

موجات الميناء (التسونامي)



عبد الله بن محمد العمري

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - كلية العلوم - جامعة الملك سعود



١٤٤٤ هـ - ٢٠٢٢ م



ح عبد الله بن محمد العمري، ١٤٤٣هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

العمري ، عبدالله بن محمد سعيد

كتاب موجات الميناء (التسونامي). / عبدالله بن محمد سعيد العمري

- ط ١. - الرياض، ١٤٤٣هـ

١١٢ ص ، ٢١،٥ X ٢٨

ردمك: ١-٩٩١٦-٠٣-٦٠٣-٩٧٨

١ - الزلازل ٢ - الكوارث أ. العنوان ب. الموسوعة

١٤٤٣ / ٧٦٤٠

ديوي ٥٥١،٢

رقم الإيداع ١٤٤٣ / ٧٦٤٠

ردمك: ١-٩٩١٦-٠٣-٦٠٣-٩٧٨

حقوق طبع الموسوعة محفوظة للمؤلف

مع عدم السماح ببيعها .. ويمكن إعادة طباعتها وتوزيعها مجاناً بدون أي تعديل في الاسم أو المحتوى

تطلب النسخة الورقية المجانية من المؤلف على العنوان التالي:

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود ص.ب 2455 الرياض 11451

الإصدار الإلكتروني من خلال الموقع

www.alamrigeo.com

للاستفسارات والملاحظات الاتصال على:

جوال +966505481215 هاتف +966 11 4676198

البريد الإلكتروني E.mail : alamri.geo@gmail.com



الطبعة الأولى

١٤٤٤هـ / ٢٠٢٢م





بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مَهَيَّبِك

الحمد والشكر لله الذي ساعدني في إنجاز هذا الجهد المتواضع المرتبط بتأليف الموسوعة العلمية العربية. تهدف الموسوعة العلمية الشاملة في علوم الأرض والبيئة والطاقة إلى تزويد وخدمة الباحثين وطلاب المدارس والجامعات وفئات المجتمع نظراً لمعاناة المهتمين من مشاكل ندرة المراجع العربية في هذا المجال. تشتمل الموسوعة على 30 كتاب علمي ثقافي موثق ومدعم بالصور والأشكال التوضيحية المبسطة في 5000 صفحة تقريباً تغطي **خمسة أجزاء** رئيسية:

الجزء الأول مكون من ستة كتب يناقش عمر الأرض وشكلها وحركاتها وتركيبها الداخلي وثوراتها المعدنية والتعدينية والجاذبية الأرضية وعلاقتها بالمد والجزر:

تقدير عمر الأرض

التركيب الداخلي للأرض

شكل الأرض وحركاتها

المعادن والتعدين

الجاذبية الأرضية وتطبيقاتها

المد والجزر

أما **الجزء الثاني** من الموسوعة اشتمل على ستة كتب تربط علاقة الأرض بالنظام الشمسي وبالأخص القمر والأغلفة الجوية والمائية والحيوية المحيطة بالأرض. وكذلك دور الزلازل والتفجيرات والبراكين والتسونامي في التأثير على بنية الأرض وكيفية تقليل مخاطرها:

موجات التسونامي

البراكين وسبل مجابته

الزلازل والتفجيرات

جيولوجية القمر

تقييم مخاطر الزلازل

الأغلفة المحيطة بالأرض



الجزء الثالث مؤلف من ستة كتب يرتبط بكل ما يتعلق بالمشاكل والكوارث البيئية وحلولها والتغيرات المناخية وأهمية التشجير ومعالجة الاحتباس الحراري:

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| الانزلاقات والإنهيارات والفيضانات | المشاكل البيئية وحلولها |
| التصحّر والجفاف | التشجير: التحديات والحلول |
| السيول والسدود المائية | التغيرات المناخية والاحتباس الحراري |

الجزء الرابع من الموسوعة مكون من ستة كتب يناقش ارتباط علوم الأرض بالعلوم الأخرى سياسياً ونوويًا وطبياً، وكذلك دور الطاقة المستدامة النظيفة اقتصادياً وبيئياً:

- | | |
|------------------------------------|-------------------------|
| الجيولوجيا الطبية | الطاقة الحرارية الأرضية |
| الجيولوجيا السياسية | هل انتهى عصر النفط؟ |
| كتابة الرسائل والمشاريع الجيولوجية | الجيوفيزياء النووية |

أما **الجزء الخامس** عبارة عن ستة كتب احتوت على 2020 سؤال وجواب لمساعدة طلاب الجامعات والباحثين وتهيئتهم للاختبارات الشاملة والتأهيلية للدراسات العليا ومزاولة المهنة:

- 321 سؤال وجواب في تطور الأرض
- 358 سؤال وجواب في علم الصخور والجيوكيمياء والاستشعار عن بُعد والـ GIS
- 358 سؤال وجواب في الثروات الطبيعية
- 380 سؤال وجواب في المخاطر الجيولوجية
- 303 سؤال وجواب في علم الزلازل والزلازل الهندسية
- 300 سؤال وجواب في الجيوفيزياء التطبيقية

المؤلف





مقدمة

إن كلمة **تسونامي** Tsu-nami هي مصطلح ياباني مكون من كلمتين : «تسو» ومعناها «ميناء» و«نامي» ومعناها «موجة» ويعني حرفياً **موجة الميناء** Harbor Wave ربما لأنها تتسارع بصمت عبر المحيط دون أن يشعر بها أحد لتظهر فجأة أمواج عالية مدمرة. وبالتالي، فإن الكلمة اليابانية «تسونامي» هي المصطلح الصحيح والرسمي والشامل. لقد تم اعتماد هذا المصطلح دولياً لأنه يغطي جميع أشكال توليد الموجات المندفعة. وقد استخدمها اليابانيون القدامى للفرقة بين موجة المياه العاتية التي تدمر موانئ الصيد وموجات المياه العادية. إن موجات التسونامي غير مرتبطة تماماً بالمد والجزر الفلكي التي تسببها تأثيرات الجاذبية خارج الأرض والقمر والشمس والكواكب.

احتفل المجتمع الدولي في 5 نوفمبر 2016 ولأول مرة باليوم العالمي للتوعية بأموال التسونامي وذلك وفقاً للقرار الصادر من الجمعية العامة للأمم المتحدة في 22 ديسمبر 2015م. ودعت الجمعية العامة للأمم المتحدة جميع الدول والهيئات الدولية والمجتمع المدني للاحتفال بهذا اليوم، من أجل رفع مستوى الوعي بأموال التسونامي وتبادل الطرق المبتكرة للتقليل من مخاطره، كما طلب من مكتب الأمم المتحدة للحد من مخاطر الكوارث تسهيل الاحتفال باليوم العالمي للتوعية بأموال التسونامي بالتعاون مع بقية منظومة الأمم المتحدة.





التسونامي Tsunami ظاهرة طبيعية تعتبر من أشد الظواهر فتكا عبر التاريخ قديما وحديثا ويرى الخبراء أن 80% من موجات تسونامي تسجل في المحيط الهادئ و 10% في المحيط الهندي وبين 5 إلى 10% في البحر الأبيض المتوسط وهي عبارة عن مجموعة من الأمواج الهائلة والعاية والكبيرة جداً والتي تنتج من تحرك كمية هائلة من مياه المحيطات بفعل بعض الظواهر والأحداث المفاجئة كالزلازل، ولا تكون هذه الأمواج مُشابهة للأمواج العادية التي تنشأ بفعل حركة الرياح كما أنها لا علاقة لها ببعض الظواهر التي تنتج عن حركة القمر كالمند والجزر، ومن هنا لا يُحبذ المتخصصون إطلاق مصطلح موجة المد على التسونامي.

ومن أعنف موجات الميناء Tsunami خلال القرن الحالي تسونامي **جزر شرق الويسيان** في أبريل 1946م حيث بلغ ارتفاع الموجة 35م وتسونامي **نيكاراغوا** في سبتمبر 1992م حيث أغرقت موجة ارتفاعها 10 أمتار **170 شخصاً** وتسونامي **أوكو شيري** اليابانية في ديسمبر 1993م حيث وصل ارتفاع الموجة إلى 31م وكذلك تسونامي **بابوا غينيا الجديدة** في يوليو 1998م بارتفاع بلغ 15م و **5000 قتيل** غير أن التسونامي الذي ضرب جزيرة **سومطرة والهند وسريلانكا** في ديسمبر 2004م يعد الأعنف خلال الخمسين سنة الماضية وأودى بحياة أكثر من **280000 شخص**.

إن الظروف الحركية والبيئية التي تتشكل فيها التسونامي لا تتوفر في المنطقة العربية. حيث أن ذلك يتطلب أولاً أن تكون منطقة بحار أو محيطات مفتوحة بآلاف الكيلومترات بالإضافة إلى أن مناطق التسونامي النشطة تتولد من تصادم صفيحتين بشكل فجائي ورأسي وهذه الظروف لا تتوفر في **البحر الأحمر والبحر الأبيض المتوسط والخليج العربي** نظراً لمحدودية اتساعهم علاوة على أن الفوالق





في البحر الأحمر وخليج العقبة من النوع الرأسي و المضربي ليس لديها القدرة الكافية على توليد موجات تسونامية مدمرة كما هو الحال في المحيطين الهادي والهندي. ولم يسبق تاريخياً أنه سجل أي موجات تسونامية منذ 525 ق.م في شبه الجزيرة العربية بينما تم تسجيل تسع تسوناميات في منطقة البحر الأبيض المتوسط منذ ذلك التاريخ.





حركة المياه في المحيطات

المحيطات أجسام مائية مالحة وضخمة. وتغطي تجمعات المياه في المحيطات ما نسبته 71% من المساحة الإجمالية لسطح الأرض، حيث يحتوي كوكبنا على خمسة محيطات كبيرة يفصل فيما بينها القارات. وتعد المحيطات ذات أهمية كبيرة لكوكب الأرض ولحياة البشر عليه، حيث تتحكم في طقس ومناخ الأرض. تحرك مياه المحيطات باستمرار بناءً على أنماط وتأثيرات مختلفة، حيث تؤثر قوة الجاذبية بفعل القمر والشمس في سحب مياه المحيطات وحدوث ما يسمى بظاهرة المد والجزر. كما تؤدي حركة الرياح على سطح المحيطات إلى تكوين الأمواج. وتساعد الرياح، ودرجة حرارة وملوحة المياه، وشكل قاع المحيط، وحركة الأرض حول نفسها على تشكل ما يعرف باسم (التيارات البحرية). يقوم مبدأ التيارات البحرية والمحيطية بتبادل المياه ذات الخصائص المختلفة مثل درجة الحرارة والملوحة داخل شبكة البحار والمحيطات المترابطة وهو جزء مهم لتحديد المناخ العالمي .

الأمواج: تمثل الأمواج الحركة السطحية لمياه البحار والمحيطات. وتتشكل الأمواج بسبب احتكاك الرياح الملامس لسطح المياه، حيث تتحرك المياه السطحية حركة دائرية على شكل أمواج تدور أجزاءها إلى مواقعها نفسها التي تحركت منها في البداية. وقد تتشكل الأمواج بفعل تكوّن بعض أنواع من الأمواج العالمية المحلية بفعل الحركات التكتونية الفجائية الزلزالية في قاع المحيط مثل أمواج التسونامي. ومن الجدير ذكره أن الأمواج العالية مهما بلغت سرعتها تقف وتنتهي عند خط الساحل ولا تخرج عنه، كما أن تكوّن الأمواج بشكل رأسي يتلاشى عند عمق 330 قدماً.





المد والجزر: هي ظاهرة ارتفاع وانخفاض مؤقت في مستوى سطح البحر، مما يؤدي إلى ارتفاع منسوب مياه المحيطات في نصف الكرة الجنوبي بمقدار عدة أمتار لتنتقل المياه منها إلى البحار الشمالية والخلجان الضيقة لتشكل ما يعرف باسم **(أمواج تيارات المد)**، وتتشكل هذه الظاهرة بسبب **قوة الجذب القمري والشمسي لسطح الأرض** وما عليه **قوة الطرد المركزية للأرض**، فعندما يكون كل من الأرض، والقمر، والشمس، على خط زوال واحد **(كما هو الحال في حالتي البدر والمحاق)** يزداد تأثير ظاهرة المد؛ حيث يؤدي اتحاد **قوة الجذب للشمس مع قوة جذب القمر** معاً ليتجاوز مجموع القوتين قوة الطرد المركزية للأرض، ويؤدي ذلك إلى جذب المسطحات المائية على سطح الأرض، ويعرف المد في هذه الحالة باسم **(المد العالي)**، في حين يتشكل **(المد المعتدل)** إذا وقع القمر على طول ضلع زاوية قائمة بالنسبة لموقعي الشمس والقمر، مما يساهم في تقليل تأثير قوة الجذب الشمسي وبالتالي ينخفض المنسوب العام للمد على طول الساحل في المحيطات والبحار.





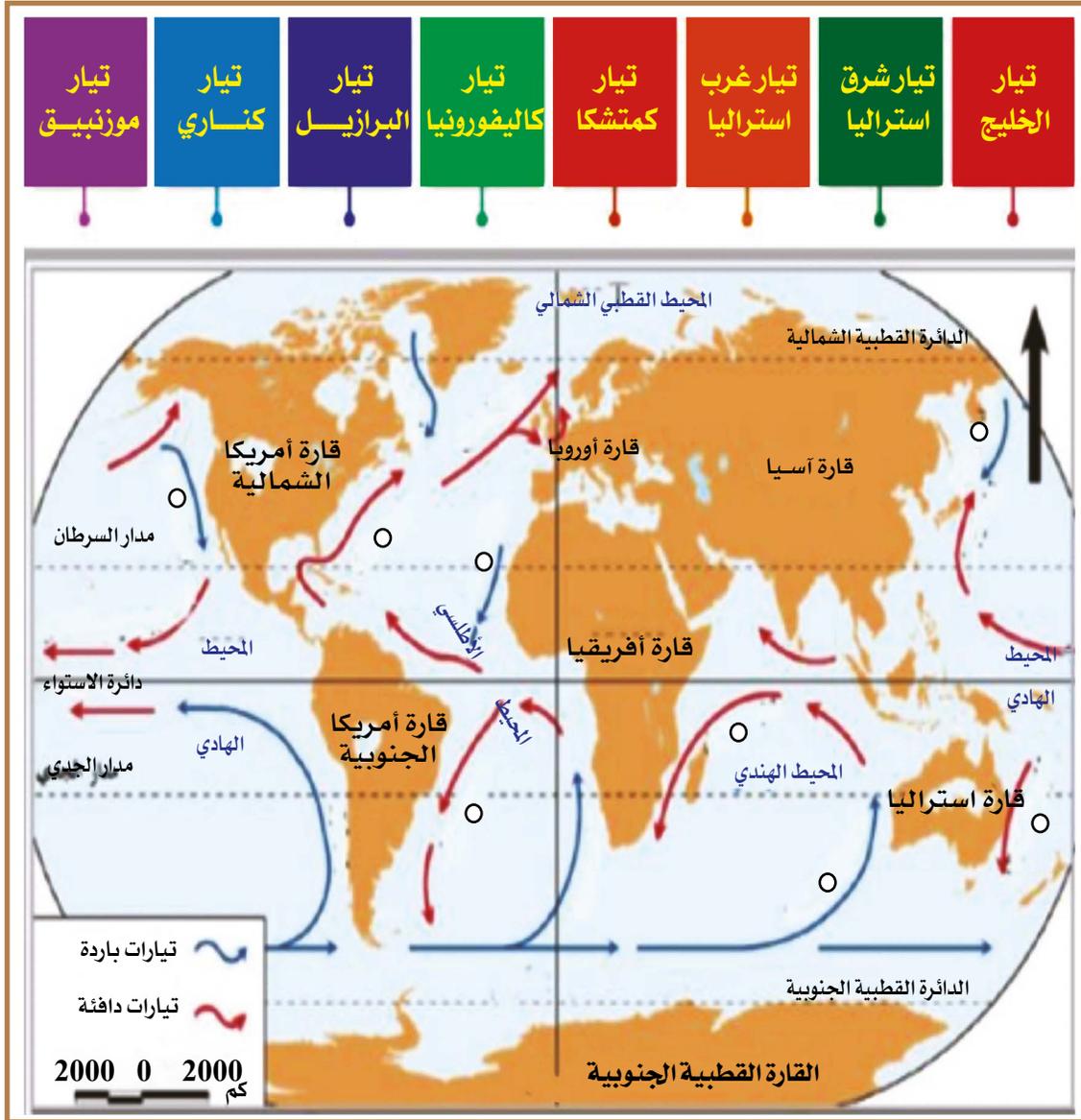
تمثل الأمواج الحركة السطحية لمياه البحار والمحيطات

التيارات البحرية: تشبه حركة التيارات المائية في الأحواض البحرية حركة الهواء في الغلاف الجوي، حيث يصعد الهواء الملامس لسطح الأرض إلى الأعلى عند تسخينه ويهبط إلى الأسفل عندما يبرد، حيث لا يمكن للإنسان مشاهدته سواء كان صاعداً أو هابطاً. وكذلك الحال في التيارات البحرية، حيث لا يمكن مشاهدتها أو الشعور بها ومكان وجودها، ونشوتها، وتحديد مجموعاتها واتجاهاتها، بالنظر إليها بالعين المجردة، وتتشكل هذه التيارات تبعاً للخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه البحر، فعندما ترتفع كثافة مياه البحر بسبب ارتفاع حرارتها أو نسبة الأملاح فيها، تنتقل مياه البحر أو المحيط من المسطحات المائية الأعلى كثافة إلى المسطحات المائية الأقل



كثافة، وتحدث هذه العملية بشكلين مختلفين من التيارات البحرية وهما: **التيارات البحرية الأفقية:** وهي تيارات تحدث بالقرب من سطح المحيط أو بعيدة عنه، حيث تنتقل فيها مياه البحر من مسطح مائي إلى آخر عند مستوى المياه نفسه أو أقل منه، وتكون هذه الحركة على شكل تيارات تتحرك أفقياً. تنشأ بين المسطحات المائية المتصلة ببعضها بعضاً، نتيجة اختلاف منسوب المياه بينها بسبب اختلاف نسبة التبخر، كما هو حاصل بين المحيط الأطلسي من جهة والبحر الأبيض المتوسط من جهة أخرى





التيارات البحرية الباردة الموضحة باللون الأزرق وهي التيارات القادمة من المناطق القطبية الباردة في الشمال والجنوب والتيارات البحرية الحارة باللون الأحمر وهي التيارات المنطلقة من المناطق الاستوائية





التيارات البحرية الرأسية: ويتمثل هذا النوع في حركة المياه من المسطحات المائية الأعلى كثافة إلى المسطحات المائية الأخرى الأقل منها كثافة على شكل تيارات رأسية، سواء كانت هذه الحركة المائية من أعلى إلى أسفل أم من أسفل إلى أعلى.

تُقسم التيارات البحرية استناداً إلى **الحركة الحالية**، حيث تُقسم إلى نوعين وهما التيارات البحرية الباردة: وهي التيارات القادمة من المناطق القطبية الباردة في الشمال والجنوب والتيارات البحرية الحارة: وهي التيارات المنطلقة من المناطق الاستوائية.





العوامل المؤثرة على التيارات البحرية

تُقسم التيارات البحرية استناداً إلى عاملين أساسيين **استناداً إلى مصدر المنشأ**، حيث يعتمد هذا النوع على الرياح وعلى الكثافة.

الرياح : هي أكبر عامل في إنشاء التيارات البحرية، وسبب ذلك يعود في أن الرياح القوية جداً التي تتحرك عبر مساحة كبيرة من المياه تُحرك سطح الماء، والرياح الرئيسية التي تؤثر عادة على إنشاء التيارات البحرية هي الرياح الغربية التي تهب من الغرب إلى الشرق، والرياح التجارية التي تهب من الشرق إلى الغرب.

كثافة الماء هناك عامل رئيسي آخر في إنشاء التيارات البحرية وهو كثافة المياه التي تسببها كمية الملح في الماء ودرجة حرارته، حيث أن الماء ذو الملوحة العالية أو الماء البارد يكون أكثر كثافة، وكلما زادت الكثافة زادت التيارات ارتفاعاً في تلك المنطقة.

تأثير كوريوليس عندما يصطدم كائن يدور بقوة متحركة فإنه يخلق حركة جديدة، ونفس المبدأ للأرض حيث أن دوران الأرض في اتجاهين مختلفين أحدهم مع اتجاه عقارب الساعة من المياه في نصف الكرة الشمالي والآخر عكس عقارب الساعة من المياه في نصف الكرة الجنوبي، وعندما يتم انحراف هذه التيارات عن طريق الكتل البرية فإنها تخلق التيارات الضخمة جداً في المحيطات والبحار.

تضاريس قاع المحيط تتحكم في تكوين التيارات البحرية، حيث أن المحيط أو البحر الموجود في قاعه وادي أو خندق سيؤدي إلى حركة المياه إلى أسفل بينما إذا كان يوجد فيه مرتفع مثل سلسلة من التلال أو الجبل فسيتم دفع المياه إلى أعلى.



ظاهرة مرج البحرين

تُقسم المياه إلى مياه الأنهار العذبة، ومياه البحار شديدة الملوحة، بالإضافة إلى منطقة المصب وهي مزيج من النوعين مالحة وعذبة، حيث تفصل بين النهر، والبحر. يحيط بمنطقة المصب حاجز مائي؛ يساهم في الحفاظ على خصائصها المميزة. يفصل الحاجز المائي بين مياه البحر والنهر، ويحول دون امتزاجهما مباشرة، على الرغم من وجود مسببات قوية للمزج؛ كالمد والجزر، والأعاصير والفيضانات. تستطيع معظم الكائنات العيش في بيئة واحدة فقط، من البيئات المائية الثلاث سواء المالحة أو العذبة أو في المصب، وتموت في غيرها؛ نظراً لاختلاف الضغط، إلا أن بعضها يُمكنه العيش في جميع البيئات، مثل السلمون، وطحابين البحر.

تُصنّف ظاهرة مرج البحرين على أنها إحدى الظواهر الكونية البحرية العجيبة، والتي تتشكّل بين الماء العذب وماء البحر المالح، أو بين البحار المالحة نفسها، هذه الظاهرة هي وجود حاجز أو فاصل بين المياه المالحة والمياه العذبة عند التقائهما في مكان ما، هذا الحاجز يحول دون حركة كل من المائتين باتجاه بعضهما البعض، فلا يمتزجان مع أن مستوى الماء العذب أعلى من مستوى الماء المالح. يعود سبب حدوث ظاهرة مرج البحرين حسب تفسير العلماء إلى اختلاف كثافة المياه، وحرارتها، والتباين في ملوحة المياه وخصائصها الأخرى. يُعتبر وجود طبقتين مختلفتين في الكثافة من المياه فوق بعضهما البعض أمراً طبيعياً، حيث تكون الطبقة العليا أقل كثافة من الطبقة السفلى، بينما وجود طبقتين مختلفتين في الكثافة بجانب بعضهما أمراً غير طبيعي كما في هذه الظاهرة.





ذكر الدكتور **منصور أبو شريعة** أن أول من لاحظ وجود حاجز مائي بين المياه الجوفية العذبة ومياه البحار المالحة العالم الهولندي **غيبن** (Baden-Ghyben) في عام 1888م، والعالم الألماني **هيرزبيرغ** (Herzberg) في عام 1901م. لقد تمكن العالمان من اشتقاق علاقة تحدد عمق الحاجز عن سطح البحر، وسميت علاقة **غيبن-هيرزبيرغ**. تعتمد العلاقة في اشتقاقها على حقيقة أن كثافة الماء المالح تزيد عن كثافة الماء العذب حيث تبلغ كثافة الماء المالح **1.025 غرام** لكل سنتيمتر مكعب، بينما تبلغ كثافة الماء العذب غرام واحد لكل سنتيمتر مكعب، وبناء على هذه الحقيقة وجد العالمان أن عمق الحاجز الموجود بين المائين تحت سطح البحر يبلغ أربعين ضعف ارتفاع مستوى الماء العذب فوق سطح البحر. وهذا يعني أن مثل هذا الحاجز لن ينشأ إذا تساوى مستوى الماء العذب مع مستوى الماء المالح.

تحدث القرآن الكريم عن وجود هذه الظاهرة العجيبة في ثلاث آيات قرآنية:

في قوله تعالى: ﴿وَهُوَ الَّذِي مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ هَذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ وَهَذَا مِلْحٌ أُجَاجٌ وَجَعَلَ بَيْنَهُمَا بَرْزَخًا وَحِجْرًا مَّحْجُورًا﴾ [الفرقان: 53] وقوله عز وجل: ﴿أَمْ نَجْعَلُ الْأَرْضَ قَرَارًا وَجَعَلْ خِلَالَهَا أَنْهَادًا وَجَعَلْ لَهَا رُوسًا وَجَعَلَ بَيْنَ الْبَحْرَيْنِ حَاجِزًا أَلَيْسَ اللَّهُ بِأَكْثَرَهُمْ لَا يَعْلَمُونَ﴾ [النمل: 61] وقوله سبحانه: ﴿مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ يَلْتَقِيَانِ ﴿١٩﴾ بَيْنَهُمَا بَرْزَخٌ لَا يَبْغِيَانِ ﴿٢٠﴾ فَبِأَيِّ آيَاتِنَا يُكذِّبَانِ ﴿٢١﴾﴾ [الرحمن: 19-21].

جاءت الكلمات القرآنية التي تصف هذا الحاجز المائي في غاية الدقة، فقد وصفته بأنه برزخ (Interface) والبرزخ كما هو معروف هو مرحلة أو حالة انتقالية (Transition State) تقع بين مرحلتين أو حالتين مختلفتين. وأما كلمتي ﴿وَحِجْرًا مَّحْجُورًا﴾ فتصف هذا الحاجز بأنه كالحجر بكسر الحاء والذي يحجر أو يمنع دخول الأشياء إليه، وهذا ما يقوم به هذا الحاجز أو البرزخ المائي؛ حيث يمنع



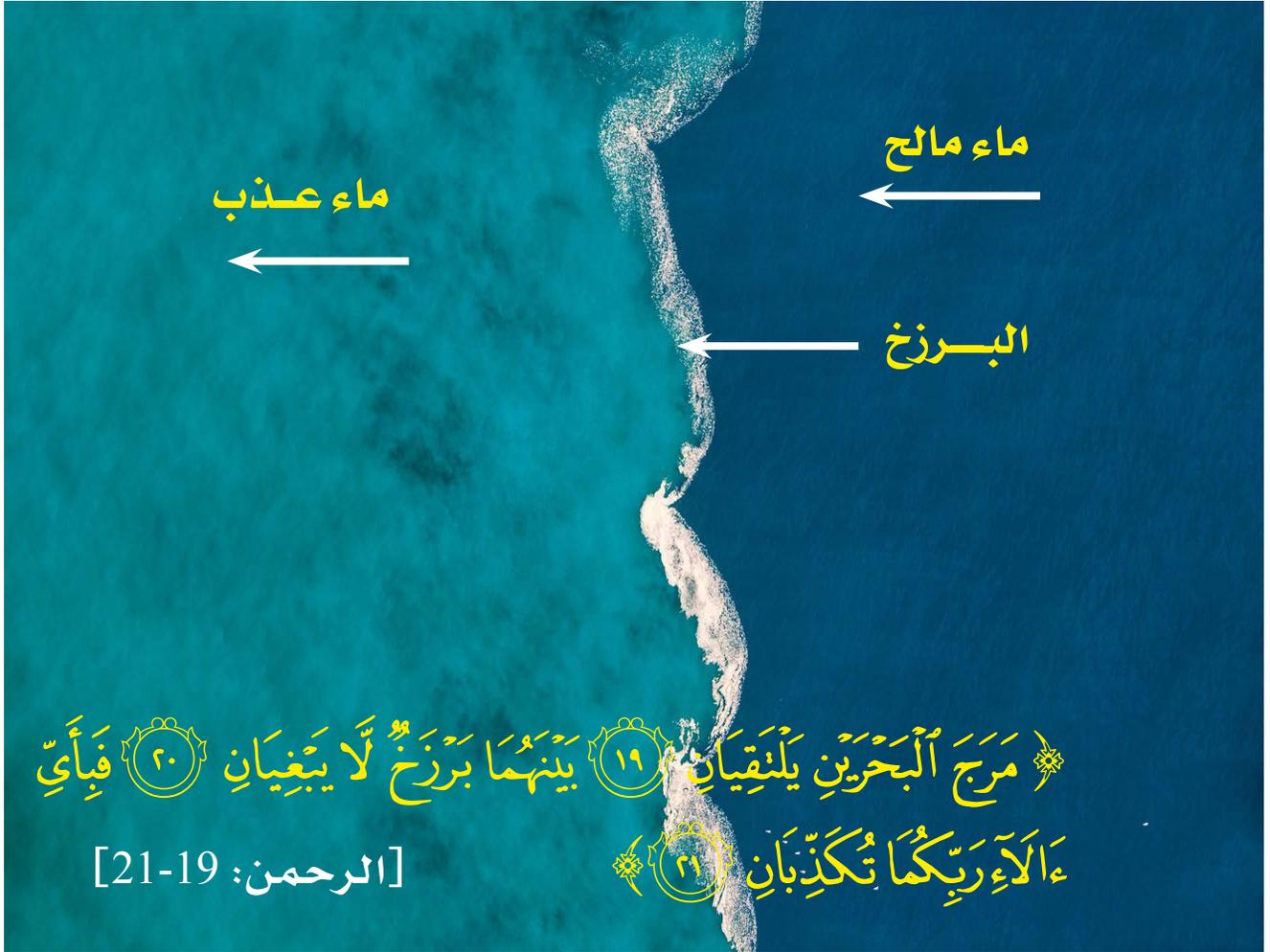


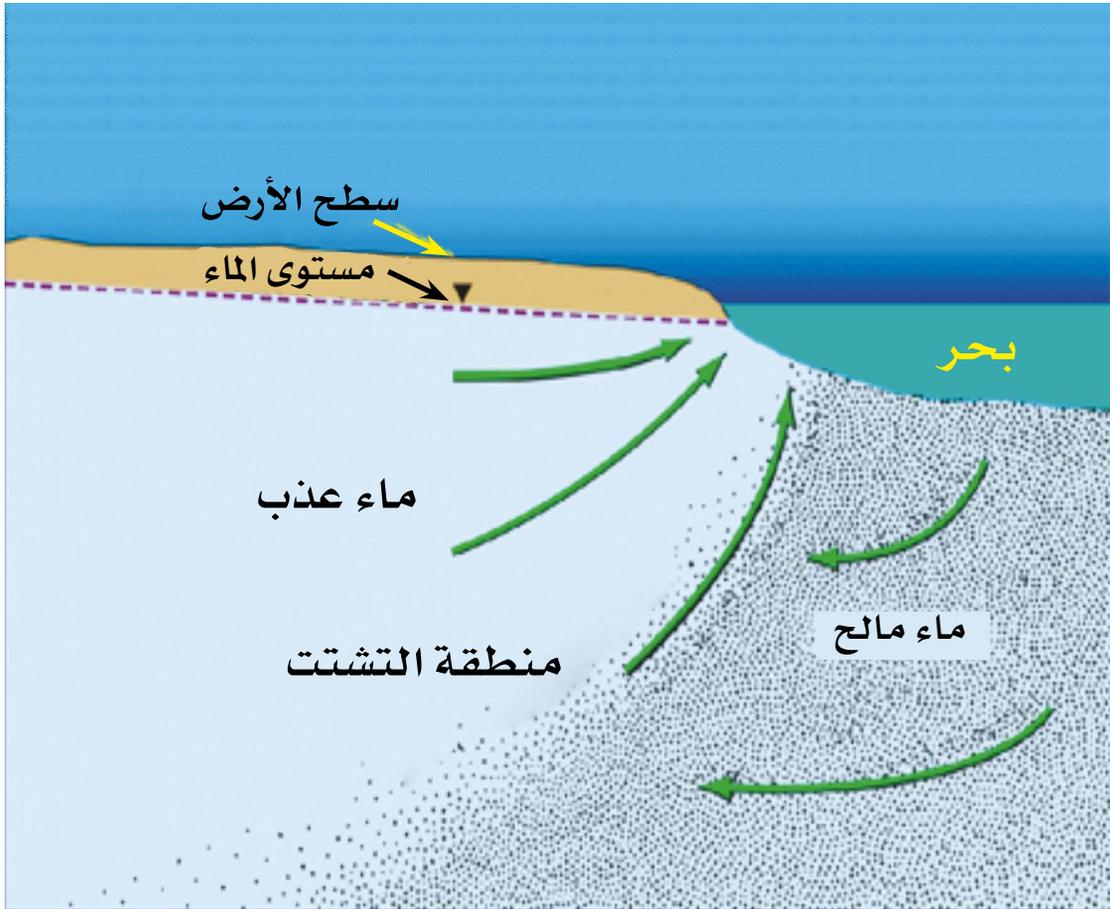
دخول الماء المالح إليه من جهة البحر المالح، وكذلك الحال مع الماء العذب. إن حركة الماء في داخل البرزخ محدودة جداً، بعكس حركة الماء المالح والماء العذب المحيطة به؛ ولذا فإنه يعتبر ماء راكداً وتعرض المواد العضوية في داخله للتعفن وتنبعث منه رائحة كريهة ولذا سمي بالماء الأسن أو الكريه (Brackish Water).

أما قوله تعالى ﴿يَنْهَمَا بَرِّزَخٌ لَا يَبْغِيَانِ﴾ فالآية تعبر عن الوظيفة الرئيسية لهذا البرزخ المائي، وهي منع تدفق واختلاط الماء المالح من البحر المالح مع الماء العذب في البحر العذب وكذلك العكس. وكذلك أكدت إحدى الآيات التي تتحدث عن البرزخ المائي أن هذه الظاهرة تحدث بشكل رئيسي عند التقاء البحار المالحة والبحار العذبة.

يُوجد مرج البحرين في مياه البحار والمحيطات، ويُشكّل حاجزاً يفصل بين أي مسطحين مائيين أو بحرين مختلفين في صفاتهما الطبيعية، كما هو الحال في المنطقة الحدودية بين مياه البحر الأبيض المتوسط الساخنة والمالحة مع مياه المحيط الأطلسي الباردة والأقل ملوحة. وكذلك المنطقة الحدود المائية بين مياه البحر الأحمر ومياه خليج عدن وكذلك نقطة التقاء خليج عُمان والخليج العربي.







ظاهرة مرج البحرين إحدى الظواهر الكونية البحرية العجيبة، والتي تتشكل بين الماء العذب وماء البحر المالح، أو بين البحار المالحة نفسها وبينهما حاجزاً (برزخاً) يفصل بينهما لاختلاف خاصيتي الكثافة والحرارة وغيرها



إسهامات العلماء العرب والمسلمين في مجال البحار والمحيطات

أن الفضل في تسمية «علم البحر» بهذا المفهوم راجع بالدرجة الأولى للملاح العربي المسلم أحمد بن ماجد النجدي (1418م) الذي عاش في ظفار بجنوب الجزيرة العربية في القرن الخامس عشر الميلادي وشهد مطلع القرن السادس عشر كذلك، وهو الذي سماه البرتغاليون بـ Almirante ومعناها أمير البحر ويلقب بـ «معلم بحر الهند».

فقد ظهر هذا الاسم لأول مرة في العصور الوسطى المتأخرة في القرن التاسع الهجري أو الخامس عشر الميلادي في مؤلفات ابن ماجد أبرزها «كتاب الفوائد في أصول علم البحر والقواعد» وكتاب «حاوية الاختصار في أصول علم البحار» وقد ضمنهما ابن ماجد كل ما عرف عن البحر في أيامه من الناحية التكنيكية التي تفيد الملاح وتيسر له سبل السير في «أودية البحر» ودخول الموانئ إلى جانب القياسات الفلكية للنجوم الملاحية المختلفة ومواعيد فتح البحر وغلقه. يعود الفضل لابن ماجد في إطلاق (علم البحر) على المعرفة العلمية والتقنية المتحصلة من دراسة البحار. وأما سليمان المهري فهو مؤلف كتاب (الفاخر في علم البحر الزاخر). من المؤكد تاريخياً أن البحار أحمد بن ماجد قد ساعد البحار البرتغالي فاسكو دي غاما في أول رحلة له في المحيط الهندي.

اكتشف في عشرينات القرن العشرين أن (المرشديات الملاحية) لأحمد بن ماجد وسليمان المهري، أنها كانت الأصل الذي بنى عليه الأميرال التركي علي حسين المعروف بـ (سيدي علي) في كتابه (المحيط في علم الأفلاك والأبحر) عام 1557م، ولم يكن قبل هذا التاريخ مرجع واحد عن الملاحة في بحار آسيا والهند سوى مؤلفات ابن ماجد. والمرشديات الملاحية هي القواعد التي تمكن الرّبان من الوصول



إلى البلد الهدف دون ميلٍ أو انحراف، ومنها يمكن معرفة خطوط الطول والعرض. كان البحارة العرب **(قبل الإسلام)** سبّاقون على اليونانيين في معرفة سرّ الرياح الموسمية أو **رياح المنسون** أو **الموسميات** Monsoon، وهي رياح قوية برية أو بحرية، تهب على أطراف القارات وتتساقط بسبب الاختلاف في درجة الحرارة بين اليابس والماء. كان البحارة العرب من السبّاقين في استخدام البوصلة المغناطيسية في عمليات الملاحة البحرية، وقد كان يسمى عندهم **(بيت الإبرة)**. كما أنهم كانوا بارعين في استخدام **الإسطرلاب** للربط بين الملاحة الفلكية وبين النجوم الثابتة في السماء بصفاتها عناصر تساعد في الإرشاد الملاحى.

تناول **العلماء المسلمون** خصائص مياه البحار، وعزوا السبب في ملوحة مياهها إلى كثرة البخر، وإذابة الأملاح من الأرض وهذا من شأنه ارتفاع درجة كثافة الماء. وعزوا الحكمة في كون ماء البحر ملحاً؛ حتى لا ينتن فتتعض الكائنات التي تسكنه. **فابن الوردي** يقول في **خريدة العجائب وفريدة الغرائب**: «والحكمة في كون ماء البحر ملحاً أجاباً لا يذاق ولا يساغ لئلا ينتن **(يتعفن)** من تقادم الدهور والأزمان. واختلفوا في ملوحة البحر؛ فزعم قوم أنه لما طال مكثه وألحت الشمس عليه بالإحراق صار مُراً، واجتذب الهواء ما لطف من أجزائه فهو بقية ما صنعتها الأرض من الرطوبة فغلظ لذلك. ويذهب **الدمشقي** إلى رأي قريب من رأي **أبي الفداء** في كتابه **نخبة الدهر في عجائب البر والبحر**... زعم قوم أن أصل الماء العذوبة واللطافة، وإنما لطول مكثه جذبت الأرض ما فيه من العذوبة لملوحتها، وجذبت الشمس ما فيه من اللطافة بحرارتها فاستحال إلى الغلظ والملوحة».

عرف العرب من التيارات البحرية التيارات السطحية التي تتأثر بالرياح وحركة المد والجزر، كما تكلم العالم الفلكي **أبو معشر جعفر بن محمد بن عمر البلخي** (توفي 886م) عن ذلك في كتابه **(المدخل الكبير في علم أحكام النجوم)** عن التيارات





البحرية الصاعدة من الأعماق للسطح. وقد أشار **البيروني** إلى طريقة الكشف عن التيارات البحرية العميقة، التي سبق وأن تحدّث عنها **أبو معشر البلخي**، لكن دون أن يربط بينها وبين المد والجزر، حيث قال في كتابه **(الآثار الباقية عن القرون الخالية)**: «يستدل عليها بارتفاع الشباك من ذاتها من قعر البحر»، ويذكر الباحث **أنور عبد المنعم**، أنه في عام 1957م وخلال دراسة المحيطات إبان **(السنة الدولية الجيوفيزيائية)** لاحظ العلماء أن شباك الصيد التي أدليت إلى المياه العميقة في المحيط الأطلسي قد انحرقت في الاتجاه المضاد لسير التيار السطحي، فثبت لهم بالدليل وجود التيارات العميقة، وقد تمكنوا من قياس سرعتها ومسارها. والعرب بذلك يكونون قد سبقوا الضابط الأمريكي **ام. اف. موري** بأكثر من 1000 سنة، الذي قام عام 1855م.

درس العالم الفلكي **أبو معشر جعفر بن محمد بن عمر البلخي** (توفي 272هـ / 886م) ظاهرة المد والجزر في البحار بشكل مفصّل، وذكر الأنواع والأسباب المختلفة لها، وقد أودع ذلك في خمسة فصول محاولاً تقديم نظرية متكاملة وشاملة تفسّر كل ما يتعلق بظاهرة المد والجزر من وجهة نظره كعالم فلك. ما يميز بحث **أبو معشر** في الفصول التي ناقش فيها المد والجزر أنه لم يتطرق إلى الأسباب الغيبية الخارقة للعادة التي طرحها بعض المؤلفين الذين ناقشوا هذه الظاهرة؛ وإنما حاول تفسيرها وفق الأسباب والمعطيات الفيزيائية التي كانت في عصره، خصوصاً أثر القمر وحركته ومدى اكتماله ونقصانه خلال الشهر. وقد قدم لنا **أبو معشر** تصنيفه للمياه على أساس ما يحدث فيها من مدّ وجزر إلى ثلاثة أنواع:

- الأول: لا يكون فيه مد ولا جزر.
- الثاني: لا يتبين فيه المد والجزر.
- الثالث: ما يتبين فيه المد والجزر.





ما طرحه الكندي وأبو معشر البلخي من تفاسير لظاهرة المد والجزر تبناها أبو الحسن المسعودي (توفي 346هـ / 957م)، قال المسعودي في (مروج الذهب ومعادن الجوهر): «المدُّ: مضيُّ الماء في فيَّحته وسَيَّحته وِسْنن جريته، والجزر: رجوع الماء على ضد سنن مُضِيَّه وانكشاف ما مضى عليه في هيَّجه، وذلك كبحر الحبش الذي هو الصيني والهندي وبحر البصرة وفارس المقدم ذكره؛ وذلك أن البحار على ثلاثة أنواع: منها ما يتأتى فيه الجزر والمد ويظهر ظهوراً بيناً، ومنها ما لا يتبين فيه الجزر والمد ويكون خفيفاً مستتراً، ومنها ما لا يجرز ولا يمد» (أبو الحسن المسعودي، مروج الذهب، 2005م).

أفرد أبو يوسف يعقوب بن إسحاق الكندي (توفي 256هـ / 869م) رسالةً خاصةً بعنوان (رسالة في العلة الفاعلة للمد والجزر)، وهي من أولى الرسائل المتخصصة في معالجة هذا الموضوع والقائمة على نظرية التمدد الحجمي للمواد.

قدم لنا الحسن ابن البهلول (القرن 4هـ / 10م) تعريفاً مبسطاً للبحار، منوهاً إلى الدورة الهيدرولوجية التي تنشأ بين البحار والأمطار والأنهار. قال ابن البهلول: «إنَّ البحار، إنما هي مواضع عميقة في الأرض. ومن شأن الماء طلب العمق، فتتصبَّب المياه من الأنهار والأودية والسيول، فتستتقع فيه؛ فما كان من ذلك عذباً، فإنَّه يصير فوق لَحْفَةَ العذب. وما كان مُرّاً أو مالِحاً، صار إلى أسفل لثقله. فإذا مرَّت عليه الشمس، رفعت العذب لَحْفَتَه. فما كان من ذلك لطيفاً جداً، صار هواءً. أما التعريف الحديث للبحار والمحيطات، فهو يقرر بأنَّ البحار مسطحات مائية صغيرة إذا ما قورنت بالمحيطات التي تعدُّ مسطحات مائية كبرى (عبده، 1997م).

تناول أبو الريحان البيروني (توفي 440هـ / 1047م) ظاهرة المد والجزر، وقال إنَّ أهل الاختصاص يعرفون هذه الظاهرة، في اليوم بطلوع القمر وغروبه، وفي الشهر بزيادة نوره ونقصانه (الموسوعة العربية العالمية، 2004م). وقد فسّر البيروني سبب





حدثت هذه الظاهرة إلى التغيّر الدوري لوجه القمر (السعدي، 2013م). قال الإدريسي والبيان عما أتى به الفلاسفة مجملًا فنقول إنَّ المد والجزر الذي رأيناه عيانًا في بحر الظلمات وهو البحر المحيط بغربي الأندلس وبلاد برطانية (هكذا يكتبها)؛ فإن المد يبتدئ فيه في الساعة الثالثة من النهار إلى أول الساعة التاسعة، ثم تأخذ في الجزر ست ساعات مع آخر النهار، ثم يمد ست ساعات ثم يجزر ست ساعات هكذا يمد في اليوم مرة وفي الليل مرة ويجزر في اليوم مرة وفي الليل مرة أخرى.

تناول الدكتور **عماد صالح** (2022م) بوصف وتوثيق ما ذكره العلماء المسلمون عن **الموجات البحرية «التسونامي» وفي أدناه نماذج من هذا الوصف:**

في سنة 749 هـ، حدثت **زلزلة عظيمة**، وأمتد البحر من المينة «ميناء فاما جوسطة» نحو منة قسبة، **ففرق كثير من مراكبهم وتكسرت**، ... الخ المقريري.

«في سنة ٣٩٨ هـ، **وقعت رجفة في شيراز غرقت بسبها مراكب كثيرة في البحر**» السيوطي.

«في جمادى الأولى من سنة 460 هـ، **كانت زلزلة بأرض فلسطين**، أهلكت بلدة الرملة.. **وغار البحر مسيرة يوم وساح في البر وخرب الدنيا**، ودخل الناس إلى أرضه يقطنون، **فرجع إليهم فأهلك خلقا عظيماً منهم**» ابن الجوزي.

ولقد برع **العلماء المسلمون** في علم البحار والملاحة براعة قل نظيرها ووضعوا فيها المخطوطات النادرة ك**عماد الدين اسماعيل أبو النّدا** (1273 - 1331م) في خطوطه «تقويم البلدان» يورد فيه معلومات حديثة عن البحار والمد والجزر ويصف لنا فيه بلاداً نائية زارها مثل **بريطانيا وإيرلندا**. **والشريف الإدريسي** في مخطوطه «نزهة المشتاق في اختراق الآفاق» الذي انتهى من تأليفه عام 1154 م.





ماهية موجات الميناء (التسونامي)

تجدر الإشارة أنه يجب التمييز أولاً بين ظاهرة التسونامي والأمواج المتولدة من الرياح أو من المد والجزر. فالرياح الخفيفة تؤدي إلى تجمع سطح المحيط على شكل أمواج قصيرة وقد يصل ارتفاعها إلى 30م في عرض المحيط ولكن حتى هذه الأمواج العالية ليست قادرة على تحريك المياه العميقة. أما **أمواج المد والجزر** فإنها تتولد من قوة الشد الناجمة عن جاذبية القمر أو الشمس التي تزحف مرتين يومياً حول الكرة الأرضية فهي تولد أيضاً تيارات مائية تصل إلى قاع المحيط كما تفعل التسوناميات.

الخاصية	التسونامي	الرياح	المد والجزر
طول الموجة	200 كم تقريباً	150 متر تقريباً	أكبر من 1000 كم
السرعة	600 كم/الساعة تقريباً	60 كم/الساعة	أكبر من 1000 كم/الساعة
الإرتفاع	نصف متر	عدة أمتار	متغير
الفترة	20 دقيقة	10 ثوان	12 ساعة

أما **التسوناميات** فإنها تتولد من حركة الدفع الفجائية التي يحدثها الزلزال تحت قاع المحيط نتيجة حركة تصدعية عنيفة من جراء تصادم صفيحتين. وفي بعض الحالات قد تتجم عن ثوران بركاني (جزيرة كراكاتوا الأندونيسية عام 1883م)





أو سقوط نيزك أو حدوث إنزلاق أرضي تحت الماء. وتحدد حجم الأضرار لأمواج التسونامي عدة عوامل لعل أهمها:

- وقوع السواحل في محيط دائرة تحرك موجات التسونامي والتي لا تفقد الكثير من طاقتها مع التحرك نتيجة لطولها الموجي الكبير.
- الوضع الجغرافي للمنطقة الساحلية من ناحية ارتفاعها عن سطح البحر وكذلك تعامده مع اتجاه حركة الأمواج.

وعلاوة إلى ما تلحقه هذه الأمواج من خسائر في الأرواح والمنشآت إلا أن أضرار هائلة تلحق ببيئة المناطق الساحلية قد تحتاج إلى عشرات السنين لاستعادة طبيعتها.

توجد العديد من العلامات التي تسبق حدوث موجة تسونامي:

- يتميز الماء برائحته الكريهة التي تنتشر في المكان.
- هزة أرضية خفيفة.
- انخفاض منسوب المياه أو ارتفاعه.
- سماع صوت قوي يُشبه صوت الرعد.
- مياه الشاطئ تتراجع بشكل مفاجئ.
- خروج عدّة فقاعات من المياه.
- زيادة درجة حرارة المياه.

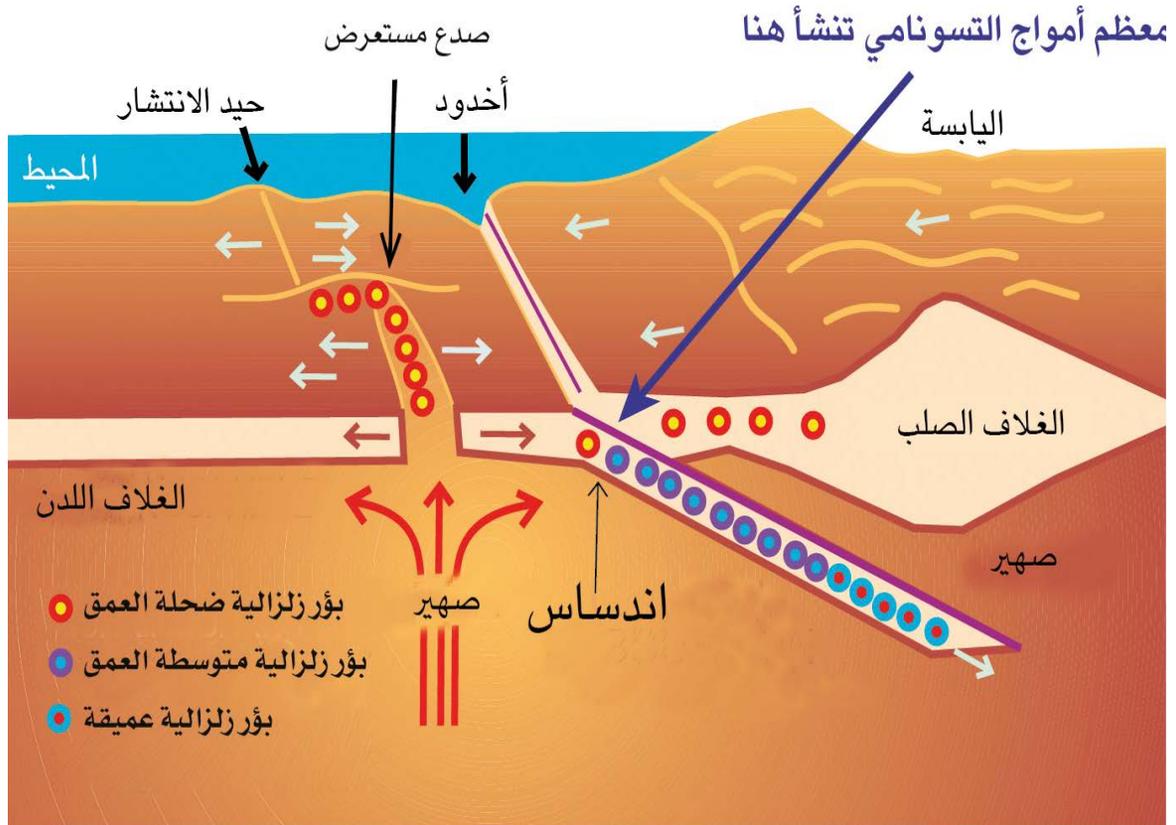


أسباب حدوث التسونامي

يرجع حدوث التسونامي إلى العديد من الأسباب المختلفة؛ حيث إن هذه الأسباب تعمل على دفع كميات كبيرة من المياه في البحار والمحيطات مما يولد أمواجاً مائية ينتج عنها حدوثها، ويختلف احتمال حدوث التسونامي في المناطق المختلفة تبعاً لطبيعة الصفائح التكتونية التي تتكون منها تلك المناطق، وتُعتبر المناطق الموجودة حول حوض المحيط الهادئ أكثر المناطق عرضةً لحدوث التسونامي فيها، وفيما يأتي الأسباب التي قد تؤدي إلى حدوث هذه الظاهرة:

الزلازل: تُعتبر الزلازل السبب الرئيسي لنشوء معظم التسونامي حول العالم؛ إذ إنه عند حدوث الزلازل في قيعان البحار والمحيطات نتيجة لتحرك الصفائح التكتونية في القشرة الأرضية باتجاه بعضها البعض فإن كميات كبيرة من المياه ترتفع إلى الأعلى لتؤدي في بعض الأحيان إلى حدوث التسونامي؛ وتجدر الإشارة إلى أنه ليست كل الزلازل التي تحدث تؤدي إلى حدوث التسونامي، وحتى عند حدوث هذه الظاهرة فإنها لا تُعد دائماً مُدمرة وذات تأثير كبير. يُشير العلماء إلى أن تسونامي واحد فقط من كل خمسة عشر يتسبب بحدوث دمار وأضرار كبيرة؛ ففي التسونامي الذي حدث في اليابان في العام 2011م نتيجة لزلازل حدث على بعد 70 كم من سواحل اليابان وبلغت قوته على مقياس ريختر تسعة درجات لقي الكثير من الأشخاص حتفهم بالإضافة إلى دمار كبير في المناطق التي وصل إليها التسونامي، حيث إنه وصل إلى مسافة عشرة كيلومترات داخل الأراضي اليابانية، وقد ارتفعت أمواج هذا التسونامي لما يُقارب 40 متراً.





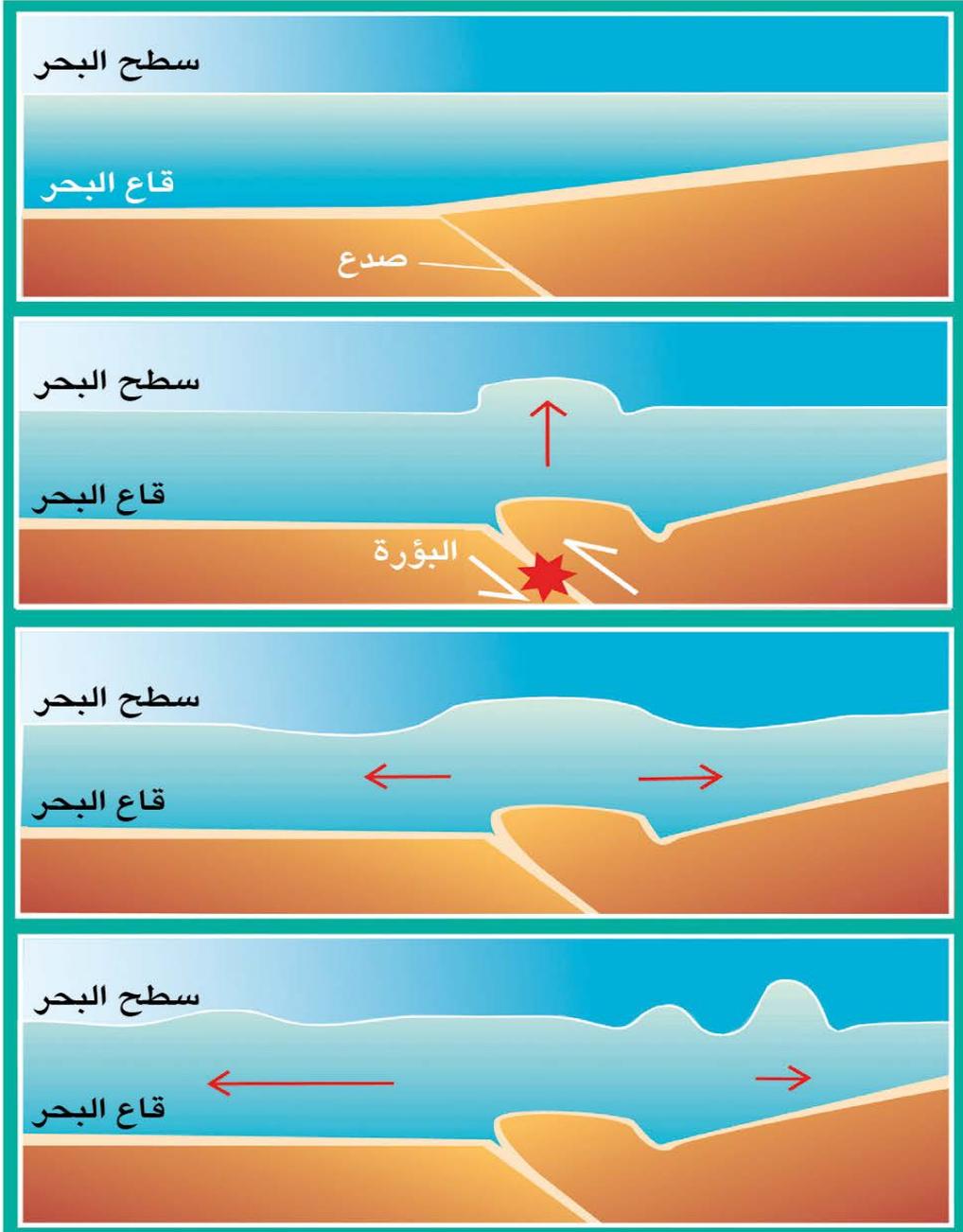
تنتج معظم أمواج التسونامي عن زلازل كبيرة ذات بؤرة ضحلة العمق تحدث عندما تندس صفيحة تكتونية تحت صفيحة مجاورة لها. كما تحدث زلازل ذات بؤرة ضحلة العمق على امتداد أحياء الانتشار، لكنها ليست كبيرة إلى درجة تكفي لكي تُحدث أمواج تسونامي. وتحدث أيضاً زلازل كبيرة ذات بؤرة ضحلة العمق على امتداد الصدوع التحويلية، لكن لا تجري خلال التصدع المعني إلا حركة شاقولية ضئيلة، ما يجعل الزلازل المعنية لا تُحدث أمواج تسونامي



تتولد موجات تسونامي الأكثر تدميراً من الزلازل الكبيرة الضحلة مع وجود مركز أو خط صدع بالقرب من قاع المحيط أو فوقه. تحدث هذه عادة في مناطق من الأرض تتميز بالاندساس التكتوني على طول حدود الصفائح التكتونية. الزلزالية العالية لهذه المناطق ناتجة عن اصطدام الصفائح التكتونية. عندما تتحرك هذه الصفائح عبر بعضها البعض، فإنها تتسبب في حدوث زلازل كبيرة تميل أو تعوض أو تزيح مساحات كبيرة من قاع المحيط من بضعة كيلومترات إلى ما يصل إلى **1000 كيلومتر** أو أكثر. وتؤدي عمليات النزوح الرأسية المفاجئة فوق هذه المساحات الكبيرة إلى اضطراب سطح المحيط وتزيح المياه وتوليد موجات تسونامي مدمرة. يمكن للأمواج أن تسافر مسافات كبيرة من منطقة المصدر، وتنتشر الدمار على طول مسارها. على سبيل المثال، نشأ تسونامي تشيلي العظيم عام 1960 عن زلزال بلغت قوته **9.5 درجة** وكان له منطقة تمزق تزيد عن **1000 كيلومتر**. كانت موجاتها مدمرة ليس فقط في تشيلي، ولكن أيضاً في أماكن بعيدة مثل هاواي واليابان وأماكن أخرى في المحيط الهادئ. وتجدر الإشارة إلى أنه ليست كل الزلازل تولد أمواج تسونامي. عادة يتطلب الأمر هزة أرضية بقدر **7.5 درجة** لتنتج تسونامي مدمر.

تتولد معظم موجات تسونامي عن طريق الزلازل الضحلة والعظيمة في مناطق الانغماس. تحدث أكثر من **80%** من موجات تسونامي في العالم في المحيط الهادئ على طول مناطق اندساس Ring of Fire.





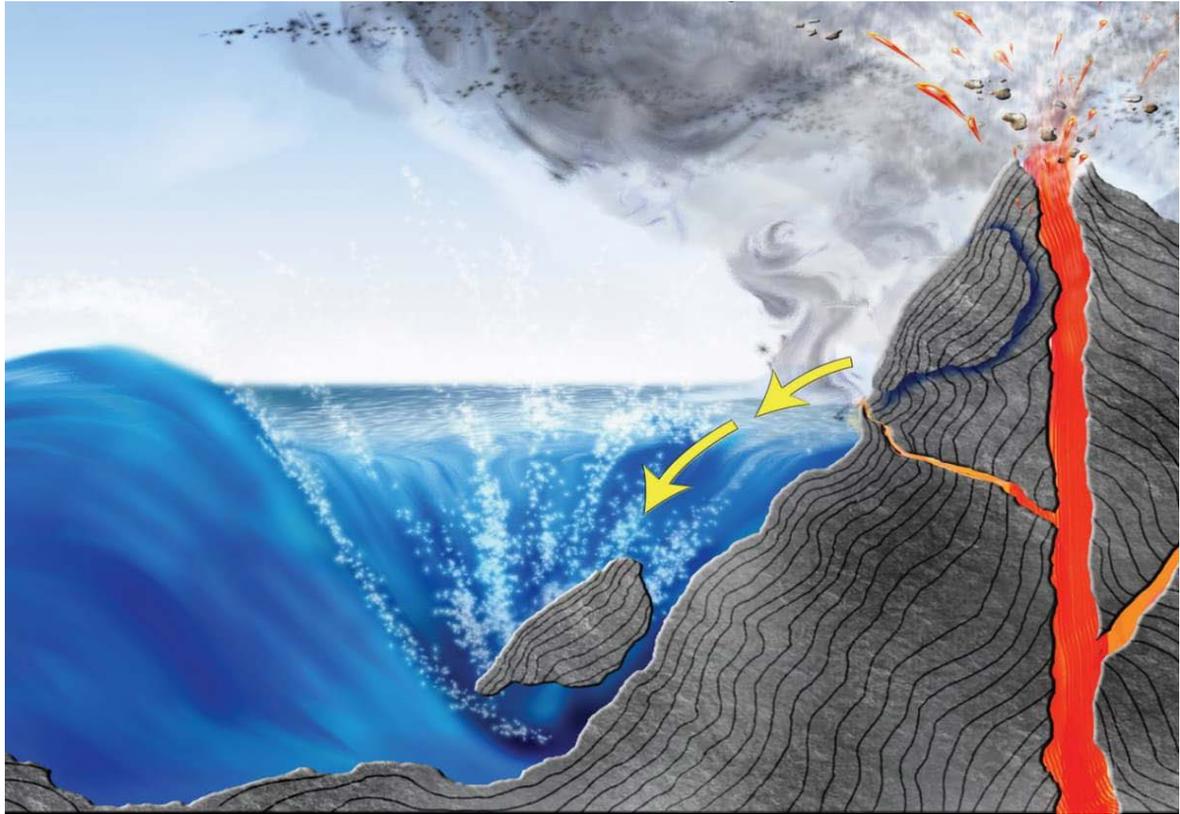
غالبًا ما تحدث أمواج التسونامي بسبب زلازل ذات بؤرة ضحلة العمق





البراكين: يُعدُّ ثوران البراكين أحد الأسباب التي قد تؤدي إلى حدوث التسونامي، ومن الأمثلة على ذلك بركان كراكاتوا الذي ثار في إندونيسيا في العام 1883م والذي نتج عنه حدوث تسونامي أودى بحياة ما يزيد عن 120 ألف شخص. التسامي البركاني ليس شائعاً مثل تسونامي الزلزال ولكن عندما يحدث، يمكن أن تكون آثارها رهيبية. هناك طريقتان يمكن أن تسببهما البراكين في حدوث تسونامي، أو موجات المد والجزر كما هي معروفة أيضاً.

الطريقة الأولى هي من ثوران بركان على الأرض والثاني من خلال ثوران بركاني تحت الماء من بركان «غواصة» تحت سطح البحر.



ثوران البراكين أحد الأسباب التي قد تؤدي إلى حدوث التسونامي



يحدث ثوران بركاني عندما يتراكم الضغط في الصهارة تحت سطح الأرض لبعض الوقت. في نهاية المطاف، تخترق الصهارة قشرة الأرض وتندفع إلى السطح عبر البركان. يحدث هذا في مناطق الاندساس على سطح الأرض، وهي المنطقة التي أصبحت تُعرف الآن باسم «**حلقة النار**» نظراً لوجود العديد من الانفجارات البركانية هنا.

عندما يحدث الثوران، يتم فتح الجزء العلوي من البركان، المعروف أيضاً باسم فوهة البركان. يتم تفجير الغطاء حرفياً بواسطة قوة الصهارة. يتسبب هذا في إزاحة أجزاء كبيرة من البركان. عندما يكون البركان بجوار البحر، يتساقط الحطام في الماء. غالباً ما تتدفق الحمم البركانية أيضاً إلى البحر ويتم بعد ذلك إزاحة كميات كبيرة من المياه.

تستمر طاقة الأمواج في السفر عبر البحر. من المتعارف عليه أن الطاقة لا يمكن إنشاؤها أو تدميرها، فهي ببساطة تنتقل. وهكذا تستمر الموجة عبر البحر حتى تصل إلى الساحل. هناك المياه ضحلة والموجات الزلزالية تحت السطح تصبح كبيرة، موجات المد والجزر القوية التي تغمر الشاطئ وتصطدم بالمباني، مما يتسبب في كل الآثار الكارثية التي نربطها بأمواج تسونامي.

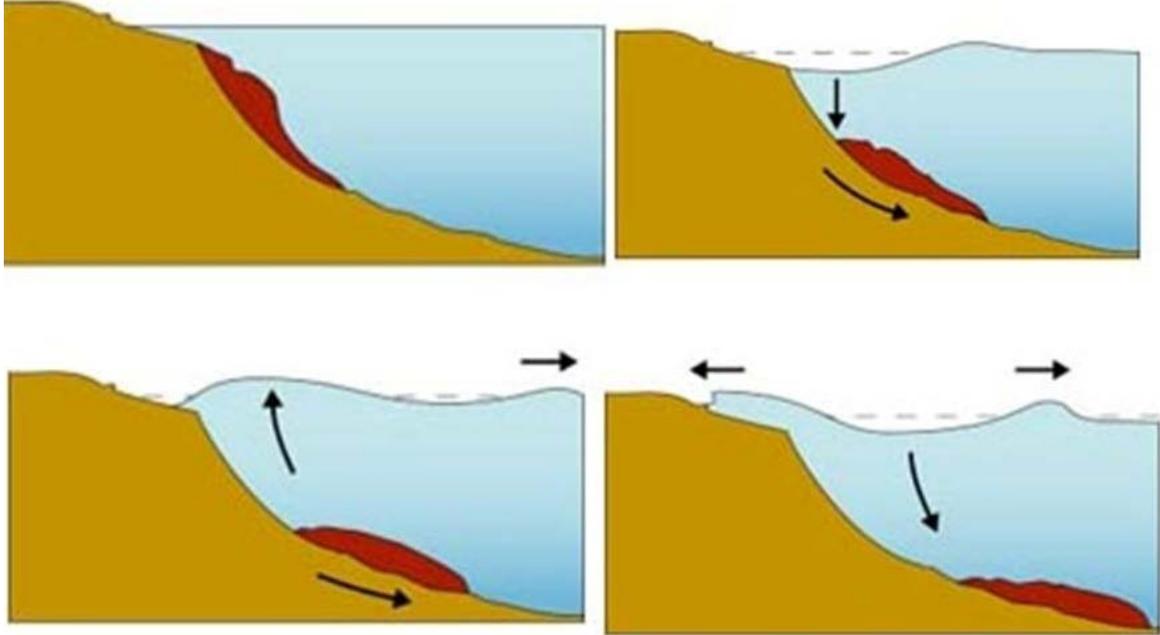
الطريقة الثانية التي يمكن أن تسبب بها البراكين تسونامي هي عندما تكون تحت الماء، والمعروفة أيضاً باسم البراكين «**الغواصة**» أو البراكين البحرية. يمكن العثور على البراكين الغواصة من خلال وجود محتوى صخري مرتفع وبخار فوق سطح الماء. تشكل هذه البراكين الغواصة أعمدة شديدة الانحدار فوق فوهاتها، وهي ميزة غالباً ما تكون غائبة في البراكين الأرضية.



يمكن أن ينتج عن الثوران البركاني تحت سطح البحر مصاعد عالية الحجم في قاع البحر. يقترن هذا بإجبار الحمم على الخروج في الماء. تتصلب الحمم بسرعة وتتحول إلى صخور. مثل هذا الاندفاع هو تفاعل متفجر بين الماء والصهارة، والتي تنتج تفرًا حبيبات دقيقة مع انبعاث الغازات البركانية والبخار. يتسبب الثوران البركاني في ثوران البركان في الأرض ويدفع أعمدة المياه الكبيرة إلى أعلى لتوليد تسونامي. يؤدي الانفجار في البحر أيضاً إلى إزاحة كميات كبيرة من المياه، مما يتسبب في حدوث موجات زلزالية تحت الماء.

الانهيارات الأرضية: تحدث الانهيارات الأرضية تحت الماء فقط عندما يكون الانهيار الأرضي بالقرب من الشاطئ، مما يؤدي أيضاً إلى حدوث تسونامي. تماماً مثل الزلازل تحت الماء، تتسبب الانهيارات الأرضية تحت الماء أيضاً في حدوث تسونامي بسبب الحركة الشديدة تحت الماء.





تحدث الانهيارات الأرضية تحت الماء فقط عندما يكون الانهيار الأرضي بالقرب من الشاطئ

السبب الأكثر شيوعاً للانهيـارات الأرضية تحت سطح البحر Submarine Landslide-Induced Tsunamis هو الانحدار المفرط بسبب ارتفاع معدلات الرواسب التي تترسب على المنحدرات شديدة الانحدار بالفعل. تشمل العوامل المسببة الأخرى الزلازل، ونطاقات المد والجزر الكبيرة التي يمكن أن تكشف الرواسب غير المستقرة وتضعف قبضتها على المنحدر، وأنشطة البناء في المناطق الساحلية، أو مزيج من هذه.



التسونامي الناجم عن الانهيارات الأرضية تحت الجوي

Subaerial landslide-Induced Tsunamis

هي الأسهل في تصورها. تحدث هذه بسبب كمية هائلة من المواد التي تؤثر بشكل مباشر على سطح الماء من الأعلى. يتم إزاحة الماء، مما يجبر موجة إلى الخارج من نقطة التأثير. غالباً ما تحدث هذه الانزلاقات الأرضية بسبب المنحدرات الشديدة التي ترتفع مباشرة خارج الماء، والتآكل السريع الناجم عن التراجع الجليدي أو الولادة، والأمطار الغزيرة في المناطق الساحلية، والزلازل المتكررة. لقد حدثت أيضاً بسبب الانفجارات البركانية. عادة ما تنتج الانهيارات الأرضية تحت الجوية أكبر موجات بسبب الحجم الإضافي للمواد التي تؤثر على السطح وتتسبب في موجة قمة رائدة. كانت أكبر ارتفاعات لموجات تسونامي التي تم تسجيلها على الإطلاق بسبب الانهيارات الأرضية تحت الجوية.

يُعتبر التسونامي الذي حدث في خليج ليتويا في ألاسكا في العام 1958م أحد الأمثلة على التسونامي الذي يحدث نتيجة لانهيارات أرضية كبيرة، ويُروى بأن ارتفاعه بلغ عند جانبي الخليج لما يزيد عن **520 متر** فضلاً عن أمواج هائلة بلغ ارتفاعها **30 متراً**، ولا يقتصر حدوث التسونامي على حدوث انهيارات أرضية، حيث يُمكن أن يحدث التسونامي نتيجة لانهيار أجزاء من الأنهار الجليدية في المياه.

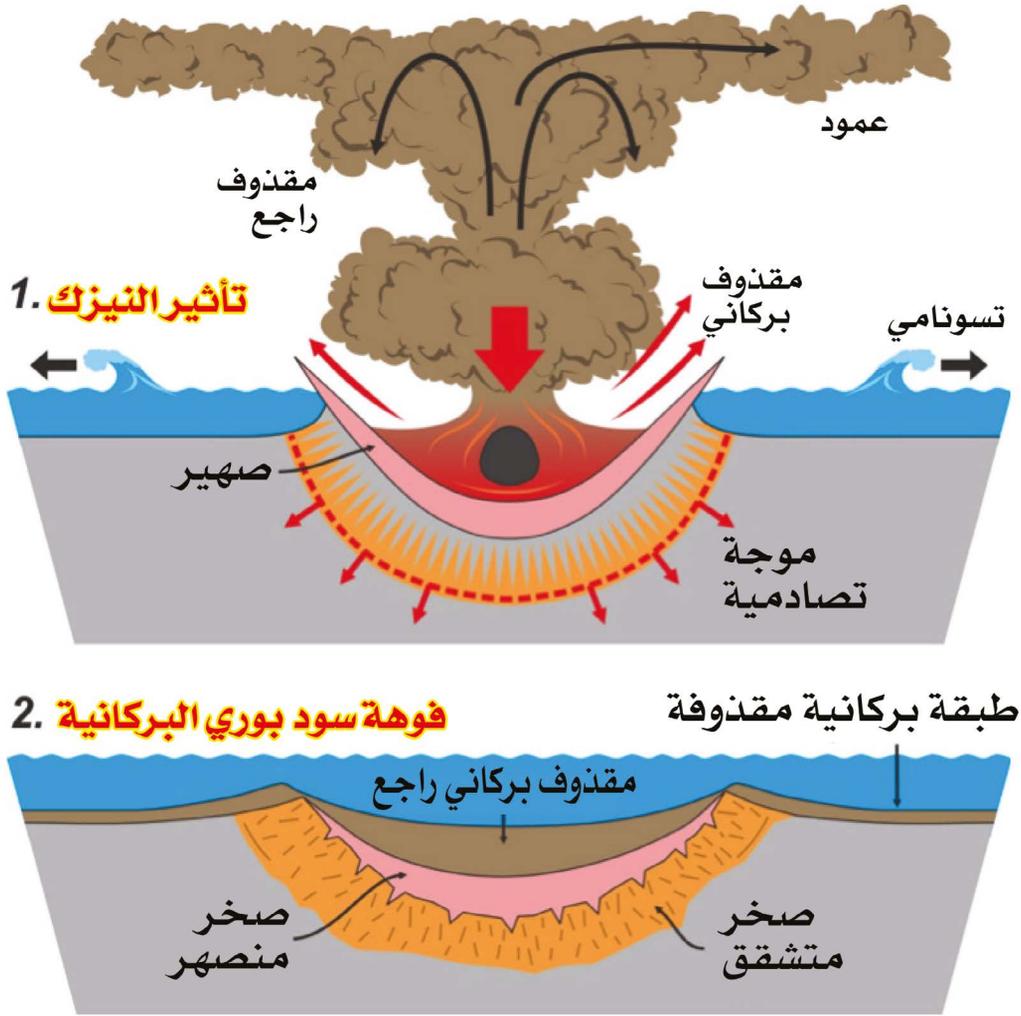




النيازك والكويكبات

نظراً لأن **ثلثي الأرض** مغطاة بالمياه، فمن المحتمل أنه عندما يصطدم كويكب أو نيزك بالأرض، فإنه سيهبط في المحيط. سيكون هذا مدمراً لمعظم المناطق الساحلية بسبب تسونامي المدمر، لكن التأثير نفسه على الأرض من شأنه أن يخلق سحابة من الغبار، والتي من المحتمل أن تحجب الشمس لعدة أشهر. قد يتسبب تأثير النيزك في حدوث تسونامي ولكنه نادر جداً. عندما يسقط نيزك في الماء، فإنه يتسبب في تأثير سرعة عالية، مما يتسبب في حدوث موجة صدمة في الماء، وبالتالي تكوين موجات.





ضرب نيزك بعرض 10-16 كيلومتر الأرض منذ 1.8 مليار سنة. تشكلت فوهة بركان طولها 250 كيلومتراً لتشوه القشرة إلى عمق 16 كيلومتراً. يؤدي التأثير إلى تشويه قشرة الأرض إلى أعماق تصل إلى 61 كيلومتراً، مما يسمح للنیکل والنحاس والزنك والصفهارة الغنية بالحديد بالصعود من عباءة الأرض.



في نهاية العصر الطباشيري، قبل 65 مليون سنة، ضرب **نيزك تشييكسولوب** بعرض **10 كيلومترات** المنطقة التي تشكل الآن شبه **جزيرة يوكاتان** على الساحل الشمالي **للمكسيك**. تشكلت فوهة بركان ضخمة بعرض **180 كيلومتراً** عندما تطايرت كميات هائلة من الغبار والصخور في الغلاف الجوي من جراء الاصطدام. كما تصاعدت سحب البخار الشاسعة حيث تحول الماء على الفور إلى بخار. بالإضافة إلى ذلك، فإن موجات الصدمة الناتجة عن النيزك كانت ستنتقل من موقع التأثير، مما تسبب في حدوث موجات تسونامي هائلة في المحيطات القريبة. تم تدمير أعداد هائلة من الكائنات الحية من خلال الآثار المباشرة لتأثير **النيزك** وموجات المد المصاحبة. في الواقع، يقدر **العلماء** أن أكثر من نصف الأنواع النباتية والحيوانية على الأرض **(بما في ذلك الديناصورات)** قد انقرضت في هذا الوقت.





ضرب نيزك تشييكسولوب شبه جزيرة يوكاتان على الساحل الشمالي للمكسيك وتشكلت فوهة بركان ضخمة بعرض 180 كيلومتراً





خصائص التسونامي

تختلف شدة التسونامي وتأثيره على المناطق الساحلية تبعاً لاختلاف طبيعة المناطق الشاطئية؛ فقد يكون في بعض المناطق ذو تأثير طفيف بينما قد يكون مُدمراً بشكل كبير في مناطق أخرى، وفي حال كان قاع الموجة أول جزء يصل منها إلى الساحل فإن ذلك يتسبب بانخفاض ملحوظ لمستوى المياه في سطح البحر، أما في حال وصول قممها إلى الساحل أولاً فإن ذلك سيؤدي إلى حدوث ارتفاع كبير في مستوى سطح البحر، وتمتاز الموجات جميعها بوجود خصائص مُشتركة تجمعها فموجات **التسونامي** أو الموجات العادية لها ما يُعرف بالطول الموجي، وسعة الموجة، وارتفاعها، وترددتها، وسرعتها، وفيما يأتي توضيح لكل من هذه المفاهيم والخصائص التي تُميز أمواج التسونامي:

الطول الموجي: يُعرّف الطول الموجي بأنه المسافة التي تقع بين نقطتين متماثلتين بين موجتين متتاليتين، ففي حين يتراوح الطول الموجي للأمواج العادية في المحيطات من **100 متر إلى 200 متر**، فإن موجات التسونامي ذات طول موجي أكبر بكثير حيث قد تصل إلى خمسمائة كيلومتر. ارتفاع الموجة يشير إلى المسافة بين قاع الموجة وقممها.

سعة الموجة: تمثل المسافة بين قاع الموجة وخط الماء الثابت، وتختلف سعة موجات التسونامي تبعاً لاختلاف عمق المياه، وعادة ما تكون سعة الموجة مساوية لنصف ارتفاعها.

تردد الموجة: يُعرف تردد الموجة بأنها الفترة الزمنية التي تحتاجها الموجة لتكرير نفسها، ففي حين تحتاج الموجات الطبيعية التي تحدث في المحيطات إلى



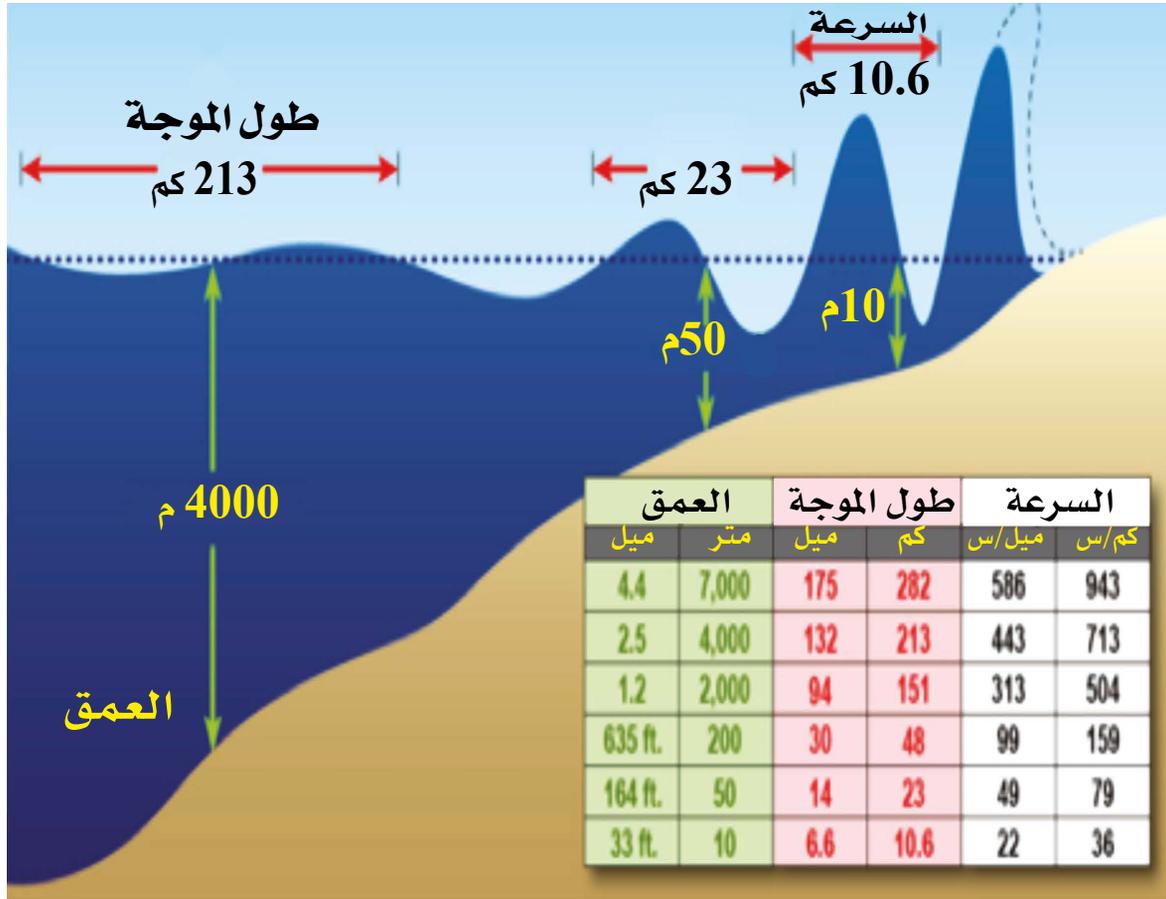


زمن مقداره خمسة إلى عشرين ثانية لتكرار نفسها، فإن موجات التسونامي قد تحتاج إلى فترة زمنية تتراوح بين عشرة دقائق إلى ساعتين لتكرار نفسها.

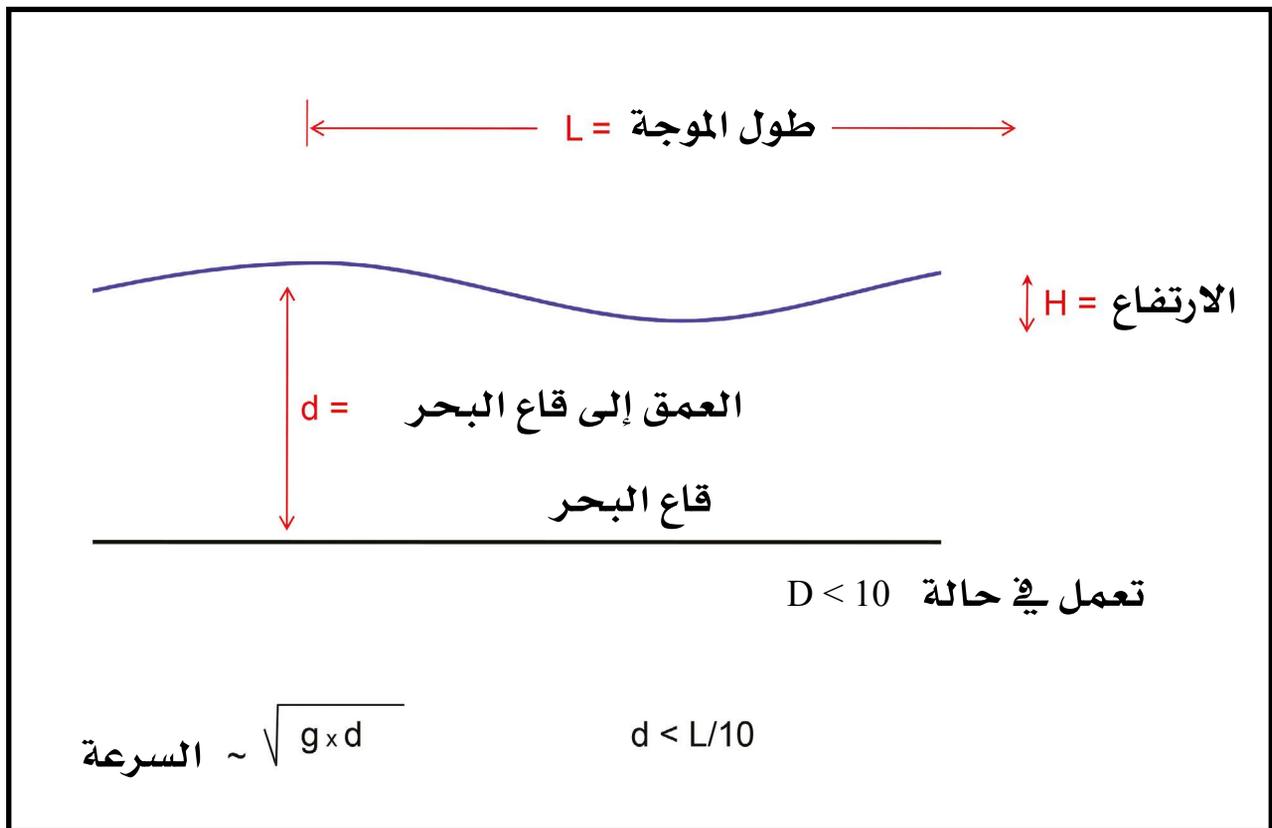
سرعة الموجة: وهي السرعة التي تتحرك بها الموجة، وتصل سرعة أمواج التسونامي إلى سرعات عالية تصل إلى **950 كم** في الساعة الواحدة، وهو ما يُعادل سرعة طائرة نفاثة، بينما تبلغ سرعة الأمواج العادية التي تحدث في المحيطات إلى ما يُقارب **90 كم** في الساعة الواحدة.

تتميز أمواج التسونامي العملاقة بمدى طويل جداً فهي قادرة على نقل الطاقة المدمرة من مصدرها في المحيط إلى مسافة تبلغ آلاف الكيلومترات. حيث تندفع في أعماق المحيطات بسرعة تزيد على **700 كم** في الساعة وعلى الرغم من سرعتها فإنها لا تشكل خطراً في المياه العميقة. فالموجة الواحدة منها لا يزيد ارتفاعها عادة عن متر واحد في وسط المحيط في حين يصل ارتفاعها إلى أكثر من **10 أمتار** عند اصطدامها بالشواطئ.

ويمكن حساب سرعة الموجات التسونامية من الجذر التربيعي لقيمة العجلة الأرضية مضروباً في عمق الماء. فإذا كان عمق الماء **5 كم** فإن السرعة تساوي **800 كم/س**. أما طول موجة التسونامي فتبلغ **200 كم** إذا كانت الفترة الدورية **15 دقيقة**. أي أنه كلما كانت المياه أكثر عمقا وكانت الموجة أكثر طولاً كانت الموجة التسونامية ذات سرعة أكبر.



العلاقة بين طول الموجة والسرعة وعمق الماء عند حدوث التسونامي . تتحرك موجات التسونامي الطويلة عبر المحيط وتنضغط عند اقترابها من الساحل





طول الموجة $L =$

450 km

الارتفاع $H =$

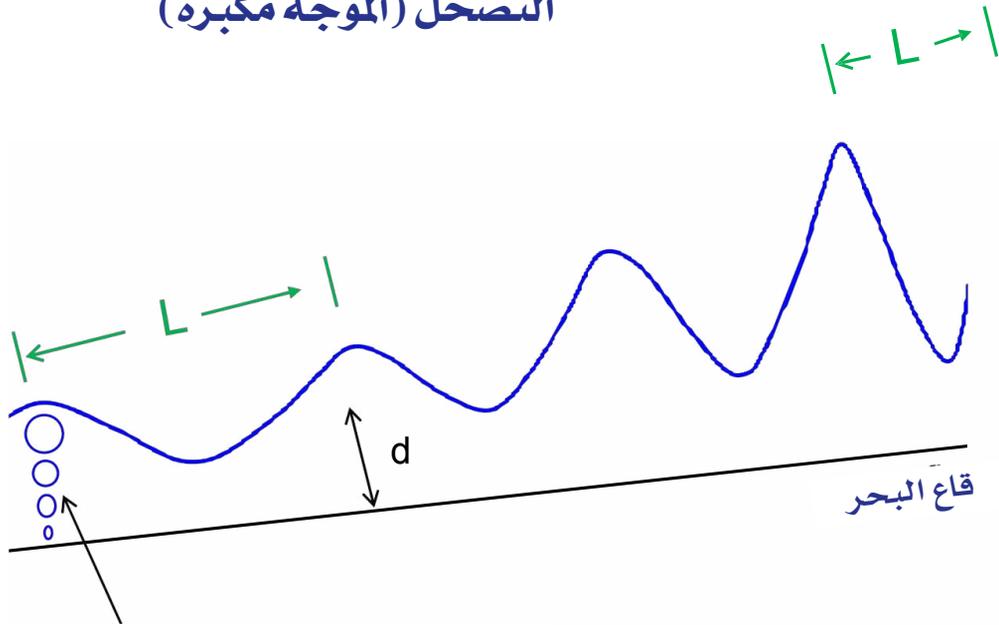
يصل ارتفاع الموجة في قاع المحيط تقريباً ١ متر

1 meter or so





التضحل (الموجة مكبرة)



دوران الجزيئات

يبدأ في قاع المحيط عندما يكون العمق

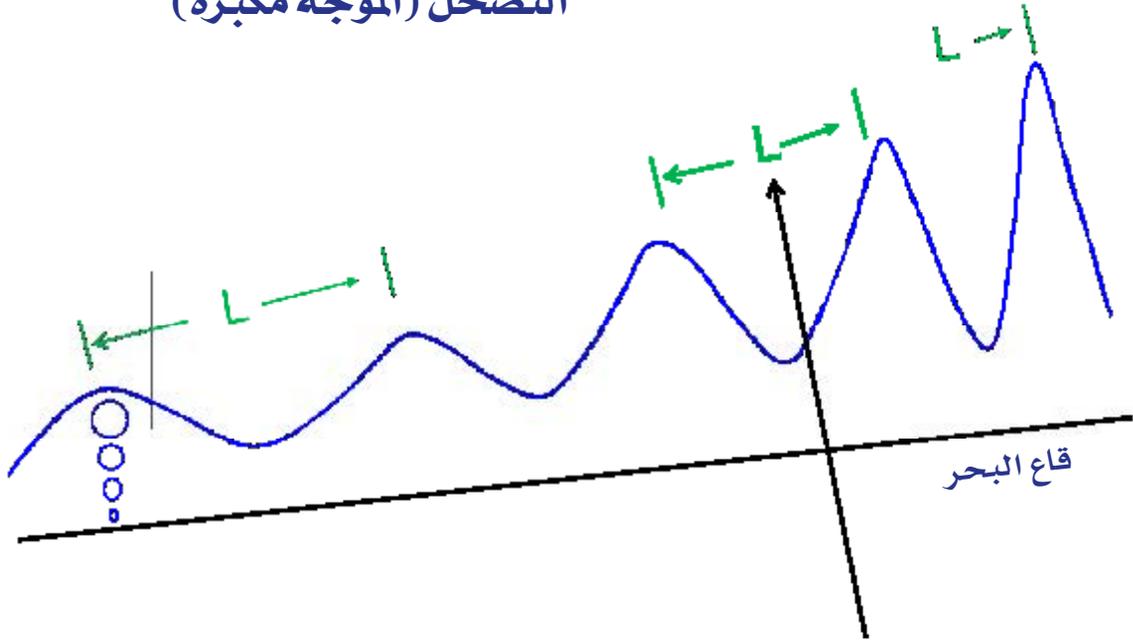
$$d = \frac{L}{2}$$

حيث L تمثل طول الموجة





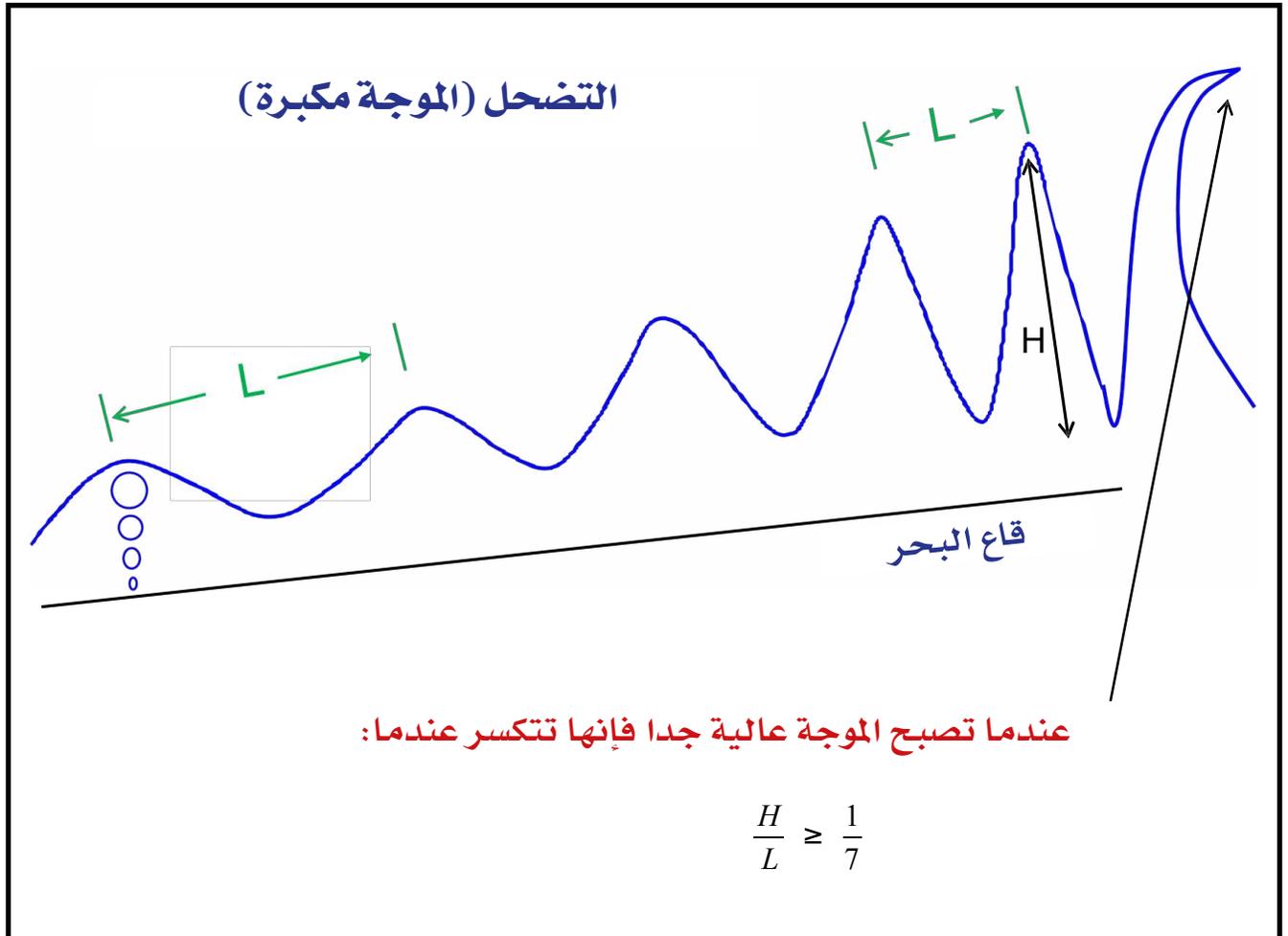
التضحل (الموجة مكبرة)

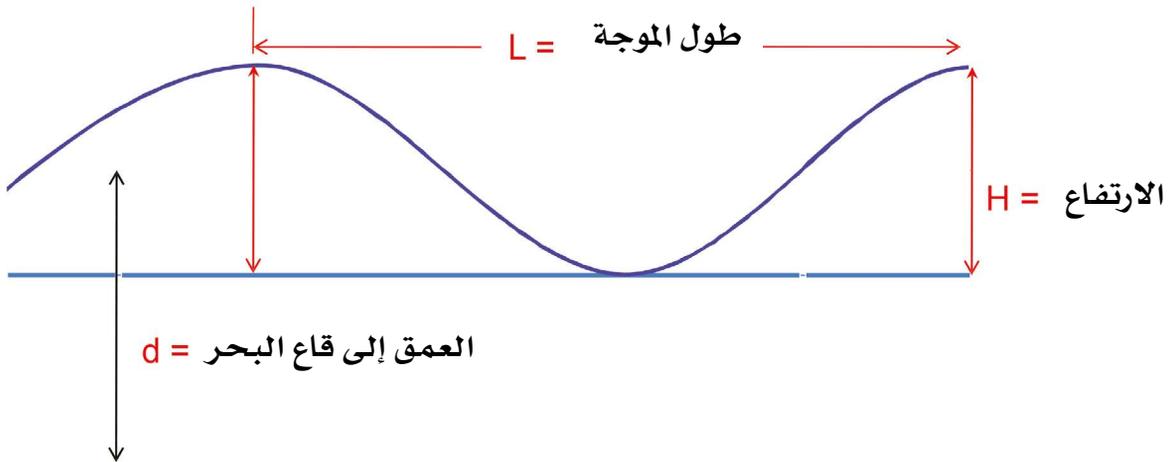
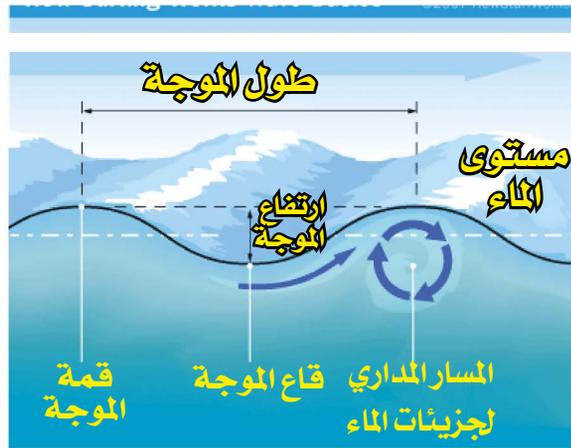


عندما تتباطئ الموجات فيكون طول الموجة يكون أكثر

$$T = \frac{L}{v}$$

بينما الفترة تبقى ثابتة







الإشتقاق الرياضي

يمكن وصف الموجة من خلال الطول الموجي والارتفاع والفترة الزمنية. الطول الموجي هو المسافة بين قمتي موجة، أي أعلى نقطة في كل موجة. يتم تعريف الفترة الزمنية على أنها الوقت بين ممرات قمتين متتاليتين من خلال نقطة معينة.

يمكن التمييز بين موجات المحيط بين المياه العميقة وموجات المياه الضحلة. في حين أن الأولى مشتتة بمعنى أن السرعة تعتمد على طول الموجة، فإن سرعة انتشار موجة المياه الضحلة تعتمد فقط على عمق الماء. يبلغ الطول الموجي لموجة تسونامي مئات الكيلومترات. منذ كل المحيط الموجات ذات الطول الموجي الأطول من عمق الماء هي موجات مائية ضحلة، سرعة السفر لموجة تسونامي تعتمد فقط على عمق عمود الماء. الخطوة الأولى لحساب وقت انتقال الموجة هي إيجاد سرعة موجة تسونامي.

سرعة موجات تسونامي تعتمد على عمق الماء والجاذبية. فيما يلي معادلة المياه الضحلة التي تُستخدم غالباً في أعماق المحيط أيضاً [Dawson and Mirabito, 2008]

$$v = \sqrt{gD} \quad (1)$$

V هي السرعة بالأمتار في الثانية (م / ث)،

D هي العمق بالامتار (م)،

g هي تسارع الجاذبية المفترض 9.8 م / ث² وهكذا:

$$v = 3.13 \sqrt{D} \quad (2)$$





إذن كيف يتم اشتقاق معادلة السرعة؟

معادلة المياه الضحلة مشتقة من معادلات نافيه - ستوكس الكلاسيكية Navier-Stokes التي تعبر عن الحفظ على الكتلة والزخم [Batchelor, 1967؛ Dawson and Mirabito, 2008]]. نظراً لأن المعادلة (2) صحيحة ويتغير عمق المحيط اعتماداً على الموقع، فإن ذلك يعني أن السرعة تختلف في كل موقع. يمكن أن يؤدي وقت السفر على طول مسار واحد إلى تقليل المشكلة إلى بُعد واحد.

بشكل عام، إنها مشكلة أكثر تعقيداً، حيث يؤدي انتشار الموجة ثنائية الأبعاد إلى حدوث تداخل سوف نتجاهلها من أجل البساطة. لنفترض أن X هي المسافة من المصدر على طول المسار وليكن الوقت الذي يحدث منذ أن تسبب الزلزال في حدوث تسونامي. إذا افترضنا أن المسار الذي تسير عليه الموجة عبارة عن دائرة كبيرة (أقصر مسافة على سطح الكرة)، فيمكننا استخراج قياس الأعماق على طول المسار ثم قراءة قيمة عمق عمود الماء كدالة على المسافة من مصدر تسونامي.

إذا كانت D في المعادلة (2) دالة للموضع على طول المسار، فيمكن كتابة السرعة كـ

$$v(x) = 3.13 \sqrt{D} (x) \quad (3)$$

ولدينا من المعادلة (3):

$$dx / dt = v(x) \Rightarrow dx / dt = 3.13 \sqrt{D} (x) \quad (4)$$





من المعروف أن $D(x)$ لسبب طبيعي أكبر من 0 لكل قيمة x لأن موجة تسونامي تنتقل فقط في الماء. وبالتالي، $v(x)$ أكبر من 0 ويمكن تقسيم طرفي المعادلة (4) على

$$1/v(x) dx / dt = 1 \Rightarrow 1/v(x) dx = dt \quad (5)$$

تسمح لنا المعادلة (5) بتحديد وقت السفر بين نقطتين $x = S_1$ و $x = S_2$. نظراً لأن النقطتين على طول المسار، ستكون المعادلة على النحو التالي:

$$\int_{S_1}^{S_2} \frac{1}{v(x)} dx = \int_{t_1}^{t_2} dt \quad (6)$$

في المعادلة (6): يشير متغير الوقت إلى اللحظة التي تصل فيها الموجة إلى نقطة معينة، بينما يشير المتغير S إلى المسافة من مصدر تسونامي. بعد التبسيط، يمكننا أن نفترض أنه في فترة التكامل، يكون عمق الماء ثابتاً ويساوي D_1 . في هذه الحالة تكون السرعة ثابتة

و $v_1 = \sqrt{gD_1}$ وتكامل المعادلة (6) يصبح:

$$\int_{S_1}^{S_2} \frac{1}{\sqrt{gD_1}} dx = \frac{1}{\sqrt{gD_1}} \int_{S_1}^{S_2} dx = \int_{t_1}^{t_2} dt \quad (7)$$

المعادلة (7) تعطي الحل

$$\frac{S_2 - S_1}{\sqrt{gD_1}} = t_2 - t_1 \quad (8)$$

في المعادلة (8): تشير S_1 و S_2 إلى أقصى فترة تكامل لـ x ، بينما تشير t_1 و t_2 إلى الفترة الزمنية.

يمكن استخدام المعادلة المتكاملة (6) والمعادلة (8) لكل جزء من الموجة لإضافتها إلى الوقت الإجمالي على مسافة معينة ستقطعها الموجة





ميكانيكية التسونامي

تتولد التسونامي من حركة الدفع الفجائية التي يحدثها الزلزال تحت قاع المحيط نتيجة حركة تصدعية عنيفة من جراء تصادم صفيحتين. وفي بعض الحالات قد تتجم عن ثوران بركاني أو سقوط نيزك أو حدوث انزلاق أرضي تحت الماء. تتميز بمدى طويل جداً قادرة على نقل الطاقة المدمرة من مصدرها في المحيط إلى مسافة تبلغ آلاف الكيلومترات. تمر التسونامي أثناء نشوئها بثلاث مراحل فيزيائية متتابعة: **التولد والانتشار ثم الغمر.**

التولد :

تتمثل عملية **توليد الموجة** بأي إزاحة عمودية مفاجئة في قاع البحر نتيجة حركة تصدعية عنيفة. حيث تقوم هذه الحركة بدفع ما فوقها من مياه نحو الأعلى. الزلازل تحت الماء هي السبب الأكثر شيوعاً لموجات التسونامي. عندما تنزلق الصفائح التكتونية فوق بعضها البعض تحت الماء، يتم إطلاق كمية هائلة من الطاقة، والتي تنتقل إلى السطح وتزيح كميات هائلة من الماء. عندما يتم إزاحة هذا الحجم الضخم من الماء، مما يتسبب في ارتفاع الماء عالياً فوق السطح، تسحبه جاذبية الأرض لأسفل مرة أخرى، مما يجعل الطاقة تموج أفقياً إلى الخارج، مما ينتج عنه موجات متعددة تتحرك في جميع أنحاء السطح.



يتسبب إزاحة المياه بكميات هائلة في حدوث موجات تسونامي



الانتشار

تنتشر الموجة عبر مياه المحيط بسرعة عالية تصل إلى **700 كم/س** غير أن ميل هذه الأمواج التي يصل طولها إلى **600 ضعف** ارتفاعها يكون من الصعوبة ملاحظتها في عرض البحر. أي أنه كلما كانت المياه أكثر عمقاً وكانت الموجة أكثر طولاً كانت الموجة التسونامية ذات سرعة أكبر. وعندما تصل الموجة إلى المياه الضحلة تتباطأ سرعتها حتى تصل إلى **80 كم/س** تقريباً. كما أن الطول الموجي لموجات تسونامي مرتفع للغاية فوق المياه العميقة. المعدل الذي يفقد به تسونامي طاقته يتناسب عكسياً مع الطول الموجي للموجات. هذه التسونامي لديها القدرة على إحداث دمار واسع النطاق، ليس فقط في المنطقة المباشرة ولكن عبر المحيط بأكمله.

$$\text{معدل فقد الطاقة} \propto \frac{1}{\text{طول الموجة}}$$

نظراً لأن موجات تسونامي يمكن أن يكون لها أطوال موجية ضخمة (تصل إلى **500 كيلومتر**)، فإن فقدان الطاقة ضئيل للغاية. هذا هو السبب في أن موجات تسونامي، فوق المياه العميقة، يمكن أن تنتقل بسرعة تزيد عن **900 كيلومتر** في الساعة دون أن تُلاحظ .



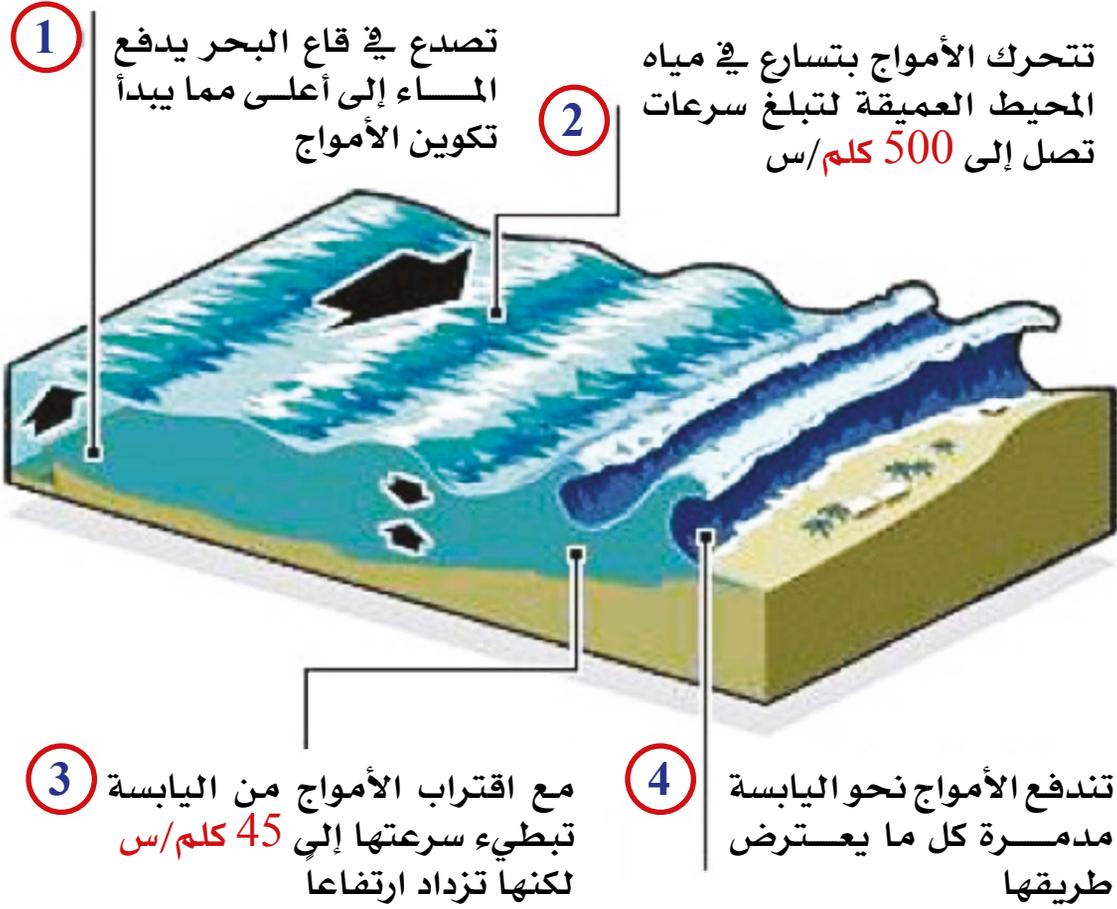


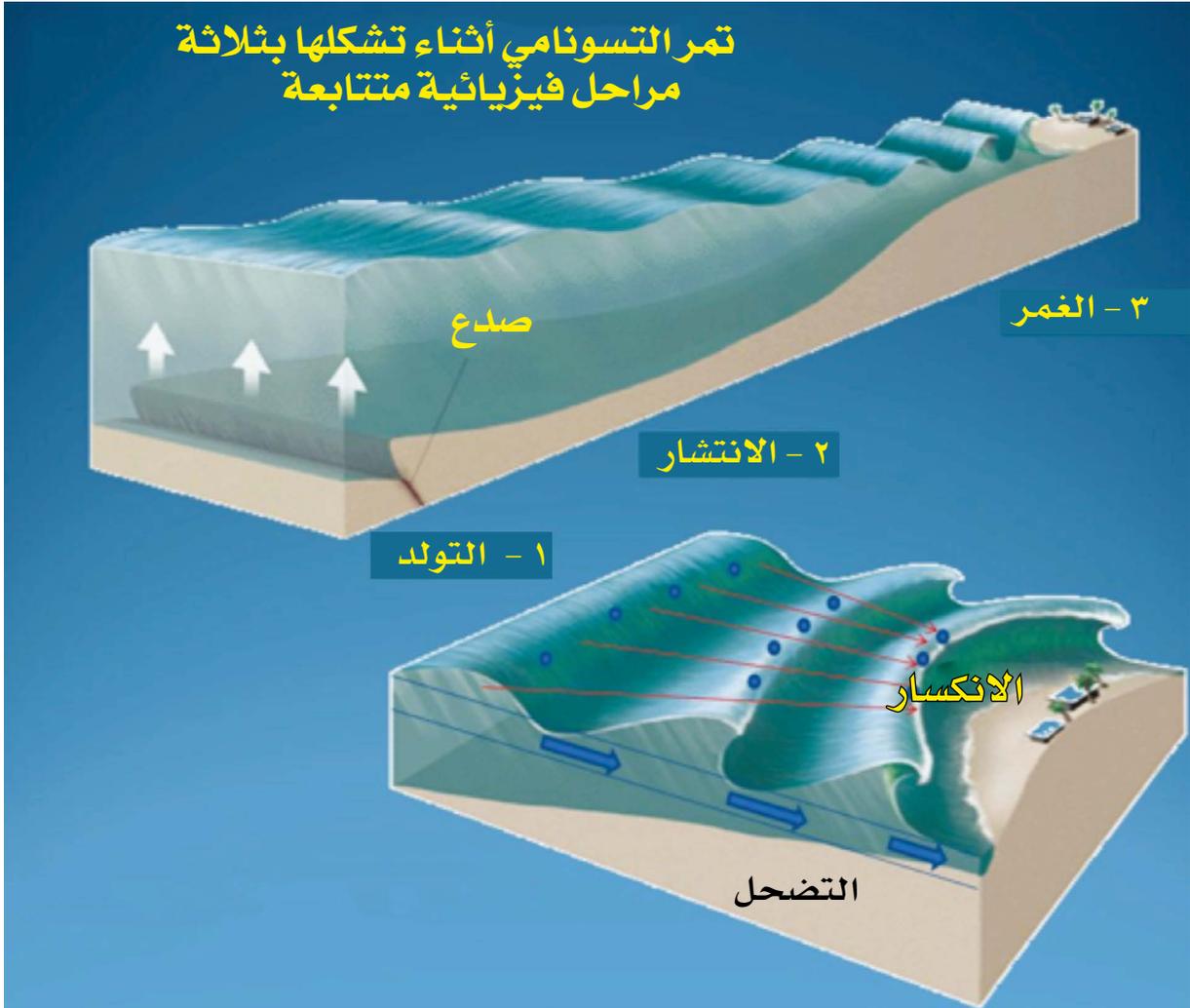
الغمـر

تؤدي ظاهرة انكسار الموجة وتضجلها إلى حشد طاقة الموجة وتركيزها ومن ثم تبدأ تتضغط طاقة الموجة داخل حجم أصغر أثناء دخولها إلى المياه الضحلة وتتباطأ لتلحق بها الموجة التي تليها أو أنها تلتف حول الشاطئ وتؤدي هذه الزيادة في كثافة الطاقة بدورها إلى زيادة في ارتفاع الموجة والتيارات.

بمعنى آخر، فإن موجات تسونامي تخضع لتحول سريع لأنها تتحرك نحو المياه الضحلة بالقرب من الشاطئ. نظراً لوجود كمية أقل من المياه، أي أن عمق الماء منخفض، وفقاً للعلاقة المذكورة أعلاه، فإن معدل تغير الطاقة هائل، مما يؤدي إلى زيادة سعة الموجة. بمعنى آخر، نظراً لأن الطاقة تحتوي على كمية أقل من الماء للثقل خلالها، فإنها تصبح مضغوطة، مما يتسبب في إبطاء الموجات وزيادة ارتفاعها إلى **100 قدم**! هذه الظاهرة تسمى موجة المياه الضحلة.







مراحل نشأة التسوناميات الثلاثة : التولد والانتشار والإغراق. يؤدي الانكسار





والتضحل Shoaling إلى حشد طاقة الموجة وتركيزها، لتصبح حائطا عاليا وخطيرا من المياه (الخطوط المنقطة) أثناء دخولها إلى المياه الضحلة، وتتباطأ لتلحق بها الموجة التي تليها، تؤدي هذه الزيادة في كثافة الطاقة، بدورها، إلى زيادة في ارتفاع الموجة والتيارات.

في أحيان أخرى يؤدي الانكسار Refraction والتضحل Shoaling إلى حشد طاقة الموجة وتركيزها، لتصبح حائطا عاليا وخطيرا من المياه. تتضغط طاقة الموجة داخل حجم أصغر (الخطوط المنقطة) أثناء دخولها إلى المياه الضحلة. وتتباطأ لتلحق بها الموجة التي تليها، أو أنها تلف حول أي لسان أو أرض متقدمة.

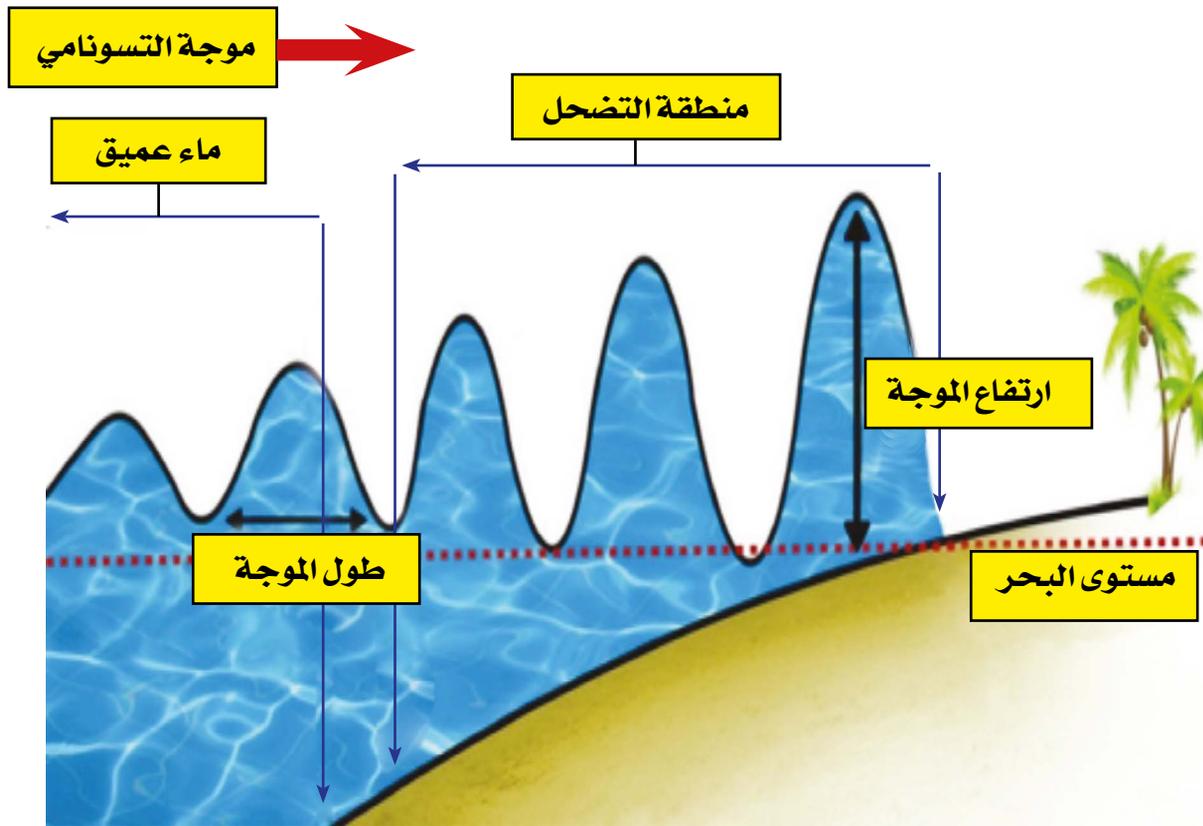
وتبدأ خطورة هذه الموجات عند دخولها منطقة المياه الضحلة عند الموانئ والخلجان الضيقة حيث تصطدم بمستوى عمق المياه في هذه المناطق مما ينتج عنه انخفاض مفاجئ في سرعتها، وتسبب عملية الانخفاض المفاجئ هذه إلى حدوث زيادة وفيرة في كمية المياه فيزداد معها ارتفاع الموجة بشكل ضخيم ومروع، وتتسبب هذه القوة الضخمة الهدامة في إحداث دمار شديد عند ارتطامها بالشاطئ، وعادة ما تتعرض المباني الكبيرة والمنازل في هذه المناطق لانهايار عند ارتطام مثل هذه الموجات بها، وكثيراً ما تحمل هذه الموجات التسونامية البواخر الكبيرة وترفعها ثم تجرفها نحو الأرض اليابسة لتستقر بعد ذلك فوق رمال الشاطئ.

يمكن أيضاً اعتبار التضحل Shoaling على أنه تحويل لطاقة الموجة بين الأشكال المختلفة. عندما تنتشر موجة تسونامي عبر المحيط، تكون طاقتها في الغالب على شكل طاقة حركية (حركة)، ولكن مع اقترابها من الساحل، فإنها تتباطأ وترتفع وهذا



يعني أن الكثير من طاقتها الحركية تتحول إلى الطاقة الكامنة، سيكون لجزيئات الماء التي تكون أعلى بكثير من مستوى الماء العادي الكثير من الطاقة الكامنة بسبب الجاذبية.

لذلك عندما يكون لديك موجة كبيرة جداً على الساحل، مثل موجة تسونامي بارتفاع 5-10 أمتار، فهناك الكثير من الطاقة المخزنة التي تكون جاهزة لإطلاقها عند صعودها فوق الأرض



ضخالة الأمواج: يزداد ارتفاع الأمواج كلما اقتربت من الشاطئ



بسبب المياه الضحلة، يمكن أن ترتفع أمواج تسونامي التي لم تكن محسوسة في المياه العميقة إلى ارتفاعات مرعبة بالقرب من الشاطئ. تشير حقيقة تسميتها «موجات الميناء» إلى أن موجات تسونامي لا يمكن إدراكها إلا عندما تقترب من الشاطئ، مما يجعل الإخلاء أكثر صعوبة. علاوة على ذلك، إذا ضرب قاع موجة تسونامي الشاطئ أولاً، فقد يكون أكثر تدميراً، حيث ستسحب المياه أكثر من المعتاد ثم تعود بموجة قوية شاهقة تتكسر إلى الداخل.





مقياس حجم وشدة التسونامي

إحدى المشاكل الرئيسية في فهرسة موجات التسونامي التاريخية قياس «الحجم» الكلي أو «القوة» لحدث ما. لمقارنة أحداث تسونامية مختلفة، نحتاج إلى بعض المقاييس لقياسها. بشكل عام، هناك نوعان من المقاييس: **مقياس الحجم ومقياس الشدة**. مقياس الحجم يتعلق بمصدر الحدث، بينما مقياس الشدة يصف التأثير الناتج في مواقع التأثير. أمثلة على **مقاييس الحجم**: مقياس ريختر للزلازل (0-9) - مقياس VEI للانفجارات البركانية (1-9) - مقياس الإعصار Saffir-Sympson (1-5)

أمثلة على **مقاييس الشدة**: مقياس ميركالي المعدل (I-XII) - مقياس الرياح بوفورت (0 - 10) يمكن أن يكون كلا المقاييسين وصفيًا، بناءً على الخصائص الوصفية لبعض "الدرجات"، أو الكمية، بناءً على قيمة بعض المعلمات المادية القابلة للقياس.

أفضل مقياس لتقدير حجم موجات تسونامي المختلفة ستكون طاقتها الإجمالية. تم اقتراح هذا المقياس من نوع الحجم الحقيقي بواسطة Murty and Loomis, 1980

تم تعريف قيمة القدر الزلزالي المحلي ML، حيث E هي طاقة تسونامي بال (ergs).

$$ML = \log_2 (E - 19)$$

تم تحديد قيم ML لحوالي 25 أكبر تسونامي في المحيط الهادئ، منذ ذلك





الوقت لم يتم إجراء أي حسابات جديدة تقريباً لـ **ML**. والسبب هو أنه ليس من السهل حساب قيمة **ML** لأنها تتطلب معرفة الإزاحة الأولية في مصدر تسونامي أو أشكال موجات تسونامي في مواقع وسمات مختلفة، وهذا ليس ممكناً دائماً للأمواج تسونامي الحقيقية.

تاريخياً، كان أول مقياس مقترح لقياس تسونامي هو مقياس Sieberg في عام 1927. لقد كان مقياساً وصفيًا من **4 درجات**، بناءً على التأثير المدمر للتسونامي، ولم يتضمن أي مقاييس كمية لارتفاع موجة تسونامي. في عام 1962 قام Ambraseys بتعديل هذا المقياس بشكل طفيف، مما جعله من 6 درجات، عن طريق تقسيم الدرجة العليا إلى ثلاث خطوات إضافية. مقياس Sieber-Ambraseys هو مثال نموذجي لمقياس الشدة، لأنه يعتمد بشكل استثنائي على تأثيرات مظاهر تسونامي على الساحل. ومع ذلك، فقد تم استخدامه منذ البداية لتوصيف الحجم الكلي لتسونامي (أي كمقياس الحجم) من خلال تخصيص الحد الأقصى من شدته الملحوظة لحدث تسونامي على الساحل. في الممارسة العملية، تم تطبيقه بشكل أساسي لتقدير أمواج تسونامي في البحر الأبيض المتوسط.



مقياس سيبرغ المعدل لشدة أمواج البحر

- 1. خفيف جداً.** موجة ضعيفة جداً بحيث يمكن إدراكها فقط في سجلات مقياس المد والجزر.
- 2. الضوء.** موجة لاحظها أولئك الذين يعيشون على طول الشاطئ وعلى دراية بالبحر. على الشواطئ المسطحة جداً لاحظت بشكل عام.
- 3. قوي إلى حد ما.** لاحظت بشكل عام. فيضانات في السواحل المنحدرة بلطف. تم نقل السفن الشراعية الخفيفة على الشاطئ. أضرار طفيفة في الهياكل الخفيفة الواقعة بالقرب من السواحل. عكس اتجاه تدفق النهر بعض المسافة في اتجاه المنبع.
- 4. قوي.** فيضان الشاطئ إلى بعض العمق. تجوب خفيف على أرض من صنع الإنسان. تضرر السدود والسدود. تضرر الهياكل الخفيفة بالقرب من السواحل. إصابة الهياكل الصلبة على الساحل. انجرفت سفن الإبحار والسفن الصغيرة إلى الداخل أو في البحر. تناثرت السواحل بالحطام العائم.
- 5. قوي جداً.** فيضان عام للشاطئ إلى بعض العمق. تضرر جدران الرصيف والهياكل الصلبة بالقرب من البحر. تدمير الهياكل الخفيفة. تجوب شديد للأراضي المزروعة وتناثر العناصر العائمة والحيوانات البحرية على الساحل. باستثناء السفن الكبيرة، يتم نقل جميع أنواع السفن الأخرى إلى الداخل أو في البحر. تجاوزت كبيرة في مصب الأنهار. تضررت أعمال المرفأ. غرق الناس. موجة مصحوبة بزئير قوي.



6. كارثية. تدمير جزئي أو كامل للهياكل التي من صنع الإنسان لبعض المسافة من الشاطئ. فيضانات السواحل إلى أعماق كبيرة. السفن الكبيرة تضررت بشدة. اقتلاع الأشجار أو تحطيمها. العديد من الضحايا.

من الناحية العملية، فإن ما يسمى بمقياس **إمامورا - إيدا** هو مقياس من ست درجات تتراوح من -1 إلى 4 بإضافة درجة إضافية واحدة (م = -1) لتوصيف موجات التسونامي الضعيفة مما يعطي الانطباع بأنه مقياس الشدة بدلاً من مقياس الحجم. كما قاما أيضاً بربط رقم الدرجة m مباشرةً مع قيمة التشغيل القصوى الملحوظة على الساحل

$$H_{\max} \text{ بواسطة الصيغة : } m = \log_2 H_{\max}$$

هذا ما يسمى بمقياس شدة Imamura-Iida كان مستخدماً على نطاق واسع في فهرسة موجات المد البحري التاريخية في المحيط الهادئ.

تم إجراء تعديل هام على هذا المقياس بواسطة Soloviev، في عام 1972 الذي اقترح حساب شدة تسونامي I وفقاً للصيغة

$$I = \frac{1}{2} + \log_2 H_{av}$$

حيث يمثل H_{av} متوسط ارتفاع الموجة على طول الساحل الأقرب (بالمتر)

تم تقديم مقياس جديد لمقدار التسونامي **MT**، بواسطة Abe في عام 1979م بناءً على السعة القصوى لموجات تسونامي التي تم تسجيلها بواسطة مقاييس المد والجزر وفقاً للصيغة

$$MT = a \lg h + b \lg R + D$$

حيث h هي أقصى سعة لموجة تسونامي (بالمتر) تقاس بمقياس المد والجزر، R هي المسافة المركزية (بالكيلومتر) و a و b و D هي ثوابت التي تم تصميمها



لجعل مقياس MT وثيق الصلة بمقياس M (العزم الزلزالي). هذا مقياس حجم حقيقي لأنه يعتمد على المقاييس الكمية (ارتفاع الموجة الآلية) ويتضمن التصحيح لمسافة الانتشار. مع ملاحظة انه يجب أن تكون R أكثر من 100 كيلومتر من المصدر.

عموماً فإن جميع مقاييس حجم تسونامي التي تستند إلى قياسات ارتفاعات موجات تسونامي على السواحل، من المقاييس البدائية، مثل تلك الموجودة في **إمامورا - إيدا وسولوفيفيف**، إلى المقاييس الأحدث والأكثر تعقيداً **لأبي وهاتوري** حساسة للغاية للتأثيرات المحلية مثل التضاريس الساحلية وقياس الأعماق بالقرب من الشاطئ والانكسار والانعراج والرنين. ومع ذلك، فإن المعايرة الأفضل للصيغ، بناءً على قدر أكبر من المد والجزر والمقاسة في ارتفاعات موجة المجال، قد تحسن بشكل كبير من قابلية تطبيق مثل هذه المقاييس لتحديد حجم التسونامي في المستقبل.





أوجه الشبه والاختلاف بين مقاييس الشدة والحجم للتسونامي والزلازل

مقياس التسونامي	نوع المقياس	ما يشابهه من مقاييس الزلازل
مقاييس الشدة		
Sieberg	مقياس الشدة البدائي من 6 درجات	مقاييس الشدة المبكرة
Ambraseys	مقياس الشدة المحسن من 6 درجات	مقاييس الشدة المحسنة
Shuto	مقياس الشدة المطور من 6 درجات	مقاييس الشدة المطورة
Papadopoulos	مقياس شدة جديد من 12 درجة	مقياس ميركالي المعدل للشدة الزلزالية من 12 درجة
مقاييس القدر (الحجم)		
Imamura –Iida	مقياس الحجم البدائي	مقياس ريختر المحلي
Soloviev	مقياس الحجم البدائي	مقياس ريختر المحلي
Abe	مقياس الحجم	مقياس الحجم المبني على الموجات السطحية
Murty –Loomis	مقياس الحجم	مقياس العزم الزلزالي





أنواع موجات تسونامي اعتماداً على المسافة من المصدر

التسونامي المحلي

التسونامي المحلي هو الذي ينشأ من حوالي **100 كيلومتر** أو أقل من **1 ساعة** من وقت السفر عن طريق تسونامي من الساحل المتأثر. غالباً ما تحدث أمواج تسونامي المحلية بسبب البراكين المغمورة أو ترسبات الرواسب البحرية أو الانهيارات الأرضية الساحلية. يمكن أن تكون هذه هي الأخطر غالباً لأنه غالباً ما يكون هناك القليل من التحذير بين الحدث الذي أطلق العاصفة ووصول تسونامي. يمكن أن تؤدي أمواج تسونامي المحلية إلى عدد كبير من الضحايا لأن السلطات ليس لديها الوقت الكافي لتحذير / إخلاء السكان.

التسونامي الإقليمي

57% من تسونامي تعتبر أحداثاً إقليمية. تتعرض اليابان وهاواي وألاسكا عادة لموجات المد الإقليمية. هاواي، على سبيل المثال، تعرضت للقصف بشكل متكرر خلال هذا القرن، كل خمس إلى عشر سنوات تقريباً. كان أحد أسوأها تسونامي 1 أبريل 1946م الذي دمر مدينة هيلو.

التسونامي الإقليمي هو القادر على التدمير في منطقة جغرافية معينة، بشكل عام ضمن **1000 كيلومتر** من مصدره. يمكن أن تصل أمواج تسونامي الإقليمية إلى السواحل المتضررة في غضون **1-3 ساعات** من حدوثها، ومع ذلك، كما هو الحال مع أمواج تسونامي المحلية، نظراً لوقت التحذير المحدود، فإنها لا تزال مدمرة للغاية ومميتة.





التسونامي بعيد المدى

يُطلق على تسونامي الناشئ من مصدر، وعمومًا أكثر من 1000 كيلومتر أو أكثر من 3 ساعات من وقت سفر تسونامي من الخط الساحلي المتأثر، تسونامي على مستوى المحيط أو بعيدًا أو تسونامي بعيد المدى. تكون موجات التسونامي هذه أقل تواترًا، ولكنها أكثر خطورة من أمواج التسونامي الإقليمية، حيث تبدأ عادةً كتسونامي محلي يتسبب في دمار واسع النطاق لشاطئ بالقرب من المصدر، وتستمر الأمواج في السفر عبر حوض المحيط بأكمله بطاقة كافية لإحداث إصابات إضافية ودمار على الشواطئ على بعد أكثر من 1000 كيلومتر من المنبع. هذه التسونامي لديها القدرة على إحداث دمار واسع النطاق، ليس فقط في المنطقة المباشرة ولكن عبر المحيط بأكمله. جميع موجات تسونامي على مستوى المحيط نتجت عن الزلازل الكبيرة.

تسونامي على مستوى المحيط الهادئ هو الأقل شيوعًا حيث إن 3.5% فقط من أمواج تسونامي كبيرة بهذا الحجم، لكنها يمكن أن تسبب دمارًا هائلًا بسبب الحجم الهائل للأمواج. في عامي 1940م و 1960م، حدث تسونامي مدمر على مستوى المحيط الهادئ. في الآونة الأخيرة، كان هناك تسونامي على مستوى المحيط الهادئ في 4 أكتوبر 1994م، مما تسبب في أضرار كبيرة في اليابان مع 11.5 قدم (3.5 م) موجات. كانت أمريكا الشمالية محظوظة في ذلك الوقت. تم تسجيل موجات 6 بوصات (15 سم) فوق الارتفاع الطبيعي في كولومبيا البريطانية





أعنف موجات التسونامي تاريخيا

1. سومطرة، إندونيسيا - 26 ديسمبر 2004م

وتشير التقديرات إلى أن الزلزال الذي بلغت قوته **9.1 درجة** قبالة سواحل سومطرة حدث على عمق **30 كم**. كان طول منطقة الصدع التي تسببت في كارثة تسونامي حوالي **1300 كيلومتر**، مما أدى إلى إزاحة قاع البحر عمودياً بعدة أمتار على طول هذا الطول. كان ارتفاع تسونامي الذي أعقب ذلك يصل إلى **50 متراً**، ووصل إلى **5 كيلومترات** في الداخل بالقرب من موبولا، سومطرة. هذا التسونامي هو أيضاً الأكثر تسجيلاً على نطاق واسع، حيث أبلغ ما يقرب من ألف مقياس مد وجزر وشهود عيان من جميع أنحاء العالم عن ارتفاع في ارتفاع الموجة، بما في ذلك أماكن في الولايات المتحدة والمملكة المتحدة والقارة القطبية الجنوبية.

2. ساحل شمال المحيط الهادئ، اليابان - 11 مارس 2011م

اجتاحت تسونامي قوية سرعتها **800 كيلومتر** في الساعة مع أمواج بارتفاع **10 أمتار** فوق الساحل الشرقي لليابان. نتج عن كارثة تسونامي زلزال بقوة **9.0 درجة** وصل إلى أعماق تصل إلى **24.4 كيلومتراً**، مما يجعله رابع أكبر زلزال يُسجّل على الإطلاق. أدى الاهتزاز العنيف إلى حدوث حالة طوارئ نووية، حيث بدأت محطة فوكوشيما دايتشي للطاقة النووية في تسريب البخار المشع.

3. لشبونة، البرتغال - 1 نوفمبر 1755م

تسبب زلزال بقوة **8.5 درجة** في سلسلة من ثلاث موجات ضخمة تضرب مدناً مختلفة على طول الساحل الغربي للبرتغال وجنوب إسبانيا، بارتفاع يصل





إلى **30 متراً**، في بعض الأماكن. أثر تسونامي على موجات بعيدة مثل **خليج كارلايل، باربادوس**، حيث قيل إن الأمواج ارتفعت بمقدار **1.5 متر**.

4. كراكاتو، إندونيسيا - 27 أغسطس 1883م

حدث تسونامي هذا مرتبط في الواقع بانفجار بركان كراكاتو كالديرا. تم نشر موجات متعددة يصل ارتفاعها إلى **37 متراً** من خلال الانفجارات العنيفة ودمرت مدن أنجر وميراك. ورد أن البحر قد انحسر عن الشاطئ في بومباي بالهند. يمكن أن يُعزى حالات الوفاة مباشرة إلى الانفجارات البركانية، بدلاً من تسونامي الذي أعقب ذلك.

5. بحر إنشونادا، اليابان - 20 سبتمبر 1498م

تسبب زلزال قُدرت قوته **8.3 درجة** على الأقل في حدوث موجات تسونامي على طول سواحل **كبي وميكاوا وسوروجو وإيزو وساغامي**. كانت الأمواج قوية بما يكفي لاختراق البصق، الذي كان يفصل سابقاً **بحيرة حمانا عن البحر**. كانت هناك **تقارير عن منازل غمرت المياه وجرفت في جميع أنحاء المنطقة**.

6. نانكايدو، اليابان - 28 أكتوبر 1707م

تسبب زلزال بلغت قوته **8.4 درجة** في إحداث موجات بحرية يصل ارتفاعها إلى **25 متراً** في سواحل المحيط الهادئ في **كيوشو وشيكوكو وهونشين**. كما لحقت أضرار **بأوساكا**. وتضرر إجمالي ما يقرب من **30 ألف مبنى** في المناطق المتضررة. أفيد أنه تم إحصاء ما يقرب من **اثنتي عشرة موجة كبيرة بين الساعة 3 مساءً و 4 مساءً**، يمتد بعضها عدة **كيلومترات** في الداخل في **كوتشي**.



7. سانريكو، اليابان - 15 يونيو 1896م

انتشر تسونامي هذا بعد وقوع زلزال بقوة **7.6 درجة** على مقياس ريختر قبالة سواحل **سانريكو** باليابان. تم الإبلاغ عن تسونامي في Shirahama بلغ ارتفاعه **38.2 متراً**، مما تسبب في أضرار لأكثر من **11000 منزل**. كما تم العثور على تقارير تشير إلى وقائع تسونامي مماثل ضرب **الساحل الشرقي للصين**.

8. شمال شيلي - 13 أغسطس 1868م

حدث تسونامي هذا بسبب سلسلة من **زلازلين** كبيرين، قُدرت قوتها **8.5 على مقياس ريختر**، قبالة سواحل **أريكا، بيرو (تشيلي الآن)**. أثرت الموجات التي تلت ذلك على حافة المحيط الهادئ بأكملها، حيث تم الإبلاغ عن ارتفاع الأمواج إلى **21 متراً**، والتي استمرت ما بين **يومين وثلاثة أيام**. تم تسجيل **كارثة** تسونامي في أريكا بواسطة **سنة مقاييس** للمد والجزر، حتى سيدني، أستراليا.

9. جزر ريوكو، اليابان - 24 أبريل 1771م

يُعتقد أن زلزالاً بقوة **7.4 درجة** قد تسبب في حدوث تسونامي دمر عدداً كبيراً من الجزر في المنطقة؛ ومع ذلك، اقتصر أخطر الأضرار على جزر إيشيكاكي ومياكو. من الشائع الاستشهاد بأن ارتفاع الموجات التي ضربت جزيرة إيشيكاكي ويُقدر ارتفاعها بدقة **حوالي 11 إلى 15 متراً**.

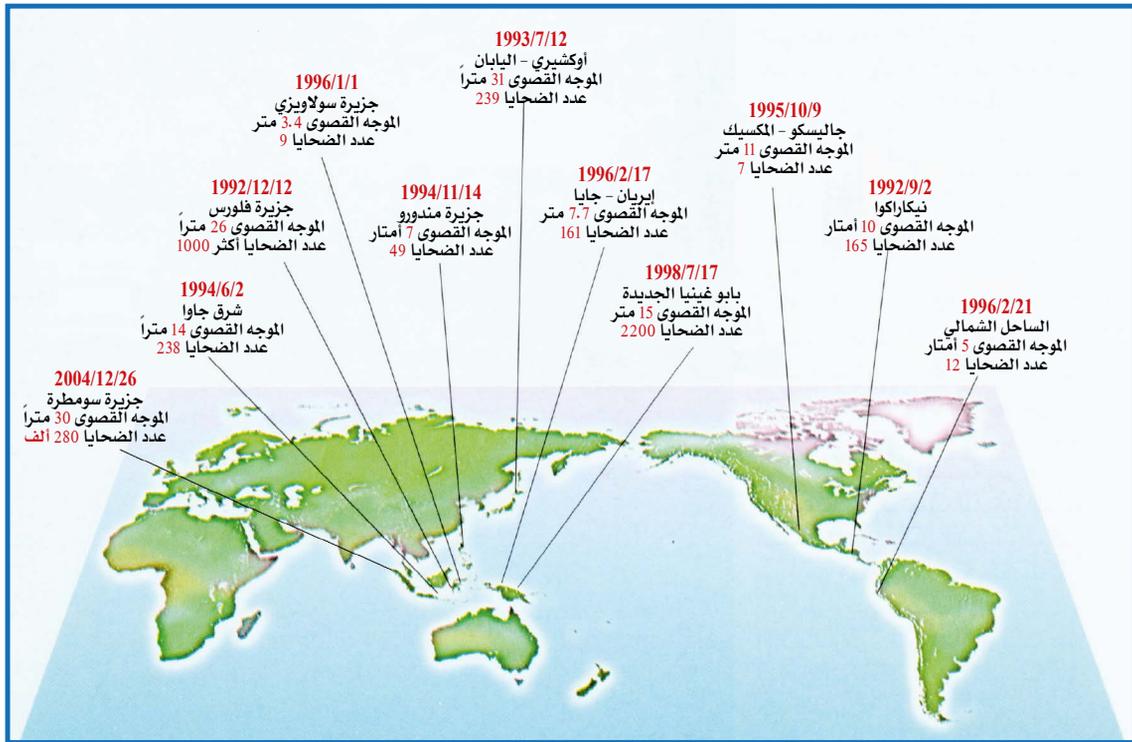
10. Ise Bay، اليابان - 18 يناير 1586م

أفضل تقدير للزلزال الذي تسبب في تسونامي **خليج إيسي** كان بقوة **8.2**. وارتفعت الأمواج إلى ارتفاع **6 أمتار** محدثة أضراراً في عدد من **البلدات**. تعرضت





بلدة نغهامه لاشتعال حريق مع وقوع الزلزال لأول مرة ودمر نصف المدينة. يُذكر أن بحيرة بيوا المجاورة انتشرت فوق المدينة، ولم تترك أي أثر باستثناء القلعة.



التسوناميات المدمرة خلال الثلاثين سنة الماضية (1990- 2020)، ويتضح أن تسونامي سومطرة- الذي وقع في ديسمبر 2004 م كان الأعنف والأكثر دماراً

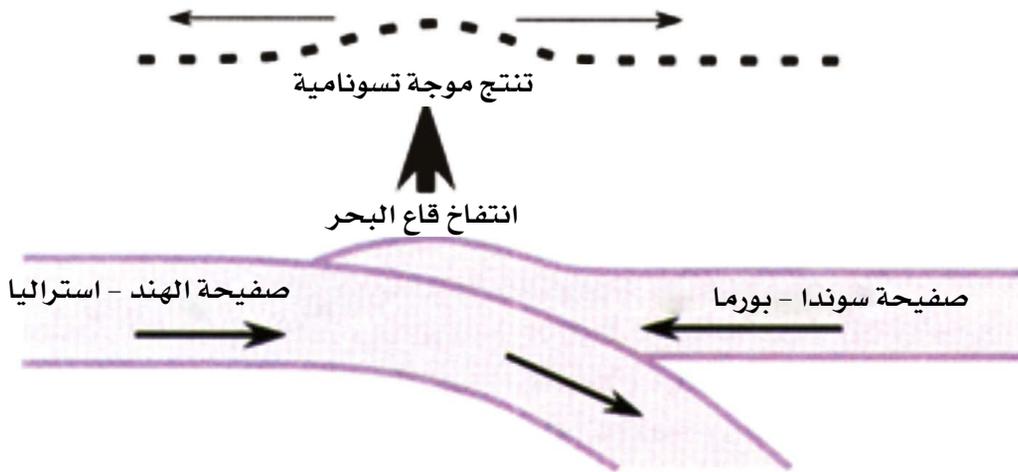
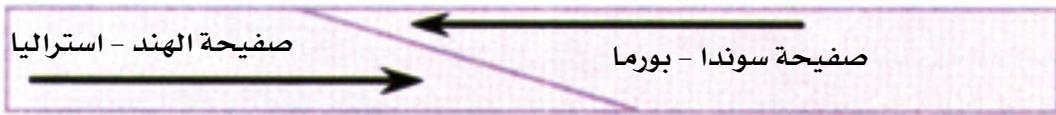


حالة تاريخية : تسونامي سومطره

لم يشهد العالم منذ العام 1964م زلزلاً يضاهي قوة الزلزال العنيف الذي ضرب دول جنوبي شرقي آسيا وهي **إندونيسيا وسريلانكا والهند وتايلاند وماليزيا وجزر المالديف** وأودى بحياة **280000 شخص** ويعتبر **خامس أقوى زلزال** منذ العام 1900م. لقد تعرضت غرب **جزيرة سومطرة** بتاريخ 2004/12/26م إلى زلزال مدمر نجم عن **موجات بحرية عاتية** تجاوز قدره **9 درجات**. دلت الدراسات أن فترة هذه **الهزة** استمرت **10 دقائق** على الأقل وتعتبر الأطول في التاريخ الحديث.

وقع مركز الزلزال السطحي عند $3.316^{\circ}\text{N}, 95.854^{\circ}\text{E}$ إلى الغرب من القسم الشمالي من جزيرة **سومطرة الاندونيسية** وعلى بعد **250 كيلومترا** من الساحل الجنوبي الشرقي ل**باندا اتشيه** و **320 كيلومترا** إلى الغرب من مدينة ميدان عند نهاية الحافة الغربية «**لحقة النار**» (Fire Belt) التي يتركز فيها **81 بالمائة** من الزلازل الكبرى في العالم. حيث يمتد هناك خط الانقطاع الصخري الفاصل بين الصفيحتين الكبيرتين الغربية وهي **الهندية-الأسترالية** المحيطية و**الصفحة الشرقية القارية اليوراسية-البورمية** وهذه الصفائح في حركة دائمة بشكل بطيء. ونتيجة لحركة هاتين الصفيحتين بشكل **مجار / مواز / لبعض**، فقد حدث نوع من التصادم والتضاغط الشديد بينهما نجم عن ذلك تصدعات مختلفة حيث **انزلقت الصفحة الهندية المحيطية** الأكثر كثافة تحت **الصفحة اليوراسية-البورمية** بسرعة **6 سم** في السنة تقريبا لتولد زلزالا على عمق **10 كم** تحت سطح **المحيط الهندي** وامتدت الحركة على فائق طوله **400 كم** في اتجاه الشمال الغربي بإزاحة بلغت **20 مترا** على امتداد الفالق.



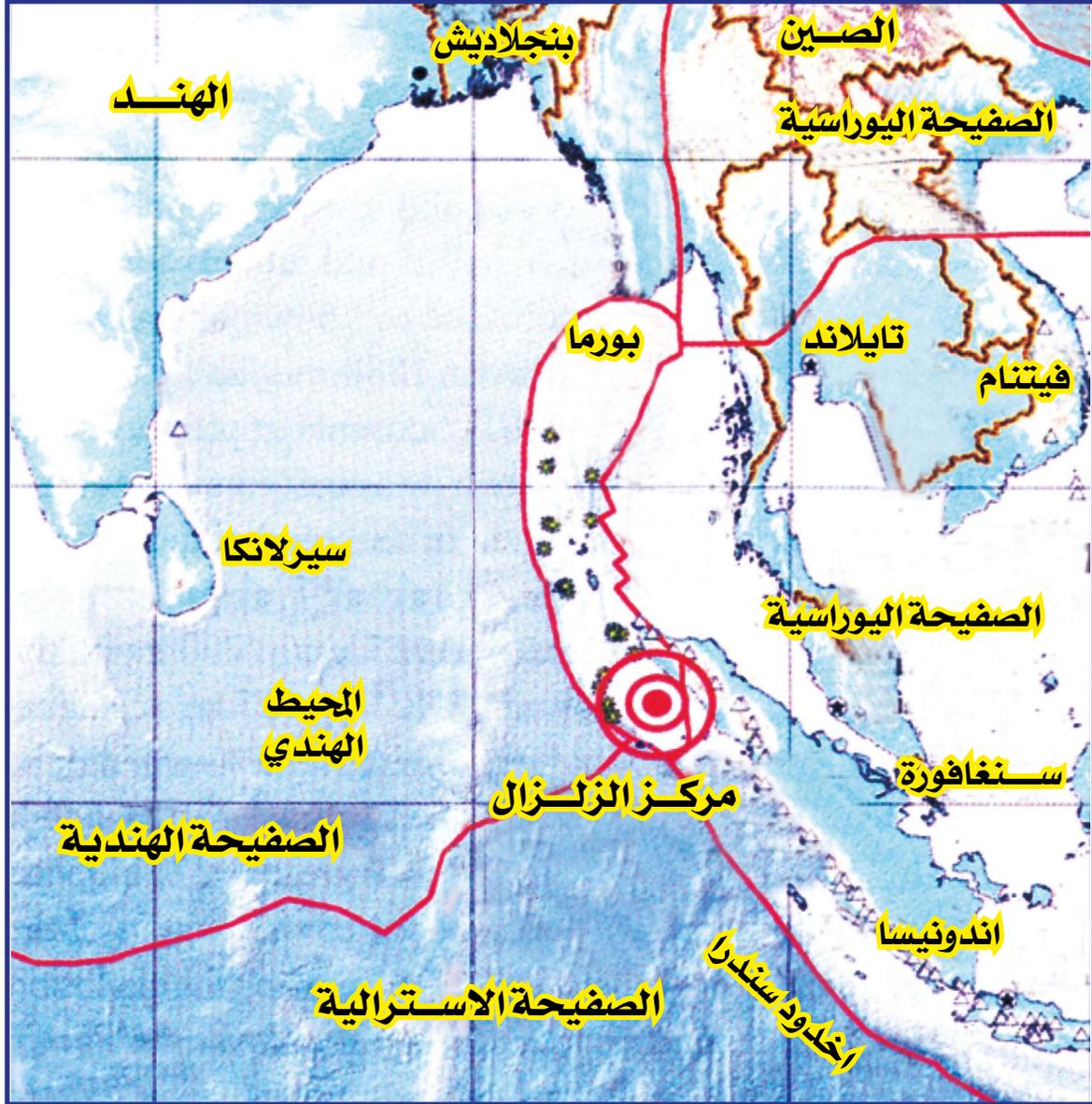


انزلاق الصفيحة الهندية المحيطية الأكثر كثافة تحت الصفيحة اليوراسية - البورمية شمال غرب سومطرة بسرعة 6 سم في السنة تقريبا مما أدى إلى حدوث التسونامي



عندما اصطدمت الموجه بالشاطئ تحولت طاقتها الحركية إلى موجة عالية بلغ ارتفاعها أكثر من 10 أمتار. بلغت الطاقة الكلية التي أصدرها زلزال المحيط الهندي حوالي 2×10^{18} جول وهذه تعادل تقريبا طاقة قنبلة بقوة مائة جيجا طن (Gigaton) $(1 \text{ gigaton} = 10^6 \text{ ton of TNT})$. وقد أدى زحزحة الكتلة الصخرية والطاقة الهائلة التي أطلقها الزلزال إلى إحداث تغير طفيف في دوران الأرض. وتشير النماذج النظرية إلى أن يوم الأرض سيقصر بمقدار 2.68 أجزاء من المليون من الثانية ($2.68 \mu\text{s}$) (أو حوالي واحد Billionth من طول اليوم) وذلك نتيجة لنقصان في تفلطح (Oblateness) الأرض. كما قد يؤدي الزلزال أيضا إلى "تحلل" (Wobble) في حدود 2.5 سنتيمتر، أو ربّما بحدود 5 أو 6 سنتيمترا. وبصورة مذهلة، تحركت بعض الجزر الصغيرة المتواجدة بسومطرة في بعض المناطق الجنوبية الغربية في حدود 20م، بل إنّ النهاية الشمالية لسومطرة التي تقع على صفيحة بورما، قد تنتقل أيضا لمسافة 36م باتجاه الجنوب الغربي.





حركة تسونامي سومطرة والتي تبين منطقة تصادم الصفيحة الهندية المحيطية من الغرب مع الصفيحة القارية /اليوراسية-البورمية من الشرق بمعدل 6 سم في السنة تقريبا. ويظهر في الشكل البؤرة السطحية لزلزال سومطرة الذي حدث في ديسمبر 2004م



لم تتضرر بنجلادش كثيرا بزلزال المحيط الهندي بالرغم من أنها تقع على الطرف الشمالي لخليج البنجال، علاوة على كونها أرض منخفضة، ويرجع السبب إلى أن اتجاه خط الفالق (الصدع) يمتد اتجاه شمال-جنوب، الأمر الذي جعل القوة العظمى للموجات التسونامية تسافر عمودياً على اتجاه خط الفالق، أي باتجاه شرق-غرب. دلت الدراسات الزلزالية التاريخية والحديثة على امتداد فالق سومطرة أن مثل هذا النوع من الزلازل ويقدر 9 قد يتكرر كل 230 سنة تقريبا والله أعلم .



الزلازل التسونامية التاريخية والحديثة المدمرة التي وقعت في اندونيسيا وبلغ مقدارها أكبر من 7 ويظهر تغير معدل تصادم الصفائح على امتداد صدع سومطرة.

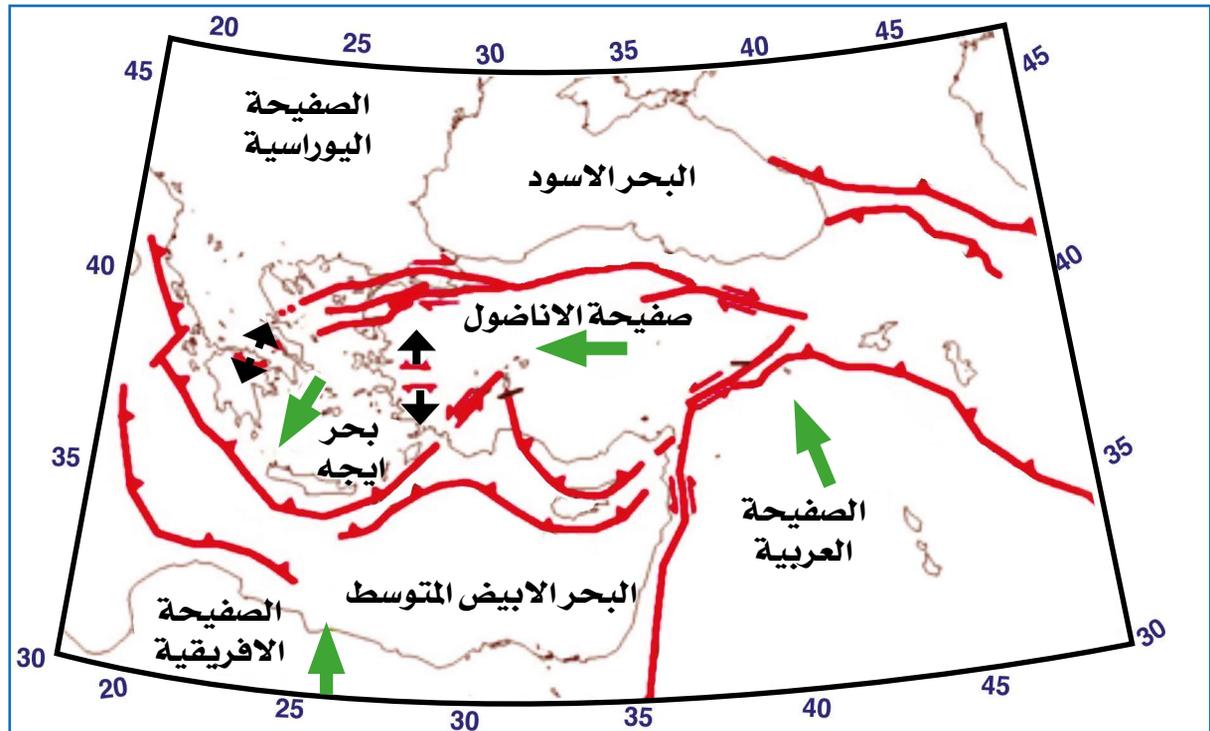




مدى تأثير ظاهرة التسونامي على الوطن العربي

تتأثر منطقة شبه الجزيرة العربية حركيا بالانفتاح في منطقة البحر الأحمر ثم منطقة التصادم غرب إيران ممتدة حتى صدع الأناضول الذي يأخذ الاتجاه من الشرق إلى الغرب في جنوب تركيا، هذا الصدع تحدث عليه حركة أفقية. أما منطقة البحر الأبيض المتوسط نجد أن الصفيحة التركية مع الصفيحة اليوراسية والصفيحة الأفريقية تتحركان حركة جانبية بالنسبة لكل منهما الآخر ولا يوجد تصادم في هذه المنطقة أما إلى الجنوب قليلا في منطقة البحر الأبيض المتوسط يحدث تصادم وإن كان التصادم مازال في مرحلة المهد لا يقارن بالتصادم في منطقة المحيط الهادي مع المحيط الهندي حيث تصدم الصفيحة الأفريقية مع الصفيحة اليوراسية تحت القوس اليوناني والقوس القبرصي. معدل اندساس الصفيحة الأفريقية في هذا المكان حوالي 2 سم لكل عام هو نفس معدل الانفتاح في البحر الأحمر بينما يصل المعدل إلى 3 سم في منطقة تصادم الصفيحة العربية مع اليوراسية.

يتميز الخليج العربي بأنه بحر ضحل وشبه مغلق حيث يبلغ طوله 1000 كم وعرضه من 200-300 كم ومساحته 250000 كم² ويصل أقصى عمق 100 م. أما البحر الأحمر فيبلغ طوله 2000 كم ومساحته 440000 كم مربع وعرضه 350 كم ويصل أقصى عمق له حوالي 2850 مترا ومتوسط العمق 500 متر.



خارطة حركية تبين الصدوع النشطة في الوطن العربي وعلاقتها بالصفائح التكتونية العربية واليوراسية والأفريقية.



يتضح إن الظروف الحركية والبيئية التي تتشكل فيها التسونامي عموماً لا تتوفر في المنطقة العربية حيث أن ذلك يتطلب أولاً أن تكون منطقة بحار أو محيطات مفتوحة **بآلاف الكيلومترات** بالإضافة إلى أن مناطق التسونامي النشطة تتولد من حركة الدفع الفجائية التي يحدثها الزلزال تحت قاع المحيط نتيجة حركة تصدعية عنيفة من جراء تصادم صفيحتين. وفي بعض الحالات قد تنجم التسونامي عن ثوران بركاني أو سقوط نيزك أو حدوث انزلاق أرضي تحت الماء. علاوة على أن موجات التسونامي تتميز بمدى طويل جداً لها القدرة على نقل الطاقة المدمرة من مصدرها في المحيط إلى مسافة تبلغ آلاف الكيلومترات.

إن ظروف تشكيل التسونامي لا تتوفر في **البحر الأحمر وخليج العقبة والخليج العربي** نظراً لمحدودية اتساعهم وضحالة أعماقهم علاوة على أن الفوالق في **البحر الأحمر وخليج العقبة** من النوع الرأسي و المضربي ليس لديها القدرة الكافية على توليد موجات تسونامية مدمرة كما هو الحال في **المحيط الهادي**. ولم يسبق تاريخياً أنه سجل أي موجات تسونامية منذ **525 ق.م** في شبه الجزيرة العربية.

أما الوضع في منطقة البحر الأبيض المتوسط فيعتبر أكثر قابلية وعرضة للزلازل التسونامية ويرجع ذلك إلى عرضه الكبير نسبياً، وكذلك إلى نوعية الصدوع في **منطقة قبرص** وما تحتها، المؤهلة لكي يتولد منها موجات تسونامية. حيث نجد أن محرك النشاط الزلزالي هي منطقة اندساس **الصفيحة الأفريقية** تحت **الصفيحة اليوراسية** الواقعة تحت **منطقة الأطلس** في **شمال أفريقيا** من **المغرب حتى تونس** وتمتد أيضاً في **البحر** حتى شمال صقلية. **الجدول 1** يوضح



تسجيل تسع تسوناميات في منطقة البحر الأبيض المتوسط منذ 525 ق.م وخلو شبه الجزيرة العربية من هذا النوع من الزلازل.

وحيث أن هناك العديد من المشاريع البحرية والجزر الاصطناعية على امتداد شواطئ الخليج العربي والبحر الأحمر فإنه من الضرورة إنشاء كاسرات أو مصدات الأمواج التي تعمل على تشتيت الطاقة الموجية وانكسارها قبل وصولها إلى الشواطئ بمسافة 15 - 20 مترا. وينصح بأن يتم التصميم الهندسي للمنشآت الحيوية والعمرانية على امتداد شواطئ المنطقة العربية على اعتبار وقوعها في منطقة النشاط الزلزالي العالي Zone 2A وإعطائها معامل أمان زلزالي مرتفع نسبيا بحيث يكون لديها القدرة على تحمل زلازل ذات قدر زلزالي 6 درجات.

وعموما فإنه يمكن تخفيف مخاطر الزلازل وتصميم المباني والمنشآت المقاومة لها أما كوارث التسونامي فالوضع أصعب نسبيا في البحر الأبيض المتوسط والبحر الأحمر لأن زمن انتقال الموجة من المصدر إلى الشواطئ لا يكفي لبناء منظومة إنذار مبكر كما في المحيطين الهادي والهندي.





جدول يبين الزلازل التسونامية المؤثرة التي حدثت في الوطن العربي

الوصف	السنة
زلزال وأمواج بحرية ومد زلزالي أدى إلى تدمير مدينة صور.	525 ق.م
تعرضت صور إلى أمواج عاتية ومد زلزالي.	140 ق.م
أمواج زلزالية أدى إلى دمار واسع على طول ساحل شرق البحر المتوسط	206 م
زلازل وأمواج بحرية دمرت بيروت تدميراً كاملاً وانحسرت مسافة ثلاثة كيلومترات وربما كان الأقوى في تاريخ المنطقة.	551 م
زلزال بقوة 7.3 أدى إلى أمواج عاتية وصلت إلى غور الأردن.	746 م
أمواج بحرية عاتية دمرت مدينة عكا.	881 م
موجة من الزلازل والأمواج البحرية عصفت بقبرص وفلسطين وسوريا.	1201 م
أمواج بحرية عملاقة أحدثت دماراً على طول الساحل اللبناني.	1404 م
أمواج بحرية ضربت شواطئ فلسطين.	1752 م





كيفية التصرف في حال حدوث تسونامي

هناك العديد من الإجراءات والتدابير التي يُمكن اتباعها للنجاة من خطر كارثة التسونامي، ومن هذه الإجراءات الآتي:

- الانتقال إلى الأماكن العالية بدلاً من التواجد في المناطق الساحلية المنخفضة، ويجب اتباع هذا الإجراء أيضاً عند حدوث أي زلزال قوي في تلك المناطق، فعلى الرغم من أن الزلازل لا تتسبب جميعها بحدوث تسونامي إلا أن الكثير منها إذا وقع في مناطق داخل المحيط أو بالقرب منه فقد ينتج عنها حدوث التسونامي.
- الحرص على البقاء بعيداً عن مناطق الخطر، وذلك لحين إصدار قرار من الجهات المختصة بزوال خطر التسونامي الذي قد يحدث على عدة موجات متتالية.
- الحذر عند رؤية بعض العلامات التي قد تُشير إلى حدوث التسونامي كانهخفاض منسوب المياه أو ارتفاعه بشكل ملحوظ.
- عدم الانخداع بمظهر التسونامي الذي قد يبدو صغيراً للوهلة الأولى، فهذه الأمواج قد تصل إلى مدى عدة كيلومترات داخل حدود الشواطئ.
- تجنّب التوجه إلى الشواطئ أثناء حدوث التسونامي؛ حيث إن أمواج التسونامي تستطيع العبور بشكل أكبر مما يُمكن للإنسان الهرب منها.
- التعاون مع السلطات المختصة التي ستعمل على إدارة الكارثة.
- الخروج من المباني الموجودة ضمن المناطق الساحلية المنخفضة؛ حيث إن الوجود في مثل هذه المباني يُشكل خطراً على حياة الإنسان، ويُمكن الاختباء في أحد الطوابق العلوية للمباني القوية المشيدة من الإسمنت في حال عدم القدرة على الخروج والذهاب إلى أماكن مرتفعة.





- يُنصح بالتوجه إلى المياه العميقة التي يزيد عمقها عن 180 متر تقريباً، في حال وجود المرء بسفينة أو قارب أثناء حدوث التسونامي فإنه وفي حال كانت عوامل الطقس لا تسمح بذلك فإنه يُنصح بترك القارب أو السفينة والتوجه إلى المناطق العالية.
- عدم إعادة المراكب أو السفن إلى الشواطئ قبل التأكد من أنه يمكن فعل ذلك بأمان، حيث يُمكن أن ينتج عن التسونامي العديد من الموجات والتيارات المفاجئة لفترة من الزمن.
- متابعة وسائل الإعلام وأخبار الطقس بشكل دائم لمعرفة أية أخبار قد يتم نشرها عن حدوث التسونامي.
- الابتعاد عن وسائل النقل: عليك الابتعاد عن السيارات أو أي وسيلة نقل أخرى كالموتور الهوائي، فهي لن تفيدك بشيء بل ستعرقلك وتستنفذ وقتك، ففي هذه الحالة يكون عدد وسائل النقل كبير جداً ومن الممكن أن يُصادفك ازدحام.
- تجنب استخدام المصعد: لا تستخدم المصعد فالكثير من الأشخاص يعتقدون أن المصعد سريع جداً وسينقل بهم إلى أعلى نقطة، ولكن من المحتمل أن تصل المياه إلى داخل المصعد لذلك يُفضّل استخدام الدرج.
- التحضير المسبق: إذا كنت موجوداً في أحد الأماكن المهددة بالتسونامي، فاعمل جاهداً لإعداد حقيبة ووضع داخلها جميع الأساسيات التي تحتاجها، كالأدوية والإسعافات الأولية وبعض الأمور الشخصية التي لا يُمكنك الاستغناء عنها.



هل يمكن التنبؤ بحدوث التسونامي؟

يبذل العلماء قصارى جهودهم للوصول إلى طرق جديدة للتنبؤ بحدوث التسونامي وتحديد سلوكياته، وبالرغم من التطور التكنولوجي الذي بلغه العالم حالياً؛ إلا أن معظم البيانات المتوفرة تأتي بعد وقوع الضرر وليس قبله، إذ لجأ الجيولوجيون إلى الوقوف على العديد من العوامل المؤثرة منها الغمر والارتفاع؛ ويقصد بالغمر المسافة الأفقية القصوى التي ينطلق منها الموج من أعماق المحيط، بينما يستدل بالارتفاع على المسافة الرأسية القصوى التي بلغت الأمواج فوق مستوى سطح البحر.

وقد لجأ العلماء إلى خطوات عظيمة في التنبؤ بحدوث التسونامي من خلال المراقبة المستمرة للأحداث الزلزالية ومدى التغيرات التي تطرأ على مستويات الأمواج، ومن الجدير بالذكر أن مركز التحذير من الزلازل (PTWC) يتركز في شواطئ إيووا في هاواي المطلّة على المحيط الهادئ؛ لذلك يكون قادراً على معرفة الزلازل قبل وقوعها ورصدها، ويقدم الخدمة لكافة السواحل الغربية ومركز ألاسكا ومنطقة جزر ألوتيان وكولومبيا البريطانية وولاية واشنطن وكاليفورنيا وأوريغون.

لُجئَ لاستخدام العوامات البحرية المفتوحة ومقاييس المد الساحلي للكشف عن أمواج تسونامي، وإنّ هذه الوسائل تؤدي دوراً هاماً في الإبلاغ عن معلومات هامة تنقلها إلى المحطات الموجودة في المناطق، وتكمن أهميتها في مراقبة ورصد مقدار التغيرات الدقيقة التي تطرأ على مستوى المد فوق سطح البحر، وترصد





الزلازل ونشاطها بواسطة محطات قياس الزلازل، وفي حال اكتشاف مركز الزلزال فإن التسونامي سيحدث حتمًا في حال كانت قوة الزلزال 7.5 أو أعلى من ذلك.

تلجأ الجهات المختصة للتحذير من التسونامي والإبلاغ عنه وإخلاء المناطق المتوقع تأثرها، ولم تغب وكالة ناسا عن المشاركة في التنبؤ بحدوث التسونامي قبل وقوعها، إذ حققت نجاحًا في إطلاق نظام تنبؤ نموذجي بالتسونامي داخل مختبرات الدفع النفاث سنة 2010م، وقد تمكن النظام المبتكر من التنبؤ بحدوث تسونامي بعد زلزال تشيلي المندلع في 27 شباط سنة 2010م.





تخفيف مخاطر التسونامي

لا يستطيع العلم التنبؤ بموعد حدوث تسونامي، ولكن استناداً إلى البيانات التاريخية والنمذجة الإحصائية، يمكن أن يساعد في تحديد المناطق المعرضة لهذه الظواهر المخيفة. بمجرد اكتشافها، يمكن أن يساعد العلم في تحديد وقت التأثير وشدته ومنطقة تأثير موجات تسونامي، والتي يمكن أن تساعد في تعبئة عمليات الإخلاء. نظراً لكونه أحد أكثر المظاهر فتكاً لقوى الطبيعة، فلا يوجد الكثير مما يمكن فعله ضد كارثة تسونامي. أفضل رهان لك هو ببساطة أن تكون على دراية بهذه الأحداث وتبتعد عن الطريق عندما تضرب الأمواج القاتلة. أفضل فرصة للنجاة من كارثة تسونامي هي الانتقال إلى أرض مرتفعة في أسرع وقت ممكن. يعد تجنب المناطق المنخفضة أمراً أساسياً؛ في الأساس، يعد وضع أكبر مسافة ممكنة بينك وبين الموجة فكرة جيدة. إنها خرافة أن أول موجة تسونامي هي الأعلى، لذلك لا تتوقف عن التسلق بعد أن تضرب الموجة الأولى.

في الدول النامية، تكون المعاناة من أثر الكوارث الطبيعية أشد وطأة، حيث أن أكثر من 95% من إجمالي الخسائر في الأرواح الناجمة عن الكوارث تكون في الدول النامية، ويمكن أن يصل حجم الخسائر المادية التي تتكبدها هذه الدول إلى 20 مرة ضعف ما تتكبده الدول الصناعية (كنسبة من إجمالي الناتج المحلي). وعلى مدى القرن الماضي ضرب اليابان 150 تسونامياً أحدث 15% خسائر مادية وبشرية بينما أحدث أكثر من نصف عدد التسوناميات الـ 34 التي ضربت إندونيسيا خلال القرن الماضي خسائر كبيرة في الممتلكات والأرواح.





من المعروف أن أكثر من ربع مجموع التسوناميات التي وقعت في منطقة المحيط الهادي منذ عام 1895م نشأت بالقرب من اليابان نظراً لقربها من التقاء أربع صفائح حركية نشطة. ومن أجل هذا كرس اليابانيون أموالاً طائلة في محاولة للتنبؤ بالتسونامي والتقليل من آثارها.

عموماً يشتمل برنامج تخفيف مخاطر التسونامي على أربعة مراحل:

- إعداد البرامج التعليمية والثقافية.
- إنشاء نظام فعال للإنذار المبكر.
- زراعة غابات اعتراضية شاطئية.
- إشادة مصدات بحرية.

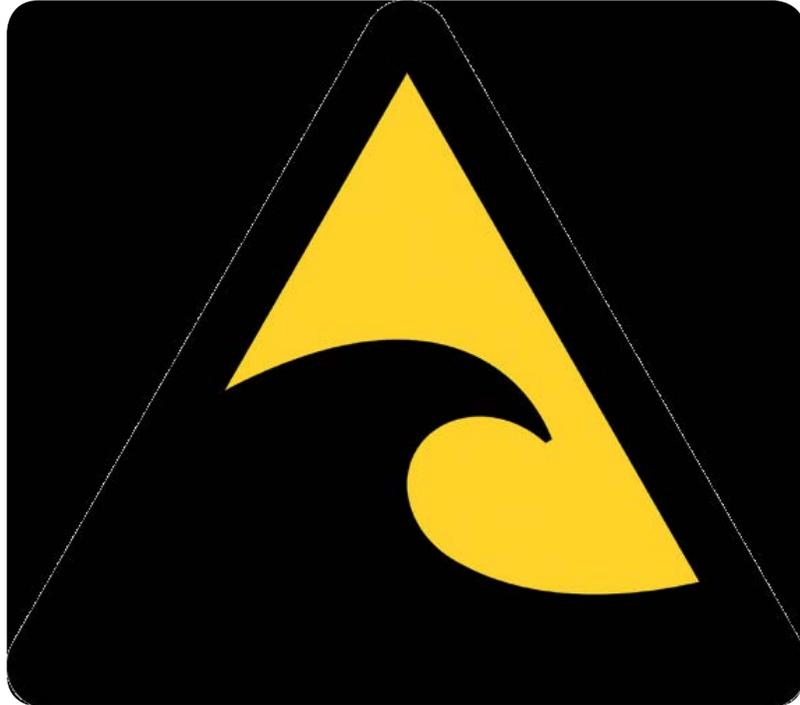




البرامج التعليمية والثقافية

«لقد بدأت الوكالات المانحة والحكومات تدرك أن التأهب للكوارث والتكيف مع التغيرات المناخية لا بد وأن يكون لهما الأولوية القصوى في مساعدات التنمية، ولا سيما في المناطق القريبة من مستوى سطح البحر والأكثر عرضة لهذه الكوارث مثل جزر المحيط الهادي».

تؤدي توعية المجتمعات المحلية دوراً حاسماً لتفادي كوارث التسوناميات في المستقبل. وحالياً تنتشر لافتات موحدة في جميع الولايات المطلة على المحيط الهادي لتحذير سكان السواحل في المناطق المعرضة لمخاطرها.



منطقة معرضة لمخاطر أمواج التسونامي التي اعتمدها المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO)





علامتان تشيران إلى مبنى يُجلى منه وإلى مكان آمن يُجلى إليه بسبب أمواج التسونامي، في اليابان



علامة تشير إلى منطقة معرضة لمخاطر أمواج التسونامي

والحقيقة أن تثقيف المقيمين في المناطق الساحلية المنخفضة بشأن علامات التحذير التي قد تشير إلى اقتراب حدوث موجة تسونامي (مثل الاهتزازات والانحسار المفاجئ للمحيط)، وإنشاء نظام إنذار يتضمن نشرات طوارئ وتحذيرات تبث على الهواتف، وصفارات إنذار، وتحسين أنظمة الاستجابة للطوارئ، كل ذلك كان من شأنه أن ينقذ العديد ممن قتلوا بسبب موجة التسونامي التي ضربت سواحل المحيط الهندي.



إنشاء نظام فعال للإنذار المبكر

الأقمار الصناعية

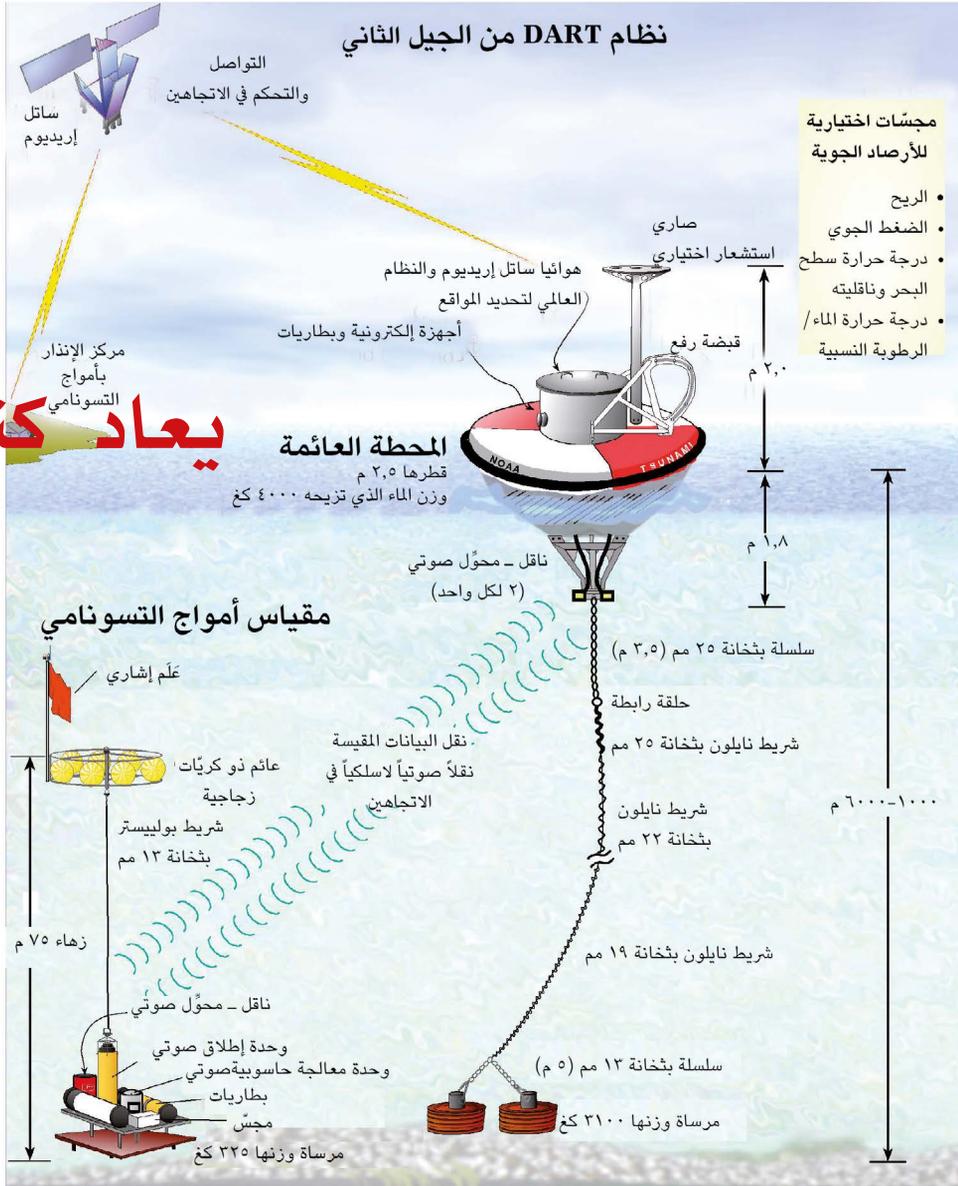
مقاييس الارتفاع للأقمار الصناعية تقيس ارتفاع سطح المحيط مباشرة عن طريق استخدام النبضات الكهرومغناطيسية. يتم إرسالها إلى سطح المحيط من القمر الصناعي ويمكن تحديد ارتفاع سطح المحيط من خلال معرفة سرعة النبضة وموقع القمر الصناعي وقياس الوقت الذي تستغرقه النبضة للعودة إلى القمر الصناعي. تتمثل إحدى مشكلات هذا النوع من بيانات الأقمار الصناعية في أنها يمكن أن تكون متفرقة للغاية - فبعض الأقمار الصناعية تمر فقط فوق موقع معين مرة واحدة في الشهر، لذلك ستكون محظوظًا لاكتشاف تسونامي نظرًا لأنها تنتقل بسرعة كبيرة. ومع ذلك، أثناء تسونامي المحيط الهندي في 26 ديسمبر 2004، تصادف أن مقياس الارتفاع عبر القمر الصناعي جايسون كان في المكان المناسب في الوقت المناسب.

نظام DART

في عام 1995، بدأت الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA) في تطوير نظام تقييم أعماق المحيطات والإبلاغ عن موجات التسونامي (DART). يتم نشر مجموعة من المحطات حاليًا في المحيط الهادئ. تقدم هذه المحطات معلومات مفصلة عن موجات تسونامي بينما لا تزال بعيدة عن الشاطئ. تتكون كل محطة من مسجل ضغط قاع البحر الذي يكتشف مرور تسونامي. (ضغط عمود الماء مرتبط بارتفاع سطح البحر). ثم يتم نقل البيانات إلى عوامة سطحية عبر السونار. ثم ترسل العوامة السطحية المعلومات إلى مركز تحذير تسونامي في المحيط الهادئ (PTWC) عبر القمر الصناعي. يدوم مسجل الضغط السفلي لمدة عامين بينما يتم استبدال العوامة السطحية كل عام. لقد أدى النظام إلى تحسين التنبؤ والإنذار بأمواج تسونامي في المحيط الهادئ.

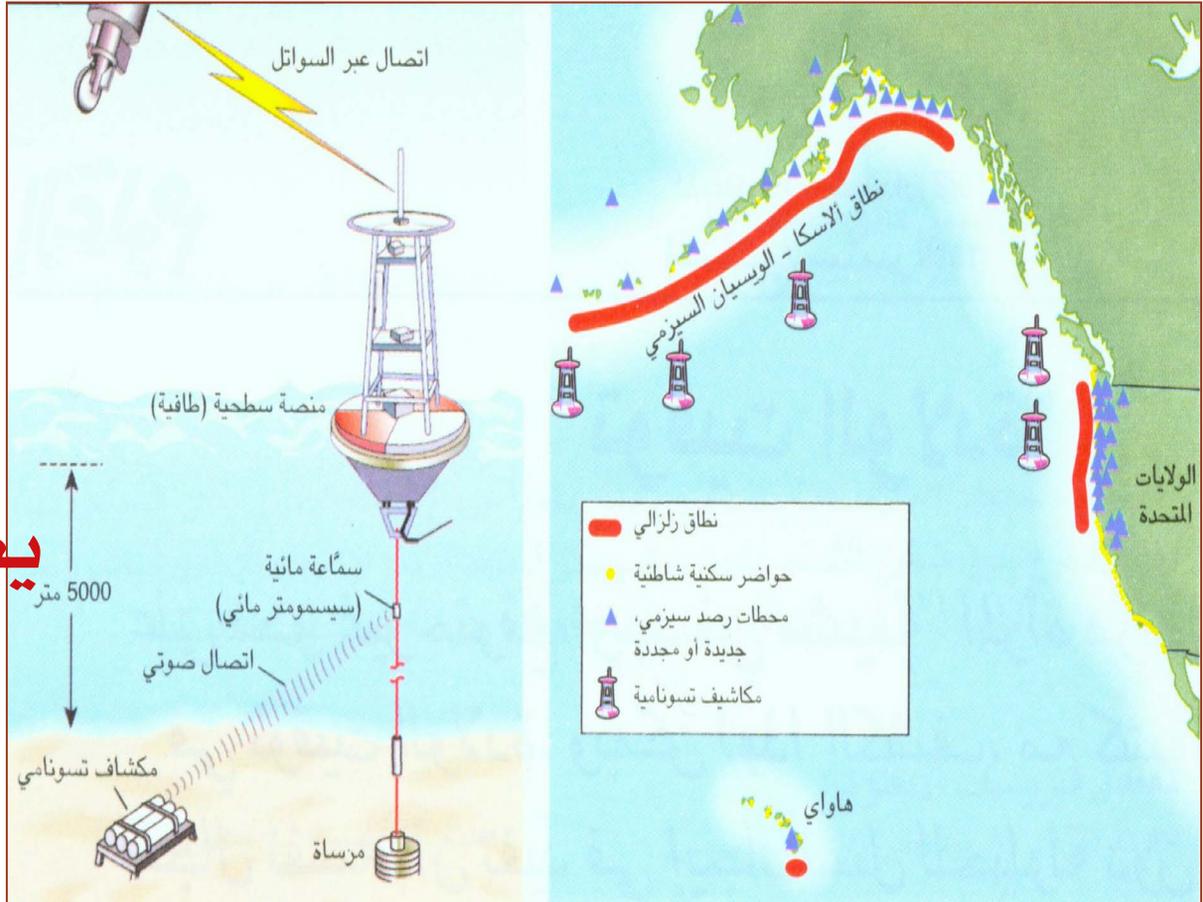


يعاد كتابها



جهاز لقياس الضغط موضوع على قاع البحر يمكن أن يكشف أمواج تسونامي هي من الصغر بحيث تقاس بالسنتيمترات، ومن محطة عائمة راسية من أجل الاتصال الأنّي. ويستعان في هذا النظام برابط صوتي لنقل البيانات من قاع البحر إلى المحطة العائمة على سطح البحر. ثم ترحلّ البيانات المعنية إلى المحطات الأرضية، حيث تُستخلص الإشارات من أجل توزيعها الفوري على مراكز الإنذار بأموج التسونامي





أجهزة للكشف عن التسونامي في المياه العميقة في المحطات الزلزالية الواقعة على امتداد نطاق الاسكا النشط زلزاليا (المثلثات الزرقاء). تعتمد هذه الأجهزة على مجسات عالية الدقة توضع في قاع البحر (OBS) وعندما يستشعر أحد هذه المجسات موجة تسونامية فوقه، يبعث إشارات صوتية إلى منصة طافية على سطح الماء لتقوم بدورها بنقل التحذير عبر الأقمار الصناعية VSAT .



زراعة الغابات الشاطئية

في الوقت الذي يتعذر فيه إيقاف أمواج التسونامي والأعاصير، ثمة فرصة كبيرة لتخفيف وطأتها تتمثل في التأهب لمثل هذه الكوارث من خلال مشاركة المجتمعات المحلية على نحو صحيح ووضع أنظمة بناء وتصميم منشآت ساحلية أفضل وتحسين طرق إدارة الشعب المرجانية وأشجار المنغروف. تساعد أشجار المنغروف في كسر قوة الأمواج المدمرة للنباتات الصغيرة، كما انها تحمي سكان السواحل من أي فيضان ناتج عن موجة أو ارتفاع المد. كما أنها يساعد في الحماية من موجات التسونامي أو الأعاصير ذات الموجات القوية.

تابعها





تمتص أشجار المانغروف طاقة موجة التسونامي



مصدّ الأمواج

بنية على الشاطئ أو في البحر، يمكن أن تكون جداراً أو قاطع ماء أو شيئاً آخر ضمن المياه يشكّل الأمواج، يُستخدم لحماية مرفأ أو شاطئ من قوة الأمواج.



جدار بحري ذو درج يُستخدم طريقاً للإجلاء، يحمي مدينة ساحلية من الغمر الناجم عن أمواج التسونامي في اليابان





قنطرة مائية تُستخدم للحماية من أمواج التسونامي في اليابان تنغلق تلقائياً في غضون ثوان بعد أن تكون الهزة الأرضية قد حركت مجسات الزلازل في القنطرة





النمذجة العددية والمحاكاة لأموج التسونامي

النمذجة هي وصف رياضي لدورة دورة حياة تسونامي بما في ذلك التوليد والانتشار والارتفاع. المحاكاة العددية هي أداة قوية لفهم تأثيرات الأحداث الماضية والمستقبلية. من الأهمية بمكان استخدام نتائج محاكاة تسونامي مثل أنماط انتشار موجات تسونامي، والسلاسل الزمنية، والساعات، والامتداد على طول السواحل للتخفيف من مخاطر تسونامي للأحداث المستقبلية المحتملة. تنتشر موجات تسونامي بسرعة تصل إلى **700 إلى 950 كم / ساعة** في المحيط دون أن تفقد الكثير من الطاقة. عندما يصلون إلى المياه الضحلة، يزداد اتساعهم في عملية تآكل الأمواج. غالباً ما تُستخدم معادلات المياه الضحلة غير الخطية لنمذجة انتشار موجات تسونامي وتصاعدها. يتم حساب الشرط الأولي لنموذج انتشار تسونامي باستخدام **خوارزمية أوكادا**. يستخدم نموذج كومكوت الهيدروديناميكي لمحاكاة تسونامي العددية. إن **الكومكوت** قادرة على حل معادلات المياه الضحلة غير الخطية في كل من الإحداثيات الكروية والديكارتي باستخدام مخططات الفروق المحدودة المتعرجة الصريحة وتكوين شبكة متداخلة.

يمكن **نمذجة** انتشار موجات المحيط، مثل تسونامي الناتجة عن الزلازل الأرضية، بواسطة معادلات السوائل ثنائية الأبعاد (**ما يسمى بمعادلات المياه الضحلة**). لحل هذه النماذج عددياً، نستخدم تقديراً للشبكات المثلية التكيفية. تعد القدرة على التكيف، أي تحسين الشبكة في المناطق الحرجة (**خاصة على طول جبهة موجة الانتشار**) ولكن أيضاً الخشونة في المناطق الأقل إثارة للاهتمام، أمراً بالغ الأهمية لتحقيق الدقة المطلوبة في الوقت المقبول. تتطلب مثل هذه الشبكات التكيفية هياكل بيانات فعالة للذاكرة لتخزينها، ولكن أيضاً تتطلب خوارزميات وتطبيقات فعالة تعمل على هياكل البيانات هذه.





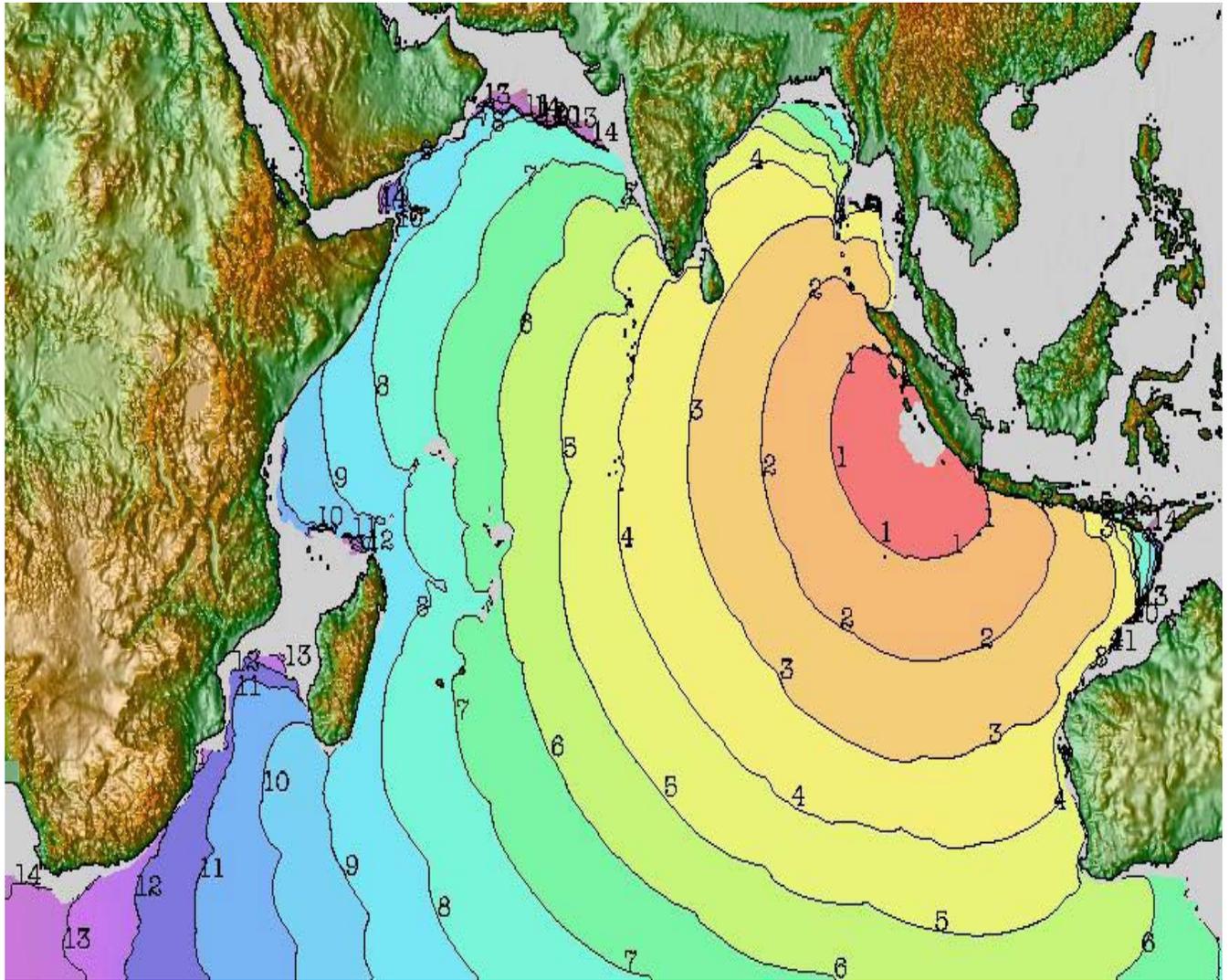
نمذجة التنبؤ

الهدف الرئيسي من نموذج التنبؤ هو تقديم تقدير لوقت وصول الموجة وارتفاعها ومنطقة الغمر مباشرة بعد حدث تسونامي. يتم تشغيل نماذج التنبؤ بالتسونامي في الوقت الفعلي بينما ينتشر تسونامي في المحيط المفتوح، وبالتالي فهي مصممة لأداء في ظل قيود زمنية صارمة للغاية.

نظرًا للقيود الزمنية لهذا النوع من الدراسة، فقد تم تسريع عملية حساب المراحل الثلاث لنمذجة تسونامي، وهي توليد الموجات وانتشارها وغمرها من خلال إنشاء قاعدة بيانات للسيناريوهات المحسوبة مسبقًا. تحتوي قاعدة البيانات المحسوبة مسبقًا على معلومات حول انتشار تسونامي في المحيط المفتوح من العديد من المصادر المحتملة. عند وقوع حدث تسونامي، يتم تحديد مصدر أولي من قاعدة البيانات المحسوبة مسبقًا. في المراحل الأولى من تسونامي، يعتمد هذا الاختيار فقط على المعلومات الزلزالية المتاحة لحدث الزلزال. مع انتشار الموجة عبر المحيط ووصولها على التوالي إلى أنظمة DART، تقوم هذه التقارير بإبلاغ معلومات مستوى سطح البحر المسجلة إلى TWCs والتي بدورها تعالج المعلومات وتنتج تقديرًا جديدًا وأكثر دقة لمصدر تسونامي. والنتيجة هي تنبؤ متزايد الدقة بشأن تسونامي يمكن استخدامه لإصدار أو مراقبة أو تحذيرات أو عمليات إخلاء.

عند حدوث حدث مشابه لأحد السيناريوهات المحسوبة مسبقًا، تُستخدم معلومات الانتشار المتاحة لحساب المرحلة الأخيرة من الدراسة، وهي غمر الموجة.





مثال لنموذج رقمي للتنبؤ بالتسونامي

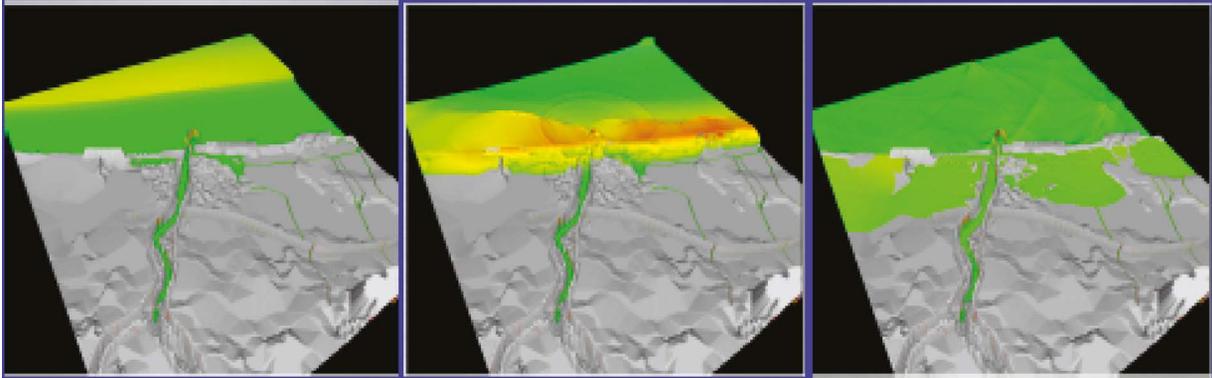


نمذجة الغمر

تحاول دراسة **نمذجة الغمر** إعادة إنشاء جيل تسونامي في المياه العميقة أو الساحلية، وانتشار الأمواج إلى منطقة التأثير والفيضان على طول منطقة الدراسة. لإعادة إنتاج **ديناميكيات الموجة** الصحيحة أثناء حسابات الإغراق، يتم استخدام شبكات قياس الأعماق والطبوغرافية عالية الدقة في هذا النوع من الدراسة. تتطلب مجموعات البيانات الطبوغرافية والقياسية للأعماق عالية الجودة اللازمة لتطوير خرائط الغمر الصيانة والتحديث مع توفر بيانات أفضل وحدث تغييرات ساحلية.

يمكن إجراء دراسات الغمر باتباع نهج احتمالي يتم فيه النظر في سيناريوهات تسونامي متعددة، وتقييم مدى تعرض الساحل لمخاطر تسونامي، أو قد تركز على تأثير «سيناريو أسوأ حالة» معين وتقييم تأثير مثل هذا الحدث شديد التأثير بشكل خاص على المناطق قيد التحقيق.

يجب أن تتضمن نتائج دراسة غمر تسونامي معلومات حول أقصى ارتفاع للموجة وأقصى سرعة للتيار كدالة للموقع، والحد الأقصى لخط الفيضان، بالإضافة إلى سلسلة زمنية لارتفاع الموجة في مواقع مختلفة تشير إلى وقت وصول الموجة. يمكن استخدام هذه المعلومات من قبل مديري الطوارئ والمخططين الحضريين في المقام الأول لإنشاء طرق الإخلاء وموقع البنية التحتية الحيوية.



البيانات المطلوبة



- معلومات عن الطبوغرافية
- معلومات عن قاع المحيط
- معلومات عن خشونة السطح

نموذج محاكاة رقمية لفيضان التسونامي





الجهات الدولية والمحلية المعنية بالتسونامي

الجهة التي تتولى تنسيق الإنذار بأمواج التسونامي (TWFP). هي الجهة التي تتولى التنسيق فيما يخص أمواج التسونامي، وهي تابعة لفريق التنسيق الدولي الحكومي المعني. إنها شخص مسؤول أو جهة رسمية يمكن الاتصال بهما أو مخاطبتهما على مدار الساعة

طيلة أيام الأسبوع السبعة بغية تلقي وإصدار المعلومات المتعلقة بحالات أمواج التسونامي سريعاً (مثل التحذيرات). والجهة التي تتولى التنسيق فيما يخص الإنذار بأمواج التسونامي إما أن تكون الهيئة المعنية بالطوارئ (الدفاع المدني أو وكالة أخرى معيّنة لتولي المسؤولية عن السلامة العامة)، أو أن تكون مسؤولة عن إبلاغ هذه الهيئة عن خصائص الحالة المعنية (الزلازل و/أو التسونامي)، وفقاً لإجراءات العمل القياسية الوطنية.

مركز الإنذار بأمواج التسونامي TWC

هو المركز الذي يرسل في الوقت المناسب بلاغات عن أمواج التسونامي موجّهة إلى وكالات التحرك العاجل و/أو الجمهور. والبلاغات الصادرة عن المركز الدولي للإنذار بأمواج التسونامي هي إشعارات موجّهة إلى الجهة التي تتولى في البلد المعني تنسيق الإنذار بأمواج التسونامي.





المركز الدولي للإعلام عن أمواج التسونامي ITIC

أنشأت لجنة اليونسكو الدولية الحكومية لعلوم المحيطات هذا المركز في تشرين الثاني/نوفمبر 1965م لدعم فريق التنسيق الدولي الحكومي المعني بنظام الإنذار بأمواج التسونامي والتخفيف من آثارها في المحيط الهادي. ويقدم هذا المركز أيضاً مساعدة إلى الدول الأعضاء في مجال بناء القدرات لكي تنشأ على النطاق العالمي نظم للإنذار بأمواج التسونامي والتخفيف من آثارها

مسؤول الاتصال الوطني فيما يتعلق بأمواج التسونامي TNC

هو الشخص الذي تعينه حكومة الدولة العضو ليمثل بلده في فريق التنسيق الدولي بغية تنسيق أنشطة الإنذار بأمواج التسونامي والتخفيف من آثارها. ويكون هذا الشخص أحد الأطراف المعنية الرئيسية في البرنامج الوطني للإنذار بأمواج التسونامي والتخفيف من آثارها. ويمكن أن يكون هذا الشخص الجهة التي تتولى تنسيق الإنذار بأمواج التسونامي، أو أن يكون من هيئة وطنية لإدارة الكوارث، أو من مؤسسة تقنية أو علمية، أو من وكالة أخرى تتولى مسؤوليات في مجال الإنذار بأمواج التسونامي والتخفيف من آثارها.





النظام العالمي لرصد المحيطات GOOS

إنه نظام عالمي دائم لرصد المتغيرات المتعلقة بالبحار والمحيطات، ووضع نماذج لها، وتحليلها، دعماً للخدمات التشغيلية في مجال المحيطات في جميع أنحاء العالم

نظام البيانات العالمي WDS والمركز الوطني للبيانات الجيوفيزيائية NGDC

النظام العالمي لرصد مستوى سطح (GLOSS) البحر





المراجع العربية

- كونزاليس** (1999)، «تسونامي»، مجلة العلوم، الكويت، المجلد 15، العدد الثامن، 4-13.
- العمري**، عبدالله محمد (1426هـ)، «طوفان تسونامي- الزلازل وسبل تخفيف مخاطرها»، مركز بحوث كلية العلوم، جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية، العدد الأول، 1-30.
- خضر**، أحمد (2006م)، «في الذكرى الأولى لكارثة تسونامي»، مجلة معهد الكويت للأبحاث العلمية، الكويت، العدد 135، 22-35.
- المسعودي**، عباس فضل حسين، المحيط الأطلسي في التراث الجغرافي العربي الإسلامي، مجلة آفاق الثقافة والتراث، السنة 23، العدد 89، مركز جمعة الماجد، دبي، 2015م.
- ابن البهلول**، الحسن، المختار من كتاب الدلائل، اختيار وتقديم: إياد خالد الطباع، وزارة الثقافة، الهيئة العامة السورية للكتاب، دمشق، 2014م.
- صالح**، عماد عبدالرحمن محمد، وصف الزلازل في الكتابات العربية القديمة، جامعة الأنبار، العراق، 2022م.
- البيروني**، أبو الريحان، الآثار الباقية عن القرون الخالية، تحقيق: إدوارد سخاو، ليبزغ، 1878م.
- البيروني**، أبو الريحان، تحديد نهايات الأماكن لتصحيح مسافات المساكن، تحقيق: ب. بولجاكوف، نشرها معهد المخطوطات العربية في مجلته،





- المجلد 8، 1962م، وقد أعاد معهد المخطوطات العربية بجامعة فرانكفورت بإعادة نشرها ضمن سلسلة الجغرافيا الإسلامية المجلد 25، 1992م.
- البيروني**، أبو الريحان، تحقيق ما للهند من مقولة مقبولة في العقل أو مرذولة، ط2، عالم الكتب، بيروت، 1982م.
- البيروني**، أبو الريحان، الجماهر في معرفة الجواهر، دائرة المعارف العثمانية، حيدر آباد الدكن، 1939م.
- البيروني**، أبو الريحان، القانون المسعودي، ج1، ط1، حيدر آباد الدكن بالهند، 1952م.
- بيكون**، فرنسيس، الأورغانون الجديد، ترجمة: عادل مصطفى، رؤية للنشر والتوزيع، القاهرة، 2013م.
- أبو الفداء**، عماد الدين إسماعيل، تقويم البلدان، المكتبة الثقافية الدينية، القاهرة، 2007م.
- الفندي**، محمد جمال وأحمد، إمام إبراهيم، البيروني، سلسلة أعلام العرب (77)، دار الكاتب العربي، القاهرة، 1968م.
- الكندي**، أبو يعقوب، رسالة في العلة الفاعلة للمد والجزر، نسخة موجودة ضمن مجموع أياصوفيا رقم (AYASOFYA4832).
- الشريف الإدريسي**، محمد بن محمد، نزهة المشتاق في اختراق الآفاق، ط1، ج1، عالم الكتب، بيروت، 1989م.
- أنور عبد العليم**، الفوائد في اصول علم البحر والقواعد لابن ماجد الملاح، مجلة العرب، الجزء التاسع، السنة الرابعة، حزيران 1970، ص 832.



المراجع الأجنبية

- Abe,K. (1979): Size of great earthquakes of 1837-1974 inferred from tsunami data. J .Geophys. Res. , 84, 1561- 1568.
- Abe,K. (1981): Physical size of tsunamigenic earthquakes of the northwestern Pacific. Phys. Earth Planet. Inter. , 27, 194- 205.
- Abe,K. (1985): Quantification of major earthquake tsunamis of the Japan Sea. Phys. Earth Planet. Inter. , 38, 214- 223.
- Abe,K. (1989): Quantification of tsunamigenic earthquakes by the Mt scale. Tectonophysics, 166, 27 –34.
- Ambraseys, N.N.(1962). Data for the investigation of the seismic seawaves in the eastern Mediterranean. Bull.Seismol. soc. Am., 52, 895-913.
- Bullen, K.E., and B.A. Bolt (1985): An introduction to the theory of seismology. Cambridge University Press, Cambridge, 499pp.
- Hatori,T. (1986): Classification of tsunami magnitude scale. Bull. Earthq.Res. Inst. Univ. Tokyo, 61, 503- 515 (in Japanese with Engl. abstr.).
- Iida, K. (1956): Earthquakes accompanied by tsunamis occurring under the sea off the islands of Japan. J. Earth Sciences Nagoya Univ., 4, 1-43.
- Iida, K. (1970): The generation of tsunamis and the focal mechanism of





earthquakes. In *Tsunamis in the Pacific Ocean*, edited by W.M. Adams, East-West Center Press, Honolulu, 3 –18.

Iida, K., D.C. Cox, and G. Pararas-Carayannis (1956): Preliminary catalog of tsunamis occurring in the Pacific Ocean. Data Report 5, HIG-67-10, Hawaii Inst. of Geophys. ,Univ. of Hawaii, Honolulu.

Imamura, A.(1942): History of Japanese tsunamis. *Kayo- No- Kagaku (Oceanography)*, 2, 74 –80 (in Japanese).

Imamura, A.(1949):List of tsunamis in Japan. *J. Seismol. Soc. Japan*, 2, 23-28 (in Japanese). Murty, T.S., and H.G. Loomis (1980): A new objective tsunami magnitude scale. *Marine Geodesy*, 4, 267 –282.

Murty, T.S. and H.G. Loomis (1980). A new objective tsunami magnitude scale *Marine Geodesy* 4, 267 – 282.

Okal, E. (1988): Seismic parameters controlling far-field tsunami amplitudes: A review. *Natural Hazards*, 1, 67- 96.

Papadopoulos, G.A. and F. Imamura (2001). A proposal for a new tsunami intensity scale *Internat. Tsunami symposium 2001 Proc.*, Seattle, Washington, Aug. 7 –10, 2001, 569- 577.

Shuto, N. (1991) : Historical changes in characteristics of tsunami disasters. *Proceedings of the International Symposium on Natural Disaster and Civil Engineering*, Osaka, 1991, 77 – 86.





Shuto, N. (1991) : Tsunami intensity and disasters. In Tsunamis in the World, edited by S.Tinti, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 197-216.

Sieberg, A. (1927): Geologische, physikalische und angewandte Erdbebenkunde. Verlag von Gustav Fischer, Jena, ??? pp.

Soloviev , S.L. (1970): Recurrence of tsunamis in the Pacific. In Tsunamis in the Pacific Ocean, edited by W.M. Adams, East-West Center Press, Honolulu,149-163.





أ.د. عبد الله بن محمد العمري

www.alamrigeo.com E.mail : alamri.geo@gmail.com Cell : +966505481215

المناصب الإدارية والفنية

- ❖ دكتوراه في الجيوفيزياء عام 1990 م من جامعة مينيسوتا - أمريكا.
- ❖ المشرف على مركز الدراسات الزلزالية- جامعة الملك سعود.
- ❖ المشرف على كرسي استكشاف الموارد المائية في الربع الخالي.
- ❖ المشرف على مركز الطاقة الحرارية الأرضية بجامعة الملك سعود.
- ❖ رئيس الجمعية السعودية لعلوم الأرض.
- ❖ رئيس قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود.
- ❖ مؤسس ورئيس تحرير المجلة العربية للعلوم الجيولوجية AJGS.
- ❖ رئيس فريق برنامج زمالة عالم مع جامعة أوريغون الحكومية والأمريكية ومعهد ماكس بلانك الألماني.

الاستشارات والعضويات

- مستشار مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية.
- مستشار هيئة المساحة الجيولوجية وهيئة المساحة العسكرية والدفاع المدني.
- مستشار مدينة الملك عبد الله للطاقة الذرية والمتجددة.
- مستشار هيئة الرقابة النووية والإشعاعية.
- باحث رئيس في عدة مشاريع بحثية مدعمة من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية وشركة أرامكو.
- باحث رئيس في مشاريع مدعمة من وزارة الطاقة الأمريكية وجامعة كاليفورنيا ومعهد ليفرمور الأمريكي LLNL.
- عضو الجمعية الأمريكية للزلازل.
- عضو الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء.
- عضو الاتحاد الأوروبي للجيولوجيين.
- عضو لجنة كود البناء السعودي وعضو المنتدى الخليجي للزلازل GSF.
- عضو لجنة تخفيف مخاطر الزلازل في دول شرق البحر الأبيض المتوسط RELEMR.
- باحث رئيسي ومشارك في مشاريع بحثية مع جامعات الاباما وبنسلفانيا وأوريغون الأمريكية.
- ضمن قائمة (المنجزون البارزون العرب) من قبل منظمة ريفاسيمنتو الدولية.
- ضمن قائمة Who's Who في قارة آسيا للتميز العلمي.
- ضمن قائمة Who's Who في العالم للإسهامات العلمية.

النشر العلمي والتأليف

- ❖ نشر أكثر من 180 بحثاً علمياً في مجلات محكمة.
- ❖ ألف 30 كتاباً علمياً.
- ❖ أصدر موسوعة رقمية في علوم الأرض من 14 مجلداً و 107 ملفات علمية.

المشاريع البحثية

- ❖ أنجز 40 مشروعاً بحثياً محلياً و 16 مشروعاً بحثياً دولياً و 74 تقريراً فنياً.

المؤتمرات والندوات

- ❖ شارك في أكثر من 125 مؤتمراً محلياً ودولياً و 75 ندوة وورشة عمل متخصصة.

التعاون الدولي

- ❖ باحث رئيسي في 13 مجموعة عمل أمريكية وألمانية.

الجوائز

- ❖ حصل على جائزة المراعي للإبداع العلمي عام 2005 م.
- ❖ حصل على جائزة التميز الذهبي من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية عام 2006 م.
- ❖ حصل على جائزة أبها التقديرية للإسهامات العلمية عام 2007 م.
- ❖ حصل على جائزة جامعة الملك سعود للتميز العلمي عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء للتعاون الدولي والنشاط البحثي عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة جامعة السلطان قابوس للإسهامات العلمية عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة الملك سعود لإدراج المجلة العربية للعلوم الجيولوجية في قائمة ISI.
- ❖ حصل على جائزة أفضل رئيس تحرير مجلة علمية عام 2017 من الناشر الألماني SPRINGER.
- ❖ حصل على جائزة ألبرت نيلسون ماركيز للإنجاز مدى الحياة عام 2018 من منظمة Who's Who العالمية.

درع التكريم

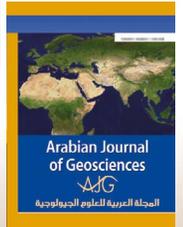
- ❖ حصل على 85 درعاً تكريمياً وشهادات تقدير من المملكة وعمان والكويت والإمارات والأردن ومصر وتونس والجزائر وألمانيا وأمريكا.

المنجزون البارزون العرب

Dr. Abdullah M.S. Al-Amri

Geophysicist & Seismologist

SAUDI ARABIA 117





موسوعة أمري في علوم الأرض

Al-Amri's Encyclopedia of Earth Sciences



6
المد
والجزر



5
المعادن
والتعدين



4
التركيب
الداخلي للأرض



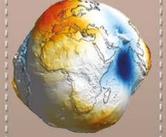
3
الاجاذبية
الأرضية وتطبيقاتها



2
شكل
الأرض وحركتها



1
تقدير
عمر الأرض



12
الأغلفة
المحيطة بالأرض



11
جيولوجية
القمر



10
البراكين
وسبل مجابقتها



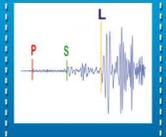
9
تقييم
مخاطر الزلازل



8
الزلازل
والتفجيرات



7
موجات
التسونامي



18
التصحّر
والجفاف



17
السيول
والسدود المائية



16
الانزلاقات
والانهيارات والفيضانات



15
التشجير
التحديات والحلول



14
التغيرات المناخية
والاحتباس الحراري



13
المشاكل
البيئية وحلولها



24
كتابة الرسائل
والمشاريع الجيولوجية



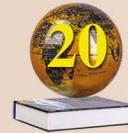
23
الجيولوجيا
الطبيعية



22
الجيوفيزياء
النووية



21
الجيولوجيا
السياسية



20
الطاقة
الحرارية الأرضية



19
هل انتهى
عصر النفط؟



300 سؤال وجواب
في الجيوفيزياء
التطبيقية



303 سؤال وجواب
في علم الزلازل
والزلزالية الهندسية



380 سؤال وجواب
في المخاطر
الجيولوجية



358 سؤال وجواب
في الثروات
الطبيعية



325 سؤال وجواب
في علم الصخور
والجيوكيمياة



321 سؤال وجواب
في تطور
الأرض

