

## الأهداف

- تتلخص تكون الصخور النارية.
- تصف مكونات الصهارة.
- تعترف 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

## ما الصخور النارية؟

### What are Igneous Rocks?

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

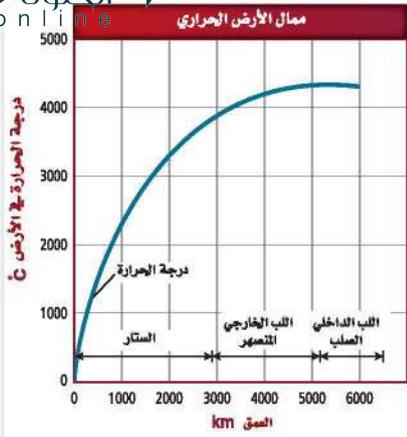
**الربط مع الحياة.** تستخدم الصخور النارية في العديد من المجالات ومنها: مجال البناء وفي المطابخ وواجهات المباني ورصف الشوارع.

### تكوّن الصخور النارية Igneous Rocks Formation

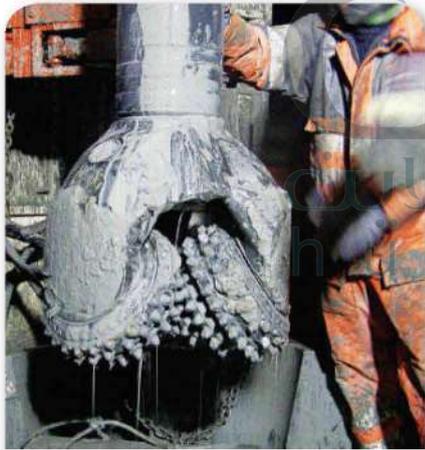
لو أنك تابعت فيلمًا عن بركان نشط لشاهدت كيف تتكون الصخور النارية. وكما درست سابقًا، فإن الصهارة صخور مصهورة توجد تحت سطح الأرض. أما اللابة Lava فهي صهارة تتدفق على سطح الأرض. تتكون الصخور النارية Igneous Rock عندما تبرد الصهارة أو اللابة وتبلور المعادن. تمكّن العلماء من صهر معظم أنواع الصخور في المختبر بتسخينها إلى درجات حرارة تتراوح بين 800° C و 1200° 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 مصدرها 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 يلوستون - أمريكا	أكثر من 66%	ريولايتية



الشكل 1-2 متوسط الممال الحراري في القشرة الأرضية  $25^{\circ}\text{C}/\text{km}$  تقريباً، 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  $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$  تقريباً. وتصادف آلة الحفر عند عمق 3 km صخوراً درجة حرارتها قريبة من درجة غليان الماء.

خصائصها. وتصنف الصهارة اعتماداً 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 قليلاً عن المكونات الكيميائية للصهارة التي نتجت اللابة عنها.

**تكوّن الصهارة Magma formation** تتكون الصهارة بانصهار قشرة الأرض، أو مادة الستار. وهناك أربعة عوامل رئيسية تؤثر في تكوّن الصهارة، هي: درجة الحرارة، الضغط، المحتوى المائي، المحتوى المعدني لمادة القشرة أو الستار. وتزداد درجة الحرارة عادة كلما تعمّقنا في القشرة الأرضية، وتسمى هذه الزيادة في درجة الحرارة الممال الحراري، وهي ممثلة في الشكل 1-2. ولدى حفاري آبار النفط خبرة مباشرة في الممال الحراري الأرضي؛ فألات الحفر -كتلك الميينة في الشكل 2-2- يمكن أن تصادف درجات حرارة تزيد على  $200^{\circ}\text{C}$  في أثناء حفر آبار النفط العميقة. يزداد الضغط أيضاً مع زيادة العمق، وهذا ناجم عن وزن الصخور العلوية. وتفيد التجارب المخبرية 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 الرئيسية المؤثرة في تكون الصهارة.

## العوامل الأربعة هي درجة الحرارة والضغط والمحتوى المائي والمحتوى المعدني

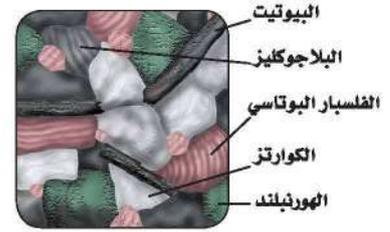
تتكون من معادن الأوليفين والفلسبار الكلسي والبيروكسين عند درجات حرارة أعلى، مقارنة بصخور الجرانيت أو الريولايت التي تتكون من الكوارتز والفلسبار البوتاسي.

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

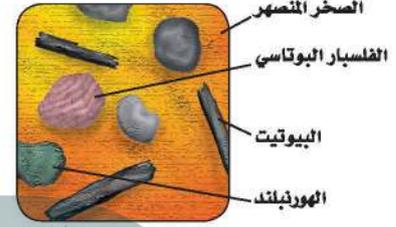
وعموماً تنصهر الصخور المحتوية على الحديد والماغنيسيوم -ومنها البازلت- عند درجات حرارة أعلى، مقارنة بالصخور المحتوية على نسب أعلى من السيليكون، ومنها الجرانيت.

**الانصهار الجزئي Partial melting** افترض أنك جمدت شمعا منصهرا في قالب 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 أخرى صلبة الانصهار الجزئي **Partial Melting**. انظر الشكل 3-2. ويضاف مع صهر 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؟



صخر صلب



صخر منصهر جزئيًا

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

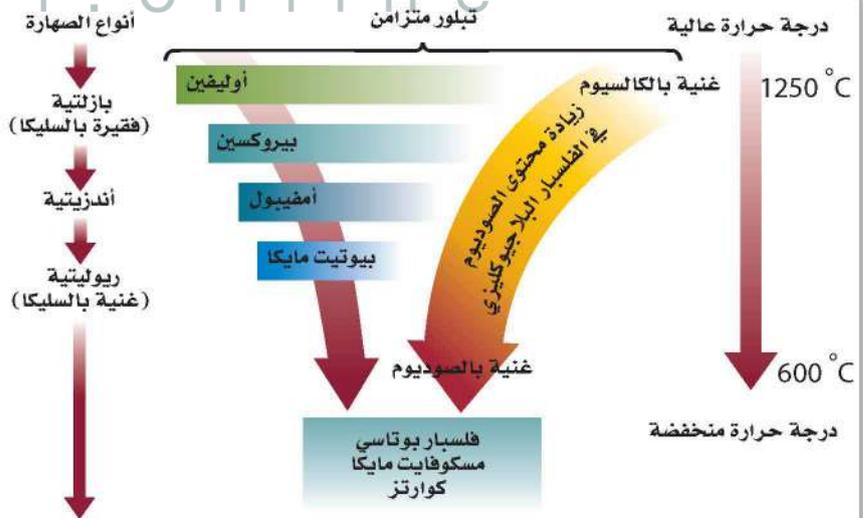
**تتكون هذه الصهارة إذا كانت درجات الحرارة غير كافية لصهر الصخر كله؛ وفي هذه الحالة فإن الصهارة لن تحتوي على العناصر نفسها التي يحتويها الصخر الذي نشأت منه؛ لذا لن نحصل على المعادن نفسها ولا على الصخر نفسه عند تبلورها**

**ينصهر الكوارتز عند درجة حرارة أقل من سائر المعادن**

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؟

**يتغير الفلسبار بالتدرج**





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 تتميز بغناها بالكالسيوم وأخرى بالصوديوم.

**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 بالصوديوم، 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 بالصوديوم 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

حجم البلورات، والمكونات المعدنية (إن أمكن).

4. صمّم جدول بيانات لتدوين ملاحظاتك.

### التحليل

1. صنّف عيناتك إما بازلية 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. حنّ الترتيب الذي تبلورت به العينات. [تلميح: استخدم سلاسل تفاعلات باون دليلًا].

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

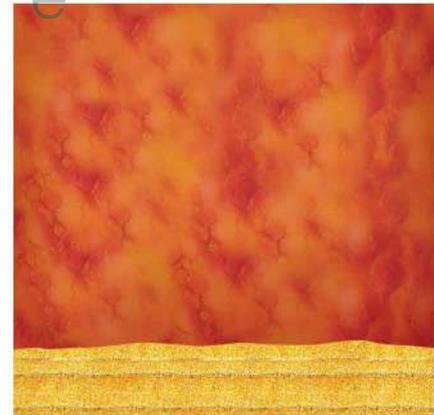
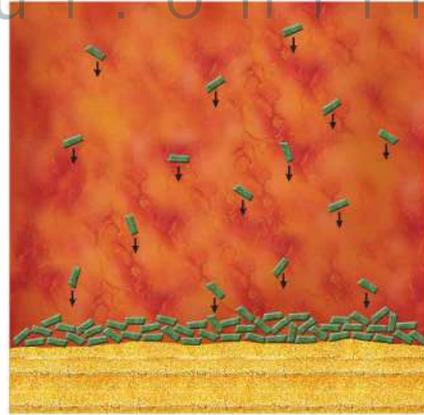
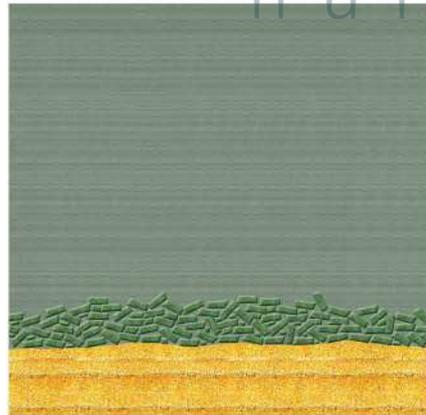
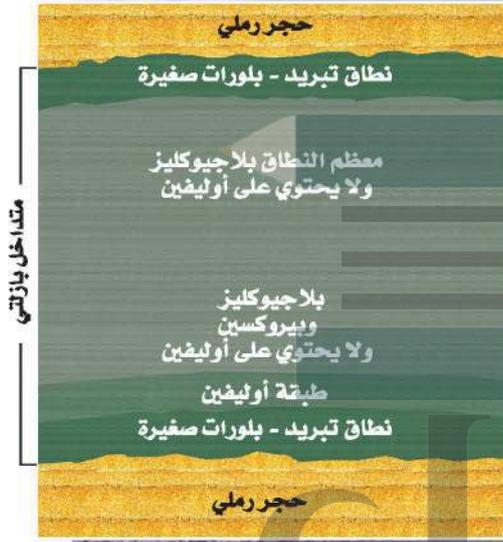
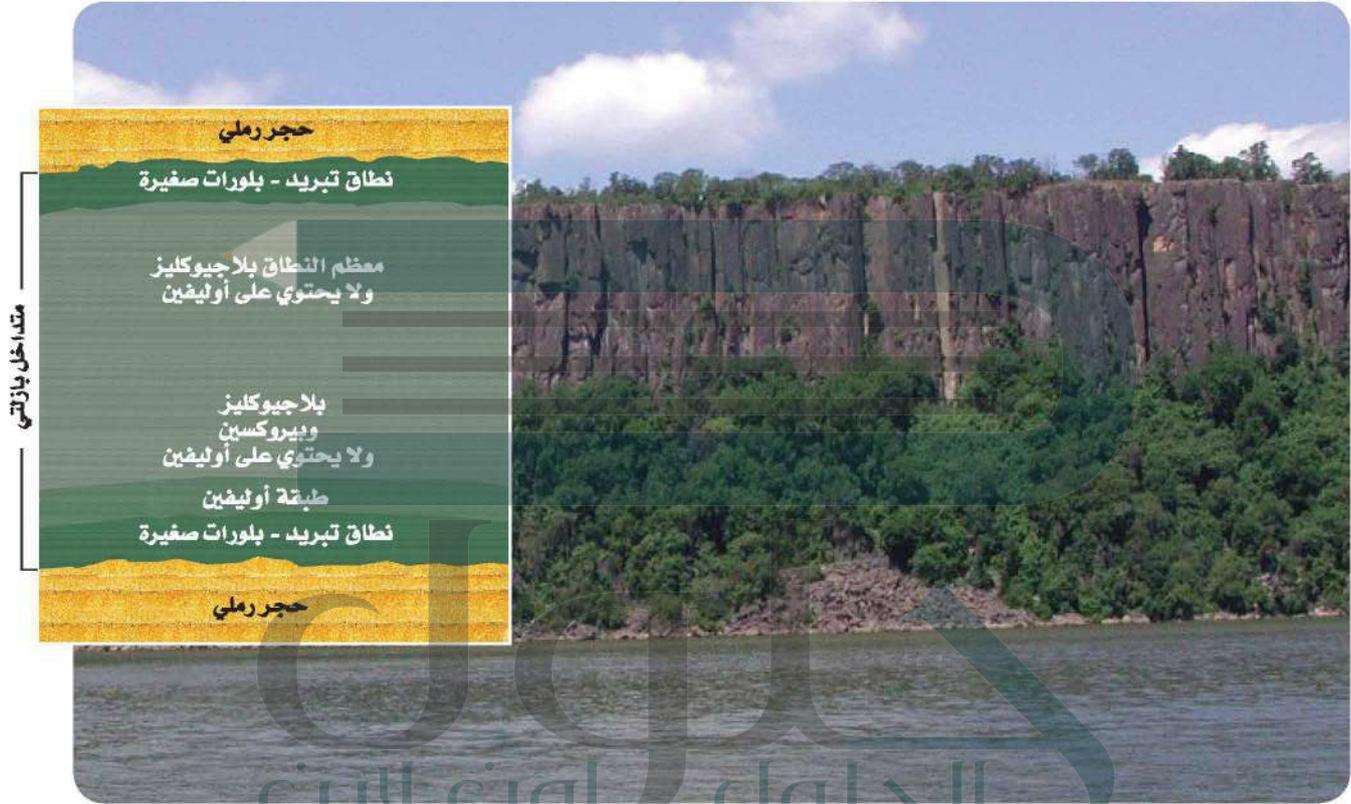
1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر الموجود في دليل التجارب العملية، واملأه.

2. احصل على مجموعة من عينات صخرية نارية من معلمك.

3. لاحظ الخصائص الآتية لكل صخر: مجمل اللون،

## 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.

ج1: سيكون للصخور بلورات صغيرة متساوية الحجم؛ لأن الصهارة بسرعة فلم يتح لها وقت كاف لتكون بلورات كبيرة الحجم ومع مرور الوقت بدأت ترد ببطء ولكن هناك لم يكن هناك حيز كاف لتكوين بلورات كبيرة  
ج2: الأكسجين - السيلكون - الألمنيوم - الحديد - الماغنسيوم - الكالسيوم - البوتاسيوم - الصوديوم

ج3: درجة الحرارة والضغط والمحتوى المائي والمعدني؛ مجموعات مختلفة من هذه العوامل تنتج أنواعًا مختامة من الصهارة  
ج4: تتكون الصهارة تحت سطح الأرض وتحت الضغط أما اللابة فهي صهير يتراكم فوق سطح الأرض وغير واقع تحت الضغط وتختلف مكوناتها الكيميائية عن الصهارة التي تكونت منها فالغازات التي كانت ذائبة تحت الضغط قد تطايرت  
ج5: الضغط عال جدًا ودرجة الحرارة ليست عالية با يكفي لصهر اللب أو إبقائه منصهرًا

ج6: سيكون محتوى الصهارة من السيليكا أعلى من الصخر نفسه لأن الكوارتز ينصهر أولاً لذا فإن نسبة السيليكا في الصهارة ستكون أكثر عند بداية تكونها

## التقويم 1-2

### الخلاصة

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

ج7: على الرغم من إمكان وجود المعدنين في الصخر نفسه؛ إلا أن التعليق المحتمل هو اعتماداً على سلاسل تفاعلات باون ودرجة تبلور المعدنيين، فإنه لايجتمل وجودهما في الصخر نفسه؛ ولكن من المحتمل وجود الفيلسبار البلاجيوكليزي مع البيروكسين

### فهم الأفكار الرئيسية

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

### التفكير الناقد

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

### الكتابة 2 الجيولوجيا

- ادّعى أحد هواة جمع الصخور أنه وجد أول مثال على البيروكسين والفيلسبار الغني بالصوديوم في الصخر نفسه. اكتب تعليقًا على هذا الادعاء.