الرُشد
في
علوم الأرض

الوحدة الثالثة: الصفائح التكتونية

توجيهي

2007

الفصل الأول

الأستاذ: رمزي القرالة

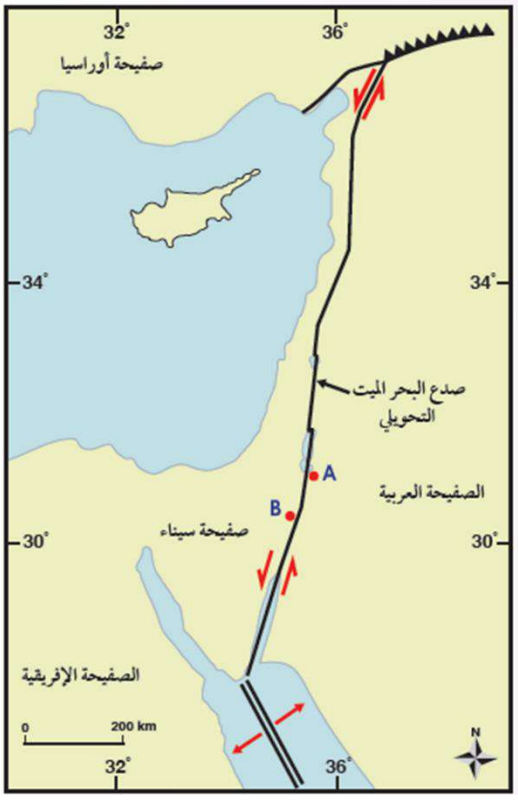
0788801226

تجربة استهلالية
صفحة 9

صَدْع البحر الميّت التحويليّ

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

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



خطوات العملِ:

1. أقيس المسافة بين النّقطتين (A وB)؛ مستخدمًا المِسْطرة.

المسافة بين النقطتين تساوي 0.8 cm

2. أحدِّد المسافة الفعليّة بين النّقطتين؛ مستخدمًا مقياس رسم الخريطة.

المسافة الفعلية : بما أن 1.5 cm = 200 km

بالضرب التبادلي:

1.5 × 200

0.8 × ??

فإن $0.8 \times 200 = 160 \times ??$

$160 \div 1.5 = 106.7$ km

التّحليل والاستِنتاج:

1. **أحسُب** المسافة بين النّقطتين (A و B) بعد 20 m.y إذا علمت أن مُعدَّل الحركة على جانِبَيْ صَدْع البحر الميّت التحويليّ تساوي 0.5 cm/y تقريبًا.

1. المسافة بين النقطتين (A,B) بعد 20 m.y =

نحسب المسافة (الازاحة) على جانبي الصدع =

الزمن × معدل حركة الصفيحة

20000000 × 0.5 = 10000000 cm

نحول الوحدة الى km حيث أن 1km = 100000

10000000 ÷ 100000 = 100 km

ثم نحسب المسافة بين النقطتين بعد 20 m.y

106.7 + 100 = 206.7 km

2. **أحسُب** المدّة الزمنية اللازمة؛ لتصبِح المسافةُ بين النّقطتين (A و B) 300 km .

2. أولا نحسب المسافة التي ستتحركها النقطتين حتى تصبح المسافة بينهما (300 km) =

300 − 106.7 =

= 193.3 km

ثانيًا نحول المسافة من وحدة km الى وحدة cm

= 193.3 km = 19370000 cm

ثالثًا نحسب المدة الزمنية لتصبح المسافة بين النقطتين300 km:

المدة الزمنية = المسافة ÷ معدل حركة الصفيحة

0.5 ÷ 19370000 =

38740000 m y =

3. **أتوقّع**: ما القُوى التي تسبّب الحركة على جانِبَيْ صَدْع البحر الميّت التحويليّ؟

قوى القص الناتجة عن حركة الصفيحة العربية نسبة إلى حركة صفيحة إفريقيا وصفيحة سيناء.

الدرس 1 انجراف القارات

فرَضيّة انجراف القارّات :

❖ لاحظ رسّامو الخرائط الجغرافيّة منذ أكثرَ من 400 عام، أن هناك **تطابُقًا بين حوافّ القارّات** على جانِبَي المُحيط الأطلسيّ.

بانغيا:

❖ لاحظ عالِم الأرصاد الألمانيّ (ألفرد فغنر) **التطابُق الكبير** بين حوافّ القارّات، حيث اعتقد أن هذا التطابُق لا يمكن أن يكون مجرّدَ صُدْفة، فاقترح في عام 1912 م فرَضيّة أسماها **فرَضيّةَ انجراف القارّات.**

❖ **فرَضيّةَ انجراف القارّات** تنص على أن **" جميع القارّات الحاليّة كانت تشكّل في الماضي قارّة واحدة سمّاها بانغيا وتَعني كلَّ اليابسةِ يحيط بها مُحيط يسمّى بانثالاسا، ويعني كلَّ المحيط وقد بدأت قارّة بانغيا منذ تقريبًا (200 m.y) بالانقسام إلى قارّات أصغرَ، ثم أخذت القارّات بالانجراف ببُطء حتى وصلت إلى مواقعها الحاليّة "**

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

التجربة 1 قارة بانغيا

قارّة بانغيا

قارّة بانغيا

افترَض فِغنر اعتماداً على تطابُق حواف القارّات أن القارّات قبل 200 m.y كانت قارة واحدة سماها بانغيا. ولتمثيل ما توصل إليه فغنر، أطابِق حواف القارات كما تتوزع في الوقت الحالي، وأشكل قارة بانغيا.

التّحليل والاستنتاج :

1. **ألاحِظ:** أيُّ القارّات تطابقت حوافُها تطابقًا كبيرًا، وأيُّها تطابقت حوافُها تطابقًا أقل؟

هناك تطابق بين قارة استراليا مع قارة القطب الجنوبي وقارة إفريقيا مع قارة أمريكا الجنوبية، وتتطابق بشكل أقل قارة أوروبا مع قارة أمريكا الشمالية.

2. **أفسِّر** سبب عدم وجود تطابُق تامّ بين حوافِ القارّات.

بسبب عمليات الحت والتعرية التي تعرضت لها في أثناء حركتها.

3. **أقارِن** بين موقع قارّة أمريكا الشماليّة الآن، وموقِعها في قارّة بانغيا.

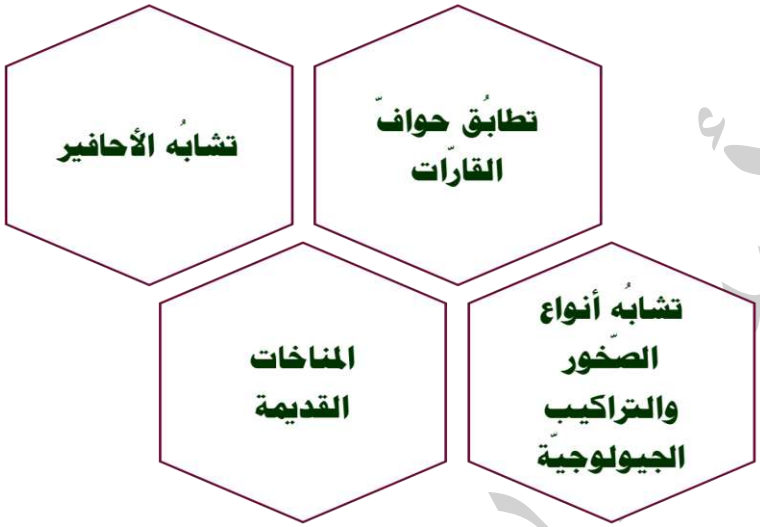
تقع قارة أمريكا الشمالية الآن في شمال الكرة الأرضية بينما كانت تقع في قارة بانغيا أقرب نحو جنوب الكرة الأرضية، حيث كان يقع ج أ زها السفلي على خط الاستواء.

4. **أستنتِج:** هل كان المُحيط الأطلسيّ متشكّلًا قبل 200 m.y ؟ لماذا؟

لا لم يكن المحيط الأطلسي متشكل في ذلك الوقت؛ لأن قارة بانغيا قبل 200 m.y كانت موجودة، وكانت قارة إفريقيا ملتصقة بقارة أمريكا الجنوبية، وكان محيط بانثالاسا يحيط بجميع القارات.

أدلّة على فرَضيّة انجراف القارّات:

❖ واجَه فغنر معارَضةً كبيرة من العلماء منذ طرَح فرَضيّة انجراف القارّات أمامهم؛ لذلك، قدّم مجموعة متنوّعة من الأدلّة لدعم فرَضيّته، منها:



أولاً: تطابُق حوافّ القارّات

يُعَدُّ تطابُقُ حوافّ القارّات الدليلَ الأوّلَ الذي اعتمد عليه العالِم الألمانيّ فغنر لدعم صحة فرَضيّته. حيث لاحظ التطابُق بين حوافّ القارّات على جانِبَي المُحيط الأطلسيّ. إذ طابَق بين الحافّة الشرقيّة لقارّة أمريكا الجنوبيّة مع الحافّة الغربيّة لقارّة إفريقيا، فوجدها تتطابق بشكل تقريبيّ. وهناك بعض القارّات يكون التطابُق بين حوافّها أقلَّ، مثل قارّتي أوروبا، وأمريكا الشماليّة، **وسبّب ذلك عمليّاتِ الحتّ والتّعرية التي تعرّضت لها حوافّ القارّات عبر الزمن.**

قارّة بانغيا

أفكر

لماذا لا يوجد تشابُهٌ أحفوريٌّ بين القارّات عند العمر 70 m.y ؟

الحل: لأن القارات في ذلك الوقت كانت مبتعدة عن بعضها بعضاً ولكل قارة ظروفها المناخية والطبيعية الخاصة بها بحسب موقعها.

ثانياً: تشابُه الأحافير

جمَع فغنر العديدَ من الأحافير التي تُمثِّل حيواناتٍ ونباتاتٍ عاشت على اليابسة قبل **(200 m.y)** لدعم صحة فرَضيّة انجراف القارّات. ومن هذه الأحافير أحفورةُ **الميزوسورس** وهو نوع من الزواحف، وقد عثَر على بقايا أحفورة **الميزوسورس** في كلٍّ من جنوب شرق أمريكا الجنوبية، وجنوب غرب إفريقيا. ويرى العلماءُ أن الميزوسورس كان يعيش في بحيرات المياه العذبة، والخُلجان الضَّحلة، فهو بذلك لا يستطيع الانتقال بين القارّتين، والسِّباحة عبرَ مياه المُحيط الأطلسيّ المالِحة. وهذا دليل على أن قارة إفريقيا وقارة أمريكا الجنوبية كانتا قارة واحدة زمن حياة هذا الكائن الحي، ثم انفصلتا وانجرفتا.

ثالثاً: تشابُه أنواعِ الصّخور والتراكيب الجيولوجيّة

افترَض فغنر بحسَب فرَضيّة انجراف القارّات، وجودَ تشابُهٍ بأنواع الصّخور المكوِّنة للسّلاسل الجبليّة وامتدادها في القارّات المنفصلة عن بعضها بعضًا.

فقد وجَد أن صُخور **جبال الأبالاش** في قارّة أمريكا الشماليّة التي يزيد عمرها عن **(200 m.y)** تتشابه في أنواعها وأعمارها وتراكيبها الجيولوجيّة مع الصّخور المكوّنة **للجبال الكالدونيّة** في قارّة أوروبا وعند مطابقة حوافّ القارّات معًا فإن السّلسلتين الجبليّتين تشكّلان سلسلة واحدة مستمرّة تقريبًا، وهذا يدعم فرَضيّته التي تتمثّل في أن القارّات قبل **(200 m.y)** كانت تشكّل قارّة واحدة تسمّى **بانغيا**.

(أ) : تتشابَه أنواع صُخور جبال الأباللاش مع أنواع صُخور الجبال الكالدونيّة.

(ب): عندما تتم مطابقة حوافّ القارّات تتصل السّلاسل الجبليّة مكوِّنةً سلسلة واحدة.

رابعاً: المناخات القديمة

دعَمَ فغنر صحّة فرَضيّته عن طريق دراسة الصّخور والأحافير لتحديد التغيّرات المناخيّة التي سادَت على سطح الأرض وقتَ تشكُّل قارّة بانغيا. فقد وجد رسوبيّات جليديّة عُمرها يتراوح ما بين **m.y (200-300)** في كلّ من جنوب إفريقيا، وجنوب شرق أمريكا الجنوبيّة، والهند وأستراليا التي تقع حاليًّا بين دائرة عَرض ° 30 ودائرة الاستواء التي يسود فيها الآن مناخٌ شِبْهُ استوائيّ أو استوائيّ، حيث من الصّعب أن تتشكّل فيها الرسوبيّات الجليديّة. وقد فسّر فغنر ذلك بأن تلك القارات كانت بالقرب من القطب الجنوبي. لذلك، كانت الظروف ملائمة لتشكُّل الرسوبيّات الجليديّة فيها.

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

أفكر

يوجَدُ الفحمُ الحجريّ في كل من قارّتَيْ أوروبا وأمريكا الشماليّة اللّتَين يسود فيهما مناخات باردة،

فكيف أفسِّر وجود الفحم الحجريّ الذي يتكوّن في المناخ الاستوائيّ فيهما؟

الحل: وجود الفحم الحجري في قارة أوروبا وأمريكا الشمالية يدل على أنهما كانتا تقعان وقت تشكله بالقرب من خط الاستواء الذي يسود فيه المناخ الاستوائي حيث كانت الظروف ملائمة لتشكله.

أتحقّق: أفسِّر: كيف يدعم وجود تشابُه أنواع الصّخور عند حوافّ القارّات صحّة فرَضيّة فغنر؟

يدعم وجود تشابه انواع الصخور عند حواف القارات صحة فرضية فغنر؛ لأن هذه الصخور تكون سلاسل جبال تقع الآن في قارات منفصلة عن بعضها بعضا والتي شكلت عند مطابقة القارات سلسلة واحدة لها نفس النوع والعمر والتركيب الجيولوجي مثل: تشابه أنواع صخور جبال الأبالاش الموجودة في قارة أمريكا الشمالية مع أنواع الصخور المكونة للجبال الكالدونية الموجودة في قارة أوروبا.

رفض فرَضيّة انجراف القارّات:

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

أسباب انجراف القارّات:

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

آلية انجراف القارّات:

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

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

بحسب افتراض فغنر فإن سبب حركة القارات هو إما قوة الطرد المركزي الناتجة عن دوران الأرض حول نفسها، أو إلى قوة جذب القمر للأرض.

مراجعة الدرس 1

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

تنص فرضية انجراف القارات على أن جميع القارات الحالية كانت تشكل في الماضي قارة واحدة سماها بانغيا وتَعني كلَّ اليابسةِ يحيط بها محيط بانثالاسا، ويعني كل المحيطِ .
وقد بدأت قارة بانغيا منذ حوالي 200 m.y تقريبًا بالانقسام إلى قارات أصغرَ، ثم أخذت القارات بالانجراف ببطء حتى وصلت إلى مواقعها الحالية.

2. **أفسِّر:** كيف استخدم فغنر دليل تشابُه الأحافير في إثبات صِحّة فرَضيّته؟

جمَع فغنر العديدَ من الأحافير التي تمثِّل حيواناتٍ ونباتاتٍ عاشت على اليابسة قبل 200 m.y حيث عثَر على بقايا أحفورة الميزوسورس في كل من جنوب شرق أمريكا الجنوبية، وجنوب غرب إفريقيا والذي كان يعيش في بحيرات المياه العذبة، والخلجان الضَّحلة فهو بذلك لا يستطيع الانتقال بين القارتين، والسباحة عبرَ مياه المحيط الأطلسي المالِحة ما يعني أن القارتان كانتا قارة واحدة وقت انتشاره.

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

كان المناخ السائد في إفريقيا بارد ودليل ذلك العثور على رسوبيات جليدية فيها تعود إلى تلك الفترة الزمنية.

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

العبارة غير صحيحة؛ حيث أن القارات تتحرك نسبة الى بعضها بعضًا لذلك يختلف موقعها الجغرافي مع الزمن ومن ضمنها الأردن.

5. **أوضِّح:** لماذا تُعَدُّ جبالُ الأبالاش والجبال الكالدونيّة دليلًا على صِحّة فرَضيّة انجراف القارّات؟

لأن سلسلة جبال الآبالاش وسلسلة الجبال الكالدونية يتكونان من نفس انواع الصخور ولهما نفس العمر ونفس التراكيب الجيولوجية وعند مطابقة قارة أوروبا مع قارة أمريكا الشمالية فإن السلسلتين الجبليتين تشكلان سلسلة واحدة مستمرة تقريبًا.

الدرس 2 توسع قاع المحيط

استكشاف قاع المحيط:

❖ أرسَلت العديد من الدّول بعثاتٍ استكشافيّةً لدراسة تضاريس قيعان المُحيطات، استخدموا فيها **تقنية السَّبر الصّوتي** بوساطة أجهزة **السونار** التي تمّ عن طريقها قياس عُمق المحيط، ثم تبِعَها رسْمُ خريطة لتضاريسِ قاع المحيط.

❖ اكتشف العلماء وجود سلسلة جبليّة ضخمة يتصل بعضها ببعض تمتد في جميع المُحيطات تُسمّى ظَهْرَ المحيط يوجد في وسطها وادٍ عميق ضيّق يُسَمّى **الواديَ المتصدِّع**.

❖ اكتشف العلماء أيضًا وجود وِدْيانٍ عميقة ضيّقة تمتد طوليًّا في قيعان المُحيطات تُسمّى **الأخاديدَ البحريّةَ** ومن أمثلتها أخدودُ ماريانا في المحيط الهادي الذي يُعَدُّ **أعمقَ الأخاديد** حيث يبلغ عمقُه أكثرَ من (**11Km**) ، وقد قاد اكتشافُ ظَهْر المحيط والأخاديد البحريّة العلماءَ إلى التفكير في كيفيّة تشكّلهما وما القُوى التي أدّت إلى ذلك.

الرَبط بالتكنولوجيا

يستعمل جهازُ السّونار الموجات الصّوتية لتحديد أعماق المُحيطات، حيث يتم قياس الزمن الذي تستغرقه الموجات التي يتم إرسالها نحو قاع المحيط حتى ارتدادها عن القاع واستقبالها في السفينة. ومن تحديد الزمن وسرعة الموجات الصّوتية في الماء يستطيع العلماء تحديد أعماق المحيطات.

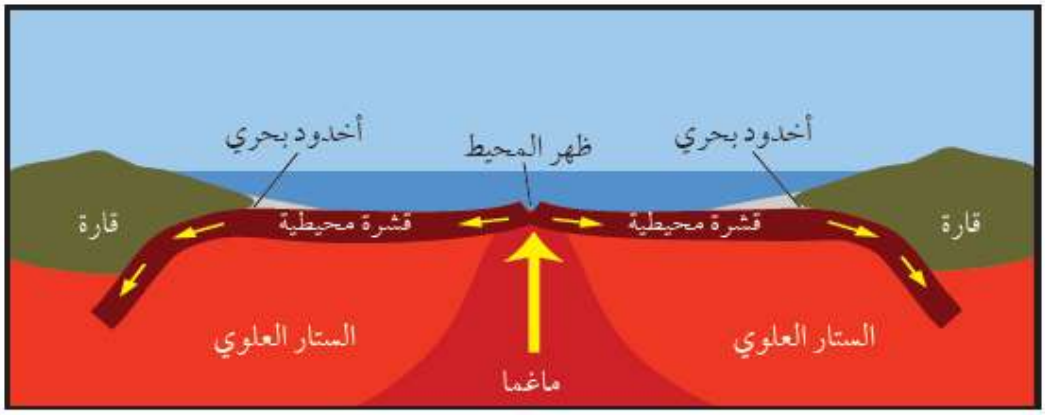
✓ أتحقّق: **أحدِّد: أين تتكوّن الصّخور الجديدة في قيعان المُحيطات، وأين تُستهلك؟**

تتكون الصخور الجديدة في منطقة وسط ظهر المحيط، وتستهلك عند الأخاديد البحرية.

الأستاذ: رمزي القرالة

فرَضيّة توسُّع قاع المحيط:

❖ وضع العالِم هاري هس في بداية الستينيّات من القرن الماضي بناءً على بيانات تضاريس قيعان المُحيطات ومكوّناته **فرَضيّة توسُّع قاع المحيط** التي تنصّ على الآتي: " **تُبنى القشرةُ المحيطيّة الجديدة عند ظهور المُحيطات، وتُستهلَك القشرة المحيطيّة الأقدم عند الأخاديد البحريّة** "



سؤال: (**شكل**6): **أقارن بين الصخور المتشكّلة على جانبَيْ وسط ظَهْر المحيط من حيث العُمْر.**
تكون الصخور المتشكّلة على جانبي وسط ظهر المحيط لهما نفس العمر ويزداد عمرها كلما زاد بعدها عن ظهر المحيط.

❖ **تحدث عملية توسُّع قاع المحيط بحسب هس كالآتي:**

تحدث عملية توسع قاع المحيط بحسب هس كالآتي:

- **تندفع الماغما الأقلُّ كثافةً من منطقة الستار إلى الأعلى عبْرَ وسطَ ظَهْر المحيط، وعند وصولها إلى السطح عبْرَ القشرة الأرضيّة تتصلّب مكوِّنةً قشرة محيطيّة جديدة على طول ظَهْر المحيط.**
- **ثم تتحرّك هذه القشرة بعيداً عن منطقة ظَهْر المحيط ما يؤدي إلى اندفاع ماغما جديدة في منطقة وسطِ ظَهْر المحيط وتصلّبها؛ مكوِّنةً قشرة محيطيّة جديدة أخرى.**
- **وباستمرار هذه العملية يحدُث توسُّعٌ لِقاع المحيط بشكل دائم ومتماثل على جانبَيْ ظَهْر المحيط.**
- **وفي المقابل تنزلق الحافّة البعيدة من القشرة المحيطيّة عن منطقة ظَهْر المحيط أسفلَ القشرة القارّية مشكّلةً أخدوداً بحرياً.**
- **ويؤدي انزلاق القشرة المحيطيّة إلى ارتفاع درجة حرارتها وانصهارها، وإنتاج ماغما ترتفع وتتصلّب، وتصبح جزءاً من القشرة القارّية**

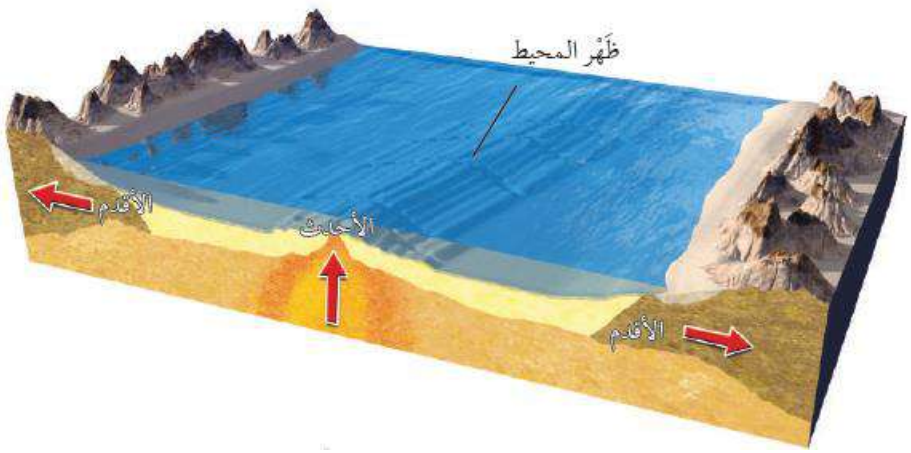
❖ أهمية **فرَضيّة توسُّع قاع المحيط**: أنها فسّرت طريقة حركة القارّات التي لم تتمكّن فرَضيّة انجراف القارّات من تفسيرها؛ فبدَلً من افتراض أنّ القارّات تتحرّك فوق قاع المحيط افترضت أن المُحيطات تتوسّع في منطقة وسط ظَهْر المحيط. ونتيجة لذلك، تتحرّك القارّات مبتَعِدَةً بعضُها عن بعض.

أدلّة على توسُّع قاع المحيط:

❖ واجهت فرَضيّة توسُّع قاع المحيط العديدَ من الاعتراضات من العلماء، وخاصّة أن هس لم يستطع أن يوضّح سبب توسُّع قاع المحيط.
❖ لكنها مع ذلك حظيت باهتمام علماءَ آخرين؛ لأنها توضّح طريقة تشكُّل القشرة الأرضيّة واستهلاكها، وكيفيّة توسُّع قيعان المُحيطات.
❖ تم ربطُ هذه الفرَضيّة بالعديد من الاكتشافات التي عُدَّتْ أدلة تثبت صحتها وتدعمها منها: **أعمارُ صُخور قاع المحيط، والأشرطة المغناطيسيّة، وتركيب صُخور قاع المحيط.**

1. عُمْر صُخور قاع المحيط:

اعتبر العلماء **عمرَ صُخور قاع المحيط** من أفضل الأدلّة التي دعمت فرَضيّة توسُّع قاع المحيط، حيث استخدمت سفينة (غلومار شالنجر) منذ عام 1968 م لجمع عيّناتٍ صخريّةٍ تمثّل قاع المحيط، التقطت السفينة تلك العيّنات من صُخور جانِبَيْ ظَهْر المحيط.
حيث أكّدت البيانات التي تم الحصول عليها بعد تحليل تلك العيّنات على صحّة فرَضيّة توسُّع قاع المحيط. فقد وجد العلماء أن العيّنات الصّخرية التي أُخِذت من المناطق البعيدة عن ظَهْر المحيط الأقدم عُمْرًا، في حينِ أن العيّنات الصّخريّة التي أُخِذت من وسط ظَهْر المحيط كانت هي الأحدثَ عمرًا.
ما يعني أنّ عمرَ الصّخور يزداد كلّما ابتعَدنا عن منطقة وسط ظَهْر المحيط باتجاه حوافّ القارّات أو مناطق الأخاديد البحريّة وتتماثل أعمارُها على جانبَيْ ظَهْر المحيط. وقد أكّدت الدّراسات أن أقدمَ عُمْرٍ لصُخور قشرة محيطيّة لا يزيد عن **180 m.y** تقريبًا، بينما يزيد أقدم عُمْرٍ لصُخور قشرة قارّية عن **4.4 b.y** .



سؤال: (شكل7): **أستنتج العلاقة بين الصخور المتناظرة على جانبي ظهر المحيط التي تقع بالقرب من القارات.**
تكون الصخور المتناظرة على جانبي ظهر المحيط التي تقع بالقرب من القارات لها نفس العمر وتكون الأكبر عمراً من باقي الصخور المكونة لقاع المحيط.

الرَبط بعلم البحار والمُحيطات

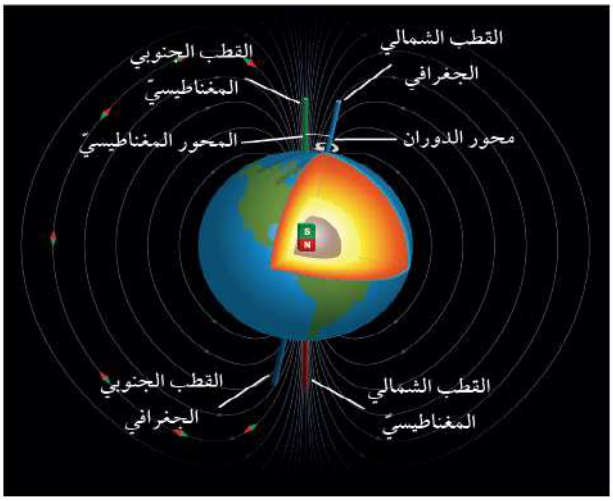
أكدت الدراسات أن عُمرَ صُخور قشرة قاع البحر الأبيض المتوسّط تساوي 340 m,y **وباقي أعمار صُخور قِاع البحارِ والمحيطات لا تزيد عن** 180 m.y **ويفسر العلماء سبب زيادة عمرِ صخور قاع البحر الأبيض المتوسط مقارنة بباقي البحار والمحيطات في أن صخوره تمثل بقايا صخور قاع محيط التيثس القديم.**

هل يتغيّرُ حجمُ الأرض وكتلتُها نتيجة توسُّع قاع المحيط؟

الحل: **لا يتغير حجم الأرض أو كتلتها لأن الصخور التي تتشكل عند وسط ظهر المحيط، يستهلك بدلاً منها صخوراً عند الأخاديد البحرية.**

أفكر

2. الأشرطة المغناطيسيّة:



- يتكوّن لُبُّ الأرض من عنصرَي الحديد والنّيكل، وينقسم إلى جزأين:
  - **لُبٌّ خارجيّ** يوجد في الحالة السائلة.
  - **لُبٌّ داخليّ** يوجد في الحالة الصُّلبة.

- ينشأ عن حركة صهير الحديد والنّيكل في اللّبّ الخارجي تيّارٌ كهربائيّ ينشأ عنه المجال المغناطيسيّ الأرضي.

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

لماذا لا تزيد أعمار صُخور قاع المحيط عن 180 m.y **بينما يزيد عُمرُ صخور القشرة القارّية عن** 4.4 b.y ؟

الحل: **لأن صخور قيعان المحيطات التي تشكلت في منطقة ظهر المحيط حدث لها استهلاك عند مناطق الاخاديد البحرية بينما الصخور المكونة للقارات لم يحدث لها استهلاك لذلك اعمار صخور قيعان المحيطات قليلة ولا تتعدى** 180 m.y.

أفكر

- **المغناطيسيّة القديمة:** ظاهرة تدلّ على تمغنُط ذرات المعادن المغناطيسيّة وترتيبها عندما تتبلور من الماغما باتجاه المجال المغناطيسيّ الأرضيّ السائد نفسه وقت تكوُّنها. وعندما تتصلّب فإنها تحتفظ باتجاه ذلك المجال المغناطيسيّ الأرضيّ.

- اكتشف العلماء **أن المجال المغناطيسيّ الأرضي قد عكس اتجاهه في مُدد زمنية مختلفة** عبر التاريخ الجيولوجيّ **بسبب تغيُّر اتجاه حركة صهير الحديد والنّيكل في اللّبّ الخارجي.**

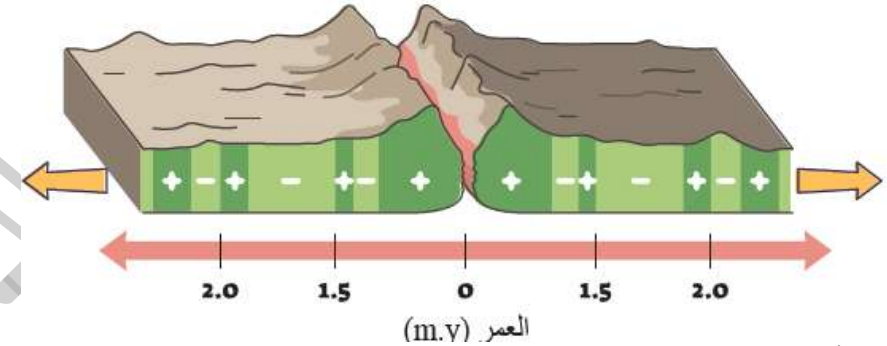
- **القطبيّة العادية:** المجال المغناطيسيّ المحفوظ في الصّخور التي تتّجه فيها المعادن المغناطيسيّة باتجاه المجال المغناطيسيّ الحالي نفسه.

- **القطبيّةَ المقلوبةَ:** المجالُ المغناطيسيّ المحفوظ في الصّخور التي تتّجه فيها المعادن المغناطيسيّة بعكس اتجاه المجال المغناطيسيّ الحالي.

- **الانقلابَ المغناطيسيَّ:** التغيُّرُ في قطبيّة المجال المغناطيسيّ للأرض من عاديّة إلى مقلوبة.

- أظهرت الدراسات التي قام بها العلماء باستخدام أجهزة قياس **الشِدّة المغناطيسيّة** لصُخور قاع المحيط أن هناك نمطًا معيّنًا يظهر في تعاقُب الصّخور على جانِبَيْ ظَهْر المحيط؛ إذ تكون على شكل أشرطة مغناطيسيّة ذات شِدّة مغناطيسيّة عالية، وأشرطة مغناطيسية ذات شِدّة مغناطيسيّة منخفضة بصورة متعاقِبة وموازية لظَهْر المحيط، إذ إن **كل شريطين متناظِرَين على جانِبَيْ ظَهْر المحيط لهما الشِدّة المغناطيسيّة نفسُها، والعمرُ والعرض أنفسهما.**

- **فسّر العلماء** ذلك بأن صُخور القشرة المحيطيّة المكوّنة لهذه الأشرطة عندما تتكوّن في وسط ظَهْر المحيط تتمغنط معادنُها المغناطيسيّة بحسب المجال المغناطيسيّ السائد في ذلك الوقت؛ ولذلك، فإن الأشرطةَ ذاتَ الشِدّة المغناطيسيّة العالية تشكّلت عندما كان المجال المغناطيسيّ السائد ذا قطبيّة عادية، والأشرطةَ ذاتَ الشِدّة المغناطيسيّة المنخفِضة تشكّلت عندما كان المجال المغناطيسيّ السائد ذا قطبيّة مقلوبة. وتُعَدُّ المغناطيسيّة القديمة للصّخور المكوّنة لقاع المحيط والانقلاب المغناطيسيّ والشِدّة المغناطيسيّة من الأدلّة على صِحّة فرَضيّة توسُّع قاع المحيط.



الشكل (9): تُعَدُّ الأشرطةُ المغناطيسيّة المتعاقِبة ذاتُ الشِدّة المغناطيسيّة العالية (+) والأشرطة المغناطيسيّة ذاتُ الشِدّة المغناطيسيّة المنخفضة (-) الموجودة على جانِبَيْ ظَهْر المحيط أحدَ الأدلّة على فرَضيّة توسُّع قاع المحيط.

سؤال: (**شكل**9): **أقارن بين الصخور التي عُمرُها** 1.9 m.y **على جانبي ظهر المحيط من حيث الشدّة المغناطيسية ونوع القطبية المغناطيسية.**
لها شدة مغناطيسية عالية وقطبية عادية.

مكوّنات صخور قاع المحيط:

- استخدم العلماء في عام 1964 م الغوّاصة ألفين **(Alvin)** لدراسة قيعان المُحيطات.
- حصل العلماء على عيّنات صخريّة متنوّعة تمثِّل قيعان المُحيطات فوجدوا أنها مكوَّنة جميعُها من **صُخور ناريّة ذاتِ تركيب بازلتيّ**، تغطّيها طبقات رسوبيّة يقلّ سُمكُها بشكل تدريجيّ كلّما اتّجهنا نحو وسط ظَهْر المحيط حتى تختفي عند مركزه.
- اكتشف العلماء أن الصّخور البازلتيّة تظهر على شكل وسائدَ، وتوجد على امتداد ظَهْر المحيط تُسمّى **لابَةً وسائدِيّةً.**
- فسّر العلماء أن مثل هذه الصّخور يمكن أن تتكوّن فقط **بسبب اندفاع الماغما** على امتداد وسط ظَهْر المحيط، حيث تتصلّب الماغما المندفعة من الشقوق الموجودة في وسط ظَهْر المحيط بسرعة، بسبب ملامستها للماء.
- أظَهْرت دراسات صُخور قاع المحيط أن الماغما قد اندفعت بشكل متكرّر من تلك الشقوق ما يدل على تشابُه آليّة تشكُّل صخور قاع المحيط.

الرَبط بالتاريخ

اسمّيت غوّاصةُ ألفين(Alvin) بهذا الاسم تقديراً للعالم الفيزيائيّ ألين ألفين صاحب فكرة الغوّاصة، والمشرف على تطويرها. وغواصةِ ألفين غواصة صغيرة بنيت لدراسة قيعان المحيطات، وقد بدأت رحلاتها الاستكشافية منذ عام 1964م حيث تستطيع حمل عدد من العلماء في داخلها، وتستطيع تحمل ضغط الماء على عمق يصل إلى 4 km أجريت الغواصة أكثر من 4700 مهمة تحت الماء، منها: اكتشاف البراكين الحرمائية في قيعان المحيطات، ودراسة الكائنات الحية البحرية. وما زالت تعمل حتى الآن بشكل جيد.

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

من الأدلة: لا تتعدى أعمار صخور المحيط 180 m.y ، تناظر الاشرطة المغناطيسية على جانبي ظهر المحيط من حيث العمر، والعرض والقطبية العادية والمقلوبة ، وتكون صخور قيعان المحيطات جميعها من نفس نوع الصخر وهو البازلت.

سؤال: (شكل10): أفسّر: كيف تتكوّن اللّبة الوسائدية؟
9تتكون اللابة الوسائدية بسبب تصلب الماغما المندفعة على امتداد وسط ظَهْر المحيط بسرعة، عند ملامستها للماء فتنكمش وتأخذ شكل الوسادة.

مراجعة الدرس 2

1. **الفكرة الرئيسة:** أوضِّح: كيف تتشكّل القشرةُ المحيطيّةُ بحسَب فرَضيّة توسُّع قاع المحيط؟

عندما تندفع الماغما الأقلُّ كثافةً من منطقة وسطَ ظَهْر المحيط، تتصلب عند وصولها إلى السطح على طول ظَهْر المحيط، مكونة قشرة محيطية جديدة، ثم تتحرك هذه القشرة بعيدًا عن منطقة وسط ظَهْر المحيط ما يؤدي إلى اندفاع ماغما جديدة وتتصلب مكونة قشرة محيطية جديدة وهكذا.

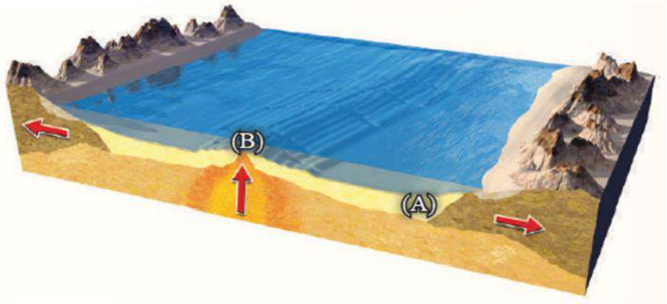
2. **أصِف** ظَهْرَ المحيط.

هو سلسلة جبلية ضخمة يتصل بعضها ببعض تمتد في جميع المحيطات، ويوجد في وسطها وادٍ عميق ضيق يسَمى الواديَ المتصدع.

3. **أقارِن** بين القطبيّة المغناطيسيّة العاديّة، والقطبيّة المغناطيسيّة المقلوبة من حيث الشِّدَّة المغناطيسيّة.

القطبية المغناطيسية العادية ذات شدة مغناطيسية عالية، بينما القطبية المغناطيسية المقلوبة ذات شدة مغناطيسية منخفضة.

4. **أقارِن:** إذا حصلتُ على عيّنتين من صُخور أحد قيعان المُحيطات في الموقعين (A) و (B) كما في الشكل الآتي، فأيُّهما الأحدثُ عُمْرًا ؟ لماذا؟



العينة (B) هي الأحدث لأنها تقع بالقرب من ظهر المحيط وذلك لأن الصخور تتشكل في منطقة ظهر المحيط ومع الزمن تبتعد باتجاه القارات ليتشكل محلها صخور جديدة أحدث عمراً منها.

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

العبارة صحيحة وذلك لأن الأشرطة المغناطيسية توجد على جانبي ظهر المحيط بشكل متعاقب ومتناظر من حيث القطبية والشدة المغناطيسية والعمر ويزداد عمرها كلما ابتعدنا عن وسط ظهر المحيط وهذا يدل على أن هذه الأشرطة كانت متجاورة وتكونت بنفس الوقت في منطقة ظهر المحيط وهذا يتوافق مع فرضية توسع قاع المحيط.

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

لأنها تكونت بنفس الآلية حيث تتكون جميعها من اندفاع الماغما من منطقة وسط ظهر المحيط.

7. **أفسّر**: لماذا لا توجد قشرة محيطيّة عُمْرُها أقدَمُ من 180 m.y في المُحيطات؟

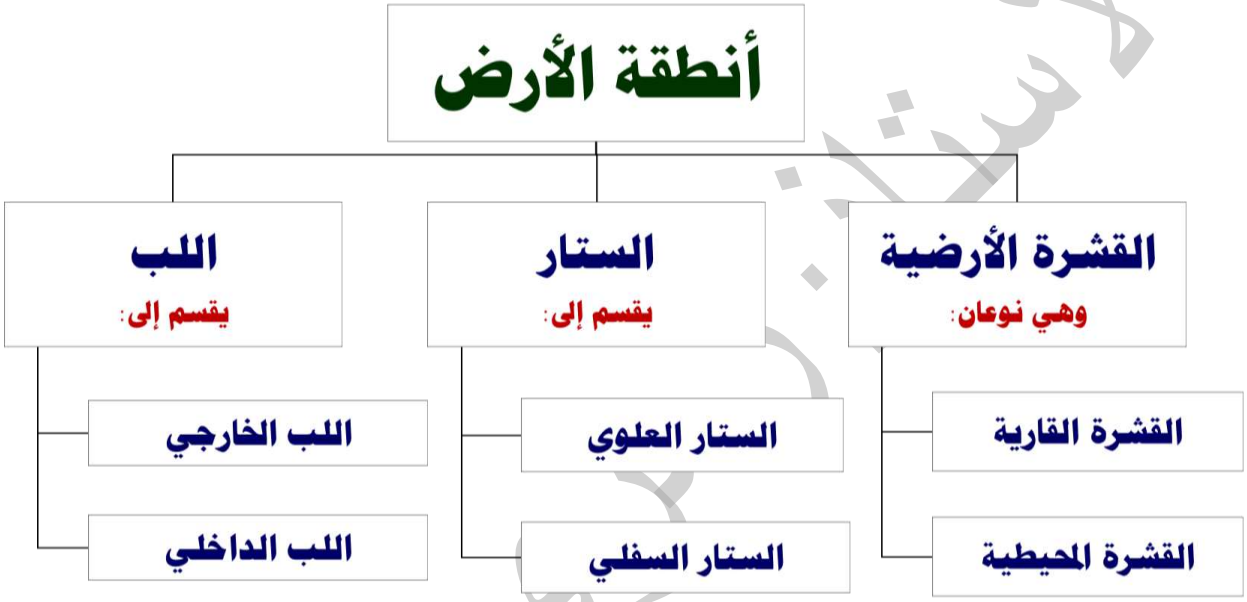
لأن الصخور التي تشكلت عند ظهر المحيط قديمًا و لها أعمار كبيرة قد استهلكت عند الأخاديد البحرية لذلك لا توجد صخور قشرة محيطية عمرها يتعدى 180 m.y .

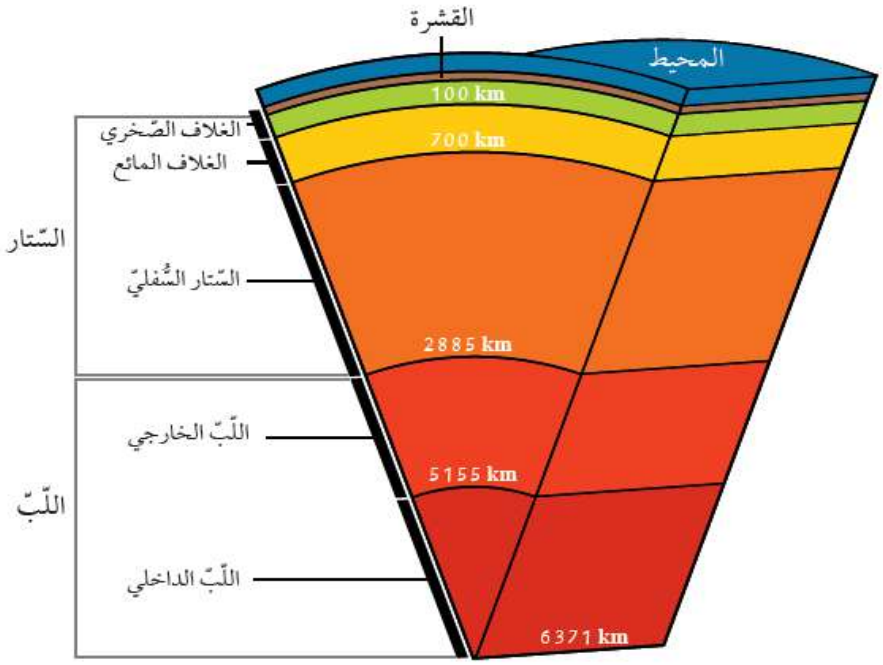
الأستاذ: رمزي القرالة

الدرس 3 حدود الصفائح

بنية الأرض:

استطاع العلماء باستخدام الدراسات الجيوفيزيائيّة تعرُّف بنية الأرض الداخلية، حيث وجدوا أن الأرض تتكوّن من ثلاثة أنطِقة رئيسة هي:

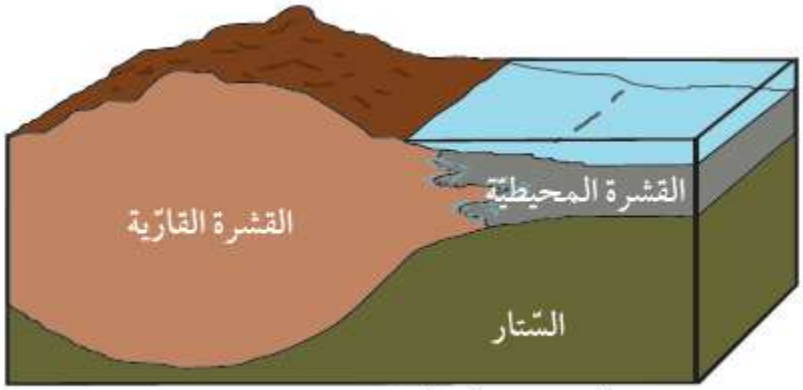




القشرة الأرضيّة :

❖ تمثِّل القشرة الأرضيّة النطاق الخارجيّ الصُّلب للأرض، وتُقسَم إلى نوعين:

القشرة القارية	القشرة المحيطية
تقع أسفل القارّات	تقع أسفل المُحيطات
تتكوّن بشكل رئيس من صخر الغرانيت	تتكوّن من صخر البازلت
متوسط كثافتها $2.7\ g/cm^3$	متوسط كثافتها $3\ g/cm^3$
متوسط سُمْكِها 35 km	متوسط سُمْكِها تقريباً 7 km



الشكل (11): تُقسَمُ القشرةُ الأرضيّة إلى نوعين: قشرة قارّية، وقشرة محيطيّة.

سؤال: (**شكل**11): **أقارِن بين القشرة القارية، والقشرة المحيطية من حيث السمك والكثافة.**

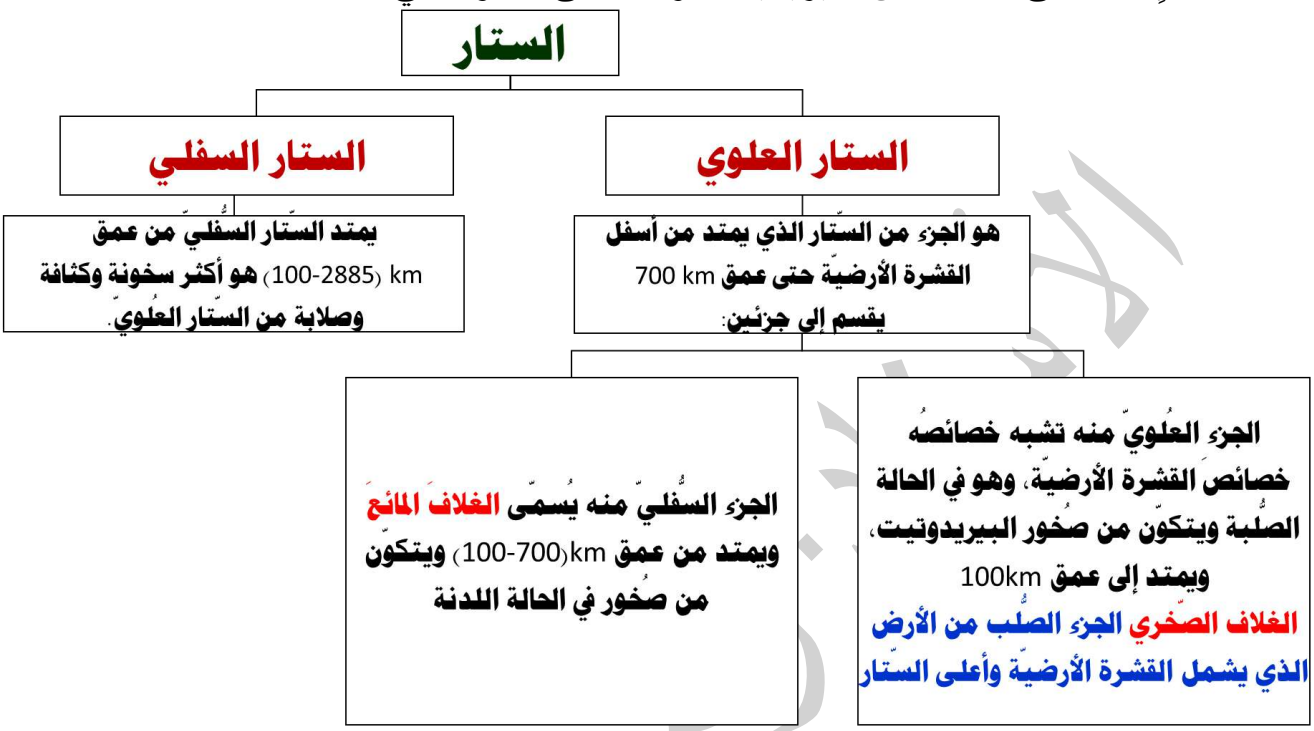
القشرة القارية أكثر سمكاً وأقل كثافة من القشرة المحيطية.

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

الغلاف الصخري في الحالة الصلبة بينما الغلاف المائع في الحالة اللدنة.

السّتار:

❖ يقع السّتار أسفل القشرة الأرضيّة، ويمتد إلى عمق **2885 km** ويُقسَم السّتار إلى أجزاءَ مختلفةٍ بناءً على الخصائص الفيزيائيّة لمكوّناته على النحو الآتي:



اللّبّ:

❖ يمتد اللّبّ من عمق 2885km وحتى مركز الأرض على عمق 6371km ويقسم اللّبّ إلى جزأين: اللّبّ الخارجي واللب الداخلي .

استخدم العلماء المعلومات التي تم الحصول عليها من دراسة سلوك الموجات الزلزالية في باطن الأرض في تعرّف بنية الأرض، وتحديد أنطقتها الرئيسة. وتوصلوا إلى وجود انقطاعات بين هذه الأنطقة حيث تتغير سرعة الموجات تغيراً مفاجئاً منها: نطاق موهو الذي يفصل القشرة الأرضية عن الستار، ونطاق غوتنبيرغ الذي يفصل الستار عن اللب.

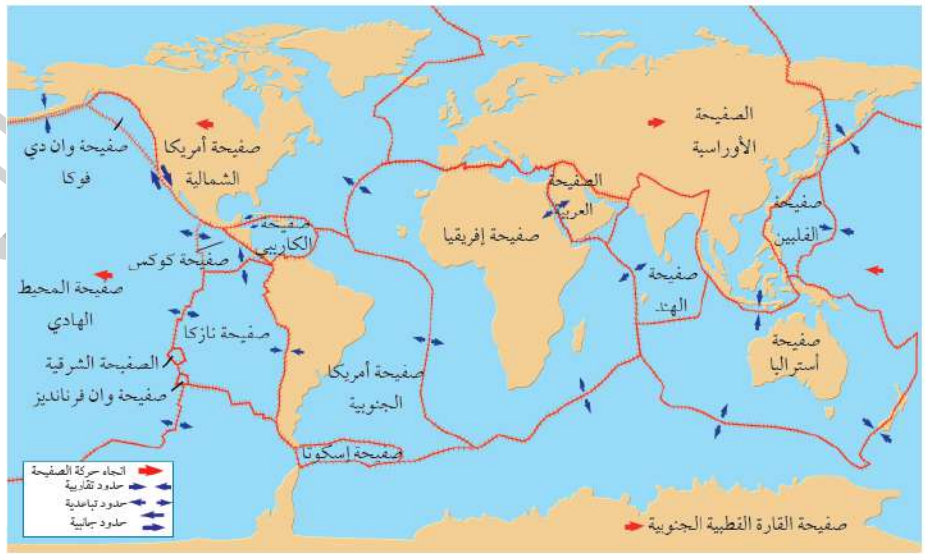
مفهوم الصّفيحة التكتونيّة:

- فسَّر العلماء من خلال فرَضيّة توسُّع قاع المحيط آلية حركة القارّات، وكيفية تشكُّل المُحيطات، ولكنهم مع ذلك لم يستطيعوا تفسير العديد من المظاهر الجيولوجيّة الأخرى مثل تشكُّل البراكين والزلازل والجبال في أحزمة معيّنة من سطح الأرض.
- قام العديد من العلماء بتطوير نظريّة جديدة اعتمدت على دمج أدلّة جديدة مع الأدلّة السابقة التي قدّمها كل من العالِمَين فغنر وهس فسّرت جميع الظواهر الجيولوجيّة سُمِّيت **نظريّةَ الصّفائحِ التكتونيّةِ.**

نظريّةَ الصّفائحِ التكتونيّةِ.

" الغلاف الصّخريّ الصُّلب مُقسَّم إلى عدد من القطع يُسمّى كل منها **صفيحةً** تتحرّك كل صفيحة ببطء فوق الغلاف المائع حركة مستقلّة نسبة إلى الصّفائح المجاورة لها، إما متقاربة معها، أو متباعدة عنها، أو بمحاذاتها بحركة جانبية"

- تختلف الصّفائح في أحجامها فبعضُها صفائحُ كبيرة الحجم مثل صفيحة أوراسيا، وبعضُها صغيرة الحجم مثل صفيحة إسكوتا.
- تُصنَّف الصّفائحُ الأرضيّةُ بحسب تركيبها إلى نوعين: **صفائح قارّية** وهي الصّفائح التي تقع أسفلَ القارّات، وتتكوّن من صخر الغرانيت، وتحتوي في الغالب على جزء من القشرة المحيطيّة، **وصفائح محيطيّة** تقع أسفلَ المُحيطات، وتتكوّن من صخر البازلت.



أنواع حدود الصّفائح:

- تحدُث الحركة بين الصّفائح الأرضيّة على امتداد حدودها، ويُسمّى التقاءُ حوافّ الصّفائح مع بعضهما بعضًا **حدودَ الصّفائح**.
- تُقسَم حدودُ الصّفائح إلى ثلاثة أنواع اعتمادًا، على طبيعة حركتها هي: **الحدود المتباعدة، والحدود المتقاربة، والحدود التحويليّة**.
- تتميز معظم الصّفائح بوجود أنواع مختلفة من الحدود على حوافّها.

الحدود المتباعدة:

- تتشكّل **الحدود المتباعدة** حينما تبتعد صفيحتان عن بعضهما بعضًا، وتوجَد معظمُ الحدود المتباعدة في المُحيطات **على امتداد وسط ظَهْر المحيط** في مناطق الوديان المتصدعة.
- **الوديان المتصدعة**: هي مناطقُ منخفضةٌ ضيّقة تقع على امتداد ظَهْر المحيط تتكوّن نتيجة تباعُد الصّفائح بعضها عن بعض.
- ينتج عن تباعُد الصّفائح **توسُّع قاع المحيط** و**نشأة غلاف صخريّ محيطيّ** في مناطق ظَهْر المحيط؛ لذلك تُسمّى حدود التباعُد بمراكز التوسّع.
- قد تحدُث بعض مراكز التوسّع أيضًا في القارّات، مثل الوادي المتصدِّع الكبير الذي يتشكّل حاليًّا في شرق إفريقيا.
- تُسمّى حدودُ الصّفائح المتباعدة، **الحدود البنّاءة**؛ لأنه يحدث فيها بناءُ غلاف صخريّ محيطيّ جديد.
- ترتبط الحدود المتباعدة بالبراكين والزلازل والتدفّق الحراري المرتفع نسبيًّا.

مراحل تشكُّل المحيط:

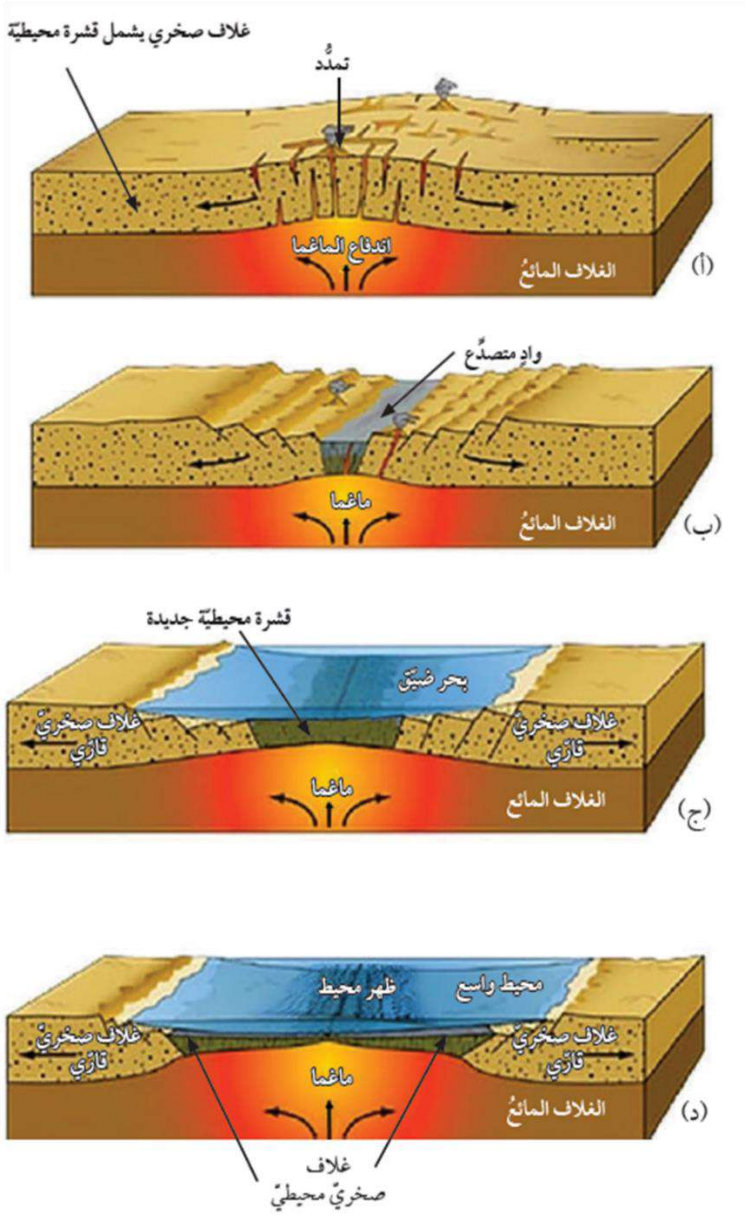
أ) تبدأ عملية نشأة المحيط عندما ترتفع التيارات الصاعدة حاملةً معها الماغما للأعلى؛ لتصل إلى أسفل الغلاف الصّخريّ القارّي، ونتيجة للحرارة العالية يتمدّد. ومع استمرار صُعود الماغما تتولّد قُوى شَدٍّ تعمل على تشقُّق الغلاف الصّخريّ القارّي، وتكوُّن الصُّدوع العاديّة.

ب) ثم في النهاية يتشقّق الغلاف الصّخريّ القارّي وينقسم إلى صفيحتين بينهما وادٍ متصدِّع.

ج) ومع استمرار اندفاع الماغما أسفل الصّفيحتين يزداد تباعُد الصّفيحتين، وتتكوّن قشرة محيطيّة جديدة ويُبنى غلافٌ صخريٌّ محيطي جديد، ويتشكّل بحرٌ ضيّق مثل البحر الأحمر.

د) ومع استمرار اندفاع الماغما تتكوّن قشرة محيطيّة جديدة، ويُبنى غلافٌ صخريٌّ محيطيٌّ جديد، وبازدياد التباعُد يتكوّن محيط مثل المحيط الأطلسيّ.

مراحل تشكّل المحيط:



(أ): **تندفع الماغما إلى أعلى ما يؤدي إلى تمدُّد الغلاف الصخري القاري ومن ثم تشققه.**

(ب): **ينقسم الغلاف الصخري القاري، ويتكون وادٍ متصدع.**

(ج): **يتشكّل بحر ضيّق.**

(د) : **في النهاية يتشكّل محيط.**

أفكر

لماذا تتميز مناطق ظَهْر المحيط بحدوث الزلازل والبراكين فيها؟

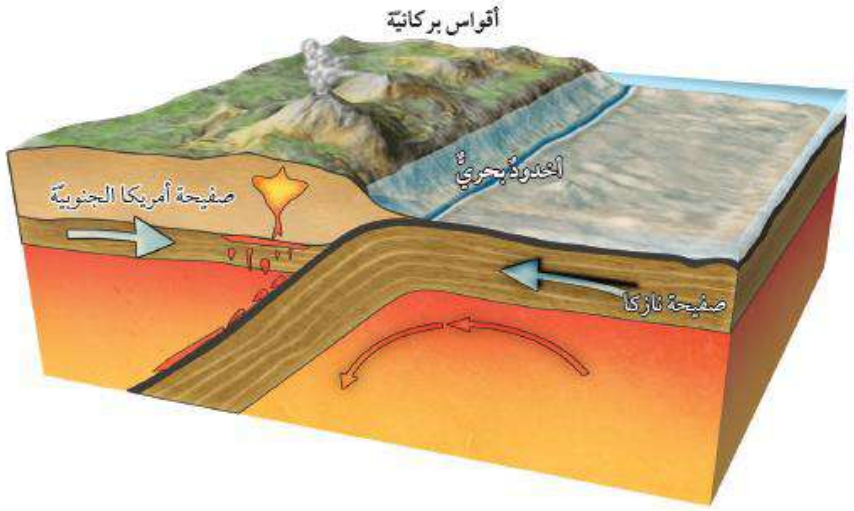
الحل: تتميز منطقة ظهر المحيط بحدوث الزلازل والبراكين لأنها تمثل حدود صفائح متباعدة حيث تؤدي حركة التيارات الصاعدة في منطقة ظهر المحيط إلى توليد إجهادات شد فيها ونتيجة لتراكم هذه الإجهادات يتشقق الغلاف الصخري في وسط ظهر المحيط وتندفع الماغما مشكلة البراكين وتتحرر الطاقة على شكل موجات زلزالية.

الحدود المتقاربة:

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

تقارُب صفيحة محيطيّة مع صفيحة قارّية:

- عند تقارُب **صفيحة قارّية** من **صفيحة محيطيّة** تطفو الصّفيحة القارّية فوق الصّفيحة المحيطيّة؛ لأنها أقلُّ كثافةً منها، وتغطس الصّفيحة المحيطيّة الأكثرُ كثافةً في الغلاف المائع. ولذلك، يُسمّى هذا النّوعُ من التقارُب **نطاق الطّرح**
- ينتُج عن نطاقَ الطّرح **أخدودٌ بحريٌّ** نتيجة غطس الصّفيحة المحيطيّة أسفلَ الصّفيحة القارّية. ومن أمثلته أخدود بيرو- تشيلي الناتج عن غطس صفيحة نازكا **المحيطية** أسفلَ صفيحة أمريكا الجنوبيّة **القارية**.



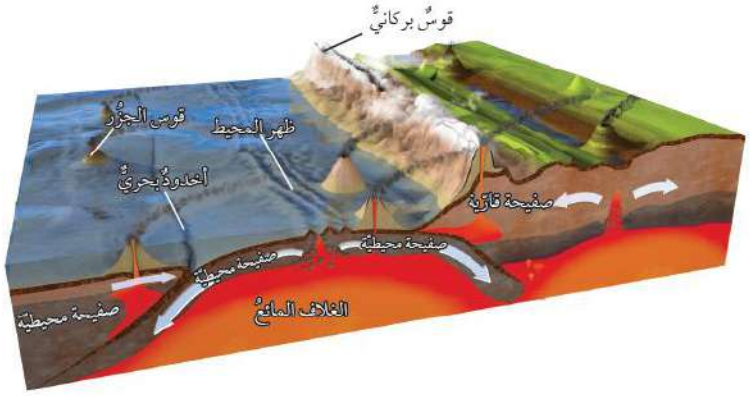
سؤال: (**شكل**16): **أفسّر سبب تكوّن أخدود بحري بين صفيحتي نازكا وأمريكا الجنوبية.**
بسبب غطس طرف صفيحة نازكا أسفل صفيحة أمريكا الجنوبية يتشكل نطاق طرح بينهما وينتج عن انشاء صفيحة نازكا للأسفل أخدود بحري بينهما.

أفكر

عند غطس صفيحة محيطيّة أسفلَ صفيحة محيطيّة أخرى فإنها تنصهر. ما نوع الصّخور المكوِّنة لأقواس الجزُر؟ لماذا؟

الحل: تتكون الجزر البركانية من صخور البازلت، وتنتج هذه الصخور بسبب الانصهار الجزئي للصفيحة المحيطية الغاطسة في داخل الستار.

❖ تحمل الصّفيحة المحيطيّة الغاطسة معها رسوبيّاتٍ محيطيّةً، وعندما تصل إلى عُمقٍ يتراوح بين **(100-150) km** تبدأ حوافّها وما تحمله من رسوبيّات **بالانصهار**، وتنتج ماغما جديدة أنديزيتية التركيب أقلّ كثافةً مما حولها، فترتفع إلى الأعلى حتى تصل في النهاية إلى سطح الأرض على شكل **سلسلة من البراكين**، تمتد على طول حافّة الصّفيحة القارّية موازيةً للأخدود البحريّ على شكل قوسٍ يُسمّى **قوسَ بركانيَّ** مثل جبال الأنديز في أمريكا الجنوبيّة.



تقارُب صفيحتين محيطيّتين:

❖ عند تقارُب **صفيحتين محيطيّتين** من بعضهما بعضًا، تغطس الصّفيحة الأبرد والأكثر كثافة تحت الأخرى. ما يؤدي إلى حدوث انصهار جزئي لحافّتها الغاطسة، وتصعد الماغما الناتجة بسبب قلة كثافتها للأعلى حتى تصل إلى قاع المحيط؛ مشكِّلةً براكين بَحريّةً يزداد ارتفاعها مع الزمن، وتتحوّل إلى جزُر بركانيّة.

❖ مع استمرار حركة الصّفيحة تنتُج سلسلة من الجزُر على شكل قوس يوازي الأخاديد البحريّة، يُسمّى **قوسَ الجزُر** مثل قوس جزُر ماريانا. الذي نتج من غطس صفيحة المحيط الهادي المحيطية أسفل صفيحة الفلبين المحيطية

تقارُب صفيحتين قارّيتين:

❖ تحتوي معظم الصّفائح القارّية في نهايتها على جزء محيطيّ. لذلك، عند تقارُب **صفيحتين قارّيتين** من بعضهما بعضًا، يغطس الجزء المحيطيّ للصّفيحة أسفلَ الصّفيحة القارّية الأخرى، ويتكوّن **نطاق الطّرح**.

❖ مع استمرار الغطس يستهلك الجزء المحيطيّ ويلتقي الجزء القارّي بالجزء القارّي من الصّفيحة الأخرى. وبسبب الكثافة المنخفضة للصّفائح القارّية نسبة إلى الصّفائح المحيطيّة، وبسبب سماكاتها الكبيرة تتصادمان مع بعضهما بعضًا، وينتُج عن التصادم **تشوُّهٌ للصّخور، وتشكّل الطيّات والصُّدوع العكسيّة** على امتداد حدود التصادُم.

❖ ينتُج عن التصادُم أيضًا **سلسلة جبال ضخمة جديدة** تتكوّن من صُخور رسوبيّة مشوَّهة ومتحوّلة، وبقايا من القوس البركانيّ وأيضًا أجزاءٌ من القشرة المحيطيّة.

❖ من الأمثلة على تلك السّلاسل الجبليّة جبال الهيملايا التي تشكّلت نتيجة تصادُم صفيحة أوراسيا مع صفيحة الهند.

سؤال: (**شكل**18): **أفسّر**: **لماذا لا تغطس إحدى الصّفيحتين القاريّتين أسفل الأخرى عند التقائهما؟**
لأن كثافة الصفائح القارية منخفضة نسبة إلى الصفائح المحيطية، وسماكة الصفائح القارية كبيرة فإنه يصعب تغطس إحدى الصفائح القارية عن تقاربها مع صفيحة قارية أخرى ويحدث تصادم بينهما.

أفكر

لماذا تتشكّل الصُّدوع العكسيّة في منطقة تصادُم الصّفيحتين القاريّتين؟

الحل: **تتكون الصدوع العكسية نتيجة إجهادات الضغط في الصخور الهشة، لذلك عند تقارب الصفائح القارية من بعضها بعضا تنتج اجهادات ضغط بينهما مما يؤدي الى تشكل الصدوع العكسية في منطقة التصادم.**

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

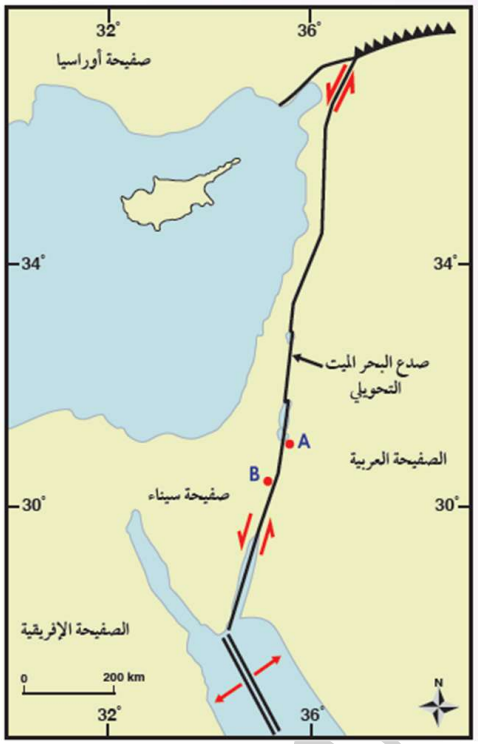
من المظاهر الجيولوجية التي تتشكل نتيجة تصادم صفيحتين قاريتين الصدوع العكسية وتش كل الطيات والسلاسل الجبلية.

الحدود التحويليّة:

- تُسمّى **الحدودُ التحويليّةُ** أيضًا **الحدودَ الجانبيّةَ**، حيث تتحرّك الصّفائح فيها أفقيًّا بمحاذاة بعضها بعضًا، وتحدث هذه الحدودُ على امتداد صُدوع طويلة يصل طول بعضِها إلى مئات الكيلومترات، تُسمّى **صدوعَ التحويل** لأن اتجاه الحركة النسبية للصّفيحتين المتجاورتين وسرعتهما يختلفان على امتداد الحدّ الفاصل بينهما.
- لا يحدث استهلاك أو بناء للغلاف الصخري عند الحدود التحويليّة؛ لذلك، توصف بأنها **حدود محافظة** وتوجد معظم صُدوع التحويل بشكل متوازٍ على جانِبَيْ ظَهْر المحيط.
- من الأمثلة على صُدوع التحويل **صَدْعُ البحر الميّت التحويليّ** الذي يفصل بين الصّفيحة العربيّة وصفيحة سيناء **وصَدْع سان أندرياس** الذي يفصل صفيحة أمريكا الشماليّة وصفيحة المحيط الهادي.

نشاط صدوع التحويل

يُعَدُّ صَدْعُ البحر الميّت التحويليّ أحَدَ صُدوع التحويل الناتج عن حركة صفيحة سيناء، والصّفيحة العربيّة. وقد تعلّمتُ سابقًا في التجربة الاستهلالية أن هناك إزاحةً أفقيّةً حدثت بين الصفيحتين. تمثِّل الأسهُم ذاتُ اللّون الأسود اتجاه الحركة الحقيقيّة لصفيحة أوراسيا، والصّفيحة العربيّة، وصفيحة سيناء والصّفيحة الإفريقيّة، بينما تمثِّل الأسهُم الحمراء الصغيرة الحركة النسبيّة لصَدْع البحر الميّت التحويليّ. أدرُس الشكل الآتيَ، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



1. أحدِّد اتجاه الحركة الحقيقيّة للصفيحة العربيّة وصفيحة سيناء.

الصفيحة العربية وصفيحة سيناء تتحركان حركة حقيقية نحو اتجاه شمال شرق.

2. أحدِّد اتجاه الحركة النسبيّة على جانبَي صَدْع البحر الميّت التحويليّ.

الحركة النسبية حول صدع البحر الميت التحويلي للصفيحة العربية نحو اتجاه شمال شرق وتتحرك صفيحة سيناء حركة نسبية نحو اتجاه جنوب غرب

3. أقارِن بين الحركة الحقيقيّة والحركة النسبيّة لكل من الصّفيحة العربيّة، وصفيحة سيناء من حيث الاتجاه.

الحركة النسبية والحركة الحقيقة للصفيحة العربية بنفس الاتجاه، بينما اتجاه الحركة الحقيقية للصفيحة سيناء عكس اتجاه حركتها النسبية.

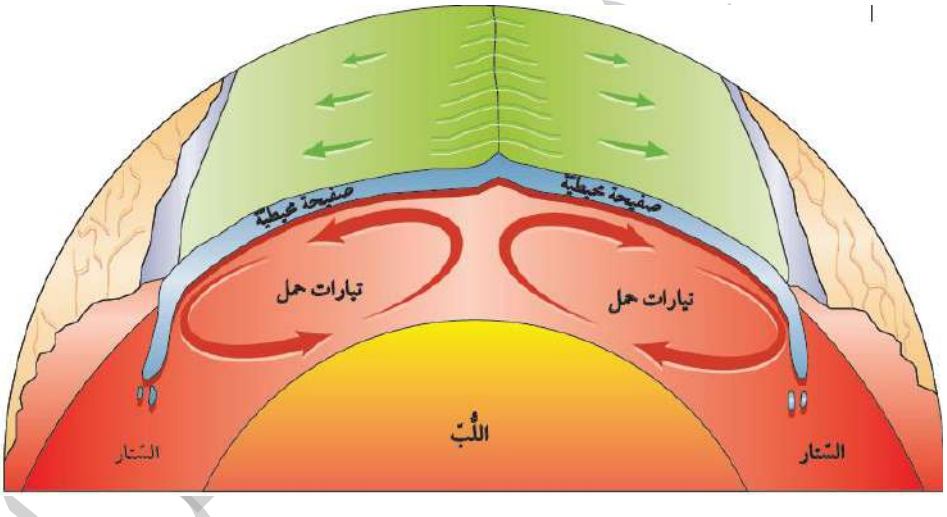
4. أتوقّع سبب اختلاف اتّجاه الحركة النسبية لصفيحة سيناء عن اتجاه حركتها الحقيقية.

لأن السرعة الحقيقة للصفيحة العربية أكبر من السرعة الحقيقية لصفيحة سيناء ، فتبدو صفيحة سيناء أنها تتحرك عكس حركتها الحقيقية.

أسباب حركة الصّفيحة:

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

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



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

تعمل التيارات الهابطة على سحب الصفيحة إلى أسفل مشكلة مع الزمن نطاق طرح.

سؤال: (شكل19):أفسّر: ما العلاقة التي تربط التيارات الصاعدة بحركة الصفائح الأرضية؟

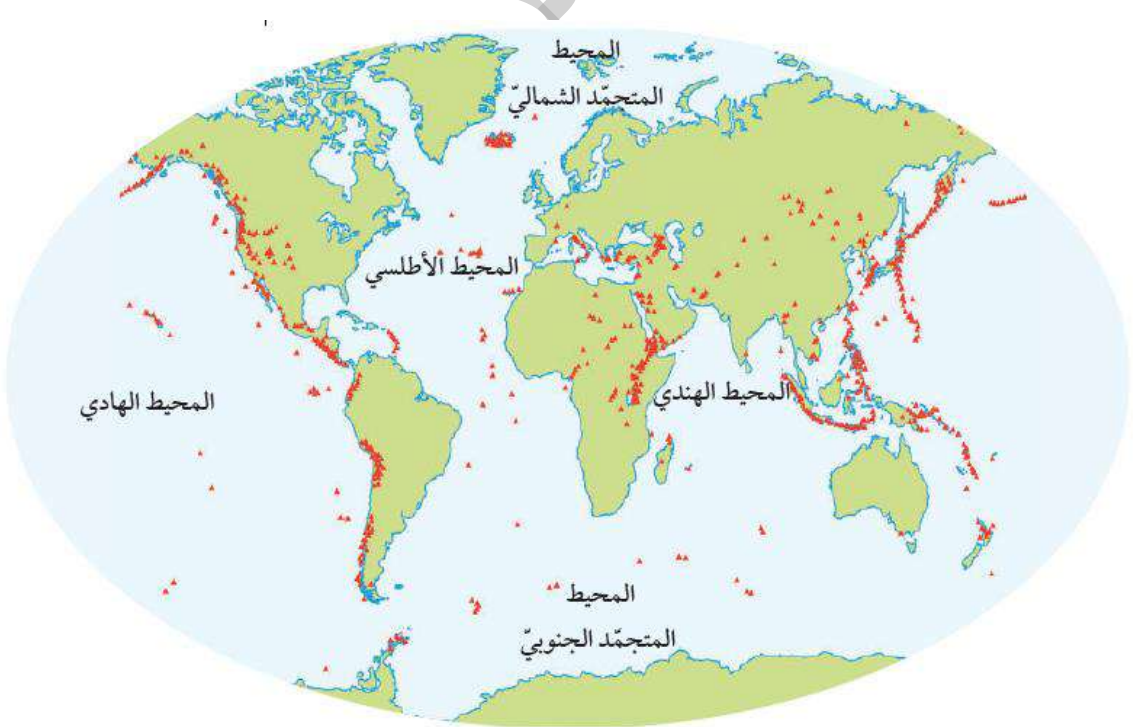
عندما ترتفع التيارات الصاعدة إلى الأعلى، يخرج جزء قليل من الماغما من منطقة ظَهْر المحيط مكونة غلافا صخريا محيطيا جديدا، وتنتشر باقي الماغما جانبيا أسفل ال صفيحتين مبتعدة عن ظهر المحيط، ساحبة معها الصفيحتين على جانبي ظهر المحيط.

البراكين والزلازل وحركة الصّفائح:

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

توزُّع البراكين:

- عند دراسة توزُّع البراكين على سطح الأرض نلاحظ أن معظم البراكين تتكوّن عند حدود الصّفائح المتباعدة، وحدود الصّفائح المتقاربة.
- عندما تتباعد الصّفائح الأرضيّة بعضُها عن بعض في مناطق الوديان المُتصَدِّعة، أو في مناطق ظَهْر المحيط، تخرج اللّابة من الشقوق على امتداد حدود الصّفائح، وتتصلّب مكوّنةً براكينَ بازلتيّة.
- أما الحدود المتقاربة التي تنشأ عن غطس صفيحة محيطيّة أسفلَ صفيحة قارّية أو أسفلَ صفيحة محيطيّة، فينتُج عن هذا التقارُب براكينُ ذاتُ تركيب أنديزيتيّ، أو ذاتُ تركيب بازلتيّ على امتداد الأخاديد البحريّة.
- تتكوّن البراكين المحيطة بالمحيط الهادي بهذه الطريقة التي تنتُج عن غطس صفيحة المحيط الهادي، وصفيحة نازكا أسفل الصّفائح الأخرى المحيطة بها.
- يُسمّى الحزامُ الذي يحيط بالمحيط الهادي **حزامَ النار** ويتمركز **75%** من البراكين في العالم تقريبًا حوله.

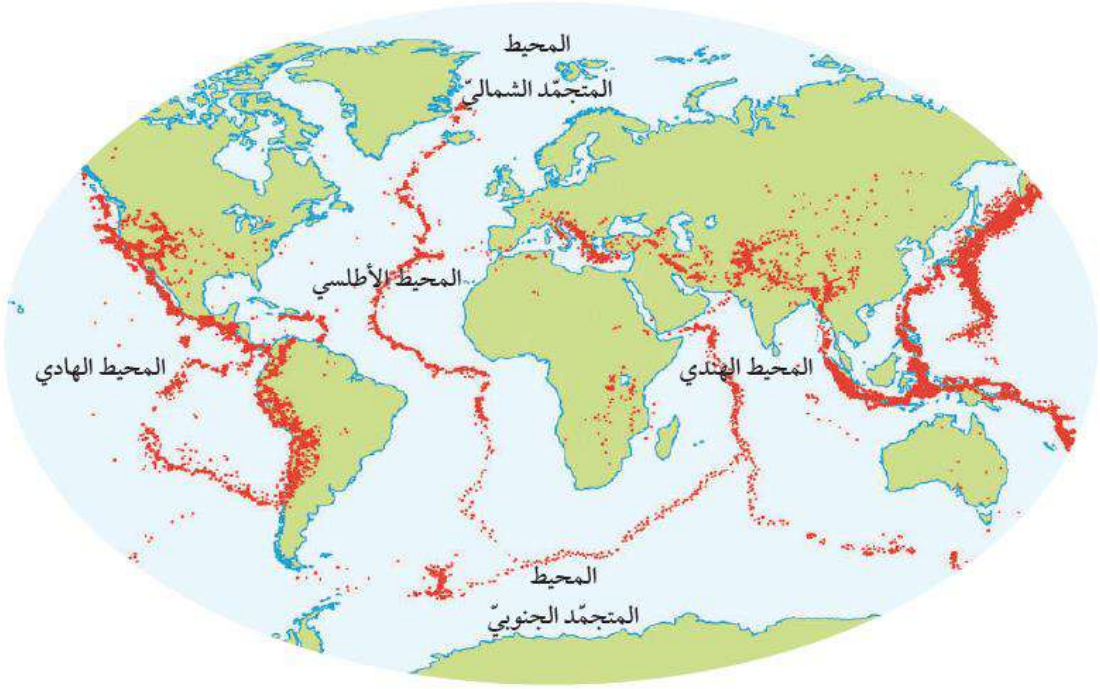


توزُّع الزلازل:

❖ معظم الزلازل تتمركز عند حدود الصّفائح الأرضيّة، وتُسمّى أماكنُ تجمُّعها **أحزمةَ الزلازل.**

❖ يتمركز % 80 من الزلازل تقريبًا حول حزام المحيط الهادي الناريّ.

❖ تتشكّل الزلازل نتيجة حركة الصّفائح، حيث يؤدي التقاء الصّفائح الأرضيّة إلى تكوُّن إجهادات مختلفة، وعندما تتجاوز هذه الإجهادات حدَّ المرونة تتكسّر الصّخور، وتنشأ زلازلُ على حوافّ تلك الصّفائح، وتصاحب الزلازل أنواع الحدود الثلاثة: **المتباعِدة، والمتقارِبة، والتحويليّة.**



✓ أتحقّق: **أوضِّح: ما المقصود بحزام المحيط الهادي الناريّ؟**

هو حزام يحيطُ بالمحيط الهادي يمثل تجمع لمواقع الزلازل والبراكين حيث تشكل الزلازل فيه ٪ 80 من مجموع الزلازل في العالم تقريبا. وتشكل البراكين فيه ٪ 75 من براكين العالم تقريبا. يمثل حزام المحيط الهادي الناري تجمع مواقع الزلازل التي تحيط بالمحيط الهادي وتشكل حوالي ٪ 80 من مجموع الزلازل في العالم.

مراجعة الدرس 3

1 . **الفكرة الرئيسة:** أحدِّد المظاهرَ الجيولوجيّةَ التي تتشكّل عند حدود الصّفائح المَتقارِبة.

من المظاهر الجيولوجية التي تتشكل عند حدود الصفائح المتقاربة: الأخاديد البحرية، وأقواس بركانية، وأقواس الجزر والجبال والصدوع العكسية والطيات.

2 . ألخِّص نص نظريّة الصّفائح التكتونيّة.

تنص نظرية الصفائح التكتونية على أن الغلاف الصخري الصُّلب مقسَّم إلى عدد من القطع يسمى كل منها صفيحة، وتتحرك كل صفيحة ببطء فوق الغلاف المائع حركة مستقلة نسبة إلى الصفائح المجاورة لها، إما متقاربة معها، أو متباعدة عنها، أو بمحاذاتها بحركة جانبية وينشأ عن هذه الحركة العديد من المظاهر الجيولوجية مثل الزلازل والبراكين.

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

مع استمرار التباعد سوف يتحول الوادي المتصدع الكبير شرق أفريقيا إلى بحر.

4 . **أستنتِج** العلاقة بين أماكن توزُّع البراكين على سطح الأرض، وأماكن توزُّع الزلازل مبيّنًا الأسباب.

تصاحب الزلازل البراكين عند الحدود المتقاربة والحدود المتباعدة وذلك لأن ثوران البراكين يؤدي إلى تراكم إجهادات وتكسر الصخور فتنتج الزلازل.

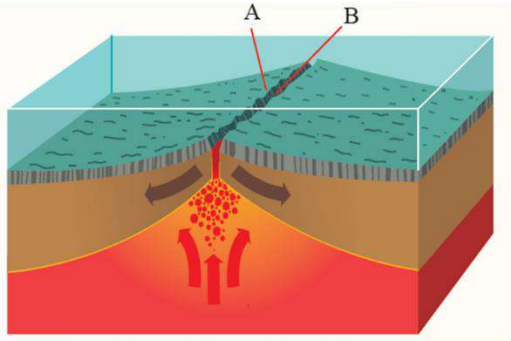
5 . أوضِّح ماذا يحدث عند تقارب صفيحتين قارّيّتين من بعضهما بعضًا.

عند تقارب صفيحتين قاريتين من بعضهما بعضا تتصادمان بسبب سماكتهما الكبيرة وكثافتهما المنخفضة ويتنج عن التصادم تشوه للصخور وتشكل الجبال والطيات والصدوع العكسية.

6 . **أقارِن** بين اللّبّ الداخليّ واللّبّ الخارجيّ من حيث الحالة الفيزيائيّة والتركيب الكيميائيّ.

اللب الداخلي في الحالة الصلبة ويتكون من عنصري الحديد والنيكل بينما اللب الخارجي في الحالة السائلة ويتكون من عنصري الحديد والنيكل ومن عناصر أخرى مثل الكبريت والأكسجين والسيليكون.

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



المسافة = متوسط السرعة × الزمن

المسافة = 20000×3

المسافة = $60000\ cm$

المسافة = $0.6\ km$

وهذا يمثل المسافة التي تبعدها كل نقطة عن منطقة وسط ظهر المحيط، لذلك تكون المسافة بين النقطتين (A,B) تساوي:

المسافة = $0.6 \times 2 = 1.2\ km$

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

تقع معظم صدوع التّحويل على سطح الأرض في مناطق ظهر المحيط

الإثراء والتوسّع

قياس سرعة الصفائح التكتونية

تتحرك الصّفائح التكتونيّة بشكل دائم حركة بطيئة، وتدريجيّة، لدرجة أننا لا نستطيع الشعور بها، والتي لا تتجاوز حركتُها عدّة سنتيمترات في السّنة. ومع التقدّم العلميّ واكتشاف نظام تحديد المواقع العالميّ (GPS)، استخدم العلماء الأقمار الصناعيّة في هذا النظام لقياس مُعدَّل حركة الصّفائح التكتونيّة، حيث يتم وضْعُ علامات على سطح الأرض. وتستخدَم الأقمارُ الصناعيّة في مراقبة مواقعها مع الزمن، ثم جمْع البيانات عن مواقعها. وقد لاحظ العلماء أن مواقع تلك العلامات تتغير مع الزمن، فبعض العلامات تزداد المسافةُ بينها، وبعضها تقل، أو تظهر أن هناك حركةً جانبِيّة بينها. ومن قياس مقدار المسافة بين تلك النقاط يتم تحديد مُعدَّل سرعة تحرُّك تلك الصّفائح وتحديد اتجاه حركتها.

مراجعة الوحدة

السؤال الأول: أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

1. الجزء من الأرض الذي يتميز بأنه في الحالة الصُّلبة ويمتد من سطح الأرض حتى عُمق 100 km هو:
   أ) الغلاف المائع. ب) السّتار السُّفليّ.
   ج) الغلاف الصّخريّ. د) اللّبّ الداخليّ.

2. أيٌّ من الأدلة الآتية استخدمها فغنر للتأكيد على صحّة فرضيّته؟
   أ) توسُّع قاع المحيط.
   ب) تصادُم الصّفائح القارّية.
   ج) تشابُه الأحافير.
   د) تيّارات الحمل.

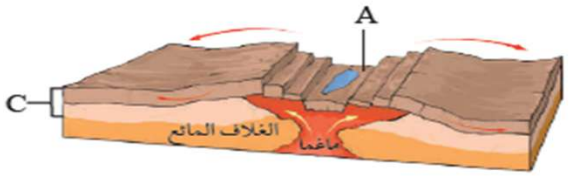
3. أيٌّ من الجمل الآتية يُعَدّ دليلًا على فرضيّة توسُّع قاع المحيط؟
   أ) تزداد أعمار الصّخور كلّما اتجهنا نحو ظَهْر المحيط.
   ب) أعمار معظم صُخور قيعان المُحيطات لا يزيد عن 180 m.y.
   ج) ينقلب المجال المغناطيسيّ دائمًا بشكل منتظم.
   د) الأشرطة المغناطيسيّة المتساوية في العُمْر متعاكسة بالاتجاه المغناطيسيّ.

4. تتكوّن حُفَرُ الانهدام عند:
   أ) حدود التّصادُم. ب) حدود الطّرح.
   ج) الحدود التّحويلية. د) الحدود المتباعدة.

5. أيٌّ من حدود الصّفائح الآتية لا يصاحبها تكوُّن براكين؟
   أ) المتقاربة (محيطيّة- محيطيّة).
   ب) المتقاربة (محيطيّة- قارّية).
   ج) التّحويلية.
   د) المتباعدة.

6. أيٌّ من المظاهر الجيولوجيّة الآتية تتشكّل نتيجة اصطدام تيّارات الحمل الصّاعدة بأسفل الصّفيحة التكتونيّة القارّية؟
   أ) وادٍ متصدِّع. ب) نطاق طرح.
   ج) الحدود التّحويلية. د) نطاق تصادُم.

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



7. أحدّد: ما نوع حدود الصّفائح في الشكل؟
   أ) حدود جانبيّة. ب) حدود تقاربيّة.
   ج) حدود تباعُديّة. د) حدود تصادُم.

8. ما المظهر الجيولوجيّ الذي يشير إليه الحرف (A)؟
   أ) أقواسُ الجزُر. ب) وادٍ متصدِّع.
   ج) براكينُ قوسيّة. د) نطاقُ الطّرح.

9. ما النّطاق الذي يشير إليه الحرف (C)؟
   أ) القشرة الأرضيّة. ب) السّتار العُلويّ.
   ج) أعلى السّتار. د) الغلاف الصّخريّ.

10. بدأت قارّة بانغيا بالانقسام إلى أجزاء أصغر قبل:
   أ) 200 m.y. ب) 400 m.y.
   ج) 100 m.y. د) 50 m.y.

11. النّطاق الذي يوجد في الحالة السائلة من الكرة الأرضيّة هو:
   أ) الغلاف الصّخريّ. ب) اللّبّ الداخليّ.
   ج) الغلاف المائع. د) اللّبّ الخارجيّ.

12. تشكّلت جبال الهيملايا بوساطة:
   أ) تباعُد صفيحة إفريقيا، عن صفيحة أمريكا الجنوبيّة.
   ب) تصادُم صفيحة الهند، مع صفيحة أوراسيا.
   ج) تحرُّك الصّدع التّحويليّ سان أندرياس.
   د) تصادُم الصّفيحة العربيّة مع صفيحة أوراسيا.

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

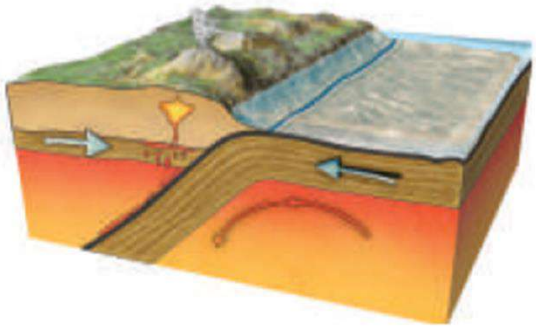
أ) الغلاف المائع.
ب) صفيحة أرضيّة.
ج) براكين قوسيّة.
د) ظَهْر المحيط.

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

أ) الغلاف المائع.
ب) الغلاف الصّخريّ.
ج) القشرة الأرضيّة.
د) اللّبّ الخارجيّ.

السؤال الثاني:

يمثّل الشكل الآتي أحد حدود الصّفائح، أدرس الشكل ثم أجِب عن الأسئلة التي تليه:



1. أحدِّد نوع حدود الصّفائح في الشكل.

حدود تقارب (نطاق طرح)

2. **أستنتِج:** ما المظاهر الجيولوجيّة الناتجة عن غطس الصّفيحة المحيطيّة أسفل الصّفيحة القاريّة؟

براكين، أخدود بحري.

السؤال الثالث:

أملأُ الفراغَ في ما يأتي بما هو مناسبٌ من المصطلحاتِ:

أ - الفرَضيّة التي تنصُّ على أن جميع القارّات الحالية كانت تشكّل في الماضي قارّة واحدة تُسمّى ..... **انجراف القارات**.

ب- التغيّر في قطبيّة المجال المغناطيسيّ للأرض من عاديّة إلى مقلوبة يُسَمّى ..... **انقلاب المغناطيسية**.

ج - الفرَضيّة التي تنصُّ على أن القشرة المحيطيّة الجديدة تتشكّل عند ظهور المُحيطات، وتستهلك عند الأخاديد البحريّة هي ..... **توسع قاع المحيط**

د - السّلسلة من الجُزُر التي تتشكّل على شكل قوس موازٍ للأخاديد البحريّة تُسمّى ..... **قوس الجزر**

هـ - القوّة المسؤولة عن حركة الصّفائح الأرضيّة هي ..... **تيارات الحمل**.

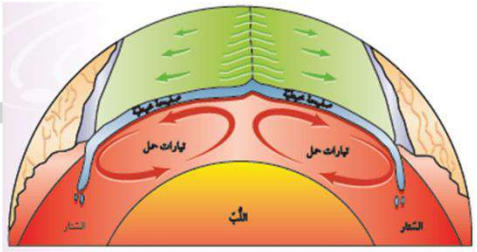
السؤال الرابع:

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

لا ؛ سوف تتغير صفيحة المحيط الهادي مع الزمن؛ إذ تقترب صفيحة المحيط الهادي من صفائح أخرى مشكلة حدود تقاربية، وتبتعد عن صفائح أخرى مشكلة حدود تباعدية.

السؤال الخامس:

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



تعمل التيارات الصاعدة على تباعد الصفائح في منطقة ظهر المحيط نتيجة خروج ماغما من وسط ظهر المحيط وتحركها أسفل الصفيحة، كذلك تعمل التيارات الهابطة نتيجة زيادة كثافتها وقلة درجة حرارتها على سحب الصفيحة للأسفل في الستار.

السؤال السادس:

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

سوف تتغير مواقع القارات فمثلا سوف تتحرك قارة إفريقيا نحو الشمال الشرقي وأمريكا الجنوبية نحو الغرب، واستراليا تتحرك نحو الشمال وقارتي أوروبا وأمريكا الشمالية سوف يتحركان مبتعدتان عن بعضهما بعضا.

السؤال السابع:

أقارِن بين المظاهر الجيولوجيّة الناتجة عن تقارُب صفيحتين محيطيّتين، وبين تقارُب صفيحتين قارّيّتين.

عند تقارب صفيحتين محيطيتين تنتج أقواس الجزر وأخاديد بحرية بينما ينتج عن تقارب صفيحتين قاريتين سلاسل جبلية وصدوع عكسية وطيات.

السؤال الثامن:

أفسّر: كيف تنشأ الزلازل عند تقارب صفيحتين قارّيّتين؟

عندما تتقارب صفيحتين قاريتين من بعضهما بعضاً وتتصادم تتكون إجهادات ضغط بينهما، وعندما تتجاوز هذه الإجهادات حد المرونة تتكسر الصخور، وتنشأ زلازل على حافتي الصفيحتين المتقاربتين.

السؤال التاسع:

أستنتِج: أين تقع أقدمُ الصّخور في صفيحة نازكا؟

عند حافتها الشرقية التي تقترب من صفيحة أمريكا الجنوبية.

السؤال العاشر:

أستنتِج: كيف تُعَدُّ أحفورةُ الميزوسورس دليلًا على صِحّة فرَضيّة انجراف القارّات.

عاش الميزوسورس على اليابسة قبل 200 m.y في بحيراتِ المياه العذبة، والخلجان الضحلة وهو من الزواحف، وقد عثر على أحفورته في كل من جنوب شرق أمريكا الجنوبية، وجنوب غرب إفريقيا. وبما أنه لا يستطيع الانتقال بين القارتين، والسباحة عبر مياه المحيط الأطلسي المالحة لذلك يعد دليل على فرضية انجراف القارات.

السؤال الحادي عشر:

أقوِّم صِحّة ما أشارت إليه العبارة الآتية:"يُعَدُّ توزيعُ الزلازل في القشرة الأرضيّة دليلًا على صِحّة نظريّة الصّفائح التكتونيّة".

العبارة صحيحة، لان الزلازل تنشأ عن تراكم الإجهادات المختلفة وتحررها وبما ان معظم الزلازل في العالم تقع على حدود الصفائح فهذا يدل على ان الأرض يحيط بها صفائح تتحرك نسبة لبعضها بعضا بحركات مختلفة متقاربة أو متباعدة أو بمحاذاة بعضها ونتيجة حركتها تتراكم الإجهادات.

السؤال الثاني عشر:

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

إذا غيرت صفيحتا أفريقيا وأمريكيا الجنوبية اتجاه حركتهما؛ ليتحركا بعكس حركتيهما فسوف يختفي المحيط الأطلسي وتقترب الصفيحتين من بعضهما بعضا وبما أنهما صفيحتين قاريتين فسوف يتصادمان في النهاية.

السؤال الثالث عشر:

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

المسافة = معدل الحركة × الزمن

= 2 × 1000000

= 2000000 cm

= 20 km

المسافة بين الجزأين = 20 × 2

= 40 km

السؤال الرابع عشر:

أحدِّد نوع حدود الصّفائح المسبِّبة لكل من المظاهر الآتية:

1. البحر الأحمر. **الحدود المتباعدة.**
2. البحر الميّت. **الحدود التحويلية.**
3. جبال الهيملايا. **الحدود المتقاربة (تصادم).**
4. جبال الأنديز. **الحدود المتقاربة (نطاق طرح).**

السؤال الخامس عشر:

أقارِن بين أقواس الجزُر والأقواس البُركانيّة من حيث: نوع الحدود، ونوع الماغما المكوِّنة لها.

أقواس الجزر تتشكل عند حدود تقارب صفيحتين محيطيتين، وتتشكل من ماغما بازلتية، بينما تتشكل الأقواس البركانية عند حدود تقارب صفيحة قارية مع صفيحة محيطية، وتتشكل من ماغما أندزيتية.