الزلزالية الهندسية

أ.د. عبدالله بن محمد العمري
قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - كلية العلوم - جامعة الملك سعود

2018

الزلزالية الهندسية

هندسة الزلازل Earthquake Engineering

ويهدف هذا العلم إلى تقليل المخاطر Mitigation الناجمة عن حدوث الهزات الأرضية وتسهيل عملية تصميم الأبنية المقاومة للزلازل وهذا يتطلب القابلية على معرفة وتخمين أقصى درجات الإهتزاز الذي يعانيه المنشأ الهندسي عند حصول الزلزال. أن 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 :

1. تقليل الخسائر البشرية.
2. تقليل الخسائر الإقتصادية للمنشآت الحيوية والإستراتيجية.

ولتخفيف ذلك لابد من تحديد :

أ- مدى إحتمال وقوع الزلازل.

ب- مقارنة هذه المخاطر الطبيعية مع التوزيع السكاني ومواقع المرافق العامة والهامة ومدى تعرضها للمخاطر وتأثرها بها وصولاً إلى تحديد الخطر.

ج- 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 انواع 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:
- طبقة تربة رملية ضعيفة التحمل يتراوح عمقها بين 15-20م.
- جزيئات تربة متماثلة و ذات حجم متوسط.
- ظروف إشباع و خاصةً عندما تكون التربة مغمورة بالمياه.
- 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 الخطـر 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.

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.

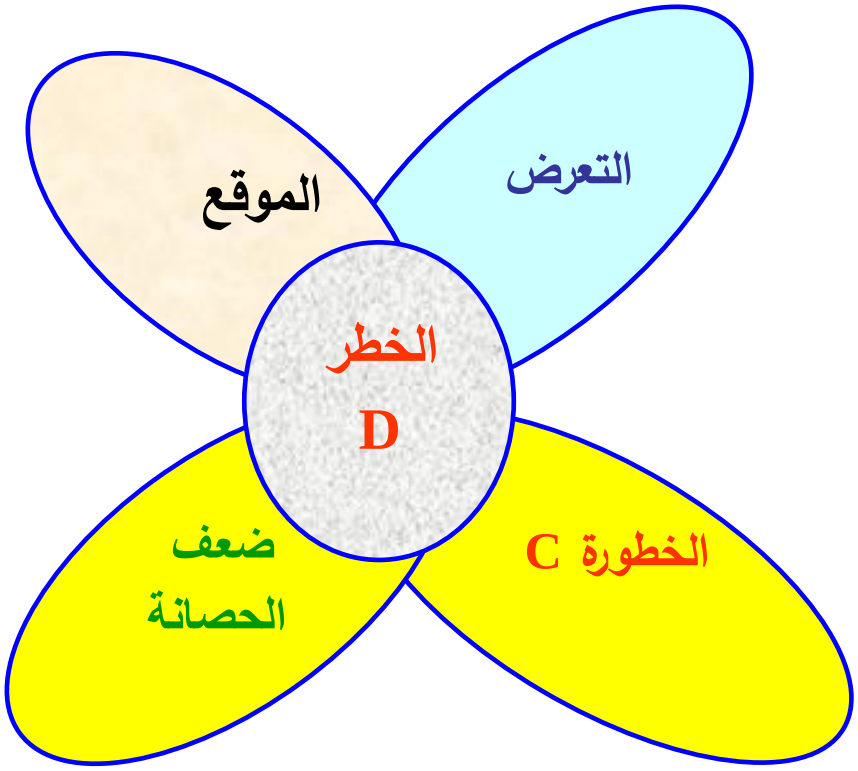
ضعف الحصانة الزلزالي **Vulnerability**

إن الكثير من المباني معرضة للخطر حيث لا يرجع بالضرورة إلى إرتفاع مستوى الخطر بقدر ما يرجع إى أن هذه المباني قابلة للتأثر حتى بالإهتزازات الزلزالية ذات الشدة المنخفضة. والسبب الرئيس أن هذه المباني قد أقيمت بإستخدام 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.

من الاحتياجات الأساسية عند تحديد الخطر الزلزالي **Risk** هي معرفة المكان الذي تحدث فيه الزلازل والزمان الذي يحتمل حدوثها ولغرض التوصل إلى تصميم دقيق وقوى يجب حساب تأثيرات جميع القوى الحركية والسكونية. يشتمل الخطر الزلزالي على أربعة عناصر رئيسية:

- A : القيمة الاقتصادية **Value** وتشمل الخسائر البشرية والمادية .
- B : درجة التخريب الناتج عن الزلازل **Vulnerability**.
- C : الخطورة **Hazard** وهي احتمالية وقوع زلزال معين في موقع معين ضمن فترة زمنية معينة.
- D : الخطر الزلزالي **Risk** وهي الدرجة المتوقعة للخسائر البشرية والمادية في موقع معين ضمن منطقة معينة وفي زمن معين.

A X B X C = D



معادلة التوهين Attenuation Relation

يعرف التوهين بأنه تضاؤل الشدة الزلزالية مع المسافة عن البؤره الزلزالية السطحية

$$I(R) = I0 + a + bR + C \log_{10} R$$

R نصف قطر الدائرة التي تكون البؤرة مركزها

I(R) الشدة عند المسافة R من البؤره السطحية للزلازل

a,b,c ثوابت تعتمد على المنطقة.

$$I(R) = I0 + 6.453 - 0.00121 R - 2.15 \ln (R+20)$$

$$I0 = 0.95 Ms + 1.99$$

Ignore 0.00121 R

$$I = 8.443 + 0.95 Ms - 2.15 In (R+20)$$

الاستجابة الأرضية للزلازل EQ. Ground Response.

تتلخص الاستجابة الأرضية للزلازل في ثلاث معاملات .

ا. **التعجيل الأرضي الأقصى** Peak ground Acceleration (PGA)

وبالرغم من وجود مركبة أفقية وأخرى عمودية فإن معظم الاستخدامات هي المركبة الأفقية للتعجيل الأقصى.

$$- Log(PGA)h=0.57+0.5\ mb-0.83 \log(R^2+h^2_m)^{1/2} - 0.00069R$$

R : البعد البؤري **h_m** : العمق البؤري الأدنى اعتماداً على المقدار الزلزالي

$Hm = -1.73 + 0.456\ mb$ **mb** > 4.5

ب) **السرعة الأرضية القصوى Peak Ground Velocity (PGV)**

$$Log\ (PGV)_h = -3.6+1.0\ mb - 0.83\ Log(R^2 + h^2_m)^{1/2} - 0.00033R$$

جـ) **الازاحة الأرضية القصوى Peak ground Displacement**

د) **الخواص الطيفية Spectral Characteristecs**

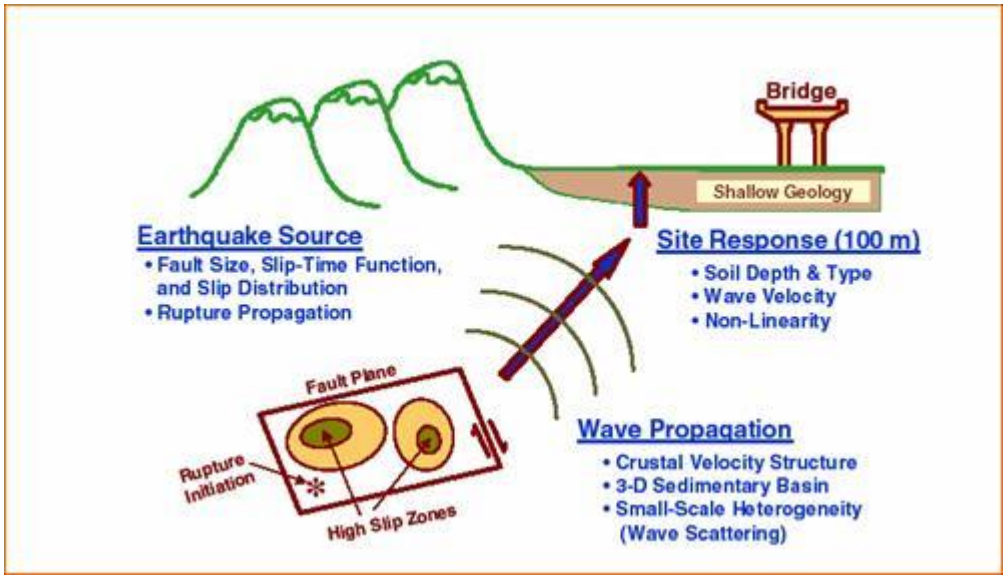
هـ) **فترة التردد الزلزالي : Duration**

الحركة الأرضية GROUND MOTION

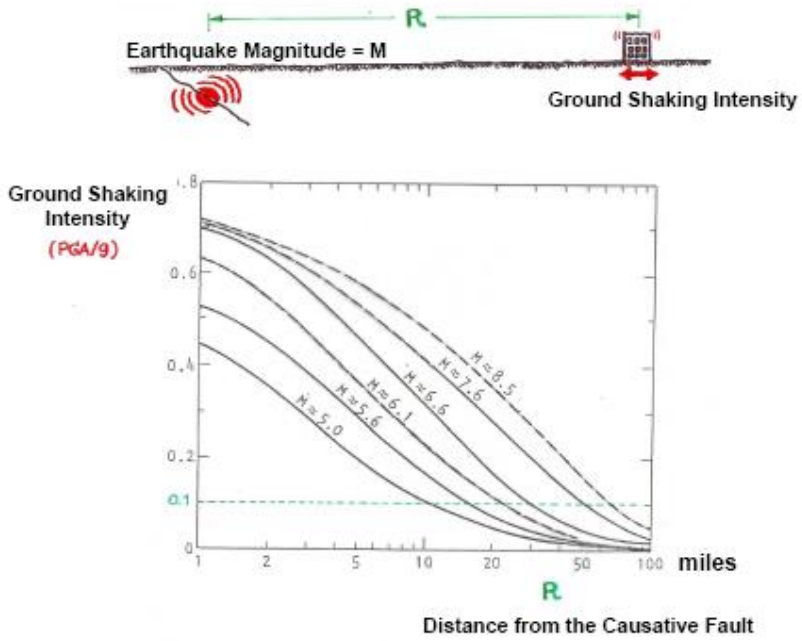
إن الزلازل وما ينجم عنها من إزهاق للأرواح وهدم لمقومات الحياة بصورة آنية – قد لا تتجاوز ثوانٍ معدودة – لاسيما في المجتمعات المعاصرة التي تداخلت فيها مقومات الحياة بصورة معقدة، أدى إلى تطوير العديد من الحلول الهندسية لتقليل الآثار التي قد تسببها هذه الهزات الأرضية. ومع أن أي حل هندسي للتقليل من آثار الزلازل 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.

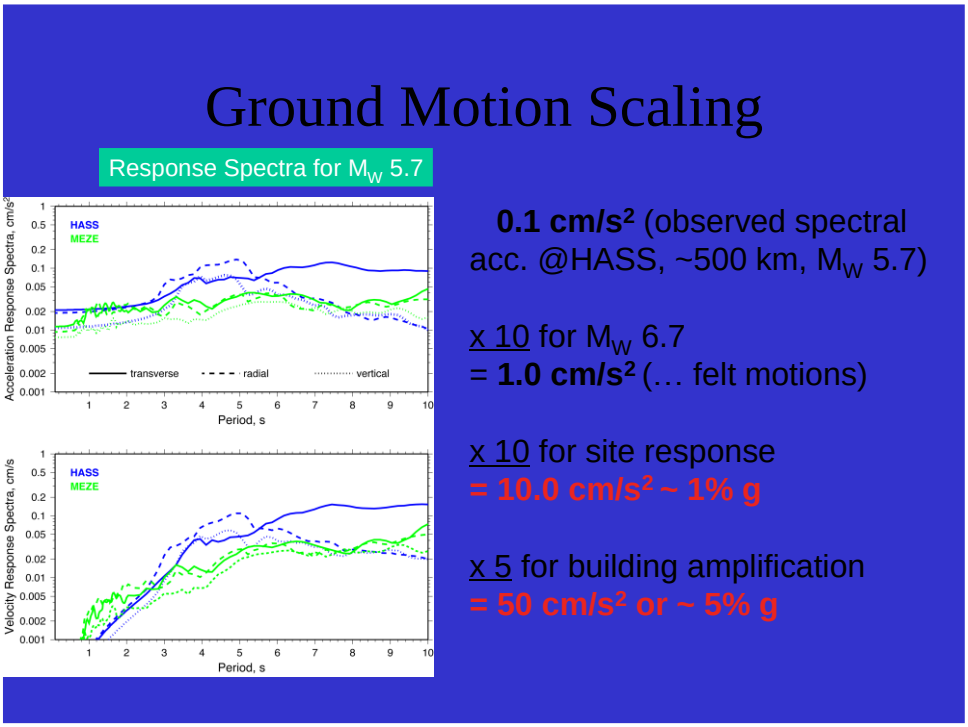
من المتعارف عليه أن معظم الأضرار الأولية خلال حدوث الزلزال بسبب الحركة الأرضية ويعبر عن هذه الحركة بالتسارع الأرضي الأقصى PGA. يعتمد مستوى الحركة الأرضية لموقع ما على بعدها من مركز الزلزال السطحي, حيث تزداد الشدة كلما اقتربنا من المركز وتقل كلما ابتعدنا. الحركات الأرضية القوية يمكن أن ينجم عنها أيضا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



نستنتج من ذلك أن الحركات الأرضية ذات الفترة الدورية الطويلة من الزلازل البعيدة في إيران قد تؤثر على المباني الشاهقة والمنشات في المنطقة الشرقية من المملكة والأمارات واحتمال تعرض الترب للتضخيم والتميع وارد كما هو موضح في محطتي الأحساء والأمارات.

يتأثر السجل الزلزالي للحركة الأرضية بثلاثة عوامل :

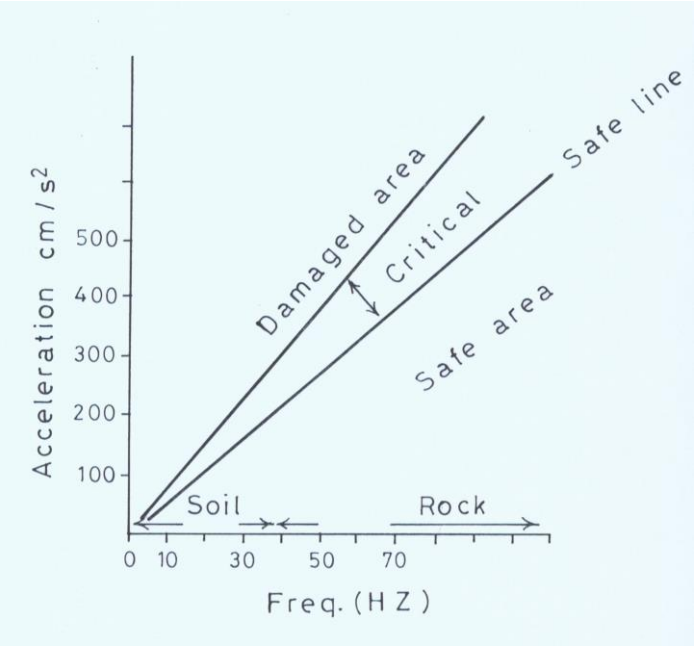
صفات المصدر Source (الاجهاد والتشوهات)
المسار الموجي Travel path (تشتت الطور الموجي) .
ظروف الموقع Local condition وتشمل الطبوغرافية والتربة

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 والانهيارالأرضي	• 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

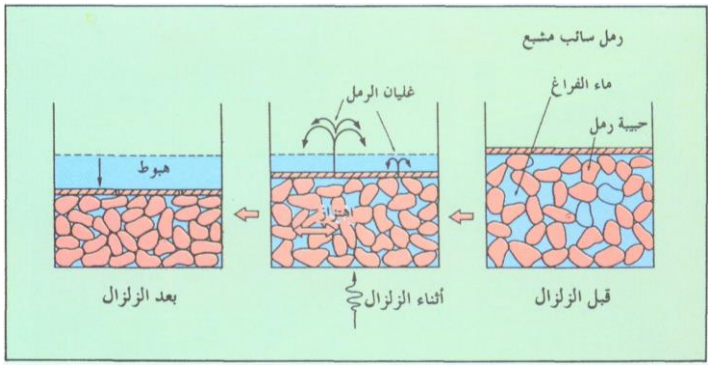
تكمن أهمية اعتماد مواصفات البناء الإنشائي المقاوم للزلازل في المملكة من عدة أسباب أهمها: (1) إن التحليل الإحصائي للسجلات الزلزالية التاريخية والحديثة توضح بأن مناطق المملكة قد شهدت كثيرا من الهزات الزلزالية ويحتمل أن يتكرر حدوث هذه الهزات مستقبلا (2) أن الدراسات التي أجريت على كثير من حالات الانهيار 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.



ميكانيكية تميع التربة

- دراسة ونمذجة الخواص الديناميكية والاهتزازية للمنشأ. حيث يحسب زمن وطور الترددات الزلزالية المتوقعة وطبيعة التوهين الموجي **Attenuation**.
- طبيعة المنشأ المطلوب إقامته والعمر الاقتصادي له.

يعتمد معامل التصميم الزلزالي للمباني المقاومة للزلازل على عدة عوامل :

❖ المعامل الزلزالى للمنطقة **Z** ويدل على مستوى الشدة الزلزالية المتوقعة في المنطقة، ويتم تحديده من خلال دراسة مستوى الخطر الزلزالي .

❖ معامل قابلية التربة لتضخيم الأحمال الزلزالية **S** .

❖ معامل الكفاءة الزلزالية **R** للمبنى، ويعتمد على نوعية المبنى ومدى مطابقته لمواصفات التصميم المُقاوم للزلازل.

❖ فترة الذبذبة الطبيعية **T** وتعتمد على الصلابة الأفقية للمبنى . وتُعد المباني الخرسانية المسلحة أكثر صلابة من المباني الحديدية . وتقل قيمة فترة الذبذبة في المباني المنخفضة عنها في المباني الشاهقة ولذلك نجد أن تردد المباني المنخفضة أكبر بكثير من تردد المباني الشاهقة.

❖ معامل الأهمية للمبنى **I** .

❖ الشكل الهندسي للمبنى.

$$C_S = \frac{1.25Z \cdot SI}{RT^{\frac{2}{3}}}$$

C_S معامل التصميم الزلزالي .

حساب أحمال الزلازل :

V = Cs . W

حيث : V مجموع الأحمال الأفقية .

Cs معامل التصميم الزلزالى .

w الوزن الكلى للمبنى

في تصميم المباني المقاومة للزلازل يفترض أن الاهتزاز الديناميكي المؤقت يتمثل في القوى الأفقية التي تؤثر على المبنى من الأساسات.

F = c . w

F = c (G + n p)

C: المعامل الزلزالي الأفقي

G : ثقل المبنى فقط

P : النسبة المئوية للثقل في البناية .

w: الثقل الكلي للبناية

n : ثابت الثقل في البناية

أما الدورة الطبيعية (T) للهيكل الإنشائي والتي تدخل في حساب المعامل الزلزالي الأفقي فهي :

T = 0.1 N

T = 0.09 H / √ b

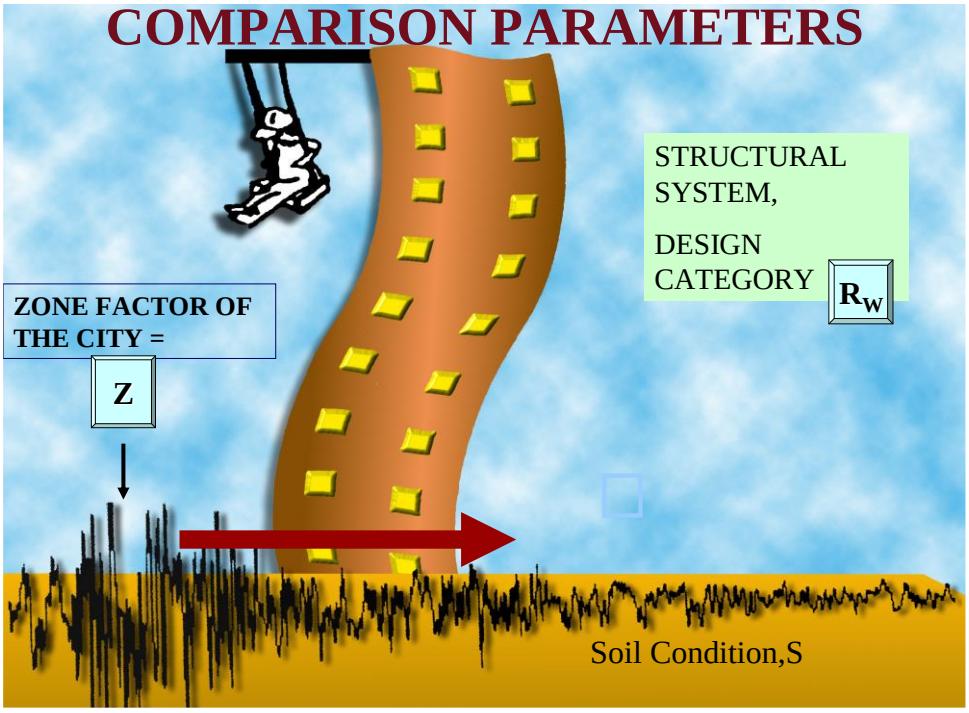
N : عدد الطوابق في حالة المباني التي تتجاوز ستة طوابق .

H : ارتفاع المبنى .

b : بعد المبنى والذي تحتسب القوى باتجاهه .

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 ومطيلية **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 خازوقية .

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

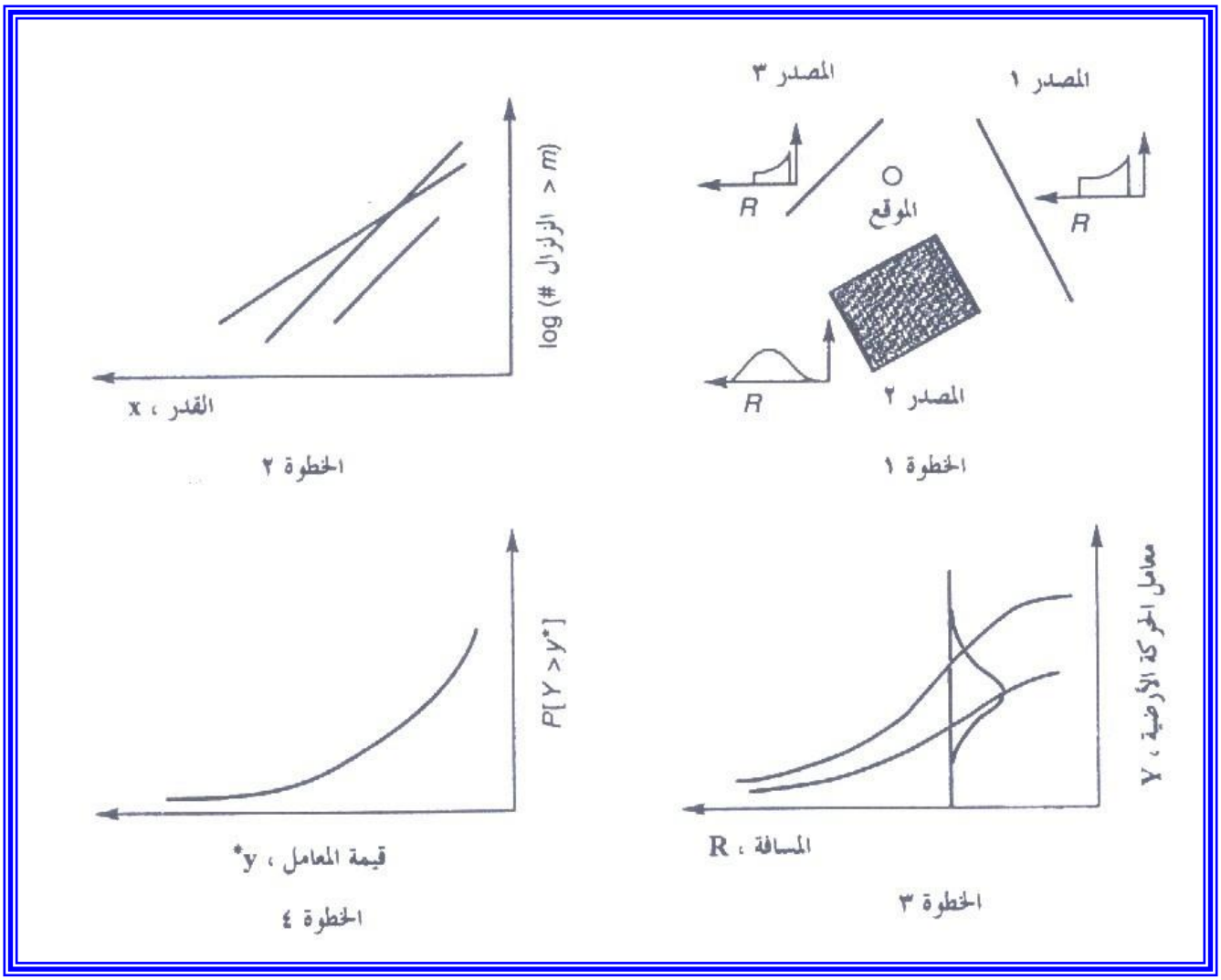
تحليل مصدر الخطر الزلزالي الاحتمالي
PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS

سمح استعمال مفاهيم الإحصاء في السنوات 20 إلى 30 الماضية باعتبار الشكوك بشكل واضح في الحجم والموقع ومعدل الظهور للزلازل وفي الاختلاف في خصائص الحركة الأرضية مع حجم الزلزال وموقعه في تقييم مصادر الخطر الزلزالية. ويعطي تحليل مصدر الخطر الزلزالي الاحتمالي خطة عمل يمكن فيها تمييز الشكوك وقياسها وجمعها بطريقة منطقية لإعطاء صورة أكثر اكتمالاً للخطر الزلزالي .

ويتطلب فهم الأفكار والميكانيكية لتحليل مصدر الخطر الزلزالي الاحتمالي الإلمام ببعض المصطلحات والمفاهيم الأساسية لنظرية الاحتمالية . ومثل هذه الخلفية من المعلومات يمكن الحصول عليها من المحلق ج وطريقة تحليل مصدر الخطر الزلزالي الاحتمالي الموصوفة في هذا الجزء مشابهة في عدد من المواضيع للطرق التي تحققت بشكل جيد والمطورة بواسطة كورنيل (Cornell,1968).

كما يمكن وصف تحليل مصدر الخطر الزلزالي الاحتمالي **PROBABILISTIC** كطريقة من أربع خطوات (Reiter, 1990) تحمل كل منها بعض الدرجة من التشابه لخطوات تحليل مصدر الخطر الزلزالي التحديدي Deterministic كما هو ممثل في **الشكل التالي**.

1. الخطوة الأولى تمييز ووصف مصادر الزلازل وهذه مطابقة للخطوة الأولى من تحليل مصدر الخطر الزلزالي التحديدي باستثناء وجوب وصف توزيع الاحتمالية لمواقع الانفصام المحتملة داخل المصدر وفي معظم الحالات تعين توزيعات الاحتمالية المنتظمة لكل منطقة مصدر ، ويقتضي أن تكون الزلازل متساوية الاحتمالية للحدوث عند أي نقطة داخل منطقة المصدر وبعد ذلك تجمع هذه التوزيعات مع مصدر الشكل الهندسي لإظهار توزيع الاحتمالية المطابق للمسافة بين المصدر والموقع وتحليل مصدر الخطر الزلزالي التحديدي في المقابل يفترض ضمنياً أن احتمالية الحدوث تكون 1 عند النقاط في كل منطقة مصدر قريبة للموقع وصفرا في أي مكان آخر .



الخطوات الأربع لتحليل مصدر الخطر الزلزال الاحتمالي

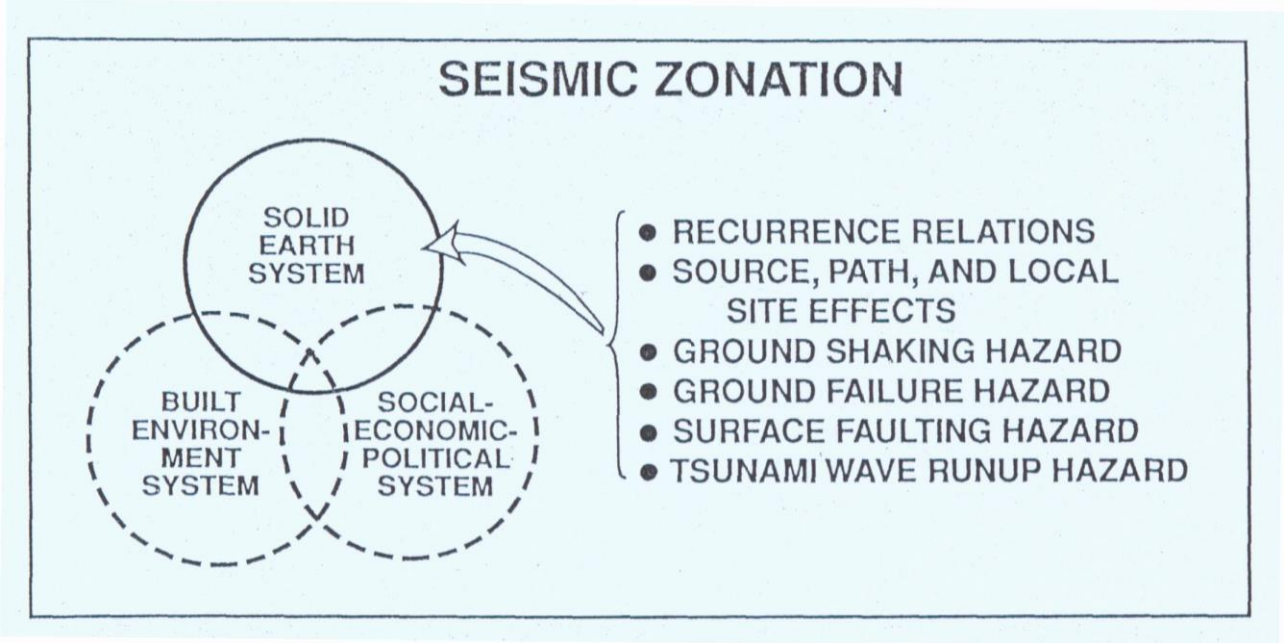
2. بعد ذلك يجب وصف التوزيع الزلزالي ، أو الزمني لعودة حدوث الزلزال وتستعمل علاقة عودة الحدوث والتي تحدد المعدل المتوسط الذي سيتم تجاوزه بواسطة زلزال بحجم معين لوصف الزلزالية لكل منطقة مصدر . وربما تتسع علاقة عودة الحدوث لزلزال الحجم الأكبر ، ولكنها لا تحد من الاعتبار لذلك الزلزال كما يفعل عادة في تحليل مصدر الخطر الزلزالي التحديدي .
3. يجب تحديد الحركة الأرضية الناتجة عند الموقع بواسطة الزلازل لأي حجم ممكن حدوثه عند أي نقطة ممكنة في كل منطقة مصدر باستعمال علاقة التنبؤ . وتعتبر الشكوكية المتأصلة أيضا في علاقات التنبؤ في تحليل مصدر الخطر الزلزالي الاحتمالي .
4. وأخيراً تجمع الشكوك في موقع الزلزال وحجمه وفي تنبؤ معامل الحركة الأرضية لإظهار احتمالية تجاوز معامل الحركة الأرضية أثناء فترة زمنية محددة .

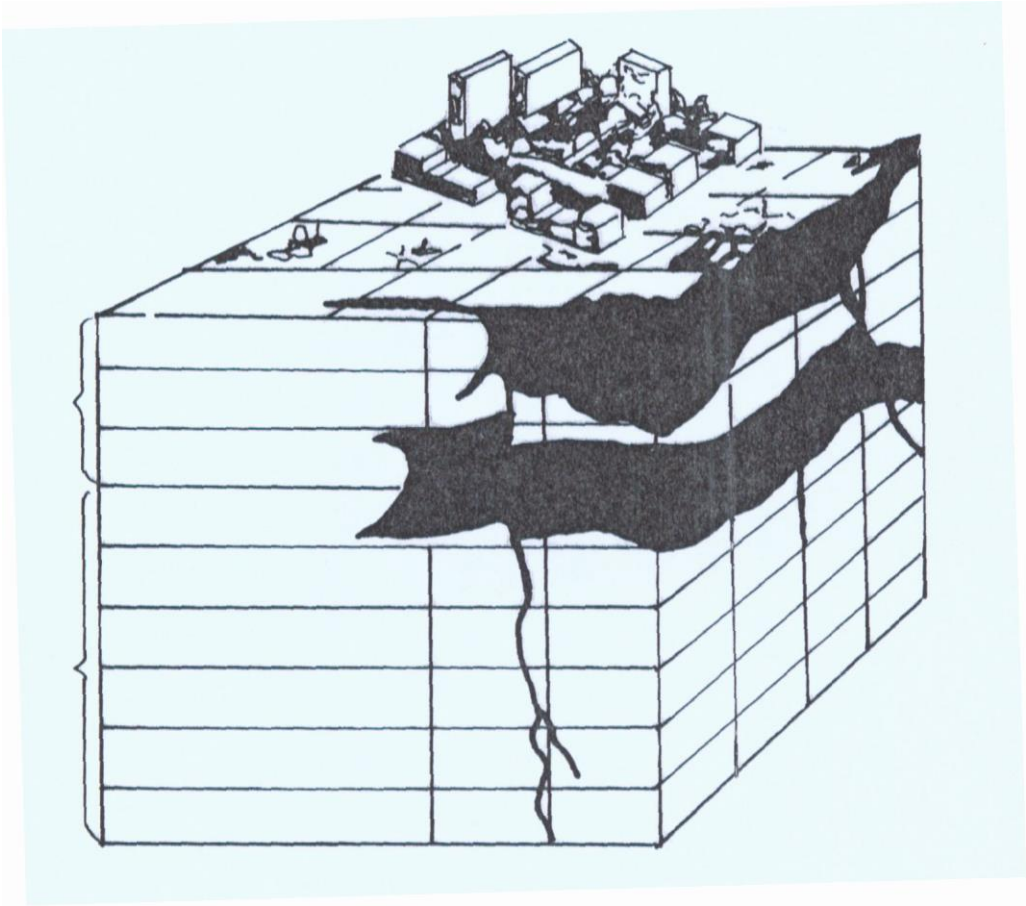
ويتطلب الأداء الملائم لتحليل مصدر الخطر الزلزالي الاحتمالي لفت انتباه حذر إلى مسائل وصف المصدر والتنبؤ بمعامل الحركة الأرضية وإلى الآلية حسابات الاحتمالية .

التمنطق الزلزالي Seismic Zonation

يهدف التمنطق الزلزالي إلى تقسيم المنطقة الجغرافية إلى مناطق صغيرة يتوقع تعرضها إلى نفس نسبة المخاطر الزلزالية (الاهتزاز والانهيار الأرضي والتصدع السطحي والتسونامي) وتستخدم خرائط التمنطق الزلزالي كدليل لأقصى قيمة للشدة الزلزالية أو التسارع الأرضي للدلالة على المناطق الخطرة زلزاليا. وللاستفادة القصوى لصانعي القرارات فإن هذا يتطلب أن تمثل خرائط التمنطق الزلزالي منظومة متكاملة من أنظمة الأرض والبيئة مع الأنظمة الاجتماعية والاقتصادية والسياسية.

- ❖ **النظام الأرضي** يحدد الخواص الفيزيائية للمصدر والمسار والموقع الذي يتحكم في المخاطر الزلزالية ويشمل معرفة مواقع الزلازل التاريخية والحديثة ومقاديرها ومستوى الاهتزاز الأرضي وأقصى زلزال متوقع مستقبلا.
- ❖ **نظام البيئة البنائي** يحدد التوزيع الفضائي والمكاني لأنظمة المباني المعرضة للمخاطر الزلزالية ويشمل نوعية المباني والأساسات وعدد الأدوار وكيف تم تشييدها في الماضي ومدى تأثرها.
- ❖ **النظام السياسي– الاقتصادي– الاجتماعي** يعرف المجتمع بسياسات إدارة تحليل المخاطر الزلزالية. وهذا يشمل خطط تخفيف المخاطر والاستعداد والطوارئ وإعادة الأوضاع وأنظمة استغلال الأراضي والمباني في الماضي.





تتطلب خرائط التمنطق الزلزالي تكامل منظومة لتخفيف تأثير أنظمة الأرض والبيئة مع الأنظمة الاجتماعية والاقتصادية والسياسية.

لكي نقوم بتقليل المخاطر الزلزالية في المملكة بطريقة منطقية فإنه من الضروري الفهم الواضح والإدراك الكامل والتام بالظاهرة الطبيعية المرتبطة بحدوث الزلزال وآثارها الضارة والمدمرة، فالعنصر الأساسي لدرء مخاطر الزلازل هو القدرة على تقييم وتقدير المخاطر الزلزالية باستخدام حلول منطقية ولكي يتم التعامل مع المخاطر الزلزالية فإنه من الضرورة معرفة ما يلي:

- مصادر الزلازل المدمرة.
- مواقع الأحداث الزلزالية.
- تردد الأحداث الزلزالية المختلفة في الحجم.
- طبيعة الحركة الأرضية بالقرب من مصدر الزلزال أو التوهين مع المسافة.
- تأثير جيولوجية الموقع على شدة الهزة الأرضية.
- أنواع المخاطر الزلزالية.
- الخصائص الرئيسية التي من الممكن أن تعرف مقدار التدمير الناتج عن الهزة الأرضية.

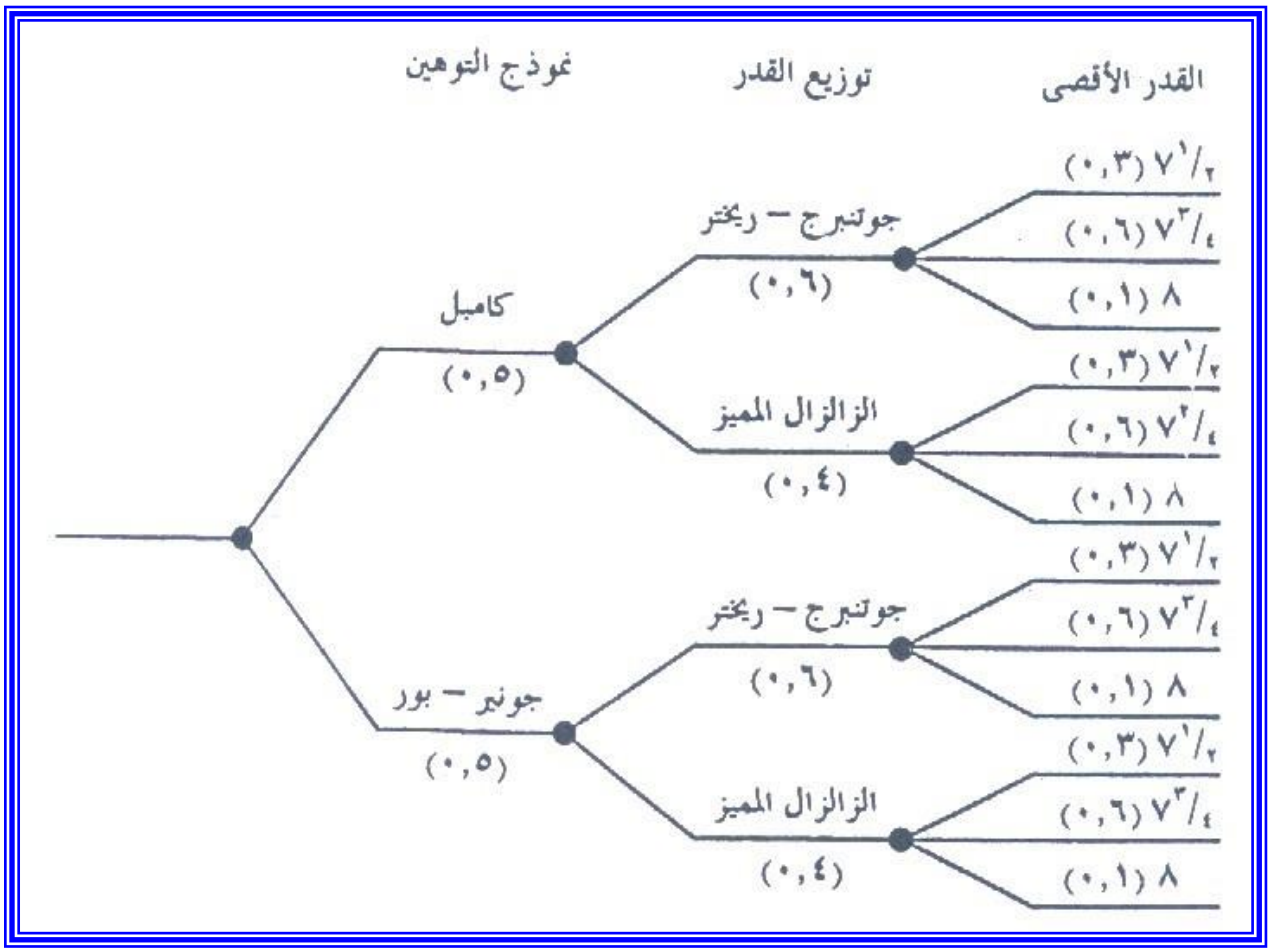
لنمذجة خواص المصادر الزلزالية تم استخدام طريقتين هما الطريقة الزلزالية وطريقة الكسور. بالنسبة للطريقة الزلزالية تم استخدام مجموعة من البيانات الزلزالية في كل نطاق وذلك لتحديد وتعيين علاقة القدر الزلزالي – التردد وكذلك لتقدير الإزاحة الخطية السيزمية ومقادير العزم الزلزالي. تم تحديد المعاملات الزلزالية لإيجاد العلاقة بين التراكيب والمصدر الميكانيكي للزلزال. أما بالنسبة للطريقة الثانية فقد تم فحص واختيار التراكيب التي يشملها كل نطاق على أساس الخرائط الجيولوجية التكتونية المتوفرة وذلك لمعرفة العلاقة بين أنواع المصدر الميكانيكي للزلزال وزلزالية مصدر المساحة Area source .

دلت النتائج على أن هناك نوعين من المصادر بالنسبة للنموذج التكتوني وهذان النوعان هما المصدر الخطي Line source ومصدر المساحة Area source. بالنسبة للمصدر الخطي يشمل الصدع العرضي Transcurrent والصدوع العادية. أما بالنسبة لمصدر المساحة Area source فهي تشمل الأحداث الزلزالية التي لها علاقة بالفوالق والكسور الصخرية والتي حدث لها إزاحة مما أدى إلى تغير موقعها داخل النطاقات السيزمية.

طرق الشجرة المنطقية Logic Tree Methods

تسمح حسابات الاحتمالات الموصوفة سابقاً باعتبار تنظيمي للشك في القيم للمعاملات لنموذج خطر زلزالي محدد . وفي بعض الحالات ، على الرغم من ذلك ، فإن أفضل الاختيارات للعناصر لنموذج الخطر الزلزالي نفسه ربما لا تكون واضحة . واستعمال الشجرات المنطقية (logic trees) تعطي هيكلاً ملائماً لمعالجة واضحة لنموذج الشك .

وتسمح طريقة الشجرة المنطقية باستعمال النماذج البديلة ، كل منها حدّد كمعامل وزن يفسر كالاحتمال النسبي لذلك النموذج كي يكون صحياً . ويتكون من سلسلة من نقاط الالتقاء (nodes) تمثل النقاط التي تعين عندها النماذج والفروع التي تمثل النماذج المختلفة المعينة عند نقطة التقاء حيث يجب أن يكون المجموع لكل الاحتمالات لكل الفروع الموصلة لنقطة الالتقاء المعطاة يساوي 1 . وتسمح الشجرة المنطقية البسيطة الموضحة في **الشكل التالي** باعتبار الشك في اختيار نماذج وهن ، وتوزيع القدر ، والقدر الأقصى .

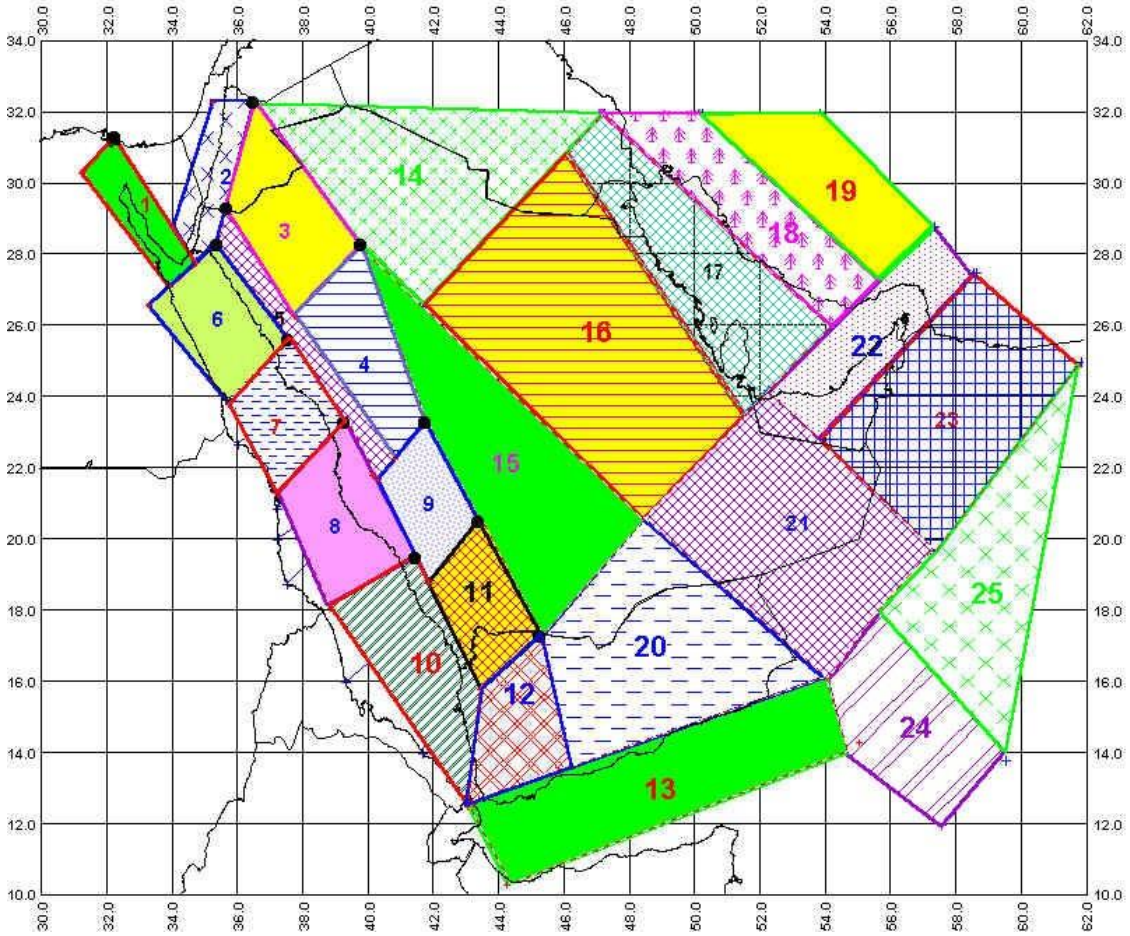


وفي هذه الشجرة المنطقية يعتبر الوهن طبقاً لنماذج (Campbell and Bozrgnia, 1994) (Boore at al, 1993) متساوية الاحتمالية لتكون صحيحة ولهذا السبب أعطي كل منها احتمالاً نسبياً يساوي 0.5 بالتقدم إلى المستوى التالي من نقاط الالتقاء ، ويعتبر توزيع القدر لـ جوتنبرج – ريختر أكثر احتمالية بـ 50% ليكون أصح من توزيع الزلزال المميز وعند المستوى النهائي من نقاط الالتقاء تعين الاحتمالات النسبية المختلفة للقدر الأقصى وتتوقف هذه الشجرة المنطقية بمجموع يساوي 12=3×2×2 فرعاً (عدد نماذج الوهن × عدد توزيعات القدر ×عدد الأقدار القصوى) ويعطي الاحتمال النسبي للنماذج المجتمعة و /أو المعاملات المتضمنة بواسطة كل فرع طرفي بواسطة حاصل الضرب للاحتمال النسبي للفرع الطرفي وكل الفروع السابقة التي تؤدي إليه . وإذاً يكون الاحتمال النسبي لمجموع نموذج كامبل للوهن ، وتوزيع القدر لـ جوتنبرج– ريختر والقدر الأقصى لـ 7.5 هو 0.09=0.3×0.6×0.5 ومجموع الاحتمالات النسبية للأفرع الطرفية أو لتلك عند أي مستوى سابق تساوي 1 . .

وبأخذ الاعتبارات الجيولوجية والسيزمية وتطبيق النماذج الرياضية المختلفة تم تحديد 25 نطاق زلزالي وتم تعريفها وتخطيطها في شبة الجزيرة العربية والمناطق المجاورة على النحو التالي :

قم النطاق	مسمى النطاق	رقم النطاق	مسمى النطاق
1	خليج السويس	14	طريف – وادي السرحان
2	خليج العقبة – البحر الميت	15	صدع نجد
3	تبوك	16	وسط المسطح العربي
4	النطاق البركاني في الشمال الغربي	17	الخليج العربي
5	وسط الحجاز	18	جبال زاجروس
6	ضبا والوجه	19	سلسلة سنندا ج إيران
7	ينبع	20	جنوب اليمن
8	جنوب البحر الأحمر – جدة	21	حوض الربع الخالي
9	مكة المكرمة	22	ديبا – بندر عباس
10	جنوب البحر الأحمر – الدرب	23	مكران – حواسنة
11	أبها – جيزان	24	مرتفعات شرق شبيه
12	جنوب غرب الدرع العربي	25	صدع المسيره
13	خليج عدن		

اعتبـرت نطاقـات المصـادر الزلزاليـة 1 و2 و6 و8 و10 و13 و18 و19 و22 و24 مناطق نشطة زلزالياً خلال الفترات التاريخية والحديثة . تتميز نطاقات المصادر الزلزالية هذه بوجود واحد أو أثنين من ميكانيكيات المصادر المحتملة مثل نظم الشد وصدوع عمودية وانزلاقية ونطاقات تصادمية . التوزيع الفراغي والزمني للأحداث الزلزالية في نظام الصدع تبدو كثيفة ولكن يوجد تشوه قشري عبر محور الشد بينما مواقع البؤر الزلزالية في مناطق التصادم تعتبر تقريباً منتظمة التوزيع. وتتراوح قيمة ال b لهذه المناطق الزلزالية بين 0.7 و 1.2 . ويلاحظ أن باقي مناطق المصدر الزلزالي تعتبر غير نشطة زلزالياً من حيث وقوع أحداث زلزالية ضعيفة إلى متوسطة خلال الفترات التاريخية والحديثة بالرغم من أن بعض نطاقات المصدر الزلزالي هذه (16 و15 و12 و 9 و7 و 5 و4) تحتوي على نظام صدع معروف وتقع في منطقة بركانية . وتتراوح قيمة الـ b في مناطق المصدر الزلزالي هذه تقريبا من 0.35 – 0.6 ماعدا المناطق البركانية التي يبدو أنها تتبع نظام الشد.



النطاقات الزلزالية لشبه الجزيرة العربية والمناطق المجاورة

تقييم المخاطر الزلزالية في المملكة

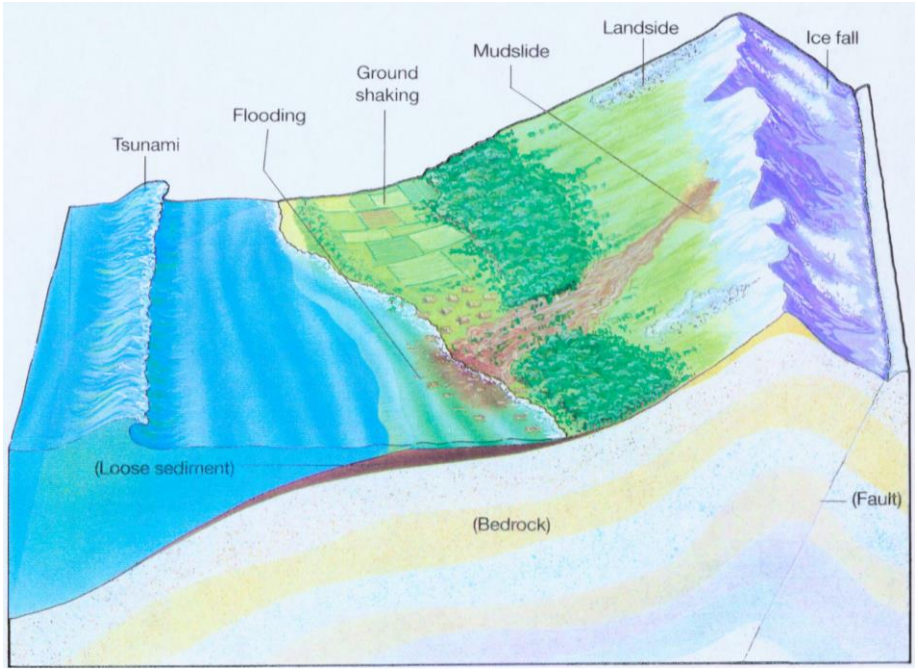
تتعرض المملكة العربية السعودية كغيرها من الدول الأخرى النامية والمتقدمة لعدد من المخاطر الطبيعية الأرضية والجوية والحيوية. وتتفاوت هذه المخاطر في قوتها ومدتها وتكرارها وخطرها. ومن الأخطار التي تهدد المملكة الزلازل والهزات الأرضية وخاصة في شمال غرب وجنوب غرب المملكة، والسيول والجفاف وزحف الرمال والعواصف الرملية ، وغيرها من الأخطار الطبيعية الأخرى. ويمكن تقسيم المخاطر حسب العوامل المسببة لها إلى :

❖ أرضية

وتشمل البراكين والزلازل والتصدعات والإنهيارات والإنخسافات الأرضية وزحف الرمال ، وتعرية التربة والموجات البحرية العالية (التسونامي).

❖ جوية

وتشمل السيول والفيضانات ، والثلوج ، الجفاف والقحط ، والموجات الهوائية الباردة والحارة ، والبرد ، العواصف والأعاصير كالهوريكن والتورنيدو ، والصواعق ، والصقيع ونحوها.



نموذج يوضح بعض المخاطر الطبيعية الأرضية

غالبا ما يكون مصدر الخطر الزلزالي ناتج عن الحركة الارتدادية المتكررة التي يسببها الزلزال للمبنى في الاتجاهين الأفقي والرأسي بقوى عزم والتي بدورها تسبب دورانا أو انقلابا للمبنى ، وبسبب هذه القوى الاهتزازية المتكررة فإن عناصر المبنى تبدأ في فقد قوتها وتماسكها ومن ثم انهيارها.

الذي يجب عمله من الناحية الجيولوجية هو دراسة الانهيارات والانزلاق الصخري والتي تنتج عن شدة التضاريس والميول الحادة وهذه تصاحب فترة هطول الأمطار. ومن الملاحظ أن الزلازل يصاحبها انهيارات وهذه خطيرة بالنسبة للمباني الواقعة على رؤوس الجبال وكذلك قد يصاحب الهزات الأرضية تميع للتربة أي أن التربة تفقد قدرتها على التماسك ومقاومة الأحمال. وقد يسبب انهيارا للأساسات حتى المباني المقاومة للزلازل. أي أنه لابد من إعطاء مشاريع دراسة خواص التربة أهمية خاصة وكذلك اختلاف سماكة المتكونات الرسوبية والملحية ، وتجدر الإشارة إلى أن بعض المباني المقامة حاليا في منطقة جازان تصنف على أنها مبان خطرة زلزاليا عند تعرض المنطقة إلى هزات أرضية متوسطة الشدة إلا إذا روعيت الاعتبارات الهندسية وأعيد تقييمها حسب الشروط الفنية المطلوبة .

وعموما يعتمد مقدار الخطر الزلزالي الذي يتمثل بصفة أساسية في الدمار والهلاك المصاحبين للهزة الأرضية على عاملين هما:

- **الشدة الزلزالية Seismic Intensity**

تستخدم نظرية الإحصاء والاحتمالات لتحديد مستوى الشدة الزلزالية في منطقة ما خلال فترات زمنية مستقبلية مع توقع زيادة في هذا المستوى باحتمال قدره 10% وبعد رسم الخريطة الكنتورية للقيمة القصوى لعجلة (تسارع) الحركة الأرضية المتوقع حدوثها أفضل أسلوب لتوضيح قيم الشدة الزلزالية بهذه المناطق. تمثل قيمة هذه العجلة كنسبة عشرية أو مئوية من قيمة عجلة الجاذبية الأرضية (g). تصنف المناطق من حيث خطورتها الزلزالية طبقاً لقيمة عجلة الحركة الأرضية إلى أربعة مناطق هي:

- **خالية من الخطر (أقل من 5. ., g).**
- **منخفضة الخطر (تتراوح من 0.05 g إلى 0.1 g).**
- **متوسطة الخطر (تتراوح من 0.1 g إلى 0.2 g).**
- **عالية الخطر (اكبر من 0.2 g).**

ومن خلال الخرائط الكنتورية لقيم عجلة الحركة الأرضية المتوقع حدوثها خلال 50 عام وباحتمال زيادة قدره 10% بمناطق المملكة العربية السعودية يتضح أن المملكة عموماً تعد من المناطق منخفضة الخطر في وسطها وشرقها. ويصل الخطر إلى 0.24 g في شمال غرب المملكة (منطقة خليج العقبة) وجنوب غرب المملكة (منطقتي عسير وجازان) حيث تصل القيمة في جازان إلى 0.24 g. أي أنها منطقة خطرة نسبيا . بينما في أبها بلغت 0.18 g.أي أنها متوسطة الخطورة . تراوحت قيمة عجلة الحركة الأرضية في الطائف ومكة وجدة ما بين 0.14 إلى 0.16 g.

المعامل الزلزالى للمنطقة Z

ZONE	1	2A	2B
Z	0.075	0.15	0.24

ومن أهم المدن في منطقتي تبوك وجازان ذات النطاق النشط زلزاليا 2B

منطقة تبوك : حقل – مركز الدرة – الشرف – مقنا – البدع – الخريبه – شرما.

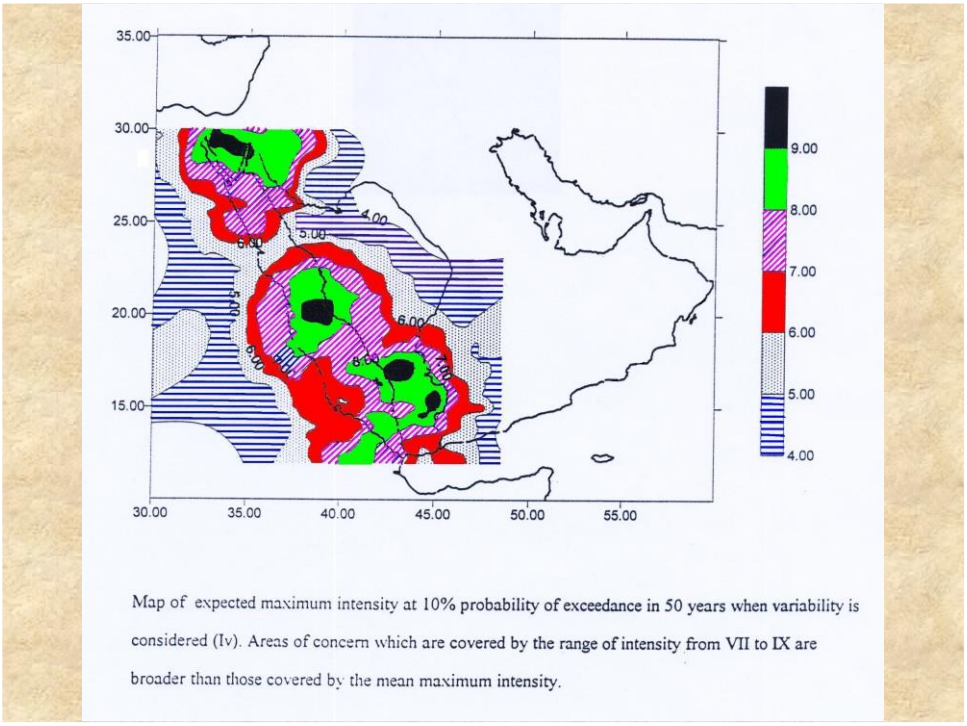
منطقة جازان : جازان – أبو عريش – صبيا – فيفا– صامطه– أحد المسارحة – بيش – فرسان – ضمد – العارضه – الطوال.

- **كفاءة المباني**

تستخدم خريطة العجلة الأرضية في تقويم كفاءة المباني المقاومة ومعرفة مدى مقاومتها لمستوى الشدة الزلزالية المتوقعة. كما تستخدم في أغراض التصميم الزلزالي للمباني إما مباشرة أو من خلال تحديد المعامل الزلزالي للمنطقة.

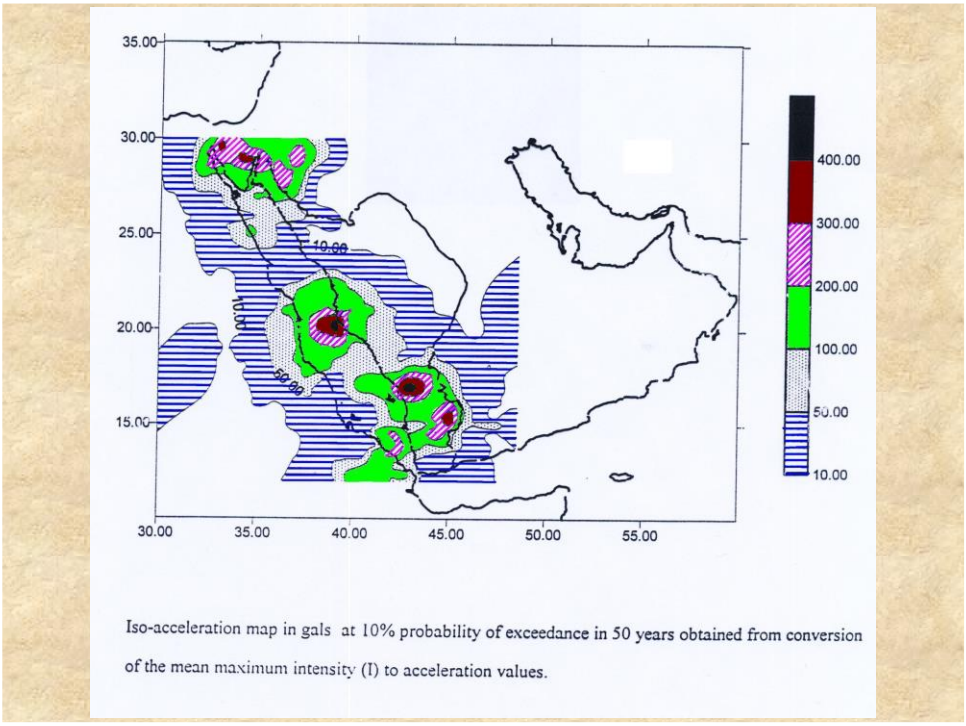
وطبقاً لنتائج الشدة الزلزالية فإنه على ضوءها يمكن تقدير مدى التلف المتوقع مستقبلاً للمنشآت. حيث تصل نسبة التلف في المباني الخرسانية المسلحة التي لم يراعي في تصميمها مقاومة الزلازل (حوالي 33%) عند زلزال شدته VIII على مقياس ميركالي المعدل، بينما تبلغ نسبة التلف في المباني الخرسانية المسلحة التي تم تصميمها بطريقة مقاومة للزلازل (13 %) تقريباً عند نفس الشدة الزلزالية.

لقد أوضحت نتائج المشروع (9 – 31) والمدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية (الحداد وآخرون 1993) بأن الزيادة في تكلفة المشروع السكنى عند اعتبار معامل الأمان الزلزالي في التصميم قليلة حيث تزيد مقدار التكلفة بنسبة مئوية مقدارها 0.5% فقط للمباني السكنية العادية المكونة من دورين بينما أثبتت دراسة الجمعية التقنية التطبيقية الأمريكية أن الزيادة في تكلفة المباني في حدود 0.7% من التكلفة الكلية للمباني السكنية التي تبلغ عدد طوابقها تقريباً خمسة أدوار. إن إضافة تكلفة أحمال الزلازل إلى تصميم المباني السكنية غير مكلف مادياً. وتتمثل هذه الزيادة في وضع وتفريد وتشبيك حديد التسليح بطريقة خاصة تضمن تلاحم أجزاء المبنى بصورة جيدة وزيادة بسيطة في أبعاد ومقاطع بعض العناصر الإنشائية والتلاحم الجيد بين العناصر الغير إنشائية (الحوائط) والعناصر الإنشائية للمبنى.



Map of expected maximum intensity at 10% probability of exceedance in 50 years when variability is considered (Iv). Areas of concern which are covered by the range of intensity from VII to IX are broader than those covered by the mean maximum intensity.

خريطة كنتورية لأقصى شدة زلزالية متوقع حدوثها خلال 50 عاماً وباحتمال زيادة قدره 10% . تزداد الشدة في منطقتي الشمال الغربي والجنوب الغربي من المملكة وتتراوح قيم الشدة مابين 8-10 على مقياس ميركالي.



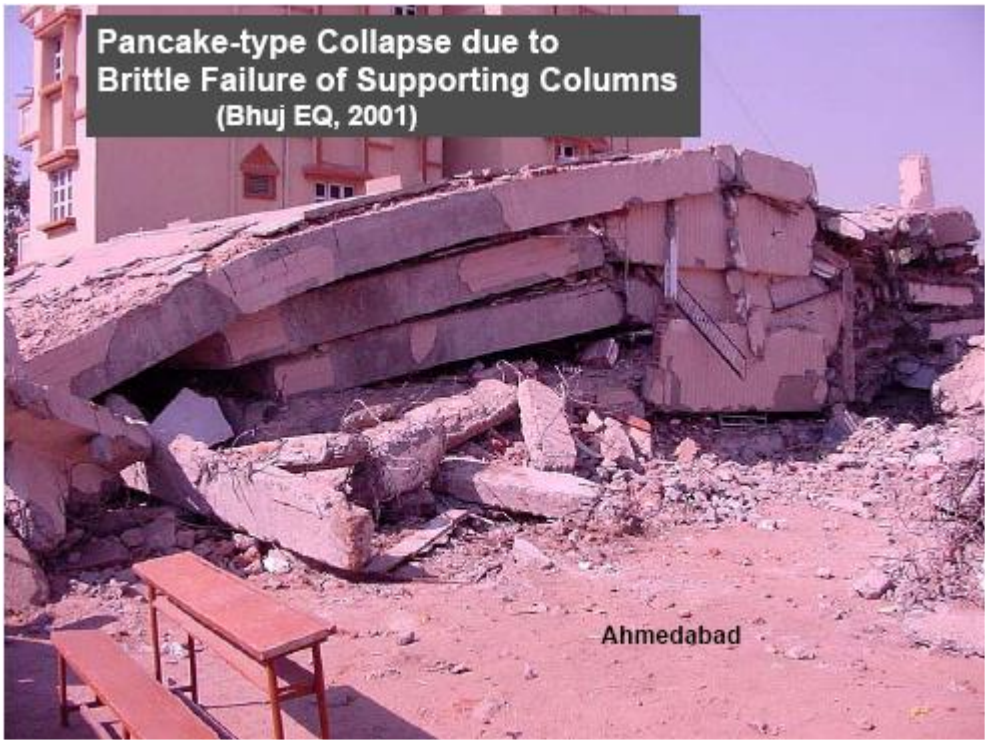
Iso-acceleration map in gals at 10% probability of exceedance in 50 years obtained from conversion of the mean maximum intensity (I) to acceleration values.

خريطة كنتورية لقيم تسارع العجلة الأرضية المتوقع حدوثها خلال 50 عاماً وباحتمال زيادة قدره 10% .

يزداد التسارع في منطقتي وسط وجنوب البحر الأحمر وخليج العقبة.

دروس مستفادة من حالات تاريخية

الإهتزاز الأرضي العنيف + المباني الحجرية الغير مسلحة = كارثة كبيرة


Pancake-type Collapse due to
Brittle Failure of Supporting Columns
(Bhuj EQ, 2001)
Ahmedabad

Nonductile
reinforcement
details in column

Brittle failure in column

لم يستطع الجسر مقاومة الاجهادات الزلزالية عند منسوب الأساسات نجم عن ذلك انهيار قصي عند نقطة الاتصال بين الطابقين (زلزال لوما بريتا 1989).

انهيار ناتج عن اختلاف مناسيب التأسيس

تميع التربة الرملية

ويمكن تلخيص الدروس المستفادة في هذا المجال بالنقاط التالية :
❖ الكفاءة الزلزالية لمباني الطوب والبلك تعد سيئة جداً . ❖ الكفاءة الزلزالية لمباني البلك المسلح تعد جيدة إذا أخذ في الاعتبار تصميمها لمقاومة الزلازل . ❖ الكفاءة الزلزالية للمباني الخرسانية المسلحة تعتمد اعتماداً رئيساً على النظام الإنشائي المستخدم وعلى التشابك الجيد بين العناصر الإنشائية وجودة الخرسانة المسلحة المستخدمة لمباني الخرسانة سابقة الصب . ❖ الكفاءة الزلزالية تعتمد اعتماداً رئيساً على كفاءة الترابط بين عناصر المبنى . ❖ الكفاءة الزلزالية للمباني الحديدية تعد في الغالب جيدة .

GLOSSARY

Seismic Zonation is the division of a geographic region into smaller areas or zones based on an integrated assessment of the hazard, built, and policy environments of the Nation, a region, or a community . Seismic zonation maps, which can be constructed on scales ranging from national to urban, provide decision makers with a scientific and technical basis for selecting prevention, mitigation, and preparedness options to cope with the physical phenomena generated in an earthquake (i.e., ground shaking, ground failure, surface fault rupture, regional tectonic deformation, tsunami run up, and aftershocks). Seismic zonation contributes to risk reduction and sustainability of new development. Seismic zonation maps are the result of a process that integrates data, results of research and post earthquake Investigations, and experiences on the hazard, built, and policy environments. The maps are used to answer questions decision makers and end users are asking about their communities, such as:

- Which part(s) of the geographic area under consideration is (are) safest for a single-family dwelling? A high-rise building? A government building? Commercial buildings? A school? A hospital? A dam? Short bridges? Long
- span bridges? Utility pipeline systems? A port?
- Which part(s) of the geographic area Is best for avoiding ground shaking above a certain threshold (such as 20 % of gravity, or 20 cm/sec, or 100 cm)? Soil amplification that enhances a particular period band of the ground motion (e.g., 0.2 second, 1.0 second, or 2.0 seconds)? Liquefaction? Lateral Spreads? Large volume landslides? Surface fault rupture? The "killer pulse" generated by the fling of the fault? Source directivity? Regional uplift or subsidence? Tsunami wave run up? Seich? Aftershocks?
- Which part(s) of the geographic area is(are) most vulnerable in a damaging earthquake? Which element(s) at risk is (are) most vulnerable?

Hazard Environment

Acceleration-Acceleration is a force having the units of gravity that denotes the rate of change of the back and forth movement of the ground during an earthquake. Velocity (the rate of the ground motion at a given instant of time with units of cm/s) and displacement (the distance the ground has moved from it's rest position with units of cm) are derived from an accelerogram.

Accelerogram-The record or time history obtained from an instrument called an accelerometer showing acceleration of a point on the ground or a point in a building as a function of time. The peak acceleration, the largest value of acceleration on the record is typically used in design criteria. The velocity and displacement time histories and the response spectrum are derived analytically from the time history of acceleration.

Active Fault-A fault is active if it exhibits physical characteristics such as historic earthquake activity, surface fault rupture, geologically recent displacement of stratigraphy or topography, or physical association with another fault system judged to be active. When these characteristics are suspected or proven, it is classed as active and judged to be able to undergo movement. See Fault.

Attenuation-A decrease in the strength of seismic waves and seismic energy with distance from the point where the fault rupture originated. Also referred to as Seismic Wave Attenuation Function.

Duration-A description of the length of time between the onset and the departure of a natural hazard. Also, a measure of the length of time the ground motion exceeds a given threshold of shaking, such as 5 % of the force of gravity.

Earthquake Hazards-The physical effects generated in an earthquake (e.g., ground shaking, ground failure, surface fault rupture, regional tectonic deformation, tsunami run up, seiches, and aftershocks).

Epicenter-The point on the earth's surface vertically above the point where the fault rupture originated.

Exceedance Probability-The probability (for example, 10 %) that an earthquake will generate a level of ground motion that exceeds a specified reference level during a given exposure time.

Exposure Time-The period of tine (for example, 50 years) that a structure or a community is exposed to potential earthquake ground shaking, ground failure, and other earthquake hazards

Fault-A fracture or a zone of fractures in the earth along which displacement of the two sides relative to one another has occurred as a consequence of compression, tension, or shearing stresses. A "blind fault" is the term used to describe a fault system that is not visible at the surface of the ground and can only be detected by using geophysical techniques such as drilling, seismic reflection profiles, gravity profiles, or magnetic profiles. A fault may rupture the ground surface during an earthquake, especially If the magnitude Is greater than M 5.5. The length of the fault is related to the maximum magnitude, with long faults able to generate larger-magnitude earthquakes than short faults. See Active Fault.

Focal Depth-The vertical distance between the point where the fault rupture originated and the earth's surface.

Ground failure-A-term referring to the permanent, Inelastic deformation of the soil and/or rock triggered by ground shaking. Landslides, the most common and wide spread type of ground failure, consists of falls, topples, slides, spreads, and flows of soil and/or rock on unstable slopes. Liquefaction, which results in a temporary loss of bearing strength, occurs mainly In young, shallow, loosely compacted, water saturated sand and gravel deposits when subjected to ground shaking. Surface fault rupture occurs in some earthquakes when the fault breaks the surface. Regional tectonic deformation, changes in elevation over regional distances, Is a feature of earthquakes having magnitudes of 8 or greater. Tsunami run up results when the long period ocean waves generated by the sudden, Impulsive, vertical displacement of a submarine earthquake, reaches low lying areas along the coast. Seiches are standing waves induced in lakes and harbors by earthquake ground shaking. Aftershocks refer to the long, exponentially decaying, sequence of smaller earthquakes that follow a large-magnitude earthquake for months to years, exacerbating the damage.

Ground shaking-This term refers to the dynamic, elastic, vibratory movement of the ground in response to the arrival and propagation of the elastic P, S, Love, and Rayleigh seismic waves. Ground shaking is characterized In terms of amplitude, frequency composition, duration, and energy, and is indicated in terms of Modified Mercalli Intensity , ground acceleration, ground velocity, ground displacement, and spectral response. Ground shaking can be Increased by soil amplification, source directivity, topography, anonomalously shallow focal depths, surface fault rupture, and

the fling of the fault. The "killer pulse" is a longduration acceleration pulse that is generated close to the causative fault and is thought to be related to the fling of the fault as It ruptures. All structures are vulnerable at some level of amplitude, frequency, and duration of ground shaking.

Hazard-A potential threat to humans and their welfare.

Hazard Assessment- An estimate of the range of the threat (i.e., magnitude, frequency, duration, areal extent, speed of onset spatial dispersion, and temporal spacing) to humans and their welfare from natural and technological hazards.

Intensity -A numerical index denoted by Roman numerals from I to XII describing the physical effects of an earthquake on the earth's surface, man, or on structures built by man. These values are determined subjectively by individuals performing post earthquake investigations to determine the nature and spatial extent of the damage distribution, not by Instrumental readings. The most commonly used scales throughout the word are Modified Mercalli Intensity (MMI), developed fn the 1930's by an Italian, and the MSK scale, developed in the 1960's by scientists in the former Soviet Union, which are essentially equivalent for intensities VII to X. Intensity VI denotes the threshold for potential ground failure such as liquefaction. Intensity VII denotes the threshold for architectural damage. Intensity VIII denotes the threshold for structural damage. Intensity IX denotes intense structural damage. Intensities X to XII denote various levels of total destruction. See Magnitude.

Magnitude-A numerical quantity, devised by the late Professor Charles F. Richter in the 1930's and denoted by Arabic integers with one decimal place accuracy (for example 7.8) to characterize earthquakes in terms of the total energy released after adjusting for difference in epicentral distance and focal depth. Magnitude differs from intensity in that magnitude is determined on the basis of instrumental records; whereas, intensity is determined on the basis of subjective observations of the damage. Measured on a logarithmic scale, magnitude Is open ended theoretically, with the largest earthquake to date being the M 9.5 Chile earthquake of 1960. Moderate-magnitude earthquakes have magnitudes between 5.5 and 7.0; large-magnitude earthquakes have magnitudes between 7.0 and 8.0; and great earthquakes have magnitudes of 8.0 and greater. The - energy Increases exponentially with magnitude. For example, a magnitude 6.0 earthquake releases 31.5 times more energy than a magnitude 5 earthquake, but (31.5) (31.5) or approximately 1,000 times more energy than a magnitude 4 : earthquake.

Natural Hazard -A potential threat to humans and their welfare caused by rapid and slow onset events having atmospheric, geologic, and hydrologic origins on solar, global, regional, national, and local scales (e.g., floods, severe storms, earthquakes, landslides, volcanic eruptions, wild fires, tsunamis, droughts, winter storms, coastal erosion, and space weather).

Response Spectrum-The response spectrum is a graph of the output of a mathematical model which shows how an idealized ensemble of lightly damped simple harmonic vibrating buildings respond to a particular ground motion accelerogram. The accelerogram Is used to excite them into vibration in the 0,05-10 seconds period range, the range of Interest to engineers. The concept of the response spectrum is used in building codes and the design of essential and critical structures.

Seismogenic Structure-A geologic structure such as an igneous pluton dike, or sill that has earthquake activity associated with it.

Soil Amplification-Soils have a period-dependent effect on the ground motion, increasing the level of shaking for certain periods of vibration and decreasing It for others as a function of the "softness" and thickness of the soil relative to the underlying rock and the three-dimensional properties of the soil/rock column.

Soil/Structure Resonance-A physical phenomenon Increasing the potential for destructiveness that results when the input seismic waves causes the underlying soil and the structure to resonate, or vibrate at the same period.

Source Directivity A phenomenon that increases ground shaking at a site. It results from the directional aspects of the fault rupture that cause most of the energy to be released in a particular direction instead of in all directions.

Surface Fault Rupture-A phenomenon that increases ground shaking at a site. Refers to the physical phenomenon of the rupturing fault breaking the surface of the ground, instead of stopping beneath the ground surface, and releasing more energy on the side of the fault that (s moving than on the stationary block.

BUILT ENVIRONMENT

Earthquake Resilient Buildings-Buildings that are sited, designed and constructed in such a way that they are able to resist the ground shaking from large magnitude earthquakes without collapsing and from moderate-magnitude earthquakes without significant loss of function and with damage that is repairable.

Elements at Risk-People, ecosystems, natural resources, the environment, buildings and infrastructure, essential facilities, and critical facilities that are voluntarily or involuntarily exposed to natural and technological hazards.

Infrastructure-These structures and facilities provide the essential functions of supply, disposal, communication, and transportation in a community. They are also called Community Lifelines

Risk-The probability of loss to the elements at risk as the result of the occurrence, physical and societal consequences of a natural or technological hazard, and the mitigation and preparedness measures in place In the community.

Risk Assessment-A risk assessment Is an objective scientific assessment of the chance of loss or adverse consequences when physical and social elements are exposed to potentially harmful natural and technological hazards. The endpoints or consequences depend on the hazard and include: damage, loss of economic value, loss of function, loss of natural resources, loss of ecological systems, environmental impact, deterioration of health, mortality, and morbidity. Risk assessments Integrate hazard assessments with the vulnerability of the exposed elements at risk to seek reliable answers to the following questions:

1. What can happen?

2. How likely are each of the possible outcomes?

3. When the possible outcomes happen, what are the likely consequences and losses?

Vulnerability-The potential loss in value of each element at risk from the occurrence and consequences of natural and technological hazards. The factors that influence vulnerability include: demographics, the age and resilience of the built environment, technology, social differentiation and diversity, regional and global economies, and political arrangements. Vulnerability is a result of flaws in planning, sitting, design, and construction.

POLICY ENVIRONMENT

Acceptable Risk-The probability of occurrences of physical, social, or economic consequences of an earthquake that is considered by authorities to be sufficiently low in comparison with the risks from other natural or technological hazards that these occurrences are accepted as realistic reference points for determining design requirements for structures, or for taking social, political, legal, and economic actions In the community to protect people and property. See Risk.

Disaster-hazardous event which adversely affects a community to such a degree that essential social structures and functions are disrupted. Disasters represent policy failures.

Public Policies-Public policies are designed to manage the potential risk from being exposed to one or more of the earthquake hazards. The policy options encompass: a) stop Increasing the risk to elements that will be exposed in the future to natural and technological hazards, and b) start decreasing the risk to existing elements already at risk from natural and technological hazards. They Include: Mitigation- A range of policies, legislative mandates, professional -
practices, and social adjustments that are designed to reduce or minimize the effects of earthquakes and other natural hazards on a community. Mitigation measures implemented over the last 20 years have included: 1) land use planning and management, 2 engineering codes, standards and practices, 3) control and protection works, 4) prediction, forecasts, warning, and planning, 5) recovery, reconstruction, and planning, and 6) Insurance. Preparedness refers to a range of policies, legislative mandates, professional practices, and social adjustments that are used by Individuals, businesses, organizations, communities, and Nations to plan for emergency response, recovery, and reconstruction .after a damaging earthquake.

Risk Management-The public process of deciding what to do when risk assessments Indicate that risk, or the chance of loss, exists. Risk management encompasses choices and actions for communities and individuals (i.e., prevention, mitigation, preparedness which are designed to: a) stop increasing the risk to future elements that will be placed at risk to natural and technological hazards, b) start decreasing the risk to existing elements already at risk, and c) continue planning ways to respond to and recover from the inevitable natural and technological hazard, including the imponderable extreme situation or catastrophic event.

المـراجــع

الحداد ، محمد – الزيد ، راجح – عرفه ، منير – انجيلو, التان – تركلي, نيازي (1993) . أسس ومعاير تقويم الخطر الزلزالي في المملكة العربية السعودية البحث أ ت 9-31 مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية – الرياض .

السنوي ، سهل (1997) . أساسيات علم الزلازل . مركز عبادي للدراسات والنشر .صنعاء – اليمن.

العمري ، عبدالله محمد (2005) النطاقات الزلزالية لشبة الجزيرة العربية والدول المجاورة . مركز الدراسات الزلزالية جامعة الملك سعود- الرياض.

الغامدي , سعيد- العمري, عبدالله (1994) اعتماد مواصفات التصميم الإنشائي لمقاومة الزلازل في المملكة العربية السعودية – لماذا وكيف ؟ . ندوة الإبداع والتميز في النهضة العمرانية خلال مائة عام. وزارة الأشغال العامة والإسكان

وزارة الشؤون البلدية والقروية (1420هـ). الدليل الانشائي لحساب الأحمال الزلزالية واشتراطات الأنظمة الانشائية للمباني بالمملكة العربية السعودية.