1

العلوم المتكاملة

الصف الأول الثانوى

الفصل الدراسي الثاني

٢٠٢٥_٢٠٢٦

العلوم المتكاملة

الصف الأول الثانوي

المشاركون في الإعداد

أ. يسري فؤاد سويرس — أ. سعيد محمد علي
د. بسمة علي ضيف — أ. هشام عبد الحكيم كامل
أ. عدلي نسيم جرجس — أ. محمد السيد عبده العوادلي
أ. سالي حسين محمد — أ.نرمين نصري جريس
أ. سامح وليم صادق — أ. نورا سعيد عيسى
أ.إيمان السيد أنور السيد

إشراف

د. عزيزة رجب خليفة

مستشار العلوم

تخطيط تربوي وإشراف عام

د. أكرم حسن محمد

مساعد الوزير لشئون تطوير المناهج التعليمية
والمشرف على الإدارة المركزية لتطوير المناهج

تصميم وإخراج فني : **د. أماني أحمد البدري**

٢٠٢٥/٢٠٢٦ م

غير مصرح بتداول هذا الكتاب خارج وزارة التربية والتعليم والتعليم الفني

مقدمة

يواجه كوكب الأرض العديد من المخاطر التي تهدد استدامة الحياة فيه ، وتتصاعد وتيرة هذه المخاطر بسبب الأنشطة البشرية المكثفة والتغيرات البيئية السريعة، ومن أبرزها تغير المناخ والظواهر الجوية العنيفة وفقدان التنوع البيولوجي، والتلوث البيئي واستنزاف الموارد الطبيعية و التحضر والتوسع العمراني والتلوث البلاستيكي واضطراب الأمن الغذائي وغيرها من المخاطر، ولمواجهة هذه المخاطر يتطلب الأمر تحركاً عالميا مشتركا يتضمن تطبيق سياسات بيئيه مستدامة والحد من الانبعاثات الضارة وحماية التنوع البيولوجي وتشجيع الابتكارات التقنية التي تحافظ على سلامة الكوكب ومستقبل الحياة فيه

ومن هذا المنطلق أصبح للتعليم دور مهم وموثر في الوصول لهذه الغاية ولا سيما من خلال توظيف دراسة فروع العلوم المختلفة بنهج متكامل يبلور تلك القضية في وعي النشء ويحثهم باستخدام أوجه العلوم المختلفه على التفكير و الابداع للوصول إلى حلول تسهم بقدر في بلوغ الغاية.

ويأتي هذا المنهج استجابة للحاجة المتزايدة إلى تعليم الطلاب كيف يعمل العالم من حولهم بشكل متكامل وشامل. حيث يركز على ربط مختلف فروع العلوم (الفيزياء، الكيمياء، علوم الحياة، وعلوم الأرض والفضاء) ليتمكن الطلاب من رؤية الصورة الكاملة للعالم وفهم شامل لكيفية عمل العالم، وإدراك أن الظواهر الطبيعية والتكنولوجية ليست منفصلة عن بعضها، بل هي مترابطة ومتشابكة بطرق معقدة.

يقوم هذا المنهج على فلسفة تعليمية تهدف إلى بناء فهم عميق وشامل للعلوم، مع التركيز على كيفية استخدام المعرفة العلمية في حل المشكلات الحقيقية والتحديات التي تواجه المجتمع والعالم.

يهدف المنهج إلى تقديم العلوم كمجموعة متكاملة من المعارف التي تدعم بعضها البعض. في كل محور؛ حيث يتم دمج مفاهيم من الفيزياء والكيمياء وعلوم الحياة وعلوم الأرض والفضاء، وهذا التكامل يعزز من قدرة الطلاب على تطبيق المعرفة العلمية في سياقات متعددة ويؤهلهم لمواجهة التحديات التي تتطلب تفكيرًا شاملاً ومتعدد الجوانب.

وتعد الأنشطة العملية جوهر هذا المنهج؛ حيث تتيح للطلاب فرصة لتطبيق ما تعلموه في سياقات حقيقية وتجريبية، فمن خلال الأنشطة العملية يتمكن الطلاب من استكشاف المفاهيم العلمية بشكل مباشر مما يعزز من فهمهم ويزيد من مهاراتهم في حل المشكلات. كما تشجع هذه الأنشطة على التفكير النقدي والعمل الجماعي، مما يعزز من مهارات الطلاب في البحث والتجريب والاستكشاف والابتكار.

يستند المنهج إلى مبدأ أن الطلاب يجب أن يكونوا في مركز العملية التعليمية، ويُشجع الطلاب على أن يكونوا مشاركين نشطين في تعلمهم من خلال المشروعات الختامية والتحديات العلمية. هذه المشروعات تتيح للطلاب فرصة لتطبيق ما تعلموه في مواقف واقعية، مما يعزز من مهاراتهم في التفكير النقدي والإبداعي. كما يتم تحفيز الطلاب على التعاون مع زملائهم، مما يعزز من مهاراتهم الاجتماعية ويعدهم للعمل الجماعي في المستقبل.

وختاما فإنا نأمل أن يحقق هذا المنهج أهدافه في بناء جيل من الطلاب قادر على التفكير بشكل نقدي وشامل، ومجهز بالمعرفة والمهارات اللازمة لمواجهة التحديات العالمية المستقبلية في مجالات الطاقة، والبيئة، والتكنولوجيا.

والله من وراء القصد

المؤلفون

الأهداف العامة لمنهج العلوم المتكاملة

١. تعميق فهم الظواهر العلمية:

- يهدف المنهج إلى تعزيز فهم الطلاب للظواهر العلمية بطريقة متكاملة، مما يسمح لهم بإدراك الروابط بين مختلف فروع العلوم وتطبيق هذه المعرفة في حل المشكلات الحياتية.

٢. تطوير مهارات التفكير الناقد والتحليلي:

- يسعى المنهج إلى تطوير مهارات الطلاب في التفكير النقدي والتحليل من خلال دروس متداخلة تربط بين الفيزياء، الكيمياء، وعلوم الحياة، مما يساعدهم على تحليل الظواهر والمشكلات العلمية من زوايا متعددة.

٣. تعزيز التعلم القائم على التجربة:

- يهدف المنهج إلى تشجيع الطلاب على المشاركة في الأنشطة العملية والتجارب العلمية لتعميق فهمهم وتطبيق ما تعلموه في مواقف حقيقية، مما يعزز من مهاراتهم العملية.

٤. تشجيع الابتكار والاستكشاف:

- يسعى المنهج إلى تعزيز فضول الطلاب وتشجيعهم على استكشاف المفاهيم العلمية بطرق جديدة ومبتكرة، مع التركيز على التطبيق العملي للتكنولوجيا في حل المشكلات البيئية المختلفة.

٥. تعزيز التعاون والعمل الجماعي:

- يهدف المنهج إلى تطوير مهارات الطلاب في التعاون والعمل الجماعي من خلال الأنشطة الجماعية والمشاريع الختامية، مما يعزز من قدرتهم على العمل بشكل فعّال ضمن فرق متعددة التخصصات.

٦. تطبيق العلوم في حل المشكلات العالمية:

- يسعى المنهج إلى إعداد الطلاب ليكونوا قادرين على استخدام معارفهم العلمية في معالجة التحديات العالمية مثل التغير المناخي، الحفاظ على التنوع البيولوجي، وتطوير مصادر الطاقة المستدامة.

٧. بناء وعي بيئي ومسؤولية اجتماعية:

- يهدف المنهج إلى بناء وعي لدى الطلاب حول القضايا البيئية والتحديات التي تواجه المجتمعات العالمية، مع تشجيعهم على تحمل مسؤولية دورهم في الحفاظ على البيئة والمساهمة في تطوير حلول مستدامة.

المحتويــات

الموضوع الصفحة

الوحدة الثالثة : الغلاف الحيوي

3 - 1 الغلاف الحيوي واستقراره 3
3 - 2 العمليات الحيوية في الكائنات الحية واستقرار الغلاف الحيوي 16
3 - 3 الإخراج والاتزان الداخلي ودورهما في استقرار الغلاف الحيوي 28
3 - 4 الإحساس والاستجابة ودورها في تفاعل الكائنات الحية مع الغلاف الحيوي 38
3 - 5 تطبيقات النانو تكنولوجي واستدامة الغلاف الحيوي 45

الوحدة الرابعة: الغلاف الصخري

4-1 الغلاف الصخري واستقرار كوكب الأرض وتوازنه 53
4-2 المواد المكونة للغلاف الصخري ودورها في استقرار الأرض واستمرارها 62
4-3 الغلاف الصخري واستدامة موارد الطاقة 72

الوحدة الثالثة

الغلاف الحيوي

نواتج التعلم:

بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يتمكن الطالب من أن:

١. يُعرّف الغلاف الحيوي ويُوضّح علاقته بالأغلفة الأخرى (الجوّي – المائي – الصخري) كمنظومة متكاملة تدعم الحياة.

٢. يُحدد مكوّنات الغلاف الحيوي ويشرح دور العوامل الحيوية واللاحيوية في تشكيل البيئات المختلفة.

٣. يُفسّر تأثير العوامل اللاحيوية مثل الضوء والحرارة والماء والتربة على توزيع الكائنات الحية وسلوكها.

٤. يُصنف مستويات التنظيم الحيوي، بدءًا من خلية إلى نظام بيئي، مستدلًا بأمثلة من البيئة المحيطة.

٥. يميز بين أنواع الأنظمة (مفتوحة – مغلقة – معزولة) ويُفسّر لماذا يُعد الكائن الحي نظامًا مفتوحًا يعتمد على تبادل المادة والطاقة مع الوسط المحيط.

٦. يشرح آلية البناء الضوئي باعتبارها المدخل الرئيس للطاقة في الغلاف الحيوي.

٧. يقارن بين الكائنات ذاتية وغير ذاتية التغذية ويُحدد دور كل منها في السلسلة الغذائية.

٨. يصنف المستهلكات (آكلات العشب – آكلات اللحوم – الكائنا ت ثنائية التغذية (القارت)) وفق نمط حصولها على الغذاء.

٩. يُحدد المركبات الكيميائية الضرورية للحياة (الكربوهيدرات – البروتينات – الدهون – الأحماض النووية) ويُفسّر علاقتها بوظائف الخلية.

١٠. يُوضح أن بناء الجزيئات الكبيرة تفاعل ماص للحرارة، بينما تكسيرها تفاعل طارد للحرارة، ويربط ذلك بالطاقة الكيميائية.

١١. يُفسّر آليات النقل في الكائنات الحية (النقل النشط والسلبي)، ويقارن بين الأوعية الناقلة في النبات والجهاز الدوري في الإنسان.

١٢. يربط النقل في الكائنات الحية بالاتزان الداخلي ودوره في الحفاظ على استقرار البيئة الداخلية للكائن الحي.

١٣. يشرح التنفس الخلوي ويُوضح أهميته في إنتاج جزيء ATP كمصدر للطاقة.

١٤. يقارن بين التنفس الهوائي واللاهوائي من حيث ظروف حدوثه وكمية الطاقة الناتجة.

١٥. يوضّح أهمية الإخراج في التخلص من فضلات التفاعلات الأيضية وتنظيم البيئة الداخلية للكائن الحي.

١٦. يشرح انتقال الإشارات العصبية والسيال العصبي ويُفسّر دور التشابك العصبي في تنظيم الاستجابات.

١٧. يُعرّف خصائص المواد النانوية ويُفسّر دورها في تحسين كفاءة الطاقة وتوصيل الأدوية للخلايا المستهدفة في التطبيقات الحديثة.

١٨. يناقش الأبعاد البيئية لتقنيات النانو وأثرها في الاستدامة الحيوية.

١٩. يربط مفاهيم الغلاف الحيوي بالطاقة والتكنولوجيا من خلال أمثلة تطبيقية حديثة.

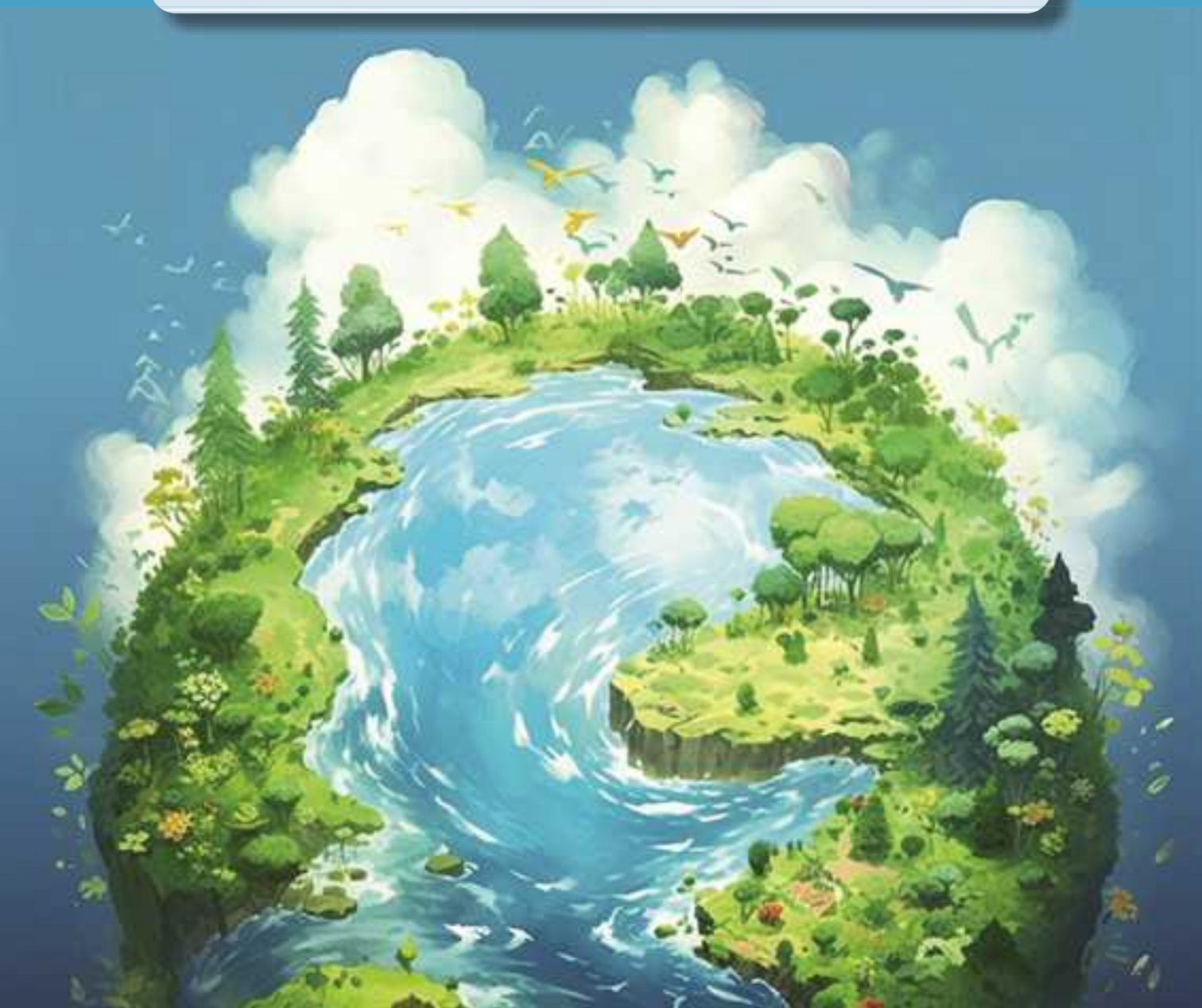
ملخص الوحدة:

تنطلق هذه الوحدة من **العمليات الحيوية داخل الكائن الحي** باعتبارها المدخل لفهم العلاقة المتبادلة بين الحياة والبيئة ضمن **الغلاف الحيوي**. يبدأ الطالب باستكشاف الغلاف الحيوي، ومكوناته، ومستويات تنظيمه، ليتعرّف كيف تتكامل الأنظمة الحية مع البيئة المحيطة.

ثم يتعرف الطالب **أنماط التغذية والعلاقات الغذائية** التي تنظّم انتقال الطاقة بين الكائنات، قبل التعمق في **المركبات الكيميائية اللازمة للحياة** ودورها في بناء الجسم ووظائفه.

وتتتابع المفاهيم عبر سلسلة من العمليات الحيوية الأساسية؛ مثل عملية **الهضم** التى تتفكك فيها المواد الغذائية إلى مواد أقل تعقيدًا، تليها عملية **النقل** التي تتوزّع المواد عن طريقها داخل الجسم، كما يتعرف الطالب على عملية **التنفس** التي تنتج خلالها الطاقة، ثم **الإخراج** للحفاظ على الاتزان الداخلي بالجسم، و**الإحساس والاستجابة** لفهم تفاعل الكائن الحي مع بيئته.

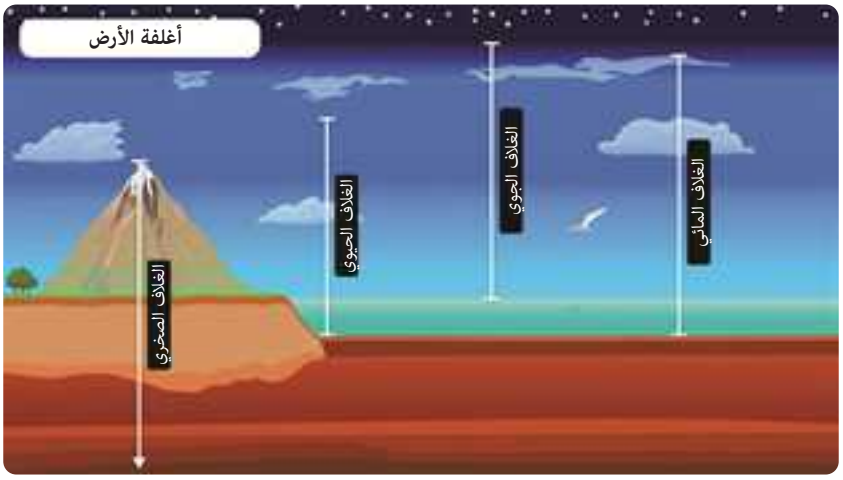
وتختتم الوحدة بنظرة إلى المستقبل عبر دراسة **تطبيقات النانو تكنولوجي** في الطاقة الحيوية والطب، لتوضيح كيف يوظّف العلم الحديث وفهمنا للعمليات الحيوية لخدمة الإنسان والبيئة.



١-٣ الغلاف الحيوي واستقراره

الغلاف الحيوي هو الجزء من كوكب الأرض الذي توجد فيه الحياة، ويمتد من أعماق المحيطات إلى قمم الجبال، مرورًا بالياسة والهواء.

يُعد الغلاف الحيوي نظامًا ضخمًا متكاملاً يضم جميع الكائنات الحية (النباتات، والحيوانات، والكائنات الدقيقة) وكل البيئات التي تعيش فيها. تتفاعل الكائنات الحية في الغلاف الحيوي باستمرار مع البيئة المحيطة بها، في تبادلٍ دائمٍ للمادة والطاقة.



الشكل ١ - أغلفة الأرض

علاقة الغلاف الحيوي ببقية أغلفة الأرض

يرتبط الغلاف الحيوي ارتباطًا وثيقًا ببقية الأغلفة التي تكوِّن كوكب الأرض، فهو لا يعمل بمعزل عنها، بل يعتمد عليها في استمرار الحياة وتوازنها.

فالكائنات الحية التي تشكّل الغلاف الحيوي تتفاعل باستمرار مع **الغلاف المائي** الذي يزوّدها بالماء اللازم لجميع العمليات الحيوية، ومع **الغلاف الجوي** الذي يوفّر الغازات الأساسية مثل الأكسجين اللازم للتنفس وثاني أكسيد الكربون اللازم للبناء الضوئي.

أما الغلاف الصخري، الذي سيُدرَس بتفصيل في الوحدة التالية، فيوفر العناصر المعدنية من خلال التربة والتي تعتمد عليها النباتات في نموّها واستقرارها.

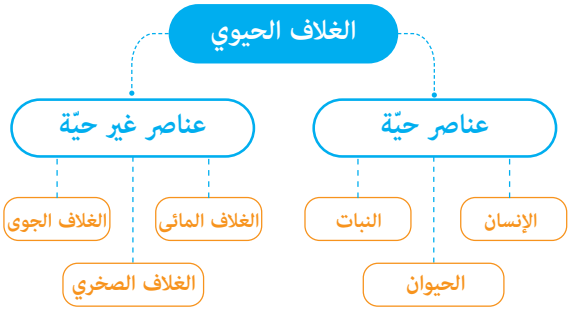
تمثل دورة حياة النبات مثالًا واضحًا لهذا التفاعل؛ فعندما يمتص النبات الماء والأملاح من التربة (الغلاف المائي والصخري) وثاني أكسيد الكربون من الهواء (الغلاف الجوي)، تستخدم طاقة الشمس لإنتاج الغذاء الذي يمكّنه من النمو داخل الغلاف الحيوي. ويطلق النبات الأكسجين إلى الهواء (الغلاف الجوي)، ويعيد جزءًا من الماء إلى الغلاف الجوي على هيئة بخار الماء (الغلاف المائي)، وعندما يموت النبات يتحلل في التربة إلى مواد بسيطة (الغلاف الصخري).

الشكل ٢ - علاقة الغلاف الحيوي بأغلفة الأرض

العوامل الحيوية واللاحيوية

يتكوّن الغلاف الحيوي من مكوّنات حيّة وأخرى غير حيّة تعمل معًا في نظام متوازن يجعل الحياة ممكنة على سطح الأرض.

العوامل الحيوية (Biotic Factors)



الشكل ٣ - مخطط الغلاف الحيوي

تشمل جميع الكائنات الحية التي تؤثر في البيئة وتتأثر بها، مثل النباتات والحيوانات والكائنات الدقيقة. تؤدي هذه الكائنات أدوارًا مختلفة داخل الأنظمة البيئية؛ فالنباتات تقوم بإنتاج الغذاء من خلال عملية البناء الضوئي، وتعدّ مصدر الطاقة الأول لباقي الكائنات.

أما الحيوانات فتُصنّف ككائنات مستهلكة تعتمد في غذائها على النباتات أو على غيرها من الحيوانات (الفرائس).

بينما تقوم الكائنات المحلّلة، مثل البكتيريا والفطريات بتحليل بقايا الكائنات الميتة وإعادة المواد والعناصر الأساسية إلى البيئة ليستفيد منها النظام البيئي من جديد.

العوامل اللاحيوية (Abiotic Factors)

هي المكوّنات غير الحية في البيئة، وتشمل الضوء والماء ودرجة الحرارة، والتربة، والمعادن، والهواء. وتعد هذه العوامل مسؤولة عن تحديد نوع الكائنات الحية التي يمكنها العيش في منطقة معينة، إذ إن كل كائن حي يحتاج إلى ظروف بيئية محددة لينمو ويبقى على قيد الحياة.

وبتفاعل العوامل الحيوية واللاحيوية معًا يتكوّن النظام البيئي المتوازن الذي يحافظ على استمرار الحياة داخل الغلاف الحيوي.

ففي النظام البيئي للبحيرة مثلاً، تتفاعل الأسماك والطحالب والبكتيريا مع العناصر الفيزيائية والكيميائية للماء في دورة متواصلة من تبادل المادة والطاقة.

وعندما تتشابه عدة أنظمة بيئية في خصائصها المناخية وفي الكائنات الحية السائدة فيها، فإنها تكوّن ما يُعرف بالمنطقة الحيوية. فعلى سبيل المثال، تمثل الغابات المطيرة في الأمازون وإفريقيا وآسيا مناطق حيوية تشترك في مناخها الدافئ الرطب وفي وفرة التنوع الحيوي فيها، بينما تشترك الصحاري الكبرى في خصائص مناخية قاسية ونباتات متكيفة مع الجفاف.

أما المستوى الأعلى والأشمل فهو الغلاف الحيوي، وهو النظام الضخم الذي يضم جميع المناطق الحيوية على سطح الأرض، بما فيها اليابسة والمياه والهواء، ويحتوي على جميع أشكال الحياة وتفاعلاتها مع الأغلفة الأخرى للكوكب. ويمتد الغلاف الحيوي من أعماق المحيطات إلى أعالي الجبال.

وهكذا يتدرج تنظيم الحياة في تسلسل هرمي متكامل، حيث يتكون المستوى الأعلى من مجموعة من المستويات الأدنى منه، وترتبط بينها تفاعلات معقدة ومتبادلة تضمن بقاء الكائنات الحية وتوازن الأنظمة البيئية على كوكبنا.

مستويات التنظيم في الغلاف الحيوي

الشكل ٤ - مستويات التنظيم فى الغلاف الحيوي

تعيش الكائنات الحية ضمن منظومة متكاملة، لا يمكن لأي نوعٍ منها أن يوجد بمعزل عن الأنواع الأخرى أو عن البيئة المحيطة به. فالحياة على الأرض تُنظَّم في مستويات متدرجة من التعقيد، يبدأ أصغرها **بالكائن الحي** الفرد وينتهي بأكبرها، وهو الغلاف الحيوي الذي يضم الحياة بأكملها على كوكب الأرض. يمثل الكائن الحي المستوى الأول من هذا التسلسل؛ فهو فرد واحد من نوع معين، كسمكة واحدة في بركة أو شجرة واحدة في غابة. وتكوّن مجموعة من الأفراد من النوع نفسه **جماعة حيوية**، مثل قطيع من الظباء في السافانا الإفريقية أو تجمع من الأسماك في مياه البحر الأحمر، حيث تتشارك أفراد الجماعة في المكان والزمان ذاته وتتفاعل فيما بينها في الغذاء والتكاثر والحماية.

وعندما تتجمع جماعات حيوية مختلفة من أنواع متعددة وتعيش في منطقة واحدة، فإنها تشكل **مجتمعًا حيويًا**، كالغابة التي تضم أشجارًا ونباتات عشبية وحشرات وطيورًا وثدييات تتفاعل جميعها في شبكة معقدة من العلاقات الغذائية.

إحدى آليات الربط الأساسية بين هذه المستويات هي **الشبكات الغذائية**، التى توضح الطريقة التي تحصل بها الكائنات الحية على المادة والطاقة. فتحديد كيفية حصول كل كائن على غذائه يوضح دوره داخل المجتمع الحيوي وموقعه في الشبكة الغذائية، ويبيّن كيف تنتقل الطاقة والمغذيات عبر المستويات المختلفة من تنظيم الحياة.

أنماط التغذية وانتقال الطاقة في النظام البيئي

الشكل ٥ - مستويات التغذية فى النظام البيئى

يبدأ تكوين الغذاء في النظام البيئي **بكائنات تعرف بذاتية التغذية (Autotrophic Organisms)، أو الكائنات المنتجة**، وهي الكائنات القادرة على تحويل المواد غير العضوية إلى مركبات عضوية مخزنة للطاقة. أكثر هذه الكائنات شيوعًا النباتات الخضراء والطحالب، وكذلك بعض البكتيريا المتخصصة.

تستخدم النباتات الطاقة الضوئية وثاني أكسيد الكربون والماء لصنع السكريات والأغذية العضوية في عملية البناء الضوئي، ويمكن

التعبير عن هذه العملية بشكل مبسّط بالمعادلة الكيميائية التالية:

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{طاقة ضوئية}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2\uparrow$$

تشكّل الكائنات المنتجة قاعدة **الهرم**، لأن كل الطاقة المتاحة لباقي المستويات تأتي أساسًا من تحويلها للطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية قابلة للاستهلاك.

تأتي بعد ذلك **الكائنات غير ذاتية التغذية (Heterotrophic Organisms)**، أو الكائنات المستهلكة، التي لا تستطيع تكوين غذائها بنفسها، وإنما تحصل عليه باستهلاك منتَجات أو كائنات مستهلكة أخرى.

يمكن تقسيم الكائنات المستهلكة إلى مستويات تغذية بحسب مصدر غذائها:

- **الكائنات المستهلكة الأولية (آكلات الأعشاب):** تتغذى مباشرة على النباتات.
- **الكائنات المستهلكة الثانوية:** تتغذى على آكلات الأعشاب، وتتدرج إلى المفترسات العليا.

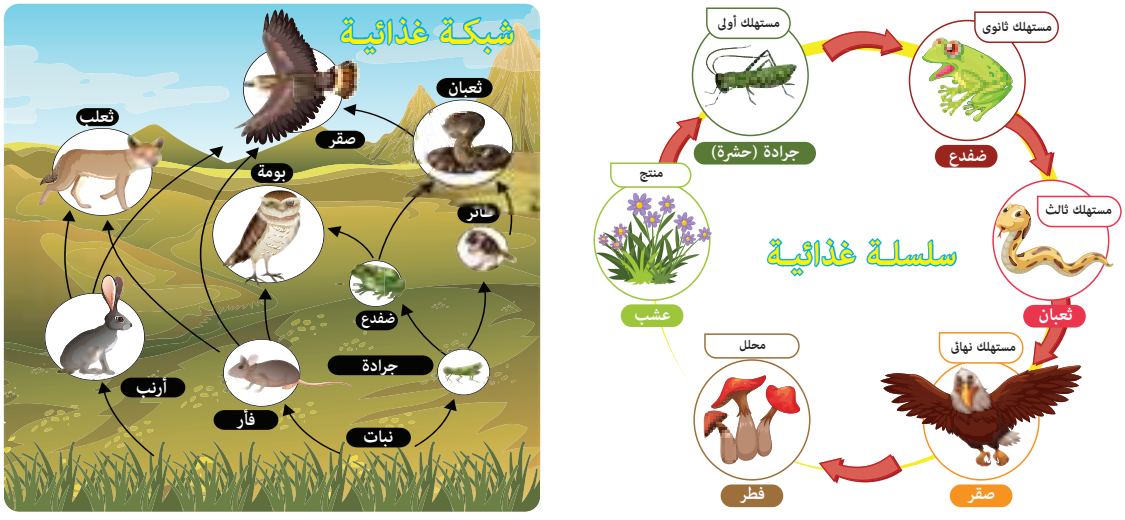
أمثلة لمستويات تغذية:

في النظام النهري: الطحالب الدقيقة (كائنات منتجة) تغذّي الأسماك الصغيرة (مستهلكات أولية)، وهذه بدورها تغذّي الأسماك المفترسة الأكبر (مستهلكات ثانوية أو ثالثية).

وفي النظام البري: تمثل الأشجار والنباتات قاعدة تتغذى عليها الأرانب والغزلان التي تتغذى عليها ذئاب أو نسور كمستهلكات لاحقة.

تأتي **المحللات** في الطبقة التالية من الهرم الغذائي حيث تلعب دورًا أساسيًا في إعادة تدوير المادة داخل النظام البيئي. تقوم البكتيريا والفطريات بتحليل بقايا النباتات والحيوانات الميتة وتحويلها إلى عناصر معدنية بسيطة تعود للتربة والمياه. في غياب الكائنات المحلّلة، تتراكم المواد العضوية والكائنات الميتة وتتوقف دورة المواد الغذائية، مما يؤثر سلبًا على جميع مستويات التنظيم البيئي.

على سبيل المثال، في دلتا النيل والبحيرات المرتبطة بها تعمل الطحالب ككائنات منتجة أساسية. تستهلك الأسماك العوالق النباتية والحيوانية الصغيرة، بينما تعمل الطيور المائية والأسماك الكبيرة ككائنات مستهلكة عليا.



الشكل ٦ - سلسلة غذائية وشبكة غذائية

تدفق الطاقة في النظام البيئي

يمكن أيضًا دراسة المستويات الغذائية من خلال **تدفق الطاقة بينها**. فعندما يأكل حيوانٌ من آكلات العشب نباتًا، فهو لا يحصل على كل الطاقة الموجودة في ذلك النبات، بل جزءًا صغيرًا فقط (10 %) . ويُختزن جزء من الطاقة المنتقلة إلى الحيوان في خلاياه وأنسجته. أمّا بقية الطاقة (90 %) ، فإنها لا تنتقل إلى المستوى الغذائي التالي ، حيث أنها تتوزع على عدة مسارات، مثل:

١. طاقة يستخدمها الحيوان في العمليات الحيوية:

يستخدم الحيوان جزءًا من الطاقة التي انتقلت إليه من النبات لكي يقوم بالعمليات والأنشطة الحيوية مثل الهضم، والتنفس والحركة وغيرها. تلك الأنشطة تُستهلك كمية كبيرة من الطاقة.

٢. طاقة تُفقد على هيئة حرارة:

أثناء نشاط الحيوان وقيامه بالعمليات الحيوية، تُنتج كمية من الطاقة الحرارية التي تنتقل إلى البيئة ولا تنتقل إلى الكائن الذي يتغذى على هذا الحيوان.

٣. طاقة مختزنة في المواد التي لم يستطع الحيوان هضمها:

بعض أجزاء النبات التي التهمها الحيوان لا تُهضم بالكامل مثل الألياف القاسية، وبالتالي يطرد الحيوان جزءًا من الطاقة مختزن في فضلاته.

ومن هذا نستنتج أن **جزءًا بسيطًا** من الطاقة المختزنة في أنسجة النبات تنتقل إلى الحيوان العاشب. وبالمثل، ينتقل جزء بسيط من الطاقة من الحيوان العاشب إلى الحيوان الذي يفترسه.

ولهذا تتناقص كمية الطاقة المنتقلة من مستوى غذائي إلى آخر كلما اتجهنا في **هرم الطاقة** من المنتجين إلى المستهلكين.

ولهذا السبب تُستخدم نماذج الهرم البيئي، لتمثيل كمية الطاقة أو أعداد الكائنات الحية أو كتلتها الحيوية في المستويات الغذائية المختلفة.

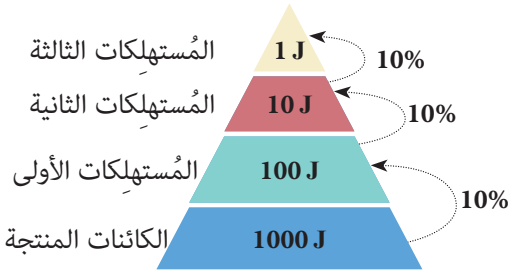
الشكل ٧ - الأهرامات البيئية

تُشكّل الكائنات المنتجة قاعدة الهرم وأكبر مستوياته، كونها الأكثر عددًا وتمتلك أكبر كمية من الطاقة. تتناقص كمية الطاقة أو عدد الكائنات أو الكتلة الحيوية تدريجيًا كلما انتقلنا من مستوى إلى مستوى تالي له، حيث تقل الطاقة المتاحة شيئًا فشيئًا في اتجاه قمة الهرم.

يقل عدد الكائنات في المستوى الأعلى من الهرم حيث لا تدعم كمية الطاقة المتوفرة **إلا عدد قليل من الأفراد**. وهذا يفسر قلة أعداد المفترسات الكبيرة مقارنة بوفرة أعداد النباتات وآكلات العشب.

مثال

لو لديك 10,000 وحدة طاقة مختزنة في عدد معين من النباتات (كائنات منتجة)، فقد تصل منها 1000 وحدة فقط إلى آكلات الأعشاب التي تغذت عليها (مستهلكات أولى)، ثم 100 وحدة إلى آكلات اللحوم التي تغذت على آكلات العشب (مستهلكات ثانية)، وربما 10 وحدات فقط إلى المفترس الكبير الذي تغذى على آكلات اللحوم (مستهلكات ثالثة).



الشكل ٨ - هرم الطاقة

في المقابل، في المناطق الصحراوية تكون الكائنات المنتجة محدودة بسبب شُح الماء والحرارة الشديدة، تتكيف الحيوانات لتكون فعّالة في استخدام الطاقة، وتكون الشبكات الغذائية أبسط وأكثر اعتمادًا على مصادر غذائية متقطعة. وتوجد أيضًا شبكات غذائية معقّدة تتكون من سلاسل متعددة مترابطة لا يعتمد المستهلك فيها على نوع واحد من الغذاء، بل على مصادر متعددة. هذا التشابك يجعل المجتمع الحيوي أكثر مرونة أمام فقدان نوع واحد، لكنه أيضًا يجعل التأثيرات السلبية مثل إزالة غطاء نباتي أو تلوث الماء مؤثرة على نطاق واسع، لأن تأثيرها يمتد عبر الشبكة بأكملها.

تطبيقات تكنولوجية

طوّر العلماء **أطواقًا ذكية** بها **مستشعرات دقيقة**. يتم وضعها حول أعناق الحيوانات البرية الموجودة في "المحميات الطبيعية بدولة كينيا". تقوم المستشعرات بقياس **كمية الطاقة** التي يستهلكها الحيوان كل يوم أثناء نشاطها و بحثها عن الغذاء ، حيث تقوم بقياس معدل الحركة والنبض ودرجة حرارة الجسم. وباستخدام الذكاء الاصطناعي، يتم تحليل البيانات لمعرفة مقدار **الطاقة التي تفقدها الحيوانات**.

الشكل ٩ - الوشق الأبيبري

ساعد هذا الابتكار في إنقاذ قطعان من الوشق الأبيبري **المهددة بالانقراض** بعدما اكتشف الباحثون أن انخفاض أعداد الفرائس **خفّض من كمية الطاقة المتاحة** لها بشكل خطير، مما مكّن الخبراء بهذه المحميات من التدخل لتوفير بيئة غذائية أفضل.

لذا فإن دراسة أنواع التغذية ليست مجرد تصنيف للكائنات، بل هي أداة لفهم ديناميكية الأنظمة البيئية، وكيف تحافظ على توازنها أو كيف تنهار الوظائف البيئية عندما تتعرض لعوامل بشرية أو طبيعية مضطربة.

بعد أن تعرّفنا كيف تحصل الكائنات الحية على غذائها، يصبح من المهم أن نفهم ممَّ يتكوّن هذا الغذاء، وما المواد التي تُمدّ الخلايا بالطاقة وتبني أجسام الكائنات,

المركّبات الكيميائية في الغلاف الحيوي

تهدف جميع أشكال التغذية فى الكائنات الحية إلى تزويدها بالمركّبات الكيميائية الأساسية التي تقوم عليها الحياة. تتألف هذه المركّبات العضوية من أربع مجموعات رئيسة هي: الكربوهيدرات، والبروتينات، والليبيدات، والأحماض النووية. هذه المركبات تمثّل المصادر التي تُخزَّن فيها الطاقة، والعناصر التي تُنظّم العمليات الحيوية.

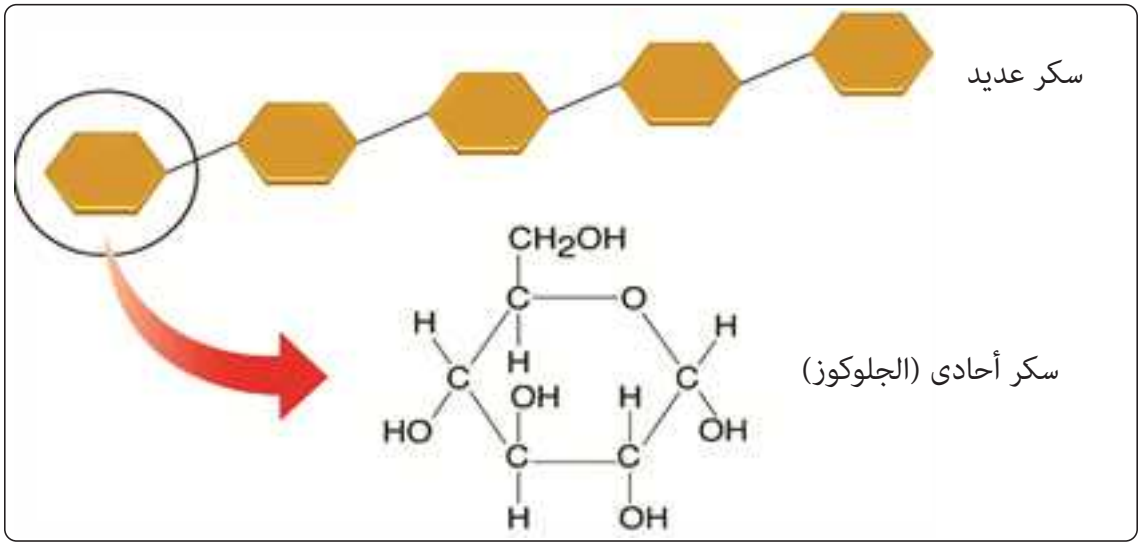
وفيما يلي سنتعرّف أهم هذه المركّبات، وتركيبها، ووظائفها الحيوية.

أولًا: الكربوهيدرات: مصدر الطاقة الرئيس (Carbohydrates)

الكربوهيدرات هي المركّبات العضوية الأكثر شيوعًا في الكائنات الحية، وتتكوّن جزيئاتها من عناصر الكربون والهيدروجين والأكسجين بنسبة تقريبية (1:2:1) على الترتيب. وتُعدّ المصدر الرئيس للطاقة في معظم الكائنات الحية، إذ تتحلّل هذه المركبات في الخلايا لإنتاج الطاقة اللازمة للأنشطة الحيوية.

تنقسم الكربوهيدرات إلى ثلاثة أنواع رئيسة:

- **السكريات الأحادية:** وهي أبسط أشكال الكربوهيدرات وتُستخدم مباشرة في التنفس الخلوي لإنتاج الطاقة، مثل الجلوكوز (سكر العنب) والفركتوز (سكر الفاكهة).
- **السكريات الثنائية:** تنتج من اتحاد جزيئين من السكريات الأحادية، مثل السكروز (سكر القصب) واللاكتوز (سكر اللبن).
- **السكريات العديدة:** مركّبات معقدة تتركب من العديد من السكريات الأحادية. وتدخل في بناء الخلايا أو تخزين الطاقة أو تكوين الهياكل الداعمة ، مثل السليلوز الذي يدخل في تركيب جدران الخلايا النباتية والكايتين الذي يدخل فى تركيب الهياكل الخارجية للمفصليات، والنشا الذي يُخزن في النباتات (في الأوراق والدرنات)، والجليكوجين الذي يُخزن في الحيوانات (داخل الكبد والعضلات).



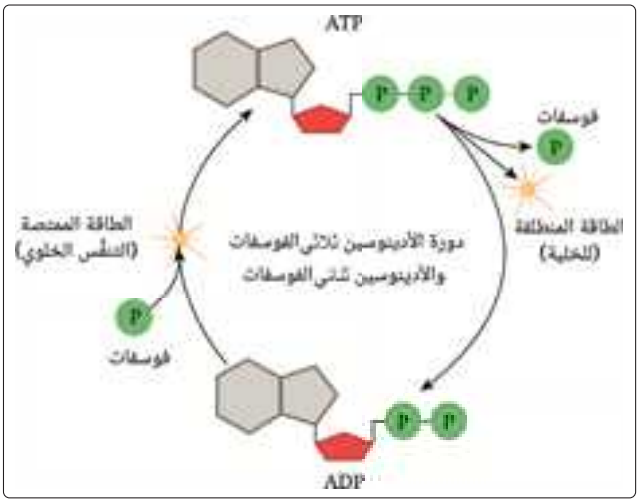
الشكل ١٠ - تتكون السكريات العديدة من عدة سكريات أحادية

الطاقة في الخلايا الحية

تُعدّ جزيئات **الأدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP)** المصدر المباشر للطاقة في الخلايا الحية، فهي تمثّل شكل الطاقة الكيميائية الذي يمكن استخدامه مباشرة في العمليات الحيوية المختلفة.

يتكوّن جزيء ATP (أدينوسين ثلاثي الفوسفات) من ثلاث مجموعات فوسفات متصلة بجزيء يُسمّى **الأدينوسين**. **الرابطة بين مجموعتي الفوسفات الثانية والثالثة** عالية الطاقة لأنها تحتاج طاقة كبيرة لتكوينها، وعندما تنكسر هذه الرابطة تتحرّر كمية من الطاقة يمكن للخلية الاستفادة منها مباشرة في أداء وظائفها الحيوية مثل الانقباض العضلي أو نقل المواد عبر الأغشية.

عندما يدخل **الجلوكوز** الناتج عن عملية البناء الضوئي أو المستمد من الغذاء في الكائنات غير ذاتية التغذية إلى الخلية، يتحلّل في سلسلة من التفاعلات الكيميائية تُعرف بعملية **التنفس الخلوي**، يتم خلالها تكسير روابطه الكيميائية تدريجيًا، مما يؤدي إلى انطلاق طاقة. هذه الطاقة لا تُستخدم مباشرة، بل تُخزَّن بطريقة منظمة داخل جزيئات ATP .



الشكل ١١ - دورة الأدينوسين ثنائي الفوسفات والأدينوسين ثلاثي الفوسفات (للاطلاع فقط)

وعندما تحتاج الخلية إلى الطاقة، تُكسَر هذه الرابطة لتتحوّل جزيئات **ATP** إلى **أدينوسين ثنائي الفوسفات (ADP)** مع انطلاق الطاقة اللازمة لقيام الخلية بوظائفها، مثل انقباض العضلات أو نقل المواد عبر الأغشية أو بناء الجزيئات الحيوية.

وبإضافة مجموعة فوسفات جديدة، يمكن للخلية إعادة تكوين جزيء **ATP** النشط من ADP، مستخدمة جزء من الطاقة الناتجة من أكسدة الجلوكوز **ATP** . وهكذا تستمر هذه الدورة الحيوية الدقيقة التي تضمن تزويد الخلايا بطاقة مستمرة ومتجددة تحافظ على استمرار الحياة.

تطبيقات طبية

تعد أجهزة مراقبة الجلوكوز المستمرة **CGM** من أهم الابتكارات الصحية الحديثة؛ فهي تقيس مستوى سكر الدم داخل الجسم كل عدة دقائق دون وخز، مما يساعد على تتبع توفر الكربوهيدرات كمصدر للطاقة قبل تحويلها إلى **جزيئات ATP**.

تساعد هذه الأجهزة المرضى والرياضيين على إدراك تأثير وجبات الكربوهيدرات على إنتاج الطاقة، وضبط نمط الغذاء ومعدل الجهد البدني بدقة للحفاظ على طاقة مستقرة وصحة أفضل.

الشكل ١٢ - جهاز مراقبة الجلوكوز

ثانيًا: البروتينات(Proteins) : وحدات البناء الوظيفية في الكائنات الحية داخل الغلاف الحيوي

البروتينات هي جزيئات ضخمة ومعقّدة تتكوّن من وحدات صغيرة تُعرف بالأحماض الأمينية. تحتوي هذه الجزيئات على عناصر الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين، وأحيانًا الكبريت. وهي تشكّل المادة البنائية الرئيسة في أجسام الكائنات الحية، وتدخل في تركيب العضلات والإنزيمات وبعض الهرمونات والأجسام المناعية.

تختلف البروتينات باختلاف ترتيب الأحماض الأمينية داخل سلاسلها، وهذا الترتيب يحدّد شكلها ووظيفتها.

فمثلًا، البروتينات البنائية مثل الكيراتين تعطي الصلابة للشعر والأظافر، بينما تعمل البروتينات الإنزيمية مثل الأميليز كعوامل حفازة تقوم بتسريع معدل التفاعلات الكيميائية الحيوية داخل الجسم دون أن تُستهلك خلالها.

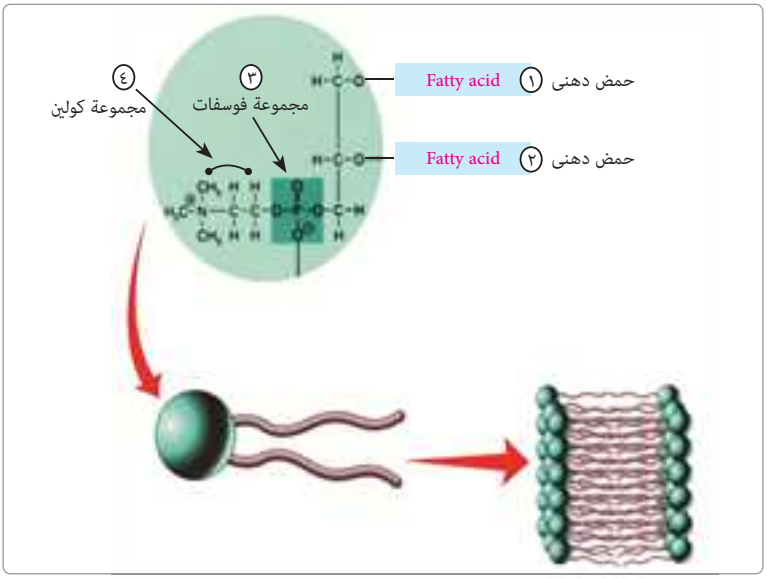
عندما تتفكك البروتينات أثناء الهضم، تتحوّل إلى أحماض أمينية يُعاد استخدامها لبناء بروتينات جديدة حسب حاجة الخلايا.

ثالثًا: الليبيدات (Lipids) : مخازن الطاقة

الشكل ١٣ - الدب القطبى

الليبيدات هي مركّبات عضوية تتكوّن جزيئاتها أساسًا من الكربون والهيدروجين والأكسجين، وتُعدّ مصدرًا مُركزًا للطاقة في الجسم، إذ تنتج عند أكسدتها ضعف ما تنتجه الكربوهيدرات من طاقة. كما تعمل كعازل حراري يحافظ على درجة حرارة الجسم، مثل طبقة الدهون السميكة في الدب القطبي، وتعتبر الفوسفوليبيدات هى جزيئات دهنية تحتوى على مجموعة فوسفات وتمثل جزءًا أساسيًا في تركيب الأغشية الخلوية حيث تدخل في تكوين طبقة مزدوجة تحيط بالخلية.

توجد الدهون في عدة صور منها الزيوت النباتية والدهون الحيوانية، وتُخزَّن في الأنسجة الدهنية لتستخدمها الخلايا عند الحاجة للطاقة. كما تدخل بعض أنواع الدهون مثل الكوليسترول في تكوين بعض الهرمونات وفيتامينD.



الشكل ١٤ - التركيب الجزيئي للفوسفوليبيدات (للاطلاع فقط)

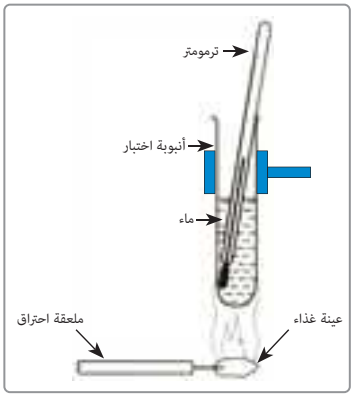
مقارنة المحتوى الحراري للدهون والكربوهيدرات

يُعرف **المحتوى الحراري** بأنه كمية الحرارة الناتجة عن احتراق 1 جرام من الطعام، ويتم قياسه بالكيلوجول لكل جرام **(kJ/g)**، وفي النواحي العملية عادة ما تُستخدم وحدة الكيلو سعر لكل جرام **(kCal/g)**، علمًا بأن: **(1Calorie = 4.18J)**

تجربة عملية

الأدوات:

أنبوبة اختبار – ملعقة احتراق – لهب بنزن – ميزان حساس – ترمومتر – ماء – عينة من السكر الأبيض (كربوهيدرات) – عينة من زيت نباتي نقي (دهون).



الشكل ١٥ - تعرف المحتوى الحراري لعينة غذاء

الخطوات:

١- ضع حجمًا مناسبًا من الماء في أنبوبة الاختبار.

٢- سجّل درجة حرارة الماء الإبتدائية (t_1) باستخدام الترمومتر.

٣- ضع كتلة معينة من السكر(10g) في ملعقة الاحتراق.

٤- إبدأ في حرق عينة الطعام باستخدام لهب بنزن على بُعد 1cm من أنبوبة الاختبار حتى تحترق تمامًا.

٥- سجّل درجة الحرارة النهائية للماء (t_2) .

مقدار التغير في درجة حرارة عينة الماء (t_1-t_2) يعبر عن كمية الطاقة التي اكتسبها الماء والأنبوبة، والتي بدورها تعبر عن كمية الطاقة المنطلقة من عينة الغذاء عند حرقه.

٦- كرّر الخطوات السابقة مع كتلة مماثلة من زيت الطعام.

سجل ملاحظاتك: .....

الاستنتـــاج: .....

التكنولوجيا الحديثة وتفسير تركيب الجزيئات الحيوية من منظور فيزيائي

أدت التكنولوجيا الحديثة إلى تطوير أجهزة دقيقة مكّنت العلماء من دراسة المركّبات الأساسية للحياة على المستوى الجزيئي. ومن أهم هذه الأجهزة المجهر الإلكتروني الذي يعتمد على استخدام حزمة من الإلكترونات بدلاً من الضوء لتكوين صورة. حيث إنه يمكن التحكم في الطول الموجي المصاحب للإلكترون ليصبح أقصر كثيرًا من الطول الموجي للضوء، مما يتيح رؤية تراكيب صغيرة جدًا مثل بروتينات الغشاء والليبيدات التي لا يمكن رؤيتها بالميكروسكوبات الضوئية التقليدية.

الشكل ١٦ -المجهر الإلكتروني

وقد ساعد هذا التقدّم في فهم كيفية ترتيب الجزيئات داخل الخلايا،

وبخاصة الأغشية الحيوية التي تُبنى من طبقات مزدوجة من الليبيدات، الأمر الذي أسهم في تصميم أدوية حديثة تستهدف الوصول إلى بروتينات محددة داخل الخلية بدقة أكبر. وهذا يظهر مدى التكامل بين فروع العلم المختلفة في انتاج مواد وأدوات حديثة تحسن من جودة الحياة وتحافظ على الاتزان في كوكب الأرض.

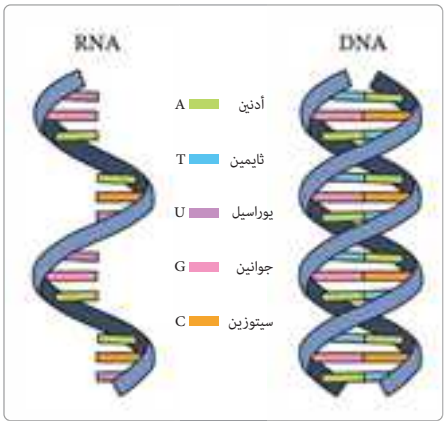
رابعًا: الأحماض النووية (Nucleic Acids) وضمان استمرارية الحياة في الغلاف الحيوي

تُعدّ الأحماض النووية أساس الوراثة في جميع الكائنات الحية، فهي التي تحمل الشيفرة الوراثية المسؤولة عن تحديد صفات الكائن وتنظيم وظائف خلاياه.

تتكوّن الأحماض النووية من وحدات صغيرة تُسمّى **النيوكليوتيدات**، يتكون كل منها من سكر خماسي، ومجموعة فوسفات، وقاعدة نيتروجينية. والقواعد النيتروجينية هي: **الأدنين A، الثايمين T، السيتوزين C، والجوانين G). وينشأ عن** ترتيب هذه القواعد ما يُعرف **"بالشفرة الوراثية"** التي تحدد كل صفات الكائن الحي.

وهناك نوعان رئيسان من الأحماض النووية:

- **الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين (DNA)**، وهو الذي يحمل المعلومات الوراثية داخل نواة الخلية في الكائنات حقيقية النواة ويحمل المعلومات الوراثية التي تنتقل من جيل إلى جيل.
- **الحمض النووي الريبوزي (RNA)**، وهو الذي يشارك في تحويل هذه المعلومات الوراثية إلى بروتينات تنفذ وظائف الخلية.



الشكل ١٧ - الحمض النووي

تطبيقات تكنولوجية حديثة

في المختبرات الحديثة، تُعد تقنية **كريسبر-كاس 9 (CRISPR-Cas9)** ، من أحدث أدوات الهندسة الجينية التي تستخدم في تعديل الحمض النووي **(DNA)**.

يقوم العلماء باستخدام هذا النظام كـ**"مقص جزيئي"** عالي الدقة لاستهداف تسلسل معين من **القواعد النيتروجينية (الأدنين A، الثيامين T، السيتوزين C، والجوانين G)** داخل جينوم الخلية (المجموعة الكاملة للمعلومات الوراثية في الكائن الحي) . تسمح هذه الدقة الفائقة بإجراء تعديلات جينية محددة، بغرض:

- **تصحيح الجينات المعيبة** أو المسببة للأمراض مثل: تلك المسببة لمرض فقر الدم المنجلي.
- **إضافة جينات جديدة، أو إزالة جينات غير مرغوب فيها** لإنتاج محاصيل ذات خصائص محسّنة ومقاومة للأمراض.

الشكل ١٨ - الهندسة الجينية

أولا: أسئلة اختيار من متعدد

اختر الاجابة الصحيحة:

١. **أي مما يلي يصف الغلاف الحيوي بدقة أكبر؟**

أ) طبقة الغازات المحيطة بالأرض
ب) الكائنات الحية ومناطق معيشتها على الأرض
جـ) المياه الموجودة على سطح الأرض
د) الصخور التي تكوّن القشرة الأرضية

٢. **يتفاعل الغلاف الحيوي مع الغلاف المائي عندما:**

أ) تتنفس الكائنات الحية الأكسجين
ب) تمتص النباتات الماء من التربة
جـ) تتشكل الجبال من الصخور
د) تتحرك الرياح في الغلاف الجوي

٣. **أي من المستويات التالية يمثل تجمعًا من أنواع مختلفة تعيش وتتفاعل في منطقة واحدة؟**

أ) الكائن الحي
ب) الجماعة الحيوية
جـ) المجتمع الحيوي
د) النظام البيئي

٤. **في النظام البيئي، تمثل أشعة الشمس عاملًا:**

أ) حيويًا
ب) تكاثريًا
جـ) لاحيويًا
د) وراثيًا

٥. **أي من الأمثلة التالية يوضح تفاعلًا بين العوامل الحيوية واللاحيوية؟**

أ) افتراس أسد لغزال
ب) امتصاص نبات لأشعة الشمس لإنتاج غذائه
جـ) تعفن ثمرة بواسطة الفطريات
د) تكوين مجتمع من الطيور في الغابة

٦. **تُعد النباتات كائنات ذاتية التغذية لأنها:**

أ) تستهلك الكائنات الأخرى للحصول على الطاقة
ب)تحصل على غذائها من الأملاح والمعادن فقط
جـ) تُنتج غذاءها بنفسها من مواد غير عضوية
د) تعتمد على الفطريات في تحليل الغذاء

٧. **أي العمليات التالية تمثل تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية؟**

أ) التنفس الخلوي
ب) البناء الضوئي
جـ) التحلل العضوي
د) الهضم

٨. **أي المركبات التالية يُعد المصدر الرئيسي للطاقة في الخلية؟**

أ) البروتينات
ب) الدهون
جـ) الكربوهيدرات
د) الأحماض النووية

٩. **أي من العبارات التالية تفسّر دور البروتينات بدقة؟**

أ) تخزن الطاقة طويلة الأمد
ب) تُكوّن جدر الخلايا
جـ) تسرّع التفاعلات الحيوية وتبني الأنسجة
د) تحمل المعلومات الوراثية

١٠. تحمل الأحماض النووية المعلومات الوراثية لأن تركيبها يحتوي على:

أ) سلاسل من الأحماض الأمينية
ب) روابط فوسفورية غنية بالطاقة
جـ) قواعد نيتروجينية مرتبة بنظام محدد
د) سلاسل من الأحماض الدهنية

١١. يطلق جزيء الجلوكوز طاقته في الخلية لتكوين:

أ) DNA
ب) ADP
جـ) ATP
د) RNA

١٢. الرابطة الثالثة في جزيء الـATP تتميز بأنها:

أ) ضعيفة ولا تخزن طاقة
ب) قوية وتخزن طاقة قابلة للتحرير
جـ) رابطة أيونية بين ذرتي فلزين
د) رابطة هيدروجينية بين جزيئين من الماء

١٣. أي مما يلي يُظهر العلاقة بين أنماط التغذية والمركبات الكيميائية؟

أ) الكائنات ذاتية التغذية تصنع مركبات عضوية تخزن الطاقة

ب) الكائنات غير ذاتية التغذية تستهلك الأملاح فقط

جـ) الكائنات المحللة تستخدم الضوء لصنع البروتينات

د) جميع الكائنات تستخدم الطاقة الضوئية مباشرة

١٤. إذا قلّت شدة الضوء في بيئة ما، فما التأثير المحتمل على مستويات الطاقة في النظام البيئي؟

أ) تزداد إنتاجية الغذاء
ب) تقل كمية الجلوكوز المنتجة
جـ) تزداد الكتلة الحيوية للنباتات
د) لا يحدث أي تغير

١٥. أي من العلاقات التالية تُظهر تكامل الأغلفة الأرضية؟

أ) تحلل الأوراق الميتة في التربة بواسطة البكتيريا
ب) حركة الرياح فوق سطح البحر فقط
جـ)تبخر الماء من سطح الصخور
د) تكون الجبال من الحمم البركانية

ثانيًا: أسئلة مقالية

بم تفسر؟

١. يُعد الغلاف الحيوي نظامًا متكاملاً يشمل جميع الكائنات الحية ومناطق وجودها على سطح الأرض.

٢. اختلاف أنواع الكائنات الحية في البيئات المختلفة.

٣. يُعد النبات عاملًا حيويًا في النظام البيئي.

٤. يُعد النظام البيئي وحدة متكاملة في الطبيعة.

٥. المفترسات ضرورية في استقرار النظام البيئي.

٦. تُعد الكربوهيدرات المصدر الرئيس للطاقة في الكائنات الحية.

٧. البروتينات ضرورية لبناء جسم الكائن الحي.

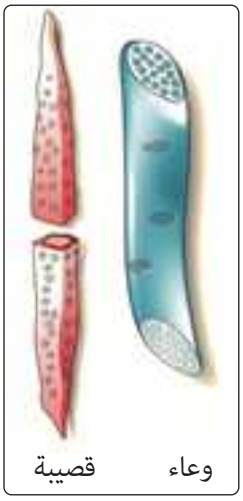
٢-٣ العمليات الحيوية في الكائنات الحية واستقرار الغلاف الحيوي

تحتاج الكائنات الحية إلى نظام دقيق يضمن انتقال المواد الأساسية داخلها، مثل الماء والأملاح والأكسجين والمواد الغذائية. وتُعد عمليات النقل والتنفس والإخراج من أهم العمليات الحيوية التي تُحافظ على هذا التوازن؛ فعملية النقل تُوفّر لكل خلية ما تحتاج إليه من مواد، بينما يُحوِّل التنفس الطاقة الكامنة في تلك المواد إلى طاقة تُستخدم في أداء الأنشطة الحيوية المختلفة، وفي الإخراج، يتخلص الكائن الحي من الفضلات الناتجة من العمليات الحيوية. ومن خلال هذا التكامل، تسهم الكائنات الحية في استقرار واتزان الغلاف الحيوي، إذ تُعيد تدوير المواد والطاقة بما يحافظ على استمرار الحياة على كوكب الأرض.

أولاً: النقل في الكائنات الحية ودوره في توزيع المواد والطاقة

١. الأوعية الناقلة في النبات

تمتلك النباتات الراقية أنظمة نقل تمكّنها من نقل الماء والأملاح والعناصر الغذائية المصنعة داخل أجزاءها، على الرغم من عدم وجود عضو متخصص لدفعها كما القلب في الإنسان، وهذه الأنظمة هي **أنسجة الخشب وأنسجة اللحاء.**



الشكل ١٩ -نسيج الخشب

- **أنسجة الخشب: نقل بعض المواد الخام لعملية البناء الضوئي**

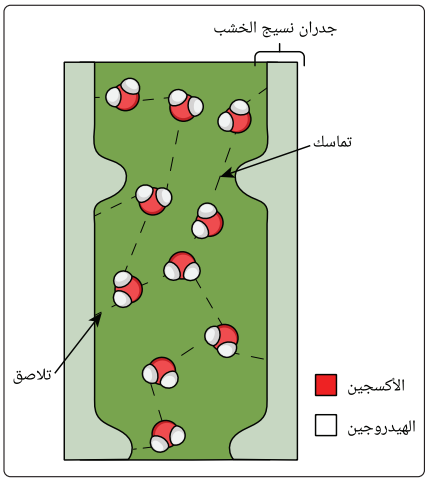
يُعد **نسيج الخشب (Xylem)** المسؤول عن نقل الماء والأملاح المعدنية الممتصّة من التربة إلى الأوراق، حيث تتم عملية البناء الضوئي.

يتكوّن نسيج الخشب بصورة أساسية من أنابيب طويلة جوفاء تمتد من الجذر إلى الأوراق، تتشكل من خلايا متخصصة تعرف بـ **القصيبات (Tracheids) والأوعية الخشبية (Vessels)**، وهي خلايا ميتة في النبات الناضج لتسهيل مرور الماء خلالها.

تدعم جدران أوعية الخشب مادة صلبة تُسمى اللِّجنين **(Lignin)**، وهي مادة تُكسب الأوعية قوة وصلابة وتمنع انهيارها. كما تساعد طبقة اللجنين في مقاومة الانضغاط، مما يسمح للأوعية بالحفاظ على شكلها حتى في أطول النباتات.

يتحرك الماء والأملاح المعدنية عبر أوعية الخشب في اتجاه واحد من الجذور إلى الأوراق معتمدًا على خصائص فيزيائية مميزة لجزيئات الماء.

ففي أوعية **الخشب** ، يتحرك الماء في عمودٍ متصل من الجذر إلى قمة النبات ،وتُعد **نظرية التماسك والتلاصق (Cohesion–Adhesion)**، التي تفسّر كيفية صعود الماء ضد الجاذبية الأرضية .



الشكل ٢٠ - قوى التماسك والتلاصق للماء داخل أوعية الخشب

نظرية التماسك والتلاصق

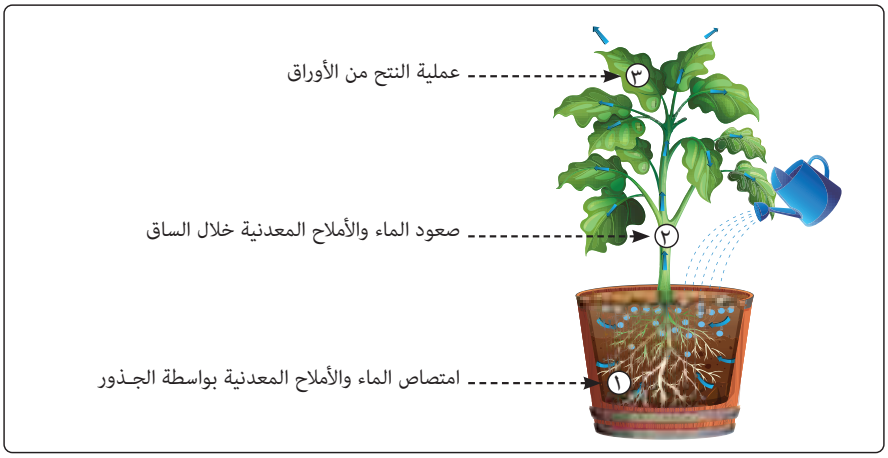
تقوم هذه النظرية على ثلاثة أنواع من القوى الأساسية:

١. قوى التماسك (Cohesion): وهي القوى التي تربط جزيئات الماء ببعضها البعض نتيجة الروابط الهيدروجينية فيما بينها، مما يجعل عمود الماء في أوعية الخشب مترابطًا أثناء حركته.

٢. قوى التلاصق (Adhesion): وهي قوى تجاذب جزيئات الماء بجدران أوعية الخشب، مما يساعد في تثبيت عمود الماء داخل الأوعية أثناء صعوده لأعلى.

٣. قوى الشد الناتجة عن النتح (Transpiration Pull):

فقدان الأوراق لبخار الماء من خلال الثغور أثناء عملية النتح يقلل عدد جزيئاته في خلايا الورقة، فيصبح الضغط المائي في الورقة أقل من الموجود في الساق أو الجذر، أي يصبح سالبًا، مما ينشئ **قوة سحب** تُعرف بـ"قوة النتح"، تقوم بجذب عمود الماء المتصل في أوعية الخشب إلى الأعلى.

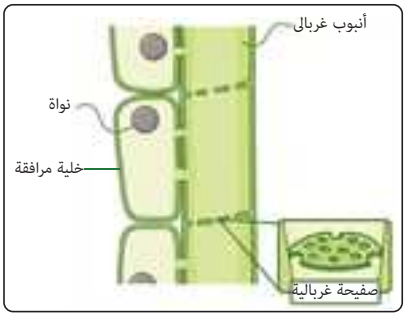


الشكل ٢١ - صعود الماء والأملاح عبر ساق النبات

وهكذا يتحرك الماء والأملاح المعدنية بصورة مستمرة من الجذر إلى الساق والأوراق. ولذلك يمكن للنبات الطويل – مثل شجرة الصنوبر – أن يرفع الماء لعشرات الأمتار دون مضخة.

وبالتالي لا يقتصر دور عملية النتح على كونها وسيلة للتخلّص من الماء الزائد أو تنظيم درجة حرارة النبات، بل تسهم أيضًا في إضافة بخار الماء إلى الغلاف الجوي، ويُسهم في تكوين السحب وهطول الأمطار كجزء من دورة الماء في الطبيعة.

- **أنسجة اللِّحاء: نقل نواتج البناء الضوئي كمصدر للطاقة في الغلاف الحيوي**



الشكل ٢٢ - تركيب نسيج اللحاء

نسيج اللِّحاء (Phloem) ينقل نواتج البناء الضوئي مثل الجلوكوز والأحماض الأمينية من الأوراق إلى جميع أجزاء النبات، بما في ذلك الجذور والثمار والبذور.

يتكون **نسيج اللِّحاء** بصورة أساسية من خلايا حية مترابطة تُعرف باسم **الأنابيب الغربالية Sieve Tubes** تصطف جنبًا إلى جنب لتشكّل قنوات نقل متصلة.

لا تحتوي خلايا الأنابيب الغربالية على نواة، لكنها ترتبط بخلايا متخصصة تُسمى **الخلايا المرافقة (Companion Cells)** التي تُزوّدها بالطاقة وتساعدها في تنظيم حركة المواد الغذائية عبر اللحاء.

ويحدث هذا النقل في اتجاهين، صعودًا وهبوطًا، حسب احتياجات النبات في كل مرحلة نمو. فعلى سبيل المثال، تُخزَّن السكريات في الجذور في فصل الشتاء، ثم يُعاد نقلها إلى الأوراق في الربيع لتغذية النمو الجديد. وهكذا يظهر أن النباتات، رغم ثباتها في مكانها، تمتلك نظامًا فعالًا ومتوازنًا لتوزيع الماء والطاقة يضمن استمرار حياتها ونموها.

تطبيقات تكنولوجية حديثة

دراسة حركة السوائل في النباتات

تُستخدم التقنيات الحديثة، مثل **التصوير المقطعي بالميكرو-أشعة السينية (Micro-CT Scanning)**، لدراسة الآليات المعقدة لنقل الماء والغذاء خلال النبات بدقة عالية، وتحديدًا في **أنسجة الخشب (Xylem) واللحاء (Phloem)**. تعمل هذه التقنية على إنشاء صور ثلاثية الأبعاد **(3D)** لتراكيب الأوعية الناقلة وأنسجة الخشب واللحاء دون تدمير العينة النباتية. يمكن من خلال هذه الصور مراقبة حركة الماء عبر أوعية الخشب، والتحقق من ظواهر داخل الأوعية مثل تشكل فقاعات هوائية تعيق استمرارية حركة عمود الماء إلى أعلى ضد الجاذبية. تساعد هذه التجارب والتطبيقات على فهم دور خاصيتي **التماسك (Cohesion) والتلاصق (Adhesion)** في صعود الماء إلى قمم الأشجار، مما يوفر معلومات لتطوير استراتيجيات مقاومة الجفاف وتحسين كفاءة استخدام الماء في الزراعة.

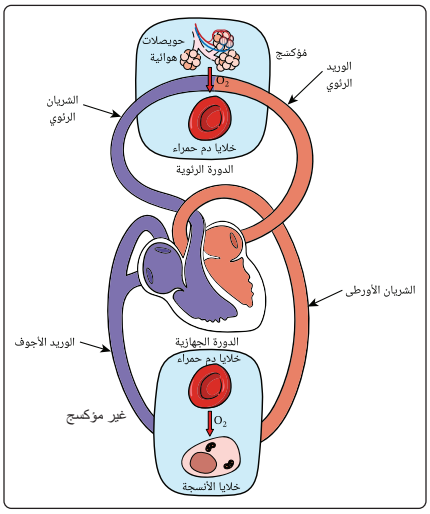
الشكل ٢٣ - التصوير المقطعي بالميكرو أشعة السينية

٢. الجهاز الدوري في الإنسان ودوره في عملية النقل

على غرار النباتات، يحتاج الإنسان أيضًا إلى نظام نقل داخلي يضمن وصول الأكسجين والمغذّيات إلى جميع خلايا الجسم. يقوم **الجهاز الدوري (Circulatory System)** بهذا الدور الحيوي من خلال شبكة متكاملة تتكون من **القلب والأوعية الدموية والدم.**

١. القلب: يعمل كمضخة عضلية قوية تدفع الدم خلال دورتين رئيسيتين متكاملتين:

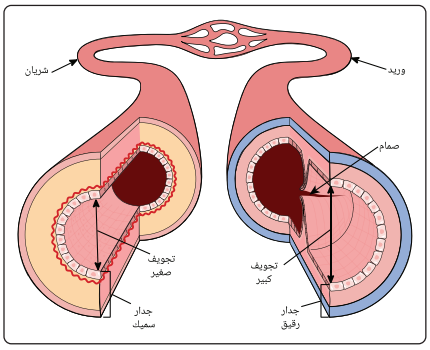
أ) **الدورة الكبرى (الجهازية):** يُضَخ الدم الغني بالأكسجين **(المؤكسج)** من البطين الأيسر عبر **الشريان الأورطي** إلى جميع أنسجة الجسم، بينما يعود الدم الغني بثاني أكسيد الكربون و الفقير بالأكسجين (غير المؤكسج) عبر **الأوردة** إلى الأذين الأيمن، ثم إلى البطين الأيمن.



الشكل ٢٤ - تدفق الدم عبر الجهاز الدوري للإنسان

ب) الدورة الصغرى (الرئوية): يُضخ الدم **(غير المؤكسج)** من البطين الأيمن إلى الرئتين لتزويد **خلايا الدم الحمراء** بالأكسجين من هواء الشهيق وإطلاق ثاني أكسيد الكربون ليُطرد خارج الجسم مع هواء الزفير، ثم يعود الدم محملًا بالأكسجين إلى الأذين الأيسر، ثم إلى البطين الأيسر.

٢. الأوعية الدموية شبكات لنقل الطاقة والمواد الحيوية داخل الكائن الحي، وتنقسم إلى:



الشكل ٢٥ - الأوعية الدموية

- **الشرايين** تنقل الدم المؤكسج بسرعة عالية و ضغط من القلب إلى أجزاء الجسم المختلفة
- **الأوردة** تُعيد الدم غير المؤكسج إلى القلب بضغط منخفض بمساعدة صمامات تمنع ارتجاعه داخل الوريد.
- **الشعيرات الدموية** يتم عندها التبادل الفعلي للمواد، مثل: الأكسجين، وثاني أكسيد الكربون، والجلوكوز، والفضلات بين الدم وخلايا الجسم.

يتكامل هذا النظام مع **الجهاز التنفسي** الذي يعمل على تزويد الدم بالأكسجين، ومع **جهاز الإخراج** الذي يقوم بالتخلص من الفضلات. فمثلاً، أثناء المجهود البدني، ففي نفس الوقت يزداد معدل التنفس ومعدل ضربات القلب لتزويد العضلات بالمزيد من الأكسجين والطاقة، ويزداد أيضًا معدل إفراز العرق. مما يعتبر مثالًا بسيطًا على **الاتزان الداخلي (Homeostasis)** في عمل الجسم.

ضغط الدم في الإنسان

الشكل ٢٦ - جهاز قياس ضغط الدم

يُعد ضخ الدم بواسطة القلب بمثابة القوة الدافعة الحيوية التي تضمن وصول الأكسجين والمغذيات إلى جميع الخلايا والأنسجة. ويحدث الدم ضغطًا على جدران الأوعية الدموية (الشرايين والأوردة) أثناء دورانه في الجسم. هذا الضغط ضروري لضمان تدفق الدم المستمر ويُقاس الضغط عادةً بقيمتين:

الضغط الانقباضي (Systolic Pressure): وهو القيمة العليا لضغط الدم، ويمثل أقصى ضغط يؤثر به الدم على جدران الشرايين أثناء انقباض القلب لضخ الدم إلى الجسم، وقيمته الطبيعية 120 mmHg

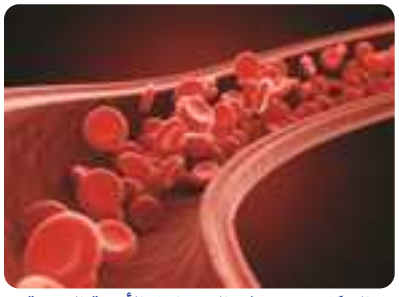
الضغط الانبساطي (Diastolic Pressure): وهو القيمة الدنيا لضغط الدم، ويمثل أدنى قوة يؤثر بها الدم على جدران الشرايين أثناء ارتخاء القلب، وقيمته الطبيعية 80 mmHg.

قيـاس ضغـط الـدم

يُعد **جهاز قياس ضغط الدم الزئبقي (Sphygmomanometer)**، الأكثر شيوعًا في قياس ضغط الدم، وينتشر حاليًا على نطاق واسع أجهزة رقمية بديلة له.

خصائص الدم الفيزيائية والحفاظ على ضغط دم طبيعي:

تلعب الخصائص الفيزيائية للدم كسائل دورًا أساسيًا في الحفاظ على ضغط الدم عند مستواه الطبيعي، وأهمها:



الشكل ٢٧ - تدفق الدم داخل الأوعية الدموية

اللزوجة (Viscosity): الدم سائل **لزج** (أعلى لزوجة من الماء) لاحتوائه على خلايا الدم الحمراء والبيضاء والصفائح الدموية والبروتينات الذائبة.

تتحكم لزوجة الدم في **معدل تدفقه**. فإذا زادت لزوجة الدم (كما في حالات الجفاف أو زيادة عدد خلايا الدم)، زادت مقاومته للتدفق، مما يسبب **ارتفاعًا في ضغط الدم**. وبالعكس، إذا قلت اللزوجة، تدفق الدم بصورة أفضل، وانخفض ضغطه.

الكثافة (Density): تؤثر كثافة الدم، والتي تتغير بتغير نسبة مكوناته (خاصة الهيموجلوبين) على الجهد اللازم لضخ الدم.

بالإضافة إلى **خصائص الدم** تؤثر أيضًا مرونة **جدران الأوعية الدموية** أثناء الانقباض والانبساط، **وقوة ضخ القلب** على هذا الضغط الحيوي.

تطبيقات فيزيائية حديثة لعلاج ضغط الدم المرتفع

تُعد تقنية **استئصال العصب الكلوي** (Renal Denervation) من أحدث التقنيات التي تساعد على استقرار ضغط الدم لدى المرضى الذين لا يستجيبون للأدوية.

هذه التقنية عبارة عن تدخل طبي **بسيط وغير جراحي** يعتمد على استخدام **موجات راديوية ذات تردد عالي** Radiofrequency Energy أو **الموجات فوق الصوتية** لتثبيط أو تعطيل الأعصاب النشطة حول الكلية التي ترسل إشارات عصبية تؤدي إلى رفع ضغط الدم بشكل مفرط.

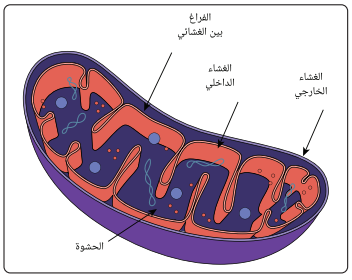
وهكذا يمكن لتطبيقات فيزيائية متقدمة أن تسهم في حماية صحة الإنسان ودعم استقراره داخل الغلاف الحيوي.

الشكل ٢٨ - الكلى

ثانيًا: التنفس والحصول على الطاقة

التنفس الخلوي

كل خلية في جسم الكائن الحي تحتاج إلى طاقة مستمرة للقيام بأنشطتها الحيوية، من نقل المواد عبر الأغشية إلى الانقسام والنمو.تستمد الخلايا هذه الطاقة من **عملية التنفس الخلوي (Cellular Respiration)**، وهي عبارة عن سلسلة من التفاعلات الكيميائية التي تُحرر الطاقة الكيميائية الكامنة في الجلوكوز وتخزنها كطاقة قابلة للاستخدام في صورة **ATP**.



الشكل ٢٩ - تركيب الميتوكوندريا

تبدأ العملية في السيتوبلازم بمرحلة تُعرف **بـتحلل الجلوكوز (Glycolysis)**، حيث يُكسر جزيء واحد من الجلوكوز وتنتج كمية صغيرة من الطاقة في جزيئات **ATP**، ثم تنتقل نواتج التحلل إلى **الميتوكوندريا** (شكل ٢٩)، وهي "محطة توليد الطاقة" في الخلية، حيث يحدث **التنفس الهوائي** في وجود الأكسجين، وينتج عنه ثاني أكسيد الكربون والماء وكمية كبيرة من جزيئات **الـATP**.

ويمكن التعبير عن التفاعل الحادث في التنفس الخلوي الهوائي بالمعادلة الكيميائية التالية:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \xrightarrow[\text{انزيمات}]{} 6CO_2 + 6H_2O + \underset{\text{طاقة كبيرة}}{E}$$

ويتحقق قانون بقاء الطاقة في التفاعلات الكيميائية حيث تتحول الطاقة من صورة لآخري دون أن تفنى أو تُستحدث. فالطاقة الكيميائية الكامنة في جزيئات الجلوكوز (الغذاء) والأكسجين تحولت إلى طاقة مختزنة في جزيئات ثاني أكسيد الكربون والماء، وإلى طاقة كيميائية مختزنة في جزيئات **ATP** بالإضافة إلى طاقة منطلقة.

وتبعًا لتوفر الأكسجين ينقسم التنفس الخلوي إلى نوعين:

- **التنفس الهوائي (Aerobic Respiration):** يتم في الظروف التي يتوفر فيها الأكسجين، ويُعد التنفس الهوائي الأكثر كفاءة لإنتاج الطاقة، إذ ينتج خلالها من جزيء جلوكوز واحد نحو 36 جزيئًا من **ATP**.
- **التنفس اللاهوائي (Anaerobic Respiration):** تتحول إليه الخلية في غياب الأكسجين، وهو أقل كفاءة في انتاج الطاقة، إذ ينتج طاقة محدودة **(حوالي ATP جزيئين من فقط)** مع تكون نواتج مثل **حمض اللاكتيك** في الخلايا العضلية ، أو **الكحول** في الخميرة.

فعلى سبيل المثال، عند ممارسة الرياضة العنيفة، يقل الأكسجين المتاح في العضلات لإنتاج الطاقة، فتلجأ الخلايا مؤقتًا إلى التنفس اللاهوائي، مما يؤدي إلى تراكم حمض اللاكتيك في الأنسجة العضلية والشعور بالإجهاد العضلي.

تفاعل: تخمُّر حمض اللاكتيك

الجلوكوز ⟵ حمض اللاكتيك + ATP

$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_3H_6O_3 + 2ATP$

تفاعل: التخمر الكحولي

الجلوكوز ⟵ إيثانول + ثانى أكسيد الكربون+ ATP

$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 2ATP$

مما سبق يتبين أنه في عمليات التنفس الخلوي تحدث تفاعلات كيميائية ينتج عنها إطلاق طاقة، ويُعرف هذا النوع من التفاعلات الكيميائية بالتفاعلات الطاردة للحرارة.

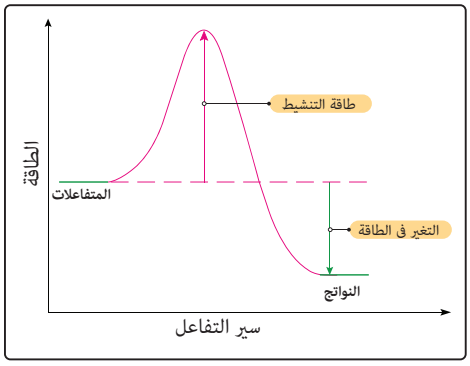
الطاقة والتفاعلات الكيميائية

في التفاعل الكيميائي تنكسَر روابط في جزيئات المواد المتفاعلة وتُنشأ روابط جديدة في جزيئات النواتج، ويصحب ذلك:

- **استهلاك كمية من الطاقة** لكسر الروابط الكيميائية بين جزيئات المتفاعلات.
- **انتاج كمية من الطاقة** كنتيجة لتكوين روابط جديدة بين جزيئات المواد الناتجة من التفاعل.

١-التفاعلات الطاردة للحرارة (Exothermic Reactions)

في التفاعلات الطاردة للحرارة تحتوي جزيئات النواتج على طاقة مختزنة (E_P) أقل من الطاقة المختزنة في جزيئات المتفاعلات (E_R)، مما يعني أن هناك انطلاقًا لكمية من الطاقة أثناء هذه التفاعلات. تنطلق هذه الطاقة الحرارية إلى الوسط المحيط، فترتفع درجة حرارة الوسط المحيط.



الشكل ٣٠ - تمثيل بياني لتفاعل طارد للحرارة

مثال لتفاعل طارد للحرارة

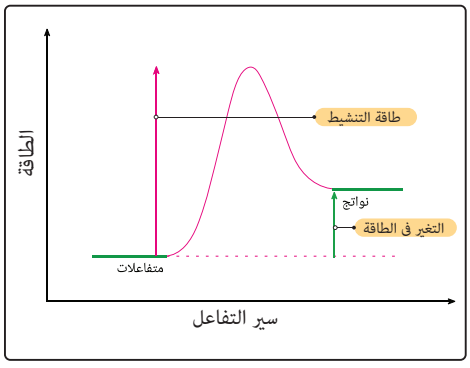
عند إضافة محلول حمض الهيدروكلوريك إلى محلول هيدروكسيد الصوديوم (قلوي) في دورق زجاجي، فإنك تشعر بالدفء أو السخونة عند لمس الاناء. يُعد تفاعل محلول هيدروكسيد الصوديوم وحمض الهيدروكلوريك لتكوين كلوريد الصوديوم وماء تفاعلًا طاردًا للحرارة حيث تنطلق من التفاعل طاقة حرارية إلى الوسط المحيط.

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

٢- التفاعلات الماصة للحرارة (Endothermic Reactions)

في التفاعلات الماصة للحرارة تحتوي جزيئات النواتج على طاقة مختزنة (E_P) أكبر من الطاقة المختزنة في جزيئات المتفاعلات (E_R)، مما يعني أن هناك حاجة لامتصاص كمية من الطاقة أثناء هذه التفاعلات. تحتاج هذه التفاعلات إلى **طاقة تنشيط** كبيرة حتى تحدث.

هذه الطاقة تستمدها المتفاعلات بالتسخين أو من الوسط المحيط بها، فتنخفض درجة حرارة الوسط المحيط.



الشكل ٣١ - تمثيل بياني لتفاعل ماص للحرارة

وتُعد عملية البناء الضوئي في النبات من أمثلة التفاعلات الماصة للطاقة حيث يمتص النبات الطاقة الضوئية من الشمس لتحويل ثاني أكسيد الكربون والماء إلى جلوكوز وأكسجين.

مثال لتفاعل ماص للحرارة

انحلال كلورات البوتاسيوم الصلبة بالحرارة إلى كلوريد البوتاسيوم وغاز الأكسجين.

$$2KClO_{3(S)} + \text{حرارة} \longrightarrow 2KCl_{(S)} + 3O_{2(g)}$$

حساب كمية الحرارة المنطلقة أو الممتصة أثناء التفاعل (التغير الحراري)

هل يكفي وصف التفاعل بكونه طارد أو ماص للحرارة؟ أليس من المفيد معرفة كمية الحرارة المنطلقة أو الممتصة أثناء التفاعل أو ما نطلق عليه التغير الحراري (ΔH) المصاحب للتفاعل؟

لحساب التغير الحراري (ΔH) المصاحب لتفاعل كيميائي، نتبع الخطوات التالية:

١- تحقيق قانون حفظ الكتلة في التفاعل:

يمكن التعبير عن التفاعل الكيميائي بمعادلة كيميائية رمزية تبين المتفاعلات والنواتج، ويجب أن تكون المعادلة الكيميائية متزنة لتحقيق قانون حفظ الكتلة (المادة) ومؤداه أن مجموع كتل المتفاعلات يساوي مجموع كتل النواتج.

مثال: تفاعل تكوين الماء

$$2\ H_{2(g)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2H_2O_{(l)} + heat$$

متفاعلات (Reactants) نواتج (Products)

كما نرى في المعادلة جزيء من الأكسجين يتفاعل مع جزيئين من الهيدروجين لتكوين جزيئين من الماء.

عمليًا، يعبر الكيميائيون عن كمية المتفاعلات والنواتج بوحدة المول (Mole). المول هي كمية من المادة لها كتلة بالجرام تعادل الكتلة الجزيئية لها.

مثلًا:

كتلة المول من الهيدروجين (H_2) = 2g حيث الكتلة الذرية له 1، وكتلة المول من الأكسجين(O_2 = 32g) حيث الكتلة الذرية له 16 ، وكتلة المول من الماء (H_2O) 2×1 + 16 = 18g

في المعادلة السابقة، عندما يتم التعبير عن كميات المتفاعلات والنواتج بالمول والجرام على الترتيب:

$$2\ H_{2(g)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2H_2O_{(l)} + heat$$

بالمول: نجد أن 2 مول من الماء ينتج من تفاعل 1 مول من الأكسجين مع 2 مول من الهيدروجين.

بالجرام: 4g + 32g = 36g

وبذلك نلاحظ أن مجموع كتل المتفاعلات يساوي مجموع كتل النواتج، رغم انطلاق طاقة على هيئة حرارة. أي أن هذا المثال يثبت قانون حفظ الكتلة، والذي ينص على أن: الكتلة لا تفنى ولا تُستحدث أثناء التفاعل الكيميائي، وإنما تتحول من شكل إلى آخر. ووجود الحرارة كناتج لا يعني فقدان الكتلة، لأن الحرارة تمثل طاقة وليست مادة، ولذلك لا تدخل في حساب الكتلة.

٢- حساب المحتوى الحراري للنواتج (Products) والمتفاعلات (Reactants)

المحتوى الحراري (H) للمادة هو كمية الطاقة الكيميائية المختزنة في المول من المادة، ووحدة قياسه (kJ/mole).

ويكون التغير في المحتوى الحراري (ΔH) هو الفرق بين مجموع المحتوى الحراري للمواد الناتجة من التفاعل (H_P) ومجموع المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة (H_R).

$$(\Delta H) = (H_P) - (H_R)$$

١. فإذا كانت $(H_P) > (H_R)$، كانت (ΔH) **موجبة**، وكان التفاعل **ماص** للحرارة

٢. وإذا كانت $(H_P) < (H_R)$، كانت (ΔH) **سالبة**، وكان التفاعل **طارد** للحرارة.

مثال

توضح المعادلة تفاعل الاحتراق التام لأحد أنواع الكحول:

$$2\ CH_3OH + 3\ O_2 \longrightarrow 4\ H_2O + 2\ CO_2 \qquad \Delta H = -726.5\ kJ/mol.$$

١- هل هذا التفاعل ماص أم طارد للحرارة؟ ولماذا؟

٢- احسب كمية الحرارة المنطلقة (بالـ kJ) من احتراق 80g من الميثانول.

علما بأن (C = 12 , H = 1 , O = 16)

الحل:

حيث أن **ΔH** سالب، هذا يعني أن المحتوى الحراري للنواتج أقل من المحتوى الحراري للمتفاعلات. والفرق بينهما ينطلق إلى الوسط المحيط، أي أن التفاعل **طارد** للحرارة.

٢. حساب كمية الحرارة المنطلقة من احتراق 80g من الميثانول:

- **حساب كتلة المول من الميثانول CH_3OH:**

$$M\ (CH_3OH) = 12 + (3 \times 1) + 16 + 1 = 32\ g.$$

- **حساب عدد المولات n الذي يعادل الكتلة المعطاة:**

$$n\ (CH_3OH) = 80 \div 32 = 2.5\ mol$$

- **حساب كمية الحرارة المنطلقة من احتراق 2.5 مول من CH3OH:**

من المعادلة الكيميائية:

∵ احتراق 1مول من الميثانول يعطي −726.5 kJ

∴ احتراق 2.5 مول من الميثانول يعطي ΔH

$$\Delta H = -726.5 \times 2.5 = -1816.25\ kJ$$

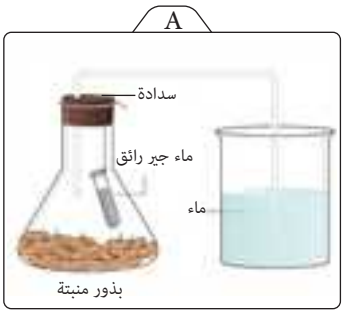
نشاط استقصائي

هل يتأثر معدل التنفس الخلوي بدرجة الحرارة؟

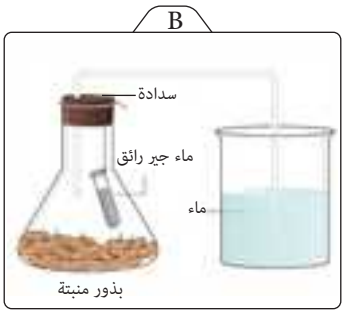
الأدوات: دورقان متماثلان – كأسان بهما كميتين متساويتين من الماء – أنبوبتي اختبار متماثلتان كل منهما بها كمية متساوية من ماء الجير الرائق مجموعتان متساويتان من البذور المنبتة – قطعتان متماثلتان من القطن المبلل بالماء – أنابيب توصيل.

وصف التجربة:

- ضع في كل دورق مجموعة من الجذور المنبتة على قطنة مبللة.
- ضع أنبوبة اختبار تحتوي ماء الجير الرائق ، وأنبوبة توصيل في كل دورق وأغلقه كما بالشكل



في درجة حرارة الغرفة



في بيئة باردة

- دع طرف كل أنبوبة توصيل أسفل سطح الماء في كأس.
- أحفظ أحد الدورقين، ليكن(A) في درجة حرارة الغرفة (من 20°C إلى 25°C)، والآخر(B) في بيئة باردة (مثل الثلاجة).
- لاحظ كل ساعة ماذا يحدث لماء الجير الرائق في كل دورق.
- سجل ملاحظاتك.

فكر وناقش:

١. ما الدور الذي يقوم به ماء الجير في التجربة؟
٢. ما توقعك عن غرض وضع طرف كل أنبوبة توصيل أسفل سطح الماء في الكأس؟
٣. ما المتغير المستقل وما المتغير التابع في هذا الاستقصاء؟
٤. ما المتغيرات التي تم تثبيتها في هذا الاستقصاء؟
٥. في أي دورق كان معدل التنفس أعلى؟
٦. ما العلاقة بين درجة الحرارة وسرعة التفاعلات الحيوية في البذور؟

أولا: أسئلة اختيار من متعدد

اختر الاجابة الصحيحة:

١. تعتمد حركة الماء في أوعية الخشب على قوى فيزيائية أهمها:

أ) التماسك والتلاصق فقط
ب) التماسك والتلاصق وقوى الشد الناتجة عن النتح
جـ) النقل النشط للطاقة
د) قوى الشد الناتجة عن النتح فقط

٢. وجود مادة اللجنين في جدران أوعية الخشب يُساعد على:

أ) تخزين المواد العضوية
ب) إعطاء الخلايا مرونة وليونة
جـ) مقاومة ضغط الشد أثناء صعود الماء
د) تنظيم فتح الثغور

٣. أيٌّ مما يلي يُعدّ مثالًا على النقل النشط في الخلية؟

أ) انتقال الأكسجين عبر الغشاء الخلوى
ب) انتقال الماء بالتناضح
جـ) انتقال الأيونات من التركيز الأقل إلى التركيز الأعلى في الخلايا الجذرية
د) انتشار الغازات من الرئتين إلى الدم

٤. عمليتا النقل في النبات والنقل في الإنسان يشتركا في أن كليهما

أ) يتم في اتجاه واحد
ب) يهدف إلى توزيع المواد والطاقة داخل الجسم
جـ) يعتمد على مادة اللجنين
د) يعتمد على خاصية النتح

٥. في الجهاز الدوري للإنسان، تُنقل المواد الغذائية المهضومة إلى الخلايا عبر:

أ) الشعيرات الدموية
ب) الشرايين
جـ) الأوردة
د) القلب

٦. ينتج عن التنفس الخلوي الهوائي في الخلايا:

أ) ثاني أكسيد الكربون والماء والطاقة
ب) الكحول والطاقة
جـ) حمض اللاكتيك فقط
د) طاقة دون نواتج أخرى

٧. **الميتوكوندريا تمثل الموقع الأساسي في الخلية لـعملية**

أ) البناء الضوئي ب) التنفس الهوائي جـ) تخليق البروتين د) تخزين الدهون

٨. **في غياب الأكسجين، تستخدم بعض الخلايا التنفس اللاهوائي للحصول على الطاقة، ومن نواتجه:**

أ) ماء فقط ب) كحول الإيثانول أو حمض اللاكتيك

جـ) ثاني أكسيد الكربون فقط د) جلوكوز إضافي

٩. **أي مما يلي يُعدّ تفاعلًا طاردًا للحرارة؟**

أ) تخليق الجلوكوز في البناء الضوئي ب) تكسير الجلوكوز في التنفس الهوائي

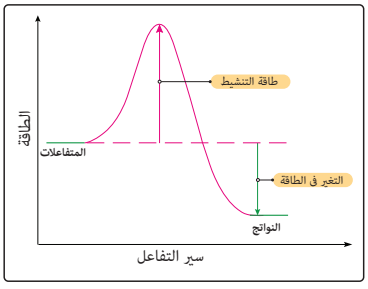
جـ) تكوين جزيئات الجلوكوز د) جميع ما سبق

١٠. **العلاقة بين عمليتي التنفس والبناء الضوئي هي أن:**

أ) نواتج التنفس تُعد متفاعلات للبناء الضوئي ب) كليهما يتم في الميتوكوندريا

جـ) كليهما يحتاج إلى ضوء الشمس د) كليهما يحدث في جميع الكائنات الحية

١١. **الشكل البياني المقابل يمثل تغير الطاقة في تفاعل كيميائي. ماذا نستنتج عن هذا التفاعل؟**



أ) تفاعل ماص للحرارة

ب) تفاعل طارد للحرارة

جـ) التغير في الطاقة موجب

د) تنخفض درجة حرارة الوسط المحيط,

ثانيًا: أسئلة مقالية

بم تفسر؟

١. **صعود الماء في النبات رغم عدم وجود مضخة داخلية؟**

٢. **وجود نوعين من الأوعية الناقلة في النبات (الخشب واللحاء)؟**

٣. **التنفس الخلوي الهوائي أكثر كفاءة في إنتاج الطاقة من التنفس اللاهوائي؟**

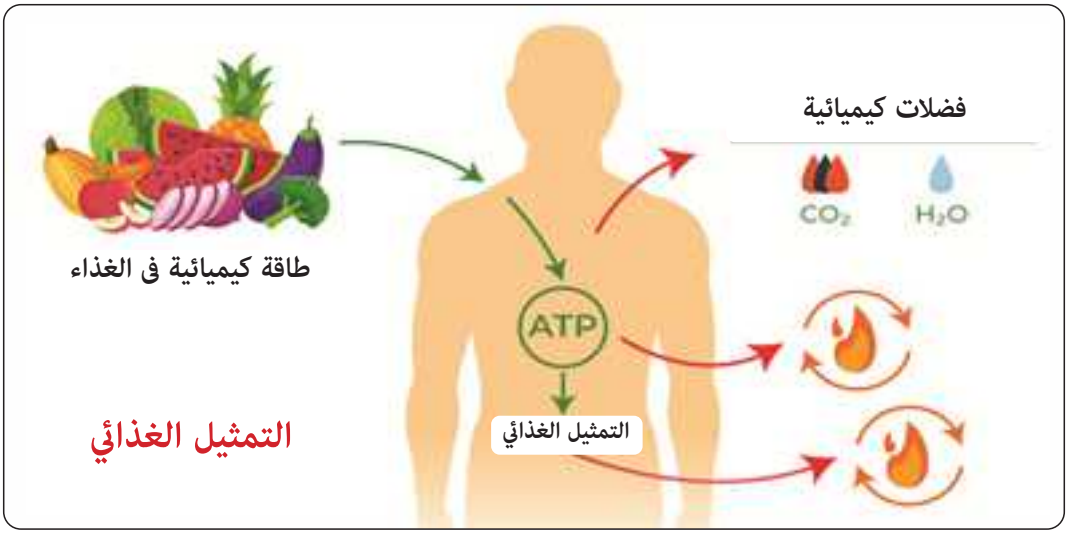
٤. **عملية التنفس الخلوي تُعدّ تفاعلًا طاردًا للحرارة؟**

٣-٣ الإخراج والاتزان الداخلي ودورهما في استقرار الغلاف الحيوي

الفضلات الأيضية وأجهزة الإخراج ودورها في إعادة توازن الطاقة والمواد

تقوم خلايا جسم الإنسان بعدد هائل من التفاعلات الكيميائية الحيوية الدقيقة، وبلا توقف. هذه التفاعلات تُمكِّن الجسم من أداء وظائفه المختلفة، مثل: الحصول على الطاقة من الغذاء، وبناء الجزيئات الحيوية الضرورية، ومقاومة العدوى، واستبدال الخلايا التالفة. وتُعرف هذه التفاعلات مجتمعة باسم عمليات **الأيض (التمثيل الغذائي)**. يشمل الأيض عمليتين متعاكستين: عملية البناء التي يُنتَج فيها مواد جديدة يحتاج إليها الجسم، وعملية الهدم التي تُكسَر فيها الجزيئات المعقّدة للحصول على الطاقة.

وبالرغم من أن التفاعلات الأيضية ضرورية للحياة، فإنها لا تنتج دائمًا مواد نافعة. فكثير منها يخلّف نواتج ثانوية لا يحتاج إليها الجسم، وقد تكون ضارة إذا تراكمت. تُعرف هذه النواتج باسم **الفضلات الأيضية**، وهي تشمل ثاني أكسيد الكربون الناتج من التنفس الخلوي، والأمونيا الناتجة عن تكسير الأحماض الأمينية في الكبد، واليوريا التي تنتج عن تحويل الأمونيا السامة إلى صورة أقل ضررًا، إلى جانب الماء الزائد والأملاح المعدنية التي تُفرَز بطرق مختلفة.

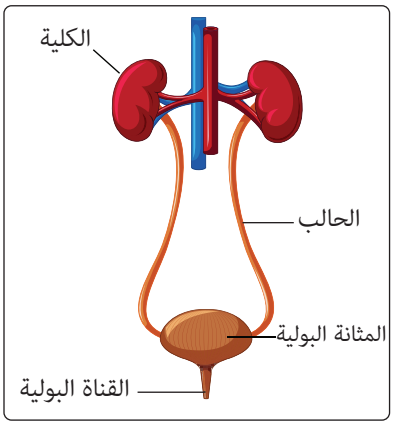


الشكل ٣٢ -فضلات التمثيل الغذائي (الأيض)

ولأن تراكم هذه الفضلات يؤدي إلى اضطراب التوازن الكيميائي للسوائل داخل الجسم، ويؤثر في كفاءة عمل الخلايا، فإن الكائن الحي يحتاج إلى آلية دقيقة للتخلّص منها. وهنا تظهر أهمية **عملية الإخراج**، وهي العملية الحيوية التي يتم من خلالها إزالة الفضلات الأيضية من الجسم، والحفاظ على اتزان **البيئة الداخلية للجسم (Homeostasis)**.

فالكُلى تنظّم تركيز الماء والأيونات في الدم، والجلد يفرز الماء والأملاح عن طريق الغدد العرقية للمساعدة في تنظيم درجة حرارة الجسم، والرئتان تطردان ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء للهواء الجوي، أما الكبد فيُعد مركزًا رئيسًا لمعالجة الفضلات، إذ يحوّل المواد السامة إلى مركّبات يمكن إخراجها بأمان.

اتزان الماء والأملاح داخل الجسم



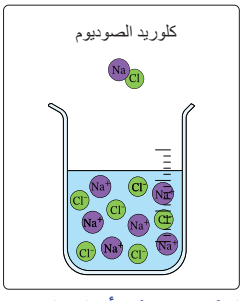
الشكل ٣٣ -مخطط الجهاز البولي

تُعد الكليتان من أهم أعضاء الجهاز الإخراجي، وهما تعملان على **تنقية الدم من الفضلات السائلة الناتجة** عن التفاعلات الحيوية داخل الجسم. يبلغ حجم الكلية الواحدة تقريبًا **حجم قبضة اليد**، وشكلها يشبه **حبّة الفاصوليا**، وتقع كل منهما على جانبي العمود الفقري في الجزء السفلي من الظهر. الكليتان مسؤولتان عن **إنتاج البول**، وهو السائل الذي يُنتج للتخلص من **الماء الزائد، والأملاح الفائضة، واليوريا**، وبعض الفضلات الذائبة الأخرى.

يتكوّن البول نتيجة **ترشيح الدم داخل وحدات دقيقة تُعرف بالنفرونات**، حيث تُزال الفضلات من الدم، بينما تُعاد المواد النافعة مثل الجلوكوز والأيونات والماء بالقدر الذي يحتاجه الجسم في عملية تسمى **إعادة الامتصاص**، للحفاظ على **الاتزان الداخلي**.

بعد إنتاج البول، ينتقل عبر **الحالبين إلى المثانة البولية**، حيث يُخزن حتى يُطرح خارج الجسم عبر **القناة البولية**.

الحفاظ على التوازن الأيوني في الجسم

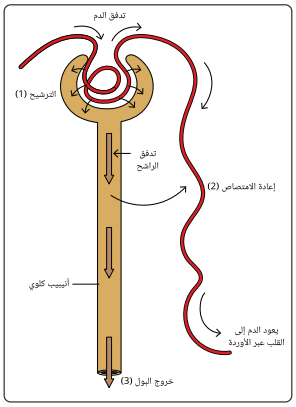


الشكل ٣٤ - تركيز أيونات الصوديوم والكلوريد

الأيونات مثل **الصوديوم والبوتاسيوم والكلوريد** ضرورية لعمل الأعصاب والعضلات، وتنظيم الضغط الأسموزي داخل الخلايا وخارجها. وعند حدوث خلل في تركيز هذه الأيونات، تتأثر العمليات الحيوية الدقيقة، لذلك يقوم الجهاز الإخراجي — خاصة الكليتان — بتنظيم هذا التوازن بدقة شديدة.

فعلى سبيل المثال، عند ارتفاع تركيز الصوديوم في الدم، تحتفظ الكليتان بالماء لتخفيف تركيزه، وعند انخفاضه تُطرح كمية أكبر من الماء للمحافظة على الاتزان الأيوني في الجسم. يُسهم الإخراج في الحفاظ على التوازن بين الأيونات والماء في سوائل الجسم في بقاء البيئة الداخلية مستقرة.

إعـادة الامتصـاص



الشكل ٣٥ - مخطط بسيط لنفرون يوضح خطوات إنتاج البول (للإطلاع فقط)

إعادة الامتصاص هي **عملية استرجاع المواد النافعة من السائل الذي تم ترشيحه في النفرون** إلى الدم مرة أخرى. ويحدث ذلك في أجزاء الأنابيب الدقيقة في كل نفرون، حيث تنتقل المواد المفيدة عبر جدران الخلايا المحيطة إلى الأوعية الدموية الدقيقة.

خلال هذه العملية:

- يُعاد امتصاص **معظم الجلوكوز** إلى الدم لتوفير الطاقة للخلايا.

- يُعاد امتصاص **جزء كبير من الماء** للحفاظ على حجم الدم وتوازن السوائل في الجسم.
- تُعاد أيضًا **الأيونات المهمة مثل الصوديوم والبوتاسيوم والكلوريد** لتنظيم وظائف العضلات والأعصاب والحفاظ على ضغط الدم.

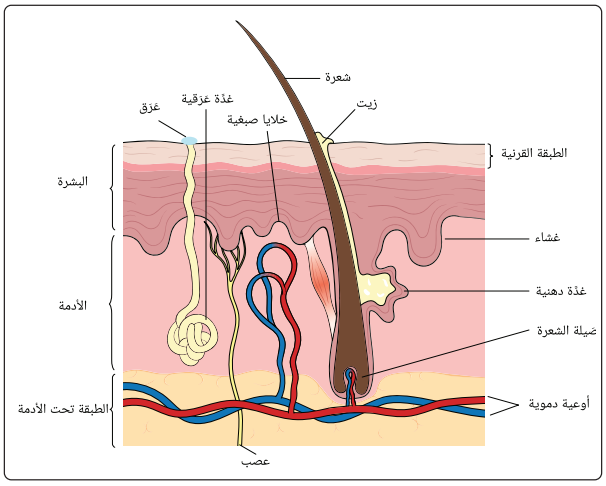
أما المواد التي لا يحتاجها الجسم مثل **اليوريا والماء الزائد وبعض الأيونات**، فتُترك لتخرج لاحقًا مع البول.

أهمية إعادة الامتصاص

تُعَدّ إعادة الامتصاص خطوة حيوية للحفاظ على الاتزان الداخلي (الاتزان الحيوي) في الجسم، لأنها تُمكّنه من ضبط ما يحتفظ به وما يتخلّص منه. من دون إعادة الامتصاص، سيفقد الجسم كميات كبيرة من الماء والعناصر الغذائية، مما يؤدي إلى جفاف شديد، واضطراب في الأملاح، وانخفاض ضغط الدم، وربما توقف عمل الأعضاء الحيوية.

الجلد ودوره في الإخراج وتنظيم درجة الحرارة

الجلد هو الغلاف الخارجي للجسم، وله دور مزدوج في **الحماية والإخراج**.



الشكل ٣٦ - مخطط جلد الإنسان

يحتوى الجلد على **غدد عرقية** تُفرز **العرق**، وهو سائل يتكوّن من **الماء، والأملاح المعدنية (مثل كلوريد الصوديوم)، وكميات صغيرة من اليوريا.**

يُساعد إفراز العرق على **تنظيم درجة حرارة الجسم**؛ فعندما يتبخر العرق من سطح الجلد، فإنه يُزيل بعض الحرارة الزائدة، مما يُبقي الجسم في درجة حرارة ثابتة تقريبًا. كما أن خروج الماء والأملاح ونسبة قليلة جدًا من اليوريا مع العرق يُعدّ أحد أشكال الإخراج التي تساعد في المحافظة على **توازن السوائل والأيونات** داخل الجسم.

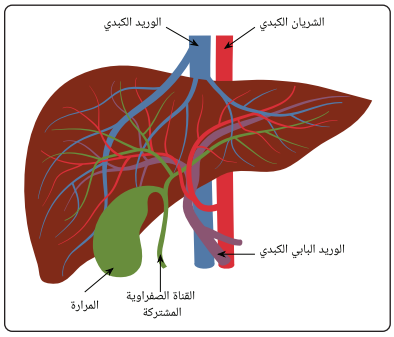
يتكوّن الجلد من ثلاث طبقات رئيسة:

- **البشرة:** وهي الطبقة الخارجية التي تحمي الجسم من الميكروبات وفقدان الماء.
- **الأدمة:** تحتوي على الغدد العرقية وبصيلات الشعر والأوعية الدموية التي تساعد في تنظيم درجة الحرارة.

• **الطبقة تحت الأدمة:** غنية بالدهون التي تعمل كعازل حراري.

تكامل الجلد مع الكليتين في إخراج الماء الزائد والأيونات يُعدّ مثالًا رائعًا على تكامل أجهزة الإخراج في الحفاظ على الاتزان الداخلي.

الكبد ودوره في معالجة الفضلات



الشكل ٣٧ -مخطط يوضح الكبد والمرارة

يُعدّ الكبد من أهم أعضاء الجسم في عملية الإخراج، فهو يعمل على **تنقية الدم من المواد الضارة والفضلات الناتجة عن التفاعلات الحيوية**. ويُسهم الكبد في الحفاظ على توازن البيئة الداخلية للجسم من خلال تحويل المواد السامة إلى مركبات آمنة يسهل على الجسم التخلص منها. ويُعدّ الكبد بمثابة **مركز تنقية أو "محطة معالجة"** تحفظ الجسم من تراكم السموم.

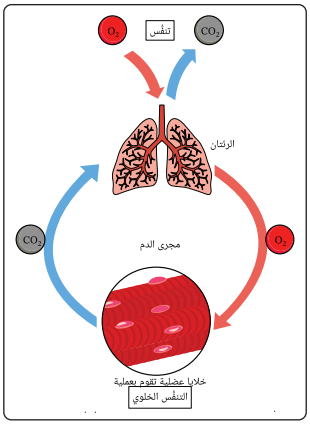
يساعد الكبد في حماية الجسم من تراكم المواد الضارة بطرق متعددة؛ فعند تكسير البروتينات تتكوّن مادة **الأمونيا** السامة، فيحوِّلها الكبد إلى **اليوريا** الأقل ضررًا، لتُنقل إلى الكليتين وتُطرح مع البول.

كذلك يعمل الكبد على تفكيك الهيموجلوبين الناتج عن تحلل خلايا الدم الحمراء القديمة، وينتج عنه **البيليروبين** الذي يُفرَز في العصارة الصفراوية ويُطرح مع البراز، بينما يؤدي تراكمه إلى حدوث اليرقان (الصفراء).

كما يقوم الكبد بإزالة السموم والمواد الغريبة مثل الأدوية والاضافات الغذائية، بتحويلها إلى مواد أقل ضررًا قبل التخلص منها.

إضافةً إلى ذلك، تساعد العصارة الصفراوية في التخلص من بعض الفضلات غير القابلة للذوبان في الماء مثل الكوليسترول الزائد وبعض الصبغات، مما يساهم في الحفاظ على التوازن الداخلي للجسم.

دور الرئتين في إخراج الفضلات الغازية



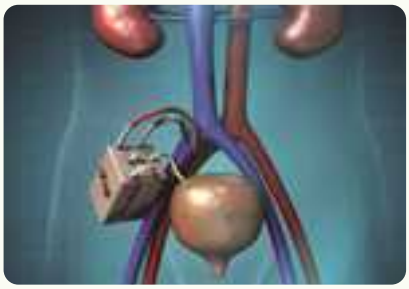
الشكل ٣٨ -دور الرئتين في الإخراج

في عملية التنفس الخلوي، تستخدم خلايا الجسم الأكسجين والجلوكوز لإنتاج الطاقة، وينتج عن ذلك ماء وثاني أكسيد الكربون. ينتقل ثاني أكسيد الكربون من الخلايا إلى الدم، الذي يحمله إلى الرئتين ليُطرد خارج الجسم مع هواء الزفير. وبالتالي تُعدّ عملية الزفير جزءًا من عملية الإخراج، حيث تُخلّص الجسم من الفضلات الغازية.

تراكم غاز ثاني أكسيد الكربون في الدم يزيد من حموضة الدم، مما يُعطّل عمل الإنزيمات ويُهدد العمليات الحيوية. لهذا ، فالتنفس المنتظم ضروري للحفاظ على توازن نسبة الغازات في الدم، وبالتالي على الاتزان الداخلي للجسم.

تطبيقات تكنولوجية

١. الكلية الحيوية الاصطناعية، حل مستقبلي للفشل الكُلوي:



الشكل ٣٩ -الكلية الصناعية

تُعتبر **الكلية الحيوية الاصطناعية (أجهزة المحاكاة الكلوية)** أحد التطبيقات التكنولوجية الحديثة الواعدة لعلاج الفشل الكلوي. تعمل هذه الكلية داخل جسم المريض أو تُزرَع فيه، وتهدف إلى أداء وظائف الكلية الطبيعية.

المبدأ الفيزيائي الأساسي في عملها هو **الترشيح** إذ يمرّ سائل الدم عبر أغشية دقيقة شبه منفذة تسمح بمرور الجزيئات الصغيرة والفضلات إلى سائل تنظيفي أو إلى الجانب الآخر من الغشاء، بينما تمنع مرور البروتينات وخلايا الدم الكبيرة. أما الجانب الحيوي فيعتمد على **هندسة الخلايا**؛ حيث تحتوي الكُلية الحيوية على خلايا متخصصة (مأخوذة أو مُهندَسة مختبريًا) تُحاكي بعض الوظائف الكيميائية الحيوية للكلية، مثل ضبط مستويات أملاح معينة وإفراز مركبات هامة.

بوجود هذه الخلايا إلى جانب وحدات الترشيح تتحقق مراقبة أدق لتوازن المواد في الدم.

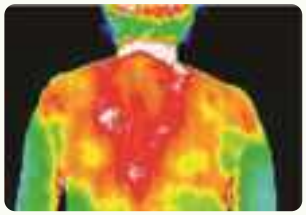
٢. فيزياء الموجات فوق الصوتية في الكلى والمثانة:

الشكل ٤٠ -الكشف بالموجات فوق الصوتية

تُستخدم أجهزة الموجات **فوق الصوتية Ultrasound**(عالية التردد) لتصوير الأعضاء الإخراجية وتشخيص الحصوات أو الالتهابات. يعتمد عمل هذه الأجهزة على خصائص موجات الصوت مثل **الانعكاس والانكسار** لتكوين صورة دقيقة عن حالة الأعضاء الداخلية دون الحاجة للتدخل الجراحي.

- **انعكاس الموجات:** تصطدم الموجات فوق الصوتية بالحدود الفاصلة بين الأنسجة المختلفة (مثل جدار المثانة أو سطح الحصوة)، يرتد جزء منها. تعتمد قوة هذا الارتداد على المقاومة الصوتية للنسيج.
- **تشتت الموجات:** يحدث عند اصطدام الموجات بأسطح غير منتظمة أو جسيمات صغيرة داخل الأنسجة، مما يساعد في إظهار تفاصيل قوام العضو (Texture).
- **المعالجة الرقمية:** يقوم الجهاز بحساب الزمن الذي استغرقه الصدى للعودة، ومن خلال سرعة الصوت في الأنسجة، يحدد عمق ومكان العضو بدقة ويحوله إلى صورة رقمية.

٣. الفيزياء الحرارية وعمل الغدد العرقية:



الشكل ٤١ -قياس الحرارة بالأشعة تحت الحمراء

تعتمد عملية التعرق على **امتصاص كمية من حرارة الجسم لتبخير العرق**، وهو تطبيق لمفهوم التوازن الحراري والتبخر.

تُستخدم أجهزة قياس الإشعاع الحراري بالأشعة تحت الحمراء (Infrared Thermography) لتحليل معدل فقدان الحرارة عبر الجلد، مما يساعد على متابعة التوازن الحراري الداخلي للجسم.

دورات العناصر في الغلاف الحيوي

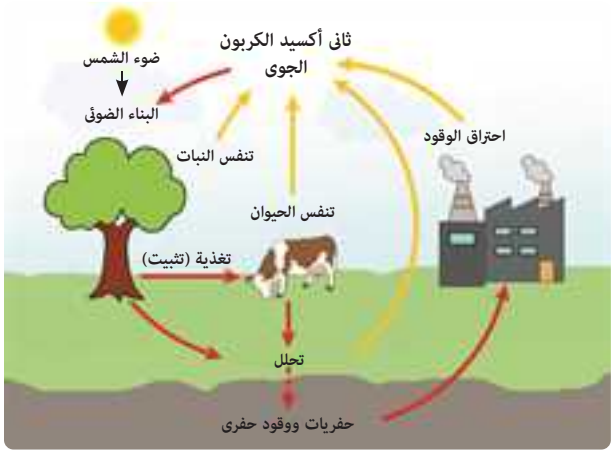
بعد أن تعرفت على عمليات الإخراج وكيف تسهم في حفظ الاتزان الداخلي داخل أجسام الكائنات الحية، حان الوقت لتتأمل كيف يمتد هذا الاتزان ليشمل النظام البيئي بأكمله.

فكما تعمل أجهزة الجسم معًا للحفاظ على توازنه الداخلي، تعمل عناصر الغلاف الحيوي – مثل الماء والكربون والنيتروجين – في دورات طبيعية مستمرة تضمن بقاء الحياة على الأرض.

ومن أهم هذه العناصر: الكربون والنيتروجين والفوسفور، حيث تدخل في دورات متتابعة تنتقل خلالها بين الهواء والماء والتربة والكائنات الحية.

دورة الكربـون:

تمتص النباتات الخضراء غاز ثاني أكسيد الكربون من الهواء خلال عملية البناء الضوئي لإنتاج الغذاء، ثم تنتقل المركبات التي تحتوي على الكربون إلى الحيوانات عندما تتغذى على النباتات. وعندما تتنفس الكائنات الحية أو تتحلل يعود غاز ثاني أكسيد الكربون إلى الهواء مرة أخرى. بالإضافة لأكاسيد الكربون التي تنبعث من المصانع واحتراق الوقود.



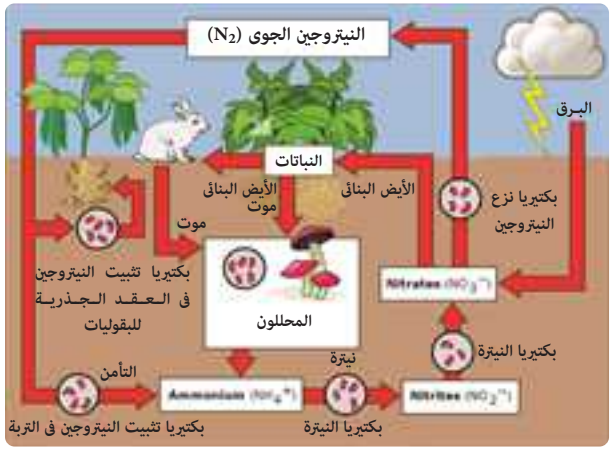
الشكل ٤٢ -دورة الكربون

دورة النيتروجين:

يمثّل النيتروجين مكوّنًا أساسيًا للبروتينات داخل أجسام الكائنات.

تبدأ دورة النيتروجين بتثبيت نيتروجين الهواء الجوي بواسطة نوع من البكتيريا الموجودة في التربة ، وتحويله إلى مركبات قابلة للامتصاص بواسطة النباتات.

تنتقل هذه المركبات إلى الحيوانات عبر الغذاء، ثم تعود للتربة مرة أخرى من خلال الفضلات أو الكائنات الميتة، حيث تعيد أنواع من البكتيريا تحويلها إلى غاز النيتروجين الذي يعود إلى الهواء الجوي.

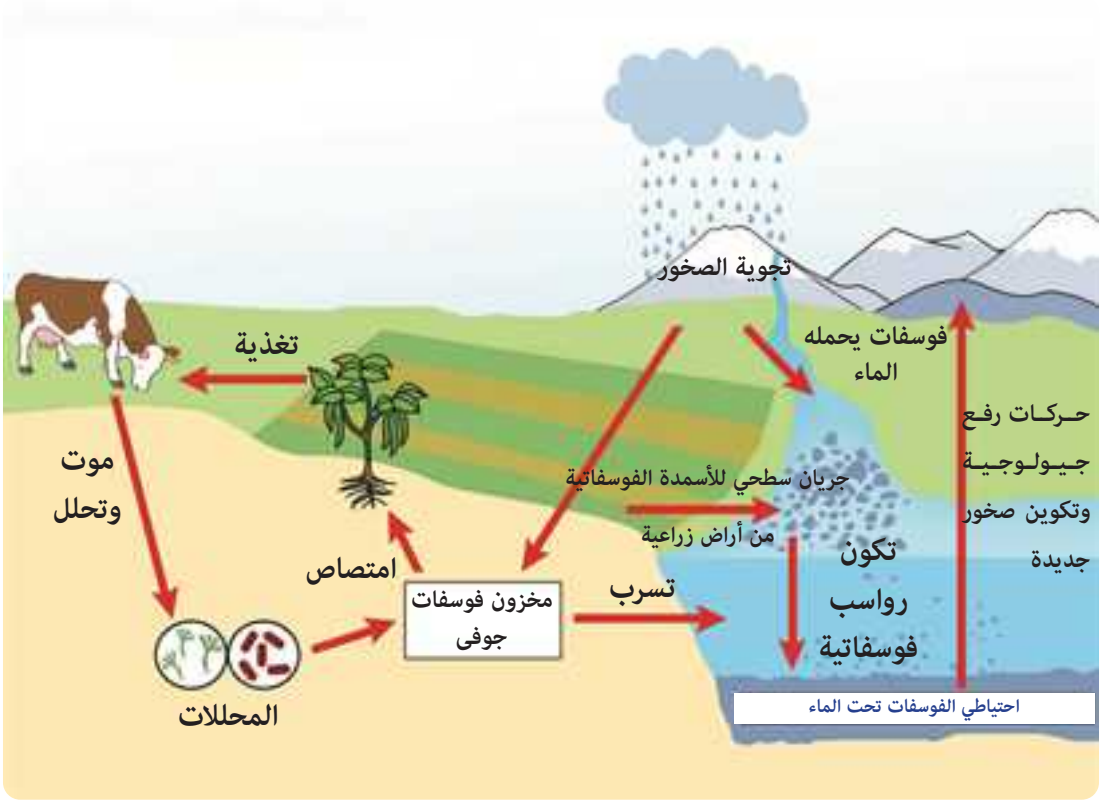


الشكل ٤٣ -دورة النيتروجين

دورة الفوسفور:

توجد مركبات الفوسفور في الصخور والتربة. يمتص النبات مركبات الفوسفور بعد تحررها من الصخور نتيجة عمليات التجوية، ثم ينتقل بعد ذلك إلى الحيوانات عبر السلسلة الغذائية لتكوين العظام والأسنان والأحماض النووية (DNA و RNA)، وجزيئات الطاقة (ATP).

عند موت الكائنات الحية أو من خلال فضلاتها، تقوم المحللات بإعادة الفوسفور إلى التربة مرة أخرى. واختلافًا عن دورتي الكربون والنيتروجين، لا يكون الغلاف الجوي جزءًا من دورة الفوسفور، بل تبقى دورة الفوسفور محصورة بين الأغلفة: الحيوي والصخري والمائي.



الشكل ٤٤ - دورة الفوسفور

دورات العناصر تُعد أساسية لاستمرار الحياة على الأرض، إذ تضمن إعادة تدوير العناصر الحيوية بين الكائنات الحية والبيئة بصورة متوازنة.

مما سبق نستنتج أن عملية الإخراج لا تقتصر على التخلص من الفضلات من داخل الكائنات الحية، بل تمثل حلقة مهمة في استمرار دورات العناصر في الطبيعة. فالمواد الناتجة عن الإخراج، مثل ثاني أكسيد الكربون واليوريا، تعود لتشارك في دورات الكربون والنيتروجين وغيرها؛ حيث تتحلل اليوريا في التربة بفعل البكتيريا إلى أمونيا ثم نترات يمتصها النبات، مما يضمن إعادة استخدام العناصر واستمرار الحياة في الغلاف الحيوي.

وبهذا تسهم عمليات الإخراج والدورات الطبيعية معًا في الحفاظ على الاتزان والاستقرار في الغلاف الحيوي، ليبقى صالحًا لدعم أشكال الحياة المختلفة.

نشاط بحثي

تأمّل كيف تعمل أجسام الكائنات الحية على التخلص من الفضلات الناتجة عن العمليات الحيوية للحفاظ على **بيئة داخلية مستقرة**. والآن، فكّر في المجال الأوسع الذي نعيش فيه — **المحيط الحيوي** — الذي يضم جميع الكائنات الحية ومواطنها (موائلها) على كوكب الأرض.

مهمة البحث:

ابحث عبر الإنترنت عن أمثلة توضّح كيف تؤثر **عمليات الإخراج من الكائنات الحية المختلفة على توازن النظم البيئية** في المحيط الحيوي.

يمكنك الاستعانة بالمصادر العلمية أو بمواقع تعليمية موثوقة.

أولا: أسئلة اختيار من متعدد

اختر الاجابة الصحيحة:

١. أيّ الأعضاء التالية يُعد المسؤول الرئيس عن إزالة الفضلات النيتروجينية من الدم؟

أ) الكبد ب) الجلد جـ) الكليتان د) الرئتان

٢. عند زيادة الأملاح في الدم، تستجيب الكليتان بـ:

أ) إفراز مزيد من العرق ب) زيادة إعادة امتصاص الماء

جـ) زيادة طرح الماء د) تخزين الأملاح

٣. تتحول الأمونيا السامة في الجسم إلى يوريا في:

أ) الكليتين ب) الكبد جـ) الرئتين د) الجلد

٤. ما الذي يوضّح علاقة الإخراج بالاتزان الداخلي في الجسم؟

أ) طرد الماء فقط ب) الحفاظ على ثبات بيئة الجسم الداخلية

جـ) إنتاج الطاقة د) نقل الأكسجين

٥. إذا فشلت الكليتان في أداء وظيفتهما، فإن أول ما يتأثر هو:

أ) مستوى الأكسجين ب) نسبة الفضلات في الدم

جـ) عدد خلايا الدم د) إنتاج الهرمونات

٦. تزداد كمية العرق التي يُفرزها الجسم عندما:

أ) تقل درجة الحرارة ب) تزداد الرطوبة

جـ) ترتفع درجة الحرارة د) يقل تدفق الدم للجلد

٧. ما المكوّن الذي يُعاد امتصاصه في الكليتين للحفاظ على الاتزان المائي؟

أ) الجلوكوز ب) ثاني أكسيد الكربون جـ) الماء د) الأمونيا

٨. إخراج ثاني أكسيد الكربون من الرئتين يُعد مثالًا على:

أ) تنظيم درجة الحرارة ب) الإخراج الغازي

جـ) الإخراج الصلب د) النقل العصبي

٩. ما الدور المشترك بين الجلد والكليتين في الاتزان الداخلي؟

أ) إنتاج الهرمونات　　ب) تخزين الفضلات

جـ) إخراج الماء والأملاح　　د) إنتاج الطاقة

١٠. تزداد سمية الجسم عندما:

أ) يقل معدل التنفس　　ب) تتراكم الفضلات الأيضية

جـ) يزداد إفراز العرق　　د) ينخفض ضغط الدم

ثانيًا: أسئلة مقالية

بم تفسر؟

١. تتحول الأمونيا في الجسم إلى يوريا قبل إخراجها؟

٢. إخراج كمية كبيرة من العرق في الجو الحار يساعد على بقاء الجسم متزنًا؟

٣. حدوث اضطراب في وظائف الجسم عند تراكم الفضلات الأيضية؟

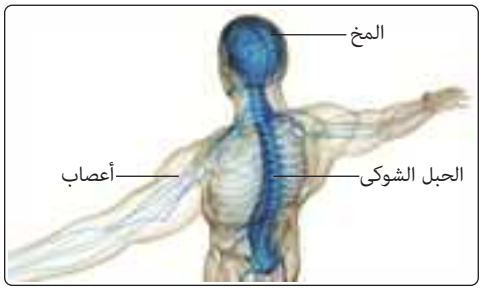
٤. زيادة كمية البول عند شرب كميات كبيرة من الماء؟

٥. يُعد الإخراج ضروريًا للحفاظ على الاتزان الحيوي للكائن الحي؟

٤-٣ الإحساس والاستجابة ودورها في تفاعل الكائنات الحية مع الغلاف الحيوي

يُعدّ الإحساس بالمؤثرات والاستجابة لها من الخصائص الأساسية التي تميّز الكائنات الحية، فهي تمكّنها من التفاعل مع بيئتها والحفاظ على بقائها. ويُعدّ **الجهاز العصبي** النظام المسؤول عن استقبال المعلومات من الوسط المحيط ومعالجتها ثم إصدار استجابات مناسبة من خلال نظام دقيق يُمكّن الكائن الحي من التكيّف مع التغيرات البيئية، مما يسهم في استقرار واتزان **الغلاف الحيوي**، إذ يحافظ كل كائن على توازنه الداخلي واستجابته المناسبة للعوامل الخارجية.

الجهاز العصبي (Nervous System)



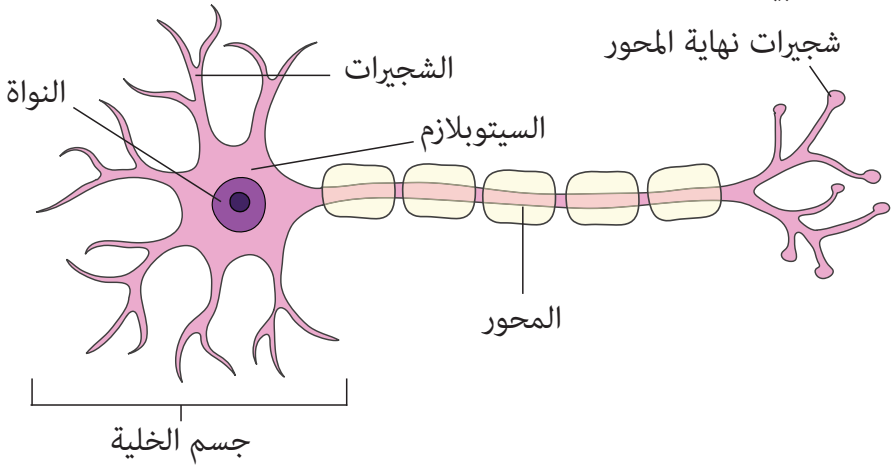
الشكل ٤٥ - الجهاز العصبى

• يتكون الجهاز العصبي بشكل رئيسي من الجهاز العصبي المركزي الذي يتكون من المخ والحبل الشوكي، والجهاز العصبي الطرفي الذي يشمل جميع الأعصاب المنتشرة في جميع أنحاء الجسم، وتربط الجهاز العصبي المركزي بباقي الأعضاء.

• يقوم الجهاز العصبي باستقبال الإشارات من الحواس، ومعالجتها، ثم إرسال الأوامر لبقية أجزاء الجسم للاستجابة المناسبة، سواء كانت هذه الاستجابة إرادية أو لاإرادية.

الخلايا العصبية وحدة تفاعل الكائن الحي مع البيئة

الخلايا العصبية هي وحدات البناء الأساسية للجهاز العصبي. تتكوّن كل خلية عصبية عادة من جسم خَلَوي يحتوي النواة والعضيات، وامتدادات تسمى **الزوائد الشجيرية (dendrites)** التي تستقبل الإشارات، و**المحور العصبي (axon)** الذي ينقل الإشارة بعيدًا عن الجسم الخلوي نحو خلايا أخرى أو نحو العضلات والغدد. في نهايات المحور توجد تفرعات تُسمَّى **النهايات العصبية** التي تتواصل مع خلايا أخرى عبر التشابكات العصبية.



الشكل ٤٦ - الخلية العصبية

أنواع الخلايا العصبية

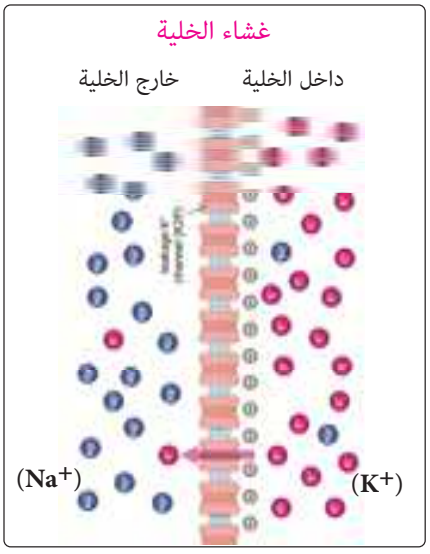
تصنف الخلايا العصبية حسب وظيفتها إلى:

- **خلايا عصبية حسّية:** تنقل معلومات من المستقبلات الحسّية إلى الجهاز العصبي المركزي (المخ والنخاع الشوكي)،
- **خلايا عصبية حركية:** تنقل الأوامر إلى أعضاء الاستجابة مثل العضلات والغدد.
- **خلايا عصبية موصلة (رابطة):** تعمل كحلقة وصل بين الخلايا الحسية والحركية،

انتقال السيال العصبي وجهد الغشاء

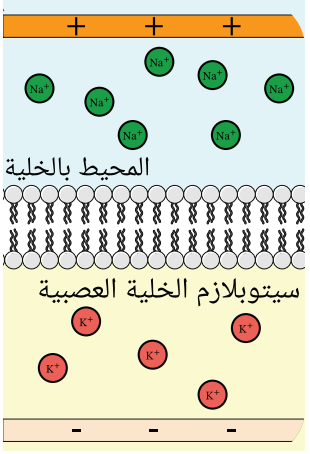
في الخلايا العصبية يختلف توزيع الأيونات داخل الخلية عنه خارجها؛ فتركيز أيون الصوديوم Na^+ خارج الخلية أعلى كثيرًا من تركيزه داخلها، بينما يتركز أيون البوتاسيوم K^+ داخل الخلية أكثر من خارجها، ما يؤدي إلى نشوء فرق في الجهد عبر غشاء الخلية يُسمى **جهد الغشاء**.

وعندما لا تكون الخلية مُثارة أي في **وضع الراحة**؛ يكون السطح الخارجي للغشاء الخلوي موجبًا والداخلي سالبًا ، فيما يُعرف **بالاستقطاب** ، وبفرق جهد يقارب(**-70 mV**) نتيجة لثلاث آليات أساسية:

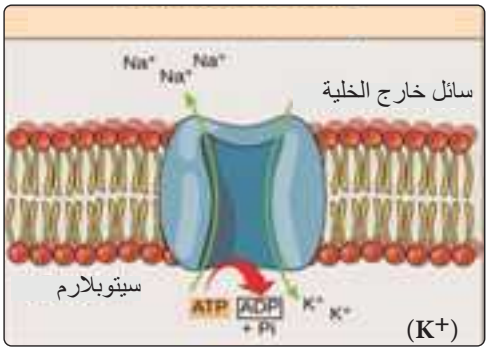


الشكل ٤٧ - تركيز الأيونات على جانبي الغشاء الخلوي

- **النفاذية الاختيارية للغشاء الخلوي:** التي تسمح بخروج أيونات K^+ بمعدل أعلى من دخول أيونات Na^+ إلى داخل الخلية.
- **التوزيع غير المتكافئ للأيونات:** حيث يكون تركيز الأيونات والبروتينات السالبة داخل الخلية أعلى من خارجها ، ويوجد أيونات سالبة من الكلور وبعض البروتينات.
- **مضخات الصوديوم والبوتاسيوم:** التي تستخدم طاقة ATP ، فطاقة كل جزيء ATP تؤدي إلى خروج ثلاثة أيونات (Na^+) مقابل إدخال أيونين من (K^+).



الشكل ٤٨ - جهد الراحة



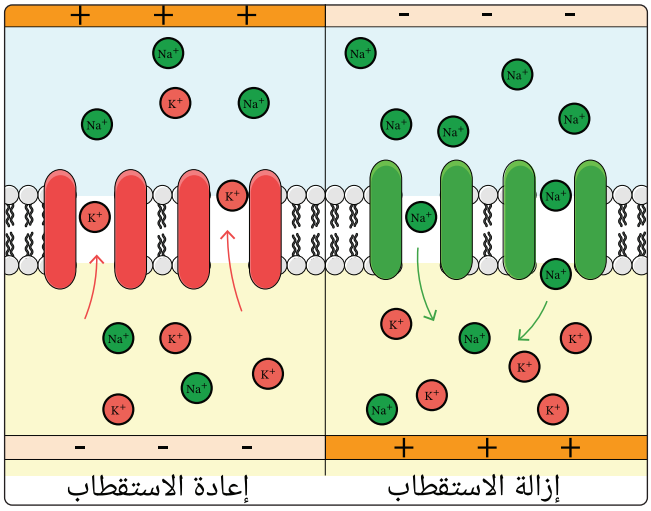
الشكل ٤٩ - مضخة الصوديوم والبوتاسيوم

عندما تستقبل الخلية العصبية **مؤثرًا كاف لإثارتها**، تُفتح قنوات خاصة في غشاء الخلية العصبية تسمح بانتقال **أيونات الصوديوم** (Na^+) بمعدل سريع، فيصبح الجهد **داخل الخلية** موجبًا. ويصبح فرق الجهد عبر غشاء الخلية (**حوالي 40 mV+**)، وتُعرف هذه المرحلة بمرحلة **إزالة الاستقطاب**.

يعمل **إزالة الاستقطاب** كمنبه للمنطقة المجاورة من العصب، فيحدث فيها تغيرات تشبه تمامًا التي حدثت عند تنبيه الخلية العصبية لأول مرة، وهكذا. فينتقل سيالًا عصبيًا على هيئة نبضات **Nerve Impulse** على طول الخلية العصبية من: **إزالة الاستقطاب، ثم عودته، ثم إزالته**، وهكذا.

تشهد المنطقة الأولى من الغشاء عودة الاستقطاب عندما تُغلق قنوات الصوديوم وتُفتح قنوات البوتاسيوم لخروجه، فيعود فرق الجهد إلى قيمته السالبة السابقة.

وبعدها، ولفترة قصيرة (حوالي 0.001 – 0.003 ثانية) تُسمى **فترة الجموح** لا تستجيب الخلية لمؤثر جديد، بعدها تستعيد جاهزيتها للاستجابة لمؤثر جديد.



الشكل ٥٠ - التغيرات في حالة الخلية العصبية

التشابك العصبي : كيمياء التواصل العصبي

بعد أن تعلّمنا كيف ينشأ **السيال العصبي** داخل الخلية العصبية وينتقل على طول محورها، يظل سؤال مهم: **كيف ينتقل هذا السيال من خلية عصبية إلى أخرى؟**

عند نهاية المحور العصبي لخلية عصبية، لا تنتقل **الإشارة العصبية** مباشرة إلى الخلية العصبية التالية، بل تمر عبر منطقة اتصال تُسمى **التشابك العصبي**، وتتصل كل خلية عصبية بعدد هائل من الخلايا الأخرى من خلال هذه التشابكات.

الشكل ٥١ -التشابك العصبى

ولكي تتخيّل مدى تعقيد هذا النظام، فإن خلية واحدة فقط من نوع **بركنجي (Purkinje)** ، وهو أحد أنواع الخلايا العصبية الموجودة في المخ، يمكن أن تستقبل إشارات من **نحو 200 000 تشابك عصبي** في وقت واحد، من خلايا عصبية مختلفة تتلاقى عندها في سبيل تحديد استجابة واحدة منسقة.

يتكوّن التشابك العصبي من ثلاثة أجزاء:

١. الزر العصبي (الغشاء قبل التشابكي) : انتفاخ في نهاية محور الخلية المُرسِلة للإشارة العصبية. **وتوجد** أكياس صغيرة داخل الأزرار العصبية تُسمى **الحويصلات العصبية** تحتوي على مواد كيميائية مهمة في نقل السيال العصبي، مثل: **الأستيل كولين (Acetylcholine) ، والنورأدرينالين (Noradrenaline).**

٢. الشق التشابكي: فراغ دقيق بين الخليتين المتجاورتين.

٣. الغشاء بعد التشابكي: جزء من غشاء الخلية المُستقبِلة.

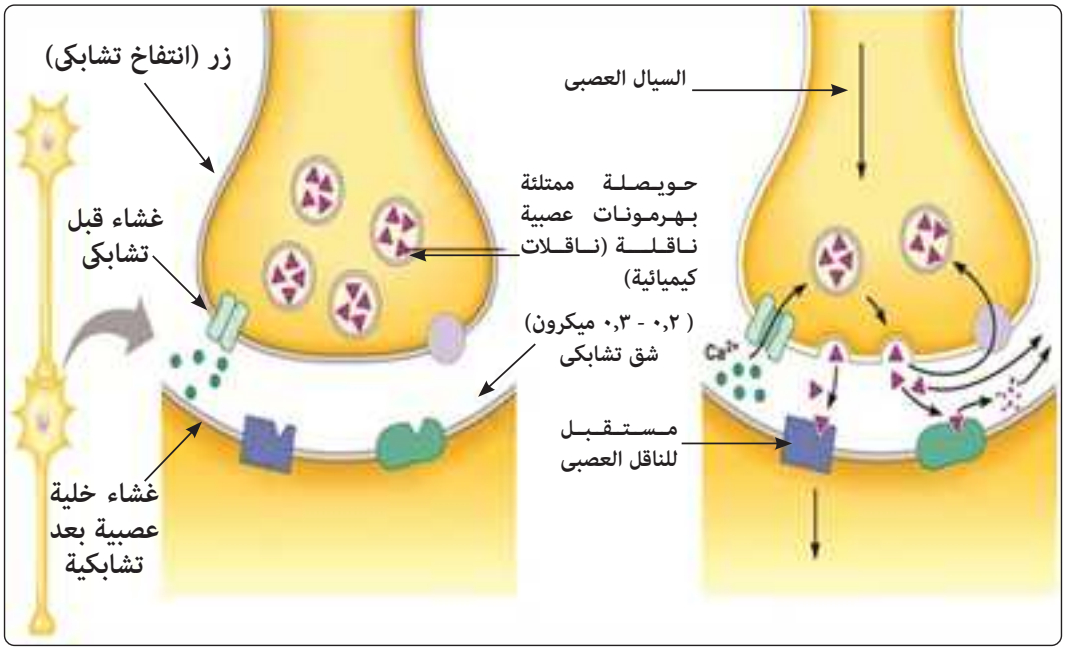
يوجد داخل الزر العصبي حويصلات صغيرة تحتوي على **الناقلات العصبية** مثل الأستيل كولين والنورأدرينالين، وهي مواد كيميائية تنقل الإشارة بين الخلايا.

آلية انتقال السيال عبر التشابك العصبي

١. **عند وصول السيال العصبي** إلى نهاية المحور، يُفتح عدد من القنوات الخاصة بأيونات الكالسيوم Ca^{+2}، لتمر إلى داخل الزر العصبي.

٢. يؤدي دخول أيونات Ca^{+2} إلى إطلاق **الناقلات العصبية** في الشق التشابكي.

٣. تنتشر الناقلات عبر الشق وترتبط بمستقبلات خاصة على الخلية التالية، ما يفتح قنوات **أيونات الصوديوم والبوتاسيوم** في الغشاء الخاص بها، ويولّد إشارة عصبية جديدة.



الشكل ٥٢ - انتقال السيل العصبى خلال التشابك العصبى

٤. بعد قيام الناقلات العصبية مثل **الأستيل كولين** بدورها، يتم تكسَيرها عن طريق إنزيمات خاصة فيعود الغشاء الخلوي لحالة الراحة. بهذه الطريقة، ينتقل السيال العصبي في الجهاز العصبي بدقة عالية وسرعة كبيرة، مما يمكّن الجسم من **الاستجابة للمؤثرات**.

تطبيقات تكنولوجية

اختبار سرعة التوصيل العصبي (NCV):

إجراء تشخيصي يُستخدم لتقييم وظائف الأعصاب وسلامتها، ويساعد في تقييم تلف الأعصاب، والكشف عن الاضطرابات المتعلقة بها، وتحديد مدى وموقع إصاباتها أو تشوهاتها. يُستخدم غالبًا لتشخيص وتقييم الحالات التي تؤثر على الأعصاب والحبل الشوكي.

أثناء الاختبار، تمرر تيارات كهربائية صغيرة على أعصاب محددة باستخدام أقطاب كهربائية سطحية تُوضع على الجلد. تُحفز هذه النبضات الكهربائية الأعصاب، ويتم تسجيل الاستجابات الناتجة وتحليلها. يُعد الاختبار آمنًا وغير جراحي بشكل عام.

الشكل ٥٣ - اختبار سرعة التوصيل العصبي

ختامًا، يتضح أن الجهاز العصبي يلعب دورًا جوهريًا في تحقيق **الاتزان الحيوي** داخل الكائنات، إذ تنظم إشاراته الأنشطة الحيوية المختلفة لضمان **استجابة الجسم** السريعة والدقيقة **للمتغيرات البيئية**. ومن خلال هذه القدرة على التنظيم الذاتي، يسهم الإحساس والاستجابة في **حفظ** الاتزان الداخلي للكائنات الحية، وبالتالي في **استقرار الغلاف الحيوي**، حيث يظل التفاعل المتزن بين الكائنات وبيئاتها أساس استمرار الحياة على الأرض.

تقييم الدرس الرابع

أولا: أسئلة اختيار من متعدد

اختر الاجابة الصحيحة:

١. تُعد الخلية العصبية الوحدة الأساسية في تكوين الجهاز العصبي، ووظيفتها الأساسية هي:

أ) إنتاج الهرمونات ب) نقل السيال العصبي جـ) تخزين الطاقة د) الدفاع عن الجسم

٢. تُسمى الفترة التي لا يمكن أن يتولد خلالها سيال عصبي جديد بـ:

أ) إزالة الاستقطاب ب) إعادة الاستقطاب جـ) فترة الجموح د) جهد الراحة

٣. أي العبارات الآتية تفسّر سبب حاجة مضخة الصوديوم والبوتاسيوم للطاقة؟

أ) لأنها تنقل الأيونات في اتجاه تدرج التركيز ب) لأنها تنقل الأيونات عكس تدرج التركيز

جـ) لأنها لا تعتمد على ATP د) لأنها لا تعمل إلا أثناء النوم

٤. عند إزالة الاستقطاب، يكون جهد الغشاء:

أ) ثابتًا عند -70mV ب) أكثر سالبية جـ) يتحول من سالب إلى موجب د) لا يتغير

٥. عند إعادة الاستقطاب، يحدث:

أ) دخول أيونات الصوديوم إلى داخل الخلية ب) خروج أيونات البوتاسيوم من الخلية

جـ) توقف مضخة الصوديوم والبوتاسيوم د) زيادة الجهد الموجب داخل الخلية

٦. ما الوظيفة الأساسية للناقلات العصبية في التشابك العصبي؟

أ) تخزين الطاقة ب) نقل الإشارة بين خليتين

جـ) تكسير الأيونات د) زيادة سرعة المحور

٧. أي مما يلي يحدث مباشرة بعد وصول السيال العصبي إلى الأزرار النهائية؟

أ) خروج الكالسيوم من الخلية ب) دخول الكالسيوم واندماج الحويصلات بالغشاء

جـ) غلق قنوات الصوديوم د) تكسير الناقل العصبي

٨. يعمل إنزيم الكولين إستيريز على:

أ) تحفيز إزالة الاستقطاب ب) إعادة بناء الحويصلات

جـ) تكسير الأستيل كولين بعد أداء دوره د) زيادة نفاذية الغشاء

٩. ما الذي يفسّر أهمية جهد الراحة في الخلية العصبية؟

أ) يمنع استجابة الخلية
ب) يُبقي الغشاء مستعدًا لنقل السيال عند حدوث مؤثر
جـ) يزيد من عدد التشابكات
د) يقلل من نفاذية الغشاء للماء

١٠. خلية "بركنجي" التي يمكن أن تستقبل مئات الآلاف من التشابكات العصبية تُظهر أن:

أ) الجهاز العصبي بطيء الاستجابة
ب) الخلايا العصبية تعمل بشكل منفصل
جـ) الجهاز العصبي شبكة مترابطة تنقل المعلومات بسرعة ودقة
د) التشابكات العصبية قليلة في الدماغ

ثانيًا: أسئلة مقالية

بم تفسر؟

١. تُعد مضخة الصوديوم والبوتاسيوم ضرورية للحفاظ على جهد الراحة في الخلايا العصبية.

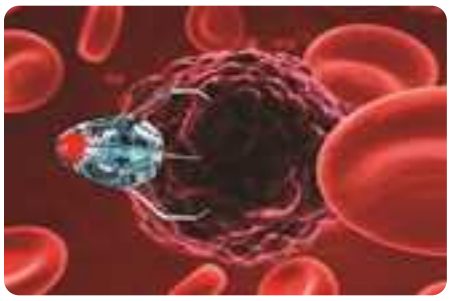
٢. يحدث فرط استقطاب بعد إعادة الاستقطاب مباشرة.

٣. وجود شق تشابكي بين خليتين عصبيتين ضروري رغم صِغره الشديد.

٤. يعمل الجهاز العصبي بسرعة تفوق الجهاز الهرموني.

٥. يؤدي تثبيط مضخة الصوديوم والبوتاسيوم بواسطة سم الأوباين (سم الأفاعي) إلى توقف الجهاز العصبي عن العمل.

٣- ٥ تطبيقات النانو تكنولوجي واستدامة الغلاف الحيوي



الشكل ٥٤ - استخدام تقنية النانو للقضاء على الخلايا السرطانية

بفضل العلم استطاع الإنسان أن يرصد ما هو أصغر من الخلايا، وأن يتحكم في تركيب المادة على مستوى الجزيئات والذرات. فظهرت تقنيات النانو تكنولوجي التي أحدثت ثورة في تعامل الإنسان مع الغلاف الحيوي.

أحد التحديات الحقيقية التي تواجه الأطباء والعلماء هي كيفية التعامل مع الورم السرطاني بجسم المريض دون تدمير الخلايا والأنسجة السليمة؟

لسنوات طويلة كانت المعالجات التقليدية للسرطان — سواء كيميائيًا أو إشعاعيًا — سيفًا ذا حدين؛ حيث يقتل الخلايا السرطانية ولكنه يسبب آثارًا جانبية شديدة للجسم كله. تطور ميدان النانو تكنولوجي وقدم حلًا مثيرًا، حيث أُحيط دواء السرطان بجُسيمات نانوية موجهة تستهدف الخلايا السرطانية فقط، حيث تُطلق الدواء هناك مباشرة وتقلّل من فرص تعرض باقي الأنسجة للمادة الدوائية السامة. مما أدى إلى زيادة فعالية العلاج وتقليل الآثار الجانبية. هذا المتقدم يفتح الباب أمام العديد من التطبيقات الأخرى في مجالات الطب والطاقة والبيئة، ويشكّل مدخلاً مناسبًا لدراسة ما نعنيه بالمواد النانوية ولماذا تملك هذه القوة.

ما المقصود بتقنية النانو؟

كلمة نانو تكنولوجي (Nanotechnology) تتكوّن من جزئين:

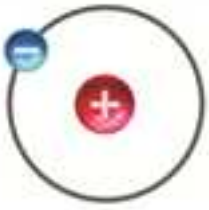
- **نانو (Nano)** كلمة يونانية تعني «القزم» أي الشيء شديد الصغر.
- **تكنولوجي (Technology)** وتعني التطبيق العملي للمعرفة في مجالٍ محدد.

إذن، النانو تكنولوجي هي تكنولوجيا التعامل مع المواد في أبعاد متناهية الصغر تُقاس بوحدة النانومتر. لإنتاج مواد وأجهزة جديدة تمتلك خصائص فريدة لا توجد في حالتها العادية

ما مقيـاس النانـو؟

قطر حبة الرمل ≈1,000,000 nm

قطر جزيء الماء ≈0.3 nm



قطر الذرة الواحدة ≈ 0.1 – 0.3 nm

الشكل ٥٥

النانو وحدة قياس صغيرة جدًا، تساوي جزءًا واحدًا من مليار جزء من المتر ($1nm= 10^{-9}m$)، أي أن النانومتر الواحد أصغر من قطر شعرة الإنسان بحوالي مئة ألف مرة!

المواد النانوية هي مواد يتراوح طول أحد أبعادها على الأقل بين .1 – 100 nm يمنحها هذا الحجم النانوي خصائص مختلفة، مقارنةً بنظيراتها الأكبر حجمًا.

لماذا تتغير خصائص المواد في مقياس النانو؟

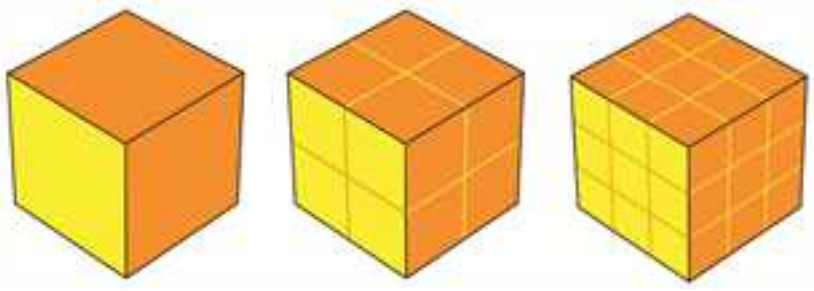
عندما تتقلص المادة إلى هذا الحجم الصغير، تتغير **خواصها الكيميائية والفيزيائية** مثل اللون، والصلابة، والذوبان، والتوصيل الكهربائي، وحتى درجة الانصهار.

ويرجع ذلك إلى عاملين رئيسيين:

١. زيادة نسبة مساحة السطح إلى الحجم:

تخيّل أنك تمتلك مكعب سكر كبير، وآخر مجزأ إلى حبيبات صغيرة. أيّهما يذوب أسرع في الماء؟

بالطبع السكر المجزأ، لأن **مساحته السطحية أكبر** مما يزيد من فرص التلامس والتصادم بين جزيئات الماء والسكر.



الشكل ٥٦- النسبة بين مساحة السطح والحجم

ينطبق هذا على المواد النانوية: فكلما صغرت الجسيمات، زادت مساحة سطحها النشطة مقارنة بحجمها ، وزادت قدرتها على التفاعل.

٢. تأثيرات الكَم (Quantum Effects):

تظهر ما يسمى بتأثيرات الكم عندما تتقارب أبعاد الجسيم مع أطوال الموجات المصاحبة لحركة لإلكترونات، مما يجعل المادة تتصرف بطرق جديدة تمامًا.

أمثلة المواد النانوية:

الشكل ٥٧- ألوان مختلفة لنانو الذهب

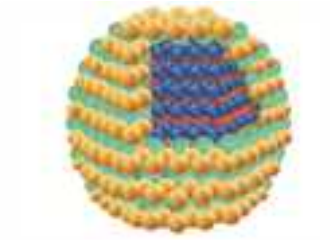
- **نانو الذهب:** الذهب في حالته العادية لونه أصفر لامع، لكن عندما يُعاد تشكيله على مقياس النانو يتغير لونه حسب حجم الجسيمات، فقد يصبح أحمر أو برتقالي أو أزرق!
- **نانو النحاس:** عندما تُصغّر جسيمات النحاس إلى مقياس النانو، تزداد صلابتها وقوتها مقارنة بالنحاس العادي.

كيمياء النانو (Nano chemistry)

وهي الفرع الذي يدرس كيفية تصنيع ووصف وتطبيق المواد النانوية، ويهتم بفهم التغيرات في الخصائص عند هذا المقياس الصغير. تأتي المواد النانوية بأشكال مختلفة حسب أبعادها:

١. مواد نانوية صفرية الأبعاد (0D Nanomaterials) في هذا النوع، تكون جميع أبعاد المادة (الطول، العرض، الارتفاع) ضمن المقياس النانوي. تظهر هذه المواد كنقاط أو حبيبات دقيقة جداً.

أمثلة: النقاط الكمومية (Quantum Dots)، الجسيمات النانوية (Nanoparticles) مثل حبيبات الذهب أو الفضة النانوية.

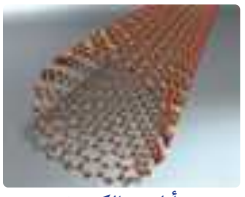


الشكل ٥٨ - النقاط الكمومية

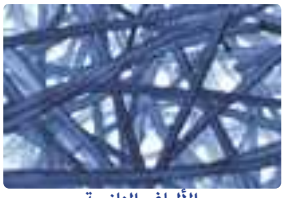
٢. مواد نانوية أحادية البعد (1D Nanomaterials)

تمتلك هذه المواد بُعداً واحداً فقط خارج المقياس النانوي (أي أن طولها قد يكون كبيراً)، بينما البعدان الآخران يقعان في المقياس النانوي.

أمثلة: الأنابيب النانوية (Nanotubes) مثل أنابيب الكربون، الألياف النانوية (Nanofibers)، والأسلاك النانوية (Nanowires).



أنابيب الكربون



الألياف النانوية

الشكل ٥٩

٣. مواد نانوية ثنائية الأبعاد (2D Nanomaterials)

تمتلك هذه المواد بُعدين خارج المقياس النانوي (مساحة مسطحة كبيرة)، بينما يكون سُمكها فقط في المقياس النانوي. تظهر عادة على شكل رقائق أو طبقات رقيقة جداً.

أمثلة: الجرافين (Graphene)، الأغشية الرقيقة (Thin Films)، والطبقات النانوية.

الأغشية الرقيقة

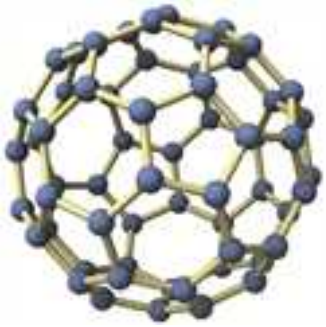
الجرافين

الشكل ٦٠

4. مواد نانوية ثلاثية الأبعاد (3D Nanomaterials)

هي مواد لا يقع أي من أبعادها في المقياس النانوي (تكون كبيرة في الأبعاد الثلاثة)، ولكنها تتكون من وحدات بناء نانوية أو تمتلك بنية داخلية نانوية (مثل المسام أو الحبيبات المدمجة).

أمثلة: المواد النانوية المسامية، والمواد النانوية متعددة البلورات والمواد المركبة (Nanocomposites).



مواد نانوية مسامية

مواد نانوية متعددة البلورات

الشكل ٦١

التوصيل العصبي باستخدام المواد النانوية

في الدرس السابق، تعلمنا أن **السيال العصبي** ينتقل عبر الخلايا العصبية على شكل نبضات كهربائية تنتقل من خلية لأخرى عبر **التشابك العصبي**، مما يسمح للجسم بالاستجابة السريعة للمؤثرات المختلفة. لكن ماذا يحدث إذا تلف جزء من هذا المسار العصبي؟ هل يمكن للسيال العصبي أن يعبر المنطقة التالفة؟

مكّن **علم النانو** العلماء من ابتكار طرق جديدة لإعادة توصيل الأعصاب التالفة، ومساعدة السيال العصبي على المرور مرة أخرى كما لو أن العصب لم يتضرر.

تُستخدم المواد النانوية **الموصلة للكهرباء** مثل **أنابيب الكربون النانوية والأسلاك النانوية** في هذا المجال حيث تعمل هذه المواد على **نقل الإشارات العصبية** بين الخلايا العصبية التالفة، تمامًا مثلما تنتقل السيالات العصبية في العصب السليم.

فعندما يتم وضع **أنابيب الكربون النانوية أو الأسلاك النانوية** بين طرفي عصب مقطوع، تُكوِّن هذه الأجزاء **جسرًا نانويًا** يسمح بمرور النبضات العصبية الكهربائية من طرف إلى آخر، مما يساعد على استعادة الحركة أو الإحساس تدريجيًا.

الشكل ٦٢- الأقطاب النانوية العصبية

كما تُستخدم **الأقطاب النانوية العصبية (NeuralNanotechInterfaces)** في تسجيل الإشارات العصبية وإرسالها إلى أجهزة خارجية، مثل الأطراف الصناعية الذكية.

وهكذا تتكامل دراستنا عن **السيال العصبي** الذي تعلمناه سابقًا والتقنيات المتقدمة في مجال النانوتكنولوجي من أجل تعزيز سريان السيال العصبي حتى في حال تلف الأعصاب.

مثال تطبيقي

الشكل ٦٣

استطاع العلماء باستخدام شرائح نانوية زُرعت في الدماغ أن يساعدوا مرضى الشلل على تحريك أطرافهم أو التواصل عن طريق الأجهزة بمجرد التفكير، إذ تلتقط الشريحة السيالات العصبية وترسلها إلى الكمبيوتر أو الذراع الصناعية التي تتحرك وفقًا للأمر العصبي، كما يوضحه الشكل ٦٣

خلايا الوقود الحيوي وتطبيقات النانو

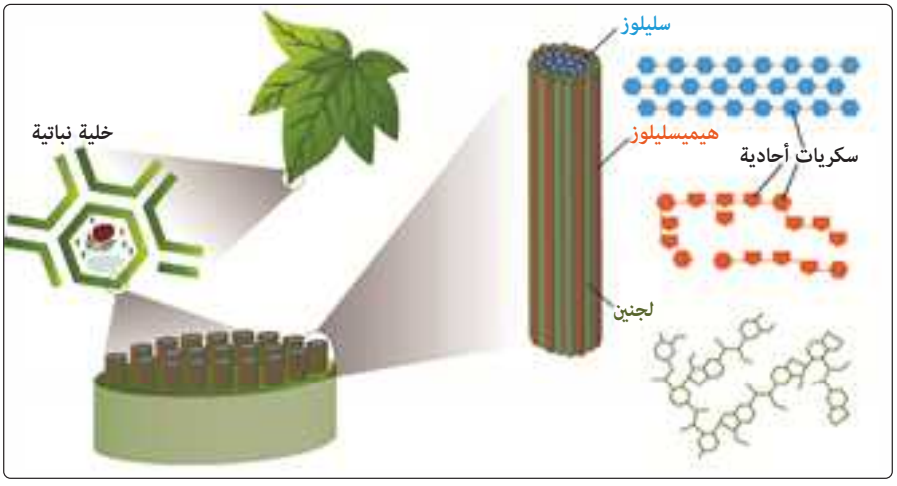
في الدروس السابقة تعلمتَ كيف تنتج **الخلايا الحية** الطاقة من الغذاء عن طريق **التنفس الخلوي**، حيث يتحلل الجلوكوز داخل الميتوكوندريا بوجود الأكسجين لإنتاج **جزيئات الطاقة (ATP)** التي تستخدمها الخلايا في أنشطتها المختلفة.

لكن هل يمكن للعلم أن يستفيد من هذه الفكرة الحيوية ليولّد طاقة لأجهزة من صنع الإنسان؟

من هذا السؤال وُلِدت فكرة **خلايا الوقود الحيوي (Biofuel Cells)**. فهي تعمل بطريقة تشبه ما تفعله الخلايا في **التنفس الخلوي**:

في كلتا الحالتين، يتم **أكسدة الجلوكوز** (أي فقده للإلكترونات) للحصول على طاقة. الفرق أن خلايا الوقود الحيوي لا تنتج **ATP**، بل تُحوِّل الطاقة الكيميائية مباشرة إلى **طاقة كهربائية** يمكن استخدامها لتشغيل أجهزة.

تعمل خلايا الوقود الحيوي كبطاريات مستدامة، حيث تُستخدم الإنزيمات عند القطب السالب (الأنود) لأكسدة الجلوكوز، مما يؤدي لتحرير إلكترونات وبُروتونات. بفضل أنابيب الكربون النانوية التي تزيد من كفاءة نقل هذه الإلكترونات، تتدفق الأخيرة عبر دائرة كهربائية خارجية (مولدةً تياراً) نحو القطب الموجب (الكاثود) — تمامًا كما تتحرك الإلكترونات في الأسلاك لإضاءة مصباح.



الشكل ٦٤- الوقود الحيوى

وهنا يأتي دور **تكنولوجيا النانو** في رفع كفاءة هذه العملية. فالجسيمات النانوية مثل **نانو الذهب أو أنابيب الكربون النانوية** تُستخدم لتغطية الأقطاب داخل الخلية، حيث تعمل كمحفزات كهربائية تُسرّع التفاعلات وتُسهّل انتقال الإلكترونات، تمامًا كما تسرّع الإنزيمات داخل الميتوكوندريا من تفاعلات التنفس الخلوي.

بهذا، تُعد خلايا الوقود الحيوي مثالًا رائعًا على **تقليد العمليات الحيوية في التكنولوجيا**، حيث استلهم العلماء فكرة إنتاج الطاقة من داخل الخلايا الحية لتصميم أجهزة تولّد طاقة نظيفة وآمنة، يمكنها تشغيل **أجهزة طبية مزروعة في الجسم** باستخدام الجلوكوز الموجود في الدم كمصدر للطاقة.

نشاط استقصائى

استقصِ كيف يمكن استخدام المواد النانوية في تحسين حياة الإنسان دون الإضرار بالغلاف الحيوي.

١. **ابحث عن منتج طبي أو بيئي يعتمد على تقنية النانو.**

٢. **حدّد المادة النانوية المستخدمة ووظيفتها.**

٣. **ناقش في مجموعتك: هل لهذه التقنية آثار جانبية على الكائنات الحية أو البيئة؟**

٤. **اقترح تعديلات أو استخدامات أكثر استدامة.**

٥. **اعرض نتائجك في ملصق علمي يوضح العلاقة بين النانو والتوازن في الغلاف الحيوي.**

تقييم الدرس الخامس

أولا: أسئلة اختيار من متعدد

اختر الاجابة الصحيحة:

١. **تختلف خصائص المادة في مقياس النانو عن خصائصها في الحالة العادية بسبب:**

أ) نقص الكتلة　　ب) وزيادة مساحة السطح بالنسبة للحجم.

جـ) تغيير تركيب الذرات　　د) انخفاض درجة حرارة المادة

٢. **عند تقليص حجم الذهب إلى مقياس النانو، فإن لونه يتغير لأن:**

أ) عدد الإلكترونات بذراته يقل　　ب) تفاعله مع الضوء يتغير

جـ) كثافته تزداد　　د) يفقد خواصه الفلزية

٣. **تزداد صلابة النحاس في مقياس النانو نتيجة:**

أ) زيادة عدد الإلكترونات بذراته　　ب) تقارب الجزيئات

جـ) زيادة نسبة مساحة السطح إلى الحجم　　د) زيادة طاقة النواة في ذراته

٤. **تُستخدم أنابيب الكربون النانوية في الإلكترونيات لأنها:**

أ) عازلة للكهرباء　　ب) موصلة للكهرباء أكثر من النحاس

جـ) تتحلل بسرعة　　د) تذوب في الماء

٥. **عمل خلايا الوقود الحيوي يشبه عملية التنفس الخلوي في أن كليهما:**

أ) يُنتج طاقة من أكسدة الجلوكوز　　ب) يستهلك جزيئات ATP

جـ) يُخزن الطاقة　　د) يعتمد في عمله على ضوء الشمس

٦. **تُستخدم الجسيمات النانوية في خلايا الوقود الحيوي لأنها:**

أ) تقلل معدل التفاعلات　　ب) تُزيد معدل انتقال الإلكترونات

جـ) تمنع أكسدة المتفاعلات　　د) تُبطل عمل الإنزيمات

٧. **في توصيل الدواء باستخدام تكنولوجيا النانو، تُساعد الجسيمات النانوية على:**

أ) نشر الدواء في كل الجسم　　ب) زيادة جرعة الدواء

جـ) توصيل الدواء مباشرة إلى الخلايا المصابة　　د) منع امتصاصه

٨. عند تفتيت المادة، فما التغير الذي يحدث لكل من بين مساحة السطح والحجم؟

أ) يقل الحجم وتزداد مساحة السطح

ب) يقل كل من الحجم ومساحة السطح

جـ) يقل الحجم ولا تتغير مساحة السطح

د) لا يتأثر أيًا من الحجم أو مساحة السطح

٩. تسهم تكنولوجيا النانو في استدامة الغلاف الحيوي لأنها:

أ) تعتمد على مواد ملوثة

ب) تقلل استهلاك الطاقة والموارد

جـ) تنتج نفايات سامة

د) تستخدم وقودًا أحفوريًا

ثانيًا: أسئلة مقالية

بم تفسر؟

١. تُظهر المواد خواصًا جديدة عندما تصل لأبعاد نانوية أقل من ١٠٠ نانومتر؟

٢. تُعد خلايا الوقود الحيوي تطبيقًا حيويًا للطاقة النظيفة؟

٣. يزداد نشاط التفاعلات الكيميائية في الجسيمات النانوية مقارنة بالحجم العادي للمادة؟

٤. تُستخدم أنابيب الكربون النانوية في تصميم مصاعد الفضاء المستقبلية؟

٥. تُعد تكنولوجيا النانو جسرًا بين علم الأحياء والفيزياء والكيمياء لخدمة استدامة البيئة؟

الوحدة الرابعة

الغلاف الصخري

نواتج التعلم:

بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يتمكن الطالب من أن:

١. يصف التركيب الداخلي لكوكب الأرض بما يشمل القشرة، ، والوشاح، واللب.

٢. يوضح المقصود بالغلاف الصخري.

٣. يحدد ويشرح الخواص الفيزيائية للصخور مثل الصلادة، والمسامية، والنفاذية، ومقاومة التعرية، ويربط كل خاصية بسلوك الصخور في الأرض.

٤. يفسر حركة الصفائح التكتونية وأثرها في تكوين الزلازل والبراكين والسلاسل الجبلية بطريقة عملية.

٥. يتعرف أهمية الغلاف الصخري كمصدر للصخور والمعادن والتربة، ويشرح كيفية استخدام هذه الموارد في الحياة اليومية والصناعة.

٦. يوضح كيفية استغلال الغلاف الصخري في توليد الطاقة، بما في ذلك البترول والغاز الطبيعي، والطاقة النووية، والطاقة الحرارية الأرضية.

٧. يربط خصائص الغلاف الصخري واستدامته بدورة الصخور وحفظ الموارد الطبيعية على الكوكب.

ملخص الوحدة:

تبدأ الوحدة بالتعرف على التركيب الداخلي لكوكب الأرض ، حيث يتعرف الطالب القشرة الأرضية، والوشاح، واللب، مع التركيز على الطبقات القريبة من السطح التي تتحكم في تشكيل التضاريس وحركة الصخور. بعد ذلك، ننتقل إلى الخصائص الفيزيائية للصخور والمعادن، مثل الصلادة، والمسامية، والنفاذية، ومقاومة التعرية، وكيف تتحكم هذه الخصائص في سلوك الصخور عند تعرضها للتجوية والانهيارات، وتفاعلها مع الماء والهواء.

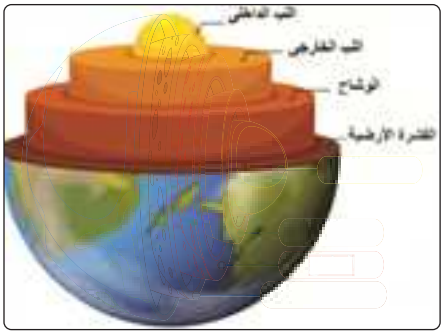
ثم يتعرف الطالب الصخور كموارد طبيعية، ودورها في صناعة الأدوات والمباني، وتزويد التربة بالعناصر الغذائية للنباتات، وكيف تستخدم المعادن في الأجهزة الحديثة، مثل السيليكون في التكنولوجيا والكوارتز في الساعات وأجهزة الملاحة. ثم ننتقل إلى حركة الصخور التكتونية، حيث يشرح الطالب كيف تتحرك الكتل الصخرية على سطح الأرض، وتأثير هذه الحركات في حدوث الزلازل والبراكين وتكوين الجبال، مع فهم العلاقة بين كثافة الصخور وخصائصها الفيزيائية ودورها في تحديد موقع التضاريس والمظاهر الأرضية. ينتقل الطالب بعد ذلك إلى مفهوم دورة الصخور، ويشرح كيفية تحول الصخور من نوع إلى آخر بفعل التعرية والضغط ودرجة الحرارة، وكيف تساهم هذه الدورة في تجدد المواد المعدنية والتربة، وربطها باستدامة الموارد. وأخيرًا، يكتشف الطالب دور الغلاف الصخري كمصدر للطاقة، فيتعرف عمليات استخراج البترول والغاز الطبيعي، واستخدام الطاقة النووية، والاستفادة من الحرارة المخزنة في باطن الأرض لتوليد الطاقة النظيفة، ليصل إلى فهم استدامة الغلاف الصخري وحفظ موارده للأجيال القادمة.

٤-١ الغلاف الصخري واستقرار كوكب الأرض وتوازنه

الشكل ١ - أغلفة الأرض

يمثل الغلاف الصخري أحد الأغلفة الرئيسة للأرض، إلى جانب الغلاف المائي والغلاف الجوي والغلاف الحيوي. وعلى الرغم من أن هذا الغلاف يبدو لنا ثابتًا، إلا أنه في الحقيقة **ديناميكي يتغير مع الزمن** بفعل القوى الداخلية للأرض، والعمليات الخارجية على سطحها. وتركز هذه الوحدة على فهم **ماهية الغلاف الصخري**: مم يتكوّن؟ وكيف تترتب طبقاته؟ وكيف تؤثر خصائص الصخور والمعادن على سلوك هذا الغلاف واستدامته؟

نطاقات كوكب الأرض



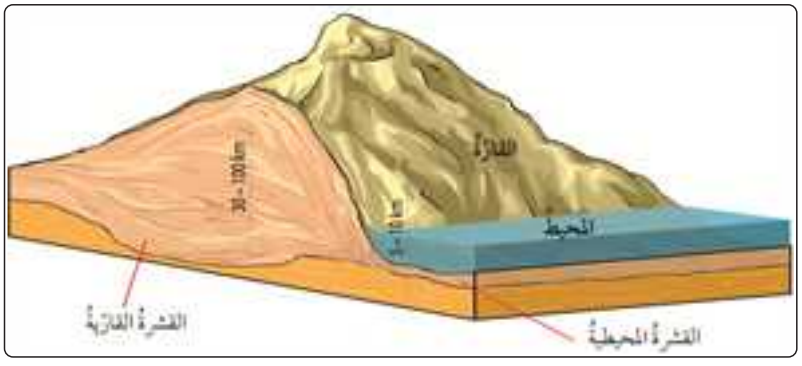
الشكل ٢ - طبقات الأرض

يتكون كوكب الأرض من ثلاث نطاقات رئيسة تختلف في تركيبها الكيميائي وخواصها الفيزيائية وهي القشرة (Curst). الوشاح (Mantle)، واللُب (النواة) (Core).

١. القشرة الأرضية (Crust)

هي النطاق الخارجي الرقيق من الأرض، وتشكل حوالي ١٪ فقط من حجم الكوكب، وتنقسم القشرة الأرضية إلى قشرة قارية (يعلوها الغلاف الجوي)، وقشرة محيطية (تتواجد أسفل المحيطات والبحار المفتوحة).

أ- القشرة القارية (Continental Crust): تمثل الجزء الذي يكوّن اليابسة على سطح الأرض. وتمتاز هذه القشرة بتركيبها الغني بعنصري السيليكا والألومنيوم، وهو تركيب يُشار إليه علميًا باسم **"سيال" (Sial)**. وبسبب طبيعة صخورها وتركيبها الكيميائي، فإن كثافتها أقل مقارنة بالقشرة المحيطية. وهذا يفسر ارتفاع القارات وبروزها فوق مستوى سطح البحر.



الشكل ٣ - سمك القشرة المحيطية 3 - 5 كم

ب- القشرة المحيطية (Oceanic Crust): تقع القشرة المحيطية أسفل قيعان المحيطات، وسُمكها أرق بكثير من سُمك القشرة القارية. وهذه القشرة لها تركيب غني بالسيليكا والماغنيسيوم المعروف باسم سيما (Sima)**بالإضافة للحديد**، وتؤدي النسبة المرتفعة للماغنيسيوم والحديد في تركيبها إلى ارتفاع كثافتها مقارنة بالقشرة القارية.

٢. الوشـاح (Mantle)

يقع الوشاح مباشرة أسفل القشرة الأرضية، وهو أكبر نطاقات الأرض كتلةً إذ يشكّل حوالي ٦٧٪ من كتلتها الكلية، ويتكوّن الوشاح من صخور غنية بسيليكات الحديد والماغنيسيوم ويسبب التغير في الضغط ودرجة الحرارة ينقسم الوشاح إلى نطاقين مختلفتين في الكثافة والخواص الفيزيائية، وهما:

أ- الوشاح العلوي: عبارة عن جزئين، الجزء العلوي يتكون من صخور صلبة، ويشترك مع القشرة الأرضية في تكوين الغلاف الصخري. ويُسمى الجزء السفلي من الوشاح العلوي الأسينوسفير (Asthenosphere)، وهو عبارة عن منطقة صخور لدنة شبه منصهرة، وتسمى الصهير، وتسلك سلوك السوائل عالية اللزوجة. وتحدث في هذه المنطقة تيارات الحمل الحراري التي تُعد القوة المحركة لحركة الصفائح التكتونية من فوقها.

ب- الوشاح السفلي (Mesosphere): يمتد الوشاح السفلي إلى أعماق كبيرة بالقرب من اللب الخارجي، وتمتاز صخوره بصلابتها الشديدة نتيجة التعرض لضغط هائل يزداد مع العمق. وعلى الرغم من ارتفاع الحرارة في هذه المنطقة، فإن الضغط المرتفع يحافظ على صلابة الصخور ويمنعها من الانصهار، مما يمنحها خصائص فيزيائية مختلفة عن الأسينوسفير.

٣- اللب (The Core)

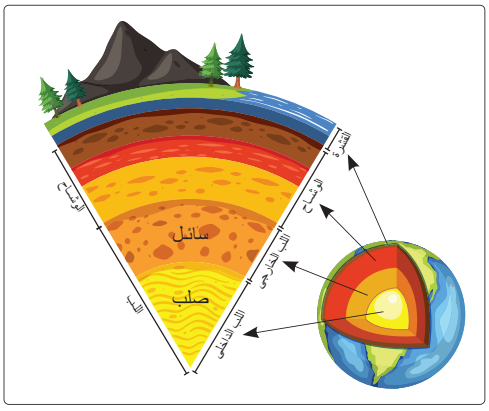
يشكل اللب الجزء الأعمق من الأرض، ويمثل نحو 33٪ من كتلتها الكلية. وينقسم إلى لب خارجي سائل ولب داخلي صلب.

أ- اللب الخارجي (Outer Core): يُعد اللب الخارجي نطاق سائل يتكون من الحديد والنيكل المنصهرين، حيث تصل درجة حرارته إلى نحو 5000 ^{o}C. وتتحرك المواد المعدنية في هذه الطبقة حركة ديناميكية مستمرة تؤدي إلى توليد المجال المغناطيسي للأرض، وهو المجال الذي يحمي الكوكب من الأشعة الكونية والجسيمات الشمسية الضارة.

ب- اللب الداخلي (Inner Core): يمثل اللب الداخلي مركز الأرض ، وهو عبارة عن كرة صلبة شديدة الكثافة تتكون من الحديد والنيكل. يظل اللب الداخلي في حالة صلبة بالرغم من درجات الحرارة المرتفعة جدًا بسبب الضغط الهائل الواقع عليه من الطبقات المحيطة.

ما الغلاف الصخري؟

تُشكل القشرة الأرضية والجزء العلوي من الوشاح وحدة جيولوجية تُسمى الغلاف الصخري الذي يعتبر الجزء الخارجي الصلب من الأرض، يحده الغلاف الجوي والغلاف المائي من أعلى وطبقة الأسينوسفير من أسفل، ويبلغ متوسط سمكه حوالي 100 km ويمثل الغلاف الصخري "السطح الجيولوجي" الذي توجد عليه معظم الظواهر الجيولوجية، مثل تشكُل التضاريس، وحدوث الزلازل والبراكين.



الشكل ٤ - طبقات الأرض والغلاف الصخري

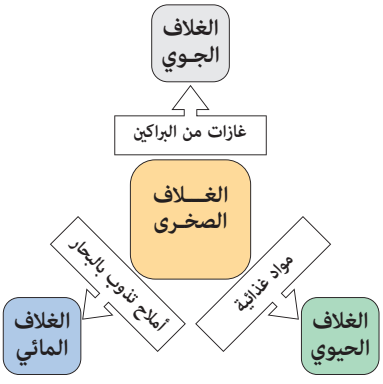
مكونات الغلاف الصخري

يتكون الغلاف الصخري من عدة مكونات، أهمها:

- **الصخور:** تُعدّ الصخور المادة البنائية الرئيسة للغلاف الصخري، وتُصنّف إلى صخور نارية، ورسوبية، ومتحولة، وهي تُشكّل القشرة الصلبة للأرض.
- **المعادن:** المعادن مواد غير عضوية طبيعية، لها تركيب كيميائي وبنية بلورية محددة. وهي الوحدة البنائية للصخور، وهي حيوية للاستخدام في الصناعة والبناء.
- **التربة:** طبقة أساسية من الغلاف الصخري، تُغذي النباتات، وتحتفظ بالعناصر الغذائية، وهي حيوية للزراعة والنظام البيئي الطبيعي.

أهمية الغلاف الصخري لأغلفة الأرض الأخرى

يُعَدُّ الغلاف الصخري الأساس الذي ترتكز عليه بقية أغلفة الأرض، فهو يمثل الجزء الصلب الذي يحمل كل ما هو فوق القشرة الأرضية، ويوفّر عمليات فيزيائية وتفاعلات كيميائية تتحكم في استقرار الكوكب وتوازنه.



الشكل ٥ - تأثير الغلاف الصخري على الغلاف الجوي

أولًا: تأثير الغلاف الصخري على الغلاف الجوي:

على سبيل المثال، تعمل الصخور المكونة بالغلاف الصخري علي ضبط تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي من خلال تفاعلات كيميائية تُعرَف بعمليات التجوية الكيميائية.

- فعندما تتعرض الصخور السيليكاتية الغنية ببيروكسين كالسيومي ($CaSiO_3$) مثل البازلت والجابرو للماء وثاني أكسيد الكربون، يحدث تفاعل كيميائي يؤدي إلى تكوين بيكربونات الكالسيوم، مما يسهم في خفض نسبة ثاني أكسيد الكربون في الهواء، كما يتضح من المعادلة الآتية:

$$CaSiO_3 + 2CO_2 + 3H_2O \longrightarrow Ca(HCO_3)_2 + H_4SiO_4$$

الشكل ٦ -صخور تتعرض للماء وثاني أكسيد الكربون

- وعندما يتفاعل CO_2 الذائب في مياه الأمطار مع صخور الغلاف الصخري، يتحول جزء منه إلى أيونات البيكربونات HCO_3^- التي تذوب في الماء وتحمل الكربون بعيدًا عن الغلاف الجوي.
- تنتقل هذه الأيونات عبر الأنهار إلى البحار، حيث يمكن أن تترسب لاحقًا على هيئة كربونات الكالسيوم الصلبة $CaCO_3$.

الشكل ٧ - مخطط يوضح دور الصخور في ضبط تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي

ويُعَد هذا مثالًا على دور الغلاف الصخري في تحقيق نوع من **"التنظيم الطبيعي"** لتركيب الهواء، حيث تمثل عملية التجوية وتكوين أملاح البيكربونات آلية طبيعية تسهم في خفض تركيز غاز CO_2 في الهواء، والحدّ من ظاهرة الاحتباس الحراري على المدى الطويل.

ثانيًا: تأثير الغلاف الصخري على الغلاف المائي:

تؤثر الصخور على خصائص المياه من خلال ذوبان بعض المعادن فيها. فعندما يمرّ الماء عبر طبقات مختلفة من الصخور يتغيّر تركيز الأملاح والعناصر الذائبة فيها مثل أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد. وفق عمليات تفسرها قوانين الذوبانية في الكيمياء.

فمن خلال قوانين الذوبانية يمكن تفسير اختلاف خصائص المياه الطبيعية من منطقة لأخرى، ولماذا تكون مياه بعض المناطق "عسِرة" غنية بأملاح الكالسيوم والمغنيسيوم وذلك بسبب مرورها على صخور معينة. ويمكنها أيضًا تفسّير دور الغلاف الصخري في تزويد الغلاف المائي بالأملاح والعناصر الضرورية للحياة والصناعة، وتعتمد كمية المعدن التي تذوب في الماء على عدة عوامل، أهمها:

عُسر الماء (Water Hardness)

هي خاصية للمياه ناتجة عن احتوائها على تركيزات عالية من الأيونات الموجبة الشحنة، وخاصة أيونات الكالسيوم Ca^{2+} والماغنيسيوم Mg^{2+} الذائبة.

ويُسبب الماء العسر مشاكل عديدة مثل تقليل فعالية الصابون وتكوين رواسب كلسية (قشور) في الغلايات وأنابيب المياه.

١. طبيعة الروابط الكيميائية في المعدن

المعادن ذات الروابط الأيونية ، مثل كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) المكونة للحجر الجيري، فإنها تتفكك بسهولة في الماء، خاصة عند احتواء الماء على ثاني أكسيد الكربون الذي يحوله إلى ماء حمضي. أما المعادن ذات الروابط التساهمية ، مثل السيليكا (SiO_2) في الكوارتز، فتذوب ببطء شديد، ولهذا تبقى الصخور السيليكاتية أكثر مقاومة للتجوية.

٢. درجة الحـــرارة

ترتفع ذوبانية معظم الأملاح والمعادن بارتفاع درجة الحرارة. لذلك تكون المياه الحارة في الينابيع مثلاً قادرة على إذابة معادن أكثر من المياه الباردة، وهو ما يفسر ظهور رواسب معدنية عند تبريد هذه المياه.

الشكل ٨ - الينابيع الحارة

٣. الضغـــط

تزداد ذوبانية الغازات، مثل ثاني أكسيد الكربون في الماء بزيادة الضغط. على سبيل المثال، تحتوي المياه الجوفية العميقة على نسبة مرتفعة من غاز CO_2 المُذاب بها بسبب ارتفاع الضغط الواقع عليها، مما يعزز قدرة تلك المياه على إذابة العديد من الصخور، ويؤدي إلى ارتفاع تركيز أملاح البيكربونات بها.

٤. وجود الأحماض في الطبيعة

يمكن لمياه الأمطار أن تُذيب كمية من غاز CO_2 الموجود بالهواء الجوي مكوِّنة حمض الكربونيك (H_2CO_3) الضعيف. تُزيد الأمطار الحمضية من معدل تكسير الروابط الأيونية في المعادن مثل الكالسيت، مما يعمل على تشكّل الكهوف والتجاويف في الحجر الجيري.

تؤثر هذه العوامل على ذوبانية المعادن والأملاح في الماء، مما ينعكس مباشرة على جودة مياه الشرب والزراعة والصناعة. ويمكن أن تستخدم هذه العوامل في بعض الأنظمة الصناعية لتنقية المياه باستخدام صخور مسامية تعمل كمرشحات طبيعية.

تطبيقات حديثة

تستخدم بعض محطات معالجة المياه اليوم تقنية مُستوحاة من الطبيعة تعتمد على **صخور بركانية مسامية** مثل «الزيوليت»، والتي تعمل كمرشحات طبيعية قادرة على احتجاز الشوائب والمعادن الثقيلة داخل مسامها الدقيقة.

وقد أثبتت هذه الصخور فاعليتها في محطات تنقية حديثة في أوروبا وآسيا، حيث ساعدت على تحسين جودة مياه الشرب دون الحاجة إلى مواد كيميائية كثيرة.

ويُعد هذا التطبيق مثالاً حيًّا على كيفية تسخير خصائص الغلاف الصخري لحماية الغلاف المائي ودعم الاستدامة.

الشكل ٩ - صخور بركانية مسامية

ثالثًا: تأثير الغلاف الصخري على الغلاف الحيوي

الشكل ١٠ - صخور فوسفاتية

عندما تتعرض الصخور في الغلاف الصخري لعوامل التجوية، مثل مياه الأمطار، أو تغيّر درجات الحرارة، أو الأحماض الضعيفة الناتجة عن ذوبان ثاني أكسيد الكربون في الماء، تبدأ معادنها في التحلل تدريجيًا. تتحوّل هذه العملية إلى "خط إنتاج طبيعي" للعناصر الغذائية التي تحتاجها النباتات.

فعلى سبيل المثال، يحتوي صخر الفوسفات على معادن غنية بالفوسفور، وعندما تتفكك هذه المعادن كيميائيًا تُطلق أيونات **الفوسفات** (PO_4^{3-}) في التربة، وهي الصورة التي تستطيع جذور النباتات امتصاصها. وبالمثل يتحلل معدن الفلسبار الموجود في الجرانيت، فيُحرر أيونات **البوتاسيوم** (K^+) التي تُستخدم في تنظيم فتح وإغلاق الثغور وإنتاج الطاقة داخل الخلايا النباتية. وتحتفظ التربة بهذه الأيونات بين حبيباتها ، فتكون متاحة للنباتات عبر امتصاص ماء التربة. وهكذا يتحوّل الغلاف الصخري إلى مستودع طبيعي يغذي الغلاف الحيوي باستمرار من خلال سلسلة من التفاعلات الكيميائية البسيطة التي تجعل العناصر المعدنية في صورة قابلة للامتصاص.

الصفائح التكتونية ودورها في تشكيل سطح الأرض

الشكل ١١ - تيارات الحمل الحراري في الوشاح

يتكوّن الغلاف الصخري من مجموعة كبيرة من القطع الصخرية الضخمة تشبه "ألواحًا" عائمة تُسمّى **صفائح تكتونية**. تتحرك هذه الصفائح ببطء شديد، عدة سنتيمترات في السنة، نتيجة للحرارة الصاعدة من باطن الأرض، والتي تدفع الصخور الأكثر ليونة أسفل الغلاف الصخري إلى الحركة، نتيجة لتيارات الحمل الحراري خلال الصهير أو الماجما في منطقة **الأسينوسفير أسفلها**، فتتحرك الصفائح فوقها كما تتحرك قوارب بطيئة فوق الماء. وعلى الرغم من أن سرعة الحركة صغيرة جدًّا، إلا أن آثارها كبيرة وواضحة.

- **عندما تتحرك صفيحتان مبتعدتَان عن بعضهما البعض** تسمى **الحركة التباعدية**، حينها تتشكل شقوق وفواصل تسمح باندفاع صهارة من باطن الأرض، فتتكون جبال بركانية أو قاع محيط جديد، وتتكون أيضًا الأخاديد والوديان مثل الصدع الأفريقي.
- أما **عندما تنزلق صفيحتان بمحاذاة بعضهما البعض** تسمى **الحركة الإنزلاقية**، حينها قد تتعثر حركة إحداهما، فتتجمع طاقة تنطلق فجأة على هيئة **هزات أرضية** وزلازل متكررة مدمرة، محدثة صدوع مثل صدع سان أندرياس بالولايات المتحدة الأمريكية.
- وفي حالات أخرى، قد **تتصادم الصفائح** ببعضها البعض وتسمى **الحركة التقاربية**، فينضغط الصخر وترتفع طبقاته مكوّنة **سلاسل جبلية** شاهقة مثل جبال الهيمالايا.

الشكل ١٢ - الحركات التباعدية والإنزلاقية والتقاربية للصفائح التكتونية

تظهر آثار هذه الحركات في حياتنا اليومية بطرق متعددة: فالمناطق الجبلية التي نراها اليوم كانت يومًا ما مناطق شبه مستوية قبل أن ترفعها حركة الصفائح، والوديان الساحلية اتسعت بسبب ابتعاد الصفائح البحرية، كما تتجدد الجزر البركانية نتيجة اندفاع الصهارة عبر شقوق الصفائح. وهكذا تعمل حركة الصفائح التكتونية كأداة طبيعية تعيد تشكيل سطح الأرض باستمرار وتحافظ على توازنه الجيولوجي.

نشاط بحثى

ابحث في شبكة الإنترنت عن الصفائح التكتونية، واختر أحد الموضوعات التالية لإعداد نشاط بحثي عنها:

- ما تأثير حركة الصفائح التكتونية على حياة الإنسان؟
- ما دور حركة الصفائح التكتونية في دورة الماء في الطبيعة؟
- ما تأثير حركة الصفائح التكتونية على المُناخ وظاهرة الإحتباس الحراري؟

تقييم الدرس الأول

أولا: أسئلة اختيار من متعدد

اختر الإجابة الصحيحة:

١. أي من العوامل التالية له التأثير الأكبر على سرعة تجوية الصخور التي تحتوي على معدن الكربونات؟

أ) ارتفاع كثافة الصخور
ب) ارتفاع ملوحة المياه خلالها
جـ) زيادة تركيز CO_2 في مياه الأمطار
د) ارتفاع درجة حرارة الهواء

٢. إذا وجدت منطقة تحتوي على طبقات رقيقة من الحجر الجيري مع تجاويف وكهوف، فإن ذلك يشير إلى أن .....

أ) الحجر الجيري ذو صلابة مرتفعة
ب) الحجر الجيري تعرض لتجوية كيميائية
جـ) التربة بهذه المنطقة فقيرة بالعناصر المعدنية
د) ذوبانية الحجر الجيري في الماء منخفضة

٣. عندما تصطدم صفيحتان تكتونيتان متقابلتان، فإن النتيجة الأكثر احتمالًا هي .....

أ) تكوّن وديان بحرية جديدة
ب) ارتفاع الصخور وتكوين سلاسل جبلية
جـ) انتشار الحمم البركانية على مساحات واسعة
د) انخفاض تركيز العناصر المعدنية في التربة

٤. أي من العناصر التالية يتحرر بصورة أساسية من الصخور بسبب التجوية، ويُستخدم مباشرة في بناء الجزيئات الحيوية للنباتات؟

أ) الحديد
ب) البوتاسيوم
جـ) الألومنيوم
د) السيليكا

٥. تُستخدم الصخور البركانية المسامية لمعالجة المياه في بعض المحطات ، وذلك لأنها .....

أ) تزيد من لزوجة الماء
ب) تمتص منه الشوائب والمعادن الثقيلة
جـ) تمنع تسرب المياه إلى أعماق الغلاف الصخري
د) تحول الماء إلى حمض الكربونيك

٦. أي من الآتي يوضح العلاقة بين خصائص الصخور وظهور الزلازل؟

أ) الصخور الأكثر صلابة تفرغ الطاقة الزلزالية بسرعة

ب) الصخور الهشة تتعرض للانكسار عند تراكم الطاقة على طول صدوع ضعيفة

جـ) الصخور الغنية بالسيليكا تمنع الزلازل

د) الصخور الكربوناتية تقلل من قوة الموجات

٧. دور الغلاف الصخري في الغلاف الحيوي يشمل:

أ) توفير الأكسجين مباشرة للنباتات

ب) إنتاج العناصر المعدنية الضرورية لنمو النباتات

جـ) زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون في الجو

د) منع المياه من التسرب إلى التربة

٨. أي من التطبيقات الصناعية التالية يُظهر استغلال خصائص الغلاف الصخري؟

أ) استخدام الحجر الجيري في صناعة الأسمنت

ب) تكوين الكربون العضوي في النباتات

جـ) زيادة سرعة الرياح على الجبال

د) امتصاص الأوزون في الغلاف الجوي

ثانيًا: أسئلة مقالية

بم تفسر؟

١. الصخور التي تتكون من أملاح الكربونات مثل الحجر الجيري تتكوّن فيها كهوف وتجاويف أكثر من الصخور التي تتكون من السيليكا؟

٢. التجوية الكيميائية للصخور تلعب دورًا في إمداد النباتات بالعناصر المعدنية الضرورية لنموها؟

٣. ظهور سلاسل جبلية في مناطق تصادم الصفائح التكتونية، بينما لا تظهر في مناطق تباعدها؟

٤. استخدام الصخور المسامية مثل الزيوليت في تنقية المياه بدلًا من المواد الكيميائية الصناعية؟

٤-٢ المواد المكونة للغلاف الصخري ودورها في استقرار الأرض واستمرارها

تتفاعل المعادن التي تكوّن الصخور مع الماء والهواء والكائنات الحية بطرق دقيقة، فتؤدي إلى تكوين التربة، وتحرير العناصر الغذائية، وتسهيل حركة المياه والغازات. من خلال دراسة المواد المكوّنة للغلاف الصخري، نستطيع فهم كيف يظل الغلاف الصخري متوازنًا ومستمرًا في أداء دوره الحيوي والهندسي على الأرض.

يتكون الغلاف الصخري من **معادن** ترتبط كيميائيًا معًا لتشكل **صخورًا**. يُطلق مصطلح المعدن في علم الجيولوجيا على المادة الصلبة الموجودة في الطبيعة، ولها تركيب كيميائي ثابت أو شبه ثابت، وبنية بلورية منتظمة، وتختلف المعادن والصخور عن بعضها وفقًا **للخصائص الآتية:**

١. الصلادة (Hardness)

الصلادة خاصية فيزيائية تعبر عن مدى مقاومة المعدن أو الصخر للخدش، وتحدد الصلادة بعض استخدامات المعدن.

تُقاس الصلادة غالبًا بمقياس مُوهس (Mohs) ، الذي يرتب المعادن من (1 إلى 10)؛ حيث تمثل القيمة (1) الأقل صلادة أي الأسهل خدشًا، وتمثل القيمة (10) الأصلد أي الأصعب خدشًا.

الشكل ١٣- تعرف درجة الصلادة

مثال:

يُعدُّ الكوارتز معدنًا ذا صلادة مرتفعة (حوالي 7 على مقياس مُوهس)، لذلك يقاوم الخدش ويستخدم في صنع أدوات زجاجية وأجزاء مقاومة للتآكل؛ بينما الجبس معدن لين جدًا (صلادته ≈ 2) حيث يتفتت بسهولة، ولا يصلح لتحمّل الأحمال أو لتطبيقات تتطلب مقاومة للخدش.

وتؤثر الصلادة في السلوك الميكانيكي للصخور؛ فالصخور التي تحتوى معادن ذات صلادة مرتفعة (مثل بعض أنواع الرمل الحجري والجرانيت) تكون أكثر مقاومة لعوامل التعرية عن الصخور التي تحتوي معادن لينة (مثل الحجر الجيري الغني بالكالسيت).

لذا، في مجال البناء والتشييد، تُستخدم مواد عالية الصلادة مثل الجرانيت خاصة في المناطق كثيفة الحركة، مثل المتاجر الكبرى والمستشفيات ومحطات القطارات.

الشكل ١٤ - مواد عالية الصلادة

توضح الصور التالية بعض التماثيل المصرية القديمة ودرجة صلادة المعادن المكونة للصخور المصنوعة منها على مقياس مُوهس:

تمثال خفرع
الصخر : ديوريت
صلادته : 7

تمثال رمسيس الثاني
الصخر: جرانيت أحمر
صلادته : 6-7

تمثال أبو الهول
الصخر: حجر جيري
صلادته : 3-4

تمثال أمنحتب الثالث
الصخر: ألباستر
صلادته : 2.5-3

اختبار درجة صلادة بعض الصخور

الأدوات:

- عينات من صخور مختلفة : جرانيت - حجر جيري - حجر رملي - جبس- أو عينات أخرى.
- مسمار حديدي - قطعة نقود معدنية - ظفر اليد.

الخطوات:

١. حاول خدش كل عينة من الصخور بظفرك (صلادة ≈ 2.5)
٢. حاول خدش كل عينة من الصخور بقطعة النقود (صلادة ≈ 3)
٣. حاول خدش كل عينة من الصخور بالمسمار (صلادة ≈ 4.5)
٤. سجل ملاحظاتك بوضع (نعم) أو (لا) في جدول كالتالي،

هل تم خدش العينة بواسطة	الجرانيت	الحجر الجيري	الحجر الرملي	الجبس
١. الظفر؟				
٢. قطعة النقود؟				
٣. المسمار؟				

٥. في ضوء النتائج، ما ترتيب العينات وفقًا لدرجة الصلادة من الأعلى إلى الأقل؟

٢.اللون والبريق (Color and Luster)

قد يساعد **اللون** في التعرف على بعض المعادن، فمعدن **المالاكيت** مثلًا يظهر بلون أخضر واضح. لكنّ لايمكن الاعتماد على لون المعدن بمفرده للتعرف عليه، فقد تشترك معادن مختلفة في لون واحد. أما **البريق** فيُقصد به مدى انعكاس الضوء عن سطح المعدن، فقد يكون للمعدن لمعان مَعْدَني (**كالذهب**)، أو مظهر زجاجي (**كالكوارتز**)، أو سطح مطفأ (**كالبازلت** المتفحّم).

الشكل ١٥ - المالاكيت أخضر اللون

الشكل ١٦ - الكوارتز له مظهر زجاجي

الشكل ١٧ - البايرايت (ذهب الحمقى)

يُعرف معدن **البايرايت** بـ"ذهب الحمقى" حيث يُظهر لمعانًا معدنيًّا ذهبيًّا، لكنه يختلف عن الذهب الحقيقي في التركيب والكثافة. كذلك، معدن **الكالسيت** له مظهر زجاجي حتى لو تنوعت ألوانه، فقد يكون شفافًا أو معتمًا. لذلك يُستخدم اللون والبريق مع خواص أخرى (مثل الصلادة ، والانفصام ، والتفاعل مع الأحماض المخففة) للتعرف على المعدن بدقة.

٣.الوزن النوعي (Specific Gravity)

الشكل ١٨ - الجالينا له وزن نوعي كبير نسبيًا

الوزن النوعي (أو الكثافة النسبية) هو نسبة كتلة حجم معين من مادة إلى كتلة نفس حجمها من الماء عند درجة حرارة 4^oC. الوزن النوعي للمعدن مؤشر لما يحتويه من عناصر ثقيلة أو عالية الكثافة. فالمعادن الغنية بالمعادن الثقيلة مثل الرصاص أو الفضة لها أوزان نوعية كبيرة ، مثل: معدن **الجالينا** (كبريتيد الرصاص)، بينما المعادن الخفيفة **كالفلسبار** تكون لها أوزان نوعية منخفضة.

في التطبيقات الهندسية والجيولوجية، يتم ملاحظة ثِقَل العيّنات الصخرية عند فحصها، فالحديد والمعادن الموجودة في الصخور البركانية تمنحها كثافة نسبية أعلى من الصخور الرسوبية مثل الصخور الرملية الخفيفة. ويساعد تحديد الوزن النوعي للصخور عند مواقع البناء في تحديد تركيب طبقات الأرض عند الحفر أو المسح الجيوفيزيائي.

٤.الانفصام والمكسر (Cleavage and Fracture)

الانفصام هو قابلية المعدن للانقسام على امتدادات بلورية محددة تُعكس بنية الروابط داخل البلورة؛ يظهر الانفصام كأسطح ناعمة ومماثلة عند كسر المعدن. أما **المكسر** فهو نمط الكسر، فعندما لا يتبع الكسر امتدادات بلورية محددة تنتج أسطح مكسّرة غير منتظمة، مثل المكسر الصدفي.

أمثلة: تُظهر **الميكا** (mica) انفصامًا ممتازًا جدًا في اتجاه واحد، ولهذا تنفصل رقائقها بسهولة إلى أوراق

رقيقة. ويُظهر **الفلسبار** (feldspar) انفصامًا في اتجاهين أو ثلاثة بنِسَب وزوايا محددة، بينما يُكسر **الكوارتز** تكسيرًا صدفيًّا (conchoidal fracture) ولا يظهر انفصامًا واضحًا.

الشكل ١٩- الميكا

الشكل ٢٠ - الفلسبار

من الناحية الهندسية، معرفة الانفصام أو نمط المكسر مفيد جدًا في التعرف على نوع المعدن. فاستخدام صخور تحتوى على معادن ذات انفصام واضح في تشييد جدران المحاجر أو مواقع البناء قد يؤدى إلى انفصامها إلى طبقات أو تفتتها عند التعرض للإجهاد الميكانيكي مما يزيد من احتمالية حدوث انهيارات أو انزلاقات.

٥. التركيب الكيميائي (Chemical Composition)

يُقصد بالتركيب الكيميائي للمعدن أوالصخر تحديد أنواع العناصر ونسب وجودها به. تصنف المعادن إلى مجموعات رئيسة بناءً على تركيبها الكيميائي: مثل مجموعة **السيلكات** (سيليكات)، مجموعة **الكربونات**، مجموعة **الكبريتيدات**، مجموعة **الأكاسيد**، إلخ. وكل مجموعة لها خصائصها المحددة؛ فمثلاً **السيلكات** التي تشكّل معظم قشرة الأرض تتمتع عادة بصلادة جيدة، بينما **الكالسيت** الذي يوجد في **الحجر الجيري** ، وهو عبارة عن كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) يذوب جزئيًا في الأحماض الضعيفة، مثل حمض الكربونيك المخفف (عبارة عن CO_2 ذائب في الماء) ، منتجًا فورانًا نتيجة إنطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون وفق المعادلات الكيميائية التالية:

$$CO_{2\,(g)} + H_2O_{\,(l)} \rightleftharpoons H_2CO_{3\,(aq)}$$

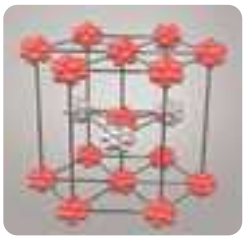
$$CaCO_{3(s)} + H_2CO_{3(aq)} \longrightarrow Ca^{2+}{}_{(aq)} + 2HCO_3^-{}_{(aq)}$$

وتنتقل أيونات الكالسيوم Ca^{2+} وأيونات البيكربونات HCO_3^- إلى المحلول المائي.

لذا يُستخدم اختبار التفاعل مع الأحماض المخففة للتعرف على الصخور التي تحتوي مجموعات الكربونات. أما المعادن التي تحتوي على محموعة السليكات مثل الفلسبار والكوارتز فلها مقاومة للذوبان في الأحماض الضعيفة، لهذا تحتفظ التربة والرواسب الصخرية بمعادن الفلسبار والكوارتز لفترات زمنية طويلة.

الموارد المعدنية في الغلاف الصخري:

يتكوّن الغلاف الصخري للأرض أساسًا من المعادن، وهي اللبنات الأساسية التي تتشكل منها معظم الصخور. ويُعرّف المعدن بأنه مادة صلبة طبيعية التكوين، غير عضوية، لها تركيب كيميائي محدد



الشكل٢١ - الشبكة البلورية للماغنسيوم

الشكل ٢٢ - الشبكة البلورية للحديد

وبنية بلورية منتظمة تكسبه خصائص فيزيائية مميزة.

تتشكل المعادن داخل القشرة الأرضية من خلال عمليات جيولوجية مختلفة؛ منها تبلور الصهارة عند تبريدها، أو ترسّب الأملاح عند تبخر المياه، أو نتيجة تعرّض الصخور لضغط وحرارة كبيرين يؤديان إلى إعادة ترتيب ذراتها. ويؤدي هذا التنوع في ظروف التكوّن إلى وجود أكثر من 4000 معدن معروف على الأرض، يشكل عدد محدود منها الجزء الأكبر من الصخور التي تُكوّن الغلاف الصخري.

تلعب المعادن دورًا مهمًا في **استقرار الأرض واستمراريتها**، فهي تُكسب الصخور صلابتها وتماسكها، وتساهم في بناء القارات والجبال وتحديد خواص التربة. كما أن تنوعها **الكيميائي والفيزيائي** يسمح بتوزيع مختلف للعناصر داخل القشرة الأرضية، مما يدعم العمليات الطبيعية **كدورة الصخور وحركة الصفائح التكتونية**.

ويمتد تأثير المعادن إلى حياة الإنسان اليومية بشكل مباشر، إذ تدخل في عدد واسع من الصناعات الحديثة مثل:

- **معدن الكوارتز**

له دور أساسي في التكنولوجيا الحديثة بفضل خاصية بلوراته الفريدة في **التذبذب بمعدل ثابت عند تعرضها لفرق جهد كهربي**. تستخدم هذه الخاصية في صناعة الساعات الدقيقة.

الشكل ٢٣ -أجهزة تحديد الموقع بالقمر الصناعي GPS

كما يدخل الكوارتز في صناعة **الهواتف المحمولة، وأجهزة الملاحة Global Positioning System (GPS)** المستخدمة في ضبط الإشارات الإلكترونية وتوفير توقيت دقيق لنقل البيانات، مما يضمن وصول المكالمات والرسائل ومواقع الخرائط بشكل متزامن ودقيق.

- **عنصر الحديد**

يُستخرج من خامات مثل **الهيماتيت والماجنتيت**، ويُستخدم في تصنيع **الهياكل المعدنية، والآلات الثقيلة**. وقد أصبح عنصرًا أساسيًا في **التكنولوجيا الحديثة والطاقة المتجددة** حيث يُستخدم الحديد في تصنيع **السيارات الكهربائية والقطارات عالية السرعة**، مما يساهم في تقليل الانبعاثات الكربونية وتحقيق مستقبل أكثر استدامة، وصناعة توربينات **الرياح العملاقة** التي تشكل هياكلها المعدنية العمود الفقري في قدرتها على إنتاج الكهرباء النظيفة.

الشكل ٢٤ - القطار عالي السرعة

الشكل ٢٥ - توربينات الرياح

مصر على خطى المستقبل

تمضي **مصر بخطى سريعة نحو التكنولوجيا الحديثة**، حيث افتتحت مؤخرًا مشروع القطار الكهربائي السريع كجزء من خطة إنشاء شبكة سكك حديدية كهربائية فائقة السرعة بطول حوالي ٢٠٠٠ كم، لنقل الأفراد والبضائع. يهدف مشروع القطار الكهربائي السريع إلى ربط مدن البحر الأحمر والمتوسط، لتعزيز الربط بين مناطق الإنتاج وموانئ التصدير، ودعم التنمية الاقتصادية والعمرانية في أنحاء الجمهورية.

وفي مجال الطب، تلعب المعادن دورًا محوريًا في تصنيع الأدوية والمعدات الطبية مثل:

- **مركّبات الكالسيوم والحديد** تُعد مكونات رئيسية في إنتاج المكملات الغذائية التي تُستخدم لتعويض نقص المعادن في الجسم.

الشكل ٢٦ - طرف صناعي

- يعتبر **التيتانيوم** أهم معدن يستخدم في زراعة العظام والمفاصل الصناعية نظرًا لقدرته على الاندماج مع أنسجة الجسم دون أن يرفضه الجهاز المناعي، إضافةً إلى متانته الكبيرة رغم خفة وزنه.
- كما يلعب **الكوبالت** دورًا محوريًا في إنتاج بطاريات أيون الليثيوم المستخدمة في المضخات الطبية الذكية، وفي الأجهزة القابلة للارتداء التي تراقب صحة المرضى لحظة بلحظة.
- تستخدم سبائك من عناصر أرضية نادرة مثل سبيكة **النيوديميوم الحديد، البورون (Nd –Fe –B)** في صناعة أقوى المغناطيسات الدائمة في العالم، والتي تعتمد عليها أجهزة **الرنين المغناطيسي (MRI)**. هذه المغناطيسات تولد مجالات مغناطيسية هائلة تساعد على تصوير أعضاء الجسم من الداخل بوضوح شديد ودقة عالية دون تدخل جراحي.

الشكل ٢٧ - أشعة إكس تظهر جهاز تنظيم ضربات القلب داخل الجسم

- وتُستخدم جسيمات نانوية من الذهب والفضة في توصيل الأدوية مباشرة إلى الخلايا المصابة لعلاج السرطان بطرق أكثر دقة وأقل ضررًا.
- يُطلَق على **الليثيوم** اليوم **"نفط القرن الحادي والعشرين"**، فهو المعدن الأخف على سطح الأرض، ويتميز بقدرته الكبيرة على تخزين الطاقة لفترات طويلة وإطلاقها بكفاءة عالية. يدخل معدن **الليثيوم** في تصنيع بطاريات الأجهزة الطبية المحمولة، مثل أجهزة تنظيم نبضات القلب وأجهزة قياس السكر الدقيقة، وأيضًا يوجد داخل بطاريات الهواتف الذكية، والساعات الرقمية، والحواسيب المحمولة، والسيارات الكهربائية، والطائرات المسيّرة، وحتى الأقمار الصناعية.

الشكل ٢٨ - بطاريات الليثيوم

- وهناك معدن **السيليكون وهو عنصر يستخرج من الرمل**، ولكنه يُعد من أهم المعادن التي غيّرت شكل حياتنا الحديثة، فهو المكوّن الرئيس في تصنيع **الشرائح الإلكترونية (الرقائق الدقيقة)** داخل الحواسيب والهواتف الذكية. يتميّز السيليكون بقدرته على **التحكم في مرور التيار الكهربائي في الدوائر الإلكترونية**، مما يجعله أساس عمل المعالجات والدوائر الإلكترونية. ويستخدم أيضًا في صناعة **الألواح الشمسية** التي تحوّل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية نظيفة.

الشكل ٢٩ - شرائح إلكترونية

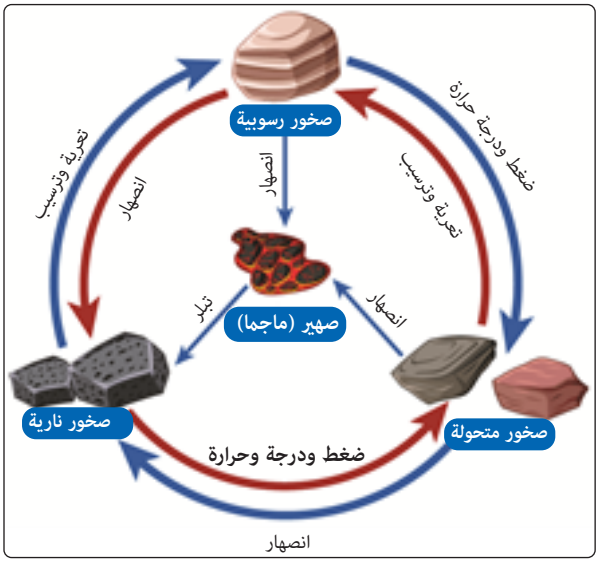
وبهذا يمثل الغلاف الصخري خزانًا طبيعيًا غنيًا بالموارد المعدنية التي لا تقتصر أهميتها على تشكيل سطح الأرض فحسب، بل تتجاوز ذلك لتصبح جزءًا أساسيًا من التطور الصناعي والتكنولوجي والطبي في العالم.

كيف تتحرك مواد الغلاف الصخري وتعيد تشكيل نفسها باستمرار؟

تتكوّن الصخور في الأساس من المعادن التي درستَ خصائصها سابقًا، ومع أنّ الصخور تبدو للوهلة الأولى كيانات ثابتة لا تتغير، إلا أنها في الحقيقة جزء من منظومة ديناميكية مستمرة تُعرف باسم **دورة الصخور**. ففي كل لحظة، **تقوم الحرارة والضغط والماء والرياح والقوى الداخلية للأرض** بإعادة تشكيل المعادن والصخور وتحويلها من نوع إلى آخر في رحلة طويلة قد تستغرق آلاف أو ملايين السنين.

دورة الصخــور

- تبدأ الدورة غالبًا بالصخور النارية التي تتكوّن نتيجة تبريد الصهارة في باطن الأرض أو الحمم البركانية على السطح.
- مع تعرّض هذه الصخور لعوامل الرياح والمطر وتغيّر درجات الحرارة، تتفكك إلى رواسب صغيرة تُنقَلها المياه أو الرياح لتستقر في البحار والأنهار.
- مع تراكم هذه الرواسب وضغطها عبر الزمن، تتحول إلى صخور رسوبية.
- مع استمرار حركة الصفائح التكتونية، قد تُدفَع الصخور الرسوبية إلى أعماق كبيرة حيث ترتفع درجة الحرارة والضغط إلى مقادير هائلة، فتبدأ المعادن المكوّنة لها بالتغيّر دون أن تنصهر، لتتحول إلى **صخور متحولة** ذات خصائص جديدة تمامًا، نتيجة إعادة ترتيب الحبيبات المعدنية.
- مع زيادة العمق وارتفاع درجات الحرارة بدرجة كافية، قد تصل الصخور المتحولة أو الرسوبية إلى مرحلة الانصهار التام، لتعود إلى حالة الصهارة من جديد، وهكذا تبدأ الدورة مرة أخرى.



الشكل ٣٠ - دورة الصخور

يمكنك رؤية أجزاء من هذه الدورة في الطبيعة حولك:

الشكل ٣١ - صخور رسوبية

عندما ترى طبقات متتالية من الصخور في الجبال أو الطرق الجبلية،فهذه تمثل تراكم الرواسب عبر ملايين السنين.

وتعتبر المنتجات الصناعية مثل الرخام المستخدم في المباني، فهو مثال لصخور متحولة نشأت من الحجر الجيري تحت تأثير الحرارة والضغط.

الشكل ٣٢ - قطعة من الرخام الخام

وحتى الزجاج الذي نستخدمه يوميًا يعتمد على الرمال المكوّنة من معادن السيليكا الناتجة عن تكسر الصخور. وهكذا تُظهر دورة الصخور كيف يعمل الغلاف الصخري كوحدة متكاملة تُعيد تشكيل مواده باستمرار، مما يضمن استقرار الأرض واستمرارية مواردها على مدى العصور.

نشاط استقصائى

رحلة الصخور والمعادن

١. اختَر صخرًا من البيئة المحيطة بك، أو صورة لصخور طبيعية.
٢. حدّد المعادن التي يمكن أن يحتويها الصخر باستخدام دليل الصفات المعدنية.
٣. لاحظ شكل الحبيبات ولونها وصلادتها.
٤. ناقش مع زملائك: كيف يمكن أن يؤثر تركيب المعادن على صلابة الصخر أو قابليته للتفتت؟
٥. فكر: ما نوع الصخر الذي ينتمي إليه الصخر الذي اخترته؟ ناري، رسوبي أم متحوّل؟
٦. لاحظ أي علامات على حدوث عمليات التجوية أو النقل لهذا الصخر .
٧. حاول رسم مسار محتمل لدورة الصخور بدءًا من هذا الصخر وصولًا إلى صخر آخر.
٨. فكر في تطبيق عملي: أي المعادن في هذا الصخر يمكن أن تُستخدم في الصناعة أو التكنولوجيا؟
٩. دون ملاحظاتك واستنتاجاتك.
١٠. شارك استنتاجاتك مع زملاء الصف، وناقش كيف تحافظ المعادن والصخور على استقرار الأرض.

أولا: أسئلة اختيار من متعدد

اختر الإجابة الصحيحة:

١. **أي العوامل التالية يمكن أن يغيّر نوع الصخر دون تغيّر في تركيبه الكيميائي؟**

أ) الانصهار التام ب) التبريد السريع

جـ) الضغط ودرجة الحرارة المرتفعة د) التجوية الكيميائية

٢. **معدن يتميز بقدرته على قطع الزجاج والصناعات الدقيقة. هذا الوصف يشير إلى خاصية .....**

أ) اللون ب) الصلادة

جـ) الانفصام د) البريق

٣. **إذا تحولت الصخور الرسوبية إلى صخور متحولة، فإن ذلك يدل على أن الصخور .....**

أ) تعرّضت لعوامل التجوية فقط

ب) انصهرت ثم بردت

جـ) تعرّضت لضغط ودرجة حرارة مرتفعة دون انصهار

د) تحولت مباشرة إلى صخور نارية

٤. **أي مما يلي يفسّر استخدام معدن التيتانيوم في المفاصل الصناعية؟**

أ)كثافته العالية ب) لونه الفضي اللامع

جـ) مقاومته للتآكل ومتانته العالية د) سهولة انصهاره

٥. **وجود بلورات كبيرة داخل صخر ناري يدل غالبًا على أنّ الصخر .....**

أ) برد ببطء في باطن الأرض ب) تعرّض للتجوية الميكانيكية

جـ) تكون من بركان سريع الانفجار د)ترسّبت طبقاته في قاع البحر

٦. **أي العمليات التالية تُعد بداية تكوين الصخور الرسوبية؟**

أ) الانصهار ب) التجوية والتعرية

جـ) التبلور من الصهارة د) إعادة ترتيب المعادن

٧. **معدن يدخل في صناعة بطاريات الهواتف الذكية والسيارات الكهربائية، ويتميز بخفة وزنه وقدرته على تخزين الطاقة بكفاءة .....**

أ) النحاس ب) الليثيوم جـ) الحديد د) البوكسيت

٨. عند دراسة صخر يحتوي على طبقات واضحة وحبيبات مختلفة الحجم، يمكننا الاستنتاج أن هذا الصخر تشكل نتيجة .....

أ) تبريد الصهارة

ب) ضغط الرواسب عبر زمن طويل

جـ) تغير المعادن تحت حرارة شديدة

د) انصهار الصخر القديم

ثانيًا: أسئلة مقالية

بم تفسر؟

١. اختلاف الصخور في خصائصها رغم أنها تتكون من معادن مشتركة؟

٢. اعتبار المعادن أساسًا للصناعات الحديثة كالطب والتكنولوجيا؟

٣. دورة الصخور عملية مستمرة رغم اختلاف الأزمنة الجيولوجية؟

٤. الصخور المتحولة لا تحتوي عادةً على حفريات؟

٣-٤ الغلاف الصخري واستدامة موارد الطاقة

يُعدّ الغلاف الصخري مصدرًا لمجموعة كبيرة من موارد الطاقة، سواءً المتجددة أو غير المتجددة ، والتي تغطي جزءًا كبيرًا من الاحتياجات العالمية للطاقة. فالغلاف الصخري هو المصدر الرئيس لأنواع الوقود الحفري التقليدية كالفحم والبترول والغاز الطبيعي، بالإضافة إلى المعادن المشعة التي تمثل مصدرًا للطاقة النووية كاليورانيوم، والطاقة الحرارية الناتجة من سخونة الأرض. لذا فدراسة الغلاف الصخري تتيح لنا تحديد مواقع هذه الموارد وكيفية استخراجها وإدارتها بكفاءة واستدامة.

أولا: الغلاف الصخري والوقود الحفري (Fossil fuels)

الشكل ٣٣- البترول والغاز الطبيعي تحت الأرض

يحتوي الغلاف الصخري على رواسب هائلة من الوقود الحفري، الذي يُعدّ حاليًا المصدر الرئيس للطاقة في العالم، وأكثرها توفرًا في الغلاف الصخري.

تفترض نظرية **الأصل العضوي** التي تحاول تفسير كيفية تكوين البترول والغاز الطبيعي أنهما قد تكونا من بقايا بعض الكائنات الحية وبخاصة الأحياء البحرية الدقيقة التي دُفنت بعد موتها في قيعان البحار والمحيطات منذ ملايين السنين، وتحولت تدريجيًا إلى صخور رسوبية، وتزايد سمكها مع الوقت. وبفعل الضغط الهائل، وارتفاع درجة الحرارة الناتج عن تأثيرات حرارة باطن الأرض، تكونت طبقات الصخور الرسوبية التي تسمى بصخور المصدر، وفي ثناياها تحولت البقايا العضوية الغنية بالكربون والهيدروجين إلى مواد هيدروكربونية، تكون منها البترول والغاز الطبيعي .

عادة ما يتجمع البترول والغاز الطبيعي في باطن الأرض داخل طبقات صخرية غير منفذة في أحواض من الصخور الرسوبية، تتكوَّن على شكل قُبة، وتُعرف بالمصائد البترولية (Oil Traps) . يوجد البترول في هذه المصائد تحت ضغط مرتفع طافيًا على الماء، ويعلوه الغاز الطبيعي. وفيما يلي نلقي مزيدًا من الضوء على استخراج البترول.

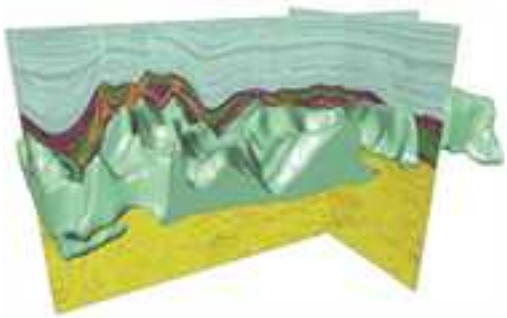
استخـراج البتـرول

بعد تحديد موقع البترول داخل الصخور الخازنة، تبدأ عملية **الحفر العميق** باستخدام منصّات مخصصة تصل إلى أعماق كبيرة تحت الأرض أو تحت قاع البحر. تُدخِل الشركات أنابيب **فولاذية** قوية داخل البئر لضمان ثباته ومنع تسربات غير مرغوبة. وعندما تصل الحفّارات إلى طبقة الصخور التي تحتوي على البترول، يُسمح للضغط الطبيعي داخل الخزان بدفعه إلى الأعلى، أو تُستخدم تقنيات حديثة مثل **الضخ بالماء أو الغاز** لرفع البترول إلى السطح عندما يكون الضغط منخفضًا.

ويستمر الخام في التدفق حتى يتلاشى **الضغط** المسبب لإندفاعه. ويقدر حينها ما يتم استخراجه بنحو 20 ٪ من الخام الموجود في الحقل . وتعتمد كمية البترول الذي يمكن استخراجه على **لُزُوجَة الخام**، حيث تؤثر خاصية اللزوجة على مقاومة السائل للتدفق. فالسوائل عالية اللزوجة تكون غليظة القوام وتتدفق ببطء نتيجة زيادة قوى التجاذب بين جزيئاتها (قوى التماسك). وبالتالي، يقل معدل استخراج الخام كلما ارتفعت لزوجته.

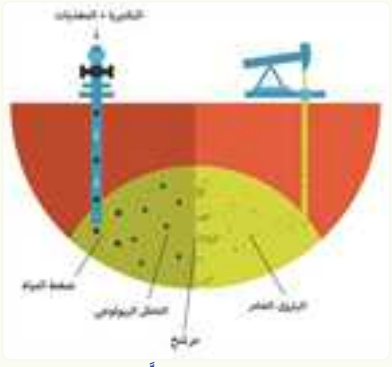
وفي السنوات الأخيرة، أصبحت الشركات تعتمد على **الاستشعار الزلزالي ثلاثي الأبعاد**، الذي يمكّن الجيولوجيين من رسم خريطة دقيقة للتراكيب الصخرية وتحديد أماكن تجمع النفط بدقة أكبر، مما يزيد من نجاح عملية الاستخراج ويقلل من الأثر البيئي.

الشكل ٣٤- الاستشعار الزلزالي ثلاثي الأبعاد


الشكل ٣٥ - تحليل ثلاثي الأبعاد لبيانات الاستشعار الزلزالي

تطبيقات تكنولوجية

كائنات دقيقة تُحسِّن معدل استخراج البترول الخام (الاستخلاص المعزَّز للنفط الحيوي)


الشكل ٣٦- الاستخلاص المعزَّز للنفط الحيوي

تلجأ بعض الشركات الحديثة إلى **استخدام كائنات دقيقة**، مثل أنواع معينة من البكتيريا، للمساعدة في زيادة كمية البترول المستخرج من الصخور. تُحقَن هذه الكائنات في آبار البترول القديمة أو قليلة الإنتاج، فتبدأ في التكاثر داخل المسام الصخرية. تقوم البكتيريا بإفراز مواد كيميائية طبيعية مثل **الغازات العضوية والأحماض والبوليمرات الحيوية**، وهذه المواد تعمل على تغيير خصائص البترول وطبقة الصخور المحيطة به. فعلى سبيل المثال، تساعد الأحماض الحيوية في **إذابة بعض المعادن** التي تعيق حركة النفط، بينما تقلل البوليمرات الحيوية من **لزوجة** النفط ، مما يسمح للنفط بالتحرّك والانسياب بسهولة أكبر إلى البئر. وتزيد هذه العملية من كفاءة الاستخراج دون الحاجة لعمليات ضخ قوية أو استهلاك طاقة كبير، وهو ما يجعلها تقنية حديثة وصديقة للبيئة تُستخدم اليوم في عدة حقول حول العالم لدعم الإنتاج وتقليل الفاقد من البترول المخزون.

التقطير التجزيئي لزيت البترول

يتكون خام البترول بشكل أساسي من من مركبات كيميائية تُسمى **الهيدروكربونات**، وهي مركبات عضوية تحتوي فقط على عنصري الكربون والهيدروجين. بالإضافة إلى كمية من المركبات غير الهيدروكربونية التي

تحتوي عناصر الكبريت والنيتروجين والأكسجين وبعض الفلزات.

المركبات الهيدروكربونية المختلفة المكونة للبترول الخام، والتي بعد فصلها منه تُعرف بالمنتجات البترولية، هي ما يمنحه تلك الأهمية العملية والاقتصادية، فلكل منتج بترولي استخدامات عديدةٌ وتطبيقاتٌ مختلفة.

البترول الخام الذي يصل إلى المصافي عبارة عن خليط معقد من مركبات هيدروكربونية مختلفة في خواصها. ولتحويله إلى منتجات قابلة للاستخدام، مثل البنزين والديزل وغاز الطهي، تُجرى عملية **التقطير التجزيئي**.

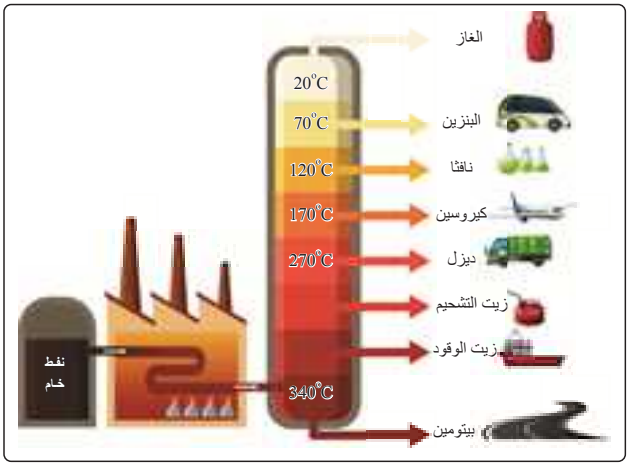
كيف تتم عملية التقطير التجزيئي؟

١. تسخين البترول الخام:

يُسخّن البترول إلى درجات حرارة عالية تصل إلى 400°C داخل أفران خاصة، حتى يتحول إلى خليط من الأبخرة.

٢. دخول الأبخرة إلى برج التقطير:

يُضَخ البخار الساخن إلى داخل **برج مرتفع يسمى برج التقطير التجزيئي**. يتميز هذا البرج بدرجات حرارة مرتفعة عند القاعدة، وتنخفض تدريجيًا كلما ارتفعنا لأعلى.



الشكل ٣٧ - عملية التقطير التجزيئي للنفط

٣. تجميع المكوّنات حسب درجة غليانها وتكاثفها:

تختلف الهيدروكربونات في درجة غليانها؛ لذا تتكاثف عند مستويات مختلفة:

- **الديزل والكيروسين** يتكاثفان عند مستويات متوسطة.
- **البنزين** يتكاثف في مستويات أعلى حيث تكون درجة الحرارة أقل.
- أما الغازات الخفيفة مثل **البيوتان والبروبان** فتخرج من قمة البرج.

أمثلة حديثة من التطبيقات الصناعية

- **في المصافي الحديثة في الخليج العربي ومصر**، تُستخدم أنظمة تحكم رقمي لضبط درجات الحرارة ومعدلات التبريد بدقة عالية، مما يجعل عملية التقطير أكثر كفاءة ويقلل استهلاك الطاقة.
- كما تعتمد بعض المصافي على وحدات **تكسير حراري وهيدروجيني** لتحويل الهيدروكربونات الثقيلة إلى بنزين خفيف عالي الجودة، وهو ما يُستخدم في السيارات الحديثة قليلة الانبعاثات.
- وفي الصناعات المتقدمة، تُستغل الغازات الخفيفة الناتجة من أعلى البرج في إنتاج **البتروكيماويات**، مثل البلاستيك والراتنجات والألياف الصناعية، التي تدخل في الأجهزة الإلكترونية، والسيارات الكهربائية، ومواد البناء خفيفة الوزن.

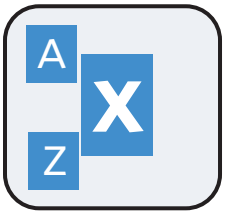
ثانيًا: الغلاف الصخري كمصدر للطاقة النووية (Nuclear energy)

الشكل ٣٨ - عنصر اليورانيوم في الجدول الدوري

إلى جانب البترول والغاز الطبيعي، يُوفّر الغلاف الصخري موردًا آخر للطاقة بالغ الأهمية، ممثلًا في العناصر المشعة التي تُستخدم في إنتاج الطاقة النووية، وعلى رأسها اليورانيوم. يوجد اليورانيوم طبيعيًا داخل بعض الصخور النارية والرسوبية، ويستخرج على شكل معادن مثل اليورانينايت والكارنوتيت. ومما يجعل هذا العنصر مميزًا هو قدرته على تحرير طاقة هائلة عند انقسام نواة ذرته في عملية تُسمّى الانشطار النووي.

كيف تُستخرج الطاقة النووية من اليورانيوم؟

تتميّز ذرات اليورانيوم بأن **أنوية ذراتها كبيرة وغير مستقرة**؛ فالنواة تتكوّن من بروتونات موجبة الشحنة ونيوترونات متعادلة، وعندما تكون أعدادها كبيرة يصبح تماسك النواة ضعيفًا، مما يجعل بعض العناصر مثل اليورانيوم **عناصر مشعّة** بطبيعتها.



ويُعرف عدد البروتونات (عدد الشحنات الكهربية) داخل النواة **بالعدد الذري (Z)**، ومجموع عددي البروتونات والنيترونات **بالعدد الكتلي (A)**. يُسجل العدد الذري عند أسفل يسار رمز العنصر **(X)**، والعدد الكتلي أعلى يسار الرمز، كما موضح بالشكل. وقد يكون لذرات نفس العنصر صور مختلفة تتفق في عدد البروتونات **(Z)** في أنويتها، وتختلف في العدد الكتلي **(A)**، وبالتالي في عدد النيترونات **(N)** وتُعرف بالنظائر.

هناك ثلاثة نظائر طبيعية لليورانيوم وهي اليورانيوم - **234(U-234)** ، واليورانيوم - **235(U-235)** ، واليورانيوم - **238(U-238)** وهو الأكثر شيوعًا، إذ تصل نسبته إلى 99٪ من اليورانيوم الطبيعي الموجود على كوكب الأرض.

الشكل ٣٩ - نظائر اليورانيوم (للإطلاع فقط)

ويُعد اليورانيوم عنصر رئيس في إنتاج **الطاقة النووية**، حيث تُستخلص خاماته من الصخور ثم تُنقّى وتُحضَّر في صورة **قضبان وقود نووي** لتستخدم داخل المفاعلات النووية.

عندما يصطدم نيوترون بنواة ذرة اليورانيوم، تنقسم النواة إلى أجزاء أصغر في عملية تُسمّى **الانشطار النووي**، وينطلق منها قدر هائل من الطاقة الحرارية. تُستخدم هذه **الطاقة الحرارية** في تسخين الماء وتحويله إلى بخار يدير التوربينات التي بدورها تعمل على تشغيل مولدات كهربائية لتوليد الكهرباء.

التفاعـلات النوويـة

هي عمليات يتم إحداثها في نواة الذرة، وتُحدث تغيرًا في تركيبها. ومن أهم أنواع التفاعلات النووية:

١. **الانشطار النووى:** حيث تنقسم نواة الذرة إلى عدة أجزاء، كما يحدث في المفاعلات النووية.

٢. **الإندماج النووى:** حيث تندمج أنوية صغيرة معًا لتكوين نواة أكبر، كما يحدث في الشمس والنجوم.

تطبيقات حديثة للطاقة النووية

الشكل ٤٠ - محطة الضبعة النووية

تُعد الطاقة النووية اليوم جزءًا مهمًا من منظومة الطاقة العالمية، لأنها تتيح انتاج **كميات كبيرة ثابتة** من الطاقة الكهربية، دون **انبعاثات كربونية** تقريبًا. تعتمد دول عديدة على الطاقة النووية لتأمين جزء كبير من احتياجاتها من الكهرباء، مثل فرنسا واليابان وكوريا الجنوبية والإمارات العربية المتحدة. وتُعد **محطة الضبعة النووية** في مصر مثالاً حديثًا على استغلال موارد الغلاف الصخري في إنتاج الطاقة النووية. تقع المحطة بمحافظة مطروح على ساحل البحر المتوسط ، وتضم أربعة مفاعلات من طراز متطور، تُستخدم فيها عناصر مشعة مستخرجة من الصخور مثل اليورانيوم لإنتاج طاقة كهربائية كبيرة.

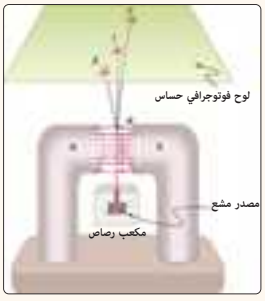
ويُعد مشروع الضبعة خطوة مهمة في توجه مصر نحو مصادر طاقة آمنة ونظيفة، إذ يساهم في توفير كهرباء مستقرة تقلل الاعتماد على الوقود الحفري وتدعم خطط التنمية. كما يعزز المشروع قدرات مصر العلمية والهندسية، ويفتح المجال لتطوير تقنيات حديثة تعتمد على الاستخدام المسؤول لموارد الغلاف الصخري.

وتتجه الأبحاث الحديثة إلى تطوير مفاعلات الجيل الرابع والمفاعلات الصغيرة المعيارية (SMRs) التي تستخدم كميات أقل من الوقود النووي وتُركّب بسهولة أكبر، مما يجعل الطاقة النووية خيارًا واعدًا لدعم انتقال العالم نحو مصادر طاقة مستدامة وصديقة للبيئة.

اكتشاف النشاط الإشعاعي

هنري بيكيريل

في عام ١٨٩٦، كان هنري بيكيريل يدرس خصائص الأشعة السينية، فقام بتعريض أحد أملاح اليورانيوم لأشعة الشمس ووضعها على ألواح تصوير ملفوفة بورق أسود، معتقدًا أن اليورانيوم يمتص طاقة الشمس ثم يطلقها على شكل أشعة سينية. وعندما أجرى تجربته في جو غائم، كانت الصور قوية وواضحة، مما يثبت أن اليورانيوم يصدر إشعاعًا دون الحاجة لمصدر طاقة خارجي مثل الشمس.



استخدم بيكيريل جهازًا كما بالشكل ليظهر أن الإشعاع الذي اكتشفه لا يمكن أن يكون أشعة سينية، فالأشعة السينية متعادلة كهربيًا ولا يتغير مسارها بتأثير المجال المغناطيسي. على غير المتوقع، أثر المجال المغناطيسي على الإشعاع الصادر ، فوجد ثلاثة مسارات تدل على وجود ثلاثة أنواع من الإشعاع: سالب، موجب، ومتعادل كهربائيًا.

بدأت ماري كوري مع زوجها بيير دراسة مواد مشعة مختلفة، وأطلقت مصطلح النشاط الإشعاعي على الظاهرة التي اكتشفها بيكريل مؤخرًا. استخرج آل كوري عنصراليورانيوم من الخام، ولدهشتهم، وجدوا أن الخام المتبقي أظهر نشاطًا إشعاعيًا أكبر من اليورانيوم النقي. فاستنتجا أن الخام يحتوي على عناصر مشعة أخرى. أدى ذلك إلى اكتشاف عنصري البولونيوم والراديوم.

احتياطات الوقاية من الإشعاع النووي

يجب اتخاذ بعض الاحتياطات للحد من مخاطر المواد المشعة، ومنها:

- الحفاظ على المصادر المشعة محمية (ويفضل وضعها في صندوق مبطن بالرصاص).
- لا يتم نقلها إلا عند الضرورة القصوى مع اتباع قواعد صارمة في ذلك.
- ارتداء ملابس واقية لحماية الجسم من الإشعاع المنبعث من النظائر المشعة.
- ارتداء أقنعة الوجه لتجنب استنشاق بخار المواد المشعة.
- المراقبة المستمرة لنسبة الإشعاع في البيئة المحيطة بالمواد المشعة باستخدام عداد جيجر أو الأجهزة المشابهة.

مصادر واعدة للطاقة المتجددة

يقدّم لنا العلم الحديث آفاقًا جديدة لفهم علاقة الغلاف الصخري بمصادر الطاقة المتجددة، وكيف تُسهم خصائص الصخور والمعادن في توليد طاقة نظيفة تدعم استدامة كوكب الأرض.

في الجزء التالي من الدرس سنتعرّف **طرق** يحصل فيها الإنسان على الطاقة من الغلاف الصخري ، مثل **حرارة باطن الأرض** الناتجة عن النشاط الحراري في أعماق الصخور، **والطاقة الناتجة عن الكهربية الانضغاطية** التي تنتجها بعض المعادن عند تعرّضها للضغط أو الاهتزاز. كما سندرس **طاقة تخزين الهواء المضغوط** بين الصخور، **وطاقة الهيدروجين الطبيعي.**

ومن خلال هذا التنوع في المصادر، نفهم كيف يفتح الغلاف الصخري أمام العلم مسارات متعددة لتوليد الطاقة النظيفة، ويمنحنا حلولًا عملية لدعم التوازن البيئي واستدامة الموارد.

١- الطاقة الحرارية الأرضية

الشكل ٤١ - محطة إنتاج طاقة حرارية أرضية

يُعد الغلاف الصخري مصدرًا مهمًا لأنواع متعددة من الطاقة، من بينها **الطاقة الحرارية الأرضية.** تنشأ هذه الطاقة من الحرارة المختزنة في أعماق الأرض، نتيجة عدد من العمليات الطبيعية مثل **تحلُّل العناصر المشعّة داخل الصخور** ووجود **الماجما الساخنة** أسفل القشرة الأرضية. وترتفع درجة الحرارة كلما اتجهنا نحو باطن الأرض فيما يُعرف **بالتدرّج الحراري للأرض.**

عندما تتوافر شقوق أو فتحات في الغلاف الصخري، يمكن للمياه الجوفية أن تنفذ إلى الأعماق فتسخن بشدة، ثم ترتفع إلى السطح في صورة **ينابيع ساخنة أو بخار مضغوط.**

الشكل ٤٢- تدفئة المباني بالطاقة الحرارية الأرضية

تستغل بعض الدول هذه الحرارة الطبيعية عبر إنشاء محطات طاقة حرارية أرضية، حيث يُستخدم البخار الصاعد مباشرة في إدارة **التوربينات** لإنتاج الكهرباء، أو يُستفاد منه في **تدفئة المباني**، وفي بعض التطبيقات الصناعية.

وتتميّز الطاقة الحرارية الأرضية بأنها **طاقة متجددة ونظيفة**، لا ينتج عنها تلوث يُذكر، كما أن مصدرها

متاح بشكل مستمر في المناطق التي تتوافر فيها الظروف الجيولوجية المناسبة. ولهذا تُعد من الحلول المهمة لتحقيق التنمية المستدامة وتقليل الاعتماد على الوقود الحفري.

تطبيق تكنولوجي حديث

توليد الكهرباء من حرارة الصخور العميقة بتقنية EGS

في السنوات الأخيرة طوّر العلماء تقنية متقدمة تُسمّى **الأنظمة الجيوحرارية المعزَّزة (EGS)**. يعتمد هذا النظام على حفر آبار عميقة داخل صخور شديدة السخونة على أعماق قد تصل إلى 4–6 كيلومترات.

يقوم المهندسون بضخ كميات من الماء داخل شقوق دقيقة في الصخور ليكتسب حرارة عالية، ثم يعود إلى السطح لتشغيل التوربينات وتوليد الكهرباء. وقد نجحت دول مثل الولايات المتحدة في تشغيل محطات تجريبية تعتمد على هذه التقنية. مما يثبت أن الحرارة الجوفية يمكن أن تصبح موردًا **لطاقة نظيفة تعمل ٢٤ ساعة طوال العام.**

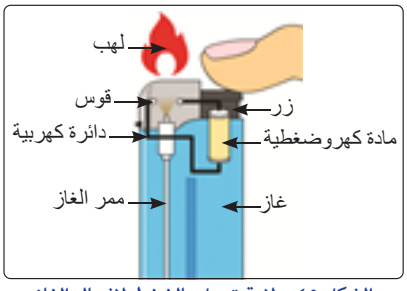
الشكل ٤٣- تصميم محطة توليد كهرباء بالطاقة الحرارية

يُعد هذا التطور إنجازًا علميًا كبيرًا، لأنه يتيح الاستفادة من حرارة الغلاف الصخري، ويتطلع لمستقبل مورد طاقة مستدام يعتمد على «حرارة الأرض العميقة» كمصدر عالمي للكهرباء.

٢- الطاقة من الكهربية الانضغاطية (Piezoelectricity)

الشكل ٤٤ - توليد شحنة كهربية دون مصدر طاقة خارجي

تُعَدّ **الكهربية الانضغاطية** أحد الابتكارات الحديثة التي تعتمد على خصائص بعض المعادن الموجودة في الغلاف الصخري، مثل الكوارتز. فعندما تتعرّض هذه المعادن للضغط أو الاهتزاز أو الانحناء، فإنها تولّد **شحنة كهربائية** دون الحاجة إلى أي مصدر طاقة خارجي. وتُستخدم هذه الخاصية اليوم في إنتاج طاقة نظيفة من الاهتزازات والحركة المحيطة بنا.



الشكل ٤٥- ولاعة تعمل بالضغط لإشعال الغاز

وتعتمد فكرة الكهربية الانضغاطية على أن الضغط الميكانيكي المؤثر على المادة يشوه البناء البلوري لها، مما يسبب اختلالًا في توزيع الشحنات مما يولد فرقًا في الجهد الكهربي. ويستخدم **التأثير الكهروضغطي** في نوع الولاعات الذي يُستخدم لتوليد شرارة كهربية لإشعال الغاز بالضغط على زر يقوم بدوره بالضغط على بلورة لمادة كهروضغطية.

وقد باتت الكهربية الانضغاطية مجالًا واعدًا في التطبيقات الحديثة؛ إذ تعتمد عليها بعض المدن في توليد الكهرباء من **خطوات المشاة** في المحطات والمراكز التجارية، حيث تُحوِّل الأرضيات الذكية ضغط الأقدام إلى طاقة تُستخدم في تشغيل الإضاءة أو شحن الأجهزة الصغيرة. كما تُستخدم هذه التقنية في **حساسات السيارات** وأنظمة الأمان، وأجهزة تتبُّع الاهتزازات في الجسور والمباني، بالإضافة إلى استخدامها في **شحن أجهزة الاستشعار** المزروعة داخل جسم الإنسان دون بطارية، مما يُعد طفرة في التطبيقات الطبية.

وهكذا يواصل العلم استكشاف خصائص المعادن في الغلاف الصخري لاستثمارها في إنتاج طاقة مبتكرة وذكية، تُسهِم في بناء مستقبل قائم على المصادر النظيفة والمتجددة.

الشكل ٤٦ - توليد الطاقة من حركة الأقدام

الشكل ٤٧ - توليد الطاقة من حركة المركبات

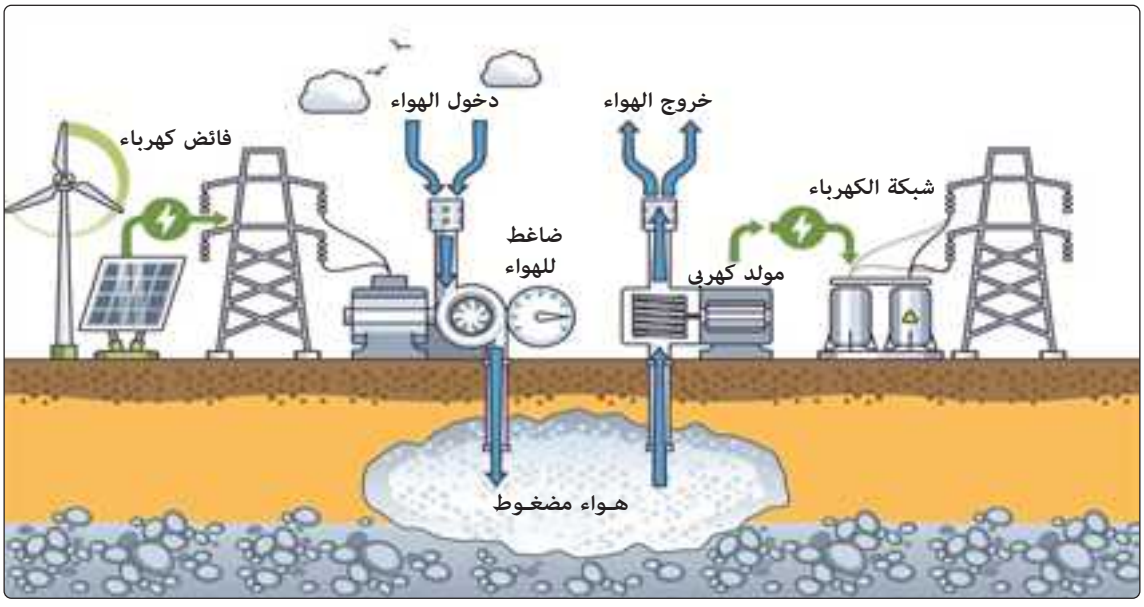
٣- طاقة تخزين الهواء المضغوط في الصخور

يُعدّ **تخزين الهواء المضغوط داخل تجاويف صخرية تحت سطح الأرض** من التقنيات الحديثة التي تعتمد على الغلاف الصخري كمكوّن أساسي لإنتاج طاقة نظيفة متجددة. تقوم الفكرة على استخدام الكهرباء الناتجة من مصادر متجددة مثل الشمس أو الرياح لضغط الهواء ودفعه داخل تجاويف صخرية عميقة.

يبقى الهواء محبوسًا تحت ضغط كبير داخل الصخور. وعندما تحتاج محطة الكهرباء إلى كمية إضافية من الطاقة ،يُسمح للهواء بالخروج من التجاويف إلى المحطة، فيدير التوربينات التي تدير المولدات لتولّيد الكهرباء من جديد.

تعتمد كفاءة هذه التقنية على قوانين الغازات، التي تدرس علاقة ضغط الغاز بالحجم ودرجة الحرارة. فمقدار الضغط الذي يصل إليه الهواء داخل الصخور يتوقف على عدة عوامل، منها:

- عندما تقوم محطة الطاقة بدفع كمية كبيرة من **الهواء** إلى **حيز صغير داخل الصخور**، يرتفع الضغط بشكل كبير داخل هذا الحيز.



الشكل ٤٨ - محطة تخزين هواء مضغوط

- عندما **ينضغط الهواء**، لا يزيد ضغطه فقط، بل ترتفع درجة حرارته أيضًا، وذلك لتقارب جزيئات الهواء وتحركها بسرعة أكبر. تقوم بعض محطات الطاقة بتخزين الطاقة الحرارية الناتجة عن انضغاط الهواء، ثم تعيد استخدامها عندما ينطلق الهواء إلى التوربينات، مما يقلل الفاقد من الطاقة ويزيد من كفاءة المحطة.
- تعتمد كفاءة هذه التقنية أيضًاعلى **خصائص الغلاف الصخري**، مثل **قوة الصخور وقدرتها على تحمّل الضغط**، فهي التي تجعل تخزين الهواء المضغوط داخلها ممكنًا وآمنًا. فالصخور الصلبة تتحمّل ارتفاع ضغط الهواء دون أن تنهار، مما يسمح بحبس كميات كبيرة من الهواء داخل تجاويفها. هذا الضغط المرتفع هو ما يعطي الهواء عند إطلاقه لاحقًا القدرة على تشغيل المولدات وتوليد الكهرباء.

معلومة إثرائية

تعمل محطة هونتوف Huntorf في ألمانيا – وهي أوّل محطة تخزين هواء مضغوط في العالم – منذ أكثر من ٤٠ عامًا. تُخزّن المحطة الهواء في تجويفين صخريين ملحيين تحت الأرض، وتستخدمه اليوم لدعم شبكة الكهرباء وقت زيادة الاستهلاك، مما يساعد على استقرار الشبكة خاصة في الأيام التي تتغيّر فيها سرعة الرياح أو يقل فيها ضوء الشمس.

٤. طاقة الهيدروجين الطبيعي (الهيدروجين الأبيض)

الشكل ٤٩- تخزين غاز الهيدروجين لإنتاج الطاقة

يُعد **الهيدروجين الطبيعي** من أحدث مصادر الطاقة المتجددة التي يكتشفها العلم اليوم، ويُعرف أحيانًا باسم **الهيدروجين الأبيض** لأنه يتكوّن طبيعيًا داخل الغلاف الصخري دون تدخل من الإنسان.

- يتكون الغاز داخل الصخور العميقة عندما تتسرّب **المياه** إلى داخل الشقوق في الغلاف الصخري.
- تلتقي المياه بمعادن غنية بالحديد مثل **الأوليفين** (سيليكات الحديد والماغنسيوم) ، فيحدث تفاعل كيميائي حيث ترتبط جزيئات الماء H_2O بذرات الحديد **Fe** داخل الصخر.
- يتحوّل جزء من المعدن إلى معدن جديد يُسمّى **السربنتين** الذي يتكون من سيليكات الماغنسيوم المائية، وينطلق **غاز الهيدروجين** H_2 كناتج ثانوي للتفاعل.
- يندفع الهيدروجين النقي إلى الفراغات والشقوق الموجودة في الصخور، ويتجمع في أماكن قد يمكن استخراجه منها.
- يتميز **الهيدروجين الأبيض** بأنه أرخص من الهيدروجين المنتج صناعيًا، ولا ينتج انبعاثات كربونية عند استخدامه كوقود.

معلومة إثرائية

في عام ٢٠٢٣، في بلدة بورجي بفرنسا، اكتشف العلماء فوهة صغيرة في الأرض تُطلق هيدروجينًا طبيعيًا ، وأخذ الغاز يتدفق من شقوق صخرية. ويجري الآن اختبار استخدام هذا الهيدروجين في تشغيل مولدات كهرباء محلية، مما قد يجعل سكان البلدة أول من يستفيد من هيدروجين طبيعي من الغلاف الصخري.

نشاط عملي

نموذج تدفئة منزل بالطاقة الجوفية (محاكاة بسيطة)

المواد المطلوبة:

- صندوقان شفافان صغيران (علب بلاستيك شفافة تُغلق).
- كمية من التربة أو الرمل لملء الصندوقين حتى منتصف ارتفاعهما.
- زجاجتان حراريتان (تُرموس) (Thermos) ، أو قارورتان معزولتان تحويان ماءً ساخنًا.
- عدد 2 ثرمومتر رقمي لقياس لدرجة الحرارة.
- ورق مقوى لصنع «سقف» وغطاء شفاف يمثل بيتًا بلاستيكيًا (اختياري: غطاء شفاف لتقليد بيت زجاجي).
- ساعة إيقاف، وورقة، وقلم.
- مصدر ضوء (مصباح طاولة) لمحاكاة حرارة الشمس (اختياري).

الإجراءات:

١. ضع كمية التربة أو الرمل في الصندوقين بنفس الارتفاع. يعمل الصندوق A كخزان حراري، ويعمل الصندوق B كمرجع.

٢. ادفن قارورة الماء الساخن في وسط التربة بالصندوق A بحيث تكون القارورة محمية وغطاؤها محكم.

٣. في الصندوق B اترك تربة فقط أو ضع قارورة ماء بنفس الحجم لكن داخل غلاف معزول جيدًا حتى لا تتسرب الحرارة.

٤. ضع ترمومتر داخل كل صندوق قرب سطح التربة (مماثل للمكان الذي سيكون فيه «داخل البيت»). سجل درجة الحرارة الأولية.

٥. إن وجد، ضع غطاء شفاف فوق كل صندوق (لنفس شروط البيت البلاستيكي). شغّل مصدر الضوء فوق الصناديق لمدة 1–2 ساعة ليحاكي تسخين الشمس، ثم أطفئه (أو انتظر مرور الزمن).

٦. قِس درجات الحرارة في كل صندوق كل 15–30 دقيقة لمدة ساعتين على الأقل، سجّل القياسات. لاحظ كيف يختلف انخفاض/ارتفاع الحرارة في الصندوقين.

أسئلة للنقاش والتقييم :

١. لماذا حافظ الصندوق A على حرارة أعلى؟ صف العملية الفيزيائية المسؤولة بحيث يحتفظ بالحرارة لفترة أطول؟ «المخزن الحراري » كيف يمكن تحسين تصميمك؟

٢. في أي مواطن حقيقية يمكن تطبيق هذه الفكرة؟ اذكر مثالاً مدنيا وزراعيًا.

٣. ما المزايا البيئية والاقتصادية لاستخدام الطاقة الحرارية الأرضية بدلاً من حرق الوقود؟

أولا: أسئلة اختيار من متعدد

اختر الإجابة الصحيحة:

١. أي من الطرق التالية تُستخدم لاستخراج البترول من باطن الأرض؟

أ) الاستشعار الزلزالي ثلاثي الأبعاد
ب) الضغط الميكانيكي على سطح الأرض
جـ) تفاعلات الإنشطار النووي
د) الأنظمة الجيوحرارية المعززة

٢. ما الهدف من عملية التقطير التجزيئي للبترول؟

أ) فصل مكوناته حسب اللون
ب) فصل مكوناته حسب درجات غليانها المختلفة
جـ) مزج مكوناته الكيميائية معًا
د) رفع المحتوى الحراري لمكوناته

٣. أي من مجموعة المنتجات التالية ينتج عن التقطير التجزيئي للبترول؟

أ) الجازولين والشمع و الأسفلت
ب) الماء والملح والحديد
جـ) اليورانيوم والسيليكون والكوارتز
د) الجبس والحجر الجيري والطين

٤. لماذا تُستعمل بعض الكائنات الدقيقة (الميكروبات) في استخراج البترول؟

أ) لتلوين البترول
ب) لتحليل الصخور وتحريك النفط العالق في المسام الصخرية
جـ) لتجميد البترول
د) لإنتاج الكهرباء مباشرة

٥. ما العامل الأساسي الذي يؤثر في كمية البترول المستخرَج من الصخور؟

أ) كمية الأملاح في المياه الجوفية
ب) نفاذية الصخور وحجم مسامها
جـ) درجة حرارة الهواء الجوي حول موقع الحفر
د) نوع الكائنات المتحولة إلى بترول

٦. ما مصدر الطاقة النووية المستخدمة في محطة الضبعة؟

أ) الطاقة الشمسية
ب) حرارة باطن الأرض
جـ) اليورانيوم
د) الغاز الطبيعي

٧. لماذا تُعتبر الطاقة الحرارية الأرضية مصدرًا مستدامًا للطاقة؟

أ) لأنها تعتمد على الوقود الحفري
ب) لأنها مستمرة ومتجددة بفعل حرارة باطن الأرض
جـ) لأنها تسبب تلوثًا عاليًا
د) لأنها محدودة وتنفد بسرعة

٨. عند حدوث الانشطار النووي في نواة اليورانيوم، تنطلق الطاقة على شكل .....

أ) حرارة فقط
ب) ضوء فقط
جـ) حرارة وطاقة حركية وجسيمات نووية
د) موجات صوتية

٩. يمكن استغلال الطاقة الحرارية الأرضية مباشرة في .....

أ) تشغيل الهواتف المحمولة
ب) تدفئة المنازل والمزارع
جـ) صناعة الزجاج
د) استخلاص الحديد

١٠. أي من الخصائص التالية تجعل الصخور مصدرًا جيدًا للطاقة النووية؟

أ) كثافتها المنخفضة واحتوائها على الميكا
ب) احتواءها على معادن مشعة
جـ) لونها الداكن
د) نفاذيتها المرتفعة للماء

١١. ما الدور الذي تلعبه خزانات المياه الجوفية في محطات الطاقة الحرارية الأرضية؟

أ) تخزين الطاقة
ب) التبادل الحراري بين الصخور والمياه
جـ) تخزين الكهرباء مباشرة دون حرارة
د) زيادة الضغط في جوف الأرض

١٢. ما التقنية التي يستخدمها مشروع EGS لتوليد الكهرباء؟

أ) الاعتماد على الطاقة الشمسية المركزة
ب) استخدام حفرًا عميقة لضخ الماء داخل الصخور الساخنة لتوليد الكهرباء
جـ) حرق الفحم لإنتاج البخار
د) الاعتماد على الرياح لتسخين الصخور

١٣. ما الفائدة البيئية الرئيسية من استخدام الطاقة النووية والطاقة الحرارية الأرضية بدلاً من الوقود الحفري؟

أ) زيادة استهلاك الفحم
ب) تقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري
جـ) زيادة إنتاج الهيدروجين الأبيض
د) تقليل استهلاك مياه الأنهار

١٤. أيٌّ موقف مما يلي يوضّح أفضل تطبيق عملي يعتمد على مبدأ تخزين الطاقة بالهواء المضغوط داخل تجاويف الغلاف الصخري؟

أ) تخزين الكهرباء في بطاريات ليثيوم داخل مبانٍ صناعية

ب) ضغط الهواء داخل كهوف ملحية ثم إطلاقه عند الحاجة

جـ) زيادة سرعة الرياح حول التوربينات لرفع كفاءة توليد الكهرباء

د) نقل الغاز الطبيعي في خطوط أنابيب تحت الأرض

١٥. يعتمد الهيدروجين الطبيعي على تفاعل داخل الصخور. ما النتيجة الأكثر منطقية إذا كانت الصخور قليلة المحتوى من معدن الأوليفين؟

أ) يزداد إنتاج الهيدروجين الطبيعي بسبب ارتفاع نفاذية الصخور

ب) يتوقف إنتاج الهيدروجين تمامًا لأن الصخور تصبح غير قادرة على إنفاذ الماء

جـ) ينخفض معدل تكوين الهيدروجين الطبيعي لغياب العنصر الأساسي في التفاعل

د) يرتفع الضغط داخل الصخور مؤديًا إلى انفجارها

١٦. أي تفسير يوضح سبب تفضيل بعض الدول تخزين الطاقة بالهواء المضغوط داخل كهوف صخرية بدلًا من منشآت خرسانية صناعية؟

أ) الصخور توفر درجة حرارة ثابتة تقلل فاقد الطاقة أثناء التخزين

ب) المنشآت الخرسانية أكثر تكلفة لكنها تخزن طاقة أكبر

جـ) الهواء المضغوط يتحرك أسرع داخل الخرسانة مقارنة بالصخور

د) الصخور تمنع تمامًا أي فقد للهواء أثناء التشغيل

١٧.من طرق استخدام الغلاف الصخري كمورد للطاقة لتوليد الكهرباء: الطريقة (١): ضخ هواء مضغوط داخل الصخور، ثم استعادته. - الطريقة (٢): الحصول على هيدروجين طبيعي من الصخور. أي مما يلي صحيح؟

أ) كلا الطريقتين يعتمد على حرارة باطن الأرض.

ب) تعتمد الطريقة (١) على عمليات كيميائية في الصخور بينما تعتمد الطريقة (٢) على عمليات فيزيائية.

جـ) يوجد الهواء المضغوط والهيدروجين الأبيض دون تدخل بشري

د) تتطلب الطريقة (١) وجود صخور أكثر صلابة عما تحتاجه الطريقة (٢).

ثانيًا: أسئلة مقالية

بم تفسر؟

١. يحتاج النفط الخام إلى التقطير التجزيئي قبل الاستخدام في وسائل النقل والمصانع.

٢. يمكن أن تساعد الكائنات الدقيقة في تحسين كمية النفط المستخرَج من الصخور.

٣. تعتمد كمية البترول التي يمكن استخراجها من الصخور على نفاذيتها.

٤. اختلاف استخدام منتجات البترول حسب درجة غليانها بعد التقطير التجزيئي.

٥. يظل الصندوق الذي يحتوي على مخزون حرارة في نشاط المدفئة أكثر دفئًا من الصندوق المرجعي.

٦. استخدام عناصر مشعة مثل اليورانيوم في توليد الطاقة النووية بدل المعادن المستقرة الأخرى.

٧. يمكن للحرارة المختزنة في باطن الأرض المساعدة في تدفئة البيوت والمزارع على مدار السنة.

٨. العلاقة بين كثافة الصخور وكمية الحرارة التي يمكن تخزينها فيها في الطاقة الحرارية الأرضية.

مراجعة وتعديل

أ. محمد عبد اللطيف محمد
أ. دعاء محمد عبد العظيم
أ. حسين عبد الرحمن بخات
أ. عادل محمد الحفناوي
أ. فايز فوزي حنا

أ. عبدالله مصطفى محمد
أ. سامح منصور
أ. مجدي فتحي محمد
أ.عمرو مالي معوض
أ. أيمن شوقي السيد

د.حنان أبو العباس محمد

٢٠٢٥/٢٠٢٦ م

غير مصرح بتداول هذا الكتاب خارج وزارة التربية والتعليم والتعليم الفني