
**قانون حفظ الطاقة**

وَفقًا لقانون حفظ الطاقة، فإنَّ الطاقة لا تفنى، ولا تُستحدَث من العدم، لكنَّها تتحوَّل من صورة إلى أُخرى بمشيئة الله.

أُلاحِظ تحوُّلات الطاقة من طاقة ضوئية إلى طاقة تمتلكها الإلكترونات المستثارة، ومنها إلى طاقة كيميائية تُختزَن في جزيئات ATP.

الشكل (50): التفاعلات الضوئية اللاحلقية.

ما المُستقبِل النهائي للإلكترونات في التفاعلات اللاحلقية؟




ملاحظة: السهم الأحمر يمثل انتقال الإلكترونات.

النظام الضوئي الأوَّل) عبر سلسلة نقل إلكترون أُخرى وبروتين فيرودوكسين، لتصل إلى مُستقبِلها النهائي، وهو $NADP^+$، فيُختزَل باستخدام هذه الإلكترونات والبروتونات الموجودة في اللُّحْمة إلى NADPH، أنظر الشكل (50/ ب).

يُذكَر أنَّ الإلكترونات المفقودة من زوج الكلوروفيل أ في النظام الضوئي الأوَّل إلى مُستقبِل الإلكترون الأوَّلي فيها تُعوَّض عن طريق الإلكترونات التي انتقلت إليها من النظام الضوئي الثاني.

تعود البروتونات ($H^+$) من فـراغ الثايلاكويد إلى اللُّحمة نتيجة لفرق التركيز بينهما عن طريق إنزيم إنتاج ATP في عملية الأسموزية الكيميائية، وتحدث فيها فسفرة جزيئات ADP إلى ATP، أنظر الشكل (50/ جـ).

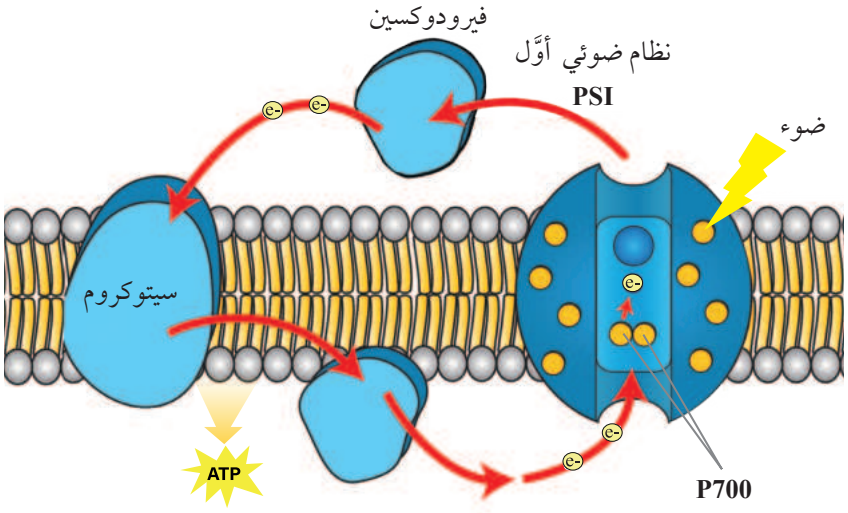
يُذكَر أنَّ نواتج التفاعلات الضوئية ATP وNADPH تُستخدَم في حلقة كالفن لاحقًا.

### مسار التفاعلات الضوئية الحلقية Cyclic Light Reactions Pathway

تحدث التفاعلات الضوئية الحلقية في النظام الضوئي الأوَّل فقط لإنتاج ATP. وفيها تسري الإلكترونات المستثارة بفعل الضوء من P700 إلى مُستقبِل الإلكترون الأوَّلي، ثم إلى بروتين الفيرودوكسين، ثم تعود مَرَّة أُخرى عبر السيتوكروم إلى P700 في النظام الضوئي الأوَّل الذي انطلقت منه؛ لذا أُطلِق على هذه التفاعلات اسم التفاعلات الحلقية، وهي تعمل فقط على إنتاج ATP الذي يُستخدَم في حلقة كالفن، أنظر الشكل (51).

**أتحقَّق:** مـا مصـدر الإلكترونـات التـي تُعـوِّض الإلكترونـات المفقـودة مـن النظـام الضوئـي الأوَّل والنظـام الضوئـي الثـاني؟

**أتحقَّق:** **أُقارِن** بين مصير الإلكترونات المُنطلِقة من مُعقَّد مركز التفاعل في كلٍّ من التفاعلات الضوئية اللاحلقية، والتفاعلات الضوئية الحلقية.




الشكل (51): التفاعلات الضوئية الحلقية.

## حلقة كالفن Calvin Cycle

تحدث تفاعلات حلقة كالفن في اللُّحْمة؛ إذ تحتوي اللُّحْمة على المواد والإنزيمات اللازمة لحدوثها.

تُمثِّل هذه المرحلة مرحلة التصنيع التي تُستخدَم فيها نواتج التفاعلات الضوئية ATP وNADPH لإنتاج مُركَّبات عضوية.

تمرُّ تفاعلات حلقة كالفن بثلاث مراحل، هي: مرحلة تثبيت الكربون، ومرحلة الاختزال، ومرحلة إعادة تكوين مُستقبِل ثاني أكسيد الكربون، أنظر الشكل (52) الذي يُبيِّن هذه المراحل، ويُلخِّص ثلاث دورات من حلقة كالفن.

### 1- مرحلة تثبيت الكربون Carbon Fixation Phase

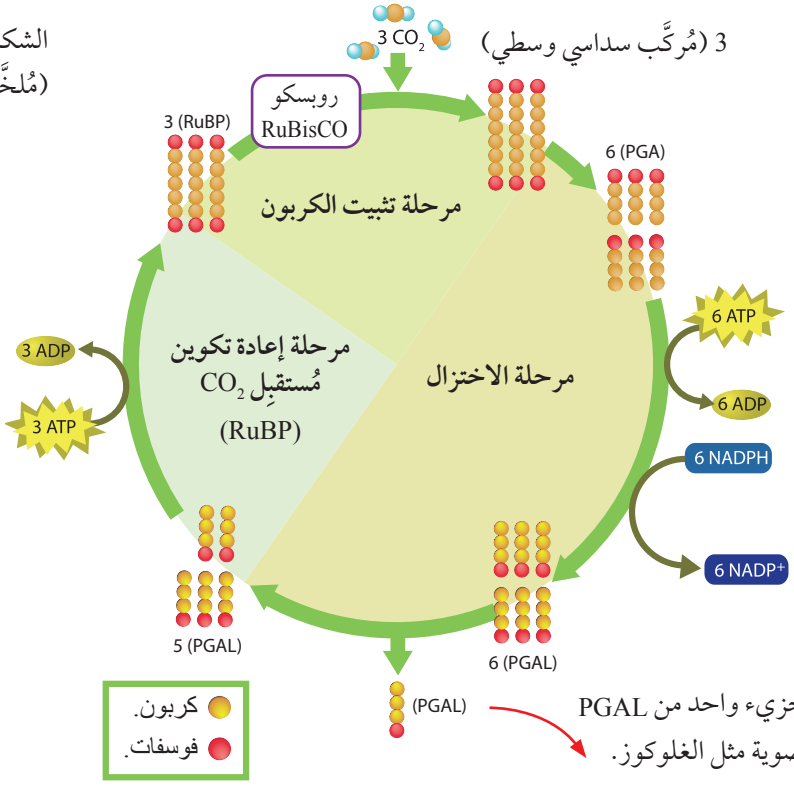
يربط إنزيم يُسمّى روبسكو RuBisCO (3) جزيئات من $CO_2$ بـ (3) جزيئات من مُستقبل $CO_2$ وهو السُّكَّر الخماسي ريبيولوز ثنائي الفوسفات RuBP، فتنتج (3) جزيئات من مُركَّب سداسي وسطي غير مستقر، لا يلبث أنْ ينشطر كلٌّ منها إلى جزيئين من مُركَّب ثلاثي الكربون يُسمّى حمض الغليسرين أُحادي الفوسفات PGA. يُطلَق على عملية ربط $CO_2$ بالسُّكَّر الخماسي اسم تثبيت الكربون.

### 2- مرحلة الاختزال Reduction Phase

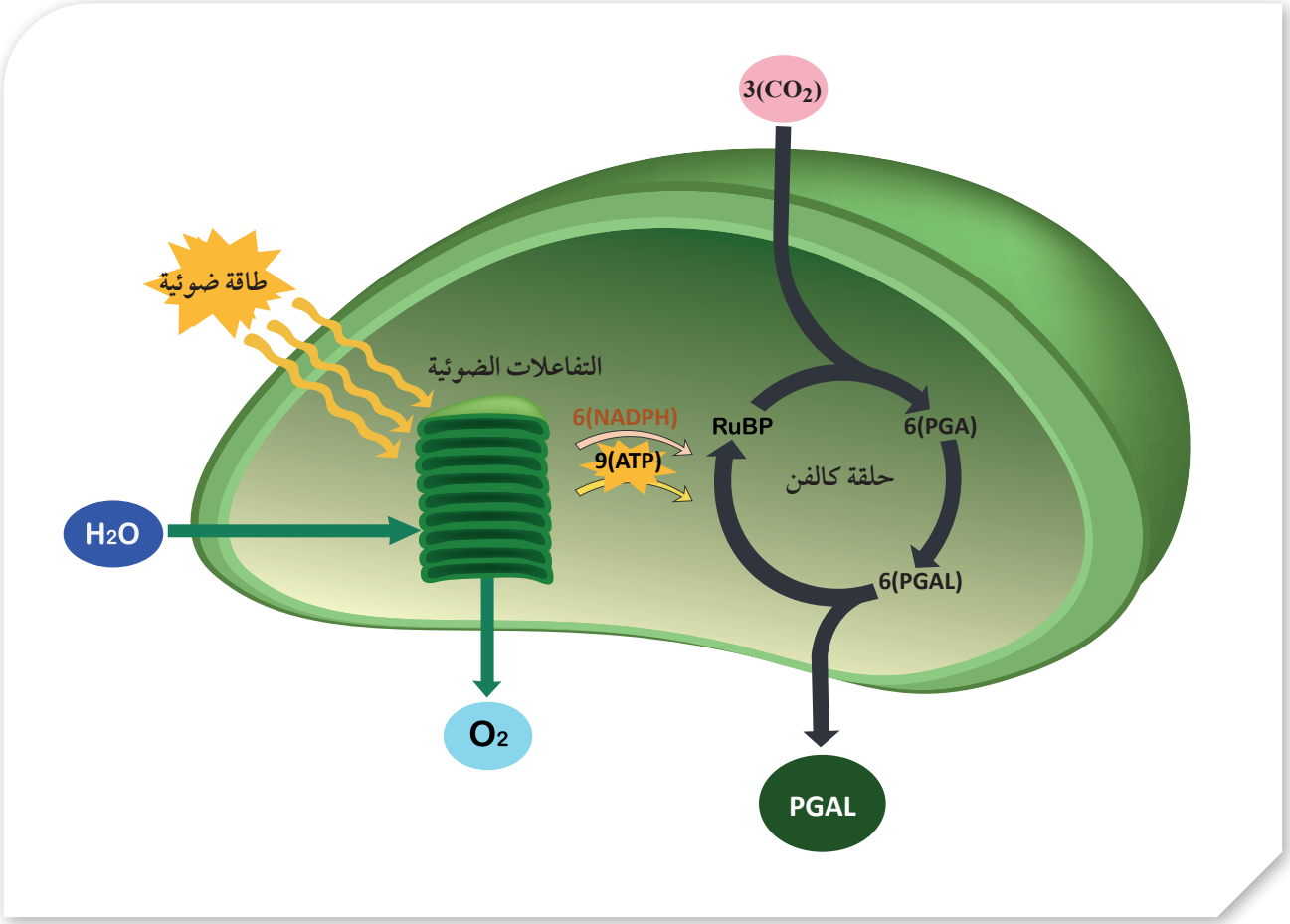
في هذه المرحلة يُختزَل كل جزيء من حمض الغليسرين أُحادي الفوسفات PGA إلى غليسر ألدهيد أُحادي الفوسفات Phosphoglyceraldehyde (PGAL) باستخدام طاقة (6) جزيئات ATP و(6) جزيئات NADPH، فيكون الناتج (6) جزيئات غليسر ألدهيد أُحادي الفوسفات PGAL. يغادر حلقة كالفن جزيء واحد من PGAL لبناء مُركَّبات عضوية مثل الغلوكوز.

### 3- مرحلة إعادة تكوين مُستقبِل $CO_2$ (ريبيولوز) Regeneration of $CO_2$ Acceptor Phase (RuBP)

تدخل (5) جزيئات PGAL المُتبقِّية في سلسلة من التفاعلات المُعقَّدة لإعادة تكوين (3) جزيئات من السُّكَّر الخماسي ريبيولوز RuBP من جديد. ويُستهلَك في أثناء ذلك (3) جزيئات ATP.




الشكل (52): حلقة كالفن.
(مُلخَّص لثلاث دورات منها).




الشـــكل (53): مُلخَّـص التفاعـلات الضوئيـــة، وحلقـة كالفـن.

ويبيّن الشكل (53)، والبطاقتان أدناه مُلخَّصًا للتفاعلات الضوئية وحلقة كالفن.

**التفاعلات الضوئية (تعتمد على الضوء):**

- تُستخدَم فيها الطاقة الضوئية.
- يُستهلَك الماء.
- يتحلَّل كل جزيء من الماء إلى $2H^+$، و $2e^-$، و $\frac{1}{2} O_2$.
- ينتج $O_2$.

**حلقة كالفن (لا تعتمد على الضوء):**

لإنتاج جزيء PGAL يغادر حلقة كالفن:

- تُستهلَك (3) جزيئات $CO_2$.
- تُستهلَك (9) جزيئات ATP.
- تُستهلَك (6) جزيئات NADPH.

لإنتاج جزيء غلوكوز: يتحد (2) جزيء PGAL أحدهما مع الآخر.

## مثال 7

إذا كان عدد جزيئات ATP المُستهلَكة في أثناء تفاعلات حلقة كالفن هو (36) جزيئًا، فأُجيب عن الأسئلة الآتية:

1. ما عدد جزيئات PGAL النهائية الناتجة (التي ستغادر حلقة كالفن)؟
2. ما عدد جزيئات NADPH المُستهلَكة؟
3. ما عدد جزيئات الغلوكوز الناتجة؟

**المعطيات:**

عدد جزيئات ATP المُستهلَكة في حلقة كالفن هو (36) جزيئًا.

**الحل:**

1. تُستهلَك (9) جزيئات ATP لإنتاج جزيء PGAL يغادر حلقة كالفن.

   ومن ثمّ إذا استُهلِك (36) جزيئًا من ATP فسينتُج (4) جزيئات PGAL نهائية.

2. تُستهلَكُ (6) جزيئات من NADPH لإنتاج جزيء PGAL يغادر حلقة كالفن.

   ومن ثمّ فإن عدد جزيئات NADPH المُستهلَكة لإنتاج (4) جزيئات PGAL:

   $6 \times 4 = 24$

3. ينتج جزيء واحد من الغلوكوز من اتحاد جزيئين من PGAL.

   ومن ثمّ فإن عدد جزيئات الغلوكوز الناتجة من (4) جزيئات PGAL:

   $\frac{4}{2} = 2$

### ✓ أتحقَّق:

أ. أدرس الجدول الآتي الذي يُمثِّل الجزيئات التي تُستهلَك في تفاعلات حلقة كالفن لإنتاج جزيء واحد من الغلوكوز، ثم أكتب العدد اللازم من كل جزيء ورد ذكره في الجدول لإتمام هذه التفاعلات.

| الجزيئات | $CO_2$ | ATP | NADPH |
|---|---|---|---|
| العدد اللازم | | 18 | |

ب. أحسُبُ عدد ذَرّات الكربون في (5) جزيئات من PGAL، ثم أربط بينها وبين عدد ذَرّات الكربون في (3) جزيئات من السُّكَّر الخماسي ريبيولوز ثنائي الفوسفات.

## الربط بالتكنولوجيا

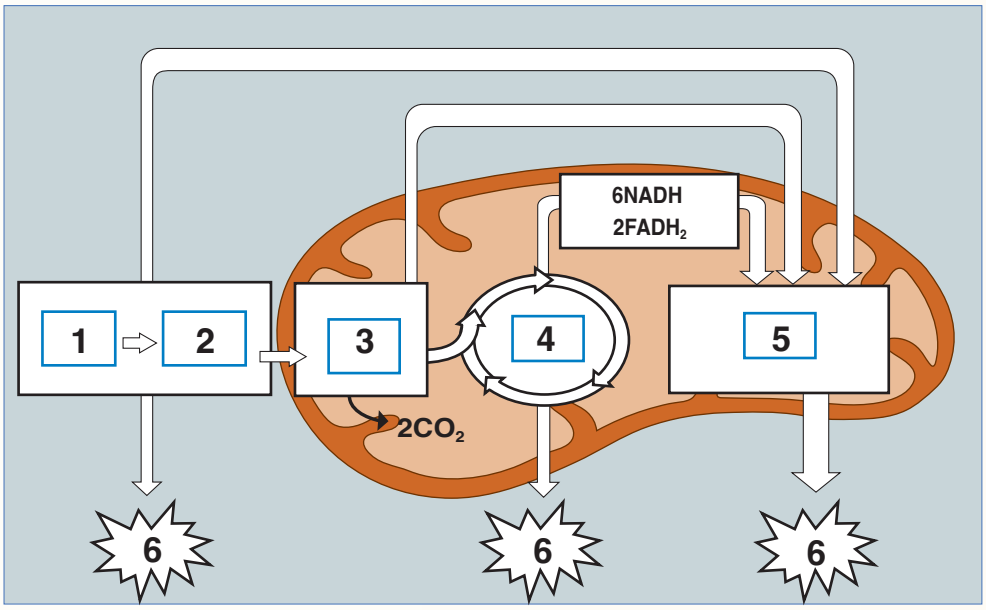
### البناء الضوئي الصناعي Artificial Photosynthesis

للحَدِّ من المشكلات البيئية الناجمة عن استخدام الوقود الأحفوري، مثل: التغيُّر المناخي، وظاهرة الاحتباس الحراري Global Warming التي سببها انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون، وتوفير ما يَلزم من موارد البيئة عالميًّا؛ تتوالى جهود العلماء لإيجاد تقنيات رخيصة ونظيفة تحاكي عملية البناء الضوئي صناعيًّا، مثل: تصنيع ورقة نبات صناعية يُمكِنها امتصاص الطاقة الشمسية، وتحليل الماء لإنتاج الهيدروجين واستخدامه وَقودًا، أو استخدامه في إنتاج أنواع وَقود أُخرى مُتجدِّدة وآمنة ومستدامة.



# مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** ما المقصود بعمليات الأيض؟
2. أدرس الشكل الآتي الذي يُبيِّن مراحل التنفُّس الخلوي، ثم أُجيب عن السؤالين التاليين:




أ . أكتب ما يشير إليه كل رقم من الأرقام (1-6) في الشكل، باستخدام المفاهيم الآتية:

جزيئا بيروفيت، فسفرة تأكسدية، غلوكوز، ATP، دورتان من حلقة كربس، جزيئا أستيل مُرافِق إنزيم – أ.

ب. ما عدد جزيئات ATP الكلية الناتجة من أكسدة جزيء واحد من الغلوكوز؟

3. في أيِّ مراحل عملية البناء الضوئي يحدث كلٌّ ممّا يأتي:

أ . تثبيت $CO_2$.

ب. تحلُّل $H_2O$.

جـ. اختزال حمض الغليسرين أُحادي الفوسفات (PGA) إلى غليسر ألدهيد أُحادي الفوسفات (PGAL).

د . إنتاج ATP.

4. أ . ما مُستقبِل الإلكترونات النهائي في كلٍّ ممّا يأتي:

1. سلسلة نقل الإلكترون في عملية التنفُّس الهوائي.
2. عملية التنفُّس اللاهوائي لبكتيريا اختزال الكبريتات.

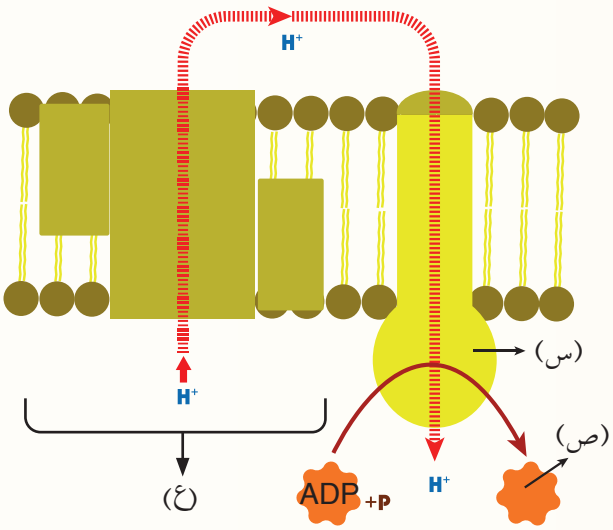
ب. أذكر اسم المُركَّب الناتج من كلٍّ منهما.

5. أُوضِّح أهمية كلٍّ ممّا يأتي:

أ. عملية التخمُّر في إنتاج الطاقة.

ب. الماء في التفاعلات الضوئية اللاحلقية في البناء الضوئي.

6. أدرس الشكل المجاور الذي يُمثِّل عملية إنتاج ATP في كلٍّ من الميتوكندريا، والبلاستيدات الخضراء، ثم أُجيب عن الأسئلة الآتية:




أ. أذكر أسماء الأجزاء المشار إليها بالرموز: س، ص، ع، التي توجد في كلٍّ من الميتوكندريا، والبلاستيدات الخضراء.

ب. أُوضِّح آليَّة عمل الأسموزية الكيميائية في إنتاج جزيئات ATP في كلٍّ من الميتوكندريا، والبلاستيدات الخضراء.

جـ. ما أهمية الانثناءات (الأعراف) لتفاعلات سلسلة نقل الإلكترون في الميتوكندريا؟

7. **لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أحددها:**

1. تُستخدَم نواتج التفاعلات الضوئية NADPH ، ATP لإنتاج المركبات العضوية في:

أ . حلقة كربس. ب. حلقة كالفن. جـ. التخمر الكحولي. د. التخمر اللبني.

2. الجزء من البلاستيدات الخضراء الذي يحتوي على الكلوروفيل وأصباغ ونواقل إلكترونات:

أ . الغشاءالخارجي. ب. الغشاء الداخلي. جـ. اغشية الثايلاكويد. د.اللُّحمة.

3. يبلغ عدد جزيئات NADH الناتجة من تفكّك جزيئي غلوكوز خلال مرحلة التنفس الهوائي:

أ. 4 ب. 16 جـ. 20 د. 18

4. أي من الآتية لا تُعَدّ من خطوات التنفس الهوائي:

أ . التحلل الغلايكولي. ب. حلقة كربس.

جـ.أكسدة البيروفيت إلى استيل مرافق-أ. د.الفسفرة التأكسدية.

5. ينتج من حلقة كالفن:

أ . ATP ب. NADPH جـ. سكر الغلوكوز د. الأكسجين

## البكتيريا والطاقة Bacteria and Energy

تعمل بعض الكائنات الحيَّة الدقيقة اللاهوائية على إنتاج مواد عضوية في عمليةٍ تُسمّى البناء الكيميائي، إذ تَستخدم هذه الأنواع بعض المواد التي تتأكسد بسهولة، بوصفها مصدرًا للإلكترونات مثل $H_2S$، بدلًا من الماء. ومن الأمثلة عليها: بعض أنواع الأثريات، وبكتيريا المياه الحارَّة التي تعيش في بيئات لا يصلها الضوء، وبكتيريا الكبريت.

يُمكِن لبعض أنواع البكتيريا اللاهوائية التي تعيش في المناجم وفي قاع البحيرات أنْ تحصل على الطاقة عن طريق استخدام الإلكترونات الناتجة من أكسدة المواد الموجودة في البيئة المحيطة. وقد اكتشف فريق بحث من جامعة ماساتشوستس الأمريكية أنَّ بكتيريا جيوباكتر ***Geobacter*** تتخلَّص من الإلكترونات التي توجد داخلها باستعمال شعيرات طويلة؛ وهي تراكيب تنتشر على سطوح الخلايا البكتيرية، وتتكوَّن من ألياف نانوية موصِلة للكهرباء، ويُعتقَد أنَّها تتكوَّن من بروتينات تُشبِه السيتوكرومات Cytochromes.

يسعى العلماء إلى الاستفادة من خصائص البكتيريا الموصِلة للكهرباء في إنتاج تكنولوجيا حيَّة وصديقة للبيئة، تُستخدَم في المجالات الطبية، وتوليد الكهرباء، وتعقيم المياه الجوفية.

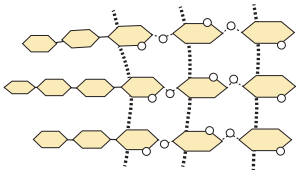
**أُصمِّم مَطوِيَّة أُلخِّص فيها عملية البناء الكيميائي.**



**السؤال الأوَّل:**

لـكل فقـرة مـن الفقـرات الآتيـة أربـع إجابـات، واحـدة فقـط صحيحـة، أُحدِّدهـا:

1. أحد أنواع الكربوهيدرات الذي يُمثِّله الشكل المجاور هو:

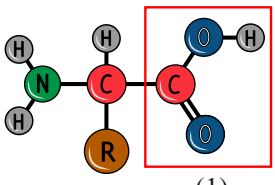


أ. السيليلوز.
ب. النشا.
جـ. الغلايكوجين.
د. السُّكَّر الثنائي.

2. الكائنات الحيَّة التي تستخدم الغلايكوجين في تخزين الطاقة هي:
أ. الحيوانات. ب. النباتات.
جـ. الفطريات. د. البكتيريا.

3. يُعَدُّ الغلوكوز والغلاكتوز من السُّكَّريات:
أ. الأُحادية. ب. الثنائية.
جـ. الثلاثية. د. المُتعدِّدة.

4. يشير الرقم (1) في الشكل المجاور إلى:

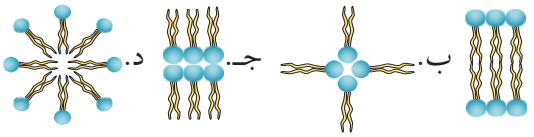


(1)

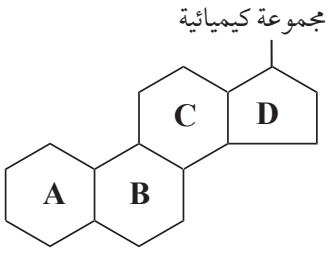
أ. مجموعة كربوكسيل.
ب. مجموعة أمين.
جـ. جزيء غليسرول.
د. مجموعة هيدروكسيل.

5. إحدى الخصائص الآتية تنطبق غالبًا على البروتينات الليفية:
أ. الذوبان في الماء.
ب. وجود سلاسلها الجانبية R القطبية في اتجاه الخارج، مُواجِهةً للمحاليل المائية.
جـ. من الأمثلة عليها الهيموغلوبين.
د. وجود سلاسلها الجانبية R غير القطبية في اتجاه الخارج، مُواجِهةً للمحاليل المائية.

6. الترتيب الصحيح لليبيدات المُفسفَرة في الغشاء البلازمي للخلية هو:


أ. ب. جـ. د.

7. المُركَّب العضوي الحيوي الذي تُمثِّله الصيغة البنائية في الشكل المجاور هو:




أ. السيليلوز.
ب. النشا.
جـ. البروتين.
د. الستيرويد.

8. فصيلة دم المريض الذي يستقبل خلايا دم حمراء من فصائل الدم جميعها، لكنَّه لا يستطيع التبرُّع بخلايا دم حمراء إلّا لمرضى من فصيلة دمه فقط، هي:
أ. $O^+$ ب. $AB^-$ جـ. $O^-$ د. $AB^+$

9. إحدى العبارات الآتية صحيحة في ما يتعلَّق بالحموض النووية في الخلايا حقيقية النوى:
أ. احتواء RNA على القاعدة النيتروجينية يوراسيل.
ب. احتواء DNA على القاعدة النيتروجينية يوراسيل.
جـ. احتواء RNA على القاعدة النيتروجينية ثايمين.
د. تكوُّن DNA من سلسلة واحدة، وتكوُّن RNA من سلسلتين لولبيتين.

10. إحدى الآتية لا تُعَدُّ جزءًا من النيوكليوتيدات:
أ. مجموعة فوسفات. ب. الغليسرول.
جـ. القاعدة النيتروجينية. د. السُّكَّر الخماسي.

11. الدور الرئيس للتفاعلات في حلقة كربس هو:
أ. إنتاج الطاقة.
ب. إنتاج $CO_2$.
جـ. اختزال $NAD^+$، وFAD؛ لاستخدامهما في الفسفرة التأكسدية.
د. إنتاج أستيل مُرافِق إنزيم _ أ.

12. الطول الموجي للضوء الذي تمتصه صبغة النظام الضوئي الأوَّل بأقصى فاعلية بوحدة النانومتر (nm) هو:

أ . 860 ب. 700

جـ. 680 د. 760

13. نواتج التفاعلات الضوئية التي تُستخدَم في حلقة كالفن هي:

أ. $CO_2$ ،ATP ب. $O_2$،NADPH

جـ. ATP ،NADPH د. ATP ،$H_2O$

14. عدد جزيئات الغلوكوز المتأكسدة في حال أُنتِج (12) جزيئًا من $CO_2$ في عملية التنفُّس الهوائي هو:

أ. جزيء واحد. ب. جزيئان.

جـ. ثلاثة جزيئات. د. أربعة جزيئات.

15. عملية فقدان جزيء NADH للإلكترونات تُسمّى:

أ. أكسدةً. ب. اختزالًا.

جـ. فسفرةً. د. بناءً كيميائيًّا.

16. تُنتَج جزيئات ATP من المراحل الآتية جميعها **باستثناء**:

أ. حلقة كالفن. ب. حلقة كربس.

جـ. الفسفرة التأكسدية. د. التحلُّل الغلايكولي.

17. مصدر الأكسجين المُنطلِق من عملية البناء الضوئي هو:

أ . الهواء. ب. ثاني أكسيد الكربون.

جـ. الغلوكوز. د. الماء.

18. يحتوي مُعقَّد مركز التفاعل في النظام الضوئي على زوج خاص من:

أ . الكلوروفيل-أ. ب. صبغة الكاروتين.

جـ. الكلوروفيل- ب. د . الكلوروفيل-جـ.

19. تمثل البروتينات أكثر من ..... من الكتله الجافة لمعظم الخلايا:

أ. 20% ب. 30%

جـ. 40% د. 50%

20. من الأمثلة على عمل الإنزيمات إنزيم تصنيع الغلايكوجين الذي يعمل على:

أ . ربط الوحدات البنائية (الغلوكوز).

ب. ربط الوحدات البنائية (الغلاكتوز).

جـ. ربط الوحدات البنائية (الفركتوز).

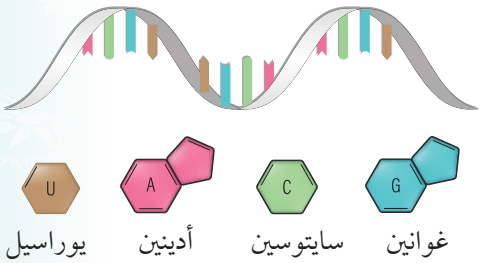
د . ربط الوحدات البنائية ( الغلايكوجين).

**السؤال الثاني:**

بناءً على دراستي موضوع الحموض النووية، أُجيب عن السؤالين الآتيين:

أ. **أُصنِّف** الحمض النووي في الشكل المجاور إلى DNA أو RNA، وأفسّر إجابتي.

ب. ما نسبة السايتوسين في قطعة من DNA إذا كانت نسبة الغوانين فيها (42%)؟




**السؤال الثالث:**

مُتبرِّع فصيلة دمه AB:

أ . ما مُولِّدات الضد على سطوح خلايا دمه الحمراء بحسب نظام ABO؟

ب. **أُفسِّر**: لماذا لا يُمكِن لهذا المُتبرِّع التبرُّع بوحدة دم إلى مريض فصيلة دمه O؟

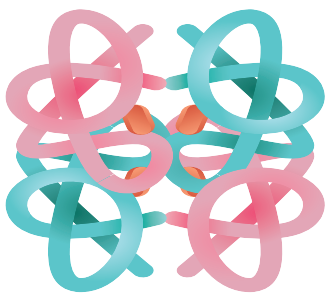
**السؤال الرابع:**

أَصِل بين المصطلح العلمي ورمز الوصف المُناسِب له في ما يأتي:

| | | |
|---|---|---|
| الرابطة الغلايكوسيدية | أ | الطاقة اللازمة لبَدْء التفاعل الكيميائي. |
| التحلُّل الغلايكولي | ب | بروتين يتصل بسلسلة أو أكثر من السُّكَّريات. |
| ATP | ج | رابطة تساهمية تربط بين الغليسرول والحموض الدهنية. |
| مُرافِقات الإنزيم | د | تحطُّم الغلوكوز لإنتاج جزيئي بيروفيت. |
| البيريميدينات | هـ | جزيء حفظ الطاقة الذي يتكوَّن من الأدينين، وسُكَّر الرايبوز، وثلاث مجموعات من الفوسفات. |
| الرابطة الإسترية | و | الهيكل الأساسي لمستويات البروتين. |
| البروتين السُّكَّري | ز | يُكسب جدران الخلايا النباتية المرونة والقوَّة. |
| طاقة التنشيط | ح | تحدث تفاعلاتها في اللُّحْمة داخل البلاستيدة. |
| حلقة كالفن | ط | قواعد نيتروجينية تتكوَّن من حلقة واحدة، ويُمثِّلها اليوراسيل، والثايمين، والسايتوسين. |
| البناء الضوئي الصناعي | ي | رابطة تساهمية تربط بين جزيئات الغلوكوز. |
| التركيب الأوَّلي للبروتين | ك | تحدث تفاعلاتها في الحشوة داخل الميتوكندريا. |
| حلقة كربس | ل | استخدام ورقة نبات صناعية قادرة على امتصاص الطاقة الشمسية، وتحليل الماء. |
| السيليلوز | م | عوامل مساعدة عضوية للإنزيمات. |

**السؤال الخامس:**

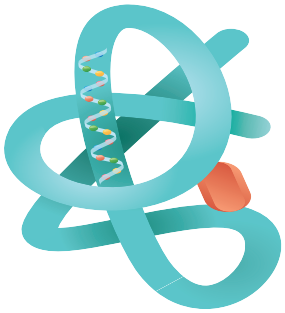
أُحدِّد مستوى تركيب كلٍّ من البروتينات الآتية:



(أ)



(ب)



(جـ)

**السؤال السادس:**

أُحدِّد عدد الجزيئات الناتجة من أكسدة جزيء واحد من الغلوكوز في كل مرحلة من المراحل الوارد ذكرها في الجدول الآتي:

| المرحلة | عدد جزيئات NADH | عدد جزيئات $FADH_2$ | عدد جزيئات ATP الناتجة مباشرةً | عدد جزيئات $CO_2$ الناتجة | عدد جزيئات ATP الناتجة من الفسفرة التأكسدية | عدد جزيئات ATP الكلية |
|---|---|---|---|---|---|---|
| التحلُّل الغلايكولي | | | | | | |
| أكسدة البيروفيت (جزيئان) | | | | | | |
| حلقة كربس (دورتان) | | | | | | |
| مجموع جزيئات ATP | | | | | | |