

طوفان التسونامي

الزلازل وسبل تخفيف مخاطرها

أ.د. عبدالله بن محمد العمري
قسم الجيولوجيا- كلية العلوم - جامعة الملك سعود

المحتويات

مقدمة :

التركيب الداخلي للأرض

✓ القشرة الأرضية

✓ الوشاح

✓ اللب

الزلازل : أسبابها وأماكن تواجدها

✓ ميكانيكية الزلازل

✓ أنواع الزلازل

✓ الأحزمة الزلزالية

✓ الموجات الزلزالية

مقاييس الزلازل

✓ الشدة الزلزالية

✓ القدر الزلزالي

هل يمكن التنبؤ بالزلازل ؟

الإحتياطات الوقائية

التسونامي Tsunami

✓ ميكانيكية ظاهرة التسونامي

✓ تخفيف مخاطر التسونامي

✓ تسونامي سومطره ومدى تأثيره على شبه الجزيرة العربية

المراجع

مقدمة :

تُعد الظواهر الطبيعية مثل الزلازل والبراكين والرياح والأعاصير والإنزلاقات الأرضية والتصحر وغيرها أحد مظاهر الحياة على كوكب الأرض كما أنها أحد أهم أدوات البناء والهدم التي تتطلبها مقومات التجديد لحفظ التوازن على هذا الكوكب.

وتُعد الزلازل أكثر الكوارث الطبيعية تأثيراً على الإنسان، لحدوثها المفاجئ والسريع ولما ينجم عنها من خسائر بشرية ومادية. ويمكن تقسيم الآثار الزلزالية إلى نوعين هما الآثار الأولية وتتمثل في حدوث الحركة الأرضية العنيفة وما يصاحبها من تصدعات وسقوط المباني وغيرها، والآثار الثانوية وتتمثل في الحرائق والإنهيارات الأرضية والفيضانات والتغيرات في مستوى سطح الماء . ويختلف حجم الخسائر التي تُسببها الزلازل من بلد لآخر، ويقبل بصفة عامة في الدول المتقدمة التي أخذت بصورة جدية بالوسائل التي تؤدي إلى تخفيف الخطر الزلزالي.

لقد إتجه المؤرخون منذ القدم إلى الإهتمام بالزلازل وتسجيل مواقعها وتواريخ حدوثها ووصف أحداثها وتقدير شدتها والأضرار الناجمة عنها، وتطور هذا الإهتمام حديثاً حتى أصبح علماء قائماً بذاته يسمى علم الزلازل Earthquake Seismology خاصة إذا علمنا أن الكرة الأرضية تتعرض سنوياً إلى حوالي 350 ألف زلزال لا يشعر بمعظمها الناس إما لضعفها أو لحدوثها في مناطق غير مأهولة بالسكان .

ولإلقاء الضوء على ماهية الزلازل وأسبابها ووسائل توقعها ، فإن هذا يتطلب إعطاء فكرة مبسطة عن التركيب الداخلي للأرض وعلاقتها بالعوامل المسببة للزلازل.

التركيب الداخلي للأرض

الأرض التي نعيش عليها عبارة عن كوكب صخري تقع في المدار الثالث من المجموعة الشمسية ولها حركتان دورانيتان. الأولى دورانها حول الشمس مرة في العام والثانية حول نفسها كل 24 ساعة، وهي عبارة عن كرة صلبة تأخذ شكلاً أهليجياً (بيضاوياً) يبلغ نصف قطرها الأفقي عند خط الإستواء 6378.1 كم ونصف قطرها العمودي عند الأقطاب 6356.7 كم أن هناك زيادة قدرها 21.4 كم عند خط الإستواء وهذه تمثل الشكل الأهليجي أو ثابت التفلطح والذي يقدر ب 0.0033.

لقد تم حساب قيم الجاذبية عند الأقطاب ب 983.218 جال بينما قيست عند خط الإستواء ب 978.032 جال ووجد أن هناك فرق مقداره 5.2 جال. وهذا الفرق لا يتفق مع القيم التي تم التوصل إليها نظرياً عند إفتراض أن الأرض كروية الشكل والذي يبلغ 3.4 جال. وهذا

الإختلاف يدل على أن الأرض تأخذ شكلاً إهليجياً أو بيضاوياً. قال تعالى " والأرض بعد ذلك دحاها " النازعات آية 30.

أما التوزيع الجغرافي لشكل الأرض فقد إستدل عليه عام 1915 من خلال نظرية الإنجراف القاري والتي تفترض وجود قارة عملاقة قبل حوالي 200 مليون سنة أطلق عليها إسم بانجيا Pangea يحيط بها محيط عظيم أطلق عليه إسم بانثالاسا Panthalassa وتفككت هذه القارة العظيمة إلى :

- 1- قارة شمالية سميت لاروسيا Laurasia وتضم حالياً قارات أمريكا الشمالية وأوراسيا (أوروبا وآسيا) ما عدا الهند وجرينلاندا.
- 2- قارة جنوبية أطلق عليها قوندوانالاند Gondwanaland وتضم حالياً قارات أمريكا الجنوبية ، وأفريقيا ، وأستراليا – الهند ، والقارة المتجمدة الجنوبية.

يفصل بين هاتين القارتين بحر كبير يسمى التئيس Tethys ويُعتقد أن قارة القوندوانالاند بدأت تنفك حيث انفصلت أفريقيا وأمريكا الجنوبية ككتلة واحدة وبدأ بعدها المحيط الأطلسي في التكوين. وخلال تلك المرحلة أيضاً انفصلت أستراليا من القارة المتجمدة الجنوبية.

تكتسب الأرض حرارتها من مصدرين : المصدر الأول ما يعرف بتناقص النشاط الإشعاعي Radio Active Decay أما المصدر الثاني يعرف بالحرارة المتبقية Residual heat. تناقص النشاط الإشعاعي عملية طبيعية Spontaneous يجري خلالها تغيير في مكونات الذرات لنتج عناصر جديدة وكما يحدث في التفاعلات النووية مما ينتج عنها تحرر طاقة على شكل حرارة عالية تبرد عند صعودها إلى القشرة الأرضية . أما الحرارة المتبقية Residual heat فهي حرارة تزامنت مع تكون الأرض قبل 4600 مليون سنة والتي نتجت من امتزاج واختلاط مخلفات كونية Cosmic Debris نتج عنها ما يعرف بالأرض .

لقد دلت الدراسات الجيوفيزيائية والسيزمية على أن التركيب الداخلي للأرض التي يقع مركزها على عمق 6371 كم يتألف من أربع طبقات أساسية هي : القشرة - الوشاح - اللب الخارجي - اللب الداخلي، وكل من هذه الطبقات يلعب دوراً هاماً في مرور وإنعكاس وإنكسار الموجات الزلزالية نظراً لإختلاف كثافة الصخور وإختلاف التركيب المعدني، بالإضافة إلى إختلاف درجات الحرارة والضغط مع إزدياد العمق . ويمكن توضيح خصائص كل طبقة من طبقات الأرض كما يلي :

القشرة الأرضية

يتراوح سمك القشرة الأرضية (Earth Crust) ما بين 25 كم إلى 60 كم تحت القارات، ومن 5 كم إلى 10 كم تحت المحيطات، وتتميز صخور القشرة الأرضية بكثافتها المنخفضة وبطبيعتها غير المتجانسة وذلك لإختلاف الظروف والبيئات التي تكونت فيها.

وتتفاوت القشرة الأرضية في تركيبها الصخري من صخور الجرانيت - الأكثر شيوعاً في المناطق القارية والمكون الرئيسي لها - إلى صخور البازلت المكونة لقيعان المحيطات، وتخلو القارات من صخور البازلت عدا المناطق البركانية ومناطق الضعف في القشرة الأرضية التي ترتفع فيها الصحارة عبر الشقوق إلى سطح الأرض. بينما تخلو قيعان المحيطات من وجود صخور الجرانيت إلا من بعض الرسوبيات البسيطة التي جرفت مياه الأنهار والسيول.

إن الإختلاف الواضح بين سماكة القشرة القارية عن القشرة المحيطية يدل على أن للجبال جذوراً تتجاوز في سماكتها 4 - 5 أضعاف إرتفاع الجبال. بمعنى آخر أن الجبال عبارة عن مناطق ترتفع عدة مئات من الأمتار فوق التضاريس المحيطة بها ولها أوتاد سميكة نتجت من سماكة القشرة الأرضية حتى يحدث توازن بين مكونات القشرة الأرضية وفقاً لكثافتها فسبحان من قال " والجبال أوتادا " سورة النبا آية 7. وكذلك في قوله تعالى " والجبال أرساها " سورة النازعات آية 32.

وقد لاحظ عالم الجيوفيزياء موهورفيكش (Mohorvicic) عام 1909م إزدياد سرعة الموجات الزلزالية وتغير الصفات المميزة لها عند إنتقالها من الجزء السفلي لطبقة القشرة الأرضية (وسط منخفض الكثافة) إلى الجزء العلوي من طبقة الوشاح (وسط عال الكثافة) مما يدل على أن هناك وسطاً ذو كثافة عالية وطبيعة غير صلبة تماماً يفصل بين طبقتي القشرة الأرضية والوشاح، وقد تم تسمية هذا الوسط بإسم (Moho Discontinuity) تكريماً لهذا العالم. ويختلف عمق هذا الوسط من مكان لآخر دلالة على إختلاف سمك القشرة الأرضية وكثافتها تحت القارات عنها تحت المحيطات.

الوشاح

ويقع الوشاح أو الستار (Mantle) تحت القشرة الأرضية، ، ويصل عمقه إلى 2900 كم من سطح الأرض، ويتكون من صخور صلبة عالية الكثافة يدخل في تركيبها بصفة أساس عنصرى الحديد والمغنسيوم، ويعتقد بعض علماء الأرض أن صخور البيريدوتيت (Peridotite) التي وجدت في مناطق متفرقة من العالم مثل الخليج العربي وتركيا وإيطاليا هي جزء من صخور الوشاح التي تتميز بلونها الداكن وكثافتها العالية، وتتكون من البيروكسين والأوليفين اللذين تكونا تحت تأثير الحرارة والضغط الشديدين، والتي تنتقل فيهما الموجات الزلزالية بنفس السرعة العالية التي تنتقل بها خلال صخور الوشاح.

وتتميز صخور الجزء العلوي من طبقة الوشاح بأنها في حالة شبه سائلة في منطقة الغلاف الوهن Asthenosphere نتيجة للحرارة العالية التي ترجع إلى وجود بعض المواد المشعة فيها، ونظراً للضغط الشديد الواقع فوق تلك المنطقة فإن صخورها أصبحت في حالة لزجة ثقيلة القوام تنزلق عليها الصفائح التكتونية التي تحمل فوقها القارات والمحيطات مسببة ما يسمى بالزحف القاري (Continental Drift) ، الذي يعد أحد الأسباب الرئيسية لحدوث الزلازل في العالم.

اللب

يقع اللب على عمق يتراوح ما بين 2900 إلى 6371 كم من سطح الأرض، ويتكون من جزئين هما : اللب الخارجي (Outer Core) ويبلغ سمكه 2080 كم ويصل إلى عمق 5100 كم من السطح ويتركب أساساً من عنصرى الحديد والنيكل في الحالة السائلة ولا تنتشر فيه الموجات القصيره أثناء حدوث الزلازل. واللب الداخلي (Inner Core) يبدأ من عمق 5100 كم إلى أن يصل إلى مركز الأرض على عمق 6371 كم ويبلغ سمكه حوالى 1390 كم ويتكون من مزيج من عنصرى النيكل والحديد في الحالة الصلبة.

ولقد دلت الدراسات الجيوفيزيائية أن كثافة الصخور تزداد تدريجياً مع إزدياد العمق حيث وجد أن مكونات الأرض في اللب أثقل منها في الوشاح وفي الوشاح أثقل منها في القشرة. حيث تبلغ كثافة صخور اللب (الثقل النوعي) حوالى 12 جم/سم³ بينما في الوشاح 3.5 جم/سم³ وفي صخور القشرة تصل إلى 2.7 جم/سم³. وصدق قوله تعالى في الآية الثانية من سورة الزلزلة " وأخرجت الأرض أثقالها "

ميكانيكية الزلازل وأماكن تواجدها

الزلازل في اللغة هي تحريك الشيء حركة شديدة. أما علمياً فهي عبارة عن إهتزازات في القشرة الأرضية تحدث بمشيئة الله تعالى، ثم بسبب التحرر السريع للطاقة المجتمعة في الصخور، والناجمة عن :

- الحركة التصدعية لكتل الصخور المكونة للقشرة الأرضية.
- الانفجارات البركانية.
- إنبثاق المواد المنصهرة من باطن الأرض.
- الإنهيارات في مناطق المغائر والمناجم وضخ المياه.
- التفجيرات النووية
- حقن السدود والبحيرات الصناعية.

الآثار التخريبية للزلازل

- ✓ حدوث إزاحات أرضية عمودية أو أفقية أو كليهما معاً.
- ✓ حدوث إنهيارات أرضية ، وإنزلاقات ، وتشقق.
- ✓ تداعي المنشآت العمرانية.
- ✓ آثار غير مباشرة تتمثل في إنقطاع المياه وإندلاع الحرائق.

✓ طغيان مياه البحر بفعل أمواج البحر الزلزالية الضخمة المعروفة بالتسونامي
.Tsunami

أنواع الزلازل

أولاً : تصنف الزلازل حسب مصادر الطاقة المتحررة الى:

1. زلازل طبيعية المصدر ومنها :

✓ الزلازل التكتونية

✓ الزلازل البركانية

✓ زلازل الإنهيارات والفجوات الأرضية

✓ العواصف الزلزالية

✓ الزلازل البحرية الدقيقة Microseisms

2. زلازل صناعية المصدر ومنها :

✓ التفجيرات النووية والكيميائية

✓ السدود و الخزانات المائية وحقق السوائل

✓ المناجم

✓ الضوضاء البشرية وحركة المركبات

ثانياً تقسم الزلازل إستناداً على العمق البؤري إلى :

✓ زلازل ضحلة العمق يصل عمقها إلى 70 كم من سطح الأرض.

✓ زلازل متوسطة العمق يتراوح عمقها ما بين 70 – 300 كم.

✓ زلازل عميقة يتراوح عمقها ما بين 300 – 670 كم.

ثالثاً : تصنف الزلازل حسب القوة التدميرية الى :

✓ زلازل ضعيفة لا تسبب دمار للمنشآت وخسائر في الأرواح وتصل شدتها الى 5

درجات حسب مقياس ميركالي المعدل.

✓ زلازل قوية تسبب دمار للمنشآت وخسائر في الأرواح وتتراوح شدتها بين 6 - 9

درجات.

✓ زلازل مدمرة مسببة دمار شامل للمنشآت وخسائر عالية في الأرواح وتتراوح شدتها

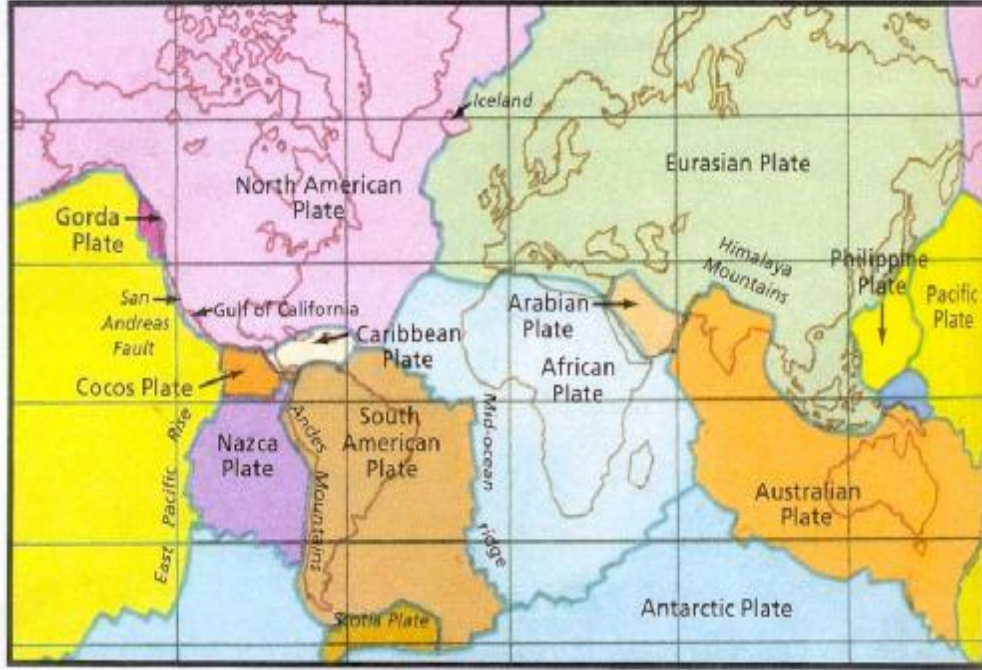
بين 9 - 12 درجة.

وقد أشار العالم ريد Reid عام 1906م إلى أن نظرية الإرتداد المرن Elastic Rebound تعطي تفسيراً معقولاً لأسباب حدوث الزلازل، وتفترض هذه النظرية أن صخور القشرة الأرضية تتعرض إلى ضغوط وتشوهات على مدار السنين مما يجعل مسارها الطبيعي يتغير وينتج عن ذلك قوى هائلة تتزايد مع الزمن، فإذا زادت هذه القوى عن قدرة تحمل الصخور حدث بها كسر أو شرخ أو بمعنى آخر إذا زادت القوى الناتجة عن قوى الإحتكاك بين

الصخور تحدث الإزاحة على جانبي الفالق مسببة إنطلاق الطاقة المحبوسة إما على هيئة حرارة أو موجات إرتدادية، وهذه الموجات الإرتدادية التي يحاول بها الصخر الرجوع إلى وضعه الطبيعي هي التي تسبب الزلازل

وفي عام 1962م ظهرت نظرية الألواح التكتونية (Plate Tectonics) للعالم ألفريد وجنر A.Wegener (1880 - 1930) التي افترضها عام 1912 وتقترح أن الغلاف الصخري الصلب للأرض (Lithosphere) يتألف من عدة صفائح (Plates) صخرية يتراوح سمكها بين 70 كم و 100 كم، وتتكون الصفائح من القشرة الأرضية وجزء صغير من الطبقة السائلة من الوشاح، وتتحرك الصفائح التكتونية بالنسبة إلى بعضها البعض فوق المنطقة المنصهرة جزئياً من الوشاح العلوي والمعروفة بأل (Asthenosphere)، وتحدث الحركات التكتونية على طول الحدود الفاصلة بين الصفائح البنائية عند تحركها متقاربة أو متباعدة عن بعضها أو تنزلق إحداها بموازاة الأخرى مسببة اضطرابات في داخل الأرض تنعكس على القشرة الأرضية في صورة كسور وإندفاعات بركانية وزلازل وحركات صعود وهبوط. قال تعالى " والأرض ذات الصدع (سورة الطارق- آية 12).

ويوجد في العالم ست صفائح رئيسية وأخرى صغيرة ثانوية تشكل في مجملها قشرة الأرض التي نعيش عليها. قال تعالى " وفي الأرض قطع متجاورات " سورة الرعد الآية 4. والصفائح الصلبة الكبيرة تشمل : صفيحة أوراسيا القارية ، و صفيحة المحيط الهادي المحيطية ، والصفائح القارية المحيطية المشتملة على صفيحة أفريقيا ، و صفيحة أمريكا ، و صفيحة المتجمد الجنوبي ، و الصفيحة الهندية - الأسترالية. أما الصفائح الصلبة الصغيرة فمنها : الصفيحة العربية و صفيحة نازكا - صفيحة بحر الفلبين و صفيحة الكاريبي و صفيحة جنوب شرق آسيا.



لم يتفق العلماء حتى يومنا هذا على قوة معينة لتحريك الصفائح ولكن أهم الآليات المقترحة لتحريك الصفائح :

أولاً : آلية السحب الناتج عن تيارات الحمل الموجودة في الغلاف الواهن Asthenosphere.

ثانياً : آلية الجذب بسبب وجود طبقة الغلاف الصخري Lithosphere الباردة والعالية الكثافة فوق الوشاح الساخن واللدن والغلاف الواهن يؤدي إلى جذب الصفيحة نحو مناطق الإندساس.

ثالثاً : آلية الإنزلاق. بسبب تأثير قوى الجاذبية.

رابعاً : آلية صعود الصهير.

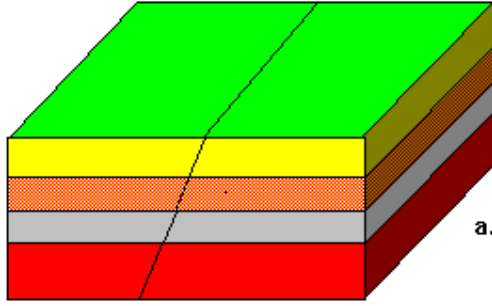
خامساً : آلية البقع الساخنة.

ومن الملاحظ هنا إرتباط الزلازل بخروج الحمم والصحارة من باطن الأرض وتكون البراكين وهو الإرتباط الذي نبأنا الله بحدوثه أيضاً في سورة الزلزلة في قوله " إذا زلزلت الأرض زلزالها وأخرجت الأرض أثقالها " .

وبناءً على نظرية الألواح التكتونية، يمكن تقسيم حدود الصفائح طبقاً لحركة الصدوع وإتجاهاتها، إلى ثلاثة أقسام رئيسة كما يلي:

1- مناطق تباعد الصفائح Divergence Zones

تنشأ مناطق تباعد الصفائح عن عملية شد ناتج بسبب تحرك صفيحتين في إتجاه معاكس عن بعضهما البعض مثل إبتعاد الصفيحة العربية عن الصفيحة الأفريقية وما نتج عن ذلك من نشأة أخدود البحر الأحمر وكذلك سلاسل جبال وسط المحيط الأطلسي، وتتميز هذه المناطق بوجود الصدوع العادية أو الرأسية (Normal Faults)، كما أن الزلازل التي تحدث بها ضحلة ولا يزيد عمقها عن 30 كم .

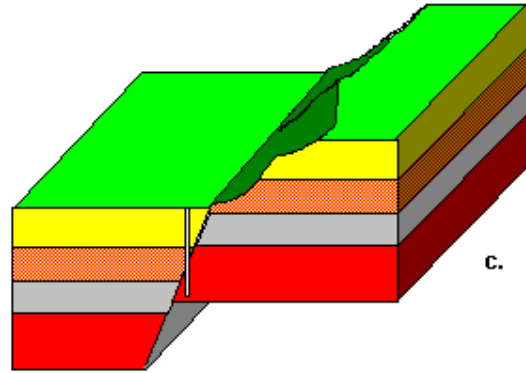
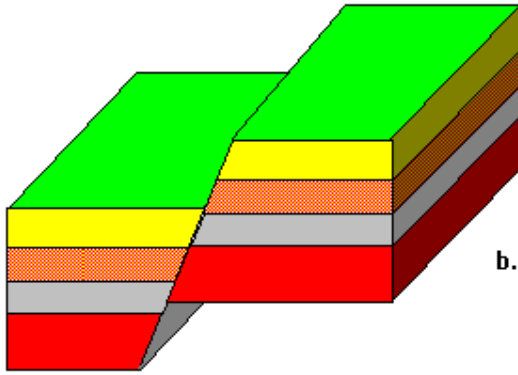


Normal Faulting

a. A block of crust before faulting

b. After faulting. Note that the block becomes longer.

c. An eroded normal fault. Note that the well misses the gray layer completely.



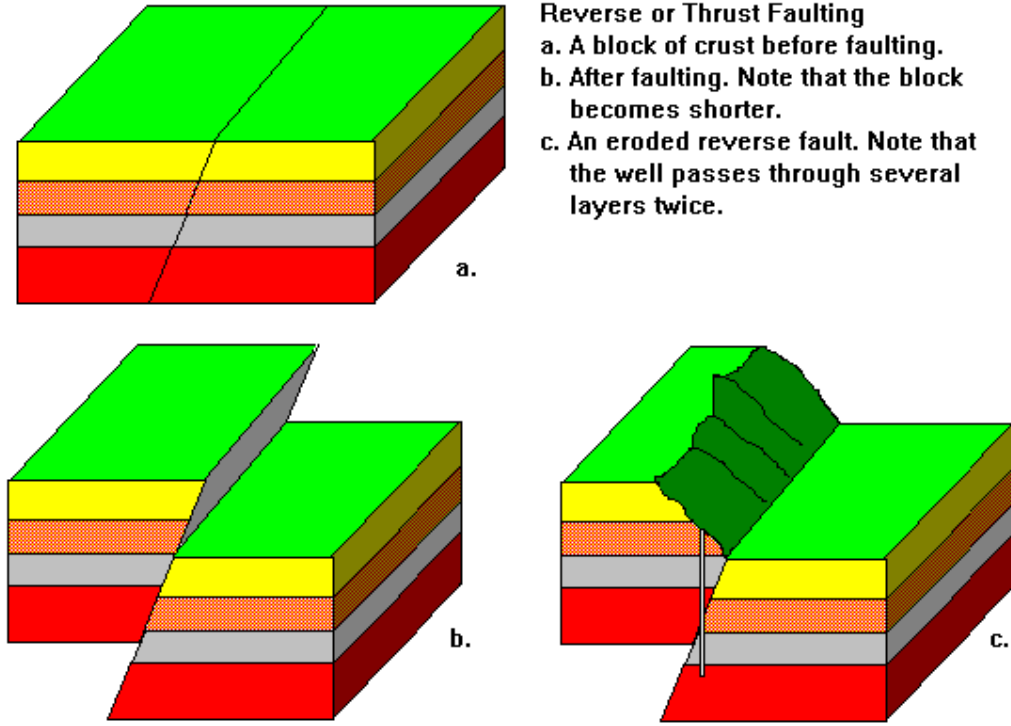
2- مناطق إلتقاء الصفائح Convergence Zones

تنشأ مناطق إلتقاء الصفائح عند تحرك صفيحتين بإتجاه بعضهما البعض ليتصادما معاً ، ويحدث التصادم إما بين صفيحتين قاريتين أو بين صفيحتين إحداهما قارية والأخرى محيطية، وتتميز هذه المناطق بوجود الصدوع العكسية (Reverse Faults) ويمكن توضيح نوعي الإصطدام كما يلي:

● قاري - قاري : حيث تختلف كثافة الصخور نسبياً بين الصفيحتين، ويؤدي إصطدامهما معاً إلى تكوين منطقة من السلاسل الجبلية الضخمة والمرتفعة مثل جبال الهيمالايا في الهند، وزاغروس في إيران، وتحدث الزلازل في هذه المنطقة على أعماق متوسطة تتراوح بين 60 كم و 300 كم.

● قاري - محيطي : حيث تختلف كثافة الصخور بين الصفيحتين، حين تضغط إحداهما على الأخرى وتتحني الصفيحة المحيطية الأكثر كثافة أسفل الصفيحة القارية الأقل كثافة. ويقطع طرف الصفيحة القارية أجزاء كبيرة من الصفيحة المحيطية عند نزولها إلى طبقة الوشاح مكونة سلاسل جبلية مرتفعة مثل جبال الإنديز في أمريكا الجنوبية

والجزر الألويسية الممتدة حول منطقة ألاسكا. وتتميز زلازل هذه المنطقة بأنها من النوع العميق حيث يتراوح عمقها بين 300 كم و 650 كم.



Reverse or Thrust Faulting

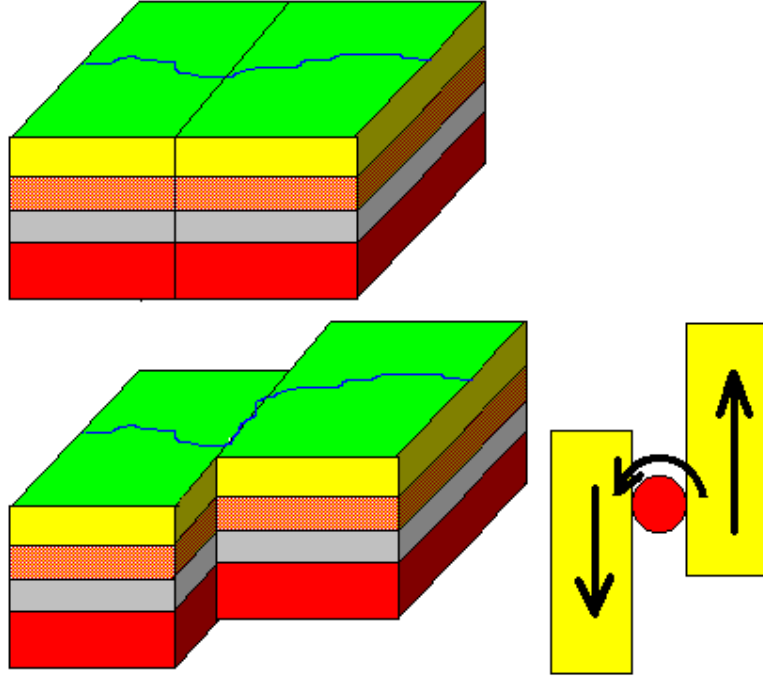
a. A block of crust before faulting.

b. After faulting. Note that the block becomes shorter.

c. An eroded reverse fault. Note that the well passes through several layers twice.

3- مناطق إنزلاق أو زحف الصفائح Transform Zones

تنشأ مناطق إنزلاق أو زحف الصفائح على شكل صدوع مستعرضة (Transform Faults) تؤدي إلى إنزلاق أو زحف صفيحتين إحداهما بموازاة الأخرى، وتتحرك الصفيحتين متماستين على جانبي الصدع محدثة تكسيراً أو تشوهاً في الصخور قد ينتج عنه إندفاعات بركانية وزلازل. وتحدث الزلازل في هذه المنطقة على أعماق ضحلة قد تصل إلى 20 كم تقريباً، ومن أمثلة هذه المناطق خليج العقبة، وصدع سانت أندرياس بولاية كاليفورنيا الأمريكية.



الأحزمة الزلزالية

بمقارنة خريطة توزيع الزلازل وحدود الصفائح التكتونية في العالم، نجد ارتباطاً وثيقاً بين حدود الصفائح ومناطق النشاط الزلزالي، وعلى هذا الأساس أمكن تحديد ما يسمى بالأحزمة الزلزالية وأهمها حزام حلقة النار (حول المحيط الهادي) **The Circum-Pacific Belt** ويتشكل فيه حوالي 69% من زلازل العالم، ويذكر أن 80% من طاقة الزلازل تتركز في هذا الحزام، ويشمل هذا الحزام الشواطئ الغربية من أمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية واليابان والفلبين حتى يصل إلى أستراليا ونيوزيلندا، وتمثل أعلى أنواع الزلازل، وعلى سبيل المثال الزلازل التي حدثت في بيرو 1970 وتشيلي 1985 واليابان 1923 وألاسكا 1964، وأخيراً زلزال اليابان 1995م.

وهناك حزام آخر لا يقل أهمية ويمتد من الصين شرقاً ماراً بجبال الهمالايا ثم ينحرف إلى الشمال الغربي ماراً بجبال زاغروس ثم القوقاز إلى تركيا وشمال إيطاليا، ويعرف هذا الحزام بحزام جبال الألب **Alpide Belt** ويتشكل فيه حوالي 21% من زلازل العالم، ويمثل هذا الحزام 10% من الطاقة.

وبالإضافة إلى هذين الحزامين هناك أحزمة زلزالية أقل خطورة تمتد في خطوط شبه مستقيمة في وسط المحيط الأطلسي والهندي وتتجه شمالاً حتى تصل إلى خليج عدن وأواسط البحر الأحمر.

وقد توجد الزلازل أحياناً في مناطق ليس لها علاقة بالأحزمة الزلزالية، حيث تتمركز في داخل الصفيحة ويطلق على هذا النوع من الزلازل Intraplate Earthquakes وهذا النوع قد يكون مدمراً بسبب عدم توقعه كما حدث في زلزال القاهرة في أكتوبر 1992م.

الموجات الزلزالية

يتولد عن حدوث الزلازل في نقطة ما في الأرض نوعان من الموجات الزلزالية المرنة، تنتشر في جميع الاتجاهات مبتعدة عن موقعه، وتسمى النقطة التي تنطلق منها الحركة داخل الأرض بؤرة الزلزال Hypocenter بينما تسمى النقطة على سطح الأرض الواقعة مباشرة فوق بؤرة الزلزال مركز الزلزال السطحي Epicenter وتعرف المسافة العمودية بين مركز الزلزال وبؤرته بعمق الهزة Focal Depth ، ويمكن تقسيم الموجات الزلزالية إلى الآتي :

1 - الموجات الداخلية Body Waves

تُعرف الموجات الزلزالية الداخلية أو الجسمية بأنها الموجات التي تنفذ من خلال جسم الأرض لتظهر في مناطق أخرى على سطحها، وتنقسم الموجات الداخلية إلى نوعين هما :

- الموجات الأولية P - Primary Waves
وتسمى أيضاً بالموجات الطولية أو الموجات التضاغية (Compressional Waves). تنتشر هذه الموجات خلال الأجسام الصلبة والسائلة والغازية في صورة تضغطات وتخلخلات متوالية، وتتميز بأنها ذات ذبذبات قصيرة، وتسير بسرعة عالية، ولذا فإنها تصل إلى أجهزة رصد الزلازل قبل غيرها من الموجات الأخرى، كما أنها عند وصولها إلى سطح الأرض - قادمة من العمق - يتحول جزء منها إلى موجات صوتية في الهواء يمكن للإنسان سماعها عند ذبذبات معينة (تزيد عن 15 ذبذبة في الثانية).

- الموجات الثانوية S - Secondary Waves
وتسمى أيضاً بموجات القص أو القصيرة أو الإزاحة (Shear Waves)، وتنتقل في الأجسام الصلبة فقط عن طريق الإهتزاز من جانب إلى آخر كأنها تقوم بقص الصخر أو إزاحته في اتجاه عمودي على اتجاه حركتها وهي ذات سرعات منخفضة، وتصل إلى أجهزة الرصد بعد الموجات الأولية ولذا تسمى بالموجات الثانوية. وتستخدم الموجات الداخلية (الأولية والثانوية) في إعطاء صورة واضحة عن التركيب الداخلي للأرض، وتحديد مركز الزلزال وبؤرته. وتتوقف سرعة الموجات الأولية والثانوية على كثافة وخواص الصخور، وعند حدوث الزلزال يلاحظ في البداية تأثير الموجة الأولية وينتج عنها إهتزاز الأشياء غير الثابتة مثل الأثاث والأبواب والنوافذ يلي ذلك الموجة الثانوية

التي تهز الأرض في الإتجاهين الأفقي والرأسي، ينتج عنها أضرار في المباني والمنشآت.

2 - الموجات السطحية Surface Waves

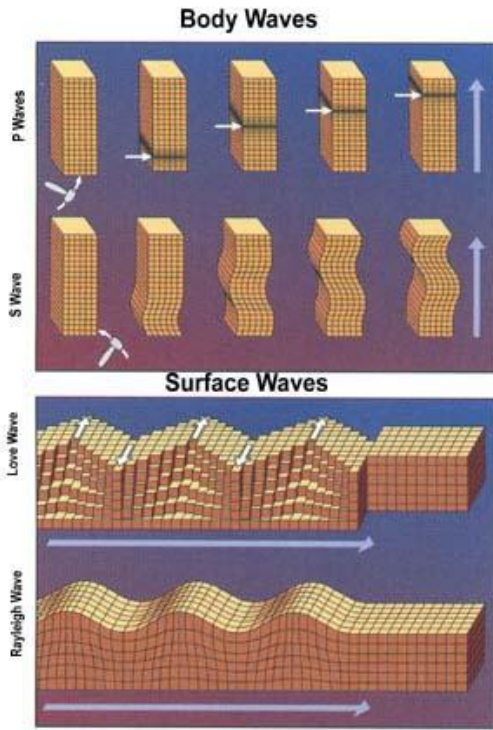
تُعد الموجات السطحية (Surface Waves - L) الأكثر تدميراً، وهي تنتقل بالقرب من سطح الأرض دون أن تمر إلى جوفها، وهي أبطأ أنواع الموجات الزلزالية وآخر ما يتم التقاطه على أجهزة الرصد. وتُقسم الموجات السطحية إلى نوعين هما :

● موجة لوف :

وتم تسميتها نسبة إلى العالم البريطاني أوغسطس لوف (Love) الذي إكتشفها عام 1885 م، وينتج عنها ذبذبات تشبه ذبذبات الموجة الثانوية ولكن في الإتجاه الأفقي فقط، وهي تؤثر بصفة خاصة على أساسات المنشآت.

● موجة رالي :

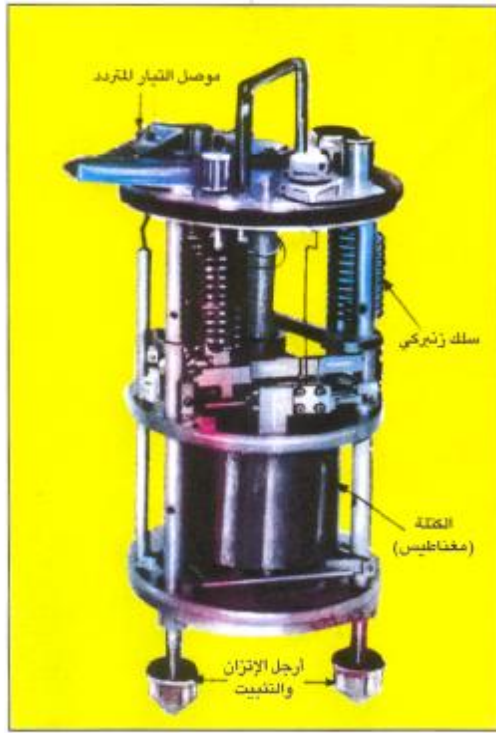
وتمت تسميتها نسبة إلى العالم البريطاني رالي (Rayleigh) الذي إكتشفها عام 1911م، وهي تشبه أمواج البحر الدائرية، وفي تحريكها للماء، وتعمل هذه الموجة على تحريك الأشياء في المستويين الأفقي والرأسي في إتجاه عمودي على إتجاه الموجة. وتتجلى أهمية الموجات السطحية في قدرتها التدميرية، بينما تكمن أهمية الأمواج الطولية والقصيرة في قدرتها على إجلاء الصورة الواضحة عن داخلية الأرض، وكذلك في تحديد بؤرة الزلازل حيث يتباين زمن وصول الموجتين، فالفرق بينهما يجعل من السهل تحديد الفرق الزمني بين الموجتين القادمتين من مصدر وآخر للدلالة على بعد الزلازل. وهذا هو بعينه ما يحدث في حالة البرق والرعد، فنحن



نبرق البرق أولاً ثم نسمع الرعد بعد ذلك، وهذا يرجع إلى أن الضوء ينتقل بسرعة أكبر من سرعة الصوت، ونستطيع أن نحدد بُعد العاصفة بمعرفة الفرق بين زمن وصول كل من البرق والرعد إلينا، فإذا كانت تفصلهما فترة زمنية وجيزة كانت العاصفة قريبة، أما إذا إستغرق وصول الرعد فترة طويلة فإن العاصفة تكون بعيدة.

ويتم إنتقاط الموجات الزلزالية الثلاثة بواسطة أجهزة رصد تسمى الراصدات Seismometers وتوضع في أماكن نائية بعيدة عن المنشآت العمرانية نظراً لحساسيتها ودقتها العاليتين في إنتقاط الهزات الأرضية. وتوضع الراصدات في ثلاث إتجاهات عمودية

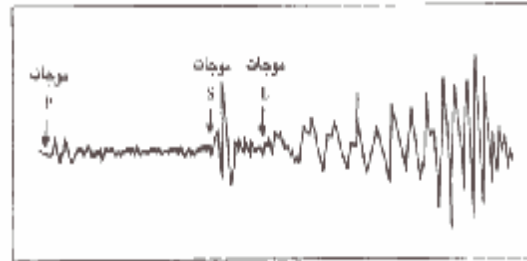
وأفقية شمال – جنوب أو شرق – غرب. ويتم تسجيل الموجات الزلزالية إما باستخدام الطرق البيانية بواسطة قلم تسجيل تتحرك أمامه وملامسة له أسطوانة مثبت عليها ورق خاص لهذا الغرض تسجل عليه الموجات الزلزالية على شكل خطوط متعرجة وتسمى السجلات الزلزالية الورقية Seismograms أما الطرق الرقمية الحديثة فتستخدم أشرطة مغناطيسية أو أجهزة حاسبة متطورة لتخزين المعلومات الزلزالية وتتميز بأنها خالية من الضوضاء الزلزالية وسهولة تبادلها مع الأوساط العلمية الأخرى.



مكونات راصد الزلازل .



كيفية حدوث الزلازل وانتشار الموجات .



السجل الزلزالي الورقي (السيزموجرام) .

لقد توصل العلماء عن طريق وصول الأمواج الزلزالية من بؤرة الزلزال إلى محطات الرصد من تحديد مواقعها وتحديد أعماق البؤرة الزلزالية وقياس أقدارها وشدتها.

عند حدوث الزلازل أو ما يسمى بالهزة الرئيسية Mainshock ينطلق معها معظم الطاقة الزلزالية الكامنة في الصخور ويبقى جزء آخر ينطلق مع الهزات اللاحقة والتوابع Aftershocks والتي في الغالب يكون تأثيرها أقل شدة من الهزة الرئيسية.

ولقد وصف القرآن الكريم هذا النوع من التوابع في قوله تعالى " يوم ترجف الراجفة تتبعها الرادفة " فالراجفة هي الزلزلة العظمى " إن زلزلة الساعة شيء عظيم " والرادفة هي التابع الأقل قوة.

مقاييس الزلازل

1- الشدة الزلزالية Earthquake Intensity

لقد قامت عدة محاولات لقياس شدة الزلازل اعتماداً على حجم التأثيرات ونوعيتها مقدار الدمار، ومن تلك المحاولات ما قام به عالم البراكين الإيطالي ميركالي (Mercalli) عام 1887م من وضعه مقياساً وصفيّاً من ثمان درجات تكون الشدة مختلفة حسب القرب والبعد عن البؤرة، فالمناطق الواقعة فوق بؤرة الزلازل تكون الشدة فيها أعلى من المناطق البعيدة عن البؤرة، لقد قام ميركالي برسم خطوط كنتورية تمثل الشدة الزلزالية لكل منطقة وتربط المناطق التي حصل لها نفس التشويه، وطور هذا المقياس إلى 12 درجة في عام 1931م، وتدل الشدة الزلزالية على التأثير المحلي أو مدى إصابة الناس بالزلازل، وكل هذه التأثيرات تختلف باختلاف المسافة.

إن للشدة الزلزالية أهمية كبيرة حيث يمكن أن تستخدم في رسم خرائط تساوي الشدة (Isoseismal Maps) وتزودنا مثل هذه الخرائط بمعلومات عن أقصى شدة للهزة المحتملة وعن طبيعة الإهتزازات الأرضية وتأثير الطبقات الصخرية للجيولوجية التحتية والتربة السطحية على شدة الهزة. إستخدمت الشدة الزلزالية أيضاً في دراسة المخاطر الزلزالية (Seismic Risk) حيث تستخدم الشدة العظمى عند المركز السطحي أو تستخدم الشدة في أية نقطة لبناء خرائط تقسيم زلزالي (Seismic Zoning) يمكن أن نتوقع منها أقصى شدة للهزة المحتملة الوقوع.

2- القدر الزلزالي Earthquake Magnitude

لكي نتمكن من المقارنة بين الزلازل في كافة أنحاء العالم لا بد من إيجاد مقياس لا يعتمد على كثافة السكان أو نوع المنشآت، ولكن مقياس كمي ينطبق على الزلازل في أي مكان. وكان أول مقياس للقدر الزلزالي على المستوى العالمي هو الذي إستخدمه العالم الياباني واداتي (Wadati) في عام 1931م، ثم قام العالم ريختر (Richter) بتطويره في ولاية كاليفورنيا عام 1936م اعتماداً على قياس إتساع موجة الزلزال طبقاً لقياسها بألة التسجيل المعروفة بالسيزموجراف. ونظراً للإختلاف الكبير في إتساع موجة الزلزال فقد إستخدم ريختر المقياس اللوغاريتمي للموجة، وعرف المقدار الزلزالي بأنه عبارة عن رقم لوغاريتمي عشري إشتق من معرفة سعة أكبر حركة أرضية أمكن تتبعها بواسطة جهاز الرصد على بعد 100 كم من مركز الزلزال، ولكن من النادر أن تكون جميع المحطات موزعة على بعد 100 كم من المركز، فإن السعة يجب أن تصحح فيما لو كان عند تلك المسافة.

لا يوجد في مقياس ريختر حد أعلى أو حد أدنى، ولو أن أقصى درجة سجلها المقياس كانت 8.9، وأن تزايد درجة واحدة في القدر يعني تضاعف في حركة الأرض عشر مرات

وإنطلاق طاقة أكبر ب 30 مرة، وهكذا فإن زلزالاً قدره 6 سيطلق طاقة أكبر ب 30 مرة من زلزال قدره 5 وأكبر ب 900 مرة من زلزال قدره 4.

تسجل الزلازل الكبيرة بشكل عادي على مقياس ريختر ولكن العلماء حالياً يفضلون وصف الزلازل ذات القدر الزلزالي أكبر من 6 درجات باستعمال مقياس العزم الزلزالي (Mw) Moment Magnitude لدقته العاليه حيث يقوم بقياس القوه الناجمه عن إزاحة الصخر.

وهناك إرتباطاً نسبياً بين القدر الزلزالي (M) والشدة الزلزالية (I) ، حيث تكون الشده أعلى ما يمكن بالقرب من بؤرة الزلزال السطحي وهذه يقابلها أعلى قدر زلزالي . ويرتبط الحد الأعلى للشدة الزلزالية بالقدر الزلزالي على النحو المبين بالجدول التالي :

التأثير	القدر الزلزالي Magnitude	الحد الأعلى للشدة الزلزالية Intensity
الحركة تسجل والأشياء المعلقة تهتز.	3	3 – 2
يشعر بها من في الداخل - الأضرار محلية.	4	5 – 4
يشعر بها الجميع - بعض الأضرار في المباني.	5	7 – 6
أضرار في المناطق الأهله بالسكان والمباني العادية تتحطم.	6	8 – 7
تحطم المباني - تشققات كبيرة - إحناء السكك الحديدية.	7	10 – 9
دمار كامل - تحطم الجسور.	8	12 – 11

هل يمكن التنبؤ بالزلازل ؟

لقد عانت البشرية ولا تزال تعاني من كوارث الزلازل التي يذهب ضحيتها آلاف البشر بجانب الخسائر المادية الجسمية، ونتيجة لكون مسببات الزلازل والعمليات التي تحدث في البؤرة أثناء حدوث الزلازل ليست معروفة بشكل مطلق، لذا أصبحت عملية التنبؤ بالزلازل أمراً في غاية الصعوبة على الرغم من بعض المحاولات الناجحة في بعض الدول المتقدمة. يعتقد معظم الباحثين في مجال الزلازل أن التنبؤ بالزلازل هدف يمكن الوصول إليه ، لذا بذلت كل الجهود الممكنة من أجل الوصول إلى هذا الهدف ولو أن البعض يرى أن نتائج التنبؤ ربما تكون ضارة وغير نافعة وخصوصاً عند فشل إحدى هذه التنبؤات ، فإن الناس بالتأكد ستتجاهل أي تحذيرات يقرب وقوع كارثة بعد ذلك.

هناك فرق كبير بين التنبؤ وتوقع حدوث الزلزال . فالتنبؤ هو تحديد مكان وزمان حدوث الزلزال بدقة، ويكون في حدود عدة ساعات، وهذا غير متاح على المستوى العالمي. أما التوقع بالتخمين فهو مبني على دراسات تاريخية مستمرة للمنطقة زلزالياً وجيولوجياً. لقد نجح العلماء السوفييات في تحديد وقت زلزال نوفمبر 1978م في أدي فيرجاتا قبل حدوثه، وكذلك في فبراير 1975م تنبأ علماء الزلازل في الصين بحدوث الزلزال وأعطوا تحذيرات قبل حدوثه بحوالي

24 ساعة، وحدث عام 1976م زلزال مدمر في نفس المنطقة لم يتم التنبؤ به وذهب ضحيته 650.000 شخص.

إن البركان مهما كان أمره يمكن الفرار منه فهو ينذر الناس قبل ثورانه، أما الزلازل فإنها لا تنذر الناس قبل وقوعها ولا يمكن التنبؤ عما إذا كانت ستحدث بعد يوم أو شهر أو سنة، ولذلك فلا مفر منها، حيث إنها تضرب ضربتها فجأة وبعد دقيقتين أو ثلاث دقائق يكون كل شيء قد إنتهى، لذا بلغ عدد من فقدوا حياتهم بسبب الزلازل أضعاف أولئك الذين فقدوا بسبب ثوران البراكين.

لم تتمخض الدراسات التي قام بها علماء الزلازل في اليابان وروسيا والصين وأمريكا عن أي قواعد ثابتة يمكن إتباعها للتنبؤ بقرب حدوث الزلازل، وكان أقصى ما وصلوا إليه هو معدل تكرار الزلازل في مكان معين، وأوصوا بأن تكون المباني والمنشآت الهامة بعيدة عن أماكن الخطر الزلزالي حتى يمكن الإقلال من إحتتمالات تعرضها للإنتهيار إذا حدث زلزال في مكان وجودها.

إن أهمية السجلات التاريخية يمكن أن تساعدنا في تحديد الأماكن التي يتوقع حدوث زلازل فيها، ولكن لا يمكن أن تحدد وقت وقوعها، وقد أمكن لليابان رصد عدة تغيرات أرضيه قبل عام 1964م، فقد تغير منسوب الأرض حوالي 20 سم حدث بعدها زلزال في المنطقة في 16 يونيو 1964م.

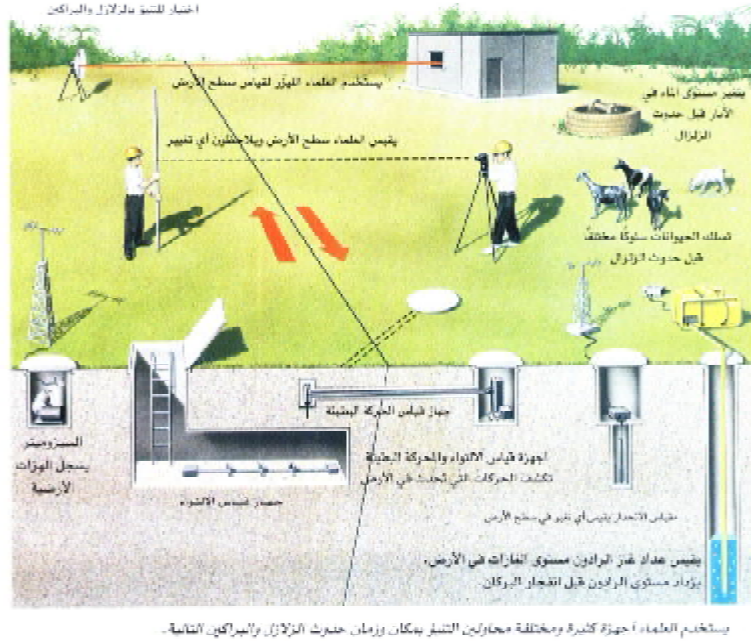
وعموماً فإن التوقع الكامل لحدوث الزلازل يتمثل في معرفة ثلاثة عناصر أساسية هي : مكان وقدر وزمن الزلزال. فبالنسبة لمكان الزلزال وقدره فقد توصل العلماء إلى تحديد أكثر الأماكن تعرضاً للزلازل على الكرة الأرضية، وقياس قدر هذه الزلازل على وجه التقريب، حيث تتم الإستفادة من هذه المعلومات في إختيار أنسب الأماكن لإقامة المشروعات العمرانية والصناعية بعيداً عن أماكن الخطر الزلزالي.

أما بالنسبة لزمن الزلزال وهو أهم العناصر، فعلى الرغم من وجود بعض الظواهر المختلفة التي قد تدل على قرب وقوع الزلزال في منطقة ما، إلا أنها ليست قاعدة ثابتة يعتمد عليها في تحديد وقت حدوثه، فقد يحدث بعد يوم أو شهر أو أكثر، وقد لا يحدث مع وجود هذه الظواهر. ومن أهم الظواهر التي قد يصاحبها حدوث هزات أرضية (زلازل) ما يلي :

- ✓ التغيرات في سرعة الموجات الزلزالية.
- ✓ إختلال مستوى المياه الجوفية في الآبار قبل حدوث الزلازل.
- ✓ تشوهات في سطح الأرض في المناطق القريبة من البؤرة وتحرك القشرة الأرضية للأعلى وتغير قيم الجاذبية.
- ✓ إنطلاق غاز الرادون Radon من الآبار على إمتداد الصدوع وتغير تركيز غاز الهيليوم.
- ✓ تغير في درجة التوصيل الكهربائي للصخور وتغير في المجال المغناطيسي الأرضي.
- ✓ إزدياد نشاط الهزات الأولية قبل حدوث الزلزال.

✓ السلوك الشاذ لبعض الحيوانات.

أن بعض الحيوانات ومن بينها سمك القرش حساسة جدا للمجال المغناطيسي للأرض مما يجعلها تشعر بالتغيير الذي يطرأ عليه عادة قبل وقوع الزلازل وكذلك أن لبعض الكائنات الحية حاسة سمع مذهلة تنفذ إلى باطن الأرض بحيث تستطيع التقاط الأصوات المنذرة بقرب الهزات الأرضية وتمييزها قبل وقوع الهزات وبعض الحيوانات تتميز بوجود حاسة فوق العادة تعتمد عليها في معرفة أي تغير في خصائص الصخور قبل حدوث الزلازل.



جميع الظواهر السابق ذكرها تعتبر مؤشرات تنبؤ متوسط أو قصير الأمد، أما مؤشرات التنبؤ طويلة الأمد فهي تحدث في الغالب في المناطق التي تعرضت لهزات مدمرة في السابق، ويمكن التنبؤ بها عن طريق مراجعة السجلات الزلزالية التاريخية، لحساب زمن تكرار هذه الزلازل في المنطقة. كذلك فإن دراسة الخرائط الزلزالية لمنطقة ما تعرضت لهزات عنيفة في الماضي، ربما يبين استمرار النشاط أو هدوء تام يتبعه إنتقال في النشاط إلى مناطق مجاورة للبقعة السابقة. وتوضع هذه الظاهرة على الخرائط الزلزالية على شكل حلقة تتكون من بقعة الزلازل للمنطقة المحيطة ببقعة الزلازل السابق، وتعرف بالبقعة الزلزالية Seismic gap .

ومع هذا مازال توقع الزلازل عملية في مهدها ولم يستطع علماء الزلازل حتى الآن التنبؤ بدقة عن مواعيدها، وهذا قد يكون رحمة من الله بعباده، والله حكيم في ذلك. والسؤال الذي يفرض نفسه : ماذا سوف يحدث لو أنذر الناس قبل حدوث الزلازل بساعة؟ وكيف سيتصرف الناس؟ وماذا سيحدث لحركة المرور؟ وأين سيذهب الناس...؟!

الإحتياطات الوقائية قبل حدوث الزلزال

أولا : الإستعداد النفسي

أكدت الدراسات أن الرعب وعدم التصرف السليم من قبل الناس عند حدوث هزات أرضية يؤديان إلى زيادة المتضررين وحوث أزمات نفسية وخاصة عند الأطفال.

ويمكن تحقيق الإستعداد النفسي من خلال :

- التعرف على ماهية الزلازل وتدريب الأطفال على ذلك.
- تعريف أفراد الأسرة على كيفية التصرف أثناء حدوث الزلزال.
- القناعة الشخصية بأن هناك وسائل وقائية يمكن الأخذ بها للمساعدة في تخفيف مخاطر الزلزال.
- الإهتمام بدور المدرسة في توعية الأطفال وتهيئتهم نفسيا وإعداد المنشورات الخاصة بذلك.

ثانيا : التعرف مسبقا على مصدر الخطر الزلزالي ومعالجته

يكن مصدر الخطر الزلزالي على الشخص في سقوط الأجسام لذلك لابد من تثبيت الأجسام الآيلة للسقوط (الأثاث المرتفع والثقيل – الدواليب – سخانات المياه – الأسقف المستعارة – النوافذ والأبواب الزجاجية الكبيرة – السوائل القابلة للإشتعال).

ثالثا : أماكن البناء

تجنب البناء على الأماكن التي تكون عرضة للإنزلاقات الأرضية أو التساقط من قمم الجبال أثناء حدوث الزلزال.

رابعا : تصميم منزل ليكون مقاوما للزلازل.

معايير التصميم المقاومة للزلازل لا يزيد في تكلفة تنفيذ المنزل إلا بزيادة بسيطة لا تزيد عن 1% من التكلفة الإجمالية.

خامسا: تحسين الكفاءة الزلزالية للمباني.

إستشارة المكاتب الهندسية في تحسين كفاءة المباني المقاومة حاليا.

الإحتياطات الوقائية أثناء وبعد حدوث الزلزال

- إذا كنت بداخل البيت فلا تحاول الهروب وإذا كنت بالخارج فلا تحاول الدخول.
- إذا كنت داخل المنزل فإنه يجب الإختباء تحت الطاولات أو إطارات الأبواب.
- إذا لاحظت أن منزلك في حالة إنشائية سيئة وقد ينهار حاول الهروب منه.
- إتجة إلى الساحات والحدائق المفتوحة وتجنب التجمهر حول الأماكن التي حدثت بها إصابات.

- تجنب إستخدام المصاعد.
- إذا كنت تقود سيارة حاول الوقوف بأسرع وقت ممكن مع تجنب المرور من خلال الأنفاق أو تحت الجسور أو فوقها.
- كن مستعدا نفسيا للهزات اللاحقة والتي قد تستمر عدة أشهر.
- تذكر أن الهزات اللاحقة قد تسبب سقوط أجزاء من المباني المتأثرة بالهزة الرئيسية ، لذلك أحرص على إزالة الأنقاض والأجزاء الأيلة للسقوط.

التسونامي Tsunami

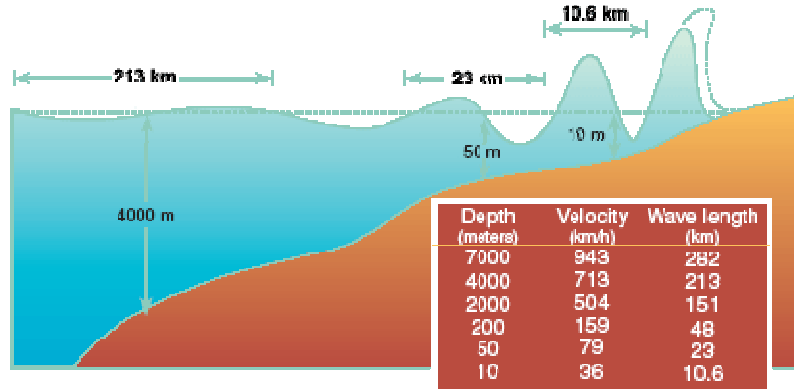
- التسونامي ظاهرة طبيعية وتعتبر من أشد الكوارث الزلزالية فتكا عبر التاريخ قديماً وحديثاً. ومن أعنف التسونامي خلال القرن الحالي مايلي :
- ✓ تسونامي جزر شرق الويسيان في المحيط الهادي في أبريل 1946م حيث بلغ إرتفاع الموجة 35م .
 - ✓ تسونامي نيكاراغوا في سبتمبر 1992م حيث أغرقت موجة إرتفاعها 10 أمتار 170 شخصاً.
 - ✓ تسونامي أوكو شيري اليابانية في ديسمبر 1993م حيث وصل إرتفاع الموجة إلى 31م.
 - ✓ تسونامي بابوا غينيا الجديدة في يوليو 1998م بإرتفاع بلغ 15م و 5000 قتيل.
 - ✓ وحديثاً التسونامي التي ضرب جزيرة سومطره والهند وسريلانكا في ديسمبر 2004م والذي يعد الأعنف خلال الأربعين سنة الماضية وأودى بحياة أكثر من 281000 شخص.

إن كلمة تسونامي Tsunami هي مصطلح ياباني يعني حرفياً موجة الميناء ربما لأنها تتسارع بصمت عبر المحيط دون أن يشعر بها أحد لتظهر فجأة أمواج عالية مدمرة. وتجدر الإشارة أنه يجب التمييز أولاً بين ظاهرة التسونامي والأمواج المتولدة من الرياح أو من المد والجزر. فالرياح الخفيفة تؤدي إلى تجعد سطح المحيط على شكل أمواج قصيرة وقد يصل إرتفاعها 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.

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 تنجم عن ثوران بركاني (جزيرة كراكاتوا الأندونيسية عام 1883 م) أو سقوط نيزك أو حدوث إنزلاق أرضي تحت الماء.

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 700كم في الساعة وعلى الرغم من سرعتها فإنها لا تشكل خطراً في المياه العميقة. فالموجة الواحدة منها لا يزيد إرتفاعها عادة عن متر واحد في وسط المحيط في حين يصل إرتفاعها إلى أكثر من 10 أمتار عند إصطدامها بالشواطئ.

ويمكن حساب سرعة الموجات التسنامية من الجذر التربيعي لقيمة العجلة الأرضية مضروباً في عمق الماء. فإذا كان عمق الماء 5كم فإن السرعة تساوي 800كم/س. أما طول موجة التسونامي فتبلغ 200 كم إذا كانت الفتره الدوريه 15 دقيقة.



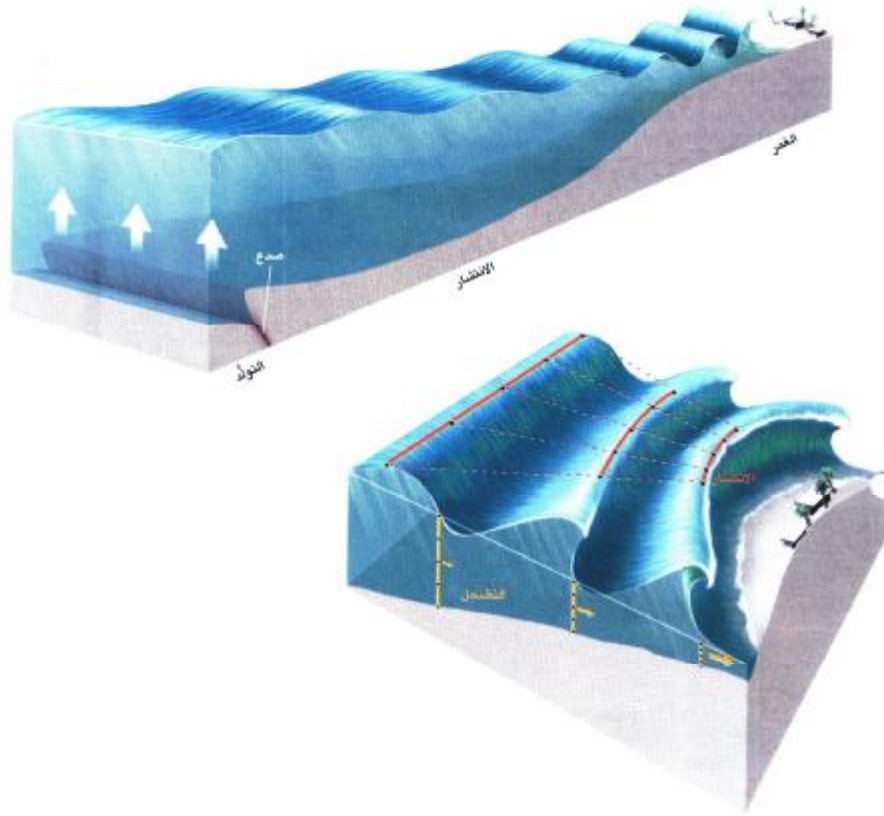
ميكانيكية ظاهرة التسونامي

تمر التسونامي أثناء نشوئها بثلاث مراحل فيزيائية متداخلة:

- 1- التولد.
- 2- الإنتشار.
- 3- الغرق.

وتتمثل 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. تنتشر 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. وتؤدي ظاهرة إنكسار الموجة وتضللها إلى حشد طاقة الموجة وتركيزها ومن ثم تبدأ تنضغط طاقة الموجة داخل حجم أصغر أثناء دخولها إلى المياه الضحلة وتنباطاً لتلحق بها الموجة التي تليها أو أنها تلتف حول الشاطئ وتؤدي هذه الزيادة في كثافة الطاقة بدورها إلى زيادة في ارتفاع الموجة والتيارات.

وتبدأ خطورة هذه الموجات عند دخولها منطقة المياه الضحلة عند المواني والخلجان الضيقة حيث تصطدم بمستوى عمق المياه في هذه المناطق مما ينتج عنه إنخفاض مفاجيء في سرعتها ، وتسبب عملية الإنخفاض المفاجيء هذه إلى حدوث زيادة وفيرة في كمية المياه فيزداد معها ارتفاع الموجة بشكل ضخم ومروع ، وتتسبب هذه القوة الضخمة الهدامة في إحداث دمار شديد عند إرتطامها بالشاطيء ، وعادة ما تتعرض المباني الكبيرة والمنازل في هذه المناطق لإنهيار عند إرتطام مثل هذه الموجات بها ، وكثيراً ما تحمل هذه الموجات التسونامية البواخر الكبيرة وترفعها ثم تجرفها نحو الأرض اليابسة لتستقر بعد ذلك فوق رمال الشاطئ.



تخفيف مخاطر التسونامي

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

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

وعلى مدى القرن الماضي ضرب اليابان 150 تسونامياً أحدثت 15% خسائر مادية وبشرية بينما أحدثت أكثر من نصف عدد التسوناميات الـ 34 التي ضربت إندونيسيا خلال القرن الماضي خسائر كبيرة في الممتلكات والأرواح.

وعموماً فإن الظروف الحركية والبيئية التي تتشكل فيها التسونامي لا تتوفر في شبه الجزيرة العربية. حيث أن ذلك يتطلب أولاً أن تكون منطقة بحار أو محيطات مفتوحة بألاف الكيلومترات بالإضافة إلى أن مناطق التسونامي النشطة تتولد من حركة الدفع الفجائية التي يحدثها الزلازل 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 إنزلاق أرضي تحت الماء.

علاوة على ذلك فإن موجات التسونامي تتميز بمدى طويل جداً فهي قادرة على نقل الطاقة المدمرة من مصدرها في المحيط إلى مسافة تبلغ آلاف الكيلومترات. وعلى ضوء ما سبق ذكره فإن ظروف تشكيل التسونامي لا تتوفر في البحر الأحمر وخليج العقبة والخليج العربي نظراً لمحدودية إتساعهم 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 الأطلسي. ولم يسبق تاريخياً أنه سجل أي موجات تسونامية منذ 112م في شبه الجزيرة العربية. والجدول المرفق يوضح الزلازل التسونامية التي سجلت في المنطقة العربية عبر التاريخ، ويلاحظ خلوه شبه الجزيرة العربية من هذا النوع من الزلازل.

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

وعموماً فإنه لا يمكن في الوقت الحالي تخفيف كوارث التسونامي في المحيطات الصغيرة والبحار مثل البحر المتوسط لأن زمن انتقال الموجة من المصدر لا يكفي لبناء منظومة انذار مبكر كما في المحيط الهادي.

المراجع

كونزاليس , م . تسونامي مجلة العلوم – المجلد 15 – العدد 8- أغسطس 1999.
العمرى, عبدالله محمد. مجلة الدفاع المدني. العدد الثالث . رجب 1420 هـ.

Bolt, B.(1993). Earthquakes. Freeman and Company.New York. 331P.