المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

المركز الوطني
لتطوير المناهج
National Center
for Curriculum
Development

علوم الأرض والبيئة

الصف الثاني عشر - المسار الأكاديمي

الفصل الدراسي الأول

كتاب الطالب

12

المركز الوطني
لتطوير المناهج
National Center
for Curriculum
Development

المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

علوم الأرض والبيئة

الصف الثاني عشر - المسار الأكاديمي

الفصل الدراسي الأول

كتاب الطالب

12

فريق التأليف

د. موسى عطا الله الطراونة (رئيسًا)

د. محمود عبد اللطيف حبوش د. مروة خميس عبد الفتاح سكينة محي الدين جبر (منسقًا)

لؤي أحمد منصور

منهاجي
متعة التعليم الهادف

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

يسرُّ المركز الوطني لتطوير المناهج استقبال آرائكم وملحوظاتكم على هذا الكتاب عن طريق العناوين الآتية:

06-5376262 / 237 06-5376266 P.O.Box: 2088 Amman 11941

@nccdjor feedback@nccd.gov.jo www.nccd.gov.jo

قـرّرت وزارة التربيـة والتعليـم تدريـس هـذا الكتـاب في مـدارس المملكـة الأردنية الهاشـمية جميعهـا، بناءً عـلى قرار المجلـس الأعلى للمركـز الوطنـي لتطوير المناهج في جلسـته رقـم (2025/2)، تاريـخ 2025/2/25 م، وقرار مجلـس التربية والتعليم رقـم (2025/48)، تاريـخ 2025/4/30 م، بـدءًا مـن العام الـدراسي 2025 / 2026 م.

© HarperCollins Publishers Limited 2025
- Prepared Originally in English for the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan
- Translated to Arabic, adapted, customised and published by the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan

ISBN: 978 - 9923 - 41 - 807 - 9

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(2025/1/393)

بيانات الفهرسة الأولية للكتاب:

عنوان الكتاب	علوم الأرض والبيئة، كتاب الطالب: الصف الثاني عشر، المسار الأكاديمي، الفصل الدراسي الأول
إعداد / هيئة	الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج
بيانات النشر	عمان: المركز الوطني لتطوير المناهج، 2025
رقم التصنيف	373,19
الواصفات	/ علوم الأرض/ / أساليب التدريس/ / المناهج/ / التعليم الثانوي/
الطبعـة	الطبعـة الأولى

يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه، ولا يعبّر هذا المصنف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية.

المراجعة والتعديل

د. محمود عبد اللطيف حبوش
لـؤي أحمــد منـصور
سكينة محي الدين جبر

التحكيم الأكاديمي

د. صابر أحمد الروسان

التصميم والإخراج

نايف محمد أمين مراشدة

التحرير اللغوي

محمد صالح شنيور

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, sorted in retrieval system, or transmitted in any form by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise , without the prior written permission of the publisher or a license permitting restricted copying in the United Kingdom issued by the Copyright Licensing Agency Ltd, Barnard's Inn, 86 Fetter Lane, London, EC4A 1EN.
British Library Cataloguing -in- Publication Data
A catalogue record for this publication is available from the Library.

الطبعة الأولى (التجريبية) 1446 هـ / 2025 م

قائمة المحتويات

المقدّمة 5

الوحدة الأولى: الوقود الأحفوري والبيئة 7

الدرس الأول: الوقود الأحفوري وغازات الدفيئة 10

الدرس الثاني: الوقود الأحفوري والتغير المناخي 21

الدرس الثالث: الحد من التغير المناخي والتكيف مع آثاره 32

الإثراء والتوسّع: الضباب الدخاني 41

مراجعة الوحدة 42

الوحدة الثانية: التّراكيب الجيولوجيّة 45

الدرس الأول: تشوُّه الصّخور 48

الدرس الثاني: الصُّدوع 56

الدرس الثالث: الطيّات 64

الإثراء والتوسّع: الجيولوجيا الهندسيّة 73

مراجعة الوحدة 74

الوحدة الثالثة: الصّفائح التكتونيّة 77

الدرس الأول: انجراف القارّات 80

الدرس الثاني: توسُّع قاع المحيط 87

الدرس الثالث: حدود الصّفائح 96

الإثراء والتوسّع: حركة الصفائح والتغير المناخي 113

مراجعة الوحدة 114

الوحدة الرابعة: الاستكشاف الجيولوجي **117**

الدرس الأول: الخرائط الجيولوجية 120

الدرس الثاني: طرائق الاستكشاف الجيولوجي 131

الدرس الثالث: تعدين الخامات المعدنية وأثره على البيئة 142

الإثراء والتوسّع: استكشاف اليورانيوم في الأردن 150

مراجعة الوحدة 151

مسرد المصطلحات 156

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدّمة

انطلاقًا من إيمان المملكة الأردنية الهاشمية الراسخ بأهمية تنمية قدرات الإنسان الأردني، وتسليحه بالعلم والمعرفة؛ سعى المركز الوطني لتطوير المناهج، بالتعاون مع وزارة التربية والتعليم، إلى تحديث المناهج الدراسية وتطويرها، لتكون معينًا للطلبة على الارتقاء بمستواهم المعرفي، ومجاراة أقرانهم في الدول المتقدمة.

يعدُّ هذا الكتاب واحدًا من سلسلة كتب المباحث العلمية التي تُعنى بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحلِّ المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وفق أفضل الطرائق المتَّبعة عالميًّا؛ لضمان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، وتلبيتها لحاجات طلبتنا والمعلِّمين والمعلِّمات. جاء هذا الكتاب محقِّقًا مضامين الإطار العام للمناهج الأردنية والإطار الخاص لمبحث العلوم، ومعاييرها، ومؤشِّرات أدائها المتمثِّلة في إعداد جيل محيط بمهارات القرن الحادي والعشرين، وقادر على مواجهة التحديات، ومعتزٍّ – في الوقت نفسه– بانتمائه الوطني. وتأسيسًا على ذلك، فقد اعتمدت دورة التعلُّم الخماسية المنبثقة من النظرية البنائية التي تمنح الطلبة الدور الأكبر في العملية التعلُّمية التعليمية، وتوفِّر لهم فرصًا عديدة للاستقصاء، وحلِّ المشكلات، والبحث، واستخدام التكنولوجيا وعمليات العلم، فضلًا عن اعتماد منحى STEAM في التعليم الذي يُستعمَل لدمج العلوم والتكنولوجيا والهندسة والفن والعلوم الإنسانية والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوعة، وفي قضايا البحث.

يحتوي الفصل الدراسي الأول من هذا الكتاب على أربع وحدات دراسية، هي: الوقود الأحفوري والبيئة، والتّراكيب الجيولوجيّة، والصّفائح التكتونيّة، والاستكشاف الجيولوجي، وتحتوي كل وحدة منها على تجربة استهلالية، وتجارب وأنشطة استقصائية متضمَّنة في الدروس، والموضوع الإثرائي في نهاية كل وحدة. يضاف إلى ذلك الأسئلة التقويمية، بدءًا بالتقويم التمهيدي المتمثِّل في توجيه سؤال في بداية كل وحدة ضمن بند (أتأمّل الصورة)، وانتهاءً بالأسئلة التكوينية المتنوعة في نهاية كل موضوع من موضوعات الدروس، فضلًا عن الأسئلة التقويمية في نهاية كل درس، والتقويم الختامي في نهاية كل وحدة، التي تتضمَّن أسئلة تثير التفكير. وقد أُلحِق بالكتاب كتاب الأنشطة والتجارب العملية، الذي يحتوي على جميع التجارب والأنشطة الواردة في كتاب الطالب وأسئلة مثيرة للتفكير؛ لتساعد الطلبة على تنفيذها بسهولة. ونحن إذ نقدم هذه الطبعة من الكتاب فإنا نأمل أن يسهِم في تحقيق الأهداف والغايات النهائية المنشودة لبناء شخصية الطالب/ الطالبة، وتنمية اتجاهات حبّ التعلُّم ومهارات التعلُّم المستمر، فضلًا عن تحسين الكتاب بإضافة الجديد إلى محتواه، وإثراء أنشطته المتنوعة، والأخذ بملاحظات المعلِّمين والمعلِّمات.

واللّه ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

الوحدة 1

الوقود الأحفوريّ والبيئة

Fossil Fuels and the Environment

أتأمّل الصّورة

تُعدُّ غازات الدفيئة المنتشرة في الغلاف الجوي والناتجة من القطاعات المختلفة، وخاصة تلك القطاعات التي تعتمد على احتراق الوقود الأحفوري، عاملًا رئيسًا في تلوّث الهواء، ومنها: أكاسيدُ الكربون، وأكاسيد النيتروجين، وأكاسيد الكبريت. فما الآثارُ البيئيّة الناجمة عن انبعاثات غازات الدفيئة؟

الفكرة العامّة:

تـؤدي العمليّـات التـي تنتـج غـازات الدفيئـة، وخاصـة عمليّة احتراق الوقـود الأحفوريّ، إلى إطـلاق كميات هائلـة من تلك الغازات، التي تؤثّـر في تركيب الغلاف الجوي وخصائصه، مما يؤدي مع الزمن إلى حدوث التغير المناخي.

الدرس الأول: الوقود الأحفوريّ وغازات الدفيئة

الفكرة الرئيسة: ينتج كثير من غازات الدفيئة من القطاعات المختلفة، وخاصة تلك التي تعمل على احتراق الوقـود الأحفوريّ ما يؤدي إلى تراكمها في البيئـة، ما يستدعي حساب كمياتها؛ للحد من آثارها السلبية في البيئة.

الدرس الثاني: الوقود الأحفوري والتغير المناخي

الفكرة الرئيسة: يؤدي تراكم غازات الدفيئة في الغلاف الجـوي إلى حـدوث مشـكلات عالميـة، مثـل: التغيـر المناخي.

الدرس الثالث: الحد من التغير المناخي والتكيف مع آثاره

الفكرة الرئيسة: يتجـه العالم نحو التخفيف من انبعـاثات غازات الدفيئة خصوصًا غاز ثاني أكسيد الكربون، والتكيف مع الآثار الناجمة عن التغير المناخي.

تجربة استهلالية

نمذجة الاحتباس الحراري

يُعدّ غاز ثاني أكسيد الكربون من غازات الدفيئة التي تحبس الحرارة في الغلاف الجوي. حيث يمتصّ الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من الأرض ولا يسمح لها بالخروج إلى الفضاء الخارجي.

الموادّ والأدوات: حوضا سَمَك زجاجيان بعمق 30 cm، طبقان زجاجيان، كأسٌ زجاجية سعتها 300 mL، بيكربونات الصوديوم $NaHCO_3$، حمض الهيدروكلوريك المُخفَّف HCl، كميّتان متساويتان من التُّربة، مقياسا درجة حرارة، مصدرا طاقة ضوئيان، ساعة توقيت، شريط لاصق شفاف، قلم تخطيط، قلم رصاص، مسطرة، ورق رسم بياني أو برمجية إكسل Excel.

إرشادات السلامة:

- توخي الحذر عند تثبيت مقياس درجة الحرارة داخلَ الحوض الزجاجي؛ خشيةَ كسرِه.
- تجنب استنشاق الغازات الناتجة من التفاعل.
- توخّي الحذر عند التعامل مع حمض الهيدروكلوريك المُخفَّف.

خطوات العمل:

1. أكتب على أحد الأحواض الحرف (A) وعلى الحوض الآخر الحرف (B).
2. أثبّت مقياس درجة الحرارة في كلّ حوض زجاجيّ على أحد جدرانه من الداخل بالشريط اللاصق الشفاف، حيث يكون على ارتفاع 3 cm تقريبًا من قاع الحوض.
3. أضع في قاع كلّ حوض كميّة متساوية من التّربة بحيث تشكّل طبقة رقيقة، ثم أضع الطبق الزجاجيّ فوق التربة في وسط الحوض.
4. أثبّت مصدر الطاقة الضوئيّ الذي يمثّل الشمس على أحد جوانب كلّ حوض على المسافة والزاوية أنفسهما، وأسلّطه على التّربة.
5. أضع 60 g من بيكربونات الصوديوم في الطبق الزجاجيّ في كلا الحوضين (A, B). سيمثّل الحوض (A) عنصرًا ضابطًا لمقارنة درجة الحرارة في الحوضين.
6. أدوّن في جدولٍ عند بداية التجربة قراءة درجة الحرارة الأوليّة في الحوضين (A) و (B)، ثم أكرّر القراءة كلّ (1 min) ولمدة (6 min).
7. أسكُب ببطءٍ 300 mL من حمض الهيدروكلوريك المُخفَّف فوق بيكربونات الصوديوم في الطبق الزجاجي في الحوض (B). سيمثّل هذا الحوض نموذجًا للاحتباس الحراري على الأرض.
8. أواصل تدوين قراءة درجات الحرارة في الحوضين (A) و (B)، بعد الانتهاء من سكْب حمض الهيدروكلوريك المُخفَّف في الحوض (B) كلّ (1 min) ولمدة (6 min) أخرى.
9. أُنشِئُ رسمًا بيانيًّا يمثل العلاقة بين الزمن، ودرجة الحرارة باستخدام برمجية إكسل.

التحليل والاستنتاج:

1. أكتب معادلة تفاعُل حمض الهيدروكلوريك المُخفَّف مع بيكربونات الصوديوم.
2. **أفسّر** سبب اختلاف درجة الحرارة في كلا الحوضين (A, B) بعد سكب حمض الهيدروكلوريك المُخفَّف.
3. **أصف** العلاقة بين غاز ثاني أكسيد الكربون والاحتباس الحراري في الغلاف الجوي.

الوقود الأحفوري وغازات الدفيئة
Fossil Fuels and Greenhouse gases

الفكرة الرئيسة

ينتج كثير من غازات الدفيئة من القطاعات المختلفة، وخاصة تلك التي تعمل على احتراق الوقود الأحفوري ما يؤدي إلى تراكمها في البيئة، ما يستدعي حساب كمياتها؛ للحد من آثارها السلبية في البيئة.

نتاجات التعلّم

- أستنتج الفروق في انبعاثات غازات الدفيئة من قطاعات الطاقة والنقل والمياه والزراعة والصحة، وأبرّرها.
- أعدد الغازات الناتجة من عملية احتراق الوقود الأحفوريّ.
- أشرح كيفية تشكّل الغازات الناتجة من عملية احتراق الوقود الأحفوريّ مع معادلاتها الكيميائية.
- أوضح بأرقام معتمدة عالميًّا كمية الوقود الأحفوري الذي يُستخدَم في المواصلات والصناعة.
- أحسب كميات غازات الدفيئة المنبعثة من القطاعات المختلفة.
- أرسُم بيانيًّا تزايُدَ كميات الوقود الأحفوري المستهلَك في السنوات العشر الماضية.

المفاهيم والمصطلحات

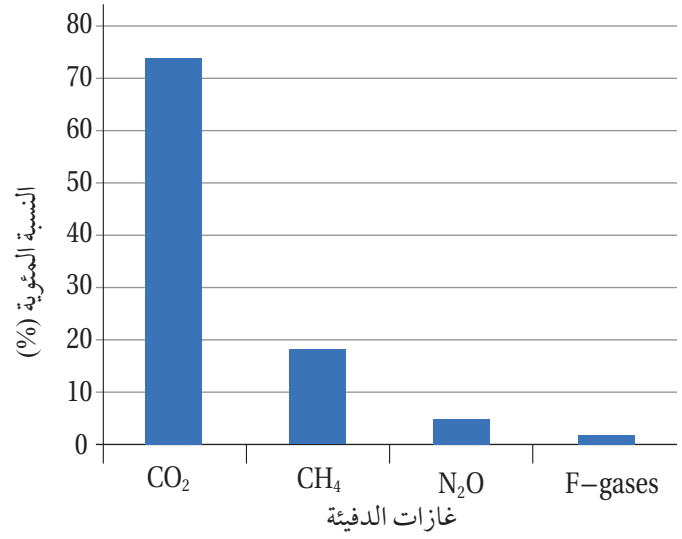
معامل الانبعاث Emission Factor

غازات الدفيئة Greenhouse gases

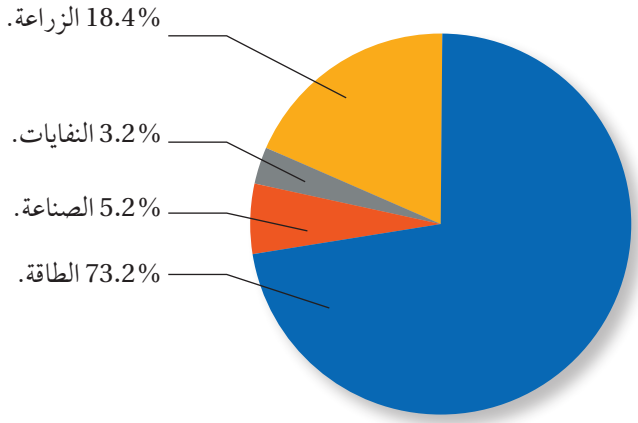
ارتفع تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي منذ الثورة الصناعية. وتُعدّ الأنشطة البشرية المصدر الرئيس لغازات الدفيئة، إذ تشير الدراسات أنها تشكل 70% تقريبًا من هذه المصادر. ويُعدّ غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) والميثان (CH_4) وأكسيد النيتروز (N_2O) والغازات المفلورة (مثل: غازات الكلوروفلوروكربون، وهيدروفلوروكربون) أكثر غازات الدفيئة المنبعثة من الأنشطة البشرية التي تؤثر في التغير المناخي، ويمثل الشكل (1) النسبة المئوية لبعض غازات الدفيئة في الغلاف الجوي في عام 2023م. وتختلف فترات مكوث تلك الغازات في الغلاف الجوي، فبعضها يمكث مُددًا طويلة، مثل غاز ثاني أكسيد الكربون الذي تتراوح مدّة مكوثه من 200 سنة إلى آلاف السنين، وبعضها الآخر يمكث مُددًا قصيرة، مثل غاز الميثان الذي يبقى في الغلاف الجوي 11.8 years تقريبًا.

القطاعات المسؤولة عن انبعاثات غازات الدفيئة
Sectors Responsible for Greenhouse Gas Emissions

تتنوع القطاعات التي تنتج غازات الدفيئة، ومن أهمها: قطاع الطاقة،



الشكل (1): النسبة المئوية لبعض غازات الدفيئة في الغلاف الجوي في عام 2023م.



الشكل (2): نسب غازات الدفيئة المنبعثة من الأنشطة البشرية بحسب القطاعات.

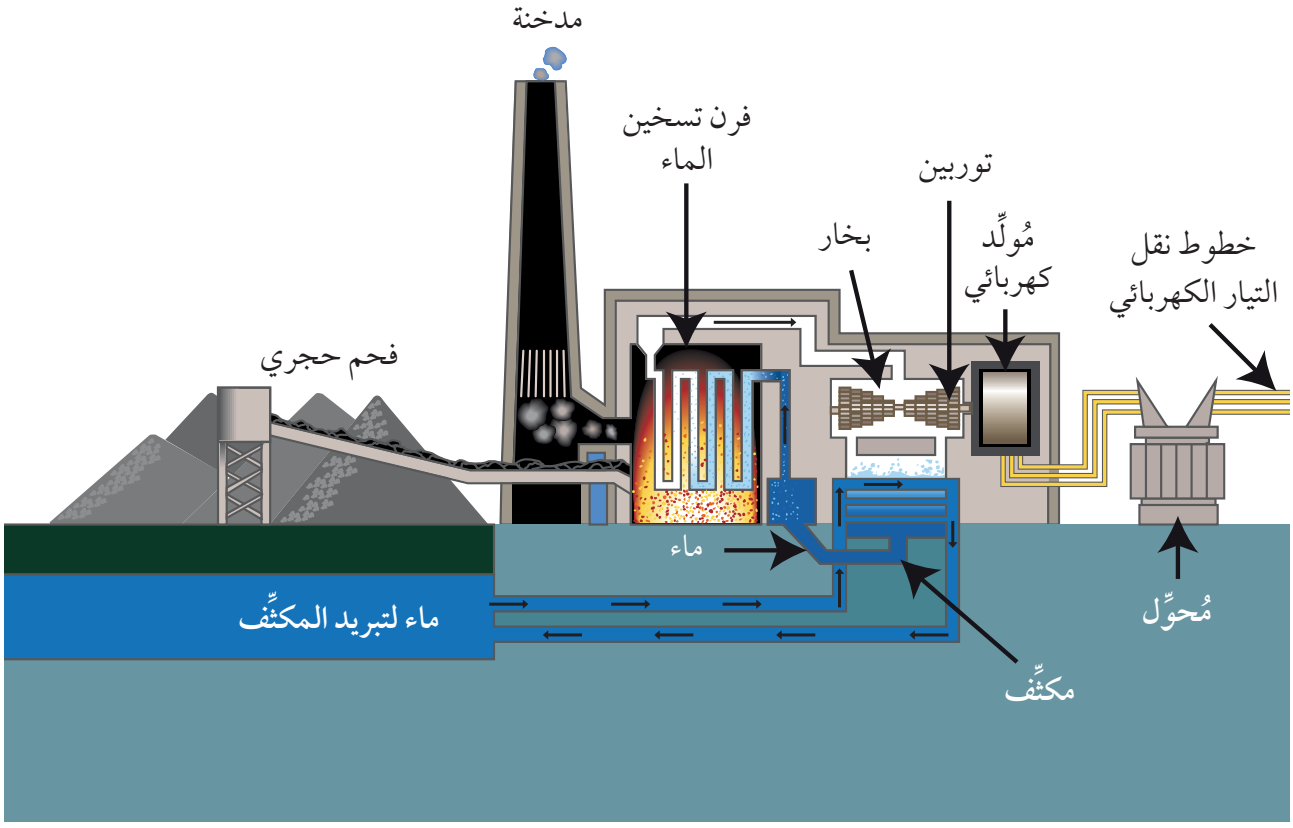
وقطاع الصناعة، وقطاع الزراعة، وقطاع النفايات. ويمثل الشكل (2) نسب غازات الدفيئة المنبعثة من الأنشطة البشرية بحسب القطاعات.

يُعدّ قطاع الطاقة أكثر القطاعات إنتاجًا لغازات الدفيئة، مثل غاز ثاني أكسيد الكربون، إذ تُقدَّر نسبة انبعاثاتها حوالي 73.2 % تقريبًا، ويشمل قطاع الطاقة كل من الطاقةَ المُستخدَمة في الصناعة والنقل والأبنية. يليه قطاع الزراعة الذي تُقدَّر نسبة غازات الدفيئة المنبعثة منه، مثل غاز الميثان، حوالي 18.4 %، ويشمل قطاع الزراعة: إزالة الغابات، واستخدامات الأراضي، والماشية. ثم يأتي قطاع الصناعة، مثل: صناعة الإسمنت، وصناعة الأمونيا، في المرتبة الثالثة، إذ تُقدَّر نسبة انبعاث غازات الدفيئة منه حوالي 5.2 %. وأخيرًا يُعدّ قطاع النفايات الذي يشمل معالجة المياه العادمة، وطمر النفايات الصلبة أقل القطاعات مساهمة في انبعاثات غازات الدفيئة، مثل غاز الميثان، إذ تُقدَّر انبعاثاتها حوالي 3.2 %.

احتراق الوقود الأحفوري Fossil Fuels Burning

يُستخدَم الوقود الأحفوري على نطاق واسع في معظم القطاعات؛ لأنه يُطلق الطاقة المُختزَنة فيه بيُسر وسهولة عند احتراقه. ومعظم الطاقة التي نستخدمها اليوم في قطاع الطاقة (النقل، وتوليد الطاقة الكهربائية، والأبنية) تأتي من حرق الوقود الأحفوريّ بأشكاله المختلفة، مثل: الفحم الحجري، والنفط، والغاز الطبيعي. ويُعرَّف الاحتراق بأنه تفاعل كيميائي يحدث فيه اتحاد الأكسجين مع عناصر الكربون والهيدروجين. وبصورة عامّة فإن المعادلة الكيميائية البسيطة لاحتراق الوقود الأحفوريّ في الهواء يمكن كتابتها على النحو الآتي:

وقود أحفوريّ + أكسجين ⟸ ثاني أكسيد الكربون+ بخار ماء + طاقة



الشكل (3): محطة طاقة حرارية لإنتاج الطاقة الكهربائية باستخدام الفحم الحجري.

ومن الأمثلة على حرق الوقود الأحفوري لإنتاج الطاقة الكهربائية: محطات الطاقة الحرارية التي تستخدم أنواع الوقود الأحفوري المختلفة في توليد الطاقة الكهربائية، أنظر الشكل (3) الذي يمثل إحدى محطات الطاقة الحرارية التي تستخدم الفحم الحجري في إنتاج الطاقة الكهربائية. حيث يتم نقل الفحم الحجري من أماكن وجوده إلى محطة توليد الطاقة الحرارية، وفيها يتم حرقه في فرن التسخين بعد طحنه إلى قطع صغيرة، فيولد طاقة حرارية تستخدم في تسخين الماء البارد المار في الأنابيب الفولاذية الموجودة في جدار فرن التسخين، ثم ينتقل بخار الماء الناتج من عملية التسخين عبر توربينات موصولة بمولد كهرباء فيتسبب في دورانها، ويتم تحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية في مولد الكهرباء. تُنقل الكهرباء المولّدة إلى المحولات عبر خطوط نقل التيار الكهربائي لتوزيعها إلى المنازل والمصانع. في النهاية، يخرج البخار من التوربينات وينتقل إلى المكثف حيث يتم تبريده ليعود مرة أخرى إلى ماء يعاد استخدامه في فرن التسخين.

الرّبط بالكيمياء

للطاقة أشكال مختلفة، منها: الطاقة الكهربائية، والحرارية، والكيميائية. وتتحوّل الطاقة باستمرار من شكل إلى آخرَ، فمحرّك السيارة الذي يعمل بالوقود الأحفوري يحوّل طاقة الوقود الكيميائية إلى طاقة حرارية تتحوّل بدورها إلى طاقة حركية، فضلًا عن أن جزءًا من الطاقة الكيميائية يتحوّل إلى طاقة حرارية تؤدي إلى سخونة المحرّك.

الغازات الناتجة من احتراق الوقود الأحفوري

Gases Produced from Burning Fossil Fuels

تُعَدُّ الغازات الناتجة عن احتراق الوقود الأحفوري والمنبعثة إلى الغلاف الجوي من عوادم السيارات والمصانع، ومولّدات الطاقة وغيرها، من أخطر مُلوِّثات الهواء، ومنها: أكاسيد الكربون، وأكاسيد النيتروجين، وأكاسيد الكبريت، وغيرها من الغازات التي أخذت تتراكم في الغلاف الجوي بنسب عالية جدًّا.

- **أكاسيد الكربون**: للكربون أكسيدان، أحدهما أوّل أكسيد الكربون CO الذي ينتج بفعل الاحتراق غير الكامل للوقود الأحفوري ويوجد بكميات قليلة في الهواء، وهو سامّ ويمكن أن يسبِّب الوفاة بسبب تفاعله مع هيموجلوبين الدّم، أما الأكسيد الآخر فهو ثاني أكسيد الكربون CO_2 الأكثر شيوعًا، وهو غير سامّ، وتُسبّب تراكماتُه زيادة الحرارة المُحتبَسة في الغلاف الجوي. وينتج غاز ثاني أكسيد الكربون من حرق الوقود الأحفوري المُستخدَم في محطات توليد الطاقة الكهربائية ووسائل النقل والمصانع، فمثلًا: في محرك السيارات التي تعمل بالبنزين فإن حرق الأوكتان C_8H_{18} الذي يعد أحد مكوناته الرئيسة يُنتَج غاز ثاني أكسيد الكربون وفق المعادلة الآتية:

$$2\ C_8H_{18\,(g)} + 25\ O_{2\,(g)} \rightarrow 16\ CO_{2\,(g)} + 18\ H_2O_{\,(g)} + \text{energy}$$

- **أكاسيد النيتروجين**: تؤدي هذه الأكاسيد (مثل: أول أكسيد النيتروجين NO، وثاني أكسيد النيتروجين NO_2، وأكسيد النيتروز N_2O) دورًا رئيسًا في التفاعلات الكيميائية التي تقود إلى تكوين الضباب الدخاني، أنظر الشكل (4).
- **أكاسيد الكبريت**: تنتج هذه الأكاسيد من المحطات الحرارية لإنتاج الطاقة الكهربائية، ومحطات تكرير البترول ومصانع الورق، ومن أهمّ أكاسيد الكبريت: غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2، وغاز ثالث أكسيد الكبريت SO_3، وهي تسهم في تكوين الهطل الحمضي.

✓ **أتحقّق**: لماذا يتم تكثيف بخار الماء في محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تستخدم الفحم الحجري؟

الشكل (4): ضباب دخاني يغطي مدينة بانكوك في تايلاند.

استهلاك الوقود الأحفوري Fossil Fuels Consumption

يُستخدَم الوقود الأحفوري على نطاق واسع في إنتاج الطاقة؛ بسبب سهولة تخزينه ونقله من مكان إلى آخر، وسهولة تحويله من حالة إلى أخرى، ما يؤدي دورًا رئيسًا في الاقتصاد العالمي، ويُعَدّ الأردن أحد هذه الدول، إذ يستخدم الغاز الطبيعي والصخر الزيتي في توليد الطاقة الكهربائية.

يُعَدُّ الوقود الأحفوري أحد مصادر الطاقة غير المتجدّدة؛ لأن تكوّنه يستغرق ملايين السنين، وقد يؤدي استهلاكه بصورة كبيرة إلى استنزافه.

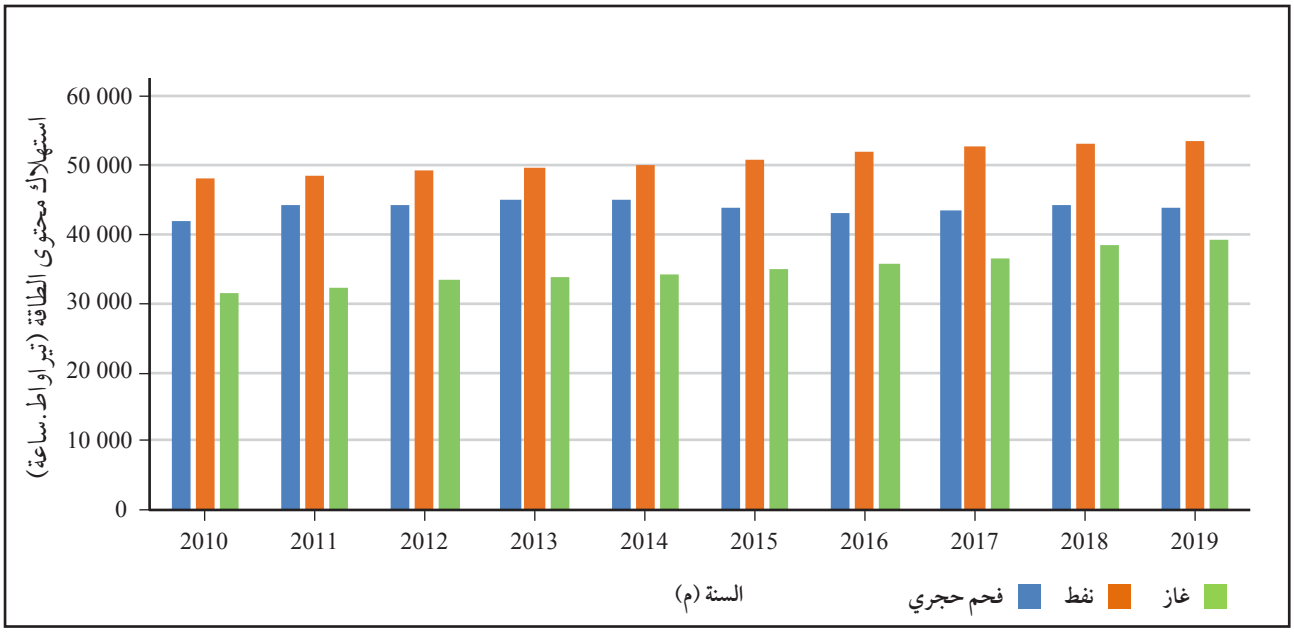
فمثلًا: يستخدم النفط في تصنيع الوقود اللازم لتحريك السيارات والحافلات والطائرات والقطارات وغيرها، في حين يُستخدَم الفحم الحجري والغاز الطبيعي عالميًّا بصورة رئيسة وقودًا في محطات توليد الطاقة الكهربائية. ونظرًا إلى التطور الكبير في الصناعات، وبسبب زيادة عدد سكان العالم، فإن الحاجة إلى استهلاك الوقود الأحفوري تزداد يوميًّا؛ ما يؤدي إلى زيادة الطلب عليه، وزيادة احتمالية نضوبِه. أنظر الشكل (5) الذي يوضّح كمية استهلاك محتوى الطاقة من الغاز والنفط والفحم الحجري في العالم بوحدة تيراواط.ساعة.

✓ **أتحقّق: أفسر:** لماذا تزداد احتمالية نضوب الوقود الأحفوري؟

أمثل بيانيًّا باستخدامِ برمجية إكسل Excel كمية استهلاك محتوى الطاقة من الغاز والنفط والفحم الحجري عالميًّا في السنوات العشر الماضية، ثمَّ أشاركهُ زملائي/ زميلاتي في الصفّ.

الربطُ بالاقتصاد

يعتمد الأردن بشكل كبير على استيراد الوقود الأحفوري لتلبية احتياجاته من الطاقة، مما يفرض تحديات اقتصادية متعددة. ويُشكّل النفط الخام المُنتَج محليًّا نسبة ضئيلة من الكميات المستهلكة، مما يؤدي إلى تضاعف كلفة النفط الخام ومشتقاته من الناتج المحلي الإجمالي. ويتّجه الأردن إلى زيادة الاعتماد على الطاقة المتجددة وخاصة في توليد الطاقة الكهربائية.



الشكل (5): كمية استهلاك محتوى الطاقة من الغاز والنفط والفحم الحجري في العالم.

أحدّد: ما أعلى كمية استهلاك لمحتوى الطاقة في سنة 2019 م؟

نشاط

الاستهلاك العالمي للوقود الأحفوري

يُعَدُّ الوقود الأحفوري مصدرًا من مصادر الطاقة التي حرّكت – وما زالت تحرّك – التطوّرَ الصناعيَّ في العالم، إذ تُعدّ نسبة مساهمته في الطاقة التي نحتاج إليها في الوقت الحالي كبيرةً جدًّا. ويمثل الجدول الآتي استهلاك محتوى الطاقة من الوقود الأحفوري عالميًّا.

السنة (م)	كمية استهلاك محتوى الطاقة من الوقود الأحفوري (تيراواط.ساعة)
2010	121 691.136
2011	124 939.047
2012	126 562.097
2013	128 448.117
2014	128 962.368
2015	129 516.27
2016	130 705.831
2017	132 512.67
2018	135 807.237
2019	136 761.607

خطوات العملِ:

1. أُنشئ رسمًا بيانيًّا للعلاقة بين السنوات (2010–2019)م وبين كمية استهلاك محتوى الطاقة من الوقود الأحفوري، بحيث يمثّل المحور الأفقي (السنة)، والمحورُ العمودي (كمية استهلاك محتوى الطاقة)، باستخدام برمجية إكسل (Excel) أو ورق الرسم البياني.
2. أمثّل البيانات بدقّة.

التحليل والاستنتاج:

1. أحدّد السّنة التي تُظهر أعلى كمية استهلاك وأقل كمية استهلاك لمحتوى الطاقة من الوقود الأحفوري.
2. **أحسُب:** كم (واطًا) استهلك العالم في سنة (2019م) من محتوى الطاقة في الوقود الأحفوري؟ علمًا أنّ 1 تيراواط = 10^{12} واط.
3. **أستنتج** سبب الزيادة في كمية استهلاك محتوى الطاقة من الوقود الأحفوري.
4. **أتوقّع:** إذا نفِد الوقود الأحفوري، فكيف يؤثر ذلك في حياتنا؟

حساب انبعاثات غازات الدفيئة
Greenhouse Gas Emissions Calculation

مع زيادة التطور الصناعي زادت انبعاثات غازات الدفيئة إلى الغلاف الجوي بشكل كبير، ما أدى إلى تراكمها وزيادة احتباس الحرارة فيه، ومن ثم حدوث التغير المناخي. وللحد من الآثار السلبية الناجمة عن تراكم تلك الغازات وتخفيفًا من انبعاثاتها، يجب حساب كمياتها الناتجة من القطاعات المختلفة عن طريق تطبيق منهجيات علمية تعتمد على جمع البيانات المتعلقة بتلك الأنشطة والقطاعات المنتجة لها، وتحليلها. وتُحسَب هذه الكميات اعتمادًا على **معامل الانبعاث Emission Factor** الذي يُعرَّف بأنه قيمة عددية تمثل كمية انبعاثات غاز دفيئة محدد ناتج من نشاط معين، مثل: حرق أحد أنواع الوقود الأحفوري، أو إنتاج الإسمنت. وتختلف قيم معامل الانبعاث لغاز الدفيئة الواحد اعتمادًا على مصدره. ويُعبَّر عنه بوحدة كمية الانبعاثات لكل وحدة من النشاط، فمثلًا: معامل الانبعاث لغاز ثاني أكسيد الكربون الناتج من حرق الديزل يساوي 2.68 kg CO_2/L أي أنه ينتج من حرق 1 L من الديزل 2.68 kg من CO_2. أنظر الجدول (1) الذي يبين معامل الانبعاث لعدد من غازات الدفيئة بحسب مصدرها.

ولحساب كمية انبعاثات غازات الدفيئة تُستخدَم المعادلة الآتية:

$$E = EF \times A$$

حيث:

E: كمية انبعاثات غاز الدفيئة.

EF: معامل الانبعاث.

A: كمية المادة (مصدر الانبعاث).

الجدول (1): *معامل الانبعاث لعدد من غازات الدفيئة بحسب المصدر الذي نتجت منه.

المصدر	الغاز	معامل الانبعاث
احتراق الديزل	CO_2	2.68 kg CO_2/L
احتراق البنزين	CO_2	2.31 kg CO_2/L
احتراق الغاز الطبيعي	CO_2	0.185 kg CO_2/1000L
التخلص من المخلفات العضوية	CH_4	0.5 kg CH_4/kg
تصنيع الأسمدة	N_2O	0.1 kg N_2O/kg
إنتاج الإسمنت	CO_2	0.9 kg CO_2/kg

* الجدول للمطالعة الذاتية.

مثال 1

إذا علمت أن معامل انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الناتج من احتراق الديزل يساوي 2.68 kg CO_2/L، فما كمية غاز ثاني أكسيد الكربون بوحدة (kg) المنبعثة من احتراق 1000 L من الديزل؟

الحل:

$$E = EF \times A$$
$$= 2.68 \times 1000$$
$$= 2680 \text{ kg}$$

مثال 2

إذا علمت أن معامل انبعاث غاز الميثان (CH_4) الناتج من روث الأبقار يساوي 100 kg من الميثان لكل بقرة سنويًّا، فما كمية غاز الميثان المنبعثة من روث 50 بقرة؟

الحل:

$$E = EF \times A$$
$$= 100 \times 50$$
$$= 5000 \text{ kg}$$

تمرين

تحتوي مزرعة أغنام على 1200 رأس من الغنم. إذا علمت أن معامل انبعاث الميثان (CH_4) من روث الغنم الواحد يساوي 15 kg سنويًّا، فما كمية غاز الميثان المنبعثة في السنة من روث الأغنام الموجودة في المزرعة؟

مكافئ ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide Equivalent

تعلمت سابقًا أن المصادر التي تنتج منها غازات الدفيئة متعددة، وأن وحدة قياس هذه الغازات تختلف باختلاف تلك المصادر، وتعلمت أيضًا أن تأثير هذه الغازات على الاحتباس الحراري مختلف. ولحساب كمية انبعاثات غازات الدفيئة كافة في الغلاف الجوي وتحديد أثرها، اتُّفِق على استخدام وحدة قياس تُسمّى مكافئ ثاني أكسيد الكربون (CO_2e)، وهي وحدة قياس تُستخدَم للتعبير عن تأثير غازات الدفيئة الأخرى على الاحترار العالمي مقارنةً بغاز ثاني أكسيد الكربون. ولإيجاد مكافئ ثاني أكسيد الكربون (CO_2e) لغاز الدفيئة تُستخدَم المعادلة الآتية:

$$CO_2e = GWP \times E$$

حيث:

CO_2e: مكافئ ثاني أكسيد الكربون.

GWP: إمكانية إحداث الاحترار العالمي Global Warming Potential، ويُقصَد بذلك إمكانية كل غاز دفيئة على احتجاز حرارة الغلاف الجوي مقارنة بإمكانية غاز ثاني أكسيد الكربون في مدّة زمنية محددة عادة ما تكون 100 عام. وتبلغ قيمة GWP لغاز ثاني أكسيد الكربون (1). أنظر الجدول (2).

E: كمية انبعاثات غاز الدفيئة.

ولمعرفة تأثير غازات الدفيئة جميعها في الغلاف الجوي في منطقة ما تُجمَع كلّ مكافئات ثاني أكسيد الكربون من القطاعات كافة في فترة زمنية محددة في تلك المنطقة.

الجدول (2): *إمكانية إحداث الاحترار العالمي لعدد من غازات الدفيئة ومصادرها.

غاز الدفيئة	إمكانية إحداث الاحترار العالمي (GWP)	المصدر الرئيس
ثاني أكسيد الكربون (CO_2)	1	الوقود الأحفوري، استعمال الأراضي، الإسمنت.
أكسيد النيتروز (N_2O)	273	الزراعة.
الميثان (CH_4)	21	الوقود الأحفوري، الزراعة.
مواد هيدروفلوروكربون منها (CH_2F_2)	771	مواد صناعية تُستخدَم في قطاع التبريد.
مواد كلوروفلوروكربون منها (CCl_3F)	6230	مواد صناعية تُستخدَم في قطاع التبريد.

* الجدول للمطالعة الذاتية.

مثال 3

استهلكت إحدى الشركات 20000 L من الديزل لتشغيل مولدات الطوارئ الخاصة بها. إذا نتج من احتراق مادة الديزل: 50000 kg من ثاني أكسيد الكربون، و 480 g من غاز الميثان، و 150 g من أكسيد النيتروجين، وإذا علمت أن إمكانية إحداث الاحترار العالمي لكل من CO_2 و CH_4 و N_2O هي على التوالي 1 و 27 و 273، فأجد مجموع انبعاثات مكافئ ثاني أكسيد الكربون بوحدة الكيلوغرام (kg).

الحل:

$$CO_2\,e\ (CO_2) = GWP \times E$$
$$= 1 \times 50000$$
$$= 50000\ kg$$

$$CO_2\,e\ (CH_4) = GWP \times E$$
$$= 27 \times 480$$
$$= 12960\ g = 12.96\ kg$$

$$CO_2\,e\ (N_2O) = GWP \times E$$
$$= 273 \times 150$$
$$= 40950\ g = 40.95\ kg$$

مجموع مكافئات ثاني أكسيد الكربون:

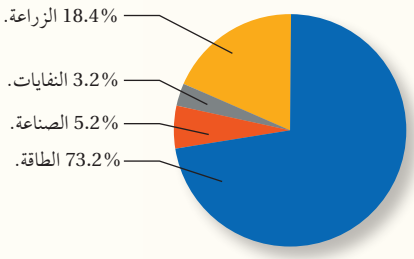
$$CO2\ e\ (total) = CO_2\,e\ (CO_2) + CO_2\,e\ (CH_4) + CO_2\,e\ (N_2O)$$
$$= 50000 + 12.96 + 40.95 = 50053.91\ kg$$

تمرين

يُطلق مصنع 50 طنًّا من أكسيد النيتروز (N_2O) إلى الغلاف الجوي. إذا كانت إمكانية أكسيد النيتروز لإحداث الاحترار العالمي تساوي 265، فما كمية مكافئ ثاني أكسيد الكربون المنبعثة في الغلاف الجوي؟

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أحدد ثلاثة غازات دفيئة تنتج من احتراق الوقود الأحفوري.
2. **أفسّر** سبب استخدام الوقود الأحفوري على نطاق واسع في معظم القطاعات.
3. أرتّب غازات الدفيئة الآتية بحسب نسب كمياتها المتراكمة في الغلاف الجوي: (CH_4, CH_2F_2, N_2O, CO_2).
4. يمثل الشكل المجاور نسب غازات الدفيئة المنبعثة في القطاعات المختلفة. أدرسه، ثم أجيب عن الأسئلة الآتية:



أ. أحدد أي القطاعات تنتج غاز الميثان بصورة رئيسة.

ب. **أستنتج** أي غازات الدفيئة التي تنبعث من قطاع الصناعة.

جـ. **أقارن** بين قطاعي الطاقة والزراعة من حيث نسبة غازات الدفيئة المنبعثة منهما، ونوعها.

5. تُنتج إحدى شركات التبريد 75 kg من غاز CFC–11، وهو أحد مركبات الكلوروفلوروكربون. إذا علمت أن إمكانية إحداث الاحترار العالمي لغاز CFC–11 تساوي 6230، فما مكافئ ثاني أكسيد الكربون له؟

6. **أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:**

1. ينبعث من أحد مصانع الأسمدة 250 kg من غاز الميثان. إذا علمت أن إمكانية إحداث الاحترار العالمي لغاز الميثان تساوي 27، فإن مكافئ ثاني أكسيد الكربون (CO_2e) لهذا الانبعاث:

أ. 6750 kg CO_2e ب. 9.26 kg CO_2e

جـ. 182250 kg CO_2e د. 277 kg CO_2e

2. أكثر غازات الدفيئة وفرة في الغلاف الجوي هو غاز:

أ. الميثان. ب. ثاني أكسيد الكربون. جـ. أكسيد النيتروز. د. الأوزون.

3. الغاز الذي يتفاعل مع الهيموغلوبين في الدم ويسبب الوفاة هو غاز:

أ. الميثان. ب. ثاني أكسيد الكربون. جـ. الأوزون. د. أول أكسيد الكربون.

4. الغاز الذي يُعدّ من غازات الدفيئة:

أ. النيتروجين. ب. الأكسجين. جـ. الأرغون د. الكلوروفلوروكربون.

5. أي من العبارات الآتية صحيحة فيما يتعلق بمعامل الانبعاث:

أ. يمثل تأثير غازات الدفيئة مقارنة بتأثير غاز ثاني أكسيد الكربون.

ب. يمثل كمية انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة في منطقة ما.

جـ. يمثل كمية انبعاثات غاز دفيئة ناتج من نشاط معين.

د. تتساوى قيم معامل الانبعاث لغاز الدفيئة بغض النظر عن مصدره.

الوقود الأحفوري والتغير المناخي

Fossil Fuels and Climate Change

الدرس 2

الفكرة الرئيسة:

يؤدي تراكم غازات الدفيئة في الغلاف الجوي إلى حدوث مشكلات عالمية، مثل: التغير المناخي.

نتاجات التعلّم:

- أستقصي دورَ الغازات الناتجة من احتراق الوقود الأحفوري في التأثير السلبي على الصحة والمناخ ومياه المحيطات.
- أذكر أمثلة على تأثير الغازات الناتجة من احتراق الوقود الأحفوري، والمضرّة بالإنسان والغلاف الجوي ومياه المحيطات.

المفاهيم والمصطلحات:

الاحتباس الحراري (تأثير الدفيئة) Greenhouse Effect

الاحترار العالمي Global Warming

الهطل الحمضي Acid Precipitation

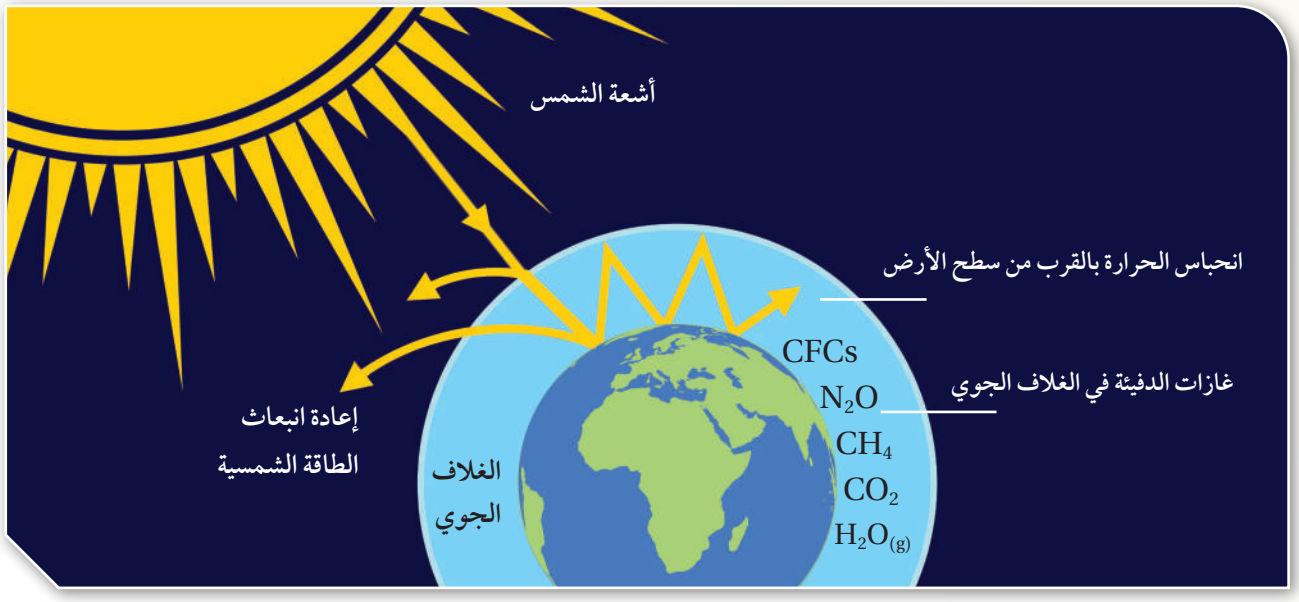
الاحتباس الحراري (تأثير الدفيئة) Greenhouse Effect

تعلمت في الدرس السابق أن الأنشطة البشرية هي المصدر الرئيس لغازات الدفيئة، وأن هذه الغازات تنبعث من القطاعات المختلفة خاصة تلك التي تستخدم الوقود الأحفوري، ويُعدّ غاز ثاني أكسيد الكربون أكثر غازات الدفيئة المنبعثة تراكمًا في الغلاف الجوي.

وتتميز غازات الدفيئة بقدرتها على امتصاص الأشعة تحت الحمراء طويلة الموجة المنبعثة من سطح الأرض نحو الغلاف الجوي، إذ تؤدي هذه الغازات إلى المحافظة على درجة حرارة سطح الأرض عن طريق التوازن بين الطاقة الشمسيّة الساقطة على سطح الأرض، وتلك التي تفقدها إلى الفضاء الخارجي. أنظر الشكل (6) الذي يوضح التوازن الإشعاعيّ.

ويحدث **الاحتباس الحراري** Greenhouse Effect عندما تنتقل أشعّة الشمس عبر الغلاف الجوي لتصل إلى سطح الأرض على شكل طاقة حرارية، أو أشعة قصيرة الطول الموجيِّ (الأشعة المرئية/ الأشعة فوق البنفسجية). وفي المتوسط فإن ثلث الأشعة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض تنعكس مرة أخرى إلى

الشكل (6): التوازن الإشعاعي.



الفضاء عبر الغلاف الجوي، وتمتص اليابسة والمسطّحات المائية معظم الأشعة الباقية، وبذلك يصبح سطح الأرض دافئًا. ثم تشِع اليابسة والمسطّحات المائية الطاقة الواصلة إليها مرة أخرى؛ ولكن على شكل أشعة طويلة الموجة (الأشعة تحت الحمراء)، فتمتص غازات الدفيئة الموجودة في الغلاف الجوي هذه الأشعة وتحبس جزءًا منها، وبذلك يسخن الغلاف الجوي الأرضي، وترتفع درجة الحرارة، ولولا ذلك لكانت درجة الحرارة على سطح الأرض منخفضة جدًّا، ما يجعل الحياة عليها أمرًا مستحيلًا. وتشبه هذه العملية إلى حدّ كبير ما يُعرَف بظاهرة البيت الزجاجي، أو ظاهرة الدفيئة الزجاجية؛ لأن وظيفة غازات الدفيئة مشابهة لوظيفة جدران البيت الزجاجي وسقفِه، التي تسمح بدخول الأشعة الشمسية، لكنها تمنع خروج الأشعة طويلة الموجة المنبعثة من سطح الأرض، ما يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة داخله نظرًا إلى عدم تسرّب الحرارة إلى خارج الدفيئة الزجاجية.

ولكن، أدّت أنشطة الإنسان المختلفة (مثل: استخدام الوقودِ الأحفوري، أو إزالةِ الغطاء النباتي) إلى زيادة في مستويات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي، وهذا بدوره سبّب ارتفاعًا متزايدًا في درجة حرارة الأرض وحدوث الاحترار العالمي.

✓ **أتحقّق:** أصف كيف تحدث عملية الاحتباس الحراري.

الاحترار العالمي Global Warming

تعلمت سابقًا أن الاحترار العالمي هو زيادة تدريجية في معدّلات درجات الحرارة العالمية بسبب زيادة نسبة غازات الدفيئة في الغلاف الجوي الناجمة عن بعض الأنشطة الطبيعية، مثل: البراكين، والأنشطة الصناعية بفعل نشاط الإنسان، إذ يؤدي احتراق الوقود الأحفوري إلى زيادة تركيز غازات الدفيئة (خصوصًا غازَ ثاني أكسيد الكربون) في الغلاف الجوي للأرض بمرور الزمن، وهذا يؤدي إلى ارتفاع مستمر في درجة حرارة سطح الأرض، ومن ثم تباطؤ الحياة النباتية والحيوانية التي قد تجد نفسها في نظام مناخي مختلف ربما يكون أكثرَ أو أقلَّ ملاءمةً لها. ونتيجة لذلك، فإن التغيرات المناخية يُتوقَّع أن تؤدي إلى انقراض ملايين الكائنات الحية بحلول عام 2050م، وانصهار الجليد في القُطبين الجنوبي والشمالي؛ نتيجة لارتفاع معدل درجة حرارة سطح الأرض،

الربطُ بالصحّةِ

يؤثر غاز أول أكسيد الكربون في صحة الإنسان، إذ يدخل إلى الرئتين خلال عملية التنفس، فيرتبط مع خلايا الدم الحمراء ويمنعها من امتصاص الأكسجين، ما يؤدي إلى ارتخاء العضلات وفقدان الوعي.

أفكّرُ قال تعالى:

﴿ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُم بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾﴾

سورة الروم {41}

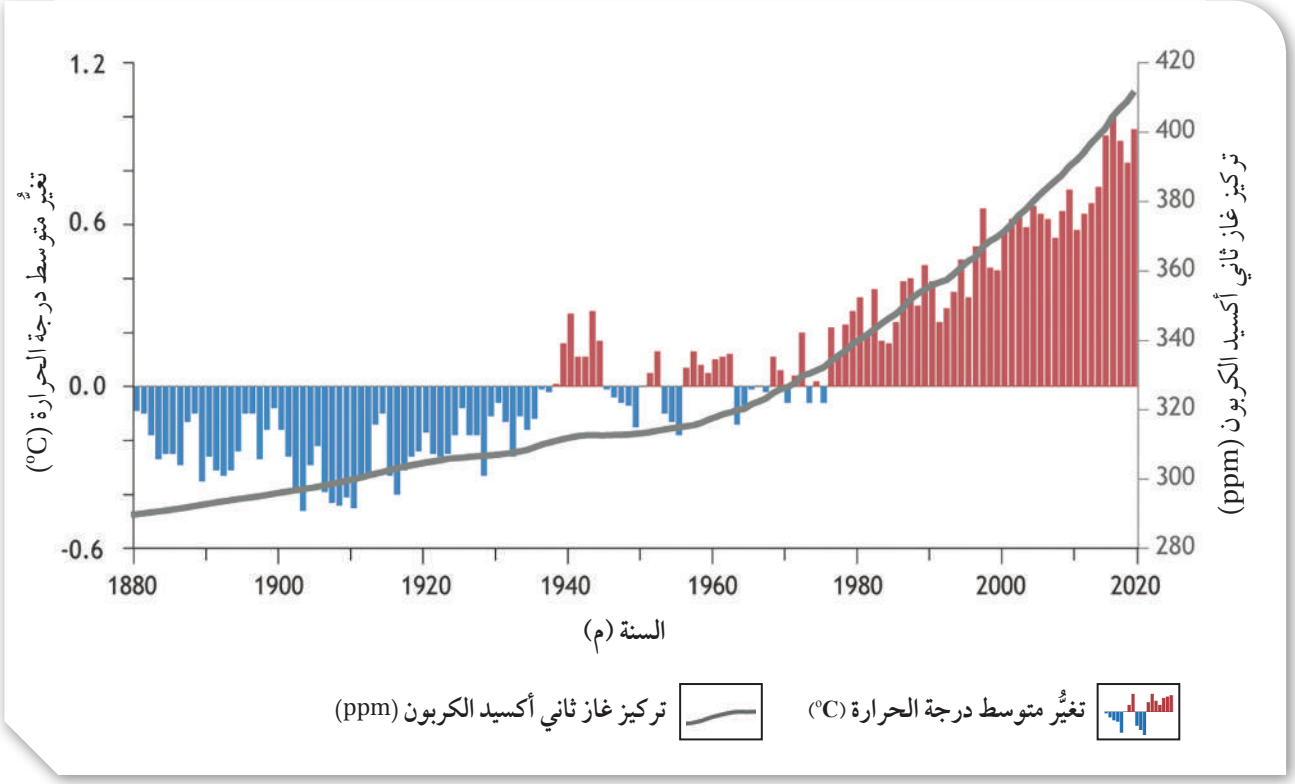
أناقش دلالة هذه الآية الكريمة في ضوء دراستي ظاهرتي الاحتباس الحراري والاحترار العالمي وأثرهما في استقرار الحياة على سطح الأرض.

وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة ارتفاع منسوب المياه في البحار والمحيطات، وغمر الجزر والشواطئ والأراضي المنخفضة بالماء، ويُتوقَّع استمرار ارتفاع منسوب مياه البحار والمحيطات مع الزمن ليصل بحلول 2100م إلى 30 cm تقريبًا.

ومن التغيرات الأخرى التي قد تنتج من التغيرات المناخية: زيادة حموضة البحار والمحيطات بسبب زيادة ذوبان ثاني أكسيد الكربون في مياهها، وهذا يهدّد الكائنات البحرية مثل الشعاب المرجانية والكائنات التي تمتلك أصدافًا مكونة من كربونات الكالسيوم، مما يؤثر في النظام البيئي البحري بأكمله. ويوضح الشكل (7) العلاقة بين نسبة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ومقدار التغير في متوسط درجة الحرارة في years (1880–2020)م. إذ قُدِّر متوسط درجة الحرارة في هذه السنوات 13.9 °C ويمكن تفسير القيمة (0.0) °C في الشكل على أنَّه لا يوجد تغير في درجات الحرارة عن متوسط درجة الحرارة، في حين تمثِّل القِيَم الموجبة مقدار الزيادة في درجة الحرارة عن متوسط درجة الحرارة 13.9 °C، وتمثِّل القِيَم السالبة مقدار النقصان في درجة الحرارة عن متوسط درجة الحرارة، فمثلًا، عام 2000 م زادات درجة الحرارة العالمية عن متوسط درجة الحرارة بمقدار 0.59 °C

أتحقّق: أوضح المقصود بالاحترار العالمي.

أعمل فيلمًا قصيرًا باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضح ظاهرة الاحتباس الحراري وعلاقتها بالاحترار العالمي، وأحرص على أن يشمل الفيلم صورًا توضيحية، ثمّ أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصفّ.



الشكل (7): نسبة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بمرور الزمن، وتغيُّر متوسط درجة الحرارة.

أصف العلاقة بين تغيُّر متوسط درجة حرارة الغلاف الجوي، وتركيز غاز ثاني أكسيد الكربون فيه.

تكوّن الأوزون واستنزافه Ozone Formation and Depletion

يتكوّن غاز الأوزون (O_3) من ثلاث ذراتٍ من الأكسجين متّحدةً مع بعضها بعضًا، ويوجد بصورة رئيسة على ارتفاع يُقدّر ما بين (20–30) km ضمن طبقة الستراتوسفير من الغلاف الجوي في حالة توازن لحماية الحياة على سطح الأرض؛ إذ يمنع وصول الأشعة فوق البنفسجية المنبعثة من الشمس الضارّة بالكائنات الحية، لكن تدخل الإنسان أدى إلى إحداث خلل في هذا التوازن، فأصبح معدّل تحلّله يفوق معدل تشكّله طبيعيًّا.

يُعدّ غاز الأوزون ملوثًا خطرًا إذا وُجِدَ قرْبَ سطح الأرض في طبقة التروبوسفير؛ لأنه يضرّ أنسجة النباتات وبعض أجزاء جسم الإنسان الحساسة مثل العيون والرئتين. ويتكون غاز الأوزون بالقرب من سطح الأرض بسبب زيادة تراكيز غازات أكاسيد النيتروجين الناتجة من احتراق الوقود الأحفوري وغيرها من الأنشطة وفقًا للمعادلتين الكيميائيتين الآتيتين:

$$NO_2 \xrightarrow{UV} NO + O$$

$$O + O_2 \xrightarrow{UV} O_3$$

وتُعدّ مركبات الكلوروفلوروكربون CFCs المسؤول الأوّل عن التآكل الذي أصاب الأوزون ما سمح للأشعة فوق البنفسجية بالوصول إلى سطح الأرض، وتُستخدَم هذه المركبات على نطاق واسع في أجهزة التبريد في الثلاجات، وفي مكيفات الهواء، خصوصًا أجهزة تكييف السيارات. وهي تمتاز بأنها خاملة فلا تتفاعل مع مكوّنات الغلاف الجوي، ولكنها تصعد إلى أعلى بفعل تيارات الحمل وصولًا إلى غاز الأوزون الموجود في طبقة الستراتوسفير فتحدِثُ سلسلةً من التفاعلات الكيميائية الآتية، والسبب في ذلك هو قدرة الأشعة فوق البنفسجية على تحليلها.

$$CCl_3F \xrightarrow{UV} CCl_2F + Cl$$

$$Cl + O_3 \longrightarrow ClO + O_2$$

✓ **أتحقّق:** أقارن بين غاز الأوزون الموجود ضمن طبقة الستراتوسفير وغاز الأوزون المتكوّن في طبقة التروبوسفير قريبًا من سطح الأرض من حيث أثر كل منهما على الكائنات الحية.

الرّبط بالكيمياء

تُعَدُّ مركّبات الكلوروفلوروكربون (CFCs) خليطًا من عدد من الغازات، هي: (CF_3Cl, $CFCl_3$, CF_2Cl_2).

أفكّرُ كيف يمكِن الحدُّ من مشكلة تكوُّن غاز الأوزون في طبقة التروبوسفير؟

التّجربة 1

نمذجة الاحتباس الحراري

عند دخولك بيتًا زجاجيًّا، ستشعر بتأثير ظاهرة الاحتباس الحراري؛ وذلك لأن الزجاج يمرر أشعة الشمس ويحتجز الحرارة المنبعثة من سطح الأرض، فيسخُن الهواء في الداخل. وبالطريقة نفسِها تحتجز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي الحرارةَ بالقرب من سطح الأرض.

الموادّ والأدوات:

مقياسا درجة حرارة (ثيرمومتر)، كأسان زجاجيتان سعة كل منهما 100 mL، قارورة مياه شُربٍ بلاستيكية سعة 1L بحيث يكون قطرها أكبرَ قليلًا من قُطر الكأس الزجاجية، مصدر ضوئيّ (الشمس)، مِقص.

إرشادات السلامة: توخي الحذَر عند التعامل مع الكأسين الزجاجيتين ومقياسَي درجة الحرارة.

خطوات العملِ:

1. أضع في كلّ كأس زجاجية مقياسَ درجة الحرارة.
2. أضع الكأسين الزجاجيّتين بجانب بعضهما في منطقة تسقط عليهما أشعة الشمس مباشرة.
3. أنتظر نصف ساعة، ثم أقرأ درجة حرارة كل مقياس وأدوّنها.
4. أقص الجزء السفلي من قارورة مياه الشرب البلاستيكية.
5. أقفِل بإحكام فوهة قارورة مياه الشّرب البلاستيكية بوساطة غطاء.
6. أضع قارورة مياه الشّرب البلاستيكية حول إحدى الكأسين الزجاجيّتين، بحيث تحيط بها من الجوانب كافة.
7. أنتظر نصف ساعة أخرى، مع بقاء الكأسين الزجاجيّتين في منطقة تسقط فيها أشعة الشمس سقوطًا مباشرًا.
8. أقرأ درجة حرارة كلّ مقياس وأدوّنها.
9. **أحسُب** الفرق بين درجة الحرارة في كل من الكأسين الزجاجيّتين.

التحليل والاستنتاج:

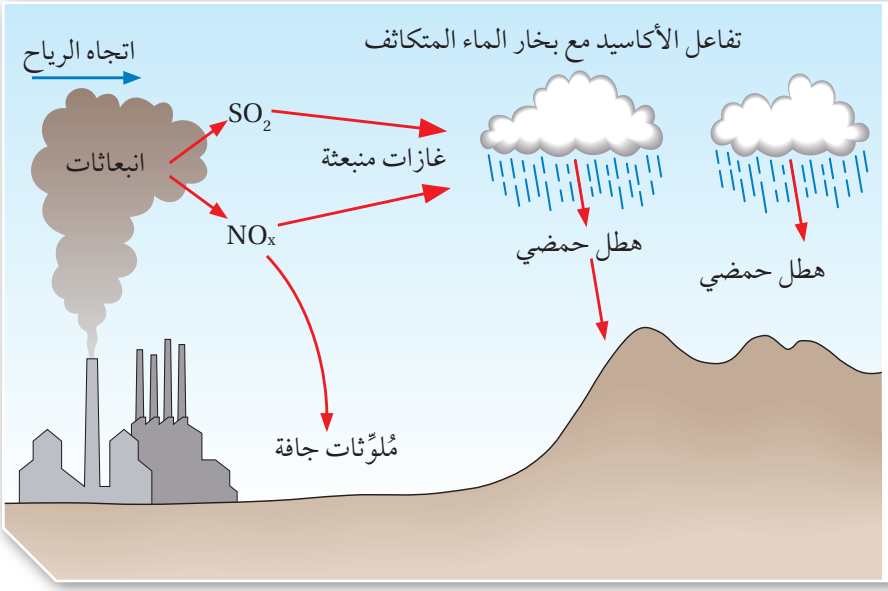
1. **أفسّر** سبب ارتفاع درجة حرارة الكأس الزجاجية المغطّاة بقارورة مياه الشرب البلاستيكية.
2. **أقارن** بين آلية عمل نموذج قارورة مياه الشّرب البلاستيكية وظاهرة الاحتباس الحراري.

الهطل الحمضي Acid Precipitation

عندما يحترق الوقود الأحفوري المُستعمَل في وسائط النقل، وفي محطات إنتاج الطاقة الكهربائية والمصانع، فإن ثاني أكسيد الكبريت SO_2 وأكاسيد النيتروجين NO_X تنتشر في الغلاف الجوي، وتتفاعل مع بخار الماء المتكاثف في الغلاف الجوي مُشكِّلة هطلًا حمضيًّا يحتوي على حمضَي الكبريتيك H_2SO_4، والنيتريك HNO_3، وأحيانًا يسقط الهطل الحمضي بعيدًا عن مصدر التلوّث؛ بفعل الرياح السائدة في تلك المنطقة.

الرّبط بالكيمياء

طُوِّرت أنظمة التخلص من عوادم السيارات بوضع مواد كيميائية داخل عادم السيارة تساعد على تحويل بعض الأكاسيد الناتجة من العادم إلى موادَّ أقلَّ ضررًا على البيئة، فتحوّل: NO_2 إلى N_2 و O_2، وأيضًا تحوّل CO إلى CO_2.



الشكل (8): رسم توضيحي لعملية تكوّن الهطل الحمضي.

أنظر الشكل (8) الذي يوضّح رسمًا توضيحيًّا لعملية تكوّن الهطل الحمضي.

يتفاعل الهطل الحمضي مع كلّ من الماء والصخور والتربة والنبات مسبّبًا إخلالًا بالتوازن البيئي، إذ يؤدي تساقطه على المسطّحات المائية إلى موت أعداد كبيرة من النباتات المائية والأسماك، ونتيجة لذلك يحدث انخفاض في أعداد الأسماك، وفقدان بعض الأنواع، ومن ثم ، الحد من التنوع الحيوي. وأيضًا يؤثر الهطل الحمضي في الصخور والمنشآت فيعمل على تآكلها، كما ويزيد من حموضة التربة؛ ما يؤدي إلى انخفاض إنتاجيتها الزراعية والقضاء على العناصر الرئيسة فيها. ومن الآثار السلبية للهطل الحمضي أيضًا: تلف أوراق النباتات وتقليل قدرتها على القيام بعملية البناء الضوئي، ما يؤدي إلى القضاء على الغطاء النباتي، ومن ثم التأثير على الإنسان والكائنات الحية الأخرى.

ويمكن توضيح كيفية تكوّن الهطل الحمضي عن طريق التفاعلات الكيميائية الآتية:

تكوُّن الهطل الحمضي بتفاعل بخار الماء المتكاثف مع غاز ثاني أكسيد النيتروجين:

$$3NO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow 2HNO_{3(aq)} + NO_{(g)}$$

تكوُّن الهطل الحمضي بتفاعل بخار الماء المتكاثف مع غاز ثاني أكسيد الكبريت:

$$S_{(g)} + O_{2(g)} \longrightarrow SO_{2(g)}$$

$$SO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow H_2SO_{3(aq)}$$

$$O_{2(g)} + 2H_2SO_{3(aq)} \longrightarrow 2H_2SO_{4(aq)}$$

أُفكّرُ لماذا يتكوّن الهطل الحمضي من أكاسيد الكبريت والنيتروجين وليس الكربون، مع أن أكثر الأكاسيد في الغلاف الجوي هو ثاني أكسيد الكربون؟

أصمّمُ باستخدامِ برنامجِ السكراتشِ (Scratch) عرضًا يبيّنُ ظاهرة الهطْلِ الحمضِيّ، ثمَّ أشاركهُ زملائي/ زميلاتي في الصفّ.

✓ **أتحقّق:** أوضّح كيف يتكوّن الهطل الحمضي.

التّجربة 2

محاكاة الهطل الحمضي

تحدث ظاهرة الهطل الحمضي عندما يتلوّث الغلاف الجوي بالأكاسيد، مثل أكاسيد النيتروجين والكبريت، التي تنطلق من مصادر طبيعية ومصادر غير طبيعية (صناعية).

الموادّ والأدوات:

قِطع صخريّة صغيرة الحجم متساوية تقريبًا، مثل: (الرخام، الصخر الجيري، الصخر الرملي، البازلت)، ميزان رقمي، قفازات وقائية، 3 كؤوس زجاجية سعتها 500 mL، خَلّ (حمض الإيثانويك CH_3COOH) (يمثّل الأحماض المسببة للهطل الحمضي).

إرشادات السلامةِ:

- ارتداء القفازات الوقائية.
- توخي الحذر عند وضع القطع الصخرية داخل الكؤوس الزجاجية.
- عدم استبدال الخل بأحد الأحماض القوية.

خطوات العملِ:

1. أستخدم الميزان في إيجاد كتلة كل قطعة صخرية، وأدوّن البيانات في جدول.
2. أضَع كلَّ قطعة صخرية في كأس زجاجية منفصلة.
3. أسكب الخَلَّ فوق كلّ قطعة صخرية في الكأس الزجاجية، وأنتظر يومين.
4. أُفرغ الكأس الزجاجية من الخلّ، وأنتظر أن تجفّ القطع الصخرية يومًا آخرَ.
5. **ألاحظ** أي تغيرات في سطح كل قطعة صخرية.
6. أستخدم الميزان مرة أخرى في إيجاد كتلة كلّ قطعة صخرية، وأدوّن البياناتِ في جدول.
7. **أحسُب** مقدار الكتلة التي فقدتْها كلُّ قطعة صخرية، وأدوّن البيانات في جدول.
8. **أحسُب** النسبة المئوية لمقدار الكتلة التي فقدتْها كلُّ قطعة صخرية، وأدوّن البيانات في جدول.

التحليل والاستنتاج:

1. أحدّد: أيُّ الصخور (الرخام، الصخر الجيري، الصخر الرملي، البازلت)، هو الأفضلُ لمقاومة الهطل الحمضي؟
2. **أستنتج** أثر الهطل الحمضي في الصخور.

تأثيرات التغير المناخي Impacts of Climate Change

يُعدّ التغير المناخي من أهم المشكلات التي يواجهها العالم في وقتنا الحالي، ويشير إلى اختلال في الظروف المناخية المعتادة التي تميز كل منطقة على سطح الأرض، مما ينعكس سلبًا على أنماط المعيشة، واقتصاديات الدول. ومع زيادة تراكم غازات الدفيئة بفعل أنشطة الإنسان المختلفة وأهمها استخدام الوقود الأحفوريّ، بدأ العالم يتأثر بما توقّعه العلماء نتيجة التغير المناخي، مثل: انصهار الجليد، وارتفاع مستوى سطح البحر، وموجات الحر الشديدة. ويُتوقّع استمرار تلك التأثيرات وزيادة شدتها مستقبلًا وزيادة تأثيرها على مناخ الأرض.

ومن أهم تأثيرات التغير المناخي:

ارتفاع مستوى سطح البحر Sea Level Rise: يُتوقَّع أنْ يرتفع منسوب مستوى سطح البحر بمقدار m (0.63–0.4) بحلول عام 2100م وفي أسوأ التوقعات قد تصل إلى m 2، وينتج ذلك بفعل انصهار الجليد وتمدد مياه البحار والمحيطات؛ بسبب ازدياد درجة حرارة الأرض.

زيادة قـوة الأعاصير وكثافتها Increase in hurricane Strength and Intensity: يُتوقّع أن تزداد شدة العواصف المرتبطة بالأعاصير ومعدلات هطول الأمطار مع استمرار ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي.

المزيـد من الجفـاف وموجـات الحـر More Droughts and Heat Waves: يُتوقّع أن تزداد شدة حالات الجفاف في مناطق مختلفة من العالم، وكذلك فترات الطقس الحار غير الطبيعي التي قد تستمر من أيام إلى أسابيع.

زيادة حرائق الغابات ومددها Increased Forest Fires and Their Duration: تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى إطالة موسم حرائق الغابات، ويقدر العلماء أن تغير المناخ الناجم عن الإنسان قد ضاعف بالفعل مساحة الغابات المحروقة في العقود الأخيرة. أنظر الشكل (9).

الشكل (9): أثر التغير المناخي في زيادة مساحة الغابات المحروقة بسبب ارتفاع درجات الحرارة.

أفكّر يسجل التنوع الحيوي تراجعا ملحوظا على المستوى العالمي. أذكر بعضا منها.

التغيرات في أنماط هطول الأمطار Changes in Precipitation Patterns: يؤدي التغير المناخي إلى توزيع الهطول على سطح الأرض بشكل غير متساوٍ، إذ ستشهد بعض المواقع زيادة في هطول الأمطار وحدوث الفيضانات، في حين ستعاني مناطق أخرى الجفاف.

انخفاض نسبة الغطاء الجليدي Decrease in Ice Cover: يُتوقَّع استمرار تناقص الغطاء الجليدي البحري في القطبين، فمثلًا: تتناقص نسبة الغطاء الجليدي في المحيط المتجمد الشمالي، ويُتوقَّع قبل منتصف هذا القرن أن يصبح خاليًا من الجليد تمامًا في نهاية كل صيف بحسب الدراسات الحالية، أنظر الشكل (10).

التأثير على النظم البيئية Impact on Ecosystems: يؤدي التغير المناخي إلى القضاء على النظم البيئية والتنوع الحيوي، وتدهور التربة، وفقدان المراعي الطبيعية، والقضاء على الثروة السمكية، وانتشار الأمراض بين الحيوانات، وتراجع التنوع الحيوي، وهذا بدوره يؤثر في توفر الغذاء للإنسان، وانتقال الأمراض إليه، وازدياد معدلات سوء التغذية، ويسهم في زيادة نسبة الفقر.

الشكل (10): يؤدي التغير المناخي إلى تناقص نسبة الغطاء الجليدي في القطب الشمالي.

الربطُ بالصحّةِ

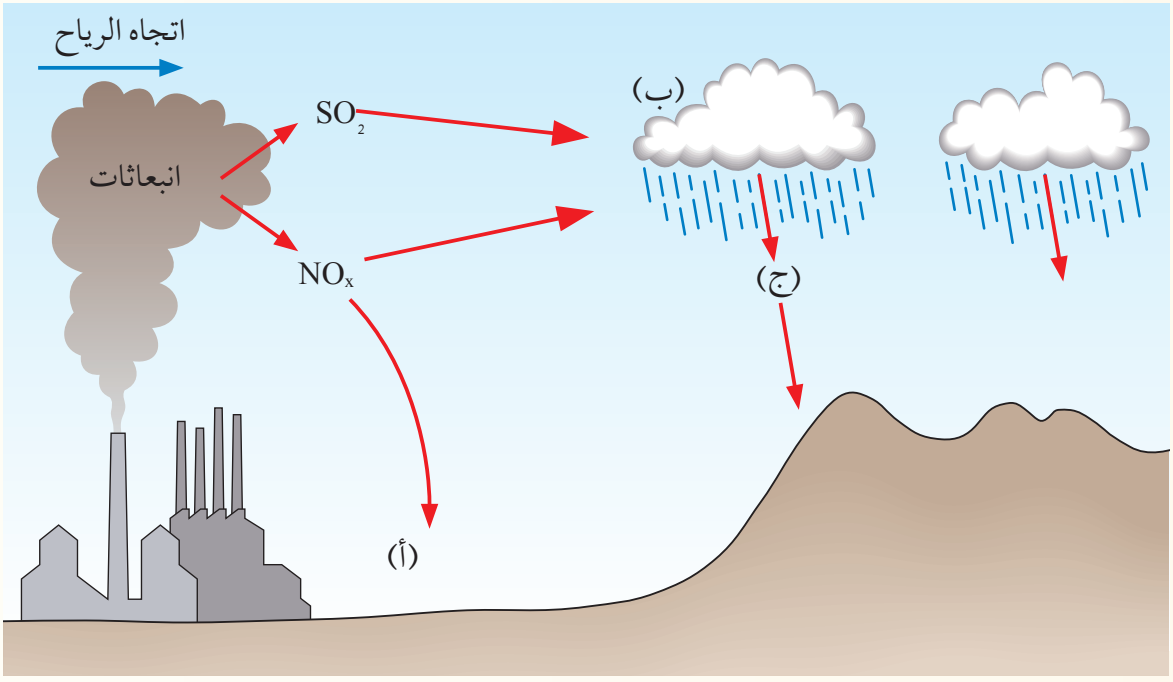
بالرغم من التقدم العلمي الملحوظ في القضاء على العديد من الأمراض، إلا أن هناك خشية من أن تفسد التغيرات المناخية هذا الإنجاز، إذ تبدي كثير من الأمراض الفتاكة حساسية شديدة تجاه تغير درجات الحرارة، والرطوبة، والأمطار، وغيرها من المظاهر المناخية؛ مما يؤدي إلى انتشارها.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أذكر بعض المُلوِّثات الموجودة في الغلاف الجويّ التي تؤثّر سَلْبًا في صحّة الإنسان والنباتات والحيوانات.

2. **أقارن** بين الاحتباس الحراري والاحترار العالمي من حيث مفهوم كل منهما.

3. أبيّن في الشكل الآتي ما تدل عليه الأحرف (أ، ب، ج) في أثناء تكوّن الهطل الحمضي:



4. أتتبّع كيف يتكوّن الهطل الحمضي بفعل ثاني أكسيد الكبريت بكتابة ثلاث معادلات كيميائية.

5. **أفسّر** سبب اختلاف تركيز ثاني أكسيد الكربون فوق المناطق الصناعية والمدن عنه في المناطق الريفية.

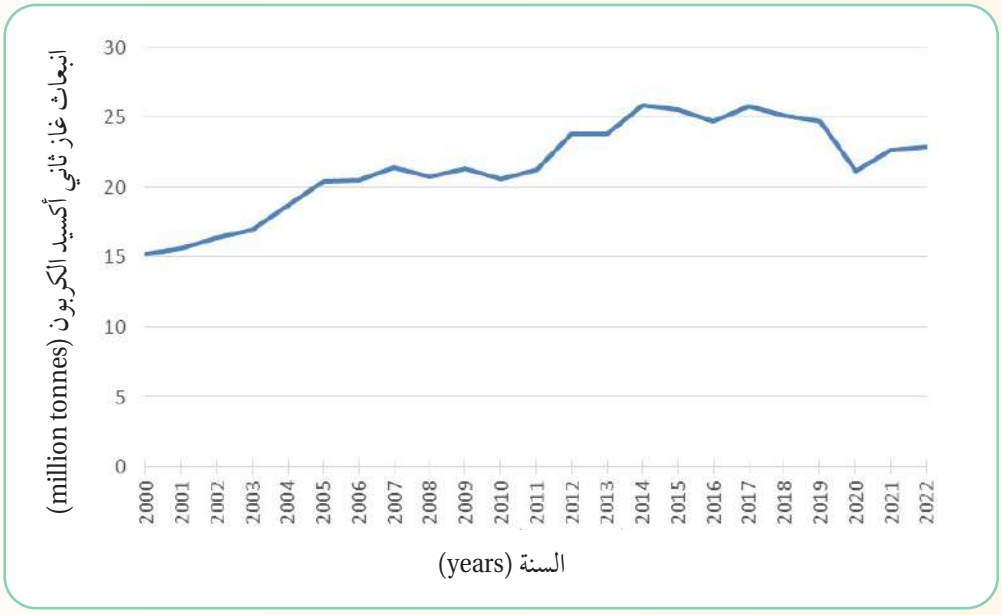
6. أحدّد مصادر الغازات التي تكوّن الهطل الحمضي.

7. **أربط** بين درجة حرارة الغلاف الجوي وتركيز غاز ثاني أكسيد الكربون فيه.

8. **أقترح** بعض طرق تقليل ظاهرة الاحترار العالمي.

9. **أختار رمز الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:**

1. أدرس الشكل الآتي الذي يمثل انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون في الأردن؛ ثم أحدد العام الذي حدث فيه أكبر انبعاث لهذا الغاز.



أ . 2007. ب. 2014. جـ. 2019. د. 2022.

2. يُتوقَّع أن تؤدي التغيرات المناخية إلى انقراض ملايين الكائنات الحية بحلول العام:

أ . 2030م. ب. 2035م. جـ. 2040م. د. 2050م.

3. يتكون غاز الأوزون بالقرب من سطح الأرض؛ بسبب زيادة تراكيز:

أ . أكاسيد النيتروجين. ب. ثاني أكسيد الكربون. جـ. الميثان. د. بخار الماء.

4. يحدث الاحتباس الحراري عندما يمتص الغلاف الجوي الأشعة المنبعثة من سطح الأرض على شكل طاقة:

أ . كيميائية. ب. حركية. جـ. حرارية. د. نووية.

5. من تأثيرات التغير المناخي على العالم:

أ . زيادة مساحة الغطاء الجليدي في القطبين.

ب. انخفاض درجات الحرارة العالمية.

جـ. ازدياد نسبة حرائق الغابات.

د . زيادة نسبة الهطول وحدوث الفيضانات في المناطق كافة.

الدرس 3

الحد من التغير المناخي والتكيف مع آثاره

Mitigation of Cimate Change and Adaption to its Effects.

الفكرة الرئيسة

يتجه العالم إلى التخفيف من انبعاثات غازات الدفيئة خصوصًا غاز ثاني أكسيد الكربون، والتكيف مع الآثار الناجمة عن التغير المناخي.

نتاجات التعلّم

- أطرح حلولًا للتخفيف من انبعاثات غازات الدفيئة من القطاعات المختلفة.
- أوضح دور المؤسسات الرسمية والمؤسسات غير الحكومية ومنظمات المجتمع المدني في جهود التكيف مع آثار التغير المناخي.
- أشرح دور مكوّنات المجتمع في جهود التكيف مع آثار التغير المناخي.
- أناقش أهمية استخدام الطاقة المتجددة في الحد من آثار التغير المناخي، وأقدّم أدلة مقنعة على ذلك.
- أقترح أساليب للتقليل من استهلاك الطاقة وأبيّن علاقتها بالتكنولوجيا.

المفاهيم والمصطلحات

الطاقة المتجددة Renewable Energy

طاقة الحرارة الجوفية Geothermal Power

الطاقة الكهرمائية Hydroelectric Power

إدارة موارد الطاقة Management of Energy Resources

تعلمت سابقًا أن هناك تسارُع في استخدام الوقود الأحفوري بسبب زيادة النمو السكاني والطلب المتزايد على الطاقة، وبالرغم من سهولة استخدامه في القطاعات المختلفة، والفوائد التي يوفرها؛ إلا أنه يتسبب في حدوث مشكلات بيئية عديدة ناجمة عن انبعاثات أكاسيد الكربون والنيتروجين والكبريت، مثل مشكلة التغير المناخي؛ لذا تُعدّ إدارة موارد الطاقة أمرًا مهمًّا للتحقق من التوازن بين احتياجات المجتمع من الطاقة، وتقليل الآثار السلبية الناتجة من حرق الوقود الأحفوري في البيئة.

ومن الطرق المُستخدَمة للحد من انبعاثات غازات الدفيئة من القطاعات المختلفة وخاصة ثاني أكسيد الكربون: استخدام الطاقة المتجددة، وتقليل استهلاك الوقود الأحفوري عن طريق استخدام التكنولوجيا الموفرة للطاقة، أو تطوير المصادر الموجودة، وتعديل السياسات الحكومية للحد من استخدام الوقود الأحفوري وخاصة في قطاع الطاقة.

استخدام الطاقة المتجددة Using of Renewable Energy

تتجه العديد من دول العالم نحو استخدام مصادر **الطاقة المتجددة Renewable Energy** لإنتاج الكهرباء بدلًا من استخدام الوقود الأحفوري، وهي طاقة لا تنفد وغير ملوثة للبيئة. وبالرغم من الفوائد الكبيرة لاستخدام مصادر الطاقة المتجددة فإن التحول إلى تلك المصادر يتطلب استثمارات كبيرة ومكلفة لا تستطيع العديد من الدول تحملها، وخاصة أن الوقود الأحفوري أرخص وأسهل في الاستخدام، أنظر الشكل (11).

الشكل (11): إحدى محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تستخدم الغاز الطبيعي.

وفي ما يأتي بعض أنوع الطاقة المتجددة:

- **طاقة الرياح Wind Power** تُستخدَم طاقة الرياح في توليد الطاقة الكهربائية عن طريق تحريك توربينات متصلة بمولّدات لتوليد الطاقة الكهربائية ومن ثم تغذية شبكة الكهرباء. وتُعدّ طاقة الرياح من مصادر الطاقة النظيفة ؛ إذ لا توجد انبعاثات لغازات الدفيئة منها، وفي الوقت نفسه هي طاقة متجددة لا تنضب بوجود الرياح. لكن هناك بعض المعيقات لاستخدام طاقة الرياح في توليد الطاقة الكهربائية، منها أن معظم الأماكن التي تتميز برياح قوية ودائمة هي المناطق الجبلية والنائية، وتكلفة إنتاج وحدة واحدة من الكهرباء بفعل الرياح قد تكون أكثر تكلفة من استخدام الوقود الأحفوري في بعض المناطق. أنظر الشكل (12) الذي يمثل توليد الطاقة الكهربائية في الأردن باستخدام طاقة الرياح.

- **طاقة المد والجزر Wave Tidal Power** تُستخدَم حركة الأمواج في أثناء المد والجزر في توليد الطاقة الكهربائية، إذ تعمل المياه المتحركة بفعل المد على تحريك التوربينات المُستخدَمة في توليد الطاقة الكهربائية بشكل مباشر، أو تُحجَز المياه المتقدمة بفعل المد في برك صناعية وتُستخدَم في تحريك التوربينات. تُعدّ الطاقة الناتجة من المد والجزر أحد أنواع الطاقة النظيفة والصديقة للبيئة؛ لأنها تقلل من انبعاثات غازات الدفيئة، ولكن من معيقات استخدام هذا النوع من الطاقة: أن التكلفة الأولية لبناء محطة توليد الطاقة الكهربائية عالية، وقد يكون لهذه المحطات تأثيرات سلبية على البيئة البحرية، وقد تؤثر في الملاحة البحرية في المنطقة.

أُفكّرُ أحدد: معيقات استخدام طاقة المد والجزر في الأردن بوصفها أحد مصادر الطاقة المتجددة.

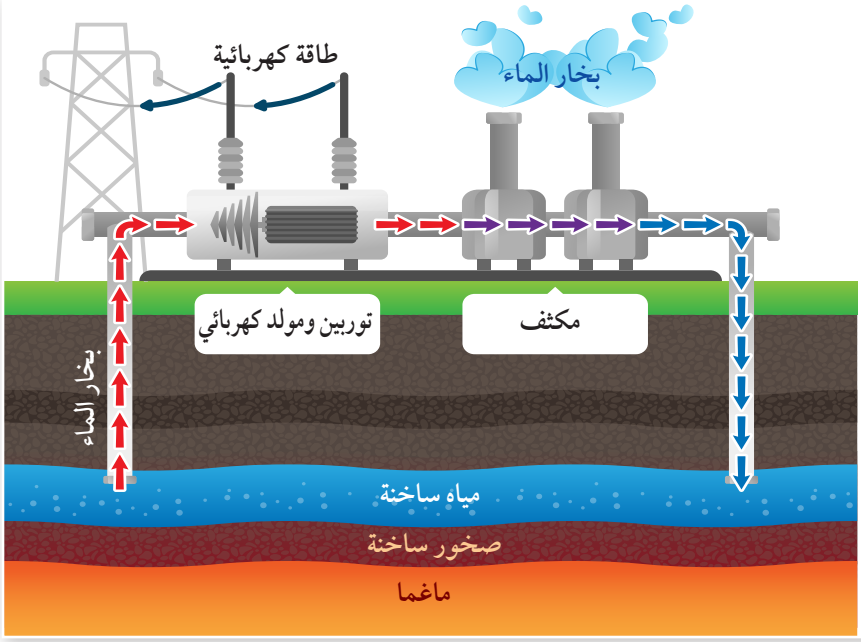
الشكل (12): إحدى محطات توليد الطاقة الكهربائية في جنوب الأردن باستخدام طاقة الرياح.

الشكل (13): إحدى محطات الطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء في العقبة.

- **الطاقة الشمسية Solar Power** يمكن استخدام الطاقة الشمسية لتوليد الطاقة الكهربائية بعدة طرق، منها: الخلايا الكهرضوئية، أو استخدام الطاقة الشمسية في تسخين المياه وإنتاج البخار الذي يعمل على تحريك التوربينات الخاصة بتوليد الكهرباء.

يتميز هذا النوع من الطاقة المتجددة بأنه مصدر طاقة متجدد ونظيف لا يلوث الهواء، وسهل الصيانة، وأنه هادئ لا يصدر أي ضجيج، ويمكن أن يُستخدَم على نطاق واسع أو ضيّق. ومن معيقات استخدام الطاقة الشمسية: التكلفة الأولية المرتفعة، وتأثرها بالأحوال الجوية فتقل كميات الطاقة المنتجة في مُدد زمنية طويلة في السنة. ويوجد في الأردن محطات متنوعة للطاقة الشمسية، منها: محطة بينونة في الموقّر. أنظر الشكل (13) الذي يمثل إحدى محطات الطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء في العقبة.

- **طاقة الحرارة الجوفية Geothermal Power** تعرف **طاقة الحرارة الجوفية Geothermal Power** بأنها الطاقة الحرارية المخزنة في باطن الأرض، وتستخدم هذه الطاقة في توليد الطاقة الكهربائية، إذ يستفاد من المياه الجوفية القريبة من مناطق تجمُّع الماغما أو تضخّ المياه عبر آبار إلى تلك المناطق، ثم تُضَخّ المياه الساخنة إلى السطح وتُحوَّل إلى بخار لتشغيل التوربينات الخاصة في توليد الطاقة الكهربائية، ثم يُكثَّف بخار الماء ويُضَخّ مرة أخرى إلى باطن الأرض لاستخدامه مرة أخرى أنظر الشكل (14). ولاستخدام هذا النوع من الطاقة يجب أن تكون درجة حرارة المياه مرتفعة تتراوح ما بين ^{o}C (370 – 150)، وهذا النوع يتميز بالتكلفة المنخفضة مقارنة بباقي أنواع الطاقة المتجددة؛ بسبب انخفاض تكاليف التشغيل. ومن معيقات استخدام هذا النوع من الطاقة: محدودية أماكن استخدامه، ويمكن أن يؤدي حفر الآبار إلى حدوث مشكلات بيئية بسبب انبعاث غازات الدفيئة من باطن الأرض.



الشكل (14): تستخدم طاقة الحرارة الجوفية في توليد الطاقة الكهربائية.

● **الطاقة الكهرمائية Hydroelectric Power** تعرف **الطاقة الكهرمائية Hydroelectric Power** بأنها الطاقة الكهربائية الناتجة عن حركة المياه، وفي هذا النوع من الطاقة تُبنى سدود وتُستخدَم المياه المتجمعة خلفها لتحريك توربينات توليد الطاقة الكهربائية، ويمكن أن تكون محطات توليد الطاقة كبيرة الحجم أو صغيرة الحجم. يتميز استخدام هذا النوع من الطاقة بأنه غير مُلوِّث فلا تنبعث منه أيّ غازات دفيئة، ويمكن الاستفادة من السدود في أغراض أخرى، مثل: الحد من الفيضانات، واستخدامها مصادر لمياه الشرب أو الزراعة. ومن معيقات استخدام هذا النوع من الطاقة: التكلفة العالية لبناء السدود وصيانتها، وأن المياه المتجمعة في السدود تغمر مساحات كبيرة، ويمكن أن تنشأ الزلازل بسبب الضغط الزائد على صخور القشرة الأرضية بسبب بناء السدود.

أفكّرُ أي أنواع الطاقة المتجددة الأكثر جدوى لاستخدامها في الأردن؟ لماذا؟

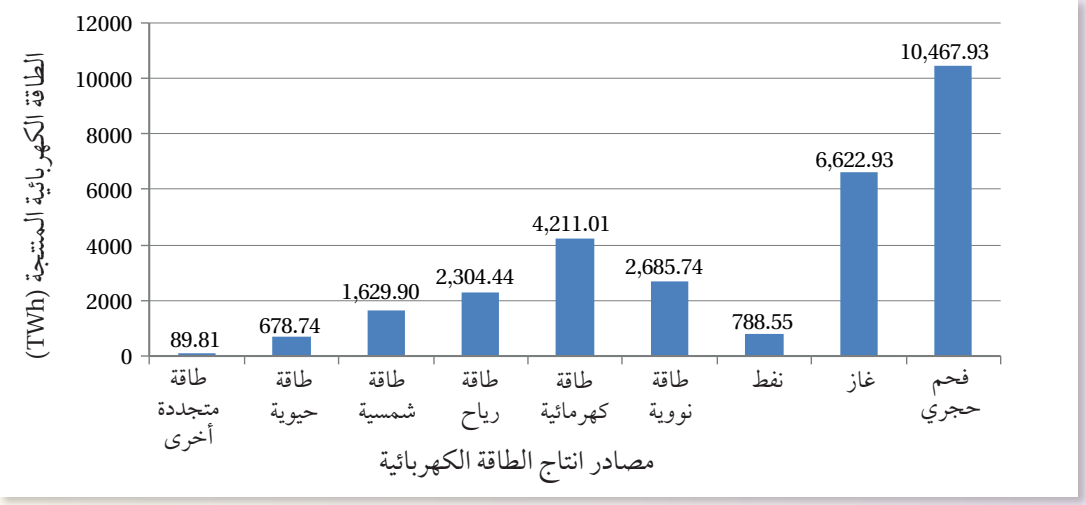
✓ **أتحقّق:** أحدد معيقات استخدام طاقة الرياح.

نشاط

مصادر الطاقة

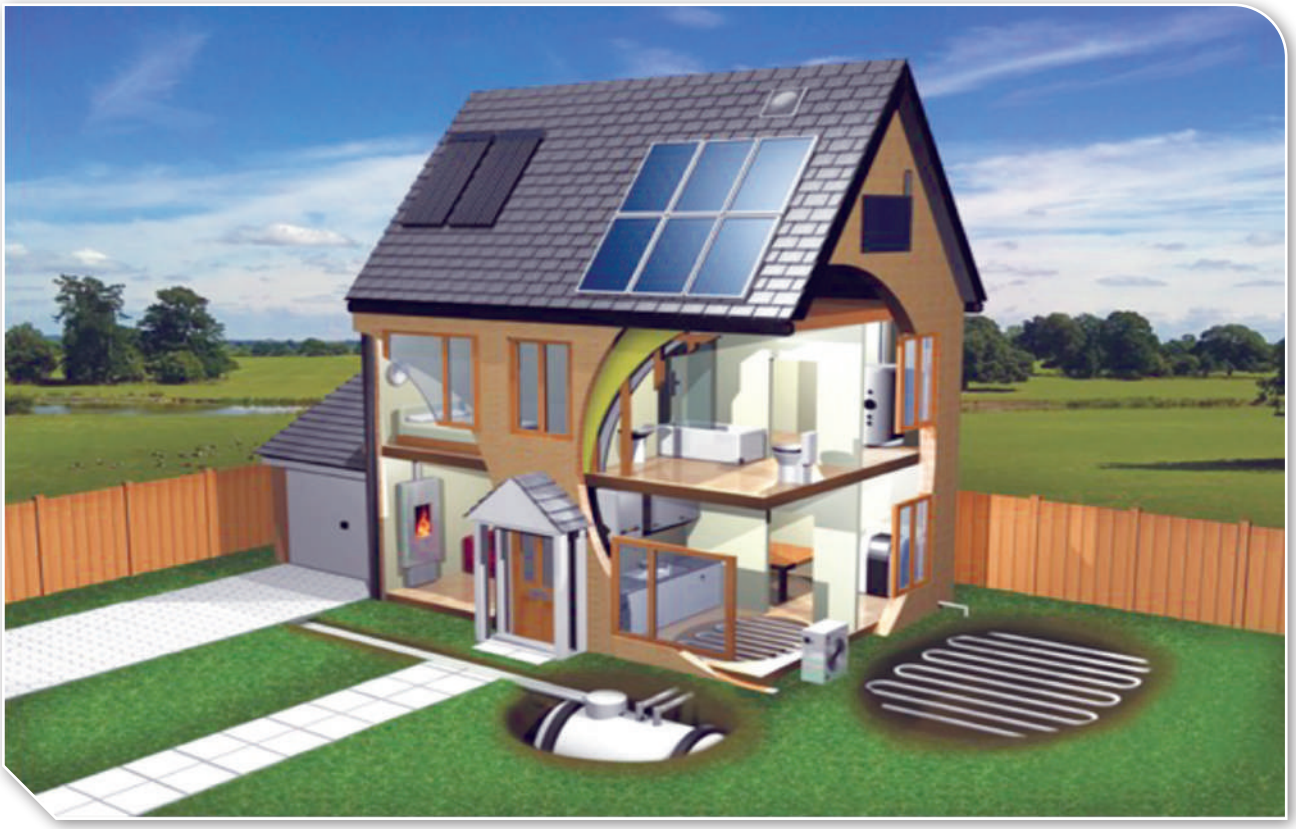
تتعدد مصادر إنتاج الطاقة الكهربائية، فبعضها طاقة غير متجددة (مثل الطاقة المنتجة من حرق الوقود الأحفوري)، وبعضها طاقة متجددة (مثل الطاقة النووية، والطاقة الحيوية). أدرس الشكل الآتي الذي يمثل الطاقة الكهربائية المُنتَجة من المصادر المختلفة بوحدة ـ تيراواط. ساعة (TWh)، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:

إنتاج الطاقة الكهربائية (TWh) في العالم حسب المصدر للعام 2023



التحليل والاستنتاج:

1. أحدد مصدر الطاقة المتجددة الذي ينتج أكبر كمية من الطاقة الكهربائية ومصدر الطاقة غير المتجددة الذي ينتج أكبر كمية من الطاقة الكهربائية.
2. **أقارن** بين مصادر الطاقة المتجددة والطاقة غير المتجددة من حيث كمية الطاقة الكهربائية المُنتَجة منهما.
3. **أرتّب** تصاعديًّا إنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر الطاقة غير المتجددة.



الشكل (15): استخدام المباني الذكية للتقليل من كميات الطاقة المُستهلَكة.

تقليل استهلاك الوقود الأحفوري

Reduce fossil fuel consumption

تستطيع دول العالم التقليل من استهلاك الوقود الأحفوري باستخدام طرائق مختلفة، منها: تطوير تكنولوجيا أكثر كفاءة في استخدام الطاقة، وتصميم المباني الجديدة الذكية وتخطيطها بحيث تأخذ في الحسبان التقليل من استخدام الطاقة، أنظر الشكل (15). وزيادة وعي المواطنين بأهمية تقليل استهلاك الوقود الأحفوري وتغيير سلوكهم، وزيادة كفاءة استهلاك الوقود في محركات السيارات وخاصة الوسائط العامة، واستخدام الوقود الحيوي أو بدائل الطاقة فيها.

تعديل السياسات الحكومية Changing Government Policies

يجب على الحكومات تشجيع المواطنين والمواطنات على الحد من استخدام الوقود الأحفوري عن طريق: تقليل استخدام المركبات الخاصة التي تعمل على الوقود الأحفوري، واستخدام المواصلات العامة أو السيارات الكهربائية بدلًا منها، واستخدام الطاقة الشمسية في توليد الطاقة الكهربائية، ويتم ذلك عن طريق تعديل التشريعات والسياسات، وتحديث منظومة النقل الجماعي، وإعطاء حوافز وتسهيلات للمواطنين والمواطنات لاستخدام المواصلات العامة والصديقة للبيئة.

التكيف مع التغير المناخي Climate Change Adaptation

تعلمت سابقًا أن التغير المناخي يؤثر في دول العالم كافة، وخاصة فيما يتعلق بارتفاع درجات الحرارة وزيادة فترات الجفاف وحوادث الفيضانات المتكررة والعواصف الشديدة، أنظر الشكل (16)، وتؤثر هذه المخاطر جميعها في مختلف القطاعات فيها، بما في ذلك: الزراعة، والتنوع الحيوي، والمياه، والصحة؛ لذلك على المجتمع التكيف مع هذه التغيرات لتخفيف آثارها.

أفكّرُ كيف تسهم السياسات والتشريعات التي تضعها الحكومات في التكيف مع آثار التغير المناخي؟

المؤسسات الرسمية والتكيف مع التغير المناخي:

Official Institutions and Climate Change Adaptation

تؤدي المؤسسات الرسمية دورًا حاسمًا في التكيف مع التغير المناخي عن طريق إجراءات عديدة، منها: تطوير السياسات التشريعية بصياغة سياسات وطنية إقليمية تهدف إلى التكيف مع آثار التغير المناخي، وقد طُوِّر أول إطار سياسات وطني للتكيف مع التغير المناخي في الأردن عام 2013. ومن الإجراءات أيضًا: مشاركة المؤسسات الرسمية في الجهود الدولية لمكافحة التغير المناخي عن طريق التزاماتها في اتفاقيات عالمية، مثل اتفاقية باريس للمناخ التي يُعدّ الأردن أحد الدول المشاركة فيها.

أفكّرُ كيف تسهم المؤسسات الرسمية في تخطيط المدن والمجتمعات بشكل يضمن التكيف مع التغيرات المناخية؟

وتسهم المؤسسات الرسمية والمؤسسات غير الحكومية في تخطيط المدن والمجتمعات بشكل يضمن التكيف مع التغيرات المناخية، مثل: تصميم مبانٍ أكثر مقاومة للفيضانات ودرجات الحرارة المرتفعة، وإنشاء أنظمة لجمع مياه الأمطار واستخدامها، وتحسين شبكات الصرف الصحي لمنع حدوث الفيضانات، وزيادة مساحة الأراضي الخضراء كالحدائق العامة.

الشكل (16): يؤدي التغير المناخي إلى تغيير في أنماط هطول الأمطار، مما يجعلها أقل تكرارًا وأقل غزارة في مناطق عديدة، مما يزيد من خطر الجفاف.

▲ الشكل (17): دور الشباب في التكيف مع التغير المناخي.

أبيّن دور الشباب في التكيف مع التغير المناخي.

الشباب والتكيف مع التغير المناخي

Youth and Climate Change Adaptation

يسهم الشباب في نشر الوعي حول القضايا المتعلقة في التغير المناخي وتأثيراته، وذلك عن طريق مبادرات التوعية عبر وسائل الإعلام الاجتماعية، والأنشطة المجتمعية، وحملات التثقيف في المدارس والجامعات، والتشجيع على تبنّي الأفراد والمؤسسات ممارسات مستدامة، خصوصًا أن لديهم القدرة على تنظيم مجتمعاتهم للتكيف مع التغير المناخي عن طريق المبادرات المحلية، مثل: إنشاء مشروعات للبنية التحتية المستدامة، أو تشكيل فرق تطوعية للتعامل مع الكوارث الطبيعية كالفيضانات والعواصف.

يساعد امتلاك الشباب مهارات متنوعة في استخدام التكنولوجيا الحديثة على تطوير حلول مبتكرة للتكيف مع آثار التغير المناخي، وتصميم تطبيقات وتقنيات جديدة لمراقبة التغيرات المناخية، وتحسين كفاءة استخدام الطاقة، أو تطوير تقنيات زراعية مقاومة للجفاف، أنظر الشكل (17). ويبرز دور الشباب في المناطق النائية في تبنّي ممارسات زراعية مبتكرة تتكيف مع التغيرات المناخية، مثل: استخدام أساليب الري الحديثة، أو اعتماد المحاصيل المقاومة للجفاف. ويدعم الشباب التحول نحو نظم زراعية أكثر استدامة عن طريق التدريب والمشاركة في برامج التكيف الزراعي.

المرأة والتكيف مع التغير المناخي

Women and Climate Change Adaptation

للمرأة دور كبير في التكيف مع التغير المناخي، ففي كثير من المجتمعات الريفية تُعدّ المرأة المسؤولة عن جمع المياه، والحطب، والطعام. ومن ثمّ لديها خبرة في إدارة الموارد الطبيعية بطرق مستدامة. عندما تتعرض هذه الموارد للضغط نتيجة التغير المناخي، تتبنّى المرأة ممارسات جديدة للتكيف، مثل: الحفاظ على المياه، واستخدام تقنيات الزراعة المستدامة.

تمثل المرأة في أغلب الدول النامية نسبة كبيرة من القوى العاملة في الزراعة، وهذا يجعلها في الخط الأمامي للتعامل مع تغيرات المناخ التي تؤثر في المحاصيل والموارد المائية عن طريق استخدام أساليب زراعية مقاومة لتغير المناخ. وأيضًا تؤدي المرأة دورًا قياديًّا في المجتمعات المحلية، إذ تعمل على تنظيم المبادرات الهادفة إلى تعزيز القدرة على التخفيف من انبعاثات غازات الدفيئة المسببة للتغير المناخي. عن طريق استخدام الطاقة المتجددة، مثل استخدام مواقد الطهي النظيفة، أنظر الشكل (18).

وتسهم المرأة بصورة كبيرة في نشر الوعي حول تأثيرات التغير المناخي على مستوى الأُسَر والمجتمعات المحلية عن طريق التعليم والتوعية، وتحفيز تغيير السلوكات اليومية، وغالبًا ما يَقُدْنَ جهود التعافي من الكوارث، بإعادة بناء المنازل، وتحسين الصحة، ودعم أفراد الأسرة الأكثر ضعفًا.

▲ الشكل (18): دور المرأة المجتمعي في الحد من التغير المناخي عن طريق استخدام مواقد الطهي النظيفة والمحافظة على المياه.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أذكر بعض الطرق التي يمكن بها التقليل من انبعاثات غازات الدفيئة وأخرى تساعدنا على التكيف مع آثار التغير المناخي.
2. **أفسّر:** لماذا يُستخدَم الوقود الأحفوري بكثرة على الرغم من مشكلاته البيئية؟
3. **أستنتج** المناطق الملائمة لبناء محطات طاقة الرياح.
4. أذكر ثلاثة مصادر للطاقة النظيفة.
5. **أستنتج:** لماذا يجب أن تتجاوز درجة حرارة المياه المُستخدَمة في طاقة الحرارة الجوفية $150\ ^{\circ}C$؟
6. **أُصدر حكمًا** على العبارة الآتية: تُعدّ الطاقة الكهرمائية أفضل الطرق لإنتاج الطاقة الكهربائية؛ لأنها نظيفة، ولا يوجد أي أضرار من استخدامها.
7. أوضح بعض السلوكات التي يمكن أن تزيد من مشكلة التغير المناخي.
8. أذكر ثلاثة أعمال يمكن أن ينفذها الشباب في المناطق النائية للتكيف مع آثار التغير المناخي.
9. أوضح كيف تسهم المرأة في نشر الوعي بالتغير المناخي على مستوى الأسرة.
10. **أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:**

1. من الإجراءات التي لا تُعدّ جزءًا من جهود المؤسسات الدولية للتكيف مع التغير المناخي:

أ . تصميم أنظمة لجمع مياه الأمطار. ب . تحسين شبكات الصرف الصحي.

جـ. زيادة الاعتماد على الوقود الأحفوري. د . زيادة مساحة الأراضي الخضراء.

2. طُوّر أول إطار سياسات وطني للتكيف مع التغير المناخي في الأردن عام:

أ . 2007 م. ب. 2013 م. جـ. 2015 م. د . 2020م.

3. من معيقات استخدام طاقة المد والجزر:

أ . الأماكن التي يمكن بناء المحطات فيها هي المناطق النائية. ب. ذات تأثير سلبي على البيئة البحرية.

جـ. تتأثر بالحالة الجوية وبالفصل من السنة. د . تنتج بعض غازات الدفيئة أحيانًا.

4. تختلف الطاقة الشمسية عن الطاقة الكهرمائية في أنها:

أ . طاقة نظيفة. ب. مرتفعة التكلفة الأولية.

جـ. يمكن أن تُستخدَم على نطاق ضيّق. د . ذات تأثير سلبي في البيئة.

5. جميع الطرق الآتية تقلل من استهلاك الوقود الأحفوري ما عدا:

أ .تطوير تكنولوجيا أكثر كفاءة في استخدام الطاقة. ب. استخدام الصخر الزيتي بدل النفط.

جـ. استخدام المنازل الذكية. د . استخدام الطاقة المتجددة.

الضّباب الدخانيّ Smog

جاءت تسمية الضّباب الدخانيّ، أو ما يعرَف (بالضّبخن) Smog من دمج كلمتَي دخان Smoke وضباب Fog، ويعَدّ الضباب الدخانيّ شكلًا من أشكال مُلوِّثات الهواء الناتجة من أنشطة الإنسان في المناطق الصناعية الكبيرة المكتظّة بالسكان، التي يكون فيها الهواء ساكنًا، وينشأ عندما يتفاعل ضوء الشمس مع المُلوِّثات الناتجة من احتراق الوقود الأحفوري؛ ما يؤدي إلى تركيز هذه الملوّثات في الهواء على هيئة غيمة تتكوّن من مجموعة من الغازات والقُطَيرات العالقة مع دقائق صُلبة، تلفُّ جوَّ المدينة وتسمّى الضّبخن.

عادةً ما يُميَّز بين نوعين من الضباب الدخاني وفقًا للفصل من السنة ونوع المُلوِّثات، وهما:

الضباب الدخاني الشتوي: يحدث في فصل الشتاء نتيجة احتراق النفط أو الفحم الحجري في محطات توليد الكهرباء. ويؤدي هذا النوع من الضباب الدخاني إلى إنتاج تراكيز عالية من أكاسيد الكبريت والهيدروكربونات، مكوّنًا ما يُسمّى الضبخن الكبريتي (Sulfurous Smog). يتسم هذا النوع من الضباب الدخاني بوجود دخان كثيف، ما يجعل الرؤية محدودة، وغالبًا ما يصاحبه انخفاض في درجات الحرارة؛ بسبب تراكم الهواء المُلوَّث في الطبقات السفلية من الغلاف الجوي.

الضباب الدخاني الصيفي: يحدث في فصل الصيف عندما تزداد تراكيز المُلوِّثات، مثل الأوزون (O_3)، وحمض النيتريك (HNO_3)، وثاني أكسيد النيتروجين (NO_2)، والهيدروكربونات (HC)، وأول أكسيد الكربون (CO)، بالتزامن مع وجود الأشعة الشمسية، وخاصة الأشعة فوق البنفسجية. يُعرّف هذا النوع بـ الضبخن الكيميائي الضوئي (Photochemical Smog)، ويُعدّ مُلوِّثًا ضارًّا بالجهاز التنفسي والنباتات.

الكتابةُ في الجيولوجيا

أكتب فقرة حول الضبخن الكيميائي الضوئي، ثمّ أشارِكُ ما أكتبهُ مع زملائي/ زميلاتي في الصفّ.

السؤال الأوّل:

أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

1. نسبة تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي المتكوّنة بفعل الأنشطة البشرية تشكّل تقريبًا:
   أ . 5 %
   ب. 20 %
   جـ. 45 %
   د . 70 %

2. أكثر القطاعات إنتاجًا لغازات الدفيئة هو قطاع:
   أ . الطاقة.
   ب. النفايات.
   جـ. الصناعة.
   د . الزراعة.

3. إذا علمت أن معامل انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج من احتراق البنزين يساوي $2.31\ kg\ CO_2/L$، فإن كمية غاز ثاني أكسيد الكربون بوحدة (kg) المنبعثة من احتراق 500 L من الديزل تساوي:
   أ . 0.00462 kg
   ب. 216.45 kg
   جـ. 1155 kg
   د . 2310 kg

4. تمتلك غازات الدفيئة القدرة على امتصاص الأشعة:
   أ . السينية.
   ب. تحت الحمراء.
   جـ. غاما.
   د . فوق البنفسجية.

5. تزداد الأشعة فوق البنفسجية التي تصل إلى سطح الأرض بسبب استنزاف:
   أ . الأوزون.
   ب. الميثان.
   جـ. بخار الماء.
   د . ثاني أكسيد الكربون.

6. المسؤول الأول عن التآكل الذي أصاب الأوزون في طبقة الستراتوسفير ممّا يأتي هو:
   أ . بخار الماء.
   ب. الفلوروكلوروكربون.
   جـ. أول أكسيد الكربون.
   د . ثاني أكسيد الكربون.

7. يوجد غاز الأوزون في الغلاف الجوي على ارتفاع يُقدَّر ما بين:
   أ . (20–30) km
   ب. (40–50) km
   جـ. (50–60) km
   د . (60–70) km

8. من أشكال تلوّث الهواء الناتج من تفاعل ضوء الشمس مع الغازات المنبعثة من احتراق الوقود الأحفوري:
   أ . الأشعة فوق البنفسجية.
   ب. الضباب الدخاني.
   جـ. المطر الحمضي.
   د . الأوزون.

9. ينتج الأوزون من تفاعل كيميائي بين ضوء الشمس وغاز:
   أ . الميثان.
   ب. الأكسجين.
   جـ. أول أكسيد الكربون.
   د . ثاني أكسيد الكربون.

10. يُنتَج غاز ثاني أكسيد الكربون في محرك السيارات التي تعمل بالبنزين وفق المعادلة:
   أ . $2C_8H_{18\,(g)} + 25O_{2\,(g)} \rightarrow 16CO_{2\,(g)} + 18H_2O_{\,(g)} + \text{energy}$
   ب. $C_6H_{8\,(g)} + O_{2\,(g)} \rightarrow 2CO_{2\,(g)} + 3H_2O_{\,(g)} + \text{energy}$
   جـ. $C_4H_{12\,(g)} + 6O_{2\,(g)} \rightarrow 3CO_{2\,(g)} + 8H_2O_{\,(g)} + \text{energy}$
   د . $4C_6H_{8\,(g)} + 6O_{2\,(g)} \rightarrow 5CO_{2\,(g)} + 12H_2O_{\,(g)} + \text{energy}$

11. يُتوقَّع أن يرتفع منسوب مستوى سطح البحر بمقدار (0.4–0.63) m بحلول عام:
   أ . 2030م.
   ب. 2050م.
   جـ. 2070م.
   د . 2100م.

12. يوجد الأوزون بصورة رئيسة ضمن طبقة:
   أ . الثيرموسفير.
   ب. الأيونوسفير.
   جـ. التروبوسفير.
   د . الستراتوسفير.

13. أكثر غازات الدفيئة التي تساعد على ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض هو:
   أ . ثاني أكسيد الكربون.
   ب. ثاني أكسيد الكبريت.
   جـ. بخار الماء.
   د . الميثان.

14. الغاز الذي يسبّب تكوّن الهطل الحمضي هو:
   أ . ثاني أكسيد النيتروجين.
   ب. أوّل أكسيد الكربون.
   جـ. بُخار الماء.
   د . الميثان.

15. إذا افترضت عدم وجود ظاهرة الاحتباس الحراري على الأرض، فأي من العبارات الآتية صحيحة؟
   أ . تكون درجة حرارة الأرض متساوية.
   ب. ترتفع درجة حرارة سطح الأرض.
   جـ. تنخفض درجة حرارة سطح الأرض.
   د . ينصهر الغطاء الجليدي في القطبين.

السؤال الثاني:

أملأ الفراغ في ما يأتي بما هو مناسب من المصطلحات:

أ . معظم الطاقة التي نستخدمها تأتي من حرق الأشكال المختلفة من الوقود الأحفوري، مثل: .....، ..... ،.....

ب. تسمّى الطاقة المتجددة التي تستخدم في إنتاج الطاقة الكهربائية بفعل حركة المياه.....

جـ. تفاعل كيميائي يحدث فيه اتّحاد الأكسجين مع عناصر الكربون والهيدروجين هو .....

د . تُعرَف الزيادة التدريجية في معدّلات درجات الحرارة العالمية الناجمة عن النشاطات الطبيعية والإنسانية بـــ .....

هـ. تسمّى الطاقة التي لا تنفد وهي غير ملوثة للبيئة الطاقة: .....

السؤال الثالث:

أفسّر كلًّا مما يأتي تفسيرًا علميًّا دقيقًا:

أ . يسهم الهطل الحمضي في تآكل الصخور والمنشآت.

ب. عند دخولي بيتًا زجاجيًّا أشعر بتأثير ظاهرة الاحتباس الحراري.

جـ. يُعدّ غاز الأوزون ملوِّثًا خطِرًا إذا وجِدَ قُربَ سطح الأرض في طبقة التروبوسفير.

د . يحدّ التقليل من استخدام الوقود الأحفوري من الاحترار العالمي.

السؤال الرابع:

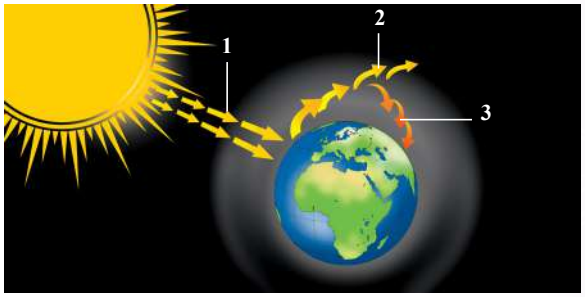
أوضّح العلاقة بين كلّ مصطلحين مما يأتي:

أ . تركيز غازات الدفيئة – التغير المناخي.

ب. الهطل الحمضي – الوقود الأحفوري.

السؤال الخامس:

أتتبّع ما تشيرُ إليه الأرقام (1، 2، 3) في الشكل الآتي الذي يوضّح ظاهرة الاحتباس الحراريّ.



السؤال السادس:

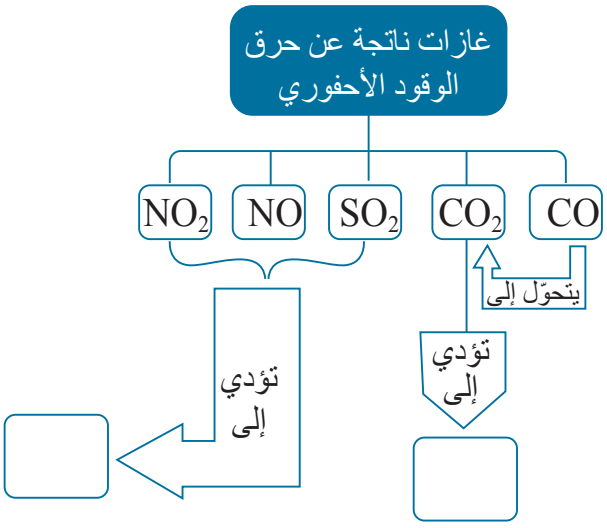
أوضّح ظاهرة الاحترار العالمي ، وأبيّن أهمّ العوامل المسبِّبة لها، وأبرز آثارها على الكائنات الحيّة؛ ثم أقترح طرُقًا لمعالجتها والحدّ منها.

السؤال السابع:

أوضّح: كيف يمكن الحدّ من انصهار مستودعات الجليد التي تهدّد العالم بالغرق بسبب ارتفاع درجات الحرارة المتزايد المرتبط بزيادة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي؟

السؤال الثامن:

أكمِلُ الخريطة المفاهيميّة الآتية التي توضّح غازات ناتجة عن حرق الوقود الأحفوري والظواهر الناتجة منها.



السؤال التاسع:

أستنتج: العلاقة بين زيادة تركيز غازات الدفيئة وارتفاع مستوى سطح البحر.

السؤال العاشر:

أقارن بين طاقة الرياح والطاقة الشمسية من حيث: أماكن استخدامها، والضجيج الناتج عن استخدام كل منهما.

السؤال الحادي عشر:

أناقش مدى صحة العبارة الآتية: «توصف ظاهرة الاحتباس الحراريّ بأنها ضرورية للحياة على سطح الأرض».

السؤال الثاني عشر:

أستنتج: ماذا يحدث إذا استمرت عملية استنزاف الأوزون ضمن طبقة الستراتوسفير؟

السؤال الثالث عشر:

أكتب معادلات تكوُّن غاز الأوزون واستهلاكه.

الوحدة 2

التّراكيب الجيولوجيّة

Geological Structures

قال تعالى:

﴿وَٱلۡأَرۡضِ ذَاتِ ٱلصَّدۡعِ﴾

(سورة الطارق : الآية 12)

أتأمّل الصّورة

الأصل في الصّخور الرسوبيّة أن تتوضّع في الطبيعة على شكل طبقات أفقيّة، إلا أنها قد تتعرّض لقُوى تُشوِّهُها، ما يؤدي إلى مَيلها أو طيّها أو كسرها.

فما المقصود بتشوّه الصّخور؟ وماذا نسمّي التشوّهات التي تحدث للصّخور نتيجة تعرُّضها لقُوى معيّنة؟

الفكرة العامّة:

تنتُج التّراكيب الجيولوجيّة عند تعرُّض صخور القشرة الأرضيّة لقُوى مختلفة. ومن الأمثلة على هذه التراكيب: الصُّدوع، والطيّات.

الدرس الأول: تشوّه الصّخور

الفكرة الرئيسة: تتعرّض صخور القشرة الأرضيّة إلى قُوى قد تغيّر من شكلها أو حجمها أو كليهما معًا، ويعتمد هذا التغيّر على عوامل عدّة، منها: نوع الإجهاد.

الدرس الثاني: الصُّدوع

الفكرة الرئيسة: تظهر الصُّدوع في صخور القشرة الأرضيّة بأشكال مختلفة؛ اعتمادًا على مَيل مستوى الصَّدع، والحركة النّسبيّة بين الكُتلتين الصخريّتين على جانبَيْ مستوى الصَّدع.

الدرس الثالث: الطيّات

الفكرة الرئيسة: تنتُج الطيّات من تعرُّض الطبقات الصّخريّة إلى إجهادات، منها إجهاد الضغط، فتتقوّس نحو الأعلى، أو نحو الأسفل. وتُصنَّف الطيّات اعتمادًا على أسس عدّة منها: اتجاه التقوّس، وزاوية مَيل المستوى المحوريّ.

تجربة استهلالية

كيف تؤثّر القُوى المختلفة في صخور القشرة الأرضيّة؟

تتخذ الصّخور في الطبيعة أشكالًا مختلفة، إلا أنها لا تبقى على حالها، إذ تتغيّر بفعل القُوى المختلفة التي تتعرّض لها.

الموادّ والأدوات: عصًا خشبيّة رقيقة، معجون أطفال (صَلصال).

إرشادات السّلامة:

- الحذر في أثناء كسر العصا عند تنفيذ خطوات التجربة.

خطوات العملِ:

1. أُمسك العصا الخشبيّة، ثم أثني طرفيها نحو الداخل قليلًا وبلطف، ثم أتركها، وأدوِّن ملاحظاتي.
2. أُمسك العصا الخشبيّة، ثم أثني طرفيها نحو الداخل بقوّة وبسرعة أكبر، وأدوِّن ملاحظاتي.
3. أُشكِّل أسطوانة من قطعة المعجون بسُمك العصا الخشبيّة الرقيقة وطولها.
4. أكرِّر الخُطوتين السابقتين (1، 2) باستخدام أسطوانة المعجون، ثم أدوِّن ملاحظاتي.

التّحليل والاستنتاج:

1. **أقارِن** بين التغيّر الذي حصل على شكل العصا الخشبيّة الرقيقة عند دفع طرفيها باتجاهين متعاكسين نحو الداخل في الخطوتين (1،2).
2. **أستنتج** نوع القوّة التي أثّرت بها في العصا الخشبيّة وأسطوانة المعجون.
3. **أفسّر** سبب اختلاف سلوك العصا الخشبيّة، وسلوك أسطوانة المعجون بالرّغم من تشابُه نوع القوّة المؤثّرة فيهما.
4. **أتوقّع:** هل تسلك صخور القشرة الأرضيّة المختلفة في الطبيعة سلوكَ العصا الخشبيّة الرقيقة، وسلوك أسطوانة المعجون عندما تتأثر بالقُوى المختلفة؟

الدرس 1

تشوُّه الصّخور
Deformation of Rocks

الفكرة الرئيسة:

تتعرّض صخور القشرة الأرضيّة إلى قُوى قد تغيِّر من شكلها أو حجمها أو كليهما معًا، ويعتمد هذا التغيّر على عوامل عدّة، منها: نوع الإجهاد.

نتاجات التعلّم:

- أوضّح المقصود بتشوُّه الصّخور، والتراكيب الجيولوجيّة.
- أصف العلاقة بين الإجهاد والمطاوَعة لمادّة هشّة وأخرى لَدِنة.
- أميّز بين أنواع الإجهادات الثلاثة.
- أربط بين نوع التركيب الجيولوجي ونوع الإجهاد الذي أثّر فيه.

المفاهيم والمصطلحات:

التشوُّه	Deformation
التراكيب الجيولوجيّة	Geological Structures
الإجهاد	Stress
المطاوَعة	Strain
التشوُّه الهَشّ	Brittle Deformation
التشوُّه اللّدِن	Plastic Deformation

التراكيب الجيولوجيّة Geological Structures

تعلّمتُ في صفوف سابقة أن صخور القشرة الأرضيّة بأنواعها المختلفة تتوضَّع بأشكال مختلفة معيَّنة عند تكوُّنها، إلا أنها مع مرور الزمن قد تتعرّض لقُوًى خارجيّة، أو قُوًى داخليّة تُغيّر من شكلها أو حجمها أو الاثنين معًا، ويُسمّى هذا التغيّر الذي يحدث على الصّخور وهي في الحالة الصُّلبة **التشوُّه Deformation**، وتُسمّى المظاهر أو التشوّهات التي تحدث في الصّخور نتيجة تلك القوى **التراكيب الجيولوجيّة Geological Structures.** أنظر الشكل (1) الذي يمثّل أحد التراكيب الجيولوجيّة.

ولكن على ماذا يعتمد تشوُّه الصّخور، وتكوُّن التراكيب الجيولوجيّة المختلفة؟

الشكل (1): أحد التراكيب الجيولوجيّة الناتجة من تشوُّه الصّخور الرسوبية غرب قرية دلاغة جنوب الأردن.

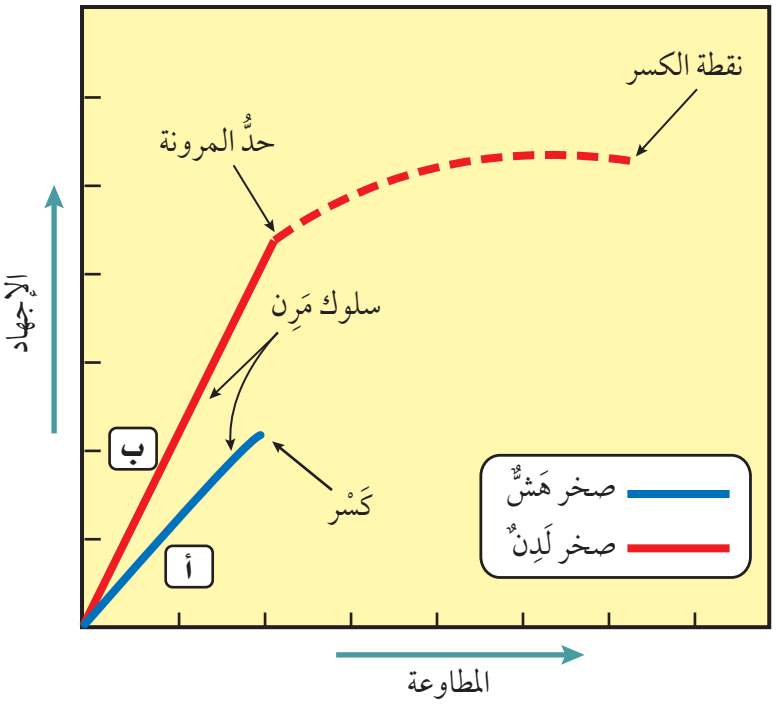
أصف التركيب الجيولوجي في الصّخور الرسوبية.

الإجهاد والمطاوَعة Stress and Strain

تُسمّى القوّة المؤثِّرة في وحدة المساحة من الصّخر **الإجهاد Stress**، ويُقاس الإجهاد بوحدة (N/m^2)، وما يحدث للصّخور من استجابة له كالتغيّر في شكلها أو حجمها أو كليهما معًا تُسمّى **المطاوَعة Strain**. وتعتمد مطاوَعة الصّخور على مقدار الإجهاد المؤثّر فيها وعلى نوعه، وتختلف في الطبيعة تبَعًا إلى نوعها؛ إذ تسلك الصّخور الهشّة والصّخور اللّدِنة عند تعرّضهما لإجهاد أقلّ من حدّ المرونة - وهو الحدّ الذي لا يمكن للصّخور بعده أن تعود إلى وضعها الأصلي الذي كانت عليه قبل تأثّرها بالإجهاد - سلوكًا مرِنًا؛ أي تعود إلى وضعها الأصلي الذي كانت عليه عند زوال الإجهاد عنها. وعند زيادة الإجهاد على الصّخور الهشّة على حدّ المرونة، فإنها تنكسر. أما في الصّخور اللّدِنة، فإن زيادة الإجهاد المؤثّر فيها عن حدّ المرونة يؤدي إلى تغيير شكلها وحجمها من غير كسرها، وعند زيادة الإجهاد فيها حدًّا يتجاوز نقطة الكسر تنكسر، أنظر الشكل (2) الذي يوضح سلوك الصّخر الهشّ والصّخر اللّدِن، فالصّخر الهشّ (أ) والصّخر اللّدِن (ب) يسلكان سلوكًا مرِنًا عند زيادة الإجهاد المؤثّر فيهما قبل حدّ المرونة. أما بعد هذا الحدّ، فإن الصّخر (أ) ينكسر، والصّخر (ب) ينثني، ثم بزيادة الإجهاد عليه ينكسر.

الرّبط بالفيزياء

يُشار إلى وحدة قياس الإجهاد (N/m^2) بوحدة الباسكال.



الشكل (2): الإجهاد والمطاوَعة في الصّخور الهشّة واللّدِنة.

أبيِّن ماذا يحدث للصّخور اللّدِنة بعد استمرار تعرُّضها للإجهاد الذي يزيد على حدّ المرونة.

العوامل التي يعتمِد عليها تشوُّه الصّخور

Factors Affecting Deformation of Rocks

تؤثّر مجموعة من العوامل في استجابة الصّخور للإجهادات المختلفة المؤثّرة فيها وتشوُّهها، ما يؤدي إلى اختلاف التراكيب الجيولوجيّة الناتجة منها، وهي: نوع الصّخور، ونوع الإجهاد، ودرجة الحرارة، والزمن.

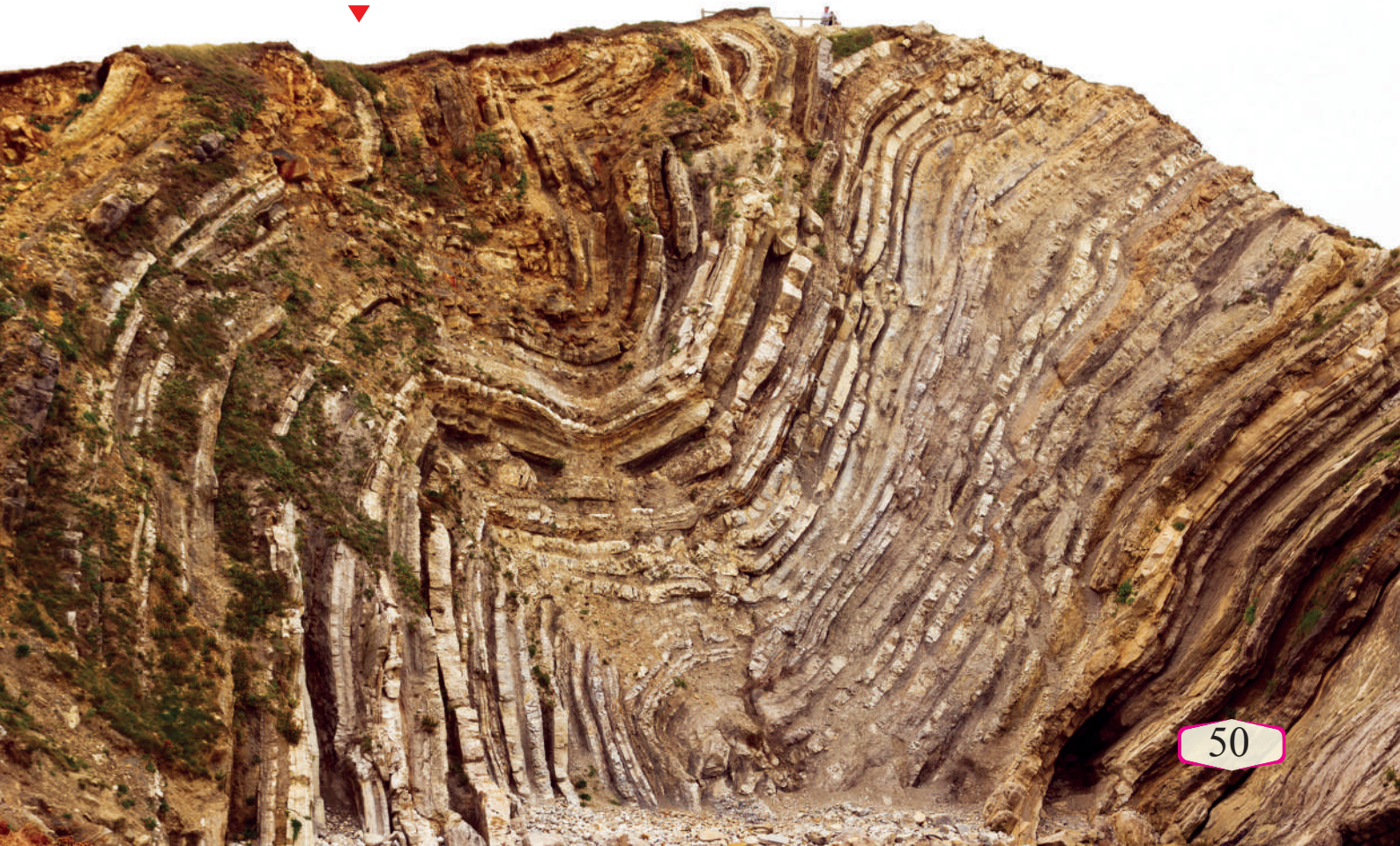
أنواع الصّخور Types of Rocks

عرفتُ سابقًا أن الصّخور في الطبيعة تختلف في مطاوَعتها، فقد تكون صُخورًا هشّة، أو صُخورًا لَدِنة، وأن الصّخور الهشّة تنكسر عند زيادة الإجهاد المؤثّر فيها على حدّ المرونة، ويُسمّى تشوُّه الصّخور الهشّة عند كسرها **التشوُّه الهشّ Brittle Deformation**. ومن الأمثلة عليها: صخور البازلت، وصخور الصوّان. أنظر الشكل (3). أما الصّخور اللّدِنة، فتنثني عند زيادة الإجهاد المؤثّر فيها على حدّ المرونة، ويسمّى تشوُّه الصّخور اللّدِنة **التشوُّه اللّدِن Plastic Deformation**، ومن الأمثلة عليها: الصّخور الطينيّة، وصخور الغَضار. أنظر الشكل(4).

الشكل (3): صخور رسوبيّة يظهر فيها التشوّه الهشّ؛ نتيجة زيادة الإجهاد المؤثّر فيها على حدّ المرونة.

أفكّرُ متى يمكن أن تعود الصّخور إلى وضعها الأصليّ الذي كانت عليه بعد زوال الإجهاد المؤثّر فيها؟

الشكل (4): صخور رسوبيّة يظهر فيها التشوّه اللّدِن؛ نتيجة زيادة الإجهاد المؤثّر فيها على حدّ المرونة.



أنواع الإجهاد Types of Stress

تختلف التراكيب الجيولوجيّة الناتجة من مطاوَعة الصّخور الهشّة والصّخور اللّدِنة باختلاف نوع الإجهاد المؤثّر فيها، إذ إن للإجهاد ثلاثة أنواع؛ اعتمادًا على اتّجاه القوّة المؤثّرة على الصّخر، وهي: الضّغط، والشّد، والقصّ. أنظر المخطّط المفاهيمي الوارد في الشكل (5) الذي يبيّن أنواعًا مختلفة من الإجهاد.

الشكل (5): أنواع الإجهاد.

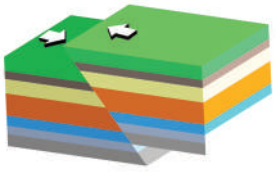
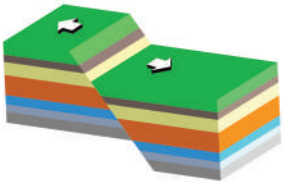
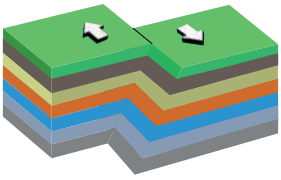
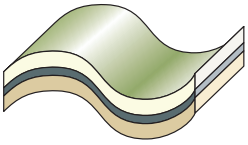
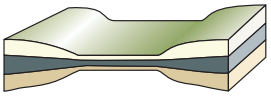
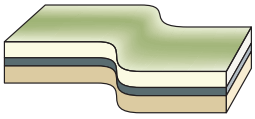
أقارن بين إجهاد الضّغط، وإجهاد القصّ من حيث اتّجاه القوّة المؤثّرة في الصّخور.

ولتعرُّف أثر أنواع الإجهاد في الصّخور الهشّة، والصّخور اللّدِنة أنفّذ النشاط الآتي:

نشاط

أثر أنواع الإجهاد في الصّخور المختلفة

يوضّح الجدول الآتي أثر أنواع الإجهاد المختلفة في كلّ من: الصّخور الهشّة، والصّخور اللّدِنة. أدرس الأشكال في كلّ منها، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليها:

نوع الإجهاد	ضغط	شد	قصّ
الصّخور الهشّة	 (س) كسْر بسبب الضّغط	 (ص) كسْر بسبب الشّد	 (ع) كسْر بسبب القصّ
الصّخور اللّدِنة	 (ل) طيّ بسبب الضّغط	 (م) اتساع وتقليل السُّمْك في الوسط وانتفاخ الأطراف في الصّخور	 (ن) طيّ بسبب القصّ

التّحليل والاستنتاج:

1 . أحدّد نوع الإجهاد المؤثّر في الصّخور الهشّة (س، ص).

2 . أوضّح تأثير أنواع الإجهاد في الصّخور الهشّة.

3 . **أصف** أثر أنواع الإجهاد المختلفة في الصّخور اللّدِنة (ل، م، ن).

4 . أوضّح تأثير إجهاد الشّد في كلّ من: الصّخور الهشّة، والصّخور اللّدِنة.

5 . **أتوقّع:** ماذا تسمّى التراكيب الجيولوجيّة الناتجة من إجهاد الضّغط في الصّخور الهشّة والصّخور اللّدِنة؟

توصّلت من النشاط السابق إلى أن نوع الإجهاد يحدّد نوع التركيب الجيولوجيّ الناتج منه، فالصّخور الهشّة عندما تتعرّض للإجهادات تنكسر بحسب نوع الإجهاد المؤثّر فيها، وتسمّى التراكيب الناتجة من الإجهادات المختلفة المؤثّرة في الصّخور الهشّة **الصُّدوعَ**. أما الصّخور اللّدِنة عندما تتعرّض للإجهادات، فإنها تنثني أو تقل سماكتها في الوسط بحسب نوع الإجهاد المؤثّر فيها، وتُسمّى التراكيب الجيولوجيّة الناتجة من إجهادَي الضّغط والقصّ المؤثّرين في الصّخور اللّدِنة **الطيّاتِ**.

درجة الحرارة Temperature

تسهم درجة الحرارة في تعديل سلوك الصّخور الهشّة؛ ليصبح سلوكًا لدِنًا. فصخور القشرة الأرضيّة التي توجد بالقرب من سطح الأرض يتغيّر سلوكها فيصبح سلوكًا لدِنًا إذا كانت في باطن الأرض؛ لارتفاع درجة الحرارة بزيادة العُمق بفعل المَمال الحراريّ الأرضيّ. أنظر الشكل (6).

الزّمن Time

يعدّل الزّمن سلوك الصّخور الهشّة ليصبح سلوكًا لدِنًا؛ بسبب بقاء الصّخور مُدَدًا زمنيّة طويلة تحت تأثير الإجهاد، دون حدّ المرونة.

✓ **أتحقّق:** أبيّن أثر درجة الحرارة في سلوك الصّخور الهَشّة.

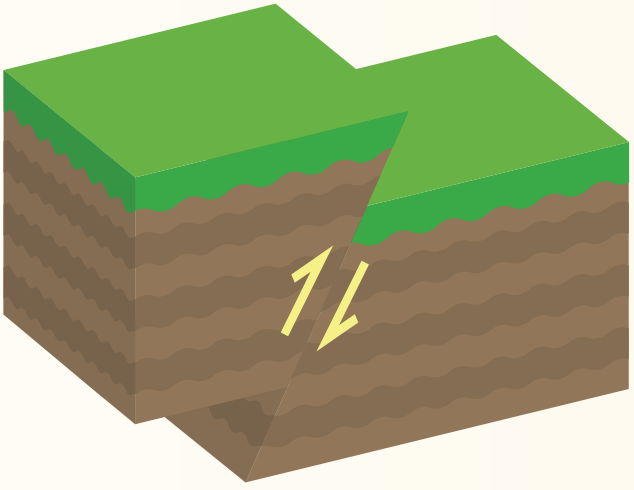
أعملُ فيلمًا قصيرًا باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضِّح أثر الإجهادات المختلفة في الصّخور الهشّة واللّدِنة، وأحرص على استخدام خاصّية الردّ الصّوتيِّ فيه لإضافة الشّروح المناسبة، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصفّ.

الشكل (6): تسلك صخور الصوّان الهشّة سلوكًا لدِنًا؛ نتيجة تأثّرها بعامل درجة الحرارة.

أحدّد نوع التركيب الجيولوجيّ في صخور الصوّان.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أحدّد العوامل التي يعتمد عليها تشوُّه الصّخور.
2. أوضّح المقصود بكل من: الإجهاد، والمطاوَعة، والتراكيب الجيولوجيّة.
3. أصف أثر إجهاد الشّد في الصّخور اللّدِنة.
4. أوضّح تأثير درجة الحرارة في تعديل سلوك الصخور الهشّة.
5. أدرس الشكل الآتي، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



أ. أستنتج نوع الإجهاد الذي أثّر في الصّخور.

ب. أحدّد نوع التشوّه في الصّخور؛ نتيجة تأثّرها بالإجهاد الواقع عليها.

جـ. أحدّد: ما نوع التركيب الجيولوجيّ الناتج؟

6. **أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:**

1. أي من الآتية يحدث للصخور الهشة عندما تتعرض إلى إجهاد يزيد على حد المرونة ثم يزول الإجهاد؟

أ . يتغير شكلها ثم تعود إلى وضعها الأصلي.

ب. يتغير شكلها ولا تعود إلى وضعها الأصلي.

جـ. تنكسر ولا تعود إلى وضعها الأصلي.

د . يتغير شكلها ثم تنكسر ولا تعود إلى وضعها الأصلي.

2. من العوامل التي لا تؤثر في كيفية تشوّه الصخر:

أ . الزمن.

ب. عمر الصخر.

جـ. نوع الصخر.

د . درجة الحرارة.

3. يمكن أن تعود الصخور إلى وضعها الأصلي بعد زوال الإجهاد المؤثر فيها عندما:

أ . لا تتجاوز حد المرونة أثناء تعرضها للإجهاد.

ب. تتعرض لدرجة حرارة مرتفعة مُددًا زمنية طويلة.

جـ. تتجاوز حد المرونة أثناء تعرضها للإجهاد.

د . تتجاوز نقطة الكسر.

4. أي من الآتية يحدث للصخور اللَّدِنة عندما تتعرض إلى إجهاد يزيد على حد المرونة ثم يزول الإجهاد؟

أ . يتغير شكلها ثم تعود إلى وضعها الأصلي.

ب. يتغير شكلها ولا تعود إلى وضعها الأصلي.

جـ. تنكسر ولا تعود إلى وضعها الأصلي.

د . يزداد حجمها وتعود إلى وضعها الأصلي.

5. أي من العوامل الآتية لا تعتمد عليها المطاوعة في الصخور؟

أ . مقدار الإجهاد.

ب. نوع الإجهاد.

جـ. نوع الصخر

د . عمر الصخر.

الصُّدوع
Faults

الدرس 2

الفكرة الرئيسة:

تظهر الصُّدوع في صخور القشرة الأرضيّة بأشكال مختلفة؛ اعتمادًا على: مَيل مستوى الصّدع، والحركة النّسبيّة بين الكُتلتين الصّخريّتين على جانبَيْ مستوى الصَّدع.

نتاجات التعلّم:

- أوضّح المقصود بالصَّدع.
- أميّز أنواع الصُّدوع المختلفة.
- أربط بين نوع الصَّدع ونوع الإجهاد المتسبِّب في نشأته.
- أوضّح المقصود بأنظمة الصُّدوع.

المفاهيم والمصطلحات:

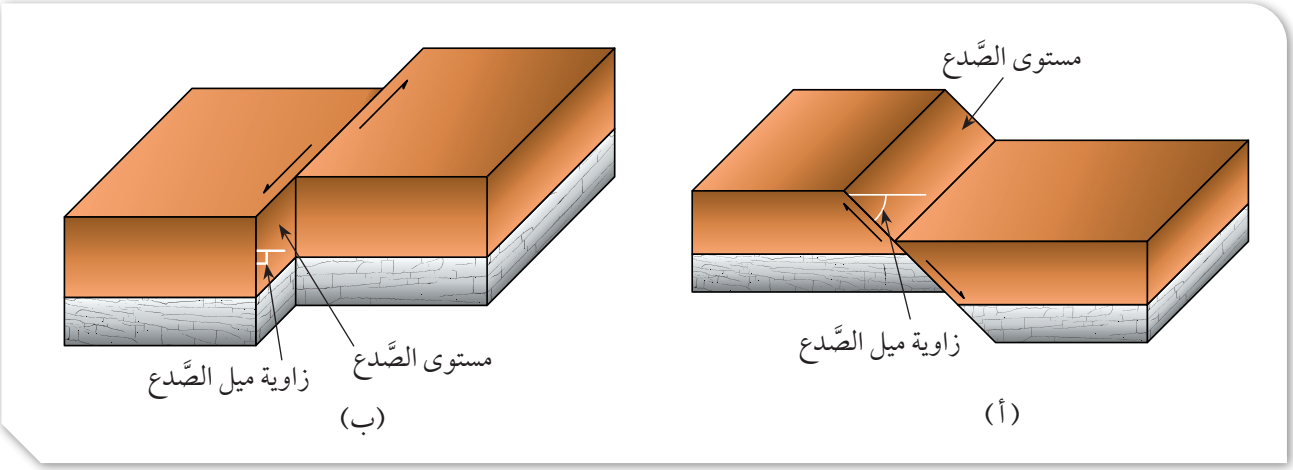
الصَّدع	Fault
مستوى الصَّدع	Fault Plane
الجدار المُعلَّق	Hanging Wall
الجدار القَدَم	Foot Wall
الصُّدوع العاديّة	Normal Faults
الصُّدوع العكسيّة	Reverse Faults
الصُّدوع الجانبيّة	Strike – Slip Faults
الصُّدوع الدرجيّة	Step Faults
الأحواض الخَسْفيّة	Grabens
الكُتل الاندفاعيّة	Horsts

مفهوم الصَّدع Concept of Fault

تعلَّمتُ سابقًا أن الطبقات الصّخريّة قد تتعرّض إلى إجهادات مختلفة تسبّب تشوّهَها، وينتج من هذه الإجهادات تراكيب جيولوجيّة مختلفة. وتُعَدّ الصُّدوع أحد هذه التراكيب الجيولوجيّة. فما المقصود بالصُّدوع؟ وما أنواعها؟

يُعرّف الصَّدع **الصَّدعُ Fault** بأنّه كسر يحدث في صخور القشرة الأرضيّة، وينتج منه كُتلتان صخريّتان تتحرّكان بصورة موازية لسطح الكسر. وقد تتحرّك الكُتلتان في الصُّدوع على جانبَي الكسر حركة رأسيّة أو أفقيّة، وغالبًا ما تبقى الكُتلتان متلامِسَتين. أنظر الشكل (7).

الشكل (7): في الصُّدوع تتحرّك الكُتَل الصّخريّة بصورة موازية لسطح الكسر.



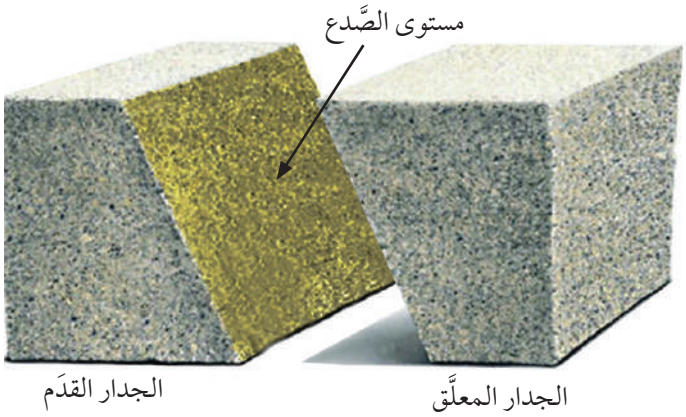
لاحظ الجيولوجيّون اختلاف الأشكال التي تظهر فيها الصُّدوع في صخور القشرة الأرضيّة. ولتسهيل دراسة الصُّدوع وتمييزها في الميدان عملوا على تحديد أجزاء لها.

أجزاءُ الصَّدع Fault Parts

- **مستوى الصَّدع Fault Plane** هو السطح الذي تتحرّك عليه الكُتل الصّخريّة. وقد يكون مستوى الصَّدع مائلًا عندما تكون زاوية المَيل (ميل الصَّدع) التي يصنعها مع المستوى الأفقيّ أكبرَ من صفر وأقلّ من 90°، أو قد يكون مستوى الصَّدع رأسيًّا عندما تكون زاوية المَيل التي يصنعها مع المستوى الأفقيّ تساوي 90°. أنظر الشكل(8/ أ، ب).
- **الجدار المُعلَّق Hanging Wall** هو الكُتلة الصّخريّة التي تقع فـوق مستوى الصَّدع المائل.
- **الجدار القدَم Foot Wall** هو الكُتلة الصّخريّة التي تقع أسفلَ مستوى الصَّدع المائل.

أنظر الشكل (9) الذي يوضّح مستوى الصَّدع، والجدار المعلَّق، والجدار القدَم.

▲ الشكل (8):
(أ): مستوى الصَّدع يصنع زاوية أقلّ من 90° مع المستوى الأفقيّ.
(ب): مستوى الصَّدع يصنع زاوية مقدارها 90° مع المستوى الأفقيّ.



الشكل (9): الجدار المعلَّق والجدار القدَم.

أتوقّع سبب تسمية كلّ من: الجدار المعلَّق، والجدار القدَم بهذا الاسم.

تصنيف الصُّدوع Faults Classification

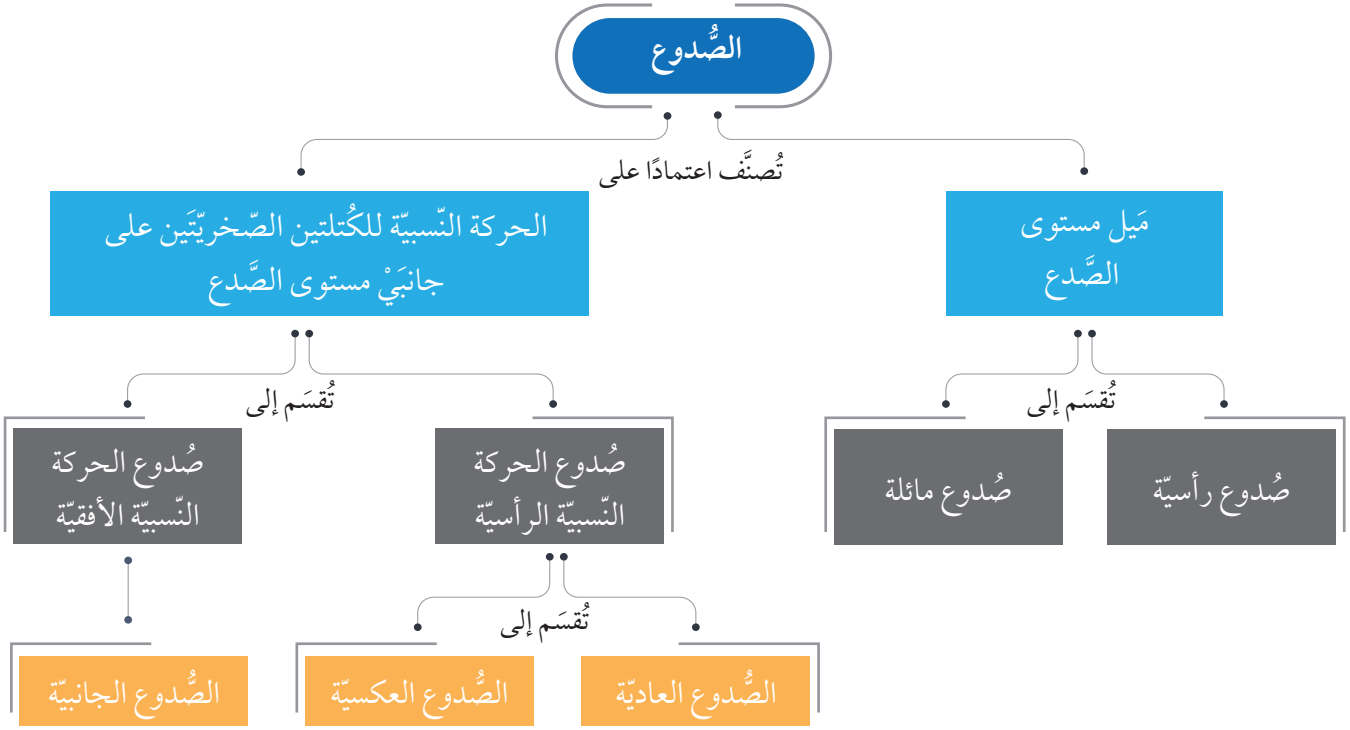
تُصنَّف الصُّدوع اعتمادًا على مَيل مستوى الصَّدع إلى: صُدوع رأسيّة يكون فيها مستوى الصَّدع رأسيًّا، وصُدوع مائلة يكون فيها مستوى الصَّدع مائلًا.

وتُصنَّف الصُّدوع أيضًا اعتمادًا على الحركة النّسبيّة للكُتلتين الصّخريّتين على جانبَيْ مستوى الصَّدع إلى: صُدوع الحركة النّسبيّة الرأسيّة التي تتحرّك فيها الكُتلتان الصّخريّتان حركة نسبيّة للأعلى، وللأسفل على مستوى الصَّدع، وصُدوع الحركة النّسبيّة الأفقيّة التي تتحرّك فيها الكُتلتان الصّخريّتان حركة نسبيّة جانبيّة أفقيّة على مستوى الصَّدع.

تُقسَم صُدوع الحركة النّسبيّة الرأسيّة إلى نوعين: الصُّدوع العاديّة، والصُّدوع العكسيّة. أما صُدوع الحركة النّسبيّة الأفقيّة، فتُسمّى الصُّدوع الجانبيّة. أنظر المخطَّط المفاهيمي الوارد في الشكل (10).

أفكّرُ هل يمكن تمييز الجدار المعلَّق، والجدار القدَم في الصُّدوع الرأسيّة؟ لماذا؟

الشكل (10): تصنيف الصُّدوع اعتمادًا على مَيل مستوى الصَّدع، والحركة النّسبيّة للكُتلتين الصّخريّتين على جانبَيْ مستوى الصَّدع.

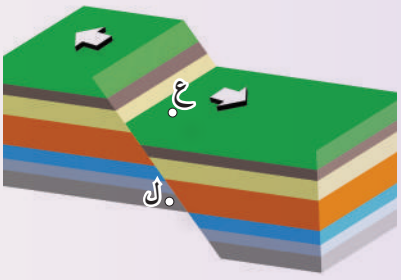


ولتعرُّف الصُّدوع الناتجة من الحركة النّسبيّة للكُتلتين الصّخريّتين على جانبَي مستوى الصَّدع، أنفّذ النشاط الآتي:

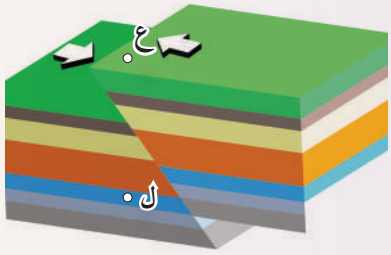
نشاط

صُدوع الحركة النّسبيّة للكُتلتين الصّخريّتين على جانبَيْ مستوى الصّدع

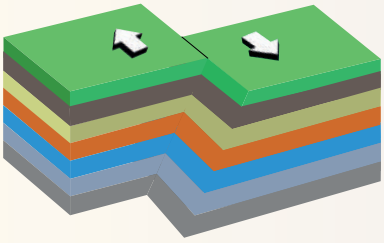
تتحرّك الكُتلتان الصّخريّتان على جانبَيْ مستوى الصَّدع إمّا حركة نسبيّة رأسيّة، أو حركة نسبيّة أفقيّة، وتختلف أنواع الصُّدوع تبَعًا لاختلاف هاتين الحركتين. أدرس الأشكال الآتية التي تمثّل هذه الأنواع المختلفة من الصُّدوع، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليها:



صَدْع عاديّ



صَدْع عكسيّ

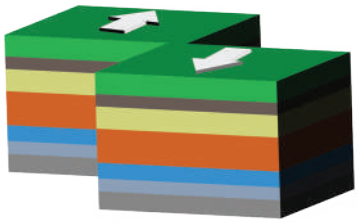


صَدْع جانبيّ

التّحليل والاستنتاج:

1. أبيّن نوع الحركة النّسبيّة للكُتلتين الصّخريّتين على جانبَيْ مستوى الصَّدع في كل من: الصَّدع العاديّ، والصَّدع العكسيّ، والصَّدع الجانبيّ.
2. **أصف** الصَّدع العاديّ والصَّدع العكسِيّ من حيث مَيل مستوى الصَّدع.
3. أحدّد مستوى الصَّدع، والجدار المعلَّق، والجدار القدَم لكل من: الصَّدع العاديّ، والصَّدع العكسيّ.
4. **أقارن** بين الصَّدع العاديّ والصَّدع العكسيّ من حيث حركة الجدار المعلَّق نسبة إلى الجدار القدَم.
5. أحدّد نوع الإجهاد المؤثّر في الصّخور في الأنواع الثلاثة من الصُّدوع.
6. **ألاحظ:** هل تتكرّر الطبقات التي يقطعها الخطّ الرأسيّ الذي أرسمه من النقطة (ع) إلى النقطة (ل) في كل من الصَّدعين العاديّ والعكسيّ؟

الشكل (11): أحد الصُّدوع العكسيّة على طريق عمّان التنموي المعروف بشارع الـ100.



الشكل (12): صَدْع جانبيّ مستوى الصَّدع فيه رأسيّ.

يتبيّن من النشاط السابق أن **الصُّدوع العاديّة Normal Faults** و**الصُّدوع العكسيّة Reverse Faults** هي صُدوع ناتجة من الحركة الرأسيّة للكُتلتين الصّخريّتين على جانبَيْ مستوى الصَّدع، وتُعَدُّ صُدوعًا مائلة؛ لأن مستوى الصَّدع فيها مائل، إذ يتحرّك الجدار المعلّق إلى الأسفل نسبة إلى الجدار القدَم في الصُّدوع العادية، في حين يتحرّك الجدار المعلَّق إلى الأعلى نسبة إلى الجدار القدَم في الصُّدوع العكسيّة، أنظر الشكل (11) الذي يبيّن صدعًا عكسيًّا في عمان. أما **الصُّدوع الجانبيّة Strike – Slip Faults**، فتنتج من الحركة الجانبيّة الأفقيّة للكُتلتين الصّخريّتين على جانبَيْ مستوى الصَّدع، ويكون مستوى الصَّدع فيها رأسيًّا، وأحيانًا قد يكون مائلًا، أنظر الشكل (12). ومن أشهر الصُّدوع الجانبية في الأردن: صَدع البحر الميت التحويلي. ولتعرُّف أوجُه المقارَنة بين أنواع الصُّدوع المختلفة أنظر الجدول (1).

✓ **أتحقّق: أقارن** بين الصَّدع العاديّ والصَّدع العكسيّ من حيث نوع الإجهاد المسبِّب له.

الجدول (1): مقارَنة بين الصُّدوع العاديّة والصُّدوع العكسيّة والصُّدوع الجانبيّة.

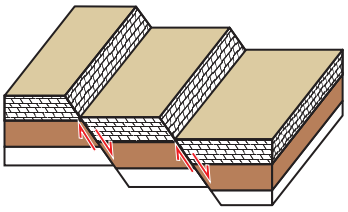
أوجُه المقارنة	الصَّدع العاديّ	الصَّدع العكسيّ	الصَّدع الجانبيّ
نوع الإجهاد المسبِّب.	إجهاد شدّ.	إجهاد ضغْط.	إجهاد قصّ.
نوع الحركة النّسبيّة على جانبَيْ مستوى الصَّدع.	رأسيّة.	رأسيّة.	أفقيّة.
مَيل مستوى الصَّدع عن المستوى الأفقيّ.	يَميل بزاوية أكبر من صفر وأقل من 90°.	يَميل بزاوية أكبر من صفر وأقل من 90°.	يَميل بزاوية 90° وقد يَميل بزاوية أكبر من صفر وأقل من 90°.
اتّجاه حركة الكُتلتين الصّخريّتين على جانبَيْ مستوى الصَّدع.	يتحرّك الجدار المعلَّق إلى الأسفل نسبة إلى الجدار القدَم.	يتحرّك الجدار المعلّق إلى الأعلى نسبة إلى الجدار القدَم.	تتحرّك الكُتلتان الصّخريّتان بصورة أفقيّة نسبة إلى بعضها بعضًا.
تكرار الطبقات فيها مع العُمق.	لا يحدث تكرار للطبقات الصّخريّة فيه رأسيًّا مع العُمق.	تتكرّر الطبقات الصّخريّة فيه رأسيًّا مع العُمق.	لا يحدث تكرار للطبقات الصّخريّة فيه رأسيًّا مع العُمق.

أنظمة الصُّدوع Faults Systems

عندما تتعرّض صخـور القشرة الأرضيّـة لقُوى شدٍّ؛ نتيجة لحركة الصفائح التكتونيّة، تتشكّل فيها مجموعة من الصُّدوع العاديّة، وتكوّن ما يُسمّى بأنظمة الصُّدوع. وتُعَدّ الصُّدوع الدرجيّة، والأحواض الخَسْفيّة، والكُتَل الاندفاعيّة أمثلةً عليها. فكيف يتشكّل كلٌّ منها؟

الصُّدوع الدرجيّة Step Faults

تتشكّل **الصُّدوع الدرجيّة Step Faults** عندما تتعرّض صخور القشرة الأرضيّة لقُوى شدٍّ تؤدي إلى إحداث مجموعة من الصُّدوع العاديّة المتوازية، وتأخذ الكُتل الصّخريّـة فيها شكـلّ الـدّرج، أنظر الشكل (13). ويزخر الأردن بمجموعـة مـن الصُّدوع العاديّة المتوازية في مناطق عدّة، من أمثلتها: الصُّدوع العاديّة المتوازية في وادي الموجِب.



الشكل (13): الصُّدوع الدرجيّة.

الأحواض الخَسْفيّة Grabens

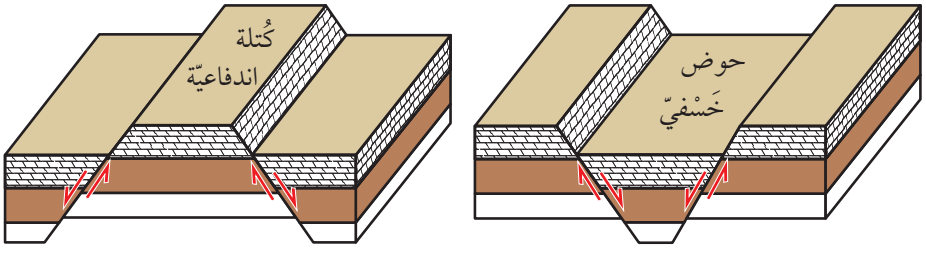
تتشكّل **الأحواض الخَسْفيّة Grabens** عندما تتعرّض صخور القشرة الأرضيّة لقُوى شدٍّ تؤدي إلى إحداث صَدعين عاديّين متقابلين، تهبط الكُتل الصّخريّة بينهما للأسفل، بحيث يشتركان في الجـدار المعلَّق، أنظر الشكل (14/ أ)، ويُعدّ غور الأردن مثالًا على الأحواض الخَسْفِيّة.

الكُتل الاندفاعيّة Horsts

تتشكّل **الكُتل الاندفاعيّة Horsts** عندمـا تتعرّض صخـور القشـرة الأرضيّة لقُوى شدٍّ تؤدي إلى إحداث صَدعين عاديّين متقابلين، تبرز الكُتل الصّخريّة بينهما للأعلى عنـدما تهبط الكُتـل الصّخريّـة على جانبيها للأسفل، بحيث يشتركان في الجدار القدَم. أنظر الشكل (14/ ب).

أعملُ فيلمًا قصيرًا باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضّـح أنواع الصُّدوع المختلفـة، وأحـرص علـى استخـدام خاصّيّة الردّ الصّوتيِّ فيـه؛ لإضـافة الشّروح المناسبـة، ثم أشـاركه زملائي/ زميلاتي في الصفّ.

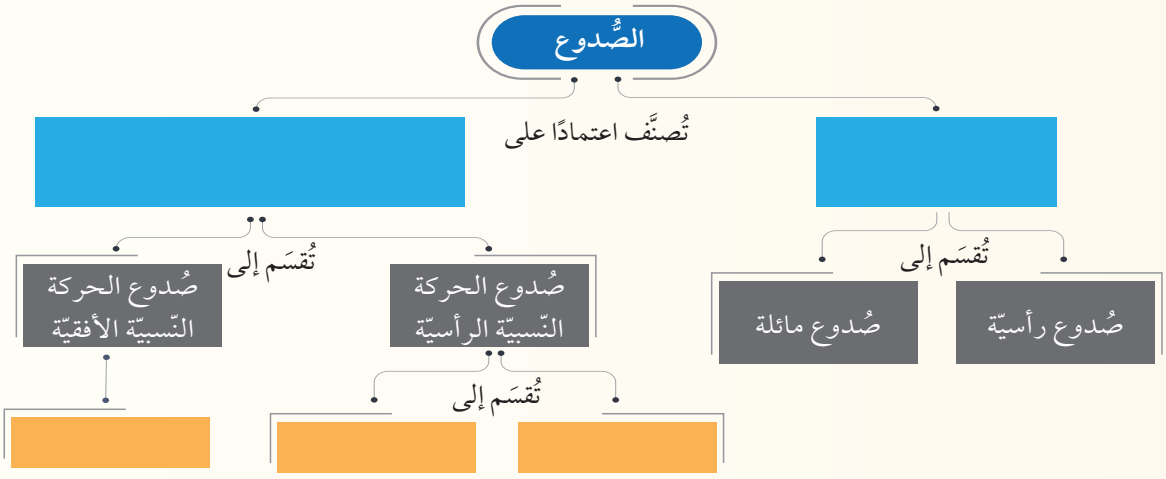
✓ **أتحقّق:** أصف الصُّدوع المكوِّنة لكـل مـن الصُّدوع الدرجيّـة، والكُتل الاندفاعيّـة.



الشكل (14):
(أ): حوض خَسْفيّ.
(ب): كُتلة اندفاعيّة.

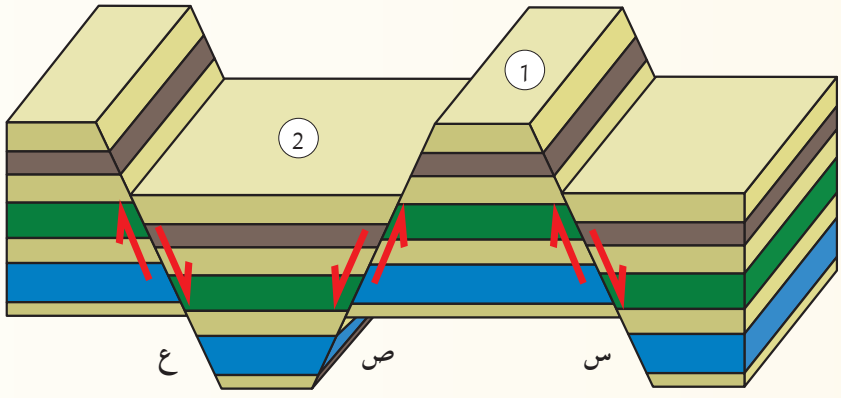
مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أُكمِل المُخطَّط المفاهيمي الآتي بما يناسبه من كلمات:



2. أوضِّح المقصود بكل من: الصَّدع، والجدار القدَم، والصُّدوع الدرجيّة.

3. أدرس الشكل الآتي الذي يوضّح ثلاثة صُدوع (س، ص، ع) والكُتلتين الصّخريّتين (1، 2)، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



أ . أحدّد على الشكل للصَّدع (س). كلًّا من: الجدار المعلَّق، والجدار القدَم، ومستوى الصَّدع.

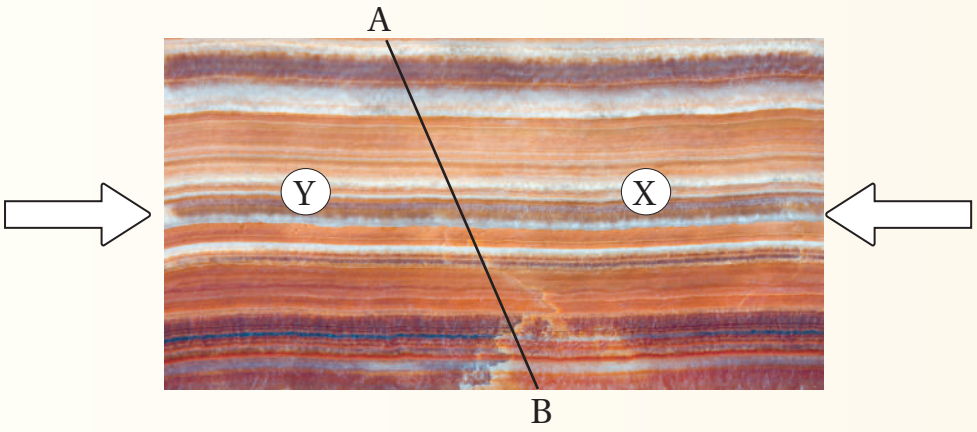
ب. **أستنتج** نوع كل من الصُّدوع (س، ص، ع).

جـ. **أصف** العلاقة بين الصَّدعين (ص، ع).

د . أذكر: ماذا تُسمّى الكُتلتان الصّخريّتان (1، 2)؟

4. **أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي :**

يمثل الشكل الآتي تتابعًا طبقيًّا يتعرض إلى قوى ضغط بحسب الأسهم، أدرس الشكل، ثم أجيب عن الأسئلة (5–1):



1. إذا علمت أن الخط A–B يمثل السطح الذي سيحدث فيه الكسر وتتحرك عليه الكتل الصخرية X و Y ، فإن التركيب الذي سينتج هو:

أ . صدع عادي. ب. صدع عكسي.

جـ. صدع جانبي. د . صدع خسفي.

2. ماذا تمثل كل من الكتلة الصخرية X و الكتلة الصخرية Y على الترتيب؟

أ . مستوى الصدع، والجدار القدم. ب. الجدار القدم، والجدار المُعلَّق.

جـ. الجدار القدم، ومستوى الصدع. د . الجدار المُعلَّق، والجدار القدم.

3. إذا تعرض التتابع الطبقي إلى إجهاد شد بدلًا من إجهاد الضغط فإن التركيب الجيولوجيّ الذي سينتج هو:

أ . صدع عادي. ب. صدع عكسي.

جـ. صدع جانبي. د . طيّة.

4. إذا تعرض التتابع الطبقي إلى إجهاد الضغط، في أعماق الأرض، فإن التركيب الجيولوجيّ الذي سينتج هو:

أ . صدع عادي. ب. صدع عكسي.

جـ. صدع جانبي. د . طيّة.

5. عندما يتحرك الجدار المُعلَّق إلى الأسفل نسبة إلى الجدار القدَم، فإن الصدع الناتج هو صدع:

أ . عادي. ب. عكسي.

جـ. جانبي. د . تحويلي.

الطيّات
Folds

الدرس 3

الفكرة الرئيسة:

تنتج الطيّات من تعرّض الطبقات الصّخرية لإجهاد الضغط، فتتقوّس نحو الأعلى، أو نحو الأسفل، وتُصنَّف الطيّات اعتمادًا على أسس عدّة ، منها: اتجاه التقوّس، وزاوية مَيل المستوى المحوريّ.

نتاجات التعلّم:

- أوضّح المقصود بالطيّة.
- أميّز أنواع الطيّات المختلفة.
- أقارن بين القبة والحوض من حيث موقع الصخور الأقدم والأحدث.

المفاهيم والمصطلحات:

طيّات محدَّبة	Anticlines
طيّات مقعَّرة	Synclines
طيّة متماثلة	Symmetrical Fold
طيّة غير متماثلة	Asymmetrical Fold
طيّة مقلوبة	Overturned Fold
طيّة مضطَجِعة	Recumbent Fold

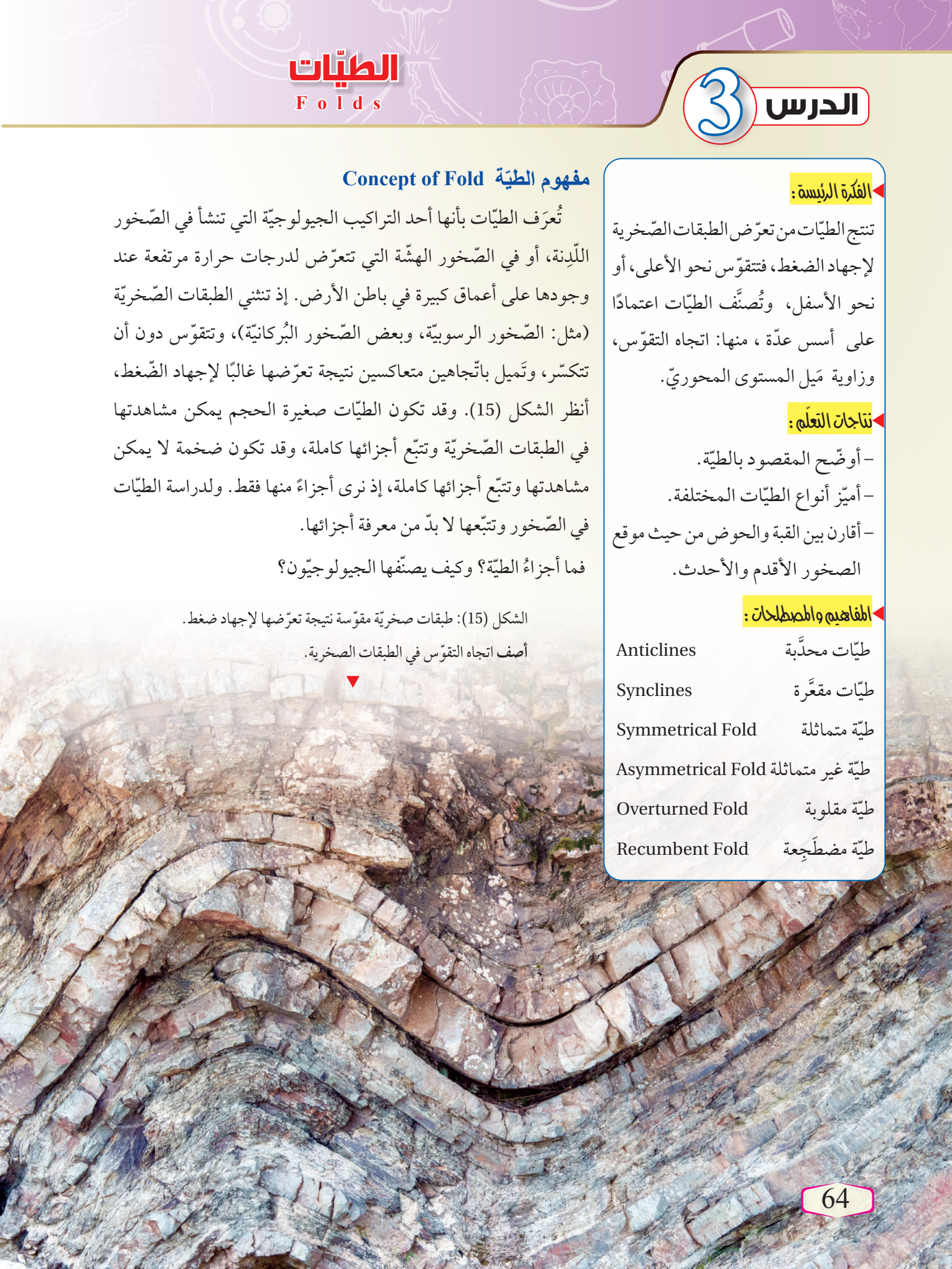
مفهوم الطيّة Concept of Fold

تُعرَف الطيّات بأنها أحد التراكيب الجيولوجيّة التي تنشأ في الصّخور اللّدِنة، أو في الصّخور الهشّة التي تتعرّض لدرجات حرارة مرتفعة عند وجودها على أعماق كبيرة في باطن الأرض. إذ تنثني الطبقات الصّخريّة (مثل: الصّخور الرسوبيّة، وبعض الصّخور البُركانيّة)، وتتقوّس دون أن تتكسّر، وتَميل باتّجاهين متعاكسين نتيجة تعرّضها غالبًا لإجهاد الضّغط، أنظر الشكل (15). وقد تكون الطيّات صغيرة الحجم يمكن مشاهدتها في الطبقات الصّخريّة وتتبّع أجزائها كاملة، وقد تكون ضخمة لا يمكن مشاهدتها وتتبّع أجزائها كاملة، إذ نرى أجزاءً منها فقط. ولدراسة الطيّات في الصّخور وتتبّعها لا بدّ من معرفة أجزائها.

فما أجزاءُ الطيّة؟ وكيف يصنّفها الجيولوجيّون؟

الشكل (15): طبقات صخريّة مقوّسة نتيجة تعرّضها لإجهاد ضغط.

أصف اتجاه التقوّس في الطبقات الصخرية.



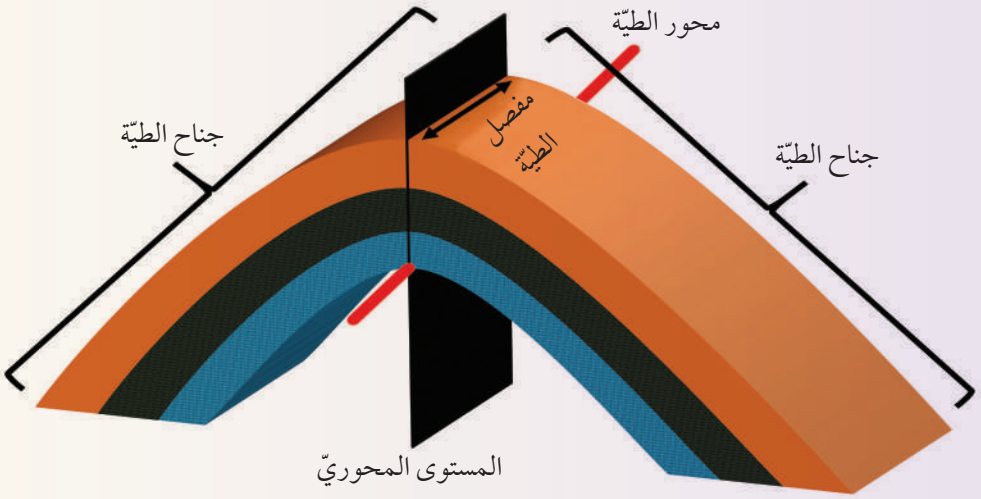
ولتعرُّف أجزاء الطيّة أنفِّذ النشاط الآتي:

نشاطٌ

أجزاء الطيّة

تختلف الطيّات في أشكالها وحجومها، ولكن مهما تعدّدت هذه الأشكال والحجوم، فإنها تتشابه في أجزائها.

أدرس الشكل الآتي، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



التّحليل والاستنتاج:

1. أحدّد أجزاء الطيّة المبيّنة في الشكل.
2. أذكُر: كم جناحًا للطيّة؟
3. أذكُر: ماذا يسمّى الخطّ الذي يصل بين النقاط التي تقع على أكبر تكوّر (انحناء) للطيّة؟
4. **أصف:** كيف يقسم المستوى المحوريّ الطيّة؟
5. **أصف** اتّجاه تقوّس الطيّة.
6. أرسم على الشكل سهمًا يبيّن اتّجاه مَيل جناحَي الطيّة.
7. **أقترح** اسمًا للطيّة المبيّنة في الشكل اعتمادًا على اتّجاه تقوّس الطبقات الصّخريّة.

✓ **أتحقّق:** **أصف** أجزاء الطيّة.

أجزاء الطيّة Fold Parts

تتكوّن الطيّة من مجموعة من الأجزاء، أهمّها:

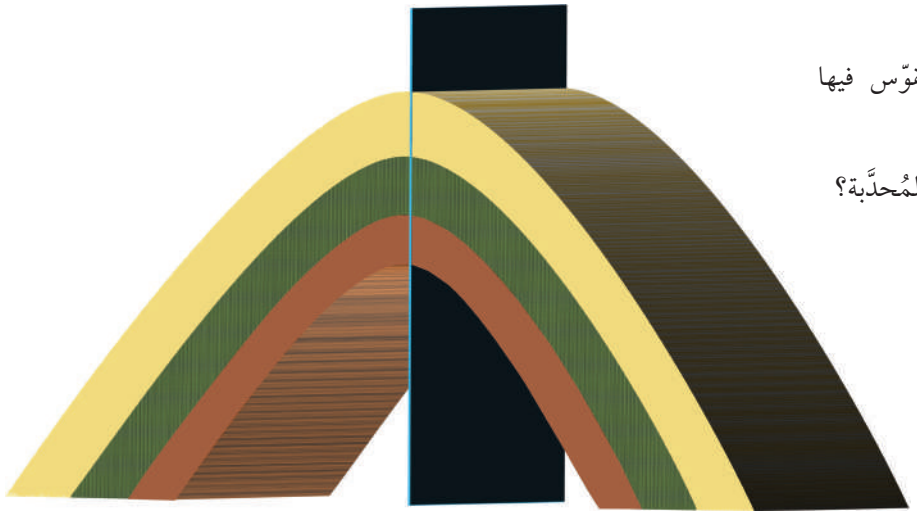
- **جناح الطيّة Fold Limb:** أحد جانبَي الطيّة، وللطيّة جناحان اثنان مكوّنان من طبقات مائلة، يلتقيان عند محور الطيّة. وغالبًا ما يميل جناحا الطيّة في اتّجاهين مختلفين.
- **مِفصَل الطيّة Fold Hinge:** الخط الوهميّ الذي يصل بين النقاط التي تقع على أقصى تكوُّرٍ (انحناء) للطيّة.
- **المستوى المحوريّ Axial Plane:** مستوى وهميّ يمرّ في محور الطيّة، ويقسم الطيّة قسمين، يكونا متساويين في الطية المتماثلة. وقد يكون مائلًا أو رأسيًّا أو أفقيًّا.
- **محور الطيّة Fold Axis:** يُعدّ محور الطيّة خطًّا من المستوى المحوريّ، وهو الخط الذي تحدث عنده عمليّة الطيّ، ويحدِّد أقصى تكوُّر لطبقة ما في الطيّة.

تصنيف الطيّات Classification of Folds

صنّف العلماء الطيّات اعتمادًا على مجموعة من الأسُس، منها: اتّجاه تقوُّس الطبقات الصّخريّة، وزاوية ميل المستوى المحوريّ.

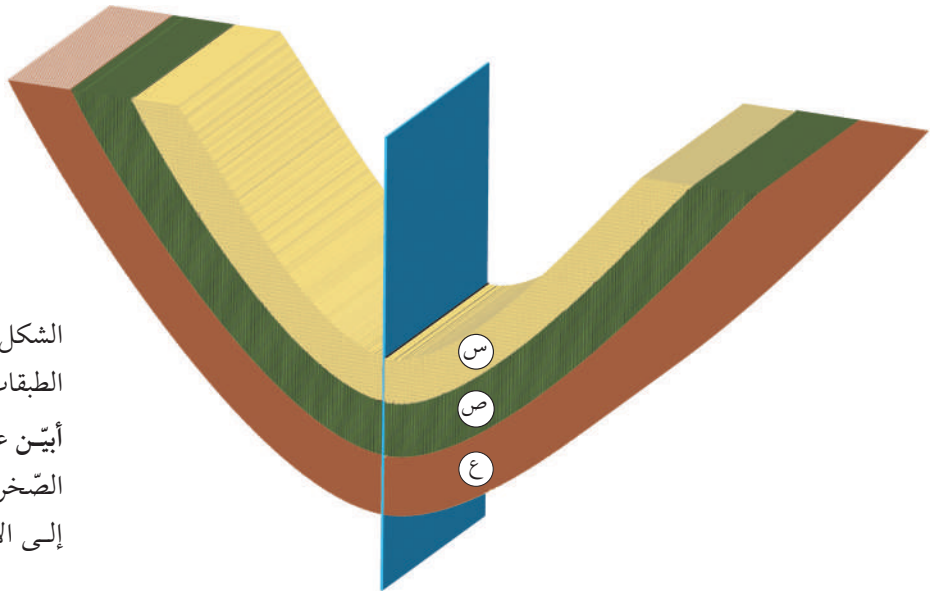
اتّجاه التقوّس Curvature Direction

تُقسَم الطيّات اعتمادًا على اتّجاه تقوُّس الطبقات الصّخريّة فيها إلى نوعين هما: **طيّات مُحدَّبة Anticlines** تتقوّس فيها الطبقات الصّخريّة نحو الأعلى، ويميل جناحاها بعيدًا عن المستوى المحوريّ، وتكون الطبقات الأقدم في وسطها. أنظر الشكل (16).



الشكل (16): طيّة مُحدَّبة تتقوّس فيها الطبقات الصّخريّة نحو الأعلى.

أصف: كيف يميل جناحا الطيّة المُحدَّبة؟



الشكل (17): طيّة مُقعَّرَة تتقوّس فيها الطبقات الصّخريّة نحو الأسفل.

أبيّن على الشكل ترتيب الطبقات الصّخريّة (س، ص، ع) من الأقدم إلى الأحدث.

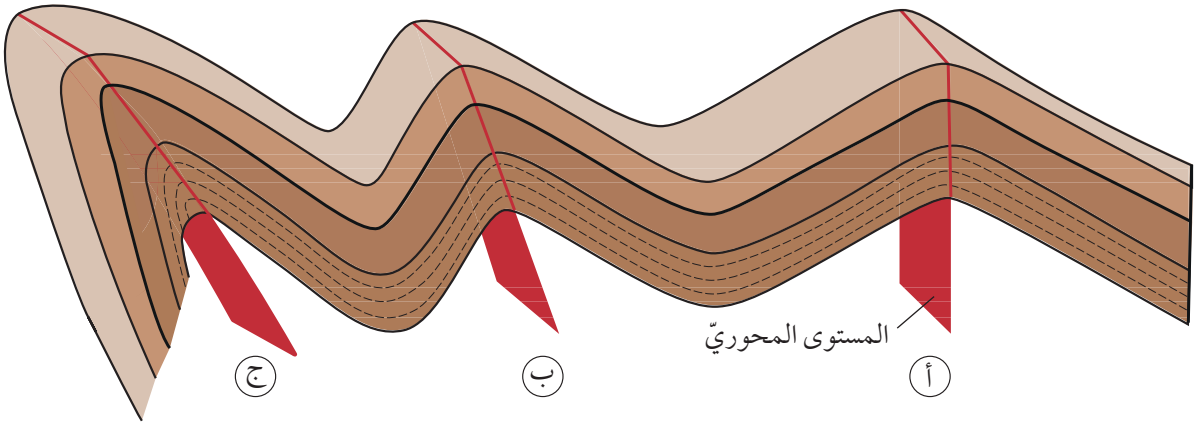
طيّات مُقعَّرة Synclines تتقوّس فيها الطبقات الصّخريّة نحو الأسفل، ويميل جناحاها نحو المستوى المحوريّ، وتكون الطبقات الصّخريّة الأحدث في وسطها. أنظر الشكل (17).

زاوية ميل المستوى المِحوريّ Dip Angle of the Axial Plane

تُسمّى الطيّة التي يميل جناحاها بزاوية مَيل متساوية على كلا الجانبين؛ سواء أكانت طيّة مُحدَّبة أم طيّة مُقعَّرة **الطيّة المُتماثِلَة Symmetrical Fold**. ويكون فيها المستوى المحوريّ عموديًّا على سطح الأرض. وتتشكّل مثل هذه الطيّات عندما تتعرّض الطبقات الصّخريّة لضغط متساوٍ على كلا الجانبين. أنظر الشكل (18/ أ).

أمّا الطيّة التي يميل كل جناح من جناحيها بزاوية مَيل مختلفة عن الأخرى سواء أكانت طيّة مُحدَّبة أم طيّة مُقعَّرة فتُسمّى **الطيّة غير المتماثِلَة Asymmetrical Fold** ويكون فيها المستوى المحوريّ مائلًا بزاوية أقلّ من 90°؛ أي غير متعامِد على سطح الأرض. وتتشكّل هذه الطيّة عندما تتعرّض الطبقات الصّخريّة لضغط غير متساوٍ على كلا الجانبين. أنظر الشكل (18/ ب).

أعملُ فيلمًا قصيرًا باستخدام برنامج scratch يوضّح أنواعًا مختلفة من الطيّات، وأحرِص على استخدام خاصّية الردّ الصوتيِّ فيه لإضافة الشروح المناسبة عليها، ثمّ أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصفّ.



الشكل (18): طيّات مختلفة في زاوية ميل مستواها المحوريّ:

(أ) : طيّة متماثِلَة.

(ب): طيّة غير متماثِلَة.

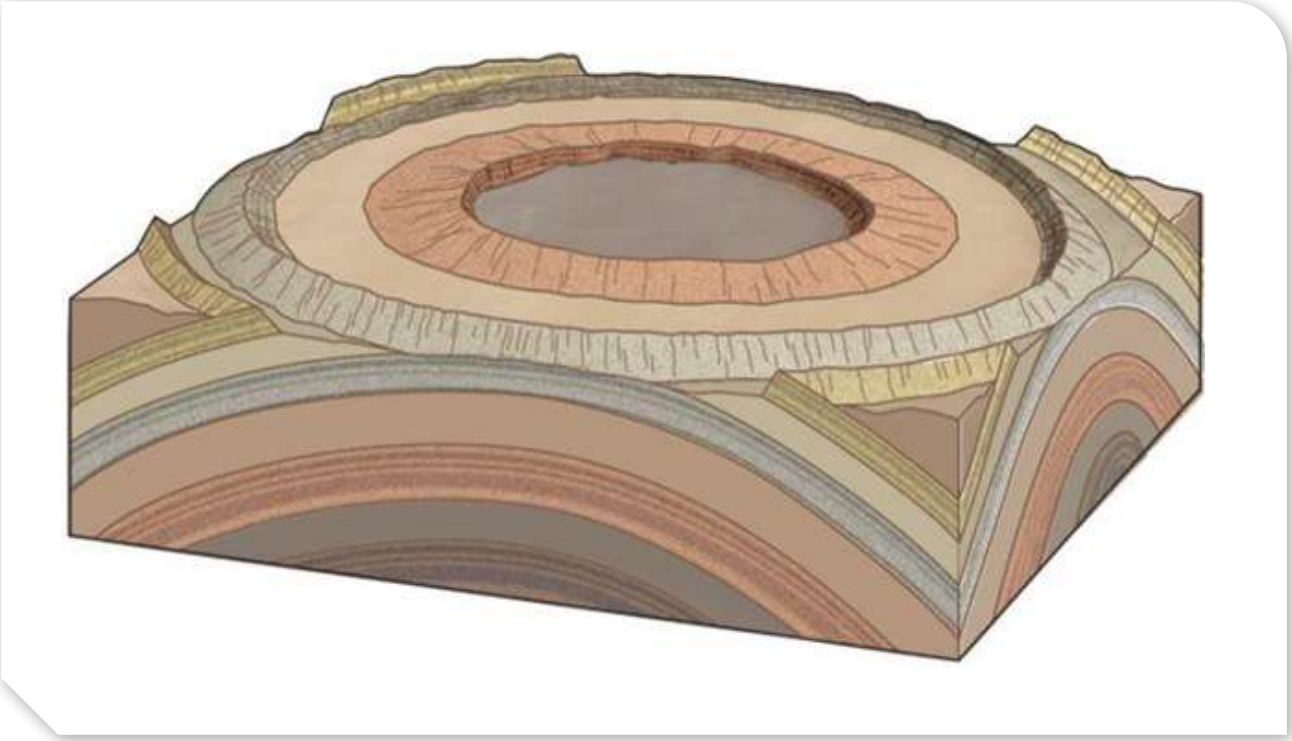
(ج): طيّة مقلوبة.

أمّا **الطيّة المقلوبة** **Overturned Fold** فهي الطيّة التي يميل جناحاها في الاتّجاه نفسه، إذ تزيد زاوية مَيل أحد جناحيها على 90°، وفي هذه الحالة يكون المستوى المحوريّ مائلًا عن المستوى العمودي (وهو مستوى يصنع زاوية 90° مع المستوى الأفقي) بدرجة كبيرة، وتكون الطبقات المكوِّنة لأحد الجناحين مقلوبة. أنظر الشكل (18/ جـ).

وتُسمّى الطيّة التي يميل جناحاها في الاتّجاه نفسه بصورة أفقيّة تقريبًا **طيّة مُضطجِعة** **Recumbent Fold** ويكون المستوى المحوريّ لهذه الطيّة أفقيًّا. أنظر الشكل (19).

✓ **أتحقّق:** أوضِّح المقصود بالطيّة المقلوبة.

الشكل (19): طيّة مُضطجِعة.



القبة والحوض Dome and Basin

ينشأ عن الطيّات المُتماثِلة بنوعيها؛ المُحدَّبة والمُقعَّرة، تركيبان جيولوجيان، هما: القباب، والأحواض.

كيف ينشأ هذان التركيبان الجيولوجيان؟ وما الفرق بينهما؟

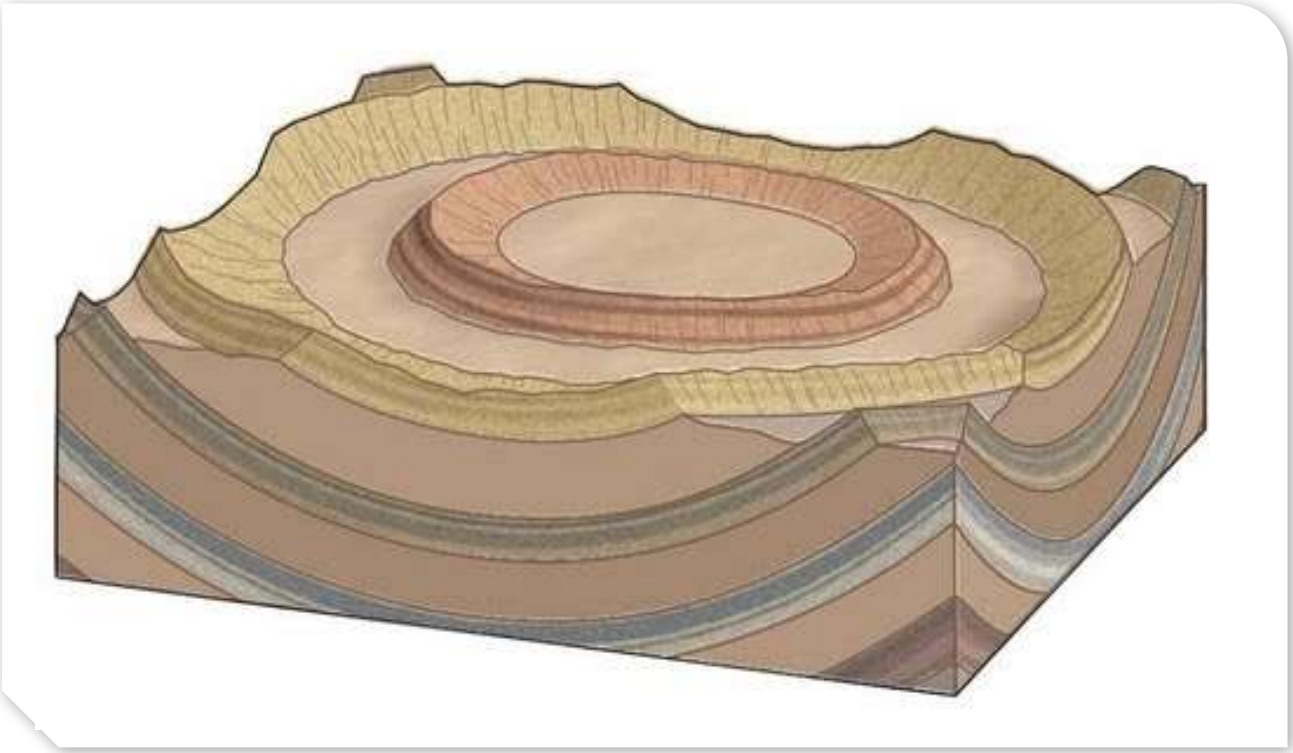
القبة Dome

يُسمّى التركيب الجيولوجي الذي يمثل طيّة مُحدَّبة مُتماثِلة تميل جميع طبقاتها بالدرجة نفسها وفي جميع الاتجاهات القبةَ، وينتج هذا التركيب الجيولوجي نتيجة تأثير ضغط من الأسفل على الطبقات، مما يؤدي إلى تحدُّبها نحو الأعلى، وغالبًا ما تتكوّن القباب بفعل اندفاع الماغما وتبريدها أسفل سطح الأرض، مما يؤدي إلى تحدُّب الطبقات التي تعلوها.

وعندما تتعرّض القباب إلى عمليات الحتّ والتعرية فإن الجزء العلوي من الطبقات يحدث له تعرية، فتظهر الطبقات المتكشفة على شكل دائري أو إهليجي بحيث تكون الطبقات الأقدم في وسط القبة والأحدث على الأطراف، وتميل الطبقات في جميع الاتجاهات بعيدًا عن مركز القبة، أنظر الشكل (20)، وتظهر شبيهة بالطيّة المُحدَّبة في المقطع العرضي.

▲ الشكل (20): القبة طيّة مُحدَّبة مُتماثِلة تميل جميع طبقاتها بالدرجة نفسها في جميع الاتجاهات.

أحدّد موقع الصخور الأحدث عمرًا.



الشكل (21): الحوض طيّة مُقعَّرة متماثلة تميل جميع طبقاتها بالدرجة نفسها في جميع الاتجاهات.

أحدّد موقع الصخور الأقدم عمرًا.

الحوض Basin

يُسمّى التركيب الجيولوجي الذي يمثل طيّة مُقعَّرة متماثلة تميل جميع طبقاتها بالدرجة نفسها وفي جميع الاتجاهات الحوضَ، والذي ينتج من هبوط القشرة الأرضية نحو الأسفل لتتقعّر، نتيجة ثقل الرواسب المتراكمة في منطقة ما من القشرة معطية شكل الحوض.

وعندما تتعرض الأحواض إلى عمليات الحتّ والتعرية وتحدث إزالة للطبقات العلوية فتظهر الطبقات المتكشفة، كما في القباب، على شكل دائري أو إهليجي إلّا أن الطبقات الأحدث تكون في وسط الحوض والطبقات الأقدم تكون على الأطراف. وتميل الطبقات في جميع الاتجاهات نحو مركز الحوض، أنظر الشكل (21)، وتظهر شبيهة بالطيّة المُقعَّرة في المقطع العرضي.

قد يتبـادر إلى الذهن أن القباب يجب أن تكوّن جبـالًا والأحـواض تكوّن منخفضات، لكن العكس هو الصحيح غالبًا، إذ إن القباب ترتفع أولًا على هيئة جبال، إلّا أن تعرُّضها لعمليات التجوية والحتّ يؤدي إلى تآكلها بسرعة أكبر من الأحواض، مما يحوّلها في النهاية إلى مناطق منخفضة. ومن الأمثلة على ذلك: حوض البقعة في الأردن، الذي كان في الأصل قبّة.

أفكّر

السبب والنتيجة: لماذا تنتج عن القباب أحيانًا وديان وأحواض؟

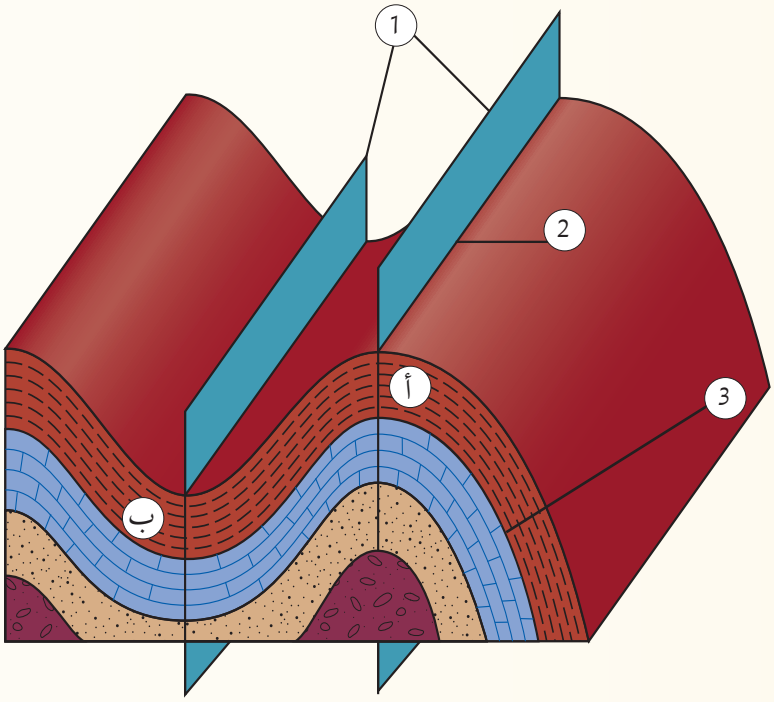
مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أصنّف الطيّات اعتمادًا على اتجاه التقوّس، وزاوية مَيل المستوى المحوريّ.

2. أوضّح المقصود بكل من: الطيّة، وجناح الطيّة، ومحور الطيّة.

3. أقارن بين القبة والحوض من حيث اتجاه ميل الطبقات ومواقع الطبقات الأحدث والأقدم في كل منهما.

4. أدرس الشكل الآتي جيّدًا، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



أ . أحدّد على الرّسم الأجزاء المشار إليها بالأرقام (1، 2، 3).

ب. **أصنّف** الطيّتَين (أ، ب) اعتمادًا على اتّجاه التقوّس.

جـ. **أستنتج:** أين تقع الطبقات الأقدم والأحدث في كل من الطيّتَين (أ، ب)؟

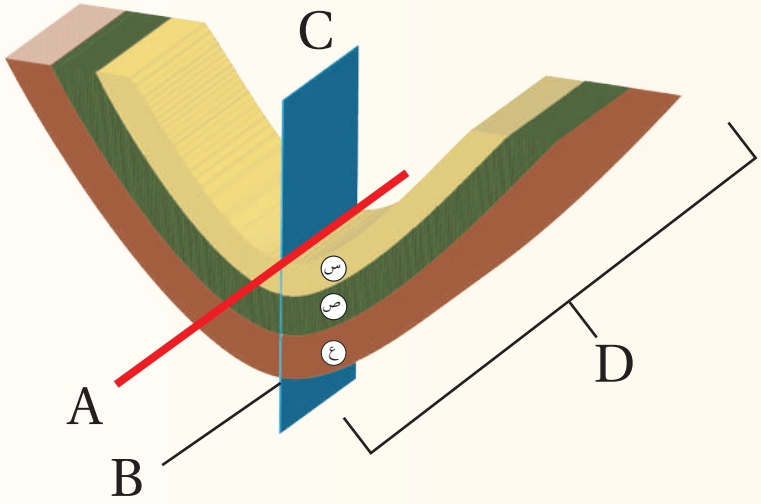
د . **أصف** كيف يميل جناحا الطيّة (ب) نسبة إلى المستوى المحوريّ.

هـ. أحدّد نوع الإجهاد الذي سبّب تشكُّل كل من الطيّتَين (أ، ب).

و . **أتوقّع** نوع الصَّدع المتكوِّن في صخور القشرة الأرضيّة إذا رافق عمليّة طَيّ الصّخور صَدْعٌ.

5. **أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:**

أدرس الشكل الآتي الذي يمثل إحدى الطيّات، ثم أجيب عن الأسئلة (5–1):



1. يشير الرمز (D) في الشكل إلى:

أ . محور الطيّة. ب. المستوى المحوري. جـ. جناح الطيّة. د. مفصل الطيّة.

2. يشير الرمز (C) في الشكل إلى:

أ . محور الطيّة. ب. المستوى المحوري. جـ. جناح الطيّة. د. مفصل الطيّة.

3. تُصنَّف الطيّة في الشكل بحسب اتجاه التقوس وزاوية ميل المستوى المحوري إلى طيّة:

أ . مُقعَّرة ومُتماثِلة. ب. مُحدَّبة ومُتماثِلة.

جـ. مُقعَّرة وغير مُتماثِلة. د. مُقعَّرة وغير مُتماثِلة.

4. في الشكل السابق تعرّضت الطيّة إلى ضغط:

أ . متساوٍ على كلا الجانبين.

ب. غير متساوٍ على كلا الجانبين.

جـ. غير متساوٍ على كلا الجانبين وأحد جناحيها مقلوب.

د . متساوٍ على كلا الجانبين وأحد جناحيها مقلوب.

5. إذا تعرّضت الطيّة الظاهرة في الشكل إلى قوى ضغط بحيث أصبح جناحاها يميلان في الاتّجاه نفسه بصورة أفقيّة تقريبًا، وأصبح المستوى المحوريّ لها أفقيًّا، فإنها تُصنَّف بحسب زاوية ميل المستوى المحوري إلى طيّة:

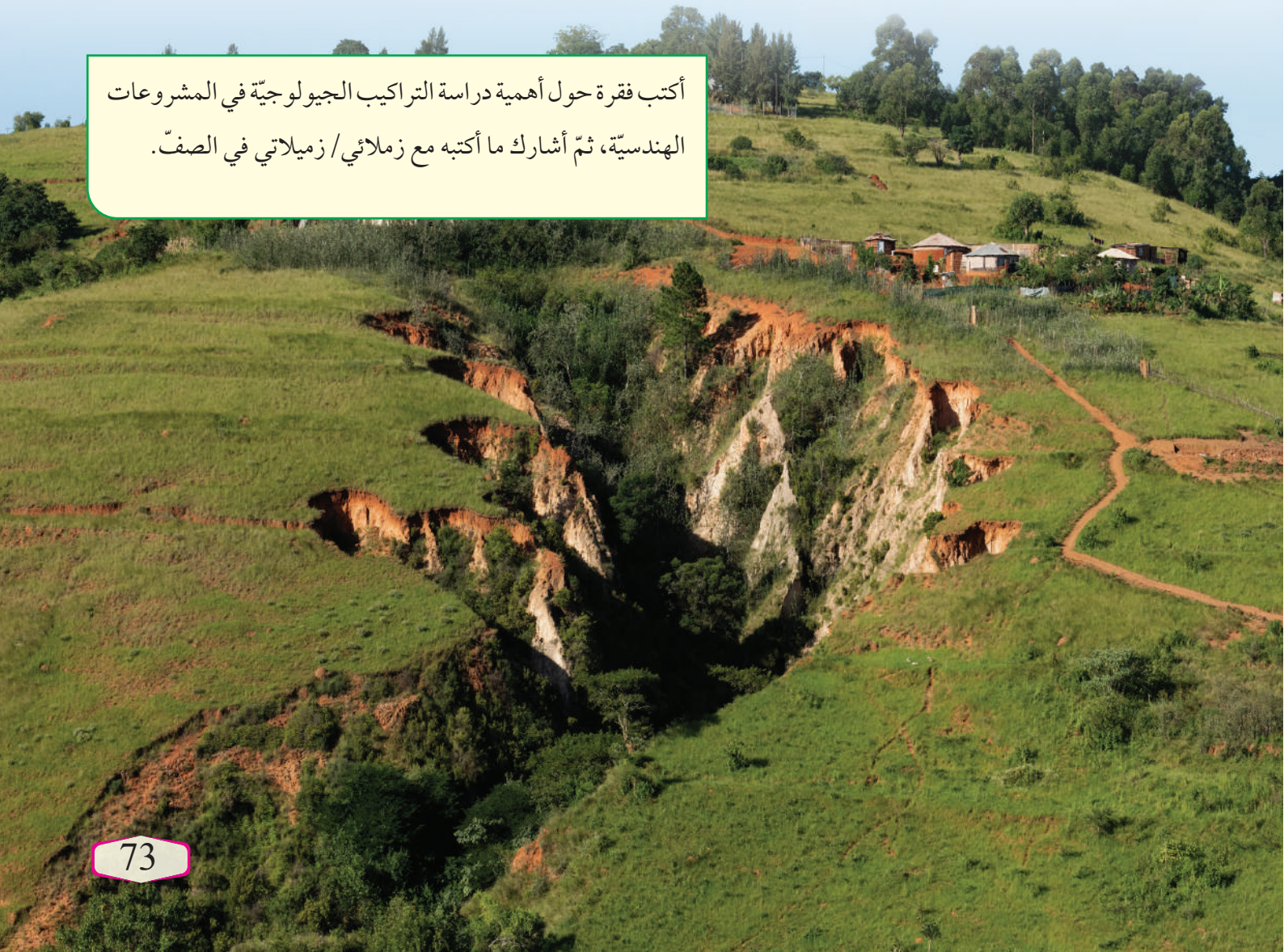
أ . مُقعَّرة. ب. مُحدَّبة. جـ. مُضطجِعة. د. مقلوبة.

الجيولوجيا الهندسيّة
Engineering Geology

تُعرَف الجيولوجيا الهندسيّة بأنها تطبيق عمليّ لعلم الجيولوجيا في مجال الهندسة. وفيها تؤخَذ العوامل الجيولوجيّة بعين الأهميّة والتركيز عليها في الأعمال الهندسيّة المختلفة، إذ تؤثّر هذه العوامل في: اختيار الموقع، وعمليّة تصميم البناء، ومرحلة البناء، وكيفيّة تشغيل المنشأ بعد بنائه.

تؤثّر التراكيب الجيولوجيّة في المشروعات الهندسيّة المشيّدة فوقها، وتتحكم بصورة رئيسة في عمليّة اختيار مواقع السّدود، والمستودَعات، والمطارات، والأنفاق وغيرها من المشروعات الهندسيّة الكبيرة. إذ إن وجود الطيّات والصُّدوع في الطبقات الصّخريّة غير مرغوب فيه من الناحية الهندسيّة؛ لأنه يُضعف قابليّة التحمّل للطبقات الصّخريّة خصوصًا عند إقامة المشروعات الكبيرة، مثل السّدود التي تسلّط أحمالًا كبيرة على الأساسات تحتها، ثم في النهاية، تعمل على تفتيت الصّخور؛ وبذلك تؤثّر في المنشآت المُقامَةِ فوقَها.

أكتب فقرة حول أهمية دراسة التراكيب الجيولوجيّة في المشروعات الهندسيّة، ثمّ أشارك ما أكتبه مع زملائي/ زميلاتي في الصفّ.



السّؤال الأول:

أضَع دائرة حول رمز الإجابة الصّحيحة في ما يأتي:

1. تُسمّى الانثناءات الناتجة من تعرُّض الطبقات الصّخريّة لإجهاد الضّغط:
   أ . الصُّدوع العاديّة.
   ب. الطيّات.
   جـ. الكُتل الاندفاعيّة.
   د . الأحواض الخَسْفيّة.

2. الصُّدوع الناتجة من حركة الجدار المعلَّق إلى الأعلى نسبة إلى الجدار القدَم؛ هي صُدوع:
   أ . عاديّة.
   ب. عكسيّة.
   جـ. درَجيّة.
   د . خَسْفيّة.

3. تُسمّى الطيّة التي يكون فيها المستوى المحوريّ أفقيًّا الطيّة:
   أ . المقلوبة.
   ب. المُضطجِعة.
   جـ. المُتماثِلة.
   د . غير المُتماثِلة.

4. أحد التراكيب الجيولوجيّة الآتية ينتُج بفعل إجهادات الشّد:
   أ . الطيّة المُحدَّبة.
   ب. الطيّة المُقعَّرة.
   جـ. الصَّدع العاديّ.
   د . الصَّدع العكسيّ.

5. تُسمّى الطيّة التي يميل جناحاها بزاوية مَيل متساوية على كلا الجانِبَين، سواء أكانت طيّة مُحدَّبة أم طيّة مُقعَّرة، الطية:
   أ . المُتماثِلة.
   ب. غير المُتماثِلة.
   جـ. المقلوبة.
   د . المُضطجِعة.

6. التّركيب الجيولوجيّ الذي يمثّله الشكل الآتي هو:

   أ . صَدع عاديّ.
   ب. صَدع عكسيّ.
   جـ. طيّة مُحدَّبة.
   د . طيّة مُقعَّرة.

7. الطية التي يكون فيها المستوى المحوري مائلًا ويميل جناحاها في الاتّجاه نفسه، وتزيد زاوية مَيل أحد جناحيها على 90°، وتكون الطبقات الأحدث في وسطها هي الطيّة:
   أ . المُحدَّبة.
   ب. المُتماثِلة.
   جـ. المُضطجِعة.
   د . المقلوبة.

8. الصدوع التي تتكرّر فيها الطبقات الصّخريّة رأسيًّا مع العُمق هي الصدوع:

أ . العادية.

ب. العكسية.

جـ. الجانبية.

د . التحويلية.

9. التركيب الجيولوجي الذي ينتج عن إجهاد القصّ هو:

أ . الصدع العادي.

ب. الطيّة المُحدَّبة.

جـ. الصدع الجانبي.

د . الطيّة المُقعَّرة.

10. تتشكّل الأحواض الخَسْفية عندما تتعرّض صخور القشرة الأرضيّة لقُوى شدٍّ تؤدي إلى:

أ . إحداث صَدعين عاديّين متقابلين، تبرز الكُتل الصّخريّة فيما بينهما.

ب. إحداث صَدعين عكسيين متقابلين، تبرز الكُتل الصّخريّة فيما بينهما.

جـ. إحداث صَدعين عكسيين متقابلين، تهبط الكُتل الصّخريّة فيما بينهما.

د . إحداث صَدعين عاديين متقابلين، تهبط الكُتل الصّخريّة فيما بينهما.

11. الخط الذي تحدث عنده عمليّة الطيّ، ويحدِّد أقصى تكوُّر لطبقة ما في الطيّة هو:

أ . المستوى المحوريّ.

ب. محور الطيّة.

جـ. مِفصَل الطيّة.

د . جناح الطيّة.

12. تُسمّى الطيّة التي تتقوّس فيها الطبقات الصّخريّة نحو الأعلى، ويميل جناحاها بعيدًا عن المستوى المحوريّ، وتكون الطبقات الأقدم في وسطها، الطيّة:

أ . المقلوبة.

ب. المُضطجِعة.

جـ. المُقعَّرة.

د . المُحدَّبة.

السّؤال الثاني:

أملأ الفراغ في ما يأتي بما هو مناسب من المصطلحات:

1. تُسمّى الطيّة التي يميل جناحاها بزاوية مَيل غير متساوية على كلا الجانِبَين سواء أكانت طيّة مُحدَّبة أم طيّة مُقعَّرة: .....

2. الخطّ الوهميّ الذي يصل بين النقاط التي تقع على أقصى تكوّر (انحناء) للطيّة هو: .....

3. تتكوّن الطيّة من مجموعة من الأجزاء، منها: .....، .....، .....

4. تُسمّى الكتلة الصّخريّة التي تقع أسفل مستوى الصَّدع: .....

5. أحد أنواع الصُّدوع الذي تتحرّك فيه الكُتلتان الصّخريّتان بصورة أفقيّة نسبة إلى بعضهما بعضًا: .....

6. يعتمد تشوُّه الصّخورعلى مجموعة من العوامل، منها: .....، .....

السّؤال الثالث :

أصف: كيف يؤثّر إجهادُ الشّد في الصّخور الهشّة؟

السّؤال الرابع:

أناقش: كيف تتكوّن الكُتل الاندفاعيّة؟

السّؤال الخامس:

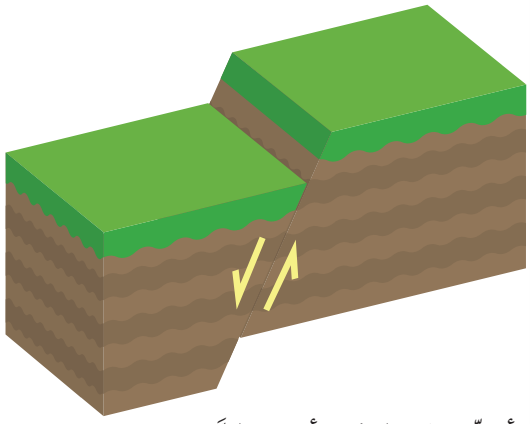
أقارن بين إجهادَي الضّغط والشّد من حيث اتّجاه القوّة المؤثّرة في الصّخر.

السّؤال السّادس :

أقارن بين موقع الجدار القدَم، والجدار المعلَّق في كل من الصَّدعين: العاديّ، والعكسيّ.

السّؤال السابع:

أدرس الشكل الآتي الذي يبيّن أحد أنـواع الصُّدوع، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



أ . أحدّد على الشكل أجزاء الصَّدع.

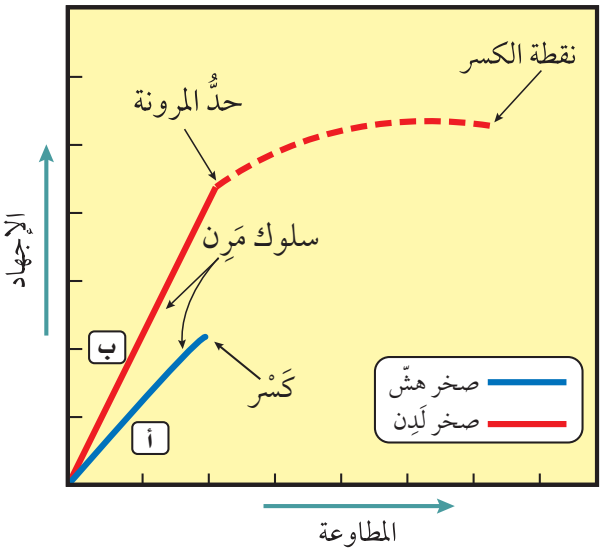
ب. أبيّن نوع الإجهاد الذي أدّى إلى تكوُّن الصَّدع.

جـ. **أستنتج** نوع الصَّدع.

د . **أتوقّع:** هل يؤدي هذا النّوع من الصُّدوع إلى تكرار بعض الطبقات الصّخريّة؟

السّؤال الثامن:

أدرس الشكل الآتي الذي يبيّن العلاقة بين الإجهاد والمطاوَعة لصخور هشَّة، وأخرى لَدِنة. ثم أجيب عما يليه:



أ. **أصف** العلاقة بين الإجهاد والمُطاوَعة.

ب. **أصف** ما يحدث للصخر (أ) عند تأثير إجهاد عليه دون حدّ المرونة.

جـ. **أقارن** بين سلوك الصخر (أ) وسلوك الصخر (ب) عندما يؤثر فيهما إجهاد يزيد على حد المرونة.

د. أذكر مثالًا على نوع كل من: الصّخر (أ)، والصّخر (ب).

السّؤال التاسع:

أتوقّع: هل يمكن أن تتشكّل الطيّات في الصّخور الهشّة؟ لماذا؟

السّؤال العاشر:

أبيّن: متى توصَف الطيّات بأنها متماثِلَة، ومتى توصَف بأنها غير متماثِلَة؟

السؤال الحادي عشر:

أقارن بين القبة والحوض من حيث: ميل الطبقات في كلّ منهما، وحداثتها.

الوحدة 3

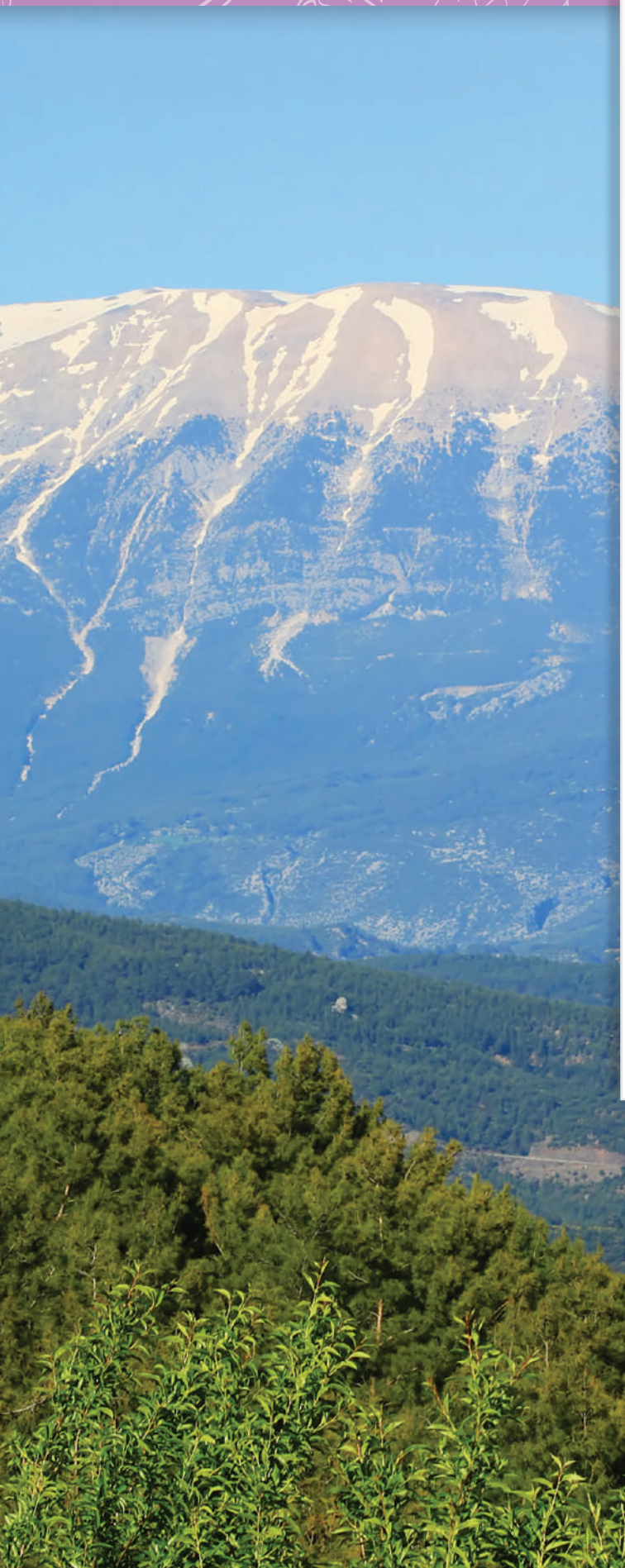
الصّفائح التكتونيّة

Plate Tectonics

جبال طوروس جنوب تركيا

أتأمّل الصّورة

تتحرّك الصّفيحة العربيّة نحو الشمال، والشمال الشرقي، وتصطدم بالصّفيحة الأوراسيّة، وينشأ عن حركة الصّفيحة العربيّة وباقي الصّفائح العديد من المظاهر الجيولوجيّة، فما المظاهر الجيولوجيّة التي تنتج من حركة الصّفائح الأرضيّة؟



الفكرة العامّة:

تتشكّل العديد من المظاهر الجيولوجيّة ومنها: السّلاسل الجبليّة، والجبال البُركانيّة، وظهور المُحيطات، بفعل حركات الصّفائح الأرضيّة المختلفة.

الدرس الأول: انجراف القارّات

الفكرة الرئيسة: كانت جميع القارّات الحاليّة تشكّل قارّة واحدة تُسمّى بانغيا، ثم انقسمت وأخذت بالتباعُد حتى وصلت إلى وضعها الحالي.

الدرس الثاني: توسُّع قاع المُحيط

الفكرة الرئيسة: تتوسّع قيعان المُحيطات بصورة مستمرة عند ظَهْر المُحيط، ومن ثمّ يؤدي ذلك إلى بناء قشرة محيطيّة جديدة فيها.

الدرس الثالث: حدود الصّفائح

الفكرة الرئيسة: تتكوّن المظاهر الجيولوجيّة ومنها السّلاسل الجبليّة، والأخاديد البحريّة عند حدود الصّفائح. وتُعَدّ تيارات الحمل في السّتار القوى الرئيسة المسؤولة عن حركة الصّفائح الأرضيّة.

تجربة استهلالية

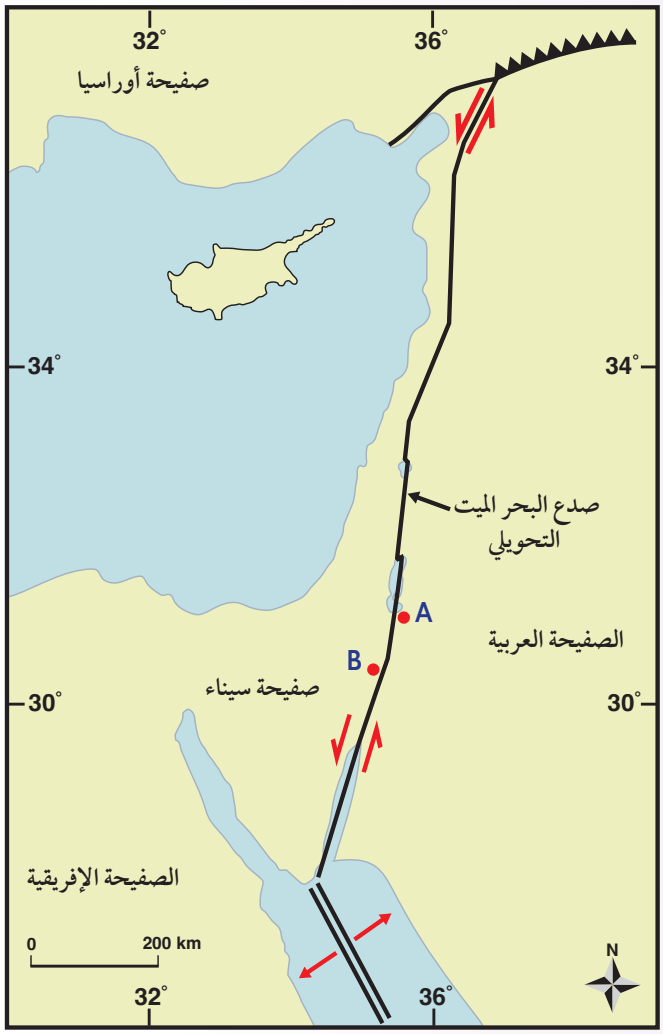
صَدْع البحر الميّت التحويليّ

يفصل صَدْع البحر الميّت التحويليّ بين الصّفيحة العربيّة في الشرق، وصفيحة سيناء في الغرب، ويبلغ طوله 1000 km تقريبًا ، حيث يمتد من بداية خليج العقبة الجنوبي وحتى جنوب تركيا. وتمثّل النقطتان (A وB) على الخريطة صُخورًا لها العمر نفسه، وكذلك التركيب الكيميائيّ والمعدِنيّ نفسه، وتقعان على جانِبَيْ صَدْع البحر الميّت التحويليّ. وقد قُدِّرت سرعة الحركة الأفقية لصَدْع البحر الميّت التحويليّ بـ 0.47 ± 0.07 cm/y .

الموادّ والأدوات: مسطرة، أوراق حجم A4، خريطة جيولوجيّة.

خطوات العملِ:

1. أقيس المسافة بين النّقطتين (A وB)؛ باستخدام المسطرة.
2. أحدّد المسافة الفعليّة بين النّقطتين؛ باستخدام مقياس رسم الخريطة.



التّحليل والاستنتاج:

1. **أحسب** المسافة بين النّقطتين (A وB) بعد 20 m.y إذا علمت أن مُعدَّل الحركة على جانِبَيْ صَدْع البحر الميّت التحويليّ تساوي 0.5 cm/y تقريبًا.
2. **أحسب** المدّة الزمنية اللازمة؛ لتصبح المسافة بين النّقطتين (A وB) 300 km .
3. **أتوقّع:** ما القُوى التي تسبّب الحركة على جانِبَيْ صَدْع البحر الميّت التحويليّ؟

الدرس 1

انجراف القارّات
Continental Drift

الفكرة الرئيسة:

كانت جميع القارّات الحاليّة تشكّل قارّة واحدة تُسمّى بانغيا، ثم انقسمت وأخذت بالتباعُد حتى وصلت إلى وضعها الحالي.

نتاجات التعلّم:

- أشرح السياق التاريخيّ لفرَضيّة انجراف القارّات للعالِم ألفرد فغنر مع أدلّتها.
- أنقض فرَضيّة انجراف القارّات بالأدلّة.

المفاهيم والمصطلحات:

فرَضيّة انجراف القارّات
Continental Drift Hypothesis

بانغيا Pangaea

فرَضيّة انجراف القارّات Continental Drift Hypothesis

إذا نظرتُ إلى خريطة العالم، ألاحظ أن حواف بعض القارّات يمكن أن تتطابق معًا، مثلَ لعبةِ تركيب القِطع (Jigsaw Puzzle). وقد لاحظ رسّامو الخرائط الجغرافيّة منذ أكثرَ من 400 عام، أن هناك تطابُقًا بين حواف القارّات على جانِبَي المُحيط الأطلسيّ.

بانغيا Pangaea

لاحظ عالِم الأرصاد الألمانيّ (ألفرد فغنر) التطابُق الكبير بين حواف القارّات، ورأى أن هذا التطابُق لا يمكن أن يكون مجرّدَ صُدفة، فاقترح في عام 1912م فرَضيّة أسماها **فرَضيّة انجراف القارّات Continental Drift Hypothesis** التي تنصّ على أن "جميع القارّات الحاليّة كانت تشكّل في الماضي قارّة واحدة سمّاها **بانغيا Pangaea**، وتعني كلّ اليابسة يحيط بها مُحيط يسمّى بانثالاسا، ويعني كلّ المحيط. وقد بدأت قارّة بانغيا منذ 200 m.y تقريبًا بالانقسام إلى قارّات أصغر، ثم أخذت القارّات بالانجراف ببُطء حتى وصلت إلى مواقعها الحاليّة". أنظر الشكل (1).

الشكل (1): كانت القارّات قبل 200 m.y تقريبًا تشكّل قارّة واحدة تُسمّى بانغيا.

القارّات قبل 200 m.y تقريبًا.

القارّات في وضعها الحالي.

التّجربة 1

قارّة بانغيا

افترض فغنر اعتمادًا على تطابُق حواف القارّات أن القارّات قبل 200 m.y كانت قارّة واحدة سمّاها بانغيا. ولتمثيل ما توصل إليه فغنر، أطابِقُ حواف القارّات كما تتوزّع في الوقت الحالي، وأُشكِّل قارّة بانغيا.

الموادّ والأدوات: خريطة العالم، صورة تمثِّل قارّة بانغيا، مِقَصّ، قطعة كرتون، لاصق.

إرشادات السّلامة:

- الحذر عند استخدام المقصّ.

قارّة بانغيا

خطوات العمل:

1. أُحضِر خريطة العالم، ثم أُقصّ القارّات من حوافها؛ لأفصلها بعضَها عن بعض.
2. أُشكِّل قارّة بانغيا بوساطة لصْق صوَر القارّات على قطعة الكرتون بدقّة؛ بالاستعانة بالشكل المُرفَق الذي يمثّل قارّة بانغيا.
3. أكتُب أسماء القارّات كما هي معروفة الآن.

التّحليل والاستنتاج :

1. **ألاحظ:** أيُّ القارّات تطابقت حوافها تطابقًا كبيرًا، وأيُّها تطابقت حوافها تطابقًا أقل؟
2. **أفسِّر** سبب عدم وجود تطابُق تامّ بين حواف القارّات.
3. **أقارن** بين موقع قارّة أمريكا الشماليّة الآن، وموقعها في قارّة بانغيا.
4. **أستنتج:** هل كان المُحيط الأطلسيّ متشكّلًا قبل 200 m.y؟ لماذا؟

أدلّة على فرَضيّة انجراف القارّات

Evidences for Continental Drift Hypothesis

واجه فغنر معارَضة كبيرة من العلماء منذ طرَح فرَضيّة انجراف القارّات أمامهم؛ لذلك قدّم مجموعة من الأدلّة لدعم فرَضيّته، منها: تطابُق حواف القارّات، وتشابُه الأحافير، وتشابُه أنواع الصّخور والتراكيب الجيولوجيّة، والمناخات القديمة.

أفكّرُ لماذا لا يوجد تشابه أحفوريّ بين القارّات عند العمر 70 m.y؟

تطابُق حوافِ القارّات Fit of the Continents Edges

يُعدّ تطابُق حواف القارّات الدليل الأوّل الذي اعتمد عليه العالِم الألمانيّ فغنر لدعم صحة فرَضيّته. فقد لاحظ التطابُق بين حواف القارّات على جانِبَي المُحيط الأطلسيّ. إذ طابق بين الحافة الشرقيّة لقارّة أمريكا الجنوبيّة مع الحافة الغربيّة لقارّة إفريقيا، فوجدها تتطابق بصورة تقريبية. أنظر الشكل (1). وهناك بعض القارّات يكون التطابق بين حوافها أقلّ، مثل قارّتي أوروبا، وأمريكا الشماليّة، وسبب ذلك عمليات الحتّ والتّعرية التي تعرّضت لها حواف القارّات عبر الزمن.

تشابُه الأحافير Matching Fossils

جمَع فغنر العديدَ من الأحافير التي تمثّل حيوانات ونباتات عاشت على اليابسة قبل 200 m.y لدعم صحة فرَضيّة انجراف القارّات. ومن هذه الأحافير أحفورة الميزوسورس Mesosaurus، وهو نوع من الزواحف. أنظر الشكل (2). وقد عثر على بقايا أحفورة الميزوسورس في كلٍّ من جنوب شرق أمريكا الجنوبية، وجنوب غرب إفريقيا. ويرى العلماء أن الميزوسورس كان يعيش في بحيرات المياه العذبة، والخُلجان الضَّحلة، فهو بذلك لا يستطيع الانتقال بين القارّتين، والسِّباحة عبر مياه المُحيط الأطلسيّ المالحة، وقد عدّ هذا دليلًا على أن قارة إفريقيا وقارة أمريكا الجنوبية كانتا قارة واحدة زمن حياة هذا الكائن الحي، ثم انفصلتا وانجرفتا.

الشكل (2): أحفورة الميزوسورس أحد أدلّة فغنر على صحّة فرَضيّة انجراف القارّات.

(أ)

(ب)

تشابُه أنواع الصّخور والتراكيب الجيولوجيّة
Rock Types and Structural Similarities

افترض فغنر بحسب فرَضيّة انجراف القارّات، وجود تشابُه بأنواع الصّخور المكوِّنة للسّلاسل الجبليّة وامتدادها في القارّات المنفصلة عن بعضها بعضًا. فقد وجد أن صخور جبال الأبالاش في قارّة أمريكا الشماليّة التي يزيد عمرها على 200 m.y تتشابه في أنواعها وأعمارها وتراكيبها الجيولوجيّة مع الصّخور المكوّنة للجبال الكالدونيّة في قارّة أوروبا، أنظر الشكل (3/ أ). وعند مطابقة حواف القارّات معًا فإن السّلسلتين الجبليّتين تشكّلان سلسلة واحدة مستمرّة تقريبًا، أنظر الشكل (3/ ب)، وهذا يدعم فرَضيّته التي تتمثّل في أن القارّات قبل 200 m.y كانت تشكّل قارّة واحدة تسمّى بانغيا.

المناخات القديمة Ancient Climates

دعم فغنر صحّة فرَضيّته عن طريق دراسة الصّخور والأحافير لتحديد التغيّرات المناخيّة التي سادت على سطح الأرض وقتَ تشكُّل قارّة بانغيا. فقد وجد رسوبيّات جليديّة عمرها يتراوح ما بين (300–220) m.y في كلّ من جنوب إفريقيا، وجنوب شرق أمريكا الجنوبيّة، والهند وأستراليا التي تقع حاليًّا بين دائرة عرض 30°، ودائرة الاستواء التي يسود فيها الآن مناخ شِبه استوائيّ أو استوائيّ؛ إذ من الصّعب أن تتشكّل فيها الرسوبيّات الجليديّة.

▲ الشكل (3):
تتشابَه أنواع الصّخور والتراكيب الجيولوجيّة في بعض السّلاسل الجبليّة.

(أ) : تتشابَه أنواع صخور جبال الأبالاش مع أنواع صخور الجبال الكالدونيّة.

(ب): عندما تطابَق حوافُ القارّات تتصل السّلاسل الجبليّة مكوِّنة سلسلة واحدة تقريبًا.

الشكل (4): يدلّ وجود رسوبيّات جليديّة في المناطق التي تقع الآن على دائرة الاستواء، أو بالقُرب منها، على أنها كانت تقع سابقًا بالقرب من القطب الجنوبي.

قد فسّر فغنر ذلك بأن تلك القارات كانت تقع سابقًا بالقرب من القطب الجنوبي. أنظر الشكل (4)؛ لذلك، كانت الظروف ملائمة لتشكُّل الرسوبيّات الجليديّة فيها.

أتحقّق: أفسّر: كيف يدعم وجود تشابُه أنواع الصّخور عند حواف القارّات صحّة فرضيّة فغنر؟

رفض فرَضيّة انجراف القارّات

Rejection of Continental Drift Hypothesis

واجه فغنر العديد من الانتقادات على فرَضيّته، على الرغم من دعمها بالعديد من الأدلّة. وقد تركزت انتقادات كثير من العلماء في عصره على نقطتين أساسيّتين، هما: سبب حركة القارّات وانجرافها، وآليّة حركتها.

أسباب انجراف القارّات Causes of the Continental Drift

اقترح فغنر أن سبب حركة القارّات وانجرافها يعود إلى قوّة الطّرد المركزيّ الناتجة من دوران الأرض حول نفسها، أو إلى قوّة جذْب القمر للأرض. ولكن العلماء رفضوا هذا التفسير؛ لأن كلتا القوّتين أقلُّ من القُوى التي يمكن أن تحرّك القارّات.

أفكّرُ يوجد الفحم الحجريّ في كل من قارّتَي أوروبا وأمريكا الشماليّة اللّتَينِ يسود فيهما مناخات باردة، فكيف أفسّر وجود الفحم الحجريّ الذي يتكوّن في المناخ الاستوائيّ فيهما؟

أعملُ فيلمًا قصيرًا باستخدام برنامجِ صانعِ الأفلام (movie maker) يوضّح مفهوم قارّة بانغيا، والأدلّة التي تدعم فرضية انجراف القارّات، وأحرِصُ على أنْ يشملَ الفيلم صوَرًا توضيحيّة، ثم أشارِكهُ زملائي/ زميلاتي في الصفّ.

آلية انجراف القارّات Mechanism of Continental Drift

اقترح فغنر أيضًا أن القارّات تتكوّن من موادّ قليلة الكثافة تتحرّك فوق قاع المحيط الذي يتكوّن من موادّ ذات كثافة عالية، فرفض العلماء اقتراح فغنر في أنه كيف يمكن للقارات أن تتحرّك فوق قاع المحيط الصُّلب ذي التضاريس بسهولة.

✓ **أتحقّق:** أوضِّح القُوى المسبّبة لتحرّك القارّات بحسب افتراضات فغنر.

مراجعة الدرس

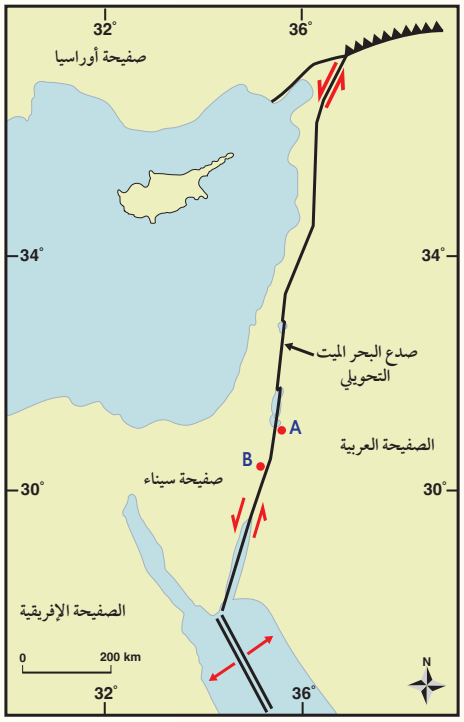
1. **الفكرة الرئيسة:** أذكر نصّ فرَضيّة انجراف القارّات.

2. **أفسّر:** كيف استخدم فغنر دليل تشابُه الأحافير في إثبات صحّة فرَضيّته؟

3. **أستنتج:** كيف كان مناخ جنوب قارّة إفريقيا قبل 200 m.y؟

4. **أقوّم** صحّة العبارة الآتية: (موقع الأردنّ الجغرافي ثابت لم يتغيّر على مَرّ السنين).

5. أوضِّح: لماذا تُعَدّ جبال الأبالاش والجبال الكالدونيّة دليلًا على صحّة فرَضيّة انجراف القارّات؟



6. **أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:**

- يمثّل الشكل المجاور خريطة جيولوجية لصَدْع البحر الميت التحويلي، أدرسه جيدًا، ثم أجيب عن الأسئلة (1–3) الآتية:

1. إذا كانت المسافة بين النقطتين (A–B) على الخريطة تساوي 0.5 cm، فما تقدير المسافة الفعلية بينهما؟

أ. 100 cm　　ب. 100 km

جـ. 1 cm　　د. 1 km

2. إذا علمت أن مُعدَّل الحركة على جانِبَيْ صَدْع البحر الميّت التحويليّ تساوي 0.5 cm/y تقريبًا، فإن المسافة بين النقطتين (A–B):

أ . ستزداد بعد 35 m.y بمقدار 175 cm

ب. ستزداد بعد 35 m.y بمقدار 175 km

جـ. ستقلّ بعد 35 m.y بمقدار 175 km

د . ستقلّ بعد 35 m.y بمقدار 175 cm

3. نوع الحد الذي يفصل بين الصفيحة العربية وصفيحة سيناء هو حد:

أ . تباعدي. ب. تقاربي.

جـ. جانبي. د . هدّام.

4. تتشابه جبال الأبالاش من حيث العمر والتركيب الجيولوجي مع إحدى السلاسل الجبلية الآتية، وهي:

أ . جبال الألب. ب. جبال الأنديز.

جـ. الجبال الكالدونية. د . جبال الهيمالايا.

5. من أسباب رفض فرَضية انجراف القارات:

أ . عدم وجود آثار أو بقايا للأحافير قبل 200 m.y مليون سنة دالة على تطابق حواف القارات.

ب. عدم وجود تشابه بأنواع الصّخور المكوِّنة للسّلاسل الجبليّة وامتدادها في القارّات المنفصلة عن بعضها بعضًا.

جـ. لم يستطع فغنر تفسير الآلية التي تحركت بها القارات والقوى المتسبّبة في حركتها.

د . وجود رسوبيّات جليديّة في المناطق التي تقع الآن على دائرة الاستواء، أو بالقرب منها.

توسُّع قاع المحيط
Seafloor Spreading

الدرس 2

الفكرة الرئيسة:

تتوسّع قيعان المحيطات بصورة مستمرة عند ظَهْر المحيط، ما يؤدي إلى بناء قشرة محيطيّة جديدة فيها.

نتاجات التعلّم:

- أناقش فرَضيّة توسُّع قاع المحيط بديلًا عن فرَضيّة انجراف القارّات.
- أحدّد الأدلّة الداعمة لفرَضيّة توسّع قاع المحيط.
- أربط توسُّع قاع المحيط بنشوء قشرة محيطيّة جديدة عند ظهور المحيطات، واستهلاك قشرة محيطيّة قديمة عند أطرافها.
- أناقش سبب ثبات حجم الأرض وكتلتها على الرغم من توسُّع قيعان المُحيطات.

المفاهيم والمصطلحات:

ظَهْر المحيط	Ocean Ridge
الأخاديد البحريّة	Trenches
فرَضيّة توسّع قاع المحيط	Seafloor Spreading Hypothesis
المغناطيسيّة القديمة	Paleomagnetism
الانقلاب المغناطيسيّ	Magnetic Reversal

استكشاف قاع المحيط Exploring the Ocean Floor

في الخمسينيّات من القرن الماضي أرسلت العديد من الدّول بعثاتٍ استكشافيّةً لدراسة تضاريس قيعان المحيطات، استخدموا فيها تقنية السَّبر الصّوتي بوساطة أجهزة السونار (Sonar) التي قيسَ عن طريقها عُمق المحيط، ثم تبعها رسْم خريطة لتضاريس قاع المحيط. أنظر الشكل (5). وقد اكتشف العلماء وجود سلسلة جبليّة ضخمة يتصل بعضها ببعض تمتد في جميع المحيطات تُسمّى **ظَهْر المحيط Ocean Ridge**، يوجد في وسطها وادٍ عميق ضيّق يُسَمّى الوادي المتصدِّع Rift Valley.

اكتشف العلماء أيضًا وجود وِدْيانٍ عميقة ضيّقة تمتد طوليًّا في قيعان المحيطات تُسمّى **الأخاديد البحريّة Trenches**، ومن أمثلتها أخدود ماريانا في المحيط الهادي الذي يُعَدّ أعمق الأخاديد البحرية في العالم، حيث يبلغ عمقه أكثر من (11 km). وقد قاد اكتشاف ظَهْر المحيط والأخاديد البحريّة العلماء إلى التفكير في كيفيّة تشكّلهما وما القُوى التي أدّت إلى ذلك.

الشكل (5): استخدم العلماء أجهزة السونار لقياس أعماق المحيطات.

فرَضيّة توسُّع قاع المحيط Seafloor Spreading Hypothesis

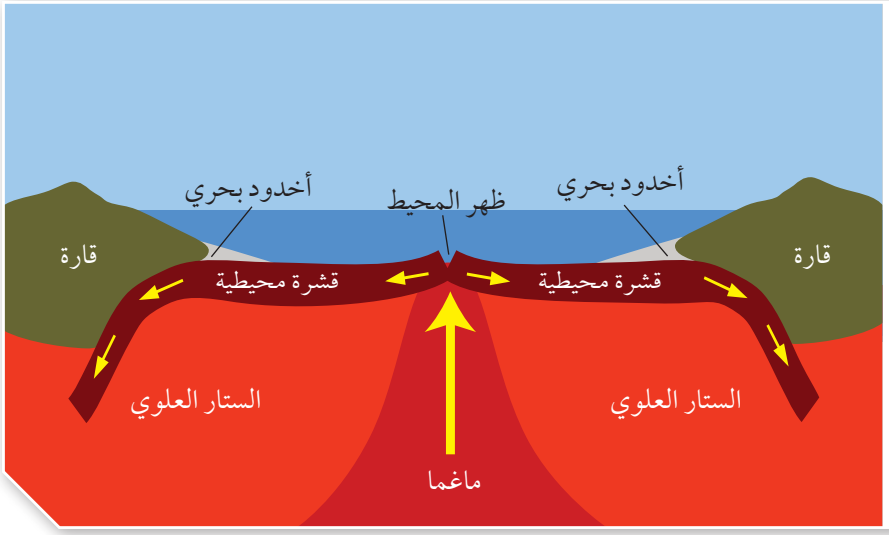
وضع العالِم هاري هس (Harry Hess) في بداية الستينيّات من القرن الماضي بناءً على بيانات تضاريس قيعان المُحيطات ومكوّناته **فرَضيّة توسُّع قاع المحيط Seafloor Spreading Hypothesis** التي تنصّ على الآتي: "تُبنى القشرة المحيطيّة الجديدة عند ظهور المحيطات، وتُستهلَك القشرة المحيطيّة الأقدم عند الأخاديد البحريّة". وتحدث عملية توسُّع قاع المحيط بحسب هس كالآتي: تندفع الماغما الأقلُّ كثافة من منطقة السّتار إلى الأعلى عبر وسط ظَهْر المحيط، وعند وصولها إلى السطح عبر القشرة المحيطية تتصلّب مكوِّنة قشرة محيطيّة جديدة على طول ظَهْر المحيط، ثم تتحرّك هذه القشرة بعيدًا عن منطقة ظَهْر المحيط، ما يؤدي إلى اندفاع ماغما جديدة في منطقة وسط ظَهْر المحيط وتصلّبها؛ مكوِّنة قشرة محيطيّة جديدة أخرى. وباستمرار هذه العملية يحدث توسُّع لقاع المحيط بشكل دائم ومتماثل على جانِبَي ظَهْر المحيط. وفي المقابل تنزلق الحافة البعيدة من القشرة المحيطيّة عن منطقة ظَهْر المحيط أسفل القشرة القارّية مشكِّلة أخدودًا بحريًّا. ويؤدي انزلاق القشرة المحيطيّة إلى ارتفاع درجة حرارتها وانصهارها داخل الستار، وإنتاج ماغما تندفع نحو الأعلى وتتصلّب، وتصبح جزءًا من القشرة القارّية. أنظر الشكل (6).

وترجع أهمية هذه الفرَضيّة إلى أنها فسّرت طريقة حركة القارّات التي لم تتمكّن فرَضيّة انجراف القارّات من تفسيرها؛ فبدَلًا من افتراض أنّ القارّات تتحرّك فوق قاع المحيط، افترضت أن المحيطات تتوسّع في منطقة وسط ظَهْر المحيط، ونتيجة لذلك، تتحرّك القارّات مُبتعِدة بعضُها عن بعض.

الرّبط بالتكنولوجيا

يستعمل جهازُ السّونار (Sonar) الموجات الصّوتية لتحديد أعماق المحيطات، إذ يقاس الزمن الذي تستغرقه الموجات التي تُرسَل نحو قاع المحيط حتى ارتدادها عن القاع واستقبالها في السفينة. ومن تحديد الزمن وسرعة الموجات الصّوتية في الماء يستطيع العلماء تحديد أعماق المحيطات.

✓ **أتحقّق:** أحدِّد: أين تتكوّن الصّخور الجديدة في قيعان المُحيطات، وأين تُستهلك؟



الشكل (6): يتوسّع قاع المحيط بصورة دائمة نتيجة خروج الماغما وتصلُّبها في منطقة وسط ظَهْر المحيط.

أقارن بين الصّخور المتشكِّلة على جانِبَي وسط ظَهْر المحيط من حيث العمر.

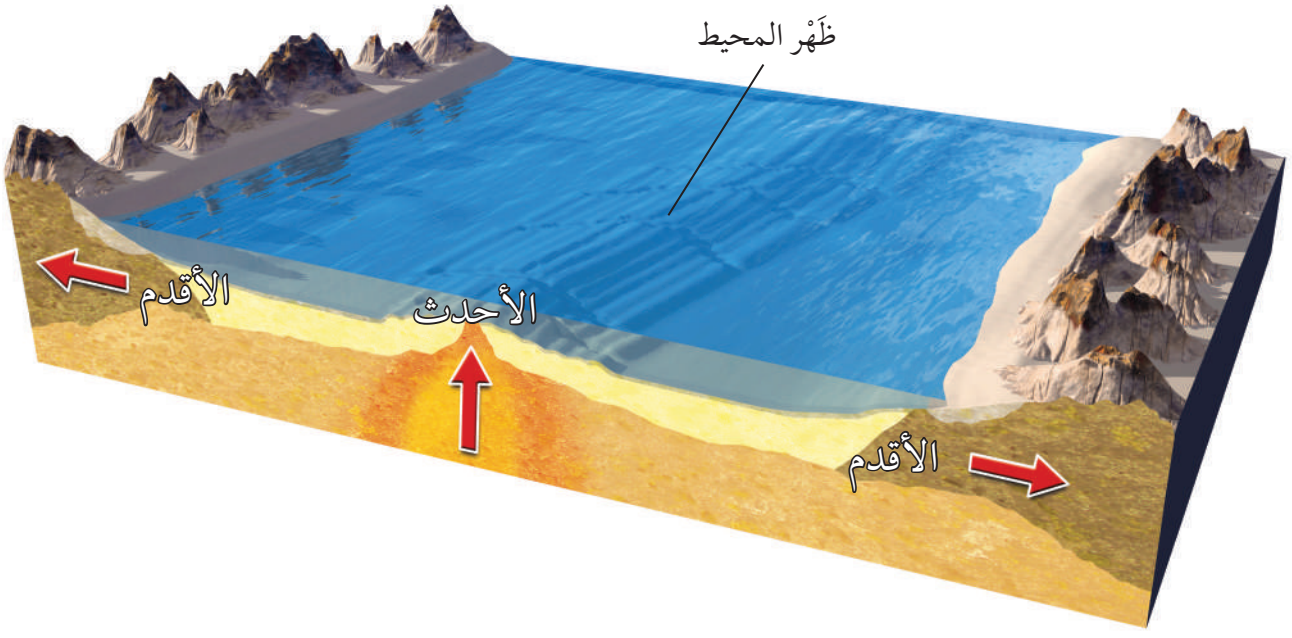
أدلّة على توسُّع قاع المحيط Evidences for Seafloor Spreading

واجهت فرَضيّة توسُّع قاع المحيط اعتراضات عديدة من العلماء، وخاصّة أن هس لم يستطع توضيح سبب توسُّع قاع المحيط. ولكنها مع ذلك حظيت باهتمام علماء آخرين؛ لأنها توضّح طريقة تشكُّل القشرة الأرضيّة واستهلاكها، وكيفيّة توسُّع قيعان المحيطات. وقد رُبطت هذه الفرَضيّة بالعديد من الاكتشافات التي عُدّت أدلة تثبت صحتها وتدعمها، منها: أعمار صخور قاع المحيط، والأشرطة المغناطيسيّة، وتركيب صخور قاع المحيط.

أفكّرُ هـل يتغيّر حجم الأرض وكتلتُها نتيجة توسُّع قاع المحيط؟ أناقش هذا السؤال مع زمـلائي/ زميلاتي، وأسوِّغ إجابتي.

عُمر صخور قاع المحيط The Age of the Ocean Floor Rocks

يُعَدُّ عُمر صخور قـاع المحيـط من أفضل الأدلّـة التي دعمت فرَضيّـة توسُّع قـاع المحيط، فقد استخدمت سفينـة (غلومار شالنجـر) Glomar Challenger منذ عام 1968م لجمع عيّنات صخريّة تمثّل قاع المحيط، فالتقطت السفينة تلك العيّنات من صخور جانِبَي ظَهْر المحيط. وقد أكّدت البيانات التي تم الحصول عليها بعد تحليل تلك العيّنات صحّة فرَضيّة توسُّع قاع المحيط. إذ وجد العلماء أن العيّنات الصّخرية التي أُخِذت من المناطق البعيدة عن ظَهْر المحيط هي الأقدم عُمرًا، في حين أن العيّنات الصّخريّة التي أُخِذت من وسط ظَهْر المحيط كانت الأحدث عمرًا. أنظر الشكل (7).



الشكل (7): تقع الصّخور الأقدمُ بالقرب من حافات القارّات، في حين تقع الصّخور الأحدث في منطقة وسط المحيط.

أستنتج العلاقـة بين الصّـخور المتنـاظِرة على جانِبَي ظَهْر المحيط التي تقع بالقرب من القارّات.

ما يعني أن عُمر الصّخور يزداد كلّما ابتعدنا عن منطقة وسط ظَهْر المحيط باتجاه حوافِ القارّات أو مناطق الأخاديد البحريّة وتتماثل أعمارها على جانبَي ظَهْر المحيط. وقد أكّدت الدّراسات أن أقدمَ عُمْر لصخور قشرة محيطيّة لا يزيد على 180 m.y تقريبًا، في حين يزيد أقدم عُمر لصخور قشرة قارّية على 4.4 b.y.

الأشرطة المغناطيسيّة Magnetic Strips

يتكوّن لُبُّ الأرض من عنصرَيِ الحديد والنّيكل، وينقسم إلى جزأين: لُبٌّ خارجيّ يوجد في الحالة السائلة، ولُبٌّ داخليّ يوجد في الحالة الصُّلبة. وينشأ عن حركة صهير الحديد والنّيكل في اللّبّ الخارجي تيّار كهربائيّ ينشأ عنه المجال المغناطيسيّ الأرضي. أنظر الشكل (8).

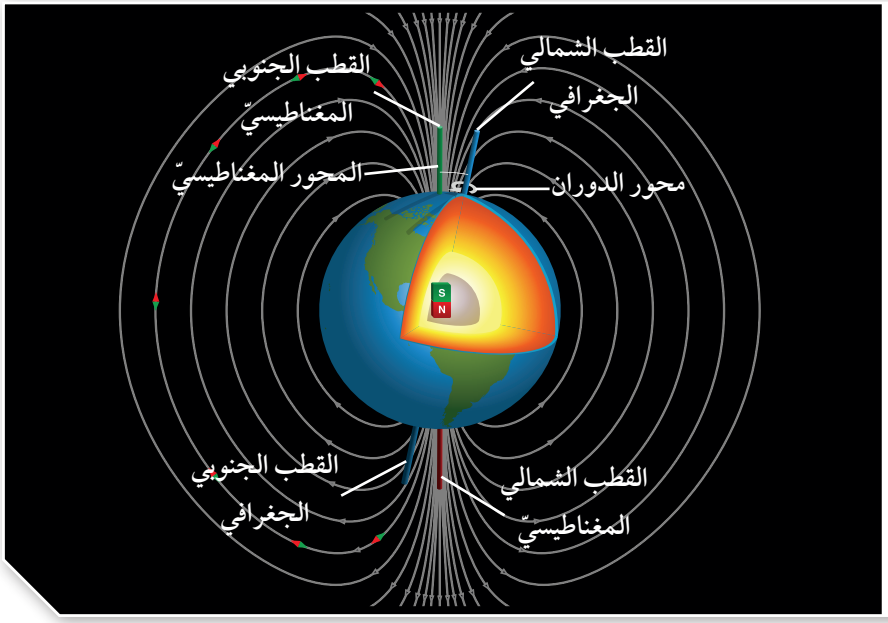
وقد دلّت الدّراسات أن المعادن المغناطيسيّة مثل الماغنيتيت عندما تتبلور من الماغما المندفعة عند ظَهْر المحيط، فإنها تتمغنَط وتترتّب ذرّاتها باتجاه المجال المغناطيسيّ الأرضي نفسه، وعندما تتصلّب فإنها تحتفظ باتجاه المجال المغناطيسيّ الأرضي وقت تكوّنها، وتُسمّى هذه الظاهرة **المغناطيسيّةَ القديمةَ Paleomagnetism**.

اكتشف العلماء أن المجال المغناطيسيّ الأرضي قد عكس اتجاهه في مُدد زمنية مختلفة عبر التاريخ الجيولوجيّ؛ بسبب تغيُّر اتجاه حركة صهير الحديد والنّيكل في اللّبّ الخارجي. وقد اصطلح العلماء على تسمية المجال المغناطيسيّ

الربط بعلم البحار والمحيطات

أكدت الدراسات أن عُمر صخور قشرة قاع البحر الأبيض المتوسّط تساوي 340 m.y، وباقي أعمار صخور قاع البحار والمحيطات لا تزيد على 180 m.y. ويفسّر العلماء سبب زيادة عُمر صخور قاع البحر الأبيض المتوسّط مقارَنةً بباقي البحار والمحيطات في أن صخوره تمثّل بقايا صخور قاع محيط التيثس القديم.

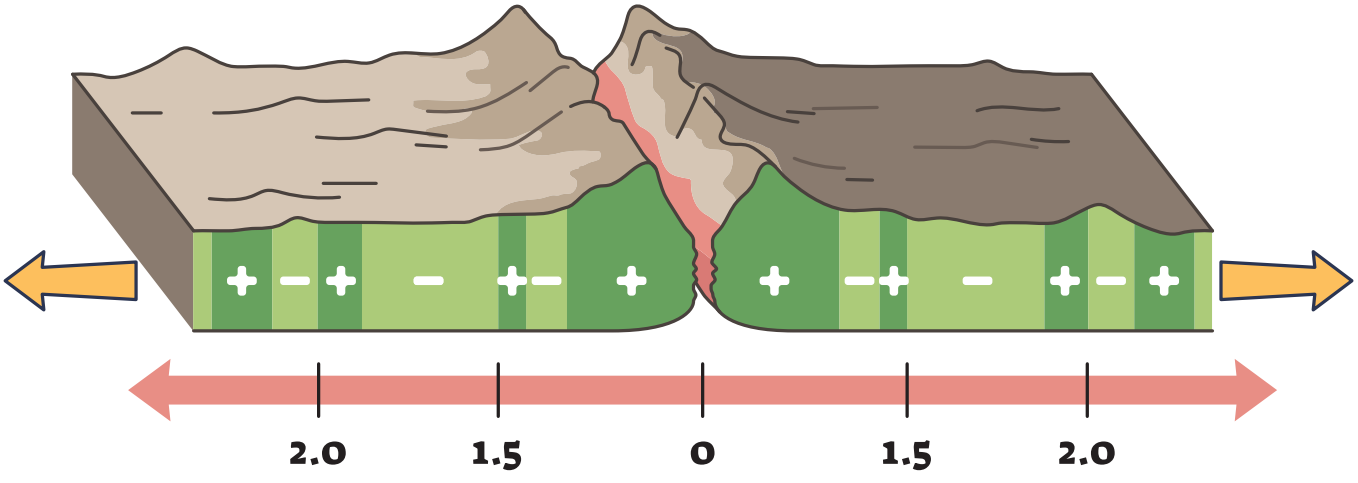
أفكّرُ لماذا لا تزيد أعمار صخور قاع المحيط على 180 m.y في حين يزيد عُمر صخور القشرة القارّية على 4.4 b.y؟



الشكل (8): ينتج من حركة مصهور الحديد والنّيكل مجال مغناطيسيّ له قُطبان: شماليّ، وجنوبيّ.

المحفوظ في الصّخور التي تتّجه فيها المعادن المغناطيسيّة باتجاه المجال المغناطيسيّ الحالي نفسه **القطبيّة العادية** Normal Polarity، في حين يُسمّى المجال المغناطيسيّ المحفوظ في الصّخور التي تتّجه فيها المعادن المغناطيسيّة بعكس اتجاه المجال المغناطيسيّ الحالي **القطبيّة المقلوبة** Reverse Polarity. ويُسمّى التغيُّر في قطبيّة المجال المغناطيسيّ للأرض من عاديّة إلى مقلوبة **الانقلاب المغناطيسيّ Magnetic Reversal**.

أظهرت الدراسات التي قام بها العلماء باستخدام أجهزة قياس الشدّة المغناطيسيّة Magnetometers لصخور قاع المحيط أن هناك نمطًا معيّنًا يظهر في تعاقُب الصّخور على جانِبَي ظَهْر المحيط؛ إذ تكون على شكل أشرطة مغناطيسيّة ذات شدّة مغناطيسيّة عالية، وأشرطة مغناطيسية ذات شدّة مغناطيسيّة منخفضة بصورة متعاقِبة وموازية لظَهْر المحيط، إذ إن كل شريطين متناظِرَين على جانِبَي ظَهْر المحيط لهما الشدّة المغناطيسيّة نفسها، والعمر والعرض أنفسهما. أنظر الشكل (9). وقد فسّر العلماء ذلك بأن صخور القشرة المحيطيّة المكوِّنة لهذه الأشرطة عندما تتكوّن في وسط ظَهْر المحيط تتمغنط معادنها المغناطيسيّة بحسب المجال المغناطيسيّ السائد في ذلك الوقت؛ ولذلك، فإن الأشرطة ذات الشّدّة المغناطيسيّة العالية تشكّلت عندما كان المجال المغناطيسيّ السائد ذا قطبيّة عادية، والأشرطة ذات الشّدّة المغناطيسيّة المنخفضة تشكّلت عندما كان المجال المغناطيسيّ السائد ذا قطبيّة مقلوبة. وتُعَدُّ المغناطيسيّة القديمة للصّخور المكوِّنة لقاع المحيط والانقلاب المغناطيسيّ والشّدّة المغناطيسيّة من الأدلّة على صحّة فرَضيّة توسُّع قاع المحيط.



الشكل (9): تُعَدّ الأشرطة المغناطيسيّة المتعاقِبة ذات الشّدّة المغناطيسيّة العالية (+) والأشرطة المغناطيسيّة ذات الشّدّة المغناطيسيّة المنخفضة (−) الموجودة على جانِبَي ظَهْر المحيط أحد الأدلّة على فرَضيّة توسُّع قاع المحيط.

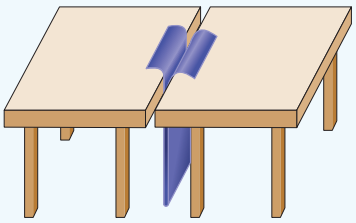
أقارن بين الصّخور التي عُمرها (1.6) m.y على جانِبَي ظَهْر المحيط من حيث: العرض، والشدّة المغناطيسيّة، ونوع القطبيّة المغناطيسيّة.

ولِتعرُّف طريقة تشكُّل الانقلابات المغناطيسيّة في أثناء توسُّع قاع المحيط، أنفِّذ التجربة الآتية:

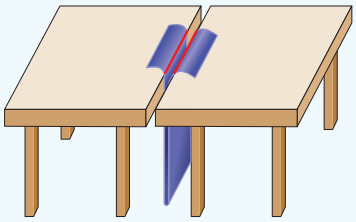
التّجربة 2

الانقلابات المغناطيسيّة وتوسُّع قاع المحيط

يُعَدُّ الانقلاب المغناطيسيّ أحد الأدلّة على فرَضيّة توسُّع قاع المحيط. فما الطريقة التي تتوسّع بها قيعان المُحيطات؟ وما علاقتها بالمغناطيسيّة الأرضيّة؟



الشكل (أ)



الشكل (ب)

الموادّ والأدوات: قطعة من الكرتون أبعادها (30 cm × 100 cm)، مغناطيس، طاولتان لهما الارتفاع نفسه، مقَصّ، قلم تلوين، بوصلة مغناطيسيّة.

إرشادات السّلامة: الحذر عند استخدام المقصّ.

خطوات العمل:

1. أضع الطاولتين بجانب بعضهما بعضًا، حيث يلتصق طرفاهما تقريبًا.
2. أَثني قطعة الكرتون من منتصف طولها.
3. أُدخل قطعة الكرتون المثنيّة بين طرفَي الطاولتين من أسفل، حيث تظهر حافتاها من أعلى الطاولة كما في الشكل (أ).
4. أحدّد اتجاه المجال المغناطيسيّ الأرضيّ باستخدام البوصلة، ثم أضع المغناطيس باتجاه المجال المغناطيسيّ الأرضي نفسه ليمثّل المجال المغناطيسي الأرضي الحالي.
5. أرسم خطّين على امتداد الشّق على طرفَي قطعة الكرتون كما في الشكل (ب).
6. أكتب على كل طرف من أطراف الكرتون حرف (ع)؛ ليمثّل قطبيّة عاديّة.
7. أقلب المغناطيس ليصبح بعكس اتجاه المجال المغناطيسيّ الأرضي الحالي، وأحدّد اتجاه المجال المغناطيسيّ باستخدام البوصلة، ثم أسحب طرفَي قطعة الكرتون مُبتعِدًا عن المنتصَف، وأكرّر الخطوة 5.
8. أكتب على كل طرف من أطراف الكرتون حرف (م)؛ ليمثّل قطبيّة مقلوبة.
9. أكرّر الخطوات من (4 - 8) عدّة مرّات، وأحرص على أن يكون عَرْض قطعة الكرتون التي أسحبها متساويًا في كلا الجانبَين في كل مرّة.

التّحليل والاستنتاج:

1. أحدّد: ماذا يمثّل الحدّ الفاصل بين طرفَي الطاولتين المتجاورَتين؟
2. **أقارن** بين كل شريطين متناظِرَين على جانبَي الشّق من حيث: قطبيّة الشريط، وعَرْضه.
3. **أفسِّر** سبب وجود تعاقُب أشرطة ذات قطبيّة عاديّة، وقطبيّة مقلوبة لصخور قاع المحيط.
4. **أستنتج** العلاقة بين الأشرطة المغناطيسيّة المتناظِرة على جانبَي ظَهْر المحيط.

مكوّنات صخور قاع المحيط Composition of the Ocean Floor Rocks

استخدم العلماء في عام 1964م الغوّاصة (ألفين) Alvin لدراسة قيعان المحيطات. حصل العلماء على عيّنات صخريّة متنوّعة تمثِّل قيعان المحيطات فوجدوا أنها جميعها مكوَّنة من صخور ناريّة ذات تركيب بازلتيّ، تغطّيها طبقات رسوبيّة يقلّ سُمكها بشكل تدريجيّ كلّما اتّجهنا نحو وسط ظَهْر المحيط حتى تختفي عند مركزه. وقد اكتشف العلماء أن صخورًا بازلتيّة تظهر على شكل وسائد، وتوجد على امتداد ظَهْر المحيط تُسمّى لابَةً وسائِدِيّةً Pillow Lava. أنظر الشكل (10). وقد فسّر العلماء أن مثل هذه الصّخور يمكن أن تتكوّن فقط بسبب اندفاع الماغما على امتداد وسط ظَهْر المحيط، إذ تتصلّب الماغما المندفعة من الشقوق الموجودة في وسط ظَهْر المحيط بسرعة، بسبب ملامستها للماء. وقد أظهرت دراسات صخور قاع المحيط أن الماغما قد اندفعت اندفاعًا متكرّرًا من تلك الشقوق ما يدل على تشابُه آليّة تشكُّل صخور قاع المحيط.

✓ **أتحقّق:** أذكر ثلاثة أدلّة تدعم فرَضيّة توسّع قاع المحيط.

الشكل (10): تكشُّفات من اللّابة الوسائديّة موجودة على سطح الأرض.
أفسّر: كيف تتكوّن اللّابة الوسائديّة؟

الرّبط بالتاريخ

سُمّيت غوّاصة (ألفين) Alvin بهذا الاسم تقديرًا للعالِم الفيزيائيّ ألين ألفين (Allyn C. Vine) صاحب فكرة الغوّاصة، والمشرف على تطويرها. وغوّاصة ألفين غوّاصة صغيرة بُنِيت لدراسة قيعان المحيطات، وقد بدأت رحلاتها الاستكشافيّة منذ عام 1964م، وتستطيع حَمْل عدد من العلماء في داخلها، وتستطيع أيضًا تحمُّل ضغط الماء على عُمق يصل إلى 4 km. أجرت الغوّاصة أكثر من 4700 مهمّة تحت الماء، منها: اكتشاف البراكين الحرمائيّة في قيعان المحيطات، ودراسة الكائنات الحيّة البحريّة. ومازالت تعمل حتى الآن بصورة جيدة.

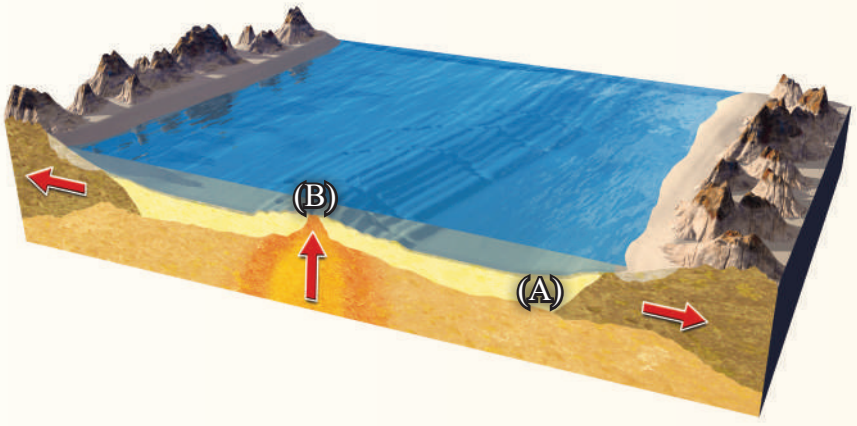
مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة**: أوضّح كيف تتشكّل القشرة المحيطيّة بحسب فرَضيّة توسُّع قاع المحيط.

2. **أصف** ظَهْر المحيط.

3. **أقارن** بين القطبيّة المغناطيسيّة العاديّة، والقطبيّة المغناطيسيّة المقلوبة من حيث الشّدّة المغناطيسيّة.

4. **أقارن**: إذا حصلتُ على عيّنتين من صخور أحد قيعان المحيطات في الموقعين (A) و (B) كما في الشكل الآتي، فأيُّهما الأحدث عُمرًا ؟ لماذا؟



5. **أناقش** صحة ما تشير إليه العبارة الآتية: "تُعَدُّ الأشرطة المغناطيسيّة دليلًا يدعم فرَضيّة توسُّع قاع المحيط".

6. **أستنتج**: لماذا تتكوّن صُخور قيعان المُحيطات جميعها من النوع نفسه من الصخور وهو البازلت؟

7. أوضّح كيف نشأ المجال المغناطيسي الأرضي.

8. **أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:**

1. كل المشاهدات الآتية صحيحة فيما تتعلق بتوسع قاع المحيط، ما عدا :

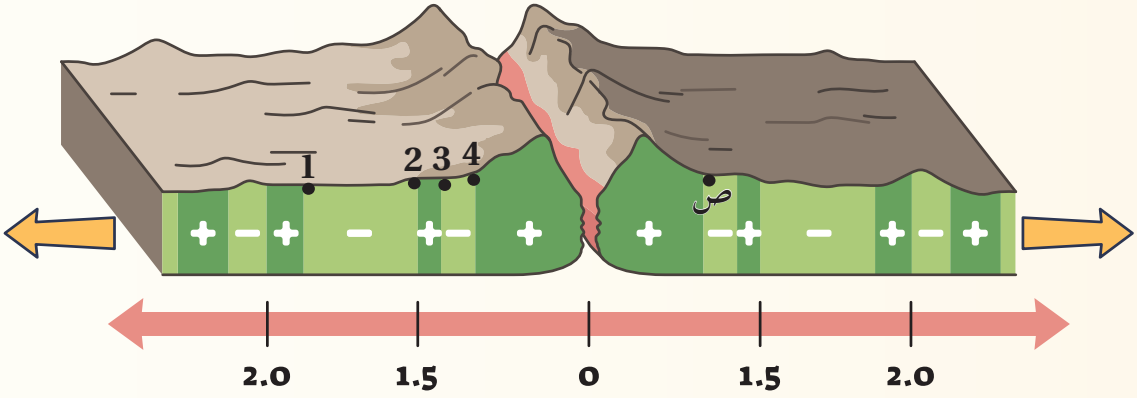
أ . أكبر عمر للصخور يكون عند ظهر المحيط.

ب. تتماثل الشدة المغناطيسية على جانبي ظهر المحيط.

جـ. تتماثل أعمار الصخور على جانبي ظهر المحيط.

د . تندفع الماغما للأعلى باستمرار عند ظهر المحيط.

2. يوضّح الشكل الآتي تتابعات الأشرطة المغناطيسية عند مركز التوسع. أدرسه جيدًا، ثم أحدّد أي الصخور (1، 2، 3، 4) التي لها العمر المماثل لتلك التي تقع عند النقطة (ص):



أ . 1 ب. 2 جـ. 3 د. 4

3. عند مقارنة أحد الأشرطة المغناطيسية على أحد جانبَي ظهر المحيط مع شريط مغناطيسي في الجانب الآخر له البعد نفسه عن ظهر المحيط فإنهما:

أ . لهما العمر نفسه. ب. مختلفان في الشدة المغناطيسية.

جـ. مختلفان في العرض. د. مختلفان في القطبية.

4. حصل العلماء على عينات صخرية متنوعة تمثّل قيعان المحيطات، فوجدوا أنها مُكوَّنة من صخور نارية ذات تركيب:

أ . غرانيتي. ب. أنديزيتي. جـ. بازلتي. د. بيريدوتيتي.

5. جمع باحث بيانات عن قيعان تضاريس المحيطات ومكوّناتها. التعميم الذي يصدره بخصوصها:

أ . تُبنى القشرة المحيطيّة الجديدة عند الأخاديد البحريّة.

ب. تستهلك القشرة المحيطية الجديدة عند الأخاديد البحرية.

جـ. تُستهلَك القشرة المحيطيّة القديمة عند ظهور المحيطات.

د . تُبنى القشرة المحيطيّة الجديدة عند ظهور المحيطات، وتُستهلَك القشرة المحيطيّة الأقدم عند الأخاديد البحريّة.

الدرس 3

حدود الصّفائح
Plate Boundaries

الفكرة الرئيسة:

تتكوّن المظاهر الجيولوجيّة ومنها السّلاسل الجبليّة والأخاديد البحريّة عند حدود الصّفائح، وتُعَدّ تيارات الحمل في السّتار المسؤولة الرئيسة عن حركة الصّفائح الأرضيّة.

نتاجات التعلّم:

- أتعرّف بنية الأرض الداخلية.
- أحدّد أنواع حدود الصّفائح.
- أوضّح العلاقة بين التراكيب الجيولوجيّة وحركة الصّفائح التكتونيّة.
- أربط بين حدوث الزلازل والبراكين وبين حدود الصّفائح الأرضيّة.

المفاهيم والمصطلحات:

نظريّة الصّفائح التكتونية
Plate Tectonic Theory

صفيحة Plate

الحدود المتباعدة
Divergent Boundaries

الحدود المتقاربة
Convergent Boundaries

نطاق الطرح Subduction Zone

الأقواس البُركانيّة Volcanic Arcs

أقواس الجُزُر Island Arcs

الحدود التحويليّة
Transform Boundaries

تيارات الحمل Convection Currents

استكشاف بنية الأرض Discovering Earth's Structure

يُعَدّ تعرُّف بنية الأرض الداخلية من التحديات الكبيرة التي واجهت العلماء؛ لصعوبة الوصول مباشرة إلى باطن الأرض بسبب العمق الكبير وارتفاع درجات الحرارة والضغط. ولذلك، اعتمد العلماء على العديد من الطرق الجيوكيميائية والطرق الجيوفيزيائية لاستكشاف أنطقة الأرض الرئيسة وتركيبها الكيميائي والمعدني.

الطرق الجيوكيميائية Geochemical Methods

استطاع العلماء، باستخدام الطرق الجيوكيميائية، تعرُّف التركيب الكيميائي والمعدني لأجزاء مختلفة من باطن الأرض. ومن تلك الطرق: دراسة النيازك، ومنها النيازك الفلزية المُكوَّنة من الحديد والنيكل، ودراسة المحتبسات (xenoliths) وهي قطع صخرية أصلها من أعلى الستار أو أسفل القشرة الأرضية محتبسة في صخور بركانية على سطح الأرض، ومن هذه المحتبسات صخور البيريدوتيت، أنظر الشكل (11). وعلى الرغم من أهمية الطرق الجيوكيميائية في تعرُّف تركيب باطن الأرض لم يستطع العلماء تعرُّف سماكات طبقات الأرض الرئيسة وحدودها بهذه الطرق.

الطرق الجيوفيزيائية Geophysical Methods

استخدم العلماء العديد من الطرق الجيوفيزيائية، مثل الجاذبية والمغناطيسية والزلزالية، في تعرُّف باطن الأرض، وتُعَدّ الطريقة الزلزالية من أهم الطرق الجيوفيزيائية التي استطاع العلماء عن طريقها معرفة أنطقة الأرض وسماكاتها وكثيرًا من خصائصها. وفي ما يأتي شرح لكيفية استخدام الموجات الزلزالية في تعرُّف انقطاع موهو الذي يفصل بين القشرة والستار.

الشكل (11): عُرِف التركيب الكيميائي والمعدني لباطن الأرض بتحليل ودراسة المحتبسات المعدنية من صخور البيريدوتيت في صخور بركانية على سطح الأرض.

درست سابقًا أن سرعة الموجات الزلزالية الجسمية (الأولية والثانوية) تعتمد على خصائص الوسط الذي تنتقل فيه، وأنها تنتقل في الوسط الواحد بسرعة ثابتة وتزداد فيه بزيادة العمق نتيجة لزيادة الكثافة، وعندما تنتقل في وسط آخر تزداد سرعتها أو تقل بحسب خصائص الوسط الآخر مثل: الحالة الفيزيائية، والكثافة وأن الموجات الأولية تنتقل عبر الأوساط جميعها؛ الصُّلبة والسائلة والغازية، في حين تنتقل الموجات الثانوية عبر الأوساط الصُّلبة فقط.

وقد استخدم العالم اليوغسلافي أندريا موهوروفيتش تلك المعلومات أثناء دراسته زلزال كرواتيا عام 1909م، إذ لاحظ أن الموجات الزلزالية التي تصل إلى أجهزة السيزموغراف في محطات الرصد الزلزالي التي تقع على مسافة أبعد عن بؤرة الزلزال تصل بزمن أقل من زمن الوصول المُتوقَّع اعتمادًا على معرفة سرعة الموجات الزلزالية، في حين تصل الموجات الزلزالية إلى أجهزة السيزموغراف في المحطات القريبة من بؤرة الزلزال بالزمن المُتوقّع الوصول فيه. أنظر الشكل (12).

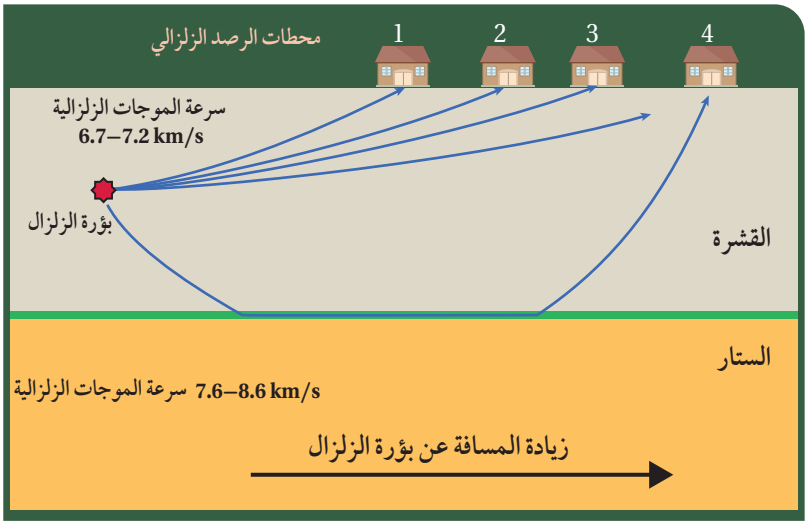
استنتج موهوروفيتش أن الموجات الزلزالية مرّت عبر نطاقين: النطاق الأول (العلوي) سرعة الموجات الزلزالية فيه أقل من سرعتها في النطاق الثاني الذي يقع أسفل منه؛ وقد وصلت الموجات الزلزالية إلى أجهزة السيزموغراف في المحطات القريبة من بؤرة الزلزال بالزمن المُتوقَّع؛ لأنها انتقلت في النطاق العلوي، في حين وصلت الموجات الزلزالية إلى أجهزة السيزموغراف في المحطات البعيدة عن بؤرة الزلزال بزمن أقل من المُتوقَّع؛ لأنها انتقلت في النطاق السفلي.

قُدِّر عمق الحد الذي يفصل بين نطاق السرعة المنخفضة ونطاق السرعة المرتفعة (10–70) km وسُمّي انقطاع موهو، وهو الحد الذي يفصل بين القشرة والستار، وبدراسة الموجات الزلزالية التي تنتقل في باطن الأرض أمكن تعرُّف سماكات أنطقة الأرض المختلفة وخصائصها.

أفكّرُ

أستنتج سبب اختلاف سرعة الموجات الزلزالية في النطاقين: العلوي، والسفلي وفقًا لاستنتاج موهوروفيتش.

✓ **أتحقّق:** أحدّد أهمية المحتبسات في تعرُّف تركيب باطن الأرض.



الشكل (12): تصل الموجات الزلزالية إلى أجهزة السيزموغراف في محطات الرصد القريبة من بؤرة الزلزال بسرعة أقل من سرعة وصول الموجات الزلزالية إلى أجهزة السيزموغراف في محطات الرصد البعيدة عن بؤرة الزلزال.

أقارن بين سرعة الموجات الزلزالية الواصلة إلى محطة الرصد الزلزالي (4).

بِنية الأرض Earth's Structure

قسَّم العلماء بنية الأرض الداخلية باستخدام الدراسات الجيوفيزيائيّة إلى ثلاثة أنطِقة رئيسة، هي:

القشرة الأرضيّة Earth Crust

تمثِّل القشرة الأرضيّة النطاق الخارجيّ الصُّلب للأرض، وتُقسَم إلى نوعين: قشرة محيطيّة تقع أسفل المحيطات تتكوّن من صخر البازلت ويبلغ متوسط سُمْكِها 7 km تقريبًا، ومتوسط كثافتها $3\ g/cm^3$، وقشرة قارّية تقع أسفل القارّات تتكوّن بشكل رئيس من صخر الغرانيت، ويبلغ متوسط سُمْكِها 35 km تقريبًا، ومتوسط كثافتها $2.7\ g/cm^3$، أنظر الشكل (13).

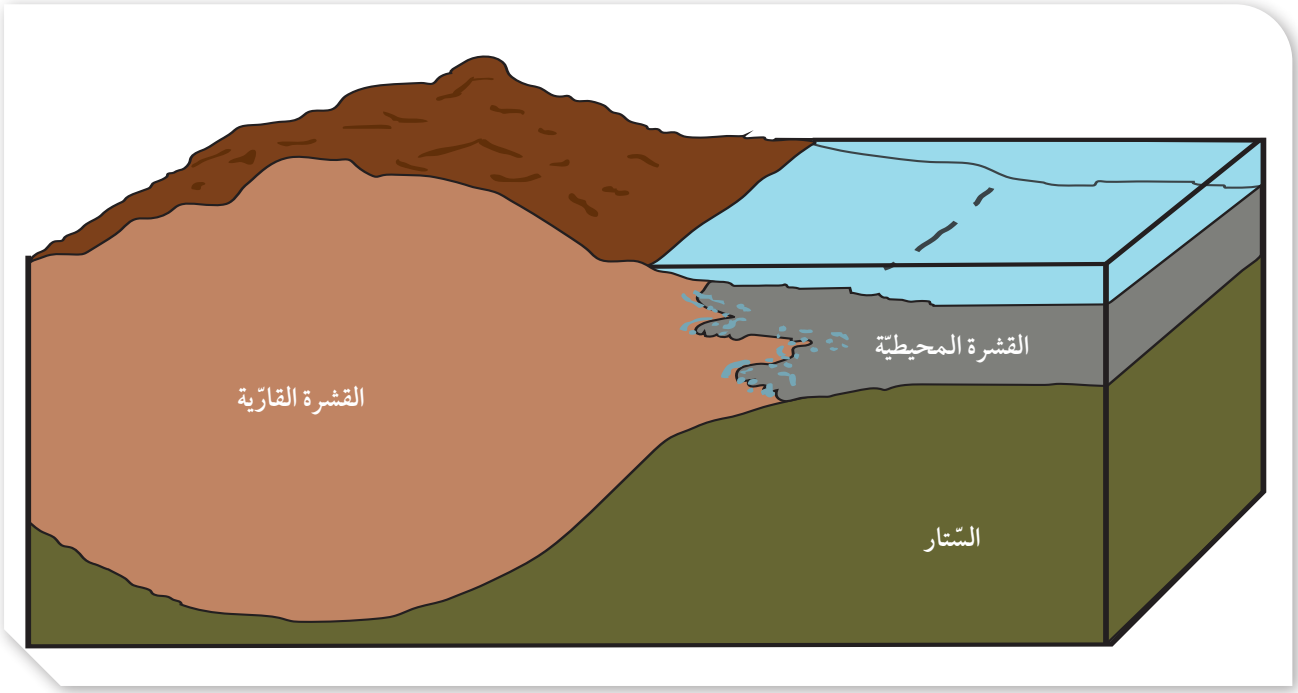
السّتار Mantle

يقع السّتار أسفل القشرة الأرضيّة، ويمتد إلى عمق 2885 km، ويُقسَم إلى أجزاء مختلفة بناءً على الخصائص الفيزيائيّة لمكوّناته على النحو الآتي:

- **السّتار العُلويّ Upper Mantle** وهو الجزء من السّتار الذي يمتد من أسفل القشرة الأرضيّة حتى عمق 700 km، ويُقسَم إلى جزأين، الجزء العُلويّ منه تشبه خصائصُه خصائصَ القشرة الأرضيّة، وهو في الحالة الصُّلبة، ويتكوّن من صخور البيريدوتيت، ويمتد إلى عمق 100 km.

الشكل (13): تُقسَم القشرة الأرضيّة إلى نوعين: قشرة قارّية، وقشرة محيطيّة.

أقارن بين القشرة القارّية، والقشرة المحيطيّة من حيث: السُّمْك، والكثافة.



ويُطلِق العلماء على الجزء الصُّلب من الأرض الذي يشمل القشرة الأرضيّة والجزء العلوي من الستار العلوي على عمق 100 km الغلافَ الصّخريَّ Lithosphere.

والجـزء السُّفليّ منه يُسمّى الغلافَ المائـعَ Asthenosphere، ويمتـد من عمق 100 km حتى عمق 700 km، ويتكوّن من صخور في الحالة اللّدِنة.

- **السّتار السُّفليّ Lower Mantle** يمتد السّتار السُّفليّ من عمق 700 km حتى عمق 2885 km، وهو أكثر سخونة وكثافة وصلابة من السّتار العُلويّ.

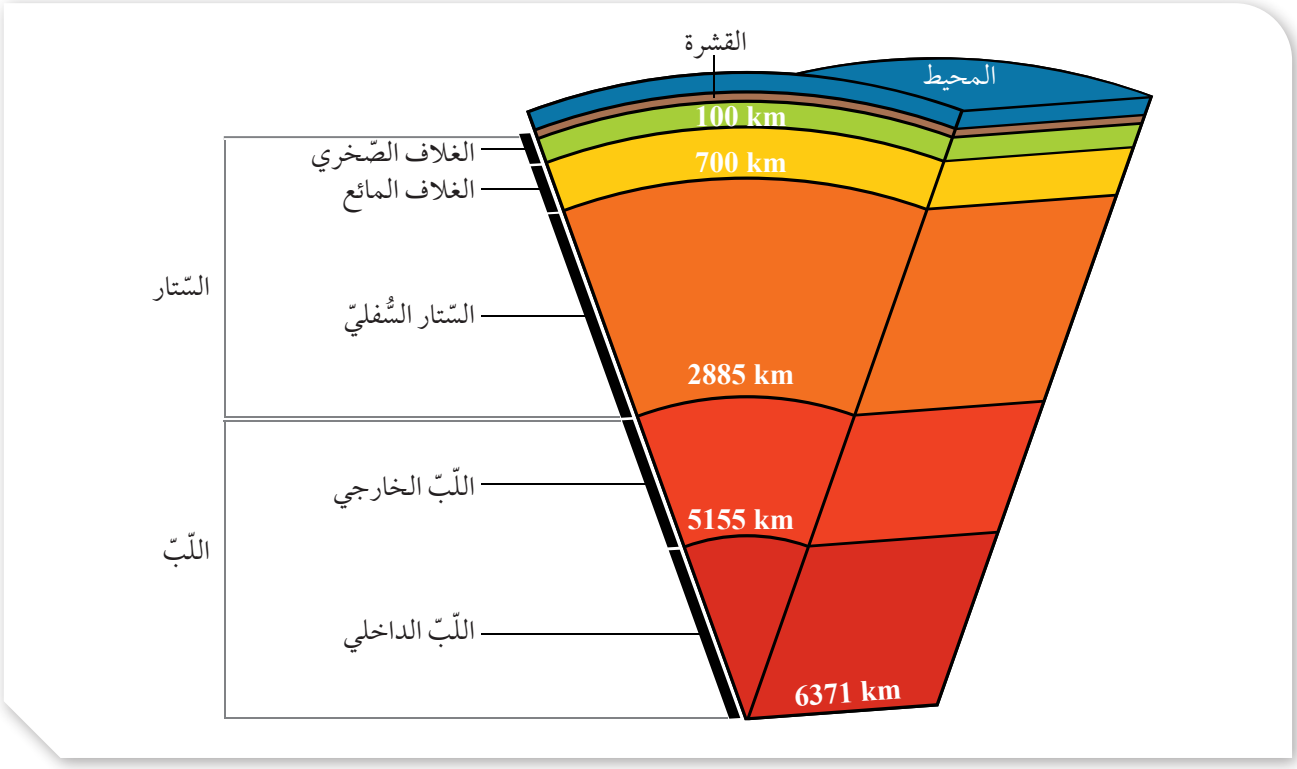
اللّبّ Core

يمتـد اللّـبّ من عمق 2885 km وحتـى مركـز الأرض على عمق 6371 km، ويقسم اللّبّ إلى جزأين: اللّبّ الخارجي Outer Core، وهو في الحالـة السائلة ويتكوّن بصورة أساسية من عنصري الحديد والنّيكل، ومن عناصر أخرى مثل الكبريت والأكسجين والسيليكون. واللّبّ الداخلي Inner Core، وهو في الحالة الصُّلبة، ويتكوّن من عنصري الحديد والنيكل. أنظر الشكل (14)الذي يمثّل بنية الأرض الداخلية.

✓ **أتحقّق:** أصف الحالة الفيزيائية لكل من: الغلاف الصّخري، والغلاف المائع.

الربط بعلم الزلازل

استخـدم العلماء المعلومـات التي تم الحصول عليها من دراسة سلوك الموجات الزلزالية في باطن الأرض في تعـرّف بِنيـة الأرض، وتحـديـد أنطقتِها الرئيسة. وتوصلوا إلى وجود انقطاعات بين هـذه الأنطِقـة، حيث تتغيّر سرعـة الموجـات تغيرًا مفاجئًا منها: انقطاع موهو الذي يفصل القشرة الأرضيّة عن السّتار، وانقطاع غوتنبيرغ الذي يفصل السّتار عن اللّبّ.



الشكل (14): تتكوّن الأرض من ثلاثة أنطِقة رئيسة، هي: القشرة الأرضيّة، والسّتار، واللّبّ.

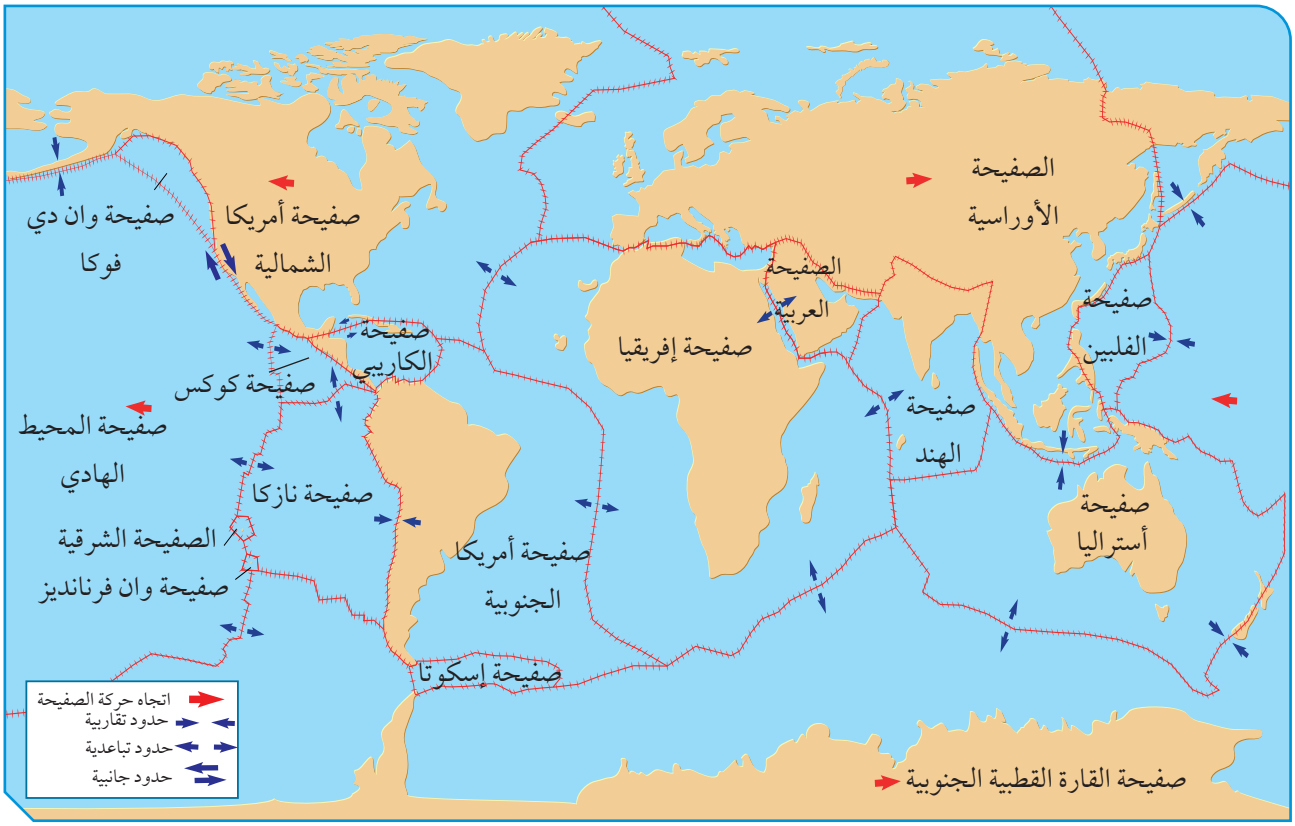
أحدّد سُمْك الغلاف المائع.

نظريّة الصّفائح التكتونيّة Plate Tectonic Theory

فسَّر العلماء من خلال فرَضيّة توسُّع قاع المحيط آلية حركة القارّات، وكيفية تشكُّل المُحيطات، ولكنهم مع ذلك لم يستطيعوا تفسير العديد من المظاهر الجيولوجيّة الأخرى، مثل تشكُّل البراكين والزلازل والجبال في أحزمة معيّنة من سطح الأرض. وقد طوّر العديد من العلماء نظريّة جديدة اعتمدت على دمج أدلّة جديدة مع الأدلّة السابقة التي قدّمها كل من العالِمَين فغنر وهس فسّرت الظواهر الجيولوجيّة كافة سُمِّيت **نظريّة الصّفائح التكتونيّة Plate Tectonic Theory**.

تنصّ نظريّة الصّفائح التكتونيّة على أن "الغلاف الصّخريّ الصُّلب مُقسَّم إلى عدد من القطع يُسمّى كل منها **صفيحةً Plate**. تتحرّك كل صفيحة ببطء فوق الغلاف المائع حركة مستقلّة نسبة إلى الصّفائح المجاورة لها، إما متقاربة معها، أو متباعدة عنها، أو بمحاذاتها بحركة جانبية " أنظر الشكل (15)، وتختلف الصّفائح في حجومها؛ فبعضها صفائح كبيرة الحجم مثل صفيحة أوراسيا، وبعضها صغيرة الحجم مثل صفيحة إسكوتا. وتُصنَّف الصّفائح الأرضيّة بحسب تركيبها إلى نوعين: صفائح قارّية Continental Plates وهي الصّفائح التي تتضمن بداخلها القارّات، وتتكوّن من صخر الغرانيت، وتحتوي في الغالب

الشكل (15): ينقسم الغلاف الصّخريّ إلى صفائح مختلفة الحجوم تتحرّك كل منها بحركات مختلفة نسبة إلى بعضها بعضًا.



على جزء من القشرة المحيطيّة، وصفائح محيطيّة Oceanic Plates تقع أسفلَ المحيطات، وتتكوّن من صخر البازلت.

✓ **أتحقّق:** أقارِن بين الصّفائح القارّية والصّفائح المحيطيّة من حيث نوع الصّخور المكوِّنة لها.

أنواع حدود الصّفائح Types of Plate Boundaries

تحدث الحركة بين الصّفائح الأرضيّة على امتداد حدودها، ويُسمّى التقاء حواف الصّفائح مع بعضهما بعضًا حدود الصّفائح Plate Boundaries، وتُقسَم حدود الصّفائح إلى ثلاثة أنواع اعتمادًا على طبيعة حركتها هي: الحدود المتباعدة، والحدود المتقاربة، والحدود التحويليّة. وتتميز معظم الصّفائح بوجود أنواع مختلفة من الحدود على حوافها.

الحدود المتباعدة Divergent Boundaries

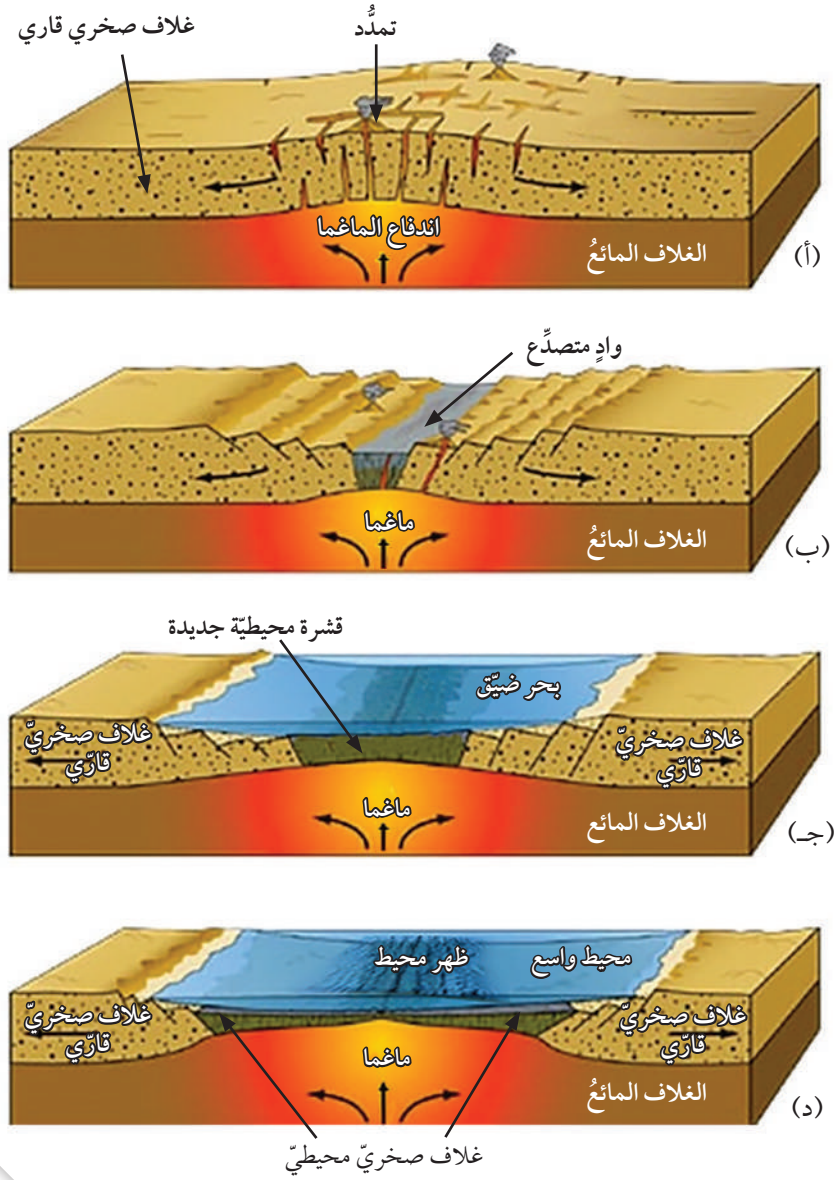
تتشكّل **الحدود المتباعدة Divergent Boundaries** حينما تبتعد صفيحتان عن بعضهما بعضًا، وتوجد معظم الحدود المتباعدة في المحيطات على امتداد وسط ظَهْر المحيط في مناطق الوديان المتصدِّعة Rift Valleys وهي مناطق منخفضة ضيّقة تقع على امتداد ظَهْر المحيط تتكوّن نتيجة تباعُد الصّفائح بعضها عن بعض. وينتج من تباعُد الصّفائح توسُّع قاع المحيط ونشأة غلاف صخريّ محيطيّ في مناطق ظَهْر المحيط؛ لذلك تُسمّى الحدود المتباعدة بمراكز التوسّع، وقد تحدث بعض مراكز التوسّع أيضًا في القارّات، مثل الوادي المتصدِّع الكبير الذي يتشكّل حاليًّا في شرق إفريقيا. أنظر الشكل (16).

تُسمّى الحدود المتباعدة الحدودَ البنّاءةَ؛ لأنه يحدث فيها بناءُ غلاف صخريّ محيطيّ جديد. ولكن كيف ينشأ محيط جديد في وسط القارّة؟

الشكل (16): الوادي المتصدِّع الكبير شرق إفريقيا الذي يمثِّل مركزَ توسُّع في وسط القارة.

أفكّرُ لماذا تتميز مناطق ظَهْر المحيط بحدوث الزلازل والبراكين فيها؟

تبدأ عملية نشأة المحيط عندما ترتفع التيارات الصاعدة حاملةً معها الماغما للأعلى؛ لتصل إلى أسفل الغلاف الصّخريّ القارّي، ونتيجة للحرارة العالية يتمدّد. ومع استمرار صعود الماغما تتولّد قُوى شَدّ تعمل على تشقُّق الغلاف الصّخريّ القارّي، وتكوُّن الصُّدوع العاديّة. ثم في النهاية يتشقّق الغلاف الصّخريّ القارّي وينقسم إلى صفيحتين بينهما وادٍ متصدِّع. ومع استمرار اندفاع الماغما أسفل الصّفيحتين يزداد تباعُد الصّفيحتين، وتتكوّن قشرة محيطيّة جديدة ويُبنى غلاف صخريّ محيطي جديد، ويتشكّل بحرٌ ضيّق مثل البحر الأحمر. ومع استمرار اندفاع الماغما تتكوّن قشرة محيطيّة جديدة، ويُبنى غلاف صخريّ محيطيّ جديد، وبازدياد التباعُد يتكوّن محيط مثل المحيط الأطلسيّ. أنظر الشكل (17).



الشكل (17): مراحل تشكُّل المحيط، إذ يبدأ باندفاع ماغما أسفل الصّفيحة، ويتطوّر حتى يتشكّل محيط جديد.

(أ): تندفع الماغما إلى أعلى، ما يؤدي إلى تمدُّد الغلاف الصّخري القارّي ومن ثم تشقّقه.

(ب): ينقسم الغلاف الصّخري القارّي، ويتكوّن وادٍ متصدِّع.

(جـ): يتشكّل بحر ضيّق.

(د): في النهاية يتشكّل محيط.

الحدود المتقاربة Convergent Boundaries

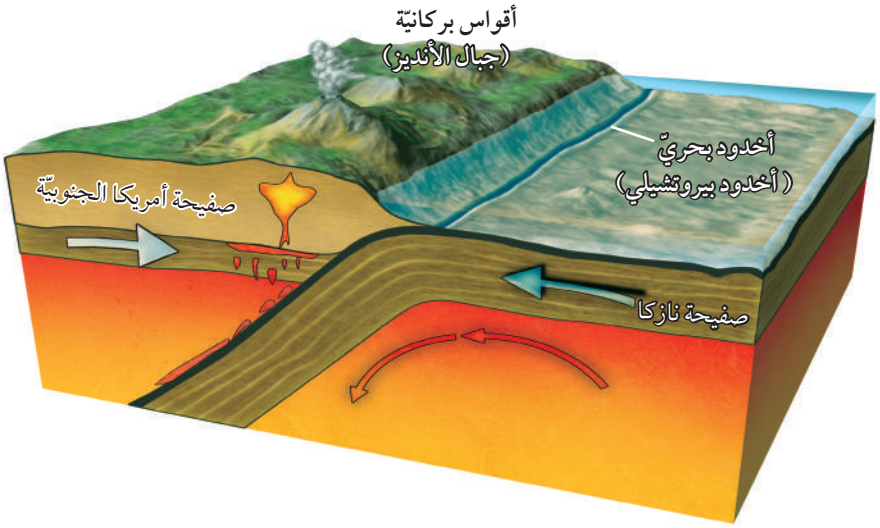
تتشكّل **الحدود المتقاربة Convergent Boundaries** عند تقارُب صفيحتين من بعضهما بعضًا، وتعتمد المظاهر الجيولوجيّة الناتجة على نوع الصّفائح المتقاربة، فقد تتشكّل الحدود المتقاربة من تقارُب صفيحة محيطيّة مع صفيحة قارّية، أو تقارُب صفيحتين محيطيّتين، أو تقارُب صفيحتين قارّيّتين. وتُسمّى الحدود المتقاربة الحدودَ الهدّامةَ؛ بسبب حدوث استهلاك للغلاف الصّخريّ المحيطيّ على حدودها.

تقارُب صفيحة محيطيّة مع صفيحة قارّية

Convergence of an Oceanic Plate with a Continental Plate

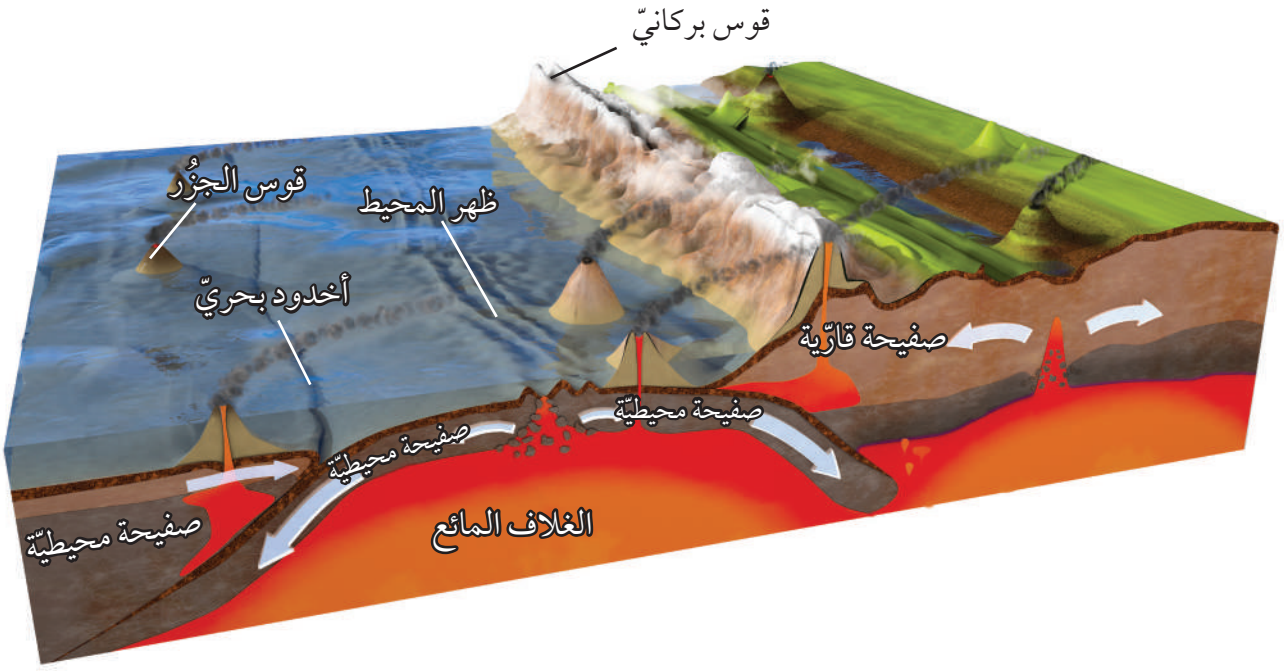
عند تقارُب صفيحة قارّية من صفيحة محيطيّة تطفو الصّفيحة القارّية فوق الصّفيحة المحيطيّة؛ لأنها أقلُّ كثافة منها، وتغطس الصّفيحة المحيطيّة الأكثرُ كثافة في الغلاف المائع. ولذلك، يُسمّى هذا النّوع من التقارُب **نطاق الطّرح Subduction Zone**. أنظر الشكل (18). وينتج من نطاق الطّرح أخدود بحريّ نتيجة غطس الصّفيحة المحيطيّة أسفلَ الصّفيحة القارّية. ومن أمثلته: أخدود بيرو- تشيلي الناتج من غطس صفيحة نازكا المحيطية أسفلَ صفيحة أمريكا الجنوبيّة القارية.

تحمل الصّفيحة المحيطيّة الغاطسة معها رسوبيّات محيطيّة، وعندما تصل إلى عُمق يتراوح بين km (150–100) تبدأ حوافها وما تحمله من رسوبيّات بالانصهار، وتنتج ماغما جديدة أنديزيتية التركيب أقلّ كثافة مما حولها، فترتفع إلى الأعلى حتى تصل في النهاية إلى سطح الأرض على شكل سلسلة من البراكين، تمتد على طول حافة الصّفيحة القارّية موازية للأخدود البحريّ على شكل قوس يُسمّى **القوسَ البركانيَّ Volcanic Arc** مثل جبال الأنديز في أمريكا الجنوبيّة.



الشكل (18): ينتج من غطس صفيحة محيطيّة أسفلَ صفيحة قارّية نطاق طرح.

أفسّر سبب تكوُّن أخدود بحريّ بين صفيحتَي نازكا وأمريكا الجنوبيّة.



الشكل (19): عند غطس صفيحة محيطيّة أسفل صفيحة محيطيّة يتكوّن قوس الجزُر وأخدود بَحريّ.

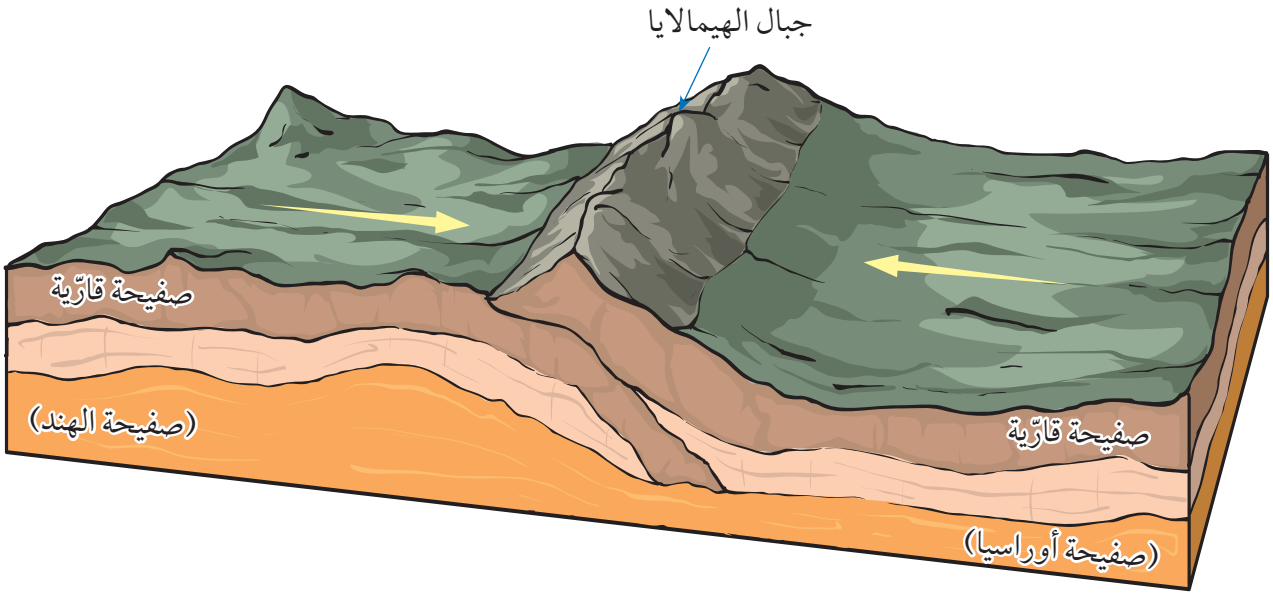
أفكّرُ عند غطس صفيحة محيطيّة أسفلَ صفيحة محيطيّة أخرى فإنها تنصهر. ما نوع الصّخور المكوِّنة لأقواس الجُزر البركانيّة الناتجة؟ لماذا؟

تقارُب صفيحتين محيطيّتين Convergence of two Oceanic Plates

عند تقارُب صفيحتين محيطيّتين من بعضهما بعضًا، تغطس الصّفيحة الأبرد والأكثر كثافة تحت الأخرى، ما يؤدي إلى حدوث انصهار جزئي لحافَتها الغاطسة، وتصعد الماغما البازلتية الناتجة بسبب قلة كثافتها للأعلى حتى تصل إلى قاع المحيط؛ مشكِّلةً براكين بَحريّة يزداد ارتفاعها مع الزمن، وتتحوّل إلى جزُر بركانيّة. ومع استمرار حركة الصّفيحة تنتج سلسلة من الجزُر على شكل قوس يوازي الأخاديد البحريّة، يُسمّى **قوس الجزُر Island Arc**، مثل: قوس جزُر ماريانا غرب المحيط الهادي الموازية لأخدود ماريانا، الذي نتج من غطس صفيحة المحيط الهادي المحيطية أسفل صفيحة الفلبين المحيطية. أنظر الشكل (19).

تقارُب صفيحتين قارّيّتين Convergence of two Continental Plates

تحتوي معظم الصّفائح القارّية في نهايتها على جزء محيطيّ. لذلك، عند تقارُب صفيحتين قارّيّتين من بعضهما بعضًا، يغطس الجزء المحيطيّ للصّفيحة أسفلَ الصّفيحة القارّية الأخرى، ويتكوّن نطاق الطّرح. ومع استمرار الغطس يستهلك الجزء المحيطيّ ويلتقي الجزء القارّي بالجزء القارّي من الصّفيحة الأخرى. وبسبب الكثافة المنخفضة للصّفائح القارّية نسبة إلى الصّفائح المحيطيّة، وبسبب سماكاتها الكبيرة تتصادمان مع بعضهما بعضًا، وينتج من التصادم تشوُّه للصّخور، وتتشكّل الطيّات والصُّدوع العكسيّة على امتداد حدود التصادُم. وينتج من التصادُم



الشكل (20): عند تقارُب صفيحتين قاريّتين من بعضهما بعضًا، لا يحدث غطس لأي منهما، ولكن يحدث تصادُم للصّفيحتين مع بعضهما بعضًا.

أفسِّر: لماذا لا تغطس إحدى الصّفيحتين القارّيتين أسفلَ الأخرى عند التقائهما؟

أيضًا سلسلة جبال ضخمة جديدة تتكوّن من صخور رسوبيّة مشوَّهة ومتحوّلة، وبقايا من القوس البركانيّ، وأيضًا أجزاءٌ من القشرة المحيطيّة. ومن الأمثلة على تلك السّلاسل الجبليّة: جبال الهيمالايا التي تشكّلت نتيجة تصادُم صفيحة أوراسيا مع صفيحة الهند. أنظر الشكل (20).

الأدلة على حدود الطرح Evidence of Subduction Zone

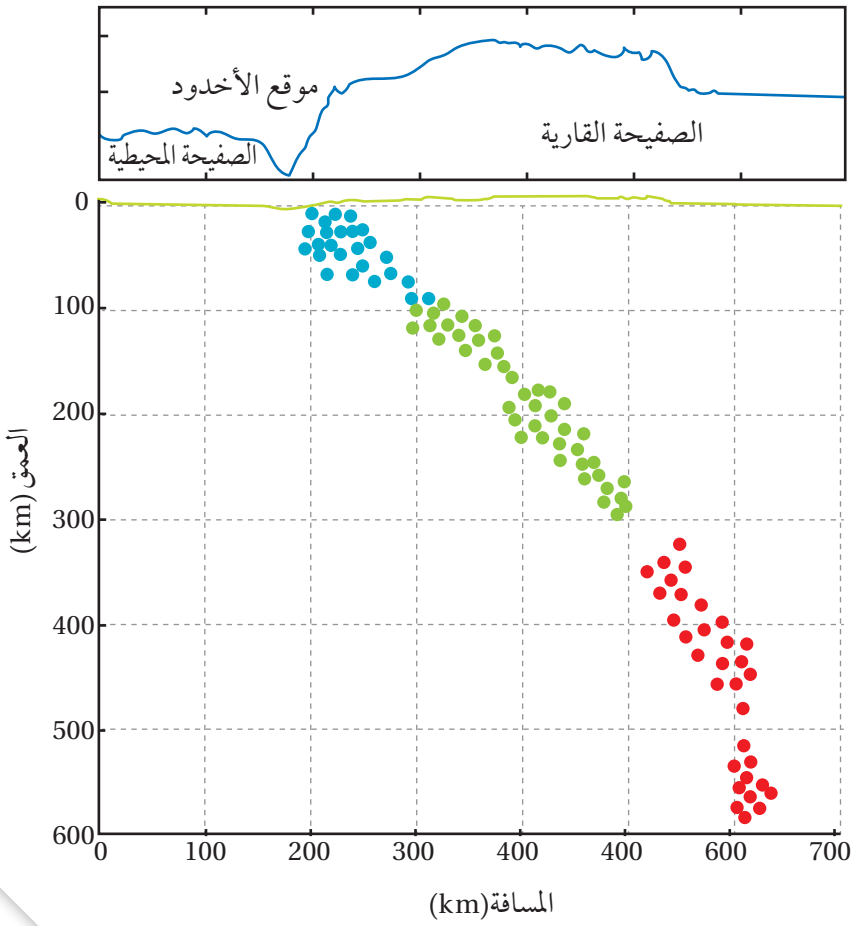
اعتمد العلماء على مشاهدات عديدة تثبت وجود عملية طرح للصفائح المحيطية عند الحدود المتقاربة، أهمّها: قيم التدفق الحراري عند الأخاديد البحرية، ونطاق واداتي – بينيوف الذي يظهر فيه توزيع البؤر الزلزالية الضحلة والمتوسطة والعميقة عند الأخاديد البحرية.

قيم التدفق الحراري عند الأخاديد البحرية

Heat Flux Measurements at Deep Sea Trenches

تُعَدّ قيم التدفق الحراري عند الأخاديد البحرية دليلًا على وجود طرح للصفيحة المحيطية عندها، ويُعرّف التدفق الحراري بأنه مُعدَّل انتقال الحرارة من باطن الأرض إلى سطحها، إذ تنخفض قيم التدفق الحراري في الستار عند الأخاديد البحرية، ويُفسَّر ذلك بأن غطس الصفيحة المحيطية الباردة في الستار يؤدي إلى خفض درجة حرارته.

أفكّر لماذا تتشكّل الصُّدوع العكسيّة في منطقة تصادُم الصّفيحتين القارّيتين؟



الشكل (21): توزع أنواع الزلازل بحسب نطاق بنيوف.

أحدّد العمق الذي تتشكّل فيه الزلازل المتوسطة.

عمق البؤرة الزلزالية:

الزلازل الضحلة: أقل من 100 km

الزلازل المتوسطة: 100 km–300 km

الزلازل العميقة: 300 km–700 km

نطاق واداتي ـ بينيوف The Wadati - Benioff zone

حلّل عالم الزلازل الأمريكي هوجو بينيوف Hugo Benioff عام 1954، والعالم الياباني واداتي Wadeti البيانات الزلزالية التي حُصِل عليها من الأحزمة الزلزالية المنتشرة عند الأخاديد البحرية، ووجدا أن بؤر الزلازل الضحلة والمتوسطة والعميقة تنحصر في نطاق مائل صُلب يمتد من الأخدود البحري، وينحدر إلى الغلاف المائع؛ أي إلى عمق 700 km تقريبًا. وأُطلِق على هذا النطاق نطاقُ واداتي – بينيوف نسبة إليهما إلّا أن العالمين لم يستطيعا تفسير وجود زلازل على عمق أكبر من 100 km، إذ إن الزلازل تحدث في الغلاف الصخري، ولا يمكن أن تحدث في الغلاف المائع. وقد جاءت نظرية الصفائح التكتونية لتتبنّى هذه الأدلة التي تؤيّد طرح صفيحة محيطية (تمثل الغلاف الصخري) داخل الستار عند حدود الصفائح المتقاربة، أنظر الشكل (21)، وفيها فُسِّر حدوث الزلازل المختلفة عند أنطقة الطرح كالآتي:

– تتكون الزلازل الضحلة عندما يجتاز الضغط والطاقة الناتجة من غطس الصفيحة

أفكّرُ تحدث الزلازل في الغلاف الصخري الصُّلب الذي يمتد إلى عمق 100 km تقريبًا، كيف يُفسَّر حدوث الزلازل على أعماق أكبر من سماكة الغلاف الصخري؟

المحيطة (الغلاف الصخري البارد والصُّلب) قوة مقاومة الغلاف المائع، فتنطرح الصفيحة المحيطة فجأة مُحرِّرةً الطاقة المخزونة على شكل موجات زلزالية.

- بزيادة غطس الصفيحة المحيطية تتعرّض لضغوط أكبر، فتتكسّر مُحرِّرةً الطاقة فيها على شكل زلازل متوسطة، وهكذا يستمر حدوث الزلازل فيها ما دامت هشّة قابلة للكسر.
- يزداد عمق الزلازل كلّما ابتعدنا عن الأخدود البحري باتجاه الصفيحة القارية.

استخدام نظام تحديد المواقع العالمي Use Global Position System (GPS)

يُعَدّ استخدام نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) من الأدلة الحديثة الداعمة لنظرية حركة الصفائح التكتونية، بما في ذلك حركتها عند أنطقة الطرح. حيث توضَع محطات GPS في أماكن ثابتة من الصفائح المختلفة لتستقبل موجات كهرمغناطيسية من الأقمار الاصطناعية، ومن ثَمَّ، تُحلَّل تلك الموجات على مُدد زمنية طويلة لتحديد سرعة حركة الصفائح التكتونية واتجاهها. وقد أظهرت دراسة بيانات GPS أن المسافة بين النقاط الثابتة على الصفائح عند أنطقة الطرح تتناقص مع الزمن، مما يدل على تقاربها.

الحدود التحويليّة Transform Boundaries

تُسمّى **الحدودُ التحويليّةُ Transform Boundaries** أيضًا الحدودَ الجانبيّةَ، إذ تتحرّك الصّفائح فيها أفقيًّا بمحاذاة بعضها بعضًا، وتحدث هذه الحدودُ على امتداد صُدوع طويلة يصل طول بعضِها إلى مئات الكيلومترات، تُسمّى صدوعَ التحويل Transform Faults؛ لأن اتجاه الحركة النسبية للصّفيحتين المتجاورتين وسرعتهما يختلفان على امتداد الحدّ الفاصل بينهما. ولا يحدث استهلاك أو بناء للغلاف الصخري عند الحدود التحويليّة؛ لذلك، توصف بأنها حدود محافظة Conservative Boundaries. وتوجد معظم صُدوع التحويل بشكل متوازٍ على جانِبَي ظَهْر المحيط، ومن الأمثلة على صُدوع التحويل: صَدْع البحر الميّت التحويليّ الذي يفصل بين الصّفيحة العربيّة وصفيحة سيناء، وصَدْع سان أندرياس الذي يفصل صفيحة أمريكا الشماليّة وصفيحة المحيط الهادي. ولتعرُّف كيفيّة اختلاف اتجاه الحركة النسبيّ على امتداد صُدوع التحويل أنفِّذ النشاط الآتي:

الربط بالجغرافيا

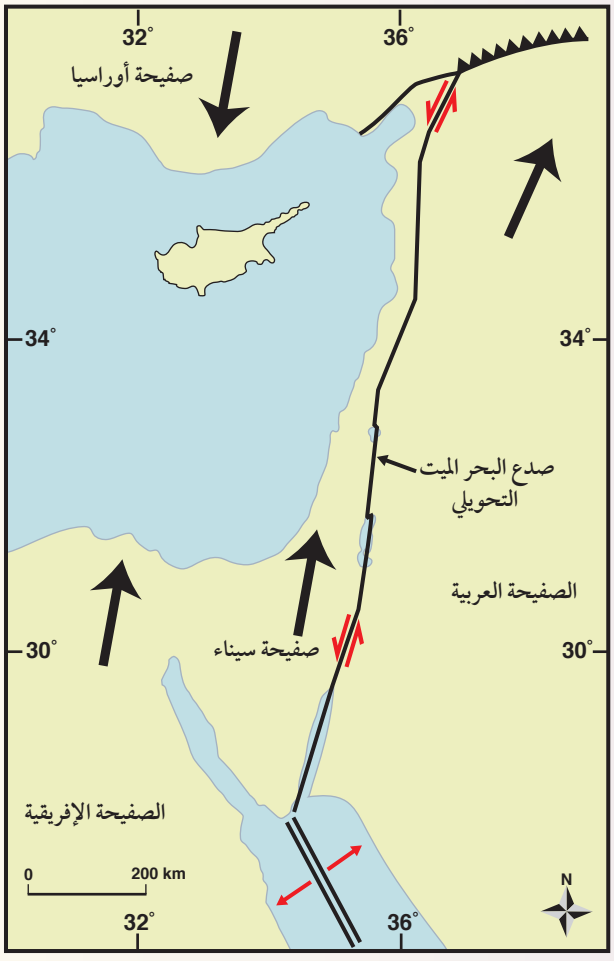
يفصل صدع البحر الميت التحويلي بين الصفيحة العربية وصفيحة سيناء، وتشمل الصفيحة العربية كل من الأردن وسوريا ولبنان والسعودية والكويت وقطر والبحرين واليمن والعراق. بينما تشمل صفيحة سيناء كل من فلسطين وجزيرة سيناء وجزء من قاع البحر الأبيض المتوسط.

✓ **أتحقّق:** أذكر مظهرين جيولوجيين يتشكّلان نتيجة تصادم صفيحتين قارّيّتين.

نشاطٌ

صُدوع التحويل

يُعَدّ صَدْع البحر الميّت التحويليّ أحد صُدوع التحويل الناتج من حركة صفيحة سيناء، والصّفيحة العربيّة. وقد تعلّمتُ سابقًا في التجربة الاستهلالية أن هناك إزاحة أفقيّة حدثت بين الصفيحتين. تمثِّل الأسهُم ذات اللّون الأسود اتجاه الحركة الحقيقيّة لصفيحة أوراسيا، والصّفيحة العربيّة، وصفيحة سيناء والصّفيحة الإفريقيّة، في حين تمثِّل الأسهُم الحمراء الصغيرة (⇋) الحركة النسبيّة لصَدْع البحر الميّت التحويليّ. أدرس الشكل الآتي، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



التحليل والاستنتاج:

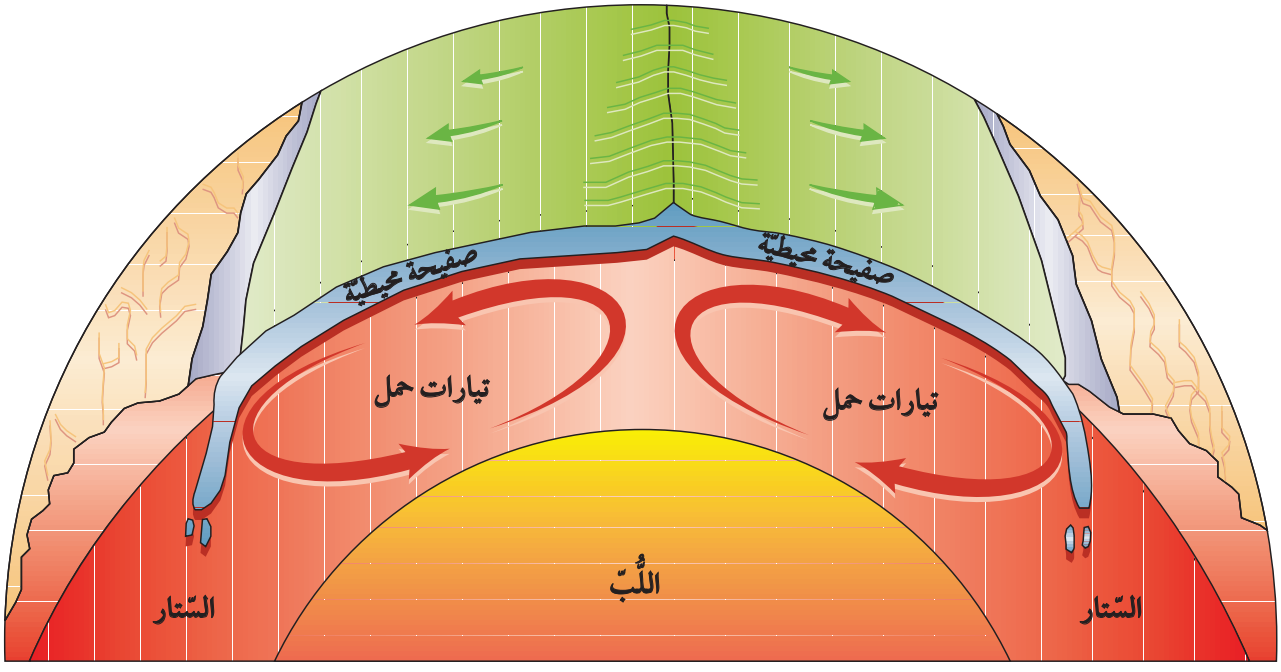
1. أحدّد اتجاه الحركة الحقيقيّة للصفيحة العربيّة وصفيحة سيناء.
2. أحدّد اتجاه الحركة النسبيّة على جانِبَي صَدْع البحر الميّت التحويليّ.
3. **أقارن** بين الحركة الحقيقيّة والحركة النسبيّة لكل من الصّفيحة العربيّة، وصفيحة سيناء من حيث الاتجاه.
4. **أتوقّع** سبب اختلاف اتّجاه الحركة النسبية لصفيحة سيناء عن اتّجاه حركتها الحقيقية.

أسباب حركة الصّفيحة Causes of Plate Motion

اكتشف العالِم ولسون أن **تيّارات الحمل Convection Currents** داخل السّتار هي القوّة المسؤولة عن حركة الصّفائح الأرضيّة، حيث وضّح آلية حركة تيّارات الحمل على النحو الآتي:

يؤدي تحلُّل العناصر المشعّة المتركزة في السّتار إلى زيادة تسخين الماغما المحيطة فيها فتقلّ كثافتها، مشكِّلة تيّارات صاعدة ترتفع إلى الأعلى، حيث يخرج جزء قليل من الماغما من منطقة ظَهْر المحيط مكوِّنةً غلافًا صخريًّا محيطيًّا جديدًا، وتنتشر باقي الماغما جانبيًّا أسفل الصّفيحة (الغلاف الصّخري) مبتعِدةً عن ظَهْر المحيط، ساحبةً معها الصّفيحتين على جانِبَي ظَهْر المحيط، وبالتدريج تبرد هذه الماغما وتزداد كثافتها، فتبدأ بالغطس من جديد إلى أسفلَ؛ لتحلَّ محلّ الماغما الصّاعدة؛ مشكِّلةً ما يُسمّى التيارات الهابطة التي يمكن أن تسحب معها الصّفيحة التي تعلوها، مكوِّنةً مع الزمن أنطقةَ الطّرح. أنظر الشكل (22). وعلى الرغم من أن تيّارات الحمل قد تمتدّ إلى آلاف الكيلومترات، إلا أنها تتدفّق في وسط ظَهْر المحيط بمُعدَّل عدّة سنتيمترات في السّنة، ويؤدي استمرار حركة التيّارات الصّاعدة والهابطة إلى تحريك الصّفائح الأرضيّة.

✓ **أتحقّق:** أوضّح أهمية التيارات الهابطة في حركة الصفائح.



الشكل (22): تُعَدّ تيّارات الحمل القوّة الرئيسة المسبِّبة لحركة الصّفائح الأرضية.

أفسّر: ما العلاقة التي تربط التيّارات الصّاعدة بحركة الصّفائح الأرضيّة؟

البراكين والزلازل وحركة الصّفائح

Volcanoes, Earthquakes and Plate Tectonics

عند دراسة توزُّع البراكين والزلازل على سطح الأرض نجد أن معظم البراكين والزلازل تتمركز عند حدود الصّفائح.

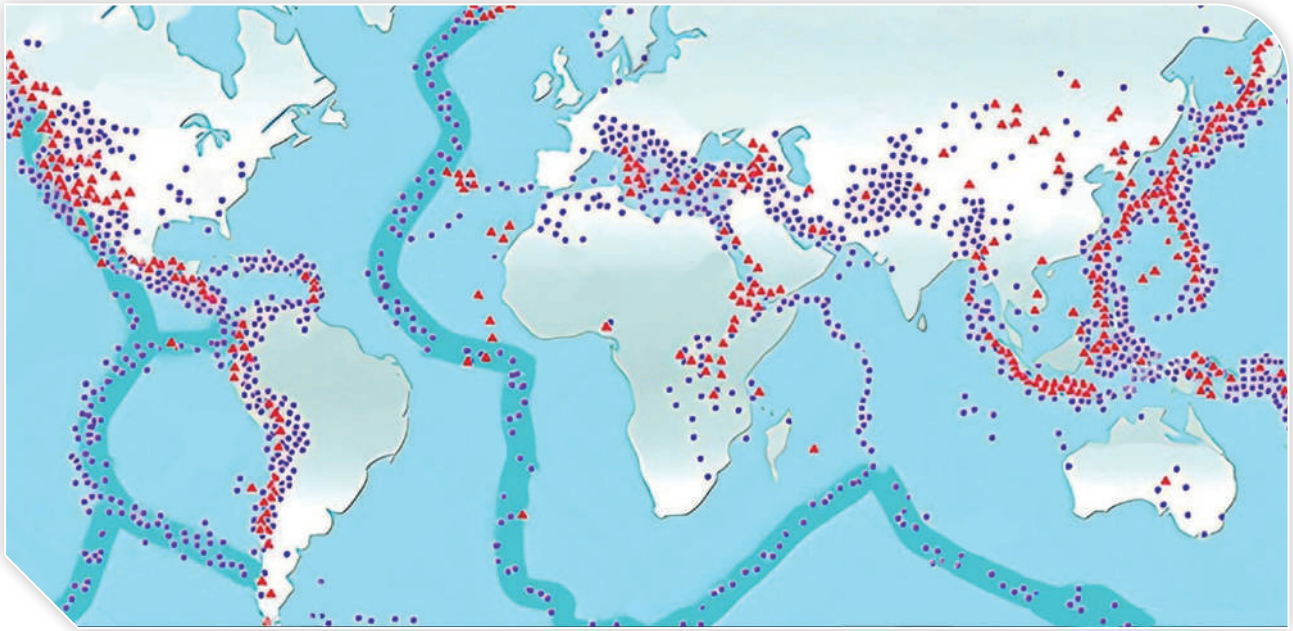
توزُّع البراكين Distribution of Volcanoes

درست سابقًا أن البراكين تتكون عند حدود الصّفائح المتباعدة، وحدود الصّفائح المتقاربة. أنظر الشكل (23). تتكون البراكين البازلتية على امتداد الحدود المتباعدة في مناطق الوديان المُتصَدِّعة، ومناطق ظَهْر المحيط، أما الحدود المتقاربة التي تنشأ عن غطس صفيحة محيطيّة أسفلَ صفيحة قارّية أو أسفلَ صفيحة محيطيّة، فتنتج براكين ذات تركيب أنديزيتيّ، أو ذات تركيب بازلتيّ على امتداد الأخاديد البحرية على التوالي. وتتكوّن البراكين المحيطة بالمحيط الهادي بهذه لطريقة التي تنتُج من غطس صفيحة المحيط الهادي، وصفيحة نازكا أسفل الصّفائح الأخرى المحيطة بها.

✓ **أتحقّق:** أوضِّح: ما المقصود بأحزمة الزلازل؟

توزُّع الزلازل Distribution of Earthquakes

درست سابقًا أن الزلازل تتشكّل نتيجة حركة الصّفائح الأرضية، وأن معظم الزلازل تتمركز عند حدودها، وتُسمّى أماكن تجمُّعها أحزمةَ الزلازل Earthquake Belts. ويتمركز 80% من الزلازل تقريبًا حول حزام المحيط الهادي الناريّ. أنظر الشكل (23). وتصاحب الزلازل أنواع الحدود الثلاثة: المتباعِدة، والمتقارِبة، والتحويليّة .



▲ براكين ● زلازل

الشكل (23): توزُّع البراكين والزلازل على سطح الأرض.

أحدِّد الصفائح الأرضية التي أنتجت البراكين التي تقع على الحدّ الغربيّ لقارّة أمريكا الجنوبيّة.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أحدّد المظاهر الجيولوجيّة التي تتشكّل عند حدود الصّفائح المتقارِبة.

2. **ألخّص** نص نظريّة الصّفائح التكتونيّة.

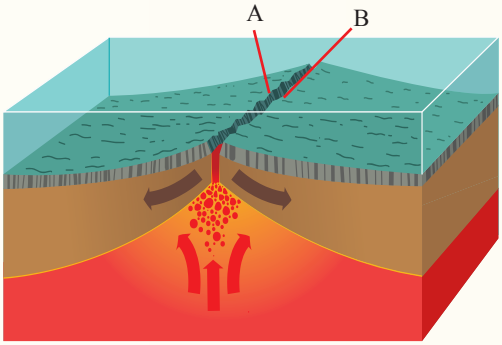
3. **أتنبّأ:** كيف سيتغير الوادي المتصدِّع الكبير شرق إفريقيا بعد عدّة ملايين من السّنين؟

4. **أستنتج** العلاقة بين أماكن توزُّع البراكين على سطح الأرض، وأماكن توزُّع الزلازل ، وأبيّن الأسباب.

5. أوضّح ماذا يحدث عند تقارب صفيحتين قارّيّتين من بعضهما بعضًا.

6. **أقارن** بين اللّبّ الداخليّ واللّبّ الخارجيّ من حيث: الحالة الفيزيائيّة، والتركيب الكيميائيّ.

7. **أحسب** المسافة بين النّقطتين المتجاورتين في منطقة ظَهْر المحيط (A, B) بعد 20000 y إذا كان متوسّط سرعة تَباعُد الصفيحتين على امتداد ظَهْر المحيط يساوي 3 cm/y.



8. أحدّد: أين تقع معظم صُدوع التّحويل على سطح الأرض؟

9. **أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:**

1. يفسر العلماء آلية حركة الصفائح الأرضية بأنها:

أ . تطفو فوق المحيطات، وتتحرك بشكل عشوائي.

ب. تتحرك بفعل قوة تيارات الحمل داخل الستار.

جـ. تتحرك نتيجة ثوران البراكين وانزلاق الصخور.

د . تتحرك بفعل دوران الأرض حول نفسها .

2. تتحرك الصفائح الأرضية فوق:

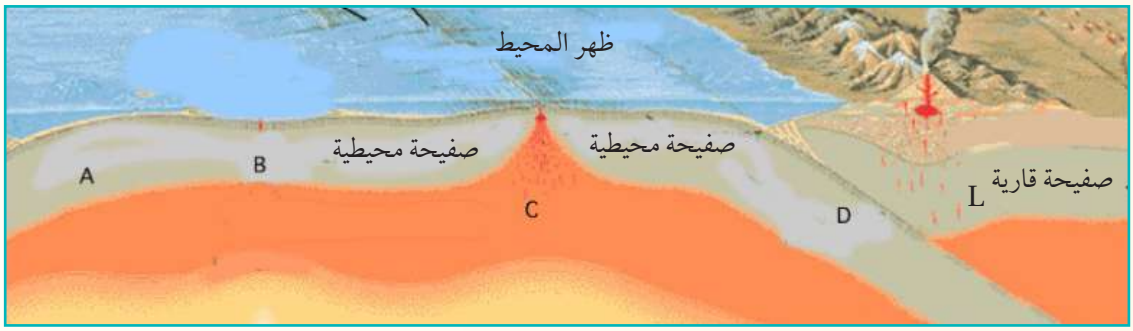
أ . اللب الخارجي.

ب. الغلاف الصخري.

جـ. الغلاف الصلب.

د . الغلاف اللَّدِن.

• أستخدم الشكل الآتي للإجابة عن الفروع (3، 4، 5، 6).



3. غطست الصفيحة المحيطية (D) اسفل الصفيحة القارية (L) لأنّها:

أ . أبرد منها وذات كثافة عالية.
ب. أبرد منها وذات كثافة منخفضة.
جـ. أسخن منها وذات كثافة عالية.
د . أسخن منها وذات كثافة منخفضة.

4. النقطة التي تكون عندها درجة الحرارة مرتفعة جدًّا هي:

أ . A
ب. B
جـ. C
د . D

5. تتحرك الصفائح بالنسبة إلى بعضها بعضًا عند النقطة C:

أ . باتجاه بعضها بعضًا.
ب. بعيدًا عن بعضها بعضًا.
جـ. جانبيًّا بالنسبة إلى بعضها بعضًا.
د . إحداهما للأعلى، والأخرى للأسفل.

6. نوع حدود الصفائح عند النقطة D:

أ . تقاربية.
ب. تباعدية.
جـ. تحويلية.
د . جانبية.

7. حصل العلماء على عينات صخرية متنوعة تمثّل قيعان المحيطات، فوجدوا أنها مُكوَّنة من صخور نارية ذات تركيب:

أ . غرانيتي.
ب. أنديزيتي.
جـ. بازلتي.
د. بيريدوتيتي.

8. أي الأنطقة الآتية يفصل بينها انقطاع موهو؟

أ . اللب الداخلي واللب الخارجي.
ب. الستار العلوي والستار السفلي.
جـ. القشرة الأرضية وأعلى الستار.
د . الستار واللب الخارجي.

حركة الصفائح التكتونية والتغير المناخي
Plate Tectonic Movement and Climate Change

تتحرك الصّفائح التكتونيّة بصورة دائمة حركة بطيئة تدريجيًّا لا تتجاوز حركتُها سنتيمترات عدّة في السّنة، ولكنْ، ينتج من هذه الحركة على المدى الطويل العديد من المظاهر الجيولوجية، مثل تشكُّل الجبال الضخمة والبحار والمحيطات وثوران البراكين واختفاء قارات وظهور قارت أخرى، وتؤثر تلك المظاهر في المُناخات السائدة على الأرض، حيث تؤثر الجبال في أنماط الرياح وهَطْل الأمطار وتعمل المحيطات والبحار على توازن المُناخ، وتؤثر تيارات المحيط في درجة حرارة ورطوبة سطح الأرض.

هل توجد علاقة بين حركة الصفائح التكتونية والتغير المُناخي؟ وهل كانت المُناخات السائدة على الأرض مثلًا قبل 200 m.y في أثناء تشكُّل قارة بانغيا مشابهة للمُناخات السائدة في الوقت الحاضر؟

تؤثر حركة الصفائح في توزيع القارات، وهذا يؤدي إلى حدوث تغيُّر مُناخي عبر ملايين السنوات، وقد درسْتُ سابقًا أنَّ الثورانات البركانية الكبيرة تؤدي إلى حدوث تغيُّر مُناخي على سطح الأرض نتيجة انبعاث كميات كبيرة من غازات الدفيئة والرماد البركاني، لكنه محدود، وتُعَدّ الأنشطة البشرية هي السبب الرئيس في حدوث التغير المُناخي على سطح الأرض.

الكتابةُ في الجيولوجيا

أكتب فقرة حول تأثير حركة الصفائح الأرضية في حدوث التغير المناخي على سطح الأرض، ثم أعرض ما أكتبه على زملائي/ زميلاتي في الصفّ.

السؤال الأوّل:

أضَع دائرة حول رمز الإجابة الصّحيحة في ما يأتي:

1. الجزء من الأرض الذي يتميز بأنه في الحالة الصُّلبة ويمتد من سطح الأرض حتى عُمق 100 km هو:

أ . الغلاف المائع. ب. السّتار السُّفليّ.

جـ. الغلاف الصّخريّ. د .اللّبّ الداخليّ.

2. من الأدلّة التي استخدمها فغنر لتأكيد صحّة فرَضيّته:

أ . توسُّع قاع المحيط.

ب. تصادُم الصّفائح القارّية.

جـ. تشابُه الأحافير.

د . تيّارات الحمل.

3. من الأدلة على فرَضيّة توسُّع قاع المحيط:

أ . تزداد أعمار الصّخور كلّما اتجهنا نحو ظَهْر المحيط.

ب. أعمـار معظم صخور قيعان المحيطات لا يزيد على 180 m.y.

جـ. ينقلب المجال المغناطيسيّ دائمًا بصورة منتظَمة.

د . الأشرطة المغناطيسيّة المتساوية في العُمْر متعاكسة في الاتجاه المغناطيسيّ.

4. تتكوّن الوِديان المتصدِّعة عند:

أ . حدود التّصادُم. ب. حدود الطّرح.

جـ. الحدود التحويلية. د .الحدود المتباعدة.

5. من حدود الصّفائح التي لا يصاحبها تكوُّن براكين الحدود:

أ . المتقاربة (محيطيّة- محيطيّة).

ب. المتقاربة (محيطيّة- قارّية).

جـ. التحويلية.

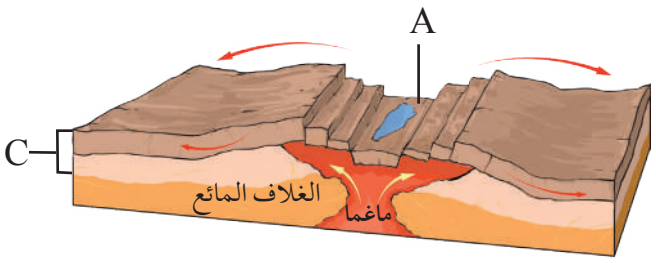
د) المتباعدة.

6. من المظاهر الجيولوجيّة التي تتشكّل نتيجة اصطدام تيّارات الحمل الصّاعدة بأسفل الصّفيحة التكتونيّة القارّية:

أ . وادٍ متصَدِّع. ب. نطاق طرح.

جـ. الحدود التحويلية. د .نطاق تصادُم.

- أدرس الشكل الآتي الذي يمثِّل أحد حدود الصّفائح، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



7 . نوع حدود الصّفائح في الشكل:

أ . حدود جانبيّة. ب . حدود تقارُبيّة.

جـ. حدود تباعُديّة. د . حدود تصادُم.

8 . المظهر الجيولوجيّ الذي يشير إليه الحرف (A):

أ . أقواس الجزُر. ب. وادٍ متصَدِّع.

جـ. براكين قوسيّة. د .نطاق الطّرح.

9 . النّطاق الذي يشير إليه الحرف (C):

أ . القشرة الأرضيّة. ب. السّتار العُلويّ.

جـ. أعلى السّتار. د .الغلاف الصّخريّ.

10. بدأت قارّة بانغيا بالانقسام إلى أجزاء أصغر قبل:

أ . 200 m.y ب. 400 m.y .

جـ. 100 m.y . د . 50 m.y .

11. النّطاق الـذي يوجـد في الحالـة السائلـة من الكـرة الأرضيّة هو:

أ . الغلاف الصّخريّ. ب. اللّبّ الداخليّ.

جـ. الغلاف المائع. د . اللّبّ الخارجيّ.

12. تشكّلت جبال الهيمالايا بوساطة:

أ . تباعُد صفيحة إفريقيا عن صفيحة أمريكا الجنوبيّة.

ب. تصادُم صفيحة الهند مع صفيحة أوراسيا.

جـ. تحرُّك الصّدع التحويليّ سان أندرياس.

د . تصادُم الصّفيحة العربيّة مع صفيحة أوراسيا.

13. القطعة الصّخريّة التي تتكوّن من القشرة الأرضيّة والجزء الأعلى من الستار بسمك 100 km تُسمّى:

أ . الغلاف المائع. ب. صفيحة أرضيّة.

جـ. براكين قوسيّة. د . ظَهْر المحيط.

14. أيٌّ من أنطِقة الأرض تسلك الصّخور المكوِّنة له سلوكًا لَدِنًا؟

أ . الغلاف المائع.

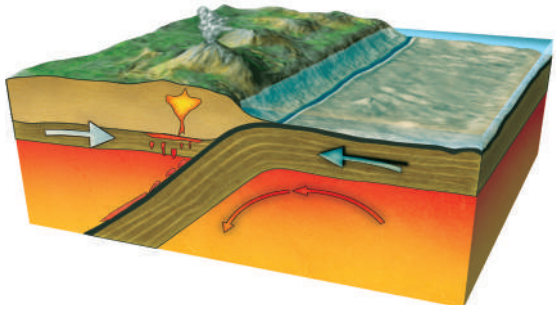
ب. الغلاف الصّخريّ.

جـ. القشرة الأرضيّة.

د . اللّبّ الخارجيّ.

السؤال الثاني:

يمثِّل الشكل الآتي أحد حدود الصّفائح. أدرس الشكل، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



1. أحدّد نوع حدود الصّفائح في الشكل.

2. أستنتج: ما المظاهر الجيولوجيّة الناتجة من غطس الصّفيحة المحيطيّة أسفلَ الصّفيحة القارّية؟

السؤال الثالث:

أملأ الفراغ في ما يأتي بما هو مناسب من المصطلحات:

أ . الفرَضيّة التي تنصُّ على أن جميع القارّات الحالية كانت تشكّل في الماضي قارّة واحدة تُسمّى: .....

ب. التغيّر في قطبيّة المجال المغناطيسيّ للأرض من عاديّة إلى مقلوبة يُسَمّى: .....

جـ. الفرَضيّة التي تنصُّ على أن القشرة المحيطيّة الجديدة تتشكّل عند ظهور المحيطات، وتستهلَك عند الأخاديد البحريّة هي: .....

د . السّلسلة من الجُزُر التي تتشكّل على شكل قوس موازٍ للأخاديد البحريّة تُسمّى: .....

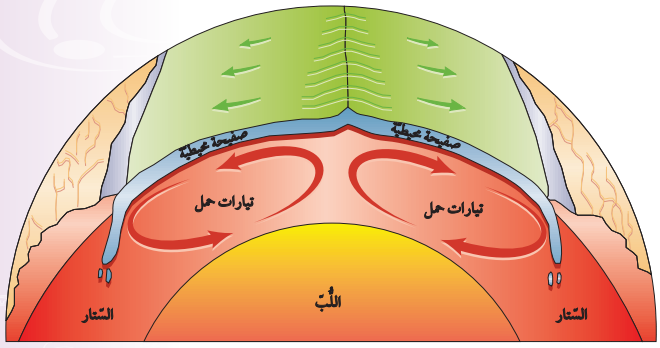
هـ. القوّة المسؤولة عن حركة الصّفائح الأرضيّة هي: .....

السؤال الرابع:

أتنبّأ: هل يبقى شكل صفيحة المحيط الهادي ثابتًا مع الزمن؟ أوضِّح إجابتي.

السؤال الخامس:

أفسِّر: كيف تعمل تيّارات الحمل الموضّحة في الشكل الآتي على حركة الصّفائح الأرضية؟



السؤال السادس:

أتنبّأ بمواقع القارّات بعد 100 m.y على افتراض أن الصّفائح الأرضيّة تتحرّك بالسرعة نفسِها، والاتجاه نفسِه .

السؤال السابع:

أقارن بين المظاهر الجيولوجيّة الناتجة من تقارُب صفيحتين محيطيّتين، وبين تقارُب صفيحتين قارّيّتين.

السؤال الثامن:

أفسّر: كيف تنشأ الزلازل عند تقارب صفيحتين قارّيّتين؟

السؤال التاسع:

أستنتج: أين تقع أقدمُ الصّخور في صفيحة نازكا؟

السؤال العاشر:

أستنتج: كيف تُعَدّ أحفورة الميزوسورس دليلًا على صحّة فرَضيّة انجراف القارّات.

السؤال الحادي عشر:

أقوّم صحّة ما تشير إليه العبارة الآتية: «يُعَدّ توزيع الزلازل في القشرة الأرضيّة دليلًا على صحّة نظريّة الصّفائح التكتونيّة».

السؤال الثاني عشر:

أكوِّن فرَضيّة أوضّح منها ماذا يمكن أن يحدث إذا غيّرت صفيحتا إفريقيا وأمريكا الجنوبيّة اتجاه حركتَيهما؛ لتتحرّكا بعكس اتّجاه حركتَيهما الحالية.

السؤال الثالث عشر:

أحسب: أفترض أن جزيرة بركانيّة تشكّلت في منطقة ظَهْر المحيط، قد انقسمت بفعل توسُّع قاع المحيط إلى جزأين، حيث يتحرّك كل جزء جانبيًّا بعيدًا عن ظَهْر المحيط بمُعدَّل 2 cm/y. ما المسافة بين الجزأين بعد 1 m.y؟

السؤال الرابع عشر:

أحدّد نوع حدود الصّفائح المسبِّبة لكل من المظاهر الآتية:

1. البحر الأحمر.
2. البحر الميّت.
3. جبال الهيمالايا.
4. جبال الأنديز.

السؤال الخامس عشر:

أقارن بين أقواس الجزُر والأقواس البُركانيّة من حيث: نوع الحدود المكوّنة لكلّ منهما، ونوع الماغما المكوِّنة لها.

السؤال السادس عشر:

أفسّر سبب تسمية الصُّدوع التي تتكون عند الحدود التحويلية صُدوع التحويل.

الوحدة 4

الاستكشاف الجيولوجي

Geological Exploration

قال تعالى:

﴿فَأَمَّا ٱلزَّبَدُ فَيَذۡهَبُ جُفَآءٗۖ وَأَمَّا مَا يَنفَعُ ٱلنَّاسَ فَيَمۡكُثُ فِي ٱلۡأَرۡضِۚ﴾

(سورة الرعد : الآية 17)

أتأمّل الصّورة

تحتوي الصخور على خامات معدِنية عديدة بأشكال متنوعة، منها: العُروق، والعدسات، وتُستخدَم طرق عدّة لاستكشاف تلك الخامات. فما تلك الطرق؟ وكيف تُستخدَم؟

الفكرة العامّة:

تُستخدَم طرق عدّة في عمليات الاستكشاف الجيولوجي للصخور والخامات المعدنية التي تحويها، منها: رسم الخرائط الجيولوجية، والمسوح الجيوفيزيائية، والمسوح الجيوكيميائية.

الدرس الأول: الخرائط الجيولوجية

الفكرة الرئيسة: تُستخدَم الخرائط الجيولوجية لتمثيل الطبقات الصخرية والتراكيب الجيولوجية باستخدام رموز خاصّة بذلك.

الدرس الثاني: طرائق الاستكشاف الجيولوجي

الفكرة الرئيسة: تحتوي صخور القشرة الأرضية على خامات معدِنية عدّة، وتُستخدَم طرائق الاستكشاف الجيولوجي المختلفة في البحث عنها؛ لاستثمارها، والاستفادة منها.

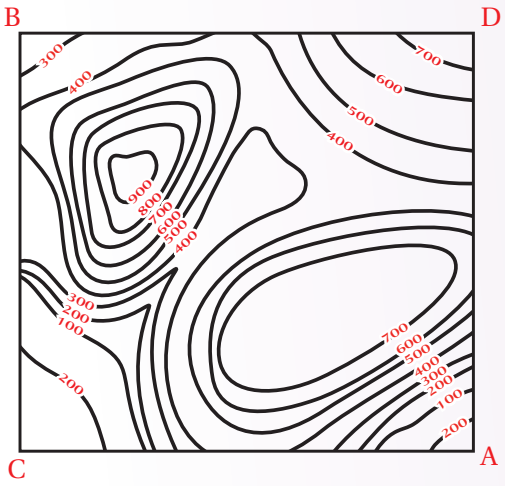
الدرس الثالث: تعدين الخامات المعدنية وأثره على البيئة

الفكرة الرئيسة: للتعدين أهمية كبيرة في دعم الاقتصاد وتوفير المواد الخام الضرورية للحياة على سطح الأرض، إلا أن له تأثيرات سلبية على البيئة، ويتم بذل جهود حثيثة لإدارة هذه التأثيرات من خلال تطبيق استراتيجيات فعالة مثل إعادة استخدام المناجم.

رسم مقطع عرضي طبوغرافي

يُعرَّف المقطع العرضي الطبوغرافي Topographic Cross–Section بأنّه مقطع رأسي لجزء من سطح الأرض يوضّح شكلَ التضاريس فيها؛ من منخفضات وجبال ووديان وغيرها. فكيف يُرسَم المقطعُ العرضيُّ الطبوغرافي؟

الموادّ والأدوات: خريطة كُنتورية، ورقة رسم بياني، مسطرة مِترية، قلم.



خطوات العمل:

1. أصلُ بخطٍّ مستقيم بين النقطتين (A–B) على الخريطة الكُنتورية.
2. أضع الطرف العُلوي لورقة الرسم البياني على امتداد الخط المستقيم (A–B)، بحيث تتطابق حافتها العُلوية على الخط.
3. أحدّد على ورقة الرسم البياني بداية الخط المستقيم ونهايته، ونقاط تقاطعه مع خطوط الكُنتور، مع كتابة قيمة الارتفاع الذي يمثّله كل خطٍّ كُنتور بجانب نقطة التقاطع التي حدّدتُها.
4. أرسم على الطرف المقابل لقيم الارتفاعات التي أسقطتها على ورقة الرسم البياني محورَين متعامدَين يمثّل المحور الأفقي منهما المسافة الأفقية للخطّ المستقيم (A–B)، ويمثّل المحور الرأسي الارتفاعات عن سطح الأرض بوَحدة (m).
5. أُسقطُ قِيَم خطوط الكُنتور على ورقة الرسم البياني بحسب ما يقابلها من ارتفاعات على المحور الرأسي.
6. أَصل بين النقاط جميعها من دون استخدام المسطرة؛ لتمثيل مقطع عرضي للمظاهر الطبوغرافية لسطح الأرض على امتداد الخط (A–B).

التحليل والاستنتاج:

1. أحدّد أعلى ارتفاع في المقطع العرضي وأقلَّ ارتفاع فيه.
2. **أستنتج** المظاهر الطبوغرافية التي حصلتُ عليها.
3. **أستنتج** المظهر الطبوغرافي الذي سينتج إذا رسمتُ مقطعًا عرضيًّا لسطح الأرض على امتداد الخطّ المستقيم (C–D) الذي يُعامِد الخطّ المستقيم (A–B).

الدرس 1

الخرائط الجيولوجية
Geological Maps

الفكرة الرئيسة :

تُستخدم الخرائط الجيولوجية لتمثيل الطبقات الصخرية والتراكيب الجيولوجية باستخدام رموز خاصّة بذلك.

نتاجات التعلّم :

- أقرأ خريطة جيولوجية لمنطقة ما باستخدام الرموز ومقياس الرسم.
- أرسم مقطعًا جيولوجيًّا من الخريطة الجيولوجية تمثّل طبقات أفقية.

المفاهيم والمصطلحات :

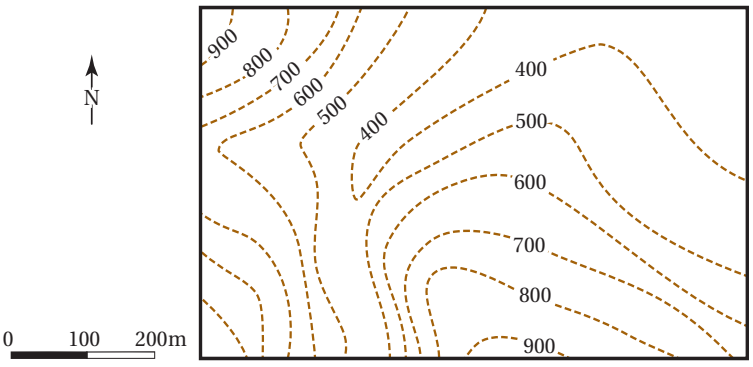
الخريطة الكُنتورية	Contour Map
الخريطة الطبوغرافية	Topographic Map
خط الكُنتور	Contour Line
الفترة الكُنتورية	Contour Interval
مقياس رسم	Map Scale
الخريطة الجيولوجية	Geological Map
المَيل	Dip
اتجاه المَيل	Dip Direction
المضرب	Strike

أنواع الخرائط Types of Maps

تُعَدّ الخرائط من الوسائل المهمّة التي نستطيع بها تمثيل العديد من المعالم والمظاهر الطبيعية، مثل: التضاريس، وأنواع الصخور، والتراكيب الجيولوجية، وتوزّع الأمطار. وتسهّل الخرائط تفسير البيانات والمعلومات بدلًا من كتابتها على شكل نصوص؛ لذا تُعدّ مصدرًا مهمًّا للعديد من المعلومات التي يمكن توظيفها في مجالات متنوعة. وهي معروفة لدى الإنسان منذ القدم، إذ استخدمها البابليون والفراعنة واليونانيون وغيرهم. وتتنوع الخرائط في أغراضها وأنواعها، فمنها: الخرائط الكُنتورية، والخرائط الطبوغرافية، والخرائط الجيولوجية، والخرائط الجيوفيزيائية، والخرائط الجيوكيميائية. وتُعدّ معرفة الخرائط الكُنتورية والخرائط الطبوغرافية مهمة في رسم الخرائط الجيولوجية.

الخرائط الكُنتورية والخرائط الطبوغرافية
Contour and Topographic Maps

تُعرَّف **الخريطة الكُنتورية** **Contour Map** بأنها خريطة توضّح تضاريس سطح الأرض في صور مجسَّمة عن طريق استخدام عدد من الخطوط تسمى خطوط الكُنتور، أنظرُ الشكل (1). وعند إضافة المظاهر الطبيعية والبشرية على الخريطة تصبح **خريطة طبوغرافية** **Topographic Map**.



الشكل (1): خريطة كُنتورية تمثّل الارتفاع عن سطح الأرض.

أحدّد أعلى قيمة وأقلّ قيمة لخطوط الكُنتور.

وللخرائط الكُنتورية والطبوغرافية عناصر عدّة، منها:

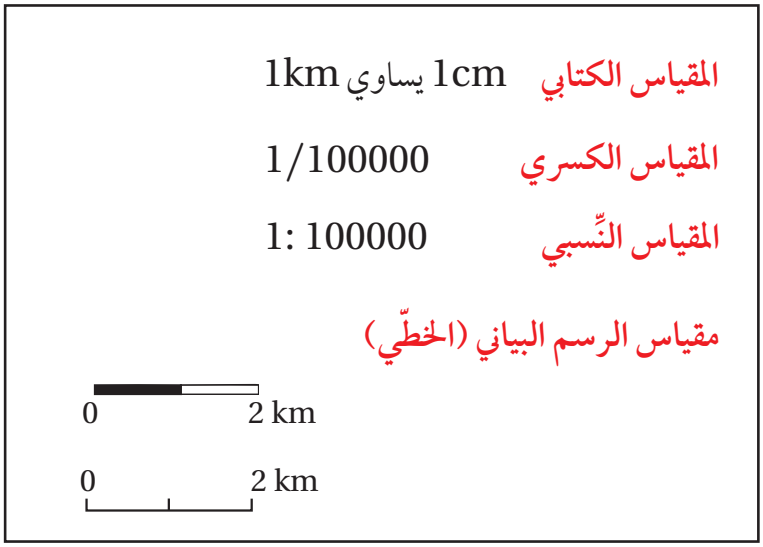
خط الكُنتور Contour Line: يعرّف الخطّ الوهميّ الذي يصل بين مجموعة من النقاط ذات القيم المتساوية في الارتفاع، **بخط الكُنتور Contour Line**. وتمتاز خطوط الكُنتور في الخرائط المتنوعة بأنها لا تتقاطع مع بعضها البعض، وهي تمثّل في الخرائط الطبوغرافية قِيَمًا متساوية في الارتفاع نسبةً إلى سطح البحر، فتكون القِيَم سالبة إذا انخفض منسوب خطّ الكُنتور عن سطح البحر، وتكون موجبة إذا ارتفع منسوب خطّ الكُنتور عن سطح البحر.

الفترة الكُنتورية Contour Interval: تسمّى المسافة الرأسيّة بين أي خطَّين كُنتوريّين متتاليَين **الفترةَ الكُنتوريةَ Contour Interval**، وهي ثابتة في الخريطة الواحدة، وتختلف من خريطة إلى أُخرى بحسب الغرض من الخريطة.

مقياس الرسم Map Scale: تحتاج الخرائط بأنواعها المتعددة إلى **مقياس رسم Map Scale**، ويُعرَّف بأنه النسبة الثابتة بين طول بُعدَين أحدهما حقيقي على سطح الأرض والآخَر على الخريطة. ويمكن التعبير عن مقياس الرسم بطرائق متعددة، فمنه: المقياس الكتابي، والمقياس الكسري، والمقياس النِّسبي، ومقياس الرسم البياني (الخطّي)، أنظرُ الشكل(2).

الربط بالتكنولوجيا

تُحدَّد النقاط التي تمثّل خطوط الكُنتور وتُرصَد باستخدام نظام الموقع العالمي Global Positioning System (GPS)، وهو نظام يعتمد على استخدام الأقمار الصناعية في تحديد تلك المواقع، ويقوم مبدأ عمل هذا النظام على بث إشارات من الأقمار الصناعية على شكل موجات الميكروويف (موجات كهرمغناطيسية أطوالها الموجية تقع بين الأطوال الموجية لكل من الموجات الراديوية والأشعة تحت الحمراء)، وتستلم أجهزة الاستقبال تلك الإشارات، ثم ترسلها مرة أخرى إلى الأقمار الصناعية، ومن معرفة زمن استقبال الإشارة وإرسالها يُحدَّد بُعدُ أجهزة الاستقبال. وتُستخدَم ثلاثة أقمار صناعية على الأقل في تحديد موقع جهاز الاستقبال بدقّة.



الشكل (2): يُعبَّر عن مقياس الرسم بطرائق متعددة، فمنه: الكتابي، والكسري، والنِّسبي، والبياني (الخطّي).

الخرائط الجيولوجية Geological Maps

تُعرَّف **الخريطة الجيولوجية Geological Map** بأنها خريطة كُنتورية أو طبوغرافية يمثّل عليها الجيولوجيون البيانات الجيولوجية؛ لإظهار المعالم والمظاهر الجيولوجية المتنوعة، مثل: أنواع الصخور المختلفة، ومَيل الطبقات، والتراكيب الجيولوجية. ويستخدم الجيولوجيون البيانات الموضَّحةَ على الخريطة الجيولوجية في استنتاج نوع الصخور والطبقات الموجودة أسفل سطح الأرض.

تُمثَّل الطبقات الصخرية المختلفة على الخريطة الجيولوجية اعتمادًا على زاوية مَيلِها واتجاه المَيل والمضرب، حيث تكون الطبقات الأفقية موازيةً لخطوط الكُنتور، أمّا الطبقات المائلة والرأسية فتتقاطع حدودها مع خطوط الكُنتور بحسب زوايا مَيلها.

وللخريطة الجيولوجية عناصر رئيسة مثلما في باقي الخرائط، إذ يجب أن تحتوي على: العنوان الذي يوضّح الغرض من رسمها، ومقياس الرسم، ودليل الخريطة. وتُستخدم في الخرائط الجيولوجية رموز خاصة بأنواع الصخور والتراكيب الجيولوجية ووضعية الطبقات فيها، ويمكن أيضًا استخدام ألوان خاصة بكل نوع من الصخور، أو دمج الألوان مع الرموز، أنظر الشكل (3) الذي يوضّح بعض الرموز المستَخدمة في الخرائط الجيولوجية.

أفكّر ما العلاقة بين تقارب الخطوط الكُنتورية وبين طبيعة التضاريس من حيث شدة الانحدار؟

أتحقّق: أوضح مفهوم الخريطة الجيولوجية.

الشكل (3): الرموز المستخدَمة في الخرائط الجيولوجية.

(A): رموز تمثّل أنواعًا مختلفة من الصخور.

(B): رموز تمثّل تراكيب جيولوجية ووضعية الطبقات فيها.

نوع الصخر	رمز الصخر *
الصخر الرملي.	
صخر الغضار.	
الصخر الطيني.	
صخر الكونغلوميريت.	
صخر البريشيا.	
الصخر الجيري.	
صخر الدولوميت.	
الفحم الحجري.	
الرماد البركاني.	
صخر الغرانيت.	
صخر الشيست.	

(A)

الوصف	الرمز
المضرب والـمَيل واتجاه الـمَيل في الطبقات المائلة.	30°
المضرب والـمَيل واتجاه الـمَيل في الطبقات الأفقية.	
المضرب والـمَيل واتجاه الـمَيل في الطبقات الرأسية.	
طيّة مُقعَّرة.	
طيّة مُحدَّبة.	

(B)

* رمز الصخر للمطالعة الذاتية.

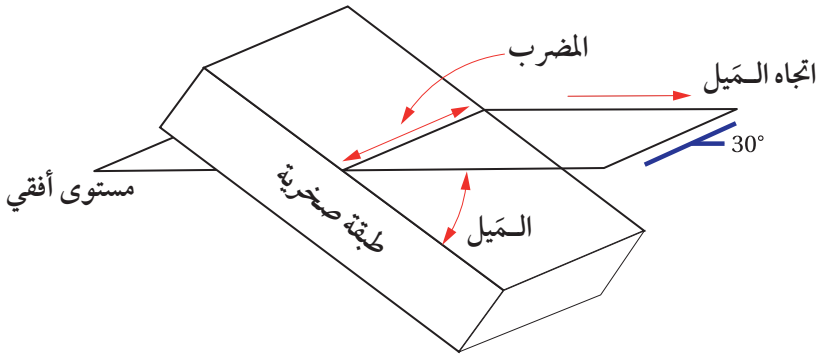
الشكل (4): البوصلة الجيولوجية المستخدَمة في تحديد وضعية الطبقات الصخرية.

المَيل والمضرب واتجاه المَيل
Dip, Strike and Dip Direction

تعلمتُ سابقًا أن الطبقات الرسوبية في الطبيعة تتكوّن بصورة أفقية، ولكنها إذا تعرضت إلى إجهادات مختلفة فإنها تتشوَّه، فقد تميل، أو تنثني، أو تتصدّع، ولتعرّف وضعية الطبقات Attitude of Layers في الطبيعة بشكل عام تُحدَّد ثلاثة متغيرات لها وهي: المَيل، والمضرب واتجاه المَيل، وتُستخدَم البوصلة الجيولوجية لقياس هذه المتغيرات، إذ يُقاس اتجاه المضرب واتجاه المَيل للطبقة فيها على شكل زاوية محصورة بين اتجاه سطح الطبقة العلوي واتجاه الشمال الجغرافي، وتحتوي البوصلة على جهاز مقياس المَيل Clinometer الذي يُقاس به مَيل الطبقة. أنظر الشكل (4).

أفكّرُ ما قيمة المَيل لكل من: الطبقة الأفقية، والطبقة الرأسية؟

يُعرَّف **المَيل Dip** بأنّه أكبر زاوية يصنعها سطح الطبقة العُلوي مع المستوى الأفقي، وتُعَدّ الطبقة مائلة إذا كانت الزاوية أقلّ من 90° وأكثرَ من 0°. ويُسمّى الاتجاه الجغرافيّ لمَيل الطبقة **اتجاهَ المَيل Dip Direction**، أما **المضرب Strike** فهو الخطّ الناتج من تقاطع سطح الطبقة المائلة مع المستوى الأفقي، وهو يمثّل امتداد الطبقة، ويتعامد



الشكل (5): يُستخدَم كلّ من المَيل واتجاه المَيل والمضرب في تحديد وضعية الطبقات.

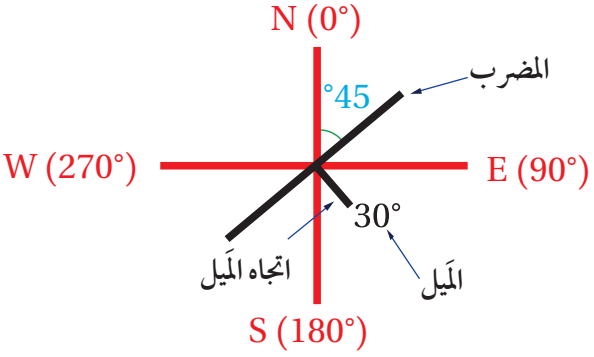
أحدّد: ما العَلاقة بين المضرب واتجاه المَيل؟

دائمًا مع اتجاه المَيل، وتُحدَّد قيمته بانحرافه عن الشمال الجغرافي مع اتجاه عقارب الساعة، أنظر الشكل (5).

يُحدّد الجيولوجيون كلًّا من المَيل واتجاه المَيل والمضرب للطبقات ويمثّلونها على الخرائط الجيولوجية باستخدام رموز معينة، أنظر الشكل (6)، الذي يمثّل رموز المضرب والمَيل واتجاه المَيل، إذ يشير الخطّ الطويل إلى اتجاه المضرب، والخطّ القصير إلى اتجاه المَيل، أمّا الرقم المجاور للخط القصير فيشير إلى المَيل. ألاحظ في الشكل أنّ لمضرب الطبقة قيمتين تمثّلان اتجاهَين هما: قيمة صغرى تساوي 45° شمال شرق، وقيمة كبرى تساوي 225° جنوب غرب، أمّا المَيل فيساوي 30° باتجاه الجنوب الشرقي. وغالبًا ما يُحدّد الجيولوجيون اتجاهًا واحدًا فقط للمضرب، وعادة تُؤخَذ القراءة الأصغر.

أتحقّق: أحدّد اتجاه مضرب طبقة ما إذا كانت قيمة زاوية المضرب المَقيسة باستخدام البوصلة الجيولوجية تساوي (0°).

أعملُ فيلمًا قصيرًا باستخدام برنامج صانعِالأفلام (moviemaker) يوضّح العلاقة بين المتغيرات الثلاثة: المَيل، واتجاه المَيل، والمضرب، ثمّ أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصفّ.

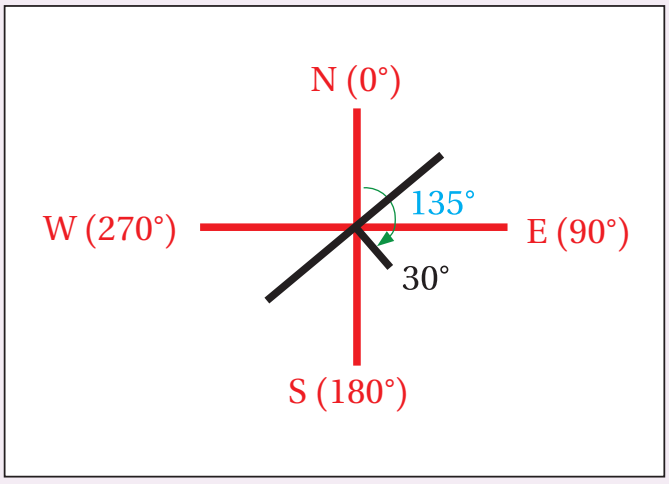


الشكل (6): الرمز المستخدَم لتمثيل قيمة كلّ من المَيل واتجاه المَيل والمضرب للطبقات على الخرائط الجيولوجية.

أستنتج: هل توجد علاقة بين المَيل واتجاه المَيل؟

مثال 1

يمثّل الشكل الآتي مضرب إحدى الطبقات ومَيلها واتجاه مَيلها. فإذا علمتُ أن قيمة اتجاه المَيل تساوي (135^o) فأجد:



1. قيمة مضرب الطبقة.
2. الاتجاه الجغرافي لمضرب الطبقة.
3. قيمة مَيل الطبقة.
4. اتجاه مَيل الطبقة.

الحل:

1. لأن قيمة اتجاه المَيل تساوي 135^o فإن:

قيمة المضرب الصغرى تساوي:

$$135^o - 90^o = 45^o$$

وقيمة المضرب الكبرى تساوي:

$$135^o + 90^o = 225^o$$

2. الاتجاه الأول للمضرب: شمال شرق، أمّا الاتجاه الثاني له فهو: جنوب غرب.
3. مَيل الطبقة يساوي : 30^o
4. اتجاه مَيل الطبقة : جنوب شرق.

تمرين

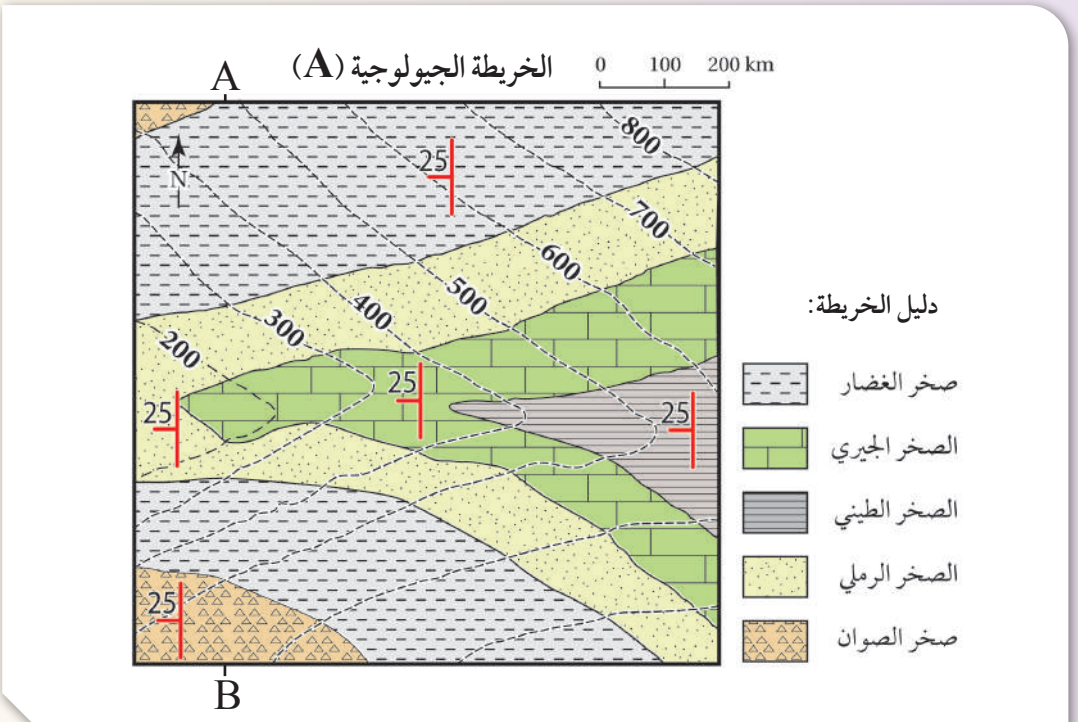
إذا علمتُ أن قيمة المضرب لطبقة من الصخر الجيري تساوي 25^o، وقيمة مَيل الطبقة تساوي 55^o باتجاه شمال غرب، فأجد: قيمة المضرب الأخرى، وقيمة اتجاه المَيل، ثم أرسم رمز المضرب والمَيل واتجاه المَيل.

ولتعرّف خصائص الخرائط الجيولوجية أنفّذ النشاط الآتي:

نشاطٌ

خصائص الخرائط الجيولوجية

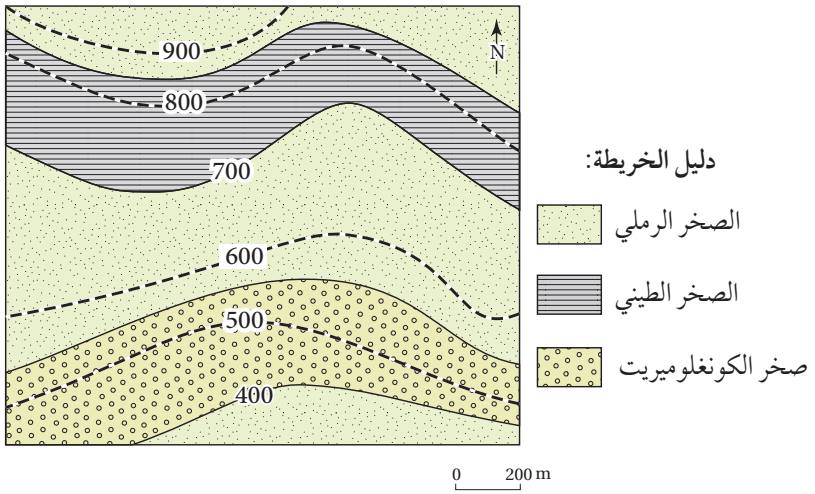
يستخدم الجيولوجيون الخرائطَ الجيولوجية لدراسة المناطق المتعددة وتعرُّف خصائصها الجيولوجية، مثل: أنواع الصخور، ووضعية الطبقات (مَيلها)، والتراكيب الجيولوجية، ويمثّل الشكل الآتي إحدى هذه الخرائط. أدرس الشكل، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



التحليل والاستنتاج:

1. أحدّد نوع مقياس الرسم في الخريطة الجيولوجية.
2. **أستنتج** اتجاه المَيل والمضرب لطبقة الصخر الرملي.
3. أحدّد أعلى قيمة وأقلّ قيمة لارتفاع الصخور المتكشفة في الشكل.
4. **أستنتج:** أفترض أن مقطعًا عرضيًّا رُسِم بين النقطتين (A,B)، ما الشكل الطبوغرافي الذي سيظهر اعتمادًا على قيم خطوط الكنتُور؟
5. **أفسّر:** هل الطبقات الظاهرة في الخريطة أفقية أم مائلة؟ لماذا؟

الخريطة الجيولوجية (B)



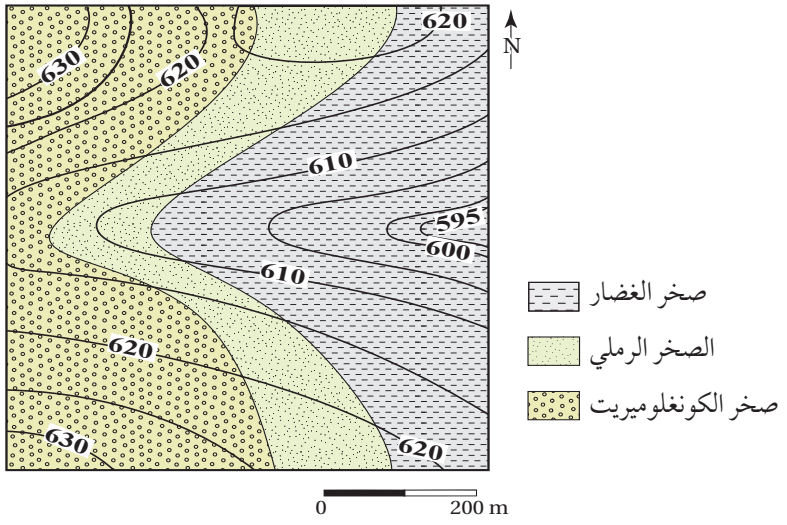
الشكل (7): خريطة جيولوجية تمثّل طبقات أفقية.
أستنتج العلاقة بين خطوط الكُنتور وسطوح الطبقات الأفقية الظاهرة في الخريطة.

المقطع العرضي الجيولوجي Geological Cross Section

يُعرَّف المقطع العرضي الجيولوجي بأنّه مقطع رأسي لصخور منطقة ما يوضِّح ترتيب الطبقات المتكشفة على سطح الأرض أو تحت سطح الأرض وشكلَها كما تمثّله الخريطة الجيولوجية. وقد تعلمتُ أنه يوجد نوعان من الخرائط الجيولوجية، أحدهما خرائط تمثّل طبقات أفقية تكون الطبقات فيها موازية لخطوط الكُنتور، أنظر الشكل (7). وتُمثَّل الطبقات الأفقية في المقطع الجيولوجي برسم خطوط أفقية متوازية، مع الأخذ في الحسبان سُمك كل طبقة وعلاقتها بخطوط الكُنتور، والأخرى خرائط تمثّل طبقات مائلة تتقاطع فيها حدود الطبقات مع خطوط الكُنتور بزوايا مختلفة، أنظر الشكل (8).

✓ **أتحقّق:** أحدّد العلاقة بين خطوط الكُنتور وبين حدود الطبقات المائلة في الخرائط الجيولوجية.

الخريطة الجيولوجية (C)



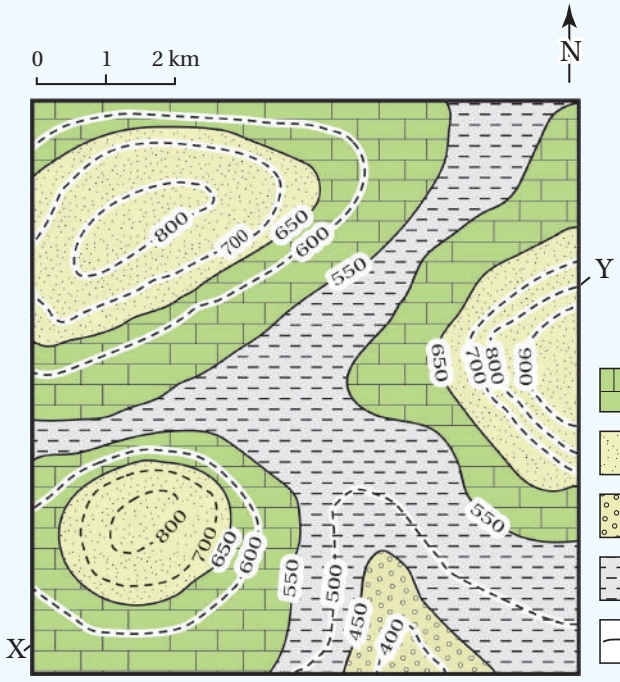
الشكل (8): تتقاطع حدود الطبقات مع خطوط الكُنتور في الخرائط الجيولوجية التي تمثّل طبقات مائلة.

ولتعرّف كيفية رسم مقطع جيولوجي يمثّل طبقات أفقية أنفّذ التّجربة الآتية:

التّجربة 1

مقطع جيولوجي لطبقات أفقية

المـوادّ والأدوات: خريطـة جيولوجيـة، مسـطرة، ورق رسـم بيانـي.



دليل الخريطة:

- الصخر الجيري
- الصخر الرملي
- صخر الكونغلوميريت
- صخر الغضار
- سطح طبقة

خطوات العمل:

1. أدرس الخريطة الجيولوجية التي تمثّل طبقات أفقية موازية لخطوط الكُنتور.
2. أرسم مقطعًا عرضيًّا يوضح المظاهر الطبوغرافية بينَ النقطتَينِ (X – Y) على الخريطة مثلما نفّذتُه في التجربة الاستهلاليّة.
3. أضع الطرف العُلوي لورقة الرسم البياني على امتداد الخط المستقيم (X–Y)، وأحدّد نقاط تقاطع حدود الطبقات الصخرية المتكشفة الظاهرة في الخريطة الجيولوجية، ثم أنقل مواقع النقاط على الخط الطبوغرافي الذي يمثّل سطح الأرض.
4. أرسم الطبقات الأفقية، وذلك برسم خطّ أفقي على امتداد النقاط المحدَّدة يمثّل سطح كل طبقة من الطبقات بحسب ارتفاعها، باستعمال المسطرة.
5. أضع رموز كل طبقة كما في دليل الخريطة الموجود بجانبها.

التحليل والاستنتاج:

1. أحدّد أحدثَ الطبقات وأقدمَها في المقطع العرضي.
2. **أستنتج** العلاقة بين خطوط الكُنتور وبين سطوح الطبقات.
3. **أحسب** سُمك طبقة الصخر الجيري في المقطع العرضي للخطّ المستقيم (X – Y).

ألاحظ بعد تنفيذي للتجربة أنّ رسم الطبقات الأفقية في المقطع العرضي الجيولوجي تم برسم خطوط أفقية متوازية، مع الأخذ في الحسبان سُمكَ كل طبقة وعلاقتَها بخطوط الكُنتور.

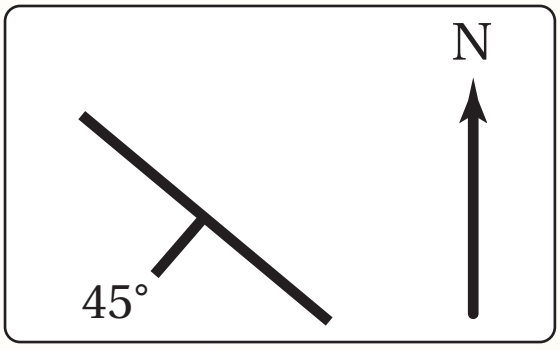
مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة**: أذكر ثلاثة عناصر يجب توافرها في الخريطة الجيولوجية.

2. **أقارن** بين الخريطة الكُنتورية والخريطة الطبوغرافية من حيث مكوِّنات كلٍّ منهما.

3. أعبّر عن مقياس الرسم الآتي: كلّ 1cm على الخريطة يساوي 20 km في الطبيعة بطريقة المقياس النِّسبي.

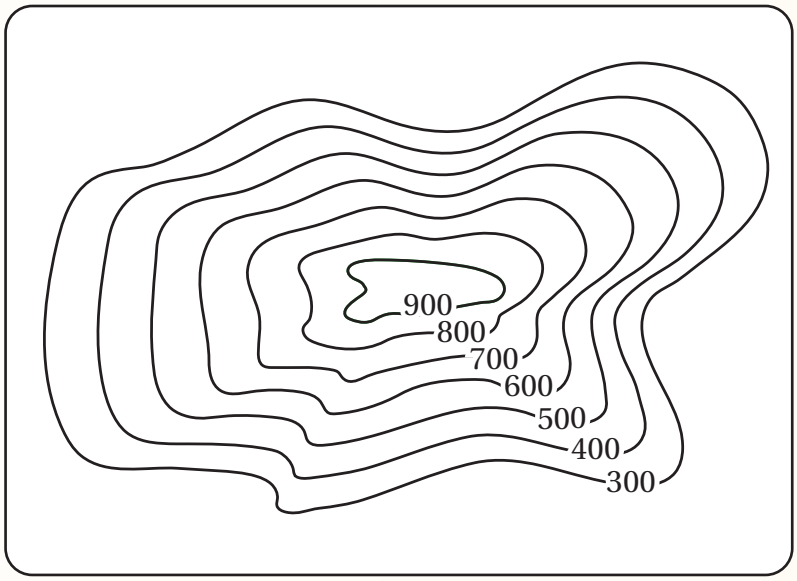
4. أدرس الشكل المجاور الذي يمثّل وضعية إحدى الطبقات الرسوبية، ثم أجد قيمة كلٍّ من المَيل والمضرب، علمًا أن زاوية اتجاه المَيل تساوي 225°.



5. أرسم رمز الطبقة الرأسية.

6. **أستنتج**: هل يوجد مضرب للطبقة الأفقية؟ لماذا؟

7. **أستنتج** المظهر الطبوغرافي في الخريطة الكُنتورية الآتية:



8. **أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:**

1. أي من أنواع الخرائط الآتية تظهر فيها تضاريس سطح الأرض في صور مجسَّمة باستخدام خطوط الكُنتور وتحتوي على المظاهر الطبيعية والبشرية؟

أ . الكنتورية. ب. الطبوغرافية.

جـ. الجيوفيزيائية. د . الجيوكيميائية.

2. النسبة الثابتة بين طول بُعدَين أحدهما حقيقي على سطح الأرض والآخَر على الخريطة هو:

أ . خط الكنتور. ب. الفترة الكنتورية.

جـ. مقياس الرسم. د . مفتاح الخريطة.

3. مقياس الرسم الآتي (1 cm يساوي 5 km) هو مقياس رسم:

أ . كتابي. ب. نسبي.

جـ. كسري. د. خطي.

4. يميل خط المضرب عن اتجاه الميل دائمًا بزاوية مقدارها:

أ . 45^{o} ب. 60^{o}

جـ. 90^{o} د . 180^{o}

5. تدل الخطوط الكنتورية المتقاربة في الخريطة الكنتورية على:

أ . أن الأرض مسطحة. ب. وجود منحدر شديد.

جـ. وجود نهر. د . أن الأرض منخفضة.

طرائق الاستكشاف الجيولوجي
Geological Exploration Methods

الدرس 2

الفكرة الرئيسة:

تحتوي صخور القشرة الأرضية على خامات معدِنية عدّة، وتُستخدَم طرائق الاستكشاف الجيولوجي المختلفة في البحث عنها؛ لاستثمارها، والاستفادة منها.

نتاجات التعلّم:

- أتعرّف طرائق الاستكشاف الجيولوجي: الجيوفيزيائية، والجيوكيميائية.
- أوضّح أهمية الطرائق الجيوفيزيائية والجيوكيميائية في البحث عن الخامات المعدِنية.

المفاهيم والمصطلحات:

الخامات المعدِنية	Ore Minerals
التنقيب	Prospecting
الاستكشاف	Exploration
الشواذّ الجيوفيزيائية	Geophysical Anomalies
العتبة	Threshold

الخامات المعدِنية Ore Minerals

أدّت الزيادة في عدد سكان العالم وما تبعها من تطور في النشاط الصناعي إلى ضرورة البحث عن مزيد من الخامات المعدِنية في صخور القشرة الأرضية؛ لسدّ الطلب المتزايد عليها، وإدخالها في عجلة التنمية، والنهوض بالاقتصاد العالمي. فما المقصود بالخامات المعدِنية؟ وما طرائق البحث عنها؛ لاستخراجها والاستفادة منها؟

تُعرَّف **الخامات المعدِنية Ore Minerals** بأنّها تجمّعات معدِنية توجد بأشكال وحجوم متعدّدة في صخور القشرة الأرضية بتراكيز تسمح باستثمارها اقتصاديًّا، وقد تكون هذه الخامات المعدِنية خامات فلزّية أو خامات لافلزّية، وتُستخدَم طرائق الاستكشاف الجيولوجي للبحث عنها؛ بغرض استثمارها اقتصاديًّا مثل: خام الحديد، وخام النحاس، وخام الفوسفات. ويمتاز الأردن بوجود كثير من الخامات المعدِنية بما فيها الخامات الفلزّية، مثل خامات الحديد والنحاس، واليورانيوم، والخامات اللّافلزّية مثل: الفوسفات، والصخر الجيري النقي، والصخر الزيتي، أنظر الشكل (9).

✓ **أتحقّق:** أوضّح المقصود بالخامات المعدِنية.

الشكل (9): صخور جيرية من منطقة سواقة في وسط الأردن تحتوي على خام اليورانيوم.

أفكّرُ كيف تساعد دراسة أنواع الصخور والتراكيب الجيولوجية المتوافرة في منطقة ما على تقليل الوقت والجهد في عملية الاستكشاف الجيولوجي للخامات المعدِنية في تلك المنطقة؟

الاستكشاف الجيولوجي Geological Exploration

تَمُرّ عملية الاستكشاف الجيولوجي بمرحلتَين أساسيتَين للبحث عن الخامات المعدِنية والتوصّل إلى أماكن توزُّعها، المرحلة الأولى تُسمّى عملية **التنقيب Prospecting**، وهي عملية مباشرة وغير مباشرة تُحدَّد عن طريقها الأماكن المحتمَلة لتوزّع الخامات المعدِنية، وذلك باستخدام الصوَر الجوّية والخرائط الجيولوجية، وجمع عيّنات من الصخور والتربة من سطح الأرض، ودراسة خصائصها الفيزيائية والكيميائية. أمّا المرحلة الثانية فتُسمّى **الاستكشاف Exploration**، وهي عملية يتوجه فيها الجيولوجيون إلى المناطق التي حددتها عمليات التنقيب؛ للبحث التفصيلي عن الخامات المعدِنية التي يمكن أن تكون موجودة فوق سطح الأرض، أو تحته؛ لتحديد قيمتها الاقتصادية، وفي هذه العملية تُعرَف خصائص الصخور، والتراكيب الجيولوجية المختلفة، واحتمالية توافر المياه الجوفية في المنطقة؛ وذلك لتجنّب مشكلات عديدة يمكن مواجهتها أثناء عملية استخراج الخامات المعدِنية. ويتمّ الاستكشاف بطريقتين هما: الاستكشاف الجيوفيزيائي، والاستكشاف الجيوكيميائي، أنظر الشكل (10).

الشكل (10): استكشاف اليورانيوم في منطقة وسط الأردن.

الاستكشاف الجيوفيزيائي Geophysical Exploration

يهدف الاستكشاف الجيوفيزيائي إلى البحث عن الخامات المعدِنية في المنطقة قيد الدراسة التي تحمل صفات فيزيائية مغايرة عن الصخور المضيفة لها، ويعتمد الاستكشاف الجيوفيزيائي على الخصائص الفيزيائية لتلك الخامات، إذ تحدّد هذه الخصائص طريقةَ الاستكشاف الجيوفيزيائي المراد استخدامه للكشف عنها.

ولتعرّف بعض هذه الخصائص الفيزيائية وطرق الاستكشاف الجيوفيزيائي المستخدَمة في الكشف عن الخامات المعدِنية، أنظر الجدول (1).

الجدول (1)* : **الخصائص الفيزيائية للخامات المعدِنية وطرق الاستكشاف الجيوفيزيائي المستخدَمة في الكشف عنها.**

الخاصّية	المادة المراد استكشافها (الصخر، المعدِن)	طريقة المسح الجيوفيزيائي	الأعماق المَقيسة
المغناطيسية	معدِن الماغنيتيت، الصخور فوق القاعدية الغنية بالحديد.	المسح المغناطيسي	0 – 20 km
الموصلية الكهربائية	الكبريتيدات، الغرافيت، الماء المالح في شقوق الصخور.	المسح الكهرمغناطيسي والمسح الكهربائي	0 - 0.01 km
الكثافة	الكبريتيدات، الباريت، السلفايت.	المسح الجاذبي	عدة مئات من الأمتار
الإشعاعية	الصخور والمعادِن التي تحتوي على كل من (البوتاسيوم، الفلسبار، اليورانيوم، الثوريوم).	المسح الإشعاعي	0 - 0.30 km
سرعة الموجات الزلزالية	الكبريتيدات الكتلية.	المسح الزلزالي	0 -10 km

* الجدول للمطالعة الذاتية.

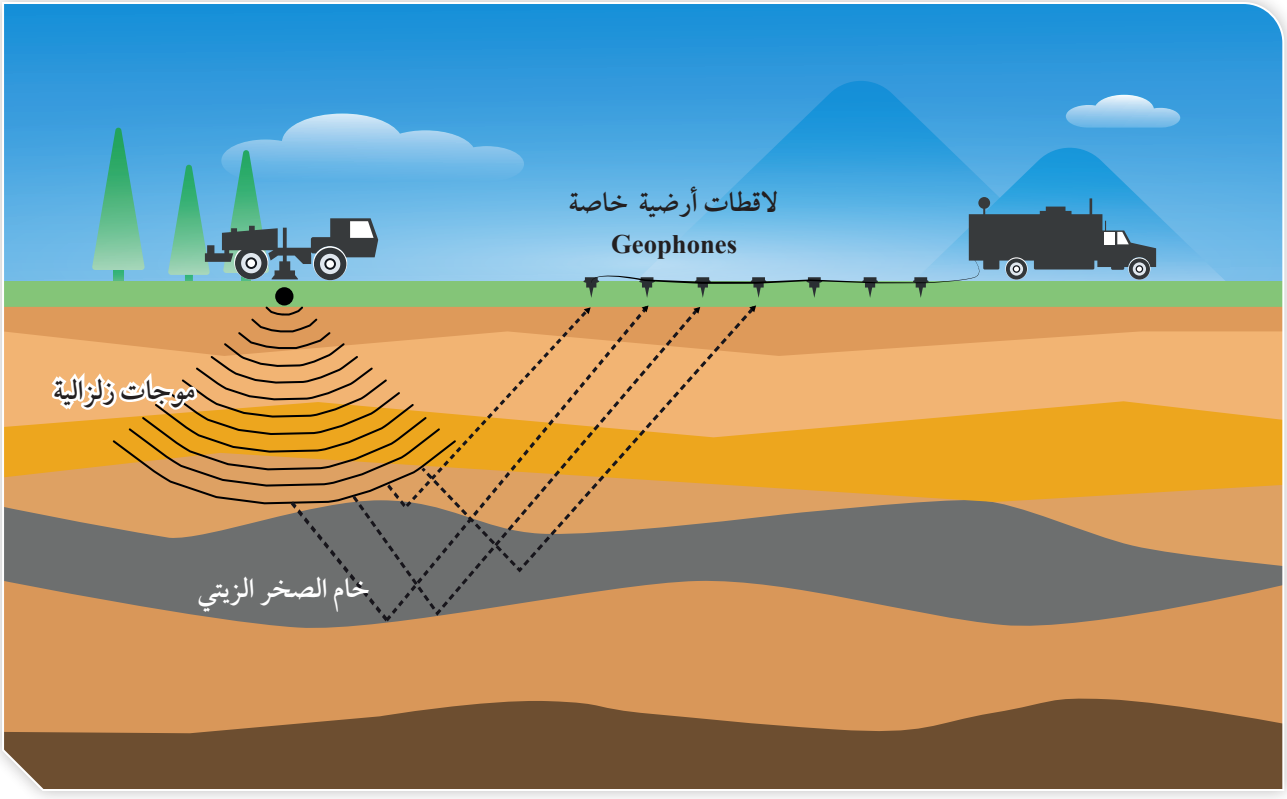
يتبيّن من الجدول (1) وجود عدّة مسوح جيوفيزيائية تُستخدَم في الكشف عن الصخور والخامات المعدِنية اعتمادًا على خصائص معيّنة، فالمسح المغناطيسي يعتمد على الخاصّية المغناطيسية للصخور والخامات المعدِنية، والمسح الكهرمغناطيسي والمسح الكهربائي يعتمدان على الموصلية الكهربائية لها، والمسح الجاذبي يعتمد على خاصّية الكثافة، أمّا المسح الإشعاعي فيعتمد على الخاصّية الإشعاعية، والمسح الزلزالي يعتمد على خاصّية سرعة الموجات الزلزالية فيها. أنظر الشكل (11) الذي يوضِّح أحد أنواع المسح الزلزالي.

يُجرى تحليل للقيم الجيوفيزيائية المجموعةُ من المسوح المختلفة عن طريق إعداد خرائط كُنتورية لها، وحصر المساحات التي تمثّل الشواذّ الجيوفيزيائية وبالتالي أماكن توزّع الخام، وتُعرَّف **الشواذّ الجيوفيزيائية** **Geophysical Anomalies** بأنّها القِيَم غير الطبيعية المجموعة أثناء عملية المسح الجيوفيزيائي، إذ تختلف قيمتها عن القِيَم التي حولها في المنطقة، وتوصف الشاذّة الجيوفيزيائية بأنّها موجِبة إذا كانت قيمتها أكبرَ من القِيَم الطبيعية في المنطقة، وأنّها سالبة إذا كانت قيمتُها أقلَّ من القِيَم الطبيعية في المنطقة.

أُفكّرُ تدلّ الشواذّ الجيوفيزيائية على أماكن توزّع الخامات المعدِنية. هل الشاذّة الجيوفيزيائية السالبة تعني أن القِيَم الجيوفيزيائية المجموعة ذات قِيَم سالبة؟

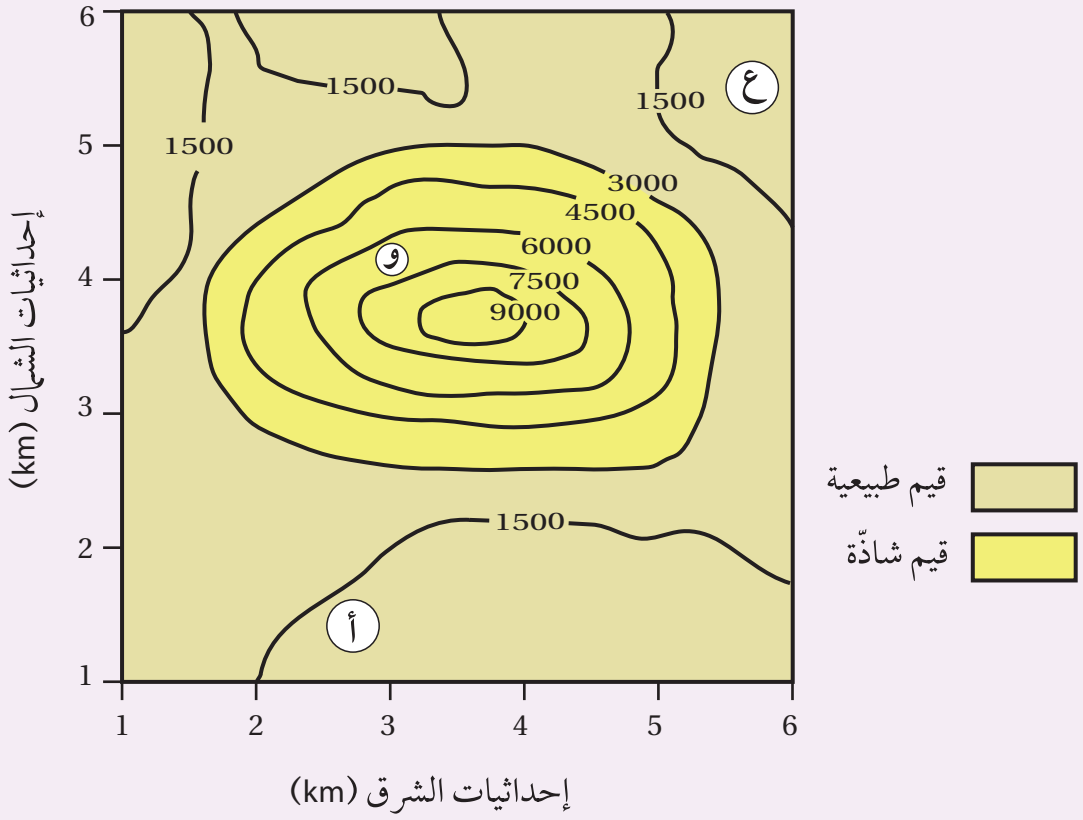
أعملُ فيلمًا قصيرًا باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضّح آليـة المسـح الزلزالي، ثمّ أشـاركه زملائي/ زميلاتي في الصفّ.

الشكل (11): آلية المسح الزلزالي.



مثال 2

يمثّل الشكل الآتي خريطة تساوي قيم جيوفيزيائية مغناطيسية تُقاس بوَحدة الغاما (γ). أدرسه جيدًا، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



1 . أحدّد القِيَم الجيوفيزيائية الطبيعية.

2 . أحدّد القِيَم الجيوفيزيائية الشاذّة.

3 . **أستنتج** نوع الشاذّة الجيوفيزيائية.

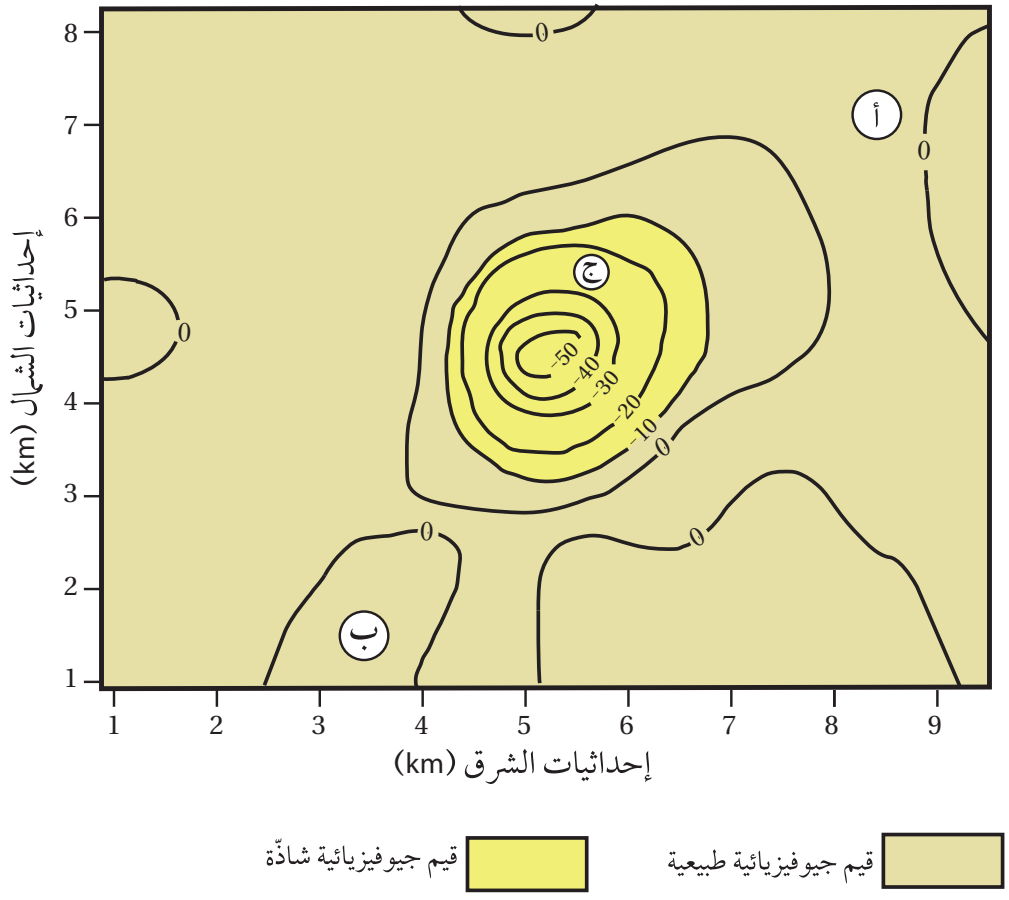
4 . **أتوقّع** أيُّ المناطق (أ، و، ع) يُحتمَل وجود الخام فيها.

الحل:

1. القيم الجيوفيزيائية الطبيعية هي القيم الأقل من γ 3000.
2. القيم الجيوفيزيائية الشاذّة هي القيم التي تزيد قيمتها على γ 3000.
3. نوع الشاذّة موجبة؛ لأنها أعلى من القيم الجيوفيزيائية الطبيعية.
4. المنطقة (و) هي المنطقة التي يُحتمل وجود الخام فيها.

تمرين

يمثّل الشكل الآتي خريطة تساوي قيم جيوفيزيائية جاذبية تُقاس بوَحدة الملليغال (mGal)، سببُها وجود قبة ملحية تحت سطح الأرض. أدرسه جيدًا، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



1 . أحدّد القِيَم الجيوفيزيائية الطبيعية.

2 . أحدّد القِيَم الجيوفيزيائية الشاذّة.

3 . **أستنتج** نوع الشاذّة الجيوفيزيائية.

4 . **أتوقّع** أيُّ المناطق (أ، ب، ج) يُحتمَل وجود الخام فيها.

أتحقّق: أحدد الخصائص الفيزيائية للخامات المعدنية التي يعتمد عليها الاستكشاف الجيوفيزيائي للبحث عنها.

الاستكشاف الجيوكيميائي Geochemical Exploration

يُعَدُّ الاستكشاف الجيوكيميائي من الطرق المهمة للبحث عن الخامات المعدِنية، وخاصة الفلزّية منها التي توجد بتراكيز قليلة ولا يمكن الكشف عنها باستخدام الاستكشاف الجيوفيزيائي. ويتم في هذا النوع من الاستكشاف إجراء تحليل كيميائي للصخور والتربة ورواسب الأنهار والبحيرات، بحيث تعطي نتائج التحليل شواذَّ جيوكيميائية تكون قيمتها أعلى دائمًا من القِيَم الجيوكيميائية الطبيعية في المنطقة، وتدلّ على وجود الخامات المعدِنية، وتبيّن تراكيزها وأماكن انتشارها في المنطقة.

يتم الاستكشاف الجيوكيميائي بطرائق متعددة منها: الاستكشاف الجيوكيميائي باستخدام العيّنات الصخرية، والاستكشاف الجيوكيميائي باستخدام عيّنات التربة، والاستكشاف الجيوكيميائي باستخدام المياه الجوفية، وغيرها.

أفكّر متى يلجأ الجيولوجيون إلى استخدام الاستكشاف الجيوكيميائي للبحث عن الخامات المعدِنية؟

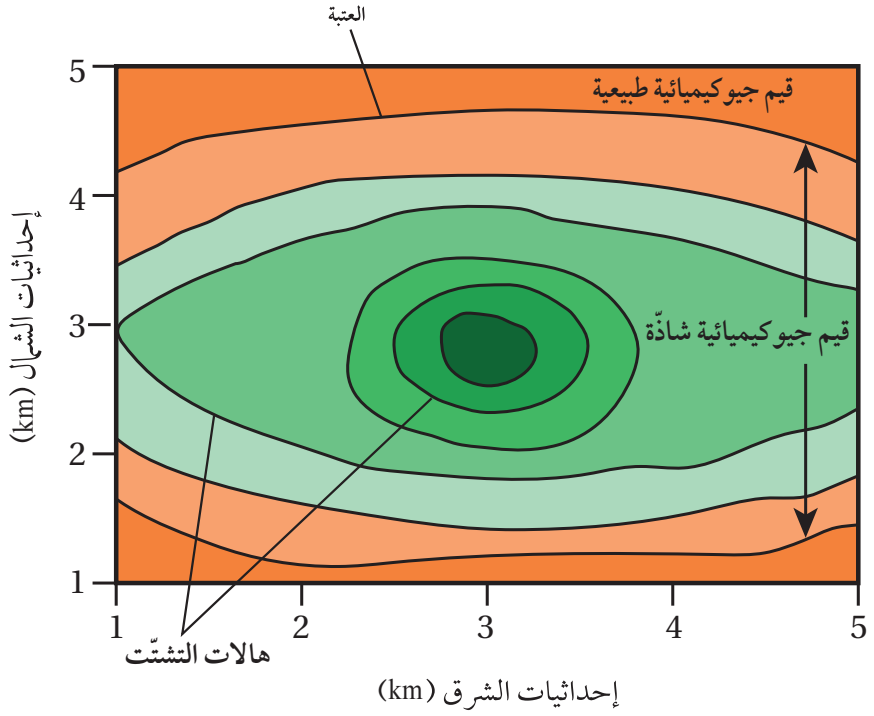
الاستكشاف الجيوكيميائي باستخدام العيّنات الصخرية
Geochemical Exploration Using Rock Samples

تعتمد عملية الاستكشاف الجيوكيميائي باستخدام العيّنات الصخرية على تحليل المحتوى المعدِني الموجود في الصخور؛ لتحديد المناطق المناسبة لتوافر الصخور التي تحتوي على عناصر معيّنة بتراكيزَ عالية تدلّ على وجود الخام، وتُسمّى هذه العناصر العناصرَ الدالّةَ؛ إذ تعطي قِيَمًا جيوكيميائية شاذّة أعلى من القِيَم الجيوكيميائية الطبيعية المجاورة لها، فمثلًا: وجود عناصر النحاس والكبريت والزئبق بقِيَم شاذّة قد تكون دالّةً على وجود خام الذهب، وارتفاع تراكيز غاز الرادون بقيم شاذة في منطقة ما تكون دالة على خام اليورانيوم، وتُسمّى القيمة التي تتغير عندها القِيَم الطبيعية إلى قِيَم شاذّة **العتبةَ Threshold**.

وغالبًا ما يحدث انتشار للعناصر والغازات الدالّة على الخامات المعدِنية من الصخور المضيفة لها إلى المناطق المجاورة على شكل هالات تُسمّى **هالات التشتّت Dispersion Halos**، بحيث تتناقص قِيَم الشواذّ الجيوكيميائية كلما ابتعدنا عن أماكن وجود الخامات المعدِنية حتى تصبح مساوية للقِيَم الطبيعية.

وقد تتشكّل هالات التشتّت أثناء تشكّل الخامات المعدِنية من المحاليل الحرمائية التي تتخلّل الصخور، إذ يقلّ تركيز الخامات المعدِنية والعناصر الدالّة عليها أثناء حركة هذه المحاليل الحرمائية بعيدًا عن مركز الخامِ، وقد تتشكّل نتيجة تعرّض الصخور المضيفة للخامات المعدِنية والعناصر الدالّة عليها لعمليات التجوية والتعرية المختلفة، ثم تُنقَل إلى المناطق المجاورة ما يؤدي إلى انتشارها في مناطق أوسع، أنظر الشكل (12). ومن الأمثلة على هالات التشتّت الهالة الموجودة في مقاطعة (أوتاوا) في الولايات المتحدة التي تحتوي على العناصر الآتية: الرصاص، والخارصين، والنحاس وتمتدّ (30 m) حول الصخور التي تحتوي على خامات معدِنية.

وقد كشف المسح الجيوكيميائي في الأردن، من قبل سلطة المصادر الطبيعية (NRA)/ وزارة الطاقة والثروة المعدنية، عن وجود تراكيز عالية من الذهب على الطرف الشمالي من الدرع العربي النوبي في جنوب الأردن، إذ ظهرت القِيَم الشاذّة الجيوكيميائية في الصخور البركانية الفلسية في منطقة وادي أبو خشيبة، ووادي الحور، ووادي صبرا.



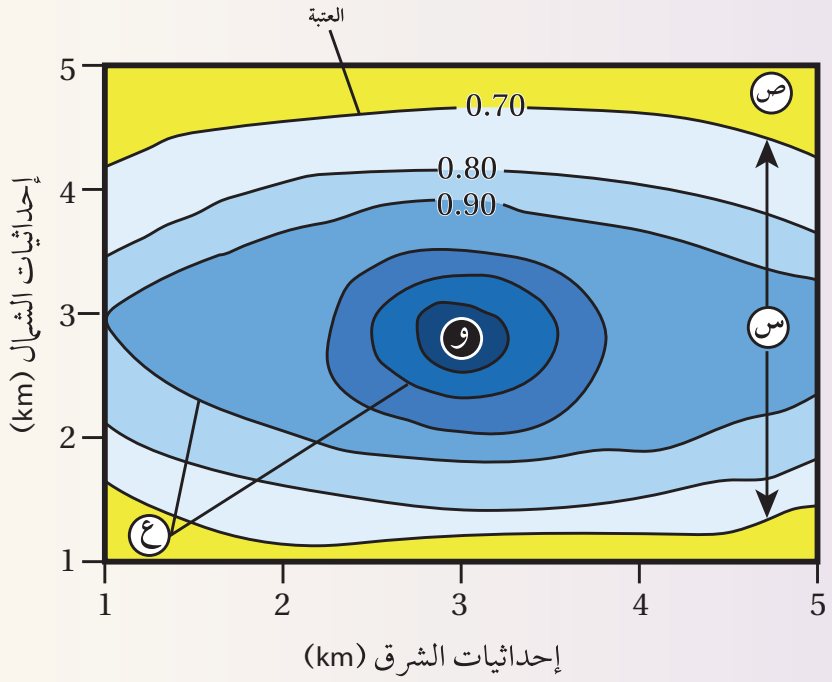
الشكل (12): هالات التشتّت الجيوكيميائي. (يمثّل كل لون تركيزًا مختلفًا للمعدِن).

وبعد الانتهاء من عملية الاستكشاف الجيوكيميائي، يبدأ تحليل البيانات الجيوكيميائية المجموعةِ بطرائق عدّة، مثل الطريقة الإحصائية أو رسم خرائط تساوي القِيَم Isopleth Maps؛ وذلك لتحديد مواقع الخامات المعدِنية. ولأتعرّف كيفية تحليل البيانات الجيوكيميائية برسم خرائط تساوي القِيَم الجيوكيميائية أنفّذ النشاط الآتي:

نشاط

تحليل بيانات جيوكيميائية باستخدام خرائط تساوي القِيَم

يوضّح الشكل الآتي خريطة تساوي قيم جيوكيميائية تمثّل تحليلًا لبيانات تركيز أحد الخامات بالنسبة المئوية (%) جُمعت عن طريق الاستكشاف الجيوكيميائي أثناء البحث عن ذلك الخام . أدرسه جيدًا، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:

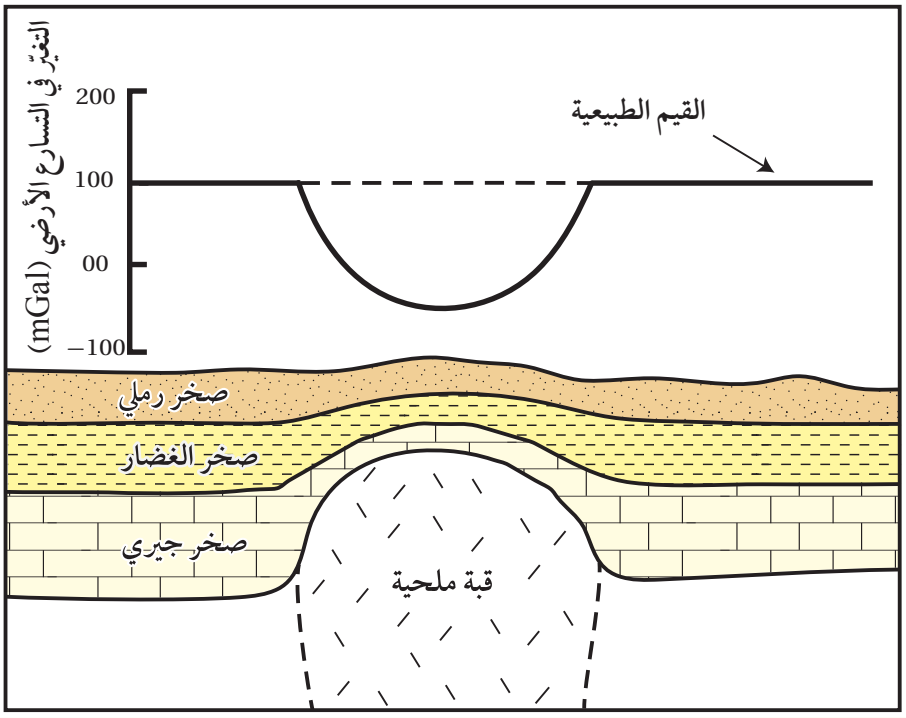


التحليل والاستنتاج:

1. أحدّد قيمة العتبة في الشكل.
2. أصف تركيز الخام كلّما ابتعدنا عن النقطة (و).
3. أبيّن ماذا تُسمّى القِيَم التي تمثّلها كلّ من (س، ص).
4. أفسّر كيف تتشكّل هالتا التشتّت الجيوكيميائي (ع).

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أذكر طرائق الاستكشاف الجيولوجي المُستخدَمة في البحث عن الخامات المعدِنية.
2. أوضّح المقصود بكل من: العتبة، وهالات التشتّت، والشواذّ الجيوفيزيائية.
3. **أفرّق** بين مفهومي: الاستكشاف، والتنقيب.
4. أوضّح متى توصف الشاذّة الجيوفيزيائية بأنّها موجِبة.
5. يبيّن الشكل الآتي شواذّ جيوفيزيائية كُشِف عنها باستخدام المسح الجاذبي. أدرسه جيدًا، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



أ . أحدّد كلًّا من: القِيَم الجيوفيزيائية الطبيعية، والقِيَم الجيوفيزيائية الشاذّة.

ب. **أستنتج** نوع الشاذّة الجيوفيزيائية.

جـ. **أفسّر** سبب تكوُّن الشاذّة الجيوفيزيائية.

د . **أتوقّع:** هل يجب تكشّف الخام على سطح الأرض حتى يُكشَف عنه باستخدام طرائق الاستكشاف الجيوفيزيائي المتعدّدة؟

6. **أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:**

1. من الخامات المعدنية اللافلزية الموجودة في الأردن:

أ . اليورانيوم. ب. النحاس.

جـ. الفوسفات. د . الحديد.

2. أي من الطرق الآتية تُستخدَم في المرحلة الثانية من مراحل الاستكشاف الجيولوجي؟

أ . الخرائط الجيولوجية. ب. الصور الجوية.

جـ. الطرق الجيوفيزيائية. د . جمع العينات.

3. أي من العبارات الآتية صحيحة فيما يتعلق بالشاذة الجيوفيزيائية الموجبة؟

أ . قيم موجبة طبيعية تُجمَع في أثناء المسح الجيوفيزيائي.

ب. قيم موجبة غير طبيعية تُجمَع في أثناء المسح الجيوفيزيائي.

جـ. قيم أكبر من القيم الطبيعية الموجودة في المنطقة.

د . قيم أقل من القيم الطبيعية الموجودة في المنطقة.

4. من طرق الاستكشاف الجيوكيميائي استخدام:

أ . المسح الكهربائي. ب. المسح الجاذبي.

جـ. المسح الاشعاعي. د . عينات التربة.

5. أظهرت عمليات المسح الإشعاعي الجوي في منطقة سواقة في وسط الأردن وجود قيم شاذة لليورانيوم ضمن الصخور:

أ . الغرانيتية. ب. الجيرية.

جـ. البازلتية. د. الرملية.

تعدين الخامات المعدنية وأثره على البيئة
Mining of Mineral Ores and Its Environmental Impact

الدرس 3

الفكرة الرئيسة:

للتعدين أهمية كبيرة في دعم الاقتصاد وتوفير المواد الخام الضرورية للحياة على سطح الأرض، إلا أن له تأثيرات سلبية على البيئة، ويتم بذل جهود حثيثة لإدارة هذه التأثيرات من خلال تطبيق استراتيجيات فعالة مثل إعادة استخدام المناجم.

نتاجات التعلّم:

- أوضّح أهمية طرائق الاستكشاف الجيولوجي في استكشاف باطن الأرض.
- أصف كيفية استخراج بعض الخامات المعدنية من الصخور.
- أصف الآثار البيئية الناجمة عن تعدين الخامات المعدنية.

المفاهيم والمصطلحات:

التعدين Mining

التعدين السطحي Surface Mining

التعدين تحت سطحي Subsurface Mining

استخراج الصخور والمعادن من الأرض
Extraction of Rocks and Minerals from the Earth

تعلمت سابقًا أن الاستكشاف الجيولوجي بمرحلتيه التنقيب والاستكشاف يهدف إلى تعرُّف الأماكن التي توجد بها الصخور التي تحتوي على الخامات المعدنية المختلفة مثل خامات الحديد والنحاس والفوسفات، وتحديد مواقعها بدقة؛ لاستخراجها بطريقة منظمة غير عشوائية بأقل التكاليف والنفقات، إذ يتوجه الجيولوجيون إلى المناطق التي تم تحديدها عن طريق عمليات الاستكشاف الجيولوجي المختلفة لاستخراج الخامات المعدنية منها والاستفادة منها اقتصاديًّا.

وتسمى علمية استخراج الخامات المعدنية التي توجد بكميات اقتصادية من الصخور في باطن الأرض أو على سطحها **التعدين Mining** أنظر الشكل (13).

تستخرج الخامات المعدنية من القشرة الأرضية بطريقتين أساسيتين، هما: التعدين السطحي، والتعدين تحت السطحي. ولكن، ما الفرق بين التعدين السطحي والتعدين تحت السطحي؟ وما الظروف الجيولوجية التي تحدد طريقة التعدين المناسبة لاستخراج الخامات المعدنية المختلفة من القشرة الأرضية؟

✓ **أتحقّق:** أوضّح أهمية طرق الاستكشاف الجيولوجي في استكشاف باطن الأرض.

الشكل (13): استخراج الفحم الحجري باستخدام مجموعة من الأدوات، مثل: الحفارات، وشاحنات النقل.

الشكل (14/ أ): جرافة ذات عجلات ضخمة تُستخدَم في إزالة الصخور التي تحتوي على الخامات المعدنية في أحد مناجم التعدين السطحية.

التعدين السطحي Surface Mining

تُستخدَم طريقة **التعدين السطحي Surface Mining** فقط عندما تكون الصخور التي تحتوي على الخامات المعدنية (جسم الخام Ore Body) موجودة بالقرب من سطح الأرض، والمنطقة التي توجد فيها غير مأهولة بالسكان. ويسمى هذا النوع من التعدين أيضًا التعدين المفتوح، ويتم في هذه الطريقة أولًا إزالة التربة والصخور التي تعلو جسم الخام المراد استخراجه بواسطة آلات ثقيلة مُخصَّصة لذلك، وعند تكشُّفه تُستخدَم الحفارات الضخمة أو الجرافات في حفر الخام المعدني وإزالته، وتحميله في شاحنات النقل، أنظر الشكل (14/ أ،ب)، ثم تنقله الشاحنات من موقع التعدين إلى مرافق المعالجة أو المخازن.

أفكّرُ ما الأمور التي يجب مراعاتها قبل استخدام طريقة التعدين السطحي لاستخراج الخامات المعدنية من الصخور التي تحويها؟

الشكل (14/ ب): أحد المناجم التي تُستخرَج منه الخامات المعدنية بطريقة التعدين السطحي.

الشكل (15): استخراج الفحم الحجري باستخدام طريقة التعدين تحت السطحي.

التعدين تحت السطحي Subsurface Mining

التعدين تحت السطحي Subsurface Mining هو عملية استخراج الخامات المعدنية التي توجد على أعماق كبيرة تحت سطح الأرض تزيد على 50 m تقريبًا باستخدام طرائق التعدين تحت السطحية المختلفة، أنظر الشكل (15)، مثل الأنفاق المائلة والأعمدة الرأسية، دون إزالة التربة والصخور التي تعلوها.

تُحفَر الأنفاق المائلة بزوايا مختلفة لاستخراج الخامات المعدنية بحسب الظروف الجيولوجية مثل: الأعماق التي يوجد فيها الخام، ونوع الصخور والتراكيب الجيولوجية كالطيات والصدوع، ونوعية الخام المُستخرَج. وعند الوصول إلى تلك الخامات المعدنية تُنقَل إلى السطح، أنظر الشكل (16). أما عند وجود الخامات المعدنية المراد استخراجها على أعماق كبيرة جدًّا ويتعذر حفر الأنفاق المائلة لاستخراجها فتُستخدَم طريقة الأعمدة الرأسية (الأنفاق العمودية)، إذ تُحفَر أعمدة رأسية للوصول إلى الخامات المعدنية، ثم تنقل بعد ذلك إلى السطح باستخدام المصاعد. أما الأنفاق الأفقية فهي أنفاق تُحفَر في جانب التلال أو الجبال، ومن ثم يتمّ تتبُّع طبقات الخام أفقيًّا بدلًا من الحفر العمودي.

✓ **أتحقّق:** أحدد الأمور التي تؤخذ بالحسبان عند استخدام الأنفاق المائلة.

الشكل (16): حفارة تحت سطح الأرض في نفق مائل داخل منجم لاستخراج الملح الصخري.

العوامل المؤثرة في تعدين الصخور والمعادن

Factors Affecting the Mining of Rocks and Minerals

تتأثر عملية تعدين الخامات المعدنية بعوامل عديدة، منها: أهميتها في الصناعات المختلفة، ومستوى الطلب عليها، إذ تصبح الخامات المعدنية ذات جدوى اقتصادية بزيادة الطلب عليها، وتؤثر كمية أو احتياطات الخامات المعدنية الموجودة تحت سطح الأرض ومدة استمرارية تعدينها، فكلما كانت كمية الخامات المعدنية المراد استخراجها أكبر ومدة إنتاجها أطول كانت ذات جدوى اقتصادية أعلى، وتؤثر الظروف الجيولوجية في عملية التعدين، فمثلًا: تزداد تكلفة استخراج الخامات المعدنية إذا كانت على أعماق كبيرة؛ بسبب الحاجة إلى حفر أنفاق عميقة، في حين تكون تكلفة الاستخراج منخفضة عند استخدام طرائق التعدين السطحي.

الأثر البيئي لاستخراج الصخور والمعادن

Environmental Impact of Rock and Mineral Extraction

تُسبّب عملية استخراج الخامات المعدنية أضرارًا بيئية عديدة، منها:

فقدان مواطن الكائنات الحية ـ والتنوع الحيوي

Habitat and Biodiversity loss

تؤدي عملية إزالة التربة والصخور أثناء عملية التعدين، إلى تدمير مواطن العديد من الكائنات الحية في منطقة التعدين، مثل الغابات أنظر، الشكل (17)، مما يؤدي إلى فقدان أعداد كبيرة من النباتات والحيوانات في تلك المناطق. إلى جانب ذلك، يمكن أن تؤثر أنشطة التعدين أيضًا في النظم البيئية المائية؛ بسبب تلوث المياه بالرواسب التي تنجم عن استخراج الخامات المعدنية، مما يعرض الكائنات الحية المائية للخطر.

الربط بالهندسة

يطلق على الموقع الذي تُستخرَج فيه المعادن والصخور اسم **المنجم**، ويمكن أن يكون المنجم على سطح الأرض أو تحتها وفقًا لعملية التعدين. و تدخل الهندسة المدنية في تصميم الهياكل والبنية التحتية للمناجم، مثل الأنفاق والطرق والمرافق المرتبطة بعمليات التعدين.

✓ **أتحقّق:** أذكر عاملين يؤثران في تعدين الصخور والمعادن.

الشكل (17): إزالة الغابات حول منجم خام الحديد في إحدى المناطق البرازيلية.

الشكل (18): مياه مُلوَّثة نتيجة تعدين النحاس قرب إحدى البحيرات.

تلوث المياه Water Pollution

يُعدّ تلوث المياه من أبرز المشكلات البيئية التي ترتبط بها عملية التعدين؛ إذ تُستخدم عدة عناصر كيميائية سامة مثل الرصاص، والسيانيد، والزرنيخ أثناء عمليات فصل المعادن عن الصخور غير المرغوب فيها التي تحويها. وقد تصل هذه العناصر السامة إلى مصادر المياه السطحية القريبة من منطقة التعدين، مثل الأنهار القريبة، أو قد تتسرب إلى باطن الأرض حتى تصل إلى المياه الجوفية، ما يؤدي إلى تلوُّثها، أنظر الشكل (18).

تلوث الهواء Air Pollution

تطلق عمليات الحفر والتكسير وتنقية الخامات المعدنية عند استخراجها كميات هائلة من الغبار الذي يحتوي على عناصر تتسبب في تلوث الهواء مثل الرصاص والسيانيد، والحديد والكبريت، أنظر الشكل (19). فمثلًا: تؤدي عمليات استخراج معدن البيريت (FeS_2) للحصول على الكبريت إلى تلوث الهواء الجوي؛ بسبب إطلاق كميات كبيرة من الحديد والكبريت إلى الهواء.

الشكل (19): تلوث الهواء بالغبار الناتج من تكسير الصخور في أحد المناجم.

تعرية التربة Soil Erosion and Sedimentation

عنـد القيـام بعمليات التعدين، تُزال التربـة السطحيـة والصخـور التي تغطي الخامات المعدنية المراد استخراجها، هذه العملية المعروفة بإزالة التربة تؤدي إلى تدمير الطبقة الخصبة من التربة الضرورية لزراعة النباتات ودعم الحياة النباتية والحيوانية، ونتيجة لذلك، تتأثر النظم البيئية في تلك المنطقة بشكل كبير، وتصبح الأراضي التي كانت خصبة سابقًا غير قابلة للاستخدام أو الزراعة بعد الانتهاء من عملية التعدين. أما التربة المزالة، فقد تنجرف بفعل مياه الأمطار والرياح، إذ تحمل مياه الأمطار التربة إلى الأنهار، ومن ثمّ يؤدي ترسبها إلى زيادة سمُك الرسوبيات في النهر وانخفاض الحياة المائية، وزيادة احتمالية حدوث الفيضانات؛ مما يزيد من تفاقم الأضرار البيئية، أنظر الشكل (20).

الشكل (20): تراكم الرسوبيات الناتجة من عمليات التعدين في النهر الأصفر في الصين.

أستنتج الآثار البيئيـة الناتجـة مـن تراكم الرسوبيات في النهر.

التلوث البصري والضوضائي Visual and Noise Pollution

غالبًا ما تكون مناجم التعدين مواقع ضخمة تعمل على مدار 24 ساعة طوال السنـة، ما يعني استمرار الضجيج الناتـج من الآلات الثقيلـة، مثـل الحفارات والشاحنات والكسارات. وهذا يمكن أن يسبّب إزعاجًا للسكان المحليين في المناطق القريبة من هذه المناجم، ويؤثر سلبًا في صحتهم النفسية والجسدية، مثل حدوث اضطرابات النوم والتوتر. بالإضافة إلى ذلك يؤثر هذا الضجيج في الحياة البرية في المنطقة المحيطة بالمناجم، إذ يؤدي إلى هجرة الحيوانات من مواطنها الطبيعية وحدوث اضطرابات في نمط حياتها. ومن التأثيرات السلبية الأخرى للتعدين: تدمير المناظر الطبيعية، وتأثير الإضاءة الليلية الدائمة على معيشة السكان المحيطين بمواقع التعدين. أنظر الشكل(21).

أتحقّق: أحدد ثلاثـة آثار بيئية تنجم عن عمليات التعدين.

الشكل (21): الإضاءة الليلية الدائمة في مواقع التعدين.

إدارة تأثير استخراج الصخور والمعادن

Managing the Impact of Rock and Mineral Extraction

قبل البدء بأي مشروع تعدين يجب إجراء تقييم للأثر البيئي له؛ أي تقييم الآثار البيئية التي قد تنجم عن عملية التعدين قبل اتخاذ القرار بإنشاء المنجم وإعطاء الإذن ببدء عمليات التعدين، وغالبًا ما يتضمن تفاصيل حول التأهيل البيئي، والترميم، وإعادة الاستخدام.

التأهيل البيئي Remediation

يشمل هذا الإجراء ضمان أمان الموقع بعد إيقاف التعدين، من خلال هدم المنشآت، وإزالة المُعَدّات، وتثبيت الفتات الصخري على سطح الأرض، وتصريف المياه في الأنابيب، والتخلص من أي نفايات خطرة.

الترميم Restoration

يتم في العديد من مواقع التعدين إعادة الموقع إلى حالته قبل عمليات التعدين، عن طريق إعادة بناء النظام البيئي فيها من خلال زراعة الأشجار والنباتات المحلية المشابهة لتلك التي كانت موجودة فيها. قد يتم أيضًا إنشاء محميات طبيعية، بما في ذلك البحيرات التي تشكّلت في مناطق التعدين السطحي، أنظر الشكل (22).

إعادة الاستخدام Re-Use

في السنوات الأخيرة ظهرت توجهات لإعادة استخدام المناجم والمحاجر التي تم إيقاف تشغيلها بحيث تستمر في المساهمة اقتصاديًّا في المجتمعات المحلية؛ إذ تُستخدم بعض المواقع للتخلص من نفايات المكبات المنزلية، في حين تحولت مواقع أخرى إلى مناطق جذب سياحي، فمثلًا: أُنشئت حلبة سباق غوتلاند رينغ في السويد، وفي غانا أصبح منجم الذهب المهجور «هوميز» مركزًا لمشروع زراعي يضم مزارع الأسماك وتربية المواشي وزراعة الخضروات السياحية البيئية.

الرّبط بالعلوم الحياتيّة

تُستخدم المعالجة البيولوجية (Bioremediation) في بعض الأحيان لمعالجة تلوث المياه في موقع التعدين، حيث يتم تحفيز البكتيريا وحيدة الخلية التي تعيش في الموقع لتفكيك المُلوِّثات في التربة والمياه. على الرغم من أنه لا يمكن التخلص من المُلوِّثات السامة مثل الكادميوم، إلا أنها تُعَدّ بديلاً آمنًا وأقل تكلفة مقارنة بالحرق أو طمر النفايات.

✓ **أتحقّق:** أذكر طريقتين يمكن عن طريقهما إعادة استخدام المناجم بعد الانتهاء من عمليات التعدين.

الشكل (22): حدائق بوتشارت الناتجة من ترميم موقع تعدين سابق، إذ كانت في الأصل محجرًا لاستخراج الصخر الجيري.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** **أفسّر:** للتعدين تأثيراته السلبية على البيئة.
2. **أتوقّع** العلاقة المحتملة بين تعدين الخامات المعدنية والتغيرات المناخية في المناطق المتأثرة به.
3. أوضّح: كيف يؤثر ترميم المناطق بعد الانتهاء من التعدين فيها على البيئة؟
4. **أفسّر:** يؤثر الضجيج على الحياة البرية في المناطق المحيطة بمواقع التعدين.
5. **أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:**

1. ما الهدف من عملية الترميم (Restoration) بعد إيقاف عمليات التعدين؟

أ . تحسين إنتاجية التعدين.
ب. إعادة بناء النظام البيئي.
جـ. إنشاء بنية تحتية جديدة للتعدين.
د. تحويل الموقع إلى منطقة صناعية.

2. في منطقة جبلية واسعة، اكتشف الجيولوجيون احتياطًا كبيرًا من النحاس تحت طبقات من الصخور الصلبة على عمق يصل إلى تقريبًا 40 m. أي طرائق التعدين الآتية هي الأنسب لاستخراج النحاس بكفاءة؟

أ . التعدين السطحي.
ب. التعدين بالأعمدة الرأسية.
جـ. التعدين بالأعمدة المائلة.
د . التعدين بالأنفاق الأفقية.

3. أي من العوامل الآتية يجب أن يؤخذ في الحسبان بشكل أساسي عند اختيار طريقة التعدين؟

أ . تكلفة النقل.
ب. عمق الخامات المعدنية.
جـ. طبيعة المناخ.
د . المسافة من المدينة.

4. في منطقة جبلية غنية بالمعادن، حصلت شركة تعدين على تصريح لبدء عمليات التعدين بعد أن قدمت تقريرًا لتقييم الأثر البيئي. تضمن التقرير خطة مفصلة لإعادة تأهيل الموقع بعد انتهاء عمليات التعدين. الهدف من عملية التأهيل البيئي بعد توقف عمليات التعدين هو:

أ . ضمان أمان الموقع بعد إيقاف التعدين.
ب. إعادة الأرض إلى حالتها الطبيعية التي كانت عليها.
جـ. إنشاء محميات طبيعية في موقع التعدين.
د. المساهمة اقتصاديًّا في المجتمعات المحلية.

5. من الإجراءات المتبعة في التأهيل البيئي بعد انتهاء عمليات التعدين:

أ . زراعة النباتات الجديدة.
ب. التخلص من النفايات الخطرة.
جـ. إنشاء محميات طبيعية جديدة.
د . بناء منازل في موقع المنجم.

استكشاف اليورانيوم في الأردن
Exploration of Uranium in Jordan

أظهرت أعمال المسح الإشعاعي الجوي وجود قِيَمٍ إشعاعية شاذّة في مناطق عدّة في المملكة الأردنية الهاشمية، منها منطقة وسط الأردن، دلّت على وجود خامات اليورانيوم فيها ضمن الصخور الجيرية الهشة، بمساحة تُقدَّر بنحو $667\ km^2$، في طبقتين؛ إحداهما سطحية، والأخرى عميقة.

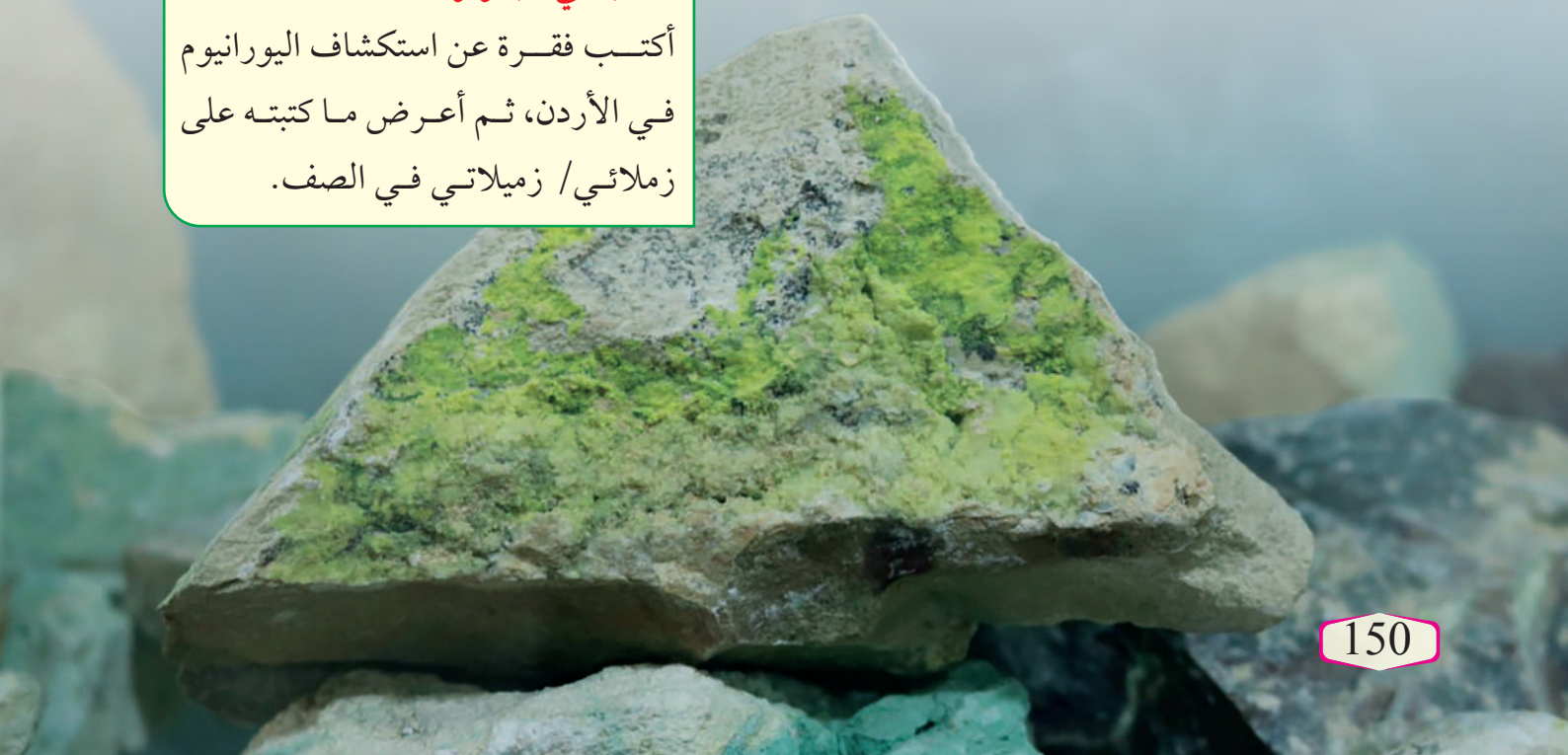
استُخدِمت طريقتا الاستكشاف الجيوفيزيائي والاستكشاف الجيوكيميائي في البحث عن خامات اليورانيوم، إذ استُخدِمت طريقة الاستكشاف الجيوكيميائي في استكشاف اليورانيوم في الطبقة السطحية عن طريق حفر الخنادق الاستكشافية بعمق ستة أمتار لجمع العينات الصخرية، ثم تحليلها مخبريًّا؛ لتحديد تركيز اليورانيوم والعناصر الأخرى المصاحبة له. أما في الطبقة العميقة فقد استُخدِمت طريقة المسح الإشعاعي الجيوفيزيائي عن طريق حفر الآبار الاستكشافية وأخذ القراءات الإشعاعية لأشعة غاما باستخدام مسابر جيوفيزيائية، وبعد ذلك تُحوَّل قِيَم الإشعاع المَقيس إلى تركيز مكافئ لليورانيوم.

وأثبتت أعمال الاستكشاف ودراسات تقدير الخامات أن كميات اليورانيوم في منطقة وسط الأردن تُقدَّر بنحو 41000 ton من أكسيد اليورانيوم (U_3O_8)، بمعدّل تركيز 154 ppm في الطبقة السطحية، و 127 ppm في الطبقة العميقة.

وتشكّل كميّات اليورانيوم المستكشَفة فقط في منطقة وسط الأردن ما نسبته 1% من النسب العالمية لموارد اليورانيوم.

الكتابة في الجيولوجيا

أكتب فقرة عن استكشاف اليورانيوم في الأردن، ثم أعرض ما كتبته على زملائي/ زميلاتي في الصف.



السؤال الأوّل:

أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

1. من خصائص خطوط الكُنتور:
   أ . أنّها تتقاطع مع بعضها بعضًا.
   ب. أنّها تكون على شكل مُنحنيات مفتوحة النهاية.
   جـ. أن القِيَم المتقاربة تدل على قلة انحدار سطح الأرض.
   د . أن القِيَم الموجبة تدل على الارتفاع فوق سطح البحر.

2. يدلّ الرمز ⊕ على إحداثيات طبقاتٍ:
   أ . مائلة. ب. أفقية.
   جـ. رأسية. د . مقلوبة.

3. قيمة المَيل التي يمثّلها الرمز (—|—) تساوي:
   أ . 75^{o} ب. 120^{o}
   جـ. 90^{o} د . 10^{o}

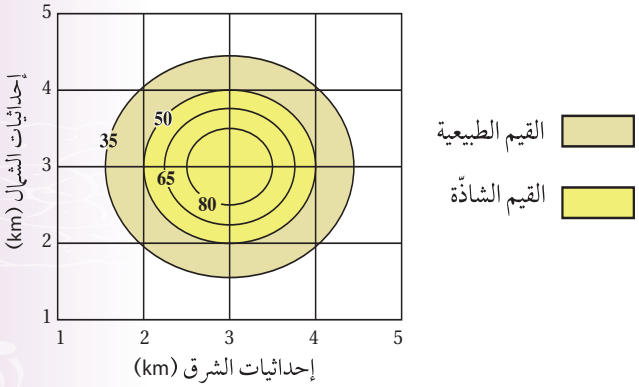
4. إذا كان أحد اتجاهات المضرب (شمال شرق)؛ فإن الاتجاه الآخَر هو:
   أ . جنوب. ب. جنوب غرب.
   جـ. شمال غرب. د . شمال.

5. عندما توازي الطبقات في الخرائط الجيولوجية خطوطَ الكُنتور فإنّها تدلّ على طبقات:
   أ . أفقية. ب. مائلة.
   جـ. عمودية. د . مقلوبة.

6. تُسمّى القيمة التي تتغير عندها القِيَم الطبيعية إلى قِيَم شاذّة في الاستكشاف الجيوكيميائي:
   أ . العتبة.
   ب. التشتّت الجيوكيميائي.
   جـ. هالات التشتّت.
   د . العناصر الدالّة.

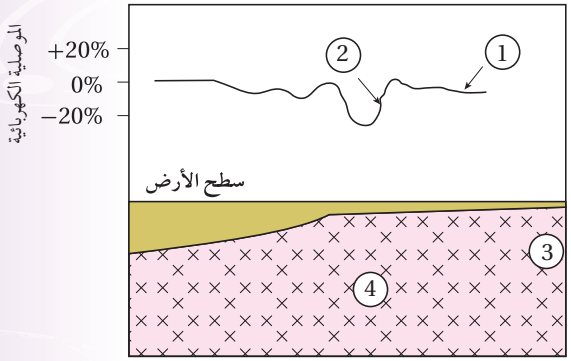
7. تسمّى الطريقة التي يتم فيها الاعتماد على الاختلاف في الخصائص الفيزيائية للخامات المعدِنية عن الصخور المحيطة بها:
   أ . الإحصائية.
   ب. الاستكشاف الجيوكيميائي.
   جـ. الاستكشاف الجيوفيزيائي.
   د . رسم الخرائط الكُنتورية.

8. يمثّل الشكل الآتي خريطة تساوي قِيَم لتوزُّع أحد الخامات في منطقةٍ ما، قيمة العتبة هي:



   أ . 35 ب. 50
   جـ. 65 د . 80

9. يمثّل الشكل الآتي قيم موصلية كهربائية حُصِلَ عليها من عملية مسح كهربائي لمنطقة ما، أستنتج مكان وجود الخام:



   أ . 1 ب. 2
   جـ. 3 د . 4

10. من العناصر الدالّة على وجود خام الذهب:

أ . المنغنيز. ب. اليود.

جـ. الزئبق. د . الحديد.

11. الهدف من عملية الترميم (Restoration) بعد إيقاف عمليات التعدين:

أ . تحسين إنتاجية التعدين.

ب. إعادة الأرض إلى حالتها الطبيعية عن طريق زراعة الأشجار والنباتات المحلية.

جـ. إنشاء بنية تحتية جديدة للتعدين.

د . تحويل الموقع إلى منطقة صناعية.

12. يمكن إعادة استخدام الأراضي بعد إيقاف عمليات التعدين السطحي عن طريق:

أ . إنشاء محميات طبيعية وبحيرات في مواقع التعدين السابقة.

ب. حفر أنفاق جديدة للتعدين.

جـ. ترك الموقع كما هو من دون تدخّل.

د . تحويل الموقع إلى منشآت صناعية جديدة.

13. في منطقة جبلية غنية بالمعادن، حصلت شركة تعدين على تصريح لبدء عمليات التعدين بعد أن قدمت تقريرًا لتقييم الأثر البيئي. التقرير تضمن خطة مفصلة لإعادة تأهيل الموقع بعد انتهاء عمليات التعدين.

الهدف من عملية التأهيل البيئي بعد توقف عمليات التعدين هو:

أ . ضمان أمان الموقع بعد إيقاف التعدين.

ب. إعادة سطح الأرض إلى حالته الطبيعية التي كان عليها.

جـ. إنشاء محميات طبيعية في موقع التعدين.

د . المساهمة اقتصاديًّا في المجتمعات المحلية.

14. أي من المعادن الآتية يسهم بشكل أكبر في تلوث الهواء عند تعدينه؟

أ . التلك. ب. البيريت.

جـ. الهاليت. د . الكالسيت.

15. أي العبارات الآتية تصف مفهوم المضرب (Strike) بدقة؟

أ . الخط الناتج من تقاطع سطح الطبقة المائلة مع المستوى الأفقي، ويمثل امتداد الطبقة.

ب. أكبر زاوية يصنعها سطح الطبقة مع المستوى الأفقي.

جـ. الاتجاه الجغرافي لميل الطبقة.

د . أقل زاوية يصنعها سطح الطبقة مع المستوى الأفقي.

السؤال الثاني:

أملأ كلّ فراغ في ما يأتي بالمصطلَح المناسب:

1. خريطة توضّح تضاريسَ سطح الأرض في صور مجسَّمة باستخدام خطوط الكُنتور .....

.....

2. يُطلَق على الخطّ الناتج من تقاطع سطح الطبقة المائلة مع المستوى الأفقي .....

3. تُسمّى العناصر التي توجد مع الخام وتدلّ على وجوده

.....

4. يتمّ الاستكشاف الجيوكيميائي بطرائق متعدّدة، منها:

.....،.....

5. توصف القيمة الجيوفيزيائية الشاذّة التي تكون قيمتها أقلَّ من القِيَم الطبيعية .....

6. يُسمّى المسح الجيوفيزيائي الذي يعتمد على خاصّية كثافة الصخور .....

السؤال الثالث:

يبيّن الجدول الآتي قيمًا تمثّل النسبة المئوية لتركيز النحاس في المواقع (أ، ب، ج، د، هـ) أثناء المسح الجيوكيميائي لمنطقةٍ ما، علمًا أن قيمة العتبة لخامِ النحاس (0.5%). أدرس الجدولَ جيدًا، ثم أجيب عن السؤال الذي يليه:

الموقع	أ	ب	ج	د	هـ
النسبة المئوية %	0.10	0.62	0.20	0.05	0.78

أستنتج المواقع التي يوجد فيها النحاس بتراكيزَ غيرِ اقتصادية.

السؤال الرابع:

أجيب من خلال دراستي لطريقة الاستكشاف الجيوكيميائي عن الأسئلة الآتية:

أ . أشرح المبدأ الذي يقوم عليه الاستكشاف الجيوكيميائي باستخدام العيّنات الصخرية.

ب. أصف أوجه الشبه والاختلاف بين الشواذّ الجيوفيزيائية والشواذّ الجيوكيميائية.

جـ. أعدّد طرائق تحليل البيانات الجيوكيميائية.

د . أصف كيفية تشكّل هالات التشتّت بفعل المحاليل الحرمائية.

السؤال الخامس:

إذا كان مقياس الرسم على إحدى الخرائط الجيولوجية هو (1 cm يساوي 6 km)، فأجيب عما يأتي:

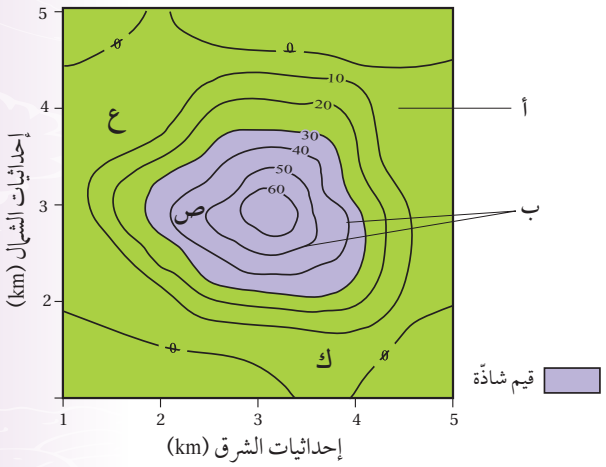
1. أحدّد نوع مقياس الرسم.
2. أُحوّل مقياس الرسم إلى مقياس كسري.

السؤال السادس:

أفسّر: لا يمكن استخدام طرائق المسح الجيوفيزيائي للكشف عن معدِن الذهب.

السؤال السابع:

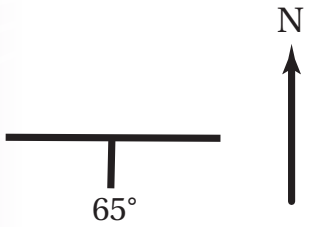
أدرس الشكل الآتي الذي يوضّح خريطة تساوي قِيَم خام النحاس، حيث يُظهر نتائج توزيع تركيز خام النحاس (ppm) في منطقةٍ ما باستخدام المسح الجيوكيميائي:



1. أبيّن ما يمثّله كلٌّ من الرمزَينِ (أ، ب).
2. أتوقّع أيُّ المناطق (ع، ص، ك) يُحتمَل وجود الخام فيها.
3. أستنتج قيمة العتبة.

السؤال الثامن:

يمثّل الشكل الآتي وضعية إحدى الطبقات. أدرسه، ثم أجيب عما يأتي :

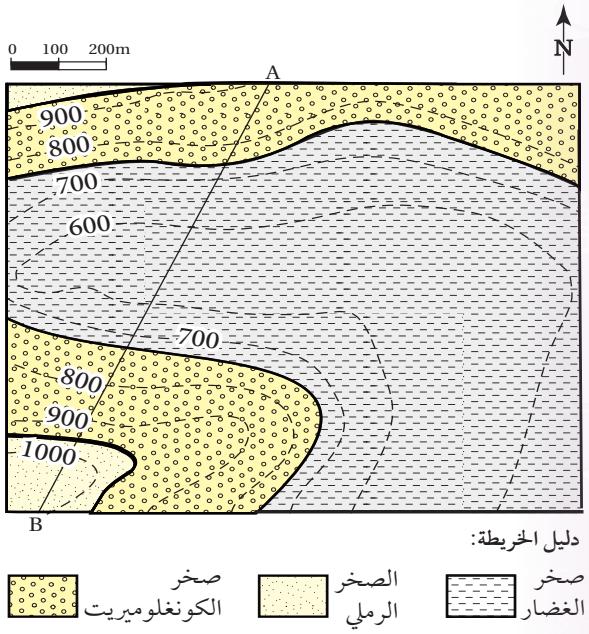


أحدّد كلًّا مما يأتي:

1. قيمة مضرب الطبقة.
2. اتجاه المضرب الجغرافي.
3. اتجاه مَيل الطبقة.
4. مَيل الطبقة.

السؤال التاسع:

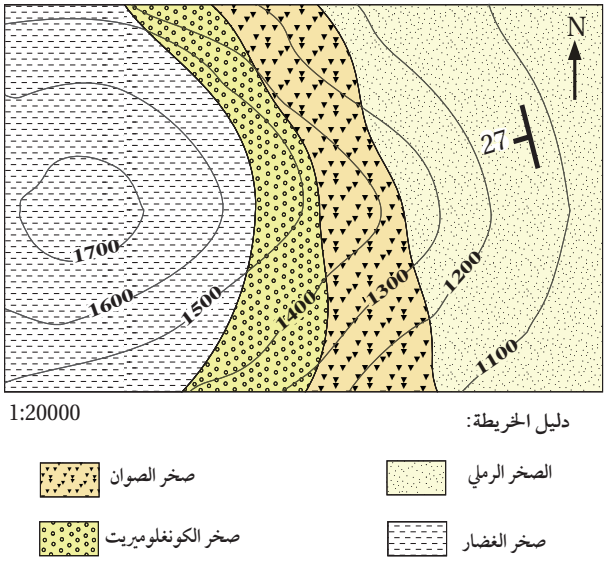
يمثّل الشكل الآتي إحدى الخرائط الجيولوجية. أدرسها جيدًا، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليها:



1. أحدّد نوع مقياس الرسم.
2. **أستنتج**: هل الطبقات الصخرية أفقية أم مائلة؟
3. أرسم مقطعًا جيولوجيًّا يمثّل الخطّ (A–B).
4. أقيس السُّمك التقريبي لطبقة صخر الكونغلوميريت من خلال المقطع العرضي (A–B).
5. أحدّد ارتفاع السطح العُلوي للطبقات الصخرية المتكشِّفة في الخريطة.

السؤال العاشر:

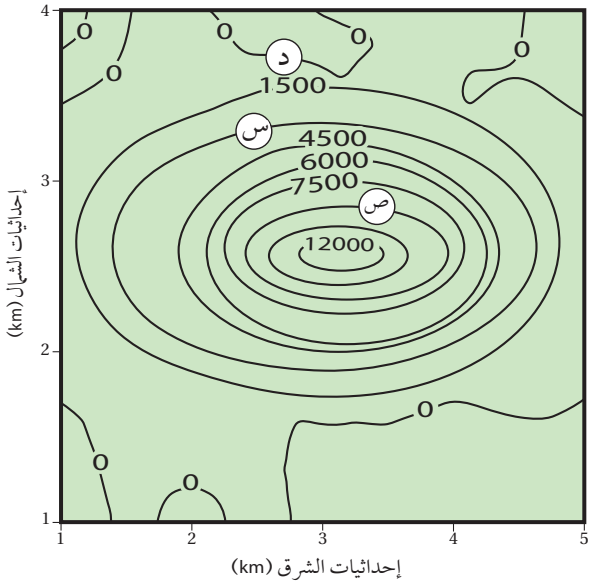
يمثّل الشكل الآتي إحدى الخرائط الجيولوجية. أدرسها جيدًا، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليها:



1. أحدّد مَيل طبقات الصخور الرملية.
2. **أقدّر** قيمة المضرب.
3. أحدّد الاتجاه الجغرافي للمضرب.
4. **أستنتج** إن كانت الطبقات مائلةً أم أفقيةً، وأبيّنُ لماذا؟
5. أحدّد نوع مقياس الرسم للخريطة.
6. **أقوّم** صحة العبارة الآتية: «يتّجه مَيل الطبقات الصخرية بحسب الخريطة الجيولوجية نحو الشمال الشرقي».

السؤال الحادي عشر:

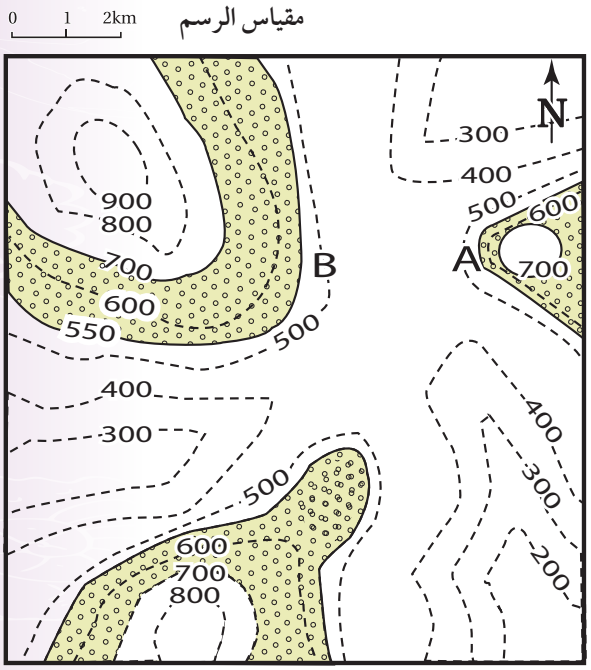
يبين الشكل الآتي خريطة تساوي قِيَم مغناطيسية أثناء المسح الجيوفيزيائي لمنطقة ما. أدرسه جيدًا، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



1. **أستنتج:** ما القِيَم المغناطيسية في كلّ من الموقع (س) والموقع (ص)؟
2. **أستنتج:** ما قيمة الشاذّة المغناطيسية، وما نوعها إذا علمت أن القيمة المغناطيسية الطبيعية أقلّ من 1500 γ؟
3. **أفسّر:** هل يمكن أن نجد الخام في الموقع (د)؟ لماذا؟

السؤال الثاني عشر:

يمثّل الشكل الآتي إحدى الخرائط الجيولوجية التي تمثّل طبقات أفقية، فإذا علمت أن طبقة الكونغلوميريت الظاهرة في الشكل سُمكها 150 m وتتكشف من ارتفاع 550 m إلى 700 m، وتقع أسفل منها ثلاث طبقات تبدأ من الأعلى بطبقة من الغضار سُمكها 50 m، ثُم طبقة من الصخر الرملي سُمكها 150 m، ثم طبقة من الغضار، وتعلوها طبقة من الصخر الجيري سُمكها 100 m، ثم فوقها طبقة من الصخر الطيني. أدرس الخريطة، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليها:



1. أرسم الطبقات الأخرى الواردة في الخريطة.
2. أرسم دليلًا للخريطة، وأحدّد عليه رموز الصخور المختلفة وأسماءها.
3. **أقارن** بين النقطة (A) والنقطة (B) من حيث شدّة الانحدار.
4. أحدّد نوع مقياس الرسم.
5. أحوّل مقياس الرسم إلى مقياس رسم كتابيّ.

السؤال الثالث عشر:

أُصدر حُكمًا على صحّة ما ورد في العبارة الآتية مع ذكر السبب: قامت إحدى شركات تعدين الفوسفات بعد الانتهاء من العمل في المنجم بإزالة المُعَدّات وهدم المنشآت والتخلص من النفايات الصلبة، ثم تركت الموقع وانتقلت إلى موقع آخر للبحث عن صخر الفوسفات وتعدينه.

اتجاه الميل Dip Direction: الاتجاهُ الجغرافيُّ لمَيل الطبقة، ويتعامد دائمًا مع المضرب.

الاستكشاف Exploration: عملية يتم فيها التوجه إلى المناطق التي حدّدتها عمليات التنقيب؛ للبحث التفصيلي عن وجود الخامات المعدِنية الموجودة تحت سطح الأرض، أو فوقها؛ لتحديد قيمتها الاقتصادية.

الإجهاد Stress: القوّة المؤثِّرة في وحدة المساحة من الصّخر، ويقاس بوحدة (N/m^2)، وله ثلاثة أنواع اعتمادًا على اتجاه القوّة المؤثِّرة على الصّخر وهي: الضّغط، والشّد، والقصّ.

الاحتباس الحراري Greenhouse Effect: ظاهرة طبيعية يحبس فيها الغلاف الجوي بعضًا من طاقة الشمس بوساطة مجموعة من الغازات تعرَفُ بغازات الدفيئة لتسخين الكرة الأرضية والحفاظ على اعتدال مناخها.

الاحترار العالَميّ Global Warming: زيادة تدريجيّة في مُعدَّل درجات الحرارة العالَميّ، ناجمة عن النشاطات الطبيعيّة والبَشريّة.

الأحواض الخَسْفيّة Grabens: أحد أنظِمة الصُّدوع التي تتشكّل عندما تتعرّض صُخور القشرة الأرضيّة لقُوى شَدٍّ تؤدي إلى إحداث صَدْعين عاديّين متقابِلين، حيث تهبط الكُتل الصّخريّة بينهما للأسفل، بحيث يشتركان في الجدار المعلَّق.

الأخاديد البحريّة Trenches: وديانٌ عميقة ضيّقة تمتد طوليًّا في قيعان المُحيطات، تصاحب أنطِقة الطّرح، وتوازي أقواس البراكين والجُزُر البُركانيّة.

أقواس الجُزُر Island Arcs: جُزُرٌ بركانيّة تشكِّل مع بعضها بعضًا شكل قوس يوازي الأخاديد البحريّة، تنتُج من غطس صفيحة محيطيّة أسفلَ صفيحة محيطيّة أخرى، ما يؤدي إلى انصهار طرَف الصّفيحة الغاطسة، وإنتاج ماغما قليلة الكثافة، تصعد للأعلى حتى تصل إلى قاع المحيط؛ مشكِّلةً براكينَ بحريّةً يزداد ارتفاعها مع الزمن، وتتحوّل إلى جُزُر بركانيّة.

الانقلاب المغناطيسيّ Magnetic Reversal: التغيّر في قطبيّة المجال المغناطيسيّ للأرض من عاديّة إلى مقلوبة على امتداد عُمْر الأرض.

بانغيا Pangaea: قارّة اقترح وجودَها العالم فغنر، وتعني كل اليابسة يحيطها محيط بانثالاسا. بدأت بالانقسام إلى قارّات أصغرَ منذ 200 m.y تقريبًا ، ثم أخذت القارّات بالانجراف ببطء حتى وصلت إلى مواقعها الحاليّة.

التراكيب الجيولوجيّة Geological Structures: المظاهر أو التشوُّهات التي تحدث في الصّخور نتيجةَ تعرُّضها لقُوى مختلفة مع مرور الزمن.

التشوُّه Deformation: تغيُّرٌ في شكل الصّخور أو حجمها، أو الاثنين معًا. وهي في الحالة الصُّلبة نتيجة تعرُّضها لقوى خارجيّة، أو قوى داخليّة مع مرور الزمن.

التشوُّه اللّدِن Plastic Deformation: أحد أنواع التشوُّه الذي يحدث في الصّخور اللّدِنة؛ نتيجة تعرُّضها للإجهادات التي تزيد على حدّ المرونة لها، ويؤدي إلى ثَنيها.

التشوُّه الهَشُّ Brittle Deformation: أحد أنواع التشوُّه الذي يحدث في الصّخور الهَشَّة ؛ نتيجة تعرُّضها للإجهادات التي تزيد على حدّ المرونة لها، ويؤدي إلى كسرِها.

التعدين Mining: علمية استخراج الخامات المعدنية التي توجد بكميات اقتصادية من الصخور في باطن الأرض أو على سطحها.

التعدين تحت السطحي Subsurface Mining: هو عملية استخراج الخامات المعدنية التي توجد على أعماق كبيرة تحت سطح الأرض باستخدام طرق التعدين التحت سطحية المختلفة، مثل الأنفاق المائلة والأعمدة الرأسية، دون إزالة التربة والصخور التي تعلوها.

التعدين السطحي Surface Mining: إحدى طرق التعدين التي تُستخدَم عندما تكون الصخور التي تحتوي على الخامات المعدنية موجودة بالقرب من سطح الأرض، وغير مأهولة بالسكان.

التنقيب Prospecting: عملية مباشرة وغير مباشرة تُحدَّد عن طريقها الأماكن المحتمَلة لتوزُّع الخامات المعدِنية، وذلك باستخدام الصور الجوّية والخرائط الجيولوجية، وجمع عيّنات من الصخور والتربة من سطح الأرض، ودراسة خصائصها الفيزيائية والكيميائية.

توسُّع قاع المحيط Seafloor Spreading: فرَضيّة وضعها العالِم هاري هس في بداية الستينيّات من القرن الماضي، تنصّ على أن "القشرة المحيطيّة الجديدة تُبنى عند ظهور المُحيطات، وتُستهلَك عند الأخاديد البحريّة".

تيّارات الحمل Convection Currents: تيّارات اكتشفها العالِم ولسون تنتُج داخل السّتار نتيجة تحلُّل العناصر المُشعّة المتمركزة فيه، ما يؤدي إلى زيادة تسخين الماغما فتقلّ كثافتُها، وترتفع إلى الأعلى مشكِّلةً تيّاراتٍ صاعدةً ترتفع إلى الأعلى، وينتج من حركتها حركةُ الصّفائح الأرضيّة.

الجدار القدَم Foot Wall: الكتلة الصّخريّة التي تقع أسفلَ مستوى الصَّدْع.

الجدار المعلَّق Hanging Wall: الكتلة الصَّخريّة التي تقع فوق مستوى الصَّدْع.

الحدود التحويليّة Transform Boundaries: حدودٌ تنتج من تحرُّك الصّفائح أفقيًّا بمحاذاة بعضها بعضًا، وتحدث هذه الحدود على امتداد صُدوع التحويل الطويلة التي يصل طول بعضها إلى مئات الكيلومترات.

الحدود المتباعِدة Divergent Boundaries: حدودٌ تمثِّل تباعُد صفيحتين بعضهما عن بعض. ومن مظاهر وجودها امتداد ظَهْر المحيط في المُحيطات والوديان المتصَدِّعة في القارّات.

الحدود المتقارِبة Convergent Boundaries: حدودٌ تمثِّل تقارب صفيحتين بعضهما من بعض، وقد تكون بين صفيحتين قارّيّتين، أو بين صفيحتين محيطيتين، أو بين صفيحة قارّية مع محيطيّة، ومن المظاهر الجيولوجيّة الناتجة منها: أنطِقة الطّرح، والأخاديد البحريّة، والسلاسل الجبليّة.

الخامات المعدِنية Ore Minerals: تجمّعات معدِنية توجد بأشكال وحجوم مختلفة في صخور القشرة الأرضية ذات تراكيز تسمح باستثمارها اقتصاديًّا، وقد تكون خامات فلزّيّة أو خامات لافلزّيّة.

الخريطة الجيولوجية Geological Map: خريطة كُنتورية أو طبوغرافية يمثّل الجيولوجيون عليها المعطيات الجيولوجية؛ لإظهار المعالم الجيولوجية المتنوعة، مثل: أنواع الصخور، ومَيل الطبقات، والتراكيب الجيولوجية.

الخريطة الطبوغرافية Topographic Map: خريطة كُنتورية تُضاف إليها المظاهر الطبيعية والبشرية.

الخريطة الكُنتورية Contour Map: خريطة توضّح تضاريسَ سطح الأرض في صور مجسَّمة باستخدام عدد من الخطوط تُسمّى خطوطَ الكُنتور.

خطّ الكُنتور Contour Line: خطّ وهمي يصل بين مجموعة من النقاط المتساوية في الارتفاع، وتمتاز خطوط الكُنتور في الخرائط بأنها لا تتقاطع مع بعضها بعضًا.

الشواذّ الجيوفيزيائية Geophysical Anomalies: القِيَم غير الطبيعية التي تُجمَع أثناء عملية المسح الجيوفيزيائي، وتختلف قيمتها عن القِيَم التي حولها في المنطقة. وتوصف الشاذّة الجيوفيزيائية بأنّها موجِبة إذا كانت قيمتها أكبرَ من القِيَم الطبيعية في المنطقة، وسالبة إذا كانت قيمتها أقلَّ من القِيَم الطبيعية في المنطقة.

الصَّدْع Fault: كسْر يحدث في صُخور القشرة الأرضيّة، وينتج منه كتلتان صخريّتان تتحرّكان بشكل مُوازٍ لسطح الكَسر.

الصُّدوع الجانبيّة Strike – Slip Faults: صُدوع ناتجة من الحركة الأفقيّة للكُتلتين الصّخريّتين على جانِبَيْ مستوى الصَّدْع، وقد يكون فيها مستوى الصَّدْع مائلًا أو رأسيًّا.

الصُّدوع العاديّة Normal Faults: صُدوع ناتجة من الحركة الرأسيّة للكُتلتين الصّخريّتين على جانِبَيْ مستوى الصَّدْع. وتُعَدُّ صدوعًا مائلة، يتحرّك فيها الجدار المعلَّق إلى الأسفل بالنسبة إلى الجدار القدَم.

الصُّدوع العكسيّة Reverse Faults: صُدوع ناتجة من الحركة الرأسيّة للكُتلتين الصّخريّتين على جانِبَيْ مستوى الصَّدْع. وتُعَدُّ صدوعًا مائلة، يتحرّك فيها الجدار المعلَّق إلى الأعلى بالنسبة إلى الجدار القدَم.

طاقة الحرارة الجوفية Geothermal Power: هي الطاقة الحرارية المخزنة في باطن الأرض، والتي تستخدم في توليد الطاقة الكهربائية.

الطاقة الكهرمائية Hydroelectric Power: هي الطاقة الكهربائية الناتجة عن حركة المياه، حيث يتم بناء سدود وتُستخدَم المياه المتجمعة خلفها لتحريك توربينات توليد الطاقة الكهربائية.

الطاقة المتجددة Renewable Energy: هي الطاقة التي لاتنفد وغير مُلوِّثة للبيئة، وتستخدم في إنتاج الكهرباء بدلًا من استخدام الوقود الأحفوري.

طيّة غير متماثِلة Asymmetrical Fold: طيّة يميل كل جناح من جناحيها بزاوية مَيل مختلفة عن الأخرى، سواءٌ أكانت طيّة محدَّبة أم طيّة مقعَّرة، ويكون فيها المستوى المِحوريّ مائلًا بزاوية أقلّ من 90°؛ أي غيرَ متعامِدٍ على سطح الأرض. وتتشكّل هذه الطيّة عندما تتعرّض الطبقات الصّخريّة لضغط غيرِ متساوٍ على كلا الجانِبَيْن.

طيّة متماثِلة Symmetrical Fold: طيّة يميل جناحاها بزاوية مَيل متساوية على كلا الجانِبَيْن سواءٌ أكانت طيّة محدَّبة أم طيّة مقعَّرة، ويكون فيها المستوى المِحوريّ عموديًّا على سطح الأرض. وتتشكّل مثلُ هذه الطيّات عندما تتعرّض الطبقات الصّخريّة لضغطٍ متساوٍ من الجانِبَيْن.

طيّة محدَّبة Anticlines: إحدى أنواع الطيّات تتقوّس فيها الطبقات نحو الأعلى، ويميل جناحاها بعيدًا عن المستوى المِحوريّ، وتحتوي على الطبقات الأقدم في وسطها.

طيّة مضطَجِعة Recumbent Fold: أحد أنواع الطيّات يكون فيها المستوى المِحوريّ أفقيًّا.

طيّة مقعَّرة Synclines: أنواع الطيّات تتقوّس فيها الطبقات نحو الأسفل، ويميل جناحاها نحوالمستوى المِحوريّ، وتحتوي على الطبقات الأحدث في وسطها.

طيّة مقلوبة Overturned Fold: أحد أنواع الطيّات يميل جناحاها في الاتّجاه نفسه، حيث تزيد زاوية مَيل أحد جناحيها على 90^{O}، ويكون فيها المستوى المِحوريّ مائلًا عن المستوى العموديّ بدرجة كبيرة، وتكون الطبقات المكوِّنة لأحد الجناحين مقلوبة.

ظَهْر المحيط Ocean Ridge: سلسلة جبليّة ضخمة يتصل بعضها ببعض، تمتد في جميع المُحيطات. يوجد في وسطها وادٍ عميق ضيّق يُسَمّى الواديَ الخَسْفيَّ، تنتُج من تباعد الصّفائح الأرضيّة.

العتبة Threshold: القيمة التي تتغيّر عندها القِيَم الطبيعية إلى قِيَم شاذّة.

الغلاف الصّخريّ Lithosphere: نِطاقٌ من الأرض يشمل القشرة الأرضيّة وأعلى السّتار، يوجد في الحالة الصُّلبة.

الفترة الكنتورية Contour Interval: المسافةُ الرأسيّةُ بين أي خطَّينِ كُنتوريّينِ متتاليَينِ.

فَرَضيّة انجراف القارّات Continental Drift Hypothesis: فَرَضيّة اقترحها العالِم فغنر عام 1912م، تنص على أن " جميع القارّات الحاليّة كانت تشكِّل في الماضي قارّةً واحدة اسمها بانغيا، يحيط بها محيط بانثالاسا. وقد بدأت بالانقسام منذ 200 m.y تقريبًا إلى قارّات أصغرَ، ثم أخذت القارّات بالانجراف ببُطء حتى وصلت إلى مواقعها الحاليّة".

الكُتل الاندفاعيّة Horsts: أحد أنظمة الصُّدوع التي تتشكّل عندما تتعرّض صُخور القشرة الأرضيّة لقُوى شَدٍّ تؤدي إلى إحداث صَدْعين عاديّين متقابلين، إذ تبرز الكُتل الصّخريّة بينهما للأعلى عندما تهبط الكتل الصخرية على جانبيها للأسفل، بحيث يشتركان في الجدار القدَم.

مستوى الصَّدْع Fault Plane: السّطح الذي تتحرّك عليه الكُتل الصّخريّة عند كسرِها، وقد يكون مستوى الصَّدْع مائلًا حين تكون زاوية المَيل التي يصنعها مع المستوى الأفقيّ تتراوح بين $0° - 90°$ ، أو يكون مستوى الصَّدْع رأسيًّا حين تكون زاوية المَيل التي يصنعها مع المستوى الأفقيّ $90°$.

المضرب Strike: خطّ ينتج من تقاطع سطح الطبقة المائلة مع المستوى الأفقي، وهو يمثّل امتداد الطبقة، ويتعامد دائمًا مع اتجاه مَيل الطبقة الحقيقي.

المطاوَعة Strain: التغيّر في شكل الصّخور أو حجمِها أو كليهما معًا، وتعتمد على مقدار الإجهاد المؤثّر في الصّخور وعلى نوعه، إذ كلّما زاد مقدار الإجهاد زادت المطاوَعة في الصّخور.

معامل الانبعاث Emission Factor: كمية انبعاثات غاز دفيئة ناتج من نشاط معين، مثل حرق أحد أنواع الوقود الأحفوري أو إنتاج الإسمنت.

المغناطيسيّة القديمة Paleomagnetism: ظاهرة تدلّ على تمغنُط ذرات المعادن المغناطيسيّة وترتيبها عندما تتبلور من الماغما باتجاه المجال المغناطيسيّ الأرضيّ نفسه السائد وقت تكوُّنها. وعندما تتصلّب فإنها تحتفظ باتجاه ذلك المجال المغناطيسيّ الأرضيّ.

مقياس الرسم Map Scale: النسبة الثابتة بين طول بُعدَينِ أحدُهما حقيقي على سطح الأرض والآخَر على الخريطة. ويعبَّر عن مقياس الرسم بطرائق متعدّدة، فمنه: الكسري، والنسبي، والكتابي، والبياني (الخطّي).

المَيل Dip: أكبر زاوية يصنعها سطحُ الطبقةِ العُلويُّ مع المستوى الأفقي، وتُعَدُّ الطبقة مائلة إذا كانت الزاوية أقلَّ من 90^{o} وأكثرَ من 0^{o}.

نِطاق الطّرح Subduction Zone: نِطاقٌ ينتُج من غطس صفيحة محيطيّة أسفلَ صفيحة قارّية، أو صفيحة محيطيّة أخرى، وينتُج من نِطاق الطّرح: أخاديدُ بحريّةٌ، وأقواس بُركانيّة، وأقواس الجُزُر.

نظريّة الصّفائح التكتونيّة Plate Tectonic Theory: نظريّة طوّرها عدد من العلماء اعتمدت على فرَضيّتي انجراف القارّات، وتوسُّع قاع المحيط، مع دمج أدلّة جديدة عليهما. وتنصّ على أن "الغلاف الصّخريَّ الصُّلب مقسّم إلى عدد من القطع يُسَمّى كلّ منها صفيحةً، تتحرّك نسبةً إلى بعضها بعضًا، وينتج منها العديد من المظاهر الجيولوجيّة".

هالات التشتّت Dispersion Halos: الشكل الذي تتّخذه العناصر والغازات الدالّة على الخامات المعدِنية في المناطق المجاورة لمواقعها؛ أثناء تشكّل الخامات المعدِنية من المحاليل الحرمائية التي تتخلّل الصخورَ، أو نتيجة عمليات التجوية على الصخور المضيفة لها، بحيث تتناقص قِيَم الشواذّ الجيوكيميائية كلّما ابتعدنا عن أماكن وجود الخامات المعدِنية حتى تصبح مساويةً القِيَمَ الطبيعيةَ.

هطل حمضيّ Acid Precipitation: هطل يتشكّل عندما يحترق الوقود الأحفوري ويُطلِقُ في الغلاف الجوي ثانيَ أكسيد الكبريت SO_2 وأكاسيدَ النيتروجين NO_X، حيث تتفاعل هذه الأكاسيد مع بُخار الماء المتكاثف في الغلاف الجوي مشكّلةً هطلًا حمضيًّا يحتوي على حمضَي الكبريتيك H_2SO_4 والنيتريك HNO_3.

Collins