



## 7-2

### الأهداف

- تقارن بين قوة الزلزال وشدته استناداً 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 المعدل

أحزمة الزلازل

## قياس الزلازل وتحديد أماكنها Measuring and Locating Earthquakes

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

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

### قوة الزلزال وشدته

### Earthquake Magnitude and intensity

يحدث سنوياً 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 كثيراً من الفرق في سعة الأمواج الزلزالية؛ فالطاقة الزلزالية الصادرة عن زلزال عند درجة ما أكبر 32 ضعفاً 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 دماراً 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.





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

**مقياس العزم الزلزالي Moment magnitude scale** رغم أن مقياس ريختر يُستعمل لوصف قوة الزلازل، إلا أن معظم العلماء يستعملون مقياس العزم الزلزالي **Moment magnitude scale**، وهو مقياس رقمي يشير إلى الطاقة المتحررة من الزلزال، مأخوذاً 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 آثاراً 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.

#### مقياس ميركالي المعدل

#### الجدول 1-7

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 كالتى تنتج عن حركة شاحنة ضخمة قريبة.
IV	يشعر به كثير من الناس داخل البيوت وقليل من خارجها، ويهتز زجاج النوافذ والأواني والسيارات الواقعة 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، تنقطع السكك الحديدية والأسوار، وتتشكل شقوق كبيرة في الأرض.
XII	دمار شامل، تقذف الأجسام في الهواء.

**شدة الزلزال Earthquake intensity** تعتمد شدة الزلزال بصورة رئيسة على حجم الأمواج الزلزالية السطحية. ويضعف حجم الأمواج السطحية مثل الأمواج الأولية والثانوية كلما زاد البعد 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 كلاً 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 ريختر، أن يولد شدة زلزالية قصوى أعلى من تلك التي ينتجها زلزال عميق قوته 8 درجات على مقياس ريختر. 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 المناسب (الكنتورية) على إعطاء العلماء صورة واقعية عن موقع المركز السطحي للزلزال والشدة الزلزالية.

### خطوات العمل

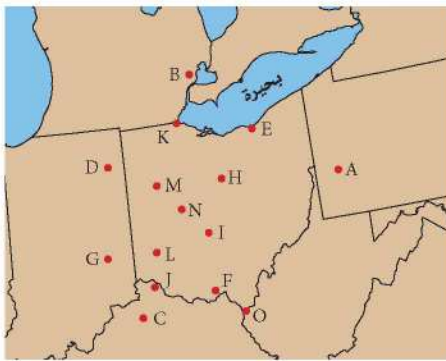
1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
  2. ضع ورقة فوق الخريطة، وارسم الخريطة، ثم حدد على الخريطة التي رسمتها المواقع المشار إليها بالأحرف.
  3. أسقط بيانات الشدة لمقياس ميركالي على الخريطة التي رسمتها، بحيث تضع بجانب كل حرف الشدة الزلزالية الخاصة به.
- A : I, B : III, C : II, D : III, E : IV, F : IV, G : VII, H : IV, I : V, J : V, K : VI, L : VIII, M : VII, N : VIII, O : III

4. لتحصل على خريطة مناسبة (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





## 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.

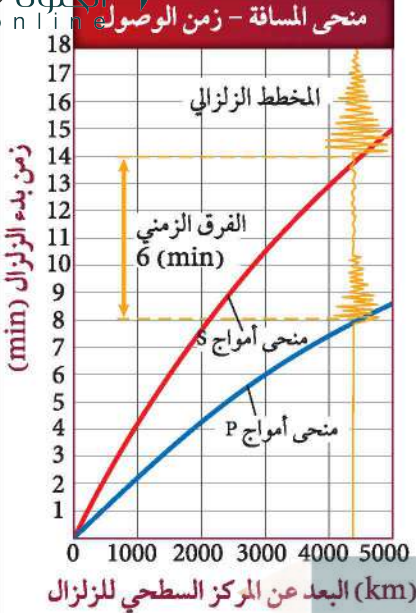
**بُعد الزلزال Distance to an earthquake** كما أن الشخص الذي يقود دراجة يصل قبل الشخص الذي يمشي، فإن أمواج P تصل محطات الرصد قبل أمواج S. ولو أخذنا بعين الاعتبار أثر المسافة المقطوعة على زمن وصول كل من الموجتين فإن الفرق الزمني بين وصوليهما سيزداد بزيادة المسافة المقطوعة. يوضح الشكل 13-7 منحني المسافة-زمن 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 منحني المسافة - زمن الوصول، ومن ثم استخراج بُعد الزلزال.

ويوضح الشكل 13-7 أن الفرق الزمني يساوي 6 دقائق، لذا فإن المسافة بين المركز السطحي للزلزال ومحطة رصد الزلازل تساوي 4300 km بحسب منحني المسافة - زمن الوصول؛ حيث يتضح من المنحني 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**

يجل 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 مثلنا بُعد المركز عن محطة أخرى بدائرة ثانية، فسوف تتقاطع الدائرتان في نقطتين، ولا نعرف أيهما يقع المركز السطحي فيه. ولو مثلنا بُعد محطة ثالثة بدائرة ثالثة، فعندئذ تتقاطع الدوائر الثلاث في نقطة، وتمثل هذه النقطة المركز السطحي، انظر الشكل 14-7.

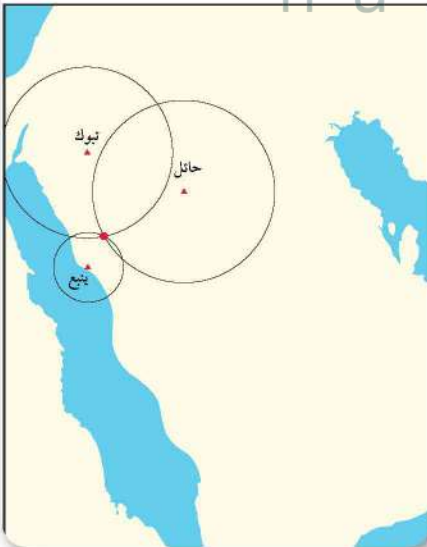
**زمن حدوث الزلزال Time of an earthquake** يوفر الفرق الزمني بين وصول الأمواج الزلزالية في السيزموجرام معلومات حول بُعد المركز السطحي، كما يستعمل علماء الزلازل السيزموجرام في معرفة زمن حدوث



الشكل 13-7 يبين منحني المسافة-زمن الوصول هذا بيانات زلزالية لزلزال ما.

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.



الزلازل 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 و S 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 صباحاً 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 صباحاً.

✓ **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.

**أزمة 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

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

**ج6: لتحديد نقطة واحدة لا بد من وجود ثلاث محطات لكي تتقاطع الدوائر الثلاث في نقطة وهي تمثل البعد المحتمل لبعد كل من هذه المحطات عن المركز السطحي للزلزال**  
**ج7: إجابات محتملة: مكونات القشرة الأرضية أسفل محطة الرصد، دقة الأجهزة، الدقة في تزامن الساعات**  
**ج8: على الرغم من أننا نحتاج إلى بيانات ثلاث محطات رصد فقط لتحديد موقع المركز السطحي إلا أن زيادة عدد المحطات يؤكد لنا صحة الموقع؛ ومن ثم يؤدي إلى تصحيح أي أخطاء محتملة**



- 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 قياس 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 يحيط به
- ج3: للحصول على 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 تلقي صفيحتان معاً، وتغوص إحدهما تحت الأخرى. أما ما تبقى من الزلازل فيحدث معظمه في أحزمة ضيقة تقع على طول قمم ظهور المحيطات؛ حيث تبعد 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 للزلزال نحتاج على الأقل إلى ثلاث محطات رصد للزلزال.
- تحدث معظم الزلازل في أحزمة ضيقة تسمى أحزمة الزلازل؛ حيث تنطبق مع حدود الصفائح.

### فهم الأفكار الرئيسية

1. الفكرة الرئيسية: لخص الطرائق التي يستعمل فيها العلماء الأمواج الزلزالية لقياس الزلازل وتحديد موقعها.
2. قارن بين قوة الزلزال وشدته، وكذلك بين المقياسين المستخدميين 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. كوّن جملة تفسر لماذا يمكن أن يُسبب زلزال قوته 6 دماراً 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؟