مركز علوم الأرض
وهندسة الزلازل
جامعة النجاح الوطنية
Earth Sciences & Seismic
Engineering Center
An-Najah National University

نقابة المهندسين
مركز القدس
Engineers Association
Jerusalem Center

توصيات وضوابط لتحسين التصرف الزلزالي للمنشآت

تتضمن هندسة الزلازل عددا من التوصيات العامة لتحسين التجاوب الزلزالي للمنشآت وتتمحور هذه التوصيات في عملية ضبط التشكيل المعماري والانشائي للمباني، و ذلك من خلال تحقيق التماثل في الأشكال والكتل والعلاقات للمنشآت في المستويين الأفقي و الرأسي، وان الالتزام بهذه التوصيات في عملية التصميم والتنفيذ يضمن تجاوبا زلزاليا مناسبا ومقبولا للمنشآت.

التوصيات و الضوابط:

- تخفيف الوزن الميّت للمنشأ قدر المستطاع لأن القوى الزلزاليّة تزداد بزيادة وزن المنشأ.
- تحقيق التماثل لأشكال المباني في المساقط الأفقية و الرأسية، وان تعذر تحقيق ذلك لأسباب معماريّة أو بسبب طبيعية شكل الأرض فيمكن استخدام الفواصل الزلزالية وفي حالة صغر مساحة قطعة الأرض يكون الحل الأمثل بضبط توزيع العناصر الإنشائية الرأسية بحيث يتم تأمين توزيع متماثل لصلابات العناصر الإنشائية و خصوصا في الجدران الخارجية.
- تأمين توزيع متماثل للكتل أفقيا و رأسيا.
- توزيع العناصر الإنشائية الرأسية (الأعمدة و الجدران) بشكل متماثل حول المحورين Y و X و يفضل استخدام نظام الشبكات في التوزيع، وان تعذر ذلك لأسباب معماريّة يجب مراعاة أن لا تزيد الفروقات بين أبعاد الفتحات المتتالية للأعمدة و الجدران عن 20.%
- تأمين استمرارية العناصر الإنشائية و الصلابات بشكل متماثل من الأسفل الى الأعلى، ويسمح بحصول اختزال تدريجي لصلابة العناصر الإنشائية الرأسيّة بما يتناسب مع اختزال مقاطعها كلما اتجهنا من أسفل إلى أعلى.
- إذا كان ارتفاع المبنى يزيد عن 4أضعاف عرضه يوصى بالالتزام بالتصميم الزلزالي الخاص بالمباني البرجيّة.
- وعند استخدام الفواصل الزلزالية سواء بين أجزاء المباني الجديدة (بهدف تحقيق التماثل أو أي أسباب إنشائية أخرى) أو بين المباني القديمة القائمة والجديدة، فيجب في كلتا الحالتين تأمين مسافة كافية لعرض الفاصل الزلزالي لها علاقة بارتفاع المبنى و نوع النظام الإنشائي المستخدم وذلك تجنبا لتصادم المبنيين أو جزئي المبنى المتجاورين.
- تأمين ترابط الحجر مع الخرسانة باستخدام الوسائل المناسبة و ذلك تجنبا لسقوطها في حالة حصول زلازل و خصوصا في المباني التي يزيد ارتفاعها عن 4 طوابق.
- تجنب البناء على الأراضي شديدة الانحدار و خصوصا تلك التي تتكون تربتها من صخر فكاك.
- تجنب البناء على الأراضي المنحدرة ذات التركيب الجيولوجي القابل للانزلاقات(مثل التربة الطينية و الكلسية والحوريّة) حين تشبع بالرطوبة، علما أن هذا النوع من الأراضي مرشح لإثارة المشاكل والانزلاقات حتى بدون هزات أرضيّة، وذلك نتيجة الاستخدام الخاطئ للأراضي و الناتج عن الحفر و القطع و البناء.
- تجنب استخدام أو تشكيل الطابق (أو الطوابق) الرخو أو الضعيف. و هو أن يكون طابق أو أكثر في المبنى مكونا من أعمدة فقط بدون جدران، وبقيّة الطوابق تحتوي على جدران محمولة أو حاملة من الخرسانة المسلحة، وان تعذر تجنب ذلك لأسباب معمارية أو وظيفية كطابق الكراج مثلا، فيمكن إضافة عدد مناسب من الجدران و توزيعها بشكل متماثل في المسقط، وفي حالة عدم إمكانية تحقيق ذلك فيجب تصميم المبنى وفق التحليل الإنشائي الديناميكي الخاص.
- تجنب استخدام الطيران أو نظام البلكونات في المباني و خصوصا إذا كانت الطيرانات كبيرة و عليها أحمال ميتة عالية، و ان تعذر لأسباب وظيفية أو معمارية فيجب الالتزام بطرق التصميم الخاصّة.
- الانتباه للأعمدة القصيرة أو لظاهرة تشكيل الأعمدة القصيرة، والتي تكون عرضة للقوى القاصة الزلزالية العالية، وإن تشكلت هذه الأعمدة لأسباب معمارية يوصى بتأمين مقاومة كافية للقوى القاصة من خلال تكثيف خاص للكانات، وتأمين نوعية عالية للخرسانة ومن الامثلة على تشكيل الأعمدة القصيرة فان المنطقة التي تفصل نافذتين متجاورتين في الجدار الواحد تعتبر عمودا قصيرا.
- الاهتمام بالجدران الخارجية الخرسانية أو الخرسانية المسلحة أو جدران الخرسانة والحجر، وذلك من خلال تأمين تفاصيل التنفيذ المناسبة وتحقيق التماثل نظرا لتأثيرها الكبير و المميّز على تصرف البناء تحت تأثير الزلازل.
- عند استخدام الاطارات الخرسانية المسلحة يجب الالتزام بتحقيق العلاقة بين الأعمدة والجسور؛ و ذلك تصميم عمود قوي وجسر أقل قوة أو ما يقال علميّا عمود قوي و جسر ضعيف، وفي هذه الحالة هناك حاجة لاستخدام أشكال وأبعاد مناسبة للأعمدة واعتماد ضوابط خاصّة.
- تكثيف الكانات في أطراف الأعمدة والجسور.
- تأمين استمرارية كانات الأعمدة في منطقة تقاطع الجسور مع الأعمدة، بل يفضل تكثيفها واستبدال قطر 8مم بقطر 10مم.

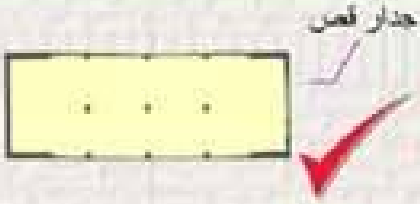
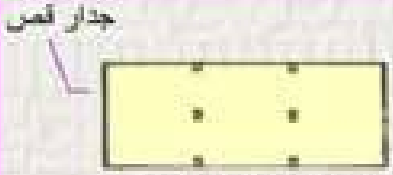
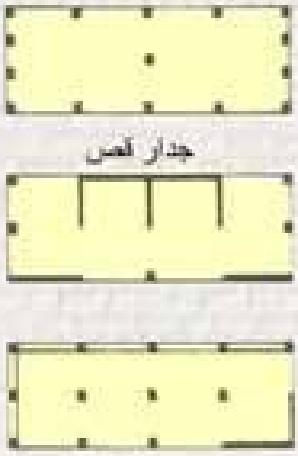
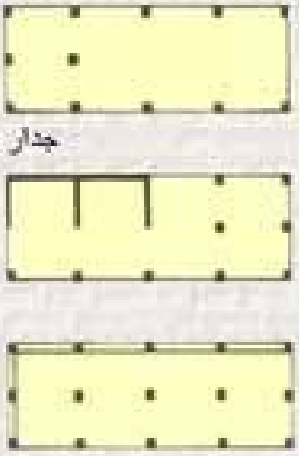
- لتجنب حصول إجهادات إضافية معقدة في العناصر الإنشائية للمبنى يجب تأمين صلابة (جساءة) كافية لقاعدة المبنى، و ذلك باستخدام أساسات ذات صلابة عالية بما يتلاءم مع نوع التربة، فمثلا إذا كان نوع التربة يسمح باستخدام القواعد المنفصلة ففي هذه الحالة يجب توفير صلابة عالية لجسور الربط الأرضية بين القواعد.
- استخدام الجسور الساقطة (Drop Beam) قدر المستطاع مع تخفيف استخدام الجسور المسحورة.
- تجنب مرور خطوط التمديدات الصحيّة و غيرها من خلال العناصر الإنشائية الرئيسية الأفقية و الرأسية، مع استخدام تشكيلات غير انشائية خاصّة بهذه التمديدات كالمناور.
- تجنب أخطاء التنفيذ و هذا يتطلب عدة أمور، أهمها:

1- ربط الكانات بشكل جيد حتى تبقى في مكانها أثناء عمليّة التنفيذ.
2- تأمين طول كاف لحديد التشريك.
3- ضبط خط مسار الحديد الطولي وخصوصا في أطراف العناصر الإنشائية و في مناطق التقاطعات.
4- صب الخرسانة حسب المواصفات كعدم صب الخرسانة من ارتفاعات أكبر من المسموح به؛ و ذلك حتى لا تتفكك ويحدث (انفصال حبيبي)
5- تأمين الشاقوليّة للعناصر الإنشائية الرأسية.

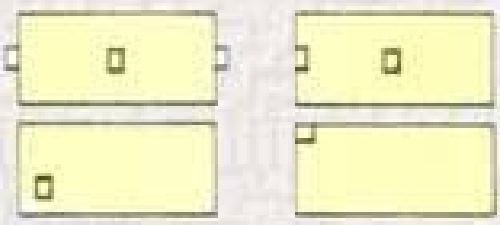
توصيات ندوة فلسطين الأولى لتخفيف مخاطر الهزات الأرضية

1. إنشاء محطات رصد زلزالية، والتعاون مع محطات الرصد العربية المجاورة.
2. تشجيع التعليم المستمر في مجال الهندسة الزلزالية من خلال عقد الندوات وورشات العمل والمؤتمرات الدوريّة والدورات المتخصصة، والعمل على توعية المجتمع من أخطار الزلازل و الاستعداد لها.
3. تطوير عمليّة التصميم و التنفيذ لتتناسب مع أنماط البناء المحليّة والجديدة من خلال إعداد كود وطني مختص لمقاومة الزلازل إيجاد آليّة للتطبيق.
4. إنشاء جمعيّة وطنية للتخفيف من المخاطر الزلزالية، تضم في عضويتها كافة الاختصاصات ذات العلاقة.
5. تشكيل لجنة علميّة متخصصة لدراسة قوانين النقابة والبلديات، وسياسات استخدام الأراضي وتقديم التوصيات المناسبة لتخفيف مخاطر الزلازل.
6. تقديم التوصيات التاليّة كإجراء سريع لكل من النقابة و البلديات والوزارات ذات العلاقة وكذلك المكاتب الهندسية:
   ا. إنشاء الطابق الرخو (تجنّب (Soft Story ما أمكن.
   ب. إجراء دراسة ديناميكيّة لمنشآت الطوابق الرخوة و المنشآت متعددة الطوابق، والمنشآت الهامة مثل كالمدارس والمستشفيات والمباني الدينية كالمساجد والكنائس ..الخ ما أمكن.
   ج. إجراء دراسة ستاتيكيّة للمنشآت دون خمسة طوابق ما أمكن.
   د. العمل على إلزامية إجراء الدراسات الجيوتقنيّة وفحوصات ضبط الجودة للمواد الإنشائية.
   ه. تجنب استخدام البلكونات المحملة بجدران ما أمكن.
7. العمل على تطوير صناعة الإنشاءات بما يتلاءم مع متطلبات التصميم والتنفيذ لمقاومة أفعال الزلازل.
8. ضرورة تخصيص أو زيادة ميزانيّة البحث العلمي في النقابة والجامعات المحليّة و المؤسسات ذات العلاقة.
9. إجراء دراسات على أنماط البناء المحليّة و مدى مقاومتها لأفعال الزلازل، مع تقييم المنشآت القائمة حسب الأولويات.
10. تدريس منهاج الهندسة الزلزاليّة ضمن مساقات الكليّات و الجامعات.
11. تشكيل لجنة من خلال النقابة لمتابعة كافة التوصيات و نشرها اعلاميّا.
12. تشكيل فريق وطني لادارة و مواجهة الكوارث.

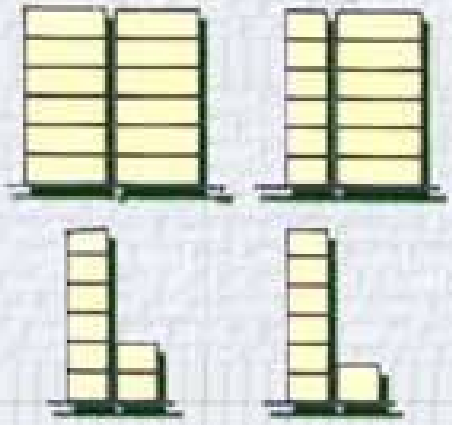
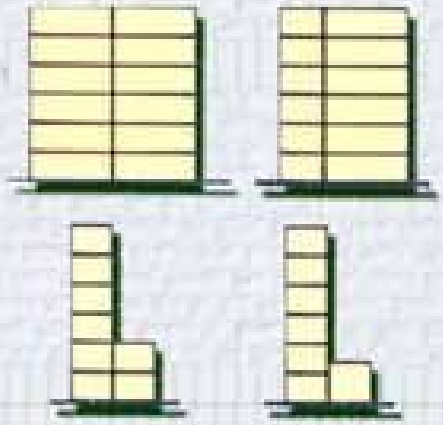
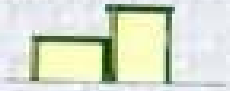
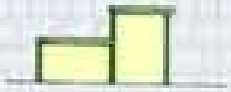
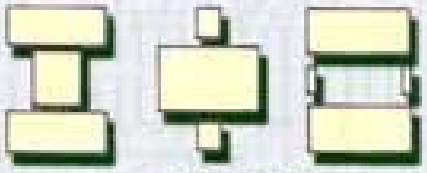
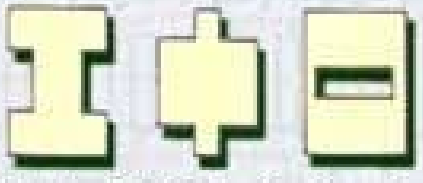
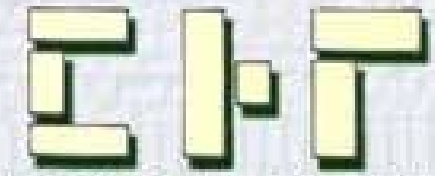
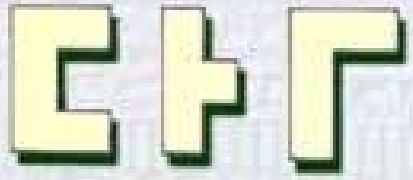
شكل مسطح البناء وتوزيع العناصر الانشائية الراسية:

مرغوب ومفضل زلزاليا	غير مرغوب
 توازن في الصلابة في المستويين الاقليين س ص	 فرق كبير في الصلابات بين المستوى س والمستوى ص
 توزيع متماثل للعناصر الانشائية الراسية (تقليل اثر عزم الالتواء الدوراني)	 توزيع غير متماثل للعناصر الانشائية الراسية

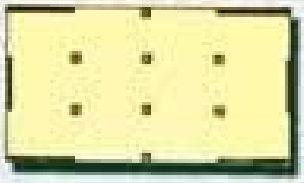
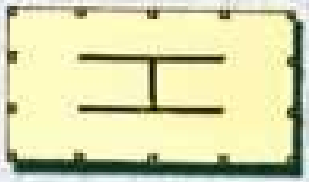
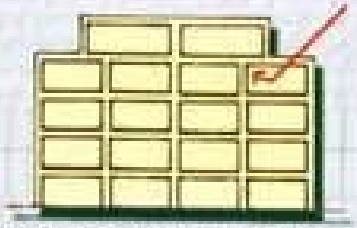
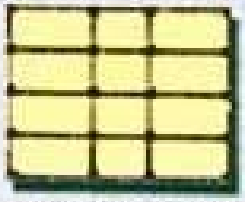
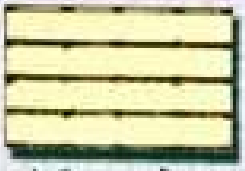
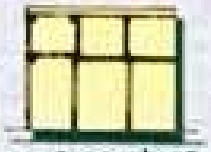
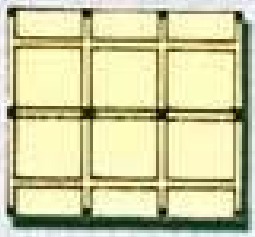
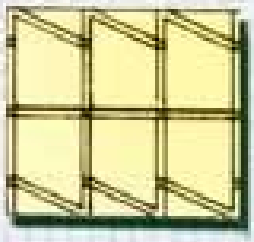
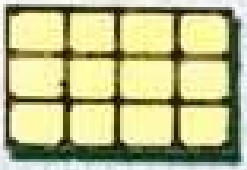
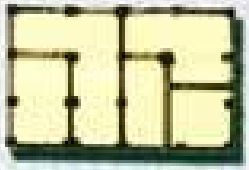
مكان بيت الدرج والمصاعد:

 توزيع متماثل للعناصر لمكان بيت الدرج	 توزيع غير متماثل للعناصر لمكان بيت الدرج

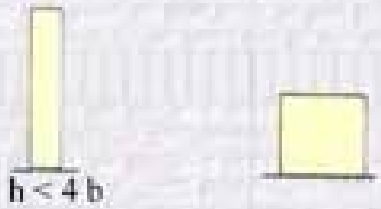
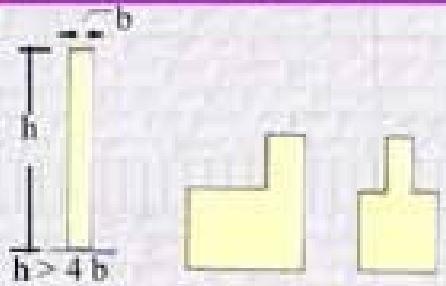
■ الفواصل الزلزالية

مرغوب ومفضل زلزاليا ✓	غير مرغوب ؟
 وجود فاصل زلزالي ✓	 الكتل متلاصقة لنفس المبنى او لمبنيين متجاورين ؟
 ✓	 ؟
 وجود فاصل زلزالي ✓	 تغيير مفاجئ في المسقط الافقي لصلابة المبنى ؟
 يكمن الحل في عمل فاصل زلزالي او تقوية منطقة الالتقاء ✓	 عدم تماثل في مسطح البناء ؟

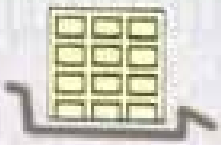
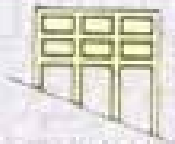
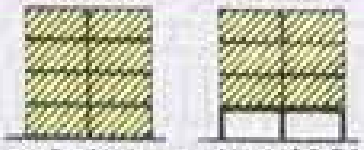
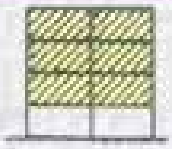
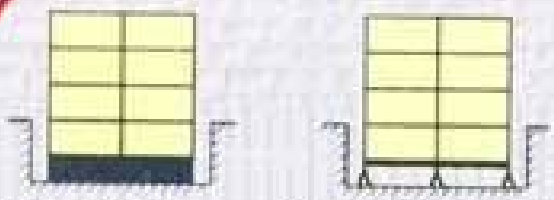
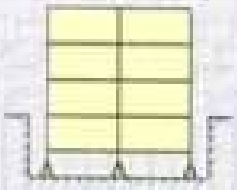
(يصمم ومنع معدلات حسب عرض الفاصل إلخ)

مرغوب ومفضل زلزاليا	غير مرغوب
 توزيع جيد لجدران القص يقلل اثر عزم الالتواء	 توزيع قليل لجدران القص لا يمنع حدوث عزم التواء
 اعمدة منتظمة على محاور مستمرة من الاساسات وحتى آخر طابق	 عدم استمرار الاعمدة العلوية على محاور الاعمدة السفلية
 انواع نظام الشبكيات في توزيع الاطارات والجسور والاعمدة بالاتجاهين س،ص يضمن سلوكا سليما لها وقت الزلازل. ص/y س/x	 وجود الجسور باتجاه واحد دون الآخر  تحميل منحرف عن مراكز الاعمدة   سلوك غير منتظم للاطارات بالاتجاه س
 سلوك واضح/ منتظم للاطارات	 سلوك غير واضح/عشوائي للاطارات

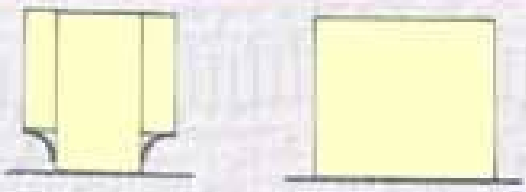
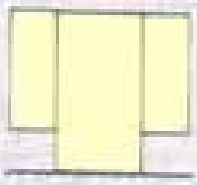
ابعاد المباني ومناظرها الجانبية

مرغوب ومفضل زلزاليا	غير مرغوب
	

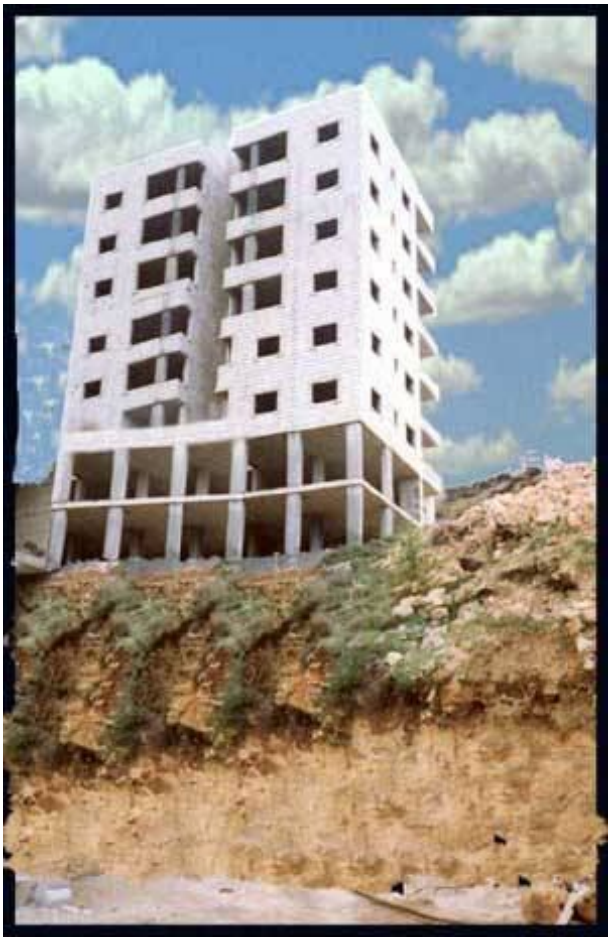
الطابق الرخو وصلابة الاساسات:

 صلابة متساوية في الطابق الارضي	 البناء على الميول الجبلية بدون جرف يسبب اختلاف في صلابة الطابق الارضي
 زيادة صلابة الطابق الارضي باغلاق البعض الواجهات او بعمل اعمدة واطارات صلبة جدا	 تغيير مفاجئ في صلابة المبنى في المستوى الراسي
 استعمال القاعدة المتصلة بجسور ربط قوية او الفرشة	 قواعد واساسات منفصلة لا يوجد بينها جسور ربط

البروزات المعمارية والطيرانات

 تجنب الطيرانات المحملة او تدعيمها بنظام خاص	 الطيرانات المحملة

طابق رخو من مبنى خارج فلسطين



طابق رخو من مبنى في فلسطين

تلاصق المباني (عدم وجود فاصل زلزالي)

طابق رخو

طابق رخو آخر

طیران محمل

نسبة نحافة المبنى

آثــار الـزلزال (الهـزات الأرضية)

درجاته بمقياس ريختر	السرعة الأفقية سم / ث	آثــار الـزلزال (الهـزات الأرضية)
3	-	لا يحس بهاأحد ، إلا بعض الناس في ظروف خاصة جداً .
3.5	3-2	يحس بها بعض الناس فقط وخاصة الذين في الأدوار العليا، وتهتز الأشياء المعلقة تعليقاً حراً .
4	7-4	يحس بها بوضوح داخل البيوت،وخاصة في الأدوار العليا ، ولكن كثير من الناس لا تعتقد أنه زلزال حيث يسبب اهتزازات كالتي يسببها المترو أو الترام أو الشاحنات الضخمة .
4.5	15-7	أثناء النهار يحس بها الكثيرون في البيوت والكثير في الشوارع،ولا يحس بها في الليل إلا المستيقظون،وتهتز الأطباق والشبابيك والنجف، وتحدث الحوائط بعض أصوات التصدع، والإحساس به كما لو كان نتيجة اصطدام عربة نقل بالمبنى، وتهتز العربات الساكنة بوضوح .
5	30-15	يحس بها الجميع ويستيقظ بعض النائمين، وتسقط بعض صور الحائط وتتكسر بعض الأطباق،وتحدث شروخ بسيطة في الطبقات السطحية للجدران ،وتنقلب الأشياء غير المتزنة،وتهتز الأشجار وأعمدة النور بوضوح ، ويتوقف بندول الساعة .
5.5	70-30	يحس بها الجميع،ويفزع البعض ويفرون خارج المباني،وتتحرك قطع الأثاث الثقيلة،تحدث شروخاً سطحيه وتتصدع المداخن،والمباني الضعيفة .
6	150-70	الجميع يهرعون خارج المباني،التصدع بسيط في المباني ذات التصميم الجيد،والتنفيذ السليم،والتصدع بسيط إلى متوسط في مباني الطوب الجديدة،والتصدع كبير في المباني الخرسانية السيئة أو مباني الطوب والحجر القديمة ، تنهار بعض المداخن،ويحس به قادة السيارات المتحركة .
6.5	300-150	التصدع بسيط في المنشآت المقاومة للزلازل،وتصدع واضح في المباني العادية مع انهيارات جزئية،وتصدع كبير في المنشآت سيئة التنفيذ، انهيارات كبيرة في معظم جدران الطوب الدراجة

		محلياً،تنفصل باكية المباني عن الأعمدة والكمرات وتتحرك بعضها للخارج،تسقط التماثيل وبعض المآذن والمداخن والأسوار،تنقلب قطع الأثاث الثقيلة ، يتغير منسوب مياه الآبار ، يزعج السيارات المتحركة .
7	300 إلى 700	التشقق واضح في المنشآت المقاومة للزلازل،والمنشآت الخرسانية تميل بشدة أو تنحني خارج مستوى الإطارات،تصدع كبير في الحوائط الحاملة الغير مسلحه وانهيارات كثيرة في المنشآت سيئة التنفيذ،تنفصل بعض المباني عن أساساتها وتتشقق التربة بوضوح وتقص بعض الخوازيق (الأوتاد الأرضية) .
7.5	700 إلى1500	أغلب المباني من الحوائط الحاملة الغير مسلحه تدمر،وبعض المنشآت الخرسانية تدمر مع ساساتها،وتتشقق الأرض شقوقاً كبيرة وخطيرة،وتنحني قضبان السكك الحديدية،وتنزلق جوانب الأنهار والترع تتحرك التربة الرملية،والطمى وتنكسر المواسير المدفونة تحت الأرض .
8	1500 إلى3000	تنهار كثير من المباني الخرسانية وتسقط الكبارى،وتحدث فواصل في الأرض،تبتلع الناس والعربات،وتنهار شبكات المياه والمجاري كلية،وتحدث انزلاقات في جوانب الأنهار والتربة اللينة،وتنحني قضبان السكك الحديدية بحيث لا تعد صالحة.
8.5	3000 إلى6000	التدمير شامل ، موجات الزلازل ترى بوضوح على سطح الأرض ، خطوط الرؤية والأسطح المستوية تدمر ، تطير الأشياء الثقيلة في الهواء .