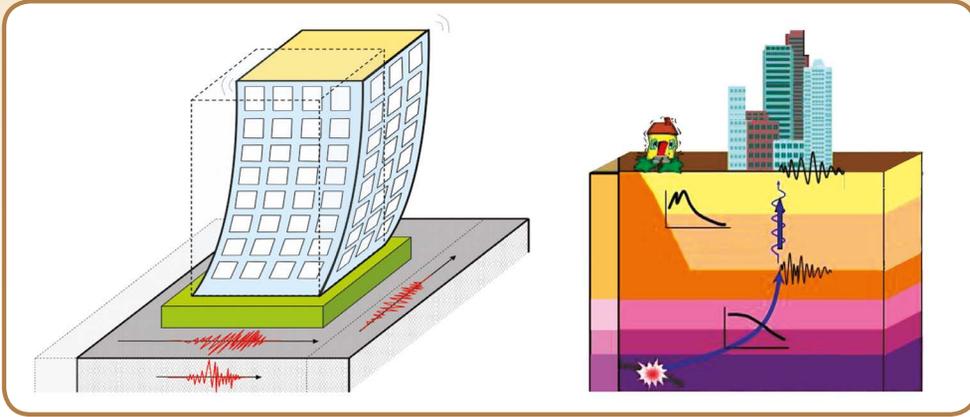


تقييم مخاطر الزلازل



عبد الله بن محمد العمري
قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - كلية العلوم - جامعة الملك سعود





ح عبد الله بن محمد العمري، ١٤٤٣هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

العمري ، عبد الله بن محمد سعيد

كتاب تقييم مخاطر الزلازل. / عبد الله بن محمد سعيد العمري -

ط ١. - الرياض، ١٤٤٣هـ

١٤٤ ص ، ٢١، ٥ × ٢٨

ردمك: ٩٧٨-٦٠٣-٠٣-٩٩١٣-٠

١ - الزلازل أ. العنوان ب. الموسوعة

١٤٤٣ / ٧٦٣٦

ديوي ٥٥١، ٢

رقم الإيداع ٧٦٣٦ / ١٤٤٣

ردمك: ٩٧٨-٦٠٣-٠٣-٩٩١٣-٠

حقوق طبع الموسوعة محفوظة للمؤلف

مع عدم السماح ببيعها .. ويمكن إعادة طباعتها وتوزيعها مجاناً بدون أي تعديل في الاسم أو المحتوى

تطلب النسخة الورقية المجانية من المؤلف على العنوان التالي:

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود ص.ب 2455 الرياض 11451

الإصدار الإلكتروني من خلال الموقع

www.alamrigeo.com

للاستفسارات والملاحظات الاتصال على:

جوال +966505481215 هاتف +966 11 4676198

البريد الإلكتروني E.mail : alamri.geo@gmail.com



الطبعة الأولى

١٤٤٤هـ / ٢٠٢٢م





بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مَهَيِّدُكَ

الحمد والشكر لله الذي ساعدني في إنجاز هذا الجهد المتواضع المرتبط بتأليف الموسوعة العلمية العربية. تهدف الموسوعة العلمية الشاملة في علوم الأرض والبيئة والطاقة إلى تزويد وخدمة الباحثين وطلاب المدارس والجامعات وفئات المجتمع نظراً لمعاناة المهتمين من مشاكل ندرة المراجع العربية في هذا المجال. تشتمل الموسوعة على 30 كتاب علمي ثقافي موثق ومدعم بالصور والأشكال التوضيحية المبسطة في 5000 صفحة تقريباً تغطي **خمس أجزاء رئيسية**؛

الجزء الأول مكون من ستة كتب يناقش عمر الأرض وشكلها وحركاتها وتركيبها الداخلي وثوراتها المعدنية والتعدينية والجاذبية الأرضية وعلاقتها بالمد والجزر:

التركيب الداخلي للأرض

تقدير عمر الأرض

المعادن والتعدين

شكل الأرض وحركاتها

المد والجزر

الجاذبية الأرضية وتطبيقاتها

أما **الجزء الثاني** من الموسوعة اشتمل على ستة كتب تربط علاقة الأرض بالنظام الشمسي وبالأخص القمر والأغلفة الجوية والمائية والحيوية المحيطة بالأرض. وكذلك دور الزلازل والتفجيرات والبراكين والتسونامي في التأثير على بنية الأرض وكيفية تقليل مخاطرها:

البراكين وسبل مجابته

موجات التسونامي

جيولوجية القمر

الزلازل والتفجيرات

الأغلفة المحيطة بالأرض

تقييم مخاطر الزلازل





الجزء الثالث مؤلف من ستة كتب يرتبط بكل ما يتعلق بالمشاكل والكوارث البيئية وحلولها والتغيرات المناخية وأهمية التشجير ومعالجة الاحتباس الحراري:

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| المشاكل البيئية وحلولها | الانزلاقات والإنهيارات والفيضانات |
| التشجير: التحديات والحلول | التصحّر والجفاف |
| التغيرات المناخية والاحتباس الحراري | السيول والسدود المائية |

الجزء الرابع من الموسوعة مكون من ستة كتب يناقش ارتباط علوم الأرض بالعلوم الأخرى سياسياً ونوويًا وطبياً، وكذلك دور الطاقة المستدامة النظيفة اقتصادياً وبيئياً:

- | | |
|-------------------------|------------------------------------|
| الطاقة الحرارية الأرضية | الجيولوجيا الطبية |
| هل انتهى عصر النفط؟ | الجيولوجيا السياسية |
| الجيوفيزياء النووية | كتابة الرسائل والمشاريع الجيولوجية |

أما **الجزء الخامس** عبارة عن ستة كتب احتوت على 2020 سؤال وجواب لمساعدة طلاب الجامعات والباحثين وتهيئتهم للاختبارات الشاملة والتأهيلية للدراسات العليا ومزاولة المهنة:

- 321 سؤال وجواب في تطور الأرض
- 358 سؤال وجواب في علم الصخور والجيوكيمياء والاستشعار عن بُعد والـ GIS
- 358 سؤال وجواب في الثروات الطبيعية
- 380 سؤال وجواب في المخاطر الجيولوجية
- 303 سؤال وجواب في علم الزلازل والزلازل الهندسية
- 300 سؤال وجواب في الجيوفيزياء التطبيقية

المؤلف





مقدمة

الزلازل جزء مأساوي من حياة البشر ورغم مخاطرها لم تستطع يوماً أن تهزم في الإنسان غريزة البقاء والدليل استمرار الحياة رغم المآسي العديدة التي خلفها في أجزاء متعددة من العالم. إن حجم الضرر الذي يلحق بالأبنية نتيجة تعرضها للزلازل يعتمد على سعة اهتزاز القشرة الأرضية وتسارعها وعلى الصدوع والتشققات الأرضية وحركتها، وكذلك على احتمال تميع تربة الأساسات في حالة التربة الرملية أو الانزلاق الأرضي في حالة الأراضي شديدة الانحدار. علاوة على نوعية المنشآت والمباني القائمة والكثافة السكانية وطبيعة النشاط الإنساني.

إن التجارب البشرية اكتسبت خبرات جيدة في التعامل مع هذه الظاهرة المقلقة سواء من حيث إعداد المواصفات الهندسية للمباني أو من حيث تهيئة المرافق والخدمات؛ لتكون على أهبة الاستعداد لمواجهة الكارثة إلا أن السيطرة الفعلية وتوقع الزلازل قبل حدوثها ما زالت خارج نطاق القدرة البشرية وانحصرت في التقليل من آثار الكارثة.





إن الزلازل وما ينجم عنها من **إزهاق للأرواح** وهدم لمقومات الحياة بصورة آنية - قد لا تتجاوز ثواني معدودة - لا سيَّما 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:

- إمكانية تحديد وقت وقوع الزلزال.
- تصميم المنشآت وتنفيذها بدون إغفال القوى الناجمة عن الهزات الأرضية، فإن خيار التصميم الهندسي المناسب لمقاومة الزلازل يبقى هو الحل الوحيد، ويتمثل في اعتماد مواصفات البناء الهندسي الذي يحقق شرطين أساسيين هما:
- تفادي انهيار المباني حتى عند وقوع زلزال شديد، وبالتالي تفادي وقوع نسبة عالية من الوفيات.
- 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.

إن تطوير تقنيات هندسة الزلازل لن يقضي أبداً على كوارث الزلازل. لن يتمكن البشر أبداً من التغلب على الطبيعة ولا يمكنهم العيش فيها إلا بعلاقة أفضل. لقد حقق المتخصصون في هندسة الزلازل فهماً محدوداً فقط لسلوك القشرة الأرضية. في حين أن التنبؤ بحجم الزلازل الكبيرة ومركزها ووقتها



الدقيق أمر صعب للغاية ويتجاوز معرفتنا العلمية، فمن المؤكد أن الزلازل ستحدث خلال فترة زمنية طويلة بما فيه الكفاية. تسمح طرق التصميم الزلزالية الحالية للهياكل بالخضوع لتشوهات بلاستيكية في ظل الزلازل الكبيرة، بينما تظل مرنة في ظل الزلازل الصغيرة أو المتوسطة. يعمل تشوه البلاستيك على تبديد طاقة الزلزال ويهدف إلى منع الانهيار الهيكلي.

هناك ارتباط وثيق بين **الزلزالية الهندسية** Engineering Seismology التي تقوم بدراسة مصدر **الزلازل** وحجمها وآلياتها، وكيف تنتشر حركة الأرض من المصدر إلى موقع الأهمية الهندسية، وخصائص حركة الأرض في الموقع وكيف يتم تقييم حركة الأرض للتصميم الهندسي. و هندسة الزلازل Earthquake Engineering الذي يهتم بتحليل وتصميم الهياكل لمقاومة الضغوط التي يسببها الزلزال بحركة الأرض. مقاومة الضغوط تعني إما المقاومة دون فشل أو الانصياع للضغوط برشاقة دون الانهيار. يرتبط هذا الموضوع بتعرض الهياكل المبنية للحركة الأرضية الزلزالية. يتم التحكم في الضعف عن طريق التصميم. يعتمد قرار التحكم في ضعف الهيكل على اقتصاديات الموقف وعلى الحكم حول المخاطر المقبولة للمجتمع.





معاملات الخطر الزلزالي

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 لا بُدَّ من تحديد مدى احتمال وقوع الزلازل ومقارنة هذه المخاطر الطبيعية مع التوزيع السكاني ومواقع المرافق العامة والمُهْمَّة ومدى تعرضها للمخاطر وتأثرها بها وصولاً إلى تحديد الخطر. وأخيراً 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 أشد 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.



الخطر Risk والخطورة الزلزالية Hazard

يعتبر التعامل مع عدم اليقين Uncertainty أمراً مفروغاً منه في الحياة، ودائماً ما يتم اتخاذ أي قرار في ظل درجة معينة من عدم اليقين. تعتبر الخطر Risk من أهم المفاهيم للتعامل مع عدم اليقين في صنع القرار. الخطورة Hazard ظاهرة طبيعية أو من صنع الإنسان يمكن أن تسبب ضرراً (أي عواقب اجتماعية أو اقتصادية). الأعاصير والزلازل والفيضانات، على سبيل المثال، هي مخاطر طبيعية، في حين أن حوادث السيارات والانسكابات الكيميائية وانحراف القطارات عن القضبان والهجمات الإرهابية هي مخاطر من صنع الإنسان.

من ناحية أخرى، فإن الخطر هو احتمال الضرر إذا تعرض شخص ما أو شيء ما . وبالمثل، فإن الخطورة الزلزالية وخطر الزلازل تختلف اختلافاً جوهرياً. الخطورة الزلزالية هو ظاهرة طبيعية مثل اهتزاز الأرض، أو تمزق الصدع، أو تسييل التربة الناتج عن الزلزال، في حين أن الخطر الزلزالي هي احتمال أن يتكبد البشر خسارة أو ضرر لبيئتهم المبنية إذا تعرضوا لخطورة زلزالية. وبعبارة أخرى، فإن الخطر الزلزالي هي تفاعل بين الخطورة الزلزالية والضعف Vulnerability (البشر أو بيئتهم المبنية). بشكل عام، يمكن التعبير عن الخطر الزلزالي بالعلاقة التالية :

الخطر الزلزالي Risk = الخطورة الزلزالية Hazard × الضعف Vulnerability

كما هو موضح في المعادلة، لا تعني الخطورة الزلزالية العالية بالضرورة وجود خطر زلزالي عالي والعكس صحيح. لا يوجد خطر Risk إذا لم يكن هناك ضعف، على الرغم من وجود خطورة زلزالية عالية. توضح المعادلة أيضاً أن





التصميم الهندسي أو سياسة التخفيف من الخطورة الزلزالية قد تختلف عن قرارات التصميم والسياسة المتعلقة بالحد من الخطر الزلزالي. قد يكون أو لا يكون من الممكن التخفيف من الخطورة الزلزالية، لكن من الممكن دائماً تقليل الخطر الزلزالي، إما عن طريق التخفيف من الخطورة الزلزالية، أو تقليل الضعف، أو كليهما.

كظاهرة طبيعية، يتم قياس الخطورة الزلزالية من خلال ثلاثة معايير: مستوى الشدة (القياس الفيزيائي)، والقياس المكاني، والقياس الزمني. على سبيل المثال، زلزال قدره 7.5 مع فاصل تكرار متوسط 500 عام في منطقة رصد الزلازل بمدريد الجديدة في وسط الولايات المتحدة، ومتوسط تسارع الأرض الذروة 0.3 (PGA) جرام بمتوسط فترة عودة 100 عام في سان فرانسيسكو، هي خطورة زلزالية. يتم تقييم الخطورة الزلزالية من الملاحظات الآلية والتاريخية والجيولوجية. بمعنى آخر، يتم تقييم الخطورة الزلزالية من علوم الأرض. لذلك، يلعب علماء الأرض، وعلماء الزلازل على وجه الخصوص، دوراً رئيسياً في تقييم الخطورة الزلزالية.

يعتبر تقدير كمية الخطر الزلزالي معقداً للغاية وذاتياً إلى حد ما لأنه لا يعتمد فقط على القياس المادي المطلوب (أي الحجم أو الحركة الأرضية أو الوفيات أو الخسارة الاقتصادية)، لكن أيضاً على كيفية تفاعل الخطورة والضعف في الزمان والمكان. يمكن أن تتفاعل الخطورة والضعف في موقع معين (خطر خاص بالموقع) أو فوق منطقة (خطر إجمالي). لتقدير الخطر الزلزالي، يجب افتراض أو تقديم نموذج لوصف كيفية تفاعل الخطورة والضعف في الوقت المناسب. تم افتراض النماذج بما في ذلك Poisson، التجريبي، وقت المرور



البراوني، والتنبؤ بالوقت لوقوع الزلازل في الوقت المناسب واستخدامها لتقدير المخاطر الزلزالية. نماذج مختلفة تؤدي إلى تقديرات مختلفة للمخاطر الزلزالية. النموذج الأكثر استخداماً لتقدير الخطر الزلزالي هو نموذج بواسون. في ظل افتراض Poisson، يمكن تقدير الخطر الزلزالي، معبراً عنها من حيث احتمال p لزلزال يتجاوز حجماً محدداً (M) خلال فترة التعرض t لثغرة معينة من خلال

$$p = 1 - e^{-\frac{1}{\tau}}$$

حيث τ هو متوسط فترة التكرار أو $1/\tau$ هو متوسط تردد زلزال بقوة M أو أكبر. تصف المعادلة أعلاه العلاقة الكمية بين الخطورة الزلزالي (أي زلزال قوته M أو أكبر بمتوسط فترة تكرار أو تردد) وخطر الزلازل (أي احتمال p أن زلزالاً بقوة M أو أكبر يمكن أن يحدث أثناء فترة التعرض لثغرة معينة). تم استخدام المعادلة أعلاه أيضاً لتقدير مخاطر الفيضانات والرياح وغيرها من المخاطر. على سبيل المثال، يتم أخذ 1 في المائة من احتمال التجاوز في سنة واحدة و 2 في المائة من احتمال التجاوز في سنة واحدة في الاعتبار لتصميم المباني للفيضانات والرياح، على التوالي. وبالمثل، تم النظر في احتمالية تجاوز 2 و 5 و 10 في المائة في 50 عاماً لتصميم المباني لمقاومة الزلازل وتم حسابها من المعادلة الخطورة الحركية الأرضية بفترة عودة تبلغ 500 و 1000 و 2500 سنة، على التوالي.

المعادلة مشتقة من التفاعلات بين الخطورة وقابلية التأثر في الزمان والمكان دون النظر في التفاعل الفيزيائي بين الخطورة والضعف. التفاعل الفيزيائي



معقد للغاية. على سبيل المثال، بالنسبة لبعض المباني، هناك علاقة بين حركة الأرض ومستويات الضرر (أي منحنى الهشاشة). ويمكن أن يرتبط مستوى الضرر أيضاً بمستوى الخسارة الاقتصادية. من خلال منحنى الهشاشة (أي علاقة التفاعل المادي بين الخطورة الزلزالية والضعف)، يمكن أيضاً التعبير عن الخطر الزلزالي على أنها احتمال أن يتضرر المبنى بشكل طفيف. وبالتالي، يتم تحديد الخطر الزلزالي من خلال **أربعة معايير: الاحتمال، ومستوى الخطورة (أي القياس المادي أو النقدي)، والقياس المكاني، والقياس الزمني.**

على الرغم من استخدام المصطلحين (الخطورة الزلزالية) و (الخطر الزلزالي) في كثير من الأحيان بالتبادل، فإنهما مفهومان مختلفان اختلافاً جوهرياً. كما ذكرنا، تصف الخطورة الزلزالية ظاهرة طبيعية ناتجة عن زلزال، بينما يصف الخطر الزلزالي احتمال تعرض البشر لخسارة أو ضرر لبيئتهم المبنية إذا تعرضوا لخطورة زلزالية. من الأهمية بمكان لعلماء الأرض، وعلماء الزلازل على وجه الخصوص، تحديد الخطورة الزلزالية وتحديد كميتها وإبلاغها بوضوح؛ لأنها الأساس لتقييم المخاطر والتطبيقات الأخرى. يعتبر تقييم الخطر الزلزالي أكثر تعقيداً ويتطلب جهوداً تعاونية بين **علماء الأرض والمهندسين وغيرهم.**



ضعف الحصانة الزلزالية Vulnerability

إن الكثير من المباني معرضة للخطر حيث لا يرجع بالضرورة إلى ارتفاع مستوى الخطر بقدر ما يرجع إلى أن هذه المباني قابلة للتأثر حتى بالاهتزازات الزلزالية ذات الشدة المنخفضة. والسبب الرئيس أن هذه المباني قد أقيمت باستخدام مواد وتقنيات إنشاء لا تكفل لها سوى قدر قليل من المقاومة للزلازل. ومن أشد هذه المباني قابلية للتأثر: المباني المقامة من اللبن أو الطوب غير المقوى أو الحجر ومباني الخرسانة المسلحة الخالية من جدران القص.

الضعف Vulnerability هو درجة الضرر الذي تسببه مستويات التحميل المختلفة. يمكن حساب الثغرة الأمنية بطريقة احتمالية أو حتمية لبنية واحدة أو مجموعات من الهياكل. الضعف - الخسارة المحتملة في قيمة كل عنصر معرض للخطر من حدوث وعواقب المخاطر الطبيعية والتكنولوجية. تشمل العوامل التي تؤثر على قابلية التأثر ما يلي: التركيبة السكانية، وعمر ومرونة البيئة المبنية، والتكنولوجيا، والتمايز الاجتماعي والتنوع، والاقتصادات الإقليمية والعالمية، والترتيبات السياسية. الضعف ناتج عن عيوب في التخطيط والتصميم والبناء.



الحد من ضعف الحصانة

تشمل العوامل التي تؤثر على قابلية التأثر تكامل ثلاث بيئات وهي:

البيئة المبنية	البيئة السياسية	البيئة الخطرة
قيمة الموقع، والتعرض، وهشاشة المباني وشريان الحياة المعرضة لخطر الأثار المادية للزلازل (المخاطر) التي يمكن أن تسبب الضرر، والفسل، وفقدان الوظيفة، وإطلاق المواد الخطرة، والإصابات، والوفيات.	القوى الاجتماعية والتقنية الإدارية والسياسية والقانونية والاقتصادية التي تشكل سياسات وممارسات المجتمع من أجل : إدارة مخاطر الزلازل (أي الوقاية والتخفيف والتأهب والتنبؤ والإنذار والتدخل والطوارئ) والوعي العام والتدريب والتعليم، والتأمين.	تأثيرات فيزيائية مثل : هزة أرضية - تسييل - انهيارات أرضية - تمزق سطح الصدع - تشوه تكتوني - الحرائق وموجات الفيضانات الناتجة عن الزلازل وتسونامي وانكسار السدود الناتجة عن الزلازل وتسلسل الهزات الارتدادية؛ يحتمل أن يؤثر كل منها على البيئة المبنية.

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:

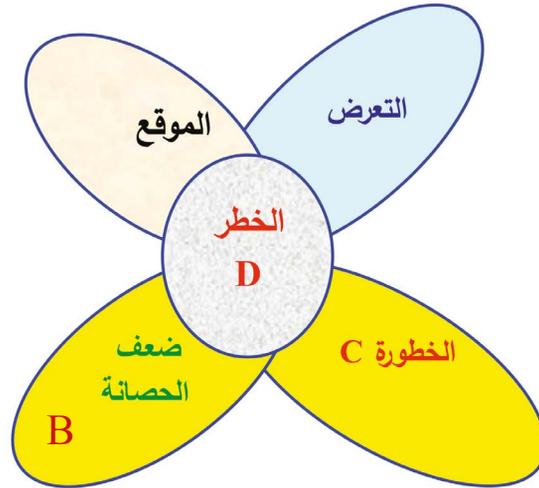
A : القيمة الاقتصادية Value وتشمل الخسائر البشرية والمادية .

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 .

$$D = A \times B \times C$$





التوهين Attenuation

يعرف التوهين بأنه تضائل الشدة الزلزالية مع المسافة عن البؤرة الزلزالية السطحية

$$I(R) = I_0 + a + bR + C \log_{10} R$$

R نصف قطر الدائرة التي تكون البؤرة مركزها

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

a,b,c ثوابت تعتمد على المنطقة.

$$I(R) = I_0 + 6.453 - 0.00121 R - 2.15 \ln (R+20)$$

$$I_0 = 0.95 M_s + 1.99$$

Ignore 0.00121 R

$$I = 8.443 + 0.95 M_s - 2.15 \ln (R+20)$$





الاستجابة الأرضية للزلازل EQ. Ground Response

العامل الرئيسي في تحديد تسارع الأرض الأقصى (PGA) وسرعة الأرض القصوى (PGV) هو حركة الأرض الأفقية الناتجة عن الزلزال. يمكن تصوير كل من ذروة تسارع الأرض وسرعة الأرض القصوى على ShakeMap. يعتمد كل من تسارع ذروة الأرض وسرعة الأرض القصوى على عدة عوامل: طول واتجاه الصدع، والحجم، والمسافة بين محطة القياس ومركز الزلزال، وجيولوجيا التربة التحتية.

ذروة التسارع الأرضي PGA : هو أكبر زيادة في السرعة تم تسجيلها بواسطة محطة معينة أثناء الزلزال، عادة ما يتم التعبير عن PGA بـ g (التسارع الناتج عن الجاذبية) أو m / s^2 . التسارع الأرضي هو مقياس تسارع الزلزال. على عكس مقياس ريختر، فهو ليس مقياساً للحجم الإجمالي للزلزال، لكنه بالأحرى مدى شدة اهتزاز الأرض في منطقة جغرافية معينة.

ترتبط أضرار المباني والبنية التحتية الناجمة عن الزلازل ارتباطاً وثيقاً بالحركة الأرضية، وهي PGA و PGV. تم استخدام PGA بشكل أكثر شيوعاً في هندسة الزلازل وخرائط المخاطر الزلزالية المستخدمة في أكواد البناء. PGA هو مؤشر جيد في تحديد مخاطر الزلازل للمباني الأقصر (7 طوابق أو أقل).

ذروة سرعة الأرض PGV: هي أكبر سرعة للاهتزاز يتم تسجيلها عند نقطة معينة أثناء الزلزال. PGV هو المؤشر الأفضل في تحديد مخاطر الزلازل للمباني الشاهقة. يمكن أن يساعد في تقدير شدة الزلازل الكبيرة وغالباً ما يتم تطبيقها في تحديد إمكانات الإسالة وفي التصميم الزلزالي وتقييم خطوط الأنابيب المدفونة.



تتلخص الاستجابة الأرضية للزلازل في خمس معاملات:

أ. التسارع الأرضي الأقصى (PGA) Peak ground Acceleration

وعلى الرغم من وجود مركبة أفقية وأخرى عمودية فإن معظم الاستخدامات هي المركبة الأفقية للتسجيل الأقصى.

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

R: البُعد البؤري h_m : العمق البؤري الأدنى اعتماداً على المقدار الزلزالي

$$h_m = -1.73 + 0.456 \text{ mb} \quad \text{mb} > 4.5$$

ب. السرعة الأرضية القصوى (PGV) Peak Ground Velocity

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

ج. الإزاحة الأرضية القصوى (PGD) Peak ground Displacement

د. الخصائص الطيفية (Spectral Characteristics)

هـ. فترة التردد الزلزالي (Duration)





أضرار الزلازل

تحدث معظم الأضرار التي تحدث أثناء الزلازل بسبب حركة الأرض. حركة الأرض التي يتم قياسها بشكل شائع هي ذروة تسارع الأرض (PGA)، التي يتم التعبير عنها كنسبة مئوية من تسارع الجاذبية (g). كلما زادت قوة الزلزال، زادت قوة حركة الأرض التي يولدها. يعتمد مستوى حركة الأرض في الموقع على بُعد عن مركز الزلزال - فكلما اقترب الموقع من مركز الزلزال، زادت قوة حركة الأرض، والعكس صحيح. يمكن أن تؤدي الحركة الأرضية القوية أيضاً إلى مخاطر ثانوية مثل تضخيم حركة الأرض، والتميع، والانهيال الأرضي في ظل ظروف معينة في الموقع.

المخاطر الجيولوجية الكبرى التي تسببها الزلازل:

1. اهتزاز الأرض.
2. التصدع السطحي.
3. التسونامي.
4. الانهيارات الأرضية وتميع التربة وتشمل:

- الصخور الانهيارات الثلجية.
- التدفقات السريعة للتربة.
- تساقط الصخور.
- تدفقات الطين.





- فشل التدفق.
- فقدان قوة التحمل.
- الانتشار الجانبية.

تحدث معظم أضرار الزلازل عن طريق اهتزاز الأرض. يعد حجم أو حجم الزلازل، والمسافة إلى مركز الزلازل أو مصدره، ونوع الصدع، والعمق، ونوع المادة عوامل مُهمّة في تحديد مقدار اهتزاز الأرض الذي قد ينتج في موقع معين.

عندما يكون هناك تاريخ طويل لنشاط الزلازل، يمكن تقدير هذه المعاملات في كثير من الأحيان. يؤثر حجم الزلازل، على سبيل المثال، على اهتزاز الأرض بعدة طرق. عادة ما تنتج الزلازل الكبيرة حركات أرضية ذات اتساع كبير وفترات طويلة. تنتج الزلازل الكبيرة أيضاً اهتزازاً قوياً على مناطق أكبر بكثير من الزلازل الصغيرة.

بالإضافة إلى ذلك، يتناقص اتساع حركة الأرض مع زيادة المسافة من بؤرة الزلازل. يتغير محتوى التردد للاهتزاز أيضاً مع المسافة. بالقرب من مركز الزلازل، توجد حركات عالية (سريعة) ومنخفضة (بطيئة). بعيداً، تسود حركات التردد المنخفض، وهي نتيجة طبيعية لتوهين الموجة في الصخور. يعد تكرار حركة الأرض عاملاً مُهمّاً في تحديد شدة الضرر الذي يلحق بالهياكل وأنها يتأثر.



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.
- تمييع التربة وهي ظاهرة تؤدي بسبب الهزة الأرضية إلى فقدان نوع من التربة مقاومتها وتصبح مادة سائلة ونظراً لأهمية هذه الظاهرة سوف نعطيهها تفصيلاً أكثر.

التمييع Liquefaction

الإسالة أو التمييع هي ظاهرة يتم فيها تقليل قوة وصلابة التربة عن طريق اهتزاز الزلزال أو أي تحميل سريع آخر. التسييل والظواهر ذات الصلة كانت مسؤولة عن كميات هائلة من الأضرار في الزلازل التاريخية حول العالم. يحدث التسييل في التربة المشبعة، أي التربة التي تمتلئ فيها المساحة بين الجزيئات الفردية بالكامل بالماء. يمارس هذا الماء ضغطاً على جزيئات التربة مما يؤثر على مدى إحكام ضغط الجزيئات معاً. قبل وقوع الزلزال، كان ضغط الماء



منخفضاً نسبياً. ومع ذلك، يمكن أن يتسبب اهتزاز الزلزال في زيادة ضغط الماء إلى النقطة التي يمكن أن تتحرك فيها جزيئات التربة بسهولة فيما يتعلق ببعضها البعض. نظراً لأن التميع يحدث فقط في التربة المشبعة، فإن آثاره أكثر شيوعاً في المناطق المنخفضة بالقرب من المسطحات المائية، مثل: الأنهار والبحيرات والخلجان والمحيطات.

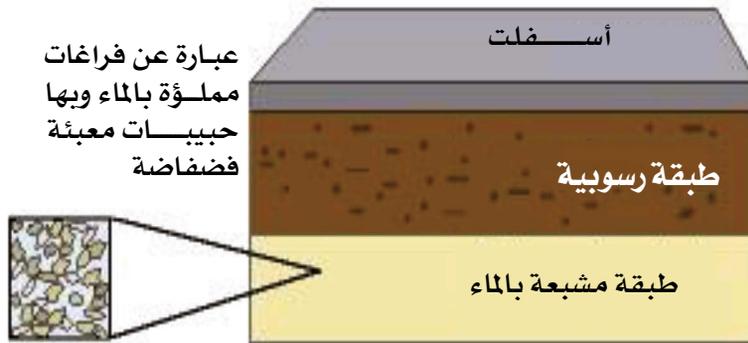
يتسبب التسييل أيضاً في كثير من الأحيان في إتلاف الجسور التي تعبر الأنهار وغيرها من المسطحات المائية. يمكن أن يكون لمثل هذا الضرر عواقب وخيمة، مما يعيق الاستجابة للطوارئ وعمليات الإنقاذ على المدى القصير ويسبب خسارة اقتصادية كبيرة من تعطل الأعمال على المدى الطويل.

تسييل التربة هو ظاهرة فيزيائية تتعلق بالفقد الكامل لمقاومة القص. المواد الحبيبية السائبة مثل الرمل تخضع لضغط سريع عند رجها. إذا كانت هذه المادة مشبعة، يؤدي الضغط في الضغط إلى زيادة سريعة في ضغط المسام. نتيجة لذلك، يحاول الماء التدفق من التربة نحو سطح الأرض. ينتقل التشوه المرتبط بالتميع من كونه محدوداً جداً إلى عمليات نزوح جانبية ضخمة واضطرابات عمودية.

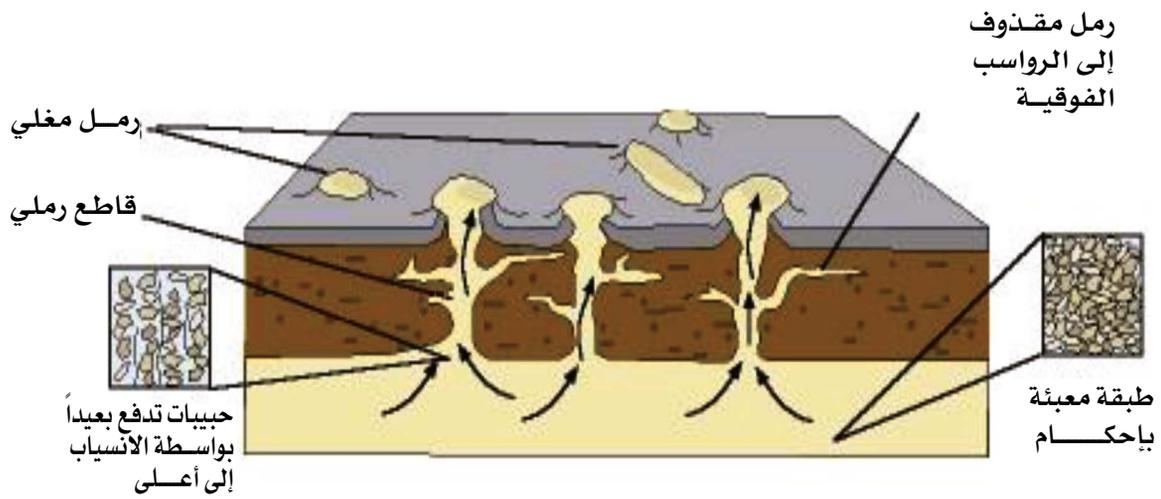
يؤثر التسييل بشكل أساسي على التكوينات الجيولوجية الشابة، والرواسب غير المتماسكة مثل التكوينات الغرينية والساحلية، وكذلك مدافن النفايات التي من صنع الإنسان. يمكن إعادة إنتاج تأثير التميع، على سبيل المثال، عن طريق ركل الرمال مرتين بالقرب من الخط الساحلي مما يجعل هذه المنطقة المجهددة ميكانيكياً مترهلة. يسمى الخبراء هذا التميع بالتسييل.



قبل الزلزال



أثناء الزلزال



التميع الناتج عن الزلازل



• **عموماً التسييل ليس نوعاً** من الفشل الأرضي؛ إنها عملية فيزيائية تحدث أثناء بعض الزلازل التي قد تؤدي إلى فشل الأرض. كنتيجة للتميع، فإن رواسب التربة الخالية من الطين، وخاصة الرمال والغرين، تفقد قوتها مؤقتاً وتتصرف كموائع لزجة وليس كمواد صلبة. يقتصر التسييل على **بيئات جيولوجية وهيدرولوجية معينة، وخاصة المناطق التي ترسبت فيها الرمال والطيني في آخر 10000 عام** وحيث تكون المياه الجوفية على بُعد 30 قدماً من السطح. **بشكل عام، كلما كانت الرواسب أصغر سناً وأكثر مرونة وكلما ارتفع منسوب المياه، كانت التربة أكثر عرضة للإسالة.**

يتسبب التسييل في ثلاثة أنواع من الفشل الأرضي: الانتشارات الجانبية Lateral Spreads، وفشل التدفق Flow Failures، و**فقـدان** قوة التحمل Loss of Bearing Strength. بالإضافة إلى ذلك، فإن التميع يعزز استقرار الأرض ويولد أحياناً غليان رمل (ينابيع المياه والرواسب المنبثقة من المنطقة المسيلة المضغوطة). يمكن أن تتسبب الدمامل الرملية في حدوث فيضانات محلية وترسب أو تراكم الطمي.

الانتشارات الجانبية Lateral Spreads تتضمن الحركة الجانبية لكتل كبيرة من التربة نتيجة التميع في طبقة تحت السطحية. تحدث الحركة استجابةً لاهتزاز الأرض الناتج عن الزلازل. تتطور الفروق الجانبية بشكل عام على منحدرات لطيفة، وغالباً ما تكون بين 0.3 و 3 درجات. عادة ما تكون الحركات الأفقية على الحيزات الجانبية من 10 إلى 15 قدماً، لكن عندما تكون المنحدرات مواتية بشكل خاص ومدة اهتزاز الأرض طويلة، قد تصل الحركة الجانبية إلى 100 إلى 150 قدماً. عادةً ما تتفكك الفروق الجانبية داخلياً، وتشكل العديد



من الشقوق والندوب. نادراً ما يكون الضرر الناجم عن الانتشار الجانبي كارثياً، لكنه عادة ما يكون مدمراً. الفروق الجانبية مدمرة بشكل خاص لخطوط الأنابيب.

فشل التدفق

إن حالات فشل التدفق، التي تتكون من تربة مسيلة أو كتل من مادة سليمة ممتطعة على طبقة من التربة السائلة، هي أكثر أنواع الفشل الأرضي التي يسببها التميع كارثية. عادة ما تتحرك هذه الإخفاقات عدة عشرات من الأقدام، وإذا سمحت الظروف الهندسية، فإنها تتحرك عدة عشرات من الأميال. تنتقل التدفقات بسرعات تصل إلى عشرات الأميال في الساعة. عادة ما تتشكل حالات فشل التدفق في رمال أو طمي سائبة مشبعة على منحدرات تزيد على 3 درجات. يمكن أن تنشأ حالات فشل التدفق إما تحت الماء أو على الأرض. حدث العديد من أكبر حالات فشل التدفق وأكثرها ضرراً تحت الماء في المناطق الساحلية.

فقدان قوة التحمل

عندما تسيل التربة التي تدعم مبنى أو بعض الهياكل الأخرى وتفقد قوتها، يمكن أن تحدث تشوهات كبيرة داخل التربة، مما يسمح للهيكل بالاستقرار والانقلاب.





الأضرار غير المباشرة 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 أقل حدوثاً وإن كان بعض المختصين يؤكد أن الحركتين متلازمتان الحدوث لكن كل بمقدار معين ومختلف عن الآخر.

على كل حال حدث أن سجلت حركات شديدة عمودية وأفقية في الهزة الواحدة لكن في حدود النسب المتوقعة لكل منها وعادة ما يكون الاثنان شديدي القوة كما أن المشكلات الناتجة عن الحركات العمودية تعتمد أكثر على قواها الذاتية (Absolute Value) وقابلية تضخيم المنشأة والترية 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 تسارع العجلة الأرضية Accelerographs وتعطي معلومات جيدة وواسعة للمناطق المعرضة للهزات الأرضية. وعلى الرغم من أن المشاهدات تتراوح ما بين الأضرار البسيطة للمباني إلى الدمار الشامل فإنه وجد أن بعض المباني استطاعت مقاومة هزات أرضية عنيفة نظراً لتمتعها بقواعد مربوطة جميعاً بشكل جيد، وقد أظهرت المشاهدات أن مثل هذه المباني عايشت هزات عنيفة مثيرة تسببت في تمييع التربة.

الاهتزاز الأرضي Ground Shaking

تحدث معظم أضرار الزلازل عن طريق اهتزاز الأرض. يعد حجم الزلزال والمسافة إلى مركز الزلزال ونوع الصدع والعمق ونوع المادة عوامل مهمة في تحديد مقدار اهتزاز الأرض الذي قد ينتج في موقع معين. اهتزاز الأرض هو مصطلح يستخدم لوصف اهتزاز الأرض أثناء الزلزال. يحدث اهتزاز الأرض بسبب موجات الجسم وموجات السطح. كتعميم، تزداد شدة اهتزاز الأرض مع زيادة الحجم وانخفاضه مع زيادة المسافة من الخطأ المسبب. يمكن تفسير اهتزاز الأرض من معرفة الموجات الجسمية، أو الانضغاطية P، والقصية S، والموجات السطحية (موجات لوف، وموجات رايلي).

عندما ينفجر الصدع، تنتشر الموجات الزلزالية في جميع الاتجاهات، مما يتسبب في اهتزاز الأرض بترددات تتراوح من حوالي 0.1 إلى 30 هرتز. تهتز





المباني نتيجة اهتزاز الأرض؛ يحدث الضرر إذا لم يتمكن المبنى من تحمل هذه الاهتزازات. تتسبب موجات الانضغاط وموجات القص بشكل أساسي في اهتزازات عالية التردد (أكبر من 1 هرتز) والتي تكون أكثر كفاءة من الموجات منخفضة التردد في التسبب في اهتزاز المباني المنخفضة. تتسبب موجات لوف، وموجات رايلي، بشكل أساسي في اهتزازات منخفضة التردد تكون أكثر كفاءة من الموجات عالية التردد في التسبب في اهتزاز المباني الشاهقة. نظراً لأن سعات الاهتزازات منخفضة التردد تتحلل بسرعة أقل من الاهتزازات عالية التردد مع زيادة المسافة من الصدع، فإن المباني الشاهقة الواقعة على مسافات كبيرة نسبياً (60 ميلاً) من الصدع تتضرر أحياناً.

أربع خصائص رئيسية تؤثر على الضرر الذي يمكن أن يسببه الزلزال اهتزاز الأرض، والتوهين، والمدة، واستجابة الموقع. ترتبط هذه العوامل أيضاً ببعد الموقع عن مركز الزلزال.

1. شدة الزلزال أو حجمه: يمكن قياس شدة الزلزال بطريقتين: شدته وقوته. الشدة هي التأثير الواضح للزلزال في مكان معين. الحجم مرتبط بكمية الطاقة المنبعثة. يتم قياس الشدة على مستويات مختلفة. الأكثر استخداماً في نصف الكرة الغربي هو مؤشر Mercalli المعدل المكون من اثني عشر مستوى (MMI)، الذي يتم تقييم الشدة بشكل شخصي من خلال وصف مدى الضرر. هناك ارتباط ما بين الحجم والشدة الزلزالية وغيرها من المعاملات الزلزالية مع كمية الطاقة المكافئة من مادة تي إن تي.

مقياس ريختر، الذي يقيس الحجم، هو المقياس الأكثر استخداماً من قبل وسائل الإعلام لإبلاغ الجمهور بحجم الزلزال. تحديد الحجم أسهل من تحديد





الشدة؛ لأنه مسجل على أدوات **قياس الزلازل**، لكنه يمثل بعض الصعوبات. في حين أن الزلزال يمكن أن يكون له قوة واحدة فقط، إلا أنه يمكن أن يكون له العديد من الشدة التي تؤثر على المجتمعات المختلفة بطرق مختلفة، وبالتالي فإن زلزالين بقوة ريجتر متطابقة قد يكون لهما شدة قصوى مختلفة على نطاق واسع في مواقع مختلفة.

2. **التوهين: التوهين هو انخفاض قوة الموجة الزلزالية** أثناء انتقالها بعيداً عن مصدرها. يتأثر بنوع المواد والهياكل التي تمر بها الموجة (وسيط الإرسال) وحجم الزلزال.

3. **الفطرة: تشير إلى طول الفترة الزمنية التي تظهر فيها حركة الأرض في** موقع ما خصائص معينة مثل الاهتزاز العنيف، أو التي تتجاوز فيها مستوى معيناً من التسارع يقاس بنسبة الجاذبية (g). الزلازل الأكبر حجماً تكون أطول من الزلازل الأصغر. هذه الخاصية، بالإضافة إلى الاهتزاز الأقوى، مسؤولة عن الضرر الأكبر الذي تسببه الزلازل الكبيرة.

4. **استجابة الموقع: استجابة الموقع هي رد فعل نقطة معينة على الأرض إلى اهتزاز الأرض.** يتضمن هذا أيضاً احتمال حدوث انهيار أرضي، الذي يتأثر بالخصائص الفيزيائية للتربة والصخور التي تقع أسفل الهيكل وبالهيكل نفسه. إن عمق طبقة التربة ومحتواها الرطوبي وطبيعة التكوين الجيولوجي الأساسي - المواد غير المجمععة أو الصخور الصلبة - كلها عوامل ذات صلة. علاوة على ذلك، إذا كانت فترة الموجة الزلزالية الواردة تتناسب مع الفترة الطبيعية للهياكل و / أو التربة التحتية التي تستقر عليها، يمكن تضخيم تأثير حركة الأرض.





الفشل الأرضي Ground Failure

فشل الأرض مصطلح يشير إلى **التشوه** الدائم غير المرن **للتربة** و / أو الصخور الناجم عن اهتزاز الأرض. في حين أن الزلازل قد تنتج اهتزازاً أرضياً، وصدوعاً في السطح، وحركات رأسية تسبب أضراراً مباشرة للمباني والأرض، إلا أن الأضرار والإصابات الشخصية قد تتجم أيضاً عن عدة عوامل إضافية. قد تؤدي الزلازل إلى فشل الأرض مثل الانهيارات الأرضية والضغط التفاضلي للتربة وإسالة الرواسب المشبعة بالمياه مثل مدافن النفايات والتربة الرملية ورواسب الأنهار. مثل هذه الإخفاقات الأرضية قد تسبب أضراراً للهيكل أكثر من الاهتزاز نفسه. قد تتسبب الزلازل أيضاً في حدوث موجات مائية مدمرة مثل موجات المد والجزر والتسونامي. يمكن أن تتسبب مكونات المبنى غير الهيكلية مثل ألواح السقف والنوافذ والأثاث في إصابة خطيرة إذا تسبب الاهتزاز في تحولها أو كسرها. يمكن أن تؤدي خطوط الحياة المكسورة أو المعطلة (خطوط الغاز أو المياه أو الكهرباء وشبكات النقل والاتصالات) إلى مواقف خطيرة ومحنة للمجتمع.

يمكن تقسيم حالات فشل الأرض المجمع كتميع إلى عدة أنواع. أهم نوعين هما التدفقات الأرضية السريعة والانتشار الجانبي للأرض.

أ. **التدفقات الأرضية السريعة:** التدفقات الأرضية السريعة هي أكثر أنواع التميع كارثية. يمكن أن تتحرك كتل التربة الكبيرة من عشرات الأمتار إلى عدة كيلومترات. تحدث هذه التدفقات عادة في رمال أو طمي سائبة مشبعة على منحدرات قليلة فقط؛ ومع ذلك يمكنهم حمل صخور تزن مئات الأطنان.





ب. الانتشار الجانبية للأرض: عادة ما تحدث حركة الكتل السطحية بسبب تميع الطبقات تحت السطحية على منحدرات لطيفة (حتى 3 درجات). عادة ما تكون الحركة على بُعد أمتار قليلة لكن يمكن أن تصل أيضاً إلى عشرات الأمتار. تؤدي هذه الإخفاقات الأرضية إلى تعطيل الأساسات وكسر خطوط الأنابيب وضغط الهياكل المصممة هندسياً أو إبيزيمها. يمكن أن يكون الضرر خطيراً عند حدوث عمليات نزوح في حدود متر أو مترين.

الفشل الإنشائي للمباني

قد يتضرر هيكل المبنى إذا تجاوزت استجابته الاهتزازية لحركة الأرض حدود التصميم. تعتمد الاستجابة على التفاعل بين العناصر الهيكلية للمبنى واتجاه وتكرار ومدة حركة الأرض. يجب مراعاة هذه العوامل لإنتاج تصميم للمبنى يمنع حدوث عطل إنشائي أثناء الزلازل. في حالة عدم وجود تصميم مناسب، يتعرض المبنى لخطر أكبر لحدوث أضرار زلزالية، خاصة إذا كان المبنى قد تعرض لزلزال قوية سابقة.

أهمية نوع البناء

عادة، يمكن للمباني أن تتحمل بشكل أفضل المكون الرأسي للحركة الأرضية التي يسببها الزلزال لأنها مصممة لمقاومة الأحمال الرأسية الكبيرة الناتجة عن وزنها. ومع ذلك، فإن العديد منها عرضة للحركات الأفقية الكبيرة. عادة ما يتم تحقيق مقاومة الحركة الأفقية باستخدام دعامة جانبية ووصلات قوية لتثبيت العناصر الهيكلية معاً. يمكن بعد ذلك للعناصر الأفقية مثل الأرضيات





توزيع وزن المبنى على العناصر الرأسية القوية للمبنى. البناء الذي يوفر مساراً مستمراً لنقل الحمل الجانبي من السقف إلى الأساس يكون أكثر مقاومة لاهتزاز الأرض من البناء الذي يمكن من خلاله كسر هذا المسار بسهولة. على سبيل المثال، يقاوم المنزل ذو الإطار الخشبي جيداً اهتزاز الأرض بشكل أفضل من منزل من الطوب غير المقوى لأنه بمجرد تشققات الطوب، يتم كسر المسار الذي يتم نقل الحمولة الجانبية على طولها. تعتبر الروابط الصحيحة بين الأساس والهيكل وبين العناصر المختلفة للهيكل ضرورية لمقاومة الزلازل بشكل جيد. قد تتحرف المباني أو الهياكل الأخرى التي لا ترتبط بشكل جيد أو غير المتصلة بأساساتها عن الأساس أثناء وقوع الزلزال.

أهمية تردد اهتزاز الأرض في أضرار المباني

يعتمد الضرر الذي يلحق بالمباني عادة على تواتر حركة الأرض. يمكن أن يكون الضرر شديداً بشكل خاص إذا كان تردد حركة الأرض يطابق ترددات الاهتزاز الطبيعي للهيكل. في هذه الحالة، يتم تعزيز استجابة اهتزاز الهيكل، وتسمى هذه الظاهرة بالرنين. تستجيب المباني الشاهقة والجسور وغيرها من الهياكل الكبيرة إلى اهتزاز الأرض منخفض التردد، وتستجيب الهياكل الصغيرة بشكل أكبر للاهتزاز عالي التردد. غالباً ما تعاني المباني الشاهقة في الأحواض الرسوبية من أضرار غير متناسبة؛ لأن صدى الموجات في الحوض يضخم الاهتزازات الأرضية **منخفضة التردد**.



أهمية شكل المبنى للضرر

يمكن أن يؤثر شكل المبنى على شدة الضرر أثناء الزلازل. المباني التي على شكل حرف L أو U . قد تتعرض لضرر أكثر من مبنى متماثل. يحدث هذا الضرر بسبب حدوث ضغوط كبيرة عند التقاطع بين أجزاء المبنى، والتي تستجيب بشكل مختلف للاهتزازات الأرضية ذات الترددات المختلفة واتجاهات الحركة المختلفة. قد يتسبب المبنى الذي يحتوي على أقسام مختلفة في الارتفاع أو العرض في حدوث ضغوط كبيرة عند نقاط معينة لأن كل قسم سيهتز بتردده الطبيعي استجابةً لاهتزاز الأرض. يمكن للمباني المنفصلة التي تهتز بترددات مختلفة أن تلحق الضرر ببعضها البعض إذا تم بناؤها بالقرب من بعضها البعض.

أهمية الزلازل الماضية في أضرار المباني

يعد تاريخ المبنى وتعرضه للزلازل السابقة مهمين أيضاً في تقدير مقدار الضرر الذي قد يتعرض له في الزلازل المستقبلية. غالباً ما يفترض الناس أن المبنى الذي نجا من زلزال بدون أضرار مرئية لن يتضرر على الأرجح في الزلازل اللاحقة. ومع ذلك، يمكن أن يؤدي اهتزاز الأرض إلى إضعاف المبنى عن طريق إتلاف الجدران داخلياً. يمكن أن يؤدي الفشل في اكتشاف الضرر المخفي وتقويته إلى تدمير كامل في زلزال لاحق.

مخاطر مكونات البناء غير الإنشائية

تشمل العناصر غير الهيكلية للمبنى الحواجز والزخارف المعمارية والمداخن والجدران الفاصلة وألواح السقف والنوافذ وتركيبات الإضاءة ومحتويات المبنى. قد يكون إزاحة هذه العناصر أو تشويهها أثناء اهتزاز الأرض خطراً كبيراً على





شاغلي المبنى ويؤدي إلى أضرار جسيمة بالمبنى. يمكن أن يشمل الضرر الذي يلحق بالعناصر غير الهيكلية للمبنى تدمير المعدات الباهظة الثمن، مثل أنظمة الكمبيوتر، وفقدان سجلات الشركة المهمة أو عدم تنظيمها على نطاق واسع.

كذلك **تشكل خطوط** الغاز والكهرباء والماء المكسورة تهديدات خطيرة للسلامة، ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى خطر نشوب حريق. تعمل أنابيب المياه المتشققة على تقليل كمية المياه المتاحة لإخماد الحرائق. عدم التواصل يعزل الناس عن المساعدة والمعلومات المطلوبة. تتعارض طرق النقل المحظورة أو التالفة مع قدرة موظفي الطوارئ على الاستجابة السريعة لطلبات المساعدة.



الحركة الأرضية Ground Motion

إن الزلازل وما ينجم عنها من إزهاق للأرواح وهدم لمقومات الحياة بصورة آنية - قد لا تتجاوز ثواني معدودة - لا سيَّما 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، فإن 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.

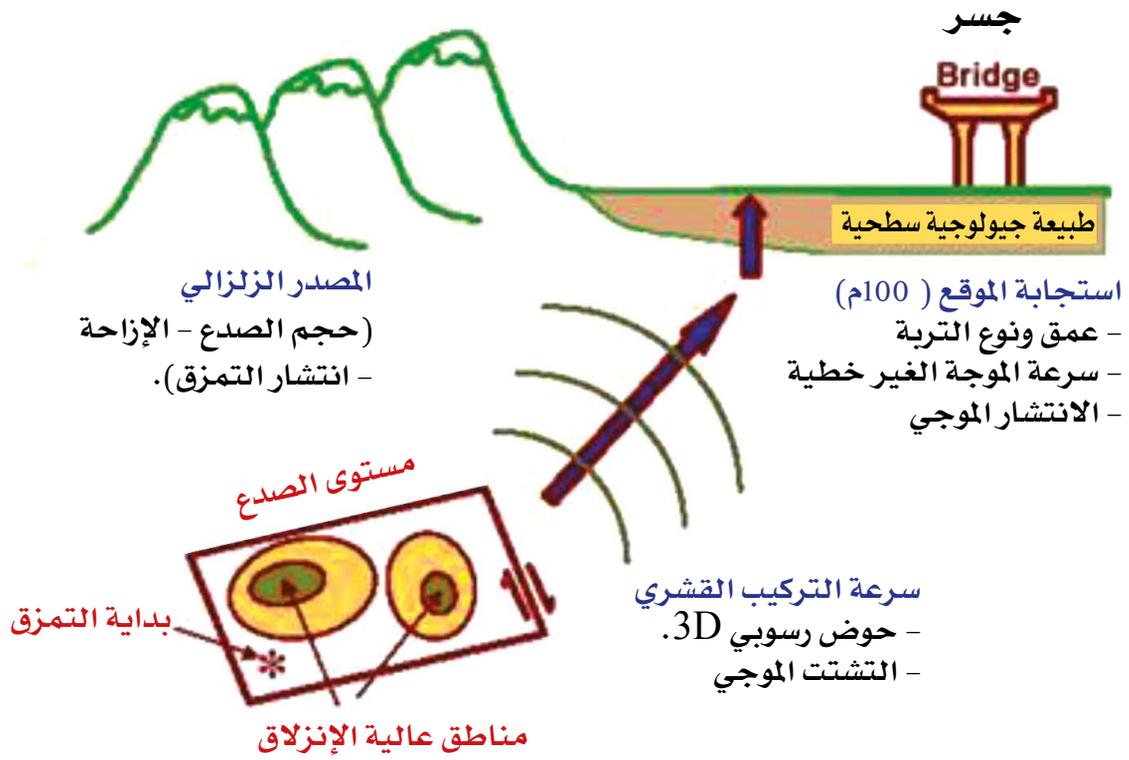
2. القبول بمبدأ السماح بالأضرار الإنشائية التي يمكن إصلاحها بتكلفة تقل بكثير عن التكلفة اللازمة للبناء الإنشائي الذي لا يسمح بأي ضرر عند وقوع زلزال شديد.

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 بُعدها من مركز الزلزال السطحي. حيث تزداد





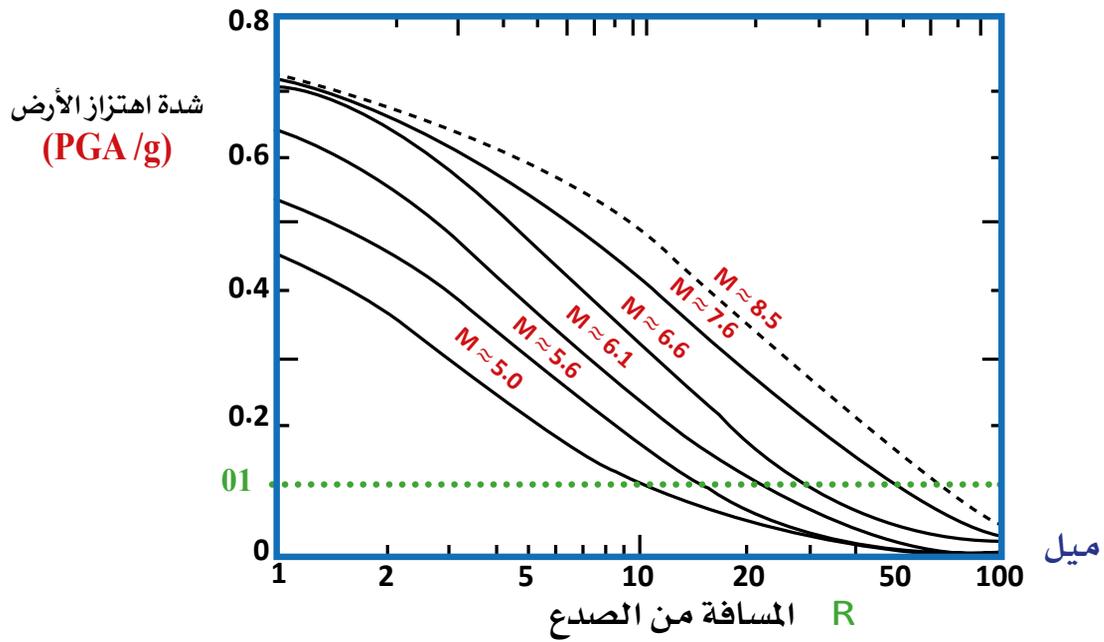
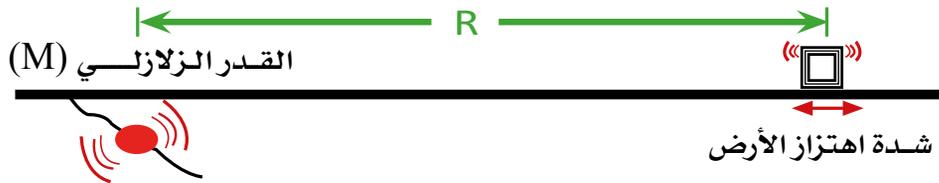
الشدة كلما اقتربنا من المركز وتقل كلما ابتعدنا. الحركات الأرضية القوية يمكن أن ينجم عنها أيضاً مخاطر ثانوية مثل تضخيم الحركة الأرضية وتميع التربة أو انزلاق أرضي.



معظم الضرر عند حدوث الزلزال بسبب الحركة الأرضية

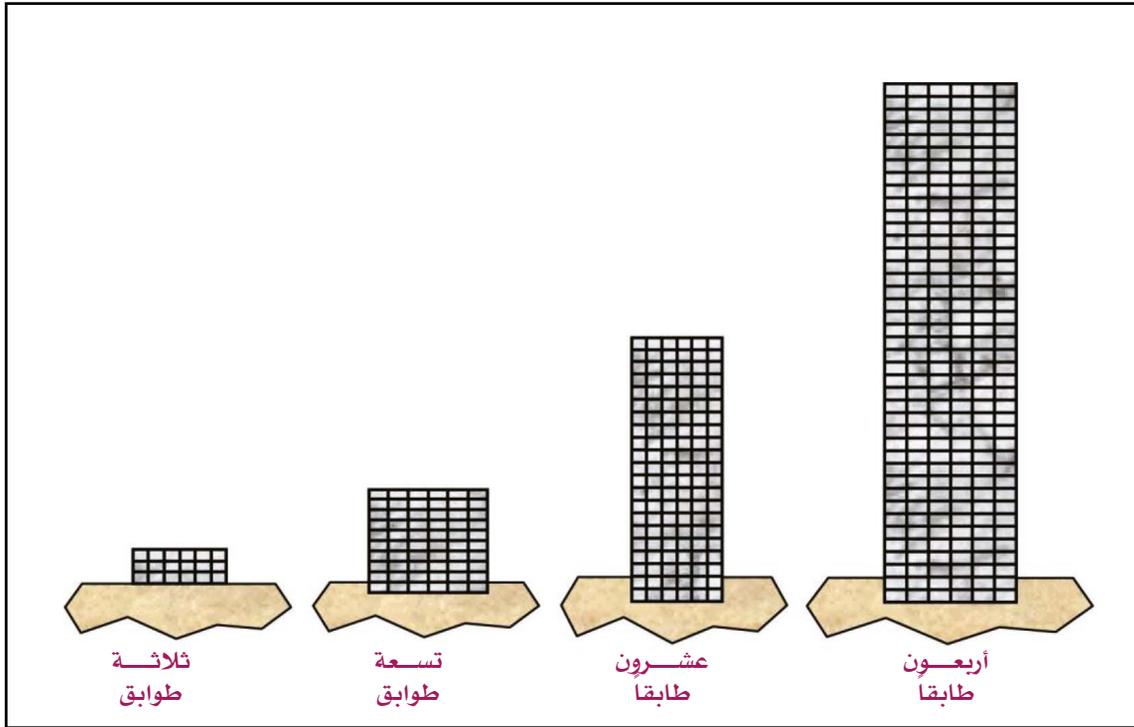


تقييم مخاطر الزلازل



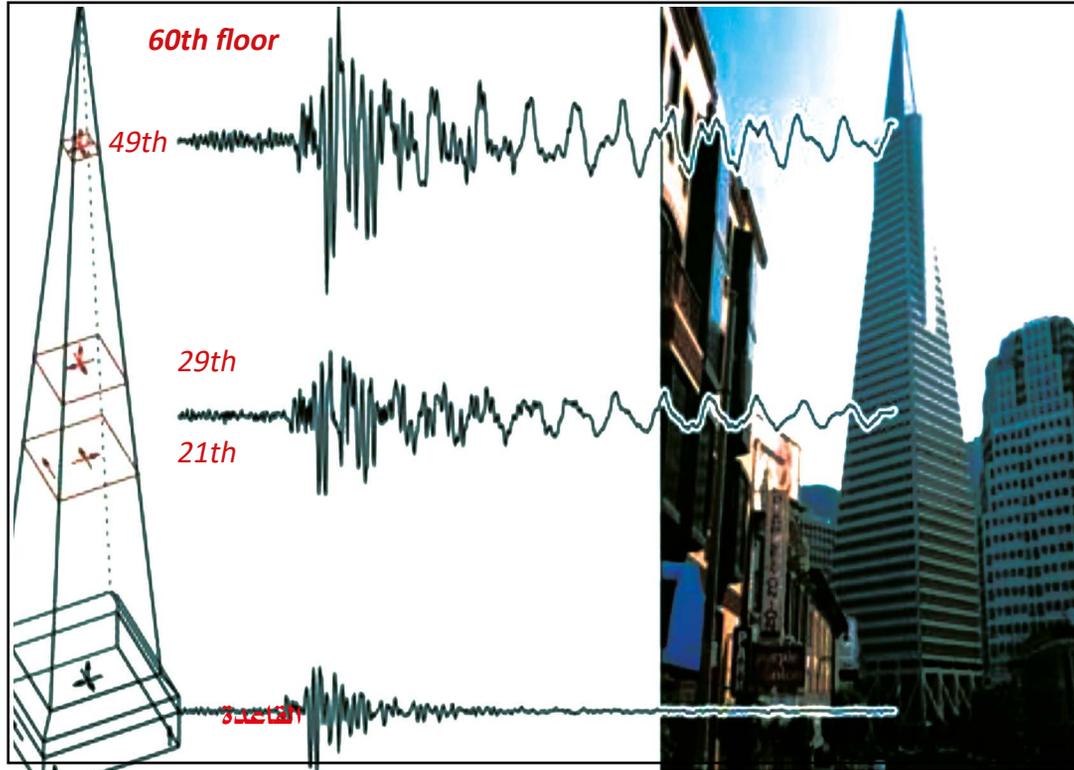
العلاقة العكسية بين المسافة من الصدع وشدة الاهتزاز الأرضي





تزداد الفترة الطبيعية (Resonant) للمبنى مع ارتفاع المبنى





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 طابقاً تبلغ فترتها الطبيعية 5 ثوانٍ، بينما تصل إلى 10 ثوانٍ في 100 طابق.





يتأثر السجل الزلزالي للحركة الأرضية بثلاثة عوامل :

صفات المصدر Source (الإجهاد والتشوهات).

المسار الموجي Travel path (تشنت 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 التي من خلالها يمكن تقييم مستوى الخطر وتحديد معامل الأمان الزلزالي بدقة.

الدراسات الزلزالية	الدراسات الجيوتقنية	الدراسات الجيولوجية
<ul style="list-style-type: none"> • 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. 	<ul style="list-style-type: none"> • أنواع ترب الأساس • معالجة عدم استقرار الميل. • تطوير معاملات الحركة العنيفة. 	<ul style="list-style-type: none"> • التكتونية الإقليمية ونمط التشويه. • خرائط الصدوع ضمن 100 كم². • تحديد أنواع الصدوع واتجاهاتها. • الإزاحات الحديثة على طول الصدوع. • الانزلاق والانهييار الأرضي

هناك ثلاثة شروط يجب توافرها لتحديد إمكانية حدوث الكارثة الزلزالية:

الشرط الأول: هو كمية القدر الزلزالي حيث إن الأحداث الزلزالية الصغيرة لا ينتج عنها هزات أرضية عنيفة بصورة كاملة وحادة لكي تتسبب في الدمار الشامل.

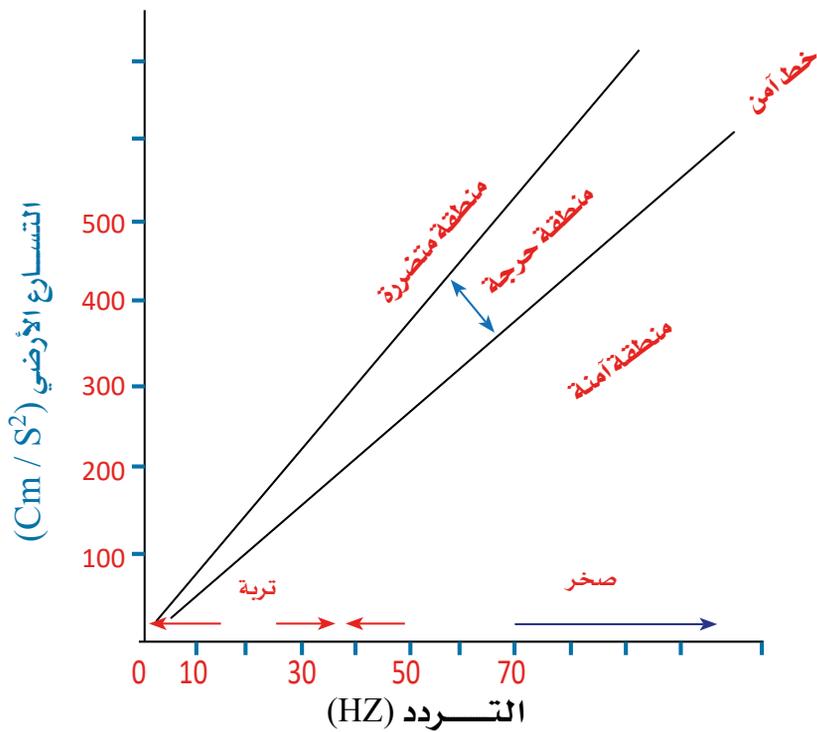




الشرط الثاني: هو قُرب المصدر الزلزالي.

الشرط الثالث: هو أن الحدث الزلزالي يعتمد على درجة الاستعداد للكارثة. لا تعتمد خطورة الزلزال على مدى زلزالية المنطقة أو الإقليم فحسب لكن أيضاً على الكثافة السكانية والنمو الاقتصادي.

على الرغم 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

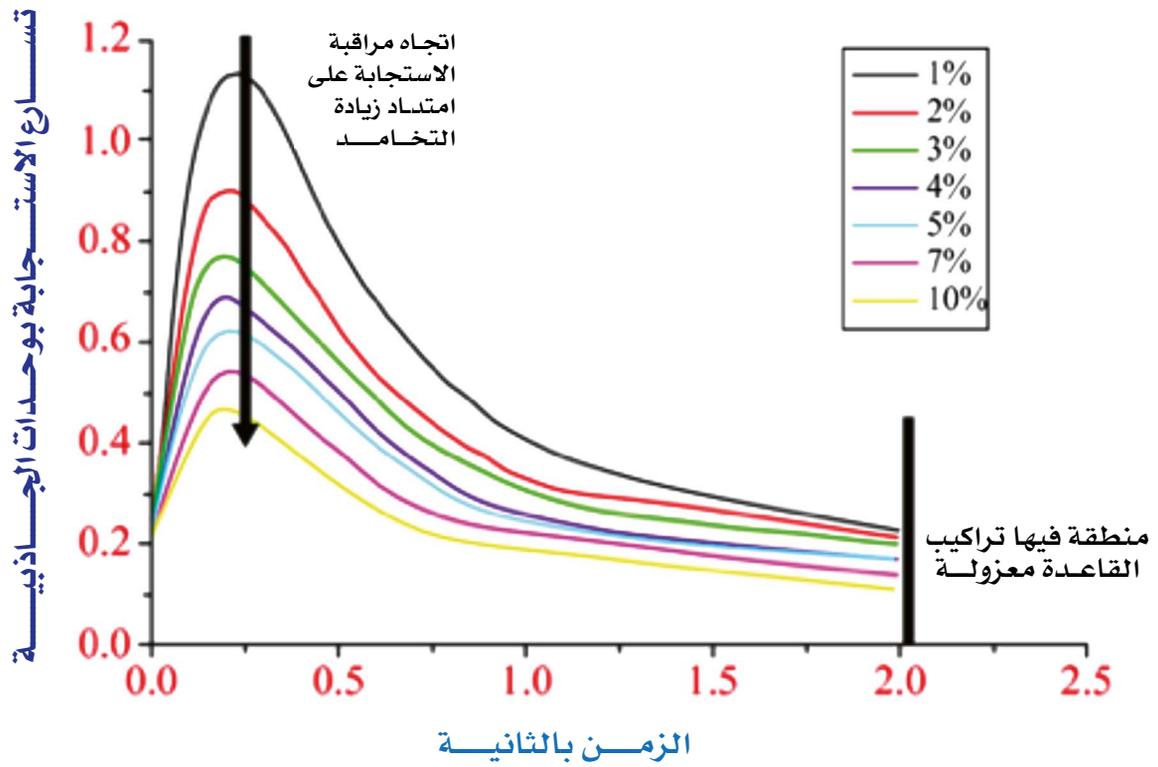


طيف الاستجابة Response Spectrum

طيف الاستجابة هو دالة للتردد أو الدورة، تُظهر استجابة الذرورة لمذبذب توافقي بسيط يخضع لحدث عابر. طيف الاستجابة هو دالة للتردد الطبيعي للمذبذب والتخميد الخاص به، وبالتالي فهو ليس تمثيلاً مباشراً لمحتوى تردد الإثارة (كما هو الحال في تحويل فورييه)، بل هو بالأحرى تأثير الإشارة على نظام مفترض بدرجة واحدة من الحرية (SDOF). يُستخدم مخطط التسارع لإثارة اهتزازها في نطاق الفترة 0، 5، 10 ثوانٍ، وهو نطاق اهتمام المهندسين. يستخدم مفهوم طيف الاستجابة في قوانين البناء وتصميم الهياكل الأساسية والحرجة. جميع كميات الاستجابة موجبة، وبالتالي فإن RSA غير مناسب لعدم انتظام الالتواء. هذه الطريقة تقريبية فقط، لكنها غالباً طريقة مفيدة وغير مكلفة لدراسات التصميم الأولية.



تقييم مخاطر الزلازل



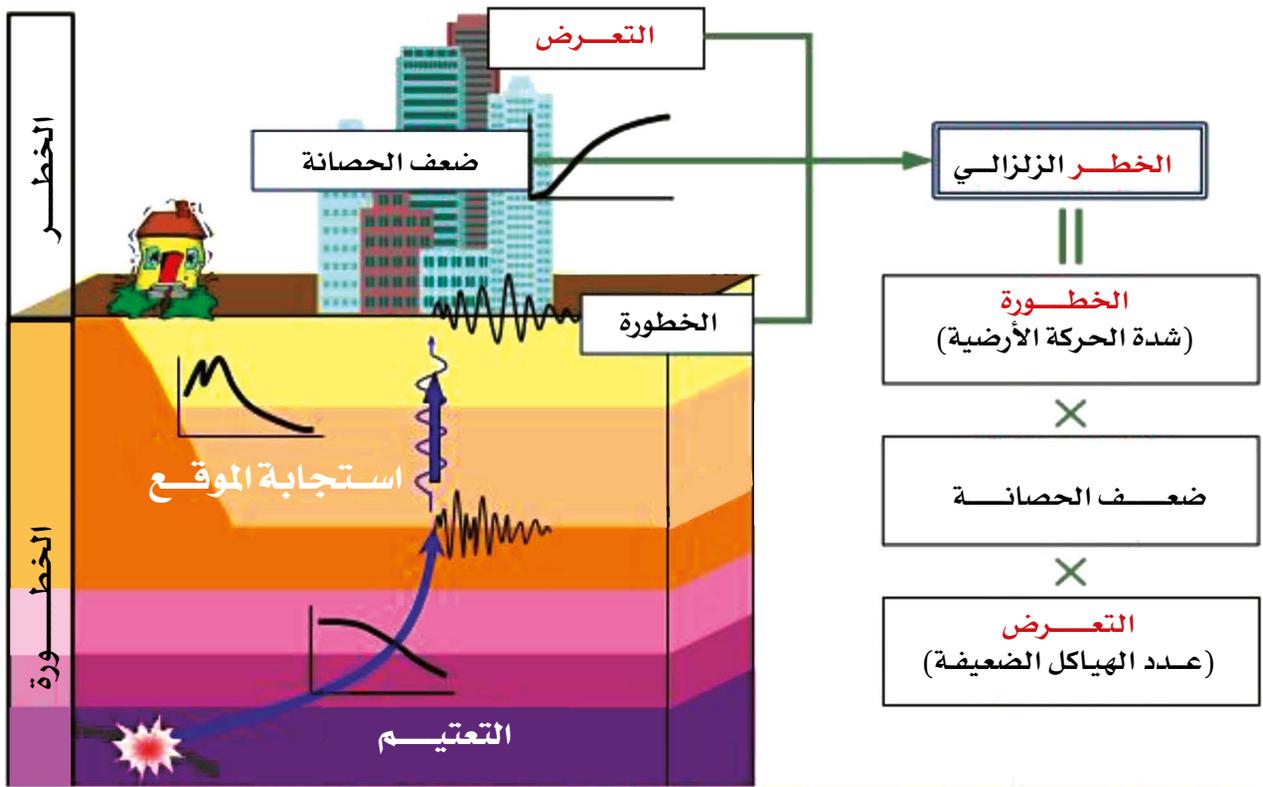


تقييم المخاطر الزلزالية Seismic Risk Assessment

يُعرّف تقييم مخاطر الزلازل بأنه تقييم الخسائر الاقتصادية المحتملة، وفقدان الوظيفة، وفقدان الثقة، والوفيات، والإصابات من مخاطر الزلازل. بالنظر إلى الحالة الحالية للمعرفة بالظواهر الزلزالية، لا يمكن فعل الكثير لتعديل الخطر من خلال التحكم في العمليات التكتونية، لكن هناك مجموعة متنوعة من الطرق للتحكم في المخاطر أو التعرض للمخاطر الزلزالية. هناك أربع خطوات متضمنة في إجراء تقييم مخاطر الزلازل:

1. **تقييم مخاطر الزلازل** وإعداد خرائط مناطق الخطر .
2. **جرد للعناصر المعرضة للخطر**، مثل الهياكل والسكان.
3. **تقييم الضعف**.
4. **تحديد مستويات المخاطر المقبولة**.





الخطر الكلي يتم تحديده بواسطة شدة الحركة الأرضية وضعف الحصانة وعدد التراكيب المباني المتضررة



إعداد خرائط مناطق الخطر

في منطقة معرضة للزلازل، ستكون المعلومات موجودة بلا شك حول الزلازل السابقة والمخاطر الزلزالية المرتبطة بها. يمكن استكمال ذلك بالمعلومات الجيولوجية والجيوفيزيائية الموجودة والمراقبة الميدانية، إذا لزم الأمر. اعتماداً على الظروف الجيولوجية، مزيج من اهتزاز الأرض، وتصدع السطح، والانهيارات الأرضية، والإسالة، والفيضانات التي قد تكون أخطر المخاطر المحتملة المرتبطة بالزلازل في المنطقة. يجب إعداد خرائط توضح مناطق هذه المخاطر وفقاً لشدتها النسبية. توفر هذه الخرائط للمخطط بيانات حول اعتبارات مثل التطبيق المكاني لقوانين البناء والحاجة إلى الحماية المحلية من الانهيارات الأرضية والفيضانات.

تقييم إمكانات اهتزاز الأرض على الرغم من أن اهتزاز الأرض قد يتسبب في حدوث أضرار مرتبطة بالزلازل الأكثر انتشاراً وتدميراً، فإنه يعد من أصعب المخاطر الزلزالية للتنبؤ بها وتحديدتها. ويرجع ذلك إلى تضخيم تأثيرات الاهتزاز من خلال المواد غير المجمععة التي تعلو حجر الأساس في الموقع والمقاومة التفاضلية للهياكل، وبالتالي فإن الطريقة المثلى للتعبير عن اهتزاز الأرض هي من حيث الاستجابة المحتملة لأنواع معينة من المباني. يتم تصنيفها وفقاً لما إذا كانت عبارة عن إطار خشبي، أو مبنى من طابق واحد، أو منخفض الارتفاع (من 3 إلى 5 طوابق)، أو متوسط الارتفاع (من 6 إلى 15 طابقاً)، أو مرتفع (أكثر من 15 طابقاً). يمكن ترجمة كل من هذه، بدورها، إلى عوامل إشغال وتعميمها في أنواع استخدام الأراضي.



تقييم إمكانية حدوث خطأ في السطح من السهل نسبياً القيام بذلك، نظراً لأن **الصدع السطحي** يرتبط بمناطق الصدع. هناك ثلاثة عوامل مهمة في تحديد تدابير التخفيف المناسبة: احتمالية ومدى الحركة خلال فترة زمنية معينة، ونوع الحركة (عادية، أو عكسية، أو خطأ الانزلاق)، والمسافة من تتبع الخطأ التي من المحتمل أن يحدث فيها الضرر.

في مناطق **التصدع النشط**، يجب إعداد **خرائط الأعطال بمقاييس مناسبة** لغرض **التخطيط (حوالي 1: 50000 في المناطق النامية و 1: 10000 في المناطق الحضرية)** وتحديثها مع توفر معلومات جيولوجية وزلزالية جديدة. يجب تحديد مدى المناطق المعرضة للخطر على طول الصدوع، ويجب إعداد خرائط توضح درجة الخطر في كل منها. يجب تحديد تدابير، مثل: تقسيم استخدام الأراضي، وقيود البناء للمناطق المعرضة للخطر.

تقييم احتمال فشل الأرض هذه الطريقة قابلة للتطبيق على الانهيارات الأرضية التي يسببها الزلزال. يتم تحديد إمكانات الإسالة في أربع خطوات:

1. يتم إعداد خريطة للرواسب الحديثة، وتمييز المناطق التي من المحتمل أن تخضع للتميع عن تلك غير المحتملة.
2. تم إعداد خريطة توضح عمق المياه الجوفية.
3. تم دمج هاتين الخريقتين لإنتاج خريطة «قابلية التميع».
4. يتم إعداد «فرصة التميع» من خلال الجمع بين خريطة القابلية للتأثر بالبيانات الزلزالية لإظهار توزيع احتمالية حدوث التميع في فترة زمنية معينة.





جرد العناصر المعرضة للخطر

جرد العناصر المعرضة للخطر هو **تحديد** التوزيع المكاني للهياكل والسكان المعرضين لمخاطر الزلازل. يشمل البيئة المبنية، مثل: المباني وخطوط نقل المرافق والهياكل الهيدروليكية والطرق والجسور والسدود؛ الظواهر الطبيعية ذات القيمة، مثل: طبقات المياه الجوفية والسدود الطبيعية؛ وتوزيع السكان وكثافتهم. يتم ملاحظة خطوط الحياة، ومرافق الاستجابة للطوارئ، وغيرها من المرافق الحيوية بشكل مناسب.

تقييم الضعف

بمجرد توفر قائمة الجرد، يمكن إجراء تقييم الضعف. سيقاس هذا مدى قابلية هيكل أو فئة من الهياكل للتلف. من الصعب، إن لم يكن من المستحيل، التنبؤ بالضرر الفعلي الذي سيحدث، لأن هذا سيعتمد على مركز الزلزال وحجمه ومدته وما إلى ذلك. يمكن إجراء أفضل تحديد من خلال تقييم الضرر الناجم عن زلزال سابق بقوة معروفة في مجال الاهتمام وربط النتائج بالهياكل القائمة.

تقييم المخاطر ومقبوليته

من الممكن نظرياً الجمع بين تقييم المخاطر وتحديد قابلية تعرض العناصر المعرضة للخطر للوصول إلى تقييم لمخاطر محددة، وهو مقياس لاستعداد



الجمهور لتحمل التكاليف لتقليل المخاطر. هذه عملية صعبة ومكلفة، ومع ذلك، تنطبق على المراحل المتقدمة من عملية التخطيط للتنمية. بالنسبة لأي موقف معين، قد يتمكن المخططون وخبراء المخاطر الذين يعملون معاً من ابتكار إجراءات بديلة مناسبة تحدد المخاطر التقريبية وتوفر التوجيه الفني للقرارات السياسية فيما يتعلق بالمستويات المقبولة وما هي التكاليف المقبولة لتقليل المخاطر، وبالتالي يمكن التوصية بإجراءات التخفيف المناسبة كجزء من دراسة التنمية.

كيف نستطيع تخفيف الخطر؟

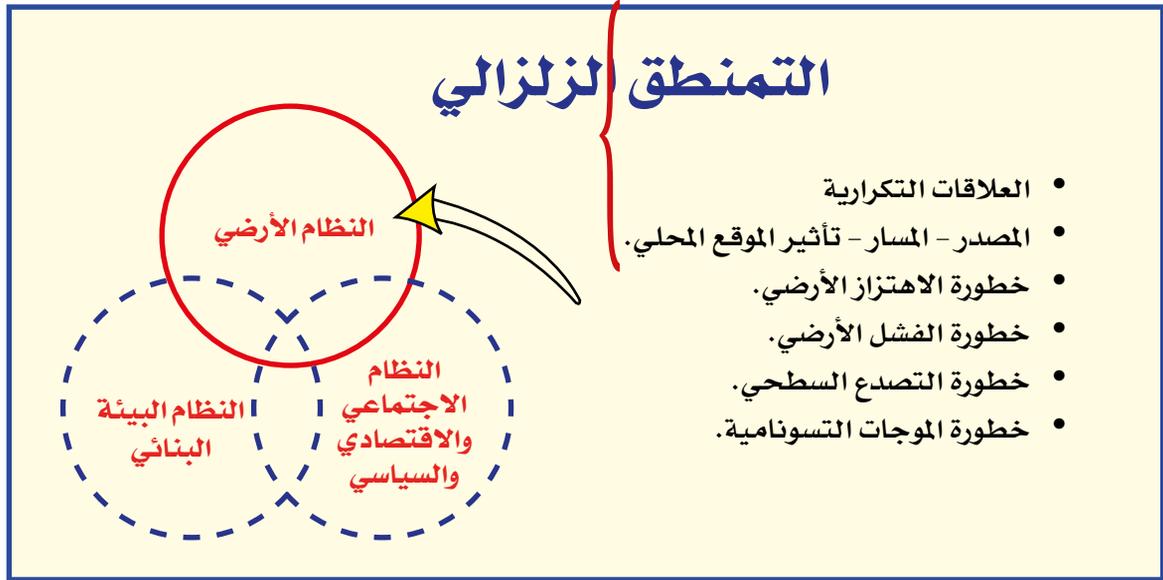




التمنطق الزلزالي Seismic Zonation

يهدف التمنطق الزلزالي إلى تقسيم المنطقة الجغرافية إلى مناطق صغيرة يتوقع تعرضها إلى نفس نسبة المخاطر الزلزالية (الاهتزاز والانهيال الأرضي والتصدع السطحي والتسونامي) وتستخدم خرائط التمنطق الزلزالي كدليل لأقصى قيمة للشدة الزلزالية أو التسارع الأرضي للدلالة على المناطق الخطرة زلزالياً. 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 مستقبلاً.
- **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.



التمنطق الزلزالي الدقيق Seismic Microzonation

يعمل التقسيم الزلزالي الدقيق على تقسيم المنطقة إلى مناطق أصغر ذات إمكانات مختلفة لتأثيرات الزلازل الخطرة 1. تعتمد تأثيرات الزلزال على الخصائص الجيومورفولوجية الأرضية التي تتكون من المعلومات الجيولوجية والجيومورفولوجية والجيوتقنية. تعتبر معاملات الجيولوجيا والجيومورفولوجيا، تغطية / سمك التربة، نتوء / عمق الصخور بعضاً من السمات الجيومورفولوجية المهمة. السمات الأخرى هي معاملات الزلزال، التي يتم تقديرها من خلال تحليل المخاطر وتأثيرات التربة المحلية على الخطر (استجابة الموقع المحلي لزلزال). تسارع ذروة الأرض (PGA) [من النهج الحتمي أو الاحتمالي]، والتضخيم / استجابة الموقع، والتردد السائد، والتميع والانهيال الأرضي بسبب الزلازل هي بعض السمات المهمة لعلم الزلازل. يعتمد وزن الخصائص على المنطقة وصانع القرار، على سبيل المثال، للأرض المستوية وزن بقيمة «0» للانهيال الأرضي وللتضاريس العميقة أعلى وزن لاستجابة الموقع أو التميع.

التمنطق الزلزالي الدقيق هو الخطوة الأولى في دراسة التخفيف من مخاطر الزلازل ويتطلب نهجاً متعدد التخصصات مع مساهمات كبيرة من مجالات الجيولوجيا وعلم الزلازل والجيوفيزياء والجيوتقنية والهندسة الإنشائية. هذا مهم للغاية لتحديد التكوينات التكتونية والجيولوجية في منطقة الدراسة وهو أمر ضروري لتحديد المصادر الزلزالية وأيضاً لإنشاء نماذج مخاطر زلزالية واقعية للتحقيق. يتضمن التقسيم الزلزالي الدقيق تحقيقاً ميدانياً تفصيلياً للغاية لتقييم الخطر. إنه فعال للغاية في تحديد الاختلافات المكانية في الخطر الزلزالي. كما أنها مفيدة لتقييم سيناريوهات المخاطر في منطقة الدراسة. تعد خرائط تحديد المناطق الدقيقة الزلزالية مفيدة جداً في التخطيط الحضري



لأنها تساعد في التنبؤ بتأثير الزلازل المستقبلية، ويمكن استخدامها أيضاً لتحديد مواقع المرافق الرئيسية، مثل: المستشفيات ومحطات الإطفاء ومراكز عمليات الطوارئ وما إلى ذلك. تعد دراسات تحديد المناطق الصغيرة مفيدة جداً أيضاً لحفظ التراث و هياكل مُهمّة من الزلازل الكبرى في المستقبل.

يوفر التقسيم الزلزالي الدقيق معلومات مفصلة عن مخاطر الزلازل على نطاق أوسع بكثير. إنه يعترف بحقيقة أن قيم التسارع الطيفي للمواقع داخل منطقة زلزالية تختلف في تناغم مع الظروف الجيولوجية الخاصة بالموقع. لذلك فهي تتكون من رسم خرائط تفصيلية لجميع الزلازل والزلازل المحتملة.

درء مخاطر الزلازل

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.

غالباً ما يكون مصدر الخطر الزلزالي ناتج عن الحركة الارتدادية المتكررة



التي يسببها الزلزال للمبنى في الاتجاهين الأفقي والرأسي بقوى عزم، التي بدورها تسبب دوراناً أو انقلاباً 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 انهياراً للأساسات حتى المباني المقاومة للزلازل. أي أنه لا بُدَّ من إعطاء مشاريع دراسة خواص التربة أهمية خاصة وكذلك اختلاف سماكة المتكونات الرسوبية والملحية، وعموماً 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 أربع مناطق هي:

- **خالية** من الخطر (أقل من 0.05 g إلى 0.1 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 (أكبر من 0.2 g).

تتأثر **الشدة الزلزالية** بنوع الصخور. يوضح الشكل كيف تتذبذب الموجة الزلزالية عند دخولها مواد مختلفة. يحدث أقل ضرر عندما يتم تشييد المباني على أساس صخر. لاحظ أن إشارة مخطط الزلازل من خلال «حجر الأساس الصلب» عالية التردد وذات سعة منخفضة. بحلول الوقت الذي تصل فيه الموجة الزلزالية إلى «الرواسب المتماسكة جيداً» تبدأ في الاهتزاز بسعة أكبر لكن بشكل أقل تكراراً. بل إن الرواسب «الضعيفة التماسك» أسوأ. عندما تدخل الموجة إلى «الرمال والطين المشبع بالماء»، تسجل الموجة إشارة ذات تردد منخفض وعالي السعة. إنه يتدحرج حقاً ويمكن أن يسبب تسبيلاً (أثناء اهتزاز الأرض، يمكن لبعض التربة الرملية المشبعة بالمياه أن تتصرف مثل السوائل بدلاً من المواد الصلبة).



• كفاءة المباني

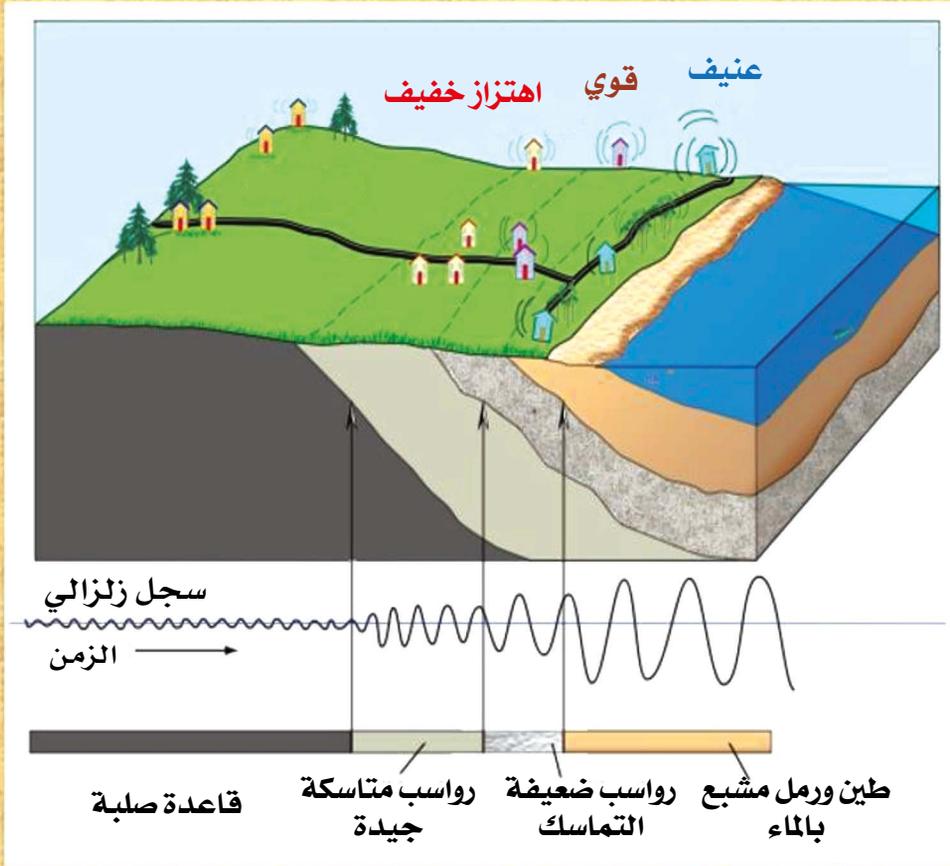
تستخدم خريطة العجلة الأرضية في تقويم كفاءة المباني المقاومة ومعرفة مدى مقاومتها لمستوى الشدة الزلزالية المتوقعة. كما تستخدم في أغراض التصميم الزلزالي للمباني إما مباشرة أو من خلال تحديد المعامل الزلزالي للمنطقة.

وطبقاً لنتائج الشدة الزلزالية فإنه على ضوءها يمكن تقدير مدى التلف المتوقع مستقبلاً للمنشآت. حيث تصل نسبة التلف في المباني الخرسانية المسلحة، التي لم يراعى 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.





تأثر الشدة الزلزالية بنوع الصخر



زيادة سعة التذبذب



تقدم خرائط الاهتزاز ShakeMaps الوقت الفعلي تقريباً لحركة الأرض وشدة الاهتزاز بعد الزلازل الكبيرة. يتم استخدام هذه الخرائط من قبل المنظمات الفيدرالية والمحلية، العامة والخاصة، للاستجابة والتعافي بعد الزلزال، والمعلومات العامة والعلمية، فضلاً عن تمارين التأهب والتخطيط للكوارث. توفر ShakeMaps معلومات أكثر بكثير من خرائط الزلازل القياسية، التي عادةً ما تُظهر فقط مركز الزلزال وقوته. تعتبر التفاصيل الإضافية لخرائط ShakeMaps مفيدة للمتضررين من اهتزاز الأرض وكذلك لعمال الإنقاذ، الذين يمكنهم استخدامها كأساس لمزيد من الإجراءات. بالإضافة إلى خرائط ShakeMaps التي تصور شدة الزلزال، هناك أيضاً بعض الخرائط التي تُظهر ذروة تسارع الأرض (PGA) وذروة سرعة الأرض (PGV).





تحليل مصدر الخطر الزلزالي

يتم تحليل مصدر الخطر الزلزالي بطريقتين الاحتمالية PSHA أو الحتمية DSHA.

طريقة الاحتمالية عبارة عن منهجية تقدر احتمالية تجاوز المستويات المختلفة من الحركات الأرضية الناجمة عن الزلازل في موقع معين في فترة زمنية معينة في المستقبل. يتم التعبير عن نتائج مثل هذا التحليل على أنها احتمالات مقدرة سنوياً أو ترددات سنوية تقديرية. 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.

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 موضح في الشكل التالي.

أما طريقة تحليل المخاطر الزلزالية الحتمية (DSHA) هو نهج لتقييم المخاطر الزلزالية الخاصة بالموقع، التي تتأثر بالحد الأقصى من المخاطر من





مصادر التحكم التي تؤثر على موقع الدراسة المحدد. لا تعتبر DSHA مصادر أخرى غير أكبر مصدر «متحكم» ولا تأخذ في الاعتبار عوامل الوقت بسبب عدم اليقين من حدوث الزلازل في الوقت المناسب. في ظل ظروف معينة، يمكن أن يؤدي تجاهل هذه العوامل إلى تقليل التحفظ في تقدير المخاطر، خاصة عندما تولد المصادر الأخرى غير المتحكم بها مخاطر مكافئة تقريباً لتلك الخاصة بالمصدر المتحكم أو عندما يكون عمر تصميم الهيكل أطول من فترة عودة زلزال المصدر المتحكم.

تحليل المخاطر الزلزالية الحتمية Deterministic

في السنوات الأولى من هندسة الزلازل الجيوتقنية، كان استخدام تحليل المخاطر الزلزالية الحتمية (DSHA) سائداً. يتضمن DSHA تطوير سيناريو زلزالي معين يعتمد عليه تقييم مخاطر الحركة الأرضية (Reiter, 1990). يتكون السيناريو من الحدوث المفترض لزلزال بحجم محدد يحدث في موقع محدد. يمكن وصف DSHA النموذجي بأنه عملية من أربع خطوات تتكون من:

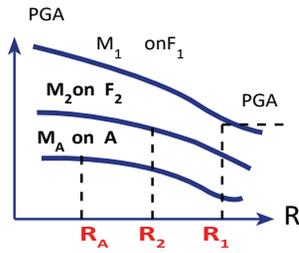
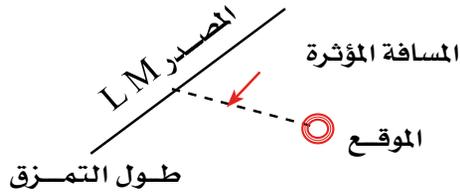
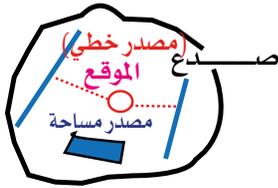
1. تحديد وتوصيف جميع مصادر الزلازل القادرة على إحداث حركة أرضية كبيرة في الموقع. يشمل توصيف المصدر تعريف هندسة كل مصدر (منطقة المصدر) وإمكانات الزلزال.
2. اختيار معلمة المسافة من المصدر إلى الموقع لكل منطقة مصدر. في معظم DSHAs، يتم تحديد أقصر مسافة بين منطقة المصدر والموقع محل الاهتمام. يمكن التعبير عن المسافة على أنها مسافة Epicentral أو مسافة Hypocentrat، اعتماداً على قياس المسافة للعلاقة (العلاقات) التنبؤية المستخدمة في الخطوة التالية.
3. اختيار الزلزال المسيطر (أي الزلزال الذي من المتوقع أن ينتج أقوى مستوى



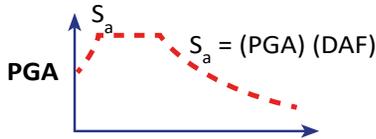


من الاهتزاز)، معبراً عنه عموماً من حيث بعض معاملات حركة الأرض، في الموقع. يتم الاختيار من خلال مقارنة مستويات الاهتزاز الناتجة عن الزلازل (المحددة في الخطوة 1) المفترض حدوثها على المسافات المحددة في الخطوة 2. يتم وصف الزلازل المتحكم من حيث حجمه (يتم التعبير عنه عادةً بالحجم) والمسافة من موقع.

4. يتم تحديد الخطر في الموقع رسمياً، عادةً من حيث الحركات الأرضية التي يتم إنتاجها في الموقع بواسطة الزلازل المتحكم فيه. يشيع استخدام تسارع الذروة وسرعة الذروة وإحداثيات طيف الاستجابة لتوصيف الخطر الزلزالي.



التقييم



تحديد ونمذجة المصادر الزلزالية

اختيار مستويات القدر الزلزالي

اختيار أفضل مسافة متحفظة من المصدر إلى الموقع

تقييم أحد معاملات المواقع المتضررة من المصدر إلى الموقع

تطوير الشكل الطيفي للموقع

معايير ادخال التصميم الزلزالي الثابت للموقع

رسم توصيحي تسلسلي لتحليل المخاطر الزلزالية الحتمية (DSHA)



تحليل المخاطر الزلزالية الاحتمالية PROBABILISTIC

في العشرين إلى الثلاثين عاماً الماضية، سمح استخدام المفاهيم الاحتمالية بأوجه عدم اليقين في حجم وموقع ومعدل تكرار الزلازل وفي تباين خصائص حركة الأرض مع حجم وموقع الزلازل التي يجب أخذها في الاعتبار بشكل صريح في تقييم المخاطر الزلزالية. يوفر تحليل المخاطر الزلزالية الاحتمالية (PSHA) إطاراً يمكن من خلاله تحديد أوجه عدم اليقين هذه وقياسها كمياً ودمجها بطريقة عقلانية لتوفير صورة أكثر اكتمالاً عن الخطر الزلزالي.

يمكن أيضاً وصف PSHA كإجراء من أربع خطوات لكل منها درجة من التشابه مع خطوات إجراء DSHA (Reiter, 1990):

1. الخطوة الأولى، تحديد مصادر الزلازل وتوصيفها، مطابقة للخطوة الأولى من DSHA، باستثناء أنه يجب أيضاً تحديد توزيع الاحتمالية لمواقع التمزق المحتملة داخل المصدر. في معظم الحالات، يتم تعيين توزيعات احتمالية موحدة لكل منطقة مصدر، مما يعني أن احتمال حدوث الزلازل متساو في أي نقطة داخل منطقة المصدر، ثم يتم دمج هذه التوزيعات مع هندسة المصدر للحصول على التوزيع الاحتمالي المقابل للمسافة من المصدر إلى الموقع.

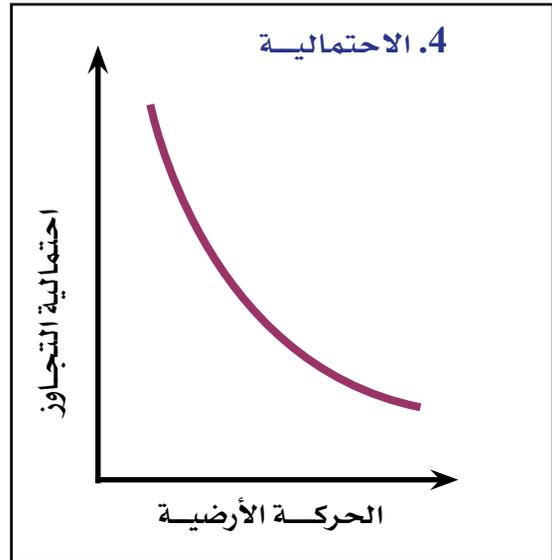
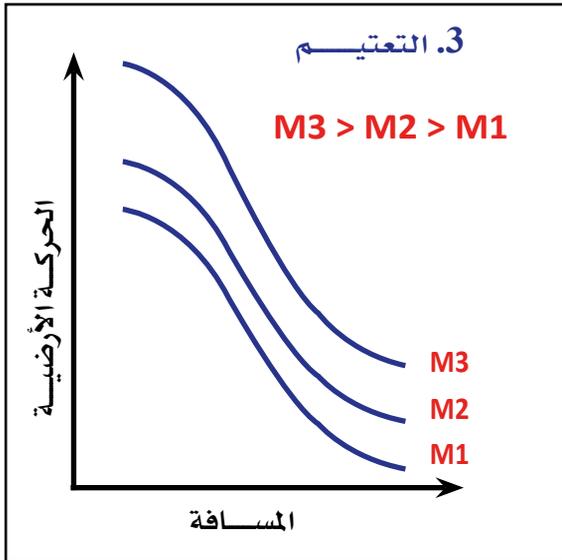
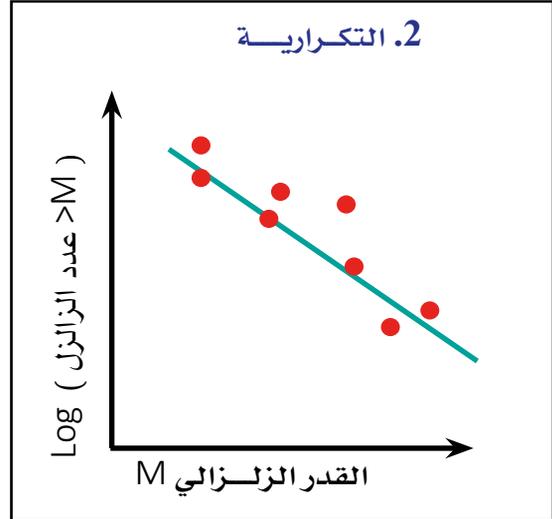
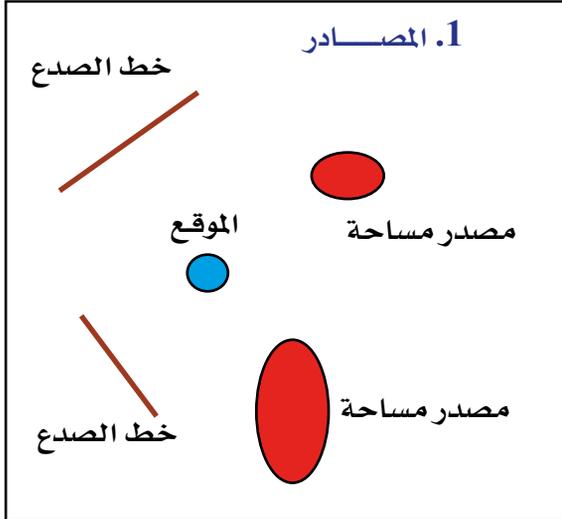
2. بعد ذلك، يجب تحديد التوزيع الزلزالي أو الزمني لتكرار الزلزال. تُستخدم علاقة التكرار، التي تحدد متوسط المعدل الذي سيتم به تجاوز زلزال بحجم ما، لتوصيف النشاط الزلزالي لكل منطقة مصدر. قد تستوعب علاقة التكرار الحد الأقصى لحجم الزلزال، لكنها لا تقصر النظر في هذا الزلزال، كما تفعل DSHAs في كثير من الأحيان.



3. يجب تحديد حركة الأرض الناتجة في الموقع عن طريق الزلازل بأي حجم ممكن، التي تحدث في أي نقطة ممكنة في كل منطقة مصدر باستخدام العلاقات التنبؤية. يتم أيضاً اعتبار عدم اليقين المتأصل في العلاقة التنبؤية في PSHA.

4. أخيراً، يتم دمج حالات عدم اليقين في موقع الزلازل وحجم الزلازل وتنبؤ معامل حركة الأرض للحصول على احتمال تجاوز معامل حركة الأرض خلال فترة زمنية معينة. ويتطلب الأداء الملائم لتحليل مصدر الخطر الزلزالي الاحتمالي لفت انتباه حذر إلى مسائل وصف المصدر والتنبؤ بمعامل الحركة الأرضية وإلى الآلية حسابات الاحتمالية.





مراحل تحليل الخطر الزلزالي الاحتمالي لموقع ما:

1. تحديد مصادر الزلازل 2. خواص التكرارية الزلزالية لكل موقع. 3. تعقيم الحركات الارضية مع القدر الزلزالي والمسافة 4. الحركات الأرضية لاحتمالية محددة بمستويات تجاوز (ت حسب بواسطة جمع احتماليات جميع المصادر والقدر الزلزالي والمسافات).



الخطوات الأربع لتحليل مصدر الخطر الزلزالي الاحتمالي

توصيف مصدر الزلزال

يتطلب توصيف مصدر الزلازل النظر في الخصائص المكانية للمصدر وتوزيع الزلازل داخل هذا المصدر، وتوزيع حجم الزلزال لكل مصدر، وتوزيع الزلازل مع مرور الوقت. كل من هذه الخصائص تتطوي على درجة معينة من عدم اليقين.

عدم اليقين المكاني

تعتمد هندسة مصادر الزلازل على العمليات التكتونية المتضمنة في صياغتها. الزلزال المرتبط بالنشاط البركاني، على سبيل المثال، ينشأ عموماً في مناطق بالقرب من البراكين صغيرة بما يكفي للسماح بتوصيفها كمصادر نقطية. يمكن اعتبار طائرات الصدع المحددة جيداً، التي يمكن أن تحدث فيها الزلازل في العديد من المواقع المختلفة، كمصادر مساحية ثنائية الأبعاد. يمكن التعامل مع المناطق التي يتم فيها تعريف آليات الزلازل بشكل سيئ، أو حيث يكون التصدع واسع النطاق بحيث يمنع التمييز بين العيوب الفردية، كمصادر حجمية ثلاثية الأبعاد.

عادة ما يُفترض أن الزلازل موزعة بشكل موحد داخل منطقة مصدر معينة (على سبيل المثال، تعتبر الزلازل متساوية في احتمال حدوثها في أي مكان). يمكن وصف عدم اليقين في المسافة من المصدر إلى الموقع من خلال دالة كثافة الاحتمال.





عدم اليقين في الحجم

بمجرد تحديد مصدر الزلازل وتمييز منطقة المصدر المقابلة له، يتحول انتباه محلل المخاطر الزلزالية نحو تقييم أحجام الزلازل، التي يتوقع أن تنتجها منطقة المصدر. جميع مناطق المصدر لها حد أقصى للزلازل لا يمكن تجاوزه؛ يمكن أن تكون كبيرة بالنسبة للبعض وصغيرة بالنسبة للآخرين. بشكل عام، ستنتج منطقة المصدر زلازل بأحجام مختلفة تصل إلى الحد الأقصى للزلازل، مع حدوث زلازل أصغر بشكل متكرر أكثر من الزلازل الكبيرة.

جمع جوتنبرج وريختر (1944) بيانات من زلازل جنوب كاليفورنيا على مدى سنوات عديدة ونظموا البيانات وفقاً لعدد الزلازل التي تجاوزت درجات مختلفة خلال تلك الفترة الزمنية. قاموا بتقسيم عدد التجاوزات لكل حجم على طول الفترة الزمنية لتحديد متوسط المعدل السنوي للتجاوز، $N(m)$ لزلزال بحجم m . كما هو متوقع، فإن متوسط المعدل السنوي لتجاوز الزلازل الصغيرة أكبر من الزلازل الكبيرة. يُعرف التعبير الناتج الآن باسم قانون جوتنبرج - ريختر لتكرار الزلازل وله الشكل

$$L_n N(m) = a - b m$$

حيث $N(m)$ هو **متوسط المعدل السنوي لتجاوز الحجم**، α ، m هو **متوسط العدد السنوي للزلازل ذات الحجم الأكبر** من أو يساوي الصفر، و يصف الاحتمال النسبي للزلازل الكبيرة والصغيرة. مع زيادة قيمة β ، يتناقص عدد الزلازل ذات الحجم الأكبر مقارنةً بالزلازل ذات الأقدار الأصغر. يتم الحصول على المعاملات وعموماً عن طريق الانحدار في قاعدة بيانات الزلازل من منطقة المصدر ذات الأهمية.



عدم اليقين الزمني Temporal

لحساب احتمالات حدوث مخاطر مختلفة في فترة زمنية معينة، يجب مراعاة توزيع حدوث الزلازل فيما يتعلق بالوقت. منذ فترة طويلة يفترض أن الزلازل تحدث بشكل عشوائي مع مرور الوقت، وفي الواقع، كشف فحص سجلات الزلازل المتاحة عن أدلة قليلة (عند إزالة توابع الزلازل) على الأنماط الزمنية في تكرار الزلازل.

يتم وصف الحدوث الزمني للزلازل بشكل شائع بواسطة نموذج بواسون. يوفر نموذج بواسون إطاراً بسيطاً لتقييم احتمالات الأحداث التي تتبع عملية بواسون، والتي تنتج قيماً لمتغير عشوائي يصف عدد مرات حدوث حدث معين خلال فترة زمنية معينة أو في منطقة مكانية محددة. تمتلك عمليات بواسون الخصائص التالية:

- **عدد التكرارات** في فاصل زمني واحد مستقل عن الرقم الذي يحدث في أي فترة زمنية أخرى.
- **يتناسب احتمال الحدوث** خلال فترة زمنية قصيرة للغاية مع طول الفاصل الزمني.
- **احتمال حدوث أكثر من مرة واحدة خلال فترة زمنية قصيرة للغاية** لا يكاد يذكر. تشير الخصائص إلى أن أحداث عملية بواسون تحدث بشكل عشوائي، مع عدم وجود «ذاكرة» للوقت أو الحجم أو الموقع لأي حدث سابق.



مثال

يصف قانون تكرار جوتنبرج - ريختر الزلزالية لمنطقة معينة:

$$\ln N(m) = 9 - 1.6 m$$

أ. ما احتمال وقوع زلزال واحد على الأقل بقوة أكبر من 7.0 في فترة 10 سنوات؟
في فترة 50 عاماً؟ و في فترة 250 سنة؟

ب. ما احتمال وقوع زلزال واحد بالضبط بقوة أكبر من 7.0 في فترة 10 سنوات؟
في فترة 50 عاماً؟ في فترة 250 سنة؟

ج. حدد حجم الزلزال الذي من المحتمل أن يتم تجاوزه بنسبة 10 % مرة واحدة
على الأقل في فترة 50 عاماً.

الحل

a. $\lambda_m = N(m) = \exp(\alpha - \beta m) = \exp(9 - 1.6 m)$

$$\lambda_7 = \exp(9 - 1.6 * 7) = 0.111 \text{ events/year}$$

$$P(\text{at least one } M > 7 \text{ in 10 yrs}) = 1 - \exp(-0.111 * 10) = \% 67$$





الاحتمالات المقابلة في 50 و 250 سنة هي 99.6% و 100% على التوالي:

$$b. P_n(t) = (\lambda_m t)^n \exp(-\lambda_m t) \quad n!$$

$$P_1(10) = 0.111 * 10 \exp(-0.111 * 10) = \% 36.6$$

$$P_1(50) = 0.111 * 50 \exp(-0.111 * 50) = \% 2.2$$

$$P_1(250) = 0.111 * 250 \exp(-0.111 * 250) = \%$$

$$c. P(\text{at least one } M > m \text{ in 50 yrs}) = 0.1$$

$$= 1 - \exp(-\lambda_m * 50)$$

$$\lambda_m = \text{Ln}(1 - 0.1) / 50 = 0.00211$$

$$\lambda_m = 0.00211 = \exp(9 - 1.6 m)$$

$$M = [9 - \text{Ln}(0.00211)] / 1.6 = 9.5$$





منحنيات الخطر الزلزالي Seismic Hazard Curves

يتطلب تقييم الخطر الزلزالي في المواقع التنبؤ بالحركة الأرضية القوية التي ستشأ عن الزلازل التي يحتمل أن تكون خطيرة. في حالة توفر عدد كافٍ من التسجيلات للحركة الأرضية القوية في الموقع أو (في مواقع أخرى بنفس المصدر ووسط الانتشار والجيولوجيا المحلية والطبوغرافيا)، فيمكن عندئذ استخدام مجموعة من هذه البيانات لمحاكاة الحركة الأرضية القوية المتوقعة في الموقع بطريقة تسمى «خاصة بالموقع».

ومع ذلك، بالنسبة لتقييم مخاطر الزلازل، حيث لا يمكن الاعتماد على الإجراءات الخاصة بالموقع بسبب نقص بيانات الحركة القوية، يتم استخدام إما الأساليب شبه التجريبية أو «علاقات التوهين». عادةً ما تُستخدم علاقات التوهين التي تعبر عن معلمة مناسبة لحركة الأرض القوية (عادةً تسريع ذروة الأرض، PGA، من حيث المعاملات التي تميز مصدر الزلزال والحجم ووسط الانتشار وجيولوجيا الموقع المحلي).

يجب أن يأخذ اختيار بيانات الحركة القوية لإنشاء علاقة التوهين في الاعتبار، أ. توحيد التوهين وخصائص المصدر للمناطق. ب. اتساق تقنيات معالجة السجلات والأدوات. ج. التعريفات المتجانسة للحركة القوية والزلازل ومسار الانتشار وخصائص الموقع.

يتم إعطاء الشكل العام لنموذج التوهين المستخدم من خلال:

$$Y = b_1 f_1(M) f_2(R) f_3(M, R) f_4(P_i) e$$





Y هي معاملات الحركة القوية التي يجب توقعها .

$f1 (M)$ هي دالة لمقياس الحجم M ، وعادة ما تُعطى بالشكل:

$$f1 (M) = \exp (b2 M)$$

$f2 (R)$ هي دالة للمسافة R ، الشكل الأكثر شيوعاً هو:

$$f2 (R) = \exp (b4 R) (R + b5)^{-b3}$$

التوهين الهندسية وغير المرنة على التوالي .

يتم استخدام $f3 (M,R)$ ، لحساب تغير مقياس القدر الزلزالي مع المسافة، التي تكون الأكثر شيوعاً مساوية للوحدة .

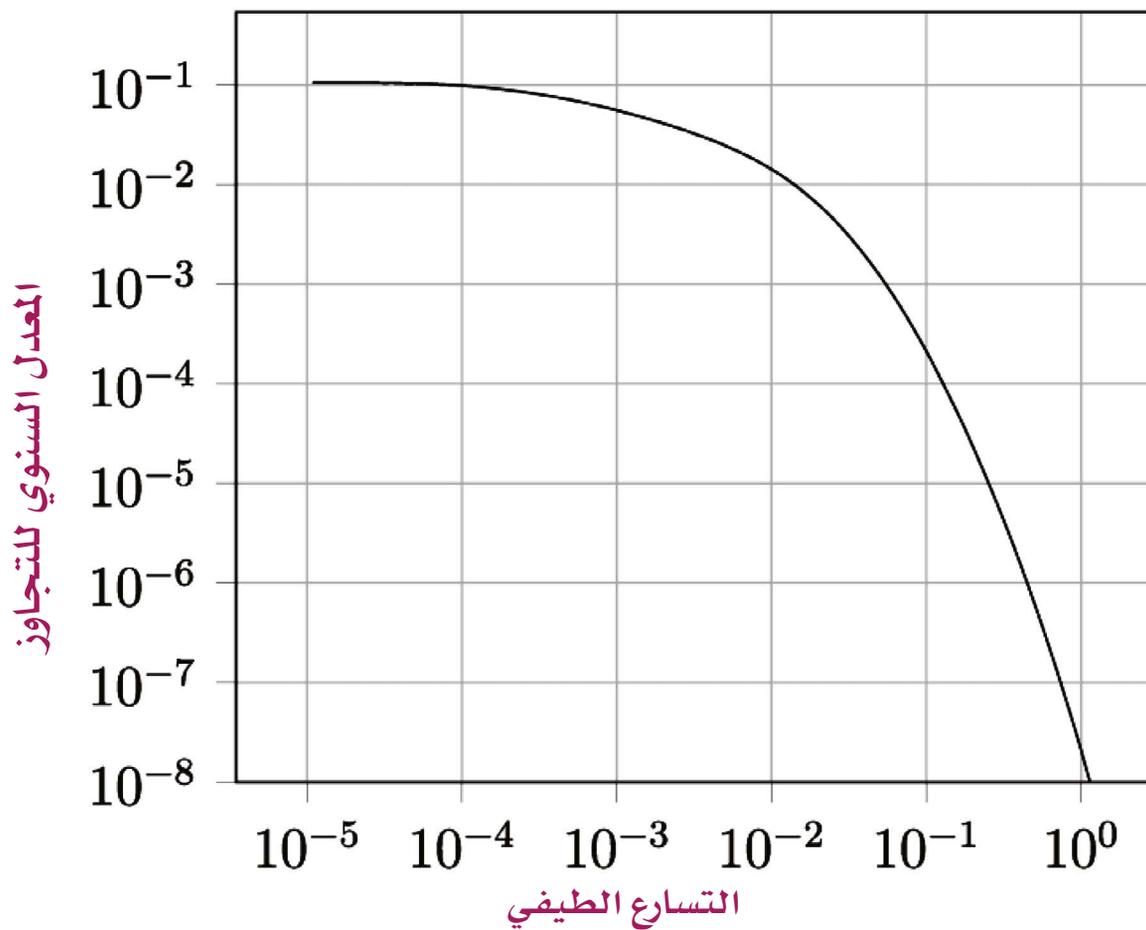
$f4 (P_i)$ هي الوظيفة التي تمثل مسار انتشار الزلزال ومعاملات الموقع

ϵ متغير عشوائي يمثل عدم اليقين في Y .



المنتج الأساسي لـ PSHA هو سلسلة من منحنيات المخاطر الزلزالية التي توضح المعدل السنوي أو الاحتمال الذي سيتم عنده تجاوز مستوى حركة أرضية معين في موقع الاهتمام. تحتوي منحنيات الخطر عادةً على «الاحتمال السنوي للتجاوز» أو «فترة العودة»، على المحور الرأسي على مقياس لوغاريتمي، و PGA (يُعبّر عنها عادةً بمصطلحات الجاذبية، أو «g») على المحور الأفقي على مقياس حسابي. قد تصور منحنيات الخطر أيضاً مقياساً آخر للحمل الزلزالي، مثل تسارع أطيايف الاستجابة في فترة اهتزاز معينة، على المحور الأفقي. يعد منحنى الخطر الزلزالي أهم أدوات الفرز وأكثرها استخداماً في تحليل المخاطر والمخاطر.

تم تطوير منحنى الخطر لكل مصدر زلزالي، وتضاف هذه المنحنيات الفردية لتطوير منحنى الخطر التراكمي للموقع المحدد. المعدل الإجمالي الذي يتم عنده تجاوز مستوى حركة أرضية معين هو مجموع معدلات هذه المصادر الفردية. يتم حساب منحنيات الخطر الزلزالي باستخدام علاقات توهين حركة الأرض التي تربط PGA أو التسارع الطيفي (SA) بالمسافة بين المصدر الزلزالي والموقع، وحجم الزلزال المرتبط بالمصدر. تعتبر ظروف الموقع مُهمّة جداً، وتتضمن آيات جدار القدم المعلقة موقع الجدار واتجاه التمزق وخصائص الأساس.



منحنى الخطر الزلزالي





طرق الشجرة المنطقية Logic Tree Methods

أصبحت الأشجار المنطقية سمة قياسية لتحليلات المخاطر الزلزالية الاحتمالية (PSHA) لتحديد الحركات الأرضية للتصميم. الغرض من الشجرة المنطقية هو التقاط وقياس عدم اليقين المعرف المرتبط بمدخلات PSHA وبالتالي تمكين تقدير عدم اليقين الناتج في الخطر. يتم وصف الشجرة المنطقية في PSHA على أنها جميع الخطوات التي يوجد فيها شكوك لحساب تحليل المخاطر الزلزالية هي فروع منفصلة، ويتم إضافة كل فرع لكل خيار من الخيارات التي يعتبرها المحلل مجدداً، ويتم تعيين وزن معياري لعكس ثقة المحلل في اختيار النموذج الأكثر صحة أو أفضل تقدير. يتم بعد ذلك حساب الخطر باتباع جميع الفروع الممكنة. تُستخدم شجرة المنطق في PSHA لتقدير عدم اليقين المعرف. مزيج بسيط من النماذج (التوزيعات الاحتمالية). عوامل الترجيح على أساس آراء الخبراء أو النهج الخاصة.

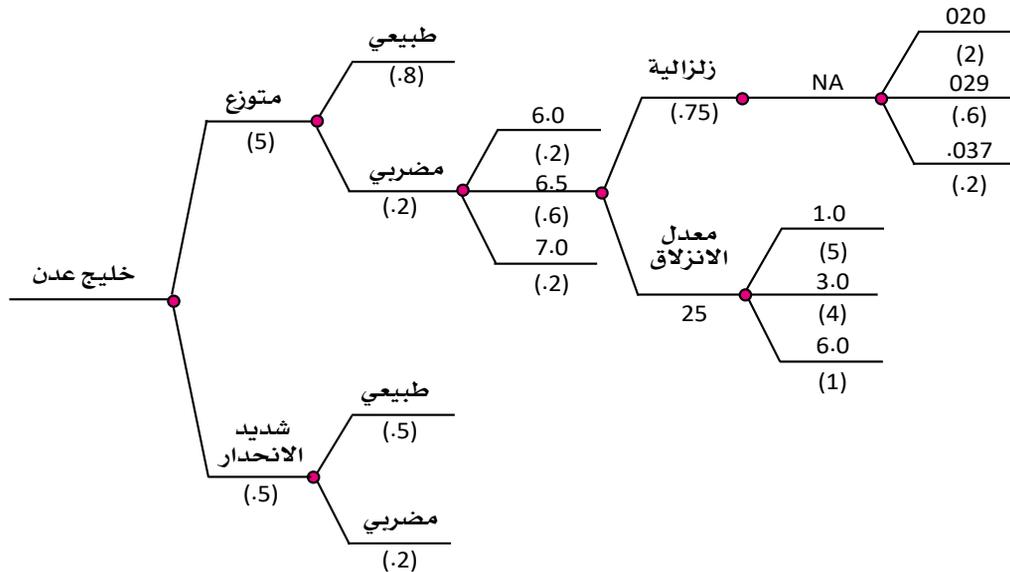
يتم اتباع حسابات المخاطر جميع الفروع الممكنة من خلال شجرة المنطق، كل تحليل ينتج منحني خطر واحد يوضح حركة الأرض مقابل التردد السنوي للتجاوز. يتم تحديد ترجيح كل منحني خطر بضرب الأوزان على طول جميع الفروع المكونة.

هناك نوعان من أوجه عدم اليقين المرتبطة بتحليل المخاطر. يرجع أحدهما إلى عشوائية طبيعة الزلازل والتنبؤ بالحركة الأرضية المسمى بعدم اليقين المتماثل، بينما يرجع الآخر إلى عدم المعرفة الكاملة بعملية الزلزال المسماة عدم اليقين المعرف. يمكن تقليل السابق بسهولة من خلال دمج توزيع حركة الأرض حول الوسيط، ويمكن تقييم الأخير باستخدام نهج الشجرة المنطقية.



تم وضع إطار الشجرة المنطقية لتقليل عدم اليقين المعرفي Epistemic Uncertainty في حساب قيمة الخطر النهائي. يرجع عدم اليقين المعرفي إلى المعرفة غير الصحيحة حول العملية التي تتطوي على أحداث الزلازل والخوارزميات المستخدمة لنمذجتها. بشكل عام، تكون نماذج التنبؤ بالحركة الأرضية أكثر تمثيلاً عندما لا تتوفر النماذج المناسبة الخاصة بالمنطقة لانتشار الموجات. يمكن فحص ذلك من خلال دمج شجرة المنطق في دراسة تحليل المخاطر مثل الشجرة المنطقية العقد المختلفة التي تحدد خيارات الإدخال البديلة، ويتم تعيين وزن لكل فرع يشير إلى درجة المعقولية الكمية أو النوعية المعينة. لتحديد مقدار عدم اليقين المعرفي، يجب مراعاة الفروع المختلفة لشجرة المنطق التي تستند إلى نماذج المصدر، وإضفاء الطابع الإقليمي على b -value، وتحديد حجم الاكتمال والحجم الأقصى وعدم اليقين المعرفي في GMPE باستخدام النهج المناسب التمثيلي.

منطقة المصدر	النموذج التكتوني	نوع الصدع	أكبر قدر زلزالي	النموذج التكراري	معدلات الانزلاق (ملم / سنة)	قيمة α	قيمة β
--------------	------------------	-----------	-----------------	------------------	-----------------------------	---------------	--------------



تحليل المصدر الزلزالي باستخدام الشجرة المنطقية لخليج عدن

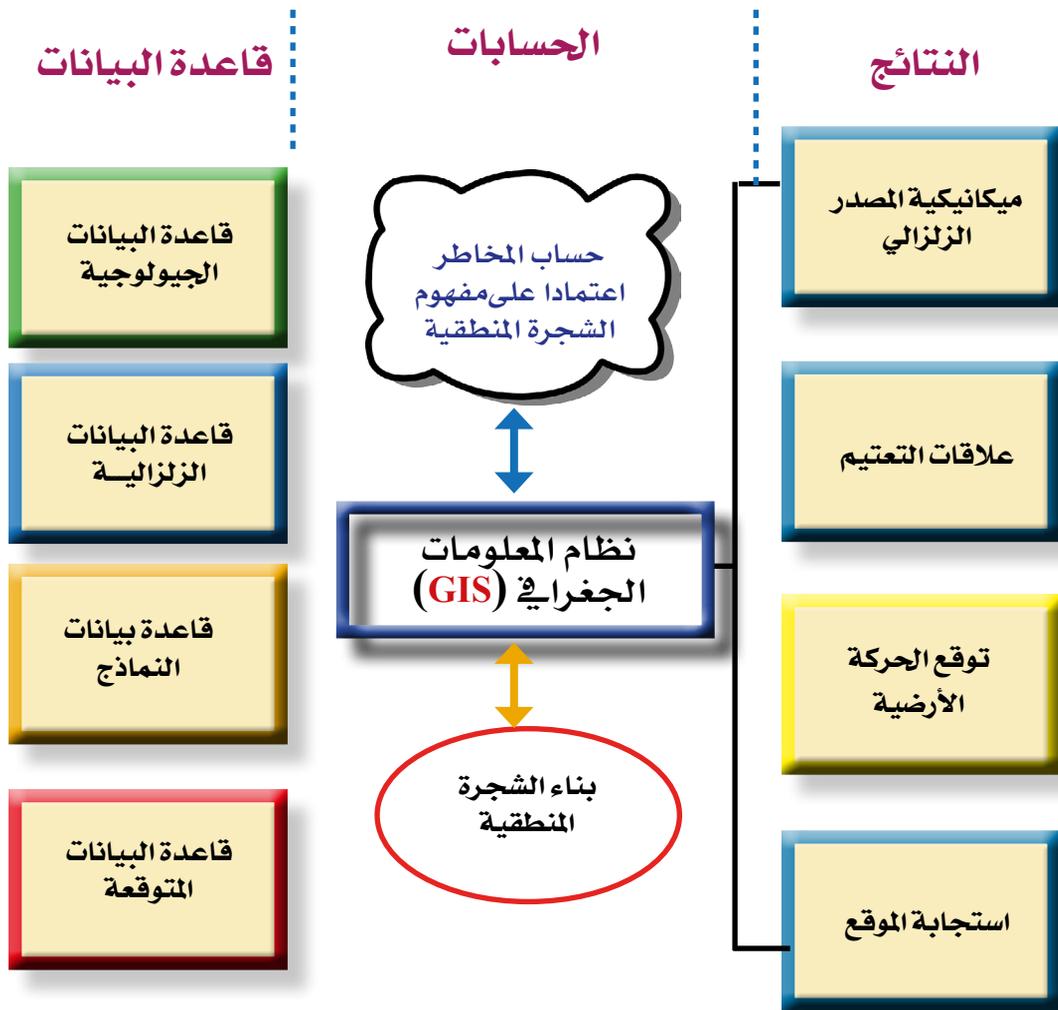


تم تقديم الأشجار المنطقية لأول مرة لتحليل المخاطر الزلزالية لأكثر من 20 عاماً (1984) وأصبحت أداة شائعة بشكل متزايد في تحليل المخاطر الزلزالية. غالباً ما يُنظر إليها على أنها أحدث أداة لقياس عدم اليقين المعرفي وإدراجه، وهو عدم اليقين المرتبط بنقص المعرفة (على سبيل المثال Reiter 1990, McGuire 2004). أصبح استخدام إطار الشجرة المنطقية تقريباً ممارسة قياسية في تحليل المخاطر الزلزالية الاحتمالية (PSHA) إلى الحد الذي يجعل من النادر جداً رؤية دراسة مخاطر منشورة أو PSHA خاص بالموقع لا يتضمن شجرة منطقية.

يتضمن إنشاء شجرة منطقية لـ PSHA اختيار نماذج بديلة أو نماذج Pa-Rameters لمدخلات مختلفة ثم تعيين أوزان للفروع المختلفة في كل عقدة لتعكس الثقة النسبية للمحلل في الخيارات. على الرغم من أنه يبدو صريحاً إلى الأمام، فإن هناك مشكلات مفاهيمية وعملية مرتبطة بهذه الخطوات. ضمن إطار عمل PSHA، يتم التعامل مع معامل الحركة الأرضية ذات الأهمية كمتغير عشوائي حيث يتم محاولة تحديد توزيع الاحتمالات، معبراً عنه عادةً على أنه تردد تجاوز (على سبيل المثال، منحني الخطر). من الناحية المفاهيمية، كما ذكرنا سابقاً، يحتوي هذا النموذج على مكونين: التوزيع المشترك بين الحجم والمسافة والاستخدام وإساءة استخدام الأشجار المنطقية كأداة للالتقاط وتحديد أوجه عدم اليقين المتعلقة بـ PSHA. التحليل عبارة عن فروع منفصلة، تتم إضافة كل فرع لكل خيار من الخيارات التي يعتبرها المحلل ممكناً، ويتم تعيين وزن معياري ليعكس اختيار المحلل للثقة للنموذج الصحيح أو أفضل تقدير. ثم يتم إجراء حساب الخطر باتباع جميع الفروع الممكنة.



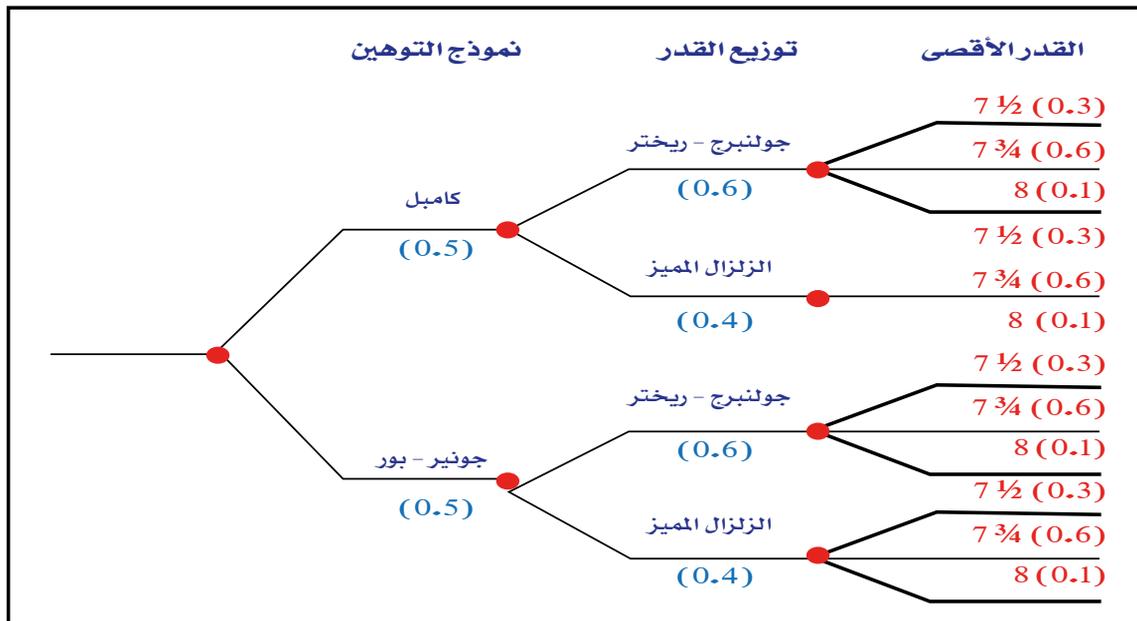
هيكل الشجرة المنطقية





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 هيكلًا ملائمًا لمعالجة واضحة لنموذج الشك.

وتسمح طريقة الشجرة المنطقية باستعمال النماذج البديلة، كل منها حدّد كمعامل وزن يفسر كاحتمال النسبي لذلك النموذج كي يكون صحيحاً. 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 طبقاتاً لنماذج (Boore et al, 1993) (CampBell and Bozrgnia, 1994) 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 $12 = 3 \times 2 \times 2$ فرعاً (عدد نماذج الوهن \times عدد توزيعات القدر \times عدد الأقدار القصوى) ويعطي الاحتمال النسبي للنماذج المجتمعة و / أو المعاملات المتضمنة بواسطة كل فرع طريف بواسطة حاصل الضرب للاحتمال النسبي للفرع الطريف وكل الفروع السابقة التي تؤدي إليه. وإذا يكون الاحتمال النسبي لمجموع نموذج كامبل للوهن، وتوزيع القدر لـ جوتنبرج - ريختر والقدر الأقصى لـ 7.5 هو $0.09 = 0.3 \times 0.6 \times 0.5$ ومجموع الاحتمالات النسبية للأفرع الطرفية أو لتلك عند أي مستوى سابق تساوي 1 . .



التصميم المقاوم للزلازل

دلت الدراسات والأبحاث أن المباني المصممة على أسس علمية باتباع متطلبات كود بناء جيد، والتي نفذت تحت إشراف هندسي، كان أداؤها جيداً في مقاومة الزلازل التي تعرضت لها إذا لم تتجاوز الشدة المحددة في التصميم، وأوضحت الدروس المستفادة في هذا المجال أن مستوى الدمار الذي حدث لمثل هذه المباني كان أقل بكثير لما حدث لمباني مشابهة لم يؤخذ في عين الاعتبار الأمان الزلزالي عند تصميمها.

وتجدر الإشارة إلى النقاط المهمة التالية :

- 1. أن التصميم المقاوم للزلازل** لا يعني بالضرورة إعطاء المبنى الحماية الكاملة من الدمار في حالة وقوع الزلازل الشديدة، فقد يظهر لاحقاً أن هناك نقاط ضعف يجب تعديلها؛ لذا نجد أنه عادة ما يتم تعديل الكود بناءً على دروس استفيدت من زلازل سابقة.
- 2. يشكل الإشراف الهندسي** الجيد ومراقبة الجودة عاملاً مهماً لإنشاء المباني المعرضة للزلازل، وذلك لضمان تنفيذ متطلبات الكود وخاصة فيما يتعلق بجودة المواد وتفصيلات تسليح العناصر الإنشائية، وقد أثبتت الدروس المستفادة في هذا المجال أن أداء المباني أثناء الزلازل مرتبط بجودة التنفيذ ومراقبة الجودة، كما أشارت التقارير الاستكشافية عن كثير من الزلازل السابقة مثل: زلزال وسط اليونان (1981م) وزلزال القاهرة (1992م) وزلزال خليج العقبة (1995م) بأن الدمار تركز في المباني التي لم يراعى عند تنفيذها



مراقبة الجودة والإشراف الهندسي. وهناك العديد من أمثلة المباني العالية في اليابان وكاليفورنيا التي أثبتت كفاءتها الزلزالية على الرغم من أنها لم تصمم على كود محدد للزلازل لكن نفذت تحت مراقبة جودة عالية لحديد التسليح والخرسانة، وتفصيل (Detailing) وتشبيك جيد لحديد التسليح.

3. ولقد استنتج من الدروس في هذا المجال أن المباني تكون ذات كفاءة مقبولة لمقاومة الزلازل، وخاصة المنخفضة إلى المتوسطة الارتفاع (دورين إلى أربعة أدوار) حتى ولو لم تصمم باتباع كود تصميم مقاوم للزلازل، إذا نفذت هذه المباني تحت مراقبة وإشراف هندسي جيد وأخذ في الاعتبار المعايير الهندسية التصميمية للخرسانة المسلحة بحيث تكون عناصر المنشأة ذات جودة مقبولة للخرسانة وتشبيك وترابط حديد التسليح وخاصة عند الوصلات (Joints)، أي أن هناك ترابط جيد مثلاً (Standard Hooks) لحديد الكمرات عند تقابلها للأعمدة أو الكمرات الخارجية.

يعتمد نجاح التصميم الهندسي المقاوم للزلازل على دقة تنفيذ تفاصيل التصميم والتأكد من تحقيق الحد الأدنى من المواصفات الموصى بها اعتماداً على نوع العنصر البنائي ونوع المادة الإنشائية المستخدمة. ينجم عن الاهتزازات الزلزالية قوى أفقية، وأخرى رأسية لكن 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



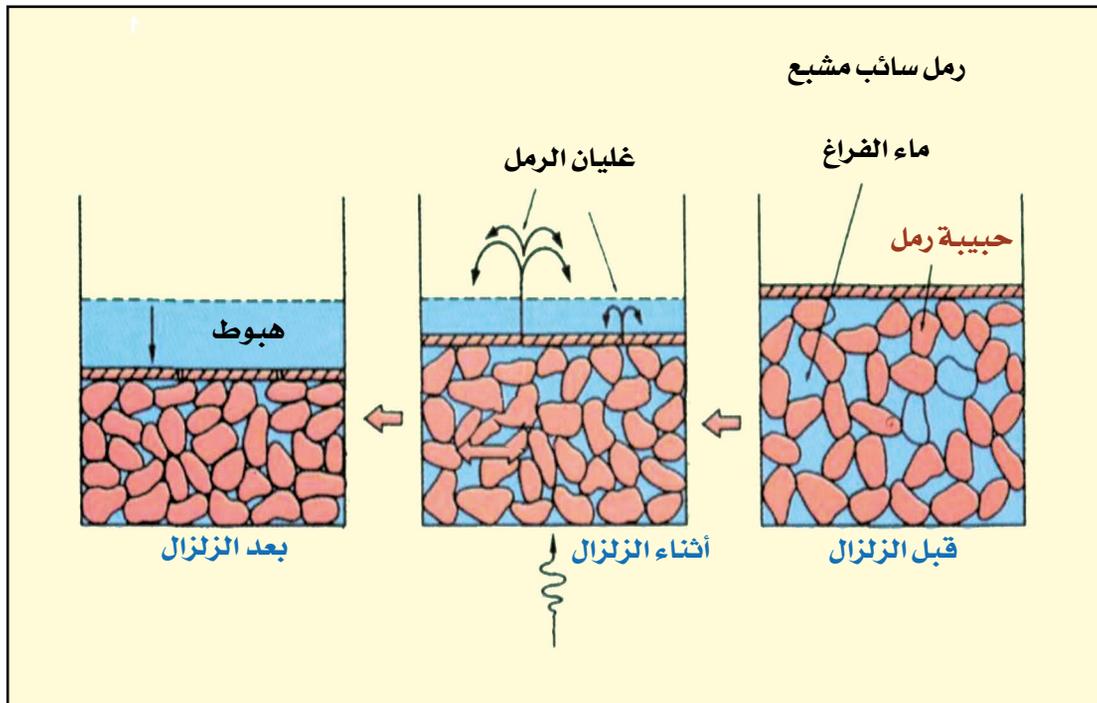


عن الهزة الزلزالية. لذلك فإن كافة قوانين تصميم البناء المقاوم للزلازل تتطلب أن يصمم المبنى بمواصفات معينة بحيث يمتلك قدرًا كافيًا من خاصية امتصاص الطاقة. تدعى هذه الخاصية بالمرونة Ductility ويمكن تعريفها بأنها قدرة الهيكل البنائي على امتصاص الطاقة الزلزالية من خلال التغيرات غير المرنة في العناصر الإنشائية دون أن تفقد هذه العناصر قدرتها على تحمل القوى التي تصل إليها لاحقاً.

يعرف التصميم المقاوم للزلازل بأنه التصميم الذي يكفل الحماية الكافية من الإصابات والخسائر في الأرواح وأقل ضرر بالمتلكات 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 بتميع التربة Liquefaction وحصول الانهيارات الأرضية.



ميكانيكية تمييع 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:

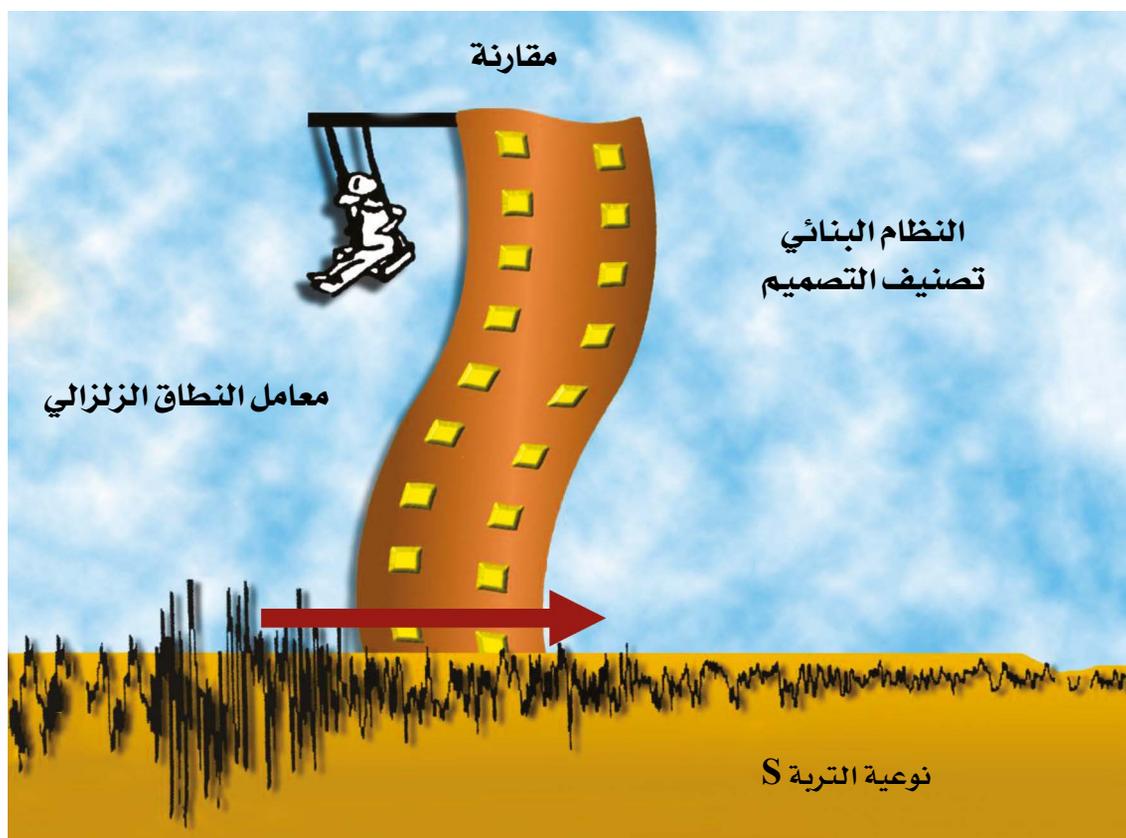
- **المعامل الزلزالي للمنطقة Z** ويدل على مستوى الشدة الزلزالية المتوقعة في المنطقة، ويتم تحديده من خلال دراسة مستوى الخطر الزلزالي.
- **معامل قابلية التربة لتضخيم الأحمال الزلزالية S.**
- **معامل الكفاءة الزلزالية R** للمبنى، ويعتمد على نوعية المبنى ومدى مطابقته لمواصفات التصميم المقاوم للزلازل.
- **فترة الذبذبة الطبيعية T** وتعتمد على الصلابة الأفقية للمبنى. وتعد 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.**

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

C_s معامل التصميم الزلزالي .

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

- **أن تقاوم** الزلازل الطفيفة دون أضرار .
- **أن تقاوم** الزلازل المتوسطة دون أضرار إنشائية لكن 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**. تعتبر بساطة المنشأ، وتمائل **مساقطه الأفقية** والرأسية (الجانبية) **عوامل إيجابية** في مقاومته **للهزات الأرضية**، وخصوصاً إذا رافق ذلك ما يلي:
- **عدم وجود نحافة في أبعاد المبنى**.
- **تناسق مقاطع عناصره الإنشائية وانتظامها**.
- **وجود تماثل في المقاومة، ونوعية المواد المستخدمة**.
- **وجود مقاومة وصلابة عالية وكافية لمقاومة عزوم الالتواء المحتملة**.
- **استمرار وتواصل عناصر المبنى الإنشائية في الاتجاهات الثلاثة، بدلاً من تقسيمها إلى قطع منفصلة**.
- **يجب أن ترتب الأجهزة الإنشائية المقاومة للزلازل بحيث يكون الالتواء Torsion أقل ما يمكن مع تجنب الأشكال المعقدة والتوزيع غير المنتظم 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 منشأة، وهذا **يتطلب** إعطاءها **أهمية خاصة** وتصميمها لمقاومة الزلازل. إن العديد من الانهيارات ناتجة عن مشكلات 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 تمييعها. وعلى ضوء ذلك لا بُدَّ 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 تمييع التربة Liquefaction فإنه يوصي بدمك التربة مع خفض منسوب المياه الجوفية وزيادة عمق التأسيس أو استخدام أساسات خازوقية.**

هناك عدد من الطرق المختلفة التي يمكن من خلالها تأمين أُسس مبنى مقاوم للزلازل بالأرض. تستخدم الأكوام بشكل شائع للحفر لأسفل في الأساس الصخري، مما يؤدي إلى تأمين المبنى خارج التربة السطحية اللينة. ما وراء الأكوام، تتضمن تقنيات الأساسات الأخرى المستخدمة لتثبيت المبنى أثناء الزلزال أو الإعصار التخميد والدعامات.



يأتي **التخميد** في مجموعة من الأشكال لكنه يصف بشكل أساسي عملية إزالة أكبر قدر ممكن من الطاقة. بمعنى آخر، يتم استخدام التخميد في الأساسات بحيث عندما يضرب الزلزال، بدلاً من الاهتزازات التي تضرب المبنى وجهاً لوجه، تعمل المخمدات Dampers على تقليل الاهتزازات قدر الإمكان. تُستخدم الدعامات Trusses أيضاً في أسس المباني المقاومة للزلازل بفضل قدرتها على توزيع وزن المبنى بالتساوي عبر الأساس وتقليل قوة اهتزازات الزلزال. تحظى الجمالونات أيضاً بشعبية كبيرة في المباني المقاومة للأعاصير لأن تصميمها الشبكي يضمن تماسك المبنى معاً حتى في ظل الطقس القاسي.

العناصر الإنشائية

- **يجب أن يكون** المسقط الأفقي **للمبنى** متماثلاً **قدر** الإمكان.
- **يجب أن يكون** المبنى مزوداً 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

وتشير الدروس المستفادة في هذا المجال إلى أن أسباب انهيار العناصر الإنشائية أثناء الزلازل هي:





- **قوى القص** في بعض المناطق الحرجة من المبنى.
- **وذلك لكون الزلازل** تؤثر على المباني بقوى أفقية وتشكل الانهيارات بسبب قوى القص أكثر نسبة في معظم الزلازل، ويتركز هذا النوع من الانهيارات في العناصر التي لا تحتوي على تسليح كافٍ لقوى القص (الكانات) وخاصة في الكمرات عند تقاطعها مع الأعمدة وفي الأعمدة القصيرة مثل رقاب الأعمدة ويوضح الشكلين التاليين بعض حالات الانهيارات التي كان سببها الرئيس قوى القص.
- **عدم الترابط الجيد** بين العناصر الإنشائية للمبنى.
- **وعادة ما يكون ذلك سبباً رئيساً** في انهيار المبنى أثناء تعرضه للزلازل حيث إن متطلبات المقاومة الزلزالية للمبنى مبنية على أساس انتقال القوى بين العناصر المختلفة للمبنى.

العناصر غير الإنشائية Nonstructural Elements

من متطلبات كود التصميم المقاوم للزلازل للمباني تحقيق الترابط الجيد للعناصر غير الإنشائية مع بعضها البعض ومع العناصر الإنشائية وعادة ما يسبب انهيار العناصر غير الإنشائية خطورة على سكان المبنى أو على المارة. ومن العناصر التي تتطلب ربطاً جيداً لحائط سترة السطح (Parapet). تشمل العناصر غير الإنشائية حوائط الطوب غير الحاملة والقواطع الداخلية ويجب أن تكون مربوطة بالأسقف والأرضيات، وأن تكون عناصر الحوائط المقاومة



للزلازل مسلحة. وتشمل كذلك حوائط البلك في المباني الخرسانية والكسوات الخارجية للمباني والأسقف المستعارة وخزائن الكتب والأواني في المنازل والمكتبات.

تستخدم الأقواس المتقاطعة Cross braces في جميع أنحاء المباني المقاومة للزلازل في جميع أنحاء العالم بفضل تصميمها المبسط وسهولة التركيب. تشبه الأقواس المتقاطعة الجمالونات باستثناء أنها مدمجة في الجدران والأرضيات لتوفير الصلابة اللازمة. توفر الدعامات المتقاطعة التوزيع الضروري للقوة لتمكين المبنى من التحرك بأمان مع الاهتزازات. ترسل الأقواس المتقاطعة أيضاً الاهتزازات إلى أسفل المبنى، مما يؤدي في كثير من الأحيان إلى تخفيف قوة الحركة. بدون الأقواس المتقاطعة، يكون للمباني فرصة كبيرة للانهيال على نفسها أو التعرض لأضرار هيكلية خطيرة.





صلابة (Stiffness) المبنى

الصلابة عكس المرونة (Flexibility) وهناك اختلاف كبير في الأداء الزلزالي للمبنى **المرن (Flexible)** عن المبنى غير المرن الصلب (Stiff) فالنوع الأول المرن يتعرض إلى قوى أقل من النوع الثاني أثناء الزلزال لكن يتعرض إلى قوى أقل من المبنى غير المرن ولكلتا الحالتين عيوبها ومحاسنها، فعندما تقل القوى الزلزالية المؤثرة على المبنى فإن هذا يحد من ضرر العناصر الإنشائية لكن زيادة الحركة الأفقية تؤثر بشكل كبير على العناصر غير الإنشائية وتؤدي إلى إزعاج وإرباك لساكني المبنى وعادة ما تكون المباني المعدنية أكثر مرونة من المباني الخرسانية المسلحة، والأخيرة أكثر مرونة من مباني البلك أو مباني الحوائط الخرسانية الحاملة.

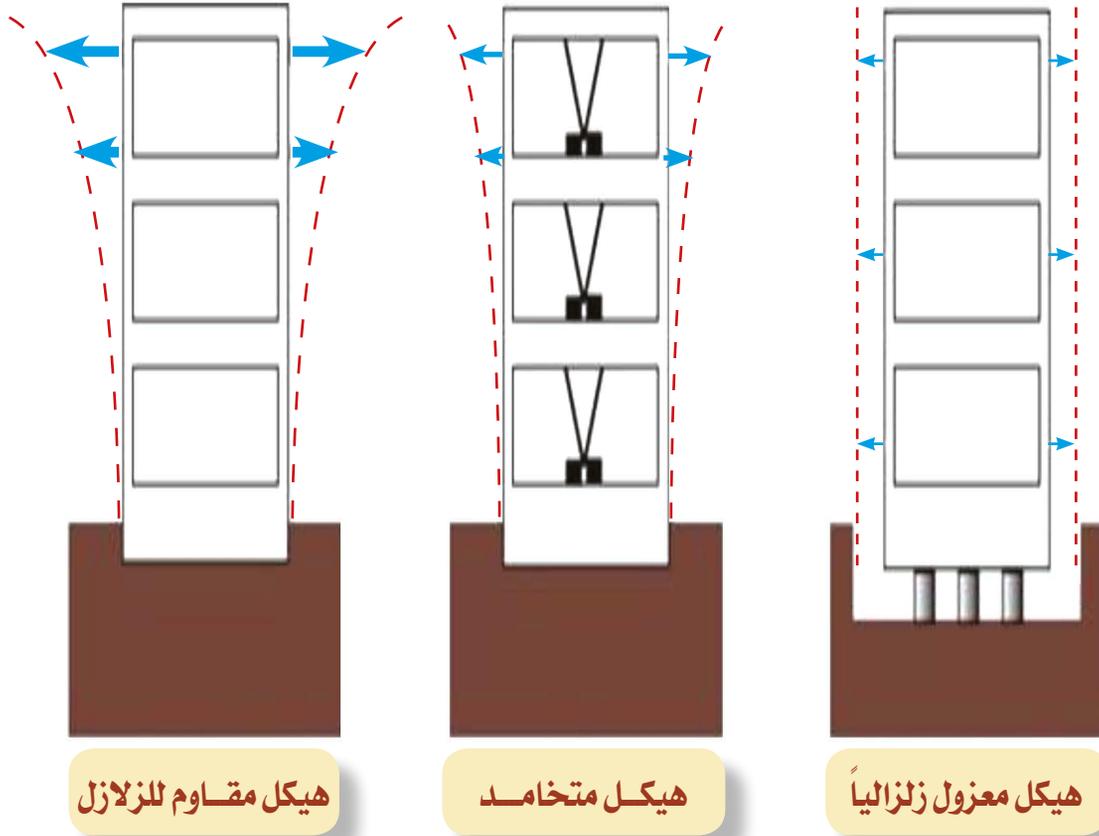




وعلى الرغم من أنه يصعب إعطاء إجابة حاسمة حول أي النوعين من المباني المرنة أو غير المرنة أكثر كفاءة في التفاعل الزلزالي فإن هناك إشارة من الدروس المستفادة في هذا المجال بأن المباني غير المرنة (Stiff) كان أداؤها أفضل نسبياً، لكن تجدر الإشارة إلى نقطة مهمة جداً وهي التأثير السلبي للعناصر الصلبة على العناصر الإنشائية في المبنى، وكذلك عدم انتظام صلابة (Stiffness) المبنى.

السمة الرئيسية للمباني المقاومة للزلازل هي انتظامها. يرتبط هذا ارتباطاً مباشراً بالصلابة الجانبية للمبنى. إذا كان للمبنى صلابة جانبية متساوية عبر مخطط الأرضية عندما يتأرجح من جانب إلى آخر في زلزال، فإن الطاقة ستكون قادرة على التبديد دون ممارسة ضغط كبير على منطقة واحدة. هذه هي الخطوة الأولى في بناء مبنى مقاوم للزلازل وبغض النظر عن الميزات الأخرى التي تضعها لن يكون المبنى آمناً بدون ذلك.

ومن أمثلة عدم انتظام صلابة المبنى كون الدور الأرضي بدون حوائط على خلاف بقية الأدوار، ففي هذه الحالة يصنف الدور الأرضي بأنه طابق رقيق (Soft Story)، وأحياناً يسبب ذلك زيادة ارتفاع الأعمدة في أحد الأدوار عن أعمدة الأدوار الأخرى، وتنتشر هذه الظاهرة بشكل كبير في المملكة في المباني التي تسمى تجارية، حيث تكون أعمدة الدور الأرضي أكثر ارتفاعاً من أعمدة الأدوار الأخرى، وقد أدى عدم انتظام صلابة المبنى وخاصة ما يصنف بـ (Soft Story) إلى أضرار بالغة في المباني التي تعرضت لزلزال سابقة.



عدم انتظام المبنى Geometric Irregularities

عدم انتظام المبنى هندسياً أو عدم انتظام توزيع الكتلة أو المقاومة الإنشائية للمبنى سواء أفقيًا أو رأسيًا له تأثير سلبي كبير على الكفاءة الزلزالية للمبنى، وتركز مبادئ التصميم الزلزالي على المهندس تطبيق معايير هندسية أكثر شدة للأخذ في الاعتبار التأثير السلبي لعدم انتظام المبنى كان عاملاً أساسياً لكثير من الانهيارات التي حدثت للمباني بسبب زلازل سابقة.



ضعف مقاومة المبنى للقوى الجانبية Lateral Punding

ويكون ذلك بسبب تعرض المبنى لزلازل سابقة حيث تبع الزلزال عادة ما يسمى بالزلازل اللاحقة (الروادف أو التوابع) وهذه قد تؤدي إلى انهيار كامل لبعض المباني التي لم تتهار أثناء الزلزال الرئيس لكنها عرضت لأضرار إنشائية بالغة أدت إلى ضعف مقاومتها الزلزالية.

قصر المسافة الفاصلة بين المباني Building Too Close

مما يؤدي إلى تصادم المباني أثناء حركتها خلال الزلازل، وبالتالي يؤثر على الآخر بقوى تصادم عنيفة تؤدي إلى حدوث أضرار فيه حتى ولو كان له القدرة على مقاومة الزلازل.

العناصر والوصلات Elements and Connections

يعتمد المبدأ الأساسي للتصميم المقاوم للزلازل على الترابط الجيد بين عناصر المبنى وقدرة هذه العناصر على الحركة والمقاومة، فالتصميم الجيد يعطي المبنى حرية مدروسة أثناء الزلازل من خلال الوصلات المناسبة وعناصر تستطيع الاحتفاظ بمعظم قواها، حتى وأن دفعت القوى الخارجية هذه العناصر إلى مرحلة تحميل ما بعد المرونة (Inelastic Loading) وتبرز هنا خاصية مهمّة للعناصر الإنشائية لمقاومتها للزلازل وهي ما يسمى بالمطولية (Ductility) وهي القدرة على مقاومة أو امتصاص القوى.





المواد Materials

تؤكد **الدروس** المستفادة من الزلازل السابقة على أن هناك فروقات واضحة سواء في نوع الدمار أو مدى الدمار الذي حدث للمواد الإنشائية المختلفة بسبب الزلازل . ويمكن التعميم على أن العناصر الإنشائية المصنوعة من مواد ذات ممتطولية (Ductility) عالية مثل الحديد أو الخشب أو العناصر الخرسانية المسلحة بطريقة جيدة أثبتت كفاءتها لمقاومة الزلازل بشرط أن تكون هذه العناصر مترابطة مع بعضها البعض ترابطاً جيداً وذلك على عكس المواد سريعة الكسر (Brittle) مثل مبانى اللين أو الطوب أو البلك غير المسلح التي ثبت سوء أدائها الزلزالي وضعف مقاومتها للقوى الجاذبية. عموماً أن أكثر دمار حدث في أي زلزال سابق كان في المباني المصنوعة من الطوب أو اللين أو البلك غير المسلح. يعتبر الطوب -على وجه الخصوص- شديد التأثير بذبذبات الزلزال. المواد المستخدمة غالباً في المباني المقاومة للزلازل هي:

الحديد الصلب - خشب الخيزران - **خرسانة مسلحة**. تم استخدام الفولاذ الإنشائي لسنوات في المباني المقاومة للزلازل. هذا لأنه قادر على تحمل كميات هائلة من الإجهاد والحركة، وهو أمر ضروري لمبنى لتحمل الزلزال أو الإعصار. يُعرف الفولاذ الإنشائي بمرونته وقدرته على الخضوع لتشوه كبير قبل التمزق، وبالتالي فهو شائع للغاية في ناطحات السحاب والمباني المقاومة للزلازل، مما يسمح لها بالتحرك مع الاهتزازات. كما أن الخشب والخيزران مطيعان للغاية ويستخدمان بشكل شائع في الهياكل الأصغر والمنخفضة مثل المنازل والسقائف والمباني المدنية الصغيرة.





الخرسانة المسلحة هي **الخرسانة** مع قضبان **حديد التسليح**. هذا يحول مادة منخفضة الدكتايل، الخرسانة، إلى مادة مطيلة أعلى. في حين أنه من الشائع الآن أن تتضمن كل صب الخرسانة تقريباً استخدام حديد التسليح، إلا أنه لم يكن دائماً هو الطريق. يتم استخدام الخرسانة المسلحة جنباً إلى جنب مع الفولاذ الهيكلي لإنشاء مبانٍ مقاومة للزلازل والأعاصير. بدون حديد التسليح تكون الخرسانة عرضة للتشقق والفتل الهيكلي في المباني التي تتعرض للضغط من الرياح العاتية أو الاهتزازات الأرضية.

مشكلات التربة Geotechnical Problems

أن الزلازل حين حدوثها تسبب قوى تعادل مئات أو آلاف الأطنان تتطلق بصورة فجائية من قشرة الأرض نتيجة لتراكم الضغوط عليها في بقعة ما وينقسم تأثير الإنسان بهذه الطاقة المنطلقة إلى نوعين مباشرة وغير مباشرة، فالشكل المباشر يعني ببساطة انهيار التربة عليه وطمره بها إذا كان قُرب مرتفع ترابي رخو وشديد الانحدار أو غوصه داخل الأرض في حالة تمييع التربة تحت قدميه أو انهيار الصخور أو انفجار السدود الترابية وخلافه. ويعتبر انهيار الصخور أو انفجار السدود الترابية خسائر فادحة أثناء الهزات الأرضية الكبيرة، فانهيار حواف الأودية التي تتحدر بشكل سريع محدثة ما يسمى بالجرف قد يؤدي إلى انجراف وطمر المساكن التي بنيت فوقها أو تلك التي أسفل منها.



التأثير المباشر للزلازل

1. 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.
2. الانزلاقات والتشققات الأرضية تعتبر أحد الأسباب الرئيسية المباشرة لدمار المباني والمنشآت والطرق والسكك الحديدية وخلافها.
3. تمييع 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 غير المتماسك والرمل المخلوط بالطمي، وتحدث ظاهرة التمييع عندما تكون التربة القابلة للتمييع مشبعة بالماء.

التأثير غير المباشر للزلازل

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 أقل حدوثاً وإن كان بعض المختصين يؤكد أن الحركتين متلازمتان الحدوث لكن كل بمقدار معين ومختلف عن الآخر على كل حال حدث أن سجلت حركات شديدة عمودية وأفقية في الهزة الواحدة لكن في حدود النسب المتوقعة لكل منها وعادة ما يكون الاثنان شديدي القوة كما أن المشكلات الناتجة عن الحركات العمودية تعتمد أكثر



على قواها الذاتية (Absolute Value) وقابلية تضخيم المنشأة والترربة لها (Structural Amplification) أكثر من علاقتها بالحركات الأفقية ومقدار تسارعها والتسارع العمودي وهو مستقل عن الحركات الأفقية - يتكاتف في بعض الأحيان مع التحميل العمودي فينتج عنه أضرار بليغة أو حتى الانهيار الكامل.

ونظراً لعدم توفر معلومات كافية عن هذين النوعين من الحركات الأرضية ومقدار تسارعهما في كل مناطق النشاط الزلزالي لذا فإننا نجد أن كثيراً 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.

وعموماً يمكن 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.



العوامل التي تحدد الأضرار الهيكلية للزلازل

قوة الاهتزاز

- **يحدد حجم الزلزال** مستوى الأضرار التي لحقت بالمباني في مناطق الزلزال. إذا كان تكرار الاهتزاز قريباً من التردد الطبيعي المحسوب للمبنى، فقد يحدث صدى مما يؤدي إلى أضرار هيكلية خطيرة.

قُرب المبنى من مصدر الزلزال

- **كما ذكرنا سابقاً**، يعتمد مستوى أضرار الزلزال على المبنى على قُربه من مصدر الزلزال. على سبيل المثال، ينتج عن زلزال بقوة 7 درجات اهتزازاً شديداً، ويكون هذا الاهتزاز شديداً بالنسبة للمباني الأقرب إلى مصدر الزلزال لكنه يصبح نصف قوته على مسافة 8 أميال.

نوع المبنى في منطقة الزلزال

مبانٍ قديمة منخفضة قد تحتوي على طوابق ناعمة ومبنى شاهق حديث. أيهما أكثر أماناً؟ يعتبر المبنى الشاهق في المثال أكثر أماناً ليس بسبب التكنولوجيا المتقدمة لكن بسبب التصميم الهندسي المتضمن في بناء كلا الهيكلين.

المباني غير المنتظمة ذات الطوابق الناعمة لديها فرصة كبيرة للانهيال في حالة حدوث زلزال. على سبيل المثال، المبنى الذي يحتوي على أعمدة قصيرة للغاية سيكون له المزيد من الأحمال عليه وسيكون توزيع الأحمال معقداً للغاية، مما يؤدي إلى فشل المبنى.





إن بقاء المبنى أثناء الزلزال يعتمد على قوة الاهتزاز الناتج عن الزلزال. تتأثر المباني منخفضة الارتفاع بشكل أكبر بالموجات القصيرة والمتكررة (عالية التردد) الناتجة عن حركة الزلازل من جانب إلى جانب. إن المبنى منخفض الارتفاع لديه فرصة كبيرة للانهييار في حالة حدوث زلزال عالي التردد. في حين أن المباني الشاهقة ستعاني من أضرار هيكلية، فإن الاهتزاز الناتج عن الزلزال هو فترة طويلة من الاهتزاز البطيء. إعادة رسم المحيط المستخدم سابقاً للمباني منخفضة الارتفاع، لكن هذه المرة، مع بطانة المحيط. قد لا تتأثر بطانة المحيط بشكل كبير بالموجات القصيرة. ومع ذلك، فإن الانتفاخ الكبير سيؤثر بشكل كبير على السفينة وقد يتسبب في انقلابها. الأمر نفسه ينطبق على المباني الشاهقة، حيث سيؤدي الاهتزاز البطيء المستمر إلى إحداث أضرار جسيمة لمبنى شاهق.

إن تصميم أي مبنى مرتفع أو منخفض الارتفاع، سيحدد إلى حد كبير بقائه أثناء الزلزال. تم تصميم الأبراج الشاهقة الحديثة، في المناطق منخفضة الزلازل، لتحمل الأحمال الجانبية، وخاصة قوى الرياح التي قد تكون أعلى بكثير من تلك الناتجة عن الزلازل. في مناطق الزلازل، تم تصميم المباني الشاهقة للحركة الزلزالية في المنطقة. وبالمثل، فإن المباني منخفضة الارتفاع في المناطق الزلزالية مصممة أيضاً لمقاومة أحمال الزلازل. لكن بسبب ارتفاعها، وقرب مركز جاذبيتها من الاهتزازات، فإن المباني منخفضة الارتفاع في مناطق الزلازل قد لا تتجو.



تأثيرات الزلازل على المباني

تستخدم القياسات الزلزالية لحساب القوى التي تفرضها الزلازل على المباني. اهتزاز الأرض (الدفع للخلف وللأمام، بشكل جانبي، لأعلى ولأسفل) يولد قوى داخلية داخل المباني تسمى القوة بالقصور الذاتي ($F_{Inertial}$)، التي بدورها تسبب معظم الأضرار الزلزالية.

قوة القصور الذاتي = التسارع × الكتلة

كلما زادت الكتلة (وزن المبنى)، زادت قوى القصور الذاتي الداخلية المتولدة. عادةً ما يكون البناء خفيف الوزن مع كتلة أقل ميزة في التصميم الزلزالي. تولد الكتلة الأكبر قوى جانبية أكبر، وبالتالي تزيد من إمكانية إزاحة الأعمدة، خارج السداة، و / أو الالتواء تحت الحمل الرأسي (P delta Effect).

تولد الزلازل موجات قد تكون بطيئة وطويلة أو قصيرة ومفاجئة. طول الدورة الكاملة بالثواني هو فترة الموجة وهو معكوس التردد. جميع الأشياء، بما في ذلك المباني، لها فترة طبيعية أو أساسية تهتز فيها إذا تعرضت لصدمة.

الفترة الطبيعية هي الاعتبار الأساسي للتصميم الزلزالي، على الرغم من أن الجوانب الأخرى لتصميم المبنى قد تسهم أيضاً بدرجة أقل في تدايير التخفيف. إذا تزامنت فترة موجة الصدمة والفترة الطبيعية للمبنى، فإن المبنى سوف «يتردد صدى» و سيزداد اهتزازة أو «يتضخم» عدة مرات.





الارتفاع هو المحدد الرئيسي للفترة الأساسية - لكل كائن فترة أساسية خاصة به يهتز فيها. الفترة تتناسب مع ارتفاع المبنى

الترتبة أيضاً لها فترة تتراوح بين 0.4 و 1.5 ثانية، التربة الرخوة جداً تبلغ 2.0 ثانية. تميل التربة الرخوة عموماً إلى زيادة الاهتزاز بمقدار 2 إلى 6 مرات مقارنة بالصخور. أيضاً، يمكن أن تؤدي فترة التربة التي تتزامن مع الفترة الطبيعية للمبنى إلى تضخيم تسارع المبنى بشكل كبير، وبالتالي فهي أحد اعتبارات التصميم.



النمط الاول

النمط الثاني

النمط الثالث

ستخضع المباني الشاهقة لعدة أنماط من الاهتزاز، لكن للأغراض الزلزالية (باستثناء المباني الشاهقة جداً)، تكون الفترة الأساسية، أو الوضع الأول عادةً هي الأكثر أهمية.





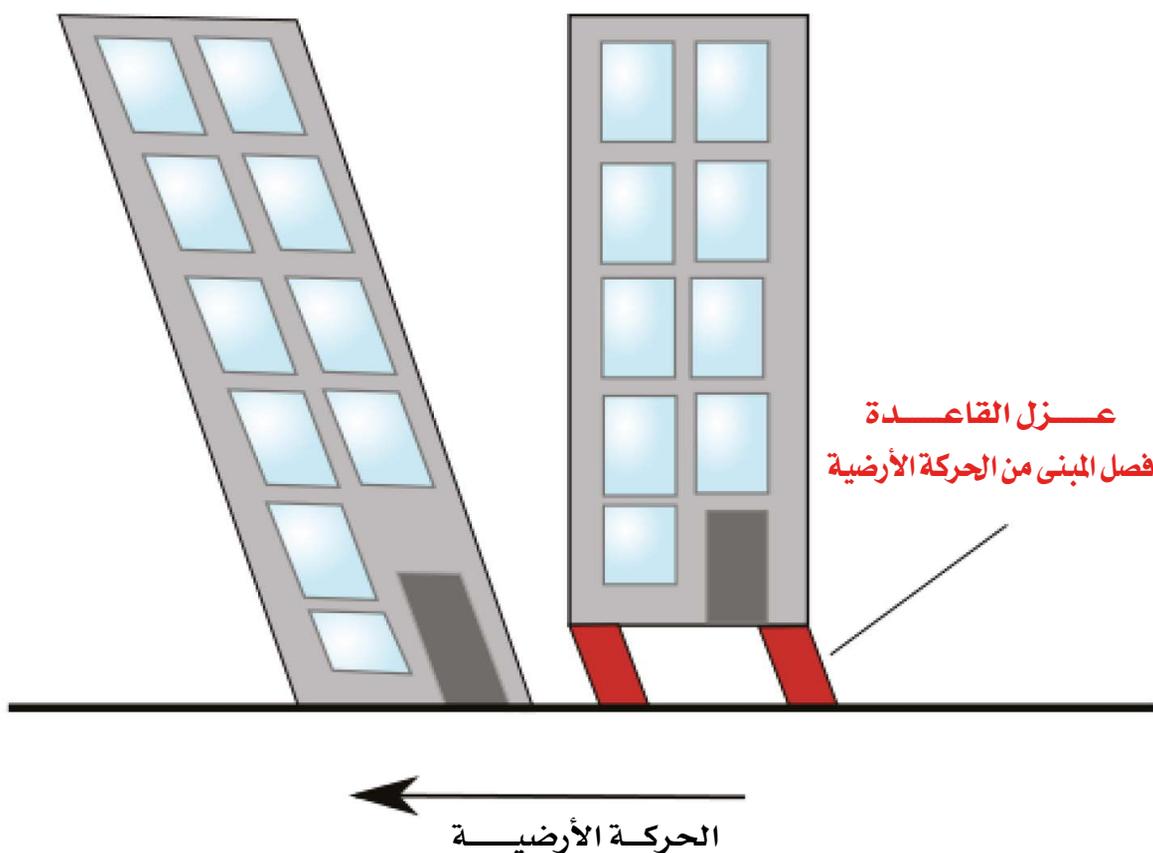
التعديل التحديثي الزلزالي Seismic Retrofitting

يعد التعديل التحديثي الزلزالي للبنى المعرضة للخطر أمراً بالغ الأهمية لتقليل المخاطر. بشكل عام، يمكن للمجتمعات ذات الهياكل الأكثر تحديثاً التعافي من الزلازل بسرعة أكبر. إذا كنت تعيش أو تعمل في مبانٍ مُعدلة تحديثاً، فمن غير المرجح أن تُصاب أثناء الزلزال. الشركات التي تستخدم المباني المعدلة من المرجح أن تتجو من الزلازل المدمرة، وأن تحافظ على انقطاعات الأعمال الأقصر وخسائر أقل في المخزون. يجب أن يتضمن التعديل التحديثي الزلزالي للمبنى أيضاً خطوات لحماية المكونات غير الهيكلية بشكل أفضل (الأسقف المعلقة والجدران غير الحاملة وأنظمة المرافق) ومحتويات المبنى **(الأثاث والإمدادات والمخزون والمعدات)**.



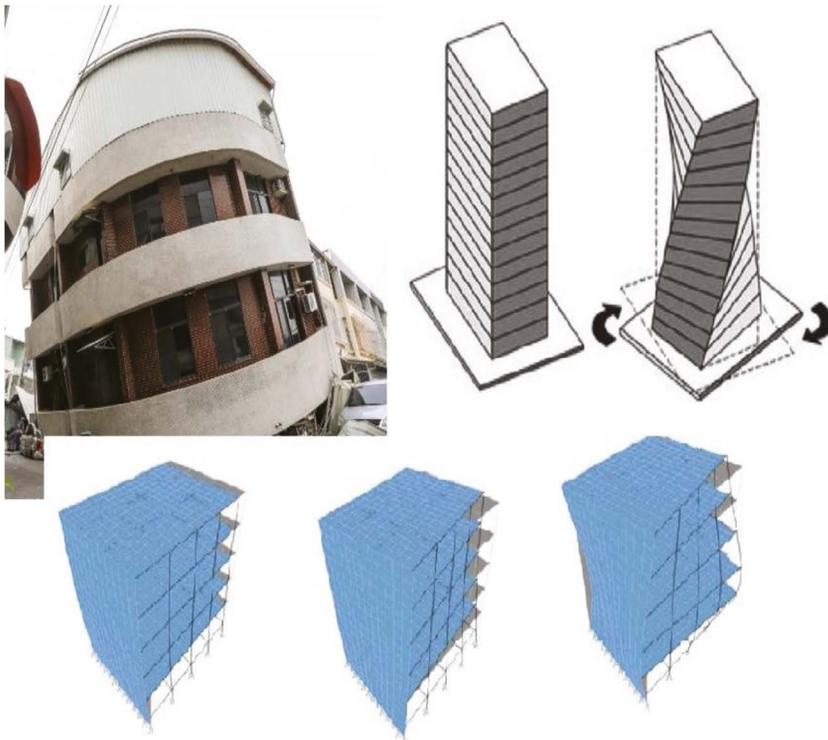


تشعر المباني الشاهقة بآثار الزلازل أكثر بكثير من المباني القصيرة حيث تتضخم الاهتزازات فوق ارتفاعها. لذلك توصل المهندسون إلى العديد من الحيل الذكية لمحاولة حماية ناطحات السحاب من الزلازل. يمكن استخدام عزل القاعدة، بحيث لا تجلس المباني مباشرة على الأرض، وبالتالي يتم فصلها عن حركة الأرض. وبدلاً من ذلك، توجد المباني فوق أنظمة المحامل الكروية أو النوابض التي تعمل كمتص للصدمات. تحاول الأنظمة الأخرى موازنة التآرجح في قاعدة المباني الشاهقة عن طريق وضع كتلة تتأرجح بحرية في الأعلى، مثل بندول عملاق.





التواء المباني من العوامل المسببة لأضرار جسيمة أثناء الزلازل. يحدث هذا بشكل شائع في المباني بسبب عدم انتظام الصلابة في التخطيط وارتفاع المباني، وعدم انتظام الكتلة في مخطط وارتفاعات المباني. لذلك، عند حدوث زلزال، ستسبب القوى الزلزالية حركة أكبر في جانب المبنى حيث تكون كتلة الأرضية أكبر أو لا يتم توزيع الأعضاء الرأسية بنفس التركيز مقارنة بالجانب الآخر. يحدث عدم انتظام في الصلابة في المخطط بسبب استخدام أعمدة ذات أحجام مختلفة، أو وجود جدار إنشائي على جانب واحد من المباني، أو وجود درج أو لب مصعد في أحد أركان المباني.



نماذج لبعض المباني الملتوية



كيفية تقليل آثار الزلازل على المباني

يتم استخدام **تقنيتين أساسيتين** لحماية المباني من آثار الزلازل المدمرة تقنية **عزل القاعدة** Base Isolation وتقنية **المخمدمات الزلزالية** Seismic Dampers.

عزل القاعدة

عبارة عن فصل (**عزل**) المبنى عن الأرض بطريقة لا تنتقل فيها **حركات الزلازل** عبر المبنى، أو على الأقل تقلص بشكل كبير. أما **المخمدمات الزلزالية** عبارة عن أجهزة خاصة يتم إدخالها في المبنى لامتصاص الطاقة التي توفرها حركة الأرض للمبنى.

عزل القاعدة يتم شرح مفهوم **عزل القاعدة** من خلال مثال بناء يرتكز على بكرات غير احتكاكية (الشكل A 1). عندما تهتز الأرض، تتدحرج البكرات بحرية، لكن المبنى أعلاه لا يتحرك. وبالتالي، لا يتم نقل أي قوة إلى المبنى بسبب اهتزاز الأرض؛ ببساطة، المبنى لا يتعرض للزلازل الآن، إذا تم وضع نفس المبنى على منصات مرنة توفر مقاومة ضد الحركات الجانبية (الشكل B 1)، فسيتم نقل بعض تأثير اهتزاز الأرض إلى المبنى أعلاه.

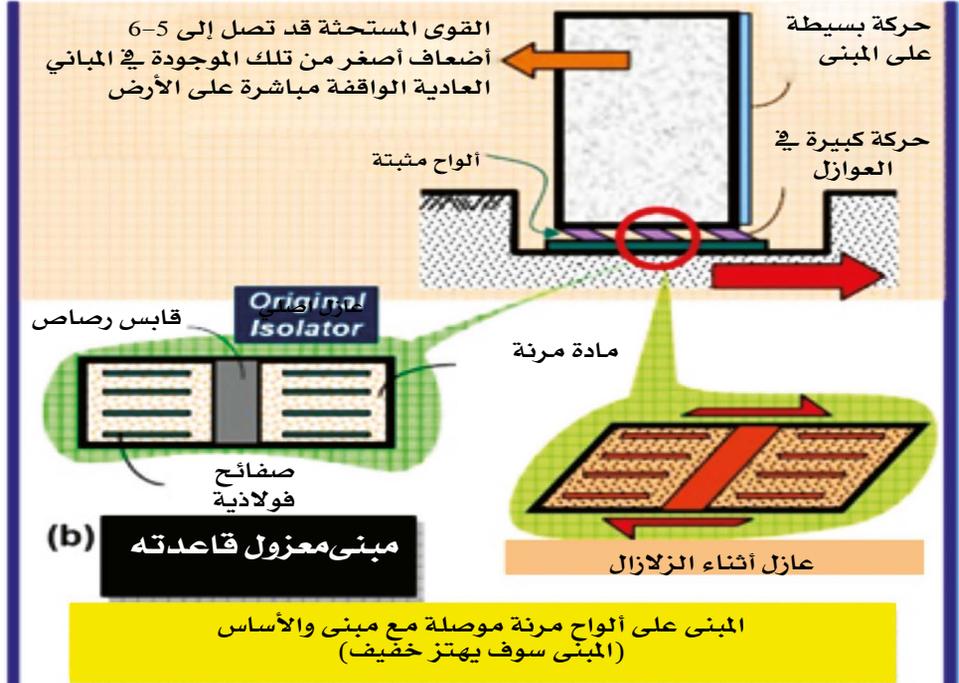
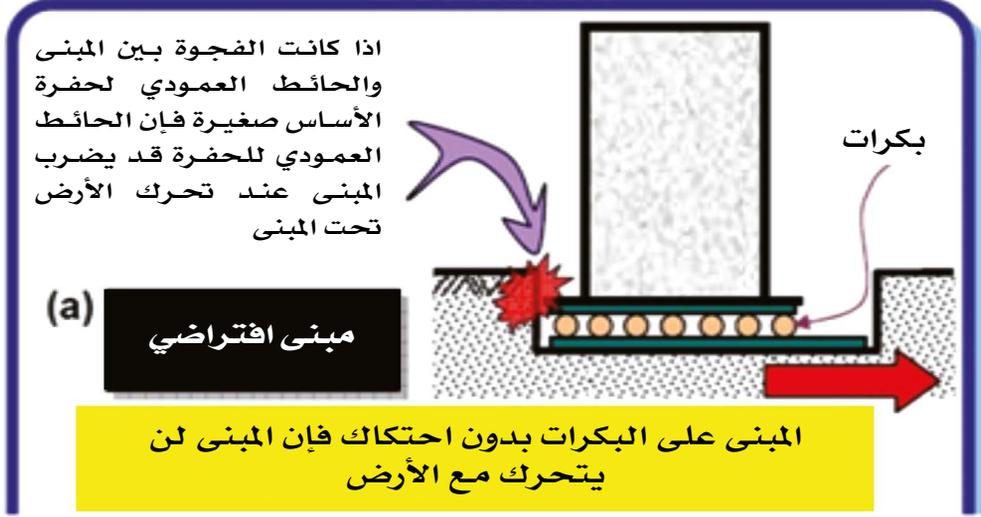
إذا تم اختيار **الوسادات المرنة** بشكل صحيح، يمكن أن تكون **القوى الناتجة** عن اهتزاز الأرض أصغر بضع مرات من تلك التي يعاني منها المبنى المبني مباشرة على الأرض، أي مبنى **قاعدة ثابتة** (الشكل C 1).

عزل القاعدة غير مناسب لجميع المباني. أكثر المباني ملاءمة **للعزل الأساسي** هي المباني المنخفضة إلى المتوسطة الارتفاع المرتكزة على تربة صلبة تحتها؛ المباني الشاهقة أو المباني المرتكزة على تربة ناعمة ليست مناسبة لعزل القاعدة.



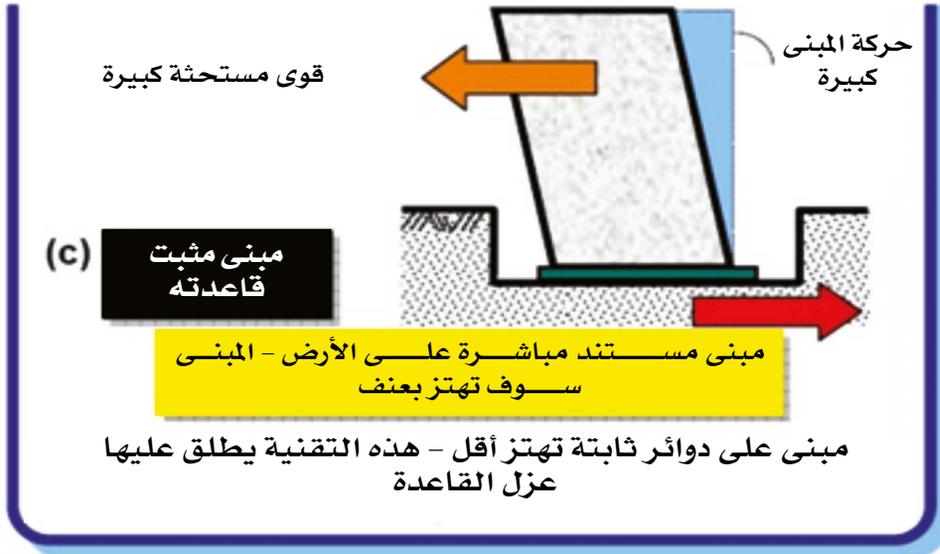


كيف نقلل تأثير الزلازل على المباني





كيف نقلل تأثير الزلازل على المباني

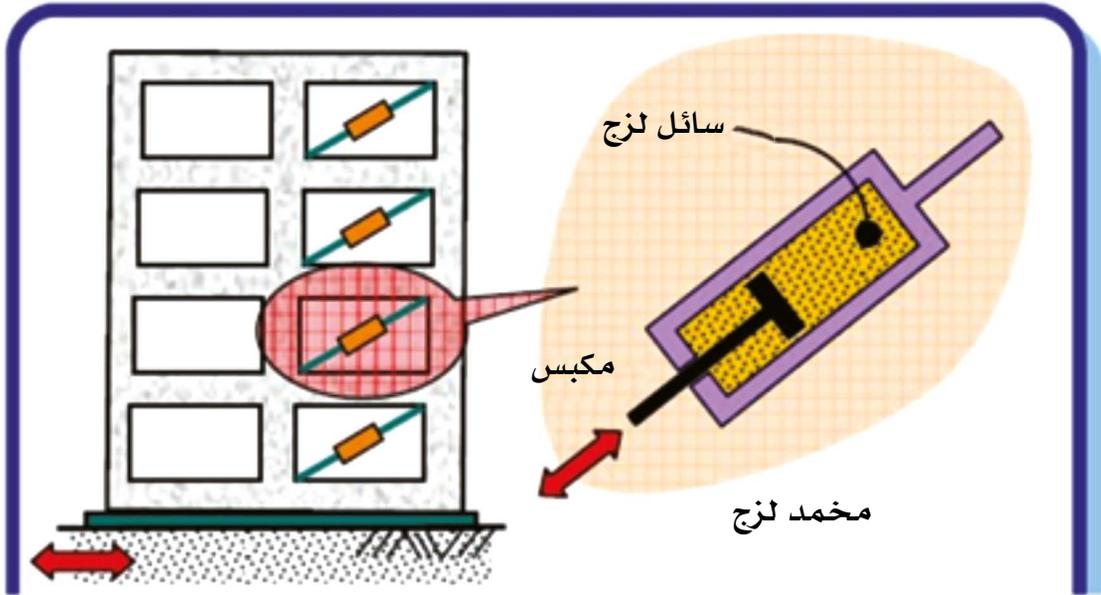


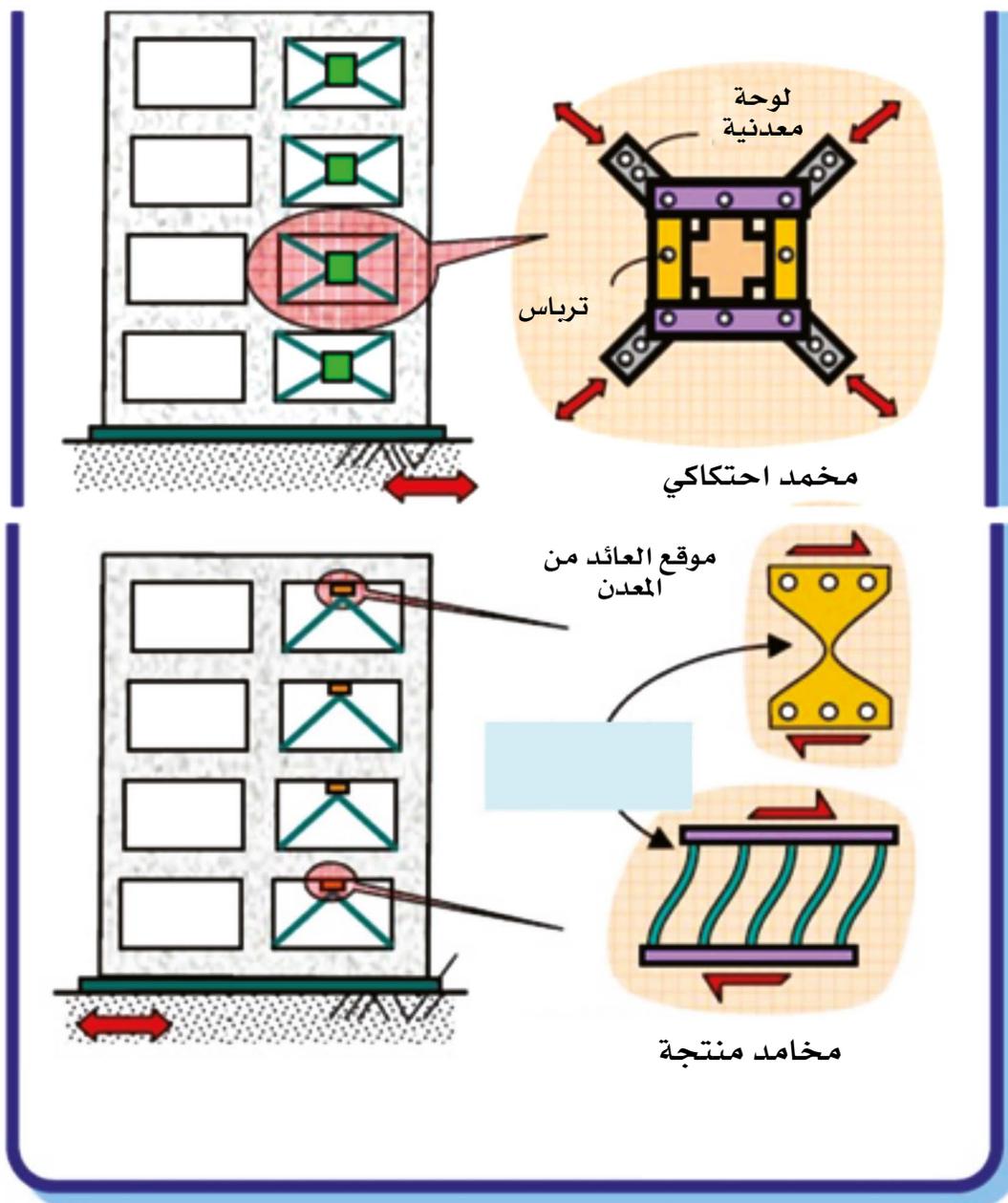


المخمدات الزلزالية

هناك طريقة أخرى للتحكم في الأضرار الزلزالية في المباني وتحسين أدائها الزلزالي وهي تركيب مخمدات زلزالية بدلاً من العناصر الهيكلية، مثل الأقواس المائلة. عندما تنتقل الطاقة الزلزالية من خلالها، تمتص المخمدات جزءاً منها، وبالتالي تضعف حركة المبنى. لم يتم استخدامها إلا منذ التسعينيات لحماية المباني من آثار الزلزال. تشتمل أنواع المخمدات الزلزالية الشائعة الاستخدام على المخمدات اللزجة (يتم امتصاص الطاقة عن طريق مائع أساسه السيليكون يمر بين ترتيب أسطوانة المكبس)، ومخمدات الاحتكاك (يتم امتصاص الطاقة عن طريق الأسطح مع احتكاكها ببعضها البعض)، وتنتج مخمدات (الطاقة هي تمتصه المكونات المعدنية التي تنتج) (الشكل 3).

كيف تقلل تأثير الزلازل على المباني







خطوات أساسية لحماية منزلك من الزلزال

إجراء فحص للمنزل تتمثل **المسؤولية الأساسية** لكل صاحب منزل في تعيين مهندس محترف لفحص المبنى وتحديد العيوب / نقاط الضعف في الهيكل والحلول المطلوبة لتصحيحها .

قم بتعديل منزلك Retrofit وفقاً لمتطلبات كود البناء

إذا تم بناء منزلك قبل عام 2000، فقد تحتاج إلى تعديل هيكل المبنى لزيادة مقاومته للزلازل إلى أقصى حد . قبل تطبيق كود الزلازل المتطورة اليوم، تم بناء المنازل بشكل أساسي لمقاومة الأحمال الرأسية، أي وزن المنزل والمحتويات الداخلية. في حالة حدوث زلزال، تتحرك الأرض في اتجاه خطي، وتضع أحمالاً جانبية على المنزل. المنازل القديمة غير المقاومة للتعامل مع الأحمال الجانبية تتفكك تحت الوزن المتغير، وتنزلق من الأساس وعوارض الدعم.

هناك ثلاث طرق أساسية لتعزيز المنزل القديم:

تثبيت الطين على الأساس وذلك لمنع المنزل من الانزلاق.

دعائم الجدران المقعرة في التعديل التحديثي، يتم عزل الجدران المعطلة وتدعيمها بألواح قص هيكلية عمودية من الخشب الرقائقي تدعم المنزل في الاتجاه من الجانب إلى الجانب.

قم بتثبيت روابط نقل القص أو مقاطع الإطارات لمزيد من السلامة الهيكلية، يتم تثبيت روابط نقل القص أو مقاطع تأطير بين الجدران المعطلة والطابق الأول لتعزيز الاتصال.





استعد للجدران الضعيفة بالخشب الرقائقي

الجدران المقعرة عبارة عن جدران خشبية مثبتة على الأساس الخارجي. تحمل هذه الجدران وزن المنزل فوقها، وتخلق مساحة للزحف. تعمل كمتص للصدمات وتقلل من خطر الانهيار أثناء الزلزال. يوفر دعم الجدران المقعرة بالخشب الرقائقي مقاومة أكبر للزلازل ويمنع التآرجح والانهيار من جانب إلى آخر أثناء الزلزال.

تجنب جدران البناء غير المسلحة

البناء غير المدعم هو نوع من المباني حيث تصنع الجدران الحاملة والجدران غير الحاملة من كتل طينية أو طوب أو بلاط طيني مجوف أو مواد بناء أخرى. هذه المباني معرضة للخطر أثناء وقوع الزلزال، ويمكن أن تنهار بسهولة. إذا كانت خطط البناء الخاصة بك تتضمن جدران حشو حجرية، فإن أفضل حل هو إضافة إطارات فولاذية لتصحيح المشكلات الهيكلية. قد يكون الحل الآخر هو ترك مساحة بين الجدران وإطار المبنى، مما يسمح ببعض الانجراف أثناء تحرك المبنى أثناء الزلزال.

استخدم تقنيات التعزيز الأبسط

لجعل المبنى مقاوماً للزلازل، من المهم وضع جدران القص ونواة القص والدعامة المتقاطعة لأنها توفر قوة إضافية. يتم تثبيت المبنى على الأساس، مما يوفر جدراناً داعمة تسمى جدران القص، التي تساعد في تعزيز المبنى الذي يقاوم بدوره حركات الاهتزاز. تشكل جدران القص في وسط المبنى، حول عمود المصعد أو الدرج، قلب القص. في تقنية التقوية المتقاطعة، يتم تقوية الجدران بعوارض فولاذية مائلة.



استخدم نوعاً مرناً من المرافق

تركيب تجهيزات أنابيب مرنة بحيث لا تتكسر أثناء الزلزال؛ هذا من شأنه أن يساعد في تجنب تسرب الغاز أو الماء. قم بتأمين الجزء العلوي والسفلي من سخان المياه بإحكام باستخدام الأشرطة المعدنية. لا تحتفظ بالسوائل القابلة للاشتعال في الكراج.

عزز نقاط الضعف الهيكلية في منزلك

الكراج تشير الدراسات إلى أن الطابق الواقع فوق الكراج «طابق ناعم soft story» نظراً لأنه تتمتع بمقاومة ناعمة للزلازل نظراً لأن الجدار مع باب الكراج ليس داعماً مثل الآخرين. لحماية الكراج الخاص بك من الزلازل، عزز جدار باب الكراج بالفولاذ أو الخشب الرقائقي على كلا الجانبين.

أيضاً استخدم مادة خفيفة صديقة للزلازل للسطح مثل الألمنيوم أو الخشب أو الأسفلت، على عكس الطوب الثقيل أو الطين. كلما كان السقف أخف، قلت القوة التي يمارسها على نظام دعم منزلك، مما يقلل من احتمالية الانهيار.

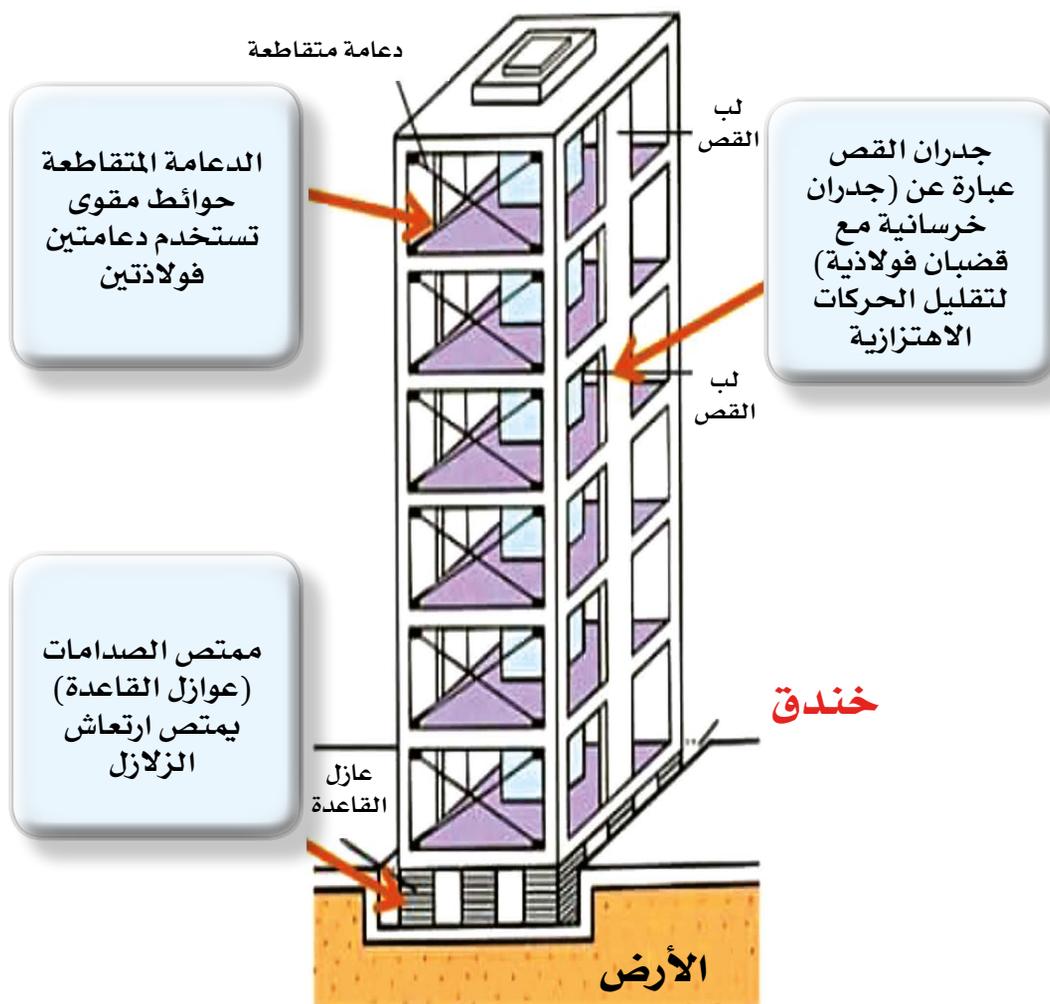
وضع الأثاث والتركيبات والديكورات

قد يكون من المغري تعليق إطارات الصور على الحائط أو السماح لخزائن الكتب بالانحناء على الحائط. لا ينصح بمثل هذه الإجراءات من منظور السلامة. تأكد أيضاً من أن تركيبات الإضاءة والمراوح مثبتة بشكل صحيح على السقف. ضع أجهزة الكمبيوتر وأجهزة التلفزيون والأجهزة الكهربائية الأخرى على طاولة صلبة وثقيلة، أو يمكنك تثبيتها بأشرطة الأمان.





مبنى مثالي مقاوم للزلازل



لجعل المبنى مقاوماً للزلازل، من المهم وضع جدران القص، ولب القص، والدعامة المتقاطعة



كود البناء المقاوم للزلازل

هو مجموعة الاشتراطات والمتطلبات وما يتبعها من أنظمة ولوائح تنفيذية وملاحق تضمن الحد الأدنى من السلامة والصحة العامة، وذلك من خلال متانة واستقرار وثبات المباني والمنشآت وسُبل الوصول إليها وتوفير البيئة الصحية والإنارة والتهوية الكافية وترشيد المياه والطاقة وحماية الأرواح والممتلكات من أخطار الحريق وغيره من المخاطر المرتبطة بالمباني.

بدلاً من إنشاء كود خاصة بها والحفاظ عليها، تتبنى معظم الجهات المحلية قوانين البناء النموذجية التي يحتفظ بها مجلس الكود الدولي (ICC). تشمل عائلة الرموز الدولية للمحكمة الجنائية الدولية ما يلي:

كود البناء الدولي (IBC) ينطبق على جميع أنواع المباني الجديدة تقريباً.

قانون السكن الدولي (IRC) ينطبق على المساكن الجديدة المكونة من أسرة واحدة أو اثنتين والتي لا يزيد ارتفاعها على ثلاثة طوابق.

كود البناء الدولي الحالي (IEBC) ينطبق على **التعديل** أو الإصلاح أو الإضافة أو التغيير في **إشغال** الهياكل القائمة.

كود البناء الدولي (IBC) **هو أساس العائلة** الكاملة للرموز الدولية [®]. إنها أداة أساسية للحفاظ على الصحة العامة والسلامة التي توفر الحماية من المخاطر المرتبطة بالبيئة المبنية. يتناول تصميم وتركيب المواد المبتكرة التي تلبى أو تتجاوز أهداف الصحة والسلامة العامة.



الكود الزلزالي

تهدف بعض الأحكام داخل IBC و IRC و IEBC إلى **ضمان** قدرة الهياكل على مقاومة القوى الزلزالية بشكل مناسب أثناء الزلازل. تمثل أحكام الزلازل هذه أفضل إرشادات متاحة حول كيفية تصميم الهياكل وإنشائها للحد من مخاطر الزلازل.

التغييرات أو الإضافات على أحكام الزلازل تأتي من العديد من المصادر المختلفة، بما في ذلك نتائج البحث الجديدة وتوثيق الأداء في الزلازل الماضية. المصدر الأساسي هو NEHRP Provisions Edition 2020، المجلد الأول والمجلد الثاني. توفر الوثيقة المصاحبة لـ FEMA «مفاهيم تصميم مقاومة الزلازل» (FEMA P-749) شرحاً غير تقني للخلفية.

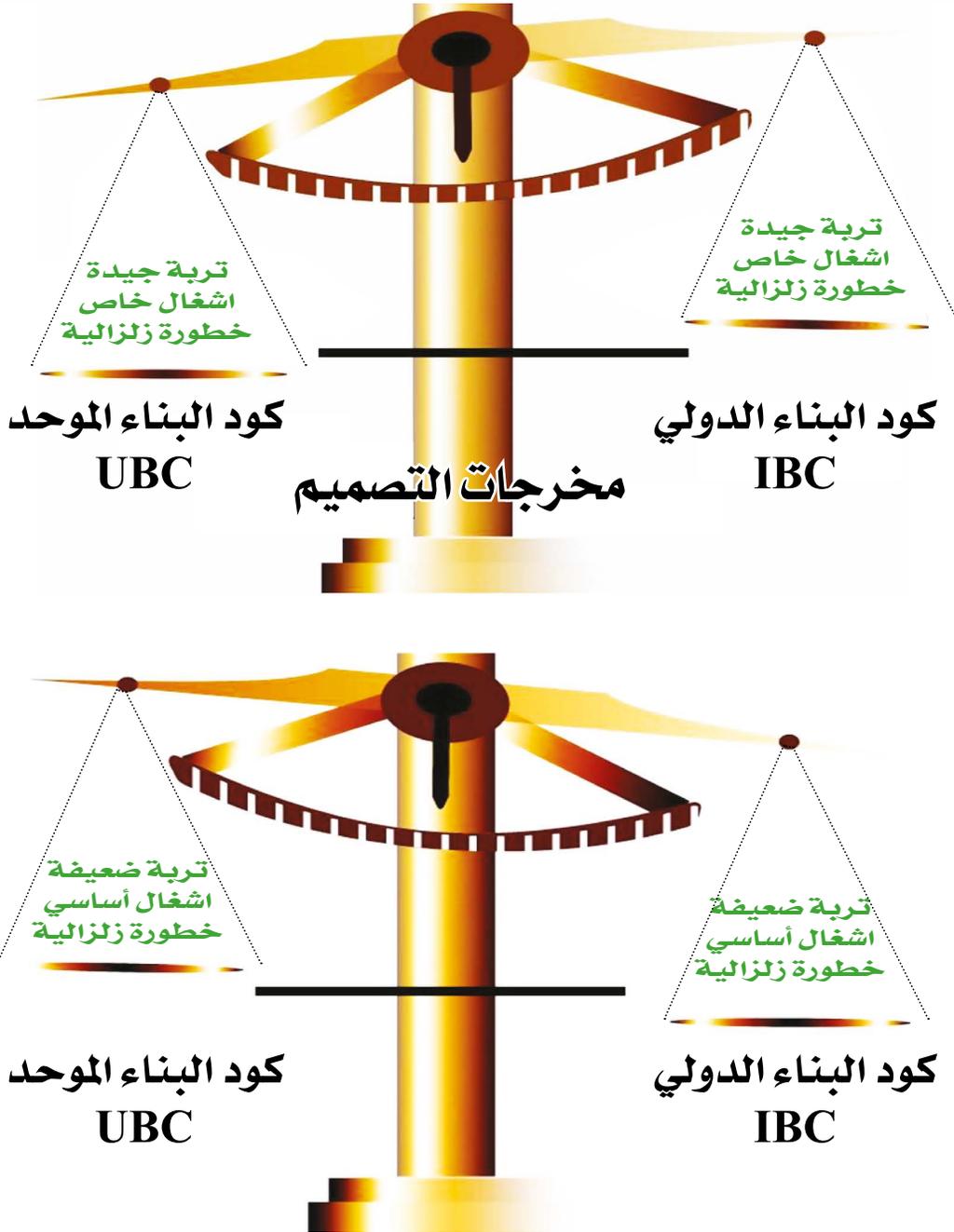
اعتماد كود النموذج غير متساوٍ عبر الدول وداخلها، حتى في المناطق ذات المستويات العالية من المخاطر الزلزالية. تبنت بعض الجهات والسلطات القضائية المحلية المدونات لكنها أدخلت تعديلات أو استثناءات فيما يتعلق بالأحكام الزلزالية.

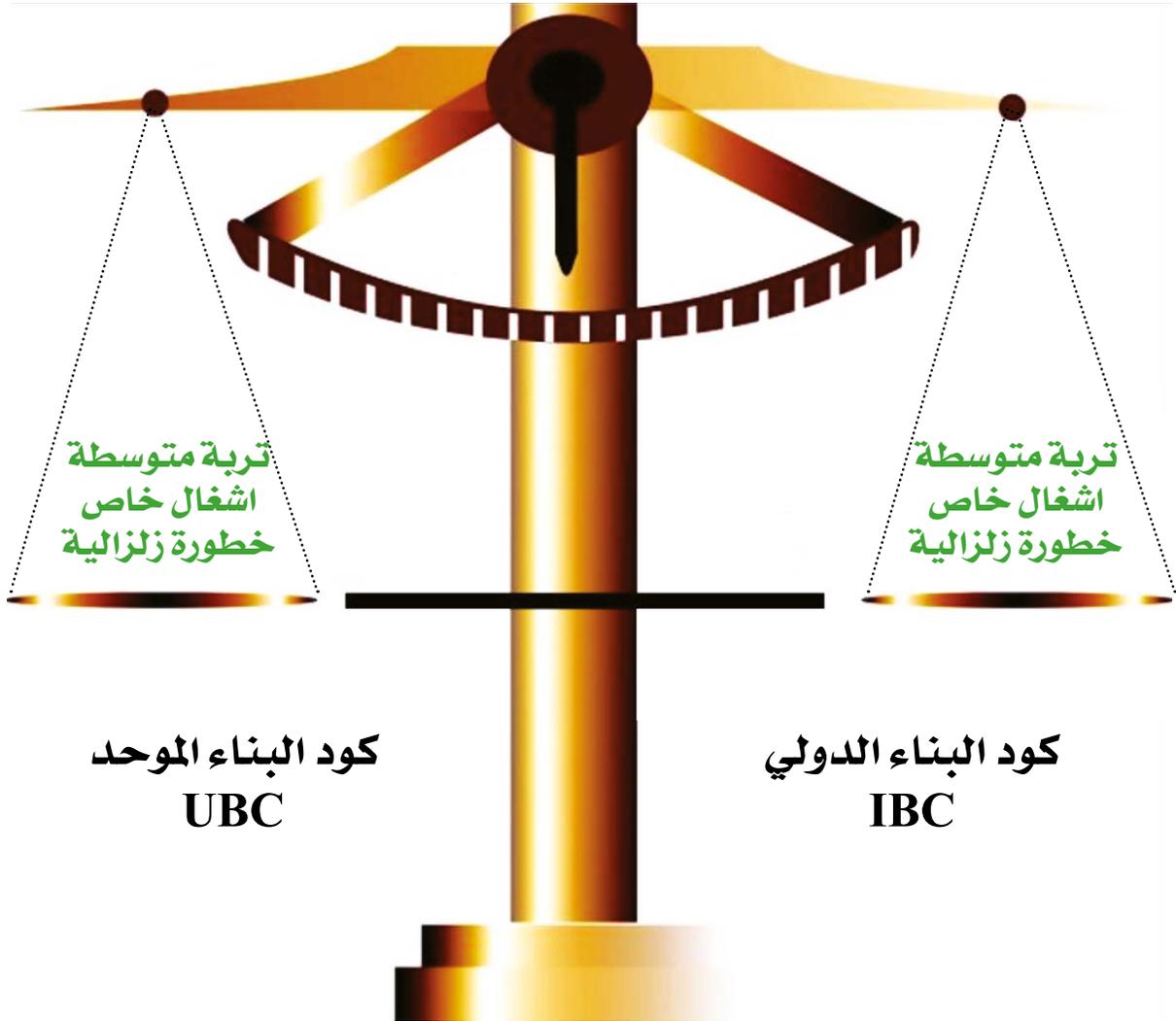
إن اعتماد أحدث قوانين البناء ليس سوى جزء من الحل. يجب أيضاً إنفاذ القوانين بشكل فعال لضمان استفادة المباني وشاغلها من التقدم في الأحكام المتعلقة بالزلازل في أكواد النموذج. بالنسبة للجزء الأكبر، تقع مسؤولية تنفيذ القانون على عاتق مسؤولي المباني في الحكومة المحلية الذين يراجعون خطط التصميم ويفحصون أعمال البناء ويصدرون تصاريح البناء والإشغال.



اعتمدت قوانين البناء و 7 SEI / ASCE مفهوم فئة الموقع كوسيلة لتصنيف ميل الموقع لتضخيم أو تخفيف الحركة في نطاقات زمنية مختلفة، بطريقة بسيطة نسبياً. نظراً لأن خصائص التربة ضمن 100 متر العلوي بالنسبة لسطح الأرض لها التأثير الأكثر أهمية على الاهتزاز الذي يعتبر مهماً للمباني والهياكل الشبيهة بالبناء، يتم تحديد فئة الموقع بناءً على متوسط خصائص التربة داخل هذه المنطقة. تم تعيين ست فئات مواقع مختلفة في الكود وتم تصنيفها على أنها A و B و C و D و E و F.

فئة الموقع A تتوافق مع الصخور الصلبة والمختصة بما في ذلك الجرانيت والكوارتز والأحجار المائلة. تتوافق فئة الموقع B مع الصخور الرسوبية الناعمة بما في ذلك الحجر الرملي والحجر الطيني والحجر الطيني والمواد المائلة. تتوافق فئة الموقع C مع ظروف الموقع الثابتة المتمثلة في الرمال الكثيفة والحصى والطين شديد الصلابة. تتوافق فئة الموقع D مع ظروف الموقع المتوسطة التي تحتوي على تربة حبيبية متوسطة الكثافة وطين صلب. تتوافق فئة الموقع E مع التربة ذات اللدونة العالية وقابلية الانضغاط، ولا سيما بما في ذلك الطين الضعيف والطيني السائب المشبع والمواد المائلة. تتوافق فئة الموقع F مع أنواع التربة غير المستقرة التي يمكن أن تتعرض لتأثيرات مثل التميع.







دروس مستفادة من حالات تاريخية بسبب بعض الأخطاء الهندسية

الهيكل المقاوم للزلازل هي هياكل مصممة لحماية المباني من الزلازل. في حين أنه لا يمكن لأي هيكل أن يكون محصناً تماماً من التلف الناتج عن الزلازل، فإن الهدف من البناء المقاوم للزلازل هو تشييد الهياكل التي يكون أداءها أفضل أثناء النشاط الزلزالي من نظيراتها التقليدية. وفقاً لقواعد البناء، تهدف الهياكل المقاومة للزلازل إلى تحمل أكبر زلزال باحتمالية معينة من المحتمل أن تحدث في موقعها. حالياً، هناك العديد من فلسفات التصميم في هندسة الزلازل، مع الاستفادة من النتائج التجريبية والمحاكاة الحاسوبية والملاحظات من الزلازل السابقة لتقديم الأداء المطلوب للتهديد الزلزالي في موقع الاهتمام.

المبادئ الأساسية لتصميم وتفاصيل الهياكل المقاومة للزلازل هي تحقيق القوة وسلوك الدكتايل والحفاظ على السلامة الهيكلية. الشرط الأساسي هو «منع الانهيار الكارثي للمباني أو مكوناتها». كما تهدف مدونات قواعد الممارسة إلى تحقيق ذلك بطريقة بسيطة نسبياً وفعالة من حيث التكلفة.

يعتمد مستوى المقاومة المستهدف في التصميم المقاوم للزلازل على مفهوم «المخاطر المقبولة»، مع الأهداف التالية:

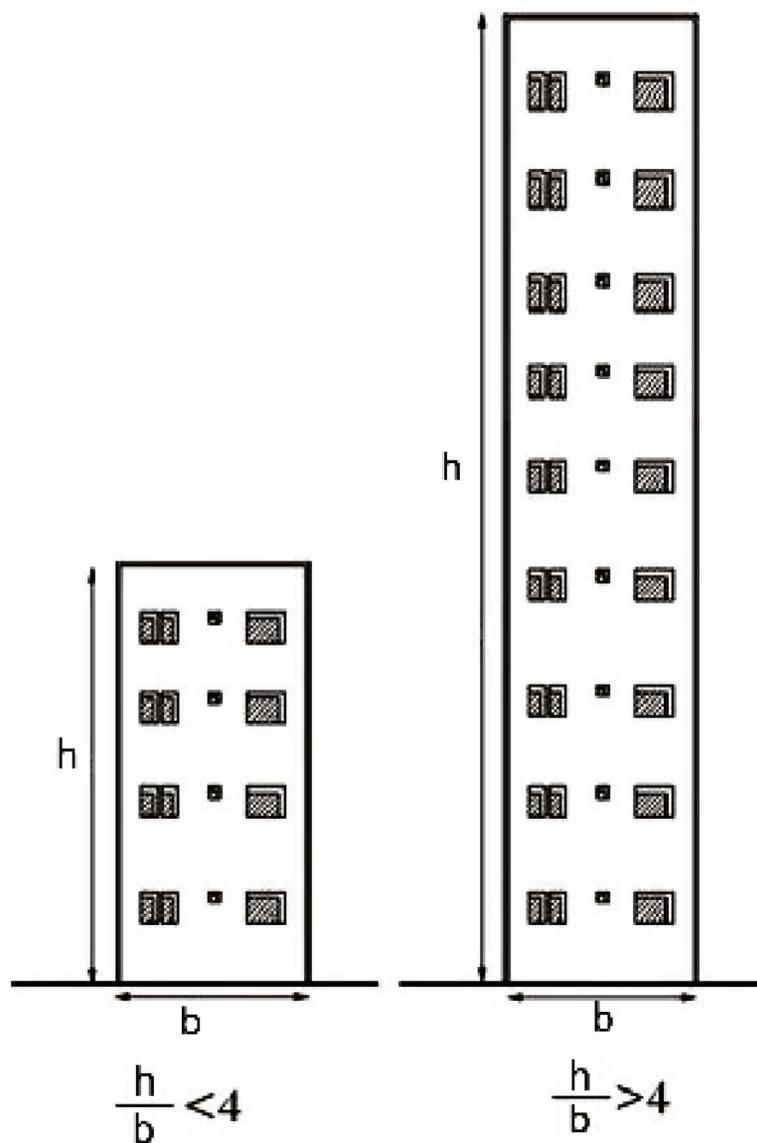
لمقاومة الزلازل الطفيفة دون أضرار لمقاومة الزلازل المعتدلة دون أضرار هيكلية كبيرة ، ولكن مع بعض الأضرار غير الهيكلية لمقاومة الزلازل الكبيرة (أو الشديدة) دون إخفاق كبير في الهيكل الهيكل للمبنى أو مكوناته، لمنع الخسائر في الأرواح والسماح بممر هروب آمن لنزلاء المبنى





تسبب تمزق السطح في حدوث تشققات كبيرة وانهيار طريق ممهد. قد يؤدي ذلك إلى وقوع إصابات أو خسائر في الأرواح أو إعاقة وصول الناس إلى منازلهم.





انقلاب مبنى نحيف، زلزال كوبي، اليابان 1995 نظرا لان عرض المبنى بالنسبة لارتفاعه أكبر من 4 أضعاف.

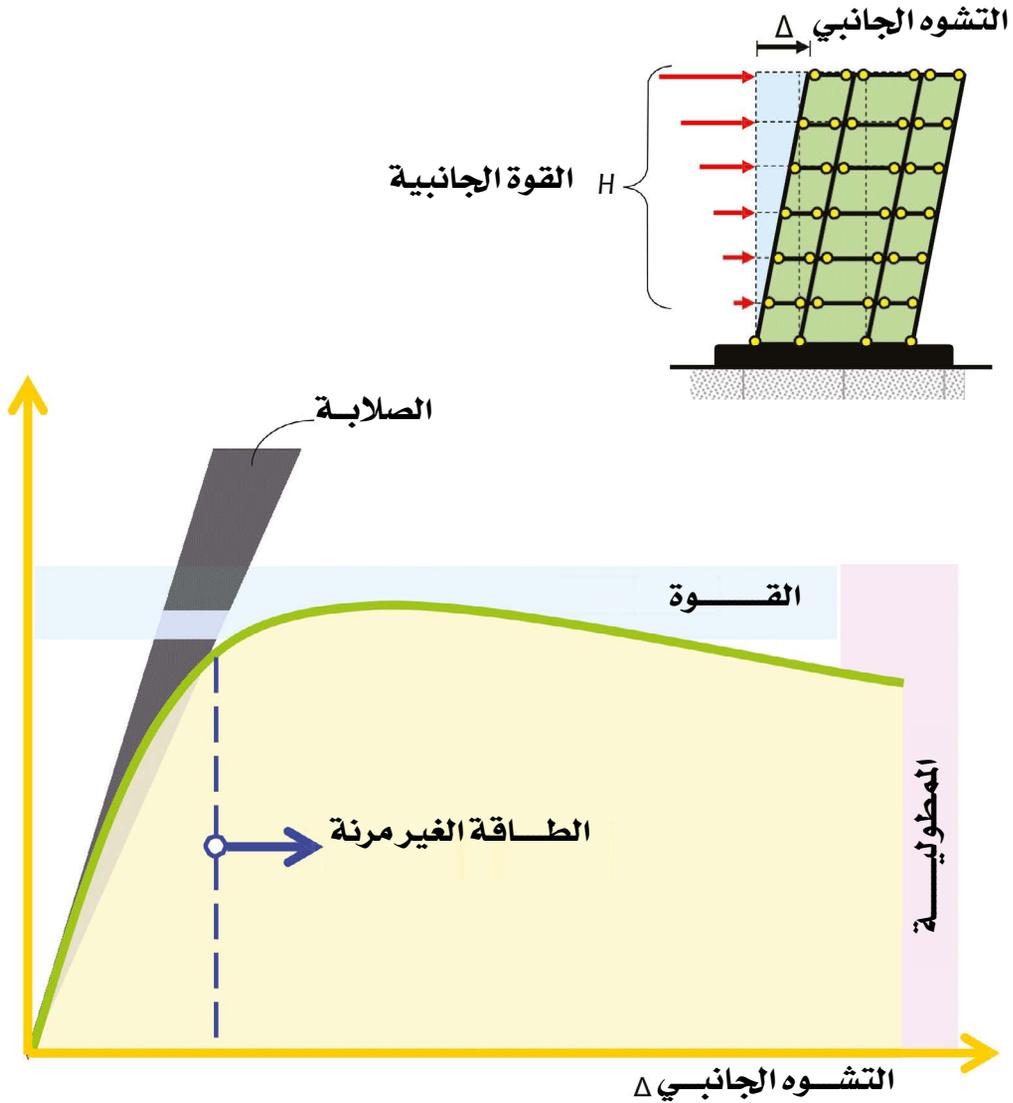


انهيارات في المباني بسبب ظاهرت تشكيل الطابق الرخو في الطابق الأرضي



انهيار المستوى العلوي للهيكل ذي المستويين إلى المستوى السفلي نتيجة لفشل أعمدة الدعم. فشلت الأعمدة جزئياً رداً على اهتزاز الأرض من زلزال لوما برييتا في 17 أكتوبر 1989 والذي تضخمت بفعل الرواسب الرخوة بالقرب من واجهة أوكلاند البحرية



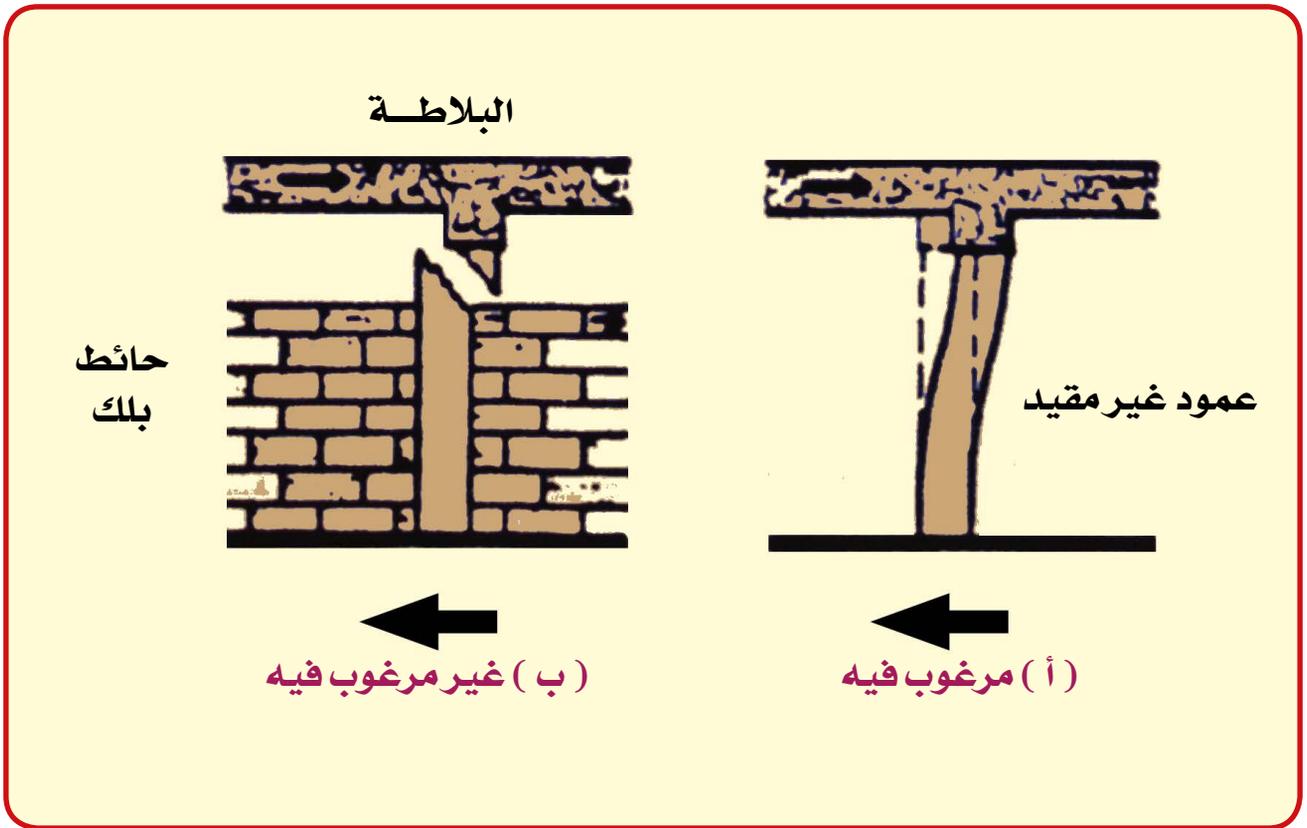


يحكم في المبنى المقاوم للزلازل أربع مزايا: تؤثر الصلابة والقوة والليونة (المطوئية) بشكل مباشر على سلوك تشوه الحمل للمباني، بينما يؤثر التكوين الإنشائي الزلزالي على هذه العوامل الثلاث بشكل غير مباشر. تعد سعة تبديد الطاقة نتيجة عامة لجميع العوامل الأربع للمباني

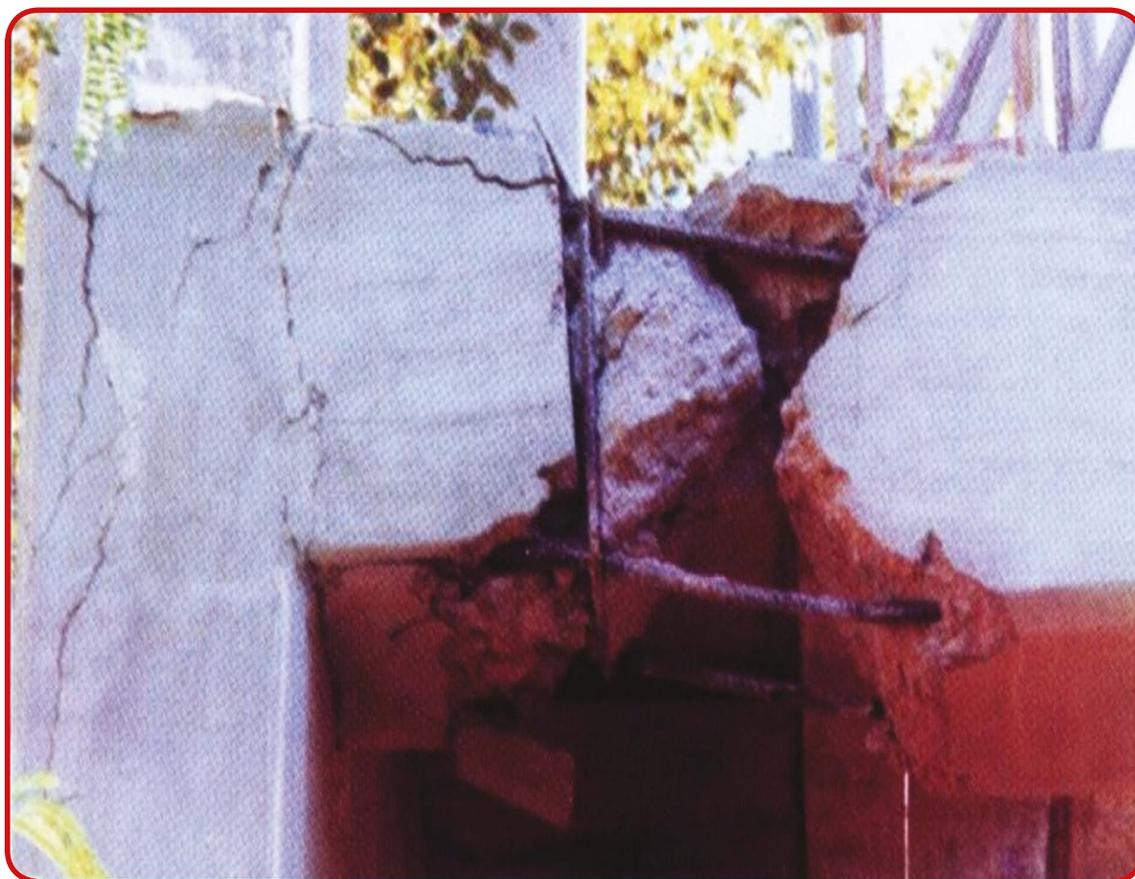


أثبت البناء بالحجر الجاف أنه أكثر مقاومة للزلازل من استخدام الملاط. يمكن أن تتحرك أحجار الجدران الحجرية الجافة قليلاً وتعيد الاستقرار دون انهيار الجدران ، وهي تقنية تحكم هيكلية سلبية تستخدم مبدأ تبديد الطاقة ومبدأ قمع التضخمات الرنانة .





تحرك المبنى بشكل آمن كما في (أ)، وانتهيار لنفس العمود عند عند تقييد حركته كما في (ب)



أضرار بالغة لكمرة خرسانية بسبب تقييد حركتها بسلم حديد مثبت عليها



أضرار بسبب تصادم مبنيين مجاورين لقصر المسافة بينهما



إنهيار رقبة عمود بسبب قوى القص





إنهيار كامل للدور الأرضي لضعف مقاومته للقوى الجانبية



الضرر الناجم عن التسييل لوحظ في (أ) نيفاتا ، اليابان 1964 (ب) ألاسكا ، الولايات المتحدة الأمريكية 1964 (ج) مولي ، تشيلي 2010 و (د) كرايستشيرش ، نيوزيلندا 2010



انشطار مبنى مدرسي بسبب انزلاق ارضي أحدثه زلزال الاسكا عام 4691 م

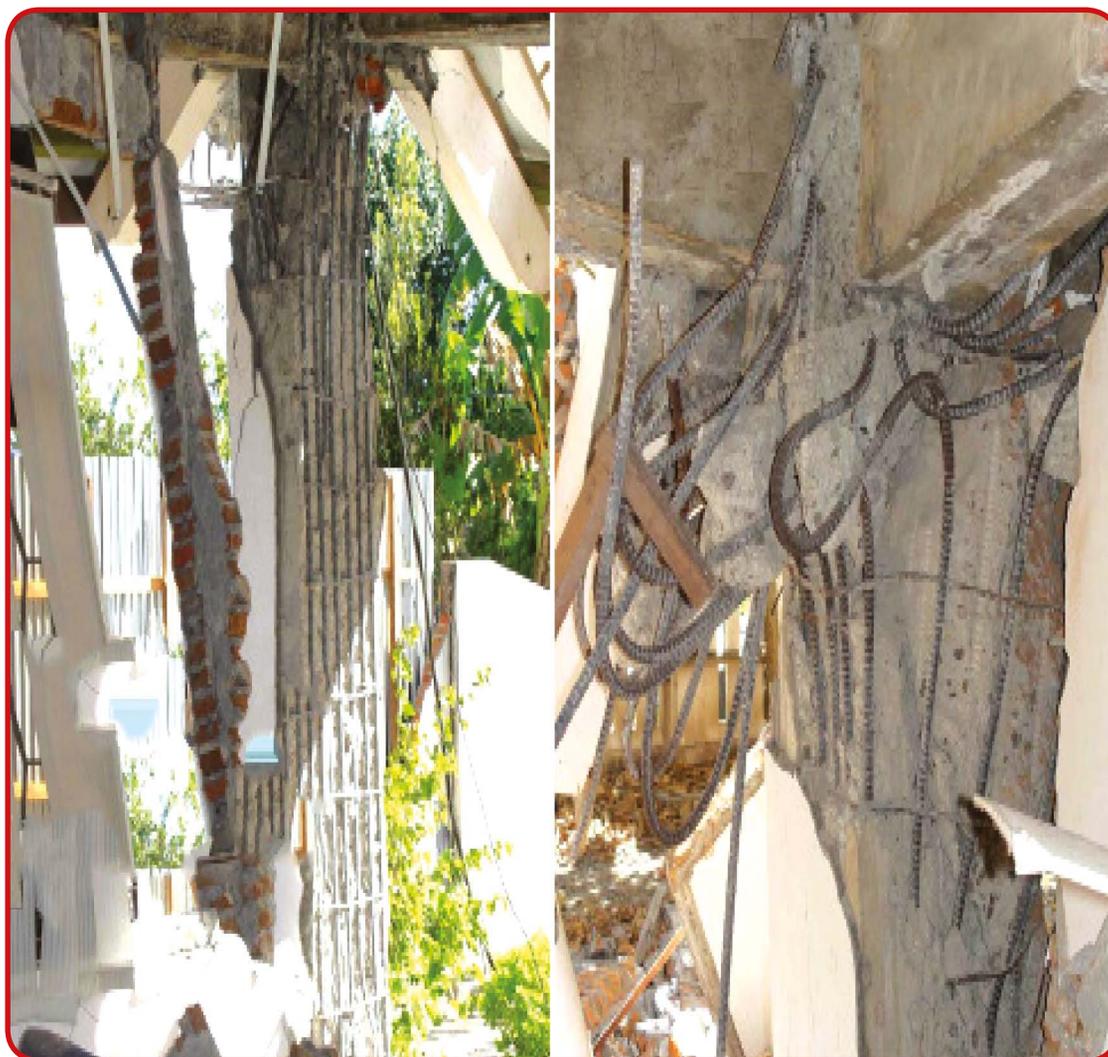




الاهتزاز الأرضي العنيف + المباني الحجرية الغير مسلحة = كارثة كبيرة



فشل القص الهش للأعمدة الداعمة



تفاصيل التعزيز غير المطيل في العمود

فشل هش في العمود

انهيار ناتج عن اختلاف مناسيب التأسيس





a)

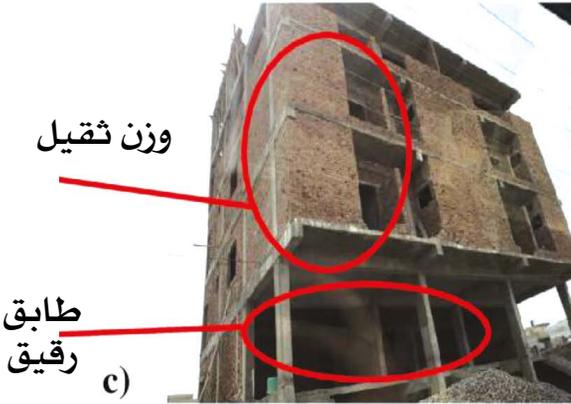


وزن ثقيل

b)



تشبيد ضعيف
الجودة



وزن ثقيل

طابق
رقيق

c)



وزن ثقيل

طابق رقيق

d)



المراجع العربية

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

الديك جلال، «التصميم المعماري للمباني المقاومة للزلازل»، مركز علوم الأرض وهندسة الزلازل، نابلس، فلسطين، 2010.

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

الصباح، أمثال و بوربيع، فريال. هل أعددت أسرتك لمواجهة أخطار الزلازل؟ الدفاع المدني- الكويت 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 الإنشائي لحساب الأحمال الزلزالية واشتراطات الأنظمة الإنشائية للمباني بالمملكة العربية السعودية.



المراجع الأجنبية

- Al-Zaid, R. (1988). Seismic Hazard Analysis and Specification of Ground Motion. Short course on " Earthquake Engineering ", Dept. of Civil Engineering, King Saud Univ.
- Al-Zaid, R. (1988). Hazard Curves at Specific Sites and Zonation map of the Kingdom. Short course on " Earthquake Engineering ", Dept. of Civil Engineering, King Saud Univ.
- Arnold,C, FAIA, RIBA, Bruce Bolt, Dreger D, Elsesser E, Eisner R, Holmes W, McGavin G, Theodoropoulos C, AIA, PE FAIA, FEMA 454 "Risk Management Series Designing for Earthquakes"- A Manual for Architects, December 2006 FEMA.3 C.
- Arnold, C. "Building Configuration and Seismic Design". pp 113
- Campbell, R.H., *et al* "Landslides Classification for Identification of Mud Flow and Other Landslide Hazards" and Keefer, P.K. "Landslides Caused by Earthquakes" *in* Proceedings of the Geologic and Hydrologic Training Program, Open File Report 84-760 (Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 1984).
- Campbell, K.W., "Near Source Attenuation of Peak Horizontal Acceleration", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 71, No. 6, 1981, pp. 2039-2070.
- Gutenberg, B. And Richter, C.F. (1944). "Frequency of Earthquakes in California", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 34, No. 4, pp. 1985-1988.
- Hays, W.W., ed., 1981, Facing Geologic and Hydrologic Hazards -- Earth Science Considerations: U.S. Geological Survey Professional Paper 1240B, 108 p.
- Kanamori, H. (1988). "Importance of Historical Seismograms for Geophysical Research", in W.H.K. Lee, H. Meyers, and K. Shimazaki, eds. Historical Seismograms and Earthquakes of the World, Academic Press, San Diego, California, pp. 16-31.
- Lamarrae, M., and Shah, H.C., Seismic Hazard Evaluation for Sites in California: Development of an Expert System, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Report No. 85, Department of Civil Engineering, Stanford University, June 1988
- Reiter, L. (1990). Earthquake Hazard Analysis - Issues and Insights, Columbia University Press, New York, 254 pp.
- Murty, R.V. "Learning Earthquake Design and Construction", -Earthquake Tips 1, Indian Institute Of Technology, Kanpur, India, Desember, 2003.





- Shah, H.C., Earthquake Engineering and Seismic Risk Analysis. Lecture Notes, The John A. Blume Earthquake Engineering Center. Department of Civil Engineering, Stanford University.
- Smith, S.W. (1976). "Determination of Maximum Earthquake Magnitude", Geophysical Research Letters, Vol. 3, No. 6, pp. 351-354.
- Stanford Seismic Hazard Analysis (STASHA), Computer Program, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Technical Report No. 36, Stanford University, 1989.
- Thenhaus, P.C., Algermission, S.T., Perkins, D.M., Hanson, S.L., and Diment, W.H., "Probabilistic Estimates of Seismic Ground Motion Hazard in the Western of Saudi Arabia", Kingdom of Saudi Arabia, U.S. Geological Survey Open File Report No. OF-06-O8, 1986.

مواقع على الإنترنت

- Global Seismic Hazard Assessment Program <http://seismo.ethz.ch/gshap/>
- Earthquake Information Network
 - <http://www.eqnet.org>
 - Earthquake Engineering Research Institute
 - <http://www.eeri.org>
 - International Association for Earthquake Engineering
 - <http://www.iaee.or.jp>
 - Institute of Structural Engineering , Structural Dynamics and Engineering , Structural





أ.د. عبد الله بن محمد العمري

www.alamrigeo.com E.mail : alamri.geo@gmail.com Cell : +966505481215

المناصب الإدارية والفنية

- ❖ دكتوراه في الجيوفيزياء عام 1990 م من جامعة مينيسوتا - أمريكا.
- ❖ المشرف على مركز الدراسات الزلزالية- جامعة الملك سعود.
- ❖ المشرف على كرسي استكشاف الموارد المائية في الربع الخالي.
- ❖ المشرف على مركز الطاقة الحرارية الأرضية بجامعة الملك سعود.
- ❖ رئيس الجمعية السعودية لعلوم الأرض.
- ❖ رئيس قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود.
- ❖ مؤسس ورئيس تحرير المجلة العربية للعلوم الجيولوجية AJGS.
- ❖ رئيس فريق برنامج زمالة عالم مع جامعة أوريغون الحكومية والأمريكية ومعهد ماكس بلانك الألماني.

الاستشارات والعضويات

- مستشار مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية.
- مستشار هيئة المساحة الجيولوجية وهيئة المساحة العسكرية والدفاع المدني.
- مستشار مدينة الملك عبد الله للطاقة الذرية والمتجددة.
- مستشار هيئة الرقابة النووية والإشعاعية.
- باحث رئيس في عدة مشاريع بحثية مدعمة من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية وشركة أرامكو.
- باحث رئيس في مشاريع مدعمة من وزارة الطاقة الأمريكية وجامعة كاليفورنيا ومعهد ليفرمور الأمريكي LLNL.
- عضو الجمعية الأمريكية للزلازل.
- عضو الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء.
- عضو الاتحاد الأوروبي للجيولوجيين.
- عضو لجنة كود البناء السعودي وعضو المنتدى الخليجي للزلازل GSF.
- عضو لجنة تخفيف مخاطر الزلازل في دول شرق البحر الأبيض المتوسط RELEM.
- باحث رئيسي ومشارك في مشاريع بحثية مع جامعات الاباما وبنسلفانيا وأوريغون الأمريكية.
- ضمن قائمة (المنجزون البارزون العرب) من قبل منظمة ريفاسيمنتو الدولية.
- ضمن قائمة Who's Who في قارة آسيا للتميز العلمي.
- ضمن قائمة Who's Who في العالم للإسهامات العلمية.

النشر العلمي والتأليف

- ❖ نشر أكثر من 180 بحثاً علمياً في مجلات محكمة.
- ❖ ألف 30 كتاباً علمياً.
- ❖ أصدر موسوعة رقمية في علوم الأرض من 14 مجلداً و 107 ملفات علمية.

المشاريع البحثية

- ❖ أنجز 40 مشروعاً بحثياً محلياً و 16 مشروعاً بحثياً دولياً و 74 تقريراً فنياً.

المؤتمرات والندوات

- ❖ شارك في أكثر من 125 مؤتمراً محلياً ودولياً و 75 ندوة وورشة عمل متخصصة.

التعاون الدولي

- ❖ باحث رئيسي في 13 مجموعة عمل أمريكية وألمانية.

الجوائز

- ❖ حصل على جائزة المراعي للإبداع العلمي عام 2005 م.
- ❖ حصل على جائزة التميز الذهبي من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية عام 2006 م.
- ❖ حصل على جائزة أنها التقديرية للإسهامات العلمية عام 2007 م.
- ❖ حصل على جائزة جامعة الملك سعود للتميز العلمي عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء للتعاون الدولي والنشاط البحثي عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة جامعة السلطان قابوس للإسهامات العلمية عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة الملك سعود لإدراج المجلة العربية للعلوم الجيولوجية في قائمة ISI.
- ❖ حصل على جائزة أفضل رئيس تحرير مجلة علمية عام 2017 من الناشر الألماني SPRINGER.
- ❖ حصل على جائزة ألبرت نيلسون ماركيز للإنجاز مدى الحياة عام 2018 من منظمة Who's Who العالمية.

دروع التكريم

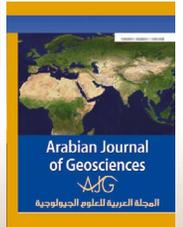
- ❖ حصل على 85 درعاً تكريمياً وشهادات تقدير من المملكة وعمان والكويت والإمارات والأردن ومصر وتونس والجزائر وألمانيا وأمريكا.

المنجزون البارزون العرب

Dr. Abdullah M.S. Al-Amri

Geophysicist & Seismologist

SAUDI ARABIA 117





موسوعة أمري في علوم الأرض

Al-Amri's Encyclopedia of Earth Sciences



6
المد
والجزر



5
المعادن
والتعدين



4
التركيب
الداخلي للأرض



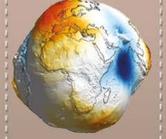
3
الاجاذبية
الأرضية وتطبيقاتها



2
شكل
الأرض وحركتها



1
تقدير
عمر الأرض



12
الأغلفة
المحيطة بالأرض



11
جيولوجية
القمر



10
البراكين
وسبل مجابقتها



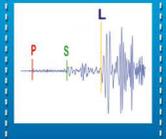
9
تقييم
مخاطر الزلازل



8
الزلازل
والتفجيرات



7
موجات
التسونامي



18
التصحّر
والجفاف



17
السيول
والسدود المائية



16
الانزلاقات
والانهيارات والفيضانات



15
التشجير
التحديات والحلول



14
التغيرات المناخية
والاحتباس الحراري



13
المشاكل
البيئية وحلولها



24
كتابة الرسائل
والمشاريع الجيولوجية



23
الجيولوجيا
الطبيعية



22
الجيوفيزياء
النووية



21
الجيولوجيا
السياسية



20
الطاقة
الحرارية الأرضية



19
هل انتهى
عصر النفط؟



300 سؤال وجواب
في الجيوفيزياء
التطبيقية



303 سؤال وجواب
في علم الزلازل
والزلزالية الهندسية



380 سؤال وجواب
في المخاطر
الجيولوجية



358 سؤال وجواب
في الثروات
الطبيعية



325 سؤال وجواب
في علم الصخور
والجيوكيمياة



321 سؤال وجواب
في تطور
الأرض

