الفصل الرابع

تصميم المنشآت المقاومة للزلازل

(قواعد واشتراطات الكود السوري)

4-1- آراء في فلسفة التصميم الزلزالي

في الواقع، إن مفهوم الحماية الزلزالية يهدف إلى الحفاظ على الحياة البشرية، بالتالي حماية 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 جدا، وبانهيارها أيضا يتم إيقاف مؤقت لاستثمار البناء الذي بدوره يسبب خسائر مادية وحيوية وخاصة للمؤسسات الحيوية سواء أكانت خدمية أم إنتاجية فإنه أمر جوهري الاهتمام بهذه العناصر.

سوف نعمل في هذا الفصل على شرح جملة من المفاهيم والقواعد التي تعمل على تخفيف الخطر الزلزالي، من خلال توضيح مفهوم فلسفة التصميم المقاوم للزلازل، المعتمدة في المراجع و الكودات العالمية، ومنها الكود السوري، وذلك من أجل تحقيق ما يلي:

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

بالرغم من التطور السريع والفهم الجيد للسلوك الإنشائي للمنشآت 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). في الواقع، 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 غير المرنة حقيقة حية للتصميم الإنشائي المقاوم للزلازل، 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 معلوما أن التعامل مع الزلازل في الطور المرن غير اقتصادي وغالباً ليس ضرورياً، ففي المناطق ذات الشدات الزلزالية العالية يمكن أن تولد

الاستجابة المرنة تسارعات جانبية عالية تصل لحد (1.0 g)، وإن الكلفة الناجمة عن تأمين المقاومة المطلوبة لمثل هذه القوى باهظة جدا لدرجة غير معقولة.

فيما يلي نلخص 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).
- 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 بطرائق مختلفة نذكر منها: تحليل ديناميكي غير مرن، أطياف الاستجابة (تراكب الأنماط)، أو التحليل الستاتيكي المكافئ. وهذه الأخيرة سهلة الاستخدام، وأكثر 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 محدداً للمطاوعة يعمل على تخفيض القوى الزلزالية بسبب نشر الطاقة أثناء تشكل التشوهات غير المرنة (عامل تخفيض من 3 إلى 4).
- تعتمد دور الاهتزاز الطبيعي لنمط الاهتزاز الأول.

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

وتحسب قوة القص القاعدية $(V = \alpha W)$ ، كحاصل جداء عامل القص القاعدي بوزن الحمولات الدائمة و الإضافية الداخلة في تحديد الفعل الزلزالي W ، 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، 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 الجائز الضعيف.

من الطبيعي اعتبار مستويات حماية مختلفة أثناء التصميم الزلزالي وذلك تبعا لوظيفة البناء، 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 أضراراً معتبرة على سعة تحملها للقوى الأفقية و أن يبقى المنشأ قادرا على تحمل القوى الشاقولية. بالنتيجة، حتى نستطيع اعتماد عامل تخفيض القوه الزلزالية الذي يعتبر الاستجابة غير المرنة للمنشآت عند تعرضها لأفعال زلزالية يجب أن نضمن جملة إنشائية مطاوعة وذلك باتخاذ إجراءات معينة تخص المادة و المقطع.

- مطاوعة المادة (التشوهات، μ_ε):

إن قابلية المواد المكونة للعناصر الإنشائية (فولاذ + بيتون) لإبداء تشوهات كبيرة دون خسارة مهمة 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 يساوي 20 أو أكثر. بالنسبة للبيتون فإن التشوهات على الضغط محدودة جدا ولكن يمكن زيادتها عن طريق التطويق الفعال وكذلك باستخدام الألياف الفولاذية بنسب حجميه وعوامل رشاقة مدروسة.

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 (الانعطاف، μ_ϕ):

إنها قابلية المقطع للدوران (المفاصل اللدنة)، وهي تمثل المصدر الأساسي والمهم للتشوهات، وتعطى مطاوعة الانعطاف من خلال العلاقة: $\mu_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y}$ ، حيث :

ϕ_u : الانعطاف الأعظمي المتوقع ، ϕ_y : الانعطاف عند بدء الخضوع للتسليح .

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

- مطاوعة الجملة (الانتقال، μ_Δ):

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 وإن :

Δ_y : الانتقال عند بدء الخضوع للتسليح ، Δ_p : الانتقال اللدن.

بناءً على ما تقدم يمكن القول بأن تصميم منشأة 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 بالتالي حدوث ظاهرة التكيف تحت تأثير الحمولات الكبيرة وإعادة توزيع للجهود أكثر ملاءمة من التوزيع الأول. بالنتيجة إن مسألة التصميم هي مسألة خبرة عملية و منطق سليم.

2-4- بعض المصطلحات والتعاريف الهندسية المهمة (الزلزالية)

نشير هنا إلى أن القواعد الزلزالية المعتمدة في الكود السوري وملحقه الثاني اعتمدت على الكود UBC-97، مع بعض التعديلات البسيطة من أجل تبسيط بعض الصيغ والمعالجات وبعض الإضافات والشروحات لزيادة الإيضاح، ونظراً لتوفر الشروح المعمقة لهذا الكود في المراجع العلمية المختصة، والبرامج الحاسوبية العالمية التي تعمل وفقاً له.

ونبين فيما يلي أهم المصطلحات والتعاريف الهندسية (الزلزالية) المعتمدة سواء كانت من قبل الكود العربي الموحد للمباني والمنشآت المقاومة للزلازل، أو من قبل الكود السوري أو الكود UBC-97،

- الحمولات الميتة أو الدائمة (Dead Loads):

وتشمل هذه الحمولات وزن المنشأة ذاتها وأوزان بقية المعدات والتجهيزات المثبتة في المبنى أو في المنشأة.

- الحمولات الحية أو الإضافية (Live Loads):

وتشمل الحمولات الناتجة عن استثمار المبنى أو المنشأة، والتي لا تشمل الحمولات الميتة أو وزن مواد البناء، كما لا تشمل الحمولات الناتجة عن البيئة المحيطة بالمبنى كحمولات الرياح أو الثلج أو المطر أو الزلازل أو الفيضانات وما شابه.

- إزاحة الطابق (الانتقال الطابقي) (Story Drift):

تعرف إزاحة الطابق بأنها الفرق بين الانتقال الجانبي عند منسوب معين والانتقال الجانبي أسفل هذا المنسوب أو أعلاه.

- الإزاحة النسبية للطابق (Story Drift Ratio):

تعرف بأنها قيمة الإزاحة بين أرضية وسقف الطابق المعني مقسومة على ارتفاع الطابق.

- الإطار الجداري الحجري المقاوم للعزوم

(Masonry Moment – Resisting Wall Frame - MMRWF):

هو النظام الإنشائي المؤلف من بلوكات أسمنتية مفرغة مقواة بقضبان تسليح في الاتجاهين الشاقولي والأفقي، ومملوءة ببيتون أو بمونة حقن كلياً أو جزئياً حسب التصميم الإنشائي.

- الإطار الحامل للحمولات الشاقولية (Vertical Load-carrying Frame):

هو إطار مصمم لحمل الحمولات الشاقولية، ولا يسمح باستعماله في المنطقتين الزلزاليتين (3) و(4).

- الإطار الخاص المقاوم للعزوم

(Special Moment Resisting Frame - SMRF):

هو إطار مقاوم للعزوم مفصل بشكل خاص لتأمين سلوك المطاوعة (Ductility)، ويختلف عن الإطار المقاوم للعزوم العادي، بأن مقاطعه تكون مصممة لمقاومة قوى قص حسابية تحدد من قيم طاقات العزوم عند العقد، بعد تصعيدها بمعامل تصعيد يساوي 1.25، وهو ناتج عن المقاومة الإضافية للمادة في مرحلة ما بعد الخضوع وما قبل الانهيار.

- الإطار الشبكي (الجمالوني) العزمي الخاص من الفولاذ

(Special Truss Moment Frame of Steel – STMF):

هو إطار مقاوم للعزوم ومؤلف من عناصر إنشائية معدنية مقاطعها من الفولاذ المسحوب بأشكاله المتنوعة، و تصمم مقاطع هذا الإطار لمقاومة القوى الحسابية المؤثرة عليها، مع الأخذ بالحسبان عامل تصعيد المقاومة.

نظام (جملة) الإطار الفراغي (Space Frame):

هو نظام إنشائي فراغي (ثلاثي الأبعاد) ولا يحتوي على جدران حاملة، ويتألف من عناصر متصلة ببعضها بشكل يسمح له بمقاومة القوى الأفقية، مع وجود ديافرامات أفقية (بلاطات) أو دونها، أو بوجود أنظمة التكتيف في الوصلات، أو من دونها. ويكون النظام مؤلف من إطارات أو من إطارات وجدران قص.

- الإطار الفولاذي المربط لا مركزياً

(Steel Eccentrically Braced Frame – EBF):

هو إطار فولاذي مقوى بأربطة غير مركزية.

- الإطار العادي المقاوم للعزوم

(Ordinary Moment Resisting Frame - OMRF):

هو إطار مقاوم للعزوم لكنه لا يحقق التفصيلات الخاصة بمتطلبات سلوك المطاوعة (Ductility)، ولا يسمح باستعماله في المنطقتين الزلزاليتين (3) و(4).

- الإطار المتوسط المقاوم للعزوم

(Intermediate Moment Resisting Frame–IMRF):

هو إطار مقاوم للعزوم، مفصل بشكل خاص لتأمين سلوك المطاوعة بدرجة تتوسط ما بين الإطار العادي المقاوم للعزوم والإطار الخاص المقاوم للعزوم، وفيه تصمم العناصر لمقاومة قوة قص تحسب من المقاومات الاسمية للعناصر عند العقد، ولا يسمح باستعماله في المنطقة الزلزالية (4).

الإطار المقاوم للعزوم (Moment Resisting Frame):

هو الإطار الذي تكون عناصره ووصلاته قادرة على مقاومة القوى وعزوم الانعطاف المؤثرة بصورة رئيسية من حمولات الزلازل، مع الأخذ بالحسبان القوى وعزوم الانعطاف (الناتجة عن الحمولات الشاقولية) عند الأعمدة الطرفية للإطار كحد أدنى. وهو على ثلاثة أنواع وهي الإطار العادي والمتوسط والخاص، كما ورد أعلاه.

- الإطار المكتف مركزياً (Concentrically Braced Frame):

هو إطار مقوى بعناصر تكتيف مركزية، ليشكل نظاماً شبكياً شاقولياً لمقاومة الزلازل والتي تتعرض عناصره بشكل أساسي لقوى محورية.

- إطار إنشائي مطاوع (Ductile Frame):

هو الإطار الذي يتصف بقدرته على التكيف مع تشوهات متبادلة ومتعاكسة كبيرة نسبياً عن طريق تكوين مفاصل لدنة (بلاستيكية) (Plastic Hinges). ويجب أن يحقق شروط الإطارات المقاومة للعزوم المذكورة أعلاه.

- انتقال الطابق (Story Displacement):

يمثل انتقال الطابق عند المنسوب x بالنسبة إلى قاعدة المبنى أو المنشأة.

- بارمترات (متغيرات) الاستجابة المرنة (Elastic Response Parameters):

هي قوى وتشوهات يتم تحديدها بطريقة التحليل الديناميكي المرن باستعمال تمثيل غير مخفض لحركة الأرض.

- البلكون (الشرفة) (Balcony):

هو نظام سقف خارجي يبرز من منشأة ويستند عليها دون مساند إضافية مستقلة.

- التأثيرات المتعامدة (Orthogonal Effects):

هي مجموعة تأثيرات الحمولات الزلزالية على عناصر المنشأة التي تشارك في جملة مقاومة القوى الجانبية وذلك باتجاهين متعامدين بحيث ينتج عنهما أكبر اثر في العناصر.

- تأثير P-Δ (P-Δ Effect):

هو تأثير من الدرجة الثانية على قوى القص والقوى المحورية والعزوم، في عناصر إطار، والناتجة عن الحمولات الشاقولية المؤثرة على نظام بناء ما، معرض لإزاحة جانبية.

- التحليل النمطي (الطوري) (Modal Analysis):

هو كل تحليل ديناميكي يعتمد عدداً معيناً من أنماط (أطوار) الاهتزاز.

- التميّع (الإسالة) (Liquefaction):

هو فقدان مقاومة القص في التربة المفككة غير المتماسكة بتأثير الحمولات الديناميكية.

- جدار حامل (Load Bearing Wall):

هو جدار (حائط) مبني من البلوكات الحجرية أو من البيتونية العادية أو المسلحة أو الطوب، ومصمم أساساً ليقاوم الحمولات الشاقولية بصورة رئيسية، و ذلك بالإضافة إلى وزنه.

- جدار القص (Shear Wall):

هو جدار من البيتون العادي أو المسلح، يشكل جزءاً من النظام الإنشائي المصمم لمقاومة جميع القوى المؤثرة، بما فيها القوى الأفقية الموازية لمستواه (يسمى أحيانا الديافرام الشاقولي).

- الديافرام (البلاطة) (Diaphragm):

هو نظام أفقي أو شبه أفقي يعمل على نقل القوى الجانبية إلى العناصر المقاومة للقوى الشاقولية، ويشمل هذا التعبير"أنظمة التكتيف الأفقية".

- الديافرام الفرعي (Sub diaphragm):

هو جزء من حاجب أكبر مصمم لتثبيت ونقل القوى الموضعية إلى عناصر الديافرام الرئيسي.

- حركة الأرض التصميمية الأساسية (Design Basic Ground Motion):

هي حركة الأرض التي تكون نسبة احتمال تجاوزها 10% في 50 عاماً، كما يجري تعيينها من خلال تحليل الخطر الخاص بالموقع، كما يمكن تعيينها من خلال خريطة مناطق النشاط الزلزالي. ويلزم استعمال مجموعة من التواريخ الزمنية لحركة الأرض مع الخصائص الديناميكية الممثلة لخصائص الموقع لتمثيل حركة الأرض هذه. يمكن تمثيل التأثيرات الديناميكية لحركة الأرض التصميمية باستعمال طيف الاستجابة التصميمي المرن.

- الحركات الأرضية الزلزالية العنيفة (الشديدة)

(Severe Earthquake Ground Motion):

هي الحركات الأرضية العنيفة (الشديدة) الناتجة عن الزلازل والتي من المحتمل حدوثها في الموقع.

- الحركات الأرضية الزلزالية المعتدلة

(Moderate Earthquake Ground Motion):

هي حركات أرضية ناتجة عن الزلازل يمكن توقع حدوثها في الموقع خلال عمر خدمة المنشأة. وإذا كان هذا العمر هو 50 عاماً فتكون مساوية لحركة الأرض التصميمية الأساسية.

- خط سعة الإزاحة (Amplitude Line of Drift):

هو ذلك الخط البياني الذي يمثل المحل الهندسي للإزاحات العظمى لكتل المنشأة.

- الخط الطيفي (Spectral Line):

هو المنحنى الدال على القيمة القصوى لتسارع منشأة، ذات درجة حرية واحدة، من تأثير الزلزال التصميمي في موقع المنشأة، وقيمه الناتجة عن دورها الأساسي.

- شكل الاهتزاز (Shape of Vibration):

هو الخط البياني الذي يبين شكل اهتزاز المنشأة في الاتجاه المدروس.

- الطابق (Story):

يعرّف الطابق بأنه المجال بين منسوبي سقفين متتاليين من منشأة، والطابق (x) هو الطابق الواقع تحت المنسوب (x) مباشرة.

- الطابق الضعيف (Weak Story):

هو الطابق الذي تقل مقاومته عن 80% من مقاومة الطابق الذي فوقه.

- الطابق اللين (Soft Story):

هو الطابق الذي تقل صلابته الجانبية النسبية عن 70% من صلابة الطابق الذي فوقه، أو عن 80% من معدل الصلابة النسبية للطوابق الثلاثة الواقعة فوقه.

- طريقة الجذر التربيعي لمجموع المربعات

(Square Root of Sum of Squares Method - SRSS Method):

هي طريقة لتقدير الاستجابة (قوة – عزم – انتقال ....الخ) الأعظمية المحتملة للمنشأة بالجذر التربيعي لمجموع مربعات قيم الاستجابات النمطية.

- طريقة التجميع (التراكب) التربيعي المتكامل

(Complete Quadratic Combination Method CQC):

هي طريقة لتقييم الاستجابات القصوى المحتملة للمنشأة مع الأخذ بالحسبان قيم الاستجابة المتبادلة بين الأنماط، وتعتمد كبديل أدق عن طريقة الجذر التربيعي لمجموع المربعات في كثير من المنشآت.

- طيف الاستجابة التصميمي (Design Response Spectrum):

هو طيف استجابة مرن من أجل 5% تخامد لزج مكافىء، يستعمل لتمثيل التأثيرات الديناميكية لحركة الأرض التصميمية الأساسية وذلك لتصميم المنشآت.

- وتر الديافرام أو وتر جدار القص (Diaphragm or Shear Wall Chord):

هو عنصر طرفي في الديافرام أو في جدار القص، يفترض أنه يمتص اجهادات محورية بشكل مشابه لأجنحة الجائز.

- عنصر ديافرام (عنصر سحب أو شد أو مجمع) (Diaphragm Strut):

هو عنصر في الديافرام يوازي الحمل المؤثر (المطبق)، ويقوم بجمع ونقل القص في الديافرام إلى عناصر المقاومة الشاقولية، أو يوزع الحمولات ضمن الديافرام. يمكن أن تتعرض هذه العناصر إلى شد أو إلى ضغط محوري.

- عنصر التكتيف (Bracing Element):

هو كل جزء من المنشأة صمم لمقاومة القوى الأفقية الناتجة عن الزلازل والتي تؤثر على أجزاء المنشأة، مثل جدران القص والإطارات والجوائز الشبكية.

- العنصر اللين أو النظام اللين (Flexible Element or System):

هو العنصر أو النظام الذي يكون تشوهه بتأثير القوة الجانبية أكبر وبشكل ملحوظ من باقي الأجزاء المجاورة.

- العنصر المحيطي أو الطرفي (Boundary Element):

هو عنصر عند أطراف الفتحات أو عند محيط جدران القص أو الديافرامات.

- عنصر عمود ظفري (Cantilevered Column Element):

هو عمود في نظام لمقاومة القوى الجانبية، موثوق في قاعدته وله مقاومة دنيا للعزوم في أعلاه، وتكون القوى الجانبية مؤثرة أساساً في أعلاه.

- الدور الأساسي (Fundamental Period):

هي أكبر فترة طبيعية لاهتزاز المنشأة عندما تهتز وفق النمط الأول للاهتزاز.

- قاعدة المنشأة (Base of Structure):

هي المستوى الذي ترتكز عليه المنشأة بوصفها جسماً قابلاً للاهتزاز الميكانيكي، أو هي ذلك المنسوب الذي تنتقل عنده الهزات الأرضية إلى المنشأة.

- القص القاعدي (Base Shear):

هو قوة القص عند قاعدة المنشأة، أو هو القوة الجانبية التصميمية الكلية، و تساوي القوة الزلزالية التصميمية (Design Seismic Force).

- القوة الأفقية (الجانبية) الستاتيكية المكافئة

(Equivalent Statical Lateral Force):

هي القوى الستاتيكية المكافئة للفعل الديناميكي للمنشأة أثناء حدوث الزلزال.

- القوة المعيدة (قوة الاسترجاع) (Restoring Force):

هي القوة التي تبديها المنشأة أو العناصر الإنشائية المتشوهة، والتي تعمل على إعادة المنشأة أو العناصر الإنشائية للوضع الأصلي.

- المجمع (Collector):

هو عنصر يوضع لتحويل القوى الجانبية من جزء (أو أجزاء) من المنشأة للعناصر الشاقولية من النظام المقاوم للقوى الجانبية.

- المرافق الأساسية (Essential Facilities):

هي المنشآت الضرورية لعمليات الطوارىء التي تلي حدوث الكارثة الطبيعية.

- مركز الصلابة (Center Of Rigidity):

هو النقطة التي إذا مرت بها محصلة القوى الأفقية، لا تحدث عزم فتل يؤثر على هيكل المنشأة، وذلك للمنسوب المدروس.

- المكون أو الجزء (Component):

هي جزء أو عنصر من نظام إكساء معماري أو كهربائي أو ميكانيكي أو صحي أو إنشائي، مطلوب تثبيته بالنظام الإنشائي لمقاومة الزلازل.

- مكون التجهيزات (Equipment Component):

هي عنصر أو جزء من مكونات (تجهيزات) النظام الميكانيكي أو الصحي أو الكهربائي.

- المكون اللين (Flexible Component):

هو الجزء المتضمن، إضافة إليه، ملحقاته من وصلات وغيرها، والذي له دور أساسي أكبر من 0.06 sec.

- المكون الصلب (القاسي) (Rigid Component):

هو الجزء المتضمن إضافة إليه، ملحقاته من وصلات وغيرها، والذي له دور أساسي لا تتعدى 0.06 sec.

- المطاوعة (Ductility):

هي القابلية للتشوه بعد الحد المرن دون حصول نقص خطير في المقاومة أو في سعة تبدد الطاقة.

- المفصل اللدن (البلاستيكي) (Plastic Hinge):

هو ذلك المقطع من العنصر الإنشائي الذي يسمح بالدوران اللدن بعد الوصول إلى مقاومة الانعطاف العظمى من دون حدوث انخفاض فيها.

المقاومة (Strength):

هي قدرة المقطع أو العنصر لمقاومة الحمولات المصعدة (المضروبة بعوامل التصعيد).

- المقاومة الزائدة (Over-strength):

وهي خاصة تتعلق بالمنشآت، حيث تكون مقاومتها الفعلية أكبر من مقاومتها التصميمية، ويتعلق مقدار الزيادة في المقاومة بنوع مادة المنشأة وبنظامها الإنشائي.

- مخطط التسارع (Acceleroramm):

هو المنحنى الدال على تسارع الأرض بدلالة الزمن عند حدوث الزلازل، ويمكن الحصول عليه من جهاز مقياس التسارع (Accelerometer).

- المنشأة (Structure):

هي مجموعة العناصر الإطارية أو الجدارية أو العناصر الإطارية والجدارية معاً، والمصممة لمقاومة الحمولات الشاقولية والأفقية. يمكن تصنيف المنشآت بمنشآت المباني ومنشآت غير المباني.

- المنشأة الأولية (Elementary Structure):

هي المنشأة التي يمثل (ينمذج) اهتزازها ليكون أحادي درجة الحرية.

- المنشأة الخاصة (Special Structure):

هي المنشأة التي لا يمكن تحديد دورها الأساسي باستعمال الطرائق التقريبية، بل يتعين تحديدها إما بطريقة التحليل الإنشائي الديناميكي أو التجريبي المباشر، وتكون عادة منشآت غير المباني.

- النمط الأساسي للاهتزاز (Fundamental Mode of Vibration):

هو مصفوفة شاقولية عناصرها تمثل الانتقالات والدورانات بالاتجاهات المختلفة المقابلة للدور الأساسي للاهتزاز. وتعطى الحالة المبسطة (بعدم التركيز على الانتقالات الشاقولية والدورانات) الانتقالات الأفقية عند مناسيب الطوابق المختلفة المتعلقة بالدور الأساسي.

- نمط الاهتزاز (Mode of Vibration):

هو التعريف السابق ذاته، وإنما لنمط اهتزاز ما للمنشأة، علماً بأن أي منشأة لها عدد من أنماط الاهتزاز يساوي عدد درجات الحرية (المعتمدة) عند عقدها. ويمكن عادة للتبسيط (في حال وجود ديافرامات صلبة عند الأسقف) تحديد عدد درجات الحرية عند منسوب كل دور بثلاث درجات (انتقالين متعامدين مع دوران حول مركز الصلابة)، إضافة إلى درجات الحرية الشاقولية عند كل عقدة، والتي يمكن إهمالها في بعض الأحيان (المنشآت غير المرتفعة).

- نظام (جملة) المبنى الهيكلي (Building Frame System):

هو إطار فراغي يقاوم حمولات شاقولية بصورة رئيسية، وتتم مقاومة القوى الأفقية بواسطة جدران قص أو إطارات مكتفة ضمن المبنى، ويتوجب أن تحقق جدران القص الشروط الخاصة بالمطاوعة بها في المنطقتين الزلزاليتين (3) و(4).

- النظام التفاعلي بين جدران القص والإطارات

(Shear Wall Frame Interactive System):

تستعمل فيه جمل من جدران القص والإطارات المصممة لمقاومة القوى الجانبية، وذلك بنسبة صلاباتها النسبية مع الأخذ بالحسبان التفاعل (الفعل المتبادل) بين جدران القص والإطارات على المناسيب كافة (المستويات)، ولا يسمح باستعمال هذا النظام في المنطقتين الزلزاليتين (3) و(4) إلا إذا تحققت الشروط الواردة في النظام الثنائي، ولا يشترط في الإطارات أن تتحمل 25% كحد أدنى.

- نظام التكتيف (التربيط) الأفقي (Horizontal Bracing System):

هو نظام شبكي أفقي يؤدي وظيفة الديافرام (البلاطة) ذاتها.

- النظام الثنائي (Dual System):

هو نظام خليط من الإطارات المقاومة للعزوم وجدران القص أو الإطارات المكتفة، يماثل النظام التفاعلي بين جدران القص والإطارات مع اختلاف أساسي بأن الإطارات في النظام الثنائي يجب أن تقاوم كحد أدنى 25% من قوة القص القاعدي للزلازل عندما يستعمل هذا النظام في المنطقتين الزلزاليتين (3) و(4)، و أن يكون الإطار خاصاً مقاوماً للعزوم (SMRF) وجدران القص تحقق شروط المطاوعة. أما في حال استعماله في المناطق الزلزالية 2(A , B & C) فيسمح أن يكون الإطار متوسط المقاومة للعزوم (IMRF).

- نظام الجدار الحامل (Bearing Wall System):

هو نظام إنشائي مختلف عن النظام الإطاري الفراغي المعرف سابقاً، ومؤلف في مجمله أو غالبيته من جدران حاملة تسند كل الحمولات الشاقولية، أو معظمها، بينما تتم مقاومة القوى الجانبية ببعض هذه الجدران التي تعمل كجدران قص، ويجب أن تحقق تفاصيله الإنشائية الاشتراطات المطلوبة في جدران القص، وذلك تبعاً لدرجة المنطقة الزلزالية المدروسة.

- النظام الصندوقي (Box System):

هو نظام إنشائي لا يحتوي على هيكل فراغي كامل لحمل القوى الشاقولية، حيث تتم مقاومة القوى الأفقية فيه من قبل جدران قص أو إطارات مكتفة.

- النظام المقاوم للقوى الجانبية (Lateral Force Resisting System):

هو ذلك الجزء من النظام الإنشائي الذي يصمم لمقاومة القوى الزلزالية التصميمية.

3-4- طرائق حساب القوى الزلزالية التصميمية الدنيا (الكود السوري)

إن تحديد القوى الزلزالية بدقة خلال عمر المنشأ أمر غير ممكن بسبب تعدد المتحولات والمجاهيل، ولكن يجب تقدير هذه القوى بشكل منطقي مع مراعاة تحقيق شروط أمان المنشأة والكلفة. في الواقع، تعتمد القوى الزلزالية على عدد من العوامل مثل: مقاس وخصائص الزلزال، البعد من الصدع، جيولوجية موقع المنشأة، ونوع الجملة الإنشائية المقاومة للحمولات الجانبية.

يمكن تلخيص طرائق حساب القوى الزلزالية التصميمية (القص القاعدي)، وفق المجموعتين التاليتين: طرائق القوى الستاتيكية المكافئة، وطرائق التحليل الديناميكي.

ويتم في الطرائق الستاتيكية تحديد قوى العطالة كقوى ساكنة مكافئة باستخدام علاقات تجريبية لا تأخذ بشكل ظاهري الخصائص الديناميكية للجملة الإنشائية المدروسة، لكن تم تطوير هذه العلاقات لتمثل السلوك الديناميكي للمنشآت المنتظمة ذات التوزيع المنتظم للكتلة والصلابة، وفي هذه الحالة تعتبر هذه الطرائق كافية في معظم الأحوال، بينما يؤدي تطبيقها على المنشآت غير المنتظمة إلى نتائج غير صحيحة، بالتالي تلزم معظم الكودات استخدام طرائق التحليل الديناميكي في حالات عدم الانتظام الشاقولي والأفقي، وكذلك عندما يزيد ارتفاع المنشأة على 75 متراً.

ووفقاً للكود السوري وملحقاته، يتوجب تصميم وتنفيذ كل منشأة وكل جزء منها لمقاومة قوى أفقية كلية دنيا تمثل قوى الزلازل، وتحسب وفقاً لإحدى الطرائق المناسبة التالية:

- الطريقة الستاتيكية المكافئة الأساسية:

واردة في الملحق الثاني للكود السوري الأساس لعام 2012، وفي هذه الطريقة تؤثر القوى الأفقية الجانبية باتجاه كل محور رئيس للمنشأة وبشكل غير متواقت، ويسمح هذا الملحق باستخدام هذه الطريقة عندما تكون المنشآت منتظمة ولا يزيد ارتفاعها عن 75m، أو غير منتظمة لا تزيد عن /5/ طوابق أو بارتفاع لا يزيد عن 20m (راجع شروط عدم الانتظام الأفقي والشاقولي المنصوص عنها في الملحق /2/ للكود السوري). وتعطى القوى الزلزالية المحسوبة بهذه الطريقة بقيمها المصعدة مباشرة.

وفي هذه الطريقة، تؤخذ أيضاً حمولات الزلازل على المنشآت بصفة حمولات أفقية مطبقة عند مركز ثقل كل منسوب من مناسيب المنشأة، وتؤثر باتجاه المحاور الرئيسة للمنسوب المدروس وبالاتجاه المدروس.

ويشترط الكود ضرورة إجراء تحليل ديناميكي للمنشأة عندما تختلف شروط البناء عن ذلك أو عندما تكون تربة التأسيس ضعيفة (النوع S_F ، الجدول 3-3) ودور المنشأ أكبر من 0.7sec.

- **الطريقة الستاتيكية المكافئة المطورة:**

يمكن مراجعة هذه الطريقة في الملحق /2/ للكود السوري الأساس لعام 2012 (الملحق ج)

يمكن تصميم جميع المباني والمنشآت لمقاومة الزلازل (التي لا تتطلب طريقة ديناميكية لدراستها) باستعمال الطريقة الستاتيكية المكافئة المطورة. وتمتاز هذه الطريقة عن الطريقة ، بكونها أكثر تفصيلا وتأخذ بالحسبان بشكل أدق خواص المنطقة الزلزالية التي سيشاد فيها المبنى أو المنشأة.
وإن هذه الطريقة، مثل الطريقة الأساسية، لا تستعمل لبعض المنشآت الخاصة، مثل الجسور (الكباري) وأبراج نقل الطاقة الكهربائية والمنشآت الهيدروليكية ومنشآت خطوط المرافق المطمورة ومنشآت المفاعلات النووية. حيث يتم دراسة هذه المنشآت لمقاومة الزلازل وفقاً للكودات العالمية الخاصة بها.

- **التحليل الديناميكي للمنشأة باستعمال أطياف الاستجابة:**

وارد في الملحق الثاني للكود السوري، وهو التحليل الديناميكي المرن للمنشأة باستعمال قيم الاستجابة الديناميكية العظمى لكافة الأنماط التي لها مساهمة هامة على الاستجابة الإنشائية الكلية. ويتم حساب القيم العظمى لاستجابات الأنماط باستعمال التراتيب لمنحني طيف الاستجابة المناسب والتي تقابل الفترات المقابلة للأنماط. ويتم تجميع المساهمات النمطية العظمى وفق إحدى التراكبات الإحصائية للحصول على استجابة إنشائية تقريبية كلية. وتعطى القوى الزلزالية المحسوبة بهذه الطريقة بقيمها المصعدة مباشرة.

- **التحليل الديناميكي باستعمال التاريخ الزمني (التسجيلات الزمنية):**

وارد في الملحق الثاني للكود السوري، وهو تحليل للاستجابة الديناميكية للمنشأة عند كل زيادة في الزمن وذلك عندما تخضع قاعدة المنشأة إلى حركة محددة للأرض لها تسجيل زمني. وتعطى القوى الزلزالية المحسوبة بهذه الطريقة بقيمها المصعدة مباشرة.

1-3-4- متطلبات النمذجة : نعتمد المتطلبات الواردة في الملحق الثاني للكود الأساس لعام 2012

متطلبات النمذجة (التمثيل): Modeling requirements

يجب أن يتضمن النموذج الرياضي الممثل للمنشأة الفيزيائية كافة العناصر المساهمة بجملة مقاومة القوى الجانبية. كما يجب أن يتضمن النموذج قساوة ومقاومة العناصر المؤثرة في توزيع القوى، كما يلزم أن يمثل هذا النموذج التوزيع الأساسي للكتل والقساوات في المنشأة.

بالإضافة لذلك، يجب أن يتوافق النموذج مع ما يلي:

عند تحديد خصائص القساوة للعناصر الخرسانية المسلحة أو الجدران الحجرية، يجب أن يؤخذ بالحسبان تأثيرات المقاطع المتشققة (القطاعات التي بها شروخ). وبوجه خاص، يلزم أخذ هذا الأمر بالحسبان، بحالة المنشآت ذات الجمل التفاعلية أو الثنائية، ويمكن الاعتماد على الطريقة المبسطة الآتية:

(١) تحديد قيمة أولية للتخفيض كما هو مبين بالجدول الآتي:

العنصر	القساوة (الصلابة) الإنعطافية (EI)
جائز	$0.5\ E_c\ I_g$
عمود بحالة الضغط	$0.7\ E_c\ I_g$
عمود بحالة الشد	$0.5\ E_c\ I_g$
جدار غير متشقق	$0.8\ E_c\ I_g$
جدار متشقق	$0.5\ E_c\ I_g$

ويمكن عملياً اعتماد قيم أخرى للقساوة الانعطافية. مثلاً، يمكن تخفيض قيمة الصلابة (القساوة) الانعطافية للأعمدة ولجدران القص المعرضة للامركزية ضغط كبيرة (أي يكون جزءاً كبيراً من المقطع العرضي متشققاً) إلى: $0.2\ E_c\ I_g$

(٢) بعد التحليل الإنشائي الأولي يمكن، من أجل مزيد من الدقة، تحديد القيمة الدقيقة لعزم عطالة كل جدار قص وفق العلاقة:

متطلبات النمذجة وفق الكود السوري الأساس وملحقه الثاني لعام 2012

4-3-2- الطريقة الستاتيكية المكافئة الأساسية لحساب القص القاعدي التصميمي (ملحق الكود):

يبين الجدول (4-6) المناطق الزلزالية في سوريا مع العامل Z الموافق لها:

المنطقة	0	1	2A	2B	2C	3	4
قيم العامل Z	0	0.075	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40

الجدول (4-6): المناطق الزلزالية في سوريا مع العامل Z

تحسب القوة الأفقية الكلية (V القص القاعدي) في اتجاه ما عند منسوب اتصال الأساس مع المنشأة وفقاً للعلاقة التالية:

$$V = \frac{C_v\, I}{R\, T} W$$

وبحيث لا يتجاوز القص القاعدي التصميمي الكلي القيمة :

$$V_{\max} = \frac{2.5\, C_a\, I}{R} W$$

وبحيث لا يقل القص القاعدي الكلي التصميمي عن:

$$V_{\min} = 0.11\, C_a\, I\, W$$

إضافة لما سبق، يجب أن لا يقل القص القاعدي الكلي للمنطقة الزلزالية (4) عن:

$$V = \frac{0.8\, Z\, N_v\, I}{R} W$$

حيث:

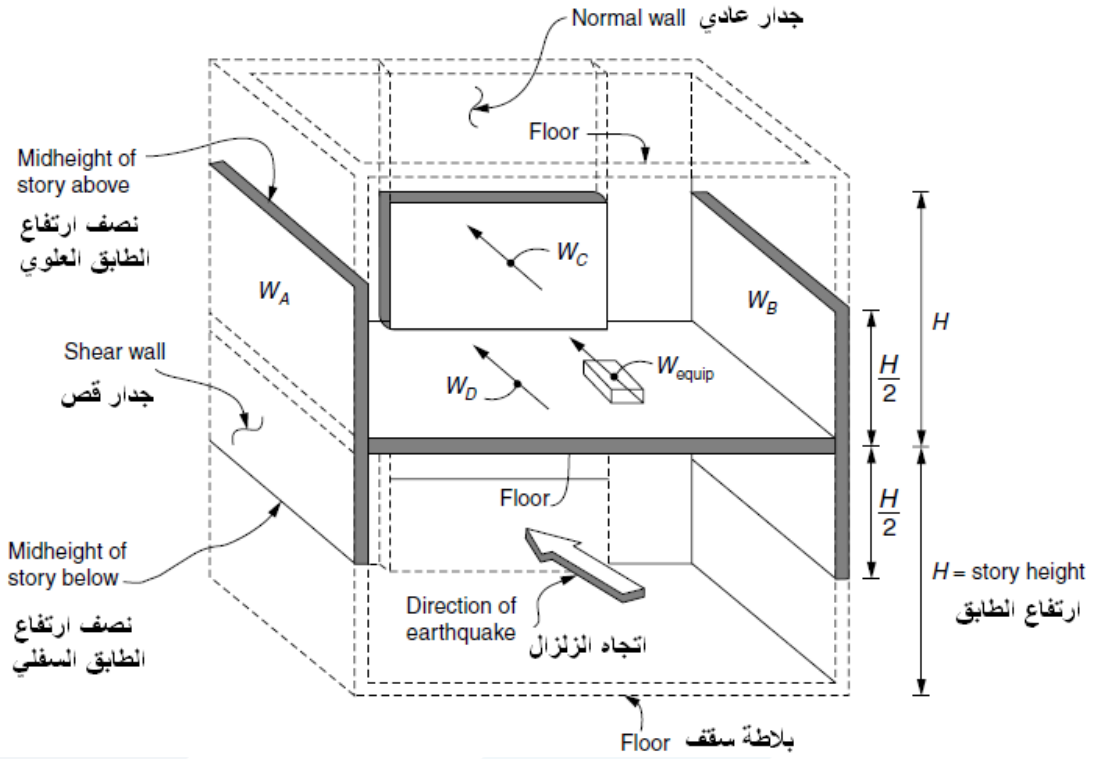
W : **مجموع الحمولات الدائمة فقط** في المباني (الشكل 4-3)، بالإضافة لنسب تطبق من الحمولات الأخرى المصنفة كما يلي:

(أ) في المستودعات والمخازن تؤخذ نسبة دنيا لا تقل عن 25% من الحمولات الحية للطوابق.

(ب) في حال استعمال حمل القواطع الخفيفة في تصميم الطوابق، يؤخذ حمل لا يقل عن ($0.5\ kN/m^2$). أما القواطع الثقيلة فتؤخذ أوزانها ضمن الأوزان الدائمة.

(ج) يهمل حمل الثلج عندما تقل قيمته عن ($1.5\ kN/m^2$)، أما عندما يتجاوز حمل الثلج التصميمي القيمة ($1.5\ kN/m^2$) فيؤخذ بالحساب ولكن تخفض إلى 75% من قيمتها وذلك حسب طبيعة الموقع والشكل ومدة التحميل وتعليمات الهيئة الرسمية للبناء.

(د) الوزن الكلي للمعدات الدائمة يؤخذ بالكامل.



$$W = W_A + W_B + W_C + W_D + W_{equip}$$

الشكل (4-3): الأوزان الداخلة في حساب الحمولة الزلزالية الدائمة W

I : **عامل أهمية المنشأة**، يحدد من الجدول (4-7) – أنواع الإشغال – . ويستخدم لزيادة هامش الأمان في المنشآت والمرافق الرئيسية (التي يجب أن تبقى في الخدمة بعد حدوث الزلزال مثل المشافي ومحطات الإطفاء والطوارئ والشرطة...الخ) أو المنشآت والمرافق الخطرة كتلك التي تحتوي على غازات سامة أو مواد متفجرة. وتحدد قيمة هذا المعامل بـ 1.25 لهذا النوع من المنشآت، و بـ 1.0 لباقي المنشآت.

C_v , C_a : **عوامل الاستجابة الزلزالية** تأخذ بالاعتبار زلزالية المنطقة وشروط تربة الموقع، وتحدد من الجداول (4-8 و 4-9).

N_v , N_a : **عوامل القرب من المصدر**، وتحدد من الجداول (4-11 و 4-12)، استناداً للبعد عن المصدر الزلزالي المعروف، ولنموذج المصدر(نوعه A,B & C) الذي يمكن تحديده من الجدول (4-10)، كما ذكرنا سابقاً.

R : **عامل يأخذ بالحسبان درجة مطاوعة الجملة الإنشائية** والمتبقي في مقاومتها بعد تشكل أول مفصل لدن فيها وتحدد قيمته بناءً على أداء جمل مماثلة خلال هزات حدثت في الماضي، وتؤخذ قيمه من الجدول (4-13) للجمل (النظم) الإنشائية الموافقة للحالة المدروسة.

وللتبسيط تؤخذ قيمة هذا العامل للجمل الانشائية العادية الشائعة في سوريا، من الجدول (4-14) وفق ما هو منصوص في الملحق الثاني للكود العربي السوري، بشرط أن يتم تصميم المقاطع وحساب عقد الإطارات وألا تقل عن الاشتراطات الواردة في الكود الأساس وملحقه الثاني (تفصيلات تسليح العقد – انظر الأشكال الملحقة في آخر النوتة)، سواء كانت إطارات متوسطة أو خاصة وفق المنطوق المحلي (السوري).

T : **دور اهتزاز المنشأة الأساسي** مقدراً بالثانية و يحدد كما مر معنا سابقاً.

ويفترض أن حركة الأرض المؤدية إلى حصول حركة جانبية وقوى زلزالية تصميمية، تؤثر بشكل غير متزامن في اتجاه كل محور رئيسي للمنشأة باستثناء ما هو مطلوب في حالات عدم التناظر أو عدم الانتظام الأفقي أو الشاقولي.

ونبين فيما يلي بعض الملاحظات المهمة، الخاصة بهذه الطريقة بالحساب:

- يعكس نوع مقطع التربة S تأثير ظروف التربة في الموقع على حركة الأرض، ويحدد من الجدول (3-3)، وفقاً لتوصيف عام للتربة أو وفقاً لخواص التربة الفيزيائية التي تحدد باختبارات معيارية كسرعة موجة القص أو تجربة الاختراق النظامية أو مقاومة القص غير المصرف...الخ.
- يوزع القص القاعدي على ارتفاع البناء كقوة مركزه عند كل منسوب (F_i) إضافة إلى قوة مركزه (F_t) في أعلى البناء، كما مر معنا سابقاً.
- يضاف عزم فتل طارئ إلى عزم الفتل الذي يتعرض له البناء وذلك بسبب عدم التأكد من توزع كتلة وصلابة البناء. ويتم ذلك بإضافة عزم فتل عند كل طابق مساوي للقوة الزلزالية المطبقة مضروبة بلامركزية طارئة تساوي 5% من بعد البناء المتعامد مع اتجاه القوة الزلزالية.
- عندما يكون الانتقال عند أي من طرفي البناء أكبر بـ20% من الانتقال الوسطي (الحساب بعد أخذ الفتل الطارئ)، يصنف البناء بغير منتظم من وجهة نظر الفتل وتكبر اللامركزية الطارئة بضربها بالعامل التالي:

$$A_x = \left(\frac{\delta_{\max}}{1.2\delta_{avg}}\right)^2 \le 3.0$$

حيث: δ_{avg} الانتقال الوسطي عند المنسوب x .

$\delta_{\max}$ الانتقال الأعظمي عند المنسوب x .

- اشترط الكود ضرب القوة الزلزالية الأفقية بالعامل ρ (عامل الوثوقية ودرجة عدم التقرير)، ليعيق من استخدام الجمل الإنشائية ذات درجة عدم التقرير المنخفضة، وبالتالي يتم تصميم هذه الجمل بشكل محافظ وعليه يجب ضرب القوى الزلزالية وبالتالي القص القاعدي بهذا العامل ρ ، الذي يتعلق بنوع الجملة الإنشائية المقاومة للقوى الجانبية، ويعطى بالعلاقة التالية (بالواحدات SI):

$$1 \le \rho = 2 - \frac{6.1}{r_{\max}\sqrt{A_B}} \le 1.5$$

حيث :

A_B : مساحة الطابق الأرضي في المنشأة (m^2).

ويمكن استثناء من ذلك أن تؤخذ A_B كمساحة وسطية للطوابق في الجزء العلوي المتراجع من البناء عندما تكون مساحة القاعدة الموجودة في الطابق الأرضي هي الأكبر.

$r_{\max}$: هي القيمة العظمى لـ r_i التي تحدث في أي من مناسيب الطوابق، ضمن الثلثين السفليين لارتفاع البناء.

r_i : تمثل قيمة القص النسبية لعنصر في الطابق (i)، وتساوي قيمة القص في هذا العنصر منسوبة لقوة القص الإجمالية لهذا الطابق، وذلك في الاتجاه المدروس.

- في الإطارات المربَّطة (المكتفة)، فإن قيمة r_i تساوي المركبة الأفقية العظمى للقوة في أي عنصر من عناصر الربط المفردة مقسومة على القص الطابقي الكلي.

- أما في الإطارات المقاومة للعزوم، فإن قيمة r_i ، تؤخذ على أنها القيمة الأكبر من مجموع القص في أي عمودين متجاورين يحصران مجاز في الإطار المقاوم للعزوم مقسومة على القص الطابقي. وفي حالة العمود المشترك بين مجازين ذات عقد مقاومة للعزوم على جانبين متعاكسين عند المنسوب (i) وبالاتجاه المدروس، يمكن استعمال 70% من القص في هذا العمود عند حساب مجموع القص في كل عمودين متجاورين.

- وفي حالة جدران القص، تؤخذ r_i على أساس القيمة العظمى من حاصل ضرب قيمة قص الجدار بالعامل $(3/L_w)$ مقسومة على القص الطابقي الكلي، حيث L_w هو طول الجدار (بالمتر).

- وفي الجمل المختلطة تؤخذ r_i على أنها القيمة العظمى لـ r_i كما هي معرفة أعلاه مع الأخذ بالحسبان كافة العناصر المقاومة للقوى الجانبية. ويتم توزيع الحمولات الجانبية للعناصر استناداً لصلابتها النسبية مع الأخذ بالحسبان الفعل المتبادل بين عناصر الجمل المختلطة. في هذه الجمل يمكن اعتماد قيمة ρ بحيث لا تزيد على 80% من القيمة المحسوبة.

- تؤخذ قيمة ρ بحيث لا تقل عن (1.0) ولا تزيد على (1.5).

- وفي حالة الإطارات الخاصة المقاومة للعزوم (ما عدا استعمالها في الجمل الثنائية)، فإن ρ يجب أن لا تتجاوز المقدار (1.25). ومن المفيد زيادة عدد مجازات الإطارات الخاصة المقاومة للعزوم لإنقاص قيمة ρ وبحيث تصبح أقل أو مساوية (1.25).

- وتؤخذ قيمة ρ مساوية للواحد في حال حساب الانتقالات (الإزاحة)، وكذلك عندما تقع المنشأة في المناطق الزلزالية (2, 1, 0).

يسمح باعتماد قيمة أعظمية للمعامل (N_a) المستعمل لتحديد (C_a) القيمة (1.1) وذلك للمنشآت التي تحقق كافة الشروط التالية :

- صنف مقطع للتربة هو من النوع : S_D أو S_C أو S_B أو S_A .

- عامل الوثوقية وعدم التقرير $\rho = 1.0$.

- أن تكون الإطارات المستعملة لمقاومة القوى الجانبية هي إطارات خاصة مقاومة للعزوم، باستثناء حالة الأعمدة في الأبنية ذات الطابق الواحد وحالة الأعمدة الواقعة في الطابق العلوي للأبنية متعددة الطوابق.

- عندما لا يكون أي من أشكال عدم الانتظام الإنشائي التالية موجودة في المنشأة وهي النماذج (5 , 4 , 1) من الجدول (4-15) والنموذجين (4 , 1) من الجدول (4-16).

4-3-2-1- أنواع الإشغالات:

تصنف كل منشأة، عند التصميم لمقاومة الزلازل، تبعاً لطبيعة إشغالها في مجموعات كما هو وارد في الجدول (4-7). حيث يشير هذا الجدول إلى عوامل الأهمية I و I_P لكل مجوعة حسب الحال ومتطلبات المراقبة الإنشائية لكل مجموعة أيضاً.

4-3-2-2- متطلبات الشكل الإنشائي وعد الانتظام في الأبنية:

في عام 1973م، قام الباحثون بدراسة تأثير عدم انتظام الشكل الإنشائي، على القوى الزلزالية التصميمية (UBC-73)، وفي عام 1988 تم وضع بعض بارامترات التكوين المعماري والإنشائي من أجل إعداد متطلبات عدم الانتظام، ومن ثم جملة التوصيات اللازمة لمعالجة هذا الموضوع. وجاء الكود (UBC-97)، ليحدد بدقة فكرة عدم الانتظام من خلال تعريفات هندسية معينة، أو بوضع جملة من المعايير الخاصة بحيث يتم اتخاذ الإجراء المناسب للحد من تأثير عدم الانتظام.

بالتالي، عند التصميم المقاوم للزلازل يتم تصنيف كل منشأة حسب شكلها الإنشائي إلى منتظمة أو غير منتظمة وذلك وفقاً لما يلي:

- **المنشآت المنتظمة:**

المنشآت المنتظمة هي منشآت لا يوجد فيها انقطاعات فيزيائية هامة (تغيرات ملحوظة) مثل الكتل أو الصلابات في المسقط الأفقي أو في المقطع الشاقولي أو في نظم مقاومة القوى الجانبية المرتبطة بها مثل الخصائص غير المنتظمة التي سنبينها في الفقرة التالية.

- **المنشآت غير المنتظمة (الأشكال من 4-4 حتى 4-13):**

أ- هي المنشآت التي تتميز بانقطاعات مهمة (تغيرات واضحة) في الكتل أو الصلابات نتيجة تغير في الشكل أو في نظام مقاومة القوى الجانبية. إن خصائص عدم الانتظام تشمل مثلاً، وليس حصراً، تلك الموصوفة في الجدولين (4-15) و(4-16)، إذ تبين أنه تم تصنيف عدم الانتظام إلى صنفين اثنين: عدم انتظام شاقولي و عدم انتظام أفقي، وفي كل صنف يوجد خمسة نماذج من عدم الانتظام، مع ذكر الإجراء المناسب لمعالجة حالات عد الانتظام حيث ليست كل حالات عدم الانتظام تتطلب معالجة خاصة.

إن كافة المنشآت الواقعة ضمن المنطقة الزلزالية (1) وأنواع الإشغالات (4) و(5) من المنطقة الزلزالية (2) تحتاج فقط إلى تقويم من أجل عدم الانتظام الشاقولي للنموذج (5) الجدول (4-15) وعدم الانتظام الأفقي للنموذج (1) الجدول (4-16).

ب- المنشآت التي تحوي إحدى نماذج عدم الانتظام المذكورة في الجدول (4-16) تعامل على أنها تحتوي على عدم انتظام شاقولي.

استثناء: عندما تكون نسبة إزاحة الطابق بتأثير القوى الزلزالية التصميمية لا تتجاوز (1.3) مرة نسبة إزاحة الطابق الذي يعلوه، تعد عندها المنشأة أنها لا تحتوي عدم انتظام إنشائي من النموذج (1) أو (2) من الجدول (4-15) علماً أنه لا حاجة لحساب نسبة إزاحة الطابق للطابقين العلويين كما أنه يمكن لهذه الحالة إهمال تأثير الفتل للمنشأة عند حساب إزاحة الطابق.

ت- المنشآت التي تتصف بأي من الخصائص المصنفة في الجدول (4-16) تعد منشآت لها عدم انتظام في المسقط الأفقي.

يبين الشكل (4-4) حالة عدم الانتظام بالصلابة، وهي حالة الطابق اللين التي يمكن أن تحصل في أي طابق عندما يكون:

$$K_2 < 0.7K_3$$

$$K_2 < 0.8\frac{(K_3 + K_4 + K_5)}{3}$$

ويتم استخدام إزاحات الطوابق لمقارنة الصلابات.

الشكل (4-5) يوضح حالة عدم الانتظام في الكتلة، ويعتبر عدم الانتظام هذا موجوداً عندما تكون الكتلة الفعالة لأي طابق أكبر من 150% من الكتلة الفعالة لطابق مجاور، بمعنى:

$$M_2 < 1.5M_1$$

$$M_2 < 1.5M_3$$

أما الشكل (4-6)، فيبين حالة عدم انتظام هندسي في الاتجاه الشاقولي ، ويحصل هذا النوع من عدم الانتظام عندما يكون البعد الأفقي للنظام الإنشائي المقاوم للقوى الجانبية في أي طابق يزيد على 130% للبعد الأفقي للطابق المجاور، بمعنى:

$$1.3b < B$$

فإذا اعتمدنا الشكل السابق، يكون عدم الانتظام الهندسي بالاتجاه الشاقولي موجود، باعتبار أن:

$$1.3\times 30m = 39m < B = 48m$$

يوضح الشكل (4-7) حالة انقطاع في المستوي في العناصر الشاقولية المقاومة للقوى الجانبية، وهو انزياح في المستوي لعنصر ما من عناصر مقاومة القوى الجانبية (في طابق أو أكثر) يفوق طول هذا العنصر (مقاساً في المستوي الأفقي):

$$L > l$$

يبين الشكل (4-8) حالة انقطاع في الاستطاعة، المتمثلة بالطابق الضعيف، الذي يملك مقاومة أقل من 80% من مقاومة الطابق الذي يعلوه. وتعرف مقاومة الطابق بأنها مجموع مساهمات العناصر المقاومة للزلازل على القص لهذا الدور وذلك بالاتجاه المدروس، وتحسب مساهمة كل عنصر من طاقة تحمل العنصر للعزم بأعلى وبأسفل الطابق:

$$S_3 < 0.8S_4$$

يوضح الشكل (4-9) حالة عدم انتظام الفتل، ويؤخذ بالحسبان عندما تكون الديافرامات غير لينة. يعد عدم الانتظام هذا موجوداً عندما تكون الإزاحات العظمى للطابق، محسوبةً بعد أخذ الفتل الطارئ، عند نهاية واحدة للمنشأة وبشكل متعامد مع محور ما، تزيد على (1.2) مرة متوسط إزاحتي (الحركة النسبية) نهايتي الطابق في المنشأة:

$$\delta_{\max} > 1.2\delta_{avg}$$

يبين الشكل (4-10) حالة عدم انتظام بسبب وجود الزوايا الداخلية (Re - entrant Corners)، ويقال عن المسقط الأفقي لمنشأة (بما فيها جملة مقاومة القوى الجانبية) أنه يحتوي على زوايا داخلية، عندما يكون بروز المنشأة بعد الزاوية الداخلية أكبر من 15% من البعد الكلي لمسقط المنشأة بالاتجاه المدروس، بمعنى:

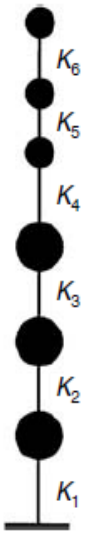
$$a > 0.15A \text{ أو } b > 0.15B$$

والشكل (4-11) يوضح حالة عدم الانتظام الناجمة عن عدم استمرار الديافرامات واحتواءها على انقطاعات مفاجئة أو تغيرات في الصلابة، بما فيها تلك الحاوية على مساحات مقطوعة أو مفتوحة أكبر من 50% من المساحة الكلية المجملة للديافرام، أو هناك تغيرات في الصلابة الفعالة للديافرام تزيد على 50% من طابق لآخر.

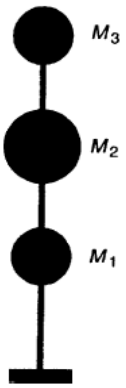
ويبين الشكل (4-12) حالة عدم الانتظام الناجمة عن تغيرات مفاجئة للعناصر الشاقولية خارج مستواها، وتوجد هذه الحالة عندما يكون هناك انقطاعات في مسار القوة الجانبية. ففي هذا الشكل يمكننا ملاحظة أن الأعمدة وبعض

العناصـر كجائز النقل والجائز الظفري يسـندان جداراً غير مسـتمر أو عموداً في إطار آخر. ويجب في مثل هذه الحالة إجراء تراكب خاص للحمولات الزلزالية (مع عامل تكبير Ω_0)، إذ تكون هذه العناصر المجمعة من أكثر العناصر عرضة للأضرار الزلزالية (انعطابية كبيرة)، ويجب أن تصمم على أكبر قوى محورية، مع تفصيلات تسليح خاصة.

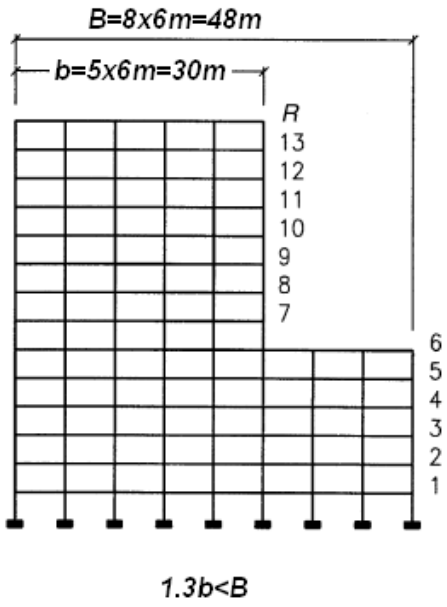
يوضح الشـكل (4-13) حالة عدم الانتظام الناجمة عن الجمل غير المتوازية، وذلك عندما تكون العناصـر الشـاقولية المقاومة للحمولات الجانبية غير موازية للمحاور المتعامدة الرئيسية لنظام مقاومة القوى الجانبية أو غير متناظرة حول هذه المحاور.



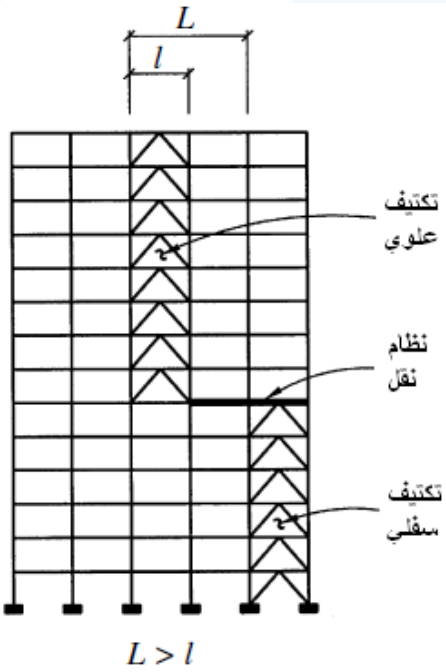
الشكل (4-4): عدم الانتظام في الصلابة "الطابق اللين"



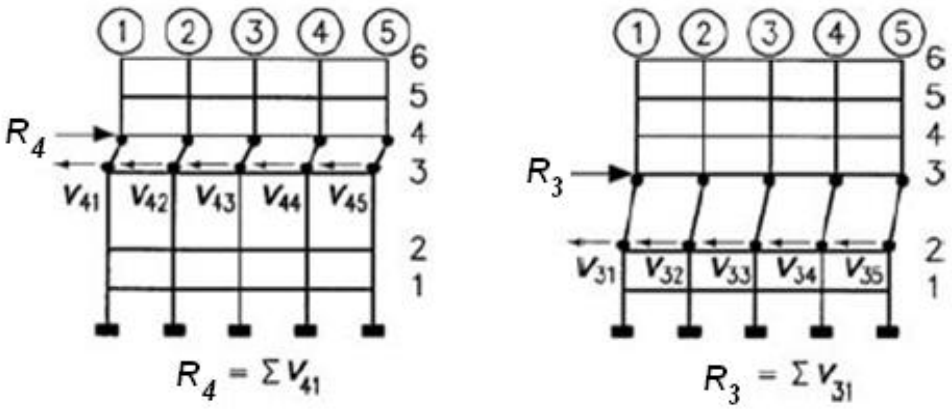
الشكل (4-5): عدم الانتظام في الكتلة



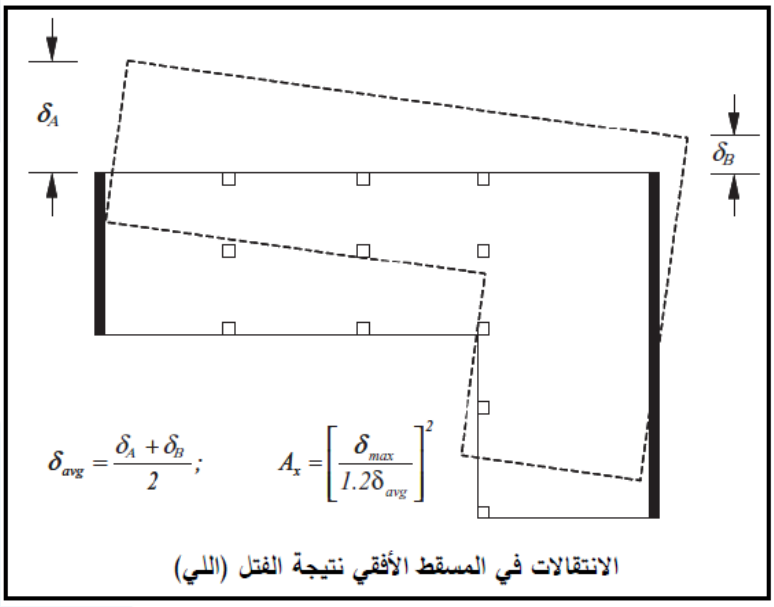
الشكل (4-6): عدم انتظام هندسي في الاتجاه الشاقولي



الشكل (4-7): حالة انقطاع في المستوي في العناصر الشاقولية المقاومة للقوى الجانبية



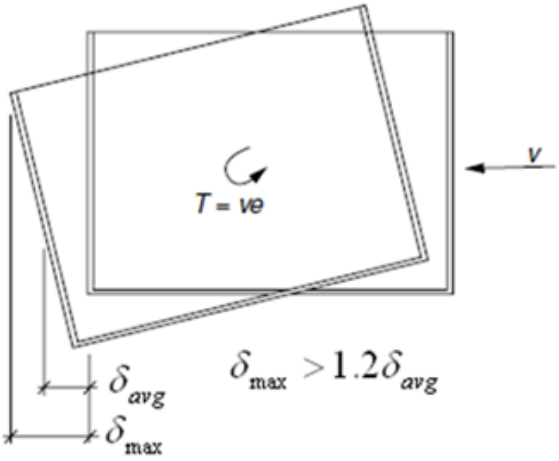
الشكل (4-8): حالة انقطاع في الاستطاعة (الطابق الضعيف)



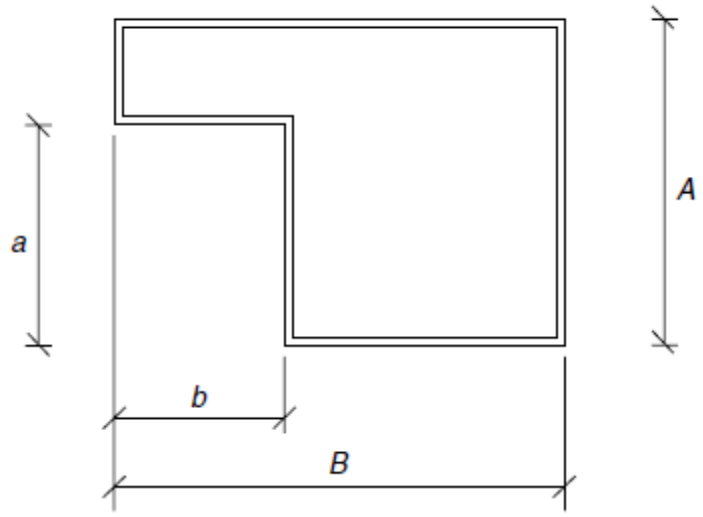
$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{avg}}\right)^2 \le 3.0$$

δ_{avg} الانتقال الوسطي عند المنسوب x .

δ_{max} الانتقال الأعظمي عند المنسوب x .

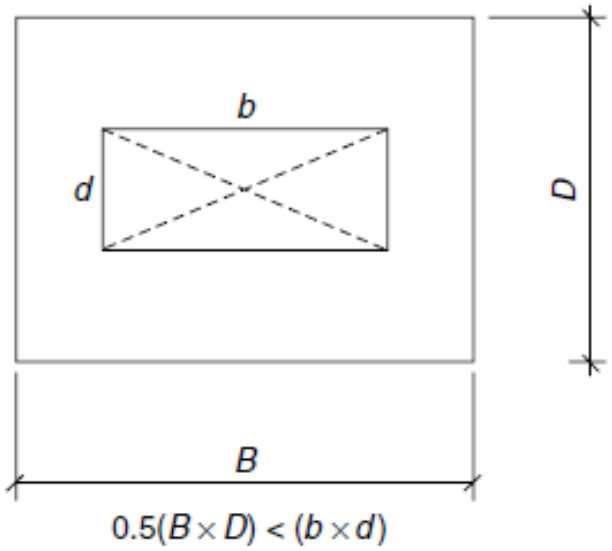


الشكل (4-9): حالة عدم انتظام الفتل

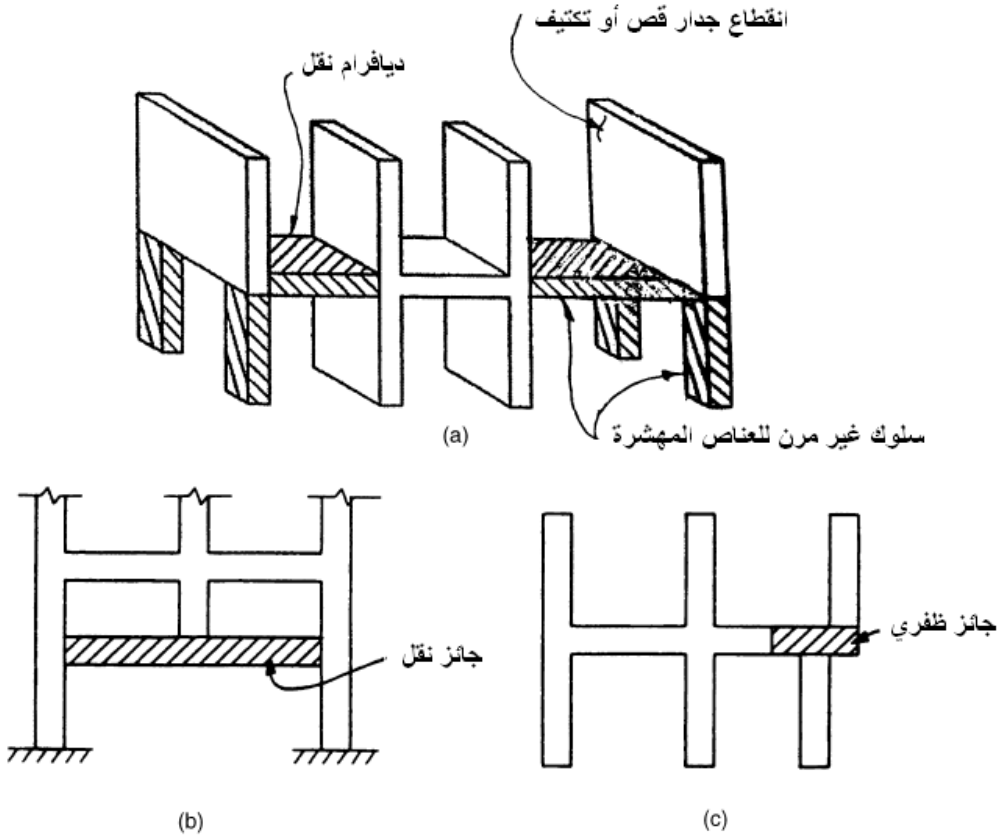


$b > 0.15B$ or $a > 0.15A$

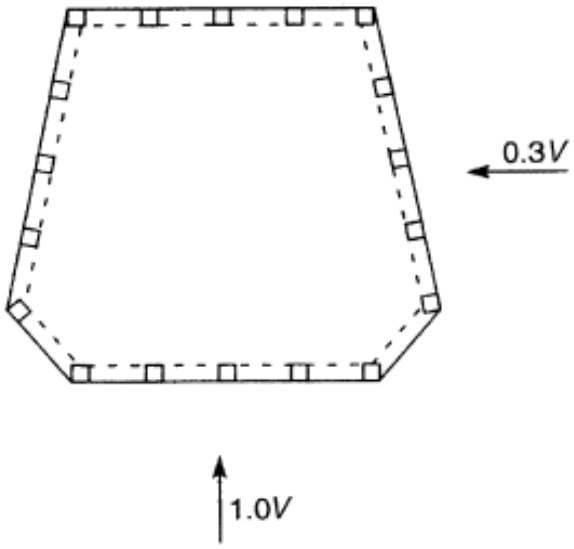
الشكل (4-10): حالة عدم انتظام الفتل



الشكل (4-11): حالة عدم انتظام بسبب عدم استمرار الديافرامات



الشكل (4-12): حالة عدم انتظام ناجمة عن تغيرات مفاجئة للعناصر الشاقولية خارج مستواها



الشكل (4-13): حالة عدم الانتظام الناجمة عن الجمل غير المتوازية

4-3-2-3- الجمل (النظم) الإنشائية (الكود UBC-97 و الكود السوري):

تصنف الجمل (النظم) الإنشائية على أنها واحدة من الأنواع المبينة في الجدول (4-13).

نظم الجدران الحاملة:

وهي نظم إنشائية تكون فيها الحمولات الشاقولية محملة جزئياً على الإطار الفراغي إن وجد. وتكون الجدران الحاملة أو النظم المكتفة هي التي تحمل كافة أو معظم الحمولات الشاقولية، أما مقاومة القوى الزلزالية فتؤمن عن طريق جدران القص أو الإطارات المكتفة.

نظام البناء الهيكلي (نظام إطارات عادية مع جدران قص):

وهو نظام إنشائي مؤلف من هيكل فراغي تام بشكل يقاوم الحمولات الشاقولية، أما مقاومة القوى الزلزالية فتؤمن عن طريق جدران القص أو الإطارات المربَّطة (المكتفة) وتكون الإطارات من النوع العادي.

نظام الإطار المقاوم للعزم:

وهو نظام إنشائي مؤلف من إطار فراغي تام يؤمن بشكل رئيسي سند الحمولات الشاقولية، كما أن الإطار ذاته يؤمن مقاومة القوى الزلزالية وذلك عن طريق مقاومة الانعطاف التي تتمتع بها عناصر الإطار.

النظام الثنائي (إطارات مقاومة للعزوم + جدران قص):

وهو نظام إنشائي (نظام مختلط خاص) يتصف بالمعالم التالية:

- هيكل فراغي تام بشكل رئيسي يؤمن سند الحمولات الشاقولية.

- مقاومة القوى الجانبية تؤمن عن طريق جدران القص أو الإطارات المربَّطة (المكتفة)، وبمساهمة الإطارات المقاومة للعزوم الخاصة ومتوسطة المقاومة والعادية والحجرية (MMRWF, OMRF, IMRF, SMRF). ويجب أن تصمم الإطارات المقاومة للعزوم بشكل مستقل على تحمل (25%) على الأقل من القص القاعدي التصميمي، حتى لو كانت نسبة مساهمتها أقل من ذلك.

- كلا النظامين يجب أن يصمما على مقاومة القص القاعدي التصميمي الكلي بما يتوافق مع صلابتها النسبية مع الأخذ بالحسبان الفعل المشترك للنظام الثنائي على كافة المستويات.

النظام المختلط (إطارات + جدران قص):

وهو نظام مماثل للنظام الثنائي، إلا أنه لا يشترط فيه تصميم الإطارات المقاومة للعزم بشكل مستقل للنسبة الدنيا 25% من القص القاعدي التصميمي، وإنما تصمم الإطارات لتحمل نسبة من القص وفقاً لصلاباتها.

نظام العمود الظفري:

وهو نظام إنشائي يعتمد على عناصر من الأعمدة الظفرية في تحقيق المقاومة الزلزالية، وغالباً ما يكون من طابق واحد أو دورين على الأكثر.

النظم الإنشائية غير المصنفة:

وهي النظم غير المصنفة في الجدول (4-13).

4-3-2-4- حدود الجمل الإنشائية:

أ- حالة خاصة من عدم الاستمرارية (الانقطاع):

يجب أن لا تزيد المنشآت التي تحوي عدم استمرارية في المقاومة (أي عدم انتظام شاقولي من النوع (5) كما هو معرف في الجدول (4-15) على طابقين أو (9m) بالارتفاع، عندما يكون الطابق الضعيف مقاومتة المحسوبة تقل عن 65% من مقاومة الطابق الذي يعلوه. ويستثنى من ذلك الطابق الضعيف عندما يكون قادراً على مقاومة قوة زلزالية جانبية تساوي (Ω_0) مرة القوة التصميمية.

ب- النظم (الجمل) الإنشائية غير المصنفة :

للنظم الإنشائية غير المصنفة (أي غير الواردة) في الجدول (4-13) تحدد قيمة العامل (R) من معطيات اختبارات اهتزازية وتحاليل دورية تأخذ بالحسبان النقاط الهامة التالية:

- خصائص الاستجابة الديناميكية.

- مقاومة القوة الجانبية.
- المقاومة الإضافية وتشوهات التقسية أو التلين.
- انحدار المقاومة والصلابة.
- خصائص تشتيت (تبديد) الطاقة.
- مطاوعة الجمل.
- درجة عدم التقرير الستاتيكي.

4-2-3-5- حدود الارتفاع:

تم تحديد حدود الارتفاع لمختلف الجمل الإنشائية في المناطق الزلزالية (3) و(4) وذلك وفق معطيات الجدول (4-13). على أنه يمكن للمنشآت المنتظمة أن تتجاوز هذه الحدود بقيمة لا تزيد على 50% وذلك للمنشآت غير المشغولة بقاطنين والتي لا يمكن الوصول إليها من قبل الجمهور العام.

4-2-3-6- اشتراطات تطبيق الطريقة الستاتيكية المكافئة (المنشآت) :

أ- كافة المنشآت المنتظمة وغير المنتظمة ، في المنطقة الزلزالية (1) وفي أنواع المباني ذات الإشغالات (4) و(5) من المنطقة الزلزالية (2).

ب- المنشآت المنتظمة التي لا يزيد ارتفاعها على (73m) مع تأمين مقاومة للقوى الزلزالية باستعمال الجمل المصنفة في الجدول (4-13)، باستثناء المنشآت التي تتطلب تحليل ديناميكي (المنتظمة أو غير المنتظمة)، وخاصة المستندة على صنف مقطع للتربة (S_F) والتي لها دور أساسي يزيد على (0.7 Sec)، بحيث يشمل هذا التحليل كافة تأثيرات التربة في الموقع.

ج- المنشآت غير المنتظمة التي لا تزيد على /5/ طوابق، أو بارتفاع لا يزيد على (20 m).

د- المنشآت المؤلفة من جزئين، جزء علوي لين (flexible) ويستند على الجزء السفلي الصلب (Rigid)، وحيث يكون كلاً من الجزأين منتظماً بحد ذاته، كما أن صلابة الطابق المتوسطة للجزء السفلي لا تقل عن عشرة أمثال صلابة الطابق المتوسطة للجزء العلوي، كما وأن الدور الأساسي للمنشأة الكاملة لا يزيد على (1.1) مرة الدور الأساسي للجزء العلوي المفترض كمنشأة مستقلة مثبتة عند قاعدتها.

4-2-3-7- المنشآت التي تتطلب تحليل ديناميكي :

1- المنشآت التي يزيد ارتفاعها على (73m) ما عدا المنشآت المنتظمة وغير المنتظمة ، في المنطقة الزلزالية (1) وفي أنواع المباني ذات الإشغالات (4) و(5) من المنطقة الزلزالية (2).

2- المنشآت التي فيها عدم انتظام شاقولي يشمل الصلابة أو الوزن أو الأبعاد الهندسية، من النماذج (1) أو (2) أو (3) كما هي معرفة في الجدول (4-15) أو المنشآت التي لها خصائص غير منتظمة وغير موصوفة في الجدولين (4-15) أو (4-16)، ما عدا ما هو مسموح في حالة تراكيب الجمل الإنشائية بالاتجاه الشاقولي (تحليل المنشأة كجزئين مترابطين).

3- المنشآت المؤلفة من أكثر من خمسة أدوار بارتفاع يزيد على (20m) في المناطق الزلزالية (3) أو (4) والتي ليس لها نظام إنشائي متجانس على كامل ارتفاعها ما عدا ما هو مسموح في حالة تراكيب الجمل الإنشائية بالاتجاه الشاقولي (تحليل المنشأة كجزئين مترابطين).

4- المنشآت المنتظمة، وغير المنتظمة المستندة على صنف مقطع للتربة (S_F) والتي لها دور أساسي يزيد على (0.7 Sec).

و يجب أن يشمل التحليل تأثيرات التربة في الموقع.

4-2-3-8- تأثيرات (Δ-P) (التأثيرات الثانوية الناتجة عن الازاحات الأفقية):

عند تصميم وحساب الاستقرار الإنشائي الكلي للهيكل، يجب أخذ القوى والعزوم الناشئة في العناصر (بما فيها إزاحات الطوابق)، الناتجة عن تأثيرات (Δ-P) ويتم تحديدها باستعمال القوى المنتجة للإزاحات (ΔS).

يمكن إهمال تأثير (Δ-P) عندما تكون نسبة العزوم الثانوية إلى العزوم الرئيسية لا تتجاوز (0.10).

ويمكن حساب هذه النسبة لأي طابق، كناتج للعلاقة التالية :

$$\frac{\text{الحمولات (الدائمة + الحية + الثلج) المطبقة أعلى منسوب الطابق المدروس} \times \text{الإزاحة الزلزالية للطابق}}{\text{القص الزلزالي في الطابق المدروس} \times \text{ارتفاع الطابق}}$$

وفي المناطق الزلزالية (3) و(4) يمكن إهمال تأثير (Δ-P) عندما تكون إزاحة الطابق النسبية لا تتجاوز (0.02/R).

4-2-3-9- تراكيب الجمل الإنشائية:

عندما توجد تراكيب من النظم الإنشائية مساهمة في المنشأة ذاتها، فإنه يجب تحقيق المتطلبات التالية:

1- التراكيب بالاتجاه الشاقولي:

يجب أن تكون قيمة R المستعملة في تصميم أي طابق أقل أو تساوي قيمة R المستعملة في الطابق الأعلى بالاتجاه المدروس. ولا يطبق هذا الشرط على الطابق الذي يكون الوزن الميت فوقه أقل من (10%) من الوزن الميت الكلي للمنشأة. وبذلك يمكن تصميم المنشآت تحت الشروط التالية: تصمم كامل المنشأة باستعمال القيم

الدنيا لـ R الخاصة بنظم مقاومة القوة الجانبية المستعملة، أو استعمال إجراءات التحليل الستاتيكي التالية على مرحلتين، ففي المرحلة الأولى يتم تصميم الجزء العلوي اللين (flexible) كمنشأة مستقلة تستند جانبياً على الجزء السفلي الصلب (rigid) وذلك باستعمال القيمة المناسبة لكل من R و ρ ، وفي المرحلة الثانية يصمم الجزء السفلي الصلب كمنشأة مستقلة باستعمال القيمة المناسبة لكل من R و ρ . أما ردود الأفعال الناتجة عن الجزء العلوي فهي تلك المحددة من تحليل الجزء العلوي بعد تكبيرها بالنسبة (R/ρ) للجزء العلوي مقسومة على (R/ρ) للجزء السفلي.

2- التراكيب باتجاه محاور مختلفة:

في المناطق الزلزالية (3) و(4) وعندما يكون لمنشأة ما نظام جدران حاملة في اتجاه واحد فقط، فإن قيمة R المستعملة في التصميم بالاتجاه المتعامد يجب أن لا تزيد عن تلك المستعملة لنظام الجدران الحاملة. وإن أي تركيب مؤلف من نظم الجدران الحاملة أو نظم الأبنية الهيكلية (الإطارية) أو النظم الثنائية أو نظم الإطارات المقاومة للعزوم، يمكن أن يستعمل لمقاومة القوى الزلزالية في المنشآت التي لا يزيد ارتفاعها على (49m). أما في المنشآت التي يزيد ارتفاعها على ذلك، فتستعمل فيها فقط تراكيب النظم (الجمل) الثنائية والإطارات الخاصة المقاومة للعزوم في مقاومة القوى الزلزالية في المناطق الزلزالية (3) و(4).

3- التراكيب باتجاه المحور ذاته:

باستثناء النظم الثنائية والنظم المختلطة، في المناطق الزلزالية (0 و1)، فعندما تستعمل تراكيب مختلفة من النظم الإنشائية لمقاومة القوى الجانبية في الاتجاه ذاته، تؤخذ قيمة R المستعملة في التصميم في هذا الاتجاه بحيث لا تزيد على القيمة الدنيا لأي من النظم المستعملة في الاتجاه ذاته.

4-3-2-10- تحديد قيمة (Ω_0):

كما ذكرنا في فصل سابق، فإن المنشآت تصمم على حركة الأرض التي تؤدي إلى حدوث استجابة إنشائية وقوى زلزالية في أي اتجاه أفقي، وتستعمل قوى الهزة الأرضية التالية في تراكيب الحمولات.

$$E = \rho E_h + E_v$$
$$E_m = \Omega_0 E_h$$

حيث:

E: القوة الناتجة عن الهزة الأرضية المؤثرة على عنصر في المنشأة والناتجة عن تراكيب المركبة الأفقية E_h والمركبة الشاقولية E_v.

E_h: القوة الناتجة عن الهزة الأرضية الناشئة عن القص القاعدي V، أو عن القوى الزلزالية التصميمية، F_P.

E_m : القوة الزلزالية العظمى المحسوبة والتي تنشأ في المنشأة.

E_v : تأثير الحمل الناتج عن المركبة الشاقولية للهزة الأرضية وقيمتها تعادل المقدار $(0.5C_aID)$ ، إضافة إلى فعل الحمل الدائم (الميت D) (قوة ناظمية أو عزم انعطاف أو قص ... الخ) .

Ω_0 : عامل تكبير القوة الزلزالية المطلوبة في الحساب لأخذ تأثير المقاومة الإضافية.

بالتالي، ومن أجل حالات معينة منصوص عنها في الكود، وكذلك من اجل عناصر محددة في المنشأة، كحالة العناصر الساندة للنظم الحاوية على انقطاعات، تحسب المقاومة التصميمية الدنيا من حاصل ضرب عامل تكبير القوة الزلزالية (Ω_0) والقوى الزلزالية التصميمية، ويؤخذ هذا العامل من الجدول (4-13).

4-3-2-11- العناصر الساندة للنظم الحاوية على انقطاعات:

أ- عندما يكون أي جزء من نظام مقاومة الحمولات الجانبية يحتوي على انقطاع، مثل عدم الانتظام شاقولياً وفق النموذج (4) من الجدول (4-15)، أو عدم انتظام في المستوي الأفقي نموذج (4) من الجدول (4-16)، فان كافة العناصر البيتونية أو الحجرية أو الفولاذية أو الخشبية والساندة لمثل هذه النظم المحتوية على انقطاعات، يجب أن يكون لها مقاومة تصميمية لتحمل تراكيب الحمولات الناجمة عن التراكيب الخاصة بالحمولات الزلزالية التي تحوي عامل التكبير (Ω_0).

استثناءات :

1) ليس ضرورياً أن تتجاوز قيمة E_m القوة العظمى التي يمكن أن تنتقل إلى العنصر الساند من عناصر نظام مقاومة القوى الجانبية بعد أخذ حالة زيادة المقاومة فيها (over strength) بتصعيد قيمة f_y بالعامل (1.25) لحساب عزم التحمل عند الإنكسار.

2) البلاطات البيتونية الساندة للنظم ذات الإطارات الخشبية الخفيفة وجدران القص أو الإطارات المعدنية الخفيفة والمنشآت الخشبية على شكل جدران قص مؤلفة من ألواح إنشائية.

ب- التفاصيل المطلوبة في المناطق الزلزالية (3) و(4):

في المناطق الزلزالية (3) و(4)، يجب أن تحقق العناصر الساندة للنظم المحتوية على انقطاعات التفاصيل و الاشتراطات التالية:

1) العناصر المكونة من البيتون المسلحة أو العناصر الحجرية المسلحة المصممة بشكل أساسي للعمل كعناصر مقاومة للقوى المحورية أو لعزوم الانعطاف أو لقوى القص وغيرها، يجب أن تحقق متطلبات الكود المعتمد وشروط المطاوعة.

2) العناصر البيتونية المسلحة و المصممة لتعمل بشكل أساسي كعناصر خاضعة للانعطاف والساندة لعناصر غير تلك المؤلفة من الإطارات الخشبية الخفيفة العاملة كجدران قص أو الإطارات المعدنية الخفيفة وجدران القص الخشبية الإنشائية، يجب أن تحقق متطلبات الكود المعتمد وشروط المطاوعة. ويجب أن تتضمن حسابات المقاومة لأجزاء البلاطات المصممة كعناصر ساندة فقط تلك الأجزاء من البلاطة والتي تتوافق مع متطلبات الكود المعتمد.

3) العناصر الجدارية الحجرية والمصممة بشكل أساسي كعناصر معرضة للقوى المحورية يجب أن تحقق متطلبات الكود المعتمد .

4) العناصر الحجرية والمصممة بشكل أساسي كعناصر خاضعة للانعطاف، يجب أن تحقق متطلبات الكود المعتمد.

5) العناصر المعدنية المصممة بشكل أساسي كعناصر خاضعة للقوى المحورية يجب أن تحقق متطلبات الكود المعتمد.

6) العناصر الفولاذية المصممة بشكل أساسي كعناصر خاضعة للانعطاف أو تعمل كجائز شبكي، يجب أن تربَّط عند كلٍ من الجناح العلوي والسفلي للجائز، وذلك في موقع الاستناد للنظم الحاوية على انقطاعات، ويجب أن تحقق متطلبات الكود المعتمد.

7) العناصر الخشبية المصممة بشكل أساسي كعناصر خاضعة للانعطاف يجب أن تزود بتربيط (بتكتيف) جانبي أو تثبيت صلب في كل من نهايتي العنصر وعند نقاط الاتصال للنظم الحاوية على انقطاعات.

4-3-2-12- الإزاحة (الانتقالات الجانبية) - تباعد الأبنية

الانتقالات الجانبية: $\Delta_{S,M}$

تسمى الانتقالات الناجمة عن القوى الزلزالية التصميمية بالانتقالات التصميمية Δ_S ، و عند حساب هذه الانتقالات يجب أخذ النقاط التالية بالحسبان:

- يؤخذ عامل الوثوقية وعدم التقرير مساوياً الواحد.
- يهمل الحد الأدنى المفروض على القص القاعدي.
- يستعمل الدور الناتج عن تحليل المنشأ حتى لو تجاوز السقف المفروض سابقاً، وذلك بإهمال النسب (30-40 %) المحددة.
- يحسب الانتقال الأعظمي Δ_M الناتج عن الاستجابة اللا مرنة مع إدخال تأثيرات (P-Δ)، بالعلاقة التالية :

$$\Delta_M = 0.7\, R\, \Delta_S$$

حيث R : عامل الجملة الإنشائية المحدد بالجدول (4-13).

- يتم التحكم بالانتقالات بدلالة الانزياح الطابقي الذي يعرف بأنه الانتقال الجانبي لطابق بالنسبة للطابق الأسفل منه مباشرة. ويحدد الانزياح الطابقي من الاستجابة العظمى غير المرنة Δ_M المحددة أعلاه.
- يجب أن تشتمل الانتقالات على تأثيري الحركة الانسحابية والفتل ولهذا يجب تحقيق الانزياح الجانبي في مستوى العناصر المقاومة للقوى الجانبية بشكل عام عند أطراف البناء.
- تحدد القيمة العظمى للانزياح الجانبي بإحدى العلاقتين التاليتين :

$$T < 0.7\text{sec} \quad \text{عندما} \quad \Delta_{\max} = 0.025h$$

$$T \geq 0.7\text{sec} \quad \text{عندما} \quad \Delta_{\max} = 0.020h$$

حيث h : ارتفاع الطابق.

- تأثيرات (P-Δ) : (التأثيرات الإضافية الناتجة عن الإزاحات الأفقية)

عند تصميم وحساب الاستقرار الإنشائي الكلي للهيكل، يجب أخذ القوى والعزوم الناشئة في العناصر (بما فيها إزاحات الطوابق)، الناتجة عن تأثيرات (P-Δ) ويتم تحديدها باستعمال القوى المنتجة للإزاحات (ΔS).

ويمكن إهمال تأثير (P-Δ) عندما تكون نسبة العزوم الثانوية إلى العزوم الرئيسية لا تتجاوز (0.10).

في المناطق الزلزالية (3) و(4) فإن تأثير (P-Δ) لا يؤخذ بالحسبان عندما تكون الإزاحة الطابقية النسبية لا تتجاوز (0.02/R).

تباعد الأبنية: Δ_{MT}

يجب أن تتباعد كافة المنشآت عن المنشآت المجاورة لها. وتحدد هذه التباعدات انطلاقا من قيم الإنتقال Δ_M .

يجب أن تتباعد الكتل المتجاورة والواقعة ضمن ملكية واحدة بالمسافة Δ_{MT} كحد أدنى (و لا تقل عن 3 سم) .

حيث : $\Delta_{MT} = \sqrt{(\Delta_{M1})^2 + (\Delta_{M2})^2}$

Δ_{M1} و Δ_{M2} هي انتقالات البنائين المتجاورين (أو قسمي بناء واحد بينهما فاصل زلزالي). وعندما تكون المنشأة محاذية لخط ملكية غير مشترك مع الطريق العام، يجب تنفيذ هذه المنشأة أيضاً عن خط الملكية على الأقل بالمقدار Δ_M لهذه المنشأة.

استثناء :

يمكن السماح بتباعدات أو رجوعات عن خط الملكية (أو بين أي كتلتين متجاورتين) أقل من المذكورة سابقاً، اذا تم تبريرها باستعمال تحليل منطقي ومقبول يستند إلى حركة الأرض العظمى المتوقعة، وكذلك في حالات تحقيق المنشآت القائمة لمقاومة الزلازل، إذا كانت سقوفها بمناسيب واحدة، وعلى أن تحقق الكتلة قيد الدراسة (أو كل من الكتلتين المتجاورتين) على قوة زلزالية مكبرة بمقدار لا يقل عن 10% (عشرة بالمائة) عن القوة الزلزالية التصميمية:

مع زيادة القوة الزلزالية 10%: $\Delta_{MT} > \delta \geq 0.75\Delta_{MT}$

مع زيادة القوة الزلزالية 15%: $0.75\Delta_{MT} > \delta \geq 0.5\Delta_{MT}$

4-3-2-13- المركبة الشاقولية:

تطبق الاشتراطات التالية في المناطق الزلزالية (3) و(4) فقط :

تصمم الأجزاء الظفرية الأفقية على قوة صافية (أي دون أن يحسم منها الأوزان الشاقولية المتجهة للأسفل) تتجه إلى الأعلى وقدرها $(0.7C_aIW_P)$ بالإضافة لكافة تراكيب الحمولات الممكنة الأخرى. أما العناصر الأفقية مسبقة الإجهاد فيجب أن تصمم باستعمال ما لا يزيد على (50%) من الحمولات الميتة بمفردها أو بالتراكيب مع تأثيرات القوى الجانبية.

4-3-2-14- تراكيب الآثار من الاتجاهين الأفقيين المتعامدين:

في الحالات العامة، يكتفى بتحليل المنشأة و تصميم عناصرها لكل اتجاه لوحده (باتجاهي المحورين الرئيسيين). أما في حال وجود عدم انتظام للجملة الإنشائية في الاتجاه الأفقي من النموذج (5) أو النموذج (1) المعرفين في الجدول (4-16)، وفي حالة عمود في منشأة يقع عند تقاطع اثنان أو أكثر من جملة مقاومة القوى الجانبية فيتم تركيب الآثار (للقوى و للعزوم و للسهوم و للتشوهات .... الخ)، وتحقيق الاشتراطات المتعلقة بتأثيرات قوى الهزات الأرضية المؤثرة باتجاه غير اتجاه المحاور الرئيسية.

عامل الأهمية الزلزالي I_P [1]	عامل الأهمية الزلزالي I	أنواع أو وظائف المنشأة	نوع الإشغال
1.50	1.25	- الإشغالات الحاوية على المرافق الخاصة بالعمليات الجراحية ومعالجة الطوارئ. - المحطات الخاصة بالمطافئ والشرطة. - المرائب والملاجئ الخاصة بآليات الطوارئ وكذلك مطارات الطوارئ. - المنشآت والملاجئ الواقعة في مراكز الاستعداد للطوارئ. - أبراج مراقبة الطيران. - المنشآت والمعدات في مراكز الاتصال الحكومية وباقي المرافق المطلوبة لاستجابة نداء الطوارئ. معدات توليد الطاقة الكهربائية الاحتياطية. المنشآت الوظيفية الهامة مثل منشآت الدفاع المدني والصوامع والكباري .... إلخ. - الخزانات أو باقي المنشآت الحاوية على المياه المنزلية أو المياه الداعمة أو أية مواد أخرى تستعمل لإطفاء الحريق.	1– المرافق الرئيسية
1.50	1.25	- الإشغالات والمنشآت الحاوية على مواد كيميائية سامة أو قابلة للانفجار. - المنشآت التي ليس لها شكل الأبنية والتي تحتوي على كميات من المواد السامة أو المتفجرة.	2 – المرافق الخطرة

3–المنشآت ذات الإشغالات الخاصة.	- المباني التي تشمل الإشغالات التي لها طاقة استيعابية تفوق 300 طالب. - المباني التي تشمل الإشغالات المستعملة ككليات أو لتعليم البالغين بطاقة استيعابية تفوق 500 طالب. - الإشغالات الحاوية على /50/ أو أكثر من المقيمين العجزة.	1.00	1.00
4– المنشآت ذات الإشغالات القياسية [2].	- كافة المنشآت المشغولة بإشغالات أو لها وظائف غير واردة في الأصناف (1) و (2) أو (3).	1.00	1.00
5 – منشآت أخرى.	- الإشغالات الأخرى.	1.00	1.00

الجدول (4-7): أنواع الإشغال - عامل الأهمية الزلزالي

ملاحظات:

[1] إن حدود قيمة (I_P) لوصلات العوارض تساوي (1.0) لمجمل الوصلة.

[2] لإرساء الماكينات والتجهيزات المطلوبة لتوفير أمان ذي عمر طويل، تؤخذ قيمة (I_P) مساوية لـ (1.5).

أما المنشآت النووية وما شابهها فيحدد لها عوامل الأهمية، ويتم تصميمها بالاعتماد على كوداتها الخاصة.

نموذج مقطع التربة	معامل المنطقة الزلزالي Z					
	0.075	**0.15**	**0.20**	**0.25**	**0.30**	**0.40**
S_A	0.06	0.12	0.16	0.20	0.24	$0.32N_a$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.25	0.30	$0.40N_a$
S_C	0.09	0.18	0.24	0.29	0.33	$0.40N_a$
S_D	0.12	0.22	0.28	0.32	0.36	$0.44N_a$
S_E	0.19	0.30	0.34	0.35	0.36	$0.36N_a$
S_F	يجب إجراء تحريات ودراسات جيوتكنيكية حقلية وإجراء التحليل الديناميكي لاستجابة الموقع.					

الجدول (4-8): قيم العامل الزلزالي C_a

نموذج مقطع التربة	معامل المنطقة الزلزالي Z					
	0.075	**0.15**	**0.20**	**0.25**	**0.30**	**0.40**
S_A	0.06	0.12	0.16	0.20	0.24	$0.32N_v$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.25	0.30	$0.40N_v$
S_C	0.13	0.25	0.32	0.38	0.45	$0.56N_v$
S_D	0.18	0.32	0.40	0.47	0.54	$0.64N_v$
S_E	0.26	0.50	0.64	0.74	0.84	$0.96N_v$
S_F	يجب إجراء تحريات ودراسات جيوتكنيكية حقلية وإجراء التحليل الديناميكي لاستجابة الموقع.					

الجدول (4-9): قيم العامل الزلزالي C_v

نوع المصدر الزلزالي[1,2]	وصف المصدر الزلزالي	تعريف المصدر الزلزالي	
		قيمة مقدار الزلزال الأعظمي بمقياس ريختر (M)	معدل الانزلاق SR (mm/year)
A	صدوع جيولوجية قادرة على خلق حوادث زلزالية وتتمتع بمعدل مرتفع من النشاطات الزلزالية.	$M \geq 7.0$	$SR \geq 5$
B	كافة الصدوع غير النماذج (A) ، (C).	$M \geq 7.0$ $M < 7.0$ $M \geq 6.5$	$SR < 5$ $SR > 2$ $SR > 2$
C	صدوع جيولوجية غير قادرة على خلق حوادث زلزالية كبيرة وتتمتع بمعدل منخفض من النشاطات الزلزالية.	$M < 6.5$	$SR \leq 2$

الجدول (4-10): نوع المصدر الزلزالي

ملاحظات:

1- يجب أن يحدد تصنيف المصدر بناءً على طبيعة الموقع الخاصة.

2- يجب أن يترافق كلّ من شرطي القيمة العظمى للعزم ومعدل الانزلاق بشكل كاف عند تحديد نموذج المصدر الزلزالي.

نموذج المصدر الزلزالي	المسافة الأكثر قرباً من المصدر الزلزالي المعروف[2,3]		
	≤ 2km	5 km	≥ 10 km
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

الجدول (4-11): عامل القرب من المصدر[1] N_a

نموذج المصدر الزلزالي	المسافة الأكثر قرباً من المصدر الزلزالي المعروف[2,3]			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

الجدول (4-12): عامل القرب من المصدر[1] N_v

ملاحظات:

1- يمكن حساب قيمة معامل القرب من المصدر بالتناسب الخطي وذلك للمسافات غير تلك الواردة في الجدول.

2- يجب تحديد موقع وشكل المصادر الزلزالية المستعملة في التصميم بناءً على معطيات جيوتكنيكية مصادق عليها.

3- المسافة الأكثر قرباً من المصدر الزلزالي يؤخذ على أنها المسافة الدنيا بين الموقع والمساحة المحددة بالمسقط الشاقولي للمصدر على السطح (أي المسقط السطحي لمستوى الصدع)، ولا ضرورة للمسقط السطحي أن يشمل أجزاء من المصدر تقع على أعماق تساوي أو تزيد على (10 km).

ويجب اعتماد القيمة الأكبر لمعامل القرب من المصدر في التصميم بعد الأخذ بالحسبان كافة المصادر الأخرى.

النظم الإنشائية الرئيسية [2]	وصف نظام مقاومة القوى الجانبية		R	Ω_o	حدود الارتفاع للمناطق الزلزالية (4), (3) (m)
1- جملة الجدران الحاملة.	نظم الجدران المدعمة بإطارات خفيفة مع عوارض ألواح للقص.	(1)			
	آ- جدران مؤلفة من ألواح خشبية لمنشآت لاتتجاوز ثلاثة أدوار.		5.5	2.8	20
	ب - كافة الجدران الأخرى المدعمة بإطارات خفيفة .		4.5	2.8	20
	جدران القص :	(2)			
	آ - من البيتون.		4.5	2.8	49
	ب - حجرية.		4.5	2.8	49
	جدران حاملة مدعمة بإطارات خفيفة من الفولاذ باستعمال شبكة تربيط شد فقط.	(3)	2.8	2.2	20
	إطارات مربطة حيث تحمل شبكة التربيط حمولات الجاذبية :	(4)			
	آ - فولاذ.		4.4	2.2	49
	ب - بيتون.		2.8	2.2	-
	ج - خشب ثقيل.		2.8	2.2	20
2 – جملة البناء الهيكلي	إطار فولاذي مربط لا مركزياً (EBF)	(1)	7.0	2.8	73
	جدران مؤطرّة (مدعمة) بإطارات خفيفة مع ألواح مقاومة للقص.	(2)			

20	2.8	6.5		آ - جدران مؤلفة من ألواح خشبية إنشائية لمنشآت لاتتجاوز ثلاثة أدوار (طوابق).	
20	2.8	5.0		ب - كافة الجدران المدعمة بإطارات خفيفة.	
			(3)	جدران القص :	
73	2.8	5.5		آ - من البيتون.	
49	2.8	5.5		ب – حجرية.	
			(4)	الإطارات العادية المكتفة (المربَّطة) :	
49	2.2	5.6		آ – فولاذ.	
-	2.2	5.6		ب - بيتون [3].	
20	2.2	5.6		ج - خشب ثقيل.	
			(5)	الإطارات الخاصة المكتفة (المربَّطة) مركزياً :	
73	2.2	6.4		آ - فولاذ.	

الجدول (4-13): أنواع النظم (الجمل) الإنشائية [1]

حدود الارتفاع للمناطق الزلزالية (4), (3) (m)	Ω_o	R	وصف نظام مقاومة القوى الجانبية	النظم الإنشائية الرئيسية[2]
			(1) إطار خاص مقاوم للعزوم (SMRF) :	3- الجملة الإنشائية ذات
N.L	2.8	8.5	آ - فولاذ.	
N.L	2.8	8.5	ب - بيتون[4].	

الإطارات المقاومة للعزم	(2) إطار جداري حجري مقاوم للعزوم (MMRWF) :	6.5	2.8	49
	(3) إطار من البيتون متوسط المقاومة للعزوم (IMRF)[5] :	5.5	2.8	-
	(4) إطار عادي مقاوم للعزوم (OMRF) :			
	آ - من الفولاذ[6].	4.5	2.8	49
	ب - من البيتون[7].	3.5	2.8	-
	(5) الإطارات الفولاذية الشبكية الخاصة المقاومة للعزوم (STMF):	6.5	2.8	73
4- الجمل الثنائية (المختلطة الخاصة)	(1) جدران قص :			
	آ - من البيتون مع SMRF .	8.5	2.8	N.L
	ب - من البيتون مع OMRF من الفولاذ.	4.2	2.8	49
	ج - من البيتون مع IMRF من البيتون.	6.5	2.8	49
	د - حجري مع SMRF.	5.5	2.8	49
	هـ- حجري مع OMRF من الفولاذ.	4.2	2.8	49
	و - حجري مع IMRF [3] من البيتون.	4.2	2.8	-
	ز - حجري مع حجري MMRWF.	6.0	2.8	49
	(2) إطار من الفولاذ المكتف (مربط) لا مركزياً EBF :			
	آ - مع SMRF من الفولاذ.	8.5	2.8	N.L
	ب - مع OMRF من الفولاذ.	4.2	2.8	49
	(3) إطارات مكتفة (مربطة) اعتيادية :			
	آ - فولاذية مع SMRF من الفولاذ.	6.5	2.8	N.L
	ب - فولاذية مع OMRF من الفولاذ.	4.2	2.8	49
	ج - بيتونية مع SMRF [3] من البيتون.	6.5	2.8	-
	د - بيتونية مع IMRF [3] من البيتون.	4.2	2.8	-

			(4) الإطارات الخاصة المربطة مركزياً :	
N.L	2.8	7.5	آ - الفولاذية مع SMRF فولاذ.	
49	2.8	4.2	ب - الفولاذية مع OMRF فولاذ.	

حدود الارتفاع للمناطق الزلزالية (4), (3) (m)	Ω_o	R	وصف نظام مقاومة القوى الجانبية	النظم الإنشائية الرئيسية [2]
11 [7]	2.0	2.2	(1) عناصر من الأعمدة الظفرية.	5 – المباني ذات النظم المكونة من أعمدة ظفرية.
49	2.8	5.5	(1) من البيتون [8]	6 - النظم ذات الفعل المتبادل بين الإطار وجدار القص.
-	-	-	انظر ملحق الكود (البندين 3-7-7 و 3-10-2)	7 – النظم غير المعرفة.

N.L ليس له حدود.

(1) راجع المادة (4-5) من ملحق الكود، بشأن تراكيب الجمل الإنشائية.

(2) النظم (الجمل) الإنشائية الرئيسية معرفة في المادة (3-7) من ملحق الكود.

(3) محظورة في المناطق الزلزالية (3) و (4).

(4) وتتضمن البيتون مسبق الصنع المادة (2-8) من ملحق الكود.

(5) محظورة في المناطق الزلزالية (3) و(4)، باستثناء ما هو مسموح به في المادة (2-8) من ملحق الكود.

(6) الإطارات الاعتيادية المقاومة للعزوم في المنطقة الزلزالية (1) تأخذ قيمة (R) مساوية لـ (8).

(7) الارتفاع الكلي للمبنى بما فيه الأعمدة الظفرية.

(8) محظورة في المناطق الزلزالية (2 A)، (2 B)، (2 C)، (3) و(4). راجع البند (7-11-6).

حدد الكود الاشتراطات الخاصة بالإطارات المستخدمة في كل منطقة.

جدول مبسط لتحديد قيمة المعامل R للجمل الإنشائية
الشائعة الاستعمال في الجمهورية العربية السورية
عند إستعمال إطارات عزمية متوسطة محلية

التسلسل	الجملة الإنشائية	المعامل R
١	جملة إطارات متوسطة محلية (أي متوسطة مقاومة للعزوم بمفهوم هذا الملحق من حيث تفصيل فولاذ التسليح والأبعاد الدنيا والتصميم لمقاومة العزوم والتسليح الأدنى ومقاومة قوى القص محسوبة على أساس عامل تخفيض المقاومة ($\Omega = 1$) لطاقتي تحمل المقطعين في أعلى وأسفل العمود للعزوم ومحسوبين بإستعمال إجهاد شد أعظمي = f_y	6.0
٢	جملة ثنائية من جدران قص وإطارات متوسطة مقاومة للعزوم (كما ذكر في ١ أعلاه) تتحمل الإطارات ما لا يقل عن 50% من قوة القص القاعدي.	5.5
٣	جملة ثنائية من جدران قص وإطارات متوسطة مقاومة للعزوم (كما ذكر في ١ أعلاه) تتحمل الإطارات ما لا يقل عن 25% من قوة القص القاعدي.	5.0
٤	جملة جدران قص دون إطارات متوسطة مقاومة للعزوم (كما ذكر في ١ أعلاه)، أو مع وجود إطارات تحقق مفهوم تفصيل حديد التسليح والأبعاد الدنيا، مع إهمال مساهمة الإطارات في مقاومة القوى الزلزالية.	4.5

ملاحظات: ١) يمكن أخذ قيمة للعامل R بالتناسب الخطي للحالات الواقعة بين الحالات المذكورة في الجدول.

٢) عند مساهمة الإطارات المتوسطة المقاومة للعزوم المحلية (المقاومة للعزوم المتوسطة بمفهوم الكود الأساس وهذا الملحق)، فتصمم لقوة متناسبة مع مساهمتها، وتصمم جدران القص لبقية القوة.

يجب أن تصمم المقاطع بحيث لا تقل عن ما ورد في تفصيلات الكود الأساس

الجدول (4-14): جدول مبسط لتحديد قيمة العامل R للجمل الإنشائية العادية الشائعة في سوريا

(إطارات عزمية متوسطة محلية)

جدول مبسط لتحديد قيمة المعامل R للجمل الإنشائية
الشائعة الاستعمال في الجمهورية العربية السورية
عند إستعمال إطارات عزمية خاصة محلية

التسلسل	الجملة الإنشائية	المعامل R
١	جملة إطارات عزمية خاصة محلية (أي خاصة مقاومة للعزوم بمفهوم هذا الملحق من حيث تفصيل فولاذ التسليح والأبعاد الدنيا والتصميم لمقاومة العزوم والتسليح الأدنى ومقاومة قوى القص محسوبة على أساس عامل تخفيض المقاومة ($\Omega = 1$) لطاقتي تحمل المقطعين في أعلى وأسفل العمود للعزوم، ومحسوبين بإستعمال $f_u = 1.25\, f_y$	7.5
٢	جملة ثنائية من جدران قص وإطارات خاصة مقاومة للعزوم (كما ذكر في ١ أعلاه) تتحمل الإطارات ما لا يقل عن 50% من قوة القص القاعدي.	7.0
٣	جملة ثنائية من جدران قص وإطارات خاصة مقاومة للعزوم (كما ذكر في ١ أعلاه) تتحمل الإطارات ما لا يقل عن 25% من قوة القص القاعدي.	6.0
٤	جملة جدران قص دون إطارات خاصة مقاومة للعزوم (كما ذكر في ١ أعلاه)، أو مع وجود إطارات تحقق مفهوم تفصيل حديد التسليح والأبعاد الدنيا، مع إهمال مساهمة الإطارات في مقاومة القوى الزلزالية.	4.5

ملاحظات: ١) يمكن أخذ قيمة للعامل **R** بالتناسب الخطي للحالات الواقعة بين الحالات المذكورة في الجدول.

٢) عند مساهمة الإطارات الخاصة المحلية (المقاومة للعزوم الخاصة بمفهوم هذا الملحق)، فتصمم لقوة متناسبة مع مساهمتها، وتصمم جدران القص لبقية القوة.

يجب أن تصمم المقاطع بحيث لا تقل عن ما ورد في تفصيلات الملحق الثاني للكود الأساس

الجدول (4-14): جدول مبسط لتحديد قيمة العامل R للجمل الإنشائية العادية الشائعة في سوريا (إطارات عزمية خاصة محلية)

المتطلبات	نموذج عدم الانتظام	شكل عدم الانتظام وتعريفه
استخدام التحليل الديناميكي في توزيع القوى الجانبية	(1) الشكل (4-4)	عدم انتظام في الصلابة – الطابق اللين : يكون الطابق ليناً إذا كانت صلابته الجانبية أقل من 70% من صلابة الطابق الذي يعلوه أو أقل من 80% من متوسط الصلابات للطوابق الثلاثة التي تعلوه.
استخدام التحليل الديناميكي في توزيع القوى الجانبية	(2) الشكل (4-5)	عدم انتظام في الوزن (الكتلة) : يعتبر عدم الانتظام هذا موجوداً عندما تكون الكتلة الفعالة لأي طابق أكبر من 150% من الكتلة الفعالة لطابق مجاور. وعندما يكون السقف الأخير أخف وزناً من الطابق الذي تحته، فعدم الانتظام هذا لا يؤخذ بالحسبان.
استخدام التحليل الديناميكي في توزيع القوى الجانبية	(3) الشكل (4-6)	عدم انتظام هندسي في الاتجاه الشاقولي : يلزم اخذ عدم الانتظام هذا في الحسبان عندما يكون البعد الأفقي للنظام الإنشائي المقاوم للقوى الجانبية في أي طابق تزيد على 130% للبعد الأفقي للطابق المجاور، ولا داعي لأخذ الملحق المتراجع ذي الطابق الواحد في هذا التعريف.
استخدام تراكب خاص للحمولات الزلزالية أسفل الانقطاع	(4) الشكل (4-7)	انقطاع في المستوي في العناصر الشاقولية المقاومة للقوى الجانبية. وهو انزياح في المستوي لعنصر ما من عناصر مقاومة القوى الجانبية (في طابق أو أكثر) يفوق طول هذا العنصر (مقاساً في المستوي الأفقي).
تكبير الحمولات الزلزالية الواقعة أسفل الانقطاع	(5) الشكل (4-8)	انقطاع في الاستطاعة – الطابق الضعيف : الطابق الضعيف هو طابق مقاومته أقل من 80% من مقاومة الطابق الذي يعلوه. إن مقاومة الطابق هي مجموع مساهمات العناصر المقاومة للزلازل على القص لهذا الدور وذلك بالاتجاه المدروس، وتحسب مساهمة كل عنصر من طاقة تحمل العنصر للعزم بأعلى وبأسفل الطابق.

الجدول (4-15):عدم الانتظام الإنشائي في المسقط الشاقولي

المتطلبات	نموذج عدم الانتظام	شكل عدم الانتظام وتعريفه
تكبير قوى الفتل بعامل تضخيم $A_x \leq 3.0$	(1) الشكل (4-9)	عدم انتظام الفتل، ويؤخذ بالحسبان عندما تكون الديافرامات غير لينة. يعد عدم الانتظام هذا موجوداً عندما تكون الإزاحات العظمى للطابق، محسوبةً بعد أخذ الفتل الطارئ، عند نهاية واحدة للمنشأة وبشكل متعامد مع محور ما، تزيد على (1.2) مرة متوسط إزاحتي (الحركة النسبية) نهايتي الطابق في المنشأة.
تزويد الديافرامات بعناصر إنشائية تقاوم الأفعال المتناوبة (ضاغط سحب)	(2) الشكل (4-10)	الزوايا الداخلية: ((Re - entrant Corners)) يقال عن المسقط الأفقي لمنشأة (بما فيها جملة مقاومة القوى الجانبية) أنه يحتوي على زوايا داخلية ، عندما يكون بروز المنشأة بعد الزاوية الداخلية أكبر من 15% من البعد الكلي لمسقط المنشأة بالاتجاه المدروس.
التزويد بعناصر إنشائية تنقل القوى إلى الديافرامات والجمل الإنشائية، مع تقوية الأطراف	(3) الشكل (4-11)	الانقطاع في الديافرام: الديافرامات الحاوية على انقطاعات مفاجئة أو تغيرات في الصلابة، بما فيها تلك الحاوية على مساحات مقطوعة أو مفتوحة أكبر من 50% من المساحة الكلية المجملة للديافرام أو هناك تغيرات في الصلابة الفعالة للديافرام تزيد على 50% من طابق لآخر.
استخدام تراكب خاص للحمولات الزلزالية	(4) الشكل (4-12)	تغيرات مفاجئة خارج المستوي: وتشمل الانقطاعات في مسار القوة الجانبية، مثل التغيرات المفاجئة للعناصر الشاقولية خارج مستواها. (مثال جدار قص انتقل في الطابق الأعلى إلى موقع آخر مواز في غير مستويه).
التصميم من أجل التأثيرات المتعامدة	(5) الشكل (4-13)	الجمل غير المتوازية: عندما تكون العناصر الشاقولية المقاومة للحمولات الجانبية غير موازية للمحاور المتعامدة الرئيسية لنظام مقاومة القوى الجانبية أو غير متناظرة حول هذه المحاور.

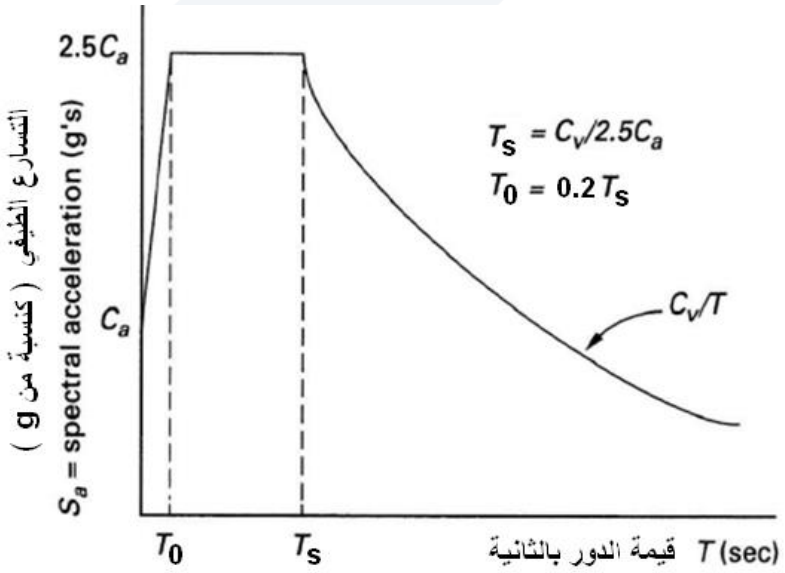
الجدول (4-16):عدم الانتظام الإنشائي في المسقط الأفقي

4-3-3- طرائق التحليل الديناميكي:

4-3-3-1- إعداد أطياف الاستجابة:

تمثل حركة التربة كحد أدنى بقيم حركة من الممكن تجاوزها باحتمال قدره 10% خلال 50 سنة، ولا تخفض هذه الحركة بالعامل R . ووفقاً للكود السوري يكون هذا التمثيل واحداً مما يلي:

1- طيف استجابة تصميمي مرن متوافق مع خصوصية الموقع (الشكل 4-14)، باستعمال القيمتين C_a و C_v ، ويجب أن تضرب تراتيب التسارع التصميمية بتسارع الجاذبية البالغ $\left(9.815m/\sec^2\right)$.



الشكل (4-14): طيف استجابة تصميمي مرن

2- طيف استجابة تصميمي مرن خاص بالموقع المدروس، ويستند إلى جملة المعلومات والخصائص الجيولوجية والتكتونية والزلزالية وخواص تربة الموقع (استعمال نسبة تخامد مناسبة، عادة $\xi = 5\%$).

3- ويمكن أن ينشأ طيف استجابة تصميمي، وذلك اعتماداً على التسجيلات الزمنية لحركات أرضية مسجلة لموقع ما، كما مر معنا في فصل سابق.

ويمكن تحديد المركبة الشاقولية لحركة الأرض بأخذها مساوية لثلثي (2/3) التسارعات الأفقية المرافقة، وعندما يكون الموقع المدروس قريباً من منطقة الفالق النشيط فإنه يجب تصميم طيف استجابة شاقولي خاص بالموقع بدلاً من اعتماد الطيف المصغر بـ (2/3) .

وفي حال المنشآت القائمة على تربة ضعيفة جداً والقابلة للانهيار و التميع، لها نموذج مقطع شاقولي S_F (انظر الجدول 3-3)، يجب تطبيق جملة من الشروط عند تصميم الطيف وتمثيل الحركة، خاصة الأخذ بالحسبان للفعل المتبادل بين التربة والمنشأ وكذلك إطالة الدور الأساسي للمبنى الناتج عن السلوك اللامرن.

أخيراً وعند التصميم، يفضل الاعتماد على دراسات زلزالية مفصلة للموقع (الخارطة الزلزالية للموقع المدروس)، وإذا لم تتوفر المعطيات الدقيقة يمكن اعتماد القيم الواردة في الخارطة الزلزالية السورية المعتمدة من قبل الكود السوري، أو القيم الواردة في جدول الملحق هـ، بحيث يتم التصميم لتسارع أرضي لا يقل عن 0.15g .

4-3-3-2- التحليل باستعمال طيف الاستجابة:

هو التحليل الديناميكي المرن للمنشأة باستعمال قيم الاستجابة الديناميكية العظمى لكافة الأنماط التي لها مساهمة هامة على الاستجابة الإنشائية الكلية. ويتم حساب القيم العظمى لاستجابات الأنماط باستعمال التراتيب لمنحني طيف الاستجابة المناسب والتي تقابل الفترات المقابلة للأنماط. يتم تجميع مساهمات الأنماط العظمى وفق إحدى التراكيب الإحصائية للحصول على استجابة إنشائية تقريبية كليَّة.

يجب التحقق من الشرط المتمثل بأن كافة الأنماط الهامة مأخوذة بالحسبان، بإثبات أنه للأنماط المعتمدة فان 90% على الأقل من الكتل المساهمة (الفعالة) في المنشأة قد أخذت في حساب الاستجابة لكل اتجاه أفقي رئيسي.

هذا ويجب تجميع القوى العظمى في العناصر، الإزاحات، القوى الطابقية، قوى القص الطابقية، ردود الأفعال عند القاعدة والناشئة عن كل نمط، بطرائق إحصائية معلومة.

وعند استعمال النماذج ثلاثية الأبعاد في التحليل، يجب الأخذ بالحسبان التأثيرات المتبادلة للأنماط وذلك عند تركيب القيم الأعظمية لهذه الأنماط.

هذا ويجب أن تأخذ طريقة التحليل المستعملة تأثير الفتل بما فيها تأثيرات الفتل الطارئ. وفي حال استعمال النماذج ثلاثية الأبعاد في التحليل، فإن تأثيرات عزم الفتل الطارئ، يجب أن تؤخذ عن طريق ضبط مناسب للنموذج الرياضي، مثل ضبط مواقع مراكز الكتل (إزاحتها مثلاً)، أو عن طريق إجراءات الطريقة الستاتيكية المكافئة.

أخيراً، نشير إلى أنه يمكن تخفيض نواتج الاستجابة المرنة بغرض التصميم وفق ما يرد في فقرة لاحقة، على أنه لا يجوز تحت أي ظرف من الظروف أن تخفض نواتج الاستجابة المرنة بحيث تصبح قيمة قوة القص القاعدي التصميمي الناتجة عنها أقل من قوة القص القاعدي الناتج عن الاستجابة المرنة مقسوماً على القيمة (R).

4-3-3-3- التحليل باستعمال السجلات الزمنية:

السجلات الزمنية (التاريخ الزمني):

هو تحليل للاستجابة الديناميكية للمنشأة عند كل زيادة في الزمن وذلك عندما تخضع قاعدة المنشأة إلى حركة محددة للأرض لها تاريخ زمني (السجلات الزلزالية).

يتم تنفيذ التحليل باستعمال التاريخ الزمني لأزواج من المركبات المناسبة للتأريخ الزمني لحركة الأرض الأفقية التي يتم انتقاؤها وضبطها مما لا يقل عن ثلاثة أحداث زلزالية مسجلة. تكون التواريخ الزمنية الملائمة لهذا التحليل لها مقادير هزات ومسافات عن الصدع الجيولوجي وميكانيزمات مصادر زلزالية تنسجم مع تلك التي تحكم الهزة الأساسية التصميمية (أو الزلزال الأعظمي التصميمي).

وفي حال عدم توفر أزواج التواريخ الزمنية الثلاثة المناسبة لحركة الأرض والمسجَّلة زلزالياً، يمكن استعمال أزواج ممثلة صناعياً (منمذجة)، ومناسبة للتواريخ الزمنية لحركة الأرض لإيجاد وتركيب العدد الكلي المطلوب.

لكل زوج من مركبات الحركة الأفقية للأرض يتم إنشاء العلاقة الممثلة للجذر التربيعي لمجموع المربعات $(SRSS)$ المقابلة للطيف الذاتي للموقع المطوّر المقابل لتخامد (5%)، وذلك للمركبات الأفقية المعايرة. يجب أن تعاير الحركات بحيث لا تقل القيمة الوسطية للجذر التربيعي لمجموع المربعات $(SRSS)$ عن (1.4) مرة من الطيف المطور بتخامد (5%) للزلزال الأساسي التصميمي، و ذلك للفترات التي تتراوح بين (0.2T) ثانية و(1.5T) ثانية. يجب تطبيق كل زوج من التواريخ الزمنية بشكل متزامن على النموذج الرياضي للمنشأة، مع الأخذ بالحسبان تأثيرات الفتل.

ويتم لكل تحليل للمنشأة بالتاريخ الزمني حساب كل ناتج (بارامتر) له أهمية. وإذا تم تحليل المنشأة لثلاثة تواريخ زمنية، فإن الاستجابة العظمى لكل ناتج موضوع الاهتمام يجب استعمالها في التصميم . وإذا تم تحليل المنشأة باستعمال ما لا يقل عن سبعة تواريخ زمنية فيمكن أن يؤخذ في التصميم القيمة الوسطية لناتج الاستجابة موضوع الاهتمام.

التحليل المرن باستعمال السجل الزمني:

يجب أن يتطابق هذا التحليل مع محتوى التحليل العائد لطيف الاستجابة من حيث تمثيل حركة الأرض، وعدد الأنماط، وإمكانية تخفيض قيم مكونات الاستجابة المرنة ومعايرتها، وتأثير الاتجاه، وموضوع الفتل.

يجب أن تسمى نواتج (بارامترات) الاستجابة من التحليل المرن للسجل الزمني على أنها البارامترات (النواتج) المرنة للاستجابة. علماً أن كافة العناصر يجب أن تصمم باستعمال طريقة حالة حد المقاومة.

التحليل اللاخطي للسجل الزمني:

(أ) السجل الزمني اللاخطي:

يجب أن يحقق التحليل باستعمال التاريخ الزمني اللاخطي شروط المادة (11/3) من ملحق الكود /2/ الخاصة بالاجراءات البديلة، حيث يمكن استعمال جمل العزل الزلزالي ومبددات الطاقة وجمل التخميد في تصميم بعض المنشآت الخاصة لمقاومة الزلازل وذلك بالاعتماد على إحدى الكودات العالمية المتخصصة في هذا المجال. وأما السجلات الزمنية فيجب أن تتطور وتحدد قيمها وفق ما ورد في فقرة السجلات الزمنية المذكورة أعلاه.

ويجب نمذجة قدرات وخواص العناصر اللاخطية بشكل ينسجم مع معطيات الاختبارات أو باستعمال التحليل الأساسي مع الأخذ بالحسبان عامل الأهمية. ويجب عدم تخفيض الانتقال الناتج عن الاستجابة اللامرنة الأعظمية وعلى أن يتوافق مع حدود الإزاحة الطابقية.

(ب) مراجعة (تدقيق) التصميم (توصيات الكود السوري):

عند استعمال التحليل اللاخطي للمنشأة باستعمال التاريخ الزمني لتحقيق التصميم الإنشائي، فإنه يجب إجراء مراجعة تصميمية لنظام مقاومة القوى الجانبية (الأفقية) من قبل فريق هندسي مستقل، يشمل أشخاصاً مجازين في الاختصاصات المناسبة (مهندسان إنشائيان ومهندس جيوتكنيك ومهندس جيولوجي) ويمتلكون الخبرة في طرائق التحليل الزلزالي.

تتضمن مراجعة تصميم نظام مقاومة القوى الجانبية (الأفقية)، على سبيل المثال لا الحصر، ما يلي:

1) مراجعة إنشاء الأطياف المميزة للموقع المدروس والتواريخ الزمنية لحركة الأرض.

2) مراجعة التصميم الأولي لنظام مقاومة القوى الجانبية (الأفقية).

3) مراجعة التصميم النهائي لنظام مقاومة القوى الجانبية (الأفقية) و كافة التحاليل المساعدة.

أخيراً، يجب على المهندس المسؤول إحالة كافة المساقط الأفقية والحسابات مع تقرير لكافة العناصر الخاضعة للدراسة من قبل الجهة الهندسية، يؤكد فيها أن كافة المراجعات السابقة قد تم إنجازها.

4-3-3-4- متطلبات النمذجة – تراكب الحمولات:

يجب أن يتضمن النموذج الرياضي الممثل للمنشأة الفيزيائية كافة العناصر المساهمة بنظام مقاومة القوى الجانبية. كما يجب أن يتضمن النموذج صلابة ومقاومة العناصر المؤثرة في توزيع القوى، كما يلزم أن يمثل هذا النموذج التوزيع الأساسي للكتل والصلابات في المنشأة. وبالإضافة لذلك يجب أن يتوافق النموذج مع مايلي :

أ- عند تحديد خصائص الصلابة للعناصر البيتونية المسلحة أو الجدران الحجرية، يجب أن يؤخذ بالحسبان تأثيرات المقاطع المتشققة. ويمكن أن يؤخذ ذلك بتخفيض عزوم عطالة المقاطع بمقدار يصل الى حوالي 60% حسب مقدار اللامركزية الكبيرة التي تتعرض لها هذه المقاطع، علماً أن حالة عزم الانعطاف البسيط تمثل حالة خاصة من اللامركزية الكبيرة (لانهائية).

ب- في نظم الإطارات الإنشائية المعدنية المقاومة للعزوم، يجب الأخذ بالحسبان مساهمة تشوهات صفائح موضعية (Panel Zone) في حساب إزاحة الطابق الكلية .

وبعد التحقق من صحة النموذج التحليلي باختيار العناصر الإنشائية العاملة وتمثيلها بعناصر خطية أو عناصر محددة مستوية واستقراره، يجب انجاز ما يلي:

- التحقق من خواص المواد لعناصر البناء مع ضرورة تخفيض عطالة العناصر المعرضة لعزوم انعطاف أو للامركزية كبيرة، وذلك من أجل الجوائز وكذلك لبعض الأعمدة وجدران القص .
- التحقق من وضع التراكيب:
  - للحمولات الشاقولية.
  - للحمولات الشاقولية مع تاثير الزلازل (أو الرياح) وملاحظة أن لكل طريقة ستاتيكية عوامل تصعيد خاصة.
  - التأكد من إدخال تأثير المركبه الشاقولية للزلازل في حال اعتماد الطريقة الستاتيكية الثانية أو الديناميكية.
- التحقق من ضرورة أخذ تأثيرات الزلازل في اتجاهين معاً أو الاكتفاء في اتجاه واحد حسب نوع البناء ومقدار عدم الانتظام فيه.
- التحقق من نتائج التحليل الزلزالي وتصميم المقاطع لأحرج الوضعيات (أسوأ حالات التحميل).
- يتم إجراء تراكيب عوامل الاستجابة (القوى - العزوم - القص - الانتقالات .....) باستعمال طريقة SRSS للمكونات في الاتجاهات الثلاثة أو باستعمال الطريقة المطورة للتجميع الكامل CQC3 لحالة التأثيرات الزلزالية في اتجاه ثلاثة محاور (أفقيان وشاقولي).
- يتم إنشاء منحني طيف الاستجابة النموذجي للموقع حسب المنطقة الزلزالية ونوع التربة. ويجب مقارنة القوة الناجمة عن هذه الحالة الديناميكية، مع ما تعطيه الطريقة الستاتيكية الثانية للكود، مع أخذ عامل الأهمية بالحسبان، لتتم المعايرة النهائية والوصول إلى مكونات الاستجابة المرنة بغرض التصميم، وذلك على النحو التالي:

- يتم أخذ القص القاعدي الديناميكي مساوياً $(90\ \%)$ من القوة الستاتيكية المقابلة للقص القاعدي المحدد وفق الطريقة الستاتيكية الثانية (منشآت منتظمة)، وذلك عندما يستعمل طيف استجابة مرن خاص، قائم على استعمال القيمتين $(C_a \,\&\, C_v)$ المتوافقتين مع خصوصية الموقع، على أن تضرب تراتيب التسارع بتسارع الجاذبية الأرضية $\left(g = 9.815 m/\sec^2\right)$.
- يتم أخذ القص القاعدي الديناميكي مساوياً $(80\ \%)$ من القوة الستاتيكية المقابلة للقص القاعدي المحدد وفق الطريقة الستاتيكية الثانية (منشآت منتظمة)، وذلك عندما يستعمل طيف استجابة مرن خاص، قائم على معطيات جيولوجية وتكتونيكية وزلزالية وخواص تربة الموقع، مع نسبة تخامد تساوي (5%).
- المنشآت غير المنتظمة كافة، وبغض النظر عن طريقة تمثيل حركة الأرض، يمكن تخفيض مكونات الاستجابة المرنة على ألا تقل قوة القص القاعدية الديناميكية المرتبطة بذلك عن $(100\ \%)$ من القوة الستاتيكية المقابلة للقص القاعدي المحدد وفق الطريقة الستاتيكية الثانية، ومن ذلك نحسب نسبة المعايرة للقوة الزلزالية الديناميكية.
- وفي الأحوال كافة يجب ألا تقل قوة القص النهائية التصميمة عن القص القاعدي الناجم عن الاستجابة المرنة مقسومة على العامل (R).

4-3-4- ملخص مهم:

يوضح الجدول (4-17) ملخص للعوامل المؤثرة وطريقة التعامل معها عند اعتماد الطريق الستاتيكية المكافئة والطرائق الديناميكية.

العامل	الطريقة الستاتيكية المكافئة الأساسية والطريقة الديناميكية
W	في الأبنية: الحمولات الميتة فقط في المستودعات وما يماثلها: الحمولات الميتة + ربع الحمولات الحية
V	المحسوبة هي حمل في حالة الحد الأقصى (أي مصعد مباشرة)
E	أي تأثير من الزلازل (قوة،عزم،...الخ) تحسب من V لحالة الحد الأقصى
تراكيب الحمولات	1.4D+1.7L 1.32D+1.1E+1.1(f_1L+f_2S) 0.99D±1.1E
اللامركزية الطارئة	تزاح مراكز الكتلة بنسبة (±0.05) (مع تكبيرها وفق الحساب) من بعد مسقط المبنى بالاتجاه المتعامد مع اتجاه القوة المدروسة دائما، بغض النظر عن قيمة اللامركزية بين مركز الكتلة ومركز الصلابة.

الجدول (4-17): مقارنة بين طرائق حساب القوى الزلزالية التصميمية الدنيا (الكود السوري)

4-4- الاستغناء عن التحليل الزلزالي (الكود السوري)

في حال تنفيذ الإطارات، بحيث تحقق الاحتياطات والاشتراطات المطلوبة في طرائق الإنشاء والتسليح التي سنوردها لاحقاً، يمكن الاستغناء عن حساب حمولات الزلازل وكل ما يتعلق به من توزيع هذه الحمولات و تحقيق الانقلاب وغيرها، عند

استخدام إطارات مقاومة للزلازل في المباني العادية المصبوبة في المكان (التباعد بين الأعمدة لا يتجاوز 6 متر بالاتجاهين) وذات الجمل الإنشائية شبه المتناظرة والمنتظمة (مركز الصلابة لا يبعد عن مركز الكتل بأكثر من 0.1 بعد المبنى في الاتجاه المتعامد لتأثير الزلزال المدروس)، وذلك في الحالات التالية:

1. في المنطقة الزلزالية (1) شريطة ألا يزيد ارتفاعه الكلي من منسوب السطح العلوي للأساس على 20m . أما في المنطقة الزلزالية (0) تعفى دوماً من الحساب، ويبقى تطبيق الاحتياطات والاشتراطات إلزامياً.
2. في المناطق الزلزالية (2A,2B&2C) شريطة ألا يزيد ارتفاع البناء الكلي من منسوب السطح العلوي للأساس على 8.5m في حال عدم استعمال جدران قص بالاتجاهين، و على 15m في حال استعمال جدران قص بالاتجاهين، بحيث يتم استعمال جداري قص على الأقل في كل اتجاه، متناظرين قدر الإمكان، وبأطوال لا تقل عن الحد الأدنى المبين في الجدول (4-18).

الارتفاع H من ظهر الأساسات حتى منسوب السقف الأخير	الطول (العمق) للمقطع الأفقي لجدار القص
حتى 10m	H/4
أكبر من 10m وحتى 20m	H/5.5
أكبر من 20m وحتى 30m	H/7
أكبر من 30m وحتى 50m	H/8.5
أكبر من 50m	H/10

الجدول (4-18): الحدود الدنيا لأطوال جدران القص (الاستغناء عن التحليل الزلزالي)

وفي جميع الحالات السابقة يجب ألا تزيد نسبة ارتفاع البناء إلى أدنى بعد في مسقطه عن (2.5) ، وذلك للاستغناء عن الحسابات الزلزالية.

وتحسب الارتفاعات على الشكل التالي:

1. في حال كون القبو طابقا عاديا لا يحتوي على جدران استنادية محيطية، أو في حال عدم وجود قبو تحسب الارتفاعات ابتداء من المنسوب العلوي للشيناج المرتبط بالأساسات.
2. في حال كون القبو يحتوي على جدران استنادية (محيطية ومستمرة ومرتبطة مع الأعمدة في القبو) ولا يتخللها فاص (تمدد أو هبوط) من البيتون المسلح وعلى جدران قص مستمرة حتى الأساسات، ومع وجود شيناجات رابطة للأساسات بالاتجاهين تحسب الارتفاعات ابتداء من المنسوب العلوي لسقف القبو.

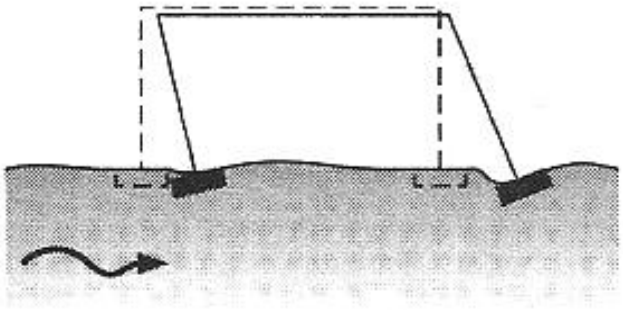
4-5- ربط الأساسات المنفردة بالشيناجات (الشيناجات الزلزالية)

تنتقل الأفعال الزلزالية عبر التربة إلى المنشأ عن طريق الأساسات، بالتالي يجب مراعاة مجموعة من المتطلبات الضرورية أثناء تصميم هذه الأساسات لكي نضمن لها سلوكاً جيداً ومقاوماً للزلازل:

1. توافق التصميم مع خواص تربة التأسيس ونوع المنشأ.
2. أن يكون نظام التأسيس متجانساً: نمط أساسات واحد لكل منشأ أو لكل كتلة منفصلة من المنشأ (فاصل زلزالي).
3. تأمين نظام تكتيف أو تربيط مناسب عند منسوب التأسيس لضمان سلوك موافق للنموذج المستخدم في التحليل الإنشائي (انتقال أساسات ثابت باتجاه ما طولاني أو عرضاني)، باعتبار أن غياب مثل هذا التربيط يجعل نقاط استناد المنشأ خاضعة لانتقالات تفاضلية وهذا ما يخالف فلسفة تصميم و تحليل الأبنية (الشكل 4-15).

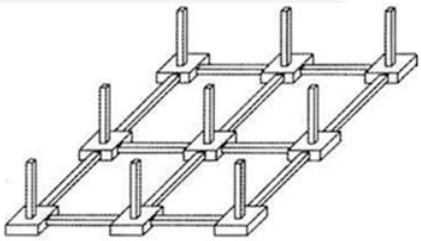
تسمى عناصر تربيط نقاط الاستناد (Foundation Beams or Tie Beams)، بالشيناجات الرابطة وأحياناً بالشيناجات الزلزالية، وهي تلعب دورين أساسين:

- نقل القوى الأفقية إلى الأساسات و توزيعها بين نقاط الاستناد.
- ضمان انتقال نسبي واحد لكافة نقاط الاستناد في المستوى الأفقي، الناجم عن حركة التربة .

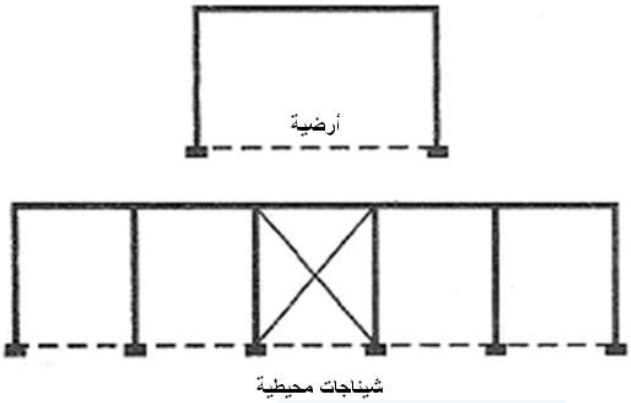


الشكل (4-15): انتقالات أفقية مختلفة لنقاط الاستناد (ضرورة الربط بشيناجات أفقية)

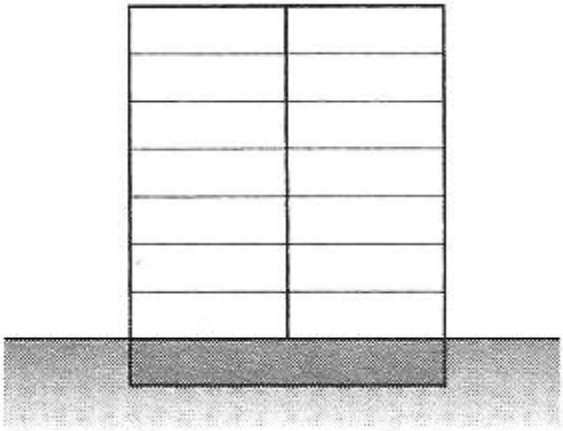
ويمكن ضمان آلية العمل هذه بتنفيذ شبكة ثنائية الاتجاه من الشيناجات الرابطة الأفقية، أو باستخدام جملة مكافئة كالبلاطات والحصائر العامة أو بتنفيذ طابق قبو عالي الصلابة أو اعتماد نظام التأسيس الذي يعتمد مبدأ الكيسونات (الأشكال من 4-16 حتى 4-18).



الشكل (4-16): ربط نقاط الاستناد بشبكة من الشيناجات الأفقية



الشكل (4-17): ربط نقاط الاستناد بجملة مكافئة من الأرضيات أو الشيناجات المحيطة



الشكل (4-18): ربط نقاط الاستناد بحصيرة عامة (ربط فعال)

نشير إلى أن الكودات العالمية كافة تلزم استخدام هذه الآلية في حالة الأساسات العميقة، و تعفي الأساسات السطحية شريطة إدخال تأثير الانتقالات التفاضلية بالحسبان عند التحليل والتصميم، هذا وفي حالة الأساسات المحفورة في ترب صخرية غير متشققة فإنها تعفى من كل إجراء احتياطي خاص .

عند احتواء المنشأ على كتل منفصلة عن بعضها بعضاً بفواصل تمدد ولها نظام تأسيس متماثل و ترب تأسيس متماثلة الخواص، فإنه ينصح بإلغاء هذه الفواصل عند مستوى التأسيس، على أن يحقق الفاصل السماكة المطلوبة للفاصل الزلزالي.

بالتالي في حال الترب الضعيفة أو متوسطة القوام وعندما نعتمد نظام تأسيس مؤلف من أساسات منفردة بحيث لا نأخذ بالحسبان تأثير الانتقالات التفاضلية فإنه يجب تزويد المنشأ بجملة من الشيناجات الرابطة (الزلزالية) يتم حسابها على أنها عناصر تعمل على تحمل قوى شد و ضغط بسيطين، مطبقة عند مستوى مركز ثقل الأساسات السطحية، و عند مستوى الاتصال مع المنشأ في حالة الأساسات العميقة.

ونبين فيم يلي أهم الملاحظات والاشتراطات حول هذا الموضوع (انظر الأشكال من 4-19 حتى 4-24):

1. يمكن الاستغناء عن الشيناجات الرابطة (الزلزالية) إذا كانت تربة التأسيس قاسية أو صخرية وكان الأساس المنفرد منفذاً ضمنها أو عند وجود جدران مسلحة استنادية محيطة بالبناء.
2. عند استخدام الأساسات المنفردة في المباني (التربة غير صخرية) يتوجب إن أمكن ربطها بشيناجات تحقق شرط جائز التقويم في الأساسات الطرفية وتسليحها بتسليح ملائم (كود سوري).
3. في كل الأحوال يجب تنفيذ جملة الشيناجات الرابطة (الزلزالية) بحيث لا يزيد طول الرقبة أو العمود عن ثلاثة أمتار في البناء السكني.
4. عندما نعرف منسوب التأسيس جيداً فإنه بالإمكان معرفة منسوب أرضية الطابق الأرضي بالتالي معرفة وجود رقبات (أعمدة قصيرة) أم لا. في هذه الحالة يتوجب على المهندس المصمم نمذجة هذه العناصر وإدخالها في نموذج التحليل الإنشائي النهائي وتحديد كافة القوى الداخلية المطبقة من انعطاف وشد وضغط وقص وفتل ، ومن ثم تصميمها بالشكل الأمثل. وفي هذه الحالة تربط الأساسات المنفردة بشبكة الشيناجات الرابطة (الزلزالية) التي تحسب وفق الكود السوري (شد أو ضغط بسيط): (10%) من حمولة أكبر عمود مرتبط بالشيناج.
5. يفضل أن يكون منسوب أسفل الشيناجات هو منسوب السطح العلوي للأساسات ذاتها ويفضل ترك تشاريك على سطح الأساسات لتأمين الربط الكافي بين الشيناجات و الأساسات و يمكن تخفيض منسوب أسفل الشيناجات لتأمين الربط الكافي بين الشيناجات و الأساسات و يمكن تخفيض منسوب أسفل الشيناجات بحيث يكون أعلى بقليل من السطح السفلي للأساسات المسلحة (10- 15 سم) و هذا يؤمن أفضل ربط للأساسات. ويمكن أخذ منسوب أسفل الشيناجات عند منسوب السطح السفلي للأساسات، وفي هذه الحالة

تعمل الشيناجات كأجزاء رابطة بين أساسات مشتركة إذ ينتج تحتها إجهادات من رد فعل التربة يتوجب أخذها بالحسبان عند تصميمها (الكود السوري).

6. عندما لا نعرف بدقة منسوب التأسيس قبل التحليل و التصميم (حالة شائعة في سوريا)، يعمل المهندس المصمم على دراسة نموذج موثوق عند مستوى الأساسات الذي يتوضع غالباً عند أرضية الطابق الأرضي، وفي هذه الحالة يتوجب مراعاة مجموعة من النقاط الهامة أثناء التنفيذ التي تأخذ بعين الاعتبار سلوك الأعمدة القصيرة (الرقبات) أو تموضع الشيناجات العادية أو الرابطة. ونشير إلى أن معظم الكودات العالمية ومنها الكود السوري ركزت على هذه الأمور مستفيدة من نتائج الأبحاث الزلزالية العالمية ومن الدروس المستقاة من سلوك المنشآت المعرضة فعلياً لزلازل بشدات مختلفة (امتحان حقيقي)، وإن الهدف الرئيس من هذه الأمور والإجراءات الاحتياطية هو زيادة الكفاءة الإنشائية وتحسين سلوك واستجابة هذه العناصر الحرجة غير المدروسة أصلاً في النموذج على تحمل الأفعال الزلزالية. وفي كل الأحوال يجب ربط الأساسات المنفردة في الترب الضعيفة بشبكة من الشيناجات الرابطة التي تحسب وفق الكود المعتمد (شد أو ضغط بسيط). ونبين فيما يلي أهم هذه الإجراءات والاشتراطات المطلوب تنفيذها لضمان السلامة الإنشائية:

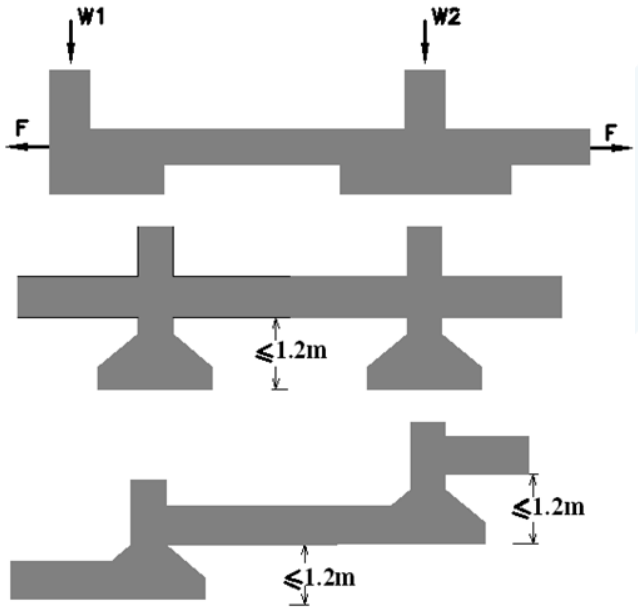
- تسمح بعض الكودات العالمية (الفرنسي مثلاً) أن تحل محل الشيناجات الرابطة جملة من الشيناجات الأرضية الواقعة على ارتفاع لا يزيد عن 1.2 م عن الوجه السفلي للأساسات المنفردة، ويمكن اعتماد هذه الطريقة في حالة الأساسات الواقعة في منحدر، وهذا الاجراء يؤمن تنفيذ التمديدات الصحية للمباني. وفي هذه الحالات يتوجب تحقيق الرقبات المتشكلة على القص واتخاذ الإجراءات المطلوبة (أعمدة قصيرة).
- عندما يطلب من الشيناجات حمل قواطع بلوك، وعندما تكون المسافة بين الشيناجات والأرضية قليلة فيمكن تنزيل قواطع البلوك حتى منسوب الشيناجات، وفي هذه الحالة يجب تدقيق الرقبات المتشكلة على القص واتخاذ الإجراءات المطلوبة، أو نعمل على تكبير ارتفاع الشيناجات وبالتالي تحسب هذه الشيناجات على الشد أو الضغط اللامركزي.
- أما إذا كانت المسافة كبيرة نسبياً (قريبة من ارتفاع الطابق 70%) فيمكن وضع شيناجات عند منسوب أسفل الأرضية لحمل القواطع إضافة للشيناجات الرابطة بين الأساسات، وفي هذه الحالة ليس من الضروري التحقق من هذه الرقبات على القص.
- يمكننا اعتماد الطريقة المبينة في الكود السوري، بهدف معالجة الرقبات وتقويتها على النحو التالي:
  - يزاد التسليح الطولي للرقبة بحيث تصبح نسبته لا تقل عن (1.2 %) ، وتوزع على المحيط.

- يحسب العزم الأقصى المقاوم على الانعطاف الذي يتحمله مقطع رقبة العمود (M_u) في اتجاه قوة الزلزال المطبقة (وبإهمال القوى الضاغطة المؤثرة).
- يصمم التسليح العرضي للمقطع في هذا الاتجاه لمقاومة الجهد القاطع الأقصى بقيمة لا تقل عما يلي:

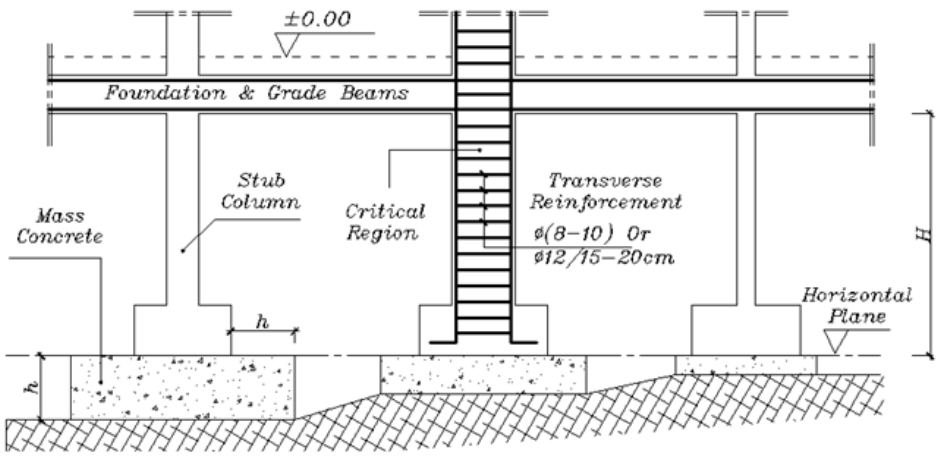
$$V_u = \frac{2M_u}{H}$$

حيث: H الارتفاع الصافي للرقبة.

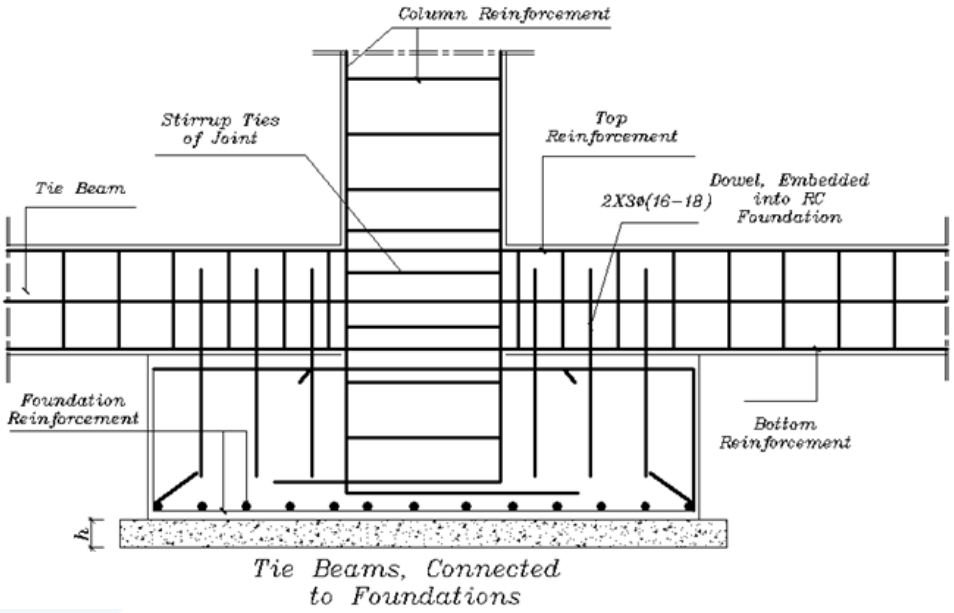
- يلزم حساب التسليح العرضي لمقاومة الجهد القاطع الأقصى الذي يحسب من أجل الاتجاه الثاني.



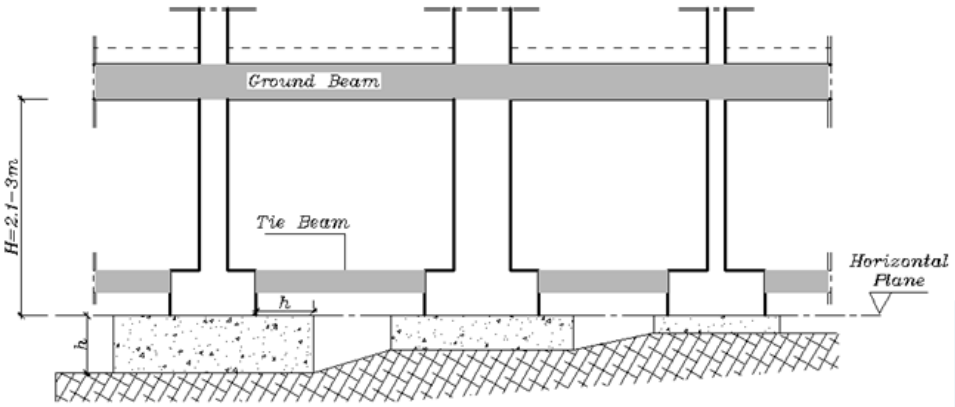
الشكل (4-19): توضع الشيناجات



الشكل (4-20): توضع الشيناجات – حالة $(H \leq 1.2m)$

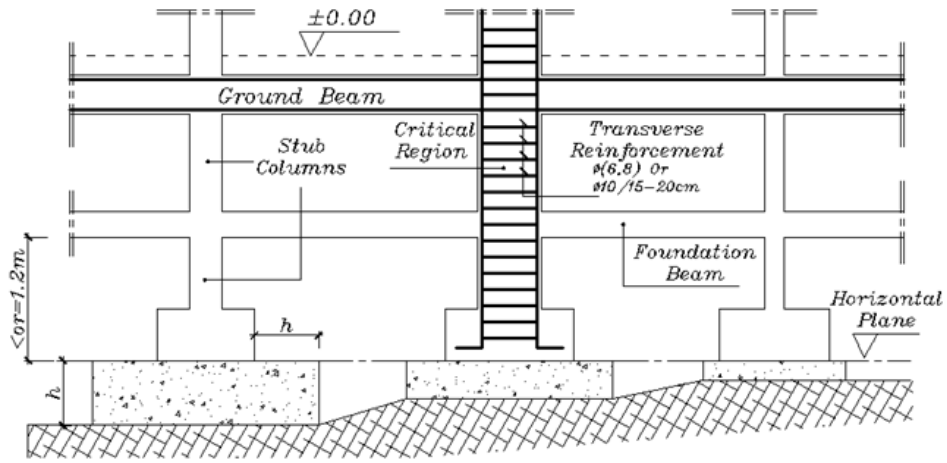


الشكل (4-21): ربط الشيناجات بالأساس المنفرد (تشاريك قص)



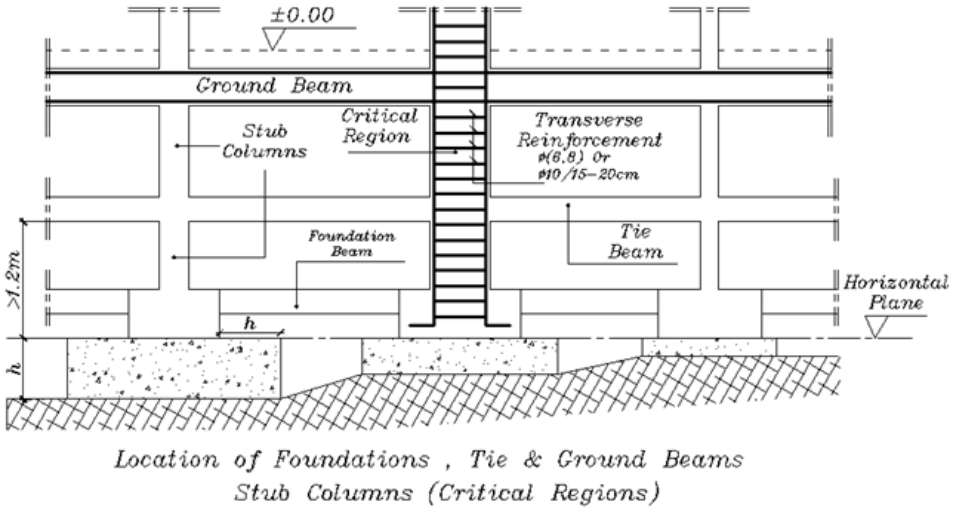
Location of Foundations , Tie & Ground Beams
(H=2.1-3m)

الشكل (4-22): توضع الشيناجات – حالة $(H = 2.1 \rightarrow 3m)$



Location of Foundations , Tie & Ground Beams
Stub Columns (Critical Regions)

الشكل (4-23): توضع الشيناجات (مستويين) – حالة $(H \leq 1.2m)$



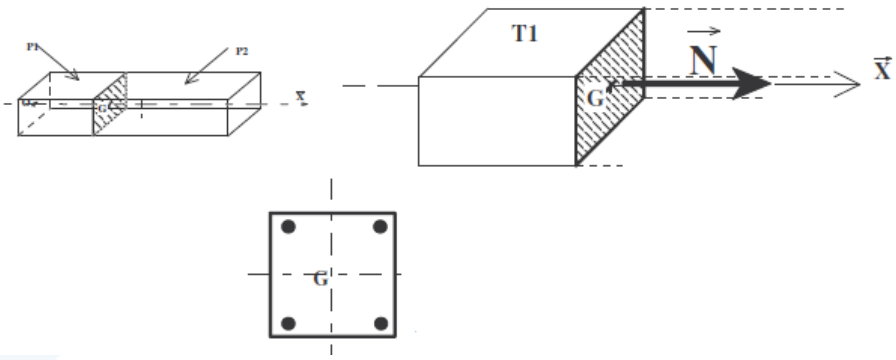
الشكل (4-24): توضع الشيناجات (3 مستويات) – حالة $(H > 1.2m)$

4-6- الشدادات من البيتون المسلح (حالة الحد من التشقق المعيب)

4-6-1- الشد البسيط:

أ- تمهيد:

نقول عن عنصر أنه خاضع للشد البسيط عندما تكون قوة الشد الخارجية موازية لمولد المقطع، ومارة من مركز ثقله (تطابق بين مركز ثقل سطح مقطع البيتون ومركز ثقل قضبان التسليح)، كما هو مبين في الشكل (4-25)، ويسمى هذا العنصر "الشداد".



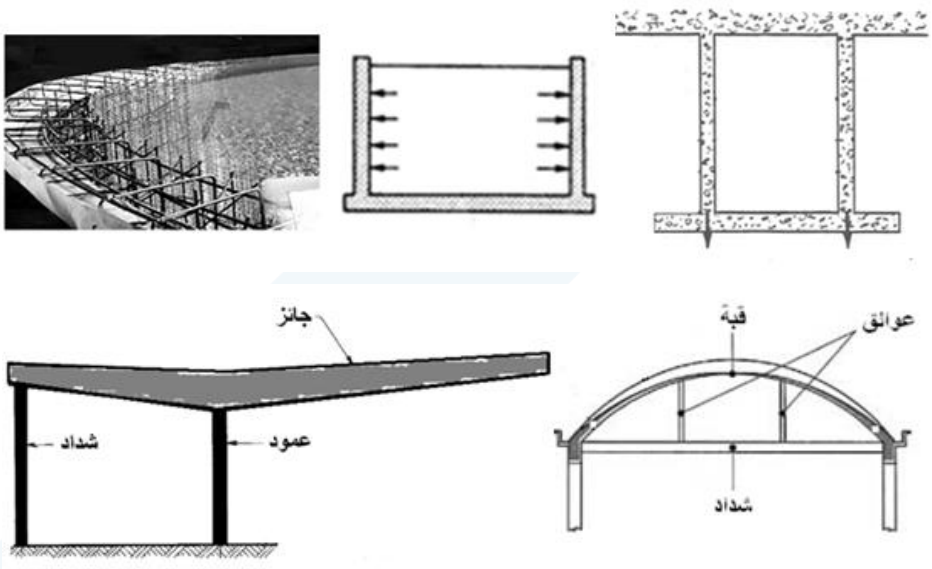
الشكل (4-25): الشد البسيط

إذن الشدادت هي عناصر إنشائية معرضة لشد بسيط وتتواجد في المنشآت على الشكل التالي: شدادت الأغطية القبية والإطارات والأنابيب وجدران الخزانات الدائرية، عوالق الجسور القوسية ذات البلاطات المعلقة وعناصر الجوائز

الشبكية الخاضعة للشد البسيط عند إهمال وزنها الذاتي، كما هو مبين في الشكل(4-26). في الواقع إن هذه العناصر توضح جيدا ظاهرة التشقق في البيتون المسلح.

ونبين فيما يلي بعض النتائج العملية لنظرية التشققات:

- كل قطعة بيتونية مشدودة تتشقق.
- تتشكل الشقوق وتتباعد عن بعضها بعضاً وفق مسافات محددة، وكلما زادت التباعدات كانت الشقوق عريضة أكثر.
- تتناسب سعة الشقوق والتباعد بينها طردا مع قطر القضبان، وعكسا مع النسبة المئوية للتشققات التي تعرف بحاصل قسمة مقطع التسليح الطولي على مقطع البيتون المشدود.
- ترتبط سعة الشقوق مباشرة مع إجهاد فولاذ التسليح.



الشكل (4-26): عناصر إنشائية خاضعة لشد بسيط

ب- حساب الشداد:

إن عملية الحساب بحد ذاتها بسيطة جدا، حيث تتم موازنة القوى الخارجية بواسطة فولاذ التسليح فقط على اعتبار أن البيتون يتشقق وفق المقاطع القائمة، ويحدد مقطع فولاذ التسليح الطولي اعتمادا على المفهومين الأساسيين التاليين:

- الأمان الميكانيكي وتحقيق شرط عدم الهشاشية بحيث يسلح المقطع بنسبة أصغرية.
- شروط التشقق والحد من التشققات التي تعتمد على إجهاد التشغيل للفولاذ وسعة التشققات.

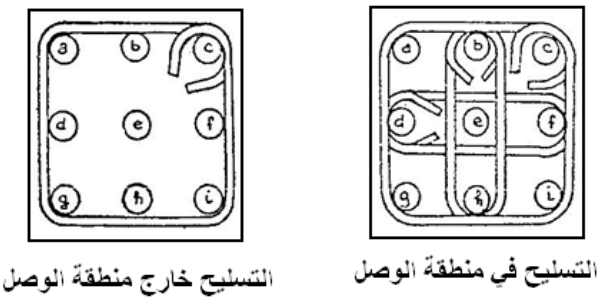
وفيما يخص البيتون، يجب أن يكون المقطع كافيا بحيث لا يسبب ظهور تشققات كبيرة تؤدي بدورها إلى صدأ فولاذ التسليح وبصورة خاصة إذا كانت المنشأة معرضة لتقلبات الطقس. في الواقع، تحدد قيمة المقطع العرضي للشداد استناداً لشرط الحد من سعة التشقق.

ت- ترتيبات عملية خاصة بتكوين الشدادات:

تسلح الشدادات بصورة مماثلة للعناصر المضغوطة، ويعني هذا أنها تحتوي على تسليح طولي وعرضي، مغلف بالبيتون بصورة جيدة.

لا يلعب التسليح العرضي أي دور في مقاومة الشداد، لذلك يتم وضع قضبان (إطارات – أساور- أتاري – شناكل) بهدف تشكيل قفص تسليح بأقطار صغيرة. نظرا لكون قضبان التسليح الطولية مشدودة وبالتالي لا يخشى من خطر التحنيب، ولا داعي للتمسك بشرط الحد الأعظمي لتباعد التسليح العرضاني وبشرط تثبيت القضبان الطولية الواقعة خارج زوايا الإطارات. ويكتفي بتباعد مساو لأصغر بعد في مقطع الشد.

تخص الترتيبات السابقة الشدادات غير الحاوية على مناطق وصل للقضبان الطولية، ولكن في حال الشدادات الطويلة فإنه ليس بالإمكان استخدام قضبان فولاذية بطول واحد وبالتالي اللجوء إلى وصل القضبان بالتلاحم ومن هنا يجب تخييط القضبان الطولانية في منطقة الوصل حتى لا تتشكل تشققات ناجمة عن عملية التلاحم ذاتها، وتتم الخياطة بوضع دبابيس أو شناكل إضافية للإطارات البسيطة التي تجمع القضبان في المناطق المستمرة، كما هو مبين في الشكل (4-27).



الشكل (4-27): مقطع عرضي لشداد من البيتون المسلح

4-6-2- مقاومة البيتون للشد – الاجهادات المسموحة للمواد وفق الكود السوري:

نبين فيما يلي قيم هذه الخواص بدلالة المقاومة المميزة للبيتون على الضغط، المفيدة عند دراسة حالة الحد من التشقق المعيب:

- مقاومة البيتون للشد البسيط: $f_{ct} = 0.45\sqrt{f'_c}\ (MPa)$
- مقاومة البيتون للشد بالانعطاف: $f_{cb} = 0.74\sqrt{f'_c}\ (MPa)$
- الإجهاد المسموح للبيتون على الشد البسيط (حمولات استثمارية)، مع وجود تقلص:

$$\bar{f}_{ct} = 0.40\sqrt{f'_c}\ (MPa)$$

- الإجهاد المسموح للبيتون على الشد البسيط (حمولات استثمارية)، بإهمال التقلص:

$$\bar{f}_{ct} = 0.75\times 0.40\sqrt{f'_c} = 0.30\sqrt{f'_c}\ (MPa)$$

- الإجهاد المسموح للبيتون على الشد بالانعطاف (حمولات استثمارية)، مع وجود تقلص:

$$\bar{f}_{cb} = 0.57\sqrt{f'_c}\ (MPa)$$

- الإجهاد المسموح للبيتون على الشد بالانعطاف (حمولات استثمارية)، بإهمال التقلص:

$$\bar{f}_{cb} = 0.75\times 0.57\sqrt{f'_c} = 0.43\sqrt{f'_c}\ (MPa)$$

- الإجهاد المسموح لفولاذ التسليح على الشد (حمولات استثمارية):

$$\bar{\sigma}_s = 0.55\, f_y\ (MPa)$$

4-6-3- حالة حد التشقق المعيب وفق الكود السوري:

كما ذكرنا سابقاً، تحدث في عناصر البيتون المسلح المعرضة لإجهادات شد، شقوق تحت تأثير حمولات الاستثمار، وحتى لا يكون لهذه الشقوق آثار ضارة على قدرة تحمل البيتون أو على فولاذ التسليح (صدأ) ، لا يجوز أن تزيد سعتها عن حد معين يسمى حد التشقق. ويتوقف هذا الحد على نوع المنشأة والغرض من إنشائها، ومدى تأثرها من الجو المحيط به.

أ- تقسيم المنشآت البيتونية حسب حد التشقق:

تقسم المنشآت حسب حد التشقق المسموح، إلى ثلاثة أنواع:

1. **النوع الأول:** يتمثل بالمنشآت التي لا يسمح بحصول تشققات فيها (تشققات غير مسموحة)، وهي مجموعة الإنشاءات المعرضة لعوامل ضارة شديدة التأثير على البيتون، كحالة خزانات المياه، العناصر القريبة من البحر، وتلك المنشآت الواقعة في وسط ضار جداً (بيئة هجومية فتاكة). وفي هذا النوع من المنشآت لا يجوز أن تزيد سعة الشقوق على $(a \le 0.1mm)$.
2. **النوع الثاني:** يشمل الإنشاءات الموجود في العراء، مثل الجسور والإنشاءات العادية والعناصر الخارجية، التي يمكن أن تتأثر بعوامل الرطوبة، أو العناصر الإنشائية للمصانع الموجودة في جو رطب

أو فيه كميات كبيرة من الأبخرة، وكذلك الصوامع أو المشابهة لها، ولا يجوز في هذا النوع أن تزيد سعة الشقوق على $(a \le 0.2mm)$.

3. **النوع الثالث:** يشمل العناصر المحمية من الإنشاءات العادية، والتي لا تؤثر فيها سعة الشقوق المحددة على السلامة الإنشائية، ولا يجوز في هذا النوع أن تزيد سعة الشقوق على $(a \le 0.3mm)$.

في الواقع، إن التقسيم المذكور أعلاه يلزمنا اعتماد فلسفة تصميم خاصة بكل نوع، لذلك سنعمل على اعتماد المنهج التالي عند التصميم:

- ✓ التشققات غير مسموحة: تجرى الدراسة وتصميم المقاطع على أساس:
  - حالة الحد من سعة التشقق: $(a \le 0.1mm)$.
  - حالة الاجهادات المسموحة.
- ✓ التشققات مسموحة: وهنا يجب التمييز بين تشققات ضارة قليلاً $(a \le 0.2mm)$، وتشققات غير ضارة $(a \le 0.3mm)$. وفي الحالتين يتم التصميم على أساس:
  - حالة الحد من سعة التشقق: $(a \le 0.2mm \; or \; a \le 0.3mm)$.
  - الحالة الحدية القصوى.

ب- وسائل تلافي الوصول إلى حد التشقق:

لتلافي تشققات متسعة في العناصر الإنشائية، يتوجب اتخاذ الإجراءات التالية:

1) استعمال بيتون كثيف ما أمكن، بحيث يتحقق خلطة بيتونية بتدرج حبي مستمر وبقوام جيد.
2) تحقيق اشتراطات الكود من حيث تأمين السماكة الكافية لطبقة تغطية فولاذ التسليح.
3) تأمين أطوال التثبيت اللازمة لقضبان التسليح، وفق منصوص الكود السوري.
4) التحقق من شرط قطر قضبان التسليح ϕ، وفق ما يلي:

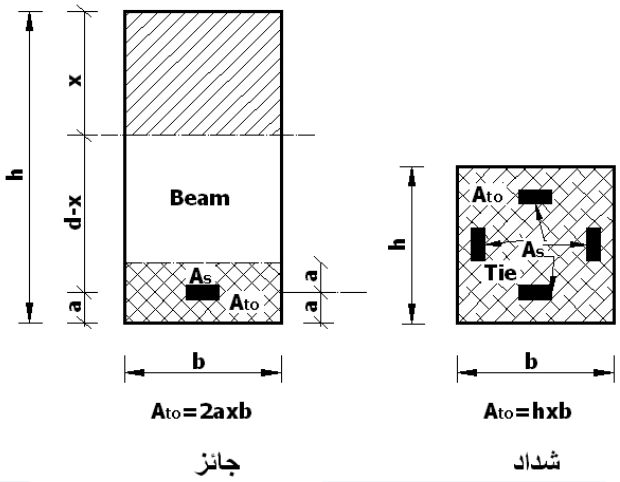
$$\phi \le \max \begin{cases} \phi_1 = \psi_s \left[\dfrac{800}{f_y} \right]^2 \\ \phi_2 = \psi_s \left[\dfrac{75000}{f_y} \dfrac{\mu_t}{1+10\mu_t} \right] \end{cases}$$

حيث:

$\phi_1 \& \phi_2 \; (mm)$: الأقطار.

$f_y\ (MPa)$: المقاومة المميزة لفولاذ التسليح.

$\mu_t = \frac{A_s}{A_{to}}$: النسبة بين تسليح الشد A_s ، ومقطع بيتون التغطية A_{to} الذي يحيط بالتسليح، (تطابق بين مركز ثقل التسليح ومقطع البيتون، الشكل (4-28)).



الشكل (4-28): مقطع بيتون التغطية لتسليح الشد في حالة شداد وحالة جائز معرض لانعطاف

وتحدد قيمة العامل ψ_s، حسب حد التشقق ونوع التسليح، من الجدول (4-19).

	تسليح أملس مستدير	تسليح محلزن (ذو نتوءات)	حد التشقق المسموح
ψ_s	1.0	1.8	0.1mm
	2.0	3.6	0.2mm
	3.0	5.4	0.3mm

الجدول (4-19)

5) عند عدم تحقيق شرط القطر ϕ ، يتحتم الحد من سعة التشققات بتقليل الاجهادات في فولاذ التسليح، وحساب هذه السعة باستخدام العلاقات التالية وفقاً لطبيعة الحمولات المطبقة.

- حمولات استاتيكية دون اهتزازات:

$$a_{i\max} = \left[0.15C + \frac{0.016\phi}{\mu_t}\right]\left[10\sigma_s - \frac{10}{\mu_t}\right]\times 10^{-5} \le limit\ of\ a_i$$

- حمولات تسبب اهتزازات:

$$a_{i\max} = \left[0.15C + \frac{0.016\phi}{\mu_t}\right][\sigma_s]\times 10^{-4} \le limit\ of\ a_i$$

حيث:

$\phi\,(mm)$: قطر قضيب التسليح.

$C\,(mm)$: سماكة التغطية البيتونية لقضيب التسليح.

$a_{i\max}\,(mm)$: أكبر سعة للشقوق.

$\sigma_s\,(MPa)$: أقصى إجهاد شد في فولاذ التسليح، تحت حمولات الاستثمار للمقطع المتشقق (حالة حد الاستثمار)، وتضرب بالعامل 1.6 في حال استعمال تسليح أملس.

4-6-4- حالة خاصة - تصميم الشدادات:

- حالة التشققات مسموحة $(a \le 0.2mm\ or\ a \le 0.3mm)$:

1- الفولاذ يتحمل قوة الشد بمفرده:

$$N_u = \Omega A_s\ f_y = 0.9 A_s\ f_y$$
$$N_u = 1.5N_g + 1.8N_p$$

2- أما البيتون، تحدد الأبعاد استناداً لشرط السعة، وعادة نأخذ من العلاقة التالية:

$$A_c \ge \frac{N_{(g+p)}}{f_{ct}}$$

- حالة التشققات غير مسموحة $(a \le 0.1mm)$:

تلخص فرضيات الحساب على النحو التالي:

- المقطع متجانس، ويعمل ضمن مجال المرونة.
- التسليح يقاوم قوة الشد لوحده.
- اعتماد قيمة لعامل التعادل مقدارها: $n = \frac{E_s}{E_{ct}} \approx 10$
- كتابة معادلة توازن القوى في المقطع:

1- حالة عدم وجود تقلص (إهماله):

$$N_{(g+p)} = \bar{f}_{ct}\left(A_c + n\,A_s\right)$$

$$A_s = \frac{N_{(g+p)}}{\bar{\sigma}_s}$$

2- حالة وجود تقلص:

$$N_{(g+p)} + \Delta N = \bar{f}_{ct}\left(A_c + n\,A_s\right)$$

$$\Delta N = A_s \varepsilon_{sh} E_s$$

$$A_c = \frac{N_{(g+p)} + \Delta N}{\bar{f}_{ct}} - n\,A_s$$

وتؤخذ قيمة تشوهات التقلص ε_{sh} وفقاً للوسط المحيط، كما يلي:

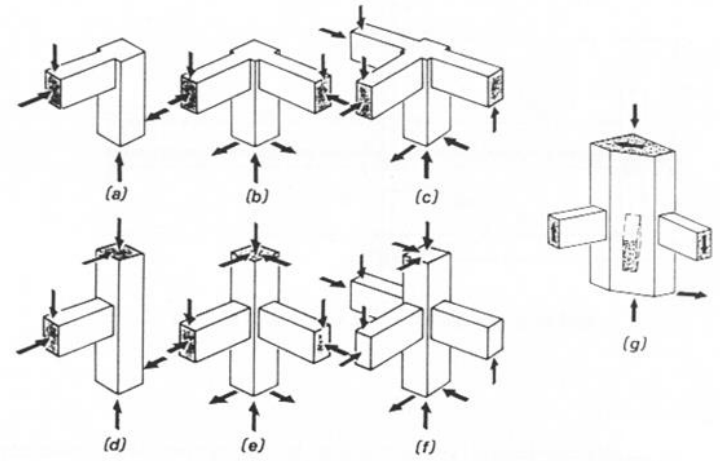
- وسط رطب جداً: $\varepsilon_{sh} = \frac{\Delta L}{L} = 2\times10^{-4}$
- وسط جاف جداً: $\varepsilon_{sh} = \frac{\Delta L}{L} = 5\times10^{-4}$

4-7- دراسة وتصميم عقد الإطارات المقاومة للعزوم

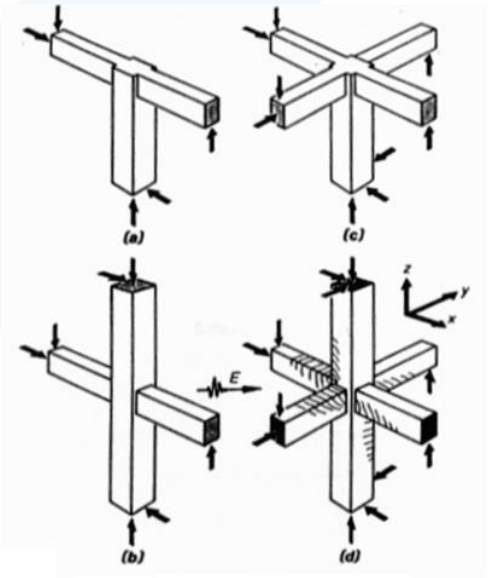
4-7-1- الوصلات والعقد في الهياكل البيتونية المسلحة:

تتألف الوصلات (Connections) من جملة العناصر المتلاقية في نقطة واحدة: أعمدة، جوائز وبلاطات. أما العقد (Beam-Column Joints) فهي أجزاء من الأعمدة بحيث يحدد نهاية العقدة الجائز الأعمق من الجوائز الواصلة إليها.

ويبين الشكل (4-29) نماذج مختلفة للوصلات والعقد الخارجية في الهياكل البيتونية المسلحة، وأما الشكل (4-30) فيوضح مجموعة من النماذج للوصلات والعقد الداخلية.

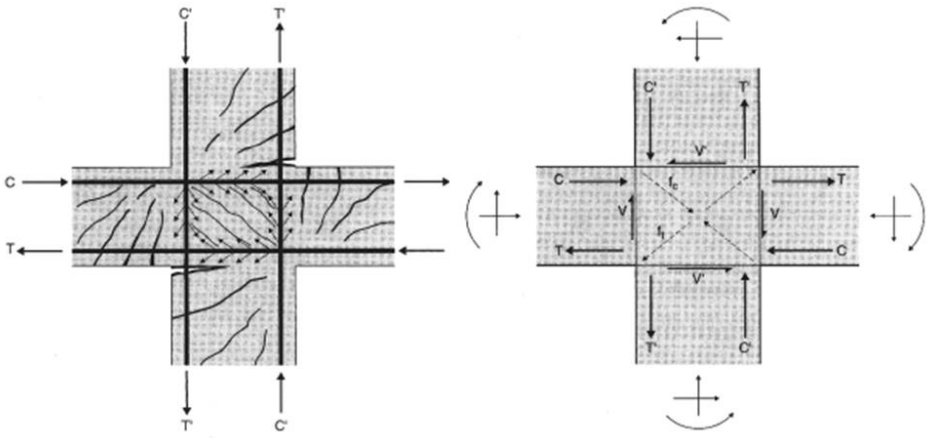


الشكل (4-29): نماذج مختلفة من العقد الخارجية

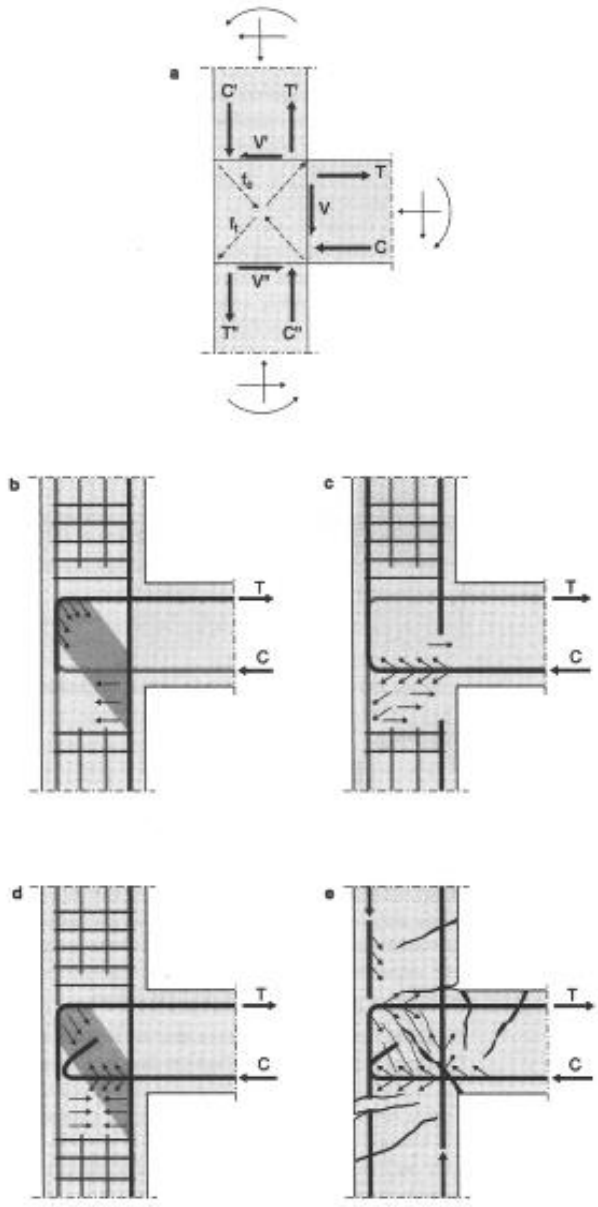


الشكل (4-30): نماذج مختلفة من العقد الداخلية

إن هذه العناصر تشكل مناطق حرجة في الإطارات البيتونية المسلحة لما تتعرض من قوى وجهود نتيجة تعرضها لحمولات زلزالية، وبالتالي يتوجب الاهتمام بدراستها وتصميمها وإعداد التفصيلات التنفيذية المناسبة لتفادي انهيارها، وذلك بهدف تأمين استجابة جيدة وسلوك متجانس ومتكامل للهيكل الحامل عند تعرضه لأفعال زلزالية (الشكل 4- 31 و 4-32).



الشكل (4-31): آلية عمل عقدة داخلية تحت تأثير الزلازل



الشكل (4-32): آلية عمل عقدة جانبية تحت تأثير الزلازل

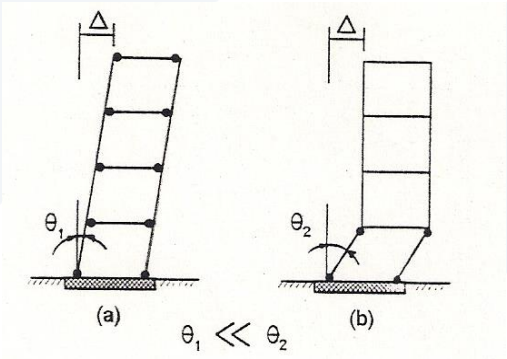
4-7-2- فلسفة التصميم وميكانيزم الانهيار(فرضية العمود القوي والجائز الضعيف):

بهدف امتصاص أكبر قدر من الطاقة الزلزالية وتأمين استجابة مقبولة للإطارات البيتونية المسلحة، يتم اعتماد المبادئ التالية:

1. التحكم بميكانيزم انهيار الإطارات بحيث يتم حصوله في الجوائز حصراً من خلال تشكيل مفاصل لدنة فيها تمتاز بمطاوعة عالية وتقبل دورانات كبيرة دون أن تفقد مقداراً كبيراً من مقاومتها أو من صلابتها. في الواقع إن

انهيار جائز ما أو عدة جوائز في المنشأة لا يؤدي إلى انهيار كامل ولا إلى خسائر بشرية أو اقتصادية كبيرة، وبالمقابل إن انهيار عمود ما أو عدة أعمدة يولد انهياراً جزئياً، وغالباً ما يكون انهياراً كلياً مسبباً خسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات...

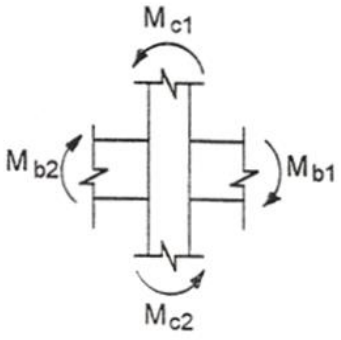
إن تشكل المفاصل اللدنة في الجوائز يؤدي إلى ميكانيزم امتصاص الطاقة المتولدة خلال الزلزال وفق دورانات صغيرة (θ_1) بعكس نشوئها في الأعمدة حيث ينجم دورانات كبيرة (θ_2)، وذلك من أجل انتقال واحد في أعلى المنشأة (Δ)، كما هو مبين في الشكل (4-33). ومن جهة أخرى فإن توزيع الطاقة يتم على جزء أكبر من المنشأة حيث إن عدد المفاصل اللدنة في الحالة (a) أكبر من الحالة (b)، وتكون المطاوعة المطلوبة من المفاصل اللدنة أصغر، وهذا ما يسمح لكل مفصل لدن بالمحافظة على مقاومته وصلابته، وبالتالي حفظ البناء من الانهيار الكامل.



الشكل (4-33): المفاصل اللدنة وتشكل ميكانيزم انهيار الإطارات

ويتم ذلك من خلال تحقيق العلاقة التالية التي تحقق فرضية العمود القوي والجائز الضعيف (الشكل 4-34)، حيث يكون نسبة مجموع العزوم المقاومة للأعمدة في أية وصلة إلى مجموع العزوم المقاومة للجوائز في هذه الوصلة أكبر من عامل أمان محدد.

$$R = \frac{\sum M_C}{\sum M_b} = \frac{M_{C1} + M_{C2}}{M_{b1} + M_{b2}} \geq 1.2 - 1.4$$



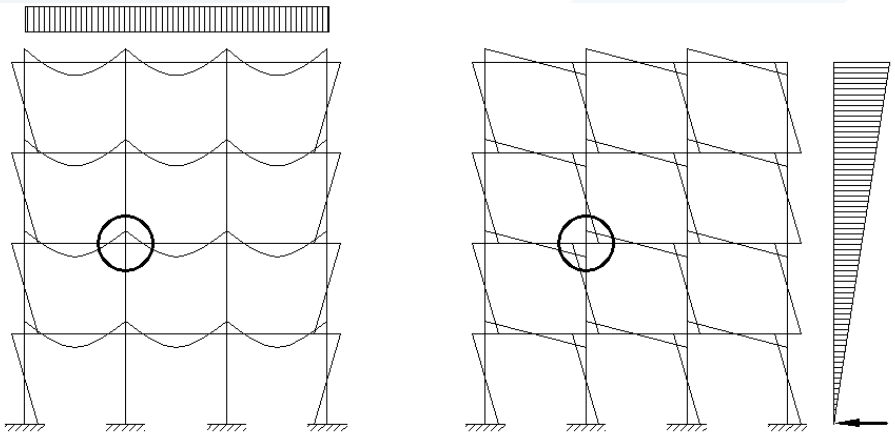
الشكل (4-34): العزوم المقاومة في للجوائز والأعمدة في الوصلة

2. تأمين عقد قادرة على المحافظة على مقاومتها وصلابتها، بحيث تؤمن ترابطاً جيداً للجوائز والأعمدة تقوم بمهامها خلال الزلزال وتكون قادرة على نقل القوى المحورية بشكل سليم بعد انتهاء الزلزال.

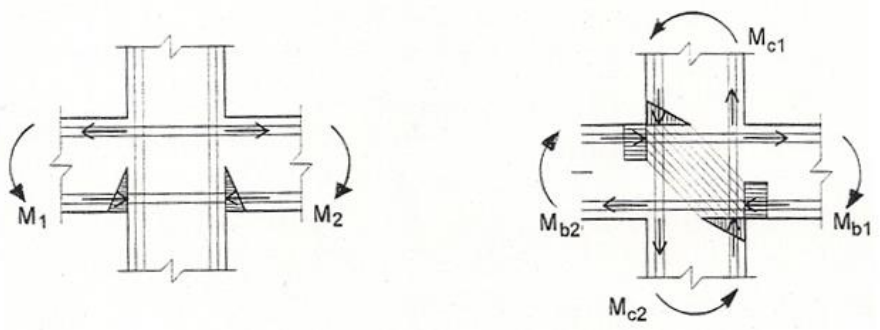
4-7-3- القوى في العقد:

قبل تصميم العقد المقاومة للزلازل، نرى ضرورة شرح وفهم القوى والجهود التي تخضع لها العقد في حالة الزلازل ومقارنتها مع الجهود الناجمة عن تأثير الجاذبية الأرضية (الحمولات الشاقولية فقط). وكذلك توضيح التشققات وأنماط انهيار العقد تحت تأثير الأفعال الزلزالية.

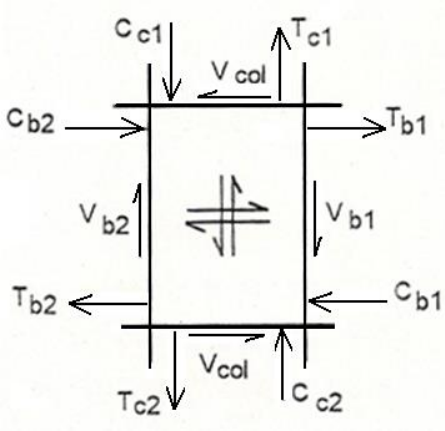
تبين الأشكال (من 4-35 حتى 4-40) مجموع القوى والاجهادات المؤثرة على عقدة داخلية في إطار من البيتون المسلح، وكذلك أنماط التشققات في العقدة وفي العناصر الواصلة إليها.



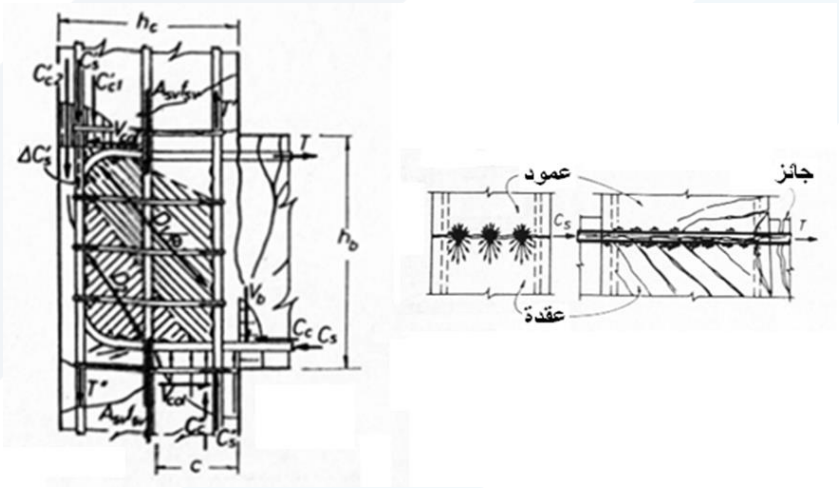
الشكل (4-35): مخطط عزم الانعطاف في إطار تحت تأثير حمولات أفقية وشاقولية



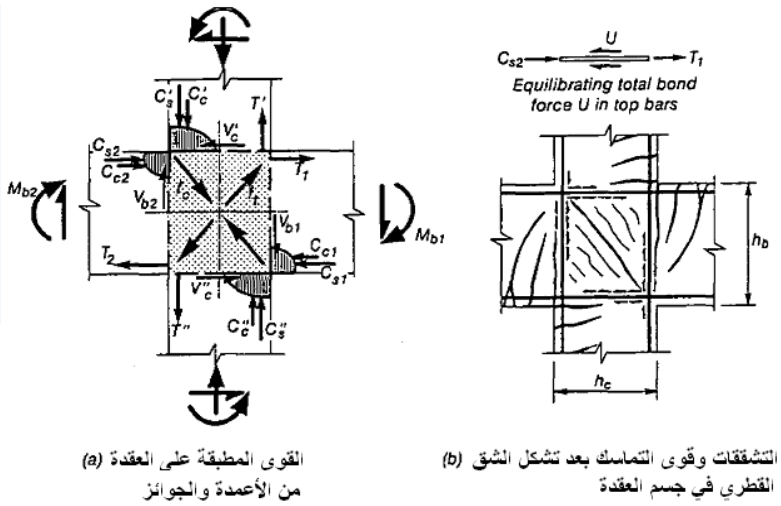
الشكل (4-36): عزوم الانعطاف المؤثرة على عقدة داخلية



الشكل (4-37): القوى المؤثرة في عقدة داخلية لإطار مقاوم للزلازل

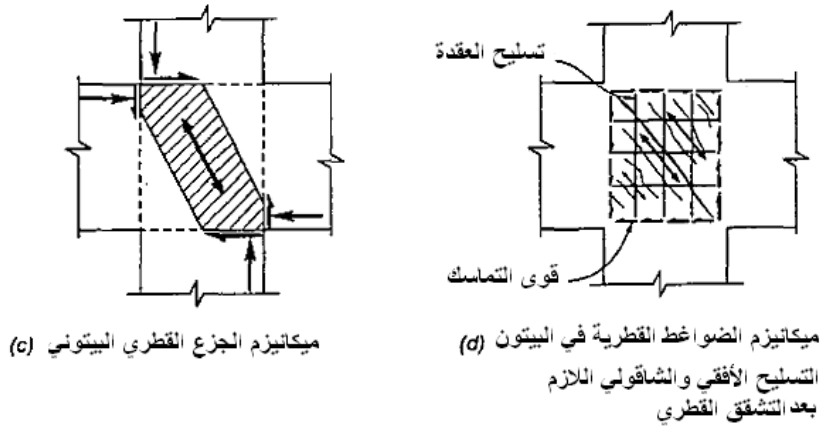


الشكل (4-38): تضرر التماسك على طول القضبان الخارجية لتسليح العمود، المارة في العقدة



(a) القوى المطبقة على العقدة من الأعمدة والجوائز

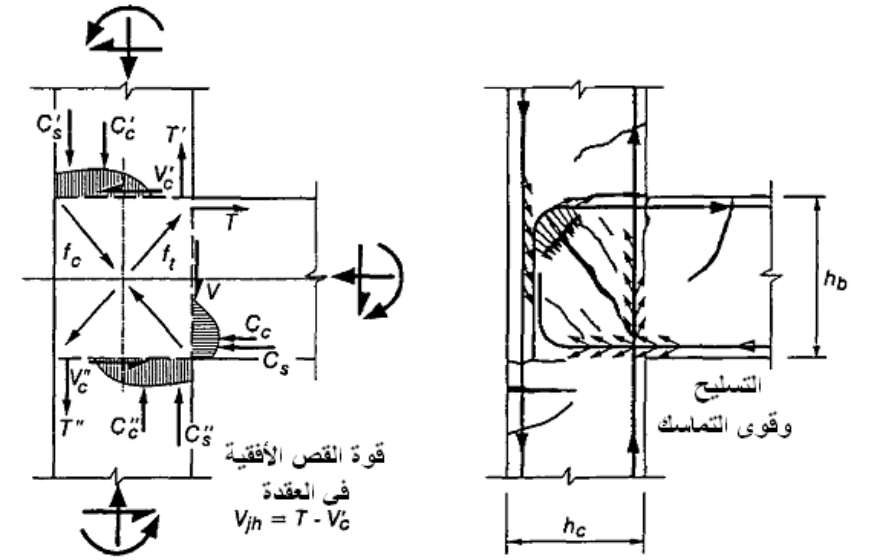
(b) التشققات وقوى التماسك بعد تشكل الشق القطري في جسم العقدة



(c) ميكانيزم الجزع القطري البيتوني

(d) ميكانيزم الضواغط القطرية في البيتون
التسليح الأفقي والشاقولي اللازم
بعد التشقق القطري

الشكل (4-39): القوى والتشققات وميكانيزم تشكل الضواغط في عقدة داخلية خاضعة لقوى زلزالية



(a) القوى المطبقة على العقدة

(b) مظهر التشققات وقوى التماسك بعد تشكل
الشق القطري في العقدة

الشكل (4-40): القوى والتشققات وميكانيزم تشكل الضواغط في عقدة خارجية خاضعة لقوى زلزالية

بالنتيجة يمكننا تصنيف القوى المؤثرة في العقد على النحو التالي:

أ. تتعرض العقدة الداخلية لإطار بيتوني خاضع لحمولات شاقولية إلى عزمين سالبين في طرفيهما تولدان قوى شد في قضبان التسليح العلوية و قوى ضغط في الألياف السفلية للجوائز، وفي معظم الحالات يكون هذان

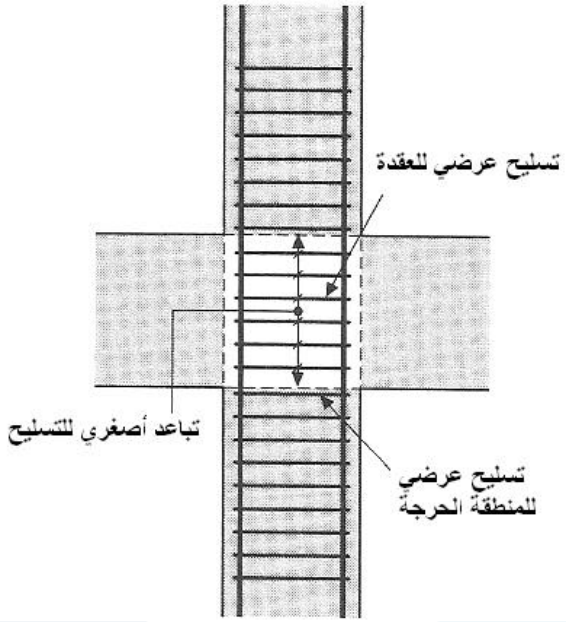
العزمان متقاربين في قيمتهما بالتالي تتعاكس قوى الشد و الضغط فيما بينها، وفي حال وجود فارق بسيط فالعمود يمتصه بسهولة.

ب. بالمقابل تتعرض العقدة الداخلية لإطار بيتوني خاضع لحمولات أفقية إلى عزمين باتجاه دوران وحيد، أحدهما عزم موجب و الآخر سالب، بالتالي تكون قضبان التسليح العلوية خاضعة إلى قوى شادة في أحد طرفي العقدة وقوى ضاغطة في طرفها الآخر، أما قضبان التسليح السفلية فتخضع إلى قوى مماثلة لكن باتجاه معاكس، ويمكننا تطبيق هذا التحليل لفهم القوى المطبقة على تسليح العمودين السفلي والعلوي. ينتج عن مجموعة القوى هذه حزمة ضغط قطرية تنحصر بين مناطق الضغط في الجوائز والأعمدة، يقابلها بالاتجاه القطري الثاني للعقدة قوى شد مرتفعة.

ت. في حالة الزلازل، تدخل الجوائز في مرحلة اللدونة، بالتالي إمكانية تشكل عزوم على أطراف العقدة تساوي العزوم المقاومة للجائز. وفي حالة الدورانات الكبيرة من الممكن أن يدخل تسليح الجائز حد التصلد مما يولد عزوم أكبر من العزوم المقاومة والمحسوبة على أساس حد مرونة التسليح فقط. بالمقابل تكون قيمة العزوم المنقولة إلى العقدة في حالة الحمولات الشاقولية أصغر بكثير من العزوم المقاومة للجوائز لأسباب مختلفة منها، الحمولات الإضافية المعتمدة بالتصميم نادراً ما تكون مطبقة على الجوائز فضلاً على تصعيدها بعوامل كبيرة.

ث. يتولد في العقدة إجهادات قص أفقية و شاقولية منعكسة الاتجاه وفقاً لأنماط اهتزاز المبنى. هذه الاجهادات ناجمة عن قوى القص الخارجية في الجوائز والأعمدة، إضافة للقوى الداخلية الناجمة عن حزمة الضغط وقوى الشد القطرية. هذه القوى ستسبب تشققات قص، وتعمل على تفتيت بيتون العقدة وغياب ظاهرة التلاحم بين التسليح والبيتون، وفقدان هذا الجزء من العمود وظيفته في تحمل ونقل الحمولات الشاقولية، بالتالي الانهيار.

بالتالي يجب تسليح هذه العقد وتطويقها بتسليح عرضي مناسب، يقاوم القوى المطبقة ويمنع انهيارها (الشكل 4-41).

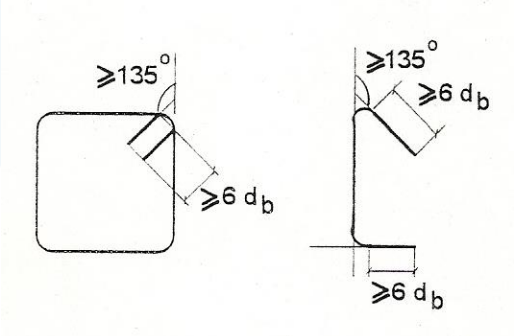


الشكل (4-41): تسليح العقدة وتطويقها (مقطع وتباعد مدروسين)

4-7-4- أسس تصميم عقد الإطارات الخاضعة لأفعال زلزالية:

4-7-4-1- تطويق العقدة:

إن تشكل إجهادات شد وضغط قطرين وإجهادات قص في العقدة (جهود ديناميكية منعكسة الاتجاه) يسبب تفتت بيتون العقدة، بالتالي لا يمكن للعمود مقاومة الحمولات الشاقولية، كما ويفقد تسليح الأعمدة والجوائز تلاحمها مع البيتون. بالتالي ضرورة تطويق العقد بتسليح أفقي مغلق مناسب (إطارات، أساور، دبابيس ...) يمنع انهيار بيتونها (الشكل 4-41 و 4-42).



الشكل (4-42): أشكال التسليح العرضي للعقدة

يحسب مقطع التسليح الأفقي الكلي لطبقة من تسليح العقدة كما يلي:

$$A_{sh}\left(mm^2\right)=0.3\frac{S_h h'' f'_c}{f_{yh}}\left(A_g/A_c-1\right)\geq 0.09\frac{S_h h'' f'_c}{f_{yh}}$$

حيث:

$f'_c\,(MPa)$: المقاومة الاسطوانية المميزة.

$f_{yh}\,(MPa)$: المقاومة المميزة لتسليح العقدة.

$A_g\,(mm^2)$: مقطع العمود الكلي.

$A_c\,(mm^2)$: مقطع العمود المحصور ضمن التسليح الأفقي، ويقاس من الحد الخارجي للأساور.

$h''(mm)$: طول مقطع العمود المحصور ضمن التسليح الأفقي المتعامد مع مقطع التسليح A_{sh}.

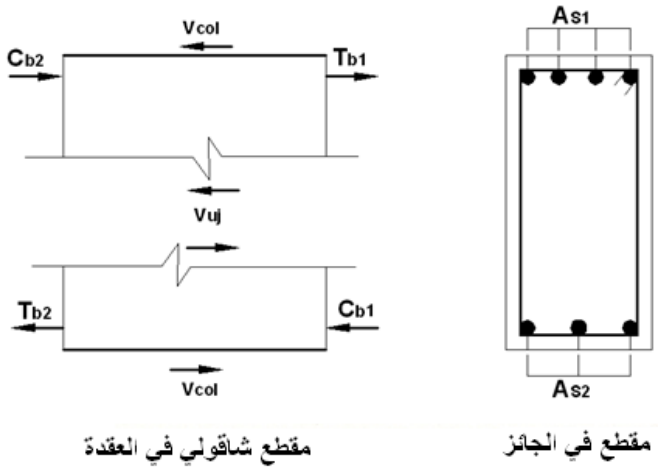
$S_h\,(mm)$: التباعد بين التسليح الأفقي للعقدة، بحيث لا تزيد قيمته عن: 150 mm، ربع أصغر بعد للعمود ، ستة أضعاف قطر التسليح الشاقولي للعمود، أيهما أقل.

ملاحظة :

من الممكن تخفيض قيمة التسليح الأفقي للعقدة إلى النصف عندما تؤمن الجوائز تطويقاً سليماً للعقدة، ويكون ذلك عند اتصال الجوائز مع العقدة على ألا يقل عرض كل جائز عن ثلاثة أرباع بعد العمود الذي يستند عليه، وألا يكون الجزء المكشوف من العمود عن كل من طرفي الجائز أكبر $(100mm)$.

4-7-4-2- أبعاد العقدة لمقاومة القص:

- بعد تطويق العقدة والتحقق من عدم انهيار وتفتت بيتونها، يجب تدقيق أبعادها والتحقق من مقاومتها للقص الحدي المطبق عليها بالاتجاهين المتعامدين: $(V_{uj}\leq \Phi V_{nj})$ ، باعتبار أن $\Phi=0.85$ ، (الشكل 4-43).



الشكل (4-43): مقاطع في الجائز وفي العقدة

- يحسب القص الحدي في العقدة كما يلي (الشكل 4-43):

$$V_{uj} = T_{b1} + C_{b2} - V_{col}$$
$$T_{b1} = C_{b1} = \alpha\, A_{s1}\, f_y$$
$$C_{b2} = T_{b2} = \alpha\, A_{s2}\, f_y$$

V_{col} : قوة القص الخارجي في العمود والمطبق على طرفي العقدة

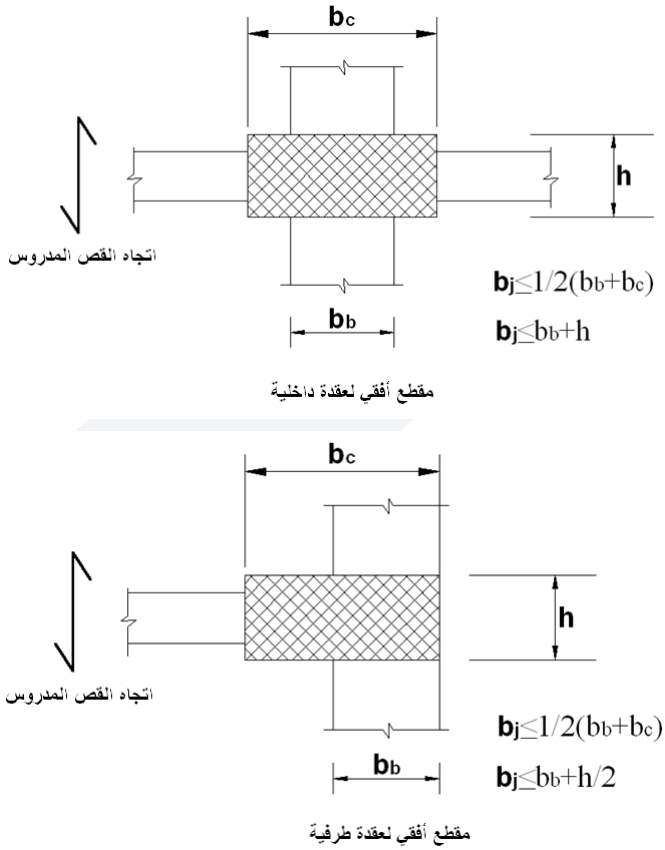
$\alpha = 1.25$: عامل يأخذ بالحسبان إمكانية تصلد التسليح، وإجهاد الخضوع الفعلي لتسليح الجائز (احتمال أن يكون أكبر من الإجهاد النظري المستخدم في التصميم).

V_{nj} : مقاومة العقدة للقص (المقاومة الاسمية)، التي تختلف حسب موقع العقدة في هيكل البناء، وتؤخذ كما يلي:

- العقدة الداخلية (التطويق من 4 أطراف): $V_{nj} = 1.7\sqrt{f'_c}\, b_j h$
- العقدة الجانبية (طرفية) (التطويق من 3 أطراف أو 2 متقابلين): $V_{nj} = 1.25\sqrt{f'_c}\, b_j h$
- العقدة الركنية (التطويق من طرفين): $V_{nj} = 1.0\sqrt{f'_c}\, b_j h$

h : عمق العمود بالاتجاه المدروس.

b_j : العرض الفعال للعقدة ، ويحدد كما هو مبين في الشكل (4-44):



الشكل (4-44): العرض الفعال للعقدة

ملاحظة : يجب ألا يزيد العرض الفعال للعقدة المحسوب عن عرض العمود الكلي، وعند اختلاف عرض الجائزين المتقابلين في الاتجاه المدروس نعتمد متوسط القيمتين.

4-7-4-3- أطوال تماسك قضبان التسليح :

يجب تحقيق الشروط التالية (ACI-318, ACI-352):

- لا يتجاوز قطر القضبان المنتهية في العقد الطرفية أو الركنية عن $35mm$ ، وتمتد القضبان إلى نهاية العقدة وتزود بعكفة نظامية $90°$ ، مع طول تلاحم l_{dh} محدد كما يلي (انظر الشكل 4-45):

$$l_{dh} = \frac{\alpha\, f_y\, d_b}{6.2\sqrt{f'_c}} \geq \max\{8d_b ; 150mm\}$$

باعتبار أن:

$d_b(mm)$: قطر قضيب التسليح المنتهي بالعقدة.

$f_y \;\&\; f'_c(MPa)$: المقاومات المميزة للتسليح والبيتون.

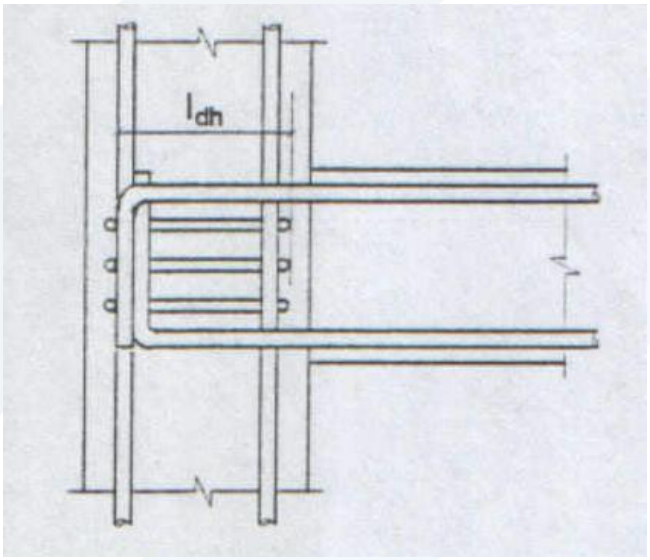
- يجب أن تحقق القضبان المارة في العقدة ما يلي:

$h_c/d_{bb} \geq 20$ و $h_b/d_{bc} \geq 20$

h_c : بعد العمود باتجاه تسليح الجائز .

h_b : ارتفاع الجائز .

d_{bb} ; d_{bc} : أقطار قضبان تسليح الجائز والعمود .



الشكل (4-45): طول تلاحم قضبان التسليح المارة في العقدة (l_{dh})

4-8- الأفعال الأفقية على العناصر والتجهيزات المستندة على المنشآت

4-8-1- تمهيد:

تهدف الحماية الزلزالية إلى الحفاظ على الحياة البشرية، بالتالي تصميم وتقوية الهيكل الحامل للبناء أولاً، وتأتي سلامة العناصر غير الإنشائية والتجهيزات بالدرجة الثانية. وعند حصول زلزال بشدة عالية نسبيا فإنه يمكن أن يسلم هيكل البناء دون حصول أضرار تذكر، بالمقابل نلاحظ انهيار شبه كامل للعناصر غير الإنشائية. وانطلاقا من أن هذه العناصر غالية جداً، وبانهيارها أيضا يتم إيقاف مؤقت لاستثمار البناء الذي بدوره يسبب خسائر مادية وحيوية وخاصة للمؤسسات الحيوية سواء كانت خدمية أم إنتاجية، فضلاً على الخسارة في الأرواح الناجمة عن تساقطها أو انهيارها بشكل عشوائي، فإنه أمر جوهري الاهتمام بهذه العناصر وتصميمها لمقاومة الأفعال الزلزالية.

ويمكننا إتباع منهجين اثنين لحماية العناصر غير الإنشائية: المنهج الأول يعتمد على الربط الميكانيكي لهذه العناصر مع الهيكل الحامل (نظام التقوية)، وهذا يتطلب تسليحها و تأمين اتصالها الفعال مع الهيكل، وهذا الحل يتوافق جيداً مع المنشآت الصلبة، ويجب ألا ينجم عن هذا الحل أي توزيع غير منتظم لصلابة البناء الأفقية. وأما المنهج الثاني فيتمثل بعزل العناصر غير الإنشائية عن العناصر الحاملة، وتثبيتها بوصلات تسمح لها بانتقالات نسبية مع الهيكل، وتؤمن استقرارها إزاء القوى المتعامدة مع مستواها، وهذا المنهج يتلاءم مع الهياكل المطاوعة، وعموما يوصى باستخدامه في المناطق ذات الشدات الزلزالية العالية.

بالتالي، يجب أن تصمم جميع العناصر الإنشائية وملحقاتها (روابطها)، والمكونات غير الإنشائية الدائمة وملحقاتها (روابطها)، وروابط التجهيزات الدائمة المستندة على المنشأة، لمقاومة القوى الزلزالية. وتشمل الروابط قطع الإرساء (التثبيت) وشبكات الربط.

تهمل الكودات العالمية عند دراسة هذه العناصر، الاحتكاك الناتج عن أحمال الجاذبية، ويجب أن لا يؤخذ في تأمين المقاومة ضد القوى الزلزالية.

ويشير الكود السوري إلى أنه في حالة التجهيزات التي تزن أقل من $1.8\,kN$ وكذلك المفروشات، لا حاجة لتصميم روابطها مع البلاطات أو السقف الأخير المركبة عليه. وفي كل الأحوال، يعود للمهندس الدارس تقدير الحالة، بحيث لا يؤدي الانهيار الإنشائي لنظام مقاومة القوى الجانبية للتجهيزات غير الصلبة إلى مخاطر على الحياة، فعندها يجب أن يصمم هذا النظام لمقاومة القوى الزلزالية الكلية التي سنبينها في الفقرة القادمة وفقاً لما ورد في الكود السوري وملحقه الثاني الخاص بالزلازل.

4-8-2- التصميم لمقاومة القوى الجانبية الكلية:

تحدد القوة الجانبية الكلية التصميمية الزلزالية من العلاقة التالية:

$$F_P = 4.0 C_a I_P W_P$$

وبشكل بديل يمكن أن تحدد من العلاقة:

$$F_P = \frac{a_P C_a I_P}{R_P}\left(1+3\frac{h_x}{h_r}\right)W_P$$

وبشرط تحقيق:

$$0.7 C_a I_P W_P \le F_P \le 4.0 C_a I_P W_P$$

حيث :

h_x : منسوب رابط العنصر أو المركبة بالنسبة لمنسوب الأرض، ولا تؤخذ h_x أقل من (0.0).

h_r : منسوب سقف المنشأة بالنسبة لمنسوب الأرض.

a_P : هو عامل تكبير للعنصر داخل المنشأة والذي تتغير قيمته بين (1.0) و(2.5) يمكن اختيار قيمته من الجدول (4-19). ويمكن كحل بديل، تحديد قيمة هذا العامل استنادا إلى الخواص الديناميكية أو المعطيات التجريبية للعنصر والمنشأة التي تسنده، ويجب ألا تؤخذ قيمته أقل من (1).

R_P : عامل تعديل استجابة العنصر، ويؤخذ من الجدول (4-20) باستثناء أنه في حالة استعمال التثبيت ببراغي التثبيت التمددية غير العميقة والتثبيت الكيميائي غير العميق أو التثبيت غير العميق المصبوب في المكان تؤخذ قيمة R_P مساوية لـ (1.5). ويكون التثبيت غير عميقاً عندما يكون الطول المغموس منسوباً إلى القطر أقل من (8).

وعندما ينفذ الإرساء (التثبيت) باستعمال مواد لا تمتلك صفة المطاوعة أو باستعمال المواد اللاصقة تؤخذ R_P مساوية لـ (1.00).

يتم توزيع القوى الجانبية التصميمية بشكل يتناسب مع توزيع كتل العنصر أو المكوّن ضمن المنشأة. هذا وتستعمل هذه القوى لتصميم العناصر والوصلات التي تقوم بنقلها النظم المقاومة للزلازل.

ولمعرفة القوى المطبقة وعوامل تعديل الاستجابة للعنصر في روابط القص للجدران الخارجية والديافرامات (البلاطات)، يجب مراجعة البنود (3/11/7) و (7/11/7) و (8/11/7) من الملحق الثاني للكود السوري.

تطبق القوى بالاتجاهات الأفقية التي تؤدي إلى تشكيل أكثر حالات التحميل خطورة في التصميم، بمعنى، يتم تصميم العناصر والوصلات باستعمال تراكيب الأحمال والعوامل الخاصة بالتراكيب الأساسية في حالة الحد الأقصى التي تم عرضها سابقاً (الستاتيكية أو التحليل الديناميكي)، على أن تؤخذ قيمة العامل ρ مساوية لـ (1.0).

4-8-3- توصيف القوى الجانبية:

يجب أن تحدد المواصفات التصميمية للمعدات إما القوى الجانبية التصميمية الناشئة عنها أو مرجعية هذه المواصفات.

4-8-4- الحركة النسبية لروابط المعدات:

للمعدات الواقعة ضمن أبنية ذات التصنيف (1) و(2) كما هو مبين في الجدول (4-7)، فإن التصميم على القوى الجانبية يجب أن يأخذ بالحسبان تأثير الحركة النسبية لنقاط الربط مع المنشأة، وذلك باستعمال الإزاحة المبنية على قيمة Δ_M ، مع الأخذ بالحسبان تأثير $(P-\Delta)$ عند الضرورة (متطلبات الكود السوري)، حيث يمكن إهمال هذا التأثير عندما تكون الإزاحة الطابقية النسبية أصغر من النسبة $\left(\frac{0.02}{R}\right)$.

4-8-5- الطرائق البديلة في التصميم (الكود السوري):

عند توفر مواصفة وطنية معتمدة أو معطيات اختبار عملية معتمدة، حيث تؤمن أساساً مقبولاً في التصميم ضد الزلازل لنوع خاص من التجهيزات أو أي من العناصر غير الإنشائية الأخرى، فإن أياً من هذه المواصفات أو المعطيات يمكن أن يقبل كأساس في التصميم على أن تحقق الشروط التالية:

- أن تؤمن هذه الاشتراطات قيماً دنيا لتصميم نقاط التثبيت (الإرساء) والعناصر والوصلات التي تقوم بنقل القوى إلى نظام مقاومة الزلازل.
- يجب أن لا تقل قيمة كل من القوة F_P ، وعزم الانقلاب المستعملان في تصميم العناصر غير الإنشائية عن 80% من القيم التي يتم الحصول عليها باستعمال هذه الاشتراطات.

رقم الملحوظة	R_P	a_P	عناصر المنشآت والمكونات غير الإنشائية والمعدات [1]
			1 – عناصر المنشآت:
	3.0	2.5	(أ) الجدران متضمنة مايلي : 1) التصاوين العلوية الكابولية (غير المكتفة).
2	3.0	1.0	2) الجدران الخارجية الواقعة عند أو أعلى من الطابق الأرضي والتصاوين (الأسوار) المربطة عند نقطة أعلى من مراكز ثقلها.
2	3.0	1.0	3) كافة الجدران الداخلية الحاملة وغير الحاملة.
	4.0	2.5	(ب) الملاحق الفرعية (ملاحق – سقائف – أبنية فرعية) (باستثناء حالة كونها مدعمة بعنصر شد في الإطار الإنشائي).
3	3.0	1.0	(ج) عناصر الوصل في العناصر الإنشائية مسبقة الصنع غير الجدران.
			2 – المكونات غير الإنشائية :
	3.0	2.5	(أ) العناصر الزخرفية الداخلية والخارجية وتوابعها.
	3.0		(ب) المداخن الصناعية، المداخن والأبراج الشبكية المستندة على (أو الظاهرة) فوق السقف.
	3.0	2.5	1) مربَّطة جانبياً أو مثبتة (إرساء) إلى إطار إنشائي عند نقطة تقع أسفل من مراكز كتلتها .
	3.0	1.0	2) مربطة جانبياً أو مثبتة (إرساء) إلى إطار إنشائي عند نقطة تقع بمنسوب مركز كتلتها أو أعلى من ذلك .
	3.0	2.5	(ج) شواخص الإشارات ولوحات الإعلانات.
4	4.0	2.5	(د) حوامل التخزين في المستودعات (بما فيها المحتويات) بارتفاع يزيد على (1.8m).
5	3.0	1.0	(هـ) الخزائن المثبتة على الأرض بشكل دائم ورفوف الكتب بارتفاع يزيد عن (1.8m) بما فيها المحتويات.
8،7،6،3	3.0	1.0	(و) نقاط التثبيت (الإرساء) والتربيط الجانبي للأسقف المستعارة المعلقة ونقاط تثبيت الإنارة.
9،5،4	3.0	1.0	(ز) أرضيات معابر الدخول.

	3.0	1.0	(ح) الأسوار المؤلفة من البيتون أو القرميد بارتفاع يزيد على (1.8 m).
	3.0	1.0	(ط) القواطع الداخلية.

الجدول (4-20) : عوامل القوى الأفقية a_P و R_P

الخاصة بالعناصر الإنشائية وغير الإنشائية والتجهيزات المستندة على المنشآت

تابع للجدول (4-20) : عوامل القوى الأفقية a_P و R_P

رقم الملحوظة	R_P	a_P	عناصر المنشآت والمكونات غير الإنشائية والمعدات [1]
			3 – المعدات :
	3.0	1.0	(أ) الخزانات والأوعية (بما فيها المحتويات)، متضمنة نظم الاستناد.
5،10،11،12 13،14،15،16	3.0	1.0	(ب) الأجهزة الكهربائية والميكانيكية والصحية وكافة الأنابيب والمجاري والأقنية المرتبطة بها.
5،10،14،15 16	3.0	2.5	(ج) أي جهاز مربَّط جانبياً أو مثبت إلى إطار إنشائي عند نقطة تقع أسفل مركز الكتلة.
17،18	3.0	1.0	(د) نقاط تثبيت وإرساء نظم (جمل) الطوارئ لتوليد الطاقة ومعدات الاتصال الرئيسية نقاط تثبيت وإرساء ونظم استناد حوامل (رفوف) البطاريات وخزانات الوقود الضرورية لعمل أجهزة الطوارئ. انظر أيضاً المادة (2/6) من ملحق 2 للكود.
19	3.0	1.0	(هـ) الحاويات المؤقتة التي تحتوي على مواد قابلة للاشتعال أو مواد خطرة.
			4 – المكونات الأخرى :
1	3.0	1.0	(أ) مكونات صلبة من مادة (وروابط) مطاوعة.
1	1.5	1.0	(ب) مكونات صلبة من مادة (وروابط) غير مطاوعة.
1	3.0	2.5	(ج) مكونات لينة من مادة (وروابط) مطاوعة.
1	1.5	2.5	(د) مكونات لينة من مادة (وروابط) غير مطاوعة.

1) المكونات اللينة توافق الأجزاء ذات $T > 0.06\text{sec}$، وتعتبر المكونات صلبة عندما $T \le 0.06\text{sec}$.

2) انظر البنود (3/11/7) و(7/11/7) من أجل الجدران البيتونية والحجرية والمادة (2/6) من أجل الوصلات الخاصة بالوصل والألواح (الملحق الثاني من الكود السوري).

3) تطبق فقط على المناطق الزلزالية (2) و(3) و(4).

4) حوامل التخزين الفولاذية المثبتة على الأرض يجب أن تصمم طبقاً لاشتراطات الملحق (أ) من الملحق الثاني للكود السوري (طرائق تثبيت العناصر والتجهيزات)، شرط أن تكون القوى الزلزالية التصميمية مساوية أو أكبر من تلك المحددة في المواد (2/6) و (2/8) والمحددة لذلك.

5) تصمم فقط نقاط الإرساء أو التثبيت (Restraints).

6) يجب أن يتضمن وزن السقف المستعار كافة الحواشي الخفيفة (مثل نقاط الإنارة) والتجهيزات الأخرى أو القواطع المسنودة جانبياً عن طريق السقف. ولتحديد القوة الزلزالية، تؤخذ أوزان السقف ($0.19\ kN/m^2$) كحد أدنى.

7) السقوف المستعارة المنشأة من ألواح خشبية ملبسة بالمونة أو الجص والمثبتة ببراغي أو مسامير إلى عناصر متدلية حاملة لهذا السقف على منسوب واحد يمتد من الجدار إلى الجدار لا تحتاج إلى تحليل إنشائي شريطة أن يكون التباعد بين الجدران لا يزيد على (15.25 m).

8) الحواشي الخفيفة (نقاط تثبيت أجهزة الإنارة) والخدمات الميكانيكية والمركبة في نظم معدنية معلقة لتحقيق عزلاً صوتياً وألواح الأسقف المستعارة يجب أن تحمل بشكل مستقل عن المنشأة فوقها.

(9) (W_P) من أجل نظم أرضيات الدخول والمعابر تمثل الوزن الميت لهذه النظم (الجمل) مضافاً إليها 25% من الحمل الحي المطبق عليها بالإضافة لحمل مساوٍ لـ ($0.48\ kN/m^2$) حمولة قواطع إضافية.

10 التجهيزات المذكورة في الجدول تتضمن، وليس على سبيل الحصر مايلي:

المراجل، الشيلرات (أجهزة التبريد)، المبادلات الحرارية، المضخات، وحدات معالجة الهواء، أبراج التبريد، لوحات التحكم، المحركات، مفاتيح تبديل السرعة، المحولات، تجهيزات الحماية والأمان. كما يجب أن تتضمن الأقنية الرئيسية والدكتات والأنابيب والتي تخدم

الماكينات والتجهيزات وشبكات إطفاء الحريق. تراجع المادة (2/6) من الملحق الثاني للكود الأساس، التي تحدد المتطلبات الإضافية لتحديد (a_P) وذلك للتجهيزات المركبة اللينة.

11 القيود الزلزالية يمكن أن تحذف من نقاط استناد الأنابيب والدكتات إذا تحققت كافة الشروط التالية :

11-1- الحركة الجانبية للأنابيب أو الدكتات لا تؤدي إلى صدمة مخربة (مدمرة) مع باقي النظم.

11-2- الأنابيب أو الأقنية (الدكتات) مصنَّعة من مادة ووصلات مطاوعة.

11-3- الحركة الجانبية للأنابيب أو الدكتات لا تسبب صدمة ذات توابع تؤدي إلى صدم الحواشي القابلة للكسر (مثلاً، النقاط الرئيسية لشبكة الحريق) مع أي من المعدات الأخرى، سواء أنابيب أو عناصر إنشائية.

11-4- الحركة الجانبية للأنابيب أو الأقنية (الدكتات) يجب أن لا تؤدي إلى خسارة في نظام الاستناد الرأسي.

11-5- نقاط الاستناد المؤلفة من قضبان تعليق بطول يقل عن (305 mm) يجب أن تثبت بوصلة علوية لا تؤدي إلى نشوء عزوم.

11-6- عناصر الاستناد الظفرية الظاهرة فوق البلاطة يجب أن تُحقق على الاستقرار.

12 القيود الزلزالية يمكن أن تحذف من أقنية الكهرباء، مثل حوامل الكابلات، الأنابيب وحوامل الأقنية (الدكتات)، إذا تحققت كافة الشروط التالية :

12-1- الحركة الجانبية للأقنية لا تسبب صدمة مخربة مع الجمل الأخرى.

12-2- الحركة الجانبية للأقنية لا تسبب خسارة في جملة الإستناد الرأسي.

12-3- الحوامل المؤلفة من قضبان تعليق بطول لا يقل عن (305 mm) يجب أن تزود بوصلة علوية لا تؤدي إلى نشوء عزوم.

12-4- عناصر الاستناد الظفرية فوق البلاطة يجب أن تحقق على الاستقرار.

13 الأنابيب والأقنية (الدكتات) وأقنية الكهرباء، والتي يجب أن تحقق وظيفتها بعد الهزة الأرضية، أو تلك الممتدة بين مختلف المباني أو النظم (الجمل) الإنشائية، يجب أن تكون لينة بالشكل الكافي لمقاومة الحركة النسبية لنقاط الإستناد، مع افتراض حدوث الحركات الخارجة عن الطور.

15 يجب عدم تصميم إرساء (مثبتات) المعدات بالاعتماد على مقاومة القوى الجانبية بالاحتكاك الناتج عن الجاذبية (مثل ملاقط الاحتكاك).

16 المثبتات بالتوسع (Expansion Anchors) والمطلوب منها مقاومة الأحمال الزلزالية بالشد لا يسمح باستعمالها في حال وجود أحمال ناتجة عن الاهتزازات.

17 يجب منع حركة الأجزاء ضمن الغرف الكهربائية أو ضمن الرفوف وضمن المعدات المعلقة وقطع المعدات الكهربائية – الميكانيكية، التي يمكن أن تسبب ضرراً للأجزاء الأخرى من تحركها، ويتم منع الحركة بالتثبيت بروابط إلى معدات مثبتة أو إلى إطارات ساندة.

18 يجب تقييد حركة البطاريات المخزنة على رفوف في جميع اتجاهات القوى الزلزالية.

19 يمكن أن تشمل التثبيتات الزلزالية : شرائط معدنية، سلاسل، براغي، حواجز أو أية طرائق أخرى، تضمن منع الانزلاق والسقوط والانكسار لمحتويات الأوعية السامة أو القابلة للحريق. ولا يسمح بالاعتماد على قوى الاحتكاك لمقاومة القوى الأفقية في هذه التثبيتات، إلا إذا تأمن منع الحركة الرأسية للجزء المثبت بما يضمن وجود قوى الاحتكاك عند حدوث الزلزال.

4-9- دراسة المنشآت الخاصة غير المباني لمقاومة الزلازل

4-9-1- تمهيد:

تشمل المنشآت غير المباني (الخاصة)، كافة المنشآت المستندة ذاتياً والتي لا تشبه المباني المألوفة، وهي تتحمل حمولات الجاذبية وتقاوم تأثيرات الزلازل.

يجب أن تصمم هذه المنشآت بحيث يتم تأمين المتانة المطلوبة لمقاومة الانتقالات الناتجة عن الأفعال الأفقية الدنيا التي تحددها الكودات الزلزالية الناظمة (الكود السوري)، ومن جهة أخرى يجب أن تتطابق إجراءات التصميم مع الاشتراطات المطبقة لبقية المنشآت مع الأخذ بالحسبان التعديلات التي ينص عليها الكود السوري والتي سنبينها في فقرات لاحقة.

4-9-2- معايير التصميم:

إن القوى التصميمية الزلزالية الدنيا، المحددة من قبل الكود السوري، هي بالمقدار الذي ينتج انتقالات بالنموذج المرن للمنشأة ذات القاعدة الموثوقة، والقابلة للمقارنة مع تلك المتوقعة للمنشأة الحقيقية عندما تستجيب لحركة الأرض التصميمية الأساسية.

عندما يتم تصميم هذه المنشآت لتأمين المتانة والمطاوعة اللازمتين، فإنه بالإمكان استخدام عوامل تخفيض للقوى الزلزالية التصميمية، متمثلة بالعامل الخاص بها (R) (الجدول 4-21).

عند استخدام العلاقات التي يوصي بها الكود السوري، والتي سنبينها لاحقاً، فإنه بالإمكان اعتماد قيمة لعامل الوثوقية/درجة عدم التقرير مساوية إلى $\rho = 1$ ، وذلك باعتماد نفس تراكبات الأحمال الخاصة بالمباني والتي تم شرحها سابقاً.

4-9-4- الوزن المسبب لفعل زلزالي (W):

يشمل هذا الوزن كافة الحمولات الميتة (كما هو الحال للمباني)، مع ضرورة أن يتضمن هذا الوزن كافة محتويات التشغيل الطبيعية (سوائل – حبوب – مواد أخرى) وذلك للخزانات والأوعية المضغوطة والصوامع والأنابيب.

4-9-4- دور الاهتزاز الأساسي (T):

يجب أن يتم تحديد قيمة الدور الأساسي للمنشأة المدروسة باستعمال طرائق منطقية ومقبولة، وذلك باعتماد التحليل الإنشائي الدقيق.

4-9-5- القوى الجانبية:

عندما تملك هذه المنشآت جمل إنشائية مشابهة للمباني العادية، فإنه يتم اختيار إجراءات حساب وتطبيق القوة الجانبية بطريقة مماثلة لما ورد في حسابات المباني.

4-9-6- قوى القص التصميمية (V):

4-9-6-1- المنشآت الصلبة:

تعرف المنشآت الصلبة بأنها المنشآت التي لها دور اهتزاز أساسي أقل من $(T \le 0.06\text{sec})$ ، وتصمم هذه المنشآت ونقاط تثبيتها لمقاومة تأثير القوى الجانبية الواردة في العلاقة التالية:

$$V = 0.7 C_a I W$$

ويتم توزيع هذه القوة وفقاً لتوزيع الكتلة، ويفترض أنها تؤثر بأي اتجاه أفقي.

4-9-6-2- الخزانات الأرضية:

يجب أن تصمم الخزانات الأرضية، لمقاومة القوى الزلزالية المحددة أعلاه والخاصة بالمنشآت الصلبة، مع الأخذ بالحسبان كامل وزن الخزان مع محتوياته من السائل:

$$V = 0.7 C_a I W$$

هذا ويمكن للدارس استعمال التحليل وفق طيف الاستجابة الذي يتضمن أخذ حركة الأرض الفعلية المتوقعة في الموقع المدروس وتأثيرات عطالة السائل المخزن.

ويمكن أيضاً استعمال أحد الكودات العالمية المختصة، مع مراعاة أن تكون المناطق الزلزالية وتصنيف الإشغالات متطابقة مع الاحتياطات الواردة في الكود السوري والتي تم توضيحها سابقاً (المادتين (3/3 و 5/3) من الملحق الثاني للكود السوري).

4-9-6-3- المنشآت الأخرى التي ليس لها شكل المباني:

يجب أن تصمم المنشآت الأخرى التي ليس لها شكل المباني (المنشآت الصلبة والخزانات الأرضية غير مشمولة)، لمقاومة القوى الزلزالية العائدة للمباني،على أن نأخذ بالحسبان بعض الإضافات والاستثناءات بحيث تؤخذ قيم العوامل R و Ω_0 من الجدول (4-21).

بالتالي يكون لدينا:

تحسب القوة الأفقية الكلية (V القص القاعدي) في اتجاه ما عند منسوب اتصال الأساس مع المنشأة وفقاً للعلاقة التالية:

$$V = \frac{C_v\ I}{R\ T} W$$

وبحيث لا يقل القص القاعدي الكلي التصميمي عن:

$$V_{\min} = 0.56 C_a\ I W$$

بالإضافة لذلك، يجب أن لا يقل القص القاعدي الكلي للمنطقة الزلزالية (4) عن:

$$V = \frac{1.6\ Z\ N_v\ I}{R} W$$

وكما ذكرنا في فصل سابق، فإن المنشآت تصمم على حركة الأرض التي تؤدي إلى حدوث استجابة إنشائية وقوى زلزالية في أي اتجاه أفقي، وتستعمل قوى الهزة الأرضية التالية في تراكيب الحمولات التي تم شرحها سابقاً.

$$E = \rho E_h + E_v$$
$$E_m = \Omega_0 E_h$$
$$\rho = 1$$

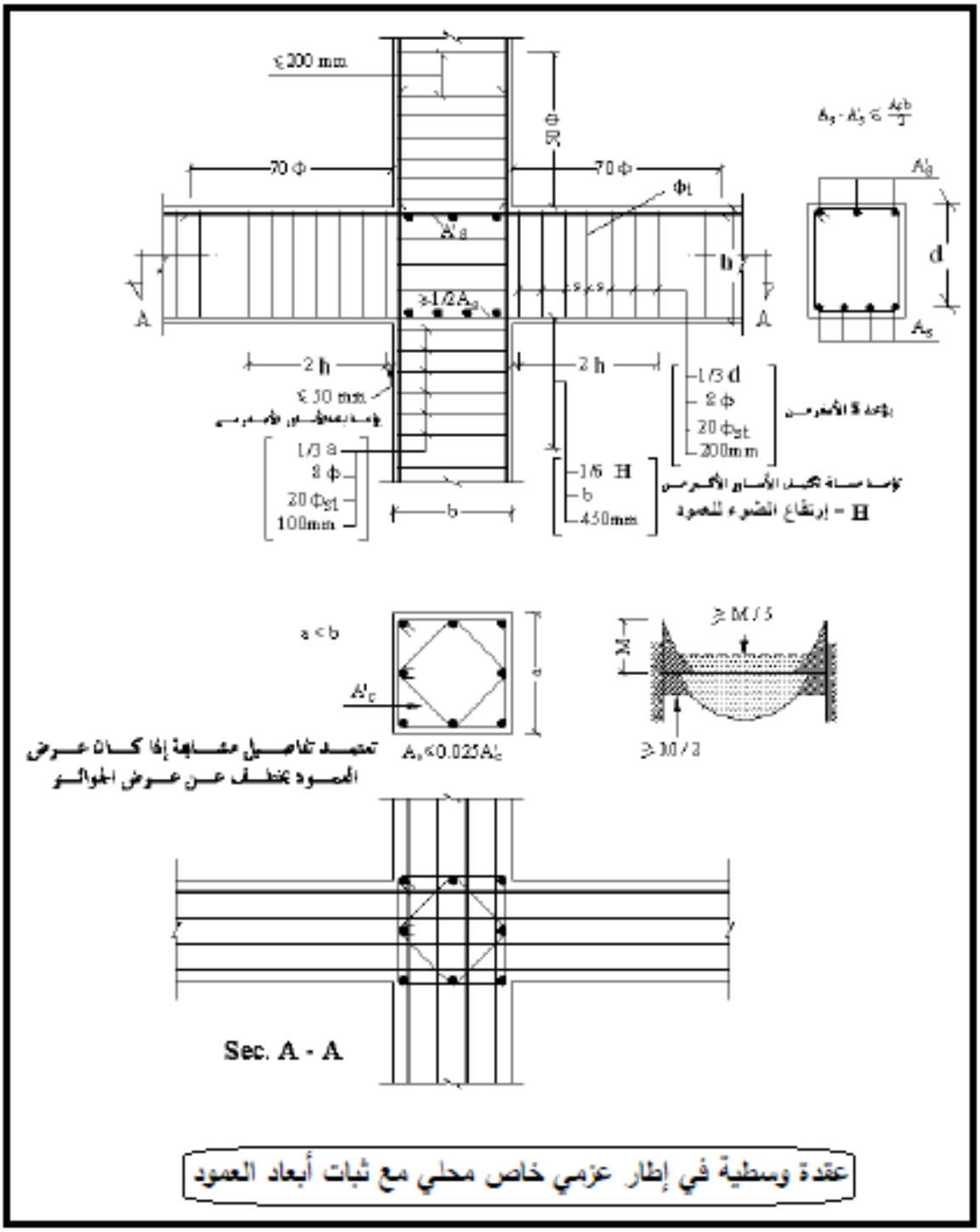
ويمكن تحديد التوزيع الرأسي للقوى الزلزالية التصميمية في هذا النوع من المنشآت، باستعمال الإجراء العائد للمباني.

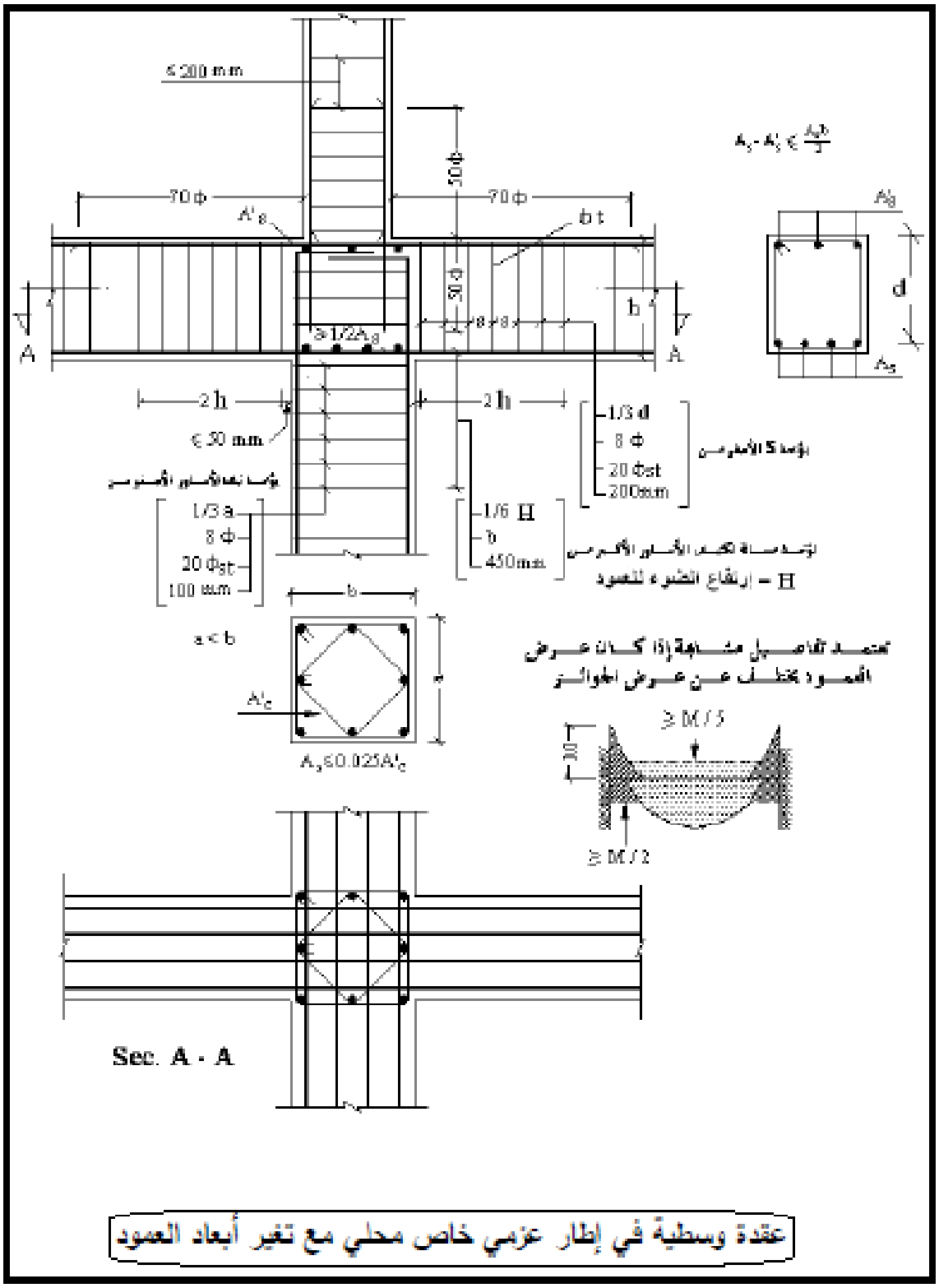
ويمكن للدارس استعمال كود عالمي مختص في إحدى هذه المنشآت، لتصميمها على الزلازل، مع الالتزام بما يلي:

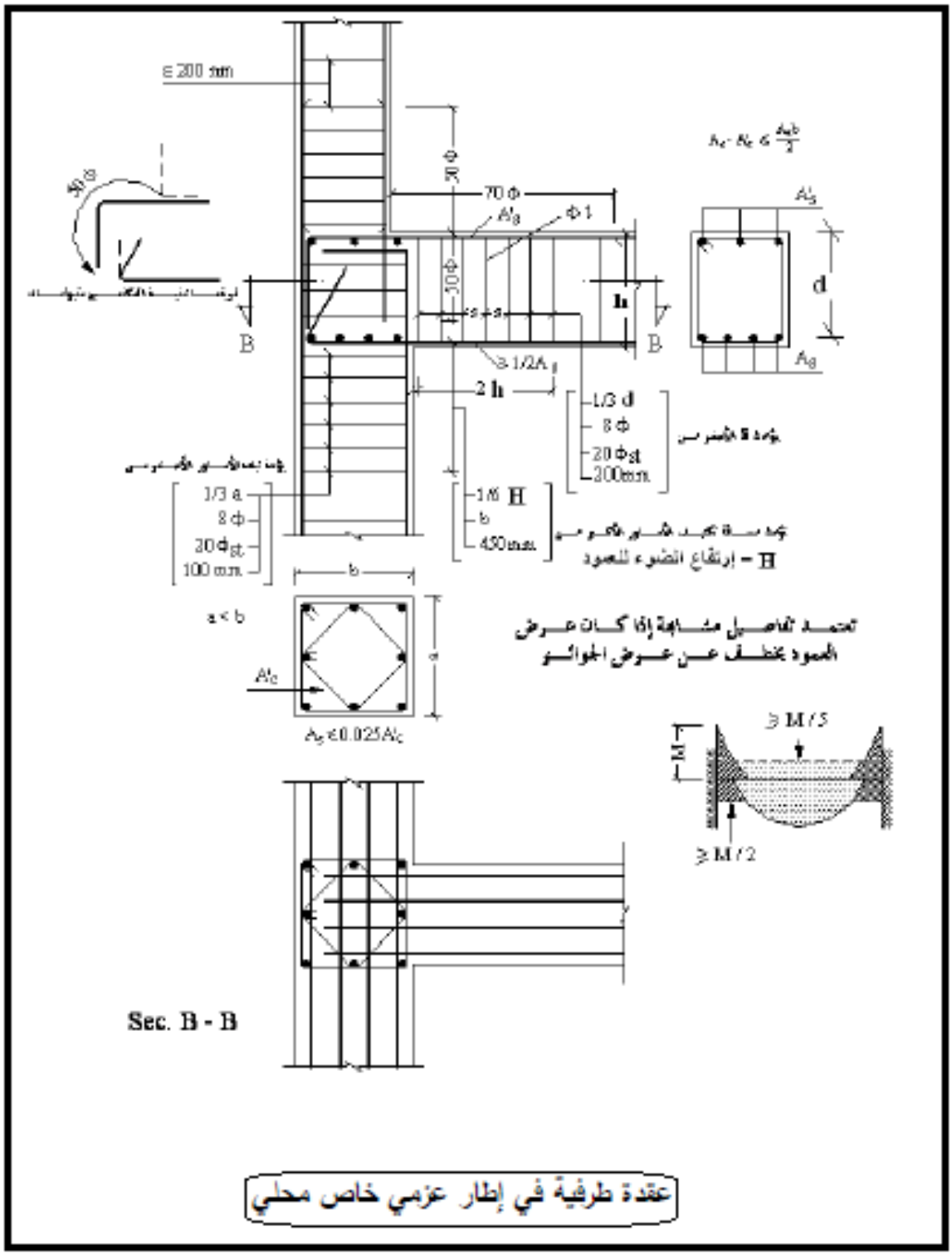
- مراعاة أن تكون المناطق الزلزالية وتصنيف الإشغالات متطابقة مع الاحتياطات الواردة في الكود السوري والتي تم توضيحها سابقاً (المادتين (3/3 و 5/3) من الملحق الثاني للكود السوري).
- يجب أن لا تقل قيمة كل من القوة الجانبية الكلية V، وعزم الانقلاب الكلي عند القاعدة، المستعملان في التصميم عن 80% من القيم التي يتم الحصول عليها باستعمال الإجراءات والاشتراطات الواردة في هذه الفقرة.

نوع المنشأة	R	Ω_0
(1) الأوعية، بما فيها الخزانات والخزانات الكروية المضغوطة والمحمولة على قوائم (أرجل) مربوطة أو غير مربطة.	2.2	2.0
(2) المآذن والصوامع والمداخن المصبوبة في المكان وذات الجدران المستمرة حتى الأساسات.	3.6	2.0
(3) المنشآت الكابولية (الظفرية) ذات الكتل الموزعة مثل المداخن فوق الأسطحة والمداخن والصوامع والأوعية الرأسية المستندة على حوامل مركزية.	2.9	2.0
(4) الأبراج الشبكية (المستندة بشكل حر أو المربطة بشدادات)، المداخن المربطة.	2.9	2.0
(5) المنشآت المؤلفة من أعمدة الكابولية (ظفرية).	2.2	2.0
(6) أبراج التبريد.	3.6	2.0
(7) القواديس والأقماع المستندة على قوائم مربطة أو غير مربطة.	2.9	2.0
(8) رفوف وحوامل التخزين.	3.6	2.0
(9) الإشارات ولوحات الإعلانات.	3.6	2.0
(10) منشآت الملاهي والآثار.	2.2	2.0
(11) كافة المنشآت الأخرى المستندة ذاتياً وغير الواردة فيما سبق، مثل الجدران الاستنادية والخزانات.	2.9	2.0

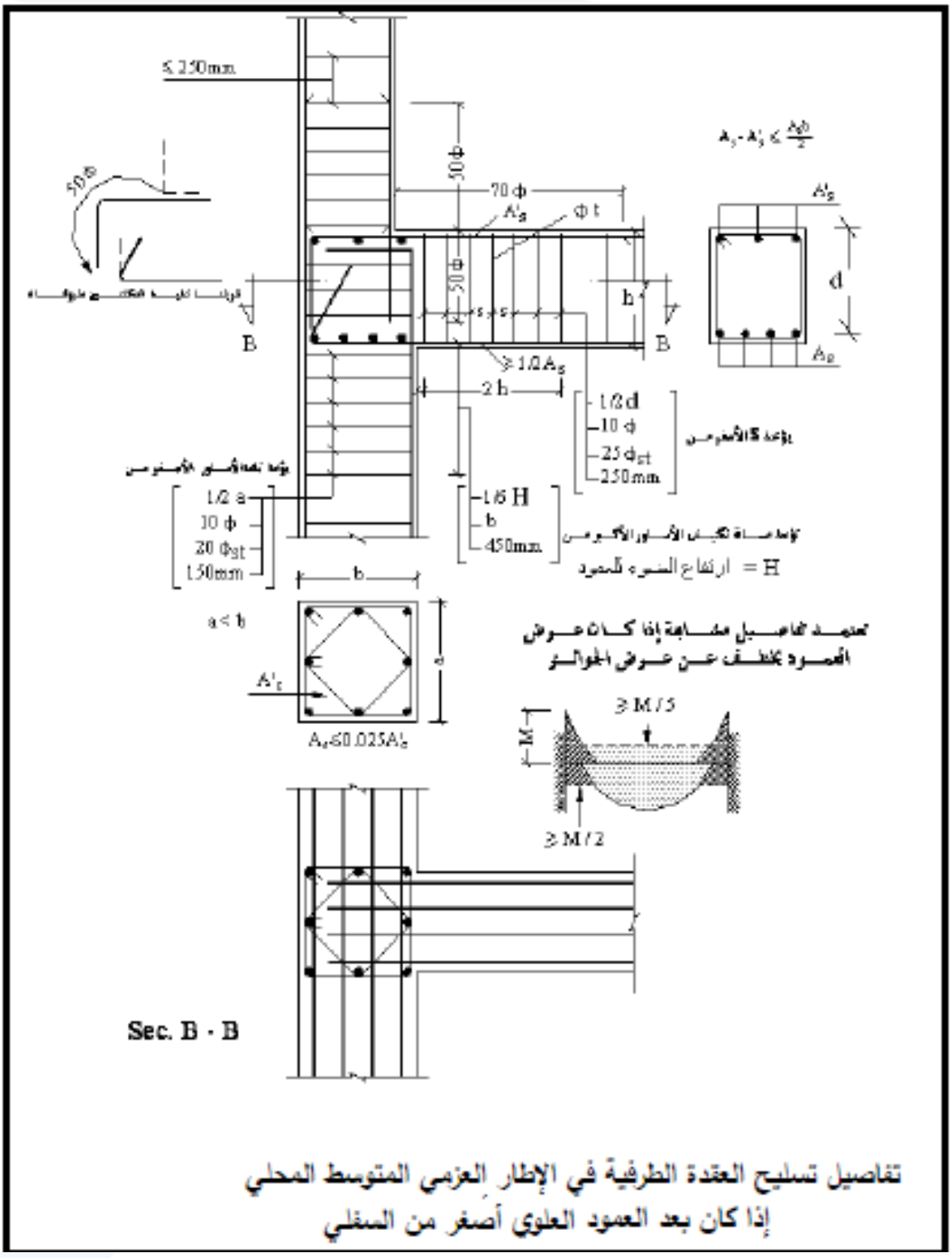
الجدول (4-21): قيمة العوامل R و Ω_0 للمنشآت غير المباني


≤200 mm
70 Φ
70 Φ
Φt
A's
≥1/2 A's
h
A
A
2 h
2 h
≤50 mm
1/3 a
8 Φ
20 Φst
100mm
b
1/3 d
8 Φ
20 Φst
200mm
1/6 H
b
450mm
H = إرتفاع الضوء للعمود
A's
d
As
a < b
A'c
A's<0.025Ac
تعتمد تفاصيل مشابهة إذا كان عرض العمود يختلف عن عرض الجوائز
M
≥ M / 3
≥ M / 3
Sec. A - A
عقدة وسطية في إطار عزمي خاص محلي مع ثبات أبعاد العمود

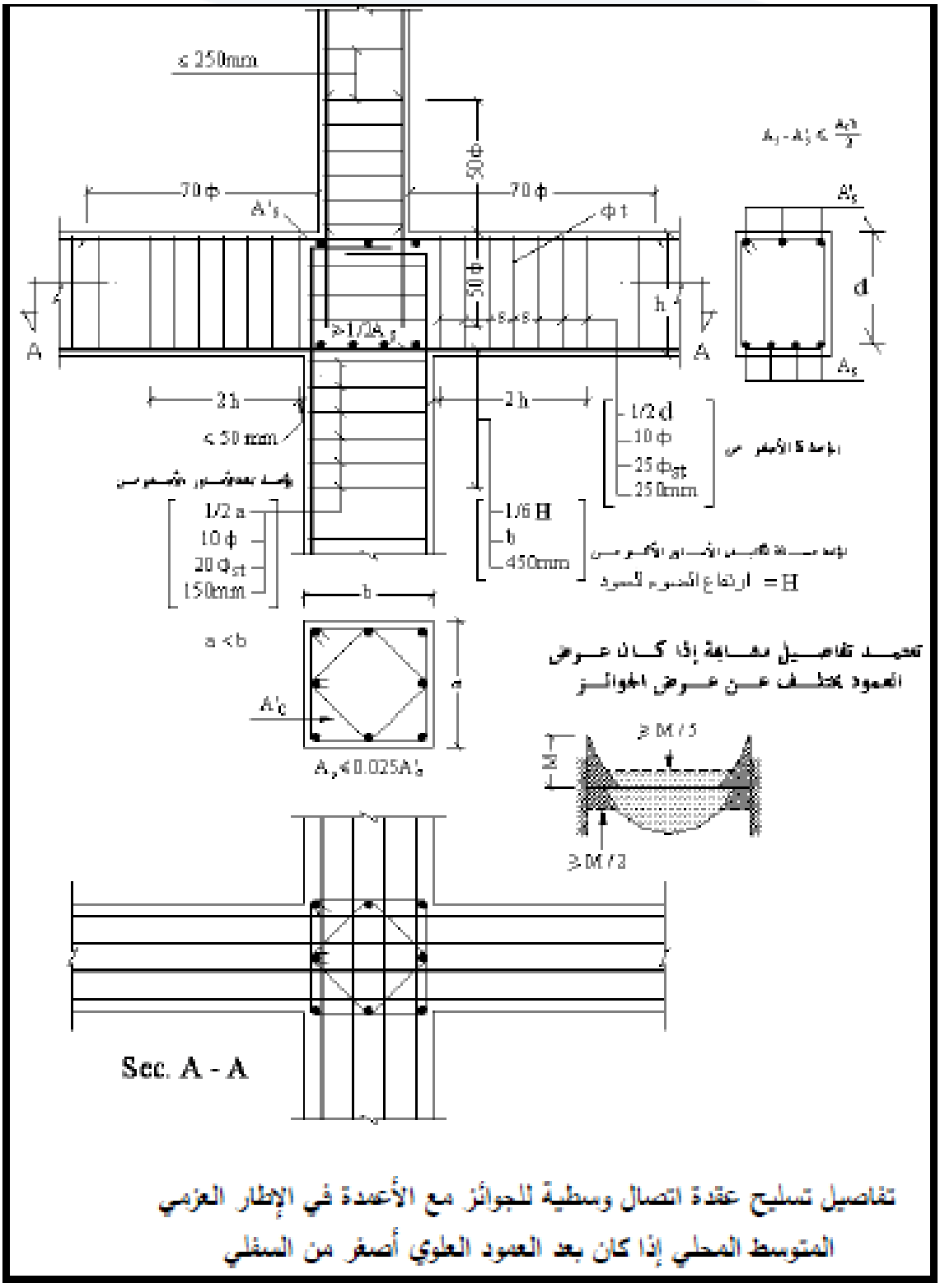

≤ 200 mm
70 Φ
70 Φ
10 Φ
30 Φ
A'sg
b t
h
A
A
≥ 1/2Asg
8 Φ
8 Φ
2 h
2 h
≤ 50 mm
1/3 a
8 Φ
20 Φst
100 mm
1/3 d
8 Φ
20 Φst
200mm
1/6 H
b
450mm
H = ارتفاع الشوه للعمود
b
a < b
A'c
Asg
d
As
As - A's ≤ Asg/3
≥ M / 5
≥ M / 2
Sec. A - A
عقدة وسطية في إطار عزمي خاص محلي مع تغير أبعاد العمود



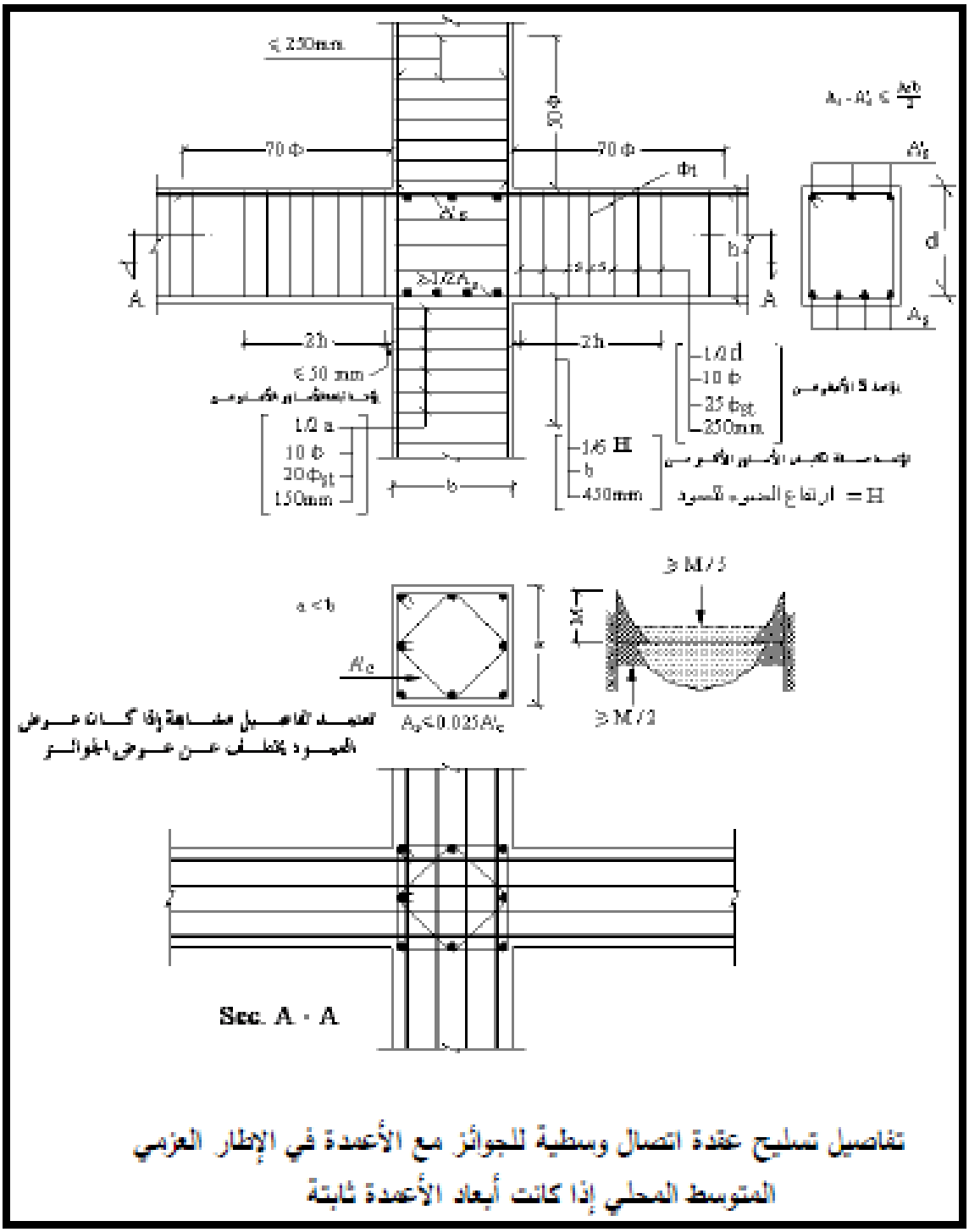
عقدة طرفية في إطار عزمي خاص محلي



تفاصيل تسليح العقدة الطرفية في الإطار العزمي المتوسط المحلي
إذا كان بعد العمود العلوي أصغر من السفلي



تفاصيل تسليح عقدة اتصال وسطية للجوائز مع الأعمدة في الإطار العزمي المتوسط المحلي إذا كان بعد العمود العلوي أصغر من السفلي



تفاصيل تسليح عقدة اتصال وسطية للجوائز مع الأعمدة في الإطار العزمي
المتوسط المحلي إذا كانت أبعاد الأعمدة ثابتة