الصخورُ المُتحوّلةُ
Metamorphic Rocks

أنواعُ التحوُّلِ Types of Metamorphism

درسْتُ سابقًا في موضوعِ (دورةُ الصخورِ) أنَّ الصخورَ تنصهرُ، ثمَّ تتحوَّلُ إلى ماغما عندَ تعرُّضِها لدرجاتِ حرارةٍ عاليةٍ أكبرَ منْ درجةِ انصهارِ المعادنِ المُكوِّنةِ لها. ولكنْ، إذا كانَتْ درجةُ الحرارةِ التي تتعرَّضُ لها الصخورُ أقلَّ منْ درجةِ الانصهارِ، فإنَّها تتحوَّلُ إلى صخورٍ منْ نوعٍ آخرَ.

يُعرَّفُ التحوُّلُ Metamorphism بأنَّهُ التغيُّرُ الذي يطرأُ على نسيجِ الصخرِ، أوْ تركيبِهِ المعدنيِّ، أوْ كليْهِما معًا وهوَ في الحالةِ الصُّلبةِ، مُنتجًا بذلكَ صخورًا جديدةً تُعرَفُ باسمِ الصخورِ المُتحوِّلةِ Metamorphic Rocks. فما عواملُ التحوُّلِ؟ ما أنواعُ التحوُّلِ؟

عواملُ التحوُّلِ

(1) تُعَدُّ الحرارةُ أحدَ أهمِّ عواملِ التحوُّلِ، وهيَ تنشأُ نتيجةَ دفنِ الصخرِ الأصليِّ في أعماقٍ كبيرةٍ بباطنِ الأرضِ، أوْ بسببِ ملامسةِ الصخرِ ماغما مُندفِعةً منْ باطنِ الأرضِ؛ حيثُ تعملُ الحرارةُ على إضعافِ الروابطِ الكيميائيةِ بينَ الأيوناتِ والذرّاتِ المُكوِّنةِ للمعادنِ، ثمَّ تسهيلِ حركةِ الأيوناتِ وانتقالِها منْ معدنٍ إلى آخرَ، فتتكوَّنُ معادنُ جديدةٌ؛ ما يتسبَّبُ في تكوُّنِ صخرٍ مُتحوِّلٍ جديدٍ.

(2) أمّا العاملُ الثاني، فهوَ الضغطُ الذي ينشأُ إمّا بسببِ الدفنِ في باطنِ الأرضِ، (كلَّما ازدادَ العمقُ، ازدادَ الضغطُ بفعلِ وزنِ الصخورِ الواقعةِ فوقَها)، وإمّا بسببِ تصادمِ الصفائحِ الأرضيةِ المُتقاربةِ التي تتسبَّبُ في تكوُّنِ السلاسلِ الجبليةِ. تُسهِمُ المحاليلُ المائيةُ الحارةُ (الحرمائيةُ) أيضًا بفاعليةٍ في عملياتِ التحوُّلِ؛ إذْ تساعدُ على إعادةِ تبلوُرِ المعادنِ المُكوِّنةِ للصخرِ عبرَ نقلِ الأيوناتِ بسهولةٍ.

توجدُ أنواعٌ مُتعدِّدةٌ منَ التحوُّلِ، يعتمدُ كلٌّ منْها على عاملٍ التحوُّلِ المُؤثِّرِ فيها. ومنْ هذهِ الأنواعِ: التحوُّلُ بالدفنِ، والتحوُّلُ الإقليميُّ، والتحوُّلُ التماسيُّ، والتحوُّلُ الحرمائيُّ.

التحوُّلُ بالدفنِ Burial Metamorphism (ضغط + حرارة)

يحدثُ التحوُّلُ بالدفنِ Burial Metamorphism نتيجةَ دفنِ الصخورِ الرسوبيةِ في أعماقٍ كبيرةٍ بباطنِ الأرضِ، حيثُ تتعرَّضُ الصخورُ لدرجاتِ حرارةٍ وضغطٍ مرتفعيْنِ؛ ما يتسبَّبُ في بدءِ عمليةِ التحوُّلِ، ثمَّ إنتاجِ صخورٍ مُتحوِّلةٍ.

التحوُّلُ الإقليميُّ Regional Metamorphism (ضغط + حرارة)

يحدثُ التحوُّلُ الإقليميُّ Regional Metamorphism مصاحبًا لحدودِ الصفائحِ الأرضيةِ المُتقاربةِ؛ إذْ يُؤثِّرُ الضغطُ والحرارةُ المرتفعانِ في مساحةٍ واسعةٍ منَ الصخورِ، ما يتسبَّبُ في إعادةِ تبلوُرِ المعادنِ المُكوِّنةِ لها، وتكوينِ معادنَ جديدةٍ، فتنتجُ صخورٌ جديدةٌ تمتازُ بنسيجِها الذي يكونُ على شكلِ طبقاتٍ رقيقةٍ بسببِ تأثيرِ الضغطِ والحرارةِ.

الشكلُ (20): صخرُ الشيستِ الذي يتكوَّنُ نتيجةَ التحوُّلِ الإقليميِّ.

منْ أشهرِ الصخورِ المُتحوِّلةِ التي تنجمُ عنِ التحوُّلِ الإقليميِّ: صخورُ الشيستِ، وصخورُ النايسِ، أنظرُ الشكلَ (20) الذي يُمثِّلُ أحدَ هذهِ الصخورِ.

التحوُّلُ التَّماسيُّ Contact Metamorphism (حرارة)

يحدثُ التحوُّلُ بالتَّماسِّ Contact Metamorphism عندما تُلامِسُ الماغما المُندفِعةُ منْ باطنِ الأرضِ - في أثناءِ حركتِها- صخورًا قديمةً تكونُ قريبةً منْها، أوْ تمرُّ خلالَها، فترتفعُ درجةُ حرارةِ الصخورِ؛ ما يؤدي إلى حدوثِ تغيُّرٍ في تركيبِها المعدنيِّ، فتتحوَّلُ إلى صخورٍ منْ نوعٍ آخرَ. يكونُ التحوُّلُ التَّماسيُّ محدودًا مقارنةً بالتحوُّلِ الإقليميِّ، ومنْ أمثلتِهِ الرخامُ الذي ينتجُ منْ تحوُّلِ الصخرِ الجيريِّ كما في الشكلِ (21).

الشكلُ (21): صخرُ الرخامِ الذي يتكوَّنُ نتيجةَ التحوُّلِ التَّماسيِّ.

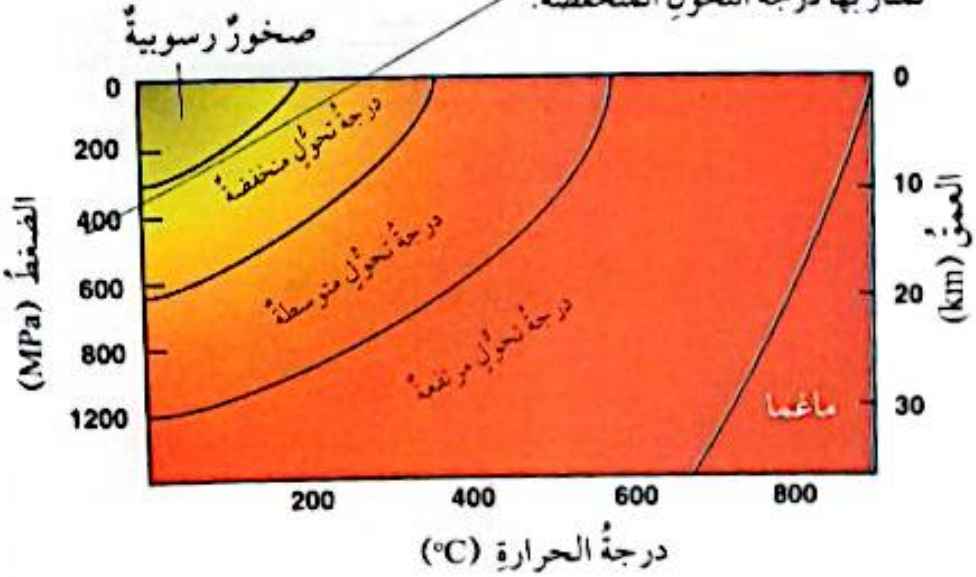
✓ **أتحقَّقُ**: كيفَ يحدثُ التحوُّلُ التَّماسيُّ؟

درجاتُ التحوُّلِ Grades of Metamorphism

تتعرَّضُ الصخورُ المُتحوِّلةُ لدرجاتٍ مختلفةٍ منَ الحرارةِ، أوِ الضغطِ، أوْ كليْهما معًا؛ ما يؤدي إلى تكوُّنِ صخورٍ مُتنوِّعةٍ تختلفُ عنْ بعضِها في التركيبِ المعدنيِّ والنسيجِ، ويُسمّى هذا الاختلافُ درجاتِ التحوُّلِ. فمثلًا، عندما يتعرَّضُ صخرُ الغضارِ Shale الرسوبيُّ إلى ضغطٍ وحرارةٍ قليلَيْنِ نسبيًّا، بحيثُ تتراوحُ درجةُ الحرارةِ بينَ (200 °C - 320 °C)، ويكونُ الضغطُ منخفضًا، فإنَّهُ يتحوَّلُ إلى صخرٍ آخرَ يُسمّى الأردوازَ Slate، وتكونُ درجةُ التحوُّلِ في هذهِ الحالةِ منخفضةً، أنظرُ الشكلَ (22) الذي يُبيِّنُ درجاتِ التحوُّلِ المختلفةَ وعلاقتَها بالحرارةِ والضغطِ.

عندَ زيادةِ درجةِ التحوُّلِ، يتكوَّنُ صخرٌ جديدٌ يُسمّى الفيليتَ Phyllite، وهوَ يختلفُ عنْ صخرِ الأردوازِ بزيادةِ حجمِ بلوراتِ المعادنِ المُكوِّنةِ لهُ. وعندما تكونُ درجةُ التحوُّلِ متوسطةً، يتكوَّنُ صخرُ الشيستِ Schist الذي يمتازُ بنسيجِهِ المُتورِّقِ، وتصبحُ المعادنُ المُكوِّنةُ لهُ أكبرَ حجمًا، ويُمكِنُ رؤيتُها بالعينِ المُجرَّدةِ. أمّا في درجاتِ التحوُّلِ العليا، فإنَّ المعادنَ تتمايزُ بشرائطَ متتابعةٍ بألوانٍ غامقةٍ وفاتحةٍ، ويتكوَّنُ صخرُ النايسِ Gneiss، وتتكوَّنُ فيهِ معادنُ جديدةٌ مثلُ السيليمنيتِ.

أتحقَّقُ: أصِفُ منَ الشكلِ الآتي درجاتِ الحرارةِ والضغطِ التي تمتازُ بها درجةُ التحوُّلِ المنخفضةُ.



الشكلُ (22): درجاتُ التحوُّلِ في الصخورِ المُتحوِّلةِ.

استنتجُ: أيُّ الصخورِ تتكوَّنُ في أعلى درجةِ تحوُّلٍ؟

ابحثُ:

تُعَدُّ المحاليلُ المائيةُ الحارةُ (الحرمائيةُ) أحدَ عواملِ التحوُّلِ المُؤثِّرةِ في الصخورِ. مستعينًا بمصادرِ المعرفةِ المتوافرةِ، أحدِّدُ كيفَ تعملُ هذهِ المحاليلُ على تحوُّلِ الصخورِ، مُبيِّنًا علاقتَها بأنواعِ التحوُّلِ الأخرى.

كلما ازدادت درجة الحرارة والضغط ازدادت درجة التحول (تغير تركيب الصخر عن تركيبه الأصلي)

تصنيفُ الصخورِ المُتحوِّلةِ Classification of Metamorphic Rocks

تُصنَّفُ الصخورُ المُتحوِّلةُ تبعًا لنسيجِها ومُكوِّناتِها المعدنيةِ إلى مجموعتيْنِ رئيستيْنِ، هما: الصخورُ المُتحوِّلةُ المُتورِّقةُ Foliated Metamorphic Rocks، والصخورُ المُتحوِّلةُ غيرُ المُتورِّقةِ Non-Foliated Metamorphic Rocks.

الصخورُ المُتحوِّلةُ المُتورِّقةُ Foliated Metamorphic Rocks

صخورٌ تتكوَّنُ بتأثيرِ الحرارةِ المرتفعةِ والضغطِ المُوجَّهِ Directed Pressure، وهوَ الضغطُ الذي لا يكونُ متساويًا في الاتجاهاتِ جميعِها، ويُرافِقُ غالبًا عمليةَ التحوُّلِ الإقليميِّ Regional Metamorphism. في هذا النوعِ منَ التحوُّلِ تترتَّبُ بلّوراتُ بعضِ المعادنِ المُكوِّنةِ للصخرِ متعامدةً معَ اتجاهِ الضغطِ المُؤثِّرِ فيه، فتظهرُ المعادنُ على شكلِ طبقاتٍ رقيقةٍ، ويُعرَفُ هذا النسيجُ باسمِ التورُّقِ Foliation، ويُعَدُّ صخرُ الشيستِ واحدًا منَ الصخورِ المُتورِّقةِ.

عندَ زيادةِ الضغطِ والحرارةِ تنفصلُ المعادنُ الغامقةُ عنِ المعادنِ الفاتحةِ، فيظهرُ الصخرُ على شكلِ شرائطَ مُميَّزةٍ فاتحةٍ وغامقةِ اللونِ، ومنْ أمثلتِهِ صخرُ النايسِ، أنظرُ الشكلَ (23).

الشكلُ (23): عندَ تعرُّضِ صخرِ الغرانيتِ لضغطٍ مُوجَّهٍ كبيرٍ في التحوُّلِ الإقليميِّ، يعادُ ترتيبُ المعادنِ المُكوِّنةِ لَهُ، فيتحوَّلُ إلى نوعٍ جديدٍ منَ الصخورِ هوَ النايسُ.

الصخورُ المُتحوِّلةُ غيرُ المُتورِّقةِ Non-Foliated Metamorphic Rocks

صخورٌ تتكوَّنُ بتأثيرِ الحرارةِ المرتفعةِ والضغطِ المنخفضِ، أوِ الضغطِ المحصورِ Uniform Pressure، وهوَ الضغطُ المتساوي في الاتجاهاتِ جميعِها، وهيَ تنشأُ عادةً منَ التحوُّلِ التَّماسيِّ قربَ اندفاعاتِ الماغما. يمتازُ هذا النوعُ منَ الصخورِ باحتوائِهِ على معادنَ ذاتِ بلّوراتٍ متساويةٍ في الحجمِ، مثلِ بلّوراتِ الكوارتزِ والكالسيتِ، ولها نسيجٌ غيرُ مُتورِّقٍ Non-Foliated.

بوجهٍ عامٍّ، يتكوَّنُ هذا النوعُ منَ الصخورِ المُتحوِّلةِ منْ معدنٍ واحدٍ فقطْ، ومنْ أمثلتِهِ صخرُ الرخامِ الناتجُ منْ تحوُّلِ الصخرِ الجيريِّ الذي يتكوَّنُ منْ معدنِ الكالسيتِ، وصخرُ الكوارتزيتِ الناتجُ منْ تحوُّلِ الصخرِ الرمليِّ الذي يتكوَّنُ منْ معدنِ الكوارتزِ، أنظرُ الشكلَ (24).

الشكلُ (24): صخرُ الكوارتزيتِ الذي ينتجُ منْ تحوُّلِ الصخرِ الرمليِّ عندَ تعرُّضِهِ لحرارةٍ مرتفعةٍ في التحوُّلِ التَّماسيِّ.

✓ **أتحقَّقُ:** لماذا يُعَدُّ صخرُ الشيستِ صخرًا مُتورِّقًا؟

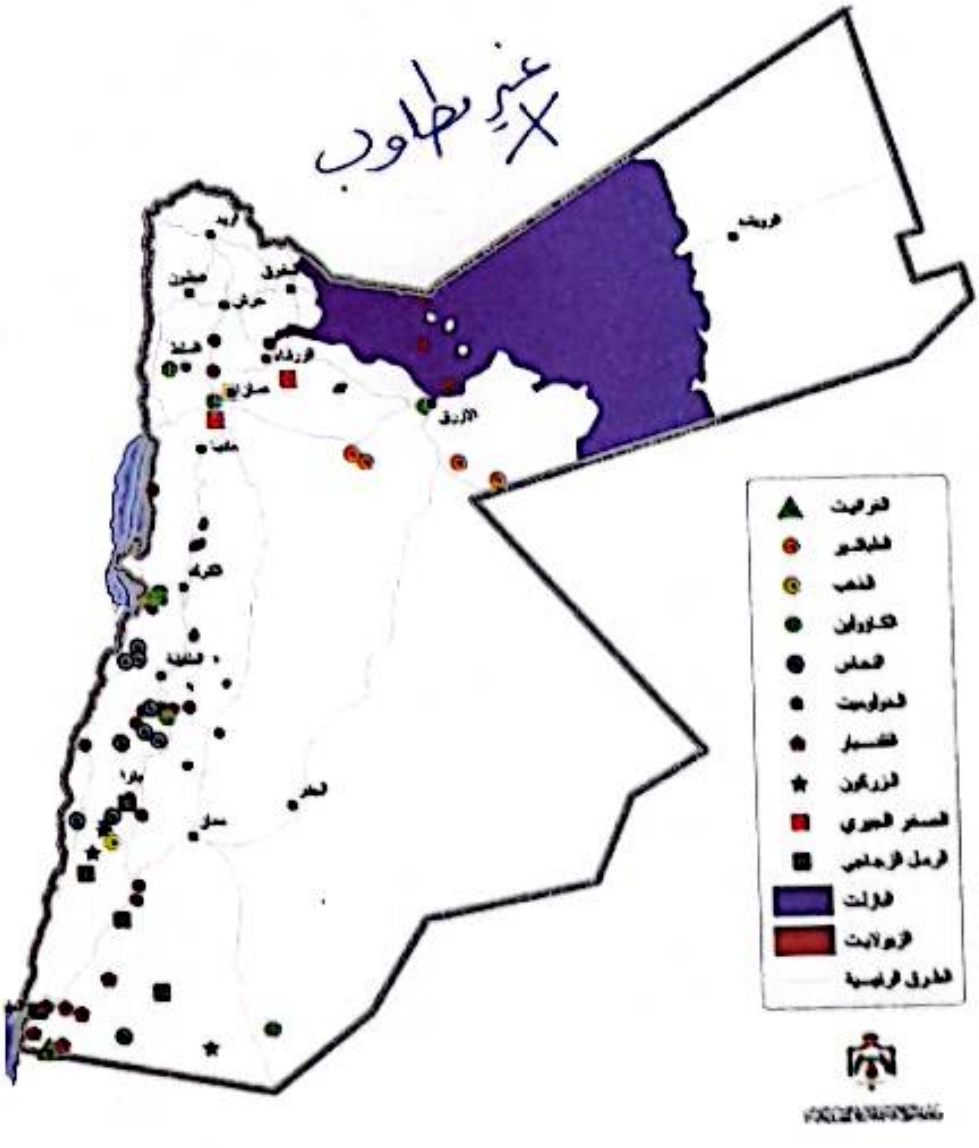
الأهميةُ الاقتصاديةُ للصخورِ The Economic Importance of Rocks

للصخورِ بأنواعها الثلاثةِ: النارية والرسوبية والمتحولة، وما تحتويه منْ خاماتٍ معدنيةٍ، أهميةٌ كبيرةٌ في حياتِنا؛ إذْ إنَّها تدخلُ في صناعةِ معظمِ الموادِّ المحيطةِ بنا. وتتميَّزُ معظمُ الصخورِ بصلابتِها وألوانِها المتعدِّدةِ؛ لِذا نجدُها تدخلُ في مجالاتٍ عدَّةٍ؛ فالصخرُ الجيريُّ وصخرُ الرّخامِ، والجبسُ -مثلًا- يدخلُ في البناءِ والديكوراتِ، أمّا صخرُ الغرانيتِ وصخرُ البازلتِ فيُسهِمُ في صناعةِ الحرسانةِ ورصِّ الطرقِ والسككِ الحديديةِ.

وتحتوي معظمُ الصخورِ عدَّةَ معادنَ سيليكاتيةٍ تُستخدمُ في صناعةِ الزجاجِ والسيراميكِ والصناعاتِ الإلكترونيّةِ. وتحتوي أنواعٌ منَ الصخورِ معادنَ لها قيمةٌ إقتصاديةٌ كبيرةٌ، مثلُ: معادنِ الذهبِ والفضةِ والنحاسِ والرصاصِ. ويوجدُ في الأردنِّ كثيرٌ منْ أنواعِ الصخورِ والخاماتِ المعدنيةِ. أنظرُ الشكلَ (25) الذي يبيِّنُ أماكنَ بعضِ الصخورِ والخاماتِ المعدنيةِ في الأردنِّ.

الربطُ بالتاريخِ

استخدمَ الإنسانُ قديمًا الصخورَ بطرائقَ مختلفةٍ. أبحثُ في مصادرِ المعرفةِ المتوافرةِ عنْ أنواعِ هذهِ لصخورِ، وكيفيةِ معالجتِهِ ياها، ومجالاتِ استعمالِهِ ها.



(25) أماكنُ بعضِ الصخورِ
اتِ المعدنيةِ في الأردنِّ.

كنَ الرملِ الزجاجيِّ في الأردنِّ.

غير مطلوب X

للصخورِ والخاماتِ المعدنيةِ في الأردنِّ استخداماتٌ عديدةٌ، أنظرُ الجدولَ (2) الذي يبينُ أهمَّ تلكَ الاستخداماتِ.

الجدول (2): استخداماتُ الصخورِ والخاماتِ المعدنيةِ في الأردنِّ	
الصخر والخام المعدني	الاستخدام
الذهب	الحليّ والصناعات الإلكترونية
الكاولين	صناعة السيراميك
الملاكيت والأزوريت (خام النحاس)	صناعة الأسلاك الكهربائية
الدولوميت	البناء، ويُعدُّ مصدرًا لعنصر المغنيسيوم
الفلسبار	صناعة الزجاج والسيراميك
الرمل الزجاجيّ	صناعة الزجاج، والصناعات الإلكترونية
صخرُ الجبس	عمل التصاميم (الديكور)، وصناعة الإسمنت
معادنُ التوتاس	صناعة الأسمدة
الصخرُ الحيريُّ	البناء، وصناعة الإسمنت
معدنُ الكوارتز	الصناعات الإلكترونية
الترافرتين	بلاط الجدران والأرضيات
معدنُ الزركون	صناعة قوالب الصَّبِّ، ومعاجين الأسنان
الصخرُ الزيتيُّ	إنتاج الطاقة
صخرُ البازلت	صناعة الصوف الصخريّ، والبناء
صخرُ الفوسفات	صناعة الأسمدة الزراعية وحمض الفسفوريك
الزيوليت	الزراعة، وتنقية المياه

✓ **أتحقَّقُ:** أذكرُ أسماءَ ثلاثةِ معادنَ تتوافرُ في الأردنِّ، مُحدِّدًا استخدامًا واحدًا لكلٍّ منها.

مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** أذكرُ العواملَ التي تُسهمُ في تحوُّلِ الصخورِ.
2. **أفسِّرُ:** لماذا لا يُعدُّ صخرُ الرخامِ صخرًا مُتورِّقًا؟
3. **أقارنُ** بينَ التحوُّلِ بالدفنِ والتحوُّلِ التماسيِّ منْ حيثُ العواملُ المؤثِّرةُ في كلٍّ م
4. **أستنتجُ:** إذا تعرَّضتِ الصخورُ لمحاليلَ مائيةٍ حارَّةٍ جدًّا، فماذا يحدثُ لها؟
5. **أتوقَّعُ:** إذا تعرَّضتْ صخورُ الشيستِ لضغطٍ وحرارةٍ إضافيينِ، فماذا يحدثُ لها؟
6. **أبحثُ** عنْ أماكنِ الزركونِ في الأردنِّ، مُحدِّدًا استعمالًا واحدًا لهُ.