بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

كلية العلوم - قسم الفيزياء

الزلازل وآثارها الطبيعية

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس في الفيزياء

إعـــداد:

1. أبرار طارق صابر محمد
2. افاق سيد أحمد عثمان
3. ساجدة فيصل محمد دفع الله

إشـــراف:

د. راوية عبد الغني العبيد

2016 م

الآيـــــــــة

(إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ زِلْزَالَهَا{1} وَأَخْرَجَتِ الْأَرْضُ أَثْقَالَهَا{2})

صدق الله العظيم

سورة الزلزلة

الإهـــــداء

إلي كل من يعرف للعلم قدره ويحفظ له بحقه، وأول حق للعلم عند أهله التواضع، به يتسع أفق المتعلم ثم الحلم فإنه الجو المناسب للتلقي والتلقين.

إلي الذين قال الله فيهم ((هل يستوي الذين يعلمون والذين لا يعلمون إنما يتذكر أولو الألباب)). صدق الله العظيم.

إلي كل من ساعدنا وألهمنا في بحثنا هذا وإلي كل من وقف بجانبنا من أهل العلم وغيرهم.

وفقنا الله وسدد خطانا جميعاً وهدانا إلي الصراط المستقيم

الشكر و العرفان

الشكر أولاً واخيراً لله رب العالمين الذي بنعمته تتم الصالحات ثم الشكر كل الشكر الي الدكتورة / روايه عبد الغني العبيد التي لم تبخل علينا بوقتها وعلمها وكانت نعم السند لنا في إخراج هذا البحث بصورته المتواضعة والشكر لكل لمن أسهم في إخراج هذا البحث بصورته النهائية والحمد الله رب العالمين.

المستخلص

هنالك مناطق في العالم ذكر فيها الزلازل والبراكين وتسمى هذه المناطق بمناطق الكوارث الطبيعية، ووفقاً لمفهوم المنظمة الدولية للحماية المدنية للكارثة وهي حوادث غير متوقعة ناجمة عن قوى الطبيعة، أو بسبب فعل الإنسان ويترتب عليها خسائر الأرواح وتدمير الممتلكات، وتكون ذات تأثير شديد على الإقتصاد الوطني والحياة الإجتماعية، وتفوق إمكانيات مواجهتها قدرة الموارد الوطنية وتتطلب مساعدة دولية، تم في هذا البحث دراسة موضوع الزلازل والبراكين لأهمية تأثيرها علي حياتناً ولأنها من أخطر الكوارث الطبيعية.

Abstract

There are areas in the world in which he stated as earthquakes, volcanoes and called these areas, areas of natural disasters, according to the concept of the International Organization of Civil Protection of the disaster an accident unexpected result of the forces of nature, or because of human reaction and the consequent loss of life and destruction of property, and be a severe impact on the national economy and life Social, and exceed the capacity of national resources to face the possibilities and require international assistance. In this research the study of earthquakes and volcanoes, for importance of it is effect on our lives because it is one of the most dangerous natural disasters.

الفهرس

رقم الموضوع	الموضوع	رقم الصفحة
	الآية	أ
	الإهداء	ب
	الشكر والعرفان	ت
	المستخلص	ث
	Abstract	ج
	الفهرس	ح
	فهرس الأشكال	ر
الفصل الأول		
1-1	مقدمة	1
2-1	أهمية البحث	2
3-1	مشكلة البحث	2
4-1	أهداف البحث	3
5-1	محتوي البحث	3
الفصل الثاني		
1-2	مقدمة	4
2-2	الموجة	4

3-2	الأوساط المادية	5
4-2	الحركة الموجية	5
5-2	الموجات المسافرة والواقفة	6
6-2	الموجات الكهرومغناطيسية	6
7-2	الخواص المميزة للأمواج	6
8-2	السلوك الموجي	7
9-2	مميزات الموجات	8
10-2	الوصف الفيزيائي للأمواج	8
11-2	النظرية الموجية	9
12-2	الأمواج الزلزالية	9
13-2	أنواع الأمواج الزلزالية	10
الفصل الثالث		
1-3	مقدمة	12
2-3	الزلازل	12
3-3	مسببات الزلازل	14
4-3	المعقرات البنائية	15
5-3	الأسباب الرئيسية لحدوث الزلازل	17
6-3	ألية الزلزلة	18
7-3	الموجات الزلزالية	21
8-3	البؤر الزلزالية	23
9-3	دراسة الزلازل	27

10-3	تصنيفات الزلازل	29
11-3	أنواع الزلازل	30
12-3	نظريات الطبقات التكتونية	30
13-3	الزحف القاري	32
14-3	نظريات أخرى	33
15-3	التنبؤ بوقوع الزلازل	33
16-3	أشهر الزلازل خلال القرن الماضي	33
الفصل الرابع		
1-4	مقدمة	37
2-4	أعراض حدوث الزلازل	37
3-4	مظاهر مرتبطة بالزلازل	37
4-4	التبدلات الإهتزازية اللاحقة	42
5-4	البركان	46
6-4	كيف يتكون البركان	48
7-4	ثوران البركان	48
8-4	أنواع الثوران البركاني	49
9-4	أنواع المواد البركانية	50
10-4	أنواع البراكين	52
11-4	فوائد الزلازل	53
12-4	فوائد البراكين	55
13-4	ما يلزم فعله قبل حدوث الزلزال	56

14-4	ما يلزم فعله أثناء حدوث الزلزال	57
15-4	ما يلزم فعله بعد حدوث الزلزال	57
16-4	العدة الإحتياطية للزلازل	58
17-4	مهارات ضرورية	59
18-4	الخاتمة	59
19-4	التوصيات	59
	المراجع	60

فهرس الأشكال

رقم الشكل	أسم الشكل	رقم الصفحة
شكل (2-1)	الموجات الزلزالية	11
شكل (3-1)	حركة الكتل الصخرية والصدوع	19
شكل (3-2)	تشكل البؤرة الزلزالية	20
شكل (3-3)	نموذج البؤرة الزلزالية	26
شكل (3-4)	مقياس ريختر	28
شكل (3-5)	الموجات الزلزالية المسجلة علي مقياس ريختر	28
شكل (3-6)	زلازل وإنزلاقات أرضية في كولومبيا	36
شكل (3-7)	زلزال كولومبيا	36
شكل (4-1)	تشكل موجة التسونامي	54
شكل (4-2)	تشكل البراكين داخل الأرض	47
شكل (4-3)	ثوران البركان	47
شكل (4-4)	التربة الخصبة الناتجة من البراكين	54
شكل (4-5)	خروج المعادن عن طريق البراكين	55

الفصل الأول

مقدمة

1-1 مقدمة:

سبحان الذي خلق السموات والأرض وما بينهما، سبحان الله تعالي الذي أنزل علي عبده الكتاب ولم يجعل له عوجا، والذي أنزل علي عبده محمد صلي الله عليه وسلم خير البشر وسيد المرسلين، ليكون دينه الدين الخاتم، ويكون هو عليه الصلاة والسلام خاتم الأنبياء والرسل.

يعتقد بأن الزلازل والبراكين من غضب الله كما يقول البعض من الناس، لا بل هي من الكوارث الطبيعية التي أوجدها الله في هذا الكوكب ولولاها لما أستمرت هذه الحياة علي هذا الكوكب لذلك فهي تعتبر من الكوارث أو بالأصح الظواهر الطبيعية الجيدة أو المفيدة في هذا الكوكب الذي نعيش فيه. وهي أيضاً من الكوارث الطبيعية التي أصبحت علي لسان العامة والعلماء كثيراً في الآوان الأخيرة لما سببته من خراب ودمار وخسائر في الأرواح.

فالزلازل تبدأ في شكل موجات داخل باطن الأرض في أعماق مختلفة ببؤر أو مراكز مختلفة لإنطلاق هذه الموجات الزلزالية التي تسبب الزلزال الذي يمكن أن يقع في أي منطقة في العالم إذا توفرت في هذه المنطقة المحفزات لحدوث مثل هذه الظاهرة الطبيعية ويمكن أن تكون هذه المحفزات طبيعية مثل الأمطار وصناعية مثل إنشاء المباني وحفر الأنفاق.

وتدخل الزلازل مره أخرى كمحفز ذاتي للبراكين التي تعتبر أخطر بدورها فهي عبارة عن حجارة مشتعلة وحمم سائلة تندفع خارجة من باطن الأرض إلى سطحه مدمرة كل ما يقع في طريقها من مباني وأشجار وحتي البشر.

وبالرغم من الآثار التدميرية التي تخلفها هذه الكوارث الطبيعية هنالك فوائد لها علي المدى القريب والبعيد علي الأرض والكائنات الحية والإنسان نفسة فتكون فوائدها علي الأرض بتخصيب تربتها وإلي يومنا هذا تعتبرالتربة التي تعرضت عبر العصور الجيولوجية إلي نشاط بركاني من أخصب الترب في العالم، وتكون آثارها علي الكائنات الحية فهي تتغذى علي ما تنتجه هذه التربة الخصبة، وعلي الإنسان في أنها توفر الوقت والجهد الذي يبذله في إستخراج المعادن الموجودة في باطن الأرض مثل الكبريت والنحاس والقصدير والماس المعروف بتكونه في فوهات البراكين، وأيضاً تكمن الفوائد في ما لم يستغل بعد مثل الطاقة الهائلة التي تحملها هذه البراكين والتي يمكن أن تعتبر طاقة هائلة جداً يمكن أن تستثمر في إقتصاد البلاد ذات البراكين المختلفة الأنواع.

نذكر بأن هذا البحث يمكن أن يكون نقطة إنطلاق لأبحاث أخرى ولنأمل أنه بعد هذه الأبحاث أن تعتبر الزلازل والبراكين من الفوائد الطبيعية بدلاً من الكوارث الطبيعية لما تعطيه من فوائد أكثر من خسائر وبذلك نكون قد أعطينا بداية جيدة في هذا المجال الذي يمكن أن يستقطب جهود العلماء المهتمين بهذا المجال.

2-1 أهمية البحث:

تكمن في تقليل عدد الوفيات والإصابات بسبب الزلازل والبراكين وذلك عن طريق العديد من الأشياء ولكنها كلها تتمحور حول الإنسان نفسه المعرض لهذه الإصابات، فمن هنا تنطلق أهميته بتعليم الإنسان الطرق التي يحمي نفسه بها ويقدر علي حماية من حوله أو يتمكن من مساعدة غيره في حالة حدوث أي إصابة لهم أوعدم تمكنهم من مساعدة أنفسهم، وتثقيفه بهذه الكوارث الطبيعية وطرق حدوثها وما يحدث تالياً لها من كوارث لاحقة بسببها مثل الهزات الطلائعية الرادفة في الزلازل.

وأيضاً بتعليم هذه الطرق والثقافة للعامة لنكون قد نشرنا قدرمن الوعي والثقافة لتقليل مخاطرها لأننا ندرك مدى أهميتها التي تعادل في نفس الوقت مخاطرها ولولها لوقع الضرر الأكبر والذي يمكن أن ينتهي بإنتهاء البشرية لأن الأرض مثل الكائن الحي الذي يتنفس ولو لم يتنفس لمات هذا الكائن الحي أي الأرض التي نعيش فيها في اليوم المقدر لذلك.

3-1 مشكلة البحث:

بالرغم من كل الدراسات والأبحاث التي أجريت في جميع أنحاء العالم لم تتمكن أفضل الدراسات من التنبؤ بوقوع الزلازل والبراكين بالوقت الكافي لإنقاذ البشرية التي تقع ضمن هذه الكارثة الطبيعية وعلي الرغم من تمكنها التنبؤ بوقوع هذه الكوارث الطبيعية لكن بوقت قليل وكان أفضل التنبؤات عندما حدث زلزالاً بحرياً بعيداً عن جزر ألوشيان فقد تنبأ العلماء بأن هذا الزلازل سوف يسبب موجة ستضرب ساحل هاواي بجدار مائي يزيد إرتفاعه عن 30m عند إقترابه من المياه الضحلة قرب الشاطئ.

فهذا يعني أن الدراسات والأبحاث المتقدمة لم تستطع التنبؤ بالزلازل والبراكين بالوقت الذي يجعلنا لا نحصد خسائر بشرية بل فقط خسائر مادية والتي يمكن إصلاحها وترميمها لتعود كما كانت أو أفضل لأننا سنكون أدركنا ماهية هذه الكوارث الطبيعية.

4-1 أهداف البحث:

وضع النقاط علي الحروف أي التوضيح لكل جهة من الجهات المعنية دورها في تقليل مخاطر هذه الكوارث الطبيعية وذلك عن طريق تقديم بحث متكامل عن هذه الكوارث الطبيعية لتقوم كل جهة

بوضع خطة عملية وفعلية يتم تنفيذها عند حدوث هذه الكوارث الطبيعية وتكون هذه الخطة مرسومة بدقة ووضوح يسهل علي كل شخص تنفيذها والعمل بها في أسوأ الفروض ويجب أن تتضمن الخطة تأمين كامل شامل لكل من المسببات لكوارث أخرى مثل أنابيب الغاز وأنابيب المياه وكيبلات الكهرباء عن طريق أفراد مسئولين لكل محطة أو شركة لقطع الإمدادات عن المدينة أو القرية ويجب أن تكون هنالك فرق إنقاذ مجهزة بالمعدات اللازمة لمثل هذه الكوارث الطبيعية ونأمل أن تكون تلك الخطط المرسومة مأخوذة بعين الإعتبار لضمان سلامتنا وسلامة من حولنا من هذه الكوارث الطبيعية.

5-1 **محتوى البحث:**

يتناول أربعة فصول الفصل الأول مقدمة والفصل الثاني الموجات بصورة عامة والفصل الثالث الزلازل والفصل الرابع نواتج الزلازل.

الفصل الثاني

الموجات

2-1 مقدمة:

في هذا الفصل تمت دراسة الموجات بصورة عامة ومن ضمنها الموجات الزلزالية لأن للموجات أنواع شتى في حياتناً ولا يسعنا أن نذكرها في هذا الفصل.

2-2 الموجة:

هي أحد أشكال الطاقة، وتتحرك الموجات في وسط مادي (بإستثناء الموجات الكهرومغناطيسية وبعض أشكال الجزيئات الكمية ذات الخصائص الموجية). ويمكن إثبات أن الموجات تحمل الطاقة وليس المادة من مكان لآخر بتجربة يسيره، فإذا جعلنا ولدين يمسك كل منهما بطرف حبل وقام أحدهما بتحريك الطرف الذي يمسك به إلى أعلى ثم إلى أسفل بشدة فإن الطاقة تمر من جزء من الحبل إلى الجزء التالي كموجة، ويصبح كل جزء من الحبل في حالة حركه مع مرور الموجة، ولكن الحبل نفسه لا يتحرك إلى الأمام مع الموجة، وسوف يشعر الولد الذي يمسك بالطرف الآخر بالطاقة التي تنقلها الموجة والتي تحاول تحريك يده.

في التجربة الثانية دع ولداً يرمى بكرة إلي آخر، سيشعر متلقي الكرة ببعض الطاقة التي أستخدمت في قذف الكرة، ولكن على عكس حالة الحبل فإن المادة وهي الكرة قد أنتقلت من مكان إلي آخر، فالكرة بتحركها تنقل طاقه معها[1].

وموجات الحبل أو الماء نماذج معروفة للموجات ولكن هناك الكثير من الموجات التي تتحرك حولنا طوال الوقت، وتنتشرالموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ، إي من دون لزوم تواجد وسط مادي ويعتبرالضوء وموجات الراديو وأشعة اكس وأشعة قاما أمثلة لموجات كهرومغناطيسية، وكذلك ينتقل صوت أناس يتكلمون إلي آذاننا علي هيئة موجات، وكذلك تنتقل برامج الإذاعة والتلفاز إلى بيوتنا علي هيئة موجات، وتنتقل أنواع كثيرة من الموجات فوق وداخل المواد ويسمي العلماء المادة التي تنتقل خلالها الموجات وسطاً موجياً ففي حالة موجات الحبل يسمى الحبل وسط الموجة وتنتقل موجات المحيط على سطح الماء بينما تنتقل موجات الزلازل خلال الأرض ولا تحتاج بعض الموجات إلي وسط مادي تنتقل خلاله مثل الموجات الكهرومغناطيسية، وللموجات صفة الدورية فالموجات تكون عادة تكرار لنمط ما من الشدة في فترات زمنيه متتابعة بفترة فاصلة بينهم، ويسمى عدد الموجات

المارة في مقطع ما مقسوماً علي وحدة الزمن (التردد)، تسمى المسافة الأفقية التي تقطعها الموجة الواحدة (طول الموجة)[1].

2-3 الأوساط المادية:

تنتشر الأمواج في أنواع متعددة من الأوساط الفيزيائية، التي يشترط بها بعض التماسك لتأمين نقل الإشارات الموجية، ويمكن تصنيف الأوساط التي تنتشر بها الموجات حسب خواصها الفيزيائية:

1- وسط خطي linear medium: وهو وسط يمكن فيه جمع مجالات الموجة في أي نقطة عند إجتماع موجتين فيها.
2- وسط محدد bounded medium: وهو الوسط المحدود القياس، ويصنف إنه غير محدد.
3- وسط متجانس uniform medium: إذا كانت الخواص الفيزيائية لجميع نقاط الوسط متشابه.
4- وسط متماثل المناحي isotropic medium: إذا كانت الخواص الفيزيائية للوسط متماثلة في جميع الاتجاهات[1].

2-4 الحركة الموجية:

عندما تتحرك موجة عبر وسط ما فهنالك في الواقع حركتان جديرتان بالملاحظة، الأولى هي حركة الموجة والثانية هي حركة الوسط نفسه. وتنقسم الموجات إلي:

1- الموجات المستعرضة:

تحرك هذه الموجات الوسط إلي أعلي وأسفل بينما تنتقل الموجة بطول الوسط، وتسمى الموجات التي تتحرك بهذا النحو بالموجات المستعرضة لأن حركة الوسط الناتجة تكون عمودية علي إتجاه حركة الموجات، فموجات الحبل علي سبيل المثال موجات مستعرضة ومن الأمثلة الأخرى لذلك الموجات الكهرومغناطيسية مثل الضوء وكذلك موجات الماء، وإذا ما تحرك الحبل رأسياً وأفقياً يقال أن للموجات إستقطاباً رأسياً أوأفقياً أي أن الوسط يهتز في إتجاه واحد فقط، والموجات المستعرضة هي الموجات الوحيدة ذات الإستقطاب.

2- الموجات الطولية:

وتسمى أيضا الموجات الإنضغاطية وتنتقل في نفس إتجاه حركة الوسط وتنشأ مثل هذه الموجات مثلاً في زنبرك مشدود عند ضغط بضع لفات من الزنبرك عند أحد طرفيه ثم أطلاقه مرة أخرى، وتعد الموجات الصوتية وكذلك موجات بعض الزلازل موجات طولية[1].

5-2 الموجات المسافرة والموجات الواقفة:

في الأمثلة السابقة الخاصة بالموجات الناشئة عند تحريك طرف حبل تنتقل الموجات من طرف إلى آخر، وتسمى هذه الموجات بالموجات المسافرة أو الموجات المنتقلة ولكن بعض هذه الحالات تصبح الموجات أسيرة لوسط معين، فإذا أمسك خيط من طرفية ثم دفع بقوة فإن طاقة الموجات الناشئة لا تستطيع مغادرة الخيط وينشأ هذا الوضع عن نمط موجي يسمى الموجات الواقفة ويحدد حجم الفراغ الذى يحتوي على مثل هذه الموجات الطول الموجي، وتوجد الموجات الواقفة على بعض السطوح كرأس الطبلة أو داخل فراغ مغلق مثل حجرة ما وفي كل الحالات يحدد الطول الموجي بحجم الوسط[1].

6-2 الموجات الكهرومغناطيسية:

هي أحد أشكال الطاقة تصدره وتمتصه الجسيمات المشحونة، والتي تظهر سلوك مشابه للموجات في سفرها خلال الفضاء كأشعاع كهرومغناطيسي أو موجات كهرومغناطيسية أوحقل كهربي وأخر مغناطيسي متساويان في الشدة، ويتذبذب كل منهما في طور معامد للآخر، ومعامد لإتجاه طاقة وإنتشار الموجة حيث ينتشر الإشعاع الكهرومغناطيسي في الفراغ بسرعة الضوء[1].

7-2 الخواص المميزة للأمواج:

تتميز الأمواج عن الجسيمات بإمتلاكها مجموعة من السلوكيات الفيزيائية:

1- الإنعكاس reflection: وينقسم إلي إنعكاس منتظم وإنعكاس غير منتظم.

2- الإنكسار refraction.

3- الحيود diffraction.

4- التداخل Interference : ويقسم الي تداخل بناء وتداخل هدام.

5- التشتت dispersion.

6- التبعثر scattering.

7- الإنتشار الخطي Rectilinear propagation [1].

2-8 السلوك الموجي:

للموجات سلوكاً مختلفاً عندما تنتقل من وسط الى آخر أوعندما يتوقف جزء منها أوعندما توجد معها موجات أخرى في نفس الوسط ونذكر منها ما يلي:

1- الإنعكاس والإنكسار:

عندما تترك الموجات في وسطها وتدخل وسطاً آخر فإن جزءاً من طاقتها ينعكس والجزء الآخر ينكسر (ينتقل) داخل الوسط الجديد، وتعتمد كميه الطاقة التي تنعكس وتلك التي تنكسر علي الزاوية التي تصطدم بها الموجات الساقطة (القادمة) بسطح الوسط الجديد وكلما زادت الزاوية بين مسار الموجات وبين خط تخيلي عمودي علي سطح الوسط الجديد إزداد عدد الموجات المنعكسة، كذلك تعتمد كمية الإنعكاس وكمية الإنكسار علي خواص معينة للوسطين فعلي سبيل المثال يعتمد إنعكاس الموجات الضوئية وإنكسارها علي كثافة الوسطين وعلي سرعة الضوء الذي سوف ينكسر داخل الوسط الجديد، لكن إذا إختلفت خواص الوسطين فإن معظم الضوء سوف ينعكس وتكون كثافة الهواء أقل كثيراً من كثافة الأرض ويحمل الضوء بسرعة أبطأ وبالتالي فإن معظم الطاقة الضوئية تنعكس عند إلتقائها بسطح الأرض.

2- الحيود:

إذا نظرنا إلي حلقة منتشرة من الموجات تتحرك بعيداً عن موقع سقوط حجر في بحيرة ساكنة فإننا نلاحظ أنه كلما إزداد إتساع الحلقة فإن أي جزء قصير من جبهة الموجة (الحافة الخارجية للحلقة) يصبح خطاً مستقيماً أما إذا مرت جبهة الموجة خلال فتحة صغيره في حاجز ما فإن الموجات التي تخرج من خلال هذه الفتحة لا تكون خطاً مستقيماُ وبدلاُ من ذلك فأنها سوف تنتشر في خط منحنى. يسمى تغير جبهة الموجة المستقيمة إلى موجة منحنية بالحيود ويحدث الحيود لأن كل نقطه على جبهة الموجة تعتبر مصدراً لموجة منحنية دقيقة تسمى مويجة وتتألف هذه المويجات على طول جبهة الموجة لتكون الموجة مستقيمة ولكن الفتحة الصغيرة تسمح لعدد صغير فقط من الموجات بالمرور وهكذا تنفصل المويجات على كل من الجانبين ولا تصبح الموجة مستقيمة حينئذ[1].

3- التداخل:

عندما تمر قمتا موجتين لهما نفس التردد بنقطة معينة في نفس الوقت فإن الموجتين تكونان متطاورتين، ولكن إذا مرت قمة موجة بنقطة في نفس اللحظة التي يمر بها قاع الموجة الأخرى فإن الموجة الثانية تسبق الأولى بنصف طول الموجة، ويقيس العلماء الفرق في الطور بين موجتين بالدرجات، ثم يقومون بضرب عدد درجات الدائرة (360^0) في الفرق في الطور مقاساً كنسبة من الطول الموجي.

وبهذا يصبح الفرق في الطور في المثال السابق:

$$360^0 \times 0.5 = 180^0$$

وتقوي الموجات التي لها نفس التردد بعضها بعضاً عندما يكون لها نفس الطور ويضعف بعضها بعضاً عندما يكون بينها فرق في الطورمقداره (180^0) ويقول العلماء إن الموجات تتداخل مع بعضها البعض وتنتقل في بعض الإتجاهات بقوة ويكون إنتقالها أضعف في إتجاهات أخرى[1].

2-9 مميزات الموجات:

تنتج الموجات عندما يسبب شيئاً إضطراباً في وسط ما فإذا سقطت صخرة مثلاً علي بحيرة ساكنة فإنها تسبب حدوث موجات متحركة تسمى الصخرة في هذه الحالة مصدر الموجات، وعندما نقوم بتحريك طرف حبل فإننا نصبح بذلك مصدر الموجات التي تنتقل بواسطة الحبل، وإذا حركنا الحبل إلى أعلى ثم إلى أسفل فإننا نحدث موجات كبيرة ويسمي العلماء الجزء الأعلى من أي موجه الذروة أو القمة والجزء الأسفل من الموجة القاع، ويطلق على إرتفاع القمة عن مستوى الحبل عندما يكون في حالة سكون مصطلح الإتساع، كذلك يمكن قياس الإتساع من القاع إلى مستوى الحبل الساكن، وبتحريك الطرف الحر من الحبل إلى أعلى وأسفل بسرعة أكبر فإننا ننتج موجات أكثرمن الحبل أي أننا قد زدنا تردد الموجات لأن عدداً أكبر من الموجات يمر بنفس النقطة في ثانية واحدة ولكن مهما كانت السرعة التي تحرك بها الحبل إلى أعلى أو أسفل ومهما كان مقدار الإرتفاع أوالإنخفاض في الطرف الحر للحبل فان سرعة إنتقال الموجات عبر الحبل تظل ثابتة ولا تعتمد سرعة الموجات على الإتساع أوالتردد ولكنها تعتمد فقط على صلابة وكثافة (أي كتلة وحدة حجم) الوسط. فعلى سبيل المثال يكون للحبل المشدود سرعة إنتقال الموجة أقل عبر حبل خفيف قليل الكثافة له درجة شدة معينة وأعلى سرعة إنتقال عبر حبل ثقيل له نفس درجة الشدة، وعندما نقوم بزيادة تردد الموجات فإننا نقوم أيضاً بتقصير المسافة بين قمتين أو قاعين ويسمي العلماء هذه المسافة بالطول الموجي ونستطيع إيجاد الطول الموجي بقسمة التردد على سرعة الموجة ويسمى تردد الموجات الصوتية طبقة الصوت، ويمكن رفع طبقة الصوت الموسيقية الناتجة عن أله وتريه بإحكام أو تقصير الوتر وتكون الأوتار المصممة لإنتاج ترددات منخفضة أكثر ثقلاً وأطول وأقل إحكاماً في الشدة من تلك المصممة لإنتاج ترددات أعلي[1].

2-10 الوصف الفيزيائي للأمواج:

طول الموجة wavelength: أتفق على أن طول الموجة هو المسافة بين قمتين متتالتين أوبين قاعيين متتالين، ويقاس طول الموجة بالمتر.

التردد أو التواترFrequency:هو مقدار تكرر الموجة الواحدة ذات الطول الموجي المتفق عليه في كل وحدة زمن.

ويعرف بالعلاقة التالية:

$$\mathbf{F = 1/n} \qquad (1\text{-}2)$$

حيث:

F ≡هو تردد الموجة ووحدته القياسية Hz أو 1/s

n ≡هو الزمن بين بداية ونهاية موجة واحدة، أو الزمن بين قمتين متتاليتين

العلاقة بين سرعة إنتقال الموجة وطولها وترددها هي:

$$\boldsymbol{V = F * \lambda} \qquad (2\text{-}2)$$

حيث:

v ≡ هي السرعة التي تتحرك بها الموجة ووحدتها m/s

λ ≡ هي الطول الموجي ووحدتها ال m

F ≡ التردد ووحدته Hz

وتتوقف سرعة إنتشار الموجة في الوسط على كثافة هذا الوسط أي أنها تتغير بتغير كثافة هذا الوسط أو درجة حرارته. يتوقف تردد الموجة على تردد المصدر وليس وسط الإنتشار[1].

11-2 النظرية الموجية:

إن الأفكار التي تنطبق على الضوء والصوت والموجات الأخرى تنطبق على الأجزاء الدقيقة للذرة. فقد أكتشف العلماء أن الإلكترونات والنيوترونات والبروتونات التي يظن أنها جسيمات تتصرف أحياناً كالموجات وتسمى موجاتها موجات المادة وقد أعطت النظرية الموجية للجسيمات الذرية العلماء فهماً أعمق لتركيب الذرة ونواتها[1].

12-2 الأمواج الزلزالية شكل (2-1):

إن الطاقة التي تنشأ عن زلزال أو إنفجار أو أي مصدر إهتزازي آخر تنتشر في الأرض كتماوج في جميع الإتجاهات، وهناك عدة أنواع للموجات الزلزالية ويتحرك كل نوع بطريقة مختلفة.

النوعان الرئيسيان لهذه الموجات هما الموجات الباطنية (body wave) والموجات السطحية (surface wave) تتحرك الموجات الباطنية في طبقات الأرض الداخلية، أما التموجات السطحية فتتحرك فقط على وجه الأرض مثل التموجات على سطح الماء.

تشترك الأمواج الزلزالية فيما بينها في الخصائص العامة التالية:

1- تسير في جميع الإتجاهات.
2- تعاني من الإنعكاس أو الإنكسار عند الإنتقال بين أوساط مختلفة في الكثافة.
3- تزداد سرعتها بزيادة كثافة الوسط الذي تسير فيه.

تختلف الأمواج فيما بينها في بعض الخصائص منها:

1- سعة الموجة.
2- السرعة.
3- الأوساط التي تسير فيها[1].

13-2 أنواع الأمواج الزلزالية:

أولاً: الأمواج الأولية primary wave:

خصائصها:

1- أمواج مستعرضة، حيث تهتز جزيئات مادة الوسط بإتجاه إنتشار الموجة.
2- تنتشر في جميع الأوساط الغازية والسائلة والصلبة.
3- أول الأمواج الزلزالية وصولاً إلى محطات الرصد لسرعتها العالية.
4- متوسط سرعتها في الصخور قرابة (6 km/s).

ثانياً: الأمواج الثانوية secondary wave:

خصائصها:

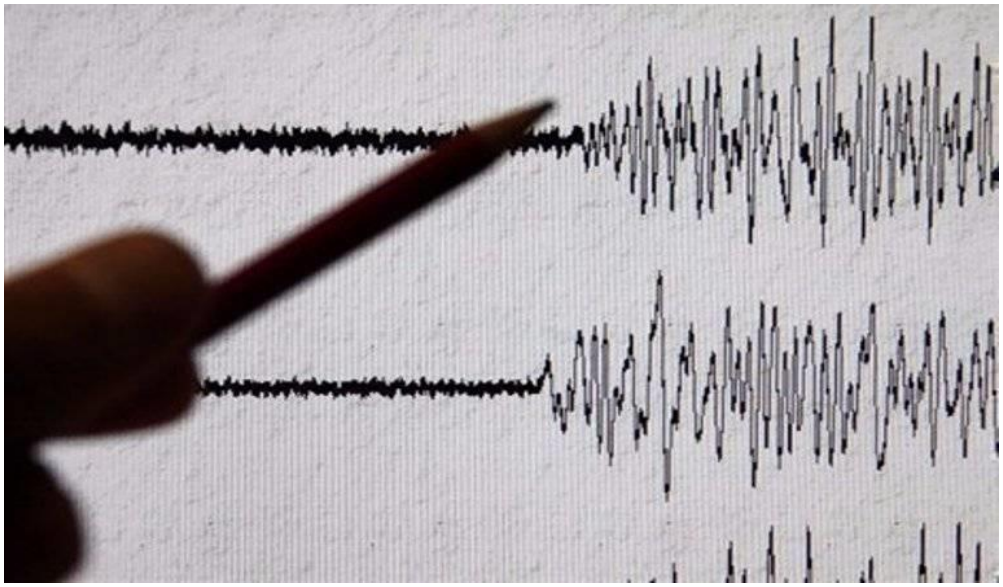
1- أمواج مستعرضة، حيث تهتز جزيئات مادة الوسط بإتجاه متعامد مع إتجاه إنتشار الموجة.
2- تعرف بأمواج القص shear waves.
3- تنتشر في الأوساط الصلبة فقط.
4- أبطأ من الأمواج الأولية[1].

ثالثاً:الأمواج السطحية surface waves:

خصائصها:

1- تتألف من نوعين من الأمواج الأولية.
2- عدم مقدرتها علي إختراق أعماق كبيرة داخل الأرض.
3- ينحصر إنتشارها داخل الطبقات السطحية.
4- أبطأ الأمواج.
5- أثرها التدميري أكبر من الأنواع الأخرى.

لدراسة ظاهرة الزلازل يتوجب معرفة خواص الموجات الزلزالية وكيفية إنتشارها في الأجسام (الأوساط المختلفة)، وللعلم فإن قوة الزلازل لا تكون نفسها على السطح حيث تبلغ ذروتها داخل القشرة الأرضية في مكان الصدع والذي يسمى البؤرة، أما الموقع الذي يعلو البؤرة مباشرةً في الإتجاه العمودي على سطح الأرض فيسمى المركز. تنطلق الطاقة المحررة من مصدر الهزة (البؤرة) في كل الإتجاهات على شكل موجات[1].



شكل (2-1) الموجات الزلزالية

الفصل الثالث

الزلازل

1-3 مقدمة:

في هذا الفصل تمت دراسة الزلازل ومسبباتها وكيفية حدوثها والموجات الزلزالية بأنواعها المختلفة وكيفية قياسها ونظريات تندرج تحت مفهوم التنبؤ بوقوع الزلازل وأشهر زلازل القرن الماضي وإحصاءات بعدد الضحايا.

2-3 الزلازل:

الزلازل هو علم دراسة الموجات الزلزالية (الموجات الصدمية)، الناتجة عن الهزات الأرضية أو الإنفجارات. يدرس علماء الزلازل هذه الموجات ليتعرفوا على حركة الزلازل وعلى تركيب الأرض، وعلم الزلازل فرع من الجيوفيزياء أي العلم الذي يطبق الفيزياء على دراسة الأرض وغلافها الجوي.

تكشف أجهزة تسمى مراسم الزلازل حركة الموجات الزلزالية وترصدها مرسمة الزلازل، ويستخدم علماء الزلازل هذه القراءات لتحديد موقع وقوة الزلازل، وهم يسعون لإيجاد طرق للتنبؤ بالزلازل وربما التحكم فيها مستقبلاً، ويستخدم العلماء أيضا مراسم الزلازل في التنقيب عن المعادن والنفط، وهناك عدة أنواع من الموجات الزلزالية، منها الموجات التضاغطية وموجات القص. تنتقل الموجات التضاغطية عبر المواد الصلبة والسائلة بينما تنتقل موجات القص عبر المواد الصلبة فقط، وتتفاوت سرعة الموجة الزلزالية عندما تنتقل عبر الأنواع المختلفة من الصخور، وقد أظهرت دراسة الموجات الزلزالية أن الأرض تتكون من طبقات من المواد المختلفة فعلماء الزلازل علي سبيل المثال يعتقدون أن لب الأرض الخارجي يتكون من الحديد السائل والنيكل لأن موجات القص لا تمر عبر هذه المنطقة، وقد أوضحت المراسم الزلزالية التي وضعت على سطح القمر أن له قشرة سميكة وصلبة.

يستخدم علماء الزلازل طرقاً عديدة للحصول على معلومات عن طبقات الصخور في قشرة الأرض، ففي تقنية الإرتداد مثلاً ترتد الموجات الصوتية عن طبقات الصخور الباطنية، وفي أثناء هذا الإرتداد في إتجاه السطح تسجل أجهزة حساسة زمن الإرتداد، وتستخدم هذه التقنية عادة لتحديد أماكن الصخور المحتمل إحتواؤها علي الغاز أو الزيت[2].

قدم علم الزلازل الدليل الذي يؤيد نظرية تكتونية الألواح، وطبقاً لهذه النظرية فإن قشرة الأرض الخارجية تتكون من حوالي ثلاثين صفيحة صلبة في حركة متصلة، وينشأ عن تصادم وإنفصال وإنزلاق هذه الألواح أقواس الجزر والجبال والبراكين والحيود المحيطية والأخاديد.
وتسبب حركة الألواح أيضاً الزلازل والتي تحدث معظم الحالات الرئيسية منها على حول حواف الألواح (الزحف القاري)[2].

مرسمة الزلازل أو السيزموجراف أداة تكبر وتسجل الحركات الأرضية الصغيرة، ومن هذه السجلات يستطيع إختصاصيو علم الزلازل تحديد موقع وشدة الهزات الأرضية، ويستخدم العلماء أيضاً مرسمة الزلازل للتنقيب عن النفط ودراسة باطن الأرض وحساب عرض الأنهار الجليدية، وتستطيع أكثر مرسمات الزلازل حساسية تكبير حركة الأرض بمقدار عشرة ملايين ضعف، وتتكون مرسمة الزلازل من كتلة معلقة من إطار بوساطة نابض دقيق ويتحرك الإطار مع حركة الأرض، ولكن الثقل يميل إلى البقاء ثابتاً بسبب قصوره الذاتي، وتكبر الحركة النسبية بين الكتلة والإطار بإستخدام محول كهرومغناطيسي ومكبر إلكتروني، ويتحرك المحول وهو سلك مربوط إلى كتلة في المجال المغنطيسي الناشيء عن مغنطيس مربوط إلى الإطار، وتولد هذه الحركة جهداً كهربائياً في السلك ينتقل إلى المكبر، ويسجل الجهد المكبر بوساطة حاسوب أو جهاز يلاحظ حركة الأرض على قطعة متحركة من الورق، وبإمكان مرسمة الزلازل إكتشاف حركة أرضية صغيرة لا يتجاوز قدرها جزءاً من مائة مليون جزء من السنتميتر، وتستطيع محطة رصد الزلازل في موقع هادئ إكتشاف عدة هزات أرضية كل يوم، وتستخدم أنواع مختلفة من مرسمات الزلازل لقياس الموجات الزلزالية القصيرة والطويلة. فمرسمة الزلازل من طراز بريس - اوينج تسجل الموجات الطويلة التي لا يقل طولها عن (500 mile) (800 km)، بينما تقيس مرسمة الزلازل من طراز بينيوف للإنفعال الخطي التغيرات في المسافة بين عمودين مغروسين في باطن الأرض، ويسجل راسم تسارع الحركات القوية الهزات القوية جداً بالنسبة للأجهزة الحساسة وتستخدم مرسمات الزلازل شكل (3-1) في مجموعات ثلاثية لتقيس بصورة منفصلة ثلاثة أنواع من حركة الأرض إلى أعلى – أسفل، وشمال – جنوب، وشرق – غرب، وهناك أكثر من 1000 محطة لرصد الزلازل في أنحاء العالم. أما مرسمة الزلازل المستخدمة للدراسات والتوقعات العلمية فتكون صغيرة ومتينة، ويضع العلماء المئات منها حول الموقع المطلوب دراسته، وعندئذ يقوم العلماء بإجراء تفجيرات لإحداث موجات زلزالية تنتقل إلى الطبقات الصخرية في باطن الأرض ثم ترتد وتقيس مرسمات الزلازل الموجات المرتدة[2].

الموجة المدية موجة مدمرة تندفع بقوة من البحر كالمد الهائج، وبالرغم من ذلك فإن الموجات المدية لا تنتمي إلي المد الحقيقي، وإنما تنتج عن حركات الأرض تحت البحر والتي تسمى الزلازل البحرية أو تنتج عن الأعاصير الممطرة أو الحلزونية أو العواصف الأخرى الكبيرة التي تحدث في البحر.

تسمي الأمواج المدية الناتجة عن الزلازل البحرية الأمواج البحرية الزلزالية، وهي تعرف كذلك بأسم تسونامي، وهو أسم أطلقه اليابانيون ويستطيع العلماء الذين يستخدمون مرسمة الزلازل أن يتنبؤ بقدر من الدقة بموعد وصول التسونامي إلي ساحل بحري معين.

فمثلاً يعرف العلماء أن زلزالاً بحرياً بعيداً عن جزر ألوشيان قد يسبب موجة مدية تضرب ساحل هاواي فإذا رصدت مرسمة الزلازل في هاواي حدوث زلزال بحري بعيداً عن جزر ألوشيان، فإن خبير الإرصاد الجوي يحسب عدد الدقائق التي تستغرقها الرجفة الأرضية لتصل إلي هاواي وسوف تستغرق الموجة المدية عدد الساعات نفسه لتضرب هاواي، ويقوم هذا الإستنتاج علي أساس الحقيقة التي تنص على أن هزة الزلازل تتحرك بسرعة (970 km/minute) ، بينما الموجة المدية تتحرك بسرعة ما بين (800 – 970 km/hours) في المياه المفتوحة، وتعتمد السرعة الدقيقة على عمق المياه، ومعظم الموجات المدية تمر دون أن يتم كشفها في البحر، ومع ذلك فالموجة المدية قد تكون جداراً مائياً يزيد إرتفاعه عن (30 m) عند إقترابها من المياه الضحلة قرب الشاطئ، وتسمى الموجات المدية الناتجة عن العواصف الكبيرة في البحر الموجات الإعصارية، ويعتمد حجم الموجة الإعصارية على سرعة الرياح، ومدة العاصفة، ومسافة البحر التي تقطعها الرياح، والضغط البارومتري، وتكون الموجات الإعصارية مدمرة بوجه خاص إذا ضربت الشاطئ أثناء المد العالي، وفي عام (1900) عانت مدينة جالفستون بولاية تكساس بالولايات المتحدة من أضرار شديدة نتيجة إعصار مصحوب بموجة إعصارية، وفي عام (1946) أصابت موجة مدية مدينة هيلو بهاواي بأضرار بالغة، وفي عام (1970) ضرب إعصار لولبي وموجة إعصارية باكستان الشرقية (بنغلاديش حالياً) فقتلا ما يقارب 266000 شخص كما ضرب بنغلاديش أيضاً إعصار لولبي وموجة إعصارية في مابوم عام (1985) فقتلا ما يقارب 10000 شخص، وبذلك في الستينيات من القرن العشرين الميلادي أقترح علماء الأرض نظرية تكتونية تضمنت فكرتين سابقتين هما الزحف القاري وتيارات الحمل[2].

3-3 مسببات الزلازل:

الزلازل ومسبباتها ومن ثم يمكن الإنتقال إلى ألية حدوث الزلازل وكيفية ظهورها، لقد كان إهتمام العلماء في أواسط القرن العشرين بدراسة الأحواض المحيطية محدوداً لأن وسائل البحث البحرية لم تكن متطورة بشكل مناسب، ولقد قسم العلماء تضاريس القارات إلى وحدتين عملاقتين هما القواعد القارية (Form Plat) وهي الأجزاء الأكثر صلابة في القارات والتي تتميز بندرة زلازلها وبراكينها أي أنها تعيش فترة هدوء بنائية.

ثم الوحدة العملاقة الثانية أي السلاسل الجبلية الإلتوائية البنائية المنشأ، ويجب أن نشير إلى أن الجبال تقسم إلى مجموعات حسب منشئها:

الأولى: الإلتوائية وهي جبال المقعرات البنائية الضخمة كجبال الهيمالايا، و**الثانية:** الجبال الكتلية الصلبة غير الإلتوائية، ويجب أن نذكر بهذا الصدد أن مناطق الجبال هذه مراكز زلزالية من الدرجة الأولى وبخاصة الإلتوائية منها إذ تتمركز هنا أهم الأقاليم الزلزالية في العالم. كما في مناطق أرمينيا وتركيا وإيرانو وإيطاليا، وعليه تكلمنا عن هذه المقعرات[3].

3-4 المقعرات البنائية:

المقعرات البنائية (Geosy clinal) منخفضات عميقة وطويلة جداً تمتد آلاف الكيلومترات تقطع القارات حيناً وتحيط بها أحياناً أخرى متجاورة بذلك مع المحيطات. تخضع المقعرات في بداية تشكلها لحركات خسف وهبوط وإتساع ثم تتحول في النهاية إلى حركات ضغط جانبية ورفع عنيفة وتحول في طبيعة الصخور من صخور رسوبية إلى صخور متحولة صلبة ممتزجة مع الصخور البركانية القادمة من أعماق الأرض، وفي جميع الأحوال ترافق هذه العمليات سواء الصاعدة منها أو الهابطة حركات إهتزازية عنيفة وبراكين، ويلاحظ أن تطور المقعرات يتسم ببعض الخصائص التي تنعكس بوضوح على فعالية حركات الأرض الباطنية العميقة، ومن هذه السمات نورد:

- الأمتداد الطولي الهائل: فمثلاً مقعر البحر الأبيض المتوسط يمتد من إسبانيا غرباً وحتى أندونيسيا شرقاً، ولكن عرض المقعر أقل بكثير من طوله مما يشير إلى إرتباط المقعر بالتصدعات الأرضية العميقة.
- أشكال المقعرات مستقيمة طولية وقوسية وحلقية (جبال المحيط الهادي) مما يعبر عن صلتها بحركات الأرض الباطنية العنيفة التي تتمركز في نطاقات وأشرطة محددة.
- إنها مناطق إنبثاق مهلي شديد ترتفع من خلالها الصهارة الصخرية إلى القشرة الأرضية ولذا فإنها تعتبر مراكز طاقة حرارية عظيمة تزيد بثلاث أو أربع مرات عن طاقة الأقاليم القاعدية الهادئة زلزالياً.
- في بداية تكونها إحتبلتها بحار غنية بالصخور الرسوبية البحرية ولكن في مراحل تطورها الختامية تتحول إلى صخور صلبة وإندفاعية كما في طرفي البحر الأحمر.
- سماكة الصخور الرسوبية عظيمة في محور المقعرات وتتناقص نحو الهوامش، وقد تصل سماكتها في المركز إلى (20 - 25 km) .
- تتحول كثير من الصخور بسبب ضغط الصخور والحرارة الباطنية العالية إلى صخور من نوع آخر فالكلس يتحول إلى مرمر والحجر الرملي إلى كوراتزيت وتظهر صخور متبلورة ومتحولة عادية كالغرانيت والغنيس ...الخ. وهذا يعني أن المقعرات ليست سوى مفاعلات

حرارية هائلة يتم فيها صهر الصخور وتحويلها إلى أنواع أخرى تختلف عن الأولى ومن هنا نرى كمية الطاقة الهائلة المستعملة في مثل هذه العمليات وكذلك يمكننا أن نحكم لماذا تتمركز أهم مراكز الزلازل في المقعرات البنائية بخاصة وكذلك البراكين، وهذا التطور الكبير لا يتم دفعة واحدة ولكنه يمر عبر مراحل عدة تعكس التبدلات العنيفة التي تتم في باطن الأرض والتي تعبر عنها الهزات الأرضية العنيفة[3].

مراحل تكون المقعرات البنائية:

1- المرحلة الأولى:

إنها مرحلة ظهور وولادة المقعرات البنائية أي أنها المرحلة التي تبدأ فيها القشرة الأرضية الصخرية بالهبوط والخفس التدريجي فتضغط على ما تحتها وترفع بذلك من حرارتها ويزداد توتر باطن في مثل هذه الأماكن، وتبدأ الفعاليات الزلزالية بالظهور ويمهد التقعر هذا لتغلغل مياه البحار من المناطق المجاورة فتظهر في البداية بحار ضحلة تمثل مراكز تجمع حتى للصخور القارية المجاورة وتتجمع بخاصة الصخور الرملية والطينية والحصوية وتظهر الصخور الكلسية وترافقها جميعاً الصخور الباطنية والبركانية البازلتية المصاحبة لظهور الهزات الأرضية والبراكين بسبب عملية التقعر، وقد تصل سماكة الرسوبات إلى (km 15- 10) في أماكن الهدم العنيفة.

2- مرحلة النضج:

وهي المرحلة التي تسبق مرحلة ظهور السلاسل الجبلية ونلاحظ فيها تباطؤ عمليات التقعر والهبوط مقارنة بالسابق وتأخذ النجود والظهورالتضاريسية بالإرتفاع والظهور من تحت مياه البحار فتتشكل بعض السلاسل الجبلية القوسية الإمتداد كما في جزر اليابان، وتكثر في هذه المرحلة الصخور الكلسية العضوية المنشأ وصخور الفليش، وتستمر حركات الأرض والزلازل والبراكين كعهدها السابق وتتابع كذلك الصخور الباطنية والبركانية البازلتية والأندزيتية بالإرتفاع نحو الأعلى [3] .

3- مرحلة ظهور الجبال:

تتشكل في هذه المرحلة كتل جزرية كبيرة مرتفعة نسبياً ذات جذور وقواعد إلتوائية وعلى أطراف القارات يبدأ ظهور حفر هامشية طويلة وتدريجياً يأخذ البحر بالإنحسار والإضمحلال والتجزؤ، فيتحول إلى بحار ثانوية غير متصلة كما هو الحال بالنسبة للبحار: الأبيض المتوسط والأسود وقزوين ... الخ. وتظهر البحيرات المالحة البحرية المنشأ (لاغونات)، وتنشط في هذه المرحلة الحركات الزلزالية والبركانية في مثل هذه الأقاليم.

4- مرحلة الإرتفاع الأكبر للجبال:

تفوق عمليات إرتفاع الجبال في شدتها عمليات إنخفاض مستواها بسبب عمليات النحت والحفر المختلفة (مائية - نهرية - بحرية - ريحية – جليدية ...الخ). كما في جبال الهيمالايا وطوروس في تركيا والألب في أوروبا وسواها. هذا النشاط الجبلي العظيم يعيد الحياة للصدوع والفوالق الأرضية ثانية أي أنها تعود مرة أخرى لنشاطها الزلزالي والبركاني بعد هدوء طويل، كما تظهر صدوع وفوالق جديدة مما يزيد من شدة فعالية البراكين والزلازل، ويعيش حوض البحر الأبيض المتوسط هذه المرحلة الآن.

5- مرحلة التحول الجبلي إلى القواعد القارية:

تنشط في هذه المرحلة عمليات النحت وتراكم وتجمع المواد الصخرية المحتوتة وتبدأ في باطن الأرض ظاهرة تحول قوة الضغط الجانبية إلى قوة دفع باطنية هامشية مغايرة إتجاهها لذا تبدأ عمليات ظهور الإنهدامات والأغوار كما في قاع البحر الأحمر وتنشط الفعاليات البركانية بصخورها المميزة الممتزجة مع الصخور الرسوبية، وتدريجياً بسبب تزايد الفعاليات البنائية الباطنية تبدأ الصخور الجبلية الرسوبية غالباً بالتحول التدريجي إلى صخور متحولة فتتحول المنطقة كاملة إلى قواعد قارية سميكة وصلبة ويقل النشاط الزلزالي والبركاني ولكن إلى حين ظهور سلاسل جبلية من نوع آخر هي الكتل الجبلية المصدعة المكسرة غير الإلتوائية كما في حوض البحر الأحمر وفي جبال الصحراء الكبرى (الهجار وتيبستي). نتيجة لهذه التحولات تزداد الفعاليات الزلزالية والبركانية، وهكذا نرى أن الحركات البنائية الباطنية العنيفة ترافق كل مراحل تطور المقعرات ومن هنا تعتبر أقاليم المقعرات من أكثر مناطق العالم زلزلة[3].

5-3 الأسباب الرئيسية لحدوث الزلازل:

1- عامل الحرارة الباطنية الكامنة في باطن الأرض.
2- تقلصات القشرة الأرضية تبعاً لإنكماش المائع الناري وتمدده.
3- الحرارة تزداد بإستمرار كلما تعمقنا في باطن وأقتربنا من المواد الباطنية المسماة (Magma) وهي المسؤولة عن حدوث الزلازل والبراكين عندما تتمدد.
4- تتمدد المواد الباطنية تحت تأثير الحرارة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية المستمرة في نواة الأرض.
5- الموجات الكهربية التي تحيط بالأرض.
6- علاقة الموجات الكهربية بالتفاعلات الكيميائية.

7- المواد الأشعاعية الموجودة في باطن الأرض، والطاقة النووية الهائلة المنبعثة من تحطم الذرات في اليورانيوم والثوريوم.

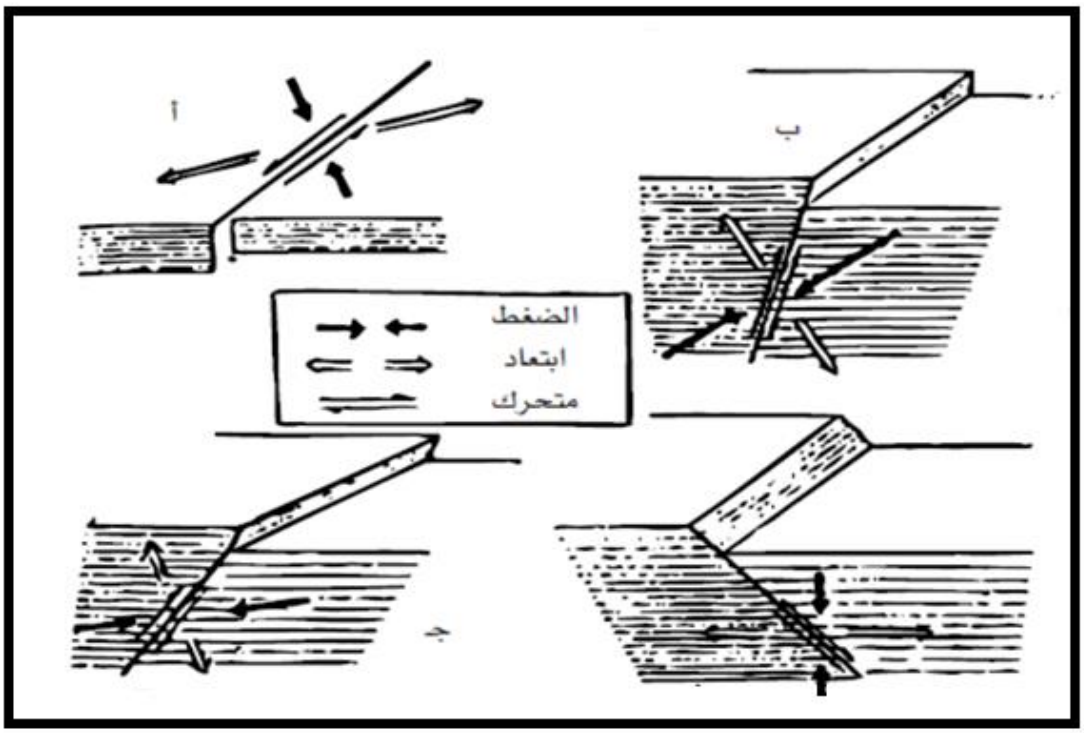
8- وجود الغازات المحبوسة داخل الأرض وتسخينها يساعد أيضاً في حدوث الزلازل[7].

6-3 ألية الزلزلة:

إن الضغط والتوتر النفسي سمة هذا العصر يعاني منه الكثير، ولكن مثل هذا التوتر والضغط تعيشه الأرض دائماً، إذ نرى لها ساحة توتر واسعة نميز فيها نموذجين من التوتر والضغط. الأول ويتمثل في المحيط المؤثر من جميع الجهات، وسببه ضغط وثقل الطبقات الصخرية السطحية أو العليا على باطن الأرض. ثم التوتر والضغط الجانبي الذي تقابله عملية تمدد وإندفاع عمودية عكسية الإتجاه، ونتيجة لذلك تتجزأ وتتكسر القشرة الأرضية الصلبة إلى أجزاء صغيرة وكبيرة.

ومن المعروف أن الضغط الطبقي المحيطي وما يتبعه من إنكماش داخلي لا يساعد على ظهور الخلل في توازن الطبقات الأرضية المختلفة، وخاصة إن كانت الصخور متجانسة، ولكن التوتر الجانبي الواخز يؤدي إلى نتيجة مغايرة، أي إلى زحزحة الطبقات الصخرية وإلى تشوهها وتبدل مظهرها، بالنسبة للقشرة الأرضية عامة وهذه القوة المشوهة تزيد فعالية طبقة المانتيا العليا الأكثر حركة ومرونة من القشرة الصخرية الأرضية العليا مما يزيد من فعالية الظاهرة المذكورة لكون بعض المناطق في القشرة الأرضية محطمة ومشققة مما يجعلها أكثر توتراً وزلزلة من سواها.

نوضح الآن ماذا يحدث في الأرض نتيجة لظهور الأشكال المختلفة للتوتر فيها، ولكن قبل كل شيء علينا أن نتذكر القانون الميكانيكي القائل: ((إن تصدع وإنشقاق وحركة كتلة متجانسة يتم بزاوية مقدارها **45** درجة بالنسبة لإتجاه القوة الضاغطة أو المؤثرة)) هذا الكلام صحيح مخبرياً ولكن بالنسبة للأرض الصورة مغايرة، وهكذا تميز الحالات التالية شكل (3-1)[2] .



الشكل (3-1) حركة الكتل الصخرية والصدوع

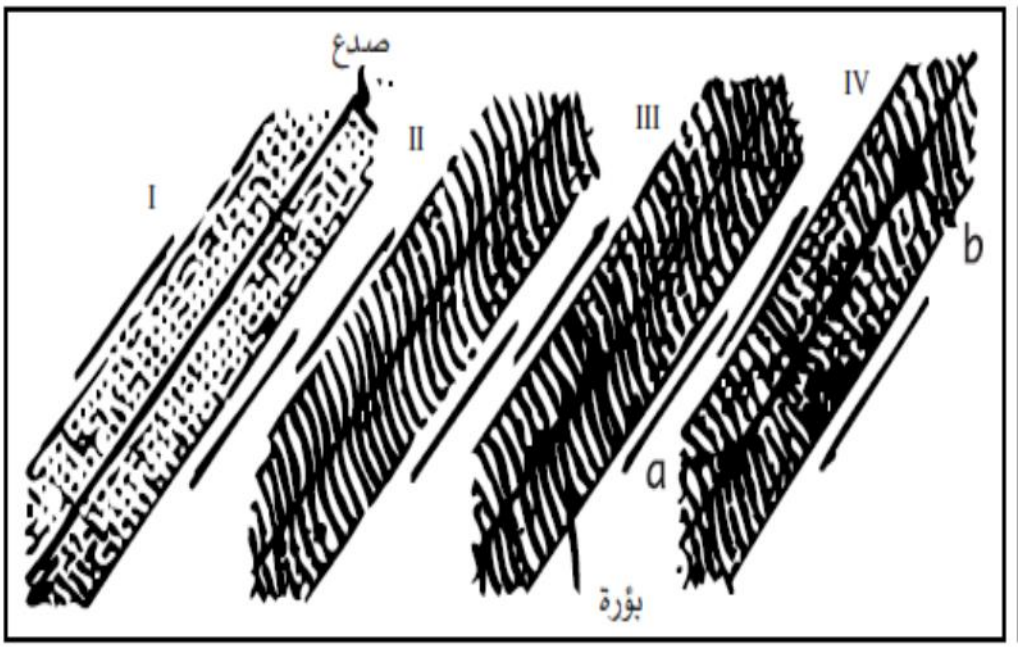
(أ) إنزلاق (الأيسر) (ب) صعود

(ج) إرتماء (د) صدع عادي

1- إذا كانت قوى الضغط وقوى التمدد والإنتشار الجانبي متعامدة فإنها تؤثر في القشرة الأرضية بشكل أفقي، ولكن الشق أو الصدع المتكون نتيجة لذلك يمتد عمودياً، والحركة الناتجة عن ذلك وبمحاذات الصدع أو الشق ذات إتجاه أفقي ويتكون نتيجة لذلك صدع أو شق زحزحة.
2- إن كانت القوة الضاغطة أفقية كالسابق أو شبه أفقية وقوة التمدد قريبة من الإتجاه العمودي فإننا نشاهد أن إتجاه الصدع مائل بشدة وشفته العليا مدفوعة بقوة نحو الأعلى أي إنه صدع وصعود.
3- أما إن كانت الشفة العليا للصدع مائلة بشدة فتكون أمام صدع إرتماء وذلك عندما تكون قوة الضغط أفقية أو شبه أفقية ومتعامدة مع قوة التمدد.
4- وقد تكون أمام صدع إنزلاق عندما تكون القوة الضاغطة عمودية (رأسية) وقوة التمدد أفقية ومتعامدة مع القوة السابقة.
5- أما عندما نرى صدعين متجاورين وبينهما قطعة من أرض هابطة فيتشكل لدينا ما يعرف بالغور، وإن حدث العكس أي إرتفعت هذه القطعة نحو الأعلى فيظهر النجد أو الظهر[2].

ونورد الآن وبعد أن تعرفنا على أشكال الصدوع كيف يتم الإنتقال النوعي من حالة التوتر الأرضي إلى الحركة نفسها والحالة الحركية تفسر وببساطة نظرية النقل اللدن الفيزيائية والتي جاء بها العالم الأمريكي (غ. ريد) إثر زلزال سان فرانسيسكو المدمر عام (1960).

لنفترض كما في الشكل أدناه (3-2) أن الكتلتين الصخريتين (I و II) ملتصقتان معاً عبر صدع قد بعثت فيه الحياة من جديد أو أن الصدع سيظهر فيما بعد، وبما أن الكتلتين ملتصقان معاً بشدة فإن ذلك يعرقل عملية حركة الكتل الصخرية بإتجاه معين هو إتجاه قوة الدفع الباطنية أو الجانبية، ولكن نرى بدلاً من ذلك أن الكتل الصخرية تأخذ بالإنثناء التدريجي وبالتشوه، وبالطبع في نهاية المطاف ستأتي اللحظة التي لا يمكن فيها للسطح الفاصل بين الكتلتين مقاومة شدة الإنثناء والتشوه والتوتر الذي يعتري الصخور، وهذا يعني أن شدة التوتر الصخري تفوق قوة التماسك والتصلب الصخري، ونتيجة لذلك وبصورة فجائية ستتحرك الكتلتان في منطقة أفق تلامس الصخر بإتجاه متعاكس، وذلك بإمتداد الصدع أو الشق الذي ظهر.



شكل (3-2) تشكل البؤرة الزلزالية

وهكذا تظهر الحركة وتتهشم الكتل الصخرية وهذا يعني أن بؤرة الزلزال قد تكونت، ولا نرى في الشكل (3-3) حدوداً واضحة للشقوق، وفي الواقع حتى في أكثر الزلازل قوة يتوقف آجلاً أو عاجلاً تطور وتنامي الشقوق وكذلك يتوقف عن الحركة طرفا الصدع وقد يهدأ الصدع أو شق مئات بل آلاف السنين دون حركة[2].

لقد بقيت آراء (غ. ريد) مجرد نظرية زمناً طويلاً، ولكن فيما بعد وبعد إستخدام القياسات الجيوديزية (المساحية) الحديثة تبين أن الشق الصدعي المعاكس يبقى متحركاً مسافة معينة بعد إنتهاء الزلزال،

ولقد تم تحقيق مثل هذه القياسات منذ فترة زمنية وجيزة وتم التعرف عليها كذلك بوساطة تسجيلات ظاهرة تأرجح الأمواج الإهتزازية، ولقد قام بهذه العمليات البحاثة السوفييت بعد حصولهم على تسجيلات زلزال سان فرانسيسكو عام (1979)، وتبين أن ما جاء به (غ. ريد) صحيح وموثوق، ونرى حركة متعاكسة على طرفي الصدع كما أن شدة الزحزحة الكتلية تتناقص كلما أبتعدنا عن الصدع الأساسي، وفي جميع الحالات أن عملية تجدد الشق أوالصدع لن تظهر على السطح الخارجي، ولن تتشعب الشقوق عميقاً في جميع الإتجاهات لأن الكتل الصخرية المحيطة بالصدع لا تسمح بذلك، ولكن خلافاً لما ذكرناه يتوغل الشق عميقاً في باطن الأرض ولمسافة قد تبلغ عشرات بل مئات الكيلومترات، والآن يرد إلى الأذهان كيف يمكن أن تتشكل مثل هذه الشقوق الكبيرة ودون أن تظهر على السطح وتم توضيح ذلك بالمثال البسيط الموضح أدناه:

لو أخذنا كأس ماء ووضعنا في أسفله مادة فوارة لرأينا أن هزة خفيفة ستتم في أسفل الكأس وسيؤدي الأمر إلى ظهور شق في الكأس سيمتد مسافة معينة ثم يتوقف، مثل هذه الظاهرة تحدث في أعماق الأرض ودون أن تظهر على السطح، والخلاف بين الظاهرتين يتمثل في أن الأرض غير متجانسة المادة أي من الناحية الصخرية مما يظهر تعقيدات أكبر في أشكال الشقوق وطبيعة إنتشارها[2].

7-3 الموجات الزلزالية:

الموجات الزلزالية وبالإنجليزية (seimic wave) ساعدت الدراسات الجيوفيزيائية العلماء على معرفة طبيعة باطن الأرض وذلك في ضوء المشاهدات والإستنتاجات المستمدة من تأثير الزلازل والموجات الزلزالية، وتعتبر التسجيلات الزلزالية هي الطريقة الرئيسية والأكثر شيوعاً للكشف عن التركيب الداخلي للأرض حيث يتم إجراء تفجيرات (زلازل صناعية) تسبب حدوث إهتزازات خلال الصخور المختلفة على شكل موجات تعرف بالموجات الزلزالية، وتختلف هذه الموجات في سرعاتها وأطوالها وأشكالها حسب الوسط الذي تخترقه، ويؤدي تباين سرعتها إلى أن بعضها يسبق بعضها الآخر، وتسجل الموجات على جهاز السيزموجراف بترتيب وصولها نفسه، وهي تظهر على الجهاز على هيئة خط متعرج.

الموجات السيزمية:

1- موجات باطنية.
2- موجات سطحية[2].

تنتقل الموجات الباطنية وهي الموجات الأسرع خلال باطن الأرض بينما تنتقل الموجات السطحية وهي الأبطأ عبر سطح الأرض.

الموجات الباطنية تكاد تكون سبباً في حدوث معظم الدمار الزلزالي وهناك نوعان من الموجات الباطنية:

1- موجات تضاغطية.
2- موجات قص.

حيثما تنتقل الموجات خلال الأرض فإنها تؤدي إلى تحرك جسيمات الصخر بطرق مختلفة فتدفع الموجات التضاغطية الصخر وتسحبه وتؤدي إلى إنكماش وتمدد المباني والأبنية الأخرى، وتلوى موجات القص الصخر أو تجعله ينزلق من جانب إلى آخر كما أنها تهز المباني فتنتقل الموجات التضاغطية خلال المواد الصلبة والسوائل والغازات، أما موجات القص فإنها تنتقل خلال المواد الصلبة فقط[2].

تعتبر الموجات التضاغطية موجات سيزمية أكثر سرعة وهي الأسبق في الوصول إلى نقطة بعيدة، ولهذا فإنها تسمى الموجات الأولية، أما موجات القص فتنتقل ببطء وتصل متأخرة ولهذا فهي تسمى الموجات الثانوية.

تنتقل الموجات الباطنية في أعماق الأرض بسرعة أكبر من سرعتها بالقرب من سطح الأرض. فمثلاً تنتقل الموجات التضاغطية عند أعماق تقل عن (25 km) بسرعة (68 km/s)، بينما تنتقل الموجات القصية بسرعة (38 km/s) تنتقل الموجات عند عمق (1000 km) بسرعة تعادل ضعفاً ونصف الضعف من سرعتها العادية.

الموجات السطحية موجات طويلة بطيئة مسؤولة عما يحس به الناس من إهتزاز صخري بطيء، وهي لا تسبب دماراً وإنما تسبب خراباً طفيفاً، وهناك نوعان من الموجات السطحية:

1- موجات لف سطحية.
2- موجات رايلي السطحية.

تنتقل موجات لف السطحية بصورة أفقية خلال سطح الأرض وتحرك الأرض من جانب لآخر، أما موجات رايلي فإنها تجعل سطح الأرض يموج كأمواج المحيط وتنتقل موجات لف المثالية بسرعة (44km/s)، وتنتقل موجات رايلي الأبطأ بسرعة (37 km/s) وقد سمي هذان النمطان من الموجات بأسم أثنين من الفيزيائيين البريطانيين هما (أوغسطس لف ولورد رايلي) اللذان توقعا وجود هذه الموجات بطريقة رياضية وذلك عام (1885) و (1911) على التوالي[2].

- **الموجات الأولية:**

ويرمز لها بالرمز (p)، حيث تشير إلى كلمة ضغط (pressure) في الإنجليزية، وتعرف كذلك بالموجات الأولية (primary wave)، وهي أسرع الموجات وأولها وصولاً إلى جهاز السيزموجراف

وهي موجات تضاغطية (دفع وجذب) سريعة الإنتشار تنتقل خلال المواد الصلبة والسائلة، وتؤدي إلى ذبذبة الوسط الذي تخترقه في إتجاه سيرها نفسه وتتراوح سرعتها بين (5.6 – 13.8 km/s) وتزداد سرعتها كلما زاد العمق في باطن الأرض.

- **الموجات الثانوية:**

ويرمز لها بالرمز (s)، حيث تشير إلى كلمة قص (shear) في الإنجليزية، وتعرف كذلك بالموجات الثانوية (secondary wave)، وهي موجات إهتزازية سريعة ولكنها أقل سرعة من موجات الضغط ولذلك فهي تصل إلى جهاز السيزموجراف بعدها مباشرةً، والموجات القصية موجات مستعرضة وتنتقل فقط خلال المواد الصلبة، ويكون إهتزاز جزيئات الوسط عمودياً على إتجاه إنتشار الموجة وتتراوح سرعتها بين (3.2 – 7.4 km/s) وتزداد سرعتها كلما تعمقت في باطن الأرض، ولكنها تنكسر عند إختراقها لنواة أو لب الأرض بسبب إختلاف تركيبها وهذه الأمواج تنتقل بشكل عرضي في الوسط الصلب بسرعة (4 km/s) وتنتج من إنعكاسات الموجات الزلزالية بعد إصطدامها[2].

3-8 البؤر الزلزالية:

تسمى كل الشقوق المنبعثة في أعماق الأرض ببؤر الزلازل، وهذه الشقوق تستمر في إطلاق الأمواج الإهتزازية ما دامت عملية التشقق والتصدع مستمرة، ويمكن أن تسجل الأمواج هذه في مختلف أنحاء الأرض بواسطة أجهزة التسجيل الزلزالية، ولقد ساعدت عملية رصد الأمواج الإهتزازية وتسجيلها على ظهور ما يعرف بعلم الزلازل والإهتزاز الموجي (Seis mology)، ومن المعروف أن علم الإهتزازات قد أهتم لفترة طويلة بدراسة قوانين إنتشار وتوزع الأمواج الإهتزازية اللدنة في أعماق الأرض، بينما يدرس الآن بؤر الزلازل نفسها مستفيداً بذلك من الأمواج الإهتزازية الصادرة عن هذه البؤر[3].

وهكذا فإن بؤر الزلازل تمثل مساحة من الأرض في واقع أمرها ليست سوى منطقة تهدم وتكسر وتشقق في أعماق القشرة الأرضية، ونشير إلى أن الموضع الذي تتكون فيه بؤرة الزلزال في باطن الأرض يسمى (Hypocentre) أي المركز العميق، أما الموضع الذي يعلوه على سطح الأرض فيطلق عليه المركز السطحي أو (Epicentr) ويمثل موضع هذا المركز الذي تبلغ فيه قوة الزلزال أشد ما يمكن أي أنه مركز التدمير الأساسي، من هنا تظهر الشقوق الكثيفة والكبيرة الموجودة في باطن الأرض المكونة للبؤر الزلزالية فجأة ودون سابق إنذار ودون فترة تهيئة وتحضير مناسبة ومن ثم يظهر صدع أو شق هائل الإمتداد والعمق وطاقة حركية وإهتزازية كبيرة مدمرة تحدث الزلزلة، ولكن الأمر ليس بهذه البساطة، وذلك لأن الأرض المعقدة التركيب والظروف قد أوجد الإله لها ولسواها من الكواكب قوانين طبيعية غاية في الدقة[3].

1- قانون حفظ الطاقة:

الذي يهمنا في هذا القانون هنا أنه بالإمكان تحويل الطاقة من شكل ما إلى شكل آخر واحد فقط، فإذا ما حررت شفتا الصدع المتحركتان الطاقة التحريكية للطبقات الصخرية المتزحزحة فالأمرهو من أين جاءت هذه الطاقة مع العلم أن جزءاً من الطاقة صرف علي تحريك شفتي الصدع والجزء الآخر علي تهشيم وتكسير الصخور في منطقة تماس طرفي الصدع وأستنفدت عملية الإحتكاك الصخرية جزءاً من الطاقة أيضاً، وجزءاً منها ذهب إلى البؤرة الزلزالية نفسها، أما ما تبقى من طاقة فتحول إلى أمواج إهتزازية أصدرتها وشقتها البؤرة الزلزالية.

فعندما تتعرض الكتل والطبقات للإنثناء تتجمع وتتراكم فيها طاقة عظيمة كامنة هي طاقة الإنثناء أي الطاقة اللازمة للقيام بعملية التثني الصخري، أضف إلى ذلك أنه ستتعرض الطبقات الصخرية المتوترة إلى الإنضغاط والإنكماش ونتيجة لذلك ستختزن طاقة إضافية مهمة، إن قسماً من الطاقة الكامنة المخزونة في عملية الإنكماش والإنثناء تتحول إلى قوة تحريكية تدفع بالطبقات الصخرية ومن ثم تنطلق وبقوة فائقة الأمواج الإهتزازية إلى جميع الإتجاهات[3].

2- قانون السرعة القصوى الحدية لنقل الإشارة:

من المعروف إلى الآن أنه لا توجد في الطبيعة سرعة أكبر من سرعة الضوء وذلك في الأوساط التي يمكن للضوء أن يخترقها، ومن المعروف أن سرعة الضوء تصل إلى (3×10^5 km/s)، ومثل هذه السرعة نراها بالنسبة للتذبذبات الكهرومغناطيسية إلا أننا في الطبيعة نصادف ذبذبات من أنواع أخرى، مثل الجبهة التموجية للطاقة الناجمة عن التفاعلات الكيميائية والإنفجارات، أما بالنسبة للتذبذبات الحركية (ميكانيكية) فإن السرعة القصوى للحركة أقل من السابق بكثير وأي عملية حركية في الجسم الصلب (صخور) ومن ضمنها عملية إنشقاق وإنغلاق الصخور لن تتعدى سرعة ذبذباتها سرعة الصوت، ولن تزيد سرعة إنغلاق الكتل الصخرية على (4 km/s)، وهكذا يمكن القول إن شقاً طوله بضع عشرات أو مئات من الكيلومترات لا يمكن أن يتكون في لحظة واحدة بل يحتاج إلى فترة زمنية أكبر من ذلك، ويمكن لمثل هذا الشق العظيم أن يعد ويتشكل ويشع (يطلق) الأمواج الإهتزازية. ففي بداية السبعينيات من هذا القرن وفي آن واحد تقريباً صنع نموذجان فيزيائيان لعملية تشكل الشقوق في الصخور[3].

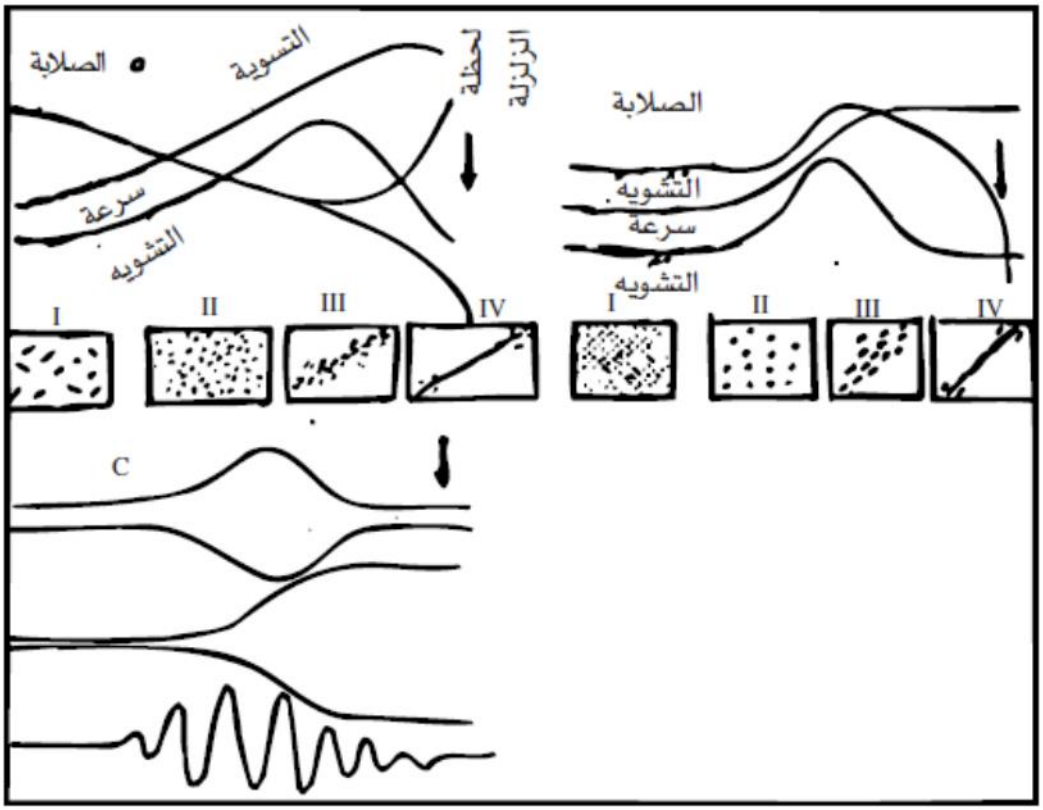
الأول: النموذج الإنهيالي غير الثابث لتشكل الشقوق ويرمز له بالحروف (L.N.T) وذلك على يد بعض العلماء السوفييت مثل ب. ف. كستروف، وأ.سابوليف، وغ.شامينا.

الثاني: النموذج (D.D.MOD) الذي وضعه العلماء الأمريكيون (النموذج الإنتشاري).

يمر في النموذجين تشكل الشقوق ببعض المراحل: فحسب (L.N.T) (النموذج الإنهيالي) وبتأثير من التوتر الأرضي المستمر والطويل يظهر الإجهاد في مقاومة الصخور ويبدأ عدد كبير من الشقوق

الصغيرة بالظهور وما دامت غير مرتبطة ومتصلة مع بعضها البعض نجد أن عددها في وحدة الحجم يتزايد بإطراد، ولكن لا تلبث أن تأتي اللحظة التي تبدأ فيها التشققات بالتحسس بالشقوق المجاورة، وتظهر الشقوق المتوازية المترابطة وكأنها يساند بعضها البعض، أما المتعامدة معها فتبدو وكأنها تعاكسها وتحد من إنتشارها[3].

وبعد ذلك يتزايد عدد الشقوق بسرعة وبشدة نتيجة ظاهرة الإنهيال والإنهيار (Lavin)، وفي مثل هذه الظروف ليس بإمكان الشقوق الظهور في كل وحدة حجم فتبدأ بالتجمع والتمركز في أشرطة أو آفاق ضيقة، أما في بقية أجزاء وحدة الحجم فتتوقف الشقوق عن التطور والتزايد وتموت، ويؤدي هذا الأمر جزئياً إلى تزايد في صلابة ومقاومة وحدة الحجم بشكل عام ولكن في أماكن تمركز الشقوق تظهر شرائح صخرية قليلة المقاومة، وهنا تعد الظروف لحدوث إنشطار أساسي وكبير وبالطبع تتناقص مقاومة الصخور هنا إلى أدنى حد لها، وفي ختام هذه المرحلة تلتحم الشقوق التي كانت متمركزة شريطياً وبسرعة كبيرة في شق واحد فتشق وتنغلق الصخور هنا بعنف وبعمق وبسرعة، وهكذا تظهر بؤرة الزلزال، ويتحرك طرفا الصدع بحرية ويتقدم الشق إلى الأمام بنفس السرعة إلى أن تنتهي ساحة التوتر الأرضية في منطقة البؤرة، أو أن الصدع يرتطم بكتلة صخرية شديدة الصلابة فيتوقف التشقق الأرضي شكل (3-3)[3].



الشكل (3-3) نموذج البؤرة الزلزالية

يوضح الشكل (3-3) ظهور البؤرة حسب معطيات الصين الشعبية

مراحل النموذج L.N.T- A	مراحل النموذج (D.D)-B)
I- تشقق متماثل	I- وضع متوتر
II- بدء تفاعل الشقوق	II- ظهور الشقوق
III- توسع الشقوق	III- ملء الشقوق بالماء
IV- تشكل الشق (البؤرة)	IV- تشكل الشق (البؤرة)

أما بالنسبة للنموذج (D. D. Mod) فان العمليات تتم بشكل مغاير لما سبق والدور الأساسي في عملية تكون البؤر الزلزالية إنما يرجع للتأثير المتبادل بين الكتل والمواد الصخرية والشقوق والماء الموجود في هذه الشقوق ففي المرحلة الأولى نرى شقوقاً صغيرة مجهرية إلا أن كل ما نجده هو ساحة توتر لدنة تظهر فيها لاحقاً شقوق مجهرية دقيقة إلا أنها شقوق بتر وفصل للصخور وليست شقوق دفع وزحزحة وتقدم كما في النموذج (L.N.T) ونتيجة لظهور الشقوق نرى حدثاً غير طبيعي فعندما تزداد فعالية المؤثرات الخارجية نجد أن حجم الصخور والمواد لا ينكمش أو يتناقص بل إنه بدلاً من ذلك يزداد بسبب تزايد سعة الشقوق والمسام[3].

ونتيجة لذلك تزداد الصخور جفافاً لأنه لم يعد بإمكان المياه التي كانت سابقاً تشغل كل المسام والشقوق التي إزداد حجمها، ويتناقص الضغط المسامي الصخري وتزداد المقاومة العامة للكتل الصخرية التي إزداد جفافها.

ولكن فيما بعد يبدأ تأثير نوع من العمليات:

1- إستمرار تزايد شدة التوتر الخارجي، وفي نفس الوقت تأخذ مقاومة الصخور بالتناقص مترافقة مع :
2- عملية ملء المسام بالماء بواسطة ظاهرة الإنتشار الفيزيائية، وعندما تهبط مقاومة الصخور وتماسكها إلى حدودها الدنيا يتشكل شق كبير في الصخر مكوناً بذلك البؤرة الزلزالية التي تبث وتطلق الطاقة الإهتزازية الموجبة كما في النموذج (L.N.T).

ونشير ختاماً إلى أن النموذجين المذكورين معتمدان الآن عالمياً في عمليات التنبؤ بالزلازل والتعرف على طريقة تشكلها[3].

3-9 دراسة الزلازل:

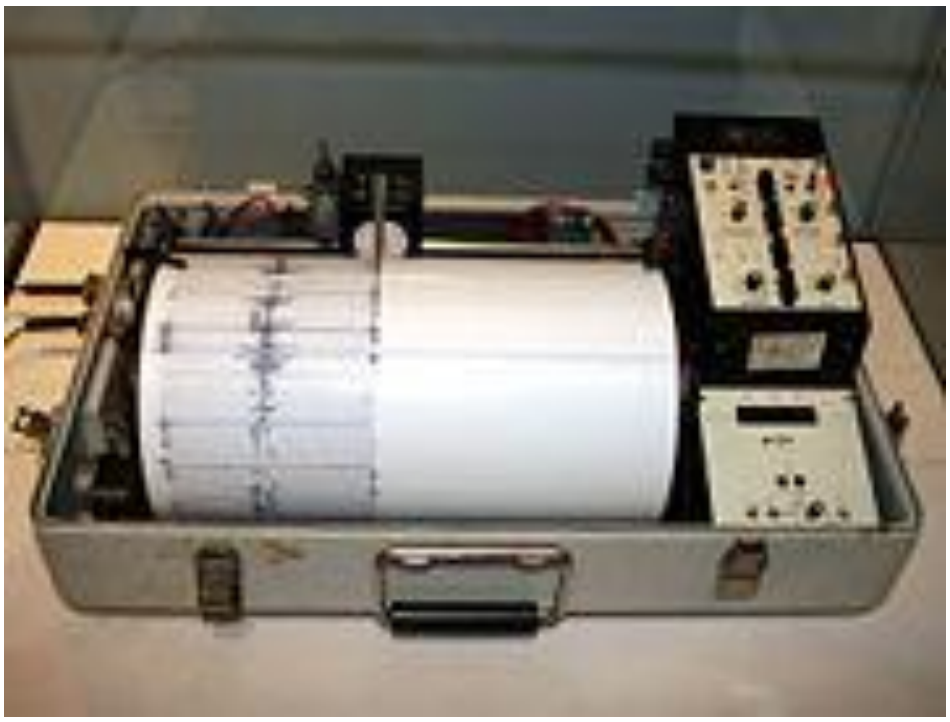
من أجل تسجيل قوة الزلازل وتحديد مواقع الزلازل، يستعمل العلماء آلة تسجيل تسمى مرسمة الزلازل (سيزموجراف) شكل (3-4)، ويزود مسجل الزلازل بلواقط حساسة تسمى مقياس الزلازل تستطيع رصد حركة الأرض الناجمة عن الموجات السيزمية الصادرة من الزلازل القريبة والبعيدة. تكون بعض مؤشرات الزلازل قادرة على رصد حركة الأرض إلى حدود واحد من مائة مليون من السنتميتر.

يقيس علماء الزلازل حركات الأرض السيزمية في ثلاثة إتجاهات:

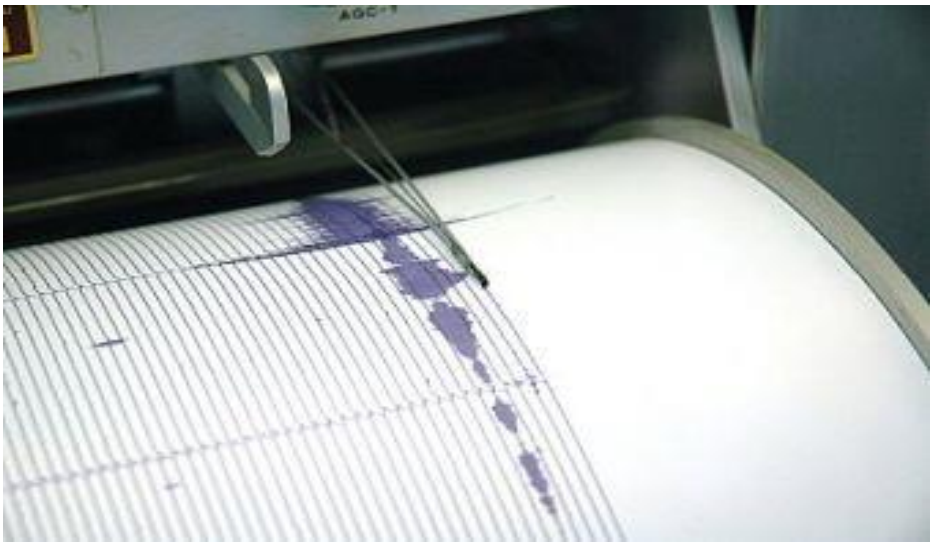
1- من أعلى إلى أسفل.
2- من الشمال إلى الجنوب.
3- من الشرق إلى الغرب.

ويستعمل العلماء لاقطاً حساساً منفصلاً لتسجيل كل إتجاه من إتجاهات حركة الأرض.

يرسم مسجل الزلازل خطوطاً متموجة تعكس حجم الموجات السيزمية التي تسري تحته وتسجل الموجة برسمها على ورق شكل (3-5) أو على شريط تسجيل أو بتخزينها وعرضها بالحاسبات الأولية[2].



شكل (3-4) مقياس ريختر



شكل (3-5) الموجات الزلزالية المسجلة علي مقياس ريختر

قد يكون مقياس ريختر الموضعي للقدر الزلزالي من أحسن ما يستعمل لقياس شدة الزلازل، وقد طور هذا المقياس عام (1935) عالم الزلازل الأمريكي تشارلز ريختر، يقيس هذا المقياس المعروف بمقياس ريختر حركة الأرض التي يسببها الزلزال، وتعنى كل زيادة بمقدار رقم واحد (تدريج واحد) على مقياس القدر الزلزالي أن الطاقة التي يطلقها زلزال تبلغ 32 ضعفاً مثال ذلك أن زلزالاً ذا قدر زلزالي مقداره (7 درجات) يطلق 32 ضعفاً من الطاقة التي يطلقها زلزال ذو قدر زلزالي مقداره (6 درجات). وزلزال مقداره أقل من 2 يعتبر زلزالاً خفيفاً إلى درجة أن الإحساس به لا يحصل إلا على مؤشرات الزلازل فقط. كما أن زلزالاً ذا قدر زلزالي بلغ (7 درجات) يمكن أن يدمر عدداً كبيراً من المباني، ويزداد قدر الزلزال 10 أضعاف عند نقصان رقم واحد (تدريج واحد) في مقياس (ريختر) للقدر الزلزالي، فمثلاً عدد الزلازل ذات القدر الزلزالي 6 تعادل 10 أضعاف عدد الزلازل ذات القدر الزلزالي 7[2].

تسجل زلازل كبيرة على مقياس ريختر بشكل عادي، ولكن العلماء يفضلون وصف الزلازل ذات القدر الزلزالي البالغ أكثر من (7 درجات) بإستعمال مقياس العزم الزلزالي، يقيس مقياس العزم الزلزالي هذا مجمل الطاقة التي يطلقها الزلزال كما أنه يصف الزلازل الكبيرة بدقة أكبر مما يفعل مقياس ريختر.

أكبر زلزال سجل على مقياس العزم الزلزالي، بلغ قدراً زلزالياً مقداره (9.5 درجة)، وكان هذا الزلزال زلزالاً بين الصفائح وقع على إمتداد سواحل المحيط الهادئ في تشيلي في أمريكا الجنوبية عام (1960) وبلغت شدة زلزال سومطرة في عام (2004) (9.8 درجة) وأكبر زلزال داخل الصفائح معروف هو ذلك الذي ضرب وسط آسيا والمحيط الهندي أعوام (1905) و (1920) و(1957) وتراوح العزم الزلزالي لهذه الزلازل بين (8 درجات) و(8.3 درجة).

يستطيع العلماء تحديد مواقع الزلازل بالإعتماد على قياس الزمن الذي تستغرقه الموجات الباطنية حتى تصل إلى مرسمات الزلازل الموضوعة في ثلاثة أماكن مختلفة على الأقل[2].

10-3 تصنيفات الزلازل:

1- الضحلة وتحدث على عمق أقل من (100 km).
2- متوسطة وتحدث على عمق أقل بين (100 – 300 km) .
3- عميقة وتحدث على عمق أقل بين (270 – 300 km)[2].

11-3 أنواع الزلازل:

1- التكتونية: وهي تشكل 90% من الهزات ومساحتها واسعة، وتحدث بصورة فجائية في المناطق التي تتعرض للإنكسار أو التصدع، ولذا يرتبط حدوث هذه الزلازل بمناطق الإنكسارات، وهذا النوع هو أكثر الزلازل شيوعاً وإنتشاراً.
2- البركانية: وتحدث بالقرب من البراكين ومساحتها ليست بالكبيرة، وهي التي ترتبط هزاتها بالهزات الناجمة عن إنبثاق اللابة من فوهات البراكين.
3- التحتية: وتحدث بسبب الفراغات والجيوب الموجودة في القشرة الأرضية وفي المغاور وهي قليلة.
4- الإصطناعية: وتحدث بسبب الإنفجارات العسكرية وغيرها.
5- بلوطية: وهي التي توجد مراكزها على أعماق سحيقة في باطن الأرض ولا تحدث إطلاقاً في قشرة الأرض السطحية.

ويصنف الإختصاصيون الهزات بحسب قوتها إلى عقد من (12 – 1) وهي مدمرة بشكل قوي وتغير التضاريس ومجاري الأنهار وتشكل البحيرات[2].

12-3 نظريات الطبقات التكتونية:

في الستينيات من القرن العشرين الميلادي أقترح علماء الأرض نظرية تكتونية تضمنت فكرتين سابقتين هما الزحف القاري وتيارات الحمل، ويعتقد معظم علماء الأرض أن تيارات الحمل هي التي تخلق القوة التي تحرك الطبقات العملاقة، وعملاً بهذه النظرية فإن تيارات الحمل التي توجد في غلاف الأرض تحمل الصخر المنصهر من الغلاف الطيع إلى أعلى والصخر المنصهر في صعوده يضيق إلي قاع المحيط في بعض تلال المحيط. وتيارات الحمل الحراري التي توجد في الصخور تحمل الطبقة القشرية المكونة حديثاً على الغطاء الخارجي بعيداً عن تلال المحيط كأنما هي محمولة علي السير الناقل، وقد رفض بعض العلماء الأجزاء المختلفة لنظرية تيارات الحمل هذه بل أن علماء آخرين يطالبون بالبرهان الدال على وجودها نفسه وعلى أنها تنتج القوة الهائلة الكافية لتحريك الطبقات الأرضية[2].

طور العلماء نظرية تدعى حركية الصفائح القارية وهي تفسر سبب وقوع معظم الزلازل، وحسب هذه النظرية فإن قشرة الأرض الخارجية تتألف من حوالي عشرة صفائح كبيرة صلبة وحوالي عشرين صفيحة أصغر حجماً، تتألف كل صفيحة من قطاع من قشرة الأرض وجزء من وشاح الأرض، والأخير هو طبقة سميكة من مصهور صخري حار نامٍ وطري ويوجد في الوشاح، ولدى تحرك الصفائح فإنها قد تتصدم مع بعضها البعض أو أنها تتباعد عن بعضها البعض أو أن تنزلق إحداها فوق الأخرى[2].

تؤدي حركة الصفائح إلى إجهاد الصخور على حدود إلتقاء الصفائح بعضها ببعض وتشكيل نطاق صدوع حول حدود الصفائح هذه وقد تحشر الصخور في مكان ما على طول إمتداد بعض الصدوع بحيث لا تستطيع الإنزلاق عند تحرك الصفائح، وهكذا يتولد جهد في الصخور الواقعة على جانبي الصدع يؤدي إلى تكسرها وزحزحتها على هيئة زلزال. هناك ثلاثة طرز من الصدوع:

1- صدوع عادية.
2- صدوع معكوسة.
3- صدوع إنزلاقية.

في الصدوع العادية والمعكوسة ينحدر الكسر الحاصل في الصخر إلى أسفل كما تتحرك الصخور إلى أعلى أو أسفل على طول الكسر، وفي الصدع العادي تنزلق كتلة الصخر في الجانب العلوي من الكسر إلى أسفل، أما في الصدع المعكوس فيكون الصخر على جانبي الصدع مضغوطاً بشكل كبير، وإن قوى الضغط تؤدي إلى إنزلاق كتلة الصخر العليا إلى أعلى وإلى رمي كتلة الصخر السفلى إلى أسفل، وفي صدع المضرب يمتد الكسر مستقيماً أو تنزلق الكتل الصخرية على إمتداد الكسر الواحد منها بإزاء الآخر بشكل أفقي.

تقع معظم الزلازل في نطاق الصدوع على حدود الصفائح القارية وتعرف مثل هذه الزلازل (الزلازل بين الصفائح)، كما تقع بعض الزلازل الأخرى في داخل جسم الصفيحة ذاتها وتسمى في هذه الحال الزلازل داخل الصفيحة[2].

الزلازل بين الصفائح، وتقع على إمتداد أنماط ثلاثة حواف الصفائح القارية وهي:

1- حيد إتساع قيعان المحيطات.
2- نطاق الغوص.
3- صدوع تحولية.

حيد إتساع قيعان المحيطات. هي أماكن في قاع أحواض المحيطات العميقة، حينما تتحرك صفائح مبتعدة عن بعضها البعض. لدى إنفصال الصفائح بعضها عن بعض تصعد اللابة الساخنة القادمة من الوشاح وتنحشر بين الصفائح، تبرد اللابة تدريجياً وتتقلص وتتشقق محدثة صدوعاً، وتكون معظم الصدوع المتشكلة صدوعاً عادية، وعلى طول إمتداد الصدوع تتكسر كتل من الصخر وتنزلق إلى أسفل بعيداً عن الحيد الجبلي في قاع المحيط وتحدث زلزالاً وتكون الصفائح بالقرب من الحيود الجبلية المحيطية رفيعة وضعيفة كما يكون الصخر ساخناً لم يبرد بعد ولا يزال مرناً قابلاً للإنشاء إلى حد ما، ولهذه الأسباب فإنه لا تتشكل إجهادات كبيرة في الصخر، وتكون معظم الزلازل التي تقع بالقرب من حيد قيعان المحيطات ضحلة متوسطة إلى بالغة العنف[2].

نطاق الغوص حدود تصادم صفيحتين حيث تدفع حافة صفيحة تحت حافة صفيحة أخرى في عملية تسمى الغوص أو الإندساس، وبسبب قوى الكبس على هذه النطق فإن العديد من الصدوع الحادثة تكون صدوعاً معكوسة ويقع حوالي 80% من الزلازل في نطق غوص تحلق أو (تحيط) المحيط الهادئ أسفل الصفائح الحاملة للقارات، بسبب إنسحاق الصفائح المحيطية الأكثر برودة والقابلة للتكسر تحت الصفائح القارية وتكون إجهادات عظيمة تنطلق على هيئة زلازل عالمية كبيرة. تقع أعمق الزلازل العالمية عند نطق غوص على عمق حوالي (700 km) ، وتحت هذا العمق يكون الصخر ساخناً ولزجاً بحيث لا يمكن تكسره فجأة وإحداث زلزال.

صدوع تحولية وهي أماكن إنزلاق الصفائح الواحدة إزاء الأخرى أفقياً، وتقع صدوع إنزلاق مضربية هناك أيضاً. قد تكون الزلازل الواقعة على إمتداد الصدوع التحولية كبيرة، لكنها لا تكون بكبر أو عمق الزلازل على نطق الغوص.

أحد أعظم الصدوع التحولية شهرة هو صدع أندرياس حيث حدثت الإنزلاقات التي حركت صفيحة المحيط الهادئ فوق صفيحة أمريكا الشمالية، ويعتبر صدع أندرياس والصدوع الأخرى المصاحبة له سبباً في معظم الزلازل في كاليفورنيا.

الزلازل داخل الصفائح، ليست شائعة ولا كبيرة مثل تلك الزلازل التي تقع على طول حدود تلك الصفائح، أكبر هذه الزلازل يكون أصغر مائة مرة من الزلازل بين الصفائح الكبيرة، تميل الزلازل داخل الصفيحة إلى الوقوع في المناطق الضعيفة الهشة من داخل الصفيحة ويعتقد العلماء أن الزلازل داخل الصفيحة تنتج عن إجهادات تطبق على داخل الصفيحة من جراء تغيرات الحرارة والضغط داخل الصخر، كما قد يكون مصدر الإجهاد موجوداً على حدود صفيحة قارية بعيده، قد تؤدي هذه الإجهادات إلى وقوع زلازل على طول إمتدادات الصدوع العادية والمعكوسة وصدوع الإنزلاق المضريبة[2].

13-3 الزحف القاري:

وقادت هذه النظرية الجديدة كثيراً من العلماء للإستنتاج بأن قشرة الأرض الخارجية والمسماة بالليثوسفير تشتمل على عدد من الطبقات الصلبة، وأن بعض هذه الطبقات لا تتبع الحدود القارية، بل إن بعضها يضم كلاً من القارات والمحيطات، وتبلغ سماكة قشرة الأرض الخارجية حوالي 150– 70) (km ، ويبدو أنها في حالة حركة دائمة وتنزلق طبقات الليثوسفير ببطء على طبقة بلاستيكية لينة من صخور أسمها الغلاف الطيع، وتتحرك الطبقات لمسافة (10 cm – 1.3) سنوياً، ويبدو أن النشاط التكتوني يحدث أساساً على إمتداد أطراف الطبقات، وإذا ضغطت إحدى الطبقات على الأخرى فإن الطبقة المضغوطة إما أن تتجعد لتكون الجبال، أو تنتمي إلي أسفل داخل الوشاح وهي الطبقة التي تأتي

بعد القشرة وفوق جوف الأرض، وهذه الطبقات المثنية إلى أسفل والمسماة مناطق الطرح تولد الزلازل والنشاط البركاني، وهناك طبقتان من الأرض تنتشران مبتدعتين عن بعضهما البعض وتشكلان أرضيات المحيط وسلسلة جبال طويلة تحت الماء تسمى الحيود المحيطية، وتحدث الزلازل الكبرى والشقوق في غطاء الأرض الخارجي عندما تنزلق طبقتان نحو بعضهما وتسمى هذه الشقوق الصدوع، وبعض ظواهر قشرة الأرض الرئيسية تحدث على أطراف طبقات الليثوسفير، ومثل هذه الظواهر تضم الجبال وأخاديد قاع المحيط، وسلاسل تلال المحيط، والبراكين، والجزر البركانية المسماة أقواس الجزر[2].

14-3 نظريات أخرى:

أعتقد بعض علماء الأرض لفترة ما أن الأرض بدأت في شكل كرة منصهرة وأنها ظلت في حالة تبريد منذ ذلك الزمان ومع البرودة إنكمشت الأرض، وهذا الإنكماش هو الذي أنتج القوى التكتونية، ويعتقد علماء أخرون أن الأرض بدأت مثل كتلة باردة تدفأت بحرارة المواد المشعة التي في داخل الكوكب ومع الحرارة التي إكتسبتها الأرض تمددت وخلقت القوة التي شققت غطاء الأرض إلى كتل كبيرة وهذه الكتل الكبيرة أصبحت هي القارات وما بينها أصبح أحواض المحيطات[2].

15-3 التنبؤ بوقوع الزلازل:

يستطيع العلماء توقع ومعرفة مواقع الزلازل لإحتوائه على العديد من البراكين والزلازل ونشاطات جيولوجية أخرى.

يعمل العلماء على إصدار نشرة دقيقة عن توقع زمن حدوث الزلازل في المستقبل ويتابع الجيولوجيون بدقه نطق صدوع معينة يتوقعون حدوث زلازل عندها وعلى إمتداد نطق الصدوع هذه يرصد العلماء زلازل صغيرة وتخلعات وميلان في الصخور وحوادث أخرى تشير كلها إلى أن زلزالاً كبيراً على وشك الوقوع[2].

16-3 أشهر الزلازل خلال القرن الماضي:

1- ديسمبر 1999: في الأيام الأخيرة من القرن العشرين حدث زلزال شدته (5.8 درجة) ضرب مناطق غرب الجزائر وقتل 28 شخصاً وأصيب 175 آخرين.
2- نوفمبر 1999: ومع أفول القرن أيضاً تتعرض تركيا مرة أخرى لزلزال عنيف تزيد قوته على (7 درجات) يؤدي بأرواح أكثر من 54 شخصاً[4].

3- سبتمر 1999: أعنف زلزال يضرب تايوان تبلغ قوته (7.6 درجة) على مقياس ريختر، وأدى إلى مقتل 1500 شخص وإصابة وتشريد آلاف آخرين.
4- سبتمبر 1999: هزة أرضية وقعت في اليونان وتبلغ شدتها (5.9 درجة) بمقياس ريختر، ومركزها بالقرب من أثينا أدت الهزة إلى مقتل 49 شخصاً.
5- أغسطس 1999: زلزال مروع تتراوح قوته بين (7-6.8 درجة) بمقياس ريختر يهز شمال غربي تركيا مسبباً عشرات الآلاف من القتلى والجرحى.
6- مارس 1999: زلزالان هزا أتار براديش في شمال الهند وأديا إلى مقتل أكثر من 100 شخص.
7- يناير 1999: هزة أرضية في مدينة أرمينية الكولومبية قتلت نحو 1000 شخص.
8- يوليو 1998: قتل أكثر من 1000 شخص في الساحل الشمالي الغربي في بابوا غنينا الجديدة بفعل الأمواج التي سببها زلزال وقع تحت سطح البحر.
9- يونيو 1998: هز زالزال منطقة أضنة في جنوب شرقي تركيا مما أدى إلى مقتل 144 شخصاً، وبعد أسبوع من ذلك شهدت المنطقة هزتين إرتداديتين سببت جرح أكثر من 1000 شخص.
10- مايو 1998: زلزال في أفغانستان يقتل 4000 شخص.
11- فبراير 1997: زلزال بقوة (5.5 درجة) بمقياس ريختر يهز المناطق الريفية في شمال غربي إيران ويقتل 1000 شخص، وبعد ثلاثة أشهر وقعت هزات عنيفة أدت إلى مقتل 1560 في شرق إيران.
12- مايو 1995: زلزال بقوة (7.5 درجة) يضرب جزيرة ساخالين الروسية النائية ويقتل 1989 شخصاً.
13- نوفمبر 1995: زلزال يضرب منطقة الشرق الأوسط مركزه في خليج العقبة ويشمل مناطق الساحل السياحية في مصر إضافة للأردن وإسرائيل والمملكة العربية السعودية وشعر به سكان لبنان وسوريا وقبرص.
14- يناير 1995: زلزال يهز مدينة كوبي اليابانية ويؤدي إلى مقتل 6430 شخصاً.
15- يونيو 1994: مقتل 1000 شخص في زلزال وإنزلاقات أرضية في كولومبيا شكل (3-6) و(3-7).
16- سبتمبر 1993: زلزال يؤدي إلى مقتل نحو 22000 قروي في جنوب وغرب الهند.
17- أكتوبر 1992: زلزال بقوة (5.8 درجة) يضرب مصر ويؤدي إلى مقتل نحو 370 وإصابة أكثر من 3000 شخص كان مركزه جنوبي القاهرة بالقرب من الفيوم والجيزة التي ضربت بعنف[4].

18- 1990: مقتل أكثر من 40000 شخص في منطقة غيلان شمال إيران.

19- أكتوبر 1989: زلزال لوما بريتا يضرب كاليفورنيا ويسبب مقتل 68 شخصاً ويلحق أضراراً بقيمة سبعة ملايين دولار.

20- ديسمبر 1988: زلزال بقوة (6.9 درجة) على مقياس ريختر يدمر شمال غربي أرمينيا ويقتل 25000 شخص.

21- سبتمبر 1985: زلزال عنيف يهز العاصمة المكسيكية يدمر المباني ويقتل 10000 شخص.

22- أكتوبر 1980: زلزالان عنيفان متتاليان الأول بقوة (7.3 درجة) والثاني بقوة (6.3 درجة) حسب مقياس ريختر، يضربان مدينة الأصنام في غرب الجزائر ويؤديان إلى مقتل نحو 3000 شخص ويدمران معظم أجزاء المدينة.

23- 1980: مقتل المئات في هزات أرضية في مناطق جنوب إيطاليا.

24- 1976: تحولت مدينة تانغشان الصينية إلى أنقاض بفعل زلزال أتى على أرواح 500000 شخص.

25- 1960: أقوى زلزال على النطاق العلمي سجل في تشيلي، وبلغت قوته (9.5 درجة) على مقياس ريختر، وقد أزال عن وجه الأرض قرى بكاملها وقتل الآلاف من البشر.

26- 1954: زلزال ضرب مدينة الأصنام الجزائرية التي كان أسمها آنذاك أورليانزفيل وقتل 1657 شخصاً.

27- 1950: زلزال عنيف ضرب ولاية آسام شمال شرقي الهند. أدت الهزات إلى تسجيل مستويات مختلفة الشدة إلا أنها سجلت رسمياً (9 درجات) بمقياس ريختر.

28- 1948: زلزال فوكوي في شرق بحر الصين دمر مناطق غرب اليابان وقتل 3770 شخصاً.

29- 1931: زلزال شدته (5.5 درجة) بمقياس ريختر مركزه ساحل بحر الشمال في بريطانيا لكن كانت الخسائر بالأرواح قليلة.

30- 1923: زلزال كانتو ومركزه خارج العاصمة اليابانية مباشرة، يحصد أرواح 142000 شخص في طوكيو.

31- 1906: سلسلة من الهزات العنيفة مدتها دقيقة واحدة ضربت سان فرانسيسكو في الولايات المتحدة وقتلت نحو 3000 شخص بسبب إنهيار المباني أو بسبب الحرائق[4].

شكل (3-6) زلزال و إنزلاقات أرضية في كولومبيا

شكل (3-7) زلزال كولومبيا

الفصل الرابع

نواتج الزلازل

4-1 مقدمة:

في هذا الفصل تمت دراسة أعراض حدوث الزلازل وتحدثنا عن البراكين من كيفية حدوثها إلي أنواعها وذكرنا فوائد كل من الزلازل والبراكين بالإضافة إلي ما يلزم فعله قبل وأثناء وبعد الزلزال.

4-2 أعراض حدوث الزلازل:

1- حدوث إضطرابات جوية أو عواصف تعقبها فترة هدوء.
2- سقوط أمطار غزيرة.
3- إحمرار قرص الشمس.
4- سماع أصوات من داخل الأرض.
5- زيادة الأبخرة في الجو لدرجة كبيرة.
6- الشعور بدوار في الراس[7].

4-3 مظاهر مرتبطة بالزلازل:

إن المظاهر المرتبطة بالهزات الأرضية متنوعة وتعتبر نتاجاً لها، ومن أبرزها تخريب وتشويه الساحتين المغناطيسية والكهربائية، وكثيراً ما ترافق الزلازل مظاهر ضوئية وصوتية إضافة إلى حركات موجية عارمة في البحار والمحيطات، وتؤدي الزلزلة في أغلب الأحيان إلى إنهيالات وإنزلاقات وإنجرافات صخرية، كما تعمل على تغيير المظهر الخارجي لسطح الأرض بل وتؤثر في المياه الباطنية والسطحية، وفي بعض الحالات قد تتسبب في ظهور أو تجدد البراكين[3].

وسنستعرض الآن أبرز هذه المظاهر وهي:

1- **الهزات الطلائعية والرادفة:**

في كل الظروف الزلزالية تقريباً تلي الهزة القوية الأولى الأساسية، سلسلة من الهزات اللاحقة أو الرافعة (After - Shock) التي كثيراً ما تكمل المهمة التخريبية التي قامت بها الهزة الأولى الأساسية، وليس من النادر أن تكون بعض الهزات هذه أكثر شدة من الأولى، فمثلاً في زلزال نيو مدريد في أواسط الولايات المتحدة لوحظ أن بعض الهزات الرادفة لم تقل شدة وتحطيماً عن الأولى، وبشكل عام هذه الهزات أضعف ولكنها متكررة كثيراً، وفي أغلب الأحيان تمثل مراكز أو بؤر الهزات

الرادفة جيوباً ثانوية تختزن فيها الطاقة التي تتحرر بعد الهزة الأولى الأساسية، ويميز علماء الزلازل ظاهرة مناقضة لما سبق، أي أن الهزة الأساسية الأولى تسبقها هزات ضعيفة تعرف بالهزات الطلائعية أو (Fore - Shock).

لقد رصدت مثل هذه الهزات قبيل زلزال أغادير المدمر (1960) في المغرب العربي، ولو تم الإنتباه جيداً لها لتدنى عدد الضحايا البشرية كثيراً عما حصل في الواقع، ولكن كثيراً ما لا يهتم الناس بمثل هذه الهزات خاصة في مناطق حدوث الزلازل لأنها كثيرة الحدوث، ومما يزيد من حيرة علماء الزلازل والناس أنه من الصعب تحديد أي الهزات أساسي وأيها الطلائعي، فمثلاً في زلزال التشيلي المدمر (1960) كانت الهزة الأولى شديدة القوة ولقد ظنها الكثير هزات طلائعية، ومع ذلك فإن الهزات التي تكررت في اليوم التالي كانت أقوى من الأولى بعشرين مرة تقريباً، وعليه تعتبر الهزة الأولى طلائعية والهزات القوية التالية هزات رادفة وهكذا نرى صعوبة التمييز في بعض الحالات ما بين الهزات الطلائعية والأساسية والرادفة، ولعله من الأفضل أن نفكر بالعواقب الوخيمة التي تنجم عن هذه الهزات سواء كانت أساسية أم طلائعية أم رادفة[3].

2- ظاهرة الضوء والصوت:

يشاهد الناس في كثير من الحالات قبيل وقوع الزلزال وحتى أثناء وقوعها ضوءاُ أخضر يميل للصفرة في أماكن معينة في الجو فوق المرتفعات ذات القمم الحادة، كما ترى فوق الأبنية العالية أو المآذن أو أبراج الكنائس.... إلخ، وقد يظهر الضوء على شكل هالة مشعة ويشبه وميض البرق أحياناً وقد يضارع في إشعاعه الشفق القطبي (أورورا)، وهكذا رأى سكان مدينة عشقباد عاصمة جمهورية تركمانستان إشعاعاً وهاجاً فوق جبال كيبيت داغ المطلة على المدينة، وذلك أثناء حدوث زلزال عام (1948).

كما شاهد الناس الإشعاعات البرقية في زلزال ألمانيا لعام (1911)، ويعتقد أن لهذه المظاهر الضوئية إرتباطاً بالحالة التي تعيشها الكهرباء الجوية في ظروف الزلازل، وقد يكون سبب وجودها تبدل وتغير النظام الحراري بشكل فعال فوق مناطق البؤر الزلزالية، إذ إنه نتيجة لإحتكاك كميات كبيرة من الجزئيات الهوائية إحتكاكاً كبيراً ترتفع حرارة هذه الجزئيات كثيراً فتنتشر في الجو على شكل شرارة مخيفة، وقد يكون لخطوط الكهرباء الموجودة في مناطق الزلازل دور في هذه الظواهر[3].

كثيراً ما يبلغ حين وقوع الزلازل عن سماع أصوات وهدير عميق أو ضجيج مخيف، ومثل هذه الأصوات قد يكون مردها إلى تكسر الأبواب والنوافذ والأشجار وخاصة في الغابات أو بسبب الإنهيارات الكبيرة في المدن وفي المناطق الجبلية، ولكن لوحظ أن بعض الأصوات تسمع قبل وقوع الزلزال وبعضها يرافقه والآخر بعدها، وفي حالات نادرة تسمع الأصوات ولا تقع الهزات الأرضية وفي سنة (1935)، وقرب مدينة تيميسكا مينغ الواقعة في مقاطعة كيوبيك في كندا ذكر سماع صوت

قبل حدوث الهزة الارضية، ويشير ذلك إلى أن الموجة الصوتية قد سبقت في قدومها الأمواج الإهتزازية ولقد سمع بهذه الحالات كثيراً فهي ليست بشيء مختلف.

إن سبب الأصوات على ما يبدو أنه يظهر وسط الصخور الصلبة أمواج إهتزازية ذات فترات دورية قصيرة جداً ولكنها ذات ذبذبات سريعة وكبيرة، فعندما تصل إلى سطح الأرض الخارجي تنتشر الأمواج الصوتية في هذا الغلاف وفي كتلة المياه معطية دوياً وصوتاً كما في باطن الأرض[3].

3- الساحة المغناطيسية والكهربائية:

لقد دلت الدراسات الجيوفيزيائية عن الساحة المغناطيسية للأرض أن خصائص هذه الساحة تتغير بوضوح في مناطق حدوث الزلازل وذلك حين وقوعها وقد يتم قبل ذلك أحياناً وهكذا عندما وقع زلزال عام (1862) في مدينة سيلينف تغير الإنحراف المغناطيسي بمقدار (3.5 درجة)، وتبدلت الساحة المغناطيسية بشدة حسب معطيات بعض مراكز الرصد الزلزالية عندما حدث زلزال عنيف في جنوب شرق إسبانيا في سنة (1884) ، ويجب أن نشير إلى أن خصائص الساحة المغناطيسية تغيرت بشدة في منطقة لشبونة قبل وقوع الزلزال بيوم، وزلزال لشبونة من أكثر زلازل العصر تدميراً وشدة، إن الإرتباط بين حدوث الزلازل وتبدل خصائص الساحة المغناطيسية في أماكن حدوث الزلازل أمر مفهوم نظرياً، إذ إنه عند حصول الزلزلة يتم في الأرض إعادة توزيع الصخور الممغنطة بشكل مغاير لما كانت عليه، الأمر الذي ينعكس على تبدل مظهر وسمات الساحة المغناطيسية، ولقد برهن بعض العلماء السوفييت على أن الخصائص المغناطيسية لبعض أنواع الصخور تتغير نتيجة لإنضغاطها في باطن الأرض قبيل حدوث الزلازل، ولقد تم الكشف في بعض الزلازل القوية عن توترات شديدة في الساحة الكهربائية الجوية خاصة قرب سطح الأرض، ويعزي بعض العلماء ذلك إلى تسخين بعض المعادن في باطن الأرض عند حدوث الزلازل، وفي ظروف الضغط الباطني الشديد تنطلق شحنات كهربائية موجبة مما يؤدي إلى تغيير واضح في واقع الساحة الكهربائية في الطبقات الدنيا من الجو[3].

4- تأثيرات على سطح الأرض:

تظهر على سطح الأرض تبدلات مهمة عند حدوث الزلازل، وتتجلى هذه التغيرات في تشكل الشقوق وحدوث الإنهيارات والإلتواءات وإرتفاع بعض الأماكن وإنخفاض أماكن أخرى، وقد تؤدي إلى ظهور الجزر في البحار، مثل هذه التغيرات في مظاهر السطح ترافق عادة زمن حصول الزلازل لذا تسمى بالتبدلات الإهتزازية، ولكن هناك تغيرات يتم حدوثها بعد وقوع الهزات الأرضية ممثلة بالإنهيارات الصخرية الكبيرة وبإنزلاق وتساقط الصخور القليلة التماسك، وقد يرافق ذلك ظهور الغبار وتشكل سيول الأطيان وبخاصة في المناطق الجبلية، كما أنه قد تظهر مخاريط من الخبث أو الرمال بسبب

إندفاع المياه الباطنية العادية والمعدنية بعنف نحو الأعلى، كما أن بعض الينابيع قد تظهر وأخرى تختفي وتعرف هذه بالتبدلات اللاحقة أي تبدلات ما بعد الزلازل[3].

5- التبدلات الإهتزازية:

نتيجة للحركات التي تسببها الهزات الأرضية تحدث تبدلات مهمة على سطح الأرض، إذ تتشكل الشقوق وتخسف بعض الأماكن أو ترتفع.

- **الشقوق:**

هي أكثر الأشكال مرافقة للهزات الأرضية، وتشاهد في كل أنواع الزلازل، وتقسم الشقوق إلى شقوق مفتوحة، إذ نجد شفتي الشق متباعدتين وأخرى مغلقة ملتحم شقاها، ويميز كذلك شقوقاً ذات شفتين متحركتين وقد تكون خلاف ذلك. تتشكل الشقوق بآن واحد في الكتل الصخرية المتماسكة والفرطة، وفي الحالة الأخيرة ستتعرض للتشوه كثيراً، وتتجلى الشقوق واضحة في المباني السكنية والمنشآت وتمثل السبب المباشر لسقوطها وإنهيارها. تأخذ الأشكال أو المنظومات الشقية إتجاهات محددة غالباً، ففي منطقة البؤر الزلزالية نراها شديدة الإنحدار، وتقل زوايا الإنحدار كلما إبتعدنا عن البؤرة وقد تتعرض بعض الشقوق في البؤرة الزلزالية للإنحراف كثيراً مما تتعرض القشرة الأرضية للحركة عبر هذه الشقوق، ففي إيطاليا عندما حدث زلزال كالابري في سنة (1783) إخترقت الشقوق برج تيرانوفا المستدير كاملاً، الأمر الذي أدى إلى إنخفاض أحد أجزاء البرج بما يزيد على 10 أمتار، وفي بعض الحالات نجد أن بعض الأشياء الموجودة قرب الشقوق تقوم بحركة دورانية أو إلتفافية، ففي زلزال أنديجان في الإتحاد السوفييتي السابق، الذي حدث في سنة (1902) إنحرفت الأعمدة الصخرية الموجودة في سياج مقبرة المدينة بمقدار (7 درجات) بإتجاه حركة عقارب الساعة، قد تظهر الشقوق في الصخور متفردة أو مجتمعة وهي ذات أطوال متباينة، ولقد أمتد شق عظيم في منغوليا نتيجة لوقوع زلزال عام (1957) مسافة (280 km – 270)، وتفاوت إرتفاعها إرتفاع شفتي الشق بمقدار (328 m) في بعض أجزائه[3].

إن عمق الشقوق المفتوحة غير معروف تماماً، ولكنها ذات إمتدادات متباينة ولا تزيد عادة على (10 – 12 m) أما سعة أوعرض الشق فقد يصل إلى (4-5 m) لقد شوهدت مثل هذه الشقوق في ضواحي مدينة صنعاء في وادي ظهر، ويروى أن بعض الحيوانات قد سقطت فيها ونفقت مثل هذه الشقوق تكونت في الأندلس عام (1884) وماتت فيها بعض الأغنام والماعز، كما لوحظ أن شفاه بعض الشقوق قد إلتحمت بقوة وتحركت، الأمر الذي أدى إلى إنصهار سطوح الإحتكاك وإلى تغير خصائصها، مثل هذه الحادثة تمت في منطقة وادي ظهر السابقة إذ تحول سطح الإحتكاك من صخر حجر رملي إلى كوارتزيت، ولقد وقع حادث مؤسف في أحد الزلازل الذي شهدته جبال آسيا الوسطى في الإتحاد السوفييتي السابق، إذ ظهر شق واسع نتيجة للحفرة الأرضية فوقع فيه مصادفة أحد الرجال

وفي نفس اللحظة حدثت هزة رادفة فأنطبقت شفتا الشق على الرجل وسحق تماماً، مثل هذه الحوادث ليست نادرة فلقد أبتلع أحد هذه الشقوق بعيراً في اليمن، كما شهد مثل هذه الأحداث زلزال كالابري في إيطاليا (1783).

تأخذ الشقوق الزلزالية مظهراً ونظاماً معيناً، وغالباً ما تنتشر في شكل زمر متوازية وقد تتجمع في أحيان أخرى على شكل حلقي، وفي زلزال كالاباري في إيطاليا (1983) شوهدت شقوق شعاعية الشكل، وقد تتقاطع العديد من المنظومات الشقية مع بعضها البعض بزوايا معينة، وتظهر الشقوق العمودية على شكل جروف وقد تكون متدرجة لتوالي حركات الرفع خلال زلزال أو أكثر، ونشاهد مثل هذه التدرجات بشكل واضح في جبل النبي شعيب في أواسط اليمن[3].

- **الإنهدامات:**

قد يؤدي تقاطع العديد من الشقوق إلى هبوط وخفس جزء من القشرة الأرضية مشكلة بذلك حفزاً إنهدامية ففي زلزال عام (1862) الذي حدث قرب بحيرة ياي كال في الإتحاد السوفييتي هبطت قطعة من الأرض ($100\ km^2$) إلى ما دون مستوى سطح البحيرة مكونة بذلك خليجاً عمقه ($8\ m$)، وفي آسيا الصغرى (تركيا) أختفت بلدة أونلر نتيجة لهزة أرضية و ذلك في سنة (1869)، وخسفت مدينة كانتاكجي التشيكية كاملةً سنة (1868)، ولقد هبطت أجزاء من مجرى نهر الميسيسبي في الولايات المتحدة الأمريكية عام (1811) وتكونت هناك بحيرة كبيرة غنية بجذوع الأشجار الميتة.

قد تتسم بعض مناطق الهبوط بعمقها الكبير ففي زلزال (1923) المدمر والذي حدث في اليابان إنخفض قاع خليج ساغامي بمقدار ($400\ m - 300$) ولعل إنهدام غور نهر الأردن خير مثال على شدة الخفس الذي أصاب المنطقة نتيجة للحركات البنائية والزلزالية، وكما نعلم ينخفض البحر الميت قرابة ($400\ m$) تحت مستوى سطح البحر، ولكن كثيراً ما تكون الأماكن الهابطة قليلة المساحة والعمق كما هي الحال في كثير من المناطق الزلزالية[3].

- **التضاريس الزلزالية الناهضة:**

لا تؤدي الهزات الأرضية إلى خفس لسطح الأرض فقط، بل إنها في كثير من الحالات تتسبب في نهوض وإرتفاع قطع من الأرض مقارنة لما يجاورها من أماكن، ففي زلزال سونوري (1887) الذي وقع في شمال المكسيك إرتفعت بين صدع متوازي سلسلة من التلال بعلو ($7\ m$)، وفي زلزال آسام ظهرت العديد من الجزر الصغيرة في البحر وبلغ طول إحداها ($150\ m$) وعرضها ($25\ m$)، وفي زلزال آسيا الوسطى المشهور (1911) الذي في حوض نهر آغ صو إرتفعت حافة أحد الصدوع حوالي ($10\ m$) وبإمتداد ($150\ km$)، وذلك على شكل جرف شديد الإنحدار، وفي بعض الحالات نلاحظ ظهور منظومات تلالية أو تلال منفردة مخروطية الشكل تذكرنا بالتلال البركانية، إلا أنها

أصغر حجماً وإرتفاعاً، وسببها إندفاع الماء الباطني نافورياً نحو الأعلى، هذه التضاريس هشة وكثيراً ما تزول بسرعة[3].

4-4 التبدلات الإهتزازية اللاحقة:

هذه التغيرات في مظهر سطح الأرض نتاج الهزات الأرضية بالطبع حدثت بعد وقوعها، إذ إنها تسببت في ظهورخلل في التوازن الثقلي للصخور، فضعفت قوة تماسكها وإلتصاقها بالقاعدة الصخرية الأم (الإنزلاقات، الإنجرافات الصخرية)، كما أنها أدت إلى ظهور خلل في نظام الجريان المائي السطحي والباطني، فتدفقت سيول الوحل والخبث جارفة أمامها كل ما يعترضها من عقبات، كما أنها أدت إلى تشكل الينابيع المعدنية والعادية وإلى إنطلاق الغازات.

1- الإنهيارات الصخرية:

تكثر حوادث الإنهيارات الصخرية في المناطق الجبلية إذ نرى كتلاً صخرية كبيرة تندفع نحو الأسفل، وقد يهبط جزء كامل من سفح شديد الإنحدار محدثاً أصواتاً مرعبة ومدمراً كل ما يصادفه في طريقه أو يقع تحته، وقد أنشقت بعض الكتل الصخرية وهبطت نحو الأسفل بقوة جنونية، ويعتقد أنه في سلاسل جبال القفقاس الصغرى وبسبب حدوث زلزال عام (1139) إنهار جزء من جبل كياباز (Kiapaz) والذي يبلغ إرتفاعه (2980 m)، وكانت الصخور مؤلفة من الكلس المشقق وقدر حجم الصخور المنهارة بحوالي ($2000\ m^3$)، وكونت لسان صخري ضمن الأودية وبإمتداد (9.6 km)، وبلغ حجم الصخور المنهارة في منطقة الزلازل هذه أكثر من كيلو متر مكعب، ولقد شوهد إنهيار أكبر في جبال بامير الشامخة الصعبة المنال.

فبعد زلزال 16 فبراير من عام (1911) إنهالت أجزاء واسعة من سفح جبلي غني بالصفاح والغضار فكونت سداً صخرياً في وادي نهر بارتانغ بلغ طوله (5 km) وعلوه (700 m)، وبلغ حجم الصخور المنهارة والمجروفة ($5\ million\ m^3$)، ولقد قدر أن حجم الصخور المنهارة هذه تكفي لتغطية موسكو كاملة بطبقة من الصخور يصل سمكها إلى (15 m).

في كل الزلازل الجبلية تحدث مثل هذه الإنهيارات ولكن بمقاييس أصغر، وفي الواقع كلما كانت الجبال أحدث وأكثر إرتفاعاً وتعقيداً كان حجم الإنهيارات والإنزلاقات أكبر، وليس من النادر أن نشاهد في مثل هذه الجبال إنزلاقاً كاملاً للغطاء الحجري والحصوي الجاثم فوق السفوح التي تعرضت للهزة الأرضية[3].

2- الينابيع والجريان السيلي:

أن تكون الصدوع والشقوق في باطن الأرض نتيجة لتأثير الزلازل كثيراً ما تتقاطع مع مرآة المياه الباطنية، فتتغلغل المياه عبر الشقوق نحو السطح مكونة بذلك ينابيع جديدة وقد يؤدي الأمر إلى إختفاء

ينابيع سابقة، أما إذا ما إمتزجت المياه المتدفقة مع الفتات الصخري الناعم (طين، رمل، جص ناعم) فإنها تكون سيولاً من الخبث الطيني أو من المواد الطينية والرملية الدقيقة (سيول العكر)، وهذا النوع من السيول كثير الحدوث في الجبال كالهيمالايا والألب والقفقاس وفي زلزال جبال ألماآتا في عام (1887) ظهرت مجار سيلية خبثية كثيرة أدت إلى غمر بعض الأدوية بسماكة (40 m) وبإمتداد وصل إلى (10 km) وفي بعض الأماكن بلغت سماكة الأطيان المتراكمة (60 m).

وقدرت سرعة إنحدار السيل (6 km/hour) في زلزال هايت (آسيا الوسطى) في عام (1949)، وفي العادة سيول الخبث بطيئة ولا تزيد سرعتها على (100 – 200 m/day)[3] .

3- الإنزلاقات:

تزداد فعالية عمليات الإنزلاق الترابي والصخري في فترات الزلازل، ويمكن لهذه الإنزلاقات الزلزالية أن تأخذ أبعاداً كبيرة، وفي زلزال ألماآتا السابق الذكر ظهرت إنزلاقات سطحية في جبل (زا ايلي) بمساحة ($400\ km^2$)، ولقد فاقت إنزلاقات صخور اللوس في الصين في زلزال سنة (1920) حدود التصور إذ إنها أدت إلى هلاك أكثر من 200 ألف إنسان، وبالطبع مثل هذه الإنزلاقات والإنهيارات تغير كثيراً من ملامح وواقع المظهر التضريسي، وكثيراً ما تساعد على ولادة المستنقعات والبحيرات والينابيع العادية والمعدنية، تشهد قيعان المحيطات خاصة مناطق العتبات والسفوح القارية حوادث إنزلاق طيني واسعة الأبعاد تزيد كثيراً عن مثيلاتها في القارات، وقد تمتد إلى عشرات بل مئات الكيلومترات بإتجاه الإنخفاضات المحيطة، ويجب ألا ننسى دور أمواج التسونامي في تخريب السواحل وتغيير معالمها[3].

4- الأمواج المحيطية المائية الزلزالية (التسونامي) :

قد تتمركز البؤر الزلزالية ليس في القارات وإنما في قيعان البحار أو المحيطات، ونتيجة لذلك قد تتسبب الزلازل هذه في حدوث أضرار مادية جسيمة جداً، تفوق أحياناً مثيلاتها في القارات، وأكثر الأماكن تضرراً المناطق الساحلية.

كثيراً ما يتم الشعور بالهزات الأرضية البحرية على ظهور السفن التي تمخر عباب البحر في مناطق وقوع الزلازل، والروايات التي تحدثت عنها متشابهة، فلقد ظن بعض البحارة في البدء أن مرساة السفينة قد سقطت فأهتزت السفينة، ثم توقع ربابنة السفينة أن الهزة سببها إصطدام السفينة بعائق أو كتلة صخرية أو قاع في ماء ضحل.

في جميع الأحوال، لا تتجاوز الأضرار التي تصيب السفن عن الهلع الكبير الذي يصيب ركاب السفينة نتيجة للزلزال، وكثيراً ما لا يبلغ عنه مع أن الآثار التدميرية لبعضها مرعب.

لقد شكل زلزال التشيلي في سنة (1960) موجة مائية هائلة وعارمة في المحيط الهادي نتج عنها تخريب هائل ليس في التشيلي فقط، بل وفي أماكن أخرى بعيدة كثيراً عن التشيلي كجزر هاواي واليابان[3].

لقد أطلق على هذه الأمواج في البداية أسم الأمواج المدية نسبة لظاهرة المد البحري المعروف، ولكن التسمية لم تلق الرواج اللازم، وذلك لأنها لم ترتبط بظاهرة المد والجزر التي سببها جذب القمر والشمس، وهكذا عدل علماء الزلازل هذه التسمية وأستبدلوها بالتسمية اليابانية تسونامي المؤلفة من جزأين (TSU) وتعني ميناء و(Nami) وتعني الموجة، وعانت اليابان كثيراً من هذه الأمواج خلال تاريخها المشحون بالزلازل، وهنالك عالم الزلازل الياباني إيمامور (A. Imaura) يصف لنا التسونامي الناجم عن زلزال عام (1896) الذي ضرب سواحل اليابان بقسوة ويقول: ((إن هذا التسونامي العملاق المرعب حدث في سانريكو، وذلك في يوم من أيام الأعياد اليابانية عندما كان الناس يستمتعون بعيدهم ووقتهم وكانت الهزة عادية وشعر بها كل الناس وتمت في الساعة السابعة مساءً، ولكن تبين فيما بعد أن الزلزال كان قوياً بما فيه الكفاية إلا أن مركزه بعيداً في عرض المحيط بعد ذلك شعر الناس بالعديد من الهزات الرادفة الضعيفة، ولم يعيروا هذه الهزات الإهتمام اللازم، ولم يعرفوا شيئا عن الهزة الأولى (الأساسية)، لذا لم يقوموا بأداء أي إجراءات وقائية، ولكن بعد مرور عشرين دقيقة على الهزة الأساسية بدأ ماء البحر بالإنحسار، ومع قدوم الساعة التاسعة سمع ضجيج يشبه صوت الإنهيارات الصخرية العنيفة، وكان هذا مؤشر على إقتراب موجة التسونامي التي تراوح إرتفاعها (10-20 m)، وهكذا أدرك الناس الواقع الرهيب الذي يلفهم، إلا أن الوقت كان متأخراً)).

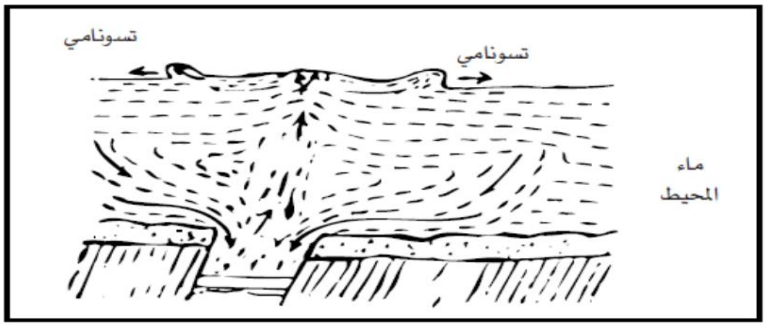
وذكر أن البحر لم يكن متموجاً كثيراً، إلا أن هدير الماء كان يسمع جيداً ويذكرنا بهدير عواصف التورنادو، ولو إستثنينا القليل من الناس الذين نجوا من الموت بمعجزة، لوجدنا أن كل الناس الموجودين في المدن والقرى القريبة من خط الساحل قد أبتلعتهم أمواج التسونامي وهم في أسعد لحظات حياتهم، ولم يلحظ صائدو الأسماك الذين كانوا في عرض البحر شيئاً مما حدث في الشواطىء، وما أن عادوا إلى موطنهم حتى أذهلهم ما شاهدوا من دمار وتخريب وموت.

لقد رأوا الأمواج الراجعة تحمل على ظهرها حطام البيوت والقوارب ومختلف السفن وجثث الناس، وعند ذلك علم هؤلاء هول الدمار الذي خلفته أمواج التسونامي الزلزالية، فلقد دمر تماماً (10617) منزلاً وتضرر (2456) منزلاً، كما قتل حوالي (27122) شخصاً وجرح (9247) شخصاً[3].

يجب أن نذكر هنا بزلزال مدينة لشبونة عاصمة البرتغال لقد كان زلزالاً مدمراً ونادر القوة ولقد حدث في سنة (1775)، وكان مركزه قاع خليج بسكاي غير البعيد عن لشبونة لذا فإنه ألحق أضراراً جسيمة بها عبر الإرتجاجات الأرضية والتسونامي، لقد تهدمت الحواجز المرمرية الجميلة المجاورة للبحر وأمتطتها الأمواج العاتية، دافعة أمامها جثث الناس وحطام السفن الراسية، ولقد هبط قاع الخليج بشدة

وبلغ عمقه (200 m)، وهنا وكما في الأماكن الأخرى تراجعت الأمواج عن الشاطىء في البداية، وبعد ذلك هجمت موجة عارمة على الشاطىء وبعلو وصل إلى (26 m) متكسرة فوق صخوره ومنشآته، وأمتد طغيان الماء إلى عمق (15 km) ضمن اليابسة، وتوالت ثلاث موجات تسونامية تباعاً، وظهرت آثار الزلزال على كل الساحل الشرقي للمحيط الأطلسي، وبلغ إرتفاع الموجة عند قادس (20 m) وحوالي (6 m) في الشاطىء الأفريقي (مدينة طنجير المغربية)، وتدنت في جزر مادیرا إلى (5 m) [3].

لقد فسر ظهور موجة التسونامي وظاهرة الجزر المحيطة والبحرية على النحو التالي : تتشكل نتيجة للتبدلات والتشوهات البنائية في قاع البحر والمحيط موجة ضغط تنتشر وتمتد نحو الأعلى، وفي هذا المكان من البحر أو المحيط تنتشر المياه بشدة مكونة بذلك جرياناً قصير الأمد يتحرك في كل إتجاه، وقد ينطلق نحو الأعلى بقوة دافعاً الماء بضع عشرات من السنتمترات (33 cm)، ويرافق هذه الحركة هدير مائي عميق، وتتحول بعد ذلك هذه الموجة المتدفقة عند السطح الخارجي إلى موجة تسونامي وتسلك كل الإتجاهات، أما ظاهرة الجزر أو الإنحسار المائية فمردها إلى حركة المياه المتجه نحو منطقة الخفس والإنهدام في قاع البحر أو المحيط، ومن ثم ومن مكان الإنهدام تندفع نحو الأعلى في منطقة البؤرة الزلزالية مؤدية إلى تشكل ظاهرة التسونامي شكل (4-1).



شكل (4-1) تشكل موجة التسونامي

سرعة موجة التسونامي عالية، وتحسب إستناداً إلى العلاقة التالية :

$$v = \sqrt{gD} \qquad (4\text{-}1)$$

إذ إن **g** تعني تسارع قوة الثقالة (عجلة الجاذبية)، و**D** عمق الماء.

إن العمق المتوسط لقاع المحيط الهادي (5.5 km)، ولو أعتبرنا أن قيمة **D** تعادل (4500 m) وكما نعلم أن تسارع الثقالة يعادل ($9.8\ m^2/s$). فإن تطبيق العلاقة السابقة يعطينا الرقم النظري وهو صورة تقريبية عن سرعة موجة التسونامي ويساوي تقريباً (210 m\s)[3].

ففي زلزال التشيلي المشهور (1960) وصلت موجة التسونامي إلى جزر هاواي الواقعة على بعد (10600 km) عن التشيلي خلال (14hour) و(56 minute)، أي بسرعة متوسطة تعادل (707 km/ hour).

أما اليابان الواقعة على بعد (17 000 km) فلقد بلغتها الأمواج التسونامية بسرعة (770 km/hour) وسطياً.

وتدل معطيات مراكز الرصد الزلزالية الواقعة عند شواطىء المحيط الهادي، إلى أن فترة موجة التسونامي تعادل ساعة تقريباً وحسبت كالتالي :

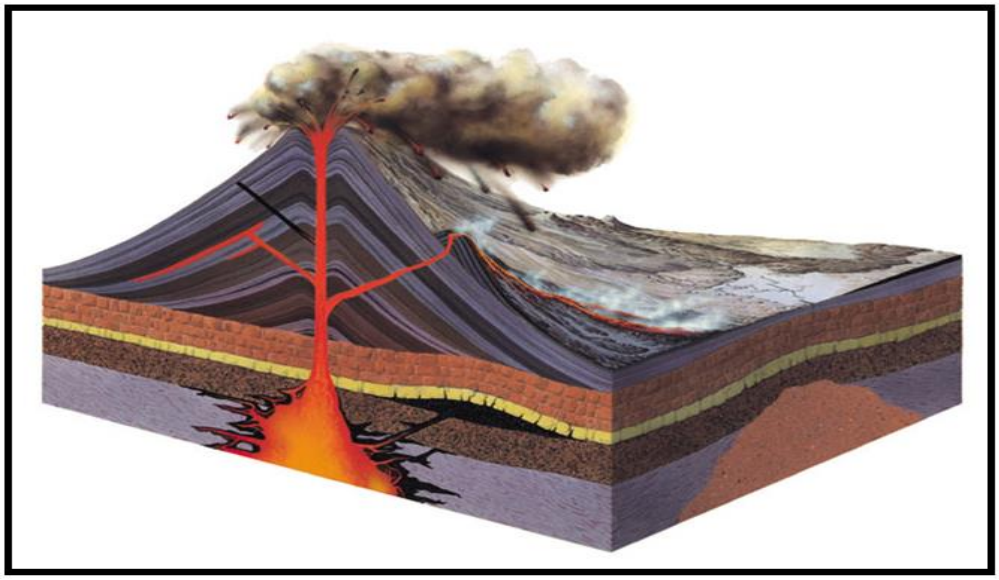
$$\mathbf{T} = \boldsymbol{\lambda}\mathbf{V} \qquad (4\text{-}2)$$

إذ إن **V**- سرعة الموجة و **T**- فترة الموجة، وهكذا نرى أن طول الموجة قرابة (830 km) ومداها في عرض البحر قرابة الشهر، وفترتها ساعة تقريباً ولا تشعر البواخر بمرورها، ولهذا السبب يصعب ملاحظة الموجة في عرض البحر، ولكن ما أن تقترب من الشاطىء وتجري فوق العتبة القارية المحيطية أو البحرية يتناقص عمق المياه كثيراً، فتقل سرعة الموجة التسونامية ولكن رغم تناقص السرعة تندفع الطاقة المحركة لموجة الماء نحو الأعلى على شكل موجة عارمة يتراوح إرتفاعها (15 – 25 m) وسطياً وأحياناً أكثر من ذلك، وإذا ما تغلغلت مياه البحر أو المحيط في الخلجان والمضائق والموانيء يزداد إرتفاع الماء وإندفاعه وقد يصل إرتفاعه إلى (30 m) وأكثر كما حدث في شواطىء اليابان خاصةً[3].

5-4 البركان:

البركان فتحة في سطح الأرض تتفجر وتثور من خلالها الحمم، والغازات الحارة، والشظايا الصخرية، وتتشكل هذه الفتحة عند إندفاع الصخر المنصهر من باطن الأرض، متفجراً على سطح الأرض، وتكون معظم البراكين على هيئة جبال، وبخاصة الجبال المخروطية الشكل التي تكونت حول الفتحة نتيجة تجمع وتراكم الحمم ومواد أخرى قذفت إلى سطح الأرض أثناء الثوران البركاني شكل (4-2)، ومنظر ثوران الجبال البركانية منظر مثير شكل (4-3)، وفي بعض حالات الثوران البركاني ترتفع سحب كثيفة ملتهبة فوق فوهة جبل البركان، كما تنساب أنهار من الحمم المتقدة المتوهجة على جوانب الجبل، وفي حالات أخرى ينطلق الرماد البركاني الحار ذو اللون الأحمر مع حبيبات أكبر حجماً من الرماد من قمة الجبل، كما تنطلق قطع من الصخر الملتهب، وتنفجر عالياً في الهواء وقلة من الثورانات البركانية تكون عنيفة جداً تعصف بالجبل البركاني، وقد يحدث بعض الثوران البركاني في الجزر البركانية، وهذه الجزر قمم جبال بركانية كانت قد تشكلت وبنيت في قاع المحيط نتيجة ثورانات بركانية متكررة، كما تحدث ثورانات بركانية أخرى على إمتداد بعض الشقوق الضيقة في قاع المحيط

حيث تخرج الحمم البركانية عبر الشقوق مكونة قاع البحر، وقد درج الناس دوماً على أن يفتنوا بمنظر الثورانات البركانية، وأن يروعوا من جبروتها، وقد كانت الثورانات البركانية سبباً في حدوث بعض الكوارث التاريخية حيث أزالت مدناً بكاملها، وقتلت آلاف الناس كما أدت البراكين في فجر التاريخ دوراً مهماً في المعتقدات الدينية لبعض الشعوب، تعد أندونيسيا من أكثر الدول التى يوجد بها براكين حوالي 180 بركاناً[5].



شكل (4-2) تشكل البراكين داخل باطن الأرض

شكل (4-3) ثوران البركان

6-4 كيف يتكون البركان:

تؤدي القوى الهائلة الموجودة في باطن الأرض إلى تكون البراكين، ولم يهتد العلماء بعد إلى الفهم الكامل لطبيعة هذه القوى، ولكنهم طوروا نظريات تدور حول كيفية تكوين هذه القوى للبراكين.

يبدأ البركان على هيئة صخور منصهرة في باطن الأرض يطلق عليها إسم صهارة، تتكون هذه الصهارات نتيجة للحرارة الشديدة في باطن الارض، وعند أعماق معينة تكون حرارة باطن الأرض شديدة، بحيث تصهر الصخور داخل الأرض وعند إنصهار هذه الصخور الباطنية فإنها تطلق كميات كبيرة من الغازات تختلط بدورها بالصهارة، وتتكون معظم الصهارات على أعماق قد تصل إلى مايقرب من (km 160 – 80) تحت سطح الأرض، كما أن بعضها يتكون عند أعماق قد تصل إلى ما يقرب (km 50 – 25)، ثم ترتفع الصهارة المليئة بالغازات تدريجياً نحو سطح الأرض، وذلك لكونها أخف وزناً من الصخور الصلبة المحيطة بها، وعند صعود الصهارة فإنها تقوم بصهر فجوات في الصخور المحيطة، وكلما أزداد صعود الصهارة فإنها تشكل حجرة كبيرة على بعد (3 km) تحت سطح الأرض، وتقوم حجرة الصهارة هذه بدور المستودع أو الخزان الذي تنطلق منه المواد البركانية إلى سطح الأرض[5].

7-4 ثوران البركان:

كون الصهارة المليئة بالغازات والموجودة في المستودع، تحت ضغط شديد من جراء كثافة وزن الصخور الصلبة المحيطة بها يؤدي هذا الضغط بالصهارة إلى صهر أو شق قصبة (قناة) خلال جزء متشقق ضعيف من الصخور المحيطة، وتصعد الصهارة إلى أعلى عبر هذه القصبة إلى سطح الأرض، وعندما تقترب الصهارة من سطح الأرض، فإن الغاز المذاب بها يتحرر وينطلق، ويشق الغاز والصهارة فتحة ينطلقان منها تسمى الفتحة المركزية، وتثور معظم الصهارة والمواد البركانية الأخرى عبر هذه الفتحة، وتتراكم المواد البركانية تدريجياً حول هذه الفتحة بانية جبلاً بركانياً أو بركاناً، وبعد هدوء الثوران تتشكل فوهة على شكل قوس على قمة البركان، وتكون فتحة البركان الرئيسية أسفل هذه الفوهة ولدى إكتمال تشكل البركان، فإن صهارة من الثورانات البركانية اللاحقة لا تصل كلها إلى سطح الأرض عبر الفتحة المركزية، فأثناء صعود الصهارة يشق جزء منها جدران القصبة، ثم تندفع الصهارة عبر الشقوق مشكلة قنوات أصغر حجماً من قصبة البركان، وقد تندفع الصهارة في هذه القنوات الفرعية محدثة فتحة جديدة في جانب البركان، وقد تبقى هذه الصهارة كامنة تحت سطح الأرض[5].

8-4 أنواع الثوران البركاني:

وقد قسم الجيولوجيون الألمان، الثوران البركاني إلى أربعة أنواع:

1- النوع الهاوائي: ويمتاز بثوران هادىء وبفوهات ضيقة، والتي توصلها بكتل الصخر المنصهر التى توجد في الطبقات السفلى من الغلاف الصخري (التى تعرف بغرف الصهير) بأعناق طويلة ضيقة، وتمتاز جوانب المخروط البركاني في هذا النوع بتدرج إنحدارها.
2- نوع سترومبولي: وتمثله براكين مجموعة جزر ليباري وبركان سترومبولي، ويمتاز هذا النوع بثوران متقطع تتخلله إنفجارات تنجم عن إنفجار فقاقيع الغاز التي تتكون على سطح اللابة القاعدية، وتمتاز فوهات هذا النوع من البراكين بأنها أكثر إتساعاً من النوع الأول.
3- النوع الفولكاني: ويمتاز بأن اللابة التي كونته لابة حمضية، وبأن جوانب المخروط البركاني شديدة الإنحدار، وتصاحب ثوران هذا النوع من البراكين إنفجارات شديدة، أما فوهة البركان وعنقه فتمتازان بضيق واضح.
4- نوع الكالديرا: ويمثل مرحلة نهائية تصل إليها الأنواع الثلاثة السابقة إذا ما تعرضت لثورانات بركانية أخرى غير التي كونتها فتنهار وتتهدل جوانب عنق البركان، ويدمر جزء كبير من أعالي المخروط ذاته، وبذلك تتسع مساحة فوهته ويستوي سطحها، وتعرف الفوهة البركانية في هذه الحالة بالكالديرا.

وقد سبق أن ذكرنا أن عمليات تداخل كتل الصهير في الطبقات الصخرية الرسوبية يؤدي إلى تكون بعض الظاهرات الجيومورفية الممثلة في الخزانات الصخرية، والأطباق، والسدود الرأسية (القواطع) والمتوافقة مع أثر الحركات الفجائية، تتميز الحركات الفجائية بأن أثرها في تشكيل سطح الأرض أثر طفيف يعدو بضع ظاهرات تتمثل في تكون شقوق عميقة في المناطق التي تتعرض للزلازل، وتتكون هذه الشقوق في الجهات التي تتميز بتكويناتها الجيولوجية اللينة، وكثيراً ما تنبثق المياه الباطنية من هذه الشقوق مختلطة ببعض الرواسب الطمية أو الرملية، ومن الآثار الأخرى الملموسة التي تنجم عن تلك الحركات الفجائية التي تتعرض لها قشرة الأرض من وقت لآخر، تغير مناسيب سطح الأرض في المناطق التى تصاب بمثل هذه الحركات، فقد أدى زلزال ألاسكا المشهور الذي حدث في سنة (1897) إلى إرتفاع مساحة كبيرة من سطح الأرض في جنوب شبة الجزيرة حوالي (47 قدما) [5].

كما صاحب زلزال طوكيو الذي حدث في سبتمبر سنة (1923)، حدوث حركة إرتفاع تعرض لها قاع البحر الياباني مما أدى إلى طفيان اليابس في كثير من المناطق، وقدر الإرتفاع الذي تعرض له قاع البحر الياباني بحوالي (900 قدم)، وهنالك بعض أنواع الزلازل قد تحدث تحت مستوى سطح البحر، وتعرف مثل هذه الزلازل بالزلازل الغائصة، وينجم عنها حدوث موجات هائلة من المد

هي التي تعرف بالتسونامي، تطغى على اليابس وتسبب خراباً هائلاً في المناطق الساحلية، وينتمي زلزال لشبونة المشهور الذي حدث في سنة (1755) إلى هذا النوع، أما التقلقلات الباطنية فقد جرى العرف على تقسيمها إلى قسمين رئيسيين: حركات إلتوائية أو أوروجينية تعمل في حركة أفقية وتؤدي إلى إلتواء الصخر وإنثنائه وتكزين السلاسل الجبلية الإلتوائية، وحركات رأسية هي التي تعمل على تكسر صخور القشرة وتصدعها، وتعمل هذه الحركات في المعتاد في حركة رأسية [5].

4-9 أنواع المواد البركانية :

هنالك ثلاثة أنواع رئيسية من المواد يمكن أن يقذف بها البركان إلى الخارج وهذه المواد هي:

1- اللافا أي الحمم.
2- شظايا صخرية.
3- غاز.

وتعتمد المادة المقذوفة بشكل رئيسي على مدى لزوجة أو سيولة الصهارة البركانية[5].

الحمم:

وتسمى اللافا، وهي أسم للصهارة التي تسللت إلى سطح الأرض، وعندما تصل الحمم إلى سطح الأرض، تكون ملتهبة ومتوهجة، وقد تزيد درجة حرارتها على (1100 درجة مئوية)، وتنساب الحمم عالية السيولة سريعاً على جوانب البركان، بينما تنساب الحمم اللزجة ببطء أكثر، وعند إنخفاض درجة حرارة الحمم فإنها تتصلب إلى أشكال عديدة مختلفة، وتتصلب الحمم عالية السيولة إلى شرائح صخرية ملساء مطوية تسمى باهوهو، ثم تنخفض درجة حرارة الحمم اللزجة لتشكل شرائح صخرية خشنة تسمى آ آ، وتغطى كل من الباهوهو وال آ آ مساحات كبيرة من جزر هاواي، حيث وضعت هناك هذه المصطلحات، وتشكل الحمم الأكثر لزوجة طفوحاً من الحصى والدبس تسمى الطفوح الكتلية، كما يمكنها ان تكون أكواماً وركامات من الحمم تسمى قبباً، وتشمل بعض تكونات الحمم ما يعرف بالمخاريط المشتتة وأنابيب الحمم، والمخاريط المشتتة هي تلال منحدرة يبلغ إرتفاعها (30 m)، وقد بنيت هذه التلال نتيجة لإندفاعات الحمم السميكة، على هيئة نافورات متفرقة، أما أنابيب الحمم فهي أنفاق تشكلت من الحمم السائلة، فحينما تطفح الحمم وتنساب، فان سطحها الخارجي الملامس للهواء يبرد ويتصلب، في حين يستمر إنسياب الحمم ويتخلف عنها نفق.

قوة البركان الهادمة من الممكن أن تؤدي إلى وفيات عديدة ودمار ممتلكات كثيرة، ودمرت الحمم أثناء ثوران عام (1973) المنازل على جزيرة هيماي في أيسلندا[5].

وتنقسم مادة الصهير التي تنبثق على سطح الأرض إلى نوعين:

1- **اللابة الحمضية:** وتتكون من صخور نارية منصهرة ترتفع بها نسبة السيلكا، ويمتاز هذا النوع من اللابة بسرعة تصلبه إذا ما أقترب من سطح الأرض وكما تصاحب إنبثاقة بعض الغازات السامة وكمية كبيرة من بخار الماء، مما يؤدي إلى إندفاعه إلى سطح الأرض بقوة إنفجارية كبيرة تتطاير معها مفتتات من مادة اللابة التي سرعان ما تتصلب في الهواء، ثم تتراكم هذه المفتتات بالقرب من فوهة البركان في صورة رماد بركاني أو جمر خامد يختلط بمادة اللابة، ويكون مخروطاً منحدر يصل إرتفاعه في النهاية إلى منسوب الجبال، ومن طراز هذه الجبال البركانية جبل إلجون وكلمنجارو في كينيا.
2- **اللابة القاعدية:** وتتكون من صخور نارية منصهرة تقل بها نسبة السيلكا كثيراً عن النوع الأول، وتتميز بأنها تظل على السطح في حالة منصهرة لفترة طويلة، ولذا تعمل الغازات والأبخرة التي تتصاعد مع إنبثاقها على إحداث مجرد فقاقيع على سطحها دون أن تؤدي إلى إنفجارها بقوة كبيرة، ولذا تتميز البراكين التي يخرج منها هذا النوع من اللابة بأنها هادئة نسبياً إذا ماقورنت ببراكين النوع الأول، وبعد تصلب اللابة القاعدية الذي يستغرق وقتاً طويلاً لكي يحدث يتم تكون طبقات سميكة تتخذ شكلاً أفقياً تقريباً، وتصبح مخاريطها أن تكونت ذات جوانب قليلة الإنحدار، وقد تكونت جزر هاواي بهذه الطريقة.

وتنتمي إلى نوع اللابة القاعدية تلك الطفوح البازلتية التي تغطى مساحات واسعة من سطح الأرض تتمثل في:

1- طفوح الدكن التي تغطي المناطق الشمالية الغربية من هضبة الدكن.
2- التكوينات البازلتية بهضبة الحبشة وتعرف بتكوينات أشانجي ومجدلا ويزيد سمكها (3 km).
3- الطفوح البازلتية بجنوب البرازيل.
4- طفوح هضبة كولومبيا بأمريكا الشمالية[5].

الشظايا الصخرية:

وتسمى تفرا، وهي تتشكل من الصهارة اللزجة، التي تبلغ لزوجتها حداً يحول دون إنطلاق الغاز منها، لدى إقترابها من سطح الأرض أو من فتحة البركان المركزية، وفي النهاية يولد الغاز المحصور في الصهارة ضغطاً كبيراً يؤدي إلى إنفجار الصهارة وتحولها إلى شظايا وفتيتات، وتحتوى التفرا الصغرى والكبرى على الغبار البركاني والرماد البركاني والقذائف البركانية.

الغبار البركاني يتكون من جزيئات ذات قطر أقل من (0.25 mm)، ويمكن حمل هذا الغبار لمسافات بعيدة وفي عام (1983) قذف ثوران بركان كراكاتو في أندونيسيا بالرماد البركاني عالياً لمسافة (27 km) في الهواء، وقد حمل هذا الغبار ودار حول الأرض عدة مرات معطياً منظراً

أحمر متالقاً لغروب الشمس في عدة أماكن من العالم، ويرى بعض العلماء أن كميات كبيرة من الغبار البركاني بمقدورها التاثير على المناخ، وذلك بإختزال كمية ضوء الشمس التي تصل إلى الأرض.

الرماد البركاني يتألف من الشظايا التي يقل قطرها عن نصف سينتميتر، ويسقط معظم الرماد البركاني فوق سطح الأرض، ويلتحم معظم الرماد البركاني بعضه مع بعض مكوناً صخراً يسمى الطفل البركاني، وفي بعض الأحيان يجتمع الرماد البركاني مع الماء مشكلاً جدولاً من الطفح الوحلي في حالة الغليان، وقد تبلغ سرعة جريان هذا الطفح الوحلي (100 km\h)، الأمر الذي يمكن أن يكون مدمراً بشكل واسع.

القذائف البركانية شظايا كبيرة تتراوح أحجامها ما بين حجم كرة الركبي وحجم كرة السلة، وقد تبلغ القذائف البركانية الكبيرة متراً واحداً في القطر وتسعين طناً متريا في الوزن، وتسمى القذائف البركانية الصغيرة الحبيبات البركانية[5].

الغاز:

ينطلق الغاز بكميات كبيرة من البراكين خلال معظم الثورانات البركانية، ويتكون الغاز بشكل رئيسي من بخار، لكنه يحتوى على كل من ثاني أكسيد الكربون ونتيروجين وثاني أكسيد كبريت وغازات أخرى، ويأتي معظم البخار من الصهارة البركانية، كما أن بعض البخار يمكن أن ينتج عندما تقوم الصهارة الصاعدة بتسخين الماء فوق سطح الأرض، ويحمل الغاز البركاني كميات كبيرة من الغبار البركاني، ويبدو هذا المزج ما بين الغاز والرماد كدخان أسود[5].

10-4 أنواع البراكين:

يقسم العلماء البراكين إلى ثلاث مجموعات:

1- براكين درعية.
2- المخاريط الحبيبية.
3- براكين مركبة.

وقد أعتمد تصنيف هذه المجموعات على شكل البراكين، وعلى طبيعة المواد التي تكونت منها[5].

بركان درعي:

يتكون حينما تثور الحمم من عدة فتحات وتنتشر بشكل واسع وتبني جبلاً عريضاً منخفضاً ويكون في معظم البراكين وتسمى الفوهات الكبيرة الجفرات.

البراكين الدرعية وتتكون من كميات كبيرة من طفوح الحمم التي تندفع من فتحة وتنتشر بشكل واسع، وتكون الحمم تدريجياً جبلاً على شكل قبة عريضة منخفضة، ويعد بركان ماونا لووا في هاواي بركاناً درعياً، حيث شكلته آلاف من طفوح الحمم المنفصلة بعضها عن بعض، والمتراكمة فوق بعضها والتي يبلغ سمك كل منها أقل من (15 m)[5] .

المخاريط الحبيبية:

وتتكون هذه المخاريط عندما تقذف التفرا من فتحة بركان ثم تسقط عائدة إلى الأرض، وتتجمع حول فتحة البركان، وتشكل التفرا المتراكمة، وهي حبيبات بركانية جبلاً مخروطي الشكل، ويعد بركان باريكوتين في غرب المكسيك مخروطاً حبيبياً، وقد بدأ هذا البركان المخروطي عام (1943)، عندما أنفتح شق أرضي في حقل زراعي وعندما توقف ثوران هذا البركان في عام (1952) كان إرتفاع قمة المخروط قد بلغ (410 m) فوق قاعدة المخروط.

البراكين المركبة:

تتكون عند إندفاع كل من الحمم والتفرا من فتحة مركزية، حيث تتراكم المواد على شكل طبقات متعاقبة حول فتحة البركان، وتشكل برجاً جبلياً مخروطياً، ومن البراكين المركبة جبل فوجي في اليابان، وبركان مايون في الفلبين، وبركان فيزوف في إيطاليا، في عام (1989) وفي أثناء الثوران البركاني التاريخي الكبير، ثار بركان فيزوف ودفن المدن المجاورة مثل مدينة بومبي، ومدينة هركولانيوم، ومدينة ستابيا تحت كتلة من الرماد والغبار والحبيبات التجمعية البركانية، ويعتبر جبل سانت هلنز في واشنطن والذي ثار عدة مرات منذ عام (1980)، واحداً من أكثر البراكين نشاطاً في الولايات المتحدة الأمريكية، وفي بعض الأحيان يمكن أن تصبح حجرة الصهارة في بركان درعي، أو مخروطي حبيبي، أو بركان مركب فارغة تقريباً، ويحدث هذا الأمر عندما يتم قذف معظم الصهارة البركانية إلى سطح الأرض، وبسبب تفريغ حجرة الصهارة فإنها تصبح غير قادرة على دعم البركان فوقها، ولهذا فإن جزءاً كبيراً من البركان ينهار، مشكلاً فوهة كبيرة تسمى الجفرة، وتعد بحيرة سينك في أوريجون بالولايات المتحدة جفرة ملئت بالماء، وهي تبلغ ما يقرب من (10 km) إتساعاً و(589 m) عمقاً[5].

11-4 فوائد الزلازل:

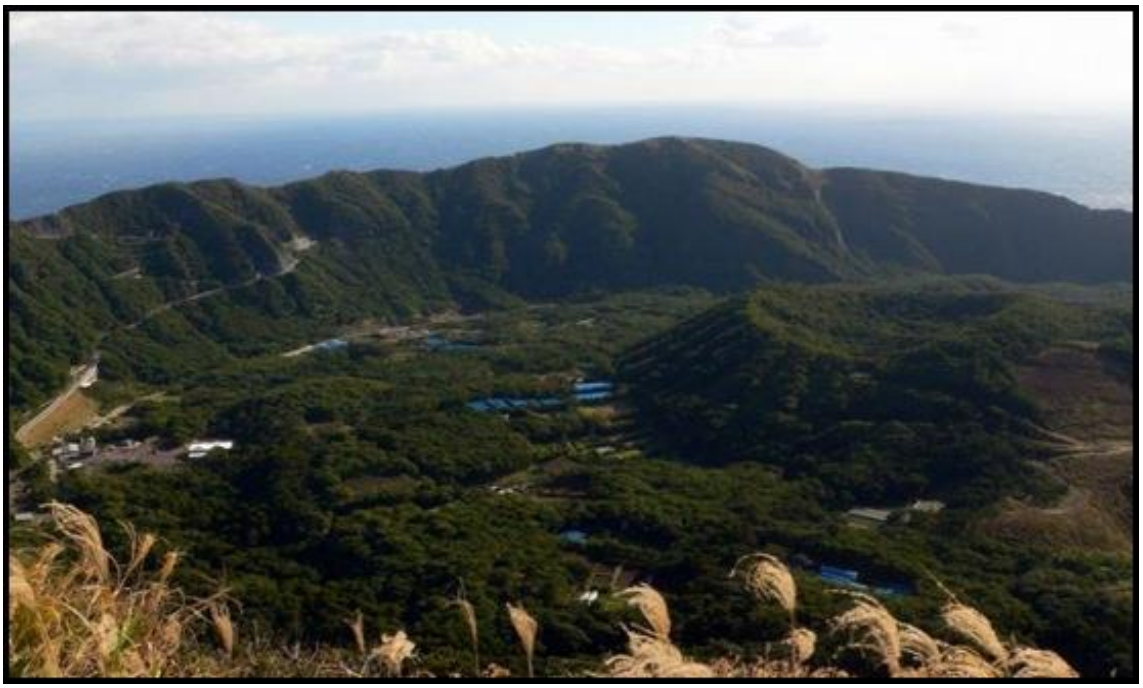
1- فوائد تتعلق بالأرض **(على المدى البعيد)**:

- تكوين الجبال وبذلك يتم التقليل من سرعة تناثر القشرة الأرضية، وبالتالي المحافظة عليها من تناثرها في الفضاء الخارجي بفعل القوة الطاردة المركزية.

- إعادة الجبال إلى أماكنها بعد الإنزلاق الذي تنزلقه كل عدد من السنين، والجبال كما نعرف هي الثقالات والأوتاد التي تثبت القشرة الأرضية في أماكنها ولولا هذا التثبيت لإنفجرت بفعل باطن الارض الذي يغلي كمرجل ويتمدد دافعاً القشرة في كل إتجاه بضغط هائل[6].

2- فوائد تتعلق بالكائنات **(على المدى القريب)**:

- تخصيب التربة: من المعلوم أن الزلازل تكون مصحوبة بالبراكين، وتأثير البراكين على التربة لا يخفى على أحد فهي تزودها بالمواد المعدنية، كما أن التربة البركانية تعتبر من أخصب الترب الصالحة للزراعة شكل (4-4).



شكل (4-4) التربة الخصبة الناتجة من البراكين

- تقوم الأمواج الهائلة الناتجة عن التسونامي بتوزيع رواسب خصبة مما يؤدي إلى جعل التربة أكثر خصوبة من ذي قبل.
- المحافظة على التوازن الكيمائي للبحار: تتميز كل منطقة بحرية بتركيز خاص بها فيجعل لها خصائص تمتاز بها عن غيرها من المناطق من حيث الملوحة والكثافة والحرارة والأحياء المائية وقابلية ذوبان الأكسجين في الماء.

إعتماداً على كل ما سبق يمكننا القول بأن الزلازل وأن كانت كوارث تهلك آلافا فإن ذلك في سبيل بقاء الحياة الإنسانية وإمتداد عمر الدنيا إلى أجلها المكتوب[6].

12-4 فوائد البراكين:

1- قد يبدو من الغريب أن البراكين هي من عوامل البناء رغم ما أستقر لدى البشر عموماً إنها من أشد العوامل الطبيعية في التدمير والفناء، والدليل على ذلك أن كل الجزر المتناثرة في المحيط الأطلسي إنما هي من نواتج ثورات البراكين حسب ما أفادت به نظرية بنائية الألواح (Tectonic plate) وعلى سبيل المثال فإن إنفجار بركان مونت كيلو سنة (1960) قد أضاف مساحة جديدة لجزيرة هاواي تقدر بحوالي ($1.5\ km^2$).

2- أن نواتج البراكين من الرماد البركاني والمواد الصلبة بما تحتويه من معادن وعناصر تشكل جميعها أجود أنواع الأسمدة التي تزيد من خصوبة الأرض بدرجة كبيرة والدليل على ذلك أن الأقطار التي تعرضت عبر العصور الجيولوجية لنشاط بركاني تتمتع بتربة خصبة للغاية، غنية بكل ما يلزم للنبات من المعادن والعناصر، مثل أندونيسيا واليمن وسيلان ..... الخ.

3- إن البراكين عندما تثور فإنها تدفع إلى سطح الأرض من بين ما تدفع عدداً من الخامات المعدنية النافعة التي يتكلف الإنسان في إستخراجها عن طريق الحفر شكل (4-5) وعلى سبيل المثال فإن من أهم الموارد المعدنية التي يمكن أن تكون ضمن نواتج البراكين الكبريت والزئبق ومن المعروف أن تعدين هذين الموردين من الموارد المعدنية قائم في كثير من الأحيان على ما تخرجه البراكين النشطة منهما[6].

شكل (4-5) خروج المعادن عن طريق البراكين

4- الكبريت والزئبق هما من الموارد المعدنية التي تتصل إتصالاً مباشراً بالبراكين فإن هناك عدداً آخر ذا صلة أيضاً بها فمن المعروف أن الصخور البركانية بحكم ظروف نشأتها السريعة هي من أكثر الصخور إستجابة لعمليات التجوية حيث تختلف عن التجوية المعادن ذات المقاومة الكبيرة والتي غالباً ما تكون من المعادن الثقيلة كالذهب والفضة وخام القصدير.
5- الظواهر الطبيعية المصاحبة للبراكين الحديثة الينابيع الحارة (Hot springs) والنافثات (الغورات) (Fumaroles) فالينابيع الحارة هي إنبعاث مياه طبيعية من باطن الأرض في درجة حرارة مرتفعة نسبياً حاملة معها مكونات معدنية مختلفة مثل الزرنيخ والأنتيمون والنحاس والقصدير بالإضافة إلى الأملاح المعدنية، بينما النافثات هي إنطلاق الغازات المختلفة من شقوق الارض في المناطق ذات النشاط البركاني، ثم ما تلبث هذه الغازات أن ترسب ما تحمله من مكونات معدنية حول فوهات البراكين، مما يجعل مناطق الينابيع الحارة والنافثات من الأماكن المأمولة في التعدين وتستخدم المياه الحارة المنبثقة من جوانب البركان كمصدر للطاقة أحياناً، وقد أستخدمت مثل هذه المياه في أيسلندا في الأغراض الزراعية، وذلك بإيصالها داخل أنابيب إلى مزراع خاصة تحت سطح الأرض في تشغيل المولدات الكهربائية.
6- من الفوائد التي يرجى لها مستقبل كبير في مجال الطاقة والتي يعكف العلماء الآن على إيجاد الحلول المناسبة لها هو إمكانية الإستفادة من الطاقة الحرارية العالية المنبعثة من الثورات البركانية، بعد أن تمت الإستفادة على الوجه الأكمل من الينابيع الحارة في تدفئة المنازل في بعض الأقطار الباردة مثل نيوزلاندا.
7- إنشاء جبال شاهقة قد تصل لآلاف الأمتار، وتكون الهضاب الشاسعة، والبحيرات في تجاويف البراكين الخامدة.
8- بناء أجزاء شاسعة من الأرض مثل هضبة الدكن بالهند وهضبة نهر كولومبينا بأمريكا.
9- تكوين الماس، حيث يتحول الكربون تحت تأثير الحرارة والضغط الشديد إلى ماس.
10- إستخدام الصخور الناتجة عن الحمم في رصف الطرقات.
11- إنتاج المواد الكيميائية من رواسب الكبريت الناتجة من ثوران البركان.
12- مساعدة العلماء على دراسة جوف الأرض من خلال المواد المقذوفة بفعل ثوران البركان[6].

13-4 ما يلزم فعله قبل حدوث الزلزال:

1- التأكد من توفر المواد التالية في المنزل: طفاية حريق، حقيبة إسعافات أولية، راديو يعمل على البطاريات، بيل (مصباح متنقل)، وكمية من البطاريات الإضافية.
2- تعلم الإسعافات الأولية.

3- تعلم كيف تقطع الغاز، الماء، والكهرباء.
4- وضع خطة عن مكان لإجتماع الأسرة بعد زلزال ما.
5- عدم وضع الأشياء الثقيلة على الرفوف لأنها ستسقط أثناء الزلزال.
6- تثبيت المفروشات الثقيلة، الخزائن، والأدوات المنزلية إلى الجدران أو الأرضية.
7- تعلم خطة الزلازل في المدارس أو أماكن العمل[2].

14-4 ما يلزم فعله أثناء حدوث الزلزال:

1- البقاء هادئاً، إذا كنت داخل بناء فأبق في الداخل وقف بجوار جدار قرب مركز البناء أو قف في الممر أو أزحف تحت المفروشات الثقيلة (مقعد أو طاولة) وقف بعيداً عن النوافذ والأبواب الخارجية وإذا كنت في الخارج فأبق في الخارج وقف في منطقة مفتوحة بعيداً عن خطوط الطاقة أو أي شي محتمل سقوطه وقف بعيداً عن الأبنية (قد تسقط أشياء من المباني أو قد تقع المباني عليك).
2- عدم أستخدام أعواد الثقاب، أو الشموع أو أي لهب (خطوط نقل الغاز في الدول التي تعتمد مثل هذا النظام قد تكون مكسورة وتتسبب بالتالي بحرائق).
3- إذا كنت داخل سيارة، أوقف السيارة وأبق داخلها إلى أن يتوقف الزلزال.
4- عدم إستخدام المصاعد (على أي حال، سوف تكون عالقة غالباً)[2].

15-4 ما يلزم فعله بعد حدوث الزلزال:

1- البحث عن المصابين وإسعافهم.
2- الإنتباه لأماكن تسرب الغاز والماء والصرف الصحي.
3- فحص الأسلاك المقطوعة، وفصل التيار عن الأدوات المنزلية.
4- تقييم الأضرار والمخاطر التي تتعلق بالسلامة.
5- تنظيف تسربات المواد الخطرة.
6- عدم المشي حافي القدمين.
7- الإستماع للراديو المحلي لتتبع الإرشادات.
8- الإقتصاد في إستعمال الهاتف.
9- البحث عن المفقودين ومعارفك.
10- التحقق من سلامتك وسلامة الآخرين من أي إصابات ووفر الإسعاف الأولي لكل من يحتاجه.
11- التحقق من عدم تضرر خطوط الماء والغاز والكهرباء، في حال وجود أي ضرر قم بإغلاقها وغادر المنزل فوراً وأبلغ السلطات (إستخدم هاتفك المحمول أو هاتف شخص آخر المحمول).
12- تشغّيل الراديو.

13- عدم إستخدام الهاتف ما لم تكن هناك حالة طارئة.
14- البقاء بعيداً عن المنازل المتضررة.
15- أخذ الحذر من الأنقاض والزجاج المتكسر وإنتعال حذاء صلب لتقي نفسك من الإصابة.
16- أخذ الحذر من المآذن والمداخن فقد تقع عليك.
17- البقاء بعيداً عن الشواطئ فقد تضربها التسونامي حتى بعد أن يتوقف إهتزاز الأرض.
18- البقاء بعيداً عن المناطق المتضررة وعدم إعاقة عمل فرق الإنقاذ.
19- إذا كنت في المدرسة أو العمل فإتبع خطة الطوارئ أو تعليمات الشخص المسؤول.
20- ترقب الهزات الإرتدادية.
21- محاولة تهدئة الغير والتخفيف من الإضطرابات خاصة الأطفال لكي لا تنتج حالات نفسية بعد ذلك.
22- الذهاب إلى مصلحة الضمان الإجتماعي[2].

16-4 العدة الإحتياطية للزلازل:

1- راديو صغير مع بطاريات إضافية.
2- مصباح مع بطاريات إضافية.
3- حقيبة إسعافية وضمنها الأدوية الضرورية لأفراد الأسرة.
4- كتيب عن الإسعاف الأولي.
5- مطفأة حريق.
6- مفتاح إنكليزي قابل للتعديل لإصلاح تسربات الغاز والماء.
7- جهاز تحري الدخان.
8- سلم هروب متنقل.
9- زجاجات ماء كافية.
10- مؤنة أسبوع من أغذية معلبة ومجففة (يجب إستعمالها وإستبدالها كي لا تتلف).
11- فتاحة معلبات.
12- كبريت.
13- أرقام هواتف الشرطة والطوارئ الصحية والحريق.
14- الإقتصاد في الماء لأننا نحتاجه عند الحالة الطارئة[2].

17-4 مهارات ضرورية:

1- كيفية الإطفاء وفصل الماء والغاز والكهرباء.
2- الإسعاف الأولي.
3- خطة لجمع العائلة في مكان واحد ويعرفها الجميع.
4- مساعدة الآخرين[2].

18-4 الخاتمة:

في الختام نؤكد بأن الزلازل والبراكين ما هي إلا ظاهرتين طبيعيتين من مجموعة من الظواهر الطبيعية الموجودة في هذا الكوكب، وهنالك الكثير من الأشياء التي يجب أن تؤخذ في الإعتبار على المدى البعيد عند حدوث هذه الظواهر وهى التخطيط المتقن في إنشاء المباني ونعني بالمتقن أي المدروس من جميع النواحي هندسية، جولوجية، وصحية، ودراسة الأراضي جيداً قبل حفر الأنفاق سواء لبناء محطات القطار أو لتصريف المياه أو لتوصيلات الكهرباء أو لإستخراج المياه الجوفية والنفط أو للربط بين البلدان المجاورة ببعضها البعض، وتفعيل جميع خطط الطوارئ في جميع البلدان المعرضة لهذه الظواهر بالطريقة التي تمكنهم من تفادي أخطارها، وبذلك تكون هذه الإعتبارات وسيلة إلى تقليل وتفادي الخسائر المادية والبشرية على المدى القريب والبعيد في تاريخ المدن الزلزالية في العالم.

19-4 التوصيات:

لدراسة الزلازل والبراكين لابد من الرجوع إلي أولي المسببات لهذه الكوارث الطبيعية وأن يتم دراستها من جميع النواحي الفيزيائية والجيولوجية والهندسية لإستنتاج أفضل النتائج التي يمكن أن تعين علماء الزلازل بالتنبؤ بوقوع هذه الزلازل بوقت أفضل قبل وصولها للنقطة المعنية سواء كانت دولة أو مدينة أو ساحل أو جبل بركاني والذي يمكن أن يثور نتيجة هذه الزلازل، وتعتبر هذه أفضل الطرق لمحاولة تقليل خسائر هذه الكوارث الطبيعية.

المراجع

1- (Hunt, F. V. (1978). *Origins in Acoustics*. New York: Acoustical Society of America Press, (1992).

2- د.شاهر جمال آغا ،1995، الزلازل حقيقتها واثارها،المجلس القومي للثقافة والفنون والآدب- الكويت.

3- (A.P. (1971 ،French. *Vibrations and Waves (M.I.T. Introductory physics series)*. Nelson Thornes.

4- صلاح محمد عبد الحميد،2007، طبيعة التسونامي، ط1، القاهرة ، مؤسسة طبية للنشر والتوزيع، (سلسلة الكوارث الطبيعة).

5- ^"Volcanic Gases and Their Effects" (HTML). U.S. Geological Survey. Retrieved 16-06-2007.

6- Deborah R. Coen. *The Earthquake Observers: Disaster Science From Lisbon to Richter* (University of Chicago Press; 2012) 348 pages; explores both scientific and popular coverage

7- www.phys4arab.net/vb/showthread.php?t=25973