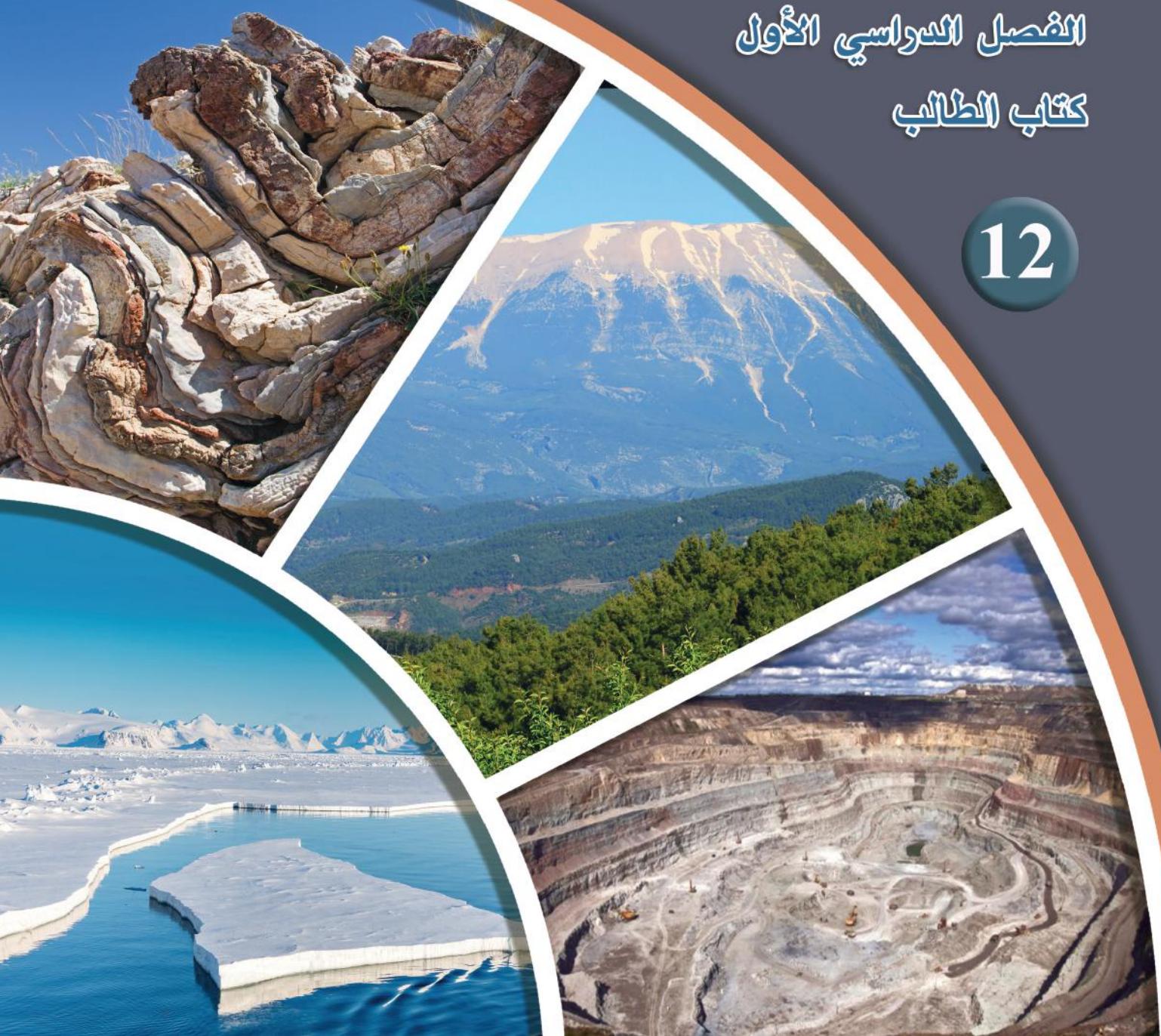


# علوم الأرض والبيئة

الصف الثاني عشر - المسار الأكاديمي

الفصل الدراسي الأول  
كتاب الطالب

12





# علوم الأرض والبيئة

الصف الثاني عشر - المسار الأكاديمي

الفصل الدراسي الأول

كتاب الطالب

12

فريق التأليف

د. موسى عطا الله الطراونة (رئيساً)

د. محمود عبد اللطيف حبوش      د. مروة خميس عبد الفتاح      سكينة محى الدين جبر (منسقاً)

لؤي أحمد منصور

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

يسُرُّ المركز الوطني لتطوير المناهج استقبال آرائكم وملحوظاتكم على هذا الكتاب عن طريق العنوانين الآتية:



06-5376262 / 237



06-5376266



P.O.Box: 2088 Amman 11941



@nccdjor



feedback@nccd.gov.jo



www.nccd.gov.jo

قررت وزارة التربية والتعليم تدريس هذا الكتاب في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية جميعها، بناءً على قرار المجلس الأعلى للمركز الوطني لتطوير المناهج في جلسته رقم (2025/2)، تاريخ 25/2/2025 م، وقرار مجلس التربية والتعليم رقم (2025/48)، تاريخ 30/4/2025 م، بدءاً من العام الدراسي 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 /
الطبعة	الطبعة الأولى

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

**المراجعة والتعديل**

لؤي أحمد منصور

د. محمود عبد اللطيف حبوش

سكينة محى الدين جبر

**التحكيم الأكاديمي**

د. صابر أحمد الروسان

**التصميم والإخراج**

نايف محمد أمين مرادشة

**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.

م 2025 هـ / 1446

الطبعة الأولى (التجريبية)

# قائمة المحتويات

5	المقدمة
7	<b>الوحدة الأولى: الوقود الأحفوري والبيئة</b>
10	الدرس الأول: الوقود الأحفوري وغازات الدفيئة
21	الدرس الثاني: الوقود الأحفوري والتغير المناخي
32	الدرس الثالث: الحد من التغير المناخي والتكيف مع آثاره
41	الإثراء والتوسيع: الضباب الدخاني
42	مراجعة الوحدة
45	<b>الوحدة الثانية: التراكيب الجيولوجية</b>
48	الدرس الأول: تشوّه الصخور
56	الدرس الثاني: الصُّدوع
64	الدرس الثالث: الطيّات
73	الإثراء والتوسيع: الجيولوجيا الهندسية
74	مراجعة الوحدة
77	<b>الوحدة الثالثة: الصفائح التكتونية</b>
80	الدرس الأول: انجراف القارّات
87	الدرس الثاني: توسيع قاع المحيط
96	الدرس الثالث: حدود الصفائح
113	الإثراء والتوسيع: حركة الصفائح والتغير المناخي
114	مراجعة الوحدة

117	الوحدة الرابعة: الاستكشاف الجيولوجي
120	الدرس الأول: الخرائط الجيولوجية
131	الدرس الثاني: طرائق الاستكشاف الجيولوجي
142	الدرس الثالث: تعدين الخامات المعدنية وأثره على البيئة
150	الإثراء والتوسيع: استكشاف اليورانيوم في الأردن
151	مراجعة الوحدة
156	مسرد المصطلحات

## المقدمة

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

يعد هذا الكتاب واحداً من سلسلة كتب المباحث العلمية التي تُعنى بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحل المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وفق أفضل الطرائق المتبعة عالمياً؛ لضمان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، وتلبيتها لحاجات طلبنا والمعلمين والمعلمات. جاء هذا الكتاب محققاً مضموناً الإطار العام للمناهج الأردنية والإطار الخاص لمبحث العلوم، ومعاييرها، ومؤشرات أدائها المتمثّلة في إعداد جيل محظوظ بمهارات القرن الحادي والعشرين، وقدر على مواجهة التحديات، ومعتّ - في الوقت نفسه - بانتماهه الوطني. وتأسيساً على ذلك، فقد اعتمدت دورة التعلم الخمسية المبنية من النظرية البنائية التي تمنح الطلبة الدور الأكبر في العملية التعليمية، وتتوفر لهم فرصاً عديدة للاستقصاء، وحل المشكلات، والبحث، واستخدام التكنولوجيا وعمليات العلم، فضلاً عن اعتماد منحى STEAM في التعليم الذي يستعمل 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، والتركيب الجيولوجي، والصفائح التكتونية، والاستكشاف الجيولوجي، وتحتوي كل وحدة منها على تجربة استهلالية، وتجارب وأنشطة استقصائية متضمنة في الدروس، والموضوع الإثراي في نهاية كل وحدة. يضاف إلى ذلك الأسئلة التقويمية، بدءاً بالتقويم التمهيدي المتمثّل في توجيه سؤال في بداية كل وحدة ضمن بند (أتأمل الصورة)، وانتهاءً بالأسئلة التكوينية المتنوعة في نهاية كل موضوع من موضوعات الدروس، فضلاً عن الأسئلة التقويمية في نهاية كل درس، والتقويم الختامي في نهاية كل وحدة، التي تتضمن أسئلة تثير التفكير. وقد أُحق بالكتاب كتاب الأنشطة التجارب العملية، الذي يحتوي على جميع التجارب والأنشطة الواردة في كتاب الطالب وأسئلة مثيرة للتفكير؛ لتساعد الطلبة على تفزيذها بسهولة. ونحن إذ نقدم هذه الطبعة من الكتاب فإننا نأمل أن يسهم في تحقيق الأهداف والغايات النهائية المنشودة لبناء شخصية الطالب / الطالبة، وتنمية اتجاهات حبّ التعلم ومهارات التعلم المستمر، فضلاً عن تحسين الكتاب بإضافة الجديد إلى محتواه، وإثراء أنشطته المتنوعة، والأخذ بملحوظات المعلّمين والمعلمات.

والله ولي التوفيق



# الوحدة

1

## الوقود الأحفوري والبيئة

Fossil Fuels and the Environment

### أتأمل الصورة

تُعدُّ غازات الدفيئة المنتشرة في الغلاف الجوي الناتجة من القطاعات المختلفة، وخاصة تلك القطاعات التي تعتمد على احتراق الوقود الأحفوري، عاملًا رئيسيًّا في تلوٌّث الهواء، ومنها: أكاسيد الكربون، وأكاسيد النيتروجين، وأكاسيد الكبريت. فما الآثار البيئية الناجمة عن انبعاثات غازات الدفيئة؟

## الفكرة العامة:

تؤدي العمليّات التي تنتج غازات الدفيئة، وخاصة عملية احتراق الوقود الأحفوريّ، إلى إطلاق كميات هائلة من تلك الغازات، التي تؤثّر في تركيب الغلاف الجوي وخصائصه، مما يؤدي مع الزمن إلى حدوث التغيير المناخي.

### الدرس الأول: الوقود الأحفوريّ وغازات الدفيئة

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

### الدرس الثاني: الوقود الأحفوري والتغيير المناخي

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

### الدرس الثالث: الحد من التغير المناخي والتكيف مع آثاره

**الفكرة الرئيسة:** يتوجه العالم نحو التخفيف من انبعاثات غازات الدفيئة خصوصاً غاز ثاني أكسيد الكربون، والتكيف مع الآثار الناجمة عن التغير المناخي.

# تجربة استهلاك الله

## نماذج الاحتباس الحراري

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

**المواد والأدوات:** حوض سمك زجاجيان بعمق 30 cm، طبقان زجاجيان، كأس زجاجية سعتها mL 300، بيكربونات الصوديوم  $\text{NaHCO}_3$ ، حمض الهيدروكلوريك المُخفَّف HCl، كميّان متساويتان من التُّربة، مقياساً درجة حرارة، مصدرًا طاقة ضوئيًّا، 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 داخل الحوض الزجاجي؛ خشية كسره.
- تجنب استنشاق الغازات الناتجة من التفاعل.
- توخي الحذر عند التعامل مع حمض الهيدروكلوريك المُخفَّف.

### خطوات العمل:

- 1 أكتب على أحد الأحواض الحرف (A) وعلى الحوض الآخر الحرف (B).
- 2 أثبت مقياس درجة الحرارة في كل حوض زجاجي على أحد جدرانه من الداخل بالشريط اللاصق الشفاف، حيث يكون على ارتفاع 3 cm تقريباً من قاع الحوض.
- 3 أضع في قاع كل حوض كمية متساوية من التُّربة بحيث تشكّل طبقة رقيقة، ثم أضع الطبق الزجاجي فوق التُّربة في وسط الحوض.
- 4 أثبت مصدر الطاقة الضوئي الذي يمثل الشمس على أحد جوانب كل حوض على المسافة والزاوية نفسها، وأسلّطه على التُّربة.
- 5 أضع g 60 من بيكربونات الصوديوم في الطبق الزجاجي في كلا الحوضين (A, B). سيمثل الحوض (A) عنصراً ضابطاً لمقارنة درجة الحرارة في الحوضين.
- 6 أدوّن في جدولٍ عند بداية التجربة قراءة درجة الحرارة الأولى في الحوضين (A) و (B)، ثم أكرّر القراءة كل (1 min) ولمدة (6 min).
- 7 أسكب بطيء mL 300 من حمض الهيدروكلوريك المُخفَّف فوق بيكربونات الصوديوم في الطبق الزجاجي في الحوض (B). سيمثل هذا الحوض نموذجاً للاحتباس الحراري على الأرض.
- 8 أواصل تدوين قراءة درجات الحرارة في الحوضين (A) و (B)، بعد الانتهاء من سكب حمض الهيدروكلوريك المُخفَّف في الحوض (B) كل (1 min) ولمدة (6 min) أخرى.
- 9 أُنشِئُ رسمًا بيانيًّا يمثل العلاقة بين الزمن، ودرجة الحرارة باستخدام برمجية إكسل.

### التحليل والاستنتاج:

1. أكتب معادلة تفاعل 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

1

الدرس

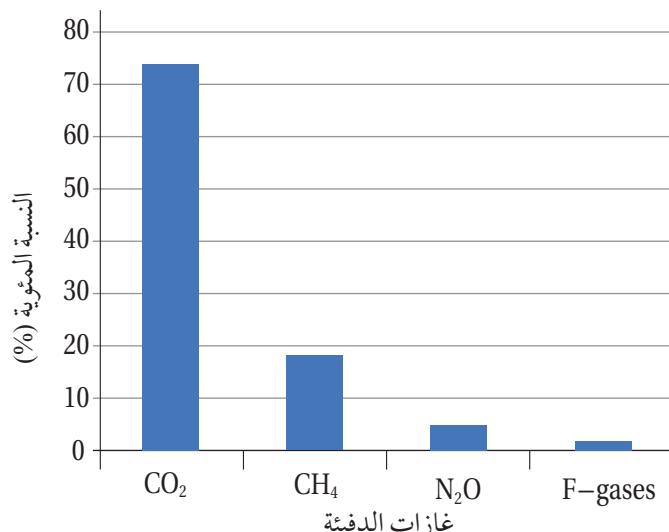
## غازات الدفيئة Greenhouse gases

ارتفاع تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي منذ الثورة الصناعية. وتعد الأنشطة البشرية المصدر الرئيس لغازات الدفيئة، إذ تشير الدراسات أنها تشكل 70% تقريباً من هذه المصادر. ويُعد غاز ثاني أكسيد الكربون ( $\text{CO}_2$ ) والميثان ( $\text{CH}_4$ ) وأكسيد النيتروز ( $\text{N}_2\text{O}$ ) والغازات المفلورة (مثل: غازات الكلوروفلوروکربون، وهيدروفلوروکربون) 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 مُدداً طويلاً، مثل غاز ثاني أكسيد الكربون الذي تتراوح مدة مكوثه من 200 سنة إلىآلاف السنين، وبعضها الآخر يمكث مُدداً قصيرة، مثل غاز الميثان الذي يبقى في الغلاف الجوي 11.8 years تقريباً.

### القطاعات المسؤولة عن انبعاثات غازات الدفيئة

Sectors Responsible for Greenhouse Gas Emissions

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



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

الفكرة الرئيسية

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

نتائج التعلم

- أستنتاج الفروق في انبعاثات غازات الدفيئة من قطاعات الطاقة والنقل والمياه والزراعة والصحة، وأبررها.

- أعدد الغازات الناتجة من عملية احتراق الوقود الأحفوري.

- أشرح كيفية تشكيل الغازات الناتجة من عملية احتراق الوقود الأحفوري مع معادلاتها الكيميائية.

- أوضح بأرقام معتمدة عالمياً كمية الوقود الأحفوري الذي يستخدم في المواصلات والصناعة.

- أحسب كميات غازات الدفيئة المنبعثة من القطاعات المختلفة.

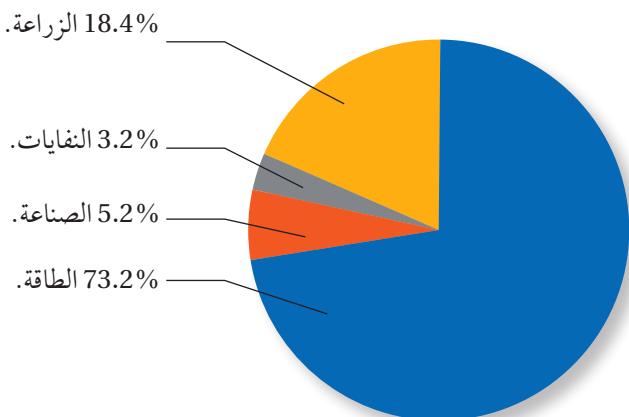
- أرسم بيانيًّا تزايداً كميات الوقود الأحفوري المستهلك في السنوات العشر الماضية.

المفاهيم والمصطلحات

Emission Factor

معامل الانبعاث

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

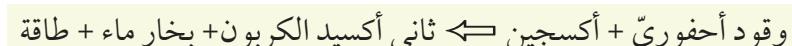


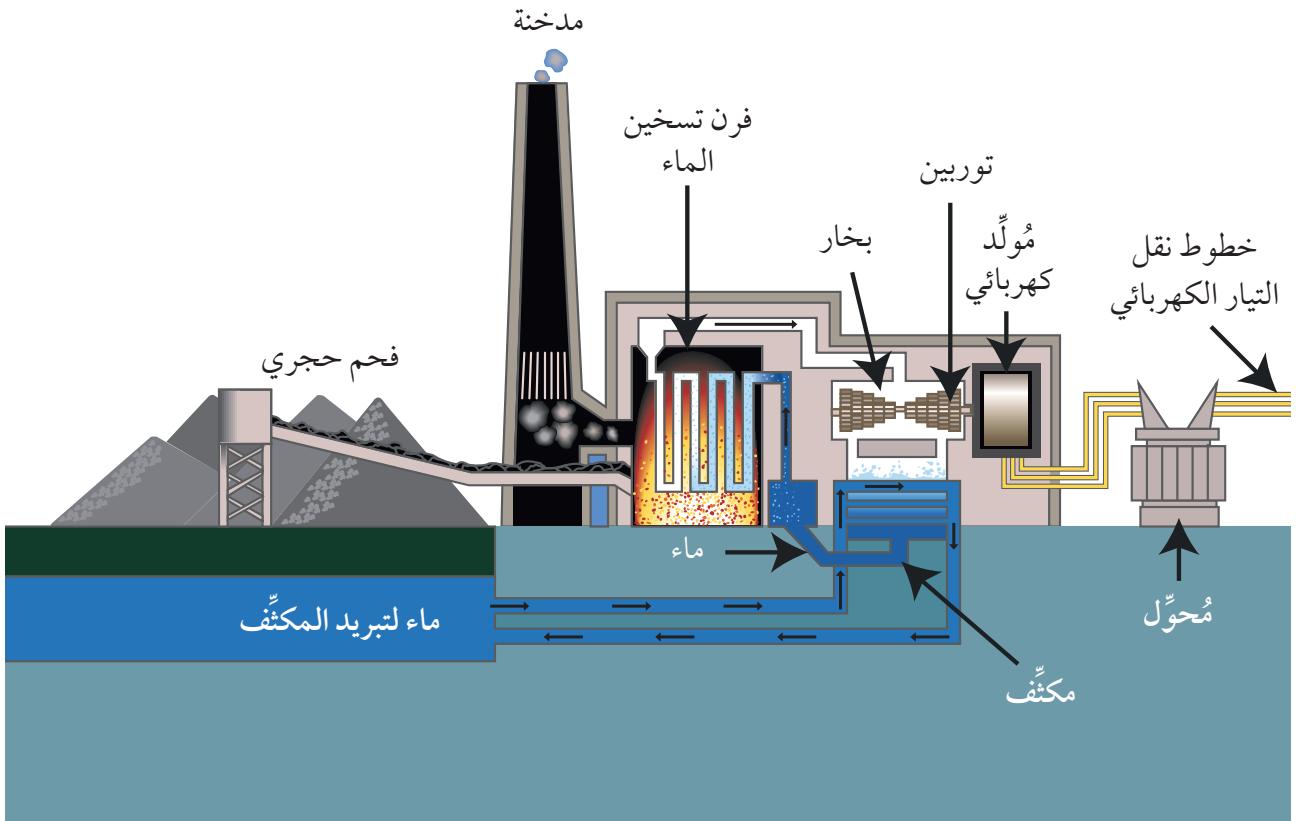
وقطاع الصناعة، وقطاع الزراعة، وقطاع النفايات. ويمثل الشكل (2) نسب غازات الدفيئة المنشعة من الأنشطة البشرية بحسب القطاعات.

يُعد قطاع الطاقة أكثر القطاعات إنتاجاً لغازات الدفيئة، مثل غاز ثاني أكسيد الكربون، إذ تقدّر نسبة انبعاثاتها حوالي 73.2 % تقريباً، ويشمل قطاع الطاقة كل من الطاقة المستخدمة في الصناعة والنقل والأبنية. يليه قطاع الزراعة الذي تقدّر نسبة غازات الدفيئة المنشعة 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 تقدّر نسبة انبعاث غازات الدفيئة منه حوالي 5.2 %. وأخيراً يُعد قطاع النفايات الذي يشمل معالجة المياه العادمة، وطمر النفايات الصلبة أقل القطاعات مساهمة في انبعاثات غازات الدفيئة، مثل غاز الميثان، إذ تقدّر انبعاثاتها حوالي 3.2 %.

### احتراق الوقود الأحفوري Fossil Fuels Burning

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





ومن الأمثلة على حرق الوقود الأحفوري لإنتاج الطاقة الكهربائية: محطات الطاقة الحرارية التي تستخدم أنواع الوقود الأحفوري المختلفة في توليد الطاقة الكهربائية، انظر 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 يتنتقل بخار الماء الناتج من عملية التسخين عبر توربينات موصولة بمولد كهرباء فيتسبب في دورانها، ويتم تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية في مولد الكهرباء. تُنقل الكهرباء المولدة إلى المحولات عبر خطوط نقل التيار الكهربائي لتوزيعها إلى المنازل والمصانع. في النهاية، يخرج البخار من التوربينات ويتنتقل إلى المكثف حيث يتم تبریده ليعود مرة أخرى إلى ماء يعاد استخدامه في فرن التسخين.

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

### الربط بالكييماء

للطاقة أشكال مختلفة، منها: الطاقة الكهربائية، والحرارية، والكييمائية. وتحوّل الطاقة باستمرار من شكل إلى آخر، فمحرك السيارة الذي يعمل بالوقود الأحفوري يحوّل طاقة الوقود الكييمائية إلى طاقة حرارية تحوّل بدورها إلى طاقة حركية، فضلاً عن أن جزءاً من الطاقة الكييمائية يتحول إلى طاقة حرارية تؤدي إلى سخونة المحرك.

## الغازات الناتجة من احتراق الوقود الأحفوري

### Gases Produced from Burning Fossil Fuels

تُعدُّ الغازات الناتجة عن احتراق الوقود الأحفوري والمنبعثة إلى الغلاف الجوي من عوادم السيارات والمصانع، وموّلدات الطاقة وغيرها، من أخطر ملوّثات الهواء، ومنها: أكاسيد الكربون، وأكاسيد النيتروجين، وأكاسيد الكبريت، وغيرها من الغازات التي أخذت تتراءٌ في الغلاف الجوي بنسب عالية جدًا.

- **أكاسيد الكربون:** للكربون أكسيدان، أحدهما أول أكسيد الكربون  $\text{CO}$  الذي ينتج بفعل الاحتراق غير الكامل للوقود الأحفوري ويوجِد بكميات قليلة في الهواء، وهو سامٌ ويمكن أن يسبِّب الوفاة بسبب تفاعله مع هيموجلوبين الدَّم، أما الأكسيد الآخر فهو ثاني أكسيد الكربون  $\text{CO}_2$  الأكثر شيوعاً، وهو غير سامٌ، وتُسبِّب تراكماته زيادة الحرارة المُحتبَسَة في الغلاف الجوي. ويُنتج غاز ثاني أكسيد الكربون من حرق الوقود الأحفوري المستخدم في محطات توليد الطاقة الكهربائية ووسائل النقل والمصانع، فمثلاً: في محرك السيارات التي تعمل بالبنزين فإن حرق الأوكتان  $\text{C}_8\text{H}_{18}$  الذي يعد أحد مكوناته الرئيسية يُنْتَج غاز ثاني أكسيد الكربون وفق المعادلة الآتية:



- **أكاسيد النيتروجين:** تؤدي هذه الأكاسيد (مثل: أول أكسيد النيتروجين  $\text{NO}$ ، وثاني أكسيد النيتروجين  $\text{NO}_2$ ، وأكسيد النيتروز  $\text{N}_2\text{O}$ ) دوراً رئيساً في التفاعلات الكيميائية التي تؤدي إلى تكوين الضباب الدخاني، انظر الشكل (4).
- **أكاسيد الكبريت:** تُنْتَج هذه الأكاسيد من المحطات الحرارية لإنتاج الطاقة الكهربائية، ومحطات تكرير البترول ومصانع الورق، ومن أهمّ أكاسيد الكبريت: غاز ثاني أكسيد الكبريت  $\text{SO}_2$ ، وغاز ثالث أكسيد الكبريت  $\text{SO}_3$ ، وهي تسهم في تكوين الهطل الحمضي.

✓ **تحقق:** 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

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

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

فمثلاً: يستخدم النفط في تصنيع الوقود اللازم لتحريك السيارات والحافلات والطائرات والقطارات وغيرها، في حين يُستخدم الفحم الحجري والغاز الطبيعي عالمياً بصورة رئيسة وقوداً في محطات توليد الطاقة الكهربائية. ونظراً إلى التطور الكبير في الصناعات، وبسبب زيادة عدد سكان العالم، فإن الحاجة إلى استهلاك الوقود الأحفوري تزداد يومياً؛ ما يؤدي إلى زيادة الطلب عليه، وزيادة احتمالية نضوبه. أنظر الشكل (5) الذي يوضح كمية استهلاك محتوى الطاقة من الغاز والنفط والفحم الحجري في العالم بوحدة تيراواط.ساعة.

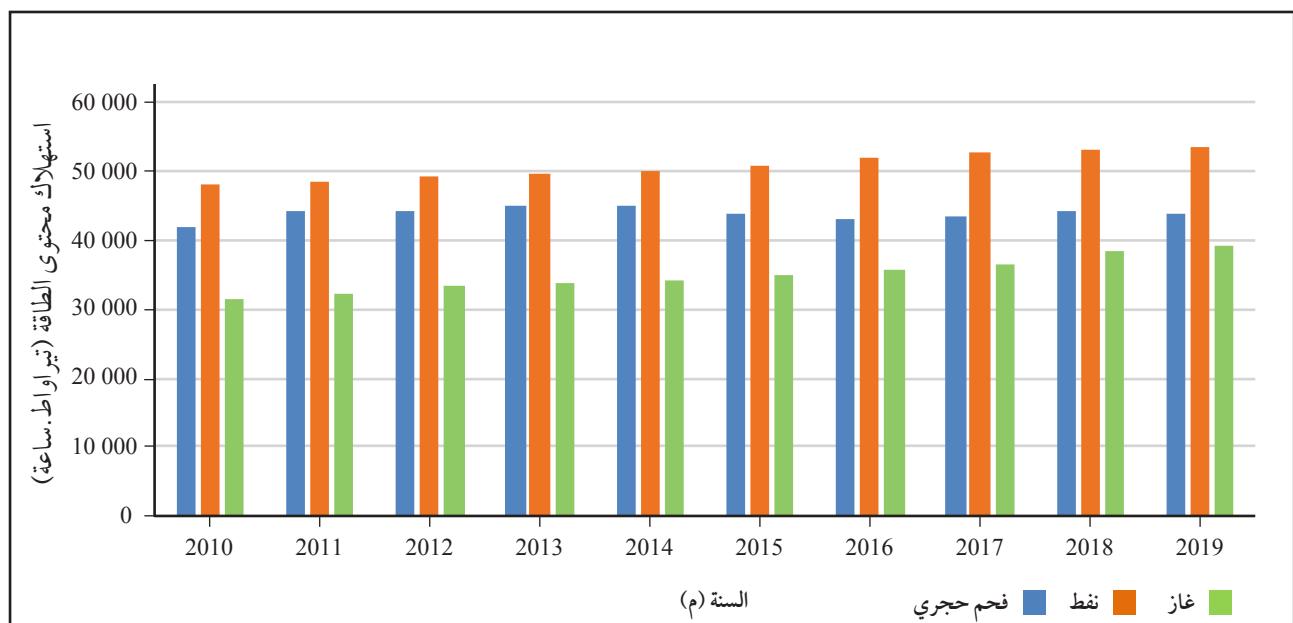
أتحقق: أفسر: لماذا تزداد احتمالية نضوب الوقود الأحفوري؟



أمثل بيانياً باستخدام برمجية إكسل Excel كمية استهلاك محتوى الطاقة من الغاز والنفط والفحم الحجري عالمياً في السنوات العشر الماضية، ثم أشارك زميلاتي زميلاتي في الصف.

### الربط بالاقتصاد

يعتمد الأردن بشكل كبير على استيراد الوقود الأحفوري لتلبية احتياجاته من الطاقة، مما يفرض تحديات اقتصادية متعددة. ويشكل النفط الخام المستخرج محلياً نسبة ضئيلة من الكميات المستهلكة، مما يؤدي إلى تضاعف كلفة النفط الخام ومشتقاته من الناتج المحلي الإجمالي. ويتجه 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؟

## الاستهلاك العالمي للوقود الأحفوري

يُعد الوقود الأحفوري مصدراً من مصادر الطاقة التي حركت - وما زالت تحرك - التطور الصناعي في العالم، إذ تُعد نسبة مساهمته في الطاقة التي تحتاج إليها في الوقت الحالي كبيرةً جدًا. ويمثل الجدول الآتي استهلاك محتوى الطاقة من الوقود الأحفوري عالمياً.

السنة (م)	كمية استهلاك محتوى الطاقة من الوقود الأحفوري (تيرواط.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 العمل:

- أُنشئ رسمياً بيانيًّا للعلاقة بين السنوات (2010–2019)م وبين كمية استهلاك محتوى الطاقة من الوقود الأحفوري، بحيث يمثل المحور الأفقي (السنة)، والمحور العمودي (كمية استهلاك محتوى الطاقة)، باستخدام برمجية إكسل (Excel) أو ورق الرسم البياني.
- أمثل البيانات بدقة.

### التحليل والاستنتاج:

- أحدَّد السنة التي تُظهر أعلى كمية استهلاك وأقل كمية استهلاك لمحتوى الطاقة من الوقود الأحفوري.
- أحسب:** كم (واطًّا) استهلك العالم في سنة (2019)م من محتوى الطاقة في الوقود الأحفوري؟ علمًا أنّ  $1 \text{ تيرواط} = 10^{12} \text{ واط}$ .
- استنتج** سبب الزيادة في كمية استهلاك محتوى الطاقة من الوقود الأحفوري.
- أتوقع:** إذا نِقِد 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. وللحذر من الآثار السلبية الناجمة عن تراكم تلك الغازات وتخفيضاً 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. وتحسب هذه الكميات اعتماداً على **معامل الانبعاث**

**Emission Factor** الذي يُعرف بأنه قيمة عددية تمثل كمية انبعاثات غاز دفيئة محدد ناتج من نشاط معين، مثل: حرق أحد أنواع الوقود الأحفوري، أو إنتاج الإسمنت. وتخالف قيم معامل الانبعاث لغاز الدفيئة الواحد اعتماداً على مصدره. ويعبر عنه بوحدة كمية الانبعاثات لكل وحدة من النشاط، فمثلاً: معامل الانبعاث لغاز ثاني أكسيد الكربون الناتج من حرق дизيل يساوي  $2.68 \text{ kg CO}_2/\text{L}$  أي أنه ينتج من حرق 1 L من дизيل  $2.68 \text{ kg CO}_2$ . أنظر الجدول (1) الذي يبين معامل الانبعاث لعدد من غازات الدفيئة بحسب مصدرها.

ولحساب كمية انبعاثات غازات الدفيئة تُستخدم 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.

المعامل	الغاز	المصدر
2.68 kg CO <sub>2</sub> /L	CO <sub>2</sub>	احتراق дизيل
2.31 kg CO <sub>2</sub> /L	CO <sub>2</sub>	احتراق البنزين
0.185 kg CO <sub>2</sub> /1000L	CO <sub>2</sub>	احتراق الغاز الطبيعي
0.5 kg CH <sub>4</sub> /kg	CH <sub>4</sub>	التخلص من المخلفات العضوية
0.1 kg N <sub>2</sub> O/kg	N <sub>2</sub> O	تصنيع الأسمدة
0.9 kg CO <sub>2</sub> /kg	CO <sub>2</sub>	إنتاج الإسمنت

\* الجدول للمطالعة الذاتية.

## مثال ١

إذا علمت أن معامل انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون ( $\text{CO}_2$ ) الناتج من احتراق الديزل يساوي  $2.68 \text{ kg CO}_2/\text{L}$ ، فما كمية غاز ثاني أكسيد الكربون بوحدة (kg) المنشعة من احتراق  $1000 \text{ L}$  من الديزل؟

الحل:

$$E = EF \times A$$

$$= 2.68 \times 1000$$

$$= 2680 \text{ kg}$$

## مثال ٢

إذا علمت أن معامل انبعاث غاز الميثان ( $\text{CH}_4$ ) الناتج من روث الأبقار يساوي  $100 \text{ kg}$  من الميثان لكل بقرة سنوياً، فما كمية غاز الميثان المنشعة 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 ( $\text{CH}_4$ ) من روث الغنم الواحد يساوي  $15 \text{ kg}$  سنوياً، فما كمية غاز الميثان المنشعة في السنة من روث الأغنام الموجودة في المزرعة؟

## مكافىء ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide Equivalent

تعلمت سابقاً أن المصادر التي تنتج منها غازات الدفيئة متعددة، وأن وحدة قياس هذه الغازات تختلف باختلاف تلك المصادر، وتعلمت أيضاً أن تأثير هذه الغازات على الاحتباس الحراري مختلف. ولحساب كمية انبعاثات غازات الدفيئة كافة في الغلاف الجوي وتحديد أثرها، اتفق على استخدام وحدة قياس تُسمى مكافىء ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>e)، وهي وحدة قياس تُستخدم للتعبير عن تأثير غازات الدفيئة الأخرى على الاحترار العالمي مقارنة بغاز ثاني أكسيد الكربون. ولإيجاد مكافىء ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>e) لغاز الدفيئة تُستخدم المعادلة الآتية:

$$CO_2e = GWP \times E$$

حيث:

CO<sub>2</sub>e: مكافىء ثاني أكسيد الكربون.

GWP: إمكانية إحداث الاحترار العالمي، ويُقصد بذلك إمكانية كل غاز دفيئة على احتجاز حرارة الغلاف الجوي مقارنة بإمكانية غاز ثاني أكسيد الكربون في مدة 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 جموعها في الغلاف الجوي في منطقة ما تُجمع كل 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.

المصدر الرئيس	إمكانية إحداث الاحترار العالمي (GWP)	غاز الدفيئة
الوقود الأحفوري، استعمال الأرضي، الإسمنت.	1	ثاني أكسيد الكربون (CO <sub>2</sub> )
الزراعة.	273	أكسيد النيتروز (N <sub>2</sub> O)
الوقود الأحفوري، الزراعة.	21	الميثان (CH <sub>4</sub> )
مواد صناعية تُستخدم في قطاع التبريد.	771	مواد هيدروفلوروكربون منها (CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> )
مواد صناعية تُستخدم في قطاع التبريد.	6230	مواد كلوروفلوروكربون منها (CCl <sub>3</sub> F)

\* 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  $\text{CO}_2$  و  $\text{CH}_4$  و  $\text{N}_2\text{O}$  هي على التوالي 1 و 27 و 273، فأجد مجموع انبعاثات مكافئ ثاني أكسيد الكربون بوحدة الكيلوغرام (kg).

الحل:

$$\text{CO}_2 \text{ e } (\text{CO}_2) = \text{GWP} \times E$$

$$= 1 \times 50000$$

$$= 50000 \text{ kg}$$

$$\text{CO}_2 \text{ e } (\text{CH}_4) = \text{GWP} \times E$$

$$= 27 \times 480$$

$$= 12960 \text{ g} = 12.96 \text{ kg}$$

$$\text{CO}_2 \text{ e } (\text{N}_2\text{O}) = \text{GWP} \times E$$

$$= 273 \times 150$$

$$= 40950 \text{ g} = 40.95 \text{ kg}$$

مجموع مكافئات ثاني أكسيد الكربون:

$$\text{CO}_2 \text{ e (total)} = \text{CO}_2 \text{ e } (\text{CO}_2) + \text{CO}_2 \text{ e } (\text{CH}_4) + \text{CO}_2 \text{ e } (\text{N}_2\text{O})$$

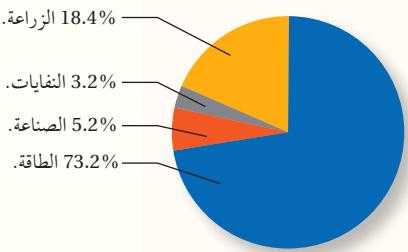
$$= 50000 + 12.96 + 40.95 = 50053.91 \text{ kg}$$

### تمرين

يُطلق مصنع 50 طنًا من أكسيد النيتروز ( $\text{N}_2\text{O}$ ) 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 الرئيسية: أحدد ثلاثة غازات دفيئة تنتج من احتراق الوقود الأحفوري.
2. **أفسر** سبب استخدام الوقود الأحفوري على نطاق واسع في معظم القطاعات.
3. أرتّب غازات الدفيئة الآتية بحسب نسب كمياتها المتراكمة في الغلاف الجوي:  $(\text{CH}_4, \text{CH}_2\text{F}_2, \text{N}_2\text{O}, \text{CO}_2)$ .
4. يمثل الشكل المجاور نسب غازات الدفيئة المنبعثة في القطاعات المختلفة. أدرسه، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:



5. تُنتج إحدى شركات التبريد 75 kg من غاز CFC-11، وهو أحد مركبات الكلوروفلوروکربون. إذا علمت أن إمكانية إحداث الاحترار العالمي لغاز CFC-11 تساوي 26230، 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 ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) لهذا الانبعاث:

- |                                    |                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| أ . $9.26 \text{ kg CO}_2\text{e}$ | ب . $6750 \text{ kg CO}_2\text{e}$   |
| ج . $277 \text{ kg CO}_2\text{e}$  | د . $182250 \text{ kg CO}_2\text{e}$ |

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

- |              |                          |                         |              |
|--------------|--------------------------|-------------------------|--------------|
| أ . الميثان. | ب . ثاني أكسيد النيتروز. | ج . ثاني أكسيد الكربون. | د . الأوزون. |
|--------------|--------------------------|-------------------------|--------------|

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

- |              |                         |              |                        |
|--------------|-------------------------|--------------|------------------------|
| أ . الميثان. | ب . ثاني أكسيد الكربون. | ج . الأوزون. | د . أول أكسيد الكربون. |
|--------------|-------------------------|--------------|------------------------|

4. الغاز الذي يُعدّ من غازات الدفيئة:

- |                 |               |             |                        |
|-----------------|---------------|-------------|------------------------|
| أ . النيتروجين. | ب . الأكسجين. | ج . الأرغون | د . الكلوروفلوروکربون. |
|-----------------|---------------|-------------|------------------------|

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. |
|---|

- |   |
|---|
| ج . 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

2

الدرس

## الاحتباس الحراري (تأثير الدفيئة)

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

وتحتسب غازات الدفيئة بقدرتها على امتصاص الأشعة تحت الحمراء طولية الموجة المنبعثة من سطح الأرض نحو الغلاف الجوي، إذ تؤدي هذه الغازات إلى المحافظة على درجة حرارة سطح الأرض عن طريق التوازن بين الطاقة الشمسية الساقطة على سطح الأرض، وتلك التي تفقدتها إلى الفضاء الخارجي. انظر الشكل (6) الذي يوضح التوازن الإشعاعي.

### ويحدث الاحتباس الحراري Greenhouse Effect عندما

تنقل أشعة الشمس عبر الغلاف الجوي لتصل إلى سطح الأرض على شكل طاقة حرارية، أو أشعة قصيرة الطول الموجي (الأشعة المرئية/ الأشعة فوق البنفسجية). وفي المتوسط فإن ثلث الأشعة الشمسية التي تصلك إلى سطح الأرض تتعكس مرة أخرى إلى

الفكرة الرئيسية:

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

نتائج التعلم :

- استقصي دور 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

Acid Precipitation

الهطل الحمضي

الشكل (6): التوازن الإشعاعي.



الفضاء عبر الغلاف الجوي، وتمتص اليابسة والمسطحات المائية معظم الأشعة الباقية، وبذلك يصبح سطح الأرض دافئاً. ثم تشع اليابسة والمسطحات المائية الطاقة الوارضة إليها مرة أخرى؛ ولكن على شكل أشعة طويلة الموجة (الأشعة تحت الحمراء)، فتمتص غازات الدفيئة الموجودة في الغلاف الجوي هذه الأشعة وتحبس جزءاً منها، وبذلك يسخن الغلاف الجوي الأرضي، وتترفع درجة الحرارة، ولو لا ذلك ل كانت درجة الحرارة على سطح الأرض منخفضة جداً، ما يجعل الحياة عليها أمراً مستحيلاً. وتشبه هذه العملية إلى حد كبير ما يُعرف بظاهرة البيت الزجاجي، أو ظاهرة الدفيئة الزجاجية؛ لأن وظيفة غازات الدفيئة مشابهة لوظيفة جدران البيت الزجاجي وسقفه، التي تسمح بدخول الأشعة الشمسية، لكنها تمنع خروج الأشعة طويلة الموجة المنبعثة من سطح الأرض، ما يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة داخله نظراً إلى عدم تسرب الحرارة إلى خارج الدفيئة الزجاجية.

ولكن، أدّت أنشطة الإنسان المختلفة (مثل: استخدام الوقود الأحفوري، أو إزالة الغطاء النباتي) إلى زيادة في مستويات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي، وهذا بدوره سبب ارتفاعاً متزايداً في درجة حرارة الأرض وحدوث الاحترار العالمي.

**أتحقق:** أصف كيف تحدث عملية الاحتباس الحراري.

### الاحترار العالمي Global Warming

تعلمت سابقاً أن الاحترار العالمي هو زيادة تدريجية في معدلات 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 (خصوصاً غاز 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 أكثر أو أقل ملائمة لها. ونتيجة لذلك، فإن التغيرات المناخية يُتوقع أن تؤدي إلى انفراط ملايين الكائنات الحية بحلول عام 2050م، وانصهار الجليد في القطبين الجنوبي والشمالي؛ نتيجة لارتفاع معدل درجة حرارة سطح الأرض،

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

**أفخر** قال تعالى:

﴿ ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْأَرْضِ وَالْبَحْرِ إِمَّا كَسَبَتْ أَيْدِيُ النَّاسِ إِمَّا زَيْقَلُوهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴾

سورة الروم {41}

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



أعمل فيلماً قصيراً

باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضح ظاهرة الاحتباس الحراري وعلاقتها بالاحترار العالمي، وأحرص على أن يشمل الفيلم صوراً توضيحية، ثم أشاركه زميلاً/ زميلاتي في الصفّ.

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

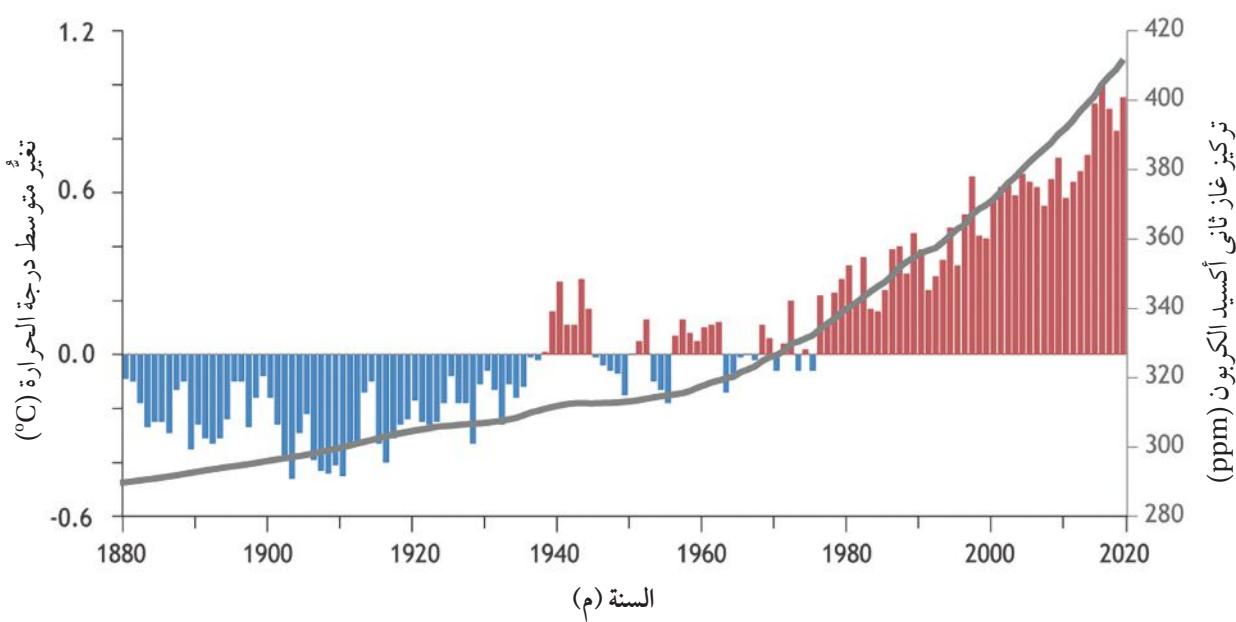
نصف العلاقة بين تغيير متوسط درجة حرارة الغلاف الجوي، وتركيز غاز ثاني أكسيد الكربون فيه.



وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة ارتفاع منسوب المياه في البحار والمحيطات، وغمراً الجزر والشواطئ والأراضي المنخفضة بالماء، ويُتوقع استمرار ارتفاع منسوب المياه البحار والمحيطات مع الزمن ليصل بحلول 2100 م إلى 30 cm تقريباً.

ومن التغيرات الأخرى التي قد تنتج من التغيرات المناخية: زيادة حموضة البحر والمحيطات بسبب زيادة ذوبان ثاني أكسيد الكربون في مياهها، وهذا يهدّد الكائنات البحرية مثل الشعاب المرجانية والكائنات التي تمتلك أصدافاً مكونة من كربونات الكالسيوم، مما يؤثّر 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 قدر متوسط درجة الحرارة في هذه السنوات  $^{\circ}\text{C}$  13.9 ويمكن تفسير القيمة  $^{\circ}\text{C}$  (0.0) في الشكل على أنه لا يوجد تغير في درجات الحرارة عن متوسط درجة الحرارة، في حين تمثل القيم الموجبة مقدار الزيادة في درجة الحرارة عن متوسط درجة الحرارة  $^{\circ}\text{C}$  13.9، وتمثل القيم السالبة مقدار النقصان في درجة الحرارة عن متوسط درجة الحرارة، فمثلاً، عام 2000 م زادات درجة الحرارة العالمية عن متوسط درجة الحرارة بمقدار  $^{\circ}\text{C}$  0.59.

**أتحقق:** أوضح المقصود بالاحترار العالمي.



تغّير متوسط درجة الحرارة ( $^{\circ}\text{C}$ ) تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون (ppm)

## تكوين الأوزون واستنفافه Ozone Formation and Depletion



يتكون غاز الأوزون ( $O_3$ ) من ثالث ذراتٍ من الأكسجين متّحدةً مع بعضها البعض، 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 المبنية من الشمس الضارة بالكائنات الحية، لكن تدخل الإنسان أدى إلى إحداث خلل في هذا التوازن، فأصبح معدل تحلله يفوق معدل تشكّله طبيعياً.

يُعد غاز الأوزون ملوثاً خطراً إذا وُجدَ قرباً سطح الأرض في طبقة التروبوسفير؛ لأنَّه يضرّ أنسجة النباتات وبعض أجزاء جسم الإنسان الحساسة مثل العيون والرئتين. ويكون غاز الأوزون بالقرب من سطح الأرض بسبب زيادة تراكيز غازات أكسيد النيتروجين الناتجة من احتراق الوقود الأحفوري وغيرها من الأنشطة وفقاً للمعادلتين الكيميائيتين الآتيتين:



وتعدّ مركبات الكلوروفلوروكربون CFCs المسئول الأول عن التآكل الذي أصاب الأوزون ما سمح للأشعة فوق البنفسجية بالوصول إلى سطح الأرض، وستُستخدم هذه المركبات على نطاق واسع في أجهزة التبريد في الثلاجات، وفي مكيفات الهواء، خصوصاً أجهزة تكييف السيارات. وهي تمتاز بأنها خاملة فلا تتفاعل مع مكونات الغلاف الجوي، ولكنها تصعد إلى أعلى بفعل تيارات الحمل وصولاً إلى غاز الأوزون الموجود في طبقة الستراتوسفير فتحدث سلسلة من التفاعلات الكيميائية الآتية، والسبب في ذلك هو قدرة الأشعة فوق البنفسجية على تحليلها.



**أتحقق:** أقارن بين غاز الأوزون الموجود ضمن طبقة الستراتوسفير وغاز الأوزون المتكون في طبقة التروبوسفير قریباً من سطح الأرض من حيث أثر كل منهما على الكائنات الحية.

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

## كيف يمكن الحد من مشكلة تكُون غاز الأوزون في طبقة التروبوسفير؟

# الدّجْهِةَ ١

## نَمْذَجَةُ الْاحْتِبَاسِ الْحَرَارِيِّ

4. أقصِّيَّةَ الْجَزْءِ السُّفْلَى مِنْ قَارُورَةِ مِيَاهِ الشَّرْبِ الْبَلاسْتِيكِيَّةِ.
5. أَقْلِّيَّةَ حُكْمَ فَوْهَةِ قَارُورَةِ مِيَاهِ الشَّرْبِ الْبَلاسْتِيكِيَّةِ بِوَسَاطَةِ غَطَاءِ.
6. أَضْعِيَّةَ قَارُورَةِ مِيَاهِ الشَّرْبِ الْبَلاسْتِيكِيَّةِ حَوْلَ إِحْدَى الْكَأسِيَّنِ الزَّاجِجِيَّيْنِ، بِحِيثُ تُحِيطُ بِهَا مِنَ الْجَوَانِبِ كُلَّهُ.
7. انتَظِرْ نَصْفَ سَاعَةً أُخْرَى، مَعَ بَقَاءِ الْكَأسِيَّنِ الزَّاجِجِيَّيْنِ فِي مَنْطَقَةِ تَسْقُطِ فِيهَا أَشْعَةُ الشَّمْسِ سَقْوَطًا مُبَاشِرًا.
8. أَقْرَأْ دَرْجَةَ حَرَارَةِ كُلِّ مَقْيَاسِ وَأَدَوَنَّهَا.
9. أَحْسُبْ الفَرْقَ بَيْنَ دَرْجَةِ الْحَرَارَةِ فِي كُلِّ مِنَ الْكَأسِيَّنِ الزَّاجِجِيَّيْنِ.

### التَّحْلِيلُ وَالْإِسْتِنْتَاجُ:

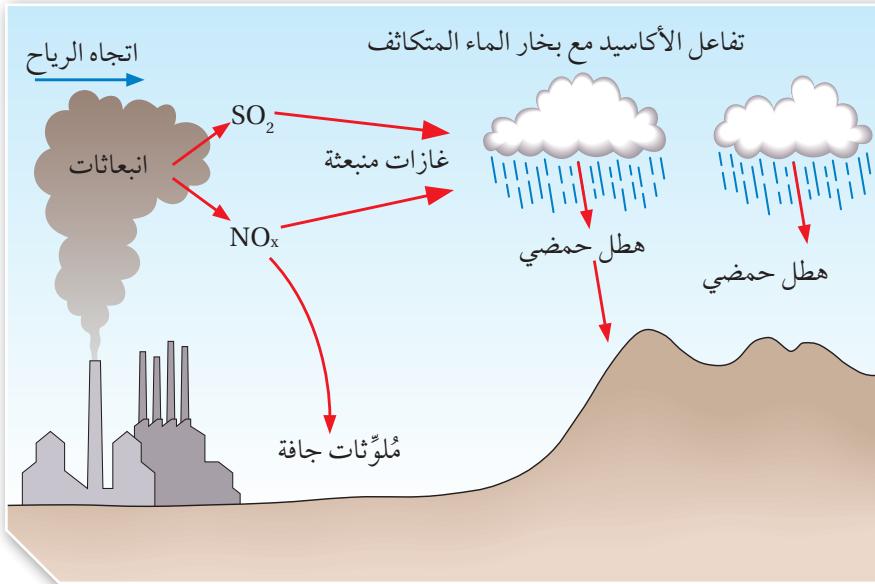
1. أَفْسَرْ سَبَبُ ارْتِقَاعِ دَرْجَةِ حَرَارَةِ الْكَأسِ الزَّاجِجِيَّةِ الْمُغَطَّاةِ بِقَارُورَةِ مِيَاهِ الشَّرْبِ الْبَلاسْتِيكِيَّةِ.
2. أَفْارِنْ بَيْنَ آلِيَّةِ عَمَلِ نَمْوَذْجِ قَارُورَةِ مِيَاهِ الشَّرْبِ الْبَلاسْتِيكِيَّةِ وَظَاهِرَةِ الْاحْتِبَاسِ الْحَرَارِيِّ.

## الرِّبَطُ بِالْكِيمِيَّةِ

طُورَتْ أَنْظَمَةُ التَّخلُصِ مِنْ عَوَادِمِ السَّيَارَاتِ بِوَضْعِ مَوَادِ كِيمِيَّيَّةٍ دَاخِلِ عَادِمِ السَّيَارَةِ تَسَاعِدُ عَلَى تَحْوِيلِ بَعْضِ الْأَكَاسِيدِ النَّاتِجَةِ مِنَ الْعَادِمِ إِلَى موَادَ أَقْلَّ ضَرَرًا عَلَى الْبَيْئَةِ، فَتَحُولُّ  $\text{NO}_2$  إِلَى  $\text{N}_2$  وَ $\text{O}_2$ ، وَأَيْضًا تَحُولُّ  $\text{CO}$  إِلَى  $\text{CO}_2$ .

## الهَطْلُ الْحَمْضِيُّ

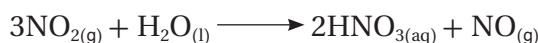
عِنْدَمَا يَحْتَرِقُ الْوَقْدُ الْأَحْفُورِيُّ الْمُسْتَعْمَلُ فِي وَسَائِطِ النَّقلِ، وَفِي مَحَطَّاتِ إِنْتَاجِ الطَّاْقَةِ الْكَهْرَبَائِيَّةِ وَالْمَصَانِعِ، فَإِنْ ثَانِي أَكْسِيدِ الْكَبْرِيتِ  $\text{SO}_2$  وَأَكَاسِيدِ الْنِّيْتِرُوجِينِ  $\text{NO}_x$  تَنْتَشِرُ فِي الغَلَافِ الْجَوِيِّ، وَتَتَفَاعَلُ مَعَ بَخَارِ المَاءِ الْمُتَكَافِفِ فِي الغَلَافِ الْجَوِيِّ مُشَكِّلًا هَطْلًا حَمْضِيًّا يَحْتَوِي عَلَى حَمْضِيِّ الْكَبْرِيتِيِّكِ  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ، وَالْنِّيْتِرِيِّكِ  $\text{HNO}_3$ ، وَأَحْيَانًا يَسْقُطُ الْهَطْلُ الْحَمْضِيُّ بِعِدَّةِ مَسْتَوَاتٍ بِفَعْلِ الرِّيَاحِ السَّائِدَةِ فِي تِلْكَ الْمَنْطَقَةِ.



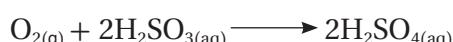
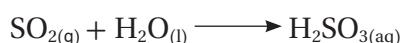
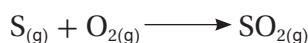
الشكل (8): رسم توضيحي لعملية تكون الهطل الحمضي.

أنظر الشكل (8) الذي يوضح رسمًا توضيحيًا لعملية تكون الهطل الحمضي. يتفاعل الهطل الحمضي مع كلّ من الماء والصخور والتربة والنبات مسبباً إخلالاً بالتوازن البيئي، إذ يؤدي تساقطه على المسطحات المائية إلى موت أعداد كبيرة من النباتات المائية والأسماك، ونتيجة لذلك يحدث انخفاض في أعداد الأسماك، وفقدان بعض الأنواع، ومن ثم ، العد من التنوع الحيوي. وأيضاً يؤثر الهطل الحمضي في الصخور والمنشآت فيعمل على تأكلها، 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 تكون الهطل الحمضي عن طريق التفاعلات الكيميائية الآتية: تكون الهطل الحمضي بتفاعل بخار الماء المتكافف مع غاز ثانٍ أكسيد النيتروجين:



تكون الهطل الحمضي بتفاعل بخار الماء المتكافف مع غاز ثانٍ أكسيد الكبريت:



**لماذا يتكون الهطل الحمضي**  
من أكسيد الكبريت والنيتروجين وليس الكربون، مع أن أكثر الأكسيد في الغلاف الجوي هو ثاني أكسيد الكربون؟



أصمّ باستخدام برنامج السكراتش (Scratch) عرضاً يبيّن ظاهرة الهطل الحمضي، ثم أشاركه زميلائي / زميلاتي في الصفّ.

**أتحقق:** أوضح كيف يتكون الهطل الحمضي.

## التجربة 2

### محاكاة الهطل الحمضي

3. أسكب الخل فوق كل قطعة صخرية في الكأس الزجاجية، وأنظر يومين.
4. أفرغ الكأس الزجاجية من الخل، وأنظر أن تجفّ القطع الصخرية يوماً آخر.
5. **الاحظ** أي تغيرات في سطح كل قطعة صخرية.
6. استخدم الميزان مرة أخرى في إيجاد كتلة كل قطعة صخرية، وأدونّ البيانات في جدول.
7. **احسب** مقدار الكتلة التي فقدتها كل قطعة صخرية، وأدونّ البيانات في جدول.
8. **احسب** النسبة المئوية لمقدار الكتلة التي فقدتها كل قطعة صخرية، وأدونّ البيانات في جدول.

#### التحليل والاستنتاج:

1. أحدهما: أيُّ الصخور (الرخام، الصخر الجيري، الصخر الرملي، البازلت)، هو الأفضل لمقاومة الهطل الحمضي؟
2. **استنتاج** أثر الهطل الحمضي في الصخور.

تحدث ظاهرة الهطل الحمضي عندما يتلوّث الغلاف الجوي بالأكسيد، مثل أكسيد النيتروجين والكبريت، التي تطلق من مصادر طبيعية ومصادر غير طبيعية (صناعية).

#### المواد والأدوات:

قطع صخرية صغيرة الحجم متساوية تقريباً، مثل: (الرخام، الصخر الجيري، الصخر الرملي، البازلت)، ميزان رقمي، قفازات وقائية، 3 كؤوس زجاجية سعتها  $500\text{ mL}$ ، حل (حمض الإيثانويك)  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (يمثل الأحماض المسببة للهطل الحمضي).

#### إرشادات السلامة:

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

#### خطوات العمل:

1. استخدم الميزان في إيجاد كتلة كل قطعة صخرية، وأدونّ البيانات في جدول.
2. أضع كل قطعة صخرية في كأس زجاجية منفصلة.

## 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 سلباً على أنماط المعيشة، واقتصاديات الدول. ومع زيادة تراكم غازات الدفيئة بفعل أنشطة الإنسان المختلفة وأهمها استخدام الوقود الأحفوري، بدأ العالم يتأثر بما توقعه العلماء نتيجة التغير المناخي، مثل: انصهار الجليد، وارتفاع مستوى سطح البحر، وموجات الحر الشديدة. ويُتوقع استمرار تلك التأثيرات وزيادة شدتها مستقبلاً وزيادة تأثيرها على مناخ الأرض.

ومن أهم تأثيرات التغير المناخي:

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

**:Increase in hurricane Strength and Intensity** زيادة قوة الأعاصير وكثافتها

يُتوقع أن تزداد شدة العواصف المرتبطة بالأعاصير ومعدلات هطول الأمطار مع استمرار ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي.

**:More Droughts and Heat Waves** المزيد من الجفاف وموسمات الحر

يُتوقع أن تزداد شدة حالات الجفاف في مناطق مختلفة من العالم، وكذلك فترات الطقس الحار غير الطبيعي التي قد تستمر من أيام إلى أسابيع.

**:Increased Forest Fires and Their Duration** زيادة حرائق الغابات ومددها

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).

**أَفْحَرْ** يسجل التنوع الحيوي  
تراجعًا ملحوظاً على المستوى  
العالمي. أذكر بعضًا منها.

الشكل (9): أثر التغير المناخي في زيادة مساحة الغابات المحروقة

بسبب ارتفاع درجات الحرارة.



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 الفتاك حساسية شديدة تجاه تغير درجات الحرارة، والرطوبة، والأمطار، وغيرها من المظاهر المناخية؛ مما يؤدي إلى انتشارها.

**النحوت 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**: يُتوقع استمرار تناقص الغطاء الجليدي البحري في القطبين، فمثلاً: تناقص نسبة الغطاء الجليدي في المحيط المتجمد الشمالي، ويُتوقع قبل منتصف هذا القرن أن يصبح خالياً من الجليد تماماً 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، وارتفاع معدلات سوء التغذية، ويسهم في زيادة نسبة الفقر.

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

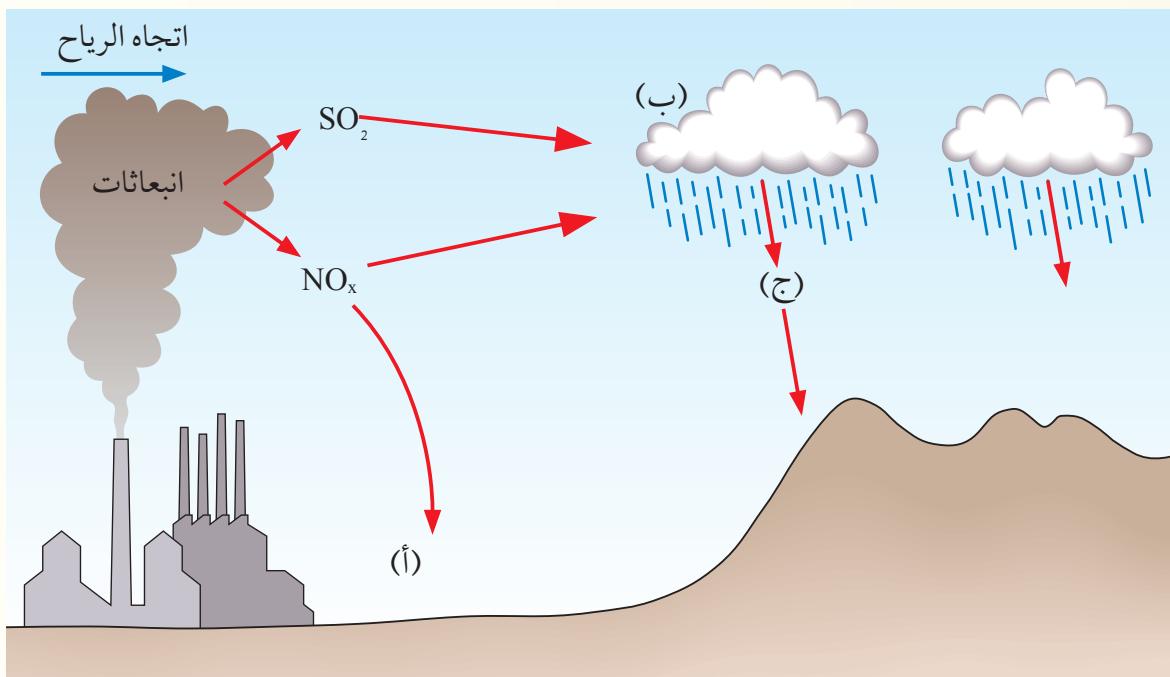


# مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: أذكر بعض الملوثات الموجودة في الغلاف الجوي التي تؤثر سلباً في صحة الإنسان والنباتات والحيوانات.

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

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



4. أتبيّع كيف يتكون الهطل الحمضي بفعل ثاني أكسيد الكبريت بكتابه ثلاثة معادلات كيميائية.

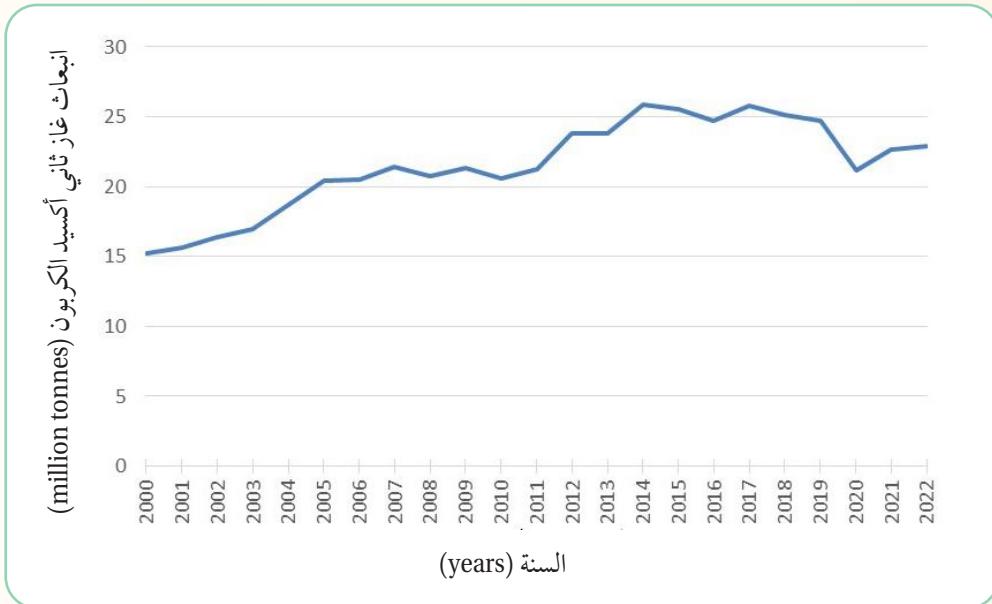
5. **أفسر** سبب اختلاف تركيز ثاني أكسيد الكربون فوق المناطق الصناعية والمدن عنه في المناطق الريفية.

6. أحدد مصادر الغازات التي تكون الهطل الحمضي.

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

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

9. أختار رمز الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:
1. أدرس الشكل الآتي الذي يمثل انبعاث غاز ثانوي أكسيد الكربون في الأردن؛ ثم أحدد العام الذي حدث فيه أكبر انبعاث لهذا الغاز.



- . د. 2022.
  - . ج. 2019.
  - . ب. 2014.
  - . أ. 2007.
2. يُتوقع أن تؤدي التغيرات المناخية إلى انقراض ملايين الكائنات الحية بحلول العام:
- . د. 2050 م.
  - . ج. 2035 م.
  - . ب. 2030 م.
  - . أ. 2007 م.
3. يتكون غاز الأوزون بالقرب من سطح الأرض؛ بسبب زيادة تراكيز:
- . د. بخار الماء.
  - . ج. الميثان.
  - . ب. ثاني أكسيد الكربون.
  - . أ. أكسيد النيتروجين.
4. يحدث الاحتباس الحراري عندما يتمتص الغلاف الجوي الأشعة المنبعثة من سطح الأرض على شكل طاقة:
- . ج. حرارية.
  - . د. نووية.
  - . ب. حرارية.
  - . أ. كيميائية.
5. من تأثيرات التغير المناخي على العالم:
- . أ . زيادة مساحة الغطاء الجليدي في القطبين.
  - . ب . انخفاض درجات الحرارة العالمية.
  - . ج . ارتفاع نسبة حرائق الغابات.
  - . د . زيادة نسبة الهطول وحدوث الفيضانات في المناطق كافة.

#### إدارة موارد الطاقة Management of Energy Resources

تعلمت سابقاً أن هناك تسارع 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 أكسيد الكربون والنيتروجين والكربون، مثل مشكلة التغير المناخي، لذا تُعد إدارة موارد الطاقة أمراً مهماً للتحقق من التوازن بين احتياجات المجتمع من الطاقة، وتقليل الآثار السلبية الناتجة من حرق الوقود الأحفوري في البيئة.

ومن الطرق المستخدمة للحد من انبعاثات غازات الدفيئة من القطاعات المختلفة وخاصة ثاني أكسيد الكربون: استخدام الطاقة المتجدددة، 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 المتجدددة Using of Renewable Energy

تتجه العديد من دول العالم نحو استخدام مصادر الطاقة المتجدددة **Renewable Energy** لإنتاج الكهرباء بدلاً من استخدام الوقود الأحفوري، وهي طاقة لا تنفد وغير ملوثة للبيئة. وبالرغم من الفوائد الكبيرة لاستخدام مصادر الطاقة المتجدددة 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).

#### الفكرة الرئيسية

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

#### تتاجنات التعلم

- أطرح حلولاً 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 مكونات المجتمع في جهود التكيف مع آثار التغير المناخي.
- أناقش أهمية استخدام الطاقة المتجدددة في الحد من آثار التغير المناخي، وأقدم أدلة مقنعة على ذلك.
- أقترح أساليب للتقليل من استهلاك الطاقة وأبيّن علاقتها بالتقنولوجيا.

#### المفاهيم والمصطلحات

الطاقة المتجدددة  
طاقة الحرارة الجوفية  
طاقة الكهرومائية



الشكل (11): إحدى محطات

توليد الطاقة الكهربائية التي  
تستخدم الغاز الطبيعي.

وفي ما يأتي بعض أنواع الطاقة المتجددة:

- طاقة الرياح Wind Power تُستخدم طاقة الرياح في توليد الطاقة الكهربائية عن طريق تحريك توربينات متصلة بموّلات 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 المعوقات 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. انظر الشكل (12) الذي يمثل توليد الطاقة الكهربائية في الأردن باستخدام طاقة الرياح.

**أهم**  
أحد: معوقات استخدام طاقة  
المد والجزر في الأردن بوصفها  
أحد مصادر الطاقة المتجددة.

- طاقة المد والجزر Wave Tidal Power تُستخدم حركة الأمواج في أثناء المد والجزر في توليد الطاقة الكهربائية، إذ تعمل المياه المتحركة بفعل المد على تحريك التوربينات المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية بشكل مباشر، أو تُحجز المياه المتقدمة بفعل المد في برك صناعية وتُستخدم في تحريك التوربينات. تُعدّ الطاقة الناتجة من المد والجزر أحد أنواع الطاقة النظيفة والصديقة للبيئة؛ لأنها تقلل من انبعاثات غازات الدفيئة، ولكن من معوقات 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.

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



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

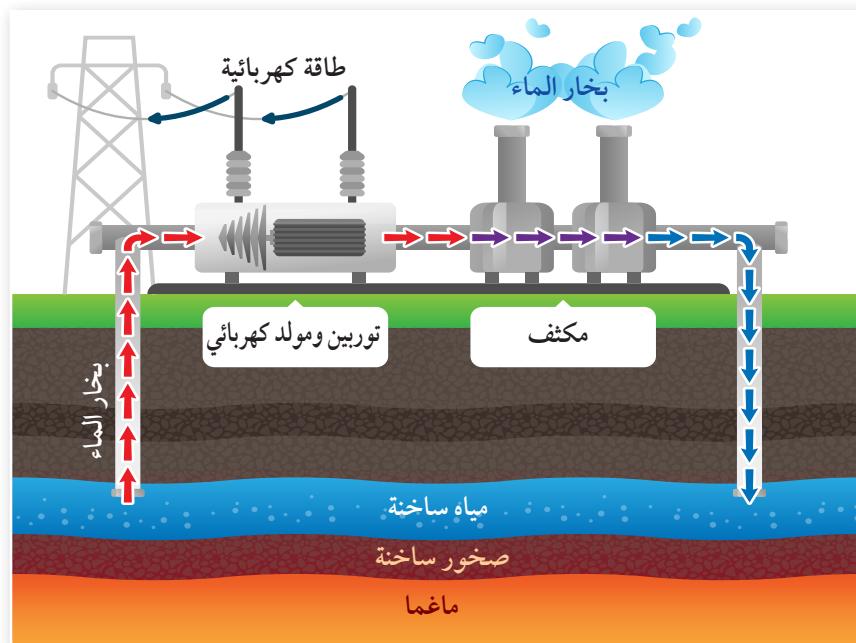
يتميز هذا النوع من الطاقة المتجددة بأنه مصدر طاقة متجددة ونظيف لا يلوث الهواء، وسهل الصيانة، وأنه هادئ لا يصدر أي ضجيج، ويمكن أن يستخدم على نطاق واسع أو ضيق. ومن معوقات استخدام الطاقة الشمسية: التكلفة الأولية المرتفعة، وتأثيرها بالأحوال الجوية فتقل كميات الطاقة المنتجة في مدد زمنية طويلة في السنة. ويوجد في الأردن محطات متنوعة للطاقة الشمسية، منها: محطة بينونة في الموقر. انظر الشكل (13) الذي يمثل إحدى محطات الطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء في العقبة.



الشكل (13): 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 تُضخَّ المياه عبر آبار إلى تلك المناطق، ثم تُضخَّ المياه الساخنة إلى السطح وتُحوَّل إلى بخار لتشغيل التوربينات الخاصة في توليد الطاقة الكهربائية، ثم يُكثَّف بخار الماء ويُضخَّ مرة أخرى إلى باطن الأرض لاستخدامه مرة أخرى انظر الشكل (14). ولاستخدام هذا النوع من الطاقة يجب أن تكون درجة حرارة المياه مرتفعة تتراوح ما بين  $^{\circ}\text{C}$  370 – 150، وهذا النوع يتميز بالتكلفة المنخفضة مقارنة بباقي أنواع الطاقة المتجددة؛ بسبب انخفاض تكاليف التشغيل. ومن معوقات استخدام هذا النوع من الطاقة: محظوظية 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 الكهرومائية Hydroelectric Power تعرف الطاقة الكهرومائية

**أفخر** أي أنواع الطاقة المتجددة  
الأكثر جدوى لاستخدامها في  
الأردن؟ لماذا؟

**تحقق:** أحدد معيقات استخدام  
طاقة الرياح.

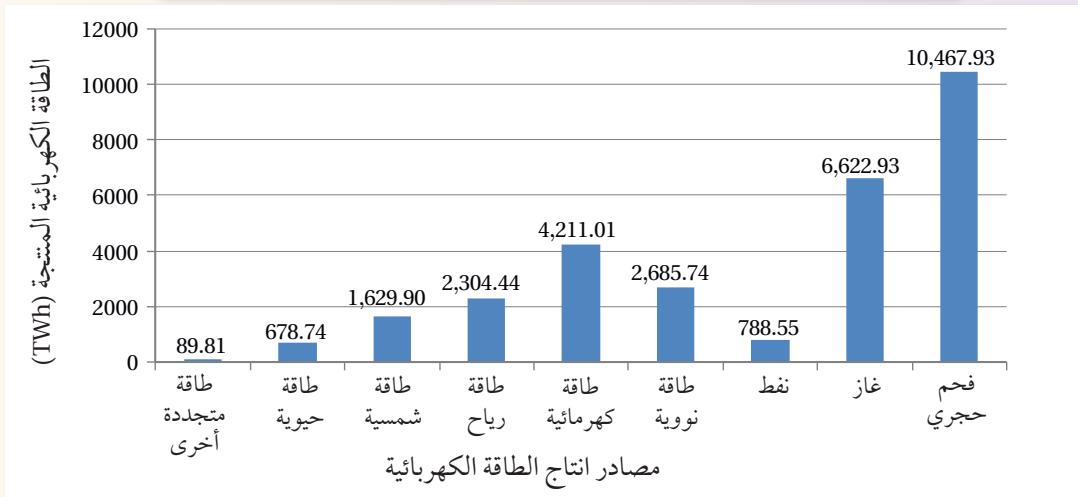
Hydroelectric Power بأنها الطاقة الكهربائية الناتجة عن حركة المياه، وفي هذا النوع من الطاقة تُبنى سدود وستستخدم المياه المتجمعة خلفها لتحريك توربينات توليد الطاقة الكهربائية، ويمكن أن تكون محطات توليد الطاقة كبيرة الحجم أو صغيرة الحجم. يتميز استخدام هذا النوع من الطاقة بأنه غير ملوث فلا تبعث منه أي غازات 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.

## 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 المُنَتجة من المصادر المختلفة بوحدة - تيراواط. ساعة (TWh)، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:

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



#### التحليل والاستنتاج:

- أحد مصدر الطاقة المتجددة الذي ينتج أكبر كمية من الطاقة الكهربائية ومصدر الطاقة غير المتجددة الذي ينتج أكبر كمية من الطاقة الكهربائية.
- أفار** بين مصادر الطاقة المتجددة والطاقة غير المتجددة من حيث كمية الطاقة الكهربائية المُنَتجة منها.
- أرتّب** تصاعديًّا إنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر الطاقة غير المتجددة.



## تقليل استهلاك الوقود الأحفوري

### Reduce fossil fuel consumption

تستطيع دول العالم القليل من استهلاك الوقود الأحفوري باستخدام طرائق مختلفة، منها: تطوير تكنولوجيا أكثر كفاءة في استخدام الطاقة، وتصميم المبني الجديدة الذكية وتخفيطها 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 الوسائل العامة، واستخدام الوقود الحيوي أو بدائل الطاقة فيها.

### تعديل السياسات الحكومية

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 بدلاً 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 الصديقة للبيئة.

▲  
الشكل (15): استخدام المبني الذكي للتقليل من كميات الطاقة المستهلكة.

## التكيف مع التغير المناخي

### Climate Change Adaptation

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

#### المؤسسات الرسمية والتكيف مع التغير المناخي:

##### Official Institutions and Climate Change Adaptation

تؤدي المؤسسات الرسمية دوراً حاسماً 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 طُرُّأ أول إطار سياسات وطني للتكيف مع التغير المناخي في الأردن عام 2013. ومن الإجراءات أيضاً: مشاركة المؤسسات الرسمية في الجهود الدولية لمكافحة التغير المناخي عن طريق التزاماتها في اتفاقيات عالمية، مثل اتفاقية باريس للمناخ التي يُعد الأردن أحد الدول المشاركة فيها.

وتُسهم 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 تكراراً وأقل غزارة في مناطق عديدة، مما يزيد من خطر الجفاف.





## 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 تبني الأفراد والمؤسسات ممارسات مستدامة، خصوصاً 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، أُنظر الشكل (17). ويبين دور الشباب في المناطق النائية في تبني ممارسات زراعية مبتكرة تكيف 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.

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



## المرأة والتكيف مع التغير المناخي

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

### Women and Climate Change Adaptation

للمرأة دور كبير في التكيف مع التغير المناخي، ففي كثير من المجتمعات الريفية تُعد المرأة المسؤولة عن جمع المياه، والخطب، والطعام. ومن ثم لديها خبرة في إدارة الموارد الطبيعية بطرق مستدامة. عندما تتعرض هذه الموارد للضغط نتيجة التغير المناخي، تبني 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 للتغير المناخي. وأيضاً تؤدي المرأة دوراً قيادياً 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 المتجدددة، مثل استخدام مواد الطهي النظيفة، أنظر الشكل (18).

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

# مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: أذكر بعض الطرق التي يمكن بها التقليل من انبعاثات غازات الدفيئة وأخرى تساعدنا على التكيف مع آثار التغير المناخي.
2. **أفسر**: لماذا يستخدم الوقود الأحفوري بكثرة على الرغم من مشكلاته البيئية؟
3. **استنتج** المناطق الملائمة لبناء محطات طاقة الرياح.
4. أذكر ثلاثة مصادر للطاقة النظيفة.
5. **استخرج**: لماذا يجب أن تتجاوز درجة حرارة المياه المستخدمة في طاقة الحرارة الجوفية °C 150؟
6. **أصدر حكماً** على العبارة الآتية: تُعد الطاقة الكهرومائية أفضل الطرق لإنتاج الطاقة الكهربائية؛ لأنها نظيفة، ولا يوجد أي أضرار من استخدامها.
7. أوضح بعض السلوكيات 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 تُعد جزءاً من جهود المؤسسات الدولية للتكيف مع التغير المناخي:
    - أ . تصميم أنظمة لجمع مياه الأمطار.
    - ب . تحسين شبكات الصرف الصحي.
    - ج . زيادة الاعتماد على الوقود الأحفوري.
  2. طُور أول إطار سياسات وطني للتكيف مع التغير المناخي في الأردن عام:
    - أ . 2007 م.
    - ب . 2013 م.
    - ج . 2015 م.
    - د . 2020 م.
  3. من معicفات استخدام طاقة المد والجزر:
    - أ . الأماكن التي يمكن بناء المحطات فيها هي المناطق النائية.
    - ب . ذات تأثير سلبي على البيئة البحرية.
    - ج . تتأثر بالحالة الجوية وبالفصل من السنة.
    - د . تتوج بعض غازات الدفيئة أحياناً.
  4. تختلف الطاقة الشمسية عن الطاقة الكهرومائية في أنها:
    - أ . طاقة نظيفة.
    - ب . مرتفعة التكلفة الأولية.
    - ج . يمكن أن تُستخدم على نطاق ضيق.
    - 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.
    - ج . استخدام المنازل الذكية.
    - د . استخدام الطاقة المتجدددة.

# الإثراء والتوسيع

## الضباب الدخاني Smog

جاءت تسمية الضباب الدخاني، أو ما يعرف (بالضّبخن) Smog من دمج كلمتي دخان Smoke وضباب Fog، ويعدّ الضباب الدخاني شكلاً من أشكال ملوثات الهواء الناتجة من أنشطة الإنسان في المناطق الصناعية الكبيرة المكتظة بالسكان، التي يكون فيها الهواء سائلاً، وينشأ عندما يتفاعل ضوء الشمس مع الملوثات الناتجة من احتراق الوقود الأحفوري؛ ما يؤدي إلى تركيز هذه الملوثات في الهواء على هيئة غيمة تتكون من مجموعة من الغازات والقطيرات العالقة مع دقائق صلبة، تلف جو المدينة وتسمى الضّبخن.

عادةً ما يميز بين نوعين من الضباب الدخاني وفقاً للفصل من السنة ونوع الملوثات، 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 أكسيد الكبريت والهيدروكربونات، مكوناً ما يسمى الضّبخن الكبريتي (Sulfurous Smog). يتسم هذا النوع من الضباب الدخاني بوجود دخان كثيف، ما يجعل الرؤية محدودة، وغالباً ما يصاحبه انخفاض في درجات الحرارة؛ بسبب تراكم الهواء الملوث في الطبقات السفلية من الغلاف الجوي.

الضباب الدخاني الصيفي: يحدث في فصل الصيف عندما تزداد تراكيز الملوثات، مثل الأوزون ( $O_3$ )، وحمض النيتريل (HNO<sub>3</sub>)، وثاني أكسيد النيتروجين (NO<sub>2</sub>)، والهيدروكربونات (HC)، وأول أكسيد الكربون (CO)، بالتزامن مع وجود الأشعة الشمسية، وخاصة الأشعة فوق البنفسجية. يُعرف هذا النوع بالضّبخن الكيميائي الضّوئي (Photochemical Smog)، ويعد ملوثاً ضاراً بالجهاز التنفسي والنباتات.

### الكتابة في الجيولوجيا

أكتب فقرة حول الضّبخن الكيميائي الضّوئي، ثم أشارك ما أكتبه مع زملائي / زميلاتي في الصف.

# مراجعة الوحدة

- السؤال الأول:** أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:
5. تزداد الأشعة فوق البنفسجية التي تصل إلى سطح الأرض بسبب استنزاف:  
أ. الأوزون.  
ب. الميثان.  
ج. بخار الماء.  
د. ثاني أكسيد الكربون.
6. المسؤول الأول عن التآكل الذي أصاب الأوزون في طبقة الستراتوسفير مما يأتي هو:  
أ. بخار الماء.  
ب. الفلوروكلوروكربون.  
ج. أول أكسيد الكربون.  
د. ثاني أكسيد الكربون.
7. يوجد غاز الأوزون في الغلاف الجوي على ارتفاع يُقدر ما بين:  
أ. (20–30) km  
ب. (40–50) km  
ج. (50–60) km  
د. (60–70) km
8. من أشكال تلوث الهواء الناتج من تفاعل ضوء الشمس مع الغازات المنبعثة من احتراق الوقود الأحفوري:  
أ. الأشعة فوق البنفسجية.  
ب. الضباب الدخاني.  
ج. المطر الحمضي.  
د. الأوزون.
- 1.** نسبة تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي المتكونة بفعل الأنشطة البشرية تشكل تقريرًا:  
أ. 5 %.  
ب. 20 %.  
ج. 45 %.  
د. 70 %.
- 2.** أكثر القطاعات إنتاجاً لغازات الدفيئة هو قطاع:  
أ. الطاقة.  
ب. النفايات.  
ج. الصناعة.  
د. الزراعة.
3. إذا علمت أن معامل انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج من احتراق البنزين يساوي  $2.31 \text{ kg CO}_2/\text{L}$ ، فإن كمية غاز ثاني أكسيد الكربون بوحدة (kg) المنبعثة من احتراق L 500 من дизيل تساوي:  
أ. 0.00462 kg  
ب. 216.45 kg  
ج. 1155 kg  
د. 2310 kg
4. تمتلك غازات الدفيئة القدرة على امتصاص الأشعة:  
أ. السينية.  
ب. تحت الحمراء.  
ج. غاما.  
د. فوق البنفسجية.

# مراجعة الوحدة

14. الغاز الذي يسبب تكون الهطل الحمضي هو:
- ثاني أكسيد النيتروجين.
  - أول أكسيد الكربون.
  - بخار الماء.
  - الميثان.

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

السؤال الثاني:

- أملاً الفراغ في ما يأتي بما هو مناسب من المصطلحات:
- أ. معظم الطاقة التي نستخدمها تأتي من حرق الأشكال المختلفة من الوقود الأحفوري، مثل: .....

.....، .....

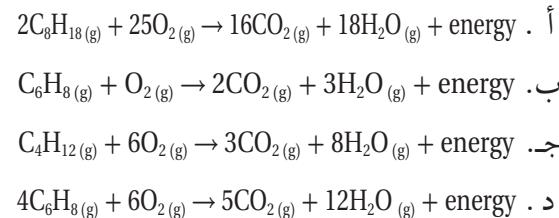
- ب. تسمى الطاقة المتجدددة التي تستخدم في إنتاج الطاقة الكهربائية بفعل حركة المياه.....

- ج. تفاعل كيميائي يحدث فيه اتحاد الأكسجين مع عناصر الكربون والهيدروجين هو .....
- د. تُعرَف الزيادة التدريجية في معدلات درجات الحرارة العالمية الناجمة عن النشاطات الطبيعية والإنسانية بـ .....

- هـ. تسمى الطاقة التي لا تنفد وهي غير ملوثة للبيئة الطاقة: .....

9. يتوج الأوزون من تفاعل كيميائي بين ضوء الشمس وغاز:
- الميثان.
  - الأكسجين.
  - أول أكسيد الكربون.
  - ثاني أكسيد الكربون.

10. يُنتج غاز ثاني أكسيد الكربون في محرك السيارات التي تعمل بالبنزين وفق المعادلة:



11. يُتوقع أن يرتفع منسوب مستوى سطح البحر بمقدار  $0.63 - 0.4$  m بحلول عام:

- 2030 م.
- 2050 م.
- 2070 م.
- 2100 م.

12. يوجد الأوزون بصورة رئيسة ضمن طبقة:

- الثيرموسفير.
- الأيونوسفير.
- التروبوسفير.
- الستراتوسفير.

13. أكثر غازات الدفيئة التي تساعد على ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض هو:

- ثاني أكسيد الكربون.
- ثاني أكسيد الكبريت.
- بخار الماء.
- الميثان.

# مراجعة الوحدة

السؤال الثالث:

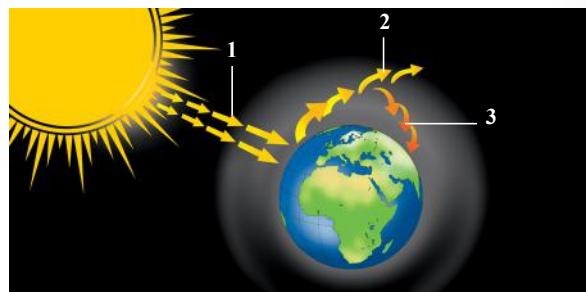
- أفسر** كلاماً يأتي تفسيراً علمياً دقيقاً:
- . يسهم الهطل الحمضي في تآكل الصخور والمنشآت.
  - . عند دخولي بيته زجاجياً أشعر بتأثير ظاهرة الاحتباس الحراري.
  - . يُعدّ غاز الأوزون ملوثاً خطيراً إذا وجد قرب سطح الأرض في طبقة التروبوسفير.
  - . يحدّ التقليل من استخدام الوقود الأحفوري من الاحترار العالمي.

السؤال الرابع:

- أوضح العلاقة بين كل مصطلحين مما يأتي:
- . تركيز غازات الدفيئة - التغير المناخي.
  - . الهطل الحمضي - الوقود الأحفوري.

السؤال الخامس:

أتبع ما تشير إليه الأرقام (1، 2، 3) في الشكل الآتي الذي يوضح ظاهرة الاحتباس الحراري.



السؤال السادس:

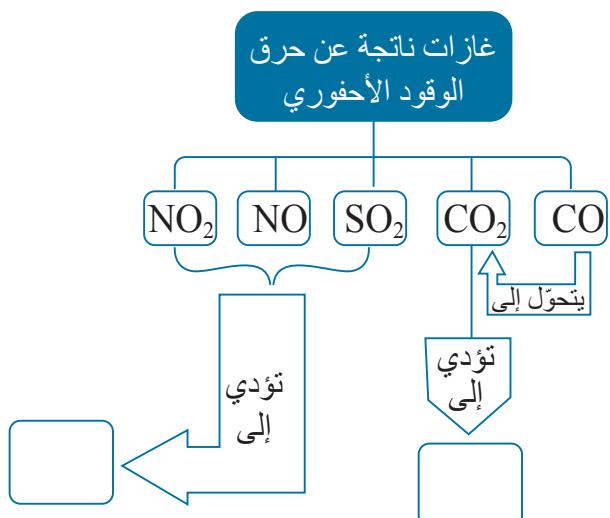
أوضح ظاهرة الاحترار العالمي ، وأبين أهم العوامل المسببة لها، وأبرز آثارها على الكائنات الحية؛ ثم أقترح طرفاً لمعالجتها والحد منها.

السؤال السابع:

أوضح: كيف يمكن الحد من انبعاث مستودعات الجليد التي تهدد العالم بالغرق بسبب ارتفاع درجات الحرارة المتزايدة المرتبطة بزيادة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي؟

السؤال الثامن:

أكمل الخريطة المفاهيمية الآتية التي توضح غازات ناتجة عن حرق الوقود الأحفوري والظواهر الناتجة منها.



السؤال التاسع:

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

السؤال العاشر:

**أفارن** بين طاقة الرياح والطاقة الشمسية من حيث: أماكن استخدامها، والضجيج الناتج عن استخدام كل منها.

السؤال الحادي عشر:

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

السؤال الثاني عشر:

**أستنتاج:** ماذا يحدث إذا استمرت عملية استنزاف الأوزون ضمن طبقة السترatosفير؟

السؤال الثالث عشر:

أكتب معادلات تكون غاز الأوزون واستهلاكه.

# الوحدة

## الترابيب الجيولوجية

### Geological Structures

2

قال تعالى:

﴿وَالْأَرْضُ ذَاتُ الصَّدَعِ﴾

(سورة الطارق : الآية 12)

#### أتأمل الصورة

الأصل في الصخور الرسوبيّة أن تتوسّع في الطبيعة على شكل طبقات أفقيّة، إلا أنها قد تتعرّض لقوى تشوّهها، ما يؤدي إلى ميلها أو طيّها أو كسرها.

فما المقصود بتشوه الصخور؟ وماذا نسمّي التشوّهات التي تحدث للصخور نتيجة تعرّضها لقوى معينة؟

## الفكرة العامة:

تُتّبع التراكيب الجيولوجية عند تعرّض صخور القشرة الأرضية لقوى مختلفة. ومن الأمثلة على هذه التراكيب: الصدوع، والطيات.

### الدرس الأول: تشوه الصخور

**الفكرة الرئيسية:** تعرّض صخور القشرة الأرضية إلى قوى قد تغيّر من شكلها أو حجمها أو كليهما معًا، ويعتمد هذا التغيير على عوامل عدّة، منها: نوع الإجهاد.

### الدرس الثاني: الصدوع

**الفكرة الرئيسية:** تظهر الصدوع في صخور القشرة الأرضية بأشكال مختلفة؛ اعتمادًا على ميل مستوى الصدع، والحركة النسبية بين الكتلتين الصخريتين على جانبي مستوى الصدع.

### الدرس الثالث: الطيات

**الفكرة الرئيسية:** تُتّبع الطيات من تعرّض الطبقات الصخرية إلى إجهادات، منها إجهاد الضغط، فتتقوس نحو الأعلى، أو نحو الأسفل. وتُصنّف الطيات اعتمادًا على أسس عدّة منها: اتجاه التقوس، وزاوية ميل المستوى المحوري.

# تجربة استهلاك الله

## كيف تؤثر القوى المختلفة في صخور القشرة الأرضية؟

تتعدد الصخور في الطبيعة أشكالاً مختلفة، إلا أنها لا تبقى على حالها، إذ تتغير بفعل القوى المختلفة التي تتعرض لها.  
المواد والأدوات: عصا خشبية رقيقة، معجون أطفال (صلصال).

### إرشادات السلامة:

- الحذر في أثناء كسر العصا عند تنفيذ خطوات التجربة.

### خطوات العمل:

- 1 أمسك العصا الخشبية، ثم أثني طفيها نحو الداخل قليلاً وباطف، ثم أتركها، وأدون ملاحظاتي.
- 2 أمسك العصا الخشبية، ثم أثني طفيها نحو الداخل بقوة وبسرعة أكبر، وأدون ملاحظاتي.
- 3 أشكّل أسطوانة من قطعة المعجون بسمك العصا الخشبية الرقيقة وطولها.
- 4 أكرر الخطوتين السابقتين (1، 2) باستخدام أسطوانة المعجون، ثم أدون ملاحظاتي.

### التحليل والاستنتاج:

1. **أقارب** بين التغيير الذي حصل على شكل العصا الخشبية الرقيقة عند دفع طفيها باتجاهين متوازيين نحو الداخل في الخطوتين (1، 2).
2. **استنتاج** نوع القوة التي أثّرت بها في العصا الخشبية وأسطوانة المعجون.
3. **أفسر** سبب اختلاف سلوك العصا الخشبية، وسلوك أسطوانة المعجون بالرغم من تشابه نوع القوة المؤثرة فيهما.
4. **أتوقع**: هل تسلك صخور القشرة الأرضية المختلفة في الطبيعة سلوك العصا الخشبية الرقيقة، وسلوك أسطوانة المعجون عندما تتأثر بالقوى المختلفة؟

# تشوه الصخور

Deformation of Rocks

1

الدرس

## التركيبات الجيولوجية Geological Structures

تعلّمتُ في صفوف سابقة أن صخور القشرة الأرضية بأنواعها المختلفة تتوضّع بأشكال مختلفة معينة عند تكوّنها، إلا أنها مع مرور الزمن قد تتعرّض لقوى خارجية، أو قوى داخلية تغيّر من شكلها أو حجمها أو الاثنين معاً، ويسّمى هذا التغيّر الذي يحدث على الصخور وهي في الحالة الصلبة **تشوه Deformation**، وتسمى المظاهر أو التشوهات التي تحدث في الصخور نتيجة تلك القوى **التركيبات الجيولوجية Geological Structures**.  
أنظر الشكل (1) الذي يمثل أحد التركيبات الجيولوجية.

ولكن على ماذا يعتمد تشوه الصخور، وتكون التركيبات الجيولوجية المختلفة؟

الشكل (1): أحد التركيبات الجيولوجية الناتجة من تشوه الصخور الرسوبيّة غرب قرية دلاعة جنوب الأردن.  
أصنف التركيب الجيولوجي في الصخور الرسوبيّة.

الفكرة الرئيسية:

تتعرّض صخور القشرة الأرضية إلى قوى قد تغيّر من شكلها أو حجمها أو كليهما معاً، ويعتمد هذا التغيّر على عوامل عدّة منها: نوع الإجهاد.

نتائج التعلم:

- أوضح المقصود بتشوه الصخور، والتركيبات الجيولوجية.
- أصف العلاقة بين الإجهاد والمطاواعة لمادة هشة وأخرى لدنة.
- أميّز بين أنواع الإجهادات الثلاثة.
- أربط بين نوع التركيب الجيولوجي ونوع الإجهاد الذي أثّر فيه.

المفاهيم والمصطلحات:

Deformation	تشوه
Geological Structures	التركيبات الجيولوجية
Stress	الإجهاد
Strain	المطاواعة
Brittle Deformation	تشوه الهش
Plastic Deformation	تشوه اللدن

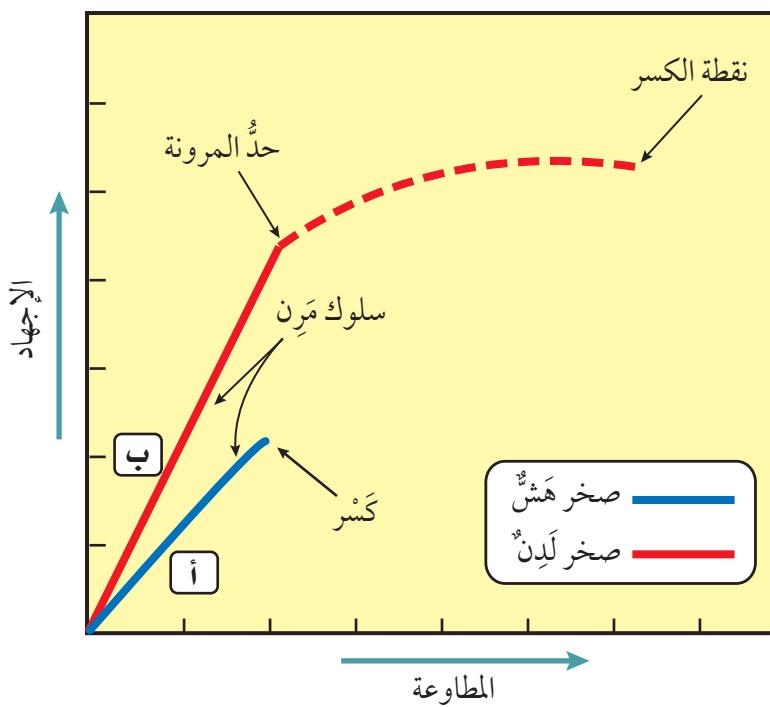
### الربط بالفيزياء

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

تُسمى القوّة المؤثرة في وحدة المساحة من الصّخور الإجهاد Stress، ويُقاس الإجهاد بوحدة ( $N/m^2$ )، وما يحدث للصّخور من استجابة له كالتغيّر في شكلها أو حجمها أو كليهما معًا تُسمى المطأوعة Strain. وتعتمد مطأوعة الصّخور على مقدار الإجهاد المؤثّر فيها وعلى نوعه، وتختلف في الطبيعة تبعًا إلى نوعها؛ إذ تسلّك الصّخور الهشّة والصّخور اللّينة عند تعرّضهما لاجهاد أقلّ من حدّ المرونة - وهو الحدّ الذي لا يمكن للصّخور بعده أن تعود إلى وضعها الأصلي الذي كانت عليه قبل تأثيرها بالإجهاد - سلوكًا مرنًا؛ أي تعود إلى وضعها الأصلي الذي كانت عليه عند زوال الإجهاد. وعند زيادة الإجهاد على الصّخور الهشّة على حدّ المرونة، فإنّها تنكسر. أما في الصّخور اللّينة، فإنّ زيادة الإجهاد المؤثّر فيها عن حدّ المرونة يؤدي إلى تغيير شكلها وحجمها من غير كسرها، وعند زيادة الإجهاد فيها حداً يتجاوز نقطة الكسر تنكسر، انظر الشكل (2) الذي يوضح سلوك الصّخر الهشّ والصّخر اللّين، فالصّخر الهشّ (أ) والصّخر اللّين (ب) يسلّكان سلوكًا مرنًا عند زيادة الإجهاد المؤثّر فيهما قبل حدّ المرونة. أما بعد هذا الحدّ، فإن الصّخر (أ) ينكسر، والصّخر (ب) يتشوّه، ثم بزيادة الإجهاد عليه ينكسر.

الشكل (2): الإجهاد والمطأوعة في الصّخور الهشّة واللّينة.

أبيّن ماذا يحدث للصّخور اللّينة بعد استمرار تعرّضها للإجهاد الذي يزيد على حدّ المرونة.



## العوامل التي يعتمد عليها تشوّه الصخور

### Factors Affecting Deformation of Rocks

تؤثر مجموعة من العوامل في استجابة الصخور للإجهادات المختلفة المؤثرة فيها وتشوهها، ما يؤدي إلى اختلاف التراكيب الجيولوجية الناتجة منها، وهي: نوع الصخور، ونوع الإجهاد، ودرجة الحرارة، والزمن.

### أنواع الصخور Types of Rocks

عرفت سابقاً أن الصخور في الطبيعة تختلف في مطاوعتها، فقد تكون صخوراً هشّة، أو صخوراً لينة، وأن الصخور الهشّة تنكسر عند زيادة الإجهاد المؤثّر فيها على حد المرونة، ويُسمى تشوّه الصخور الهشّة عند كسرها **التشوّه الهشّ**

**Brittle Deformation**. ومن الأمثلة عليها: صخور البازلت، وصخور الصوان. أنظر الشكل (3). أما الصخور اللينة، فتشتّت عند زيادة الإجهاد المؤثّر فيها على حد المرونة، ويُسمى تشوّه الصخور اللينة **التشوّه اللين** **Plastic Deformation**، ومن الأمثلة عليها: الصخور الطينية، وصخور الغبار. أنظر الشكل (4).

الشكل (4): صخور رسوبية يظهر فيها التشوّه اللين؛ نتيجة زيادة الإجهاد المؤثّر فيها على حد المرونة.



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

**أفخر** متى يمكن أن تعود الصخور إلى وضعها الأصلي الذي كانت عليه بعد زوال الإجهاد المؤثّر فيها؟



## أنواع الإجهاد Types of Stress

تختلف التراكيب الجيولوجية الناتجة من مطاوعة الصخور الهشة والصخور اللينة باختلاف نوع الإجهاد المؤثر فيها، إذ إن للإجهاد ثلاثة أنواع؛ اعتماداً على اتجاه القوة المؤثرة على الصخر، وهي: الضغط، والشد، والقص. أنظر المخطط المفاهيمي الوارد في الشكل (5) الذي يبيّن أنواعاً مختلفة من الإجهاد.



الشكل (5): أنواع الإجهاد.

أقارن بين إجهاد الضغط، وإجهاد القص من حيث اتجاه القوة المؤثرة في الصخور.

ولتعرفُ أثر أنواع الإجهاد في الصّخور الْهَشَّة، والصّخور الْلَّدِنَة أńقذ النشاط الآتي:

## نشاط

### أثر أنواع الإجهاد في الصّخور المختلفة

يوضح الجدول الآتي أثر أنواع الإجهاد المختلفة في كلّ من: الصّخور الْهَشَّة، والصّخور الْلَّدِنَة. أدرس الأشكال في كلّ منها، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليها:

قصّ	شد	ضغط	نوع الإجهاد
 ع كسر بسبب القصّ	 ص كسر بسبب الشد	 س كسر بسبب الضغط	الصّخور الْهَشَّة
 ن طيّ بسبب القصّ	 م اتساع وتقليل السُّمُك في الوسط وانفاس الأطراف في الصّخور	 ل طيّ بسبب الضغط	الصّخور الْلَّدِنَة

### التّحليل والاستنتاج:

- أحدّد نوع الإجهاد المؤثّر في الصّخور الْهَشَّة (س، ص).
- أوضح تأثير أنواع الإجهاد في الصّخور الْهَشَّة.
- أصنف** أنواع الإجهاد المختلفة في الصّخور الْلَّدِنَة (ل، م، ن).
- أوضح تأثير إجهاد الشد في كلّ من: الصّخور الْهَشَّة، والصّخور الْلَّدِنَة.
- أتوقع:** ماذا تسمّى التراكيب الجيولوجية الناتجة من إجهاد الضغط في الصّخور الْهَشَّة والصّخور الْلَّدِنَة؟



أعمل فيلماً قصيراً

باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضح أثر الإجهادات المختلفة في الصخور الهشة واللبدنة، وأحرص على استخدام خاصية الرذ الصوقي فيه لإضافة الشرح المناسب، ثم أشاره زمائي/زميالي في الصف.

الشكل (6): تسلك صخور الصوان الهشة سلوكاً لدينا؛ نتيجة تأثيرها بعامل درجة الحرارة.

أحدّد نوع التركيب الجيولوجي في صخور الصوان.

توصلت من النشاط السابق إلى أن نوع الإجهاد يحدّد نوع التركيب الجيولوجي الناتج منه، فالصخور الهشة عندما تتعرّض للإجهادات تنكسر بحسب نوع الإجهاد المؤثّر فيها، وتسمى التراكيب الناتجة من الإجهادات المختلفة المؤثّرة في الصخور الهشة الصدوع. أما الصخور اللبدنة عندما تتعرّض للإجهادات، فإنها تتشقّق أو تقل سماكتها في الوسط بحسب نوع الإجهاد المؤثّر فيها، وتسمى التراكيب الجيولوجية الناتجة من إجهادي الضغط والقص المؤثّرين في الصخور اللبدنة الطيات.

#### درجة الحرارة Temperature

تسهم درجة الحرارة في تعديل سلوك الصخور الهشة؛ ليصبح سلوكاً لدينا. فصخور القشرة الأرضية التي توجد بالقرب من سطح الأرض يتغيّر سلوكها فيصبح سلوكاً لدينا إذا كانت في باطن الأرض؛ لارتفاع درجة الحرارة بزيادة العمق بفعل الممّال الحراري الأرضي. انظر الشكل (6).

#### الزّمن Time

يعدّل الزّمن سلوك الصخور الهشة ليصبح سلوكاً لدينا؛ بسبب بقاء الصخور مددّاً زمنية طويلة تحت تأثير الإجهاد، دون حد المرونة.

**أتحقق:** أيّن أثر درجة الحرارة في سلوك الصخور الهشة.



# مراجعة الدرس

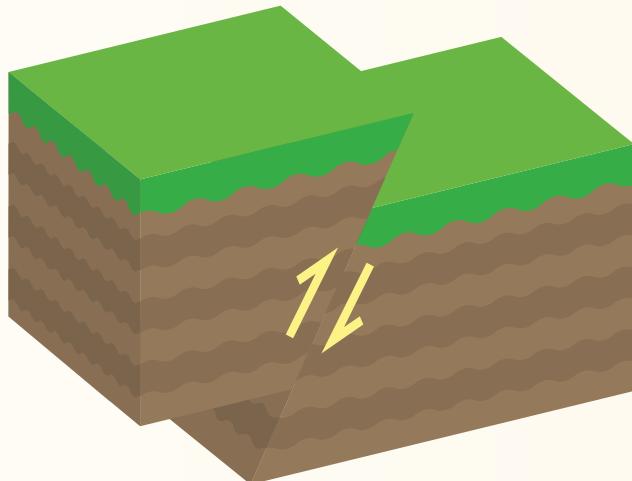
1. الفكرة الرئيسية: أحدد العوامل التي يعتمد عليها تشوّه الصخور.

2. أوضح المقصود بكل من: الإجهاد، والمطاوعة، والتراكيب الجيولوجية.

3. **أصف** أثر إجهاد الشد في الصخور اللينة.

4. أوضح تأثير درجة الحرارة في تعديل سلوك الصخور الهشة.

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



أ. **استنتج** نوع الإجهاد الذي أثّر في الصخور.

ب. أحدد نوع التشوّه في الصخور؛ نتيجة تأثّرها بالإجهاد الواقع عليها.

ج. أحدد: ما نوع التركيب الجيولوجي 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.

ج. 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.

ج. 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 مُدّاً زمنية طويلة.

ج. تتجاوز حد المرونة أثناء تعرضها للإجهاد.

د . تتجاوز نقطة الكسر.

4. أي من الآتية يحدث للصخور اللَّدِنَة 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.

ج. 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.

ج. نوع الصخر

د . عمر الصخر.

### مفهوم الصَّدَع Concept of Fault

تعلَّمْتُ سابقاً أن الطبقات الصَّخريَّة قد تعرَّض إلى إجهادات مختلفة تسبِّب تشوُّهها، ويُنْتَج من هذه الإجهادات تراكيب جيولوجية مختلفة. وتعَدُّ الصُّدُوع أحد هذه التراكيب الجيولوجية. فما المقصود بالصُّدُوع؟ وما أنواعها؟

يُعرَّف الصَّدَع الصَّدَع Fault بأنه كسر يحدث في صخور القشرة الأرضية، ويُنْتَج منه كُتلتان صخريَّتان تتحرَّكَان بصورة موازية لسطح الكسر. وقد تتحرَّك الكُتلتان في الصُّدُوع على جانبي الكسر حرَّكة رأسية أو أفقية، وغالباً ما تبقى الكُتلتان متلاِمتَين. انظر الشكل (7).

الشكل (7): في الصُّدُوع تتحرَّك الكُتل الصخريَّة بصورة موازية لسطح الكسر.



الفكرة الرئيسية:

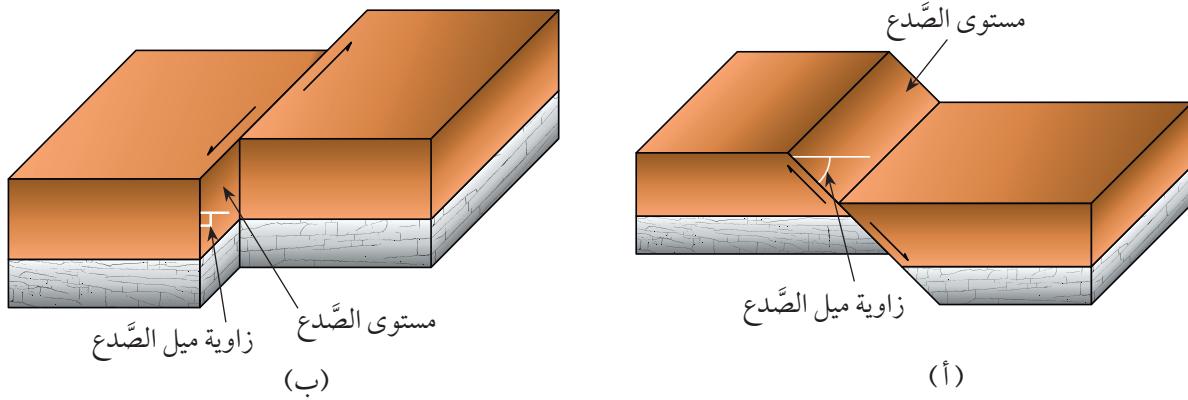
تظهر الصُّدُوع في صخور القشرة الأرضية بأشكال مختلفة؛ اعتماداً على: ميل مستوى الصَّدَع، والحركة النسبيَّة بين الكُتلتين الصَّخريَّتين على جانبي مستوى الصَّدَع.

نتائج التعلم:

- أوضح المقصود بالصَّدَع.
- أمِيز أنواع الصُّدُوع المختلفة.
- أربط بين نوع الصَّدَع ونوع الإجهاد المتبِّب في نشأته.
- أوضح المقصود بأنظمة الصُّدُوع.

المفاهيم والمصطلحات:

Fault	الصَّدَع
Fault Plane	مستوى الصَّدَع
Hanging Wall	الجدار المعلق
Foot Wall	الجدار القدم
Normal Faults	الصُّدُوع العاديَّة
Reverse Faults	الصُّدُوع العكسيَّة
Strike – Slip Faults	الصُّدُوع الجانبيَّة
Step Faults	الصُّدُوع الدرجية
Grabens	الأحواض الخسفيَّة
Horsts	الكُتل الاندفاعيَّة



- ▲ الشكل (8):
- (أ): مستوى الصدع يصنع زاوية أقل من  $90^{\circ}$  مع المستوى الأفقي.
  - (ب): مستوى الصدع يصنع زاوية مقدارها  $90^{\circ}$  مع المستوى الأفقي.

لاحظ الجيولوجيون اختلاف الأشكال التي تظهر فيها الصدوع في صخور القشرة الأرضية. ولتسهيل دراسة الصدوع وتمييزها في الميدان عملوا على تحديد أجزاء لها.

### أجزاء الصدع

• **مستوى الصدع Fault Plane** هو السطح الذي تحرّك عليه الكتل الصخرية. وقد يكون مستوى الصدع مائلًا عندما تكون زاوية الميل (ميل الصدع) التي يصنعها مع المستوى الأفقي أكبر من صفر وأقل من  $90^{\circ}$ , أو قد يكون مستوى الصدع رأسياً عندما تكون زاوية الميل التي يصنعها مع المستوى الأفقي تساوي  $90^{\circ}$ . انظر الشكل (8/أ، ب).

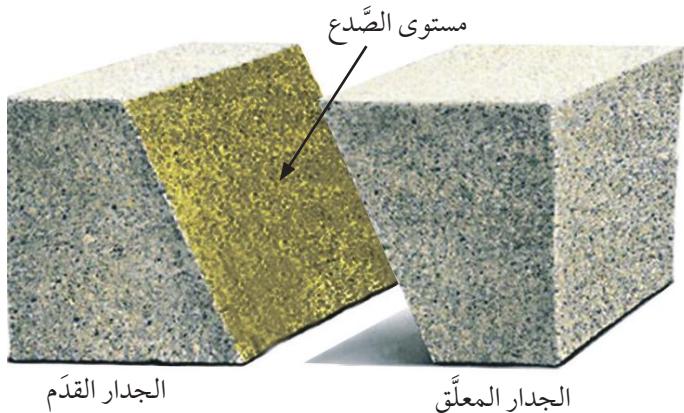
• **الجدار المعلق Hanging Wall** هو الكتلة الصخرية التي تقع فوق مستوى الصدع المائل.

• **الجدار القدم Foot Wall** هو الكتلة الصخرية التي تقع أسفل مستوى الصدع المائل.

انظر الشكل (9) الذي يوضح مستوى الصدع، والجدار المعلق، والجدار القدم.

- الشكل (9): الجدار المعلق والجدار القدم.

أتوّقّع سبب تسمية كلّ من: الجدار المعلق، والجدار القدم بهذا الاسم.



## تصنيف الصُّدوع Faults Classification

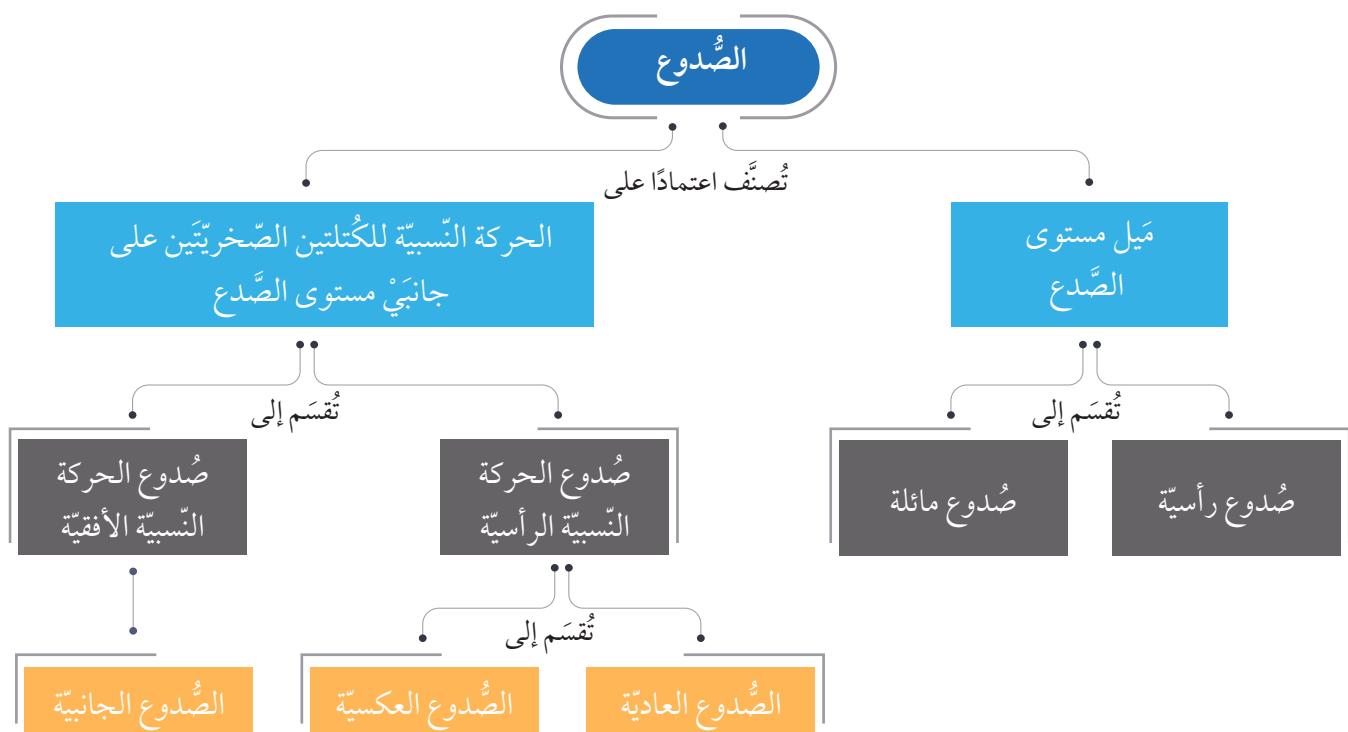
تُصنَّف الصُّدوع اعتماداً على مَيْل مَسْتَوِي الصَّدَع إِلَى: صُدُوع رَأْسِيَّة يَكُون فِيهَا مَسْتَوِي الصَّدَع رَأْسِيًّا، وصُدُوع مَائِلَة يَكُون فِيهَا مَسْتَوِي الصَّدَع مَائِلًا.

وُتُصنَّف الصُّدوع أَيْضًا اعتماداً على الْحَرْكَة النِّسْبِيَّة لِلْكُلْتَلَتِين الصَّخْرِيَّتَيْن عَلَى جَانِبِيِّ مَسْتَوِي الصَّدَع إِلَى: صُدُوع الْحَرْكَة النِّسْبِيَّة الرَّأْسِيَّة التِّي تَتَحرَّك فِيهَا الْكُلْتَلَتِين الصَّخْرِيَّتَيْن حَرْكَة نِسْبِيَّة لِلْأَعْلَى، وَلِلْأَسْفَل عَلَى مَسْتَوِي الصَّدَع، وصُدُوع الْحَرْكَة النِّسْبِيَّة الْأَفْقِيَّة التِّي تَتَحرَّك فِيهَا الْكُلْتَلَتِين الصَّخْرِيَّتَيْن حَرْكَة نِسْبِيَّة جَانِبِيَّة أَفْقِيَّة عَلَى مَسْتَوِي الصَّدَع.

تُقْسَم صُدُوع الْحَرْكَة النِّسْبِيَّة الرَّأْسِيَّة إِلَى نَوْعَيْن: الصُّدُوع العَادِيَّة، وَالصُّدُوع الْعَكْسِيَّة. أَمَّا صُدُوع الْحَرْكَة النِّسْبِيَّة الْأَفْقِيَّة، فَتُسَمَّى الصُّدُوع الْجَانِبِيَّة. أَنْظُر المَخْطَط المفاهيمي الوارد في الشَّكْل (10).

**أَفْهَم** هل يمكن تمييز الجدار المعلق، والجدار القائم في الصُّدُوع الرَّأْسِيَّة؟ لماذا؟

الشَّكْل (10): تَصْنِيف الصُّدُوع اعتماداً على مَيْل مَسْتَوِي الصَّدَع، وَالْحَرْكَة النِّسْبِيَّة لِلْكُلْتَلَتِين الصَّخْرِيَّتَيْن عَلَى جَانِبِيِّ مَسْتَوِي الصَّدَع.

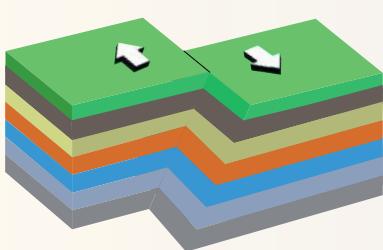


ولتعرف الصدوع الناتجة من الحركة النسبية للكتلتين الصخريتين على جانبي مستوى الصدع، أنفذ النشاط الآتي:

## نشاط

### صدوع الحركة النسبية للكتلتين الصخريتين على جانبي مستوى الصدع

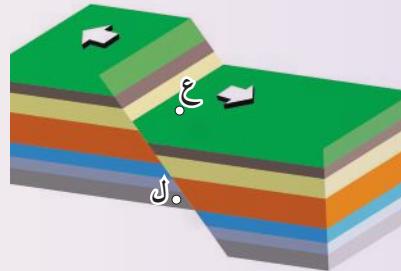
تتحرّك الكتلتان الصخريتان على جانبي مستوى الصدع إما حركة نسبية رأسية، أو حركة نسبية أفقيّة، وتحتّلّف أنواع الصدوع تبعًا لاختلاف هاتين الحركتين. أدرس الأشكال الآتية التي تمثّل هذه الأنواع المختلفة من الصدوع، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها:



صَدْعٌ جانبيٌّ



صَدْعٌ عكسيٌّ



صَدْعٌ عاديٌّ

#### التّحليل والاستنتاج:

- أبيّن نوع الحركة النسبية للكتلتين الصخريتين على جانبي مستوى الصدع في كل من: الصَّدْع العادي، والصَّدْع العكسي، والصَّدْع الجانبي.
- أصنف الصَّدْع العادي والصَّدْع العكسي من حيث ميل مستوى الصدع.
- أحدّد مستوى الصَّدْع، والجدار المعلق، والجدار القدم لكل من: الصَّدْع العادي، والصَّدْع العكسي.
- أقارن بين الصَّدْع العادي والصَّدْع العكسي من حيث حركة الجدار المعلق نسبة إلى الجدار القدم.
- أحدّد نوع الإجهاد المؤثّر في الصخور في الأنواع الثلاثة من الصدوع.
- اللاحظ:** هل تكرّر الطبقات التي يقطعها الخط الرأسي الذي أرسمه من النقطة (ع) إلى النقطة (ل) في كل من الصَّدْعين العادي والعكسي؟

يتبيّن من النشاط السابق أن الصُّدوع العاديّة Normal Faults والصُّدوع

العكسية Reverse Faults هي صُدوع ناتجة من الحركة الرأسية للكتلتين

الصخريّتين على جانبي مستوى الصُّدوع، وتُعدُّ صُدوعاً مائلة؛ لأن مستوى

الشكل (11): أحد الصُّدوع العكسية على طريق عمان التنموي المعروف بشارع الـ100.

الصُّدوع فيها مائل، إذ يتحرّك الجدار المعلق إلى الأسفل نسبة إلى الجدار

القدم في الصُّدوع العاديّة، في حين يتحرّك الجدار المعلق إلى الأعلى نسبة

إلى الجدار القدم في الصُّدوع العكسية، أنظر الشكل (11) الذي يبيّن صدعاً

عكسياً في عمان. أما الصُّدوع الجانبيّة Strike – Slip Faults، فتنتج من

الحركة الجانبيّة الأفقيّة للكتلتين الصخريّتين على جانبي مستوى الصُّدوع،

ويكون مستوى الصُّدوع فيها رأسياً، وأحياناً قد يكون مائلاً، أنظر الشكل

(12). ومن أشهر الصُّدوع الجانبيّة في الأردن: صدع البحر الميت التحويلي.

ولتعرف أوجُه المقارنة بين أنواع الصُّدوع المختلفة أنظر الجدول (1).

**أتحقق:** أقارن بين الصُّدوع العاديّ والصُّدوع العكسية من حيث نوع الإجهاد المسبّب له.

الشكل (12): صدع جانبيّ مستوى الصُّدوع فيه رأسياً.

الجدول (1): مقارنة بين الصُّدوع العاديّ والصُّدوع العكسية والصُّدوع الجانبيّة.

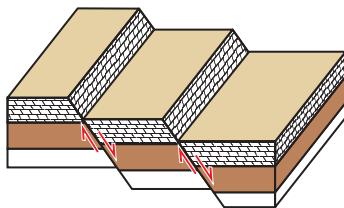
الصُّدوع الجانبيّ	الصُّدوع العكسية	الصُّدوع العاديّ	أوجُه المقارنة
إجهاد قصّ.	إجهاد ضغط.	إجهاد شدّ.	نوع الإجهاد المسبّب.
أفقية.	رأسية.	راسية.	نوع الحركة النسبيّة على جانبيّ مستوى الصُّدوع.
يميل بزاوية أكبر من صفرٍ وأقل من 90°.	يميل بزاوية أكبر من صفرٍ وأقل من 90°.	يميل بزاوية أكبر من صفرٍ وأقل من 90°.	ميل مستوى الصُّدوع عن المستوى الأفقيّ.
تحرّك الكتلتين الصخريّتين بصورة أفقية نسبة إلى بعضها بعضًا.	يتحرّك الجدار المعلق إلى الأعلى نسبة إلى الجدار القدم.	يتحرّك الجدار المعلق إلى الأسفل نسبة إلى الجدار القدم.	اتّجاه حركة الكتلتين الصخريّتين على جانبيّ مستوى الصُّدوع.
لا يحدث تكرار للطبقات الصخريّة فيه رأسياً مع العُمق.	تتكرّر الطبقات الصخريّة فيه رأسياً مع العُمق.	لا يحدث تكرار للطبقات الصخريّة فيه رأسياً مع العُمق.	نكرار الطبقات فيها مع العُمق.

60

## Fault Systems



أعمل فيلماً قصيراً باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضح أنواع الصدوع المختلفة، وأحرص على استخدام خاصية الرد الصوتي فيه؛ لإضافة الشروح المناسبة، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.



الشكل (13): الصدوع الدرجية.

✓ **تحقق:** أصنف الصدوع المكونة لكل من الصدوع الدرجية، والكتل الاندفاعية.

عندما تعرّض صخور القشرة الأرضية لقوى شدّ؛ نتيجة لحركة الصفائح التكتونية، تتشكل فيها مجموعة من الصدوع العاديّة، وتكون ما يُسمى بأنظمة الصدوع. وتعد الصدوع الدرجية، والأحواض الخسفيّة، والكتل الاندفاعية أمثلةً عليها. فكيف يتشكّل كل منها؟

### الصدوع الدرجية Step Faults

تشكل الصدوع الدرجية Step Faults عندما تعرّض صخور القشرة الأرضية لقوى شدّ تؤدي إلى إحداث مجموعة من الصدوع العاديّة المتوازية، وتأخذ الكتل الصخريّة فيها شكل الدرج، انظر الشكل (13). ويزخر الأردن بمجموعة من الصدوع العاديّة المتوازية في مناطق عدّة، من أمثلتها: الصدوع العاديّة المتوازية في وادي الموحِب.

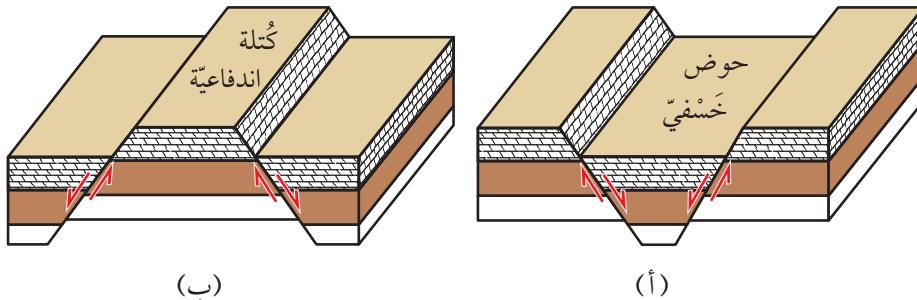
### الأحواض الخسفية Grabens

تشكل الأحواض الخسفية Grabens عندما تعرّض صخور القشرة الأرضية لقوى شدّ تؤدي إلى إحداث صدعين عاديّين متقابلين، تهبط الكتل الصخريّة بينهما للأسفل، بحيث يشتراكان في الجدار المعلق، انظر الشكل (14/أ)، ويُعدّ غور الأردن مثلاً على الأحواض الخسفية.

### الكتل الاندفاعية Horsts

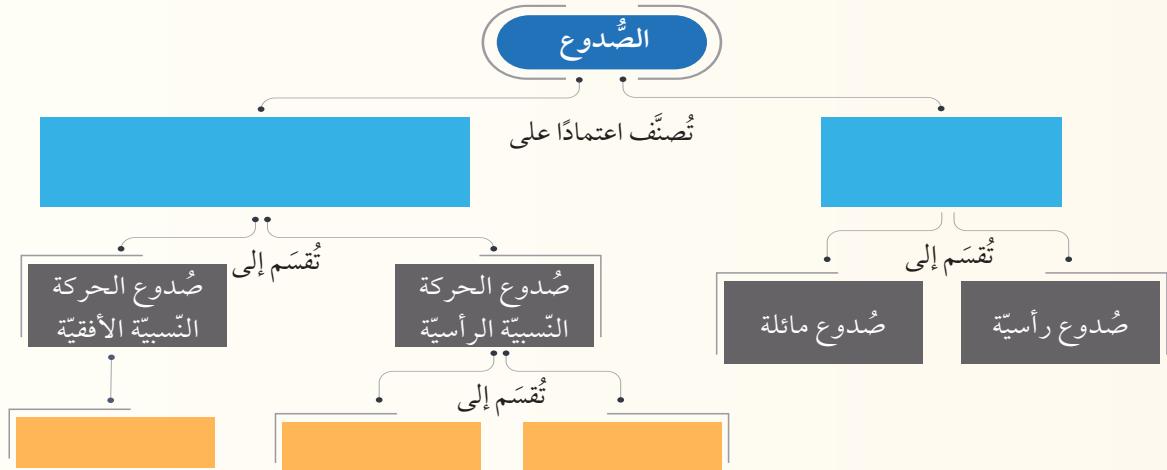
تشكل الكتل الاندفاعية Horsts عندما تعرّض صخور القشرة الأرضية لقوى شدّ تؤدي إلى إحداث صدعين عاديّين متقابلين، تبرز الكتل الصخريّة بينهما للأعلى عندما تهبط الكتل الصخريّة على جانبيها للأسفل، بحيث يشتراكان في الجدار القَدَم. انظر الشكل (14/ب).

- الشكل (14):  
(أ): حوض خسفيّ.  
(ب): كتلة اندفاعية.



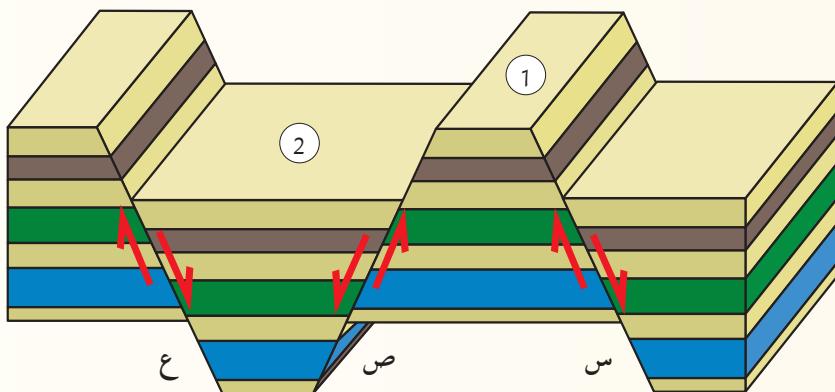
# مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: أكمل المخطط المفاهيمي الآتي بما يناسبه من كلمات:



2. أوضح المقصود بكل من: الصَّدُوع، والجدار القدَّم، والصُّدُوع الدرجية.

3. أدرس الشكل الآتي الذي يوضح ثلاثة صُدُوع (س، ص، ع) والكتلتين الصَّخريَّتين (1، 2)، ثم أحجب عن الأسئلة التي تليه:



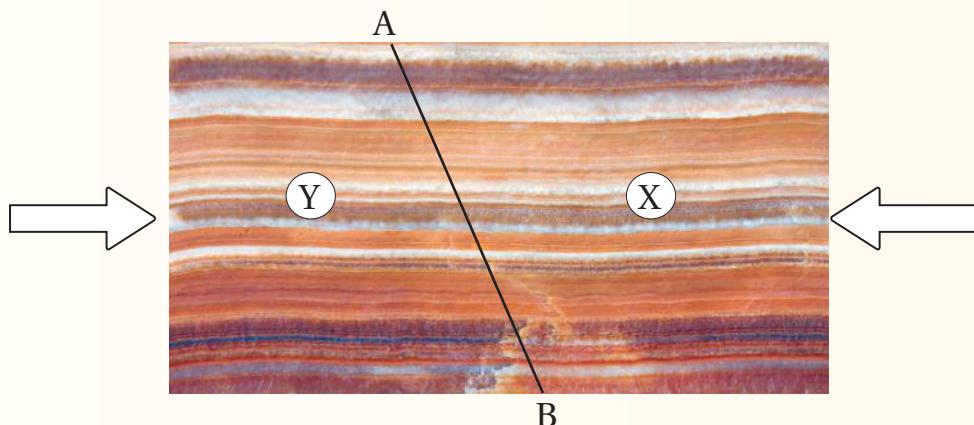
أ. أحدد على الشكل للصَّدُوع (س). كلاً من: الجدار المعلق، والجدار القدَّم، ومستوى الصَّدُوع.

ب. **استنتج** نوع كل من الصُّدُوع (س، ص، ع).

ج. **أصف** العلاقة بين الصَّدعيَّن (ص، ع).

د. **اذكر**: ماذا تُسمى الكُتلتان الصَّخريَّتان (1، 2)؟

4. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي :  
يمثل الشكل الآتي تابعاً طبياً يتعرض إلى قوى ضغط بحسب الأسماء، أدرس الشكل، ثم أجيب عن الأسئلة (1-5) :



1. إذا علمت أن الخط A-B يمثل السطح الذي سيحدث فيه الكسر وتحرك عليه الكتل الصخرية X و Y ، فإن التركيب الذي سيتتج هو:
- ب. صدع عكسي.
  - أ. صدع عادي.
  - د. صدع خسفي.
  - ج. صدع جانبي.

2. ماذا تمثل كل من الكتلة الصخرية X و الكتلة الصخرية Y على الترتيب؟
- ب. الجدار القدم، والجدار المعلق.
  - أ. مستوى الصدع، والجدار القدم.
  - د. الجدار المعلق، والجدار القدم.
  - ج. الجدار القدم، ومستوى الصدع.

3. إذا تعرض التابع الطبقي إلى إجهاد الضغط فـإن التركيب الجيولوجي الذي سيتتج هو:
- ب. صدع عكسي.
  - أ. صدع عادي.
  - د. طيبة.
  - ج. صدع جانبي.

4. إذا تعرض التابع الطبقي إلى إجهاد الضغط، في أعماق الأرض، فإن التركيب الجيولوجي الذي سيتتج هو:
- ب. صدع عكسي.
  - أ. صدع عادي.
  - د. طيبة.
  - ج. صدع جانبي.

5. عندما يتحرك الجدار المعلق إلى الأسفل نسبة إلى الجدار القدم، فإن الصدع الناتج هو صدع:
- ب. عكسي.
  - أ. عادي.
  - د. تحويلي.
  - ج. جانبي.

## مفهوم الطيّة Concept of Fold

تُعرَف الطيّات بأنها أحد التراكيب الجيولوجية التي تنشأ في الصخور الْلِّدنة، أو في الصخور الْهشة التي تتعرّض لدرجات حرارة مرتفعة عند وجودها على أعمق كبيرة في باطن الأرض. إذ تتشكل الطبقات الصخرية (مثل: الصخور الروسية، وبعض الصخور البركانية)، وتتقوس دون أن تتكسر، وتميل باتجاهين متراكبين نتيجة تعرّضها غالباً لإجهاد الضغط، أنظر الشكل (15). وقد تكون الطيّات صغيرة الحجم يمكن مشاهدتها في الطبقات الصخرية وتتبع أجزائها كاملة، وقد تكون ضخمة لا يمكن مشاهدتها وتتبع أجزائها كاملة، إذ نرى أجزاءً منها فقط. ولدراسة الطيّات في الصخور وتتبعها لا بدّ من معرفة أجزائها.

فما أجزاء الطيّة؟ وكيف يصنّفها الجيولوجيون؟

الشكل (15): طبقات صخرية مقوسة نتيجة تعرّضها لإجهاد ضغط.  
أصف اتجاه التقوس في الطبقات الصخرية.

القلادة الرئيسية:

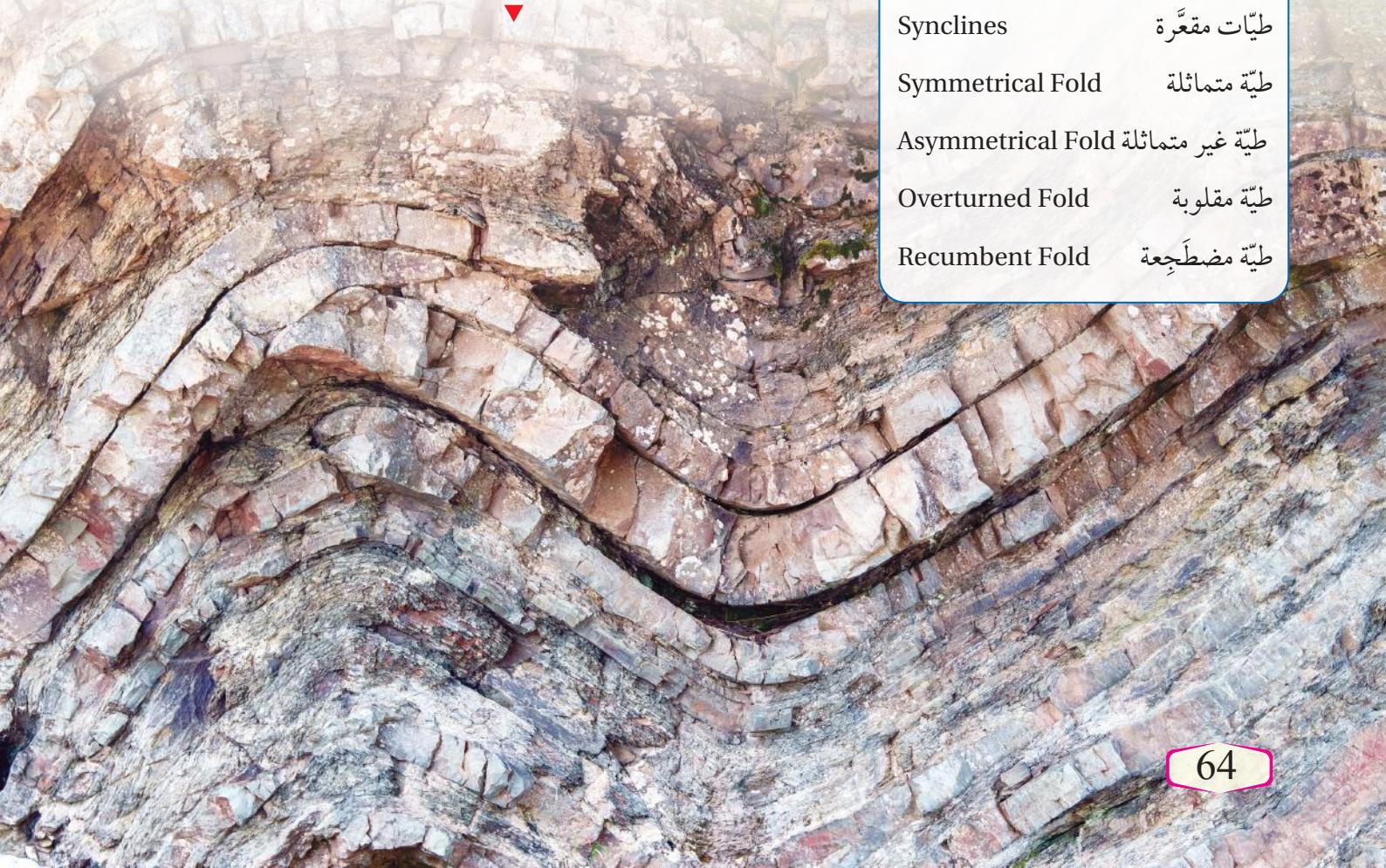
تنتج الطيّات من تعرّض الطبقات الصخرية لإجهاد الضغط، فستقوس نحو الأعلى، أو نحو الأسفل، وتُصنّف الطيّات اعتماداً على أسس عدّة ، منها: اتجاه التقوس، وزاوية ميل المستوى المحوري.

اتجاه التعلم:

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

المفاهيم والمصطلحان:

Anticlines	طيّات محدبة
Synclines	طيّات مقعرة
Symmetrical Fold	طيّة متماثلة
Asymmetrical Fold	طيّة غير متماثلة
Overted Fold	طيّة مقلوبة
Recumbent Fold	طيّة مضطّجعة

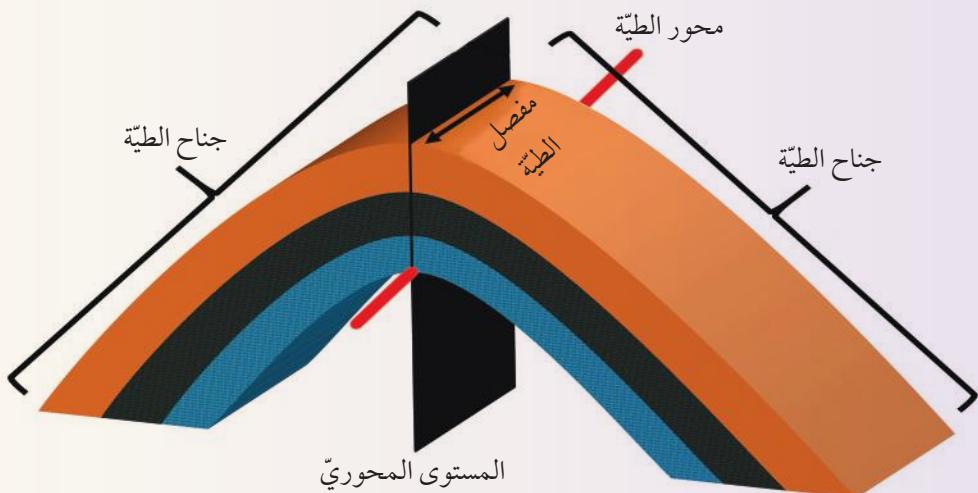


ولتعرف أجزاء الطية أنفذ النشاط الآتي:

## نشاط

### أجزاء الطية

تختلف الطيات في أشكالها وحجومها، ولكن مهما تعددت هذه الأشكال والحجوم، فإنها تتشابه في أجزائها.  
أدرس الشكل الآتي، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



#### التّحليل والاستنتاج:

1. أحدد أجزاء الطية المبينة في الشكل.
2. أذكر: كم جناحاً للطية؟
3. أذكر: ماذا يسمى الخط الذي يصل بين النقاط التي تقع على أكبر تكور (انحناء) للطية؟
4. **أصف:** كيف يقسم المستوى المحوري الطية؟
5. **أصف** اتجاه تقوس الطية.
6. أرسم على الشكل سهماً يبيّن اتجاه ميل جناحي الطية.
7. **اقترح** اسمًا للطية المبينة في الشكل اعتماداً على اتجاه تقوس الطبقات الصخرية.

## أجزاء الطية Fold Parts

✓ أتحقق: أصف أجزاء الطية.

تتكون الطية من مجموعة من الأجزاء، أهمها:

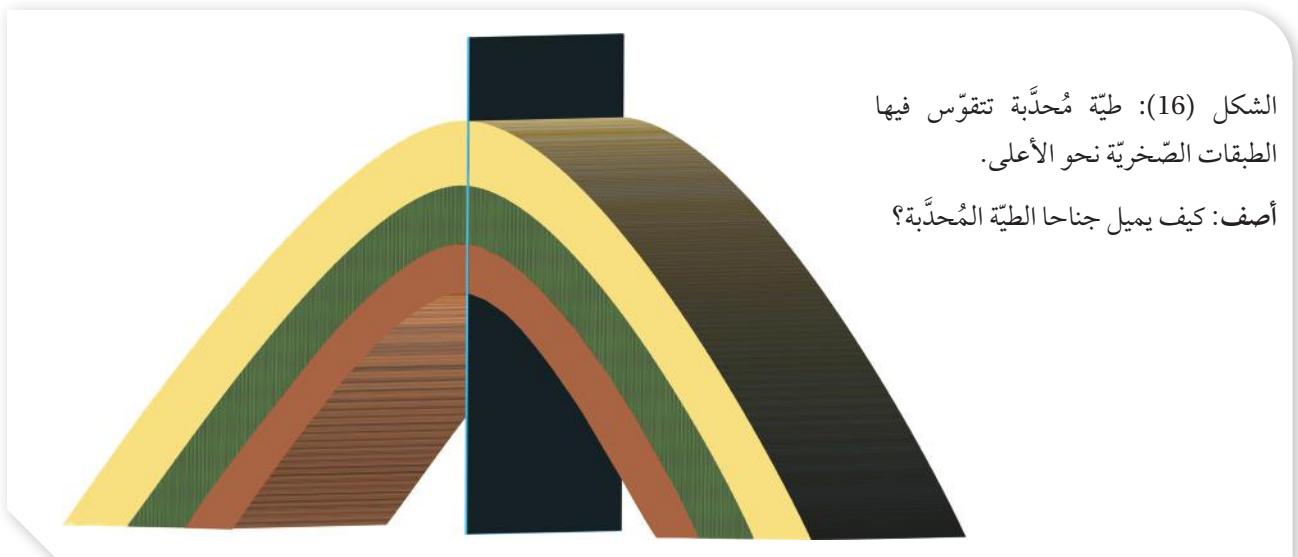
- **جناح الطية Fold Limb:** أحد جانبي الطية، وللطية جناحان اثنان مكونان من طبقات مائلة، يلتقيان عند محور الطية. غالباً ما يميل جناحا الطية في اتجاهين مختلفين.
- **مفصل الطية Fold Hinge:** الخط الوهمي الذي يصل بين النقاط التي تقع على أقصى تكؤ (انحناء) للطية.
- **المستوى المحوري Axial Plane:** مستوى وهمي يمر في محور الطية، ويقسم الطية قسمين، يكونا متساوين في الطية المتماثلة. وقد يكون مائلاً أو رأسياً أو أفقياً.
- **محور الطية Fold Axis:** يُعد محور الطية خطّاً من المستوى المحوري، وهو الخط الذي تحدث عنده عملية الطي، ويحدد أقصى تكؤ لطبقة ما في الطية.

## تصنيف الطيات Classification of Folds

صنّف العلماء الطيات اعتماداً على مجموعة من الأسس، منها: اتجاه تقوس الطبقات الصخريّة، وزاوية ميل المستوى المحوري.

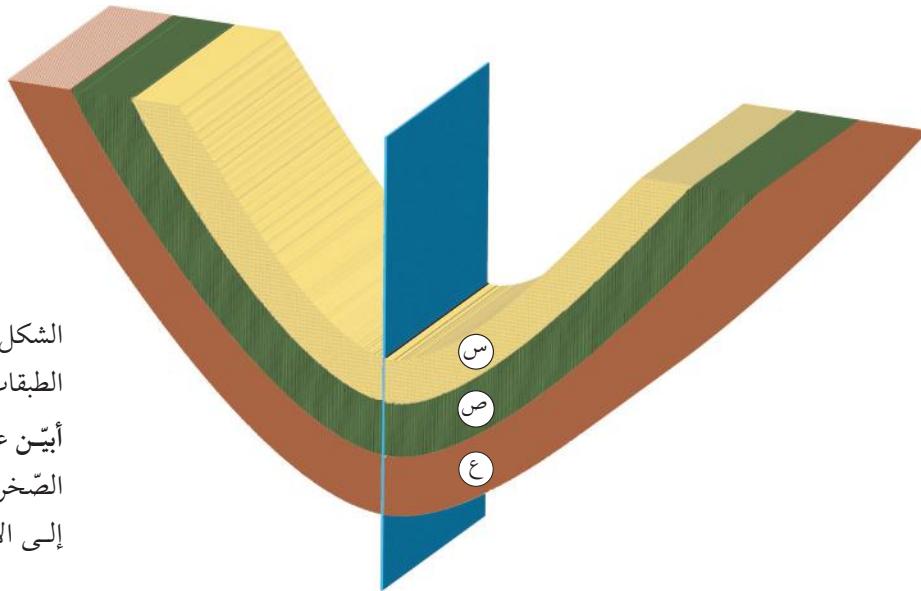
### اتجاه التقوس Curvature Direction

تقسم الطيات اعتماداً على اتجاه تقوس الطبقات الصخريّة فيها إلى نوعين هما: **طيات محدبة Anticlines** تتقوس فيها الطبقات الصخريّة نحو الأعلى، ويميل جناحاها بعيداً عن المستوى المحوري، وتكون الطبقات الأقدم في وسطها. أنظر الشكل (16).



الشكل (16): طية محدبة تتقوس فيها الطبقات الصخريّة نحو الأعلى.

أصف: كيف يميل جناحا الطية المحدبة؟



الشكل (17): طيّة مُقعرة تتوسّل فيها الطبقات الصّخريّة نحو الأسفل.

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



أعمل فيلماً قصيراً باستخدام برنامج scratch  
يوضح أنواعاً مختلفة من الطيّات، وأحرِص على استخدام خاصيّة الرد الصوتيّ فيه لإضافة الشرح المناسبة عليها، ثمّ أشاركه زملائيًّا / زميلاتي في الصّفّ.

**طيّات مُقعرة Synclines** تتوسّل فيها الطبقات الصّخريّة نحو الأسفل،

ويميل جناحاها نحو المستوى المحوريّ، وتكون الطبقات الصّخريّة الأحدث في وسطها. انظر الشكل (17).

### زاوية ميل المستوى المحوري Dip Angle of the Axial Plane

تُسمّى الطيّة التي يميل جناحاها بزاوية ميل متساوية على كلا الجانبين؛

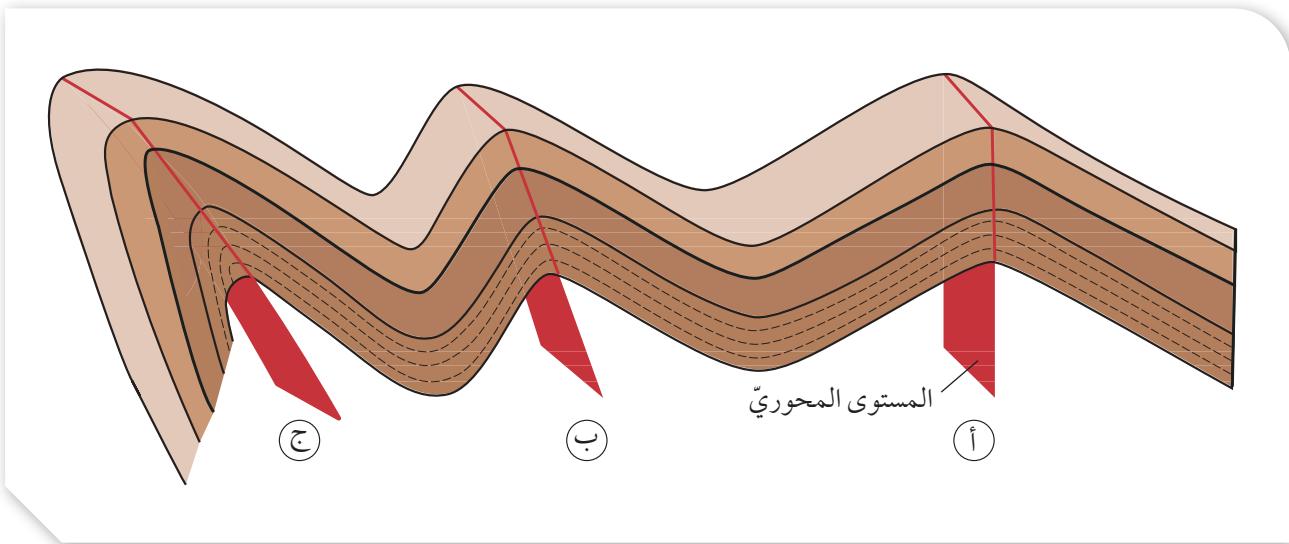
سواء أكانت طيّة مُحدّبة أم طيّة مُقعرة **الطيّة المتماثلة Symmetrical Fold**.

ويكون فيها المستوى المحوريّ عمودياً على سطح الأرض. وتشكّل مثل هذه الطيّات عندما تعرّض الطبقات الصّخريّة لضغط متساوٍ على كلا الجانبين. انظر الشكل (18/أ).

أمّا الطيّة التي يميل كل جناح من جناحيها بزاوية ميل مختلفة عن الأخرى سواء

أكانت طيّة مُحدّبة أم طيّة مُقعرة فتُسمّى **الطيّة غير المتماثلة Asymmetrical Fold**

ويكون فيها المستوى المحوريّ مائلًا بزاوية أقلّ من  $90^\circ$ ، أي غير متعامد على سطح الأرض. وتشكّل هذه الطيّة عندما تعرّض الطبقات الصّخريّة لضغط غير متساوٍ على كلا الجانبين. انظر الشكل (18/ب).



أما الطية المقلوبة Overturned Fold فهي الطية التي يميل جناحها في الاتّجاه نفسه، إذ تزيد زاوية ميل أحد جناحها على  $90^{\circ}$ ، وفي هذه الحالة يكون المستوى المحوري مائلًا عن المستوى العمودي (وهو مستوى يصنع زاوية  $90^{\circ}$  مع المستوى الأفقي) بدرجة كبيرة، وتكون الطبقات المكوّنة لأحد الجناحين مقلوبة. انظر الشكل (18/ ج).

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

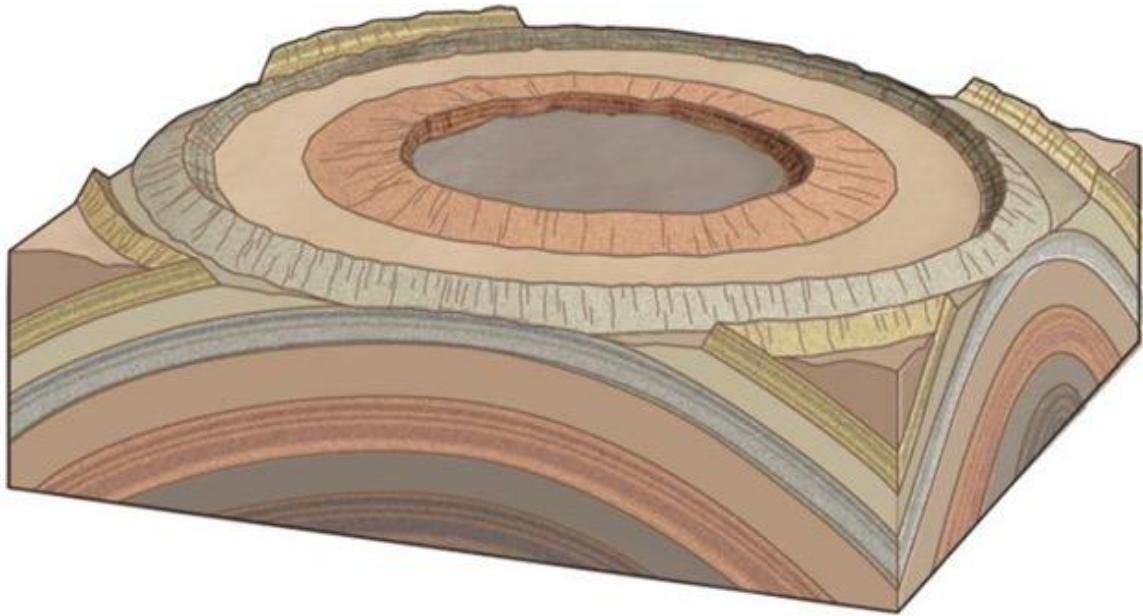
- (أ) : طية متماثلة.
- (ب) : طية غير متماثلة.
- (ج) : طية مقلوبة.

وتُسمى الطية التي يميل جناحها في الاتّجاه نفسه بصورة أفقية تقريبًا طية مضطجعة Recumbent Fold ويكون المستوى المحوري لهذه الطية أفقياً. انظر الشكل (19).

**أتحقق:** أوضح المقصود بالطية المقلوبة. ✓



الشكل (19): طية مضطجعة.



## القبة والخوض Dome and Basin

الشكل (20): القبة طية محدبة متماثلة تميل جميع طبقاتها بالدرجة نفسها في جميع الاتجاهات. أحدد موقع الصخور الأحدث عمراً.

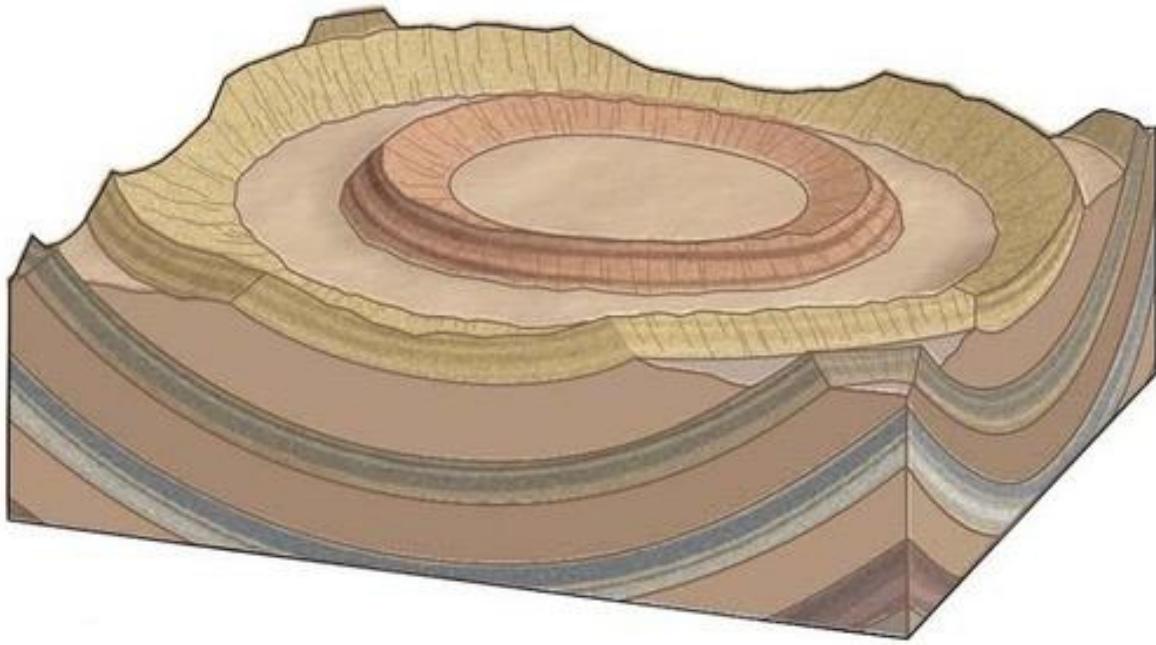
ينشأ عن الطيّات المتماثلة بنوعيها، المحدبة والمُقعرة، تركيبان جيولوجييان، هما: القباب، والأحواض.

كيف ينشأ هذان التركيبان الجيولوجييان؟ وما الفرق بينهما؟

### القبة Dome

يُسمى التركيب الجيولوجي الذي يمثل طية محدبة متماثلة تميل جميع طبقاتها بالدرجة نفسها وفي جميع الاتجاهات القبة، ويترتب هذا التركيب الجيولوجي نتيجة تأثير ضغط من الأسفل على الطبقات، مما يؤدي إلى تحذبها نحو الأعلى، وغالباً ما تتكون القباب بفعل اندفاع المagma وتبریدها أسفل سطح الأرض، مما يؤدي إلى تحذب الطبقات التي تعلوها.

وعندما تتعرض القباب إلى عمليات الحفر والتعرية فإن الجزء العلوي من الطبقات يحدث له تعرية، فتظهر الطبقات المتكتشفة على شكل دائري أو إهليجي بحيث تكون الطبقات الأقدم في وسط القبة والأحدث على الأطراف، وتميل الطبقات في جميع الاتجاهات بعيداً عن مركز القبة، انظر الشكل (20)، وتظهر شبيهة بالطية المحدبة في المقطع العرضي.



## الحوض Basin

يُسمى التركيب الجيولوجي الذي يمثل طية مُقعرة متماثلة تمثل جميع طبقاتها بالدرجة نفسها وفي جميع الاتجاهات الحوض، والذي يتتج من هبوط القشرة الأرضية نحو الأسفل لتقعر، نتيجة نقل الرواسب المتراكمة في منطقة ما من القشرة معطية شكل الحوض.

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

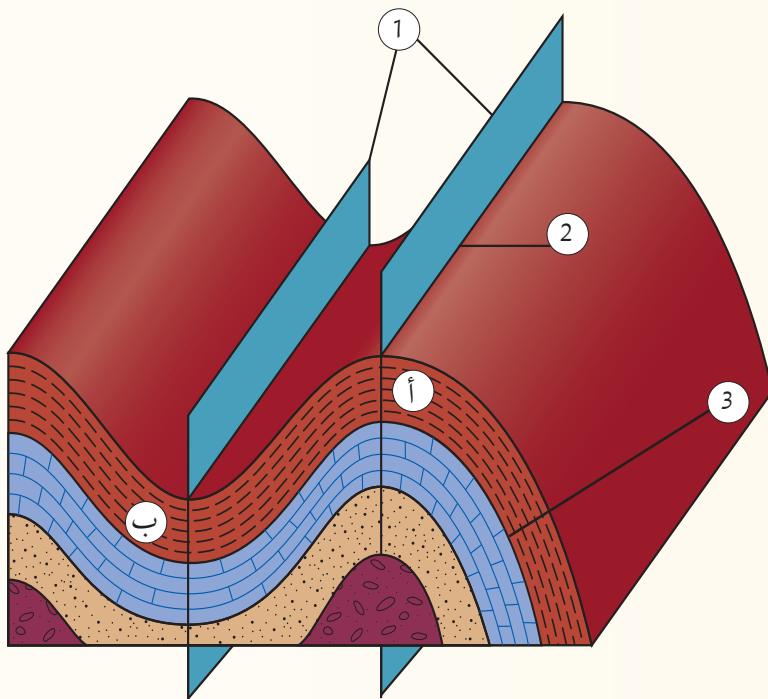
قد يتبدادر إلى الذهن أن القباب يجب أن تكون جبالاً والأحواض تكون منخفضات، لكن العكس هو الصحيح غالباً، إذ إن القباب ترتفع أولاً على هيئة جبال، إلا أن تعرضها لعمليات التجوية والاحت يؤدي إلى تآكلها بسرعة أكبر من الأحواض، مما يحولها في النهاية إلى مناطق منخفضة. ومن الأمثلة على ذلك: حوض البقعة في الأردن، الذي كان في الأصل قبة.

الشكل (21): الحوض طية مُقعرة متماثلة تمثل جميع طبقاتها بالدرجة نفسها في جميع الاتجاهات. أحدد موقع الصخور الأقدم عمرًا.

**أفکر**  
السبب والنتيجة: لماذا تنتج عن القباب أحياناً وديان وأحواض؟

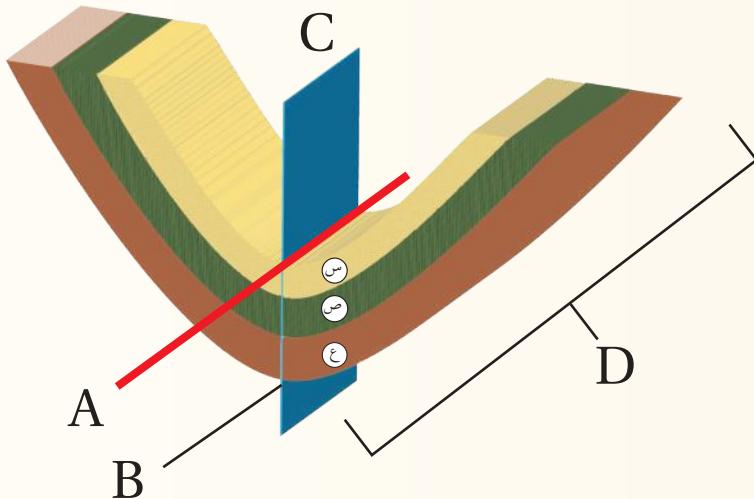
# مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: أصنف الطيات اعتماداً على اتجاه التقوس، وزاوية ميل المستوى المحوريّ.
2. أوضح المقصود بكل من: الطيّة، وجناح الطيّة، ومحور الطيّة.
3. أقارن بين القبة والخوض من حيث اتجاه ميل الطبقات وموقع الطبقات الأحدث والأقدم في كل منهما.
4. أدرس الشكل الآتي جيداً، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



- أ . أحدد على الرسم الأجزاء المشار إليها بالأرقام (١، ٢، ٣).
- ب . **أصنف** الطيّتين (أ، ب) اعتماداً على اتجاه التقوس.
- ج . **استنتج**: أين تقع الطبقات الأقدم والأحدث في كل من الطيّتين (أ، ب)؟
- د . **أصف** كيف يميل جناحا الطيّة (ب) نسبة إلى المستوى المحوريّ.
- هـ . أحدد نوع الإجهاد الذي سبب تشكّل كل من الطيّتين (أ، ب).
- و . **أتوقع** نوع الصدع المتكون في صخور القشرة الأرضية إذا رافق عملية طي الصخور صدعاً.

5. أضيع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:  
أدرس الشكل الآتي الذي يمثل إحدى الطيات، ثم أجي布 عن الأسئلة (1-5):



1. يشير الرمز (D) في الشكل إلى:  
أ. محور الطية.      ب. المستوى المحوري.  
ج. جناح الطية.      د. مفصل الطية.
  
2. يشير الرمز (C) في الشكل إلى:  
أ. محور الطية.      ب. المستوى المحوري.  
ج. جناح الطية.      د. مفصل الطية.
  
3. تُصنَّف الطية في الشكل بحسب اتجاه التقوس وزاوية ميل المستوى المحوري إلى طية:  
ب. مُحدَّبة ومتَّماِلة.  
د. مُقَرَّبة وغير متَّماِلة.  
أ. مُقَرَّبة ومتَّماِلة.  
ج. مُقَرَّبة وغير متَّماِلة.
  
4. في الشكل السابق تعرّضت الطية إلى ضغط:  
أ. متساوٍ على كلا الجانبيين.  
ب. غير متساوٍ على كلا الجانبيين.  
ج. غير متساوٍ على كلا الجانبيين وأحد جناحيها مقلوب.  
د. متساوٍ على كلا الجانبيين وأحد جناحيها مقلوب.
  
5. إذا تعرّضت الطية الظاهرة في الشكل إلى قوى ضغط بحيث أصبح جناحاها يميلان في الاتّجاه نفسه بصورة أفقية تقريباً، وأصبح المستوى المحوري لها أفقياً، فإنها تُصنَّف بحسب زاوية ميل المستوى المحوري إلى طية:  
أ. مُقَرَّبة.  
ب. مُحدَّبة.  
ج. مُضطَّجعة.  
د. مقلوبة.

## الإثراء والتلوّح

# الجيولوجيا الهندسية Engineering Geology

تُعرَف الجيولوجيا الهندسية بأنها تطبيق عمليٌ لعلم الجيولوجيا في مجال الهندسة. وفيها تؤخذ العوامل الجيولوجية بعين الأهمية والتركيز عليها في الأعمال الهندسية المختلفة، إذ تؤثِّر هذه العوامل في اختيار الموقع، وعملية تصميم البناء، ومرحلة البناء، وكيفية تشغيل المنشآت بعد بنائه.

تؤثِّر التراكيب الجيولوجية في المشروعات الهندسية المشيدة فوقها، وتحكم بصورة رئيسة في عملية اختيار موقع السدود، والمستودعات، والمطارات، والأنفاق وغيرها من المشروعات الهندسية الكبيرة. إذ إن وجود الطيات والصدوع في الطبقات الصخريَّة غير مرغوب فيه من الناحية الهندسية؛ لأنَّه يُضعف قابلية التحمل للطبقات الصخريَّة خصوصاً عند إقامة المشروعات الكبيرة، مثل السدود التي تسلط أحمالاً كبيرة على الأساسات تحتها، ثم في النهاية، تعمل على تفتيت الصخور؛ وبذلك تؤثِّر في المنشآت المُقامَة فوقها.

أكتب فقرة حول أهمية دراسة التراكيب الجيولوجية في المشروعات الهندسية، ثم أشارك ما أكتبه مع زملائي / زميلاتي في الصف.

## السؤال الأول:

أَضْعَدْ دائرة حَوْلَ رِمْزِ الإِجَابَةِ الصَّحِيحَةِ فِي مَا يَأْتِي:

5. تُسَمَّى الطِّيَّةُ الَّتِي يَمْيِيلُ جَنَاحَاهَا بِزاوِيَّةٍ مَيْلٍ مُتسَاوِيَةٍ عَلَى كُلِّ الْجَانِبَيْنِ، سَوَاءً أَكَانَتْ طِيَّةً مُحَدَّبَةً أَمْ طِيَّةً مُقْعَرَّةً، الطِّيَّةُ:
- المُتَمَاثِلَة.
  - غَيْرِ المُتَمَاثِلَة.
  - الْمَقْلُوبَة.
  - الْمُضْطَجِعَة.

6. التَّرَكِيبُ الجِيُولُوْجِيُّ الَّذِي يَمْثُلُهُ الشَّكْلُ الْآتَى هُوَ:



- صَدْعٌ عَادِيٌّ.
- صَدْعٌ عَكْسِيٌّ.
- طِيَّةٌ مُحَدَّبَةٌ.
- طِيَّةٌ مُقْعَرَّةٌ.

7. الطِّيَّةُ الَّتِي يَكُونُ فِيهَا الْمَسْتَوِيُّ الْمَحْوَرِيُّ مَائِلًا وَيَمْيِيلُ جَنَاحَاهَا فِي الاتِّجَاهِ نَفْسِهِ، وَتَزِيدُ زَاوِيَّةُ مَيْلِ أَحَدِ جَنَاحِيهَا عَلَى  $90^{\circ}$ ، وَتَكُونُ الطَّبَقَاتُ الْأَحَدَثُ فِي وَسْطِهَا هِيَ الطِّيَّةُ:
- الْمُحَدَّبَةُ.
  - الْمُتَمَاثِلَةُ.
  - الْمُضْطَجِعَةُ.
  - الْمَقْلُوبَةُ.

2. الصُّدُوعُ النَّاجِيَةُ مِنْ حَرْكَةِ الْجَدَارِ الْمَعْلَقِ إِلَى الْأَعْلَى

نَسْبَةً إِلَى الْجَدَارِ الْقَدَمِ؛ هِيَ صُدُوعٌ:

- عَادِيَّةٌ.
- عَكْسِيَّةٌ.
- دَرَجِيَّةٌ.
- خَسْفِيَّةٌ.

3. تُسَمَّى الطِّيَّةُ الَّتِي يَكُونُ فِيهَا الْمَسْتَوِيُّ الْمَحْوَرِيُّ أَفْقيًّا الطِّيَّةُ:

- الْمَقْلُوبَةُ.
- الْمُضْطَجِعَةُ.
- الْمُتَمَاثِلَةُ.
- غَيْرِ الْمُتَمَاثِلَةُ.

4. أَحَدُ التَّرَكِيبَاتِ الجِيُولُوْجِيَّاتِ الْآتَى يَنْتُجُ بِفَعْلِ إِجَهَادَاتِ الشَّدِّ:

- الْطِيَّةُ الْمُحَدَّبَةُ.
- الْطِيَّةُ الْمُقْعَرَّةُ.
- الصَّدْعُ الْعَادِيُّ.
- الصَّدْعُ الْعَكْسِيُّ.

12. تُسمّى الطيّة التي تتقوس فيها الطبقات الصخريّة نحو الأعلى، ويميل جناحها بعيداً عن المستوى المحوري، وتكون الطبقات الأقدم في وسطها، الطيّة:

- أ . المقلوبة.
- ب. المُضطجعة.
- ج. المُقرّعة.
- د . المُحدبة.

## السؤال الثاني:

أملاً الفراغ في ما يأتي بما هو مناسب من المصطلحات:

1. تُسمّى الطيّة التي يميل جناحها بزاوية ميل غير متساوية على كلا الجانبيين سواء أكانت طيّة مُحدبة أم طيّة مُقرّعة: .....

2. الخط الوهمي الذي يصل بين النقاط التي تقع على أقصى تكور (انحناء) للطيّة هو: .....

3. تتكون الطيّة من مجموعة من الأجزاء، منها:

.....، .....، .....، .....

4. تُسمّى الكتلة الصخريّة التي تقع أسفل مستوى الصدع:

.....

5. أحد أنواع الصدوع الذي تحرّك فيه الكتلتان الصخريّتان بصورة أفقية نسبة إلى بعضها بعضًا: .....

6. يعتمد تشوّه الصخور على مجموعة من العوامل، منها:

.....، .....، .....

8. الصدوع التي تتكرّر فيها الطبقات الصخريّة رأسياً مع العمق هي الصدوع:

- أ . العاديّة.
- ب. العكسيّة.
- ج. الجانبيّة.
- د . التحويليّة.

9. التركيب الجيولوجي الذي ينتج عن إجهاد القص هو:

- أ . الصدع العادي.
- ب. الطيّة المُحدبة.
- ج. الصدع الجانبي.
- د . الطيّة المُقرّعة.

10. تتشكل الأحواض الخسفية عندما تتعرّض صخور القشرة الأرضية لقوى شدّ تؤدي إلى:

- أ . إحداث صدعين عاديّين متقابلين، تبرز الكتل الصخريّة فيما بينهما.
- ب. إحداث صدعين عكسيّين متقابلين، تبرز الكتل الصخريّة فيما بينهما.
- ج. إحداث صدعين عكسيّين متقابلين، تهبط الكتل الصخريّة فيما بينهما.
- د . إحداث صدعين عاديّين متقابلين، تهبط الكتل الصخريّة فيما بينهما.

11. الخط الذي تحدث عنده عملية الطيّ، ويحدّد أقصى تكور لطبقة ما في الطيّ هو:

- أ . المستوى المحوريّ.
- ب. محور الطيّة.
- ج. مفصل الطيّة.
- د . جناح الطيّة.

السؤال الثالث :

**أصف:** كيف يؤثر إجهاد الشد في الصخور الهشة؟

السؤال الرابع :

**أناقش:** كيف ت تكون الكتل الاندفاعية؟

السؤال الخامس :

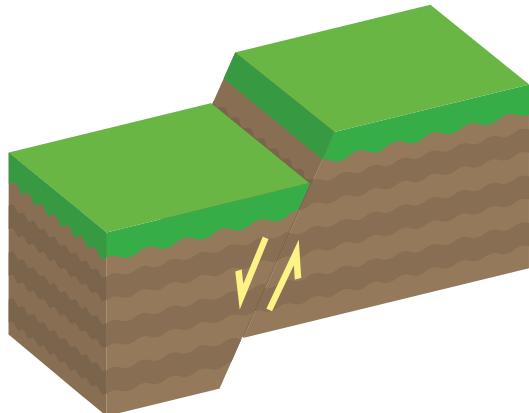
**أقارن** بين إجهاد الضغط والشد من حيث اتجاه القوة المؤثرة في الصخر.

السؤال السادس :

**أقارن** بين موقع الجدار القائم، والجدار المعلق في كل من الصدعين: العادي، والعكسي.

السؤال السابع :

ادرس الشكل الآتي الذي يبيّن أحد أنواع الصدوع، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



أ. أحدد على الشكل أجزاء الصدع.

ب. أبین نوع الإجهاد الذي أدى إلى تكون الصدع.

ج. أستنتج نوع الصدع.

د. **أتوقع:** هل يؤدي هذا النوع من الصدوع إلى تكرار بعض الطبقات الصخرية؟

السؤال العاشر :

أبین: متى توصّف الطيّات بأنها متماثلة، ومتى توصّف بأنها غير متماثلة؟

السؤال الحادي عشر :

**أقارن** بين القبة والوحوض من حيث: ميل الطبقات في كلّ منها، وحداثتها.

# الوحدة

## الصّفائح التكتونية

Plate Tectonics

3

جبال طوروس جنوب تركيا



### أتأمل الصورة

تحرّك الصّفيحة العربيّة نحو الشمال، والشمال الشرقي، وتصطدم بالصّفيحة الأوروasiّة، وينشأ عن حركة الصّفيحة العربيّة وباقى الصّفائح العديد من المظاهر الجيولوجيّة، فما المظاهر الجيولوجيّة التي تنتج من حركة الصّفائح الأرضيّة؟

## الفكرة العامة:

تشكل العديد من المظاهر الجيولوجية ومنها: السلاسل الجبلية، والجبال البركانية، وظهور المحيطات، بفعل حركات الصفائح الأرضية المختلفة.

### الدرس الأول: انجراف القارات

**الفكرة الرئيسية:** كانت جميع القارات الحالية تشكل قارة واحدة تسمى بانغيا، ثم انقسمت وأخذت بالتباعد حتى وصلت إلى وضعها الحالي.

### الدرس الثاني: توسيع قاع المحيط

**الفكرة الرئيسية:** توسيع قيعان المحيطات بصورة مستمرة عند ظهور المحيط، ومن ثم يؤدي ذلك إلى بناء قشرة محيطية جديدة فيها.

### الدرس الثالث: حدود الصفائح

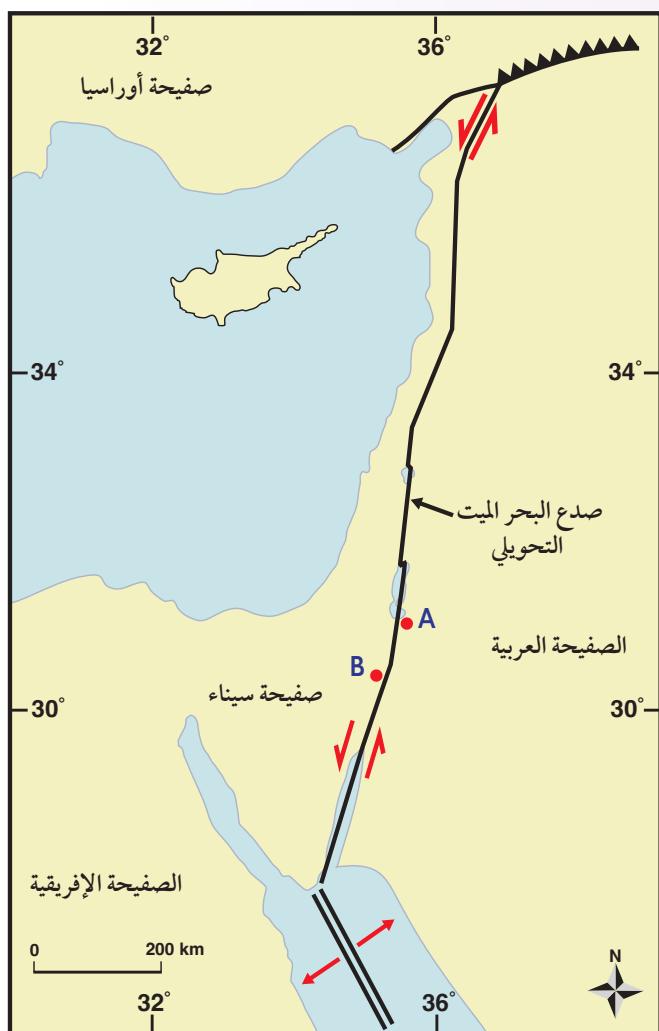
**الفكرة الرئيسية:** تتكون المظاهر الجيولوجية منها السلاسل الجبلية، والأخاديد البحرية عند حدود الصفائح. وتعد تيارات الحمل في الستار القوى الرئيسية المسؤولة عن حركة الصفائح الأرضية.

# تجربة استهلاك الله

## صَدْع الْبَحْرِ الْمَيِّتِ التَّحْوِيلِيِّ

يفصل صَدْع الْبَحْرِ الْمَيِّتِ التَّحْوِيلِيِّ بين الصَّفِيحةِ الْعَرَبِيَّةِ في الشَّرْقِ، وصَفِيحةِ سِيناءٍ في الْغَربِ، ويبلغ طوله 1000 km تقريباً، حيث يمتد من بداية خليج العقبة الجنوبي وحتى جنوب تركيا. وتمثّل النقطتان (A و B) على الخريطة صُخوراً لها العمر نفسه، وكذلك التركيب الكيميائي والمعدني نفسه، وتقعان على جانبي صَدْع الْبَحْرِ الْمَيِّتِ التَّحْوِيلِيِّ. وقد قُدرَت سرعة الحركة الأفقية لصَدْع الْبَحْرِ الْمَيِّتِ التَّحْوِيلِيِّ بـ  $0.47 \pm 0.07 \text{ cm/y}$ .

المواد والأدوات: مسطرة، أوراق حجم A4، خريطة جيولوجية.



### خطوات العمل:

1 أقيس المسافة بين النقطتين (A و B)؛ باستخدام المسطرة.

2 أحدّد المسافة الفعلية بين النقطتين؛ باستخدام مقياس رسم الخريطة.

### التحليل والاستنتاج:

1. أحسب المسافة بين النقطتين (A و B) بعد  $y = 20 \text{ m}$ . إذا علمت أن معدّل الحركة على جانبي صَدْع الْبَحْرِ الْمَيِّتِ التَّحْوِيلِيِّ تساوي  $0.5 \text{ cm/y}$  تقريباً.

2. أحسب المدة الزمنية اللازمة؛ لتصبح المسافة بين النقطتين (A و B)  $300 \text{ km}$ .

3. أتوقع: ما القوى التي تسبّب الحركة على جانبي صَدْع الْبَحْرِ الْمَيِّتِ التَّحْوِيلِيِّ؟

# انجراف القارات

Continental Drift

1

الدرس

## فَرَضِيَّةُ انْجِرَافِ الْقَارَاتِ

إذا نظرت إلى خريطة العالم، لا يلاحظ أن حواف بعض القارات يمكن أن تتطابق معًا، مثل لعبة تركيب القطع (Jigsaw Puzzle). وقد لاحظ رسامو الخرائط الجغرافية منذ أكثر من 400 عام، أن هناك تطابقًا بين حواف القارات على جانبي المحيط الأطلسي.

الفكرة الرئيسية:

كانت جميع القارات الحالية تشكل قارة واحدة تسمى بانغيا، ثم انقسمت وأخذت بالتباعد حتى وصلت إلى وضعها الحالي.

نتائج التعلم:

- أشرح السياق التاريخي لفَرَضِيَّةِ انْجِرَافِ الْقَارَاتِ للعالم ألمَّ فَغَنَرَ مع أدلةها.
- أنقض فَرَضِيَّةِ انْجِرَافِ الْقَارَاتِ بالأدلة.

المفاهيم والمصطلحات:

فَرَضِيَّةُ انْجِرَافِ الْقَارَاتِ

Continental Drift Hypothesis

Pangaea

بانغيا

لاحظ عالم الأرصاد الألماني (ألفريد فاغنر) التطابق الكبير بين حواف القارات، ورأى أن هذا التطابق لا يمكن أن يكون مجرد صدفة، فاقتصر في عام 1912م فَرَضِيَّةُ أسماءها **انجراف القارات** **Continental Drift Hypothesis** التي تنص على أن "جميع القارات الحالية كانت تشكل في الماضي قارة واحدة سماها **بانغيا** Pangaea، وتعني كل اليابسة يحيط بها محيط يسمى بانثالاسا، ويعني كل المحيط". وقد بدأت قارة بانغيا منذ 200 m.y تقريبًا بالانقسام إلى قارات أصغر، ثم أخذت القارات بالانجراف ببطء حتى وصلت إلى مواقعها الحالية". أنظر الشكل (1).

الشكل (1): كانت القارات قبل 200 m.y تقريبًا تشكل قارة واحدة تسمى بانغيا.



القارّات في وضعها الحالي.



القارّات قبل 200 m.y تقريبًا.

# الدّجْرَةُ 1

## قارَّةٌ بانغِيَا

افترض فنر اعتماداً على تطابق حواف القارات أن القارات قبل 200 m.y كانت قارَّةً واحدةً سماها بانغِيَا. ولتمثيل ما توصل إليه فنر، أطابقُ حواف القارات كما تتوزَّع في الوقت الحالي، وأشكَّل قارَّةً بانغِيَا.

**المواد والأدوات:** خريطة العالم، صورة تمثِّل قارَّةً بانغِيَا، مِقصٌّ، قطعة كرتون، لاصق.

**إرشادات السلامة:**

- الحذر عند استخدام المقص.



**خطوات العمل:**

- 1 أحضر خريطة العالم، ثم أقصِّ القارات من حوافها؛ لأفصلها بعضها عن بعض.
- 2 أشكَّل قارَّةً بانغِيَا بوساطة لصق صور القارات على قطعة الكرتون بدقة؛ بالاستعانة بالشكل المُرفَّق الذي يمثِّل قارَّةً بانغِيَا.
- 3 أكتب أسماء القارات كما هي معروفة الآن.

**التحليل والاستنتاج :**

1. **الاحظ:** أيُّ القارات تطابقت حوافها تطابقاً كبيراً، وأيُّها تطابقت حوافها تطابقاً أقل؟
2. **أفسِّر** سبب عدم وجود تطابق تام بين حواف القارات.
3. **اقارن** بين موقع قارَّةً أمريكا الشمالية الآن، وموقعها في قارَّةً بانغِيَا.
4. **استنتاج:** هل كان المحيط الأطلسي متشكلاً قبل 200 m.y؟ لماذا؟

## أدلة على فرضية انجراف القارات

### Evidences for Continental Drift Hypothesis

واجه فنر معارضة كبيرة من العلماء منذ طرح فرضية انجراف القارات أمامهم؛ لذلك قدم مجموعة من الأدلة لدعم فرضيته، منها: تطابق حواف القارات، وتشابه الأحافير، وتشابه أنواع الصخور والتراكيب الجيولوجية، والمناخات القديمة.

#### تطابق حواف القارات Fit of the Continents Edges

يُعد تطابق حواف القارات الدليل الأول الذي اعتمد عليه العالم الألماني فنر لدعم صحة فرضيته. فقد لاحظ التطابق بين حواف القارات على جانبي المحيط الأطلسي. إذ طابق بين الحافة الشرقية لقارنة أمريكا الجنوبية مع الحافة الغربية لقارنة إفريقيا، فوجدها تتطابق بصورة تقريبية. أنظر الشكل (1). وهناك بعض القارات يكون التطابق بين حوافها أقل، مثل قارتي أوروبا، وأمريكا الشمالية، وسبب ذلك عمليات الحّت والتعرية التي تعرضت لها حواف القارات عبر الزمن.

لماذا لا يوجد تشابه أحافير

بين القارات عند العمر 70 m.y?

#### تشابه الأحافير Matching Fossils

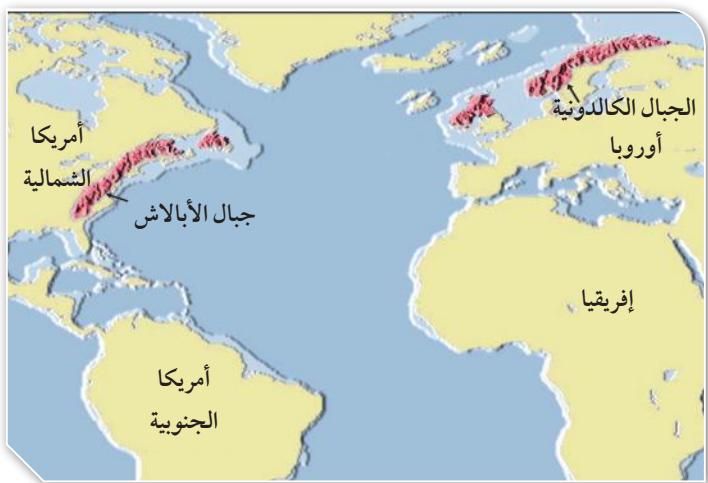
جمع فنر العديد من الأحافير التي تمثل حيوانات ونباتات عاشت على اليابسة قبل 200 m.y لدعم صحة فرضية انجراف القارات. ومن هذه الأحافير أحافير الميزوسورس Mesosaurus على بقايا أحافير الميزوسورس في كل من جنوب شرق أمريكا الجنوبية، وجنوب غرب إفريقيا. ويرى العلماء أن الميزوسورس كان يعيش في بحيرات المياه العذبة، والخلجان الضّحلة، فهو بذلك لا يستطيع الانتقال بين القارتين، والسباحة عبر مياه المحيط الأطلسي المالحة، وقد عد هذا دليلاً على أن قارة إفريقيا وقارنة أمريكا الجنوبية كانتا قارة واحدة زمن حياة هذا الكائن الحي، ثم انفصلتا وانجرفتا.



الشكل (2): أحافير الميزوسورس أحد أدلة فنر على صحة فرضية انجراف القارات.



(ب)



(أ)

### تشابه أنواع الصخور والتركيب الجيولوجي

#### Rock Types and Structural Similarities

الشكل (3):

تشابه أنواع الصخور والتركيب الجيولوجي في بعض السلاسل الجبلية.

(أ): تشابه أنواع صخور جبال الألب الشمالي مع أنواع صخور الجبال الكالبدونية.

(ب): عندما تطابق حواجز القارات تتصل السلاسل الجبلية مكونة سلسلة واحدة تقريرياً.

افتراض فغرن بحسب فرضية انجراف القارات، وجود تشابه بأنواع الصخور المكونة للسلاسل الجبلية وامتدادها في القارات المنفصلة عن بعضها البعض. فقد وجد أن صخور جبال الألب الشمالي في قارة أمريكا الشمالية التي يزيد عمرها على 200 m.y تتشابه في أنواعها وأعمارها وتركيبها الجيولوجي مع الصخور المكونة للجبال الكالبدونية في قارة أوروبا، انظر الشكل (3/أ). وعند مطابقة حواجز القارات معًا فإن السلاسلتين الجبليتين تشكّلان سلسلة واحدة مستمرة تقريباً، انظر الشكل (3/ب)، وهذا يدعم فرضية التي تتمثل في أن القارات قبل 200 m.y كانت تشكّل قارة واحدة تسمى بانجيا.

### Ancient Climates

دعم فغرن صحة فرضيته عن طريق دراسة الصخور والأحافير لتحديد التغييرات المناخية التي سادت على سطح الأرض وقت تشكّل قارة بانجيا. فقد وجد رسوبيات جليدية عمرها يتراوح ما بين 300–220 m.y في كل من جنوب إفريقيا، وجنوب شرق أمريكا الجنوبية، والهند وأستراليا التي تقع حالياً بين دائرة عرض 30°، دائرة الاستواء التي يسود فيها الآن مناخ شبه استوائي أو استوائي؛ إذ من الصعب أن تتشكل فيها الرسوبيات الجليدية.



الشكل (4): يدل وجود رسوبيات جليدية في المناطق التي تقع الآن على دائرة الاستواء، أو بالقرب منها، على أنها كانت تقع سابقاً بالقرب من القطب الجنوبي.

قد فسر فنر ذلك بأن تلك القارات كانت تقع سابقاً بالقرب من القطب الجنوبي. أنظر الشكل (4)؛ لذلك، كانت الظروف ملائمة لتشكل الرسوبيات الجليدية فيها.

**أتحقق:** أفسّر: كيف يدعم وجود تشابه أنواع الصخور عند حواف القارات صحة فرضية فنر؟

### رفض فرضية انجراف القارات

#### Rejection of Continental Drift Hypothesis

واجه فنر العديد من الانتقادات على فرضيته، على الرغم من دعمها بالعديد من الأدلة. وقد تركزت انتقادات كثير من العلماء في عصره على نقطتين أساسيتين، هما: سبب حركة القارات وانجرافها، وآلية حركتها.

#### أسباب انجراف القارات

اقترح فنر أن سبب حركة القارات وانجرافها يعود إلى قوة الطرد المركزي الناتجة من دوران الأرض حول نفسها، أو إلى قوة جذب القمر للأرض. ولكن العلماء رفضوا هذا التفسير؛ لأن كلاًّاً القوتين أقل من القوى التي يمكن أن تحرّك القارات.

**أفحُز** يوجد الفحم الحجري في كل من قارتي أوروبا وأمريكا الشمالية اللتين يسود فيهما مناخات باردة، فكيف أفسّر وجود الفحم الحجري الذي يتكون في المناخ الاستوائي فيهما؟



أعمل فيلماً قصيراً باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضح مفهوم فارة بانغيا، والأدلة التي تدعم فرضية انجراف القارات، وأحرِص على أن يشمل الفيلم صوراً توضيحية، ثم أشارِكُه زميلي / زميلي في الصف.

## آلية انجراف القارات Mechanism of Continental Drift

**أتحقق:** أوضح القوى المساعدة لتحرك القارات بحسب افتراضات فغنر.

اقترح فغنر أيضًا أن القارات تتكون من مواد قليلة الكثافة تتحرك فوق قاع المحيط الذي يتكون من مواد ذات كثافة عالية، فرفض العلماء اقتراح فغنر في أنه يمكن للقارات أن تتحرك فوق قاع المحيط الصلب ذي التضاريس بسهولة.

### مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسية:** أذكر نص فرضية انجراف القارات.

2. **أفسر:** كيف استخدم فغنر دليل تشابه الأحافير في إثبات صحة فرضيته؟

3. **استنتج:** كيف كان مناخ جنوب قارة إفريقيا قبل 200 m.y?

4. **أقوّم** صحة العبارة الآتية: (موقع الأردن الجغرافي ثابت لم يتغير على مَر السنين).

5. **أوضح:** لماذا تُعد جبال الأبالاش والجبال الكاليفورنية دليلاً على صحة فرضية انجراف القارات؟

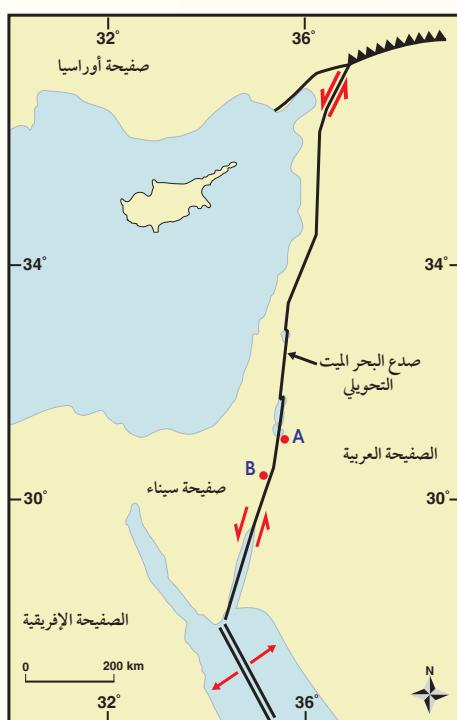
6. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

- يمثل الشكل المجاور خريطة جيولوجية لصدع 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؟

ب. 100 km . أ. 100 cm

د. 1 km . ج. 1 cm



2. إذا علمت أن مُعَدَّل الحركة على جانبي صدع البحر الميّت التحويلي تساوي  $0.5 \text{ cm/y}$  تقريباً، فإن المسافة بين النقطتين (A-B) :
- أ . سترداد بعد  $35 \text{ m.y}$  بمقدار  $175 \text{ cm}$
  - ب . سترداد بعد  $35 \text{ m.y}$  بمقدار  $175 \text{ km}$
  - ج. ستقلّ بعد  $35 \text{ m.y}$  بمقدار  $175 \text{ km}$
  - د . ستقلّ بعد  $35 \text{ m.y}$  بمقدار  $175 \text{ cm}$
3. نوع الحد الذي يفصل بين الصفيحة العربية وصفيحة سيناء هو حد:
- ب. تقاربي.
  - أ . تباعدي.
  - ج. جانبي.
  - د . هدام.
4. تتشابه جبال الأبالاش من حيث العمر والتركيب الجيولوجي مع إحدى السلاسل الجبلية الآتية، وهي:
- ب. جبال الأنديز.
  - أ . جبال الألب.
  - د . جبال الهيمالايا.
  - ج. الجبال الكالدونية.
5. من أسباب رفض فرضية انجراف القارات:
- أ . عدم وجود آثار أو بقايا للأحافير قبل  $200 \text{ مليون سنة}$  دالة على تطابق حواف القارات.
  - ب. عدم وجود تشابه بأنواع الصخور المكونة للسلاسل الجبلية وامتدادها في القارات المنفصلة عن بعضها بعضاً.
  - ج. لم يستطع فنر تفسير الآلية التي تحركت بها القارات والقوى المتناسبة في حركتها.
  - د . وجود رسوبيات جليدية في المناطق التي تقع الآن على دائرة الاستواء، أو بالقرب منها.

# توسيع قاع المحيط

Seafloor Spreading

2

الدرس

## استكشاف قاع المحيط Exploring the Ocean Floor

في الخمسينيات من القرن الماضي أرسلت العديد من الدول بعثات استكشافية لدراسة تضاريس قيعان المحيطات، استخدموها فيها تقنية السَّبَر الصُّوْتِي بوساطة أجهزة السونار (Sonar) التي قيسَ عن طريقها عُمق المحيط، ثم تبعها رسم خريطة لتضاريس قاع المحيط. انظر الشكل (5). وقد اكتشف العلماء وجود سلسلة جبلية ضخمة يتصل بعضها البعض تمتد في جميع المحيطات تُسمى ظَهَرَ المَحِيط **Ocean Ridge**، يوجد في وسطها وادٍ عميق ضيق يُسمى الوادي المتصدع **Rift Valley**.

اكتشف العلماء أيضًا وجود وُدُيانٍ عميقаً ضيقَة تمتد طولياً في قيعان المحيطات تُسمى **الأحاديد البحرية Trenches**، ومن أمثلتها أخدود ماريانا في المحيط الهادئ الذي يُعد أعمق الأحاديد البحرية في العالم، حيث يبلغ عمقه أكثر من (11 km). وقد قاد اكتشاف ظَهَرَ المَحِيط والأحاديد البحرية العلماء إلى التفكير في كيفية تشكيلهما وما القوى التي أدت إلى ذلك.



### الفكرة الرئيسية :

توسيع قيعان المحيطات بصورة مستمرة عند ظَهَرَ المحيط، ما يؤدي إلى بناء قشرة محيطية جديدة فيها.

### نتائج التعلم :

- أناقش فرضية توسيع قاع المحيط بدليلاً عن فرضية انجراف القارات.
- أحدد الأدلة الداعمة لفرضية توسيع قاع المحيط.
- أربط توسيع قاع المحيط بنشوء قشرة محيطية جديدة عند ظَهور المحيطات، واستهلاك قشرة محيطية قديمة عند أطرافها.
- أناقش سبب ثبات حجم الأرض وكثالتها على الرغم من توسيع قيعان المحيطات.

### المفاهيم والمصطلحات :

Ocean Ridge	ظَهَرَ المَحِيط
Trenches	الأحاديد البحرية
	فرضية توسيع قاع المحيط
	Seafloor Spreading Hypothesis
Paleomagnetism	المغناطيسية القديمة
Magnetic Reversal	الانقلاب المغناطيسي

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



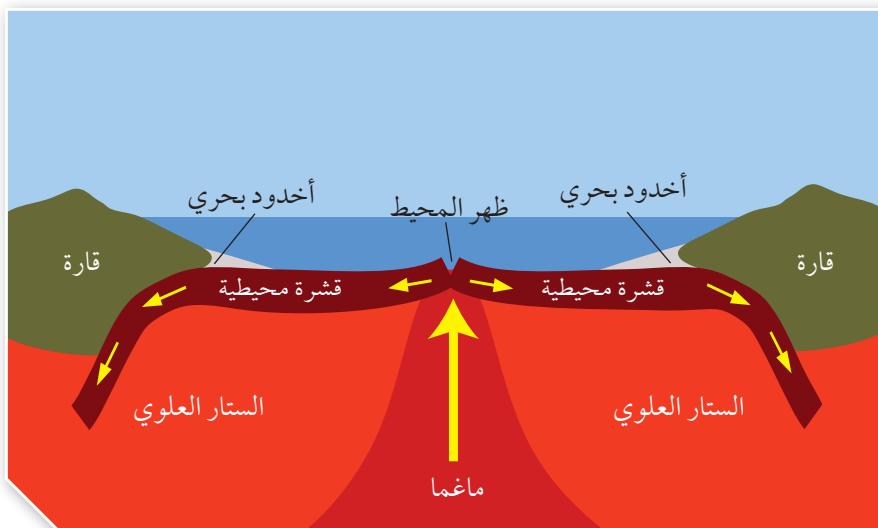
## فَرَضِيَّةُ توْسُعِ قَاعِ الْمَحِيطِ Seafloor Spreading Hypothesis

وضع العالم هاري هس (Harry Hess) في بداية السنتينيات من القرن الماضي بناءً على بيانات تضاريس قيعان المحيطات ومكوناته فرضية توسيع قاع المحيط Seafloor Spreading Hypothesis التي تنص على الآتي: "تبني القشرة المحيطية الجديدة عند ظهور المحيطات، وتُستهلك القشرة المحيطية الأقدم عند الأخداد البحرية". وتحدث عملية توسيع قاع المحيط بحسب هس كالتالي: تتدفع المagma الأقل كثافة من منطقة الستار إلى الأعلى عبر وسط ظهر المحيط، وعند وصولها إلى السطح عبر القشرة المحيطية تتصلب مكونة قشرة محيطية جديدة على طول ظهر المحيط، ثم تتحرك هذه القشرة بعيداً عن منطقة ظهر المحيط، ما يؤدي إلى اندفاع magma جديدة في منطقة وسط ظهر المحيط وتصلبها؛ مكونة قشرة محيطية جديدة أخرى. وباستمرار هذه العملية يحدث توسيع لقاع المحيط بشكل دائم ومتماض على جانبي ظهر المحيط. وفي المقابل تنزلق الحافة بعيدة من القشرة المحيطية عن منطقة ظهر المحيط أسفل القشرة القارية مشكلة أخدوداً بحرياً. ويؤدي انزلاق القشرة المحيطية إلى ارتفاع درجة حرارتها وانصهارها داخل الستار، وإنتاج magma تتدفع نحو الأعلى وتصلب، وتصبح جزءاً من القشرة القارية. أنظر الشكل (6).

وترجع أهمية هذه الفرضية إلى أنها فسرت طريقة حركة القارات التي لم تتمكن فرضية انجراف القارات من تفسيرها؛ فبدلاً من افتراض أن القارات تتحرك فوق قاع المحيط، افترضت أن المحيطات توسيع في منطقة وسط ظهر المحيط، ونتيجة لذلك، تتحرك القارات مبتعدة بعضها عن بعض.

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

**أتحقّق:** أحذّد: أين تتكون الصخور الجديدة في قيعان المحيطات، وأين تُستهلك؟ ✓



الشكل (6): يتوضّع قاع المحيط بصورة دائمة نتيجة خروج magma وتصلبها في منطقة وسط ظهر المحيط.

اقارن بين الصخور المتشكلة على جانبي وسط ظهر المحيط من حيث العمر.

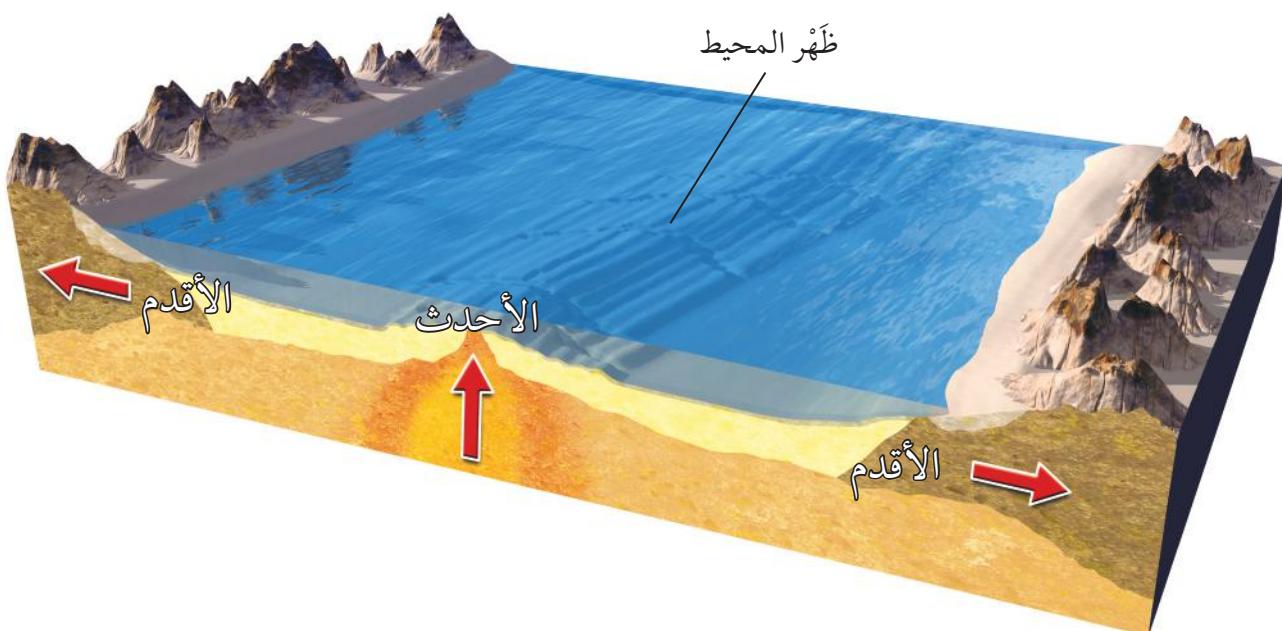
## أدلة على توسيع قاع المحيط Evidences for Seafloor Spreading

**أفخر** هل يتغير حجم الأرض  
وكتلتها نتيجة توسيع المحيط؟  
أناقش هذا السؤال مع زملائي/  
زميلاتي، وأسوسّغ إجابتي.

واجهت فرضية توسيع قاع المحيط اعترافات عديدة من العلماء، وخاصة أن هس لم يستطع توضيح سبب توسيع قاع المحيط. ولكنها مع ذلك حظيت باهتمام علماء آخرين؛ لأنها توضح طريقة تشكيل القشرة الأرضية واستهلاكها، وكيفية توسيع قيعان المحيطات. وقد ربطت هذه الفرضية بالعديد من الاكتشافات التي أعدّت أدلة تثبت صحتها وتدعيمها، منها: أعمار صخور قاع المحيط، والأشرطة المغناطيسية، وتركيب صخور قاع المحيط.

## عمر صخور قاع المحيط The Age of the Ocean Floor Rocks

يُعدُّ عمر صخور قاع المحيط من أفضل الأدلة التي دعمت فرضية توسيع قاع المحيط، فقد استخدمت سفينة (غلومار شالنجر) Glomar Challenger منذ عام 1968م لجمع عينات صخرية تمثل قاع المحيط، فالتققطت السفينة تلك العينات من صخور جانبي ظهر المحيط. وقد أكدت البيانات التي تم الحصول عليها بعد تحليل تلك العينات صحة فرضية توسيع قاع المحيط. إذ وجد العلماء أن العينات الصخرية التي أخذت من المناطق البعيدة عن ظهر المحيط هي الأقدم عمراً، في حين أن العينات الصخرية التي أخذت من وسط ظهر المحيط كانت الأحدث عمراً. انظر الشكا (7).



ما يعني أن عمر الصخور يزداد كلما ابتعدنا عن منطقة وسط ظهر المحيط باتجاه حواف القارات أو مناطق الأخدود البحرية وتماثل أعمارها على جانبي ظهر المحيط. وقد أكدت الدراسات أن أقدم عمر لصخور قشرة محيطية لا يزيد على 180 m.y تقريباً، في حين يزيد أقدم عمر لصخور قشرة قارية على 4.4 b.y.

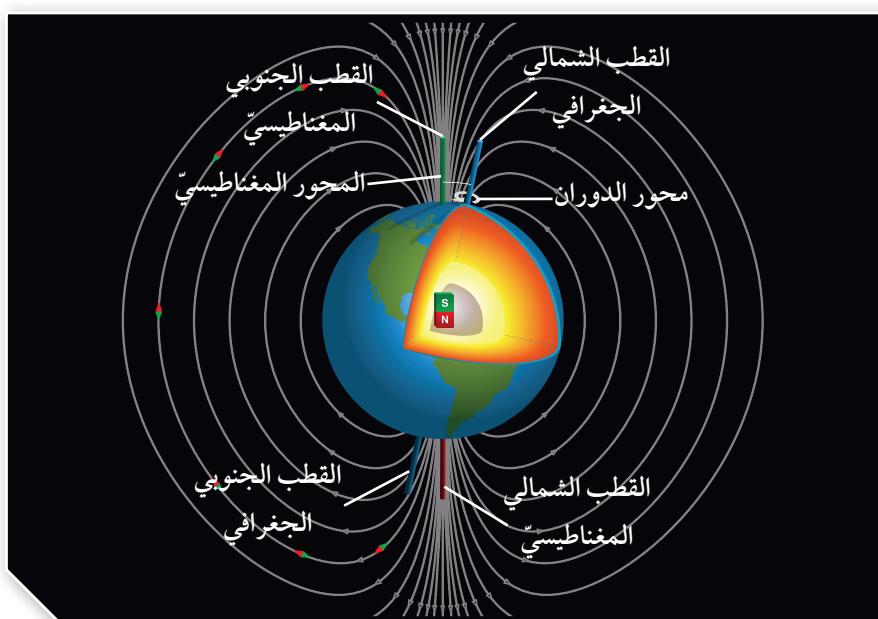
## الأشرطة المغناطيسية Magnetic Strips

يتكون لب الأرض من عنصر الحديد والنيكل، وينقسم إلى جزأين: لب خارجي يوجد في الحالة السائلة، ولب داخلي يوجد في الحالة الصلبة. وينشأ عن حركة صهير الحديد والنيكل في اللب الخارجي تيار كهربائي ينشأ عنه المجال المغناطيسي الأرضي. أنظر الشكل (8).

وقد دلت الدراسات أن المعادن المغناطيسية مثل الماغنيتيت عندما تبليور من المagma المندفعة عند ظهر المحيط، فإنها تتمغنط وتترتب ذرّاتها باتجاه المجال المغناطيسي الأرضي نفسه، وعندما تتصلب فإنها تحافظ باتجاه المجال المغناطيسى الأرضى وقت تكونها، وتُسمى هذه الظاهرة **المغناطيسية القديمة**

## Paleomagnetism

اكتشف العلماء أن المجال المغناطيسي الأرضي قد عكس اتجاهه في مدد زمنية مختلفة عبر التاريخ الجيولوجي؛ بسبب تغير اتجاه حركة صهير الحديد والنikel في اللبّ الخارجي. وقد اصطلح العلماء على تسمية المجال المغناطيسي



الربط بعلم البحار والمحيطات

أكَدَت الدراسات أن عمر صخور قشرة قاع البحر الأبيض المتوسط تساوي 340 m.y، وبقي عمر صخور قاع البحار والمحيطات لا تزيد على 180 m.y. ويفسّر العلماء سبب زيادة عمر صخور قاع البحر الأبيض المتوسط مقارنةً بباقي البحار والمحيطات في أن صخوره تمثّل بقايا صخور قاع محيط التیش القديم.

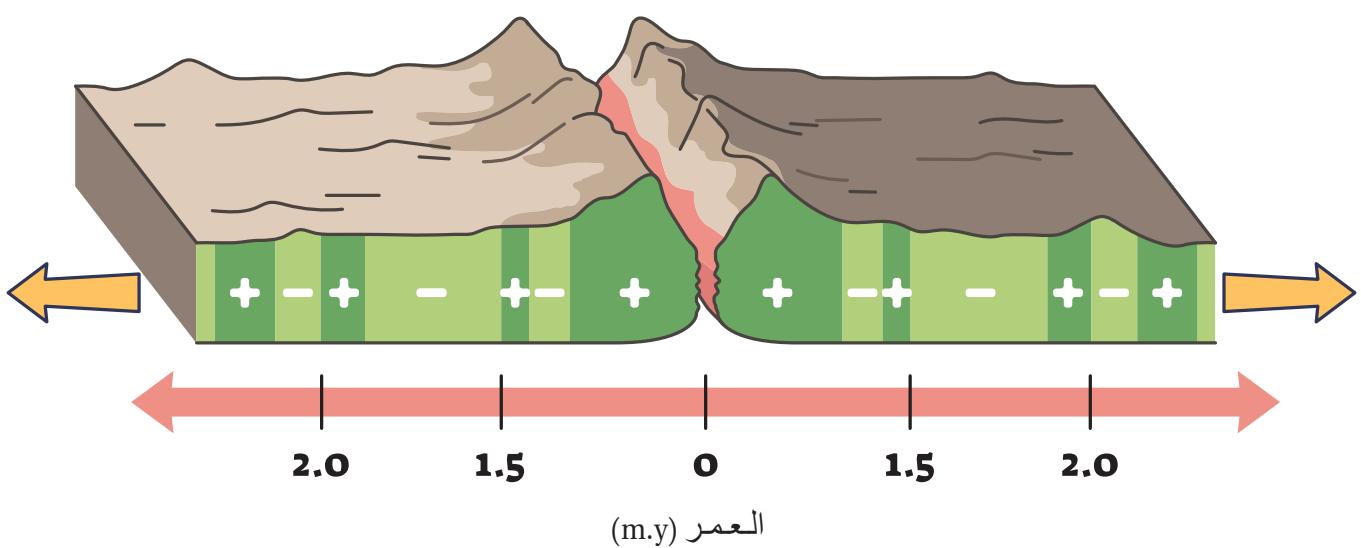
**أهمُّ** لماذا لا تزيد أعمار صخور قاع المحيط على 180 m.y في حين يزيد عمر صخور القشرة ؟ 4.4 b.y

الشكل (8): ينبع من حركة مصهور الحديد والنikel مجال مغناطيسي له قطبان: شماليّ، وجنوبيّ.

المحفوظ في الصخور التي تتجه فيها المعادن المغناطيسية باتجاه المجال المغناطيسي الحالي نفسه القطبية العادية Normal Polarity، في حين يسمى المجال المغناطيسي المحفوظ في الصخور التي تتجه فيها المعادن المغناطيسية Reverse Polarity. يعكس اتجاه المجال المغناطيسي الحالي القطبية المقلوبة ويسمي التغيير في قطبية المجال المغناطيسي للأرض من عادية إلى مقلوبة

### الانقلاب المغناطيسي Magnetic Reversal

أظهرت الدراسات التي قام بها العلماء باستخدام أجهزة قياس الشدة المغناطيسية Magnetometers لصخور قاع المحيط أن هناك نمطاً معيناً يظهر في تعاقب الصخور على جانبي ظهر المحيط؛ إذ تكون على شكل أشرطة مغناطيسية ذات شدة مغناطيسية عالية، وأشرطة مغناطيسية ذات شدة مغناطيسية منخفضة بصورة متزايقة وموازية لظهر المحيط، إذ إن كل شريطين متاظرين على جانبي ظهر المحيط لهما الشدة المغناطيسية نفسها، وال عمر والعرض أنفسهما. انظر الشكل (9). وقد فسر العلماء ذلك بأن صخور القشرة المحيطية المكونة لهذه الأشرطة عندما تتكون في وسط ظهر المحيط تمنع معدانها المغناطيسية بحسب المجال المغناطيسي السائد في ذلك الوقت؛ ولذلك، فإن الأشرطة ذات الشدة المغناطيسية العالية تشكلت عندما كان المجال المغناطيسي السائد ذات قطبية عادية، والأشرطة ذات الشدة المغناطيسية المنخفضة تشكلت عندما كان المجال المغناطيسي السائد ذات قطبية مقلوبة. وتعد المغناطيسية القديمة للصخور المكونة لقاع المحيط والانقلاب المغناطيسي والشدة المغناطيسية من الأدلة على صحة فرضية توسيع قاع المحيط.

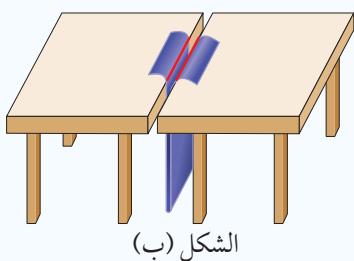
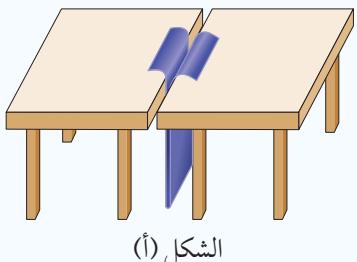


ولِتَعْرُف طريقة تشكُّل الانقلابات المغناطيسية في أثناء توسيع قاع المحيط، أتَنْذِرُكم التجربة الآتية:

## التجربة 2

### الانقلابات المغناطيسية وتوسيع قاع المحيط

يُعدُّ الانقلاب المغناطيسي أحد الأدلة على فرضية توسيع قاع المحيط. فما الطريقة التي تتَوَسَّع بها قياع المحيطات؟ وما علاقتها بالمغناطيسية الأرضية؟



**المواد والأدوات:** قطعة من الكرتون أبعادها (30 cm × 100 cm)، مغناطيس، طاولتان لهما الارتفاع نفسه، مقص، قلم تلوين، بوصلة مغناطيسية.

**إرشادات السلامة:** الحذر عند استخدام المقص.

#### خطوات العمل:

- 1 أضع الطاولتين بجانب بعضهما بعضاً، حيث يلتتصق طرفاهما تقربياً.
- 2 أثني قطعة الكرتون من منتصف طولها.
- 3 أدخل قطعة الكرتون المثنية بين طرفي الطاولتين من أسفل، حيث تظهر حافتها من أعلى الطاولة كما في الشكل (أ).
- 4 أحدد اتجاه المجال المغناطيسي الأرضي باستخدام البوصلة، ثم أضع المغناطيس باتجاه المجال المغناطيسي الأرضي نفسه ليتمثل المجال المغناطيسي الأرضي الحالي.
- 5 أرسم خطين على امتداد الشق على طرفي قطعة الكرتون كما في الشكل (ب).
- 6 أكتب على كل طرف من أطراف الكرتون حرف (ع)؛ ليتمثل قطبية عادية.
- 7 أقلب المغناطيس ليصبح بعكس اتجاه المجال المغناطيسي الأرضي الحالي، وأحدد اتجاه المجال المغناطيسي باستخدام البوصلة، ثم أسحب طرفي قطعة الكرتون مُبتعداً عن المنتصف، وأكرر الخطوة 5.
- 8 أكتب على كل طرف من أطراف الكرتون حرف (م)؛ ليتمثل قطبية مقلوبة.
- 9 أكرر الخطوات من (4 - 8) عدة مرات، وأحرص على أن يكون عرض قطعة الكرتون التي أسحبها متتساوياً في كلا الجانبين في كل مرة.

#### التحليل والاستنتاج:

1. أحدد: ماذا يمثل الحد الفاصل بين طرفي الطاولتين المجاورتين؟
2. أقارن بين كل شريطين متتاظرين على جانبي الشق من حيث: قطبية الشريط، وعرضه.
3. أفسّر سبب وجود تعاقب أشرطة ذات قطبية عادية، وقطبية مقلوبة لصخور قاع المحيط.
4. أستنتج العلاقة بين الأشرطة المغناطيسية المتتاظرة على جانبي ظهر المحيط.

## مكونات صخور قاع المحيط

سميت غواصة (ألفين) Alvin بهذا الاسم تقديراً للعالم الفيزيائي ألين ألفين (Allyn C. Vine) صاحب فكرة الغواصة، والمشرف على تطويرها. وغواصة ألفين غواصة صغيرة بُنيت لدراسة قيعان المحيطات، وقد بدأت رحلاتها الاستكشافية منذ عام 1964م، وتستطيع حمل عدد من العلماء في داخلها، وتستطيع أيضاً تحمل ضغط الماء على عمق يصل إلى 4 km. أجرت الغواصة أكثر من 4700 مهمة تحت الماء، منها: اكتشاف البراكين الحرمائية في قيعان المحيطات، ودراسة الكائنات الحية البحرية. وما زالت تعمل حتى الآن بصورة جيدة.

استخدم العلماء في عام 1964 م الغواصة (ألفين) Alvin لدراسة قيعان المحيطات. حصل العلماء على عينات صخرية متنوعة تمثل قيعان المحيطات فوجدوا أنها جميعها مكونة من صخور نارية ذات تركيب بازلتي، تغطيها طبقات رسوبية يقل سمكها بشكل تدريجي كلما اتجهنا نحو وسط ظهر المحيط حتى تختفي عند مركزه. وقد اكتشف العلماء أن صخوراً بازلتيّة تظهر على شكل وسائد، وتوجد على امتداد ظهر المحيط سميّة لابة وسائديّة Pillow Lava. انظر الشكل (10). وقد فسر العلماء أن مثل هذه الصخور يمكن أن تتكون فقط بسبب اندفاع المagma على امتداد وسط ظهر المحيط، إذ تصلب magma المندفع من الشقوق الموجودة في وسط ظهر المحيط بسرعة، بسبب ملامستها للماء. وقد أظهرت دراسات صخور قاع المحيط أن magma قد اندفعت اندفاعاً متكرراً من تلك الشقوق ما يدل على تشابه آلية تشكيل صخور قاع المحيط.

**أتحقق:** أذكر ثلاثة أدلة تدعم فرضية توسيع قاع المحيط. ✓

الشكل (10): تكتشفات من اللابة الوسائديّة موجودة على سطح الأرض.

أفسر: كيف تكون اللابة الوسائديّة؟



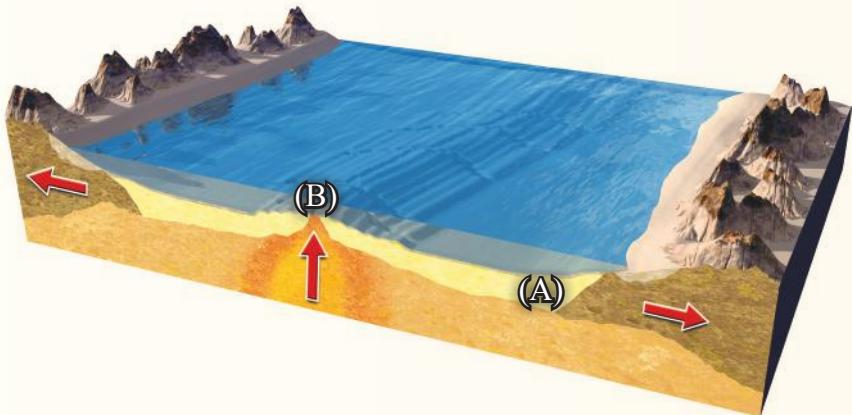
# مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: أوضح كيف تتشكل القشرة المحيطية بحسب فرضية توسيع قاع المحيط.

2. **أصف ظهر المحيط.**

3. **أقارن** بين القطبية المغناطيسية العادلة، والقطبية المغناطيسية المقلوبة من حيث الشدة المغناطيسية.

4. **أقارن:** إذا حصلت على عيّتين من صخور أحد قيعان المحيطات في المواقعين (A) و (B) كما في الشكل الآتي، فما الأحدث عمراً؟ لماذا؟



5. **أناقش** صحة ما تشير إليه العبارة الآتية: "تعد الأشرطة المغناطيسية دليلاً يدعم فرضية توسيع قاع المحيط".

6. **استنتج:** لماذا تكون صخور قيعان المحيطات جميعها من النوع نفسه من الصخور وهو البازلت؟

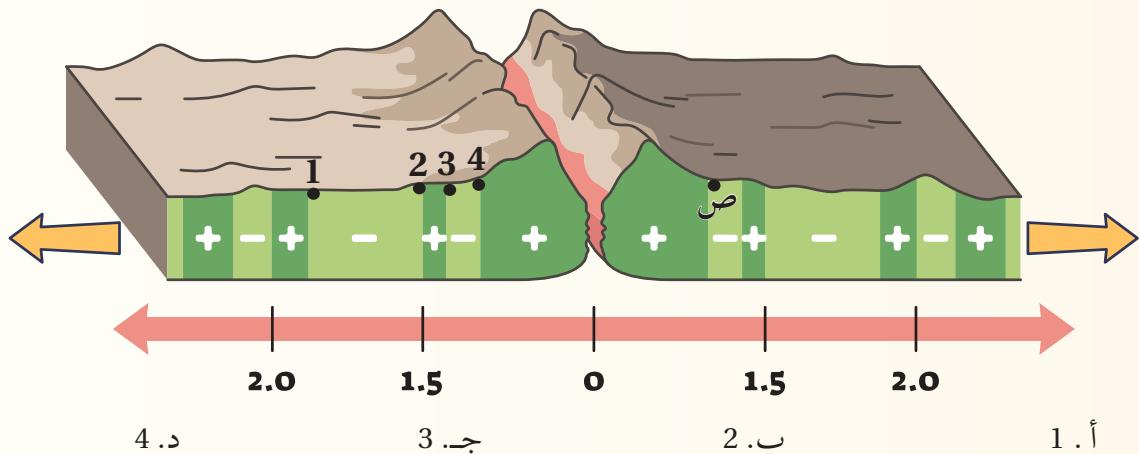
7. أوضح كيف نشأ المجال المغناطيسي الأرضي.

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

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

- أ . أكبر عمر للصخور يكون عند ظهر المحيط.
- ب . تتماثل الشدة المغناطيسية على جانبي ظهر المحيط.
- ج . تتماثل أعمار الصخور على جانبي ظهر المحيط.
- د . تندفع المagma للأعلى باستمرار عند ظهر المحيط.

2. يوضح الشكل الآتي تتابعات الأشرطة المغناطيسية عند مركز التوسيع. أدرسه جيداً، ثم أحدد أي الصخور (1، 2، 3، 4) التي لها العمر المماثل لتلك التي تقع عند النقطة (ص):



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

- أ. لهما العمر نفسه.
- ب. مختلفان في الشدة المغناطيسية.
- ج. مختلفان في القطبية.
- د. مختلفان في العرض.

4. حصل العلماء على عينات صخرية متنوعة تمثل قياع المحيطات، فوجدوا أنها مكونة من صخور نارية ذات تركيب:

- أ. غرانيتي.
- ب. أنديزيتى.
- ج. بازلتي.
- د. بيريدوتى.

5. جمع باحث بيانات عن قياع تضاريس المحيطات ومكوناتها. التعميم الذي يصدره بخصوصها:

- أ. تُبني القشرة المحيطية الجديدة عند الأخدود البحريّة.
- ب. تستهلك القشرة المحيطية الجديدة عند الأخدود البحريّة.
- ج. تُستهلك القشرة المحيطية القديمة عند ظهور المحيطات.
- د . تُبني القشرة المحيطية الجديدة عند ظهور المحيطات، وتُستهلك القشرة المحيطية الأقدم عند الأخدود البحريّة.

# حدود الصُّفَائِم

Plate Boundaries

3

الدرس

## استكشاف بنية الأرض

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

### الطرق الجيوكيميائية

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 والنikel، ودراسة المحتبسات (xenoliths) وهي قطع صخرية أصلها من أعلى الستار أو أسفل القشرة الأرضية محبوسة في صخور بركانية على سطح الأرض، ومن هذه المحتبسات صخور البيريوديت، انظر الشكل (11). وعلى الرغم من أهمية الطرق الجيوكيميائية في تعرُّف تركيب باطن الأرض لم يستطع العلماء تعرُّف سماكات طبقات الأرض الرئيسية وحدودها بهذه الطرق.

### الطرق الجيوفизيائية

استخدم العلماء العديد من الطرق الجيوفизيائية، مثل الجاذبية والمعنطيسية والزلزالية، في تعرُّف باطن الأرض، وتُعَدّ الطريقة الزلزالية من أهم الطرق الجيوفизيائية التي استطاع العلماء عن طريقها معرفة أنظمة الأرض وسماتها وكثيراً 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 البيريوديت في صخور بركانية على سطح الأرض.

الفكرة الرئيسية:

ت تكون المظاهر الجيولوجية ومنها السلاسل الجبلية والأحاديد البحرية عند حدود الصُّفَائِم، وتُعَدّ تيارات الحمل في الستار المسؤولة الرئيسية عن حركة الصُّفَائِم الأرضية.

تَنَاطِيجُ التَّعْلِمِ:

- أتَعْرَفُ بنية الأرض الداخلية.
- أَحَدِّدُ أنواع حدود الصُّفَائِم.
- أَوْضَحُ العلاقة بين التراكيب الجيولوجية وحركة الصُّفَائِم التكتونية.
- أَرْبِطُ بين حدوث الزلازل والبراكين وبين حدود الصُّفَائِم الأرضية.

أَفَاهِيمُ وَالصَّرْطَلَحَانُ:

نظريَّة الصُّفَائِم التكتونية

Plate Tectonic Theory

صفيحة Plate

الحدود المتباعدة

Divergent Boundaries

الحدود المتقاربة

Convergent Boundaries

نطاق الطرح Subduction Zone

الأقواس البركانية Volcanic Arcs

أقواس الجُزر Island Arcs

الحدود التحويلية Transform Boundaries

تيارات الحمل Convection Currents

درست سابقاً 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؛ الصلبة والسائلة والغازية، في حين تنتقل الموجات الثانوية عبر الأوساط الصلبة فقط.

وقد استخدم العالم اليوغسلافي أندريا موهورو فيتش 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 المُتوقع اعتماداً على معرفة سرعة الموجات الزلزالية، في حين تصل الموجات الزلزالية إلى أجهزة السيزموغراف في المحطات القريبة من بؤرة الزلزال بالزمن المُتوقع الوصول فيه. أنظر الشكل (12).

استنتج موهورو فيتش أن الموجات الزلزالية مررت 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 المُتوقع؛ لأنها انتقلت في النطاق العلوي، في حين وصلت الموجات الزلزالية إلى أجهزة السيزموغراف في المحطات البعيدة عن بؤرة الزلزال بزمن أقل من المُتوقع؛ لأنها انتقلت في النطاق السفلي.

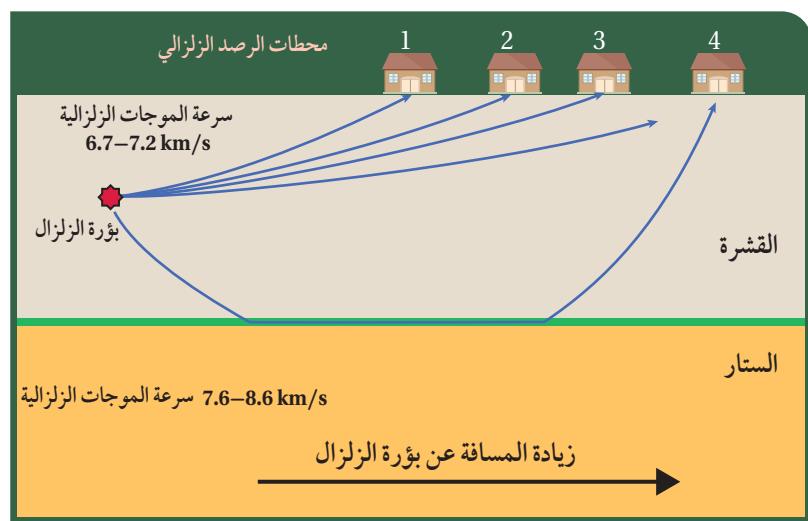
قدر عمق الحد الذي يفصل بين نطاق السرعة المنخفضة ونطاق السرعة المرتفعة (10–70 km) وسمى انقطاع موهو، وهو الحد الذي يفصل بين القشرة والستار، ويدرسة الموجات الزلزالية التي تنتقل في باطن الأرض أمكن تعرّف سماكات أنطمة الأرض المختلفة وخصائصها.

**أَفْخَر**  
أَسْتَنْج سبب اختلاف سرعة الموجات الزلزالية في النطاقين: العلوي، والسفلي وفقاً لاستنتاج موهورو فيتش.

**أَتَحْقَق:** أحدد أهمية المحتسبات في تعرّف 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 الواسطة إلى محطة الرصد الزلزالي (4).



## بنية الأرض Earth's Structure

قسم العلماء بنية الأرض الداخلية باستخدام الدراسات الجيوفизيائية إلى ثلاثة أنطـقة رئيسة، هي:

### القشرة الأرضية Earth Crust

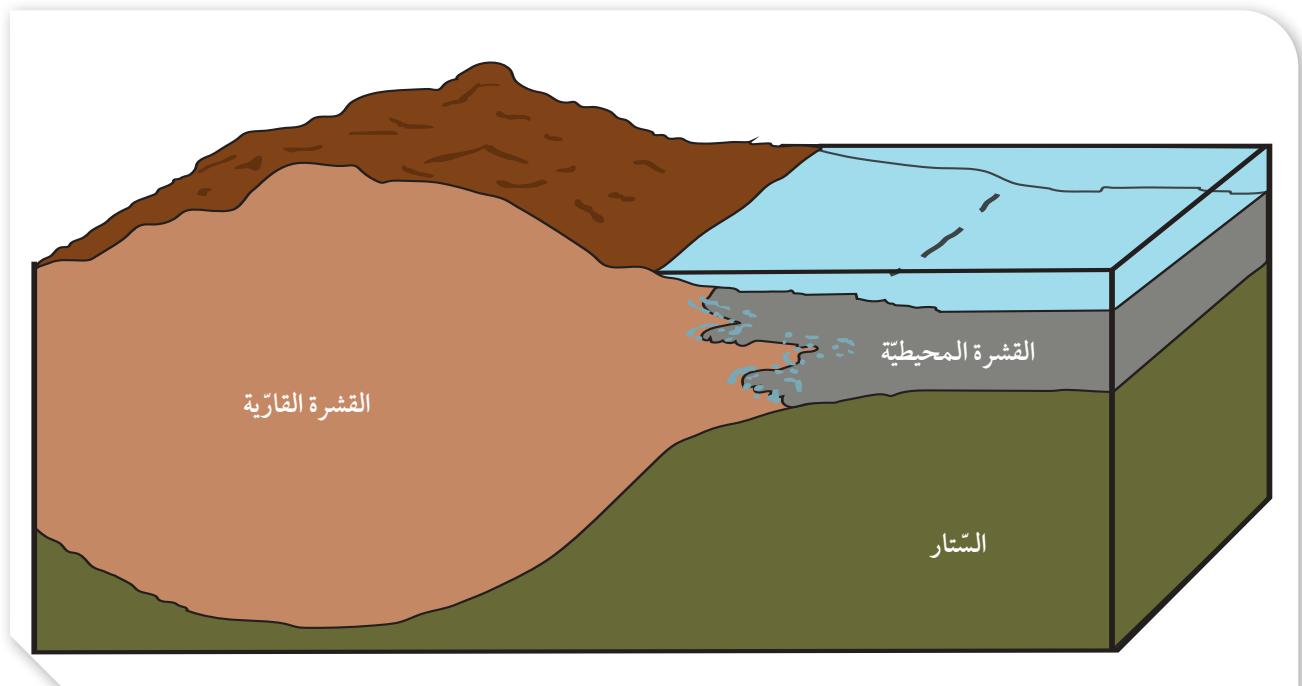
تمثـل القشرة الأرضية النطـق الخارجي الصـلب للأرض، وتقسـم إلى نوعين: قشرة محيطـية تقع أسفل المحيطـات تتكون من صخر البازلت ويبلغ متوسط سـمكـها 7 km تقريـباً، ومتوسط كثافتها  $3 \text{ g/cm}^3$ ، وقشرة قارـية تقع أسفل القارات تتكون بشكل رئيس من صخر الغرانيـت، ويبلغ متوسط سـمكـها 35 km تقريـباً، ومتوسط كثافتها  $2.7 \text{ g/cm}^3$ . انظر الشـكل (13).

### الستـار Mantle

يقـع الستـار أسفل القشرة الأرضـية، ويمتد إلى عـمق 2885 km، ويـقسـم إلى أجزاء مختـلـفة بنـاءً على الخـصـائـص الفـيـزـيـائـية لمـكوـنـاتـه على النـحو الآـتي:

- **الستـار العـلـوي Upper Mantle** وهو الجزـء من الستـار الذي يـمـتد من أسفل القشرة الأرضـية حتى عـمق 700 km، ويـقسـم إلى جـزـأـيـن، الجزـء العـلـويـ منه تـشـبـه خـصـائـصـه خـصـائـصـ القـشـرـةـ الأرضـيةـ، وـهـوـ فيـ الحـالـةـ الصـلـبةـ، وـيـتـكـونـ من صـخـورـ الـبـيرـيدـوـتـيتـ، وـيـمـتدـ إـلـىـ عـمقـ 100 km.

الشكل (13): تـقـسـمـ القـشـرـةـ الأرضـيةـ إـلـىـ نـوـعـيـنـ: قـشـرـةـ قـارـيـةـ، وـقـشـرـةـ مـحـيـطـيـةـ. أـقـارـنـ بـيـنـ القـشـرـةـ القـارـيـةـ، وـقـشـرـةـ مـحـيـطـيـةـ مـنـ حـيـثـ: السـمـكـ، وـالـكـثـافـةـ.



## الربط بعلم الزلازل

استخدم العلماء المعلومات التي تم الحصول عليها من دراسة سلوك الموجات الزلزالية في باطن الأرض في تعرّف بنية الأرض، وتحديد أنطقتها الرئيسية. وتوصلوا إلى وجود انقطاعات بين هذه الأنطقت، حيث تتغيّر سرعة الموجات تغّيرًا مفاجئاً منها: انقطاع وهو الذي يفصل القشرة الأرضية عن السّتار، وانقطاع غوتنيبرغ الذي يفصل السّتار عن اللّب.

الشكل (14): تكون الأرض من ثلاثة أنطقت رئيسية، هي: القشرة الأرضية، والستار، واللب. أحدهم سُمك الغلاف المائي.

ويُطلق العلماء على الجزء الصلب من الأرض الذي يشمل القشرة الأرضية والجزء العلوي من السّتار العلوي على عمق 100 km الغلاف الصّخري Lithosphere.

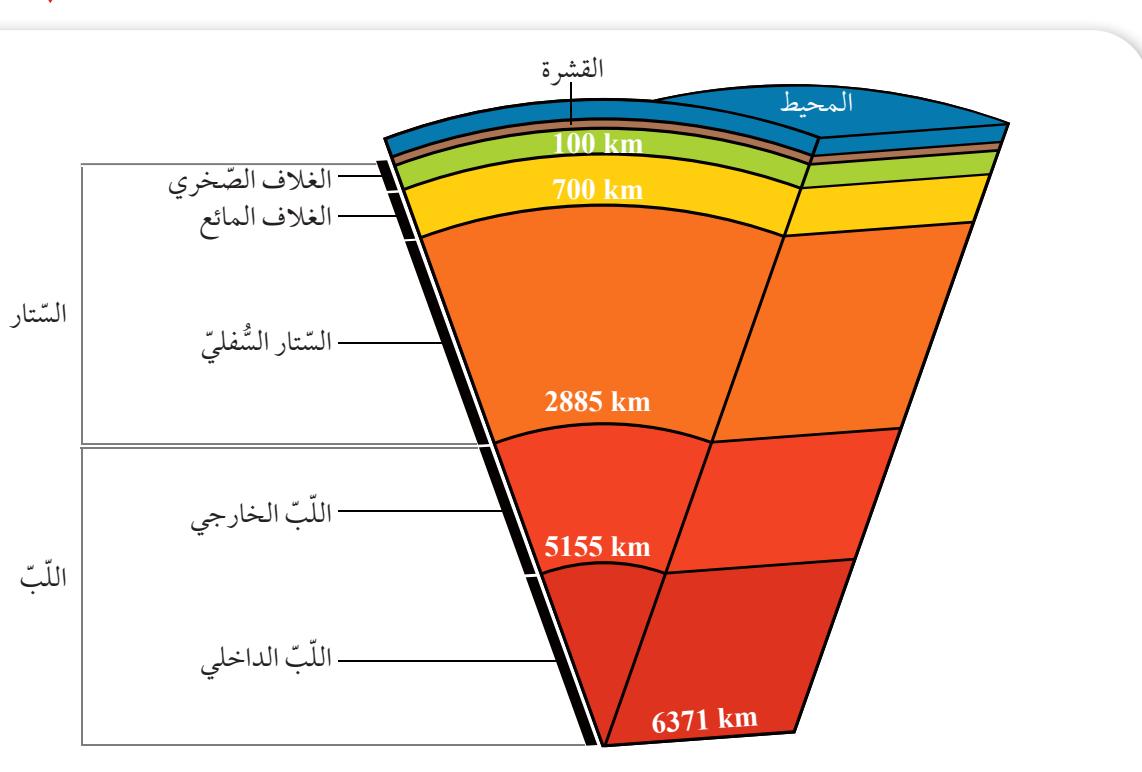
والجزء السُّفليّ منه يُسمّى الغلاف المائي Asthenosphere، ويتمتد من عمق 100 km حتى عمق 700 km، ويتكوّن من صخور في الحالة اللّينة.

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

## اللب Core

يمتد اللّب من عمق 2885 km وحتى مركز الأرض على عمق 6371 km، ويقسم اللّب إلى جزأين: اللّب الخارجي Outer Core، وهو في الحالة السائلة ويتكوّن بصورة أساسية من عنصري الحديد والنّikel، ومن عناصر أخرى مثل الكبريت والأكسجين والسيليكون. واللب الداخلي Inner Core، وهو في الحالة الصلبة، ويتكوّن من عنصري الحديد والنّikel. أنظر الشكل (14) الذي يمثل بنية الأرض الداخلية.

**أتحقق:** أصف الحالة الفيزيائية لكل من: الغلاف الصّخري، والغلاف المائي.

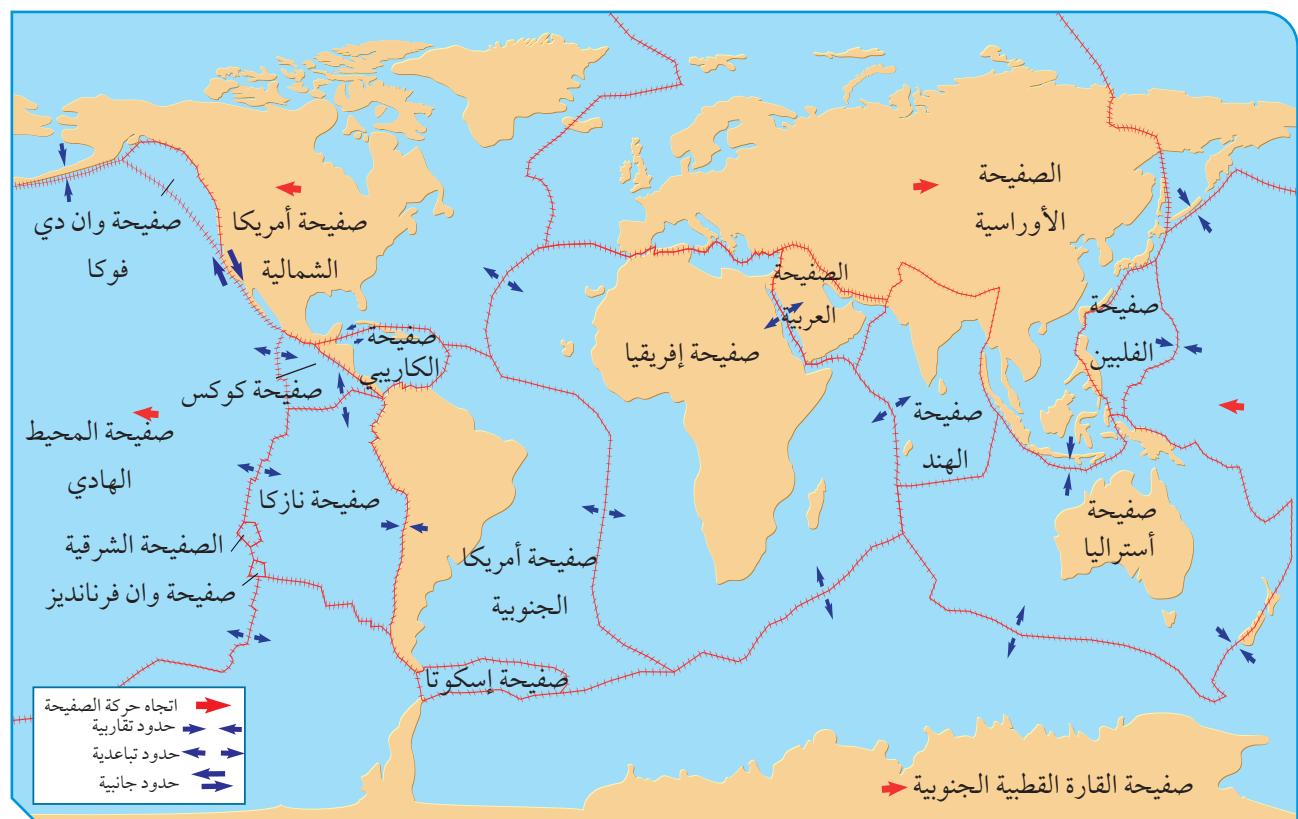


## نظريّة الصّفائح التكتونيّة Plate Tectonic Theory

فسّر العلماء من خلال فرضيّة توسيع قاع المحيط آلية حركة القارات، وكيفية تشكُّل المُحيطات، ولكنهم مع ذلك لم يستطعوا تفسير العديد من المظاهر الجيولوجيّة الأخرى، مثل تشكُّل البراكين والزلزال والجبال في أحزمة معينة من سطح الأرض. وقد طور العديد من العلماء نظرية جديدة اعتمدت على دمج أدلة جديدة مع الأدلة السابقة التي قدّمها كل من العالمين فنر وهس فسرت الظواهر الجيولوجيّة كافة سُميّت نظرية الصّفائح التكتونيّة Plate Tectonic Theory.

تنصّ نظرية الصّفائح التكتونيّة على أن "الغلاف الصّخري الصّلب مُقسَّم إلى عدد من القطع يُسمَّى كل منها صفيحة Plate". تتحرّك كل صفيحة ببطء فوق الغلاف المائي حركة مستقلّة نسبَة إلى الصّفائح المجاورة لها، إما متقاربة معها، أو متَّبعة عنها، أو بمحاذاتها بحركة جانبية "أنظر الشكل (15)"، وتختلف الصّفائح في حجمها، فبعضها صفائح كبيرة الحجم مثل صفيحة أوراسيا، وبعضها صغيره الحجم مثل صفيحة إسكتوتا. وتصنَّف الصّفائح الأرضية بحسب تركيبها إلى نوعين: صفائح قاريّة Continental Plates وهي الصّفائح التي تتضمّن بداخلها القارات، وتتكوّن من صخر الغرانيت، وتحتوي في الغالب

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



على جزء من القشرة المحيطية، وصفائح محيطية Oceanic Plates تقع أسفلَ المحيطات، وتتكوّن من صخر البازلت.

### أتحقق: أقارِن بين الصَّفائح ✓

القارّية والصَّفائح المحيطية  
من حيث نوع الصّخور  
المكوّنة لها.

### أنواع حدود الصَّفائح

تحدث الحركة بين الصَّفائح الأرضية على امتداد حدودها، ويُسمى التقاء حواف الصَّفائح مع بعضهما بعضاً حدود الصَّفائح Plate Boundaries، وتُقسَّم حدود الصَّفائح إلى ثلاثة أنواع اعتماداً على طبيعة حركتها هي: الحدود المتباعدة، والحدود المتقاربة، والحدود التحويلية. وتميّز معظم الصَّفائح بوجود أنواع مختلفة من الحدود على حواجزها.

#### الحدود المتباعدة Divergent Boundaries

تشكّل الحدود المتباعدة Divergent Boundaries حينما تبتعد صفيحتان عن بعضهما بعضاً، وتوجد معظم الحدود المتباعدة في المحيطات على امتداد وسط ظَهْر المحيط في مناطق الوديان المتصدّعة Rift Valleys وهي مناطق منخفضة ضيّقة تقع على امتداد ظَهْر المحيط تتكون نتيجة تباعد الصَّفائح بعضها عن بعض. ويترافق من تباعد الصَّفائح توسيع قاع المحيط ونشاء غلاف صخري محيطي في مناطق ظَهْر المحيط؛ لذلك تُسمى الحدود المتباعدة بمراكيز التوسيع، وقد تحدث بعض مراكيز التوسيع أيضاً في القارات، مثل الوادي المتصدّع الكبير الذي يتشكّل حالياً في شرق إفريقيا. انظر الشكل (16).

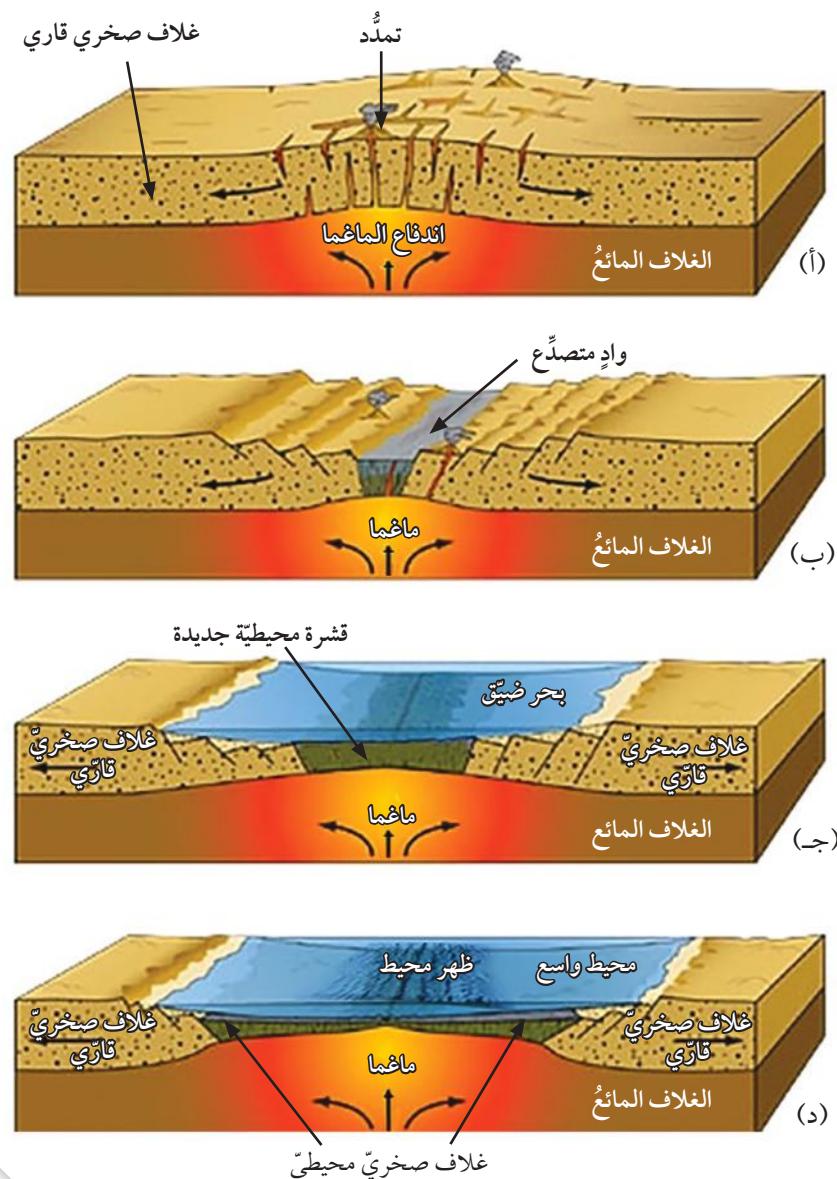
الشكل (16): الوادي المتصدّع الكبير شرق إفريقيا الذي يمثل مركزَ توسيع في وسط القارة.

تُسمى الحدود المتباعدة الحدود البناءة؛ لأنَّه يحدث فيها بناءً غلاف صخري محيطي جديد. ولكن كيف ينشأ محيط جديد في وسط القارة؟



**أفخر** لماذا تتميز مناطق ظهر المحيط بحدوث الزلزال والبراكين فيها؟

تبعد عملية نشأة المحيط عندما ترتفع التيارات الصاعدة حاملةً معها المagma للأعلى؛ لتصل إلى أسفل الغلاف الصخري القاري، ونتيجة للحرارة العالية يتمدّد. ومع استمرار صعود magma تولّد قوى شدّ تعمل على تشقّق الغلاف الصخري القاري، وتكون الصدوع العاديّة. ثم في النهاية يتشقّق الغلاف الصخري القاري وينقسم إلى صفيحتين بينهما وادٍ متصدّع. ومع استمرار اندفاع magma أسفل الصفيحتين يزداد تباعد الصفيحتين، وتت تكون قشرة محيطيّة جديدة ويُبني غلاف صخري محيطي جديد، ويتشكل بحرٌ ضيق مثل البحر الأحمر. ومع استمرار اندفاع magma تتكون قشرة محيطيّة جديدة، ويُبني غلاف صخري محيطي جديد، وبازدياد التباعد يتكون محيط مثل المحيط الأطلسي. انظر الشكل (17).



الشكل (17): مراحل تشكّل المحيط، إذ يبدأ باندفاع magma أسفل الصفيحة، ويتطرّر حتى يتشكّل محيط جديد.

(أ): تتدفع magma إلى أعلى، ما يؤدي إلى تمدد الغلاف الصخري القاري ومن ثم تشقيقه.

(ب): ينقسم الغلاف الصخري القاري، ويُت تكون وادٍ متصدّع.

(ج): يتشكل بحر ضيق.

(د): في النهاية يتشكّل محيط.

## الحدود المتقاربة Convergent Boundaries

### تشكل الحدود المتقاربة Convergent Boundaries

من بعضهما بعضاً، وتعتمد المظاهر الجيولوجية الناتجة على نوع الصّفائح المتقاربة، فقد تتشكل الحدود المتقاربة من تقارب صفيحتين محيطية مع صفيحة قارّية، أو تقارب صفيحتين محيطيتين، أو تقارب صفيحتين قارّيتين. وتُسمى الحدود المتقاربة الحدود الهدامة؛ بسبب حدوث استهلاك للغلاف الصّخري المحيطي على حدودها.

### تقاوب صفيحة محيطية مع صفيحة قارّية

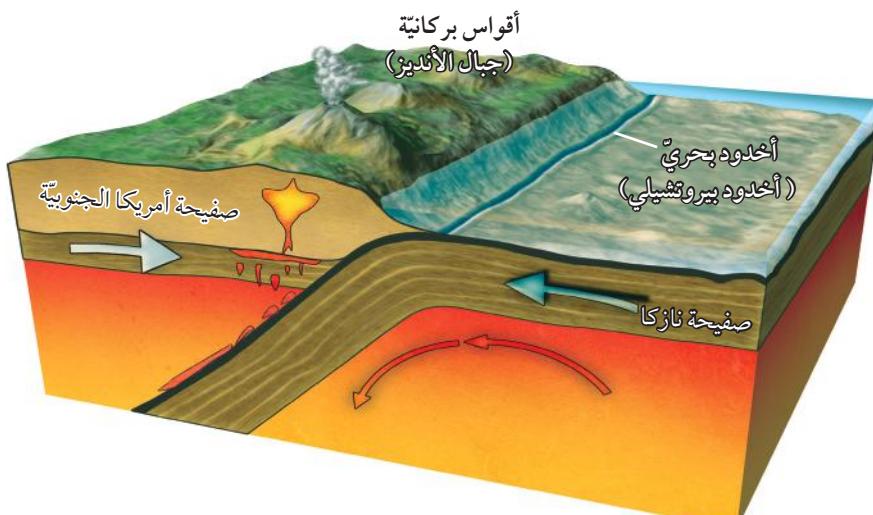
#### Convergence of an Oceanic Plate with a Continental Plate

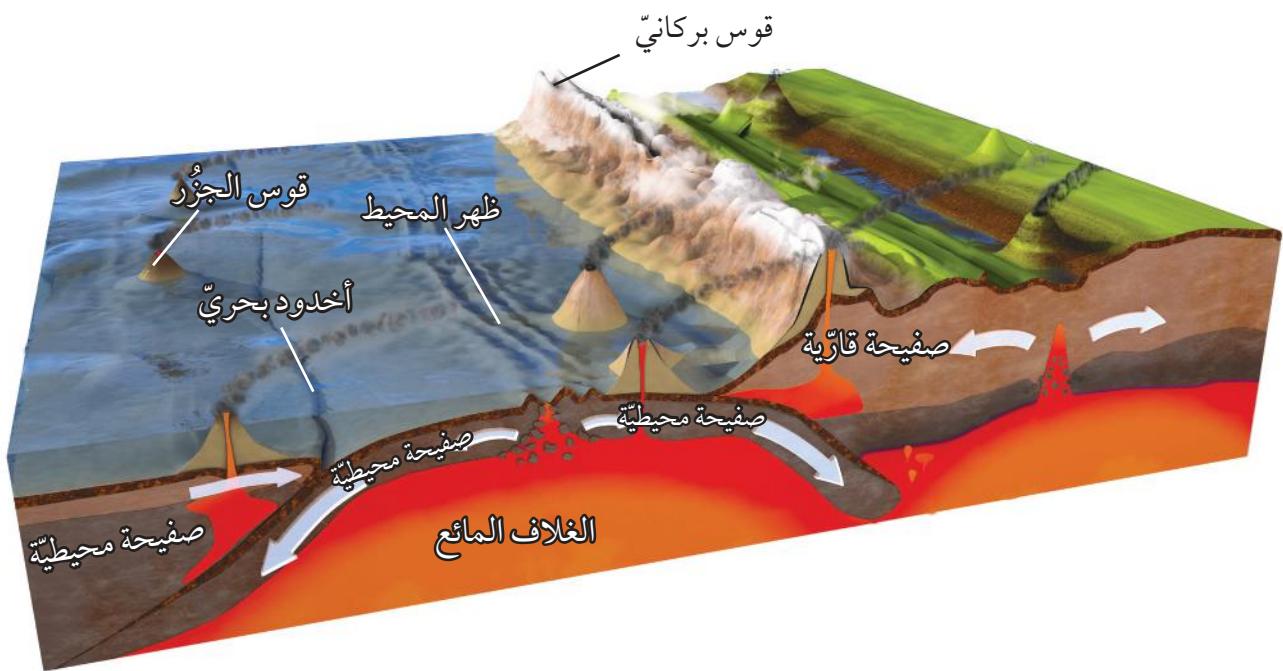
عند تقارب صفيحة قارّية من صفيحة محيطية تطفو الصّفيفة القارّية فوق الصّفيفة المحيطية؛ لأنها أقل كثافة منها، وتغطس الصّفيفة المحيطية الأكثر كثافة في الغلاف المائي. ولذلك، يُسمى هذا النوع من التقارب **نطاق الطرح Subduction Zone**. انظر الشكل (18). ويتجزء من نطاق الطرح أحدود بحريّ نتيجة غطس الصّفيفة المحيطية أسفل الصّفيفة القارّية. ومن أمثلته: أحدود بيرو - تشيلي الناتج من غطس صفيحة نازكا المحيطية أسفل صفيحة أمريكا الجنوبيّة القارّية.

تحمل الصّفيفة المحيطية الغاطسة معها رسوبّيات محيطية، وعندما تصل إلى عُمق يتراوح بين km (100–150) تبدأ حواها وما تحمله من رسوبّيات بالانصهار، وتنتج مagma جديدة أنديزية التركيب أقل كثافة مما حولها، فترتفع إلى الأعلى حتى تصل في النهاية إلى سطح الأرض على شكل سلسلة من البراكين، تمتد على طول حافة الصّفيفة القارّية موازية للأحدود البحريّ على شكل قوس يُسمى **القوس البركاني Volcanic Arc** مثل جبال الأنديز في أمريكا الجنوبيّة.

الشكل (18): يتيح من غطس صفيحة محيطية أسفل صفيحة قارّية نطاق طرح.

أفسّر سبب تكون أحدود بحريّ بين صفيحتي نازكا وأمريكا الجنوبيّة.





الشكل (19): عند غطس صفيحة محيطية أسفل صفيحة محيطية يتكون قوس الجزر وأخدود بحري.

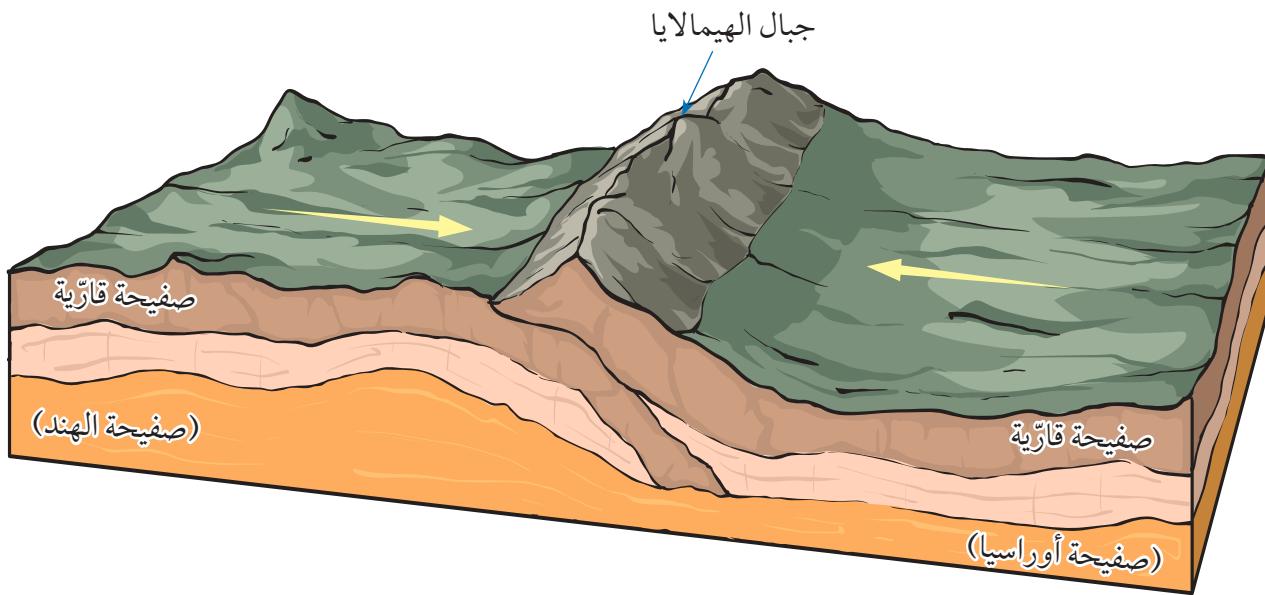
### تقارب صفيحتين محيطيتين Convergence of two Oceanic Plates

عند تقارب صفيحتين محيطيتين من بعضهما بعضاً، تغطس الصفيحة الأبرد والأكثر كثافة تحت الأخرى، ما يؤدي إلى حدوث انصهار جزئي لحافتها الغاسطة، وتصعد المagma البازلتية الناتجة بسبب قلة كثافتها للأعلى حتى تصل إلى قاع المحيط؛ مشكلاً براكين بحرية يزداد ارتفاعها مع الزمن، وتحول إلى جزر بركانية. ومع استمرار حركة الصفيحة تنتج سلسلة من الجزر على شكل قوس يوازي الأخدود البحري، يُسمى **قوس الجزر Island Arc**، مثل: قوس جزر ماريانا غرب المحيط الهادئ الموازية لأنحدود ماريانا، الذي نتج من غطس صفيحة المحيط الهادئ المحيطية أسفل صفيحة الفلبين المحيطية. أنظر الشكل (19).

**أفخر** عند غطس صفيحة محيطية أسفل صفيحة محيطية أخرى فإنها تصهر. ما نوع الصخور المكونة لأقواس الجزر البركانية الناتجة؟  
لماذا؟

### تقارب صفيحتين قاريتين Convergence of two Continental Plates

تحتوي معظم الصفائح القارية في نهايتها على جزء محيطي. لذلك، عند تقارب صفيحتين قاريتين من بعضهما بعضاً، يغطس الجزء المحيطي للصفيحة أسفل الصفيحة القارية الأخرى، ويتكوين نطاق الطرح. ومع استمرار الغطس يستهلك الجزء المحيطي ويلتقي الجزء القاري بالجزء القاري من الصفيحة الأخرى. وبسبب الكثافة المنخفضة للصفائح القارية نسبة إلى الصفائح المحيطية، وبسبب سماكتها الكبيرة تتصادمان مع بعضهما بعضاً، وينتزع من التصادم تشوه للصخور، وتشكل الطيات والصدوع العكسية على امتداد حدود التصادم. وينتزع من التصادم



الشكل (20): عند تقارب صفيحتين قاريتين من بعضهما بعضاً، لا يحدث غطس لأيٍ منهما، ولكن يحدث تصادم للصفيحتين مع بعضهما بعضاً.

**أفسر:** لماذا لا تغطس إحدى الصفيحتين القاريتين أسفل الأخرى عند التقاءهما؟

أيضاً سلسلة جبال ضخمة جديدة تتكون من صخور رسوبية مشوّهة ومحولّة، وبقايا من القوس البركاني، وأيضاً أجزاءً من القشرة المحيطية. ومن الأمثلة على تلك السلاسل الجبلية: جبال الهيمالايا التي تشكّلت نتيجة تصادم صفيحة أوراسيا مع صفيحة الهند. انظر الشكل (20).

### الأدلة على حدود الطرح Evidence of Subduction Zone

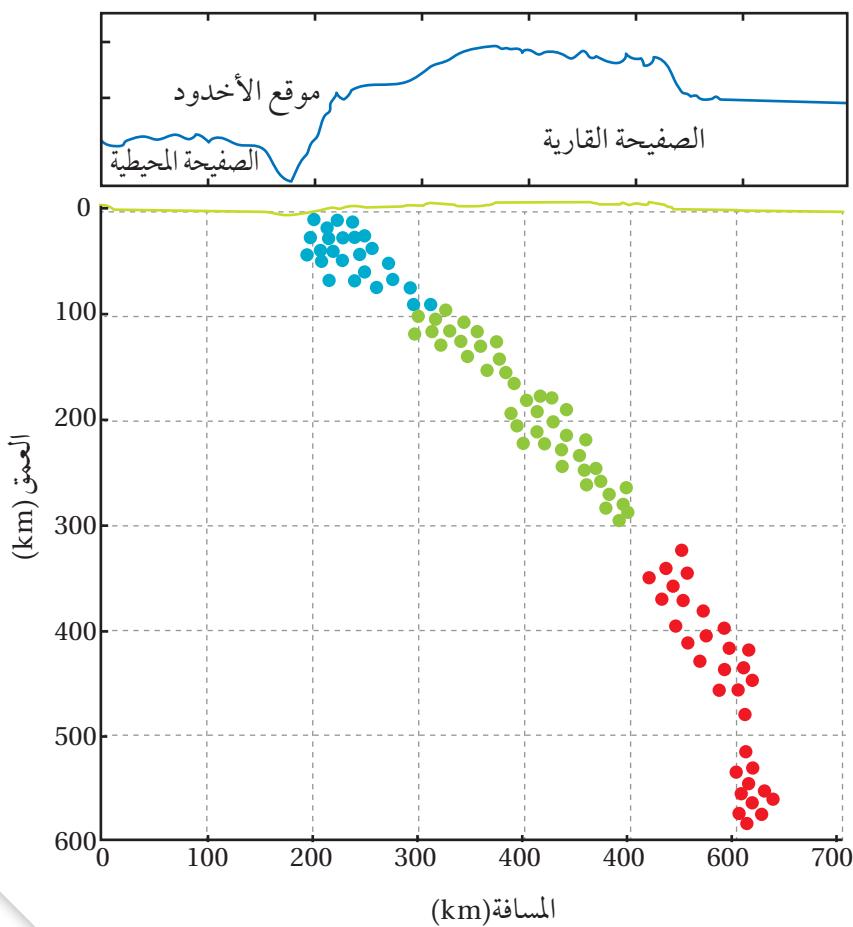
اعتمد العلماء على مشاهدات عديدة تثبت وجود عملية طرح للفوائح المحيطية عند الحدود المتقاربة، أهمّها: قيم التدفق الحراري عند الأخداد البحرية، ونطاق وادي - يبيّنون الذي يظهر فيه توزيع البؤرزلالية الضحلّة والمتوسطة والعميقة عند الأخداد البحرية.

#### قيم التدفق الحراري عند الأخداد البحرية

##### Heat Flux Measurements at Deep Sea Trenches

تُعدّ قيم التدفق الحراري عند الأخداد البحرية دليلاً على وجود طرح للفواحة المحيطية عندها، ويُعرّف التدفق الحراري بأنه مُعدّل انتقال الحرارة من باطن الأرض إلى سطحها، إذ تنخفض قيم التدفق الحراري في الستار عند الأخداد البحرية، ويُفسّر ذلك بأنّ غطس الصفيحة المحيطية الباردة في الستار يؤدي إلى خفض درجة حرارته.

**أفخر**  
لماذا تشكّل الصُّدوع  
العكسية في منطقة تصادم  
الصفيحتين القاريتين؟



### نطاق واداتي - بينيوف The Wadati - Benioff zone

حلّ عالم الزلزال الأمريكي Hugo Benioff عام 1954، والعالم الياباني واداتي Wadati البيانات الزلزالية التي حصل عليها من الأحزمة الزلزالية المنتشرة عند الأخدود البحري، ووجداً أن بؤر الزلزال الضحل والمتوسطة والعميقة تُنحصر في نطاق مائل صلب يمتد من الأخدود البحري، وينحدر إلى الغلاف المائي؛ أي إلى عمق 700 km تقريباً. وأطلق على هذا النطاق نطاق واداتي - بينيوف نسبة إليهما إلا أن العالمين لم يستطعا تفسير وجود زلزال على عمق أكبر من 100 km، إذ إن الزلزال تحدث في الغلاف الصخري، ولا يمكن أن تحدث في الغلاف المائي. وقد جاءت نظرية الصفائح التكتونية لتتبين هذه الأدلة التي تؤيد طرح صفيحة محيطية (تمثل الغلاف الصخري) داخل الستار عند حدود الصفائح المتقاربة، أنظر الشكل (21)، وفيها فسر حدوث الزلزال المختلفة عند أنطقة الطرح كالتالي:

- تكون الزلزال الضحلة عندما يجتاح الضغط والطاقة الناتجة من غطس الصفيحة

**أفـٰخـٰز** تحدث الزلزال في الغلاف الصخري الصلب الذي يمتد إلى عمق 100 km تقريباً، كيف يفسّر حدوث الزلزال على أعمق أكبر من سماكة الغلاف الصخري؟

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

المحيطة (الغلاف الصخري البارد والصلب) قوة مقاومة الغلاف المائع، فتنظر الصفيحة المحيطة فجأة مُحرّرة الطاقة المخزونة على شكل موجات زلزالية.  
- بزيادة غطس الصفيحة المحيطة تتعرّض لضغط أكبر، فتتكسر مُحرّرة 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 (GPS)**

يُعد استخدام نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) من الأدلة الحديثة الداعمة لنظرية حركة الصفائح التكتونية، بما في ذلك حركتها عند أنطقة الطرح. حيث توضع محطات GPS في أماكن ثابتة من الصفائح المختلفة لمستقبل موجات كهرمغناطيسية من الأقمار الاصطناعية، ومن ثمّ، تُحلّ تلك الموجات على مدد 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.

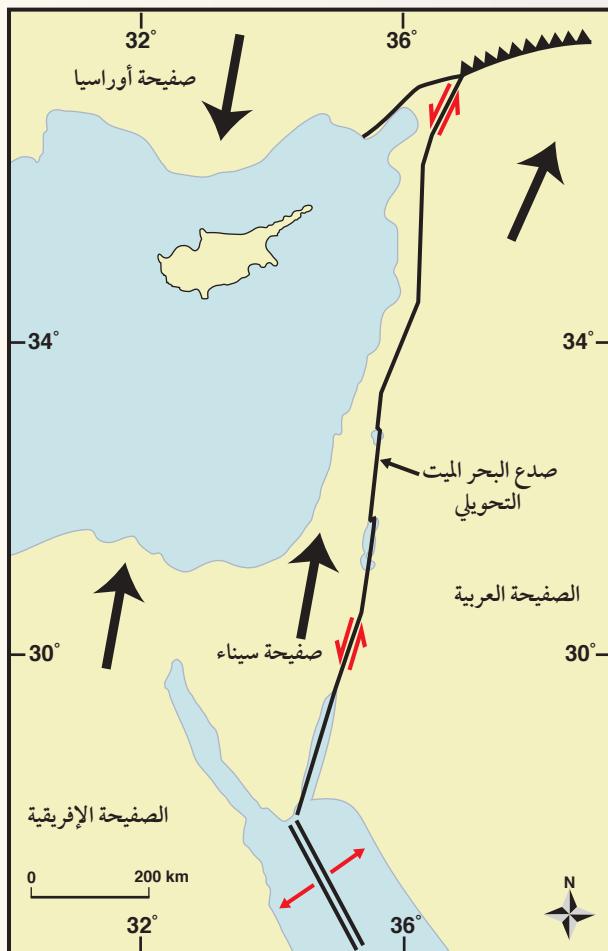
### الحدود التحويلية Transform Boundaries

✓ **تحقق:** أذكر مظاهرин جيولوجيين يتشكلان نتيجة تصادم صفيحتين فاريتين.

تُسمى **الحدود التحويلية** Transform Boundaries أيضًا **الحدود الجانبيّة**، إذ تتحرّك الصفائح فيها أفقياً بمحاذة بعضها بعضاً، وتحدث هذه الحدود على امتداد صدوع طويلة يصل طول بعضها إلى مئات الكيلومترات، تُسمى صدوع التحويل Transform Faults؛ لأن اتجاه الحركة النسبية لصفيحتين المجاورتين وسرعتهما يختلفان على امتداد الحد الفاصل بينهما. ولا يحدث استهلاك أو بناء للغلاف الصخري عند الحدود التحويلية؛ لذلك، توصف بأنها حدود محافظة Conservative Boundaries. وتوجد معظم صدوع التحويل بشكل متوازٍ على جانبي ظهر المحيط، ومن الأمثلة على صدوع التحويل: صدع البحر الميت التحويلي الذي يفصل بين الصفيحة العربية وصفيحة سيناء، وصدع سان أندریاس الذي يفصل صفيحة أمريكا الشمالية وصفيحة المحيط الهادئ. ولتعُرف كيفية اختلاف اتجاه الحركة النسبية على امتداد صدوع التحويل أنفذ النشاط الآتي:

## ضدوع التحويل

يُعدّ صدع البحر الميت التحويليًّا أحد ضدوع التحويل الناتج من حركة صفيحة سيناء، والصفيحة العربية. وقد تعلمتُ سابقاً في التجربة الاستهلالية أن هناك إزاحة أفقية حدثت بين الصفيحتين. تمثل الأسهُم ذات اللون الأسود اتجاه الحركة الحقيقية لصفيحة أوراسيا، والصفيحة العربية، وصفيحة سيناء والصفيحة الإفريقيَّة، في حين تمثل الأسهُم الحمراء الصغيرة (➡) الحركة النسبيَّة لصدع البحر الميت التحويليًّا. أدرس الشكل الآتي، ثم أجيِّب عن الأسئلة التي تليه:



### التحليل والاستنتاج:

- أحدَّد اتجاه الحركة الحقيقية لصفيحة العربية وصفيحة سيناء.
- أحدَّد اتجاه الحركة النسبيَّة على جانبي صدع البحر الميت التحويليًّا.
- أقارن** بين الحركة الحقيقية والحركة النسبيَّة لكل من الصفيحة العربية، وصفيحة سيناء من حيث الاتجاه.
- أتوقع** سبب اختلاف اتجاه الحركة النسبيَّة لصفيحة سيناء عن اتجاه حركتها الحقيقية.

## أسباب حركة الصفيحة

اكتشف العالم ولسون أن **تيارات الحمل Convection Currents** داخل

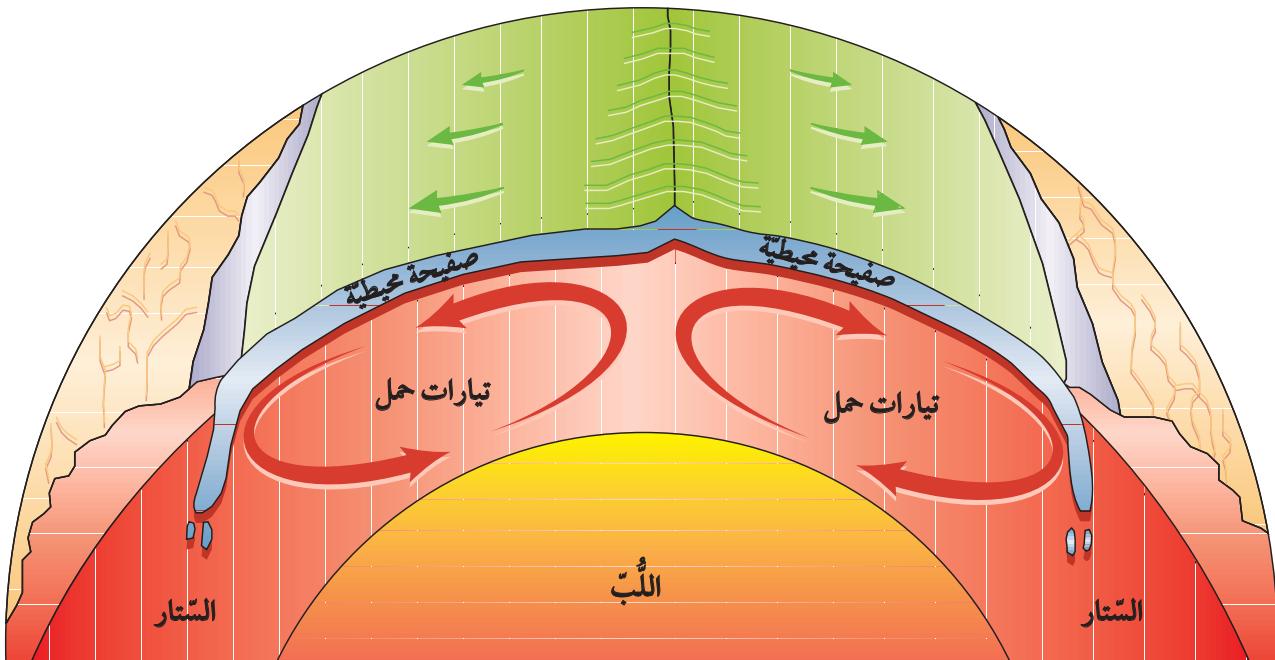
✓ **أتحقق:** أوضح أهمية التيارات الهاابطة في حركة الصفائح.

الستار هي القوة المسؤولة عن حركة الصفائح الأرضية، حيث وضح آلية حركة تيارات الحمل على النحو الآتي:

يؤدي تحلل العناصر المشعة المترکزة في الستار إلى زيادة تسخين المagma المحيطة فيها فتقل كثافتها، مشكلة تيارات صاعدة ترتفع إلى الأعلى، حيث يخرج جزء قليل من magma من منطقة ظهر المحيط مكونةً غالباً صخرياً محليّاً جديداً، وتنتشر باقي magma جانبياً أسفل الصفيحة (الغلاف الصخري) متقدمةً عن ظهر المحيط، ساحبةً معها الصفيحتين على جانبي ظهر المحيط، وبالتالي تبرد هذه magma وتزداد كثافتها، فتبعد بالغضس من جديد إلى أسفل، لتحل محل magma الصاعدة؛ مشكلةً ما يُسمى التيارات الهاابطة التي يمكن أن تسحب معها الصفيحة التي تعلوها، مكونةً مع الرمن أنطقَةَ الطرح. انظر الشكل (22). وعلى الرغم من أن تيارات الحمل قد تمتّد إلى آلاف الكيلومترات، إلا أنها تتدفق في وسط ظهر المحيط بمعدل عدّة سنتيمترات في السنة، ويؤدي استمرار حركة التيارات الصاعدة والهاابطة إلى تحريك الصفائح الأرضية.

الشكل (22): تُعد تيارات الحمل القوة الرئيسية المسئولة لحركة الصفائح الأرضية.

أفسر: ما العلاقة التي تربط التيارات الصاعدة بحركة الصفائح الأرضية؟



## البراكين والزلازل وحركة الصفائح

### Volcanoes, Earthquakes and Plate Tectonics

عند دراسة توزُّع البراكين والزلازل على سطح الأرض نجد أنَّ معظم البراكين والزلازل تتمركز عند حدود الصُّفائح.

#### توزيع البراكين Distribution of Volcanoes

درست سابقاً أنَّ البراكين تتكون عند حدود الصُّفائح المتباعدة، وحدود الصُّفائح المتقاربة. أنظر الشكل (23). تتكون البراكين البازلتية على امتداد الحدود المتباعدة في مناطق الوديان المُتصدعة، ومناطق ظُهر المحيط، أما الحدود المتقاربة التي تنشأ عن غطس صفيحة محيطية أسفل صفيحة قارية أو أسفل صفيحة محيطية، فتنتج براكين ذات تركيب أنديزitic، أو ذات تركيب بازلتي على امتداد الأخدودات البحرية على التوالي. وتتكون البراكين المحيطة بالมหาطل الهادي بهذه طريقة التي تنتُج من غطس صفيحة المحيط الهادي، وصفيحة نازكا أسفل الصُّفائح الأخرى المحيطة بها.

✓ أتحقق: أوضِّح: ما المقصود

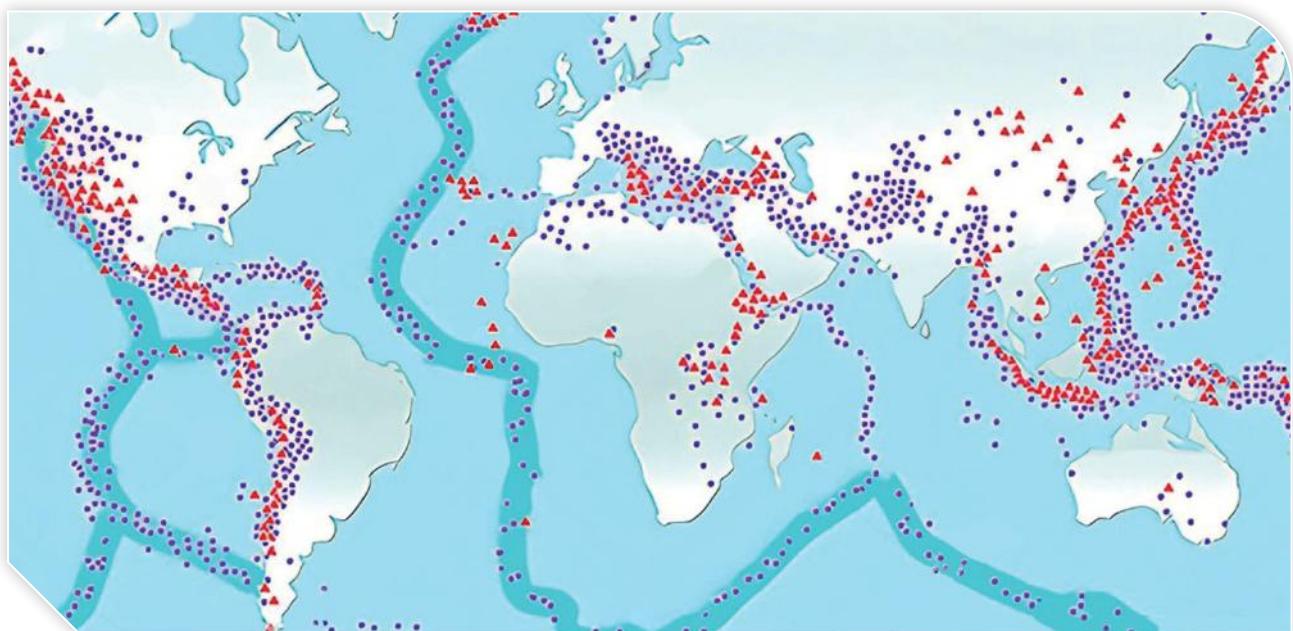
بأحزمة الزلازل؟

#### توزيع الزلازل Distribution of Earthquakes

درست سابقاً أنَّ الزلازل تتشكل نتيجة حركة الصُّفائح الأرضية، وأنَّ معظم الزلازل تتمركز عند حدودها، وتُسمى أماكن تجمُّعها أحزمة الزلازل. ويتمركز 80% من الزلازل تقريباً حول حزام المحيط الهادي الناري. أنظر الشكل (23). وتصاحب الزلازل أنواع الحدود الثلاثة: المتباعدة، والمتقاربة، والتحولية.

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

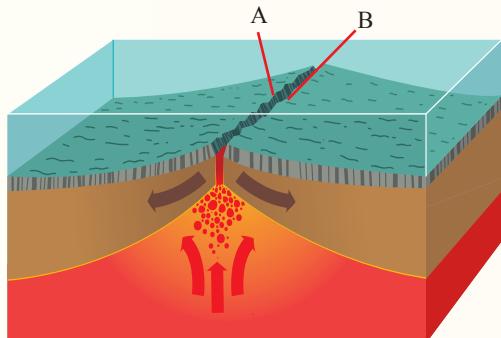
أحدَد الصُّفائح الأرضية التي أنتجت البراكين التي تقع على الحد الغربي لقارَّة أمريكا الجنوبيَّة.



▲ براكين • زلازل

# مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: أحدد المظاهر الجيولوجية التي تتشكل عند حدود الصفائح المتقاربة.
2. **الشخص** نص نظرية الصفائح التكتونية.
3. **أتبأ**: كيف سيتغير الوادي المتصلّع الكبير شرق إفريقيا بعد عدّة ملايين من السّنين؟
4. **استنتج** العلاقة بين أماكن توزُّع البراكين على سطح الأرض، وأماكن توزُّع الزلازل ، وأبّين الأسباب.
5. أوضّح ماذا يحدث عند تقارب صفيحتين قارئتين من بعضهما بعضاً.
6. **اقارن** بين اللب الداخلي واللب الخارجي من حيث: الحالة الفيزيائية، والتركيب الكيميائي.



7. أحسب المسافة بين النقطتين المجاورتين في منطقة ظهر المحيط (A, B) بعد  $y = 20000$  إذا كان متوسط سرعة تباعد الصفيحتين على امتداد ظهر المحيط يساوي  $3 \text{ cm/y}$ .

8. أحدد: أين تقع معظم صدوع التحويل على سطح الأرض؟

9. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

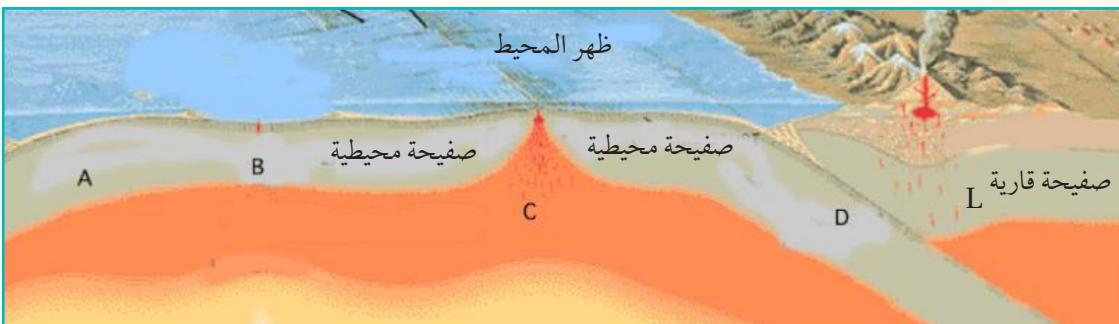
1. يفسر العلماء آلية حركة الصفائح الأرضية بأنها:

- أ . تطفو فوق المحيطات، وتحرك بشكل عشوائي.
- ب . تتحرك بفعل قوة تيارات الحمل داخل الستار.
- ج. تتحرك نتيجة ثوران البراكين وانزلاق الصخور.
- د . تتحرك بفعل دوران الأرض حول نفسها .

2. تتحرك الصفائح الأرضية فوق:

- ب. الغلاف الصخري.
- أ . اللب الخارجي.
- د . الغلاف الصلب.
- ج. الغلاف الصلب.

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



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

- ب. أُبرد منها وذات كثافة منخفضة.
- أ. أُبرد منها وذات كثافة عالية.
- د. أُسخن منها وذات كثافة منخفضة.
- ج. أُسخن منها وذات كثافة عالية.

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

- D . د
- C . ج
- B . ب
- A . أ

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

- ب. بعيدًا عن بعضها بعضًا.
- أ. باتجاه بعضها بعضًا.
- د. إدراهمًا للأعلى، والأخرى للأسفل.
- ج. جانبيًا بالنسبة إلى بعضها بعضًا.

6. نوع حدود الصفائح عند النقطة D:

- د . جانبيّة.
- ج. تحويليّة.
- ب. تباعديّة.
- أ . تقاريّة.

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

- د. بيريدوتيّي.
- ج. بازلتيّي.
- ب. أنديزيتّي.
- أ . غرانيتّي.

8. أي الأنطمة الآتية يفصل بينها انقطاع موهو؟

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

## الإثراء والتتوسيع

# حركة الصفائح التكتونية والتغير المناخي

## Plate Tectonic Movement and Climate Change

تحرك الصفائح التكتونية بصورة دائمة حركة بطيئة تدريجياً لا تتجاوز حركتها سنتيمترات عدّة في السنة، ولكن، ينبع من هذه الحركة على المدى الطويل العديد من المظاهر الجيولوجية، مثل تشكّل الجبال الضخمة والبحار والمحيطات وثوران البراكين وارتفاع قارات وظهور قارت آخر، وتؤثر تلك المظاهر في المناخ السائد على الأرض، حيث تؤثر الجبال في أنماط الرياح وهطل الأمطار وتعمل المحيطات والبحار على توازن المناخ، وتؤثر تيارات المحيط في درجة حرارة ورطوبة سطح الأرض.

هل توجد علاقة بين حركة الصفائح التكتونية والتغير المناخي؟ وهل كانت المناخات السائدة على الأرض مثلاً قبل 200 m.y في أثناء تشكّل قارة بانغيا مشابهة للمناخات السائدة في الوقت الحاضر؟

تؤثر حركة الصفائح في توزيع القارات، وهذا يؤدي إلى حدوث تغييرٍ مناخي عبر ملايين السنوات، وقد درست سابقاً أنَّ الثورانات البركانية الكبيرة تؤدي إلى حدوث تغييرٍ مناخي على سطح الأرض نتيجة انبعاث كميات كبيرة من غازات الدفيئة والرماد البركاني، لكنه محدود، وتُعدُّ الأنشطة البشرية هي السبب الرئيس في حدوث التغيير المناخي على سطح الأرض.

### الكتابة في الجيولوجيا

أكتب فقرة حول تأثير حركة الصفائح الأرضية في حدوث التغيير المناخي على سطح الأرض، ثم أعرض ما أكتبه على زميلي / زميلاتي في الصف.



## السؤال الأول:

أَضْعَدَ دائِرَةَ حَوْلِ رُمْزِ الإِجَابَةِ الصَّحِيحَةِ فِي مَا يَأْتِي:

1. الْجَزْءُ مِنَ الْأَرْضِ الَّذِي يَتَمَيَّزُ بِأَنَّهُ فِي الْحَالَةِ الصلبة

وَيَمْتَدُ مِنْ سطحِ الْأَرْضِ حَتَّى عُمُقَ 100 km هُوَ:

أَ . الْغَلَافُ الْمَاءِ.      بَ . السَّتَّارُ السُّفْلَى.

جَ . الْغَلَافُ الصَّخْرِيٌّ.      دَ . الْلَّبُ الدَّاخِلِيٌّ.

2. مِنَ الْأَدَلَّةِ الَّتِي اسْتَخَدَمَهَا فَغَنَرَ لِتَأْكِيدِ صَحَّةِ فَرَضِيَّتِهِ:

أَ . تَوْسُّعُ قَاعِ الْمَحِيطِ.

بَ . تَصَادُمُ الصَّفَائِحِ الْقَارِيَّةِ.

جَ . تَشَابُهُ الْأَحَافِيرِ.

دَ . تَيَّاراتُ الْحَمْلِ.

3. مِنَ الْأَدَلَّةِ عَلَى فَرَضِيَّةِ تَوْسُّعِ قَاعِ الْمَحِيطِ:

أَ . تَزْدَادُ أَعْمَارِ الصَّخْورِ كُلَّمَا اتَّجهَنَا نَحْوَ ظَاهِرِ الْمَحِيطِ.

بَ . أَعْمَارُ مُعَظَّمِ صَخْورِ قِيعَانِ الْمَحِيطِاتِ لَا يَزِيدُ عَلَى 180 m.y.

جَ . يَنْقُلِبُ الْمَجَالُ الْمَغَناطِيسِيُّ دَائِمًا بِصُورَةِ مُنْتَظَمَةٍ.

دَ . الْأَشْرَطَةُ الْمَغَناطِيسِيَّةُ الْمُتَسَاوِيَّةُ فِي الْعُمُرِ مُتَعَاكِسَةٌ فِي الْإِتِّجَاهِ الْمَغَناطِيسِيِّ.

4. تَكُونُ الْوِدِيَّانِ الْمُتَصَدِّعَةِ عِنْدَ:

أَ . حَدُودِ التَّصَادُمِ.      بَ . حَدُودِ الْطَّرَحِ.

جَ . الْحَدُودِ الْتَّحْوِيلِيَّةِ.      دَ . الْحَدُودِ الْمُتَبَاعِدَةِ.

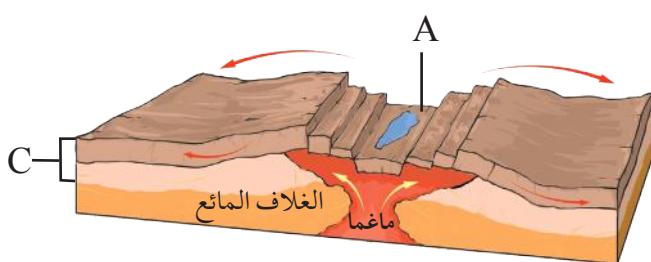
5. مِنْ حَدُودِ الصَّفَائِحِ الَّتِي لَا يَصَاحِبُهَا تَكُونُ بِرَاكِينِ الْحَدُودِ:

أَ . الْمُتَقَارِبَةِ (مَحِيطِيَّةٍ - مَحِيطِيَّةٍ).

بَ . الْمُتَقَارِبَةِ (مَحِيطِيَّةٍ - قَارِيَّةٍ).

جَ . الْتَّحْوِيلِيَّةِ.

دَ . الْمُتَبَاعِدَةِ.



7. نوع حدود الصّفائح في الشكل:

أَ . حدود جانبيّة.      بَ . حدود تقاريّة.

جَ . حدود تباعيّة.      دَ . حدود تصادم.

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

أَ . أقواس الجزر.      بَ . وَادٍ متتصدع.

جَ . براكين قوسية.      دَ . نطاق الطرح.

9. النطاق الذي يشير إليه الحرف (C):

أَ . القشرة الأرضية.      بَ . السّتار العلويّ.

جَ . أعلى السّتار.      دَ . الغلاف الصخريّ.

10. بدأت قارة بانغيا بالانقسام إلى أجزاء أصغر قبل:

أَ . 400 m.y.      بَ . 200 m.y.

جَ . 50 m.y.      دَ . 100 m.y.

11. النطاق الذي يوجد في الحالة السائلة من الكروة الأرضية هو:

أَ . الغلاف الصخريّ.      بَ . الْلَّبُ الدَّاخِلِيٌّ.

جَ . الغلاف المائي.      دَ . الْلَّبُ الْخَارِجيٌّ.

## السؤال الثالث:

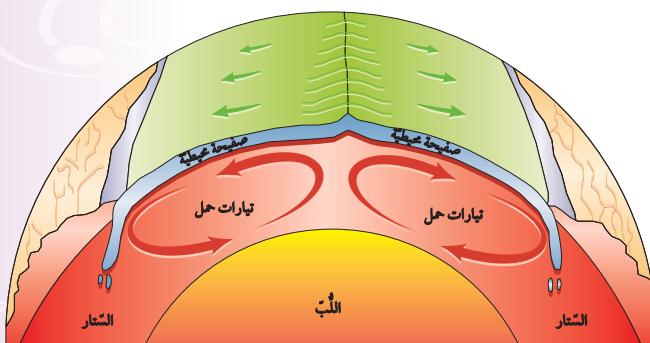
- أملاً الفراغ في ما يأتي بما هو مناسب من المصطلحات:
- الفرضية التي تنص على أن جميع القارات الحالية كانت تشكل في الماضي قارة واحدة تسمى: .....
  - التغيير في قطبية المجال المغناطيسي للأرض من عاديه إلى مقلوبة يسمى: .....
  - الفرضية التي تنص على أن القشرة المحيطية الجديدة تتشكل عند ظهور المحيطات، وتستهلك عند الأخدود البحري هي: .....
  - السلسلة من الجزر التي تتشكل على شكل قوس موازٍ للأخدود البحري تسمى: .....
  - القوة المسؤولة عن حركة الصفائح الأرضية هي: .....

## السؤال الرابع:

- أتباً:** هل يبقى شكل صفيحة المحيط الهادئ ثابتاً مع الزمن؟ أو صح إجابتي.

## السؤال الخامس:

- أفسر:** كيف تعمل تيارات الحمل الموضحة في الشكل الآتي على حركة الصفائح الأرضية؟



12. تشكل جبال الهيمالايا بوساطة:

- تباعد صفيحة إفريقية عن صفيحة أمريكا الجنوبية.
- تصادم صفيحة الهند مع صفيحة أوراسيا.
- تحرك الصدع التحويلي سان أندياس.
- تصادم الصفيحة العربية مع صفيحة أوراسيا.

13. القطعة الصخرية التي تتكون من القشرة الأرضية والجزء الأعلى من السtar بسمك 100 km تسمى:

- الغلاف المائي.
- صفيحة أرضية.
- براكين قوسية.
- ظهر المحيط.

14. أي من أنطقة الأرض تسلك الصخور المكونة له سلوكاً لدناً؟

- الغلاف المائي.
- الغلاف الصخري.
- القشرة الأرضية.
- اللب الخارجي.

## السؤال الثاني:

يمثل الشكل الآتي أحد حدود الصفائح. أدرس الشكل، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



1. أحدد نوع حدود الصفائح في الشكل.

2. **استنتج:** ما المظاهر الجيولوجية الناتجة من غطس الصفيحة المحيطية أسفل الصفيحة القارية؟

السؤال السادس:

**أكُون فَرَضِيَّة** أوَضَحَّ مِنْهَا مَاذَا يُمْكِنُ أَنْ يَحْدُثَ إِذَا غَيَّرْتَ صَفِيحتَاهَا إِفْرِيقِيَا وَأَمْرِيكَا الْجُنُوبِيَّةَ اِتِّجَاهَ حَرْكَتِيهِمَا؛ لِتَسْهُرَ كَا بَعْكَسِ اِتِّجَاهِ حَرْكَتِيهِمَا الْحَالِيَّةَ.

السؤال الثالث عشر:

**أَحَسَبْ**: أَفْتَرَضَ أَنْ جَزِيرَةَ بِرْكَانِيَّةَ تَشَكَّلَتْ فِي مَنْطَقَةِ ظَاهِرِ الْمَحِيطِ، قَدْ انْقَسَمَتْ بِفَعْلِ توْسُّعِ قَاعِ الْمَحِيطِ إِلَى جَزَائِينِ، حِيثُ يَتَحرَّكُ كُلُّ جَزْءٍ جَانِبِيًّا بَعِيدًا عَنْ ظَاهِرِ الْمَحِيطِ بِمُعَدَّلٍ  $y$  2 cm. مَا الْمَسَافَةُ بَيْنَ الْجَزَائِينِ بَعْدَ  $y$  1 m.؟

السؤال الرابع عشر:

أَحدَّدْ نَوْعَ حَدُودِ الصَّفَائِحِ الْمُسَبِّبَةَ لِكُلِّ مِنَ الْمَظَاهِرِ الآتِيَّةِ:

1. الْبَحْرُ الْأَحْمَرُ.
2. الْبَحْرُ الْمَيِّتُ.
3. جَبَالُ الْهِيمَالِيَا.
4. جَبَالُ الْأَنْدِيَزِ.

السؤال الخامس عشر:

**أَفَارِنْ** بَيْنَ أَقْوَاسِ الْجُزُورِ وَالْأَقْوَاسِ الْبُرْكَانِيَّةِ مِنْ حِيثِ: نَوْعُ الْحَدُودِ الْمُكَوَّنَةِ لِكُلِّ مِنْهُمَا، وَنَوْعُ الْمَاغَمِ الْمُكَوَّنَةِ لَهَا.

السؤال السادس عشر:

**أَفَسَرْ** سَبَبِ تَسْمِيَةِ الصُّدُوعِ الَّتِي تَتَكَوَّنُ عَنْهُ الْحَدُودُ التَّحْوِيلِيَّةِ صُدُوعُ التَّحْوِيلِ.

السؤال السابع:

**أَقْارِنْ** بَيْنَ الْمَظَاهِرِ الْجِيُولُوْجِيَّةِ النَّاتِجَةِ مِنْ تَقَارُبِ صَفِيحتَيْنِ مَحِيطِيَّتَيْنِ، وَبَيْنَ تَقَارُبِ صَفِيحتَيْنِ قَارِيَّتَيْنِ.

السؤال الثامن:

**أَفَسَرْ**: كَيْفَ تَنْشَأُ الْزَلَازِلُ عَنْدَ تَقَارُبِ صَفِيحتَيْنِ قَارِيَّتَيْنِ؟

السؤال التاسع:

**أَسْتَنْجِنْ**: أَيْنَ تَقْعُدُ أَقْدَمُ الصَّخْرَ فِي صَفِيحةِ نَازِكَا؟

السؤال العاشر:

**أَسْتَنْجِنْ**: كَيْفَ تَعْدَدُ أَحْفَوْرَةِ الْمِيزِوْسُورُسِ دَلِيلًا عَلَى صَحَّةِ فَرَضِيَّةِ اِنْجَرَافِ الْقَارَاتِ.



السؤال الحادي عشر:

**أَقْوَمْ** صَحَّةِ مَا تَشِيرُ إِلَيْهِ الْعَبَارَةُ الْآتِيَّةِ: «يُعَدُّ تَوْزِيعُ الْزَلَازِلِ فِي الْقَشْرَةِ الْأَرْضِيَّةِ دَلِيلًا عَلَى صَحَّةِ نَظَرِيَّةِ الصَّفَائِحِ التَّكْتُونِيَّةِ».

# الوحدة

## الاستكشاف الجيولوجي

Geological Exploration

4

قال تعالى:

﴿فَامَّا الْزَّبْدُ فِيذَهَبُ جُفَاءً وَامَّا مَا يَنْفَعُ النَّاسَ فَيَمْكُثُ فِي الْأَرْضِ﴾

(سورة الرعد : الآية 17)

### أتأمل الصورة

تحتوي الصخور على خامات معدنية عديدة بأشكال متنوعة، منها: العروق، والعدسات، وستستخدم طرق عدّة لاستكشاف تلك الخامات. فما تلك الطرق؟ وكيف تُستخدم؟

## الفكرة العامة:

تُستخدم طرق عدّة في عمليات الاستكشاف الجيولوجي للصخور والخامات المعدنية التي تحويها، منها: رسم الخرائط الجيولوجية، والمسوح الجيوفизيائية، والمسوح الجيوكيمائية.

### الدرس الأول: الخرائط الجيولوجية

**الفكرة الرئيسية:** تُستخدم الخرائط الجيولوجية لتمثيل الطبقات الصخرية والتراكيب الجيولوجية باستخدام رموز خاصة بذلك.

### الدرس الثاني: طائق الاستكشاف الجيولوجي

**الفكرة الرئيسية:** تحتوي صخور القشرة الأرضية على خامات معدنية عدّة، وتُستخدم طائق الاستكشاف الجيولوجي المختلفة في البحث عنها؛ لاستثمارها، والاستفادة منها.

### الدرس الثالث: تعدين الخامات المعدنية وأثره على البيئة

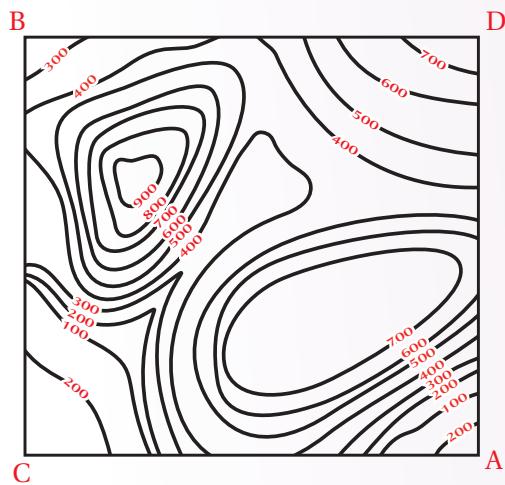
**الفكرة الرئيسية:** للتعدين أهمية كبيرة في دعم الاقتصاد وتوفير المواد الخام الضرورية للحياة على سطح الأرض، إلا أن له تأثيرات سلبية على البيئة، ويتم بذل جهود حثيثة لإدارة هذه التأثيرات من خلال تطبيق استراتيجيات فعالة مثل إعادة استخدام المناجم.



## رسم مقطع عرضي طبوغرافي

يُعرَّف المقطع العرضي الطبوغرافي Topographic Cross-Section بأنه مقطع رأسى لجزء من سطح الأرض يوضح شكل التضاريس فيها؛ من منخفضات وجبال ووديان وغيرها. فكيف يُرسَم المقطع العرضي الطبوغرافي؟

**المواد والأدوات:** خريطة كُتُورية، ورقة رسم بياني، مسطرة مترية، قلم.



**خطوات العمل:**

- 1 أصل بخطٍ مستقيم بين النقطتين (A-B) على الخريطة الكُتُورية.
- 2 أضع الطرف العُلُوي لورقة الرسم البياني على امتداد الخط المستقيم (A-B)، بحيث تتطابق حافتها العُلُوية على الخط.
- 3 أحَدَد على ورقة الرسم البياني بداية الخط المستقيم ونهايته، ونقط تقاءعه مع خطوط الكُتُور، مع كتابة قيمة الارتفاع الذي يمثله كل خطٌ كُتُور بجانب نقطة التقاطع التي حدَّدتها.
- 4 أرسم على الطرف المقابل لقيم الارتفاعات التي أسقطتها على ورقة الرسم البياني محورين متعامدين يمثل المحور الأفقي منهما المسافة الأفقية للخط المستقيم (A-B)، ويتمثل المحور الرأسى الارتفاعات عن سطح الأرض بوحدة (m).
- 5 أُسقِطْ قيم خطوط الكُتُور على ورقة الرسم البياني بحسب ما يقابلها من ارتفاعات على المحور الرأسى.
- 6 أصل بين النقط جميعها من دون استخدام المسطرة؛ لتمثيل مقطع عرضي للمظاهر الطبوغرافية لسطح الأرض على امتداد الخط (A-B).

**التحليل والاستنتاج:**

1. أحَدَد أعلى ارتفاع في المقطع العرضي وأقلَّ ارتفاع فيه.
2. **استنتاج** المظاهر الطبوغرافية التي حصلت عليها.
3. **استنتاج** المظاهر الطبوغرافي الذي سيتَجَزَّ إذا رسمت مقطعًا عرضيًّا لسطح الأرض على امتداد الخط المستقيم (C-D) الذي يُعامِد الخط المستقيم (A-B).

## أنواع الخرائط Types of Maps

تُعدّ الخرائط من الوسائل المهمة التي نستطيع بها تمثيل العديد من المعالم والمظاهر الطبيعية، مثل: التضاريس، وأنواع الصخور، والتراكيب الجيولوجية، وتوزّع الأمطار. وتسهّل الخرائط تفسير البيانات والمعلومات بدلاً من كتابتها على شكل نصوص؛ لذا تُعدّ مصدراً مهمّاً 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: الخريطة الكُتُورية، والخرائط الطبوغرافية، والخرائط الجيولوجية، والخرائط الجيوفيزائية، والخرائط الجيوكيميائية. وتُعدّ معرفة الخريطة الكُتُورية والخرائط الطبوغرافية مهمة في رسم الخريطة الجيولوجية.

### الخرائط الكُتُورية والخرائط الطبوغرافية

#### Contour and Topographic Maps

تُعرَّف الخريطة الكُتُورية **Contour Map** بأنها خريطة توُضّح تضاريس سطح الأرض في صور مجسّمة عن طريق استخدام عدد من الخطوط تسمى خطوط الكُتُور، أنظر الشكل (1). وعند إضافة المظاهر الطبيعية والبشرية على الخريطة تصبح **خريطة طبوغرافية**.

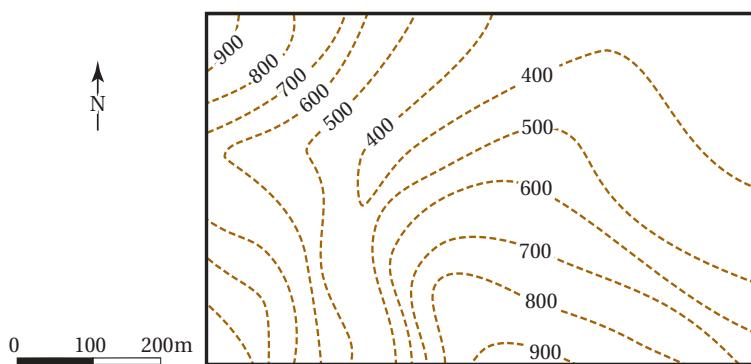
#### .Topographic Map

**الفكرة الرئيسية:**  
تُستخدم الخرائط الجيولوجية لتمثيل الطبقات الصخرية والتراكيب الجيولوجية باستخدام رموز خاصة بذلك.

**نتائج التعلم:**  
- أقرأ خريطة جيولوجية لمنطقة ما باستخدام الرموز ومقاييس الرسم.  
- أرسم مقطعاً جيولوجياً من الخريطة الجيولوجية تمثل طبقات أفقية.

**المفاهيم والصطلاحات:**  
Contour Map الخريطة الكُتُورية  
Topographic Map الخريطة الطبوغرافية

Contour Line	خط الكُتُور
Contour Interval	الفترة الكُتُورية
Map Scale	مقاييس رسم
Geological Map	الخريطة الجيولوجية
Dip	الميل
Dip Direction	اتجاه الميل
Strike	المضرب



الشكل (1): خريطة كُتُورية تمثل الارتفاع عن سطح الأرض.  
أحدّد أعلى قيمة وأقلّ قيمة لخطوط الكُتُور.

وللخرائط الكُتُورية والطبوغرافية عناصر عدّة، منها:

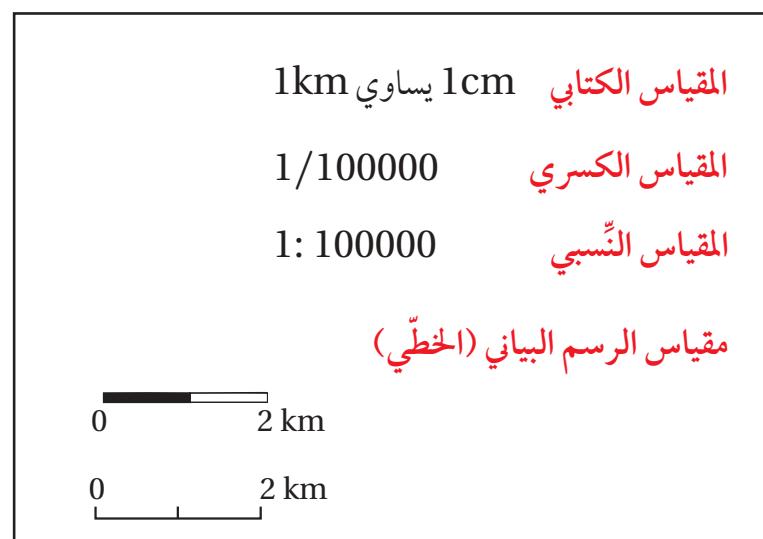
تحدد النقاط التي تمثل خطوط الكُتُور وترصد باستخدام نظام الموقع العالمي Global Positioning System (GPS)، وهو نظام يعتمد على استخدام الأقمار الصناعية في تحديد تلك المواقع، ويقوم مبدأً عمل هذا النظام على بث إشارات من الأقمار الصناعية على شكل موجات الميكرويف (موجات كهرومغناطيسية أطوالها الموجية تقع بين الأطوال 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. وتُستخدم ثلاثة أقمار صناعية على الأقل في تحديد موقع جهاز الاستقبال بدقة.

**خط الكُتُور Contour Line:** يعرّف الخط الوهمي الذي يصل بين مجموعة من النقاط ذات القيم المتساوية في الارتفاع، بخط الكُتُور Contour Line. وتمتاز خطوط الكُتُور في الخرائط المتنوعة بأنها لا تقاطع مع بعضها البعض، وهي تمثل في الخرائط الطبوغرافية قِيمًا متساوية في الارتفاع نسبةً إلى سطح البحر، فتكون القيمة سالبة إذا انخفض منسوب خط الكُتُور عن سطح البحر، وتكون موجبة إذا ارتفع منسوب خط الكُتُور عن سطح البحر.

**الفترة الكُتُورية Contour Interval:** تسمى المسافة الرأسية بين أي خطين كُتُوريين متتاليين **الفترة الكُتُورية Contour Interval**، وهي ثابتة في الخريطة الواحدة، وتختلف من خريطة إلى أخرى بحسب الغرض من الخريطة.

**مقاييس الرسم Map Scale:** تحتاج الخرائط بأنواعها المتعددة إلى مقاييس رسم **Map Scale**، ويُعرَّف بأنه النسبة الثابتة بين طول بُعدَين أحدهما حقيقي على سطح الأرض والآخر على الخريطة. ويمكن التعبير عن مقاييس الرسم بطرق متعددة، فمنه: المقاييس الكتابي، والمقاييس الكسري، والمقاييس النسبي، ومقاييس الرسم البياني (الخطي)، أنظر الشكل (2).

الشكل (2): يُعبرَ عن مقاييس الرسم بطرق متعددة، فمنه: الكتابي، والكسرى، والنسيبي، والبياني (الخطي).



## الخرائط الجيولوجية Geological Maps

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

تُمثِّل الطبقات الصخرية المختلفة على الخريطة الجيولوجية اعتماداً على زاوية ميلها واتجاه الميل والمضرب، حيث تكون الطبقات الأفقية موازية لخطوط الكُتُور، أمّا الطبقات المائلة والرأسيّة فتتقاطع حدودها مع خطوط الكُتُور بحسب زوايا ميلها.

وللخريطة الجيولوجية عناصر رئيسة مثلاً ما في باقي الخرائط، إذ يجب أن تحتوي على: العنوان الذي يوضح الغرض من رسماها، ومقاييس الرسم، ودليل الخريطة. وتُستخدم في الخريطة الجيولوجية رموز خاصة بأنواع الصخور والتراكيب الجيولوجية ووضعية الطبقات فيها، ويمكن أيضاً استخدام ألوان خاصة بكل نوع من الصخور، أو دمج الألوان مع الرموز، أنظر الشكل (3) الذي يوضح بعض الرموز المستخدمة في الخرائط الجيولوجية.

**أفْحَز** ما العلاقة بين تقارب الخطوط الكُتُورية وبين طبيعة التضاريس من حيث شدة الانحدار؟

**أَتَحَقَّق:** أوضح مفهوم الخريطة الجيولوجية.

الشكل (3): الرموز المستخدمة في الخرائط الجيولوجية.

(A): رموز تمثل أنواعاً مختلفة من الصخور.  
(B): رموز تمثل تراكيب جيولوجية ووضعية الطبقات فيها.

الرمز	الوصف
— 30°	المضرب والميل واتجاه الميل في الطبقات المائلة.
⊕	المضرب والميل واتجاه الميل في الطبقات الأفقية.
— +	المضرب والميل واتجاه الميل في الطبقات الرأسية.
◆	طية مُقعرة.
↔	طية مُحدبة.

(B)

نوع الصخر	رمز الصخر *
الصخر الرملي.	● ● ● ● ● ● ● ●
صخر الغضار.	— — — — — — — —
الصخر الطيني.	
صخر الكونغلوميريت.	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
صخر البريشيا.	◆ ◆ ◆ ◆ ◆ ◆ ◆ ◆
الصخر الجيري.	
صخر الدولوميت.	/ / / / / / / /
الفحم الحجري.	████████████████
الرماد البركاني.	VVVVVVVVVVVVVV
صخر الغرانيت.	/ \ / \ / \ / \ /
صخر الشيست.	~~~~~~~~~~~~~~~

(A)

\* رمز الصخر للمطالعة الذاتية.

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



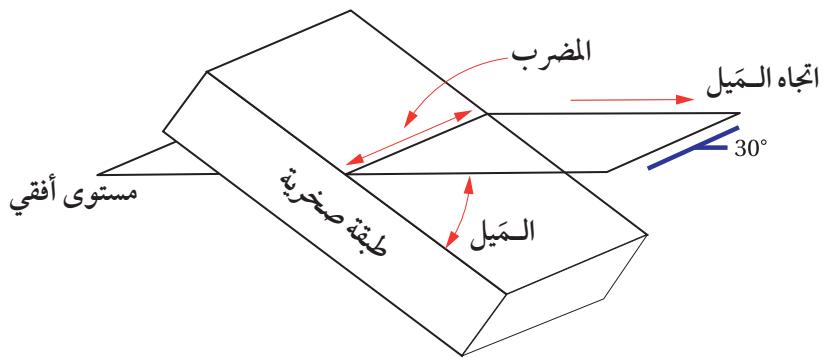
## الميل والمضرب واتجاه الميل

### Dip, Strike and Dip Direction

**أَفْهَمْ** ما قيمة الميل لكل من: الطبقة الأفقية، والطبقة الرئيسية؟

تعلمتُ سابقاً أن الطبقات الرسوية في الطبيعة تتكون بصورة أفقية، ولكنها إذا تعرضت إلى إجهادات مختلفة فإنها تتشوه، فقد تميل، أو تثنى، أو تتصدع، ولتعرف وضعية الطبقات Attitude of Layers في الطبيعة بشكل عام تحدد ثلاثة متغيرات لها وهي: الميل، والمضرب واتجاه الميل، وتُستخدم البوصلة الجيولوجية لقياس هذه المتغيرات، إذ يُقاس اتجاه المضرب واتجاه الميل للطبقة فيها على شكل زاوية محصورة بين اتجاه سطح الطبقة العلوي واتجاه الشمال الجغرافي، وتحتوي البوصلة على جهاز مقياس الميل Clinometer الذي يُقاس به ميل الطبقة. أنظر الشكل (4).

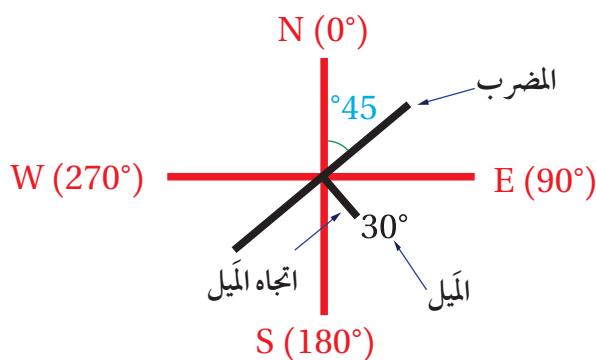
يُعرف الميل Dip بأنه أكبر زاوية يصنعها سطح الطبقة العلوي مع المستوى الأفقي، وتعد الطبقة مائلة إذا كانت الزاوية أقل من  $90^{\circ}$  وأكثر من  $0^{\circ}$ . ويسمى الاتجاه الجغرافي لميل الطبقة اتجاه الميل Dip، أما المضرب Strike فهو الخط الناتج من تقاطع سطح الطبقة المائلة مع المستوى الأفقي، وهو يمثل امتداد الطبقة، ويتعامد



دائماً مع اتجاه الميل، وتحدد قيمته بانحرافه عن الشمال الجغرافي مع اتجاه عقارب الساعة، انظر الشكل (5).

يحدد الجيولوجيون كلّاً من الميل واتجاه الميل والمضرب للطبقات ويمثلونها على الخرائط الجيولوجية باستخدام رموز معينة، انظر الشكل (6)، الذي يمثل رموز المضرب والميل واتجاه الميل، إذ يشير الخط الطويل إلى اتجاه المضرب، والخط القصير إلى اتجاه الميل، أمّا الرقم المجاور للخط القصير فيشير إلى الميل. الاحظ في الشكل أنّ لمضرب الطبقة قيمتين تمثّلان اتجاهين هما: قيمة صغرى تساوي  $45^\circ$  شمال شرق ، وقيمة كبيرة تساوي  $225^\circ$  جنوب غرب، أمّا الميل فيساوي  $30^\circ$  باتجاه الجنوب الشرقي. غالباً ما يحدد الجيولوجيون اتجاهًا واحدًا فقط للمضرب، وعادةً تؤخذ القراءة الأصغر.

**أتحقق:** أحدد اتجاه مضرب طبقة ما إذا كانت قيمة زاوية المضرب المقيسة باستخدام البوصلة الجيولوجية تساوي  $(0^\circ)$ .



الشكل (5): يستخدم كلّ من الميل واتجاه الميل والمضرب في تحديد وضعية الطبقات.

أحدّد: ما العلاقة بين المضرب واتجاه الميل؟



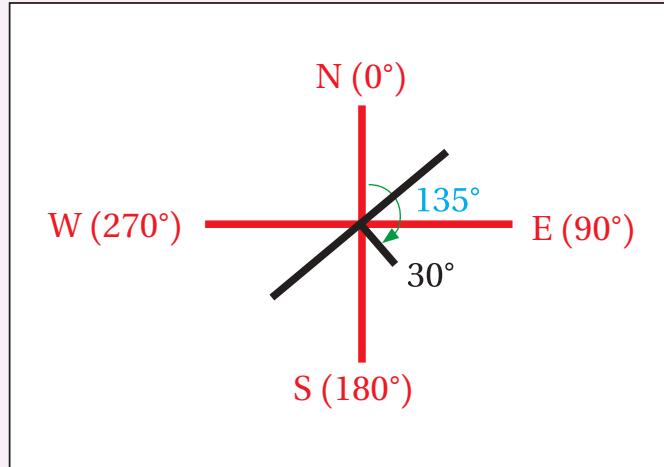
### أعمل فيلماً قصيراً

باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضح العلاقة بين المتغيرات الثلاثة: الميل، واتجاه الميل، والمضرب، ثم أشاركه زملائي / زميلاتي في الصفّ.

الشكل (6): الرمز المستخدم لتمثيل قيمة كلّ من الميل واتجاه الميل والمضرب للطبقات على الخرائط الجيولوجية.  
أستنتج: هل توجد علاقة بين الميل واتجاه الميل؟

## مثال ١

يمثل الشكل الآتي مضرب إحدى الطبقات وميلها واتجاه ميلها. فإذا علمت أن قيمة اتجاه الميل تساوي  $(135^\circ)$  فأجد:



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

الحل:

1. لأن قيمة اتجاه الميل تساوي  $135^\circ$  فإن:

قيمة المضرب الصغرى تساوي:

$$135^\circ - 90^\circ = 45^\circ$$

وقيمة المضرب الكبرى تساوي:

$$135^\circ + 90^\circ = 225^\circ$$

2. الاتجاه الأول للمضرب: شمال شرق، أمّا الاتجاه الثاني له فهو: جنوب غرب.

3. ميل الطبقة يساوي :  $30^\circ$

4. اتجاه ميل الطبقة: جنوب شرق.

## تمرين

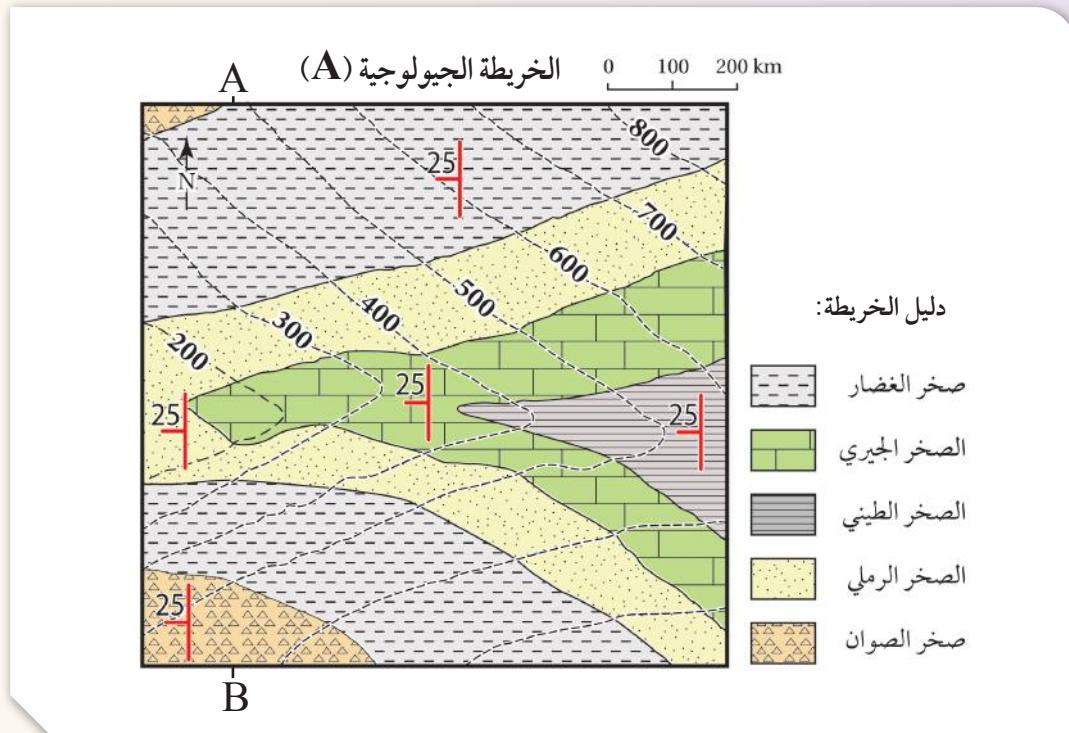
إذا علمت أن قيمة المضرب لطبقة من الصخر الجيري تساوي  $25^\circ$ ، وقيمة ميل الطبقة تساوي  $55^\circ$  باتجاه شمال غرب، فأجد: قيمة المضرب الأخرى، وقيمة اتجاه الميل، ثم أرسم رمز المضرب والميل واتجاه الميل.

ولتعرف خصائص الخرائط الجيولوجية أنفذ النشاط الآتي:

## نشاط

### خصائص الخرائط الجيولوجية

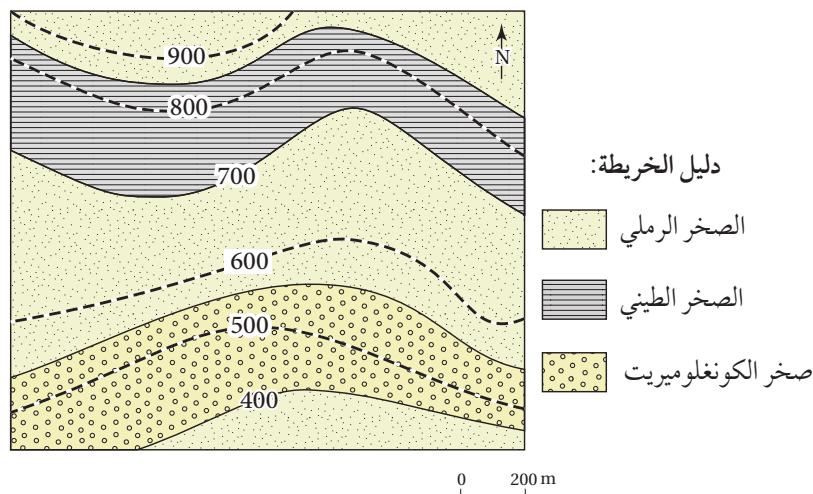
يستخدم الجيولوجيون الخرائط الجيولوجية لدراسة المناطق المتعددة وتعريف خصائصها الجيولوجية، مثل: أنواع الصخور، ووضعية الطبقات (ميلها)، والتراكيب الجيولوجية، ويمثل الشكل الآتي إحدى هذه الخرائط.  
أدرس الشكل، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



### التحليل والاستنتاج:

- أحدّد نوع مقياس الرسم في الخريطة الجيولوجية.
- استنتج** اتجاه الميل والمضرب لطبقة الصخر الرملي.
- أحدّد أعلى قيمة وأقل قيمة لارتفاع الصخور المتكتشفة في الشكل.
- استنتاج:** أفترض أن مقطعًا عرضيًّا رُسم بين النقطتين (A,B)، ما الشكل الطبوغرافي الذي سيظهر اعتمادًا على قيم خطوط الكتُور؟
- أفسر:** هل الطبقات الظاهرة في الخريطة أفقية أم مائلة؟ لماذا؟

### الخرائط الجيولوجية (B)



الشكل (7): خريطة جيولوجية تمثل طبقات أفقية.

استنتج العلاقة بين خطوط الكُتُور وسطوح الطبقات الأفقية الظاهرة في الخريطة.

دليل الخريطة:

الصخر الرملي

الصخر الطيني

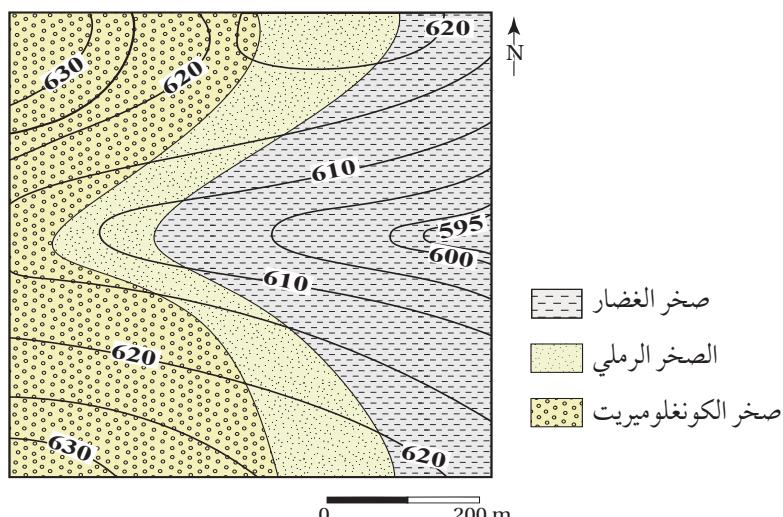
صخر الكونغلوميريت

### المقطع العرضي الجيولوجي Geological Cross Section

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

**أتحقق:** أحدّد العلاقة بين خطوط الكُتُور وبين حدود الطبقات المائلة في الخرائط الجيولوجية.

### الخرائط الجيولوجية (C)



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

ولتعرف كيفية رسم مقطع جيولوجي يمثل طبقات أفقية أنفذ التجربة الآتية:

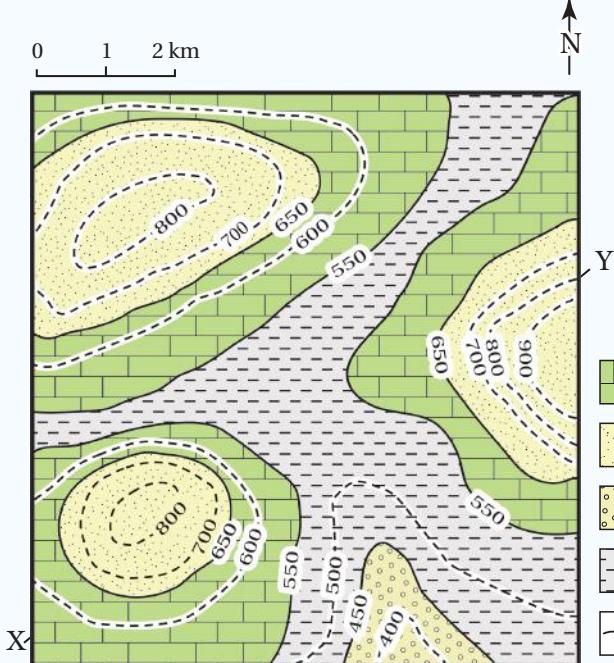
## التجربة 1

### مقطع جيولوجي لطبقات أفقية

**المواد والأدوات:** خريطة جيولوجية، مسطرة، ورق رسم بياني.

دليل الخريطة:

	الصخر الجيري
	الصخر الرملي
	صخر الكونغلوميريت
	صخر الغضار
	سطح طبقة



### خطوات العمل:

- 1 أدرس الخريطة الجيولوجية التي تمثل طبقات أفقية موازية لخطوط الكُتُور.
- 2 أرسم مقطعاً عرضياً يوضح المظاهر الطبوغرافية بين النقطتين (Y-X) على الخريطة مثلما نفذته في التجربة الاستهلالية.
- 3 أضع الطرف العلوي لورقة الرسم البياني على امتداد الخط المستقيم (Y-X)، وأحدّد نقاط تقاطع حدود الطبقات الصخرية المتكشفة الظاهرة في الخريطة الجيولوجية، ثم أنقل مواقع النقاط على الخط الطبوغرافي الذي يمثل سطح الأرض.
- 4 أرسم الطبقات الأفقية، وذلك برسم خط أفقي على امتداد النقاط المحددة يمثل سطح كل طبقة من الطبقات بحسب ارتفاعها، باستعمال المسطرة.
- 5 أضع رموز كل طبقة كما في دليل الخريطة الموجود بجانبها.

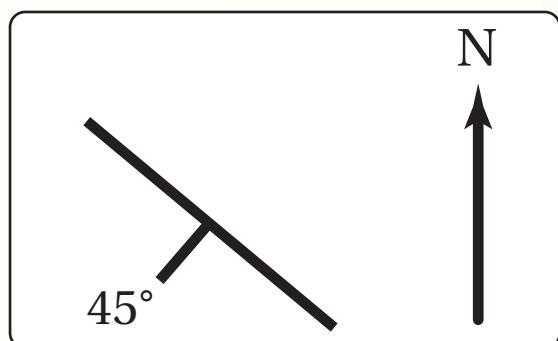
### التحليل والاستنتاج:

1. أحدد أحدثَ الطبقات وأقدمَها في المقطع العرضي.
2. استنتج العلاقة بين خطوط الكُتُور وبين سطوح الطبقات.
3. أحسب سُمك طبقة الصخر الجيري في المقطع العرضي للخط المستقيم (Y-X).

الاحظ بعد تفويضي للتجربة أن رسم الطبقات الأفقية في المقطع العرضي الجيولوجي تم برسم خطوط أفقية متوازية، مع الأخذ في الحسبان سُمك كل طبقة وعلاقتها بخطوط الكُتُور.

## مراجعة الدرس

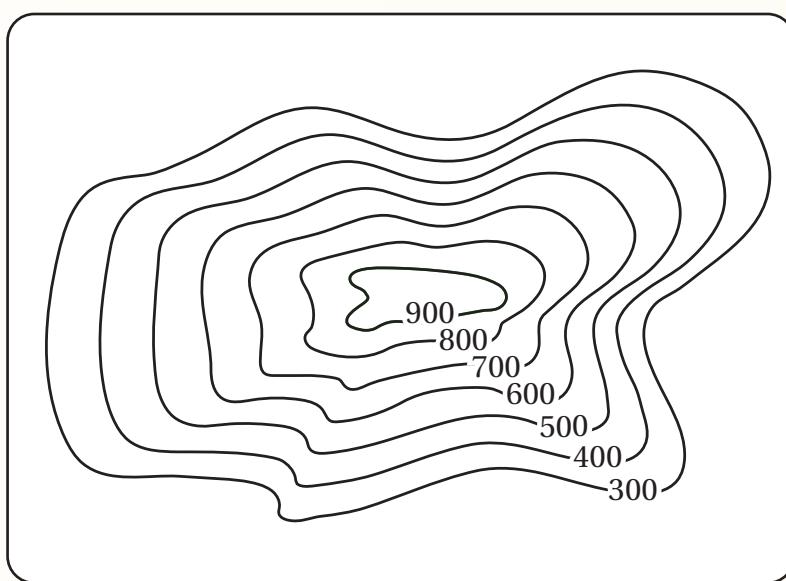
- الفكرة الرئيسية: أذكر ثلاثة عناصر يجب توافرها في الخريطة الجيولوجية.
- أقارن بين الخريطة الكُتُورية والخريطة الطبوغرافية من حيث مكونات كُلّ منها.
- أعبر عن مقياس الرسم الآتي: كُلّ 1cm على الخريطة يساوي 20 km في الطبيعة بطريقة المقياس النسبي.



- أدرس الشكل المجاور الذي يمثل وضعية إحدى الطبقات الرسوية، ثم أجد قيمة كُلّ من الميل والمضرب، علمًا أن زاوية اتجاه الميل تساوي  $225^\circ$ .

- أرسم رمز الطبقة الرأسية.

- استنتج: هل يوجد مضرب للطبقة الأفقية؟ لماذا؟
- استنتاج المظهر الطبوغرافي في الخريطة الكُتُورية الآتية:



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

1. أي من أنواع الخرائط الآتية تظهر فيها تصارييس سطح الأرض في صور مجسمة باستخدام خطوط الكُتُور

وتحتوي على المظاهر الطبيعية والبشرية؟

أ . الكُتُورِيَّة.

ب . الْطَبُوغرَافِيَّة.

ج . الْجِيُوفِيُزِيَّة.

2. النسبة الثابتة بين طول بُعدِين أحدهما حقيقي على سطح الأرض والآخر على الخريطة هو:

أ . خط الكُتُور.

ب . الفترة الكُتُورِيَّة.

د . مفتاح الخريطة.

ج . مقاييس الرسم.

3. مقاييس الرسم الآتي ( $1\text{ cm}$  يساوي  $5\text{ km}$ ) هو مقاييس رسم:

أ . كتابي.

ب . نسبي.

د . خططي.

ج . كسرى.

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

أ .  $45^\circ$

ب .  $60^\circ$

ج .  $90^\circ$

5. تدل الخطوط الكُتُورِيَّة المتقاربة في الخريطة الكُتُورِيَّة على:

أ . أن الأرض مسطحة.

ب . وجود منحدر شديد.

ج . وجود نهر.

د . أن الأرض منخفضة.

## الخامات المعديّة Ore Minerals

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

### تعريف الخامات المعديّة Ore Minerals

معدنيّة توجد بأشكال وحجوم متعدّدة في صخور القشرة الأرضية ب特راكيز تسمح باستثمارها اقتصاديًّا، وقد تكون هذه الخامات المعديّة خامات فلزّية أو خامات لافلزّية، وُتُستخدم طرائق الاستكشاف الجيولوجي للبحث عنها؛ بغرض استثمارها اقتصاديًّا مثل: خام الحديد، وخام النحاس، وخام الفوسفات. ويمتاز الأردن بوجود كثير من الخامات المعديّة بما فيها الخامات الفلزّية، مثل خامات الحديد والنحاس، والليورانيوم، والخامات اللافلزّية مثل: الفوسفات، والصخر الجيري النقي، والصخر الرمتي، أنظر الشكل (9).

**أتحقق:** أوضح المقصود بالخامات المعديّة.

### الفكرة الرئيسة :

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

### نتائج التعلم :

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

### المفاهيم والمصطلحات :

Ore Minerals	الخامات المعديّة
Prospecting	التقيب
Exploration	الاستكشاف
	الشواذ الجيوفيزيائية
Geophysical Anomalies	
Threshold	العتبة



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

## الاستكشاف الجيولوجي Geological Exploration

تمّر عمليّة الاستكشاف الجيولوجي بمرحلتين أساسيتين للبحث عن الخامات المعديّنة والتوصّل إلى أماكن توزُّعها، المرحلة الأولى تُسمّى عمليّة التّنقيب **Prospecting**، وهي عمليّة مباشرة وغير مباشرة تُحدَّد عن طريقها الأماكن المحتملة لتوزُّع الخامات المعديّنة، وذلك باستخدام الصور الجوّية والخرائط الجيولوجيّة، وجمع عيّنات من الصخور والتربة من سطح الأرض، ودراسة خصائصها الفيزيائيّة والكيميائيّة. أمّا المرحلة الثانية فتُسمّى الاستكشاف **Exploration**، وهي عمليّة يتوجّه فيها الجيولوجيون إلى المناطق التي حددتها عمليّات التّنقيب؛ للبحث التفصيلي عن الخامات المعديّنة التي يمكن أن تكون موجودة فوق سطح الأرض، أو تحته؛ لتحديد قيمتها الاقتصاديّة، وفي هذه العمليّة تُعرَف خصائص الصخور، والتراكيب الجيولوجيّة المختلفة، واحتماليّة توافر المياه الجوفيّة في المنطقة؛ وذلك لتجنب مشكلات عديدة يمكن مواجهتها أثناء عمليّة استخراج الخامات المعديّنة. ويتمّ الاستكشاف بطريقتين هما: الاستكشاف الجيوفيزيائي، والاستكشاف الجيوكيميائي، أنظر الشكل (10).

**أفخر** كيف تساعد دراسة أنواع الصخور والتراكيب الجيولوجيّة المتوفّرة في منطقة ما على تقليل الوقت والجهد في عمليّة الاستكشاف الجيولوجي للخامات المعديّنة في تلك المنطقة؟

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



## الاستكشاف الجيوفيزيائي

يهدف الاستكشاف الجيوفيزيائي إلى البحث عن الخامات المعدينية 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 طريقة الاستكشاف الجيوفيزيائي المراد استخدامه للكشف عنها.

ولتعرّف بعض هذه الخصائص الفيزيائية وطرق الاستكشاف الجيوفيزيائي المستخدمة في الكشف عن الخامات المعدينية، انظر الجدول (١).

الجدول (١)\* : الخصائص الفيزيائية للخامات المعدينية وطرق الاستكشاف الجيوفيزيائي المستخدمة في الكشف عنها.

الأنماق المقيسة	طريقة المسح الجيوفيزيائي	المادة المراد استكشافها (الصخر، المعدين)	الخاصية
0 - 20 km	المسح المغناطيسي	معدن الماغنيتيت، الصخور فوق القاعدية الغنية بالحديد.	المغناطيسية
0 - 0.01 km	المسح الكهرمغناطيسي و المسح الكهربائي	الكبريتيدات، الغرافيت، الماء المالح في شقوق الصخور.	الموصلية الكهربائية
عدة مئات من الأمتار	المسح الجاذبي	الكبريتيدات، الباريت، السلفاجيت.	الكتافة
0 - 0.30 km	المسح الإشعاعي	الصخور والمعادن التي تحتوي على كل من (البوتاسيوم، الفلسبار، اليورانيوم، الثوريوم).	الإشعاعية
0 - 10 km	المسح الزلزالي	الكبريتيدات الكتليلية.	سرعة الموجات الزلزالية

\* الجدول للمطالعة الذاتية.

يتبيّن من الجدول (1) وجود عدّة مسوح جيوفيزيائية تُستخدم في الكشف عن الصخور والخامات المعدنية اعتماداً على خصائص معينة، فالمسح المغناطيسي يعتمد على الخاصيّة المغناطيسيّة للصخور والخامات المعدنية، والمسح الكهرومغناطيسي والمسح الكهربائي يعتمدان على الموصلية الكهربائية لها، والمسح الجاذبي يعتمد على خاصيّة الكثافة، أمّا المسح الإشعاعي فيعتمد على الخاصيّة الإشعاعية، والمسح الزلزالي يعتمد على خاصيّة سرعة الموجات الزلزالية فيها. أنظر الشكل (11) الذي يوضّح أحد أنواع المسح الزلزالي.

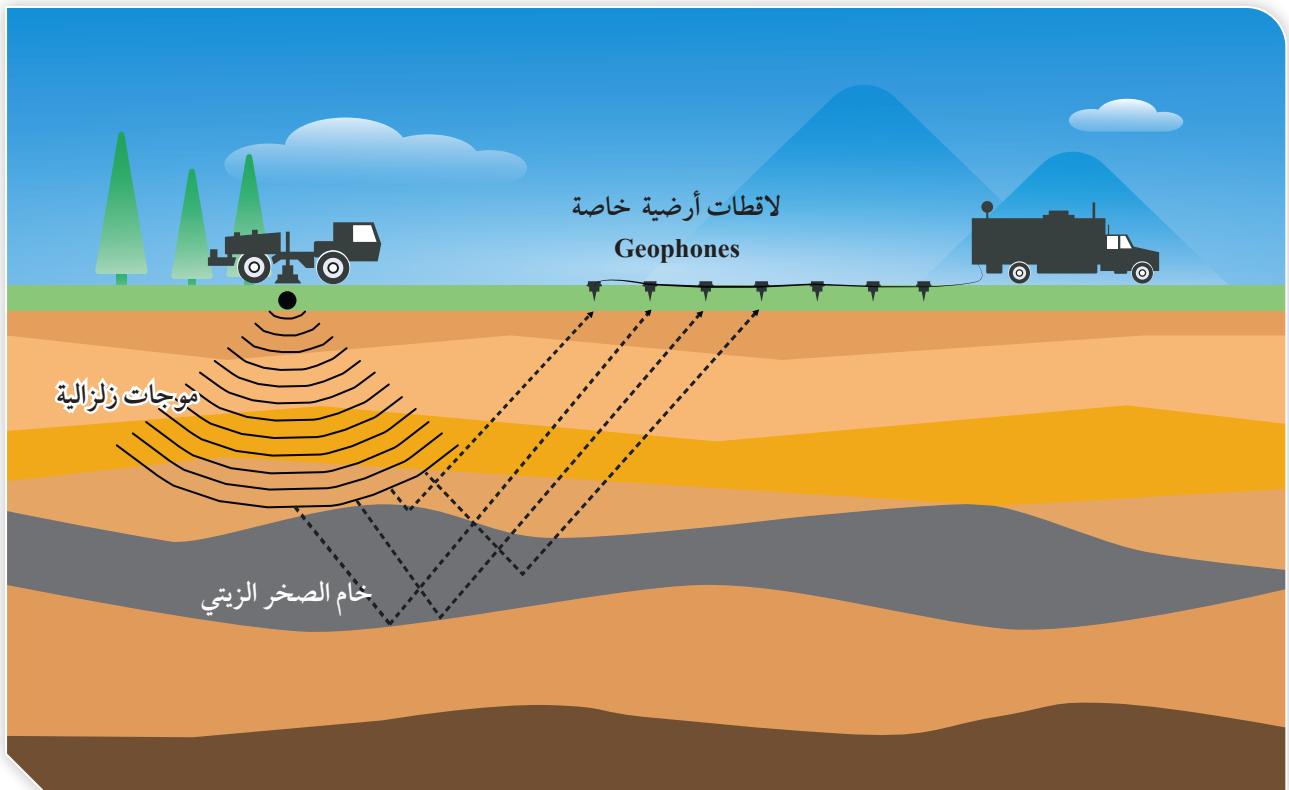
يُجرى تحليل للقيم الجيوفيزيائية المجموعة من المسوح المختلفة عن طريق إعداد خرائط كُتُوريرية لها، وحصر المساحات التي تمثل الشوّاد الجيوفيزيائية وبالتالي أماكن توزّع الخام، وتُعرَّف الشوّاد الجيوفيزيائية **Geophysical Anomalies** بأنّها القيم غير الطبيعية المجموعة أثناء عملية المسح الجيوفيزيائي، إذ تختلف قيمتها عن القيم التي حولها في المنطقة، وتوصف الشوّاد الجيوفيزيائية بأنّها موجّبة إذا كانت قيمتها أكبر من القيم الطبيعية في المنطقة، وأنّها سالبة إذا كانت قيمتها أقلّ من القيم الطبيعية في المنطقة.

**أفخر** تدلّ الشوّاد الجيوفيزيائية على أماكن توزّع الخامات المعدنية. هل الشاذة الجيوفيزيائية السالبة تعني أن القيم الجيوفيزيائية المجموعة ذات قيمة سالبة؟



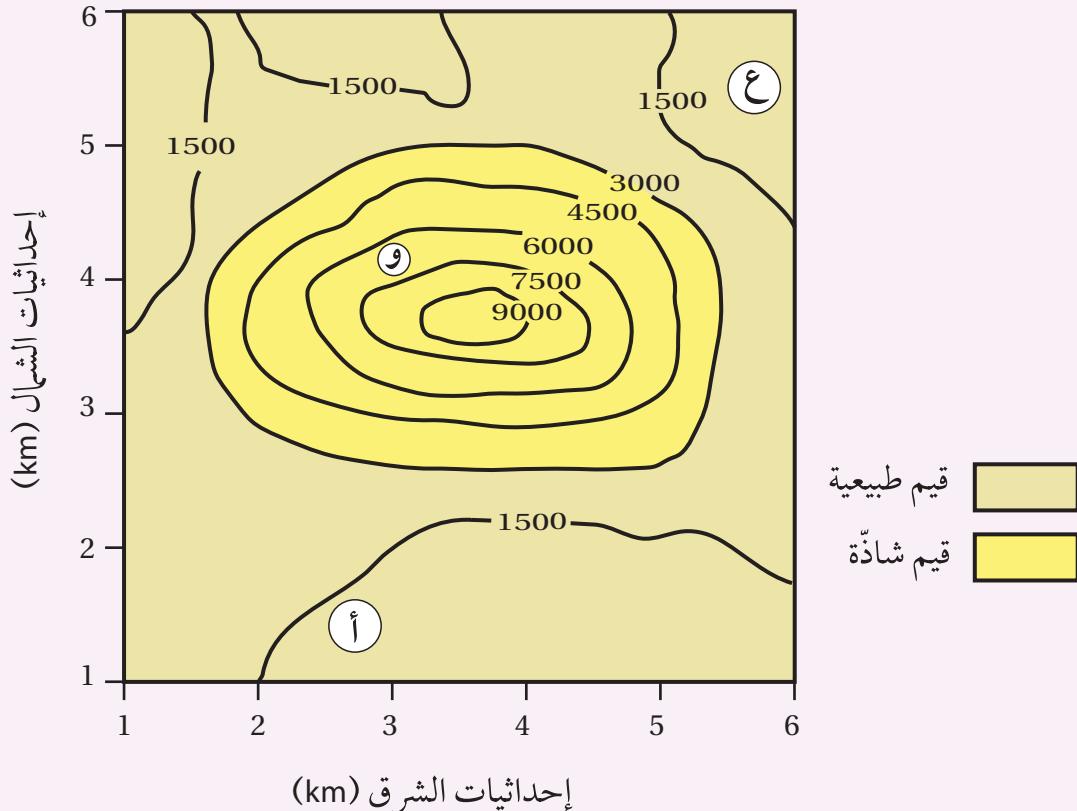
أعمل فيلماً قصيراً باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضح آلية المسح الزلزالي، ثم أشاركه زميلاتي / زميلاتي في الصف.

الشكل (11): آلية المسح الزلزالي.



## مثال 2

يمثل الشكل الآتي خريطة تساوي قيم جيوفизيائية مغناطيسية تُقاس بوحدة الغاما ( $\gamma$ ). أدرسه جيداً، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



1. أَحْدَدِ الْقِيمَ الجِيُوفِيُزِيَّةِ الطَّبِيعِيَّةِ.
2. أَحْدَدِ الْقِيمَ الجِيُوفِيُزِيَّةِ الشَّاذَّةِ.
3. أَسْتَنْجِ نوع الشَّاذَّةِ الجِيُوفِيُزِيَّةِ.
4. أَتُوقَّعُ أَيُّ الْمَنَاطِقِ (أ، و، ع) يُحْتمَلُ وِجْدَانِ الْخَامِ فِيهَا.

**الحل:**

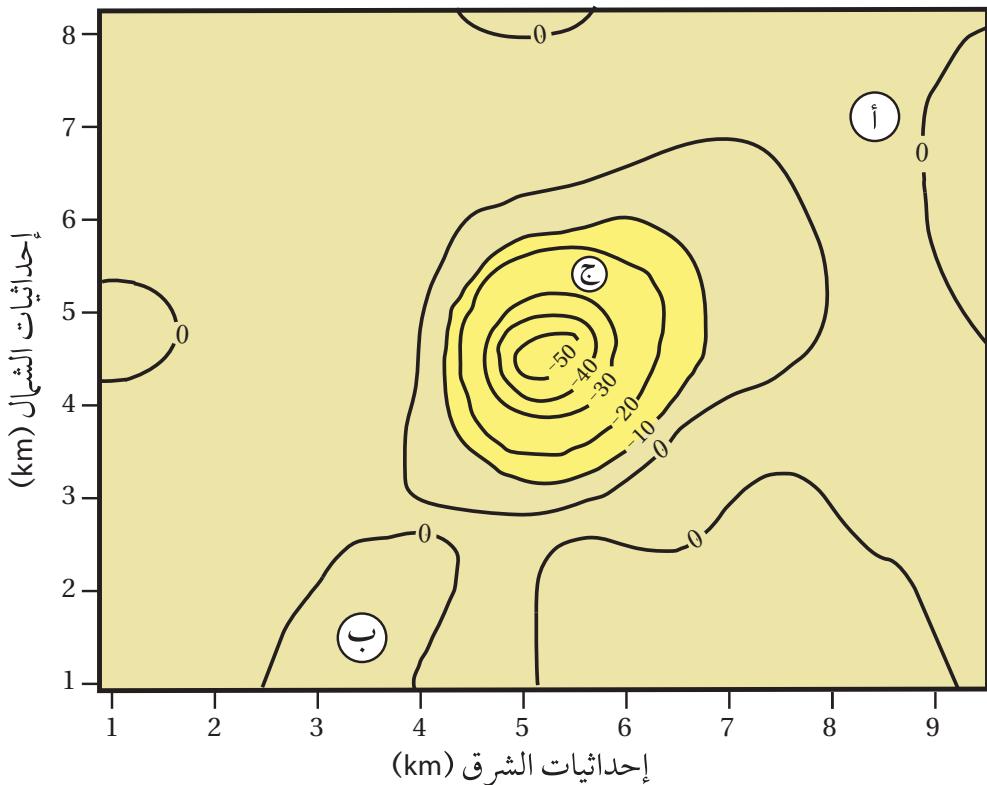
1. القيم الجيوفيزائية الطبيعية هي القيم الأقل من  $\gamma 3000$ .

2. القيم الجيوفيزائية الشاذة هي القيم التي تزيد قيمتها على  $\gamma 3000$ .

3. نوع الشاذة موجبة؛ لأنها أعلى من القيم الجيوفيزائية الطبيعية.

4. المنطقة (و) هي المنطقة التي يُحتمل وجود الخام فيها.

يمثل الشكل الآتي خريطة تساوي قيم جيوفизيائية جاذبية تُقاس بـوحدة المليغال (mGal)، سببها وجود قبة ملحيّة تحت سطح الأرض. أدرسه جيداً، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



قيم جيوفизيائية شديدة

قيم جيوفизيائية طبيعية

1. أَحدِّد القيَم الجيوفيزيايَّة الطبيعية.
2. أَحدِّد القيَم الجيوفيزيايَّة الشديدة.
3. أَسْتَنِج نوع الشَّادَّة الجيوفيزيايَّة.
4. أَتَوْقَّع أيُّ المَنَاطِق (أ، ب، ج) يُحْتَمَل وجود الخام فيها.

**أتحقق:** أَحدِّد الخصائص الفيزيائية للخامات المعدنية التي يعتمد عليها

الاستكشاف الجيوفيزيائي للبحث عنها.

**أفخر**  
متى يلجم الجيولوجيون  
إلى استخدام الاستكشاف  
الجيوكيميائي للبحث عن  
الخامات المعدنية؟

## الاستكشاف الجيوكيميائي Geochemical Exploration

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

يتم الاستكشاف الجيوكيميائي بطريقتين متعددتين: الاستكشاف الجيوكيميائي باستخدام العينات الصخرية، والاستكشاف الجيوكيميائي باستخدام عينات التربة، والاستكشاف الجيوكيميائي باستخدام المياه الجوفية، وغيرها.

### الاستكشاف الجيوكيميائي باستخدام العينات الصخرية

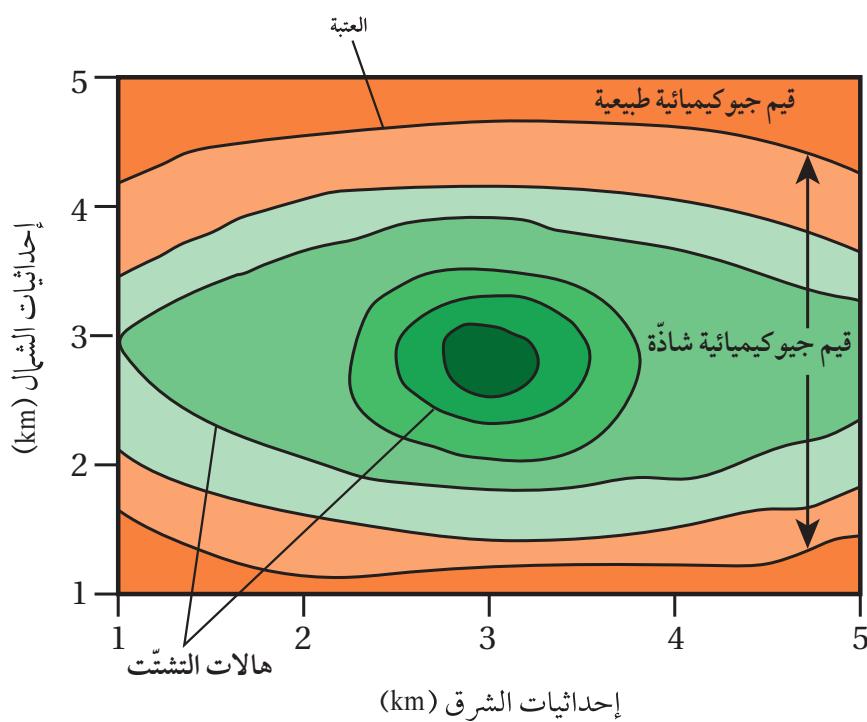
#### Geochemical Exploration Using Rock Samples

تعتمد عملية الاستكشاف الجيوكيميائي باستخدام العينات الصخرية على تحليل المحتوى المعدني الموجود في الصخور؛ لتحديد المناطق المناسبة لتوافر الصخور التي تحتوي على عناصر معينة بتراكيز عالية تدلّ على وجود الخام، وُسُمِّي هذه العناصر العناصر الدالة؛ إذ تعطي قيمًا جيوكيميائية شاذة أعلى من القيم الجيوكيميائية الطبيعية المجاورة لها، فمثلاً: وجود عناصر النحاس والكبريت والزنبق بقيم شاذة قد تكون دالةً على وجود خام الذهب، وارتفاع تراكيز غاز الرادون بقيم شاذة في منطقة ما تكون دالةً على خام اليورانيوم، وُسُمِّي القيمة التي تتغير عندها القيم الطبيعية إلى قيم شاذة **العتبة Threshold**.

وغالبًا ما يحدث انتشار للعناصر والغازات الدالة على الخامات المعدنية من الصخور المضيفة لها إلى المناطق المجاورة على شكل حالات تُسمَّى **حالات التشتت Dispersion Halos**، بحيث تتناقص قيم الشواذ الجيوكيميائية كلما ابتعدنا عن أماكن وجود الخامات المعدنية حتى تصبح متساوية للقيم الطبيعية.

وقد تتشكل حالات التشتت أثناء تشكّل الخامات المعديّنة من المحاليل الحرمائيّة التي تتخلّل الصخور، إذ يقلّ تركيز الخامات المعديّنة والعناصر الدالّة عليها أثناء حركة هذه المحاليل الحرمائيّة بعيداً عن مركز الخام، وقد تتشكل نتيجة تعرّض الصخور المضيّفة للخامات المعديّنة والعناصر الدالّة عليها عمليّات التجوية والتعرية المختلفة، ثم تُنَقَّل إلى المناطق المجاورة ما يؤدّي إلى انتشارها في مناطق أوسع، أنظر الشكل (12). ومن الأمثلة على حالات التشتت الظاهرة الموجودة في مقاطعة (أوتاوا) في الولايات المتحدة التي تحتوي على العناصر الآتية: الرصاص، والخارصين، والنحاس وتمتدّ (30 m) حول الصخور التي تحتوي على خامات معديّنة.

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



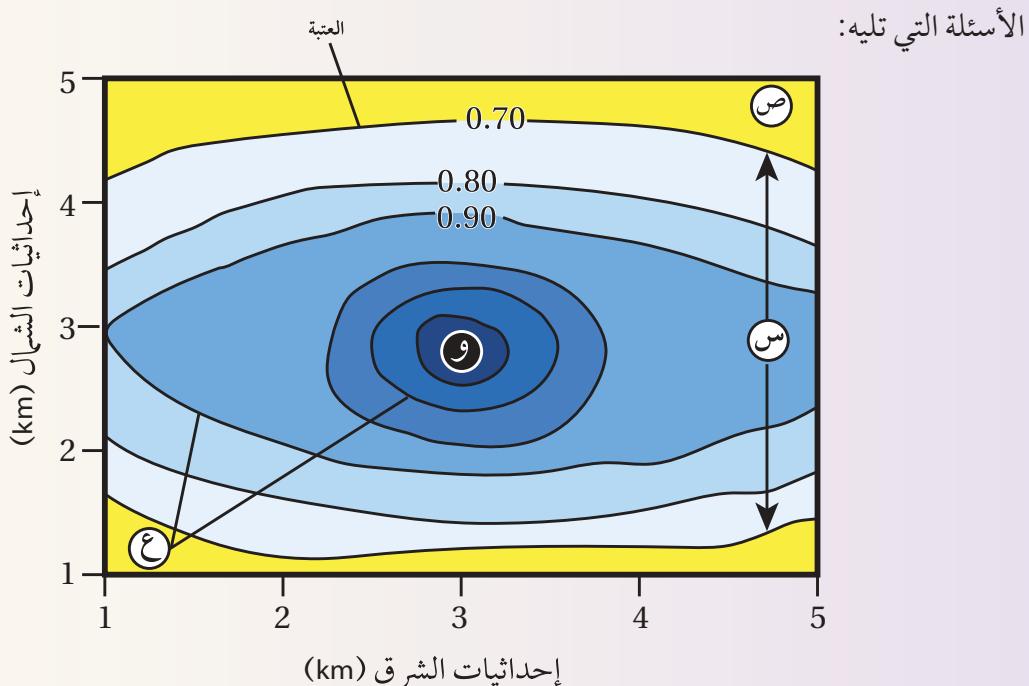
الشكل (12): حالات التشتت الجيوكيميائي. (يمثّل كل لون تركيّزاً مختلفاً للمعدن).

وبعد الانتهاء من عملية الاستكشاف الجيوكيميائي، يبدأ تحليل البيانات الجيوكيميائية المجموعة بطرق عدّة، مثل الطريقة الإحصائية أو رسم خرائط تساوي القيم Isopleth Maps؛ وذلك لتحديد موقع الخامات المعدينية. وللأعرّف كيفية تحليل البيانات الجيوكيميائية برسم خرائط تساوي القيم الجيوكيميائية أفقًّا النشاط الآتي:

## نشاط

### تحليل بيانات جيوكيميائية باستخدام خرائط تساوي القيم

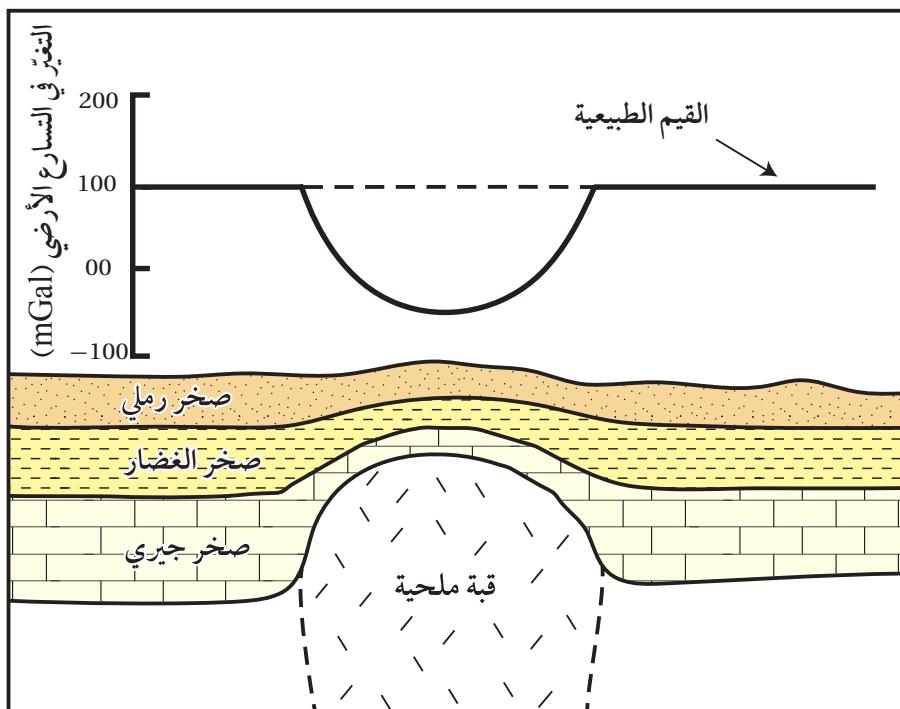
يوضح الشكل الآتي خريطة تساوي قيم جيوكيميائية تمثل تحليلًا لبيانات تركيز أحد الخامات بالنسبة المئوية (%) جمعت عن طريق الاستكشاف الجيوكيميائي أثناء البحث عن ذلك الخام. أدرسه جيدًا، ثم أجيب عن



1. أحدد قيمة العتبة في الشكل.
2. أصف تركيز الخام كلما ابتعدنا عن النقطة (و).
3. أبين ماذا تسمى القيم التي تمثلها كل من (س، ص).
4. أفسّر كيف تتشكل هالتا التشتت الجيوكيميائي (ع).

# مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: أذكر طرائق الاستكشاف الجيولوجي المستخدمة في البحث عن الخامات المعدنية.
2. أوضح المقصود بكل من: العتبة، وهالات التشتت، والشواذ الجيوفيزيائية.
3. **أفرق** بين مفهومي: الاستكشاف، والتنقيب.
4. أوضح متى توصف الشاذة الجيوفيزيائية بأنّها موجّهة.
5. بيّن الشكل الآتي شواذ جيوفيزيائية كُشف عنها باستخدام المسح الجاذبي. أدرسه جيداً، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



- أ. أحدد كلاً من: القيمة الجيوفيزيائية الطبيعية، والقيمة الجيوفيزيائية الشاذة.
- ب. **استنتج** نوع الشاذة الجيوفيزيائية.
- ج. **أفسّر** سبب تكون الشاذة الجيوفيزيائية.
- د. **أتوقع**: هل يجب تكشّف الخام على سطح الأرض حتى يُكشف عنه باستخدام طرائق الاستكشاف الجيوفيزيائي المتعددة؟

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

1. من الخامات المعدنية اللافلزية الموجودة في الأردن:

- أ . اليورانيوم.  
ب. النحاس.  
د . الحديد.  
ج. الفوسفات.

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

- أ . الخرائط الجيولوجية.  
ب. الصور الجوية.  
د . جمع العينات.  
ج. الطرق الجيوفизيائية.

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

- أ . قيم موجبة طبيعية تُجمع في أثناء المسح الجيوفизيائي.  
ب. قيم موجبة غير طبيعية تُجمع في أثناء المسح الجيوفизيائي.  
ج. 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.  
د . عينات التربة.  
ج. المسح الإشعاعي.

5. أظهرت عمليات المسح الإشعاعي الجوي في منطقة سوادة في وسط الأردن وجود قيم شاذة لليورانيوم

ضمن الصخور:

- أ . الغرانيتية.  
ب. الجيرية.  
د. الرملية.  
ج. البازلتية.

#### استخراج الصخور والمعادن من الأرض

#### Extraction of Rocks and Minerals from the Earth

تعلمت سابقاً أن الاستكشاف الجيولوجي بمرحلة التنقيب والاستكشاف يهدف إلى تعرّف الأماكن التي توجد بها الصخور التي تحتوي على الخامات المعدنية المختلفة مثل خامات الحديد والنحاس والفوسفات، وتحديد موقعها 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 اقتصادياً.

وتسمى علمية استخراج الخامات المعدنية التي توجد بكميات اقتصادية من الصخور في باطن الأرض أو على سطحها **تعدين Mining** انظر 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؟

**أتحقق:** أوضح أهمية طرق الاستكشاف الجيولوجي في استكشاف باطن الأرض.



الفكرة الرئيسية:

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.

تتاجرات التعلم:

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

المفاهيم والمصطلحات:

Mining	التعدين
Surface Mining	التعدين السطحي
	التعدين تحت سطحي
Subsurface Mining	

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

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



### التعدين السطحي Surface Mining

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

تُستخدم 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 أيضاً التعدين المفتوح، ويتم في هذه الطريقة أولاً إزالة التربة والصخور التي تعلو جسم الخام المراد استخراجه بواسطة آلات ثقيلة مُخصصة لذلك، وعند تكشفه تُستخدم 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.

الشكل (14/ ب): أحد المناجم التي تُستخرج 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 تقريباً باستخدام طرائق التعدين تحت السطحية المختلفة، أنظر الشكل (15)، مثل الأنفاق المائلة والأعمدة الرأسية، دون إزالة التربة والصخور التي تعلوها.

تحفر الأنفاق المائلة بزوايا مختلفة لاستخراج الخامات المعدنية بحسب الظروف الجيولوجية مثل: الأعماق التي يوجد فيها الخام، ونوع الصخور والتراكيب الجيولوجية كالطيات والصدوع، ونوعية الخام المستخرج. وعند الوصول إلى تلك الخامات المعدنية تُنقل إلى السطح، أنظر الشكل (16). أما عند وجود الخامات المعدنية المراد استخراجها على أعماق كبيرة جداً ويتعذر حفر الأنفاق المائلة لاستخراجها فتُستخدم طريقة الأعمدة الرأسية (الأنفاق العمودية)، إذ تُحفر أعمدة رأسية للوصول إلى الخامات المعدنية، ثم تُنقل بعد ذلك إلى السطح باستخدام المصاعد. أما الأنفاق الأفقية فهي أنفاق تُحفر في جانب التلال أو الجبال، ومن ثم يتم تَبْعِيُّ طبقات الخام أفقياً بدلاً من الحفر العمودي.

**أتحقق:** 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

يطلق على الموقع الذي تُستخرج فيه المعادن والصخور اسم المنجم، ويمكن أن يكون المنجم على سطح الأرض أو تحتها وفقاً لعملية التعدين. وتدخل الهندسة المدنية في تصميم الهياكل والبنية التحتية للمناجم، مثل الأنفاق والطرق والمرافق المرتبطة بعمليات التعدين.

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، وتأثير كمية أو احتياطات الخامات المعدنية الموجودة تحت سطح الأرض ومدة استمرارية تعدينهما، فكلما كانت كمية الخامات المعدنية المراد استخراجها أكبر ومدة إنتاجها أطول كانت ذات جدوى اقتصادية أعلى، وتأثير الظروف الجيولوجية في عملية التعدين، فمثلاً: تزداد تكلفة استخراج الخامات المعدنية إذا كانت على أعماق كبيرة؛ بسبب الحاجة إلى حفر أنفاق عميقه، 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 أضراراً بيئية عديدة، منها:

##### فقدان مواطن الكائنات الحية - 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 أيضاً في النظم البيئية المائية؛ بسبب تلوث المياه بالرواسب التي تنتج عن استخراج الخامات المعدنية، مما يعرض الكائنات الحية المائية للخطر.

✓ **أتحقق:** ذكر عاملين يؤثران

في تعدين الصخور والمعادن.

الشكل (17): إزالة الغابات حول منجم خام الحديد في إحدى المناطق البرازيلية.





الشكل (18) : مياه ملوثة نتيجة تعدين النحاس قرب إحدى البحيرات.

### تلويث المياه Water Pollution

يُعدّ تلويث المياه من أبرز المشكلات البيئية التي ترتبط بها عملية التعدين؛ إذ تُستخدم عدّة 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 القرية، أو قد تتسرب إلى باطن الأرض حتى تصل إلى المياه الجوفية، ما يؤدي إلى تلوثها، أنظر الشكل (18).

### تلويث الهواء Air Pollution

تطلق عمليات الحفر والتكسير وتنقية الخامات المعدنية عند استخراجها كميات هائلة من الغبار الذي يحتوي على عناصر تتسبب في تلويث الهواء مثل الرصاص والسيانيد، وال الحديد والكبريت، أنظر الشكل (19). فمثلاً: تؤدي عمليات استخراج معدن البيريت ( $\text{FeS}_2$ ) للحصول على الكبريت إلى تلويث الهواء الجوي؛ بسبب إطلاق كميات كبيرة من الحديد والكبريت إلى الهواء.



الشكل (19) : تلويث الهواء بالغبار الناتج من تكسير الصخور في أحد المناجم.

## تعرية التربة Soil Erosion and Sedimentation



▲  
الشكل (20): تراكم الرسوبيات الناتجة من عمليات التعدين في النهر الأصفر في الصين.  
أستنتاج الآثار البيئية الناتجة من تراكم الرسوبيات في النهر.

عند القيام بعمليات التعدين، تُزال التربة السطحية والصخور 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 الأرضي التي كانت خصبة سابقاً 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 الأنهر، ومن ثم يؤدي ترسيبها إلى زيادة سمك الرسوبيات في النهر وانخفاض الحياة المائية، وزيادة احتمالية حدوث الفيضانات؛ مما يزيد من تفاقم الأضرار البيئية، أنظر الشكل (20).

## التلوث البصري والضوضائي Visual and Noise Pollution

غالباً ما تكون مناجم التعدين مواقع ضخمة تعمل على مدار 24 ساعة طوال السنة، ما يعني استمرار الضجيج الناتج من الآلات الثقيلة، مثل الحفارات والشاحنات والكسارات. وهذا يمكن أن يسبب إزعاجاً للسكان المحليين في المناطق القريبة من هذه المناجم، و يؤثر سلباً 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 موطنها الطبيعي وحدوث اضطرابات في نمط حياتها. ومن التأثيرات السلبية الأخرى للتعدين: تدمير المناظر الطبيعية، وتأثير الإضاءة الليلية الدائمة على معيشة السكان المحيطين ب مواقع التعدين. أنظر الشكل (21).



✓ **أتحقق:** أحدد ثلاثة آثار بيئية تنجم عن عمليات 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 تنتجم عن عملية التعدين قبل اتخاذ القرار بإنشاء المنجم وإعطاء الإذن ببدء عمليات التعدين، وغالباً 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 المعدات، وثبتت الفرات 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 أيضاً إنشاء محميات طبيعية، بما في ذلك البحيرات التي تشكلت 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 اقتصادياً في المجتمعات المحلية؛ إذ تُستخدم بعض المواقع للتخلص من نفايات المكبات المنزلية، في حين تحولت مواقع أخرى إلى مناطق جذب سياحي، فمثلاً: أُنشئت حلبة سباق غوتلاند رينغ في السويد، وفي غانا أصبح منجم الذهب المهجور «هوميز» مركزاً للمشروع زراعي يضم مزارع الأسماك وتربية الماشي وزراعة الخضروات السياحية البيئية.

تُستخدم المعالجة البيولوجية (Bioremediation) في بعض الأحيان لمعالجة تلوث المياه في موقع التعدين، حيث يتم تحفيز البكتيريا وحيدة الخلية التي تعيش في الموقع لتفكيك الملوثات في التربة والمياه. على الرغم من أنه لا يمكن التخلص من الملوثات السامة مثل الكادميوم، إلا أنها تُعد بدليلاً آمناً وأقل تكلفة مقارنة بالحرق أو طمر النفايات.

**تحقق:** ذكر طريقتين يمكن عن طريقهما إعادة استخدام المناجم بعد الانتهاء من عمليات التعدين.

الشكل (22): حدائق بوتسارت الناتجة من ترميم موقع تعدين سابق، إذ كانت في الأصل محجراً لاستخراج الصخر الجيري.



# مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: **أفسر**: للتعدين تأثيراته السلبية على البيئة.
  2. **أتوقع** العلاقة المحتملة بين تعدين الخامات المعدنية والتغيرات المناخية في المناطق المتأثرة به.
  3. أوضح: كيف يؤثر ترميم المناطق بعد الانتهاء من التعدين فيها على البيئة؟
  4. **أفسر**: يؤثر الضجيج على الحياة البرية في المناطق المحيطة بموقع 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.
    - ج. تحويل الموقع إلى منطقة صناعية.
  2. في منطقة جبلية واسعة، اكتشف الجيولوجيون احتياطاً كبيراً من النحاس تحت طبقات من الصخور الصلبة على عمق يصل إلى تقريرياً 40 m. أي طائق التعدين الآتية هي الأنساب لاستخراج النحاس بكفاءة؟
    - أ . التعدين السطحي.
    - ب. التعدين بالأعمدة الرأسية.
    - ج. التعدين بالأفاق المائلة.
  3. أي من العوامل الآتية يجب أن يؤخذ في الحسبان بشكل أساسي عند اختيار طريقة التعدين؟
    - أ . تكلفة النقل.
    - ب. عمق الخامات المعدنية.
    - ج. المسافة من المدينة.
  4. في منطقة جبلية غنية بالمعادن، حصلت شركة تعدين على تصريح لبدء عمليات التعدين بعد أن قدمت تقريراً 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.
    - ج. إنشاء محميات طبيعية في موقع التعدين.
    - د. المساهمة اقتصادياً في المجتمعات المحلية.
  5. من الإجراءات المتبعة في التأهيل البيئي بعد انتهاء عمليات التعدين:
    - أ . زراعة النباتات الجديدة.
    - ب. التخلص من النفايات الخطرة.
    - ج. إنشاء محميات طبيعية جديدة.
    - د . بناء منازل في موقع المنجم.

# الإثراء والتلوّح

## استكشاف اليورانيوم في الأردن Exploration of Uranium in Jordan

أظهرت أعمال المسح الإشعاعي الجوي وجود قيم إشعاعية شاذة في مناطق عدّة في المملكة الأردنية الهاشمية، منها منطقة وسط الأردن، دلّت على وجود خامات اليورانيوم فيها ضمن الصخور الجيرية الهشة، بمساحة تقدّر بنحو  $667 \text{ km}^2$ ، في طبقتين؛ إحداهما سطحية، والأخرى عميقه.

استُخدِمت طريقتنا الاستكشاف الجيوفيزياي 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 مخبرياً؛ لتحديد تركيز اليورانيوم والعناصر الأخرى المصاحبة له. أما في الطبقة العميقه فقد استُخدِمت طريقة المسح الإشعاعي الجيوفيزياي عن طريق حفر الآبار الاستكشافية وأخذ القراءات الإشعاعية لأشعة غاما باستخدام مسابر جيوفيزياية، وبعد ذلك تُحوَّل قيم الإشعاع المقيس إلى تركيز مكافئ لليورانيوم.

وأثبتت أعمال الاستكشاف ودراسات تقدير الخامات أن كميات اليورانيوم في منطقة وسط الأردن تقدّر بنحو 41000 ton من أكسيد اليورانيوم ( $\text{U}_3\text{O}_8$ )، بمعدل تركيز 154 ppm في الطبقة السطحية، و 127 ppm في الطبقة العميقه.

وتشكل كميات اليورانيوم المستكشفة 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.

# مراجعة الوحدة

## السؤال الأول:

أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

1. من خصائص خطوط الكُتُور:

أ . أنها تتقاطع مع بعضها بعضاً.

ب . أنها تكون على شكل مُنْحَنِيات مفتوحة النهاية.

ج . أن القيمة المتقاربة تدل على قلة انحدار سطح الأرض.

د . أن القيمة الموجبة تدل على الارتفاع فوق سطح البحر.

2. يدل الرمز  $\oplus$  على إحداثيات طبقاتٍ:

أ . مائلة.      ب . أفقية.

ج . رأسية.      د . مقلوبة.

3. قيمة الميل التي يمثلها الرمز  $\longrightarrow$  تساوي:

أ .  $120^\circ$       ب .  $75^\circ$

ج .  $10^\circ$       د .  $90^\circ$

4. إذا كان أحد اتجاهات المضرب (شمال شرق)؛ فإن

الاتجاه الآخر هو:

أ . جنوب.      ب . جنوب غرب.

ج . شمال غرب.      د . شمال.

5. عندما توازي الطبقات في الخرائط الجيولوجية

خطوط الكُتُور فإنها تدل على طبقات:

أ . أفقية.      ب . مائلة.

ج . عمودية.      د . مقلوبة.

6. تُسمى القيمة التي تتغير عندها القيمة الطبيعية إلى قيمة

شادة في الاستكشاف الجيوكيميائي:

أ . العتبة.

ب . التشتت الجيوكيميائي.

ج . حالات التشتت.

د . العناصر الدالة.

7. تُسمى الطريقة التي يتم فيها الاعتماد على الاختلاف في الخصائص الفيزيائية للخامات المعدنية عن الصخور المحيطة بها:

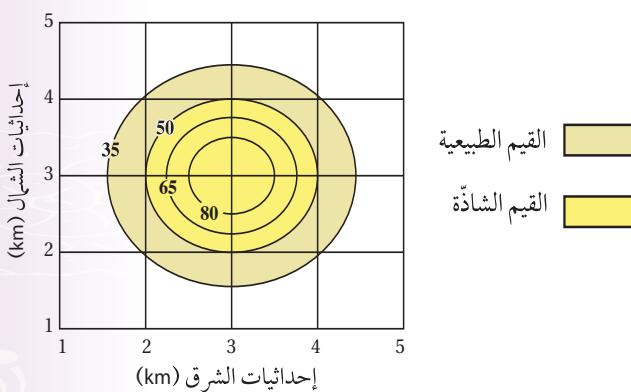
أ . الإحصائية.

ب . الاستكشاف الجيوكيميائي.

ج . الاستكشاف الجيوفيزيائي.

د . رسم الخرائط الكُتُورية.

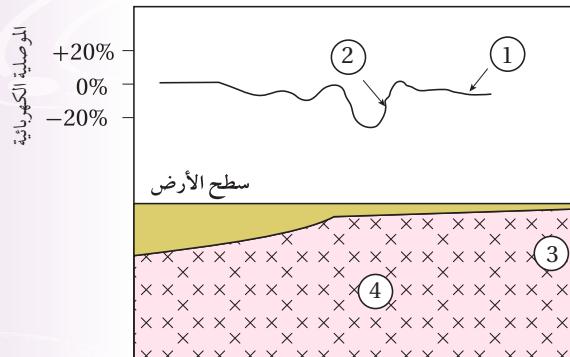
8. يمثل الشكل الآتي خريطة تساوي قيم توزُّع أحد الخامات في منطقةٍ ما، قيمة العتبة هي:



أ . 50.      ب . 35.

ج . 65.      د . 80.

9. يمثل الشكل الآتي قيم موصلية كهربائية حصل عليها من عملية مسح كهربائي لمنطقةٍ ما، أستنتج مكان وجود الخام:



أ . 1.      ب . 2.

ج . 3.      د . 4.

# مراجعة الوحدة

14. أي من المعادن الآتية يسهم بشكل أكبر في تلوث الهواء عند تعدينه؟

- أ . التلك.
- ب. البيريت.
- ج. الهايليت.
- 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.
- ج. الاتجاه الجغرافي لميل الطبقة.
- د . أقل زاوية يصنعها سطح الطبقة مع المستوى الأفقي.

## السؤال الثاني:

أملأ كل فراغ في ما يأتي بالمصطلح المناسب:

1. خريطة توضح تضاريس سطح الأرض في صور مجسمة باستخدام خطوط الكُتُور .....  
.....

2. يُطلق على الخط الناتج من تقاطع سطح الطبقة المائلة مع المستوى الأفقي .....  
.....

3. تُسمى العناصر التي توجد مع الخام وتدل على وجوده .....  
.....

4. يتم الاستكشاف الجيوكيميائي بطرق متعددة، منها: .....  
.....

5. توصف القيمة الجيوفيزائية الشاذة التي تكون قيمتها أقل من القيم الطبيعية .....  
.....

6. يُسمى المسح الجيوفزيائي الذي يعتمد على خاصية كثافة الصخور .....  
.....

10. من العناصر الدالة على وجود خام الذهب:

- أ . المنغنيز.
- ب. اليود.
- ج. 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.
- ج. 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 موقع التعدين السابقة.
- ب. حفر أنفاق جديدة للتعدين.
- ج. ترك الموقع كما هو من دون تدخل.
- د . تحويل الموقع إلى منشآت صناعية جديدة.

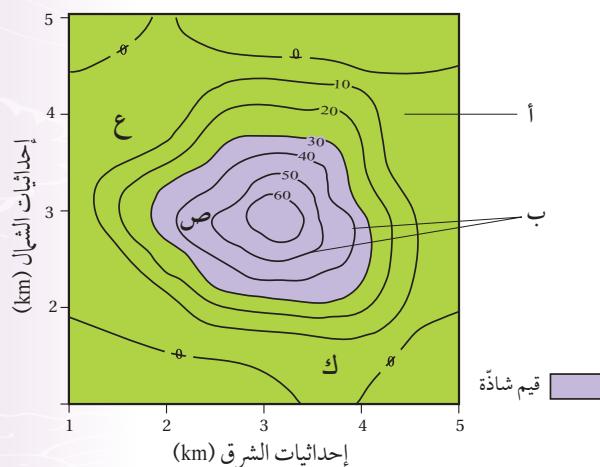
13. في منطقة جبلية غنية بالمعادن، حصلت شركة تعدين

على تصريح لبدء عمليات التعدين بعد أن قدمت تقريراً لتقدير الأثر البيئي. التقرير تضمن خطة مفصلة لإعادة تأهيل الموقع بعد انتهاء عمليات التعدين. الهدف من عملية التأهيل البيئي بعد توقيف عمليات التعدين هو:

- أ . ضمان أمان الموقع بعد إيقاف التعدين.
- ب. إعادة سطح الأرض إلى حالة الطبيعة التي كان عليها.
- ج. إنشاء محميات طبيعية في موقع التعدين.
- د . المساهمة اقتصادياً في المجتمعات المحلية.

## السؤال الثالث:

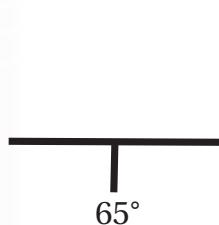
أدرس الشكل الآتي الذي يوضح خريطة تساوي قيم خام النحاس، حيث يُظهر نتائج توزيع تركيز خام النحاس (ppm) في منطقة ما باستخدام المسح الجيوكيميائي:



1. أبْيَّنْ ما يمثّلُ كُلُّ من الرمَّازِينِ (أ، ب).
2. **أُتْوِّقِعُ** أيُّ المَنَاطِقِ (ع، ص، ك) يُحْتمِلُ وُجُودَ الْخَامِ فِيهَا.
3. أَسْتَنْتَجِ قِيمَةُ الْعَتَبَةِ.

## السؤال الثامن:

يُمثّلُ الشكل الآتي وضعية إحدى الطبقات. أدرسه، ثم أجيِّبُ عما يأتِي :



أَحْدَدْ كَلَّا مَا يأتِي :

1. قِيمَةُ مُضَرِّبِ الطَّبَقَةِ.
2. اِتِّجَاهُ المُضَرِّبِ الجُغرَافِيِّ.
3. اِتِّجَاهُ مَيْلِ الطَّبَقَةِ.
4. مَيْلُ الطَّبَقَةِ.

يبَيِّنُ الجدول الآتي قِيمًا تمثِّلُ النسبة المئوية لتركيز النحاس في المَوْاقِعِ (أ، ب، ج، د، هـ) أثناء المسح الجيوكيميائي لمنطقةٍ ما، علَمًا أنَّ قيمةَ العَتَبَةِ لخام النحاس (0.5%). أدرس الجدول جيدًا، ثم أجيِّبُ عن السؤال الذي يليه:

الموقع	أ	ب	ج	د	هـ	النسبة المئوية %
	0.10	0.62	0.20	0.05	0.78	

**أَسْتَنْتَجِ** المَوْاقِعُ التي يوجَدُ فِيهَا النحاس بِتَرَاكِيْزٍ غَيْرِ اقْتَصَادِيَّة.

## السؤال الرابع:

أجيِّبُ من خَلَال دراستي لطريقة الاستكشاف الجيوكيميائي عن الأسئلة الآتية:

- أـ . أَشْرِّعِ المَبْدَأُ الَّذِي يَقُومُ عَلَيْهِ الْاسْتَكْشَافُ الجِيُوكِيمِيَّيِّيِّ بِاستِخدَامِ الْعَيْنَاتِ الصَّخْرِيَّةِ.
- بـ . أَصْفِ أَوْجَهِ الشَّبَهِ وَالْخَلَافِ بَيْنِ الشَّوَادِّ الجِيُوفِيْزِيَّيِّيَّةِ وَالشَّوَادِّ الجِيُوكِيمِيَّيِّيَّةِ.
- جـ . أَعْدَّ طَرَائِقَ تَحْلِيلِ الْبَيَانَاتِ الجِيُوكِيمِيَّيَّةِ.
- دـ . أَصْفِ كَيْفِيَّةِ تَشَكُّلِ هَالَاتِ التَّشَتِّتِ بِفَعْلِ الْمَحَالِلِ الْحَرَمَاءِ.

## السؤال الخامس:

إذا كان مقياس الرسم على إحدى الخرائط الجيولوجية هو (1 cm يساوي 6 km)، فأجيِّبُ عما يأتِي :

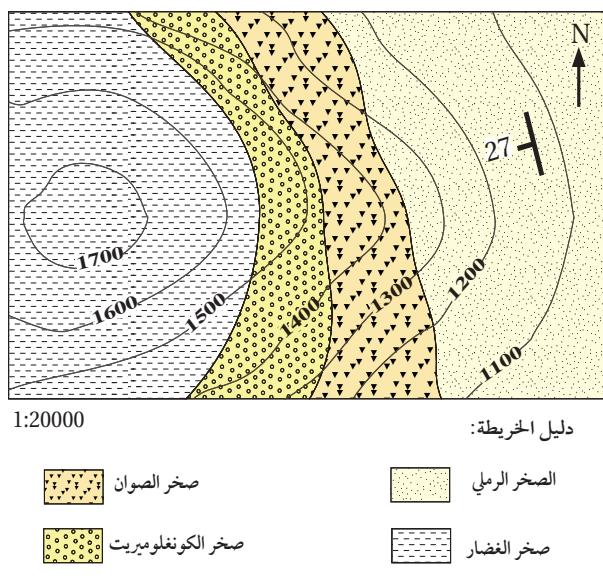
1. أَحْدَدْ نَوْعَ مَقِيسِ الرَّسَمِ.
2. أُحْوِّلْ مَقِيسِ الرَّسَمِ إِلَى مَقِيسِ كَسْرِيِّيِّ.

## السؤال السادس:

**أَفْسَرُ**: لا يمكن استخدام طرائق المسح الجيوفيزيائي للكشف عن معدين الذهب.

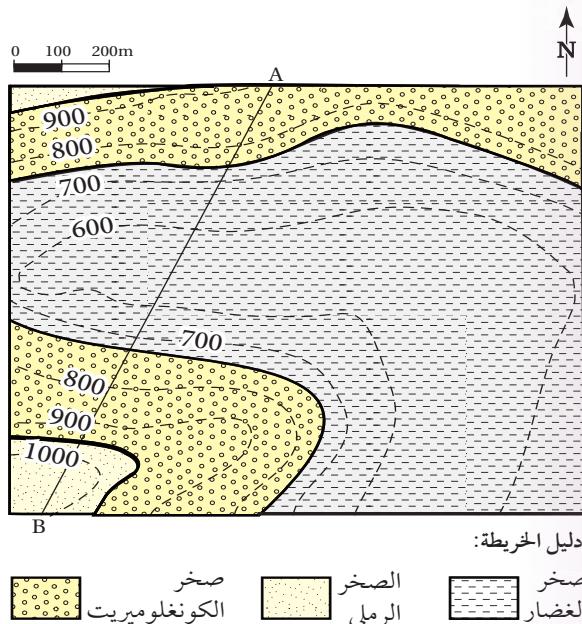
## السؤال العاشر:

يمثل الشكل الآتي إحدى الخرائط الجيولوجية. أدرسها جيداً، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليها:



1. أحدد ميل طبقات الصخور الرملية.
2. أقدر قيمة المضرب.
3. أحدد الاتجاه الجغرافي للمضرب.
4. أستنتج إن كانت الطبقات مائلة أم أفقية، وأبيّن لماذا؟
5. أحدد نوع مقياس الرسم للخريطة.
6. أقوم صحة العبارة الآتية: «يتوجه ميل الطبقات الصخرية بحسب الخريطة الجيولوجية نحو الشمال الشرقي».

يمثل الشكل الآتي إحدى الخرائط الجيولوجية. أدرسها جيداً، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليها:

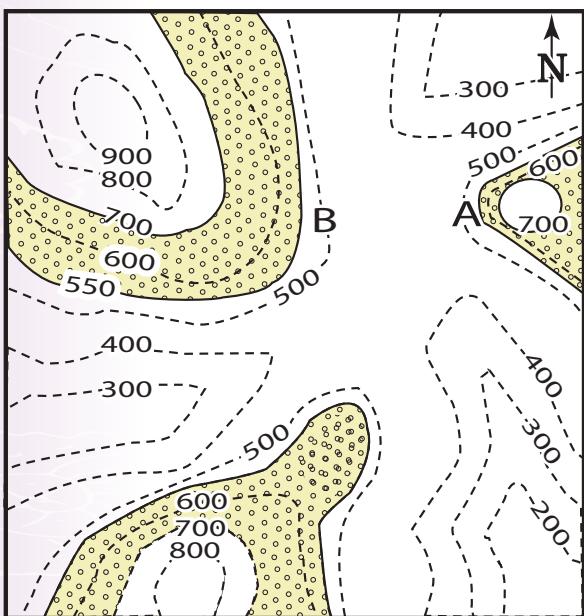


1. أحدد نوع مقياس الرسم.
2. أستنتاج: هل الطبقات الصخرية أفقية أم مائلة؟
3. أرسم مقطعاً جيولوجياً يمثل الخط (A-B).
4. أقيس السُّمك التقريري لطبقة صخر الكونغلوميريت من خلال المقطع العرضي (A-B).
5. أحدد ارتفاع السطح العلوي للطبقات الصخرية المتكتفة في الخريطة.

## السؤال الحادي عشر:

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:

مقياس الرسم 0 1 2km

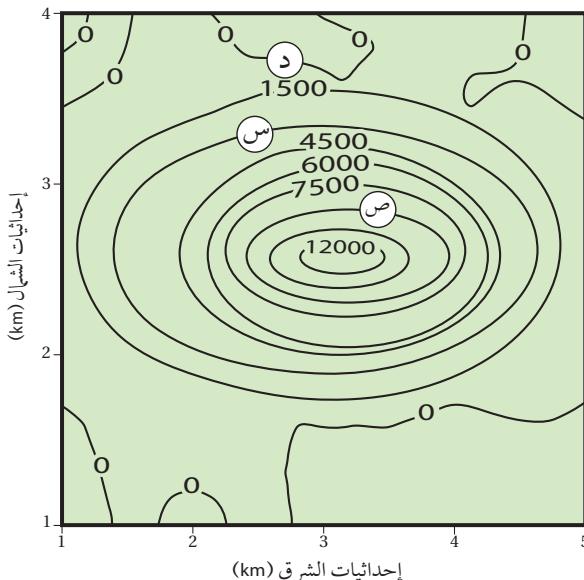


1. أرسم الطبقات الأخرى الواردة في الخريطة.
2. أرسم دليلاً للخريطة، وأحدد عليه رموز الصخور المختلفة وأسماءها.
3. **أقارن** بين النقطة (A) والنقطة (B) من حيث شدة الانحدار.
4. أحدد نوع مقياس الرسم.
5. أحول مقياس الرسم إلى مقياس رسم كتابي.

## السؤال الثالث عشر:

**أصدر حكماً** على صحة ما ورد في العبارة الآتية مع ذكر السبب: قامت إحدى شركات تعدين الفوسفات بعد الانتهاء من العمل في المنجم يازالة المعدّات وهدم المنشآت والتخلص من النفايات الصلبة، ثم تركت الموقع وانتقلت إلى موقع آخر للبحث عن صخر الفوسفات وتعدينه.

يبين الشكل الآتي خريطة تساوي قيم مغناطيسية أثناء المسح الجيوفيزيائي لمنطقة ما. أدرسه جيداً، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



1. **استنتج**: ما القيمة المغناطيسية في كل من الموقع (س) والموقع (ص)؟
2. **استنتج**: ما قيمة الشاذة المغناطيسية، وما نوعها إذا علمت أن القيمة المغناطيسية الطبيعية أقل من 1500؟
3. **أفسر**: هل يمكن أن نجد الخام في الموقع (د)؟ لماذا؟

## السؤال الثاني عشر:

يمثل الشكل الآتي إحدى الخرائط الجيولوجية التي تمثل طبقات أفقية، فإذا علمت أن طبقة الكونغلوميريت الظاهرة في الشكل سُمكها 150 m وتكتشف من ارتفاع 550 m إلى 700 m، وتقع أسفل منها ثلاثة طبقات تبدأ من الأعلى بطبقة من الغضار سُمكها 50 m، ثم طبقة من الصخر الرملي سُمكها 150 m، ثم

**اتجاه الميل Dip Direction:** الاتجاه الجغرافي لميل الطبقة، ويعتمد دائمًا مع المضرب.

**الاستكشاف Exploration:** عملية يتم فيها التوجه إلى المناطق التي حددتها عمليات التنقيب؛ للبحث التفصيلي عن وجود الخامات المعدينية الموجودة تحت سطح الأرض، أو فوقها؛ لتحديد قيمتها الاقتصادية.

**الإجهاد Stress:** القوة المؤثرة في وحدة المساحة من الصخر، ويقاس بوحدة ( $N/m^2$ )، وله ثلاثة أنواع اعتماداً على اتجاه القوة المؤثرة على الصخر وهي: الضغط، والشد، والقص.

**الاحتباس الحراري Greenhouse Effect:** ظاهرة طبيعية يحبس فيها الغلاف الجوي بعضًا من طاقة الشمس بوساطة مجموعة من الغازات تعرف بغازات الدفيئة لتسخين الكره الأرضية والحفاظ على اعتدال مناخها.

**الاحترار العالمي Global Warming:** زيادة تدريجية في مُعدل درجات الحرارة العالميّ، ناجمة عن النشاطات الطبيعية والبشرية.

**الأحواض الخسفية Grabens:** أحد أنظمة الصدع التي تتشكل عندما تتعرض صخور القشرة الأرضية لقوى شد تؤدي إلى إحداث صدعين عاديَّين متقابلين، حيث تهبط الكتل الصخرية بينهما للأسفل، بحيث يشتراكان في الجدار المعلق.

**الأخاديد البحريَّة Trenches:** وديانٌ عميقٌ ضيقٌ تمتد طولياً في قيعان المحيطات، تصاحب أفقَة الطرح، وتوازي أقواس البراكين والجزر البركانية.

**أقواس الجزر Island Arcs:** جزرٌ بركانية تشكُّل مع بعضها بعضًا شكل قوس يوازي الأخاديد البحريَّة، تنتُج من غطس صفيحة محيطية أسفل صفيحة محيطية أخرى، ما يؤدي إلى انصهار طرف الصفيحة الغاطسة، وإنتاج مagma قليلة الكثافة، تصدُّل للأعلى حتى تصل إلى قاع المحيط؛ مشكلةً براكينَ بحريَّةً يزداد ارتفاعها مع الزمن، وتتحول إلى جزرٌ بركانية.

**الانقلاب المغناطيسي Magnetic Reversal:** التغيير في قطبية المجال المغناطيسي للأرض من عاديَّة إلى مقلوبة على امتداد عمر الأرض.

**بانغيا Pangaea:** قارة اقترح وجودها العالم فنر، وتعني كل اليابسة يحيطها محيط بانثالاسا. بدأت بالانقسام إلى قارات أصغرَ من  $200\text{ m.y}$  تقريباً، ثم أخذت القارات بالانجراف ببطء حتى وصلت إلى موقعها الحاليَّة.

**الstrukturen التراكيب الجيولوجية Geological Structures:** المظاهر أو التشوُّهات التي تحدث في الصخور نتيجة تعرُّضها لقوى مختلفة مع مرور الزمن.

**التشوُّه Deformation:** تغيير في شكل الصخور أو حجمها، أو الاثنين معًا. وهي في الحالة الصلبة نتيجة تعرُّضها لقوى خارجية، أو قوى داخلية مع مرور الزمن.

**التشوُّه اللِّدين Plastic Deformation:** أحد أنواع التشوُّه الذي يحدث في الصخور اللِّidine؛ نتيجة تعرُّضها للإجهاد التي تزيد على حد المرونة لها، و يؤدي إلى ثنيها.

**التشوه الهش** **Brittle Deformation**: أحد أنواع التشوّه الذي يحدث في الصخور الهشة ؛ نتيجة تعرُّضها للإجهادات التي تزيد على حد المرونة لها، ويؤدي إلى كسرها.

**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 تحت سطحية المختلفة، مثل الأنفاق المائلة والأعمدة الرأسية، دون إزالة التربة والصخور التي تعلوها.

**التعدين السطحي** **Surface Mining**: إحدى طرق التعدين التي تُستخدم عندما تكون الصخور التي تحتوي على الخامات المعدنية موجودة بالقرب من سطح الأرض، وغير مأهولة بالسكان.

**التنقيب** **Prospecting**: عملية مباشرة وغير مباشرة تُحدد عن طريقها الأماكن المحتملة لتوزُّع الخامات المعدنية، وذلك باستخدام الصور الجوية والخرائط الجيولوجية، وجمع عينات من الصخور والتربة من سطح الأرض، ودراسة خصائصها الفيزيائية والكيميائية.

**توسيع قاع المحيط** **Seafloor Spreading**: فرضية وضعها العالم هاري هس في بداية السبعينيات من القرن الماضي، تنصّ على أن "القشرة المحيطية الجديدة تُبني عند ظهور المُحيطات، وتُستهلك عند الأحاديد البحرية".

**تيارات الحمل** **Convection Currents**: تيارات اكتشفها العالم ولسون تتوج داخل الستار نتيجة تحلل العناصر المُشعة المتمركزة فيه، ما يؤدي إلى زيادة تسخين الماء فتقلّ كثافتها، وترتفع إلى الأعلى مشكلةً تياراتٍ صاعدةً ترتفع إلى الأعلى، وينتج من حركتها حركة الصّفائح الأرضية.

**الجدار القَدَم** **Foot Wall**: الكتلة الصّخرية التي تقع أسفل مستوى الصَّدْع.

**الجدار المعلق** **Hanging Wall**: الكتلة الصّخرية التي تقع فوق مستوى الصَّدْع.

**الحدود التحويلية** **Transform Boundaries**: حدود تُنتج من تحرك الصّفائح أفقياً بمحاذة بعضها بعضاً، وتحدُّث هذه الحدود على امتداد صدوع التحويل الطويلة التي يصل طول بعضها إلى مئات الكيلومترات.

**الحدود المتباعدة** **Divergent Boundaries**: حدود تمثل تباعد صفيحتين بعضهما عن بعض. ومن مظاهر وجودها امتداد ظهر المحيط في المُحيطات والوديان المتصدّعة في القارات.

**الحدود المتقاببة** **Convergent Boundaries**: حدود تمثل تقارب صفيحتين بعضهما من بعض، وقد تكون بين صفيحتين قاريتين، أو بين صفيحتين محيطيتين، أو بين صفيحة قارية مع محيطية، ومن المظاهر الجيولوجية الناتجة منها: أنصاف الطرح، والأحاديد البحرية، والسلالس الجبلية.

**الخامات المعدنية Ore Minerals:** تجمّعات معدنية توجد بأشكال وحجوم مختلفة في صخور القشرة الأرضية ذات تراكيز تسمح باستثمارها اقتصادياً، وقد تكون خامات فلزية أو خامات لافلزية.

**الخريطة الجيولوجية Geological Map:** خريطة كُتُورية أو طبوغرافية يمثل الجيولوجيون عليها المعطيات الجيولوجية؛ لإظهار المعالم الجيولوجية المتنوعة، مثل: أنواع الصخور، وميل الطبقات، والتراكم الجيولوجي.

**الخريطة الطبوغرافية Topographic Map:** خريطة كُتُورية تُضاف إليها المظاهر الطبيعية والبشرية.

**الخريطة الكُتُورية Contour Map:** خريطة توضّح تضاريس سطح الأرض في صور مجسّمة باستخدام عدد من الخطوط تُسمى خطوط الكُتُور.

**خط الكُتُور Contour Line:** خطٌ وهما يصل بين مجموعة من النقاط المتساوية في الارتفاع، وتمتاز خطوط الكُتُور في الخرائط بأنها لا تتقاطع مع بعضها بعضاً.

**الشواذ الجيوفيزيائية Geophysical Anomalies:** القيم غير الطبيعية التي تُجمع أثناء عملية المسح الجيوفيزيائي، وتختلف قيمتها عن القيم التي حولها في المنطقة. وتوصف الشذوذ الجيوفيزيائية بأنّها موجبة إذا كانت قيمتها أكبر من القيم الطبيعية في المنطقة، وسالبة إذا كانت قيمتها أقل من القيم الطبيعية في المنطقة.

**الصَّدْع Fault:** كسر يحدث في صخور القشرة الأرضية، ويترجّم منه كتلتان صخريّتان تتحرّكان بشكل موازٍ لسطح الكسر.

**الصُّدُوع الجانبيّة Strike – Slip Faults:** صُدوع ناتجة من الحركة الأفقيّة للكتلتين الصخريّتين على جانبي مستوى الصَّدْع، وقد يكون فيها مستوى الصَّدْع مائلاً أو رأسياً.

**الصُّدُوع العاديّة Normal Faults:** صُدوع ناتجة من الحركة الرأسية للكتلتين الصخريّتين على جانبي مستوى الصَّدْع. وتُعد صدوغاً مائلاً، يتحرّك فيها الجدار المعلّق إلى الأسفل بالنسبة إلى الجدار القديم.

**الصُّدُوع العكسيّة Reverse Faults:** صُدوع ناتجة من الحركة الرأسية للكتلتين الصخريّتين على جانبي مستوى الصَّدْع. وتُعد صدوغاً مائلاً، يتحرّك فيها الجدار المعلّق إلى الأعلى بالنسبة إلى الجدار القديم.

**طاقة الحرارة الجوفية Geothermal Power:** هي الطاقة الحرارية المخزنة في باطن الأرض، والتي تستخدم في توليد الطاقة الكهربائية.

**الطاقة الكهرومائية Hydroelectric Power:** هي الطاقة الكهربائية الناتجة عن حركة المياه، حيث يتم بناء سدود وتُستخدم المياه المتجمعة خلفها لتحريك توربينات توليد الطاقة الكهربائية.

**الطاقة المتجددة Renewable Energy:** هي الطاقة التي لاتنفد وغير ملوثة للبيئة، وتستخدم في إنتاج الكهرباء بدلاً من استخدام الوقود الأحفوري.

**طية غير متماثلة Asymmetrical Fold:** طية يميل كل جناح من جناحيها بزاوية ميل مختلفة عن الأخرى، سواءً أكانت طية محدبة أم طية مقعرة، ويكون فيها المستوى المحوري مائلًا بزاوية أقل من  $90^\circ$ ; أي غير متعامد على سطح الأرض. وتشكل هذه الطية عندما تتعرض الطبقات الصخرية لضغط غير متساوٍ على كلا الجانبيين.

**طية متماثلة Symmetrical Fold:** طية يميل جناحاها بزاوية ميل متساوية على كلا الجانبيين سواءً أكانت طية محدبة أم طية مقعرة، ويكون فيها المستوى المحوري عمودياً على سطح الأرض. وتشكل مثل هذه الطيات عندما تتعرض الطبقات الصخرية لضغط متساوٍ من الجانبيين.

**طية محدبة Anticlines:** إحدى أنواع الطيات تتقوس فيها الطبقات نحو الأعلى، ويميل جناحاها بعيداً عن المستوى المحوري، وتحتوي على الطبقات الأقدم في وسطها.

**طية مضطربة Recumbent Fold:** أحد أنواع الطيات يكون فيها المستوى المحوري أفقياً.

**طية مقعرة Synclines:** أنواع الطيات تتقوس فيها الطبقات نحو الأسفل، ويميل جناحاها نحو المستوى المحوري، وتحتوي على الطبقات الأحدث في وسطها.

**طية مقلوبة Overturned Fold:** أحد أنواع الطيات يميل جناحاها في الاتجاه نفسه، حيث تزيد زاوية ميل أحد جناحيها على  $90^\circ$ ، ويكون فيها المستوى المحوري مائلًا عن المستوى العمودي بدرجة كبيرة، وتكون الطبقات المكونة لأحد الجناحين مقلوبة.

**ظهر المحيط Ocean Ridge:** سلسلة جبلية ضخمة يتصل بعضها ببعض، تمتد في جميع المحيطات. يوجد في وسطها وادٍ عميق ضيق يسمى الوادي الخسفى، تنجع من تباعد الصفائح الأرضية.

**العتبة Threshold:** القيمة التي تتغير عندها القيمة الطبيعية إلى قيم شاذة.

**الغلاف الصخري Lithosphere:** نطاق من الأرض يشمل القشرة الأرضية وأعلى السّtar، يوجد في الحالة الصلبة.

**الفترة الكتورية Contour Interval:** المسافة الرئيسية بين أي خطين كتوريين متاليين.

**فرضية انجراف القارات Continental Drift Hypothesis:** فرضية اقترتها العالم فنر عام 1912م، تنص على أن "جميع القارات الحالية كانت تشكل في الماضي قارةً واحدة اسمها بانجيا، يحيط بها محيط بانثالاسا. وقد بدأت بالانقسام منذ  $200\text{ m.y}$  تقريباً إلى قارات أصغر، ثمأخذت القارات بالانجراف ببطء حتى وصلت إلى مواقعها الحالية".

**الكتل الاندفاعية Horsts:** أحد أنظمة الصدوع التي تتشكل عندما تتعرض صخور القشرة الأرضية لقوى شد تؤدي إلى إحداث صدعين عاديين متقابلين، إذ تبرز الكتل الصخرية بينهما للأعلى عندما تهبط الكتل الصخرية على جانبيها للأسفل، بحيث يشتراك في الجدار القدم.

**مستوى الصدع Fault Plane:** السطح الذي تتحرك عليه الكتل الصخرية عند كسرها، وقد يكون مستوى الصدع مائلًا حين تكون زاوية الميل التي يصنعها مع المستوى الأفقي تراوح بين  $0^\circ - 90^\circ$ ، أو يكون مستوى الصدع رأسياً حين تكون زاوية الميل التي يصنعها مع المستوى الأفقي  $90^\circ$ .

**المضرب Strike:** خط ينتج من تقاطع سطح الطبقة المائلة مع المستوى الأفقي، وهو يمثل امتداد الطبقة، ويتعامد دائمًا مع اتجاه ميل الطبقة الحقيقي.

**المطاوعة Strain:** التغير في شكل الصخور أو حجمها أو كليهما معًا، وتعتمد على مقدار الإجهاد المؤثر في الصخور وعلى نوعه، إذ كلما زاد مقدار الإجهاد زادت المطاوعة في الصخور.

**معامل الانبعاث Emission Factor:** كمية انبعاثات غاز دفيئة ناتج من نشاط معين، مثل حرق أحد أنواع الوقود الأحفوري أو إنتاج الإسمنت.

**المغناطيسية القديمة Paleomagnetism:** ظاهرة تدل على تمغناط ذرات المعادن المغناطيسية وترتيبها عندما تبلور من الماغما باتجاه المجال المغناطيسي الأرضي نفسه السائد وقت تكونها. وعندما تصلب فإنها تحفظ باتجاه ذلك المجال المغناطيسي الأرضي.

**مقاييس الرسم Map Scale:** النسبة الثابتة بين طول بعدين أحدهما حقيقي على سطح الأرض والآخر على الخريطة. ويعبر عن مقاييس الرسم بطرائق متعددة، فمنه: الكسري، والنسيبي، والكتابي، والبياني (الخطي).

**الميل Dip:** أكبر زاوية يصنعها سطح الطبقة العلوي مع المستوى الأفقي، وتعد الطبقة مائلة إذا كانت الزاوية أقل من  $90^{\circ}$  وأكثر من  $0^{\circ}$ .

**نطاق الطرح Subduction Zone:** نطاق ينبع من غطس صفيحة محيطية أسفل صفيحة قارية، أو صفيحة محيطية أخرى، وينتج من نطاق الطرح: أحاديد بحرية، وأقواس بركانية، وأقواس الجزر.

**نظرية الصفائح التكتونية Plate Tectonic Theory:** نظرية طورها عدد من العلماء اعتمدوا على فرضياتي انجراف القارات، وتوسيع قاع المحيط، مع دمج أدلة جديدة عليهم. وتنص على أن "الغلاف الصخري الصلب مقسم إلى عدد من القطع يُسمى كل منها صفيحة، تتحرك نسبةً إلى بعضها بعضاً، وينتج منها العديد من المظاهر الجيولوجية".

**حالات التشتت Dispersion Halos:** الشكل الذي تتخذه العناصر والغازات الدالة على الخامات المعدنية في المناطق المجاورة لمواقعها؛ أثناء تشكّل الخامات المعدنية من المحاليل الحرمانية التي تتخلّل الصخور، أو نتيجة عمليات التجوية على الصخور المضيفة لها، بحيث تتناقص قيم الشوّاذ الجيوكيميائية كلما ابتعدنا عن أماكن وجود الخامات المعدنية حتى تصبح متساوية القيم الطبيعية.

**هطل حمضي Acid Precipitation:** هطل يتشكّل عندما يحترق الوقود الأحفوري ويطلق في الغلاف الجوي ثاني أكسيد الكبريت  $\text{SO}_2$  وأكاسيد النيتروجين  $\text{NO}_x$ ، حيث تتفاعل هذه الأكاسيدي مع بخار الماء المتكافئ في الغلاف الجوي مشكلاً هطلاً حمضيًا يحتوي على حمضي الكبريتิก  $\text{H}_2\text{SO}_4$  والنيتريك  $\text{HNO}_3$ .

