

## الزلازل والمخاطر الناتجة منها

مقالة علمية من اعداد الطالب

احمد غازي عطية / المرحلة الثالثة

قسم علوم الارض التطبيقية

### المقدمة:

الزلازل هو اهتزاز الأرض ناتج عن التحرر المفاجئ للطاقة المخزونة في الصخور تحت الأرض. إن القوى التكتونية المؤثرة عميقا في الأرض عند حصول إجهاد على الصخرة قد تنتهي أو تتغير في الشكل. عندما تنكسر أي صخرة، تتحرر موجات الطاقة خلال الأرض. هذه هي الموجات الزلزالية Seismic Waves وهي موجات الطاقة المنتجة بواسطة أي زلزال والتي هي عبارة عن موجات صوتية تنتقل خلال الصخور والطبقات الأرضية في جميع الاتجاهات. هذه الموجات الزلزالية هي التي تسبب اهتزاز وارتعاش الأرض خلال الزلازل.

إن التحرر المفاجئ للطاقة عندما تنكسر الصخرة قد يسبب انزلاق كتلة صخرية كبيرة فوق كتلة أخرى إلى موقع مختلف نسبيا. إن الكسر بين كتلتين صخريتين هو فالق. إن التفسير الكلاسيكي عن كيفية حدوث الزلازل يدعى نظرية الارتداد المرن Elastic Rebound Theory ، وهي تتضمن التحرر المفاجئ للانفعال المخزون تدريجيا في الصخور، مسببا حركة على طول الفالق. إن القوى الداخلية العميقة الجذور ( القوى التكتونية) تعمل على كتلة الصخر طوال عدة عقود. في البداية، تنتهي الصخرة ولكن لا تتكسرحيث تبدأ بخرن طاقة أكثر وأكثر في الصخرة ويصبح الانثناء اشد، أخيرا، تتخطى الطاقة المخزونة في الصخرة قوة الكسر عندئذ تنكسر الصخرة على نحو مفاجئ مسببة زلزال. تتحرك كتلتان من الصخر مرورا بمحاذاة بعضهما البعض على طول فالق ما قد تكون الحركة أفقية أو عمودية أو كلاهما حيث يتحرر الانفعال على الصخرة وتستهلك الطاقة بواسطة حركة الصخرة إلى مواقع جديدة من خلال توليد موجات زلزالية.

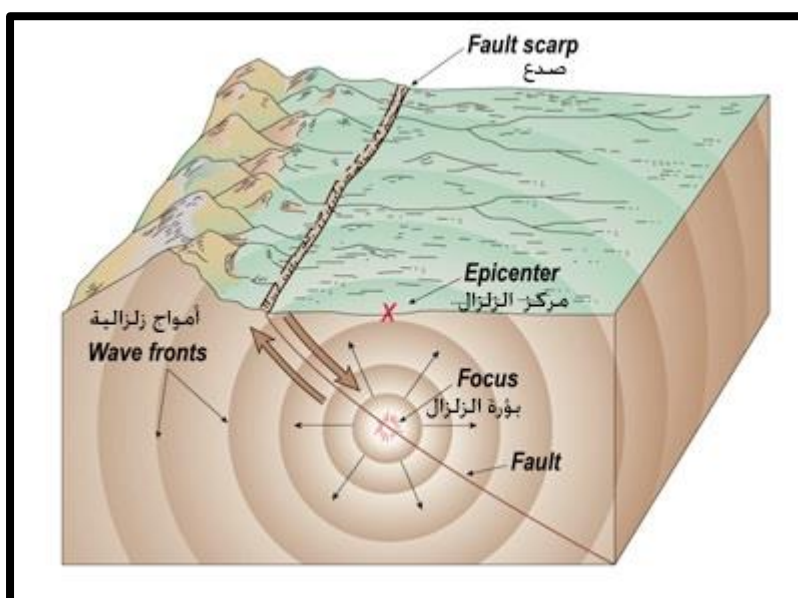
إن السلوك الهش للصخرة المنكسرة مميز فقط للصخور القريبة من سطح الأرض تخضع الصخور عند العمق إلى ضغط وحرارة متزايدة، والذي يميل إلى تقليل الهشاشة، تتصرف الصخور العميقة كمعاد مطاوعة بدلا عن الكسر (السلوك الهش) ، وبالتالي، يوجد حد ما للعمق الذي فيه يمكن ان تحدث الفوالق.

معظم الزلازل مترافقة بحركة على الفوالق، ولكن في بعض الهزات ربما يكون الربط بالتفلق صعب برهنته. أيضا تحدث الزلازل خلال الانفجارات البركانية وعندما يملئ الصهير قسرا حجلات الصهير تحت الأرض قبل عدة ثورات. تلك الهزات قد لا تكون مترافقة مع حركة الفالق إطلاقا. مؤخرا، افترض سبب آخر للزلازل العميقة ( 100 إلى 670 كم أسفل السطح)، أساسا كل منها موجود على صفائح باردة غائرة تنزلق نحو الأسفل باتجاه الجبة. رغم أن الصفائح الذاهبة نحو الأسفل ابرد من الصخر المحيط، توحى درجة الحرارة العالية والضغط لبعض الجيولوجيون أن الصخر في الصفائح يجب أن يتصرف بطريقة مطاوعة بدلا عن الكسر بالأسلوب الهش

للصخور القريبة من السطح. إن السبب المقترح للزلازل العميقة هو التحولات المعدنية داخل الصخر الذاهب نحو الأسفل عندما يجعل الضغط المعدن ينهار إلى شكل أكثر كثافة. أظهرت التجارب المختبرية أجسام المعادن الجديدة الأكثر كثافة على طول الكسور.

### الموجات الزلزالية Seismic waves

تدعى النقطة داخل الأرض حيث تتولد الموجات الزلزالية أولاً بالبؤرة focus (أو المركز السفلي hypocenter) الزلزالية شكل (1). هذا هو مركز الزلزال وهي نقطة التكسر الأولي والحركة على الفالق. يحدث التمزق عند البؤرة ثم ينتشر سريعاً على طول مستو الفالق. إن النقطة على سطح الأرض مباشرة فوق البؤرة هي المركز السطحي Epicenter .

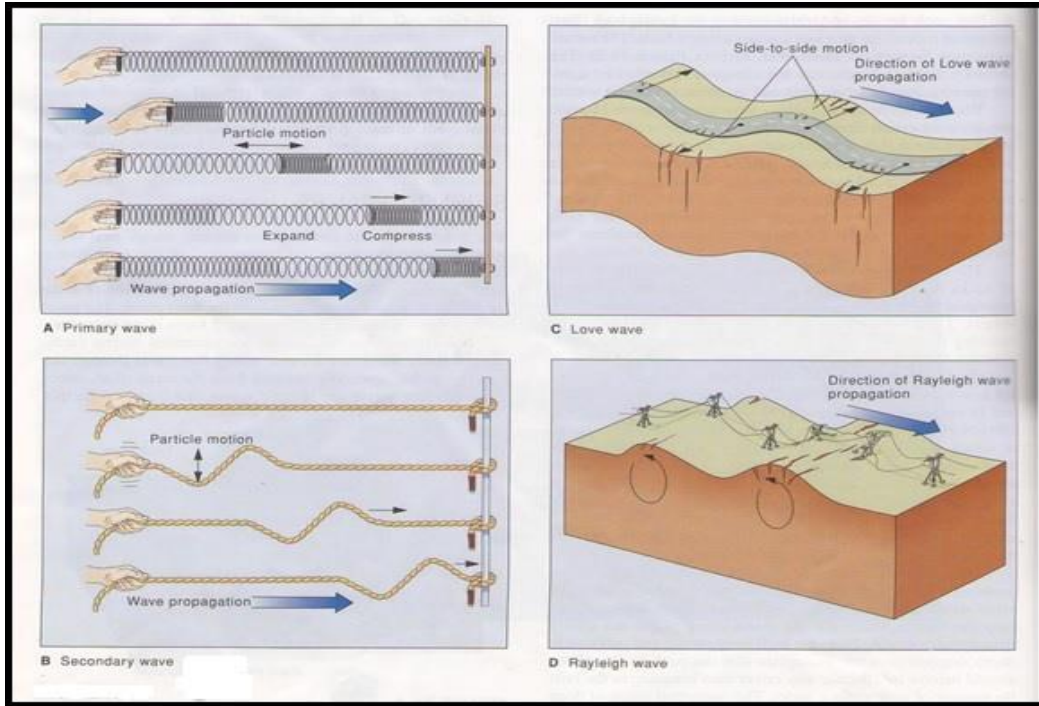


شكل (1) البؤرة الزلزالية

يتولد نوعان من الموجات الزلزالية خلال الزلزال ، النوع الأول هي موجات جسمية **body waves** تسافر خلال الصخور في باطن الأرض، وتنتشر خارج البؤرة في جميع الاتجاهات. أما النوع الثاني فهي موجات سطحية **surface waves** تتحرك على سطح الأرض بعيداً عن المركز السطحي للزلزال.

### الموجات الجسمية Body waves

يوجد نوعان من الموجات الجسمية، كلاهما مبين في شكل (2) . موجة P هي موجة انضغاطية (أو طولية) تهتز فيها الصخرة جيئاً وذهاباً بالتوازي مع اتجاه انتشار الموجة. بسبب أنها موجة سريعة جداً، تنتقل خلال الصخور القريبة من السطح عند سرعة 4 إلى 7 كم / ثا . موجة P هي الموجة الأولية (الابتدائية) التي تصل عند محطة التسجيل في أعقاب أي زلزال.



شكل (2) الموجات الجسمية

النوع الثاني من الموجات الجسمية تدعى موجة S (الثانوية) وهي موجة مستعرضة أبطئ تنتقل خلال الصخور القريبة من السطح عند 2 إلى 5 كم/ثا . تتولد موجة S بحركة قصية تشبه إلى حد كبير أي حبل ممدود مهتز، تهتز الصخرة عموديا على اتجاه توليد الموجة. يعني على نحو مستعرض لاتجاه الموجات. كل من موجات P و S تمران بسهولة خلال الصخر الصلب. موجة P تستطيع أيضا أن تمر من خلال أي مائع (غاز أو سائل)، ولكن موجة S لا تستطيع ان تمر.

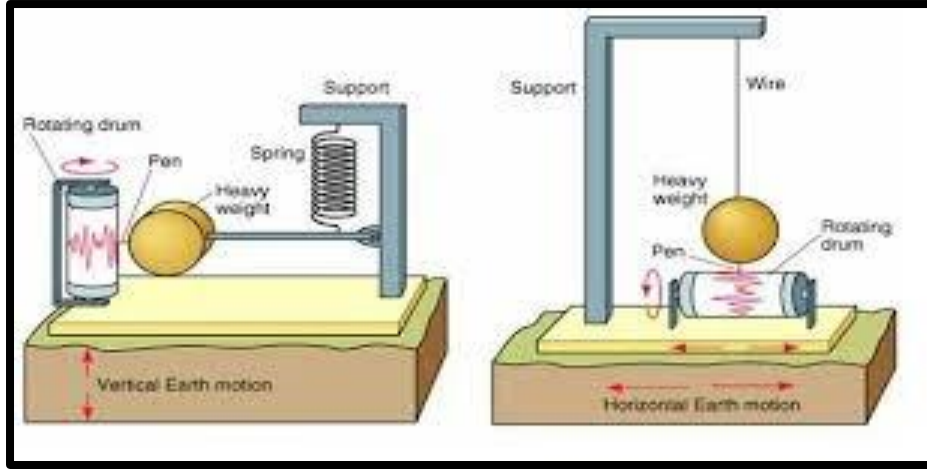
### الموجات السطحية Surface waves

الموجات السطحية هي الموجات الأبطئ. وعموما، تسبب الموجات السطحية ضرر اكبر للممتلكات من الموجات الجسمية بسبب أن الموجات السطحية تنتج حركة أرضية أكبر وتنتقل ببطء أكثر، لذا تأخذ فترة أطول لتزول. النوعين الأكثر أهمية للموجات السطحية هي موجات لوف Love Waves وموجات رالي Rayleigh Waves وسميتا باسم مكتشفيهما.

موجات لوف (Love Wave) أكثر شبها بموجات S التي لا تمتلك إزاحة عمودية. تتحرك الأرض جنباً إلى جنب في مستو أفقي، يعني متعامدة لاتجاه الموجة المنقولة او المتولدة، كما ان موجات لوف لا تنتقل خلال السوائل كموجات S . بسبب الحركة الأفقية، تميل موجات لوف لضرب أساسات الأبنية وتدمر جسر الطريق السريع، اما موجات رالي فانها تتصرف كموجات المحيط ، بخلاف ذلك، تسبب موجات رالي حركة الأرض في ممر اهليلجي مقابل لاتجاه مرور الموجة. تميل موجات رالي لتكون مدمرة بشكل لا يصدق للأبنية بسبب أنها تنتج حركة أرضية أكثر وتأخذ فترة أطول لتزول.

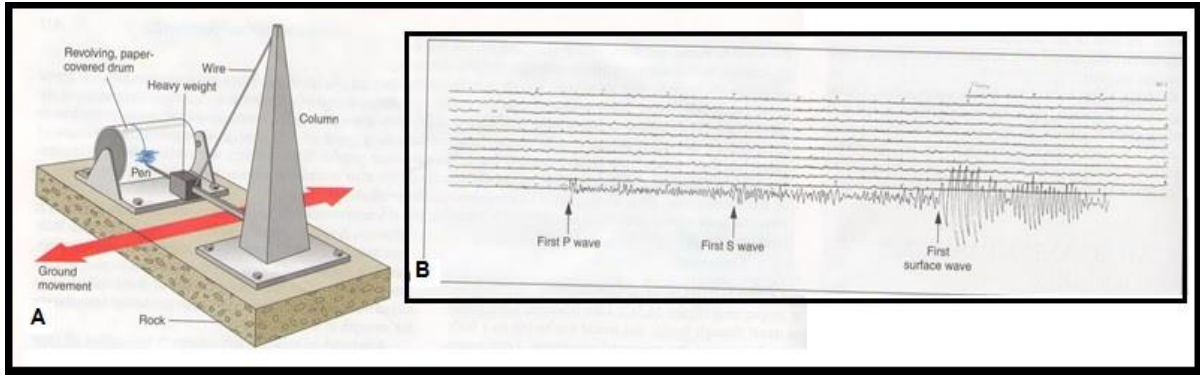
## قياس قوة وموقع الزلزال Locating and Measuring Earthquakes

يتم قياس الهزات الأرضية بالطاقة المتحررة، أو بالدمار الذي تخلفه فوق سطح الأرض أي مباشرة فوق بؤرة الزلزال. تقاس قوة الهزة الأرضية أو الطاقة المتحررة منها باستخدام جهاز مقياس الزلازل المسمى السيزموميتر (Seismometer)، شكل (3) فإذا بلغت قوة الزلزال أقل من خمس درجات على مقياس ريختر، يمكن أن يشعر بها البشر، ولكنه قد لا يشكل خطراً محسوساً، أما الزلازل المدمرة جداً فهي التي تبلغ قوتها أكثر من 8 درجات على مقياس ريختر. ان شدة الرجة أو الأثر الذي يعقب الهزة الأرضية هو أمر نسبي إلى حد ما، ويقاس بمقياس ميركالي Mercalli المعدل والمقسم إلى 12 درجة، ليصف شدة ما تحدثه الزلازل من تأثيرات مختلفة في الأماكن المختلفة حول مركز حدوث الزلازل ويعتبر وسيلة مفيدة لرسم الخرائط للمناطق المتضررة التي قد تكشف أيضاً عن معلومات حول وقوع الزلازل نفسه وإذا كانت القراءة لشدة الزلزال أقل من حوالي 3 درجات فمن غير المرجح أن يشعر به معظم الناس، ولكن يمكن تسجيله بواسطة أجهزة رصد الزلازل، وتعتمد شدة الدمار على قوة الهزة الأرضية والمسافة عن بؤرة الزلزال (Epicenter)، وعمق الزلزال، وطبيعة التربة. وتجدر الإشارة إلى أن مصطلح "بؤرة" (Epicenter) يشير إلى موقع الهزة على سطح الأرض فوق الهزة الأرضية مباشرة، في حين أن "مركز الزلزال الجوفي" (Hypocenters) هو الموقع الفعلي بالبعد الثلاثي، بما في ذلك العمق.



شكل (3) جهاز قياس الهزات الأرضية

أي مقياس زلازل لا يستطيع لوحده تسجيل الحركة. مقياس الزلازل Seismogram هو أي جهاز تسجيل يمكن بواسطته تسجيل دائم لحركة الأرض المحسوسة بواسطة مقياس زلازل، وعادة يكون بشكل خط متذبذب مرسوم على قطعة طويلة متحركة من الورق شكل (4)، ان ورق تسجيل اهتزاز الأرض يدعى مسجل الزلازل Seismograph، الذي يستخدم لقياس قوة الزلازل.



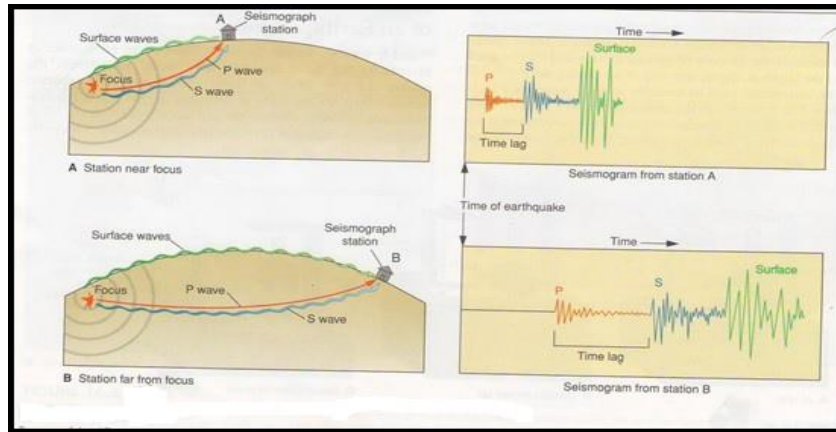
شكل (4) ورق تسجيل الهزات الارضية

يتم تشغيل وإدامة شبكة من محطات مرسمة الزلازل في كل أنحاء العالم لتسجيل ودراسة الزلازل (وتفجيرات القنابل النووية). خلال دقائق بعد وقوع أي زلزال تبدأ مرسومات الزلازل البعيدة بالتقاط الموجات الزلزالية. يمكن كشف أي زلزال كبير بواسطة مرسومات الزلزال في كل أنحاء العالم.

إن الأنواع المختلفة للموجات الزلزالية تنتقل عند سرع مختلفة، فهي تصل عند محطات مرتسمة الزلازل بترتيب محدد، تصل أولا موجات P ومن ثم موجات S وأخيرا الموجات السطحية هذه الموجات الثلاث المختلفة يمكن تمييزها على مسجلات الزلازل بتحليل هذه التسجيلات، يتعلم الجيولوجيون الشيء الكثير عن الزلازل، بما في ذلك موقع وحجم الزلزال.

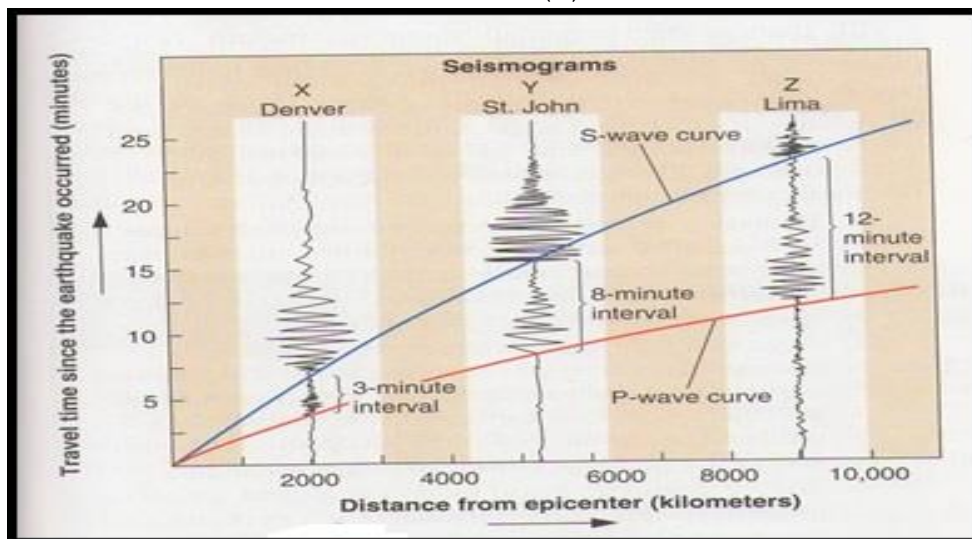
#### تحديد موقع اي زلزال Determining the Location of an Earthquake

تنتقل موجات P و S من بؤرة الزلزال في نفس الوقت وعندما تنتقل بعيدا عن الزلزال تبدأ الموجات الجسمية بالانفصال تدريجيا بسبب انتقالهما بسرعات مختلفة، على أي مسجل زلازل من أي محطة قريبة إلى الزلزال تنفصل الموجة P الواصلة أولا عن موجة S الواصلة أولا بمسافة قصيرة على ورق التسجيل شكل (5). عند أي محطة تسجيل بعيدة عن الزلزال، سوف يكون الوصول الأول لتلك الموجات مسجل بشكل أبعد كثير على مسجل الزلازل. انتقال أبعد للموجات الزلزالية، يعني زمن وصول أطول بين موجات P و S الواصلة وأكثر انفصالا على مسجلات الزلازل.



شكل (5) وصول الموجات الزلزالية إلى موقع التسجيل

إن الفترة الزمنية بين الوصول الأول لموجات P و S يزداد مع المسافة عن بؤرة الزلزال، يمكن استخدام هذه الفترة لتحديد المسافة من محطة مرسمة الزلازل إلى أي هزة. إن الزيادة في فترة P-S تكون منتظمة مع زيادة المسافة لعدة آلاف من الكيلومترات ولذا يمكن أن تمثل برسم بياني في أي منحني مسافة- زمن، والذي يرسم زمن وصول الموجة الزلزالية مقابل المسافة شكل (6) .

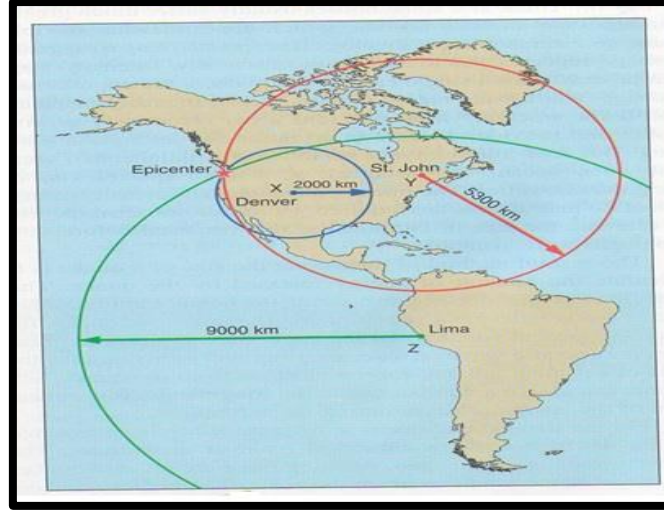


شكل (6) تسجيل الموجات الزلزالية على المرتسم الزلزالي

من الممارسة العملية، تسجل أي محطة موجات P-S من أي هزة، ثم يطابق أي عالم زلازل الفترة بين الموجات لأي منحني مسافة - زمن قياسي. من خلال قرأه مباشرة من الرسم البياني يمكن أن نحدد، على سبيل المثال، إن زلزال ما حدث على مسافة 3500 كم.

يمكن لأي محطة واحدة فقط تحديد المسافة إلى أي هزة، وليس الاتجاه. ترسم دائرة على خارطة الكرة الأرضية ويمثل مركز الدائرة المحطة ونصف قطرها المسافة إلى الهزة شكل (7) . يعرف العلماء في المحطة أن الهزة حدثت في مكان ما على الدائرة ، لكن من المعلومات المسجلة، ليسوا قادرين على تحديد الاتجاه، مع المعلومات من محطات أخرى، يستطيعون تحديد موقع الهزة بدقة، إذا حددت ثلاث محطات أو أكثر المسافة لهزة واحدة، ترسم دائرة لكل محطة وإذا تم هذا على خارطة فان تقاطع الدوائر يحدد موقع المركز السطحي للزلزال.





شكل (7) تحديد مركز الهزة الارضية

إن تحليلات تسجيلات الزلازل يمكن أن تشير أيضا إلى عمق حدوث الهزة. تحدث معظم الزلازل نسبيا قرب سطح الأرض، وقلة منها تحدث عند أعماق اكبر. العمق الأقصى للبؤرة الزلزالية هي حوالي 670 كم ، تصنف الهزات الى ثلاثة مجاميع وفقا لعمق بؤرتها.

- a. بؤرة ضحلة 0 – 70 كم.
- b. بؤرة متوسطة 70 – 350 كم.
- c. بؤرة عميقة 350 – 670 كم.

إن زلازل البؤر الضحلة هي الأكثر شيوعا، وتفسر 85% من طاقة الهزة الكلية المتحررة. وبؤر الهزات المتوسطة 21% والعميقة 3% تكون نادرة بسبب أن معظم الصخور العميقة تتبع أسلوب مطاوع عندما تنتشوه او تتعرض للإجهاد وهي غير قادرة على خزن الطاقة وتحررها فجأة كما تفعل الصخور السطحية الهشة.

### قياس حجم الزلازل Measuring the size of the Earthquakes

إن حجم الزلازل يقاس بطريقتين هما:

الطريقة الاولى: هي لإيجاد كمية ونوع الضرر الذي سببته الهزة. هذا يحدد الشدة **Intensity** التي هي قياس تأثير الزلازل على الناس والأبنية. هذه الشدة معبر عنها بالأرقام الرومانية المرتبة من I إلى IIX على مقياس ميركلي المعدل Modified Mercalli Scale ، الأرقام الأعلى تشير إلى ضرر اكبر.

إن استخدام الشدة كمقياس لقوة الزلازل له عدد من المعوقات ، لأن الضرر ينخفض مع البعد عن المركز السطحي لأي هزة، تقدم مواقع مختلفة تقريرا مختلفا عن شدة لنفس الزلازل علاوة على ذلك، يعتمد ضرر الأبنية والتراكيب الأخرى بشكل كبير على نوع المادة الجيولوجية التي بنيت عليها التراكيب بالإضافة إلى نوع الإنشاء. تتضرر البيوت المشيدة على صخر صلب بشكل اقل كثيرا من البيوت المشيدة على راسب مفكك في حين تعاني بيوت الطابوق والحجر ضررا اكبر بكثير من البيوت الخشبية التي تكون مرنة نوعا ما. أيضا، إن تقدير الأضرار هو غير موضوعي، فالناس ربما يبالغون في وصف الضرر بشكل متعمد او غير متعمد. يمكن رسم خرائط الشدة

لزلزال واحد لإظهار الضرر التقريبي فوق إقليم واسع ، تكون خرائط الشدة مفيدة لتقييم درجة استجابة المناطق المختلفة إلى الموجات الزلزالية ولتزويد معلومات قيمة عن تخطيط الزلازل ولكن هذه الخرائط لا يمكن رسمها للمناطق غير المسكونة ( المحيط على سبيل المثال )، لذا ليست كل الهزات معينة الشدة. إن الميزة الكبيرة الوحيدة لتقديرات الشدة هو أن الأجهزة غير مطلوبة، والتي تسمح لعلماء الزلازل بتقدير حجم الزلازل التي حدثت قبل توفر مرسومات الزلازل.

الطريقة الثانية: لقياس حجم الهزة هو بحساب كمية الطاقة المتحررة بواسطة الهزة. عادة هذه الطريقة تنجز بواسطة قياس الارتفاع ( السعة ) لواحدة من التذبذبات على مسجل الزلازل. إن الهزة الأكبر تعني أن الأرض تهتز وتتذبذب بشكل اكبر. بعد قياس موجة معينة على مسجل الزلازل والتصحيح لنوع مرتسمة الزلازل والمسافة عن الهزة يستطيع العلماء أن يعينوا رقم يدعى القيمة Magnitude وهي مقياس للطاقة المتحررة خلال الزلزال.

لعدة عقود مضت، ذكرت القيمة Magnitude على مقياس ريختر Richter scale وهو مقياس عددي للقيم Magnitudes . إن مقياس ريختر مفتوح الطرفين بمعنى لا توجد زلازل كبيرة جدا او صغيرة جدا لتتطبق على مقياس ريختر. تشير الأرقام الأعلى الى زلازل اكبر. الزلازل الصغيرة جدا يمكن أن تملك قيم سالبة، ولكنها نادرة. قيمة ريختر المقاسة الأكبر لحد الآن هي 8.6 . الزلازل الأصغر أكثر شيوعا بكثير من الزلازل الأكبر . توجد عدة طرق للقيمة المقاسة. ان أفضل طريقة للقيمة المحسوبة تتضمن استخدام العزم الزلزالي لهزة ما، والتي يمكن تحديدها من مقاومة الصخر، والمسافة السطحية للانكسار ومقدار الإزاحة الصخرية على طول الفالق. قيمة العزم Moment Magnitude هي الطريقة الأكثر موضوعية لقياس الطاقة المتحررة بواسطة أي زلزال كبير .

لأن مقياس ريختر لوغاريتمي، فان الفرق بين عددين كاملين متعاقبين على المقياس يعني زيادة عشر مرات في سعة الاهتزازات الأرضية، خصوصا تحت قيمة 5 . هذا يعني انه إذا سعة الاهتزاز المقاسة لصخور معينة 1 سم خلال هزة ذات قيمة 4 ، هذه الصخور سوف تتحرك 10 سم خلال هزة ذات قيمة 5 تحدث في نفس الموقع. وتشير التقديرات إلى أن زيادة عشرة أضعاف في حجم الاهتزازات الأرضية تتسبب بزيادة تقريبا 32 مرة من حيث الطاقة المتحررة. على سبيل المثال، أي هزة بقيمة 5 ، تحرر تقريبا 32 مرة طاقة أكثر من واحد من قيمة 4 . أي هزة بقيمة 6 هي حوالي 1000 مرة (  $32 \times 32$  ) قوة أكثر من حيث الطاقة المتحررة من هزة بقيمة 4 .

## تسونامي Tsunami

إن الحركة المفاجئة لقاع البحر صعودا او نزولا خلال زلزال تحت بحري يمكن أن يولد موجات بحرية كبيرة، تدعى شعبيا " بالموجات المدية " ، وتدعى التسونامي أيضا بموجات البحر الزلزالية وهي كلمة من اصل ياباني تعني موجات الميناء، وهي عادة ناتجة عن زلازل كبيرة ( قيمة + 8 ) تعكر قاع البحر، ولكنها أيضا تنتج من الانزلاقات تحت البحرية او الانفجارات البركانية. عندما يرتفع او ينخفض مقطع كبير من قاع البحر بشكل مفاجئ خلال هزة ما، فان كل المياه فوق المنطقة المتحركة يرتفع او ينخفض في لحظة. عندما تعود المياه إلى



مستوى سطح البحر، تحدث موجات طويلة وواطئة تنتشر بسرعة فوق المحيط. بسبب ان الحركة العمودية تكون أكثر إفضاء إلى تكوين التسونامي ، فان معظمها مترافق مع زلازل نطاق الغور .

إن التسونامي لا يشبه موجة الماء الاعتيادية على سطح البحر. أي موجة كبيرة متولدة على سطح المياه من تأثير الرياح ربما تملك طول موجة 400 متر وتكون متحركة في المياه العميقة عند سرعة 90 كم / ساعة. ارتفاع الموجة عندما تنكسر على الشاطئ ربما تكون بارتفاع من 6،. - 3 م . مع انه في وسط الأعاصير يمكن ان يصل ارتفاع الموجة الى أكثر من 15 متر . قد تملك التسونامي طول موجة 160 كم وربما تكون متحركة أكثر من 800 كم/ ساعة . قد يكون ارتفاع الموجة في المياه العميقة 0,6 الى 2 متر فقط. ولكن قرب الشاطئ، قد تصل إلى ارتفاع 15 إلى 30 متر. هذه الزيادة الكبيرة في ارتفاع الموجة قرب الشاطئ ناتجة عن طوبوغرافية القاع.

### منظومة الانذار المبكر الى تسونامي :

في شهر كانون الاول من عام 2004 تولدت ظاهرة تسونامي بواسطة زلزال قوي والذي كانت بؤرته في المحيط الهندي الى الغرب من اندونيسيا مؤدياً الى حدوث كارثة بشرية مدمرة في المنطقة ، وكانت بؤرته غرب جزيرة سومطرة بقوة (9) درجات على مقياس ريختر ، اعقبها هزة ثانية والتي كانت بؤرتها شمال غرب الزلزال الاول بقوة (7.5) درجة على مقياس ريختر . تم تقديم عدة مشاريع لانشاء شبكة من المتحسسات لاستكشاف ظاهرة تسونامي متضمنة تطبيق مفهوم (باريس Paris ) .

ان منظومة قياس الانعكاس الخامل وقياس التداخل والذي يسمى باريس (Paris) وهو اختصاراً (The Passive Reflectometry and Interferometry System) تستخدم منظومة اقمار صناعية ملاحية عالمية تسمى (GNSS) وهو اختصاراً (Global Navigation satellite System) ، هذه الاشارات تنعكس من اسطح المحيطات لتنتج قياسات ارتفاع المحيط بمقياس متوسط ، ويمكن كذلك تطبيقها في مهمة استكشاف تسونامي بصورة سريعة .

إن ظاهرة تسونامي عبارة عن سلسلة امواج متولدة في المياه ناجمة عن اضطراب كحدوث زلزال في او انفجار بركاني تحت سطح الماء والذي يسبب ازاحة عمودية للمياه بشكل راسي . ان ظاهرة تسونامي يشار اليها تاريخياً بالامواج المدية لانها عندما تقترب من الارض ، فانها تاخذ صفات المد الشديد والاندفاع العنيف .

ان حجم امواج تسونامي الناتجة تقدر من خلال درجة تشوه قاع البحر ، فكلما كانت الازاحة العمودية اعظم ، كلما كانت الامواج المتولدة اكبر. وبينما يعبر تسونامي المحيط العميق فان طوله الموجي ربما يكون مائة كيلومتر او اكثر . لان التسونامي له طول موجي طويل للغاية (اكثر من 100 كم) فانه يتصرف مثل موجة مياه ضحلة حتى في المياه المحيطية العميقة (5000)متر وسرعته (V) تعتمد فقط على الجذب الارضي (g) وعمق المياه (D) طبقاً للعلاقة الرياضية التالية:

$$V = (g \times D)^{1/2}$$

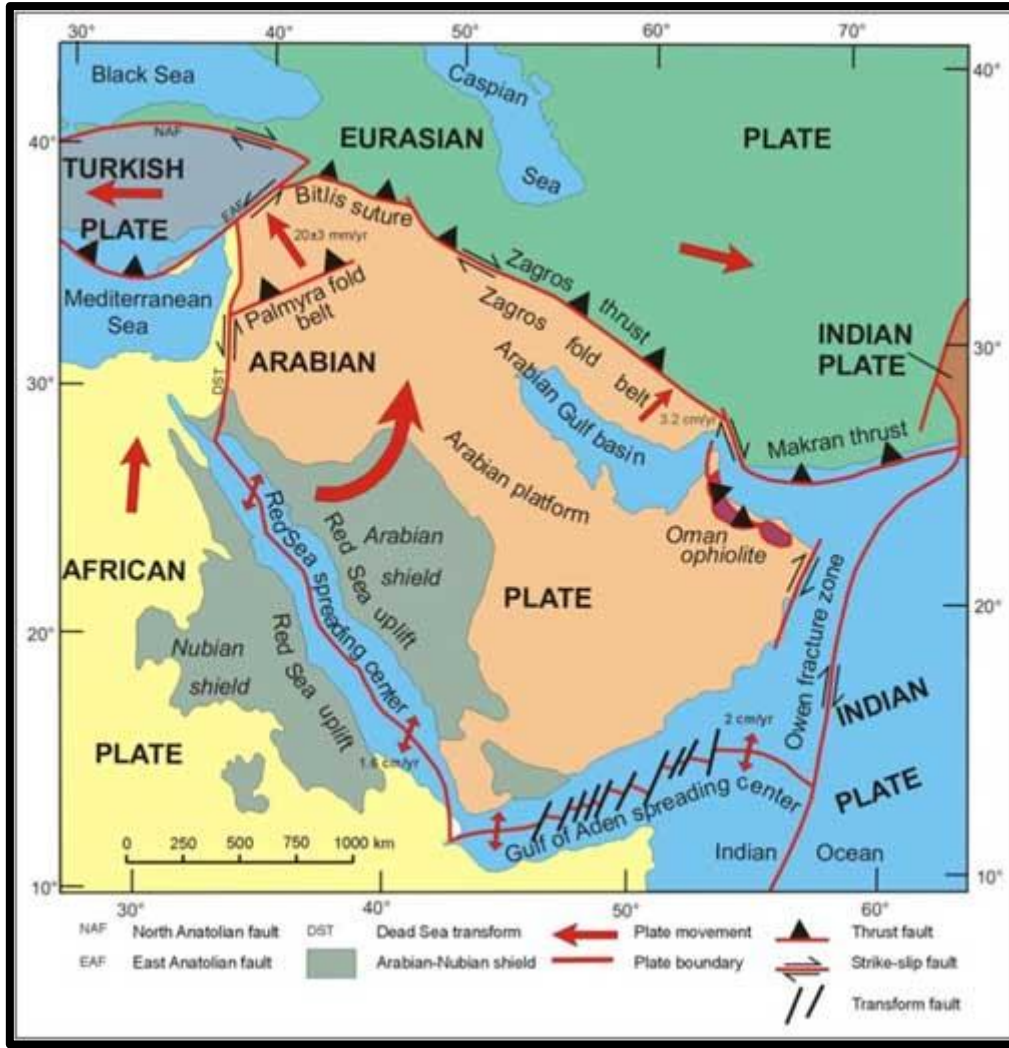
وبالتعاقب فان موجات تسونامي تنتقل ببطء في المياه الضحلة جداً (حوالي 500 كم/ساعة) ولكن بشكل سريع جدا في المياه العميقة (اكثر من 500 كم/ساعة).

1. انهيارات أرضية أو ارتفاع الأراضي في مناطق معينة ينتج منها تكوين أو غرق بعض الجزر أو المناطق الساحلية.
2. ازاحة جانبية أو عمودية على طول امتداد الصدع قد يتسبب في تدمير الممتلكات .
3. اهتزاز الموجات الزلزالية يمكن أن يدمر أو يلحق الضرر بالمنشآت التي لا تقوى على تحمل إزاحة جانبية أو عمودية.
4. هبوط أرضي أو تساقط صخور من قمم الجبال، وكذلك الهبوط في المناطق التي بها كهوف أو تجاويف تحت أرضية، مما يتسبب في تدمير المنشآت والبنى التحتية مثل المباني والطرق.
5. قد تغمر أمواج البحر الزلزالية أو موجات المد (تسونامي) الناجمة من الزلازل مناطق ساحلية واسعة.
6. قد تسبب الزلازل اندلاع الحرائق بسبب تدمير مرافق الكهرباء والغاز.

#### موقع العراق في الخط الزلزالي :

من المعروف أن الزلازل لا تحدث بطريقة عشوائية ولكنها تحدث في أماكن معروفة وهي ما تسمى بالأحزمة الزلزالية، وهي عادة تقع على الحدود الفاصلة للصفائح التكتونية المعروفة، ومن المعروف أن الصفيحة العربية تتأثر بثلاثة أنواع من الحدود التكتونية؛ وهي الحدود التباعية، والحدود التقاربية، والحدود التماسية، وتمثل شبة الجزيرة العربية الجزء الأكبر من هذه الصفيحة، ومن هنا جاءت تسميتها بالصفيحة العربية. يحد هذه الصفيحة من الغرب نطاق اتساع قاع البحر الأحمر بمعدل انفتاح حوالي 2 سم في السنة، ومن الجنوب نطاق اتساع قاع منتصف خليج عدن، وفي كلتا المنطقتين تزداد مساحة هذه الأجزاء من الصفيحة العربية، كما تشكل جبال زاجروس ومكران بايران وجبال طوروس بجنوب تركيا الحدود الشرقية والشمالية للصفيحة العربية، وهي حدود تقاربية يمثلها نطاق تصادم مع الصفيحة ألا وراسية، ويحد الصفيحة العربية من الشمال الغربي حد تماس يساري، يسمى فالق البحر الميت ويمتد من الطرف الشمالي للبحر الأحمر حتى جبال طوروس بجنوب تركيا مارا بالبحر الميت، ويحد الصفيحة من الجنوب الشرقي حد تماس يميني يمتد من الطرف الشرقي لخليج عدن حتى الطرف الشرقي لجبال مكران بباكستان، ويطلق عليه فالق أوينز، وتتحرك الصفيحة العربية ناحية الشمال الشرقي بين حدي التماس المذكورين، فيؤدى ذلك إلى اتساع مساحة البحر الأحمر وخليج عدن من جانب، ومزيد من الاصطدام عند جبال مكران وزاجروس وطوروس من الجانب الآخر.

وهذا يفسر أسباب حدوث الزلازل عند حدود الصفيحة العربية وعند سلاسل جبال زاجوروس وجبال طوروس وخليج عدن والبحر الأحمر وعند فالق البحر الميت وفالق أوينز، وبالتالي فإن هذه القوى التي تؤثر على المملكة وخاصة على حوافها تنتقل إلى داخل الصفيحة العربية وتتجمع إلى أن تصل إلى حد يزيد عن تحمل الصخور الموجودة، فتتسبب في حدوث زلازل أو قد تعمل على إعادة تنشيط للفوالق الموجودة داخل نطاق الصفيحة العربية شكل (8).



شكل (8) حدود حركة الصفيحة العربية

يمتلك العراق تاريخاً جيداً للتوثيق عن النشاط الزلزالي. حيث وثقت العديد من الحوادث الزلزالية للفترة من 1260 قبل الميلاد إلى 1900 بعد الميلاد. وتظهر الزلزالية القديمة نمطاً محدداً يتبع الوضع التكتوني للعراق والمنطقة. تكتونيا، يقع العراق في نطاق زلزالي نشط نسبياً عند الحدود الشمالية والشرقية للصفيحة العربية النشطة تكتونيا. إن الهزات الأرضية في هذا النطاق الزلزالي يمكن أن تسبب أضراراً جسيمة للبنية التحتية خصوصاً في الجزء الشرقي لشمال شرق العراق. لقد أسس العراق في عام 1976 شبكة زلزالية شملت 5 محطات رصد زلزالي تقع في بغداد، السليمانية، الموصل، البصرة والربطية. هذه المحطات كانت تعمل حتى حرب الخليج 1991 حيث بعدها توقف نصفها عن العمل.

إن التوزيع الزلزالي في العراق غير متجانس ويتركز النشاط الزلزالي في منطقة الطي العالي ومنطقة بالامبو - تانجيرو. إن زلزالية العراق ذات خصائص وسطية وعمق بؤرة ضحل. إن زلزالية الرصيف المستقر هي نتيجة التشوه المحلي، ولكن زلزالية منطقة الطيات هي نتيجة القوة الناتجة عن حركة الصفيحة العربية باتجاه الشمال والشمال الشرقي. إن القوى التي شوهت التراكيب الجيولوجية الرئيسية على طول الصفيحة العربية لا تزال نشطة مسببة إجهاد وانفعال متراكم وتشوه. عموماً إن زلزالية العراق متأثرة بشكل رئيس بأنظمة زاكروس وطوروس.

ان خارطة تساوي الشدة للعراق تظهر ان الشدة الزلزالية القصوى مرتبطة بانطقة الطي العالية وانطقة بلامبو- تانجيرو حيث تتدفع الصفيحة العربية تحت صفيحة سانانداج - سيرجان الى الشمال الشرقي. زلزاليا، تعتبر منطقة اضرار زلزالية متوسطة. يغطي نطاق الاضرار الضعيفة معظم شمال العراق ويمتد الى تدمر في سوريا. ان صدوع سيروان - قلعة دزه المستعرضة هي اكثر نشاطا زلزاليا من المناطق المحيطة. 90% من الحوادث الزلزالية في العراق تحدث عند مستويات بؤرية ضحلة - متوسطة.

رغم ان العراق يبدو اامين من المخاطر الزلزالية الا ان المراقبات الزلزالية تشير الى عكس ذلك. من المحتمل حدوث الهزات الارضية وقد تسبب اضرار جسيمة خصوصا في شمال شرق العراق والسهل الرسوبي نتيجة لتجميع رواسب العصر الرباعي. لهذا السبب من المهم الاخذ بنظر الاعتبار في المستقبل المعاملات الزلزالية عند تصميم الابنية الضخمة.