



6-4

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 27-6 دماراً سببه زلزال قوته 7.6 درجة على مقياس رختر.



الشكل 27-6 دمار ناجم عن زلزال قوته 7.6 درجة على مقياس رختر، وهو زلزال قوي ضرب باكستان في شهر يناير من عام 2005 م.



الشكل 28-6 يمكن أن يقيس مقياس ميركالي الأضرار التي يحدثها الزلزال، كالتي في الشكل، وهو زلزال قوي قادر على إيقاع المواد الموجودة على الرفوف.

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، 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 2-6 مقياس ميركالي المعدل. ويمكنك استعمال المعلومات الواردة في هذا الجدول لتقدير شدة الزلازل الذي في الشكل 28-6.

مقياس ميركالي المعدل

الجدول 2-6

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 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، 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 سعة 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 نجدتها 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.

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.

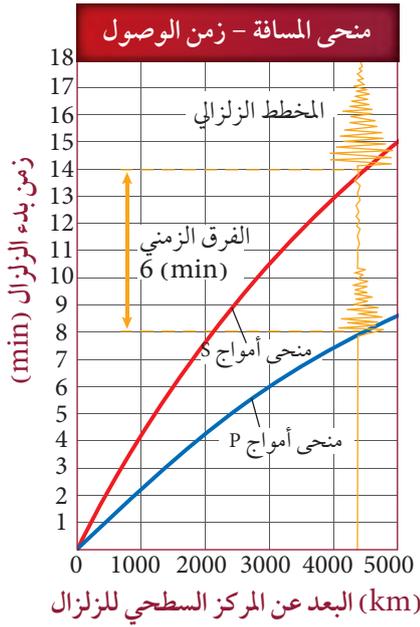
بُعد الزلزال Distance to an earthquake كما أن الشخص الذي يقود دراجة يصل قبل الشخص الذي يمشي، فإن أمواج P تصل محطات الرصد قبل أمواج S. ولو أخذنا بعين الاعتبار أثر المسافة المقطوعة على زمن وصول كل من الموجتين فإن الفرق الزمني بين وصوليهما سيزداد بزيادة المسافة المقطوعة. يوضح الشكل 29-6 منحنى المسافة-زمن 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.

ويوضح الشكل 29-6 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 1200KM عن السيزمومتر



الشكل 29-6 يبين منحنى المسافة-زمن الوصول لهذا بيانات زلزالية لزلزال ما.



زمن حدوث الزلزال في البؤرة بدقة، أما زمن الوصول إلى الأمواج الزلزالية مختلفة.

الشكل 30-6 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.

يجلب 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 30-6.

زمن حدوث الزلزال Time of an earthquake

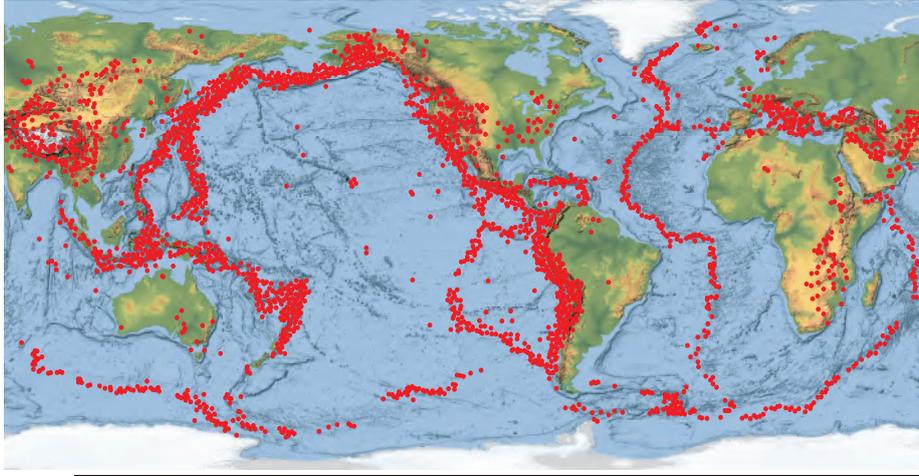
يوفر الفرق الزمني بين وصول الأمواج الزلزالية في السيزموجرام معلومات حول بُعد المركز السطحي، كما يستعمل علماء الزلازل السيزموجرام في معرفة زمن حدوث الزلزال في البؤرة بدقة. ويتم تحديد الزمن باستعمال جدول، كما هو الحال في منحنى المسافة-زمن الوصول في الشكل 23-6. تسجل محطات الرصد في السيزموجرام زمن وصول أمواج P وأمواج S بدقة متناهية، ويستطيع العلماء قراءة الزمن الذي استغرقت أمواج P و S من المركز السطحي إلى محطة الرصد باستعمال رسوم بيانية كالتي في الشكل 23-6. 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 قطعها 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**.

مواقع المراكز السطحية للزلازل في العالم



الشكل 31-6 لاحظ النمط الذي تظهر به مواقع المراكز السطحية للزلازل على خريطة العالم. حدد اعتماداً على الخريطة هل تعيش بالقرب من مركز سطحي للزلازل؟

ستختلف الإجابات ولكن يمكن أن يذكر الطلاب الذين يسكنون في المدن الواقعة على ساحل البحر الأحمر وكذلك الذين يسكنون بالقرب من خليج العقبة أنهم بالقرب من مركز سطحي للزلازل

يلاحظ من الشكل 31-6 أن الزلازل تحدث في أحزمة ضيقة، وتنطبق معظم الزلازل مع حدود الصفائح الأرضية. هناك 80% من زلازل الأرض ضمن حزام المحيط الهادي، و 15% ضمن حزام البحر الأبيض المتوسط، وهذان الحزامان هما نطاقاً طرْح؛ حيث تلتقي صفيحتان معاً، وتغوص إحداهما 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.

مختبر تحليل البيانات

تفسير البيانات

البيانات والملاحظات

محنة 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		

كيف يمكنك أن تحدد موقع المركز السطحي للزلازل؟

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

تحليل

1. احصل على خريطة للمملكة العربية السعودية من معلمك، وعيّن مواقع محطات الرصد الزلزالي في الجدول عليها. يمكن الاستعانة بتوزيع محطات الرصد الزلزالية في المملكة العربية السعودية في مرجعيات الطالب.
2. احسب الفرق الزمني بطرح زمن وصول أمواج P من زمن وصول أمواج S، وسجلها في الجدول.
3. أوجد بُعد المركز السطحي للزلازل عن كل محطة رصد باستعمال الفرق بين أزمنة الوصول ومنحنى المسافة - زمن الوصول (الشكل 25-6) وسجلها في الجدول.
4. ارسم دائرة حول كل محطة، نصف قطرها يساوي المسافة بين المركز السطحي والمحطة.
5. حدد المركز السطحي للزلازل.

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 للزلازل.
8. فسر لماذا يعد زيادة محطات الرصد الزلزالي المأخوذ منها البيانات أكثر فائدة في تحديد موقع المركز السطحي للزلازل.

جواب 6: وذلك لإيجاد بعد المركز السطحي للزلازل.

جواب 7: ستكون هناك إجابات محتملة: دقة الأجهزة، الدقة في تزامن الساعات، مكونات القشرة الأرضية أسفل محطة الرصد.

جواب 8: وذلك لأن زيادة عدد المحطات يؤكد لنا صحة الموقع ويؤدي إلى تصحيح أي أخطاء محتملة.

التقويم 4-6

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. لخص الطرائق التي يستعمل فيها العلماء الأمواج الزلزالية لقياس الزلازل وتحديد مواقعها.
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 31-6

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؟

جواب 1: يتضاعف حجم الأمواج p.S كلما زاد البعد عن بؤرة الزلزال يستعمل زمن انتقال الأمواج P.S لتحديد المركز السطحي للزلزال.

جواب 2: - قوة الزلزال: هي مقياس للطاقة التي تحررت أثناء الزلزال وتقاس بالرختر ويعتمد قياس قوة الزلزال على الأمواج الزلزالية.

- شدة الزلزال: هي مقياس للدمار الذي أحدثه الزلزال ويقاس بمقياس مير كالي المعدل وتعتمد شدة الزلزال على الأضرار التي سببتها الأمواج.

جواب 3: لأنه للحصول على نقطة واحدة نحتاج على الأقل ثلاث دوائر متداخلة تتقاطع في نقطة واحدة.

جواب 4: تحدث معظم الزلازل في أحزمة ضيقة وتنطبق مع حدود الصفائح الأرضية.

جواب 5: قد يكون ضحل والزلزال الضحلة تنتج الاهتزازات الكبيرة قد تصل قوته 8 رختر لذا تكون أكثر ضرراً على السطح بعكس الزلزال العميق.

جواب 6: تزيد الطاقة الزلزالية بمقدار واحد درجة بقوة في قوة الزلزال يساوي زيادة 32 ضعفاً في الطاقة الزلزالية الصادرة منه فإن زيادة درجتين في قوة زلزال قوته 9 في زلزال قوته 7 تكون $32 \times 32 = 1024$.

