رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

6-5

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 32–6**؛ لأن الخرسانة مادة هشة قليلة المرونة بينما الهياكل الخشبية أكثر مرونة.

الشكل 32–6 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الشكل 33–6 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 33–6** دماراً مأساوياً ناتجاً عن هذا النوع من انهيار المنشآت، والذي وقع في جمهورية هاييتي، في عام ٢٠١٠م كذلك حدث زلزال مدمر بتاريخ(2023/ 2/ 6م) في الجنوب الشرقي من تركيا على امتداد صدع الأناضول بقوة (7.8) على مقياس ريختر ، وذلك بسبب اصطدام الصفيحة العربية بالصفيحة الأوراسية؛ مما أدى الى حدوث دمار كبير في المنشآت، وخسائر في الأرواح؛ حيث قدر عدد المتوفين في الزلزال الى أكثر من 55000 متوفى، وأعداد كبيرة من الجرحى، ووصل تأثير هذا الزلزال إلى عدد من الدول؛ مثل سوريا، العراق، الأردن، و لبنان ومصر.

تنهار الجدران وتسقط الأسقف الألواح 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 34–6**.

الشكل 34–6 تدمرت المباني المتوسطة الارتفاع في أثناء حدوث الزلزال؛ لأن تردد اهتزازات هذه المباني يساوي تردد اهتزازات الأمواج الزلزالية.

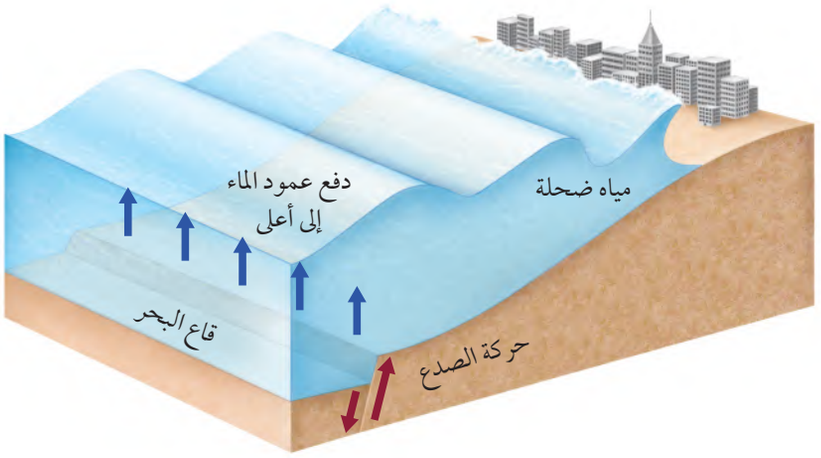
الشكل 35–6 يحدث تسييل في التربة الضعيفة التماسك عندما تنتشر اهتزازات زلزالية فيها، فتسلك سلوك الرمال المتحركة.

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 35–6** مباني مائلة بسبب تسييل التربة تحتها في أثناء الزلزال.

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

يمكن لمادة الأرض الصلبة أن تكتسب خصائص المادة السائلة وذلك عندما تمر الاهتزازات الزلزالية عبر الرسوبيات والطبقات الصخرية المشبعة بالمياه حينها تحدث ظاهرة تسييل التربة.

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.

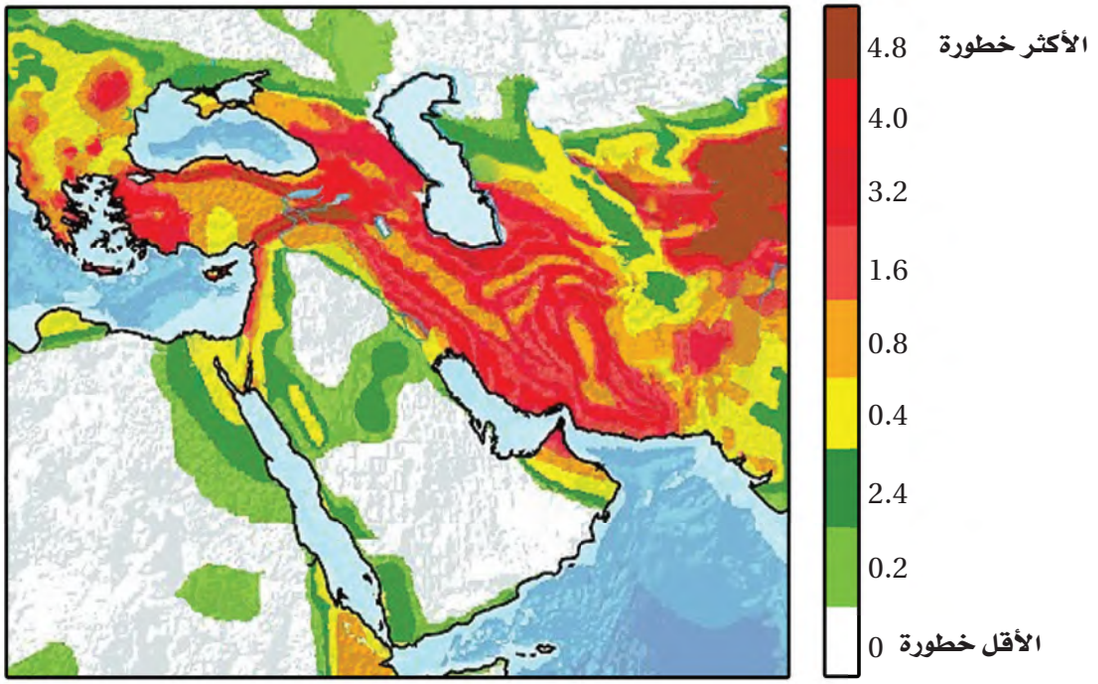


الشكل 36–6 يتكون التسونامي عندما يسبب الصدع تحت الماء إزاحة عمود الماء فوق قاع المحيط إلى أعلى.

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 36–6**، 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 37–6** 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 37–6 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 38–6 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.

الخطر الزلزالي قليل

توقع الزلازل Earthquake Forecasting

للحد من الأضرار والوفيات الناجمة عن الزلازل يبحث العلماء عن طرائق لتوقع حدوث الزلازل. ولا يوجد حاليًّا 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.

يحددها العلماء في المناطق التي لها تاريخ زلزالي وعلى معدل تراكم الاجهاد في الصخور.

الخطر الزلزالي Seismic risk تذكر أن معظم الزلازل توجد في أنطقة طويلة وضيقة تسمى الأحزمة الزلزالية. لذا فإن احتمال وقوع زلازل في المستقبل يكون أكبر كثيرًا في هذه الأحزمة من أي مكان آخر على وجه الأرض. ويعد نمط الزلازل التاريخية مؤشرًا موثوقًا فيه لتوقع حدوث الزلازل في المستقبل في 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 38–6** الخطر الزلزالي لشبه الجزيرة العربية وما حولها؛ حيث تزداد الخطورة الزلزالية في الدول الواقعة إلى الشمال والشمال الشرقي من شبه الجزيرة العربية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

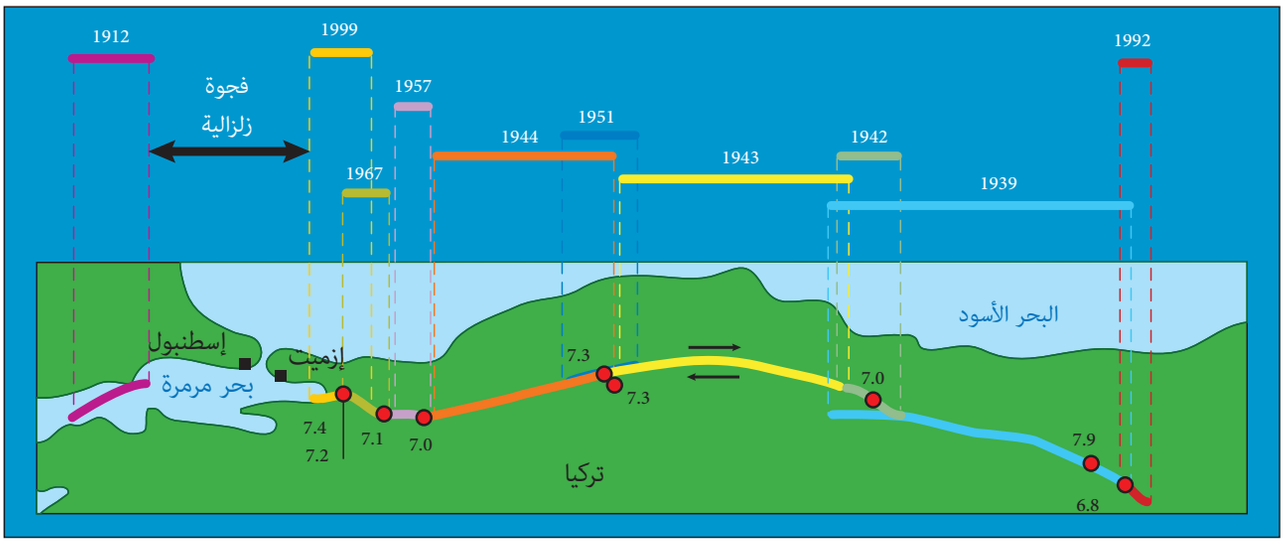
دراسة معدلات تكرار الزلزال يساعدنا في معرفة احتمال أن نفس المنطقة التي حدث فيها الزلزال ستشهد حدوث زلزال آخر سواء في نفس النقطة أو قريبة منها وكذلك أحيان تحدث الزلازل وفق نمط عام في الفاصل الزمني بين الهزات.

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 39–6**، 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.

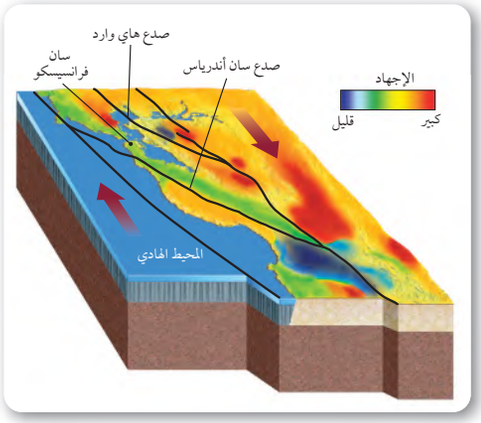
ماذا قرأت؟ استنتج أهمية دراسة معدلات تكرار الزلازل.

الفجوات الزلزالية Seismic gaps يعتمد توقع احتمال وقوع الزلزال أيضًا على موقع **الفجوات الزلزالية Seismic gaps** وهي أجزاء نشطة تقع على امتداد صدع، لم تتعرض لزلازل كبيرة في فترة طويلة من الزمن. ويبين **الشكل 40–6** خريطة الفجوات الزلزالية الصدع يعبر شمال تركيا؛ حيث التاريخ الطويل للزلازل التي تقع على طول الصدع الكبير الموضح أدناه.

الشكل 39–6 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 40–6 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.



الشكل 41–6 تساعد خرائط تراكم الجهود في الصخور العلماءَ على توقع احتمال وقوع زلزال في مكان ما.

وضح. لماذا يعد تراكم الجهود في المناطق مهمًّا؟

تراكم الجهد Stress accumulation يستعمل علماء الزلازل معدل تراكم الجهد Stress accumulation في الصخور بوصفه عاملاً آخر لتحديد احتمال وقوع زلزال على طول مقطع من الصدع؛ حيث تزول هذه الجهود في نهاية المطاف، مسببةً حدوث زلزال.

يستعمل العلماء تقنيات الأقمار الاصطناعية، ومنها نظام تحديد المواقع (GPS) لتحديد مواقع تراكم الجهود وتوزيعها على طول الصدع. ويستعمل العلماء الجهودَ المتراكمة والمتحررة في أجزاء الصدع وترصد في أثناء حدوث الزلزال لتطوير خرائط كالتي تظهر في **الشكل 41–6**، آخذين في حسبانهم الفترة الزمنية بين زلزال وآخر لنفس الصدع.

جواب 1: يقوم العلماء بدراسة التاريخ الزلزالي للمنطقة وأيضاً قياس تراكم الاجهاد في الصخور وتمثيل الفجوات الزلزالية بيانياً.

جواب 2: قد تترتب مخاطر ناجمة عن الزلزال مثل انهيار اليابسة وتسييل التربة وأيضاً تدمير الجسور والمباني وغيرها.

جواب 3: يعتمد على الطالب ولكن ينبغي أن تبين الرسوم بعض المعالم التي أصبحت منفصلة ومقطوعة بعد حدوث الزلازل.

التقويم 5–6

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. **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 في الصفحة التالية

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

جواب 4: أولاً يحدث أنه تؤدي الحركة الرأسية على طول الصدق في قاع المحيط إلى إزاحة عمود من الماء فتكون موجة ضخمة تزيد في قوتها حتى تصل إلى الشواطئ.

جواب 5: غالباً تحدث فجوة زلزالية بين المناطق التي حدث فيها زلزال.

جواب 6: يعتمد على الطالب ولكن لتحديد المناطق الأكثر عرضة للزلازل ينبغي على أعضاء اللجنة دراسة التاريخ الزلزالي للعالم والبحث عن الفجوات الزلزالية.

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

جواب 6: الموضوع: طرائق مقترحة لتحديد المناطق الأكثر عرضة لوقوع الزلازل.

الطرائق المقترحة هناك العديد من الطرائق المقترحة لتحديد المناطق الأكثر عرضة لوقوع الزلازل، ومن أهم هذه الطرائق ما يلي:

1. دراسة حركات الصفائح التكتونية.
2. تحليل البيانات الزلزالية.
3. استخدام الأقمار الصناعية.
4. استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد

التوصيات

توصي اللجنة العلمية بضرورة استخدام مجموعة متنوعة من الطرائق لتحديد المناطق الأكثر عرضة لوقوع الزلازل. يمكن أن يساعد استخدام مجموعة متنوعة من الطرائق في الحصول على صورة أكثر دقة للمناطق المعرضة للزلازل. كما توصي اللجنة العلمية بضرورة تحسين التعاون بين الدول المختلفة في مجال دراسة الزلازل. يمكن أن يساعد التعاون الدولي في تبادل المعلومات والمعرفة حول الزلازل، مما سيساعد في تحسين قدرة الدول على التنبؤ بالزلازل واتخاذ تدابير وقائية للحد من الخسائر الناجمة عنها.