

## الأهداف

- توضح كيف يؤثر نوع الصهارة في النشاط البركاني.
- تصف دور الضغط والغازات الذائبة في الثورانات البركانية.
- تعرف المواد التي تقذفها الثورانات البركانية.

## الثورانات البركانية Volcanic Eruptions

### الفكرة الرئيسية

تحدّد مكوّنات الصهارة خصائص الثوران البركاني.

**الربط مع الحياة** لعلك رججت قنينة مشروب غازي يوماً، ثم فتحتها. هل لاحظت فوران المشروب الغازي بشدة خارج القنينة؟ هذه العملية تشبه ما يحدث في الثورانات البركانية المتفجرة.

### تشكّل الصهارة Making Magma

ما الذي يجعل بعض الثورانات البركانية هادئة أحياناً وشديدة الانفجار أحياناً أخرى؟ يعتمد النشاط البركاني وخصائص اللابة على مكوّنات الصهارة. ويوضح الشكل 10-6 نوعين من اللابة: لابة رقيقة ومنخفضة اللزوجة تتدفق بسرعة، ولابة سميكة ولزجة تتدفق ببطء. ويتطلب فهم سبب اختلاف الثورانات البركانية معرفة كيف تنصهر الصخور لتشكيل الصهارة.

### مراجعة المفردات

**البازلتية**: ترتبط مع نوع من الصخور الغنية بالمعادن الداكنة التي تحتوي على الماغنسيوم والحديد.

### المفردات الجديدة

اللزوجة

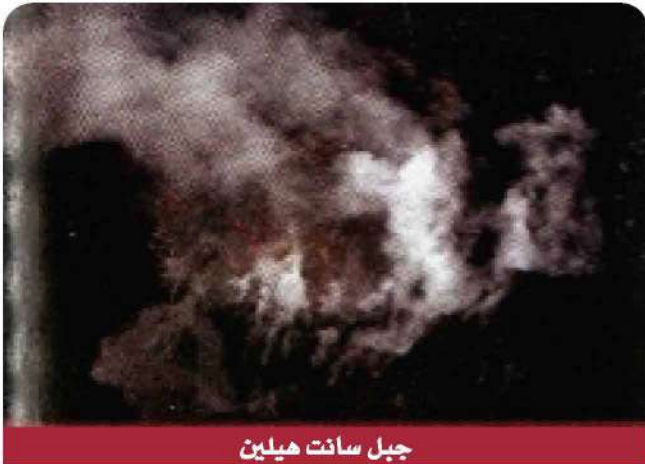
المقذوفات البركانية الصلبة

تدفق الفتات البركاني

**درجة الحرارة Temperature** تنصهر معظم الصخور ضمن مدى من درجات الحرارة يتراوح بين  $800^{\circ}\text{C}$  و  $1200^{\circ}\text{C}$ ، ويعتمد ذلك على مكوّناتها والضغط الواقع عليها ووجود الماء فيها. ومن ذلك صخور القشرة الأرضية وأعلى الستار؛ حيث تزداد درجة حرارة القشرة الأرضية بزيادة العمق، ويصاحبها زيادة في الضغط، وكل من درجة الحرارة والعمق والضغط ووجود الماء يؤثر في نوعية الصهارة المتشكلة.

**الضغط Pressure** يزداد الضغط بزيادة العمق بسبب زيادة وزن الصخور، إلا أن زيادة الضغط تؤدي إلى رفع درجة الانصهار، انظر الشكل 11-6، الذي يبين منحنى انصهار معدن الفلسبار الصودي (الأليت Albite). لاحظ أن درجة انصهار الأليت على سطح الأرض في غياب الماء تساوي  $1100^{\circ}\text{C}$ ، وتزداد إلى  $1150^{\circ}\text{C}$  على عمق 6 km، ثم إلى  $1440^{\circ}\text{C}$  على عمق 100 km. ولاحظ أيضاً كيف يفسر عامل الضغط سبب انصهار معظم الصخور أسفل القشرة الأرضية وأعلى الستار.

الشكل 10-6 تعتمد كيفية تدفق اللابة على مكوّنات الصهارة؛ فلزوجة لابة بركان جبل إتنا قليلة، وتندفق بسرعة مقارنة بلابة بركان جبل سانت هيلين ذات اللزوجة المرتفعة القليلة التدفق.



جبل سانت هيلين



جبل إتنا



## Composition of Magma مكوّنات الصهارة

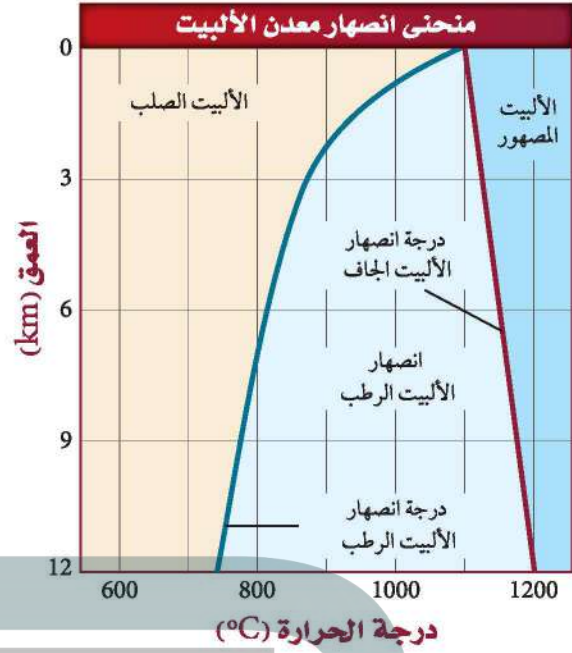
تُحدّد مكوّنات الصهارة شدة ثوران البركان، وكيفية تدفق اللابة على سطح الأرض. فما العوامل التي تحدد هذه المكوّنات؟ استطاع العلماء تحديد العوامل التي تتحكم في مكوّنات الصهارة وهي: تفاعلها مع صخور القشرة الأرضية التي تعلوها، ودرجة حرارتها، والضغط الواقع عليها، وكميات الغازات الذائبة فيها، ومحتواها من السليكا. ويُعد العامل الأخير من أكثر العوامل تأثيراً. ويرى العلماء أن هذه العوامل تساعد على معرفة سلوك الصهارة وتوقع شدة الثورات البركانية.

**الغازات الذائبة Dissolved gases** تزداد شدة الانفجار البركاني للصهارة بزيادة كمية الغازات الذائبة فيها، مثلما يحدث في المشروب الغازي عندما يزداد فورانه بزيادة الغازات الذائبة فيه. ومن الغازات المهمة في الصهارة بخار الماء، وثنائي أكسيد الكربون، وثنائي أكسيد الكبريت، وكبريتيد الهيدروجين، ويُعد بخار الماء من أكثر الغازات الذائبة أهمية؛ لأنه يحدد أين يمكن أن تتكون الصهارة. ويوضح الشكل 6-11 أن المعادن في الستار - ومنها معدن الألبيت - تنصهر عند درجات حرارة مرتفعة، ولكن وجود بخار الماء يقلل من درجة الانصهار، مما يساعد على انصهار مواد الستار وتكوّن الصهارة، ثم ثورانها على هيئة براكين.

**اللزوجة Viscosity** تُسمى الخاصية الفيزيائية التي تصف مقاومة المواد للتدفق اللزوجة **Viscosity**. وتؤثر كل من درجة حرارة الصهارة ومحتواها من السليكا في لزوجتها. وعموماً تزداد لزوجة الصهارة بانخفاض درجة حرارتها. أما زيادة محتوى الصهارة من السليكا فيجعلها كثيفة القوام ولزجة. وتؤدي زيادة لزوجة الصهارة إلى زيادة احتفاظها بالغازات الذائبة، فلا تسمح لها بالانفلات بسهولة، لذا تنتج ثورات بركانية متفجرة. وعموماً، إذا كان محتوى الصهارة من السليكا منخفضاً انخفضت لزوجتها، وكانت خفيفة القوام، وتدفق بسرعة ويسر، كما في العسل الساخن، كما أنها تُنتج ثورات هادئة غير مصحوبة بانفجارات. وتتكون البراكين الناتجة من صخور بازلتية كما في حرة كشب غربي المملكة. انظر الشكل 6-12.

✓ **ماذا قرأت؟ أيهما أكثر لزوجة: الماء أم العسل؟**

**العسل أكثر لزوجة من الماء**



الشكل 6-11 يؤثر كل من المحتوى المائي والضغط في كيفية انصهار معدن الألبيت؛ حيث يزداد الضغط بزيادة العمق.

**حدد** موقع منحنى انصهار الألبيت الرطب. وبين كيف تختلف درجة انصهار الألبيت الرطب عن درجة انصهار الألبيت الجاف على عمق 3 km، وعلى عمق 12 km؟



الشكل 6-12 بركان حرة كشب غربي المملكة العربية السعودية.



الشكل 13-6 إذا كانت الصهارة أو اللابة فقيرة في السليكا كانت لزوجتها منخفضة، وإذا كانتا غنيتين بالسليكا كانت لزوجتها مرتفعة.

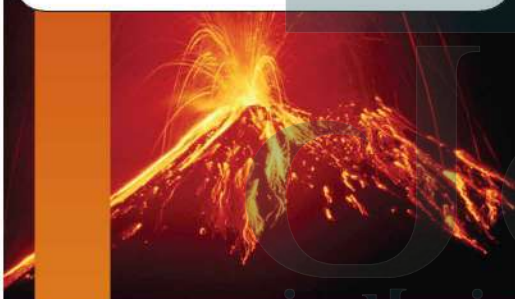
- تتفاعل بكميات قليلة مع صخور القشرة الأرضية العلوية.
- محتواها من السليكا قليل، لذا تتدفق بسهولة.
- تثور بصورة هائلة دون انفجارات.



أعلى درجة حرارة  
أقل لزوجة

### صهارة بازلتية: لزوجتها منخفضة

- مصدرها مواد القشرة المحيطية والرسوبيات.
- يتراوح محتواها من السليكا بين 50-60%.
- تثور في صورة انفجارات.



### صهارة أنديزيتية: لزوجتها متوسطة

- مصدرها مواد القشرة القارية.
- نسبة محتواها من السليكا يزيد على 60%.
- تثور في صورة انفجارات عنيفة.



أقل درجة حرارة  
أعلى لزوجة

### صهارة ريوليتية: لزوجتها كبيرة

## أنواع الصهارة Types of Magma

لا يحدد محتوى الصهارة من السليكا لزوجة الصهارة وشدة ثورانها فقط، بل يحدده أيضًا نوع الصخر البركاني الذي سيتشكل حينما تبرد الصهارة. ادرس الشكل 13-6 لتلخيص أنواع الصهارة.

**صهارة بازلتية Basaltic magma** تتكوّن الصهارة البازلتية عندما تنصهر صخور الستار العلوي عادة، وتتكون من كمية السليكا نفسها التي يحتويها صخر البازلت، وهي أقل من 50%. وعندما تصعد الصهارة من الستار العلوي إلى سطح الأرض تتفاعل مع قليل من صخور القشرة الأرضية والرسوبيات التي تعلوها، وتكون لزوجتها منخفضة لانخفاض محتواها من السليكا، لذا تخرج الغازات منها بسهولة، وتكون ثوراتها هائلة. ويوضح الشكل 14-6 كيف تحدث خصائص الصهارة نوع الثوران البركاني الذي سيحدث. ومن البراكين التي تكوّنت بفعل نشاط صهارة بازلتية حرّة كشب غربي المملكة.

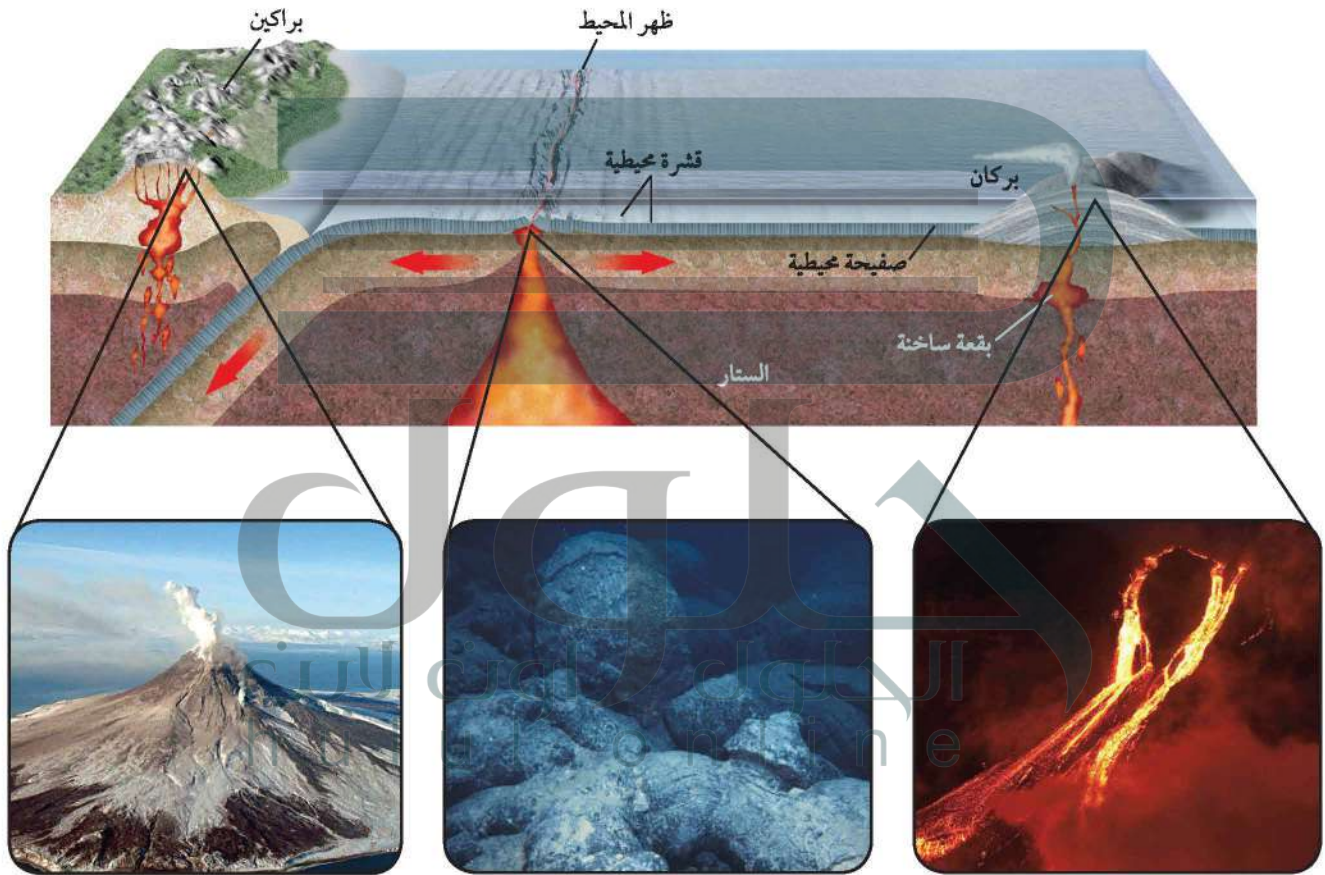
**صهارة أنديزيتية Andesitic magma** تتكون الصهارة الأنديزيتية من الكمية نفسها من السليكا المكونة لصخر الأنديزيت التي تتراوح بين 50-60%، وتوجد على طول نطاق الطرح القاري-المحيطي، ومصدرها إما القشرة المحيطية وإما رواسب المحيطات، ولأنها تحتوي على كمية متوسطة من السليكا فإن لزوجتها متوسطة وثوراتها متوسطة الشدة، ومنها بركان تامبورا في إندونيسيا، الذي أنتج انفجارات أطلقت كميات ضخمة من الرماد والحطام البركاني في الغلاف الجوي، فلم تؤدّ فقط إلى تدمير المجتمعات المحلية، بل أثرت أيضًا في البيئة العالمية.

**صهارة ريوليتية Rhyolitic magma** تتكون الصهارة الريوليتية عندما تمتزج الصهارة الصاعدة إلى أعلى مع صخور القشرة القارية العلوية الغنية بالسليكا والماء، وتتكون من الكمية نفسها من السليكا المكونة لصخر الجرانيت التي تزيد على 60%، وتؤدي لزوجتها المرتفعة إلى جعلها تتدفق ببطء، كما أن لزوجتها المرتفعة أيضًا مع وجود كمية كبيرة من الغازات المحصورة يجعل ثوراتها متفجرة جدًا. ومن الأمثلة عليها الصخور الريوليتية في جبل حرّة شامة في المملكة العربية السعودية.



## الثورانات البركانية Volcanic Eruptions

الشكل 14-6 عندما تصعد الصهارة إلى أعلى بفعل حركات الصفائح الأرضية والبقع الساخنة، تختلط مع قشرة الأرض، ويؤدي هذا إلى الاختلاف في درجة حرارة الصهارة ومحتواها من السليكا والغازات. وتحدد خصائص الصهارة هذه كيفية ثوران البراكين.



### ثورانات بركانية متفجرة

تحدث ثورانات بركانية متفجرة عندما تعبر صهارة غنية بالسليكا قشرة قارية، وتحتفظ هذه الصهارة بالغازات، مما يؤدي إلى تولد ضغط شديد جداً بداخلها، وعند تحرر هذا الضغط تنشأ انفجارات عنيفة.

### ثورانات بركانية تحت الماء

أكثر أنواع اللابة شيوعاً هي اللابة الوسادية التي تتكون عند الحدود المتباعدة على امتداد القشرة المحيطية، وتنساب في قاع المحيط وتكوّن كتلاً على شكل وسائد عندما تبرد.

### ثورانات بركانية هادئة

معظم براكين الأرض النشطة مصاحبة لبقع ساخنة تقع أسفل قشرة محيطية. ولأن الصهارة التي تعبر القشرة المحيطية في أثناء صعودها إلى أعلى تحتفظ بدرجة حرارة مرتفعة وبمحتويات قليلة من السليكا والغازات فإن اللابة الناتجة عنها تخرج من البراكين بسهولة في صورة ثورانات بركانية هادئة نسبياً.





كتلة بركانية



رماد بركاني

الشكل 15-6 يُعد الرماد البركاني أصغر المقذوفات البركانية الصلبة من حيث الحجم، في حين أن الكتلة البركانية هي مثال على أكبر صنف من المقذوفات البركانية الصلبة.

**قارن** بين هذين النوعين من المقذوفات البركانية الصلبة. ما الشيء المشترك بينهما؟

## الثورانات البركانية المتفجرة Explosive Eruptions

عندما تكون اللابة في القناة لزجة جدًا فإنها لا تتدفق من فوهة البركان بحرية، بل تتراكم فيها الغازات إلى أن تخرج في صورة انفجارات عنيفة، حيث تُقذف اللابة مع الصخور في الهواء. وتسمى المواد التي تقذفها البراكين المقذوفات البركانية الصلبة **tephra**. وربما تكون المقذوفات البركانية الصلبة قطعًا من اللابة تصلبت في أثناء وجودها في الهواء، أو قطعًا من قشرة أرضية حملتها الصهارة معها قبل ثورانها. وتصنف المقذوفات البركانية الصلبة بحسب حجمها؛ فالقطع الصغيرة التي يقل قطرها عن 2 mm تُسمى رمادًا بركانيًا، وتُسمى المقذوفات البركانية الأكبر من ذلك كتلاً بركانية. انظر الشكل 15-6، وقد يبلغ ارتفاع بعض الكتل البركانية مترًا، وقد يصل حجم بعضها إلى حجم سيارة. وتنتشر الثورانات البركانية المتفجرة الضخمة كميات هائلة من المقذوفات البركانية فوق معظم الأرض، وقد يصل الرماد البركاني إلى ارتفاع 40 km في الغلاف الجوي في أثناء الثوران البركاني، ويشكل خطرًا على الطائرات، كما يمكن أن يُغير حالة الطقس. ويوضح الشكل 16-6 بركان جبل بيناتوبو في الفلبين الذي ثار عام 1991م، وشكّل غيمة بركانية من الرماد البركاني على ارتفاع 40 km، حيث بقيت حبيبات صلبة وقطيرات من حمض الكبريتيك في طبقة الستراتوسفير مدة سنتين تقريبًا، مما أدى إلى حجب أشعة الشمس، ثم انخفاض درجة حرارة الأرض.

الشكل 16-6 ثار بركان جبل بيناتوبو في الفلبين عام 1991م فأطلق كميات هائلة من الرماد البركاني تراكمت في طبقة الستراتوسفير، مما أدى إلى انخفاض درجة حرارة الأرض لمدة سنتين.





- ج1: تحدد مكونات السليكا لزوجة الصهارة؛ كما تساء كمية الغازات في تحديد شدة الانفجار البركاني
- ج2: كلما زادت لزوجة الصهارة زادت شدة الثوران البركاني
- ج3: ستكون شدة انفجاره ذات طا ف كبيرة
- ج4: الكتل البركانية هي الأكبر حجماً بينما حبات الرماد البركاني هي الاصغر حجماً
- ج5: تكونت من كميات كبيرة من السليكا والغازات الذائبة
- ج6: يترك للطالب

تؤدي بعض المقذوفات البركانية الصلبة إلى دمار كبير في الممتلكات وقتل آلاف الناس، كما تقذف بعض البراكين العنيفة غيومًا من الرماد البركاني وغيرها من المقذوفات البركانية الصلبة نحو أسفل المنحدر بسرعة 200 km /h. وتسمى غيوم المقذوفات البركانية الصلبة الممزوجة مع الغازات الساخنة تدفق الفتات البركاني **pyroclastic flow**، وقد تزيد درجة حرارتها الداخلية على 700 °C. ويوضح الشكل 17-6 آثار الدمار التي خلفها بركان بيلي في جزيرة مارتينيك في البحر الكاريبي عام 1902م، وتدفق فتات بركاني يتصاعد إلى أعلى عند ثوران بركان مايون في المكسيك في عام 2000 م.

للفئات البركاني من جبل بيلي إلى تدمير بلدة سانت بيير في جزر المارتينيك في البحر الكاريبي في دقائق معدودة.

## التقويم 2-6

### الخلاصة

- هناك ثلاثة أنواع رئيسة من الصهارة، هي: البازلتية والأنديزيتية والريوليتية.
- اعتيادًا على نسبة محتوى الصهارة من السليكا فإن الصهارة البازلتية هي أضعف أنواع الصهارة في شدة الثوران، في حين أن الصهارة الريوليتية أشدها.
- درجة الحرارة والضغط ووجود الماء عوامل تؤثر في تشكل الصهارة.
- اللابة المتصلبة والقطع الصخرية التي تطلقها البراكين في أثناء ثورانها تسمى المقذوفات البركانية الصلبة.

### فهم الأفكار الرئيسية

1. **الفكرة الرئيسية** ناقش كيف تحدد مكونات الصهارة خصائص ثورانها؟
2. أعد صياغة كيف ترتبط لزوجة الصهارة بشدة انفجارها؟
3. توقع شدة انفجار بركان ناتج عن صهارة غنية بالسليكا والغازات.
4. ميز بين المقذوفات البركانية الصلبة من حيث أحجامها.

### التفكير الناقد

5. استنتج التركيب الكيميائي للصهارة الذي أدى إلى ثوران بركان جبل فيزوف عام 79 قبل الميلاد بهذه الطريقة.

### الكتابة 2 الجيولوجيا

6. اكتب نشرة إخبارية تتناول فيها أحداث بركان ما.

# علم الأرض والتقنية

## مرصد هاواي البركاني



غالبًا ما يرتدي الجيولوجيون خوذات، ويكون بحوزتهم أدوات تسلق، ويرتدون ملابس مقاومة للحرارة وأقنعة واقية من الغاز، وغير ذلك من المعدات؛ لحماية أنفسهم من الظروف الخطرة حول البراكين النشطة. كما أن عليهم ارتداء القفازات المقاومة للحرارة لحظة وصولهم إلى موقع جمع العينات.

**رصد سطح الأرض** يستعمل العلماء أداة تسمى عداد المسافة الإلكترونية لمساعدتهم على رصد البراكين الأرضية والتنبؤ بثورانها. ففي أثناء صعود الصهارة نحو سطح الأرض قد يحدث ميلان للسطح أو انخفاض أو انتفاخ بسبب ما تشكله الصهارة من الضغوط في أثناء صعودها.

ويقوم العلماء في مرصد هاواي البركاني بتسجيل البيانات باستمرار، وإجراء التجارب، وتناقلها في جميع أنحاء العالم. ويعود الفضل في فهم الكثير من طبيعة البراكين في أيامنا الحالية إلى الأبحاث المستمرة لهؤلاء العلماء.

### الكتابة في الجيولوجيا

ابحث في الطرائق التي يتبعها العلماء لتوقع وقت ثوران البركان وحجمه ونوعه. ولزيد من المعلومات يمكنك تصفح مواقع الإنترنت المختلفة. لحص معلوماتك وشارك بياناتك زملاءك في الصف.

**كيلاوي** من البراكين الدرعية في جزيرة هاواي، وهو أحد البراكين الأكثر نشاطًا وخطورة. ويقوم العلماء بمراقبة الظروف المحيطة بهذا البركان. ويعد مرصد هاواي البركاني بمثابة مختبر؛ حيث يتم فيه دراسة العينات التي تجمع من منطقة البركان.

**جمع الالابة البركانية** تخيل نفسك واقفًا بجوار الالابة البركانية المتحركة التي تبلغ درجة حرارتها  $1170^{\circ}\text{C}$ . للحصول على القياس المباشر لدرجة الحرارة، أو لجمع العينات الجيولوجية على العلماء تحمل درجات الحرارة المرتفعة وتوخي الحذر في أثناء سيرهم ومتابعة خطواتهم. ويتم جمع العينات في ظروف خاصة؛ حيث تجمع في أوعية مقاومة للحرارة، وتبرد مباشرة بوضعها في وعاء فيه ماء لمنع تلوث العينات بالهواء المحيط. ولكي يحمي العلماء أنفسهم من الأجواء المحيطة بهم فإنهم يرتدون ملابس خاصة، ويصطحبون معداتهم كاملة، كما توضحه الصورة.

**النشاط الزلزالي** يسبق ثوران البراكين غالبًا نشاط زلزالي، ويعد أحد المؤشرات على حدوث ثوران بركاني؛ حيث يلجأ العلماء إلى توزيع أجهزة رصد الزلازل (السيزمومتر) حول فوهة البركان، وفي مناطق قريبة منه لرصد النشاط الزلزالي.

**العينات الغازية** يجمع العلماء في مرصد هاواي البركاني عينات من الغازات المنبعثة من فوهات البراكين لمعرفة نسبة غازي ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون. وتشير الزيادة في انبعاث غازي ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون إلى ثوران محتمل للبركان.



## مختبر الجيولوجيا

### توقع البركان الآمن

**خلفية علمية** بعض البراكين متفجرة وخطيرة، وتشمل المخاطر البركانية غيوم الرماد البركاني والكتل البركانية وتدفق الفتات البركاني والانزلاقات الأرضية والتدفقات الطينية. ولكن قد لا يشكل البركان المتفجر خطراً على حياة الإنسان والممتلكات إذا وقع في منطقة نائية.

**سؤال:** ما العوامل التي يجب مراعاتها عند تقويم البركان؟



تنقل الطائرات المروحية العلماء إلى أماكن البراكين البعيدة. حيث يحللون البيانات لتحديد المخاطر.

### الأدوات

مواقع الإنترنت أو بيانات عن البراكين يزودك بها المعلم، مراجع علمية، أقلام تخطيط أو أقلام تلوين خشبية.

### خطوات العمل

تحيل أنك تعمل لدى دائرة أو جهة رسمية جيولوجية، وطلب إليك تقييم عدة براكين حول العالم، لتحديد هل هي براكين آمنة للسكان المجاورين أم لا، وفي حال كونها غير آمنة يتعين عليك أن تضع توصيات لضمان سلامة الأشخاص القريبين منها.

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.

2. كوّن فريقاً من 3 أو 4 طلاب.

3. ناقش الفريق، مستعملاً أسلوب العصف الذهني، في

بعض العوامل التي قد تستعملها في تقييم البراكين، ثم دوّن أفكارك في أثناء ذلك. ويمكنك تضمين عوامل، منها: فترات الانفجار، ومكونات اللابة، والعدد التقريبي للأشخاص الذين يعيشون بالقرب من البركان، وتاريخ آخر انفجار للبركان.

4. حدّد مع فريقك العوامل التي سيتم تناولها.

5. اعمل جدول بيانات مستعيناً بالعوامل التي اخترتها، وتأكد من أن المعلم قد وافق على ذلك قبل إكماله.

6. استعمل شبكة الإنترنت أو المعلومات التي يزودك بها المعلم، واختر بلدًا في العالم يوجد فيه بركان معروف.

7. أكمل جدول بياناتك للبلد الأول.

8. كرّر الخطوتين 6 و 7 لبلدين آخرين.

### التحليل والاستنتاج يترك للطلاب

1. **فسّر البيانات** هل يُعد العيش بالقرب من البراكين السالفة الذكر آمناً؟ ولماذا؟

2. **فسّر البيانات** هل يشكّل أي من البراكين تهديداً مباشراً للأشخاص الذين يعيشون بالقرب منه؟ ولماذا؟

3. **استنتج** حضّر عرضاً تقدم فيه نتائجك لمجموعة من علماء العالم، وضمّنه توقعاتك وتوصياتك، وكن مستعداً لتلقي الأسئلة والإجابة عنها. ثم اعرض جدول البيانات على زملائك للاطلاع على نتائجك.

### شارك بياناتك

راجع مع أقرانك واكتب ملخصاً لبياناتك وتوصياتك حول كل بركان خاص بك، ثم قارنها مع الطلاب في الصف.