مخاطر الزلازل وسبل مجابهتها

أ.د. عبدالله بن محمد العمري

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - كلية العلوم - جامعة الملك سعود

سلسلة العمري العلمية ٣

١٤٣٥هـ - ٢٠١٤م

ⓒ عبدالله محمد سعيد العمري، ١٤٣٥هـ
فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
العمري، عبدالله محمد
مخاطر الزلازل وسبل مجابهتها / عبدالله محمد العمري
الرياض، ١٤٣٥هـ
٣٦ص؛ ١٧ X ٢٤سم (سلسلة العمري العلمية؛ ٣)
ردمك: ٠ - ٣٧١ - ٥٧ - ٩٩٦٠
١ - الزلازل - إجراءات الأمن والسلامة/ العنوان ب. السلسلة
ديوي ٥٥١,٢٢ ١٥١١ / ١٤٢٨
رقم الإيداع: ١٥١١ / ١٤٢٨
ردمك: ٠ - ٣٧١ - ٥٧ - ٩٩٦٠

حقوق الطبع محفوظة للمؤلف

يطلب الإصدار الورقي من المؤلف على العنوان التالي
قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء- جامعة الملك سعود
ص.ب ٢٤٥٥ - الرياض ١١٤٥١
والاصدار الإلكتروني من الموقع
www.a-alamri.com
وللإستفسارات والملاحظات الاتصال على:
جوال: ٠٥٠٥٤٨١٢١٥ ٩٦٦+ - هاتف: ٤٦٧٦١٩٨ ١١ ٩٦٦+
البريد الإلكتروني: alamri.geo@gmail.com
amsamri@ksu.edu.sa

" وَفِي الأَرضِ آياتٌ لِلمُوقِنِين "

مخاطر الزلازل وسبل مجابهتها

أ.د. عبدالله بن محمد العمري

قسم الجيولوجيا- كلية العلوم - جامعة الملك سعود

سلسلة العمري العلمية (3)

١٤٣٥هـ - ٢٠١٤م

مقـدمة

الزلازل جزء مأساوي من حياة البشر ورغم مخاطرها لم تستطع يوما أن تهزم في الإنسان غريزة البقاء والدليل استمرار الحياة رغم المآسي العديدة التي خلفها في أجزاء متعددة من العالم وعلى سبيل المثال زلزال كشمير في باكستان الذي وقع في أكتوبر ٢٠٠٥م والذي استمر ٥٠ ثانية وخلف أضرار بشرية ومادية جسيمة وكذلك تسونامي سومطره الذي وقع في ديسمبر٢٠٠٤م وأودى بحياة ٢٨٠٠٠٠شخص. 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.

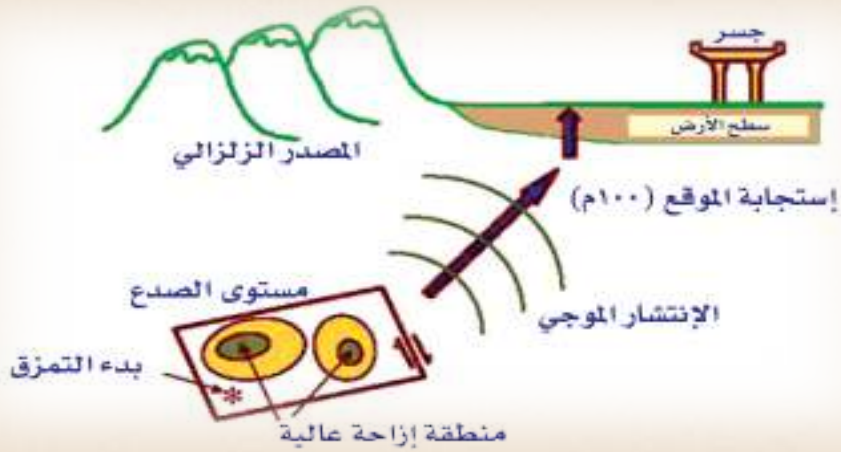
إن التجارب البشرية اكتسبت خبرات جيدة في التعامل مع هذه الظاهرة المقلقة سواء من حيث إعداد المواصفات الهندسية للمباني أو من حيث تهيئة المرافق والخدمات لتكون على أهبة الاستعداد لمواجهة الكارثة إلا أن السيطرة الفعلية وتوقع الزلازل قبل حدوثها مازالت خارج نطاق القدرة البشرية وانحصرت في التقليل من آثار الكارثة.

إن الزلازل وما ينجم عنها من إزهاق للأرواح وهدم لمقومات الحياة بصورة آنية - قد لا تتجاوز ثوانٍ معدودة - لاسيما في المجتمعات المعاصرة التي تداخلت فيها مقومات الحياة بصورة معقدة، أدى إلى تطوير العديد من الحلول الهندسية لتقليل الآثار التي قد تسببها هذه الهزات الأرضية. ومع أن أي حل هندسي للتقليل من آثار الزلازل يعتمد على: (١) إمكانية تحديد وقت وقوع الزلزال؛ (٢) تصميم المنشآت وتنفيذها بدون إغفال القوى الناجمة عن الهزات الأرضية، فان خيار التصميم الهندسي المناسب لمقاومة الزلازل يبقى هو الحل الوحيد ويتمثل في اعتماد مواصفات البناء الهندسي الذي يحقق شرطين أساسيين هما:

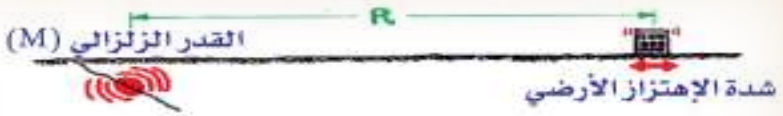
(١) تفادي انهيار المباني حتى عند وقوع زلزال شديد وبالتالي تفادي وقوع نسبة عالية من الوفيات؛ (٢) القبول بمبدأ السماح بالأضرار الإنشائية التي يمكن إصلاحها بتكلفة تقل بكثير عن التكلفة اللازمة للبناء الإنشائي الذي لا يسمح بأي ضرر عند وقوع زلزال شديد.

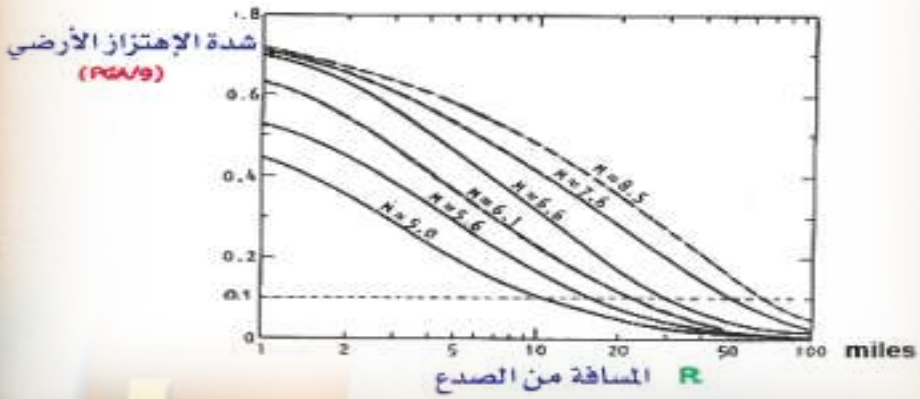
الحركة الأرضية

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

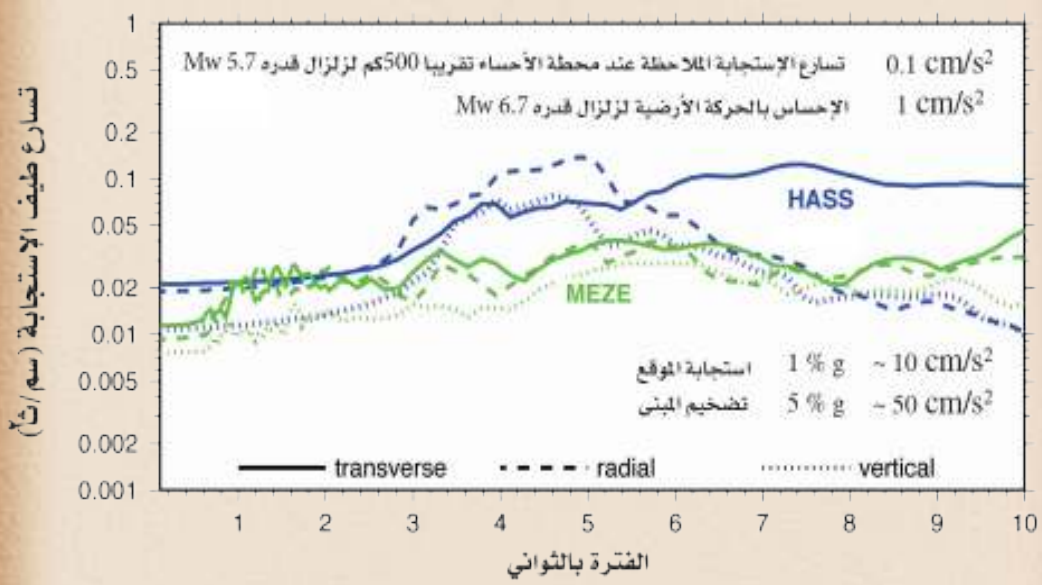


معظم الضرر عند حدوث الزلزال بسبب الحركة الأرضية





العلاقة العكسية بين المسافة من الصدع وشدة الإهتزاز الأرضي



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

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

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

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

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

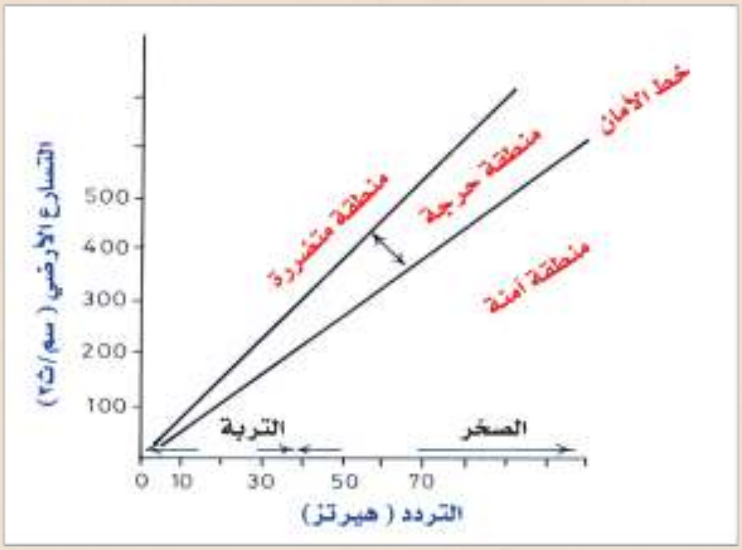
- A : القيمة الاقتصادية Value وتشمل الخسائر البشرية والمادية .
- B : درجة التخريب الناتج عن الزلازل Vulnerability.
- C : الخطورة Hazard وهي احتمالية وقوع زلزال معين في موقع معين ضمن فترة زمنية معينة.
- D : الخطر الزلزالي Risk وهي الدرجة المتوقعة للخسائر البشرية والمادية في موقع معين ضمن منطقة معينة وفي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

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

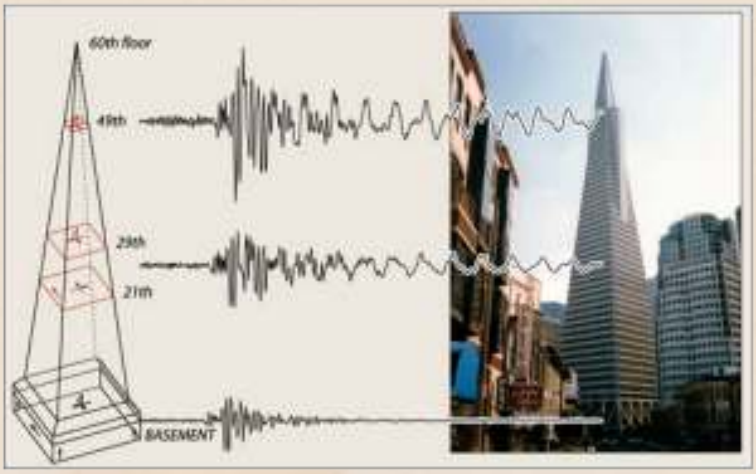
تشتمل نماذج تحليل المخاطر الزلزالية ورسم خرائط التمنطق الزلزالي لموقع معين على تكامل الدراسات الجيولوجية والجيوتقنية والزلزالية والتي من خلالها يمكن تقويم مستوى الخطر وتحديد معامل الآمان الزلزالي بدقة.

الدراسات الجيولوجية	الدراسات الجيوتقنية	الدراسات الزلزالية
• التكتونية الإقليمية ونمط التشويه. • خرائط الصدوع ضمن ١٠٠كم^2. • تحديد أنواع الصدوع واتجاهاتها. • الإزاحات الحديثة على طول الصدوع. • الانزلاق والانهيار الأرضي	• أنواع ترب الأساس • معالجة عدم استقرار الميل. • تطوير معاملات الحركة العنيفة.	• رسم خرائط البؤر السطحية للزلازل. • تحديد شدة ومقدار الزلزال والتكرارية. • دراسة مستوى الشدة الزلزالية التاريخية والحديثة قرب الموقع. • علاقة مواقع الزلازل مع الصدوع. • تخمين الشدات الزلزالية المستقبلية (التعجيل – السرعة – الفترة). • تحليل سجلات الحركة العنيفة من الزلازل التاريخية.

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



تغير قيمة التسارع الأرضي مع التردد



تضخيم الموجة في الطوابق العليا حيث يزداد التأثر بها

حيث نجد أن الفترة الطبيعية (بالثواني) للمباني الشاهقة تزداد مع الارتفاع على النحو التالي : الفترة الطبيعية (بالثواني) = عدد الطوابق / ١٠ . فنجد أن المباني المكونة من ٥٠ طابق تبلغ فترتها الطبيعية ٥ ثواني بينما تصل إلى ١٠ ثواني في ١٠٠ طابق.

التمنطق الزلزالي Seismic Zonation

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

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

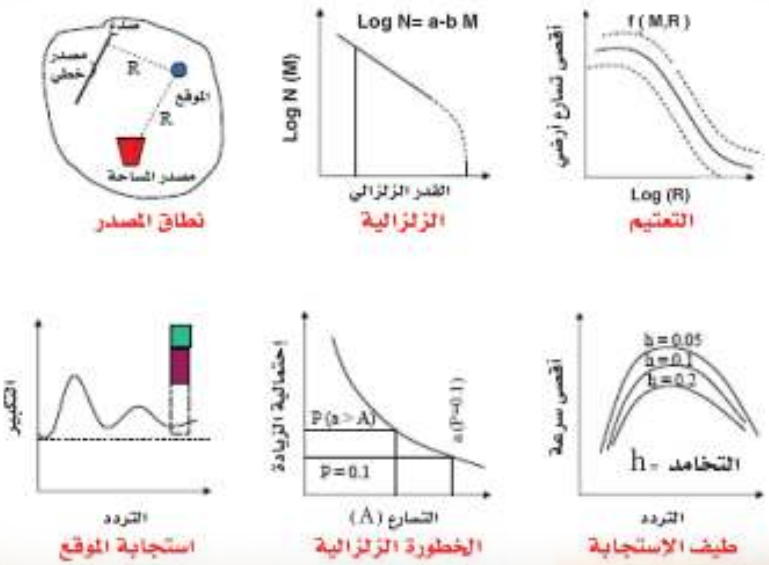
تتطلب خرائط التمنطق الزلزالي تكامل منظومة لتخفيف تأثير أنظمة الأرض والبيئة مع الأنظمة الاجتماعية والاقتصادية والسياسية.

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

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

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

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



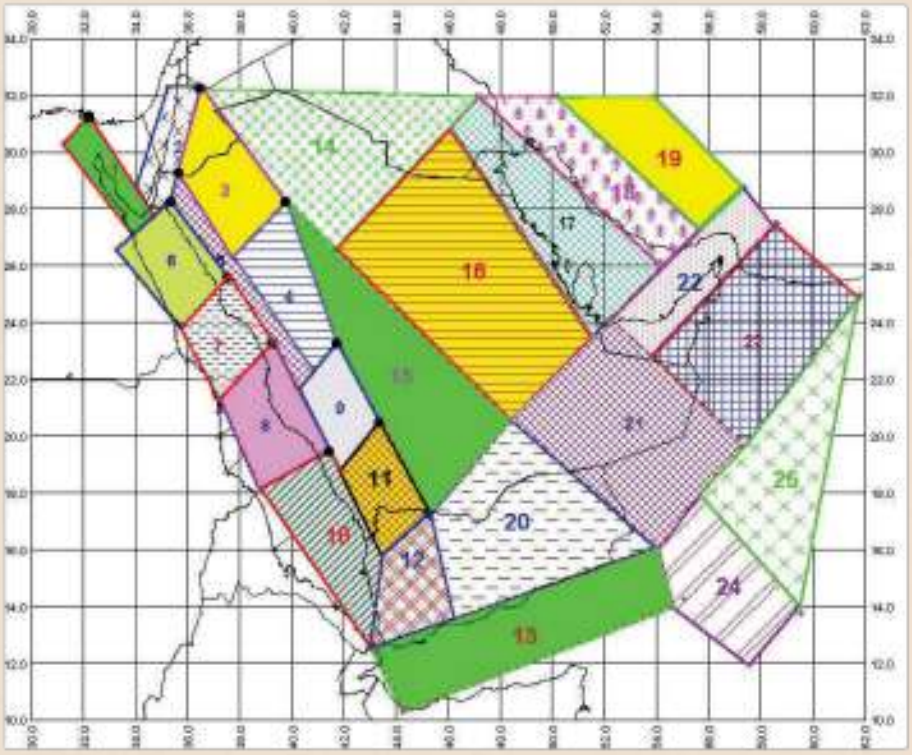
نطاق المصدر — الزلزالية — التعتيم

استجابة الموقع — الخطورة الزلزالية — حليف الإستجابة

وبأخذ الاعتبارات الجيولوجية والسيزمية وتطبيق النماذج الرياضية المختلفة تم تحديد ٢٥ نطاق زلزالي وتم تعريفها وتخطيطها في شبة الجزيرة العربية والمناطق المجاورة على النحو التالي :

قم النطاق	مسمى النطاق	رقم النطاق	مسمى النطاق
١	خليج السويس	١٤	طريف – وادي السرحان
٢	خليج العقبة – البحر الميت	١٥	صدع نجد
٣	تبوك	١٦	وسط المسطح العربي
٤	النطاق البركاني في الشمال الغربي	١٧	الخليج العربي
٥	وسط الحجاز	١٨	جبال زاجروس
٦	ضبا والوجه	١٩	سلسلة سنتداج إيران
٧	ينبع	٢٠	جنوب اليمن
٨	جنوب البحر الأحمر – جدة	٢١	حوض الربع الخالي
٩	مكة المكرمة	٢٢	ديبا – بندر عباس
١٠	جنوب البحر الأحمر – الدرب	٢٣	مكران – حواسنة
١١	أبها – جيزان	٢٤	مرتفعات شرق شبيه
١٢	جنوب غرب الدرع العربي	٢٥	صدع المسيره
١٣	خليج عدن		

اعتبرت نطاقات المصادر الزلزالية ١ و٢ و٦ و٨ و١٠ و١٣ و١٨ و١٩ و٢٢ و٢٤ مناطق نشطة زلزالياً خلال الفترات التاريخية والحديثة . تتميز نطاقات المصادر الزلزالية هذه بوجود واحد أو أثنين من ميكانيكيات المصادر المحتملة مثل نظم الشد وصدوع عمودية وانزلاقية ونطاقات تصادمية . التوزيع الفراغي والزمني للأحداث الزلزالية في نظام الصدع تبدو كثيفة ولكن يوجد تشوه قشري عبر محور الشد بينما مواقع البؤر الزلزالية في مناطق التصادم تعتبر تقريباً منتظمة التوزيع. وتتراوح قيمة ال b لهذه المناطق الزلزالية بين ٠,٧ و ١,٢ . ويلاحظ أن باقي مناطق المصدر الزلزالي تعتبر غير نشطة زلزالياً من حيث وقوع أحداث زلزالية ضعيفة إلى متوسطة خلال الفترات التاريخية والحديثة بالرغم من أن بعض نطاقات المصدر الزلزالي هذه (١٦ و١٥ و١٢ و ٩ و٧ و ٥ و٤) تحتوي على نظام صدع معروف وتقع في منطقة بركانية . وتتراوح قيمة الـ b في مناطق المصدر الزلزالي هذه تقريبا من ٠,٣٥ – ٠,٦ ماعدا المناطق البركانية التي يبدو أنها تتبع نظام الشد.



النطاقات الزلزالية لشبه الجزيرة العربية والمناطق المجاورة

تقييم المخاطر الزلزالية في المملكة

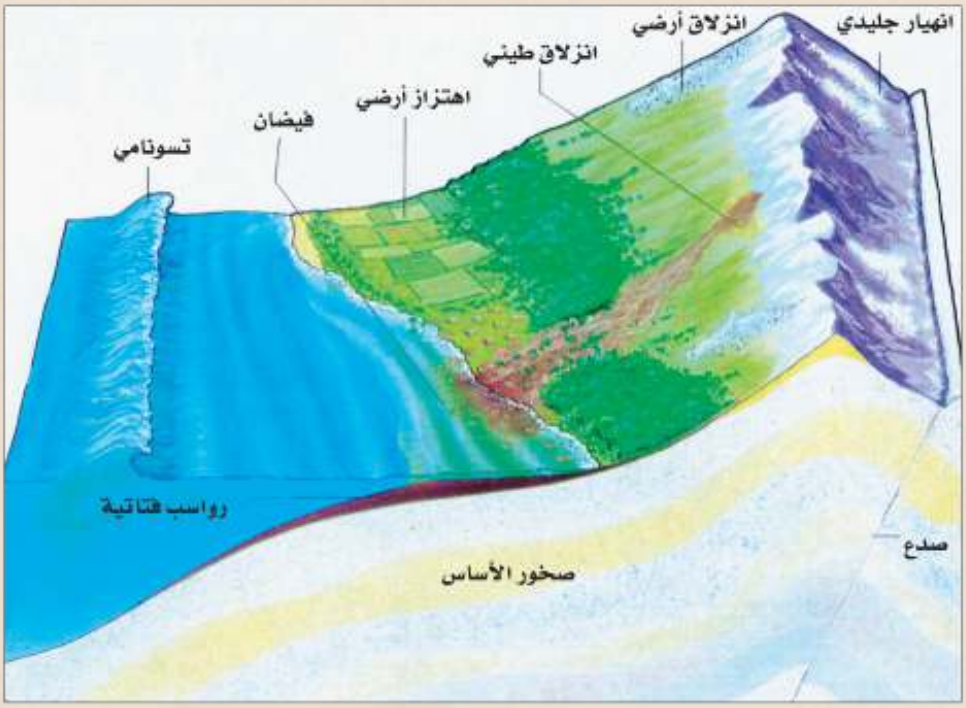
تتعرض المملكة العربية السعودية كغيرها من الدول الأخرى النامية والمتقدمة لعدد من المخاطر الطبيعية الأرضية والجوية والحيوية. وتتفاوت هذه المخاطر في قوتها ومدتها وتكرارها وخطرها. ومن الأخطار التي تهدد المملكة الزلازل والهزات الأرضية وخاصة في شمال غرب وجنوب غرب المملكة، والسيول والجفاف وزحف الرمال والعواصف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

• أرضية

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

• جوية

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



نموذج يوضح بعض المخاطر الطبيعية الأرضية

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

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

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

- **الشدة الزلزالية** Seismic Intensity

تستخدم نظرية الإحصاء والاحتمالات لتحديد مستوى الشدة الزلزالية في منطقة ما خلال فترات زمنية مستقبلية مع توقع زيادة في هذا المستوى باحتمال قدره١٠٪ وبعد رسم الخريطة الكنتورية للقيمة القصوى لعجلة (تسارع) الحركة الأرضية المتوقع حدوثها أفضل أسلوب لتوضيح قيم الشدة الزلزالية بهذه المناطق. تمثل قيمة هذه العجلة كنسبة عشرية أو مئوية من قيمة عجلة الجاذبية الأرضية (g). تصنف المناطق من حيث خطورتها الزلزالية طبقاً لقيمة عجلة الحركة الأرضية إلى أربعة مناطق هي:

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

ومن خلال الخرائط الكنتورية لقيم عجلة الحركة الأرضية المتوقع حدوثها خلال ٥٠ عام وباحتمال زيادة قدره ١٠٪ بمناطق المملكة العربية السعودية يتضح أن المملكة عموماً تعد من المناطق منخفضة الخطر في وسطها وشرقها. ويصل الخطر إلى ٠,٢٤ g في شمال غرب المملكة (منطقة خليج العقبة) وجنوب غرب المملكة (منطقتي عسير وجازان) حيث تصل القيمة في جازان إلى ٠,٢٤ g. أي أنها منطقة خطرة نسبيا . بينما في أبها بلغت ٠,١٨ g. أي أنها متوسطة الخطورة . تراوحت قيمة عجلة الحركة الأرضية في الطائف ومكة وجدة ما بين ٠,١٤ إلى ٠,١٦ g.

المعامل الزلزالي للمنطقة Z

ZONE	1	2A	2B
Z	0.075	0.15	0.24

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

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

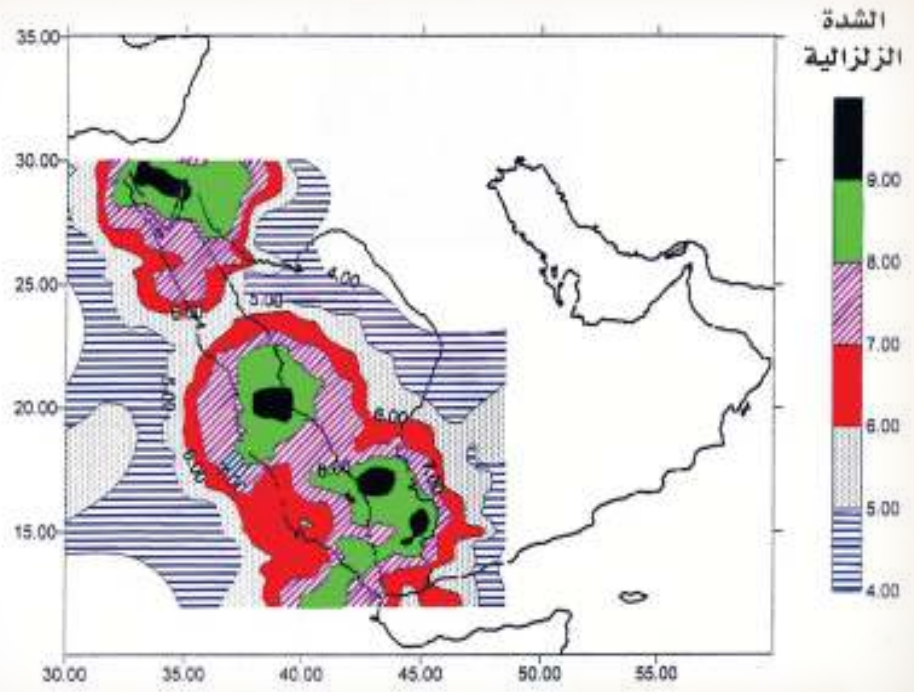
منطقة جازان : جيزان - أبو عريش - صبيا – فيفا- صامطه- أحد المسارحة - بيش - فرسان - ضمد – العارضه – الطوال.

- **كفاءة المباني**

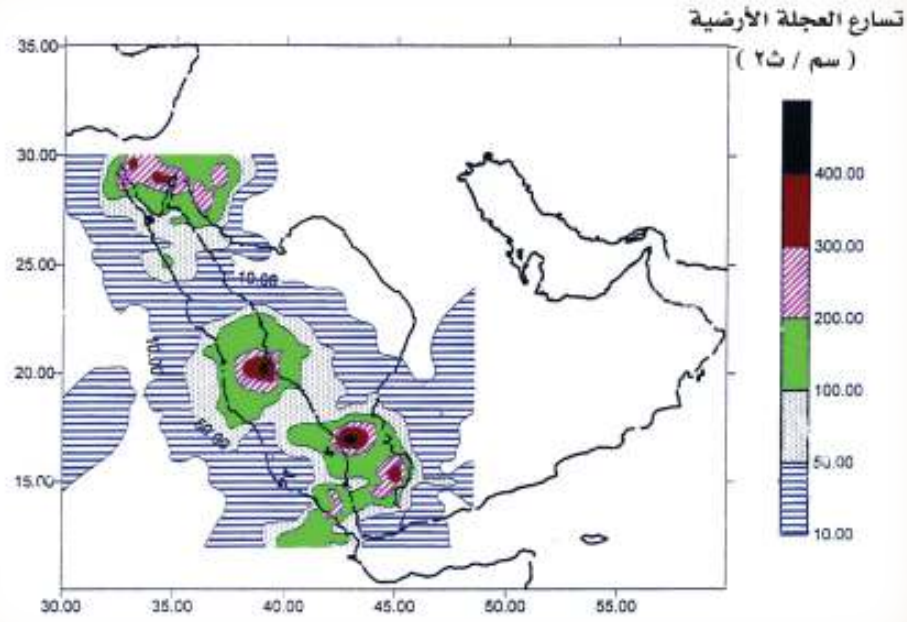
تستخدم خريطة العجلة الأرضية في تقويم كفاءة المباني المقاومة ومعرفة مدى مقاومتها لمستوى الشدة الزلزالية المتوقعة. كما تستخدم في أغراض التصميم الزلزالي للمباني إما مباشرة أو من خلال تحديد المعامل الزلزالي للمنطقة.

وطبقاً لنتائج الشدة الزلزالية فإنه على ضوءها يمكن تقدير مدى التلف المتوقع مستقبلاً للمنشآت. حيث تصل نسبة التلف في المباني الخرسانية المسلحة التي لم يراعي في تصميمها مقاومة الزلازل (حوالي ٣٣٪) عند زلزال شدته VIII على مقياس ميركالي المعدل، بينما تبلغ نسبة التلف في المباني الخرسانية المسلحة التي تم تصميمها بطريقة مقاومة للزلازل (١٣ ٪) تقريباً عند نفس الشدة الزلزالية.

لقد أوضحت نتائج المشروع (٩ - ٣١) والمدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية بأن الزيادة في تكلفة المشروع السكنى عند اعتبار معامل الأمان الزلزالي في التصميم قليلة حيث تزيد مقدار التكلفة بنسبة مئوية مقدارها ٠,٥٪ فقط للمباني السكنية العادية المكونة من دورين بينما أثبتت دراسة الجمعية التقنية التطبيقية الأمريكية أن الزيادة في تكلفة المباني في حدود ٠,٧٪ من التكلفة الكلية للمباني السكنية التي تبلغ عدد طوابقها تقريباً خمسة أدوار. إن إضافة تكلفة أحمال الزلازل إلى تصميم المباني السكنية غير مكلف مادياً. وتتمثل هذه الزيادة في وضع وتفريد وتشبيك حديد التسليح بطريقة خاصة تضمن تلاحم أجزاء المبنى بصورة جيدة وزيادة بسيطة في أبعاد ومقاطع بعض العناصر الإنشائية والتلاحم الجيد بين العناصر الغير إنشائية (الحوائط) والعناصر الإنشائية للمبنى.



خريطة كنتورية لأقصى شدة زلزالية متوقع حدوثها خلال ٥٠ عاماً وباحتمال زيادة قدره ١٠٪ . تزداد الشدة في منطقتي الشمال الغربي والجنوب الغربي من المملكة وتتراوح قيم الشدة مابين ٨-١٠ على مقياس ميركالي.



خريطة كنتورية لقيم تسارع العجلة الأرضية المتوقع حدوثها خلال ٥٠ عاماً وباحتمال زيادة قدره ١٠٪ . يزداد التسارع في منطقتي وسط وجنوب البحر الأحمر وخليج العقبة.

التصميم المقاوم للزلازل

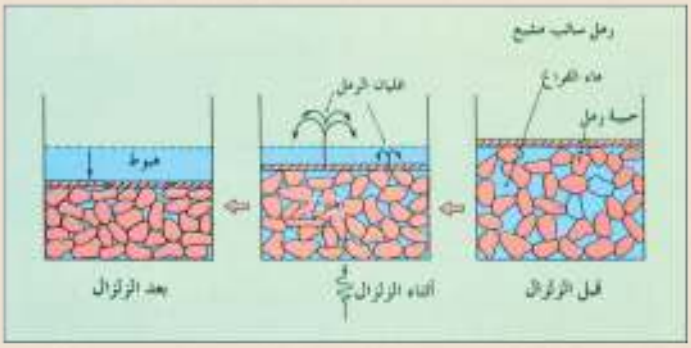
تكمن أهمية اعتماد مواصفات البناء الإنشائي المقاوم للزلازل في المملكة من عدة أسباب أهمها: (١) إن التحليل الإحصائي للسجلات الزلزالية التاريخية والحديثة توضح بأن مناطق المملكة قد شهدت كثيرا من الهزات الزلزالية ويحتمل أن يتكرر حدوث هذه الهزات مستقبلا (٢) أن الدراسات التي أجريت على كثير من حالات الانهيار الإنشائي الناجم عن الزلازل تؤكد على أن التصميم الإنشائي يلعب دوراً كبيراً في تحديد حجم الخسائر البشرية والمادية.

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

يعرف التصميم المقاوم للزلازل بأنه التصميم الذي يكفل الحماية الكافية من الإصابات والخسائر في الأرواح وأقل ضرر بالممتلكات واستمرار خدمات المرافق الحيوية مع تحقيق ذلك بتكلفة اقتصادية مقبولة.

تصمم المنشآت المقاومة للزلازل بناء على توفير المعطيات التالية:

- معرفة الطبيعة الجيولوجية والزلزالية للموقع وتحديد مواقع الصدوع النشطة وقيم الشدة الزلزالية. وهذا يتطلب توفير خرائط توزيع الشدة الزلزالية.
- طبيعة التربة وخواصها الديناميكية. حيث تتسبب الموجات الزلزالية بتمييع التربة Liquefaction وحصول الانهيارات الأرضية.



ميكانيكية تميع التربة

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

يعتمد معامل التصميم الزلزالي للمباني المقاومة للزلازل على عدة عوامل :

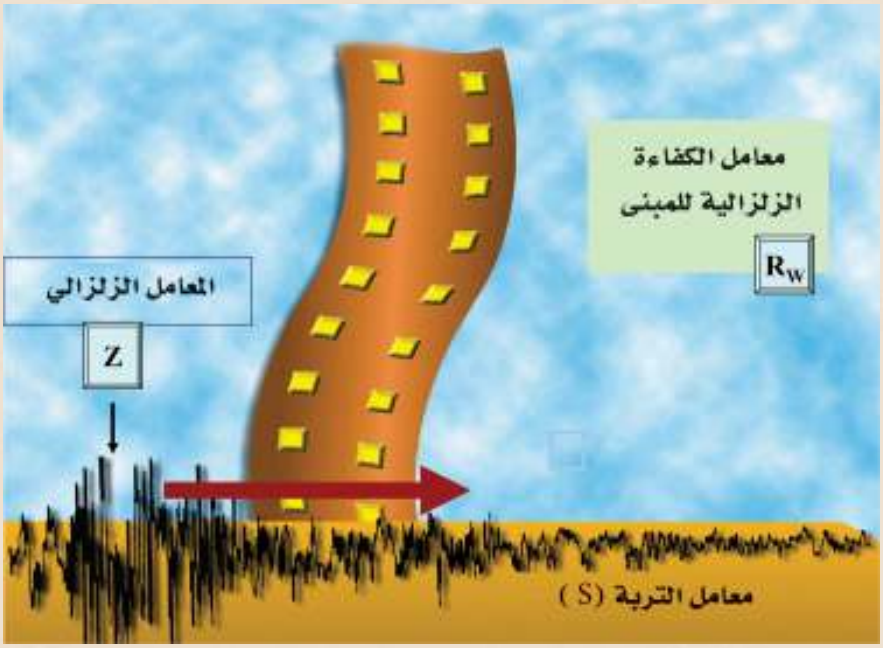
- المعامل الزلزالى للمنطقة Z ويدل على مستوى الشدة الزلزالية المتوقعة في المنطقة، ويتم تحديده من خلال دراسة مستوى الخطر الزلزالي .
- معامل قابلية التربة لتضخيم الأحمال الزلزالية S .
- معامل الكفاءة الزلزالية R للمبنى، ويعتمد على نوعية المبنى ومدى مطابقته لمواصفات التصميم المُقاوم للزلازل.
- فترة الذبذبة الطبيعية T وتعتمد على الصلابة الأفقية للمبنى . وتُعد المباني الخرسانية المسلحة أكثر صلابة من المباني الحديدية . وتقل قيمة فترة الذبذبة في المباني المنخفضة عنها في المباني الشاهقة ولذلك نجد أن تردد المباني المنخفضة أكبر بكثير من تردد المباني الشاهقة.
- معامل أهمية المبنى I .
- الشكل الهندسي للمبنى.

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

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



العلاقة بين معاملات التصميم الزلزالي للمباني المقاومة للزلازل

وهناك مبادئ عديدة لتصميم الأبنية منها :

- أن يكون مخطط المنشأ بسيطاً لأن التصميم المعقد قد يسبب اجهادات وتشوهات غير منتظمة .
- يجب أن ترتب الأجهزة الإنشائية المقاومة للزلازل بحيث يكون الالتواء Torsion اقل ما يمكن مع تجنب الأشكال المعقدة والتوزيع الغير منتظم للأثقال .
- اختيار نظام إنشائي بسيط يمكن تحليله بسهولة.

- إعطاء متانة وممطولية Ductility كافية للمنشأ.
- معرفة الخواص الزلزالية للموقع بحيث تكون بعيدة عن الفوالق ومناطق تميع التربة .

متطلبات تصميم عناصر المبنى المقاوم للزلازل

الأساسات

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

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

العناصر الإنشائية

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

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

الاحتياطات الوقائية

أولاً : قبل حدوث الزلازل

- **الاستعداد النفسي**

تؤكد التقارير أن الرعب وعدم التصرف السليم من قبل الناس عند حدوث هزات أرضية يؤديان إلى زيادة عدد المتضررين وحدوث أزمات نفسية حادة حتى في الحالات التي تكون فيها الهزات الأرضية خفيفة. وعادة ما يحدث ذلك للناس الذين لا يعرفون شيئاً عن طبيعة الزلازل ونوعية مخاطرها، وفي الغالب يكون الأطفال أكثر عرضة للأزمات النفسية أثناء وبعد حدوث الزلازل. لذلك يعد الاستعداد النفسي لاحتمال وقوع الزلازل أحد العوامل الأساسية التي تساعد على التصرف السليم لمواجهة مخاطر الزلازل، ويمكن تحقيق ذلك من خلال عدة عوامل منها:

- التعرف على ماهية الزلازل مع الأخذ في الحسبان احتمالية حدوثها في أي وقت وفي أي زمان، وتدريب الأطفال على ذلك.
- تعريف أفراد العائلة على كيفية التصرف أثناء حدوث الزلازل.
- القناعة الشخصية بأن هناك وسائل وقائية يمكن الأخذ والاهتمام بها للمساعدة في تخفيف مخاطر الزلازل.
- الاهتمام بالدور الفعال للمدرسة في توعية الأطفال وتهيئتهم نفسياً لمواجهة مخاطر الزلازل، وذلك من خلال النشاطات المدرسية العامة، مع إعداد منشورات خاصة بذلك.

- **التعرف سابقاً على مصدر الخطر الزلزالي ومعالجته.**

من أهم الوسائل الفعَّالة لتخفيف مخاطر الزلازل تثبيت الأجسام التي تكون عرضة للسقوط أثناء الزلازل، ويُنصح هنا بمشاركة أفراد العائلة لتحديد مثل هذه الأجسام كأحد أساليب التهيئة النفسية لأفراد العائلة. ومن أمثلة هذه الأجسام:

- الأثاث المرتفع والثقيل الذي قد ينقلب ويسقط مثل خزانة الكتب ودواليب الأدوات المنزلية، وكذلك رفوف المواد الغذائية والأثاث المكتبي، ومثل هذه

الأجسام يمكن تثبيتها بسهولة في الحوائط أو أرضية المنزل بواسطة زوايا حديدية صغيرة.

- سخانات المياه أو ما شابهها من أنابيب الإطفاء والأكسجين تكون في الغالب مصدر خطورة شديدة عند سقوطها وانفجارها بسبب الزلازل، لذلك يجب تثبيتها جيداً بواسطة أحزمة حديدية.
- سقوط حائط السطح أثناء الزلازل يشكل في الغالب مصدر خطورة كبيرة سواء للمارة أو لسكان المنزل أثناء هروبهم، لذلك من الضروري استشارة المهندس المختص عن الأسلوب الأمثل لإنشاء وتثبيت حائط السطح ليكون مقاوماً للحركة الأفقية.
- الأسقف المستعارة يجب تثبيتها جيداً في الأسقف الأساسية بواسطة أسلاك حديدية.
- النوافذ والأبواب الزجاجية الكبيرة تشكل مصدر خطر زلزالي كبير، لذلك يجب استبدالها بزجاج مقوى بأسلاك حديدية.
- السوائل الخطرة القابلة للاشتعال أو الحارقة يجب أن تحفظ في أوعية محكمة وتثبت جيداً في رفوف خاصة تمنع سقوطها، وذلك بربط أوعية السوائل الخطرة بواسطة أحزمة مطاطية أو وضع ساتر على الأرفف يمنع سقوطها وخاصة في المعامل والمختبرات.
- التثبيت الجيد لخزانات المياه فوق أسطح المنازل وكذلك أوعية النباتات المنزلية وإطارات الصور والمرايا والأجسام الثقيلة الموضوعة فوق الرفوف.
- **تجنب البناء في الأماكن المعرضة للانزلاقات الأرضية أو لتساقط الصخور من قمم الجبال**
- **تصميم المنزل ليكون مقاوماً للزلازل.** إذا كنت تخطط للبناء فتأكد من أن المكتب الهندسي الذي أعد تصاميم منزلك قد أخذ في الاعتبار معايير التصميم المقاوم للزلازل وخاصة أن هذا لا يزيد في تكلفة تنفيذ المنزل إلا زيادة بسيطة لا تزيد عن ١٪ من التكلفة الإجمالية.
- **تحسين الكفاءة الزلزالية للمباني**

تساعد المباني المقامة عن طريق استشارة مكتب هندسي مختص واتخاذ بعض التعليمات الفنية البسيطة في تحسين الكفاءة الزلزالية لمنزلك وبتكلفة بسيطة.

ارشادات قبل حدوث الزلزال

تثبيت
الخزائن بالحوائط

استعمال أقفال
محكمة للخزائن

تثبيت الخزائن
الثقيلة بالحائط

تثبيت الأجهزة
الثقيلة بالحائط

ثانياً : أثناء و بعد حدوث الزلازل

تتمثل أهم الاحتياطات الوقائية أثناء وبعد حدوث الزلازل في عدة توصيات أهمها :

- إذا كنت في داخل المنزل فلا تحاول الهروب منه ولكن اختبئ بأسرع وقت ممكن بالجلوس تحت الطاولات، أو إطارات الأبواب، وحاول تجنب سقوط الأثاث أو شظايا الزجاج عليك، وحاول إطفاء مصادر النار مثل المواقد وخلافها إذا كنت قريباً منها حتى لا تكون سبباً في الحرائق المصاحبة للزلازل، وتجنب إشعال أي نوع من النار فقد يكون هناك تسرب غاز مما يسبب حرائق.
- احرص دائماً على الاهتمام بالأطفال أولاً وطمأنتهم ومصاحبتهم دائماً أثناء الزلازل سواء في المنزل أو أماكن الإخلاء حتى لا يتولد عندهم خوف من الكارثة.
- إذا لاحظت أن منزلك في حالة إنشائية سيئة وقد ينهار، حاول الهروب منه بحذر شديد وتجنب سقوط حائط السطح عليك أثناء هروبك وحاول الاحتماء بين الأعمدة والزوايا الخرسانية.
- إذا كنت خارج المنزل حاول الابتعاد عن المباني واذهب في اتجاه الأماكن الخالية مثل الحدائق والساحات، وتجنب التجمهر حول الأماكن التي حصل بها إصابات مثل المنازل المنهارة حتى لا تكون سبباً في إعاقة رجال الإنقاذ.
- تجنب استخدام المصاعد لأنها قد تكون عرضة للعطل أثناء الزلازل.
- في المباني المرتفعة استند إلى أحد أعمدة المبنى أو تحت الكمرات
- ابتعد عن الجسور المعلقة والمباني الزجاجية وخطوط الضغط العالي.
- إذا كنت تقود سيارة فحاول الوقوف بأسرع وقت ممكن مع تجنب المرور من خلال الأنفاق أو تحت الجسور أو فوقها.
- كُن مستعداً نفسياً للهزات اللاحقة ولا تستغرب حدوثها، فمن الطبيعي حدوث هزات لاحقة للهزة الرئيسية، وقد تستمر لعدة أشهر.
- تذكر أن الهزات اللاحقة قد تسبب سقوط أجزاء من المباني المتأثرة بالهزة الرئيسية، لذلك احرص على إزالة الأنقاض والأجزاء الآيلة للسقوط بسبب الهزات اللاحقة وتجنب المرور أمام مثل هذه الأنقاض.
- تأكد من صلاحية الوصلات الكهربائية وتوصيلات الغاز قبل أن تقوم باستعمال أي نوع من النار في المنزل.

ارشادات أثناء وبعد حدوث الزلزال

ابتعد عن البالكونات واتجه
الى الساحات المفتوحة

حاول الابتعاد عن الجسور ثم

أوقف السيارة حتى انتهاء الهزة

تجنب الوقوف تحت
خطوط الضغط العالي

ارشادات أثناء وبعد حدوث الزلزال

لا تستعمل المصعد

تجنب المرور بجانب المباني الزجاجية

أبتعد عن جسر المشاه

دروس مستفادة من حالات تاريخية

الاهتزاز الأرضي القوي على مباني البلك الغير مسلح = كارثة مدمرة

انهيار الحائط والأعمدة ناتج عن قوى القص الأفقية

انهيار قص مفاجئ للأعمدة الحاملة

هبوط مسطح بسبب انهيار
فجائي للأعمدة الحاملة

عدم قدرة الجسر على مقاومة الإجهادات الزلزالية عند منسوب الأساسات مما أدى إلى حدوث إنهيار قصي عند نقطة إتصال أعمدة الطابقين

انهيار ناتج عن اختلاف مناسيب التأسيس

تميع التربة الرملية

ويمكن تلخيص الدروس المستفادة في هذا المجال بالنقاط التالية :

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

المراجع

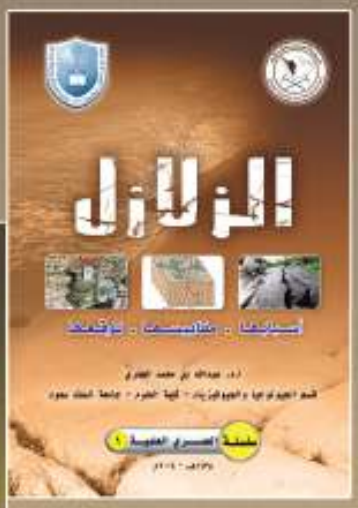
- الحداد ، محمد – الزيد ، راجح – عرفه ، منير – انجيلو، التان – تركلي، نيازي (١٩٩٣) . أسس ومعايير تقويم الخطر الزلزالي في المملكة العربية السعودية البحث أ ت ٩-٣١ مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية – الرياض .
- السنوي ، سهل (١٩٩٧) . أساسيات علم الزلازل . مركز عبادي للدراسات والنشر .صنعاء – اليمن.
- الصباح ، أمثال و بو ربيع ،فريال. هل أعددت أسرتك لمواجهة أخطار الزلازل ؟ الدفاع المدني- الكويت .
- العمري ، عبدالله محمد (٢٠٠٥) النطاقات الزلزالية لشبة الجزيرة العربية والدول المجاورة . مركز الدراسات الزلزالية
جامعة الملك سعود- الرياض.
- الغامدي ، سعيد- العمري، عبدالله (١٩٩٤) 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 (١٤٢٠هـ). الدليل الانشائي لحساب الأحمال الزلزالية واشتراطات الأنظمة الانشائية للمباني بالمملكة العربية السعودية.

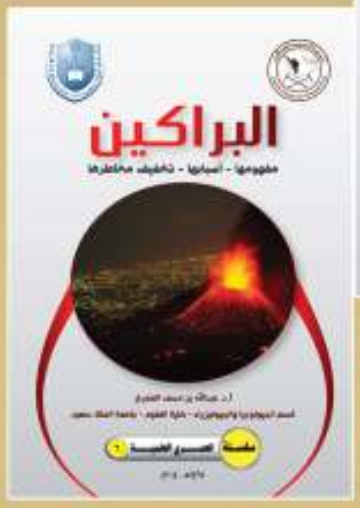
السيرة الذاتية للمؤلف

أ.د. عبد الله بن محمد العمـــــــري

- حصل على درجة الدكتوراة في الجيوفيزياء عام ١٩٩٠م من جامعة منيسوتا- أمريكا
- أستاذ الجيوفيزياء -قسم الجيولوجياء - جامعة الملك سعود منذ عام ١٤٢٠هـ
- المشرف على مركز الدراسات الزلزالية- جامعة الملك سعود منذ عام ١٤١٧ هـ
- المشرف على كرسي استكشاف الموارد المائية في الربع الخالي
- رئيس الجمعية السعودية لعلوم الأرض منذ عام ١٤٢٧ هـ
- رئيس قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود
- رئيس تحرير المجلة العربية للعلوم الجيولوجية
- رئيس فريق برنامج زمالة عالم مع جامعة اوريجون الحكومية الأمريكية
- مستشار مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية
- مستشار هيئة المساحة الجيولوجية
- مستشار هيئة المساحة العسكرية
- نشر أكثر من ١٠٠ بحث علمي وتقرير فني في مجلات علمية متخصصة
- ألقى أكثر من ١٥٠ ورقة عمل في ندوات محلية ومؤتمرات عالمية
- باحث رئيس مع مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية وشركة أرامكو
- باحث رئيس مع وزارة الطاقة الأمريكية وجامعة كاليفورنيا ومعمل ليفرمور الأمريكي
- باحث مشارك في جامعتي الاباما وبنسلفانيا الحكومية الامريكية
- ممتحن خارجي في عدد من رسائل الماجستير والدكتوراه
- ضمن قائمة (المنجزون البارزون العرب) من قبل منظمة ريفاسبمنتو الدولية
- عضو الجمعية الأمريكية للزلازل
- عضو الإتحاد الأمريكي للجيوفيزياء
- عضو الإتحاد الأوروبي للجيولوجيين والمهندسين
- عضو لجنة تخفيف المخاطر الزلزالية لشرق البحر الأبيض المتوسط
- حصل على جائزة المراعي للإبداع العلمي عام ٢٠٠٥ م
- حصل على جائزة التميز الذهبي من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم و التقنية عام ٢٠٠٦ م
- حصل على جائزة أبها التقديرية للاسهامات العلمية (٢٠٠٧م)
- حصل على جائزة جامعة الملك سعود للتميز البحثي (٢٠١٣م)
- حصل على جائزة الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء للنشاط العلمي (٢٠١٣م)
- حصل على جائزة جامعة السلطان قابوس للاسهامات العلمية (٢٠١٣م)

سلسلة العمري العلمية ١ - ٦





www.a-alamri.com
alamri.geo@gmail.com