الفصل الثالث
خصائص الهزة الأرضية

١-الخصائص الأساسية

عادة تتحدد الهزة الأرضية أو الزلزال بأربع خصائص رئيسية هي:

* الوقت الأساسي للزلزال وتردده الزمني.

* احداثيات مركز الزلزال السطحي.

* احداثيات مركز الزلزال الجوفي (البؤرة) (الشكل ٣٠).

* الحجم المتوقع للزلزال ويعبر عنه عادة بمقياس القوة أو الشدة.

- نطلق اسم المركز السفلي (Hypocenter)، أو البؤرة (Focus)، أو الجوفي على المنطقة الواقعة في أعماق الكرة الأرضية، والتي فيها يحدث انكسار الأرض، ومنها تنبعث الزلازل أو الهزات الأرضية.

- نطلق اسم المركز العلوي، أو مركز الهزة السطحي (Epicenter)، على المنطقة الواقعة على سطح الأرض مباشرة فوق المركز السفلي للزلزال.

- نطلق اسم (العمق الجوفي)(Hearth Depth) على المسافة ما بين المركزين السفلي والعلوي. نسمي نقطة الأرض التي نميز فيها حصول هزة أرضية بالعين المجردة، ودون الاستعانة بأجهزة قياس حساسة بالمنطقة المهتزة أو المرتعشة.

ويمكننا كما يوضح الشكل رقم (٣١) تمثيل حدود نطاقات بؤرة الزلزال على خريطة بواسطة منحنيات تسمى منحنيات شدة الهزة. ونلاحظ من الشكل (٣١) تركز النشاط الأعظمي في النطاق المركزي، عند نقطة المركز السطحي، وتناقصها من نطاق إلى آخر باتجاه المحيط. بصورة

obeikandl.com

تقريبية وعند مراقبة اتجاه وميل الشقوق التي أحدثتها الهزة الأرضية، يمكن تحديد موقع المحرق العميق أو مركز الزلزال الجوفي ، وتفيد الملاحظات الدقيقة المتعلقة بهذا المجال أن المركز الداخلي للهزة يقع داخل القسم الصلب من القشرة الأرضية.

الهزة الأرضية التي تحدث في البحر –زلزال تسونامي– تسبب تيارات وأمواجاً عنيفة، وإذا رافقها تغيرات مفاجئة وقوية في قاع المحيط – كالانهيارات خصوصاً – تفور كتلة الماء في موقع الانهيار، وتتسبب في حركة اهتزازية، تتزايد تزايداً كبيراً كلما تناقص عمق البحر، أي كلما اقتربنا من الشاطىء ويمكن أن تبلغ حدود الموجة الاهتزازية من متر واحد إلى عشرات الأمتار، فتوقع أكبر الأضرار بالشواطىء. هذه الحالة يمكن أن يسبقها تراجع كبير وغير عادي في مياه البحر وهذا الشكل يعطي انذاراً لسكان الشواطىء الساحلية باللجوء إلى المرتفعات لحماية أرواحهم من أخطار زلزال تسونامي مدمر. ومن أهم الاحداثيات لبؤرة الزلزال هي المسافة المركزية الأفقية على سطح الأرض بين المنشأ ومسقط بؤرة الزلزال على سطح الأرض، ذلك أن شدة الهزة الأرضية تنخفض بالابتعاد عن المركز وتتناسب عكساً مع مربع المسافة (الشكل رقم ٣٠).

ان تحديد الخصائص الثلاث الأولى المذكورة تقتضي الحصول على معلومات من ثلاث محطات قياس (أجهزة تسجيل سيزموغرافية) على الأقل، حتى نستطيع تحديد موضع الهزة الأرضية المحتملة.

أما تحديد حجم أو مقدار الزلزال المتوقع فيتم بسهولة بمعرفة سعة ودور ترددات الهزة الأرضية المحتملة والمسجلة بواسطة جهاز رصد قياس الزلزال في محطة واحدة.

وعلى الرغم من أن كل هزة ربما تدوم بضع ثوان فقط، أو دقيقة ونحوها على أبعد تقدير، إلا أن الحركات التي تسبب الزلازل في باطن الأرض قد تستمر بصورة متقطعة لفترة من الوقت قد تستغرق أياماً أو سنوات. عموماً فإن تردد ودور الاهتزازات، والوقت الذي استغرقه الاهتزاز يعتبر أمراً هاماً جداً في تقييم الاهتزازات التي تختلف ما بين اهتزازات ذات صدمات سريعة، وفي دور قصير جداً تولد في المنشآت قوى قص كبيرة ناجمة عن قوى العطالة المتولدة، واهتزازات بطيئة في دور بطيء جداً تولد في المنشآت اجهادات عالية نتيجة الانعطاف. والاهتزازات الأرضية تتم في جميع الجهات، والطاقة الناجمة عنها يتم امتصاصها عن طريق نوعين من الاهتزازات، أولها يسمى

(الاهتزاز العرضي) أو الثانوي، وهو يصل إلى البناء المدروس متأخراً، وثانيها يسمى (الاهتزاز الطولي) أو الأولي وهو يصل إلى البناء المدروس أولاً. وعندما تصل الاهتزازات إلى سطح الكرة الأرضية تتحول جزئياً على شكل موجات رأسية ، أو موجات سطحية يشكل ترددها الأفقي سبب أغلب التصدعات الحاصلة (مصادر ٥، ١٠، ٣٥، ٣٦)

٢- السيزموغراف لكشف ما يحدث في باطن الأرض

لو أن الناس سمعوا منذ قرنين أن معظم الزلازل تحدث تحت قاع البحر لاستولت عليهم الدهشة مما سمعوا. ولا شك أن دهشتهم كانت تزداد لو أنهم علموا أن الإنسان لا يشعر بمعظم الزلازل التي تقع على سطح الأرض بسبب بعدها عن الأماكن الآهلة بالسكان أو بسبب ضعفها الشديد بحيث يتعذر على الانسان أن يحس بها. ولا شك أن أسلافنا لم يكونوا ليصدقوا شيئاً من ذلك بسبب عدم حيازتهم لآلات حساسة تثبت ذلك لهم.

ولكن يوجد لدينا الآن الآت تمكننا من الاحساس بأضعف الهزات الأرضية وتسجيلها وكذلك تحديد مكان تشكل الهزة (سطح الأرض الواقع فوق مركز الزلزال مباشرة)، وتسمى هذه الآلات بآلات (تسجيل الزلازل أو رصدها أو آلات السيزموغراف)، وقد ابتكرها تشارلز ريختر في معهد كاليفورنيا التقني، وقد اشتق هذا الاسم من كلمة (سيزمو) ومعناها باليونانية الزلزال، ويطلق على العلماء الذين يستخدمون هذه الآلات ويدرسون الزلازل (السيزمولوجيون) ومعناها علماء الزلازل.

ويعمل السيزموغراف بطريقة نبسطها كما يلي(مصدر ٣):

يتدلى سلك من قضيب ويعلق بنهاية السلك ثقل تتصل به ابرة تكاد تلامس اسطوانة ملفوفاً عليها ورق وتدار آلياً. وتسند الاسطوانة ذاتها على قاعدة من الخرسانة المسلحة ترتكز مباشرة على طبقة صخرية أسفلها. فعندما تهتز الأرض تتحرك معها القاعدة المسلحة. وكلما تحركت القاعدة جانبياً تحركت تبعاً لها اسطوانة الورق حركة أمامية خلفية تحت الابرة المتصلة بالثقل الذي بقي ثابتاً بحكم قصوره الذاتي. وينتج لدينا خط متعرج ترسمه الابرة على ورق الاسطوانة. وتلك هي الرسالة التي سطرها الزلزال، رسالة لاسلكية تنبعث من الأعماق.

تلك هي الطريقة التي يسجل بها السيزموغراف، ولكنك إذا نظرت إليه أثناء قيامه بعملية

التسجيل خيل إليك أنه يعمل بطريقة عكسية. فقد تحسب أن الإبرة والثقل والسلك هي التي تتحرك وان اسطوانة الورق والقاعدة المسلحة ثابتتان. وسوف يخيل إليك ذلك لأنك سوف تكون أنت أيضاً متحركاً مع الأرض. كما يخيل إليك وأنت على ظهر سفينة وهي تغادر رصيف الميناء، ان الميناء هو الذي يتحرك، وانك ثابت في مكانك. والواقع أن جهاز السيزموغراف أكثر تعقيداً مما وصفناه به، فهناك مثلاً جهاز خاص لتضخيم الحركة، فإذا ما تحركت الاسطوانة بمقدار جزء ضئيل من الميلليمتر فإن الجهاز يكبر هذه الحركة ويظهرها كما لو كانت ٧٥ أو ١٠٠ ميلليمتر. بل إن أجهزة الرصد الحديثة ليس بها إبرة تخط اهتزازات الأرض مطلقاً. بل تستخدم بدلاً منها شعاعاً ضوئياً للتسجيل، ففيها ينعكس الضوء على طبقة من ورق التصوير الحساس من مرآة معلقة بدقة. ولا بد أن يبقى هذا السيزموغراف في حجرة مظلمة. ولا يستطيع عالم الزلازل المشرف على الجهاز بطبيعة الحال أن يعلم بوقوع زلزال في أحد الأماكن النائية إلا بعد أن يرفع ذلك الورق الحساس ويقوم بتحميضه. اننا نقول أن السيزموغراف يسجل حركات القشرة الأرضية. ولكن ماذا تعني الخطوط التي يسجلها الجهاز على ورق الاسطوانة بالضبط؟

عندما تقطع سلكاً زمبركياً إلى قطعتين، فإن عملية القطع تتم في ومضة عين، ولكن السلك برغم ذلك يستمر بالتذبذب في حركة أمامية خلفية عدة ثوان أو لمدة دقيقة. ولكن الصخر المنكسر يستمر كالسلك الزمبركي المقطوع في تذبذبه فترة من الزمن قد تكون ثواني قليلة أو دقائق.

الواقع أن الموجات التي تسري في الأرض انما هي موجات مزدوجة، فهناك موجة تدفع الأرض أمامها، وأخرى تلويها أو تهزها من جنب إلى جنب.

تسمى الموجة الأولى الزلزالية بالموجة الطولية (الضغط)، وهي تشبه في حركتها الحركة التي تنتقل من عربة إلى أخرى عندما تدفع القاطرة بالعربة الأولى إلى الأمام. وتنتقل موجات الضغط خلال الصخور بسرعة كبيرة تبلغ نحو (٥)كم في الثانية. ولا تستغرق هذه الموجات لكي تتم دورتها حول الأرض وتعود إلى المكان الذي بدأت منه إلا حوالي عشرين دقيقة.

أما النوع الآخر من الموجات فإنه يبدأ في الوقت نفسه، ولكنه يهز حبيبات الصخر هزات جانبية، وهو يشبه الموجة التي تنتقل في الحبل عندما يمسك بطرفيه شخصان ويهز أحدهما طرفه هزا جانبياً. ويسمى هذا النوع من الأمواج بالأمواج العرضية (القص). وهي تنتقل ببطء

إذا ما قورنت بالأمواج الطولية (موجات الضغط). فالأمواج العرضية (موجات القص)لا تزيد سرعتها عن (٣) كم في الثانية. وعلى ذلك فإن هذين النوعين من الموجات لا يصلان إلى السيزموغراف في وقت واحد. ولهذا الأمر أهميته البالغة بالنسبة للعلماء. فالفرق بين زمني الوصول يدلنا على بعد الزلزال عن مكان التسجيل.

وهذا هو بعينه ما يحدث في حالة البرق والرعد. فنحن نبصر البرق أولاً ثم نسمع الرعد بعد ذلك.

وهذا يرجع إلى أن الضوء ينتقل بسرعة أكبر من الصوت ونستطيع أن نحدد بعد العاصفة بمعرفة الفرق بين زمن وصول كل من البرق والرعد الينا، فإذا كانت تفصلهما فترة زمنية وجيزة كانت العاصفة قريبة، أما إذا استغرق وصول الرعد فترة طويلة، فإن العاصفة تكون بعيدة. وكذلك الحال فيما يتعلق بالموجات الطولية والموجات العرضية. فإذا كانت الثانية تصل بعد الأولى بثانيتين، فإننا نعرف أن الزلزال كان قريباً جداً وعلى مسافة (٢٤) كم. أما إذا كانت تفصلهما فترة ست ثوان، فإن الزلزال يكون على مسافة ٧٠ كم، وإذا فصلتهما فترة ٦٠٠ ثانية أي عشر دقائق فإننا ندرك أن مركز الزلزال يقع على مسافة (٧٢٤٠) كم (٣). ومن الواضح أن تقدير المسافة وحده لا يقدم لعلماء الزلازل كثيراً من المعلومات فمعرفة المسافة لا تعينهم على تحديد مكان الزلزال. إذ قد يكون الزلزال شمالاً، أو شرقاً أو جنوباً، أو غرباً، أو في أية نقطة أخرى بين تلك الجهات.

ولهذا فلا بدَّ لعالم الزلازل أن يتصل بمرصدين آخرين هما الأقرب منه، لكي يعرف ما سجلته أجهزتهما. فإذا عرف المسافة بين مرصده وبين كل مرصد على حدة، والمسافة بين المرصدين الآخرين، وكذلك المسافة بين كل من هذه المراصد الثلاثة وبين النقطة المفترضة للهزة الأرضية والتي تحسب بالفارق بين تسجيل الموجات الطولية والعرضية في جهاز السيزموغراف، بعد ذلك يرسم العالم دائرة حول كل مديهة (يقع فيها المرصد) بحيث يكون نصف قطرها ممثلاً للمسافة بين المدينة والنقطة المفترضة للهزة الأرضية. وسوف تتقاطع هذه الدوائر الثلاث المرسومة في نقطة واحدة هي النقطة الدالة على مكان الزلزال (الشكل رقم ٣٢). ولا يثير الخبير ما قد يسجله جهازه من هزات أرضية قوية وهو لا يسرع في الحصول على ما سجلته المراصد الأخرى لكي يحدد مكان الزلزال لينشر الخبر على عالم يترقب نتائجه، فهو يعلم أن الزلزال الذي يبدو مروعاً على الورق حدث على الأرجح في أحد الأماكن النائية تحت سطح البحر. ولن يسمع عنه أحد بعد

ذلك. وان الزلازل المدمرة نادرة الحدوث.

وعلى أية حال فإن العالم لا ينتظر نتائجه لأنه إذا كانت الخسارة قد حدثت فعلاً فإن أخبارها سوف تكون على أسلاك البرق قبل أن يرسم عالم الزلازل دوائره ويقوم بتحديد مكان الزلزال. أما إذا لم تكون قد وقعت خسارة فإن أحداً لن يهتم بأخبارها.

ويستثنى من ذلك علماء الزلازل أنفسهم، ذلك أن عالم الزلازل يطمئن إلى أن زملاءه سيولون نتائجه الاهتمام الكافي لأنهم يعتقدون أن في الامكان الاستفادة من صور التسجيلات الزلزالية أكثر من مجرد تحديد قوة الزلزال وعمقه وبعده. وبذلك يكون السيزموغراف قد هيأ لنا في الواقع السبيل للحصول على أصدق صورة عن باطن الأرض.

ان السيزموغراف هو بمثابة الآذان والعيون لكل من يريد أن يعرف ماذا يجري داخل الأرض. وفي بعض الأحيان يكون اهتمامنا بهذه الأمور مجرد اهتمام علمي بحت. وفي أحيان أخرى يكون هناك دافع علمي خلف هذه المعرفة، كالكشف عن البترول الذي أصبح الكشف عنه أهم استعمال تطبيقي للسيزموغراف.

ان الدول التي تمتلك شبكات كثيفة لرصد وقياس حركات الهزات الأرضية، وتسجيلها وتوثيقها قليلةجداً، بينما تحسب باقي الدول احتمالية وقوع الزلازل فيها اعتماداً على المعلومات المتوفرة عن الزلازل السابقة، التي حصلت في المنطقة المدروسة، أو دراسة الوضع التكتوني لهذه المناطق.

ومن الناحية الجيولوجية، إذا حصل اهتزاز أرضي في فترة قصيرة جداً، فهذا يعني أن الحركة التكتونية للبلاطات تعتبر ثابتة، وبالاستناد إلى هذه النظرية يمكننا تقدير قوة اهتزاز معين لهزة أرضية ما بالاعتماد على تسجيلات احصائية لحركات زلزالية سابقة(٤).

٣- قياس خطورة الزلزال

لما كان الخلط بين مفهوم قوة الزلزال وشدته واردا بكثرة لزم أن نميز بين المفهومين كما يلي:

آ - **قوة الزلزال أو مقداره (Magnitude Scale)** : وتمثل القيمة الكلية للطاقة المتحررة عن اهتزاز أرضي، وأهم الطرق المتبعة لتقدير قيمة الطاقة حسابياً، أوجدها عالم الجيولوجيات شارلز فرنسيس ريختر في ولاية أوهايو الأميركية عام ١٩٠٠، بواسطة مقياسه المعروف الذي ابتكره عام

١٩٣٥. ويعطي مقياس ريختر القيمة العددية للطاقة لكل اهتزاز حاصل. ويعرف مقياسه بأنه اللوغاريتم العشري لأكبر سعة موجية مرسومة من قبل الجهاز الذي يقيس اهتزاز الأرض والموضوع على مسافة (١٠٠كم) أو أكثر من مركز الهزة السطحي، وتقاس السعة منه بالميكرون (مصادر ٣٧، ٣٨، ٣٩).

وتعني قوة الزلزال قياس الطاقة المتحررة (M)، أما شدته (M.M.S) فتعني قياس الانهيارات المحلية الناجمة عن الزلزال. لذا فإن زلزالاً واحداً سيرتبط بقوة افرادية واحدة، بينما تختلف شدته من موقع إلى آخر.

تعتبر الزلازل احدى أكثر الظواهر العنيفة للتطور الجيولوجي لكوكبنا. ولكي تتم دراسة الزلازل التي تحدث على اليابسة توضع في البؤر المحتملة لها أجهزة قياس مختلفة لالتقاط التغيرات في الخواص المغناطيسية والكهربائية للصخور، ولتسجيل الاهتزازات العمودية والأفقية لمساحات محددة من سطح الأرض، وقياس مدى تغير ملوحة ومستوى المياه الجوفية، وانطلاق الغازات من الشقوق العديدة في القشرة الأرضية وغيرها.

والهزات الأرضية الإقليمية (Macro - Seismic) تكون واضحة جداً، ونتأثّر بها بدرجات مختلفة مناطق واسعة من الأرض، بينما لا نشعر بالهزات الأرضية المحلية الصغيرة (Micro - Seismic)، ولا نعرف بحدوثها إلا إذا رصدناها بواسطة أجهزة لاقطة حساسة (Seismograph) توضع في محطات الهزات الأرضية، وترسم مخططات التسجيل الزلزالي لحركة الأرض بشكل متواصل على شكل منحنيات تابعة للزمن (Seismogram). بواسطة هذه الأجهزة الحساسة يمكننا تحديد مقدار أو قوة الزلزال، وذلك من خلال حساب السعة الأرضية الأعظمية للتسجيل الزلزالي، إضافة إلى حساب عمق المحرق (المركز) الزلزالي، عن مكان الرصد فوق سطح الأرض. وتعتبر هذه القوة محتملة للمقياس المرئي والمجهري لشدة الهزات الأرضية بشكل صحيح ودقيق. وأصغر قوة سجلت لدفعة زلزالية أعطيت بقيمة عددية تقدر بـ ٠,٤ ريختر وأكبر ما سجل إلى الآن بقوة ما بين ٨,٦ و ٨,٨ ريختر (مصادر ١٧,٤٠).

وبما أن مقياس ريختر لوغاريتمي، فإن زيادة أية وحدة عليه يقابلها ازدياد عشرة منحنيات على سعة المنحنى المرسوم.

وهذا يعني أن الدرجة (٧) في مقياس ريختر أكبر عشر مرات من الدرجة (٦) وأكبر مائة مرة

من الدرجة (٥) وهكذا...

وبالرجوع إلى قدر الطاقة المنطلقة فإن الزلزال الذي قوته (٧) تنطلق منه طاقة تساوي (٣٢) مرة أكثر من الزلزال الذي قوته (٦) و (٣٢× ٣٢) أي حوالي (١٠٠٠) مرة أكثر من طاقة الزلزال الذي قوته (٥).

وهذا يفسر لماذا يأتي التدمير من عدد قليل من الزلازل كبيرة الصدمة ولا يأتي من آلاف الزلازل الصغيرة.

وتنقسم قوة الزلازل بحسب مقياس ريختر إلى عظمى من (٦,٥ – ٧,٥) وكبرى من (٥,٥ – ٦,٥) وصغرى من (٤,٥ – ٥,٥).

وكنتيجة لدراسة عشرات الاهتزازات الأرضية حقلياً ومعالجة نتائجها توصل ريختر (٣٨، ٣٩) لوضع العلاقة التجريبية التي تربط بين الطاقة الناجمة عن الاهتزاز، وقوة الاهتزاز كما يلي:

$$\text{Log}_{10}\ E = 11,4 + 1,5\ M$$

حيث E تمثل الطاقة الحاصلة المتحررة مقاسةبالجول(Joule) . M تمثل قوة الاهتزاز أو السعة وفق مقياس ريختر. وتبين هذه العلاقة أننا لو زدنا قوة الاهتزاز بمقدار واحد، فإن طاقة الاهتزازات ستزداد (٣٢) ضعفاً، وينجم عن ذلك طاقة ينجم عنها التدمير حتماً. وهذا يعني أيضاً أنه يوجد حد أعلى لقيمة التشوه الحاصل قبل حدوث الانكسار في منطقة الهزة الأرضية، وهذا يوجب وجود حد أعلى لقوة الاهتزاز لا يمكن تجاوزه. وأكبر قيمة مسجلة لقوة الاهتزاز حتى الآن بلغت (٨,٨ ريختر)، وهذا يعني أيضاً أن النسبة بين الطاقة الحاصلة لأكبر اهتزاز وأصغر اهتزاز تساوي (١٣١٠) (مصادر ٣٨، ٣٩) وهذا يعادل الطاقة التي تطلقها عشرة آلاف قنبلة كالتي اطلقت في الحرب العالمية الثانية.

وهذا يعني أن الطاقة الناتجة عن زلزال بدرجة ٧ ريختر تساوي حوالي ١٠٠٠ مرة من الطاقة الناتجة عن زلزال بدرجة ٥.

ب – شدة الزلزال (Intensity Scale)

وهي تمثل مقياساً وصفياً لدرجة خطورة اهتزاز أرضي على المنشآت والتشوهات الأرضية كالشقوق الزلزالية في مكان ما أي شدة الأضرار التي يحدثها الزلزال فقط بصرف النظر عن القوة التفجيرية، يتم تعيينه بواسطة المراقبة. وتقدر شدة الاهتزاز بسبب تأرجح سطح الأرض إلى مقياس اعتباري معتمد. وأهم هذه المقاييس الاعتبارية المستخدمة للتصنيف مقياس ميركالي المعدل (Modified Mercalli Intensity Scale)، والمرقم من (٠) حتى (١٢) درجة (مصادر ٣٧، ٣٨، ٣٩، ٤١). ان كل مقاييس الشدة مشابهة لبنيوية نظام ميركالي المعدل (M.M.S) والمستخدم بشكل واسع في أميركا الشمالية وأوروبا الغربية، علماً أنه يشبه النظام

السوفييتي المعمول به. وتكون مقاييس الشدة ذات اعتبار مهم في المناطق التي لا توجد فيها أجهزة رصد لقياس الحركات الزلزالية الشديدة، وفي المناطق التي لا يمكن لنا فيها إلا أن ننطلق من معلومات عن زلازل وقعت في الماضي. والجدول (٥) يبين المقارنة ما بين قوة الزلزال (ريختر) وشدته (ميركالي)، ودرجات التأثير المرتبطة بها، بالعلاقة مع التسارع المتوقع لحركة الأرض، تبعاً لشدة الزلزال. ويلاحظ فيه تزايد قيم التسارعات، مع تزايد قيم شدة الهزات التي تحدثها الزلازل. وبذلك يصبح من السهل وبشكل عام أن نستنتج من فعل الزلازل وتأثيراتها، تسارعها الأعظمي وبالتالي يمكننا أن نحدد شدة الزلزال.

ومن الجدير بالذكر أن القيم المبينة في الجدول رقم (٥) ذات طابع تقريبي حيث أن درجة الزلزال بشكل عام لا تعطي فكرة واضحة عن قيم التسارع الأرضية الموافقة. حيث يمكن أن يحدث زلزال في منطقة ما بدرجة أعلى من زلزال آخر يضرب منطقة أخرى وتكون قيمة التسارع الأرضية في الحالة الأولى أقل من قيمة التسارع الأرضي في حالة المنطقة الثانية.

تشير الدراسات إلى أن الموجات الزلزالية تنتشر من محرق الزلزال أو مركزه الجوفي في جميع الاتجاهات حسبما يلي:

- الموجات الباطنية (Mb) وتنتقل في باطن الأرض على شكلين هما:

* الموجات الطولية أو موجات الضغط أ: وتنتقل بسرعة كبيرة حوالي ٥-٦كم/ث وتصل أولاً إلى البناء، ولهذا تسمى بالموجات الأولى، وتؤدي إلى تغيير في الحجم (ضغط وشد متعاقب).

* الموجات العرضية أو موجات القص س: وهي موجات جوفية تنتشر بسرعة أقل من سرعة الموجات الطولية (بين ٣-٤كم/ث) وبخلاف الموجات الطولية (أ) فإن الموجات العرضية (س) لا تستطيع المرور عبر الأوساط السائلة والغازية من واقع عدم قدرة هذه الأوساط على نقل القوى العرضية.

- الموجات السطحية (MS)عندما تصل الموجات الباطنية إلى القشرة الأرضية تتحول طاقة الزلزال إلى موجات سطحية لا تدخل التربة إلا بأعماق قليلة جداً، وهي على شكلين هما:

* موجات أفقية (R) ولها يعزى السبب الأغلب في حدوث تصدع المنشآت.

* موجات رأسية (L).

٤- التنبؤ بوقوع الزلزال

على الرغم من التقدم الذي تحقق في مجال علم الزلازل فإن الأجهزة العلمية الحديثة لا تستطيع التنبؤ بالحدث. وكل ما يمكن أن تقدم دراسات العلماء مجرد اعطاء فكرة عامة عن تطور النشاط

جدول رقم (٥) المقارنة بين قوة الزلزال وشدته ودرجات التأثير المرتبطة بها بالعلاقة مع التسارع المتوقع لحركة الأرض (المصادر٣٧,٣٨,٣٩,٤١)

القوة (ريختر)	الشدة (ميركالي)	الوصف	درجات التأثر	التسارع (CM/S2)
2	1	غيرمحسوسة	لا يتم الإحساس بها، تسجل من قبل الأجهزة	1>
	2	خفيفة جداً	يتم الاحساس بها ببطء في الطوابق العلوية من أشخاص جالسين بهدوء.	1-2
3	3	خفيفة	تحدث اهتزازات مشابهة للاهتزازات التي تحصل عند مرور آلية ثقيلة جانب البناء.	2-5
4	4	معتدلة	تتحرك الأشياء المعلقة ، تخضع البيوت لحركة ملموسة تتحرك السيارات المتوقفة، والنوافذ ،الأبواب،	5-10
	5	قوية نسبياً	تلحظ خارج المنازل، يستيقظ الأشخاص النائمون تتحرك الأشياء غير المثبتة، تفتح الأبواب وتغلق، تتأرجح المعلقات والساعات الحائطية.	10-20
	6	قوية	تلحظ من قبل كل الناس المشاة، ويصبح المشي صعباً، تسقط الطينة، تتصدع المداخن، بعض التشققات الصغيرة في الأبنية ذات النوعية السيئة.	20-50
5	7	قوية جداً	تلحظ من قبل السائقين والمشاة، ينكسر الأثاث، تتعرض مواد البناء صنف D* لتصدعات كبيرة، تحدث تشققات في لأبنية صف (C**) تنكسر المداخن، والنصب التذكارية، والأبراج والخزانات البرجية.	50-100
	8	مصدعة	تصبح قيادة السيارة صعبة جداً، تحدث تصدعات كبيرة في مختلف المنشآت صنف (D*) ، بعض التصدعات في المنشآت صنف (C**) انهيارات	100-200
6			موضعية، بعض التصدعات في مواد منشآت صنف (B***) وانكسار المداخن والأبراج ، إنكسار أفرع الشجر، تغير مناسيب المياه في الآبار، تصدعات في مناطق التربة الرخوة .	
7	9	عالية التصدع	رعب عام، تحطم المنشآت صنف (D*) وتصدع المنشآت صنف (C**) وحدوث بعض التشققات في المنشآت صنف (B***) ، انزياح المنشآت الإطارية عن أساساتها، إنكسار أنابيب التمديدات المطمورة في التربة، تشققات كبيرة في التربة.	200-500
	10	قوية للغاية	تحطم جميع المنشآت الحجرية والخشبية، تهشم قوي في المنشآت البيتوتية المسلحة والمعدنية، تصدعات جدية في السدود، خروج المياه من الأقنية والأنهار، تميع الرمال.	1g=
8	11	دمار	تحطم كل المنشآت، تحطم كبير في الجسور ، تبقى فقط بعض المنشآت، انحناء السكك الحديدية وانكسار جميع التمديدات في المنطقة، غمر القرى بمياه الطمي .	(1-2)g
9	12	دمار كامل	تغير كبير في شكل الأرض، تغير أحياناً في مجرى الأنهار.	2g<

صنف (D*) : تشمل جميع المنشآت ذات الأهمية المنخفضة

صنف (C**) : تشمل جميع المنشآت غير المحسوبة على تحمل قوى أفقية

صنف (B***) : تشمل جميع المنشآت المحسوبة على تحمل جزء من القوى الأفقية

صنف (A) (انظر االشكل رقم ٢ حـ) وتشمل جميع المنشآت المحسوبة على قوى أفقية ممثلة لاجهاد الزلازل

الزلزالي في مناطق العالم المختلفة، وعلى حد تعبير بعض هؤلاء العلماء فإن التنبؤ في مجال علم الزلازل لا يعدو أن يكون تشخيصاً وليس تنبؤاً حقيقياً مضبوطاً. تلك هي وجهة نظر علماء الجيوفيزياء.

ومن المؤشرات المعروفة التي تتقدم حدوث الهزات نذكر:

أ) تشويه سطح الأرض: يعتري سطح الأرض في المناطق القريبة من البؤرة الزلزالية بعض التشويهات المتمثلة بتموجات في الأرض (ارتفاع في بعض المناطق وهبوط في بعضها الآخر).

ب) يعتبر التغير المفاجىء في مستوى سطح البحر أحد المؤشرات لاحتمال وقوع هزه أرضية في المنطقة التي يتغير عندها مستوى سطح البحر.

جـ) الهزات الأولية: يسبق حدوث الهزات الأرضية أو الزلازل العديد من الهزات الخفيفة، التي تأخذ في الزيادة وبصورة تدريجية قبل حدوث الزلزال ليصل عددها إلى عدة مئات في الساعة الواحدة قبل بعض الهزات أو الزلازل الكبيرة.

د) التغير في سرعة الأمواج الزلزالية.

هـ) تغير في المجال الكهربائي الجوي بفعل انطلاق جزئيات الهواء والجسيمات المشحونة ايجابياً الموجودة في مسارات القشرة الأرضية نتيجة الضغط الشديد الذي تتعرض له الصخور.

و) التغير في المغناطيسية الأرضية.

احصائياً يمكن التنبؤ باحتمال حدوث الزلازل. فإذا حدثت هزة كبرى في منطقة معينة مرة كل (٢٥) سنة على مدى القرنين الماضيين مثلاً، فإنه من الممكن لهذا النموذج أن يتكرر مستقبلاً. غير أن هذا النوع من التنبؤ لا يجدي كثيراً في عملية تقدير الوقت الدقيق لحدوث الهزة الأرضية. والتنبؤ بالزلزال يعني علمياً ادراك عناصره الثلاثة وهي:

* المكان الذي سيقع فيه الزلزال.
* الزمن الذي سيستغرقه الزلزال.
* قوة الزلزال أو شدته.

وبدون أن نحدد هذه العناصر الثلاثة لا يمكن لنا أن ندعي أننا تنبأنا بدقة عن وقوع زلزال ما. تعتبر التغيرات في سلوك الحيوانات عند أهالي الصين ذات دلالة في هذا الشأن. ففي عام ١٩٧٣ صدر هناك كراس يحذر الفلاحين ويحثهم للاستعداد لمواجهة الزلزال. فالزلزال قد يحدث:

– إذا رفض القطيع من الأغنام أو الخيول دخول الزريبة.

– إذا تراكضت الجرذان خارجة من جحورها.

– عندما تطير الدجاجات إلى رؤوس الأشجار، أو تهرب الخنازير من حظائرها.

– عندما يرفض البط النزول إلى الماء، وتنبح الكلاب من غير سبب مطلقاً.

– عندما تخرج الأفاعي من أوكارها في أثناء سباتها الشتوي.

– عندما يخاف الحمام، ويأبى العودة إلى الأعشاش.

– عندما تتقافز الأرانب مرفوعة الآذان، أو تصطدم بالأشياء.

– عندما يشب السمك فوق سطح الماء وكأنه مذعور.

وقد لاحظ العلماء الصينيون في حديقة حيوانات (تيانستن Tientsin) انه قبل حدوث الزلزال الذي ضرب المنطقة في صيف ١٩٦٩، أن بجعات الحديقة تركت الماء فجأة بلا سبب واضح، كما أن النمر المنشوري توقف فجأة عن الحركة وانهار ثور التبت (الياك Yak)، وان دب الباندا أخفى رأسه بين يديه وأخذ يئن بشكل مستمر.

وقد لاحظ العلماء في الولايات المتحدة الأميركية أن الخيول في احدى المناطق التي ضربها الزلزال في عام ١٩٦٩ كانت تتصرف بفزع قبل أن يحدث الزلزال.

وفي الاتحاد السوفييتي تستخدم التجارب العلمية إلى جانب الأجهزة الحديثة الموجودة في منطقة غارم بطاجيكستان احدى السلالات الطاجكية المحلية للفئران كمؤشر على حدوث الزلزال، ذلك أن هذه الحيوانات تشعر بحالة الأرض قبيل العاصفة الجوية لذلك يدرس العلماء السوفييت سلوكها في مختلف الظروف.

محلياً لاحظنا خلال شهر رمضان المبارك ولأكثر من مرة أن الماعز تتحرك بعنف واضطراب

محاولة التملص من قيدها بعد اطلاق وخروج قذيفة مدفع من سبطانة المدفع، وقبل أن تنفجر القذيفة في الهواء مباشرة، مما يدل على أنها لم تتحرك إلا بفعل اهتزازات القشرة الأرضية التي سببها خروج القذيفة من المدفع وتحرك المدفع.

ومع أن العلماء في الغرب يميلون إلى قلة الاعتقاد بهذه الطرق التي تنبىء عن الهزات الأرضية، إلا أن بعضهم يقول إن حاسة السمع المرهف لدى الحيوانات قد تجعلها قادرة حقاً على ادراك الأصوات التي تسببها الذبذبات السابقة للهزة، وهي ذبذبات يتعذر أن تسمعها الأذن البشرية لضعفها الشديد (مصدر ٧).

ومن الحقائق العلمية أن الأسماك تستطيع سماع الأصوات الضعيفة ذات الترددات المنخفضة جداً، كما تبين أنها تتأثر بشدة بموجات الضغط الزلزالي التي تتردد وأحياناً عبر مسافات هائلة في البحر. وقد اكتشف الباحثون أن سر هذه الحاسة كامن في الخطوط الجانبية الحساسة الموجودة على أجسام الأسماك. ويبدو أن اليابانيين قد عرفوا هذه الحقيقة منذ زمن بعيد حتى انهم يحتفظون في بيوتهم بأحواض لتربية الأسماك ليس بغرض الزينة أو التربية ولكن كأجهزة انذار مبكر للزلازل.

وبالنسبة لتنبؤ الحيوانات بزلزال مصر الأخير أشار المصدر (٤٢أ) إلى أنه في صباح يوم الإثنين ١٢ تشرين الأول ١٩٩٢ كانت حديقة حيوانات الجيزة أول من تنبأ بحدوث الزلزال العنيف الذي هز العاصمة المصرية وهز معها مدناً كثيرة وقرى في طول البلاد وعرضها. ففي صباح ذلك اليوم لاحظ المشرفون على الحديقة ولاحظ الزوار أن الزواحف تبدو على غير عادتها، في حالة اثارة شديدة وانزعاج، وكأنها كانت تحاول الهرب من شيء ما، فالسحالي تتسلق الجدران بعصبية، ولكنها تسقط نظراً لثقل وزنها فتعيد الكرة تلو الكرة ويصيبها الفشل أيضاً، فتنبش في الحوائط الزجاجية تبغي اختراقها، ولكن هيهات. وفي بيت الثعابين كانت الأصلة الملكية (نوع من الثعابين العاصرة) تحاول الهرب إلى أعلى شيء أمامها فتعتلي الأفرع القائمة في صندوقها، ولا تفارقه إلا بعد تفريغ شحنة الزلزال. وفي نفس الوقت كان الطاووس منزعجاً يصدر أصواتاً قوية مفزعة، بينما كان الفيل يصرخ بأعلى صوته الذي يشبه العويل كما لو كان ينفخ في نفير منذراً بالخطر القادم.

أما الأسد فقد غطى زئيره أرجاء المكان معلناً رفع حالة الاستعداد لمواجهة الكارثة .. حدث

كل ذلك في الحديقة ولكن أحداً لم يفهم السر وراء حالة الذعر العام...

الأمر في مصر كان مختلفاً عن الحالة الوحيدة التي فطن الناس فيها لمدلول الإنذار الحيواني، ففي شهر كانون الأول ١٩٧٤ لاحظ الصينيون في مدينة (هاينشنج) بمقاطعة (لياديننج) أن الحيوانات تتصرف بشكل غير مألوف وغريب، فقد سلكت الأفاعي خلال هذا الشهر القارس البرودة سلوكاً انتحارياً حين زحفت من مخادعها الشتوية الدافئة وكأنما هي تريد الانتحار. وفي نفس الوقت خرجت الفئران من جحورها وظهرت في طرقات المدينة في وضح النهار وهو سلوك غريب وشاذ، أما الأوز فقد أصابه مسّ فراح يحاول تسلق جذوع الأشجار، وفي حظائر الخنازير كانت الحيوانات تتقاتل بشراسة وعنف والأمهات يقتلن صغارهن بقسوة، لقد لاحظ الناس والعلماء كل هذه المظاهر ثم لاحظوا أن حدتها تزيد وتزيد حتى بلغت ذروتها في أول شباط ١٩٧٥ وعندئذ لم يجد المسؤولون مفراً من اجلاء سكان المدينة وهم أكثر من مليون نسمة. وفي يوم ٤ شباط ١٩٧٥ وقعت الواقعة وحوّل زلزال مدمر المدينة الخالية إلى أنقاض. وهكذا قدمت حيوانات (هاينشنج) دليلاً جديداً ساطعاً على مقدرتها على التنبؤ بالزلازل.

وفي دراسة لعلماء المركز القومي للخدمات الإعلانية الخاصة بالزلازل في الولايات المتحدة الأميركية تبين أن خروج الصراصير من مخابئها وبشكل فجائي وبصورة جماعية ينبىء عن قرب وقوع الزلزال. وفي تقرير علمي لجمعية الجيولوجيا الأميركية ذكر أن حساسية الصراصير للتنبؤ بالزلازل تفوق أحدث ما صنعه الإنسان من أجهزة. وفي رأي دايفيد استيوارت مدير معامل الجيولوجيا الطبيعية بجامعة كاليفورنيا أن هروب الجرذان من مخابئها ورفض الخيول دخول اسطبلاتها واضطراب الأسماك وقلق الحيوانات العام يعتبر سلوكاً له مدلول في مجال التنبؤ بالزلازل.

وفي مؤتمر علمي كبير عقد في نهاية السبعينيات بالولايات المتحدة أوصى باحثو علم الأرض والحياة والجغرافيا والزلازل بضرورة استخدام الحيوانات في مجال التنبؤ عن قرب وقوع الزلازل. وأشار الباحثون لأهمية اقامة مستعمرات حيوانية لدراسة سلوك الحيوان قبل وقوع الواقعة.. وبالفعل انشئت في صحراء كاليفورنيا أول مستعمرة من نوعها في التاريخ لتحقيق هذا الهدف.

وحقيقة فإنه لم يتم حتى اليوم وضع الأسس النظرية الكاملة للتنبؤ بالزلازل، ولا تخرج

المحاولات العلمية عن نطاق محاولة التنبؤ بالكوارث الطبيعية المستقبلية كمخالفات النظام الزلزالي، وتغيّر نظام المياه الجوفية، وتعاظم التوتر في الكتلة الجبلية، وازدياد نشاط الحركات المعاصرة في القشرة الأرضية، ومراقبة سلوك الحيوانات المضطرب ازاء التغيرات الأرضية كما أسلفنا.

٥- نظام عالمي للتنبؤ بوقوع الزلازل

يعتبر التنبؤ بوقوع الزلازل أمراً على جانب كبير من الأهمية ليستطيع الناس التصرف واتخاذ الاحتياطات قبل وقوعها، وبشكل خاص في حالة المدن الكثيفة بعدد السكان والتي تتكدس فيها العمارات الشاهقة الارتفاع. وقد لجأ الانسان إلى التنبؤ كأفضل بديل مطروح أمامه خاصة لأنه لا يستطيع أن يفعل شيئاً إزاء هذه الحركات الأرضية. فالإنسان ضعيف ومن المستحيل أن يستطيع في يوم من الأيام أن يقاوم حركات الأرض وكل الذي يستطيع عمله هو التنبؤ بسلوك هذه الحركات حتى إذا ما حدثت استطاع تدبير أموره لاتقاء أخطارها.

في السنوات الأخيرة أقيمت أبحاث لدراسة الأساليب التقنية المتطورة المتعلقة بالتنبؤ بالزلازل، وتركزت معظم الأبحاث حول تقدير التغيرات الحاصلة على الأرض أو في جوفها وقياس تلك التغيرات في مرحلة ما قبل الاهتزاز. وقد تعلم العلماء مثلاً كيفية قياس التغيرات في الخصائص المغناطيسية للصخور قبل وقوع الزلزال بساعات قليلة. واستخدموا أجهزة لقياس انحدار الأرض وسرعة تحركها ورسوّها في مناطق الصدع النشط بشكل تفصيلي (في بعض الحالات سجلت تفصيلات كالانتفاخ المرئي، والميول وغيرها من التغيرات الأخرى) (٧). وأجريت قياسات على الأوزان والحجوم الضئيلة للمواد المزاحة عبر الصدع. كذلك أجريت أبحاث على استفحال الاجهاد في القشرة الأرضية قبل انفجار الزلزال. وهذا الاستفحال يغير من كثافة الصخور، ويبدل ارتحال الموجات المهتزة (الصناعية) التي تختمها الانفجارات الارادية. واستهدفت تجارب أخرى ربط التغير في القشرة الأرضية مع حدوث هزات أرضية ناجمة عنها. وقد وجد أيضاً أن ازدياد غاز (الرادون) النشط اشعاعياً في الماء يعتبر علامة على حدوث زلزال.

ابتكرت جماعة من العلماء السوفيات المشتغلين في التنبؤ بوقوع الزلازل، نموذجاً جديداً للوسط الجيوفيزيائي يراعي تغير الخواص البنيوية لباطن الأرض، فطبقات القشرة الأرضية غير المتجانسة هي في ارتجاج واهتزاز دائمين كما يقول أحد الباحثين. وفي الوقت نفسه تتعرض

القشرة لتأثير الطاقة الشمسية فيها وحرارة باطن الأرض وفعل الحركات التكتونية مما ينجم عنه تعرض الصخور للتقلص والانقباض والتحرف فتتشقق وتنهار وتتداسر على دفعات وبشكل صدمات. أما انتشار الموجات السيزمية الزلزالية الذي ينشأ بفعل ذلك فيسمى زلزالاً أو هزة أرضية. ولاحظ العلماء لدى قيامهم بأبحاثهم أن الزلازل القوية لا تنشأ واحداً واحداً بل اثنين أو ثلاثة في نفس المكان بحيث يبلغ الفارق بين الهزات بضعة أيام وأثبت العلماء ثمة ما يقرب من مئة دليل يشير إلى قرب وقوع الزلزال. ففي منطقة بؤرة الزلزال الداهم تتغير قبيل وقوعه الوصلية الكهربائية للصخور وفي الجو المخيم فوق البؤرة اياها بتغير المجال الكهربائي بينما يتغير في المناطق المجاورة لها منسوب المياه الجوفية وتركيبها الكيميائي.

وقد بات الان معلوماً أن الجزء الأهم من بؤرة الزلزال هو صدع منتعش في باطن الأرض يتراوح ما بين مئات الأمتار ومئات الالاف من الأمتار.

وتشير بعض الأبحاث إلى أن العلماء في أميركا والاتحاد السوفييتي والصين نجحوا في كثير من الحالات في توقع الزلازل قبل موعد حدوثها. وأعلن العلماء السوفييت في اجتماع علمي عقدوه في موسكو عام ١٩٧١ أنهم نجحوا في التعرف على علامات حدوث الزلازل، ويعتمد العلماء في تقديراتهم وتوقعاتهم للزلازل على قياس شدة واتجاهات نوعين من الموجات التي تلتقط بواسطة السيزموغراف، فهناك الموجات الزلزالية الباطنية التي تنتشر من محرق الزلزال على شكلين هما: الموجات الطولية (أ) **(P - Waves)** التي تؤدي حركاتها إلى ضغط الصخور حسب اتجاهاتها (أفقية)، وموجات (س) العرضية **(S - Waves)** التي تضغط على الصخور بشكل متعامد مع اتجاهاتها (عمودية). وبما أن الموجات (أ) أسرع من الموجات (س) فإنها تصل إلى مرسمة الزلازل (السيزموغراف) أولاً.

ومع أن السيطرة الفعالة على الزلازل – سواء من حيث التنبؤ الدقيق بوقوعها أو من حيث اتخاذ الاستعدادات الكاملة والكافية لها – قد لا تكون ممكنة حتى الآن، إلا أن تطورات أخرى ربما تساعد في تقليل أخطارها والخسائر البشرية التي تسببها. وأحد أهم هذه التطورات القياس الدقيق لاهتزازات الأرض في أثناء حدوث الزلزال، وتجري هذه القياسات بوساطة جهاز يدعى مقياس التسارع (اكسيليروغراف)، ويقيس الجهاز حركة الأرض في كل الاتجاهات، ويبرر الفهم الأفضل للحركات التي تسببها الزلازل مقروناً بتخطيط متطور للمباني(مصدر ٧).

ولقد نجحت تجربتا عالمين أميريكيين في توقع حدوث هزات أرضية. ففي عام ١٩٧٣ توقع أحد العلماء من جامعة كولومبيا حدوث زلزال في حافة جبلية قرب بحيرة بلوماونتن (Blue - Mountain Lake) واتصل بأحد زملائه في مختبرات جامعة كولومبيا يعلمه بأن جميع التسجيلات على مرسمات الزلازل السبعة التي كانت في المنطقة تشير إلى حدوث زلزال. وقد حدثت بالفعل هزة أرضية قوتها بين ٢,٥ – ٣ ريختر. وفي تشرين الأول/ نوفمبر ١٩٧٣ نجح عالم آخر في توقع حدوث هزة أرضية في منطقة ريفر ساید (River Side) بكاليفورنيا وحدد الفترة خلال ثلاثة أشهر. وبالفعل فقد ضربت المنطقة هزة أرضية في ١٩٧٤/١/٣٠ (مصدر ١).

وقد لاحظ العلماء الأميريكيون الذين زاروا الصين وخاصة وفد معهد ماساشوستس التكنولوجي أن الصينيين مهتمون إلى درجة كبيرة بدراسة الهزات الأرضية. وانهم يقرأون تقريباً كل ما يكتب وينشر عن الموضوع في الغرب. ويوجد في الصين حوالي عشرة الآف مختص بشؤون الزلازل في الوقت الذي لا يزيد عدد المختصين في هذا المجال في الولايات المتحدة عن ألف شخص. كما يوجد في الصين أكثر من (٢٥٠) محطة رصد وأكثر من خمسة الآف نقطة مراقبة لتسجيل حدوث الزلازل.

وقد أصاب العلماء الأميريكيون في اعتقادهم الذي عبروا عنه في أوائل الثمانينات أن جميع المناطق الواقعة على جانبي اندرياس سيتعرضون لخطر زلزال كامن ربما أدى إلى هلاك الآلاف من البشر في المنطقة. ولهذا فهم يحثون المسؤولين على اعطاء المزيد من فرص البحث والدعم المادي لدراسة ظاهرة الزلازل. وقد حدث هذا الزلزال فعلاً في عام ١٩٨٩ في سان فرنسيسكو بكاليفورنيا ولكن أضراره كانت طفيفة بسبب الاحتياطات العلمية والمادية الكبيرة المتخدة في تلك المدينة لمقاومة أخطار الزلازل.

وفي الواقع فإن التنبؤ الدقيق بوقوع الزلزال يقتضي مجموعة العلائم المسجلة بمجملها. وعلى الرغم من عدم وجود نظام عالمي فعّال ونهائي – حتى اليوم على الأقل – للتنبؤ بوقوع الزلازل بدقة، إلا أنه يمكن انشاء مثل هذا النظام، وتساعد التقنية المتطورة والتعاون العالمي في هذا المجال على اقامته ونجاحه.. وينبغي أن يستند هذا النظام على أسلوب التكهنات الطويلة الأمد – لبضع سنوات مثلاً– وبموجبه يجب تحديد المناطق الزلزالية النشطة، أو التي يتوقع فيها تعاظم علائم الزلزال. ومع أن تحديد هذه المناطق لا يسمح بالتنبؤ الدقيق بموعد الضربة الزلزالية ووقتها، إلا أن

نظام التكهنات الطويلة الأمد يتيح إعداد السكان، وتعزيز وتوطيد الانشاءات السكنية وغيرها من الانشاءات لمواجهة الأخطار المحتملة. ولعل النقطة الأكثر أهمية في نظام التكهنات الطويلة الأمد، تقوم على تحديد الخرائط الزلزالية التي تحدّد مواقع الانكسارات في قشرة الأرض – وهي المناطق الزلزالية المرشحة– ويجب تعديل هذه الخرائط دورياً. ويمكن أن يتم تعديلها أثر ندوات، أو مؤتمرات علمية سنوية متخصصة، يعرض فيها خبراء الزلازل في كل دولة نتائج مراقباتهم، التي يتم تعميمها، والتوصل إلى خرائط زلزالية أكثر قرباً من الصواب والدقة العلمية. بشكل اجمالي – وكما أوضحت المراقبات للزلازل القوية في موقع كامشاتكا دورية في الاتحاد السوفييتي – فإن الزلازل بشدة ٧ درجات من مقياس (ميركالي) تقع مرة واحدة تقريباً كل ٢٠ سنة، والزلازل بشدة ٨ درجات تقع مرة كل ٥٠ سنة، والزلازل بشدة ٩ درجات يتوقع أن تحدث مرة كل ٣٠٠ سنة. ومع أن الأرقام تصح في الموقع المذكور، فإننا لا نستطيع أن ندعي اطلاقها وتعميمها وانما يؤخذ بها على سبيل الاستئناس، لمحاولة التنبؤ بوقوع زلازل من شدات مختلفة في مواقع أخرى.

في مجال التنبؤ بموعد الزلزال يعلق (روس ايفانز) الخبير البريطاني في المعهد الجيولوجي في ادنبره قائلاً «من المستحيل التنبؤ بدقة بموعد الزلزال ذلك أن الاهتزاز في جوف الأرض يقع غالباً على عمق يتراوح بين ١٠و ١٥ كيلومترا. ولأن العلم يجهل الكثير مما يدور في جوف الأرض العميق، فإنه يستحيل عليه أن يتوقع موعد حدوث الزلزال وان كان ثمة مؤشرات تنذر بقرب وقوعه».

ان ضمانة أمن الناس في المناطق المعرضة للزلازل، وفي حال الكوارث الزلزالية لا يقوم على دقة التكهن بوقوع الزلزال، ومحاولة تحديد موعد وقوعه، بل ويتعلق بشكل رئيسي بالمساكن المبنية بصورة ماهرة وثابتة، وبصورة تكون فيها مقاومة للزلازل. ففي المناطق المعرضة للزلازل في دول العالم المتقدمة يتم بناء عمارات شاهقة على أعمدة فولاذية، ذات أسس من الكاوتشوك وغيره من المواد القادرة على شل الضربات والذبذبات القاسية.. وهذا البناء المقاوم للزلازل انما هو اتجاه في غاية الأهمية لحماية السكان من الزلازل الكارثية. وهو اتجاه أثبت نجاحه المؤكد أثر الزلزال الأخير الذي ضرب مدينة سان فرنسيسكو في الولايات المتحدة الأميريكية خلال شهر تشرين الأول لعام ١٩٨٩، من وجهة نظر المعرفة العلمية الحالية، ونتائج البحوث العلمية، ونماذج التطور العمراني في المناطق المعرضة للزلازل، فإن أولويات الوقاية من الزلازل بهدف منع الأخطار، تعطى للتنظيم

الدقيق لاستخدام الأرض، ولتنظيمات المنشآت، أكثر مما تعطى لرصد الزلازل، وتجاوز المشكلات التي تنجم عنها، ولكن هذا لا يعني أن نهمل النقطة الثانية والتي تمثل وجه العملة الآخر.

الرأي الذي ساقه العالمان الأميريكيان (غير) و (شاه) في كتابهما (الجماد المهتز) والذي يقول: (في الطبيعة قوى هائلة من الأسهل النضال ضدها بفسح المجال أمامها بمهارة)، يصح كلياً على الزلازل، ذلك أن افساح المجال أمام الزلزال يعني الاستعداد جيداً للهزة الكارثية المحتملة، وإذا وقعت ومهما استغرقت فسوف يكون خطرها محدوداً بصورة جوهرية.. وهذا يعني أيضاً أنه لا مجال للمزاح مع عناصر الطبيعة، بمعنى أننا يجب ألا نهمل تعاملنا مع الدروس التي تعطينا اياها الطبيعة، أيا كان الثمن الذي ندفعه .

وإذا كان هول المفاجأة التي ضربت العالم أثر زلزال أرمينيا السوفييتية كبيراً استأثر باهتمام العالم بأسره، وخصوصاً بالنسبة للاتحاد السوفييتي الذي وجد نفسه أمام مهمات كبرى لاعادة اسكان المتضررين واعادة الاعمار، فإن ضربة زلزالية أخرى بلغت قوتها ٧ درجات بمقياس ريختر تعرضت لها طاجكستان في الاتحاد السوفييتي وبالضبط إلى الجنوب الغربي من مدينة دوشنته بتاريخ ٢٣ كانون الثاني ١٩٨٩ واتسعت الأضرار لتشمل مساحة تتراوح بين ٣٠ – ٥٠ كيلومتراً من الأرض.

هناك رأي علمي يقول إن الكرة الأرضية تتحرك بقوة وعنف بحيث أن سلسلة من الهزات الأرضية والزلازل قد ضربت مناطق مختلفة من العالم خلال شهر تشرين الأول من عام ١٩٨٩، أعنفها زلزال سان فرنسيسكو اضافة إلى زلازل وهزات أرضية أخرى وقعت في أرجاء مختلفة من العالم بعد زلزال سان فرنسيسكو بدءاً بالصين ووصولاً إلى التلال المحيطة بالعاصمة الإيطالية روما، وانتهاء بالمنطقة العربية حيث تعرضت الجزائر لهزة أرضية عنيفة قتلت وجرحت وشردت الكثير من المواطنين.

إن أخطر ما في موضوع الزلزال أنه لا يمكن التنبؤ دائماً بمكان حدوثه ولا بتوقيت وقوعه. ولو كان علم التنبؤ بموعد ومكان وقوع الزلازل قد وصل إلى نهاية المطاف لتمكن السوفييت من التوصل إلى التنبؤ الدقيق بمكان وبتوقيت وقوع الزلازل، ولاستطاعوا أن ينذروا سكان أرمينيا ويخففوا الخسائر البشرية الفادحة التي نتجت عن الزلزال الشهير. والأمر نفسه يصح على الكثيرين

غيرهم في دول العالم المختلفة.

لذلك فإن مكافحة الزلزال وأضراره هي هاجس دائم لدى كل الناس. مؤخراً صدر تقرير من (الاتحاد الأميركي الجيوفيزيائي) يؤكد أن عدد سكان المدن المهددة بالزلازل العنيفة سيصل عام (٢٠٣٥) إلى (٦٠٠) مليون نسمة، من بينهم (٤٠٠) مليون يعيشون في مائة مدينة معرضة أكثر من غيرها. ومن هنا فإن تعميم تجربة (هندسة الزلازل) يبدو أمراً ضرورياً وحتمياً. فكل الخبراء يؤكدون أن الزلزال ليس هو الذي يقتل الناس ويدمر المنشآت بل هو المباني السيئة التي لا تقيم وزناً لقواعد السلامة، خصوصاً في المناطق المعرضة للزلازل أكثر من غيرها.

٦- جهود بحثية معاصرة للتنبؤ بوقوع الزلازل

أكثر من ملياري انسان، أي زهاء نصف سكان الكرة الأرضية، يقطنون مناطق تتسم بكثرة الزلازل. والزلازل لا تسبب أضراراً اقتصادية هائلة فقط بل وتذهب بعدد كبير من الأرواح. علماً بأن عدد الضحايا في نمو مستمر إذ تقع بؤر العواصف الجوفية أحياناً كثيرة في مناطق مكتظة بالسكان. ويبدو أن علماء الاتحاد السوفييتي أكثر تفاؤلاً في مجال التنبؤ بوقوع الزلازل، ويرجع ذلك إلى جهودهم البحثية الدؤوبة والمستمرة في مجال التنبؤ بوقوع الزلازل لمحاولة تقليص أضرارها، وقد زادتهم مأساة زلزال أرمينيا مؤخراً أصراراً ودأباً في هذا المجال. وحسبما أوردت وكالة أنباء نوفوستي في إحدى نشراتها فإن الأكاديمي ميخائيل سادوفسكي، مدير معهد فيزياء الأرض التابع لأكاديمية العلوم السوفييتية يقول:

في الاتحاد السوفييتي الذي يقع حوالي ربع أراضيه في مناطق تهددها الزلازل، بصورة خاصة، انشئت شبكة متفرعة من النقاط الخاصة بمراقبة ما يسمى بـ «نذر الزلازل» وذلك بغرض تقليص الأضرار إلى الحد الأدنى أو تفاديها. ومرد ذلك أن العواصف الجوفية «تنضج» في بطون الأرض تاريخياً. ففي منطقة الزلزال القادم تتغير قبل حدوثه، مثلاً خواص الصخور الجبلية بما في ذلك قدرتها على توصيل الكهرباء وسرعة انتشار الأمواج الزلزالية الخ.

في أحيان كثيرة وبفضل مراقبة هذه النذر انجزت نجاحات ملموسة في ما يسمى بالتنبؤ الطويل الأجل بالزلازل وبالتحديد استناداً إلى المعلومات عن سابقاتها. مثلاً صاغ العلماء، «جدول مواعيد» الزلازل بالنسبة لمنطقة جزر كوريل وشبه جزيرة كامتشاتكا التي تعتبر من أكثر المناطق

تعرضاً للزلازل في العالم. وخلص العلماء إلى أن الزلازل القوية تتكرر هنا مرة واحدة كل مئة وخمسين سنة. ولم تشكل الأخطاء على هذا الصعيد في الآونة الأخيرة سوى ٢٠٪ فقط عند التنبؤ بالزلازل.

واستناداً إلى هذه التنبؤات الطويلة الأجل يمكن القيام مسبقاً بفحص حالة وسائل الانقاذ وخطوط نقل الغاز والكهرباء وايضاح التصرفات الضرورية عند الزلزال للسكان وما إلى ذلك. وتبين التجربة أن هذه الاجراءات البسيطة والمنخفضة التكاليف تقلص عدة مرات الأضرار الناجمة عن الزلازل. كما وضع نفس التنبؤ بالنسبة لمنطقة أخرى كثيرة التعرض للزلازل أيضاً وهي جمهورية طاجيكستان السوفييتية التي تقع في آسيا الوسطى. وفي هذه المنطقة التي تشكل الجبال ٩٣٪ من أراضيها وحيث تحدث الزلازل في أحيان كثيرة جداً أسس ما يسمى بميادين التنبؤ التابعة للمعهد وتجري في هذه الميادين جملة من البحوث فيما يتعلق بنذر العواصف الجوفية.

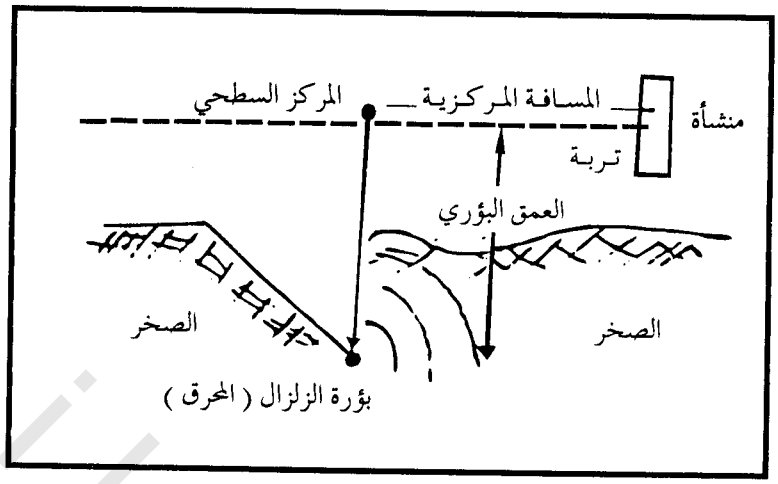
في منطقة غارم بطاجيكستان – إحدى المناطق الأكثر تعرضاً للزلازل – تقع ميادين التجارب التابعة لمعهد فيزياء الأرض لدى أكاديمية العلوم السوفييتية. وفي ١٦ مركزاً لمراقبة الهزات الأرضية وثلاثة مراصد تجري دراسة عمليات معقدة تحدث في بطون الأرض عند الزلازل. وتنقل نتائج التجارب إلى مركز جمع المعلومات حيث يجري تحليلها بدقة فائقة بواسطة حاسبات الكترونية. وفي الوقت نفسه يجري في الاتحاد السوفييتي العمل على وضع نموذج الأرض الجيوفيزيائي الجديد الذي يراعي بصورة أكمل كل العوامل التي تؤثر في دقة التنبؤ.

يراعي نموذج الأرض «الحي» عدم تجانس الكوكب الذي يتكون «ليتوسفيره» من كتل يختلف بعضها عن البعض الآخر. ونتيجة العمليات الجارية في بطون الأرض مثل عمليات تكوُّن الجبال يفقد جزء من هذه الكتل ثباتها. وهي تنهار وتتحرك وتتصدع عند الانكماش وتسبب الزلازل. وعلى أساس دراسات المعهد وضعت في البلد خرائط للمناطق الزلزالية. وتبين هذه الخرائط كثرة وشدة الزلزال القصوى التي ينبغي انتظارها في كل حالة. وتتيح هذه المعلومات فرصة الحساب المسبق للحدود المثلى لمقاومة مختلف المنشآت للزلزال في هذه المنطقة وبالتالي فرصة تفادي انهيارها في المستقبل.

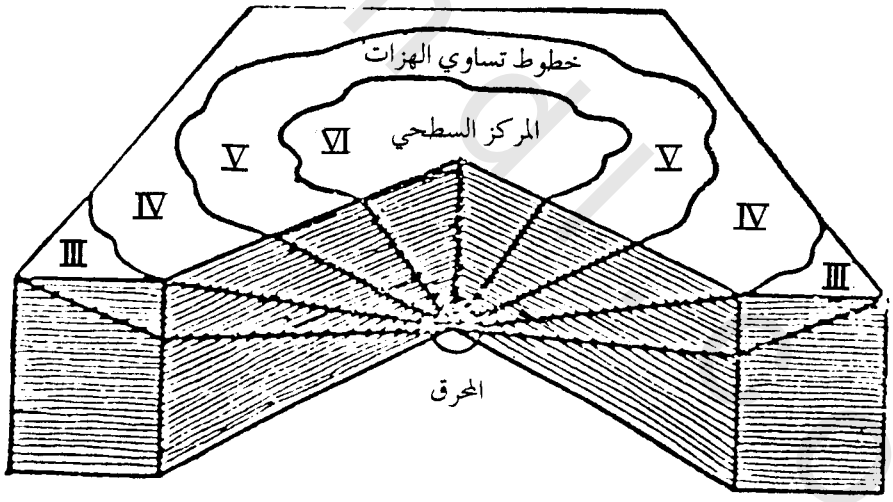
وأخيراً تسمح البحوث التي تجري في البلد بالشروع في العمل على مسائل التنبؤ السريع

والأكثر فعالية بالزلازل لأسابيع بل ولأيام وساعات ومن شأن ذلك أن يقلص بالطبع الخسائر الناجمة عن الزلازل. ويراعى بناء عشرات المحطات الأوتوماتيكية ومراكز تحليل المعلومات. ويجب تزويد هذه المحطات بمعدات خاصة واعداد العاملين وما إلى ذلك. وبمرور الزمن سوف تنشأ مصلحة حكومية خاصة تقوم بالتنبؤ بالزلازل أشبه بمصلحة الأنواع الجوية.

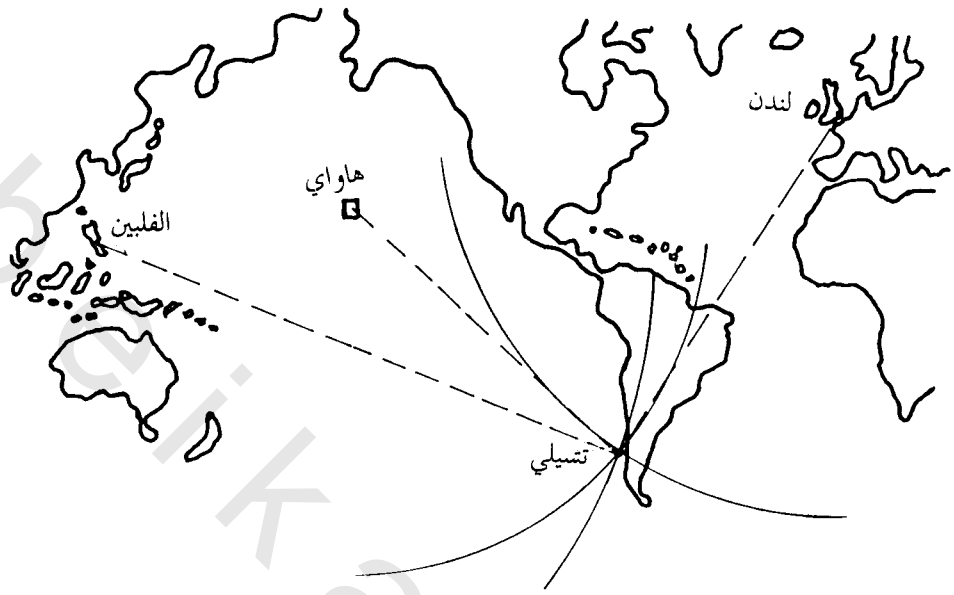
obeikandl.com



الشكل – ٣٠ – احداثيات مركز الزلزال (البؤرة)



الشكل – ٣١ – شكل فراغي يبين خطوط الشدة المتساوية للهزة الأرضية ومركز الهزة.



الشكل رقم ـ ٣٢ ـ تحديد موقع الزلزال من خلال ثلاث محطات تسجيل سيزموغرافية.
«الزلزال في تشيلي»

obeikandl.com