

الزلازل

مفهومها - ميكانيكيتها وزلزالية شبه الجزيرة العربية

إعداد

أ.د. عبدالله بن محمد العمري

أستاذ الجيوفيزياء والمشرف على مركز الدراسات الزلزالية
جامعة الملك سعود

المحتويات

الصفحة	الموضوع
1	مقدمة
2	1- التركيب الداخلي للأرض
3	1-1 القشرة الأرضية
4	2-1 الوشاح
5	3-1 اللب
6	2- الزلازل : أسبابها وأماكن تواجدها
6	1-2 نظرية الإرتداد المرن
6	2-2 نظرية الصفائح التكتونية
8	(أ) مناطق تباعد الصفائح
8	(ب) مناطق إلتقاء الصفائح
9	(ج) مناطق إنزلاق أو زحف الصفائح
10	3- الأحزمة الزلزالية
12	4- الموجات الزلزالية
12	1-4 الموجات الباطنية
13	2-4 الموجات السطحية
15	5- أجهزة الرصد الزلزالي
17	6- المعاملات الزلزالية
17	1-6 الشدة الزلزالية
18	2-6 القدر الزلزالي
24	3-6 العزم الزلزالي
25	4-6 الطاقة الزلزالية
27	7- هل يمكن التنبؤ بالزلازل ؟
30	8- زلزالية وحركية شبه الجزيرة العربية
30	1-8 الوضع الحركي
30	2-8 الزلزالية التاريخية والحديثة

الزلازل

مفهومها - ميكانيكيتها وزلزالية شبه الجزيرة العربية

مقدمة :

تعد الزلازل أكثر الكوارث الطبيعية تأثيراً على الإنسان، لحدوثها المفاجيء ولما ينجم عنها من خسائر بشرية ومادية. ويمكن تقسيم الآثار الزلزالية إلى نوعين هما الآثار الأولية وتتمثل في حدوث الحركة الأرضية العنيفة وما يصاحبها من تصدعات وسقوط المباني وغيرها، والآثار الثانوية وتتمثل في الحرائق والإنهيارات الأرضية والفيضانات والتغيرات في مستوى سطح الماء . لقد إتجه المؤرخون منذ القدم إلى الإهتمام بالزلازل وتسجيل مواقعها وتواريخ حدوثها ووصف أحداثها وتقدير شدتها والأضرار الناجمة عنها، وتطور هذا الإهتمام حديثاً حتى أصبح علماً قائماً بذاته يسمى علم الزلازل Earthquake Seismology خاصة إذا علمنا أن الكرة الأرضية تتعرض سنوياً إلى حوالي 350 ألف زلزال لا يشعر بمعظمها الناس إما لضعفها أو لحدوثها في مناطق غير مأهولة بالسكان.

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.

ولإلقاء الضوء على ماهية الزلازل وأسبابها ووسائل توقعها وزلزالية شبه الجزيرة العربية، فإن هذا يحتم إعطاء فكرة مبسطة عن التركيب الداخلي للأرض وعلاقتها بالعوامل المسببة للزلازل.

1 - التركيب الداخلي للأرض

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

لقد تم حساب قيم الجاذبية عند الأقطاب ب 983.218 جال بينما قيست عند خط الإستواء ب 978.032 جال ووجد أن هناك فرق مقداره 5.2 جال. وهذا الفرق لا يتفق مع القيم التي تم التوصل إليها نظرياً عند إفتراض أن الأرض كروية الشكل والذي يبلغ 3.4 جال. وهذا الإختلاف يدل على أن الأرض تأخذ شكلاً إهليجياً أو بيضاوياً. قال تعالى " والأرض بعد ذلك دحاها " النازعات آية 30.

أما التوزيع الجغرافي لشكل الأرض فقد إستدل عليه عام 1915 من خلال نظرية الإنجراف القاري والتي تفترض وجود قارة عملاقة قبل حوالي 200 مليون سنة أطلق عليها إسم بانجيا

Pangea يحيط بها محيط عظيم أطلق عليه اسم بانثالاسا **Panthalassa** وتفككت هذه القارة العظيمة إلى :

- (أ) قارة شمالية سميت لاروسيا **Laurasia** وتضم حالياً قارات أمريكا الشمالية وأوراسيا (أوروبا وآسيا) ما عدا الهند وجرينلاند.
- (ب) قارة جنوبية أطلق عليها قوندوانالاند **Gondwanaland** وتضم حالياً قارات أمريكا الجنوبية ، وأفريقيا ، وأستراليا - الهند ، والقارة المتجمدة 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 أيضاً انفصلت أستراليا من القارة المتجمدة الجنوبية.

لقد دلت الدراسات الجيوفيزيائية والسيزمية على أن التركيب الداخلي للأرض التي يقع مركزها على عمق 6371 كم يتألف من أربع طبقات أساسية هي : القشرة - الوشاح - اللب الخارجي - اللب الداخلي، وكل من هذه الطبقات يلعب دوراً هاماً في مرور وانعكاس وانكسار الموجات الزلزالية نظراً لاختلاف كثافة الصخور واختلاف التركيب المعدني، بالإضافة إلى اختلاف درجات الحرارة والضغط مع إزدياد العمق (شكل 1). ويمكن توضيح خصائص كل طبقة من طبقات الأرض كما يلي :

1-1 القشرة الأرضية :

يتراوح سمك القشرة الأرضية (**Earth Crust**) ما بين 25 كم إلى 60 كم تحت القارات، ومن 5 كم إلى 10 كم تحت المحيطات، وتتميز صخور القشرة الأرضية بكثافتها المنخفضة وبطبيعتها غير المتجانسة وذلك لاختلاف الظروف والبيئات التي تكونت فيها. وتتفاوت القشرة الأرضية في تركيبها الصخري من صخور الجرانيت - الأكثر شيوعاً في المناطق القارية والمكون الرئيسي لها - إلى صخور البازلت المكونة لقيعان المحيطات، وتخلو القارات من صخور البازلت عدا المناطق البركانية ومناطق الضعف في القشرة الأرضية التي ترتفع فيها الصحارة عبر الشقوق إلى سطح الأرض. بينما تخلو قيعان المحيطات من وجود صخور الجرانيت إلا من بعض الرسوبيات البسيطة التي جرفتها مياه الأنهار والسيول.

إن الاختلاف الواضح بين سماكة القشرة القارية عن القشرة المحيطية يدل على أن للجبال جذوراً تتجاوز في سماكتها 4 - 5 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 إيزوستاسي بين مكونات القشرة الأرضية وفقاً لكثافتها (شكل 2) فسبحان من قال " والجبال أوتادا " سورة النبأ آية 7. وكذلك في قوله تعالى " والجبال أرساها " سورة النازعات آية 32.

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

عمق هذا الوسط من مكان لآخر دلالة على إختلاف سمك القشرة الأرضية وكثافتها تحت القارات عنها تحت المحيطات.

2-1 الوشاح :

ويقع الوشاح أو الستار (Mantle) تحت القشرة الأرضية، (شكل 1)، ويصل عمقه إلى 2900 كم من سطح الأرض، ويتكون من صخور صلبة عالية الكثافة يدخل في تركيبها بصفة أساس عنصرى الحديد والمغنسيوم، ويعتقد بعض علماء الأرض أن صخور البيريدوتيت (Peridotite) التي وجدت في مناطق متفرقة من العالم مثل الخليج العربي وتركيا وإيطاليا هي جزء من صخور الوشاح التي تتميز بلونها الداكن وكثافتها العالية، وتتكون من البيروكسين والأوليفين اللذين تكونا تحت تأثير الحرارة والضغط الشديدين، والتي تنتقل فيهما الموجات الزلزالية بنفس السرعة العالية التي تنتقل بها خلال صخور الوشاح.

وتتميز صخور الجزء العلوي من طبقة الوشاح بأنها في حالة شبه سائلة في منطقة 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.

3-1 اللب :

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

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

2 - الزلازل : أسبابها وأماكن تواجدها

1-2 نظرية الارتداد المرن

أشار العالم ريد Reid عام 1906م 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 إنطلاق الطاقة المحبوسة إما على هيئة حرارة أو موجات إرتدادية، وهذه الموجات الإرتدادية التي يحاول بها الصخر الرجوع إلى وضعه الطبيعي هي التي تسبب الزلازل. وبإختصار يمكننا القول أن الزلزال عبارة عن إهتزاز في القشرة الأرضية نتيجة للتححرر السريع للطاقة المتجمعة في الصخور.

2-2 نظرية الصفائح التكتونية :

في عام 1962م ظهرت إلى حيز الوجود نظرية الألواح التكتونية (Plate Tectonics) للعالم ألفريد وجنر (A. Wegener) التي تفترض أن الغلاف الصخري الصلب للأرض (Lithosphere) يتألف من ست صفائح (Plates) صخرية صلبة وكبيرة و عدة صفائح صغيرة يتراوح سمكها بين 70 كم و 100 كم، شكل (2)، وتتكون الصفائح من القشرة الأرضية وجزء صغير من الطبقة السائلة من الوشاح، وتتحرك الصفائح التكتونية بالنسبة إلى بعضها البعض فوق المنطقة المنصهرة جزئياً من الوشاح العلوي والمعروفة بأل (Asthenosphere)، وتحدث الحركات التكتونية على طول الحدود الفاصلة بين الصفائح البنائية عند تحركها متقاربة أو متباعدة عن بعضها أو تنزلق إحداها بموازاة الأخرى مسببة إضطرابات في داخل الأرض تنعكس على القشرة الأرضية في صورة كسور وإندفاعات بركانية وزلازل وحركات صعود وهبوط. قال تعالى " والأرض ذات الصدع " (سورة الطارق - آية 12).

تمثل نظرية الصفائح الإطار الذي يجمع بين الأوجه الحركية لنظرية إتساع المحيط Sea-floor spreading ونظرية الإنجراف القاري. ولم يتفق العلماء حتى يومنا هذا على قوة معينة لتحريك الصفائح ولكن أهم الآليات المقترحة لتحريك الصفائح :

(أ) آلية السحب الناتج عن تيارات الحمل الموجودة في الغلاف الواهن

.Asthenosphere

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

(ت) آلية الإنزلاق. بسبب تأثير قوى الجاذبية.

(ث) آلية صعود الصهير.

(ج) آلية البقع الساخنة.

إن تكوين هذه الألواح غير ثابت بل يتغير بصفة مستمرة. تظهر الحمم البركانية (Lava) باستمرار في الألواح تحت المحيطات وتتحرك صخور الحمم الجديدة ببطء نحو سطح الأرض كما تتغير أشكال البحار والمحيطات نتيجة لذلك. وهكذا تتكون ألواح جديدة وتبدأ في التحرك أيضاً. ومن الملاحظ هنا إرتباط الزلازل بخروج الحمم والصحارة من باطن الأرض وتكون البراكين وهو الإرتباط الذي نبأنا الله بحدوثه أيضاً في سورة الزلزلة في قوله " إذا زلزلت الأرض زلزالها وأخرجت الأرض أثقالها ".

من هذا المنطلق وهو أن الكرة الأرضية في حالة حركة وتغير مستمر يمكننا تفسير حدوث الزلازل في المحيطات بأنها نتيجة لنمو هذه الألواح فهناك تغيرات كثيرة تحدث في الجبال التي تحت الماء فيحدث بها شروخ كثيرة وتتساقط منها كتل حجرية كبيرة تسبب حدوث الزلازل. كما

يتسبب صدام الأواح المباشر في ظهور السلاسل الجبلية الضخمة – مثل جبال الهيمالايا وجبال الألب – وحدث نشاط زلزالي مستمر.
وبناءً على نظرية الأواح التكتونية، يمكن تقسيم حدود الصفائح طبقاً لحركة الصدوع وإتجاهاتها، إلى ثلاثة أقسام رئيسة كما يلي (شكل 4) :

(أ) مناطق تباعد الصفائح Divergence Zones

تنشأ مناطق تباعد الصفائح عن عملية شد ناتج بسبب تحرك صفيحتين 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 30 كم شكل (4-أ).

(ب) مناطق إلتقاء الصفائح Convergence Zones

تنشأ مناطق إلتقاء الصفائح عند تحرك صفيحتين بإتجاه 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 الإصطدام كما يلي:

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

قاري - محيطي : حيث تختلف كثافة الصخور بين الصفيحتين، حين تضغط إحداهما على الأخرى 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 الإنديز في أمريكا الجنوبية والجزر الألوسية الممتدة حول منطقة الإسكا. وتتميز زلازل هذه المنطقة بأنها من النوع العميق حيث يتراوح عمقها بين 300 كم و 670 كم شكل(4-ب).

(ج) مناطق إنزلاق أو زحف الصفائح Transform Zones

تنشأ مناطق إنزلاق أو زحف الصفائح على شكل صدوع مستعرضة (Transform Faults) تؤدي إلى أنزلاق أو زحف صفيحتين إحداهما بموازاة الأخرى، وتتحرك الصفيحتين متماستين على جانبي الصدع محدثة تكسيراً أو تشوهاً في الصخور قد ينتج عنه إندفاعات بركانية وزلازل. وتحدث الزلازل في هذه المنطقة على أعماق ضحلة قد تصل إلى 20 كم تقريباً، ومن أمثلة هذه المناطق خليج العقبة، وصدع سانت أندرياس بولاية كاليفورنيا الأمريكية شكل(4-ج).

3 - الأحزمة الزلزالية

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

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

وهناك حزام آخر لا يقل أهمية ويمتد من الصين شرقاً ماراً بجبال الهملايا ثم ينحرف إلى الشمال الغربي ماراً بجبال زاغروس ثم القوقاز إلى تركيا وشمال إيطاليا، ويعرف هذا الحزام بحزام جبال الألب **Alpide Belt** ويتشكل فيه حوالي 21% من زلازل العالم، ويمثل هذا الحزام 10% من الطاقة. وبالإضافة إلى هذين الحزامين هناك أحزمة زلزالية أقل خطورة تمتد في خطوط شبه مستقيمة في وسط المحيط الأطلسي والهندي وتتجه شمالاً حتى تصل إلى خليج عدن وأواسط البحر الأحمر.

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

4 - 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 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 :-

1-4 الموجات الباطنية 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 الابتدائية : وتسمى بالموجات الأولية (Primary Waves - P) أو الطولية أو الموجات التضاغطية (Compressional Waves). تنتشر هذه الموجات خلال الأجسام الصلبة والسائلة والغازية في صورة تضاغطات وتخلخلات متوالية، وتتميز بأنها ذات ذبذبات قصيرة، وتسير بسرعة عالية، ولذا فإنها تصل إلى أجهزة رصد الزلازل قبل غيرها من الموجات الأخرى، كما أنها عند وصولها إلى سطح الأرض - قادمة من العمق - يتحول جزء منها إلى موجات صوتية في الهواء يمكن للإنسان سماعها عند ذبذبات معينة (تزيد عن 15 ذبذبة في الثانية).

* الموجات الثانوية : وتسمى أيضاً بموجات القص أو القصيرة أو الإزاحة (Shear Waves)، وتنتقل في الأجسام الصلبة فقط عن طريق الإهتزاز من جانب إلى آخر كأنها تقوم بفص الصخر أو إزاحته في اتجاه عمودي على اتجاه حركتها وهي ذات سرعات منخفضة، وتصل إلى أجهزة الرصد بعد الموجات الأولية ولذا تسمى بالموجات الثانوية (Secondary Waves - S). وتستخدم الموجات الداخلية (الأولية والثانوية) في إعطاء صورة واضحة عن التركيب الداخلي للأرض، وتحديد مركز الزلزال وبورته. 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 الإتجاهين الأفقي والرأسي، ينتج عنها أضرار في المباني والمنشآت.

2-4 الموجات السطحية Surface Waves :

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

* موجة لوف : وتم تسميتها نسبة إلى العالم لوف (Love) الذي إكتشفها، وينتج عنها ذبذبات تشبه ذبذبات الموجة الثانوية ولكن في الإتجاه الأفقي فقط، وهي تؤثر بصفة خاصة على أساسات المنشآت.

* موجة رالي : وتمت تسميتها نسبة إلى العالم السويدي رالي (Rayleigh) الذي إكتشفها، وهي تشبه أمواج البحر الدائرية، وفي تحريكها للماء، وتعمل هذه الموجة على تحريك الأشياء في المستويين الأفقي والرأسي في إتجاه عمودي على إتجاه الموجة. وتتجلى أهمية الموجات السطحية في قدرتها التدميرية، بينما تكمن أهمية الأمواج الطولية والقصيرة في قدرتها على إجلاء الصورة الواضحة عن داخلية الأرض، وكذلك في تحديد بؤرة الزلازل حيث يتباين زمن وصول الموجتين، فالفرق بينهما يجعل من السهل تحديد الفرق الزمني بين الموجتين القادمتين من مصدر وآخر للدلالة على بعد الزلازل. وهذا هو بعينه ما يحدث في حالة البرق والرعد، فنحن نبصر البرق أولاً ثم نسمع الرعد بعد ذلك، وهذا يرجع إلى أن الضوء ينتقل بسرعة أكبر من سرعة الصوت، ونستطيع أن نحدد بُعد العاصفة بمعرفة الفرق بين زمن وصول كل من البرق والرعد إلينا، فإذا كانت تفصلهما فترة زمنية وجيزة كانت العاصفة قريبة، أما إذا إستغرق وصول الرعد فترة طويلة فإن العاصفة تكون بعيدة.

لقد توصل العلماء عن طريق وصول الأمواج الزلزالية من بؤرة الزلزال إلى محطات الرصد من تحديد مواقعها وتحديد أعماق البؤرة الزلزالية وقياس أقدارها وشدتها. لقد أمكن تقسيم الزلازل إستناداً على العمق إلى :

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

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

(ت) زلازل عميقة يتراوح عمقها ما بين 300 – 670 كم.

عند حدوث الزلازل أو ما يسمى بالهزة الرئيسية Mainshock 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.

(أ)

(ب)

5 - أجهزة الرصد الزلزالي

تعتبر أجهزة تسجيل الزلازل في الوقت الحاضر والمعروفة بالسيزموجراف Seismograph في غاية الأهمية لتحديد خواص الزلازل، وعمقها، وبُعد المركز السطحي عن محطة التسجيل، وكذلك تعيين الزمن الفعلي للهزة ومدتها وزمن إنتهائها.

وتثبت أجهزة الرصد الزلزالي على صبة خرسانية مخصصة لهذا الغرض، وتتكون هذه الأجهزة عادة إما من راصد واحد أو من ثلاث راصدات أرضية Seismometers ذات مدى دوري قصير أو طويل، أو مدى واسع، وهذه الراصدات تستجيب للحركات الأرضية في ثلاث إتجاهات : إتجاه عمودي وإتجاهين أفقيين شمال-جنوب، وشرق-غرب. وتقوم الراصدات بتحويل طاقة الموجة الزلزالية إلى فرق جهد كهربائي.

تعمل معظم أجهزة التسجيل الزلزالي ضمن فكرة البندول، حيث تُربط كتلة البندول بواسطة مُوصل مرن بشكل أفقي إلى إطار مثبت في الأرض، وفي بعض التصاميم تُربط الكتلة بواسطة نابض حلزوني.

تتسبب الموجة الزلزالية في إهتزاز الأرض والإطار الصلب، بينما تبقى كتلة البندول ثابتة بسبب الإستمرارية (Inertial) وعندئذ تُقاس الحركة النسبية بين حركة الإطار الصلب والكتلة الكبيرة للبندول بعد تكبيرها ميكانيكياً أو كهرومغناطيسياً تُسجل بعدئذ مباشرة على ورق حراري، أو فلم فوتوغرافي أو بصورة مغناطيسية رقمية.

إن العلاقة بين الدورة الطبيعية (Natural Period) لجهاز الرصد الزلزالي ودورة الموجة الزلزالية المسجلة تحدد فيما إذا كان التسجيل سيكون للإزاحة أو السرعة أو التسارع. فإذا كانت الدورة الطبيعية للجهاز أقل من دورة الموجة الزلزالية ستكون الحركة الأرضية المسجلة هي التسارع، أما في حالة تقارب الدورتين فستكون الحركة الأرضية المسجلة هي السرعة، أما إذا كانت دورة جهاز الرصد أكبر من دورة الموجة الزلزالية فستكون الحركة الأرضية المسجلة هي الإزاحة.

وتعتمد أجهزة الرصد على ثلاثة عوامل رئيسية :

(1) التردد الطبيعي للجهاز Natural Period

(2) معامل التكبير Magnification

(3) معامل التخماد Damping Factor

وعلى ضوء هذه العوامل أمكن 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 (0.1 ثانية - 1 ساعة) وكذلك في المجال الترددي (Frequency) في المجال المحصور بين (0.05 - 50 هرتز) ولإستيعاب هذه الأطياف الموجية فإن المراصد الزلزالية تحتوي في الأساس على الأجهزة الأساسية الآتية :

(أ) أجهزة الترددات القصيرة - ثلاثة مركبات (Short Period) (E-W, N-S, Z) (Seismographs) وهي مخصصة للزلازل المحلية القريبة ولدورة زمنية محصورة بين (0.1 - 2 ثانية).

(ب) أجهزة الترددات المتوسطة - ثلاثة مركبات (Intermediate) (E-W, N-S, Z) (Period Seismographs) ، وهي مخصصة للزلازل القريبة والبعيدة نسبياً وفي سعة محصورة بين (2 - 15 ثانية).

(ج) أجهزة الترددات الطويلة - ثلاثة مركبات (Long Petriod) (E-W, N-S, Z) (Seismographs)، وهي مخصصة للزلازل البعيدة (Teleseimic) ولدورة زمنية محصورة بين (15 ثانية - 1 دقيقة).

(د) أجهزة التردد الواسع ((Broad Band Seismographs) وهي مفتوحة لكافة الدورات الزمنية ولأكبر من دقيقة واحدة وبمدى ترددي (0.05 - 50 هرتز).

(هـ) أجهزة التسجيل العنيف (Strong Motion Seismographs) وهي مخصصة للتشغيل عند وقوع الزلازل الكبيرة المقدر لتسجيل مركبات التعجيل الأرضي لإستخدامها في الدراسات الزلزالية الهندسية.

6 - المعاملات الزلزالية

1-6 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 1887م

من وضعه مقياساً وصفيّاً من ثمان درجات تكون الشدة مختلفة حسب القرب والبعد عن البؤرة، فالمناطق الواقعة فوق بؤرة الزلازل تكون الشدة فيها أعلى من المناطق البعيدة عن البؤرة، لقد قام ميركالي برسم خطوط كنتورية تمثل الشدة الزلزالية لكل منطقة وتربط المناطق التي حصل لها نفس التشويه، وطور هذا المقياس إلى 12 درجة في عام 1931م، وتدل الشدة الزلزالية على التأثير المحلي أو مدى إصابة الناس بالزلازل، وكل هذه التأثيرات تختلف باختلاف المسافة. إن للشدة الزلزالية أهمية كبيرة حيث يمكن أن تستخدم في رسم خرائط تساوي الشدة (Isoseismal Maps) وتزودنا مثل هذه الخرائط بمعلومات عن أقصى شدة للهزة المحتملة وعن طبيعة الإهتزازات الأرضية وتأثير الطبقات الصخرية للجيولوجية التحتية والتربة السطحية على شدة الهزة. استخدمت الشدة الزلزالية أيضاً في دراسة المخاطر الزلزالية (Seismic Risk) حيث تستخدم الشدة العظمى عند المركز السطحي أو تستخدم الشدة في أية نقطة لبناء خرائط تقسيم زلزالي (Seismic Zoning) يمكن أن نتوقع منها أقصى شدة للهزة المحتملة الوقوع. وترتبط الشدة الزلزالية بالمعاملات الزلزالية الأخرى على النحو التالي :

$$M_s = 1 + 2X / 3$$

$$X = 3 (M-1) / 2$$

حيث أن :

M_s = المقدار الزلزالي

X = الشدة الزلزالية العظمى

كذلك تم استخدام قيم الشدة الزلزالية المستحصلة لإنتاج قيمة التعجيل الأرضي (A) باستخدام المعادلتين أدناه :

$$X = 3 \text{ Log } A + 1.5$$

$$\text{Log } A = (X - 1.5) / 3$$

2-6 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 1931م، ثم قام العالم ريختر (Richter) بتطويره في ولاية كاليفورنيا عام 1936م اعتماداً على قياس إتساع موجة الزلزال طبقاً لقياسها بألة التسجيل المعروفة بالسيزموجراف. ونظراً للاختلاف الكبير في إتساع موجة الزلزال فقد استخدم ريختر المقياس اللوغاريتمي للموجة، وعرف المقدار الزلزالي بأنه عبارة عن رقم لوغاريتمي عشري إشتق من معرفة سعة أكبر حركة أرضية أمكن تتبعها بواسطة جهاز الرصد على بعد 100 كم من مركز الزلزال، ولكن من النادر أن تكون جميع المحطات موزعة على بعد 100 كم من المركز، فإن السعة يجب أن تصحح فيما لو كان عند تلك المسافة. ولا يوجد في مقياس ريختر حد أعلى أو حد أدنى، ولو أن أقصى درجة سجلها المقياس كانت 8.9، وأن تزايد درجة واحدة في القدر يعني تضاعف في حركة الأرض عشر مرات وإنطلاق طاقة أكبر ب 30 مرة، وهكذا فإن زلزالاً قدره 6 سيطلق طاقة أكبر ب 30 مرة من زلزال قدره 5 وأكبر ب 900 مرة من زلزال قدره 4 حسب العلاقة :

$$\text{Log}_{10} E = 11.4 + 1.5 M$$

حيث E تمثل الطاقة الزلزالية .

وهناك إرتباطاً نسبياً بين القدر الزلزالي (M) والشدة الزلزالية (I) ، فكلما زادت الشدة في منطقة ما فإن هذا يعني أن القدر الزلزالي مرتفع حسب المعادلة التقريبية :

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

حيث D تمثل المسافة البؤرية.

ويرتبط الحد الأعلى للشدة الزلزالية بالقدر الزلزالي على النحو المبين بالجدول التالي :

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

(أ) المقدار الزلزالي للموجات السطحية ((MS) Surface Waves Magnitude)

$$M_s = \text{Log} (A/T) \max + 1.66 \text{ Log} (D_{\text{..}}^{\circ} \sim$$

حيث أن :

(A/T) max = النسبة بين السعة العظمى وفترة التذبذب Period إلى المركبة الأفقية لموجات

رايلي (Rayleigh Wave) .

T = فترة التذبذب وتنحصر بين (18-22) ثانية.

D = المسافة بالدرجات وتنحصر بين (20° - 160°) .

إن هذه العلاقة تستخدم للمقارنة بين الهزات ذات الترددات المنخفضة والأعماق الضحلة التي أقل من 50 كم.

(ب) المقدار الزلزالي للموجات الجسمية ((mb) Body Waves Magnitude)

وهذا المقدار إبتكره العالم Gutenberg عام 1956م للزلازل العميقة ويعتمد على السعة الموجية للموجة الجسمية ويعبر عنه بالمعادلة التالية :

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

حيث أن :

$$Q(\Delta, h) = \text{معامل تجريبي}$$

D = المسافة البؤرية وتنحصر بين (5° - 100°) درجة .

T = فترة التذبذب ومداتها هو (0.1- 3) ثانية.

ويمكن تطبيق هذه العلاقة للهزات ذات التردد العالي.

(ج) المقدار الزلزالي المحلي (ML) (Local Richter 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 :

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

حيث أن :

A = السعة المسجلة للهزة الأرضية.

A_0 = السعة لهزة معينة إختيرت 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 (A) وذلك عندما تسجل هزات أرضية صغيرة تمتلك سعات أصغر من سعة الهزة الصفرية ، الشكل (7) يوضح طريقة قياس المقدار الزلزالي الموضعي .ML

(د) المقدار الزلزالي المحلي المعتمد على فترة التردد

(Duration Magnitude) (MD)

إن المقدار الزلزالي المحلي المعين من جهاز تسجيل (Seismograph) ذو فترة قصيرة التردد (Short Period) ومركبة عمودية يعتمد خطياً على اللوغاريتم الإعتيادي وفترة التردد والمسافة للمركز السطحي على النحو التالي :

$$MD = b_0 + b_1 (\text{Log } D) + b_2 D$$

حيث أن :

$$MD = \text{المقدار الزلزالي المعتمد على فترة التردد} .$$

$$D = \text{فترة التردد} .$$

$$D = \text{بعد المركز السطحي للزلزال بالكيلومترات} .$$

$$b_2, b_1, b_0 = \text{ثوابت} .$$

لقد ابتكر العالم Lee هذا المقدار وطبقه على الزلازل الصغيرة حسب المعادلة :

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

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

$$\begin{aligned} mb &= 0.56 M_s + 2.9 \\ M_s &= 1.79 mb - 5.18 \\ mb &= 1.7 + 0.8 ML - 0.01 ML^2 \\ ML &= 0.0357 + 0.98 MD \end{aligned}$$

(هـ) علاقة المقدار الزلزالي وتردده (Recurrence Relationship)

توضح علاقة تكرار حدوث الهزات الأرضية في أي منطقة ولفترة زمنية معينة كدالة للمقدار الزلزالي وفق العلاقة المقدمة من قبل كوتنبرغ ورختر عام 1954 بالشكل التالي :

$$\text{Log } n = a - bM$$

حيث أن :

n : العدد التراكمي للهزات الأرضية.

a : ثابت يعتمد على فترة الرصد ومساحة المنطقة المدروسة.

b : ثابت للسعة النسبية للهزات الكبيرة والصغيرة. فكلما كانت قيمة b أصغر من 1 دلت على أن المنطقة ذات نشاط زلزالي ملحوظ. وأن المنطقة تعرضت لإجهادات عالية.

من المعروف أن مستوى النشاط الزلزالي يتغير مع تغير معدل الضغوط ومتوسط العمق البؤري للزلازل ، وبما أن قيم (a) ، (b) هي التي تعكس هذا النشاط لذلك فإن قيم (a) ، (b) تتغير من منطقة لأخرى ومن فترة لأخرى ، اعتماداً على التوزيع المكاني والزمني للنشاط الزلزالي . ومن الجدير ذكره أن هناك مخططات بيانية لتعيين المقادير الزلزالية للهزات البعيدة (Nomograms) عند معرفة السعة القصوي بالمليمترات والمسافة بالدرجات أو الكيلومترات.

(و) المقدار الزلزالي المعتمد على العزم الزلزالي

(Moment Magnitude) (M_w)

وهذا النوع ينطبق على الزلازل القوية التي يبلغ قدرها في الغالب أكثر من 6 . وقام Kanamori عام 1983م بتطوير مقدار ينطبق على الزلازل الضحلة والعميقة :

$$M_w = 2/3 \log M_0 - 10.7$$

حيث أن :
 M_0 : العزم الزلزالي.
فالأحداث الزلزالية التي قدرها أقل من 8 تنطبق أُل M_s مع أُل M_w في حساب المقدار.

3-6 العزم الزلزالي Seismic Moment

يُعرف العزم الزلزالي (Seismic Moment) 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 مقاييس 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 يدعى العزم الزلزالي (Seismic Moment).

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 :

$$M_0 = U \quad DS$$

حيث أن :
 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 :

$$\log M_0 = 20.15 + 1.12 ML$$

$$\log M_0 = 10.92 + 1.11 M_s$$

4-6 الطاقة الزلزالية Seismic Energy

من المعروف أن الهزات الأرضية تتكون نتيجة لتحرير المفاجيء لطاقة الإنفعال (Strain Energy) المخزونة مسبقاً في الصخور ومن قياس طاقة الموجة الزلزالية الناجمة عن الكسر المفاجيء، يمكن تخمين الطاقة المتحررة من الهزات الأرضية، وهناك العديد من العلاقات

التي تربط بين طاقة الموجة الزلزالية (E) والمقدار الزلزالي (M) ومنها العلاقة المقترحة من قبل رختر (Richter) وايدا (Iida) :

$$\begin{aligned}\text{Log (E)} &= 11.8 + 1.5 M \\ \text{Log (E)} &= 12.66 + 1.4 M\end{aligned}$$

حيث أن هذه العلاقة اللوغاريتمية تشير إلى أن الزيادة في قيمة المقدار الزلزالي بمقدار وحدة واحدة تؤدي إلى زيادة الطاقة بمقدار (32) وحدة، وقد بين بعض الباحثين صلاحية هذه المعادلة لحساب الطاقة الزلزالية للهزات الدقيقة.

وهناك علاقات تجريبية أخرى مقدمة من العالم باث (M. Bath) عام 1966م للربط بين الطاقة الزلزالية (E) والمقدار الزلزالي السطحي (Ms) للزلازل التي قدرها أكبر من 5 والموجات الجسمية (mb) كالاتي :

$$\begin{aligned}\text{Log (E)} &= 5.24 + 1.44 Ms \\ \text{Log (E)} &= 4.78 + 2.57 mb\end{aligned}$$

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

Io	Mb	Ms	الطاقة (إرج) E
7 - 6	5.9	5.4	²⁰ 10
8 - 7	6.3	6.1	²¹ 10
9 - 8	6.7	6.8	²² 10
10 - 9	7.1	7.5	²³ 10
11 - 10	7.5	8.2	²⁴ 10
12	7.8	8.9	²⁵ 10

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

$$Ms = 6.10 + 0.70 \text{ Log L (Bath 1966)}$$

كما أن هناك علاقة تجريبية تربط بين المقدار الزلزالي (M) ونصف قطر منطقة التشوه المرتبطة بموقع الصدع كالاتي :

$$\text{Log @} = 0.51m - 2.27$$

أو أن تكون العلاقة بين إزاحة الصدع (U) (Fault Offset) والمقدار الزلزالي (M) كالآتي :

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

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

الجدول (1) : مقياس ميركالي المعدل للشدة الزلزالية

الوصف	الشدة
لا يشعر بها إلا عدد قليل جداً وتحت ظروف خاصة .	I
يشعر بها عدد قليل من الناس فقط في حالة السكون ، وخاصة في الطوابق العليا من الأبنية ، قد تتأرجح برفق الأجسام المتدللية .	II
يشعر بها بشكل واضح الأشخاص المتواجدون في داخل الأبنية وبشكل خاص في الطوابق العليا منها ، ولكن العديد من الناس لا يميزونها على أنها زلزال .	III
يشعر بها العديد من الأشخاص المتواجدون داخل الأبنية خلال النهار وقليل من الأشخاص في الخارج ، توظف بعض الأشخاص النائمون ، تهتز الأواني والشبابيك والأبواب ، تحدث الجدران أصوات تشقق تولد ضجة تشبه اصطدام عجلة كبيرة في البناية ، تتحرك العجلات الواقفة بشكل واضح.	IV
يشعر بها الجميع ، وتوظف العديد من النائمون ، تنكسر بعض الأوعية والشبابيك وما شاكل ذلك ، يتشقق الجص في بعض المناطق ، تنقلب الأجسام غير الثابتة . ملاحظة بعض التأثيرات على الأشجار والأعمدة والأجسام الطويلة الأخرى . قد تتوقف الساعات البنولية	V
يشعر بها الجميع ، وقد يفرع منها العديد ويهربون خارج الأبنية . يتحرك بعض الأثاث الثقيل ، عدة حالات من سقوط الجص وتحطيم المداخل . الأضرار قليلة .	VI
يهرع الجميع خارج الأبنية ، الأضرار بسيطة في الأبنية ذات التصاميم والإنشاءات المحكمة . أضرار قليلة إلى متوسطة في الأبنية الإعتيادية الجيدة ، أضرار واضحة في الأبنية الضعيفة ذات التصاميم الرديئة . تنكسر بعض المداخل . يلاحظها الأشخاص الذين يقودون سياراتهم .	VII
الأضرار قليلة في الأبنية المصممة بشكل خاص ومحكم . الأضرار واضحة في الأبنية العادية مع إنهيار جزئي ، وهي واضحة بشكل كبير في الأبنية والمداخل ذات التراكيب الضعيفة . تتناثر ألواح الجدران بعيداً عن الإطارات . تتساقط الأعمدة والجدران ، إنقلاب الأثاث الثقيل ، يتناثر الرمل والطين بكميات قليلة . تغيرات في مياه الآبار ، إرتباك الأشخاص الذين يقودون سياراتهم .	VIII
الأضرار كبيرة حتى في الأبنية ذات التراكيب الخاصة ، تنحرف الأبنية ذات الهياكل المحكمة عن وضعها العمودي ، الأضرار جسيمة في الأبنية الكبيرة مع إنهيار جزئي ، تحطم بعض التأسيسات ، تشقق الأرض وتكسر الأنابيب الموجودة تحتها .	IX
تتحطم بعض التراكيب الخشبية الجيدة ، تشقق الأرض بشكل كبير مع إنحاء سلك الحديد . تحصل إنزلاقات أرضية واضحة على ضفاف الأنهار والمنحدرات الحادة. تصعد المياه فوق الضفاف .	X
تصمد بنايات قليلة جداً ، تتحطم الجسور ، تحدث تشققات كبيرة في الأرض ، تعطيل جميع الأنابيب الممتدة تحت الأرض وبشكل كامل . تنزلق الأرض في مناطق الهزة . تنحني سلك الحديد بشكل واضح كبير .	XI
دمار تام وشامل . يمكن ملاحظة الموجات على سطح الأرض . يتشوه مدى الرؤيا والأفق . تقذف الأجسام في الهواء .	XII

7 - 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.

لقد نجح العلماء السوفييات في تحديد وقت زلزال نوفمبر 1978م في أدي فيرجاتا قبل حدوثه، وكذلك في فبراير 1975م تنبأ علماء الزلازل في الصين بحدوث الزلزال وأعطوا تحذيرات قبل حدوثه بحوالي 24 ساعة، وحدث عام 1976م زلزال مدمر في نفس المنطقة لم يتم التنبؤ به وذهب ضحيته 650.000 شخص.

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

لم تتمخض الدراسات التي قام بها علماء الزلازل في اليابان وروسيا والصين وأمريكا عن أى 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 للإنتهيار إذا حدث زلزال في مكان وجودها.

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

وعموماً فإن التوقع الكامل لحدوث الزلازل يتمثل في معرفة ثلاثة عناصر أساسية هي : مكان 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 الإستفادة من هذه المعلومات في إختيار أنسب الأماكن لإقامة المشروعات العمرانية والصناعية بعيداً عن أماكن الخطر الزلزالي.

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

1- التغيرات في سرعة الموجات الزلزالية.

- 2- إختلال مستوى المياه الجوفية في الآبار قبل حدوث الزلازل.
- 3- تشوهات في سطح الأرض في المناطق القريبة من البؤرة وتحرك القشرة الأرضية للأعلى وتغير قيم الجاذبية.
- 4- إنطلاق غاز الرادون Radon من الآبار على إمتداد الصدوع وتغير تركيز غاز الهيليوم.
- 5- تغير في درجة التوصيل الكهربائي للصخور وتغير في المجال المغناطيسي الأرضي.
- 6- إزدياد نشاط الهزات الأولية قبل حدوث الزلزال.
- 7- السلوك الشاذ لبعض الحيوانات.

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. كذلك فإن دراسة الخرائط الزلزالية لمنطقة ما تعرضت لهزات عنيفة في الماضي، ربما يبين إستمرار النشاط أو هدوء تام يتبعه إنتقال في النشاط إلى مناطق مجاورة للبؤرة السابقة. وتوضع هذه الظاهرة على الخرائط الزلزالية على شكل حلقة تتكون من بؤر الزلازل للمنطقة المحيطة ببؤرة الزلزال السابق، وتعرف بالفجوة الزلزالية Seismic gap .

ومع هذا مازال توقع الزلازل عملية في مهدها ولم يستطع علماء الزلازل حتى الآن التنبؤ بدقة عن مواعيدها، وهذا قد يكون رحمة من الله بعباده، والله 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...!؟

8 - زلزالية وحركية شبه الجزيرة العربية

1-8 الوضع الحركي :

تعتبر شبه الجزيرة العربية جزء من الصفيحة العربية التي تتحرك نحو الشمال الشرقي ، وهذه الصفيحة يحدها ثلاث حدود حركية نشطة هي :

- 1- حد زاجروس : وهو حد تقاربي نشط زلزالياً نشأ نتيجة الاصطدام القاري بين الصفيحة العربية وصفيحة إيران القارية ، ونتيجة لهذا التصادم نشأ حزام طي على امتداد الجزء الغربي من إيران وشمال شرق العراق .
- 2- حد البحر الأحمر وخليج عدن التباعدى : الذي تكون نتيجة انفصال الصفيحة العربية عن الصفيحة الأفريقية ، ويزداد هذا الإتساع كلما إتجهنا جنوباً ويصل إلى 12 ملم / السنة ، ونتيجة لهذا الانفصال نتج ما يسمى بمثلث عفار النشاط Triple Junction .

3- حد خليج العقبة – البحر الميت : وهو حد تحولي نشط زلزالياً . ويقع خليج العقبة في الطرف الجنوبي من هذا الحد الذي يبلغ طوله حوالي 1000 كم ، وترتبط حركته بحركة الإتساع في البحر الأحمر وحركة تصادم الصفائح في جنوب تركيا وإيران ، ولذا أطلق على خليج العقبة بنظام التحول النافذ Leaky Transform ، ولقد أوضحت التراكيب البنائية لهذا الأحدود أنه تعرض لعدة مراحل من التشوه خلال حقبة الحياة الحديثة المتزامنة مع مراحل إنفتاح البحر الأحمر .

2-8 الزلزالية التاريخية والحديثة :

لقد كان الإعتقاد سائداً بأن شبه الجزيرة العربية خالية من أي نشاط زلزالي على مر العصور ، ولكن الواقع هو العكس ، حيث دلت الدراسات التاريخية والحديثة على أن المنطقة سبق وان تعرضت لبعض الهزات الأرضية والبراكين إن هذا الإعتقاد السائد كان مصدره أولاً عدم وجود أجهزة رصد زلزالية في المنطقة علاوة على أن مراكز الهزات في مواقع ذات كثافة سكانية قليلة – والله الحمد = وفي مناطق متباعدة ، وهذا بدوره أدى إلى عدم الإحساس بأثرها. وعموماً يتركز النشاط الزلزالي في شبه الجزيرة العربية على إمتداد حدود الصفيحة العربية في منطقتين رئيسيتين إستناداً على حركة الصفائح وهما :

1- منطقة خليج العقبة .
2- منطقة جنوب غرب المملكة وجنوب البحر الأحمر واليمن ، أما وسط البحر الأحمر وشماله فهما أقل نشاطاً ، ويبدو وسط شبه الجزيرة وشرقها والدرع العربي أقل المناطق نشاطاً مقارنة بالمنطقتين الوارد ذكرهما ويوضح الشكل (1) خارطة زلزالية للمنطقة خلال الفترة من 112-1997م ، وقد تم رصد 7800 هزة تتراوح مقدارها ما بين 2.5 إلى 7 درجات على مقياس ريختر المفتوح ، ومعظمها في منطقة حدود الصفيحة العربية . والجدول المرفق يوضح المقارنة بين الاقدار الزلزالية والأضرار التي نجمت عنها وأكبر الزلازل المتوقع حدوثها مستقبلاً خلال الـ 50 سنة القادمة لا سمح الله .

أولاً : منطقة جنوب البحر الأحمر واليمن :

دلت السجلات الزلزالية التاريخية أن منطقة جنوب البحر الأحمر واليمن تعرضت إلى زلازل مدمرة نتجت عنها أضرار جسيمة في الأعوام 645،742،827،1072،1105،1154،1259،1655،1647،1667،1764،1788، 1909،1924،1955م . وأما زلزال 1941م ومقداره 5.8 في شمال اليمن والجزء الجنوبي من المملكة ، فقد نجم عنه خسائر مادية وبشرية كبيرة .

وحدثاً خلال الفترة ما بين 1955م –1975م تم تسجيل أكثر من 70 هزة في منطقة اليمن وجنوب البحر الأحمر تراوحت أقدارها ما بين 4.5-6.4 على مقياس ريختر . وتسبب زلزال دمار الذي وقع في ديسمبر 1982م ومقداره 6 درجات في وفاة 1200 شخص وتدمير 1500 قرية ، وتشريد أكثر من 265 ألف شخص . وأخيراً زلزال العدين في اليمن 1993م ومقداره 4.7نتج عنه أضرار مادية و 6 حالات وفيات .

ثانياً : منطقة خليج العقبة :

لقد دلت الدراسات والسجلات التاريخية على أن منطقة خليج العقبة وشمالها سبق أن تعرضت لعدد من الهزات الأرضية العنيفة وبعض النشاطات البركانية ، ونظراً لأن أجهزة الرصد لم تكن متوفرة خلال تلك الفترة من الزمن فأن معظم الزلازل وتقدير شدتها مبني على مقدار الإحساس بالهزة وتقدير الخسائر وحجم الدمار في المنطقة .

وبالرجوع إلى السجلات التاريخية أمكن تدوين أكثر من 31 زلزالاً في المنطقة تراوح قدرها ما بين 4-6.5 خلال الفترة ما بين 1964-747م ، أي بمعدل زلزال قوي كل 25 سنة تقريباً ، 70% من تلك النشاطات تركزت في منطقة البحر الميت و 30% في منطقة خليج العقبة . تعرضت المنطقة في الأعوام 1588، 1293، 1212، 1068، 641م إلى هزات عنيفة نتج عنها أضرار جسيمة . فزلزال 1068 دمر مدينة أيلة تماماً والتي تقع شمال خليج العقبة مباشرة ونشأت ينابيع مياه في تبوك وهي المعروفة بـ الكور ، وسبب أضرار بسيطة في تيماء وخيبر والمدينة المنورة . أما زلزال المدينة المنورة عام 1256م الذي يعتقد أنه من أصل بركاني ، فقد غطت حممه المدينة المنورة لمساحات شاسعة أمكن رؤيتها من مكة المكرمة وينبع وتيماء ، ولقد غطت الحمم البركانية منطقة طولها 19 كم وعرضها 6 كم وعمق يصل إلى 2.5م واستمرت تلك التتابعات لمدة ثلاث أشهر . وفي عام 1927 حصل زلزال مدمر في وادي الأردن بلغ قدره 6.2 درجة ، وحصلت أضرار مادية وبشرية ونتج عنها وفاة 342 شخص .

وحديثاً ، وبعد إنشاء محطات الرصد الدولية عام 1965م بدأ هناك تحسين ملحوظ في الرصد الزلزالي ، وخلال الفترة من 1965م إلى الآن أمكن رصد ما يزيد عن 1200 زلزال يتراوح قدرها ما بين 3.5 و 6 درجات على امتداد أخدود البحر الميت وخليج العقبة ، ومعظم تلك النشاطات تم رصدها في الثمانينات والتسعينات .

وقد أمكن حديثاً خلال الفترة 1983-1994م رصد 136 زلزال بقدر يتراوح ما بين 4-6 في خليج العقبة فقط ، ومن أهم التتابعات الزلزالية تلك التي حدثت في يناير 1983م واستمرت لمدة أربعة أشهر ، وبلغ قدر أعلاها 5.2 درجة ، ودلت هذه التتابعات على تركيز النشاط في الجزء الشمالي من الخليج .

وفي ديسمبر 1985م سجلت عاصفة زلزالية في وسط الخليج بلغ قدر أكبرها 4.9 ، ودلت موجة الهزات اللاحقة التي بلغ عددها أكثر من 500 هزة على أن زلزالية صدع البحر الميت تتميز بأنها من نوعية نشاط الهزة الرئيسية والموجة اللاحقة (Mainshock – Aftershock) أما في أبريل 1990 ومايو 1991م ، فقد تم تسجيل أعلى زلزال بلغ 4.3 درجات إلى الجنوب تقريباً من موقع العاصفة الزلزالية Earthquake Swarm التي حدثت في عام 1983م .

ويدل هذا على أن زلازل 1983 ، 1990 ، 1991م تمثل حدث تكتوني ذو أصل واحد ، والزلزالين الأخيرين أخرجوا الطاقة الكامنة المتبقية في زلزال عام 1983م ، وتم رصد أكثر من 650 من التوابع لزلزال 1990م .

وفي يوليو 1993م بدأت سوابق بسيطة Foreshocks قبل الهزة ، تبعها زلزال عنيف . وفي بداية أغسطس تكرر نفس الشيء وحدث زلزال بلغ قدره 5.9 وتبعها أكثر من 400 من التوابع Aftershocks بلغ قدرها أعلى من 3 درجات خلال الشهرين الأولين من الحدث. وتركزت معظم تلك النشاطات في منتصف الخليج تقريباً (منخفض أرجون) عند خط عرض 28.7 شمالاً وخط طول 34.55 شرقاً ، وتم الإحساس بها على نطاق واسع في المنطقة مع حدوث بعض التشققات في بعض المباني القريبة من الساحل ، وحدث في 4 نوفمبر 1995م عاصفة زلزالية بلغ قدر أكبرها 4.3 شمالاً غرب البدع.

وفي 1416/6/29هـ بدأ نشاط زلزالي محسوس بزلزال قدره 5.8 درجة بدون سوابق لهذا الحدث عند الساعة 7 والدقيقة 15 والثانية 6 ، وقد حدد موقعه عند خط عرض 28.8 شمالاً وخط طول 34.6 شرقاً ، وقد إمتد الإحساس بهذا الزلزال ليشمل منطقة خليج العقبة وتبوك والوجه وضباء وحتى المدينة المنورة ، بالإضافة إلى الأردن وسوريا وفلسطين ومصر ، وقد أمكن تسجيل ما ينوف على 5000 هزة لاحقة منها أكثر من 75 هزة محسوسة تتراوح في قدرها ما بين 3.8 – 5.3 إستمرت لمدة ثلاثة أشهر ، وتركز معظم هذا النشاط حول بؤرة الزلزال الرئيسية داخل الخليج بين منخفضي إيلات وأرجون ، وقد بلغت الهزات التابعة والمحسوسة التي تم رصدها خلال الأيام الخمسة الأولى بعد الزلزال الرئيسي 46 هزة محسوسة تتراوح قدرها ما بين 3.8 – 4.7 ، وكذلك 6 هزات محسوسة تتراوح قدرها ما بين 4.8 – 5.3.

يتضح مما سبق ذكره أن النشاطات الزلزالية في خليج العقبة تتواجد معظمها على شكل تتابعات وتستمر من شهرين إلى 4 أشهر تقريباً، وكل منخفض حركي (إيلات – أرجون – داكار) يمر عبر دورة زلزالية وتنتهي هذه الدورة بتتابع زلزالي آخر بدلاً من زلزال مستقل بذاته ، وهذا التتابع يوحى بحدوث زلزال محسوس كل فترة زمنية قصيرة ويجب الإستعداد لذلك.

قاعده البيانات الزلزالية

قام مركز الدراسات الزلزالية بجامعة الملك سعود عام 1418هـ بإصدار أول قاعدة معلومات زلزالية لشبه الجزيرة العربية والدول المجاورة واشتملت تلك القاعدة على تقرير مختصر عن الوضع الحركي والتوزيع الزلزالي على إمتداد حدود الصفيحة العربية ومواقع شبكات الرصد الزلزالي . وتم إصدار تلك القاعدة على قرص مغناطيسي 3.5 بوصة تحت نظام ال DOS باستخدام لغة ال Quick Basic v. 4.5 واحتوت على 7500 حدث زلزالي.

وفي عام 1419هـ تم تحديث القاعدة وتم تشغيلها تحت نظام النوافذ windows 3.11 واشتملت على أكثر من 8000 حدث زلزالي .

وفي عام 1420هـ تم إعداد الإصدار الثالث من قاعدة البيانات واحتوت هذه القاعدة على أكثر من 9375 حدث زلزالي تم رصدها محلياً وإقليمياً خلال الفترة من 112 م إلى 1999م وتم تشغيل هذه القاعدة تحت ظروف ال windows 95 , windows NT , windows 98 تجاوباً مع تطور

أجهزة الحاسب الشخصي ، وقد أصبح استخدام هذه القاعدة أسهل وأسرع مما يُمكن المستخدم من الاستفادة الكاملة والمُريحة . وفي هذا الإصدار أيضاً يمكن توقع الزلازل إلى أي فترة زمنية معينة يريدتها المُستخدم وحسب أي قدر زلزالي معين . كما يمكن إختيار أي موقع جغرافي على الخارطة وتحديد الزلازل التي حدثت فيه حسب الإختيارات المطلوبة والموضحة في البرنامج .

ويعتبر هذا الإصدار مرجعاً أساسياً للدراسات والبحوث التي يقوم بإعدادها المختصون في مجال الزلازل والهندسة المدنية للاستفادة منه في تحديد مكامن الخطورة الزلزالية على مستوى المملكة بالدقة المطلوبة ، ووضع مواصفات قياسية للمباني ومدى مقاومتها لأخطار الزلازل ، علاوة على دعم الدراسات الجيولوجية والإنشائية والبيئية للمناطق الآهلة بالسكان والمناطق ذات الأهمية الصناعية والإقتصادية .

مساهمة المملكة في برنامج تخفيف مخاطر الزلازل

بعد زلزال القاهرة في اكتوبر 1992م قامت منظمة الأمم المتحدة للعلوم والتربية (اليونسكو) بالاهتمام بالنشاطات الزلزالية في شرق البحر المتوسط وتم تشكيل برنامج لتخفيف مخاطر الزلازل وتم عقد اجتماعات سنويه وتجارب زلزالية في قبرص كان الهدف منها هو وضع قاعده زلزالية عريضة لدول المنطقة وكذلك عمل خارطة تقسيم زلزالي موحد لدول شرق البحر المتوسط . بالإضافة الى إيجاد مقياس قدر زلزالي موحد للمنطقة وسوف يتم الانتهاء منها قريباً .

النشاطات الزلزالية التي وقعت مؤخراً في ايران وتركيا واليونان

الزلازل المتكرره التي وقعت مؤخراً في تركيا بتاريخ 1999/8/16م ليست وليدة الحدث فقد سبق ان تعرضت المنطقة الى زلازل عنيفه عام 1939م ، 1943م ، 1967م على امتداد فائق الاناضول الشمالي والذي يمتد لمسافة 1200 كم باتجاه شرق - غرب ويعتبر من انشط الفوالق في المنطقة . وهذه الزلازل نتجت عن اصطدام الصفيحة العربية من الجنوب مع الصفيحة اليوراسية من الشمال في منطقة البحر الاسود . أما الزلازل التي حدثت في اليونان فتأخذ نفس البنية الحركية . حيث اصطدمت الصفيحة الإفريقية من الجنوب مع الصفيحة اليوراسية من الشمال في بحر إيجه ولكن الحركة أقل نشاطاً من الاولى نظراً لعدم وجود فوالق كبيرة في المنطقة .

أما في ايران فالزلازل التي تقع معظمها في منطقة جبال زاغروس ايضاً ناجمة عن تصادم الصفيحة العربية باتجاه الشمال الشرقي مع الصفيحة اليوراسية من الجنوب والتصادم هنا بطيء حيث تمثل جبال زاغروس الجزء الجنوبي الشرقي من فائق البحر الميت التحولي النشط والذي يمتد من خليج العقبة باتجاه الشمال - الشمال الشرقي لمسافة تزيد عن 1000 كم .

الخطر الزلزالي

في ضوء التطور العلمي الكبير في مجال هندسة الزلازل، أصبح يُنظر إلى الخطر الزلزالي بنظرة مختلفة كثيراً عن السابق، حيث أصبح يُنظر له بصورة أكثر تفافلاً، فحدوث هزة أرضية شديدة في منطقة ما لا يعني هذا بأنه سيصاحب هذه الهزة خسارة كبيرة في الأرواح والممتلكات، إنما ما يحدد مقدار الدمار والهلاك المصاحب للهزة مدى كفاءة المنشآت المقاومة للزلازل، وأقوى دليل يمكن ذكره في هذا المجال هو ما نسمعه من حين إلى آخر عن حدوث هزات أرضية كبيرة في كل من أمريكا واليابان يكون الدمار محدوداً أو معدوماً في بعض الأحيان، وعلى العكس نسمع أحياناً عن مستوى دمار وهلاك كبيرين في منطقة ما بسبب حدوث هزة أرضية ذات شدة تتراوح بين الخفيفة إلى المتوسطة، لذلك يمكن القول بأن تحديد مدى تعرض منطقة للخطر الزلزالي يعتمد على عنصرين رئيسيين هما :

1- مستوى الخطر الزلزالي المتوقع للمنطقة.

2- كفاءة المباني المقامة في هذه المنطقة.

وتتم دراسة مستوى الخطر الزلزالي لمنطقة ما من خلال تطبيق مبادئ تحليل الخطر الزلزالي والذي يعتمد في الأساس على دراسة التركيب الجيولوجي والحركي والأحداث الزلزالية السابقة، وذلك لدراسة التاريخ الزلزالي للمنطقة، وبناءً على ما يتوفر من معلومات زلزالية للمنطقة، ومن خلال تطبيق مبادئ الإحصاء والاحتمالات تتم صياغة نموذج رياضي يستخدم لتحديد مستوى الشدة الزلزالية المتوقعة خلال فترات زمنية مستقبلية، مع تحديد احتمال عدم توقع زيادة في هذا المستوى خلال الفترة الزمنية المحددة، وأفضل أسلوب يتم فيه توفير مثل هذه المعلومات هو الخارطة الكنتورية للقيمة القصوى المتوقعة للعجلة الأرضية كجزء من عجلة الجاذبية الأرضية (g) يعطي نموذجاً لذلك.

وتستخدم خريطة العجلة الأرضية في تقويم كفاءة المباني المقامة ومعرفة مدى مقاومتها لمستوى الشدة، كمت تستخدم في أغراض التصميم الزلزالي للمباني، إما مباشرة أو من خلال تحديد العامل الزلزالي للمنطقة (Z) ، وذلك بناءً على قيمة العجلة الأرضية المحددة لهذه المنطقة.

وتصنف المناطق من حيث خطورتها الزلزالية طبقاً لقيمة عجلة الحركة الأرضية إلى أربع مناطق هي :

* مناطق خالية من الخطر (أقل من 0.05 g).

* مناطق منخفضة الخطر (تتراوح من 0.05 g إلى 0.1 g).

* مناطق متوسطة الخطر (تتراوح من 0.1 g إلى 0.2 g).

* مناطق عالية الخطر (أكثر من 0.2 g).

وسائل تخفيف الخطر الزلزالي

يمكن القول بأنه في ضوء ما وصل إليه علم وهندسة الزلازل من تقدم كبير، أمكن وضع وتطبيق كثير من الخطط التي تهدف إلى تخفيف الخطر الزلزالي، ويمكن تلخيص عناصر مثل هذه الخطط في الأمور التالية :

لا بد من وجود إدارة مركزية تأخذ على عاتقها إدارة برنامج تخفيف الخطر الزلزالي، ووضع الخطط وتحديد الدراسات اللازمة في هذا المجال، والتنسيق مع الجهات التي تكون لها دور في إجراء الدراسات اللازمة، وتطبيق عناصر الخطة المطلوبة وتقديم الدعم المادي لهذا الغرض والمتابعة لضمان تنفيذ ما تم التخطيط له، وعادة ما تتفرع من الإدارة المركزية لجان علمية ومالية ومتابعة حتى تستطيع أن تقوم بدورها بالصورة المطلوبة، ونعطي مثالاً لذلك مصلحة إدارة الطوارئ الفدرالية الأمريكية.

-2

الدراسات والأبحاث

تعتبر نتائج الدراسات والأبحاث في مجال الخطر الزلزالي للمنطقة أهم ركيزة يبني عليها برنامج تخفيف الخطر الزلزالي للمنطقة/ حيث هي التي تحدد مدى الحاجة لمثل هذا البرنامج، ويتم ذلك عادة بالتنسيق بين الإدارة المركزية لبرنامج تخفيف الخطر الزلزالي ومراكز الأبحاث والجامعات لدعم وتنسيق الأبحاث في مجالات علم وهندسة الزلازل والنواحي الاقتصادية والاجتماعية المترتبة على حدوث الزلازل، وخطط الإنقاذ والطوارئ.

-3

الإحتياجات

يُعد عنصر الإحتياجات أهم العوامل على الإطلاق في مجال تخفيف الخطر الزلزالي، وذلك لكون الهزات الأرضية تحدث فجأة وتستمر لفترة قصيرة جداً ويصحبها إرباك وإعاقة للحركة وعملية الإنقاذ، وتتخلص أهم الإحتياجات التي يجب إتباعها فيما يلي :

* إعداد وإلزام تطبيق أسس ومواصفات التصميم الزلزالي للمباني والمنشآت بصفة عامة، وخاصة مباني الخدمات العامة التي يجب أن تعمل بصورة جيدة في حالة حدوث هزة أرضية، وهنا يجب الإشارة إلى نقطة هامة جداً ومشجعة وهو أن إعتبار أحمال الزلازل في تصميم المباني السكنية غير مكلف مادياً بالصورة التي يتوقعها الإنسان العادي، ولقد أثبتت الدراسة التي أجرتها جمعية التقنية التطبيقية الأمريكية بأن الزيادة في التكلفة في حالة إعتبار الزلازل هو في حدود (0.7%) للمباني السكنية في حدود خمسة أدوار، وذلك لأن تصميم المباني الخرسانية المسلحة المقاومة للزلازل وخاصة في المناطق المتوسطة الشدة الزلزالية تحتاج فقط إلى وضع وتفريد وتشبيك حديد التسليح بطريقة خاصة يضمن تلاحم أجزاء المبنى بصورة جيدة وزيادة بسيطة في أبعاد مقاطع بعض العناصر الإنشائية في المبنى وتلاحم جيد بين العناصر الغير الإنشائية (مثل الحوائط) والعناصر الإنشائية للمبنى، وضمان إستخدام خرسانة جيدة وتنفيذ جيد.

* تحديد المباني الخطرة زلزالياً، وإتخاذ القرار المناسب إما بإزالتها أو تقويتها. وقد تم تنفيذ هذه الخطوة بكفاءة عالية في كثير من الدول التي تعاني من خطر الزلازل مما ساعد على تقليل الخطر الزلزالي بصورة كبيرة جداً.

* دراسة كفاءة الخدمات العامة مثل الكهرباء والماء والمستشفيات في حالة حدوث هزات أرضية، وإيجاد البدائل المناسبة لمثل هذه الخدمات، وعادة ما يتم في الدول التي تعاني من مخاطر الزلازل إجراء إختبار من حين إلى آخر لكفاءة ما تم إعداده مسبقاً من بدائل للخدمات العامة.

خطة الطوارئ

- * يشتمل التخطيط المسبق لخطة الطوارئ والإنقاذ على ما يلي :
- * تحديد مسبق ودقيق لدور الجهات المختلفة تجاه تنفيذ خطط الطوارئ.
- * يجب توفر الإمكانيات اللازمة لإزالة الأنقاض والكشف عن أماكن وجود الجثث تحت الأنقاض.
- * تحديد أماكن وطرق الإخلاء مسبقاً.
- * هدم وبصورة سريعة أجزاء المباني المتوقع إنهيارها من جراء الهزات اللاحقة للهزة الرئيسية، ومنع دخول الناس إلى مثل هذه المباني.
- * تجهيز معدات إطفاء الحرائق : حيث تُعد الحرائق أحد العوامل الرئيسية في زيادة الخسائر الناجمة عن حدوث الزلازل.
- * العمل على سهولة الحركة والتنقل أثناء عملية الإنقاذ.
- * الإسراع في إعادة الخدمات العامة إلى وضعها الطبيعي.

البرامج الثقافية والتدريبية

يؤدي الرعب وعدم التصرف السليم من قبل الناس عند حدوث هزة أرضية إلى زيادة عدد المتضررين، ولقد اهتمت كثير من الدول التي تعاني من مخاطر الزلازل بالبرامج الثقافية بصورة كبيرة وخاصة اليابان التي تعتبر رائدة في هذا المجال، حيث تم إعداد برامج ثقافية وتدريبية.

- ومن أهم المعلومات التي تتناولها البرامج الثقافية والتدريبية ما يلي :
- * ماهية الزلازل ومخاطرها وإمكانية تصميم المباني المقاومة للزلازل وكيفية تقويتها وتدعيمها بطريقة غير مكلفة.
- * كيفية تثبيت بعض الأثاث المتحرك الذي قد يكون مصدر خطر عند حدوث الهزات الأرضية، على سبيل المثال يمكن تثبيت المكتبة أو خزانة الأواني أو سخان الماء بالحوائط بطريقة سليمة وغير مكلفة.
- * توضيح الأسلوب الأمثل للتصرف الشخصي عند حدوث هزة أرضية، واللجوء إلى الأماكن القوية نسبياً في المبنى مثل أسفل الأبواب والطاولات وأركان الغرف، ومن الخطأ الكبير محاولة مغادرة المنزل أثناء حدوث الهزة، أما من هو خارج المنزل فيجب عليه أن يظل في الخارج مع محاولة الابتعاد عن المباني.
- * قفل مصادر الغاز والكهرباء بأسرع ما يمكن، وإبلاغ الجهات المختصة عن الأماكن التي يحدثت بها إصابات، والمشاركة في إسعاف المصابين حيث يتم تدريبه وتجهيزه مسبقاً لمثل هذه الحالات.
- * عدم التجمع حول الأماكن التي حدثت بها حالات إنهيارات للمباني حتى لا يكون ذلك سبباً في إعاقة عمليات الإنقاذ.