



" وَفِي الْأَرْضِ آيَاتٌ لِلْمُوقِنِينَ "

الزلزال

أسبابها - مقاييسها - توقعها

أ.د. عبدالله بن محمد العمري

قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة الملك سعود

سلسلة إصدارات جيولوجية ثقافية ①

١٤٢٨ هـ - ٢٠٠٧ م

الزلازل

مقدمة :

تُعد الظواهر الطبيعية مثل الزلازل والبراكين والرياح والأعاصير والانزلاقات 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 والانهيارات الأرضية والفيضانات والتغيرات في مستوى سطح الماء. ويختلف حجم الخسائر التي تسببها الزلازل من بلد لآخر، ويقبل بصفة عامة في الدول المتقدمة التي أخذت بصورة جدية بالوسائل التي تؤدي إلى تخفيف الخطر الزلزالي.

لقد اتجه المؤرخون منذ القدم إلى الاهتمام بالزلازل وتسجيل مواقعها وتواريخ حدوثها ووصف أحداثها وتقدير شدتها والأضرار الناجمة عنها، وتطور هذا الاهتمام حديثاً حتى أصبح علماً قائماً بذاته يسمى علم الزلازل **Earthquake Seismology** خاصة إذا علمنا أن الكرة الأرضية تتعرض سنوياً إلى حوالي ٣٥٠ 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 وعلاقته بالعوامل المسببة للزلازل.

التركيب الداخلي للأرض

الأرض 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 ٢٤ ساعة، والأرض كرة صلبة تأخذ شكلاً إهليلجياً

الزلازل

(بيضاوياً) يبلغ نصف قطرها الأفقي عند خط الاستواء ٦٣٧٨,١ كم ونصف قطرها العمودي عند الأقطاب ٦٣٥٦,٧ كم أن هناك زيادة قدرها ٢١,٤ كم عند خط الاستواء وهذه تمثل الشكل الاهليجي أو ثابت التفلطح والذي يقدر ب ٠,٠٠٣٣. لقد تم حساب قيم الجاذبية عملياً عند الأقطاب ب ٩٨٣,٢١٨ جال بينما قيست عند خط الاستواء ب ٩٧٨,٠٣٢ جال ووجد أن هناك فرق مقداره ٥,٢ جال. وهذا الفرق لا يتفق مع القيم التي تم التوصل إليها نظرياً عند افتراض أن الأرض كروية الشكل والذي يبلغ ٣,٤ جال. وهذا الاختلاف يدل على أن الأرض تأخذ شكلاً اهليجياً أو بيضاوياً. قال تعالى " والأرض بعد ذلك دحاها " النازعات آية ٣٠.

تكتسب الأرض حرارتها من مصدرين :

المصدر الأول : النشاط الإشعاعي وهي عملية طبيعية تلقائية يجري خلالها تغيير في مكونات الذرات لتنتج عناصر جديدة كما يحدث في التفاعلات النووية مما ينتج عنها تحرر طاقة على شكل حرارة عالية تبرد عند صعودها إلى القشرة الأرضية.

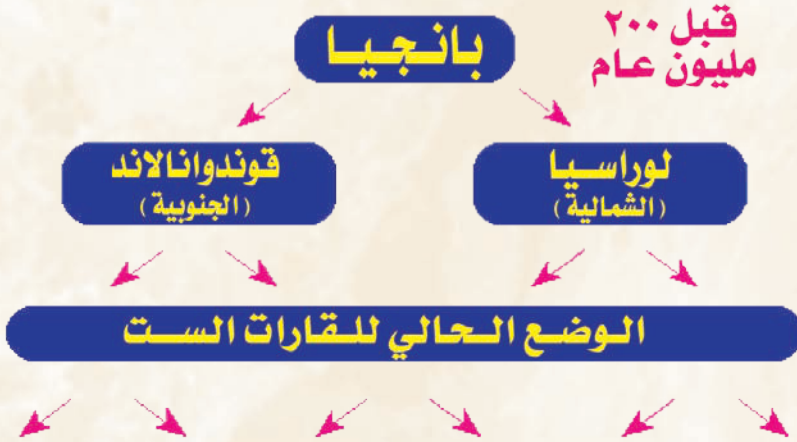
المصدر الثاني : الحرارة المتبقية **Residual heat** عبارة عن حرارة تزامنت مع تكون الأرض قبل ٤٦٠٠ مليون سنة والتي نتجت من امتزاج واختلاط مخلفات كونية نتج عنها ما يعرف بالأرض .

أما التوزيع الجغرافي لشكل الأرض فقد استدل عليه عام ١٩١٥ من خلال نظرية الانجراف القاري والتي تفترض وجود قارة عملاقة قبل حوالي ٢٠٠ مليون سنة أطلق عليها اسم بانجيا **Pangea** يحيط بها محيط عظيم أطلق عليه اسم بانثالاسا **Panthalassa** وتفككت هذه القارة العظيمة إلى :

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

الزلازل

الجنوبية. ويفصل بين هاتين القارتين بحر كبير يسمى التثيس **Tethys** ويُعتقد أن قارة القوندوانالاند بدأت تتفكك حيث انفصلت أفريقيا وأمريكا الجنوبية كتلة واحدة وبدأ بعدها المحيط الأطلسي في التكوين. وخلال تلك المرحلة أيضا انفصلت أستراليا من القارة المتجمدة الجنوبية.



دلت الدراسات الجيوفيزيائية والسيزمية على أن التركيب الداخلي للأرض التي يقع مركزها على عمق ٦٣٧١ كم يتألف من أربع طبقات أساسية هي : القشرة - الوشاح - اللب الخارجي - اللب الداخلي، وكل من هذه الطبقات يلعب دوراً هاماً في مرور وانعكاس وانكسار الموجات الزلزالية نظراً لاختلاف كثافة الصخور واختلاف التركيب المعدني، بالإضافة إلى اختلاف درجات الحرارة والضغط مع ازدياد العمق . ويمكن توضيح خصائص كل طبقة من طبقات الأرض كما يلي :

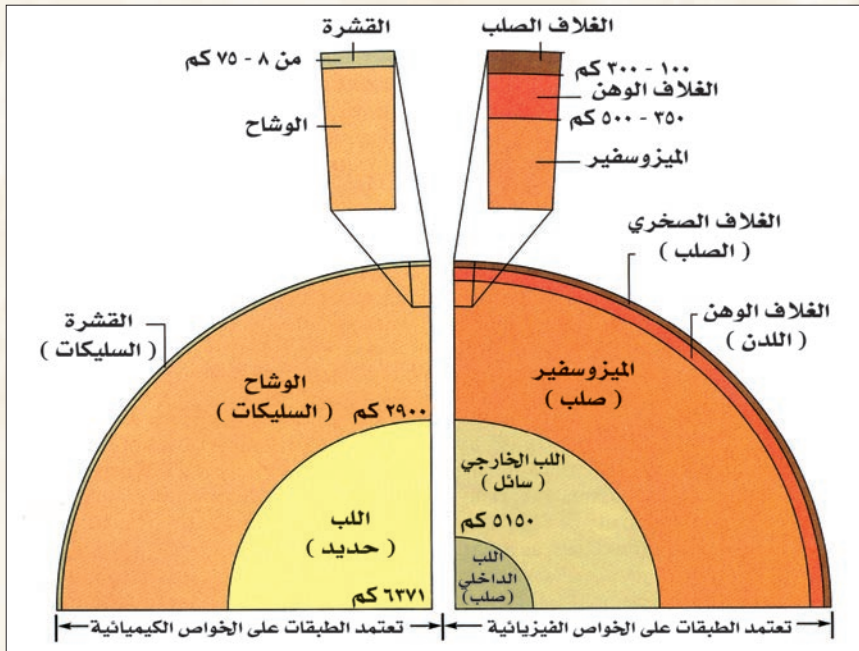
القشرة الأرضية

يتراوح سمك القشرة الأرضية **Earth Crust** ما بين ٢٥ كم إلى ٦٠ كم تحت القارات، ومن ٥ كم إلى ١٠ كم تحت المحيطات، وتتميز صخور القشرة الأرضية بكثافتها المنخفضة وبطبيعتها غير المتجانسة وذلك لاختلاف الظروف والبيئات التي تكونت فيها. وتتفاوت القشرة الأرضية في تركيبها الصخري من

الزلازل

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 الاختلاف الواضح بين سماكة القشرة القارية عن القشرة المحيطية يدل على أن للجبال جذوراً تتجاوز في سماكتها ٤ - ٥ أضعاف ارتفاع 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 ايزوستاتي بين مكونات القشرة الأرضية وفقاً لكثافتها فسيحان من قال " **والجبال أوتادا** " سورة النبا آية ٧. وكذلك في قوله تعالى " **والجبال أرساها** " سورة النازعات آية ٣٢.



التركيب الداخلي للأرض

الزلازل

وقد لاحظ عالم الجيوفيزياء موهورفيتش **Mohorovicic** عام ١٩٠٩م ازدياد سرعة الموجات الزلزالية وتغير الصفات المميزة لها عند انتقالها 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 باسم **Moho Discontinuity** تكريماً لهذا العالم. ويختلف عمق هذا الوسط من مكان لآخر دلالة على اختلاف سمك القشرة الأرضية وكثافتها تحت القارات عنها تحت المحيطات.

الوشاح

ويقع الوشاح أو الستار **Mantle** تحت القشرة الأرضية، ، ويصل عمقه إلى ٢٩٠٠ كم من سطح الأرض، ويتكون من صخور صلبة عالية الكثافة يدخل في تركيبها بصفة أساسية عنصري الحديد والمغنيسيوم، ويعتقد بعض علماء الأرض أن صخور البيريديوتيت **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.

الزلازل

اللب

يقع اللب Core على عمق يتراوح ما بين ٢٩٠٠ إلى ٦٣٧١ كم من سطح الأرض، ويتكون من جزئين هما : اللب الخارجي Outer Core ويبلغ سمكه ٢٠٨٠ كم ويصل إلى عمق ٥١٠٠ كم من السطح ويتركب أساساً من عنصري الحديد والنيكل في الحالة السائلة ولا تنتشر فيه موجات القص أثناء حدوث الزلازل. واللب الداخلي Inner Core يبدأ من عمق ٥١٠٠ كم إلى أن يصل إلى مركز الأرض على عمق ٦٣٧١ كم ويبلغ سمكه حوالي ١٣٩٠ كم ويتكون من مزيج من عنصري النيكل والحديد في الحالة الصلبة. دلت الدراسات الجيوفيزيائية أن كثافة الصخور تزداد تدريجياً مع ازدياد 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) تقريباً ١٢ جم/سم^٣ بينما في الوشاح ٣,٥ جم/سم^٣ وفي صخور القشرة تصل إلى ٢,٧ جم/سم^٣. وصدق قوله تعالى في الآية الثانية من سورة الزلزلة " وأخرجت الأرض أثقالها "

الزلازل : أسبابها وأماكن تواجدها

الزلازل لغويا هي تحريك الشيء حركة شديدة. أما علمياً فهي عبارة عن اهتزازات في القشرة الأرضية تحدث بمشيئة الله تعالى، ثم بسبب التحرر السريع للطاقة المتجمعة في الصخور، والناجمة عن الحركة التصديعية لكتل الصخور المكونة للقشرة الأرضية أو الانفجار البركاني أو انبثاق المواد المنصهرة من باطن الأرض أو الانهيارات في مناطق المغارات والمناجم وضخ المياه أو التفجيرات النووية وإنشاء السدود والبحيرات الصناعية.

ومن أهم الآثار التخريبية للزلازل :

- ◆ حدوث إزاحات أرضية عمودية أو أفقية أو كليهما معا.
- ◆ حدوث انهيار أو إنزلاق أرضي.
- ◆ تداعي المنشآت العمرانية.

الزلازل

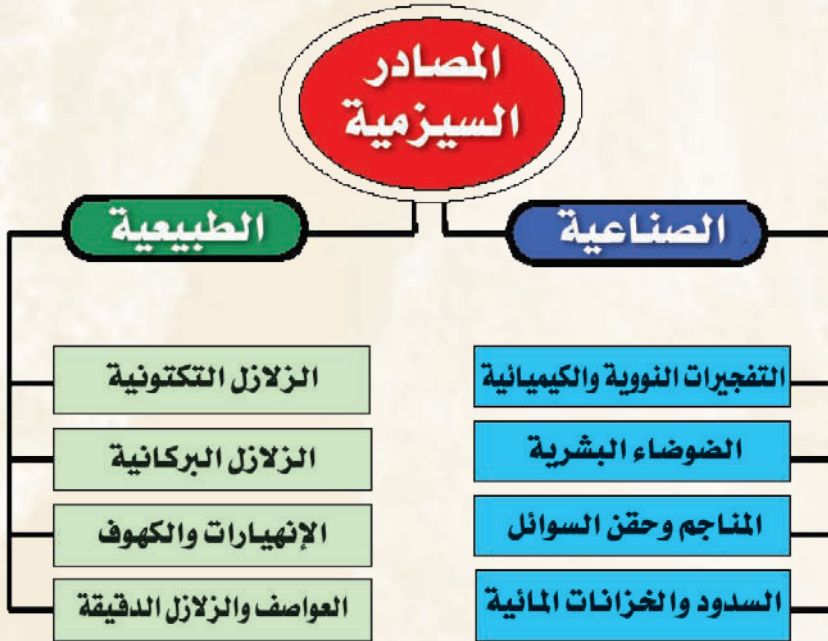
- ◆ انقطاع المياه واندلاع الحرائق.
- ◆ طغيان مياه البحر بفعل موجات الميناء (التسونامي) **Tsunami**.

أنواع الزلازل :

أولا : تصنف الزلازل حسب مصادر الطاقة إلى :

زلازل طبيعية المصدر ومنها :

- ◆ الزلازل التكتونية
- ◆ الزلازل البركانية
- ◆ زلازل الانهيارات والفجوات الأرضية
- ◆ العواصف الزلزالية
- ◆ الزلازل الدقيقة **Microseisms**



المصادر الزلزالية الطبيعية والصناعية

الزلازل

زلازل صناعية المصدر ومنها :

- ◆ التفجيرات النووية والكيميائية
- ◆ السدود والخزانات المائية وحقن السوائل
- ◆ المناجم
- ◆ الضوضاء البشرية وحركة المركبات

ثانيا : تقسم الزلازل استناداً على العمق البؤري إلى :

- ◆ زلازل ضحلة العمق يصل عمقها إلى ٧٠ كم من سطح الأرض.
- ◆ زلازل متوسطة العمق يتراوح عمقها ما بين ٧٠ - ٣٠٠ كم.
- ◆ زلازل عميقة يتراوح عمقها ما بين ٣٠٠ - ٦٧٠ كم.

ثالثا : تصنف الزلازل حسب القوة المدمرة إلى :

- ◆ زلازل ضعيفة لا تسبب دمار للمنشآت وخسائر في الأرواح وتصل شدتها إلى ٥ درجات حسب مقياس ميركالي المعدل.
- ◆ زلازل قوية تسبب دمار للمنشآت وخسائر في الأرواح وتتراوح شدتها بين ٦ - ٩ درجات.
- ◆ زلازل مدمرة مسببة دمار شامل للمنشآت وخسائر عالية في الأرواح وتتراوح شدتها بين ٩ - ١٢ درجة.

إن أول وصف علمي لأسباب حدوث الزلازل كان على يد العلماء المسلمين في القرن الرابع الهجري حيث وصف ابن سينا في كتابه عيون الحكمة الزلازل وأسباب حدوثها وأنواعها ما قوله: "حركة تعرض لجزء من أجزاء الأرض بسبب ما تحته ، والجسم الذي يمكن أن يتحرك تحت الأرض إما جسم بخاري دخاني قوي الاندفاع كالريح، وإما جسم مائي سيال، وإما جسم هوائي، وإما جسم ناري، وإما جسم أرضي".

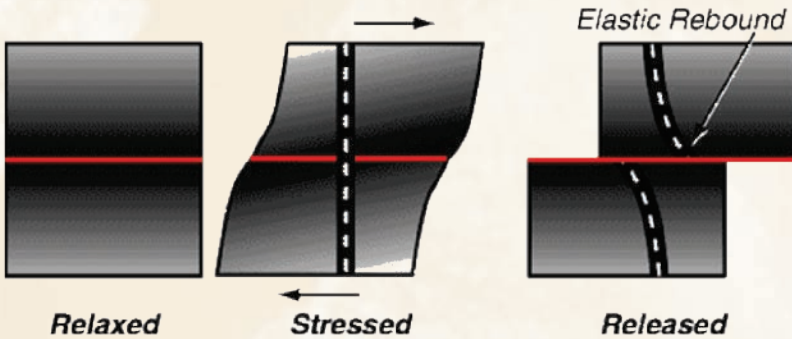
ولقد أورد ابن سينا تصورا لأماكن حدوث الزلازل فنذكر: "وأكثر ما تكون الزلزلة في بلاد متخلخلة غور الأرض متكاثفة وجهها، أو مغمورة الوجه بماء". وهو ما يتفق مع ما توصل إليه العلماء الآن أن مناطق حدوث الزلازل تكون في مناطق الضعف في القشرة الأرضية حيث يتم حركة الصخور على سطحها، وتسمح بخروج

الزلازل

الغازات. ويصف ابن سينا أنواع الزلازل فيقول: "منها ما يكون على الاستقامة إلى فوق، ومنها ما يكون مع ميل إلى جهة، ولم تكن جهات الزلزلة متفقة، بل كان من الزلازل رجفية، ما يتخيل معها أن الأرض تقذف إلى فوق، ومنها ما تكون عرضية".

أما السيوطي فقد تحدث في كتابه كشف الصلصلة عن وصف الزلزلة عن شدتها من خلال وصف آثارها التدميرية مثل أوزان الصخور المتساقطة، ومقاييس الشقوق الناتجة عن الزلازل، وعدد المدن والقرى والمساكن المتهدمة، وعدد الصوامع والمآذن المتهدمة، وعدد القتلى. كما وصف السيوطي درجات الزلازل بتعبيرات أشبه ما تكون بالمقاييس الحديثة مثل لطيفة جدا، وعظيمة وهائلة.

أما حديثا فقد أشار العالم ريد **Reid** عام ١٩٠٦م إلى أن نظرية الارتداد 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 الاحتكاك بين الصخور تحدث الإزاحة على جانبي الفالق مسببة انطلاق الطاقة المحبوسة إما على هيئة حرارة أو موجات ارتدادية، وهذه الموجات الارتدادية التي يحاول بها الصخر الرجوع إلى وضعه الطبيعي هي التي تسبب الزلازل.



مبدأ نظرية الارتداد المرن

الزلازل

وفي عام ١٩٦٢م ظهرت نظرية الصفائح التكتونية **Plate Tectonics** للعالم الألماني ألفريد وجنر **A.Wegener** (١٩٣٠-١٨٨٠م) التي افترضها عام ١٩١٢م وتقترح أن الغلاف الصخري الصلب للأرض **Lithosphere** يتألف من عدة صفائح **Plates** صخرية يتراوح سمكها بين ٧٠ كم و ١٠٠ 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 بـ **Asthenosphere**. وتحدث الحركات التكتونية على طول الحدود الفاصلة بين الصفائح التكتونية عند تحركها متقاربة أو متباعدة عن بعضها أو تنزلق إحداها بموازاة الأخرى مسببة اضطرابات في داخل الأرض تنعكس على القشرة الأرضية في صورة كسور واندفاعات بركانية وزلازل وحركات صعود وهبوط. قال تعالى " والأرض ذات الصدع " (سورة الطارق - آية ١٢).

يوجد في العالم سبع صفائح رئيسية وأخرى صغيرة ثانوية تشكل في مجملها قشرة الأرض التي نعيش عليها. قال تعالى " وفي الأرض قطع متجاورات " سورة الرعد الآية ٤. والصفائح الصلبة الكبيرة تشمل : صفيحة أوراسيا القارية ، وصفيحة المحيط الهادي المحيطية، وصفيحة أفريقيا ، وصفيحة أمريكا الشمالية، وصفيحة أمريكا الجنوبية، وصفيحة القطب المتجمد الجنوبي، والصفيحة الهندية - الأسترالية. أما الصفائح الصلبة الصغيرة فمنها : الصفيحة العربية وصفيحة نازكا و صفيحة بحر الفلبين و صفيحة الكاريبي و صفيحة القوقاز و صفيحة الأناضول و صفيحة البحر الأسود (١).

الزلازل



حدود الصفائح التكتونية الكبيرة والصغيرة

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

١- آلية السحب الناتج عن تيارات الحمل الموجودة في الغلاف الوهن **Asthenosphere**.

٢- آلية الجذب بسبب وجود طبقة الغلاف الصخري **Lithosphere** الباردة والعالية الكثافة فوق الوشاح الساخن واللدن والغلاف الواهن يؤدي إلى جذب الصفائح نحو مناطق الاندساس.

٣- آلية الانزلاق. بسبب تأثير قوى الجاذبية.

٤- آلية صعود الصهير. ٥- آلية البقع الساخنة.

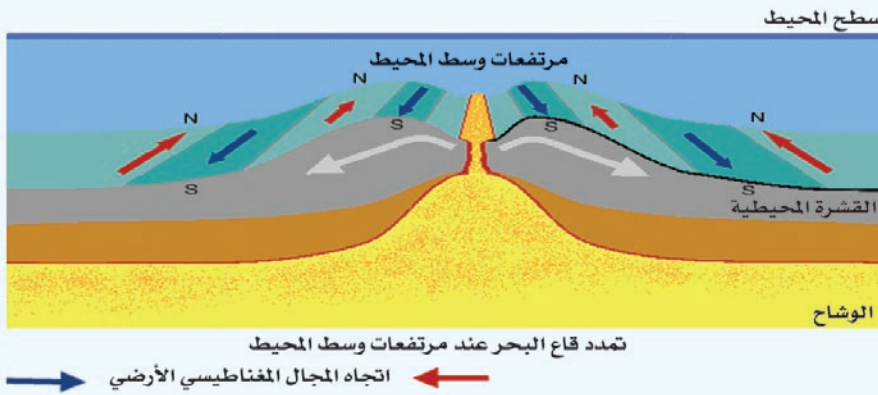
ومن الملاحظ هنا ارتباط الزلازل بخروج الحمم والصحارة من باطن الأرض وتكون البراكين وهو الارتباط الذي نبأنا الله بحدوثه أيضاً في سورة الزلزلة في قوله " **إذا زلزلت الأرض زلزالها وأخرجت الأرض أثقالها** ". وبناءً على نظرية الصفائح التكتونية، يمكن تقسيم حدود الصفائح طبقاً لحركة الصدوع واتجاهاتها، إلى ثلاثة أقسام رئيسة كما يلي:

١- مناطق تباعد الصفائح **Divergence Zones**

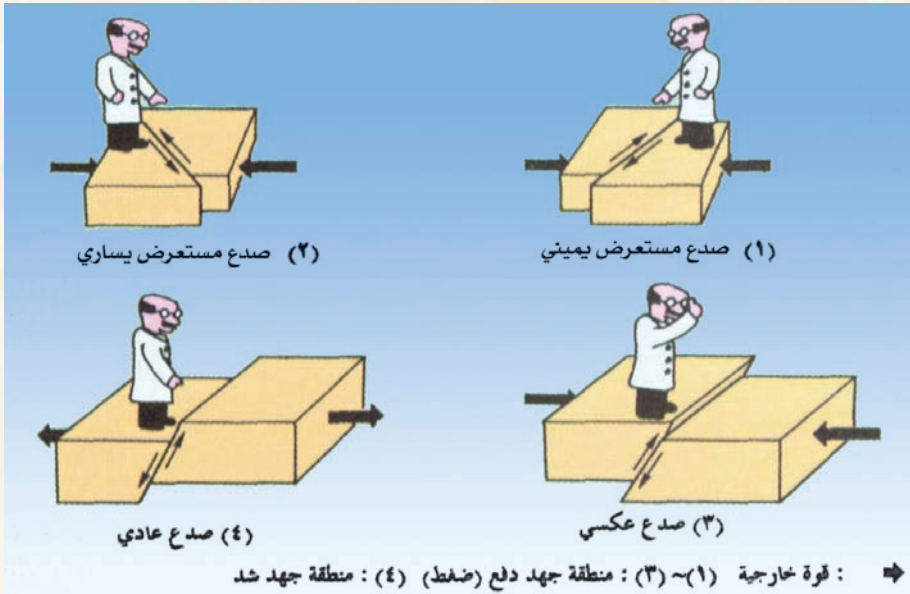
تنشأ مناطق تباعد الصفائح عن عملية شد ناتج بسبب تحرك صفيحتين

الزلازل

في اتجاه معاكس عن بعضهما البعض مثل ابتعاد 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 ٣٠ كم .



منطقة تباعد الصفائح عند مرتفعات وسط المحيط الأطلسي



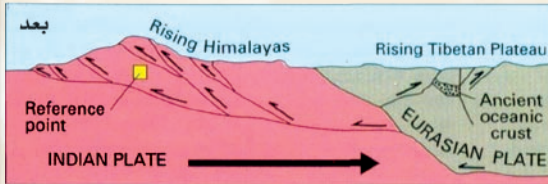
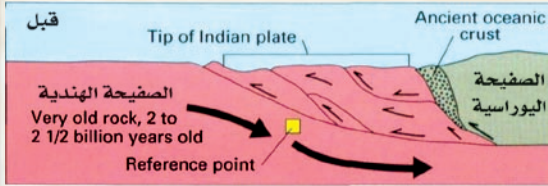
الزلازل

٢- مناطق التقاء الصفائح Convergence Zones

تنشأ مناطق التقاء الصفائح عند تحرك صفيحتين باتجاه بعضهما البعض ليلتقيا معاً وتتصادما، ويحدث التصادم إما بين صفيحتين قاريتين أو بين صفيحتين إحداهما قارية والأخرى محيطية، وتتميز هذه المناطق بوجود الصدوع العكسية

Reverse Faults ويمكن توضيح نوعي الاصطدام كما يلي:

- قاري - قاري : حيث تختلف كثافة الصخور نسبياً بين الصفيحتين، ويؤدي اصطدامهما معاً إلى تكوين منطقة من السلاسل الجبلية الضخمة والمرتفعة مثل جبال الهيمالايا في الهند، وزاكروس في إيران، وتحدث الزلازل في هذه المنطقة على أعماق متوسطة تتراوح بين ٦٠ كم و ٣٠٠ كم.



تصادم الصفيحتين القاريتين الهندية واليوراسية ونجم عن ذلك تكون جبال الهيمالايا

- قاري - محيطي : حيث تختلف كثافة الصخور بين الصفيحتين، حين تضغط إحداهما على الأخرى وتنحني 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 الأنديز في أمريكا الجنوبية والجزر الألويسية الممتدة حول منطقة ألaska. وتتميز زلازل هذه المنطقة بأنها من النوع العميق حيث يتراوح عمقها بين ٣٠٠ كم و ٦٥٠ كم.

الزلازل

٣- مناطق انزلاق أو زحف الصفائح Transform Zones

تنشأ مناطق انزلاق أو زحف الصفائح على شكل صدوع مستعرضة Transform Faults تؤدي إلى انزلاق أو زحف صفيحتين إحداهما بموازاة الأخرى، وتحرك الصفيحتان متماستين على جانبي الصدع محدثةً تكسيراً أو تشوهاً في الصخور قد ينتج عنه اندفاعات بركانية وزلازل. وتحدث الزلازل في هذه المنطقة على أعماق ضحلة قد تصل إلى ٢٠ كم تقريباً، ومن أمثلة هذه المناطق خليج العقبة، وصدع سانت أندرياس بولاية كاليفورنيا الأمريكية.



نشؤ صدع سانت أندرياس من انزلاق صفيحة أمريكا الشمالية جنوباً بالنسبة لصفيحة المحيط الهادي شمالاً

الزلازل

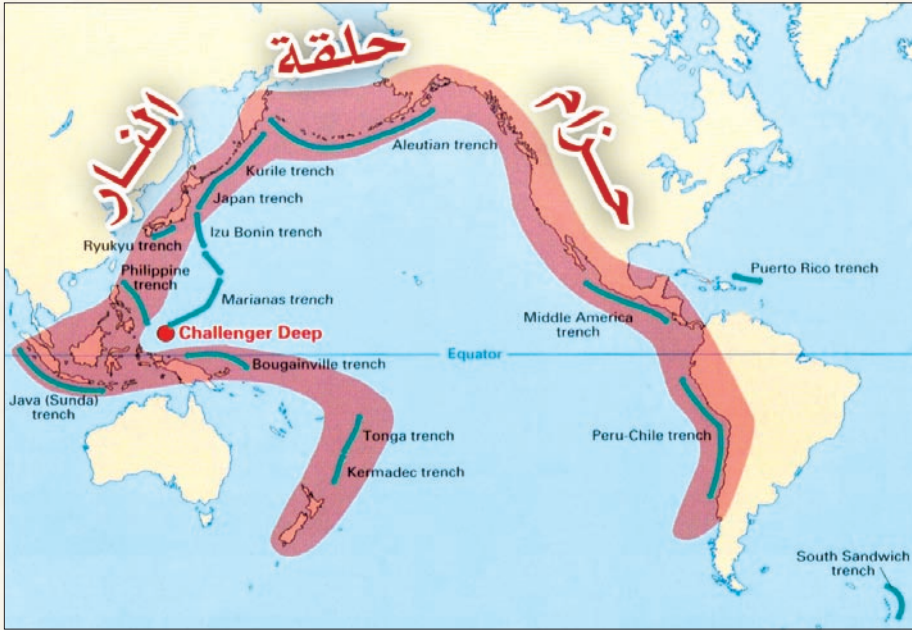
الأحزمة الزلزالية

بمقارنة خرائط توزيع الزلازل وحدود الصفائح التكتونية في العالم، نجد أن هناك ارتباطاً وثيقاً بين حدود الصفائح ومناطق النشاط الزلزالي، وعلى هذا الأساس أمكن تحديد ما يسمى بالأحزمة الزلزالية وأهمها حزام حلقة النار (حول المحيط الهادي) **Circum-Pacific Belt** ويتشكل فيه حوالي ٦٩٪ من زلازل العالم، ويذكر أن ٨٠٪ من طاقة الزلازل تتواجد في هذا الحزام، ويشمل هذا الحزام الشواطئ الغربية من أمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية واليابان والفلبين حتى يصل إلى أستراليا ونيوزيلندا، وتمثل أعنى أنواع الزلازل، وعلى سبيل المثال الزلازل التي حدثت في بيرو ١٩٧٠ وتشيلي ١٩٨٥ واليابان ١٩٢٣ وألاسكا ١٩٦٤، وزلزال اليابان ١٩٩٥م.

وهناك حزام آخر لا يقل أهمية ويمتد من الصين شرقاً ماراً بجبال الهيمالايا 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 ٢١٪ من زلازل العالم، ويمثل هذا الحزام ١٠٪ من الطاقة.

وبالإضافة إلى هذين الحزامين هناك أحزمة زلزالية أقل خطورة تمتد في خطوط شبه مستقيمة في وسط المحيط الأطلسي والهندي وتوجه شمالاً حتى تصل إلى خليج عدن وأواسط البحر الأحمر. وقد تتواجد 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 ١٩٩٢م.

الزلازل



حزام حلقة النار ويتشكل فيه حوالي ٦٩٪ من زلازل العالم

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 :

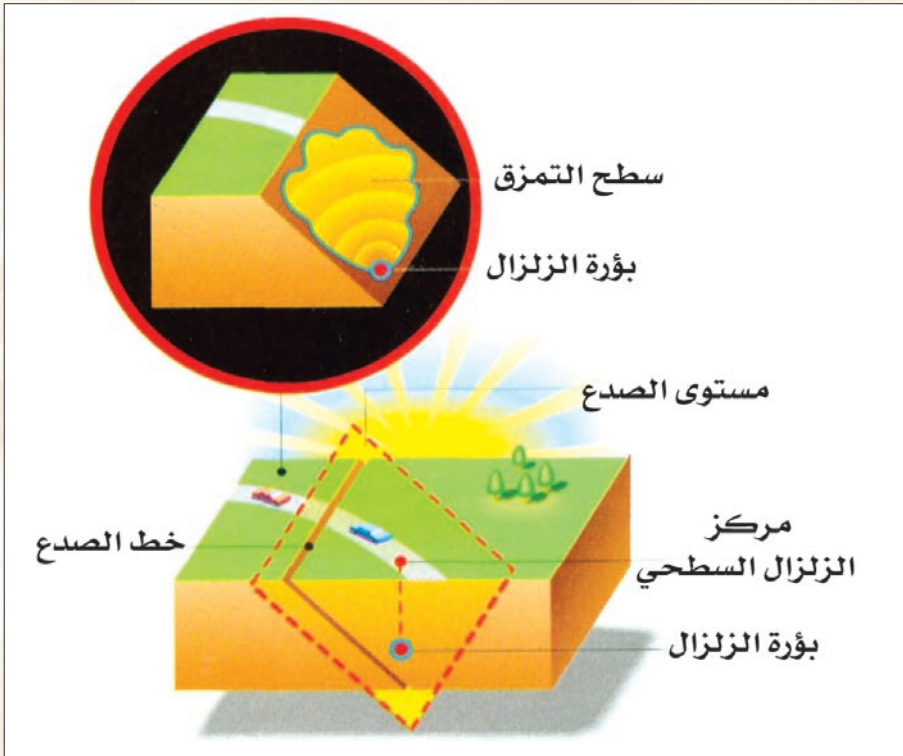
١ - الموجات الداخلية **Body Waves**

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 **Primary Waves - P**

الزلازل

وتسمى أيضا بالموجات الطولية أو الموجات التضاغطية **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).



شكل يوضح بؤرة الزلزال ومركزه السطحي ومستوى الصدع

• الموجات الثانوية - S Secondary Waves

وتسمى أيضاً بموجات القص أو القصيرة أو الإزاحة **Shear Waves**. وتنتقل في الأجسام الصلبة فقط عن طريق الاهتزاز من جانب إلى آخر كأنها

الزلازل

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 اهتزاز الأشياء غير الثابتة مثل الأثاث والأبواب والنوافذ يلي ذلك الموجة الثانوية التي تهز الأرض في الاتجاهين الأفقي والرأسي، ينتج عنها أضرار في المباني والمنشآت.

٢- الموجات السطحية Surface Waves

تعد الموجات السطحية الأكثر تدميراً، وهي تنتقل بالقرب من سطح الأرض دون أن تمر إلى جوفها، وهي أبداً أنواع الموجات الزلزالية وآخر ما يتم التقاطه على أجهزة الرصد. وتُقسم الموجات السطحية إلى نوعين هما :

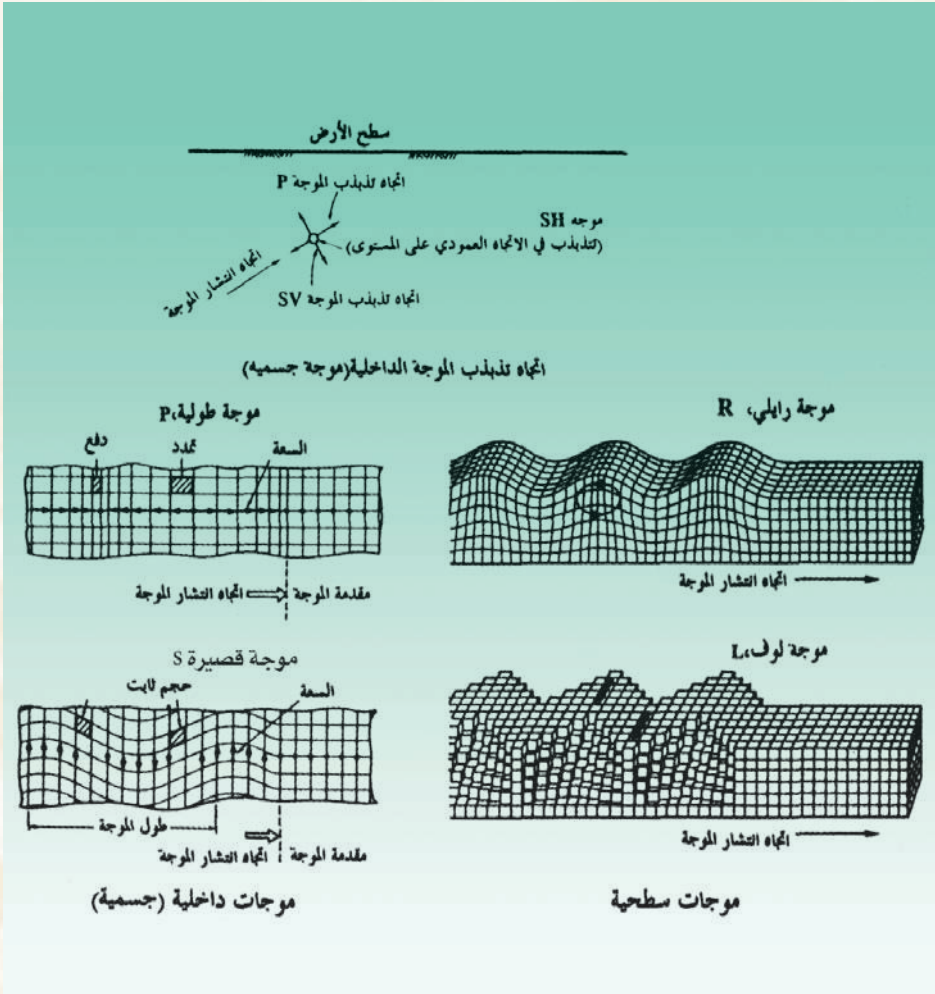
• موجة لوف :

وتم تسميتها نسبة إلى العالم البريطاني أوغسطس لوف Love الذي اكتشفها عام ١٨٨٥ م، وينتج عنها ذبذبات تشبه ذبذبات الموجة الثانوية ولكن في الاتجاه الأفقي فقط، وهي تؤثر بصفة خاصة على أساسات المنشآت.

• موجة رالي :

وتمت تسميتها نسبة إلى العالم البريطاني رالي Rayleigh الذي اكتشفها عام ١٩١١م، وهي تشبه أمواج البحر الدائرية، وفي تحريكها للماء، وتعمل هذه الموجة على تحريك الأشياء في المستويين الأفقي والرأسي في اتجاه عمودي على اتجاه الموجة. وتتجلى أهمية الموجات السطحية في قدرتها المدمرة، 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.

الزلازل



الموجات الزلزالية الجسمية (P و S) والسطحية (L و R) واتجاه تذبذبها

يتم التقاط الموجات الزلزالية الثلاثة بواسطة أجهزة رصد تسمى الراصدات **Seismometers** وتوضع في أماكن نائية بعيدة عن المنشآت العمرانية نظراً لحساسيتها ودقتها العاليتين في التقاط الهزات الأرضية. وتوضع الراصدات في ثلاث اتجاهات عمودية وأفقية شمال - جنوب أو شرق - غرب. ويتم تسجيل الموجات

الزلازل

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 أجهزة مغناطيسية أو أجهزة حاسبة متطورة لتخزين المعلومات الزلزالية وتتميز بأنها خالية من الضوضاء الزلزالية وسهولة تبادلها مع الأوساط العلمية الأخرى.

وحديثاً يمكن تمييز عدة أنواع من التحليل الطيفي للموجات الزلزالية. ونظراً للطيف العريض الذي تقع فيه الأطوار الموجية في مجال الدورة الزمنية **Period** في المجال المحصور بين ٠,١ ثانية - ١ ساعة وكذلك في المجال الترددي **Frequency** في المجال المحصور بين ٠,٠٥ - ٥٠ هرتز ولاستيعاب هذه الأطياف الموجية فإن المراسد الزلزالية تحتوي في الأساس على الأجهزة الأساسية الآتية :

◆ أجهزة الترددات القصيرة - **Short Period Seismographs**
مكونة من ثلاث مركبات عمودية وأفقية مخصصة للزلازل المحلية القريبة ولدورة زمنية محصورة بين ٠,١ - ٢ ثانية.

◆ أجهزة الترددات المتوسطة - **Intermediate Period Seismographs**
مكونة من ثلاث مركبات عمودية وأفقية مخصصة للزلازل القريبة والبعيدة نسبياً وفي سعة محصورة بين ٢ - ١٥ ثانية.

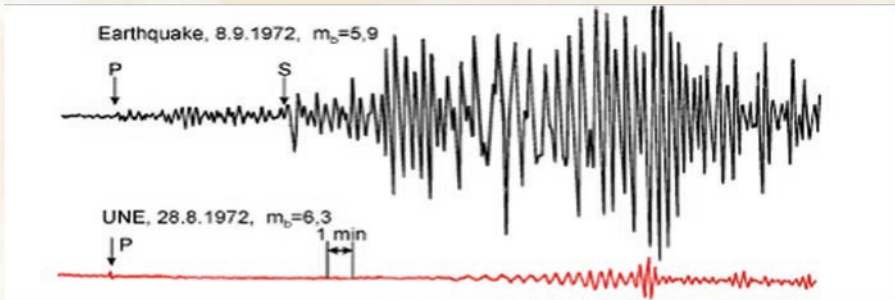
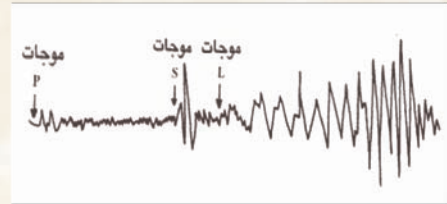
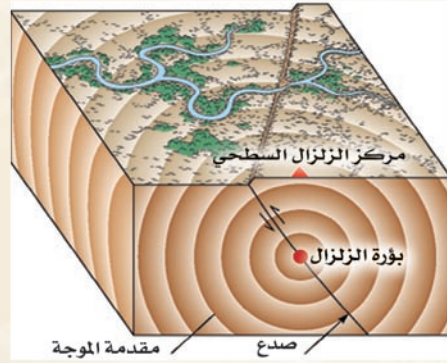
◆ أجهزة الترددات الطويلة - **Long Period Seismographs**، مكونة من ثلاث مركبات عمودية وأفقية مخصصة للزلازل البعيدة **Teleseismic** ولدورة زمنية محصورة بين ١٥ ثانية - ١ دقيقة.

◆ أجهزة التردد الواسع **Broad Band Seismographs** مفتوحة لكافة الدورات الزمنية ولأكبر من دقيقة واحدة وبمدى ترددي يتراوح من ٠,٠٥ - ٥٠ هيرتز.

◆ أجهزة الحركة القوية **Strong Motion Seismographs** مخصصة لتسجيل معاملات الحركة القوية عند وقوع الزلازل الكبيرة المقدار وتشمل السرعة والتسارع والسعة لإستخدامها في الدراسات الهندسية.

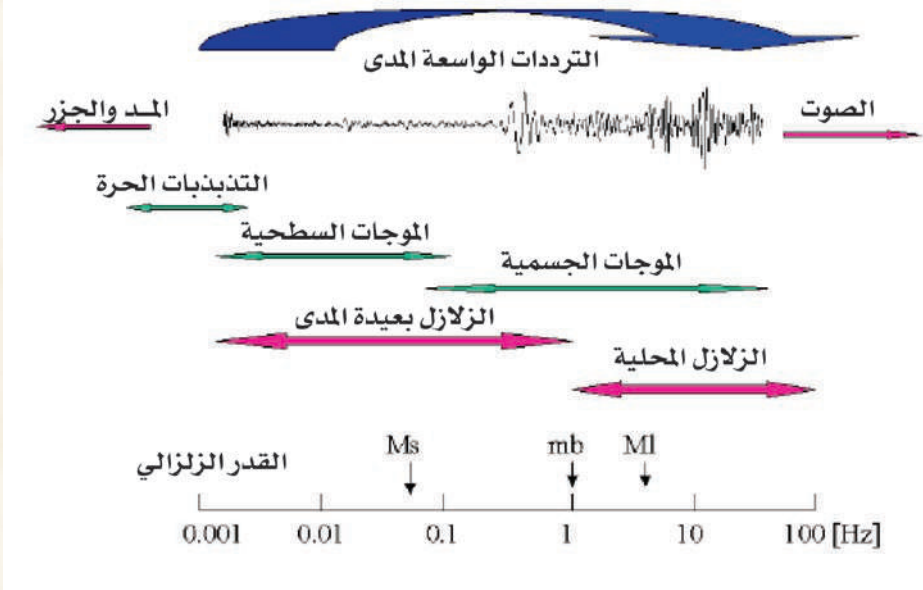
الزلازل

عند حدوث الزلازل أو ما يسمى بالهزة الرئيسية **Main shock** ينطلق معها معظم الطاقة الزلزالية الكامنة في الصخور ويبقى جزء آخر ينطلق مع الهزات اللاحقة والتتابع **Aftershocks** والتي في الغالب يكون تأثيرها أقل شدة من الهزة الرئيسية. ولقد وصف القرآن الكريم هذا النوع من التتابع في قوله تعالى " يوم ترجف الراجفة تتبعها الرادفة ". فالراجفة هي الزلزلة العظمى " إن زلزلة الساعة شيء عظيم " والرادفة هي التابع الأقل قوة.



اختلاف الخواص الموجية لزلزال قدره ٥,٩ (اللون الأسود) وتفجير نووي قدره ٦,٣ (اللون الأحمر) عند نفس المسافة.

الزلازل



المدى الترددي للموجات والأحداث الزلزالية

مقاييس الزلازل

١- الشدة الزلزالية **Earthquake Intensity** :

لقد قامت عدة محاولات لقياس شدة الزلازل اعتماداً على حجم التأثيرات ونوعيتها ومقدار الدمار، ومن تلك المحاولات ما قام به عالم البراكين الإيطالي ميركالي **Mercalli** عام ١٨٨٧م من وضعه مقياساً وصفاً 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 ١٢ درجة في عام ١٩٣١م، وتدل الشدة الزلزالية على التأثير المحلي أو مدى إصابة الناس بالزلازل، وكل هذه التأثيرات تختلف باختلاف المسافة.

الزلازل

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 الاهتزازات الأرضية وتأثير الطبقات الصخرية للتراكيب التحتية والتربة السطحية على شدة الهزة . استخدمت الشدة الزلزالية أيضاً في دراسة المخاطر الزلزالية حيث تستخدم الشدة العظمى عند المركز السطحي أو تستخدم الشدة في أية نقطة لبناء خرائط التمنطق الزلزالي **Seismic Zonation** يمكن أن نتوقع منها أقصى شدة للهزة المحتملة الوقوع.

٢- القدر الزلزالي Earthquake Magnitude

لكي نتمكن من المقارنة بين الزلازل في كافة أنحاء العالم لابد 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 استخدمه العالم الياباني واداتي **Wadati** في عام ١٩٣١م، ثم قام العالم ريختر **Richter** بتطويره في ولاية كاليفورنيا عام ١٩٣٦م اعتماداً على قياس اتساع موجة الزلزال طبقاً لقياسها بألة التسجيل المعروفة بالسيزموجراف. ونظراً للاختلاف الكبير في اتساع موجة الزلزال فقد استخدم ريختر المقياس اللوغاريتمي للموجة، وعرف المقدار الزلزالي بأنه عبارة عن رقم لوغاريتمي عشري اشتق من معرفة سعة أكبر حركة أرضية أمكن تتبعها بواسطة جهاز الرصد على بعد ١٠٠ كم من مركز الزلزال، ولكن من النادر أن تكون جميع المحطات موزعة على بعد ١٠٠ كم من المركز، فإن السعة يجب أن تصحح فيما لو كان عند تلك المسافة. تسجل الزلازل الكبيرة بشكل عادي على مقياس ريختر ولكن العلماء حالياً يفضلون وصف الزلازل ذات القدر الزلزالي أكبر من ٦ درجات باستعمال مقياس العزم الزلزالي **Moment Magnitude (Mw)** لدقته العالية.

الزلازل

مقياس ميركالي المعدل للشدة الزلزالية

متوسط أقصى تسارع أرضي بقيمة الجاذبية (g)	متوسط أقصى سرعة (سم/ثانية)	الوصف	الشدة
		لا يشعر بها أحد وتسجله أجهزة الرصد	I
		يشعر بها عدد قليل جدا ، وخاصة في الطوابق العليا	II
		يشعر بها عدد من الأشخاص المتواجدين داخل الأبنية وبشكل خاص في الطوابق العليا منها ، ولكن العديد من الناس لا يميزونها على أنها زلزال .	III
0.02 - 0.015 g	1-2	يشعر بها العديد من الأشخاص المتواجدين داخل الأبنية خلال النهار وقليل من الأشخاص في الخارج ، توقف بعض الأشخاص النائمين ، تهتز الأواني والشبابيك والأبواب ، وتحرك العجلات الواقفة.	IV
0.03 - 0.04 g	2 - 5	يشعر بها الجميع ، وتوقف العديد من النائمين ، تنكسر بعض الأوعية والشبابيك، يتشقق الجص في بعض المناطق ، تقلب الأجسام غير الثابتة .	V
0.06 - 0.07 g	5 - 8	يشعر بها الجميع ، وقد يفزع منها العديد ويهربون خارج الأبنية . يتحرك بعض الأثاث الثقيل. الأضرار قليلة . تهرب الحيوانات. أضرار في الأبنية الطينية.	VI
0.1 - 0.15 g	8 - 12	يهرع الجميع خارج الأبنية ويفقدون توازنهم، الأضرار بسيطة في الأبنية ذات التصميم الجيدة التنفيذ وقليلة إلى متوسطة في المباني العادية، أضرار واضحة في الأبنية الضعيفة ذات التصميم الرديئة . قد تظهر بعض البنايات.	VII
0.25 - 0.30 g	20 - 30	خوف و هلع بين الناس ، الأضرار قليلة في الأبنية المصممة بشكل خاص ومحكم . الأضرار واضحة في الأبنية العادية مع انهيار جزئي ، وهي واضحة بشكل كبير في الأبنية ذات التراكيب الضعيفة. تتساقط الأعمدة والجدران ، انقلب الأثاث الثقيل ، تغيرات في مياه الآبار ، ارتباك الأشخاص الذين يقودون سياراتهم .	VIII
0.50 - 0.55 g	45 - 55	الأضرار كبيرة، تنحرف الأبنية ذات الهياكل المحكمة عن وضعها العمودي ، الإضرار جسيمة في الأبنية الكبيرة مع انهيار جزئي ، تحطم بعض الأساسات ، تشقق الأرض وتتساقط الصخور وتنكسر أجزاء من الأنابيب المدفونة وتكثر انزلاقات التربة.	IX
أكثر من 0.60 g	أكثر من 60	تهدم كامل للمباني. تحطم بعض المباني الخشبية ، تشقق الأرض بشكل كبير مع انحناء سلك الحديد ، تخريب الطرق الأسفلتية والجسور، انهيارات أرضية كبيرة.	X
		أضرار جسيمة ، تصمد بنايات قليلة جداً ، تحطم الجسور ، تحدث تشققات كبيرة في الأرض ، تحطم جميع الأنابيب والقنوات الممتدة تحت الأرض. انزلاقات أرضية وإزاحات وانهيارات جبلية. تنحني سلك الحديد بشكل واضح كبير .	XI
		دمار شامل ويتبدل شكل سطح الأرض. يتشوه مدى الرؤيا والأفق . تقذف الأجسام في الهواء .	XII

الزلازل

وهناك ارتباطاً نسبياً بين القدر الزلزالي (M) والشدة الزلزالية (I) ، فكلما زادت الشدة في منطقة ما فإن هذا يعني أن القدر الزلزالي مرتفع . ويرتبط الحد الأعلى للشدة الزلزالية بالقدر الزلزالي على النحو المبين بالجدول التالي وحسب المعادلة التقريبية :

$$I = 8.16 + 1.45 M - 2.46 \text{ Log}_{10} D$$

حيث D تمثل المسافة البؤرية.:

التأثير	القدر الزلزالي Magnitude	الحد الأعلى للشدة الزلزالية Intensity
الحركة تسجل والأشياء المعلقة تهتز.	٣	٢ - ٣
يشعر بها من في الداخل - الأضرار محلية.	٤	٤ - ٥
يشعر بها الجميع - بعض الأضرار في المباني.	٥	٦ - ٧
أضرار في المناطق الآهلة بالسكان والمباني العادية تتحطم.	٦	٧ - ٨
تحطم المباني - تشققات كبيرة - إنحناء السكك الحديدية.	٧	٩ - ١٠
دمار كامل - تحطم الجسور.	٨	١١ - ١٢

لا يوجد في مقياس ريختر حد أعلى أو حد أدنى، ولو أن أقصى درجة سجلها المقياس كانت ٩، ٨، وأن تزايد درجة واحدة في القدر يعني تضاعف في حركة الأرض عشر مرات وانطلاق طاقة أكبر ب ٣٠ مرة، وهكذا فإن زلزالاً قدره ٦ سيطلق طاقة أكبر ب ٣٠ مرة من زلزال قدره ٥ وأكبر ب ٩٠٠ مرة من زلزال قدره ٤.

ويمكن تقسيم القدر الزلزالي حسب نوعية الموجة والسعة والعمق (٢) إلى :

الزلازل

١) المقدار الزلزالي للموجات السطحية (MS) **Surface Waves Magnitude**

$$Ms = \text{Log} (A/T) \max + 1.66 \text{Log} (\Delta) + 3.3$$

$(A/T) \max$ = النسبة بين السعة العظمى وفترة التذبذب Period إلى المركبة الأفقية لموجات رايلي (Rayleigh Wave).

T = فترة التذبذب وتنحصر بين (١٨-٢٢) ثانية.

Δ = المسافة بالدرجات وتنحصر بين (٢٠-١٦٠)°.

تستخدم هذه العلاقة للمقارنة بين الهزات ذات الترددات المنخفضة والأعماق الضحلة التي أقل من ٥٠ كم.

٢) المقدار الزلزالي للموجات الجسمية (mb) **Body Waves Magnitude**

وهذا المقدار ابتكره العالم **Gutenberg** عام ١٩٥٦م للزلازل العميقة ويعتمد على السعة الموجية للموجة الجسمية ويعبر عنه بالمعادلة التالية :

$$mb = \text{Log}(A/T) \max + Q(\Delta, h)$$

$Q(\Delta, h)$ = معامل تجريبي

Δ = المسافة البؤرية وتنحصر بين (٥-١٠٠) درجة .

T = فترة التذبذب ومدaha هو (١-٣) ثانية.

ويمكن تطبيق هذه العلاقة للهزات ذات التردد العالي.

٣) المقدار الزلزالي المحلي (ML) **Local Magnitude**

استنتج من قبل ريختر لتصنيف الهزات في جنوب كاليفورنيا على أساس الحجم بطريقة تختلف عن تأثيرها على الناس والمنشآت ، وعبر عن المقدار الزلزالي المحلي (ML) بالمعادلة التالية :

$$ML = \text{Log}(A) - \text{Log}(A_0)$$

A = السعة المسجلة للهزة الأرضية.

A_0 = السعة لهزة معينة اختيرت كهزة قياسية ، تدعى الهزة القياسية بالهزة الصفرية (**Zero Shock**) وذلك لأنه إذا كانت $(A=A_0)$ فإن $M=0$ ، وهذا

لا يعني عدم وجود هزات أرضية صغيرة وإنما قد تحصل على قيم سالبة ل

الزلازل

(A) وذلك عندما تسجل هزات أرضية صغيرة تمتلك ساعات أصغر من سعة الهزة الصفرية.

٤) المقدار الزلزالي المعتمد على فترة التردد (**Duration Magnitude MD**) إن المقدار الزلزالي المحلي المعين من جهاز التسجيل ذو فترة قصيرة التردد (**Short Period**) ومركبة عمودية يعتمد خطياً على اللوغاريتم الاعتيادي وفترة التردد والمسافة للمركز السطحي. لقد ابتكر العالم **Lee** هذا المقدار وطبقه على الزلازل الصغيرة حسب المعادلة :

$$MD = -0.87 + 2.0 \text{ Log } D + 0.0035 \Delta$$

MD = المقدار الزلزالي المعتمد على فترة التردد .

D = فترة التردد .

Δ = بعد المركز السطحي للزلزال بالكيلومترات .

وهناك معادلات رياضية أساسية تربط بين المقادير الزلزالية السطحية (Ms) والجسمية (mb) والمحلية (ML) و (MD):

$$mb = 0.56 Ms + 2.9$$

$$Ms = 1.79 mb - 5.18$$

$$mb = 1.7 + 0.8 ML - 0.01 ML^2$$

$$ML = 0.0357 + 0.98 MD$$

٥) مقدار العزم الزلزالي (**Moment Magnitude Mw**)

وهذا النوع ينطبق على الزلازل القوية التي يبلغ قدرها في الغالب أكثر من ٦. وقام **Kanamori** عام ١٩٨٣م بتطوير مقدار ينطبق على الزلازل الضحلة والعميقة :

$$Mw = 2/3 \text{ Log } Mo - 10.7$$

Mo : العزم الزلزالي. فالأحداث الزلزالية التي قدرها أقل من ٨ تنطبق آل Ms مع آل Mw في حساب المقدار.

الزلازل

العزم الزلزالي Seismic Moment

يعرف العزم الزلزالي بأنه مقياس لحجم الزلازل وهو عبارة عن صلابة الصخرة مضروبة بمساحة التصدع مضروبة بمقدار الإنزلاق. أو بمعنى آخر هو قياس قوة الزلازل الناتجة عن إزاحة الصدع. ومن المعروف أن مقياس المقادير الزلزالية تعتمد على معرفة سعة الموجة السطحية، وفترة التذبذب لها، ولما كانت الزلازل ذات البؤر العميقة تكون لها موجات سطحية صغيرة فقط أو على شكل سلسلة من الموجات السطحية غير المهمة لذلك فمن المفضل عند التعامل مع كل الزلازل الأرضية أن نكون قادرين على حساب مقدار زلزالي منتظم لا يعتمد على وجود أو غياب الموجات السطحية، وقد يمكن تجنب هذه المشكلة باستخدام قياس جديد لقوة الزلازل يُدعى العزم الزلزالي. يمكن تمثيل العزم الزلزالي من خلال نظرية الإزاحة **Dislocation Theory** كمكافئ للمصادر المزدوجة ومن ذلك جاء تعريف العزم الزلزالي كتعبير عن الإزاحة على الصدع ومنطقة المصدر. ويمكن التعبير عن العزم الزلزالي (M_0) بالمعادلة الآتية :

$$M_0 = U D S$$

U = ثابت المرونة (معامل القص).

D = معدل الإزاحة (Dislocation) على مستوى الصدع.

S = مساحة مستوى الصدع.

كما أن هناك علاقات تربط بين العزم الزلزالي والمقادير الزلزالية السطحية والمحلية

$$\text{Log } M_0 = 20.15 + 1.12 ML$$

$$\text{Log } M_0 = 10.92 + 1.11 Ms$$

الطاقة الزلزالية Seismic Energy

من المعروف أن الهزات الأرضية تتكون نتيجة لتحرير المفاجئ لطاقة الانفعال Strain Energy المخزونة مسبقاً في الصخور ومن قياس طاقة الموجة الزلزالية الناجمة عن الكسر المفاجئ يمكن تخمين الطاقة المتحررة من الهزات الأرضية، وهناك العديد من العلاقات التي تربط بين طاقة الموجة الزلزالية (E) والمقدار الزلزالي (M)

الزلازل

$$\text{Log (E)} = 11.8 + 1.5 M$$

$$\text{Log (E)} = 12.66 + 1.4 M$$

وقد بين بعض الباحثين صلاحية هذه المعادلة لحساب الطاقة الزلزالية للهزات الدقيقة.

وهناك علاقات تجريبية أخرى مقدمة من العالم باث (Bath) عام ١٩٧٣م للربط بين الطاقة الزلزالية (E) والمقدار الزلزالي السطحي (Ms) للزلازل التي قدرها أكبر من ٥ والموجات الجسمية (mb) كالاتي :

$$\text{Log (E)} = 5.24 + 1.44 Ms$$

$$\text{Log (E)} = 4.78 + 2.57 mb$$

وترتبط الطاقة الزلزالية (E) بالمقدار الزلزالي السطحي (Ms) والمقدار الزلزالي الجسمي (mb)، والشدة الزلزالية القصوى (Io) على النحو التالي :

Io	Mb	Ms	الطاقة (ارج) E
٧ - ٦	٥,٩	٥,٤	٢٠١٠
٨ - ٧	٦,٣	٦,١	٢١١٠
٩ - ٨	٦,٧	٦,٨	٢٢١٠
١٠ - ٩	٧,١	٧,٥	٢٣١٠
١١ - ١٠	٧,٥	٨,٢	٢٤١٠
١٢	٧,٨	٨,٩	٢٥١٠

هناك علاقة تجريبية تربط بين المقدار الزلزالي (M) والإزاحات السطحية الناتجة عن الصدوع والتشوهات في القشرة الأرضية. فمثلا هناك علاقة تربط المقدار الزلزالي وطول الصدع (L) بالكيلومترات :

$$Ms = 6.10 + 0.70 \text{ Log L}$$

كما أن هناك علاقة تجريبية تربط بين إزاحة الصدع (U) (Fault Offset) والمقدار الزلزالي (M)

$$\text{Log (U)} = 0.55 M - 3.71$$

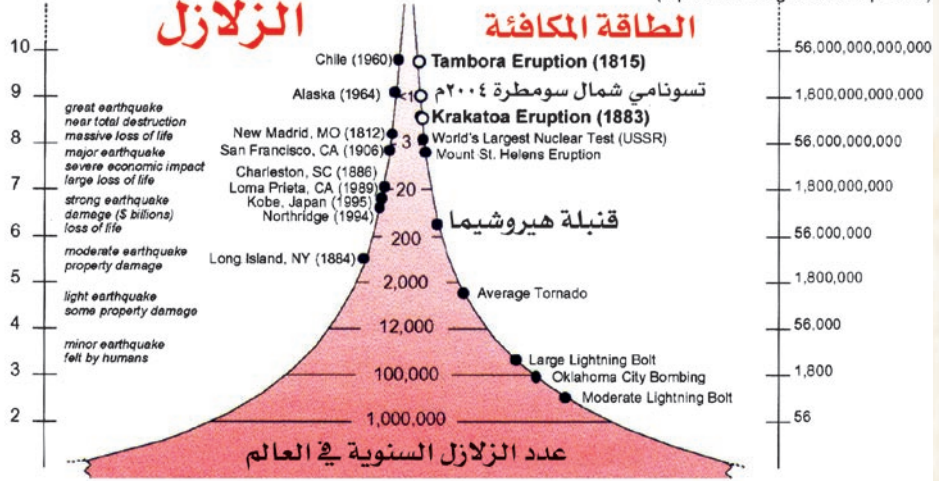
$$\text{Log (U)} = 0.67 M - 4.33$$

الزلازل

Magnitude

Energy Release

(equivalent kilograms of explosive)



العلاقة الطردية بين القدر الزلزالي وكمية الطاقة الزلزالية المكافئة

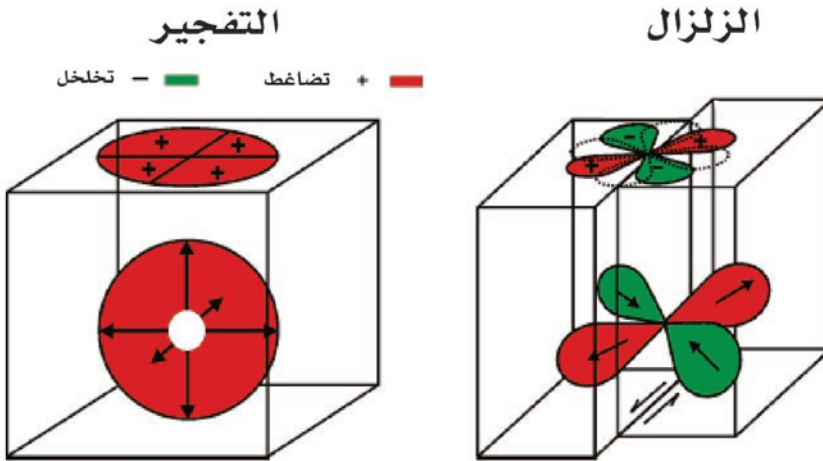
الطاقة المكافئة بمقياس قنبلة هيروشيما الذرية	الطاقة المكافئة من مادة TNT	القدر الزلزالي Magnitude
	180 كجم	3
	4.5 طن	4
	180 طن	5
	454 طن	6
2	29000 طن	6.5
12	180000 طن	7
66	مليون طن قنبلة هيدروجينية	7.5
400	٦ مليون طن قنبلة هيدروجينية	8
2000	٣٠ مليون طن قنبلة هيدروجينية	8.5
13300	٢٠٠ مليون طن قنبلة هيدروجينية	9

الزلازل

الزلازل والتفجيرات

على عكس الزلازل، نجد أن التفجيرات بأشكالها المختلفة النووية والكيميائية يتحكم فيها الإنسان بكميتها ومعرفة طاقتها مبدئياً وتحديد موقعها الحقيقي بدقة متناهية ، ويستفاد من هذه المعلومات في معايرة محطات رصد الزلازل وتحديد مواقع الزلازل بدقة. إن أقوى تفجير نووي تحت السطح يعادل زلزال قدره بالموجات الجسمية $MB=7$ ، وهذه تعادل تقريباً ٠,١٪ من طاقة زلزال تشيلي عام ١٩٦٠ م.

غالباً يكون اتجاه الحركة الأولية في التفجيرات تضاغية على شكل شعاعي إلى الخارج في جميع الاتجاهات، بينما في الزلازل تكون الحركة الأولية تداخلية حيث تنكسر إلى أسفل قبل وصولها محطة الرصد. ويلاحظ أيضاً أن نسبة سعة الموجة الطولية إلى القصيرة في حالة التفجيرات أعلى من الزلازل. ومن الفوارق الأساسية بين التفجيرات والزلازل هو العمق ، حيث يستبعد حدوث الزلازل عند أعماق ضحلة أقل من ٥ كم.



مقارنة بين اتجاه الحركة الأولية للشكل الموجي للزلزال والتفجير

الزلازل

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 بالتأكيد ستتجاهل أي تحذيرات بقرب 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.

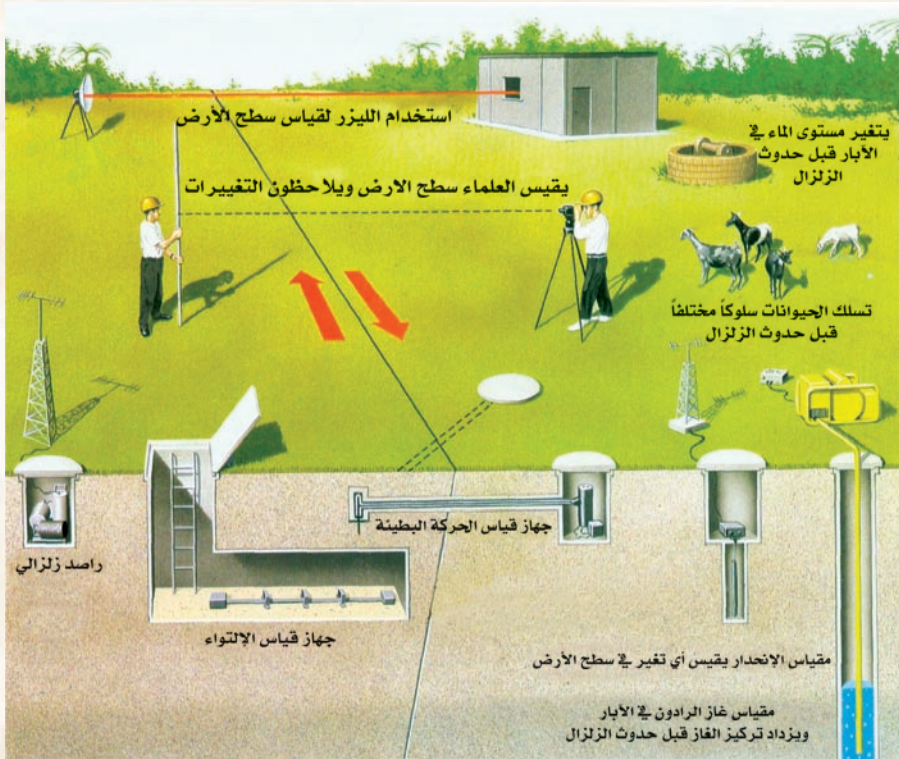
إن البركان مهما كان أمره يمكن الفرار منه فهو ينذر الناس قبل ثورانه، أما الزلازل فإنها لا تنذر الناس قبل وقوعها ولا يمكن التنبؤ عما إذا كانت ستحدث بعد يوم أو شهر أو سنة، ولذلك فلا مفر منها، حيث إنها تضرب ضربتها فجأة وبعد دقيقتين أو ثلاث دقائق يكون كل شي قد انتهى، لذا بلغ عدد من فقدوا حياتهم بسبب الزلازل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

لقد نجح العلماء السوفيات في تحديد وقت زلزال نوفمبر ١٩٧٨م في أدي فيرجاتا قبل حدوثه، وكذلك في فبراير ١٩٧٥م تنبأ علماء الزلازل في الصين بحدوث الزلزال وأعطوا تحذيرات قبل حدوثه بحوالي ٢٤ ساعة بناء على مراقبة حركة الحيوانات بصورة رئيسية، ودراسة ورصد كل المتغيرات في

الزلازل

المنطقة . ولكن في العام الذي يليه وبالتحديد في ٢٧ يوليو ١٩٧٦م وأثناء عقد مؤتمر لعلماء الزلازل في الصين لمناقشة النجاح في توقع زلزال العام الماضي حدث زلزال عظيم مفاجئ قتل حوالي ٢٥٠ ألف شخص.

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 احتمالات تعرضها للانهيار إذا حدث زلزال في مكان وجودها.



المؤشرات القصيرة والبعيدة لمحاولة التنبؤ بالزلازل قبل حدوثه (٣)

الزلازل

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 جيوديسية للأرض قبل عام ١٩٦٤م، فقد تغير منسوب الأرض حوالي ٢٠ سم حدث بعدها زلزال في المنطقة في ١٦ يونيو ١٩٦٤م. وعموماً فإن التوقع الكامل لحدوث الزلازل يتمثل في معرفة ثلاثة عناصر أساسية هي : مكان وزمان وقدر الزلزال. فبالنسبة لمكان الزلزال وقدره فقد توصل العلماء إلى تحديد أكثر الأماكن تعرضاً للزلازل على الكرة الأرضية، وقدر هذه الزلازل على وجه التقريب، حيث تتم الاستفادة من هذه المعلومات في اختيار 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.
- ♦ اختلال مستوى المياه الجوفية في الآبار قبل حدوث الزلازل.
- ♦ تشوهات في سطح الأرض في المناطق القريبة من البؤرة وتحرك القشرة الأرضية للأعلى وتغير قيم الجاذبية.
- ♦ انطلاق غاز الرادون Radon من الآبار على امتداد الصدوع وتغير تركيز غاز الهليوم.
- ♦ تغير في درجة التوصيل الكهربائي للصخور وتغير في المجال المغناطيسي الأرضي.
- ♦ ازدياد نشاط الهزات الأولية قبل حدوث الزلزال.
- ♦ السلوك الشاذ لبعض الحيوانات مثل هروب الفئران والثعابين من الجحور

الزلازل

وقفز الأسماك فوق سطح الماء وخروج الماشية والخيل من مرابطها ورفع الأرناب أذانها ومداومة الحمام الطيران وعدم عودته إلى أبراجه.

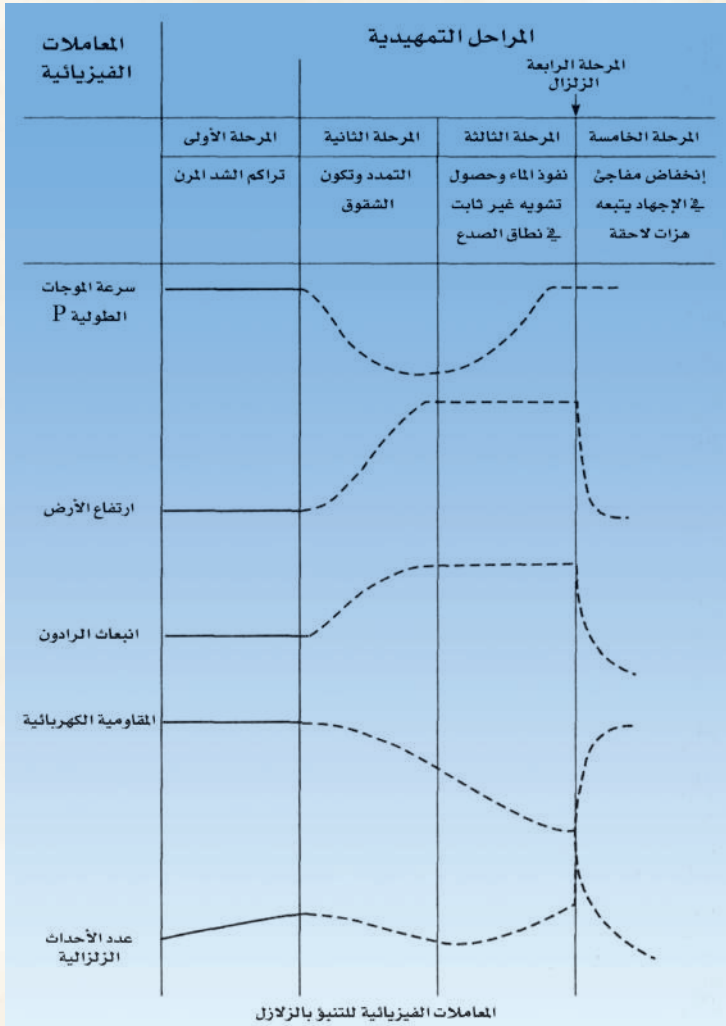
أن بعض الحيوانات ومن بينها سمك القرش والسلور حساسة جدا للمجال المغناطيسي للأرض مما يجعلها تشعر بالتغيير الذي يطرأ عليه عادة قبل وقوع الزلازل وكذلك أن لبعض الكائنات الحية حاسة سمع مذهلة تنفذ إلى باطن الأرض بحيث تستطيع التقاط الأصوات المنذرة بقرب الهزات الأرضية وتمييزها قبل وقوع الهزات وبعض الحيوانات تتميز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

وتجدر الإشارة إلى أن حاسة السمع عند الحيوانات أعلى بكثير منها عند الإنسان حيث تتراوح عند الإنسان ما بين ١٠٠٠ - ٤٠٠٠ ذبذبة في الثانية بينما تصل عند بعض الحيوانات كالأسود والكلاب إلى ٦٠ ألف ذبذبة في الثانية و ١٠٠ ألف ذبذبة في الثانية عند الضئران والخفافيش. علاوة على أن الشحنات الكهربائية عند الحيوانات لها تأثير كبير في هرمون الأعصاب مما يؤدي إلى هيجان الحيوان وتغيير تصرفاته قبل حدوث الزلزال .

جميع الظواهر الوارد 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. إن دراسة الخرائط الزلزالية لمنطقة ما تعرضت لهزات عنيفة في الماضي، ربما يبين استمرار النشاط أو هدوء تام يتبعه انتقال في النشاط إلى مناطق مجاورة للبويرة السابقة. وتوضع هذه الظاهرة على الخرائط الزلزالية على شكل حلقة تتكون من بويرة الزلازل للمنطقة المحيطة ببويرة الزلزال السابق، وتعرف بالفجوة الزلزالية **Seismic gap** .

الزلازل

تتمثل الجهود الرئيسية في التنبؤ عن الزلازل حالياً بالقياسات الدقيقة للتغيرات في المعاملات الفيزيائية لصخور القشرة الأرضية. وبالرغم من تضارب نتائج هذه القياسات ومحدودية تطبيقها إلا أن الاختبارات الحقلية أثبتت فعالية بعض هذه المعاملات ومن أهمها : سرعة الموجات الطولية وارتفاع الأرض وانبعاث غاز الرادون من الآبار والمقاومة الكهربائية في الزلازل وعدد الزلازل في المنطقة.



الزلازل

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 حكمة في ذلك. والسؤال الذي يفرض نفسه : ماذا سوف يحدث لو أنذر الناس قبل حدوث الزلزال بساعة؟ وكيف سيتصرف الناس؟ وماذا سيحدث لحركة المرور؟ وأين سيذهب الناس...؟

المراجع

- 1- Bolt. B.(1993), " Earthquakes " , . Freeman and Company, New York, 331P.
- 2- Bormann, P. (2002). New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP), IASPEI.GeoForschungsZentrum. Potsdam.
- ٣- باربر، نيكولا (٢٠٠٢م) . الزلازل والبراكين. سلسلة علوم ألفا . مكتبة العبيكان.