تسونامي

الأمواج العاتية

2012

الأصل: إنجليزي
IOC/BRO/2012/4 rev

إن التسميات المستخدمة في هذا المطبوع وطريقة عرض المواد فيه لا تعبر ضمناً عن أي رأي لأمانة اليونسكو أو لأمانة لجنة اليونسكو الدولية الحكومية لعلوم المحيطات بشأن الوضع القانوني لأي بلد أو إقليم، أو سلطاته، ولا بشأن رسم حدود هذا البلد أو الإقليم.

وللإشارة الببليوغرافية إلى هذه الوثيقة، ينبغي ذكر العناصر التالية:

لجنة اليونسكو الدولية الحكومية لعلوم المحيطات، ٢٠١٢. "التسونامي، الأمواج الهائلة"، الطبعة الثانية المنقحة. باريس، اليونسكو، ١٦ صفحة، كتيب موضح بالصور، صادر عن لجنة اليونسكو الدولية الحكومية لعلوم المحيطات برقم ٢٠١٢-٤. (ترجمة عربية عن اللغة الإنجليزية).

من منشورات منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة
7 Place de Fontenoy, 75 352 Paris 07 SP, France

تولت الطباعة مطابع اليونسكو
International Tsunami Information Center, 737 Bishop Street, Suite 2200, Honolulu, Hawaii 96813 U.S.A.

الأمواج الهائلة

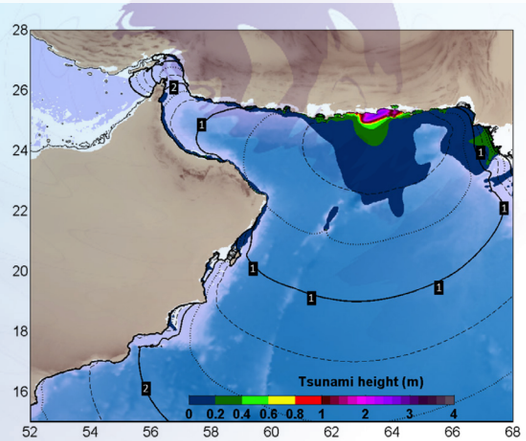
يهدف هذا المطبوع إلى الارتقاء بالوعي وإلى نشر المعارف فيما يتعلق بالتسونامي. ويرجى أن تشاطر الآخرين ما تتعلمه؛ إذ إن الانتفاع بالمعلومات الصحيحة بإمكانه إنقاذ حياتك وحياة من تحب.

إن الظاهرة التي نُطلق عليها اسم "تسونامي" (سو- ناه - مي) هي سلسلة من الأمواج ذات الدورة الطويلة للغاية، التي تنتقل عبر المحيط وتتولد في المقام الأول من جراء الزلازل التي تحدث تحت قاع المحيط أو بالقرب منه. وقد تؤدي حالات الثوران البركاني والانهيالات الأرضية في قاع المحيط إلى توليد أمواج تسونامي أيضاً. وتنتشر أمواج التسونامي عبر المياه في أعماق المحيطات بسرعة تتجاوز ٨٠٠ كيلومتر في الساعة ([كم]، أي ٥٠٠ ميل في الساعة تقريباً)، وبأمواج لا يتجاوز ارتفاعها بضع عشرات من السنتيمترات (قدم واحد) أو أقل من ذلك. وتتميز أمواج التسونامي عن الأمواج الاعتيادية في المحيطات بطول المسافة الكبير الذي يفصل بين ذرى الأمواج، والذي يتجاوز غالباً ١٠٠ كم (٦٠ ميلاً) أو أكثر في أعماق المحيط، وبالفاصل الزمني بين هذه الذرى، الذي يمتد من ١٠ دقائق إلى ٦٠ دقيقة.

وكلما تقترب أمواج التسونامي من المياه الضحلة عند السواحل، فإنها تتباطأ مما يؤدي إلى تجمع المياه في ما يشبه جداراً مدمراً يبلغ ارتفاعه عشرات الأمتار (٣٠ قدماً) أو أكثر. ويمكن أن يتضخم تأثير الأمواج إذا ما اعترضت مسار تلك الأمواج في البر خلجان أو موانئ أو امتدادات بحرية داخل الأرض فأدت إلى توجيه تلك الأمواج في تيارات قوية. وإن أعتى أمواج التسونامي المعروفة يصل ارتفاعها إلى ٣٠ متراً (١٠٠ قدم). وحتى أمواج التسونامي التي يبلغ ارتفاعها ما بين ٣ أمتار و٦ أمتار (م) يمكن أن تكون مدمرة على نحو شديد وأن تؤدي إلى وقوع العديد من القتلى والمصابين.

وتشكل أمواج التسونامي تهديداً لحياة جميع سكان المناطق الساحلية الذين يعيشون بالقرب من المحيطات. وقد سجّل التاريخ وقوع ٢٧٩ كارثة تسونامي أدت إلى مقتل أكثر من ٦٠٠ ٠٠٠ نسمة في شتى أنحاء العالم، علماً بأن ٩٠٪ من الضحايا قضوا بفعل أمواج التسونامي المحلي التي ضربت شواطئهم في غضون ساعة واحدة فقط. وفي معظم الأحيان (أي فيما يتجاوز ٨٠٪ من الحالات)، تتولد أمواج التسونامي هذه من جراء زلازل كبيرة قد تُحدث أضراراً بالغة قبل بلوغ أمواج التسونامي الشواطئ. ففي التسعينات من القرن الماضي، أدت الأمواج التي أحدثتها ١٦ كارثة تسونامي إلى مقتل أكثر من ٤ ٣٠٠ شخص، منهم ١ ١٠٠ شخص في تسونامي فلوريس في إندونيسيا عام ١٩٩٢، و٢ ٢٠٠ شخص في تسونامي أيتاب في بابوا غينيا الجديدة عام ١٩٩٨. وقد بلغت الأضرار في الممتلكات ما يقارب المليار دولار أمريكي. وعلى الرغم من أن ٦٠٪ من مجمل كوارث التسونامي تحدث في المحيط الهادي، فقد تهدد أيضاً سواحل بعض البلدان الأخرى في المحيط الهندي، والبحر الأبيض المتوسط، ومنطقة البحر الكاريبي، والمحيط الأطلسي. ومنذ عام ٢٠٠٠ وحتى أيامنا هذه، شهد العالم وقوع ١٣ كارثة تسونامي. وفي كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٤، وقعت كارثة التسونامي الأكثر تدميراً على الإطلاق حين ضرب زلزال بقوة ٩,١ منطقة شمال غرب سومطرة في إندونيسيا، وأدى إلى توليد أمواج تسونامي مدمرة ضربت جميع سواحل المحيط الهندي، مما أسفر عن مقتل ٢٢٨ ٠٠٠ شخص وتشريد أكثر من مليون شخص آخر، وعن أضرار في الممتلكات بمليارات الدولارات. وفي آذار/مارس ٢٠١١، أدى زلزال بقوة ٩,٠ إلى توليد أمواج تسونامي محلي عملاقة اجتاحت جميع المصدّات البحرية، موقعة نحو ١٩ ٠٠٠ قتيل في توهوكو باليابان.

ميناء هيلو في هاواي، في الأول من نيسان/أبريل ١٩٤٦، عند حدوث زلزال جزر ألبوت. صورة التقطت من على متن سفينة بريغهام فيكتوري وتبين التسونامي وهو يضرب رصيف الميناء الأول. والرجل الظاهر في الجزء الأيسر من الصورة لم ينجُ من التسونامي. (الإدارة الوطنية لشؤون المحيطات والغلاف الجوي (NOAA).



نموذج حاسوبي للارتفاعات المتوقعة لأمواج التسونامي التي أحدثها زلزال بقوة ٨,١ في ٢٧ تشرين الثاني/نوفمبر ١٩٤٥. تبين الخطوط المحيطية أزمنة انتقال أمواج التسونامي من المنشأ بفواصل زمنية يبلغ كل منها ٢٠ دقيقة. (يستخدم هذا النموذج بإذن من المركز الإسباني المشترك للإنذار بأمواج التسونامي).

ويقوم العلماء في مركز الإنذار بأمواج التسونامي في المحيط الهادي (PTWC، الولايات المتحدة الأمريكية) في هاواي، وهو المركز التشغيلي لنظام الإنذار بأمواج التسونامي وتخفيف آثارها في المحيط الهادي (PTWS)، برصد محطات قياس الزلازل وقياس مستوى سطح البحر، وبتقييم احتمالات تولُّد أمواج التسونامي من جراء الزلازل، وبنشر إنذارات بأمواج التسونامي على الصعيد الدولي وإرسالها إلى السلطات الوطنية في مختلف أنحاء منطقة الكاريبي والمحيط الهادي. كما يوجد في اليابان مراكز إنذار دون إقليمية لتغطية شمال غرب المحيط الهادي وألاسكا، وفي الولايات المتحدة مراكز تغطي شمال شرق المحيط الهادي. وفي أعقاب ما آلت إليه كارثة التسونامي التي وقعت في المحيط الهندي في عام ٢٠٠٤، يجري في الوقت الراهن وضع نظم الإنذار بأمواج التسونامي موضع التنفيذ في جميع أنحاء العالم، بما فيها المحيط الهندي، ومنطقة البحر الكاريبي، والمحيط الأطلسي، والبحر الأبيض المتوسط.

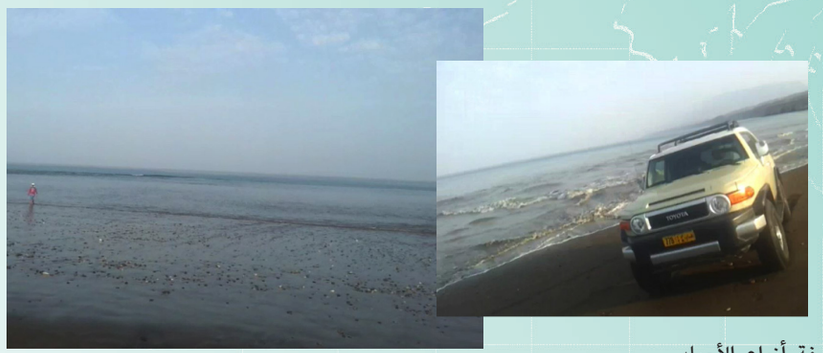
وتقع المراكز التشغيلية للإنذار بأمواج التسونامي حالياً في حيدر أباد بالهند، وفي جاكارتا، وإندونيسيا، وملبورن في أستراليا، بوصفها جهات معنية بتقديم الخدمات الإقليمية الخاصة بأمواج التسونامي (RTSPs)، وتابعة لنظام الإنذار بأمواج التسونامي وتخفيف آثارها في المحيط الهندي (IOTWS).

ما هي أسباب

إن أمواج التسونامي، التي يُطلق عليها كذلك اسم «أمواج البحر الزلزالية» أو تُسمى على نحو خاطئ «أمواج المد والجزر»، تتولد عموماً من جراء حدوث زلازل، كما تتولد في بعض الأحيان من انهيالات أرضية تحدث في قاع المحيطات، وقد يحدثها في حالات قليلة ثوران بركاني في قاع المحيط، ونادراً جداً ما تحدث من جراء سقوط نيزك ضخم في أحد المحيطات. أما حالات الثوران البركاني في قاع المحيط فقد تؤدي إلى توليد أمواج التسونامي المروعة للغاية. فالثوران البركاني الهائل الذي ضرب كراكاتاو في عام ١٨٨٣ قد أدى إلى توليد أمواج عملاقة بلغت ارتفاعات مقدارها ٤٠ متراً فوق مستوى سطح البحر، مما أسفر عن مقتل أكثر من ٣٥ ٠٠٠ شخص ومحو العديد من القرى الساحلية.

الصفائح التكتونية

تستند نظرية الصفائح التكتونية إلى نموذج جيولوجي يتميز بوجود عدد قليل من طبقات القشرة الأرضية تتراوح سماكتها بين ٧٠ و٢٥٠ كم (من ٤٠ إلى ١٥٠ ميلاً)، تطفو على طبقة تحتية لزجة تسمى «أستينوسفير» (asthenosphere). وهذه الصفائح التي تغطي كامل سطح الأرض، بما في ذلك القارات وقاع المحيطات، تتحرك الواحدة بالنسبة إلى الأخرى بمعدل يصل إلى ١٠ سنتيمترات في السنة (عدة بوصات في السنة). وتسمى المنطقة التي تتلاقى فيها صفيحتان «أحياد الصفائح»، أما طريقة تحرُّك الصفائح الواحدة بالنسبة إلى الأخرى فتتيح معرفة أنواع الأحياد ومسمياتها: فيطلق اسم «الانتشار» على حركة التباعد بين صفيحتين؛ ويطلق اسم «الاندساس» على الظاهرة التي تتحرك فيها صفيحتان الواحدة باتجاه الأخرى وتندس إحداهما تحت الأخرى؛ ويستخدم مصطلح «التحوُّل» للدلالة على انزلاق صفيحتين أفقياً الواحدة فوق الأخرى. وتتميز مناطق الاندساس بخنادق محيطية عميقة، أما الجزر البركانية أو السلاسل الجبلية البركانية المرتبطة بالعديد من مناطق الاندساس على امتداد سواحل المحيط الهادي، فتسمى في بعض الأحيان «حزام النار».

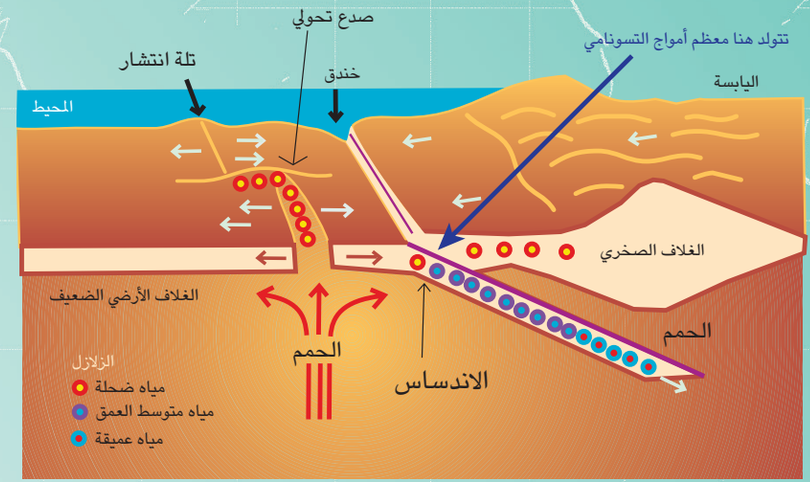


التسونامي الذي ضرب ولاية قريات في عُمان بتاريخ ٢٤ أيلول/سبتمبر ٢٠١٣. وصلت أمواج التسونامي بعد حدوث الزلزال بثلاثين دقيقة على شكل موجة ارتدادية (اليسار) ثم غمرت المكان بعد بضع دقائق (اليمين).

الزلازل وأمواج التسونامي

يمكن أن يؤدي نشاط بركاني معين إلى حدوث زلزال، ولكن الزلازل غالباً ما تحدث نتيجة حركات على امتداد مناطق الصدع المرتبطة بأحياد الصفائح. وإن معظم الزلازل القوية، التي تمثل نسبة ٨٠٪ من مجمل الطاقة الزلزالية المنتشرة في جميع أنحاء العالم، تحدث في مناطق الاندساس حيث تقوم صفيحة محيطية بالاندساس تحت صفيحة قارية أو صفيحة محيطية أخرى أحدث منها.

ولا تؤدي جميع الزلازل إلى توليد أمواج تسونامي حتماً، ولكي ينشأ التسونامي، يتعين أن يتركز الصدع الذي يحدث عنده الزلزال تحت قاع المحيط أو بالقرب منه وأن يُحدث حركة عمودية (يصل مداها إلى عدة أمتار) تنطلق من قاع المحيط على مساحة كبيرة (تصل إلى نحو مائة ألف كيلومتر مربع). أما الزلازل ذات البؤر القليلة العمق (أقل عمقاً من ٧٠ كم أو ٤٢ ميلاً) والتي تحدث على امتداد مواضع الاندساس، فهي التي تُحدث أمواج التسونامي الأكثر تدميراً. فإن حجم الحركة التي تحدث على نحو عمودي وأفقي في قاع المحيط، والمنطقة التي تحدث فيها، والانهيالات المتزامنة التي تحدث على مستوى الرواسب تحت الماء نتيجة لحدوث اهتزازات، وفعالية انتقال الطاقة من القشرة الأرضية إلى مياه المحيطات، تمثل كلها جزءاً لا يتجزأ من آلية توليد أمواج التسونامي.



حدوث التسونامي؟

الزلازل المحدِثة لأمواج التسونامي

لم يشعر سكان سواحل نيكاراغوا بزلزال ٢ أيلول/سبتمبر ١٩٩٢ (بقوة ٧,٢) إلا على نحو طفيف. فقد وقع هذا الزلزال بعيداً جداً عن الشاطئ، ولذا فإن الهزات التي جرى قياسها على مقياس من ١ إلى ١٢ درجة بلغت درجتين في معظم المواقع على امتداد الساحل في حين تم تسجيل ٣ درجات في عدد قليل من المواقع. وبعد حدوث الزلزال بفترة تراوحت بين ٢٠ و٧٠ دقيقة، ضرب التسونامي سواحل نيكاراغوا بأمواج بلغ ارتفاعها ٤ أمتار (١٣ قدماً) فوق مستوى سطح البحر الاعتيادي في أغلب المناطق وبلغ اعتلاؤها الأقصى ١٠,٧ متر (٣٥ قدماً). وقد أخذت الأمواج سكان المناطق الساحلية على حين غرة وتسببت في سقوط العديد من الضحايا وفي حدوث أضرار كبيرة في الممتلكات.

وقد تولدت أمواج التسونامي هذه من زلزال تسونامي، وهو زلزال يؤدي إلى نشوء أمواج تسونامي كبيرة على نحو غير اعتيادي لا يتناسب مع قوة الزلزال.

بلدة ألترانزيتو في نيكاراغوا، في الأول من أيلول سبتمبر ١٩٩٢. دمرت أمواج بلغ ارتفاعها تسعة أمتار البلدة وأدت إلى مقتل ١٦ شخصاً وإصابة ١٥١ شخصاً من سكان هذه البلدة الساحلية التي تضم ١٠٠٠ نسمة. كان يُعتقد أن الموجة الأولى ستكون صغيرة وستتيح الوقت لهروب الناس من الموجتين المدمرتين الثانية والثالثة. وتضرر أكثر من ٤٠ ٠٠٠ من السكان بفقدان منازلهم أو سبل عيشهم. (هاري ياهHarry Yeh، جامعة واشنطن)

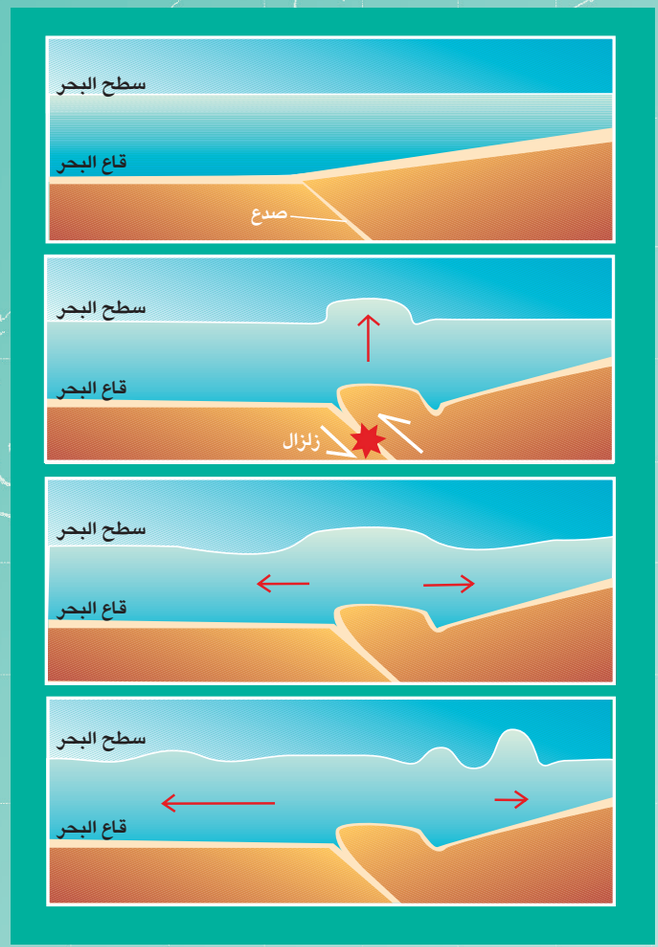
وتتميز زلازل التسونامي ببؤر ذات أعماق قليلة جداً، وبصدوع يتباعد طرفاها بأكثر من عدة أمتار، وبسطوح أرضية متصدعة أصغر حجماً من تلك التي قد يحدثها زلزال اعتيادي.

وهناك كذلك زلازل بطيئة تقترن بانزلاقات على امتداد الصدوع تحت قاع المحيط تحدث بوتيرة أبطأ مما يحدث في الزلازل الاعتيادية. وثمة أسلوب معروف يُستخدم للكشف السريع عن زلازل التسونامي، ألا وهو تقييم عامل يُطلق عليه اسم «اللحظة الزلزالية» باستخدام أمواج زلزالية ذات دورة طويلة جداً (أكثر من ٥٠ ثانية في الدورة الواحدة). ووقعت في السنوات الأخيرة قبالة سواحل إندونيسيا ثلاث كوارث أخرى فتاكة ناجمة عن أمواج تسونامي تولدت من زلازل التسونامي الثلاثة (التي حدثت في ٢ حزيران/يونيو ١٩٩٤، و١٦ تموز/يوليو ٢٠٠٧، و٢٥ تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٠)، كما وقعت كارثة رابعة في بيرو (في ٢١ شباط/فبراير ١٩٩٦).

بؤرة الزلزال هي النقطة التي يحدث فيها أول شرخ في باطن الأرض حيث تتولد أولى الأمواج الزلزالية. أما مركز الزلزال فهو النقطة الواقعة على سطح الأرض والتي تقع مباشرة فوق البؤرة.

وقوة الزلزال هي قيمة تقاس للدلالة على حجم الزلزال النسبي. وثمة عدد من المقاييس المختلفة الموجودة إضافة إلى مقياس ريختر، وهي تشمل الدرجة اللحظية التي تقيس الطاقة المنبعثة وتعطي التقدير ذا الموثوقية القصوى فيما يتعلق بالزلازل الكبيرة. وكل زيادة في وحدة من وحدات القوة تناظر عامل زيادة بمقدار عشرة أضعاف في اعتلاء الموجة الزلزالية، وثلاثين ضعفاً في كمية الطاقة المنبعثة. ويمكن قياس القوة اللحظية على نحو شبه فوري بفضل توفر أجهزة حديثة لقياس الزلازل، والتسجيل الرقمي، وروابط الاتصال في الزمن الحقيقي. ويتيح ذلك لمراكز الإنذار بأمواج التسونامي توفير الإنذارات الأولية بأمواج التسونامي في غضون دقائق معدودة عقب حدوث الزلزال.

أمواج التسونامي وعلاقتها بمنشأ الزلزال



أمواج التسونامي في

التسونامي المحيطي الشامل والتسونامي المحلي

في الأماكن العميقة من المحيطات، قد تكون أمواج التسونامي المدمرة صغيرة بحيث يقتصر ارتفاعها على بضع عشرات من السنتيمترات أو أقل من ذلك، وليس بالإمكان رؤيتها أو الإحساس بها من على متن السفن في عرض البحر. ولكن مع وصول أمواج التسونامي إلى المياه الساحلية الضحلة، يمكن لتلك الأمواج أن يتزايد ارتفاعها على نحو متسارع. وفي بعض الأحيان، يتم اجتذاب المياه الساحلية إلى عرض المحيط قبل أن تضرب أمواج التسونامي الشواطئ. وعند حدوث ذلك، تنكشف أرض المحيط عند الخط الساحلي أكثر مما تنكشف عندما يكون الجزر في أدنى درجاته. ويتعين اعتبار هذا الانحسار الكبير لمياه السواحل بمثابة إشارة إنذار طبيعية بأن أمواج التسونامي سوف تتبع.

إن أحدث كارثة من كوارث التسونامي التي تسببت بمقتل العديد من الأشخاص وألحقت الدمار الشديد على نطاق المحيط الهادي كانت تلك التي أعقبت الزلزال الذي حدث قبالة سواحل شيلي في عام ١٩٦٠. وقد أدت هذه الكارثة إلى خسائر في الأرواح وألحقت الأضرار بالممتلكات ليس على امتداد سواحل شيلي فحسب، بل أيضاً في هاواي وفي مناطق بعيدة جداً مثل اليابان التي وصلت إليها الأمواج بعد ٢٢ ساعة. وفي ١١ آذار/ مارس ٢٠١١، ضرب اليابان تسونامي محلي قاتل نجمت عنه أضرار بلغت قيمتها ٢١٠ مليارات دولار أمريكي، بما في ذلك ١٠٠ مليون دولار أمريكي في هاواي وكاليفورنيا، وكذلك مقتل شخص واحد في أوريغون. أما الزلزال الكبير الذي ضرب ألاسكا في عام ١٩٦٤ فقد أدى إلى توليد أمواج تسونامي قاتلة ضربت ألاسكا وأوريغون وكاليفورنيا.

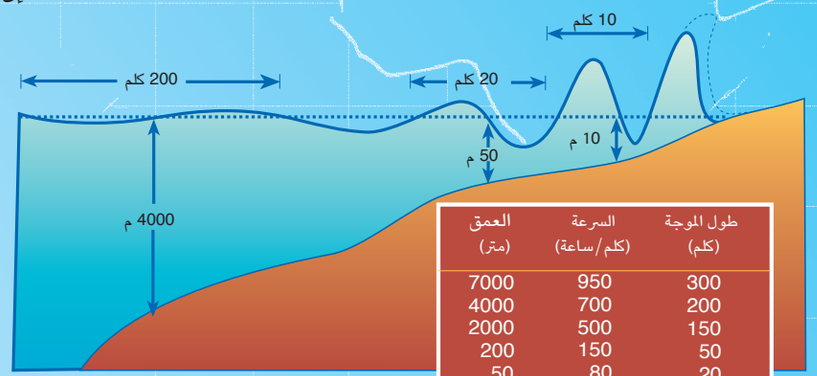
وفي تموز/يوليو ١٩٩٣، أدى التسونامي الذي تولّد في بحر اليابان إلى مقتل أكثر من ١٢٠ شخصاً في اليابان. وقد أوقع كذلك أضراراً في كوريا وروسيا ولكنه لم يلحق الضرر ببلدان أخرى إذ إن طاقة موجة التسونامي قد اقتصر تأثيرها على بحر اليابان. ويُعرف تسونامي عام ١٩٩٣ بأنه «حدث محلي أو إقليمي» لأن تأثيره اقتصر على منطقة صغيرة نسبياً. وفيما يتعلق بالأشخاص الذين يعيشون على امتداد الساحل الشمالي الغربي لليابان، فقد بلغتهم أمواج التسونامي المحلية بعد حدوث الزلزال بدقائق قليلة.

ومنذ التسعينات من القرن الماضي وحتى اليوم، وقعت ٢٨ كارثة تسونامي مدمرة، محلية منها وإقليمية، في أمريكا الجنوبية (شيلي وبيرو)، وفي أمريكا الوسطى (كوستاريكا ونيكاراغوا)، وفي اليابان، والفلبين، وإندونيسيا، وجزر المحيط الهادي (ساموا الأمريكية، وساموا، وجزر سليمان، وتونغا، وفانواتو)، وفي منطقة البحر الكاريبي (هايتي)، مما أسفر عن مقتل أكثر من ٢٠٠ ٠٠٠ نسمة. وقد أحدثت أيضاً أضراراً جمة لحقت بحقول بعيدة عن أمواج التسونامي، في ٢١ شباط/فبراير ١٩٩٦ في بيرو، وفي ٢٦ كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٤ في المحيط الهندي، وفي ٢٧ شباط/فبراير ٢٠١٠ في شيلي، وفي ١١ آذار/ مارس ٢٠١١ في اليابان. وفي أقل من يوم واحد، يمكن أن تنتقل أمواج التسونامي من جانب إلى آخر من سواحل المحيط الهادي. ومع ذلك، فإن الأشخاص الذين يعيشون على مقربة من المناطق التي تحدث فيها الزلازل الكبيرة قد تباغتهم أمواج التسونامي بوصولها إلى شواطئهم في غضون بضع دقائق. ولهذه الأسباب، فإن التهديد الذي تمثله أمواج التسونامي في العديد من المناطق، مثل منطقة البحر الكاريبي، والمنشأين الواقعين في إندونيسيا وساحل مكران، وحزام النار في المحيط الهادي، وشرق البحر المتوسط، يمكن أن ينشأ فوراً من أمواج التسونامي المحلية التي لا تستغرق سوى بضع دقائق لتصل إلى المناطق الساحلية، أو بسرعة أقل إذا ما كانت أمواج التسونامي من النوع البعيد المنشأ الذي يمكن أن يستغرق يوماً كاملاً لبلوغ الشاطئ.

وتعد منطقة مكران الموقع الذي يمثل الاحتمال الأكبر لحدوث التسونامي المحلي المدمر المقبل الناجم عن زلزال، الذي سيكون له تأثير على عُمان ومنطقة الخليج. وترجع آخر كارثة تسونامي قاتلة وقعت في منطقة مكران الشرقية إلى ٢٧ تشرين الثاني/نوفمبر ١٩٤٥، حيث حدث زلزال بقوة ٨,١. وكان الزلزال الأخير قد وقع في ٢٤ أيلول/سبتمبر ٢٠١٣ (بقوة ٧,٧) على بعد ٢٠٠ كم في عمق الأراضي الباكستانية. وقد أدى حدوث الزلزال إلى ارتفاع في قاع البحر وظهور جزيرة جديدة في غوادر، كما ولّد أمواج تسونامي تسنى قياسها في عُمان.

بيانات تظهر مستوى سطح البحر في ٢٤ أيلول/ سبتمبر ٢٠١٣ عند حدوث التسونامي الناجم عن زلزال باكستان، وقد سجلت هذه البيانات بواسطة أجهزة استشعار رادارية في ولايتي قريات وصور على الساحل العماني. وصلت الموجة الأولى بعد نحو ٣٠ دقيقة من حدوث الزلزال، وبلغ ارتفاع أكبر موجة ٥٥ سم (فوق متوسط مستوى سطح البحر)، وقد وصلت بعد ٤٥ دقيقة من الموجة الأولى.

تتناقص سرعة التسونامي في المياه الضحلة بينما يزداد ارتفاع الموجة ازدياداً سريعاً.

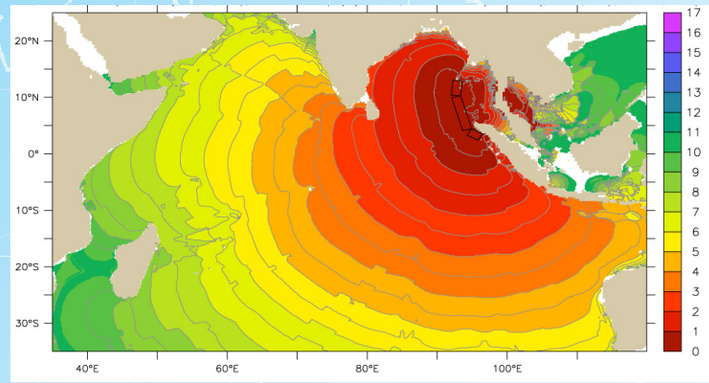


طول الموجة (كلم)	السرعة (كلم/ساعة)	العمق (متر)
300	950	7000
200	700	4000
150	500	2000
50	150	200
20	80	50
10	40	10

في أعالي المحيط، يظل ارتفاع موجة التسونامي عن سطح الماء أدنى من بضع عشرات السنتيمترات (قدم واحد) ، ولكن ارتفاع الموجة يزداد بسرعة في المياه الضحلة. وتمتد طاقة الموجة من سطح الماء إلى قاع المحيط حتى في أشد المياه عمقاً. وعندما يجتاح التسونامي خط الساحل، تنضغط طاقة الموجة بمسافة أقصر بكثير وبعمق أقل بكثير، مما يولّد أمواجاً مدمرة ومهددة للحياة.

أثناء حركتها

مدى سرعة أمواج التسونامي



أزمنة انتقال التسونامي التي قيست في ٢٦ كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٤ عندما وقع الزلزال قبالة الساحل الغربي لجزيرة سومطرة. ويساوي زمن كل منحنٍ متحد المركز ٣٠ دقيقة من زمن انتقال التسونامي. وقد ضرب التسونامي المدمر إندونيسيا بعد وقوع الزلزال بمدة ١٥ دقيقة، وضرب سريلانكا بعده بساعتين، وكينيا بعده بتسع ساعات (مختبر البيئة البحرية في المحيط الهادي، التابع للإدارة الوطنية لشؤون المحيطات والغلاف الجوي – NOAA PMEL).

في المناطق التي يتجاوز فيها عمق المحيط ٦٠٠٠ متر، يمكن لأمواج التسونامي غير الملحوظة أن تنتقل بسرعة طائرة تجارية، فتتجاوز سرعة ٨٠٠ كم في الساعة (٥٠٠ ميل في الساعة تقريباً). وبإمكانها الانتقال من جانب إلى آخر من المحيط الهادي في غضون يوم واحد، وعبر المحيط الهندي في ١٢ ساعة. وهذه السرعة الكبيرة هي التي تبيّن أهمية التنبّه إلى التسونامي فور نشوئه. ويمكن للعلماء أن يتوقعوا مواعيد وصول أمواج التسونامي في أماكن مختلفة من السواحل من خلال الكشف عن خصائص مصدر الزلزال الذي ولّد تلك الأمواج، فضلاً عن خصائص قاع المحيط على امتداد المسارات التي تؤدي إلى تلك الأماكن. وتتباطأ سرعة انتقال أمواج التسونامي تباطؤاً شديداً في المياه الساحلية الضحلة حيث يتزايد ارتفاع هذه الأمواج تزايداً هائلاً.

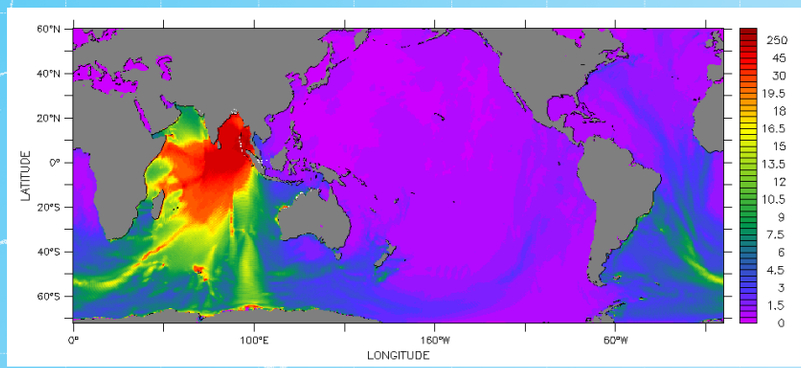
مدى ضخامة أمواج التسونامي

يمكن تحديد حجم أمواج التسونامي وتأثيرها من خلال السمات البحرية والساحلية. فالشعاب، والخلجان، والمداخل التي تؤدي إلى الأنهار، وتضاريس قاع البحار، ومنحدرات الشواطئ، كل ذلك يسهم في تعديل أمواج التسونامي عندما تجتاح السواحل. وحين تصطدم أمواج التسونامي بالسواحل، غالباً ما تشكل ما يشبه جداراً من المياه، إذ يمكن أن يبلغ ارتفاع مستويات سطح البحر أمتاراً عديدة. وفي بعض الحالات القصوى، ارتفع منسوب المياه إلى أكثر من ١٥ متراً (٥٠ قدماً) فيما يخص أمواج التسونامي ذات المنشأ البعيد، وإلى أكثر من ٣٠ متراً (١٠٠ قدم) فيما يخص أمواج التسونامي التي تتولد بالقرب من مركز الزلزال. وقد لا تكون الموجة الأولى هي الكبرى في سلسلة الأمواج. ويمكن لمجتمع ساحلي معين ألا يلحظ أي نشاط لأمواج ضارة في حين يشهد مجتمع مجاور آخر أمواجاً قد تكون ضخمة وعاتية بحيث تحدث الكثير من الدمار. وقد يمتد الفيض عدة كيلومترات (ما يقارب ٠,٥ ميل) أو أكثر في الداخل، ويغطي بذلك مساحات كبيرة من الأراضي بالمياه والحطام.

وخلال عمليات المسح الميداني الذي يعقب وقوع كوارث التسونامي، تؤخذ المقاييس المتعلقة بالغمر والاعتلاء لوصف الآثار التي تخلفها أمواج التسونامي. فالغمر هو الحد الأقصى للمسافة الأفقية الداخلية التي تخترقها أمواج التسونامي. والاعتلاء هو الحد الأقصى للارتفاع العمودي الذي يبلغه سطح البحر فوق المستوى المتوسط عند حدوث التسونامي. ويتم قياس الارتفاعات الفعلية لأمواج التسونامي عن طريق قياس مطال الأمواج المرئية في مقياس المد والجزر. هذه البيانات لا غنى عنها لوضع الخرائط الجيدة المتعلقة بالغمر والإخلاء.

مدى تواتر أمواج التسونامي

بما أنه ليس بإمكان العلماء توقع مواعيد حدوث الزلازل، فلا يمكنهم بالتالي تحديد التوقيت الذي تتولد فيه أمواج التسونامي على وجه الدقة. ومع ذلك، فإن بإمكانهم معرفة الأماكن التي يرجَّح أن تتولد فيها تلك الأمواج، وذلك من خلال النظر في ماضي كوارث التسونامي الموثقة تاريخياً وأماكن حدوثها. ومن المفيد معرفة الارتفاعات التي بلغتها أمواج التسونامي في الماضي لتوقّع الآثار التي قد تحدثها في المستقبل، وكذلك حدود بعض المواقع والمجتمعات الساحلية التي بلغها الفيض. أما البحوث التي يجريها العلماء في إطار دراسة حالات التسونامي القديمة والتي يبحثون فيها عن الرواسب التي تودعها أمواج التسونامي العملاقة، فهي تساعد في توسيع سجل أمواج التسونامي الموثقة تاريخياً بحيث يتاح الرجوع إلى مراحل أبعد في التاريخ. وكلما جرى توثيق مزيد من الأحداث، يتسنى الحصول على تقديرات أنجع لتواتر تولّد أمواج التسونامي في منطقة معينة. وفي القرون الخمسة الماضية، وقعت كوارث تسونامي على نطاق المحيط الهادي بمعدل ثلاث إلى أربع كوارث في القرن الواحد، وتولدت معظمها قبالة السواحل الشيلية. وأودت كارثة التسونامي التي وقعت في ٢٦ كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٤ بحياة ٢٢٨ ٠٠٠ نسمة وأحدثت أضراراً في جميع أنحاء المحيط الهندي، مما جعلها أسوأ كارثة تسونامي في التاريخ، كما عُرفت بوصفها أول كارثة تسونامي مدمرة على نطاق حوض المحيط الهندي.



أقصى ارتفاعات الأمواج التي سجلت على الصعيد العالمي (بالسنتمترات)، فيما يخص التسونامي الذي حدث في ٢٦ كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٤، كانت في منطقة القطب الجنوبي وفي شتى أنحاء المحيط الهادي والمحيط الأطلسي في أمريكا الشمالية والجنوبية وكندا. (مختبر البيئة البحرية في المحيط الهادي، التابع للإدارة الوطنية لشؤون المحيطات والغلاف الجوي – NOAA PMEL)

سبل

كودياك، ألاسكا. أدى التسونامي الذي وقع في ٢٧ آذار/مارس ١٩٦٤ إلى مقتل ٢١ شخصاً وإلى أضرار بلغت قيمتها ٣٠ مليون دولار أمريكي في مدينة كودياك وفي جوارها.

المركز الدولي للإعلام عن أمواج التسونامي (ITIC)

يُعد المركز الدولي للإعلام عن أمواج التسونامي (ITIC) أقدم مركز معلومات موضوع في خدمة نظام الإنذار بأمواج التسونامي وتخفيف آثارها على الصعيد العالمي (GTWS)، التابع للجنة اليونسكو الدولية الحكومية لعلوم المحيطات (IOC)، وهو يقع في هونولولو، في هاواي، وتزوده بالموظفين الولايات المتحدة وشيلي واليابان. أما وحدة كوارث التسونامي التابعة للجنة اليونسكو الدولية الحكومية لعلوم المحيطات، فتقع في باريس، في فرنسا، وتقوم بالتنسيق في إطار نظام الإنذار بأمواج التسونامي على الصعيد العالمي. ويقدم المركز الدولي للإعلام عن أمواج التسونامي (ITIC) خدمات مباشرة إلى الدول الأعضاء تتعلق بنظام الإنذار بأمواج التسونامي وتخفيف آثارها في المحيط الهادي (PTWS) وفي غيره من المناطق من خلال عمليات الرصد والتوصية بإدخال تحسينات على نظم الإنذار هذه، ومساعدة الدول الأعضاء على إنشاء نظم إنذار على الصعيدين الإقليمي والوطني، ودعم بناء القدرات من خلال برامج التدريب في مجال تخفيف آثار التسونامي، والاضطلاع بدور مركز لتبادل المعلومات من أجل تعزيز البحوث، وإعداد مواد تعليمية ومواد خاصة بالتأهب وتوزيعها بغية التخفيف من مخاطر التسونامي. ويقوم المركز الدولي للإعلام عن أمواج التسونامي (ITIC) بإصدار النشرة الإعلامية الخاصة بالتسونامي على نحو منتظم، ويتولى إدارة مكتبة والمحافظة عليها، ويستضيف قائمة توزيع اللوحة الإلكترونية لنشرة التسونامي، ويدير برنامج التدريب الخاص بالمركز الدولي للإعلام عن أمواج التسونامي (ITIC) في مجال نظم الإنذار بأمواج التسونامي.

"الموجة" هي لوحة رسمها لوكاس راواه من مدينة أيتاب، تخليداً لذكرى الحدث الذي وقع في ١٧ تموز/يوليو ١٩٩٨، في بابوا غينيا الجديدة. فقد وقع زلزال بلغت قوته ٧,١ ويُعتقد أنه أحدث انهيالاً أرضياً تحت البحر ولّد موجة تسونامي دمرت قرى بأكملها على طول ساحل أيتاب.

إنقاذ الأرواح

مراكز الإنذار بأمواج التسونامي

تقوم لجنة اليونسكو الدولية الحكومية لعلوم المحيطات (IOC) بتنسيق عملية تنفيذ نظام الإنذار بأمواج التسونامي وتخفيف آثارها على الصعيد العالمي، وتعتمد على تجاربها في المحيط الهادي من أجل وضع نظم الإنذار الخاصة بالمحيط الهندي، ومنطقة البحر الكاريبي، والمحيط الأطلسي، والبحر الأبيض المتوسط. ويُستخدم مركز الولايات المتحدة الأمريكية للإنذار بأمواج التسونامي في المحيط الهادي (PTWC) بوصفه مركزاً للإنذار يغطي المحيط الهادي. وأخذت هذه الجهود الخاصة بالإنذار على الصعيد الدولي وجهة رسمية في عام ١٩٦٥ حين تولى مركز الإنذار بأمواج التسونامي في المحيط الهادي (PTWC) مسؤولية نظام الإنذار بأمواج التسونامي وتخفيف آثارها في المحيط الهادي (PTWS)، بوصفه مركزاً تشغيلياً لهذا النظام. ويشمل عمل هذا النظام التابع للفريق الدولي المعني بالأزمات (ICG) ٤٦ بلداً في المحيط الهادي، وهو يشرف على عمليات نظام الإنذار ويسهل التنسيق والتعاون بين مختلف أنشطة تخفيف آثار التسونامي على الصعيد الدولي. وفي عام ٢٠٠٥، بدأ مركز الإنذار بأمواج التسونامي في المحيط الهادي (PTWC) ووكالة الأرصاد الجوية اليابانية (JMA) بتوفير الخدمات المؤقتة في المحيط الهندي على نحو تعاوني؛ وفي عام ٢٠٠٦ وفي إطار دون إقليمي، تم توفير تلك الخدمات لبحر الصين الجنوبي في المحيط الهادي. وفي العام نفسه، بدأ مركز الإنذار بأمواج التسونامي في المحيط الهادي (PTWC) بتوفير الخدمات المؤقتة لمنطقة البحر الكاريبي.

ويهدف مركز الإنذار بأمواج التسونامي في المحيط الهادي (PTWC) بصورة أساسية إلى الكشف عن البارامترات الزلزالية الخاصة بالزلازل التي من المحتمل أن تحدث أمواج تسونامي في حوض المحيط الهادي أو على حوافه المباشرة. ولتحقيق هذه الغاية، يتلقى المركز البيانات الخاصة بالزلازل على نحو مستمر من أكثر من ٤٠٠ محطة حول العالم وذلك من خلال عملية تبادل البيانات في إطار التعاون مع هيئة المسح الجيولوجي في الولايات المتحدة، والشبكة العالمية للزلازل التي تضم مؤسسات البحوث المدمجة المعنية بعلم الزلازل، وهيئة الانتشار الدولي لمقاييس التسارع، والشبكة الفرنسية لرصد الأرض (GEOSCOPE)، والمركز الأميركي للإنذار بأمواج التسونامي في الساحل الغربي وألاسكا (WC/ATWC)، وغيرها من الوكالات الوطنية والدولية التي تستخدم الشبكات المعنية بالزلازل.

وكلما تم الكشف عن زلزال قادر على توليد أمواج التسونامي المدمرة، استناداً إلى موقعه وعمقه ومطاله، صدر على الفور إنذار بأمواج التسونامي للتنبيه إلى خطر حدوث تسونامي وشيك. وتنطبق الإنذارات الأولية فقط على المناطق التي يمكن أن تصل إليها أمواج التسونامي في غضون ساعات قليلة، وتشمل النشرات الموزعة إشارة إلى التوقيت المتوقع لوصول الأمواج و/أو الارتفاعات التي قد تصل إليها في بعض المناطق المختارة على السواحل. أما الأمواج الساحلية التي يُقدر أن يتجاوز ارتفاعها ٥٠ سم، والتي تكون مصحوبة بتيارات مائية قوية، فمن الممكن أن تسبب أضراراً بالغة وأن تودي بحياة أناس كثيرين، لأنها تهدم السدود ويصبح الحطام كمدكات للحصون تطفو على سطح الماء. ويوجَّه إلى المجتمعات البعيدة عن تلك المناطق إما تنبيه وإما إنذار بحدوث تسونامي.

ويقوم العلماء بعدئذ في مراكز الإنذار برصد البيانات الواردة المتعلقة بمستوى سطح البحر لتحديد ما إذا كان قد حدث تسونامي. وإذا تم الكشف عن تسونامي كبير يمكن أن يتسم بقوة تدميرية بعيدة المدى، فيوسَّع نطاق الإنذار بأمواج التسونامي بحيث يشمل كامل حوض المحيط الهادي أو المحيط الهندي. ويتلقى مركز الإنذار بأمواج التسونامي في المحيط الهادي (PTWC) بيانات بشأن مستوى سطح البحر من أكثر من ٤٠٠ محطة ساحلية من خلال تبادل البيانات التعاوني بين وكالات الولايات المتحدة، ومراكز البحوث، والبلدان، والشبكات الدولية مثل النظام العالمي لرصد مستوى سطح البحر (GLOSS). كما يتلقى المركز بيانات من أكثر من ٤٠ جهاز استشعار في أعماق المحيط أو من نظام تقييم أمواج التسونامي في المياه العميقة وتقديم المعلومات عنها (DART) في المحيط الهادي ومن شتى أنحاء العالم. وتتيح هذه البيانات إجراء توقعات أدق بشأن أمواج التسونامي. ويتم توزيع الإنذارات بأمواج التسونامي على موظفي الطوارئ المعينين لهذا الغرض، ونشرها بين عامة الناس عن طريق مختلف أساليب الاتصالات.

وبإمكان البلدان أن تستخدم المراكز الوطنية أو دون الإقليمية لتوفير الإنذارات بسرعة أكبر وبمزيد من الدقة فيما يتعلق بأمواج التسونامي الإقليمية أو المحلية. وتقوم الوكالة اليابانية للأرصاد الجوية (JMA) بتوفير الإنذارات المحلية لليابان، ويقدم مركزها الاستشاري الخاص بالتسونامي في شمال غرب المحيط الهادي التوقعات اللازمة بشأن الزلازل وأمواج التسونامي للبلدان الواقعة في شمال غرب المحيط الهادي والبحار المجاورة، ومنطقة جنوب الصين، والدول الجزرية في شمال المحيط الهادي. وفي منطقة المحيط الهادي، اضطلع المركز البولينيزي للوقاية من التسونامي في بولينيزيا الفرنسية وشيلي وروسيا بتشغيل نظم الإنذار الوطنية خلال عدة عقود. أما أستراليا، وكندا، وكولومبيا، والإكوادور، والسلفادور، وإندونيسيا، وكوريا، وماليزيا، ونيوزيلندا، ونيكاراغوا، وبيرو، والفلبين، وتايلاند، فقد دأبت على تحسين نظمها منذ عام ٢٠٠٤.

وفي الولايات المتحدة، يقوم مركز الإنذار بأمواج التسونامي في الساحل الغربي وألاسكا (WC/ATWC) بتغطية عمليات الإنذار في النصف الشمالي من القارة الأمريكية، بما في ذلك كندا، وبورتوريكو، وجزر فيرجين، ويقوم مركز الإنذار بأمواج التسونامي في المحيط الهادي (PTWC) بمهام تغطية هاواي ومصالح الولايات المتحدة في المحيط الهادي. وبفضل توافر إمكانية تبادل البيانات على نحو مفتوح وفي الوقت المطلوب، يمكن أن توفر مراكز الإنذار بأمواج التسونامي تحليلات احتياطية ومكملة للأحداث الجارية في حالة تعرض أحد المراكز لعطل تقني معين. كما يمكن أن تُستخدم المراكز بوصفها جهات تنسيق للأنشطة الإقليمية المتعلقة بالتوعية والتربية فيما يتعلق بأمواج التسونامي وغير ذلك من الأنشطة الخاصة بتخفيف آثار تلك الأمواج.

معلومات عن لجنة اليونسكو الدولية الحكومية لعلوم المحيطات (IOC)

إن اللجنة الدولية الحكومية لعلوم المحيطات، وهي هيئة تتمتع باستقلال وظيفي داخل منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة (اليونسكو)، توفر للدول الأعضاء آلية أساسية للتعاون على الصعيد العالمي في إطار دراسة المحيطات. وتقدم اللجنة المساعدة إلى الحكومات ليتسنى لها معالجة مشكلاتها الفردية والجماعية المتعلقة بالمحيطات وبالمناطق الساحلية من خلال تبادل المعارف والمعلومات والتكنولوجيا، والتنسيق بين البرامج الوطنية والإقليمية.

وتتمثل مهام لجنة اليونسكو الدولية الحكومية لعلوم المحيطات في ما يلي: تطوير البرامج الدولية المعنية بالدراسة العلمية للمحيطات والخدمات الخاصة بها والتوصية بها وتنسيقها؛ وتعزيز تبادل البيانات المتعلقة بالمحيطات وتقديم التوصيات بشأنها، ونشر وتعميم نتائج البحوث العلمية؛ وتعزيز وتنسيق وضع ونقل العلوم البحرية والتكنولوجيا الخاصة بها؛ وتقديم التوصيات لتعزيز التعليم والتدريب وتشجيع البحوث العلمية المتعلقة بالمحيطات والأخذ بنتائجها لصالح البشرية جمعاء. وتضم اللجنة المذكورة في الآونة الراهنة عضوية ١٤١ دولة. وتجتمع الجمعية كل عامين في مقر اليونسكو بباريس، في فرنسا.

وتتألف لجنة اليونسكو الدولية الحكومية لعلوم المحيطات من جمعية، ومجلس تنفيذي، وأمانة، وكل ما تنشئه من هيئات فرعية. وانطلاقاً من هذا المفهوم، أنشأت اللجنة برامج عالمية وإقليمية تقوم بدراسة وتنفيذ بعض المشاريع المحددة أو بتشكيل لجان تتألف من الدول الأعضاء المهتمة بمثل هذه المشاريع. وهذا هو الحال بالنسبة إلى أفرقة التنسيق لنظام الإنذار بأمواج التسونامي وتخفيف آثارها في المحيط الهادي (PTWS)، وفي المحيط الهندي (IOTWS)، وفي منطقة البحر الكاريبي (CARIBE EWS)، وفي شمال شرق المحيط الأطلسي، والبحر المتوسط، والبحار المجاورة (NEAMTWS).

مواجهة

الأول من نيسان/أبريل ١٩٤٦. يهرب الناس من التسونامي الذي يجتاح مركز مدينة هيلو في هاواي. فقد ضرب التسونامي من دون سابق إنذار بعد أربع ساعات ونصف الساعة من نشوئه بسبب زلزال بقوة ٨,١ ضرب جزر أليوت على بعد ٣ ٥٠٠ كم شمالاً، ونجم عن ذلك الشروع في إنشاء نظام الولايات المتحدة للإنذار بأمواج الزلازل البحرية (الذي أصبح اسمه الآن «مركز الإنذار بأمواج التسونامي في المحيط الهادي» – PTWC) في عام ١٩٤٩. (محفوظات متحف بيشوب)

إن أي نظام فعال للإنذار بأمواج التسونامي يصل إلى جميع الأشخاص المعرضين للخطر قبل أن تضرب الأمواج

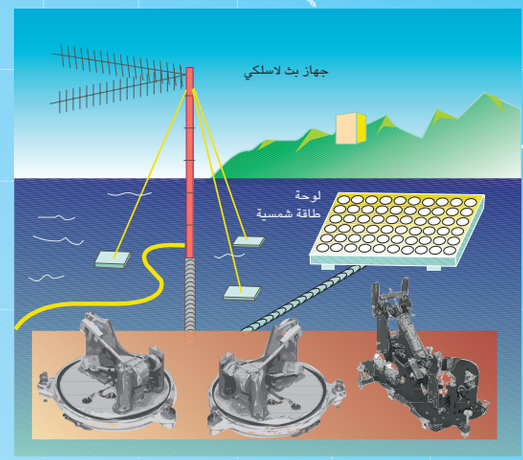
لا يُنجز وضع نظام فعال للإنذار المبكر بأمواج التسونامي إلا عندما يتم إعداد جميع الأشخاص في المجتمعات الساحلية المعرضة للخطر، بحيث يتجاوبون على النحو المناسب وفي الوقت المناسب حين يدركون أن هناك أمواج تسونامي قادمة وأنها قد تكون مدمرة. وتعد الإنذارات بأمواج التسونامي التي يصدرها أحد مراكز الإنذار المعتمدة في الوقت المناسب أمراً أساسياً. وحين تتلقى الهيئات الحكومية المعنية رسائل الإنذار هذه، يتعين أن تكون الخطط الوطنية للاستجابة في حالات الطوارئ الناجمة عن أمواج التسونامي قد وضعت مسبقاً بحيث يتسنى اتخاذ الإجراءات المعروفة والعملية على الفور لتقييم الإنذار القائم على أسس علمية، وتحديد الإجراءات المناسبة الواجب اتخاذها وإبلاغها إلى عامة المواطنين. ويجب أن تكون برامج التأهب لمواجهة التسونامي قد دخلت فعلاً حيز التشغيل بحيث يتاح اتخاذ القرارات السليمة دون تأخير.

أما الأنشطة الأساسية لأي نظام إنذار فعال فهي التالية:

- تحديد الخطر الناجم عن أمواج التسونامي، وتقييم المخاطر والتخفيف من آثارها للحد من وقع الأمواج. وتستند إلى هذه المعلومات خرائط الإخلاء التي تبين المناطق التي يحتمل أن تحدث فيها الفيضانات في حالات التسونامي.
- إصدار إنذارات في الوقت المناسب. وفيما يتعلق بالتسونامي البعيد المدى، من المهم للغاية رصد تطور الزلزال في الزمن الحقيقي وكذلك مستوى سطح البحر لتأكيد حدوث أمواج التسونامي المدمرة، وإبلاغ هذه المعلومات إلى الناس على الفور. أما فيما يتعلق بالتسونامي المحلي الذي قد لا يتاح متسع من الوقت لإطلاق إنذار رسمي بشأنه، فيتعين على الناس التعرف مسبقاً على إشارات الإنذار الطبيعية بأمواج التسونامي والاستجابة لها على الفور.
- الاضطلاع بأنشطة التوعية المتواصلة والمستدامة. ويعد التعليم أمراً أساسياً لبناء مواطنين واعين ولضمان أن يكون الجيل القادم متأهباً أيضاً لمواجهة ذلك. أما الدعم السياسي والقوانين واللوائح والمسؤولية المؤسسية، فكلها عناصر ذات أهمية حاسمة في هذا الصدد.

نظام تقييم أمواج التسونامي في المياه العميقة وتقديم المعلومات عنها (مشروع DART)

المحطة الخاصة بعلم الزلازل ذات العناصر الثلاثة المستقلة الواسعة النطاق



الوحش

أنشطة البحوث بشأن أمواج التسونامي

منذ حدوث تسونامي المحيط الهندي في عام ٢٠٠٤، حصل تقدم كبير في مجال البحوث بشأن أمواج التسونامي. فقد وفرت الدراسات الاستقصائية لما بعد التسونامي مجموعات من البيانات التفصيلية والشاملة التي حسّنت فهمنا لهذه الظواهر وبالتالي قدرتنا على التخفيف من الخسائر الناجمة عن أمواج التسونامي. وبإمكان العلماء أن يعرضوا نماذج رقمية تبين كيف تتولد أمواج التسونامي وتنتشر في عرض المحيط وتجتاح السواحل.

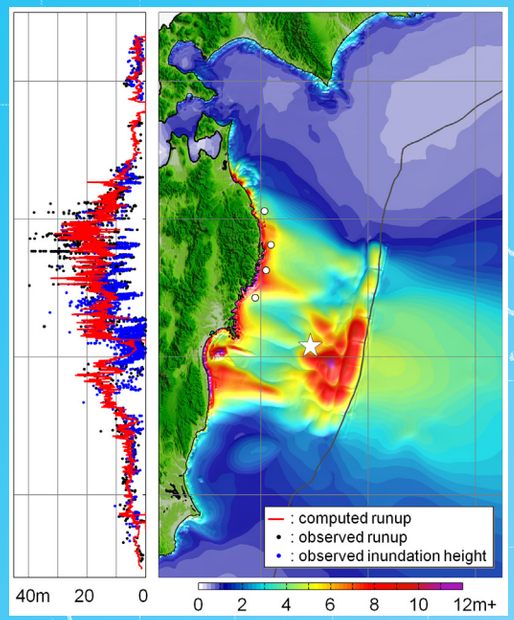
وتقدم أجهزة استشعار الضغط الموضوعة في قاع المحيط والقادرة على قياس أمواج التسونامي في عرض المحيطات بيانات هامة بشأن انتشار أمواج التسونامي في المياه العميقة، كما أن الاتصالات عبر الأقمار الصناعية أتاحت استخدام البيانات في الزمن الحقيقي للكشف عن أمواج التسونامي في مياه المحيط العميقة وقياسها. واضطلعت الإدارة الوطنية لشؤون المحيطات والغلاف الجوي (NOAA) بدور رائد في تصميم وتشغيل هذه العوامات الخاصة بالكشف عن التسونامي على مدى السنوات العشرين الماضية. وأصبحت القياسات التي تُجرى انطلاقاً من هذه العوامات تساعد مراكز الإنذار على إصدار الإنذارات والتنبيهات أو إلغائها بمزيد من الدقة. كما تُمكّن أساليب وضع النماذج الرقمية المراكز من نشر التوقعات الخاصة بالأمواج وتوفر بذلك للعملاء المعلومات اللازمة عن الآثار المرتقبة لتلك الأمواج.

ويقوم علماء الزلازل بوضع أساليب جديدة لتحليل حركة الزلازل ومقدار الطاقة المنبعثة منها، وذلك من خلال الدراسات التي يجرونها عن ديناميات الزلازل مستخدمين أجهزة قياس الزلازل ذات النطاق العريض (من ٢٠ إلى ٠,٠٠٣ هرتز). وفي حين أن مقياس ريختر التقليدي (الأمواج السطحية) لقوة الزلازل ليس دقيقاً في قياس ما تتجاوز قوته ٧,٥، فإن اللحظة الزلزالية ومدة الزلزال في مصدره تستخدمان حالياً لإجراء تحديد أفضل لكمية الطاقة المنبعثة واحتمال تولُّد التسونامي. فإن تحديد عمق الزلزال بالزمن الحقيقي، ونوع الصدع، وامتداد الانكسار واتجاهه وسرعته يحسن قدرة مراكز الإنذار على تحديد احتمالات تولُّد أمواج التسونامي الخطرة تحسيناً كبيراً.

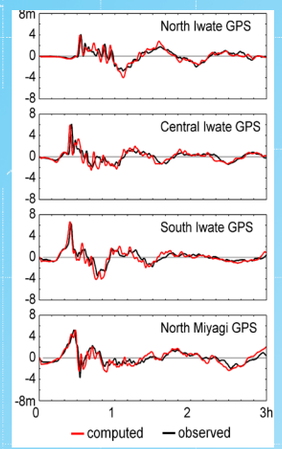
وخلال السنوات العشر الماضية، أتاحت البحوث الميدانية المتعلقة بالتسونامي القديم والرواسب التي يخلفها توسيع السجل التاريخي لظاهرة التسونامي بحيث تسنى تحسين عمليات تقييم المخاطر. وتسهم الدراسات البنيوية التي تُجرى في أعقاب حدوث كوارث التسونامي، وكذلك التجارب المخبرية، في مساعدة المهندسين على تصميم بنى مقاوِمة للتسونامي من خلال معرفة كيفية تأثير الأمواج في السواحل وتحاتّ أسس المباني وتفتيتها. ونتيجة لذلك، سوف يتم إدراج الأحكام الخاصة بتصميم المباني المقاوِمة للتسونامي في مدوّنات البناء الدولية في السنوات القليلة القادمة.

وتشكل نماذج الغمر الناجمة عن التسونامي التي تحدد مدى الفيضانات الساحلية جانباً أساسياً من جوانب التخطيط للتأهب لمواجهة أخطار التسونامي. واستناداً إلى سيناريوهات أسوأ حالات الفيضانات، تعد هذه النماذج مرجعاً حاسماً لتحديد طرق ومناطق الإخلاء بحيث يتسنى إجلاء المجتمعات الساحلية بسرعة حين يصدر إنذار بأمواج التسونامي.

وعلى الرغم من استحالة تفادي أمواج التسونامي، فيمكن التخفيف من تأثيرها من خلال إعداد المجتمعات، وإصدار الإنذارات في الوقت المناسب، والاستجابة على نحو فعال، وتثقيف الجمهور في هذا الشأن. ويعد برنامج الولايات المتحدة الوطني للتخفيف من المخاطر الناجمة عن أمواج التسونامي مثالاً جيداً للجهود المبذولة في سبيل الحد من أخطار التسونامي.



التسونامي الذي ضرب اليابان في ١١ آذار/مارس ٢٠١١. الجزء الأيسر من الصورة أعلاه: نموذج حاسوبي (الخط الأحمر) يمثل تشابهاً كبيراً مع ظاهرة الاعتلاء الملاحظة (بالأسود) وارتفاع الغمر (بالأزرق). الجزء الأيمن من الصورة أعلاه: المطال الأقصى للموجة على طول ساحل توهوكو الشمالي. وفي البحر، يبين النموذج مطالاً يصل إلى ١١ متراً حول مركز الزلزال (النجمة) وإلى ٧ أمتار عند عوامات نظام تحديد المواقع (GPS) القريبة من الشاطئ (الدوائر البيضاء). أما على الساحل فقد بلغ حد الاعتلاء الأقصى المحلي ما يتراوح بين ١٥ و٤٠ متراً، وفقاً للقياسات التي أجريت في العديد من الأماكن.



تبين ارتفاعات سطح البحر التي تم حسابها تطابقاً ممتازاً مع بيانات الرصد التي سجلتها عوامات نظام تحديد المواقع. (ي. يامازاكي و ك.ف. تشيونغ، جامعة هاواي).

ما الذي يتعين

الوقائع

- تنجم أمواج التسونامي التي تضرب المناطق الساحلية عن حدوث الزلازل بصورة شبه دائمة. والزلازل قد تحدث بعيداً عن المكان الذي تعيش أنت فيه أو على مقربة منه. وفي حين أن الزلازل تضرب جميع أحواض المحيطات في العالم، فإن معظمها لا يولّد أمواج تسونامي.
- من الممكن أن تكون بعض أمواج التسونامي كبيرة للغاية. ويمكن أن يبلغ ارتفاعها في بعض المناطق الساحلية ١٠ أمتار أو أكثر (٣٠ متراً في الحالات القصوى)، وأن تؤدي إلى حدوث بعض التأثيرات مثل الفيضانات السريعة. وغالباً ما تكون الأمواج اللاحقة مليئة بالحطام.
- من الممكن أن تضرب أمواج التسونامي جميع المناطق الساحلية المنخفضة.
- يتمثل التسونامي في سلسلة من الأمواج تفصل بين ذراها فترات تتراوح بين ٥ دقائق و٦٠ دقيقة. وغالباً ما لا تكون الموجة الأولى هي الكبرى. ويمكن أن يستمر خطر التسونامي لعدة ساعات بعد وصول الموجة الأولى. ولا تشكل عادة أمواج التسونامي حلقات متكسرة، لذلك لا تحاول التزلج في تجاويف أمواج التسونامي!
- يمكن لأمواج التسونامي التحرك على نحو أسرع من أي شخص يعدو.
- في بعض الأحيان، يمكن للتسونامي أن يؤدي في بداية الأمر إلى انحسار المياه بالقرب من الشاطئ، فيكشف بذلك قاع المحيط.
- إن بعض أمواج التسونامي لعاتية. فبإمكانها أن تنقل بفعل قوتها صخوراً ضخمة تزن عدة أطنان وقوارب وغير ذلك من الحطام إلى مسافة مئات الأمتار في عمق اليابسة، فضلاً عن المنازل والمباني المدمرة. وتتحرك جميع هذه المواد والمياه بقوة دفع كبيرة، ويمكن أن تؤدي إلى مقتل أفراد البشر أو إصابتهم بجروح.
- يمكن أن يحدث التسونامي في أي وقت كان، نهاراً أو ليلاً.
- يمكن لأمواج التسونامي أن تصل إلى الجداول والأنهار انطلاقاً من المحيط.
- يمكن للتسونامي أن يلتف بسهولة حول الجزر وأن يشكل خطورة بالقدر نفسه على السواحل التي لا تقع في مواجهة منشأ التسونامي.

ما الذي يتعين عليك فعله؟

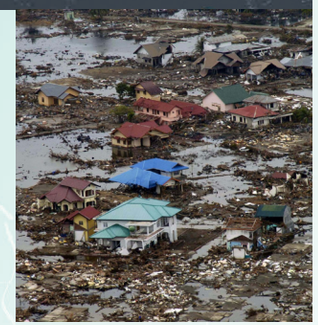
يتعين عليك أن تكون على بينة من وقائع التسونامي، فقد تنقذ هذه المعارف حياتك!

شاطر أقاربك وأصدقاءك هذه المعارف، فقد تنقذ هذه المعارف حياتهم!

- إذا كنت في المدرسة وسمعت إنذاراً بأمواج التسونامي، فينبغي لك اتباع نصائح المعلمين وغيرهم من العاملين في المدرسة.
- إذا كنت في بيتك وسمعت إنذاراً بأمواج التسونامي، فينبغي لك التأكد من أن عائلتك بأكملها هي على علم بالإنذار. وقم بإعداد خطة طوارئ للأسرة على نحو مسبق بحيث يصبح الجميع على علم بما يتعين القيام به. وإذا كنت تعيش في منطقة خاضعة لتدابير الإخلاء في حال حدوث تسونامي، فيتعين على عائلتك أن تخلي المنزل. وانتقلوا على نحو منظم وهادئ وآمن إلى موقع الإخلاء أو إلى أي مكان آمن خارج منطقة الإخلاء التي تشملكم. واتبعوا نصائح العاملين في الطوارئ والسلطات المحلية.
- إذا كنت على الشاطئ أو بالقرب من المحيط وشعرت بهزة أرضية قوية أو مستمرة لفترة طويلة، فانتقل مباشرة إلى مناطق مرتفعة. لا تنتظر إطلاق إنذار بأمواج التسونامي. وإذا حدث تسونامي، ابق بعيداً عن الجداول والأنهار التي تصب في المحيط، كما يتعيّن عليك البقاء بعيداً عن الشواطئ والمحيط، إذ يمكن لأمواج التسونامي الناجمة عن زلزال محلي أن تضرب قبل أن يتم الإعلان عن إنذار بتلك الأمواج.
- إن أمواج التسونامي التي تتولّد في مواقع بعيدة تتيح للناس عموماً ما يكفي من الوقت للانتقال إلى أماكن مرتفعة. أما فيما يخص أمواج التسونامي المحلي التي تتولّد في مواقع قريبة، فحين تشعر بهزة أرضية، قد لا يكون لديك سوى بضع دقائق للانتقال إلى أماكن مرتفعة.
- تقع بعض الفنادق المعززة بالإسمنت المسلح، والمرتفعة، والمتعددة الطوابق في العديد من المناطق الساحلية المنخفضة. ويمكن أن توفر الطوابق العليا لهذه الفنادق مكاناً آمناً يتم اللجوء إليه في حال إطلاق إنذار بأمواج التسونامي، وأنت غير قادر على الانتقال بسرعة إلى عمق اليابسة حيث توجد أماكن مرتفعة. ومع ذلك، قد لا تسمح الإجراءات التي يتخذها الدفاع المدني المحلي في منطقتك بهذا النوع من آليات الإخلاء. ولم تصمَّم المنازل والمباني الصغيرة التي تقع في المناطق الساحلية المنخفضة لتصمد أمام صدمات أمواج التسونامي. فلا تبقَ في هذه الأبنية إذا كان هناك إنذار بأمواج التسونامي.
- قد تساعد الشعاب المرجانية الواقعة في عرض البحر وفي المناطق الضحلة في التخفيف من قوة أمواج التسونامي، ولكن الأمواج الكبيرة والخطرة لا تنفك تشكل تهديداً للسكان في هذه المناطق الساحلية. أما أفضل نصيحة من حيث الأمان، فتتمثل في البقاء بعيداً عن جميع المناطق الساحلية المنخفضة حين يكون هناك إنذار بأمواج التسونامي.

حوض أوغا للأسماك، في أكيتا باليابان. موقف السيارات التابع لحوض الأسماك بلغه الفيض وغمر سيارة واقفة فيه خلال التسونامي الذي ضرب بحر اليابان في ٢٦ أيار/مايو ١٩٨٣. (تاكاآكي أودا، معهد بحوث الأشغال العامة، اليابان)

عليك فعله؟



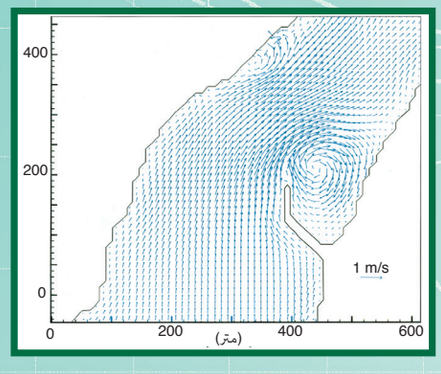
باندا أسيه، سومطرة، إندونيسيا. دمر التسونامي الذي وقع في ٢٦ كانون الأول/ ديسمبر ٢٠٠٤ البلدات والقرى الساحلية تدميراً كاملاً، ولم يخلف وراءه إلا الرمل والطمي والماء (في الوسط) في الأماكن التي كانت عامرة بالبشر في المنازل والمكاتب والمساحات الخضراء (في الأعلى). (صورة من الساتل كويكبرد أنتجتها شركة ديجيتل غلوب، وهي صورة تابعة للبحرية الأمريكية)

إذا كنت على متن سفينة أو قارب

بما أن نشاط أمواج التسونامي غير محسوس في عرض المحيط، فلا تعد إلى الميناء إذا كنت في البحر وقد صدر إنذار بأمواج التسونامي يتعلق بالمنطقة التي أنت فيها. فيمكن لأمواج التسونامي أن تحدث تغيرات سريعة في مستوى المياه وفي التيارات الخطيرة وغير المتوقعة في المرافئ والموانئ.

وإذا كان لديك ما يكفي من الوقت لتحرك قاربك أو السفينة التي أنت على متنها إلى موقع ما في المياه العميقة (بعمق يتراوح بين ١٠٠ م و٥٠٠ م، وفقاً للظروف المحلية)، وبعد أن تكون قد علمت أن إنذاراً بأمواج التسونامي قد صدر، يتعين عليك أن تراعي الاعتبارات التالية:

- معظم المرافئ والموانئ الكبيرة خاضعة لرقابة سلطات المرافئ و/أو نظام حركة عبور السفن. وتقوم هذه السلطات بقيادة العمليات خلال فترات الجاهزية القصوى، بما في ذلك إجبار السفن على التحرك في حالة الضرورة. ابقَ على اتصال بالسلطات استعداداً لاحتمال تلقّي أوامر بتحريك السفن.
- قد لا تكون الموانئ الصغيرة خاضعة لرقابة سلطات المرافئ. فإذا علمت أنه تم إطلاق إنذار بأمواج التسونامي، تأكد من أن لديك ما يكفي من الوقت لتحريك سفينتك بأمان باتجاه المياه العميقة. وقد يجد أصحاب القوارب الصغيرة أن من الأفضل من حيث الأمان ترك قاربهم على الرصيف والتوجه إلى أماكن مرتفعة، لا سيما في حالات التسونامي المحلي. وقد يمثل سوء الأحوال الجوية المتزامن (هيجان البحر خارج الميناء) وضعاً أشد خطورة على القوارب الصغيرة، لذلك قد يكون الخيار الوحيد هو أن تتوجه إلى المناطق المرتفعة.
- يمكن أن يكون لحركة الأمواج المضرة والتيارات غير المتوقعة تأثيراً في الموانئ لمدة ساعات بعد التأثير الأولي الذي تحدثه أمواج التسونامي على السواحل. اتصل بسلطات الموانئ قبل أن تعود إلى الميناء وتأكد من أن الظروف في الميناء آمنة للملاحة ورسو السفن.



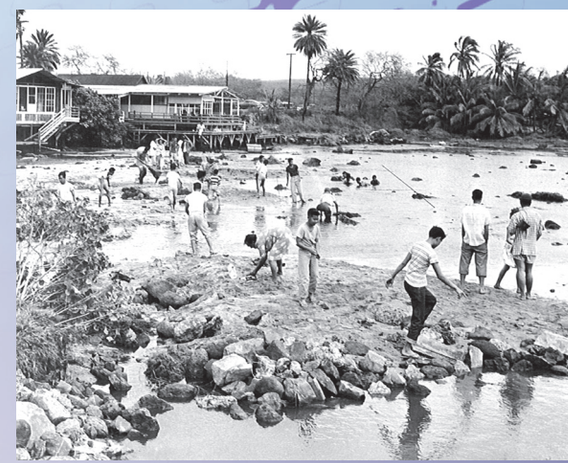
٣٠ تموز/يوليو ١٩٩٥، تسونامي شيلي. على اليسار: صورة تبين آثار التسونامي والدوامات التي تشكلت خلف كاسر الأمواج في خليج تاهاوكو في جزر المركيز، في بولونيزيا الفرنسية، وذلك على بعد عدة آلاف من الكيلومترات عن منشأ التسونامي. على اليمين: تيارات في خليج تاهاوكو استناداً إلى نماذج رقمية تمثل التسونامي الشيلي. وتنتج النمذجة الرقمية نفس أنواع تيارات المحيط الظاهرة في الصورة.

صحيح

أن أمواج التسونامي تمثل خطورة بالغة، إلا أنها لا تحدث على نحو متكرر. وينبغي ألا تدع هذه الظاهرة الطبيعية الخطرة تخفف من رغبتك في التمتع بالشاطئ وبالمحيط. ولكن، إذا نشأ لديك ظن بقدوم أمواج تسونامي، أو شعرت بأن الأرض تهتز تحت قدميك بقوة أو على نحو متواصل، أو لاحظت أن مياه المحيط تنحسر وتكشف قاع البحر، أو سمعت هديراً يشبه هدير القطار، أو كنت على علم بإنذار ما، فأخبر أقاربك وأصدقاءك بذلك،

واتجهوا بسرعة إلى الداخل في عمق اليابسة وتوجهوا نحو المناطق المرتفعة!

هاشي نوهي، اليابان، ١١ آذار/مارس ٢٠١١ (الوكالة اليابانية للعلوم والتكنولوجيا البحرية الأرضية - JAMSTEC). ضرب التسونامي شرق اليابان بعد نحو ٢٥ دقيقة من حدوث الزلزال، فهدم المنازل، وبلغ الفيض الطابق الرابع من المباني، وغمر الأراضي على بعد ستة كيلومترات عن الشاطئ. وتم بث الإنذارات الخاصة بالتسونامي في محطات التلفزيون والإذاعة خلال خمس دقائق وتبعتها فوراً صفارات الإنذار الخاصة بإجلاء السكان. وبفضل التأهب المسبق للحدث الذي جرى فيه تحديد مناطق الخطر وتطبيق عمليات الإجلاء لضمان السلامة، والتثقيف في المدارس وتوعية الجمهور، تم إنقاذ عدد من الأرواح. ووقع نحو ١٩ ٠٠٠ قتيل، ولكن هذا العدد لا يمثل إلا ٥٪ تقريباً من السكان المعرضين لخطر التسونامي. بيد أنه، كما حدث في كوارث التسونامي السابقة، كانت معظم الإصابات في أوساط المسنين والنساء والأطفال الصغار.



شاطئ أواهو الشمالي، هاواي. خلال التسونامي الذي أحدثه زلزال جزيرة أليوت في ٩ آذار/ مارس ١٩٥٧، ارتكب الناس حماقة البحث عن الأسماك على الشعاب المرجانية التي أصبحت مكشوفة من جراء انحسار المياه غير مدركين أن أمواج التسونامي قد تعود في غضون دقائق لتغمر الشاطئ. (نشرة هونولولو ستار)

شكر وتقدير

تم إعداد هذا الكتيّب بدعم من الجهات التالية:

لجنة اليونسكو الدولية الحكومية لعلوم المحيطات (IOC)

المركز الدولي لمعلومات التسونامي: شراكة بين لجنة اليونسكو الدولية الحكومية لعلوم المحيطات والإدارة الوطنية لشؤون المحيطات والغلاف الجوي في الولايات المتحدة الأمريكية (NOAA)

الإدارة المعنية بالتحليل والمراقبة والبيئة، فرنسا

الإدارة الوطنية لشؤون المحيطات والغلاف الجوي، التابعة لوزارة التجارة في الولايات المتحدة الأمريكية (NOAA)

وقدمت الجهات التالية إرشاداً تقنياً:

المركز الدولي لمعلومات التسونامي: شراكة بين لجنة اليونسكو الدولية الحكومية لعلوم المحيطات والإدارة الوطنية لشؤون المحيطات والغلاف الجوي في الولايات المتحدة (NOAA)
http://www.tsunamiwave.info

الإدارة المعنية بالتحليل والمراقبة والبيئة، فرنسا، http://www-dase.cea.fr

مرفق الولايات المتحدة الوطني المعني بالطقس

مركز ريتشارد هـ. هيجماير للإنذار بأمواج التسونامي في المحيط الهادي، http://ptwc.weather.gov/

مركز الساحل الغربي/ألاسكا للإنذار بأمواج التسونامي، http://wcatwc.arh.noaa.gov

مرفق الولايات المتحدة الوطني المعني بالمحيطات، http://www.nos.noaa.gov

مركز الولايات المتحدة الوطني لبيانات الفيزياء الأرضية، http://www.ngdc.noaa.gov

مختبر الولايات المتحدة المعني بالبيئة البحرية للمحيط الهادي، http://www.pmel.noaa.gov

مرفق الهيدروغرافيا وعلوم المحيطات، في شيلي، http://www.shoa.cl

مدرسة المحيطات وعلوم الأرض والتكنولوجيا، جامعة هاواي، http://www.soest.hawaii.edu

يمكن الحصول على مزيد من المعلومات عن نظم الإنذار بأمواج التسونامي والتخفيف من آثارها، التابعة للجنة اليونسكو الدولية الحكومية لعلوم المحيطات (IOC)، من خلال الاتصال بإحدى الجهتين التاليتين:

International Tsunami Information Center
A UNESCO/IOC – NOAA Partnership
NOAA/IRC/NWS/ITIC
1845 Wasp Blvd, Bldg 176
Honolulu, HI 96818, U.S.A.
Tel: <1> 808-725-6050
Fax: <1> 808-725-6055
E-mail: itic.tsunami@noaa.gov
http://itic.ioc-unesco.org
http://www.tsunamiwave.info

Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC)
United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)
7, place de Fontenoy75 352 Paris Cedex 15 France
Tel: +33 1 45 68 39 83
Fax: +33 1 45 68 58 12
http://ioc-unesco.org/
http://www.ioc-tsunami.org/

Illustrations and layout by Joe Hunt Design, Honolulú, Hawaii, and ITIC
Background images and wave logo courtesy of Aqualog, France

يمه لنهستا

تسانمادوم ءا

2012