الفصل التاسع

الزلازل

9-1- مقدمة:

تعد الزلازل من أكثر الكوراث الطبيعية قدرةً على التخريب، والتدمير، حيث يمكنها أن تدمر مدينة بكاملها، وتحيلها إلى أطلالٍ، وأنقاض خلال ثوانٍ معدودة. وتترافق الزلازل عادةً بتحرر كمياتٍ هائلة من الطاقة، التي تنطلق من مصدرها في باطن الأرض لتنتشر في جميع الاتجاهات، وتقدر الطاقة المتحررة من زلزال يبلغ قدره على مقياس ريختر8.6 درجة بما يعادل الطاقة، التي يسببها تفجير بليون طن من مادة ت.ن.ت.

يعرف الزلزال على أنه حركة مفاجئة لصخور القشرة الأرضية، ينتج عنها تحرير كمية كبيرة من الطاقة، تنتشر على شكل أمواج زلزالية في كافة الاتجاهات، يمكنها أن تسبب شقوقاً في سطح الأرض، وتصدعاتٍ في الأبنية، والمنشآت، وقد تؤدي في بعض الأحيان، إلى وقوع عددٍ كبيرٍ من الضحايا البشرية.

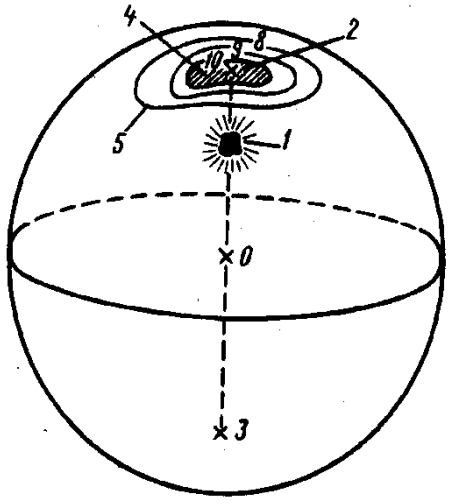
كما يمكن تعريف الزلازل على أنها ظواهر طبيعية تتعرض خلالها القشرة الأرضية، والجزء العلوي من المعطف الأرضي تدريجياً، إلى تأثير حقل قوى واسع، يمكن أن يسبب، وبشكلٍ مفاجئ، تشكل بعض التشققات في القطاعات الضعيفة من القشرة الأرضية، مما يؤدي إلى تحرر الطاقة المختزنة، وانطلاقها في جميع الاتجاهات على شكل أمواج، تدعى الأمواج الزلزالية.

يقدر عدد الزلازل التي يمكن رصدها على مستوى الكرة الأرضية بأكثر من مليون زلزال في العام الواحد، إلا أنه، ولحسن الحظ، فإن النسبة العظمى منها ضعيفة، حيث يقدر وسطي الزلازل الكارثية بزلزالٍ واحدٍ في العام، والمخربة بمئة زلزال سنوياً.

9–2– بؤرة الزلزال، ومركزه السطحي:

تطلق تسمية بؤرة الزلزال، أو المركز العميق للزلزال(Focus, or hypocenter) على مركز حدوثه، وانتشار الأمواج الزلزالية في باطن الأرض.

إن المركز السطحي للزلزال(Epicenter)، هو أقرب نقطة إلى بؤرته موجودة على سطح الأرض، وهي ناتجة عن مسقطه على السطح، وتطلق تسمية عكس مركز الزلزال، أو مرآة الزلزال على أبعد نقطة عن بؤرته موجودة على سطح الأرض، وهي ناتجة عن مسقطه في الاتجاه المعاكس لمركزه السطحي(الشكل 9–1).



الشكل(9–1). مكان بؤرة الزلزال، ومركزه السطحي، وعكس مركز الزلزال(مرآته).

1– بؤرة الزلزال. 2– مركز الزلزال السطحي. 3– عكس مركز الزلزال.

9–3– الأمواج الزلزالية:

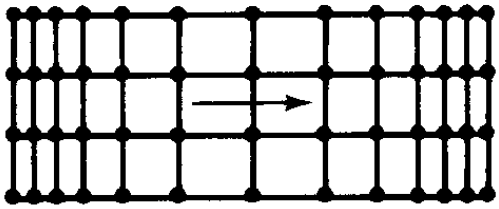
يتمثل الفعل الأول للزلزال بانتشار أمواج اهتزازية طولية، وعرضية، اعتباراً من بؤرة الزلزال لتنتشر في جميع الاتجاهات، ثم ينتج عنها أمواج سطحية.

يتم في حالة الأمواج العرضية(S) إزاحة المادة بشكل عمودي على اتجاه انتقال الحركة، أما في حالة الأمواج الطولية(P)، فإن الوسط ينضغط، ويتمدد بالتناوب في نفس اتجاه الحركة.

يتضمن انتقال الأمواج الطولية، تغيراً في حجم، وشكل المادة، التي تنتقل من خلالها، وتتميز هذه الأمواج بقدرتها على الانتقال في المادة بكافة أشكالها، الصلبة، والسائلة، والغازية. أما انتقال الأمواج الثانوية(العرضية)، فإنه يتضمن تغيراً في شكل المادة، دون أن يتغير حجمها، لذلك فإن هذه الأمواج تنتقل في الأوساط الصلبة فقط(وذلك لعدم وجود عامل القص في السوائل).

يوجد بالإضافة إلى كل من الأمواج الطولية، والعرضية، نوع آخر من الأمواج، يسمى الأمواج السطحية، وهي تنتقل اعتباراً من مركز الزلزال على سطح الأرض، عبر الطبقات الصخرية العليا للقشرة الأرضية.

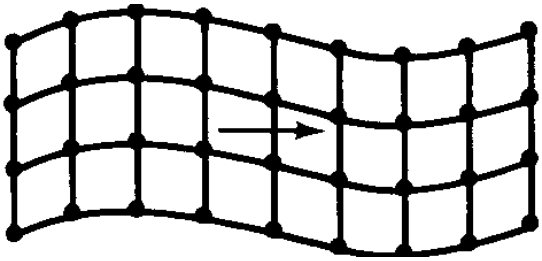
تعد الأمواج السطحية أشد تعقيداً من الأمواج الطولية، والعرضية، فهي تتحرك في مسارٍ دائريٍ تقريباً، ويشبه تأثير حركتها تأثير حركة أمواج البحر القوية على سفينة تطفو على سطحه، التي تؤدي بالإضافة إلى حركتها الرأسية، إلى حركة مترنحة من جانب إلى آخر. ويعتقد أن الدمار الذي يلحق بالمباني، والمنشآت، يعزى بشكلٍ رئيس إلى الحركة الناتجة عن الأمواج السطحية، على الرغم من أن سرعة انتشار هذه الأمواج أقل من سرعة انتشار الأمواج العرضية، وسرعة انتشار الأمواج الطولية، التي تعد الأسرع(الشكل 9-2).



(1)

الأمواج الطولية، أو الانضغاطية.الرمز(P).

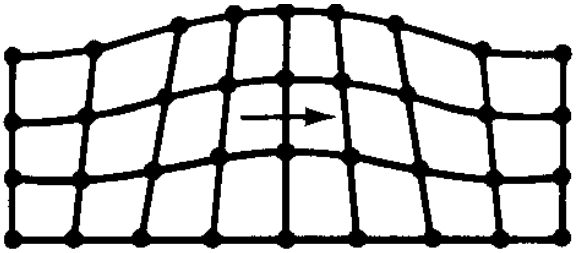
تنتشر في الأوساط الصلبة، والسائلة، والغازية.



(2)

الأمواج العرضية، أو القصية، الرمز(S).

تنتشر في الأوساط الصلبة فقط.



(3)

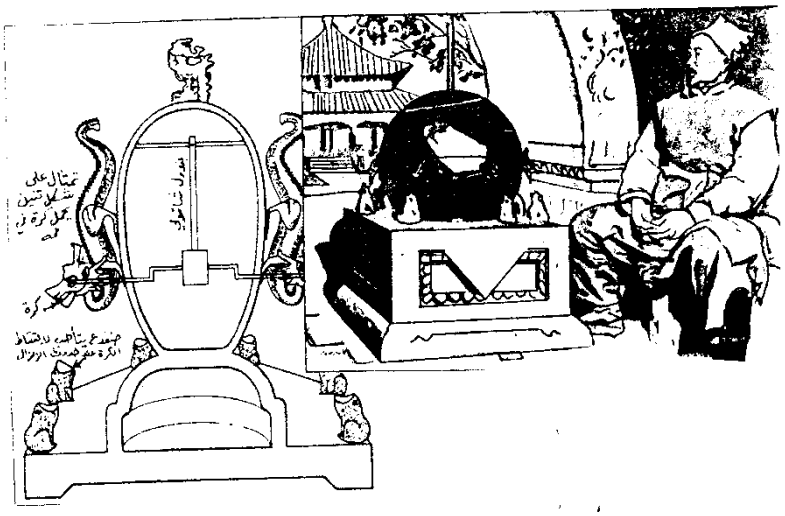
الأمواج السطحية، أو الكبيرة. رمزها(L).

تنتشر في الأوساط الصلبة، والسائلة.

الشكل(9– 2). ميزات الأمواج الزلزالية(يشير السهم إلى اتجاه الإنتشار).

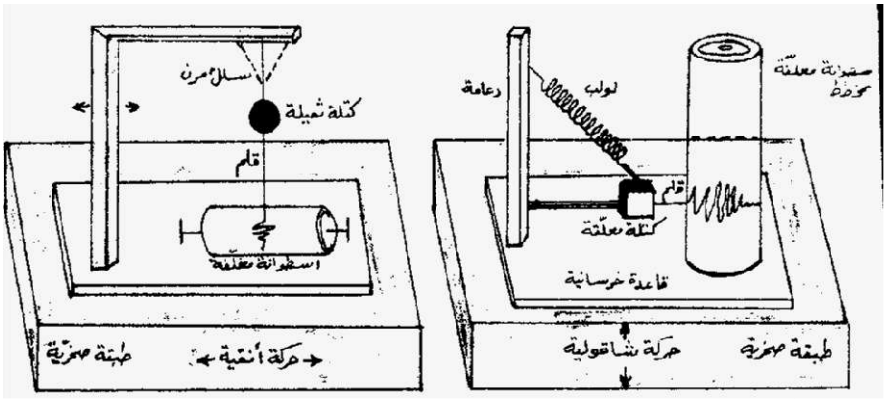
9–4– أجهزة التسجيل الزلزالي(Seismographs):

يطلق على جهاز رصد، و تسجيل الحركة الزلازلية تسمية السيسموغراف، ويعزى أول جهاز معروف لكشف الزلازل إلى الصيني شانج هنج، ويعود تاريخه إلى أكثر من ألفي سنة(الشكل9–3)، وهو عبارة عن جرة يبلغ قطرها حوالي 1م، وهي مغطاة بغطاء يتدلى منه بندول شاقولي، ويحيط بها من الخارج ثمانية تماثيل على شكل تنينات، تفصلها مسافات متساوية، ويوجد بين فكي كل تنين كرة صغيرة، يمكنها السقوط بسهولة، وهذه الجرة منصوبة على قاعدة عليها ثمانية تماثيل على شكل ضفادع، يفتح كل منها فمه، منتظراً سقوط الكرة من فم التنين الذي يعلوه، فإذا ما حدث زلزال، فإن البندول سيضرب ظهر أحد التنينات، المناسب لاتجاه حركة الزلزال، مما يؤدي إلى سقوط الكرة في فم الضفدع المتأهب دوماً.



الشكل(9– 3).جهاز شانج هانج للرصد الزلزالي.

تطورت أجهزة الرصد الزلزالي منذ اختراع جهاز شانج هنج بشكل كبير، على الرغم من أن مبدأ التسجيل يعد بسيطاً، حيث يتكون جهاز التسجيل الزلزالي من حيث المبدأ من كتلة ثقيلة معلقة بحرية بنهاية سلك مربوط بدعامة، لها شكل زاوية قائمة، ويرتكز طرفها السفلي على قاعدة خرسانية تتوضع على طبقة صخرية أرضية، وتحتوي الكتلة على إبرة تلامس بأقل قدر من الاحتكاك اسطوانة مغلفة بمخطط، وهي تدور بشكلٍ آلي، وعندما يحدث الزلزال تتحرك الأرض، وتتحرك معها القاعدة الخرسانية، بينما تحفظ قوة العطالة الذاتية الكتلة من الحركة، فيمكن تسجيل الهزات الزلزالية، وحساب قدرها، وبما أن للأمواج الزلزالية ثلاث مركبات حركة، رأسية، وأفقيتان، فقد تم تصميم الأجهزة الزلزالية لتسجل هذه المركبات الثلاثة(الشكل 9–4).

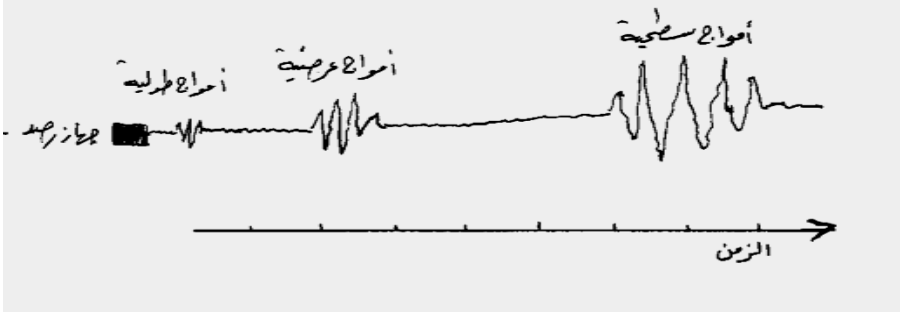


2 **1**

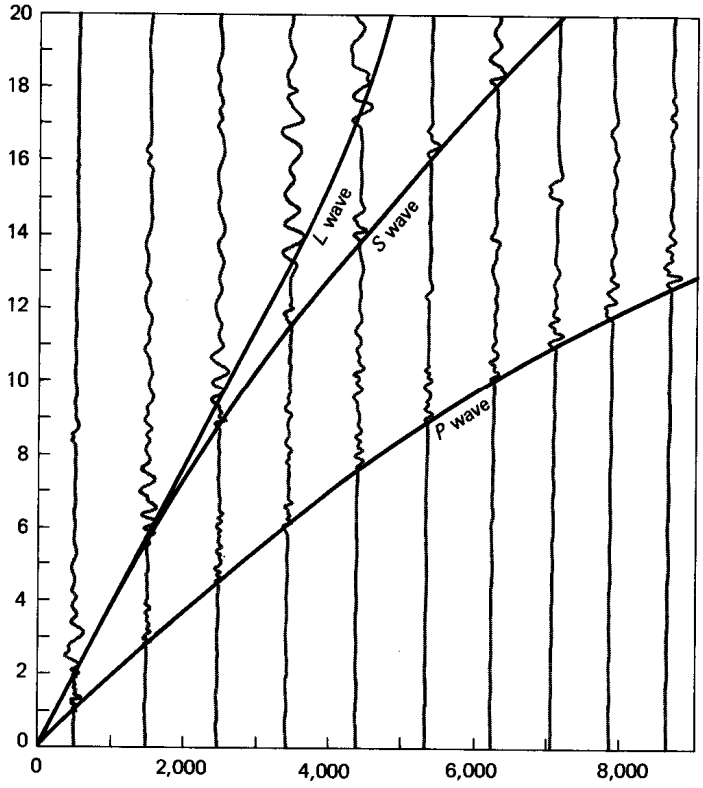
الشكل(9– 4). جهاز رصد زلزالي للحركات الرأسية(1)، والأفقية(2).

يتم في الوقت الحالي رصد حركة القشرة الأرضية عن طريق شبكة من المحطات، تدعى محطات الرصد الزلزالي، وهي مزودة بأجهزة تقوم، وبدقة عالية جداً بتسجيل زمن عبور الأمواج، وسعتها، وتستطيع رسم الأنواع الثلاثة من مركبات الحركة، التي يسببها الزلزال، حيث يتم أولاً تسجيل الأمواج الطولية، ثم العرضية، ثم السطحية(الشكل 9– 5).

يطلق على السجل الذي يخطه السيسموغراف تسمية السيسموغرام.



الشكل(9– 5). مخطط يبين تتالي وصول الأمواج الإهتزازية إلى أجهزة الرصد.



بعد المحطة عن بؤرة الزلزال(كم)

الشكل(9–6). زمن وصول الأمواج الزلزالية(P, S,L) إلى محطة الرصد الزلزالي كتابع لبعد المحطة عن بؤرة الزلزال.

يمثل المحور الرأسي الزمن(دقيقة) بعد حدوث الزلزال.

9- 5- الشدة، والقدر الزلزالي:

اعتمدت المحاولات الأولى في تقدير شدة الزلازل بشكلٍ أساسي على وصف الزلازل نفسها، لذلك فقد كانت تقديرات شدة الزلازل تقريبية، خاصةً وأن تقدير شدة الزلزال تختلف كثيراً من شخصٍ إلى آخر. قامت بعد ذلك محاولات عديدة لتصنيف شدة الزلازل اعتماداً على آثارها التخريبية، ومن أبرز هذه المحاولات تصنيف جوسبيهميركاللي عام 1902م، الذي مازال مستخدماً في العديد من دول العالم(الجدول 9-1)، والذي اعتمد فيه بشكلٍ رئيس على مقدار الدمار، أو الخراب الذي يخلفه الزلزال في المباني.

يصعب إعطاء وصف واحد، في كل الأمكنة، للشدة الزلزالية وفق تصنيف ميركاللي وذلك لمجموعة من الأسباب، أهمها:

1- تختلف شدة تأثير الزلزال على منطقة ما، حسب بعدها، وقربها من مركز الزلزال.
2- يكون تأثير الزلازل، التي تحدث في منطقة مأهولةأكبر من تلك، التي لها نفس الشدة، ولكنها تحدث في مناطق غير مأهولة.
3- يتأثر مقدار الضرر، الذي يلحق بالمباني، ليس فقط بشدة الزلزال، وإنما أيضاً بمواصفات هذه المباني.

اقترح تشارلز ريختر في أوائل الثلاثينات من القرن العشرين طريقة جديدة لتصنيف الزلازل، عن طريق استخدام علاقة رياضية في وصف قدرها(Magnitude)، وهي تعتمد على قياس سعة الأمواج المسجلة على بعد معين من مركز الزلزال إلى سعة نموذجية ناتجة عن نفس النوع من الأمواج لزلزال ضعيف:

$$Ml = LogA - LogA_o$$

حيث: Ml= القدر الزلزالي، A السعة المسجلة، Ao السعة النموذجية(ثابت).

بما أن مقياس ريختر للقدر الزلزالي هو مقياس لوغاريثمي، فإن زيادة بمقدار درجة واحدة في القدر تعني زيادة في سعة الحركة الأرضية بمقدار عشر مرات، فالزلزال الذي قدره 8 درجات هو أشد بعشر مرات من الذي قدره 7 درجات، وبمئة مرة من ذلك الذي قدره 6 درجات، وبألف مرة من الذي قدره 5 درجات..الخ. مع العلم بأن قدر أعظم الزلازل المسجلة حتى الآن هو 9.5(في اندونيسيا) على مقياس ريختر(الجدول9-2).

الجدول(9-1). سلم الشدة الزلزالية حسب مقياس ميركاللي المعدل.

درجة الشدة	التأثير/ الآثار
1	لا يشعر به الناس، وتسجله المراكز المختصة آلياً.
2	تتأرج الأشياء المعلقة، وقد يشعر به عدد قليل من الناس، وهم في وضعية الراحة(خاصة في الأدوار العليا من المباني)
3	يشعر به عدد كبير من الناس، وخاصة سكان الطوابق العليا. ترتج النوافذ، والأبواب
4	ترتج النوافذ، والأبواب، وتتأرج السيارات المصطفة، ويشعر به عدد كبير من الناس، وخاصةً الموجوين داخل المباني.
5	يشعر به كل الناس تقريباً. تهتز الأشجار، وتتحطم الأطباق، ويتكسر زجاج بعض النوافذ.
6	يشعر به كل الناس، يتحرك الأثاث بشكل عام، ويمكن أن

	يتحرك بعض الأثاث الثقيل.
7	يشعر به راكبو السيارات المتحركة. تنهار بعض ضفاف الأنهار شديدة الانحدار.
8	تسقط المداخن، وأعمدة المصانع، والنصب التذكارية. تغيرالمياه مجاريها، تحدث تغيرات في منسوب المياه الجوفية، ويحدث دمار عظيم في الأبنية الضعيفة، وأضرار خفيفة في المباني المتينة.
9	دمار كبير في المباني المتينة، تحطم أنابيب المياه المدفونة في الأرض، ظهور الكثير من التشققات الأرضية، وحدوث انزلاقات، وانهيارات.
10	دمار بعض المباني الخشبية، دمار معظم المباني الأسمنتية، تشققات أرضية.
11	أخاديد واسعة في الأرض، دمار معظم الأبنية، تحطم الجسور، تحطم الأنابيب تحت سطح الأرض، انهيارات وانزلاقات أرضية كبيرة، تشوهات كبيرة في السكك الحديدية.
12	دمار شامل

الجدول(9–2). بعض مواصفات الزلازل وفقاً لقدرها حسب مقياس ريختر.

القدر	نصف القطر التقريبي للمنطقة التي يشعر بها الناس بالزلزال(كم).	المعدل السنوي للزلازل على مستوى الكرة الأرضية.	الطاقة المحررة من الزلزال (W/S)
3	30	150000	8.10^{8}
4	160	15000	4.10^{10}
5	300	1500	8.10^{11}
6	450	150	4.10^{13b}
7	800	15	8.10^{14a}
8	1200	1.5	4.10^{16}

a: هذه الطاقة المتحررة تعادل تقريباً الطاقة الناتجة عن أكبر القنابل الهيدروجينية.

b: هذه الطاقة المتحررة تقارن بالطاقة الناتجة عن القنبلة الذرية العادية.

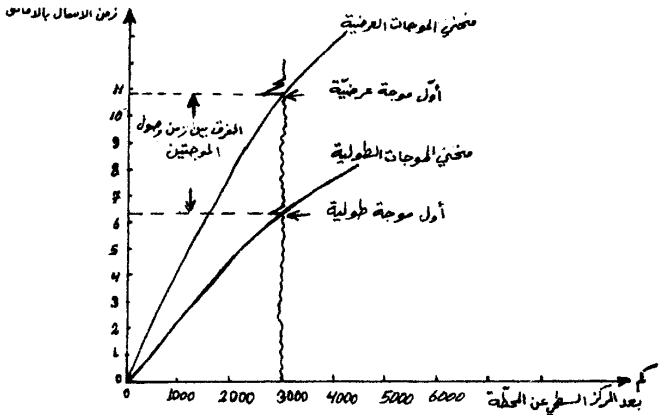
9–6– تحديد بؤرة الزلزال، ومركزه السطحي، واتجاهه:

يحدد بعد المركز السطحي للزلزال(D) عن محطة الرصد من خلال العلاقة:

$$D= V(Ts- Tp)$$

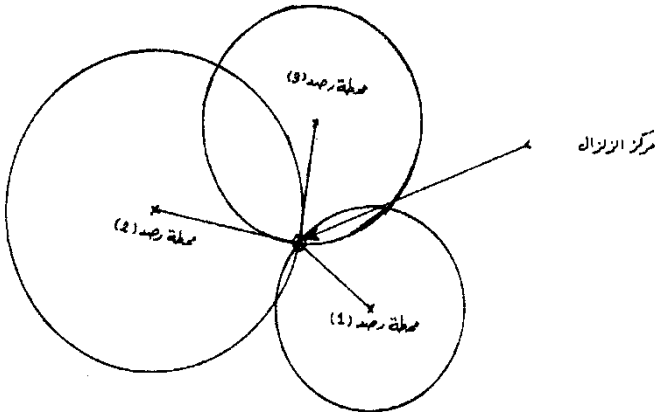
حيث V= السرعة، Ts- Tp= الفرق بين زمن وصول الأمواج العرضية والطولية.

تمكن العلماء عن طريق استخدام عدد كبير من السجلات الزلزالية، من رسم منحنياتٍ نموذجية لأزمنة وصول الموجات بالعلاقة مع بعدها عن مركز الزلزال(الشكل9- 7).



الشكل(9– 7). تحديد بعد مركز الزلزال عن طريق منحني نموذجي.

يتم أيضاً بالإضافة إلى تحديد بعد الزلزال، تحديد مركزه السطحي، ويتم ذلك من خلال ثلاث محطات رصد على الأقل، لا تقع على خطٍ مستقيمٍ واحد، ثم يصار إلى رسم دوائر، تمثل محطات الرصد مراكزها، ويدل نصف قطر كلٍ منها على بعد محطة الرصد المعنية عن مركز الزلزال. تتقاطع جميع الدوائر المرسومة في نقطة واحدة تمثل مركز الزلزال(الشكل 9- 8).



الشكل(9–8). تحديد مركز الزلزال من خلال ثلاث محطات رصد لا تقع على استقامة واحدة.

يتم حساب عمق بؤرة الزلزال من خلال العلاقة:

$$h = \sqrt{(t_P V_P)^2 - \Delta^2}$$

حيث: Δ, V_P, t_P هي على التتالي: زمن وصول الموجات الطولية، سرعتها، والمسافة بين المركز السطحي للزلزال ومحطة التسجيل.