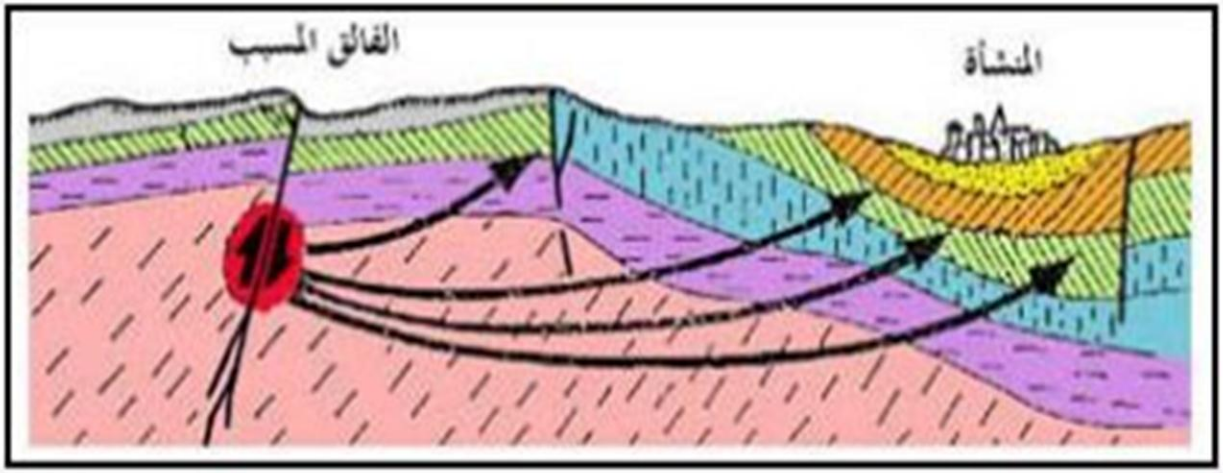
مقدمة عن التحليل الزلزالي باستخدام
تقنية ال BIM
المركز الاستشاري - جامعة ذمار

أعداد/

المهندس/سليمان عبدة المحمدي

مبادئ أولية في علم الزلازل
(١)



0096773502419
S.Almohamdy@yahoo.Com

مقدمة

تعريف الزلزال

الموجات الزلزالية وخصائصها

نطاقات النشاط الزلزالي والصفائح التكتونية

البنية الداخلية للأرض: القشرة، المعطف، النواة

العناصر الفيزيائية للزلزال

تعاريف أولية لبعض المصطلحات المستخدمة في الزلازل

الزلازل والصدوع

المقاييس الزلزالية : الشدة، القدر، العزم

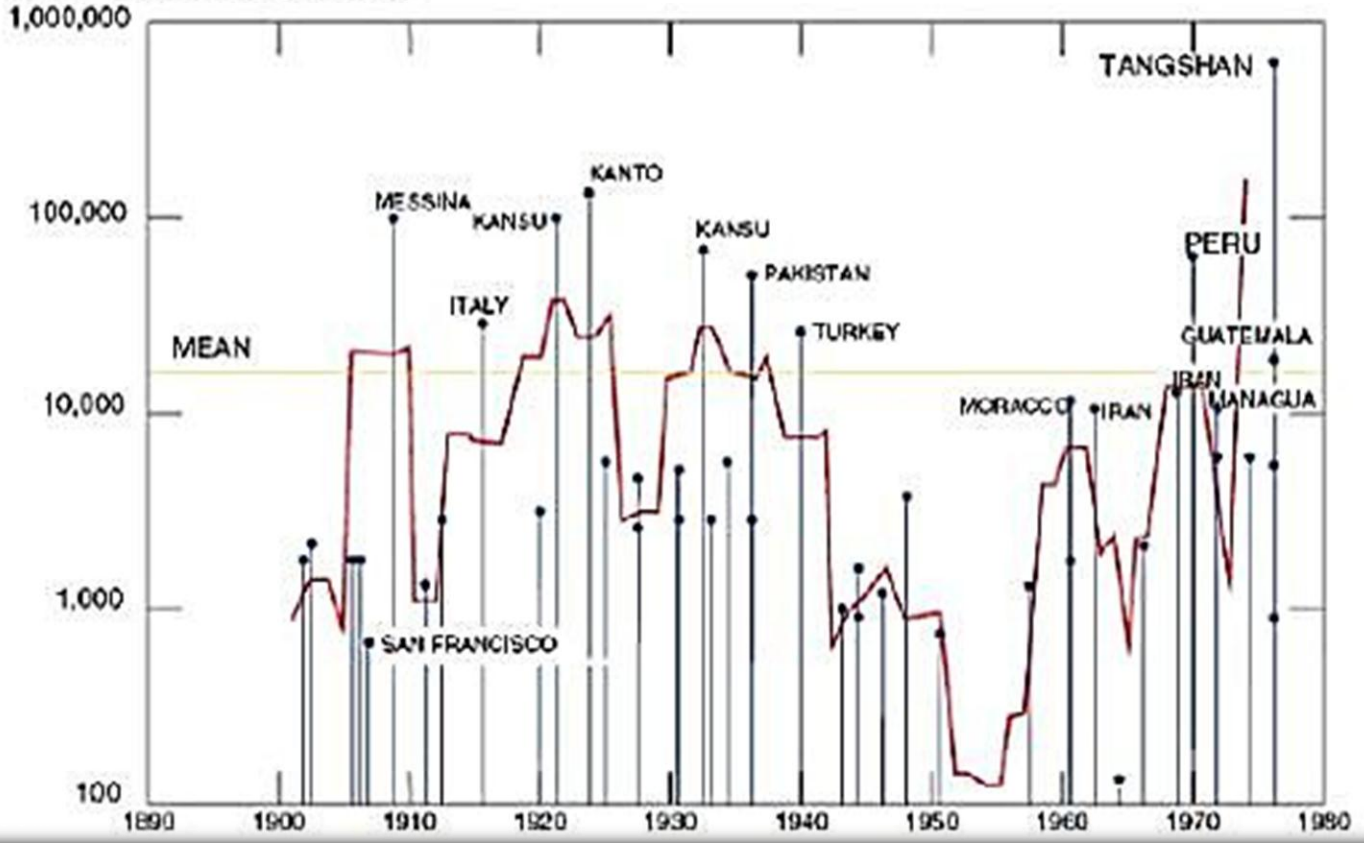
00967735024191
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

مقدمة :

تعد الزلازل من الكوارث الطبيعية الخطرة جداً إذ أنها توقع بشكل وسطي حوالي 10000 ضحية سنوياً علاوة على أضعاف هذا العدد من الجرحى كما تسبب خسائر مادية باهظة قدرتها دراسة لليونسكو بحوالي ($10,000,000,000) خلال الفترة 1926-1950. نذكر من تلك الزلازل المدمرة:

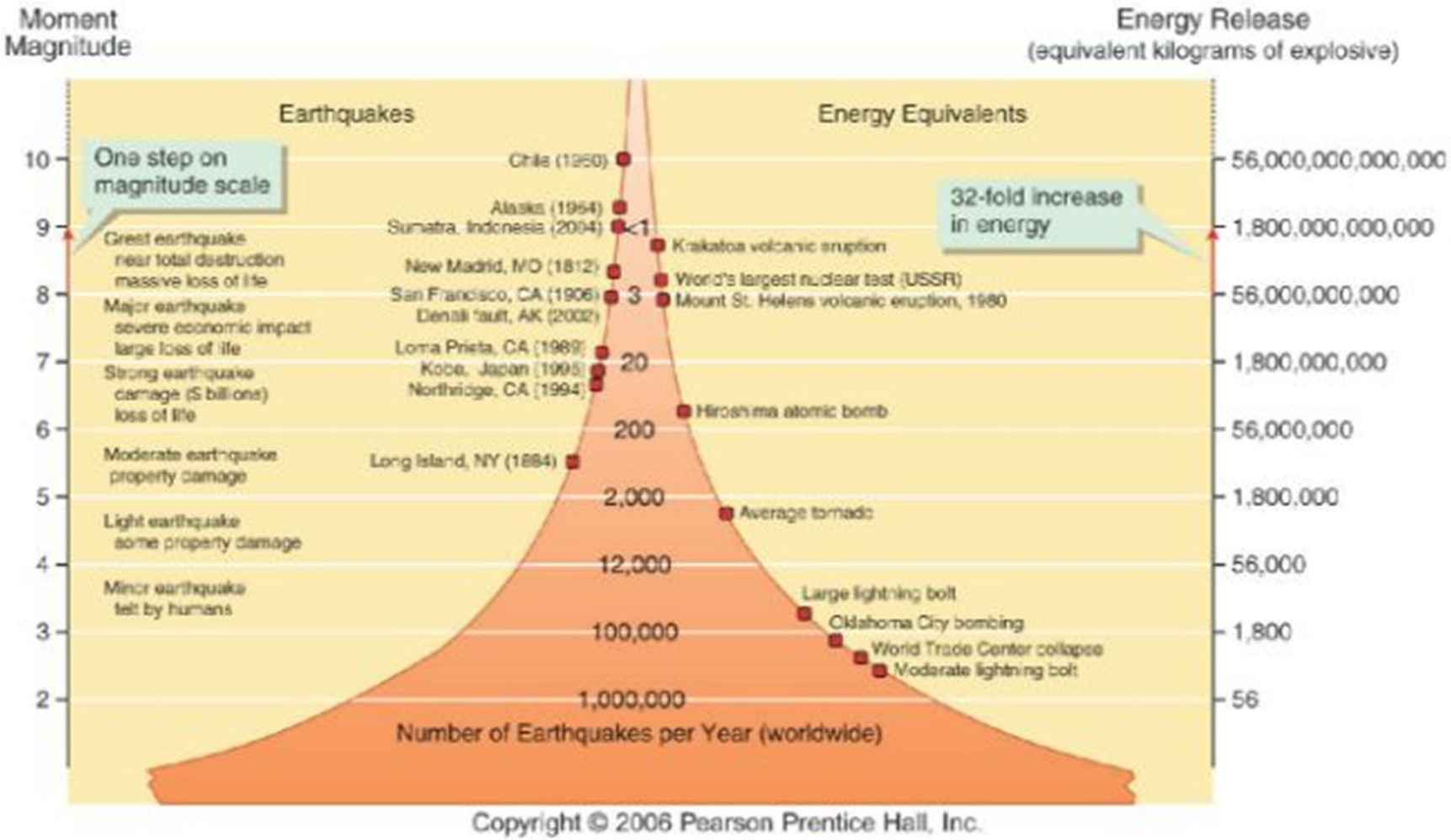
Ashkhabad (1948), Agadir (1960), Skopje (1963), Managua (1972), Gemona (1976), Tangshan (1976), Mexico City (1985), Spitak (1988), Kobe (1995), cities in Turkey and Taiwan (1999)

Loss of life caused by major earthquakes [After Hiroo Kanamori].



مقدمة :

إننا نسمع عن الزلازل أحياناً في الأخبار ولكنها في الحقيقة تحدث يومياً على كوكبنا حيث يحدث أكثر من ثلاثة ملايين زلزال كل سنة طبقاً للمسح الجيولوجي الأمريكي ذلك يعني حوالي ٨٠٠٠ زلزال في اليوم أو زلزال كل ١١ ثانية.



Copyright © 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

مقدمة :

ولكن أغلب هذه الـ ٣ ملايين زلزال ضعيف جداً وأحياناً تحدث زلازل قوية في المناطق الغير مسكونة لذلك لا نشعر بها إنما يسترعي إهتمامنا فقط الزلازل الكبيرة التي تحدث في المناطق الآهلة بالسكان.

قامت الزلازل بالتسبب بأضرار كثيرة على مر السنين وقد أودت بحياة الكثير من الناس حيث أنه وصلت ضحايا الزلازل إلى ١.٥ مليون ضحية في السنوات المائة الأخيرة لوحدها وليس الإهتزاز وحده عادة الذي يسبب هذه الأضرار إنما التدمير المرتبط بالأبنية وتحريض الكوارث الطبيعية الأخرى مثل التسونامي والإنهيارات الجليدية والإنهيارات الأرضية.

ضرر سكني حدث أثر زلزال في عام ١٩٩٤ م في منطقة نورث بريدج – كاليفورنيا

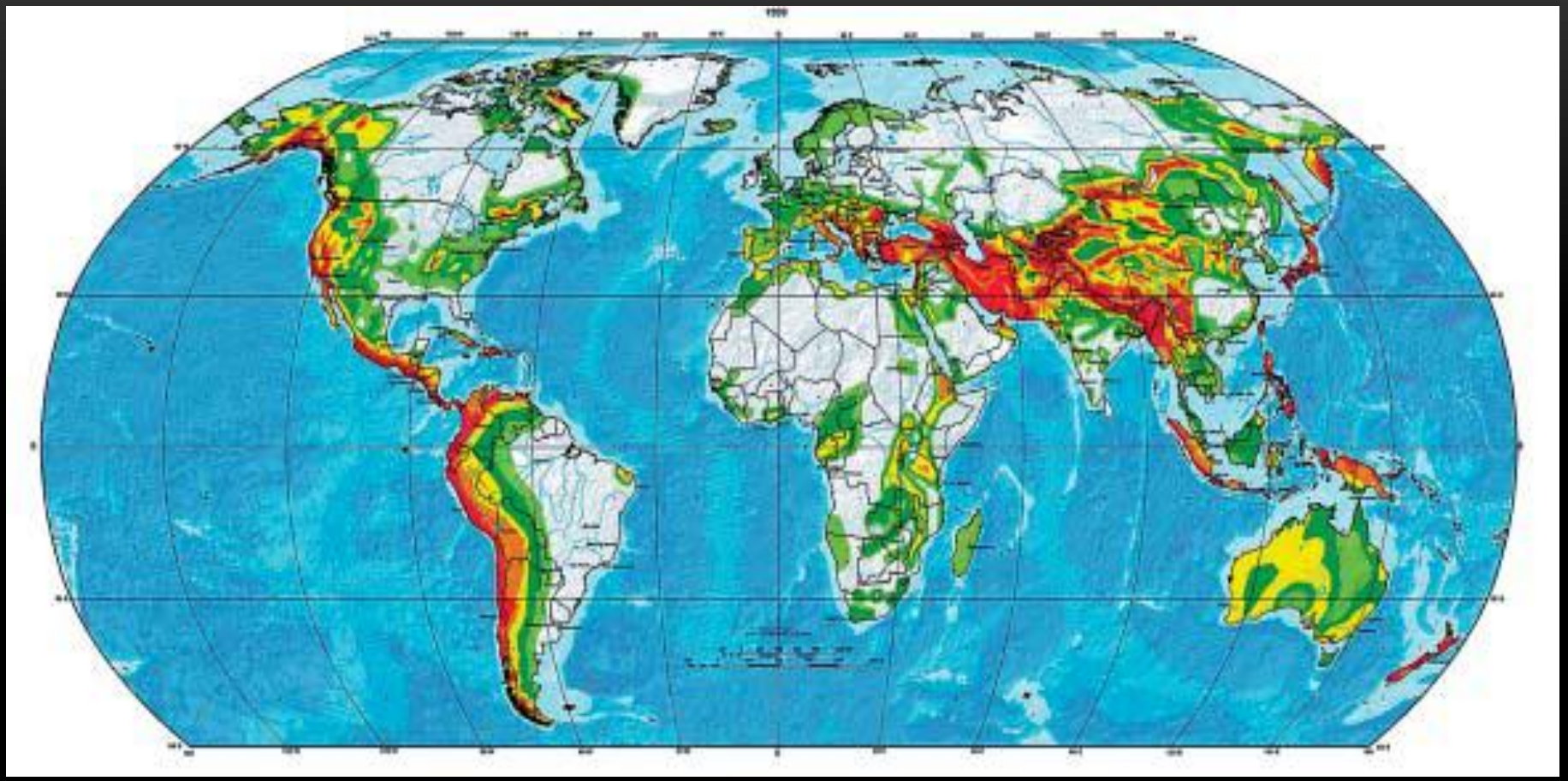
- **الزلزالية الكونية: Global Seismicity**

معظم الهزات الأرضية تحدث في المناطق المجاورة للمحيط الهادئ، هذا الحزام حول المحيط والمعروف بدائرة النار يشمل شواطئ أمريكا الشمالية والجنوبية على المحيط الهادئ، اليابان، جنوب شرق آسيا واستراليا

- **ازاحة القارات: Continental Drift**

لقد أصبح من المعلوم منذ بداية التسعينات بأن القارات تنزاح نسبة لبعضها البعض، تسمى هذه الحركة بالإزاحة القارية.

00967735024191
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM



PEAK GROUND ACCELERATION (m/s²)
10% PROBABILITY OF EXCEEDANCE IN 50 YEARS, 475-year return period

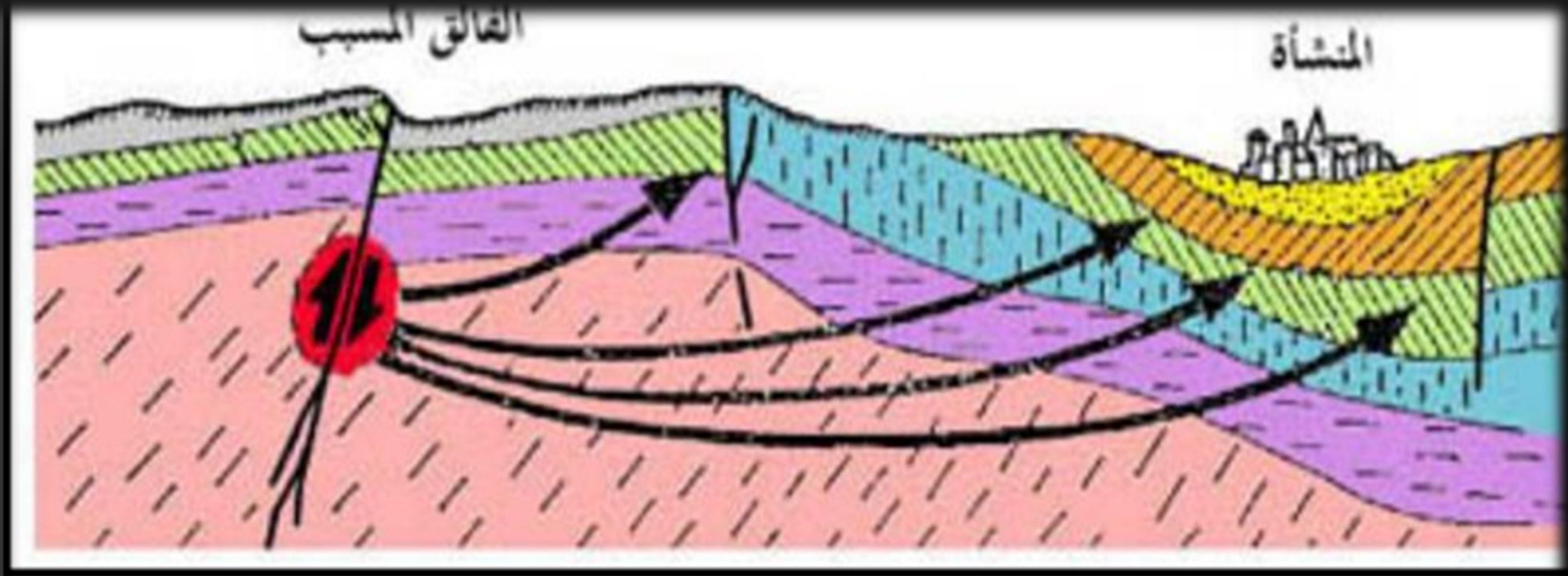
0	0.2	0.4	0.8	1.6	2.4	3.2	4.0	4.8
LOW HAZARD			MODERATE HAZARD		HIGH HAZARD		VERY HIGH HAZARD	

00967735024191
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

تعريف الزلزال (Earthquake):

الزلازل عبارة عن اهتزازات أرضية سريعة متلاحقة تصيب قشرة الأرض في فترات متقطعة من التاريخ وتنتشر في الطبقات الصخرية شكل موجات اهتزازية يمكن لها أن تقطع مسافاتٍ شاسعة. وتتفاوت في قوتها من الزلازل العنيفة الشديدة التي قد تسبب دماراً كاملاً للمدن إلى الهزات الضعيفة التي لا يشعر بها الإنسان وتستطيع المراصد الزلزالية الحساسة فقط تسجلها.

ومن وجهة نظر فيزيائية تعرف الزلزال بأنها تفريغ مفاجئ للطاقة المتراكمة والناجمة عن الحركة النسبية للكتل الصخرية ويحدث ذلك أولاً نتيجة وجود نتوءات صخرية تمانع تلك الحركة النسبية لفترة من الزمن فتتراكم الإجهادات إلى أن تتجاوز مقاومة القص لصخور تلك النتوءات فيحدث لها كسر فتتحرر تلك الطاقة المتراكمة وتنتشر في جميع اتجاهات الفراغ على شكل طاقة مرونية تظهر على شكل أمواج اهتزازية تدعى الأمواج السيسمية التي تنتشر بسرعات متباينة بحسب طبيعة ومواصفات الصخور المخترقة.



شكل يبين كيفية تحرر الطاقة الزلزالية من المنبع ثم انطلاقها عبر باطن الأرض.

00967735024191
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

علم الزلزال (Seismology)

هو ذلك العلم الذي يهتم بدراسة الموجات الزلزالية من حيث تولدها وانتشارها في الأرض وتسجيلها ودراسة مصادرها الطبيعية والصنعية

Seismology: the scientific study and recording of earthquakes and related phenomena (Concise Oxford Dictionary 9th Edition)

منشأ الزلزال :

وضعت عدة نظريات لتفسير نشؤ الزلازل نذكر من أهمها :

- نظرية الارتداد المرن (ريد ١٩١١)
- نظرية انزياح القارات (فيغنر ١٩١٢)
- نظرية اتساع قيعان المحيطات
- نظرية تكتونيك الصفائح التي جمعت النظريات الثلاثة

الموجات الزلزالية

عند حدوث الزلزال في نقطة ما من الأرض يتولد عنه نوعان من الموجات الزلزالية المرنة والتي تنتشر مبتعدة عن موقعه وهما :

الموجات الجسمية

تعرف الموجات الزلزالية الجسمية (Body waves) بأنها الموجات التي تنفذ من خلال جسم الأرض لتظهر في مناطق أخرى على سطحها وتنقسم الموجات الجسمية إلى نوعين هما : الموجات الأولية والموجات الثانوية

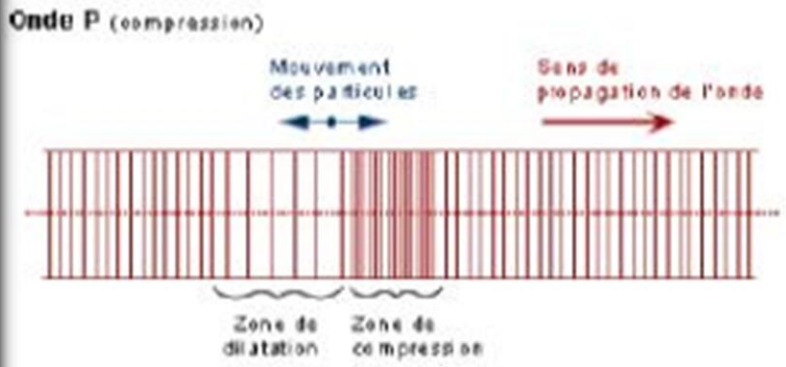
الموجات السطحية

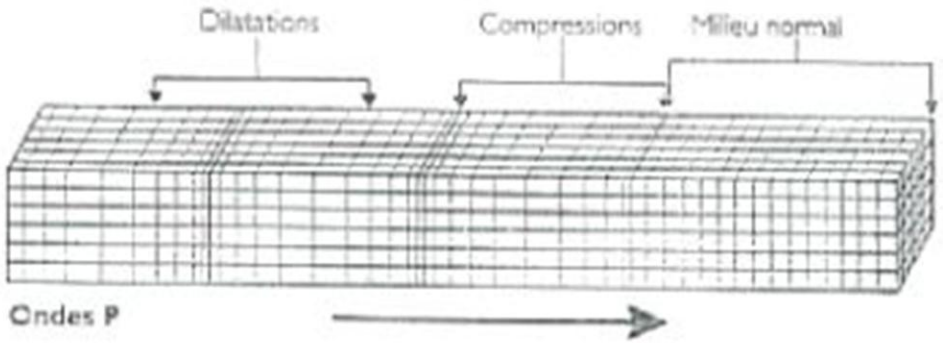
تعد الموجات السطحية (Surface Waves) الأكثر تدميراً وتنتقل بالقرب من سطح الأرض دون أن تمر في جوفها وتشبه لحد ما الأمواج التي تظهر على سطح البحيرات. وهي أبطأ أنواع الموجات الزلزالية إذ لا تتعدى سرعتها ٤.٤ كم/ثا وآخر ما يظهر في السجل الزلزالي. وتقسم الموجات السطحية إلى نوعين هما : موجة لوف وموجة ريلي

S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

الموجات الجسمية

١- **الموجات الابتدائية :** وتسمى بالموجات الأولية (Primary Waves) أو الطولية أو الموجات التضاغطية (Compressional Waves) ويرمز لها بالموجة P. تنتشر هذه الموجات خلال الأجسام الصلبة والسائلة والغازية في صورة تضاغطات وتخلخلات متوالية، وتتميز بأنها ذات أدوار (Period) قصيرة وتسير بسرعة عالية تتراوح سرعتها ما بين ٥.٥ إلى ١٣.٨ كم/ثا في الصخور الصلبة. ولذا فإنها تصل إلى أجهزة رصد الزلازل قبل غيرها من الموجات الأخرى كما أنها عند وصولها إلى سطح الأرض قادمة من الأعماق يتحول جزء منها إلى موجات صوتية في الهواء يتمكن الإنسان من سماعها عند ترددات معينة (تزيد عن ١٥ هرتز).

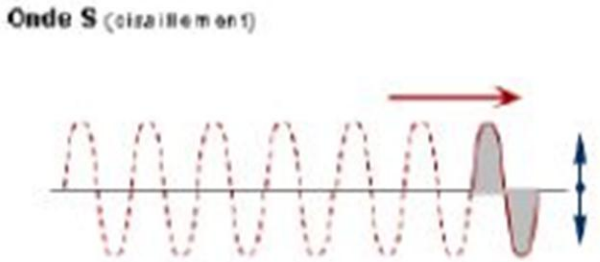


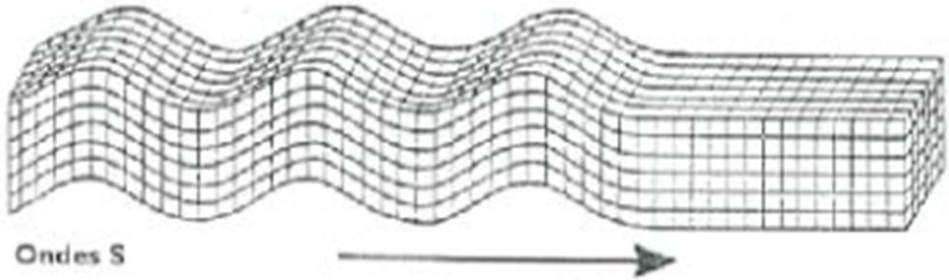


اشكل يوضح انتشار الموجة الطولية.

الموجات الجسمية

٢ـ الموجات الثانوية : وتسمى أيضاً بالموجات القصية (Shear Waves) أو الإزاحية أو الموجات العرضية ويرمز لها بالموجة S. وتنتقل هذه الموجات في الأجسام الصلبة فقط عن طريق الاهتزاز من جانب إلى آخر كأنها تقوم بقص الصخر أو إزاحته في اتجاه عمودي على اتجاه حركتها وهي ذات سرعات منخفضة حيث تتراوح سرعتها بين ٣.٢ إلى ٧.٣ كم، وتصل إلى أجهزة الرصد بعد الموجات الأولية ولذا تسمى بالموجات الثانوية (Secondary Waves).





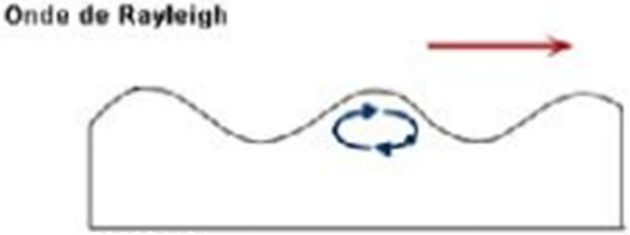
شكل يوضح انتشار الموجة العرضية.

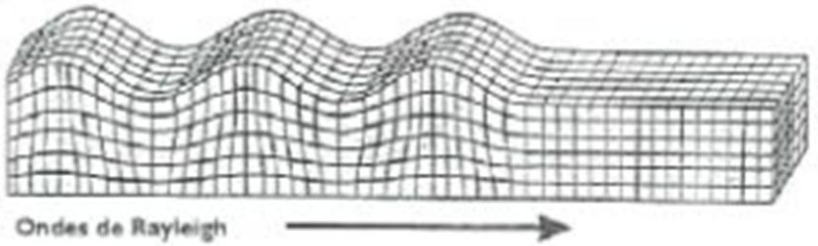
00967735024191
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

الموجات السطحية

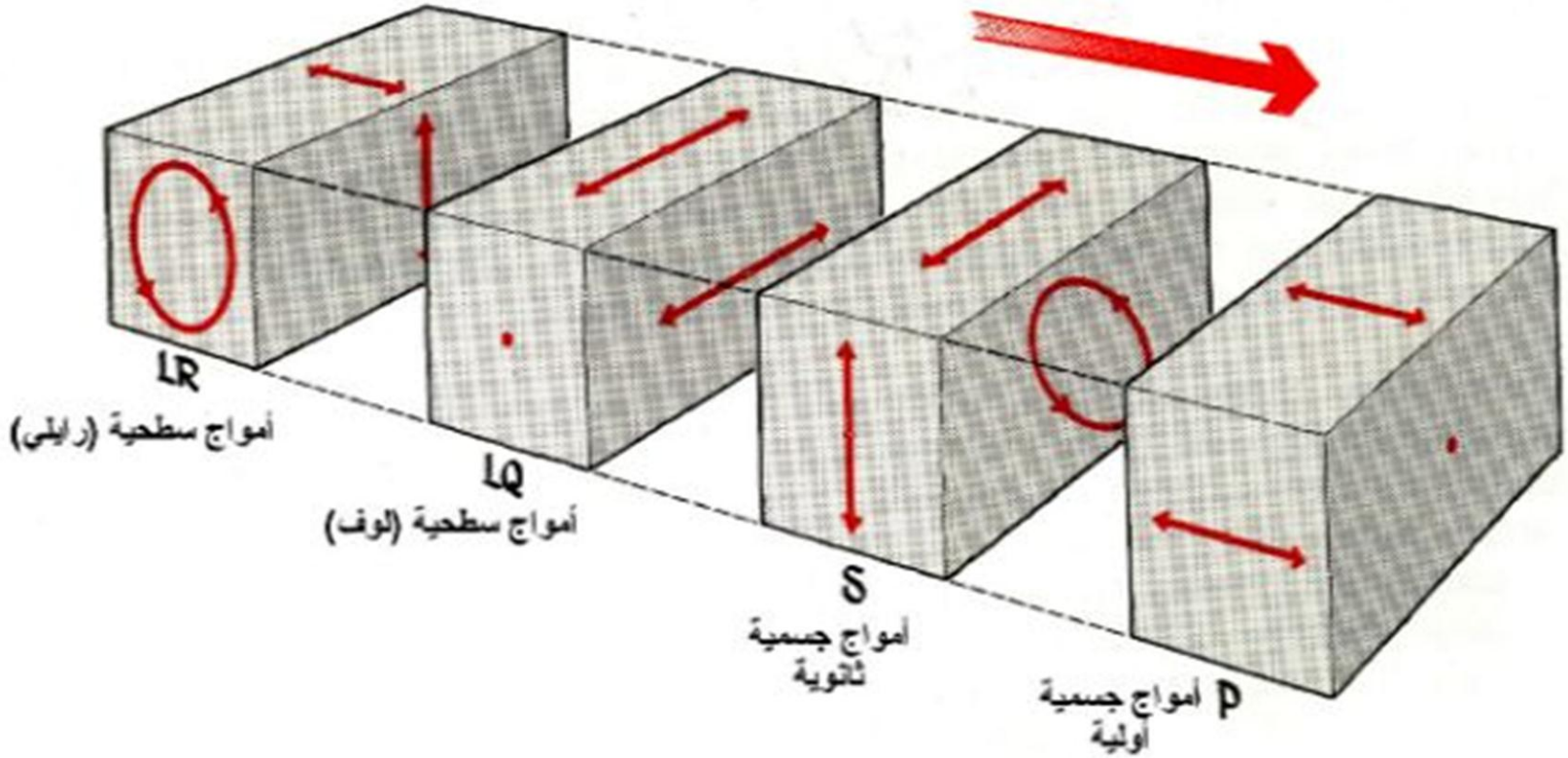
١- موجة لوف (Love) : وتم تسميتها نسبة إلى العالم لوف الذي اكتشفها ، وينتج عنها ذبذبات تشبه ذبذبات الموجة الثانوية ولكن في الاتجاه الأفقي فقط، وهي تؤثر بصفة خاصة على أساسات المنشآت. وتشبَه بحركة الأفعى على سطح الأرض.

٢- موجة ريلي (Rayleigh) : وتمت تسميتها نسبة إلى العالم السويدي ريلي الذي اكتشفها وهي تشبه أمواج البحر الدائرية، وفي تحريكها للماء. وتعمل هذه الموجة على تحريك الأشياء في المستويين الأفقي والشاقولي في اتجاه عمودي على اتجاه الموجة أي تجعل سطح الأرض يموج كأمواج المحيط. وتشبه بحركة العجلة المندفعة على سطح الأرض.



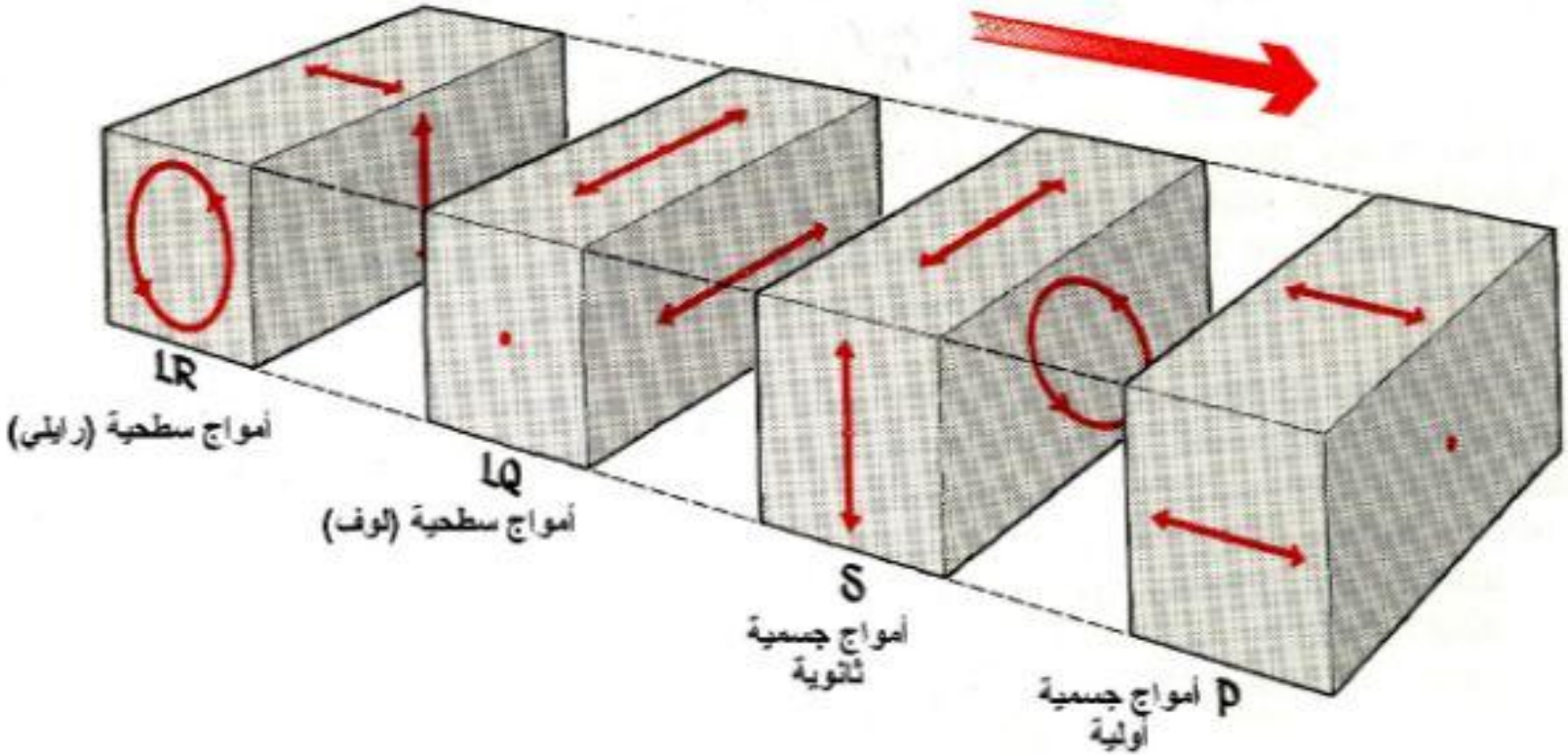


الموجات الزلزالية



مخطط يبين حركة جزئيات (جسيمات) الصخر التي تقع في طريق انتشار الأمواج الزلزالية. لاحظ أن الأمواج تنتشر من المنبع إلى محطة التسجيل (من اليسار إلى اليمين). وبسبب تباين سرع انتشار الأمواج، تسجل الأمواج على السيسموغرام بشكل متتالي : *P* ثم *S* ثم *LQ* ثم *LR* [بحسب كولهانيك، ١٩٩٠].

الموجات الزلزالية



مخطط يبين حركة جزئيات (جسيمات) الصخر التي تقع في طريق انتشار الأمواج الزلزالية. لاحظ أن الأمواج تنتشر من المنبع إلى محطة التسجيل (من اليسار إلى اليمين). وبسبب تباين سرع انتشار الأمواج، تسجل الأمواج على السيسموغرام بشكل متتالي : *P* ثم *S* ثم *LQ* ثم *LR* [بحسب كولهانيك، ١٩٩٠].

نطاقات النشاط الزلزالي

تحدث معظم الزلازل ضمن عمق يمتد لعدة عشرات من الكيلومترات من سطح الأرض نتيجة عمليات من التشقق الهش brittle fracture والانزلاق الاحتكاكي frictional sliding. ويحدث الآن نحو ٣٠ في المائة من الزلازل على أعماق تزيد على ٧٠ كيلومتر حيث يزيد الضغط على ٢ جيگاباسكال gigapascals (أي ما يعادل ٢٠٠٠٠ ضعف للضغط الجوي على مستوى سطح البحر)؛ كما أن ٨ في المائة منها تحدث على أعماق تزيد على ٣٠٠ كيلومتر، حيث يزيد الضغط على ١٠جيگاباسكال.

وتصنف الزلازل حسب عمقها إلى:

زلازل سطحية: عندما تقع بؤرتها على عمق أقل من ٥٠ كم.

زلازل متوسطة: عندما تقع بؤرتها على عمق ما بين ٥٠ كم إلى ٢٥٠ كم.

زلازل عميقة: عندما تقع بؤرتها على عمق ما بين ٢٥٠ إلى ٧٠٠ كم.

وتصنف الزلازل حسب بعد مركزها السطحي إلى :

زلازل محلية (Local) قريبة بعدها يقل عن ٢٠٠كم

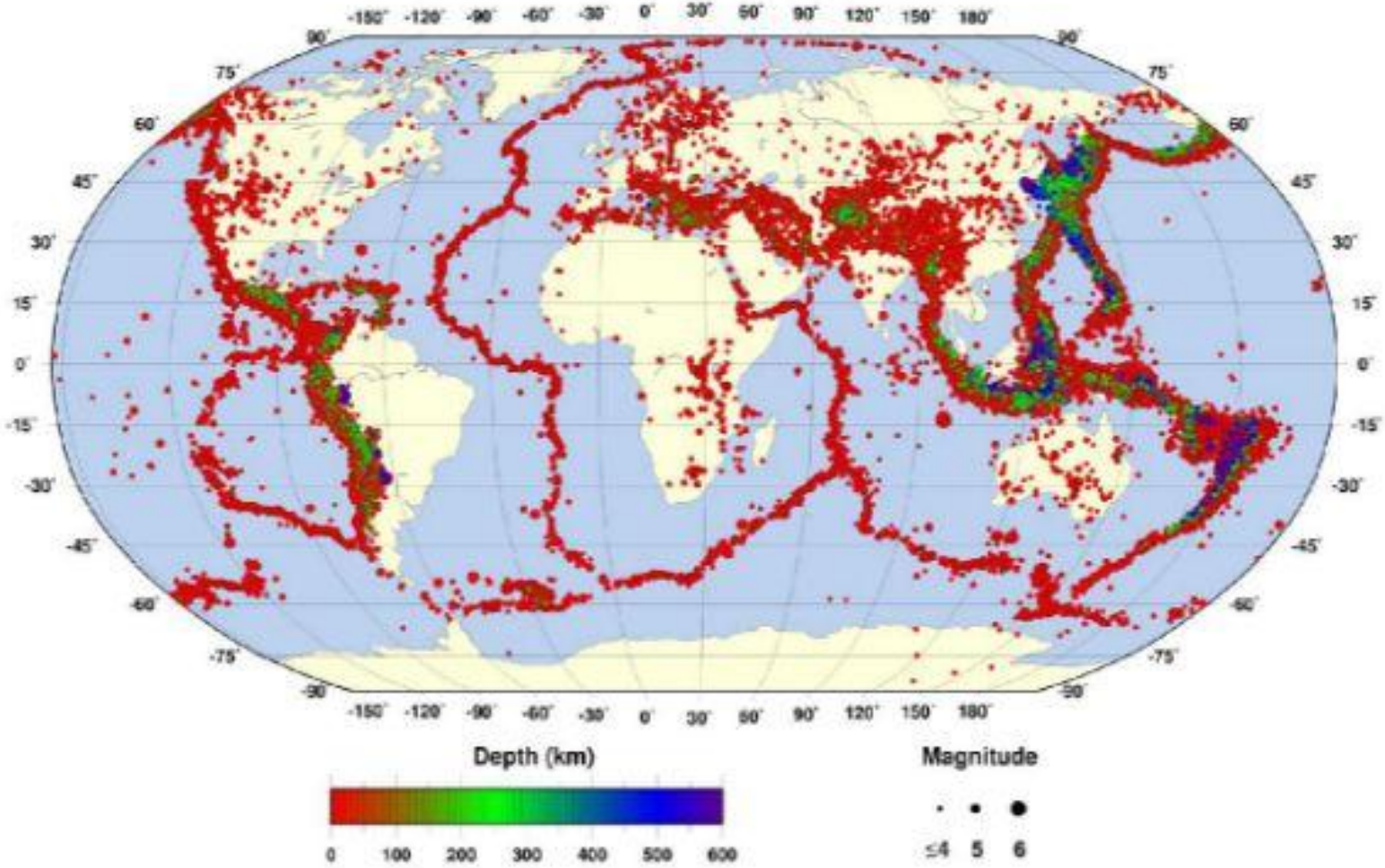
زلازل إقليمية (Regional) تبعد ٢٠٠-١٠٠٠كم

زلازل بعيدة تبعد ١٠٠٠-١٠٠٠٠ كم

زلازل بعيدة جداً (Teleseismic) أكبر من ١٠٠٠٠ كم.

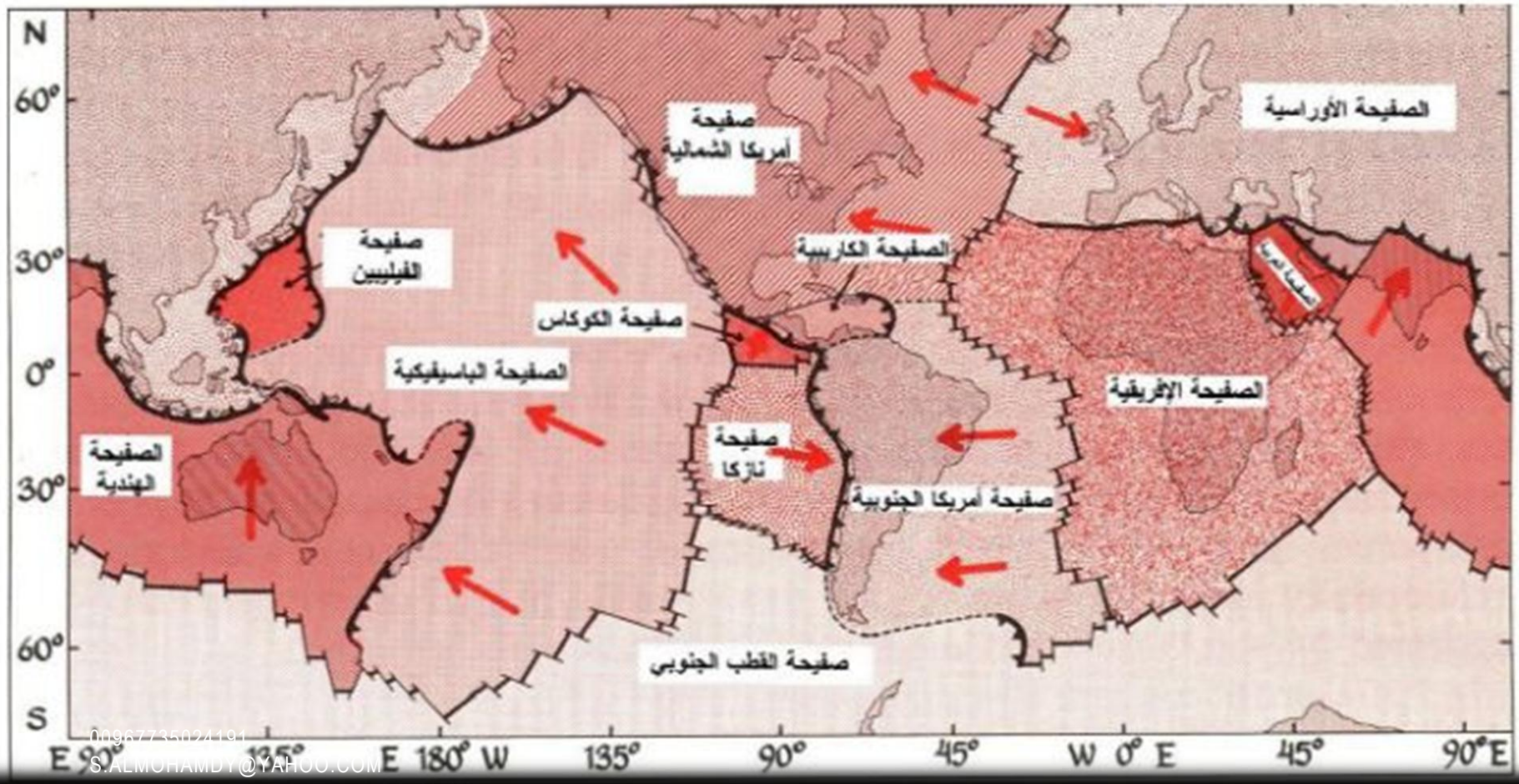
نطاقات النشاط الزلزالي

سمح تسجيل الموجات الزلزالية بحساب مواقع البؤر الزلزالية وبذلك فقد تحددت نطاقات للنشاط الزلزالي والتي تمتد حول العالم على شكل أحزمة طويلة. بينت الدراسات أن تلك النطاقات هي حدود بين الصفائح التكتونية وأن الحركة النسبية بين تلك الصفائح هي أهم أسباب الزلازل.



الصفائح التكتونية

والصفائح التكتونية هي أجسام صلبة طافية تنساب على طبقة الأستينوسفير اللزجة الساخنة والمتحركة وتنتقل الصفائح في اتجاه محيط الكرة الأرضية بواسطة خلايا التيارات الحرارية الصاعدة فعندما تتحرك صفيحتان جيولوجيتان في اتجاهين متضادين فإنهما تبتعدان عن بعضهما بالنسبة للخط الفاصل لحركتهما ويتألف هذا الفاصل من الأعراف المحيطية والصدوع المتحولة.



mga6773b0241191
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

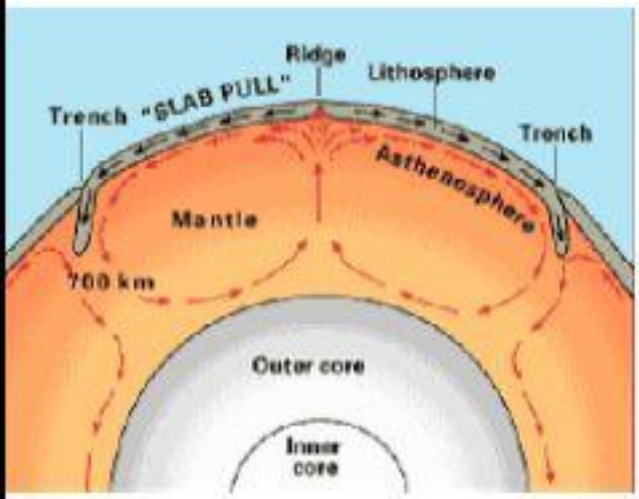
الصفائح التكتونية

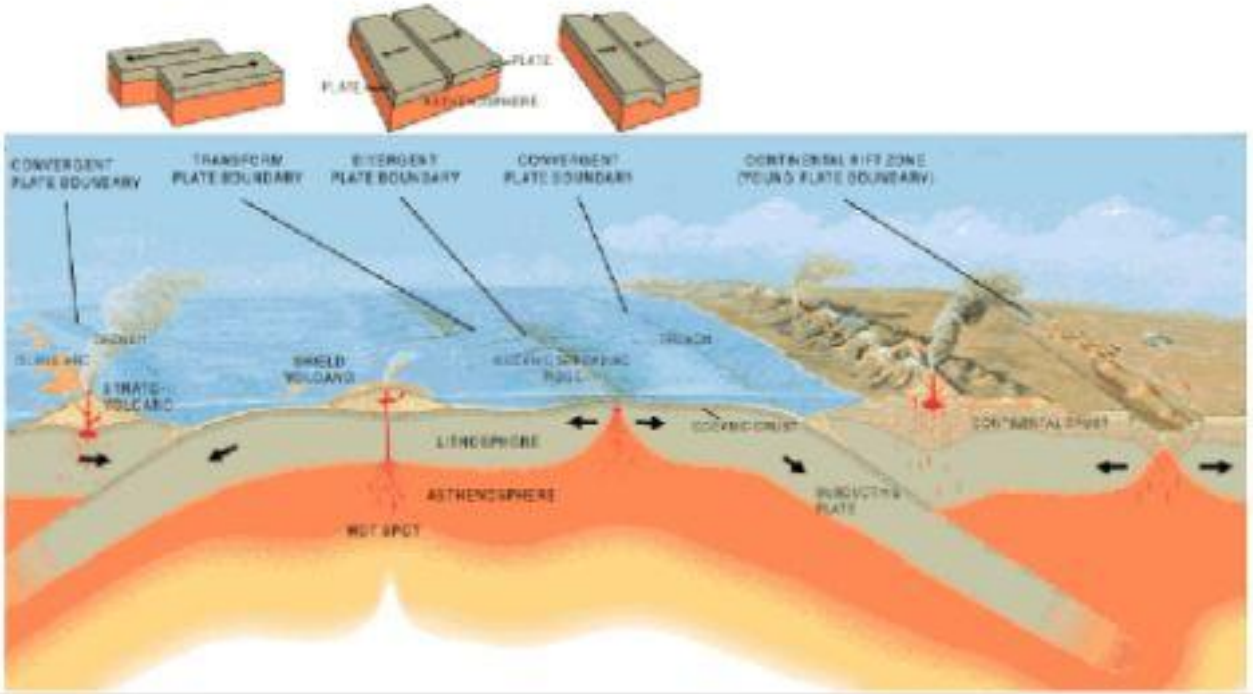
لقد أمكن باستخدام التقنيات الحديثة التي وفرتها تكنولوجيا الأقمار الصناعية والمسماة GPS (Global Position System) من قياس سرعة تحرك الصفائح واتجاهه حيث وجد أنها تتحرك بسرعة غير منتظمة ما بين ٢-١٥ سم في العام وذلك ربما يرجع إلى التوزيع غير المتساوي للحرارة في الأرض وقد حددت أنواع الحركات النسبية للصفائح كالآتي :

الحركة التباعدية (تباعد الصفائح وتمددها Divergent)

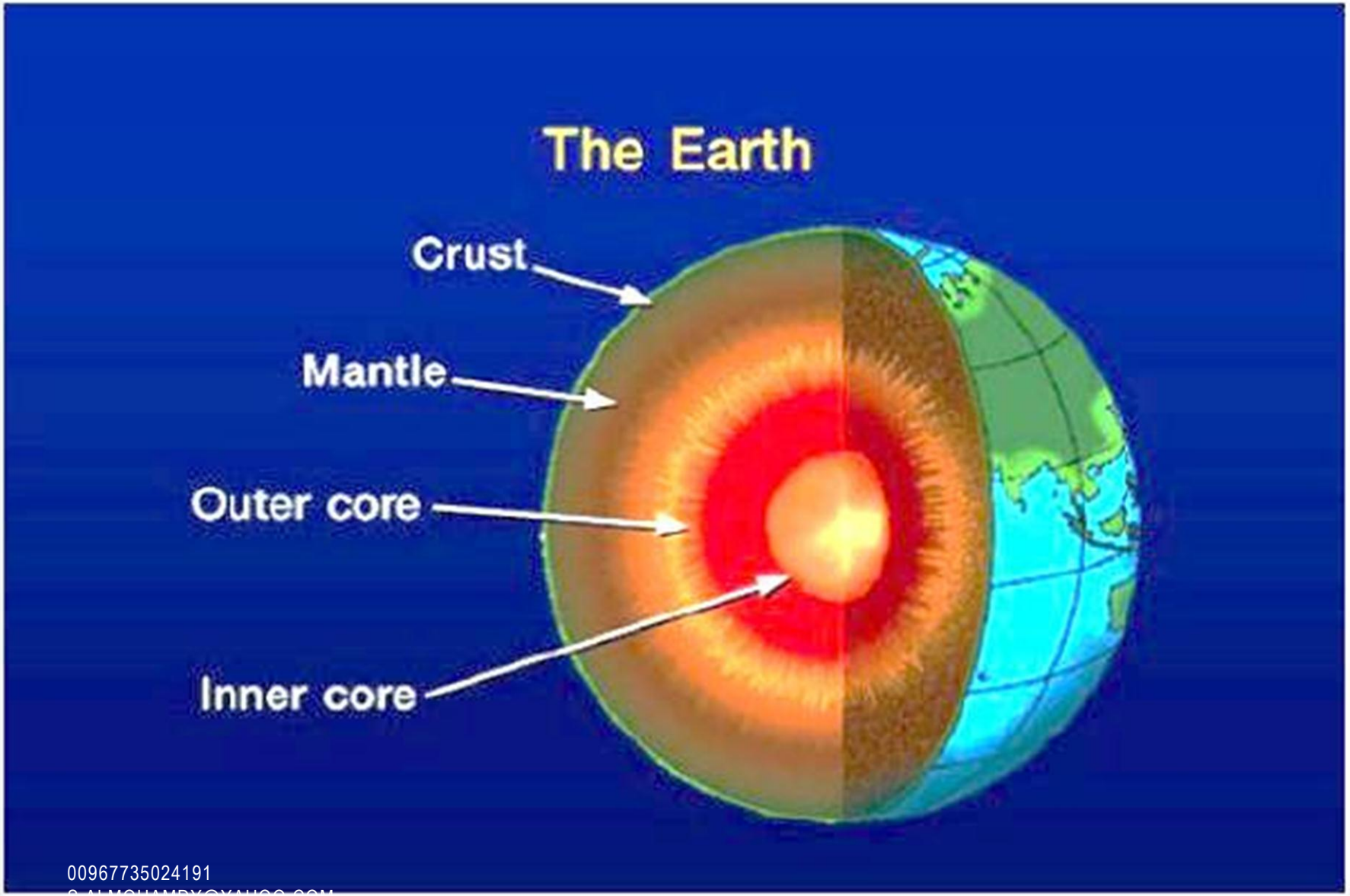
الحركة التقاربية (حركة الصفائح باتجاه بعضها Convergent) ومن ثم قصرها.

الحركة التحويلية (الانزلاقية Transform) حركة أفقية للصفائح.



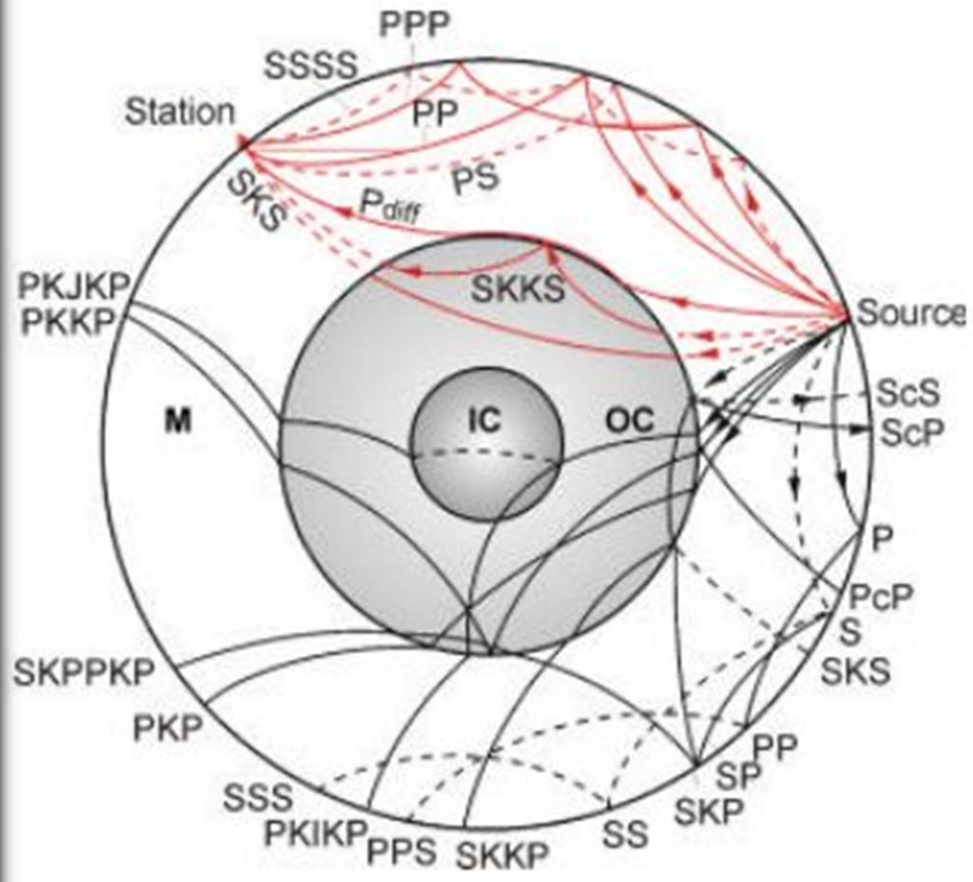


البنية الداخلية لباطن الأرض



00967735024191

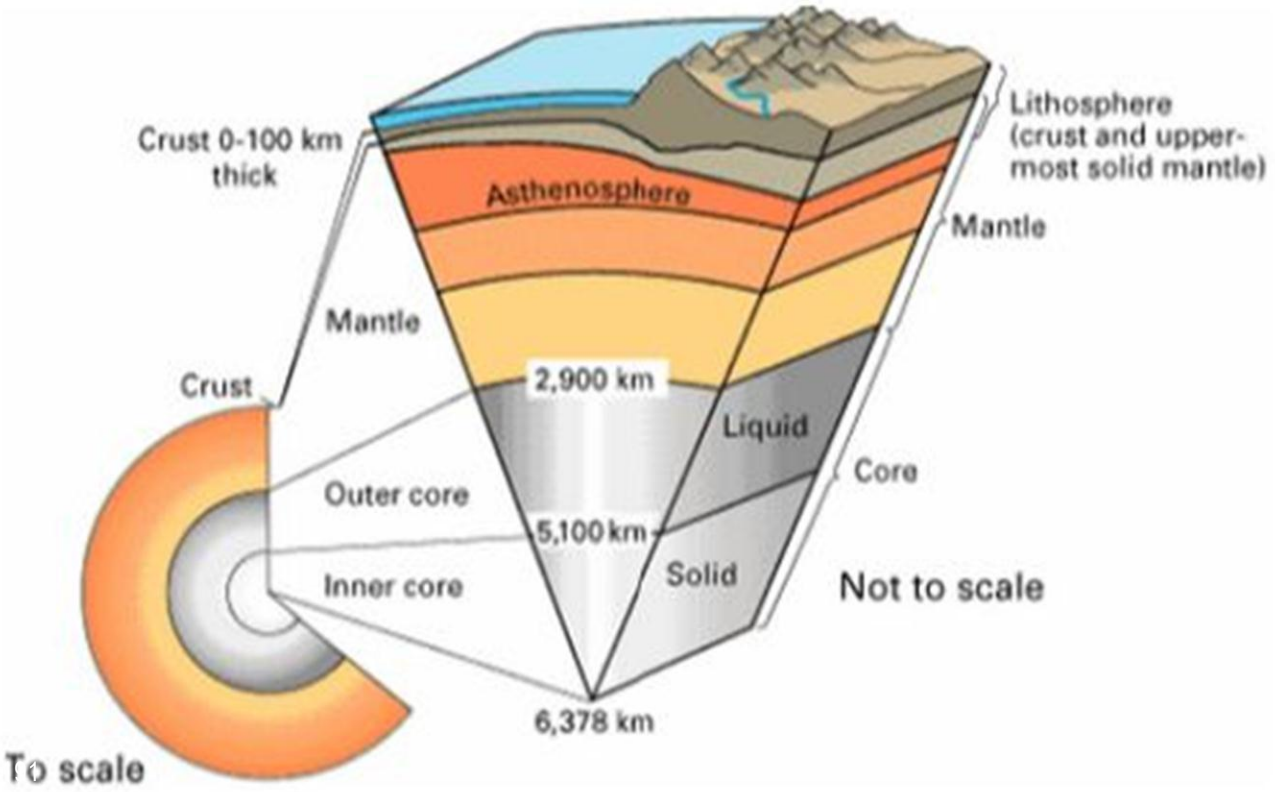
البنية الداخلية لباطن الأرض



لقد اعتمد في تعرف مكونات وخصائص باطن الأرض على الطرق الجيوفيزيائية، خاصة الأمواج الاهتزازية التي تطلقها الهزات الأرضية، أو التفجيرات النووية. ولقد لوحظ تباين سرعة الأمواج الاهتزازية الطولية والعرضية ضمن الكرة الأرضية وذلك تبعاً لتباين طبيعة المواد التي تكونها وحسب درجة صلابتها وليونتها. فالأمواج الطولية P يمكنها أن تخترق كل الاوساط الطبيعية داخل الأرض وخارجها (صلبة-سائلة-غازية). أما الأمواج العرضية S فلا تتغلغل إلا في الأوساط الصلبة. ولهذا الواقع أهمية علمية وتطبيقية كبرى. وذلك لأن طبيعة ولوج هذه الأمواج الأرض وتباين سرعاتها قد ساعدت على التعرف وبدرجة كبيرة من الصحة على واقع باطن الأرض ومما تتكون.

البنية الداخلية لباطن الأرض

انطلاقاً مما ذكر سابقاً، تم التعرف على ثلاثة نطاقات مختلفة رئيسة للأرض تنفصل عن بعضها البعض بسطوح انفصال وأشرطة نطاقية انتقالية تتسم بتبدلات فجائية وكبيرة في سرعة الامواج الاهتزازية، مما يشير إلى الانتقال من وسط فيزيائي إلى آخر. وهكذا نميز في الأرض الأغلفة الأرضية التالية: قشرة ومعطف ونواة.



البنية الداخلية لباطن الأرض

١- القشرة الأرضية

واستناداً على نتائج ومعطيات الدراسات البتروغرافية نميز ضمن القشرة الأرضية ثلاث طبقات صخرية رئيسة هي من الأعلى إلى الأسفل :

طبقة الصخور الرسوبية : تتألف من تعاقب طبقات من صخور رسوبية مختلفة ترسبت موادها في أحواض ترسيب بحرية أو قارية .

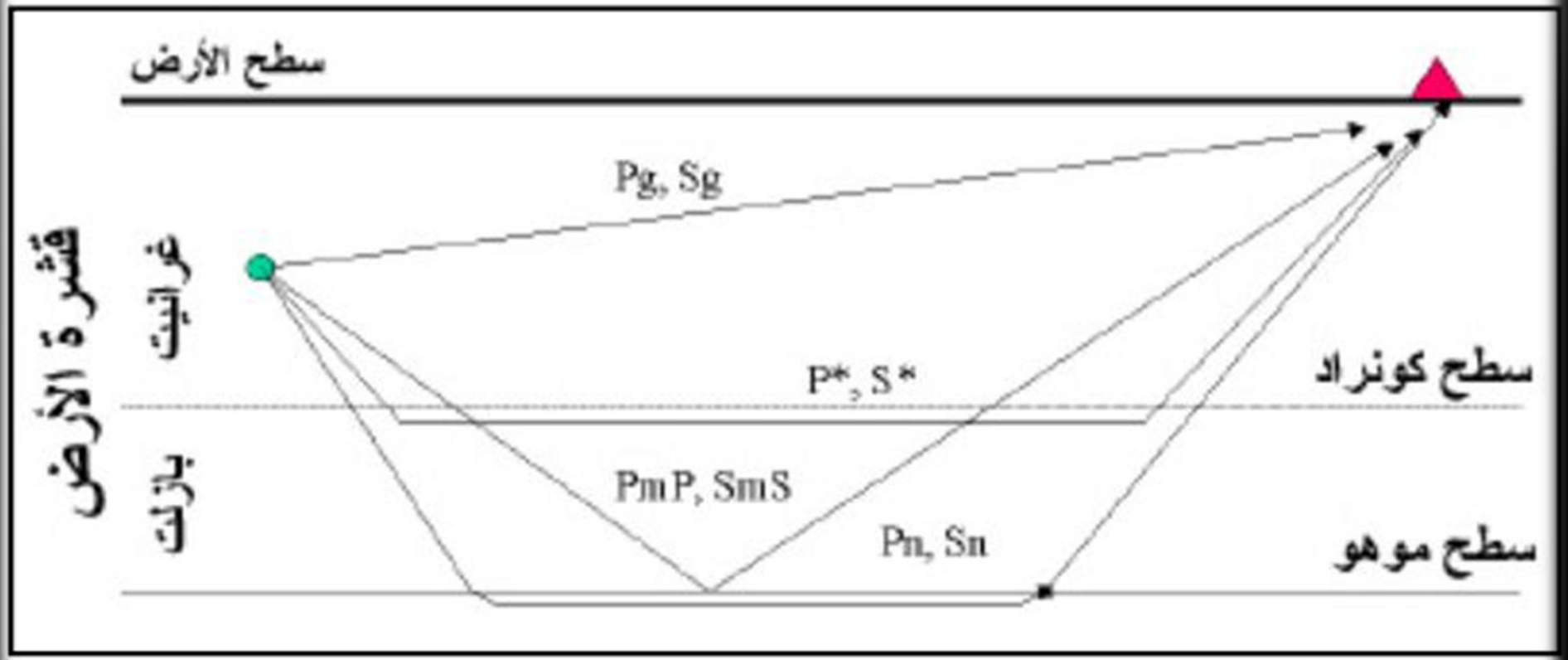
طبقة الصخور الغرانيتية : تتألف من صخور نارية ومتحولة وقد تشكلت هذه الصخور من تبرد المواد المنصهرة أو كنتيجة لعمليات التحول.

الطبقة البازلتية : تتألف من صخور نارية أساسية.

- يفصل انقطاع موهو M قاعدة القشرة التي تسير بها الأمواج P بسرعة ٦.٥ كم/ثا عن الصخور المعطف التي تسير بها أمواج P بسرعة ٨ كم/ثا.
- تتراوح ثخانة القشرة تحت القارات بين ٢٥ كم و ٤٠ كم، وتصل إلى ٦٠-٧٠ كم تحت الجبال العالية. فيما تكون ثخانة القشرة صغيرة جداً (بحدود ٥ كم) تحت المحيطات العميقة.
- نفترض عند دراسة الزلازل المحلية، أن القشرة الأرضية مؤلفة من طبقتين أفقيتين بنفس الثخانة يفصل بينهما سطح انقطاع كونراد. تمثل الطبقة العليا صخور غرانيتية والسفلى صخور بازلتية.

S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

البنية الداخلية لباطن الأرض



شكل يبين نموذج مبسط لقشرة الأرض وأمواج الزلازل المحلية والإقليمية. تمثل Pg و Sg الأمواج الانضغاطية والقصية في الطبقة الغرانيتية، و P* و S* نفس الأمواج التي تعبر تماماً تحت سطح انقطاع كونراد، و PmP و SmS نفس الأمواج المنعكسة من سطح موهو، و Pn و Sn نفس الأمواج التي تسير على امتداد سطح انقطاع موهو [IASPEI، ٢٠٠٢].

S.ALMOHAMDI@YAHOO.COM

البنية الداخلية لباطن الأرض

٢- المعطف الأرضي

- يمتد المعطف من سطح موهو إلى حد المعطف-النواة الذي يقع على عمق ٢٩٠٠ كم.
- يعد مجمل المعطف طبقة صلبة ومتجانسة.
- تزداد سرعة أمواج P من ٨ كم/ثا تحت سطح موهو إلى ١٣.٧ كم/ثا قرب حد المعطف-النواة.
- يقسم المعطف إلى معطف علوي (متضمناً على طبقة الليثوسفير غير القشرة وطبقة الأستينوسفير) ومعطف سفلي.
- يمتد المعطف العلوي حتى عمق ٧٠٠ كم: وفيه يتناقص تدرج السرعة، كما ويتضمن عدة سطوح انقطاع.
- أحد أهم سمات المعطف العلوي وجود طبقة السرعة المنخفضة على عمق بين ١٠٠ و ٢٥٠ كم تحت سطح الأرض، تكون الصخور فيها منصهرة جزئياً، وتخامد الأمواج أعلى ما يمكن.
- يمتد المعطف السفلي من عمق ٧٠٠ كم إلى عمق ٢٩٠٠ كم (حد المعطف-النواة).
- تزداد سرع الأمواج الزلزالية بشكل تدريجي مع العمق.

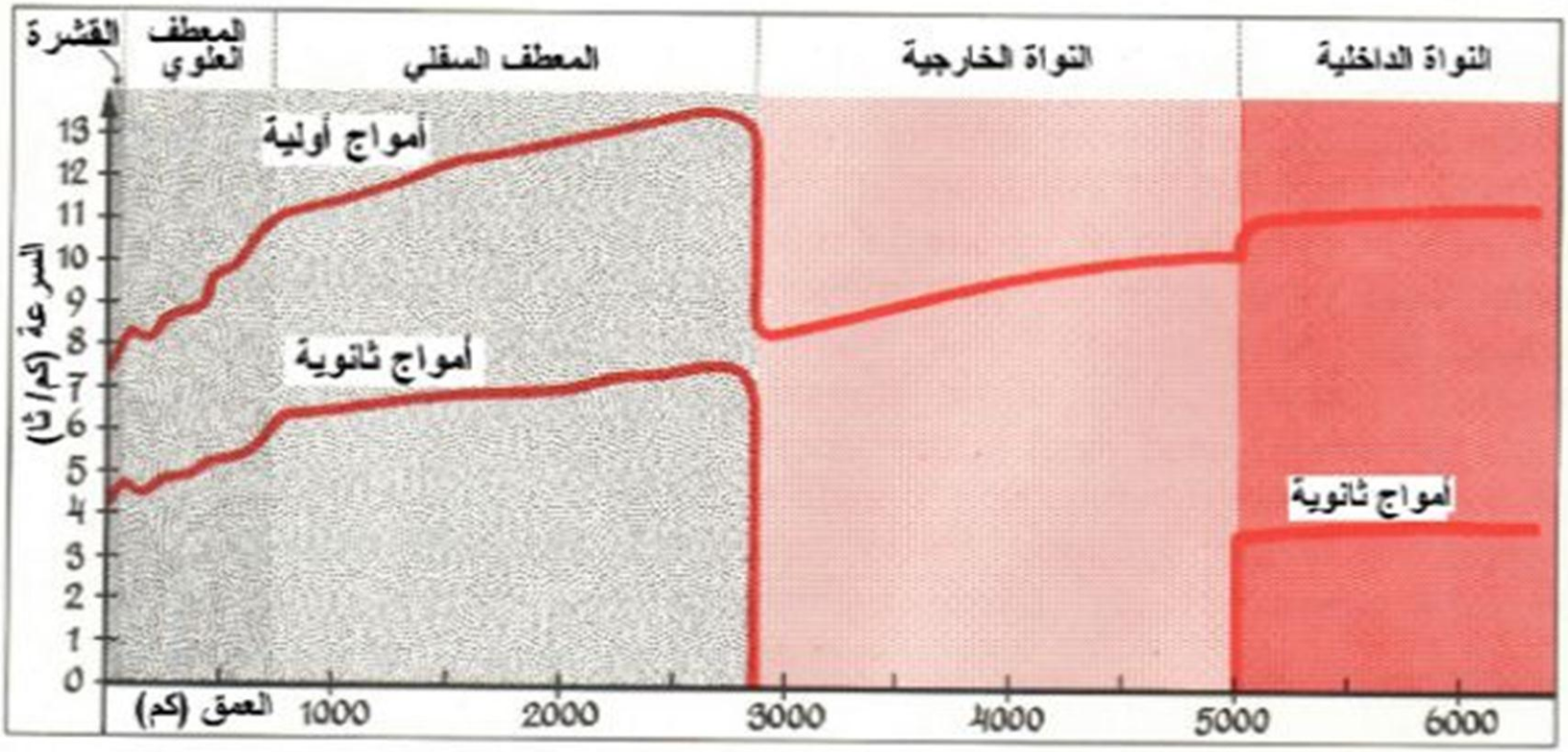
00967735024191
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

البنية الداخلية لباطن الأرض

٣- نواة الأرض

- تقع نواة الأرض تحت حد المعطف-النواة.
- نصف قطر النواة بحدود ٣٥٠٠ كم.
- يتمثل حد المعطف-النواة بسطح انقطاع حاد وواضح بخصائصه الفيزيائية مثل انخفاض سريع لسرعة الموجة P من القيمة ١٣.٧ كم/ثا إلى ٨.١ كم/ثا، وانقطاع لموجة S.
- يعود سبب انقطاع موجة S إلى الطبيعة المائعة (السائلة) للنواة.
- قادت دراسة الأمواج الزلزالية إلى تقسيم النواة إلى نواة خارجية وأخرى داخلية.
- يعتقد بعض العلماء بوجود طبقة انتقالية ذات ثخانة ١٥٠ كم بين قسمي النواة.
- في حين يرى آخرون بعدم وجود هذه الطبقة الانتقالية بل هنالك سطح انقطاع حاد يؤدي إلى زيادة في سرعة أمواج P.

البنية الداخلية لباطن الأرض



شكل بياني يبين توزع سرعات الأمواج الجسمية الانضغاطية (P) والقصية (S) داخل الأرض [بولت، ١٩٨٢]. يلاحظ وجود طبقة السرعة المنخفضة على عمق يتراوح بين ١٠٠-٢٥٠ كم. لا تنتشر الأمواج القصية في نواة الأرض الخارجية ذات الطبيعة السائلة، وبالتالي ينقطع منحني هذه الأمواج فيها. يمكن من الناحية النظرية للأمواج القصية أن تعود وتظهر في نواة الأرض الداخلية ذات الطبيعة الصلبة [كولهانيك، ١٩٩٠].

العناصر الفيزيائية للزلازل

البعد المركزي : المسافة بين نقطة الملاحظة أو محطة الرصد الزلزالي وبؤرة الزلزال.

المنطقة المركزية: هي المنطقة من سطح الأرض التي يظهر فيها الزلزال بشدة عظمى.

أزمنة الوصول (Arrival times) : وهي أزمنة وصول الموجات الزلزالية إلى محطات الرصد الزلزالي وتحدد عادة بنظام غرينتش للتوقيت العالمي (GMT) وبدقة أجزاء الثانية وتستخدم أزمنة الوصول في تحديد موقع البؤرة الزلزالية.

مدة الزلزال (Event duration) : وهي عبارة عن المجال الزمني (بالثانية) المقاس على سجل الزلزال من بداية الأمواج الأولية إلى اللحظة التي يصبح فيها مطال الاهتزاز لا يزيد عن ضعفي الضجيج الزلزالي أي حتى اضمحلال الاهتزاز الناتج عن الزلزال.

حجم الزلزال (Event size) : وهو مؤشر إلى قوة الزلزال يمكن من المقارنة بين الزلازل التي تحدث في كافة أنحاء العالم وقد ظهرت عدة أنواع من مقاييس قوة الزلازل منها ما هو كمي وسمي القدر الزلزالي (Earthquake Magnitude) يعتمد على التسجيلات الزلزالية ومنها ماهو وصفي وسمي الشدة الزلزالية (Earthquake Intensity) يعتمد على شعور السكان أو درجة ونوع الدمار الذي خلفه الزلزال في الأبنية والمنشآت.

S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

العناصر الفيزيائية للزلازل

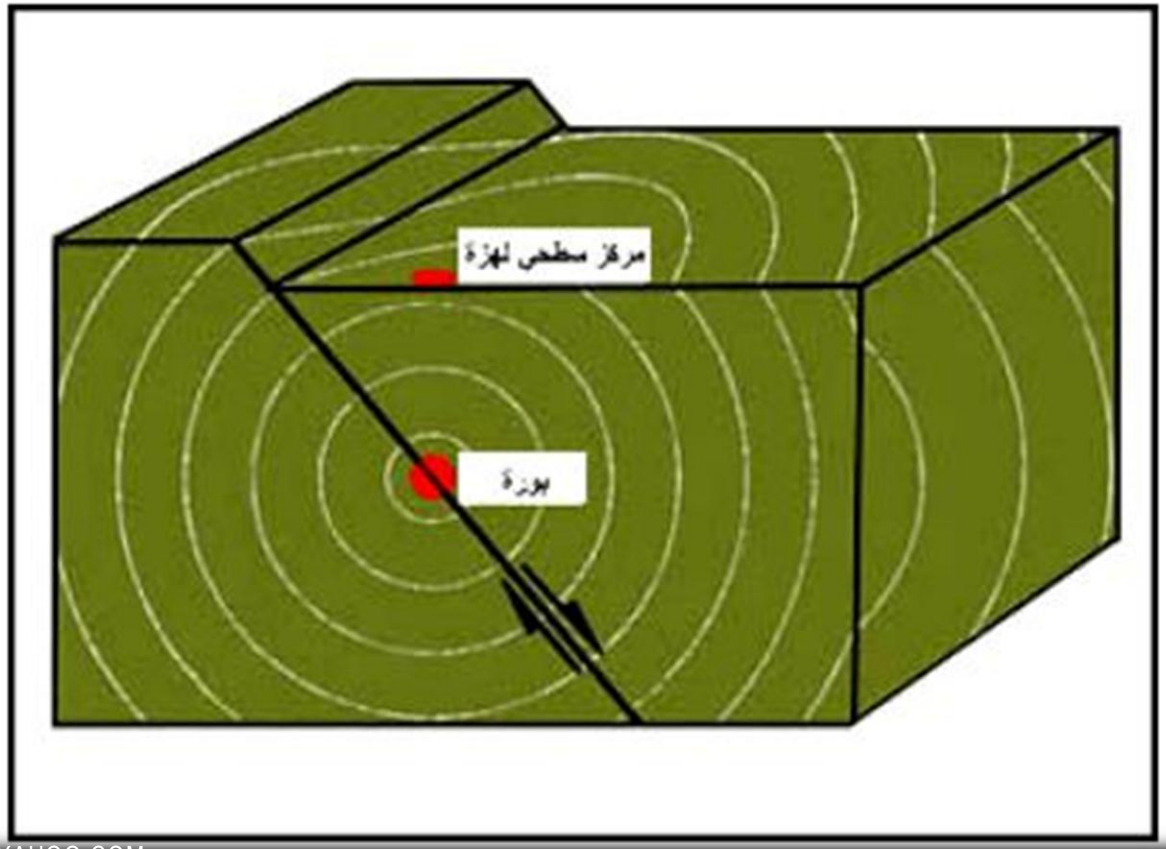
بؤرة الزلزال (Hypocenter) : وهي موقع التمزق الصخري (rupture) الذي حرر الطاقة الكامنة وحولها إلى طاقة مرونية تنتشر على شكل موجات اهتزازية في جميع الاتجاهات وغالباً ما تمثل البؤرة الزلزالية بنقطة تعطى إحداثياتها الجغرافية (خط الطول، خط العرض، العمق) أو إحداثياتها الديكارتية (X, Y, Z) وفق الأنظمة المساحية المستخدمة مثل لامبير أو ميركاتور المعترض. في الواقع الفيزيائي لا يعبر التمثيل النقطي المبسط عما يجري في الحقيقة فالتمزق الصخري يمكن أن يأخذ شكل سطح : مستوي أو معرج، أو شكل خطي : مستقيم واحد أو عدة قطع مستقيمة أو أشكال عشوائية معقدة. في كل الأحوال يمكن للتمثيل النقطي أن يعبر عن نقطة بداية التمزق الصخري.

الزمن المرجع (Origin time) : هي اللحظة الزمنية التي بدأ فيها التمزق الصخري (rupture) وتحررت منه الطاقة الكامنة وتحولت إلى طاقة مرونية تنتشر على شكل موجات اهتزازية أي زمن حدوث الزلزال في منبعه وتحدد هذه اللحظة البدئية عادة بنظام غرينتش للتوقيت العالمي (GMT) وبدقة أجزاء الثانية.

00967735024191
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

العناصر الفيزيائية للزلازل

المركز السطحي (Epicentre) : هو مسقط البؤرة الزلزالية على سطح الأرض ويمثل بنقطة تعطى إحداثياتها الجغرافية أو إحداثياتها الديكارتية في حين أن بؤرة زلزال (Hypocenter) عبارة عن نقطة داخل الأرض تكون مركز الزلزال ومنها تنتشر الأمواج الزلزالية المتعلقة به.



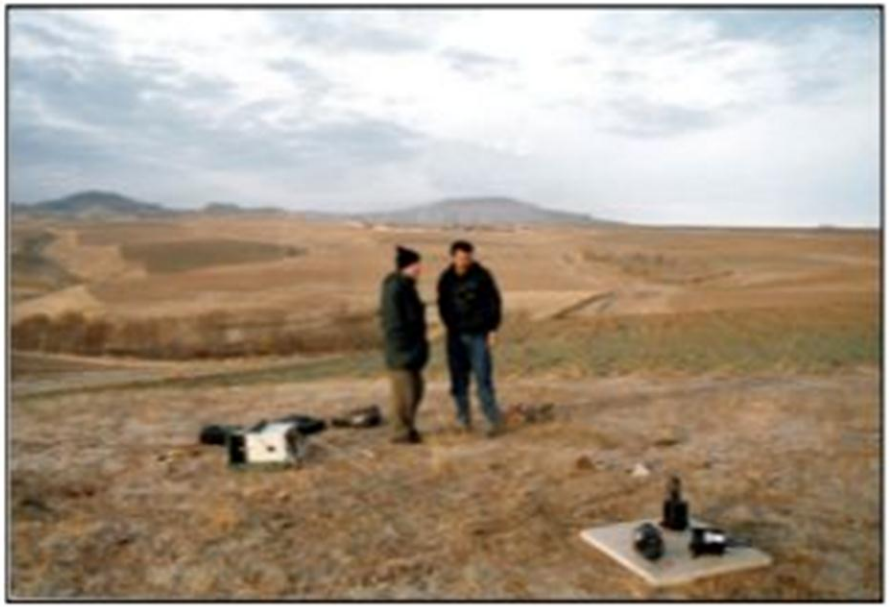
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

تعاريف أولية لبعض المصطلحات المستخدمة في الزلازل

أجهزة الرصد الزلزالي

اللاقط الزلزالي: جهاز حساس يقوم برصد حركة الأرض ويحولها إلى إشارة كهربائية يتم تضخمها وتسجيلها. وعادة ما يكون هذا اللاقط ثلاثي المركبات يوجه بطريقة يمكن من خلالها قياس حركة الأرض وفق الاتجاهات الرئيسية الثلاثة (شرق-غرب، شمال-جنوب و شاقولياً).

لاقط زلزالي ثلاثي المركبة.



تركيب ثلاثي المركبة على بلاطة رخامية.

S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

تعاريف أولية لبعض المصطلحات المستخدمة في الزلازل

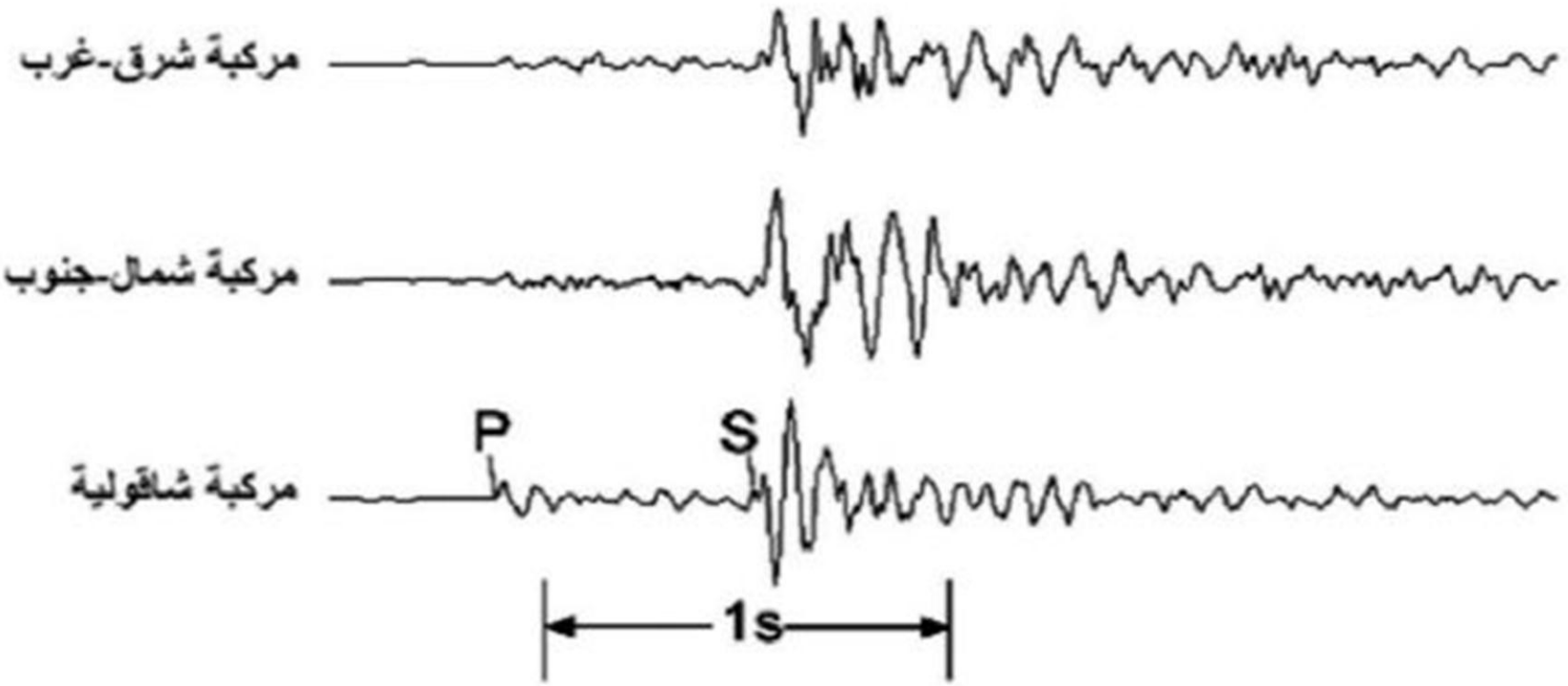
أجهزة الرصد الزلزالي

- لواقط قصيرة الدور (Short Period Seismometer) وهي مخصصة للزلازل المحلية القريبة والتي تنحصر أدوارها الزمنية بالمجال (٠.١ – ٢.٠ ثانية).
- لواقط متوسطة الدور (Intermediate Period Seismometer) وهي مخصصة للزلازل القريبة والبعيدة نسبياً والتي تنحصر أدوارها الزمنية بالمجال (٢–١٥ ثانية).
- لواقط طويلة الدور (Long Period Seismometer) وهي مخصصة للزلازل البعيدة (Teleseimic) والتي تنحصر أدوارها الزمنية بالمجال (١٥ ثانية 1 – دقيقة).
- لواقط الحزمة العريضة (Broad Band Seismometer) وهي مفتوحة لكافة الأدوار الزمنية وحتى الأكبر من دقيقة واحدة وبمجال ترددي (٠.٠٥–٥٠ هرتز).
- لواقط تسجيل الحركات القوية (Strong Motion Accelerometer) وهي مخصصة للعمل عند وقوع الزلازل العنيفة والكبيرة القدر (Magnitude) لتسجيل مركبات التسارع الأرضي لتستخدم لاحقاً في الدراسات الهندسة الزلزالية.

S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

تعاريف أولية لبعض المصطلحات المستخدمة في الزلازل

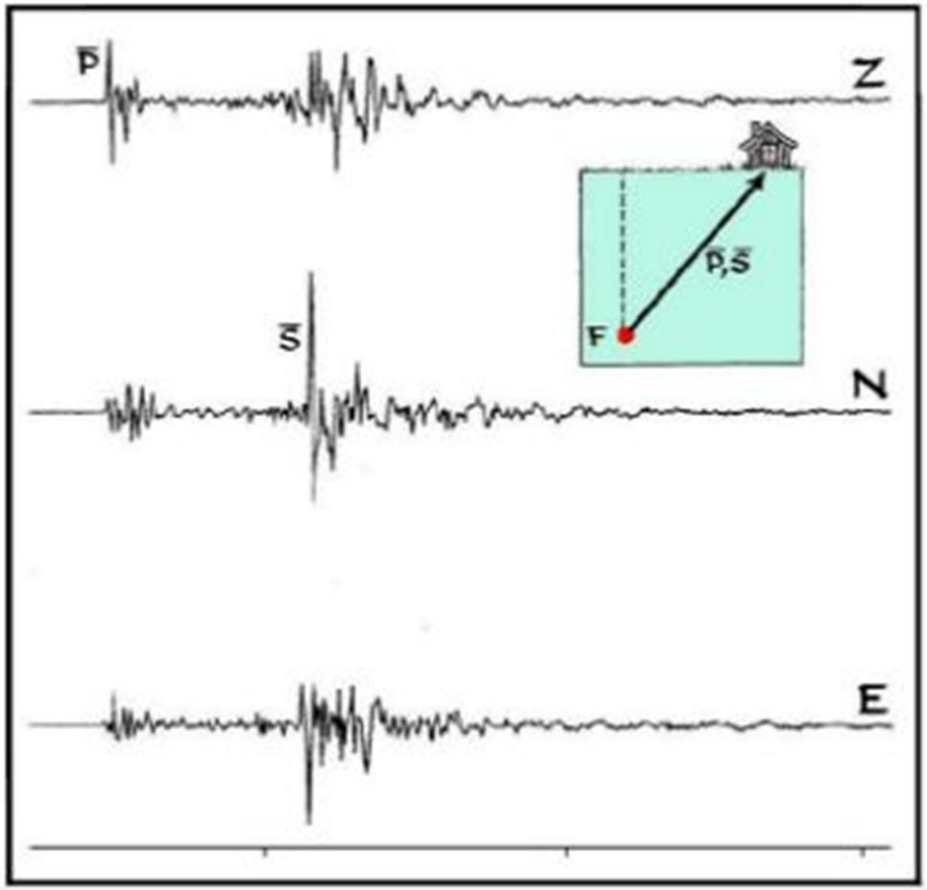
سجل الهزة (Seismogram) : وهو عبارة عن التسجيل الناتج عن حركة الأرض جراء حدوث هزة أرضية.



شكل يبين سيسموغرام بثلاث مركبات لزلزال وقع في منطقة كيلاري-لاتور (الهند) بتاريخ ١٨/١٠/١٩٩٣ [IASPEI، ٢٠٠٢].

تعاريف أولية لبعض المصطلحات المستخدمة في الزلازل

هزة أرضية ميكروية (Microearthquake): هزة خفيفة ذات قدر أقل من ٣ درجات حسب مقياس ريختر لا يشعر بها الإنسان بشكل عام وإنما تتحسسها محطات الرصد الزلزالي.

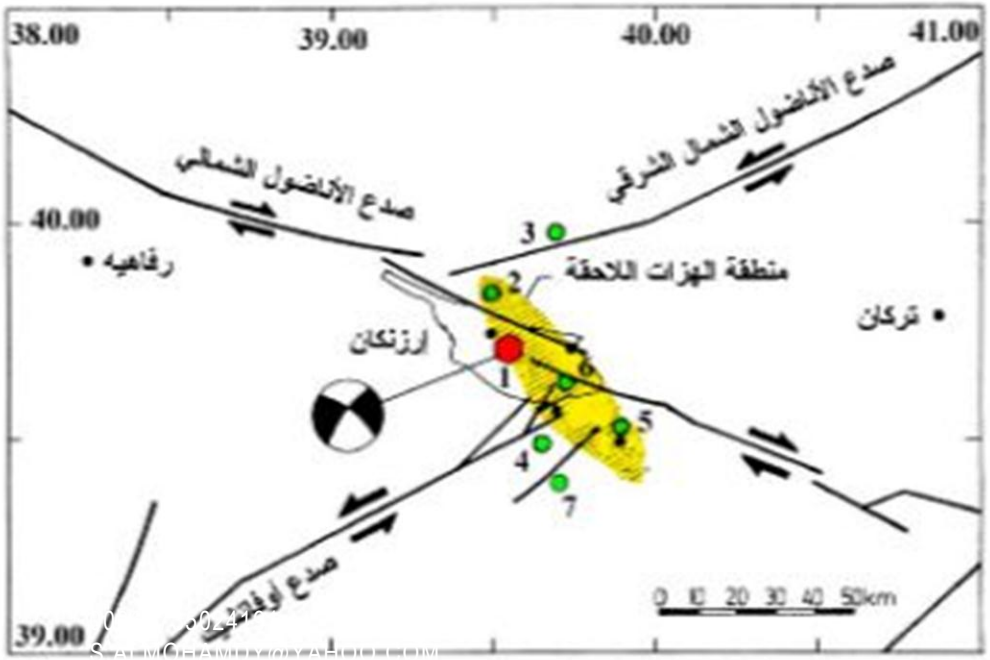


S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

تعاريف أولية لبعض المصطلحات المستخدمة في الزلازل

هزة (هزات) أرضية لاحقة (Aftershock): هزة أرضية تنشأ بعد حدوث زلزال كبير القدر (الهزة الرئيسة Mainshock) وفي ذات منطقة بؤرة الزلزال الرئيس. وبشكل عام، تتبَعُ الزلازل الكبيرة بعدد من الهزات صغيرة القدر التي بدورها تتناقص ترددا وقدرا مع الزمن. تستمر سلسلة الهزات اللاحقة هذه لعدة أيام أو أسابيع في حال الزلازل متوسطة القدر ولعدة أشهر في حال الزلازل كبيرة القدر وتدعى بالعواصف الزلزالية Swarms.

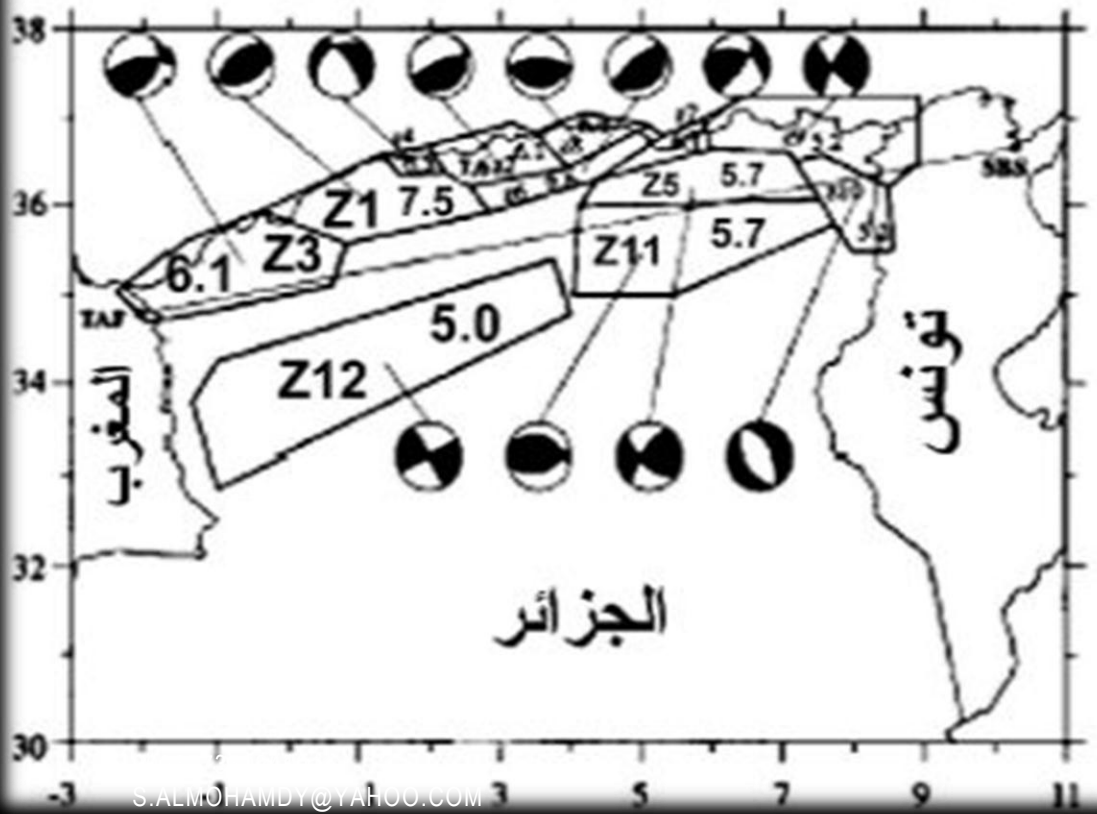
هزة (هزات) أرضية سابقة (Forshock): هزة أرضية تسبق حدوث زلزال كبير القدر (Mainshock) وفي ذات المنطقة البؤرية وقد تشكل نذير يشير لقرب هذا الزلزال الكبير.



شكل يبين المركز السطحي (لون أحمر) ومنطقة الهزات اللاحقة (لون أصفر وأخضر) لزلزال أرزنجان في شمال شرق تركية (بقدر ٦.٨) بتاريخ ١٣/٣/١٩٩٢ م. [جامعة بوغازيشي، ١٩٩٢].

تعاريف أولية لبعض المصطلحات المستخدمة في الزلازل

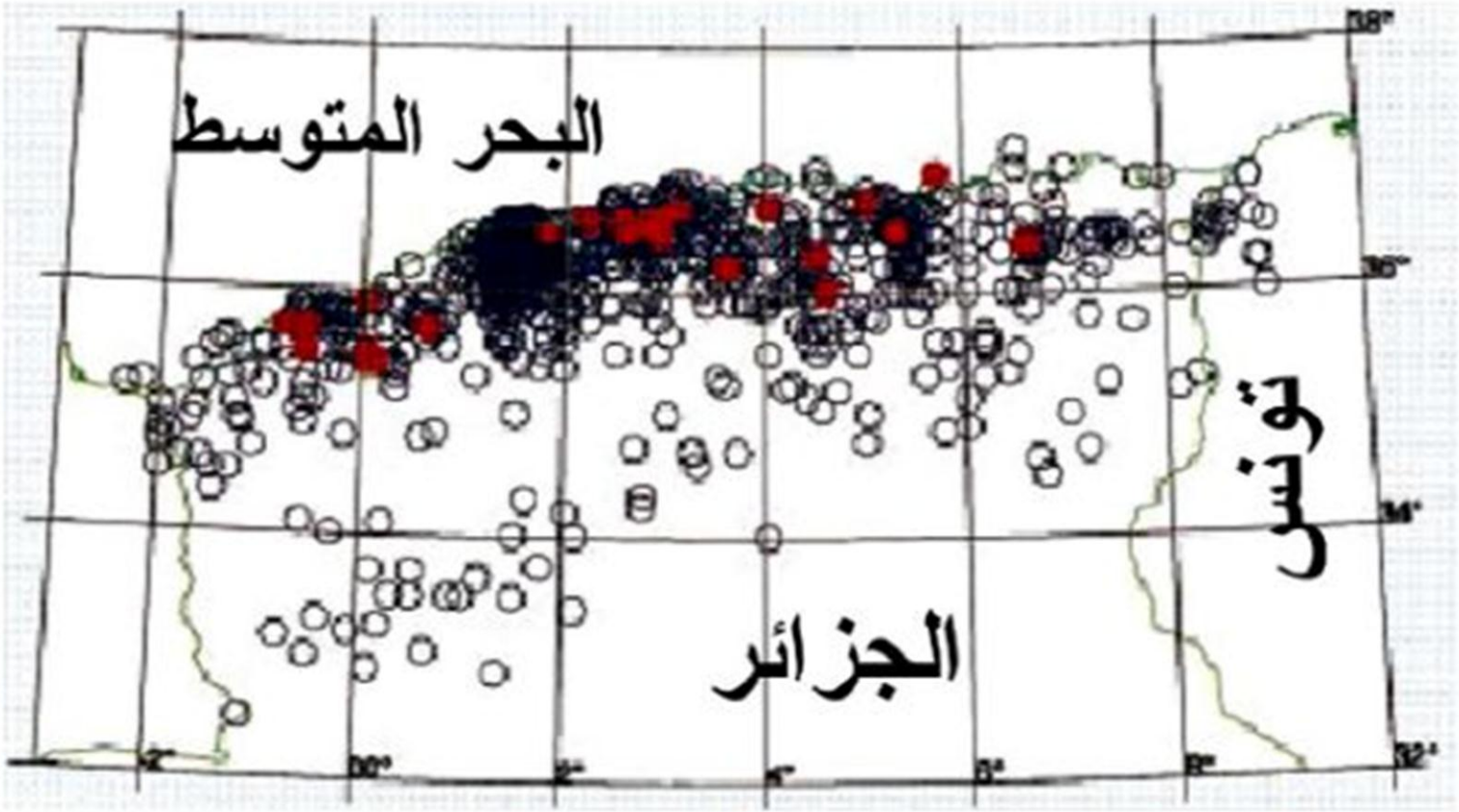
نطاق مولد للزلازل (Seismogenic Zone): نطاق سيسموتكتوني يتضمن صدع نشط أو أكثر يكون قادراً على توليد زلازل كبيرة القدر. تحدد النطاقات وفقاً لمعايير التكتونيك النشط والزلازل القديمة والتاريخية والآلية. ولكل نطاق أبعاده وقدر الزلزال المحتمل وقوعه فيه.



شكل يوضح النطاقات المولدة للزلازل في شمال الجزائر. [كريم وآخرون، ٢٠٠٠].

تعاريف أولية لبعض المصطلحات المستخدمة في الزلازل

زلزالية منطقة (Seismicity): هي توزع الزلازل زمانياً ومكانياً.



شكل يبين زلزالية (تاريخية وآلية) شمال الجزائر. [كريم وآخرون، ٢٠٠٠].

S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

تعاريف أولية لبعض المصطلحات المستخدمة في الزلازل

الزلزالية المتحرضة (Induced Seismicity)

وهي الهزات الأرضية التي تتولد عن النشاط البشري بشكل مباشر أو غير مباشر. نذكر من تلك النشاطات حقن السوائل لتسخينها في المناطق ذات الحرارة الأرضية العالية، إملاء الخزانات المائية الضخمة خلف السدود، استخراج كميات ضخمة من النفط أو المياه الجوفية، تشكل تجاويف كبيرة نتيجة استثمار المناجم، التفجيرات المقلعية الكبيرة والتفجيرات النووية وغير ذلك. حيث تقوم النشاطات السابقة بتعديل حالة التوازن الحرج للاجهادات في بعض مناطق القشرة الأرضية مما يسهل عملية الانزلاق على الصدوع القديمة أو تشكيل صدوع جديدة.

وبشكل عام تكون هزات هذا النوع ضحلة العمق وصغيرة القدر ولكنها قد تسبب أضرار محلية محدودة إلا أنه بعض حالات السدود الضخمة التي تخزن كتلة هائلة من المياه تتولد هزات متحرضة يصل قدرها إلى ٦. لذلك لابد من إقامة شبكة رصد ميكروية في المناطق المحتملة لظوهر الزلزالية المتحرضة. وفي حال وجود مقالع قريبة يجب تنظيم التفجيرات المقلعية وتحديد الشحن المتفجرة المسموح بها بحيث لا تؤدي إلى ظواهر اهتزازية مؤذية .

00967735024191
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

الزلازل والصدوع

لم تتضح العلاقة تماماً بين الزلازل والتصدعات إلا في بداية هذا القرن وقبل ذلك، وعلى الرغم من بعض الملاحظات لم يعرف رابط حقيقي بينهما.

في عام ١٩٠٦ دمر زلزال هائل مدينة سان فرانسيسكو، فتم تعيين بعثة تحر وبحث من أجل فهم أبعاد الكارثة ودراستها بشكل مفصل على أرض الواقع. وأظهرت الدراسات التي قامت بها أن الهزة كانت ناجمة عن انزلاق نحو خمسة أمتار على جزء من صدع سان أندرياس الممتد عدة مئات من الكيلومترات. وكان ذلك الدليل الأكيد على وجود صلة بين التصدعات والزلازل.

1906 San Francisco earthquake
M=7.9 SRL=432 km

00967735024191
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

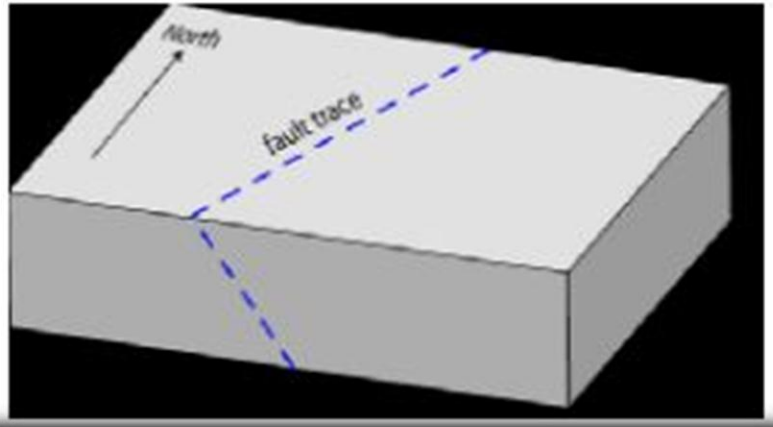
الزلازل والصدوع

تمزق (Rupture) :

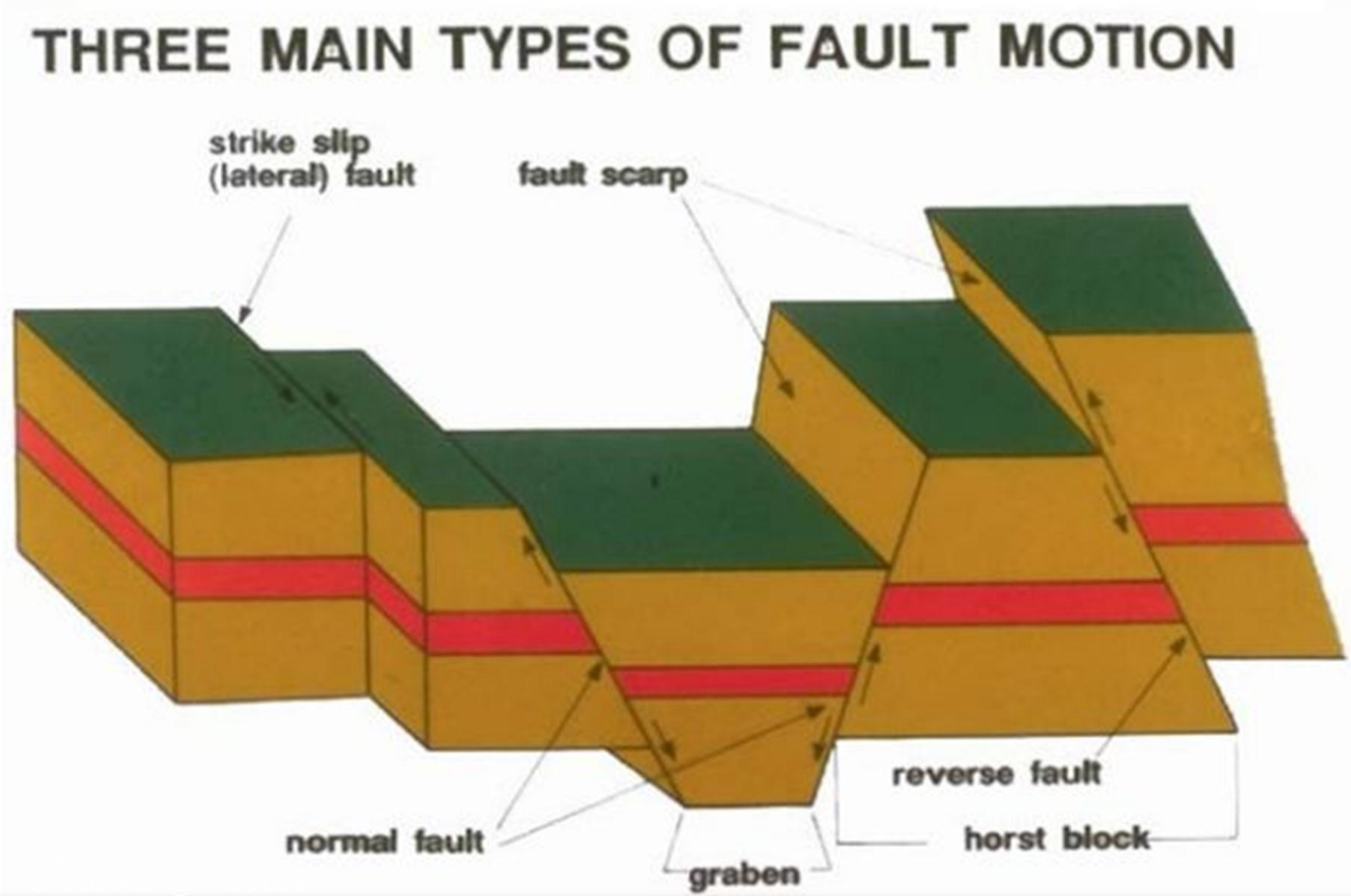
انقطاع أو كسر في الصخر يحدث تحت تأثير الاجهاد.

صدع (Fault):

هو كسر أو نطاق متكسر في قشرة الأرض يحدث على طوله انزياحات أفقية أو شاقولية أو مركبة لكتلتين صخريتين. تقسم الصدوع عادة إلى ثلاثة أنواع، اعتماداً على طبيعة الحركة النسبية بين الكتل الصخرية. تنشأ الصدوع العادية (Normal fault) استجابة لقوى السحب أو الشد، بينما تنشأ الصدوع العكسية (أو الدفعية) (Rrverse fault) استجابة لقوة الضغط، أما الصدوع الإنزياحية المضرب (الإتجاهية) (Strike slip fault) فتنشأ استجابة لأي نوع من قوى الجهد.



الزلازل والصدوع



المقاييس الزلزالية

الشدة زلزالية (Seismic intensity) :

قامت عدة محاولات لقياس شدة الزلازل (Earthquake Intensity) اعتماداً على حجم التأثيرات ونوعيتها ومقدار الدمار الذي تخلفه. ومن تلك المحاولات ما قام به عالم البراكين ميركالي (Mercalli) عام ١٨٨٧ م في وضع مقياس وصفي مؤلف من ثمان درجات وتبعاً له تكون الشدة الزلزالية مختلفة حسب القرب والبعد عن البؤرة السطحية.

فالمناطق الواقعة مباشرةً فوق بؤرة الزلزال تكون الشدة فيها أعلى من المناطق البعيدة عن البؤرة. ثم قام ميركالي بربط المناطق التي حصلت فيها نفس الدرجة من التأثير الزلزالي وذلك برسم خطوط متساوية الشدة الزلزالية (كنتورية).

وفي عام ١٩٣١ طور ميركالي هذا المقياس إلى ١٢ درجة وتدل كل درجة منها على التأثير المحلي أو مدى إصابة الأبنية أو شعور الناس بالزلزال وكل هذه التأثيرات تختلف باختلاف البعد عن الزلزال.

00967735024191
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

جدول ١ : يبين ملخصاً لمقياس الشدة الماكروزلزالية الأوروبي لعام ١٩٩٢ م.

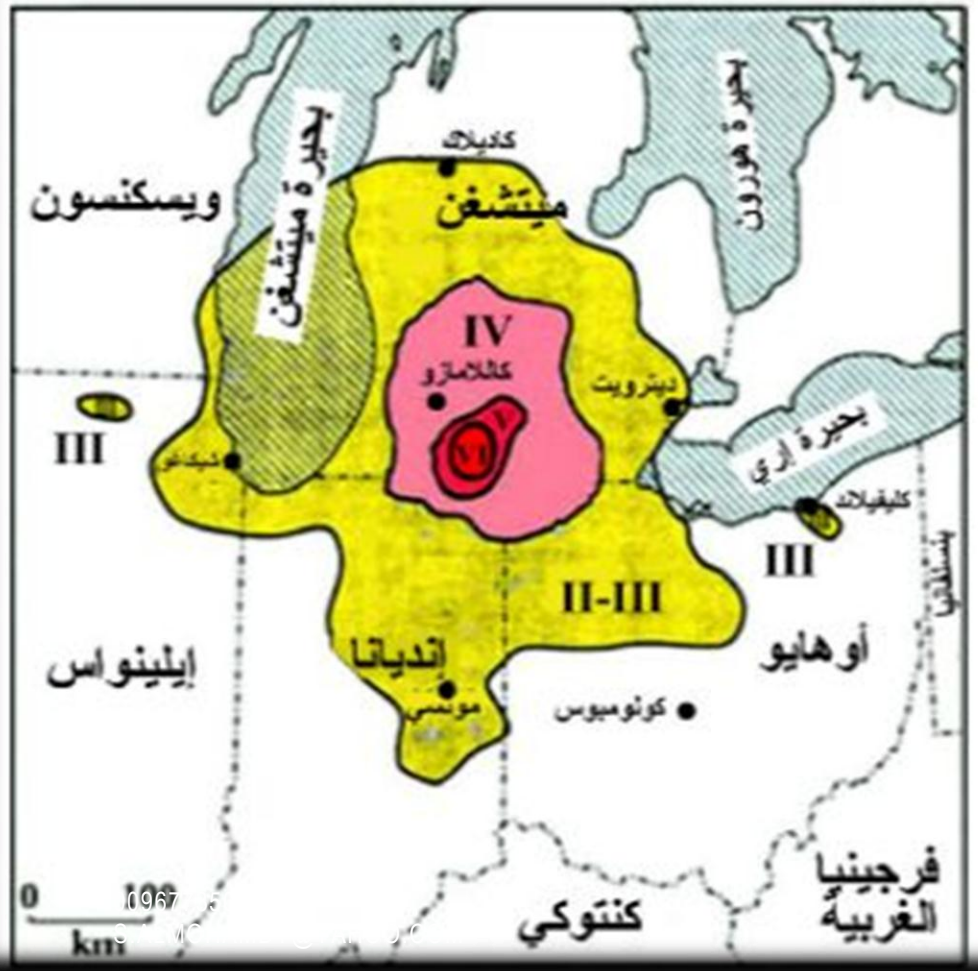
درجة الشدة	عنوان الزلزال	تأثيره على الإنسان	على الأشياء والطبيعة	على الأبنية
I	غير محسوس	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد
II	طفيف	عدد قليل من البشر	لا يوجد	لا يوجد
III	خفيف	عدد قليل	تأرجح بسيط للأشياء المعلقة	لا يوجد
IV	شعر به بشكل واسع	استيقاظ بعض النائمين	قرقعة الأواني والنوافذ والأبواب، تأرجح الأشياء المعلقة، اهتزاز المفروشات أحياناً	لا يوجد
V	محسوس بشكل قوي	خروج الناس من منازلهم مع رعب، استيقاظ البشر، يلاحظ بعض الناس أن البناء ككل قد اهتز	تسقط الأشياء الصغيرة، يتكسر زجاج النوافذ، تضطرب الحيوانات	شقوق شعرية في الجدران، وسقوط قطع صغيرة من الطينة
VI	أضرار طفيفة	اختلال توازن البعض، يهرع الناس خارج منازلهم	تنزاح المفروشات، تصاب الحيوانات بالذعر	شقوق على الجدران، وسقوط قطع كبيرة من طينة الجدران وأجزاء من المداخن

درجة الشدة	عنوان الزلزال	تأثيره على الإنسان	على الأشياء والطبيعة	على الأبنية
VII	مسبب للأضرار	ذعر عام، الناس غير قادرين على الوقوف	إنزياح الأثاث الثقيل، تساقط الأشياء من الرفوف	شقوق عديدة وكبيرة في الجدران، أضرار في الطوابق العليا، انهيار المداخن، انهيار الجدران
VIII	أضرار شديدة	صعوبة في الوقوف	انقلاب الأثاث، سقوط أجسام كالتلفاز، احتمال حدوث تموجات على الترب الطينية	ظهور الشقوق العرضية، انهيار الجدران، تهدم عدد من الأبنية بشكل شبه كامل
IX	مدمر	ذعر عام، سقوط البشر بقوة	انهيار أبنية تاريخية، حدوث تموجات في الأراضي الطرية	انهيار الجدران وعناصر البناء، تهدم بعض الأبنية
X	مدمر للغاية			انهيار جدران الأبنية وعناصر البناء، تهدم عدد كبير من الأبنية
XI	عنيف			انهيار جدران أغلب الأبنية وعناصر البناء، وتهدم الأبنية
XII	عنيف جداً			تدمير كافة المنشآت فوق سطح الأرض وتحته

009677302241S1
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

متساويات الشدة (Isoseismal):

هي خطوط منحنية مغلقة أعدت للفصل بين مستويات مختلفة من قيم الشدة لزلزال ما.



شكل يبين متساويات الشدة الزلزالية لزلزال ضرب ولاية ميتشغن في ١٠/٨/١٩٤٧ م. وشعر به في الوسط الغربي للولايات المتحدة الأمريكية. [بحسب ستوفر وكوفمان، ١٩٩٣].

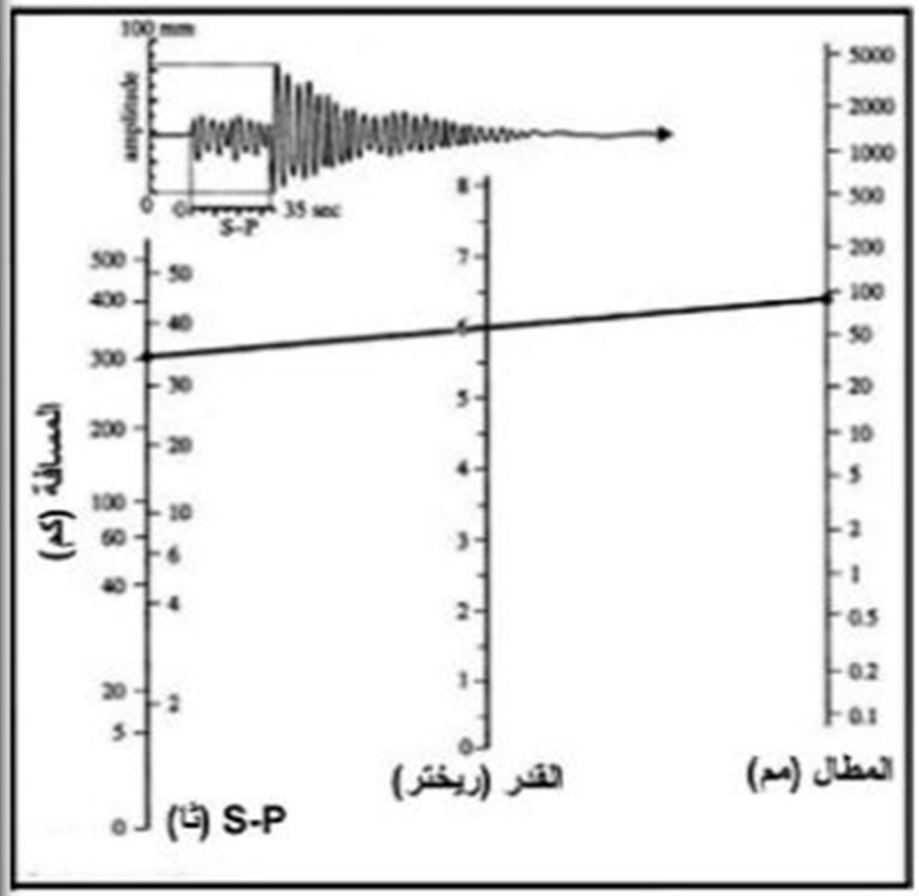
نلاحظ أن الخطوط متساوية الشدة تأخذ أشكال غير منتظمة لماذا؟

المقاييس الزلزالية

قدر الزلزال (Magnitude) :

لكي نتمكن من المقارنة بين الزلازل في كافة أنحاء العالم لابد من إيجاد مقياس كمي عالمي يطبق على جميع الزلازل لا مقياس وصفي يعتمد على شعور السكان أو درجة ونوع الدمار الذي خلفه الزلزال في الأبنية والمنشآت بالتالي لا يمكن تقديره في المناطق غير المأهولة.

وكان أول مقياس للقدر الزلزالي على المستوى العالمي هو الذي استخدمه العالم الياباني واداتي (Wadati) في عام ١٩٣١م الذي يربط بشكل تخطيطي القدر بمطال الحركة الزلزالية المسجلة وبالبعد عن بؤرة الزلزال والذي يمكن تقديره من الفارق الزمني S-P.



00967735024191
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

المقاييس الزلزالية

قدر الزلزال المحلية (M_L) :

ثم قام العالم ريختر (Richter) بتطوير طريقة أخرى لحساب القدر في ولاية كاليفورنيا عام ١٩٣٦م اعتماداً على قياس سعة موجة زلزالية تم قياسها باستخدام نوع خاص من أجهزة التسجيل الزلزالي (Wood-Anderson) ويرمز له اختصاراً (W-A).

ونظراً للاختلاف الكبير في تفاوت سعة موجة الزلزال (في حالتي الهزات الأرضية الصغيرة جداً والزلازل العنيفة جداً) فقد استخدم ريختر المقياس اللوغاريتمي لسعة الموجة وعرف القدر الزلزالي المحلي (M_L) بأنه:

عبارة عن اللوغاريتم العشري للسعة العظمى والمقدرة بالميكرون ($10^{-4}cm$) للحركة الأرضية الناتجة عن زلزال وأمكن تتبعها بواسطة جهاز الرصد (W-A) واقع على بعد 100 كم من المركز السطحي للزلزال.

بما أن القدر تعبير لوغارتمي فهذا يعني أن زيادة القدر بمقدار الواحد تعني مضاعفة السعة العظمى لاهتزاز سطح الأرض عشر أضعاف. وعلاوة على ذلك فهذا يجعله مقياس مفتوح ليس له حد أعلى ولا حد أدنى.

00967733024191
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

المقاييس الزلزالية

١- حساب القدر للهزات المحلية M_L

استنتج من قبل ريختر لتصنيف الهزات في جنوب كاليفورنيا على أساس السعة بطريقة تختلف عن تأثير هذه الهزات على الناس والمنشآت، وعبر عن القدر الزلزالي المحلي (M_L) بالمعادلة التالية:

$$M_L = \text{Log}\,(A) - \text{Log}\,(A_O)$$

حيث أن :

A : السعة العظمى المسجلة للهزة الأرضية.

A_O : سعة هزة أرضية اعتبرت كهزة معيارية ومرجعية وسميت أيضاً بالهزة الصفرية ذلك لأنه إذا كانت ($A = A_O$) فإن القدر M_L يساوي صفراً ولا يعني ذلك عدم وجود اهتزاز لسطح الأرض. وعلاوة على ذلك تعبر القيم السالبة للقدر M_L عن الهزات الأرضية الصغيرة التي تمتلك سعات أصغر من سعة الهزة الصفرية.

لقد عرف ريختر الهزة الصفرية بأنها تلك الهزة المسجلة باستخدام جهاز تسجيل الزلزالي من النوع (Wood-Anderson) ذو الدور ٠.٨ ثانية وموضوع على بعد ١٠٠كم من المركز السطحي لتلك الهزة والتي كانت سعتها العظمى تساوي ١ مم ($1x10^{-3}m$) بعد أن قام ذلك الجهاز بتضخيمها ٢٨٠٠ مرة وهكذا استخدم ريختر تلك الهزة كهزة مرجعية قارن بها جميع الهزات المسجلة وأعاد صياغة معادلة حساب (M_L)بالشكل التالي (Lay et al. 1995):

$$M_L = \text{Log}\,(A) - 2.48 + 2.76\,\text{Log}(\Delta)$$

Δ = بعد المركز السطحي للزلازل بالكيلومترات.

المقاييس الزلزالية

٢- حساب القدر من مدة (Duration) الاهتزاز M_D

ويستخدم هذا النوع لحساب قدر الهزات الصغيرة (أصغر من ٤) حيث وجد أن القدر الزلزالي المحسوب من المركبة الشاقولية (Vertical component) المسجلة باستخدام جهاز قصير الدور (Short period) يرتبط خطياً بلوغاريتم الطول الكلي للتسجيل الزلزالي (D) والمقدر بالثانية وكذلك يرتبط بالمسافة إلى المركز السطحي للزلزال على النحو التالي :

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

حيث إن :

M_D = القدر الزلزالي المعتمد على مدة الزلزال.

D = مدة الزلزال.

Δ = بعد المركز السطحي للزلازل بالكيلومترات.

b_2, b_1, b_0 : ثوابت.

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

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

وفي منطقة الشرق الأوسط تستخدم علاقة شابيرا (IPRG, 1992) التالية :

$$M_D = -0.6 + 2.0 \text{ Log}(D) + 0.0015 \Delta$$

S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

المقاييس الزلزالية

٣- حساب القدر من الأمواج الجسمية M_b

وهذا القدر ابتكره العالم غوتنبرغ Gutenberg عام ١٩٥٦م للزلازل العميقة التي لا تولد موجات سطحية ويعتمد على السعة الموجية للموجة الجسيمة ويعبر عنه بالمعادلة التالية :

$$M_b = \text{Log } (A/T)_{max} + Q\ (\Delta\ ,\ h)$$

حيث أن :

$Q(\Delta, h)$: معامل تجريبي يعبر عن تخامد السعة الموجية مع المسافة (Δ) والعمق (h).

Δ : المسافة البؤرية وتنحصر بين (5-100) درجة.

T : دور الموجة الجسمية عند السعة العظمى هو (0.1 - 3) ثانية.

ويمكن تطبيق هذه العلاقة على الهزات ذات التردد العالي.

00967735024191
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

المقاييس الزلزالية

٤- حساب القدر من الأمواج السطحية M_S

يمكن حساب القدر الزلزالي انطلاقاً من السعة العظمى للموجات الزلزالية السطحية في حال الزلازل قليلة العمق والتي تبعد عن محطات الرصد أكثر من 600 كم باستخدام العلاقة التالية:

$$M_S = \text{Log}\,(A/T)_{max} + 1.66\ \text{Log}\,(\Delta^\circ) + 3.3$$

حيث أن :

$(A/T)_{max}$: النسبة بين السعة العظمى للمركبة الأفقية لموجات رايلي ودور (Period) الموجة التي أخذت سعتها.

T = دور الموجة مقدراً بالثانية وينحصر بين (18-22) ثانية في حال الموجات السطحية.

Δ° = المسافة الزاوية بين البؤرة الزلزالية ومحطة التسجيل بالدرجات.

تستخدم العلاقة السابقة للمقارنة بين الهزات ذات الأدوار الطويلة (حوالي 20 ثانية) والأعماق الضحلة التي تقل عن ٥٠ كم وتبعد أكثر من 2000 كم.

00967735024191
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

المقاييس الزلزالية

قدر الزلزال (Magnitude) :

العدد المتوسط السنوي للزلازل التي تحدث في مختلف بقاع العالم لكل قدر:

Table World-wide Earthquakes per Year

Magnitude M_s	Average No. > M_s
8	1
7	20
6	200
5	3,000
4	15,000
3	> 100,000

أطوال الصدوع المولدة للزلازل لكل قدر:

Table Earthquake Magnitude versus Fault Rupture Length

Magnitude (Richter)	Rupture (km)
5.5	5-10
6.0	10-15
6.5	15-30
7.0	30-60
7.5	60-100
8.0	100-200
8.5	200-400

المقاييس الزلزالية

العزم الزلزالي

يعرف العزم الزلزالي (Seismic Moment) بأنه أحد المقاييس الكمية لحجم الزلازل وهو عبارة عن قوة الزلازل الناتجة عن إزاحة الصدع ونحصل على قيمته بضرب معامل صلابة الصخر بمساحة التصدع بمقدار الانزلاق.

يمكن تعريف العزم الزلزالي من خلال نظرية الإزاحة (Dislocation Theory) كمكافئ لعزوم مزدوجة القوى حول الصدع المولد للزلزال ومن هنا جاء تعريف العزم الزلزالي كتعبير عن الإزاحة على الصدع في منطقة البؤرة. ويمكن التعبير رياضياً عن العزم الزلزالي (Mo) بالمعادلة الآتية :

$$Mo = U \cdot D \cdot S$$

حيث أن :

U : معامل القص للصخر على جانبي الصدع.

D : معدل الإزاحة على مستوى الصدع.

S : مساحة مستوى الصدع.

S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM

Thank You

مع تحيات

م /سليمان المحمدي

00967735024191
S.ALMOHAMDY@YAHOO.COM