مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (27) العدد (2) 2005
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (27) No (2) 2005

متطلبات أساسية لتقويم وتدعيم المباني الواقعة في المناطق الزلزالية تقنيات التدعيم

الدكتور بسام حويجة*

(قبل للنشر في 2005/8/22)

□ الملخّص □

إن الأبنية القائمة في مناطق زلزالية خاصة التي لم تستوف متطلبات التصميم الزلزالي واشتراطات الكودات تكون عرضة لجملة من الأضرار الخطيرة.

وللحد من الخطر الزلزالي نعمل على إعادة تأهيل المباني القائمة، إذ تتم تقويتها و تدعيمها بهدف زيادة قدرة تحملها للأفعال الزلزالية.

وإنّ عملية تقويم المنشآت القائمة لمقاومة الزلازل من خلال تحديد قدرتها الفعلية وبيان العيوب و النواقص أمر هام وضروري لتحديد أسلوب و تقنية إعادة التأهيل.

في الواقع، يهدف تقويم وتأهيل المباني والمنشآت القائمة لمقاومة الأفعال الزلزالية إلى تجنب الانهيار الشامل أو الجزئي بما يحفظ السلامة ويخفف من الأضرار في العناصر الإنشائية و غير الإنشائية أثناء وبعد الزلزال.

نبين، في هذا البحث، شرحاً لمفهوم فلسفة التصميم الزلزالي، وكذلك أسس عملية التقويم الزلزالي، لنصل إلى عرض طرائق التدعيم المقاوم للزلازل و توضيح التقنيات المستخدمة في تقوية المباني و المنشآت الهندسية الواقعة في مناطق زلزالية.

* أستاذ مساعد – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين– اللاذقية – سوريا.

مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (27) العدد (2) 2005
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (27) No (2) 2005

Seismic Evaluation & Rehabilitation Requirements of Existing Buildings in Seismic Zones Rehabilitation Techniques

Dr. Bassam Hwaija*

(Accepted 22/8/2005)

□ ABSTRACT □

Past earthquakes have emphasized the vulnerability of existing structures which did not satisfy modern seismic design requirements and current engineering standards even though they may have been properly designed and constructed according to earlier codes. Many existing buildings may be inadequate and pose severe risk during seismic events.

To mitigate the seismic hazard, existing building should be rehabilitated. The rehabilitation measures to upgrade the capacity of these structures can be performed at some point in their useful lives.

The evaluation of the seismic capacity of existing buildings and their deficiencies is essential for the design of a rehabilitation technique.

The aim of the evaluation and rehabilitation systems is either for collapse prevention to ensure safety of the occupants or to control the damage to ensure the continuity of operation during and after earthquakes.

In this paper, the seismic design, as well as evaluation and rehabilitation process are presented, and the suitability of different techniques for various evaluation systems and rehabilitation strategies are reviewed.

* **Associate Professor, Structural Engineering Department, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria**

مقدمة:

عندما نلقي نظرة سريعة على الخارطة الزلزالية للعالم نلاحظ أن أجزاء كثيرة منها تتعرض لزلازل مختلفة الشدة : كبيرة، متوسطة وضعيفة [1,2,3]. ولقد حصل مؤخراً نشاطاً زلزالياً بشدات متوسطة في منطقة الشرق الأوسط وتأثرت بها سوريا، و هذا مبين في الكود العربي السوري لتصميم و تنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة لعام 2004 [16]، حيث يتم تقسيم سوريا إلى سبع مناطق وفقاً للخارطة الزلزالية السورية الواردة في الملحق (د) والجدول (هـ) من هذا الكود .

من هنا كان لابد من الاهتمام بموضوع الحماية الزلزالية عند تصميم منشآتنا اللاحقة لمقاومة الزلازل وحماية المباني والمنشآت القائمة عن طريق تقويتها وإعادة تأهيلها لتصبح قادرة على تحمل القوى الزلزالية و ذلك اعتماداً على النتائج التي يتم إعدادها في تقرير سابق يبين كفاءة كل منشأ قائم لوحده . هذا التقرير يناقش مجموعة معايير التقويم الزلزالي سواءً كانت وصفية سريعة تهدف إلى تحديد مواقع الضعف في المنشأ و تشكيل تصور أولي عن واقعه، أو تفصيلية مستندة على دراسات و تحليلات دقيقة تحدد قدرات التحمل الفعلية للمنشأ و لعناصره كافة [7,9,11,12,13,14,15,16].

في الواقع، أن مفهوم الحماية الزلزالية يهدف إلى الحفاظ على الحياة البشرية، وحماية الهيكل الحامل للبناء أولاً، وتأتي سلامة العناصر غير الإنشائية بالدرجة الثانية. وعند حصول زلزال قدره عالياً نسبيا فإنه يمكن أن يسلم هيكل البناء دون حصول أضرار تذكر، بينما نلاحظ انهيار شبه كامل للعناصر غير الإنشائية. وانطلاقاً من أن هذه العناصر غالية جداً، وبانهيارها أيضا يتم إيقاف مؤقت لاستثمار البناء الذي بدوره يسبب خسائر مادية وحيوية خاصة للمؤسسات الحيوية سواء كانت خدمية أم إنتاجية فإنه أمر جوهري الاهتمام بهذه العناصر.

أهمية البحث:

يهدف هذا البحث إلى شرح جملة من المفاهيم التي تعمل على تخفيف الخطر الزلزالي للمباني والمنشآت القائمة من خلال توضيح مفهوم فلسفة التصميم المقاوم للزلازل و بيان طرائق التقويم الوصفي أو التفصيلي الكامل المعتمدة في المراجع والكودات العالمية، ومن ثم اتخاذ القرار المناسب لعملية الإصلاح أو الترميم من أجل تحقيق مايلي:

- منع انهيار الأبنية أثناء وقوع الزلزال للحفاظ على سلامة المستثمر
- الحد من الأضرار لضمان استمرارية العمل أثناء وبعد الزلزال.

وعندما نتكلم عن موضوع رفع الكفاءة أو إعادة التأهيل للأبنية المقامة يجب التمييز بين مفهوم التدعيم ومفهوم الإصلاح أو الترميم حيث إن هذا الأخير يهتم بمنشآت متضررة، بينما قد لا يعنى التدعيم بالضرورة بمسألة التضرر. وإن التدعيم الزلزالي هو إجراء يعمد إليه المهندس الإنشائي بهدف تقوية المنشآت القائمة لمقاومة الزلازل القادمة.

فلسفة التصميم الزلزالي:

إن التصميم المقاوم للزلازل يختلف بالتأكيد عن التصميم الكلاسيكي المقاوم للحمولات الأخرى التي تتعرض لها المنشآت كقوى الجاذبية الأرضية و الرياح ... فعلى سبيل المثال نذكر بعض المؤشرات التي تجعل من التصميم

المقاوم للزلازل مميزاً عن التصميم المقاوم للرياح: القوى تابعة لتوزيع الكتل (قوى عطالة)، ترتبط القوى الزلزالية بالصلابة الإنشائية والمطاوعة (تابع للحالة التشوهية)، الحمولات متناوبة، وسرعة تطبيق الحمولة في حالة الزلازل كبيرة جداً، وفترة تطبيقها صغيرة (5-45 sec).

بالرغم من التطور السريع والفهم الجيد للسلوك الإنشائي للمباني المعرضة لأفعال زلزالية فإنه يوجد فوارق كبيرة في معظم البلدان بين نظريات الهندسة الزلزالية وتطبيقاتها وذلك على المستوى التصميمي والتطبيقي، فنلاحظ مثلا الكثير من الأبنية المتضررة أو المنهارة نتيجة عدم احترام ما ورد في الكودات الزلزالية العالمية: انهيارات نتيجة اعتماد الطابق الأرضي اللين، انهيارات نتيجة التطويق السيئ للتسليح الطولاني في الأعمدة، وانهيارات في عقد الوصل الضعيفة (المناطق الحرجة).

إن آليات الانهيار السابقة لا توافق قطعا فلسفة التصميم الزلزالي التي تهدف إلى رفع الكفاءة الإنشائية وتحسين سلوك العناصر من خلال التركيز على مفهوم المطاوعة بدلا من الاعتماد على مفهوم المقاومة فقط، حيث أضحت الاستجابة الإنشائية الغير مرنة حقيقة حية للتصميم الإنشائي المقاوم للزلازل [1,2,3,6,7,12,13,14,15]. ويتم البحث عن مواقع معينة في العناصر الإنشائية لإحداث تشوهات انعطاف غير مرنة (مفاصل لدنة)، مع تأمين مقاومة جيدة على القص أكبر من المقاومة المطلوبة للانعطاف بهدف تجنب أنماط الانهيار الهشة الناجمة عن القص، ولقد بات معلوماً أن التعامل مع الزلازل في الطور المرن غير اقتصادي وغالبا ليس ضروري؛ ففي المناطق ذات الشدات الزلزالية العالية يمكن أن يولد التجاوب المرن تسارعات جانبية عالية تصل لحد (1.0 g). وأن الكلفة الناجمة عن تأمين المقاومة المطلوبة لمثل هذه القوى باهظة جداً لدرجة غير معقولة.

فيما يلي نذكر أهم العوامل المؤثرة عند تصميم المنشآت والمباني المقاومة للزلازل:

- الخطر المقبول المرتبط بتردد الزلازل: تصميم المنشآت الهامة كالجسور و المشافي على شدات زلزالية كبيرة بعكس المباني السكنية مثلا (تكرار الزلازل العنيفة أقل من الزلازل الضعيفة) [4].
- اعتبارات اقتصادية: يتغير اختيار الشدة التصميمية من بلد إلى آخر لأسباب مختلفة مثل الكلفة الأولية للإنشاء، تكاليف الصيانة، الخسارة الناجمة عن تدهور حالة البناء قيد الاستثمار و تكاليف الضمان.
- أهمية البناء والعواقب الناجمة عن تضرره أو انهياره: محطة نووية مقارنة ببيت سكني مثلا.

ويتم حساب القوى الزلزالية التصميمية بطرق مختلفة نذكر منها [1,2,3,5,6,7,8,10,12,13,14,15,16]: تحليل ديناميكي غير مرن، أطياف الاستجابة (تراكب الأنماط) ، أو التحليل الستاتيكي المكافئ . و هذه الأخيرة سهلة الاستخدام، أكثر انتشاراً في المكاتب الهندسية عندما تكون الأبنية المدروسة منتظمة أفقياً و شاقولياً، وهي موجودة في معظم كودات البناء العالمية. وتفترض هذه الطريقة ما يلي:

- تملك المنشآت مستوى محدد للمطاوعة يعمل على تخفيض القوى الزلزالية بسبب نشر الطاقة أثناء تشكل التشوهات الغير مرنة (عامل تخفيض من 3 إلى 4).
- تعتمد دور الاهتزاز الطبيعي لنمط الاهتزاز الأول.

يرتبط عامل القص القاعدي بجملة من العوامل التي تمثل كل من : المنطقة الزلزالية المدروسة، أهمية المنشأ، السلوك اللامرن للمنشأ، استجابة المنشأ الديناميكية للاهتزازات الناجمة خلال زلزال ما، و أخيراً العامل المتعلق بالتفاعل المشترك بين المنشأ و تربة التأسيس . و على سبيل المثال تتراوح قيمة هذا العامل بين 4% كقيمة أصغريه للإطارات المطاوعة المقامة على أرض صلبة و 16% كقيمة أعظمية تخص الإطارات غير المطاوعة.

وتحسب قوة القص القاعدية كحاصل جداء عامل القص القاعدي بوزن الحمولات الدائمة و الإضافية الداخلة في تحديد الفعل الزلزالي. و توزع على ارتفاع البناء باعتماد نمط الاهتزاز الأول الذي غالبا ما يكون خطيا للأبنية التي لا تزيد عن عشرة طوابق (مطبقة في مركز الثقل).

ويمكن التخفيف من مفعول القوى الزلزالية [1,2,4,6,7,8,15,16]، إضافة لعامل المطاوعة، عن طريق تحسين الاستجابة الزلزالية للمنشأ باختيار الشكل المعماري المناسب و الإنشائي: البساطة، التناظر، تجنب المساقط على شكل T,L,U وتقسيمها إلى أشكال أبسط (مستطيلة مثلا) مع وجود فواصل زلزالية لتحاشي ظاهرة الطرق، التخفيف من أثر الفتل عن طريق تصغير المسافة الفاصلة بين مركز الصلابة و مركز الثقل (توزع منتظم للعناصر الحاملة)، الانتظام الشاقولي من حيث الأبعاد و صلابات الطوابق (استمرارية العناصر من السقف إلى الأسفل، اتصال الأعمدة بالجوائز بشكل محوري مع تقارب فعلي في عرضها، الاختيار الأمثل لأبعاد و توضعات الفتحات في البلاطات و الجدران، الحد من نحافة البناء بهدف السيطرة على الانتقالات الأفقية وتلافي المشاكل المتعلقة بعزوم الانقلاب، مبدأ العمود القوي و الجسر الضعيف.

من الطبيعي اعتبار مستويات حماية مختلفة أثناء التصميم الزلزالي وذلك تبعا لوظيفة البناء[1,6,7,8,15,16]، الأضرار المقبولة، اعتبارات اقتصادية، منع حدوث خسارة في الأرواح. من هنا نلاحظ أن المصمم يواجه تحديات كبيرة للحصول على الحل الأمثل الذي يحقق درجة الحماية المطلوبة بكلفة أقل. أخيرا نذكر أن الحالة الحدية الأكثر أهمية في التصميم هي حالة الحفاظ على حياة الإنسان، حتى لو كانت الشدة الزلزالية للموقع كبيرة. علما أنه في هذه الحالة سوف يحصل تشوهات كبيرة غير مرنة بحيث لا تسبب أضرار معتبرة على سعة تحملها للقوى الأفقية و أن يبقى المنشأ قادراً على تحمل القوى الشاقولية.

حتى نستطيع اعتماد عامل تخفيض القوه الزلزالية الذي يعتبر التجاوب الغير مرن للمنشآت عند تعرضها لأفعال زلزالية يجب أن نضمن جملة إنشائية مطاوعة وذلك باتخاذ إجراءات معينة تخص المادة و المقطع.

- **مطاوعة المادة (التشوهات):** إن قابلية المواد المكونة للعناصر الإنشائية (فولاذ+بيتون) لإبداء تشوهات كبيرة دون خسارة هامة في مقاومتها تمثل المصدر الأساسي للمطاوعة (تشكل المفاصل اللدنة)، وتعطى مطاوعة المادة من خلال العلاقة: $\mu_\varepsilon = \frac{\varepsilon_U}{\varepsilon Y}$ ، حيث : ε_U : التشوهات القصوى ، ε_Y : التشوهات عند بدء الخضوع أو عند الحد التناسبي.

من التعريف السابق للمطاوعة يتبين أن الفولاذ هو مادة مطاوعة مع عامل مساو لـ: 20 أو أكثر. بالنسبة للبيتون فإن التشوهات على الضغط محدودة جداً ولكن يمكن زيادتها عن طريق التطويق الفعال وكذلك باستخدام الألياف الفولاذية بنسب حجميه وعوامل رشاقة مختلفة [2,7].

هذا وقد بينت التجربة أن خواص هذه المواد تتحسن مع زيادة سرعة التحميل أي بازدياد القدرة الزلزالية، ولكن تهمل هذه الزيادة أثناء التصميم بهدف التبسيط.

- **مطاوعة المقطع (الانحناء): إنها قابلية المقطع للدوران (المفاصل اللدنة)، وهي تمثل** المصدر الأساسي والهام للتشوهات. وتعطى مطاوعة الانحناء من خلال العلاقة: $\mu_\phi = \frac{\phi_U}{\phi_Y}$ حيث : ϕ_U : الانحناء الأعظمي المتوقع، ϕ_Y : الانحناء عند بدء الخضوع للتسليح .

تزداد مطاوعة الانحناء بزيادة التشوهات الأعظمية على الضغط عن طريق التطويق أو بتخفيض نسبة التسليح.

• **مطاوعة الجملة (الانتقال):** تعتبر مطاوعة الجملة من أكثر المعايير استعمالا في تقدير الاستجابة الإنشائية، ويعبر عنها كما يلي: $\mu_\Delta = \frac{\Delta}{\Delta_Y}$ ، حيث : $\Delta = \Delta_Y + \Delta_P$ هو الانتقال الحدي وأن: Δ_Y : الانتقال عند بدء الخضوع للتسليح ، Δ_P : الانتقال اللدن.

بناء على ما تقدم يمكن القول أن تصميم منشأ ما لا يرتبط فقط بعامل الاستقرار ضد الانهيار، بل يوجد عوامل أخرى تؤكد الطابع الكيفي لهذه المسألة كالديمومة و قابلية الاستثمار و الحفاظ على الأرواح. وكذلك بنوعية المواد المشكلة للهيكل الحامل و بدرجة عدم التقرير وحدوث ظاهرة التكيف تحت تأثير الحمولات الكبيرة وإعادة توزيع للجهود أكثر ملاءمة من التوزيع الأول. بالنتيجة أن مسألة التصميم هي مسألة خبرة عملية و منطق سليم.

تقويم المباني والمنشآت القائمة لمقاومة الزلازل [9,10,11,12,13,14,15,16] :

تهدف عملية التقويم للمباني والمنشآت القائمة إلى تحديد درجة السلامة العامة وتبيان مدى كفاءتها لمقاومة الأفعال الزلزالية الموافقة للموقع المدروس و من ثم اتخاذ القرار المناسب للتدعيم أو الهدم. في الواقع أن عملية التقويم هي خطوة أولية رئيسة في برنامج التخفيف من المخاطر الزلزالية الذي يشمل المراحل الآتية:

• تحديد نماذج الأبنية و الوظيفة المسنودة لها بالترتيب (تصنيف المنشآت)، مع بيان التعديلات كافة إن وجدت (الوظيفة،تغير إنشائي أو معماري...). وضع خطة لدراسة السلامة الزلزالية للأبنية القائمة بحسب أهميتها، وليس من الضرورة دراسة المباني كافة في هذه المرحلة.

• استثمار معطيات الخطوة السابقة لتطوير جملة من الإجراءات والمتطلبات النوعية بحيث نستطيع تنفيذ برنامج تقويم كامل معتمداً على مجموعة من الأسئلة المرتبطة بخواص المباني والمنشآت المقامة وبجملها الإنشائية وبأمور أخرى مرتبطة بمالك البناء لمعرفة رغبته في تغيير مواصفات البناء واستثماره أو تغيير بعض من أجزائه وذلك لإجراء التحليل الزلزالي الملائم.

• تحليل الأبنية بوضعها المتضرر مع اعتبار خواص المواد الفعلية والحمولات والأبعاد معتمدين نتائج المرحلة السابقة عند الفحص الفيزيائي وتدقيق الأضرار الموجودة في البناء كافة. بمعنى تحقيق ما يلي:

- تحديد الحمولات والتحقق الحسابي وفق الطرق المعتمدة أصولا.
- تبيان نتيجة التقويم وتحديد درجة ونمط العيوب (عدم الكفاءة) في المنشأ، التي بدورها ستحدد طبيعة التدعيم اللاحق.

ويمكننا تصنيف المباني و المنشآت البيتونية المسلحة القائمة الغير مقاومة للأفعال الزلزالية الأفقية وفق مجموعين:

أ. **أبنية غير مطاوعة** تم إنشاؤها قبل صدور الكود الزلزالي الجديد (اشتراطات وترتيبات مع تفصيلات خاصة): مقاومتها الأفقية غير كافية، مع آلية انهيار غير مرغوبة عند تعرضها للزلازل.

ب.**أبنية مطاوعة** مع تفصيلات تسليح خاصة جيده لكن مقاومتها الأفقية ضعيفة نتيجة تغيير شروط الاستثمار، تغيير عامل أهمية البناء، زيادة وزن البناء ، أو تغيير القوى الزلزالية التصميمية.

تقوية و تأهيل المباني والمنشآت القائمة – تقنيات التدعيم :

عندما يراد تقوية بناء قائم فإنه يتوجب اعتبار العوامل التالية [3,4,9,10,11,12,13,14,15,16] :

1. المستوى المطلوب للمقاومة الإنشائية للبناء
2. الشكل الإنشائي العام و التغيير المطلوب
3. مواد عناصر التقوية و درجة اتصالها مع البناء القائم
4. حالة الأساسات و إمكانية الإشادة فوقها
5. أثر التقوية على مظهر البناء و وظيفته
6. التقوية المطلوبة للعناصر غير الإنشائية و التجهيزات و الخدمات الأخرى
7. الفترة الزمنية لعدم استثمار البناء
8. كلفة التقوية.

ويمكننا رفع كفاءة المباني و المنشآت القائمة بإتباع إحدى الطرق الآتية (يمكن استخدام أكثر من طريقة):

أ. التقليل من تأثير الفعل الزلزالي:

- ♦ رفع عامل تخامد البناء بتزويده أجهزة نشر الطاقة
- ♦ تغيير قيمة دور اهتزاز الجملة:
  - تخفيض قيمة الدور بزيادة الصلابة عن طريق إضافة جدران قص أو تربيط فولاذي
  - زيادة قيمة الدور عن طريق عزل الأساسات مثلا.

ب.تحسين الخواص الديناميكية للبناء (المقاومة، الصلابة، المطاوعة، دور الاهتزاز):

- ♦ تخفيض كتلة البناء يخفف من عامل تجاوب البناء؛ ويتم ذلك بإزالة عدد معين من الأرضيات أو بتخفيف وزن الجدران و كثافة توزيعها. أو ببساطة تغيير وظيفة استخدام البناء.
- ♦ تصغير المسافة بين مركز الثقل و مركز الصلابة لتقليل أثار الفتل.
- ♦ زيادة المطاوعة عن طريق تكتيف و وصل العناصر الإنشائية المقاومة للقوى الأفقية بعضها ببعض.

ت.زيادة درجة عدم تقرير الجملة الإنشائية: زيادة عدد العناصر المقاومة للقوى الأفقية تؤدي إلى انخفاض الخطر الناجم عن انهيار أحدها.

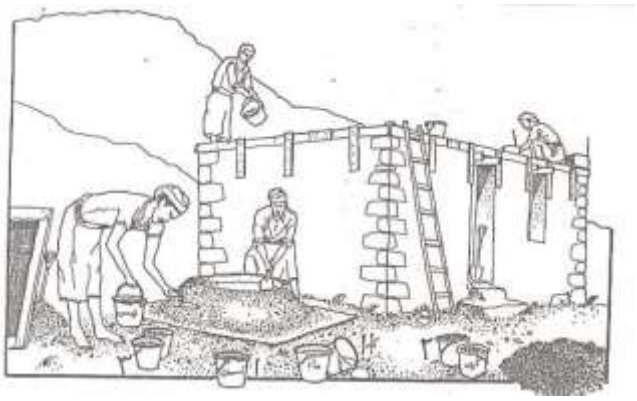
حالة الأبنية الحجرية غير المسلحة:

يملك هذا النوع من الأبنية نقاط ضعف كثيرة من حيث مقاومته للأفعال الزلزالية، الشكل (1) ، ويمكن تقويته بالطرق الآتية:

- ♦ إجراء تعديلات في مسقط البناء لتقليل عدم التناظر.
- ♦ تحسين الاتصال عند تلاقي الجدران المتعامدة عن طريق شدادات فولاذية .
- ♦ تقوية الأسقف الخشبية بزيادة صلابتها بتغطيتها بطبقة رقيقة من البيتون المسلح، أو إزالة السقف ومن ثم تحسين اتصالها بالجدران الحاملة عن طريق إضافة جوائز حلقية من البيتون المسلح عند الوجه الداخلي والخارجي، الشكل (2).
- ♦ تقوية الجدران خاصة عندما تكون متشققة بحقنها بالإسمنت أو بتزويد أوجه الجدران بطبقة من البيتون الناعم المسلح بشبكات تسليح سطحية ، الشكل (3).

♦ تقوية الأساسات.

شكل (1): ضعف الأبنية الحجرية لمقاومة الزلازل (زلزال كامبانيا 1980 إيطاليا) [3]



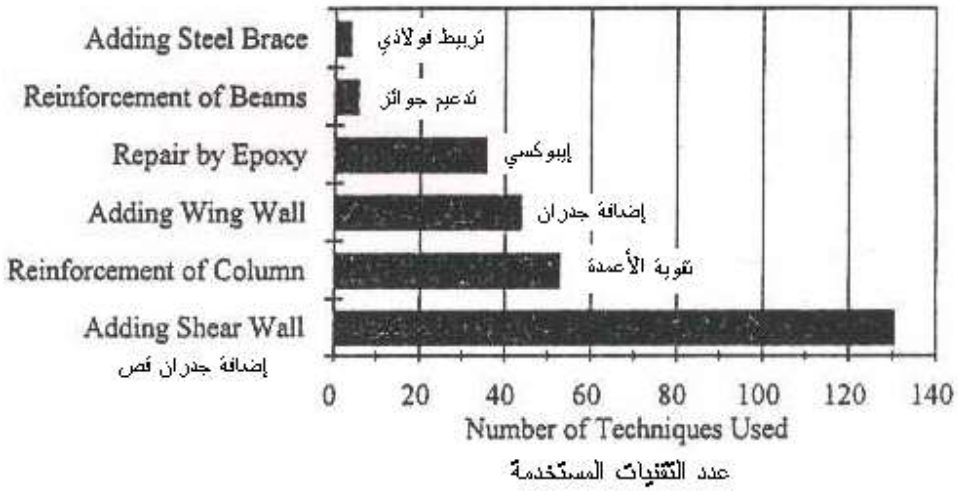
شكل (2): تحسين تقنيات البناء بعد زلزال اليمن 1982 (أبنية حجرية)[3]

شكل (3): تقوية بناء حجري قديم أو متضرر باستخدام شبكة تسليح داخلي وخارجي مغطى بطبقة من البيتون الناعم [11]

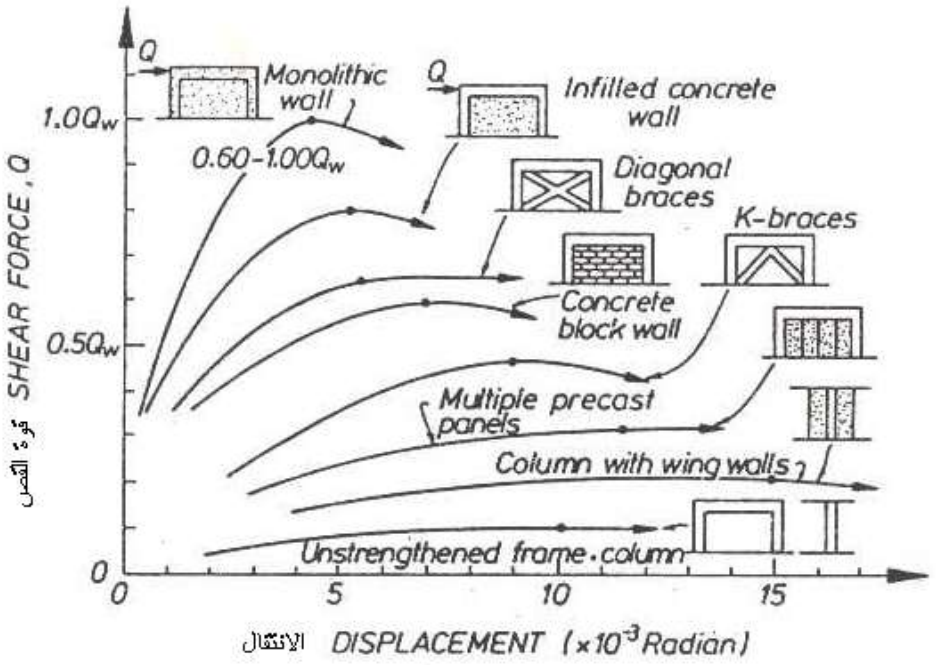
عندما يلاحظ المهندس أن التقنيات السابقة لن تقدم الغرض المطلوب فإنه يفضل إدخال جملة إطارات بيتونية مسلحة تقاوم الأفعال الزلزالية أو إضافة جدران قص، مرتبطة بشكل جيد مع البناء المدروس مع المحافظة على التناظر الإنشائي.

حالة الأبنية القائمة من البيتون المسلح :

نبين فيما يلي بعض تقنيات التدعيم الزلزالي المنفذة على المستوى العالمي (الشكلين 4 ، 5):

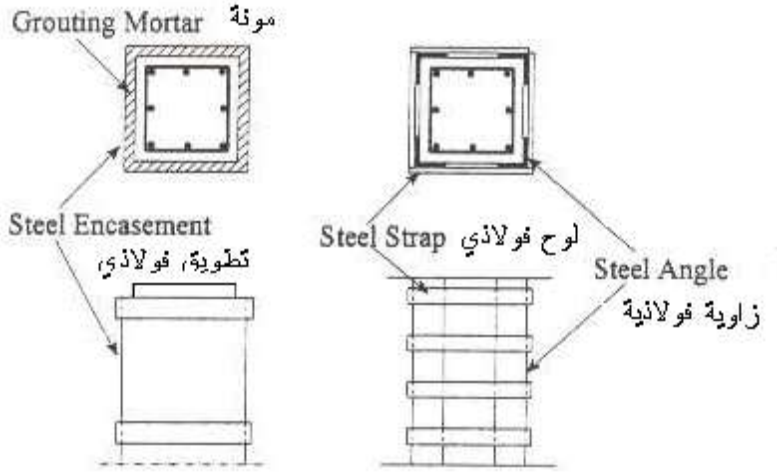


شكل (4): تقنيات الإصلاح المعتمدة لمجموعة من الأبنية في اليابان (157 بناية)[14]

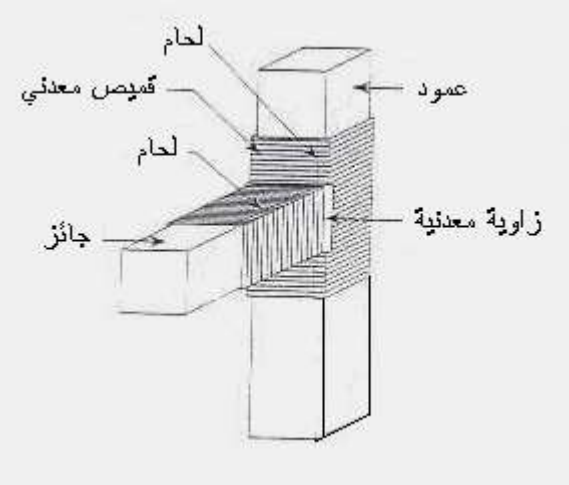


شكل (5): العلاقة بين الحمولة و الانتقال الموافقة لطرق تدعيم مختلفة[3]

1.تزويد الأعمدة و الجوائز بقمصان بيتونية مسلحة أو فولاذية : هذا الحل اقتصادي ، ويرفع من مقاومة المنشأ و يحسن مطاوعته. بالمقابل يؤثر هذا العمل قليلاً على الخواص الديناميكية للمنشأ عندما يستخدم بمفرده. ويجب التحقق من تلاحم البيتون القديم بالجديد (أشكال 6،7).

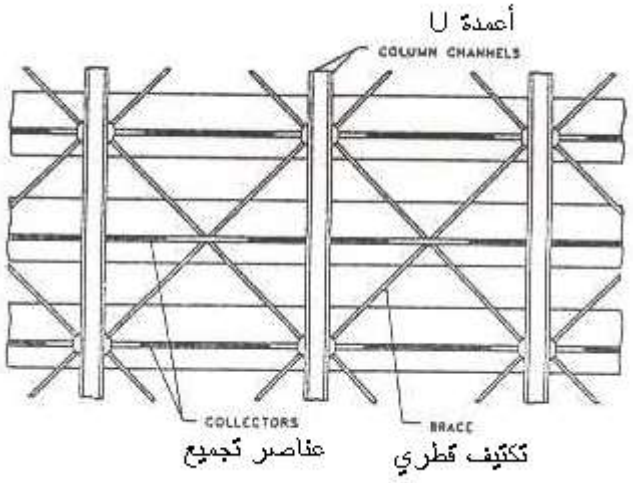


شكل (6): تدعيم الأعمدة باستخدام مقاطع فولاذية [10]



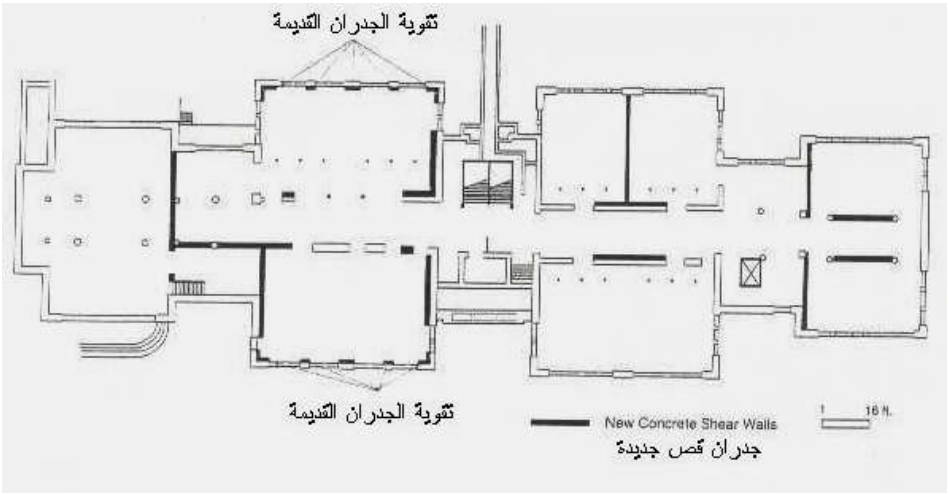
شكل (7): تقوية عقدة عمود مع جائز [10]

2. إضافة التربيط الفولاذي (Λ أو X) : هذه التقنية تزيد من الصلابة الجانبية ومقاومة المنشأ المدعم لكنها تخفض مطاوعته. ويتوجب دراسة هذا النوع بدقة وتحقيق عناصر التربيط على التحنيب الديناميكي في حالة الزلازل الكبيرة، وكذلك يحصل زيادة في قيم القوى المحورية للأعمدة المتجاورة ويجب تقويتها بإضافة قضبان تسليح محيطة (على شكل قفص) وتثبيتها جيدا بالعناصر الأساسية. هذا النوع من التدعيم يغير من مظهر البناء لأنه محدود على الجدران الخارجية ولكنه مناسب من وجهة نظر اقتصادية (الشكل 8). هذا وقد استخدم المكسيكيون تقنية التربيط الفولاذي مع شد لاحق في تدعيم بعض المدارس قليلة الارتفاع حيث تزداد الصلابة الجانبية وكذلك المقاومة. وإن هذا الحل يقود البناء إلى تجاوب مرن عند حصول زلازل كبيرة.



شكل (8): تقوية بإضافة تربيط فولاذي [14]

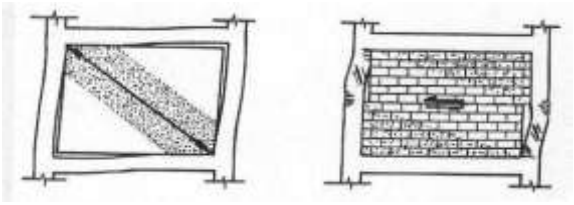
3. إضافة الجدران البيتونية المسلحة (الشكلين 9،10) : هذه الجدران المضافة تزيد من الصلابة الجانبية ومن مقاومة المنشأ. وبالمقابل تزداد الكتلة ، ويمكن أن يضعف هذا الحل المطاوعة الإجمالية، وليس من المؤكد الوصول إلى تغير معتبر لقيمة الدور الطبيعي للمنشأ، وقد لا يكون هو الحل الناجع في المناطق التي يحصل فيها ظاهرة الطنين. ومع هذا فإننا نلاحظ أن طريقة التدعيم هذه هي الأكثر استخداما لتقوية الأبنية القائمة التي يتألف هيكلها الحامل من جملة من الإطارات البيتونية المسلحة. ونذكر أنه يجب تأمين ارتباط وثيق بين الجملة القديمة والجديدة (تفصيلات واضحة) مع مراقبة دقيقة للمواد.



شكل (9): إعادة تأهيل مدرسة في شيكاغو بإضافة جدران قص لمقاومة الزلازل [14]

شكل (10): تقوية بناء إطاري عن طريق إحاطته بجملة من جدران القص (القصر العدلي في مكسيكو) [14]

4. جدران مملوءة : يتم استخدامها في الإطارات الخارجية للحد من الانتقالات الأفقية، ولقد لوحظ زيادة معتبرة في مقاومة الجملة. ويحتاج هذا الحل لجملة من الترتيبات والتفصيلات الواضحة لنقل قوى القص حتى لا تتضرر هذه القواطع و نمنع انهيارها الهش عند تعرض إطارات البناء إلى انتقالات كبيرة مسببة ضغوطا عالية أو انهيارات قص في هذه القواطع حيث تعمل هذه الأخيرة كعناصر داعمة قطرية (شكل 11). وعندما يراد توزيعها في أماكن مختلفة، فيجب أن تحافظ قدر الإمكان على التناظر الإنشائي للبناء مع استمرارها في جميع الطوابق بهدف المحافظة على انتظام صلابة البناء الشاقولية، ويمكن أن تكون من البيتون المسلح.



شكل (11): انهيار القواطع بالضغط أو بالقص [2]

5. إزالة أو إعادة تصميم الجدران غير الإنشائية: في الواقع تولد هذه القواطع مشاكل كبيره في الأبنية وغالبا غير مأخوذة بالحسبان عند الدراسة إلا أنها تشارك في تحمل القوى الزلزالية بسبب صلابتها ومقاومتها العاليتين مسببة تغير في السلوك المرغوب. وعندما تنهار تسبب أضرارا في البناء، جرح القاطنين وخسائر مادية كبيرة. وعندما لا تكون هذه القواطع موزعة بشكل مستمر على ارتفاع العمود لأسباب معمارية أو بيئية (ظاهرة الأعمدة المقيدة) فقد تعمل على تركيز الانتقالات الأفقية ضمن الجزء المكشوف فقط (تركيز اجهادات) مسببة أضرار محلية، وكانت سببا رئيسا لانهيار العديد من الأعمدة (خاصة أعمدة الواجهات) و الأبنية في زلازل سابقة . من هنا يجب أخذها بعين الاعتبار بعد تقويتها ورفعها إن أمكن ذلك لتلتصق بالجوائز، ودمجها مع الهيكل الإنشائي عن طريق شدادات معدنية (طوق معدني) محسوبة على تحمل ونقل قوى القص الناجمة عن الزلازل القادمة من الهيكل إلى القاطع، بحيث تتشوه معه. هذه الوصلات تفيد أيضا في امتصاص الطاقة الزلزالية. ويجب أن نقوي الجدران الحاوية كافة على فتحات بإحاطة هذه الفتحات بجملة من الشيناجات البيتونية المسلحة و المتصلة بالهيكل الحامل. أما إذا كان الخيار بفصلها بشكل كامل عن العناصر الحاملة بواسطة مفاصل متحركة تؤمن للقاطع استقراره الجانبي فإنه يجب في هذه الحالة تأمين بعض المتطلبات الخاصة بالعزل الصوتي والوقاية من الحرائق باستعمال مواد مرنة مالئة للفراغات الواقعة بين القاطع و الهيكل.

6. زيادة صلابة البناء العالي المشاد على تربة رخوة (بإحدى الطرق السابقة) يحسن من سلوكه وذلك من خلال تخفيض قيمة دور اهتزازه الطبيعي إلى قيمة أصغر من تلك الخاصة بالتربة.

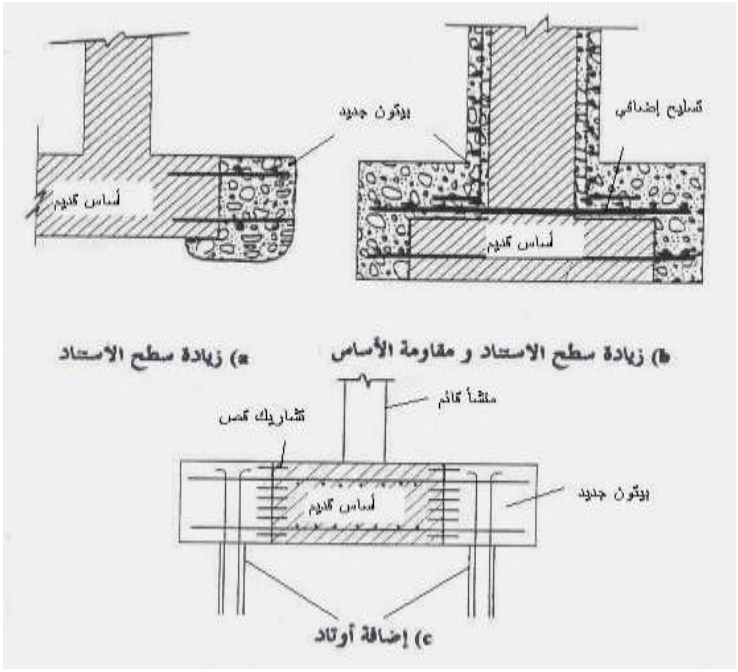
7. إضافة إطارات محيطة: تحسين الصلابة الجانبية والمقاومة مع زيادة في الكتلة. وتم اعتماد هذا الحل في تدعيم بعض الأبنية في مدينة مكسيكو (14 طابقا) لكنه لم يمتحن حتى الآن أمام زلازل كبيرة.

8. تخفيض عامل الاستجابة الديناميكي للمنشأ عن طريق تزويد عناصره الرئيسة (عادة متوضعة على عناصر التربيط القطري الفولاذي) بمجموعة من أجهزة نشر الطاقة التي تحسن السلوك الكلي للمنشأ بزيادة التخامد الداخلي، تزداد الصلابة أيضا.

9. تقوية البناء تتطلب بالتوازي تقوية الأساسات(شكل 12): زيادة سطح الاستناد، زيادة مقاومة وسطح استناد الأساس وإضافة الأوتاد.

10. العناصر غير الإنشائية: ويمكننا إتباع منهجين اثنين لحماية هذه العناصر :

- الربط الميكانيكي لهذه العناصر مع الجملة الحاملة، وهذا يتطلب تسليحها و تأمين اتصالها الفعال مع الهيكل. إن هذا الحل يتوافق جيدا مع المنشآت الصلبة. ويجب ألا ينجم عن هذا الحل أي توزيع غير منتظم لصلابة البناء الأفقية.
- عزل العناصر غير الإنشائية عن العناصر الحاملة، وتثبيتها بوصلات تسمح لها بانتقالات نسبية مع الهيكل، وتؤمن استقرارها إزاء القوى المتعامدة مع مستواها. هذا المنهج يتلاءم مع الهياكل اللينة (المطاوعة)، وعموما يوصى باستخدامه في المناطق ذات الشدات الزلزالية العالية.



شكل (12): تدعيم الأساسات [3]

النتائج:

استطعنا في هذه الدراسة شرح النقاط الهامة و العوامل المؤثرة على جملة المفاهيم الأساسية التي تخفف الخطر الزلزالي :

- فلسفة التصميم الزلزالي ، و تأمين الحماية من الزلازل للمنشآت الهندسية .
- تقويم المباني و المنشآت القائمة في مناطق زلزالية .

- تقوية و رفع الكفاءة الإنشائية للمباني و المنشآت التي تم تقويمها سابقاً .

هذا و تم شرح طرائق التدعيم المقاوم للزلازل وعرض التقنيات المستخدمة في تقوية المباني والمنشآت القائمة في المناطق المعرضة للزلازل ، و التي يمكن تلخيصها كما يلي :

1. إجراء التصحيحات الضرورية المرتبطة بالتكوين الإنشائي العام :
   - التقليل من الفتل عن طريق إزالة أو إضافة القواطع.
   - التقليل من عدم الانتظام الشاقولي بإضافة جدران إنشائية أو بواسطة تربيط إطار ما.
2. إصلاح النقص في العناصر الإنشائية (علاج موضعي) :
   - تقوية الأعمدة بإضافة قمصان فولاذية أو طبقات تغليف من البيتون الليفي.
   - تقوية الجدران بتسليح خارجي مؤلف من ألواح فولاذية أو من شبكات تسليح سطحية ، والاهتمام بالعناصر الغير إنشائية .

أخيراً، إن اختيار تقنية ما خاصة بالتدعيم الزلزالي يتطلب محاكمة هندسية مرتبطة بعوامل مختلفة : اعتبارات اقتصادية، طبيعة استثمار المنشأة، اعتبارات معمارية، تكنولوجيا التنفيذ المتوفرة في المنطقة وأخيراً الحل الأسهل و الأبسط مقارنة بالتقنيات الأخرى البديلة.

المراجع:

1 Recommandations AFPS 90, - *pour la Redaction de Règles Relatives aux Ouvrages et Instalations à Réaliser dans les Régions Sujettes aux Séisnes* - Presse de ENPC, France- 1990.

2 Paulay, T & Priestley M. J. N. - *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings* - John Wiley & Sons,INC. 1992.

3 Ambrose, J. & Vergun, D. - *Simplified Building Design for Wind and Earthquake Forces* - John Wiley & Sons,INC.1995

4 Coburn, A. & Spence, R. - *Earthquake Protection*- John Wiley & Sons,INC.1996

5 Polyakov, S. V.- *Design of Earthquake Resitant Structures*- Mir Publishers, Moscow.1985

6 Règles Parasismiques PS 92 – *Edite et diffusée par AFNOR*- France, *1995* .

7 GENIE PARASISMIQUE et REPONSE DYNAMIGUE des OUVRAGES – *Cinquiéme Colloque National – ENS de Cachan & AFPS,* France-*19-21 Octobre 1999.*

8 Règles Parasismiques 1969, Revisées 1982 et Annexes, Editions EYROLLES,1984.

9 Earthquake Spectra - *Repair and Rehabilitation Research for Seismic Resistance of Structures*- vol.12, Number 4, Nov.1996.

10 Tena-Colunga, A. et all. - *Issues on the Seismic Retrofit of a Building near Resonant Response and Structural Pounding*- Earthquake Spectra, pp. 567-597, vol.12, Number 3, Aug.1996.

11 ATC-14(1987) ; ATC-22(1989) ; FEMA 178-273I &274I , USA.

12 Earthquake Spectra- *Seismic Evaluation and Retrofit of 230-kv Pocelain Transformer Bushings*- vol.17, Number 4, Nov.2001.

13 Earthquake Spectra, *Seismic Performance of a Base-Isolated Demonstration Building*, vol.18, Number 4, Nov.2002.

14 Gajanan, M. et all.1996-*Seismic Rehabilitation of Concrete Structures*- ACI, SP-160

15 Farzad Naeim 2003-The Seismic Design Handbook-2nd Edition

16 الكود العربي السوري لتصميم و تنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة دمشق 2004– الطبعة الثالثة –