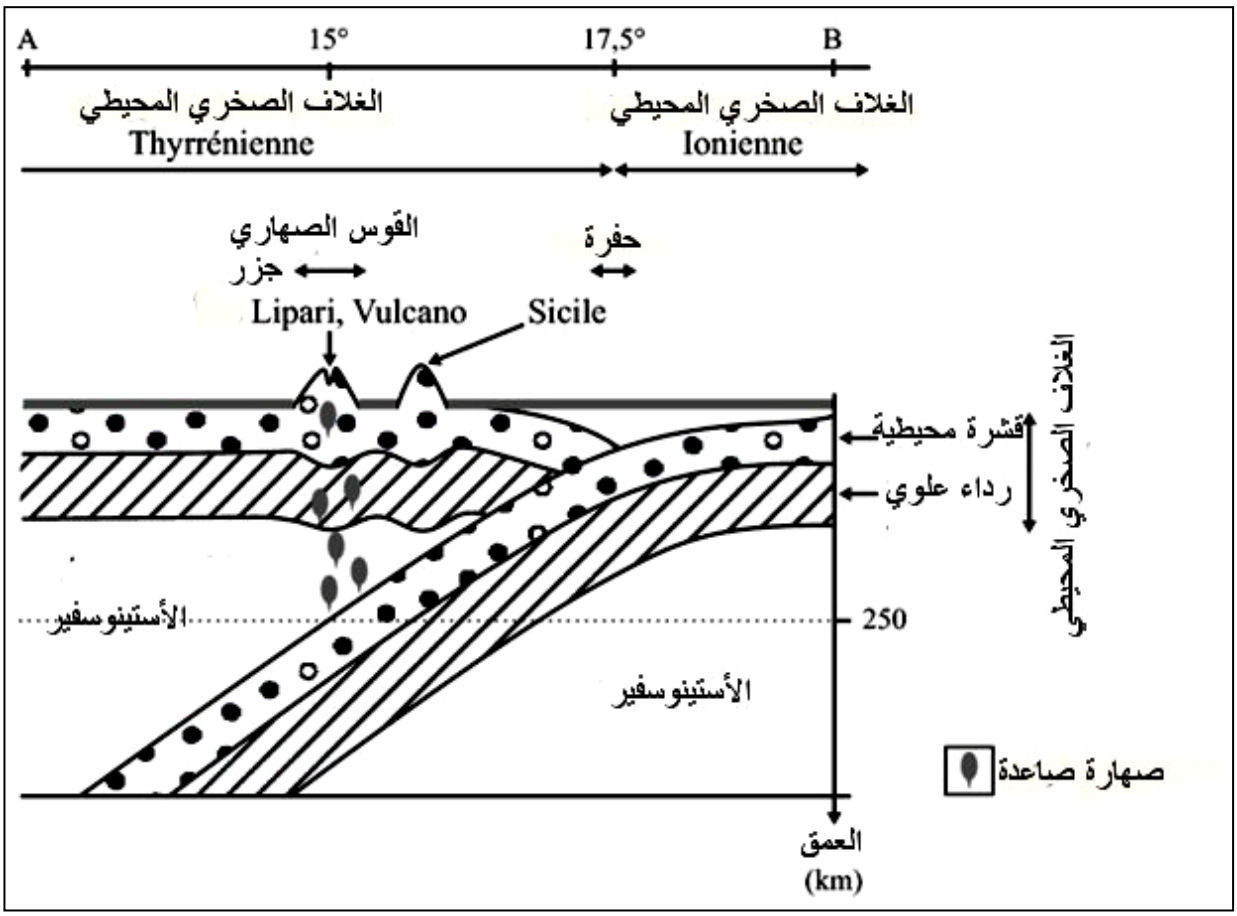
حلول تمارين الجيولوجيا

حل التمرين 1 :

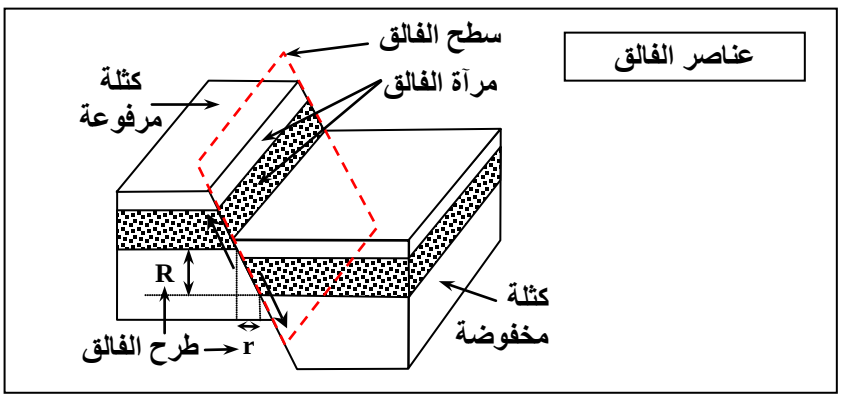
الأدلة المؤيدة لوجود منطقة طمر في هذه الجهة:

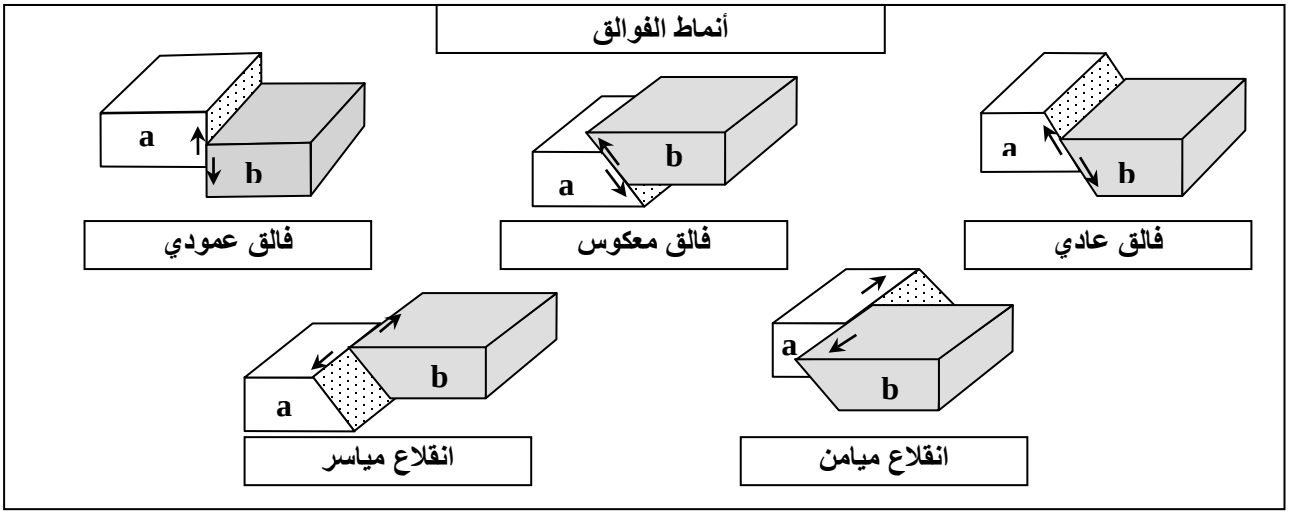
- وجود منطقة تماس بين الصفيحتين الصخريتين: صفيحة Tyrrhénienne في الشمال الغربي وصفيحة Ionienne في الجنوب الشرقي.
- وجود تضاريس تطابق البراكين البارزة للجزر أو البراكين التحبحرية، في حين لا توجد أي إشارة في الوثيقة لوجود حفر.
- صهارية غنية بالسيليس وهي مصدر البراكين.
- توزيع هندسي خاص للزلازل، فالبؤر الزلزالية تصبح أكثر عمقا كلما ابتعدنا عن منطقة التجابه واتجهنا نحو الشمال الغربي، كما أنها تتوزع بشكل مائل مجسدة ما يسمى بمستوى Bénioff، وهو مستوى ما يطابق انغراز صفيحة Ionienne في الرداء العلوي الساخن لصفيحة Tyrrhénienne.



حل التمرين 2:

1) طيات وفوالق.
2) تمثل الرسوم التخطيطية التالية مختلف أنماط التشوهات الفوالق وعناصرها:





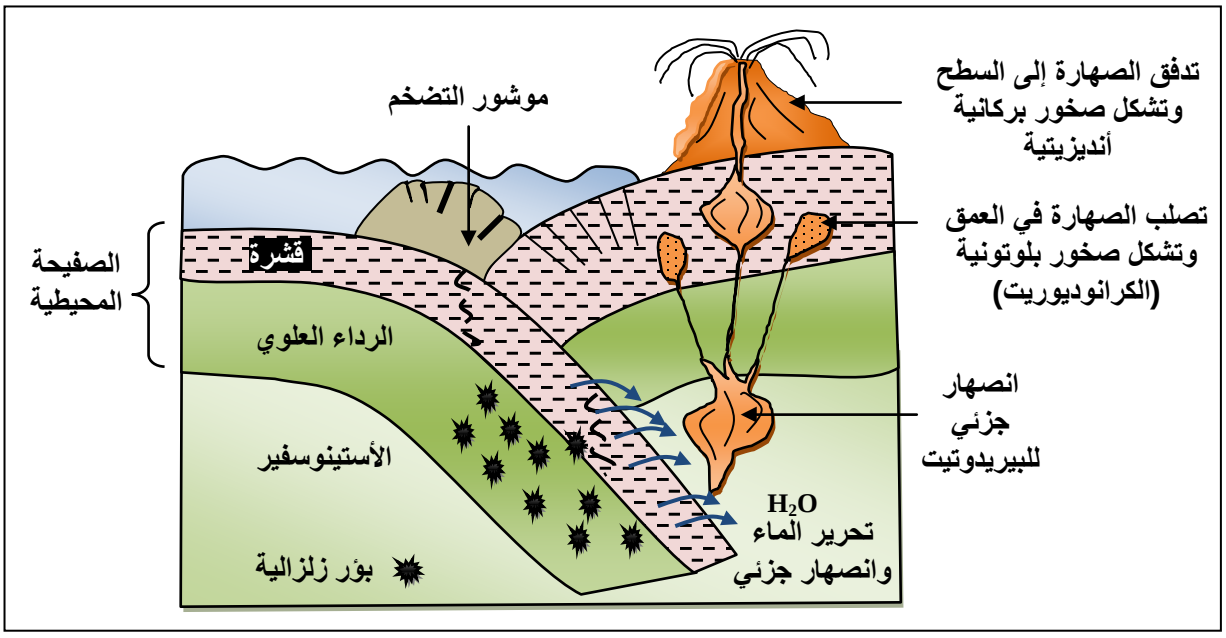
3) نمط السلسلة الجبلية المميزة لمنطقة Cuzco هو سلسلة الطمر، والظاهرة الجيولوجية المسببة لها هي ظاهرة الطمر. والأدلة:

- نشاط بركاني وزلزالي هام يدل على وجود هامش نشيط على حدود الصفيحتين.
- وجود حفرة محيطية موازية للهامش النشيط.
- ازدياد عمق البؤر الزلزالية مرورا من الحفرة المحيطية إلى القارة (مستوى Bénioff).

4) ينتج عن انغراز الصفيحة المحيطية تحت الصفيحة القارية تحرير الماء من الصفيحة المنغرزة تحت تأثير الضغط والحرارة بالأعماق.
ينتشر هذا عبر الرداء فيصبح هذا الأخير تحت شروط الانصهار الجزئي ويعطي صهارة.
تتعرض الصهارة الناتجة لتبريد بطيء قبل الوصول إلى السطح مكونة بلوتونات الكرانوديوريت.
تتعرض الصخور التي تعلوها للحث فتستسطح هذه الصخور الداخلية المنشأ.

رسم تخطيطي لظاهرة الطمر يبين:

- انغراز الصفيحة المحيطية تحت الصفيحة القارية.
- البركانية الأنديزيتية.
- تشكل بلوتونات الكرانوديوريت في العمق.



حل التمرين 3:

⇦ تحليل الوثائق:

★ تحليل الوثيقة 1: تبين هذه الوثيقة تضاريس جد بارزة ذات اتجاه الشمال الغربي / الجنوب الشرقي في الحدود بين الصفيحة العربية والصفيحة الأوروأسيوية، نلاحظ أيضا زلازل محلية مختلفة الشدة على طول السلسلة الجبلية حيث البؤر الزلزالية القريبة من السطح توجد على عمق 110 كلم تقريبا. هذه الوثيقة تمكننا من استخراج مؤشرات من طبيعة تكتونية وزلزالية حول النشاط الجيولوجي للمنطقة.

★ تحليل الوثيقة 2: نلاحظ في الجهة الشمالية الغربية للمقطع الجيولوجي قوسا صهاريا يتضمن الكرانوديوريت بعمر يتجاوز 65 مليون سنة، هذا النوع من الصخور يصدر عن صهارة تبلورت بشكل بطيء في الأعماق. تعبر الأوفيوليتات المتحولة الموجودة في المنطقة المتحولة عن صفيحة محيطية، وهي دليل على وجود محيط قديم في هذه المنطقة.
مختلف الوحدات الرسوبية المشوهة في الجنوب الغربي وكذلك التماسات العديدة الغير عادية (MZT, HZF) دليل على قوى انضغاطية مسلطة من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي أدت إلى تقصير القشرة.

★ تحليل الوثيقة 3، a: يضم الميتاكابرو معدني الكلوكوفان والجاداييت، وهذين الأخيرين لا يتواجدان في الكابرو المحيطي أثناء تشكله على مستوى الذروة.

★ تحليل الوثيقة 3، b: تشير إلى ظروف ظهور الكلوكوفان والجاداييت. فوجودهما المتزامن خاص بالمجال C وفي عمق يتراوح بين 30 و40 كلم، وفي درجة حرارة تتراوح بين 130°C و400°C. وهي شروط تتعرض لها القشرة المحيطية أثناء الطمر. وما الميتاكابرو الموجود في أوفيوليت Zagros إلا دليل على تعرض قشرة محيطية لتحولات عيدانية أثناء ظاهرة الطمر.

⇦ الربط بين معطيات الوثائق:

انطلاقا من معطيات الوثائق يمكننا عرض أهم المراحل الجيولوجية لنشأة هذه السلاسل الجبلية الموجودة في حدود الصفيحتين العربية والأوروأسيوية.

نتجت هذه السلاسل عن تسلسل ظواهر عديدة أهمها:
- ✓ تتوزع البؤر الزلزالية بشكل مائل (مستوى Bénioff) والذي يجسد بداية انغراز الصفيحة العربية تحت الصفيحة الأوروأسيوية.
- ✓ مع بداية انغراز القشرة المحيطية نسجل مجموعة من المظاهر الزلزالية والبركانية.
- ✓ خضوع صخور القشرة المنغرزة لظروف ضغط وحرارة مختلفة تماما عن تلك التي تشكلت فيهما الشيء الذي نتج عنه حدوث تحولات عيدانية وظهور معدني الكلوكوفان والجاداييت.
- ✓ يؤدي الماء المحرر اثر تحول صخور القشرة المنغرزة إلى تمييه الرداء العلوي للصفيحة الراكبة الشيء الذي ينجم عنه بداية الانصهار الجزئي للبيريدوتيت وظهور الصهارة التي هي مصدر بلوتونات الكرانوديوريت.
- ✓ يمكن عمر الكرانوديوريت من القول بأن الطمر بدأ قبل (-65MA).
- ✓ بعد الانغراز الكلي للقشرة المحيطية وانسداد المحيط، تدخل الصفيحتين القاريتين في اصطدام.
- ✓ تؤدي القوى الانضغاطية إلى تقصير عام للبنيات وظهور تراكبات كبيرة، بحيث أن جزءا من الصفيحة الأوروأسيوية يركب فوق الصفيحة العربية مشكلا السلسلة الجبلية.

حل التمرين 4:

⇦ دراسة الوثائق:

★ الوثيقة 1: تقع سلسلة جبال الهملايا في الحدود الواقعة بين الصفيحتين الصخريتين: الهندية في الجنوب الغربي والأوروأسيوية في الشمال الشرقي. بالانتقال في المقطع AA' من الجنوب في اتجاه الشمال نجد سلسلة من الأحداث التي تبين أصل سلسلة جبال الألب.

- ✓ نسجل أولا تتابع ثلاثة تراكبات (MFT, MIT, MCT) وكذلك تضاريس عالية: " أنابورنا " 8091m، "افيريست" 8850m، إنها شواهد على ظواهر الاصطدام بين صفيحتين قاريتين.

- ✓ نلاحظ أيضا خياطة بها أوفيوليت ورواسب بحرية. والأوفيوليت هي جزء من القشرة المحيطية والرداء العلوي المكونة لصفيحة محيطية قديمة والتي زحفت فوق القشرة القارية اثر اصطدام بين صفيحتين قاريتين. وبهذا يمكننا افتراض أن بحرا كان في هذه المنطقة يفصل بين الكتل القارية للصفيحتين الهندية والأوروأسيوية قبل تشكل سلسلة جبال الهملايا. وما يؤيد هذه الفرضية وجود رواسب بحرية فوق كتل هذه السلاسل الجبلية.
- ✓ رواسب موشور التضخم تترجم حدوث طمر بين صفيحة محيطية وأخرى قارية. يتشكل موشور التضخم انطلاقا من رواسب القشرة المحيطية المنغرزة، والتي بفعل ضعف كثافتها لا تطمر بل تكشط وتتجمع في منطقة الحفر المحيطية.
- ✓ وجود كرانيت الطمر شاهد على وجود صهارية خاصة بمناطق الطمر في هذه المنطقة. أثناء الطمر يؤدي تحول صخور الصفيحة المنغرزة التي تحرر الماء الذي يميه بيريدوتيت الرداء العلوي للصفيحة الراكبة ويعطي صهارة تتبلور في الأعماق لتعطي صخورا بلوتونية كالكرانيت.
- ✓ وجود الأوفيوليت والرواسب البحرية دليل على وجود بحر بين الصفيحتين الصخريتين.
- ✓ وجود موشور التضخم وكرانيت الطمر يدلان على اختفاء لهذا المحيط اثر ظاهرة الطمر. ووجود تراكبات وتضاريس عالية يؤيد فرضية اصطدام صفيحتين قاريتين الهندية والأوروأسيوية عند توقف الطمر.

★ الوثيقة 2: يبين المقطع الجيولوجي ما يلي:
- ✓ الطيات والفوالق المعكوسة مؤشرات على وجود قوى انضغاطية وبالتالي قوى تقاربية.
- ✓ قشرة قارية مشوهة ومتحولة دليل على قوى انضغاطية ، التي تؤدي إلى تغير ظروف الضغط والحرارة.
- ✓ استسطاح الكرانيت الذي يبين على أن القوى الانضغاطية ساهمت في صعود المادة العميقة إلى السطح.
- ✓ تراصف وحدات معزولة بتراكبات كبيرة والتي تخترق في بعض الأحيان القشرة والرداء، وهذا التراصف هو أصل تضخم القشرة القارية والتراكبات ذات الاتجاه جنوب شمال تعطي فكرة عن منحى طمر الصفيحة الهندية، حيث أن الجزء المحيطي انغرز بفعل الطمر وتوقف تحت الصفيحة الأوروأسيوية الراكبة.
- ✓ نلاحظ في المنطقة الأكثر علوا في سلسلة الهملايا وبالضبط في المنطقة المتعامدة مع الخياطة الأوفيوليتية انقطاعا عميقا شيئا ما بين القشرة والرداء العلوي (حوالي 60 كلم) في حين أن انقطاع MOHO يوجد عادة على عمق 30 كلم تقريبا، لدينا ادن جذر هام. وعموما فان معطيات الوثيقة 2 تؤيد ما جاء في الوثيقة 1. المؤشرات المورفولوجية (التضاريس المرتفعة)، التكتونية (الطيات، الفوالق، والتراكبات)، والبنيوية (انقطاع MOHO، تراصف الوحدات) تعد أهم الخصائص والمميزات لاصطدام صفيحتين صخريتين اثر قوى انضغاطية والتي في حالة سلسلة جبال الهملايا لها اتجاه من الجنوب إلى الشمال. وتتعرض السلسلة حاليا لعوامل تمكن من استسطاح الصخور البلوتونية.

★ الوثيقة 3، a: توضح أن الميتاكابرو الموجود في الأوفيوليت يحتوي على معدني الكلوكوفان والجادابيت.

★ الوثيقة 3، b: نلاحظ على أن مجال استقرار الكلوكوفان والجادابيت يوجد في المنطقة C أي في درجة حرارة تتراوح ما بين 100 و400°C وضغط يتراوح ما بين 0.7 و1.4 وهي تطابق عمقا يصل إلى 23 إلى 48 كلم. هذه المعادن تدل على أن الميتاكابرو والأوفيوليت تشكلت في الأعماق الكبيرة اثر الطمر قبل أن يصل إلى السطح، وبذلك فان فرضية انسداد المحيط بفعل الطمر مؤكدة.

⇦ خلاصة:

دلائل جيولوجية عديدة في منطقة الهملايا تبين وجود بحر قديم والذي اختفى اثر الطمر. فالمؤشرات البنيوية التكتونية والأوفيوليتية تدل على حدوث اصطدام اثر ظاهرة الطمر بين الصفيحتين الهندية والأوروأسيوية، وانغراز الأولى تحت الثانية مؤدية إلى نشوء سلسلة جبال الهملايا. وتتعرض حاليا هذه الأخيرة لعوامل التعرية الشيء الذي مكن من استسطاح الصخور التي تشكلت في الأعماق وساهم في صعودها الاصطدام.

حل التمرين 5:

إن الكرانيت صخرة صهارية بلوتونية، ونميز بين نوعين من الكرانيت حسب خاصية كل واحد منهما.
★ **الكرانيت (أ):** يتميز بمساحة صغيرة وبهالة تحول تحيط به على شكل صخرة شيستية. كما أن حدوده تتنافر مع الصخور التي تحيط به كأنما هضم جزءا منها. ويسمى بالكرانيت الاندساسي.
★ **الكرانيت (ب):** وهو الكرانيت الأناتكتي، يتميز بمساحة شاسعة (مئات الكيلومترات المربعة) حدوده متوازية ومتطابقة مع الصخور المجاورة، خصوصا صخرة الغنايس التي تضم من مكان لآخر كتلا من صخرة الميكماتيت.

إن الكرانيت الأناتكتي كرانيت ناتج عن ظاهرة الأناتكتية، أي الانصهار الذي تتعرض إليه الصخور السابقة الوجود تحت تأثير ارتفاع درجة الحرارة. بعد انخفاض هذه الأخيرة تتصلب الصهارة الكرانيتية في مكانها. وفي نفس الوقت يصاحب هذا الكرانيت تحولا إقليميا أو عاما يتمثل في ظهور صخرة الغنايس والمكماتيت. أما إذا حدث وصادفت الصهارة الكرانيتية شقوقا في الصخور فإنها تتسرب إليها وتصعد إلى مستويات أعلى دون أن تصل إلى السطح. وخلال صعودها تنخفض درجة حرارتها فتتصلب الصهارة مكونة الصخرة الكرانيتية المندسة وسط الصخور الرسوبية. وبذلك يأخذ اسمه الكرانيت الاندساسي.
وبما أن هذه الصهارة التي أدت إلى تكوين هذا الكرانيت لازالت درجة حرارتها مرتفعة نسبيا، فهذا يؤدي إلى ظهور صخرة تحولية وهي الشيست على شكل هالة تحيط بالكرانيت.
يتبين من كل ما سبق أن الكرانيت نوعان: اندساسي وأناتكتي، أصلهما نفس الصهارة لكن إذا تصلبت في مكانها فان هذه الصهارة تعطي الكرانيت الأناتكتي، أما إذا تصلبت في مستوى أعلى أي غير مكان تكونها فإنها تؤدي إلى تكون كرانيت اندساسي. وكل واحد نوعي الكرانيت يتميز بخاصياته الجغرافية وكذا الصخور المتحولة المحيطة به.

حل التمرين 6:

★ الوثيقة 1:
إن كل مجموعة صخرية من المجموعات المتحولة تنحدر من نفس الصخرة الأصلية تشكل ما نسميه بالسلسلة التحولية أو المتتالية التحولية، فمثلا الطين وهي صخرة رسوبية تتحول إلى شيست في درجة تحول ضعيفة ثم يصبح هذا الشيست ميكاشيست ثم غنايس في درجة تحول أقوى. أما إذا كانت الصخرة الأصلية هي البازلت وهي صخرة صهارية فان الصخور المتحولة التي ستنحدر منها هي الشيست الأزرق ثم الاكلوجيت. ونفس الشيء بالنسبة للمتتاليات الأخرى. إذن فكل سلسلة تحولية تتحدد من خلال نوع الصخرة الأصلية.

★ الوثيقة 2:
تمثل الوثيقة 2 ظاهرة الطمر والمتمثلة في انغراز الغلاف المحيطي تحت الغلاف القاري. وخلال انغرازها نلاحظ أن الصخرة الصخرة الصهارية المكونة للقشرة المحيطية أي البازلت تتحول إلى شيست أزرق ثم بعده وفي مستوى أعمق إلى اكلوجيت. تصاحب ظاهرة الطمر هاته، ظاهرتان هما ظاهرة الانصهار الجزئي للغلاف الصخري المحيطي وكذا تشكل السلسلة الجبلية.

★ الوثيقة 3:
تبين هذه الوثيقة أنواع التحول وهي:

- تحول حراري: ويتميز بتدخل عامل الحرارة على الخصوص.
- تحول دينامي: وهو تحول ناتج عن تدخل عامل الضغط فقط.
- تحول دينامي حراري: تحول راجع لتدخل عاملي الضغط والحرارة في نفس الوقت.

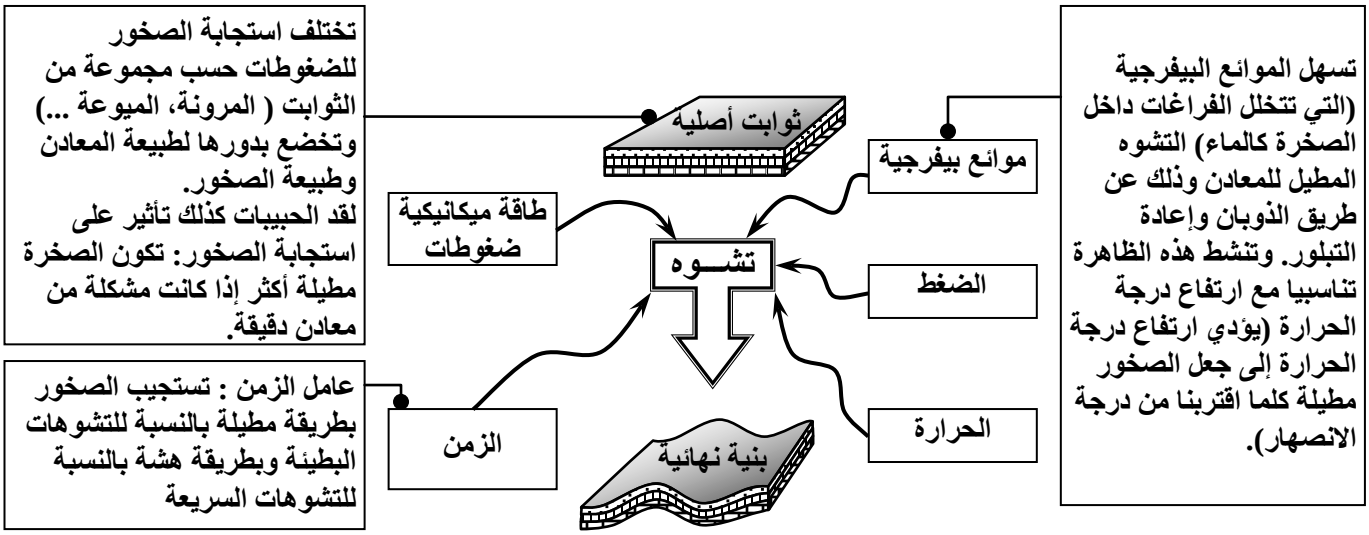
أما الرابط بين الوثيقتين فيهدف إلى تحديد نوع التحول الذي تشهده منطقة الطمر. إن ظاهرة الطمر تنتج عن قوى انضغاطية يمارسها الغلاف المحيطي على الغلاف القاري أي تدخل عامل الضغط، فلهذا فان السلسلة التحولية المتواجدة بالمنطقة هي سلسلة سببها ارتفاع الضغط وبالتالي فان الأمر يتعلق بتحول دينامي ونسميه أيضا بتحول الطمر.

ختاما فان التحول ظاهرة تصيب صخورا سابقة الوجود بتدخل عامل الضغط أو الحرارة أو هما معا. وبذلك تتحدد السلسلة التحولية حسب الصخرة الأصلية وكذا العامل المتدخل في التحول.

حل التمرين 7:

تصاب التشكلات الصخرية بتشوهات تكتونية، وحسب بنية وتركيب هذه الصخور وتموضعها في الغلاف الصخري يختلف رد فعلها فتظهر الطيات أو الفوالق. كما أنه لكل واحد من التشوهين عناصر يتميز بها ويعتمد عليها التصنيف. فعلى ماذا يعتمد في تصنيف هذين التشوهين وكيف يتكونان؟

★ يرتبط نمط التشوه التكتوني، بعوامل خارجية أهمها: العمق الذي يحدد تغيرات الضغط ودرجة الحرارة والزمن والحركات التكتونية. وعوامل داخلية أهمها: خاصيات المرونة والميوعة. أنظر الرسم أسفله:

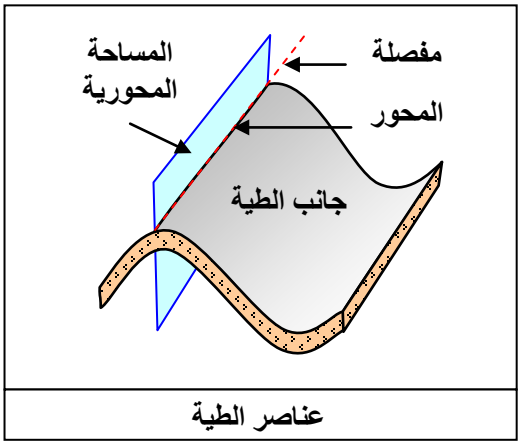


نعتبر كل من الطيات والفوالق تشوهات تظهر على الصخور كنتيجة لقوى انضغاطية أو تمددية بحيث أن الأولى تؤدي إلى تشكل الطيات والفوالق المعكوسة. أما الثانية فإنها تؤدي إلى تشكل الفوالق العادية.

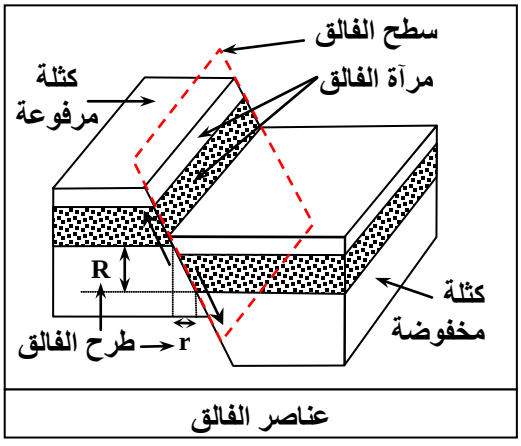
وتختلف استجابة الصخور للضغوط التكتونية حسب العمق:

- ✓ على السطح تكون ظروف الضغط والحرارة منخفضة، فتكون الصخور هشة مما يجعل التشوهات التكتونية من النوع الكسور. وتتمثل أساسا في الفوالق المعكوسة والسدائم المرتبطة بها.
- ✓ في العمق يزداد الضغط والحرارة مما يجعل الصخور مرنة، فتصبح التشوهات التكتونية على شكل طيات متساوية السمك، ثم متغيرة السمك مع ازدياد العمق.

★ قبل إبراز أنواع الفوالق والطيات لا بد من إبراز عناصرها أولا:



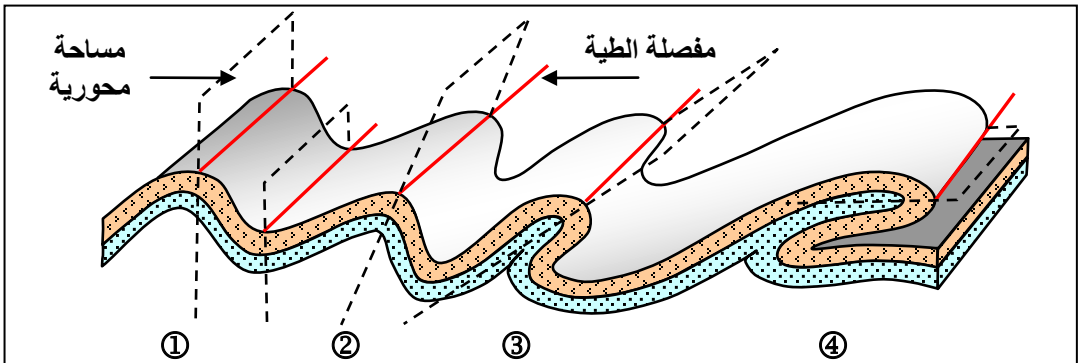
عناصر الطية



عناصر الفالق

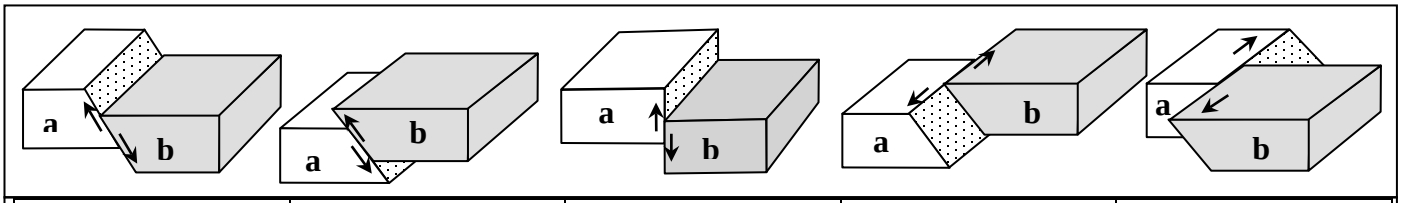
★ أما تصنيف التشوهين فيبرز أنواع كل واحد من التشوهين كما يلي:

⇦ الطيات: يعتمد التصنيف على الزاوية α التي تشكلها المساحة المحورية مع المستوى الأفقي.



① = طية مستقيمة	② = طية منحرفة	③ = طية مائلة	④ = طية راقدة
مساحة محورية عمودية (α=90°)	مساحة محورية مائلة 45 < α < 90°	مساحة محورية مائلة 0 < α < 45°	مساحة محورية أفقية α = 0°

⇦ الفوالق:



انقلاع ميامن	انقلاع مياسر	فالق عمودي	فالق معكوس	فالق عادي
- الحركة النسبية للكتلتين a وb في اتجاه عقارب الساعة.	- الحركة النسبية للكتلتين a وb في اتجاه معاكس لعقارب الساعة.	- مساحة محورية عمودية.	- مساحة محورية مائلة. - ابتعاد الكتلتين a وb المشطورتين. - ميلان الفالق نحو الكتلة المرفوعة.	- مساحة محورية مائلة - ابتعاد الكتلتين a وb المشطورتين - ميلان الفالق نحو الكتلة المخفوضة.

نستخلص مما سبق أن القوى الانضغاطية أو التمددية التي تصيب الصخور تؤدي إلى ظهور الطيات والفوالق حسب مرونة أو صلابة التشكلات الصخرية وحسب تموضعها في الغلاف الصخري.