



www.ien.edu.sa

# 2-1

## ما الصخور النارية؟ What are Igneous Rocks?

**الفكرة الرئيسية** الصخور النارية صخور تتكوّن عندما تبرد المواد المنصهرة في باطن الأرض وتبلور.

**الربط مع الحياة.** تستخدم الصخور النارية في العديد من المجالات ومنها: مجال البناء وفي المطابخ وواجهات المباني ورصف الشوارع.

### تكوّن الصخور النارية Igneous Rocks Formation

لو أنك تابعت فيلمًا عن بركان نشط لشاهدت كيف تتكون الصخور النارية. وكما درست سابقًا، فإن الصهارة صخور مصهورة توجد تحت سطح الأرض. أما **اللابة Lava** فهي صهارة تتدفق على سطح الأرض. تتكون **الصخور النارية Igneous Rock** عندما تبرد الصهارة أو اللابة وتبلور المعادن. تمكّن العلماء من صهر معظم أنواع الصخور في المختبر بتسخينها إلى درجات حرارة تتراوح بين  $800^{\circ}\text{C}$  و  $1200^{\circ}\text{C}$ . وتتوافر درجات الحرارة هذه في الطبيعة في الجزء السفلي من القشرة الأرضية، وفي الجزء العلوي من الستار. ما هو مصدر هذه الحرارة؟ يعتقد العلماء أن مصدر الطاقة الحرارية الأرضية هما: الطاقة المتبقية من تكوّن الأرض من الصهير الأولي، وطاقة التحلل الإشعاعي للعناصر.

**مكونات الصهارة Composition of magma** يعتمد نوع الصخر الناري المتكوّن على مكونات الصهارة، والصهارة خليط من صخر مصهور وغازات مذابة وبلورات معدنية، والعناصر الشائعة في الصهارة هي نفسها العناصر الرئيسية في القشرة الأرضية: الأكسجين O، والسيليكون Si، والألومنيوم Al، والحديد Fe، والكالسيوم Ca، والصدوديوم Na، والبوتاسيوم K، والمغنيسيوم Mg. ومن بين جميع المركبات الموجودة في الصهارة، تعد السيليكا من أكثرها شيوعًا وتأثيرًا في

أنواع الصهارة		الجدول 1-2
مثال	المحتوى من السيليكا	نوع الصهارة
حرات المدينة المنورة	42 - 52%	بازلتية
جبال الأنديز	52 - 66%	أنديزيتية
متنزه بيلوستون - أمريكا	أكثر من 66%	ريولائيتية

### الأهداف

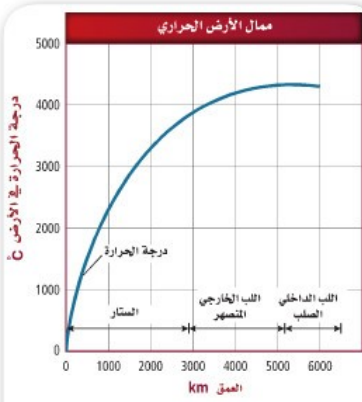
- تلخص تكون الصخور النارية.
- تصف مكونات الصهارة.
- تتعرف العوامل التي تؤثر في كيفية انصهار الصخور وتبلورها.

### مراجعة المفردات

السيليكات: معادن تحتوي على السيليكون والأكسجين، مع وجود واحد أو أكثر من عناصر أخرى غالبًا.

### المفردات الجديدة

- اللابة
- الصخور النارية
- الانصهار الجزئي
- سلاسل تفاعلات باون
- التبلور الجزئي



الشكل 1-2 متوسط الممال الحراري في القشرة الأرضية  $25^{\circ}\text{C}/\text{km}$  تقريبًا، ويعتقد العلماء أنها تهبط بشدة إلى  $1^{\circ}\text{C}/\text{km}$  في الستار.



الشكل 2-2 تزداد درجة حرارة الجزء العلوي من القشرة مع زيادة العمق  $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$  تقريبًا. وتصادف آلة الحفر عند عمق 3 km صخورًا درجة حرارتها قريبة من درجة غليان الماء.

خصائصها. وتصنف الصهارة اعتمادًا على محتواها من السيليكا - كما هو مبين في الجدول 1-2 إلى بازلتية أو أنديزيتية أو ريولايتية. ويؤثر محتوى الصهارة من السيليكا في درجة انصهارها وسرعة تدفقها.

وعندما تتحرر الصهارة من الضغط الواقع عليها من الصخور المحيطة بها تتمكن الغازات الذائبة فيها من الانطلاق إلى الغلاف الجوي. لذا تختلف مكونات اللابة الكيميائية قليلًا عن المكونات الكيميائية للصهارة التي نتجت اللابة عنها.

**تكوّن الصهارة Magma formation** تتكون الصهارة بانصهار قشرة الأرض، أو مادة الستار. وهناك أربعة عوامل رئيسة تؤثر في تكوّن الصهارة، هي: درجة الحرارة، الضغط، المحتوى المائي، المحتوى المعدني لمادة القشرة أو الستار. وتزداد درجة الحرارة عادة كلما تعمقنا في القشرة الأرضية، وتسمى هذه الزيادة في درجة الحرارة الممال الحراري، وهي ممثلة في الشكل 1-2. ولدى حفّاري آبار النفط خبرة مباشرة في الممال الحراري الأرضي؛ فألات الحفر -كتلك المبنية في الشكل 2-2- يمكن أن تصادف درجات حرارة تزيد على  $200^{\circ}\text{C}$  في أثناء حفر آبار النفط العميقة. يزداد الضغط أيضًا مع زيادة العمق، وهذا ناجم عن وزن الصخور العلوية. وتفيد التجارب المختبرية أنه مع ازدياد الضغط الواقع على الصخور تزداد درجة الانصهار. لذلك فإن الصخر الذي ينصهر عند  $1100^{\circ}\text{C}$  على سطح الأرض ينصهر عند درجة  $1400^{\circ}\text{C}$  على عمق 100 km.

أما العامل الثالث الذي يؤثر في تكون الصهارة فهو المحتوى المائي الذي يغير من درجة انصهار الصخور التي تقل بازياد المحتوى المائي.

✓ **ماذا قرأت؟** عدد العوامل الرئيسة المؤثرة في تكون الصهارة.

**المحتوى المعدني Mineral content** لكي نفهم كيف تعتمد الصهارة على عناصرها ومركباتها؛ من المفيد إلقاء الضوء على المحتوى المعدني للصهارة. المعادن المختلفة لها درجات انصهار مختلفة؛ فعلى سبيل المثال تنصهر صخور البازلت التي تتكون من معادن الأوليفين والفلسبار الكلسي والبيروكسين عند درجات حرارة أعلى، مقارنة بصخور الجرانيت أو الريولايت التي تتكون من الكوارتز والفلسبار البوتاسي.

إن درجة انصهار صخر الجرانيت أقل من درجة انصهار صخر البازلت؛ لأنه يحتوي على ماء أكثر، ولمعادنه درجات انصهار أقل.

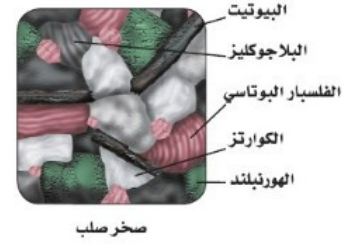
وعموماً تنصهر الصخور المحتوية على الحديد والماغنيسيوم -ومنها البازلت- عند درجات حرارة أعلى، مقارنة بالصخور المحتوية على نسب أعلى من السيليكون، ومنها الجرانيت.

**الانصهار الجزئي Partial melting** افترض أنك جمدت شمعا منصهرا ماء في قالب مكعبات جليد، وأخذت هذا القالب خارج الثلاجة وتركته في درجة حرارة الغرفة؛ سوف ينصهر الجليد، ولكن الشمع لن ينصهر. والسبب في ذلك هو اختلاف درجتي انصهارهما. تنصهر الصخور بالطريقة نفسها لاختلاف درجات انصهار المعادن التي تحتويها. لذلك لا تنصهر جميع أجزاء الصخر عند درجة الحرارة نفسها. وهذا يفسر لماذا تُكوّن الصهارة غالبًا مزيجًا من بلورات ومصهور صخري. وتسمى عملية انصهار بعض المعادن عند درجات حرارة منخفضة مع بقاء معادن صخر كل مجموعة معدنية عناصر جديدة إلى خليط الصهارة، مما يؤدي إلى تغير في مكوناتها، وإذا لم تكن درجات الحرارة كافية لصهر الصخر بأكمله فإن مكونات الصهارة الناتجة ستختلف عن مكونات الصخر الذي تكونت منه، وهذه إحدى الطرائق التي تتكون بها الأنواع المختلفة من الصخور النارية.

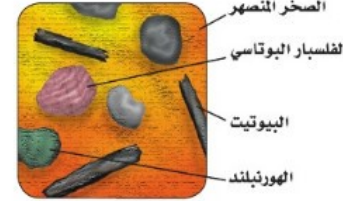
✓ **ماذا قرأت؟** لخص لماذا تختلف مكونات الصهارة الكيميائية عن المكونات الكيميائية للصخر الأصلي؟

### سلاسل تفاعلات باون Bowen's Reaction Series

قام الجيولوجي الكندي باون في مطلع القرن العشرين بتوضيح كيف تبرد الصهارة وتتبلور المعادن فيها، بترتيب منتظم في عملية تعرف الآن **بسلاسل تفاعلات باون Bowen's Reaction Series**. ويوضح الشكل 4-2 العلاقة بين درجة حرارة الصهارة في أثناء تبريدها والمعادن السيليكاتية التي تشكل الصخور النارية. وقد اكتشف باون نمطين للتبلور؛ الطرف الأيمن ويتميز بتغير متدرج ومستمر في مكونات المعدن في مجموعة الفلسبار، أما الطرف الأيسر الموازي فيتميز بتغير مفاجئ وغير مستمر في المعادن الغنية بالحديد والماغنسيوم.



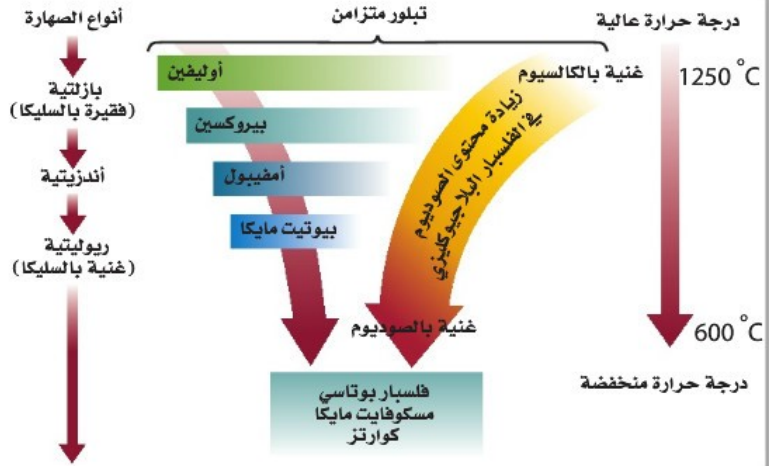
صخر صلب



صخر منصهر جزئيًا

الشكل 3-2 تبدأ المعادن في الانصهار في المنطقة ما عندما تبدأ درجة الحرارة بالإرتفاع. حدد ماذا تتوقع أن تكون درجة انصهار الكوارتز اعتمادًا على هذا الشكل؟

الشكل 4-2 في الطرف الأيسر من سلاسل تفاعلات باون، تتغير المعادن الغنية بالحديد والماغنسيوم بشكل مفاجئ مع انخفاض درجة حرارة الصهارة. قارن كيف يمكن مقارنة ذلك مع الفلسبار في الطرف الأيمن من الشكل؟





الشكل 5-2 عندما تبرد الصهارة بسرعة قد لا تجد بلورة الفلسبار الوقت الكافي للتفاعل تمامًا مع الصهارة فتبقى على أنوية غنية بالكالسيوم. والنتيجة تكون بلورات بنطاقات تميز بغناها بالكالسيوم وأخرى بالصدوديوم.

**المعادن الغنية بالحديد والماغنسيوم Iron –magnesium rich mineral** يمثل الطرف الأيسر من سلسلة تفاعلات باون المعادن الغنية بالحديد والماغنسيوم، والتي تخضع لتغيرات مفاجئة مع تبريد الصهارة وتبلورها؛ ففي البداية يتبلور معدن الأوليفين من الصهارة، وعندما تبرد الصهارة بما يكفي لبدء تبلور معدن جديد يتشكل البيروكسين من تفاعل الأوليفين مع الصهارة، ومع استمرار انخفاض درجة الحرارة تحدث تفاعلات مشابهة منتجة الأمفيبول والبيوتيت وهي أقل المعادن احتواءً على الحديد والماغنسيوم.

**الفلسبار Feldspar** يمثل الطرف الأيمن من سلسلة تفاعلات باون معادن فلسبار البلاجيوكليز التي تخضع لتغير مستمر في مكوناتها، فمع تبريد الصهارة يتكون أكثر معادن البلاجيوكليز غني بالكالسيوم. ويتفاعل هذا المعدن مع الصهارة، وتتغير مكوناته ليصبح غنيًا بالصدوديوم، وفي بعض الحالات عندما يتم التبريد سريعًا تصبح أنوية الفلسبار الغنية بالكالسيوم غير قادرة على التفاعل تمامًا مع الصهارة، فتكون النتيجة هي تكون بلورة ذات نطاقات غنية بالكالسيوم وأخرى بالصدوديوم كما في الشكل 5-2.

### التبلور الجزئي Fractional Crystallization

عندما تبرد الصهارة تتبلور معادنها بترتيب عكس ترتيب انصهار بلورات المعادن في حالة الانصهار الجزئي، بمعنى أن آخر المعادن انصهارًا تكون أولها تبلورًا.

وتسمى عملية تصلب بلورات المعادن وانفصالها **التبلور الجزئي Fractional crystallization**. وتشبه هذه العملية عملية الانصهار الجزئي في أن تركيب الصهارة يتغير في كل منها. وفي هذه الحالة تنفصل البلورات التي تتكون في البداية عن الصهارة، ولا تستطيع التفاعل معها، فتصبح الصهارة المتبقية غنية بالسيليكا.

## تجربة

### مقارنة الصخور النارية

كيف تختلف الصخور النارية بعضها عن بعض؟ للصخور النارية خصائص كثيرة مختلفة. فاللون وحجم البلورات تعدّ من المعالم التي نستطيع من خلالها تمييز الصخور النارية بعضها عن بعض.

### خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر الموجود في دليل التجارب العملية، وامأله.
2. احصل على مجموعة من عينات صخرية نارية من معلمك.
3. لاحظ الخصائص الآتية لكل صخر: مجمل اللون،

حجم البلورات، والمكونات المعدنية (إن أمكن).

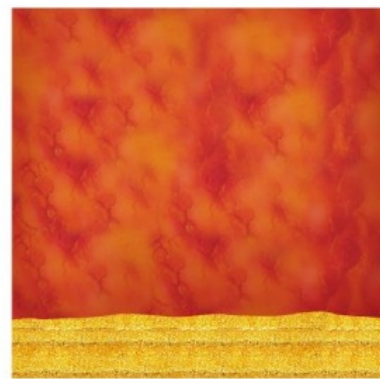
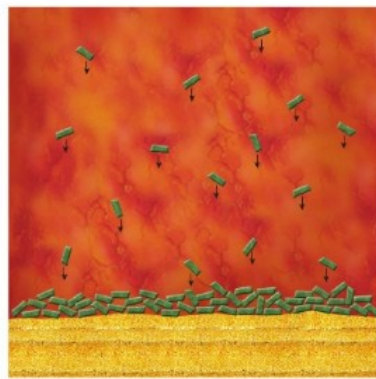
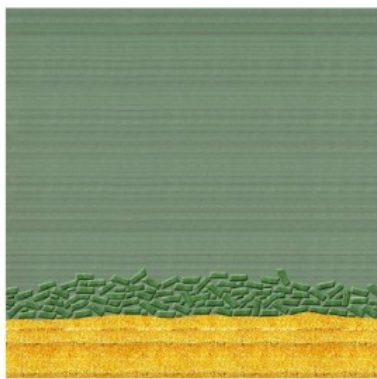
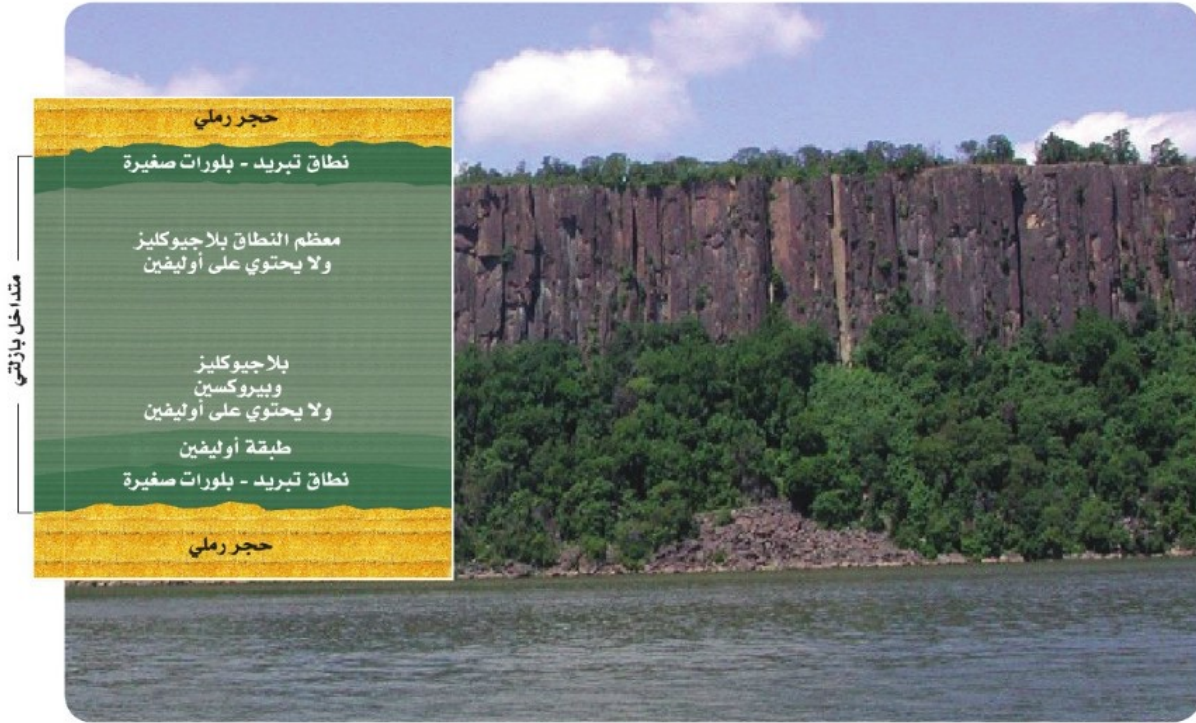
4. صمّم جدول بيانات لتدوين ملاحظاتك.

### التحليل

1. صنّف عيناتك إما بازلتية وإما أنديزيتية وإما ريوليتية. [تلميح: كلما زاد محتوى الصخر من السيليكا يصبح لونه فاتحًا].
2. قارن بين عيناتك باستخدام جدول البيانات. كيف تختلف؟ ما الخصائص التي تشترك فيها المجموعات؟
3. حنّن الترتيب الذي تبلورت به العينات. [تلميح: استخدم سلاسل تفاعلات باون دليلًا].

## التبلور الجزئي وترسب البلورات Fractional Crystallization and Crystal Settling

الشكل 6-2 تعتبر عتبة باليسيد (Palisade Sill) في وادي نهر هدسون (Hudson) في نيويورك ونيوجيرسي مثالاً على عملية التبلور الجزئي وترسيب البلورات. ففي العتبة البازلتية تكونت بلورات صغيرة في نطاق التبريد؛ لأن الأجزاء الخارجية من هذا الجسم البازلتية بردت بسرعة أكبر من الأجزاء الداخلية.



مع بدء تبريد الصهارة التي اخترقت الطبقات الصخرية تتكون البلورات وتستقر في القاع، وتسمى هذه الطبقة في توزيع البلورات التبلور الجزئي.



الشكل 7-2 تمثل عروق الكوارتز هذه آخر ما برد وتبلور من الجسم الصهاري المتبقي.

### آلية التبلور الجزئي Mechanism of partial crystallization

كما هي الحال عادة في الاستقصاء العلمي قاد اكتشاف باون لمزيد من التساؤلات. فعلى سبيل المثال، إذا تحول الأوليفين إلى بيروكسين فلماذا نجد الأوليفين في الصخر؟ يفترض الجيولوجيون أنه في ظروف خاصة تنفصل البلورات المتكونة من الصهارة فيتوقف التفاعل بين الصهارة والمعدن، ويمكن أن يحدث هذا عندما تستقر البلورات في قاع الجسم الصهاري، وعندما يفصل سائل الصهارة عن البلورات يتكون جسمان نارياً مختلفان في مكوناتهما. ويوضح الشكل 6-2 هذه العملية، كما يوضح مفهوم التبلور الجزئي من خلال عرض مثال عتبة بالسيد، وهذه إحدى الطرق التي تتكون بها الصهارة المشار إليها في الجدول 1-2.

وباستمرار التبلور الجزئي وانفصال بلورات أخرى من المعادن تصبح الصهارة أغنى بالسيليكا وعناصر الألومنيوم والبوتاسيوم. لذا، فإن آخر معدنين يتبلوران هما: الفلسبار البوتاسي والكوارتز. والفلسبار البوتاسي أكثر أنواع الفلسبار شيوعاً في القشرة الأرضية، بينما تحتوي العروق على الكوارتز غالباً كما في الشكل 7-2؛ لأنه يتبلور في أثناء اندفاع الجزء السائل المتبقي من الصهارة في الشقوق الصخرية.

## التقويم 1-2

### الخلاصة

- تتكون الصهارة من صخور منصهرة وغازات مذابة وبلورات معدنية.
- تُصنّف الصهارة إلى بازلتية أو أنديزيتية أو ريوليتية اعتماداً على كمية السيليكا التي تحتويها.
- تنصهر المعادن المختلفة وتتبلور عند درجات حرارة مختلفة.
- توضح سلاسل تفاعلات باون الترتيب الذي تتبلور حسب المعادن من الصهارة.

### فهم الأفكار الرئيسية

1. **المعكزة الرئيسية** توقع المظهر الذي سيبدو عليه صخر ناري تكون من صهارة خرجت إلى السطح فبدأت تبرد بسرعة، ثم قلت سرعة تبريدها مع الوقت.
2. اعمل قائمة بالعناصر الثمانية الرئيسية الموجودة في معظم أنواع الصهارة. أضف الرمز الكيميائي لكل عنصر.
3. لخص العوامل التي تؤثر في تكوين الصهارة.
4. قارن بين الصهارة واللابة.

### التفكير الناقد

5. توقع إذا كانت درجة الحرارة تزداد نحو مركز الأرض، فلماذا يصبح مركز الأرض صلباً؟
6. استدل على محتوى السيليكا في صهارة مشتقة من الانصهار الجزئي لصخر ناري. هل سيكون أكثر، أم أقل، أم مساوياً لمحتوى الصخر نفسه؟ وضح إجابتك.

### الكتابة 2 الجيولوجيا

7. ادّعى أحد هواة جمع الصخور أنه وجد أول مثال على البيروكسين والفلسبار الغني بالبوديوم في الصخر نفسه. اكتب تعليقاً على هذا الادعاء.