هندسة الزلازل

يهدف هذا العلم إلى تقليل المخاطر (Mitigation) الناجمة عن حدوث الهزات الأرضية **وتسهيل عملية تصميم الأبنية المقاومة للزلازل** وهذا يتطلب معرفة وتخمين أقصى درجات الإهتزاز الذي يعانيه المنشأ الهندسي عند حصول الزلزال.

إن **علم هندسة الزلازل** لا يقتصر على معرفة مكان حدوث الزلازل المدمرة بل تعيين طبيعة الحركات الأرضية المتولدة ونوع التشويه الذي تعانيه الطبقات العليا من القشرة وبالتالي وضع الأسس المحددة للتصاميم الملائمة بأقل تكلفة ممكنة.

- **الهدف هو:**
- تقليل الخسائر البشرية.
- تقليل الخسائر الاقتصادية للمنشآت الحيوية والإستراتيجية.

ولتخفيف ذلك لابد من تحديد :

- مدى احتمال وقوع الزلازل.
- مقارنة هذه المخاطر الطبيعية مع التوزيع السكاني ومواقع المرافق العامة والهامة ومدى تعرضها للمخاطر وتأثرها وصولاً إلى تحديد الخطر.
- وضع تصاميم ومعايير للبناء وإنشاء وفرض تطبيقها بقدر الإمكان.

أضرار الزلازل

الأضرار المباشرة للزلازل

- يعتمد حجم الأضرار الناتجة عن الزلازل على قوة وشدة الزلزال وطبيعة المنطقة المتضررة وبعدها عن مركز الزلزال ونوعية المنشآت والمباني القائمة والكثافة السكانية وطبيعة النشاط الإنساني.
- تسبب الزلازل وبشكل خطير تساقط الصخور من الجبال العالية وقد يؤدي هذا إلى إحداث أضراراً بالغة سواء أثناء مرور السيارات على الطرق المجاورة للجبال أو بسبب السقوط المباشر للصخور على المباني.
- الانزلاقات والتشققات الأرضية تعتبر أحد الأسباب الرئيسية المباشرة لدمار المباني والمنشآت والطرق والسكك الحديدية وخلافها.
- تميع التربة وهي ظاهرة تؤدي بسبب الهزة الأرضية إلى فقدان نوع من التربة مقاومتها وتصبح مادة سائلة.

ومن أنواع التربة التي تحدث لها مثل هذه الظاهرة الرمل الناعم الغير متماسك والرمل المخلوط بالطمي وتحدث ظاهرة التميع عندما تكون التربة القابلة للتميع مشبعة بالماء. يعرف **التميع بأنه هبوط مفاجئ في مقاومة القص** و هو يكافئ هبوط في قدرة تحمل التربة مما يؤدي إلى تميعها و سيلانها و يحدث في الترب المفككة و المشبعة. إن استمرار دورات قوى القص المتعاكسة في الرمل المشبع (كما يحصل أثناء الزلزال) يؤدي إلى زيادة الضغط المسامي، و الذي يؤدي بدوره إلى تناقص الإجهاد الفعال و قوى القص، و يحصل تميع التربة عندما تصل قيمة قوة القص للصفر. إن الظروف التي يعد و جودها مناسباً لحدوث التميع هي:

1. طبقة تربة رملية ضعيفة التحمل يتراوح عمقها بين 15-20م.
2. جزيئات تربة متماثلة و ذات حجم متوسط.
3. ظروف إشباع و خاصة عندما تكون التربة مغمورة بالمياه.
4. قيم منخفضة لاختبار النفاذية.

الأضرار الغير مباشرة للزلازل

أما النوع الآخر للأضرار التي تسببها الزلازل فهو غير المباشرة. وهذا النوع ينتج عنه ضرر الإنسان بسبب الانهيارات التي تحدث في المباني التي يعيش فيها أثناء حياته اليومية فأساسات المنشآت تتعرض إلى نوعين من الحركة ينتقلان من الأرض إلى المنشأة. فهناك حركة أفقية وهي معروفة أكثر وهناك حركة عمودية وهي اقل حدوثاً، وإن كان بعض المختصين يؤكد أن الحركتين متلازمتان الحدوث ولكن كل بمقدار معين ومختلف عن الآخر.

على كل حال حدث أن سجلت حركات شديدة عمودية وأفقية في الهزة الواحدة ولكن في حدود النسب المتوقعة لكل منها وعادة مايكون الاثنان شديدي القوة. كما أن المشكلات الناتجة عن الحركات العمودية تعتمد اكثر على قواها الذاتية (absolute value) وقابلية تضخيم المنشأة والتربة لها (structural amplification) أكثر من علاقتها بالحركات الأفقية ومقدار تسارعها .

التسارع العمودي وهو مستقل عن الحركات الأفقية – يتكاتف في بعض الأحيان مع التحميل العمودي فينتج عنه أضرار بليغة أو حتى الانهيار الكامل كما حدث في انقلاب مبنى أثناء زلزال المكسيك 1985م وذلك لضعف ترابط الأساسات وضعف التربة.

ونظراً لعدم توفر معلومات كافية عن هذين النوعين من الحركات الأرضية ومقدار تسارعهما في كل مناطق النشاط الزلزالي لذا فإننا نجد أن كثير من المختصين في هندسة الزلازل يميلون إلى قياس ما يسمى بانتفاض الأرض أو ما يسمى أحياناً بـ (ground shaking) أو (ground movements). وقياس هذا النوع من الحركة الأرضية يتطلب استعمال أجهزة قياس العجلة الأرضية وتعطي معلومات جيدة وواسعة للمناطق المعرضة للهزات الأرضية. وعلى الرغم من أن المشاهدات تتراوح ما بين الأضرار البسيطة للمباني إلى الدمار الشامل، إلا أنه وجد أن بعض المباني استطاعت مقاومة هزات أرضية عنيفة نظراً لتمتعها بقواعد مربوطة جميعاً بشكل جيد وقد أظهرت المشاهدات ان مثل هذه المباني عايشت هزات عنيفة مثيرة تسببت في تميع التربة .

معاملات الخطر الزلـزالي

- تهدف دراسة المخاطر الزلزالية إلى تقليل الخسائر البشرية والاقتصادية للمنشآت الحيوية والإستراتيجية الناجمة عن حدوث الهزات الأرضية وتسهيل عملية تصميم الأبنية المقاومة للزلازل، وهذا يتطلب القابلية على معرفة أقصى درجات الاهتزاز الذي يعانيه المنشأ الهندسي عند حصول الزلزال. ولتخفيف ذلك لابد من تحديد مدى احتمال وقوع الزلازل ومقارنة هذه المخاطر الطبيعية مع التوزيع السكاني ومواقع المرافق العامة والهامة ومدى تعرضها للمخاطر وتأثرها بها وصولاً إلى تحديد الخطر. وأخيرا وضع تصاميم ومعايير للبناء وإنشاء وفرض تطبيقها بقدر الإمكان.
- إن الكثير من المباني المعرضة للخطر لا يرجع بالضرورة إلى ارتفاع مستوى الخطر بقدر ما يرجع إلى أن هذه المباني قابلة للتأثر حتى بالاهتزازات الزلزالية ذات الشدة المنخفضة. والسبب الرئيسي أن هذه المباني قد أقيمت باستخدام مواد وتقنيات إنشاء لا تكفل لها سوى قدر قليل من المقاومة للزلازل. ومن اشد هذه المباني قابلية للتأثر: المباني المقامة من اللبن أو الطوب غير المقوى أو الحجر ومباني الخرسانة المسلحة الخالية من جدران القص، او بما يسمى (**ضعف الحصانه الزلزالي Vulnerability**) .

وتجدر الإشارة إلى أنه يجب التمييز بين الخطورة الزلزالية والخطر الزلزالي حيث تعبر الخطورة الزلزالية (**Seismic Hazard**) عن توقع حدوث زلزال ذي مقدار معين (الزلزال الحرج) خلال فترة التصميم المتوقعة للمنشأ الهندسي. أما الخطر الزلزالي(**Seismic Risk**) فإنه يدرس احتمالية كون النتائج الاقتصادية أو الاجتماعية المترتبة نتيجة حدوث زلزال معين سوف تساوي أو تتجاوز قيم محددة في مكان أو في منطقة معينة خلال فترة تعرض محددة.

من الاحتياجات الأساسية عند تحديد الخطر الزلزالي (**Risk**) هي معرفة المكان الذي تحدث فيه الزلازل والزمان الذي يحتمل حدوثها.

الاستجابة الأرضية للزلازل
(EARTHQUAKE GROUND RESPONSE)

تتلخص الاستجابة الأرضية للزلازل في المعاملات التالية:

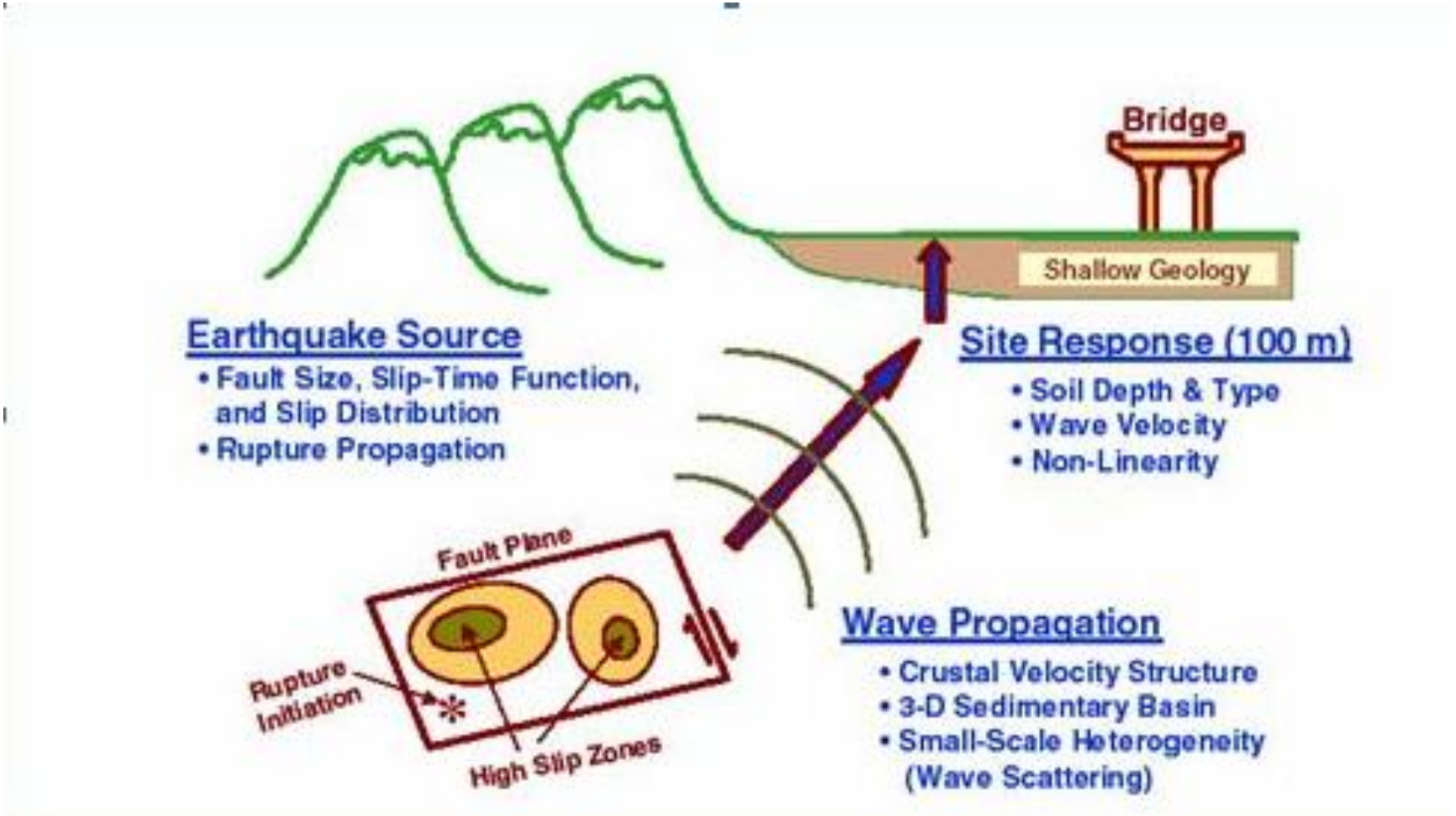
1. **التعجيل الأرضي الأقصى** Peak ground Acceleration (PGA).
وبالرغم من وجود مركبة أفقية وأخرى عمودية فإن معظم الاستخدامات هي المركبة الأفقية للتعجيل الأقصى.
2. **السرعة الأرضية القصوى Peak Ground Velocity (PGV)**
3. **الازاحة الأرضية القصوى Peak ground Displacement**
4. **الخواص الطيفية Spectral Characteristics**
5. **فترة التردد الزلزالي : Duration**

الحركة الأرضية (GROUND MOTION)

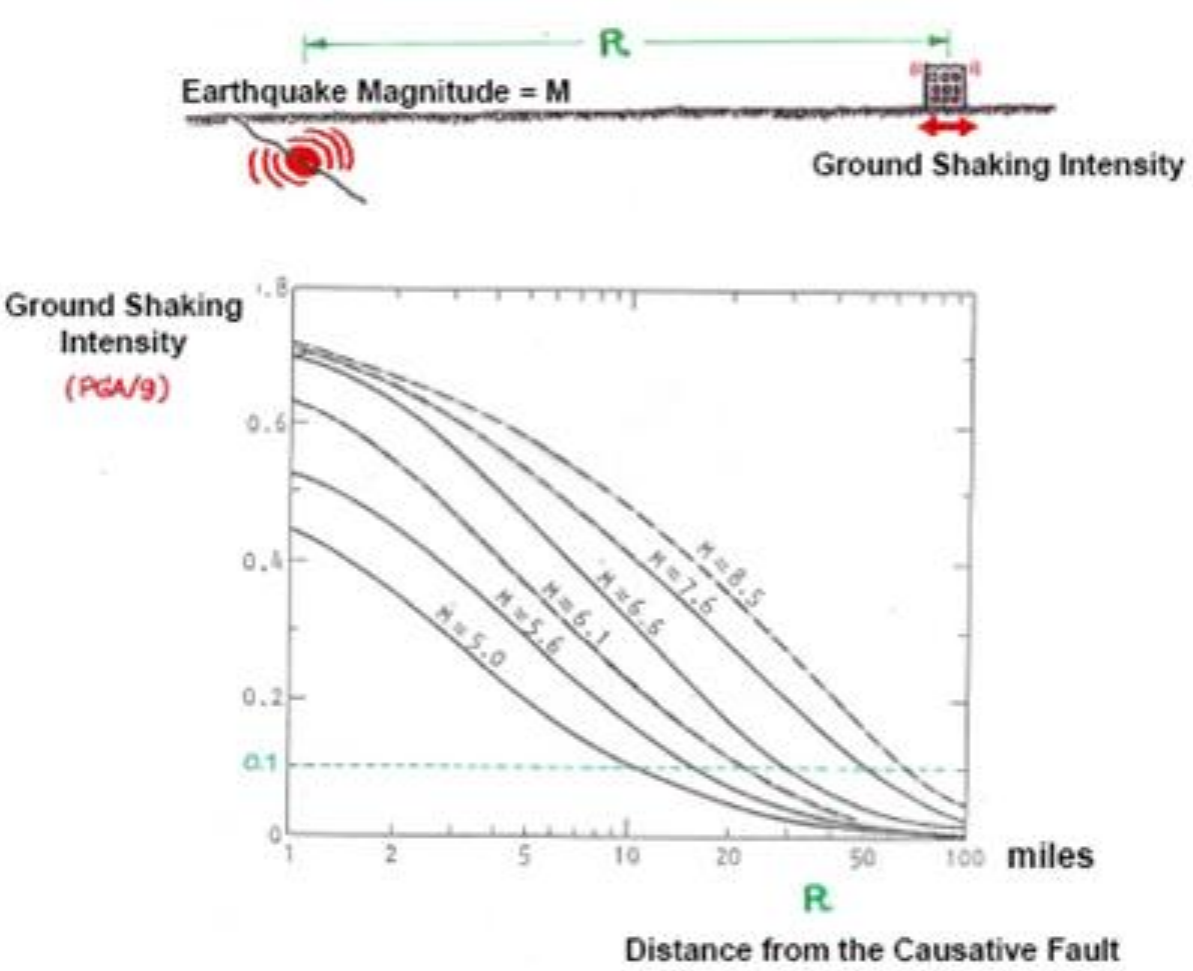
إن الزلازل وما ينجم عنها من إزهاق للأرواح وهدم لمقومات الحياة بصورة آنية - قد لا تتجاوز ثوانٍ معدودة - لاسيما في المجتمعات المعاصرة التي تداخلت فيها مقومات الحياة بصورة معقدة، أدى إلى تطوير العديد من الحلول الهندسية لتقليل الآثار التي قد تسببها هذه الهزات الأرضية. ومع أن أي حل هندسي للتقليل من آثار الزلازل يعتمد على: (1) إمكانية تحديد وقت وقوع الزلزال؛ (2) تصميم المنشآت وتنفيذها بدون إغفال القوى الناجمة عن الهزات الأرضية، فان خيار التصميم الهندسي المناسب لمقاومة الزلازل يبقى هو الحل الوحيد ويتمثل في اعتماد مواصفات البناء الهندسي الذي يحقق شرطين أساسيين هما:

(1) تفادي انهيار المباني حتى عند وقوع زلزال شديد وبالتالي تفادي وقوع نسبة عالية من الوفيات؛ (2) القبول بمبدأ السماح بالأضرار الإنشائية التي يمكن إصلاحها بتكلفة تقل بكثير عن التكلفة اللازمة للبناء الإنشائي الذي لا يسمح بأي ضرر عند وقوع زلزال شديد.

من المتعارف عليه أن معظم الأضرار الأولية خلال حدوث الزلزال بسبب الحركة الأرضية ويعبر عن هذه الحركة بالتسارع الأرضي الأقصى PGA. يعتمد مستوى الحركة الأرضية لموقع ما على بعدها من مركز الزلزال السطحي, حيث تزداد الشدة كلما اقتربنا من المركز وتقل كلما ابتعدنا. الحركات الأرضية القوية يمكن أن ينجم عنها أيضا مخاطر ثانوية مثل تضخيم الحركة الأرضية وتميع التربة أو انزلاق أرضي.



معظم الضررعند حدوث الزلزال بسبب الحركة الأرضية



العلاقة العكسية بين المسافة من الصدع وشدة الإهتزاز الأرضي

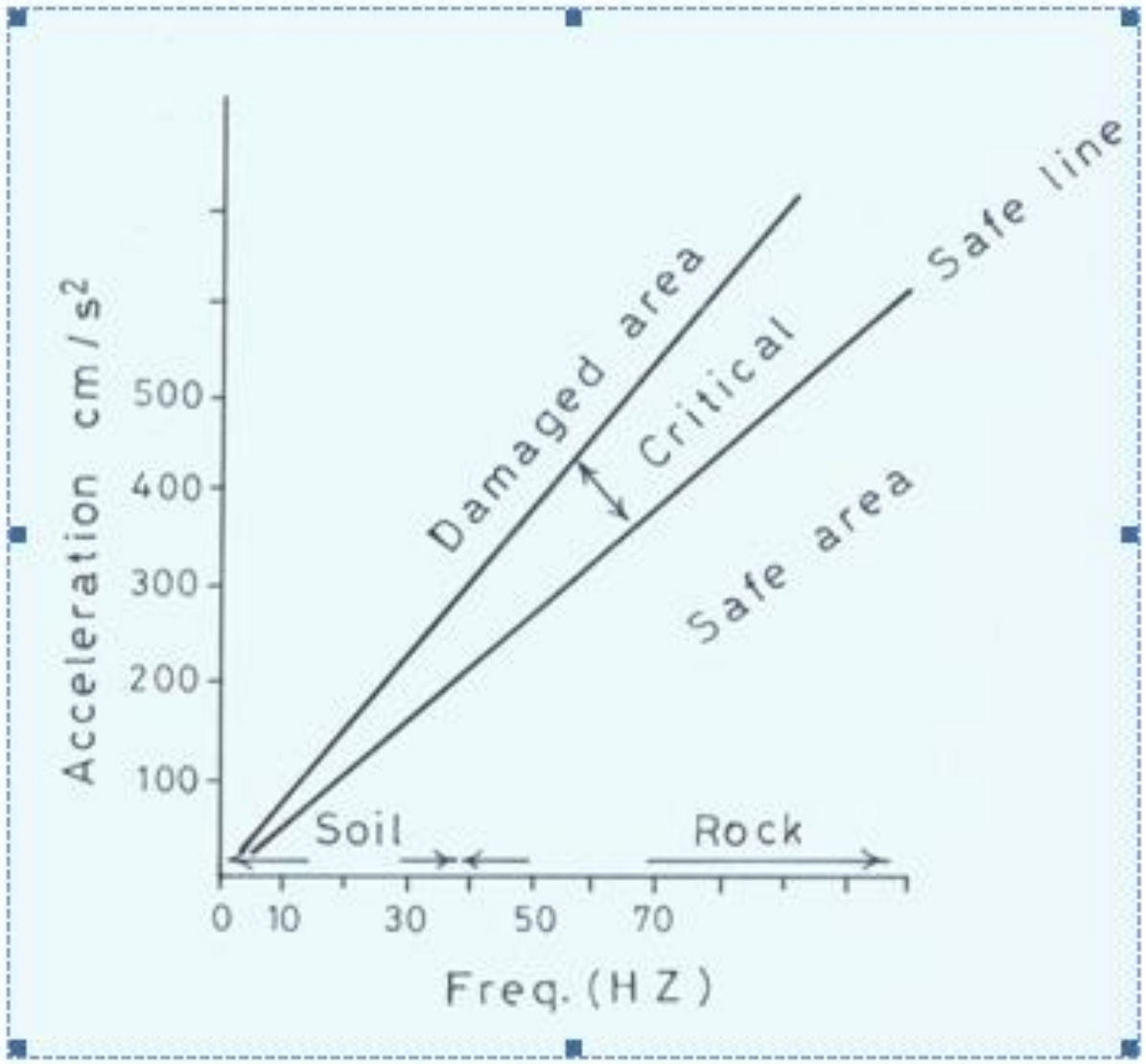
يتأثر السجل الزلزالي للحركة الأرضية بثلاثة عوامل :

- **صفات المصدر Source (الاجهاد والتشوهات)**
- **المسار الموجي Travel path (تشتت الطور الموجي) .**
- **ظروف الموقع Local condition وتشمل الطبوغرافية والتربة**

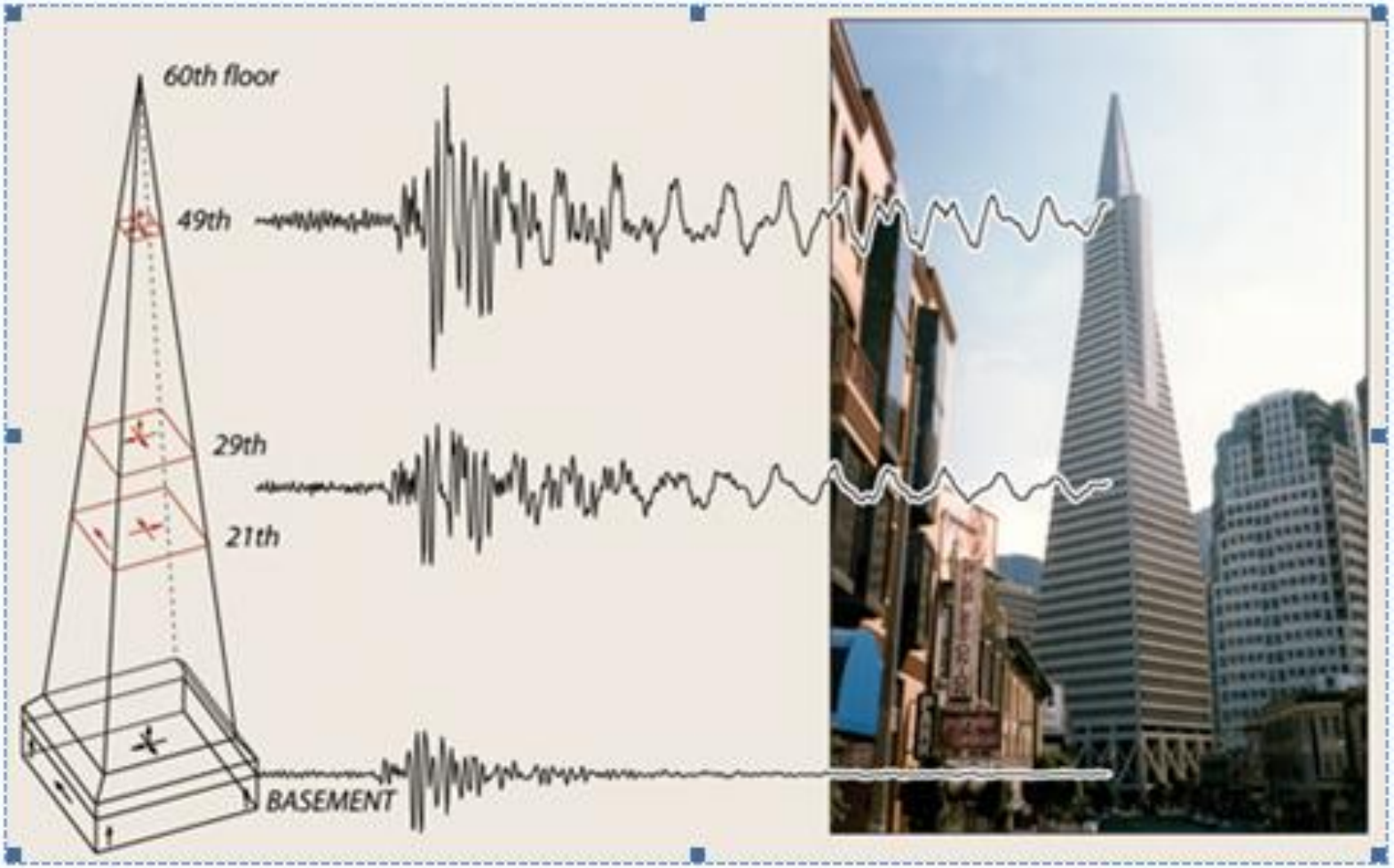
تشتمل نماذج تحليل المخاطر الزلزالية ورسم خرائط التمنطق الزلزالي لموقع معين على تكامل الدراسات الجيولوجية والجيوتقنية والزلزالية والتي من خلالها يمكن تقويم مستوى الخطر وتحديد معامل الآمان الزلزالي بدقة.

الدراسات الجيولوجية	الدراسات الجيوتقنية	الدراسات الزلزالية
• التكتونية الإقليمية ونمط التشويه. • خرائط الصدوع ضمن 100كم^2. • تحديد أنواع الصدوع واتجاهاتها. • الإزاحات الحديثة على طول الصدوع. • الانزلاق والانهيار الأرضي	• أنواع ترب الأساس • معالجة عدم استقرار الميل. • تطوير معاملات الحركة العنيفة.	• رسم خرائط البؤر السطحية للزلازل. • تحديد شدة ومقدار الزلزال والتكرارية. • دراسة مستوى الشدة الزلزالية التاريخية والحديثة قرب الموقع. • علاقة مواقع الزلازل مع الصدوع. • تخمين الشدات الزلزالية المستقبلية (التعجيل – السرعة – الفترة). • تحليل سجلات الحركة العنيفة من الزلازل التاريخية.

هناك ثلاثة شروط يجب توفرها لتحديد إمكانية حدوث الكارثة الزلزالية. الشرط الأول هو كمية القدر الزلزالي حيث أن الأحداث الزلزالية الصغيرة لا ينتج عنها هزات أرضية عنيفة بصورة كاملة وحادة لكي تتسبب في الدمار الشامل. الشرط الثاني هو قرب المصدر الزلزالي. الشرط الثالث هو أن الحدث الزلزالي يعتمد على درجة الاستعداد للكارثة. لا تعتمد خطورة الزلزال على مدى زلزالية المنطقة أو الإقليم فحسب ولكن أيضًا على الكثافة السكانية والنمو الاقتصادي. بالرغم من أن الزلزالية تظل ثابتة، فإن الكثافة السكانية والنمو الاقتصادي يزداد بشكل سريع. ومن أهم العناصر الضرورية للتهيؤ للكوارث هو قابلية التأثير(Vulnerability) أي تخفيف عواقب الزلازل المدمرة.



تغير قيمة التسارع الأرضي مع التردد



تضخيم الموجة في الطوابق العليا حيث يزداد التأثر بها

حيث نجد أن الفترة الطبيعية (بالثواني) للمباني الشاهقة تزداد مع الارتفاع على النحو التالي : الفترة الطبيعية (بالثواني) = عدد الطوابق / 10 .

فنجد أن المباني المكونة من 50 طابق تبلغ فترتها الطبيعية 5 ثواني بينما تصل إلى 10 ثواني في 100 طابق.

التصميم المقاوم للزلازل

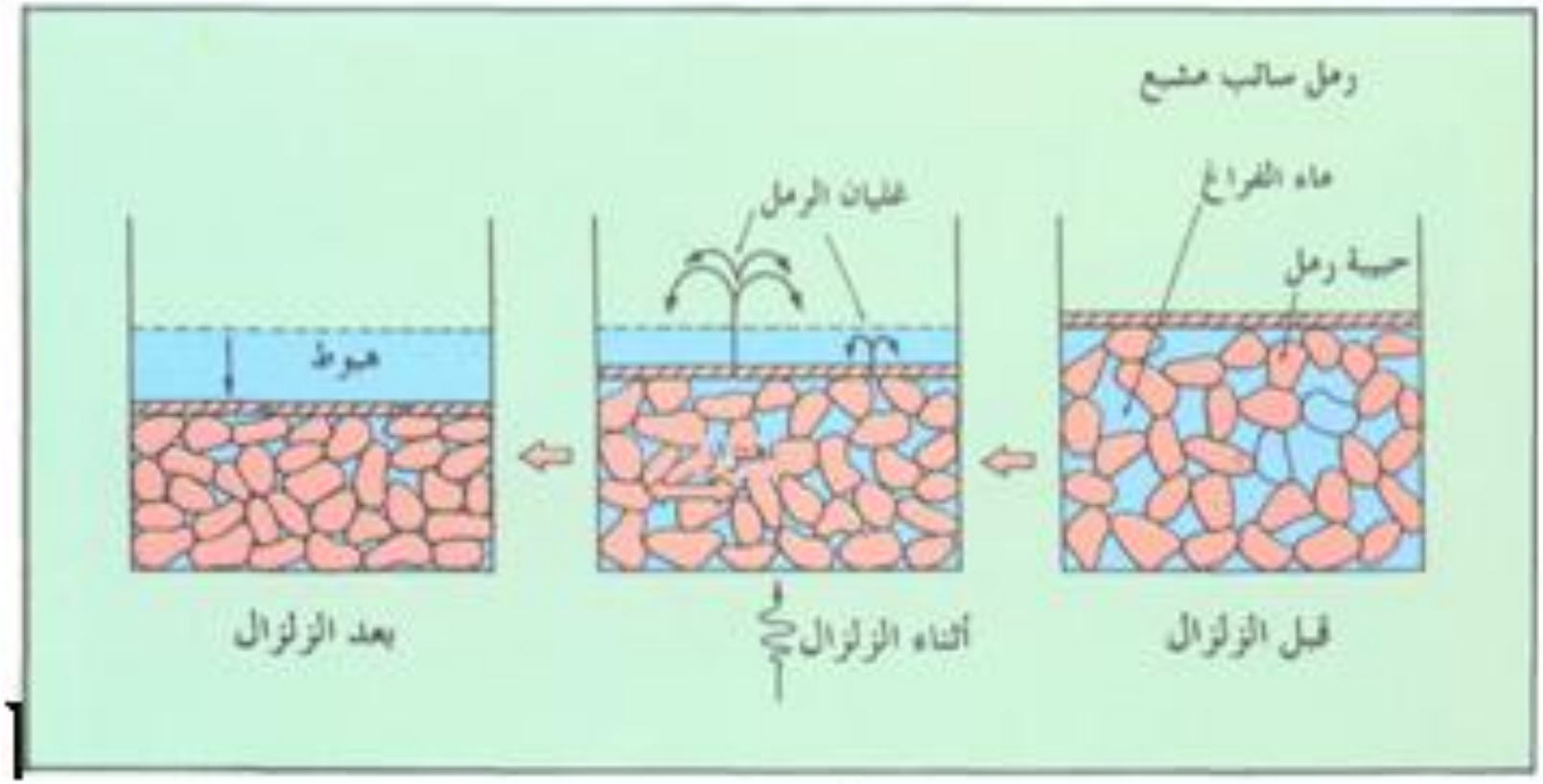
تكمن أهمية اعتماد مواصفات البناء الإنشائي المقاوم للزلازل من عدة أسباب أهمها: (1) إن التحليل الإحصائي للسجلات الزلزالية التاريخية والحديثة توضح بأن مناطق عديده محيطه بنا قد شهدت كثيرا من الهزات الزلزالية ويحتمل أن يتكرر حدوث هذه الهزات مستقبلا (2) أن الدراسات التي أجريت على كثير من حالات الانهيار الإنشائي الناجم عن الزلازل تؤكد على أن التصميم الإنشائي يلعب دوراً كبيراً في تحديد حجم الخسائر البشرية والمادية.

يعتمد نجاح التصميم الهندسي المقاوم للزلازل على دقة تنفيذ تفاصيل التصميم والتأكد من تحقيق الحد الأدنى من المواصفات الموصى بها اعتمادا على نوع العنصر البنائي ونوع المادة الإنشائية المستخدمة.

ينجم عن الاهتزازات الزلزالية قوى أفقية وأخرى رأسية ولكن في أغلب الأحيان لا تؤخذ هذه القوى الرأسية في الحسبان أثناء التصميم الإنشائي وذلك لأن متانة المباني (Structural Stiffness) في الاتجاه الرأسي تكون دائماً أضعاف المتانة في الاتجاه الأفقي، لهذا تعتبر القوى الناجمة عن الحركة الأفقية هي القوى الأكبر ضرراً على المبنى وينتج عنها تغيرات غير مرنة (Inelastic Deformations) في الشكل الهندسي لمكونات الهيكل البنائي، ويمكن الاستفادة من خاصية التغيرات غير المرنة هذه في امتصاص الطاقة الناجمة عن الهزة الزلزالية. لذلك فإن كافة قوانين تصميم البناء المقاوم للزلازل تتطلب أن يصمم المبنى بمواصفات معينة بحيث يمتلك قدراً كافياً من خاصية امتصاص الطاقة. تدعى هذه الخاصية بالمرونة (Ductility) ويمكن تعريفها بأنها قدرة الهيكل البنائي على امتصاص الطاقة الزلزالية من خلال التغيرات غير المرنة في العناصر الإنشائية دون أن تفقد هذه العناصر قدرتها على تحمل القوى التي تصل إليها لاحقا .

يعرف التصميم المقاوم للزلازل بأنه التصميم الذي يكفل الحماية الكافية من الإصابات والخسائر في الأرواح وأقل ضرر بالممتلكات واستمرار خدمات المرافق الحيوية مع تحقيق ذلك بتكلفة اقتصادية مقبولة. تصمم المنشآت المقاومة للزلازل بناء على توفير المعطيات التالية:

- معرفة الطبيعة الجيولوجية والزلزالية للموقع وتحديد مواقع الصدوع النشطة وقيم الشدة الزلزالية. وهذا يتطلب توفير خرائط توزيع الشدة الزلزالية.
- طبيعة التربة وخواصها الديناميكية. حيث تتسبب الموجات الزلزالية بتمييع التربة **(Liquefaction)** وحصول الانهيارات الأرضية.
- دراسة ونمذجة الخواص الديناميكية والاهتزازية للمنشأ. حيث يحسب زمن وطور الترددات الزلزالية المتوقعة وطبيعة التوهين الموجي **(Attenuation).**
- طبيعة المنشأ المطلوب إقامته والعمر الاقتصادي له.



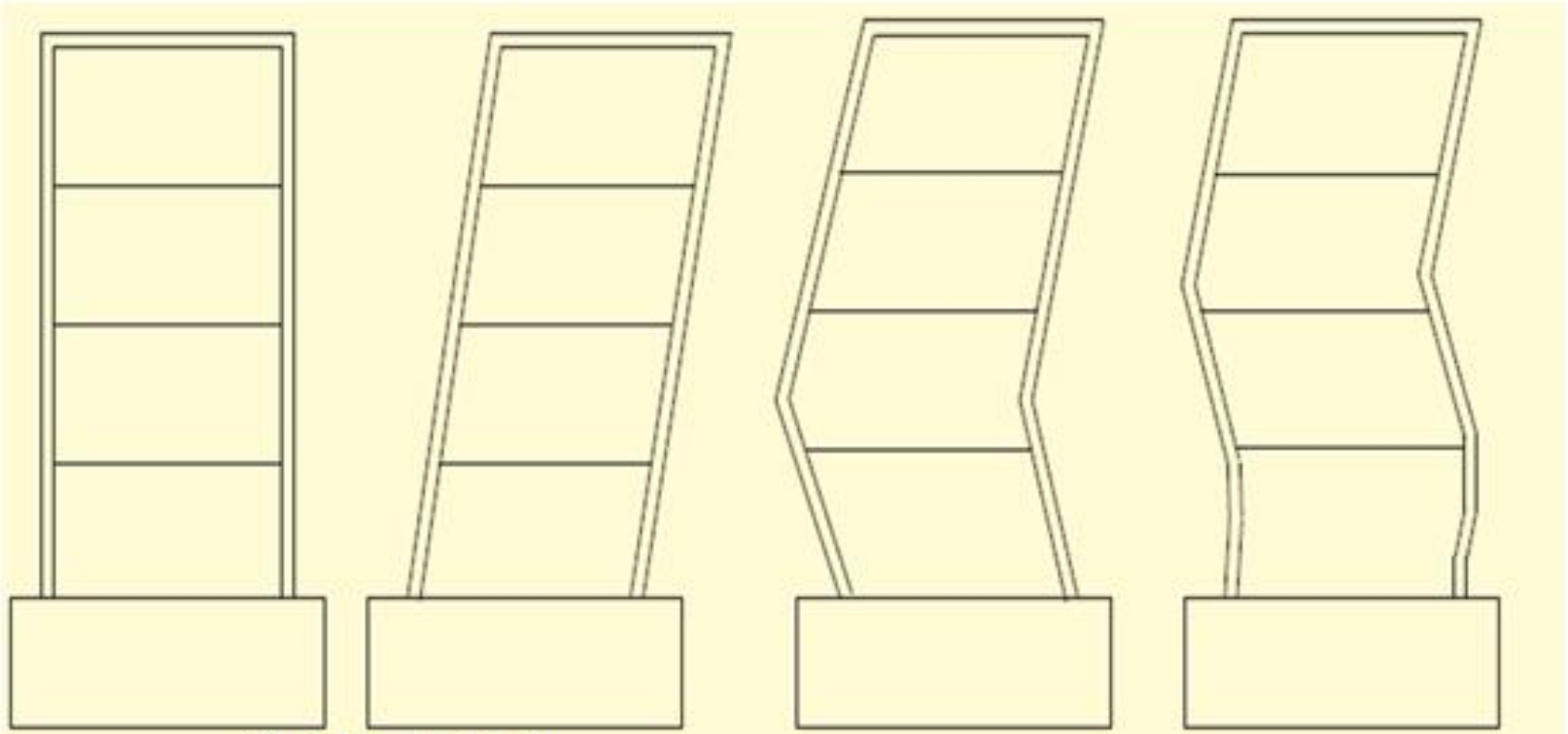
ميكانيكية تميع التربة

طرق التحليل والتصميم الزلزالي

تتأثر المباني بالقوى الزلزالية بشكل غير مباشر، حيث تنتقل هذه الأحمال من الأرض إلى المنشأ من خلال أساسات المنشأ، وعادة يتم تصميم المنشآت تحت تأثير الهزات الأرضية باستخدام:

1. طرق التحليل الديناميكية

تصنف القوى الزلزالية التي تتعرض لها المباني من حيث طبيعة تأثيرها ضمن فئة التأثيرات والأحمال الديناميكية، وذلك لان كلاً من شدتها واتجاهها ونقطة تطبيقها تتغير مع الزمن، فمن خلال التحليل الديناميكي يمكن الحصول على جميع نماذج الحركات الاهتزازية للمنشآت والتي يمكن تصنيفها في ثلاثة انواع كما هي موضحة في الشكل التالي، لذلك تعتبر طرق التحليل والتصميم الديناميكي للمنشآت الأقرب الى الواقع، وتعتبر هذه الطرق بالمقارنة مع طرق التحليل الاستاتيكي بأنها متقدمة وأكثر دقة ومعقدة وتتطلب وجود كوادر متخصصة، إلا أن وجود برامج الكمبيوتر التخصصية جعلت استخدامها سهلا"، وعادة يوصى باستخدام هذه الطريقة في المنشآت المهمة أو في المنشآت التي لا تحقق شروط استخدام الطريقة الاستاتيكية المكافئة مثل المنشآت غير المنتظمة.



أ) النموذج الأول أقل تردد أو أكبر زمن دوري

ب) النموذج الثاني

ج) النموذج الثالث

نماذج الحركات الاهتزازية المحتملة للمنشآت

ب. الطريقة الاستاتيكية المكافئة

في هذه الطريقة يتم إيجاد القوة الزلزالية الستاتيكية المكافئة للقوى الزلزالية الديناميكية، من خلال استخدام النموذج الاول للاهتزاز (Fundamental Mode of Vibration)، ولهذه القوة مركبتان:

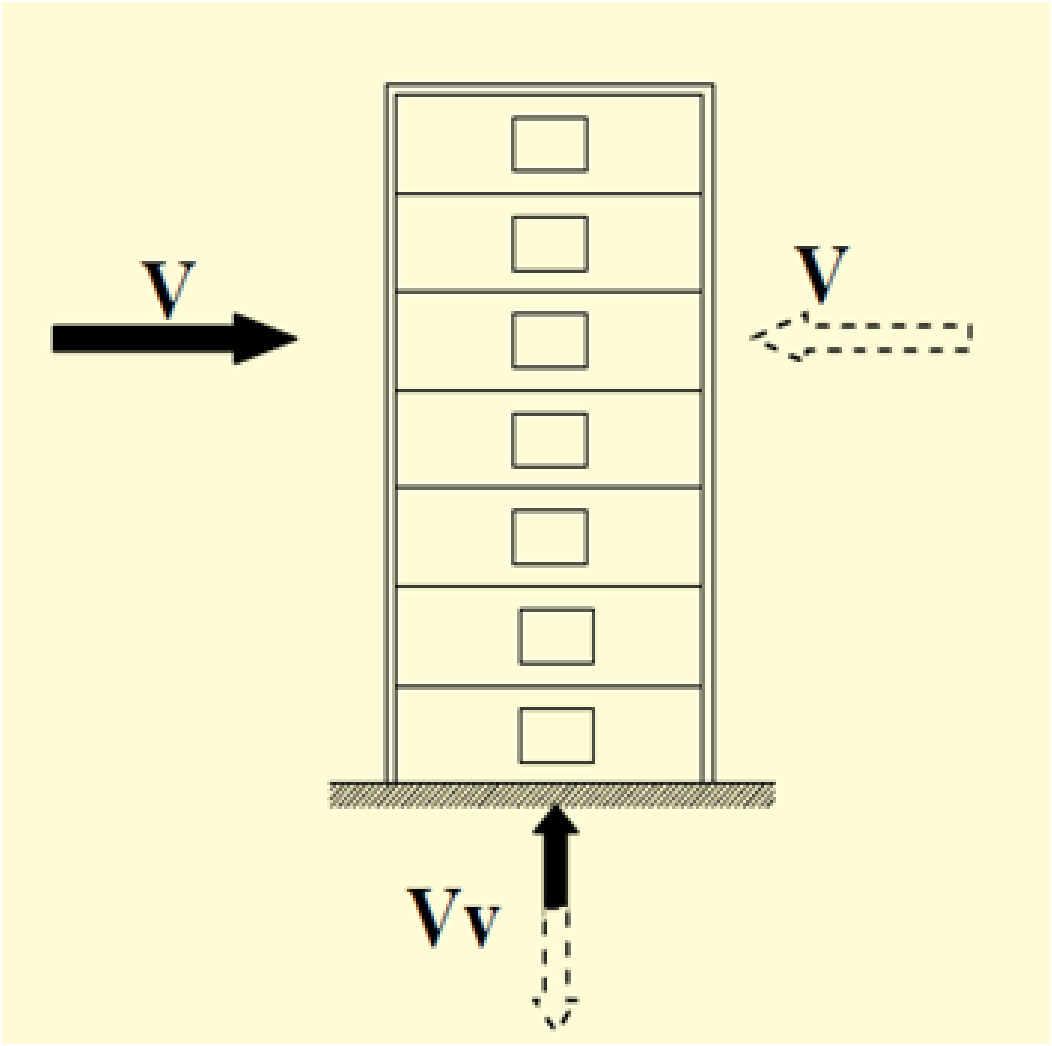
أفقية ورأسية، وعادة معظم كودات التصميم العالمية تهمل المركبة الرأسية للقوى الزلزالية، وخلال السنوات العشر الماضية أوصت عدد من الكودات العالمية بضرورة أخذ أثر هذه المركبة على سلوك وتجاوب المنشآت في حالة تعرضها لهزات أرضية، فقد أظهرت الزلازل التي تعرضت لها عدد من دول العالم أن القوى الزلزالية الرأسية قد أثرت بشكل واضح على بعض أنواع المنشآت، وأهمها:

المنشآت الخفيفة، والصالات ذات البحور الكبيرة،

البلكونات وخصوصاً المحملة منها، والجسور/ أو الكباري، ومنشآت الخرسانة مسبقة الإجهاد.

وبشكل عام تنحصر دقة نتائج الطريقة الستاتيكية المكافئة بالمنشآت المنتظمة أو شبه المنتظمة، وتتلخص فكرة هذه الطريقة في تمثيل القوى الزلزالية باعتبارها قوى أفقية خارجية تؤثر على المباني.

آلية تأثير القوى الزلزالية الأفقية والرأسية استناداً للطرق الإستاتيكية المكافئة



وعادة تحسب قيمة هذه القوى وفقاً لكودات التصميم الزلزالي من خلال استخدام العلاقة التالية والمعروفة باسم القص القاعدي التصميمي:

$$V = Cs \times W \qquad (1)$$

حيث:

W : وزن المبنى

Cs : المعامل الزلزالي ،

وبدورها تعتمد قيمة المعامل الزلزالي (Cs) على عدد من المؤشرات او العوامل، واستنادا لكود البناء المتناسق Uniform Building Code 1997)) تحسب قيمة قوة القص القاعدي من خلال استخدام العلاقة التالية:

$$V = \frac{C_v I}{R \cdot T} W \qquad (2)$$

حيث:

Cv- معامل زلزالي يتم ايجاد قيمته من الجداول من خلال العوامل Z و S

Z - معامل زلزالية المنطقة (Seismic zone factor) ، ويؤخذ

S - معامل نوعية وتأثير تربة الموقع (Site effect – soil profile)، حيث SF، SE، SD، SC، SB، SA تمثل أصناف المقاطع الشاقولية للتربة كما وردت في جداول كود البناء UBC97، وكود البناء الدولي IBC، والكود العربي الموحد، والكود الاردني 2005.

I- عامل الاهمية (Importance factor)، ويتم تحديد قيمته من الجدول، وبالنسبة للمباني العادية تؤخذ قيمة المعامل I تساوي 1.

T- الفترة الأساسية للاهتزاز المرن (الزمن الدوري الطبيعي الاساسي) مقدرةً بالثواني (Fundamental Natural period)، وذلك للمنشأة بالاتجاه المدروس

R- معامل رقمي يمثل المقاومة الزائدة المتأصلة، ومقدار المطولية العامة للنظام المقاوم للقوى الأفقية (Structural/Ductility factor)، ويتم ايجاده من جداول الكود المستخدم.

ويتضمن الكود كذلك علاقات للتحقق من قيم كل من الحد الاعلى والحد الادنى للقوة V .

وبغض النظر عن الكود المستخدم تتشابه العوامل والمؤشرات المذكورة اعلاه في معظم الكودات العالمية وان كان هناك اختلاف في شكل وتركيبة العلاقات المستخدمة في هذه الكودات، وبنظرة سريعة الى مفاهيم ودلالات العوامل والمؤشرات التي تؤثر في حساب قيمة المعامل الزلزالي Cs يلاحظ ان بعضها (مثل العوامل Z وS وI) يمكن ان تستخدم بسهولة في أي دولة في العالم بشرط توفير الخرائط والمتطليات اللازمة، في حين لوحظ ان معظم الاخطاء او الاختلاف في النتائج بين اكثر من شخص استخدموا العلاقة رقم (2) لنفس المبنى وفي نفس المنطقة او

كان سببها في الغالب كلاً من المعامل T و R وهذا طبيعي فأنماط المباني المستخدمة تختلف من بلد لآخر.

- الكتل والصلابات

وبدورها تعتبر الكتل والصلابات المعايير الرئيسية التي تتحكم بالخصائص الديناميكية للمنشآت (Dynamic Characteristics of Structures)، فقيمة كل من تردد المبنى وسعة حركته الاهتزازية يتحكم بهما كل من الكتلة (m) والصلابة (k) . فقيمة التردد الطبيعي الزاوي ω تساوي:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad (3)$$

أما الزمن الدوري الطبيعي (T) فيساوي:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \qquad (4)$$

و تتأثر قيمة كل من T و R بطبيعة ونوع النظام الإنشائي المستخدم في المبنى، وعموماً تساهم قيمة T بشكل كبير في تصنيف قيمة R وفقا لنوع المنشأ.

حساب القص القاعدي التصميمي (DRS):

$$V = \frac{C_v I}{R T} W$$

❖ يجب أن لايتجاوز القص القاعدي التصميمي الكلي القيمة:

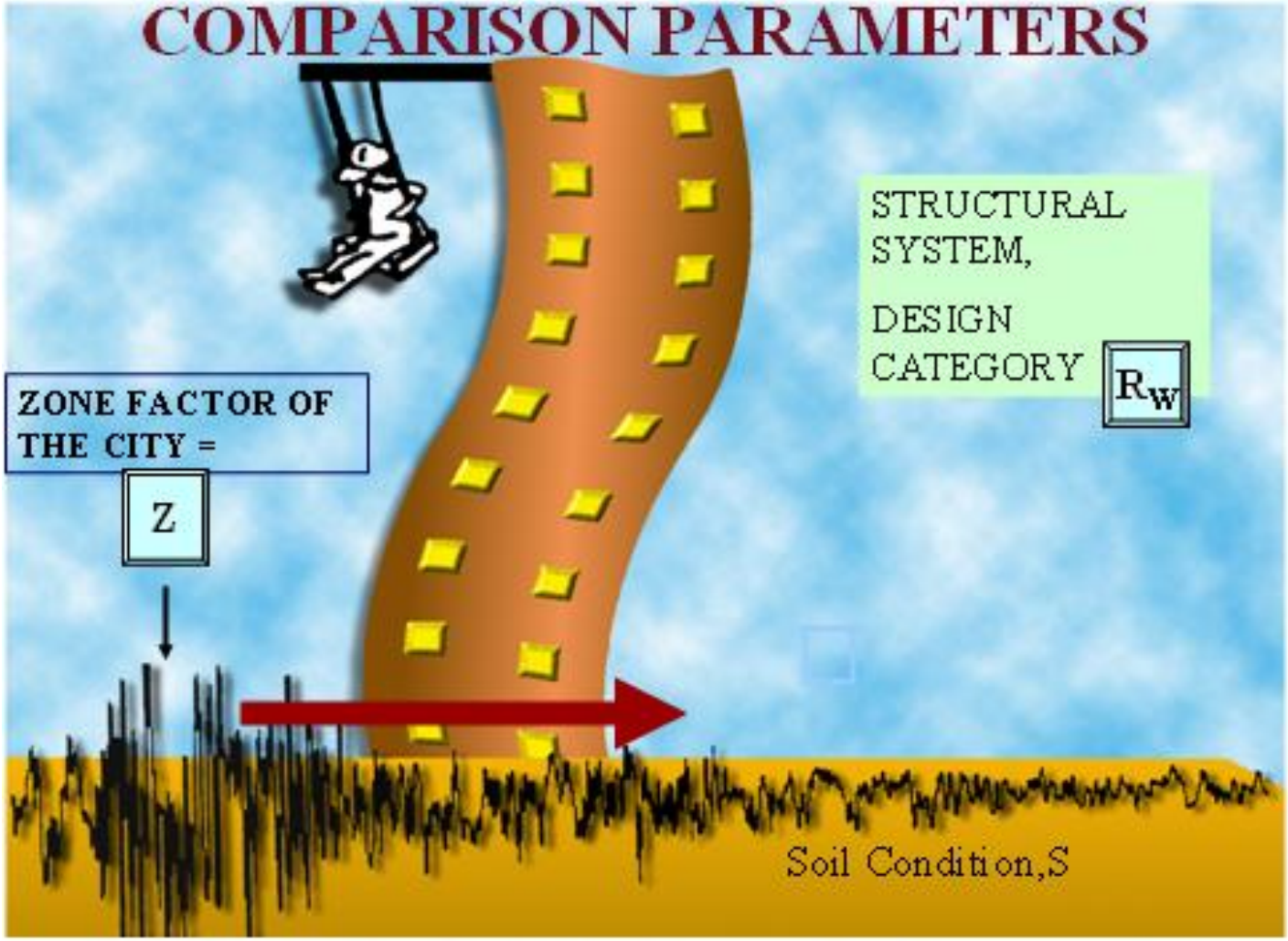
$$V = \frac{2.5 C_a I}{R} W$$

❖ لايقل القص القاعدي التصميمي عن:

$$V = 0.11 C_a I W$$

إن معايير التصميم المقاومة للزلازل ينبغي أن تتوفر فيها الشروط التالية :

- أن تقاوم الزلازل الطفيفة دون أضرار .
- أن تقاوم الزلازل المتوسطة دون أضرار إنشائية ولكن مع احتمال تعرضها لبعض الأضرار غير الإنشائية .
- أن تقاوم الزلازل الكبيرة التي تعادل في شدتها أقوى ما تعرضت له المنطقة من هزات أرضية دون انهيار مع حدوث أضرار إنشائية محددة قابلة للإصلاح.



العلاقة بين معاملات التصميم الزلزالي للمباني المقاومة للزلازل

وهناك مبادئ عديدة لتصميم الأبنية منها :

- أن يكون مخطط المنشأ بسيطاً لأن التصميم المعقد قد يسبب اجهادات وتشوهات غير منتظمة .
- يجب أن ترتب الأجهزة الإنشائية المقاومة للزلازل بحيث يكون الالتواء **Torsion** اقل ما يمكن مع تجنب الأشكال المعقدة والتوزيع الغير منتظم للأثقال .
- اختيار نظام إنشائي بسيط يمكن تحليله بسهولة.
- إعطاء متانة وممطولية **Ductility** كافية للمنشأ.
- معرفة الخواص الزلزالية للموقع بحيث تكون بعيدة عن الفوالق ومناطق تميع التربة .

متطلبات تصميم عناصر المبنى المقاوم للزلازل

الأساسات

تعتبر الأساسات هي العنصر الأهم في أية منشاة، و هذا يتطلب إعطاؤها أهمية خاصة و تصميمها لمقاومة الزلازل. إن العديد من الانهيارات ناتجة عن مشاكل في الأساسات، فقلة عمق التأسيس تزيد من احتمال انقلاب المنشأة أو انزلاقها، كما أن قلة الروابط بين القواعد تزيد من خطر الهبوط الناتج عن هبوط التربة أو تميعها.وعلى ضوء ذلك لابد من التقيد بما يلي :

- يجب أن تعمل القواعد كوحدة واحدة وذلك بتزويدها بميدات رابطة .
- توضع الميدات في منسوب القواعد المسلحة ويمتد حديد تسليحها إلى نهاية الأعمدة
- في حالة وجود تميع التربة Liquefaction فإنه يوصي بدمك التربة مع خفض منسوب المياه الجوفية وزيادة عمق التأسيس أو استخدام أساسات وتدية .

العناصر الإنشائية

- يجب أن يكون المسقط الأفقي للمبنى متماثلا قدر الإمكان .
- يجب أن يكون المبنى مزودا بعناصر إنشائية مقاومة للقوى العرضية مثل الإطارات Frames أو حوائط القص أو القلوب الخرسانية المستمرة من الأساسات وذلك في اتجاهين متعامدين .
- عزل الأساسات باستخدام مادة كالمخدات المطاطية لها القدرة على امتصاص الطاقة الناتجة عن الحركة الأفقية أو استخدام نوع من الأجهزة الميكانيكية لها خاصية تخميد الهزات **Dampers**

العناصر غير الإنشائية: وهي حوائط الطوب غير الحاملة والقواطع الداخلية. يجب أن تكون مربوطة بالأسقف والأرضيات وأن تكون عناصر الحوائط المقاومة للزلزال مسلحة