حلول
الحلول اون لاين
hulul.online

الفصل 7 الزلازل Earthquakes

الفكرة العامة الزلازل هزات أرضية طبيعية، ينتج بعضها بفعل الحركة على طول الصدوع في القشرة الأرضية.

7–1 الأمواج الزلزالية وبنية الأرض

الفكرة الرئيسة يتم استعمال الأمواج الزلزالية في تصوّر بنية الأرض الداخلية.

7–2 قياس الزلازل وتحديد أماكنها

الفكرة الرئيسة يقيس العلماء قوة الزلازل ويحددون مكانها على الخريطة باستعمال الأمواج الزلزالية.

7–3 الزلازل والمجتمع

الفكرة الرئيسة يمكن معرفة احتمال حدوث الزلزال من خلال التاريخ الزلزالي للمنطقة، ومعرفة أين وكيف تتراكم الإجهادات بسرعة.

حقائق جيولوجية

- تتعرض الأرض لأكثر من مليون زلزال في العام الواحد.
- معظم الزلازل ضعيفة جدًّا حيث لا نشعر بها.
- حدث في منطقة مكة المكرمة منذ عام 183هـ حتى الآن 12 زلزالاً مدمرًا بسبب قربها من البحر الأحمر، ومنها ما حدث عامي 1382و 1414هـ.

SA-GEO-3E-CH07.indd 166 4/8/19 4:57 PM

تجربة استهلالية

ما سبب حدوث الزلزال؟

تحدث الزلازل عندما تتحرك قطعة من القشرة الأرضية فجأة بالنسبة إلى قطعة أخرى. وتحدث هذه الحركة على طول كسور في القشرة الأرضية تسمى الصدوع.

الخطوات

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. حرك كتلتين خشبيتين مصقولتين أفقيًّا على طول سطحيهما الكبيرين. صف هذه الحركة.
3. قص ورقتي صنفرة (ورق الزجاج) من النوع الخشن، بحيث يزيد طول كل منهما عن 1 cm على طول السطح الكبير لكلتا الكتلتين الخشبيتين.
4. ضع ورقة الصنفرة على السطح الكبير للكتلة الخشبية، بحيث يكون الوجه الخشن للورقة إلى أعلى، واثنها حول حوافّ الكتلة، وثبتها بدبابيس تثبيت الورق.
5. حرِّك الكتلتين الخشبيتين أفقيًّا إحداهما فوق الأخرى على طول السطحين المغطيين بورقة الصنفرة. صف هذه الحركة.

التحليل

1. **قارن** بين حركتي الكتلتين الخشبيتين في الحالتين.
2. **طبق** أي أجزاء الأرض تمثلها الكتلتان الخشبيتان؟
3. **استنتج** أي الحركتين تُظهر ما يحدث فعليًّا في أثناء حدوث الزلزال؟

المطويات منظمات الأفكار

الأمواج الزلزالية

اعمل المطوية الآتية لتعرف أنواع الأمواج الزلزالية.

الخطوة 1 اثن الورقة أفقيًّا إلى جزأين، بحيث يزيد الجزء الخلفي للورقة بمقدار 2 cm عن حافة الجزء الأمامي.

الخطوة 2 اثن الورقة عموديًّا إلى ثلاثة أجزاء متساوية.

الخطوة 3 افرد الورقة وقص الأجزاء المطوية في الجزء الأمامي للورقة، لعمل ثلاثة جيوب.

الخطوة 4 عنون الجيوب الثلاثة بأنواع الأمواج الزلزالية: الأولية، الثانوية، السطحية.

استخدم هذه المطوية في أثناء دراسة القسم 1–7، لتتعرّف مميزات الحركة في الأمواج الزلزالية.

ج1: تتحرك الكتلتان الخشبيتان غير المغطاتين بورق الصنفرة إحداهما أسفل الأخرى بسهولة، أما الكتلتان المغطاتان بورق الصنفرة فيحتاج تحريكها إلى قوة أكبر، لذا فإن حركتها تكون أقل انتظاماً وقد تحدث فجأة

ج2: إجابات محتملة: الصفائح الأرضية أو قطع من القشرة الأرضية

ج3: الحركة الثانية أكثر شبهاً بعملية حدوث الزلزال، حيث تحتك قطعة ضخمة من القشرة الأرضية مع قطعة أخرى في أثناء حركتها

SA GEO SE CH07.indd 167 4/8/19 4:57 PM

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa
حلول
الحلول اون لاين
hulul.online

7-1

الأهداف

- تقارن بين أنواع الأمواج الزلزالية الثلاثة.
- تصف كيف يعمل مقياس الزلازل (السيزمومتر).
- تفسر كيف استعملت الأمواج الزلزالية في معرفة مكونات باطن الأرض وتركيبها.

مراجعة المفردات

الستار: جزء من باطن الأرض يقع أسفل القشرة الأرضية وفوق اللب.

مفردات جديدة

الأمواج الزلزالية

الأمواج الأولية

الأمواج الثانوية

الأمواج الجسمية

الأمواج السطحية

بؤرة الزلزال

المركز السطحي للزلزال

مقياس الزلزال

مخطط الزلزال

الأمواج الزلزالية وبنية الأرض

Seismic Waves and Earth's Interior

الفكرة الرئيسة **يتم استعمال الأمواج الزلزالية في تصوّر بنية الأرض الداخلية.**

الربط مع الحياة عندما تنظر إلى المرآة فإنك ترى نفسك؛ لأن أمواج الضوء تنعكس عن وجهك وتتجه نحو المرآة، ثم ترتد عن سطحها إلى عينيك، فتحدث الرؤية. وبالكيفية نفسها، تنتقل الأمواج الزلزالية في باطن الأرض، وتنعكس عن التراكيب الداخلية معطية بذلك صورة عنها.

الأمواج الزلزالية Earthquake Waves

تنتج معظم الزلازل بفعل الحركة التي تحدث على الصدوع. إن الحركة في الصدوع قد تكون عبر سطوح ملساء نسبيًّا، أو عبر سطوح خشنة، كما في حركة الكتلتين الخشبيتين المغطاتين بورق الصنفرة؛ حيث تعمل السطوح الخشنة على إعاقة الحركة وإيقافها. كذلك مع استمرار حركة الصخور عبر السطوح الخشنة تتراكم الجهود فيها، وتعاني الصخور من تشوُّه مرن، حيث ترجع الصخور إلى وضعها الأصلي عند إزالة الإجهاد عنها. عندما تتجاوز الجهود المتراكمة في الصخور حد المرونة، وهو الحد الذي تفقد فيه الصخور خاصية المرونة، فإنها تلتوي أو تتمدد، وتصبح في مرحلة التشوُّه اللدن. وعندما تنكسر الصخور أو تنزلق عبر السطوح تتحرر الطاقة المختزنة منتجة الزلزال.

أنواع الأمواج الزلزالية Types of seismic waves تسمى الأمواج التي تنتشر في الأرض والناجمة عن الزلزال **الأمواج الزلزالية Seismic waves**. وينتج عن كل زلزال ثلاثة أنواع من الأمواج الزلزالية هي: الأولية والثانوية والسطحية.

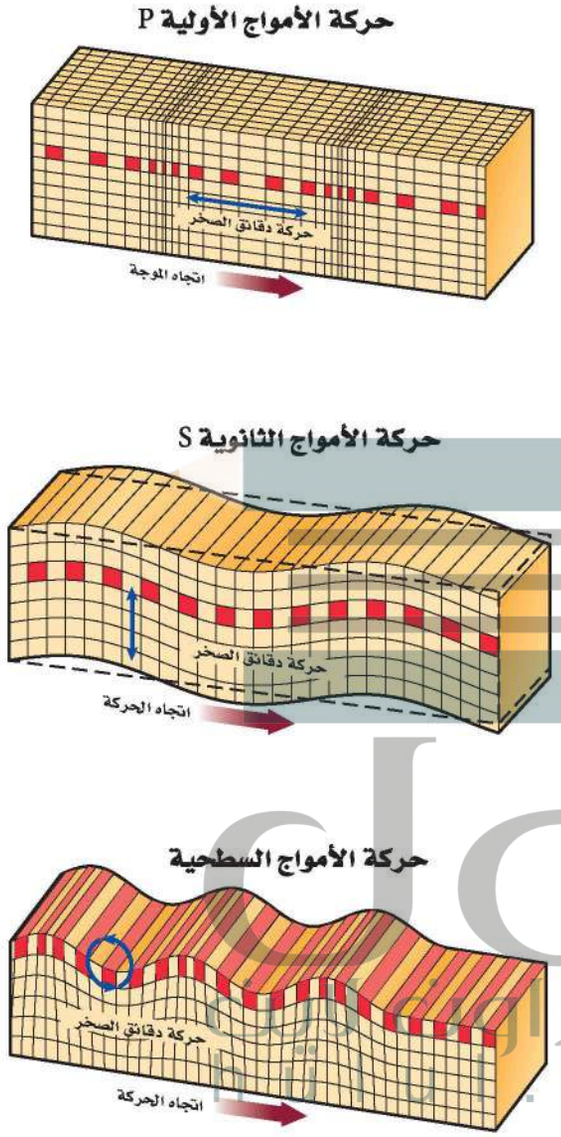
الأمواج الأولية Primary waves يطلق عليها أيضًا أمواج P. تعمل **الأمواج الأولية Primary Waves** على تضاغط الصخور وتخلخلها في نفس اتجاه حركتها، انظر **الشكل 1–7**. لاحظ من الشكل أن حجم الصخر المشار إليه بالمربعات الحمراء الصغيرة يتغير مع مرور الأمواج الأولية فيه. وتشبه الحركة التضاغطية للأمواج الأولية الحركة التي تحدث على طول نابض رخو؛ إذ تنتقل الحركة الموجية على طوله في اتجاه موازٍ لاتجاه شدِّه في البداية.

SA.GEO.SE.CH07.indd 168 4/8/19 4:57 PM

الأمواج الثانوية Secondary waves يطلق عليها أيضًا أمواج S. وسميت **الأمواج الثانوية Secondary Waves** لأنها أبطأ من الأمواج الأولية، وهي ثاني الأمواج الزلزالية وصولاً إلى محطة الرصد. وتُسبب الأمواج الثانوية في أثناء حركتها حركة جسيمات الصخر عموديًّا على اتجاه حركتها، كما في **الشكل 1–7**، وتشبه الحركة الموجية في الحبل؛ حيث تنتقل عموديًّا إلى أعلى وإلى أسفل من أحد طرفيه إلى الطرف الآخر. وتسمى كل من الأمواج الأولية والثانوية **الأمواج الجسمية Body waves**؛ لأنها تنتقل داخل الأرض.

الأمواج السطحية Surface waves تنتقل **الموجات السطحية Surface waves** على سطح الأرض فقط، وهي أبطأ الأمواج الزلزالية، لذلك فهي ثالث الأمواج وصولًا إلى محطة الرصد وتتسبب في حركة جسيمات سطح الأرض حركة جانبية إلى أعلى وإلى أسفل كحركة الأمواج البحرية، كما في **الشكل 1–7**. وتعد من أكثر الأمواج الزلزالية تدميرًا؛ لأنها تسبب معظم أنواع الحركة، كما أنها تستغرق وقتًا أطول لتعبر الصخور.

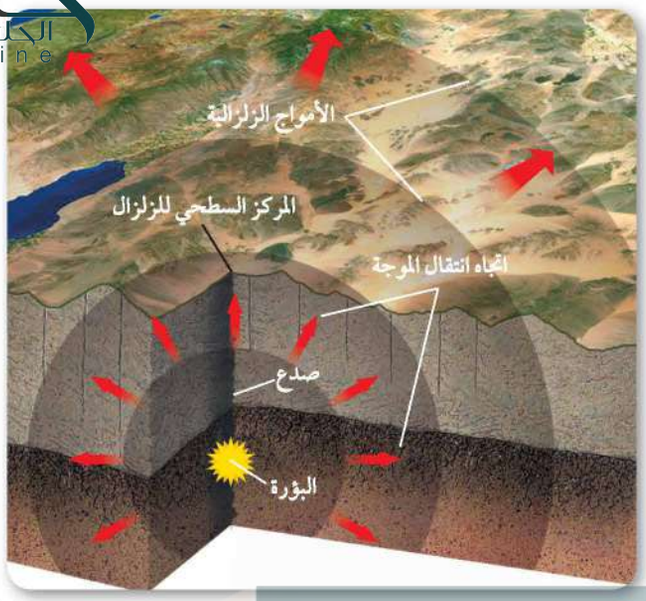
نشأة الأمواج الزلزالية Generations of seismic waves تنشأ أولى الأمواج الزلزالية الجسمية في نقطة الكسر في صخور القشرة الأرضية، وتنتشر منها في جميع الاتجاهات، وتسمى هذه النقطة **بؤرة الزلزال Focus**، وتقع في معظم الأحيان على عمق يبلغ عدة كيلومترات أسفل سطح الأرض. أما النقطة التي تقع على سطح الأرض مباشرة فوق البؤرة فتسمى **المركز السطحي للزلزال Epicenter الشكل 2–7**، وتنشأ الأمواج الزلزالية السطحية عن المركز السطحي للزلزال، وتنتشر منها على سطح الأرض.



الشكل 1–7 تمتاز الأمواج الزلزالية بنوع الحركة التي تسببها للصخور التي تمر فيها؛ حيث تكون حركة جسيمات الصخر إلى الأمام وإلى الخلف وفي نفس اتجاه حركة أمواج – P بينما تكون حركة الأمواج –S عمودية على خط انتشار الموجة، وإلى أعلى وإلى أسفل، ومن جانب إلى آخر في الأمواج السطحية.

SA.GEO.SE.CH07.indd 169 4/8/19 4:57 PM

حلول
الحلول اون لاين
hulul.online

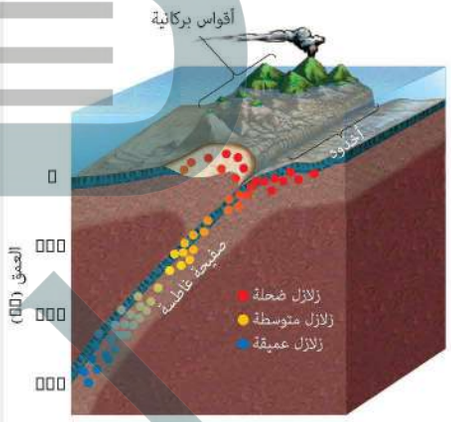


الشكل 2–7 بؤرة الزلزال هي النقطة التي ابتدأ عندها تشكُّل الكسر في الصدع. وتسمى النقطة التي تقع على سطح الأرض مباشرة فوق البؤرة المركَزَ السطحيَّ للزلزال.

استنتج. حدد النقطة التي يكون عندها الدمار الذي تسببه الأمواج السطحية أكبر ما يمكن.

وتنتقل الطاقة المنبعثة من بؤرة الزلزال في جميع الاتجاهات على هيئة موجات زلزالية. وتبلغ قوة الزلازل أكبر ما يمكن في بؤرة الزلزال، وكلما ابتعدنا عن البؤرة قلّت قوة الموجات الزلزالية وخفتت بسبب المقاومة التي تواجهها في أثناء مرورها في صخور القشرة الأرضية. وتصنف الزلازل بحسب عمق البؤرة، كما في **الشكل 3–7**، إلى ثلاثة أنواع: الزلازل الضحلة التي تنشأ على عمق أقل من 70 km، والزلازل المتوسطة التي تنشأ على عمق 70–300 km، والزلازل العميقة التي تنشأ على عمق 300–700 km.

ويوضح **الشكل 3–7** العلاقة بين نطاق الطرح – الناتج عن غطس صفيحة أرضية أسفل صفيحة أخرى – وحدوث الزلازل. ولا تحدث الزلازل العميقة إلا في هذا النوع من الحدود. والمسؤول عن حدوث الزلازل في هذا النطاق – وبخاصة العميقة منها – هو الصفيحة الغاطسة الصلبة؛ حيث يسبب غطس الصفيحة إلى أسفل تراكم الجهود فيها، مما يؤدّي إلى تكسرها وتحرير طاقة على شكل أمواج زلزالية ذات بؤر مختلفة الأعماق.



الشكل 3–7 تصنف الزلازل بناء على عمق البؤرة إلى زلازل ضحلة ومتوسطة وعميقة. وتعد الزلازل الضحلة أكثرها تدميرًا.

مقياس الزلزال ومخططه
Seismometer and Seismogram

لا يمكن الإحساس بالاهتزازات الناجمة عن الأمواج الزلزالية على مسافات بعيدة جدًّا عن المركز السطحي، ولكن يمكن اكتشافها عن طريق جهاز حساس يسمى **مقياس الزلزال (السيزمومتر) Seismometer**، انظر **الشكل 4–7**.

تتألف بعض أجهزة السيزمومتر من أسطوانة دوارة مغطاة بورقة، وقلم أو أي أداة للتسجيل، وكتلة معلقة كالبندول. تختلف أجهزة السيزمومتر في تصميمها، ولكنها

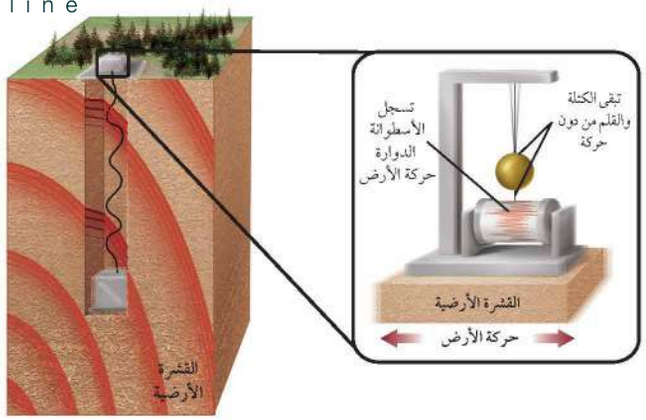
الشكل 4–7 أحد أجهزة مقياس الزلازل (السيزمومتر) الحديثة.

SA.GEO.SE.CH07.indd 170 4/8/19 4:57 PM

جميعًا تتضمن إطارًا مثبتًا في الأرض، وكتلة معلقة على نابض أو سلك، كما في **الشكل 5–7**.

عندما يحدث الزلزال تبقى الكتلة والقلم في أثناء حدوث الاهتزاز من دون حركة بسبب القصور الذاتي، فيتم تسجيل حركة الكتلة بالنسبة إلى الإطار على أداة للتسجيل كالورقة، أو تُسجل مباشرة على أقراص حاسوبية. ويسمى السجل الذي يتم الحصول عليه من السيزمومتر **مُخَطّط الزلزال (السيزموجرام) seismogram**، ويوضح **الشكل 6–7** جزءًا من السيزموجرام.

وتستخدم في الوقت الحاضر أجهزة حديثة لرصد الزلازل وتحليلها؛ حيث تستخدم الأقمار الاصطناعية في نقل البيانات من محطات الرصد الزلزالي إلى باقي المحطات في العالم. ويتم استخدام برمجيات حديثة في تحليل البيانات وتحديد مواقع الزلازل وقوتها ويستخدم الحاسب الآلي في تخزينها.

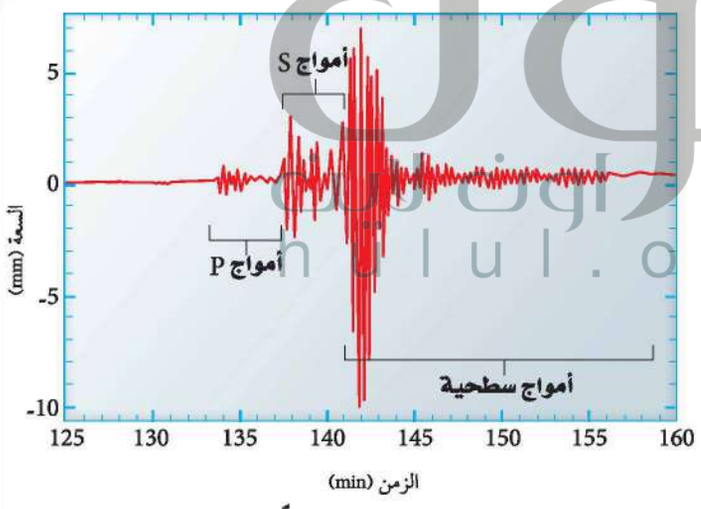


الشكل 5–7 في الإطار جهاز سيزمومتر قديم مثبت في الأرض. عندما يحدث الزلزال يتحرك الإطار بينما تبقى الكتلة المعلقة وملحقاتها دون حركة، فيُسجل الكتلة والقلم الحركة النسبية للإطار.

قارن ذلك بأجهزة الاستقبال والإرسال الحديثة.

منحنيات المسافة-زمن الوصول للأمواج الزلزالية Travel–time curves

تنتقل الأمواج الزلزالية من بؤرة الزلزال، وتُسجل بأجهزة السيزمومتر؛ حيث يتم زراعة هذه الأجهزة على مسافات بعيدة. وقد استطاع علماء الزلازل من خلال بيانات أزمنة وصول الأمواج الزلزالية التي جمعوها عبر سنوات عديدة في مناطق متعددة من العالم أن يعدّوا منحنيات معيارية عالمية للعلاقة بين المسافة و زمن الوصول للأمواج الزلزالية P و S، كما في **الشكل 7–7**، وتزودنا هذه المنحنيات بمتوسط أزمنة وصول جميع أمواج P و S من أي مكان على الأرض يحدث فيه الزلزال.



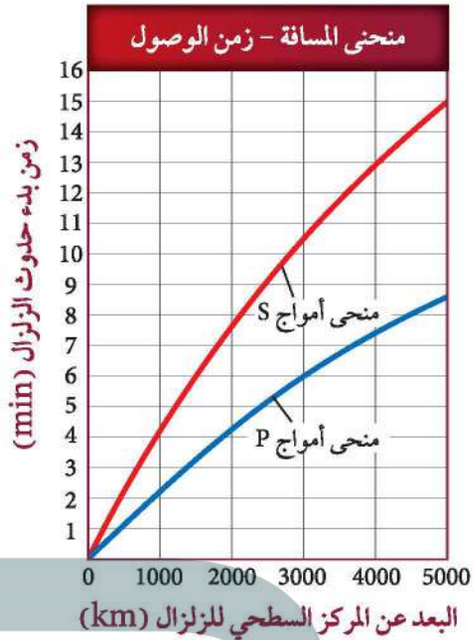
الشكل 6–7 يوفر السيزموجرام سجلاً للأمواج الزلزالية التي عبرت نقطة معينة.

ماذا قرأت؟ لخص كيف يُستعمل السيزموجرام في إعداد منحنيات عالمية لمنحنى المسافة – زمن الوصول؟

يبين السيزموجرام أزمنة وصول الأمواج الزلزالية من المركز السطحي للزلزال إلى جهاز السيزمومتر، وبمقارنة البيانات من أجهزة سيزمومتر مختلفة يستطيع العلماء أن يعدوا منحنيات المسافة زمن الوصول

SA.GEO.SE.CH07.indd 171 4/8/19 4:58 PM

حلول
الحلول اون لاين
hulul.online



الشكل 7–7 تظهر منحنيات المسافة – زمن الوصول للأمواج الزلزالية أن الفترات الزمنية التي تستغرقها أمواج P و S للوصول إلى محطات رصد الزلازل مختلفة لاختلاف بُعد المحطات عن المركز السطحي للزلزال.

حدد الفترة الزمنية التي تستغرقها أمواج P لزلزال يقع على بُعد 2000 km لتصل محطة الرصد. وما الفترة الزمنية التي تستغرقها أمواج S لقطع المسافة نفسها؟

البُعد عن المركز السطحي للزلزال Distance from the epicenter لاحظ من الشكلين 6–7 و 7–7 أن أمواج P هي أول الأمواج الزلزالية وصولاً إلى محطات الرصد، ويليها الأمواج الثانوية، وأخيرًا الأمواج السطحية. يلاحظ أن الفرق الزمني بين منحنيي P و S في الشكل 7–7 يزداد كلما زاد البُعد عن المركز السطحي للزلزال، أي أن فرق زمنَي الوصول بين أمواج P و S في السيزموجرام يكون أكبر في المحطات البعيدة عن المركز السطحي للزلزال مقارنة بالمحطات القريبة. ويُستعمل هذا الفرق الزمني في حساب بُعد المركز السطحي للزلزال عن محطة الرصد التي سجلت الزلزال.

أدلة على بنية الأرض الداخلية
Clues to Earth's Interior

لا تعمل الأمواج الزلزالية على اهتزاز سطح الأرض فقط وما تُحدثه من دمار، بل تنتقل أيضًا إلى داخلها، لذلك فهي توفر معلومات قيّمة للعلماء تمكنهم من بناء نموذج عن بنية الأرض الداخلية.

مكونات الأرض Earth's composition يوضح الشكل 8–7 أن الأمواج الزلزالية يتغير مسارها وسرعتها عندما تواجه حدودًا فاصلة بين طبقتين مختلفتين في مكوناتهما، وبذلك استطاع العلماء أن يحددوا سُمك طبقات الأرض ومكوناتها بمقارنة سرعة الأمواج الزلزالية مع القياسات التي حصلوا عليها في المختبرات لأنواع مختلفة من الصخور. وتوصلوا نتيجة لذلك إلى أن الستار العلوي يتكون من صخر البيريدوتيت (يتكون معظمه من معدن الأوليفين)، وأن اللب الخارجي يتكون معظمه من مصهور الحديد والنيكل، أما اللب الداخلي فهو في حالة صلبة ويتكون معظمه من الحديد والنيكل.

SA.GEO.SE.CH07.indd 172 4/8/19 4:58 PM

حلول
الحلول اون لاين
hulul.online

الأمواج الزلزالية Seismic Waves

الشكل 8–7 يزودنا كل من زمن الوصول وسلوك الموجات الزلزالية بصورة تفصيلية لبنية الأرض الداخلية. كذلك تزودنا هذه الأمواج بأدلة على مكونات أجزاء الأرض المختلفة.

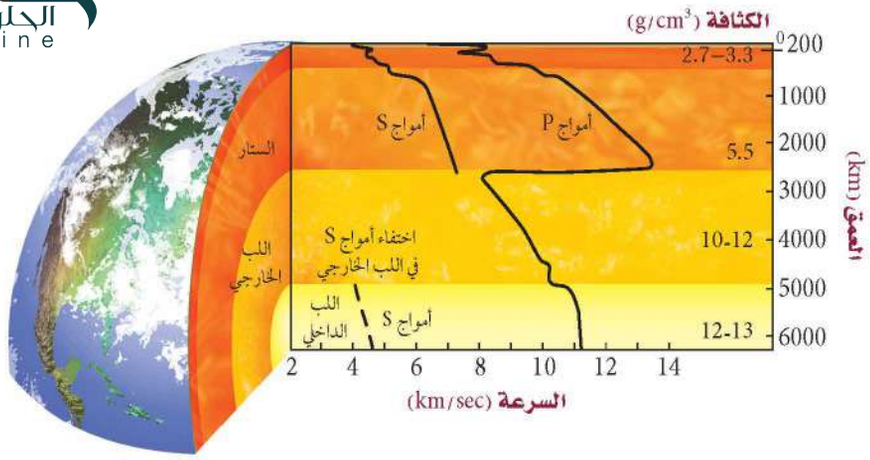
يؤدي انكسار أمواج P عند اللب الخارجي إلى تكوين نطاق ظل على سطح الأرض، بحيث لا تظهر أمواج P على المخطط الزلزالي (السيزموجرام) على بعد زاويّ يتراوح بين $103^\circ - 143^\circ$ عن المركز السطحي للزلزال، بينما تظهر أمواج P على أجهزة السيزمومتر في الجانب المقابل للمركز السطحي للزلزال.

لأن أمواج S لا تمر من خلال اللب الخارجي للأرض السائل، لذلك فإنها لا تظهر ضمن نطاق يسمى ظل أمواج S على بعد زاويّ يتراوح بين $103^\circ - 180^\circ$ عن المركز السطحي للزلزال.

الحلول اون لاين
hulul online

SA.GEO.SE.CH07.indd 173 4/8/19 4:58 PM

حلول
الحلول اون لاين
hulul.online



الشكل 9–7 تختلف طبقات الأرض الداخلية في مكوناتها؛ وقد استطاع العلماء تحديد مكوناتها من خلال معرفة سلوك الأمواج الزلزالية عبر أنواع مختلفة من الصخور.

بنية الأرض الداخلية Earth's internal structure تتغير سرعة الأمواج الزلزالية واتجاهها عندما تواجه موادّ مختلفة في باطن الأرض. لاحظ من **الشكل 9–7** كيف تتّبع أمواج P و S في البداية مساراتٍ مباشرةً إلى حد ما في أثناء عبورها الستار، ولكنها تعاني من انكسار وانعكاس عندما تعبر الحدود الرئيسة بين طبقات الأرض. لذلك استطاع علماء الزلازل من خلال رصد زمن ومسافة الأمواج الزلزالية ومسار كل موجة وتمثيلها بيانيًّا في منحنيات المسافة – زمن الوصول، معرفة أن مكونات الأرض والكثافات تختلف من الداخل.

ماذا يحدث لأمواج S عندما تنشأ بفعل الزلازل؟ للإجابة عن هذا السؤال: أولًا، توصل علماء الزلازل إلى أن أمواج S لا تسير في الأوساط السائلة، ولاحظوا أنها لا تسير في مركز الأرض، مما جعلهم يكتشفون أن جزءًا من باطن الأرض يوجد في الحالة السائلة القليلة اللزوجة. وقد أيّدت البيانات التي جُمعت حول مسار الأمواج الزلزالية وزمن وصولها في باطن الأرض إلى أن لب الأرض الخارجي سائل ولبها الداخلي صلب.

تصور باطن الأرض Imaging Earth's interior تتأثر كل من سرعة الأمواج الزلزالية وكثافة الصخور بعوامل أخرى غير العمق، منها درجة الحرارة. تذكر ما درسته من قبل أن الصفيحة المحيطية الباردة تغوص في الستار في أثناء عملية الطرح، وأن اندفاعات الصهارة الساخنة (أعمدة الصهارة) ترتفع إلى أعلى في الستار. ولأن سرعة الأمواج الزلزالية تعتمد على درجة الحرارة والمكونات، لذلك فمن الممكن استعمالها في تصور تراكيب الأرض الداخلية، مثل الصفائح وأعمدة الصهارة الساخنة، وتقل سرعة الأمواج الزلزالية عمومًا مع تزايد درجات الحرارة، لذلك تنتقل ببطء في المناطق الساخنة، وبسرعة أكبر في المناطق الباردة. وباستعمال قياسات الأمواج الزلزالية الملتقطة بأجهزة قياس الزلازل (السيزمومترات) في مختلف أنحاء العالم، وسجلات الأمواج الزلزالية لعدة آلاف من الزلازل، يمكن الحصول على صور لبنية الأرض الداخلية تتضمن بعض التراكيب، ومنها الصفيحة الغاطسة التي تتضح في **الشكل 10–7**. ويمكن تشبيه هذه الصور بالصور الملتقطة بالأشعة السينية.

SA.GEO.SE.CH07.indd 174 4/8/19 4:58 PM

ج1: تدل سرعات الأمواج الزلزالية على طبيعة المواد التي تمر فيها
ج2: يجب أن توضح الرسوم كيف تسجل حركة الكتلة بالنسبة إلى الإطار
ج3: تزودنا منحنيات المسافة زمن الوصول بمتوسط أزمنة وصول جميع الأمواج الزلزالية التي تساعد العلماء على تحديد موقع المركز السطحي للزلزال
ج4: تقل، بصورة عامة؛ سرعة الأمواج الزلزالية بارتفاع درجة الحرارة
ج5: قد يشاهدا لشخص الذي على السطح أن الأمواج السطحية تنتقل على سطح الأرض كحركة أمواج البحر، وتنتقل أمواج ب مبتعدة ومقتربة من الشخص، أما أمواج س فتحرك سطح الأرض إلى الأمام والخلف
ج6: لأن الأمواج الزلزالية تحرر جميع طاقتها على السطح حيث يوجد الناس والمنشآت
ج7: ينبعي أن توضح المقالات أن العلماء يدمجون معرفتهم بسلوك الأمواج الزلزالية في أثناء عبورها للصخور بقياسات أزمنة وصول الأمواج الزلزالية التى تسير في جسم الارض عند حدوث الزلزال

حلول
الحلول أون لاين
hulul.online

الخلاصة

- أنواع الأمواج الزلزالية ثلاثة: أولية وثانوية وسطحية.
- مقياس الزلازل (السيزمومتر) جهاز يستقبل الأمواج الزلزالية، ويسجلها على مخطط الزلزال (السيزموجرام).
- استطاع العلماء أن يحددوا المركز السطحي للزلازل من الفرق الزمني بين زمني وصول كل من أمواج P وأمواج S.
- تتغير سرعة واتجاه كل من أمواج P وأمواج S عندما تواجه حدودًا فاصلة بين مواد مختلفة.
- يمكن الحصول على صورة مفصلة عن مكونات الأرض الداخلية من خلال تحليل الأمواج الزلزالية التي تعبر باطن الأرض.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** وضح كيف تستعمل كل من أمواج P وأمواج S في تحديد خواص لب الأرض؟
2. **ارسم** مخططًا لسيزمومتر يوضح كيف تُقاس اهتزازات الأرض وتسجَّل على السيزموجرام.
3. **صف** كيف يُستعمل منحنى المسافة-زمن الوصول في دراسة الزلازل؟
4. **ميز** بين سرعة الأمواج الزلزالية في أثناء مرورها في المواد الباردة والمواد الساخنة.

التفكير الناقد

5. **اربط** بين حركة الأمواج الزلزالية مع ملاحظات شخص يراقب كيفية انتقالها على سطح الأرض.
6. **استنتج** باستعمال الشكل 6–7 الذي يمثل مخططًا زلزاليًّا، فسّر لماذا تعد الأمواج السطحية أكثر الأمواج الزلزالية تدميرًا، على الرغم من أنها آخر الموجات وصولاً إلى محطات الرصد؟

الكتابة في الجيولوجيا

7. اكتب مقالة حول الطرائق التي يعتمدها العلماء في معرفة مكونات الأرض الداخلية.

SA.GEO.SE.CH07.indd 175 4/8/19 4:58 PM

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa
حلول الكتاب اون لاين
hulul.online

7-2

قياس الزلازل وتحديد أماكنها
Measuring and Locating Earthquakes

الأهداف

- **تقارن** بين قوة الزلزال وشدته استنادًا إلى المقاييس المختلفة.
- **تفسر** لماذا نحتاج إلى ثلاث محطات رصد لتحديد موقع المركز السطحي للزلزال.
- **تصف** أحزمة زلازل الأرض.

مراجعة المفردات

إسقاط البيانات: تعيين الموقع على الخريطة أو تمثيل البيانات بمخطط بياني.

مفردات جديدة

مقياس رختر

قوة الزلزال

سعة الموجة الزلزالية

مقياس العزم الزلزالي

مقياس ميركالي المعدَّل

أحزمة الزلازل

الفكرة الرئيسة يقيس العلماء قوة الزلازل ويحددون مكانها على الخريطة باستعمال الأمواج الزلزالية.

الربط مع الحياة إذا تكلم شخص قريب منك فإنك تسمعه جيدًا، ويضعف صوته كلما ابتعد عنك. وبالكيفية نفسها تضعف طاقة الأمواج الزلزالية كلما ابتعدت عن مصدر الزلزال.

قوة الزلزال وشدته
Earthquake Magnitude and intensity

يحدث سنويًّا أكثر من مليون زلزال يمكن الإحساس به، ولكن لا يُذكر منها في وسائل الإعلام إلا الزلازل الكبيرة فقط. لقد طوّر العلماء طرائق عدّة لوصف قوة الزلزال.

مقياس رختر Richter scale ابتكر **مقياس رختر Richter scale** الجيولوجي تشارلز رختر Charles Richter، وهو مقياس عددي يقيس طاقة أكبر الأمواج الزلزالية المنبعثة من الزلزال، ويسمى مقدار الطاقة هذا **قوة الزلزال Magnitude**. وتقاس قوة الزلزال بإيجاد **سعة الموجة الزلزالية Amplitude**. وهي ارتفاع الموجة الزلزالية الأكبر، حيث تشير كل درجة على مقياس رختر إلى زيادة في سعة الزلزال قدرها 10 أضعاف الدرجة التي قبلها، فمثلاً، سعة الأمواج الزلزالية لزلزال قوته 8 بحسب مقياس رختر أكبر عشر مرات، من سعة الأمواج الزلزالية لزلزال قوته 7. لكن الفرق في كمية الطاقة الصادرة عن الزلازل أكبر كثيرًا من الفرق في سعة الأمواج الزلزالية؛ فالطاقة الزلزالية الصادرة عن زلزال عند درجة ما أكبر 32 ضعفًا من الطاقة الصادرة عن الدرجة التي تسبقها، لذا فطاقة الزلزال الذي قوته 8 أكبر 32 مرة من طاقة زلزال قوته 7. ويوضح **الشكل 11–7** دمارًا سببه زلزال قوته 7.6 درجة على مقياس رختر.

الشكل 11–7 دمار ناجم عن زلزال قوته 7.6 درجة على مقياس رختر، وهو زلزال قوي ضرب الباكستان في شهر يناير من عام 2005 م.

SA.GEO.SE.CH07.indd 176 4/8/19 4:58 PM

مقياس العزم الزلزالي Moment magnitude scale رغم أن مقياس رختر يُستعمل لوصف قوة الزلازل، إلا أن معظم العلماء يستعملون **مقياس العزم الزلزالي Moment magnitude scale**، وهو مقياس رقمي يشير إلى الطاقة المتحررة من الزلزال، مأخوذًا في الاعتبار حجم الجزء المتمزق من الصدع، ومقدار الحركة على طول الصدع، وقساوة الصخر.

مقياس ميركالي المعدل Modified Mercalli scale هناك طريقة أخرى لوصف حجم الزلازل تعتمد على مقدار الضرر الذي تحدثه، ومدى إحساس الناس بها ولا يعبر عن قوة الزلزال، ويسمى هذا المقياس شدة الزلزال، ويتم تحديده باستعمال **مقياس ميركالي المعدل Modified Mercalli scale** . وتقسم شدة الزلازل بحسب هذا المقياس إلى 12 درجة؛ باستعمال الأرقام الرومانية للدلالة على درجة شدة الزلزال؛ حيث تصف كل درجة آثارًا معينة، وكلما زادت الدرجة كانت الأضرار الناجمة عن الزلزال أسوأ. ويبين **الجدول 1–7** مقياس ميركالي المعدل. ويمكنك استعمال المعلومات الواردة في هذا الجدول لتقدير شدة الزلازل الذي في **الشكل 12–7**.

الشكل 12–7 يمكن أن يقيس مقياس ميركالي الأضرار التي يحدثها الزلزال، كالتي في الشكل، وهو زلزال قوي قادر على إيقاع المواد الموجودة على الرفوف.

الجدول 1–7 مقياس ميركالي المعدل

I	لا يمكن الإحساس به إلا تحت ظروف غير عادية.
II	يشعر به عدد قليل من الأشخاص، يمكن أن تهتز بعض الأجسام المعلقة.
III	يشعر به الناس داخل البيوت، ينتج عنه اهتزازات كالتي تنتج عن حركة شاحنة ضخمة قريبة.
IV	يشعر به كثير من الناس داخل البيوت وقليل من خارجها، ويهتز زجاج النوافذ والأواني والسيارات الواقفة بصورة ملحوظة.
V	يشعر به معظم الناس، يتكسر بعض الزجاج والأواني.
VI	يشعر به جميع الناس، يتحرك الأثاث، قد تتضرر بعض المآذن.
VII	يهرب جميع الناس من المباني، وقد تتضرر المباني الضعيفة بصورة كبيرة ولكن المباني القوية قد تصاب بأضرار خفيفة.
VIII	تسقط المآذن، ينقلب الأثاث الثقيل داخل البيوت، قد تتهدم المباني العادية بصورة جزئية.
IX	تدمير عام للمباني، تتحرك المباني عن أساساتها، تتشقق الأرض، تتكسر أنابيب المياه.
X	تدمير معظم المباني العادية، والطرق المعبدة، تحدث انزلاقات أرضية، تنحني السكك الحديدية والأسوار.
XI	قلة من المباني تبقى قائمة، تتهدم الجسور، تتقطع السكك الحديدية والأسوار، وتتشكل شقوق كبيرة في الأرض.
XII	دمار شامل، تقذف الأجسام في الهواء.

SA.GEO.SE.CH07.indd 177 4/8/19 4:58 PM

حلول
الحلول أون لاين
hulul.online

شدة الزلزال Earthquake intensity تعتمد شدة الزلزال بصورة رئيسة على الأمواج الزلزالية السطحية. ويضعف حجم الأمواج السطحية مثل الأمواج الأولية والثانوية كلما زاد البُعد عن بؤرة الزلزال، وتقل شدة الزلزال كلما زاد البعد عن المركز السطحي للزلزال. إن أعلى شدة للزلزال نجدها بالقرب من المركز السطحي، وتقل قيم ميركالي إلى الدرجة I على مسافات بعيدة عن المركز السطحي.

إنَّ كلًّا من شدة الزلزال وقوته يُعبّران عن حجم الأمواج الزلزالية الناجمة عن الزلزال، وإن شدة الزلزال تعتمد على سعة الأمواج الزلزالية والبعد عن المركز السطحي للزلزال، كذلك تعتمد شدة الزلزال على عمق بؤرة الزلزال. فالزلازل القوية التي تسبب الكوارث هي في الغالب زلازل ضحلة.

ينتج عن الزلازل العميقة اهتزازات أصغر من تلك التي تنتجها الزلازل الضحلة عادة، على سبيل المثال، يمكن لزلزال ضحل ومتوسط قوته 6 درجات على مقياس رختر، أن يولد شدة زلزالية قصوى أعلى من تلك التي ينتجها زلزال عميق قوته 8 درجات على مقياس رختر. ولأن مقياس ميركالي المعدل يعتمد على شدة الزلزال بدلاً من طاقته، لذلك فهو أفضل لقياس تأثير الزلزال على الناس.

سوف تبني في التجربة الآتية خريطة الشدة الزلزالية باستعمال مقياس ميركالي المعدل، وتوضح هذه الخرائط الشدة الزلزالية الفعلية؛ إذ تصل خطوط الكنتور بين الأماكن المتساوية في الشدة، كما توضح أن أكبر شدة للزلزال تكون بالقرب من المركز السطحي له.

تجربة

إعداد خريطة

كيف يمكن إعداد خريطة الشدة الزلزالية؟ يساعد إسقاط بيانات الشدة الزلزالية على خرائط المناسيب (الكنتورية) على إعطاء العلماء صورة واقعية عن موقع المركز السطحي للزلزال والشدة الزلزالية.

خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. ضع ورقة فوق الخريطة، وارسم الخريطة، ثم حدد على الخريطة التي رسمتها المواقعَ المشار إليها بالأحرف.
3. أسقط بيانات الشدة لمقياس ميركالي على الخريطة التي رسمتها، بحيث تضع بجانب كل حرف الشدة الزلزالية الخاصة به.

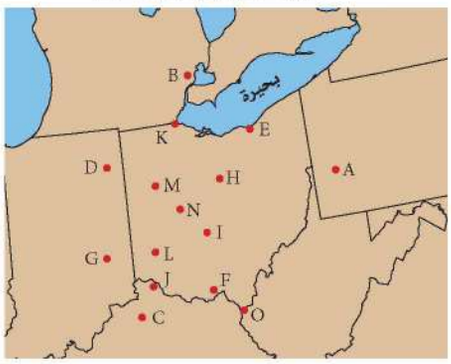
A: I، B: III، C: II، D: III، E: IV، F: IV، G: IV، H: V، I: V، J: V، K: VI، L: VIII، M: VII، N: VIII، O: III

4. لتحصل على خريطة مناسيب (كنتورية) للشدة الزلزالية، صل بين النقاط المتساوية الشدة.

التحليل

1. حدد أعلى قيمة للشدة الزلزالية.
2. جد موقع أعلى قيمة للشدة الزلزالية.
3. قدر موقع المركز السطحي للزلزال.

قيم الشدة الزلزالية لمنطقة ما



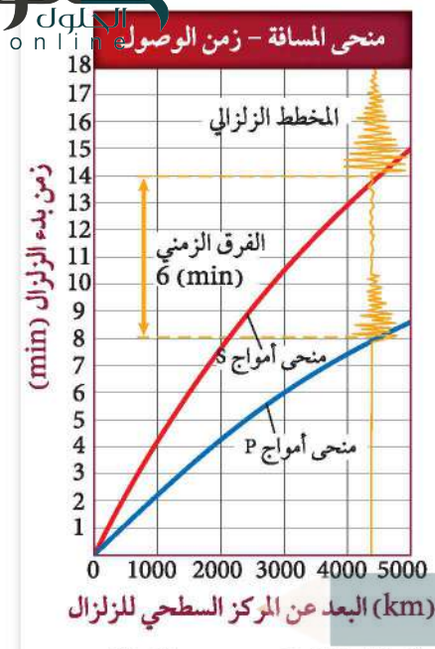
SA.GEO.SE.CH07.indd 178 4/8/19 4:58 PM

حلول
الحلول اون لاين
hulul.online

تحديد موقع الزلزال Locating an Earthquake

إن موقع المركز السطحي للزلزال ووقت حدوثه يكونان، في البداية، غير معروفين، ولكن يمكن تحديدهما باستعمال المخطط الزلزالي (السيزموجرام) ومنحنيات المسافة – زمن الوصول.

بُعد الزلزال Distance to an earthquake كما أن الشخص الذي يقود دراجة يصل قبل الشخص الذي يمشي، فإن أمواج P تصل محطات الرصد قبل أمواج S. ولو أخذنا بعين الاعتبار أثر المسافة المقطوعة على زمن وصول كل من الموجتين فإن الفرق الزمني بين وصوليهما سيزداد بزيادة المسافة المقطوعة. يوضح **الشكل 13–7** منحنى المسافة–زمن الوصول؛ حيث يُسجل السيزموجرام الزمن المستغرق بين وصول أول أمواج P وأول أمواج S، ويستطيع علماء الزلازل معرفة بُعد المركز السطحي للزلزال بقياس الفرق بين زمني وصول الموجتين في المخطط الزلزالي (السيزموجرام)، ثم تحديد الفرق الزمني نفسه على منحنى المسافة – زمن الوصول، ومن ثم استخراج بعد الزلازل.



الشكل 13–7 يبين منحنى المسافة—زمن الوصول هذا بيانات زلزالية لزلزال ما.

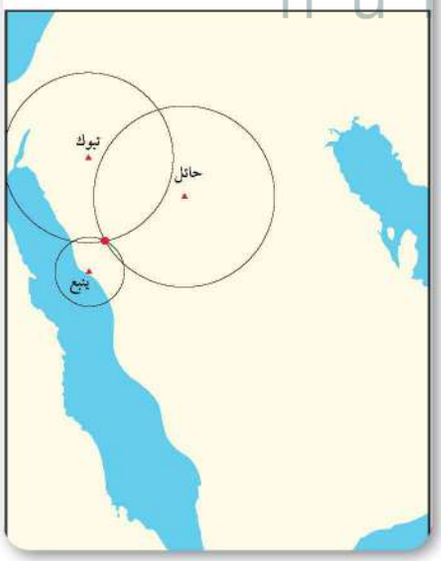
ويوضح **الشكل 13–7** أن الفرق الزمني يساوي 6 دقائق، لذا فإن المسافة بين المركز السطحي للزلزال ومحطة رصد الزلازل تساوي 4300 km بحسب منحنى المسافة – زمن الوصول؛ حيث يتضح من المنحنى أن أمواج P استغرقت 8 دقائق حتى وصلت محطة الرصد، بينما أمواج S استغرقت 14 دقيقة، فكلما زاد بُعد الزلزال زاد الفرق الزمني بين وصول أمواج P وأمواج S.

ماذا قرأت؟ **طبق** إذا علمت أن الفرق الزمني بين وصول أمواج P وأمواج S دقيقتان، فما بُعد المركز السطحي للزلزال عن موقع محطة الزلزال؟ **يبعد 1200 كم عن السيزمومتر الذي قاس الزلزال**

يحلل علماء الزلازل بيانات مخططات زلزالية عديدة لتحديد موقع المركز السطحي للزلزال، فبحساب المسافة بين المركز السطحي للزلزال وبين محطة الرصد يحدد العلماء بُعد المركز السطحي بدقة، ولكن هذا لا يُحدد الاتجاه الذي يقع المركز السطحي فيه بالنسبة إلى محطة الرصد. ويمكن التعبير عن ذلك بدائرة مركزها محطة الرصد ونصف قطرها بُعد المركز السطحي عن المحطة. ولو مثّلنا بُعد المركز عن محطة أخرى بدائرة ثانية، فسوف تتقاطع الدائرتان في نقطتين، ولا نعرف أيهما يقع المركز السطحي فيه. ولو مثّلنا بُعد محطة ثالثة بدائرة ثالثة، فعندئذ تتقاطع الدوائر الثلاث في نقطة، وتمثل هذه النقطة المركز السطحي، انظر **الشكل 14–7**.

الشكل 14–7 لتحديد موقع المركز السطحي للزلزال يحدد العلماء مواقع محطات الرصد على خريطة، ويرسمون حول كل محطة دائرة مركزها المحطة ونصف قطرها بُعد المركز السطحي عن المحطة، وتتقاطع الدوائر جميعها في نقطة تمثل المركز السطحي للزلزال.

حدد من الشكل المرفق موقع المركز السطحي للزلزال.



زمن حدوث الزلزال Time of an earthquake يوفر الفرق الزمني بين وصول الأمواج الزلزالية في السيزموجرام معلومات حول بُعد المركز السطحي، كما يستعمل علماء الزلازل السيزموجرام في معرفة زمن حدوث

SA.GEO.SE.CH07.indd 179 4/8/19 4:58 PM

الزلزال في البؤرة بدقة. ويتم تحديد الزمن باستعمال جدول، كما هو الحال في منحنى المسافة زمن الوصول في **الشكل 7–7**. تسجل محطات الرصد في السيزموجرام زمن وصول أمواج P وأمواج S بدقة متناهية، ويستطيع العلماء قراءة الزمن الذي استغرقته أمواج P وS من المركز السطحي إلى محطة الرصد باستعمال رسوم بيانية كالتي في **الشكل 7–7**. فعلى سبيل المثال، افترض أن السيزموجرام سجل زمن وصول أمواج P في تمام الساعة 10:00 صباحًا باستعمال منحنى المسافة–زمن الوصول، ويمكن استخراج قيمة المسافة التي قطعتها أمواج P في 8 دقائق، وهي 4500 km، فهذا يعني أن الزلزال قد حدث عند البؤرة في الساعة 09:52 صباحًا.

ماذا قرأت؟ **اعمل قائمة** بالمعلومات التي يتضمنها المخطط الزلزالي (السيزموجرام).

الأحزمة الزلزالية Seismic Belts

جمع علماء الزلازل على مر السنين مواقع المراكز السطحية للعديد من الزلازل، وأسقطوها على خريطة العالم. يُلاحظ من التوزيع العالمي لمواقع المراكز السطحية أنها تتوزع بنمط جدير بالاهتمام؛ أي أنها لا تتوزع بصورة عشوائية؛ بل تحدث معظم الزلازل على طول أحزمة ضيقة تفصل بين مناطق كبيرة لا نشاط زلزالي فيها أو يحدث فيها قليل من الزلازل سميت **أحزمة الزلازل seismic belts**.

أزمنة الوصول إلى الأمواج الزلزالية المختلفة وزمن حدوث الزلزال عند البؤرة بدقة

مختبر تحليل البيانات

تفسير البيانات

كيف يمكنك أن تحدد موقع المركز السطحي للزلزال؟

لكي تحدد موقع المركز السطحي للزلزال بدقة، عليك أن تحلل بيانات أمواج P وأمواج S التي سُجلت في محطة رصد زلزالية.

تحليل

البيانات والملاحظات

محطة الرصد	زمن وصول أمواج P	زمن وصول أمواج S	الفرق الزمني (دقائق)	بُعد المركز السطحي (km)
بيشة (BISH)	8:39:02	8:44:02		
عقلة الصقور (UQSK)	8:35:22	8:37:57		
عفيف (AFIF)	8:35:38	8:38:17		

التفكير الناقد

6. وضح لماذا تحتاج إلى إيجاد الفرق الزمني بين وصول كل من أمواج P وأمواج S لكل محطة.
7. حدد مصادر الخطأ عند تحديد المركز السطحي للزلزال.
8. فسر لماذا يعد زيادة محطات الرصد الزلزالي المأخوذ منها البيانات أكثر فائدةً في تحديد موقع المركز السطحي للزلزال.

ج6: لتحديد نقطة واحدة لا بد من وجود ثلاث محطات لكى تتقاطع الدوائر الثلاث في نقطة وهي تمثل البعد المحتمل لبعد كل من هذه المحطات عن المركز السطحي للزلال

ج7: إجابات محتملة: مكونات القشرة الأرضية أسفل محملة الرصد، دقة الأجهزة، الدقة في تزامن الساعات

ج8: على الرغم من أننا نحتاج إلى بيانات لثلاث محطات رصد فقط لتحديد موقع المركز السطحى إلا أن زيادة عدد المحطات يؤكد لنا صحة الموقع؛ ومن ثم يؤدي إلى تصحيح أي أخطاء محتملة

حلول الحلول اون لاين hulul.online

ج1: يستعمل زمن انتقال أمواج ب وأمواج س لتحديد المركز السطحي للزلزال.
ج2: يعتمد قياس قوة الزلزال على الأمواج الزلزالية؛ بينما تعتمد شدة الزلزال على ما يعانيه الناس من أضرار بسبب هذه الأمواج ويعتمد مقياس رختر على الأمواج الزلزالية ويعتمد مقياس العزم الزلزالي على الطاقة المتحررة في صورة أمواج زلزالية بينما يعتمد مقياس ميركالي المعدل على شدة الزلزال الذي يقاس بالآثار التي تقع على الإنسان وما بحيط به
ج3: للحصول عل نقطة واحدة تحتاج على الأقل إلى ثلاث دوائر متداخلة، بحيث تتقاطع في نقطة واحدة
ج4: توجد معظم الزلازل في أحزمة ضيقة نسبياً وتنطبق مع حدود الصفائح
ج5: الزلازل الضحلة عموماً تنتج الاهتزازات الكبيرة، لذا تكون أكثر ضرراً على السطح بعكس الزلازل العميقة

مع حدود الصفائح الأرضية. هناك 80% من زلازل الأرض ضمن حزام المحيط الهادي، و 15% ضمن حزام البحر الأبيض المتوسط، وهذان الحزامان هما نطاقا طرح؛ حيث تلتقي صفيحتان معًا، وتغوص إحداهما تحت الأخرى. أما ما تبقى من الزلازل فيحدث معظمه في أحزمة ضيقة تقع على طول قمم ظهور المحيطات؛ حيث تبتعد الصفائح الأرضية بعضها عن بعض.

التقويم 2-7

الخلاصة

- قوة الزلزال هي مقياس للطاقة التي تتحرر في أثناء حدوث الزلزال، ويمكن قياسها بمقياس رختر.
- شدة الزلزال هي مقياس للدمار الذي يُحدثه الزلزال.
- لتحديد موقع المركز السطحي للزلازل نحتاج على الأقل إلى ثلاث محطات رصد للزلازل.
- تحدث معظم الزلازل في أحزمة ضيقة تسمى أحزمة الزلازل؛ حيث تنطبق مع حدود الصفائح.

فهم الأفكار الرئيسة

1. الفكرة الرئيسة لخص الطرائق التي يستعمل فيها العلماء الأمواج الزلزالية لقياس الزلازل وتحديد موقعها.
2. قارن بين قوة الزلزال وشدته، وكذلك بين المقياسين المستخدمين لقياسيهما.
3. فسر لماذا نحتاج إلى ثلاث محطات رصد على الأقل لتحديد موقع الزلزال؟
4. صف كيف يمكن مقارنة حدود الصفائح الأرضية بموقع معظم الزلازل على خريطة العالم، كما في الشكل 15-7؟

التفكير الناقد

5. كوِّن جملة تفسر لماذا يمكن أن يُسبب زلزال قوته 6 دمارًا أكثر مما يُسببه زلزال قوته 8.

الرياضيات في الجيولوجيا

6. احسب كم تزيد الطاقة الزلزالية الصادرة عن زلزال قوته 9 على الطاقة الزلزالية الصادرة من زلزال قوته 7؟

SA.GEO.SE.CH07.indd 181 4/8/19 4:58 PM

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa
حلول
حلول اون لاين
hulul.online

7-3

الزلازل والمجتمع

Earthquakes and Society

الأهداف

- **تناقش** العوامل التي تؤثر في حجم الدمار الذي يُحدثه الزلزال.
- **توضح** بعض العوامل التي تؤخذ في الاعتبار في دراسات احتمالية وقوع الزلازل.
- **تتعرف** كيف تتأثر المنشآت المختلفة بالزلازل.

مراجعة المفردات

العمليات التكتونية: قوى في باطن الأرض تؤثر في القشرة الأرضية وتؤدّي إلى حركتها وارتفاعها وتشوهها.

مفردات جديدة

تسييل التربة
تسونامي
فجوة زلزالية
تراكم الجهد

الفكرة الرئيسة يمكن معرفة احتمال حدوث الزلزال من خلال دراسة تاريخ المنطقة زلزاليًّا، ومعرفة أين وكيف تتراكم الإجهادات بسرعة.

الربط مع الحياة إذا كانت مدينتك تشهد سقوط أمطار في شهر مارس بمعدل 11 يومًا من كل عام، فكيف يمكنك أن تتوقع الطقس في مدينتك في شهر مارس بعد 10 سنوات من الآن. قد تقدر فرصة حدوث سقوط المطر بنسبة 31/ 11. وبالكيفية نفسها تستطيع أن تتوقع احتمالية حدوث الزلازل عن طريق التاريخ الزلزالي للمنطقة.

الخطر الزلزالي Earthquake Hazards

من المعروف أن الزلازل تحدث على حدود الصفائح بصورة متكررة، وتسبب أضرارًا في الممتلكات والأرواح في المناطق التي تصيبها. ويمكن لزلزال قوته 5 أن يسبب كارثة في منطقة وأضرارًا قليلة في منطقة أخرى؛ إذ تعتمد حدة الأضرار الناجمة عن الزلزال على مجموعة من العوامل، تسمى هذه العوامل مخاطر الزلازل. ومن الأمثلة على هذه العوامل تصميم المباني؛ إذ تتضرر المباني سيئة التصميم بالزلزال أكثر من غيرها؛ فالمبنى المصنوع من الخرسانة وأساساته غير مدعومة قد يتضرر أكثر من المبنى المصنوع من الخشب، انظر **الشكل 16–7**؛ لأن الخرسانة مادة هشة قليلة المرونة بينما الهياكل الخشبية أكثر مرونة.

الشكل 16–7 المباني الخرسانية (الأسمنتية) هشة غالبًا، ويمكن أن تتلف بسهولة إذا وقع زلزال؛ فالمبنى الظاهر في الصورة أزيح من فوق أساسه عندما حدث الزلزال، وتم إسناده بعمود من الخشب.

SA.GEO.SE.CH07.indd 182 4/8/19 4:58 PM

حلول
hulul.online

الشكل 17–7 يوضح الشكل أحد أنواع الدمار الناجمة عن الزلازل، حيث تتسبب الاهتزازات في انهيار الجدران الداعمة للمبنى وسقوط الطوابق العليا واحدة فوق الأخرى، فتظهر الطوابق متراصة بعضها فوق بعض.

انهيار المنشآت Structural failure يحدث في كثير من المناطق المعرضة للزلازل انهيار للمباني عندما تهتز الأرض من تحتها؛ وفي بعض الحالات، قد تنهار الجدران الداعمة في الطابق الأرضي فتتسبب في انهيار الطوابق العليا، وسقوطها فوق الطوابق السفلية، فيتشكل حطام يشبه مجموعة من الألواح، لذا تسمى هذه العملية تراصّ الألواح ويوضح **الشكل 17–7** دماراً مأساوياً ناتجاً عن هذا النوع من انهيار المنشآت، والذي وقع في جمهورية هايتي، في عام ٢٠١٠م.

تنهار الجدران وتسقط الأسقف العلوية فوق السفلية في عملية تراص الألواح

ماذا قرأت؟ وضح كيف يتشكل «تراصّ الألواح» عند حدوث زلزال؟

هناك نوع آخر من انهيار المنشآت يتعلق بارتفاع المباني. حيث تدمر معظم المباني التي يتراوح ارتفاعها بين 5 إلى 15 طابقًا تدميرًا تامًّا، كما في **الشكل 18–7**، بينما تعاني المباني الأقصر أو الأطول من أضرار طفيفة؛ وذلك لأن التردد الناتج عن اهتزاز سطح الأرض الناتج عن الزلزال مساوٍ للتردد الناتج عن الاهتزاز الطبيعي للمباني المتوسطة، مما جعل هذه المباني تهتز بعنف في أثناء الزلزال، في حين أن تردد الاهتزازات الأرضية أقل من تردد اهتزازات المباني المرتفعة وأكبر من تردد اهتزازات المباني المنخفضة.

حلول
hulul.online

الشكل 18–7 تدمرت المباني المتوسطة الارتفاع في أثناء حدوث الزلزال؛ لأن تردد اهتزازات هذه المباني يساوي تردد اهتزازات الأمواج الزلزالية.

SA.GEO.SE.CH07.indd 183 4/8/19 4:58 PM

الشكل 19–7 يحدث تسييل في التربة الضعيفة التماسك عندما تنتشر اهتزازات زلزالية فيها، فتسلك سلوك الرمال المتحركة.

انهيار اليابسة والتربة Land and soil failure بالإضافة إلى تأثير الزلازل في المنشآت التي شيّدها الإنسان، يمكن للزلازل أن تشوه المناظر الطبيعية في الأرض. ففي المناطق المنحدرة، يمكن أن تؤدي الزلازل إلى انهيارات أرضية ضخمة. وقد تسبّب الانهيارات الأرضية الناجمة عن الزلازل دفن العديد من القرى والبلدات الصغيرة؛ فالاهتزازات الزلزالية تجعل المناطق الرملية المشبعة بالماء، تسلك سلوك السائل عندما تسير فيها. تسمى هذه الظاهرة **تسييل التربة Soil liquefacation**. ويمكن أن تولد الاهتزازات الزلزالية انهيارات أرضية حتى في المناطق قليلة الانحدار، كما يمكن أن تتسبب في سقوط الأشجار والمنازل أو غوصها في الأرض، ورفع الأنابيب والخزانات الموجودة تحت الأرض لتصبح فوق السطح. ويبين **الشكل 19–7** مباني مائلة بسبب تسييل التربة تحتها في أثناء الزلزال.

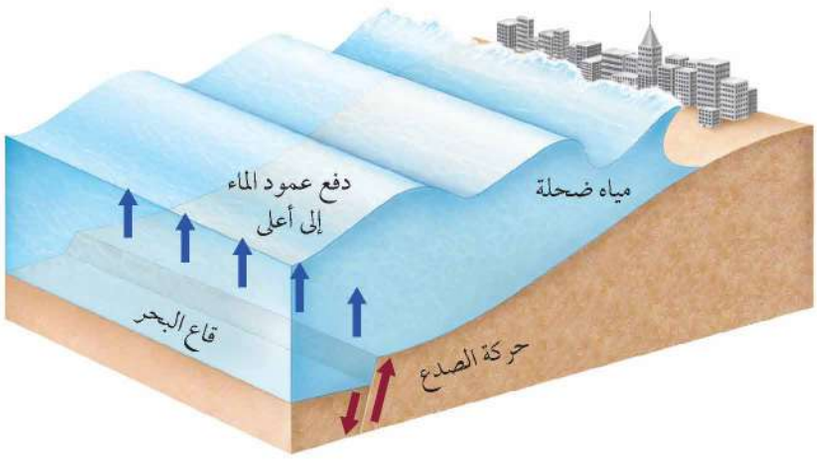
تحدث ظاهرة تسبيل الترزبة عندما تمر الاهتزازات الزلزالية عبر الرسوبيات والطبقات الصخرية المشعة بالمياه

ماذا قرأت؟ لخص كيف يمكن لمادة الأرض الصلبة أن تكتسب خصائص المادة السائلة؟

بالإضافة إلى مخاطر الانزلاقات الأرضية، فإن نوع المادة المكونة لسطح الأرض أثّر في شدة الزلزال في المنطقة؛ إذ تتضخم الموجات الزلزالية في بعض المواد الطرية، ومنها الرواسب المفككة، بينما تخفت في الصخور الأكثر صلابة، ومنها الجرانيت.

SA.GEO.SE.CH07.indd 184 4/8/19 4:58 PM

حلول
الحلول اون لاين
hulul.online

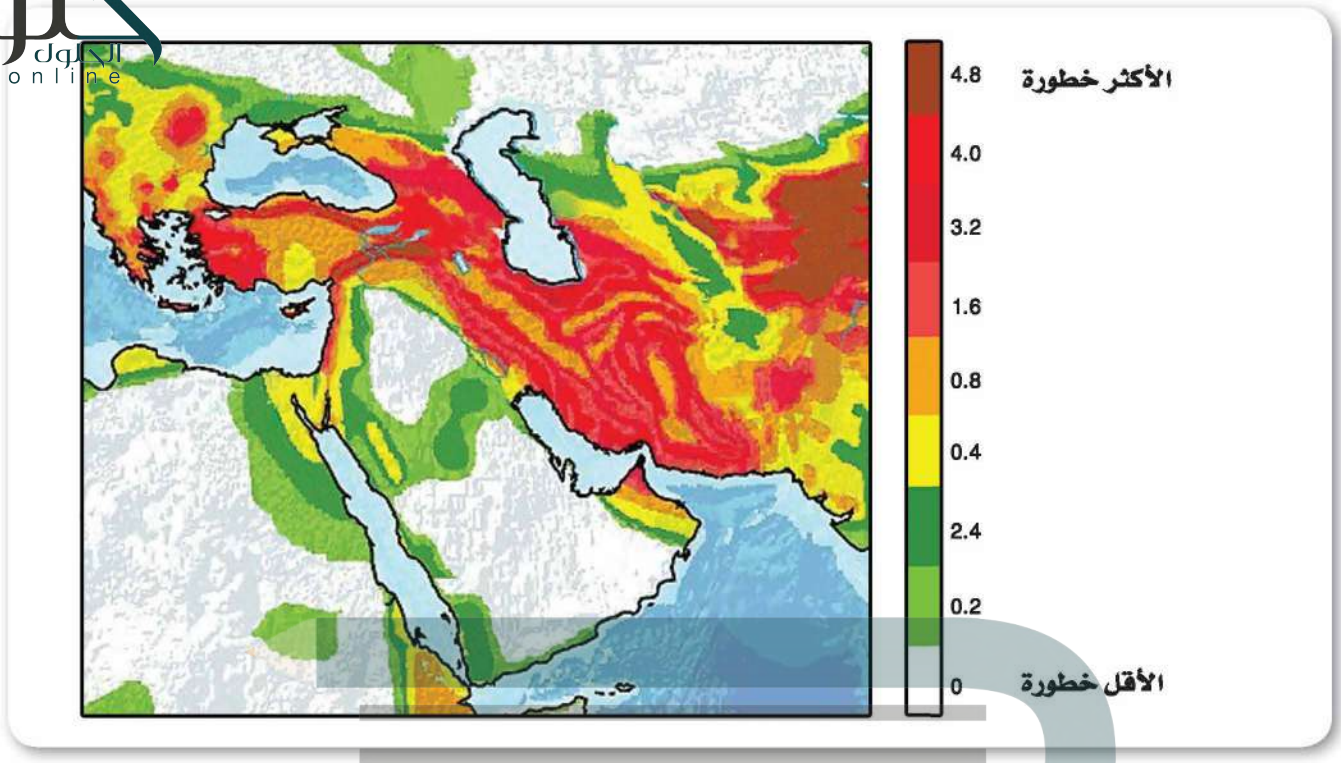


الشكل 20–7 يتكون التسونامي عندما يسبب الصدع تحت الماء إزاحة عمود الماء فوق قاع المحيط إلى أعلى.

تسونامي Tsunami نوع آخر من مخاطر الزلازل. **وتسونامي Tsunami** موجة محيطية كبيرة تتولد بفعل حركات رأسية لقاع البحر في أثناء حدوث زلزال، وتسبب هذه الحركة إزاحة المياه الواقعة فوق منطقة الصدع المسبب للزلزال إلى أعلى، فينتج عنها قمم ومنخفضات على سطح الماء، كما في **الشكل 20–7**، حيث تكون هذه الأمواج في البداية في صورة موجة طويلة جدًّا ارتفاعها أقل من 1 m، ولكن عندما تنتشر هذه الأمواج من المركز السطحي للزلزال في المحيطات المفتوحة وتدخل المياه الضحلة يقل طولها ويزداد ارتفاعها، وربما يتجاوز ارتفاعها عند الشاطئ 30 m. ويشكل الارتفاع الكبير لأمواج التسونامي وسرعتها التي تتراوح بين 800 km/h و 500 خطورة تهدد المناطق الساحلية بالقرب من المركز السطحي للزلزال أو بعيدًا عنه. وتسونامي اليابان في 11 مارس عام 2011م نتج عن زلزال قوته 8.9 في المحيط الهادي يقع على بُعد 400 km شمال شرق مدينة طوكيو؛ حيث انتقل عبر المحيط الهادي وضرب سواحل اليابان بارتفاع 10 m، وتجاوز عدد الوفيات من جراء كارثة التسونامي هذه 20,000 شخص، مما جعلها واحدة من أكبر الكوارث الطبيعية تدميرًا في العصر الحالي. ويوضح **الشكل 21–7** أثر ذلك الحدث الكارثي. ومن الآثار السلبية لتسونامي – بالإضافة إلى تدمير المباني والمنشآت – تلويث المياه السطحية كالأنهار والبحيرات وآبار المياه العذبة، كذلك قد تعمل على تقليل مستوى المياه الجوفية وجفاف الآبار.

الشكل 21–7 لم يقتصر الدمار الناتج عن تسونامي اليابان في 11 مارس شرق مدينة طوكيو، على الشواطىء، بل تجاوز ذلك إلى المناطق الداخلية، وأسفر عن وفاة ما لا يقل عن 20,000 شخص.

SA.GEO.SE.CH07.indd 185 4/8/19 4:58 PM



الشكل 22–7 تشمل مناطق الخطر الزلزالي الكبير مناطق عدة، منها اليابان وتركيا وإيران.

حدد موقع المناطق ذات الخطر الزلزالي الأكبر على الخريطة، ثم حدد منطقتك على الخريطة مبينًا الخطر الزلزالي فيها.

توقع الزلازل Earthquake Forecasting

للحد من الأضرار والوفيات الناجمة عن الزلازل يبحث العلماء عن طرائق لتوقع حدوث الزلازل. ولا يوجد حاليًا أي طريقة يمكن الاعتماد عليها تمامًا لتوقع وقت حدوث الزلزال القادم ومكانه. وبدلاً من ذلك يعتمد التوقع على حساب احتمال وقوع الزلزال، الذي يعتمد على عاملين، هما تاريخ الزلازل في المنطقة، ومعدل تراكم الجهود في صخورها.

ماذا قرأت؟ اذكر طريقتين يستعملهما علماء الزلازل لتحديد احتمال حدوث زلزال في منطقة ما.

يحدد العلماء احتمالية حدوث زلازل في منطقة ما بناء على التاريخ الزلزالي للمنطقة ومعدل تراكم الإجهاد في الصخور

منطقة معينة؛ حيث تستعمل السيزمومترات لتحديد تكرار الزلازل الكبيرة. ويمكن استعمال تاريخ النشاط الزلزالي للمنطقة لإعداد خرائط الخطر الزلزالي. تشهد كثير من الدول – ومنها اليابان وتركيا وإيران – خطرًا زلزاليًّا مرتفعًا نسبيًّا. وقد عانت هذه المناطق من بعض الزلازل القوية في الماضي، وربما ستشهد نشاطًا زلزاليًّا كبيرًا في المستقبل. ويوضح **الشكل 22–7** الخطر الزلزالي لشبه الجزيرة العربية وما حولها؛ حيث تزداد الخطورة الزلزالية في الدول الواقعة إلى الشمال والشمال الشرقي من شبه الجزيرة العربية.

الربط مع رؤية ٢٠٣٠
رؤية VISION 2030
المملكة العربية السعودية
KINGDOM OF SAUDI ARABIA
مجتمع حيوي
• من أهداف الرؤية: حماية البيئة من الأخطار الطبيعية.

حلول
الحلول اون لاين
hulul.online

معدلات التكرار Recurrence rate يمكن أن تشير معدلات تكرار الزلازل التي تحدث على طول الصدع إلى ما إذا كان الصدع يولد زلازل مماثلة على فترات منتظمة أم لا. فلو أخذنا على سبيل المثال معدلات تكرار الزلازل على طول صدع سان أندرياس في ولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية فسنجد أن سلسلة من الزلازل بقوة 6 تقريبًا على مقياس رختر قد ضربت المنطقة في كل 22 عامًا من 1857 م حتى عام 1966م. ففي عام 1987م توقع علماء الزلازل تعرض المنطقة إلى زلزال قوي خلال العقود القادمة بنسبة احتمال تبلغ 90٪. وقد استعملت أنواع مختلفة من الأجهزة وكذلك الحفر، انظر **الشكل 23–7**، لقياس الزلازل في حالة وقوعها. وفي سبتمبر 2004 م، وقع زلزال قوته 6 على مقياس رختر. وقد جمعت بيانات هائلة عن هذا الزلزال قبل وبعد وقوعه، ووجد أن هذه المعلومات التي تم الحصول عليها ذات قيمة في توقع حدوث الزلازل المتكررة في المستقبل والاستعداد لها في جميع أنحاء العالم.

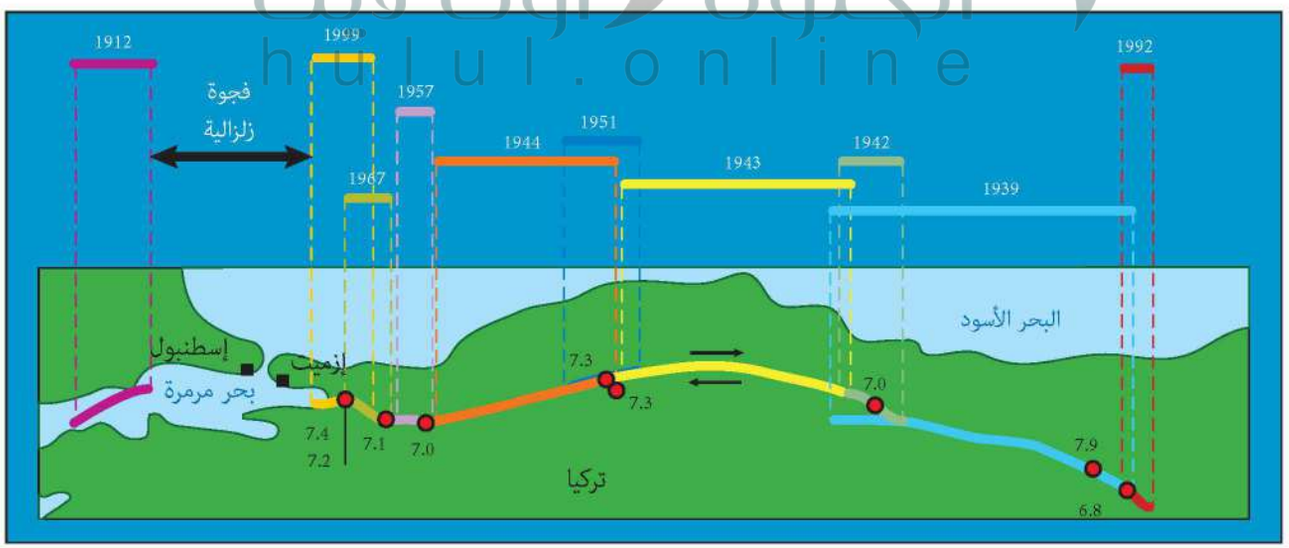
ماذا قرأت؟ استنتج أهمية دراسة معدلات تكرار الزلازل.

إن حدوث زلزال في منطقة يجعل من المحتمل أن هذه المنطقة ستشهد حدوث زلازل سواء في النقطة نفسها أو قريبًا منها وأحيانا تحدث الزلازل وتتكرر وفي نمط عام في الفاصل الزمني بين الهزات

التاريخ الطويل للزلازل التي تقع على طول الصدع الكبير الموضح أدناه.

الشكل 23–7 استعملت هذه المنصة لحفر بئر بعمق 2.3 km في المنطقة. وبعد الانتهاء من حفر البئر، تم توصيلها بالأجهزة لتسجيل البيانات في أثناء الهزات الكبرى والصغرى. ويهدف هذا المشروع إلى فهم آلية حدوث الزلازل، وسبب حدوثها. وتساعد هذه المعلومات العلماء على توقع متى تحدث الزلازل.

الشكل 24–7 وقع زلزالان عامي 1912م و 1999م على جانبي مدينة إسطنبول التي يبلغ عدد سكانها 18 مليون نسمة، حيث تركت الزلازل حول المدينة فجوة زلزالية تشير إلى احتمال وقوع زلزال في المنطقة.



SA.GEO.SE.CH07.indd 187 4/8/19 4:59 PM

ج1: دراسة التاريخ الزلزالي للمنطقة وقياس تراكم الإجهادات في الصخور، وتمثيل الشجوات الزلزالية بيانًا

ج2: يمكن أن يؤدي إلى انهيار اليابسة وتسبيل التربة؛ وإلى تدمير المباني والجسور وغيرها من المنشآت؛ أما تسونامي فيهدد المناطق الساحلية

ج3: ينبغي أن تبين الرسوم أن بعض المعالم أصبحت منفصلة ومقطوعة بعد وقوع الزلزال

ج4: تؤدي الحركة الرأسية على طول الصدع في قاع المحيط إلى إزاحة عمود من الماء مكونة مرجهة ضخمة تزيد بي فوتها حتى تصل إلى الشواطئ

ج5: يرجح أنها تحدث في فجوة زلزالية بين المناطق التي حدث فيها زلازل

ج6: لتحديد المناطق الأكثر عرضة للزلازل؛ ينبغى على أعضاء اللجنة دراسة التاريخ الزلزالي للعالم، والبحث عن الفجوات الزلزالية

حلول
الحلول أونلاين
hulul.online

مكان ما.

وضح. لماذا يعد تراكم الجهود في المناطق مهمًّا؟

التقويم 3-7

الخلاصة

- يعتمد توقع الزلازل على التاريخ الزلزالي وقياسات الجهود المتراكمة في الصخور.
- تسبب الزلازل الدمار من خلال توليد موجات زلزالية يمكنها إحداث اهتزازات في سطح الأرض.
- يمكن أن تسبب الزلازل انهيار المنشآت والانزلاقات الأرضية، وتسييل التربة والتسونامي.
- الفجوات الزلزالية أجزاء من صدع نشط لم تتعرض لزلازل كبيرة منذ فترة طويلة من الزمن.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** اعمل قائمة ببعض الأمثلة حول الطرائق التي يستعملها العلماء لتحديد احتمال وقوع زلزال.
2. لخص الآثار المترتبة على أنواع المخاطر المختلفة الناجمة عن الزلازل.
3. ارسم مجموعة من الرسوم تبين ما يحدث على طول صدع قبل حدوث زلزال وبعده.
4. لخص الأحداث التي تؤدي إلى حدوث التسونامي.

التفكير الناقد

5. قوّم أي الأماكن أكثر احتمالًا لوقوع زلزال فيها؟ هل يقع في المكان نفسه الذي وقع فيه زلزال قوته 7.5 قبل 20 عامًا، أو في مكان يقع بين منطقتين تعرضتا لزلزالين؛ زلزال قبل 20 سنة، وزلزال قبل 60 سنة؟

الكتابة في الجيولوجيا

6. تخيل أنك في لجنة علمية، واكتب تقريرًا تتناول فيه طرائق مقترحة لتعرُّف المناطق الأكثر عرضة لوقوع الزلازل.

SA.GEO.SE.CH07.indd 188 4/8/19 4:59 PM

حلول
الحلول اون لاين
hulul.online

الجيولوجيا والمجتمع

دروس من الماضي

زلزال بومرداس مايو 2003م الساعة 7:44 مساءً يوم الأربعاء. خرج سكان الجزائر العاصمة والمدن المحيطة بها – وخصوصًا ولاية بومرداس، التي تقع على بعد 50 km تقريبًا شرقي العاصمة – من منازلهم في حالة فزع شديد وقد انهارت مبانٍ عديدة على من فيها، بعد أن ارتجّت الأرض، وزلزلت زلزالاً شديدًا. وقد قدّره الخبراء بـ 6.8 درجات على مقياس رختر.

الزلزال يضرب المدينة لقد توقعت مراكز رصد الزلزال حول العالم حدوث زلزال في شمال الجزائر؛ بسبب تكرار حدوث الزلازل، ووجود فجوات زلزالية في المنطقة.

وقد حدث ما كان متوقعًا بالفعل، فقد ضربت هزة أرضية عنيفة شرق العاصمة الجزائرية، مما أسفر عن سقوط 3,500 قتيل، وتشرد 130,000 شخص.

العلماء يحللون الزلزال كان مركز الزلزال في مدينة الثنية في ولاية بومرداس، وكان هذا أقوى زلزال وقع في الجزائر منذ زلزال عام 1980م، الذي بلغت قوته 7.3 درجة، وهو ما استدعى عدة سنوات لتتمكن البلدات المصابة من استرجاع مناظرها السابقة. لقد أظهر الزلزال مرة أخرى هشاشة النسيج العمراني داخل المدن وخارجها.

أسباب حدوث الزلزال يقع الجزء الشمالي من الجزائر بين الصفيحة الإفريقية والصفيحة الأوراسية. وقد قام الجيولوجيون بتحليل حركة الكتل الصخرية وحساب كمية الطاقة المحرّرة في أثناء تحركها، باستخدام نظرية الارتداد المرن (نظرية ريد Reid). وقد افترضوا أن الإجهادات الصخرية تكونت تدريجيًّا؛ حيث وقعت صخور المنطقة تحت تأثير قوى، حتى وصلت حدًّا يفوق قدرتها على التحمل، مما أدى إلى تكسُّرها وتحرك أجزائها. وقد تعرضت المنطقة

زلزال بومرداس2003م

للعديد من الزلازل نتيجة وقوعها بين هاتين الصفيحتين.

أما زلزال بومرداس 2003 فسببه حركة الكتل الصخرية عند صدع زموري إلى الشمال الشرقي، وقد تم تعرُّفه أول مرة بعد هذا الزلزال، بحسب هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية.

التحضير للمستقبل يعلم الجيولوجيون جيدًا أن الإجهادات التي تتعرض لها القشرة الأرضية على طول صدع زموري في ازدياد مستمر، وهي المسؤولة عن وقوع زلزال بومرداس 2003م. ولهذا يعمل العلماء والمجتمع على السواء على الاستعداد للزلازل في المستقبل، وتعرّف المكان المحتمل لحدوث الزلازل، وتصميم مبان تستطيع تحمل آثارها.

الكتابة في الجيولوجيا

ابحث باستخدام الإنترنت اكتب بحثًا أو أنشئ عرضًا تقديميًّا عن زلزال مدينة العيص التي تقع على بعد 240 كم شمال غرب المدينة المنورة الذي حدث عام 2009م، ووضح مدى تأثيراته في السكان والبيئة المحلية.

SA.GEO.SE.CH07.indd 189 4/8/19 4:59 PM

حلول
الحلول اون لاين
hulul.online

العلاقة بين المركز السطحي للزلزال والصفائح الأرضية

خلفية علمية يمكنك تقدير المسافة بين محطة رصد الزلازل (التي تسجل البيانات) والمركز السطحي للزلزال من خلال تحديد الفرق الزمني بين أمواج P وأمواج S المسجلة على السيزموجرام، وتستطيع أن تحدد الموقع الدقيق للمركز السطحي للزلزال على الخريطة من خلال استعمال ثلاث محطات رصد أو أكثر. ويفيد تحديد موقع المركز السطحي للزلزال على خريطة حدود الصفائح الأرضية في معرفة نوع حركة الصفائح التي سببت الزلزال.

سؤال: كيف يستطيع علماء الزلازل تحديد موقع المركز السطحي للزلزال؟

الأدوات

خريطة المملكة العربية السعودية، آلة حاسبة، فرجار، مسطرة مترية، خريطة الصفائح الأرضية، منحنى المسافة – زمن الوصول.

خطوات العمل

حدد موقع المركز السطحي لزلزال حقيقي والوقت الفعلي لحدوثه باستعمال زمن وصول الأمواج الأولية والثانوية المسجلة في ثلاث محطات رصد الزلازل.

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.

بيانات زلزالية			
محطة رصد الزلازل	رنية (RANI)	السودة (SODA)	عقلة الصقور (UQSK)
الفرق الزمني بين وصول أمواج P و S (دقيقة)	1.2	1.5	1
بُعد المركز السطحي (km)			
المسافة على الخريطة (cm)			

5. استعمل قيمة المسافة على الخريطة التي حسبتها لتعيين فتحة الفرجار المناسبة لتحديد المسافة بين المركز السطحي وأول محطة رصد.
6. ضع رأس الفرجار على موقع محطة الرصد وارسم دائرة.
7. كرر ما قمت به لكل من محطتي رصد الزلزال الأخريين.
8. حدد نقطة تقاطع الدوائر الثلاث. تمثل هذه النقطة المركز السطحي للزلزال.

التحليل والاستنتاج

1. **حلل البيانات** أين يقع المركز السطحي للزلزال؟
2. **صف** هل يتبع الزلزال أيًّا من الأحزمة الزلزالية الرئيسة؟
3. **فسر البيانات** استعمل خريطة الصفائح الأرضية لتحديد الصفائح التي سببت حدوث هذا الزلزال.
4. **استنتج** صف كيف تؤدّي حركات الصفائح إلى حدوث هذا الزلزال.

ج1: يقع على شاطئ البحر الأحمر إلى الغرب من المدينة المنورة

ج2: لا، حيث إن هنا أحزمة رئيسة منها : حزام المحيط الهادي، وحزام البحر الأبيض المتوسط، وأحزمة ضيقة عند ظهور المحيطات ومنها حزام المحيط الأطلسي

ج3: الصفيحة العربية

ج4: يمكن أن يكون سبب الزلزال حركة الكتل الصخرية على الصدوع المنتشرة على جانب البحر الأحمر والمرتبطة مع توسع البحر الأحمر وحركة الصفيحة العربية

الخطوة 2 وتمثل بعد المركز السطحي. تم دون المسافه في صف المسافة على الخريطة.

الكتابة في الجيولوجيا

تخيل نفسك مراسلًا لصحيفة مقرها قريب من المركز السطحي لهذا الزلزال، واكتب مقالًا توضح فيه كيف أدت العمليات الجيولوجية إلى وقوع هذا الزلزال.

SA.GEO.SE.CH07.indd 190 4/8/19 4:59 PM

حلول
الحلول اون لاين
hulul.online

الفصل 7

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة الـزلازل هـزات أرضية طبيعية، ينتـج بعضها بفعل الحركة على طـول الصدوع في القشرة الأرضية.

المفردات	المفاهيم الرئيسة
7–1 الأمواج الزلزالية وبنية الأرض	
الأمواج الزلزالية الأمواج الأولية الأمواج الثانوية الأمواج الجسمية بؤرة الزلزال المركز السطحي للزلزال مقياس الزلزال مخطط الزلزال	**الفكرة الرئيسة** يتم استعمال الأمواج الزلزالية في تصور بنية الأرض الداخلية. • أنواع الأمواج الزلزالية ثلاثة: أولية وثانوية وسطحية. • مقيـاس الـزلازل (السـيزمومتر) جهاز يسـتقبل الأمـواج الزلزالية، ويسـجلها على المخطط الزلزالي (السيزموجرام). • اسـتطاع العلـماء أن يحـددوا المركز السـطحي للزلازل مـن الفرق الزمني بـين زمني وصول أمواج P وأمواج S. • تتغير سرعة واتجاه كل من أمواج P وأمواج S عندما تواجه حدودًا فاصلة بين مواد مختلفة. • يمكـن الحصول على صورة مفصّلة عن مكونات الأرض الداخلية من خلال تحليل الأمواج الزلزالية التي تعبرُ باطن الأرض.
7–2 قياس الزلازل وتحديد أماكنها	
مقياس رختر قوة الزلزال سعة الموجة الزلزالية مقياس العزم الزلزالي مقياس ميركالي المعدَّل أحزمة الزلازل	**الفكرة الرئيسة** يقيـس العلماء قوة الزلازل ويحـددون مكانها على الخريطة باسـتعمال الأمواج الزلزالية. • قوة الزلزال هي مقياس للطاقة التي تتحرر في أثناء حدوث الزلزال، ويمكن قياسها بمقياس رختر. • شدة الزلزال هي مقياس للدمار الذي يُحدثه الزلزال. • لتحديد موقع المركز السطحي للزلازل نحتاج على الأقل إلى ثلاث محطات رصد للزلازل. • تحدث معظم الزلازل في أحزمة ضيقة تسمى أحزمة الزلازل؛ حيث تنطبق مع حدود الصفائح.
7–3 الزلازل والمجتمع	
تسييل التربة تسونامي فجوة زلزالية تراكم الجهد	**الفكرة الرئيسة** يمكـن معرفـة احتـمال حـدوث الزلزال مـن خلال دراسـة التاريـخ الزلازلي للمنطقة، ومعرفة أين تتراكم الجهود، وكيف تتراكم بسرعة. • يعتمد توقع حدوث الزلازل على التاريخ الزلزالي وقياسات الجهود المتراكمة في الصخور. • تسبب الزلازل الدمار من خلال توليد اهتزازات يمكنها إحداث هزات في سطح الأرض. • يمكن أن تسبب الزلازل انهيار المنشآت والانزلاقات الأرضية، وتسييل التربة والتسونامي. • الفجوات الزلزالية أجزاء من صدع نشط لم تتعرض لزلازل كبيرة منذ فترة طويلة من الزمن.

حلول
الحلول اون لاين
hulul.online

SA.GEO.SE.CH07.indd 191 4/8/19 4:59 PM

مراجعة المفردات

أكمل الجمل الآتية بالمفردات المناسبة.

1. يسمى المقياس الذي يقيس كلًّا من كمية الطاقة المنبعثة من الزلزال وسعة الأمواج الزلزالية مقياسَ ريختر.
2. يحدث تسييل التربة عندما تسبب الاهتزازات الزلزالية تسييلَ المواد الأرضية تحت السطحية، وتجعلها تسلك سلوك الرمال المتحركة.
3. يوضح منحنى المسافة – زمن الوصول العلاقة بين زمن انتقال الأمواج الزلزالية و بعد المركز السطحي للزلزال.
4. يُسمى نوع الأمواج الزلزالية الذي لا يمر خلال اللب الخارجي للأرض أمواج س.
5. تسونامي موجة تتولد بسبب الحركة الرأسية لقاع المحيط.
6. تسمى نقطة الكسر في صخور القشرة الأرضية، حيث تنشأ أولى الأمواج الزلزالية الجسمية فيها وتنتشر منها إلى جسم الأرض بؤرة الزلزال.

ضع المصطلح الصحيح بدلاً من الكلمة أو العبارة التي تحتها

ج7: فجوة زلزالية
ج8: مقياس ميركالي المعدل
ج9: تسونامي
ج10: سيزموجرام
ج11: بؤرة الزلزال هي النقطة التي تتولد عندها الأمواج نتيجة حدوث كسر في الصخر.
المركز السطحي للزلزال هو نقطة على سطح الأرض تقع فوق البؤرة مباشرة

وضح العلاقة بين المصطلحات الآتية في كل زوج مما يأتي:

11. البؤرة، المركز السطحي للزلزال.
12. الأمواج الثانوية، الأمواج السطحية.

ج12: الأمواج الثانوية أبطأ من الأمواج الأولية وأسرع من الأمواج السطحية وتتحرك عمودياً على خط انتشار الموجة بينما تتحرك الأمواج السطحية في اتجاه معاكس، إذ تتحرك جانبياً أو إلى أعلى وإلى أسفل وتنتقل الأمواج الثانوية خلال جسم الأرض من الداخل بينما تنتقل الأمواج السطحية على سطح الأرض فقط

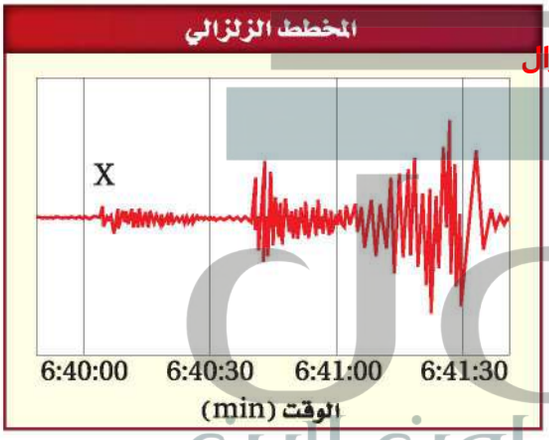
ج13: كلاهما مقياس يقيس كمية الطاقة المتحررة من الزلزال ويعتمد مقياس رختر على سعة أكبر موجة زلزالية أما مقياس العزم الزلزالي فيؤخذ باعتبار حجم الكسر في الصدع؛ ومقدار الحركة عل طول الصدع وقساوة الصخور

ج14: قوة الزلزال هى مقياس للطاقة المتحررة من الزلزال وهي تعتمد على سعة الموجة أما الشدة الزلزالية فتعتمد على وصف ما يحدثه الزلازل من دمار ضمن مقاييس معينة منها مقياس ميركالي المعدل

تثبيت المفاهيم الرئيسة

15. أي المواد الجيولوجية الآتية لها قابلية للتسييل أكبر ما يمكن عند مرور أمواج زلزالية فيها؟
a. الجرانيت. c. التربة والرسوبيات المفككة.
b. الصخر المتحول. d. اللابة.

أجب عن الأسئلة 18–16 مستعينًا بالرسم أدناه.



16. ما نوع الموجة الزلزالية المشار إليها بالرمز x؟
a. أمواج p. c. أمواج S.
b. أمواج سطحية. d. أمواج قص.
17. ما زمن وصول الأمواج السطحية؟
a. 6:40:00 c. 6:40:33
b. 6:40:05 d. 6:41:10
18. يُستعمل الفرق الزمني بين وصول أمواج P وأمواج S في تحديد:
a. بُعد المركز السطحي للزلزال عن محطة الرصد.
b. نوع الصدع.
c. عمق الزلزال.
d. ما إذا كان اللب سائلاً.
19. ما اسم العملية التي تنتج عن انهيار المنشآت بسبب

SA.GEO.SE.CH07.indd 192 4/8/19 4:59 PM

ج25: التاريخ القديم للسجل الزلزالي وقوة هذه الزلازل ووجود فجوات زلزالية وقياسات تراكم الإجهادات

ج26: ينبغي أن تتضمن الرسوم الإطار والكتلة المعلقة وجهاز التسجيل

ج27: الجملة غير صحيحة، إذا وقع زلزال في منطقة ما فمن المحتمل أن يحدث زلزال آخر في

ج30: تكون الصخور القريبة من السطح أبرد وأكثر هشاشة؛ ومن ثم تكون أكثر قابلية للانبيار مقارنة بالصخور العميقة؛ حيث تسبب درجة الحرارة المرتفعة في الأعماق زيادة لدونة الصخر؛ فتقل قابليتها للانهيار إذا تعرضت لإجهادات

سقوط جدران الطوابق السفلية ومن ثم انهيار الطوابق العليا؟

a. تسونامي.
b. تراصّ الألواح.
c. تسييل التربة.
d. فجوة زلزالية.

أسئلة بناءة

ج20: تبلغ الطاقة المتحررة من زلزال تشيل حوال 29 مرة من زلزال تايوان

ج21: سعة موجة زلزال اليابان أكبر حوالي 13 مرة من سعة موجة زلزال تايوان

ج22: زلازل كل من تشيل وألاسكا واليابان وتايران مصاحبة لنطاقات الطرح؛ أما زلزالل كاليفورنيا فيوجد على طول صدع تحويلي لكن جميع هذه الزلازل تحدث نتيجة حركة الصفائح الأرضية

ج23: كلاهما ينتقل على السطح وتنتقل الأمواج السطحية خلال الصخور (القشرة الأرضية والستار)، بينما تنتقل أمواج تسونامي خلال مياه المحيط كما أن أمواج تسونامي أبطأ كثيراً

ج24: إذا استعملت سيزمومترين فإنك ترسم دائرتين متقاطعتين في نقطتين؛ لذا هناك منطقتان يجتمل أن الزلزال قد حدث في واحدة منها، لكن لو استعملت ثلاثة سيزمومترات فستحصل على ثلاث دوائر تتقاطع في نقطة واحدة تمثل موقع المركز السطحي للزلازل

التفكير الناقد

25. **لخص** العوامل التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار في تقويم الخطر الزلزالي.
26. **ارسم** المكونات الرئيسة للسيزمومتر.
27. **انقد** الجملة الآتية: "إذا لم تُعانِ منطقة ما من حدوث زلزال أكثر من مائة سنة، فإنه لا يحتمل أن تحدث فيها زلازل على الإطلاق".
28. **صمّم** منزلًا بحيث يبقى هيكله سليمًا في حالة وقوع زلزال. حدد معالمه مبيِّنا كيف ستحميه من دمار الزلزال؟

يترك للطالب

خريطة مفاهيمية

29. استعمل المصطلحات والجمل الآتية لبناء خريطة مفاهيم تتعلق بالزلازل والموجات الزلزالية: الموجات السطحية، الموجات الثانوية، أسرع الموجات، تنتقل على سطح الأرض، لا تنتقل في السوائل، الموجات الأولية، أبطأ الموجات.

يترك للطالب

سؤال تحفيز

30. **فسّر** لماذا تكون معظم الزلازل ضحلة وقريبة من سطح الأرض؟ استعن بمعلوماتك حول درجة حرارة الأرض الداخلية وبالجمل الآتية: "تحدث الزلازل في الصخور الهشة ولا تحدث في الصخور اللدنة"، "تتأثر لدونة الصخور بدرجة الحرارة؛ إذ تزداد بزيادة درجة الحرارة"، "الصخور اللدنة صخور تأثرت بحيث أصبحت قابلة للتشوهات ومنها الطي دون حدوث كسر فيها".

SA.GEO.SE.CH07.indd 193 4/8/19 4:59 PM

حلول
الحلول اون لاين
hulul.online

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

1. ما نوع الموجات الزلزالية التي تخترق اللب الخارجي للأرض؟
   a. الموجات الثانوية.
   b. الموجات السطحية.
   c. الموجات الأولية.
   d. الموجات الأولية والثانوية.

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن السؤالين 2 و 3.

بعض الزلازل الحديثة		
الموقع	السنة	مقياس رختر
إندونيسيا	2005	7.6
جنوب سومطرة	2007	8.5
تشيلي	2010	7.0
اليابان	2011	9.0
شمال سومطرة	2012	8.6

2. احسب بشكل تقريبي كم مرة تزيد الطاقة المتحررة من زلزال شمال سومطرة على الطاقة المتحررة من زلزال إندونيسيا؟
   a. مرتين. c. 32 مرة.
   b. 10 مرات. d. 1000 مرة.

3. قدّر كم مرة تزيد سعة الموجة الزلزالية المتولّدة عن زلزال اليابان على تلك المتولّدة عن زلزال تشيلي؟
   a. مرتين. c. 100 مرة.
   b. 10 مرات. d. 1000 مرة.

4. أبطأ الموجات الزلزالية وصولًا إلى محطات الرصد الزلزالي:
   a. الموجات الأولية. c. الموجات الثانوية.
   b. الموجات السطحية. d. الموجات الجسمية.

5. ماذا تسمى أجزاء الصدع النشط التي لم تتعرض لزلازل كبيرة منذ فترة طويلة من الزمن؟
   a. الفجوات الزلزالية. c. تسييل التربة.
   b. الزلازل الكامنة. d. التسونامي.

6. لتحديد موقع الزلزال نحتاج إلى معرفة موقع:
   a. محطة زلزالية واحدة.
   b. محطتين زلزاليتين على الأقل.
   c. 3 محطات زلزالية على الأقل.
   d. 5 محطات زلزالية على الأقل.

7. ما المقياس الذي يستعمل في قياس شدة الزلازل؟
   a. رختر c. مقياس ميركالي المعدل
   b. مقياس العزم الزلزالي d. السيزموجرام

أسئلة الإجابات القصيرة

ج8: يقع المركز السطحي للزلزال في منتصف البحر الأحمر ويمكن تحديد ذلك عن طريق جع بيانات محطات الزلازل الثلاثة ورسم ثلاث دوائر، والنقطة التي تتقا طع عندها الدوائر الثلاث تعد المركز السطحي للزلزال

ج9: عند رسم دائرة واحدة تبين المواقع المحتملة للزلزال وعند رسم دائرتين تبين مساحة التداخل ولكن لا شيء محدد، أما عند رسم ثلاث دوائر تظهر نقطة التقاء الدوائر الثلاثة التى تعد الموقع الدقيق للمركز السطحي للزلزال

8. طبقًا للخريطة أعلاه، أين يقع المركز السطحي للزلزال؟ وكيف يمكن تحديده؟
9. ما أهمية استعمال ثلاث محطات رصد لتحديد المركز السطحي للزلزال؟

SA.GEO.SE.CH07.indd 194 4/8/19 4:59 PM

ج10: نعم؛ لأن المركز السطحي للزلزال يقع على حواف شبه الحزيرة العربية

ج11: كلما اقتربت الأمواج من الشاطئ تصبح المياه ضحلة مما يؤدي إلى بطئها، ويزداد ارتفاعها (قممها)، فتتلاحق وتلتقى معاً مما يزيد في ارتفاعها حتى تنهار

ج12: عند تحرك الموجة المحيطية يتحرك الماء إلى أعلى وإلى أسفل هبوطاً وصعوداً ثم يعود إلى موضعه الأصلي أما طاقة موجة المحيط فتتحرك إلى الأمام

12. كيف تختلف حركة المياه والطاقة في الموجة المحيطية؟

القراءة والاستيعاب

التنبؤ بالزلازل

منذ عدة قرون ساد اعتقاد أن الحيوانات تستطيع التنبؤ بالزلازل. فقد سجل المؤرخون أن حيوانات – منها الفئران والثعابين وابن عرس – قد هجرت المدينة الإغريقية هيليس عام 373 م قبل أن يضرب الزلزال المدينة. وقد سجلت حوادث مماثلة على امتداد القرون عند حدوث الزلازل، منها الحركة العنيفة للأسماك، وتوقف الدجاج عن طرح البيض، وهجرة النحل خلاياه. ولكن بقي السؤال: كيف تحس الحيوانات بالزلزال؟. ومن الفرضيات التي وضعت لتفسير ذلك أن الحيوانات البرية والأليفة تشعر بالاهتزازات الأرضية قبل الإنسان. وبعض الأفكار تفترض أن الحيوانات تستطيع اكتشاف تغيرات كهربائية في الهواء أو الغاز المتحرر من الأرض.

والزلازل ظاهرة فجائية لا يستطيع الجيوفيزيائيون معرفة متى وأين تحدث بالضبط. وتقدر الزلازل التي تسجل في محطات الرصد الزلزالي في العام الواحد بأكثر من مليون زلزال. يوجد منها 100000 زلزال فقط يستطيع أن يشعر به الإنسان. و100 زلزال تقريبًا يسبب الدمار. ويجري الباحثون دراسات عميقة على الحيوانات لاكتشاف ماذا تسمع أو تشعر قبل أن يحدث الزلزال. واستعمال هذا الإحساس أداة للتنبؤ بالزلازل. وقد شكك العلماء في إمكانية تنبؤ الحيوانات بالزلازل، على الرغم من توثيق حالات لتصرفات غريبة لبعض الحيوانات قبل حدوث الزلازل؛ وذلك لعدم وجود صلة بين تكرار حدوث سلوك معين وحدوث الزلزال.

13. ماذا يمكن أن نستنتج بعد قراءة النص السابق؟

a. تستطيع الحيوانات التنبؤ بالزلازل لأنها تشعر باهتزازات الأرض قبل الإنسان.

b. لا تستطيع الحيوانات التنبؤ بالزلازل.

c. هناك حاجة لدراسة إضافية وبحث قبل تأكيد أو نفي قدرة الحيوانات على التنبؤ بالزلازل.

d. الحيوانات تتنبأ بالزلازل منذ قرون.

14. أيّ التصرفات الآتية لا تدل على تنبؤ الحيوانات بالزلازل؟

a. الحركة العنيفة للأسماك.

b. هجرة النحل لخلاياه.

c. وضع الدجاج للبيض.

d. هجرة الثعابين لجحورها.

الحلول اون لاين hulul.online

SA.GEO.SE.CH07.indd 195 4/8/19 4:59 PM