الفصل السادس
أسس هندسة الزلازل
«تخفيف مخاطر النشاط الزلزالي»

ان أفضل تعريف للمبنى المقاوم للزلازل هو ذلك المستمدّ من فلسفة التصميم الزلزالي بشكل عام، والتي ترجع في أصولها إلى النظريات الحديثة في التصميم الإنشائي. هذه النظريات تشير إلى أن الهزة الأرضية تكشف عن كافة النقائص والعيوب التي تقع سواءً عند تصميم المنشأة (عند اعتماد جملة انشائية غير مناسبة مثلاً) أو عند حسابها الفني، أو عند اعتماد نظام خاطىء أو عند الخطأ في تقويم تربة التأسيس أو خصائصها الفنية. وعموماً فإن المنشآت البيتونية المسلحة التي لم تصمم وفق متطلبات الحماية الزلزالية، ولكن تمت دراستها وفق أسس سليمة، بحيث انها تتمتع بشروط جيدة في مواقعها وبنيتها ونفذت بشكل جيد، فإن لها حظاً طيباً لتتحمل زلازل متوسطة تصل شدتها إلى الدرجة (٧) حسب مقياس ميركالي المعدل. أما الأبنية المصممة أو المنفذة بشكل خاطىء فإن أضرارها ستكون كبيرة حتماً.

إن التطبيق الجيد لتوصيات نظم البناء يعطي المنشآت مقاومة أولية ازاء الزلازل، غير ان هذه التوصيات غير كافية بمفردها لتأمين الحماية المنشودة ضد الزلازل (٥١).

١- خطر الزلزال.. وقوته المكافئة.

إن تحديد مخاطر الزلزال، أي القوة المكافئة لفعل الزلزال على المنشآت يعتمد على مجموعة عوامل أهمها:

آ - قيمة الهزة الأرضية، معبراً عنها بالطاقة المتحررة من الهزة عند مصدرها.

ب - بعد موقع البناء عن مركز الهزة.

جـ – الطبيعة الجيولوجية للأرض بين مركز الهزة وموقع البناء.

د – مقدار توزيع الكتل في البناء.

هـ – قساوة البناء.

و– خواص تخامد البناء الذي يمر أثناء الاهتزاز بثلاثة أطوار، أولها طور الاهتزاز الأساسي ويمثل تقريباً نسبة ٨٠٪ من التجاوب، وخلال الطورين الباقيين تقل الازاحة تدريجياً حتى يتخامد المنشأ بشكل كامل.

ان تحديد تأثير الزلازل على الأبنية العالية، والمنشآت المختلفة يتطلب تحليلاً انشائياً وديناميكياً، بقصد تحليل القوى المتولدة في العناصر الإنشائية – تماماً كما هو الحال في حالة ضغط الرياح – وهذا التحليل يعتبر من أعقد المسائل الانشائية (١٠، ٣٥، ٣٦، ٥٢، ٥٣..)

٢– الهيئات الأساسية للاهتزازات

من المعروف أن الزلزال يحرك التربة التي تحرك بدورها عشوائياً أساسات البناء المرتكزة عليها، وخلال الاهتزاز يحاول البناء ان يساير حركة الاساسات المهتزة، إلا أن عطالة اجزائه تمانع حركة الأساسات فتظهر تشوهات وقوى داخلية مختلفة الشدة في البناء (الشكل رقم ٣٥).

تتسبب الهزة الأرضية في حصول أشكال مركبة من الاهتزاز تحلل إلى عدد من الأشكال البسيطة، التي تسمى الهيئات الأساسية للبناء. ويسمى الزمن اللازم لكل هيئة لاتمام حركة اهتزازية كاملة بدور البناء في الهيئة المدروسة. وتعتبر قيم هذه الأدوار خاصة من خواص البناء، وهي مستقلة ومنفصلة عن صفات الحركة الزلزالية، التي يمكن أن تؤثر على البناء. وتمثل نسبة دور البناء إلى دور الحركة الاهتزازية الواقعة عليه عاملاً هاماً مؤثراً على سلوك البناء خلال الحركة الاهتزازية. وعادة فإننا حتى نحدد التسارع الأرضي تحت البناء يجب علينا تحديد مقدار التسارع الأفقي على محورين أفقيين، ومحور شاقولي ثالث ينطبق على المحور الشاقولي للبناء. وعادة يتم اهمال تأثير أي قوى فتل في التربة المحيطة بأساسات البناء، علماً بأن مثل هذه القوى يمكن أن تتولد في البناء نتيجة لعدم التناظر في شكل البناء على سبيل المثال. وباعتبار أن صلابة البناء بالاتجاه الشاقولي تكون أقوى من صلابته بالاتجاه الأفقي، لذلك يهمل المهندسون عادة تأثير التسارع الشاقولي في البناء والاهتمام بالتأثير الأفقي لحركة الزلزال. ذلك أن الاهتزازات الزلزالية ذات التردد الأفقي تشكل

سبباً لأغلب التصدعات الحاصلة في المنشآت لذلك فإن دراستها تكون امراً مهماً في بعض المنشآت المدنية كالجسور والسدود.

وكثير من المهندسين يفترض – قاصداً تبسيط الحساب – ان حركات التسارع الأفقي الزلزالية تعمل بشكل مستقل عبر المحاور الأفقية الرئيسية للبناء.

إن القوى الناشئة عن تأثير الزلازل في البناء هي قوى عطالة داخلية، يعتمد مقدارها على عدد من العوامل كتسارع الزلزال المؤثر في كتلة البناء وليس على مقدار سطحه الخارجي، وهذا يعني أن زيادة مقاطع عناصر البناء لا تعني بالضرورة زيادة مقاومته لتأثير الزلازل، لأن مثل هذه الزيادة تعني زيادة في كتل العناصر، وبالتالي في مقدار قوى العطالة المرتبطة بها نتيجة أية حركة زلزالية.

لقد أثبتت الدراسات الحديثة ضرورة الاهتمام بالتفاعل المشترك بين التربة وأساسات البناء، ذلك لأن هذا التفاعل يغير بشكل ملموس من سلوك البناء تحت الحمولات الزلزالية. حسب النظريات الحديثة فإن المبنى المقاوم للزلازل يعني حسب التصميم الإنشائي، أنه المبنى القادر على البقاء في حالة سليمة عند تعرضه للزلازل الضعيفة، وأن تكون هياكله الإنشائية قادرة على تحمل القوى الناتجة عن الزلازل متوسطة الشدة. مع القبول بامكانية اصابة بعض العناصر غير الإنشائية بضرر يمكن اصلاحه. كما يجب أن لا ينهار مثل هذا المبنى عند تعرضه للزلازل المدمرة الشديدة على الرغم من أن الأضرار الإنشائية وغير الإنشائية التي ستلحق به قد تكون كبيرة لدرجة لا يمكن اصلاحها.

ولا بد من الإشارة إلى أن المعرفة العالمية بالزلازل من حيث التنبؤ بحدوثها أو تحديد خصائصها ما زالت قاصرة. فللأرض مفاجآتها وكثير من المدن الآمنة كمدينتي سبيناك ولينينكان في أرمينيا السوفييتية قد يفاجئهما مجدداً زلزال مدمر يزيل ما تبقى منهما عن ظهر الأرض.

وقد حاول المختصون في هذا المجال واعتماداً على ما توفر لديهم من معلومات عن زلازل سابقة سجلت خصائصها من تسارع وازاحة وغيرها باستخدام أجهزة متخصصة لاستنباط أنماط سلوكية للزلازل. تؤخذ بعين الاعتبار عند وضع القوانين والتعليمات الخاصة بالزلازل. كما أن القدرة الحالية على تحديد كيفية تأثير الزلازل على المنشآت المختلفة وطبيعة تجاوب المنشآت معها سواء على مستوى النظام والعنصر الإنشائي أو على مستوى اجهادات المواد المكونة للعناصر

الانشائية لم ترتق حتى على المستوى العالمي إلى ما يمكن تسميته باليقين العلمي(١٠، ٣٦، ٥٢، ٥٣، ٥٤، ٠٠٠ حتى ٦٧).

٣- العناصر الجمالية والمعمارية

في الماضي لم تكن العناصر الجمالية أو غير الانشائية (كبساطة المنشآت وتماثلها وانتظامها والجدران والقواطع والسقوف المعلقة والأبواب والنوافذ وغيرها من العناصر المشابهة) تلقى الاهتمام الكافي في تصميم الأبنية المقاومة للزلازل، لكن الزلزال الذي حدث في غواتيمالا (أمريكا اللاتينية) عام ١٩٧٦ دفع العلماء إلى إعطاء اعتبار كبير للعناصر غير الانشائية في الأبنية، ذلك أن اهمال هذه العناصر سبب خسائر ناجمة عن الزلازل تعادل نسبة ٧٠٪ من اجمالي الخسائر (٦٧).

ولزيادة الإيضاح فإن انهيار سقف الكاراج في مشفى ما قد يؤدي إلى تحطيم سيارات الاسعاف الموجودة فيه، وانهيار سقف مستعار لمحطة مركزية للاطفاء قد يعطل عمل سيارات الاطفاء، بحيث لا يعطلها فقط وانما يمنع خروجها من الباب الرئيسي فيلغي عملها وعمل المنشأة (المشفى أو محطة الاطفاء). وهذان المثالان يوضحان أهمية العناصر غير الإنشائية في حالة حدوث زلازل. إن التصميم الجيد للعناصر غير الانشائية يشكل جزءاً لا يتجزأ من التصميم النموذجي للمبنى المقاوم للزلازل، وهو في الوقت نفسه يحقق غايات ثلاث هي: سلامة الأرواح، والمحافظة على الممتلكات، وتواصل عمل الخدمات.

ان العوامل الهندسية المعتمدة والمهمة في البناء في واقع الظروف الاعتيادية كانكماش أجزاء من المبنى وتأثير الحرارة وما شابه ذلك، لا يكون لها جدواها في حماية المبنى عند حدوث الزلزال. وهذه الفواصل كما هو معروف هي عناصر غير انشائية للمبنى، تتفاعل مع بعضها البعض عند حدوث الزلازل، ليس ذلك فحسب بل انها تتفاعل مع العناصر الإنشائية، مما يعرض العناصر الإنشائية لقوى أكبر من القوى المتوقع أن تتعرض لها في الأحوال العادية، وهذا بحد ذاته يجعل الضرر الحاصل في المبنى عند حدوث الزلازل كبيراً جداً. وهذه الحقيقة العلمية توجب حساب التفاعل الوارد بين العناصر غير الإنشائية فيما بين بعضها البعض، وتفاعلها مع العناصر الانشائية.

ان كل ما استعرضناه من مبررات يفرض ضرورة توفير نظام انشائي وجمالي، مهيأ بشكل

جوهري للتجاوب مع الزلازل بكفاءة. وللمعماري دور مهم في تحديد الخطوط العريضة لتوزيع الفراغات والمساحات أفقياً وعمودياً بما يهيىء توفير نظام البناء الملائم.

وسنعرض فيما يلي بعض الخصائص الهندسية الأساسية وبعض الخطوط العريضة للعناصر المعمارية والجمالية – التي لا تقل أهمية عن التفاصيل الانشائية – والتي يجب الالتزام بها من أجل تصميم منشآت كفوءة من الناحية الهندسية البيئية، والاقتصادية تكون مقاومة للزلازل بشكل فعّال:

آ – **بساطة المنشأة**: إن قدرتنا على فهم طبيعة تجاوب المنشأة مع الزلازل تزداد كلما كانت المنشأة أكثر بساطة. ونتيجة لذلك فإنه يمكن وضع التفصيلات السهلة المناسبة التي من شأنها زيادة فرص نجاة المنشأة من خطر الزلازل بشكل أفضل، ونكون أقدر على تنفيذها.

ب – تماثل المنشأة: تميل معظم أبنيتنا إلى انتفاء ظاهرة التماثل فيها **(Asymmetry)** مع أهمية وجودها، ذلك أن انعدام التماثل سواء في طبيعة توزيع العناصر الانشائية، كما هو الحال في موقع بيت الدرج والمصعد (شكل رقم ٣٦أ) أو هيكل انشائي من البيتون المسلح يضم كتلة بيتونية غير متناظرة (جدار قص على سبيل المثال) (الشكل رقم ٣٧) أو في عدم انتظام توزيع العناصر غير الإنشائية (الشكل ٣٦ ب) تؤدي هذه الحالات الثلاث لغياب التماثل، إلى حدوث ظاهرة اللَّي (الفتل) في كتلة البناء (١٠، ٢٩) **(Torisional Effects)** (الشكل رقم ٣٨).

جـ– وصف المنشأة: (الاستطالة المفرطة) يجب تجنب المنشآت المفرطة في ارتفاعها (استطالتها) عمودياً أو أفقياً كما في الشكل رقم (٣٩) لأنه كلما كان المبنى طويلاً على المسطح كلما كانت الفرصة أكبر لأن يتأثر بحركات زلزالية مختلفة على طرفيه المتباعدين مما قد ينتج عنه نتائج وخيمة على سلامة المنشأ. وإذا كان لا بد من مثل هذه المنشآت لاعتبارات معمارية فإنه يمكن حل هذه المشكلة بتجزئة المنشآت إلى عدة أقسام بواسطة حركة موزعة بشكل مناسب **(Movement Gaps)**، على أن يتم تصميم هذه الفواصل بشكل يكفل عدم ضرب الأجزاء المجاورة بعضها ببعض عند تعرضها للزلازل(٥٢، ٦٧). ويمكن أن نشير هنا إلى اختلاف احساس كثير من أهالي مدينة اللاذقية بالهزة الأرضية التي حدثت (صيف ١٩٨٨). وهذا يعود إلى طبيعة البناء المسكون. فالساكن في الطوابق الأخيرة لبناء مفرط الاستطالة سيكون تأثره بالزلازل أكبر من الساكن في

طابق أخير لبناء مربع الشكل، ومن أجل تحديد رشاقة البناء، يفضل ألا يتجاوز ارتفاع البناء ثلاثة الى أربعة أمثال عرضه كما يجب أن لا تقل نسبة عرض المبنى إلى طوله على المسطح عن نصف. وذلك لتلافي المشاكل المتعلقة بعزوم الانقلاب والاجهادات أو قوى الضغط العالية على الأعمدة الخارجية عند تعرض المنشأ للزلازل (الشكل رقم ٣٩ ب).

د – سطح المنشأة: (انتظام المبنى). يفضل أن يكون مسطح المنشأة بشكل عام منتظماً على كامل ارتفاع البناء، بحيث لا يكون هناك ارتداد أو ازاحة في شكل البناء، يؤدي إلى تغيير هيئة المسطح سواء من حيث المساحة أو الشكل (الشكل رقم ٤٠).

ان احداث مثل هذا التغيير يؤدي إلى اختلاف الخصائص الديناميكية بين الطوابق التي تختلف مسطحاتها، وينتج عن ذلك صعوبة التنبؤ بطبيعة سلوك المنشأة والقوى المؤثرة عليها عند تعرضها للزلازل. وفيما يتعلق باحساس أو تأثر قاطني مثل هذه الأبنية في اللاذقية – حسب المثال المضروب – فإن احساس المواطن في البناء المنتظم السطح على كامل ارتفاع المبنى سيكون أقل من مثيله في المبنى غير المنتظم السطح. وإذا كان لا بدّ من وجود عدم انتظام في شكل البناء، فيلزم تحقيق شروط الأبعاد الموضحة في الشكل (٤٠ ب). وفي هذه الحالة يجب اعتبار المبنى مكوناً من عدة أجزاء كما في الشكل رقم (٤٠ حـ).

هـ – الجدران (القواطع): في كثير من البلدان نلاحظ وجود منشآت خاصة تمتد مقاطعها الطويلة لتقطع بفراغ طولاني ممتد بغرض التهوية قبل بلاطة السقف ، كما في الشكل رقم (٤١).

في مثل هذه المنشآت نلاحظ فشل الأعمدة الحاملة لها أثر تعرضها لزلزال كما حصل في كثير من البلدان التي توجد فيها مثل هذه المنشآت، والتي تعرضت لزلازل مختلفة الشدة. وهذه الحالات تنتج عن فكرة معقولة تسود لدى كثير من المهندسين وتنطلق من افتراض أن العناصر الانشائية – على سبيل المثال الجدران الساترة والقواطع المركزية – والتي تعتبر غير انشائية أثناء مرحلة التصميم، لن يكون لها أي دور في الفعل الإنشائي المقاوم للزلزال. ونفس الظاهرة السابقة تعتبر مسؤولة عن ظهور الشقوق المائلة الكبيرة عند زوايا بعض الاطارات التي تتضمن جدران بلوك غير مسلحة (مصدر ٢٩) (الشكل رقم ٤٢).

وعدد الأمثلة يمكن أن يمتد إلى ما لا نهاية بحيث يظهر أن المواقع المصممة بشكل تقليدي جامد لا يمكن اعتمادها أو الأخذ بها في اختيار الحلول الإنشائية المثلى لمقاومة الزلازل.

تُصمم الجدران (القواطع) في الأبنية المقاومة للزلازل باحدى الطريقتين التاليتين:

*** دمج الجدران (القواطع) مع المنشأة**

فتكون متصلة اتصالاً عضوياً مع الهيكل الإنشائي وتشكل واحدة انشائية، وعند حدوث أي تشوه للهيكل – بفعل الزلزال – يصيبها التشوه نفسه أو جزء منه (الشكل رقم ٤٣ آ). وحتى تكتسب هذه الجدران قوة ومرونة للتعامل مع الهزة أو الصدمة الزلزالية فإنه يمكن أن تكون من البيتون المسلح.

الشكل رقم (٤٤) يبين خطأ اعتماد ظاهرة ما يسمى بالأعمدة القصيرة (Short Column) وذلك في حالة دمج الجدران بالمنشأ بشكل جزئي، حيث يتم انشاء جدار من البلوك (الخفان) على جانبي العمود، وفي أعلى العمود على الطرفين تقام نافذة مستطيلة وبعرض ضيق غالباً. وهذا الوضع الإنشائي الذي قدمت الفقرة السابقة معلومات اضافية عنه، مألوف استخدامه في المناطق الحارة للمباني المدرسية والاستراحات – حيث تؤمن النوافذ المستطيلة هذه اطلالة جمالية أو سياحية أو لغرض التهوية – يؤدي إلى تعرض منطقة العمود والجائز أثناء الزلزال إلى تأثيرات قص عالية اضافية بسبب الفراغ الذي تشكله النافذة، محدثاً عدم استمرارية في تشوه العمود مما قد يساهم في انهيار العمود والمنشأة، ولو أننا ألغينا النافذة أو رفعنا الجدار حتى يلتصق بالعمود والجائز (عندما يكون ذلك ممكناً) فإننا نوزع بذلك تأثيرات القص على مساحة أكبر، ويمكن لهذا الوضع أن يساهم في حماية العمود من الانهيار (١٠، ٢٩، ٥٢، ٦٧).

*** فصل الجدران (القواطع) عن المنشأة**

الشكل رقم (٤٥) يبين حالة استعمال القواطع الخفيفة (البلوك الخفيف) بشكل تكون فيه منفصلة عن الهيكل الانشائي لمبنى مدروس على مقاومة الزلازل، وذلك عند طرفي اتصالها مع عنصرين انشائيين حاملين (مثل جدار القص محسوب على الزلازل وعمود) في المبنى المذكور، على أن توضع مادة تلبيس مرنة عند الأطراف الفارغة (أماكن الانفصال). وعند حدوث الزلزال فإن التشوه الجزئي الحاصل للقواطع يكون مركزاً في مناطق محددة في الأطراف فتسقط لوحدها مما يحصر الأضرار في منطقة ضيقة فقط، حيث يتم استبدال القواطع الساقطة بما فيها مادة التلبيس بسهولة بعد حدوث الزلزال. ويمكن أيضاً أن تركب الجدران (القواطع) بشكل تكون معه منفصلة عن المنشأة، بمقياس مدروس، عن طريق ترك فراغ بين طرفي الجدار والعناصر الانشائية المجاورة.

ويجب فصل الجدار في أعلاه أو أسفله عن عقدتي الاتصال بين العمود والجائز، وكذلك فصله أيضاً عن الجائز بشكل طبيعي (الشكلان ٤٣ب، ٤٦). وعادة يتراوح الفراغ التصميمي هذا والذي يسمح بحركة أفقية وشاقولية بين ٢٠ – ٤٠ ملم. وإذا كانت طريقة الفراغ مطبقة في بعض الأبنية الاعتيادية غير المقاومة للزلازل وخصوصاً بالنسبة للجدران المسبقة الصنع في الأبنية العالية، فإن الفراغ المطبق في حالة الأبنية المقاومة للزلازل يكون أكبر من الفراغ نفسه في الأبنية غير المقاومة للزلازل.

ان اختبار طريقة الفصل في بناء الجدران (القواطع) يتطلب معرفة قابلية الجدار للاستقرار الجانبي **(Lateral Stability)** في حال تعرضه لقوى عمودية أو شبه عمودية على سطحه، ويمكن تأمين هذه القابلية بوضع فاصل على امتداد ثلاثة أطراف تفصل الجدار عما يجاوره من عناصر. والشكل رقم (٤٧) يبين بعض التفاصيل التي يمكن استعمالها لتأمين استقرار الجدار وثباته.

وهناك متطلبات ثانوية لا بد من مراعاتها تتعلق بتأمين متطلبات العزل الصوتي، والوقاية من الحرائق للجدران الداخلية. ويمكن الحصول على عزل صوتي مقبول باستعمال المواد الخاتمة المرنة **(Flexible Sealant)** التي تملأ الفراغات بين الجدار وكل من الجهات الثلاث، وهذه المواد مطلوب منها أن تحافظ على وزنها، وقابليتها للانضغاط بشكل دائم **(Copressibility)**. إثر الهزة الأرضية وفي حالة الأبنية المراد ترميمها أو تدعيمها، وكذلك في حالة اشادة الأبنية المقاومة للزلازل يمكن اعتماد أساليب مفيدة، كالطوق المعدني المحيطي (مصدر ٦٨) كما هو وارد في الشكل رقم (٤٨). فإذا تمَّ الاختيار الصحيح لقوى القص وللقوى الطبيعية المطلوبة، بغرض الاستفادة من الطوق بالشكل الأمثل، يمكن تحديد القوى الجانبية (الأفقية) التي ستنقلها المنشأة (البناء) إلى القواطع، وفي الوقت نفسه الاستفادة من قدرة القواطع لمقاومة هذه القوى وبالنهاية الاستفادة من قدرة الطوق على امتصاص الطاقة الاجمالية الحاصلة.

*** اكساء الجدران**

لما كانت تشوهات القص تصيب الجدران أيضاً عند تعرض المبنى للزلازل فإن ذلك يستدعي الابتعاد عن اكساء الجدران (تلبيسها) بمواد أو عناصر صلبة غير مرنة (الحجارة – الرخام) والتركيز على منع استعمالها في الجدران الداخلية خصوصاً عند منطقة بيت الدرج والمخرج، لأن سقوطهما ثناء الزلزال يمكن أن يسبب اصابات للساكنين، أو أن يغلق المخارج، ويمنع السكان من مغادرة المبنى

للنجاة بأرواحهم. كما يجب الانتباه إلى أن مادة الاكساء المختارة (القصارة الرقيقة مثلاً) يجب ألا تملأ الفراغات بين العمود والجائز وبين الجدار، وإلا أدى ذلك إلى الغاء فائدة الفراغ بجعل الجدار ملتصقاً بالمبنى، ومعرضاً للأضرار نفسها التي تصيب المنشأة. وحتى نحقق هذه الغاية يمكن استعمال طريقة تثبت القصارة باستعمال مثبت كما هو وارد في الشكل رقم (٤٩).

تشريعات ولاية كاليفورنيا في الولايات المتحدة الأميركية تفرض استخدام الألواح الخشبية في بناء البيوت بحيث يصار إلى احاطتها برقائق خشبية، حتى إذا ما وقع الزلزال لا تتساقط النوافذ والجدران على السكان مما يرفع الضحايا.

و – النوافذ والأبواب

الملاحظات السابقة الواردة حول الجدران واكسائها تنطبق على النوافذ والأبواب، التي يجب أن تفصل أيضاً عن العناصر الانشائية المجاورة لها، (الشكل رقم ٥٠)، ويمكن تحقيق ازاحة جانبية صغيرة نسبياً باستعمال معجونة طرية تملأ فراغاً محدداً بين لوح الزجاج والاطار الخشبي أو اطار الألمنيوم المحيط به. ويجنب الانتباه إلى ضرورة تصميم أبواب المخارج وخصوصاً في حالة المنشآت الصحية أو الخدمية بطريقة تجعلها صالحة للإستعمال أثناء وبعد حدوث الزلزال.

ز – السقوف (الأجسام) المعلقة

تؤثر الزلازل على السقوف المعلقة بقوى تجعلها تتحرك أفقياً، وحتى لا تتساقط هذه السقوف مسببة أخطاراً كبيرة، فإنه يترك عادة فراغ بين السقف والجدران المجاورة، ويتم توفير موانع معيقة للحركة وخاصة عند العناصر الانشائية مثل الأعمدة، للحيلولة دون اصطدام السقوف المعلقة بالأعمدة، ويجب أن يقلل نظام تعليق هذه السقوف من حركتها العمودية قدر الإمكان (الشكل رقم ٥١).

ح– الادراج والبروزات والأبراج:

يجب أن نتجنب بناء الأدراج على مواد غير متماسكة جيداً حتى لا تنهار عند وقوع أخف هزة وبالتالي تحرم قاطني المنشأة من امكانية الهروب (شكل ٥٢).

ان وجود الأجزاء البارزة على الهيكل سواء أكانت هذه الأجزاء أفقية أو شاقولية يؤدي إلى تشكيل نقاط ضعف في المنشأة لدى وقوع الهزة الأرضية ذلك أن قدرة امتصاص الطاقة لهذه الأجزاء منخفضة بسبب عدم كفاية الروابط الخاصة بها (شكل ٥٣).

بالنسبة للشرفات يجب أن يبقى عرض الشرفة أصغر ما يمكن، ومن المطلوب تحقيق وثاقة هذه العناصر في هيكل المنشأة والتأكد من شروط استقرارها في الخلف.

فيما يخص مساند الأسقف وإذا لم يكن بالإمكان تخفيض مسافة بروز استناد عناصر تغطية السقف فيمكن محاولة رفع مقاومتها بوضع زوايا استناد مثلاً، أو عناصر دعم أخرى تتمكن من مقاومة قوى الدفع الشاقولي الصاعدة.

وبالنسبة للعناصر الشاقولية الملحقة بالهيكل (كالجدران الحرة من الأعلى والمنفذة من القرميد أو الحجر أو القرميد والأطاريف) فيجب أن تخضع لاستخدام أحزمة بيتونية مسلحة شاقولية وأفقية وموثوقة في الهيكل.

العناصر البرجية كمنائر المساجد وخزانات المياه والمداخن تكون قدرة امتصاص الطاقة لها منخفضة لعدم كفاية الروابط، لذلك يوصى بمنع استخدام نموذج جذع المدخنة الطويل لأنه يتعرض لأخطار الاهتزاز بشكل أكبر، فضلاً عن أنه يزيد من قوة الانتزاع المطبقة على المبنى لدى هبوب الرياح أو تراكم الثلوج.

ويجب العمل على أن تمتلك هذه العناصر استقرارها الخاص اما بتخفيض ارتفاعها، أو بمعالجتها بطرق خاصة لضمان استقرارها كأن يقرب جذع المدخنة من القمة أو باسناد هذه العناصر إلى جدار أو عناصر ذات مقاومة عالية.

ط – التمديدات الكهربائية والميكانيكية والتحت أرضية

في الأبنية الحديثة تكثر الأجهزة والتمديدات الكهربائية والميكانيكية، وتركيبها وتخديم طوابق المبنى ونقاط الاستفادة بها يكلف مبالغ مرتفعة، لذلك يكون من الضروري تثبيت الأجهزة المرتكزة على الأرضية بالبراغي، أما الأجهزة المعلقة في السقف فتثبت بقضبان تدعيم، شريطة أن تنفصل الأجهزة عن الأعمدة أو الجوائز أو الواجهات. وإذا كان من الضروري أن تخترق قناة التمديدات الميكانيكية أو الكهربائية أحد القواطع لتعبر إلى جهة أخرى، فيجب ملء الفراغ بمادة مناسبة غير قابلة للاحتراق، على أن تسمح هذه المادة بحركة محدودة للقناة، بدون أي ضرر للقناة ولا للجدار الذي اخترقته (الشكلان رقم ٥٤أ ، ٥٤ ب).

وبالنسبة لتمديدات أنابيب الغاز فقد طور المهندسون اليابانيون في طوكيو طريقة حديثة تؤدي إلى اقفال أنابيب الغاز أتوماتيكياً في حال حدوث هزة، وذلك تلافياً لاندلاع حرائق. كما أنه في

سان فرنسيسكو تخضع تمديدات الأنابيب المطمورة تحت الأرض لعملية وقاية مكلفة من الزلازل، وهذه العملية تقضي بتركيب وصلات بين الأنابيب تكون قابلة للتمدد والتقلص في أثناء الزلزال، فتؤدي إلى تفادي تسرب الغاز واضرار المياه. (الشكل رقم ٥٥).

ي – شبكات المياه والصرف الصحي والخزانات

يفضل أن تصمم شبكات المياه (مياه الشرب والمياه الساخنة والصرف الصحي) بشكل ظاهر وعدم ادخالها ضمن العناصر الإنشائية إذ أن التمديدات الموثوقة في كتل هذه العناصر غير مقبولة إلا إذا تمتعت بابعاد كبيرة وكافية (شكل ٥٦).

وتعتبر نقطة الوصل بين شبكات المياه الداخلية والخارجية نقطة حساسة جداً وسريعة الكسر من واقع عدم التجانس في شروط التأسيس لكل من الشبكتين، لذا يوصى بوضع وصلة مرنة لجعل التوصيل مرناً بين الشبكتين الخارجية والداخلية واعطاء امكانية حركة للفواصل، كما يستحب عدم تمرير أنابيب التغذية الرئيسية فوق مناطق ردم بأطوال كبيرة لأنها ستهبط بسبب الزلازل، وهذا قد يؤدي لتكسر الأنابيب.

تتضرر الخزانات المملوءة بالمياه من جراء الزلزال نتيجة لحركة المياه القوية ضمنها نظراً للتسارع الذي تكسبه من الزلزال، ويوصى بعدم سند الخزانات على مبنى آخر ويوصى بالانتباه لشروط تأسيسها في التربة إذا كانت منعزلة والانتباه لامكانية هبوط التربة.

ك ـ شروط عمرانية أخرى

* إذا وجدنا مبنيين متجاورين أو متلاصقين بصلادة مختلفة أو بخصائص ديناميكية مختلفة فعند ذلك يجب أن تكون المسافة بين طرفيهما المتقاربين (D) لا تقل عن القيمة (٠٫٠١) من ارتفاع المبنى الأقصر (H) (الشكل رقم ٥٦ ب).

* يجب أن لا يقل عرض الشارع (W) عن قيمة تساوي مجموع الارتفاعين لأعلى بنائين متقابلين من على طرفي الشارع (الشكل رقم ٥٦ حـ).

٤– العناصر الانشائية

إن المبدأ الرئيسي لجعل المنشآت أكثر مقاومة لافعال الزلازل هو زيادة لدونة المنشأ وجعله أكثر قدرة على امتصاص الطاقة المكتسبة من افعال الزلازل. فإذا لم يراع الحل الانشائي الأمثل لبناء متعدد الطوابق تأثيرات الزلازل المحتمل وقوعها في مكان البناء، فإنه سيبقى مرفوضاً عند تقييم

امكانية تحمُّله لحركات الأرض الشديدة. الأشكال (٥٧، ٥٨، ٥٩، ٦٠) تشرح الأضرار الواقعة على العناصر الانشائية في الأبنية غير المقاومة للزلازل.

على سبيل المثال قد تقود الشروط المعمارية المهندس الإنشائي لتفضيل أنظمة الأرضيات قليلة السماكة (البلاطات الرقيقة المنبسطة مثلاً)، في حالة تصميم بناء عال مقاوم للهزات الأرضية الخفيفة والمتوسطة، أو ربما قرر تجاهل هذه الظواهر. أما إذا كان التصميم موضوعاً لمقاومة حركات الأرض الشديدة (زلزال قوي) فإن المهندس الإنشائي سيحاول اقناع المهندس المعماري بوجوب تقديم تنازلات، وإلا اضطر المهندس الإنشائي لتقديم هيكل انشائي شديد المرونة، وهو هيكل يتطلب وجود فواصل عريضة تتحقق من خلال عناصر غير انشائية، وحل كهذا يتطلب بالطبع معالجة خاصة، ذلك أن عدم وجود الفواصل المذكورة يؤدي بالتأكيد إلى حدوث تشققات مستمرة في جدران المبنى (الشكل رقم ٦١). وإلى جانب الفواصل العريضة يتطلب الحل وجود تباعد كبير بين أعمدة البناء، مما يؤدي إلى تضخيم مقاطعها في الطوابق الأولى. وفي هذه الحالة فإن نقطة الانعطاف الدنيا لتقعير البناء بفعل الزلزال ستكون واقعة بالتحديد عند ارتفاع طابقين أو ثلاثة طوابق من مستوى الأرض. كما أن تأثيرات الاحمال الشاقولية ستضخم من تأثيرات القوى الجانبية (الأفقية) الممثلة للاهتزازات الأرضية. إلى جانب ذلك كله يحتاج مثل هذا الحل إلى ترتيبات خاصة للنوافذ وللتمديدات الصحية وتمديدات الانارة وغيرها (٦٩).

فيما يلي نقدم بعض أهم شروط العناصر الإنشائية الناجحة في مبنى محسوب لمقاومة الزلازل:

آ – انتظام توزيع العناصر الإنشائية

يفضل أن تكون العناصر الإنشائية في المبنى المقاوم للزلازل موزعة بشكل منتظم ومستمر في الاتجاهين الأفقي والعمودي، بالاضافة إلى أهمية تجنب إحداث تغيير مفاجيء في مقاطع العناصر الإنشائية وخاصة العمودية منها (الشكل رقم ٦٢آ). كما يجب العمل على أن تكون الأعمدة وجسور البناء (الجيزان) بنفس العرض في المقطع، وتجنب الجسور العريضة المخفية للأبنية، والتي يشيع استخدامها كما هو الحال في بلاطات الهوردي (شكل رقم ٦٢ ب). ويساعد مثل هذا الاجراء على انتقال العزوم وقوى القص خلال نقاط التقاء الأعمدة وجسور البناء، كما يسهل من امكانية الحصول على تفاصيل انشائية جيدة تساهم بشكل أفضل في مقاومة الزلازل.

إضافة الى ذلك ينبغي الحرص على التقليل من فواصل الصب خلال الإنشاء قدر الإمكان

وجعل انشاء المبنى مستمراً حيث تعتبر فواصل الصب نقاط ضعف حساسة بوجود التشوهات الكبيرة المصاحبة لأفعال الزلازل.

ب – شروط الأعمدة والجوائز

عند مراعاة تصميم المبنى لمقاومة الزلازل يجب حساب انهيار أو سقوط العناصر الأفقية مثل جسور البناء والبلاطات قبل انهيار العناصر العمودية مثل الأعمدة، وهذا ما يطلق عليه مفهوم العمود القوي والجسر الضعيف (Strong column - Weak beam). ويعود سبب ذلك إلى أن فشل أو ضرر عنصر انشائي أفقي يكون مصحوباً بتأثيرات موضعية محلية في معظم الأحوال، في حين أن الأعمدة المتضررة من الممكن أن تنهار تحت تأثير القوى الرأسية الواقعة عليها، مؤدية بذلك إلى انهيار المنشأة بشكل كامل. ويرجع سبب التأكيد على ضرورة أن يكون الجائز أضعف من العمود، إلى أنه لو حصل العكس لوجدت أثناء الهزة مفاصل لدنة في الأعمدة تؤدي إلى الانهيار الجزئي أو الكامل للمبنى. وعند اختيار أماكن الأعمدة يفضل أن تكون أقرب ما يمكن إلى محيط المنشأة بغاية زيادة مقاومة المنشأة، وخصوصاً لعزوم الفتل الممكن حصولها نتيجة عدم تطابق مركز الكتلة ومركز الصلابة (الصلادة) في المنشأة. ومن هنا يجب ألا نبخل في تصميم أبعاد الأعمدة (أن تكون كبيرة بالقدر الممكن). حتى وان كانت هناك أسباب لإحداث فواصل في قواطع البناء (التصوينة) عن طريق إحداث فاصل حركة بين جانبي العمود يخترق جزءاً كبيراً من هذه القواطع (مصدر ٦٧) (الشكل رقم ٦٣).

في الأبنية التقليدية تكون أساسات المباني مستقيمة وعمودية، أما في الهندسة الزلزالية فإنها تصبح منحنية بعض الشيء بحيث تكون قادرة على امتصاص كل ارتجاج، لذلك فإن أعمدة الأساسات في المباني المقاومة للزلازل تصمم على نحو يقاوم قوة جاذبية الأرض وضغط الهواء الناجم عن الهزات. وعند حدوث الزلزال فإن الارتجاج في المباني التقليدية يقوض الأساسات ويهدد المبنى بالانهيار على من فيه. أما بالنسبة إلى المباني الحديثة والمشيدة وفق (هندسة الزلازل) فان الأعمدة المنحنية تلتوي تحت وطأة الهزة دون أن تتكسر.

جـ – عزل المنشأة ككل «نظام الطابق الأول المرن»

يلجأ بعض المصممين إلى عزل المنشأة قدر الإمكان عن الاهتزازات الأرضية التي تحدث خلال الزلزال وذلك عن طريق وسط أو طبقة قادرة على امتصاص الهزات.

وكما يرى بعض الباحثين توجد بعض الحلول المفيدة في مجال تخفيض اجهادات الزلازل الواقعة على المنشأة، فالمحاولات التحليلية الأولى بهذا الاتجاه تقوم على انشاء الطابق الأول من المبنى متعدد الطبقات بشكل يكون معه مرناً، ويسمى لذلك نظام الطابق الأول المرن، ومن أطلق عليه هذا الإسم زعم أنه يطيل فترات الاهتزاز التي يخلقها الزلزال بالنسبة للمبنى، وهذا بالتالي يخفف من قوى القص الأساسية الواقعة على المنشأة، مما يجعل قيم الاجهادات في الطوابق التي تلي الطابق المرن أقل بكثير عنها في المنشآت التقليدية التي لا تضم طابقاً مرناً (٧٠).

الباحث بيوت (٧١) **(Biot)** أوضح أنه حتى يكون نظام الطابق الأول المرن اقتصادياً وقابلاً للتحقيق في مبنى ما، فإن مرونة الطابق الأول نظرياً يجب أن تكون كبيرة جداً إلى درجة تتجاوز معها المرونة العملية. فعلى سبيل المثال لا تؤثر مضاعفة حد مرونة للطابق الأول بمقدار عشر مرات، في تخفيف الاجهادات عن الطوابق التي تليه في بناء مؤلف من عشرين طابقاً إلا بمقدار ٣٠٪، وهذا الرقم يعتبر متواضعاً وأقل من المطلوب حتى يمكن اعتماد نظام الطابق الأول المرن. وعملياً فإن نظام الطابق الأول المرن والمطبق في كثير من المدن الغربية الكبرى لا يثبت فعالية كبيرة كما هو مخطط له، بسبب أن الانحرافات الكبيرة في هذا الطابق تؤدي إلى حدوث عزومات طابقية كبيرة بفعل قوى الجاذبية..

اقتراح عملي أكبر في هذا المجال قدمه الباحث (٧٢) **(Azumi)** في وقت لاحق وفيه تكون أعمدة الأساس في الطابق الأول المرن مفرغة وصلبة، وهي تحيط بأعمدة مرنة جداً تحمل كامل الطوابق الأعلى. وبموجب هذا النموذج يسهل تحديد انتقالات البلاطة الأرضية، كذلك يتوضح السلوك الخطي المضاعف للنظام المذكور (الشكل رقم ٦٤). والشكل رقم (٦٥) يوضح حلولاً متعددة لهذا النمط من الاقتراح، وبالرغم من التطور الملاحظ في أشكال هذا النظام إلا أن مشكلة زيادة عزوم الطوابق العليا في الأعمدة المرنة تبقى هي المشكلة المعقدة فيه.

د- عزل أساسات المبنى أو تعميقها

إلى وقت قريب مضى، كان المعماريون والمهندسون يعتمدون على نوعين فقط من الأنظمة، يعتمد النظام الأول على فترة الذبذبة الطبيعية للمبنى، وهي تمثل الزمن ما بين هزة وأخرى أثناء حدوث الزلزال، وتتوقف فترة الذبذبة الطبيعية على عدة عوامل، أهمها حجم المبنى وشكله والمواد المستخدمة في بنائه. وإذا ما تطابق أو توافق مقدار تردد الهزات الأرضية مع فترة الذبذبة الطبيعية

للمبنى، فإن ذلك حتماً سيؤدي إلى تقوية تلك الاهتزازات وتضخيمها، مما يجعل المبنى يرتجف ويرتج على نحو مشابه تماماً لحركة ارتجاج الشوكة الرنانة. ويعتمد النظام الثاني على تقليل الأضرار الناتجة عن حدوث الزلازل بواسطة استعمال ممتص الصدمات أو ما يسمى بمخمد الارتجاج. ومن أكثر وسائل هذا النظام استعمالاً ما يسمى بعزل القاعدة، أي عزل المنشأ المراد حمايته عن التربة المهتزة حول أساساته بفعل الزلازل بواسطة استعمال ممتص الصدمات أو ما يسمى بمخمد الارتجاج.

يبين الشكل (٦٦) أحد الأساليب المستخدمة لعزل الأساسات عن تأثير الزلازل. ويتم في هذه الطريقة بناء أساسات المنشأ على مساند متدحرجة – مانعات الاهتزاز المصنوعة من الفولاذ والتي تكون على هيئة محامل كريات فولاذية مغطاة بالمطاط – وتوضع ضمن فتحات مخصصة لأساسات المنشأ، ويتم تثبيت الأساسات المفردة المنشأ في الاتجاه الأفقي بواسطة عناصر تخميد لامتصاص الطاقة، بشكل صفائح تتحرك بينها المساند المتدحرجة، وعند اهتزاز التربة تحت الأساسات تساعد هذه المساند على عزل المنشأ عن حركة الزلزال، ويتم تفريغ الطاقة المتولدة في عناصر التخميد بشكل حراري. وعادة فإن كل مبنى يحتاج إلى عدة دزينات من هذه المخمدات، ويبلغ عرض كل واحدة منها قدماً أو أكثر، فحين تهتز الأرض بفعل الزلازل، تمتص مانعات الارتجاج جزءاً من الحركة الأفقية مما يؤدي إلى انخفاض حدة وقوة اهتزاز المبنى بدرجة كبيرة، وكثيراً ما تتشوه هذه المخمدات وتتغير أشكالها ومظاهرها، مثلما يحدث تماماً لنابض معدني شد أو مدد إلى أقصى مدى له، أما إذا كانت قوة الاهتزازات صغيرة فإن المخمدات سرعان ما ترتد إلى مواضعها الأصلية، الأمر الذي يمنع حدوث أية تغييرات أو تشوهات فيها.

وقد طبق نظام البناء هذا بنجاح في كل من الولايات المتحدة الأميريكية (ولاية كاليفورنيا) واليابان (٧٣). وقد أراد المهندسون اليابانيون أن يجمعوا بين مزايا الطريقتين السابقتي الذكر بابتكار طريقة جديدة، فأقاموا مبنيين الأول مؤلف من تسعة طوابق والآخر من خمسة طوابق، وقد صمموا المبنى الثاني على شكل (L) ويتصل كل مبنى بالآخر بردهة فسيحة ومكشوفة. ثم وضعت مجموعة من المخمدات العادية، والتي صممت لامتصاص الطاقة الناشئة عن الزلازل، في مواضع معينة تحت المبنيين. ومن أهم ما يميز هذه الطريقة اشتراك مانعات الاهتزاز في تركيبة طبيعية مختلفة تماماً عن الأخرى، لذا ينجم عن ذلك عدم حدوث أي توافق أو تآلف ما بين ذبذبات كل من المبنيين في الوقت نفسه، مما يؤدي وباضافة التأثير المتضائل، إلى اضعاف شدة الهزات بنسبة

تتراوح ما بين الثلث والنصف. ولكن من عيوب هذه التقنية أن المبنى يظل قائماً وفي انتظار أن يطيح به أي زلزال(٧٤).

ان هندسة المباني المقاومة للزلازل ليست بالظاهرة الجديدة بل تعتبر هندسة تقليدية في اليابان التي تقع عند نقطة التقاء ثلاث من الصفائح الجيولوجية التي تطوق العالم كله (بحسب أحد الآراء) وتكون أراضي اليابان بذلك عرضة للزلازل دائماً، بل انها أحد البلدان الأكثر تعرضاً للزلازل في العالم.. ومما يدل على أن هندسة الزلازل هندسة تقليدية في اليابان، ابتعاد اليابانيين عن استعمال الحجر كمادة من مواد البناء، وبناء البيوت من الخيزران، وبناء بيوت الورق العملية ذات الشكل الجميل والليونة المقاومة للهزات حيث أن انهيارها أقل خطورة على السكان من انهيار الحجارة. ولكن مساوىء البيوت اليابانية المصنوعة من الخشب الخفيف والورق والتي تربط بعضها إلى بعض بقوة، تتركز في انها تكون عرضة للاشتعال السريع، وهي نقطة الضعف القاتلة عند حدوث الزلزال. إذ تصبح نيران المطابخ وأنابيب الغاز المكسورة زاداً لألسنة اللهب المتصاعدة من كافة الاتجاهات فتكون حريقاً هائلاً.

لهذا نرى اليوم أن كل المساكن اليابانية منخفضة العلو حتى في العاصمة طوكيو حيث يقل علو الأبنية بمعدل ثلاث مرات عن علوها في مدينة باريس. ولكن في المدن الحضارية حيث تتركز النشاطات وتضيق المساحات لا يمكن الاستغناء عن الأبنية العالية وحتى ناطحات السحاب (في بعض مناطق طوكيو مثلاً يتخطى سعر المتر المربع المليون فرنك فرنسي).

واليابان كبلد غني هو من أحسن البلدان تجهيزاً ضد الهزات الأرضية فتطبق فيه مثلاً قوانين متعلقة بطريقة البناء لمساعدة المباني والجسور والانفاق والطرقات على مقاومة الزلازل حتى القوية منها. ومنذ عام ١٩٧٠ بنيت أكثر ناطحات السحاب في طوكيو باليابان بحسب مبدأ كولبوتو (Culbuto) وسر هذا المبدأ ليس مرئياً، بل هو مخفي تحت سطح الأرض وهو عبارة عن قواعد ودعائم مصنوعة من الفولاذ والخرسانة المسلحة، تغوص (عميقاً) داخل الأرض ويبلغ علو كل منها علو عدة طوابق وتطمر في (كعب البناء) كجذور تثبته في الأرض. وهكذا يصبح بامكان الأبراج أن ترتفع كثيراً في الفضاء دون الخوف من خطر الزلازل، وحتى تلك التي تبلغ قوتها (٨) بمقياس الزلازل العنيفة. وعلى سبيل المثال هناك البرج (شروق الشمس ٦٠) الشامخ في طوكيو الذي يبلغ علوه ٢٤٠ متراً، فهو يعتمد في طريقة بنائه على مبدأ أساسي يقضي بالمحافظة على ليونة كبرى، تسمح له بأن يتأرجح بدلاً من أن ينشطر وينهار عند حدوث زلزالٍ ما، وفي أمثال هذا المبنى

صنعت التسليحات من دعائم معدنية، أما الجدران فهي مركبة من قواطع خفيفة(٣١).

على كل حال عندما يتخطى علو البناء حداً معيناً يجب تفادي استعمال القرميد والحجارة في بناء الجدران، لأن الهزات الأفقية التي تنجم عن تحرك القشرة الأرضية، من شأنها ازاحة تلك الحجارة عن بعضها البعض، واحداث الشقوق. وبالتالي التسبب في انهيار الجدران. من هنا نتبين ضرورة استعمال الخرسانة المسلحة في الأبنية التي تتجاوز الطابقين، فضلاً عن ضرورة تمتين عناصر البناء (التسليحات والتقاطعات) بواسطة دعائم معدنية أو خرسانية لتصبح متماسكة وصلبة. على كل حال فالعبقرية اليابانية لم تقف عند هذا، بل ان المهندسين اليابانيين ابتكروا طريقة متميزة في الطرافة والتعقيد، أساسها ارساء (المدكات المائية) تحت الأبنية المزمع تشييدها. ويصار إلى التحكم بالمدكات بواسطة الكومبيوتر بحيث تمتص كل ارتجاج عنيف، وبذلك تبدو البناية عند حدوث الزلزال القوي وكأنها ارجوحة مضبوطة الحركات سلفاً.

هـ – أجهزة لامتصاص الصدمات ضمن المبنى

ان من أحدث الأساليب العلمية للأبنية ذات الأهمية الخاصة (مستشفيات – مراكز اطفاء – محطة طاقة نووية الخ) اعتماد أسلوب امتصاص الصدمات، والارتجاجات الناشئة عن الزلازل بدرجاتها المختلفة بواسطة مخمدات أو أجهزة امتصاص تضاف إلى جوائز المبنى (الشكل رقم ٦٧)، وتؤدي إلى امتصاص الطاقة المتولدة عن الانتقالات الأفقية للمبنى بفعل الزلزال، وبالتالي تحد من قيمة وشدة هذه الانتقالات، كما تحد من اهتزاز المبنى. وتجدر الاشارة إلى أن سعة اهتزاز المبنى بفعل الزلزال تتخامد بشكل بطيء بدون استخدام عناصر امتصاص، بينما يؤدي تركيب هذه العناصر إلى تسريع تخامد اهتزاز المبنى، وبالتالي الاقلال من الأضرار الناتجة عن الزلزال. نعرض نموذجاً لمثل هذه الأجهزة (٧٥) يتكون من عدد من الصفائح الفولاذية المحنية تشبه شدادة (Tie) مقوسة في مقطع متصالب وتربط هذه الصفائح «التي تتراوح سماكتها بين ٠,٥ انش و ١,٥ انش تبعاً لحجم الهيكل والموقع الجيولوجي» بعضها ببعض بمسامير لولبية، ويتم تعليقها بالتدعيم بواسطة قضيب من قياس انشين مربعين، وهذا القضيب يتم ربطه بطرق فنية بواسطة مسامير لولبية، ويتم وضع الجهاز المختص بين طوابق المبنى بتدعيم مائل، بحيث تنحني أجهزة الامتصاص في الجهاز إلى الخلف والامام أثناء تعرض المبنى لتأثير الزلازل، مما يؤدي إلى تبديد طاقة الحركة خارج المبنى وإلى تخفيف الاهتزاز، مما سيُخفّض الأضرار الانشائية وغير الانشائية بشكل جوهري، وبالتالي يمنع انهيار المبنى. والجدير بالذكر أن هذا الأسلوب يصح اعتماده ليس فقط على المنشآت قيد البناء بل

على المنشآت المقامة سابقاً.

الطريقة المذكورة اقتصادية أكثر بكثير من الأساليب التقليدية في زيادة حساب العناصر الانشائية بحيث تكون محققة لغاية الحماية من الزلازل (الشكل رقم ٦٧).

و- التدعيم الخارجي للمنشأة

يمكن الاستفادة من التجربة المكسيكية التي تعتمد طريقة سهلة نسبياً لحماية المباني العامة من الدمار بسبب الزلازل، وذلك باستعمال قضبان الحديد المسبق الاجهاد، التي تعمل كأربطة لتدعيم المبنى من الخارج. وقد بدأ اللجوء إلى هذه التقنية في مباني المدارس، وقد تقرر تعميمها على المباني الأكثر ارتفاعاً. وحتى الآن لم تجر الاختبارات إلا على أبنية مؤلفة من ستة طوابق. كتلك التي دمرها زلزال المكسيك عام ١٩٨٥ وزلزال أرمينيا ١٩٨٨. التقنية الجديدة لا تحتاج إلى أكثر من عشر الحديد العادي اللازم لتكتيف الواجهات الخارجية للمباني. ويمكن للتصميم العام أن يبدو تقليدياً حيث توضع قضبان الحديد بشكل قطري ممتدة من قاعدة المبنى وحتى السطح، فيكوّن كل قضيبين شكل × ويثبت طرفاً كل قضيب عند القاعدة والسطح بكتل اسمنتية. والسمة المميزة لهذه الطريقة الجديدة هي كون القضبان الحديدية من النوع المسبق الاجهاد قبل تركيبها. ويستخدم المهندسون في تحقيق هذا الغرض أدوات شد هيدرولية لمط القضبان بحوالي نصف القوة اللازمة لمطها إلى ما يتجاوز حدود مرونتها القصوى. وتجعل هذه القضبان احتمال انهيار المبنى، أقل بأربع مرات في اتجاه أحد جانبيه. ذلك أن مط القضبان الحديدية قبل تركيبها يعني ترك مجال أمامها للتقلص قبل أن تلتوي خاضعة للقوة التي يسببها الزلزال. وعندما يهز الزلزال المبنى يتقلص واحد من القضيبين مسبقي الاجهاد في كل زوج من القضبان بينما يتمدد القضيب الآخر (الشكل رقم ٦٨)، استجابة للحركة الأفقية للأرض.

وأفاد مهندسو جامعة كاليفورنيا في بيركلي (الذين اخترعوا هذه الطريقة) في المؤتمر السنوي لـ «معهد أبحاث هندسة الزلازل» في سان فرانسيسكو في شباط/ فبراير عام ١٩٨٩ عن النتائج التي توصلوا اليها، ذاكرين انهم قاموا باختبار نموذج صنعوه على جهاز محاكٍ للزلازل، معتمدين على تسجيلات للحركة العمودية، وسطح واحد للحركة الأفقية في زلازل حقيقية محفوظة في الحواسيب المربوطة بأدوات شد هيدرولية موجودة تحت «سطح الاهتزاز». وقد أخضع فريق المهندسين نموذجه لأكثر من ٦٠ زلزالاً فأثبت مقاومته.

٥- أنواع المنشآت المقاومة للزلازل

تحدد مواصفات المواد الملائمة في المنشآت المقاومة للزلازل انطلاقاً من التأثيرات الديناميكية للزلازل ، وذلك بما يحقق الشروط التالية:

* امتلاك خاصية مطاوعة عالية.
* التجانس في كتلة البناء.
* أن تكون نسبة المقاومة إلى الوزن عالية.
* ان يشكل الهيكل العام للبناء كتلة واحدة تؤمن اتصالاً موحداً.

والجدول رقم (٦) يحدد أنواع المنشآت المقاومة للزلازل حسب ارتفاعاتها ودرجات الجودة.

الجدول رقم ٦ - أنواع المنشآت المقاومة للزلازل (المصدر ٧٦)

نـــوع المنشـــــآت			
الترتيب	أبنية منخفضة الارتفاع	أبنية متوسطة الارتفاع	أبنية عالية
الأفضل	(١) المنشآت الخشبية (٢) البيتون المصبوب في المكان (٣) المنشآت الفولاذية (٤) المنشآت البيتونية المسبقة الاجهاد (٥) البيتون مسبق الصنع (٦) الجدران البيتونية المسلحة (٧) جدران حجرية	(١) المنشآت الفولاذية (٢) المنشآت البيتونية المصبوبة في المكان (٣) البيتون المسبق الصنع (٤) البيتون المسبق الاجهاد (٥) الجدران البيتونية المسلحة	(١) المنشآت الفولاذية (٢) المنشآت البيتونية المصبوبة في المكان
الاسوأ			

٦- الجمل الانشائية المقاومة للزلازل

لكي يكون المنشأ قادراً على مقاومة حمولات الزلازل يجب أن يحوي عناصر شاقولية ذات متانة كافية (كالعناصر الاطارية أو جدران القص) لمقاومة تأثير الحمولات الناتجة عن الزلازل،

oberkampf.com

ونقلها بشكل أمين ومباشر إلى وسط التربة. كذلك يجب أن يتم ربط العناصر الشاقولية للمنشأ بعناصر أفقية قادرة على توزيع القوى الأفقية المكافئة لحمولات الزلازل على العناصر الشاقولية، والتي تقوم بدورها بايصالها إلى طبقة الأساسات. وأخيراً يجب أن يحوي المنشأ على أساس قادر على إيصال الحمولات الناتجة عن الزلزال بشكل سليم إلى التربة المحيطة. وبشكل عام يتم عادة تصميم المنشآت لتقاوم تأثير الزلازل بواسطة صلابتها ومرونتها بآن واحد. ويمكن تقسيم العناصر الانشائية الأساسية المستخدمة في مقاومة الزلازل إلى ثلاث وحدات أساسية تتشوه بهيئات مختلفة عند تعرضها إلى حمولات الزلازل، وهذه الوحدات هي الاطارات (الهياكل)، وجدران القص، والعناصر الأنبوبية. تضم الجمل الانشائية المستخدمة لمقاومة تأثير الزلازل عنصراً أو أكثر من الوحدات السابقة. وبشكل عام يتحكم في الاختيار المبدئي للجملة الانشائية المستخدمة مقدار الانتقال الأعظمي المسموح به، حيث أن بعض الجمل الانشائية تعطي انتقالات أفقية مقبولة إذا استخدمت لعدد معين من الطوابق، أما إذا زاد العدد الكلي للطوابق المستخدمة عن حد معين عندها يفضل الانتقال إلى جملة انشائية أخرى تعطي انتقالات أفقية مقبولة للعدد الكلي من الطوابق ويعطي الجدول (٧) الاختيارات الممكنة للجمل الانشائية وذلك حسب العدد الكلي للطوابق:

الجدول رقم(٧) – الجمل الانشائية الممكنة بحسب العدد الكلي للطوابق (المصدر ٧٦).

الجملة الانشائية	العدد الكلي للطوابق		المتانة
	بناء مكاتب	بناء سكني أو فندقي	
الاطارات (الهياكل)	لغاية ١٥ طابقاً	لغاية ٢٠ طابقاً	جيد جداً
جدران القص		لغاية ١٥٠ طابقاً	جيـد
الجوائز الجدارية المتبادلة الترتيب		لغاية ٤٠ طابقاً	جيـد
اطارات مع جدران قص	لغاية ٤٠ طابقاً	لغاية ٧٠ طابقاً	جيـد
أنبوب اطاري مفرد	لغاية ٤٠ طابقاً	لغاية ٦٠ طابقاً	جيد جداً
أنبوب – ضمن – أنبوب	لغاية ٨٠ طابقاً	لغاية ١٠٠ طابقاً	جيـد

وبالرجوع إلى العديد من المصادر الهندسية المتخصصة والمنشورة عالمياً يمكن تحديد مقاومة

الجمل الاطارية وجدران القص والعناصر الأنبوبية وغيرها (مثل الأبنية المحمولة على نواة والجدران الجائزية المتبادلة الموقع) للقوى الأفقية الناتجة عن حمولات الزلازل، وما يتعلق بها من تحديد الارتفاع الطابقي، والاشكال الانشائية التفصيلية المتعلقة بها، مع العناصر الانشائية المستخدمة ورد فعل كل من هذه الهياكل الانشائية، وكيفية تصرفها في ثلاثة ابعاد تحت تأثير عوامل مختلفة ..

٧- أسس التصميم الانشائي للأبنية المقاومة للزلازل

هناك ظواهر عديدة تساعد على حدوث الزلازل مثل النشاطات البركانية والانفجارات وغير ذلك، ولكن أكثر الزلازل أهمية من الناحية الهندسية هي التي تكون من أصل تكتوني، ذلك أنها ترتبط باجهادات على مقياس واسع في القشرة الأرضية، وهذا يكون بسبب تردد الزلازل التكتونية، وقيمة الطاقة المحررة، واتساع المساحة المتأثرة(مصدر ١٠).

في كثير من المراجع توجد محاولات عديدة تفسر أسباب حدوث الزلازل المختلفة، إلا أنه ما يهمنا هندسياً وبشكل مبسط، شدة التدمير المحلي للزلزال الواقع بالمقاييس التقليدية، والتي تقدم لنا التفسير الكمي المبسط للزلزال كرقم، والتي تعتبر أيضاً في الوقت ذاته الأساس لمعظم الأغراض الهندسية. ان الوصف والتعبير الأكثر دقة لمضمون الزلزال، يتضمن مقياس التسارع الأرضي الذي يتحدد من خلال مقدار التسارع الأفقي، على محورين أفقيين، ومحور ثالث شاقولي، منطبق مع الاتجاه الشاقولي للمنشأة. من جهة أخرى يمكننا التعبير عن هذا المضمون بالفترات التي يستغرقها اهتزاز العناصر المتعامدة والمزاحة للتسارع الأرضي عند نقطة: العنصرين الأفقيين، والعنصر العمودي بالنسبة للمنشأة. وهذا الوصف يعتبر كافياً لأغراض حساب تأثيرات الزلازل على المنشآت من المقاييس الصغيرة والمتوسطة. في بعض الحالات الخاصة تصبح المشتقات المكانية للتسارع الأرضي أو لحركات الزلزال هي الأكثر أهمية، وهذه الحالة تمثل العناصر الدورانية للتسارع الأرضي، وذلك في حالة المنشآت المدنية الكبيرة، وبما يتعلق باجهادات التربة الخاصة بها.

إن الزلازل الأرضية تسبب انهيارات في سطح الأرض وتجهد المنشآت القائمة عليها ضمن مساحة معينة فمن خلال أهم هذه الخصائص المتمثلة بحركة أو انزياح الأرض أو بتسارع الأرض تتكون حمولات ديناميكية اضافية على هذه المنشآت (مصادر ١٠، ٣٥، ٣٦، ٥٢، ٥٣، ٥٧، ٥٨، ٥٩، ٦٣، ٧٠).

أ- التصاميم المعتمدة في المبنى المقاوم للزلزال

الشكل الذي يحدد هذه الحمولات في حساب التصميم الزلزالي يرتبط بطريقة الحساب المستخدمة فهناك الامكانيات التالية للحساب(١٨):

- التصميم حسب طريقة المنحى الزمني، والتي تعتمد على فرض منحى زمني متجدد للتسارع الأرضي.

- التصميم حسب طريقة الخط الطيفي لتجاوب المنشأ ومطوليته وقدرته على امتصاص الطاقة الناتجة عن الزلازل وتخميدها أو تحليل أشكال الاهتزاز[١] لتجاوب المنشأ **(Response Modal Analysis)** وهي تنطلق من الخط الطيفي [٢] لتجاوب المنشأ مع التسارع الأرضي المتوقع نتيجة الزلازل. وتعتبر هذه الطريقة أكثر الطرق استعمالاً في حساب المنشآت المقاومة للزلازل.

الحساب التفصيلي للخط الطيفي يمكن العودة إليه في المراجع الانشائية المختصة والمتقدمة في هذا المجال (١٠، ٣٥، ٣٦، ٥٢، ٥٣، ٦٦). ان حساب المنشآت المقاومة للزلازل ينطلق من القاعدة العامة التالية المشتقة من الأبحاث الألمانية، والتي تراعي مختلف المؤثرات على خط الطيف المتجاوب:

العلاقة (١) $Sa\ (T.D) = {}^{S}\ b\ (T)\ Cal.b$

حيث: عامل الطيف المتجاوب المعياري $= {}^{S}b\ (T)$

بالعلاقة مع زمن الاهتزاز الأساسي للمبنى أو للمنشأة [٣] وذلك بالعلاقة مع قيمة المعامل الديناميكي [٤] (D).

القيمة الحسابية للتسارع الأرضي الأفقي $= Cal.\ b = b_o.x.\alpha$

القيمة الاعتبارية (النظامية) للتسارع الأرضي الأفقي المتوقع، بالعلاقة مع منطقة الزلزال المصنفة حسب شدات الزلازل المتوقعة (معامل الشدة) [٥] $= bo$

---

(١) - **تحليل اشكال الاهتزاز**: هو كل تحليل ديناميكي مبني على عدد معين من أساليب الاهتزاز.

(٢) - **الخط الطيفي**: هو المنحنى الدال على القيمة القصوى لتسارع منشأة نموذجية بسيطة، لها أسلوب اهتزاز احادي درجة الحرية.

(٣) **زمن الاهتزاز الأساسي**: هو أكبر فترة طبيعية لاهتزاز المنشأة.

(٤) **المعامل الديناميكي**: هو النسبة بين تسارع المنشأة، وتسارع الجاذبية بدلالة الاهتزاز الحر للمنشأة نفسها.

(٥) **معامل الشدة**: هو العامل الدال على الشدة المتوقعة للزلزال في منطقة جغرافية محددة.

عامل يراعي نوع تربة الأساس (معامل التربة) [٦] = X

ويعني التعديل الواجب اعتباره على مقياس **(M.M.S)** لمراعاة نوع تربة الأساس.

عامل التخفيض لمراعاة درجة المنشآت ونوعيتها (معامل الأهمية) [٧] =

هناك نظم أخرى كالطريقة الأمريكية مثلاً تزيد عاملاً اضافياً وهو معامل السلوك أو اللدونة [٨] والذي يعتمد على نوع الهيكل الانشائي المختار لمقاومة القوى الأفقية لفعل الزلزال.

وتفترض قيم التسارع الأفقي الاعتبارية كما يلي : (الشكل رقم ٢ جـ) :

منطقة زلزال ١ : b_o= ٠,٢٥ م/ثا٢ (تمثل المنطقة **B** في الشكل رقم ٢ جـ)

منطقة زلزال ٢ : b_o = ٠,٤٠ م/ثا٢ (تمثل المنطقة **B** في الشكل ٢ جـ)

منطقة زلزال ٣: b_o = ٠,٦٥م/ثا٢ (تمثل المنطقة **A** في الشكل رقم ٢ جـ)

منطقة زلزال ٤: b_o = ١ م/ثا٢ (تمثل المنطقة **A** في الشكل رقم ٢ جـ)

وبموجب هذه الطريقة يمكننا تقسيم القطر العربي السوري إلى أربع مناطق زلزالية حسب شدتها وفي حالة منشآت هامة متميزة تعرضت لزلزال أرضي (مثل منشآت توليد الطاقة النووية، خزانات الغاز القابل للحرق أو خزانات الغاز السام وخزانات السوائل وغيرها) يجب الانتباه إلى وقوع مخاطر اضافية. وفي هذه الحالة يجب فرض قيم أعلى للتسارع الأفقي. الجدول رقم (٧) يحدد عوامل التخفيض (أو معامل أهمية) تبعاً لدرجة الخطورة على الأمن والسلامة العامة.

---

(٦) **معامل التربة**: هو العامل الدال على التأثير المتبادل لاهتزازات المنشأة والتربة تحت طبقة التأسيس. ويعتمد هذا العامل على الفارق بين فترة اهتزاز المنشأة، والفترة المميزة لاهتزازات تربة التأسيس، فوق الطبقة الصخرية.

(٧) – **معامل الأهمية** : وتدل على أهمية المنشأة ونوع استخدامها (مبنى سكني – مشفى – الخ).

(٨) – **معامل السلوك**: هو المعامل الدال على مطولية المنشأة وقدرتها على استيعاب الطاقة الزلزالية، من دون تعرضها لحالة تشوه لدن.

(٩) – **معامل الارتفاع**: هو المعامل الدال على أهمية ارتفاع المنشأ لمقاومة القوى الأفقية ويعتمد على كتلة المنشأ وارتفاعه، وعلى القيمة النسبية للازاحة، ومنسوب المستوى المدروس. وهذا المعامل يستخدم مثلاً في نظام الكود الأردني.

وتبعاً لأهمية منشأة ما للمصلحة العامة في ضمان مقاومتها للزلزال الأرضي، وبذلك صنفت المنشآت إلى ثلاث درجات، حيث تضم الدرجتان ١، ٢ المنشآت السكنية (وهي تمثل المنطقة (B) في الشكل رقم ٢ جـ) والتي يجب فيها اعتماد الشروط الفنية السليمة في التصميم والتنفيذ لتأمين حماية جيدة لهذه المنشآت ضد الزلازل الأرضية. بينما تمثل الدرجة ٣ المنشآت التي يجب إلى جانب ضمان ثباتها أيضاً متابعة وظائفها أثناء وبعد الزلزال مثل (المستشفيات، تجهيزات الحماية في حالة الكوارث كمراكز الطوارىء والدفاع المدني ومحطات مكافحة الحرائق ومراكز الشرطة ومراكز الاتصالات..).

لهذا يوصى من خلال اختيار عامل تخفيض α (معامل الأهمية) أن نهدف إلى تحقيق ضمان متقدم للمنشآت المقاومة للزلازل. ويمكن في بعض الحالات لضمان استمرار الخدمات بشكل تبقى معه المنشأة صالحة للاشغال، وأداء المهام المطلوبة بشكل مؤكد، رفع قيمة عامل الأهمية α في حساب الأعمال والقوى إلى قيمة تزيد عن الواحد حتى القيمة ١,٣ وذلك للمباني الهامة المذكورة مثل المستشفيات ومحطات الطاقة النووية.

الجدول رقم ٨ – معامل الأهمية α (مصدر ٣٦)

درجات تصنيف كتل المنشآت	تقسيم منطقة الزلزال إلى: ١	٢	٣	٤
١	٠,٥	٠,٦	٠,٧	٠,٨
٢	٠,٦	٠,٧	٠,٨	٠,٩
٣	٠,٧	٠,٨	٠,٩	١,٠

وتتخذ قيم Sb (T) من جداول أو منحنيات خاصة. ولما كانت معظم بلدان العالم المعرضة للزلازل حتى اليوم لا تتوفر فيها قياسات كافية ومفيدة لتحديد منحى زمن الزلزال، فيمكن عند ذلك في حالة المنشآت الواقعة في بلدان لا يتوفر فيها نظام الكودات تحديد القيمة (Sb) بالعلاقة مع زمن الاهتزاز الأساسي (T) للمنشأة والمعامل الديناميكي (D) الممثل لطبيعة أو نوع المنشأة من خلال استخدام التحاليل والنتائج اليابانية أو الأميركية وغيرها (٣٦، ٥٣). وبمقتضى الشقوق

الأرضية المتوقعة في منطقة الزلزال فإن قيمة Sb الأعظمية تتحدد بما يلي:

Sb (T، ٠,٠٥) = ١,٨

والمقابلة لـ T = ٠,٣ ثانية

والمعامل الديناميكي D = ٥٪

وفي حالة المنشآت الخاصة مثل المداخن وابراج المياه المرتفعة تكون قيمة Sb أكبر من ١,٨ حيث قيمة D تكون منخفضة وأقل من ٥٪. وبادخال العلاقة السابقة (١) في قانون تحديد حمل الزلزال الأرضي الممثل بقوة أفقية جانبية على المنشأة، نحصل على قيمة هذه القوة كما يلي:

$$H E = m. Sa (T, D) = m. Sb (T). Calb$$

حيث m تمثل الكتلة الكلية للمنشأ المدروس.

وبتحليل هذه المعادلة نحصل على قوة الازاحة الأفقية المكافئة لفعل الزلازل في المقطع المدروس للمباني أو المنشآت الهامة.

ب – الكودات

هناك نظم أو طرق فنية أخرى لحساب تصميم المنشآت المقاومة للزلازل ولكن جميعها تتفق في المبدأ الأساسي، وتختلف اختلافاً هامشياً سواء في تسمية المعاملات كالمعامل الديناميكي وغيره، أو في قيمة المعامل نفسه. أو في تسمية وقيمة الكتلة المضروبة بهذه المعاملات لحساب القوة المكافئة لفعل الزلزال. فالكتلة المعتبرة في الكود الألماني يعني بها الكود العربي (٧٧) مجموعة الاحمال الثابتة (الدائمة)، مضافاً اليها ربع الحمولات الحية (المتحركة) في أبنية المستودعات والمخازن. بينما يتعامل معها الكود الفرنسي (٧٨) على أساس نسبة مئوية محددة من الأثقال الشاقولية للبناء، ويحدد قيمتها بـ ١٠٪ من الأثقال الثابتة في حالة الأبنية السكنية و ٣٠٪ من مجموع الحمولات الدائمة والحمولات الحية (المتحركة) وذلك في حالة الخزانات العالية والصوامع وما شابهها. بينما يعتبرها الكود الأميركي الموحد(٥٣) الوزن الاجمالي لكامل الطوابق في المنشأة المدروسة. ويتميز الكود الأردني، المأخوذ أصلاً عن الكود الأمريكي، بنظرة اجمالية في هذه القضية اذ يعتبر الكتلة تمثل كامل الأثقال الرأسية عند مستوى مدروس، ويحددها بالعلاقة التالية (٧٩):

$$W = G + KQ$$

حيث:

W= الاحمال الرأسية

G= الاحمال الميتة (الدائمة أو الثابتة)

Q = الأحمال الحية (الاضافية أو المتحركة)

K = معامل الحدوث، وتتراوح قيمته بين (٠.٠) في حالة المنشآت السكنية والمرافق العامة، و(٠,٢٥) في حالة المباني والمنشآت الهامة كالمستشفيات ومراكز الطوارىء ومحطات الاطفاء ومراكز توليد الطاقة، والأبنية العامة المخصصة لايواء المواطنين بعد الزلزال، و(١) في حالة خزانات المياه الأرضية والمرتفعة والصوامع وخزانات السوائل. وحسب الكود الأردني فإن القوة الأفقية المكافئة لفعل الزلزال عند المستوى Z من المبنى أو المنشأ.

$$F_z = \alpha \cdot \beta \cdot V_z \cdot \delta \cdot \theta \cdot \gamma \cdot W_z$$

حيث:

α = معامل الشدة

β = المعامل الديناميكي

V_z = معامل الارتفاع

δ = معامل التربة

θ = معامل السلوك

γ = معامل الأهمية

W_z = الاحمال الرأسية للطابق أو الكتلة رقم z من المبنى المدروس.

وتعطى القوة الأفقية الكلية المكافئة لفعل الزلازل والمؤثرة في أي اتجاه عند قاعدة المنشأ:

$$\forall = \alpha \cdot \beta \cdot \delta \cdot \theta \cdot \gamma \cdot \sum V_z \cdot W_z$$

obeikandi.com

وتحسب القيمة $\forall$ للمبنى في الإتجاهين أو المحورين الرئيسيين وتؤخذ الحالة الأسوأ وهي غالباً تكون بالإتجاه القصير للمبنى.

تحدد قيم المعاملات السابقة من جداول خاصة واردة في الكود الأردني للأحمال والقوى (٧٩) أو من الكود الأمريكي الموحد (٥٣) وترتبط هذه القيم أساساً بالاعتبارات التالية:

- تصنيف مناطق النشاط الزلزالي في البلد المعني إلى درجات وفق الشدة الزلزالية المتوقعة حسب مقياس ميركالي أو وفق خريطة الخطورة الزلزالية للبلد نفسه.
- نوعية المنشآت (سكنية – صناعية – حيوية – جسور – مستشفيات – مداخن وأبراج – خزانات المياه – محطات توليد الطاقة – مساجد – كنائس – مسارح – دور سينما ...)
- تربة التأسيس (صخرية – رملية مضغوطة – رملية مفكوكة...)
- نوع أنظمة المقاومة للقوى الأفقية (منشآت هيكلية – جدران قص ....)

ويمكن العودة إلى بعض المراجع التي تقدم عرضاً تفصيلياً للكودات الفنية المعتمدة في حساب المباني والمنشآت المقاومة للزلازل ومن بينها الكودات الأردنية والجزائرية والتركية واليونانية والإيرانية والكود العربي الموحد. وعندما لا يتوفر كود فني وطني في بلد ما فإننا ننصح باعتماد الكود الأميركي الموحد U B C (٥٣) نظراً لعموميته ونموذجيته وقابليته للتطبيق والاستخدام في كثير من بلدان العالم. وذلك مشروط باتمام وضع كود وطني مناسب للتصميم ضد الزلازل، يتمشى مع أنواع المباني وممارسات التنفيذ السائدة محلياً. والكود الوطني المطلوب يتم من خلال تطوير معايير التصميم ضمن اطار عام لمواصفات تصميمية معترف بها ومقبولة محلياً وعالمياً.

٨- تربة التأسيس والتأثيرات المحلية للموقع

منذ عام ١٨٨٠ لاحظ كثير من العلماء والمهندسين في أنحاء مختلفة من العالم (٨٠، ٨١، ٨٢، ٨٣، ٨٤) تكرار عمليات تضخيم الحركة الأرضية الناتجة عن الزلزال بفعل طبيعة الموقع (تجاوب طبقة التربة – الصخر، مع الأمواج السيسمولوجية).

والأمثلة النموذجية على هذه الظاهرة:

* زلزال كاراكاس في فنزويلا عام ١٩٦٧

* زلزال جيديز في تركيا عام ١٩٧٠

* زلزال فرويلي في ايطاليا عام ١٩٧٦

* زلزال المكسيك عام ١٩٨٥.

وكانت الدروس الهامة المستفادة للمهندسين من هذه الزلازل هي حدوث ظاهرتين مرتبطتين معاً عند وقوع الزلزال وهما: تجاوب الموقع (تربة التأسيس) وتجاوب المنشأة. وهذه النتائج يجب مراعاتها وادخالها في تصميم الأبنية المقاومة للزلازل.

لهذا فإن ميزات الحركة الأرضية لأي زلزال في أية مدينة والمتغيرة بشكل واسع تعتمد كلياً على تربة الموقع (تربة – صخر).

وتدخل مواصفات تربة التأسيس بشكل رئيسي ضمن المعطيات العددية للزلزال التصميمي، لأن نوعية التربة يمكن أن تؤثر على مواصفات الحركة الزلزالية المؤثرة على المنشأ مما يؤدي إلى تضخيم فعل الحركة أو تخميدها بحسب دور المنشأة الطبيعي، ودور الحركة الاهتزازية المتوقع حدوثها في المنطقة المدروسة.

كما أن مخططات شدة الاهتزازات والتي رسمت لأغلبية الهزات الأرضية الحاصلة حددت الشروط المحلية المعتدلة لتربة التأسيس بأن تكون قاسية رسوبية وتعطى بهذه الحالة (درجة ...) (وتعني مستوى التوازن لتحديد التغيير الذي يطرأ على مقياس ميركالي بالنسبة لتربة من نوع آخر) بينما ثبت أن طبيعة التربة تعطي تقديرات قريبة من الدقة للأخطار التي يتعرض لها بناء أو منشأة أقيمت فوق هذه التربة. الجدول رقم (٩) يعطي العلاقة ما بين تربة التأسيس، ومقدار التغير في قيم الشدة الفعلية للزلازل، من أجل مسافات صغيرة نسبياً.

الجدول رقم ٩ – التعديلات الواجب ادخالها على قياس M.M.S تبعاً لنوع تربة التأسيس

(مصدر٥)

تربة التأسيس	مقدار التغير على مقياس M.M.S
صخرية (غرانيت، بازلت..)	– ١
تربة رسوبية قاسية	٠.
تربة رسوبية رخوة (رمل)	+ ١
تربة رسوبية رطبة (ردميات)	+١ أو + ٢

وعلى سبيل المثال فإنه في حالة بناء مقام على تربة رملية يفترض حساب البناء على أساس شدة زلزالية محسوبة سابقاً من خلال الرصد، ويضاف إليها درجة واحدة، فلو أعطينا شدة مقدارها (٦) بمقياس (ميركالي) لمنطقة ما تربتها رملية، فإن البناء المشاد فوقها سيحسب على أساس شدة مقدارها ٧ درجات. هناك مجموعة من الملاحظات الهامة المتعلقة بأساسات الأبنية المقاومة للزلازل، منها: (مصادر ٣٦، ٥٣، ٥٤، ٦٥)

* أن يتم التأسيس على تربة من نوع واحد، وفي حالة وجود طبقات فإننا نكتفي بطبقة واحدة.

* عدم تأسيس منشأ أو مبنى على جانبي صدع جيولوجي، أو على أقسام أرضية قابلة للانهيار، أو على تربة رملية مشبعة بالماء بسبب حدوث ظاهرة التميع (Liquefaction) وتجنب الأقسام التي تعرضت لحفريات وأعمال المناجم.

* يجب قدر الامكان استخدام نوع واحد من الأساسات لكامل المنشأة (أساسات سطحية أو أوتاد وغير ذلك)، وبشكل منتظم، وان تكون أساسات المبنى المقسم إلى أجزاء- بسبب اختلاف نوع تربة التأسيس - موحدة بالنسبة لكل جزء من الأجزاء.

* ضمان عدم انزلاق أو انقلاب المنشأة المقامة على منحدر.

* وصل الأساسات المنفردة ببعضها البعض، عن طريق جوائز قريبة قدر الامكان من منسوب ظهر الأساسات، وتحت منسوب الأرض.

وفي حالة استخدام البيتون المسلح، يتم تثبيت قضبان الجوائز بالأعمدة، حسب الأصول الانشائية.

ويجب ألا يفوتنا الاشارة إلى ظاهرة الطنين (Resonance effect) التي يمكن أن تحصل عند حدوث الزلزال الذي تحرك موجاته تربة الأساس بشكل طبيعي، وبتواتر معين، وإذا كانت هذه التربة ناعمة (غضارية) مثلاً فإن تحريك الهزة الأرضية لها يولّد فيها ترددٌاً ذاتياً يصبح خطراً جداً إذا وافق تردد الهزة الأرضية نفسها، لأن من شأن ذلك أن يكسر الأساس، أو الأعمدة المقامة فوقه والتي يرتكز عليها البناء السكني. وهذه الظاهرة توجب قبل البدء باشادة البناء، أي قبل تصميمه وتنفيذه، أن نجري اختبارات أولية خاصة لنوع التربة، وطبيعة ترددها، حتى يمكن لنا أن

نتجنب حدوث الظاهرة المشار اليها.

لذا يجب التركيز على دراسة العوامل الفيزيائية الخاصة بمواقع المنشآت القائمة أو المقترح بناؤها، والتي تلعب دوراً أساسياً في تساوي فترة تردد عمود (التربة – الصخر) مع فترة تردد المنشآت، وتساهم بذلك في زيادة فداحة الأضرار الحاصلة على هذه المنشآت (٨٥).

ويظهر الشكل رقم (٦٩) هذه العوامل والتي تشكل بنفس الوقت عناصر نظام تقييم الخطر الزلزالي.

٩– دراسة الأبنية المعقدة.

ان القاعدة الافتراضية الأساسية المعتمدة في أنظمة دراسة المباني المذكورة سابقاً، تعتبر الهياكل الإنشائية التي تتم دراستها متماثلة الشكل. وبالتحديد تفترض هذه الأنظمة تطابق مركز الصلادة للمبنى مع مركز ثقله، أي تلاقي نقطة تطبيق القوة العمودية، مع مركز الصلادة، أو اقترابهما من بعضهما، كما تفترض أن الثقل والصلادة على مدى ارتفاع المبنى غير متغيِّرين، أي ليست هناك تراجعات في الشكل أو الهيكل، وإذا وجدت فهي قليلة وغير مهمة. إلا أنه هناك الكثير من مجمعات المباني الضخمة التي يتميز معظمها بتنوع وظائفها (السكن والمكاتب والفنادق ومواقف السيارات). وعادة تكون مثل هذه المباني، التي يجمع تصميمها بين هذه المعطيات المختلفة المتناقضة ذات هيكل انشائي غير متجانس في مخططه وارتفاعه، اضافة إلى أن كون ثقل الطوابق المختلفة في هذه المباني متغيراً بشكل كبير.

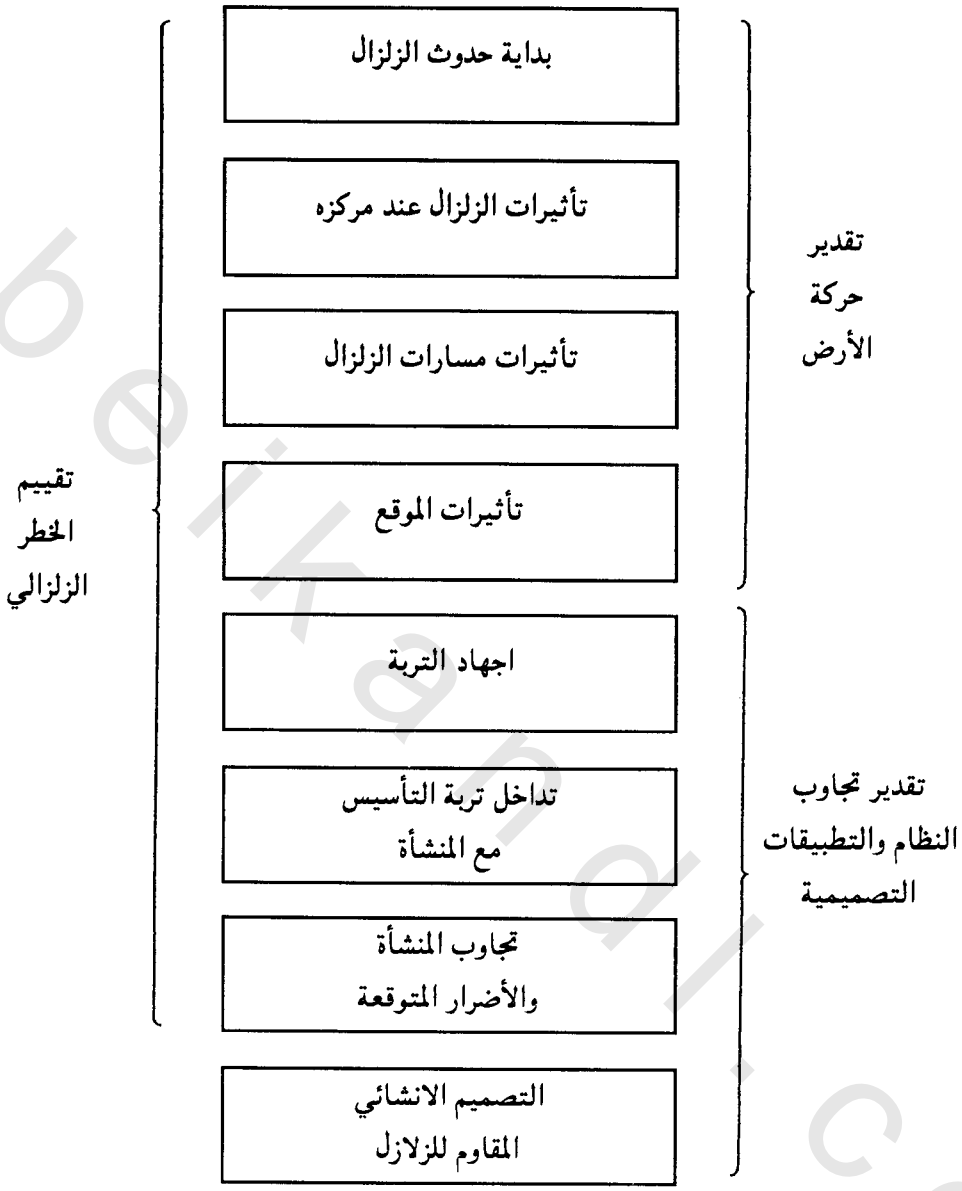
آ – عوامل الدراسة

ان دراسة هذه الهياكل الانشائية ضد الزلازل (الهزات الأرضية) تستند إلى الخصائص الديناميكية لأنظمة الهياكل الانشائية، مثل رد فعل كل من هذه الهياكل، وكيفية تصرفها في الأبعاد الثلاثة، وتحت تأثير العوامل التالية(٨٧):

– الأثقال الشاقولية الثابتة (الميتة) والمتحركة (الحية).

– قوة الهواء على كل جهة من المبنى، وفي اتجاه الضلع القطري الأطول لسطح البناء.

– الاثقال أو القوى التي تحددها قوانين الحماية في الهزات الأرضية (الكودات المعتمدة لذلك)،



الشكل رقم ٦٩ـ الهيكل التخطيطي لعناصر نظام تقييم الخطر الزلزالي وتظهر العوامل الفيزيائية المؤثرة على اتساع ودور اهتزاز سطح الأرض والمرزك . المسار. عمود التربة. الصخر تحت المنشأة). (المصدر ٨٦).

وذلك باستعمال طريقة الاثقال، أو القوى الاسكاتيكية المكافئة.

– مدى رد الفعل الأقصى لقوة الهزة المتعلقة بالمنطقة المعنية (زمن التجاوب الخاص بالموقع)، والذي يعتبر ان قوى الهزات الأرضية المعتمدة لتصميم الهياكل الانشائية تكون عنيفة جداً في حالة الهياكل التي لا تزيد فترة تجاوبها مع الهزة على ثلاث ثوان. وهذا يعني أنه كلما تزايدت فترة التجاوب كلما قلت قوى الهزات الأرضية المعتمدة في التصميم.

ب – مواصفات التصميم

ان دراسة هيكل بناء مقاوم للهزات الأرضية يتطلب كما بيَّنا سابقاً حذراً شديداً في ايجاد التوازن بين قوة البناء وصلادته ومرونته. والأسلوب الذي يمكن اتباعه لانجاز التصميم، والتحليل الديناميكي، والتوازن للهياكل في الأبنية غير المتماثلة انشائياً يقوم على ما يلي(٨٧):

– تحديد معايير القوة التي يجب أن تأخذ بعين الاعتبار دراسة القوى المحددة، بواسطة القوانين المألوفة. اضافة إلى المواصفات الخاصة بالمنطقة المعنية، وذلك للتأكد من عدم سوء تقدير الأثقال، والقوى المؤثرة على البناء. وهذه المعايير تحسب وفق ما يلي:

– يتم تحليل القوى الاستاتيكية الحاصلة من الهزات الأرضية وذلك بما يوافق الأثقال المعروفة الثابتة والمتحركة. وفي كل الأحوال فإن قوة الضغط التي تمارس على العناصر المؤلفة للهيكل يجب ألا تتجاوز قيم قوة البناء النموذجي المقاوم للزلازل، مع امكانية زيادة الأثقال بنسبة الثلث(٣٣٪).

– لكل هزة أرضية مدى أقصى محتمل للانتشار يبدأ من المركز، ومدى أقصى مؤكد للانتشار يبدأ من المركز أيضاً. وكل هزة أرضية نحس بها إما أن تقع فعلاً وتكون مؤثرة، وإما ألا تقع ويتلاشى احساسنا بها، وهذا يعني ان لها حدوداً دنيا وحدوداً علياً لوقوعها. في حالة المدى الأقصى المحتمل للانتشار ننطلق من بداية الحد الأدنى لوقوع الهزة، ويحسب التصميم قوة انتشار الهزة الخاص في المنطقة المعينة من قبل مهندس استشاري مختص بدراسة المميزات التقنية والجيولوجية للأرض والتربة. وفي حالة المدى الأقصى المؤكد للانتشار ننطلق من نهاية الحد الأقصى لوقوع الهزة. وهذا النوع من حساب التصميم هو الأهم في مجال الهياكل الانشائية المرنة، مع ضرورة تقدير قوة ثبات الهيكل، وسماح الدراسة الانشائية بوقوع بعض الأضرار في الهيكل، شريطة عدم تعرضه للانهيار بشكل كامل مهما كانت الظروف.

– العناية بدراسة بعض النقاط الخاصة مثل: تصميم الأعمدة الموجودة في زوايا الهيكل، والواصلة بين هيكلين متلاقيين، بحيث تقاوم قوة الهزة في اتجاهين مختلفين. فالقوة التي تحسب في كل اتجاه تساوي ١٠٠٪ من قوة الهزة في الاتجاه الأساسي، اضافة إلى ٣٠٪ من قوة الهزة التي تنتج عن مكوناتها المتعامدة. أما بالنسبة إلى الأعمدة التي لا تدخل ضمن النظام المقاوم للقوى الجانبية، فيجب أن تصمم لتقاوم قوى عزم الثني. ويجب أن تُقارن هذه الأخيرة مع القيمة التي تنتج من ضرب قيمة ثابتة بالتحرك الأفقي للمبنى (التحرك الزاوي) الذي يحدث أثر أعنف هزة ممكنة، مع اعتماد القيمة الأكبر في عملية الحسابات.

– يتعلق مقياس الصلادة بالتحرك الإجمالي للهيكل، وبالتحرك الذي يحدث بين الطوابق. ويجب أن يصمم الهيكل وكل من عناصره الانشائية استناداً إلى عدم تخطي أي من هذين التحركين حدودهما المفروضة. فمثلاً يجب أن لا يزيد التحرك الاجمالي للمبنى عن ٠,٠٠٢ ، وهو حاصل قسمة تحرك قمة المبنى على الارتفاع اعتباراً من نقطة أسفل المبنى وأن لا يزيد عن ٠,٠٠٢٥ في مجال اختلاف التحرك بين الطوابق.

– أما مقياس المرونة فيغطي مجموعة من مختلف العناصر الانشائية وتفاصيل الوصلات. كما يجب أن يتم اختبار العناصر الانشائية الإفرادية، بطريقة تكون فيها الأعمدة أقوى من الجوائز، وذلك على مختلف المستويات. وبذلك يكون مجموع قدرة الأعمدة على تحمل عزم الثني فوق الوصلة وتحتها أكبر من مجموع قدرة الجوائز على تحمل هذا العزم في كلتا الجهتين من الوصلة. وان اختيار الفولاذ ذي المقاومة الكبيرة (٣٥٠٠ كغ/سم٢) هو اختيار مناسب جداً لهذه الحالة. أما الوصلات بين الأعمدة والجوائز فيجب أن تصمم بطريقة تجعل الجوائز قادرة على استيعاب قوة تساوي مقاومتها الكلية.

ج – أمثلة تطبيقية

كاختصار لما ذكرناه سابقاً، فإن تصميم برج شاهق يجب أن يبدأ بتحديد المسافة التي يمكن أن يتمايل ضمنها هذا البرج دون أن ينهار، وهذه المسافة تكون طبعاً على علاقة بقوة الهزة وبصلابة البناء أو ليونته. ويمكن استعمال عدة تقنيات لهذه الغاية (الشكل رقم ٧٠) منها:

١– جوانب مدعمة بعوارض متصالبة لامتصاص القوة الجانبية.

٢- جدار قص خرساني لزيادة صلادة البناء ومقاومة قوة الزلزال الجانبية.

٣- قنطرة خرسانية: الأعمدة والكمرات تنثني تحت تأثير القوة.

٤- محامل عازلة: تستعمل عدة طبقات من الفولاذ والمطاط لامتصاص الصدمات في بعض الأبنية، من أجل فصلها عن تحرك الأرض.

حديثاً طبق اليابانيون نظاماً لمقاومة آثار الزلازل على الأبنية يتماثل من حيث المبدأ والأساس العلمي مع نظام انتلجنت لآلية التعليق المخمدة للاهتزاز والخاصة بالسيارات، وهو أحد برامج لوكس لأنظمة الحاسب الآلي المعروفة، ويعمل هذا النظام على النحو التالي (٧٤).

توضع قطعتان ضخمتان من المعدن يبلغ وزنهما نسبة ١٪ من الوزن الاجمالي للمبنى، فوق السطح العلوي للمبنى، وعندما تكتشف أجهزة الاحساس الموجودة في المبنى أية حركة أو ارتجاج يقوم جهاز تحكم آلي بتحريك هذه الأوزان بطريقة آلية حول مواضع مختلفة عند السقف العلوي، وهذا بدوره يؤدي إلى تغيير طفيف في موضع المبنى من جانب إلى آخر، مثلما يحدث تماماً لمسافر واقف في قطار متحرك، عندما يكون مرتكزاً على رجل واحدة، ثم وفي لحظة معينة، ينقل وزن جسمه إلى الرجل الأخرى. وهناك أنظمة أخرى تعمل بنفس أسلوب الأوزان الموازنة، يجري اختبارها حالياً في مبان أخرى في اليابان، مثل نظام الاثقال المستعمل في برج (بوسطن هانكوك)، والذي يعمل على منع تمايل وتأرجح المبنى تحت تأثير قوى الرياح، ذلك أن الأعاصير والعواصف الهوجاء تزيد قوتها كلما تزايد علو البناء، والرياح تعمل في الأعالي كالهزات الأرضية فتهز الأبراج العملاقة. وعندما تكون الهزات خفيفة، لا تشكل خطراً، وكل ما تسببه هو بعض الغثيان (أو الإصابة بدوار البحر) لدى السكان ولكن عندما تكون قوية فهي تؤدي إلى انشطار المبنى بكامله.

أحد المجمعات السكنية في نيويورك ويدعى (سيتي كورب سنتر) زُوِّد في أعلاه بنظام مذهل لاخماد الهزات. فقد وضع هذا النظام داخل حجرة خاصة. وهو عبارة عن قالب خرساني يبلغ وزنه ٤٠٠ طن، وهو يستقر على سطح مصقول، ويتصل في أحد جوانبه بنابض، بينما يتصل في الجانب الآخر بمكبس هيدروليكي. وعندما تشير الآت القياس إلى أن المبنى سيتعرض لهزات قوية، تقوم على الفور مضخات هيدروليكية ضخمة بضخ الزيت تحت القالب الخرساني لكي ينزلق باتجاه

أفقي. وهكذا عندما يهتز البرج في اتجاه معين يتحرك القالب في اتجاه معاكس، وبهذه الطريقة يكون هذا النظام قد خفف الهزات إلى نصف قوتها.

أسلوب صيني آخر ضمن هذا الاطار يعبر عن افتتان الصينيين بالابر وهو يتعلق هذه المرة بتحصين المباني ضد الزلازل (وانما من وحي الوخز بالابر الصينية)، يقوم الأسلوب الصيني الجدي على خلط الخرسانة – قبل صبها – بألياف من الصلب – بحجم الابر الصينية المستخدمة في الوخز للعلاج الطبي – ويرى الصينيون أن الأسلوب الجديد يحسن إلى حد كبير من مقاومة المباني ضد الزلازل بنسبة تتراوح بين ٣٠ – ٦٠٪ بالمقارنة مع الأسلوب التقليدي الذي يستخدم حديد التسليح.

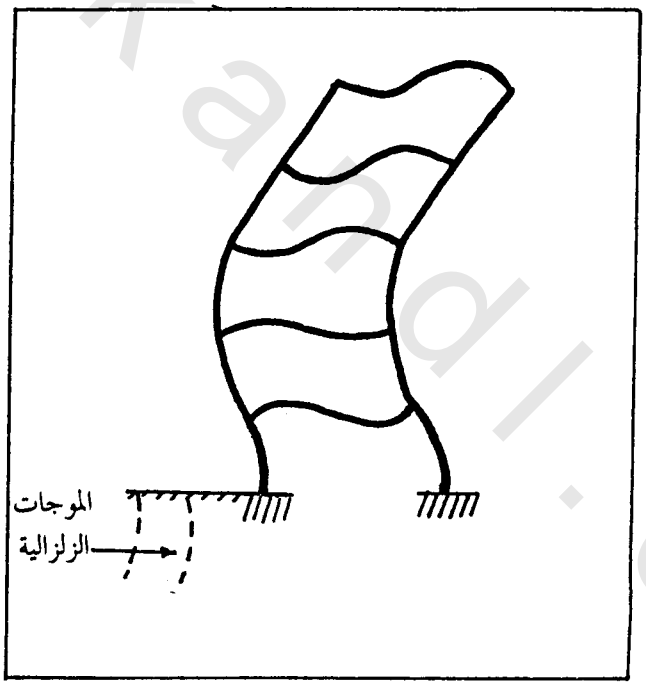
أحد العلماء اليابانيين يطور حالياً نظام الاثقال الموازنة، فبدلاً من استعمال هذه الأثقال فهو يطور تقنية استعمال أنابيب فولاذية بسمك (١٥ سم) تثبت في أوضاع مائلة، ويستمر امتدادها على طول المبنى ابتداء من جانب وانتهاء بآخر. وعندما يتعرض المبنى للهزات الأرضية، تعمل مجموعة من الالآت على ازاحة ثقل المبنى من موضع إلى آخر بسحب مجموعة من الأنابيب آلياً حتى تصبح مشدودة ومتوترة ثم تقوم هذه الالآت بسحب مجموعة أخرى بالتعاقب وهكذا. ومن أهم ما يميز هذه الوسيلة عن غيرها قلة استهلاكها للطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل نظامها الهيدروليكي الصغير.

والعلماء اليابانيون من خلال استعمالهم لتقنيات التخفيف من مخاطر لكارثة الزلزالية يجازفون بنوعين من المخاطر:

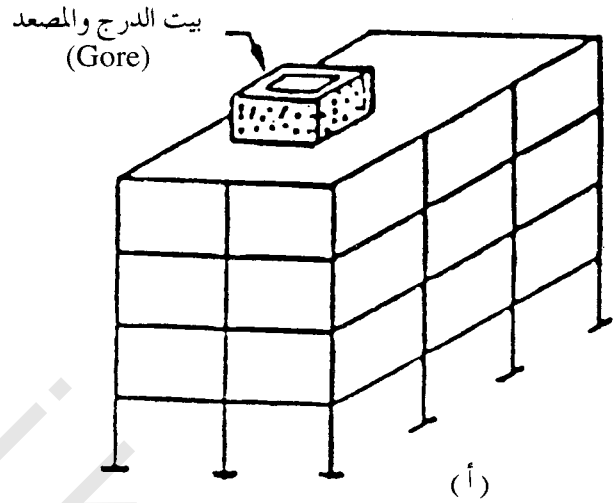
أولهما: اعتمادهم الكلي على الطاقة الكهربائية لتشغيل هذه الأنظمة المطورة بالرغم من علمهم المسبق بأن الزلازل كثيراً ما تتسبب في انقطاع الطاقة الكهربائية بكاملها حتى تلك الناشئة عن المولدات الاضافية والتي غالباً ما تكون موجودة في الأدوار تحت الأرضية للمباني.

وثانيهما: أن حدوث أي خطأ في عمليات حفظ التوازن للمبنى ينشأ عنه تضخم الهزات وزيادة شدتها بدلاً من اضعافها وتخميدها.

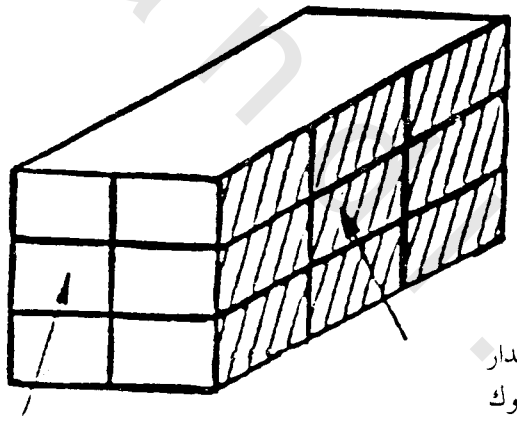
خلاصة لما تقدم فعندما تتوفر مجموعة من المعطيات والظروف المختلفة أثناء دراسة الهيكل الانشائي المراد اقامته في موقع ما بحيث يكون مقاوماً للزلازل الاقليمية أو المحلية، وشروط تربة التأسيس، والوضع الاقتصادي المحلي، والمتطلبات المعمارية الخاصة. فإن هذه الاعتبارات كلها تساعد على تصميم المنشآت المقاومة للزلازل بشكل فعال، وذلك من الناحيتين الانشائية وغير الانشائية والجمالية وبالتالي تقليص أخطار الزلازل على الأرواح والممتلكات إلى حد بعيد. وبالطبع فإن تحقيق مثل هذه الاجراءات يحتاج إلى تكاليف اضافية، إلى جانب تكاليف أخرى ضرورية لاقامة شبكات من المراكز الخاصة بأبحاث الزلازل ومراقبة نشاطها المحلي ورصدها. ولكنها تبقى كلفة بسيطة إذا ما قيست بمطلق خسائر تنجم عن زلزال أرضي ما.



الشكل٣٥ – تأثير الحركة الزلزالية على المنشآت
(المصدر ٧٦).



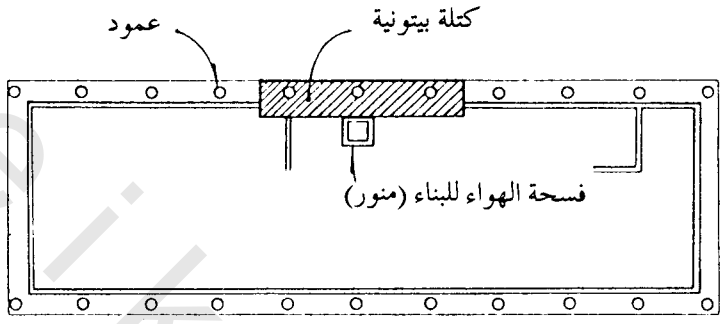
(أ)



(ب)

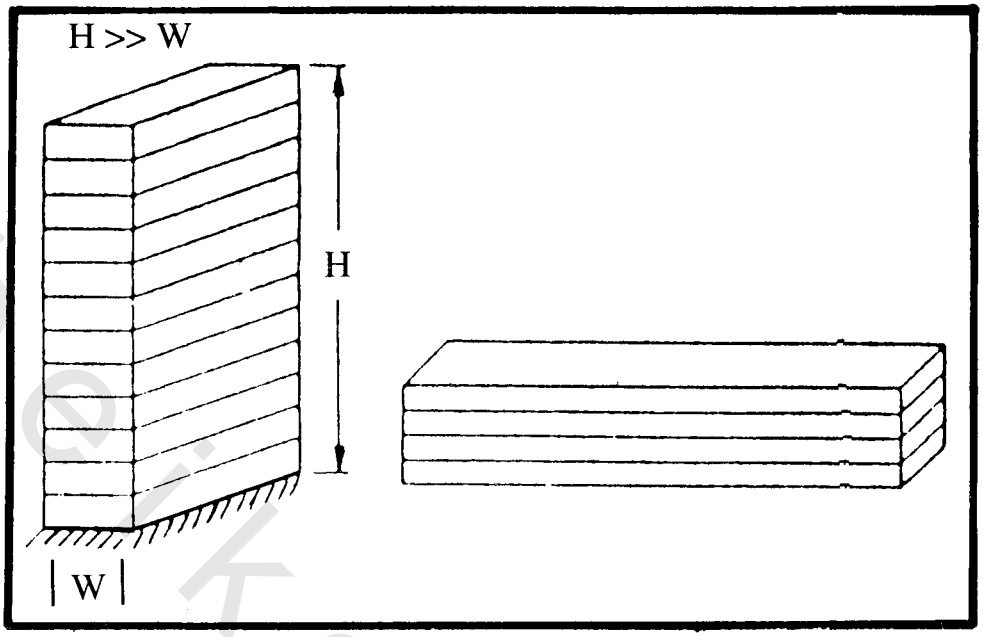
الشكل ٣٦ ـ انعدام تماثل العناصر الانشائية في المبنى

obeikan.com

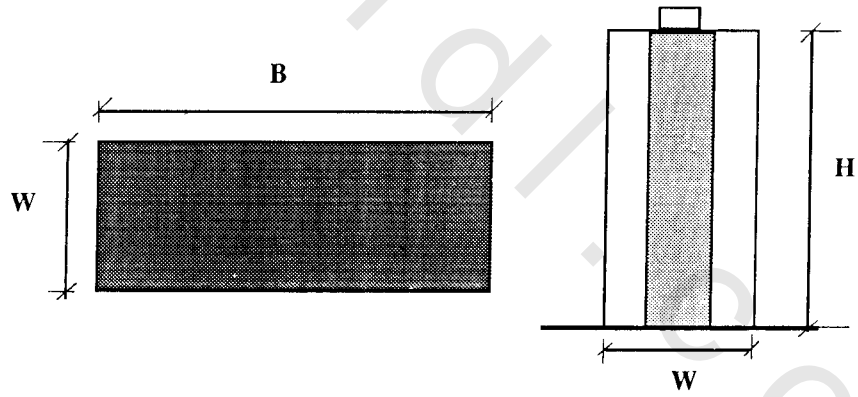


الشكل ٣٧ ـ وضع هندسي (انشائي) يسبب حادثة التلي (الانحناء) في البناء بعد الزلزال.

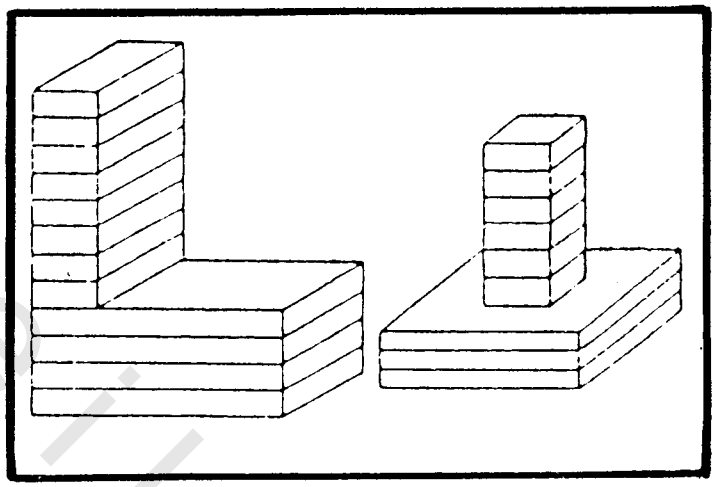
الشكل ٣٨ ـ ظاهرة اللي واضحة في عمد البناء بعد وقوع الزلزال والسبب الوضع الهندسي الانشائي المشار إليه في الصورة فقط. المصدر (٢٩)



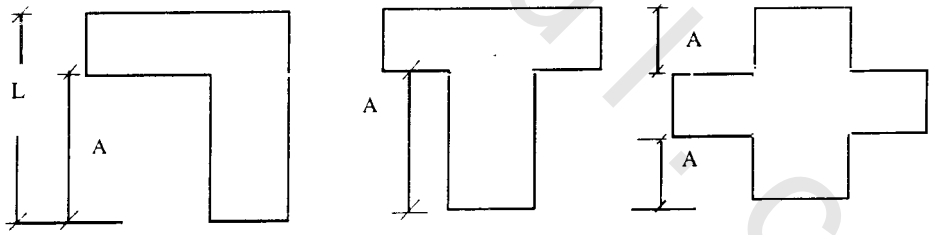
الشكل ٣٩ ـ وصف المنشأة : استطالة مفرطة «أفقياً ـ عمودياً»



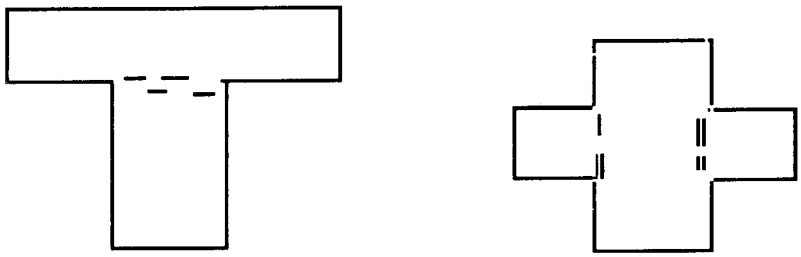
الشكل ٣٩ ب ـ العناصر المعمارية الضرورية لأبعاد البناء



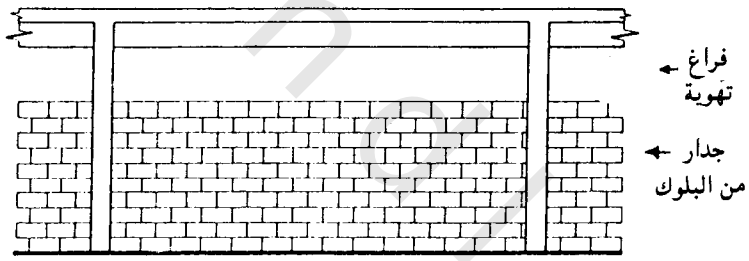
الشكل ٤٠ – تقسيم المبنى غير المنتظم إلى أجزاء



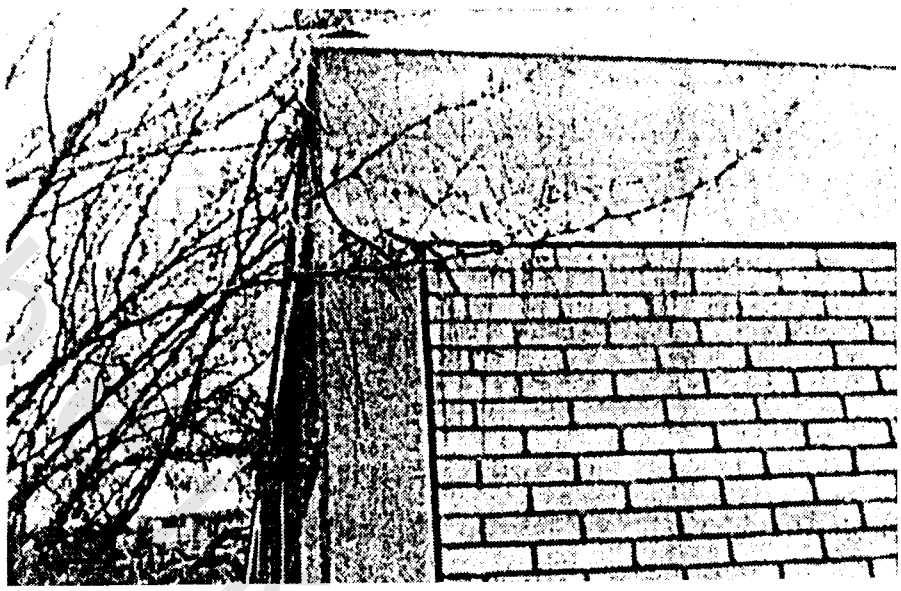
الشكل ٤٠ ب ـ شروط الأبعاد في الأبينة غير المنتظمة



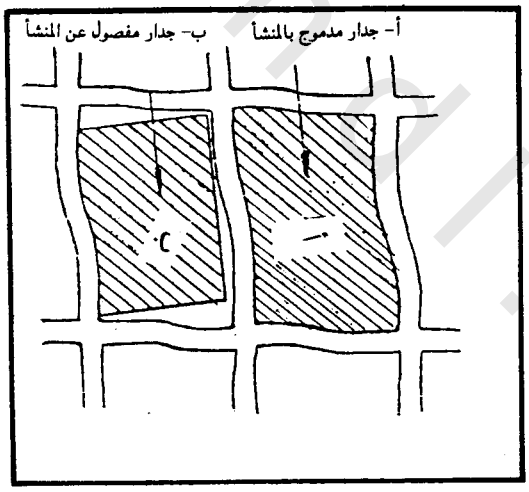
الشكل ٤٠ جـ - تقسيم المبنى غير المنتظم إلى أجزاء



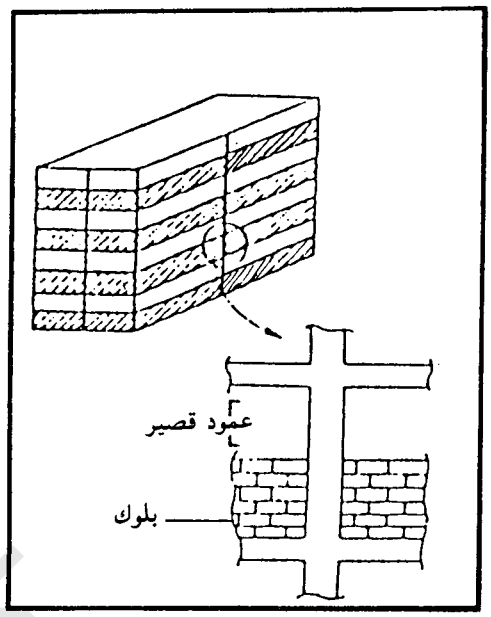
الشكل ٤١ ـ فراغات تهوية طولانية في الجدران (نظام شائع في البلدان الحارة).



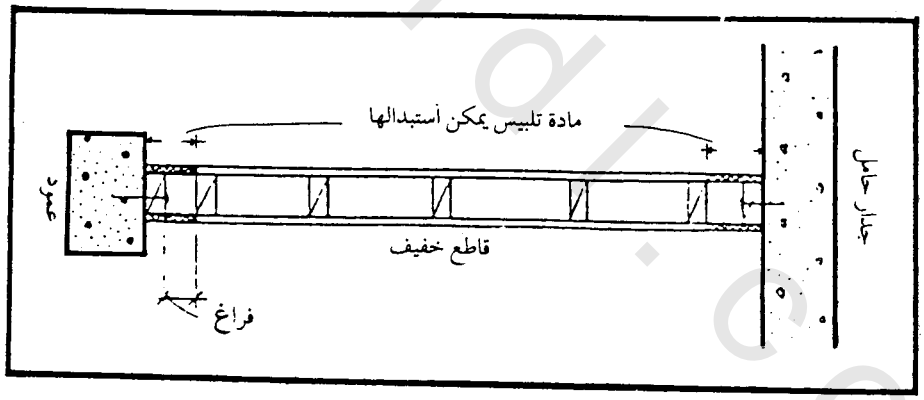
الشكل ٤٢ ـ تشقق الإطار البيتوني المسلح في بناء بسبب نظام فراغات التهوية الطولانية بين الجدران



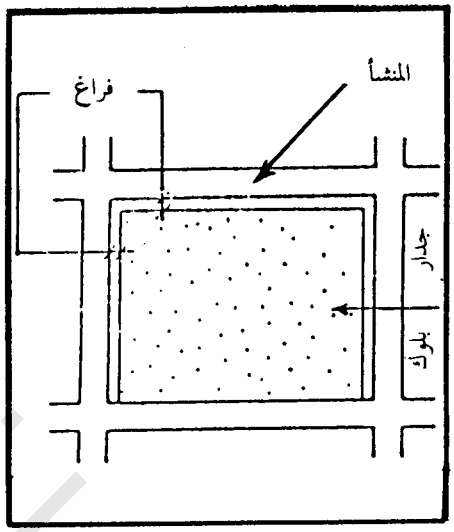
الشكل ٤٣ ـ وضع الجدار في المنشأة
أ. حالة دمج
ب. حالة فصل



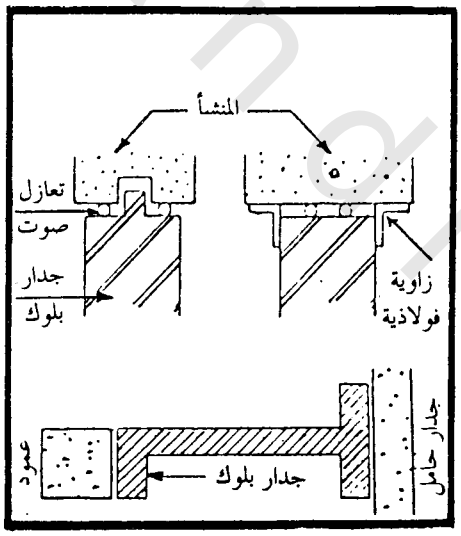
الشكل ٤٤ ـ الوضع الانشائي للعمود القصير (المصدر ٦٧)



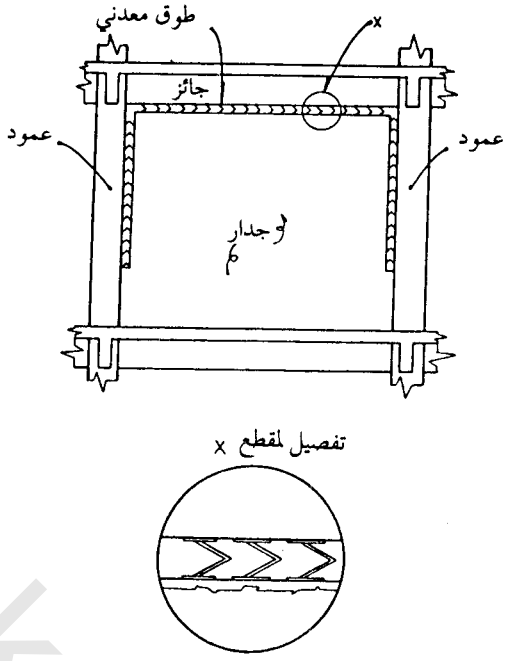
الشكل ٤٥ مقطع أفقي في قاطع خفيف بين عنصرين انشائيين حاملين لمبنى مستدر الطوابق ومدروس على الزلزال ـ حالة فصل الجدران عن المنشأة



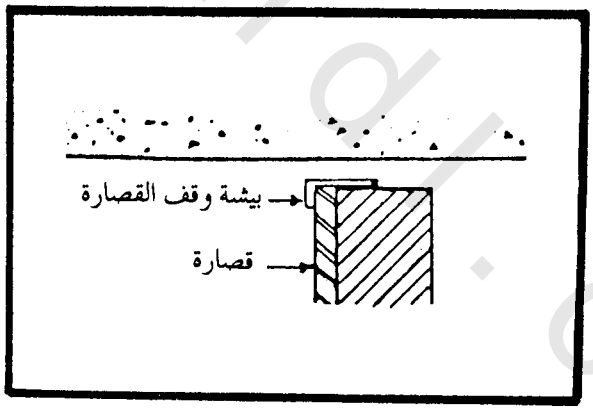
الشكل ٤٦ ـ حالة فصل الجدار عن العمود والجائز المصدر : (٦٧).



الشكل ٤٧ ـ حالة فصل الجدار عن العناصر المجاورة بمواد عازلة

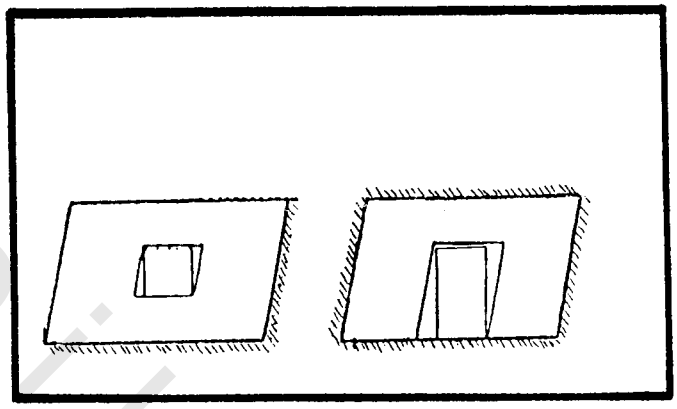


الشكل ٤٨ طوق معدني يستخدم لحماية الجدران من أخطار الزلزال المصدر (٦٨).

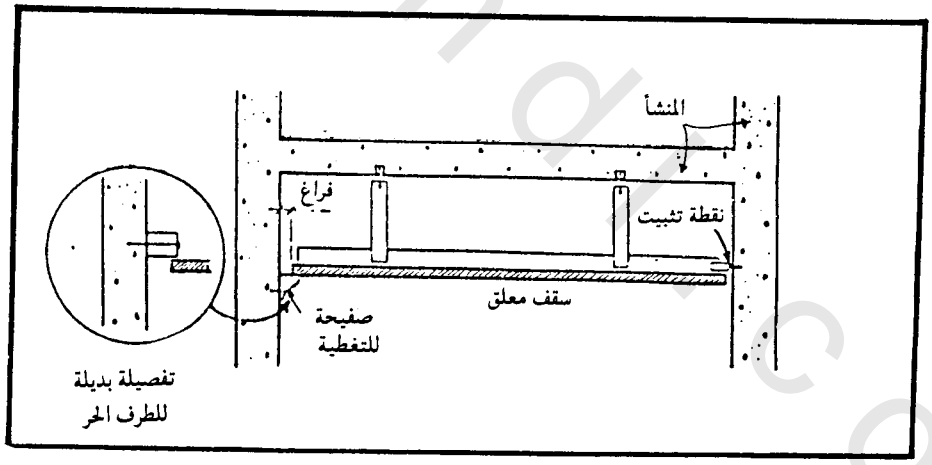


الشكل ٤٩ ـ طريقة استخدام القصارة في البناء

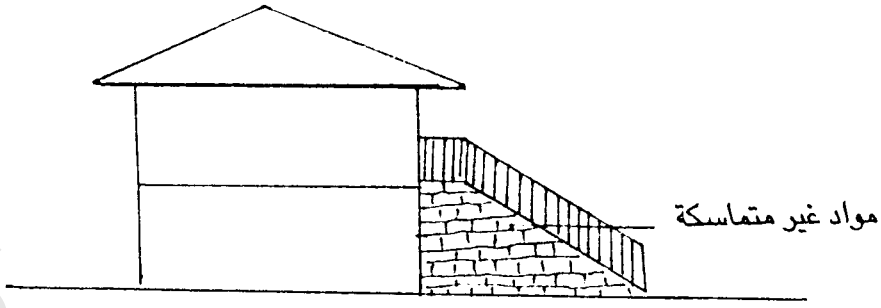
obeikandl.com



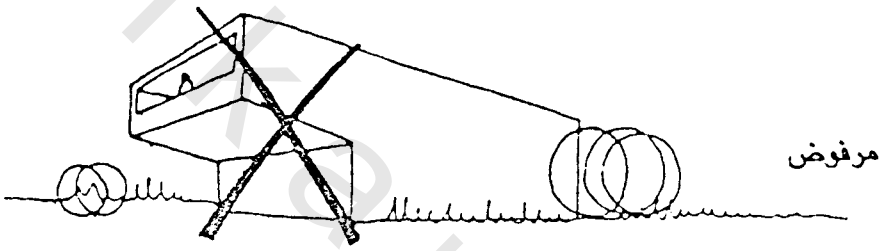
الشكل ٥٠ ـ فصل الأبواب والنوافذ عن العناصر الانشائية



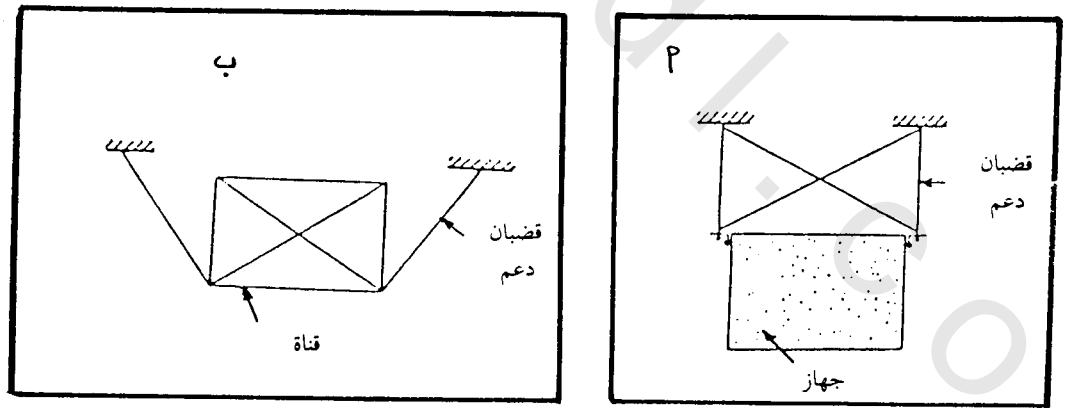
الشكل ٥١ ـ حالة السقوف المعلقة في مبنى مقاوم للزلازل المصدر (٦٩).



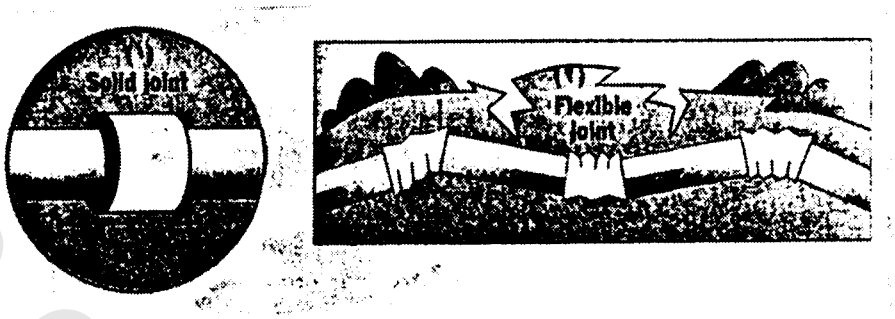
شكل ٥٢ ـ استناد درج على مواد غير متماسكة (مصدر ٥١)



شكل رقم ٥٣ ـ لا ينصح بالبروزات الكبيرة

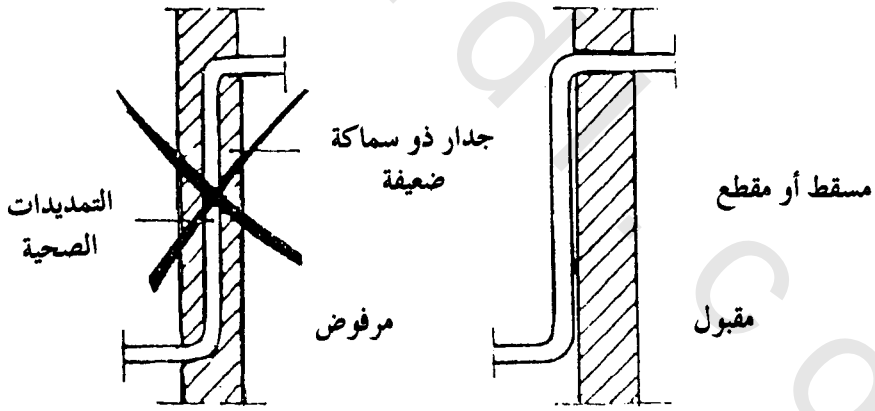


الشكل ٥٤ ـ تثبيت الأجهزة الكهربائية والميكانيكية في المبنى المقاوم للزلازل.
أ- تثبيت الأجهزة الكهربائية والميكانيكية على الأرض.
ب- الأجهزة الكهربائية والميكانيكية المعلقة.

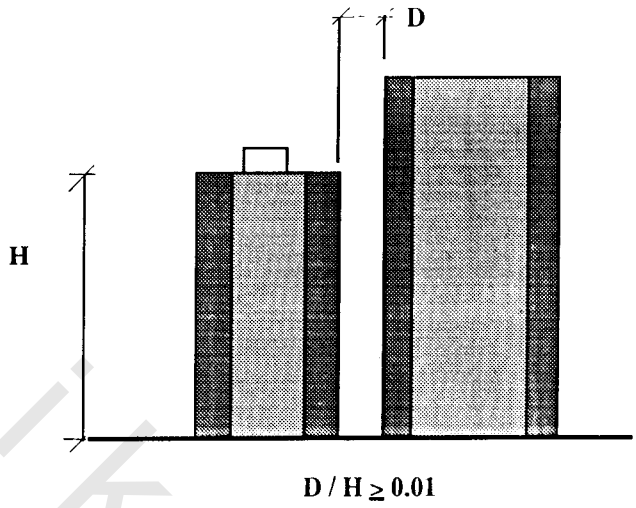


الشكل ٥٥ ـ

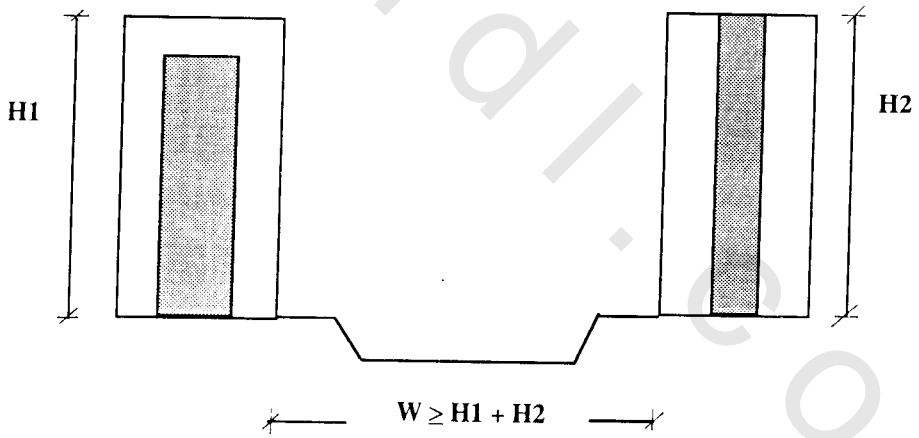
(١) وصلة تحت ارضية صلبة.
(٢) وصلة تحت ارضية لينة «قابلة للتمدد والتقلص «اثناء الزلزال.



شكل ٥٦ ـ توصيل الشبكات الداخلية بالشبكات الخارجية

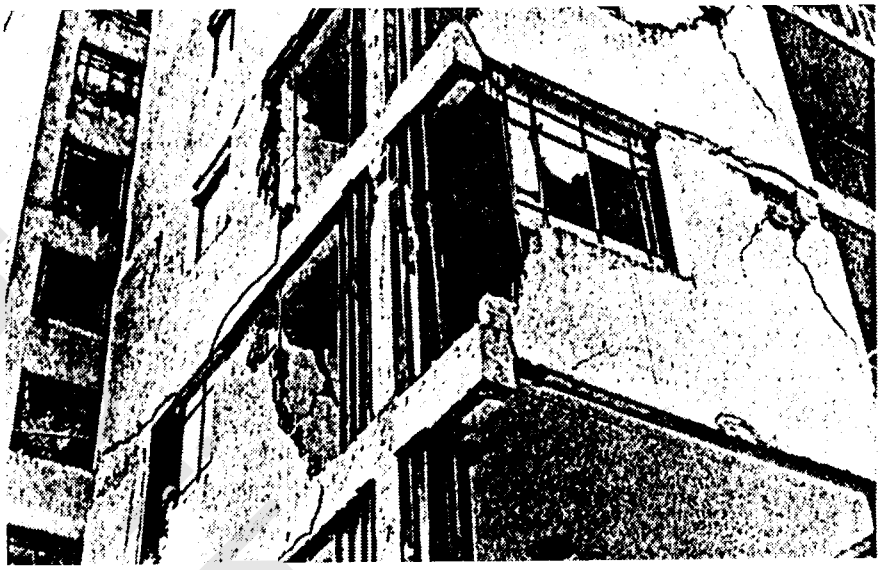


الشكل ٥٦ ب ـ شروط المسافة بين أبنية متجاورة

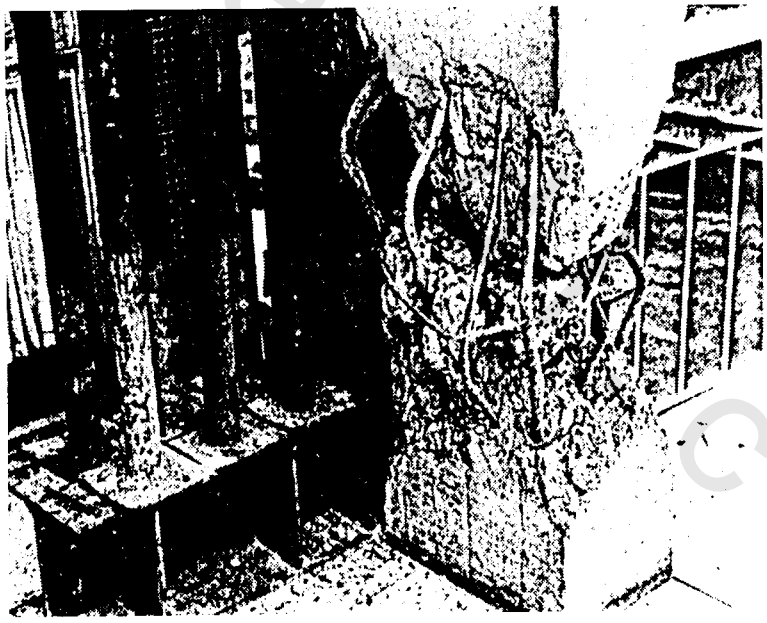


الشكل ٥٦ جـ- شروط عرض الشارع بين أبنية متقابلة

obeikandl.com



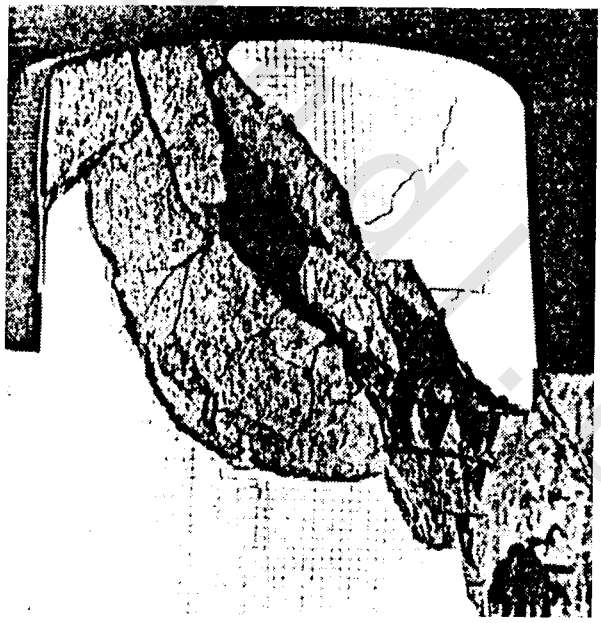
الشكل ٥٧ ـ سقوط جدران البلوك المفرغ للبناء إثر زلزال كاراكاس عام ١٩٦٧. المصدر (٨٨).



الشكل ٥٨ ـ الأضرار اللاحقة بعمود بينوني في كاراكاس نتيجة زلزال تعرضت له بتاريخ ١٩٦٧/٧/٢٩ ـ المصدر : (المعهد الأمريكي للحديد والفولاذ ـ نيويورك).

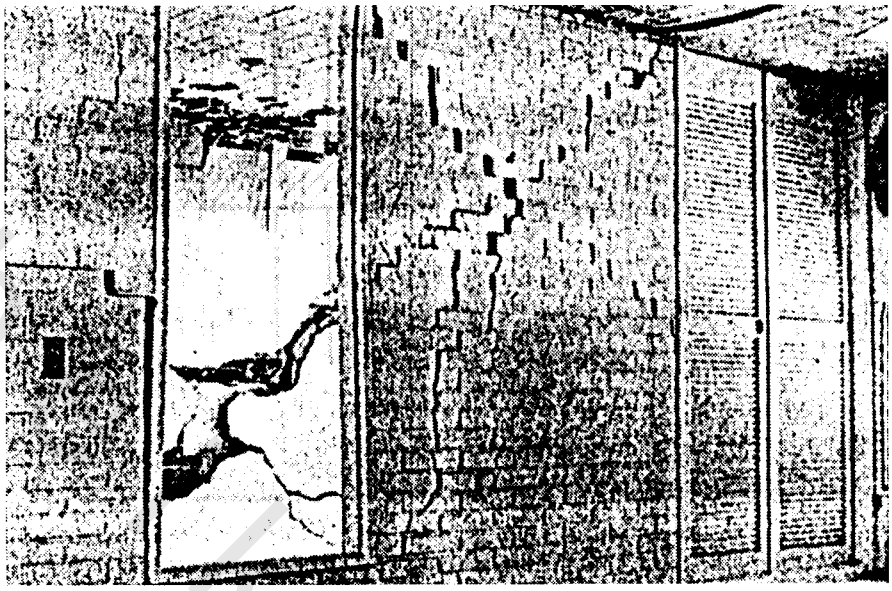
الشكل ٥٩ ـ تشقق واضح في نقطة الاتصال والتثبيت بين عمود وجائز في مدينة مكسيكو إثر زلزال كاراكاس عام ١٩٦٧

المصدر : (٨٨).

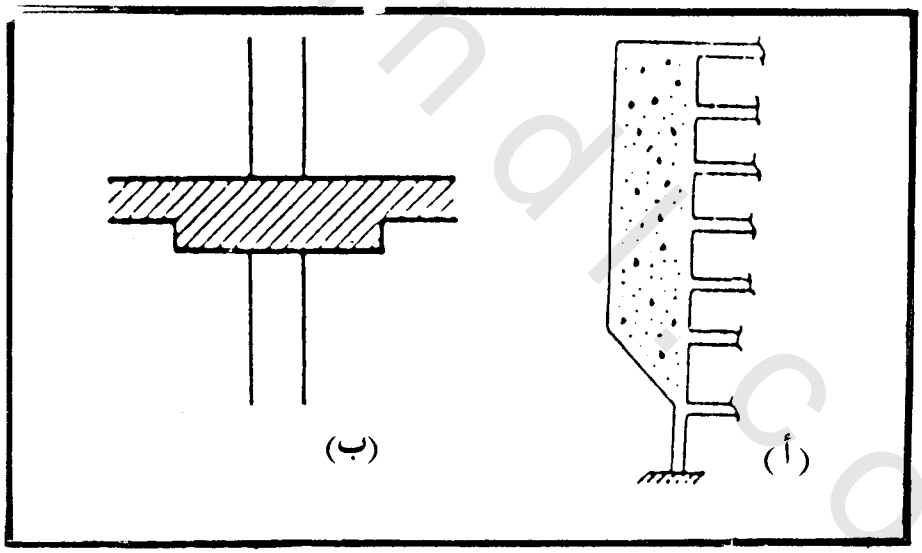


الشكل ٦٠ ـ الأضرار اللاحقة بعمود ملبس من البيتون المسلح (فندق الشيراتون في مدينة ماكوتو) وتظهر الصورة فشل الشد القطري.

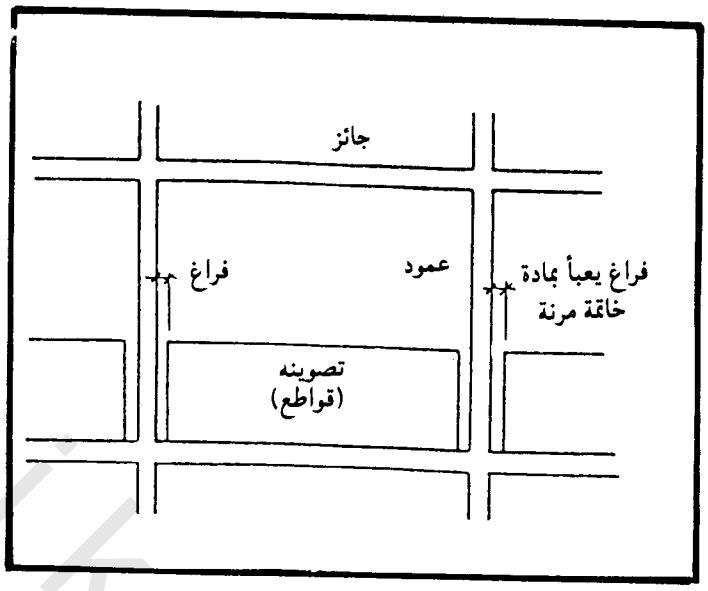
المصدر : (العهد الأميركي للحديد والفولاذ ـ نيويورك).



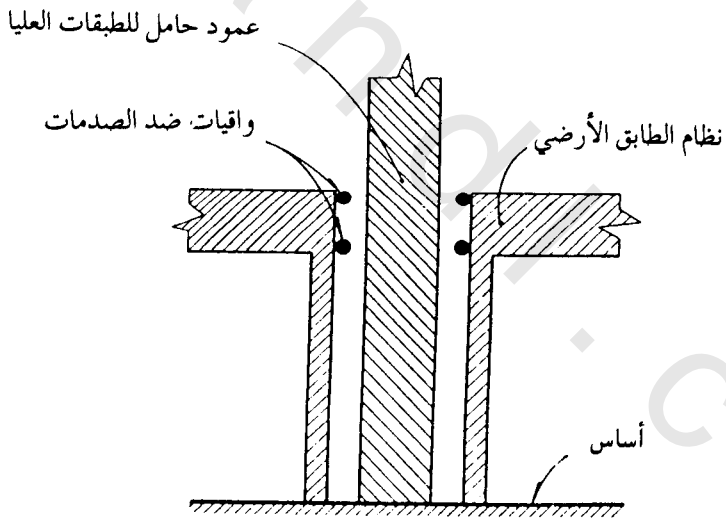
الشكل ٦١ ـ تفسخات تقليدية تحصل في الجدران عادة بعد الزلازل «أبنية غير مقاومة للزلازل» المصدر (٦٩).



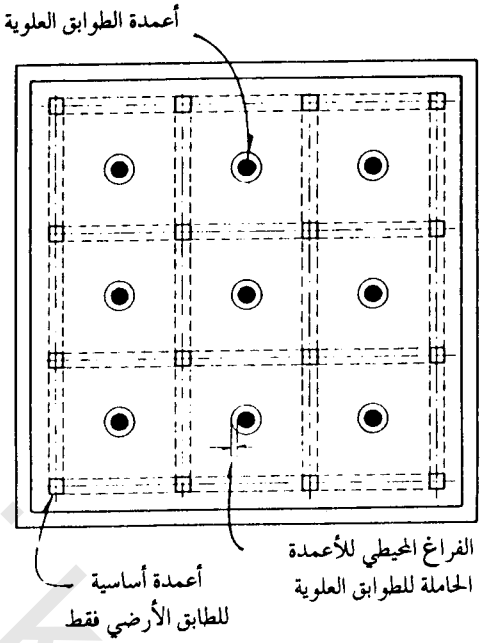
الشكل ٦٢ ـ عدم انتظام توزيع العناصر الانشائية



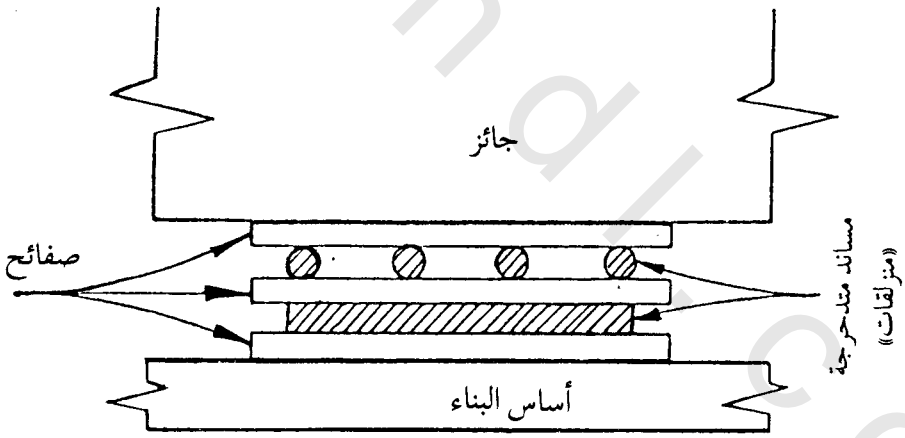
الشكل ٦٣ ـ فواصل الحركة بين الأعمدة والقواطع



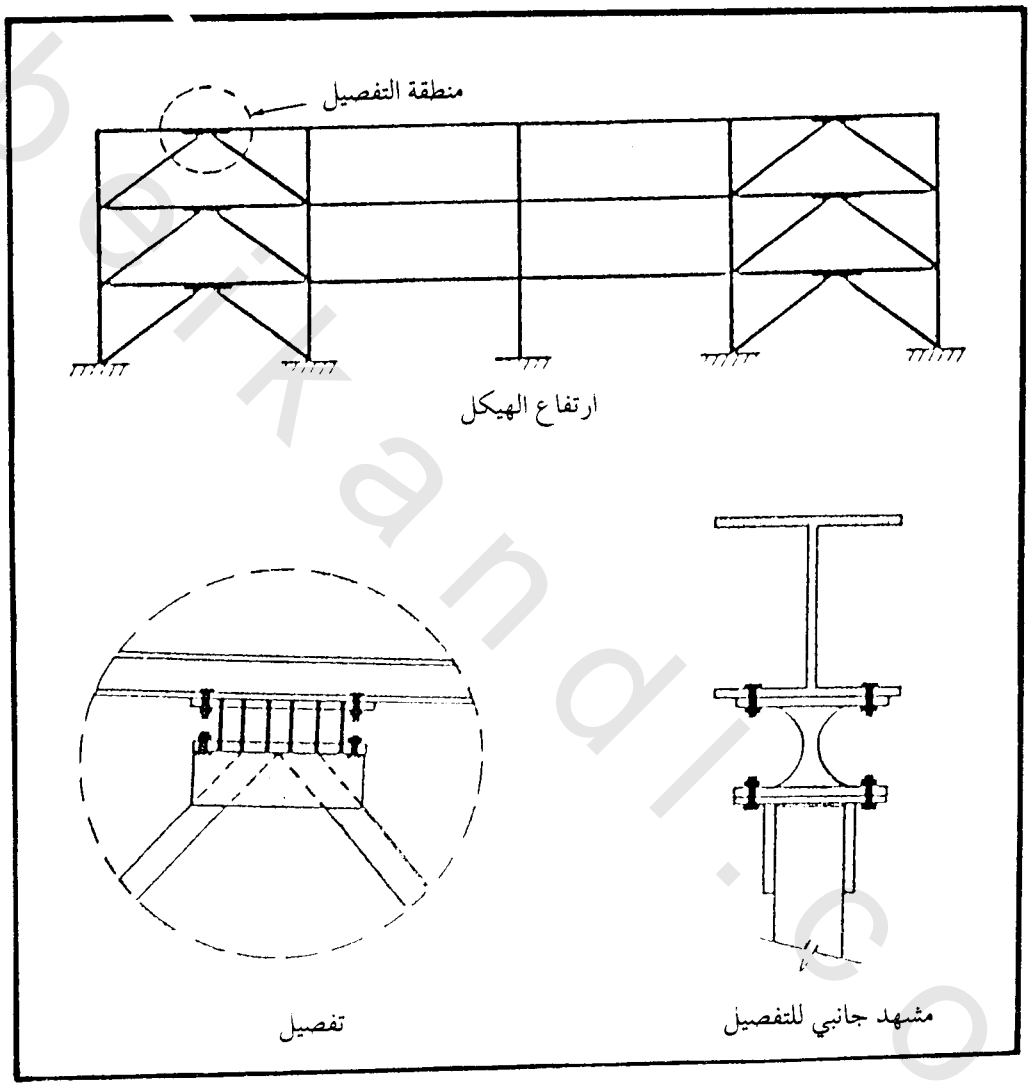
الشكل ٦٤ نظام الأعمدة الأساسية المزودة بفراغات حيطية (حلقية).
المصدر (٧٢).



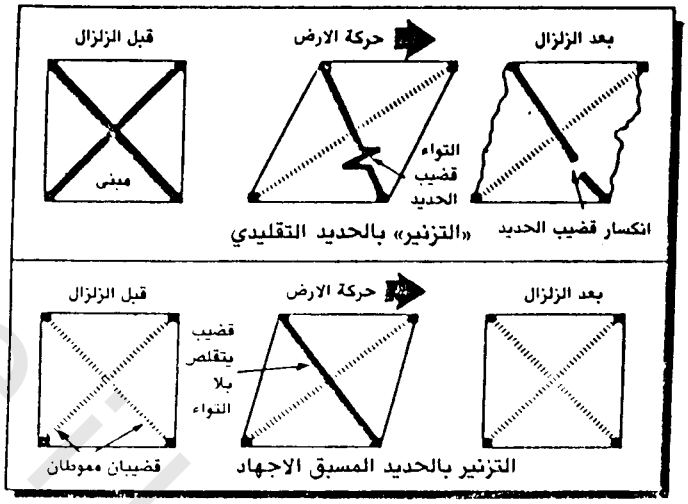
الشكل ٦٥ استخدام النظام المزدوج للأعمدة
المصدر (٧٢)



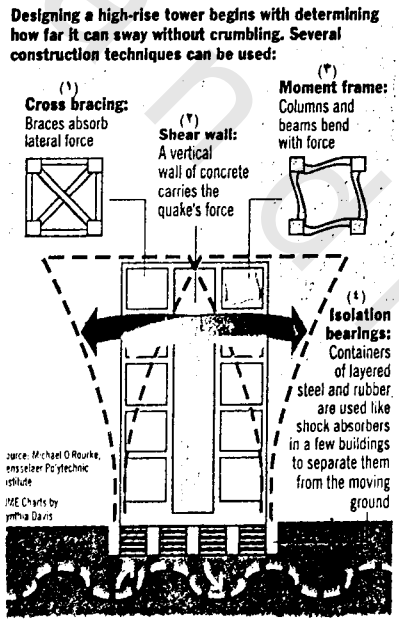
الشكل ٦٦ ـ استخدام نظام المساند المتدحرجة لعزل المنشأة عن تأثيرات الزلازل
المصدر : (٧٣).



الشكل ٦٧ ـ نماذج من وسائط امتصاص الصدمات ضمن المباني
المصدر (٧٥).



الشكل ٦٨ ـ التدعيم الخارجي للمباني بالأربطة الحديدية



الشكل ٧٠ ـ تقنيات تصميم الأبراج الشاهقة المقاومة للزلازل.