

الزلازل والمجتمع

الأهداف

- تناقش العوامل التي تؤثر في حجم الدمار الذي يحدثه الزلازل.
- 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 وتؤدي إلى حركتها وارتفاعها وتشوهها.

مفردات جديدة

تسييل التربة
تسونامي
فجوة زلزالية
تراكم الجهد

Earthquakes and Society

الفكرة الرئيسية يمكن معرفة احتمال حدوث الزلازل من خلال دراسة تاريخ المنطقة زلزالياً، ومعرفة أين وكيف تتراكم الإجهادات بسرعة.

الربط مع الحياة إذا كانت مدينتك تشهد سقوط أمطار في شهر مارس بمعدل 11 يوماً 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 11/31. 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 أضراراً في الممتلكات والأرواح في المناطق التي تصيبها. ويمكن لزلزال قوته 5 أن يسبب كارثة في منطقة وأضراراً قليلة في منطقة أخرى؛ إذ تعتمد حدة الأضرار الناجمة عن الزلازل على مجموعة من العوامل، تسمى هذه العوامل مخاطر الزلازل. ومن الأمثلة على هذه العوامل تصميم المباني؛ إذ تتضرر المباني سيئة التصميم بالزلازل 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 (الأسمتية) هشة غالباً، ويمكن أن تتلف بسهولة إذا وقع زلزال؛ فالمبنى الظاهر في الصورة أزيح من فوق أساسه عندما حدث الزلزال، وتم إسناده بعمود من الخشب.

الشكل 17-7 يوضح الشكل أضرار الهيكل الدمار الناجمة عن الزلازل، حيث تتسبب الاهتزازات في انهيار الجدران الداعمة للمبنى وسقوط الطوابق العليا واحدة فوق الأخرى، فتظهر الطوابق متراسة 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 تراصّ الألواح

✓ **ماذا قرأت؟** وضع 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 طابقاً تدميرًا تاماً، 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.

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





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

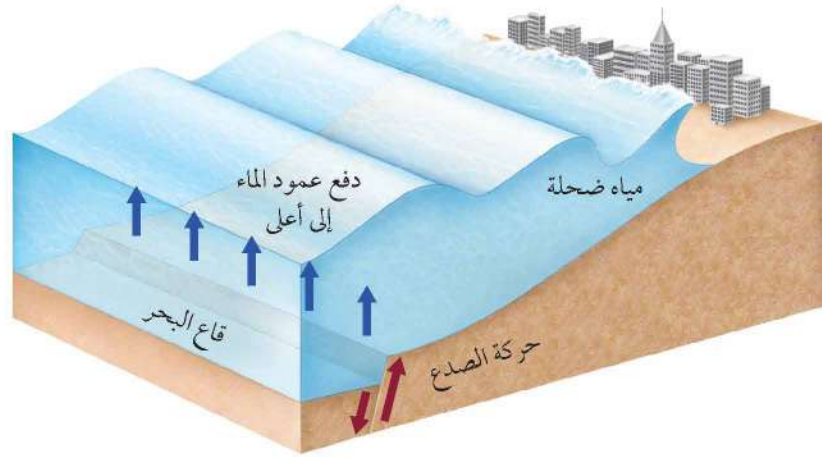
انهيار اليابسة والتربة Land and soil failure بالإضافة إلى تأثير الزلازل في المنشآت التي شيدها الإنسان، يمكن للزلازل أن تشوه المناظر الطبيعية في الأرض. ففي المناطق المنحدرة، يمكن أن تؤدي الزلازل إلى انهيارات أرضية ضخمة. وقد تسبب الانهيارات الأرضية الناجمة عن الزلازل دفن العديد من القرى والبلدات الصغيرة؛ فالاهتزازات الزلزالية تجعل المناطق الرملية المشبعة بالماء، تسلك سلوك السائل عندما تسير فيها. تسمى هذه الظاهرة **تسيل التربة Soil liquefaction**. 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 مبانٍ مائلة بسبب تسيل التربة تحتها في أثناء الزلازل.

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

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

تحدث ظاهرة تسيل التربة عندما تمر الاهتزازات الزلزالية عبر الرسوبيات والطبقات الصخرية المشبعة بالمياه

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



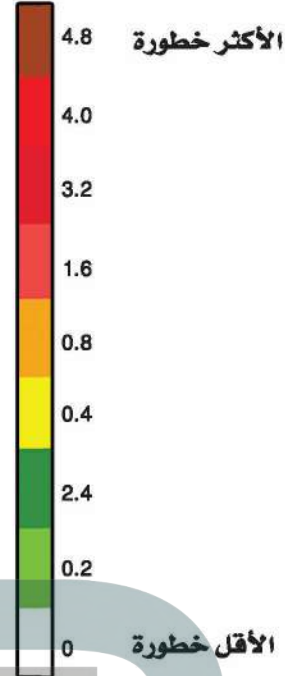
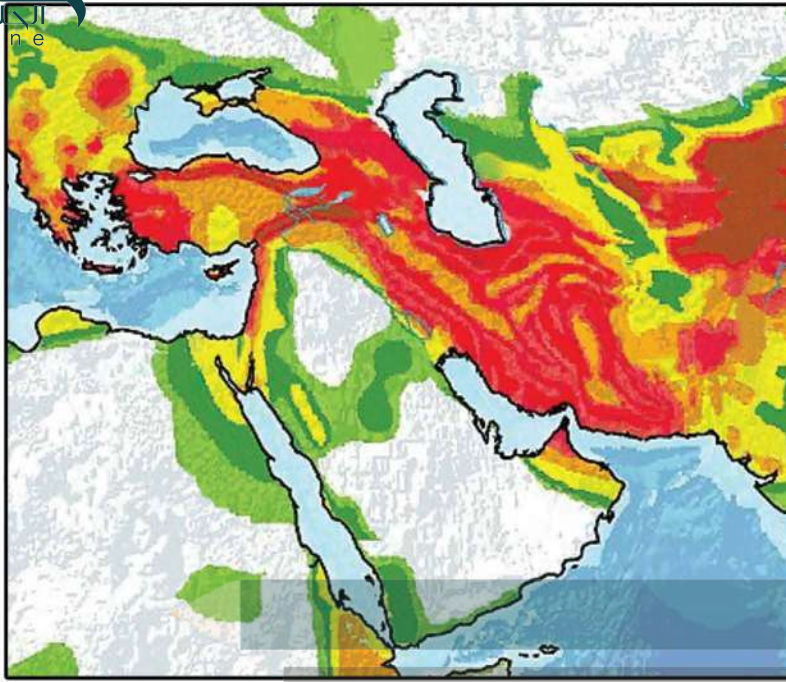
تسونامي Tsunami نوع آخر من مخاطر الزلازل. وتسونامي Tsunami

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 جداً 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 للأمواج التسونامي وسرعتها التي تتراوح بين 800 و 500 km/h خطورة تهدد المناطق الساحلية بالقرب من المركز السطحي للزلزال أو بعيداً 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

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



الطبيعية تدميراً 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.



توقع الزلازل Earthquake Forecasting

للحد من الأضرار والوفيات الناجمة عن الزلازل يبحث العلماء عن طرائق لتوقع حدوث الزلازل. ولا يوجد حالياً أي طريقة يمكن الاعتماد عليها تماماً 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.

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 مبيناً الخطر الزلزالي فيها.

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 - خطراً زلزالياً مرتفعاً نسبياً. وقد عانت هذه المناطق من بعض الزلازل القوية في الماضي، وربما ستشهد نشاطاً زلزالياً كبيراً 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.





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.

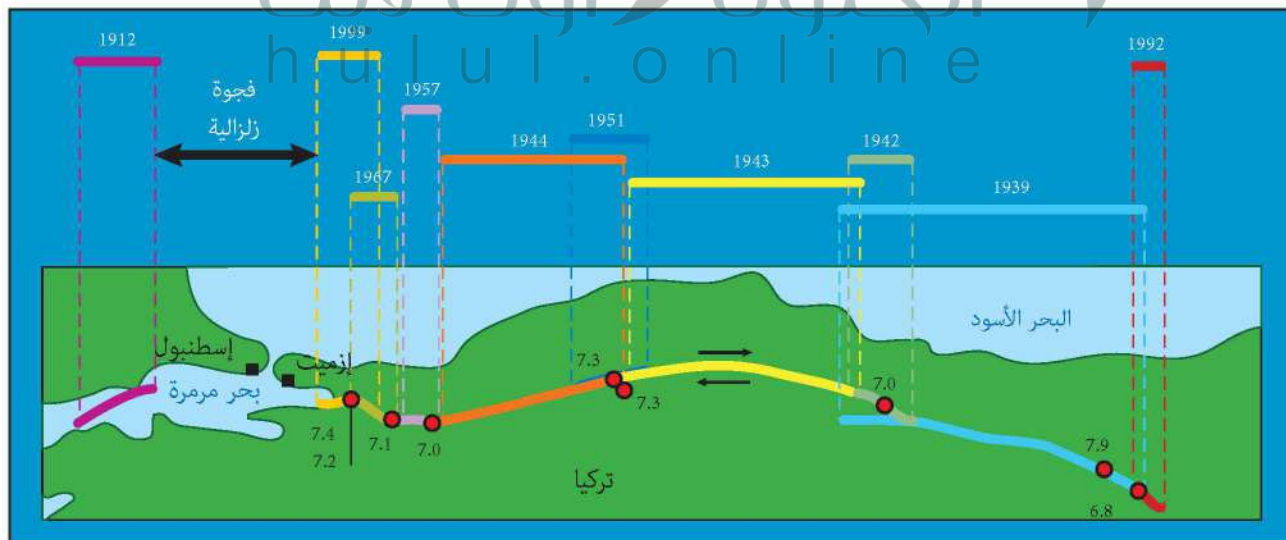
معدلات التكرار Recurrence rate يمكن أن تشير معدلات تكرار الزلازل التي تحدث على طول الصدع إلى ما إذا كان الصدع يولد زلازل مماثلة على فترات منتظمة أم لا. فلو أخذنا على سبيل المثال معدلات تكرار الزلازل على طول صدع سان أندرياس في ولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية فسنجد أن سلسلة من الزلازل بقوة 6 تقريباً على مقياس ريختر قد ضربت المنطقة في كل 22 عامًا من 1857 م حتى عام 1966 م. ففي عام 1987 م 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 ريختر. 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 قريباً منها وأحياناً تحدث الزلازل وتكرر وفي نمط عام في الفاصل الزمني بين الهزات

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

الشكل 24-7 وقع زلزالان عامي 1912 م و 1999 م 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.



- ج1: دراسة التاريخ الزلزالي للمنطقة وقياس تراكم الإجهادات في الصدع، وتمشيد الشجوات الزلزالية بيانا
- ج2: يمكن أن يؤدي إلى انهيار اليابسة وتسبيل التربة؛ وإلى تدمير المباني والمنشآت 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 مرجحة ضخمة تزيد في قوتها حتى تصل إلى الشواطئ
- ج5: يرجح أنها تحدث في فجوة زلزالية بين المناطق التي حدث فيها زلازل
- ج6: لتحديد المناطق الأكثر عرضة للزلازل؛ ينبغي على أعضاء اللجنة دراسة التاريخ الزلزالي للعالم، والبحث عن الفجوات الزلزالية

وضح. لماذا يعد تراكم الجهود في المناطق مهماً؟

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، وتسبيل التربة والتسونامي.
- الفجوات الزلزالية أجزاء من صدع نشط لم تتعرض لزلزال كبيرة منذ فترة طويلة من الزمن.

فهم الأفكار الرئيسية

- الفكرة الرئيسية: العمل قائمة ببعض الأمثلة حول الطرائق التي يستعملها العلماء لتحديد احتمال وقوع زلزال.
- لخص الآثار المترتبة على أنواع المخاطر المختلفة الناجمة عن الزلازل.
- ارسم مجموعة من الرسوم تبين ما يحدث على طول صدع قبل حدوث زلزال وبعده.
- لخص الأحداث التي تؤدي إلى حدوث التسونامي.

التفكير الناقد

- قوّم أي الأماكن أكثر احتمالاً 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 2: الجيولوجيا

- تخيل أنك في لجنة علمية، واكتب تقريراً تتناول فيه طرائق مقترحة لتعرف المناطق الأكثر عرضة لوقوع الزلازل.

الجيولوجيا والمجتمع

دروس من الماضي



زلزال بومرداس 2003م

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 ارتجت الأرض، وزلزلت زلزالاً شديداً. وقد قدره الخبراء بـ 6.8 درجات على مقياس ريختر.

الزلزال يضرب المدينة لقد توقعت مراكز رصد الزلازل 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 لتمكين البلديات 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 المحررة في أثناء تحركها، باستخدام نظرية الارتداد المرن (نظرية ريد Reid). وقد افترضوا أن الإجهادات الصخرية تكونت تدريجيًا؛ حيث وقعت صخور المنطقة تحت تأثير قوى، حتى وصلت حدًا يفوق قدرتها على التحمل، مما أدى إلى تكسرها وتحرك أجزائها. وقد تعرضت المنطقة

للعديد من الزلازل نتيجة وقوعها بين هاتين الصفيحتين. أما زلزال بومرداس 2003 فسببه حركة الكتل الصخرية عند صدع زموري إلى الشمال الشرقي، وقد تم تعريفه 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، وتعرف المكان المحتمل لحدوث الزلازل، وتصميم مبان تستطيع تحمل آثارها.

الكتابة في الجيولوجيا

ابحث باستخدام الإنترنت اكتب بحثًا أو أنشئ عرضًا تقديميًا 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.

العلاقة بين المركز السطحي للزلازل والصفائح الأرضية

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)			

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

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

الأدوات

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

خطوات العمل

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

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.

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

ج2: لا، حيث إن هنا أحزمة رئيسية 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 الزلازل حركة الكتل الصخرية على الصدوع المنتشرة على جانب البحر الأحمر والمرتبطة مع توسع البحر الأحمر وحركة الصفيحة العربية

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

5. استعمل قيمة المسافة على الخريطة التي حسبها 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 الزلازل الآخرين.

8. حدد نقطة تقاطع الدوائر الثلاث. تمثل هذه النقطة المركز السطحي للزلازل.

التحليل والاستنتاج

1. حلل البيانات أين يقع المركز السطحي للزلازل؟

2. صف هل يتبع الزلازل أيًا من الأحزمة الزلزالية الرئيسية؟

3. فسر البيانات استعمل خريطة الصفائح الأرضية لتحديد الصفائح التي سببت حدوث هذا الزلازل.

4. استنتج صف كيف تؤدي حركات الصفائح إلى حدوث هذا الزلازل.

الكتابة في الجيولوجيا

تخيل نفسك مراسلاً لصحيفة مقرها قريب من المركز السطحي لهذا الزلازل، واكتب مقالاً توضح فيه كيف أدت العمليات الجيولوجية إلى وقوع هذا الزلازل.