

## الأبنية العالية وجملها الإنشائية (النظم) المقاومة للأفعال الأفقية

### 1-3- آراء عامة

إضافة للمصادر التقليدية للحمولات الأفقية المتمثلة بالرياح والزلازل، يمكن نشوء قوى أفقية أخرى في الأبنية العالية تنجم عن الأوزان الشاقولية ذاتها عند حدوث أسهم أفقية في الأبنية نتيجة الرياح أو الزلازل أو الحرارة أو هبوط التربة أو أي مصدر آخر.

عند حدوث سهم أفقي في المبنى فإن كل وزن شاقولي يمكن تحليله لمركبتين: الأولى منطبقة على المحور الجديد للعنصر الشاقولي (بعد الانحناء)، وينتج عنها إجهادات محورية، و الثانية أفقية ينتج عنها عزوم انعطاف. إن هذا التحليل هو نظرة أخرى لما يسمى تأثير  $P-\Delta$ ، حيث تمثل  $P$  الوزن الشاقولي، وتمثل  $\Delta$  الانزياح الأفقي، وهذا يوضح كيف تتشكل عزوم انعطاف في العناصر الشاقولية من الأوزان الشاقولية عند تعرض المبنى للانزياح الأفقي.

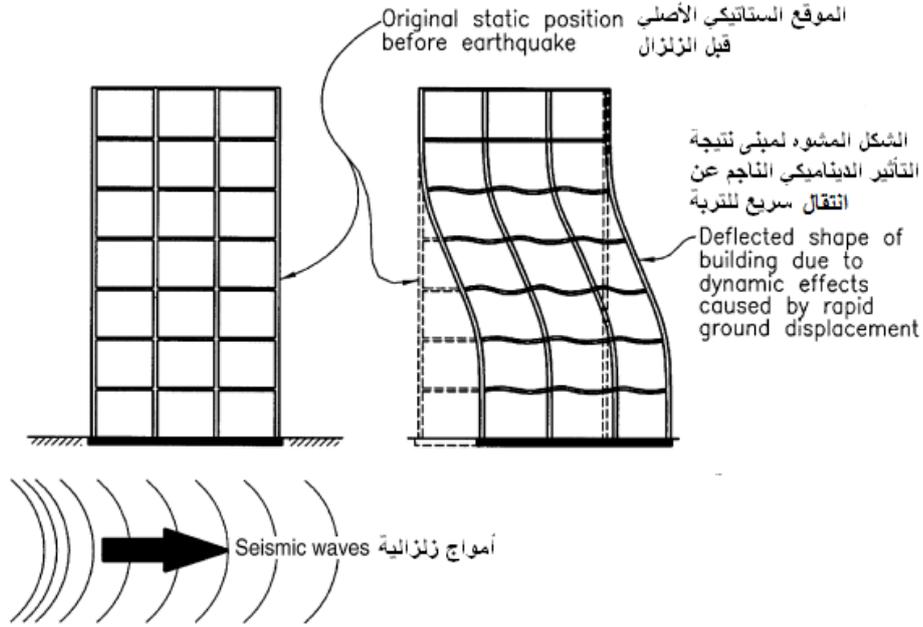
هذا وينجم عن الحرارة (انخفاض أو ارتفاع) قوى أفقية (شد أو ضغط) في السقف، إذا جرى استعمال عناصر شاقولية صلبة في نهايات السقف تمنع التقلص و التمدد، وحتى لو لم تمنع العناصر الشاقولية التقلص و التمدد الأفقيين للسقف، يوجد تأثير آخر للحرارة متمثل بتشكيل سهم أفقي في المبنى نتيجة لاختلاف درجة الحرارة على وجهي المبنى المتقابلين، وعندما يكون هذا السهم كبيراً لدرجة لا يمكن إهمالها ينتج عن الأوزان الشاقولية مركبات قوى أفقية كما سبق توضيحه سابقاً، بمعنى إن العناصر الشاقولية في المبنى تتعرض لتأثير  $P-\Delta$ .

أخيراً، ينتج عن اختلاف هبوط التربة تحت الأساسات ميلان في المبنى، وعندما يكون المبنى منخفض الارتفاع فيمكن إهمال هذا التأثير، أما في الأبنية العالية فلا يمكن إهماله إذ أن مركز ثقل المبنى سيتحرك أفقياً مما ينتج عنه عزوم انحناء في العناصر الشاقولية في الطوابق المختلفة و على الأساسات.

يجب على الدارس التمييز بين سلوك المنشآت والأبنية وذلك تبعاً لنوع الحمولات المطبقة عليها، فهذا السلوك الإنشائي يختلف بشكل كبير في حالة الزلازل مقارنة بالرياح أو بحمولات الجاذبية الأرضية.

تنتج القوى الزلزالية مباشرة من التشوهات والانحرافات الناجمة عن حركة الأرض التي تتوضع عليها المنشأة، وأن قيم هذه القوى وتوزيعها وكذلك الانتقالات الناتجة ترتبط بخواص المنشأة وأساساتها، فضلاً عن خواص الحركة الأرضية ذاتها. إن شكل الاستجابة المبسط والموضح في الشكل (1-3) يعطي فكرة عن سلوك مبنى ما أثناء حدوث الزلزال، فعندما يحصل انزياح ما في تربة التأسيس يتحرك أساس المنشأة معها، ومع ذلك يحصل أن المنشأة الواقعة فوق الأساس تمنع الحركة مع هذا الأساس بسبب أن عطالة كتلة المنشأة تقاوم الحركة وبالتالي تسبب تشوه المنشأة،

وموجة التشوه تنتقل على كامل ارتفاع المنشأة، وإن استمر اهتزاز القاعدة سيخضع المنشأة إلى جملة أو سلسلة معقدة من الاهتزازات.



الشكل (1-3): سلوك مبنى ما أثناء الزلزال

بالرغم من أن الحمولات الزلزالية وحمولات الرياح هي أساساً حمولات ديناميكية، يوجد فرق جوهري في الطريقة التي من خلالها يتم تحريض المنشأة، فحمولات الرياح التي تطبق كحمولات خارجية تتناسب بشكل مميز مع السطح المعرض للمنشأة، بينما قوى الزلازل هي قوى عطالة بشكل أساسي تنجم عن التشوهات الناتجة عن مقاومة عطالة المنشأة للحركات الزلزالية، وإن مقدار القوى الزلزالية تابع لكتلة المنشأة.

عند تصميم المباني لمقاومة الرياح، يتولد عند الدارس إحساس كبير بالأمان حول سلامة المبنى من خلال تكبير المقاطع، وهذا الأمر لا يؤمن بالضرورة السلامة الإنشائية المأمونة في حالة الزلازل.

إن التصميم الإنشائي للأبنية الواقعة في مناطق زلزالية، معني بالدرجة الأولى بتأمين السلامة الإنشائية أثناء حدوث الزلازل الهامة، ولكنه أيضاً يعالج مسألة قابلية الاستثمار وزيادة أداء هذه الأبنية وخاصة التي لها أهمية خاصة، إضافة للحد قدر الإمكان من الخسائر الاقتصادية. نلاحظ أن الأدبيات الزلزالية والقواعد والكودات المحلية والعالمية تهدف إلى أن تكون المنشآت الواقعة في مناطق زلزالية قادرة على مقاومة:

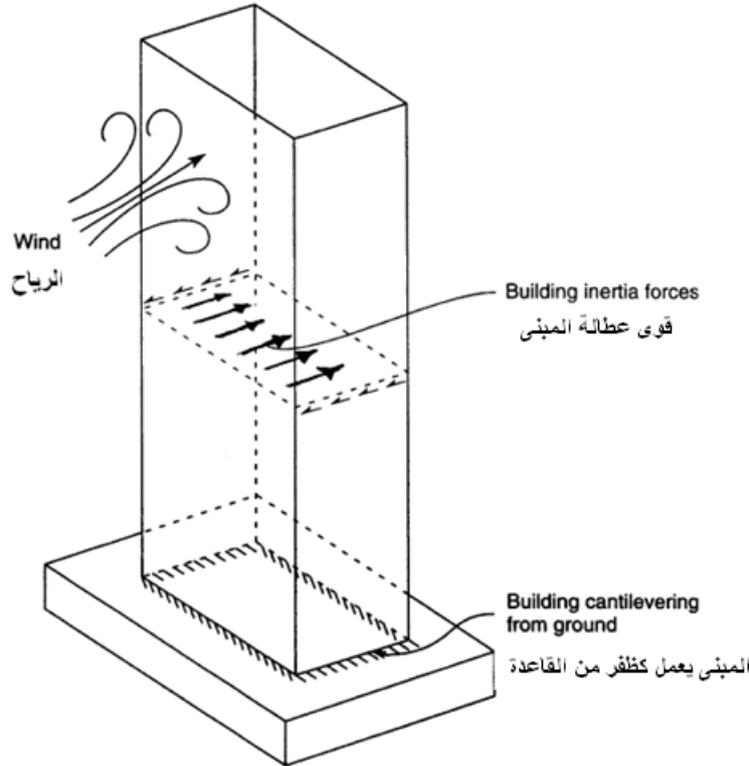
- الزلازل الخفيفة (شدة زلزالية ضعيفة)، دون أضرار تذكر.
- الزلازل المتوسطة (شدة زلزالية متوسطة)، مع إمكانية نشوء أضرار إنشائية طفيفة وأضرار غير إنشائية.

- الزلازل الكبيرة (شدة زلزالية عالية)، حصول أضرار إنشائية وغير إنشائية، دون حصول الانهيار. وفي كل الأحوال، يجب ألا يحصل أي خسارة أو ضياع لقدرة تحمل المنشآت للحمولات الشاقولية (قوى الجاذبية) عندما تقاوم الزلازل.

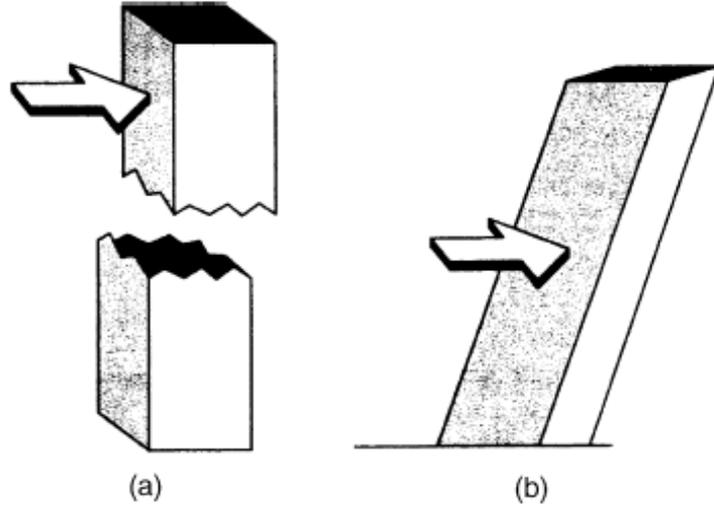
يتطلب تحديد الفعل الزلزالي الفهم الدقيق للسلوك الإنشائي للأبنية التي يحصل فيها تشوهات كبيرة دورية وغير مرنة، وهذا الأمر يتطلب بذل جهود كبيرة وإجراء تحاليل خاصة وتفصيلية مع ترتيبات وإجراءات صارمة بهدف ضمان أداء زلزالي مقبول وذلك في مرحلة ما بعد المرونة.

في الواقع، يمكن إدراك المفهوم الإنشائي لمبنى خاضع لأفعال أفقية من رياح أو زلازل، وذلك من خلال تمثيله بجائز ظفري موثوق في الأرض كما هو مبين في الشكل (2-3)، فعند مقاومة المبنى للقص يجب ألا ينكسر بفعل الجهد القاطع وألا يتشوه بقيمة تزيد عن حد المرونة (الشكل 3-3)، وبشكل مماثل وعند مقاومته للعزوم يجب على المبنى ألا ينقلب وألا تنهار أعمدته بسبب زيادة القوى الضاغطة أو الشادة، وكذلك ألا تزيد التشوهات الانعطافية عن الحد المرن (الشكل 4-3).

في الواقع، يتبين أنه في حالة دراسة المباني لمقاومة الحمولات الديناميكية من زلازل ورياح، ولادة مسألة هندسية ثالثة تتمثل بفعل الاهتزازات، إضافة لمعالجة مسألتَي القص والانعطاف، فإذا انزاح المبنى كثيراً يكون ذلك على حساب راحة الشاغل، إضافة لما ينجم عن انهيار العناصر غير الإنشائية من خسائر بشرية وأضرار مادية.

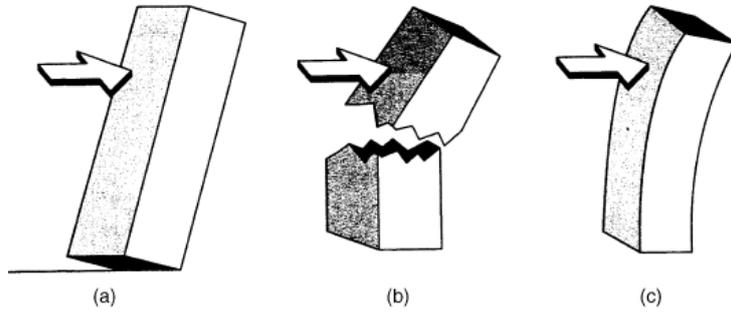


الشكل (2-3): المفهوم الإنشائي لمبنى خاضع لقوى جانبية



(a) يجب ألا ينكسر المبنى ، (b) عدم حصول تشوهات قص كبيرة

الشكل (3-3): مقاومة المبنى للقص



(a) يجب عدم انقلاب المبنى ، (b) يجب عدم انهيار الأعمدة بالشد أو بالضغط

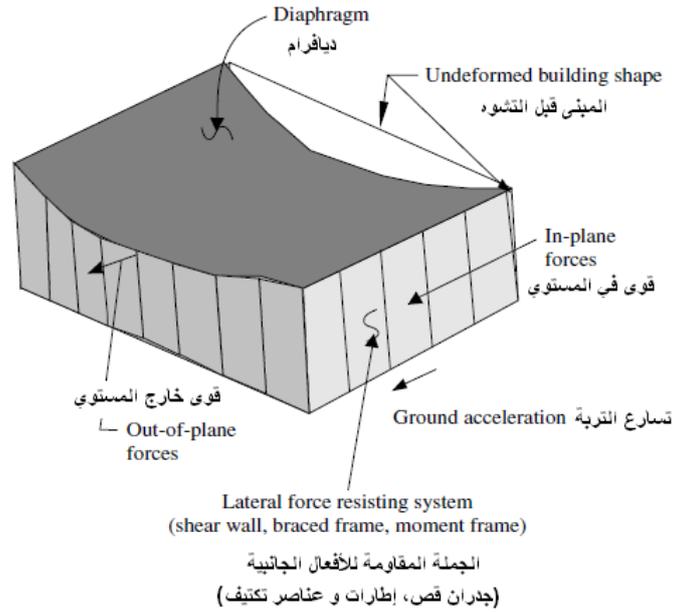
(c) عدم حصول تشوهات انعطاف كبيرة

الشكل (4-3): مقاومة المبنى للانعطاف

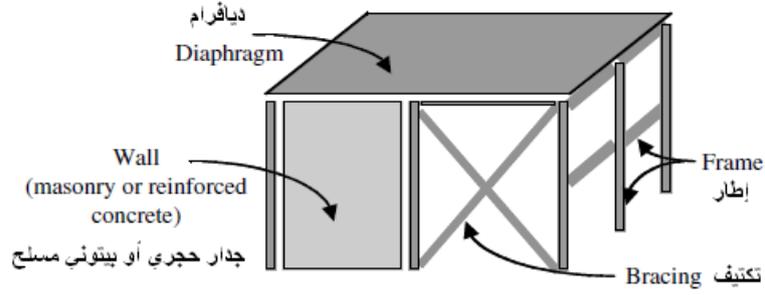
يبين الشكل (5-3) تأثير انتقالات التربة الناجمة عن زلزال ما على منشأة ما، حيث نلاحظ التشوهات المختلفة نتيجة ولادة قوى مختلفة في عناصر جملته الإنشائية.

ولكي يكون المبنى قادراً على مقاومة الحمولات الجانبية من زلازل أو رياح يجب أن يحوي عناصر شاقولية ذات متانة كافية (الشكل 6-3)، كالعناصر الإطارية أو جدران القص أو عناصر التكتيف الفولاذية (تعمل على الشد أو الضغط)، لمقاومة تأثير هذه الحمولات ونقلها بشكل أمين إلى الأساسات والتربة، كذلك يجب أن يتم ربط هذه العناصر الشاقولية

بعناصر أفقية قادرة على توزيع القوى الأفقية على العناصر الشاقولية، وتسمى هذه العناصر الأفقية بالديافرامات (Diaphragms)، ويمكن أن تحوي الجملة الإنشائية لمبنى ما مجموع هذه العناصر أو بعض منها. تأخذ الجمل المقاومة للزلازل في الأبنية الفولاذية الحديثة أشكالاً مختلفة كما هو مبين في الشكل (3-7)، حيث نلاحظ استعمال تكوينات مختلفة من أنظمة التكتيف (قطري، X, V, K, ...)، هذا وإن الإطارات المقاومة للعزوم قادرة أيضاً على مقاومة القوى الجانبية، وفي مثل هذه المنشآت تصمم عقد الاتصال بين الجوائز والأعمدة لمقاومة الدورانات بينها لكي تعمل هذه الأعمدة والجوائز مع بعضها بعضاً في مقاومة الحركة الجانبية عن طريق العزم، وهذا بعكس ما يحدث في حالة الإطارات المكتفة حيث تقاوم الحمولات عن طريق الشد والضغط في الأربطة (عناصر التكتيف)، ونشير هنا إلى أنه وفي كثير من الأحيان يتم تصميم الأبنية الفولاذية مع إطارات مقاومة للعزوم في اتجاه ما، وإطارات مكتفة في الاتجاه الأخر أو تكون مدمجة مع جدران قص من البيتون أو من الحجر.



الشكل (3-5): تأثير انتقالات التربة الناجمة عن زلزال ما على منشأة ما



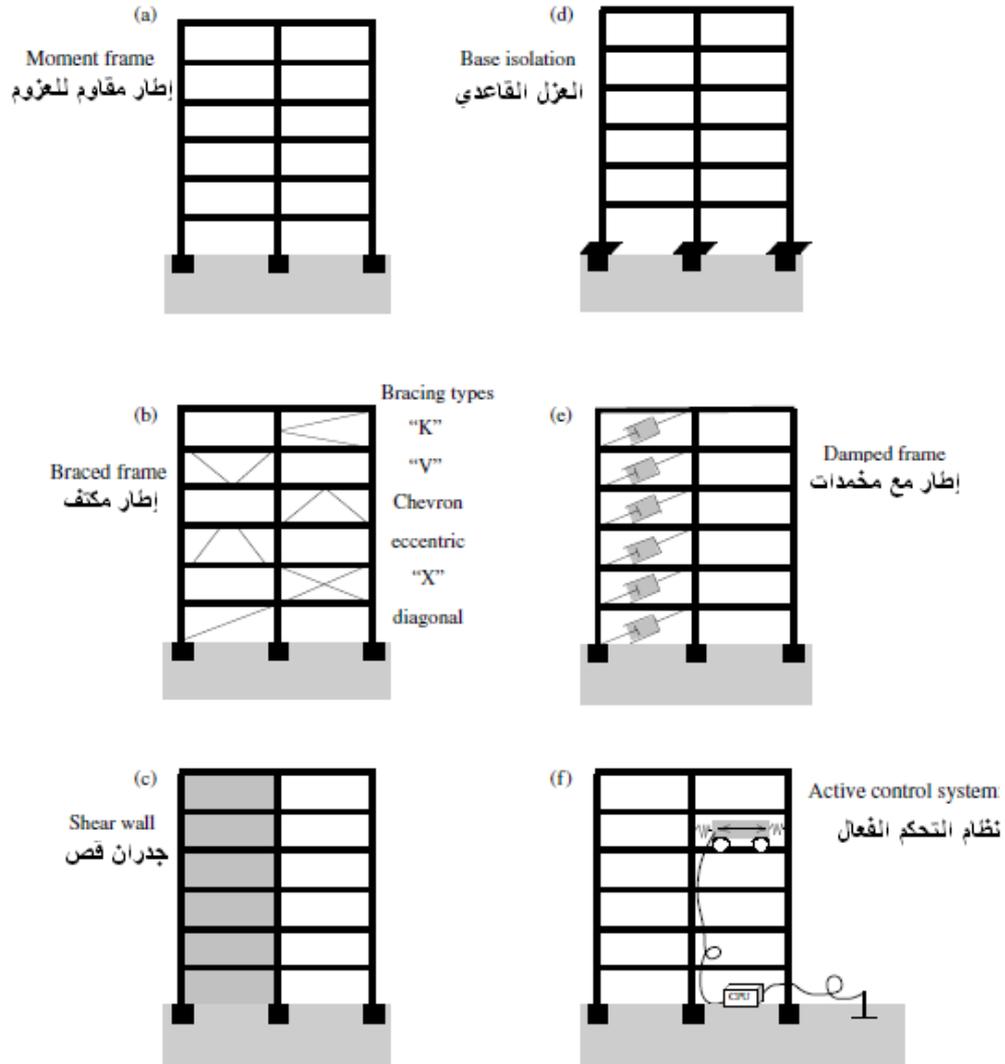
الشكل (6-3): العناصر المكونة لجملة إنشائية مقاومة للأفعال الأفقية

وفيما يخص المنشآت البيتونية أو الحجرية فيمكن استخدام الإطارات المقاومة للعزوم أو جدران القص بهدف تأمين مقاومتها الجانبية، ويفضل أن تكون جدران القص، الداخلية والخارجية، ممتدة من الأساسات حتى السطح، على أن تتصل مع بقية الإطار البيتوني بحيث تصبح مقاومة لحركة البلاطة الواحدة بالنسبة للأخرى. يمكن أن تنفذ جدران القص من البيتون المصبوب بالمكان أو من البيتون مسبق الصنع أو من القرميد المسلح أو من البلوك البيتوني المفرغ والمسلح، مع الإشارة إلى إمكانية استعمال جدران قص فولاذية ولكنها غير دراجة. ونشير هنا إلى أنه منذ عقدين ونيف، يتم استخدام تقنيات حديثة في الأبنية والمنشآت الواقعة في مناطق زلزالية بهدف تحسين سلوكها الإنشائي وتأمين الحماية الزلزالية، وهذه التقنيات غير التقليدية فعالة وتصلح أيضاً للأبنية القديمة القائمة (الشكل 7-3). تدعى هذه التقنيات بوسائل التحكم، وللتحكم أنواع ونظم مختلفة منها:

- نظام التحكم الفعال (Active control system): يطبق عند تأثير قوى ديناميكية خارجية، قوى معاكسة لها بواسطة نظام خاص يتدخل عندما ترد إليه إشارات من مستشعرات متوضعة على المنشأة لقياس آثار القوى الخارجية الخطيرة، وهذه القوى المعاكسة يمكن استخدامها لإضافة طاقة أو لتبديد طاقة في المنشأة.
- نظام التحكم الخامل (Passive control system): هذا النظام لا يحتاج لمصدر طاقة خارجي وإنما يقوم بتبديد دخل الطاقة من خلال آليات خاصة بالنظام المستخدم، بالتالي تنقص سعة الاهتزازات. تحوي هذه النظم مجموعة من المواد والأجهزة لتحسين التخميد والصلابة والمقاومة للأبنية والمنشآت.

وبشكل عام، يتحكم في الاختيار المبدئي للجملة الإنشائية المستخدمة في مقاومة الأفعال الأفقية مقدار الانتقال الأعظمي المسموح حيث إن بعض الجمل الإنشائية تعطي انتقالات أفقية مقبولة إذا استخدمت لعدد معين من الطوابق أما إذا زاد العدد الكلي للطوابق المستخدمة عن حد معين عندها يفضل الانتقال إلى جملة إنشائية أخرى تعطي انتقالات أفقية مقبولة للعدد الكلي من الطوابق المستخدمة. خلال فترة المائة والخمسون الماضية، تم استخدام أنواع مختلفة من الأبنية العالية يمكن تلخيصها وفق ثلاثة أجيال:

- الجيل الأول: هو النوع الذي تم فيه استعمال الحديد المطاوع في تشييد الأبنية من عام 1850م واستمر حتى 1910م، وكانت تقاوم الحمولات الشاقولية (الجاذبية) عن طريق الجدران الخارجية.
  - الجيل الثاني: بدأ عام 1883م (بناية الضمان في شيكاغو)، ثم في عام 1913 تم إنشاء (Woolworth building)، ليصار في عام 1931م إلى تنفيذ (Empire state building)، وكانت هذه الأبنية مكونة من منشآت إطارية هيكلها الإنشائي عبارة عن أعمدة ملحومة أو مبرشمة مع الجوائز، وغالباً ما تكون محاطة ببيتون من الداخل، أما في الخارج فيحيط بها جدران حاجبة غير عاملة (Curtain walls).
  - الجيل الثالث: يمكن القول أنه بدأ هذا النوع انطلاقاً من عام 1960م (الأبنية الشاهقة)، حيث يكون المحيط الإنشائي الخارجي على شكل أنبوبي مكون من مجموعة أعمدة متقاربة أو أعمدة ضخمة متباعدة ومربطة (تكتيف)، وأما في الداخل فيكون الحل الإنشائي عبارة عن نوى منفذة من البيتون المسلح أو من الفولاذ أو تكون مختلطة، حاوية على التجهيزات والخدمات من مصاعد و أدراج وتجهيزات ميكانيكية وحمامات وغيرها...
- يتجلى فن تصميم الأبنية العالية المعرضة لرياح شديدة من خلال تزويدها بجمل إنشائية تقاوم هذه القوى، وأيضاً تؤمن صلابة كافية وتبدد الطاقة بحيث لا تقلق راحة الشاغلين في الطوابق العليا بسبب الانزياحات الناجمة عن أفعال الرياح.
- بالمقابل، وفي المناطق الزلزالية يكون تأثير القوى الزلزالية على الأبنية العالية صغيراً نسبياً، فعلى سبيل المثال وفي منطقة بشدة زلزالية كبيرة (وسط لوس أنجلوس)، تبين أن قوة القص القاعدية لبناء فولاذي مكون من 60 طابقاً كانت حوالي 4% من كتلته، بينما وصلت إلى 9% من أجل مبنى مكون من خمسة طوابق، بالتالي يكون القصد في حالة التصميم المقاوم للزلازل، بالحد من حركات المبنى والحفاظ على استقراره، ومنع الأضرار والخسائر بسبب انكسار وسقوط العناصر غير الإنشائية.
- من الناحية الإنشائية يعتبر المبنى عالياً إذا تأثر تصميمه بالقوى الأفقية (زلازل ورياح)، ويتمثل هذا التأثير بزيادة أبعاد وتسليح الهيكل الحامل المشكل للجملة الإنشائية المقاومة لهذه القوى عما يتطلبه التصميم للحمولات الشاقولية (الجاذبية).
- وفي هذا الفصل نعالج موضوع الجمل الإنشائية المقاومة للأفعال الجانبية في الأبنية بشكل عام، وسوف نعرض في فصل لاحق شرحاً مفصلاً للجمل الإنشائية التي تم اعتمادها لأهم الأبنية العالية في العالم.



الشكل (7-3): (a - c) جمل إنشائية تقليدية لمقاومة الزلازل

(d - f) جمل إنشائية حديثة للحماية من الزلازل

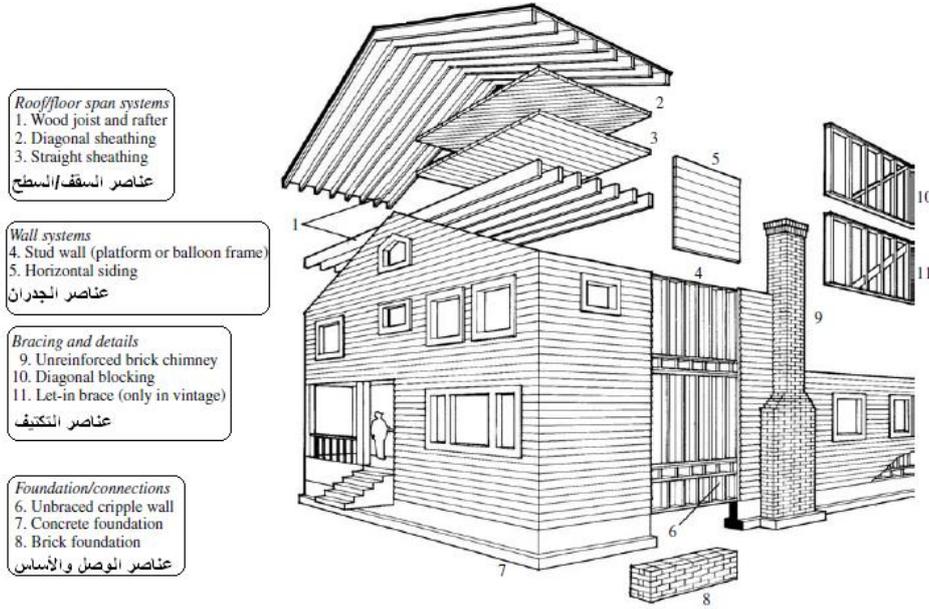
### 2-3- أنواع الأبنية والأداء الزلزالي النموذجي

تختلف الأبنية المقامة في مناطق زلزالية وفقاً لتغير أداؤها الزلزالي وحاجات التصميم، ويمكن أن نلاحظ وجود نوعين من الأداء: أداء إنشائي وآخر غير إنشائي، وعندما لا نستطيع تحقيق متطلبات أحدهما سينجم عنه أضرار في الأبنية يمكن أن تسبب خطراً على الشاغلين. يعرف الضرر الإنشائي بتدهور الهيكل الحامل المتمثل بالجملة الإنشائية المقاومة للحمولات الشاقولية أو الأفقية (إطارات أو جدران قص...)، وبالمقابل لا يشكل الضرر غير الإنشائي خطورة على السلامة الإنشائية ولكن يمكن أن يسبب خطراً على حياة البشر وخسارة مادية كبيرة، ومن هذه الأضرار نذكر: انهيار المداخل، تكسر النوافذ وسقوط الأسقف المستعار، تشوهات في التمديدات الصحية وتجهيزات الاتصالات ولوحات المراقبة...

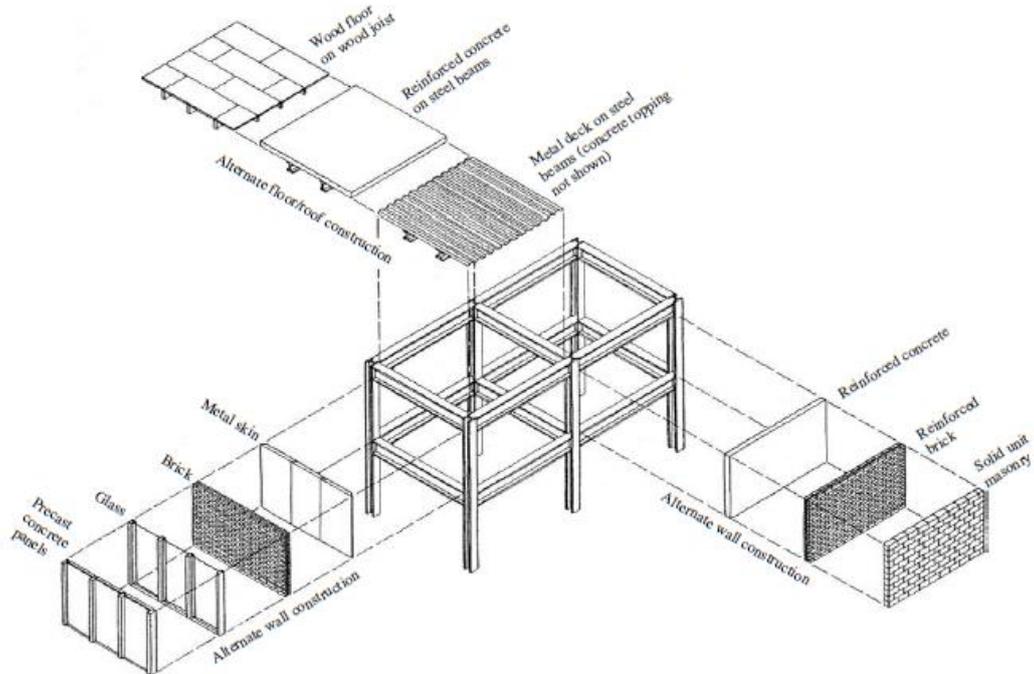
إن تحديد نوع الضرر عملية معقدة جداً كونها مرتبطة بعدة عوامل، منها: نوع الجملة الإنشائية وعمرها، التكوين المعماري، مواد الإنشاء، ظروف الموقع وعلاقة المبنى بالوسط العمراني المحيط، ونوع العناصر غير الإنشائية... في الواقع، تلعب خواص المواد المكونة للعناصر الإنشائية لمنشأة ما، دوراً هاماً في تحسين سلوكها الإنشائي إزاء الحمولات الخارجية المطبقة وخاصة الديناميكية منها، وهذا السلوك يرتبط مباشرة بسلوك المادة ذاتها وفق النحو التالي:

- عامل مطاوعة المقطع العرضي للعنصر الذي يعتمد بدوره على مادة العنصر (تبديد الطاقة).
- وزن المنشأة الذي يرتبط بالوزن الحجمي لمادة الإنشاء.
- المقاومات المميزة لمواد الإنشاء.
- النسبة بين مقاومة المادة ووزنها الحجمي، فزيادة هذا العامل هي مؤشر لجودة سلوك المنشأة.

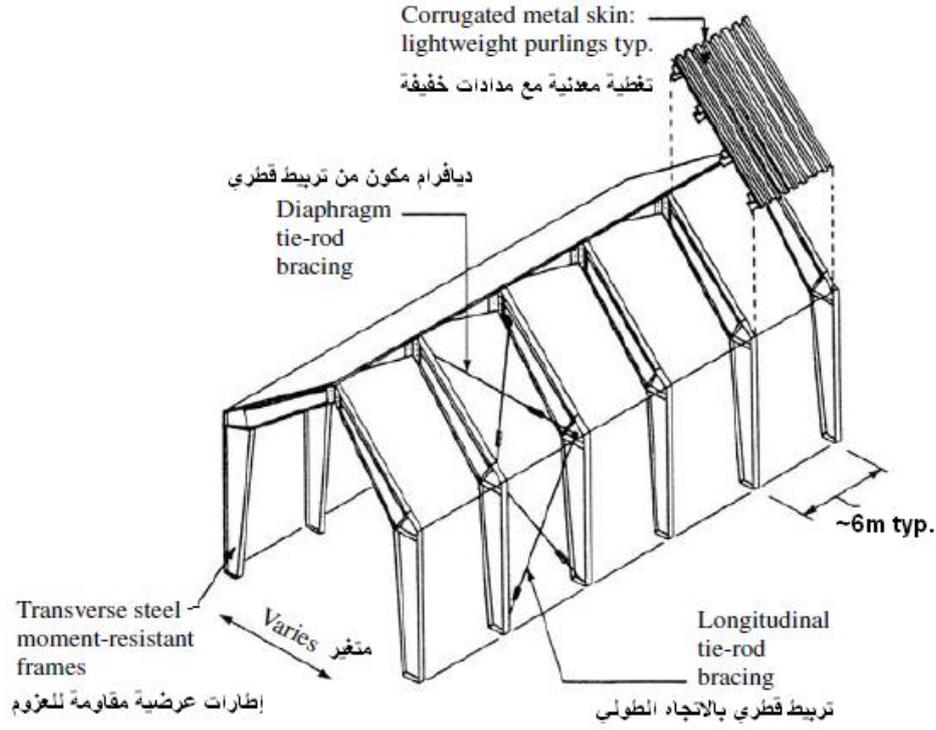
تبين الأشكال (من 3-8 حتى 3-12) أنواع الأبنية المستخدمة قديماً وحديثاً، مع مكوناتها الإنشائية وغير الإنشائية.



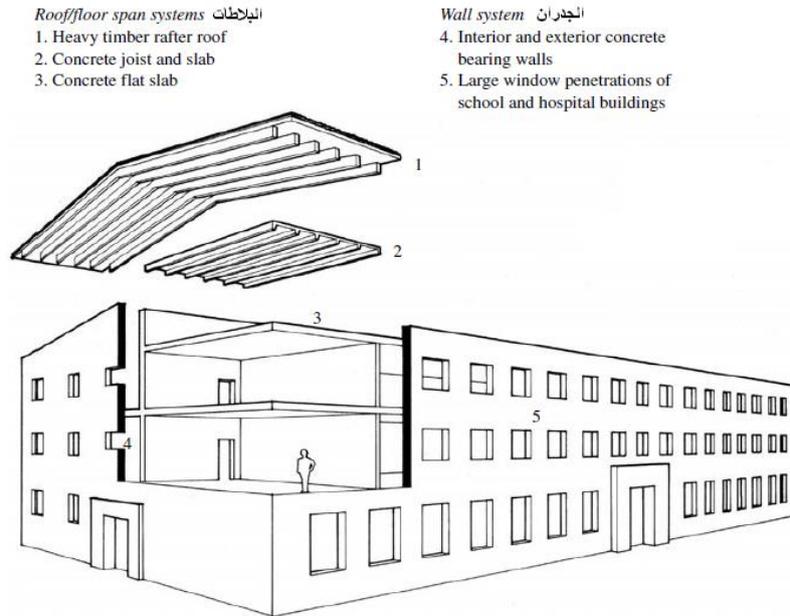
الشكل (8-3): رسم تخطيطي لمبنى خشبي (العناصر الإنشائية وغير الإنشائية)



الشكل (9-3): منشأة فولاذية من إطارات مقاومة للعزوم



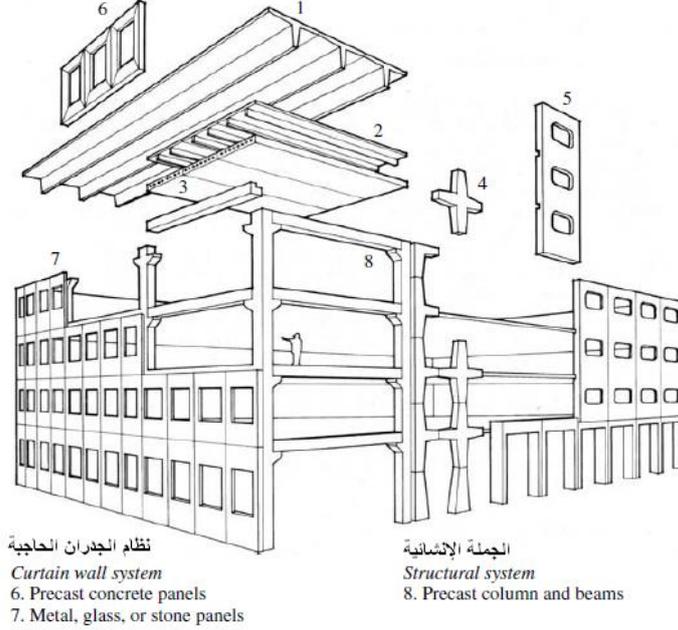
الشكل (10-3): منشأة فولاذية خفيفة



الشكل (11-3): منشأة بيتونية من جدران قص

Rooffloor span systems البلاطات  
1. Structural concrete "T" sections  
2. Structural double "T" sections  
3. Hollow core concrete slab

Wall systems الجدران  
4. Load-bearing frame components (cross)  
5. Multistorey load-bearing panels



نظام الجدران الحاجبة  
Curtain wall system  
6. Precast concrete panels  
7. Metal, glass, or stone panels

الجملة الإنشائية  
Structural system  
8. Precast column and beams

الشكل (3-12): منشأة من البيتون مسبق الصنع

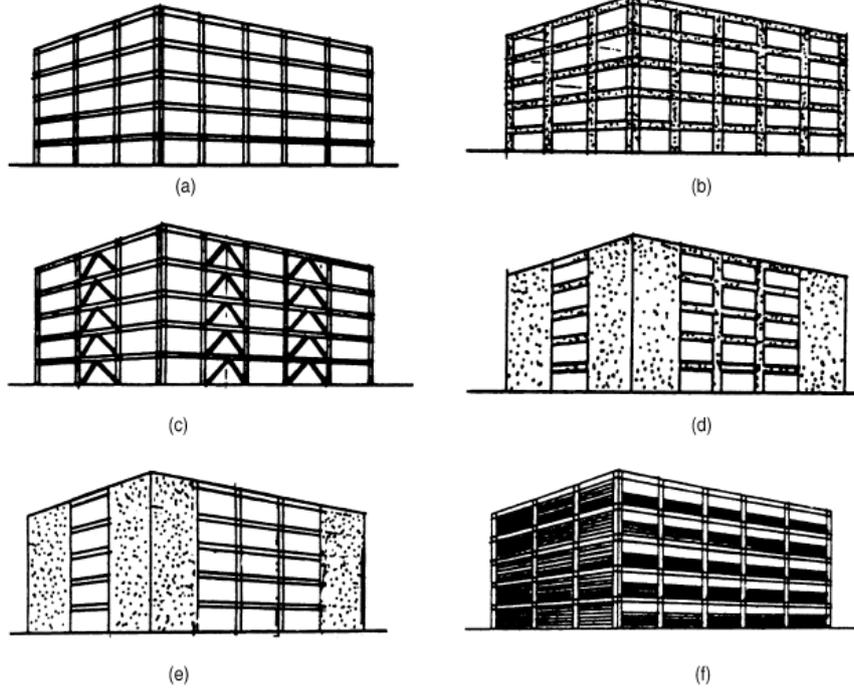
### 3-3- الجمل الإنشائية المقاومة للأفعال الأفقية

#### 3-3-1- أنواع الجمل الإنشائية:

يتم تأمين مقاومة المنشآت والأبنية الخاضعة لأفعال جانبية عن طريق جمل إنشائية مختلفة، ونورد فيما يلي الجمل الأكثر استخداماً في الحياة العملية (الشكل (3-13):

- الجمل الإنشائية المكونة من إطارات فراغية ثلاثية الأبعاد.
- الجمل الإنشائية المكونة من إطارات مقاومة للعزوم.
- الجمل الإنشائية المكونة من جدران قص.
- الجمل الإنشائية المكونة من إطارات مكتفة مع ديافرامات أفقية.

في الأبنية التي يتم فيها الاعتماد على جملة إطارات فراغية لمقاومة الأفعال الأفقية، تعمل الجوائز والأعمدة فيها بالانعطاف، ويتم ضبط الانتقال الطابقي بحيث لا يحصل انهيار هذه العناصر، مع إمكانية تشكل تضررات وعيوب في العناصر غير الإنشائية مثل الجدران والقواطع والاكساءات.



(a) إطار فولاذي مقاوم للعزوم، (b) إطار بيتوني مسلح مقاوم للعزوم، (c) إطار فولاذي مع تكتيف  
(d) جدران قص من البيتون المسلح، (e) بناء إطاري فولاذي مع جدران قص مصبوبة بالمكان  
(f) بناء إطاري فولاذي مع جدران ملئ غير مسلحة.

### الشكل (3-13): الجمل الإنشائية المقاومة للأفعال الجانبية

الأبنية الحاوية على جدران قص أو إطارات مكتفة، تكون أكثر صلابة مقارنة مع النظم الإطارية، ويكون الانتقال الناجم عن قوى القص صغيراً. يعتبر استخدام جدران القص في الأبنية من أكثر الطرائق اقتصادية للحد من الأضرار ، ويمكن القول أنه أكثر ملائمة للأبنية حتى ارتفاع حوالي 15 طابقاً، مع وجود بعض الاستثناءات في الأداء المميز للجدران القصية وذلك عندما يكون عامل الرشاقة (النسبة بين الارتفاع والعرض) كبيراً بحيث يسبب الانقلاب، وكذلك في حال زيادة الفتحات في الجدران، وأيضاً يجب الانتباه عندما تكون تربة التأسيس رخوة (قوام ضعيف) حيث يمكن أن يدور الجدار مسبباً أضراراً موضعية حوله.

يمكن أن يتم استخدام الجمل الإنشائية المذكورة أعلاه بشكل منفرد أو مجتمعة مع بعضها بعضاً. عندما يحصل فعل متبادل بين الإطارات مع الجدران، تسمى الجملة الإنشائية بالجملة الثنائية وذلك عندما تستطيع الإطارات لوحدها مقاومة 25% من الحمولة الجانبية، ويشار لهذا النوع من الجمل بالجمل المشتركة. يجب على المصمم ألا يعتبر أن المنشأة مكونة فقط من مجموعة أجزاء وعناصر مثل الجدران والأعمدة والعناصر الشبكية وغيرها، بل إنها عبارة عن نظام كامل ومتكامل له استجابة خاصة إزاء القوى الجانبية.

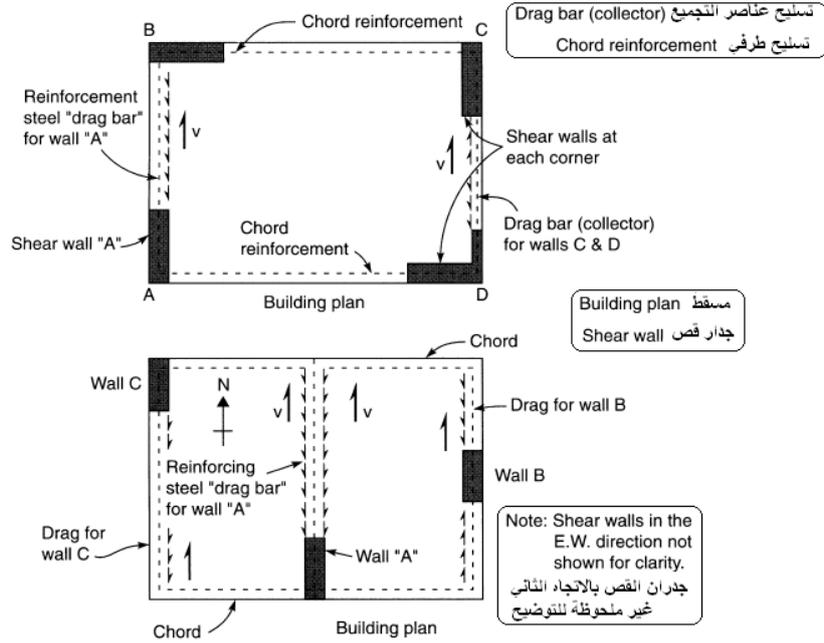
ويجب على المهندس الدارس تتبع جريان القوى عبر المنشأة وصولاً للتربة، متأكداً من أن الوصلات كافة على كامل طول مسار الاجهادات محققة وكافية لتأمين استقرار وسلامة الجملة الإنشائية، وكذلك من الضرورة أن يتم تصور استجابة المنشأة كاملة وأن يضع في ذهنه أن القوى المطبقة ليست استاتيكية بل هي ديناميكية لها طابع دوري متذبذب، تسبب تشوهات أكبر من التشوهات المحسوبة استناداً للتصميم المرن.

### 2-3-3- الدياتفرامات (العناصر الأفقية المقاومة):

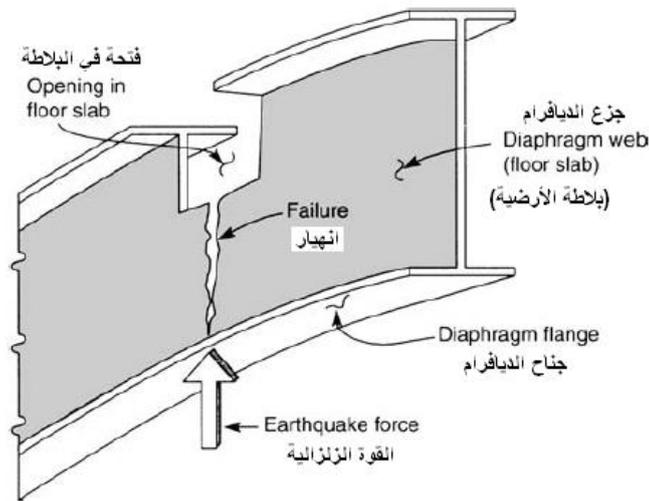
يتم توزيع الحملات الجانبية في كل منسوب من المبنى على العناصر الشاقولية عبر الأرضيات ودياتفرامات الأسقف (الشكل 3-14)، وهذه الأرضيات أو الدياتفرامات تستجيب إلى الحملات الأفقية كجائز عميق بحيث تشكل البلاطة جزع الجائز الذي يقاوم القص، ويكون العصب المحيطي أو الجدار هو بمثابة جناح هذا الجائز الذي سيقاوم الانعطاف. ونبين فيما يلي العوامل الثلاثة المهمة في تصميم الدياتفرامات:

- يجب أن يكون الدياتفرام ملائماً وقادراً على مقاومة الاجهادات الناجمة عن العزم والقص، وأن يعمل ككتلة واحدة (كافة العناصر مربوطة أو مكتفة).
- يجب أن تكون عناصر التجميع والربط كافة (مجمعات) قادرة على نقل الحملات من الدياتفرام إلى العناصر الشاقولية للجملة المقاومة للأفعال الأفقية.
- الفتحات والزوايا الداخلة في الدياتفرام يجب أن تتوضع بدقة وتسليح بشكل صحيح.

إن التوضعات غير الملائمة أو وجود الفتحات الكبيرة مثل بيوت الأدراج والمصاعد...، يخلق مشاكل مماثلة لتلك الفتحات المتوضعة في جزع الجائز المؤثرة حكماً على سلوكه الإنشائي، وهذا الأمر يخفف من إمكانية الدياتفرام لنقل القوى وبالتالي حدوث الانهيار، كما هو مبين في الشكل (3-15).



الشكل (3-14): تسليح عناصر التجميع والأطراف لديافرام خاضع لحمولات أفقية شمال - جنوب



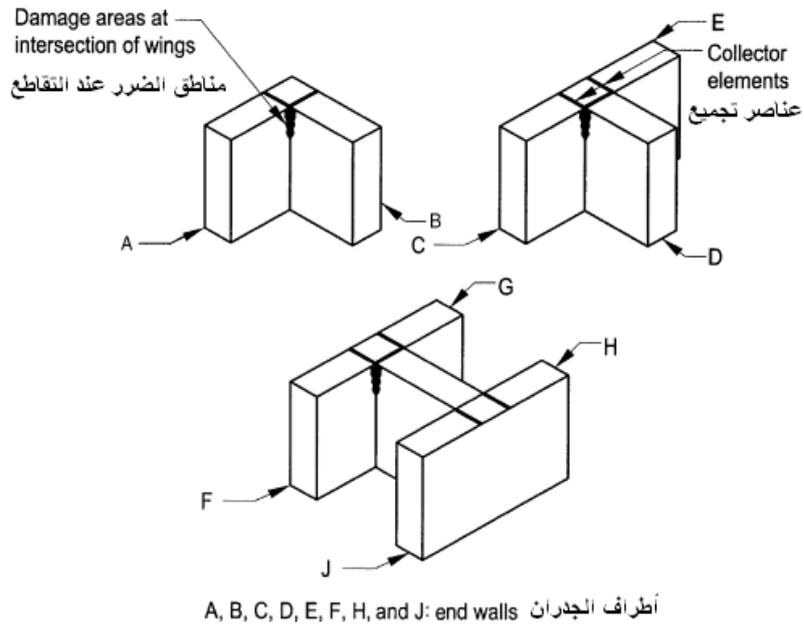
الشكل (3-15): انهيار جزع الديافرام بسبب الفتحة الكبيرة

### 3-3-3- الأبنية وتكويناتها غير المنتظمة:

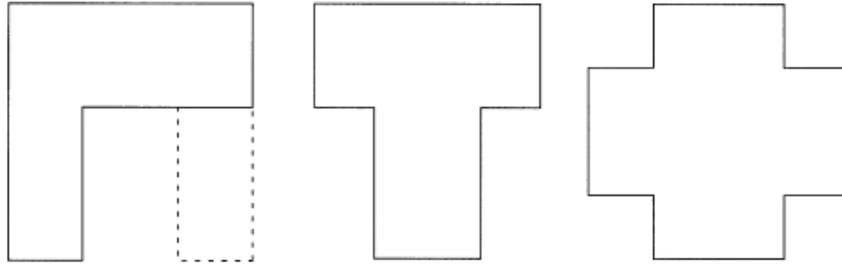
يمكن أن تصمم الأبنية ذات التكوين غير المنتظم، لتلبي متطلبات واشتراطات الكودات كافة ، ولكن، بالرغم من ذلك، فقد أثبتت التجربة أن هذه الأبنية لن تقوم بالأداء المطلوب منها مقارنة بالأبنية المنتظمة. وفي كل الأحوال سوف يولد عدم الانتظام استجابة إنشائية مختلفة تماماً عن تلك الاستجابة التي تعتبرها طريقة القوى الستاتيكية

المكافئة عند دراسة المنشأة لمقاومة الزلازل. لذلك نلاحظ بأن الكودات الزلزالية تعطي بعض التوصيات بهدف تقييم درجة عدم الانتظام والحد من عواقبها السلبية، مع الإشارة إلى أن هذه التوصيات لا يمكن أن تشكل مصادقة على التصميم بل توجه المهندس صوب العيوب والأضرار الكامنة التي يسببها عدم الانتظام. يبين الشكل (3-16) تكوينات مختلفة لبعض الأبنية على شكل (L, T, & H)، التي تحوي على زوايا داخلية ناجمة عن خاصية عدم الانتظام لشكل مسقط هذه الأبنية. ينجم عن هذه الأشكال مشكلتان رئيسيتان فيما يخص الأداء الزلزالي:

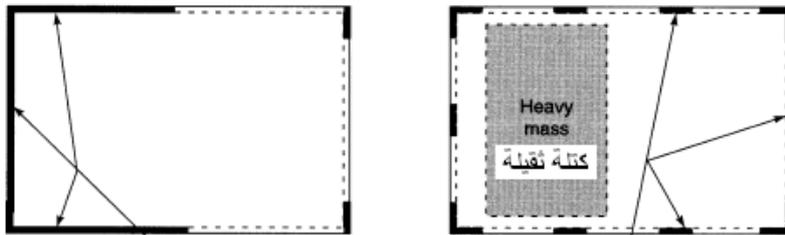
- اهتزازات تفاضلية بين الأجنحة المختلفة مما يسبب تركيز إجهادات موضعي عند الزاوية الداخلة.
  - ولادة عزوم قتل بسبب عدم تطابق مركزي الصلابة والكتلة لهذا التكوين.
- يمكن معالجة هذه المشكلة باختيار أحد الحلين التاليين:
- 1- ربط المبنى جيداً مع بعض عند خطوط تركيز الاجهادات ووضع عناصر مقاومة عند نهاية الأجنحة لتقليل الفتل،
  - 2- فصل وتجزئة المبنى إلى أشكال بسيطة، ويحدد عرض الفاصل بما يتوافق مع التشوهات غير المرنة للأجنحة أو الكتل المتجاورة، بحيث تتحرك الكتل دون حصول ظاهرة الطرق.
- وعندما لا يراد تنفيذ فواصل، يجب إضافة مجمعات تعمل على نقل القوى عبر مناطق التصادم، وعند ذلك ستعرض نهايات الأجنحة إلى انحراف أعظمي.
- يمكننا تصنيف عدم الانتظام الإنشائي للأبنية وفق نوعين اثنين كما هو مبين في الشكلين (3-17 و 3-18): عدم انتظام شاقولي و عدم انتظام أفقي، وسوف نعالج عدم الانتظام بشكل أوسع وأكثر تفصيلاً في فصل لاحق بما يتوافق مع توصيات واشتراطات الكود السوري وملحقاته.



الشكل (3-16): زوايا داخلية في بعض الأبنية على شكل (L, T, & H)

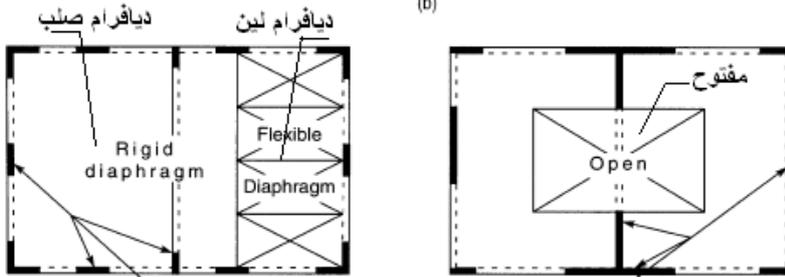


(a)



مكونات شاقولية للجملة الإنشائية المقاومة

(b)



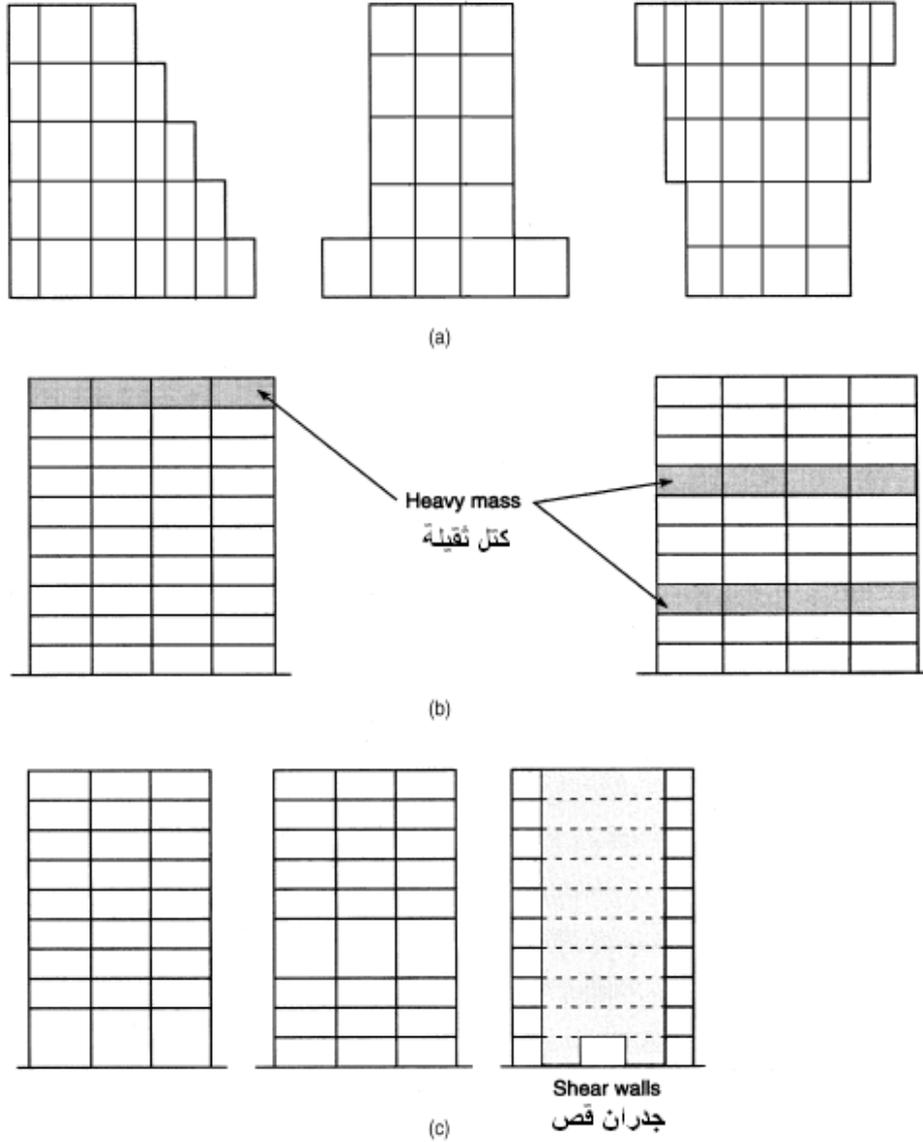
مكونات شاقولية للجملة الإنشائية المقاومة

(c)

(a) عدم انتظام هندسي، (b) عدم انتظام ناجم عن لامركزية الكتلة

(c) عدم انتظام ناجم عن عدم استمرارية قساوة الديافرام

الشكل (3-17): عدم انتظام أفقي (في المسقط)



(a) تغيير مفاجئ في الشكل الهندسي، (b) فرق كبير في كتل الطوابق

(c) فرق كبير في الصلابة الطابقية

الشكل (3-18): عدم انتظام شاقولي (في المقطع)

### 4-3-3 الحد من الأضرار الزلزالية:

إن التصميم المتوافق مع الإجراءات الاحتياطية الزلزالية لا يحمي الأبنية بشكل كامل من الأضرار الزلزالية، حيث لوحظ في حالة الزلازل الكبيرة تشكل تشوهات أفقية أكبر بعدة مرات من تلك المحسوبة على الحمولات التصميمية.

ونبين فيما يلي العوامل الرئيسة التي تخفف الأضرار الزلزالية:

- 1- تزويد العناصر غير الإنشائية بتفصيلات خاصة أو عزلها لتصبح أكثر ملائمة مع الحركة، وبالتالي تخفيض الأضرار.
- 2- يتم التقليل من تكسر زجاج النوافذ عن طريق تأمين مسافات واضحة عند الأطراف بحيث تسمح بتشكيل انحرافات في الإطار.
- 3- يمكن استبعاد الأضرار في العناصر غير الإنشائية (الصلبة كالقواطع) عن طريق تزويدها بتفصيلات خاصة في الأعلى وعند الجوانب، بحيث تسمح بالحركة النسبية بين هذه العناصر والعناصر الإنشائية المتجاورة.
- 4- في مجال التمديدات، غالباً ما يتم ملائمة حلقات التمدد والفواصل المرنة التي تصمم من أجل أن تتوافق مع تغيرات الحرارة، للتعامل مع التشوهات الزلزالية النسبية بين التجهيز المجاور المرتبط بالأرضية.
- 5- تثبيت الرفوف جيداً بالجدران لمنعها من السقوط.
- 6- غالباً ما تعاني الأدراج من الأضرار الزلزالية نتيجة إعاقتها للانتقال بين البلاطات المتصلة، ويمكن التخفيف من هذه الأضرار عن طريق تزويدها بفواصل انزلاق عند الطرف السفلي لكل شاحط بهدف إلغاء فعل التكتيف لبلاطة الدرج، أو عن طريق ربطها بجدران قص.

### 5-3-3- مسار الحمولات:

يجب تأمين مسار حمولة أو أكثر من مسار واحد، مع مقاومة وصلابة كافيتين، وذلك ابتداءً من الحمولة إلى العناصر النهائية للجملة الإنشائية المقاومة.

تتكون الأبنية بشكل عام من عناصر إنشائية أفقية وشاقولية. العناصر الشاقولية التي تستخدم بشكل عادي لنقل الحمولات الأفقية إلى التربة هي: جدران القص والإطارات المكتفة والإطارات المقاومة للعزوم، وأما العناصر الأفقية التي تقوم بتوزيع القوى الجانبية على العناصر الشاقولية فهي الديافرامات مثل البلاطات والتكتيف الأفقي الذي ينقل القص الكبير من الجدران غير المستمرة أو عناصر التريبط.

تؤثر القوى الزلزالية التي تتناسب مع كتل عناصر المنشأة، في مراكز هذه الكتل، وبالتالي يجب أن تنقل إلى عناصر الجملة المقاومة للقوى الجانبية ومن ثم إلى القاعدة وصولاً للتربة.

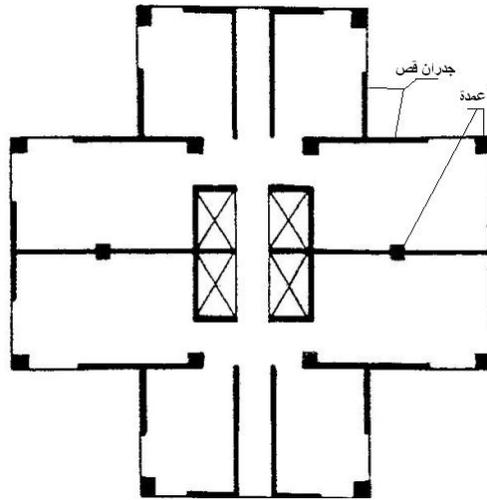
#### 4-3- الجمل الإنشائية المقاومة للأفعال الأفقية في الأبنية البيتونية المسلحة

##### 1-4-3- تمهيد:

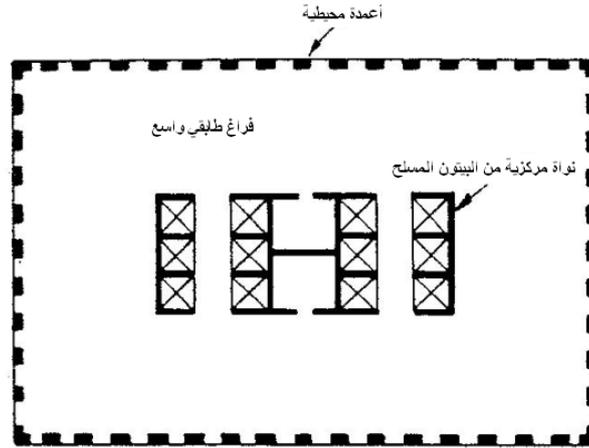
يتطلب التصميم الأمثل للمنشآت البيتونية لمقاومة الحمولات الأفقية، أن يتمتع بشكل هندسي مبسط ومتناظر ما أمكن (توزيع العناصر الإنشائية بشكل مستمر بالاتجاه الشاقولي، واختيار مواقع الأعمدة بحيث تشكل صفوف مستقيمة أفقية بالاتجاهين لتأمين العمل الإطاري للجملة)، ويمكن مخالفة هذا الشرط بشرط اعتبار أمور إضافية أخرى يسببها عدم التناظر كتأثير عزوم الفتل وغيرها، وفي بعض الحالات تلزم الكودات الزلزالية المصمم باعتماد طرائق تحليل ديناميكية للمنشآت. في الواقع، يجب أن نأخذ بالحسبان عند تصميم المنشآت لمقاومة الزلازل مجموعة من العوامل، نذكر منها، نوع وأهمية وطبيعة المنشأة موضوع التصميم، والمعطيات الزلزالية للمنطقة (الخارطة الزلزالية، وخواص تربة الموقع).

يوضح الشكلان (3-19 و 3-20) مسقطين نموذجين من الأبنية العالية مع جملها الإنشائية المناسبة، أحدهما سكني والآخر مكتبي حيث يتطلب هذا الأخير وجود فراغات طابقية كبيرة وواضحة.

يمكن تشكيل طيف واسع من الجمل الإنشائية المقاومة للحمولات الأفقية باستخدام البيتون المسلح، ويعطي الشكل (3-21) تصوراً عاماً عن الجمل الإنشائية من البيتون المسلح واستخدامها وفقاً للارتفاعات المطلوبة، وذلك في مناطق ذات شدات زلزالية متواضعة، وفي حال وقوع المبنى في مناطق زلزالية عالية الشدة يجب الانتباه إلى أن الكودات الزلزالية العالمية تحد من استخدام هذه الجمل للارتفاعات الكبيرة، بالتالي ضرورة استخدام جمل إنشائية خاصة.



الشكل (3-19): مسقط مبنى سكني عالي من البيتون المسلح



الشكل (3-20): مسقط مبنى إداري (مكاتب) عالي من البيتون المسلح

No.	الجملة الإنشائية	عدد الطوابق													
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
1	بلاطات مستوية مع أعمدة	10													
2	بلاطات مستوية مع جدران قص	10													
3	بلاطات مستوية مع جدران قص وأعمدة	10													
4	جدران قص متقارئة وجوائز	10													
5	إطارات صلبة	10													
6	أنبوب محيطي متباعد جداً	10													
7	إطارات صلبة مع جوائز مشطوفة	10													
8	منشآت محمولة على نوى	10													
9	جدران قص - إطارات	10													
10	جدران قص - إطارات مع جوائز بشطافات	10													
11	أنبوب محيطي بتباعدات متقاربة	10													
12	أنبوب محيطي مع جدران ونواة داخلية	10													
13	أنبوب قطري خارجي	10													
14	مجموعة أنابيب	10													

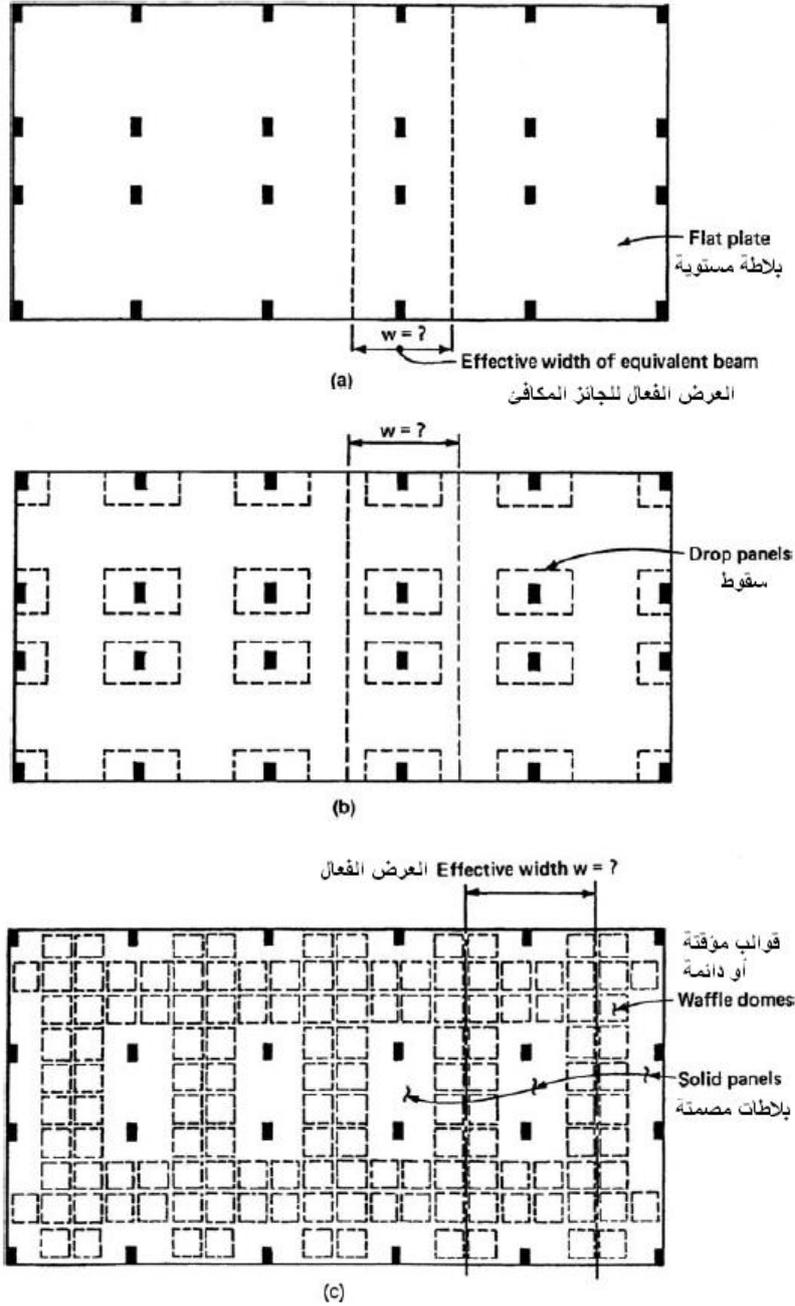
الشكل (3-21): الجمل الإنشائية في الأبنية من البيتون المسلح

### 2-4-3- جملة بلاطة جائزية - أعمدة:

يعتبر هذا النوع من أبسط الجمل الإنشائية المقاومة، وهي أكثر استخداماً في المباني السكنية والفنادق، وتصمم هذه الجمل لمقاومة القوى الشاقولية والأفقية في المناطق ذات شدة زلزالية ضعيفة أو متوسطة (0&1) وذلك بارتفاعات غير محدودة، وغالباً ما يحد من هذا الارتفاع متطلبات الانتقال الأفقي، ولأسباب اقتصادية بينت الدراسات أنه يمكن اعتمادها حتى عشرة طوابق. تكون هذه الجمل مقبولة في المناطق ذات الشدة العالية (2, 3 & 4) عندما يتم الالتزام بجملة من الاشتراطات الصارمة التي تنص عليها الكودات الناظمة.

من المعروف أن البلاطات المستوية (المصمتة والمعصبة) من البيتون المسلح ترتبط بالأعمدة المزودة بتيجان أو مع سقوطات أو مع الاثنين معاً، وذلك بهدف زيادة المقاومة على القص والانعطاف، وعند التصميم تعتبر السقوطات جزءاً من البلاطة، بينما يتم حساب التاج كأنه جزء من العمود. يتم إملء منطقة ارتباط الأعصاب بالعمود بالبيتون بهدف زيادة قدرة تحمل القص والانعطاف.

يبين الشكل (3-22) وجود فعليين منفصلين لهذه الجمل في مقاومة الحمولات الجانبية، الأول ينجم عن الصلابة الكبيرة في المستوي بحيث يتم توزيع الحمولات الجانبية على العناصر الشاقولية وفقاً لصلاباتها، ويتمثل الفعل الثاني بالصلابة الهامة بالاتجاه المتعامد مع المستوي، التي تعمل على تقييد الانتقالات الشاقولية وتحد من دورانات الأعمدة فيما لو اتصلت معها بجائز عريض قليل الارتفاع. فيزيائياً، لا يوجد جائز بين العمودين ولكن لأغراض تحليلية يتم تحديد العرض الفعال للشريحة الجائزية من البلاطة بحيث يتشكل عمل إطاري ما، ويرتبط هذا العرض الفعال بعدة بارامترات منها، نحافة العمود، المسافة بين الأعمدة وسماكة البلاطة... وتحدد الكودات قيمة هذا العرض، فمثلاً يعتمد الكود البيتوني الأمريكي (ACI) العرض الكامل بين محوري بلاطتين متجاورتين بشرط اعتماد مفهوم العطالة المتشقة للإطارات بمعنى تخفيض الصلابات بسبب تشكل التشققات في العناصر (الشكل 3-22). في الواقع، يجب الانتباه عند اعتماد هذا النوع من الجمل وذلك نتيجة تركيز اجهادات القص عند مناطق الاتصال (العقد)، وغالباً نحتاج إلى تسليح قص لتحسين سلوك هذه العقد وتجنب ظاهرة تدهور الصلابة تحت تأثير الحمولات الدورية، ولهذا السبب حدثت الكودات الزلزالية من استخدام هذه الجمل، وفي كل الأحوال يجب الاهتمام جيداً بتسليح الشريحة المستديرة (شريحة العمود).



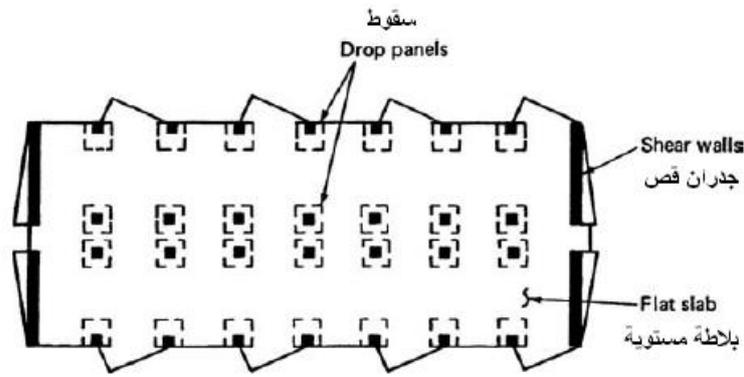
(a) بلاطة مستوية، (b) بلاطة مستوية مع سقوط، (c) نظام مع بلاطة معصبة باتجاهين

الشكل (22-3): الجمل الجانبية المقاومة (بلاطات مع أعمدة)

### 3-4-3- جملة بلاطة جائزية - جدران قص:

يبين الشكل (23-3) مثالا لهذا النظام الذي يتكون من جدران قص وبلاطات جائزية، وهو يقدم تقوية جانبية بفعالية أكبر من النظام المذكور سابقاً. إن ربط جدران القص بالبلاطات فقط يشكل مصدراً ضعيفاً لتبديد الطاقة، فعندما

تحصل دورانات كبيرة في الجدران أثناء حدوث الزلزال، تكون عملية نقل القص من البلاطة إلى الجدران محصورة بشكل أساسي عند أطرافها الداخلية، هذا وبسبب تشققات الفتل في البلاطات وانحرافات القص حول الأعمدة يصبح السلوك الاسترجاعي للجملة ضعيفاً، وبالتالي نتفهم جيداً ضرورة الحد من العرض الفعال للشريحة الجائزية المعتمد في التحليل عندما يكون المبنى واقعاً في مناطق زلزالية عالية الشدة، فالكود الأمريكي (UBC) يطلب تخفيض قيمة هذا العرض الفعال ليصبح مساوياً لعرض المسند (العمود) مضافاً إليه مرة ونصف سماكة البلاطة، بمعنى  $(b+1.5t)$ .

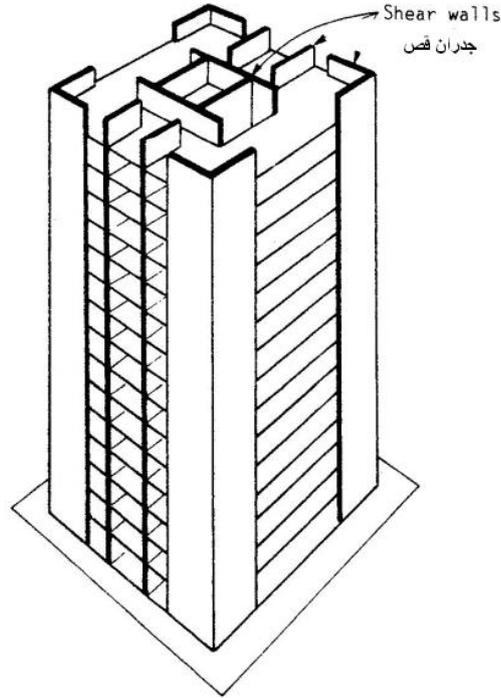


الشكل (3-23): الجمل الجانبية المقاومة (بلاطات مع جدران قص وأعمدة)

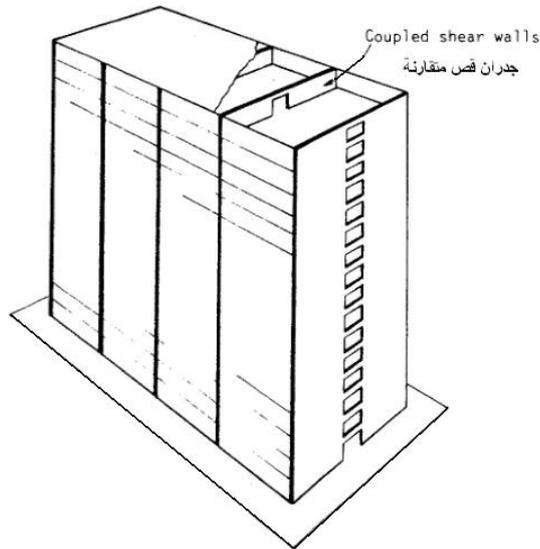
#### 4-4-3- جملة جدران قص متقارنة (مترابطة):

هذا النظام المكون من عدة جدران قص متقارنة (مرتبطة جيداً مع بعضها بعضاً ببلاطات أو جوائز، الشكل 3-25)، يظهر صلابة أكبر بكثير من الصلابة الناجمة عن مجموع الصلابات المنفردة لهذه الجدران، ويعود هذا الأمر إلى فعل البلاطات والجوائز المرتبطة والتي تقيد من الانعطاف الظفري للجدران المنفردة عن طريق إجبار الجملة للعمل ككتلة واحدة (وحدة مركبة)، وتناسب هذه الجمل الأبنية بارتفاع حوالي 40 طابقاً.

نشير إلى أن جدران القص تقاوم القوى الأفقية في مستواها، بالتالي يجب لحظ جدران قص باتجاهين متعامدين لمقاومة الحملات الجانبية، وعادة تتوضع الجدران حول المصاعد والأدراج والممرات كونها لا تعيق الحلول المعمارية، وفي كل الأحوال يجب أن يراعى موضوع مقاومة حملات الفتل عند توزيع الجدران وتحديد مواقع توزيعها في مسقط المبنى.



الشكل (3-24): جملة جدران قص



الشكل (3-25): جملة جدران قص متقارنة

#### 5-4-3- جملة الإطارات الصلبة:

البيتون المصبوب في المكان له مزايا كثيرة، من أهمها إمكانية تنفيذ العناصر والعقد بشكل مستمر، وهذا الأمر مهم جداً في التصميم الزلزالي حيث تخضع الأعمدة والعقد لقوى قص كبيرة، وبالتالي ضرورة تزويدها بتسليح عرضاني

متقارب ومدروس بحيث نتجنب التشققات القطرية الخطيرة وتحطم البيتون وكذلك تعزيز السلوك المطاوع للمنشأة. يتميز الإطار الصلب بانعطاف الجوائز والأعمدة، ودورانات في العقد (الشكلين 3-13-b و 3-26)، ويمكن باستخدام الجمل الإطارية الوصول إلى ارتفاعات كلية حوالي 20 طابقاً.



الشكل (3-26): مباني بجمل من الإطارات الصلبة

في بعض الحالات تكون الاطارات غير فعالة، وخاصة في المباني الإدارية والمكاتب التي يتعذر تأمين ارتفاعات كبيرة للجوائز وخاصة في الإطارات الداخلية وذلك بسبب محدودية عدد الأعمدة لاعتبارات تجارية، أو بسبب أن الارتفاعات محددة وفقاً للارتفاع الطابقي، وبالمقابل نلاحظ بأن الإطارات الخارجية فعالة جداً في مقاومة القوى الأفقية كونها غير مقيدة بالاعتبارات السابقة، ويؤمن الفعل الإطاري من خلال تزويد الواجهات الخارجية بأعمدة متقاربة متصلة بجوائز أو عوارض عميقة (Deep Spandrels).

#### 3-4-6- الجملة الأنبوبية المحيطة مع أعمدة بتباعدات كبيرة:

إن التعبير أنبوب (Tube) في علم المصطلحات الفنية الخاصة بالأبنية، يعني الجملة الإنشائية الحاوية على أعمدة متجاورة ومتقاربة (2.5m to 4.5m~)، ومربوطة ببعضها بعضاً بعوارض عميقة (0.6m to 1.2m)، هذا ويمكن أن تتوضع الأعمدة وفق تباعدات أكبر من ذلك لتصل إلى حوالي 8m (الشكل 3-27)، ويتألف أبسط شكل لهذه الجمل من أنبوب مفرد محيطي. وتعود المقاومة العالية لهذا النوع من الجمل الإنشائية إلى شكلها الهندسي الفعال الذي يقاوم عزوم الانعطاف وقوى القص الناتجة عن الحمولات الأفقية (زلازل أو الرياح).

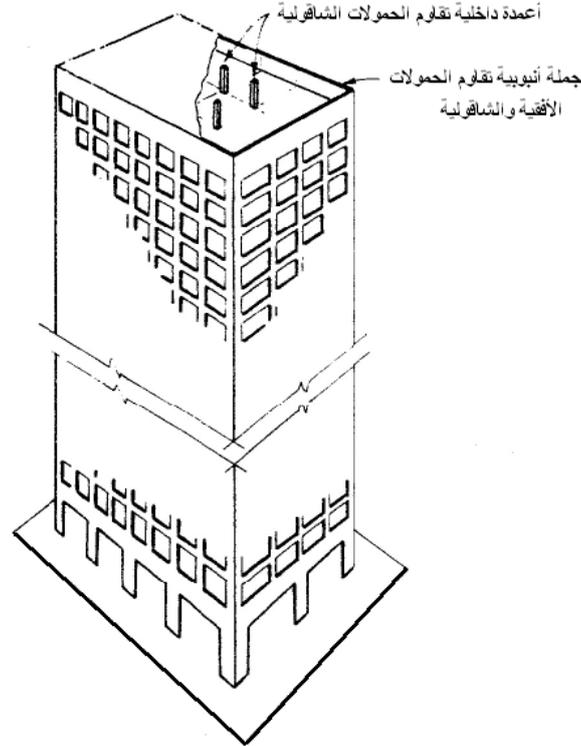
يبين الشكل (3-28) مسقط كوفراج مبنى عالي مكون من 28 طابقاً في مدينة نيواورليان، حيث تم تأمين الجملة الجانبية بإطارات محيطية مكونة من أعمدة عرضها 1.5m~، وتباعد 7.6m~، مربوطة بجوائز ارتفاعها 1.5m~.

### 7-4-3- جملة إطارات صلبة مع جوائز مشطوفة:

كما ذكرنا سابقاً، المباني الإدارية تأخذ طابعاً تجارياً وعادة تكون المجازات كبيرة (التباعدات بين الأعمدة حوالي 12م)، وهذا الأمر يتطلب تنفيذ جوائز بارتفاعات لا تقل عن 75cm حتى تقاوم الحمولات الشاقولية فقط وتحقق شرط السهم أيضاً، إلا إذا كانت مسبقة الإجهاد (شد لاحق). غالباً ما تكون الارتفاعات الطابقية محدودة لأسباب اقتصادية حيث ينجم عن الفراغات الكبيرة زيادة في الكلفة بسبب زيادة في كمية القواطع والاكساءات أو الحواجب الساترة أو تتطلب كلفاً أكبر لتكثيفها أو تدفئتها، ومن هنا أتت فكرة الجائز الذي يتغير ارتفاعه والذي يقدم حلاً مقبولاً لمقاومة الحمولات الشاقولية والأفقية (الشكل 3-29)، بحيث هذه الجوائز على سوية واحدة مع البلاطة في المناطق الوسطية، دون أية زيادة في الارتفاع الطابقي، وفي هذه الحالة يمكن أن تمرر التمديدات الميكانيكية بسهولة في هذه المناطق.

### 8-4-3- جملة نواة قص (أو عدة نوى قص):

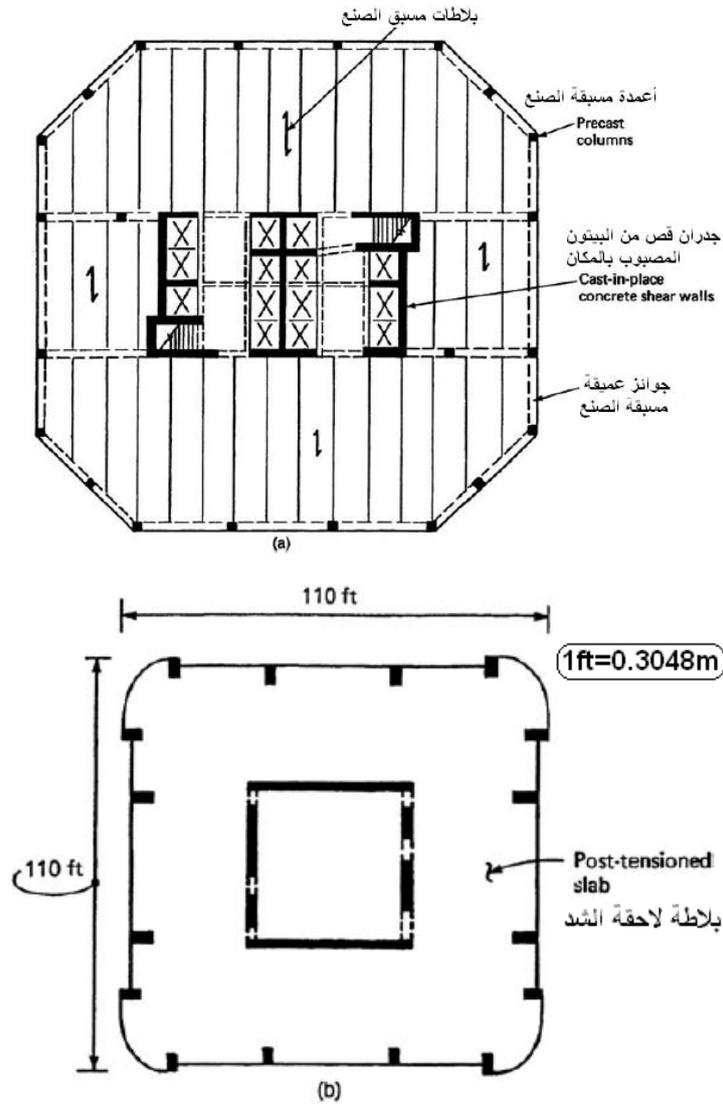
تشكل جدران القص المتوضعة حول نواة أو نوى المبنى، جملة إنشائية فراغية قادرة على نقل الحمولات الجانبية بالاتجاهين، وهي بالتالي تقاوم الحمولات الشاقولية وقوى القص وعزوم الانعطاف والفتل باتجاهين، يتغير شكل النواة حسب متطلبات توضع المصاعد والأدراج، فهي تكون إما نواة مستطيلة منفردة أو عدة نوى. يمكن أن يكون النظام الإنشائي بجوار النواة من أي نوع مناسب (نظام إطاري)، كما هو مبين في الشكل (3-30): بيتون مصبوب بالمكان أو بيتون مسبق الصنع أو حتى من الفولاذ الإنشائي.

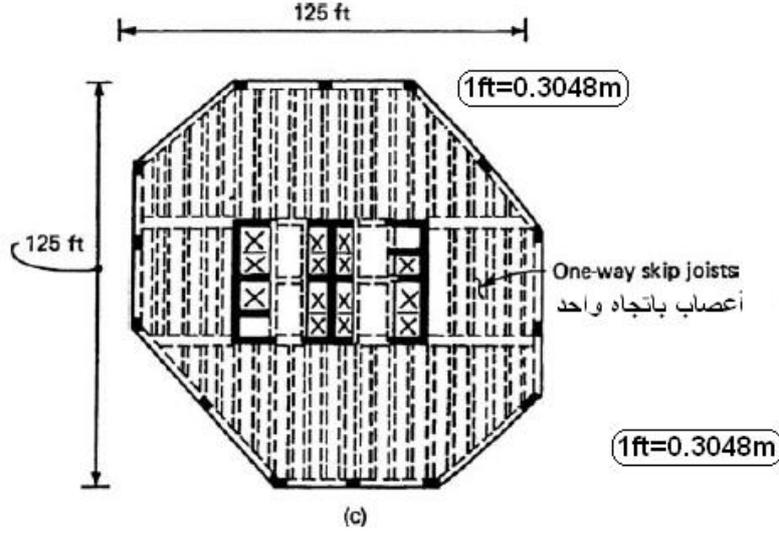


الشكل (3-27): جملة أنبوب إطاري



الشكل (29-3): جملة إطارات صلبة مع عوارض مشطوفة لمبنى مكون من 28 طابقاً





(a) محيط مسبق الصنع، (b) محيط من بلاطة لاحقة الشد، (c) محيط من بلاطة معصبة باتجاه واحد

الشكل (30-3): مباني مع نوى قص (جدران قص من بيتون مصبوب بالمكان)

### 9-4-3- جمل من جدران قص – إطارات صلبة:

يعتبر هذا النظام الإنشائي من أكثر النظم استخداماً في مقاومة الحمولات الجانبية للأبنية متوسطة وعالية الارتفاع (الشكلين 31-3 و 32-3)، فهو يناسب الأبنية المكونة من 10 إلى 50 طابقاً، ويمكن أن يصل العدد من 70 إلى 80 طابقاً باستخدام العوارض المشطوفة.

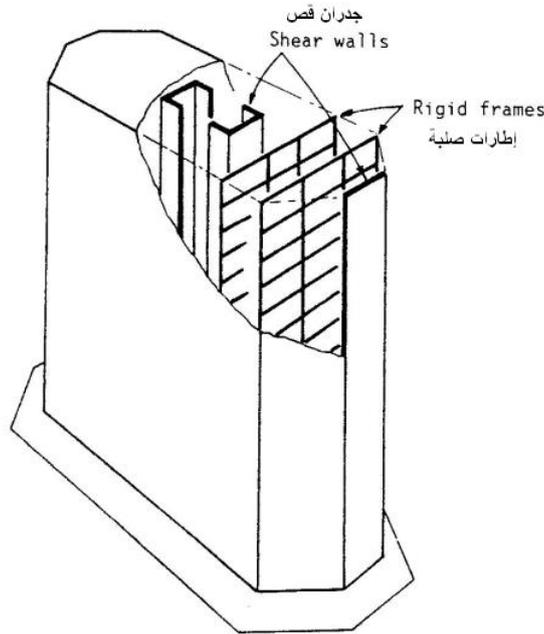
يبين الشكل (33-3) الفعل المتبادل الكلاسيكي بين جدار قص وإطار مقاوم للعزوم، حيث يتشوه الإطار وفق ما يسمى بالنمط القصي بينما يستجيب جدار القص كظرف وفق ما يسمى بالنمط الانعطافي.

الانتقال المنسجم للجملة يولد فعلاً متبادلاً بينهما ويعزز الصلابة الجانبية، فنلاحظ أن الجدار يكون مقيداً بالإطار في المناسيب العلوية، وبالتالي إن الفعل الإنشائي المشترك يعتمد على الصلابة النسبية للاتين وعلى أنماط تشوهها. في الواقع، نتيجة للاختلاف في خواص السهم الأفقي بين الإطارات و جدران القص فإن الإطارات ستحاول شد جدران

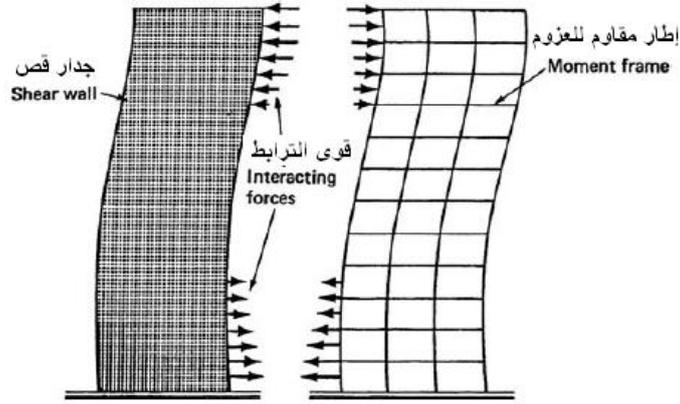
القص في أعلى المبنى بينما ستحاول دفعها في أسفل المبنى، بالتالي سيساهم الإطار بشكل فعال في الجزء العلوي من المبنى حيث يكون القص صغيراً بينما ستأخذ جدران القص معظم قوى القص في الجزء الأسفل من المبنى. عندما يحوي الإطار أعمدة متقاربة وجوائز عميقة فإنه يميل ليسلك بشكل مشابه لسلوك جدار قص (انعطافي)، وبشكل مماثل يسلك جدار القص الضعيف الذي يحوي على فتحات كبيرة كإطار يتشوه قصياً.



الشكل (31-3): مبنى عالي جملته الإنشائية من جدران قص وإطارات صلبة



الشكل (32-3): جمل إنشائية من جدران قص وإطارات صلبة



الشكل (3-33): الفعل المتبادل جدار قص – إطار مقاوم للعزوم

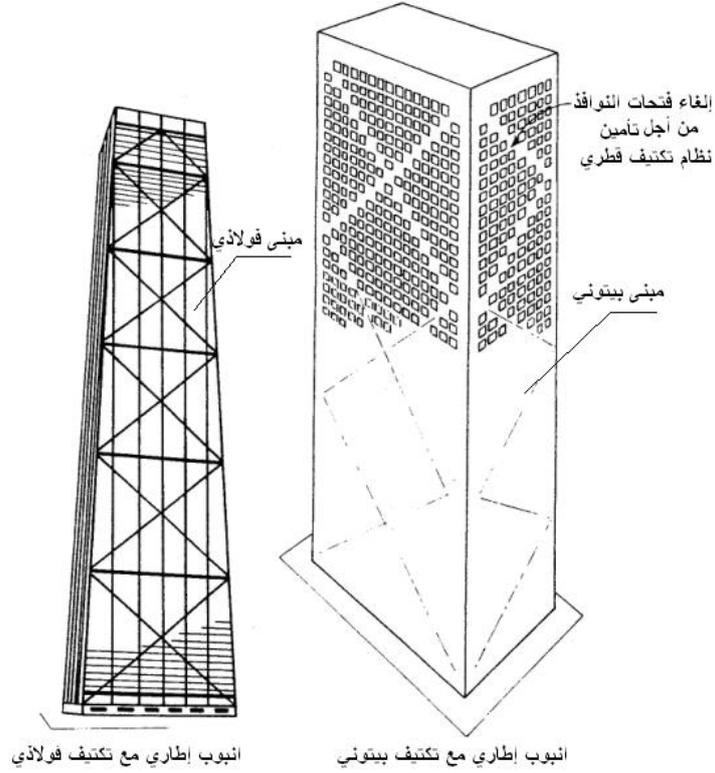
#### 10-4-3- الجملة الأنبوبية مع أعمدة بتباعدات صغيرة (نظام أنبوبي إطاري):

في محيط المبنى تتوضع الأعمدة بتباعدات صغيرة، ومربوطة ببعضها بعضاً بعوارض عميقة، ويعمل المبنى كظفر شاقولي مفرغ، بفعالية مميزة نتيجة المسافة القصوى التي تفصل الأعمدة في الجهتين المتقابلتين (الشكل 3-27)، وللمحد من الانزياحات الأفقية للأبنية الرشيقة حيث يزيد عامل الشكل عن النسبة (1:2.5) يتم تنفيذ نظام تكتيف جانبي إضافي.

يعتمد العامل الاقتصادي لهذا النوع من الجمل على عوامل عدة، نذكر منها التباعد بين الأعمدة وأبعادها، ارتفاع العوارض أو الجوائز المحيطة العميقة، وعامل شكل المبنى.

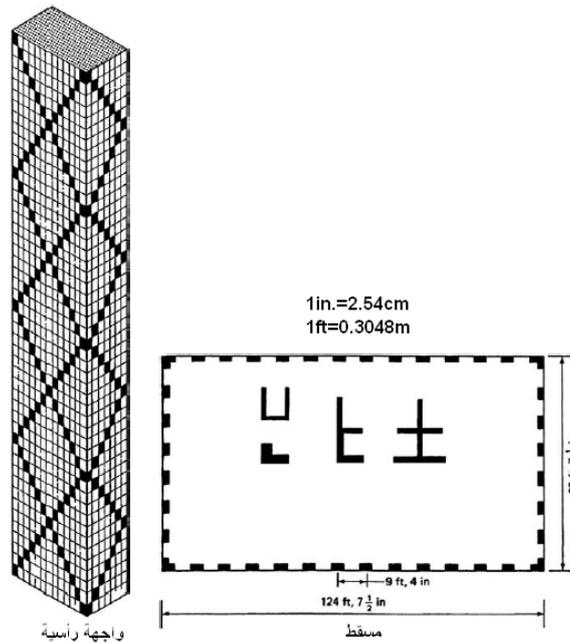
#### 11-4-3- الجملة الأنبوبية الإطارية مع تكتيف قطري خارجي:

يستخدم هذا النظام بكثرة في المباني الفولاذية الواقعة في مناطق زلزالية، وبالمقابل إن استخدامه في المباني البيتونية محدود نسبياً، فحتى الوقت الحاضر تم تنفيذ مبنيين في أمريكا: مبنى مخصص كمكاتب في نيويورك بارتفاع 50 طابقاً، والثاني مخصص كبناء سكني ومكاتب في شيكاغو. وحتى يتم تنفيذ نظام التريبط القطري ويأخذ شكله المطلوب يصار إلى حذف الفتحات النوافذ في كل طابق كما هو مبين في الشكل (3-34)، وتقاوم هذه العناصر القطرية قوى القص الجانبية بالضغط والشد، وبالتالي إبعاد الانعطاف في الأعمدة والعوارض.



الشكل (34-3): تكتيف قطري خارجي للمباني الأنبوبية الإطارية

يبين الشكل (35-3) مخططاً توضيحياً للمبنى الأول المذكور أعلاه (مسقط وواجهة)، حيث نلاحظ بأن الجملة الإنشائية مكونة من تراكب نظامين، الأول عبارة عن أنبوب إطاري مكتف قطرياً والثاني هو جملة من جدران القص الداخلية (نواة داخلية).

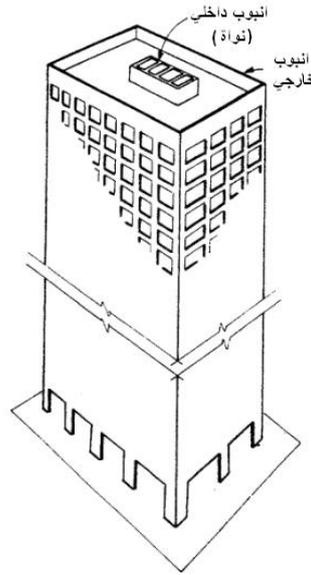


الشكل (35-3): مبنى بيتوني جملة الإنشائية أنبوب إطاري مع تكتيف قطري خارجي

و نواة داخلية (جدران قص داخلية)

### 12-4-3- جملة أنبوب ضمن أنبوب:

يوضح الشكل (36-3) هذا النوع من الجملة الإنشائية المستخدمة في الأبنية العالية التي تحوي على نواة تتجمع بها الأجزاء من المبنى المخصصة للأعمال الخدمية يكون من الأفضل استخدام جدار قص يغلف هذه النواة، ويستخدم هذا الجدار في الجمل الإنشائية للمبنى والمقاومة للحمولات الأفقية. تدعى الجملة الإنشائية الناتجة من الجدار المحيطي المفرغ الخارجي وجدار القص المفرغ المحيط بالنواة الداخلية بجملة الأنبوب ضمن أنبوب. يساهم جدار القص في هذه الجمل بشكل فعال في تحسين الخواص الإنشائية للأنبوب الإطاري الخارجي وذلك من خلال تقليل الانتقالات الناتجة عن قوى القص في أعمدة المبنى، وتبلغ المسافة بين الأنبوب الإطاري الخارجي والأنبوب الداخلي حوالي (10m to 15m).

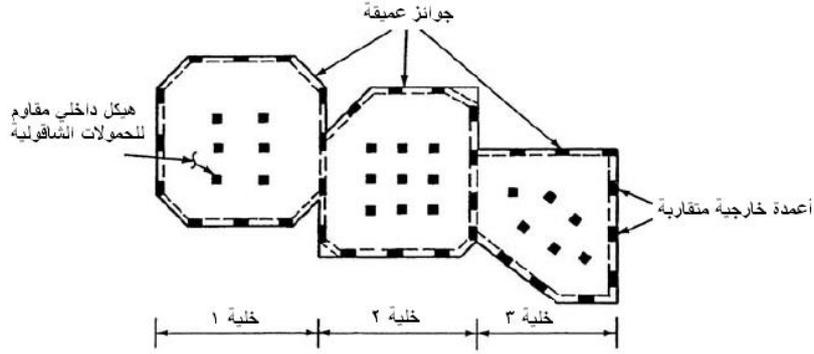


الشكل (36-3): جملة أنبوب ضمن أنبوب

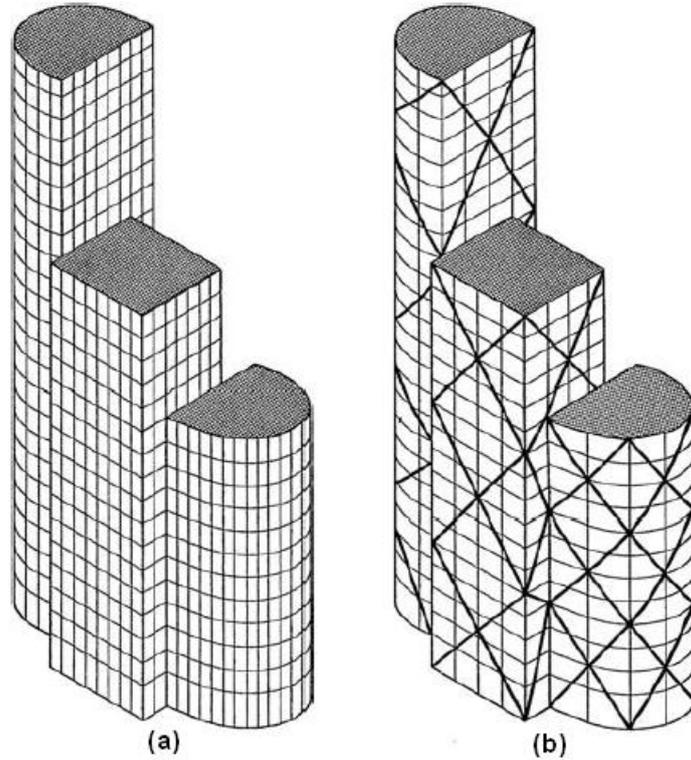
### 13-4-3- نظام الأنبوب المحزم:

تتمثل الفكرة الأساسية لهذا النوع من الجمل الإنشائية المقاومة للحمولات الجانبية، بربط أنبوبيين أو أكثر مع بعضهما بعضاً لتشكيل حزمة واحدة تعمل على تخفيض أثار القص، ويوضح الشكل (37-3) مسقطاً تخطيطياً لهذا الأنبوب المحزم. يوجد خياران أساسيان لتشكيل هذا النظام، الأول يستعمل الأنبوب المحزم إطارياً والثاني الأنبوب المحزم والمكتف قطرياً كما هو مبين في الشكل (38-3)، ويمكن استخدام الخيارين مع بعضهما بعضاً من أجل الوصول إلى ارتفاعات كبيرة. يعتبر برج سيزر في شيكاغو (الشكل 39-3) تطبيقاً لهذا النوع من الجمل الفعالة في مقاومة القوى الأفقية من رياح أو زلازل، حيث يبلغ عدد الطوابق الكلية للبرج 110 طوابق وبارتفاع كلي 430m، فنلاحظ أن:

- البرج يملك تسعة أنابيب في الطوابق 1 to 50،
- حذف أو إلغاء أنبوبيين في الطوابق 51 to 66،
- إلغاء أنبوبيين آخرين في الطوابق 67 to 90،
- إلغاء ثلاثة أنابيب أخرى لتصبح الطوابق 91 to 110، مكونة من أنبوبيين محزمين.

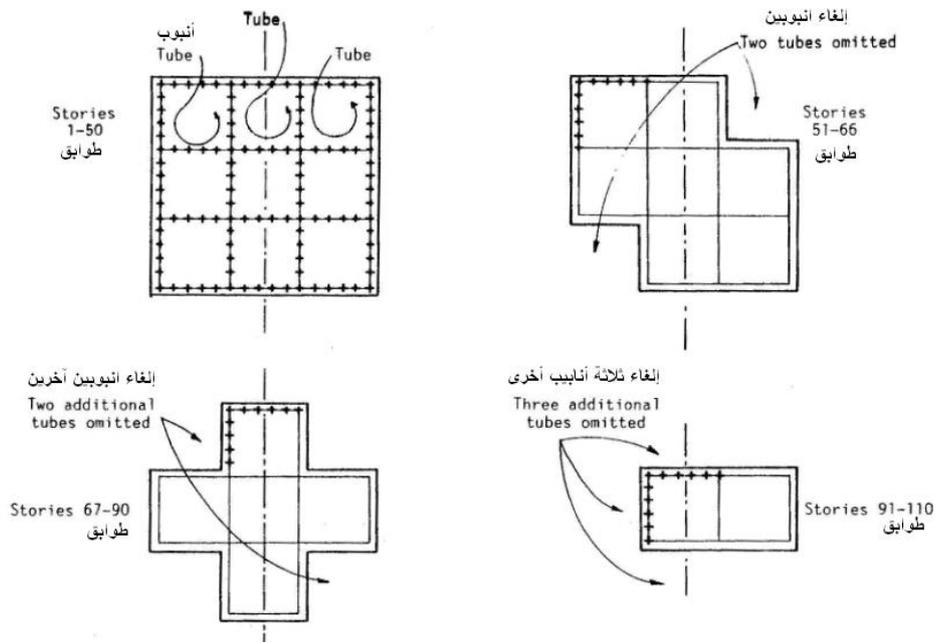
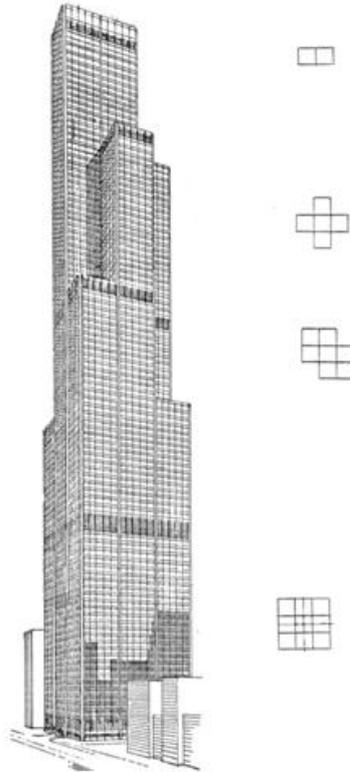


الشكل (37-3): مسقط تخطيطي لنظام أنبوبي محزم



(a) تحزيم إطاري، (b) تحزيم إطاري مع تكتيف قطري

الشكل (38-3): مباني أنبوية محزمة



الشكل (39-3): برج سيزر في شيكاغو (جملة أنبوب محزم)

### 14-43- جمل إنشائية خاصة مقاومة للأفعال الأفقية (أبنية شاهقة):

يوضح الشكل (3-40) مسقطاً تخطيطياً لمبنى حاوي على جدران قص (نواة)، تتوسع شاقولياً عند القمة بارتفاع طابق أو طابقين لتشكل ما يسمى بالقلنسوة أو بأذرع ممدودة تربط النواة بالأعمدة المحيطة. هذا الذراع الممدود بارتفاع طابق أو طابقين، والذي يعمل كحزام رابط للأعمدة الخارجية، يحاول عكس التقوس الانعطافي لنواة القص الظرفية وبالتالي سينتقل جزءاً أساسياً من عزم النواة إلى الأعمدة المحيطة من خلال نشوء قوى شادة في أعمدة الجهة المواجهة وقوى ضاغطة في أعمدة الجهة المقابلة. يتم اختيار مواقع الأذرع الممدودة سواء كانت منفردة أو أكثر بطريقة مدروسة بحيث نحصل على المردود الأمثل لدورها كما هو مبين في الشكل (3-41)، ويمكن تنفيذها بطرائق أخرى غير الجدران، مثل جوائز فيرنديل العميقة التي تشكل نظاماً أكثر مطاوعة، أو باستخدام جوائز شبكية مربطة جيداً، وهذه التقنية تستخدم في المناطق عالية الشدة الزلزالية (الشكل 3-42).

يظهر الشكل (3-43) مقارنة أخرى في اختيار الجمل المقاومة للحمولات الأفقية، حيث يزود المبنى بنظام تكتيف داخلي على كامل الارتفاع يتفاعل مع الإطار الخارجي المحيطي، وهذا التريبط الداخلي الذي يتكون من سلسلة من الحواجز الجدارية المرتبطة بالأعمدة الداخلية، يشكل تربيطاً ضخماً على شكل K ممتدة على كامل عرض المبنى. يوضح الشكل (3-44) نظام تقوية مرغوب في الأبنية فائقة الارتفاع (الشاهقة)، والتي تكون عادة مكونة من أكثر من 80 طابقاً، ويتكون هذا النظام من نوى خدمية متوضعة عند زوايا المبنى، مرتبطة بنظام تكتيف قطري. تعمل النواة في كل زاوية كعمود ضخمة يتلقى معظم الحمولات الشاقولية وعزوم الانقلاب. إن تكوين لامركزية بين الروابط القطرية الكبيرة (نظام التكتيف) والأعمدة الخارجية هو عمل تصميمي مقصود وذلك لتعزيز مطاوعة نظم التكتيف الجانبية، في الواقع إن السلوك المطاوع للوصلات يساعد في تبديد الطاقة الزلزالية وبالتالي إمكانية الحفاظ على قدرة تحمل المبنى للقوى الشاقولية أثناء الزلزال الكبير وبعده.

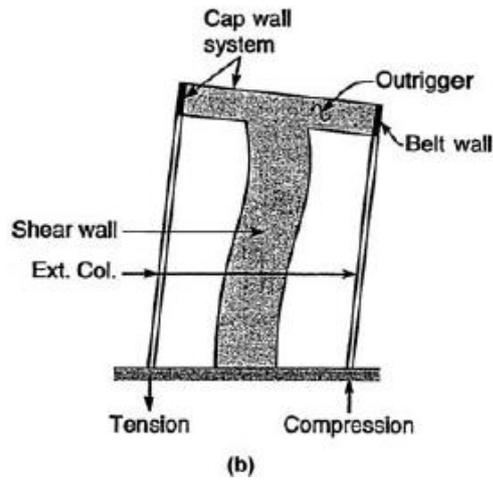
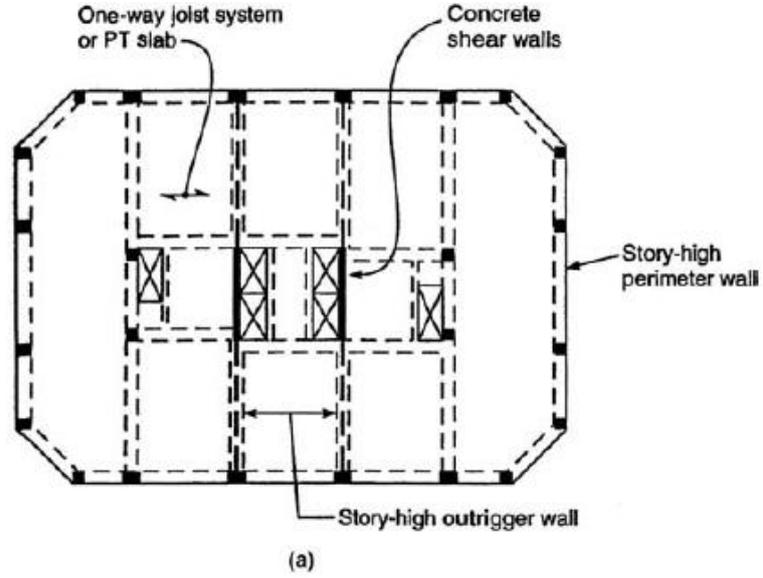
في بعض الحالات، تتعارض المتطلبات المعمارية (وظيفية خدمية كأغراض تجارية أو صالات وقاعات مسارح وسينما أو مواقف سيارات...) في الطوابق السفلية للأبنية مع مواقع العناصر الشاقولية الحاملة للطوابق العليا سواء كانت أعمدة أو جدران، ولهذا يتم استعمال جمل إنشائية خاصة تعمل على نقل الحمولات إلى الأساسات، وذلك في سقف الطابق الذي يحدث فيه التغيير، بشكل يحقق الاشتراطات المطلوبة في التصميم كافة، وتدعى عناصر النقل الإنشائية بنظم أو جمل النقل (Transfer systems).

يجب أن يوضع هذا الأمر في الحسبان عند اعتماد الحلول الإنشائية لجمل النقل، بحيث تكون هذه الجمل أنسب ما يمكن للجمل الإنشائية في الطوابق العليا، كما يجب أن نستعمل عوامل الأمان الكافية عند تصميم هذه الجمل. يبين الشكل (3-45) بعض الحلول الإنشائية الممكنة لجمل النقل، ونذكر منها: جوائز نقل Transfer girder، جوائز نقل شبكي Transfer truss، جوائز نقل جداري Transfer wall beam، أعمدة محيطية تجميعية Column collection،

أقواس نقل Transfer arches، أعمدة تجميع شوكية Forked columns، إطارات نقل Portal frames، وإطار حلقي فراغي Space frame ring .

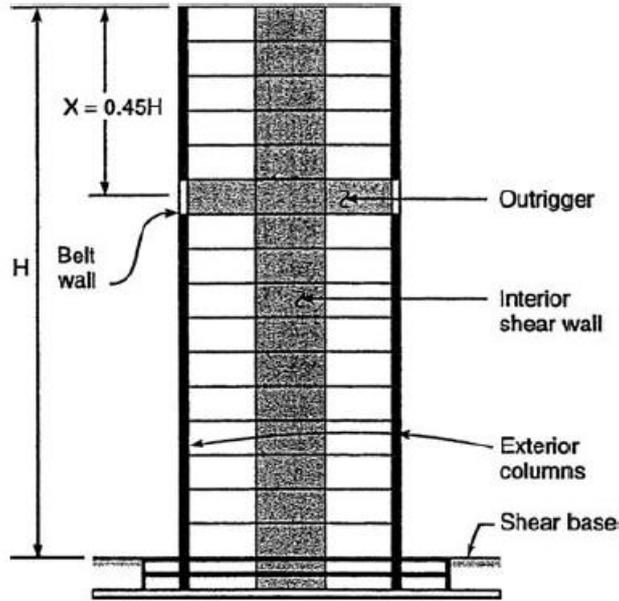
الشكل (3-46) يوضح بعض أشكال الأبنية التي تعتمد على نظام إنشائي مكون من نواة مركزية يقاوم الحمولات الخارجية المطبقة (خطية، مقعرة، محدبة أو الاثنين معاً)، وهذا النوع من الأبنية يملك جمالاً معمارياً وجرأة في التصميم ولكنها لا تقدم الحلول الاقتصادية والإنشائية المناسبة مقارنة مع بقية الجمل الإنشائية المذكورة سابقاً. يتألف هذا النوع من الجمل من نواة مركزية صلبة تعمل كجدار قص وتقوم بحمل جزء من حمولات البلاطات الأفقية، أما الأجزاء الأخرى فتقوم شدادات بحملها إلى الطوابق الأخرى وهكذا حتى يتم إيصال الحمولات المتراكمة المحيطة في أعلى المبنى أو ضمن المبنى وعلى مراحل إلى النواة المركزية.

يوضح الشكلان (3-47 و 3-48) أمثلة لأبنية عالية جملها الإنشائية مكونة من نظم هجينة.

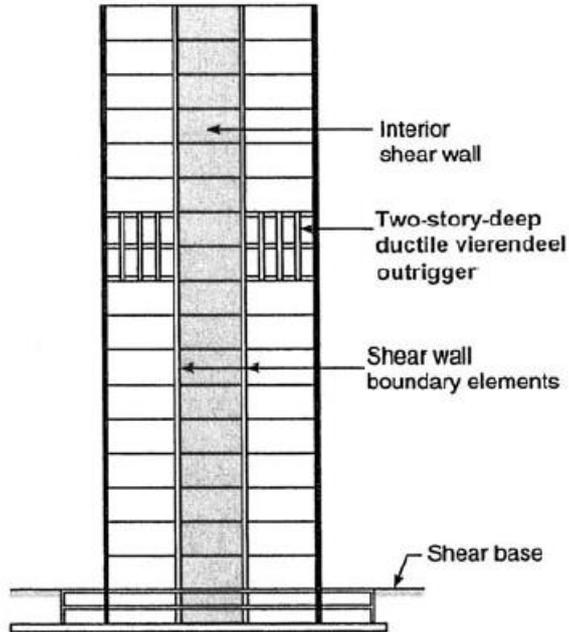


(a) مسقط تخطيطي، (b) السلوك الإنشائي

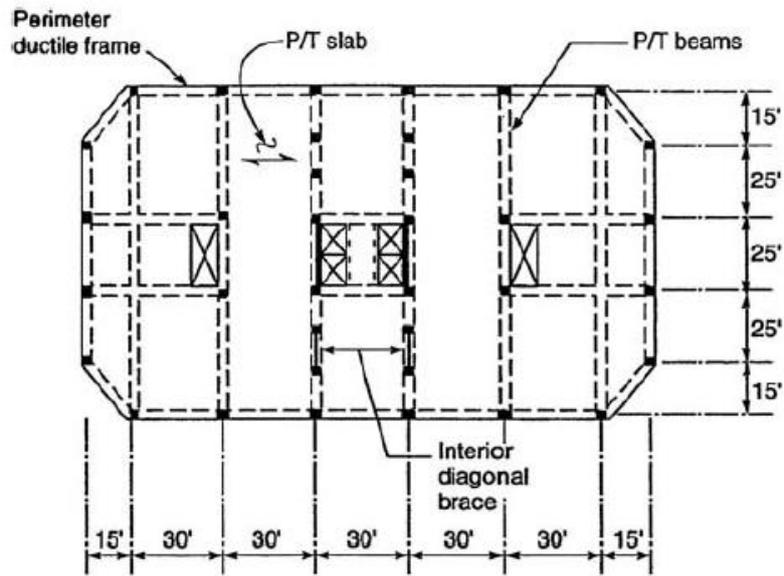
الشكل (3-40): الجملة الإنشائية لمبنى مع جدار بقلنسوة (أذرع ممدودة عند القمة)



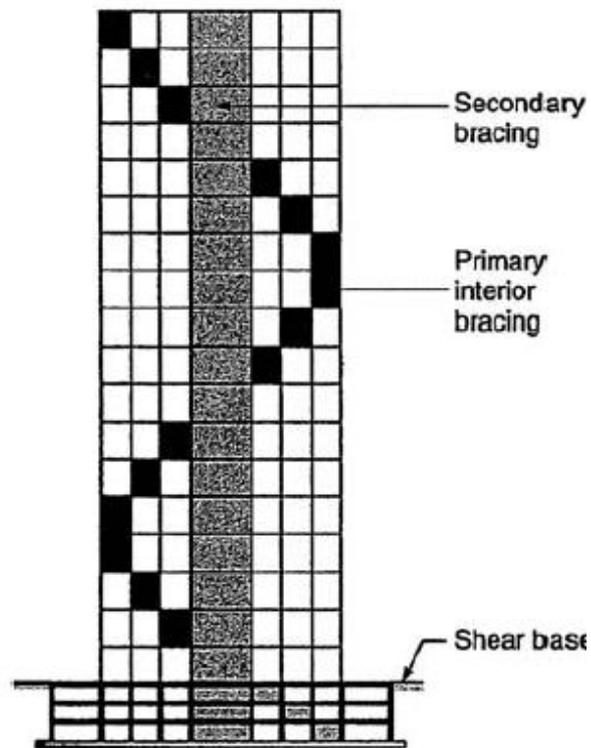
الشكل (3-41): الاختيار الأمثل لمواقع الأذرع الممدودة



الشكل (3-42): نظام الأذرع الممدودة (خيار في المناطق عالية الشدة الزلزالية)



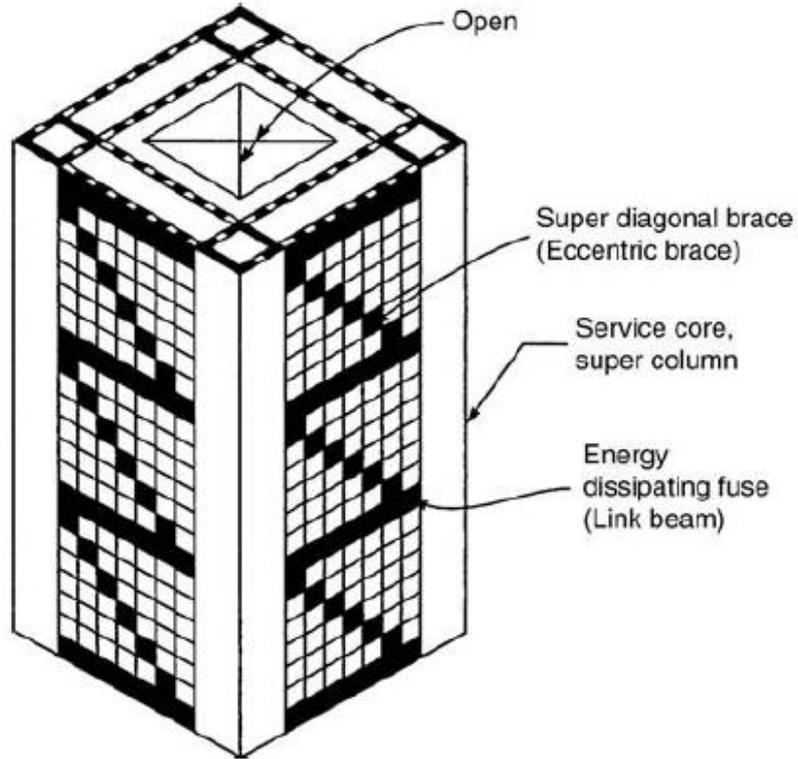
(a)



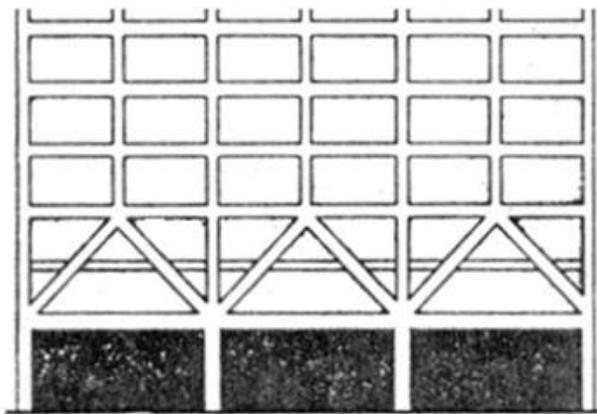
(b)

(a) مسقط ، (b) مقطع تخطيطي

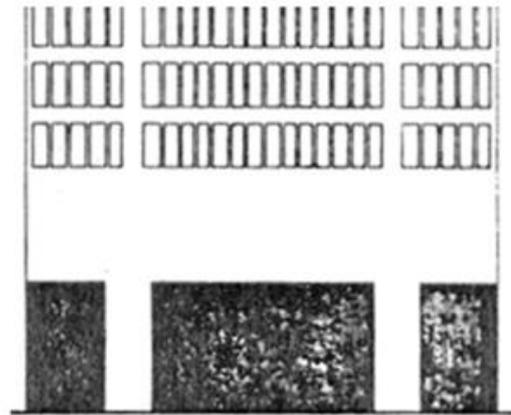
الشكل (3-43): نظام تكتيف داخلي على كامل الارتفاع



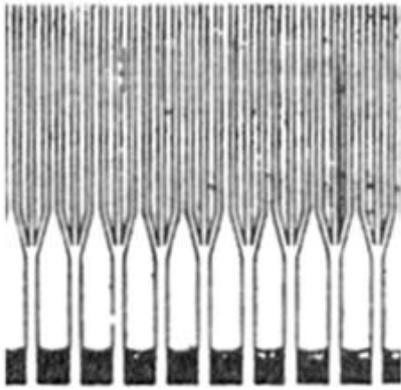
الشكل (3-44): نظام تكتيف لامركزي للأبنية العالية جداً (أكثر من 80 طابقاً)



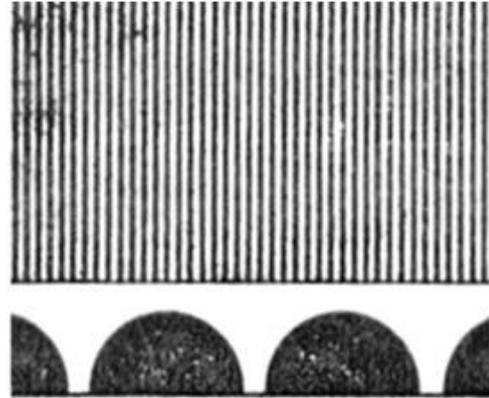
جانز نقل شبكي



جانز نقل جداري

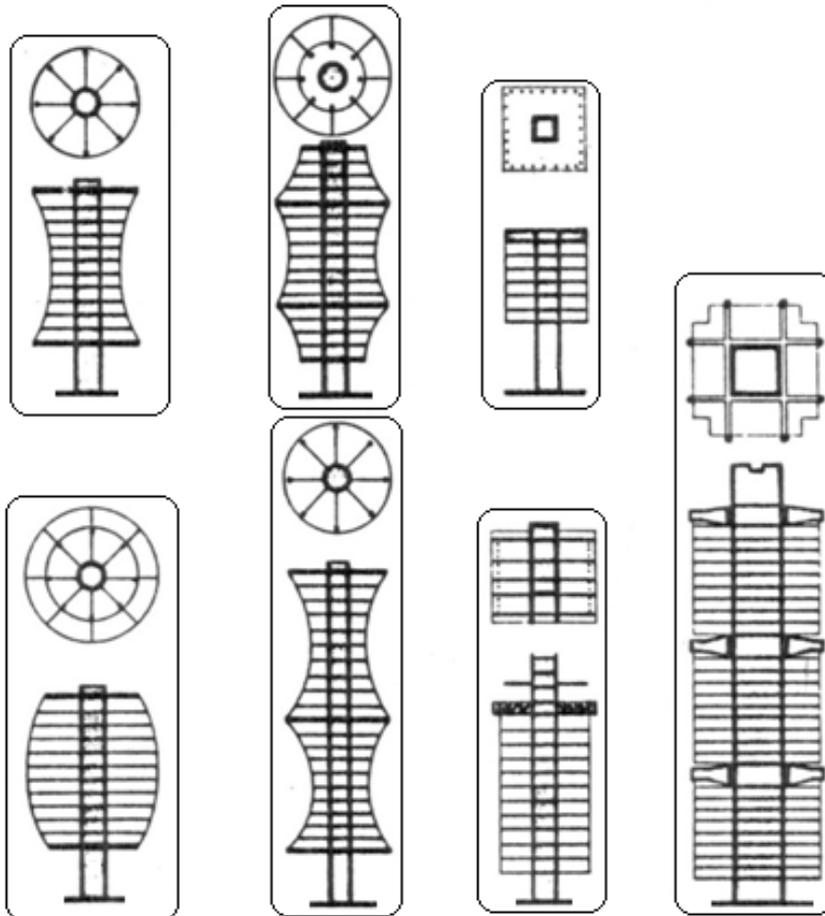


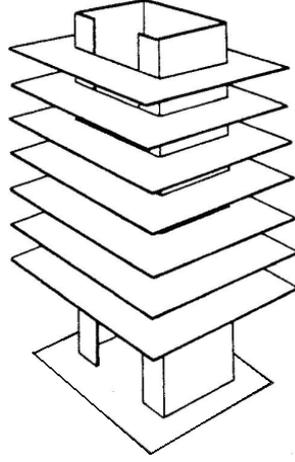
أعمدة محيطية تجميعية



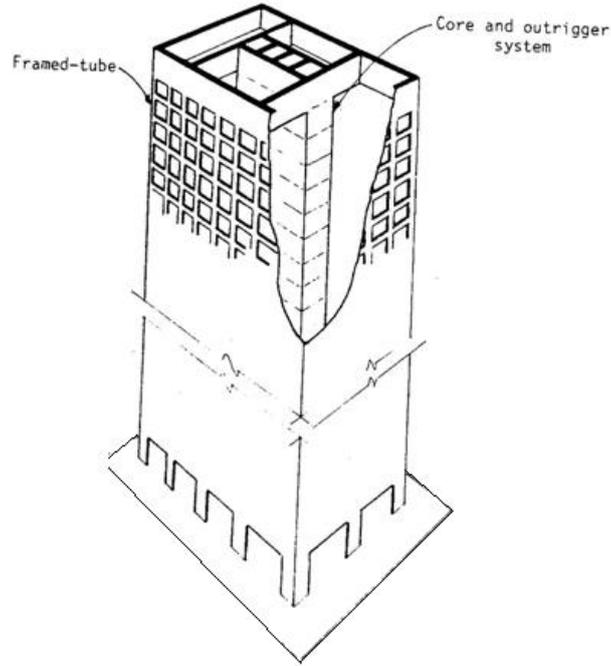
أقواس تجميعية

الشكل (3-45): نماذج من نظم النقل (Transfer systems)

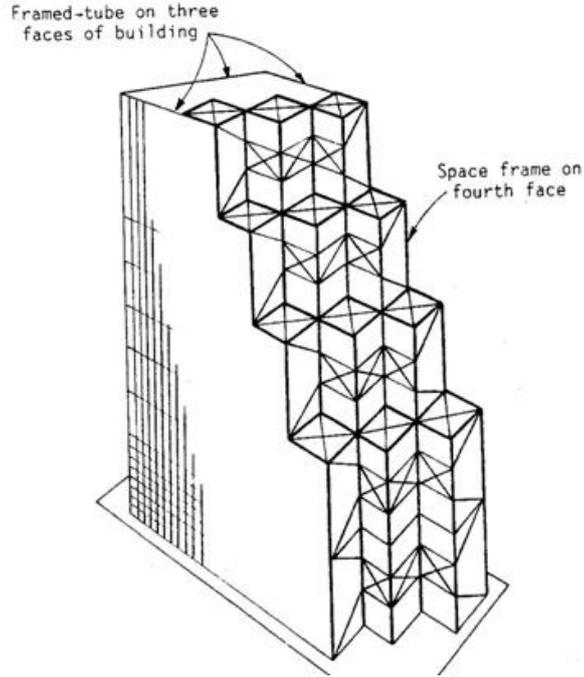




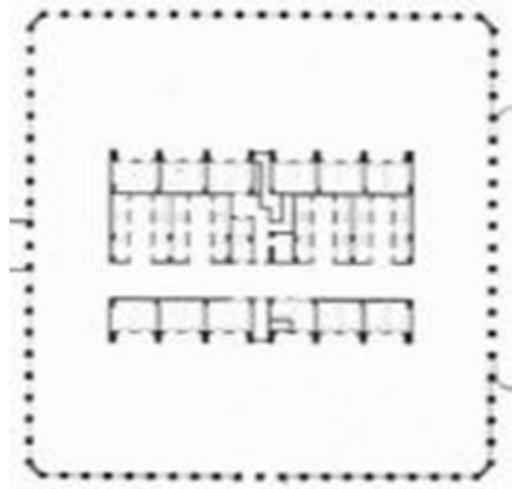
الشكل (3-46): الأبنية الظفرية المحمولة على نواة مركزية صلبة



الشكل (3-47): منشآت هجينة (أنبوب إطاري مع نواة مزودة بأذرع ممدودة)

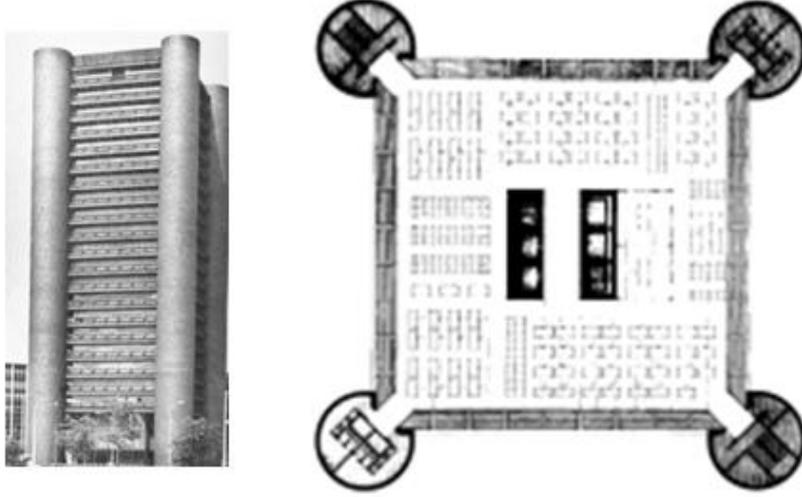


الشكل (3-48): منشآت هجينة (أنبوب إطاري في ثلاث واجهات وإطار فراغي في الجهة الرابعة)  
يوضح الشكل (3-49) مبني مركز التجارة العالمي، فكل برج كان بارتفاع 110 طوابق.  
الهيكل الأنبوبي من الفولاذ المرتبط بواسطة جوائز مع النواة، والبلاطات من البيتون.



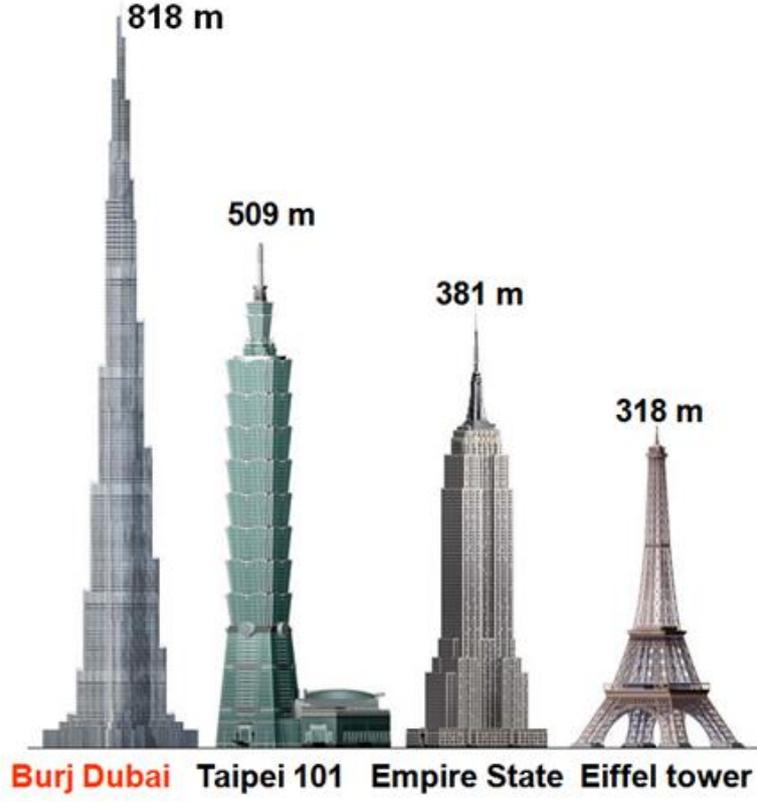
الشكل (3-49): مركز التجارة العالمي

الشكل (3-50) يظهر مبنى فارس كولومبس - نيوهافن، وهو بارتفاع 26 طابقاً، والزجاج الخارجي يرتد 1.5 متر عن مستوى العوارض الفولاذية لكي تتحقق الحماية من الشمس، والجملة الإنشائية مكونة من أربع نوى بيتونية على المحيط الخارجي ونواة في الداخل.

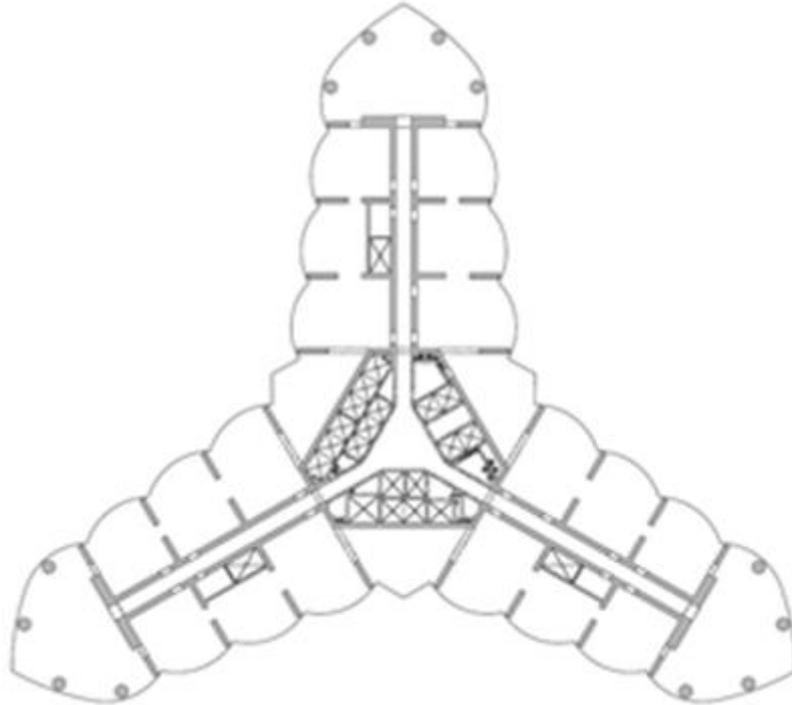


الشكل (3-50): مبنى فارس كولومبس - نيوهافن

يبين الشكل (3-51) مقارنة بسيطة بين عدة أبراج مشهورة منفذة في العالم، من حيث الهيكل والارتفاع. ويوضح الشكل (3-52) مسقط طابق نموذجي لأعلى برج في العالم وهو برج دبي. إن أساسات هذا البرج عبارة عن حصيرة من البيتون المسلح بسماكة 3.7 م، تستند على أوتاد بقطر 1.5 م وطول 43 م، وصبت هذه الحصيرة على أربع دفعات يصل إجمالي حجمها إلى 12.500 م<sup>3</sup>، وتم استعمال بيتون عالي المقاومة عالي الأداء، مع تأمين نظام حماية كاثودية للحد من التأثيرات الضارة التي تنجم عن التفاعلات الكيميائية المسببة للتآكل بفعل المياه الجوفية المحلية. وتتألف الجملة الإنشائية من عدة جدران قص عالية الأداء (المركز الهندسي المدعم)، وتأتي أعمدة المحيط والبلاطات الأفقية المسطحة لإكمال هذه الجملة، وإضافة لفوائدها الجمالية والخدمية، تمت الاستفادة من البنية المتصاعدة أنبوبياً على شكل حرف Y لتشكيل البنية المركزية الأساسية للبرج، وهذا التصميم الفريد يساعد على الحد من تأثيرات الرياح القوية على البرج (الانزياح الأفقي عند القمة 125cm)، وتسهيل عمليات التشييد.



الشكل (3-51): مقارنة بين عدة أبراج عالمية



الشكل (3-52): مسقط طابق نموذجي لبرج دبي

### 15-43- اختيار الجملة الإنشائية المناسبة:

يقوم الدارس في مرحلة الدراسة الأولية باختيار الجملة الإنشائية التي تناسب الدور الوظيفي للمبنى المدروس، وعدد طوابقه والظروف المحيطة بالمبنى مع أمور أخرى تم ذكرها سابقاً، ويمكن للدارس الاستناد على ما ورد في الفقرات السابقة بخصوص اختيار الجملة الإنشائية المناسبة لمقاومة الحمولات الأفقية والشاقولية.

ونتيجة تعدد العوامل المؤثرة على عملية الاختيار، نبين فيما يلي أهم النقاط التي يمكن للمهندس مقارنتها.

- يكون ارتفاع الطابق لأبنية المكاتب ( $h_m \sim 3.50m$ ) أكثر منه للأبنية السكنية ( $h_m \sim 2.75m$ ).
- تكون المجازات الأفقية المطلوبة لأبنية المكاتب ( $L_m \sim 12m$ ) أكبر منها للأبنية السكنية ( $L_m \sim 4.50m$ ).
- تحتاج أبنية المكاتب لمساحات واسعة دون قواطع، بينما لا تشكل القواطع أي مشكلة في الأبنية السكنية حيث توضع بين الغرف أو بين الشقق المتجاورة.
- تحتاج مباني المكاتب لنواة وسطية كبيرة نسبياً تحتوي التجهيزات الخدمية للمبنى من أدراج ومصاعد و دورات المياه، بينما يكفي المباني السكنية نواة صغيرة نسبياً.

ونبين في الجدول (1-3) الجمل الإنشائية التي ينصح بها في سوريا، وذلك استناداً لعدد الطوابق والوظيفة الاستثمارية.

العدد الأقصى للطوابق		الجملة الإنشائية المناسبة
مباني سكنية	مباني مكاتب	
10	8	إطارات
20	15	جدران قص
30	25	إطارات + جدران قص

الجدول (1) اختيار الجمل الإنشائية المناسبة

### 5-3- نمذجة المنشآت وتحليلها

#### 1-5-3- تمهيد:

كما رأينا في الفصول السابقة، ينتقل الزلزال عبر التربة على شكل أمواج بمواصفات معينة ومرتبطة بخواص كل زلزال: السعة، السرعة، التسارع والاستمرارية (مدة الزلزال). وعندما تضرب هذه الأمواج أساسات المنشأة سوف تسبب لها انتقالات  $u_s(t)$ ، مرتبطة بخواص التربة الديناميكية والفعل المتبادل بين التربة والأساسات، وينتج عن هذه الانتقالات موجة تشوه تنتقل عبر المنشأة وعلى كامل ارتفاعها مسببة اجهادات مختلفة في كل عناصره الإنشائية،

بحيث تتوزع وفق ميكانيزم مقاومة المنشأة لموجة التشوه المفروضة. في الواقع، إن هذا الميكانيزم يرتبط بجملة العوامل والمفاهيم التالية:

1. الخواص الديناميكية للمنشأة وتربة تأسيسها والطبقات المجاورة.
  2. السلوك اللاخطي للمنشأة.
  3. توزيع الجمل الإنشائية المقاومة للأفعال الأفقية.
- 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. يوجد طرائق مختلفة لتحديد القوى الزلزالية التصميمية التي تمثل القيم الكلية الدنيا التصميمية للقوى القاعدي، ويمكن تلخيصها وفق المجموعتين التاليتين:

1. طرائق القوى الستاتيكية المكافئة: Equivalent Static Force Procedures
2. طرائق الحساب الديناميكي: Dynamic Analysis ، وبشكل عام توجد مقاربتان لهذا النوع، الأولى تنطلق من معرفة أطياف الاستجابة فهي تعتمد على البحث عن الاستجابة الأعظمية للمنشأة المدروسة وفقاً لكل نمط من الأنماط الذاتية بحيث نحصل في النهاية على القيمة العظمى المحتملة للجهود، أما الطريقة الثانية فهي تعتمد على دراسة الجهود والقوى الداخلية في المنشأة بدلالة الزمن وبالتالي هي تنطلق من معرفة السجل الزمني للحركة.

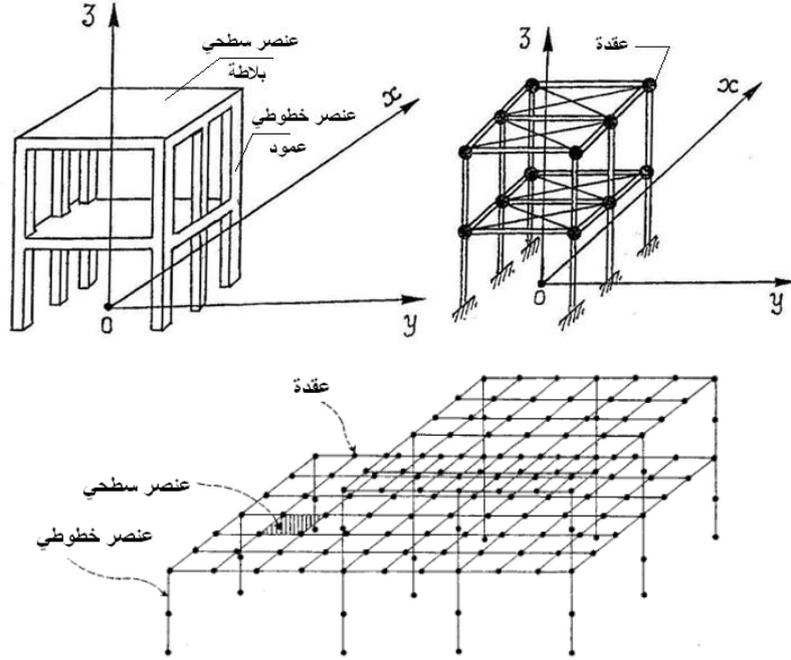
ويتم في الطرائق الستاتيكية تحديد قوى العطالة كقوى ساكنة مكافئة باستخدام علاقات تجريبية لا تأخذ بشكل ظاهري الخصائص الديناميكية للجملة الإنشائية المدروسة، لكن تم تطوير هذه العلاقات لتمثل السلوك الديناميكي للمنشآت المنتظمة ذات التوزيع المنتظم للكتلة والصلابة، وفي هذه الحالة تعتبر طريقة القوى المكافئة الساكنة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

### 3-5-2- النمذجة والتحليل:

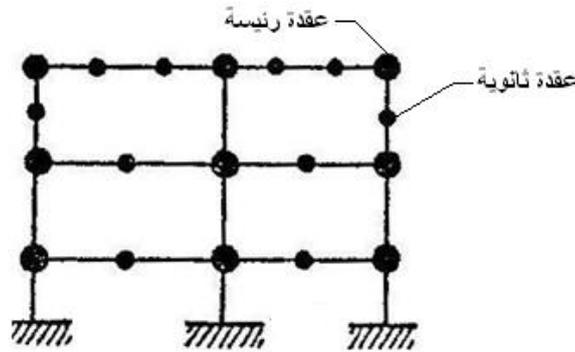
يعتبر إعداد النموذج الذي يمثل بأكبر دقة ممكنة كتل وصلابات عناصر المنشأة مرحلة في غاية الأهمية لدراسة الاستجابة الإنشائية مع حمولة ديناميكية ما. يجب أن يتضمن النموذج الرياضي الممثل للمنشأة الفيزيائية كافة العناصر المساهمة بجملة مقاومة القوى الجانبية. كما يجب أن يتضمن النموذج صلابة ومقاومة العناصر المؤثرة في توزيع القوى، كما يلزم أن يمثل هذا النموذج التوزيع الأساسي للكتل والصلابات في المنشأة.

في الواقع، يمكن حساب الكتل وتوزيعها بدقة كافية، وبالمقابل فإن حساب الصلابات يتم بشكل تقريبي وخاصة في المنشآت البيتونية المسلحة التي تتغير عطاتها مقاطعها بعد التشقق وكذلك عرض أجنحة المقاطع بشكل T. تتم نمذجة المنشآت بالاستعانة بعناصر خطوطية (Beam elements) للجوائز والأعمدة، وبالعناصر سطحية (Surface elements) للبلاطات والجدران الإنشائية (قص أو حاملة)، وتتصل هذه العناصر مع بعضها بعضاً بواسطة عقد (Joints)، ويتم استخدام النموذج ضمن إطار طريقة العناصر المنتهية (الشكل 3-53).

تسمى العقد الواقعة في أماكن تقاطع عنصرين أو أكثر بالعقد الرئيسية، وأما العقد الأخرى فتسمى عقد ثانوية (الشكل 3-54).



الشكل (3-53): نمذجة فراغية للمنشآت



الشكل (3-54): توضع العقد

يجري تحليل المنشآت، بحساب القوى الداخلية (قوى محورية، عزوم انحناء، قوى قص، عزوم قتل، الخ) الناتجة في المقاطع، عن التأثير الأعظمي للأفعال والحمولات المختلفة التي تخضع لها المنشأة، وتحسب هذه القوى بالاعتماد على طرائق التحليل الإنشائية المعروفة، وذلك بافتراض هياكل المنشآت تعمل في مجال المرونة أو في مجال اللدونة أو في المجالين معاً، وهي طرائق مختلطة بين الاثنتين ومعدّلة بصورة تناسب طبيعة سلوك مادة البيتون المسلح. ويمكن أن يكون التحليل يدوياً، باستعمال الطرائق المبسطة أو آلياً باستعمال الحواسيب الإلكترونية، التي تعتمد على التحليل العددي وطرائق المصفوفات بما فيها طرائق العناصر المنتهية.

يعتمد التحليل الإنشائي المبسط على نظرية المرونة باستعمال إحدى الطرائق المبسطة لتحليل المنشأة، وذلك بالاعتماد على الخصائص الرئيسية لجملها الإنشائية المتنوعة (إطارات، جدران قص، جمل مختلطة، جمل أخرى...) وتكون الحلول معتمدة على استعمال طرائق تقريبية لتحديد السلوك الإنشائي التقريبي لهذه الجمل. وفي الحالة العامة يمكن تبسيط الإطارات الفراغية، إلى إطارات مستوية، يتم دراستها بصورة مستقلة في كل من المستويين المتعامدين ماعدا الحالات التالية (حيث يجب فيها دراسة الإطار فراغياً):

- 1- في حال كون عناصره غير متعامدة فيما بينها.
  - 2- في حال وجود حمولات منحرفة بصورة ملحوظة عن محاور عناصر الإطار.
  - 3- في حال توقّع وجود عزوم قتل هامة.
  - 4- في الحالات الخاصة التي لا يسمح فيها الشكل الهندسي للمنشأة بتجزئتها إلى إطارات مستوية مستقلة.
- تؤخذ أبعاد الإطارات مساوية إلى المسافات بين محاور العناصر الخطية، أما في حال وجود عناصر ذات مقاطع متغيرة الأبعاد، فيمكن أخذ محور المقطع ذو الصلابة المساوية إلى متوسط صلابتي مقطعي العناصر الشاقولية في الأعلى وفي الأسفل في الاتجاه المدروس.

تحدد أبعاد المقطع العرضي للجوائز وفق مايلي:

- 1- للجوائز غير المتصلة مع البلاطات: أبعاد المقطع العرضي للجوائز.
- 2- للجوائز الساقطة المتصلة مع البلاطات: يُؤخذ جزء من البلاطة بصفة جناح للمقطع العرضي للجوائز، ويدخل في حساب عزم العطالة، ويكون عرض هذا الجناح  $(b_w + 6t_f)$  حيث  $(b_w)$  عرض الجوائز الساقط و  $(t_f)$  سماكة الجناح ، أو المسافة بين محاور الجوائز، أيهما أقل.
- 3- للجوائز المخفية المتصلة مع البلاطات: تؤخذ أبعاد المقطع العرضي المستطيل للجوائز.
- 4- للجوائز الساقطة الطرفية ذات المقاطع بشكل حرف L: تؤخذ أبعاد المقطع العرضي المستطيل للجوائز.

وعند الحاجة إلى إدخال أثر ثابت الفتل  $J$  لعناصر البيتون المسلح المستطيلة المقطع، يُعتمد ما يلي:

$$J = (1 - 0.63 \frac{x}{y}) \cdot \frac{x^3 y}{3}$$

حيث:  $x$  : البعد الأصغر للمقطع المستطيل،  $y$  : البعد الأكبر للمقطع المستطيل.

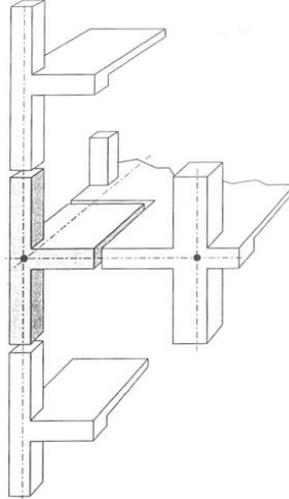
أما بالنسبة للمقاطع غير المستطيلة، فتؤخذ قيم  $J$  من المراجع المختصة.

### 3-5-3- نمذجة الكتل:

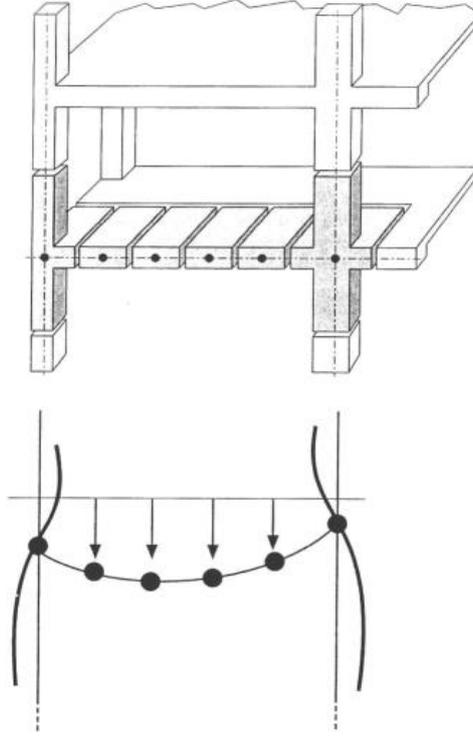
يتم تركيز كتلة بلاطات المنشأة في العقد، ويمكن تركيز هذه الكتل في العقد الرئيسية لحالة اتجاه أفقي للزلازل ما (زلزال أفقي) إذ يمكن اعتبار البلاطة كبيرة الصلابة في مستواها، وفي هذه الحالة يتم التركيز وفقاً لقواعد الستاتيك بإعطاء حصة من الكتلة لكل عقدة بما يتناسب مع المساحة المحيطة بها، كما هو مبين في الشكل (3-55).

أما من أجل اتجاه شاقولي للزلازل (زلزال شاقولي)، فإن البلاطة تعمل بالانعطاف في المستوي المتعامد مع مستواها الوسطي فهي هنا أقل صلابة من الحالة السابقة، وبالتالي لا يجوز تركيز كتلتها في العقد الرئيسية فقط بل يجب استخدام عقد ثانوية (الشكل 3-56).

وفي النموذج الفراغي النهائي، يتم وضع عقد رئيسة وثانوية لكي تتم دراسة الاستجابة في الاتجاهين بأن واحد.



الشكل (3-55): تركيز كتل البلاطات في العقد الرئيسية (حالة زلزال أفقي)

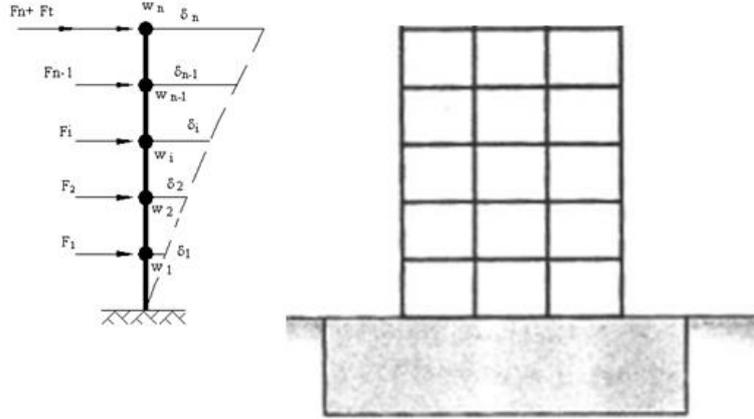


الشكل (3-56): تركيز كتل البلاطات في العقد الرئيسية والثانوية (حالة زلزال شاقولي)

#### 4-5-3- نمذجة التربة:

عند تصميم وتقويم الأبنية الواقعة في مناطق زلزالية يقوم المهندس الإنشائي باعتماد نماذج إنشائية مبسطة مفترضاً أن هذه المباني موثوقة عند منسوب التأسيس (القاعدة) دون الأخذ بالحسبان مسألة مطاوعة تربة التأسيس وما تولده من تغيير في دور المنشأة وبالتالي في سعة الاهتزاز، وهذه المسألة المهمة تسمى بظاهرة "الفعل المتبادل تربة-منشأة" (Soil Structure Interaction, SSI) (الشكل 3-57)، فعند تصميم منشأة ما لمقاومة الأفعال الزلزالية يجب الأخذ بالحسبان لظاهرة الفعل المتبادل بين التربة والمنشأة. ودراستها جيداً بهدف تحديد السلوك الفعلي للمنشأة واستجابتها تحت تأثير هذه الأفعال الزلزالية.

أثبتت الدراسات والبحوث المعمقة أن تأثير هذه الظاهرة يكون ضاراً أو مفيداً وذلك تبعاً لخواص تربة التأسيس و المنشأة والمحتوى الترددي للزلزال، وأن قوى القص القاعدية ترتبط بعامل مميز تحدد الصلابة النسبية للتربة والمنشأة وذلك وفقاً للشدة الزلزالية المعتمدة.



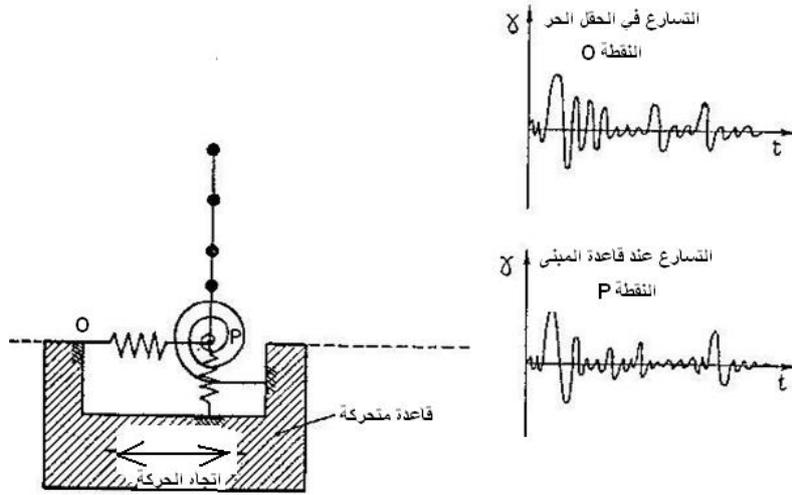
الشكل (3-57): النموذج الدارج في التحليل (وثيقة تامة عند القاعدة)

إضافة لما تقدم، نلاحظ بأن السجلات الزمنية يتم أخذها انطلاقاً من قياسات تجرى على سطح الأرض وبغياب أية منشأة كانت، أي أن التربة تكون في وضعها الطبيعي. إذن القياسات المسجلة تقابل ما يسمى بالحركات في حقل حر إذ توضع أجهزة رصد الزلازل في مكان خال من البناء، ويمكن تلخيص تأثير المنشآت اللاحقة على تربة التأسيس والتراب المجاورة وفق النحو التالي:

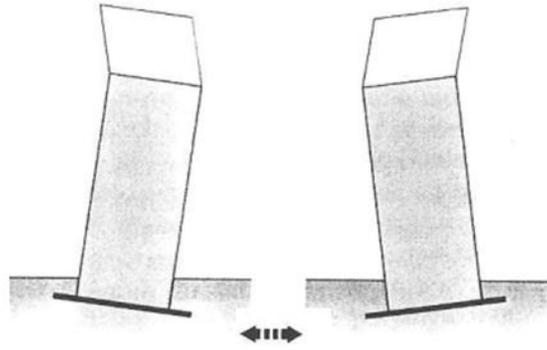
- تأثير ستاتيكي: حيث يسبب وزن المنشأة وحمولاتها ارتصاص التربة وتقويتها.
- تأثير ديناميكي: حيث تسبب اهتزازات المنشأة نقلاً للطاقة بينه وبين التربة، ومقدار هذه الطاقة أو أهميتها تعتمد على الصلابة النسبية للمنشأة بالنسبة لتربة التأسيس، وهذا الأمر يمكن أن يغير التحريض الواجب أخذه بالحسبان على قواعد المنشأة.

بالتالي، ستولد كتلة المنشأة قوى عطالة تعمل على تشويش حركة التربة، وسيولد عزم الوثيقة عند القاعدة دورانياً لها، ويكون السجل الحسابي عند قاعدة المنشأة مرتبطاً بكتلة المنشأة وبترية التأسيس (الشكل 3-58).  
وبين الشكل (3-59) تأثير الظاهرة SSI على سلوك الطابق الأخير اللين، بالتالي ضرورة الاهتمام بهذا الطابق عند إعداد النموذج وتابع التحريض.

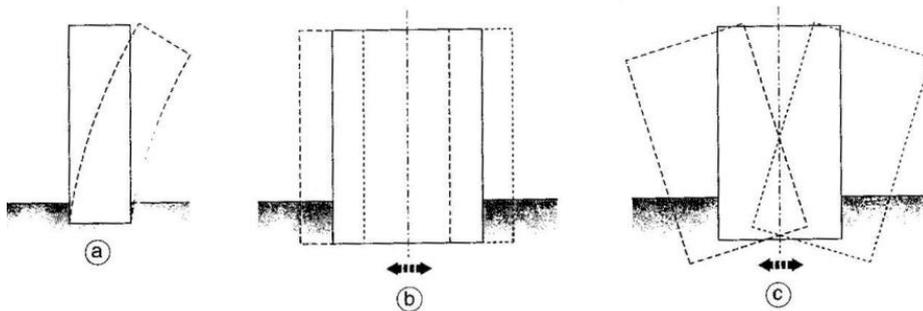
فإذا تم تأسيس منشأة صلابتها ضعيفة على تربة قاسية جداً، كالصخر مثلاً، فإن وجود هذه المنشأة لا يغير من تأثير الزلازل كثيراً على التربة، ويمكننا اعتماد النموذج الدارج حيث المبنى موثوق تماماً عند قاعدته، أما إذا كانت المنشأة ذات صلابة كبيرة ومقامة على تربة رخوة قابلة للحركة فيكون عندئذ للمنشأة تأثير هام على اهتزازات التربة بسبب الزلازل (الشكل 3-60).



الشكل (3-58): تغير في التحريض نتيجة الفعل المتبادل تربة - منشأة SSI



الشكل (3-59): تأثير SSI على سلوك الطابق الأخير اللين

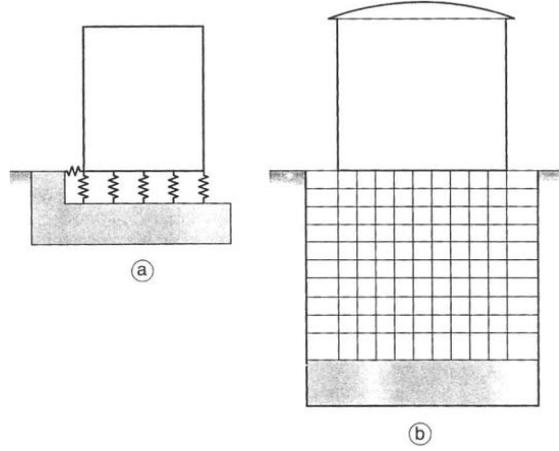


(a) مبنى لين على تربة قاسية دون SSI، (b) مبنى صلابته كبيرة على تربة قاسية دون SSI

(c) مبنى صلابته كبيرة على تربة ضعيفة أو متوسطة القوام مع SSI

الشكل (3-60): الفعل المتبادل تربة - منشأة

ويمكننا اعتبار هذا التأثير المتبادل بين التربة والمنشأة عن طريق إعداد نماذج تكون فيها التربة ممثلة بنوابض أو بعناصر منتهية، كما هو مبين في الشكل (61-3).



(a) النمذجة بنوابض، (b) النمذجة بعناصر منتهية

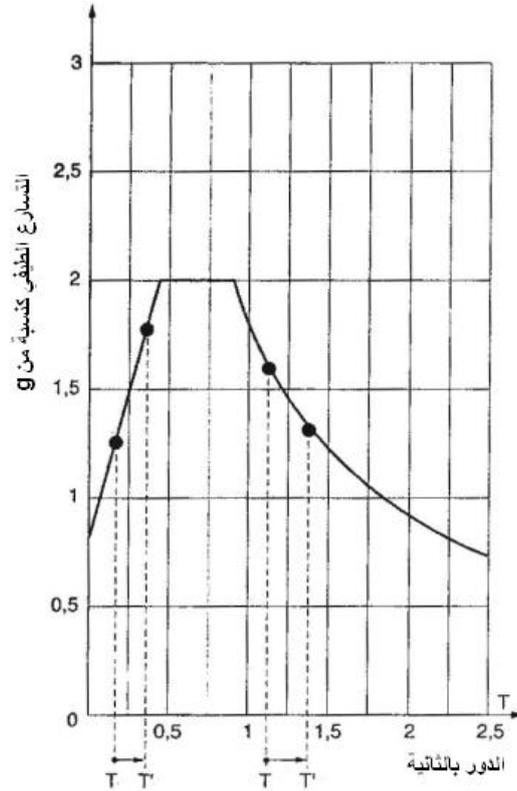
الشكل (61-3): أنواع النماذج المستخدمة في تحليل المنشآت الخاضعة لزلزل عند الأخذ بالحسبان لتأثير الفعل

المتبادل تربة - منشأة (SSI)

يمكننا توضيح تأثير ظاهرة SSI على الاستجابة من خلال حساب تأثيرها على قيم الدور، فعندما يكون لدينا طيف تسارع ما، كما هو مبين في الشكل (62-3)، وبعد أن يتم حساب قيمة دور نمط الاهتزاز الذاتي للمنشأة وفق حالتين اثنتين: الأولى يتم تمثيل المنشأة كنموذج دارج حيث تكون موثوقة عند القاعدة بمعنى لا يتم اعتبار الظاهرة SSI وبحسب الدور ( $T$ )، والحالة الثانية بوجود تأثير SSI بدور ( $T'$ )، فمن خلال الشكل (62-3) نلاحظ ما يلي:

- القسم المساعد من مخطط الطيف، وهو مجال الأدوار الصغيرة نسبياً (حتى  $0.5 \text{ sec} \sim$ )، وعندما يكون  $(T' > T)$  فإنه يجب زيادة قيمة الاستجابة بالتالي يكون التأثير سلباً لظاهرة SSI.

- القسم الهابط من المخطط، وهو مجال الأدوار الكبيرة (أكبر من  $1 \text{ sec} \sim$ )، وعندما يكون  $(T' > T)$  فيجب تخفيض الاستجابة بالتالي التأثير يكون إيجابياً لهذه الظاهرة.



الشكل (3-62): تأثير SSI على مخطط طيف الاستجابة

#### 1- تمثيل التربة بنوابض:

تتم نمذجة التربة بجملة من النوابض الرابطة لعقدة أو لمجموعة عقد بقاعدة صلبة (التربة الواقعة أسفل تربة التأسيس) تطبق عليها الحركة (الزلازل).

ففي حالة نموذج مستوي يكون لدينا:

- تحت قاعدة منعزلة (أساس سطحي): يتم التمثيل بثلاثة نوابض: نابضان على الانتقال (أفقي وشاقولي)، ونابض على الدوران.

- تحت الأساس المستمر أو الحصرية: تمثل التربة عند كل عقدة: بنابض للانتقال الأفقي ونابض للانتقال الشاقولي.

تتعلق صلابة النوابض  $K$  (الشاقولية - الأفقية أو الدوران) بخواص التربة وسطح وعطالة الأساس، وهي مرتبطة مباشرة بعامل بالاست  $\mu$ :

• حالة الانتقال الأفقي أو الشاقولي:  $K_{\Delta} = \mu_{\Delta} \cdot S$

• حالة الدوران:  $K_O = \mu_O \cdot I$

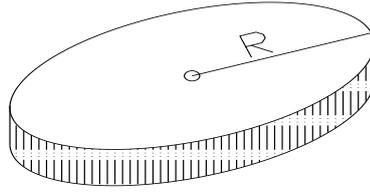
ويُلخص الجدول (2-3) قيم عامل بالاست و صلابة النوابض الانتقالية والدورانية:

الاتجاه	الصلابة (K)	عامل بالاست (μ)	
شاقولي	$\frac{2}{(1-\nu^2)}ER$	$0.64 \frac{E}{R} \frac{1}{(1-\nu^2)}$	$\frac{K}{S}$
أفقي	$\frac{16(1-\nu)}{(7-8\nu)(1+\nu)}ER$	$5.1 \frac{E}{R} \frac{1-\nu}{(7-8\nu)(1+\nu)}$	$\frac{K}{S}$
دوران	$\frac{4}{3} \frac{ER^3}{(1-\nu^2)}$	-	$\frac{K}{I}$

الجدول (2-3): قيم عامل بالاست وصلابة النوابض

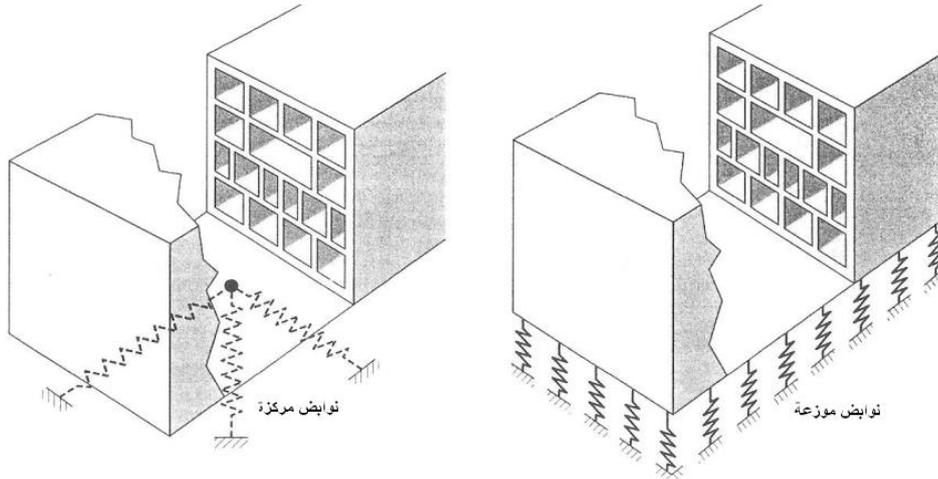
علماً أن :

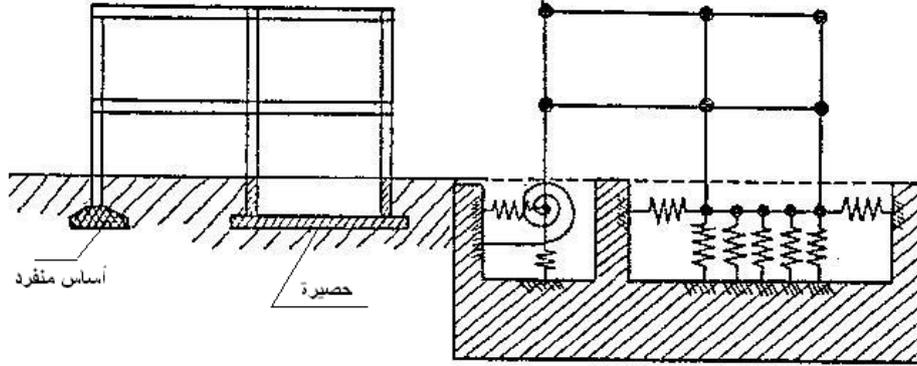
$\nu$ : عامل بواسون ،  $E$ : عامل مرونة التربة ،  $R$ : نصف قطر القرص المرن (البناء - الأساس) ،  $I$ : عطالة الأساس ،  $S$ : مساحة القرص .



وفي حالة النموذج الفراغي يكون لدينا:

1. يمثل الأساس المنفرد بستة نوابض: نابض للانتقال الشاقولي، نابضان للانتقالين الأفقيين، ونابض للدوران حول كل من المحور الرأسي والمحورين الأفقيين.
  2. وتمثل الحصيصة بواسطة ثلاثة نوابض: نابض للانتقال الشاقولي ونابضان للانتقالين الأفقيين.
- ويبين الشكل (63-3) نمذجة التربة بنظام من النوابض سواء كانت مركزة أم موزعة.



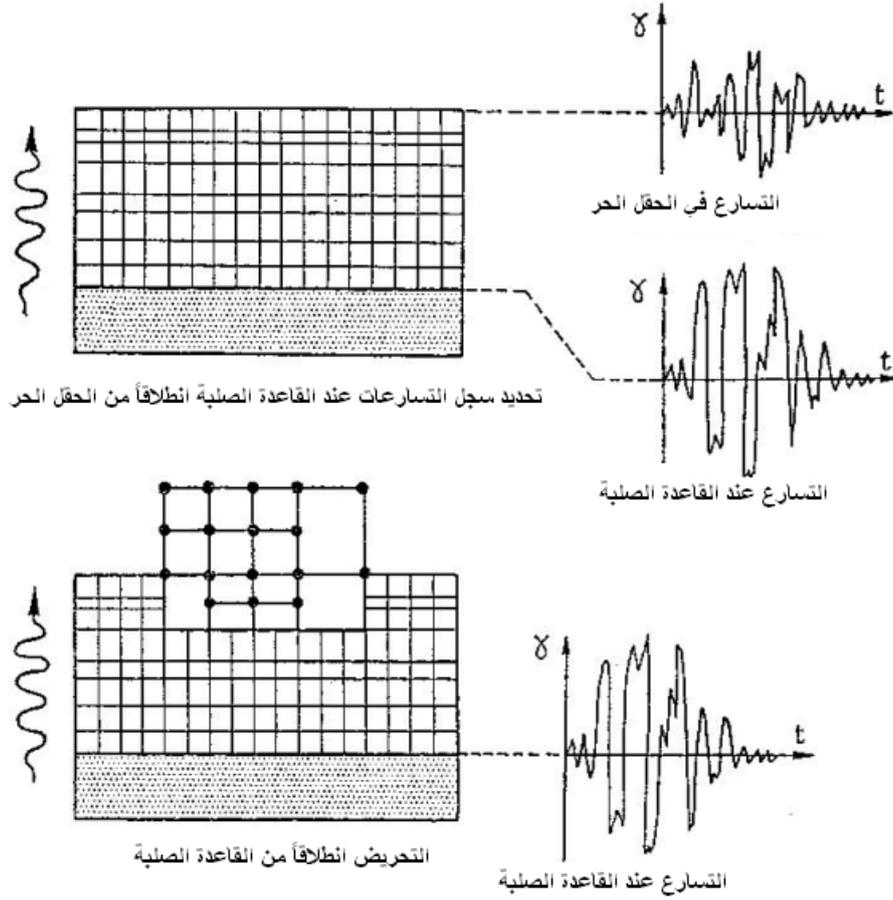


الشكل (3-63): النمذجة بنوابض

## 2- تمثيل التربة بعناصر منتهية:

يهدف اعتبار الخواص الديناميكية للتربة يمكننا استبدال النوابض التي تمثل التربة بجملة من العناصر المنتهية، بالتالي تكون التربة ممثلة بمجموعة من الطبقات المتتالية لعناصر مكديسة على قاعدة تمثل الطبقة الصخرية، ويتم توصيف كل طبقة بعامل المرونة، عامل بواسون، الكتلة الحجمية وعامل التخماد. وكما في حالة التمثيل بالنوابض يتم تطبيق الحركة على القاعدة ونفترض أنها تنتشر عبر التربة على شكل أمواج قص تنتقل رأسياً فقط.

إن حركة القاعدة المتوضعة في العمق تختلف عن حركة سطح التربة، بالتالي يجب إعداد دراسة مسبقة للتربة بغياب أية منشأة من أجل تحديد حركة القاعدة التي تولد حركة السطح المحددة بالمخطط المعطى أصلاً من قبل المحطة (الشكل 3-64).



الشكل (3-64): نمذجة التربة بعناصر منتهية

### 3-5-5- التخماد:

في الواقع، إن استجابة المنشآت الخاضعة لأفعال زلزالية متغيرة مع الزمن ترتبط مباشرة بالعوامل التالية:

- خواص تخماد المواد المكونة لعناصر المنشأة.
- عقد ووصلات مختلف العناصر المكونة للمنشأة وارتباطها بالوسط المحيط (الفعل المتبادل تربة- منشأة SSI).

إن الظواهر الفيزيائية التي تدخل في تخماد منشأة ما أو في التربة، متعددة ونذكر منها: الاحتكاك، اللزوجة، لدونة المواد وانتشار الأمواج عند مستوى تربة التأسيس...

ومن الناحية العملية، يمكن القول بأن التخماد يتكون من ما يلي:

1. تخماد داخلي أو إنشائي: وينتج في المادة بسبب التشوهات التي تعانها، وهو يشكل السبب الرئيس لتبديد

الطاقة، ويتألف هذا النوع من:

- تخامد لزج، مرتبط بلزوجة ومرونة المواد ويعتمد على التواتر، وهو يقيس قدرة تخزين الطاقة في المجال المرن.

- تخامد استرجاعي (hysteretic)، لا يتعلق بالتواتر، وهو الأساس في لاختطية سلوك العناصر الإنشائية، فمن البديهي أن تكون قيمة هذا التخامد معدومة عندما يبقى المنشأ في المجال المرن.

2. تخامد خارجي: يوافق الاحتكاك بأنواعه المختلفة، وهو يلخص بشكل رئيسي التخامد الناجم عن سطوح الاحتكاك الكاملة بين العناصر الإنشائية والعناصر غير الإنشائية عندما تكون موجودة. إن مساهمة العناصر غير الإنشائية في تأمين الاحتكاك هامة جداً في حالة الحركات الاهتزازية الكبيرة، وبالمقابل يمكن أن تلغى عندما تتضرر أو تنهار هذه العناصر. من جهة أخرى يمكن أن يصنف الاحتكاك بين الأساسات والتربة ضمن هذه المجموعة من الاحتكاكات، وهذا ما يسمى بالتخامد الجيومتري الذي يؤخذ بالحسبان عند نمذجة الفعل المتبادل تربة - منشأة SSI .

بهدف تسهيل الموضوع، يتم استبدال كل من التخامد الخارجي والتخامد الاسترجاعي بتخامد معادل لزج يعطي بشكل عام نفس التبديد للطاقة، وهذا التخامد المكافئ، هو المتعارف عليه في الأدبيات الزلزالية والمسعى بالتخامد الفعلي. يبين الشكل (3-65) علاقة كل من التخامد الحقيقي (الفعلي) والتخامد الحرج مع الزمن، ويتم تعريف ما يسمى عامل أو نسبة التخامد ( $\xi$ ) بأنه النسبة بين التخامد الحقيقي ( $c$ ) و التخامد الحرج ( $c_0$ )، كما مر معنا في فصل سابق:

$$\xi = \frac{c}{c_0} = \frac{c}{2m\omega} = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

إن هذه النسبة تعطي مؤشراً مهماً لفعالية التخامد على تخفيض الاستجابة.

ويوافق التخامد الحرج الحالة التي عندها لا يحصل اهتزازات لنظام بدرجة حرية واحدة، في حال غياب القوة الخارجية.

يمكن التمييز بين ثلاث حالات:

$$1- \xi > 1 ; c \geq c_0$$

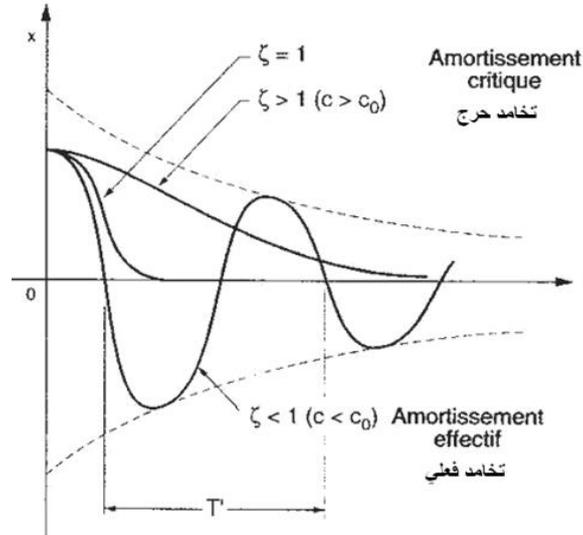
يكون التخامد الفعلي أكبر من التخامد الحرج، والكتلة تتقارب إلى وضع الراحة دون القيام باهتزازات (تخامد هام جداً).

$$2- \xi = 1 ; c = c_0$$

كما في الحالة السابقة، لا تبدي الحركة أية اهتزازات، وهي الحالة الحرجة التي تظهر للحظة، التي عندها، تفقد الحركة خاصية الاهتزاز.

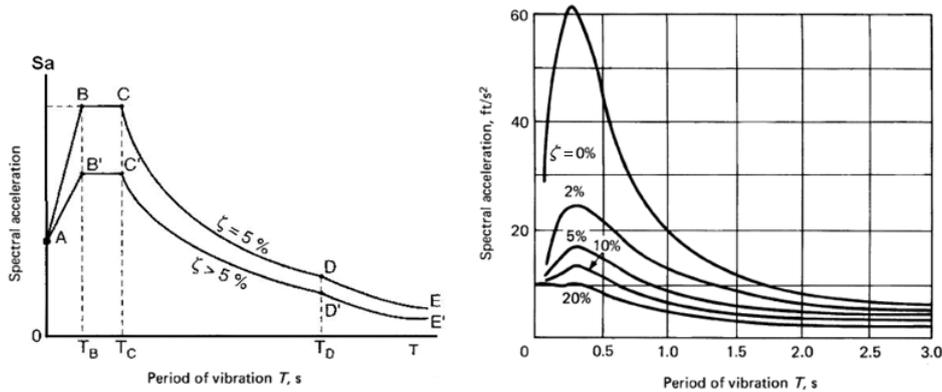
$$3- \xi < 1 ; c < c_0$$

التخامد الفعلي أصغر من التخامد الحرج، وتقوم الكتلة بسلسلة من الاهتزازات بسعات متناقصة تتقارب إلى الصفر (تخامد ضعيف). وتعتبر هذه الحالة هي المفيدة في تحليل السلوك الديناميكي للمنشآت.



الشكل (65-3): التخامد الفعلي والتخامد الحرج

ومن البديهي القول أنه كلما ازداد التخامد، تنخفض قيم طيف الاستجابة (استجابات طيفية ضعيفة)، وبين الشكل (66-3) تأثير التخامد على الاستجابة، بالتالي ضرورة الاختيار الصحيح لهذا العامل المهم والمؤثر على التصميم.



الشكل (66-3): تأثير التخامد الفعلي على طيف الاستجابة

ولتحديد قيمة التخامد نميز بين الحالتين التاليتين:

1- المنشأة مكونة من مادة إنشائية واحدة: يكون عامل التخامد هو نفسه لكل أنماط الاهتزاز، ويمكننا اعتماد القيم التالية:

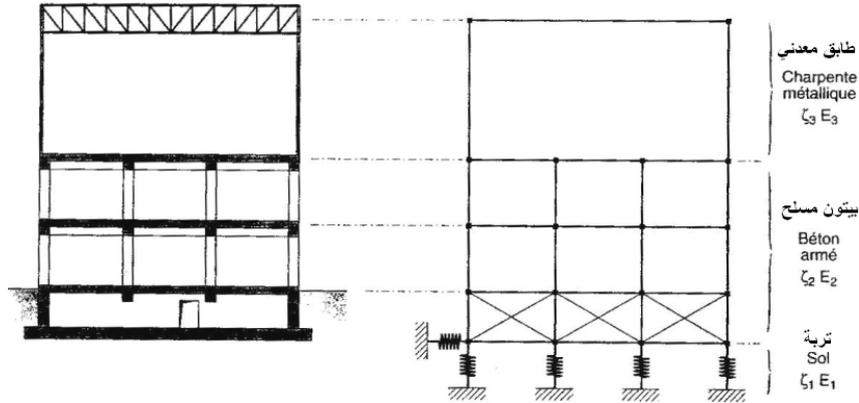
- $0.05 \rightarrow 0.5\%$  حالة المنشآت العائدة للنقل الطرقي، حيث الاجهادات أصغر من حد المرونة.
- $0.5 \rightarrow 2\%$  حالة الخزانات (لا يوجد حركة للسوائل).

- 7% → 3 =  $\zeta$  حالة الخزانات (السائل في حركة).
- 4% → 2 =  $\zeta$  منشآت معدنية ملحومة.
- 6% → 4 =  $\zeta$  منشآت معدنية مع براغي.
- 6% → 5 =  $\zeta$  منشآت من البيتون المسلح.
- 4% → 2 =  $\zeta$  منشآت من البيتون مسبق الاجهاد.

مع الإشارة إلى أنه يمكن زيادة القيم السابقة عندما يكون مستوي الاجهادات قريباً من حد المرونة، وذلك بمقدار يتراوح بين 1% → 2%.

2- المنشأة مكونة من عدة مواد إنشائية (الشكل 3-67): في هذه الحالة، نعتد عامل تخامد وسطي مرتبطاً بمفهوم الطاقة الكامنة، بحيث نعمل على حساب الطاقة الكامنة لثلاثة أنماط  $E_{i=3}$ . ولحالة المنشأة المبينة في الشكل (3-67) يتم استخدام ثلاث مواد مختلفة لها ثلاثة عوامل تخامد، فيتم تحديد قيمة عامل التخماد الوسطي وفق العلاقة التالية:

$$\zeta = \frac{E_1 \zeta_1 + E_2 \zeta_2 + E_3 \zeta_3}{E_1 + E_2 + E_3}$$



الشكل (3-67): منشأة مع ثلاث مواد بتخامدات مختلفة

يبين الجدول (3-3) تصنيف التربة وخواصها الزلزالية وفقاً للكود السوري وملحقاته.

نموذج المقطع الشاقولي للتربة	تسمية المقطع الجانبي (الشاقولي) للتربة (الوصف العام)	الخصائص الوسطية للتربة ذات العمق (30.5 m) من المقطع الجانبي		
		سرعة أمواج القص $\bar{v}_s$ (m/sec)	تجربة الاختراق النظامية ( $\bar{N}$ ) أو ( $\bar{N}_{CH}$ ) للتربة غير المتماسكة من طبقات التربة (ضربة/قدم)	مقاومة القص غير المصرفة $\bar{s}_{U}$ (kPa)
SA	صخر صلب (قاس)	1500	-	-
SB	صخر	760 - 1500	-	-
SC	تربة ذات كثافة عالية جداً وصخر طري (كونغلواميرات)	360 - 760	> 50	> 100
SD	تربة صلبة	180 - 360	15 - 50	50 - 100
SE <sup>(1)</sup>	تربة طرية	< 180	< 15	< 50
SF	تربة تتطلب دراسة خاصة في الموقع (يراجع البند (3-4-1))			

(1) يشمل صنف المقطع الجانبي للتربة (SE) أيضاً أي مقطع جانبي بسماكة أكبر من (3m) من الطين (الغضار)

الطري المعروف على أن قرينة اللدونة فيه  $PI > 20$  ،  $w_{mc} \geq 40\%$  ، و  $\bar{s}_{U} < (24 \text{ kPa})$

(2) تحدد قرينة اللدونة، PI ، والمحتوى الرطوبي،  $w_{mc}$ ، وفق المواصفات الوطنية المعمول بها.

### طريقة مبسطة لتحديد صنف المقطع الجانبي للتربة (الكود السوري):

يعتمد الصنف SA فقط إذا تبين أن سرعة الأمواج القصية تحقق القيم المعطاة في الكود.

يعتمد الصنف SB لتحمل تربة مسموح لا يقل عن ٤,٥ كغ/سم<sup>٢</sup> أو يحدد من سرعة الأمواج القصية حسب القيم المعطاة في الكود.

يعتمد الصنف SC لتحمل تربة مسموح لا يقل عن ٣,٥ كغ/سم<sup>٢</sup> أو يحدد من سرعة الأمواج القصية حسب القيم المعطاة في الكود.

يعتمد الصنف SD لتحمل تربة مسموح لا يقل عن ٢,٥ كغ/سم<sup>٢</sup> أو يحدد من سرعة الأمواج القصية حسب القيم المعطاة في الكود.

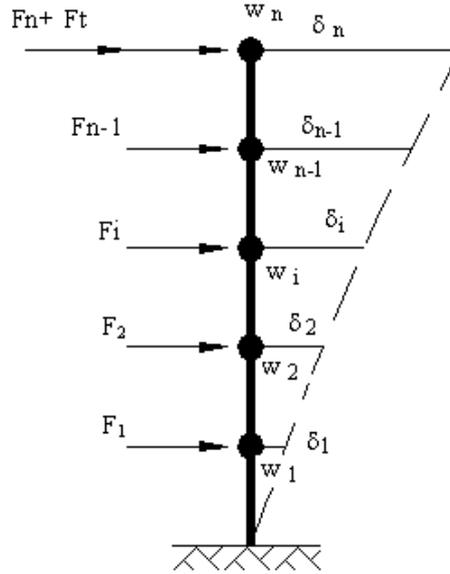
يعتمد الصنف SE لتحمل تربة مسموح لا يقل عن ٢,٠ كغ/سم<sup>٢</sup> أو يحدد من سرعة الأمواج القصية حسب القيم المعطاة في الكود.

في حالة الأساسات على أوتاد تصنف SB إلا إذا تحققت سرعة الأمواج القصية.

الجدول (3-3) : تصنيف التربة وفق الكود السوري

1. حالة المنشآت المنتظمة أو المؤلفه من جمل إطارية:

يوزع القص القاعدي  $(V = \alpha W)$  على ارتفاع المبنى كقوة مركزة عند كل منسوب  $(F_i)$  إضافة إلى قوة مركزه  $(F_t)$  في أعلى البناء كما هو مبين في الشكل (68-3).



الشكل (68-3): توزيع القص القاعدي على ارتفاع المبنى

فيكون:  $V = F_t + \sum_{i=1}^n F_i$  ، وتحدد القوة الإضافية المركزة  $F_t$  في أعلى المبنى بالعلاقة التالية:

$$F_t = 0.07TV \leq 0.25V \quad \text{عندما } T > 0.7 \text{Sec}$$

$$F_t = 0 \quad \text{عندما } T \leq 0.7 \text{Sec}$$

يوزع الجزء المتبقي من القص القاعدي  $(V - F_t)$  على ارتفاع المبنى وفقاً للعلاقة التالية:

$$F_x = (V - F_t) \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i}$$

حيث:

$w_x$ : الحمولة الشاقولية المركزة عند المنسوب  $x$  والناجمة عن وزن هذا المنسوب فقط.

$h_x$ : ارتفاع المنسوب  $x$  عن القاعدة السفلية للمنشأة.

$w_i$ : الحمولة الشاقولية المركزة عند المنسوب  $i$  والناجمة عن وزن هذا المنسوب فقط.

$h_i$ : ارتفاع المنسوب  $i$  عن القاعدة السفلية للمنشأة.

$F_n, F_i$  تمثل القوى الأفقية الناجمة عن الزلازل والمركزة عند المناسيب المختلفة  $n, i$  وتطبق القوة الزلزالية  $F_x$  عند المنسوب  $x$  في مركز كتلة هذا المنسوب وبالاجاه المدروس. تجدر الملاحظة إلى أنه عندما تكون كتل الطوابق وارتفاعاتها متساوية فإن توزيع القوى الزلزالية سيكون خطياً متزايداً باتجاه الأعلى وأي تغير في شكل هذا التوزيع يدل على عدم انتظام المنشأ.

2. أما إذا كان المسقط الأفقي للمنشأة غير منتظم على نحو كبير أفقياً أو شاقولياً، فإنه يتوجب اعتماد التحليل الديناميكي للمنشأة المدروسة.

### 7-3- التوزيع الأفقي لقوى القص

في حال عدم الاعتماد على تحاليل دقيقة للمنشأة لتحديد قيم القوة الزلزالية يتم توزيع قوى الزلازل  $F_x$  المؤثرة عند منسوب سقف الطابق  $x$  على العناصر المقاومة للحمولات على الشكل التالي :

- إذا كان مركز الثقل لمسقط الطابق المدروس ينطبق مع مركز صلابته، يشارك كل عنصر بأخذ قوة جانبية مساوية نسبة صلابته النسبية إلى مجموع الصلابات النسبية للعناصر المقاومة في هذا الطابق، مضافاً إليها قوى جانبية إضافية تأخذ بالحسبان وجود عزم فتل إضافي (طارئ)، ناتج عن لامركزية تساوي 5% من بعد البناء المتعامد مع اتجاه القوة الجانبية المأخوذة في الدراسة، وذلك وفقاً لاشتراطات الكود السوري.
- إذا كان مركز الثقل لمسقط الطابق المدروس لا ينطبق مع مركز صلابته، يشارك كل عنصر بأخذ قوة جانبية تأخذ بالحسبان تأثير عزم الفتل الناتج عن اللامركزية بين مركز الثقل ومركز الصلابة، وبحيث لا تقل عن 5% من بعد البناء المتعامد مع اتجاه القوة الجانبية المأخوذة في الدراسة، ويبرر ذلك باحتمال كون حمولات الزلازل ذاتها غير متناظرة.

ونشرح فيما يلي طريقة مبسطة لتوزيع القوى بين العناصر المختلفة نتيجة تعرض المسقط بالحالة العامة إلى قوة  $F_x$  بالاتجاه  $x$  و  $F_y$  بالاتجاه  $y$ ، وذلك بفرض أن صلابة البلاطات كبيرة جداً ضمن مستواها، وبأن صلابة العناصر متقاربة بحيث يكون خطها المرن نتيجة تعرضها لقوى أفقية تقريباً متماثلاً من حيث الشكل.

(1) تحدد إحداثيات مركز الصلابة للمسقط المدروس بالنسبة لمحاور إحداثيات عامة اختيارية، كما هو مبين في الشكل (3-69)، وفق العلاقتين:

$$y_{CR} = \frac{\sum_{j=1}^m y_j K_{xj}}{\sum_{j=1}^m K_{xj}}, \quad x_{CR} = \frac{\sum_{j=1}^m x_j K_{yj}}{\sum_{j=1}^m K_{yj}}$$

حيث:

$x_j, y_j$  :: إحداثيات مركز صلابة العنصر  $j$  (ينطبق مركز القص مع مركز الثقل للعناصر ذات المقاطع المتناظرة بالاتجاهين المتعامدين).

$K_{xj}$ : صلابة العنصر  $j$  في الاتجاه  $x$ ، أي القوة اللازمة لإحداث واحدة الانتقالات للعنصر  $j$  في الاتجاه  $x$ ، فيما لو كان يعمل وحده.

$K_{yj}$ : صلابة العنصر  $j$  في الاتجاه  $y$ ، أي القوة اللازمة لإحداث واحدة الانتقالات للعنصر  $j$  في الاتجاه  $y$ ، فيما لو كان يعمل وحده.

$m$ : عدد عناصر المنشأة المقاومة للقوى الأفقية.

(2) تحدد إحداثيات مراكز صلابات العناصر بالنسبة لمركز صلابة المسقط وهي  $\bar{x}_j, \bar{y}_j$  ;

(3) يحدد البعد  $\bar{x}_c$  لمحصلة القوى  $V_y$  عن مركز الصلابة.

(4) يحدد البعد  $\bar{y}_c$  لمحصلة القوى  $V_x$  عن مركز الصلابة.

(5) تحسب القوى الناتجة في العنصر  $j$  بالاتجاهين، من العلاقة:

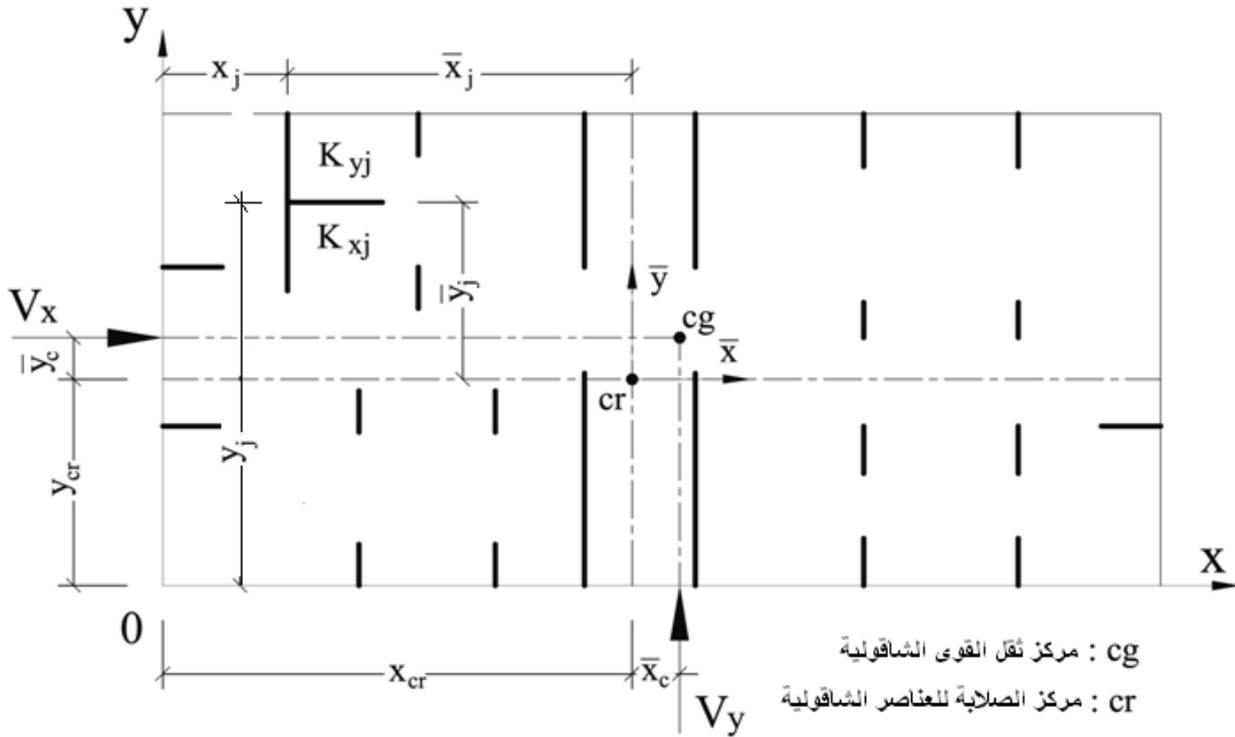
$$F_{yj} = \frac{K_{yj}}{\sum K_{yj}} V_y + \frac{K_{yj} \bar{x}_j}{\sum (K_{yj} \bar{x}_j^2 + K_{xj} \bar{y}_j^2)} M_t$$

$$F_{xj} = \frac{K_{xj}}{\sum K_{xj}} V_x + \frac{K_{xj} \bar{y}_j}{\sum (K_{yj} \bar{x}_j^2 + K_{xj} \bar{y}_j^2)} M_t$$

بالتالي عند توزيع القوى الناتجة عن قوة الزلزال  $V_y$  مثلاً، وما يرافقها من عزم فتل  $M_t = V_y x_{ff}$  بحيث تمثل  $x_{ff}$  اللامركزية المحسوبة بعد زيادتها باللامركزية طارئة مقدارها 0.05 من بعد المسقط في الاتجاه  $x$ ، حتى لو كانت المنشأة

#### متناظرة.

نستعمل العلاقتين السابقتين بتعويض  $V_x = 0$  وبالتالي يتضح نشوء قوى  $F_{xj}$  بالاتجاه  $x$  في بعض العناصر التي لها صلابة بالاتجاه  $x$ ، أي أن عزم الفتل المؤثر حول مركز الصلابة، من القوة  $V_y$  ينتج قوة أفقية في المسقط بالاتجاهين المتعامدين، أي يقاوم بالاتجاهين المتعامدين من قبل العناصر التي لها صلابة في كل من الاتجاهين، أو في اتجاه واحد حسب شكل مقطعها.



الشكل (3-69): مركز ثقل الطابق و مركز صلابة العناصر الشاقولية

**ملاحظة:** في حال وجود إطارات وجدران قص (مستمرة أو لها أشكال مختلفة) فيمكن استعمال الطريقة التقريبية السابقة وذلك بعد تحديد صلابة كل جدار، أو جدران قص متصلة بجوائزرابطة، أو إطارذي جوائزبخواص محددة، حيث تعامل جدران القص المتصلة أو الإطاراتالواصل بين مجموعة من الأعمدة، كنظام واحد تحدد خواصه بشكل مسبق، ومن ثم تحديد القوى المؤثرة في كل نظام في كل طابق. أو يمكن اللجوء إلى طرائق الحل الدقيقة باستعمال الحاسب الإلكتروني. ويمكن برمجة الحل أو استعمال البرامج الجاهزة التي أصبحت متوفرة لمثل هذه الحلول. وفي جميع الأحوال ينصح باللجوء إلى طريقة تحليل تقريبية للتحقق من صحة نتائج الطرائق الدقيقة التي يستعمل فيها الحاسب، تجنباً لحصول أخطاء غير منظورة من المستعمل أثناء استعمال البرامج الجاهزة.

### 8-3- حساب عزوم الانقلاب الناجمة عن القوى الجانبية

يجب أن تصمم أي منشأة لمقاومة تأثيرات الانقلاب الناتجة عن الحمولات الجانبية (القوى الزلزالية أو أحمال الرياح)، وتحدد عزوم الانقلاب اللازم مقاومتها عند أي منسوب باستعمال تلك القوى المؤثرة على المناسيب الواقعة فوق المنسوب المدروس (مع اعتماد عامل أمان كاف، مساوي إلى 1.5)، ففي حالة الزلازل يمكن كتابة المعادلات التالية:

$$M = F_t h_n + \sum_{i=x}^n F_i h_i \quad \text{- عند القاعدة}$$

$$M = F_t(h_n - h_x) + \sum_{i=x}^n F_i(h_i - h_x) : (x) \text{ عند كل منسوب}$$

نشير إلى أن عزم الانقلاب يستعمل أيضا للتحقق من النقاط التالية:

- تشكل قوى رفع في الأساسات: في هذه الحالة يجب اتخاذ الإجراءات اللازمة لكل نوع من الأساسات، فمثلا في حالة الأساسات المنعزلة يجب إضافة أوزان فوق النعل، وفي حالة الأوتاد يجب التأكد من مقاومتها على الشد.
- تشكل قوى شد في أطراف جدران القص: في هذه الحالة يجب تنبؤ أعمدة في نهاياتها مصممة لمقاومة هذه القوى.
- تشكل قوى شد في أعمدة الإطارات: في هذه الحالة يجب تصميم الأعمدة لمقاومة هذه القوى مع تأمين أطوال التثبيت المطلوبة في حالة الشد.

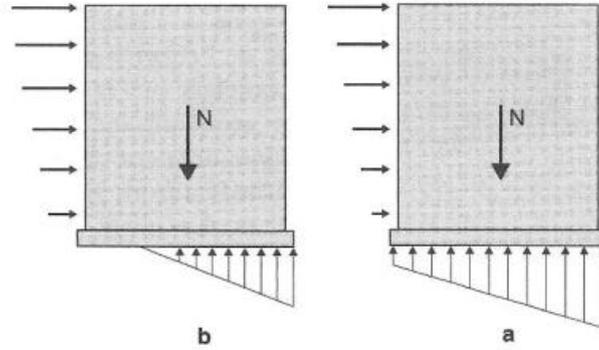
### 9-3- المنشآت مع جدران القص

#### 9-3-1- تمهيد:

يمكن تعريف الجدران كالمشآت المستوية التي تملك صلابة كبيرة في مستواها مقارنة بالصلابة في الاتجاه المتعامد مع مستواها، وغالبا ما يتم إهمال هذه الأخيرة في الحسابات اليدوية البسيطة. إن صلابة عنصر ما مقاوم للحمولات الأفقية تتناقص انطلاقاً من حالة جدار قص مصمت، مروراً بجدار قص حاوي على فتحات، وصولاً لإطار مكون من أعمدة وجوائز. تعمل الجدران من البيتون المسلح على نقل الحمولات الشاقولية (جدران حاملة) من جهة، ومن جهة ثانية تؤمن استقرار المنشأة الخاضعة لحمولات أفقية (جدران قص - هيكل تقوية)، ويمكن تمثيل الجدران كأظفار شاقولية خاضعة لانعطاف مركب مع ضغط (ضغط لامركزي)، لها وثاقة بدرجة معينة عند القاعدة، على أساسات سطحية أو على أوتاد.

وفي حال الجدران البيتونية غير المسلحة، يجب ألا يحصل فيها إجهادات شد.

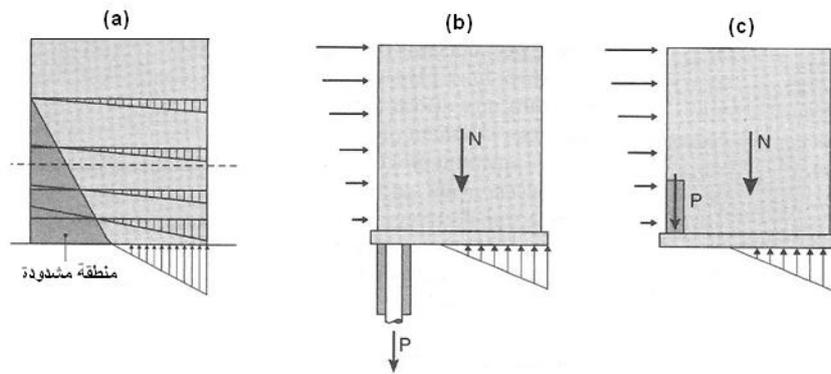
بشكل عام، تكون التشوهات المسيطرة على مثل هذه العناصر تشوهات انعطافية ناجمة عن عزوم الانقلاب. يمكن لجدران القص أن تؤدي الدور المناط بها عندما يبقى مركز الضغط داخل مقطع الجدار (الشكل 3-70)، وهذا يتطلب تأمين حد معين من الضغط الناظمي الناجم عن الحمولات الشاقولية بوجود عزم الانقلاب.



(a) توزيع شبه منحرف، (b) توزيع مثلثي

الشكل (70-3): موازنة القوى الأفقية برد فعل التربة

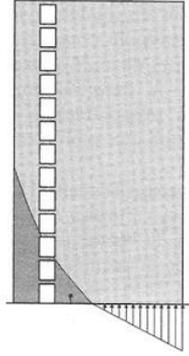
وفي حال كان توزيع اجهادات التربة مثلثياً، يكون جزءاً من أساس الجدار غير متصل مع التربة، وستظهر منطقة مشدودة في الجدار يجب العمل على تعليقها وتأمين التسليح المطلوب وإرسائه بشكل مناسب، بحيث يتم مقاومة قوى الشد عن طريق تحريض حمولات شاقولية إضافية، إما بتنفيذ أوتاد تقاوم قوى النزح وإما بموازنة قوى الشد بقوى شاقولية ناجمة عن حمولات جدران القبو، كما هو مبين في الشكل (71-3).



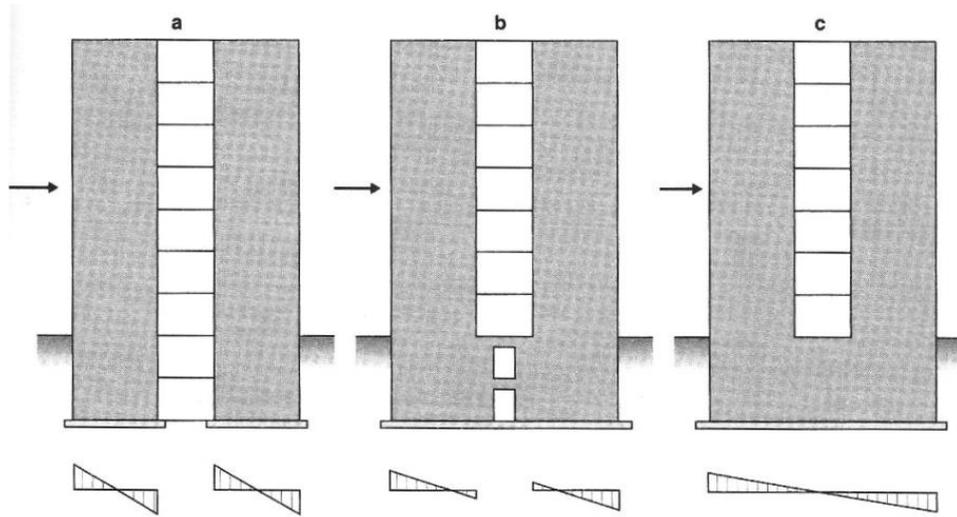
(a) توزيع الاجهادات عند انفصال الجدار، (b) باستخدام أوتاد تثبيت، (c) عن طريق حمولات جدران القبو

الشكل (71-3): موازنة عملية انفصال الجدار

يتم نقل قوى الشد عبر اللمعات في حالة الجدران الحاوية على فتحات (الشكل 72-3)، وأما في حالة الجدران الحاوية على فتحات كبيرة حيث تكون اللمعات لينة جداً، فإنه بالإمكان تحسين استقرار هذه الجدران عن طريق تأمين أساس مشترك مع لمعات وصل عند القبو، أو يكون الجدار مستمراً (مصممت) في القبو، كما هو موضح في (الشكل 73-3).



الشكل (72-3): نقل الجزء المعلق عبر اللمعات - حالة الفتحات الصغيرة



(a) حالة لمعات لينة جداً، (b) لمعات وصل عند مستوى القبو، (c) جدار مستمر في القبو

الشكل (73-3): وصل عناصر الجدار عند مستوى القبو

### 2-9-3- اختيار الجدران ومواقعها - توزيع القوى الأفقية بين الجدران:

عندما تؤثر الحمولات الأفقية على منشأة هيكلها الحامل مؤلف من جملة جدران قص، سواء كانت ناجمة عن الرياح أم عن الزلازل، فإنه شرط الاستقرار يجب أن يتحقق عن طريق وضع جدارين على الأقل باتجاه واحد ليسا على استقامة واحدة، أو ثلاثة جدران غير متوازية تتوضع في المسقط ولا تلتقي محاورها في نقطة واحدة، مشكلة في هذه الحالة النظم المقررة استاتيكيًا.

يجب أن نلاحظ أنه في الجمل المقررة يتم توزيع محصلة القوى الأفقية بشكل مستقل عن العطالات النسبية لعناصر التقوية، مع التأكيد على أن البلاطات (الديافرامات الأفقية) تعتبر صلبة جداً وغير قابلة للتشوه في مستواها. وأما الجمل غير المقررة حيث يوجد عدة عناصر للتقوية بأشكال مختلفة وبظروف استناد مختلفة، يكون توزيع هذه

المحصلة الأفقية أكثر صعوبة، ويحتاج عادة إلى استخدام الحاسب، وإن الحساب اليدوي غالباً ما يكون ممكناً، ولكن يجب الأخذ بالحسبان الفرضيات التبسيطية التالية:

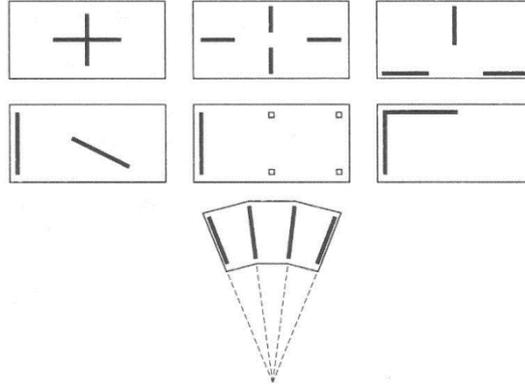
- البلاطات غير قابلة للتشوه في مستواها.
- عناصر التقوية موثوقة بشكل تام عند القاعدة.
- تشوه كافة عناصر التقوية يتبع شكل منحنيات انسيابية، بالتالي يمكن توزيع الحملات الأفقية عند أي منسوب، وهذه الفرضية تتطلب تأمين عطالة ثابتة لعناصر التقوية على كامل ارتفاع المبنى أو إن تغير العطالة يكون وفق علاقة ثابتة لكافة عناصر التقوية، وإذا لم يتحقق ذلك فإننا نضطر لتطبيق العلاقة العامة في التوزيع.
- يفضل أن يكون التناظر محققاً من الناحية المعمارية والإنشائية عند توزيع الجدران، بهدف تجنب ظهور عزوم قتل كبيرة، ونبين فيما يلي بعض الملاحظات والترتيبات التي تساعد على تأمين أداء مميز لهذا النوع من الجمل، علماً بأننا سوف نبين لاحقاً أهم الاشتراطات والترتيبات المهمة التي تنص عليها الكودات الزلزالية العالمية ومنها الكود السوري:
- يفضل ألا يقل عدد جدران القص بالاتجاه الواحد عن جدارين غير واقعين على استقامة واحدة ويكونان متناظرين.
- يكون طول جدار القص المناسب لمقاومة القوى الأفقية من مرتبة لا تقل عن 12/1 من ارتفاع المنشأة أو المبنى.
- أول جدران مفضلة للعمل كجدران قص هي جدران بيت الدرج وجدران المصعد. وفي حالة كون هذه الجدران غير مركزية فسينتج عن وضعها عدم تناظر مما يستتبع ضرورة وضع جدران أخرى تعيد التناظر للمقطع الأفقي للجدران.
- وضع جدران القص بمكان قريب من المحيط وبصورة متناظرة وذلك لمنع القتل في المسقط الأفقي.
- بهدف تقليل اللامركزية في مقاطع الجدران وتجنب إجهادات الشد، يتم زيادة الحملات الشاقولية (w) عن طريق توزيع مناسب في المسقط بحيث يحصل العنصر على أكبر مساحة تحميل ممكنة من السقف.
- عدم وضع جدران شاقولية ذات صلابات كبيرة في طرفي المبنى تمنع تقلص أو تمدد الأسقف أفقياً، وإنما وضعها عند طرفي المسقط موازية للضلع القصير، وأما الجدران الموازية للضلع الطويل فتوضع في المنطقة الوسطية لطرفي المسقط. ومن المفيد وضع جدران القص على شكل ثنائيات متقابلة.
- يجب تأمين الاستمرارية الشاقولية لجدران القص من الأساس حتى آخر طابق.

- يفضل عدم استخدام جدران قص حاوية على فتحات، أو أن تكون تلك الفتحات متوضعة بشكل منتظم على ارتفاع الجدار، لأن ذلك لا يؤثر كثيراً على سلوك تلك الجدران تحت تأثير الحمولات الشاقولية. في حالة تغير أبعاد الفتحات من طابق لآخر نلاحظ تغير في سلوك هذا الجدار تحت تأثير الحمولات الشاقولية أو الأفقية.
- لا ينصح مطلقاً باعتماد انزياح في المستوي الوسطي لجدران القص من طابق لآخر.
- قد تفرض بعض الشروط المعمارية إزالة جدار القص في مستوى الطابق الأرضي واستبداله بأعمدة، وفي هذه الحالة يجب الانتباه إلى ما سيحدث من تركيز في الاجهادات وتعالج هذه الحالة بتنفيذ جمل نقل خاصة عند مستوى السقف الطابق الأول. وبسبب التغير المفاجئ في العطالات يتولد قوى قص كبيرة في هذه المناطق، وتنصح بعض الكودات بالاعتناء بشكل كبير في تسليح هذه المناطق وحسابها على قوى قص مضاعفة لقوة القص الناتجة عن الحساب.
- كما تم ذكره سابقاً بخصوص الفرضيات التبسيطة عند توزيع الحمولات الأفقية على جدران القص، أن البلاطات الأفقية ذات صلابة كبيرة في مستواها بحيث تكون قادرة على نقل الحمولات الأفقية إلى العناصر الشاقولية دون أن تحدث فيها تشوهات تذكر، وتولد هذه العملية عزوم انعطاف وقوى قص في تلك البلاطات، والتي تتزايد بتزايد التباعد بين عناصر التقوية الشاقولية لدرجة كبيرة بحيث لا يمكن إهمال تلك القوى، ويتوجب عندئذ حساب هذه القوى الداخلية ولحظ تسليح إضافي مهمته امتصاص هذه القوى بكفاءة، كما سنرى ذلك عند معالجة الديافرامات الأفقية (البلاطات).
- تعرف الصلابة الجانبية (على الانعطاف) لجدار ما، بأنها القوة المعاكسة (رد الفعل) التي يبذلها من أجل مقاومة قوة أو عزم خارجي مولداً فيه انتقال أو دوران واحد.
- هذا ولتحديد قيم ردود الأفعال في عناصر الجملة الإنشائية، يتم اعتماد طرائق تقريبية متنوعة منها طريقة مركز الفتل أو طريقة الصلابة ...، ويمكن الاطلاع على هذه الطرائق في المراجع المختصة، حيث نعتبر بأن الطالب درس هذه الطرائق في مقررات سابقة.
- تولى عملية اختيار عناصر التقوية وتوزعها في المسقط الأفقي أهمية كبيرة، لما لهذه العملية من تأثير كبير على استقرار المبنى، وتأمين أداء جيد بأقل الأضرار عند مقاومة الحمولات الأفقية والشاقولية.
- ويعد التناظر الإنشائي محققاً إذا تم التأكد بأن المسافة الأفقية، ما بين مركز ثقل الحمولات الشاقولية من دائمة و إضافية (Center of Gravity: CG)، ومركز صلابة الجدران الحاملة (Center of Rigidity: CR)، لا تتجاوز (5%) من بعد الكتلة في كل اتجاه.

إذا كان لا بد من وجود بعض عدم التناظر في المقطع العرضي للجملة المقاومة للقوى الأفقية (فتل مصدره إنشائي)، فيجب أخذ الفتل الذي سينتج عن ذلك بالحسبان عند حساب مقاومة الجملة للقوى الأفقية، وأيضاً يجب أن نأخذ بالحسبان الفتل الذي يمكن أن ينجم عن الحالات التالي، والذي يسمى "الفتل طارئ":

- تغير في الحمولات الدائمة.
- توزيع غير مناسب لحمولات الاستثمار.
- الحركات التفاضلية الأفقية للتربة.

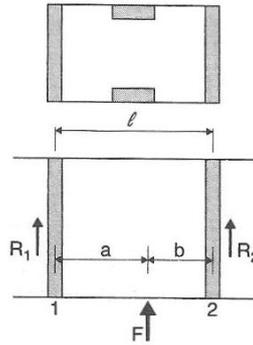
يوضح الشكل (74-3) التوضعات غير الصحيحة لجدران القص في المسقط الأفقي، كونها تشكل جملات غير مستقرة، لا تستطيع موازنة عزوم الفتل حول محور شاقولي.



الشكل (74-3): نظم تقوية غير مستقرة

#### 1- حالة جدارين (جملة مقررة):

يجب وضع الجدارين بتباعد كاف عن بعضهما (الشكل 75-3)، بهدف تشكيل مزدوجة قادرة على موازنة عزوم الفتل.



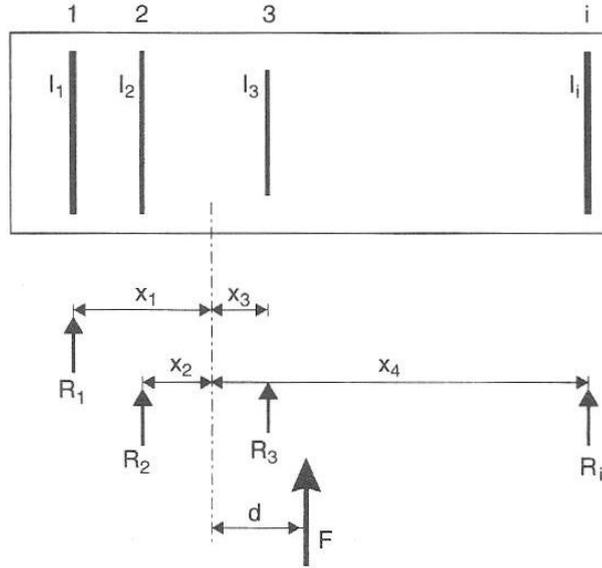
الشكل (75-3): نظام تقوية - حالة جدارين متوازية

يعطي التوزيع الستاتيكي لحصة كل جدار باتجاه ما، وفق ما يلي:

$$R_1 = F \frac{b}{l}; R_2 = F \frac{a}{l}$$



- عناصر التقوية موثوقة بشكل تام عند القاعدة.
- عطالة الجدران ثابتة على كامل الارتفاع، أو في إن تغير العطالة يكون وفق قانون واحد لكل الجدران.



الشكل (3-78): نظام تقوية بجدران متوازية (غير مقرر)

تكون حصة كل جدار من القوى الخارجية المطبقة (حمولات أفقية) متناسبة مع عطالته ( $I_i$ ) (أو مع عطالته المكافئة عند احتوائه على فتحات ( $I_{ei}$ ))، وفق النحو التالي:

$$R_i = FI_i \left( \frac{1}{\sum I_i} + \frac{dx_i}{\sum I_i x_i^2} \right)$$

عندما تمر القوة الأفقية  $F$  في مركز ثقل عطالات الجدران (مركز صلابة الجدران CR)، فلا يوجد دوران، وتكون حصة كل جدار:

$$R_i = \frac{FI_i}{\sum I_i}$$

**ملاحظة:** إن وجود فتحات في جدران القص يعني إضعاف موضعي لهذه الجدران في مقاومة القوى الأفقية، وتركيز للاجهادات على محيط الفتحات، وكحالة كثيرة الاستعمال من حالات جدران القص الحاوية على فتحات متوضعة فوق بعضها بعضاً ولها نفس العرض ونفس الارتفاع، وتكرر شاقولياً بانتظام مثل حالة وجود فتحات للنوافذ أو الأبواب ضمن جدران القص في الطوابق المختلفة، وتشكل قوى قص في العناصر الأفقية الرابطة بين جزئي الجدار الواقعة بين الفتحات، والتي تسمى عادة بـ "اللمعات"، وهذه الأخيرة تجعل جزئي الجدار يعملان بشكل مشترك كجدار واحد.

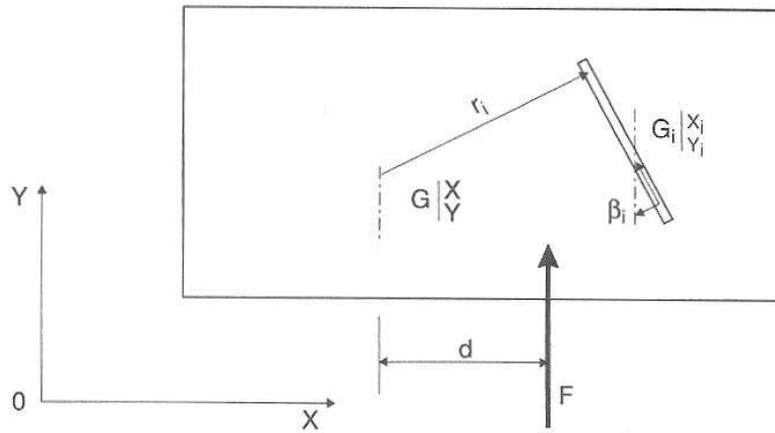
##### 5- حالة جدران باتجاهات مختلفة (جملة غير مقررة):

يبين الشكل (3-79) هذه الحالة، وسنعمل على تحديد إحداثيات مركز الفتل (G) ومن ثم تحديد القوى في كل جدار، ويعرف مركز الفتل لمجموعة من جدران القص بأنه النقطة التي تتميز بالخواص التالية:

1- القوة التي يمر خط تأثيرها من مركز الفتل تولد في الجدران عملية انسحاب، اتجاه هذا الانسحاب مواز لاتجاه تأثير القوة.

2- العزم الذي يمر محوره الشاقولي في مركز الفتل يولد في الجدران عملية دوران فقط، اتجاه هذا الدوران يكون في نفس اتجاه العزم.

إضافة للفرضيات التبسيطية المذكورة سابقاً، نشير إلى أن الجدران لها نفس عامل المرونة والارتفاع، بالتالي التعويض عن الصلابة بعزم العطالة لكل جدار.



الشكل (3-79): توزيع القوة الأفقية بين الجدران المتوضعة بشكل عشوائي

نفترض أن:

$$A = \sum I_i \cos^2 \beta_i ; B = \sum I_i \sin^2 \beta_i ; C = \sum I_i \cos \beta_i \sin \beta_i$$

$$a = \sum I_i x_i \cos^2 \beta_i ; \sum I_i y_i \sin^2 \beta_i$$

$$c_x = \sum I_i x_i \cos \beta_i \sin \beta_i ; c_y = \sum I_i y_i \cos \beta_i \sin \beta_i$$

تكون إحداثيات مركز الفتل (G):

$$X = \frac{B(a+c_y) - C(b+c_x)}{AB - C^2}$$

$$Y = \frac{A(b+c_x) - C(a+c_y)}{AB - C^2}$$

وتحدد القوى العائدة لكل جدار وفق العلاقة التالية:

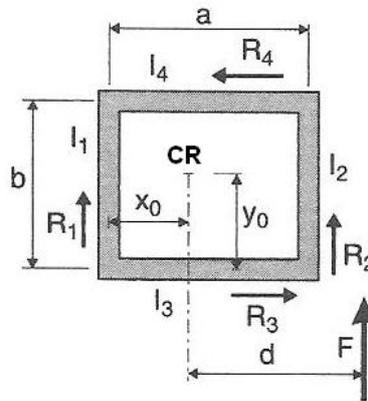
$$R_i = FI_i \left[ \frac{B \cos \beta_i - C \sin \beta_i}{AB - C^2} + \frac{dr_i}{\sum I_i r_i^2} \right]$$

#### 6- حالة التقوية بقفص - نواة صندوقية (جملة غير مقررة):

يبين الشكل (80-3) الجدران الأربعة التي تشكل المقطع الصندوقي لنظام التقوية (اثنين مقابل اثنين). يمكن تحديد مركز ثقل عطات الجدران (CR)، كما يلي:

$$X_0 = a \frac{I_2}{I_1 + I_2}; Y_0 = b \frac{I_4}{I_3 + I_4}$$

يمكن تحليل تشوه المبنى إلى انتقال تحت تأثير فعل القوة الأفقية  $F$  المطبقة في مركز ثقل عطات الجدران (CR)، وإلى دوران حول (CR) بفعل تأثير مزدوجة تساوي  $Fd$ .



الشكل (80-3): توزيع القوة الأفقية في حالة نواة

$$\text{فإذا فرضنا أن: } I_1 = I_2 = I; I_3 = I_4 = I'$$

فإننا نحصل على القوى في الجدران، وفق النحو التالي:

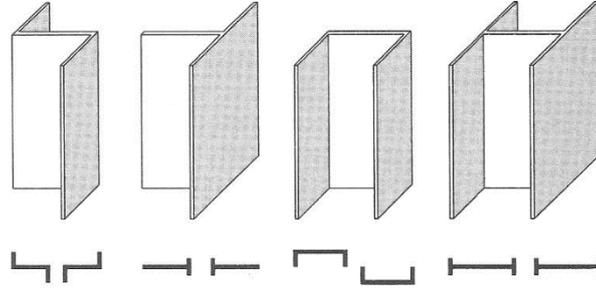
$$R_1 = F \left( \frac{1}{2} - \frac{d}{a + \frac{b^2 I'}{a I}} \right); R_2 = F \left( \frac{1}{2} + \frac{d}{a + \frac{b^2 I'}{a I}} \right)$$

$$R_3 = R_4 = \frac{Fd}{b + \frac{a^2 I'}{b I}}$$

#### ملاحظة هامة:

لا يمكن اعتبار الجدران مستقلة عندما تكون مرتبطة بجدران أخرى في الاتجاه الشاقولي (نقل القص بين الجدران)، وفي هذه الحالة نحاول بشكل عام نمذجة هذا النوع من الاتصال عن طريق مشاركة الجدار موضوع الحالة بجزء من تلك الجدار المتصل به على شكل طاولة ضغط (جناح)، كما هو مبين في الشكل (81-3)، وهذا يقودنا لاعتماد جدران بأجنحة لها أبعاد محددة يوضحها الشكل (82-3). يجب ألا ننسى تحقيق اجهادات القص و أيضاً مقطع التسليح منطقة الاتصال (جدار - أجنحة).

نشير هنا إلى إمكانية إهمال الجدران الحاوية على فتحات كبيرة ذات الصلابة الصغيرة مقارنة مع بقية الجدران المصمتة والمتعددة.



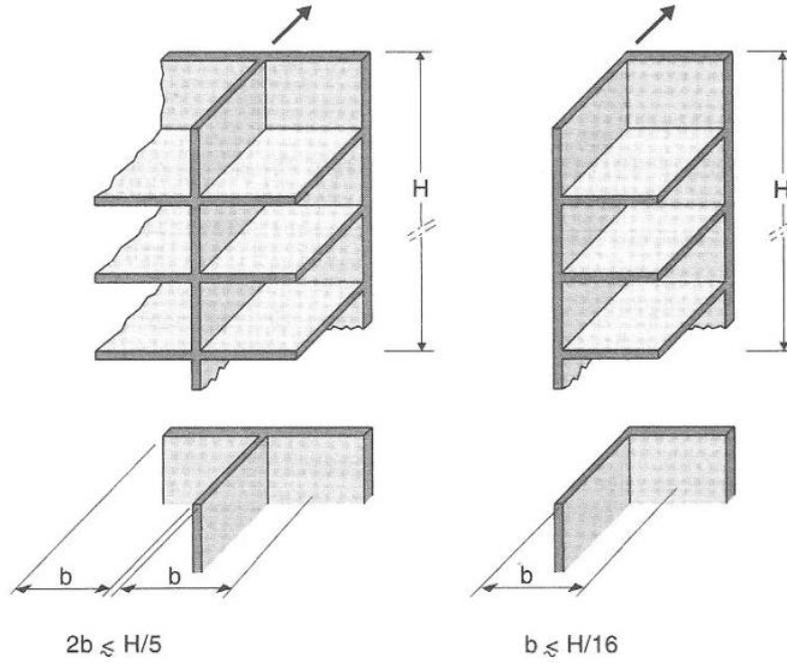
الشكل (81-3): إمكانية اعتبار أجنحة ضغط للجدران عند توزيع القوة الأفقية

#### 7- حالة المستويات المرنة (شفافة) – الطوابق اللينة:

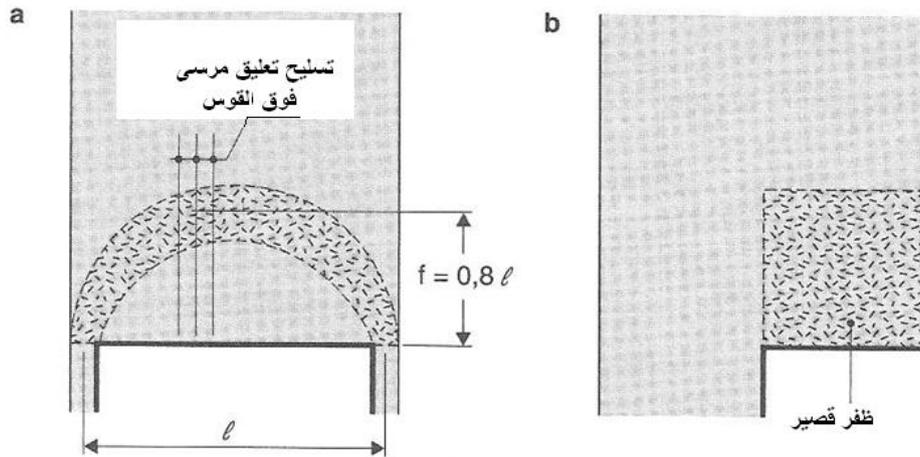
إن الحاجة لوجود طوابق فارغة من القواطع والجدران وخاصة في الطابق الأرضي (طابق شفاف) أو تأمين ممر إلى مستوى الكراجات، تفرض تنفيذ فتحات كبيرة.

وتتم معالجة الموضوع وفق ما يلي:

- أ- حالة الإطارات، نكون ملزمين بتأمين جوائز عميقة مجهددة جداً وعالية الكلفة.
- ب- حالة وجود الفتحات في جدران مستوية، تتم عملية نقل الحمولات الشاقولية عن طريق تأمين ما يسمى بالجوائز الجدارية أو بتنفيذ أظفار قصيرة، كما هو مبين في الشكل (82-3).



الشكل (82-3): عرض أجنحة الضغط



(a) النقل عن طريق جوائز جداري (b) النقل عن طريق ظفر قصير

الشكل (83-3): نقل الحمولات الشاقولية (طابق شفاف)

يتم أخذ الفعل غير المباشر للعزم  $M = F \times H$  عن طريق الجهود الناعمية في الأعمدة الواقعة تحت الجدار، والتي تعتبر صلبة جداً (الشكل 3-84).

وبافتراض أن:

$N_1, N_2, N_3, N_4$ : الجهود الناعمية في الأعمدة.

$S_1, S_2, S_3, S_4$ : مقاطع الأعمدة.

$d_1, d_2, d_3, d_4$ : التباعدات عن مركز الثقل.

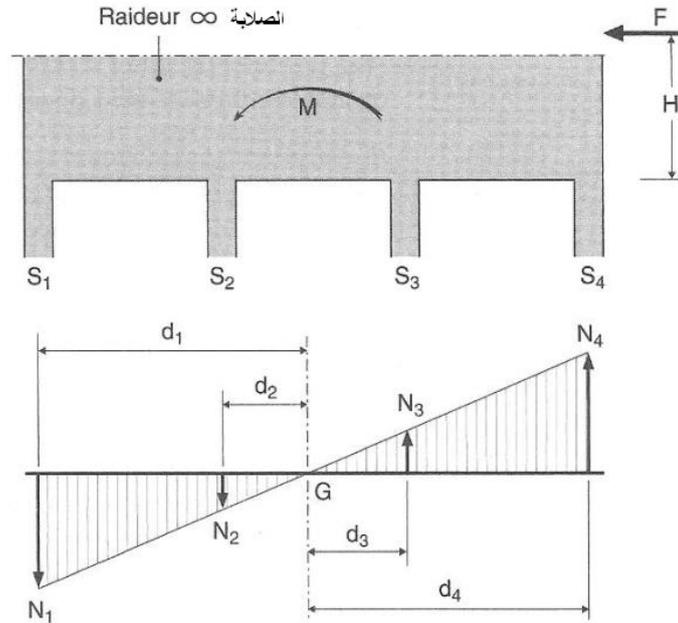
يعبر عن عزم عطالة مقاطع الأعمدة  $I$ ، بالعلاقة التالية:

$$I = S_1 d_1^2 + S_2 d_2^2 + S_3 d_3^2 + S_4 d_4^2$$

وفي هذه الحالة، تكون الجهود الناعمية في الأعمدة:

$$N_1 = M \frac{S_1 d_1}{I} \quad N_3 = M \frac{S_3 d_3}{I}$$

$$N_2 = M \frac{S_2 d_2}{I} \quad N_4 = M \frac{S_4 d_4}{I}$$



الشكل (3-84): توزيع الفعل غير المباشر لعزم الانقلاب

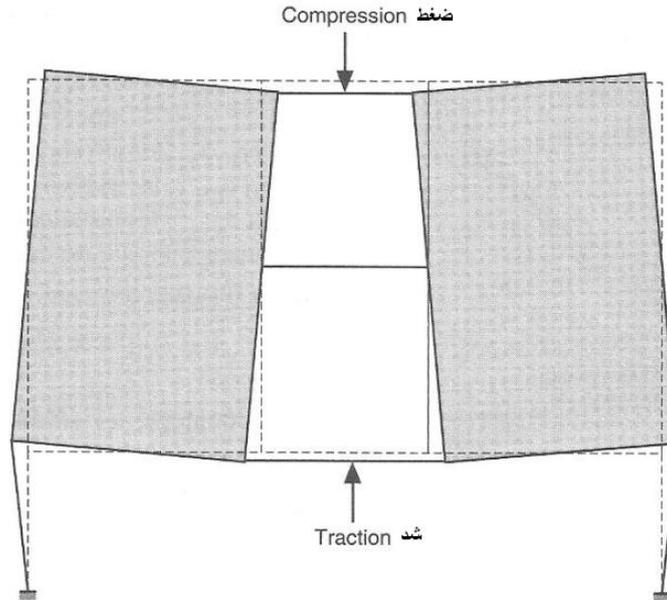
ج- حالة فتحة على كامل الطابق، نعتمد ما يسمى "وضعية الجدار العلم"، حيث يتم تحويل الحملات الشاقولية عن طريق تدخل القوى الأفقية في مستوى البلاطات (الشكل 3-85). في الواقع، إن آلية العمل في مثل هذه الحالة "وضعية العلم" تفرض تقاصر اللمعات المضغوطة وتمدد اللمعات المشدودة.

وإن العمل وفق هذه الآلية يمكن أن يكون في النظم التالية:

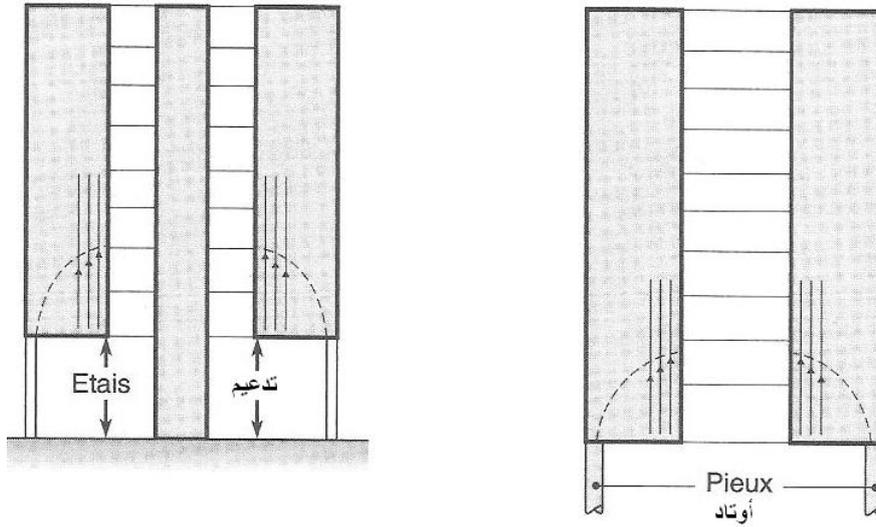
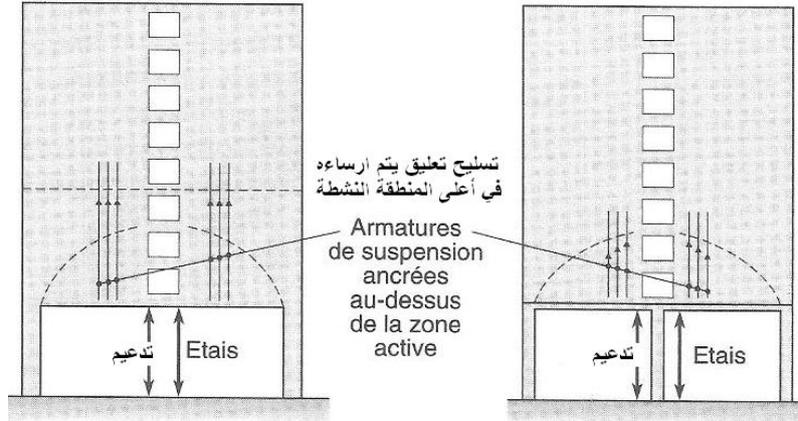
- جملة متناظرة (الشكل 3-86)، وهي الأكثر ملائمة.
- جملة غير متناظرة (الشكل 3-87)، ويتطلب في مثل هذه الحالة وجود تقوية خاصة للجدران لتأمين الاستقرار عندما تكون القوى الأفقية هامة، ويمكن للبلاطات العاملة كديافرامات أفقية أن تلعب هذا الدور في نقل الحملات.

بشكل عام، نفترض بأن عملية نقل الحملات الشاقولية تتم في المنطقة السفلية من الجائر الجداري أو الجدار العلم، على ارتفاع يساوي 80% من المجاز ( $f = 0.8l$ ). وبالتأكيد يجب نقل الحملات التي تؤثر على المنطقة السفلية لهذه العناصر إلى الجزء العلوي عن طريق تسليح خاص، وعند التنفيذ يجب الانتباه جيداً على عدم حدوث أي هبوط أو تشوه لدعامات القالب.

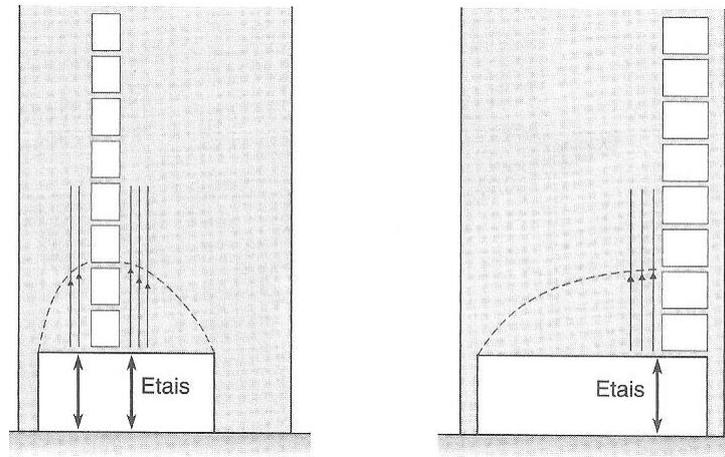
وفيما يخص القوى الأفقية، فإنه يجب نقلها عن طريق البلاطات الأفقية باتجاه الجدران والأعمدة التي ستأخذ صلابات كبيرة على كامل ارتفاع الطابق الشفاف (الشكل 3-88).



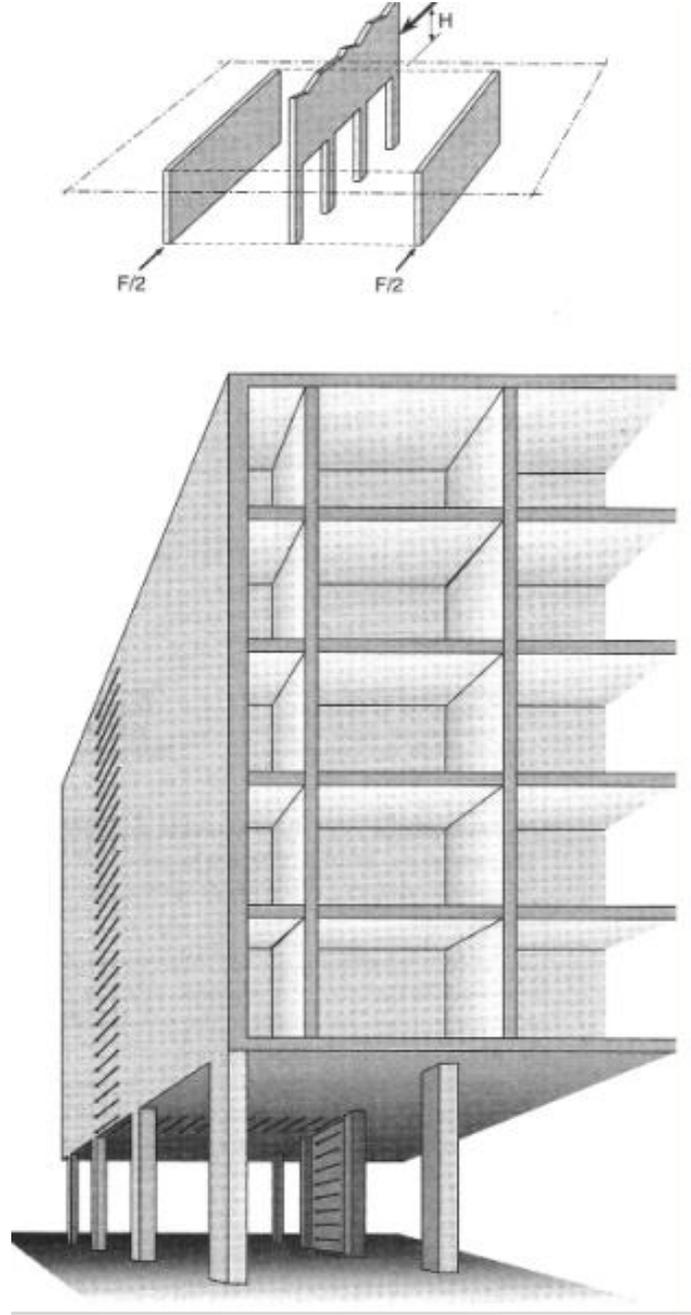
الشكل (3-85): توضع الجدار "العلم" وآلية تشوّهه



الشكل (86-3): آلية العمل على شكل علم متناظر



الشكل (87-3): آلية العمل على شكل علم غير متناظر



الشكل (88-3): انتقال الفعل الأفقي عبر البلاطة

#### 8- استقرار أساسات جدران القص:

نفترض وجود جدران قص بالاتجاه المتعامد للجدران المدروسة. وسنستخدم الرموز والمصطلحات التالية:

$N$ : الجهد الناظمي.

$M$ : عزم الانعطاف.

$e = \frac{M}{N}$ : لامركزية المحصلة  $N$ .

$S$ : سطح استناد الأساس.

$b$ : عرض الأساس.

$l$ : طول الأساس.

أ- حالة جدران مصمتة – الأساس منعزل والاستقرار يتأمن بطريقة مستقلة:

يحدد رد فعل التربة على أساس مستطيل للجدار على النحو التالي (الشكل 3-89):

- حالة المحصلة الناعمية  $N$  تقع ضمن النواة المركزية:  $e \leq \frac{l}{6}$  ، ويتم موازنة  $N$  بمخطط شبه منحرف لإجهادات التربة.

$$\sigma_{\max, \min} = \frac{N}{S} \left( 1 \pm \frac{6e}{l} \right)$$

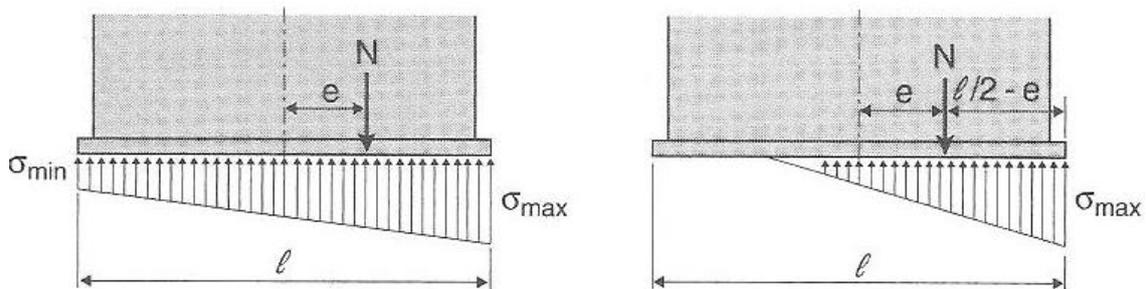
- حالة المحصلة الناعمية  $N$  خارج النواة المركزية:  $e > \frac{l}{6}$  ، سوف يحصل نهوض لجزء من القاعدة، ويتم موازنة  $N$  بمخطط مثلثي لإجهادات التربة.

$$N = \frac{\sigma_{\max} \times 3 \left( \frac{l}{2} - e \right) b}{2}$$

أو أيضاً:

$$\sigma_{\max} = \frac{2N}{3 \left( \frac{l}{2} - e \right) b}$$

يجب أن نأخذ التراكم الأخطر، بمعنى أسوأ حالة تحميل، بحيث تحدد  $\sigma_{\max}$  بوجود حمولات الاستثمار وبدونها.



الشكل (3-89): استقرار أساس جدار مصمت بتوزيع الاجهادات في التربة

ب- حالة جدران مصمتة – استقرار الأساس مؤمن بوجود جدران متعامدة:

بشكل عام، تكون جدران المبنى متضامنة مع بعضها بعضاً بغض النظر عن مواقعها، وبالتالي يجب النظر إلى موضوع الاستقرار بصورة إجمالية وليس بشكل إفرادي لكل عنصر. ونبين فيما يلي مثلاً يبين مقارنة لتحديد القوى الشاقولية الصاعدة والهابطة ( $V$  &  $V'$ ) والتي يجب على الجدار المتعامد نقلها ليتم تأمين الاستقرار، وهذه القوى ترتبط بشرطين أساسيين: عدم تجاوز قدرة تحمل التربة  $\bar{\sigma}_{soil}$ ، وعدم انفصال القاعدة (الشكل 3-90)، الشاقولية. عندما يكون التوزيع مثلي لإجهادات التربة، يمكن كتابة علاقة التوازن التالية:

$$\bar{\sigma}_{s \max} = \bar{\sigma}_{soil} = \frac{N - (V - V')}{S} + \frac{M - \frac{d}{2}(V + V')}{\frac{I}{v}}$$

$$\bar{\sigma}_{s \min} = 0 = \frac{N - (V - V')}{S} - \frac{M - \frac{d}{2}(V + V')}{\frac{I}{v}}$$

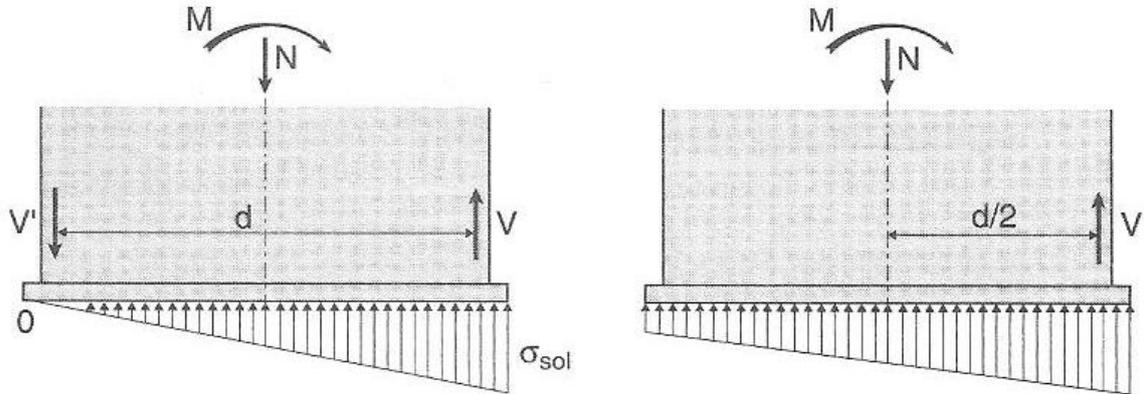
بالتالي يمكن أن نكتب:

$$V - V' = N - S \frac{\sigma_{soil}}{2}$$

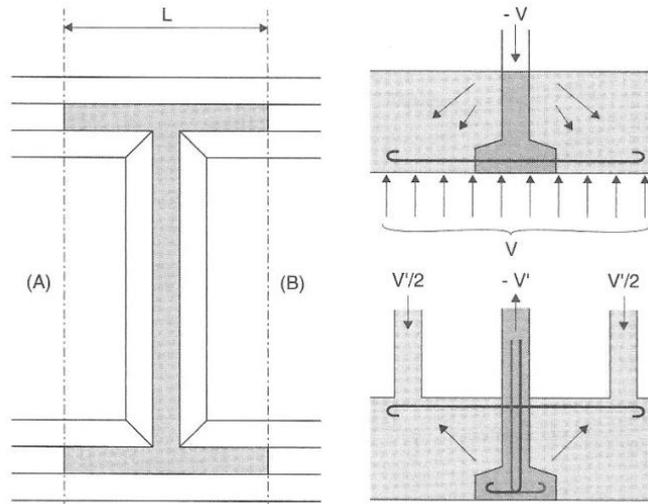
$$V + V' = \frac{2}{d} \left( M - \frac{I}{v} \frac{\sigma_{soil}}{2} \right)$$

حيث:  $\frac{I}{v}$  تمثل عامل مقاومة الأساس .

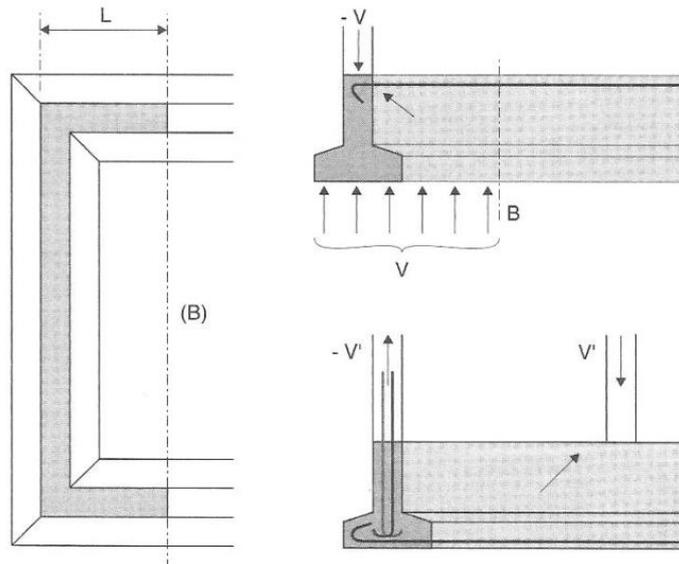
وإذا أعطى حل نظام المعادلات السابقة، قيمة سلبية لـ  $V'$  (وهي حالة اللامركزية الصغيرة للمحصلة  $N$ )، يكون لنا مصلحة بفرض مخطط شبه منحرف لرد فعل التربة، ويمكن القبول أن  $V' = 0$ . يوضح الشكلان (3-91 و 3-92) كيفية تأمين استقرار أساس الجدار عن طريق تضامنه مع الجدران المتعامدة معه.



الشكل (90-3): استقرار أساس جدار مصمت عن طريق قوى ناجمة عن جدارين متعامدين



الشكل (91-3): استقرار أساس جدار مصمت (وسطي) بتضامنه مع جدارين متعامدين



الشكل (3-92): استقرار أساس جدار مصمت (طرفي) بتضامنه مع جدران متعامدة

### ج- حالة جدران حاوية على فتحات:

تدرس هذه الحالة بشكل مشابه للحالات السابقة، مع التمييز بين الفتحات الصغيرة والكبيرة أو المتوسطة، ويمكن العودة للمراجع الخاصة من أجل تحديد القوى الشاقولية الصاعدة والهابطة ( $V & V'$ ) والتي يجب على الجدران المتعامدة نقلها ليصار إلى تأمين الاستقرار، هذا ونبين فيما يلي العلاقات المفيدة في الحساب، والتي ستورد في الفقرة (3-13):

#### - الفتحات الصغيرة ( $\alpha \geq 10$ ):

يصمم الجدار الحاوي على فتحات صغيرة كأنه جدار مصمت، إذ لا تؤثر هذه الفتحات على سلوكه العام،

$$\text{ويتم حساب اللمعات لتتنقل جهد يساوي: } \pi_i = \frac{T_i m}{I} h_i$$

وفيما يخص الأساس (الشكل 3-93)، فيجب أن يقاوم جهد مقداره:  $\pi_s = \frac{T_0 m}{I} h_s$ . حيث:

$\pi_i$ : الجهد القاطع عند الطابق المتكرر ( $i$ )، و  $\pi_s$ : الجهد القاطع عند مستوي الأساس ( $s$ ).

$T$ : الجهد القاطع الأفقي.  $I$ : عزم عطالة الجدار مع فتحات.

$m$ : العزم الستاتيكي.

#### - الفتحات الكبيرة ( $\alpha \leq 1$ ):

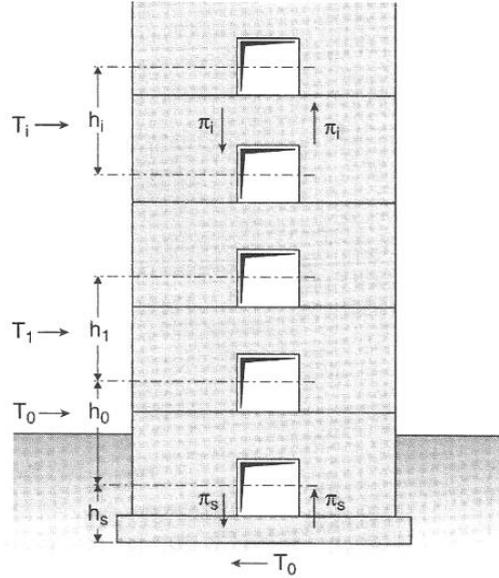
يتم تصميم عنصري الجدار وكذلك الأساسات بشكل مستقل. وفي حال كانت الأساسات مستمرة ويوجد لمعة في أعلى القبو (الشكل 3-94)، يمكننا افتراض توزيع الاجهادات بشكل مماثل لحالة أساس الجدار المصمت، بشرط التحقق من الشرط التالي:

$$V = \frac{M_s}{z} = \pi_0 + \pi_s$$

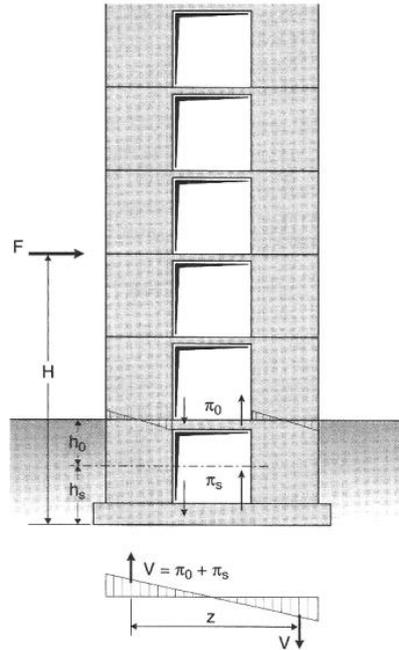
باعتبار:  $M_s = F \times H$

#### - في حالة الفتحات المتوسطة ( $1 < \alpha < 10$ ):

تتم معالجة موضوع التحقق من الأساس على الجهد القاطع بنفس الطريقة الواردة أعلاه (حالة الفتحات الكبيرة).



الشكل (93-3): استقرار أساس جدار حاوي على فتحات صغيرة ( $\alpha \geq 10$ )



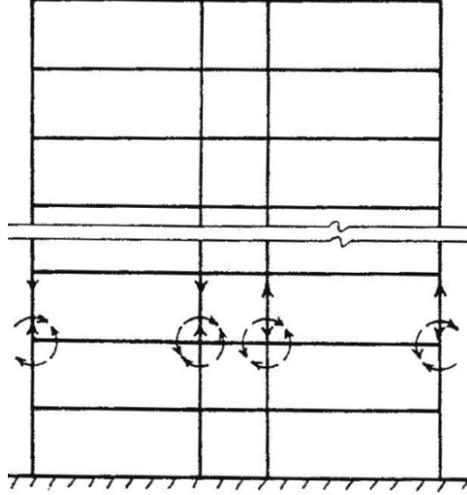
الشكل (94-3): استقرار أساس جدار حاوي على فتحات متوسطة أو كبيرة ( $\alpha < 10$ )

### 10-3- المنشآت الإطارية

#### 1-10-3- تمهيد:

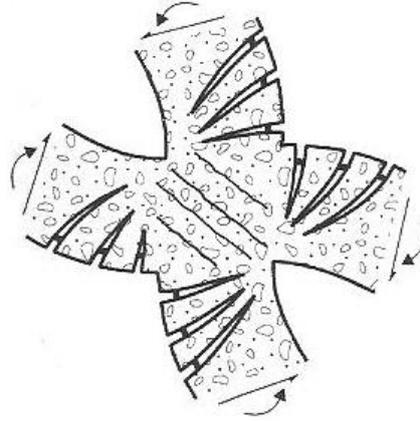
يمكن أن تكون الإطارات البيتونية المسلحة بسيطة أو متعددة الفتحات، بمنسوب واحد أو متعددة الطوابق، ويتم تأمين الاستقرار في هذا النوع من الجمل الإنشائية عن طريق وثاقبة متبادلة بين الجوائز والأعمدة عند العقد، وبالتالي تشغيل هذه العناصر الختية بالانعطاف (الشكل 95-3).

تحدد الجهود والقوى الداخلية اعتماداً على تحليل خطي مع إعادة توزيع محدد للعزوم. مقارنة مع بقية الجمل الإنشائية، فإن يمكن تحديد الخواص الديناميكية للإطارات بسهولة، شريطة أن تتشوه دون تقييد ناجم عن الإملات (جدران الملىء سواء بيتونية أو قرميدية)، أو عن أجزاء أخرى غير مأخوذة بالحسبان عند التحليل والتي يمكن أن تغير استجاباتها الإنشائية إزاء الحمولات الأفقية.

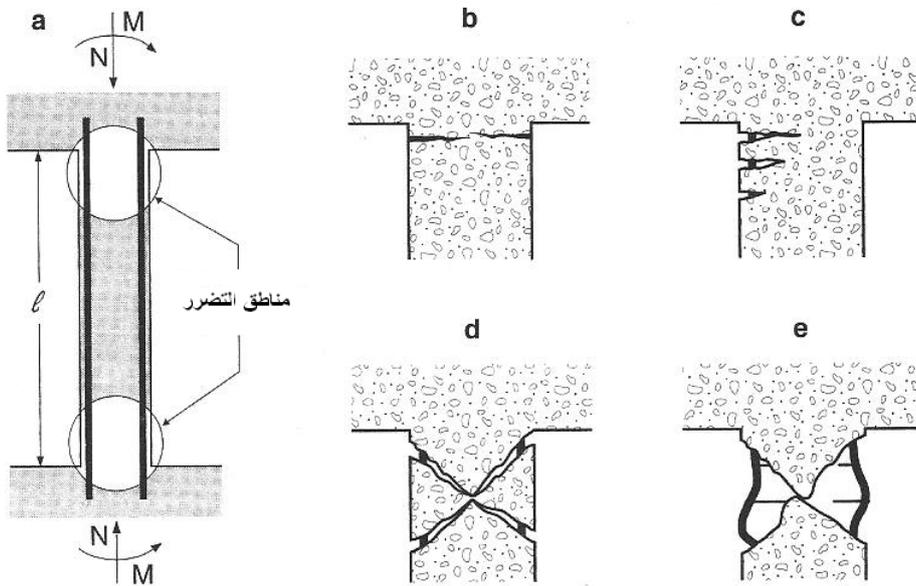


الشكل (3-95): إطار صلب

في الواقع، تجرى عملية تبديد الطاقة، في مثل هذه الجمل، عن طريق التشوهات الكبيرة على امتداد المناطق الطرفية التي تتشكل أو تظهر فيها المفاصل اللدنة، وتسمى هذه المناطق بالمناطق الحرجة، فعند خضوع هذه الجمل لتأثير القوى الزلزالية سوف يحصل تركيز للجهود و تجاوز الحدود المرنة للمواد وانخفاض في الصلابة (الشكل 3-96)، وبالتالي تتقدم جهة التضرر بصورة تدريجية وفقاً لأهمية الجهود وعدد ومقدار التشوهات، كما هو مبين في الشكل (3-97). وسوف نعالج هذا الموضوع بالتفصيل في فصل لاحق، مع بيان كافة الاشتراطات التي ينص عليها الكود السوري، الخاصة بعناصر الإطار وتلك العائدة للمناطق الحرجة والعقد بهدف تأمين إطار مقاوم للعزوم يوافق المنطقة وشدتها الزلزالية.



الشكل (3-96): تركيز الجهود والتشوهات حول عقدة إطار مقاوم للعزوم



(a) المناطق الحرجة عند طرفي العمود، (b) تشققات عند مستوى إيقاف الصب

(c) تشققات ناجمة عن تطاول التسليح الطولي، (d) تشققات قطرية على شكل X

(e) انسلاخ كامل للبيتون وتحنيب التسليح الطولي

الشكل (3-97): تضرر المناطق الحرجة للأعمدة

### 2-10-3- تحليل الإطارات وتصميم عناصرها :

إن الإطارات متعددة الطوابق ومتعددة المجازات، عبارة عن جمل إنشائية غير مقررة ستاتيكيًا وتحليلها إنشائياً يجب اختيار المقاطع العرضية للجوائز والأعمدة وتحديد صلابتها، ومن أجل ذلك يتم اختيار المقاطع العرضية بصورة تقريبية اعتماداً على الخبرة والاستفادة من نماذج مصممة مسبقاً.



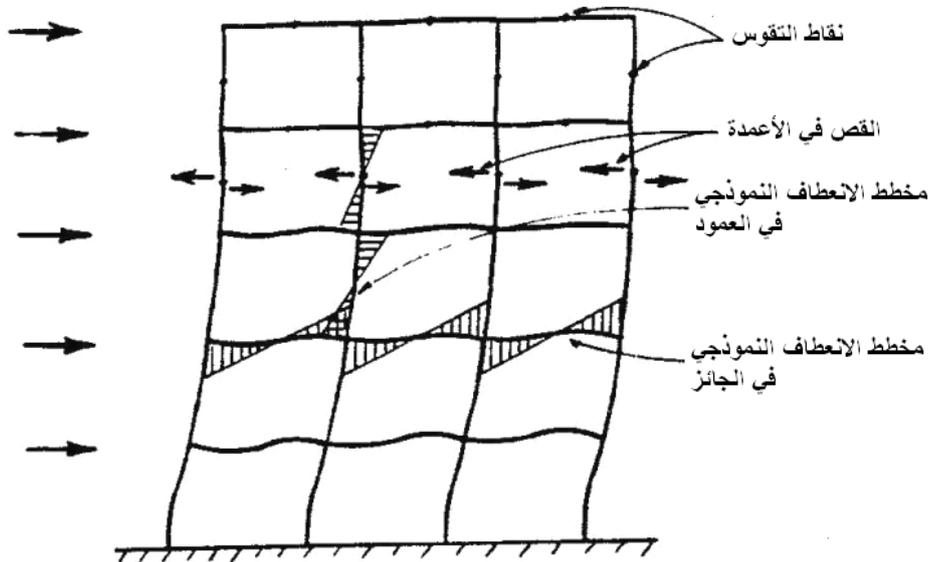
ثلاثة مجازات بشرط أن تكون المجازات متساوية أو متقاربة، وعندئذ تؤخذ قيم القوى الداخلية للإطار المفروض مساوية إلى قيم القوى الداخلية للقيمة الوسطى في الإطار البديل.

يتم حساب الإطارات الوحيدة الطابق ذات الثلاثة مجازات بطريقة التشوهات أو طريقة القوى أو غيرها من الطرق الأخرى.

وأما في حالة الحمولات الأفقية، فتعمل الإطارات على تأمين صلابة المنشأة وتقاوم هذه القوى بالإضافة للحمولات الشاقولية، وتحسب الإطارات بطرائق حساب الإنشاءات المعروفة وباستخدام الكمبيوتر حسب حالات التحميل المختلفة.

وفي حالات خاصة يمكن استخدام طرائق تحليل تقريبية مبسطة.

في الواقع يتوافق عزم الانعطاف المحسوب بالطرائق الدقيقة مع مخطط التشوه الناتج عن الحمولات الأفقية المؤثرة على الإطارات (الشكل 3-98)، وعندما تتقارب صلابات الأعمدة وصلابات الجوائز تكون نقاط انعدام عزوم الانعطاف في منتصف ارتفاع الأعمدة في الطوابق المتكررة وعند نقطة الثلث العلوي في الطابق السفلي، وتستبدل هذه النقاط من الإطار بمفاصل عند اعتماد الطريقة التقريبية مما يؤدي إلى تبسيط مقبول، كما يمكن استبدال الحمولات الأفقية الموزعة والمطبقة على الإطار بحمولات مركزة مكافئة لها مطبقة في العقد.



الشكل (3-98): القوى والتشوهات في عناصر إطار خاضع لحمولات أفقية (قص خارجي)

بعد حساب عزوم الانعطاف في الإطارات تحت تأثير الحمولات الشاقولية وتحت تأثير الحمولات الأفقية وحساب قوى القص والقوى الناظرية المرافقة، يمكننا باعتماد مخططات تلك العزوم والقوى وباستخدام عوامل تصعيد الحمولات المختلفة المعتمدة في الكود السوري أن نرسم مخططات مغلفة للعزوم والقوى الداخلية، أو حساب القيم

الحسابية لكل مقطع عرضي هام من الإطار ، وتصمم الجوائز في الإطارات في المقاطع الهامة وهي عند المساند وفي منتصف المجازات على الانعطاف البسيط ويمكن إهمال تأثير القوى الناظمية، وتصمم أعمدة الإطارات على الضغط اللامركزي ومع إدخال تأثير التحنيب.

بعد تصميم جوائز الإطار لمقاومة عزم الانعطاف يتم تصميمها لمقاومة الإجهادات المماسية الناتجة عن القص، ويجب الاهتمام بتصميم العقد في الإطار. ويجب حساب الانتقال الطابقي ومقارنته مع الانتقال المسموح به في الأنظمة والكودات الناظمية، وأيضاً نحتاج لحساب الانتقالات الأفقية لعقد الإطار عند دراسة العمل المشترك للإطارات وجدران القص الصلبة في تحمل القوى الأفقية المؤثرة على المبنى.

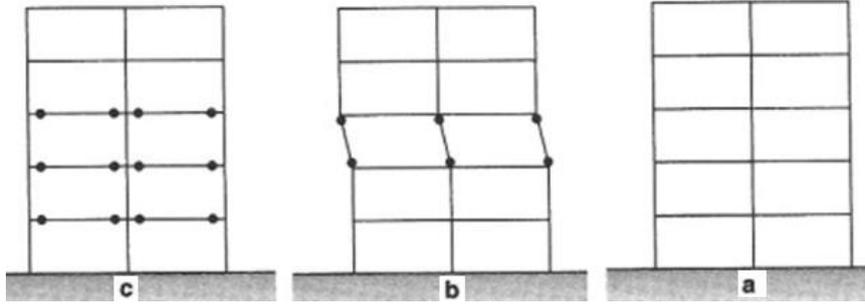
#### ملاحظات وتوصيات مهمة:

نؤكد هنا على أهمية تصميم وحساب أعمدة الإطارات بطريقة تضمن فيها أن هذه الأعمدة لا تتضرر إلا بعد استنفاد كافة مساهمات العناصر الأخرى في مقاومة الحمولات الزلزالية، وهذا الإجراء لا يخص فقط مقاومة الأعمدة، بل أيضاً الصلابات النسبية للعناصر المرتبطة في نفس العقدة (عناصر الوصلات)، وكذلك الموقع المحتمل للمفاصل اللدنة القادرة على التشكل.

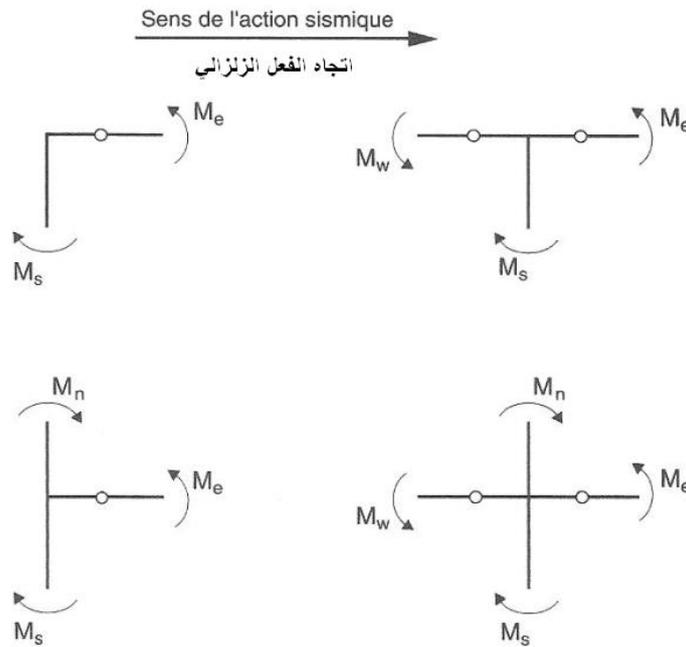
إن مطاوعة الأعمدة محدودة جداً مقارنة بتلك الخاصة بالجوائز، وإن تشكل المفاصل اللدنة في الأعمدة سيحول المنشأة إلى ميكانيزم له عواقب غير حميدة كما هو مبين في الشكل (3-99). في الواقع، إن العناصر المحملة بشكل محوري تملك مطاوعة منخفضة جداً نتيجة طبيعة هذه الحمولات المطبقة وبسبب صغر عتبة المطاوعة، في حال وجودها، وبالتالي فإنه من الضروري أن تتشكل المفاصل اللدنة في الجوائز قبل خروج الأعمدة من المجال المرن (الشكل 3-99)، وهذا ما يشرح اهتمامات القواعد والكودات الزلزالية العالمية حول ضرورة إعطاء الأعمدة مقاومات أكبر من الجوائز، بمعنى فرضية "العمود القوي والجوائز الضعيف". ومن حيث المبدأ يكون الحل بدراسة كل عقدة لضمان أن مجموع العزوم الحدية المطلقة للأعمدة، هو أكبر من مجموع عزوم الجوائز، وبين الشكل (3-100) توازن العزوم حول العقد بأنواعها.

من جهة أخرى، يمكن القبول بتشكل المفاصل اللدنة في الأعمدة للحالات التالية (الشكل 3-101):

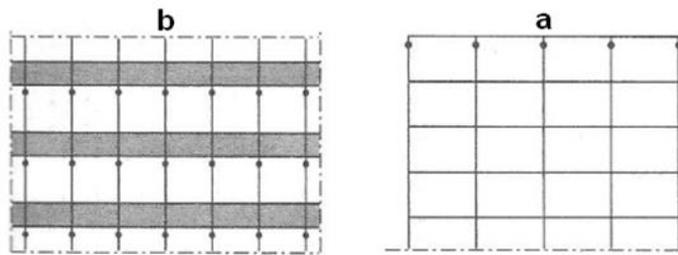
- في الأطراف العلوية لأعمدة الطابق الأخير.
- في الأجزاء العلوية فقط لأعمدة واجهة المنشآت الحاوية على جوائز عميقة، إذ من المستحيل تشكل مفاصل لدنة في هذه الجوائز قبل الأعمدة.



(a) وضعية الراحة، (b) المفاصل في الأعمدة وتشكل ميكانيزم الانهيار (c) المفاصل اللدنة في الجوائز  
الشكل (3-99): تشكل المفاصل اللدنة في الإطارات



الشكل (3-100): توازن العزوم حول العقدة - تشكل المفاصل اللدنة في أطراف الجوائز

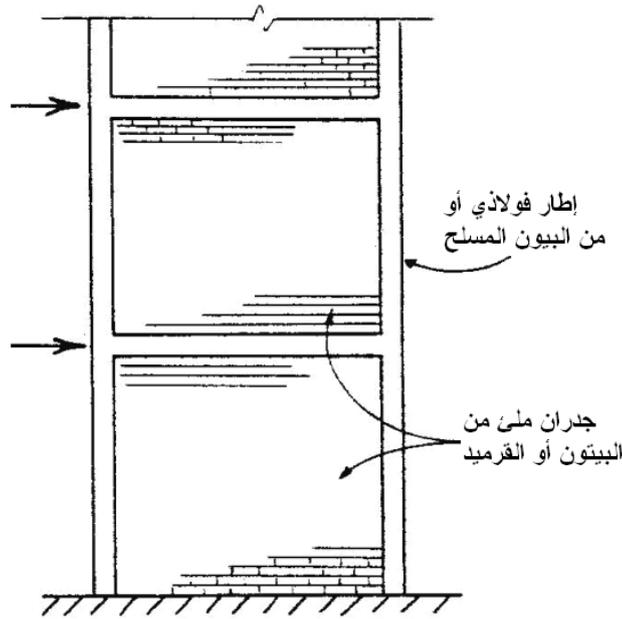


(a) في الطرف العلوي لأعمدة الطابق الأخير، (b) في المنطقة العلوية لأعمدة الواجهة - حالة الجوائز العميقة  
الشكل (3-101): إمكانية تشكل المفاصل اللدنة في الأعمدة

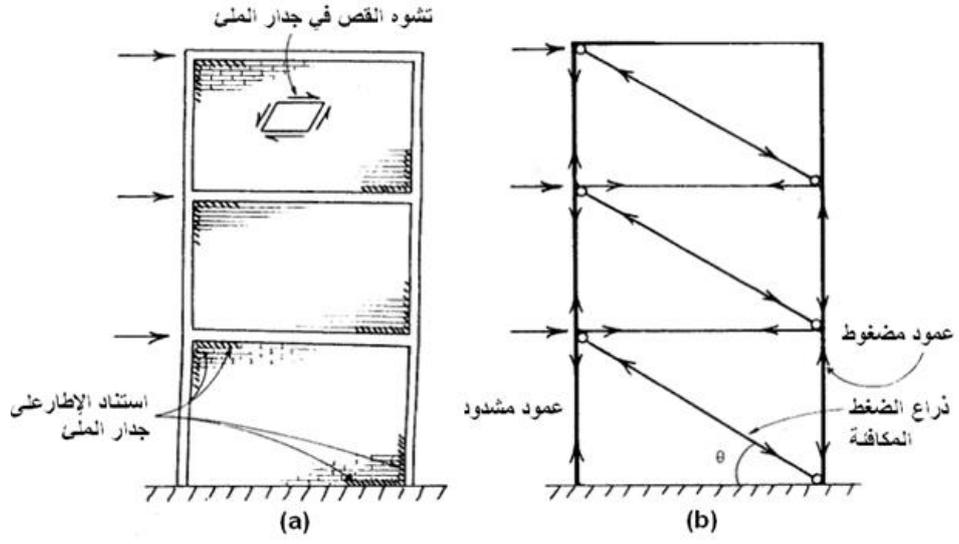
### 3-10-3- تأثير ملء فراغ الإطارات بقواطع البلوك:

عند استعمال جملة الإطارات في المباني، وعند الحاجة المعمارية لقواطع تفصل بين فراغات الوظائف المختلفة، فيتم ملء الفراغ بين أعمدة وجوائز الإطارات بقواطع من البلوك ينتج عنها تحويل جملة الإطارات لجملة الإطارات المملوءة (الشكل 3-102). يتشكل في هذه الإطارات المملوءة عنصراً مائلاً من البلوك يعمل على الضغط ويصل بين الزوايا المتقابلة لفتحات الإطار بحيث يتحول الإطار إلى جوائز شبكي كما هو موضح في (الشكل 3-103). من المعلوم أن الجوائز الشبكي يقاوم الحمولات المعرض لها بقوى محورية أساساً، بينما يقاوم الإطار الحمولات بعزوم انعطاف، مما يعني عملياً تفوق الجوائز الشبكي في مقاومة الأحمال، وهذا يعني أن قواطع البلوك المبنية بفراغات الإطارات، تغير نوعية الجملة الإنشائية، وتساهم مساهمة فعالة في مقاومة القوى الأفقية.

يبين الشكل (3-104) أنماط انهيار جدران الملى تحت تأثير القوى الأفقية: شق قطري، أو تشققات قص، أو انسحاق الجدران بالضغط عند الزوايا. وأما الشكل (3-105) فيوضح أنماط انهيار الإطار المملوء.

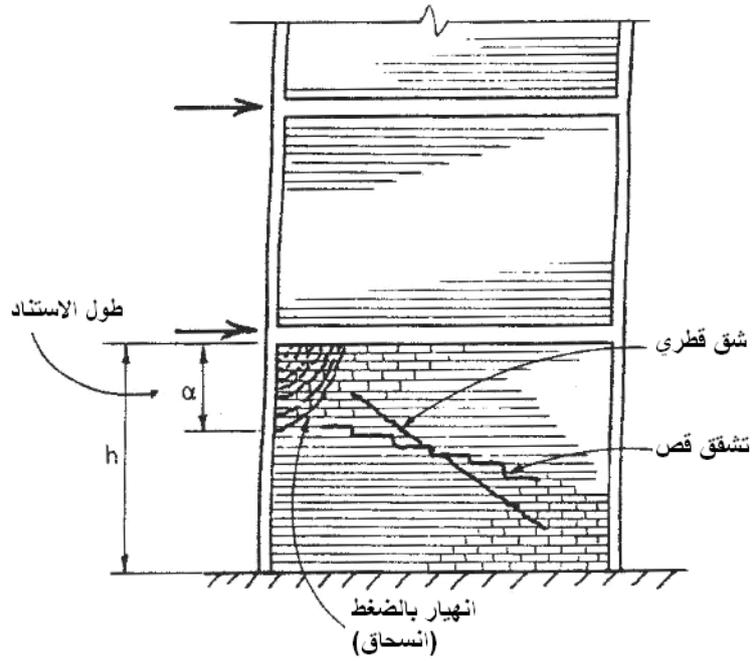


الشكل (3-102): إطارات مملوءة بجدران من البلوك

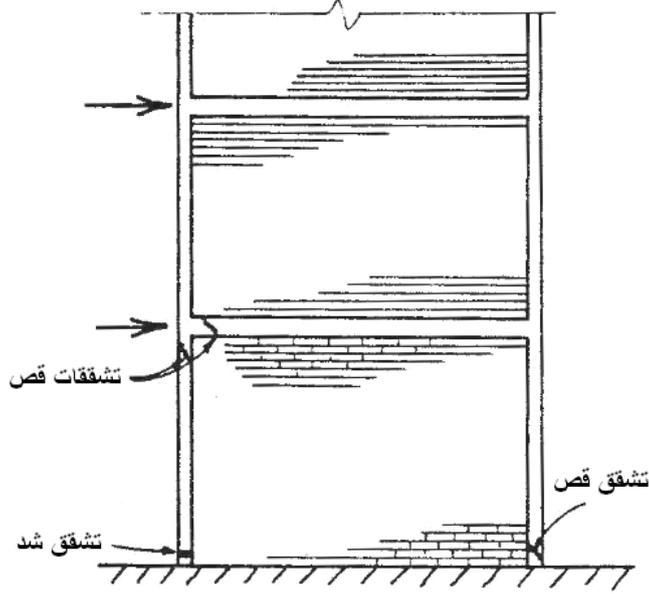


(a) سلوك الإطار المملوء، (b) إطار مكثف مكافئ

الشكل (3-103): السلوك المشترك للإطار المملوء ومكافئته بإطار مكثف



الشكل (3-104): أنماط انهيار جدران المئى



الشكل (3-105): أنماط انهيار الإطار المملوء

ونبين فيما يلي الطريقة المعتمدة في تحقيق هذه المنشآت، والمسماة بطريقة "الأذرع والشدادات"، وهي معتمدة في القواعد الأوروبية عند التحليل للبدن لمنشآت البيتون المسلح، وهذا يعني أن هذه الطريق صالحة للتطبيق عند التحقق من الحالة الحدية القصوى والاستقرار، وهذا الأمر متوافق مع متطلبات الكود السوري الذي ينص على ضرورة التصميم وفقاً للحالة الحدية القصوى عند دراسة وتحقيق المباني لمقاومة الزلازل، وأما في حالات حدود الاستثمار فهي غير قابلة للتطبيق.

يوضح الشكل (3-106) آلية عمل هذه الطريقة "الأذرع والشدادات"، بحيث يتم التحقق من المقاومة عن طريق تمثيل الجملة الأساس بنظام مثلثاتي، جوائز شبكية مقررة، مكون من أذرع مستقيمة مقطوعة تعمل على نقل جهود الضغط، ومن شدادات مشكلة من التسليح الشاقولي على امتداد الشيناج الشاقولي ومن التسليح الأفقي على امتداد البلاطة.

في الواقع، إن هذه الطريقة صالحة لحالة الجدران البيتونية المسلحة أو لحالة الإطارات المملوءة، بحيث يتم تحقيق شروط التوازن (الشكلين 3-107 و 3-108)، ويعود للدارس اختيار الأذرع الأكثر توافقاً بين عدة حالات ممكنة للمسارات.

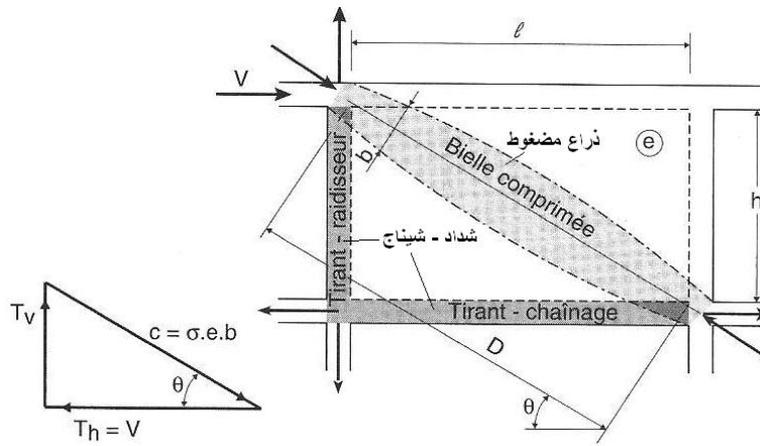
يتم التحقق من الذراع الوهمية المضغوطة للجدار، تحت تأثير القص  $V$ ، بحيث نلتزم بالشروط التالية:  
- اعتماد أصغر ارتفاع لها  $b$  والذي يساوي:

$$b = \min \left[ 4e ; \frac{D}{6} \right]$$

حيث:  $e$  تمثل سماكة الجدار، و  $D$  تمثل طول قطر الجدار.

- اعتماد زاوية ميل الذراع  $\theta$  بحيث ترضي المتراجحة التالية:

$$0.5 \leq \text{tg} \theta = \frac{h}{l} \leq 2$$



الشكل (106-3): آلية عمل "الأذرع والشدادات"

ويتم التحقق من اجهادات الضغط الحدي في الجدار تحت تأثير القوى الأفقية على النحو التالي:

- حالة لوح جداري من البيتون المسلح:

$$\sigma = \frac{V}{eb \cos \theta} \leq 0.70 f'_c$$

- حالة لوح جداري من البيتون العادي:

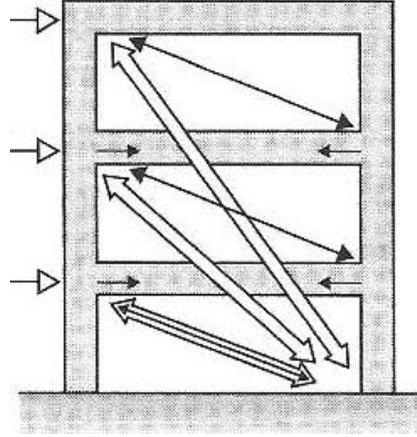
$$\sigma = \frac{V}{eb \cos \theta} \leq 0.30 f'_c$$

ومن أجل ضمان نقل القوى من طابق لآخر، يجب على التسليح العائد للشدادات موازنة الجهود التالية:

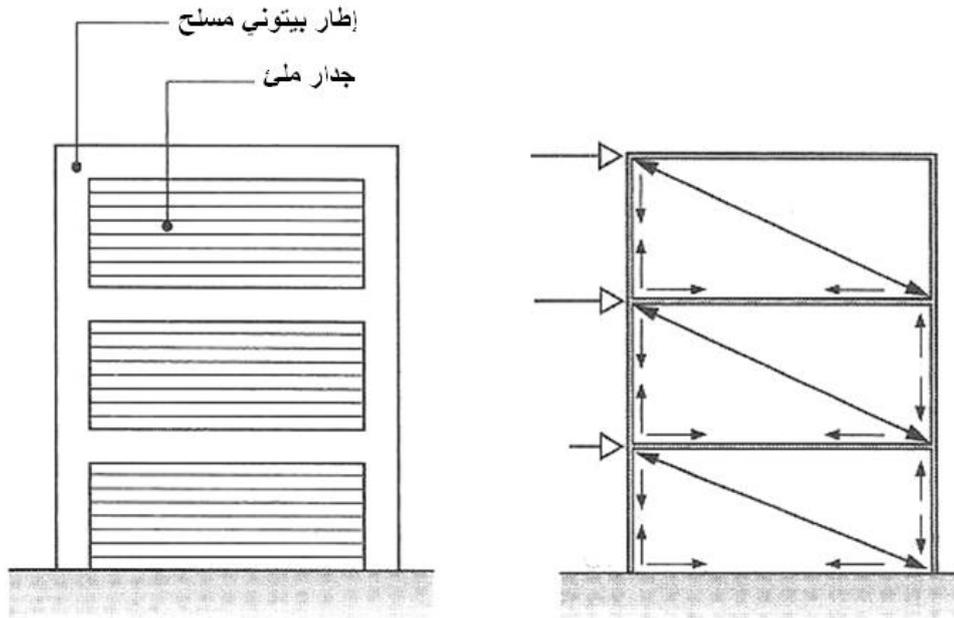
- من أجل الشيناج الأفقي:  $T_h = V$

- ومن أجل الشيناج الشاقولي:  $T_v = V \text{tg} \theta$

عندما تكون  $\theta = 45^\circ$  ، يكون لدينا:  $T_v = T_h = V$

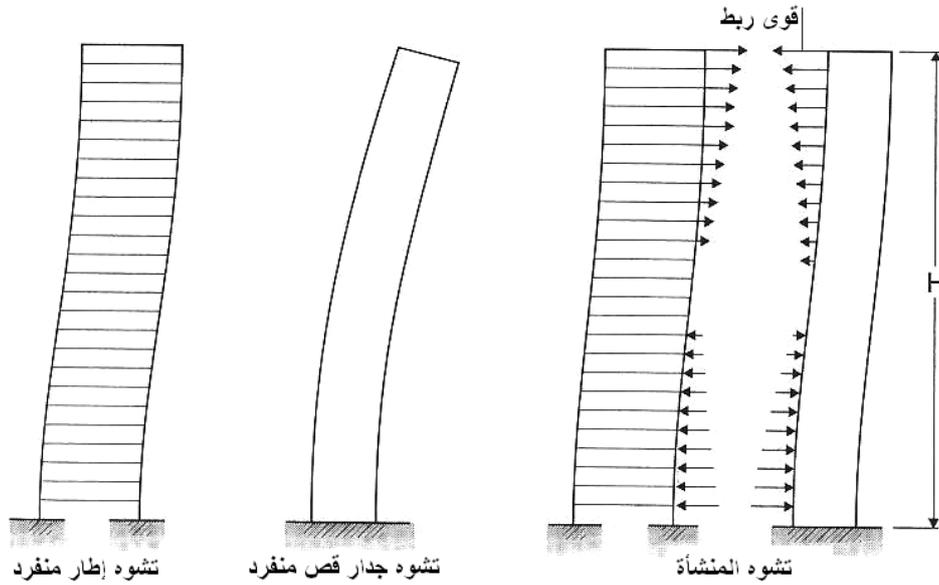


الشكل (107-3): مسارات مختلفة للعمل وفق طريقة "الأذرع والشدادات"  
- حالة ألواح جداريه من البيتون المسلح -



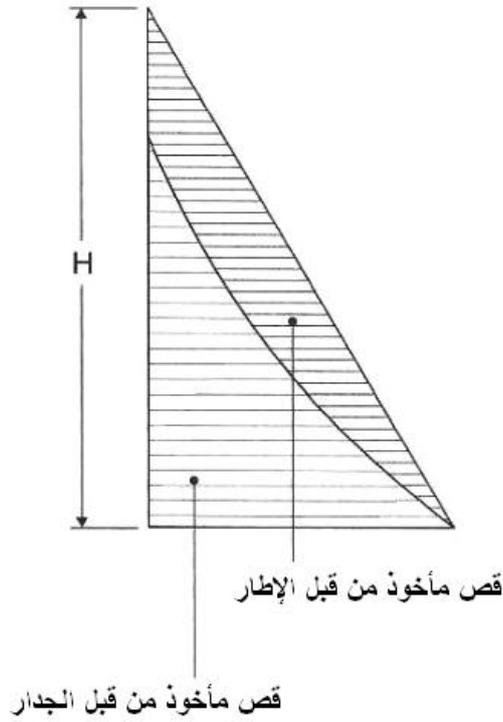
الشكل (108-3): مسارات مختلفة للعمل وفق طريقة "الأذرع والشدادات"  
- حالة جدران ملئ من البلوك البيتوني أو القرميدي -

كما ذكرنا سابقاً، بأنه يمكن استخدام الإطارات في تكوين الجملة الإنشائية المقاومة للحمولات الأفقية، وذلك للأبنية المنخفضة، وأما في حالة الأبنية متوسطة وكبيرة الارتفاع (أبنية عالية)، فإن الإطارات تصبح غير قادرة لوحدها على مقاومة القوى الأفقية، وبالتالي إدخال جدران التقوية لمشاركتها في المقاومة. إن الفعل المتبادل بين هذين النوعين من المنشآت، وكذلك إعادة توزيع الجهود في حالة التشوهات غير المرنة تقدم منفعة خاصة بفعل التشوهات المختلفة التي تتداخل في عناصرها، وهذا الأمر ممثل جيداً على الشكل (3-109).



الشكل (3-109): الفعل المتبادل لجملة مختلطة بين الجدران والإطارات

تصل جدران القص إلى مقاومتها الأعظمية عند تشوهات ضعيفة نسبياً. وعندما تبدأ المقاومة الجانبية لهذه الجدران بالتناقص، تزداد مقاومة الإطارات في البداية بفعل التشوهات، لتبقى بعد ذلك ثابتة تقريباً حتى الانهيار. يبين الشكل (3-110) تغير توزيع الجهد القاطع بين الجدار والإطار، وبمذاكرة هذا الشكل نلاحظ أنه وبصورة مستقلة عن الخواص الهندسية للمنشأة، يأخذ الجدار كامل القص عند القاعدة، ويأخذ الإطار كامل القص عند القمة. نستنتج من ذلك أنه يجب زيادة أبعاد المقاطع العرضية للأعمدة في هذا الجزء عما تتطلبه الأحمال الشاقولية، وغالباً ما نلاحظ في مثل هذه الأبنية، يعمل الدارس على تثبيت المقاطع العرضية للأعمدة على كامل ارتفاع المبنى. ومن المفضل حساب هذا النوع من المنشآت باستخدام الحاسب.



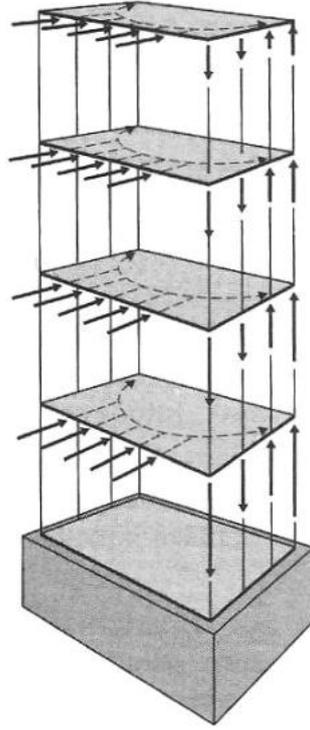
الشكل (110-3): توزيع القص الخارجي على الجدار والإطار

### 12-3- الديافرامات الأفقية (البلاطات والشيناجات الأفقية)

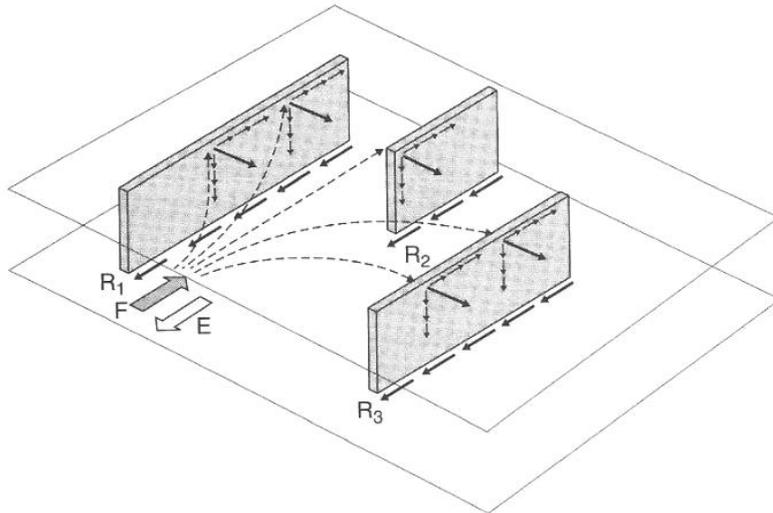
يمكن تمثيل البلاطة الأفقية بجائز صلابته لا متناهية ولا يتشوه في مستواه الأفقي، وبغض النظر عن نوع الجملة الإنشائية المقاومة للقوى الأفقية (رياح أو زلازل)، وبالتالي تشكل عنصراً رئيساً من حيث ضمان نقل وتوزيع هذه القوى الأفقية بين عناصر التقوية ومن خلال هذه الأخيرة إلى الأساسات.

يكمن الفرق الأساسي بين قوى الريح وقوى الزلازل، في نمط تطبيق الحمولة، ففي الرياح تكون الأفعال سطحية، بينما تكون حجمية للزلازل.

في حالة الرياح، تصمم البلاطة من أجل نقل القوى الأفقية في الواجهات باتجاه المساند (عناصر التقوية)، كما هو مبين في الشكل (111-3). أما في حالة الزلازل  $E$  التي تتسم بفعل حجمي موزع  $F$ ، فإن القوى الأفقية تتوافق مع كتلة البلاطة ومع بقية الكتل المرتبطة معها (الشكل 112-3).



الشكل (3-111): توزيع القوى الأفقية الناجمة عن الرياح



الشكل (3-112): توزيع القوى الأفقية الناجمة عن الزلازل

يمكن تخطيط مسار الحمولة على النحو التالي:

- عندما تكون تشوهات القص صغيرة (يمكن اعتبارها مهملة) مقارنة مع تشوهات الانعطاف للعناصر الحاملة: تنتقل الجهود عن طريق عناصر التقوية إلى البلاطات التي تعتبر كصفائح صلبة (ديافرام) لا تشوه في المستوى الأفقي، وهذه البلاطات توزع بدورها الجهود الأفقية بما يتناسب مع عطالة عناصر التقوية التي تفترض بأنها غير متشققة.

- عندما تكون تشوهات القص متقاربة مع تشوهات الانعطاف للعناصر الحاملة (حالة المباني الحاوية على جدران حاملة بحوالي طابقين): تعمل البلاطات على توزيع الجهود الأفقية بصورة تتناسب مع مقطع الجدران التي تفترض بأنها غير متشققة.

يمكن تحليل فعل الديافرام وفق ثلاثة نماذج حسابية:

#### أ- نموذج "جائز" :

يشبه هذا النموذج جائز جداري يرتكز على عدة مساند، مع أو بدون أظفار، حيث تقاوم جهود الضغط في الجهة العلوية، وجهود الشد في الجهة السفلية. وهذه هي حالة المساند المتباعدة جداً (جدران، إطارات...)، إذ تكون النسبة  $\frac{L}{B} > 2$  (انظر الشكل 3-113)، أو عندما تكون المساند مركزة جداً مثل النوى المشكلة لبيوت الدرج والمصعد، وتسمى هذه الحالة "الظفر المضاعف" (الشكل 3-114).

#### ب- نموذج "قنطرة التفرغ" :

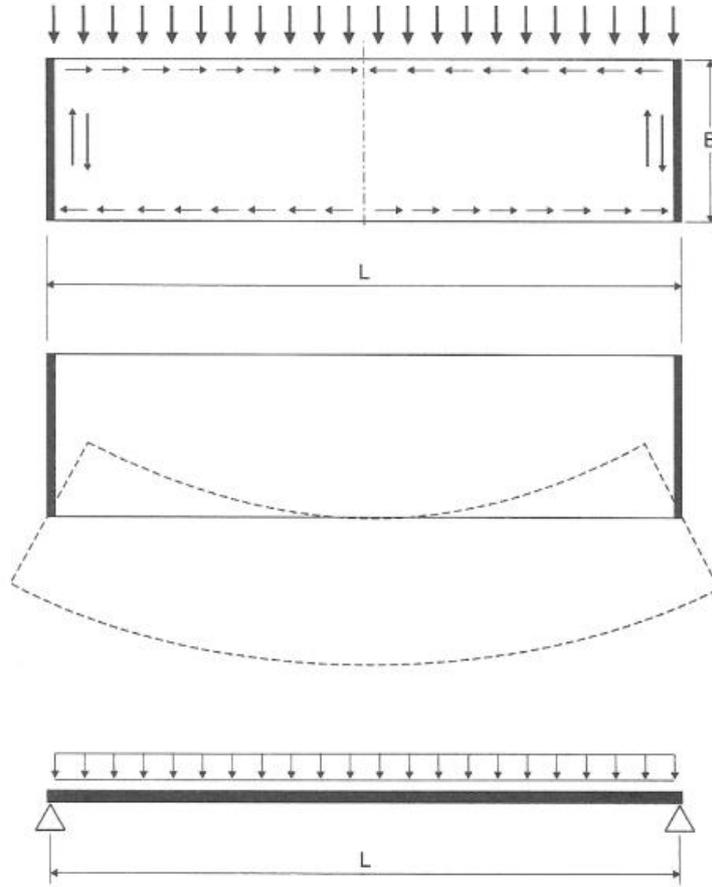
يضمن آلية عمل هذا النموذج بتشكيل قناطر التفرغ، وذلك عندما تكون النسبة  $\frac{L}{B} \leq 2$ ، حيث تقاس  $L$  بين جدارين متجاورين، و  $B$  تمثل عرض البلاطة (الشكل 3-115).

وهنا لا يبقى مسار الضغط في الجزء العلوي، بل ينتقل على شكل قوس باتجاه مناطق الاستناد.

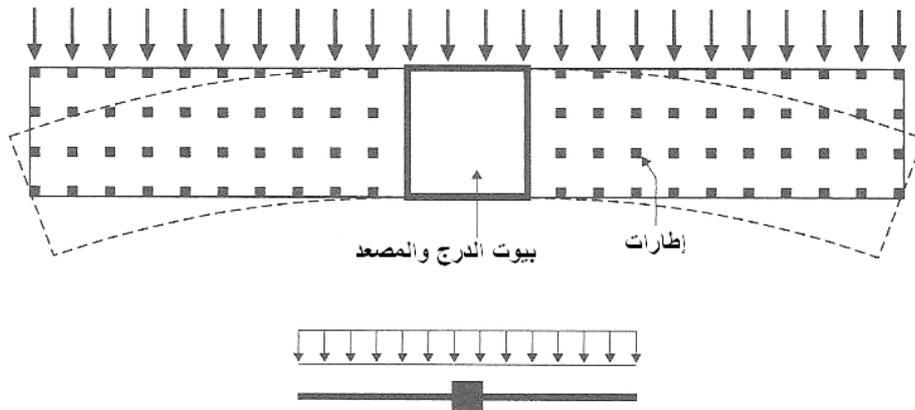
ويتوضع خط الشد، بشكل عام، على محيط المبنى، ويمكن هنا استخدام الصفوف القريبة من عناصر التقوية الموازية للواجهات (الشكل 3-116).

#### ج- نموذج "مختلط" :

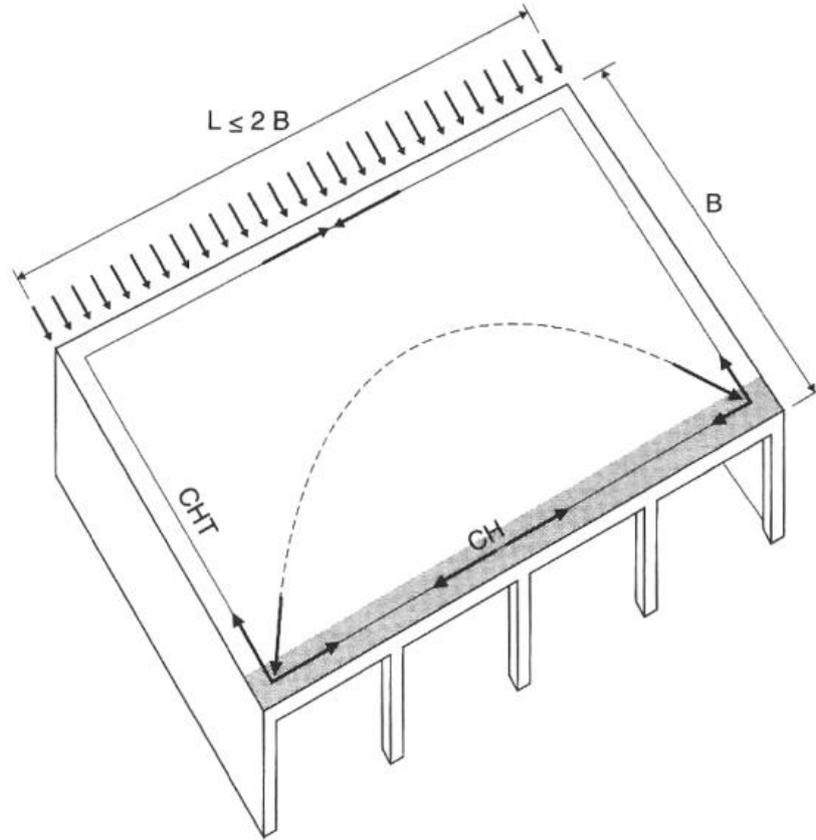
يعتبر هذا النموذج الأكثر قرباً للواقع، حيث نلاحظ أن آلية النقل يمكن أن تتم بالعمل وفق جائز جداري، ظفر قصير وقوس تفرغ.



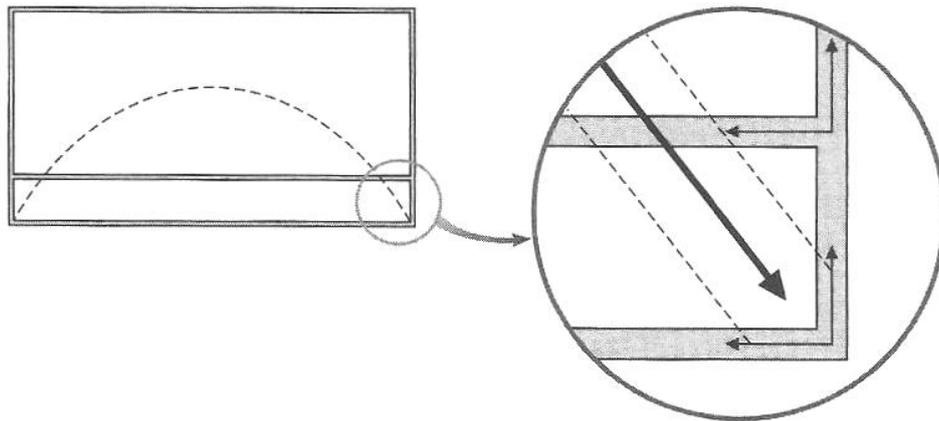
الشكل (3-113): عمل الديافرام كجائز



الشكل (3-114): عمل الديافرام كظفر مضاعف



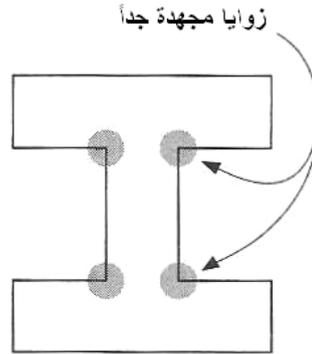
الشكل (3-115): عمل الديافرام كقنطرة تفرغ



الشكل (3-116): موازنة قنطرة التفرغ بشدادين

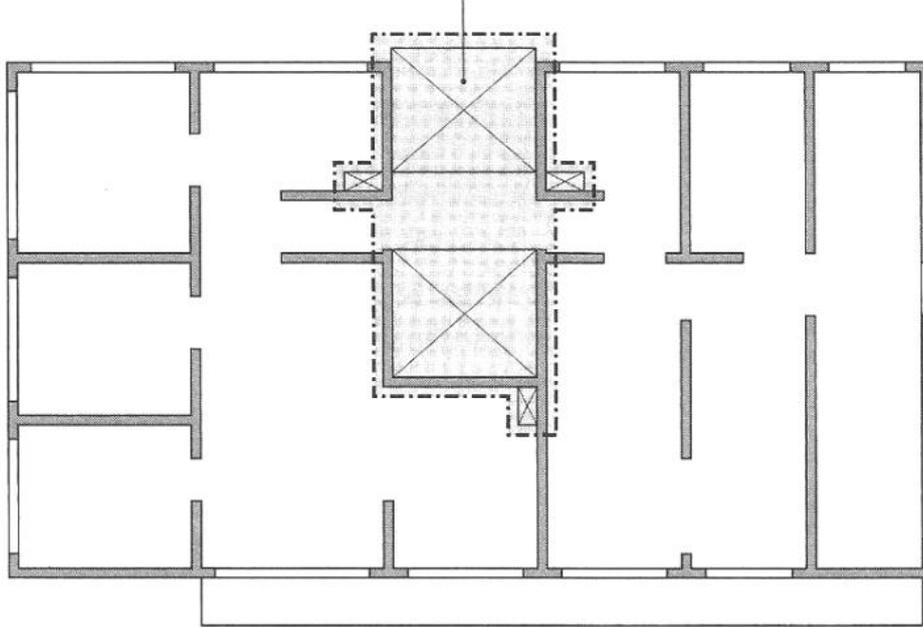
نبين فيما يلي بعض الأمثلة على البلاطات التي لا تعمل على أساس أنها ديافرامات فائقة الصلابة:

- المنشآت غير المنتظمة التي تحوي على تراجعات أو بروزات (زوايا داخلية)، كما هو مبين في الشكل (3-117)، والمباني الحاوية على فتحات كبيرة جداً (الشكل 3-118، تركيز فتحات المصاعد والأدراج والمناور). ويكون توزيع الجهود  $F$  بعيداً عن تلك الموافقة للديافرامات فائقة الصلابة، بل يقترب أكثر صوب آلية عمل شبيهة بظفر قصير.
- التقوية باستخدام جمل مكونة من نوى قص، تولد في البلاطة حقول مختلفة للإجهادات (الشكل 3-119)، عن طريق نقل مباشر أو عن طريق قناطر تفرغ معلقة، مع التنويه إلى أن حقل الاجهاديات يمكن أن ينعكس وفقاً لجهة الفعل الزلزالي.
- وفي كل الأحوال، ويهدف تأمين آلية عمل جيدة للمنشآت، فإنه يجب على الأقل وضع ثلاثة شيناجات تبعاً لثلاثة اتجاهات، كما هو مبين في الشكل (3-120):
- CH : شيناجات أفقية محيطية تتوضع في الواجهات عند منسوب كل بلاطة، وهي تشكل العناصر الطرفية المشدودة. ويمكن للجوائز الجانبية (الطرفية) الحاوية على تسليح مستمر أن تلعب هذا الدور.
- CHT : شيناجات أفقية عرضية تتوضع في المنطقة المشتركة "بلاطة - عنصر تقوية"، ويمكن للجوائز العرضانية الحاوية على تسليح مستمر أن تلعب هذا الدور.
- CV : شيناجات شاقولية تتوضع في الخارج والداخل عند نهايات وتقاطعات الجدران.

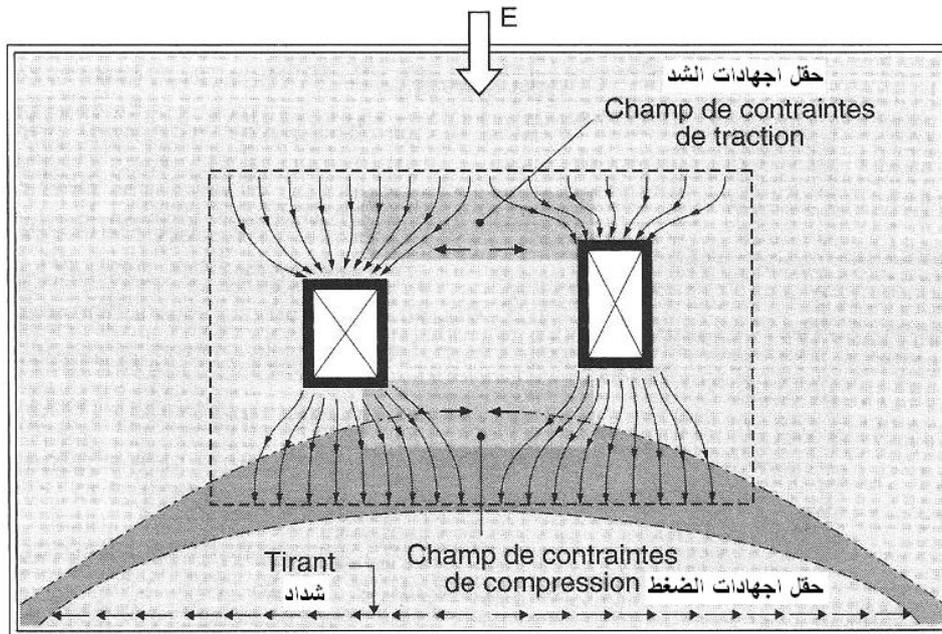


الشكل (3-117)

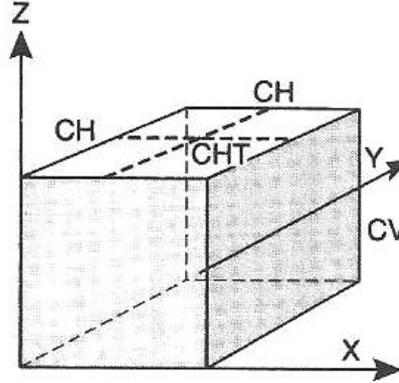
منطقة فيها تركيز فتحات الدرج والمصعد والمناور



الشكل (3-118): بلاطة لا تعمل كديافرام فائق الصلابة



الشكل (3-119): التقوية بنواة - حقل الاجهادات في البلاطة



الشكل (3-120): توضع الشيناجات

نبين فيما يلي بعض الاشتراطات والترتيبات الخاصة بتسليح هذه العناصر، وذلك في حالة الأبنية العادية (الكود الفرنسي)، على أن تتم مراجعة الاشتراطات المنصوص عنها في الكود السوري وتطبيقها.

- التسليح الطولي الأصغري للشيناجات الأفقية:

$$A_{s\min} = 3\text{ cm}^2 \Leftrightarrow 4\phi 10\text{ mm} : \text{CHT و CH}$$

- يجب أن تتحقق الشيناجات الداخلية ما يلي:

$$A_{s\min} (\text{cm}^2) = 0.28 L(m) : \text{التقوية بجدران}$$

$$A_{s\min} (\text{cm}^2) = 0.50 L(m) : \text{التقوية بإطارات}$$

حيث  $L$  يمثل طول البلاطة التي تعيد هذه الحمولات إلى عنصر التقوية.

- التباعد بين قضبان التسليح الطولي يجب ألا يزيد عن  $20\text{ cm}$ .

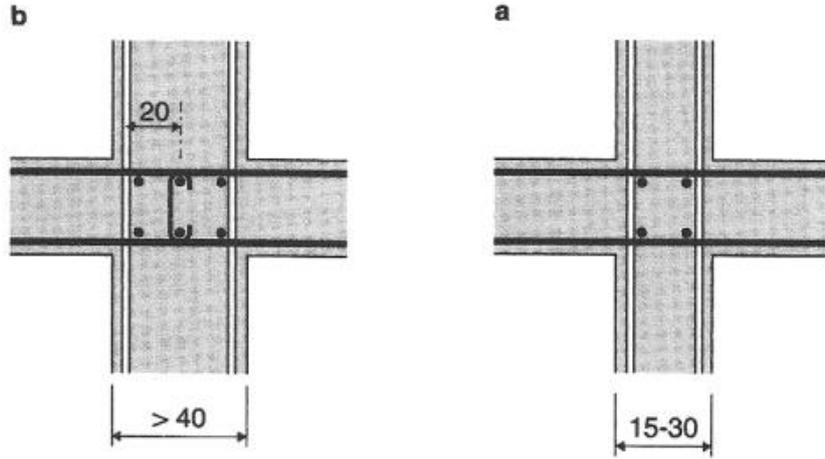
- يجب زيادة أطوال التثبيت والتراكب بمقدار لا يقل عن 30% عن الأطوال العادية.

- تباعد التسليح العرضاني يجب ألا يزيد عن ارتفاع الشيناج أو  $25\text{ cm}$  أيهما أقل، ويمكن استخدام تسليح البلاطات العلوي "شابوات" لتلتف حول تسليح الشيناج.

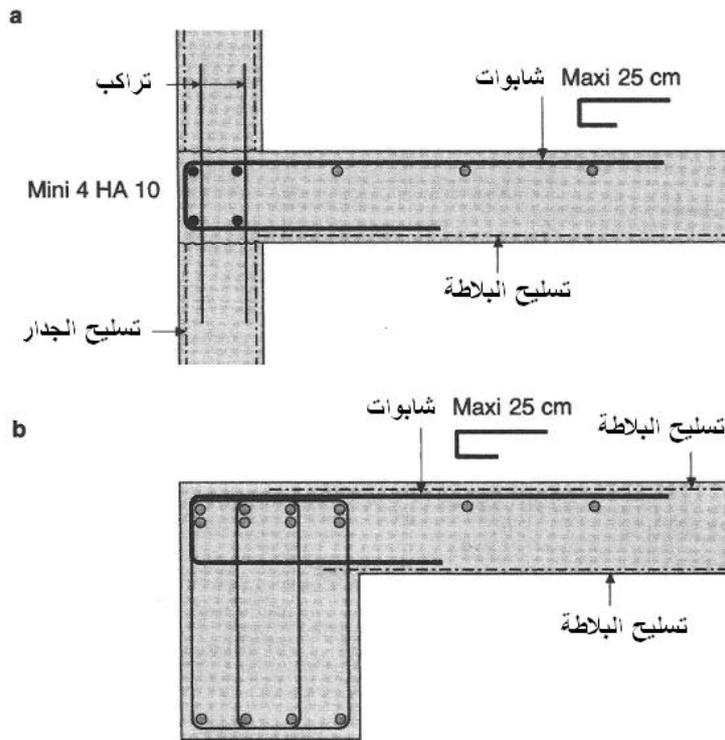
- يجب تأمين استمرارية التسليح العائد للبلاطات والشيناجات في مستوي البلاطة أو في العناصر الشاقولية.

- يجب تأمين كافة متطلبات الاستمرارية الميكانيكية للتسليح، وتأمين التضامن الفعلي للتسليح السفلي للبلاطات، مع تأمين استمرارية التسليح عند العقد.

أخيراً، نعرض فيما يلي بانوراما من الأشكال التي توضح تسليح الشيناجات، والاستمرارية الميكانيكية لهذا التسليح، وكذلك بعض التفاصيل المهمة لتنفيذها (من الشكل 3-121 حتى 3-129).

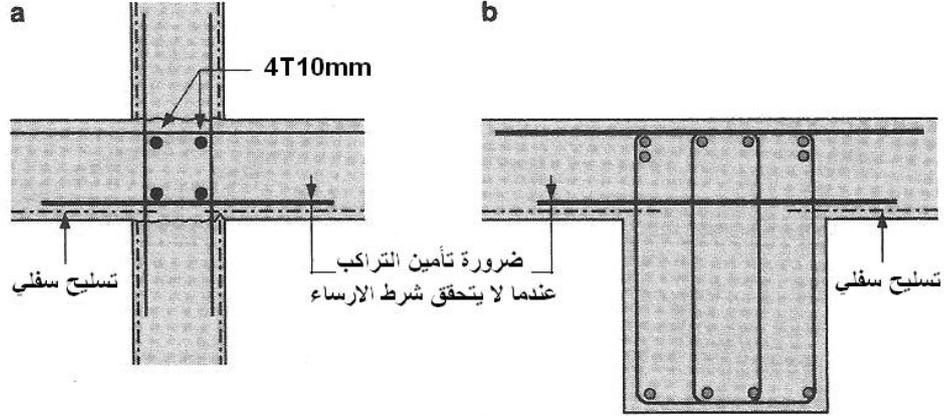


الشكل (121-3): تسليح الشيناج الداخلي



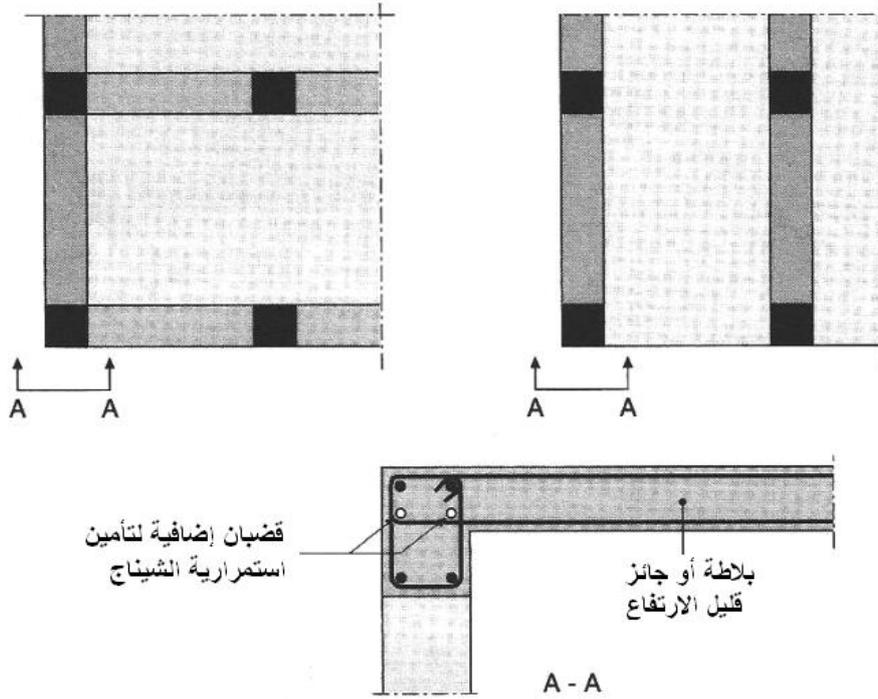
(a) حالة جدار، (b) حالة جانز

الشكل (122-3): التسليح العرضي للشيناج

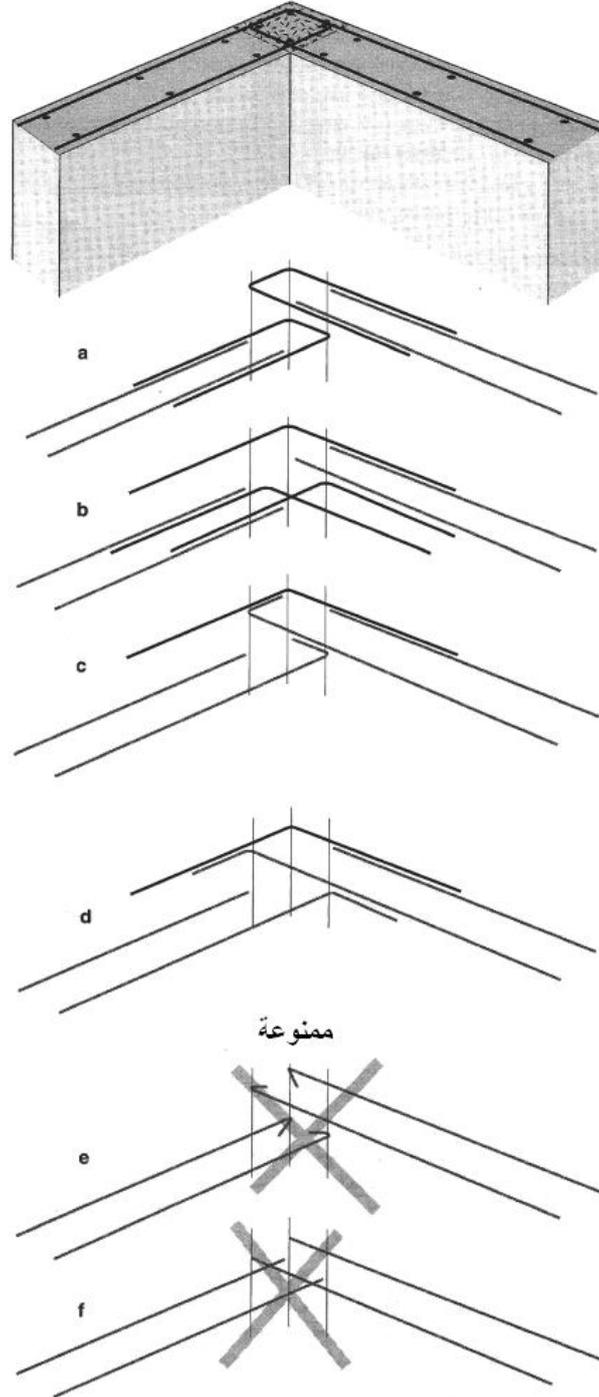


(a) حالة جدار، (b) حالة جائز

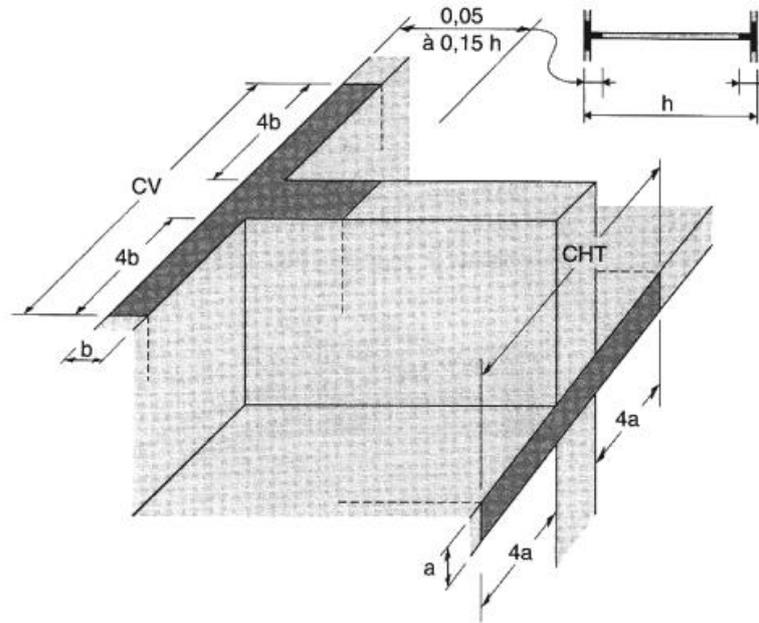
الشكل (3-123): تأمين استمرار التسليح السفلي للبلاطة عند المساند



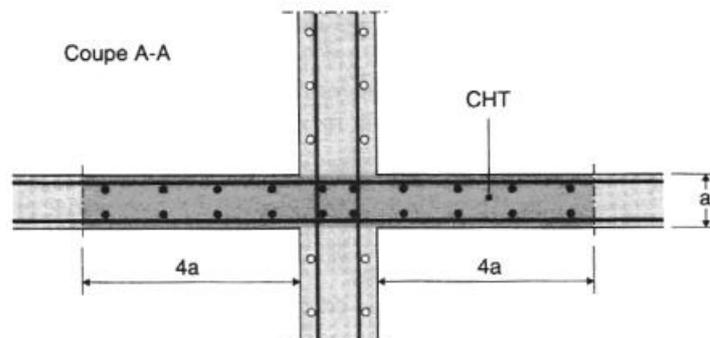
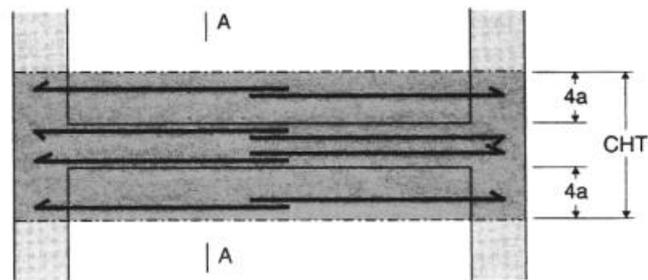
الشكل (3-124): تأمين الاستمرارية عند الزاوية لعناصر مختلفة الارتفاع



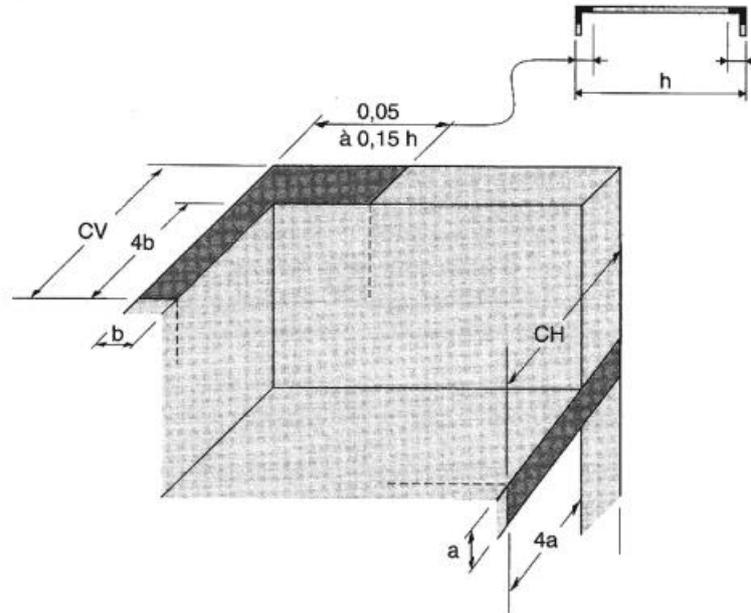
الشكل (3-125): تراكبات تسليح الشيناجات عند الزوايا



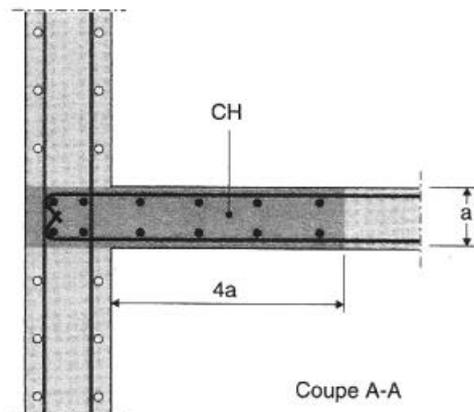
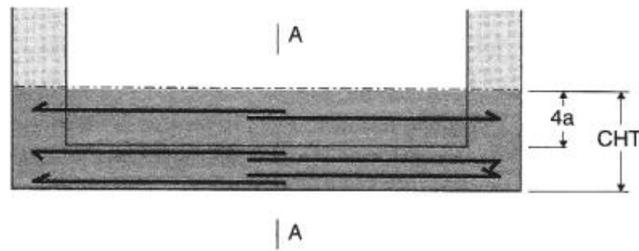
الشكل (3-126): أبعاد وتسليح الشيناجات CV & CHT : حالة جدار وسطي



الشكل (3-127): تفصيلا تسليح الشيناج CHT : حالة جدار وسطي



الشكل (3-128): أبعاد وتسليح الشيناجات CV & CHT : حالة جدار جانبي



الشكل (3-129): تفصيلا تسليح الشيناج CHT : حالة جدار جانبي

ونبين فيما يلي الاشتراطات المنصوص عليها في الملحق الثاني للكود السوري الأساس حول الديافرامات (البلاطات الأفقية):

- **الصلابة:** تكون البلاطات الأفقية التي تعمل كديافرامات صلبة ضمن مستواها، وقادرة على نقل القوى الأفقية إلى عناصر التكتيف الشاقولية (الرأسية) من دون تعرضها إلى تشوهات كبيرة.
- **جوائز الربط:** تكون البلاطات محاطة بجوائز ربط قادرة على مقاومة قوى شد أو ضغط لا تقل عن  $50kN$  ، وحسب عوامل الثبات والاستقرار المنصوص عليها في الكود الأساس، مع العناية الخاصة في تثبيت قضبان التسليح عند الزوايا.
- **نقل القوى ضمن البلاطات:** في حال تغيير مفاجئ في عناصر التكتيف الشاقولية، كالانتقال في صلابة الأعمدة أو الجدران، ينبغي ضمان انتقال القوى ضمن البلاطات وبالذات عند منسوب هذا التغيير، ويتعين أن تكون جوائز الربط المحيطة بتلك البلاطات قادرة على مقاومة قوى شد أو ضغط لا تقل عن  $100kN$  ، وحسب عوامل الأمان المنصوص عليها في الكود الأساس.
- **الربط بين البلاطات وعناصر التكتيف الشاقولية:** ينبغي ضمان الحصول على وصلات متينة بين البلاطات وعناصر التكتيف الشاقولية، ويكون ذلك بتثبيت قضبان تسليح البلاطات في عناصر التكتيف الشاقولية. هذا ويجب أن تصمم الديافرامات وفق المعايير التالية:
- تحقيق شرط السهم (الإزاحة الأفقية) في مستوى الديافرام، بما يتوافق مع السهم المسموح للعناصر المرتبطة به.
- يجب أن تصمم الديافرامات، بما فيها السقف الأخير، لمقاومة القوى الأفقية  $F_{Px}$  ، المحددة بالعلاقة التالية:

$$0.5 C_a I W_{Px} \leq F_{Px} = \frac{F_t + \sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n W_i} W_{Px} \leq 1.0 C_a I W_{Px}$$

وعندما يكون مطلوباً من الديافرام نقل القوى الزلزالية التصميمية من العناصر الشاقولية المقاومة فوق الديافرام إلى عناصر شاقولية أخرى مقاومة تحت الديافرام، وذلك من جراء تغير مفاجئ في موقع العناصر أو لتغيرات في صلابات العناصر الشاقولية، فيجب إضافة هذه القوى إلى القوة المحددة أعلاه.

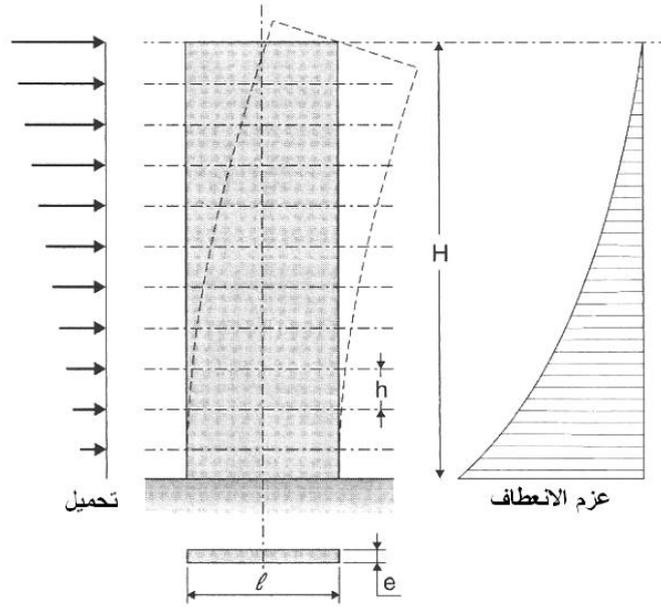
### 13-3- طرائق حساب جدران القص

#### 1-13-3- عرض الطرائق

يوجد عدة طرائق معتمدة في الحساب، ويعتمد تطبيقها على النموذج المختار، مع الأخذ بالحسبان شكل المبنى، توضع وانتظام الجدران، وجود ومواقع الفتحات.

#### أ- جدران بعطالة ثابتة:

عندما نتمكن من تمثيل جدران القص بأظفار شاقولية ذات صلابة ثابتة (جدران بدون فتحات كما هو مبين في الشكل 3-130)، سواء كانت متوازية أم متعامدة، فإن اعتبار انتقالين أفقيين ودوران حول محور شاقولي لإحدى البلاطات يسمح بحل المسألة غير المقررة لتوزيع الحملات الأفقية. ويكون هذا الأمر ممكناً في الحالة التي تكون فيها الجدران غير مرتبطة مع بعضها بعضاً في الاتجاه الشاقولي، وهذا ما نسميه بالجدران المستقلة.



الشكل (3-130): جدار قص بعطالة ثابتة

#### ب- جدران بعطالة مكافئة:

إنها حالة العطالة لجدار مصمت (أو جدار مكافئ)، الذي يبدي في مستوى معين وتحت تأثير نفس الحملات، السهم نفسه (غالباً ما يعتمد السهم عند القمة) مقارنة مع الجدار المدروس. وبشكل عام، تطبق هذه الطريقة لحالة الجدران مع صف أو عدة صفوف شاقولية من الفتحات. وتكون المجاهيل إما تابع مستمر أو متحولات منفصلة تمثل الجهد القاطع في اللمعات.

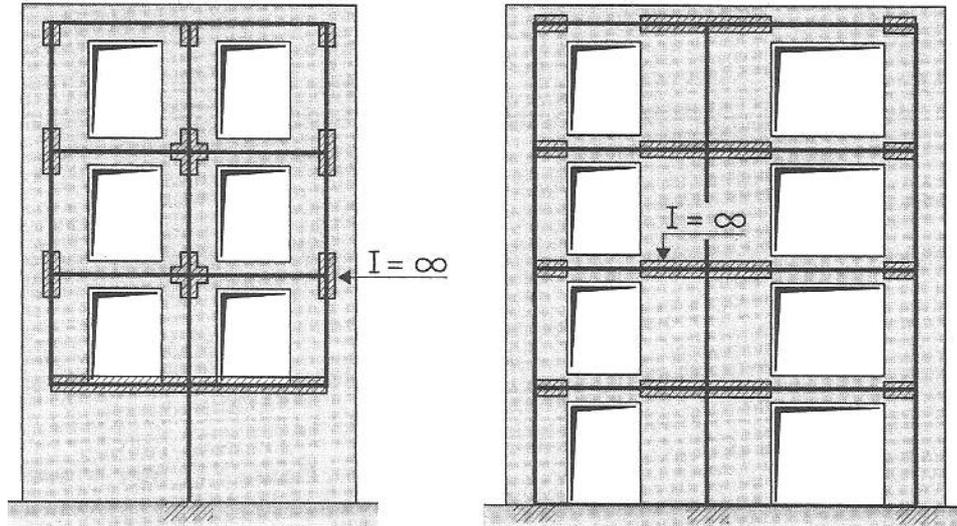
### ج- جدران غير منتظمة – تقوية معقدة:

يجرى الحساب عن طريق محاكاة هيكل مكون فقط من عدة قضبان (عناصر خطوطية)، أو أيضاً عبر النمذجة بالعناصر المنتهية.

فمن أجل حساب منشأة مكونة من قضبان، نقوم بنمذجة عناصر الجدار، عتبات وملعات، بجوائز، ونحصل على إطار "مكافئ" للجدار المدروس، في كل طابق. إن محاور الإطار المكافئ تتوافق مع محاور العناصر الشاقولية للجدار (الحوامل)، ومع محاور اللمعات. وتساوي عطالة القضبان الشاقولية عطالة الحوامل، وأما القضبان الأفقية فهي مؤلفة من اللمعة الحقيقية وعنصرين متوضعين عند طرفي اللمعة، وعطالتهما لا متناهية (الشكل 3-131). ويمكن أن يدرس الإطار المتعدد والمحدد باستخدام برنامج معتمد في حساب الإنشاءات، مع افتراض أن البلاطة صلبة، ولا تتشوه في مستواها.

وأما الحساب بطريقة العناصر المنتهية، فهو يعتمد على استبدال المنشأة الحقيقية بنموذج تحليلي مكون من عدد مخفض من العناصر، مع نمذجة البلاطة أيضاً بعناصر منتهية. وبالتالي سيتم إنجاز عملية توزيع الجهد الأفقي على الجدران بنفس الوقت مع حساب المجموعة.

أخيراً، نشير إلى أن عملية تبسيط النموذج التحليلي ليست بالأمر السهل، وهي غالباً ما تعتمد على خبرة المهندس الدارس.



الشكل (3-131): نمذجة الجدران عن طريق "عناصر - قضبان"

### 2-13-3- حساب الجدران الحاوية على فتحات

(طريقة ألبيجس – غوليه (Albigès-Goulet):

تعتمد هذه الطريقة على الفرضيتين الأساسيتين التاليتين:

1- تعتبر الجهود المنقولة بواسطة اللمعات، عند كل طابق، موزعة على طول الخط الوسطي لكل عنصر من

الجدار، وهذا الأمر غير مقبول إلا في الحالة التي يتحقق فيها عرض كاف لهذه العناصر بحيث لا يقل عن

المسافة الشاقولية الصافية بين لمعتين متتاليتين.

2- إمكانية إهمال التشوهات الناجمة عن الجهد الناظفي في اللمعات، وتخضع عناصر الجدران لنفس الانتقالات

الأفقية في كل طابق.

بالتالي، تمكن الفرضيتان السابقتان إمكانية تمثيل الجدار الحاوي على فتحات، من حيث مقاومة القوى الأفقية،

كمنشأة مؤلفة من عناصر الجدار تصل بينها اللمعات الموزعة على ارتفاع المبنى.

ومن جهة أخرى، ولتسهيل الحساب يمكن قبول ما يلي:

- المبنى عالي (لا يقل عدد الطوابق عن 7).
- الارتفاع الطابقي ثابت.
- تملك اللمعات نفس الخواص الهندسية.
- عطالة اللمعات  $i$  صغيرة مقارنة بعطالة كل من عناصر الجدار  $I_1$  &  $I_2$ .
- يحافظ الجدار، على كامل ارتفاع المبنى، على نفس الخواص الميكانيكية والهندسية.
- عنصري الجدار موثوقة عند القاعدة.
- تفترض القوى الأفقية موزعة بانتظام أو بشكل مثلي على كامل ارتفاع المبنى.

ويبين الشكل (3-132) مثلاً لجدار قص حاوية على فتحات، مع العوامل والأبعاد التالية:

$I$  : العطالة الكلية للجدار.

$E$  : عامل مرونة للجدار.

$E'$  : عامل مرونة لللمعة، وغالباً ما تكون  $E = E'$ .

$m$  : العزم الستاتيكي لعناصر الجدار بالنسبة لمركز ثقل المجموعة.

$i$  : عطالة لللمعة.

$h$  : الارتفاع الطابقي.

$H$  : الارتفاع الكلي للمبنى.

$I_1, I_2$  : عطالة العناصر 1 و 2.

$\Omega_1, \Omega_2$  : مساحات مقاطع العناصر 1 و 2.

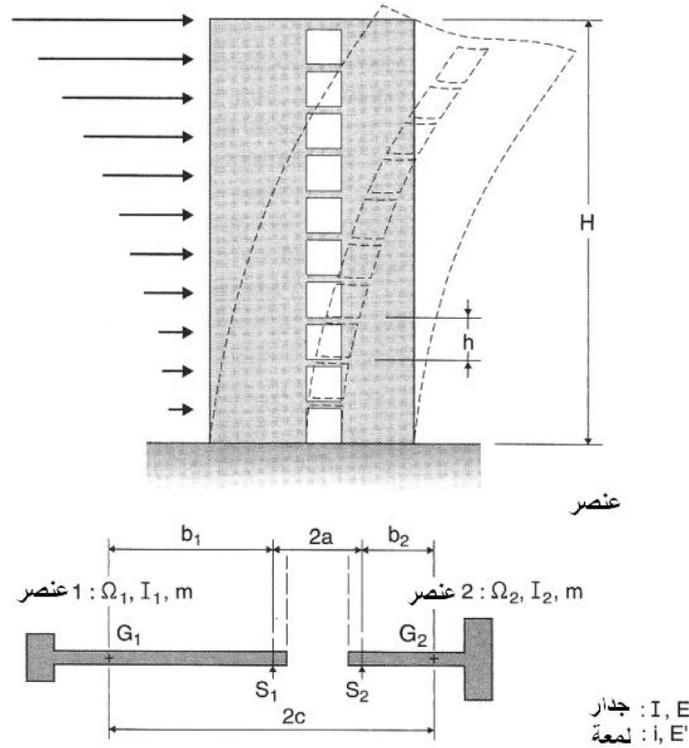
$S_1, S_2$  : مقاطع وثاقات اللمعة.

$2a$  : مجاز اللمعة.

$T_{0u}$  : الجهد القاطع الكلي الناجم عن القوى الأفقية الموزعة بانتظام (رياح).

$T_{0r}$  : الجهد القاطع الكلي الناجم عن القوى الأفقية الموزعة بشكل مثلثي (زلازل).

ملاحظة: تم الرمز للقص بـ  $T$  ، من أجل المحافظة على المصطلحات الواردة في الطريقة الأساس، علماً أن الكود السوري اعتمد  $V$  ليشير إلى القص.



الشكل (3-132): جملة جدران قص حاوية على فتحات

يمكن كتابة العلاقات التالية:

$$m = \frac{2c}{\frac{1}{\Omega_1} + \frac{1}{\Omega_2}}$$

$$I = I_1 + I_2 + 2mc$$

وأيضاً:

$$\omega^2 = \frac{3 E' i}{2 E a^3} \frac{2c}{I_1 + I_2} \frac{I}{mh}$$

$$\alpha = \omega H$$

$$\xi = \frac{x}{H}$$

إن البارامتر  $\alpha$  ، هو ميزة هندسية، ولا تتعلق بسماكته، وهو يسمح بتحديد درجة كبر أو صغر الفتحات التي يحويها لجدار، ويتم حساب القوى الداخلية لكل لمعة.

تعطى الجهود القاطعة في اللمعة  $\pi$  الواقعة عند المنسوب  $x$  ، بالعلاقات التالية:

• حالة الحمولة المنتظمة:

$$\pi_u = \frac{T_{0u} mh}{I} \Phi(\alpha, \xi)$$

• حالة توزيع مثلي للحمولة:

$$\pi_t = \frac{T_{0t} mh}{I} \chi(\alpha, \xi)$$

تؤخذ قيم العوامل  $\Phi$  و  $\chi$  من الجداول (4-3 و 5-3) أو الأبيات المرافقة لها.

وتعطى العزوم  $M_1$  &  $M_2$  في عناصر الجدار 1 و 2 ، بالعلاقات التالية:

• حالة الحمولة المنتظمة:

$$M_1 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} T_{0u} H \left[ \frac{(1-\xi)^2}{2} - \frac{2cm}{I} \psi(\alpha, \xi) \right]$$

$$M_2 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} T_{0u} H \left[ \frac{(1-\xi)^2}{2} - \frac{2cm}{I} \psi(\alpha, \xi) \right]$$

• حالة توزيع مثلي للحمولة:

$$M_1 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} T_{0t} H \left[ \frac{(1-\xi)^2}{2} - \frac{2cm}{I} \Lambda(\alpha, \xi) \right]$$

$$M_2 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} T_{0t} H \left[ \frac{(1-\xi)^2}{2} - \frac{2cm}{I} \Lambda(\alpha, \xi) \right]$$

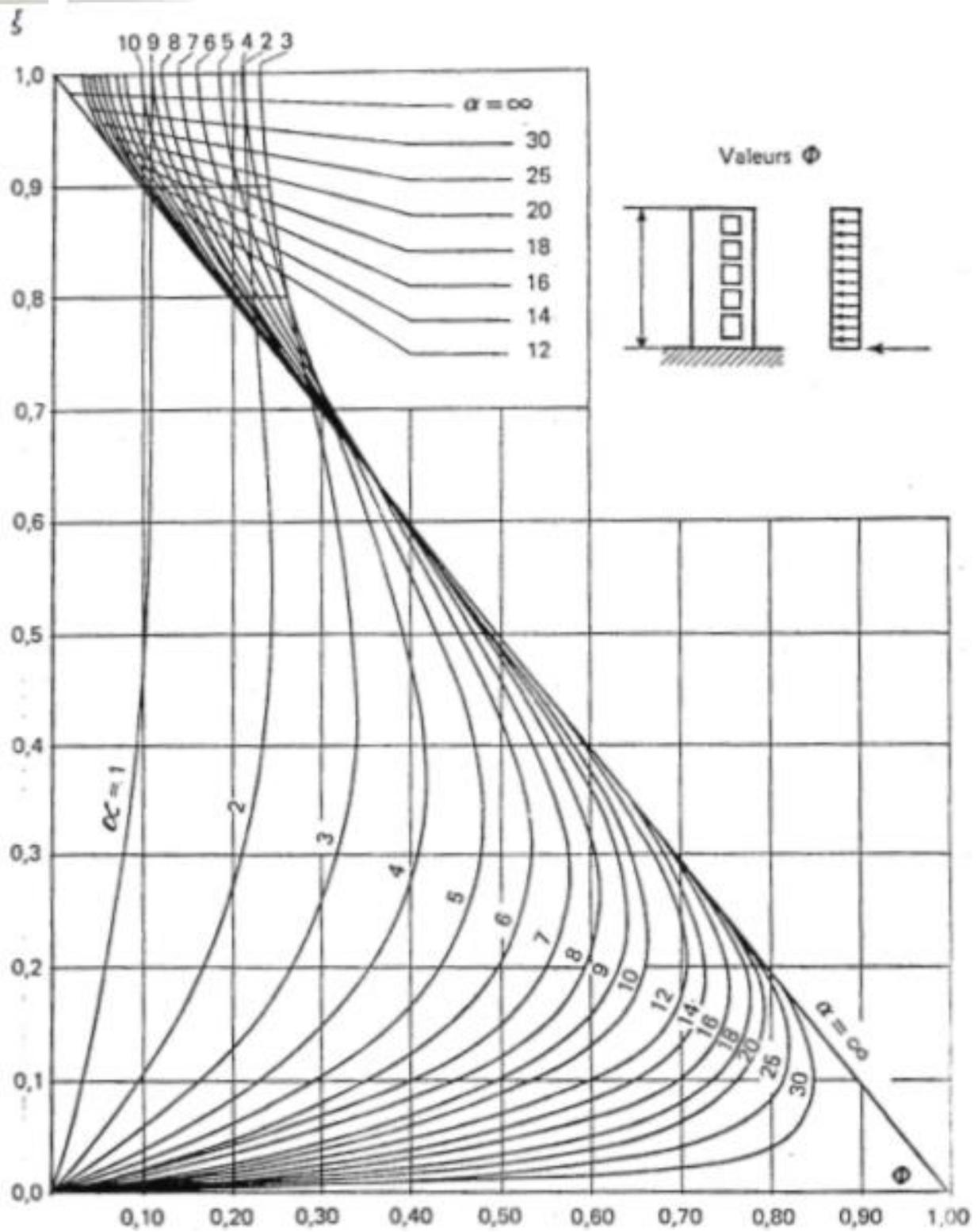
قيم العوامل  $\psi$  و  $\Lambda$  ، تؤخذ أيضاً من الجداول (4-3 و 5-3) أو الأبيات المرافقة لها.

$\alpha \backslash \xi$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.00	0.114	0.216	0.232	0.213	0.187	0.162	0.141	0.124	0.111	0.100
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.95	0.114	0.217	0.235	0.217	0.192	0.168	0.149	0.133	0.121	0.111
	0.006	0.011	0.012	0.011	0.009	0.008	0.007	0.006	0.006	0.005
0.90	0.114	0.220	0.241	0.228	0.206	0.186	0.169	0.155	0.145	0.137
	0.011	0.022	0.024	0.022	0.019	0.017	0.015	0.014	0.012	0.011
0.85	0.114	0.224	0.251	0.244	0.227	0.211	0.197	0.186	0.178	0.172
	0.017	0.033	0.036	0.034	0.030	0.027	0.024	0.022	0.020	0.019
0.80	0.114	0.228	0.263	0.263	0.253	0.241	0.231	0.224	0.218	0.213
	0.023	0.044	0.049	0.046	0.042	0.038	0.035	0.032	0.030	0.029
0.75	0.114	0.233	0.277	0.285	0.282	0.276	0.269	0.264	0.261	0.258
	0.029	0.056	0.062	0.060	0.055	0.051	0.047	0.044	0.042	0.040
0.70	0.114	0.238	0.291	0.309	0.313	0.312	0.310	0.308	0.306	0.304
	0.034	0.067	0.076	0.075	0.070	0.066	0.062	0.059	0.056	0.054
0.65	0.113	0.242	0.305	0.333	0.345	0.350	0.352	0.352	0.352	0.352
	0.040	0.079	0.091	0.091	0.087	0.082	0.078	0.075	0.073	0.071
0.60	0.112	0.245	0.318	0.356	0.376	0.388	0.394	0.397	0.399	0.399
	0.046	0.092	0.107	0.108	0.105	0.101	0.097	0.094	0.092	0.090
0.55	0.110	0.247	0.329	0.377	0.406	0.424	0.435	0.441	0.445	0.447
	0.051	0.104	0.123	0.126	0.124	0.121	0.118	0.115	0.113	0.111
0.50	0.107	0.246	0.337	0.395	0.434	0.458	0.474	0.484	0.490	0.494
	0.057	0.116	0.140	0.146	0.145	0.143	0.140	0.138	0.136	0.134
0.45	0.103	0.243	0.341	0.410	0.457	0.489	0.510	0.524	0.533	0.539
	0.062	0.129	0.157	0.166	0.168	0.167	0.165	0.163	0.162	0.160
0.40	0.098	0.237	0.341	0.418	0.474	0.514	0.541	0.560	0.573	0.582
	0.067	0.141	0.174	0.187	0.191	0.192	0.191	0.190	0.189	0.188
0.35	0.092	0.227	0.335	0.420	0.483	0.531	0.565	0.590	0.607	0.620
	0.072	0.152	0.191	0.208	0.215	0.218	0.219	0.219	0.219	0.218
0.30	0.084	0.213	0.322	0.412	0.482	0.537	0.579	0.610	0.633	0.650
	0.076	0.163	0.207	0.228	0.239	0.245	0.248	0.249	0.250	0.250
0.25	0.075	0.194	0.301	0.392	0.468	0.529	0.577	0.615	0.645	0.668
	0.080	0.173	0.223	0.249	0.263	0.272	0.277	0.280	0.282	0.283
0.20	0.064	0.169	0.269	0.358	0.435	0.500	0.554	0.598	0.635	0.665
	0.083	0.182	0.237	0.267	0.286	0.297	0.305	0.310	0.314	0.316
0.15	0.051	0.139	0.225	0.307	0.380	0.444	0.500	0.549	0.591	0.627
	0.086	0.190	0.249	0.284	0.306	0.321	0.332	0.339	0.345	0.349
0.10	0.036	0.101	0.168	0.233	0.295	0.352	0.404	0.451	0.493	0.532
	0.088	0.196	0.259	0.298	0.323	0.341	0.354	0.364	0.372	0.378
0.05	0.019	0.055	0.094	0.133	0.172	0.209	0.245	0.280	0.312	0.343
	0.090	0.200	0.266	0.307	0.335	0.355	0.371	0.383	0.393	0.401
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.090	0.202	0.268	0.310	0.339	0.361	0.378	0.391	0.401	0.410

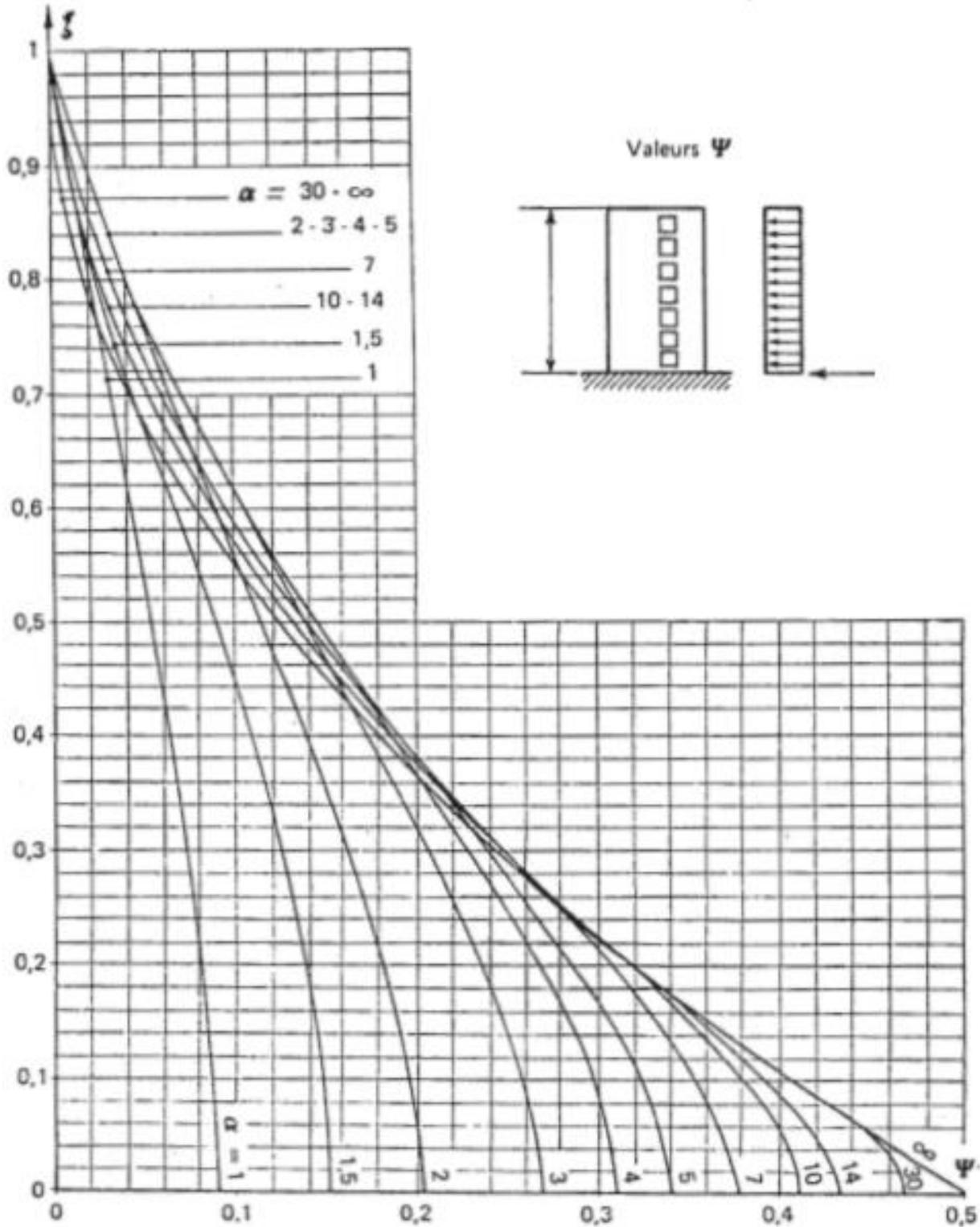
الجدول (4-3): قيم العوامل  $\Psi$  و  $\Phi$  كتابع ل  $(\alpha, \xi)$  - حالة حمولة منتظمة

$\alpha \backslash \xi$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	$\geq 25$
1.00	0.091	0.083	0.077	0.071	0.067	0.062	0.059	0.056	0.053	0.050	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.95	0.102	0.096	0.090	0.085	0.081	0.078	0.075	0.073	0.070	0.068	0.050
	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.001
0.90	0.130	0.125	0.121	0.118	0.115	0.113	0.111	0.109	0.108	0.107	0.100
	0.011	0.010	0.009	0.009	0.008	0.008	0.008	0.008	0.007	0.007	0.005
0.85	0.167	0.164	0.161	0.159	0.157	0.156	0.155	0.154	0.153	0.152	0.150
	0.018	0.017	0.016	0.016	0.015	0.015	0.014	0.014	0.014	0.014	0.011
0.80	0.210	0.207	0.206	0.204	0.203	0.203	0.202	0.202	0.201	0.201	0.200
	0.027	0.026	0.025	0.025	0.024	0.024	0.023	0.023	0.023	0.022	0.020
0.75	0.256	0.254	0.253	0.252	0.252	0.251	0.251	0.251	0.250	0.250	0.250
	0.039	0.038	0.037	0.036	0.036	0.035	0.035	0.034	0.034	0.034	0.031
0.70	0.303	0.302	0.301	0.301	0.301	0.301	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
	0.053	0.052	0.051	0.050	0.049	0.049	0.048	0.048	0.048	0.047	0.045
0.65	0.351	0.351	0.351	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350
	0.069	0.068	0.067	0.066	0.066	0.065	0.065	0.064	0.064	0.064	0.061
0.60	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
	0.088	0.087	0.086	0.085	0.084	0.084	0.083	0.083	0.083	0.082	0.080
0.55	0.448	0.449	0.449	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
	0.109	0.108	0.107	0.106	0.106	0.105	0.105	0.104	0.104	0.104	0.101
0.50	0.496	0.498	0.499	0.499	0.499	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
	0.133	0.132	0.131	0.130	0.129	0.129	0.128	0.128	0.128	0.127	0.125
0.45	0.543	0.546	0.547	0.548	0.549	0.549	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
	0.159	0.158	0.157	0.156	0.156	0.155	0.155	0.154	0.154	0.154	0.151
0.40	0.588	0.592	0.595	0.596	0.598	0.598	0.599	0.599	0.600	0.600	0.600
	0.187	0.186	0.185	0.185	0.184	0.184	0.183	0.183	0.183	0.182	0.180
0.35	0.629	0.635	0.639	0.643	0.645	0.646	0.647	0.648	0.649	0.649	0.650
	0.218	0.217	0.216	0.216	0.215	0.215	0.215	0.214	0.214	0.214	0.211
0.30	0.663	0.673	0.680	0.685	0.689	0.692	0.694	0.695	0.697	0.698	0.700
	0.250	0.250	0.249	0.249	0.249	0.248	0.248	0.248	0.248	0.247	0.245
0.25	0.686	0.700	0.711	0.720	0.726	0.732	0.736	0.739	0.741	0.743	0.750
	0.284	0.284	0.284	0.284	0.284	0.284	0.284	0.284	0.284	0.283	0.281
0.20	0.689	0.709	0.726	0.739	0.750	0.759	0.767	0.773	0.778	0.782	0.800
	0.316	0.319	0.320	0.321	0.321	0.321	0.321	0.322	0.322	0.322	0.320
0.15	0.658	0.685	0.708	0.728	0.745	0.759	0.772	0.783	0.792	0.800	0.850
	0.352	0.354	0.356	0.358	0.359	0.359	0.360	0.361	0.361	0.361	0.361
0.10	0.567	0.599	0.627	0.653	0.677	0.698	0.717	0.735	0.750	0.765	0.900
	0.383	0.387	0.390	0.392	0.395	0.396	0.398	0.399	0.400	0.401	0.405
0.05	0.373	0.401	0.428	0.453	0.478	0.501	0.523	0.543	0.563	0.582	0.950
	0.407	0.412	0.417	0.421	0.424	0.427	0.430	0.432	0.434	0.435	0.451
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000
	0.417	0.424	0.429	0.434	0.438	0.441	0.445	0.448	0.450	0.452	0.500

تابع للجدول (4-3): قيم العوامل  $\Psi$  و  $\Phi$  كتابع ل  $(\alpha, \xi)$  - حالة حمولة منتظمة



آباك لتحديد قيم العامل  $\Phi$  كتابع لـ  $(\alpha, \xi)$  - حالة حمولة منتظمة



أباك لتحديد قيم العامل  $\psi$  كتابع لـ  $(\alpha, \xi)$  - حالة حمولة منتظمة

$$\chi(\alpha, \xi)$$

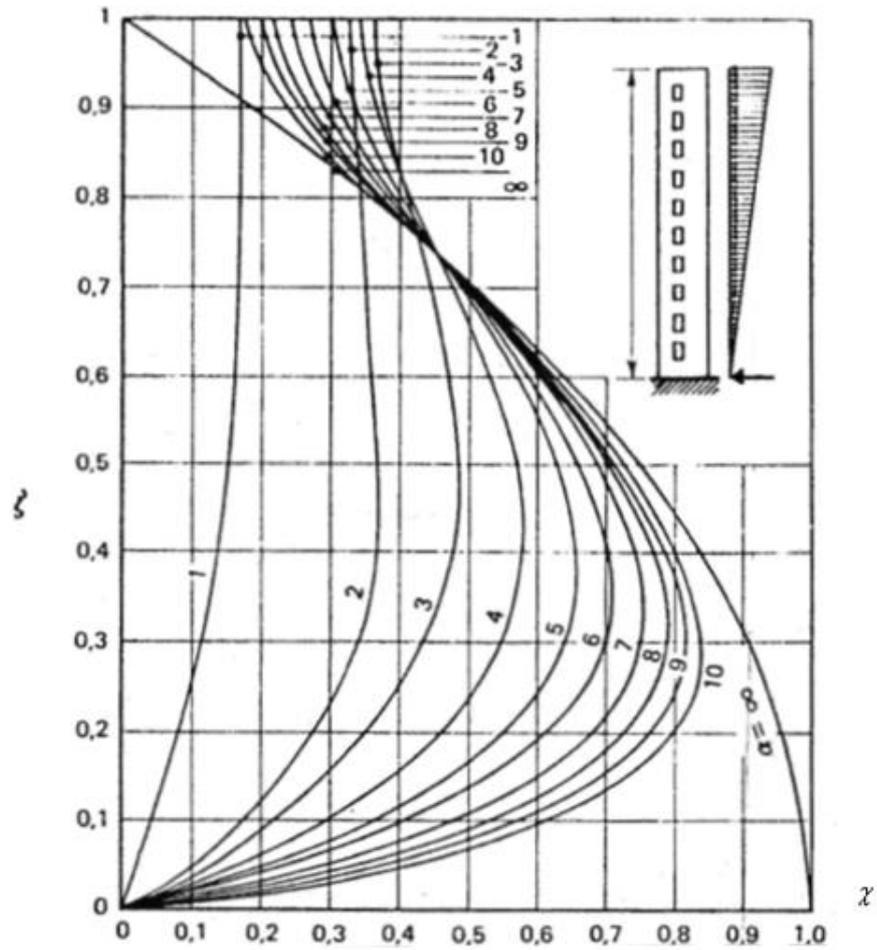
$$\Lambda(\alpha, \xi)$$

$\alpha \backslash \xi$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.00	0.171	0.331	0.364	0.343	0.306	0.273	0.243	0.218	0.197	0.180
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.95	0.171	0.333	0.368	0.349	0.316	0.284	0.256	0.233	0.214	0.199
	0.009	0.017	0.018	0.017	0.016	0.014	0.012	0.011	0.010	0.009
0.90	0.172	0.336	0.377	0.365	0.339	0.312	0.289	0.270	0.255	0.243
	0.017	0.033	0.037	0.035	0.032	0.029	0.026	0.024	0.022	0.020
0.85	0.172	0.342	0.392	0.389	0.370	0.351	0.334	0.320	0.310	0.302
	0.026	0.050	0.056	0.054	0.050	0.045	0.041	0.038	0.036	0.034
0.80	0.172	0.348	0.408	0.416	0.408	0.396	0.386	0.378	0.371	0.367
	0.034	0.067	0.076	0.074	0.069	0.064	0.059	0.056	0.053	0.051
0.75	0.172	0.354	0.426	0.446	0.449	0.445	0.441	0.438	0.435	0.433
	0.043	0.085	0.097	0.096	0.090	0.085	0.080	0.076	0.073	0.071
0.70	0.171	0.359	0.443	0.477	0.490	0.495	0.497	0.496	0.498	0.499
	0.052	0.103	0.119	0.119	0.114	0.108	0.104	0.100	0.096	0.094
0.65	0.169	0.362	0.459	0.506	0.530	0.543	0.551	0.556	0.560	0.562
	0.060	0.121	0.141	0.143	0.139	0.134	0.130	0.126	0.123	0.120
0.60	0.166	0.363	0.473	0.532	0.567	0.589	0.602	0.611	0.617	0.621
	0.068	0.139	0.165	0.169	0.167	0.163	0.159	0.155	0.152	0.150
0.55	0.162	0.362	0.482	0.555	0.600	0.629	0.648	0.661	0.670	0.676
	0.077	0.157	0.188	0.196	0.196	0.193	0.190	0.187	0.185	0.183
0.50	0.156	0.357	0.487	0.571	0.627	0.664	0.689	0.706	0.717	0.725
	0.085	0.175	0.213	0.225	0.227	0.226	0.223	0.221	0.219	0.218
0.45	0.149	0.349	0.486	0.580	0.645	0.691	0.722	0.743	0.757	0.767
	0.092	0.193	0.237	0.253	0.259	0.259	0.259	0.257	0.256	0.255
0.40	0.141	0.335	0.478	0.580	0.655	0.708	0.745	0.771	0.790	0.803
	0.099	0.210	0.261	0.282	0.291	0.294	0.295	0.295	0.295	0.294
0.35	0.130	0.317	0.461	0.570	0.652	0.713	0.757	0.789	0.812	0.828
	0.106	0.226	0.285	0.311	0.324	0.330	0.333	0.334	0.335	0.335
0.30	0.118	0.293	0.436	0.548	0.636	0.703	0.754	0.792	0.820	0.841
	0.112	0.242	0.307	0.339	0.356	0.365	0.371	0.374	0.376	0.377
0.25	0.104	0.263	0.399	0.511	0.602	0.675	0.731	0.776	0.810	0.837
	0.118	0.256	0.328	0.366	0.387	0.400	0.408	0.413	0.417	0.419
0.20	0.088	0.227	0.351	0.458	0.548	0.622	0.684	0.734	0.774	0.807
	0.123	0.268	0.347	0.390	0.416	0.433	0.444	0.451	0.456	0.460
0.15	0.069	0.183	0.288	0.384	0.467	0.540	0.602	0.655	0.700	0.739
	0.127	0.278	0.363	0.411	0.442	0.462	0.476	0.486	0.493	0.499
0.10	0.049	0.131	0.211	0.286	0.355	0.417	0.473	0.524	0.569	0.609
	0.130	0.286	0.375	0.428	0.462	0.486	0.503	0.516	0.525	0.533
0.05	0.025	0.070	0.115	0.160	0.202	0.243	0.281	0.317	0.351	0.383
	0.132	0.291	0.384	0.439	0.476	0.503	0.522	0.537	0.549	0.558
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.132	0.293	0.387	0.443	0.482	0.509	0.530	0.546	0.558	0.569

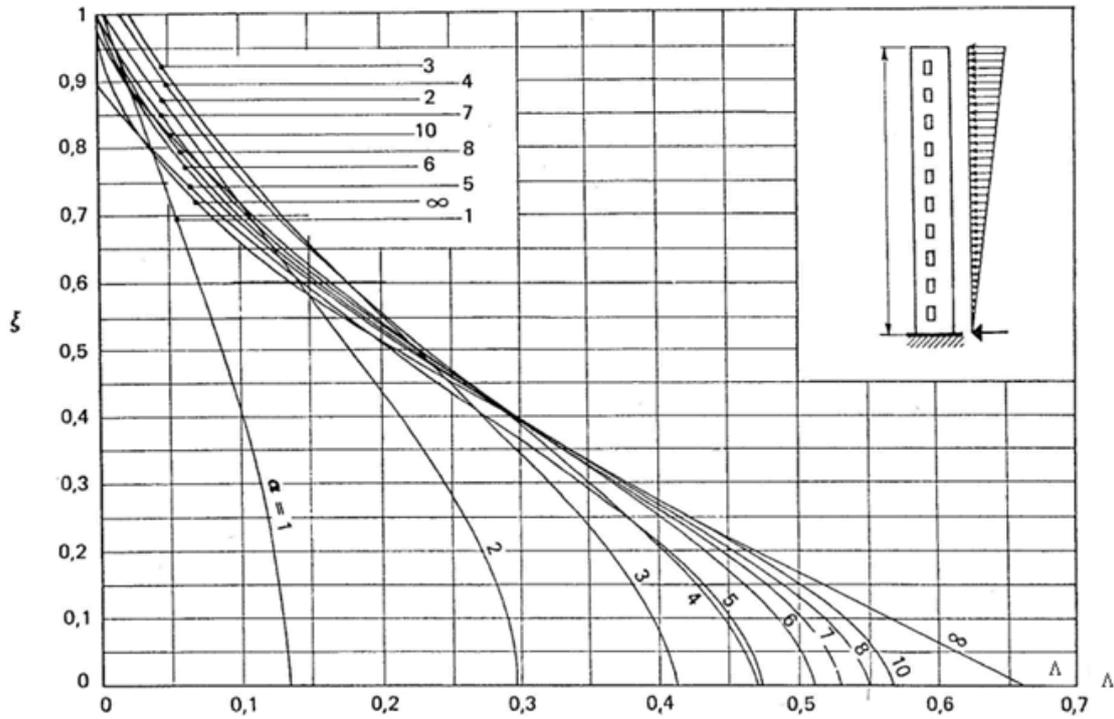
الجدول (5-3): قيم العوامل  $\chi$  و  $\Lambda$  كتابع ل  $(\alpha, \xi)$  - حالة حمولة مثلية

$\alpha \backslash \xi$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	$\geq 25$
1.00	0.165	0.153	0.142	0.133	0.124	0.117	0.111	0.105	0.100	0.095	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.95	0.186	0.175	0.166	0.158	0.152	0.146	0.141	0.137	0.133	0.129	0.098
	0.009	0.008	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005	0.002
0.90	0.234	0.226	0.220	0.215	0.211	0.207	0.205	0.202	0.200	0.199	0.190
	0.019	0.018	0.017	0.016	0.016	0.015	0.015	0.014	0.014	0.013	0.009
0.85	0.296	0.291	0.288	0.285	0.283	0.281	0.280	0.279	0.278	0.277	0.278
	0.032	0.031	0.030	0.029	0.028	0.027	0.027	0.026	0.026	0.025	0.021
0.80	0.363	0.361	0.360	0.358	0.358	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357	0.360
	0.049	0.047	0.046	0.045	0.044	0.043	0.043	0.042	0.042	0.041	0.037
0.75	0.432	0.432	0.432	0.432	0.432	0.432	0.432	0.433	0.433	0.433	0.438
	0.069	0.067	0.066	0.065	0.064	0.063	0.062	0.062	0.061	0.061	0.057
0.70	0.500	0.500	0.501	0.502	0.503	0.503	0.504	0.504	0.505	0.505	0.510
	0.092	0.090	0.089	0.088	0.087	0.086	0.086	0.085	0.085	0.084	0.081
0.65	0.564	0.566	0.567	0.568	0.569	0.570	0.571	0.572	0.572	0.573	0.578
	0.119	0.117	0.116	0.115	0.114	0.113	0.113	0.112	0.112	0.111	0.108
0.60	0.624	0.627	0.629	0.630	0.631	0.632	0.633	0.634	0.635	0.635	0.640
	0.148	0.147	0.146	0.145	0.144	0.143	0.143	0.142	0.142	0.142	0.138
0.55	0.680	0.683	0.685	0.687	0.689	0.690	0.691	0.691	0.692	0.692	0.698
	0.181	0.180	0.179	0.178	0.177	0.176	0.176	0.176	0.175	0.175	0.172
0.50	0.730	0.734	0.737	0.739	0.741	0.742	0.743	0.744	0.744	0.745	0.750
	0.216	0.215	0.214	0.213	0.213	0.212	0.212	0.211	0.211	0.211	0.208
0.45	0.774	0.779	0.783	0.786	0.787	0.789	0.790	0.791	0.792	0.792	0.798
	0.254	0.253	0.252	0.251	0.251	0.251	0.250	0.250	0.250	0.249	0.247
0.40	0.812	0.818	0.823	0.826	0.829	0.831	0.832	0.833	0.834	0.835	0.840
	0.293	0.293	0.292	0.292	0.291	0.291	0.291	0.290	0.290	0.290	0.288
0.35	0.840	0.849	0.855	0.860	0.863	0.866	0.868	0.870	0.871	0.872	0.878
	0.335	0.335	0.334	0.334	0.334	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.331
0.30	0.857	0.869	0.878	0.885	0.890	0.894	0.897	0.899	0.901	0.903	0.910
	0.377	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.377	0.377	0.377	0.377	0.375
0.25	0.858	0.875	0.887	0.897	0.905	0.912	0.916	0.920	0.923	0.926	0.938
	0.420	0.421	0.422	0.422	0.423	0.423	0.423	0.423	0.423	0.423	0.422
0.20	0.835	0.857	0.875	0.890	0.902	0.912	0.920	0.927	0.932	0.937	0.960
	0.463	0.465	0.466	0.467	0.468	0.468	0.469	0.469	0.469	0.469	0.469
0.15	0.772	0.801	0.825	0.846	0.864	0.880	0.893	0.905	0.914	0.923	0.978
	0.503	0.506	0.509	0.511	0.512	0.513	0.514	0.515	0.516	0.516	0.518
0.10	0.646	0.679	0.709	0.736	0.760	0.782	0.802	0.820	0.836	0.850	0.990
	0.539	0.544	0.547	0.551	0.553	0.555	0.557	0.558	0.560	0.561	0.567
0.05	0.414	0.442	0.470	0.496	0.520	0.544	0.566	0.587	0.607	0.626	0.998
	0.566	0.572	0.578	0.582	0.586	0.589	0.592	0.595	0.597	0.599	0.617
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.577	0.584	0.591	0.596	0.601	0.605	0.608	0.611	0.614	0.617	0.666

تابع للجدول (5-3): قيم العوامل  $\chi$  و  $\Lambda$  كتابع لـ  $(\alpha, \xi)$  - حالة حمولة مثلثية



آباك لتحديد قيم العامل  $\chi$  كتابع لـ  $(\alpha, \zeta)$  - حالة حمولة مثلثية

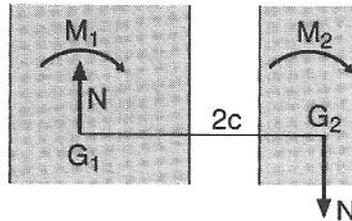


آبآك لتحديد قيم العامل  $\Lambda$  كتابع لـ  $(\alpha, \xi)$  - حالة حمولة مثلثية

يتم حساب الجهد الناظي  $N$ ، الناجم عن الأفعال الأفقية، في كل عنصر من الجدار، انطلاقاً من العزوم  $M_1$  &  $M_2$  في منسوب ما (الشكل 3-133).

$$N = \pm \frac{M - (M_1 + M_2)}{2c}$$

$$M = T_0 H \frac{(1 - \xi)^2}{2}$$



الشكل (3-133): الجهود في عنصري الجدار

هذا ويمكن تحديد قيمة هذا الجهد في منسوب ما (فقط الناجم عن القوى الأفقية) بجمع الجهود القاطعة في اللمعات من الأعلى حتى المنسوب المعتبر:

$$N = \sum \pi$$

مع ضرورة التحقق من شرط التوازن للجدار عند القاعدة:

$$M = M_1 + M_2 + 2Nc$$

حيث  $M$  يمثل عزم الانعطاف المعتبر للجدار عند القاعدة.

**ملاحظة:** بالتعريف، إن العطالة المكافئة  $I_e$  لجدار ما (مع فتحات) هي عطالة جدار مصمت وهي، يولد سهماً أفقياً في قمته  $f$  يساوي السهم الخاص بالجدار الحاوي على فتحات فيما لو تعرض لنفس القوى الأفقية  $T_0$ . ونكتب العلاقة التالية التي تحدد هذا السهم:

$$f = \frac{T_0 H^3}{8EI_e}$$

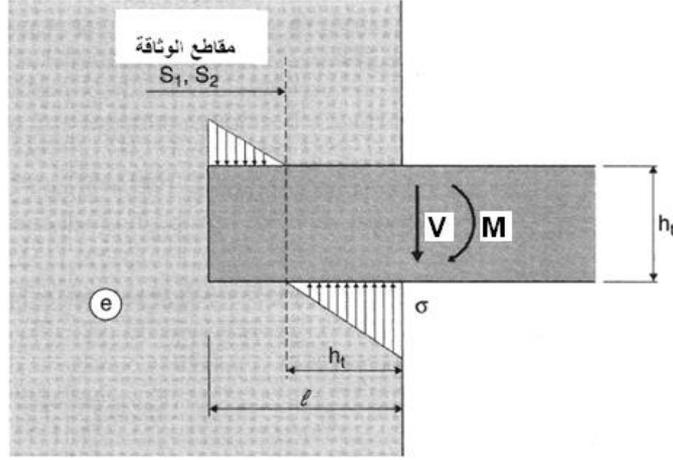
ويعبر عن العطالة المكافئة بالعلاقة التالية:

$$I_e = \frac{I}{\frac{16mc}{(I_1 + I_2)} \psi_0 + 1}$$

$$\psi_0 = \psi_{\xi=\frac{x}{H}=\frac{0}{H}=0}$$

في الواقع، إن مفهوم العطالة المكافئة مفيد بصورة خاصة عند دراسة توزيع المحصلة الأفقية العامة للقوى الأفقية المطبقة على مبنى ما، مؤلف من مجموعة من الجدران المصمتة والجدران الحاوية على فتحات والإطارات، مع الإشارة إلى أن هذه الطريقة في التوزيع لا تعطي إلا حلاً تقريبياً للمسألة، وذلك لأن تشوهية كل من الجدار المصمت والحواوي على فتحات والإطار، غير متماثلة ولا تتبع تابع تشوه واحد. فنلاحظ بأن الجدار المصمت يتشوه بشكل انعطافي، بينما نلاحظ بأن الجدار الحاوي على فتحات يتشوه تحت تأثير الجهود القاطعة (تشوه قصي)، لذلك يجب توخي الحذر عند تطبيق طريقة العطالة المكافئة في توزيع القوى الأفقية على الهيكل الحامل. ومع هذا يمكن أن تخدم كثيراً في مرحلة الدراسات الأولية للأبنية العالية أقل أو حوالي (20 إلى 30 طابقاً)، وكذلك في عملية تدقيق الحسابات المنجزة بواسطة الحاسب.

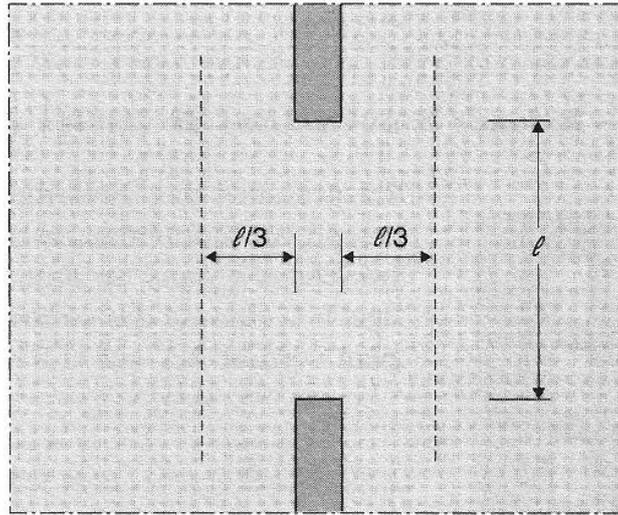
تحدد مواقع وثاقات اللمعات  $S_1, S_2$ ، بحيث تتوضع على مسافة تقريبية تساوي ارتفاع اللمعة  $h_i$  من طرف الاستناد، كما هو مبين في الشكل (3-134).



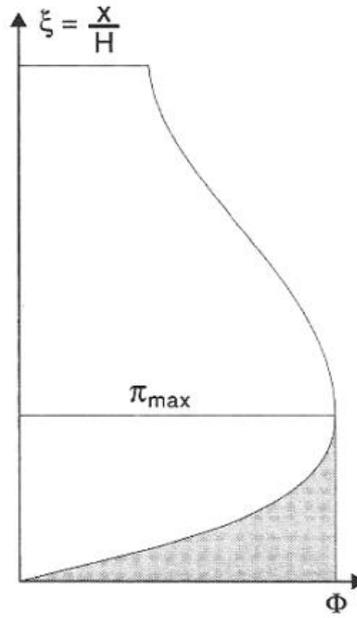
الشكل (3-134): وثاقة للمعة

وفي حال غياب اللمعات (الشكل 3-135)، يمكن اعتبار شريحة من البلاطة بعرض  $\left(e + 2\frac{l}{3}\right)$ ، حيث  $e$  سماكة الجدار، و  $l$  هي المجاز الصافي للفتحة.

هذا وعند تصميم اللمعة (جائز موثوق في عنصري الجدار) وحساب تسليحها، يجب اعتبار كافة الجهود المطبقة عليها، وبالتالي يجب إضافة القوى الداخلية الناجمة عن الحمولات الشاقولية (حصته من البلاطة)، إلى العزم والقص الناجمين عن القوى الأفقية  $(T = \pi ; M = \pi a)$ . على أن نأخذ بالحسبان تغير القص في اللمعات ابتداءً من الأعلى حتى القيمة الأعظمية  $(T = \pi_{\max})$ ، وتثبت هذه القيمة حتى الأسفل (الشكل 3-136).



الشكل (3-135): عمل البلاطة كلمعة



الشكل (3-136): مغلف الجهد القاطع للمعات

3-13-3 حالات خاصة لجدران القص:

3-13-3-1 جدران قص بفتحات كبيرة:

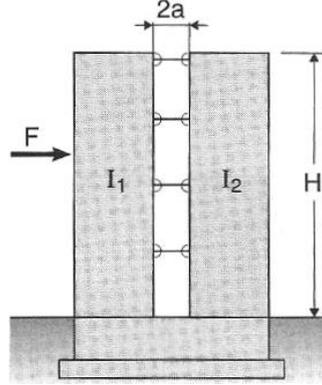
عندما تكون صلابات اللمعات صغيرة (بلاطات مثلاً):  $\alpha \leq 1$  أو العطالة  $i$  صغيرة أو  $2a$  كبيرة، فتهمل عزوم وثاقات اللمعات ويفرض في هذه الحالة أن عنصري الجدار خاضعة لتشوهات أفقية واحدة (الشكل 3-137). ويوزع الفعل

الأفقي الكلي  $F$  بين العنصرين بالتناسب مع عطالتهما، وفق النحو التالي:

$$F_1 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} F \quad ; \quad F_2 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} F$$

ويتم التحقق من استقرار كل جزء من الجدار فوق التربة، كحالة جدار مصمت يخضع لقوة أفقية  $F_1$  أو  $F_2$ ، وتحدد عزوم الوثاقة لكل عنصر كما يلي:

$$M_1 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} M \quad ; \quad M_2 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} M$$



الشكل (3-137): جدار بفتحات كبيرة

### 2-3-13-3- جدران قص بفتحات صغيرة:

يبين الشكل (3-138) جدار قص يحوي على فتحات صغيرة ( $\alpha \geq 10$ )، ويساوي الجهد القاطع في لمعة ما  $\pi$ ، مجموع إجهادات القص المؤثرة في المستوى الشاقولي  $AA'$  على كامل ارتفاع الطابق الموافق، فيكون لدينا:

$$\pi = t = \frac{Tm}{I} h$$

حيث:

$G$  : مركز ثقل المقطع (المجموعة).

$I$  : عزم عطالة الجدار بالنسبة لـ  $G$ .

$m$  : العزم الستاتيكي بالنسبة لـ  $G$  لكل من عنصري الجدار.

$T$  : الجهد القاطع الوسطي الأفقي عند مستوى اللمعة.

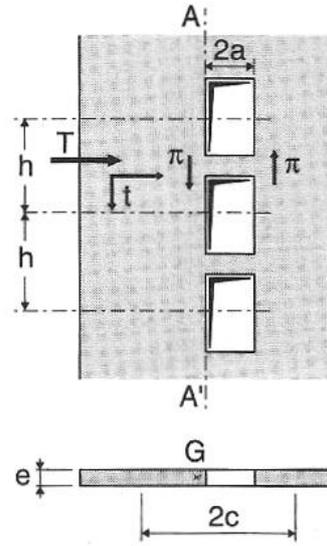
وتكون عزوم الوثاقفة لللمعة:

$$M = \pm \pi m$$

وأما عزوم الانعطاف لكل عنصر فيحسب كما يلي:

$$M_1 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} \frac{T_0 H (1 - \xi)^2}{2} \left( 1 - \frac{2cm}{I} \right)$$

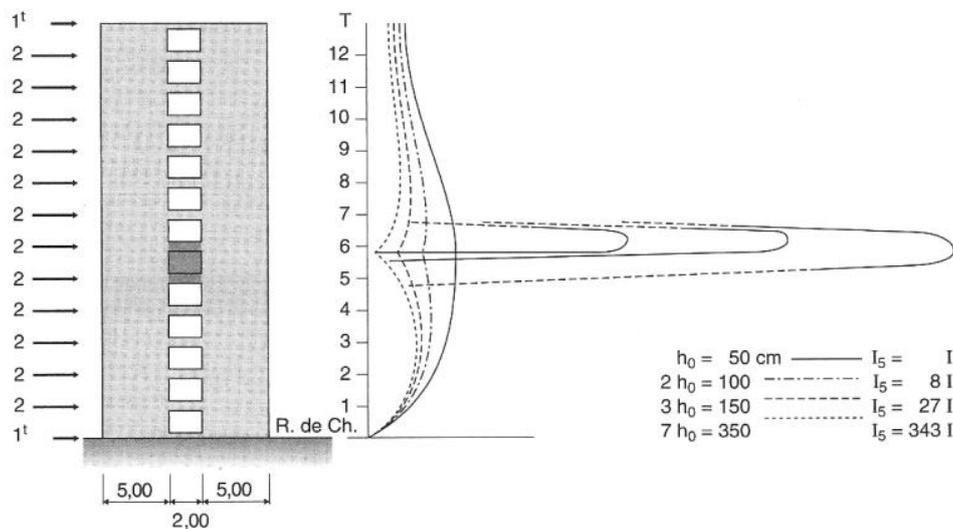
$$M_2 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} \frac{T_0 H (1 - \xi)^2}{2} \left( 1 - \frac{2cm}{I} \right)$$

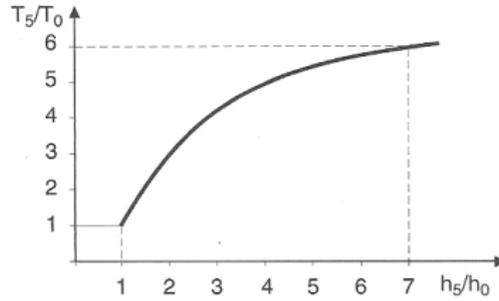


الشكل (3-138): جدار بفتحات صغيرة

### 3-3-13-3- شذوذ في صلابة لمعة ما:

من المهم جداً معرفة الحالة التي يحصل عندها تغير مفاجئ وغير طبيعي "شذوذ" لتابع الجهد القاطع في اللمعات الواقعة على صف واحد على كامل ارتفاع الجدار، وذلك مع تغير صلاباتها. يوضح الشكل (3-139) جدار قص حاوي على صف واحد من الفتحات، بارتفاع 12 طابقاً إضافة للطابق الأرضي، مقطع اللمعة المتكررة ثابت ويساوي  $(20 \times 50 \text{ cm})$ . وعندما يتغير هذا المقطع للمعة للطابق الخامس ليصبح  $(20 \times 150 \text{ cm})$ ، يزداد الجهد القاطع ليضرب بـ 4.4، ويخضع إلى النصف في اللمعات المجاورة لها. وإذا حذفنا فتحة كاملة ليصبح المقطع  $(20 \times 350 \text{ cm})$ ، فيمر مجمل القص في لمعة لطابق الخامس. وبالتالي يجب الانتباه إلى هذا الأمر عندما يحصل تغييرات من هذا النوع في مرحلة تنفيذ المشروع.





الشكل (3-139): تغير الجهد القاطع على كامل الارتفاع، مع صلابة اللمعات

### 4-3-13-3- حالة أحد عنصري الجدار عطاالته ضعيفة:

يوضح الشكل (3-140) جدار قص حاوي على فتحات، فإذا كانت عطاالته العنصر الثاني ( $I_2$ ) صغيرة مقارنة مع العنصر الأول ( $I_1$ )، ومن جهة أخرى، إذا كانت صلابة العنصر الثاني أصغر أو تساوي صلابة اللمعة، فيجب تعديل العلاقات الخاصة بتحديد العزم الستاتيكي وكذلك العطاالته، لتصبح كما يلي:

$$m = \Omega_1 y_1 = \Omega_2 y_2 \quad \text{- من أجل العزم الستاتيكي:}$$

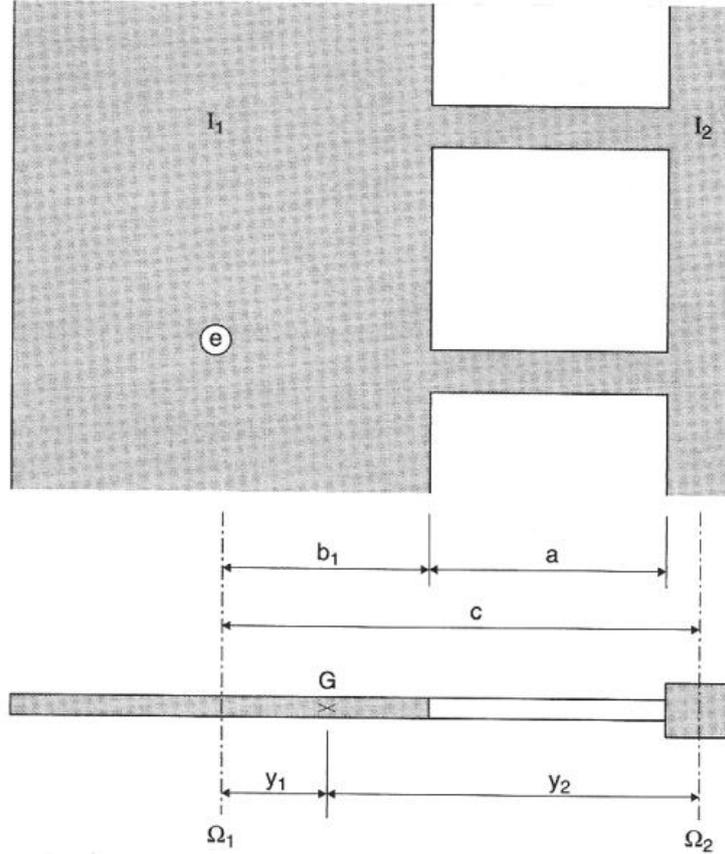
$$I = mc + I_1 \quad \text{- من أجل عزم العطاالته:}$$

ونكتب:

$$\omega^2 = \frac{3 E' i c I}{2 E a^3 I_1 m h}$$

$$\alpha = \omega H$$

$$\zeta = \frac{x}{H}$$



الشكل (3-140): جدار مع عنصر عطالته صغيرة

تعطى الجهود القاطعة في اللمعة  $\pi$  الواقعة عند المنسوب  $x$  ، بالعلاقات التالية:

- حالة الحمولة المنتظمة:  $\pi_u = \frac{T_{0u}mh}{I} \Phi(\alpha, \xi)$

- حالة توزيع مثلثي للحمولة:  $\pi_t = \frac{T_{0t}mh}{I} \chi(\alpha, \xi)$

تؤخذ قيم العوامل  $\Phi$  و  $\chi$  من الجداول (3-4 و 3-5).

ويعطى العزم  $M_1$  في العنصر الأول 1 ، بالعلاقات التالية:

- حالة الحمولة المنتظمة:  $M_1 = T_{0u}H \left[ \frac{(1-\xi)^2}{2} - \frac{cm}{I} \psi(\alpha, \xi) \right]$

- حالة توزيع مثلثي للحمولة:  $M_1 = T_{0t}H \left[ \frac{(1-\xi)^2}{2} - \frac{cm}{I} \Lambda(\alpha, \xi) \right]$

قيم العوامل  $\psi$  و  $\Lambda$  ، تؤخذ أيضاً من الجداول (3-4 و 3-5).

وتعطى العطالة المكافئة بالعلاقة التالية:

$$I_e = \frac{I}{\frac{8mc}{I_1} \frac{\psi_0}{\alpha^2} + 1}$$

$$\psi_0 = \psi_{\xi=\frac{x}{H}=\frac{0}{H}=0}$$

### 3-13-3-5- جدران مع صفيين من الفتحات المتناظرة:

لدراسة هذه الحالة (الشكل 3-141)، ننتقل من علاقات الحالة العامة المذكورة سابقاً، مع ملاحظة ما يلي:

- من أجل العزم الستاتيكي:  $m = 2c\Omega_1$

- من أجل عزم العطالة:  $I = 2I_1 + I_2 + 4mc$

ونكتب:

$$\omega^2 = \frac{3 E' i}{2 E a^3} \frac{2c}{2I_1 + I_2} \frac{I}{mh}$$

$$\alpha = \omega H$$

$$\zeta = \frac{x}{H}$$

تعطى الجهود القاطعة في اللمعة  $\pi$  الواقعة عند المنسوب  $x$ ، بالعلاقات التالية:

• حالة الحمولة المنتظمة:  $\pi_u = \frac{T_{0u}mh}{I} \Phi(\alpha, \xi)$

• حالة توزيع مثلي للحمولة:  $\pi_t = \frac{T_{0t}mh}{I} \chi(\alpha, \xi)$

تؤخذ قيم العوامل  $\Phi$  و  $\chi$  من الجداول (3-4 و 3-5).

وتعطى العزوم  $M_1$  و  $M_2$  في عناصر الجدار 1 و 2، بالعلاقات التالية:

• حالة الحمولة المنتظمة:

$$M_1 = \frac{2I_1}{2I_1 + I_2} T_{0u} H \left[ \frac{(1-\xi)^2}{2} - \frac{2cm}{I} \psi(\alpha, \xi) \right]$$

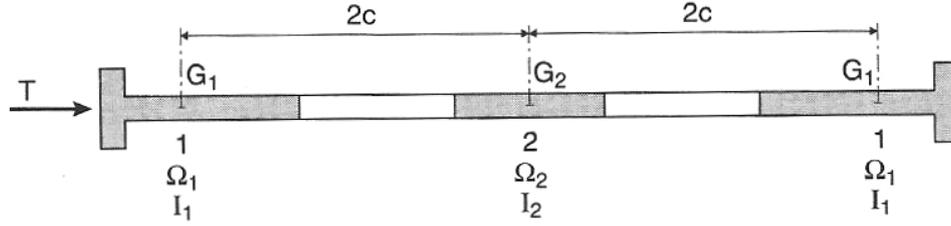
$$M_2 = \frac{I_2}{2I_1 + I_2} T_{0u} H \left[ \frac{(1-\xi)^2}{2} - \frac{2cm}{I} \psi(\alpha, \xi) \right]$$

• حالة توزيع مثلي للحمولة:

$$M_1 = \frac{2I_1}{2I_1 + I_2} T_{0t} H \left[ \frac{(1-\xi)^2}{2} - \frac{2cm}{I} \Lambda(\alpha, \xi) \right]$$

$$M_2 = \frac{I_2}{2I_1 + I_2} T_{0t} H \left[ \frac{(1-\xi)^2}{2} - \frac{2cm}{I} \Lambda(\alpha, \xi) \right]$$

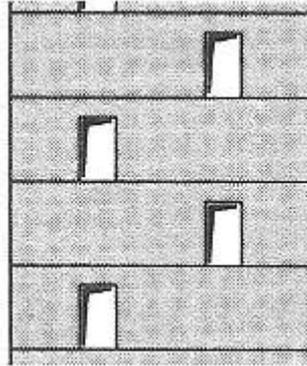
قيم العوامل  $\psi$  و  $\Lambda$ ، تؤخذ أيضاً من الجداول (3-4 و 3-5).



الشكل (3-141): جدار بفتحتين متناظرتين

### 6-3-13-3- جدران مع فتحات متناوبة من طابق لآخر (مزاحة):

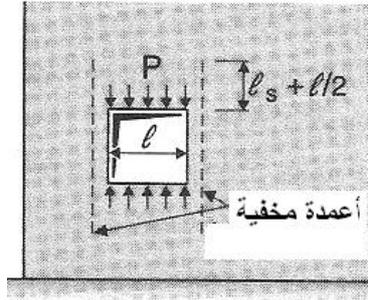
يهدف تأمين صلابة أكبر للجدران الحاوية على فتحات، اقترح الدارسون فكرة تنفيذ الفتحات بشكل متناوب (إزاحة الفتحات) من طابق لآخر، ويتعلق تنفيذ هذا الأمر عندما يسمح بذلك التصميم المعماري (الشكل 3-142). وفي مثل هذه الجدران، توزع الجهود دون اعتبار الفتحات بحيث يعامل الجدار كأنه مصمت. بالمقابل، ومن أجل حسابات المقاومة يمكننا تطبيق طريقة "الجدوع-الشداد" (الجائز الشبكي)، المشروحة سابقاً.



الشكل (3-142): جدار بفتحات متناوبة

### 7-3-13-3- جدران بفتحات منعزلة:

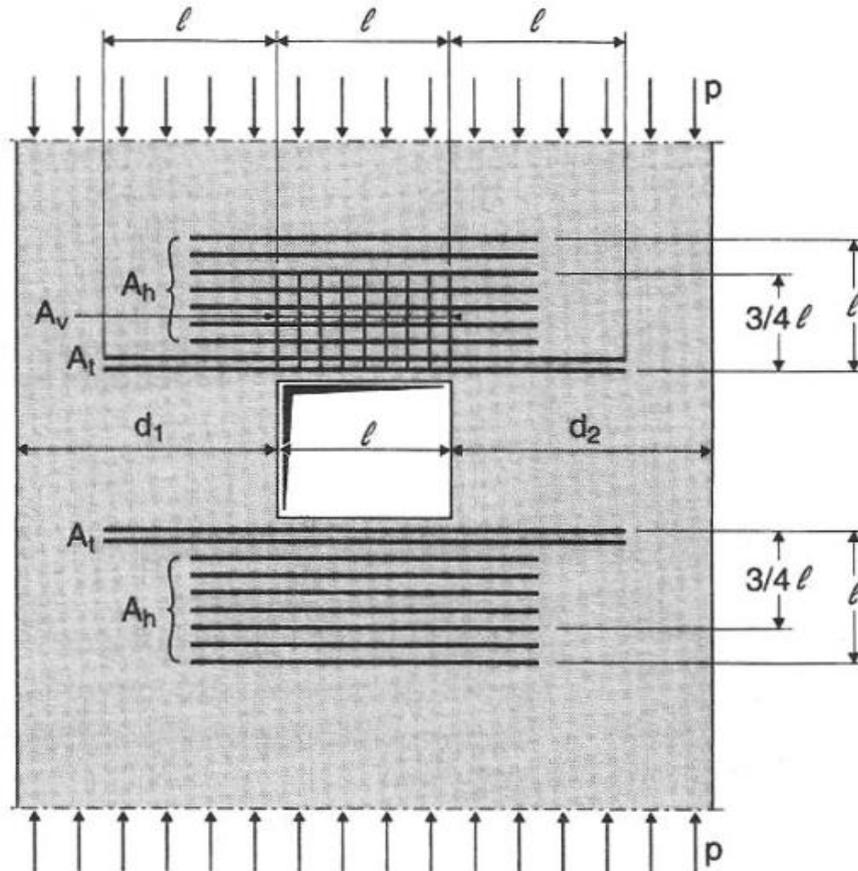
تزداد الفتحات المنعزلة بكافة الحواف الأربعة بجملة من عناصر التقوية (أعمدة مخفية ولمعات علوية أو سفلية)، كما هو مبين في الشكل (3-143)، وتدرس اللمعات بشكل تقليدي تحت تأثير حمولة متوسطة  $P$  ناجمة عن الحمولات الشاقولية، وعزم انعطاف. وفيما يخص التقوية الشاقولية (الأعمدة المخفية في سماكة الجدار)، يحدد تسليحها بحيث لا يقل عن نصف التسليح المقطوع بسبب الفتحة، ويمتد هذا التسليح خارج حدود الفتحة بمسافة لا تقل عن  $\frac{l}{2}$  (حيث  $l$  يمثل عرض الفتحة)، مضافاً لها طول الارساء.



الشكل (3-143): جدار بفتحة منعزلة

ويمكن حساب أجزاء الجدار الواقعة فوق وتحت الفتحة بطريقتين (الشكل 3-144):

- الحساب وفق جائز - جدار، عندما يكون:  $\frac{l}{d_1} \geq 1$  أو  $\frac{l}{d_2} \geq 1$
- الحساب وفق قنطرة تفرغ، عندما يكون:  $\left\{ \frac{l}{d_1} \text{ ou } \frac{l}{d_2} < 1 \right.$   
 $l \leq 3m$



الشكل (3-144): مواقع التسليح أعلى وأسفل الفتحة

يحدد مقطع التسليح اللازم لضمان العمل كقنطرة تفرغ وفقاً للشروط التالية:

- من أجل الشدَاد  $A_r$  :

$$A_r = \frac{0.4V_{0u}}{0.9f_y}$$

حيث:

$$V_{0u} = \frac{Pl}{2} : \text{الجهد القاطع الحدي.}$$

$P$  : الحمولة الحسابية الحديدية الموزعة عند أعلى الفتحة.

- من أجل التسليح الشاقولي  $A_v$  :

يجب على هذا التسليح تحقيق ما يلي:

- ضمان تعليق (حمل) الحمولات المطبقة بمنطقة لا يقل ارتفاعها عن  $\frac{3l}{4}$ .
- إحاطة تسليح الشدَاد.
- لا يجمع مقطع هذا التسليح مع تلك الموجود في الجزء العادي للجدار، ويحدد وفقاً لفرضية العمل وفق جازر جداري.

- من أجل تسليح التوزيع الأفقي  $A_h$  :

$$\bullet \text{ عندما يكون } \tau_{0u} = \frac{P}{2e} \leq \frac{f'_c}{30} \text{ ، لا نحتاج لهذا التسليح } A_h = 0$$

$$\bullet \text{ عندما يكون } \tau_{0u} > \frac{f'_c}{30} \text{ ، نعتمد } A_h = 0.20 \frac{V_{0u}}{0.9f_y} \left( 30 \frac{\tau_{0u}}{f'_c} - 1 \right)$$

وهذا التسليح يجب أن يحقق ما يلي:

- يوزع على ارتفاع يساوي  $l$  أسفل وأعلى الفتحة.
- يضاف مقطعها إلى تلك المحدد وفقاً لشروط المقاومة الأخرى.
- يتم إرساؤه من المستوى الشاقولي المحيط بالفتحة، بطول لا يقل عن  $\frac{l}{3}$ .

8-3-13-3- جدران بارتفاعات صغيرة:

عندما يكون ارتفاع الجدار أقل من طوله  $h \leq l$  ، وعندما يمكن اعتباره موثوقاً، فإن التشوهات بالانحناء يمكن إهمالها مقارنة بتشوهات القص (الشكل 3-145).

باعتبار أن:

$S$ : مقطع الجدار.

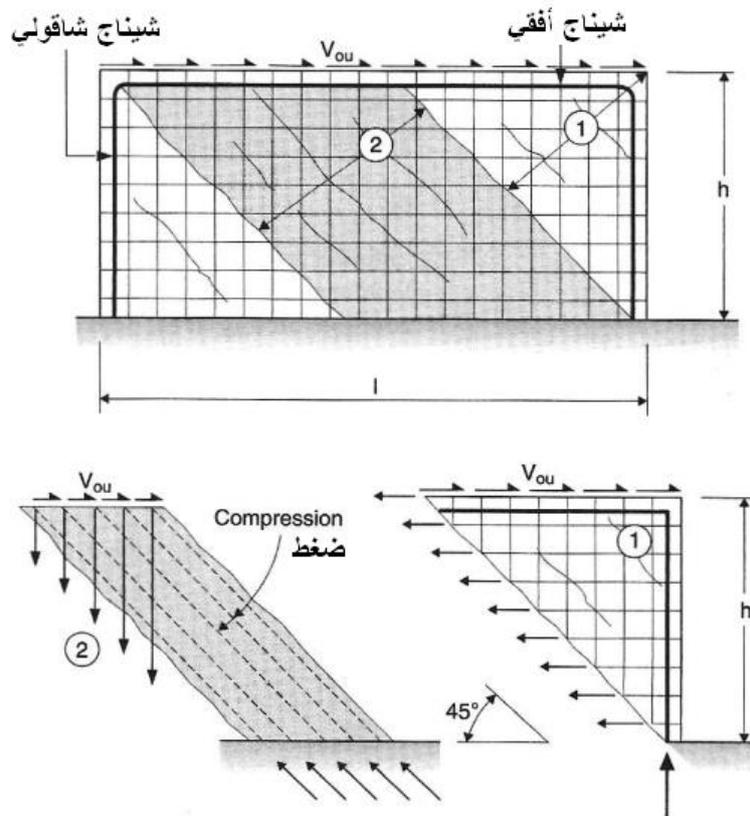
$G$ : عامل المرونة العرضاني.

$V_{ou}$ : الجهد القاطع الحدي عند أعلى الجدار.

$h$ : ارتفاع الجدار.

تعطى الانتقالات  $\Delta$  في قمة الجدار بالعلاقة التالية:

$$\Delta = \frac{V_{ou} h}{GS}$$



الشكل (3-145): نقل الجهود الأفقية في جدار منخفض الارتفاع

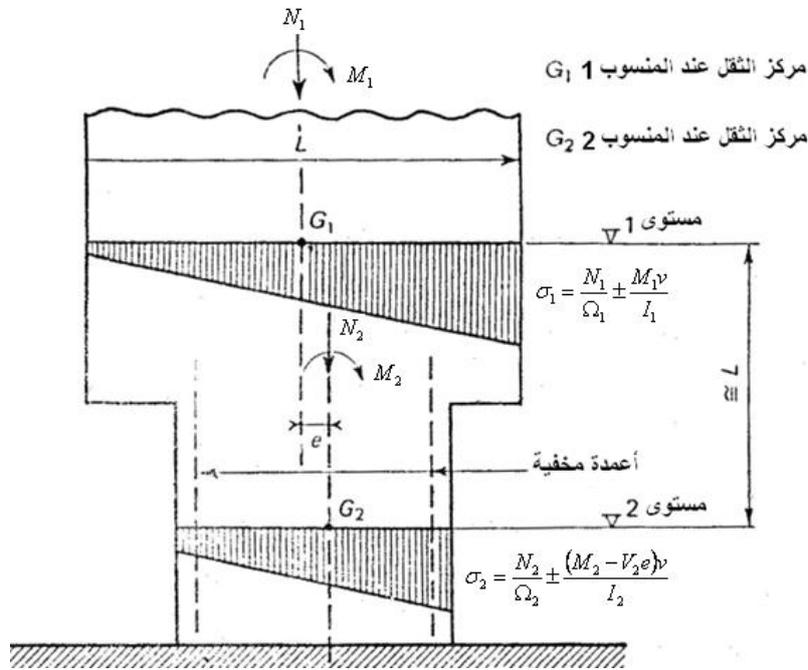
عندما يتمكن كل من الجذع (2) والشيناج المحيطي نقل الجهد القاطع الحدي، وذلك وفقاً للشروط الخاصة بجدار غير مسلح، فلا حاجة للتزويد بتسليح خاص. بالمقابل، عندما تكون اجهادات الضغط في الذراع المائل كبيرة بحيث نحتاج لتسليح الجدار، فإنه يجب أيضاً تنفيذ تسليح تعليق خاص يحمل الجزء (1) من الجدار، المبين في الشكل (4-145).

9-3-13-3- حالة جدار مخصص (مبنى نحيف من الأسفل وكبير من الأعلى):

يحصل المرور من الحالة الإجهادية في المستوى العلوي (1) إلى الحالة في المستوى السفلي (2) ، بشكل تدريجي على ارتفاع يساوي على الأقل طول الجدار  $L$  ، كما هو مبين في الشكل (3-146). وفي حالة الجدران غير المتناظرة، فإنه يجب الأخذ بالحسبان للمركزية الحمولة الشاقولية، وذلك بإضافة أو طرح المزدوجة  $V \times e$  من قيمة العزم  $M$ . باعتبار أن :

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{\Omega_1} \pm \frac{M_1 v}{I_1}$$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{\Omega_2} \pm \frac{(M_2 - V_2 e) v}{I_2}$$



الشكل (3-146): جدار قص مخصر

يتم موازنة الجهود المركزة عند مستوى الخصر بواسطة أعمدة مخفية في الجدار المخصر، بحيث تحسب هذه العناصر لتقاوم كافة الحمولات الشاقولية القادمة من البروز، وغالباً ما يتم إيصال تسليح هذه الأعمدة إلى الأساسات، بالرغم من أن التشويش الناجم عن عملية التخصير تنخفض وتتهاون عند المستوى (2).

### 10-3-13-3- حالة عدم انتظام في الطابق الأرضي:

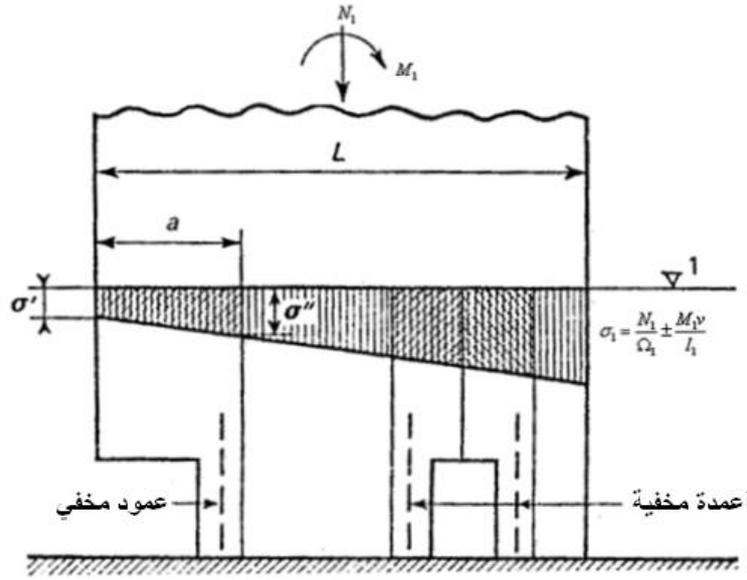
يتطلب الحل المعماري، في بعض الأحيان، فرض فراغات أكبر في الطوابق الأرضية (الشكل 3-147). فإذا كان ارتفاع الطابق الأرضي يسمح بنقل الحالة الإجهادية في المستوى (1) إلى حالة إجهادية خطية في المستوى (2)، فالمشكلة تكون كما هي موضحة في الفقرة السابقة، أما إذا كان الارتفاع صغيراً بالنسبة لطول الجدار فيجب تنفيذ أعمدة مخفية في مناطق تركيز الجهود:

- حمولة العمود في منطقة التخصير:

$$\frac{(\sigma' + \sigma'')}{2} a e$$

حيث  $e$  تمثل سماكة الجدار.

- ويتحمل العمودان عند جوانب الفتحة، قوى تحسب من المساحة المخصص لكل منها من مخطط الاجهادات (الشكل 3-147).



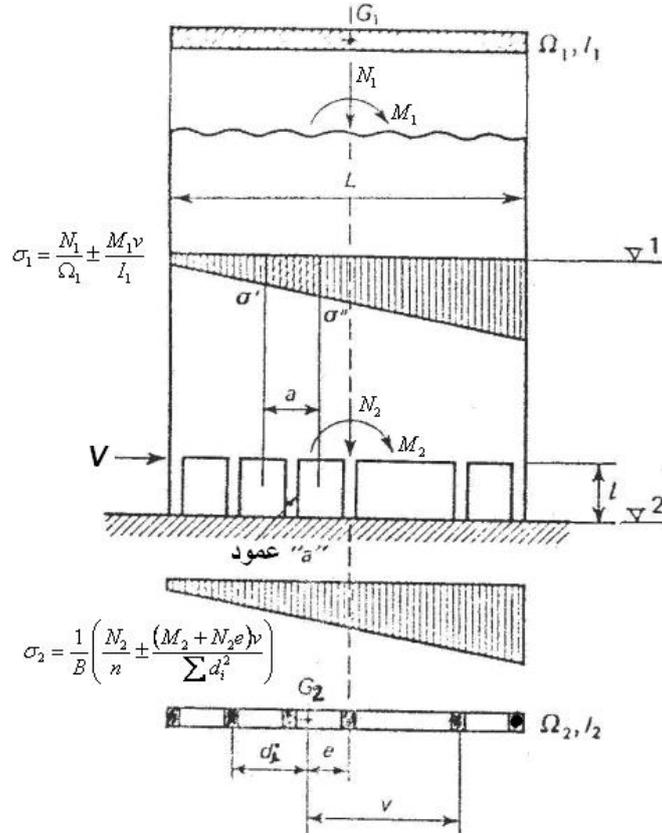
الشكل (3-147): عدم انتظام في الطابق الأرضي

### 11-3-13-3- حالة أعمدة في الطابق الأرضي:

عندما تكون صلابة الجدران في الطوابق العليا كبيرة مقارنة مع صلابة أعمدة الطابق الأرضي (الشكل 3-148)، فإن المسألة تكون مشابهة لحالة توزيع الجهود القادمة من أساس سطحي صلب على منظومة أوتاد مرنة. نعمل على توزيع الجهد الناظمي  $N$ ، وعزم الانعطاف  $M$ ، كما هو في حالة عدم الانتظام في الطابق الأرضي.

- في المستوي (1):

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{\Omega_1} \pm \frac{M_1 v}{I_1}$$



الشكل (3-148): جدار يستند على أعمدة في الطابق الأرضي

- في المستوي (2): إذا كانت مقاطع الأعمدة متساوية، تبسط العلاقة وتكتب علاقة الاجهادات الناظرية كما يلي (الشكل 3-148):

$$\sigma_2 = \frac{1}{B} \left( \frac{N_2}{n} \pm \frac{(M_2 + N_2 e) v}{\sum d_i^2} \right)$$

حيث:

$n$ : عدد الأعمدة.

$d_i$ : المسافة بين العمود ( $i$ ) ومركز ثقل المجموعة  $G_2$ .

$B$ : مقطع العمود.

إن القوة الأفقية  $V$  تنتقل عن طريق بلاطة سقف الطابق الأرضي إلى بقية الجدران في المبنى.  
12-3-13-3- حالة جدار قصى على شكل ظفر (يحيوي بروز):

يبين الشكل (3-149) جداراً مع بروز محقق للنسبة الطبيعية التالية:  $\frac{a}{h_t} < 0.5$

باعتبار أن:  $a$  هو طول البروز، و  $h_t$  ارتفاعه.

تبين الدراسات أن القسم العلوي من الجدار ابتداءً من الارتفاع  $2a$ ، لا يشارك عملياً بنقل الحملات، وإن المنطقة التي تشارك فعلياً هي الواقعة بين أسفل البروز وحتى هذا الارتفاع، إذ تخضع لإجهادات شد وضغط مهمة جداً. ويحدد التسليح الفعال الذي سيتم توزيعه في المنطقة الواقعة بين  $0.8a$  و  $2a$ ، على النحو التالي:

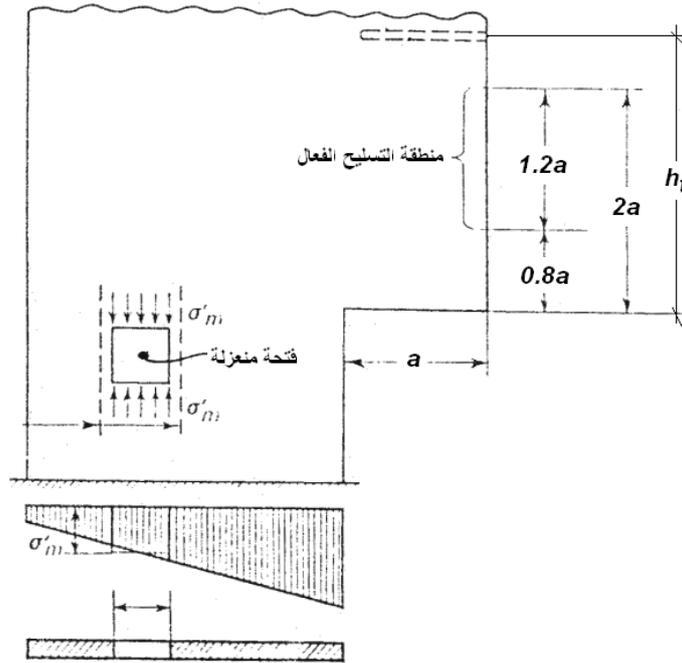
$$A_s = \frac{M_u}{0.9(z)f_y} = \frac{M_u}{0.9 \times 1.4a \times f_y}$$

هذا ويجب أن ينفذ تسليح أفقي وشاقولي لكل من وجبي الجدار موزع على ارتفاع  $2.5a$  اعتباراً من الطرف السفلي للبروز، بحيث لا يقل عن النسب التالية:

0.15% من مقطع البيتون للتسليح الأفقي، و

0.12% من مقطع البيتون للتسليح الشاقولي.

ويجب التحقق من إجهادات القص باعتبار أن الارتفاع الفعال لا يزيد عن  $d = 2a$ .



الشكل (3-149): جدار قص مع بروز

**ملاحظة هامة:** بشكل عام لا تستطيع المنطقة الفعالة  $2a$  في الأبنية العالية موازنة الحملات الكبيرة المطبقة على البروز، حتى ولو أخذنا بالحسبان مساهمة البلاطات (ظاهرة التكييف)، فلذلك يتم العمل على تنفيذ قواطع أفقية في الجدار (فواصل أفقية) تعمل على تقسيم البروز لعدة أطراف مستقلة، مع تجنب حدوث تشققات طارئة، وذلك فوق البلاطات مباشرة، على أن تملأ بمادة الستروبول أو بمادة أخرى مناسبة.

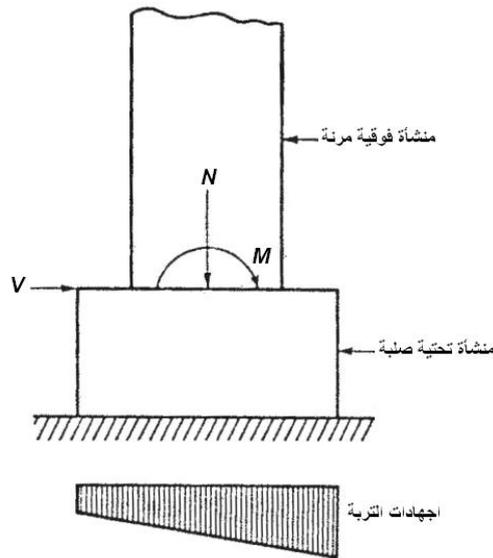
فبعد تنفيذ القواطع السابقة يكون لدينا الحالات التالية:

- إذا كان  $\frac{a}{h_f} < 0.5$ ، حيث  $h_f$  يمثل ارتفاع الظفر المستقل، فإن الحسابات السابقة تبقى صالحة.
  - إذا كان  $\frac{a}{h_f} \geq 0.5$ ، فإن التسليح الأفقي الرئيس يحسب مع اعتبار زراع رافعة يساوي  $z = 0.70h_f$ . توزع القضبان في الطرف العلوي للبروز المستقل بعمق يساوي  $0.20 h_f$ .
- ويجب أن ينفذ تسليح أفقي وشاقولي (انشائي) لكل من وجهي الجدار كما مر معنا سابقاً.
- وأيضاً، يجب التحقق من إجهادات القص باعتبار أن الارتفاع الفعال لا يزيد عن  $d = 1.5a$ .
- وعند توزيع الجهود الأفقية، فإن عطالة الجدار تأخذ القيمة بين عطالة الجدار مع البروز وبدونه، وإذا كانت القطوع متقاربة فنأخذ عطالة الجدار دون بروز.

### 13-3-13-3 حالة المنشآت التحتية الصلبة:

عندما تفرض الحلول المعمارية إضافة جدران قص في المنشأة التحتية (الأقبية المستخدمة كأرشيقات) بأبعاد مهمة جداً، حيث تحول هذه الجدران المنشأة التحتية إلى صندوق حقيقية عالي الصلابة وغير قابل للتشوه (الشكل 3-150).

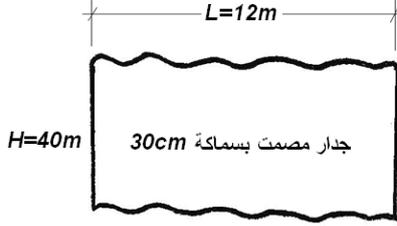
وفي هذه الحالة، يمكن اعتبار أن الجملة المقاومة للقوى الأفقية، موثوقة جيداً في المنشأة التحتية، ويتم حساب هذه الأخيرة على أساس تحقيق التوازن تحت تأثير الجهود  $M$  و  $N$ ، وكذلك  $V$  الآتية من المنشأة الفوقية من جهة، وإجهادات التربة الموزعة خطياً من جهة ثانية.



الشكل (3-150): توازن المنشأة التحتية الصلبة مع أفعال المنشأة العلوية المرنة وإجهادات التربة

### 4-13-3-4 تطبيقات:

#### أولاً - تطبيقات حول العطالة المكافئة



1- لدينا جدار قص مصمت، ارتفاعه:  $H = 40m$

سماكته:  $e = 30cm$ ، وطوله:  $L = 12m$

عامل مرونة البتوتون:  $E = 2 \times 10^7 kN/m^2$

يخضع إلى قوة أفقية تساوي:  $V = 3000kN$

- عطالة الجدار (كونه مصمت):

$$I = I_e = \frac{eL^3}{12} = \frac{0.3 \times 12^3}{12} = 43.2m^4$$

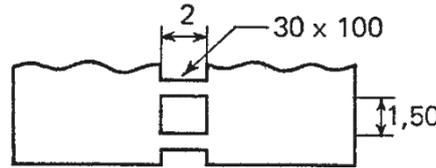
- بافتراض أن قيمة السهم الأفقي عند القمة تحدد من العلاقة التالية، يكون لدينا:

$$f = \frac{VH^3}{8EI_e} = \frac{3000 \times 40^3}{8 \times 2 \times 10^7 \times 43.2} = 0.028m$$

2- نأخذ نفس الجدار السابق، مع وجود صف واحد من الفتحات، تتوضع في مركز الجدار، وبأبعاد  $2 \times 1.5m$ ،

واللمعة لها الأبعاد  $30 \times 100cm$ ، وإن  $E = E'$ .

نعمل على حساب العوامل والبارامترات المفيدة في تحديد العطالة المكافئة.



نحسب  $2c$ :

$$2c = \left[ \left( \frac{12-2}{2} \right) / 2 \right] \times 2 + 2 = 7m \Rightarrow c = 3.5m$$

ويكون ارتفاع الطابق:  $h = 1.5 + 0.5 + 0.5 = 2.5m$

$$\Omega_1 = \Omega_2 = 0.3 \times 5 = 1.5m^2$$

$$I_1 = I_2 = \frac{0.3 \times 5^3}{12} = 3.125m^4 ; \quad i = \frac{0.3 \times 1^3}{12} = 0.025m^4$$

وللتبسيط سوف نعتبر أن:  $2a = 2m \Rightarrow a = 1m$

$$m = \frac{2c}{\frac{1}{\Omega_1} + \frac{1}{\Omega_2}} = \frac{7}{\frac{1}{1.5} + \frac{1}{1.5}} = 5.25m^3$$

$$\Rightarrow I = I_1 + I_2 + 2mc = 3.125 + 3.125 + 7 \times 5.25 = 43m^4$$

نحسب البارامتر  $\omega$  ، ومن ثم  $\alpha$  :

$$\omega^2 = \frac{3 E' i}{2 E a^3} \frac{2c}{I_1 + I_2} \frac{I}{mh} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0.025}{1^3} \cdot \frac{7}{2 \times 3.125} \cdot \frac{43}{5.25 \times 2.5} = 0.1376$$

$$\Rightarrow \omega = 0.3709$$

$$\therefore \alpha = \omega H = 0.3709 \times 40 = 14.84$$

باعتبار أن القوة الأفقية  $V = 3000kN$  ، هي محصلة الحمولة موزعة بانتظام، يمكننا أن نحدد قيمة  $\psi$  بدلالة  $(\xi \& \alpha)$  من الجداول أو الأبيات.

$$\begin{cases} \xi = \frac{x}{H} = \frac{0}{H} = 0 \\ \alpha = 14.84 \end{cases} \Rightarrow \psi = \psi_0 = 0.44$$

وبالتالي نحسب العطالة المكافئة للجدار الوهي المصمت من العلاقة التالية:

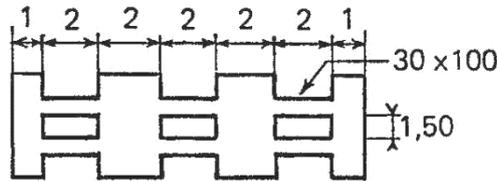
$$I_e = \frac{I}{\frac{16mc}{(I_1 + I_2)} \frac{\psi_0}{\alpha^2} + 1} = \frac{43}{\frac{16 \times 5.25 \times 3.5}{2 \times 3.125} \cdot \frac{0.44}{14.84^2} + 1} = 39.30m^4$$

نحسب قيمة السهم الأفقي عند القمة لهذا الجدار الجاوي على فتحات:

$$f = \frac{VH^3}{8EI_e} = \frac{3000 \times 40^3}{8 \times 2 \times 10^7 \times 39.30} = 0.031m$$

نلاحظ جيداً تأثير الفتحات على قيمة السهم، بالتالي تخفيض قدرة تحمله.

3- نأخذ نفس الجدار السابق، مع وجود ثلاثة صفوف من الفتحات، أبعادها مبينة في الشكل التالي:



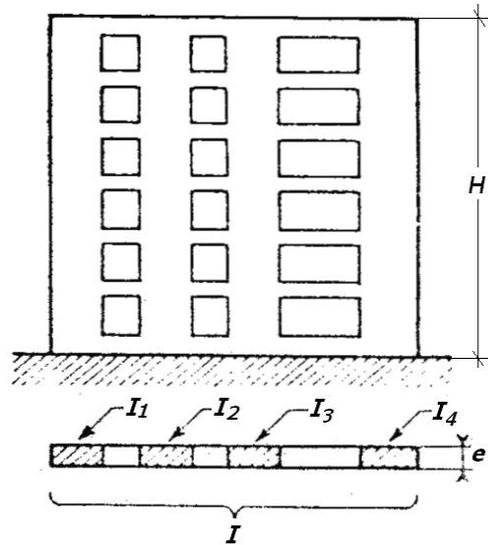
يمكن البرهان بأن قيمة عزم العطالة المكافئة لمثل هذه الجدران سواء كانت صفوف الفتحات متناظرة أم غير متناظرة (الشكل المرفق)، تعطى بالعلاقة التالية:

$$I_e = \frac{I}{\frac{8I}{(I_1 + I_2 + \dots)} \frac{\psi_0}{\alpha^2} + 1}$$

حيث:

عزوم عطالات العناصر 1 و 2 و 3 ... :  $I_{1,2,3...}$

$I$ : عزوم عطالة الجدار كاملاً أخذين بالحسبان وجود الفتحات.



هذا ويحدد البارامتر  $\omega$  من العلاقة التالية:

$$\omega^2 = \frac{6E'}{Eh \sum I_i} \sum \left( \frac{i_i c_i^2}{a_i^3} \right)$$

لدينا:

$$2a_1 = 2a_2 = 2a_3 = 2m$$

$$2c_1 = 3.5m ; 2c_3 = 3.5m ; 2c_2 = 4m$$

$$I_1 = I_4 = 0.3 \frac{1^3}{12} = 0.025 m^4$$

$$I_2 = I_3 = 0.3 \frac{2^3}{12} = 0.20 m^4$$

$$i_1 = i_2 = i_3 = i = 0.3 \frac{1^3}{12} = 0.025 m^4$$

نحسب  $I$ :

$$I = 0.3 \frac{12^3}{12} - \left[ 2 \times \left( \frac{0.3 \times 2^3}{12} + 0.3 \times 2 \times 4^2 \right) + \frac{0.3 \times 2^2}{12} \right] = 23.40 m^4$$

ومن ثم  $\omega$  و  $\alpha$  و  $\psi_0$ :

$$\omega^2 = \frac{6 \times 0.025}{2.5(2 \times 0.025 + 2 \times 0.20)} \times \left( 2 \times \frac{1.75^2}{1^3} + \frac{2^2}{1^3} \right) = 1.35$$

$$\Rightarrow \omega = 1.162$$

$$\therefore \alpha = 1.162 \times 40 = 46.48$$

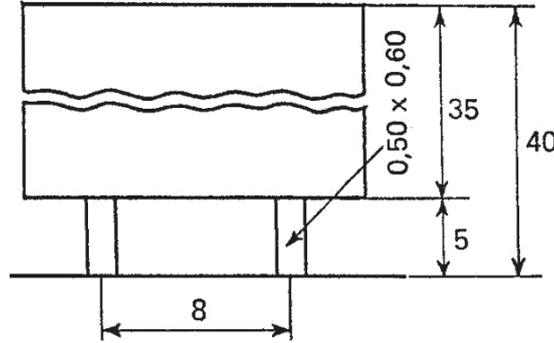
$$\begin{cases} \xi = \frac{x}{H} = \frac{0}{H} = 0 \\ \alpha = 46.48 \end{cases} \Rightarrow \psi = \psi_0 \approx 0.50$$

بالنتيجة تكون العطالة المكافئة للجدار الوهمي المصمت:

$$I_e = \frac{23.4}{\frac{8 \times 23.4}{2 \times (0.025 + 0.2)} \times \frac{0.5}{46.48^2} + 1} = 21.34 m^4$$

4- نأخذ نفس الجدار السابق، ولكنه محمول على عمودين بطول  $H' = 5m$ ، وبتباعد يساوي  $L = 8m$ ، مقطعهما

$B = 50 \times 60cm$ ، وذلك كما هو مبين في الشكل التالي:



نصادف هذه الحالة في الأبنية حيث لا تستمر جدران القص في الطوابق الأرضية، ويتم حملها على أعمدة عطالتها صغيرة مقارنة بعطالة الجدران، وتعمل الأعمدة على موازنة الجهود الناظمية الناجمة عن القوى الأفقية، ولكن هي غير قادرة على مقاومة الجهود القاطعة بسبب صغر عطالتها، وفي هذه الحالة يتم نقلها إلى نظام تقوية بالاتجاه الآخر (جدران أخرى).

وقبل أن نحدد العلاقة التي تعطي قيمة العطالة المكافئة لجدار وهمي مصمت (حيث يتم إهمال تأثير الجهود الناجمة عن الحمولات الشاقولية الدائمة والإضافية)، نشير إلى أنه في حال احتواء جدار القص المحمول على فتحات فإن عزم العطالة  $I$  للجدار يبدل بقيمة عزم العطالة المكافئ (جدار مع فتحات)، كما مر سابقاً وبدون الأخذ بالحسيان لوجود الأعمدة.

يبين الشكل التالي الجدار المدروس، ويكون سهمه الكلي الأفقي  $(f)$ ، مكون من مجموع السهم الناجم عن الدوران  $\varphi$  بفعل القوى الأفقية  $(f_1)$ ، والسهم الناجم عن تشوهه  $(f_2)$ .  
ينجم عن القوى الأفقية (رياح أو زلازل) المطبقة على الجدار عزم انعطاف  $(M)$  (انقلاب)، تسبب جهوداً ناظرية في الأعمدة  $N$  (شد وضغط)، تعادل:

$$N = \frac{M}{L}$$

باعتبار أن  $L$  التباعد بين الأعمدة.

يولد الجهد الناظمي  $N$  تقصيراً في العمود المضغوط وتطاول في العمود المشدود بمقدار  $\Delta L$ :

$$\Delta L = \frac{NH'}{BE}$$

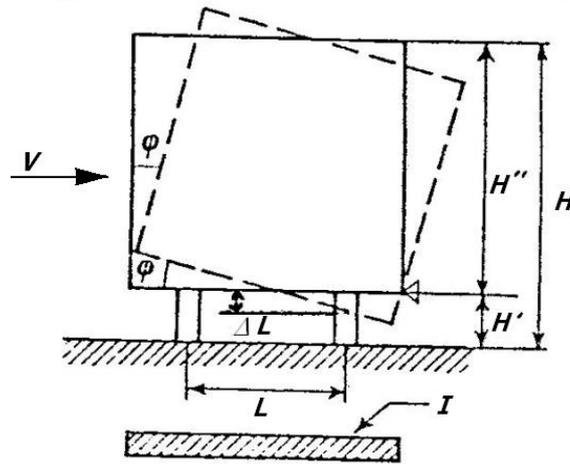
حيث  $E$  يمثل عامل المرونة الطولاني للبيتون.

وبالتالي نستطيع حساب الدوران الناجم:

$$\varphi \approx \text{tg} \varphi = \frac{\Delta L}{L/2} = \frac{2\Delta L}{L}$$

وباعتبار  $H''$  ارتفاع الجدار فوق الطابق الأرضي، فإنه بالإمكان حساب  $(f_1)$ :

$$f_1 = H''\varphi$$



والسهم الثاني  $(f_2)$ ، فيتم حسابه وفق العلاقة التالية:

$$f_2 = \frac{VH''^3}{8EI}$$

حيث  $I$  يمثل عزم عطالة الجدار فوق الطابق الأرضي.

عندما تكون الحمولة الأفقية موزعة بانتظام (رياح)، نكتب ما يلي:

$$M = V \frac{H}{2}$$

$$N = \frac{M}{L} = \frac{VH}{2L} \Rightarrow \Delta L = \frac{VHH'}{2LBE}$$

$$\varphi = \frac{2\Delta L}{L} = V \frac{HH'}{L^2 BE}$$

ومن أجل تحديد العطالة المكافئة للجدار الوهبي، نعمل على تحقيق العلاقة التالية:

$$f = f_1 + f_2 = \frac{VH^3}{8EI_e}$$

$$H''\varphi + \frac{VH^3}{8EI} = \frac{VH^3}{8EI_e}$$

وبالتبديل، نحصل على العلاقة التي تعطي قيمة العطالة للجدار الوهبي:

$$I_e = \frac{BIL^2H^3}{8IHH'(H-H') + BL^2(H-H')^3}$$

لدينا:

$$B = 0.5 \times 0.6 = 0.30 m^2$$

$$I = 0.3 \times \frac{12^3}{12} = 43.20 m^4$$

فيكون:

$$I_e = \frac{0.30 \times 43.20 \times 8^2 \times 40^3}{8 \times 43.20 \times 40 \times 5 \times 35 + 0.30 \times 8^2 \times 35^3} = 16.37 m^4$$

**ثانياً - تطبيق حول حالة جدار يستند على أعمدة**

لدينا مبنى مسقطه الأفقي  $12 \times 35 m$ ، يحوي ثلاثة جدران قص (جدارين طرفيين 1&3 وجدار وسطي 2)، مكونة جملته الإنشائية المقاومة للقوى الأفقية بالاتجاه القصير (رياح). يتحول الجدار الوسطي (2) إلى عمودين في الطابق الأرضي (انظر الشكل المرفق).

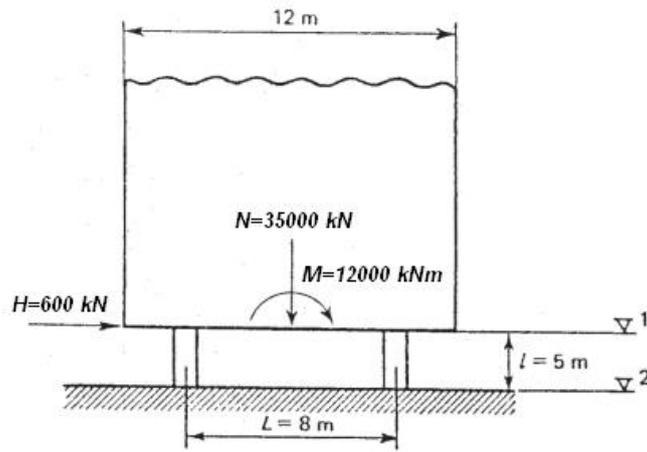
إذا علمت أن الجدار الوسطي يخضع للجهود التالية:

$V = 600 kN$  محصلة القوى الأفقية المطبقة عند المستوى 1 (بلاطة سقف الطابق الأرضي).

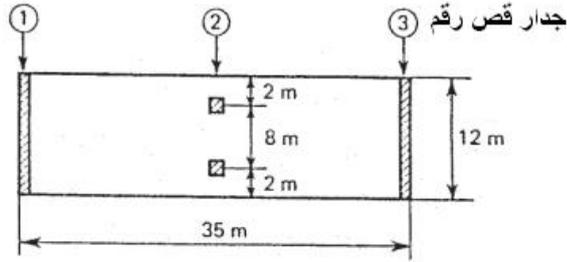
$N = 35000 kN$  الجهد الناظمي، و  $M = 12000 kNm$  عزم الانعطاف.

والمطلوب:

- 1- حساب القوة النازمية في العمودين.
- 2- حساب بلاطة سقف الطابق الأرضي التي ستنتقل القص الأفقي  $V = 600 \text{ kN}$ ، إلى الجدارين الآخرين (1&3).
- 3- ما هي قيمة العزم الإضافي لكل من الجدارين (1&3)، الناتج عن القص الأفقي  $V$ .



جدار قص رقم ②



مستط عند المستوى 2

الحل:

الطلب الأول:

بما أن مقاطع الأعمدة متساوية، تكتب علاقة الاجهادات النازمية عند المستوى (2)، كما يلي:

$$\sigma_2 = \frac{1}{B} \left( \frac{N_2}{n} \pm \frac{(M_2 + N_2 e)v}{\sum d_i^2} \right)$$

حيث:

$n$  : عدد الأعمدة.  $d_i$  : المسافة بين العمود ( $i$ ) ومركز ثقل المجموعة.

$B$  : مقطع العمود.

وتكون القوة الناظرية في العمود الواحد:

$$N' = B\sigma = \frac{N}{n} \pm \frac{(M + Ne)v}{\sum d_i^2}$$

$$e = 0, \quad n = 2, \quad L = 8m$$

$$v = \frac{L}{2}, \quad d_1 = d_2 = \frac{L}{2}$$

بالتالي:

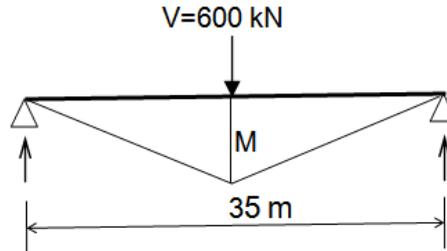
$$\Rightarrow N' = \frac{N}{n} \pm \frac{M \times \frac{L}{2}}{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} = \frac{N}{n} \pm \frac{M}{L}$$

$$\therefore N'_{1,2} = \frac{35000}{2} \pm \frac{12000}{8} = \begin{cases} 19000kN \\ 16000kN \end{cases}$$

**الطلب الثاني:**

إن القوة الأفقية  $V = 600kN$  سوف تنتقل عبر بلاطة سقف الطابق الأرضي إلى الجدارين (1&3)، بمعدل  $300kN$

لكل منها، وبالتالي سوف نحسب البلاطة على أساس أنها جائز أفقي خاضع لعزم انعطاف.



$$M_u = 1.6 \times \frac{600 \times 35}{4} = 8400kNm$$

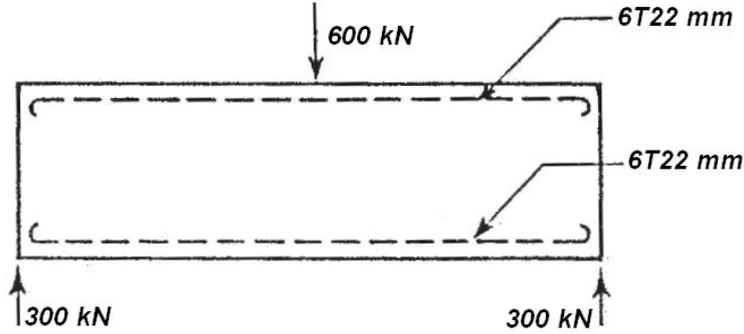
$$A_s = \frac{M_u}{0.9 \times 0.9 \times d \times f_y}, \quad d = 12000 - 200 = 11800mm$$

$$f_y = 400 N/mm^2$$

$$A_s = \frac{8400 \times 10^6}{0.9 \times 0.9 \times 11800 \times 400} = 2197 mm^2$$

use 6T22mm

يوضع هذا التسليح في طرف البلاطة على شكل شيناج عند كل جهة، كما هو مبين في الشكل التالي.



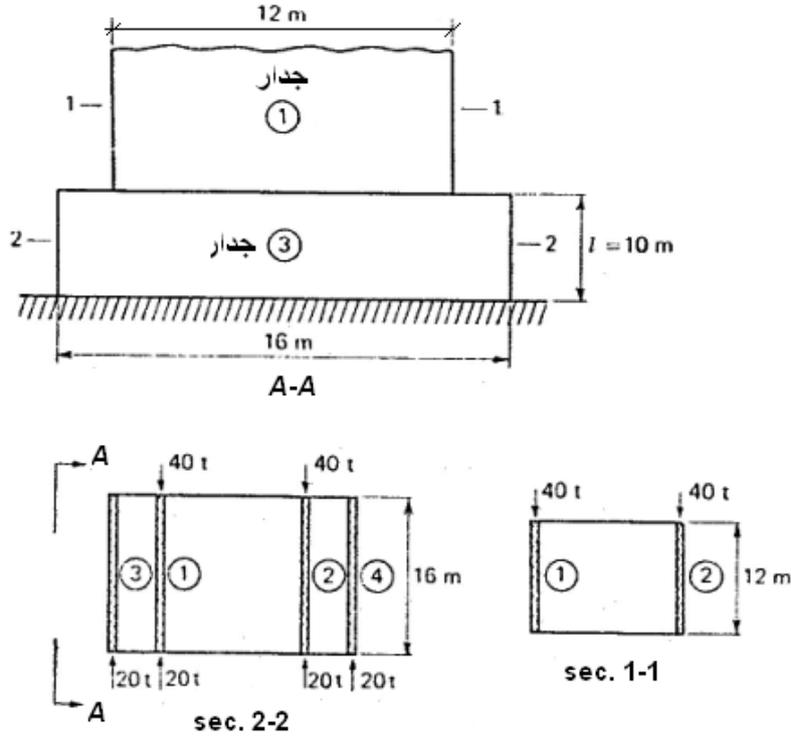
### الطلب الثالث:

بما أننا افترضنا إن القوة الأفقية  $V = 600\text{ kN}$  سوف تنتقل عبر بلاطة سقف الطابق الأرضي إلى الجدارين (1&3)، فسوف يتولد عزم إضافي يجب إضافته لحصة كل جدار عند التصميم:

$$\Delta M = \frac{VL}{2} = \frac{600 \times 5}{2} = 1500\text{ kNm}$$

### ثالثاً - تطبيق حول حالة جدران قص إضافية في المنشأة التحتية

كما ذكرنا سابقاً، فغالباً ما تحوي المنشأة التحتية على كراجات وأقبية، ويكون محيطها أكبر من محيط المنشأة العلوية. في الواقع، إن الجدران الإضافية تشوش آلية النقل المباشر للحمولات من الجدران العلوية إلى الأساسات (الشكل المرفق)، ففي مثل هذه الحالة يمكن قبول أن البلاطة أرضية الطابق الأرضي المحسوبة على أنها جائز أفقي تعمل على توزيع الجهد القاطع على كافة جدران المنشأة التحتية وفقاً لعطالاتها.



فعلى سبيل المثال، يحوي المبنى أعلاه على جدارين (1,2)، يمتدان على كامل ارتفاع المنشأة العلوية، ويضاف في المنشأة التحتية (القبو) جداران آخران.

بفرض أن الجدارين (1,2) يخضعان عند مستوى الطابق الأرضي لعزم يساوي  $M = 10000 kNm$  ، ولجهد قاطع مقداره  $V = 400 kN$  ، وإن الجدران الأربعة في القبو تملك نفس العطالة. إن عملية إعادة توزيع الجهود القاطعة عن طريق بلاطة أرضية الطابق الأرضي تقودنا للأفعال التالية عند مستوى الأساسات:

$$M_{1,2} = 10000 + \left( \frac{400}{2} \right) \times 10 = 12000 kNm \text{ : الجداران (1,2) -}$$

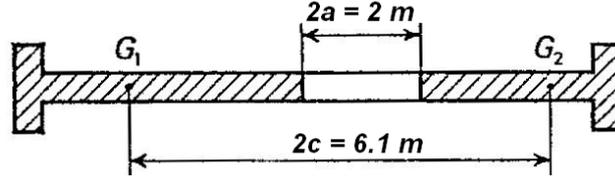
$$M_{3,4} = \left( \frac{400}{2} \right) \times 10 = 2000 kNm \text{ : الجداران (3,4) -}$$

تدرس البلاطة بين الجدران المركزية والمحيطية على أساس بروز صغير، من أجل حساب تسليح الشيناج المحيط.

رابعاً - تطبيقات على جدران قص حاوية على فتحات

1- حساب الجهود في عناصر جدار حاوي على صف واحد من الفتحات:

يبين الشكل التالي مقطعاً عرضياً في جدار قص يحوي صف واحد من الفتحات، ويملك الميزات التالية:



- المقاطع العرضية لعناصر الجدار وعطالاتها، وعطالة اللمعة:

$$\Omega_1 = 2m^2 \quad , \quad \Omega_2 = 1m^2$$

$$I_1 = 4m^4 \quad , \quad I_2 = 2m^4 \quad , \quad i = 0.006m^4$$

- العزم الستاتيكي لكل من عنصري الجدار بالنسبة لمركز ثقل المجموعة:

$$m = \frac{2c}{\frac{1}{\Omega_1} + \frac{1}{\Omega_2}} = 5.42m^3$$

- عزم عطالة الجدار في مستوى الفتحات:

$$I = I_1 + I_2 + 2mc = 4 + 2 + 6.1 \times 5.42 = 39m^4$$

- عامل مرونة بيتون الجدار:  $E = 1 \times 10^7 kN/m^2$

- عامل مرونة بيتون اللمعات:  $E' = 2 \times 10^7 kN/m^2$

- ارتفاع الطابق:  $h = 2.75m$

- ارتفاع المبنى المدرس (عشرة طوابق):  $H = 27.5m$

- قوة القص عند القاعدة (محصلة الحمولات الأفقية الموزعة بانتظام):  $V = 354kN$

$$\frac{E'}{E} = \frac{2}{1}$$

$$\omega^2 = \frac{3 E' i}{2 E a^3} \frac{2c}{I_1 + I_2} \frac{I}{mh} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 0.006}{2 \cdot 1 \cdot 1^3} \cdot \frac{6.1}{4 + 2} \cdot \frac{39}{5.42 \times 2.75} = 0.0479$$

$$\Rightarrow \omega = 0.219$$

$$\therefore \alpha = \omega H = 0.219 \times 27.5 \approx 6$$

$$\pi_u = \frac{T_{0u} mh}{I} \Phi(\alpha, \xi) = \frac{Vmh}{I} \Phi(\alpha, \xi) = \frac{354}{39} \times 5.42 \times 2.75 \Phi(\alpha, \xi)$$

$$\Rightarrow \pi \approx 135 \Phi(\alpha, \xi)$$

$$M_1 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} VH \left[ \frac{(1 - \xi)^2}{2} - \frac{2cm}{I} \psi(\alpha, \xi) \right]$$

$$M_1 = \frac{4}{4 + 2} \times 354 \times 27.5 \left[ \frac{(1 - \xi)^2}{2} - \frac{2cm}{I} \psi(\alpha, \xi) \right]$$

$$M_1 = 6490 \left[ \frac{(1 - \xi)^2}{2} - \frac{2cm}{I} \psi(\alpha, \xi) \right]$$

$$\Rightarrow M_2 = \frac{6490}{2} \left[ \frac{(1 - \xi)^2}{2} - \frac{2cm}{I} \psi(\alpha, \xi) \right]$$

$$\therefore M_1 = 2M_2$$

ننظم جدولاً يسهل عملية الحساب، حيث نعمل على تحديد قيم كل من  $\psi$  و  $\Phi$  ، بدلالة ( $\alpha$  &  $\xi$ ) من الجداول أو الأبيات، باعتبار أن الحمولة الأفقية منتظمة (رياح)، ومن ثم نحسب الجهود: القص في كل لمعة  $\pi$  ، و  $N = \sum \pi$  و  $M_1$  &  $M_2$  .

نتحقق من شرط التوازن للجدار عند القاعدة:

$$M = M_1 + M_2 + 2Nc = 1260 + 630 + 2 \times 492.8 \times \frac{6.1}{2} = 4896 kNm$$

$$M = V \frac{H}{2} = 354 \times \frac{27.5}{2} = 4868 kNm$$

وهو محقق (القيم متقاربة).

حيث  $M$  يمثل عزم الانعطاف المعتبر للجدار عند القاعدة.

**ملاحظة هامة:** يبين الجدول السابق اللمعة الأكثر تحميلاً، وهي تلك الواقعة في الطابق الثالث (انظر الجدول)، حيث تخضع (فقط من الحمولات الأفقية) لقص مقداره:  $V = \pi = 72.5 kN$  ، ولعزم يساوي

$$M = Va = \pi a = 72.5 \times \frac{2}{2} = 72.5 kNm$$

وهكذا، تحدد قيم الجهود المميزة لعناصر الجدار (التصميمية بعد تراكم الجهود الناجمة عن الحمولات الشاقولية)

الطابق	$\xi$	$\Phi$	$\pi = 135\Phi$	$\frac{(1-\xi)^2}{2}$	$\Psi$	$\frac{2cm}{I}\psi$	$\frac{(1-\xi)^2}{2} - \frac{2cm}{I}\psi$	$M_1$	$M_2$	$N$
10	1	0.162	21.9	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0	0.0	21.9
9	0.9	0.186	25.1	0,005	0.017	0.0144	-0.0094	-61	-31	47.0
8	0.8	0.241	32.5	0.020	0.038	0.0322	-0.0122	-79	-40	79.5
7	0.7	0.312	42.1	0.045	0.066	0.0559	-0.0109	-71	-35	121.6
6	0.6	0.388	52.4	0.080	0.101	0.0856	-0.0056	-36	-18	174.0
5	0.5	0.458	61.9	0.125	0.143	0.1211	0.0039	25	13	235.9
4	0.4	0.514	69.4	0.180	0.192	0.1627	0.0173	112	56	305.3
3	0.3	0.537	72.5	0.245	0.245	0.2075	0.0375	244	122	377.8
2	0.2	0.500	67.5	0.320	0.297	0.252	0.068	442	221	445.3
1	0.1	0.352	47.5	0.405	0.341	0.289	0.116	753	376	492.8
أرضي	0.0	0.000	0.00	0.500	0.361	0.306	0.194	1260	630	492.8

## 2- دراسة تأثير نوع الفتحة على القص $\pi$ عند مقطع وثاقفة اللمعة:

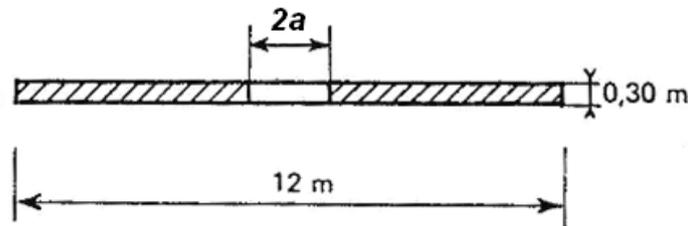
ليكن لدينا الجدار المبين مقطعة على الشكل التالي، إذا علمت أن:

- سماكة الجدار:  $30\text{ cm}$ ، وطوله يساوي  $12\text{ m}$ . ارتفاع الطابق الواحد  $h = 2.75\text{ m}$ .

-  $E = E'$ . محصلة الحمولات الأفقية المنتظمة تساوي  $V = 300\text{ kN}$ .

يطلب دراسة تأثير الفتحات على قيمة الجهد القاطع  $\pi$  عند طرف اللمعة التي تملك عطالة ثابتة مقدارها

$i = 0.006\text{ m}^4$ ، وذلك في الحالات التالية:  $2a = 2\text{ m}, 1\text{ m} \& 6\text{ m}$ .



الحل:

أ- حالة  $2a = 2\text{ m}$

$$2c = 2 \times 3.5 = 7\text{ m} \quad , \quad \Omega_1 = \Omega_2 = 5 \times 0.3 = 1.5\text{ m}^2$$

$$m = \frac{2c}{\frac{1}{\Omega_1} + \frac{1}{\Omega_2}} = 5.25 m^3$$

$$I_1 = I_2 = \frac{0.3 \times 5^3}{12} = 3.125 m^4, I = I_1 + I_2 + 2mc = 43 m^4$$

$$\omega^2 = \frac{3 E' i}{2 E a^3} \frac{2c}{I_1 + I_2} \frac{I}{mh} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0.006}{1^3} \cdot \frac{7}{2 \times 3.125} \cdot \frac{43}{5.25 \times 2.75} = 0.030$$

$$\Rightarrow \omega = 0.1732$$

$$\therefore \alpha = \omega H = 0.1732 \times 40 \approx 7 \Leftrightarrow 1 \leq \alpha \leq 10$$

$$\pi = \frac{Vmh}{I} \Phi(\alpha, \xi) = \frac{300}{43} \times 5.25 \times 2.75 \Phi(\alpha, \xi) \quad \text{بالتالي، نحسب القص بالعلاقة:}$$

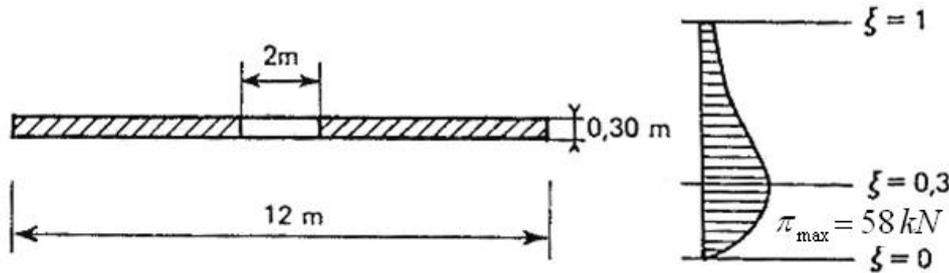
$$\Rightarrow \pi \approx 100 \Phi(\alpha, \xi)$$

بعد أن نجري الحساب لكافة الطوابق، نلاحظ بأن الجهد القاطع الأعظمي يقع في الطابق الثالث، ويكون لدينا:

$$\begin{cases} \alpha = 7 \\ \xi = \frac{x}{H} = 0.3 \end{cases} \Rightarrow \Phi \approx 0.58$$

$$\therefore \pi_{\max} = 100 \times 0.58 = 58 kN$$

وبين الشكل التالي تغير قيمة الجهد القاطع في اللمعات على كامل ارتفاع المبنى.



ب- حالة  $2a = 1m$

$$2c = 6.5m, \quad \Omega_1 = \Omega_2 = 5.5 \times 0.3 = 1.65 m^2$$

$$m = \frac{6.5}{\frac{1}{1.65} + \frac{1}{1.65}} = 5.36 m^3$$

$$I_1 = I_2 = \frac{0.3 \times 5.5^3}{12} = 4.16 m^4, I = I_1 + I_2 + 2mc = 43.16 m^4$$

$$\omega^2 = \frac{3 E' i}{2 E a^3} \frac{2c}{I_1 + I_2} \frac{I}{mh} = 0.164$$

$$\Rightarrow \omega = 0.406$$

$$\therefore \alpha = \omega H = 0.406 \times 40 \approx 16 \Leftrightarrow \alpha > 10$$

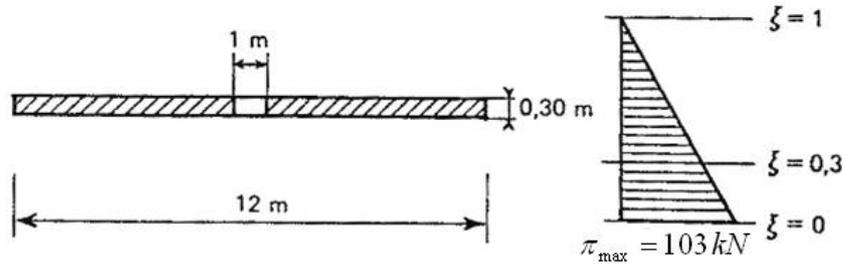
بالتالي، الفتحة صغيرة ويتم حساب القص في اللمعات وفقاً للعلاقة التالية:

$$\pi = \frac{Vmh}{I}(1-\xi) = \frac{300}{43.16} \times 5.36 \times 2.75(1-\xi)$$

$$\Rightarrow \pi \approx 103(1-\xi)$$

$$\begin{cases} \xi = 0 \Rightarrow \pi_{\max} = 103 \text{ kN} \\ \xi = 0.3 \Rightarrow \pi = 72.1 \text{ kN} \end{cases}$$

وبين الشكل التالي تغير قيمة الجهد القاطع في اللمعات على كامل ارتفاع المبنى (توزيع خطي).



ج- حالة  $2a = 6 \text{ m}$

$$\omega^2 = 0.007 \quad m = 4.05 \text{ m}^3 \quad 2c = 9 \text{ m}$$

$$\therefore \alpha = \omega H = \sqrt{0.007} \times 40 = 3.35 > 1 \quad I = 37.80 \text{ m}^4$$

بالتالي، تعتبر الفتحة متوسطة أيضاً حيث لم نستطع الحصول على فتحة كبيرة، وهذا يعود إلى أنه تم تثبيت عتالة اللمعة والتي هي كبيرة نسبياً. ويمكن الحصول على فتحة كبيرة عندما نخفض من عتالة اللمعة، فعلى سبيل المثال

$$i = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^4 \Rightarrow \omega = 0.0153$$

$$\therefore \alpha = \omega H = 0.0153 \times 40 = 0.612 < 1$$

سنعتمد القيمة  $i = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^4$ ، ونحصل في هذه الحالة:

بما أن قيمة  $\alpha < 1$ ، فإنه بالإمكان اعتبار القص في اللمعات يساوي الصفر على كامل الارتفاع ( $\pi = 0$ ).

