الفصل الخامس

ترتيبات خاصة بعناصر المباني البيتونية المسلحة

الواقعة في مناطق زلزالية

(توصيات - اشتراطات - احتياطات - ترتيبات إنشائية)

5-1- توصيات عامة بالمشروع

تشمل عملية تنفيذ المباني والمنشآت من البيتون المسلح في مناطق زلزالية، المراحل التالية:

- اختيار صنف البناء المراد إنشاءه.
- تحديد مستوى الحماية الزلزالية المطلوبة.
- تصميم ودراسة المشروع، من الناحية الإنشائية و غير الإنشائية. وهذه المرحلة تفرض تعاون خاص بين الجهات المعنية بالمشروع كافة: الإدارة، المعماري، المشرف، والجيوتكنيكي، المهندس المدني، وبقية الاختصاصات...
- تنفيذ المشروع من قبل شركة مختصة، تأخذ بالحسبان كافة الصعوبات والمتطلبات أو الاحتياجات المرتبطة بعملية الإنشاء في منطقة زلزالية.
- مراقبة وصيانة المبنى: تعتبر هذه المرحلة من المراحل الأقل اهتماماً من قبل الجهات المعنية حتى يومنا هذا، وذلك بالرغم من أهميتها، إذ أن المقصود هو ضمان مستوى الحماية الزلزالية المدروس في الأساس، خلال فترة العمر التصميمي، أو ذلك المستوى المنجز بعد زلزال كبير، هو مطابق للمشروع الأساس. في الواقع، إن هذه المسألة تخص موضوع الصيانة سواء للعناصر الإنشائية أو غير الإنشائية، وكذلك التجهيزات والمعدات.

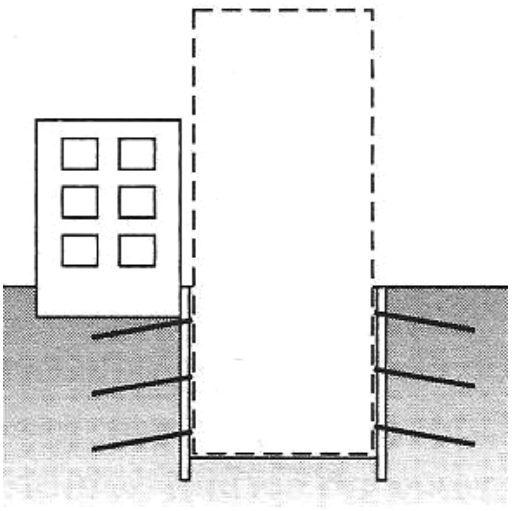
بالتالي، عند البدء بدراسة مشروع واقع في منطقة زلزالية يجب على الدارس الإحاطة الكاملة بالنقاط التالية:

- التصميم المعماري: غالباً ما يكون مشروطاً باعتبارات جمالية واقتصادية، ويجب على المعماري مقاربة الموضوع بأن المشروع سينفذ في منطقة زلزالية وليست عادية، وبالتالي عدم استقلاليته في وضع الحل الأولي، بل يجب النقاش مع المهندس الإنشائي لاختيار الجملة الإنشائية المناسبة.
- المنطقة الزلزالية الموجود فيها المشروع: إمكانية تحديد الحمولة الزلزالية، إما عن طريق السجلات الزلزالية (تحليل زمني) أو بواسطة أطياف الاستجابة (حالة التحليل المبسط، التحليل النمطي).

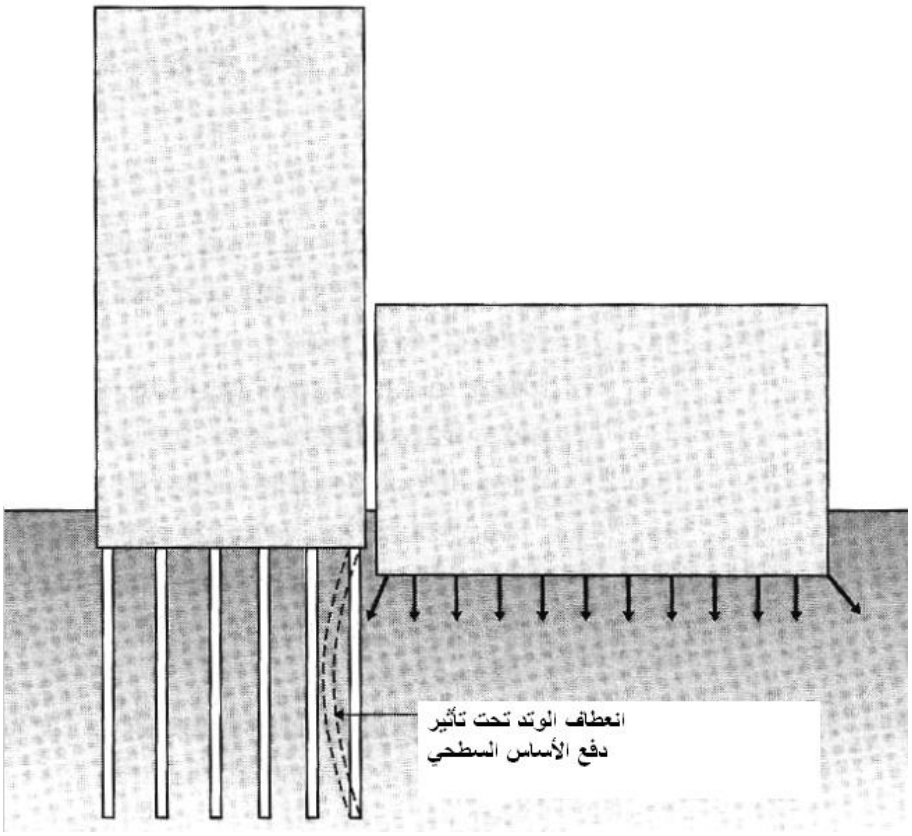
- الموقع والتربة: يعتبر اختيار موقع المشروع من أهم الجوانب الأساسية الواجب اعتبارها عند البناء في منطقة زلزالية، وذلك وفقاً لطبوغرافية الموقع، والخواص الديناميكية لتربة التأسيس، وفي بعض الأحيان خواص التشكل الجيولوجي تحت الموقع.

وفي حال كان الموقع في منطقة مسكونة (مسألة الجوار والملكية)، فيجب على الدارس الأخذ بالحسبان لمسألة تأمين الحواف الشاقولية لحفرة التأسيس التي هي أصلاً مجهدة من تأثير البناء المجاور (الشكل 5-1)، مع التأكيد على ضرورة اختيار نظام التأسيس المناسب لمثل هذه الحالات بحيث لا يحصل أي دفع إضافي على الأساسات المجاورة وخاصة على الأوتاد (الشكل 5-2).

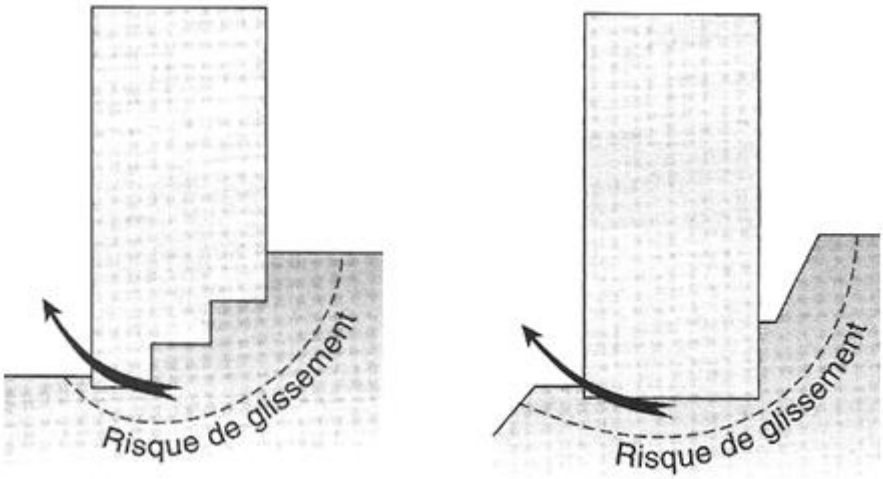
ويجب اتخاذ احتياطات خاصة عند التأسيس في حالة المنحدرات (الشكل 5-3)، فبعد إجراء الحسابات الخاصة بتأمين استقرار المنحدر من خطر الانزلاق، يجب أن تتوضع الأساسات بطريقة آمنة وبميل أعظمي يساوي $\frac{2}{3}$ (الشكل 5-4).



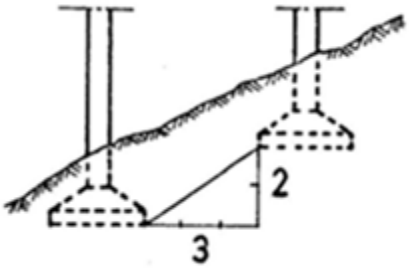
الشكل (5-1): التأسيس وتأمين الحفرة بجوار مبنى قائم



الشكل (5-2): التداخل بين الأساسات السطحية والعميقة



الشكل (5-3): خطر عدم الاستقرار بسبب الانحدار (الانزلاق)



الشكل (5-4): الميل الأعظمي المسموح

وفي كل الأحوال، يجب دراسة المبنى كتابع لنوعية التربة المشاد عليها، وإنه من المفضل دائماً أن تكون التربة جيدة ذات قوام متماسك (الصخر مثلاً) مقارنة بالترب الأخرى، فمثلاً:

- الرمل المرصوص: بدون وجود مياه، يكون هذا الرمل تربة تأسيس جيدة. وعندما تكون التربة مكونة من رمل ناعم مرصوص بصور ضعيفة، وبنية حبيبية مشبعة بالماء، فإن إمكانية حصول هبوطات تزداد مع الحركة الزلزالية، فضلاً عن تشكل ظاهرة السيلان (التميع)، ويجب تجنب هذه الحالة من خلال تغيير الموقع أو من اعتماد أساسات عميقة.
- التربة الغضارية: إنها أقل جودة من الرمل المرصوص، بسبب انضغاطيتها الكبيرة، بالرغم من أن مقاومتها للفعل الزلزالي اللحظي أكبر، إذ أن بنيتها الحبيبية لا تملك الوقت الكافي للتكيف مع تغير الحمولة.
- التربة الصخرية: تربة متجانسة والأفضل للتأسيس، حيث بينت التجربة أن سلوك المنشآت المشادة على ترب صخرية أفضل بكثير من سلوك منشآت مشابهة مشادة على ترب رملية أو غضارية، إذ لا وجود لظاهرة الارتصاص أو الهبوط.

- الأساسات: إنها الرابط بين التربة والمنشأة. أثبتت التجربة أن المنشآت الحاوية على أساسات غير مدروسة جيداً، تسلك سلوكاً غير مرضي عنه مقارنة بتلك المتجانسة والمناسبة لكل منشأة مدروسة بعناية فائقة، بحيث يتم تأمين نظام تأسيس متين ومترابط.

في الحالة التي تكون فيها تربة التأسيس جيدة ومتجانسة، يكون اختيار نوع الأساس مرتبطاً بالمعايير الكلاسيكية المعروفة، وأما عندما تكون خواص التربة غير متجانسة وضعيفة القوام، فيجب إجراء معالجة خاصة تعمل على تحسين التربة وتؤمن الخواص الميكانيكية المقبولة، ولتأمين هذا التحسين يمكن اعتماد إحدى التقنيات التالية (استشارة الجيوتكنيكي):

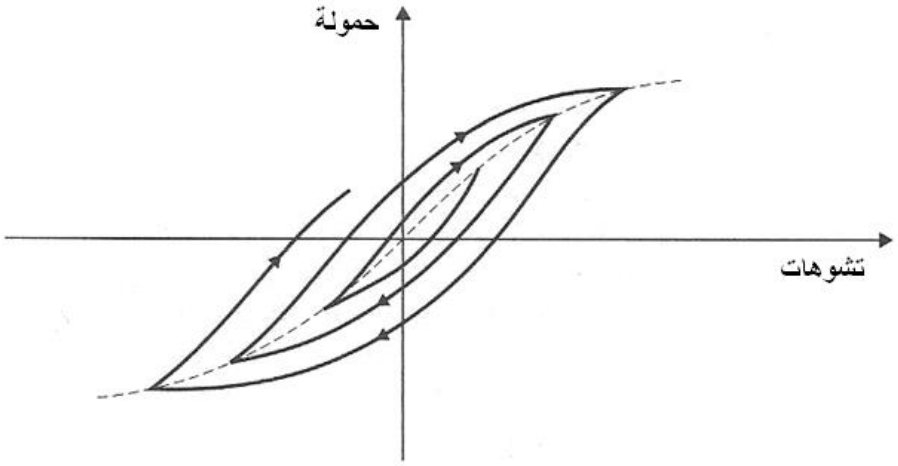
1. استبدال التربة: حفر وترحيل التربة السيئة واستبدالها بتربة ذات نوعية جيدة ومرصوصة بصورة ملائمة.
2. معالجة التربة الأساس بالاهتزاز العميق: الرص بأوزان ثقيلة أو باستخدام الرج الفعال.
3. تقنيات الحقن والرص التقليدية.

- شكل المباني: التكوين المعماري والإنشائي، تم دراسته سابقاً، وسنعمل على عرض هذا الموضوع وفقاً لتوصيات الكود السوري وغيره من الكودات العالمية.
- التباعد بين المباني المتجاورة، يتم تحديده في الدراسة التحليلية، وينفذ الفاصل المطلوب لمنع ظاهرة الطرق.
- المنشأة ذاتها: اختيار نوع الجملة الإنشائية المقاومة، هل هي منشآت لينة (إطارات)، أم صلبة (جدران أو شبكية). وفي كل الأحوال يجب أن توزع العناصر الإنشائية بطريقة مناسبة تؤمن نظام متكامل و مستمر ومتماسك ، مع درجة عدم تقرير عالية جداً، بحيث نضمن درجة أمان كافية. وفي كل الأحوال، يجب عدم نسيان التصميم الزلزالي السليم والاحترام الكامل والأمين لجملة التوصيات والقواعد العامة للبناء المنصوص عنها في الكودات الناظمة. وهذا الأمر يطبق على العناصر الإنشائية وغير الإنشائية.

2-5- ترتيبات وملاحظات عامة

يستند ميكانيزم مقاومة المنشأة للفعل الديناميكي على قدرة امتصاص وتبديد الطاقة الناجمة عن استجابتها، وتكون هذه الطاقة فعالة في المجال المرن – اللدن، وبالتالي تكمن المصلحة في تأمين عناصر قادرة على تحمل عدة دورات من التحميل (تحميل متكرر كالزلازل مثلاً)، بتشوهات كبيرة تتجاوز بصورة كبيرة حد المرونة.

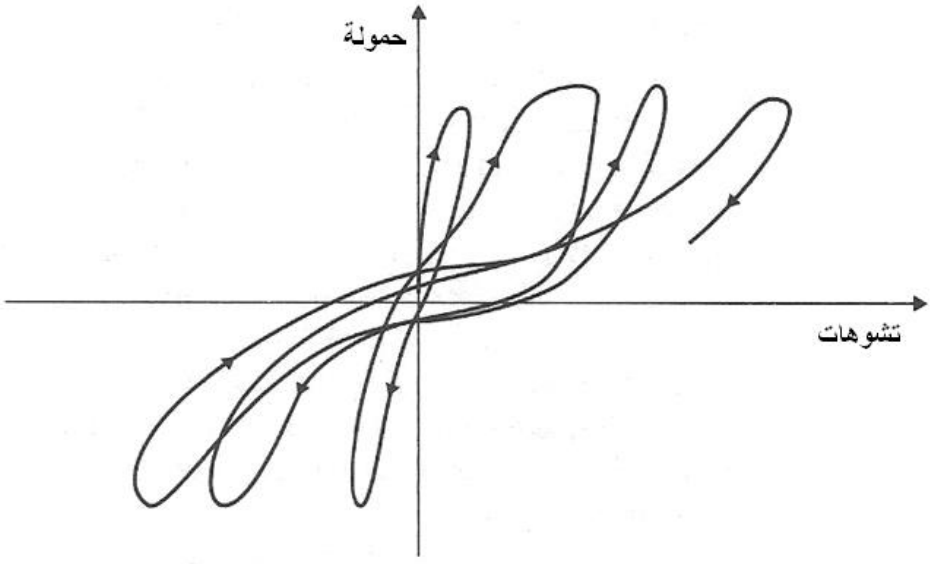
يبين الشكل (5-5) مخطط "الحمولة – تشوهات" لحالة خاصة يتم من خلالها وصف دورات التحميل بصورة مستقرة حول منحني يتوافق مع منحني السلوكية الكلاسيكي تحت تأثير حمولات مستمرة متصاعدة، حيث نلاحظ بأن الصلابة والمقاومة الحدية للعنصر المدروس لا تتأثران بتكرار الدورات. يمكن الحصول على سلوك مشابه في العناصر البيتونية المسلحة التي يتم فيها اتخاذ بعض الترتيبات والإجراءات الخاصة (ترتيبات التسليح التي توصي بها الكودات الناظمة والتي سنشرحها لاحقاً).



الشكل (5-5): سلوك العناصر الإنشائية تحت تأثير حمولات متناوبة

(حالة عدم تأثر الصلابة والمقاومة)

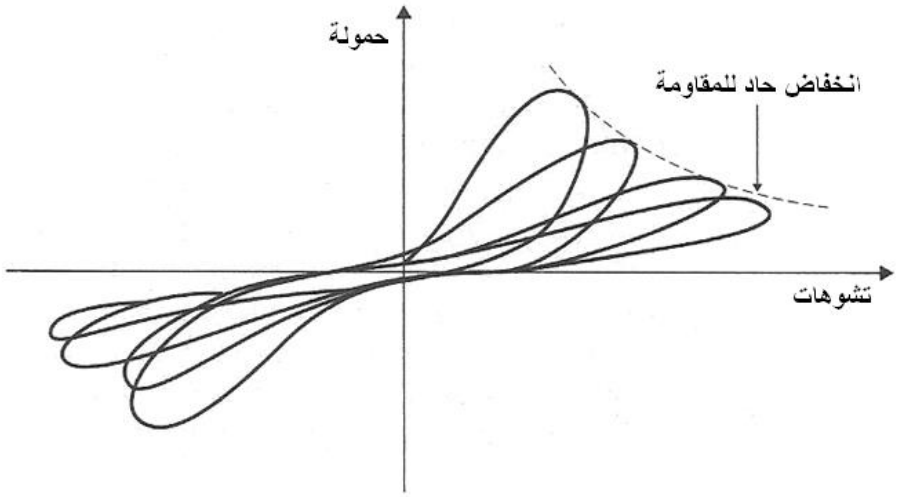
بعكس ذلك، يظهر الشكل (5-6) نوعاً آخر للسلوكية، إذ يرافق تطبيق عدة دورات تحميل تبدلات واضحة في صلابة العنصر، وهذه الحالة شائعة في عناصر البيتون المسلح بسبب تشكل وتطور التشققات المجهرية، وكذلك تضرر التلاحم بين البيتون وقضبان التسليح.



الشكل (5-6): سلوك العناصر الإنشائية تحت تأثير حمولات متناوبة

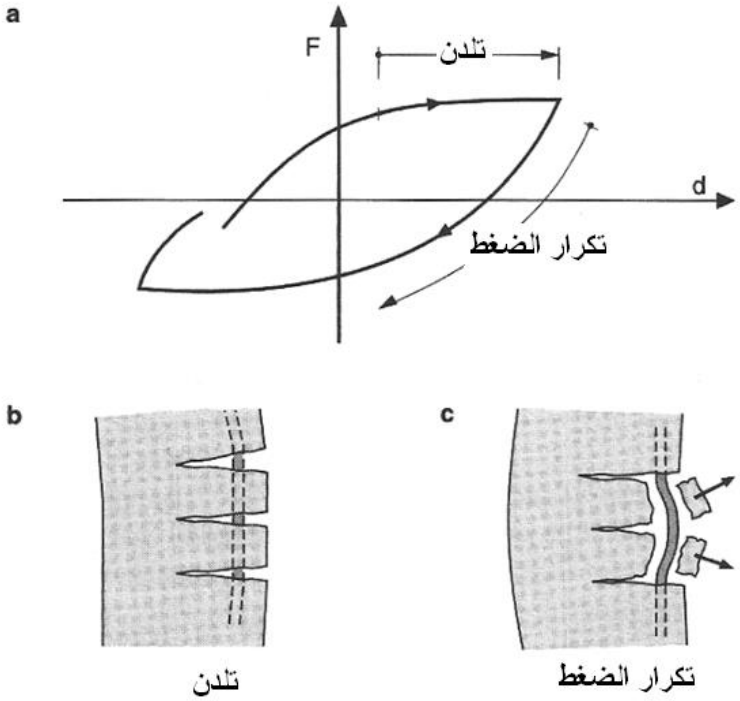
(انتشار التشققات وتدهور التلاحم)

وأما الشكل (5-7)، فيبين الحالة التي فيها ليست الصلابة لوحدها تتدهور، بل المقاومة الحدية أيضاً، وذلك من دورة تحميل إلى أخرى. وهذا السلوك منتشر كثيراً في العناصر البيتونية المسلحة الخاضعة لجهود قاطعة، وذلك عندما لا تنفذ جملة الترتيبات والتدابير الخاصة في المناطق الحرجة. في الواقع، عندما تتشكل المفاصل اللدنة في هذه المناطق، يصل فولاذ التسليح إلى حد المرونة مترافقاً مع تشققات البيتون، وتحت تأثير حمولات متناوبة، يمكن أن يتغير اتجاه العزم، مسبباً إجهادات ضغط في التسليح دون الوصول لحد المرونة في الضغط، والتشققات الأولية تكون غير قابلة للإغلاق، بالتالي سينتقل جهد الضغط بشكل كامل عن طريق قضبان التسليح، مرافقاً بطرد البيتون، كما هو مبين في الشكل (5-8). أخيراً، ولأسباب مرتبطة باختلاف عامل المرونة للبيتون والفولاذ، سوف تتقاصر قضبان تسليح العناصر أو الأجزاء المضغوطة بصورة أقل من البيتون، بالتالي تحنيها الذي يسبب تشظي البيتون.



الشكل (5-7): سلوك العناصر الإنشائية تحت تأثير حمولات متناوبة

(حالة انخفاض في الصلابة والمقاومة الحدية)



(a) التشوهات وفقاً لدورة متناوبة، (b) تلدن، (c) تكرار الضغط وتشظي البيتون

الشكل (5-8): تأثير دورات التحميل عل العناصر الإنشائية

من ناحية أخرى، يجب أن يؤمن الدارس من خلال تصميمه للمنشأة المقاومة للزلازل، وإعداده التفصيلات والترتيبات الإنشائية الأمور الأساسية التالية:

- الانهيار بالقص يجب ألا يسبق الانهيار بالانعطاف .
- إن تلدن وانهيار العقد والوصلات يجب ألا يسبق انهيار أو تلدن العناصر الواصلة إليها.
- إن تشكل المفاصل اللدنة في العناصر الشاقولية المضغوطة أو انهيارها يجب ألا يسبق انهيار أو تلدن العناصر المنحنية التي تحملها.
- وفي الأحوال كافة، يعتبر تشكل المفاصل اللدنة في العناصر مقبولاً بشرط اتخاذ الترتيبات الإنشائية الخاصة كافة لضمان ما يلي:
  - مقاومة الجهود الناظمية والجهود القاطعة بعد التلدن.
  - عدم تشكل مفصل لدن ثانٍ في العنصر المدروس.

تختلف الترتيبات الإنشائية وفقاً لحالة العنصر المدروس، فيما إذا كان مضغوطاً أو منعطفاً. فالقواعد الفرنسية تميز بين الحالات التالية عن طريق النسبة (υ):

$$\upsilon = \frac{N_d}{B_n f_c'}$$

باعتبار:

N_d : الجهد الناظمي الحسابي، المحدد من التراكب الأسوأ للحمولات آخذين بالحسبان وجود الزلازل.

B_n : مساحة المقطع الصافية.

f_c' : المقاومة المميزة للبيتون.

بعد حساب υ ، يمكن التمييز بين الحالات التالية:

- العنصر خاضع للانعطاف البسيط أو المركب عندما يكون: $\upsilon_{\max} \le 0.07$
- يفترض بأن العنصر مضغوط عندما يكون: $\upsilon_{\max} > 0.17$
- حالة وسطية واقعة بين العناصر المنحنية والمضغوطة: $0.07 < \upsilon_{\max} \le 0.17$

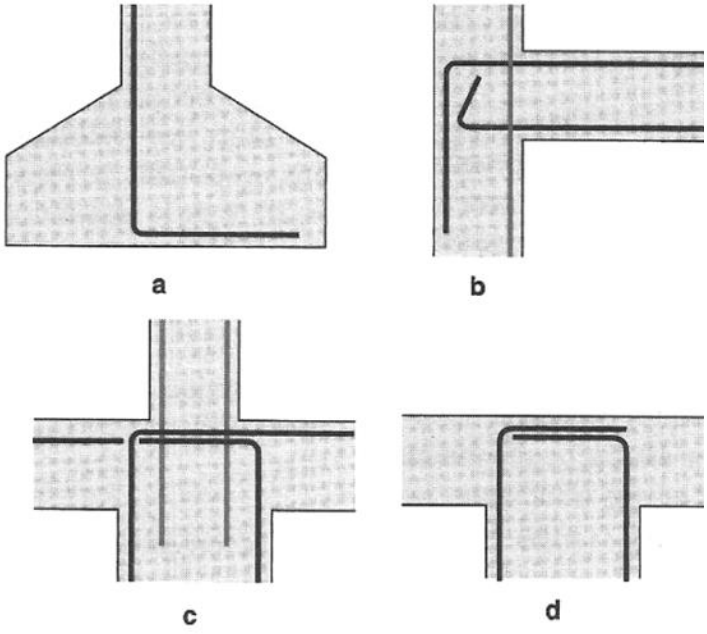
كما ذكرنا سابقاً، بأن التجربة والمراقبة بينتا أن خاصية التلاحم بيتون – فولاذ تتدهور بسرعة كبيرة عند تعرض العناصر لحمولات دورية، وبالتالي يجب إعطاء هذا الأمر الاهتمام والعناية الكافية عند دراسة وتحديد أطوال الإرساء للقضبان وتراكباتها. فنلاحظ بأن القواعد العالمية توصي بزيادة هذه الأطوال في المناطق الزلزالية، بمعدل:

- 30% من أجل القضبان الواقعة خارج المناطق الحرجة.
- 50% من أجل القضبان الواقعة داخل المناطق الحرجة.

ينصح، في المناطق الحرجة، على ألا يتم وصل أكثر من نصف القضبان في المقطع الواحد. وفي مناطق التراكب، يجب أن يحقق التسليح العرضي قاعدة التخييط التي تؤمن نقل القوى بين القضبان الطولية.

ونبين فيما يلي أهم نتائج الأبحاث التجريبية التي توصل لها الباحثون حول موضوع التلاحم ووصل القضبان في حالة الحمولات المتناوبة:

- تجنب لي أو طعج القضبان لتأخذ مساراً مختلفاً لها.
- وضع التسليح العرضي بتماس مباشر مع القضبان، مع تثبيتها بصور صحيحة.
- تكثيف التسليح العرضي في مناطق التراكب.
- يمنع استخدام العكفات في العناصر المضغوطة أو في الأجزاء المضغوطة من العناصر المنحنية.
- يسمح بتأمين الإرساء بزاوية 90° ، وذلك في المناطق المطوقة بطريقة تمنع تشكل قوى الدفع نحو الفراغ، كما هو مبين في الشكل (5-9).

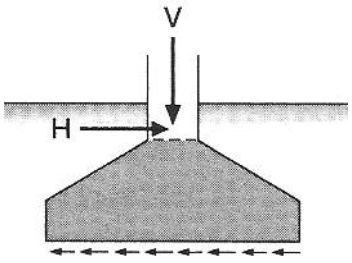


الشكل (5-9): إرساء القضبان بعكفات مستقيمة نظامية

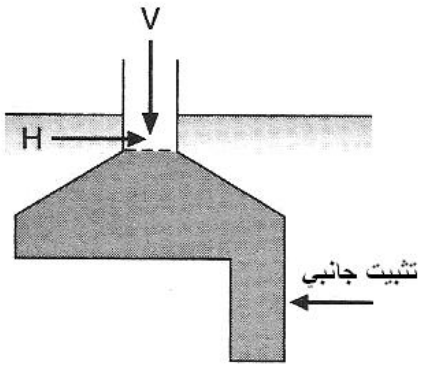
5-3- الأساسات

5-3-1- الأساسات السطحية:

ينجم عن تحليل المنشآت الخاضعة لحمولات زلزالية، عند مستوى الأساسات، عزوم انعطاف وقوى يمكن تحليلها إلى مركبة شاقولية وأخرى أفقية. تنتقل القوى الشاقولية إلى التربة عن طريق زيادة في إجهادات التربة، وبالمقابل يتم نقل القوى الأفقية عن طريق الاحتكاك (الشكل 5-10)، وعند الحاجة يتم المساعدة بآلية نقل خاصة تعتمد على التثبيت الجانبي، التي تترجم بتنفيذ سن أو معول تثبيت كما هو مبين في الشكل (5-11).



الشكل (5-10): تأمين الاستقرار بالاحتكاك لأساس عادي



الشكل (5-11): تأمين الاستقرار بالتثبيت الجانبي لأساس مزود بمعول

تعتمد مقاومة الاحتكاك على طبيعة تربة التأسيس، والضغط العادي بين التربة والأساس، وغالباً ما يتم اعتماد قيمة لعامل احتكاك الأساس مع التربة تساوي على الأكثر $f = tg\varphi$ ، باعتبار أن φ تمثل زاوية الاحتكاك الداخلية بين الأساس والتربة (الجدول 5-1). ويتم تأمين موازنة القوى الأفقية بالاحتكاك، باعتماد عامل أمان لا يقل عن 1.5، وذلك عند تحقيق المتراجحة التالية:

$$H \le V \frac{tg\varphi}{1.5}$$

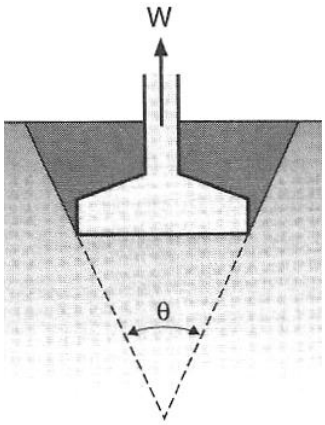
حيث:

H : المركبة الأفقية للحمل الزلزالي، V : محصلة الحمولات الشاقولية.

طبيعة التربة	عامل الاحتكاك $f = tg\varphi$
صخر مع سطح خشن	0.60
- ترب بتشكلات كبيرة دون وجود طمي أو غضار. - صخر متشقق	0.55
- ترب بتشكلات كبيرة مع احتوائها على طمي أو غضار. - صخر متناوب	0.45
رمل ناعم	0.40
رمل مع غضار (رمل غضاري)	0.35
غضار مع رمل (غضار رملي)	0.30
غضار لدن	0.25

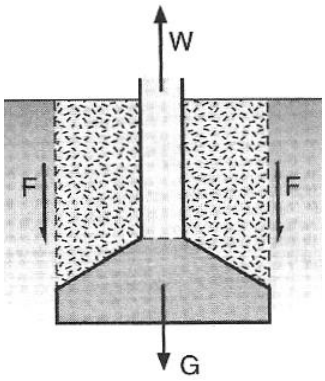
الجدول (5-1): زوايا الاحتكاك الداخلية

وفي حال تشكل قوى نزع تعمل على رفع المنشأة W، فتكون القوى المقاومة لهذا الرفع ناجمة عن الوزن الذاتي للأساس ووزن التربة المتوضعه فوقه، حيث عندما ينهض الأساس سيتحرض موشور التربة الذي يعتمد شكله على خواص هذه التربة، وغالباً ما يتم اعتماد موشور بزاوية $\theta = 60^\circ$ (الشكل 5-12).



الشكل (5-12): مقاومة الرفع بموشور تربة زاويته $\theta = 60^\circ$

وعندما تكون قوة الرفع صغيرة نسبياً فيمكن تقدير شكل الموشور بالحجم المحدد من قبل سطح الأساس، كما هو مبين في الشكل (5-13).



الشكل (5-13): مقاومة الرفع بموشور تربة قائم

ولتحقيق التوازن نكتب المعادلات التالية:

- من أجل الترب الحبيبية:

$$W \le G + P_0 tg\varphi$$

- من أجل الترب المتماسكة:

$$W \le G + c\,A$$

باعتبار أن:

G : وزن التربة والأساس.

$F = P_0 tg\varphi + c\,A$: قوة الاحتكاك و/أو التماسك.

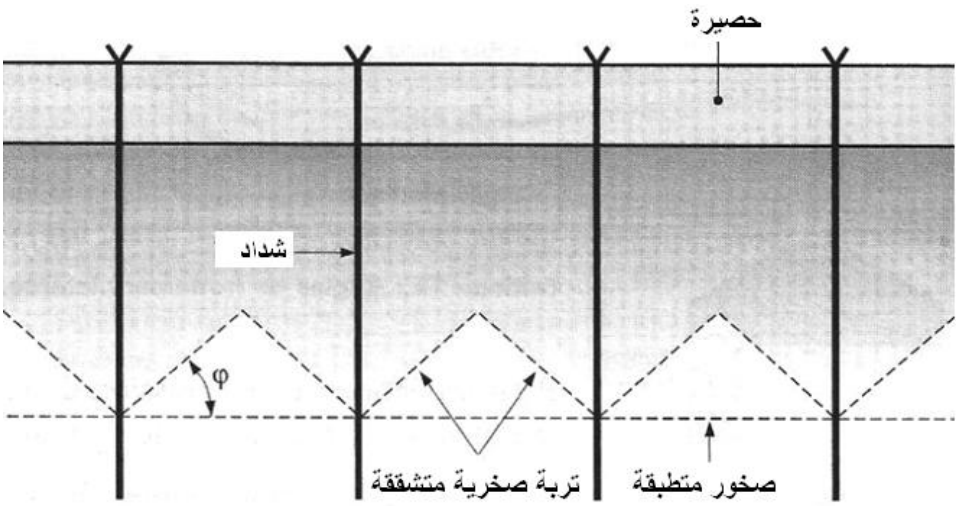
P_0 : الدفع الأفقي الكلي بوضع الراحة، المؤثر على كامل السطح الجانبي الشاقولي.

$f = tg\varphi$: عامل الاحتكاك.

c : التماسك، ويساوي $\left(1 \to 3t/m^2\right)$ من أجل الأساسات السطحية.

A : السطح الكلي الشاقولي فوق محيط الأساس.

وعندما لا يتحقق التوازن المطلوب، إذ أن وزن المنشأة غير كاف لموازنة المركبة الشاقولية الناجمة عن الزلزال، فنعمل على تحقيق الاستقرار، إما عن طريق الأخذ بالحسبان للانفصال، أو بتأمين شدادات شاقولية مرساة في التربة (تربة صخرية بعمق ضعيف) (الشكل 5-14)، أو عن طريق تنفيذ أوتاد تعمل بالاحتكاك أو أوتاد بقواعد موسعة (حالة الترب الجيدة واقعة على أعماق كبيرة).



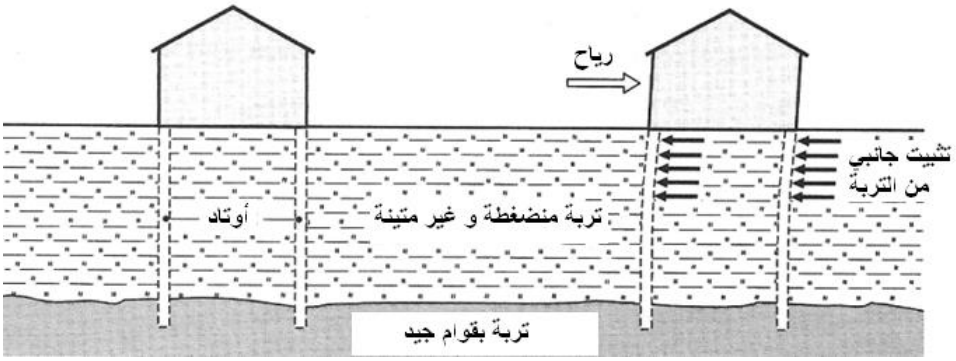
الشكل (5-14): مقاومة الرفع بواسطة زرع شدادات في التربة

5-3-2- الأساسات العميقة:

في الحالة العادية، تنتقل القوى الأفقية التي تخضع إليها المنشأة عن طريق الاحتكاك والتثبيت الجانبي، ولكن ليس منطقياً اعتبار وجود مقاومة بالاحتكاك بين المنشأة والتربة في حالة الأساسات العميقة، حيث يتم نقل الحمولات الشاقولية مباشرة إلى الطبقات السفلية وليس إلى التربة الواقعة مباشرة أسفل المنشأة المدروسة.

باستثناء عناصر التثبيت الجانبي الموجودة في المنشآت التحتية، فإن القوى الأفقية تنتقل إلى التربة بشكل أساسي عن طريق التثبيت الجانبي المؤمن من قبل الأساسات العميقة.

عندما يكون الفعل الأفقي ناجماً عن الرياح، فيعمل هيكل التقوية على نقل هذا الفعل إلى الأوتاد، لتقوم هذه الأخيرة على نقل الفعل إلى التربة عن طريق التثبيت الجانبي كما هو مبين في الشكل (5-15).

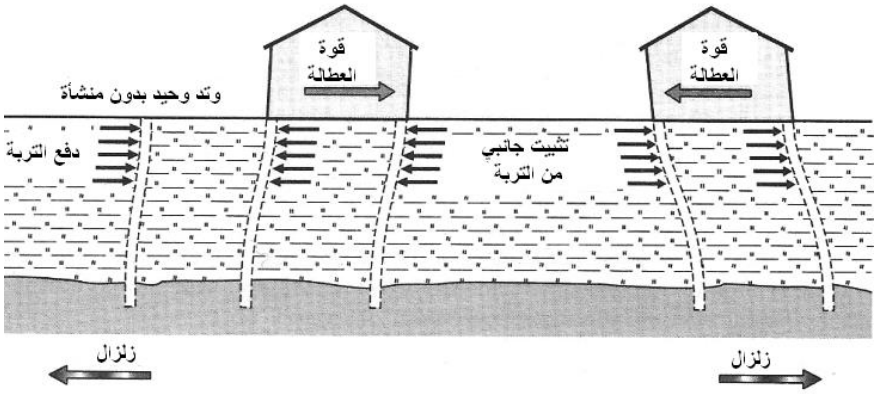


الشكل (5-15): نقل الجهود الأفقية إلى التربة عن طريق الأوتاد (من فعل الرياح)

بالمقابل عندما تكون المنشأة خاضعة لتأثير الزلازل، فتتحرض الأوتاد عن طريق حركة التربة (الفعل المتبادل الحركي **Kinematic Interaction**) (الشكل 5-16)، وفي حال غياب التثبيت الجانبي أو في حال عدم وجود منشأة تحتية، فإن قوى العطالة الخاصة بالمنشأة تنتقل إلى التربة عن طريق الأوتاد على شكل فعل متبادل عطالي **Inertial Interaction)**(الشكل 5-17).

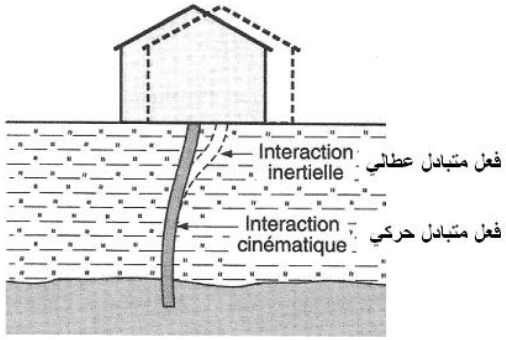
في المناطق الزلزالية، يجب أن تسلح الأوتاد على كامل طولها وفقاً لقيم العزوم والقص المحسوبة. ويجب أن نهتم جيداً بالمناطق الحرجة في الأوتاد (الشكل 5-18)، بحيث تنفذ ترتيبات خاصة بالتسليح العرضي، إذ بينت الخبرة أنه، تحت تأثير زلازل هامة، يحصل استمرارية في تضرر الوتد المسلح بحلزون حتى ولو حصل الانقطاع في نقطة واحدة، بالتالي ينصح باستعمال أساور نظامية في المناطق الحرجة.

وفي حال استعمال قميص فولاذي عند تنفيذ الأوتاد، وتركه في التربة فمن الممكن تخفيض التسليح العرضي بقيمة أعظمية لا تزيد عن نصف التسليح العرضي.



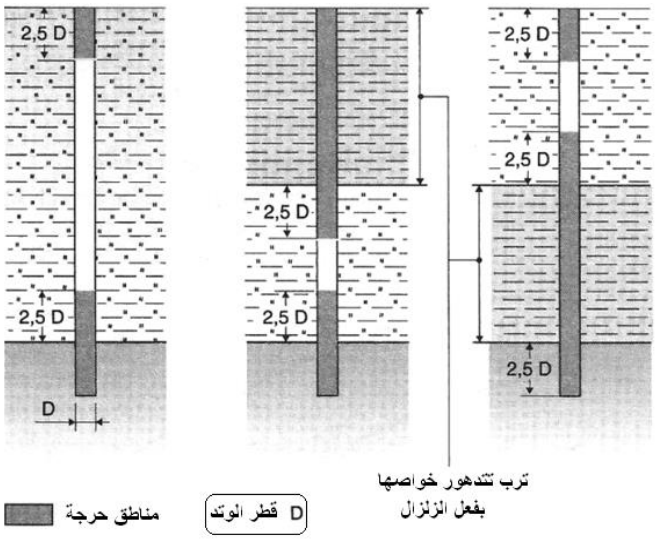
الشكل (5-16): نقل الجهود الأفقية إلى التربة عن طريق الأوتاد

(من فعل الزلازل دون معول أو تثبيت جانبي من منشأة تحتية)



الشكل (5-17): نقل الجهود الأفقية إلى التربة عن طريق الأوتاد

(من فعل الزلازل: فعل متبادل حركي وعطالي)



الشكل (5-18): المناطق الحرجة في الأوتاد

5-3-3- توزع ضغط التربة تحت الأساس السطحي:

يعتمد توزيع ضغط التربة تحت الأساس على كل من صلابة الأساس، نوعية التربة والحمولة المطبقة. وفي جميع الأحوال يجب أن تكون الإجهادات عند قاعدة الأساس إجهادات ضغط عند تعرض الأساس لقوة غير مطبقة في مركز ثقله (تحميل لامركزي) وذلك لأنه لا يمكن أن ينقل الأساس قوى شادة إلى التربة، كذلك يجب أن تكون القيمة الأعظمية لإجهادات الضغط في نطاق الاستثمار أصغر من قدرة تحمل التربة.

يبين الشكل (5-19) توزع ضغط التربة تحت الأساس، حسب نوعها، عندما يتعرض لحمولة مركزية.

بينما نعتمد التوزيع الخطي المبين في الشكل (5-20) عندما يكون الأساس صلباً، ولا يحصل تطابق بين القوة الناظمية المطبقة مع مركز ثقل الأساس أو عندما يرافق هذه القوة عزم انعطاف، بالتالي وجود لامركزية (e).

وفي الحالتين يتم تحديد توزع الإجهادات على النحو التالي :

$$\sigma_s = \frac{N}{A \times B} \pm \frac{M}{I} y$$

حيث: N : القوة الناظمية المطبقة على الأساس.

A×B : مساحة سطح الأساس.

y : بعد الليف المراد حساب الإجهاد عنده، عن مركز ثقل الأساس.

I : عزم عطالة الأساس بالاتجاه المدروس.

ولكن لدينا: $y = A/2$ عند طرفي الأساس، و $I = B \times A^3/12$ ، بالتالي:

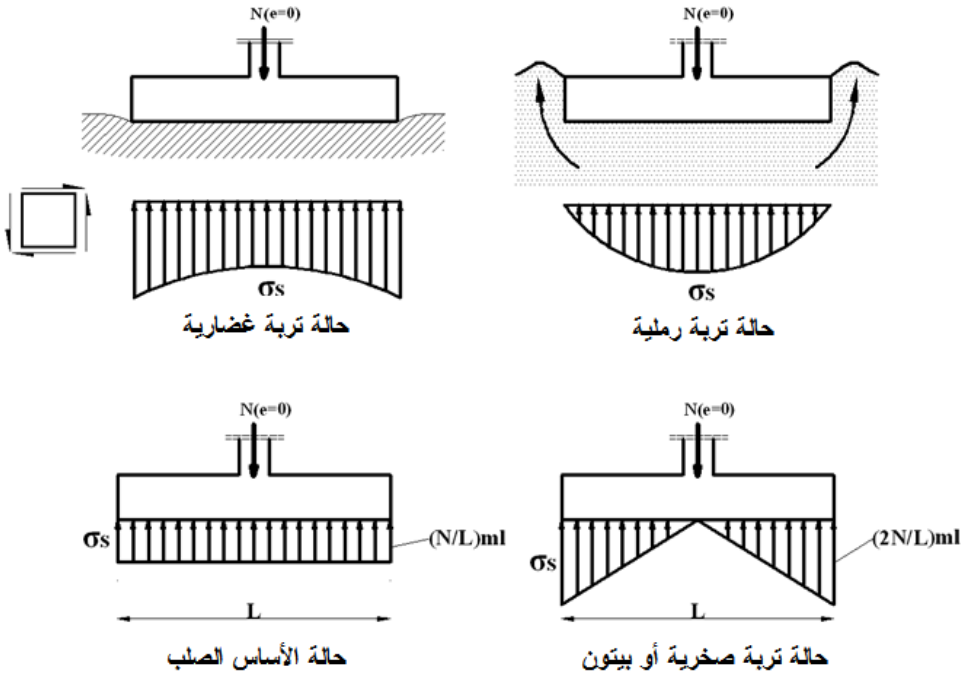
$$\sigma = \frac{N}{A.B} \pm \frac{12N.e.A}{2B.A^3} = \frac{N}{A.B}\left(1 \pm \frac{6e}{A}\right) = \frac{N}{A.B}\left(1 \pm \frac{e}{k}\right)$$

باعتبار أن: $k = A/6$ تمثل نصف قطر النواة المركزية لحالة المستطيل.

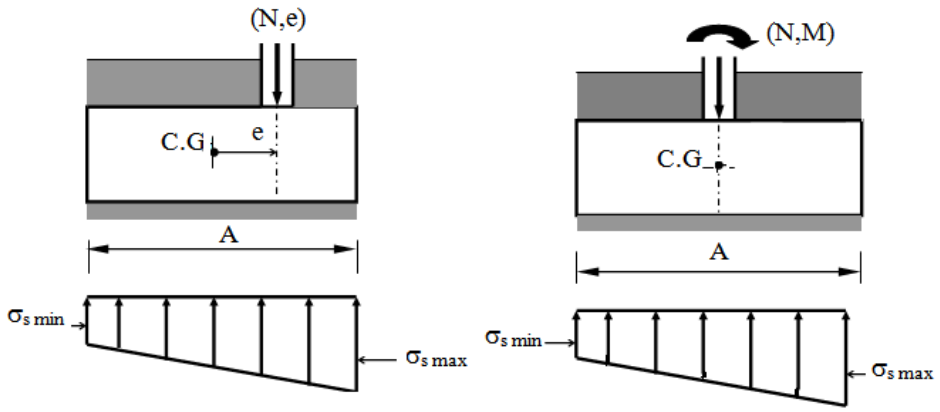
من المعادلة السابقة يمكننا ملاحظة الحالات التالية:

- توزع منتظم للإجهادات: $e = 0 \Rightarrow \sigma_s = N/A.B$
- تشكل إجهادات ضغط (توزع خطي): $e \le k$

حتى لا يتشكل إجهادات شد يجب أن تكون القوة الناظمية مطبقة في النواة المركزية، وعندما يكون $e = k = A/6$ يتشكل لدينا مثلث ضغط. وتعادل قيمة إجهاد الضغط الأعظمي، في هذه الحالة، ارتفاع هذا المثلث الذي يجب ألا يزيد عن قدرة تحمل التربة $\bar{\sigma}_s$.

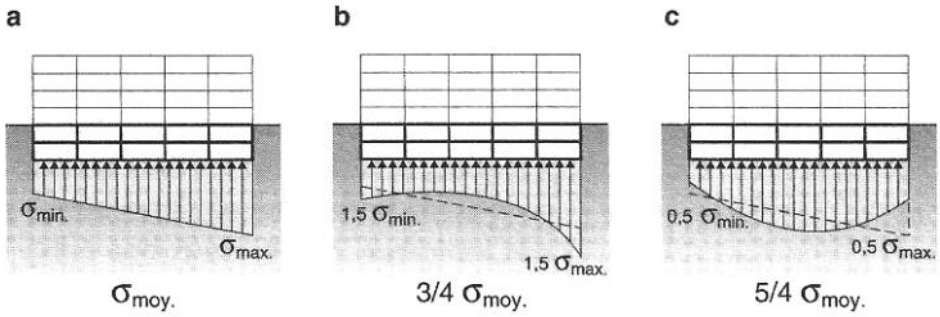


الشكل (5-19): توزع ضغط التربة تحت الأساس (حمولة مركزية)



الشكل (5-20): توزع ضغط التربة تحت الأساس الصلب (حمولة لامركزية)

في حالة الأساسات الحصيرة، تكمن صعوبة المسألة بتحديد قانون توزيع الضغوط تحت الحصيرة، وغالباً يتم قبول التوزيع الخطي للإجهادات (الشكل 5-21-a). وهذه الفرضية التبسيطية تكون كافية للأساسات الشائعة الاستخدام، ولكن في حالة الأساسات الهامة كحالة أساسات الحصيرة للأبنية العالية أو للأبنية الثقيلة، فمن المناسب اعتماد توزيع لاخطي (قطع مكافئ) للإجهادات، كما هو مبين في الشكل (5-21-b و c).



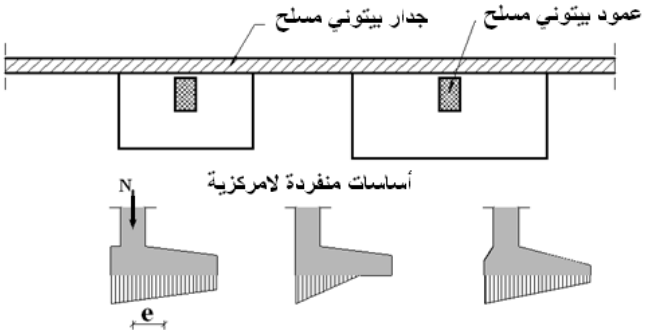
(a) توزيع خطي، (b) و (c) توزيع لاخطي (قطع مكافئ)

الشكل (5-21): توزيع الإجهادات تحت الحمولات الشاقولية والأفقية

5-3-4- حالات خاصة:

نشير هنا إلى وجود حلول مختلفة لمعالجة بعض الحالات أو المسائل الخاصة، المرتبطة بالأساسات المنفردة المعرضة لانعطاف أو في حالة وجود لامركزية ناجمة عن إنشاء أساسات مبنى مجاور لمبنى قديم يحوي أساسات متداخلة مع حدود المبنى الجديد. ففي هذه الحالة يمكننا تنفيذ جائز تقويم يوازن العزم الناجم عن اللامركزية، أو بموازنة هذا العزم عن طريق تسليح مشدود مثبت في الأساس و في البلاطة.

في الواقع، عند التلاصق مع جدار مستمر مجاور، يفضل قدر الإمكان إبعاد الأعمدة عنه إلى داخل حرم المبنى الجديد، وعمل بروزات السقف على شكل أظفار. وعندما لا يتسنى ذلك من الناحية المعمارية، فمن غير الممكن عمل أساس منعزل ومتناظر بالنسبة للعمود ولا بد من اعتماد أساس غير متناظر بمخطط توزيع اجهادات على التربة على شكل قريب من المستطيل أو شبه المنحرف، كما هو مبين في الشكل (5-22).



الشكل (5-22): أشكال مختلفة لنقل الجهود

عندما يكون الأساس صلباً، يمكن إهمال تشوهه بالتالي يكون تغير ردود أفعال التربة على شكل قانون خطي، وفي هذه الحالة الأكثر شيوعاً، يجب اعتبار الحالتين التاليتين:

1) $A > \frac{3a}{2}$ (الشكل 5-23-a)

مخطط الضغط يكون مثلث، ويكون الضغط عن قاعدة المثلث:

$$\sigma_M = \frac{4}{3}\frac{P_u}{a} \approx 1.33\frac{P_u}{a}$$

وهو أكبر من الضغط المطبق في حال كان الجدار مركزياً (33%).

2) $A < \frac{3a}{2}$ (الشكل 5-23-b)

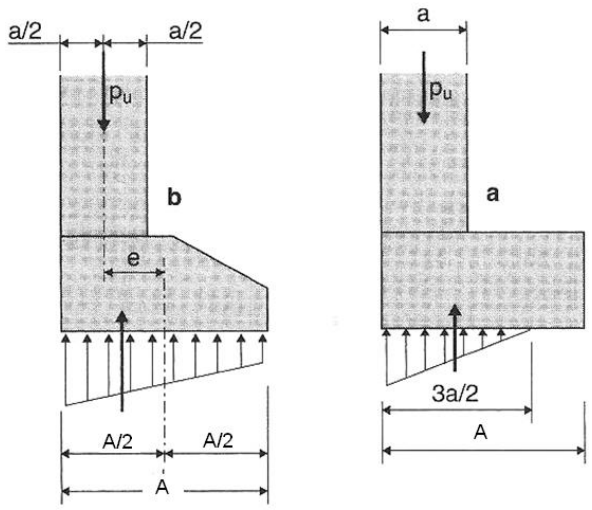
مخطط الضغط يكون على شكل شبه منحرف، ويكون الضغط الأصغري σ_m والأعظمي σ_M:

$$\sigma_M = \frac{P_u}{A}\left(1+\frac{6e}{A}\right)$$

$$\sigma_m = \frac{P_u}{A}\left(1-\frac{6e}{A}\right)$$

باعتبار أن اللامركزية تساوي: $e < \frac{A-a}{2}$

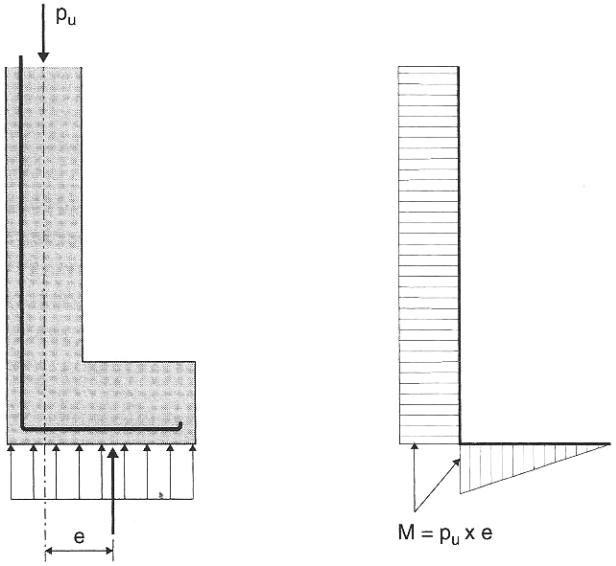
نلاحظ بأن العزم الناتج عن اللامركزية e ، لا يمكن موازنته بالقاعدة، ويجب البحث عن طريقة ما، لتأمين التوازن.



الشكل (5-23): موازنة اللامركزية بالتربة (اجهادات مثلث وشبه منحرف)

عندما تتجاوز الإجهادات المنقولة قدرة تحمل تربة التأسيس، فهناك العديد من الطرائق لحل هذه المسألة، وذلك وفقاً لما يلي:

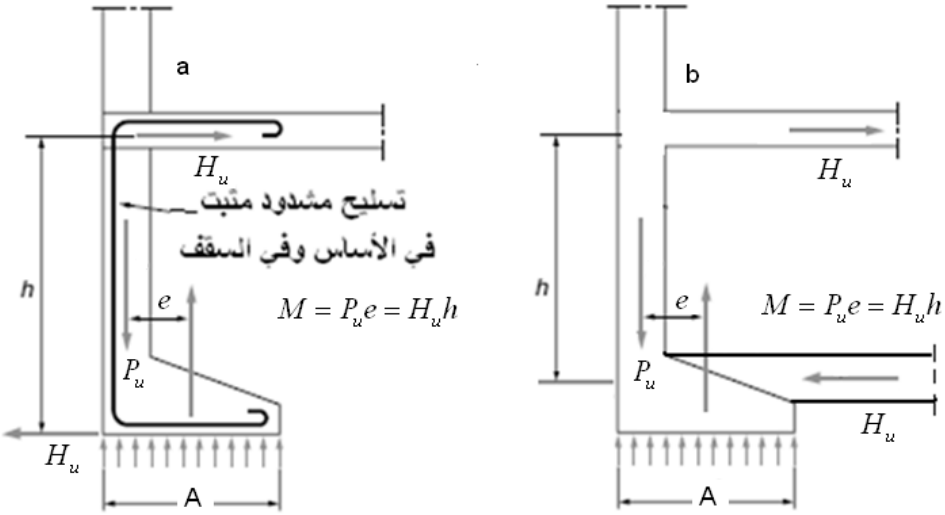
- في حالة جدار: نعتبر أن توزيع الضغط منتظم (الشكل 5-24)، فتتم موازنة العزم في القاعدة $M = P_u e$ ، عن طريق عزم ثابت في الجدار.



الشكل (5-24): موازنة اللامركزية بالجدار

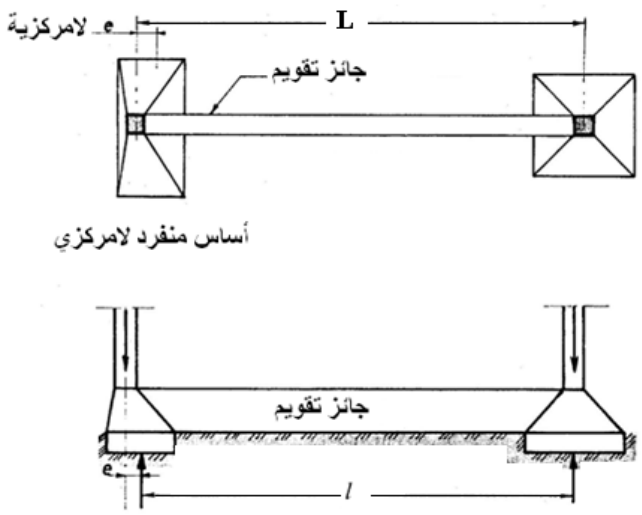
- في الترب الضعيفة وحتى ارتفاع طابقين أو ثلاثة يمكن الاكتفاء بربط الأساس الداخلي المجاور بشداد ربط على شكل شيناج، أو يتم موازنة العزم $M = P_u e$ ، عن طريق قوة أفقية H_u ، ناجمة عن الاحتكاك أسفل القاعدة $(M = P_u e = H_u h)$، حيث (h) يمثل ارتفاع الطابق، كما هو مبين في الشكل (5-25-a). هذا ويمكن أن يكون الحل بوساطة بلاطة الأرضية البيتونية المسلحة في حال وجودها بمنطقة منخفضة قريبة من الأساس (تثبيت جانبي) (الشكل 5-25-b).

كما يجب التأكد من أن العمود ذو صلابة كافية تسمح بإهمال الدوران تحت تأثير العزم.

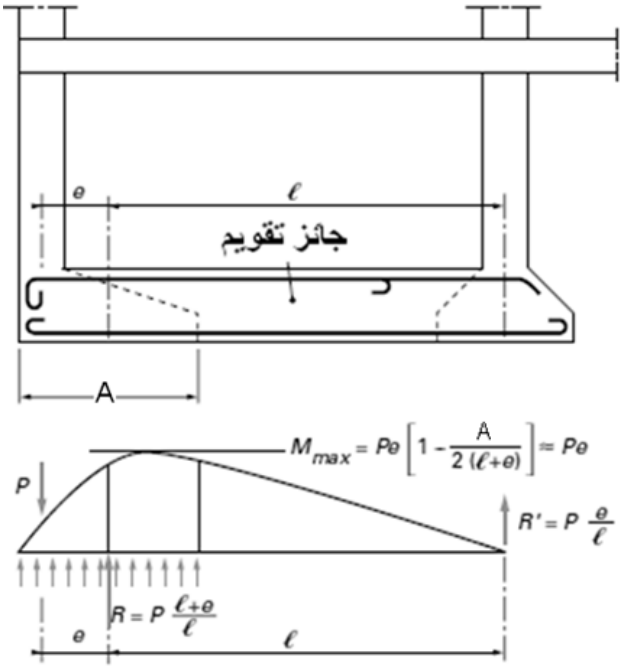


الشكل (5-25): موازنة اللامركزية بالأرضية أو بالاحتكاك أسفل الأساس

- في الأبنية متعددة الطوابق، يجب استخدام جائز تقويم صلب يصل بين الأساس الطرفي مع المجاور الداخلي (الشكل 5-26)، بحيث يعمل هذا الجائز على تعديل توزيع الاجهادات على التربة وتصبح موزعة بانتظام (على شكل مستطيل)، وهو الحل الأكثر استخداماً، ويتم الحساب كما هو مبين في الشكل (5-27).

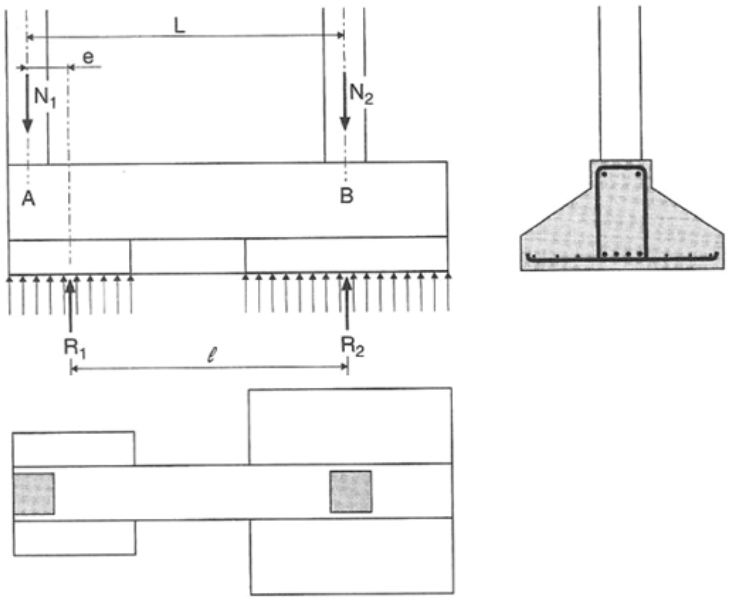


الشكل (5-26): استخدام جائز تقويم صلب يصل بين أساس طرفي و داخلي مجاور



الشكل (5-27): موازنة لامركزية الأساس الطرفي عن طريق جائز تقويم (مخطط العزم - التسليح)

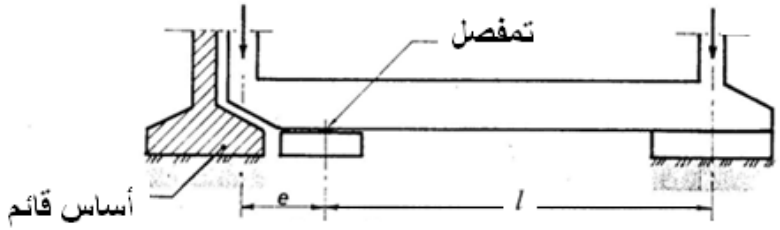
- ونشير إلى أنه يمكن استخدام جوائز التقويم من أجل موازنة العزوم الناتجة عن الحمولات اللامركزية في الأعمدة (انظر الشكل 5-28).



الشكل (5-28): موازنة الحمولات اللامركزية في الأعمدة عن طريق مزدوجة ردود الأفعال بالأساسات

- وفي حال الرغبة في توسيع أو مد مبنى باتجاه عمود موجود يمتد أساسه تحت كتلة المبنى الجديد، كما هو مبين في الشكل (5-29)، فإنه يجب اللجوء أيضاً لاستعمال جائز صلب يستند في منتصف أساس متراجع عن الأساس القديم. يخضع هذا الجائز إلى عزم مقداره $P\times e$ ، كجائز التقويم السابق.

وفي حالة الحمولات المرتفعة والتربة الجيدة أو ضعيفة الهبوط، فإنه يجب إكمال الترتيب السابق بإحداث تمفصل يسمح بتأمين لامركزية حقيقية للحمولة المطبقة على الأساس الجديد.

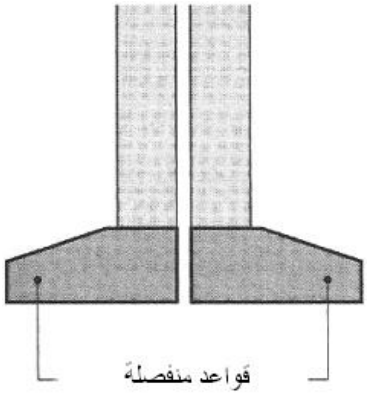


الشكل (5-29)

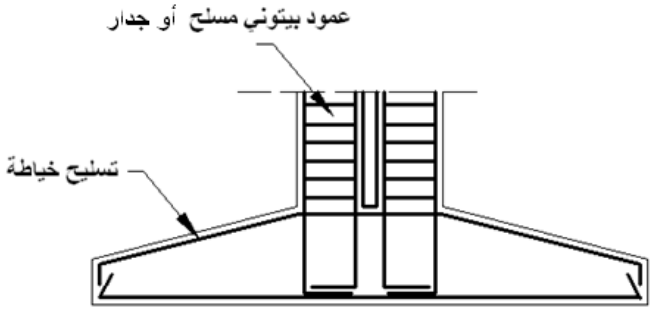
ملاحظات:

عند تصميم المنشأة وأساساتها، فإنه يجب اتخاذ القرار المناسب بأماكن توضع الفواصل وأنواعها:

- فواصل القطع (إنشائي أو هبوط): توضع بين عناصر المنشآت المتجاورة، عندما تعاني من فروقات مهمة في الحمولة و الهبوط (الشكل 5-30)، إذ يجب قطع الأساس شاقولياً لتأمين استمرار الفاصل وعمله ، وعند ذلك يجب إتباع إحدى الطرائق الواردة أعلاه لموازنة اللامركزيات.
- فواصل التمدد: في حالة التربة المتجانسة والمرصوصة جيداً، فإنه يفضل عدم قطع الأساس شاقولياً بحيث يتم إيقاف الفاصل عند الوجه العلوي للأساس، وهذا الترتيب يعتبر ساري المفعول للأعمدة والجدران الحاملة، كما يجب اتخاذ التدابير المتعلقة بخياطة الوجه العلوي للأساس بتسليح مرسى جيداً لتجنب تشقق الوجه العلوي، كما هو مبين في الشكل (5-31).



الشكل (5-30): فاصل قطع



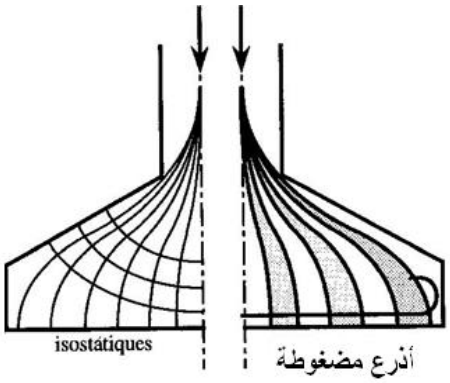
الشكل (5-31): فاصل التمدد والأساس

5-3-5- دراسة أساس منفرد:

يوجد طريقتان رئيسيتان لحساب الأساسات المنفردة الصلبة، الخاضعة لقوى محورية مركزية. ويكون الأساس صلباً إذا كانت سماكته الكلية أكبر من نصف البروز في كل الاتجاهات:

- الطريقة العزمية: يعتبر الأســاس موثوقاً عند اتصــاله بالعمود، وهي الطريقة التي ســنعتمدها في هذا الكتاب.
- طريقة الأذرع المضغوطة: تنتقل الجهود القادمة من العمود عن طريق جملة من الأذرع البيتونية المائلة (قوى ضغط)، الشكل (5-32)، التي تبدأ عند التقاء العمود بالأساس، لتتحول إلى قوى شد في قضبان التسليح السفلي. إن هذه الطريقة أكثر دقة من الطريقة السابقة عندما يكون الأساس صلباً محققاً لفرضية التوزيع المنتظم للإجهادات على سطح التماس بين الأساس والتربة. في الواقع تعمل الأساسات الصلبة كأظفار قصيرة (أكتاف) بسبب كبر سماكتها بالنسبة للمجاز، لذلك فهي لا تلبي الفرضيات العادية في حسابات مقاومة المواد، حيث يخضع الوجه السفلي لتلك الأظفار لجهود شد دون أن تكون هناك آلية انعطاف.

ونشير إلى أنه يتم الاعتماد على البيتون فقط لمقاومة إجهادات القص مستفيدين من السماكة الكبيرة للأساس المحققة شرط الصلابة.



الشكل (5-32): تشكل أذرع الضغط في أساس من البيتون المسلح

يمكن إتباع الخطوات التالية عند تصميم الأساسات السطحية المنفردة:

1. تحديد أبعاد الأساس:

تحسب مساحة سطح الأساس عن طريق قسمة حمولات الاستثمار "غير المصعدة" على ضغط التربة الصافي $(\overline{\sigma}_{sn})$ الذي يحدد انطلاقاً من قدرة تحمل التربة $(\overline{\sigma}_s)$، مع اعتبار أثر وزن الأساس والتربة الواقعة فوقه:

- تراكب حمولات عادية: $A \times B = \dfrac{N_G + N_P}{\overline{\sigma}_{sn}}$
- تراكب حمولات (استثنائية + عادية):

$$A \times B = \frac{N_G + N_P + N_{W,S}}{1{,}25.\overline{\sigma}_{sn}}$$

حيث: N_G : القوى المحورية في العمود الناجمة عن الحمولات الدائمة.

N_P : القوى المحورية في العمود الناجمة عن الحمولات الإضافية.

$N_{W,S}$: القوى المحورية في العمود الناجمة عن الحمولات الاستثنائية (زلازل و رياح). نلاحظ أنه تم زيادة قدرة تحمل التربة بمقدار 25% لحالة الحمولات الاستثنائية. علماً أن هذه الزيادة تعادل 33% في الكود الفرنسي أو الأمريكي.

2. حساب قيمة ضغط التربة الحدي σ_{su} الناجم عن الحمولات المصعدة مع اعتماد أبعاد الأساس المحسوبة سابقا :

$$N_U = 1{,}5\,N_G + 1{,}8\,N_P$$

أو

حالة الرياح $N_U = 0.8(1{,}5\,N_G + 1{,}8\,N_P + 1{,}8\,N_W)$

حالة الزلازل $N_U = 0.8(1{,}5\,N_G + 1{,}8\,N_P + 1{,}98\,N_S)$

3. تقدير قيمة سماكة الأساس التي تحقق شرط الصلابة:

يمكن استخدام العلاقة التجريبية التالية (علاقة الفرنسي كاكو):

$$h = 1{,}44\sqrt{\frac{N}{0{,}3\,f_c'}}$$

التي غالباً ما تحقق شرط الصلابة المحددة من قبل الكود (السماكة الكلية أكبر من نصف البروز):

$\left(d \geq \frac{B-b}{4}\ ;\ d \geq \frac{A-a}{4}\right)$ (الارتفاع الفعال):

حيث: $N = N_G + N_P$: القوة المحورية المطبقة على الأساس (بالديكانيوتن dN).

$f_c'\left(dN/cm^2\right)$: المقاومة المميزة للبيتون.

$h\,(cm) = d + c + \phi_\ell$: السماكة الكلية للأساس.

ϕ_ℓ : قطر قضبان التسليح الطولانية.

d : الارتفاع الفعال للأساس بالسنتيمتر.

c : سماكة الغطاء البيتوني، وتؤخذ مساوية لـ (5-7 cm) في حالة الأساسات.

a, b : أبعاد مقطع العمود بالسنتيمتر.

A, B : أبعاد سطح الأساس بالسنتيمتر.

4. التحقق من قدرة تحمل بيتون العمود والأساس:

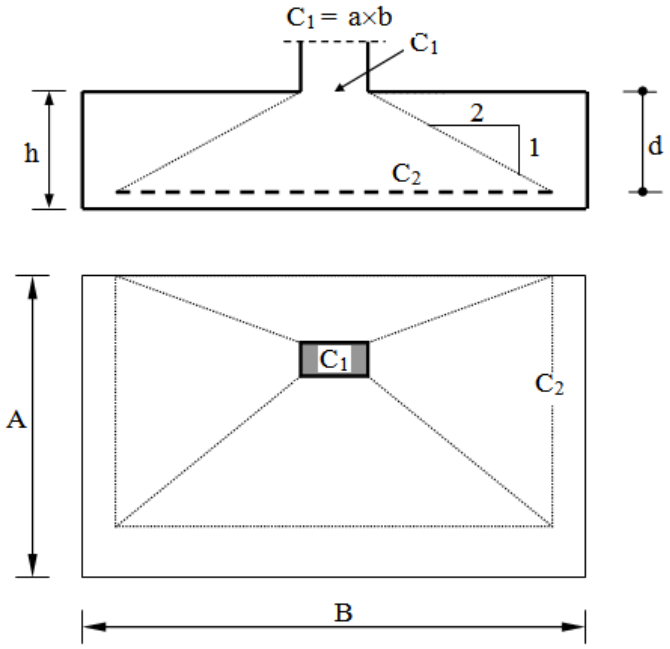
يمكن أن يختلف بيتون الأســـاس عن بيتون العمود، لذلك من الضــروري التحقق من قدرة تحمل كل عنصر.

- للأعمدة: $N_U \le \Omega.(0{,}85\, f'_c).C_1$
- للأساسات: $N_U \le \Omega.(0{,}85\, f'_c).C_1.\sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$; $\sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \le 2$

حيث: $\Omega = 0{,}7$: عامل تخفيض المقاومة.

$C_1 = a \times b$: مساحة مقطع العمود، مع a : البعد الصغير و b : البعد الكبير لمقطع العمود،

C_2 : مســـاحة قاعدة جذع هرم الانهيار المتناســـبة مع مســـاحة مقطع العمود، مع ميل يعادل 1/2 (2 أفقي، 1 شاقولي)، الشكل (5-33).



الشكل (5-33)

5. التحقق من شرط الثقب و القص:

تبين الأشـكال (5-34) و (5-35) سـطوح الانهيار التقريبية بالقص والثقب، وكذلك شـريحة العمود (حالة العمود المستطيل).

- حالة الثقب: تحدد إجهادات القص لهذه الحالة بالعلاقة التالية:

$$\tau_u = \frac{V_U}{0{,}85\ b_0\ .d}$$

باعتبار أن:

$V_U = N_U - \sigma_{su}.C_3$: قوة القص الحدية عند المقطع الحرج.

σ_{su} : ضغط التربة الناجم عن الحمولات المصعدة.

$C_3 = (a+2d)(b+2d)$: مساحة سطح التوزيع لحمولة العمود ذي المقطع

C_1 (ميل سطح جذع الهرم يعادل 1/1).

$b_0 = 2(a+b+2d)$: محيط المقطع الحرج في حالة الثقب

(على بعد $d/2$ من حافة العمود).

نقارن قيمة إجهادات القص السابقة مع القيمة التالية لتحمل البيتون للقص في حالة الثقب:

$$\tau_{up} = \min \begin{cases} 0.32\left(0{,}5+\dfrac{a}{3b}\right)\sqrt{f'_c} \\ 0.32\left(0{,}5+\dfrac{\alpha_s d}{12b_0}\right)\sqrt{f'_c} \end{cases}$$

حيث : $\alpha_s = 40$ عمود وسطي.

$\alpha_s = 30$ عمود واجهة (جانبي).

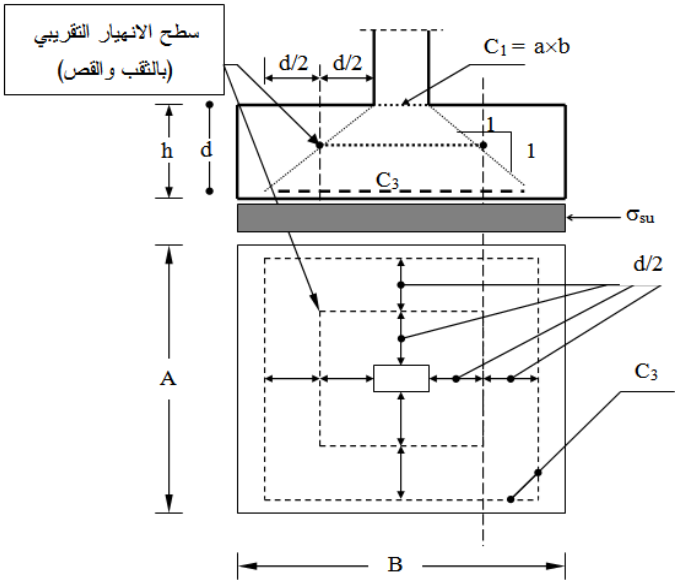
$\alpha_s = 20$ عمود زاوية (ركني).

$$\tau_{up};\ f'_C(N/mm^2)$$

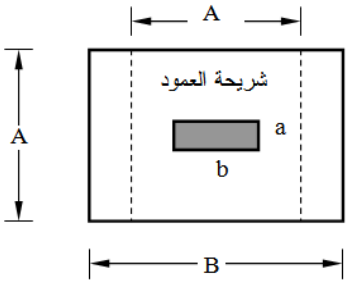
- حالة القص: نحسب إجهادات القص الناجمة عن الجهد القاطع عند المقطع الحرج (على بعد $d/2$ من حافة العمود، وفق توصيات الكود السوري) بالعلاقة التالية:

$$\tau_u = \frac{V_U}{0.85\ b_w\ d} \le \tau_{cu} = \left(0.16+\frac{a}{3b}\right)\sqrt{f'_c} \le 0.31\sqrt{f'_c}\,(N/mm^2)$$

باعتبار أن: b_w : عرض الشريحة المعتمدة من الأساس (عرض الأساس أو شريحة مترية منه).

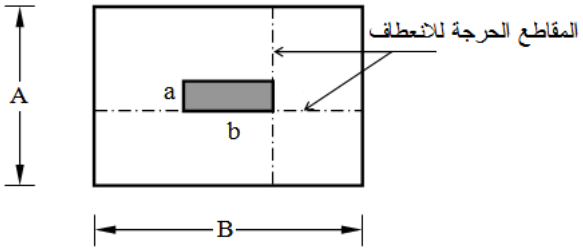


الشكل (5-34): سطوح الانهيار بالثقب والقص



الشكل (5-35): شريحة عمود مستطيل

6. حساب التسليح بالاتجاه الطولي الناجم عن عزم الانعطاف عند حافة العمود أو الجدار البيتوني المسلح (المقطع الحرج، الشكل (5-36))، ويؤخذ العزم عند وسط الجدار إذا كان حجرياً.



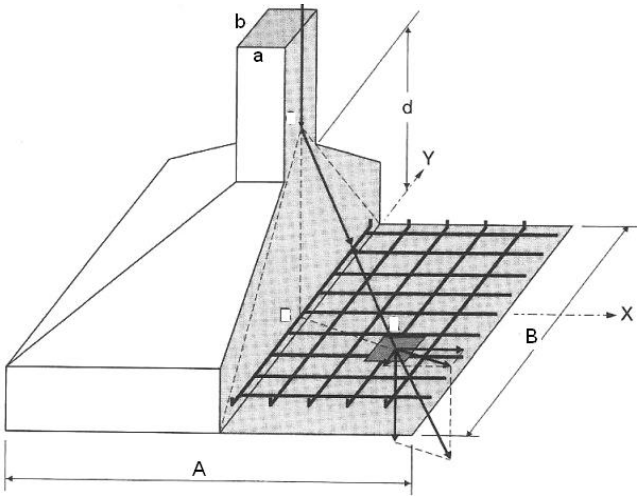
الشكل (5-36): المقاطع الحرجة عند دراسة الانعطاف

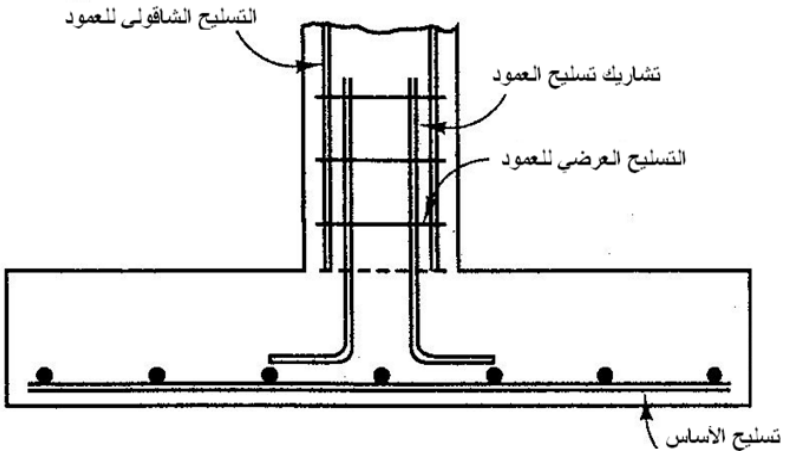
7. حســاب التســليح بالاتجاه العرضــي الناجم عن عزم الانعطاف في المقطع الحرج، ومن ثم يوزع على شـريحة العمود بنسـبة مقدارها $\frac{2}{\beta+1}$ ، باعتبار أن : $\beta=\frac{B}{A}$ ،الشـكل (5-36)، ويوزع الباقي على طرفي الشريحة بشكل منتظم.

8. التحقق من أطوال الإرساء لتسليح الانعطاف.

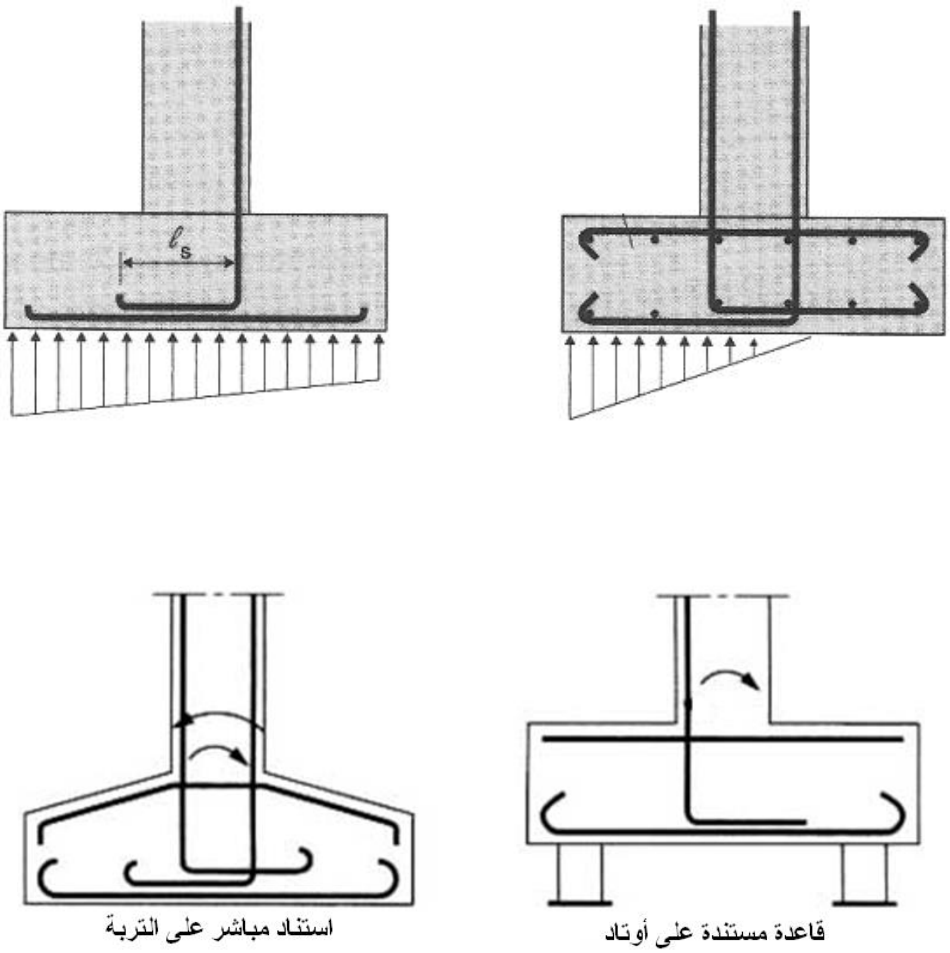
9. بصـورة عامة، ينفذ الأسـاس على طبقة من بيتون نظافة عياره $(200-250 kg/m^3)$، وبسـماكة تتراوح بين 5 cm و 10 cm.

10. رسم المساقط والمقاطع العرضية اللازمة للتنفيذ بمقاييس مناسبة، الشكل (5-37).





الشكل (5-37)



ارساء تسليح الأعمدة في الأساسات

تابع للشكل (5-37)

5-3-6- الاشتراطات البعدية وترتيبات التسليح في الأساسات:

نعرض في ما يلي الاشتراطات البعدية، ترتيبات التسليح و مساحاته الدنيا والقصوى في الأساسات، كما ورد في الكود العربي السوري.

أ- أبعاد الأساسات:

1) لا يقل العمق الكلي للبيتون في الأساس الملاصق لبيتون النظافة مباشرة عن (25cm) ، كما لا يقل العمق الكلي لقبعة الأوتاد عن (40cm).
2) لا يقل البعد الأصغر لأساسات الأعمدة عن (100cm) في التربة القوية (قدرة التحمل $\leq 3kg/cm^2$)، وعن (120cm) في التربة الضعيفة (قدرة التحمل $< 3kg/cm^2$).
3) لا يقل عرض الأساس الشريطي عن (60cm) في التربة القوية، وعن (90cm) في التربة الضعيفة.

4) يجب ألا يقل العمق الكلي للأساس المنفرد عن نصف مقدار بروزه عن حافة العمود أو الجدار $d \geq \frac{B(A)-b(a)}{4}$ ، و يفضل أن تكون البروزات بقدر الإمكان متساوية.

5) يطبق الشرط السابق على الجزء البارز من البلاطات في بقية أنواع الأساسات، أما في حالة الجوائز الظفرية في أساسات الحصيرة فيجب ألا يقل العمق عن البروز من وجه القاعدة أو العمود.

6) بالنسبة للأساسات الكتلية من البيتون العادي يجب ألا يقل عمق الأساس عن $\left(1.\frac{1}{2}\right)$ مقدار بروزه من حافة العمود، أو قاعدة العمود التي تستند على هذا الأساس الكتلي (أبعاد القاعدة الأصغرية: 25cm للسماكة و 60cm للبعد الأفقي الأصغر).

7) لا تزيد نسبة المجاز إلى العمق في جوائز الحصيرة عن 4 للجوائز البسيطة، وعن 5 للجوائز المستمرة.

8) لا تزيد نسبة مجاز بلاطات الحصيرة إلى العمق عن 8 للعاملة باتجاه واحد، وعن 10 للعاملة باتجاهين.

9) يمكن أن يكون السطح العلوي للأساس أفقيا، كما يمكن أن يكون مائلا، ويشترط في الحالة الأخيرة ألا يزيد ميل سطح الأساس عن: 2 شاقولي : 2.5 أفقي للأساسات من البيتون المسلح، وعن: 1 شاقولي : 1.4 أفقي للأساسات من البيتون العادي (الكتلية). ويشترط في الأساسات ذات السطح العلوي المائل ألا تقل سماكة الأساس عند الطرف عن نصف سماكته عند وجه العمود.

ب- النسب الحدية للتسليح وترتيباته:

1) لا تقل مساحة التسليح الدنيا للأساسات في كل من الاتجاهين عن ($0.0012A_c$) إذا كان التسليح من النوع المطاوع، ولا تقل عن ($0.001A_c$) إذا كان التسليح من النوع عالي المقاومة (حيث A_c تمثل مساحة المقطع البيتوني المتعامد مع التسليح)، أو لا تقل عن (1.33) من مساحة التسليح اللازمة حسابيا، أيهما أقل.

2) لا تزيد مساحة التسليح القصوى عن نصف المساحة التوازنية ($0.5A_{sb}$) للمقطع العرضي للأساس.

3) لا يقل قطر قضبان التسليح المستخدمة في تسليح الأساسات و الشيناجات عن (12 mm) في حال الفولاذ المطاوع، وعن (10 mm) في حال الفولاذ عالي المقاومة.

4) لا يزيد تباعد قضبان التسليح في الأساسات عن (20 cm).

5) يتم نقل إجهادات التسليح الطولي في العمود أو القاعدة إلى القاعدة أو الأساس الحامل، إما بتمديد التسليح الطولي ضمن القاعدة أو الأساس الحامل وإما بواسطة تشاريك.

6) في حال تمديد التسليح ضمن العنصر الحامل (بالأسفل) فيجب تمديد هذا التسليح لمسافة كافية لنقل الجهود للبيتون بواسطة التلاحم.

7) في حال استعمال التشاريك فإن مجموع مساحات المقاطع العرضية للتشاريك يجب ألا تقل عن مجموع مساحات المقاطع العرضية للتسليح الطولي للعنصر الذي يتم نقل إجهادات تسليحه. و يجب ألا يقل عدد قضبان التشاريك في جميع الأحوال عن (4) لكل عنصر، كما يجب ألا يزيد قطر تسليح التشاريك عن قطر تسليح العنصر الأساسي بأكثر من (3 mm) .

8) يجب أن يمتد طول قضبان التشاريك ضمن القاعدة أو العمود مسافة لا تقل عن المسافة اللازمة لوصلة قضيب تسليح طولي في عمود، كما يجب أن تمتد ضمن الأساس لمسافة لا تقل عن المسافة الكافية لنقل الحمولة للبيتون بواسطة التلاحم.

9) يتم تثبيت نهايات قضبان تسليح الشيناجات في رقبات الأعمدة أو الأساسات (حسب منسوبها) بصورة جيدة وبصفتها معرضة لإجهادات شادة.

5-3-7- توصيات وقواعد خاصة بالأساسات وتربة التأسيس:

نبين فيما يلي بعض الملاحظات المرتبطة بجمل الأساسات الواجب استدراكها بهدف تأمين استجابة مقبولة للمنشآت الواقعة في مناطق زلزالية:

1) تعد الترب ذات الانضغاطية العالية أو الترب المشكلة من ردميات حديثة أو الترب الرملية المشبعة بالماء أو الترب المخلخلة غير مناسبة بتاتا للتأسيس عليها، وذلك عند تعرضها للزلازل، بسبب هبوطها العالي وتغير بنيتها عند مرور الأمواج الاهتزازية فيها. أما التربة الرملية ذات الحبيبات الناعمة المشبعة بالماء فإنها ستتعرض لظاهرة التميع إذ يزداد الضغط الداخلي في المسامات المشبعة بالماء بشكل مفاجئ، فيزول الاحتكاك بين حبيبات الرمل، وتتحول كتلة التربة من حالتها الصلبة إلى الحالة المائعة، لذا يتوجب تجنب التأسيس على مثل هذه الترب.

2) يتوجب عند التأسيس في مناطق معرضة لزلازل، أن يتم اختيار الحلول التي تعتمد عند التأسيس على الترب القابلة للانضغاط، أي تشكيل جملة تأسيس مؤلفة من الأساس و الشيناج و الجدران الحاملة وسقف القبو كجملة صلبة مترابطة.

3) يفضل أن يتم التأسيس على تربة من نوع واحد وعلى طبقة واحدة في حالة وجود طبقات متنوعة. ويتعين عدم تأسيس منشأة أو مبنى على جانبي صدع جيولوجي أو على الطمي غير المدموك.

4) يفضل استعمال نوع واحد من الأساسات لكامل المنشأة أو المبنى (أساسات سطحية أو وتدية وخلاف ذلك) وبشكل منتظم، وينبغي توحيد نوع الأساس لكل جزء من المبنى أو المنشأة عند اختلاف نوع تربة التأسيس.

5) تأمين الاستقرار الخارجي للمنشآت، بمعنى ضمان ثبات المنشأة (عدم انزلاقها) أو استقرارها (عدم انقلابها)، وخاصة للمنشآت والمباني المقامة على المنحدرات.

6) لا ينصح باستخدام العناصر مسبقة الصنع في الأساسات والجدران وذلك لفقدان الترابط الكافي بينها (الأمر الذي يخفض من مقاومة الجملة أثناء حدوث الزلزال). وفي حال استخدامها يجب أخذ احتياطات ملائمة لتأمين ترابط كاف بين عناصرها المختلفة.

7) في حال استخدام قاعدة من البيتون المسلح المصبوب في المكان أو مسبقة الصنع تستند على كتلة من البيتون العادي أو المغموس، يفضل وضع تشاريك مناسبة لفولاذ التسليح بينهما لامتصاص القوى الأفقية أو إجهادات الشد المحتملة في حالة اللامركزية الكبيرة (تأمين الإرساء المطلوب)، وخاصة عند تعرض المنشأ إلى الزلزال (الشكل 5-38).

8) يتم وصل الأساسات المنفردة ببعضها بجوائز أرضية قريبة بقدر الإمكان من منسوب ظهر الأساسات وتحت منسوب الأرض، ويراعى تثبيت قضبان التسليح لهذه الجوائز حسب الأصول المعتمدة.

9) اختيار الأساسات السطحية:

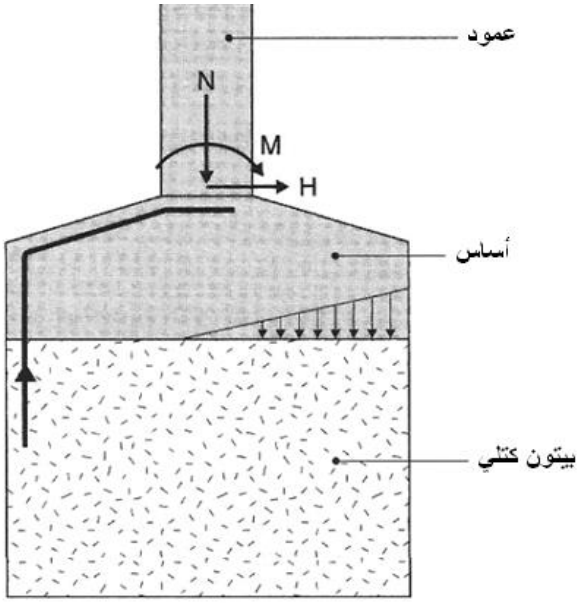
يتم اختيار نوع الأساسات السطحية المناسبة بعد الأخذ بالحسبان ما يلي:

- تحقق الأساسات الحصيرية (Raft) عادة الكفاءة الأعلى في سلوك المنشآت عند تعرضها للزلزال بالمقارنة مع الأنواع الأخرى من الأساسات. ويكون هذا المبدأ مشروطاً بتحقق اشتراطات المقاومة والاستقرار في التقرير الحسابي لها (بما فيها الحصائر المفرغة المكونة من جوائز مستمرة بالاتجاهين وبدون بلاطات) (الشكل 5-39).
- تعد الأساسات الخطية ملائمة أيضاً شريطة أن تكون محققة لشرطي المقاومة والاستقرار حسابياً باتجاهها والاتجاه المتعامد بالشيناجات، ويفضل منها الأساسات الخطية باتجاهين (الشكل 5-40).
- إن الأساسات المنفردة هي الأقل كفاءة، ويتحسن سلوكها ويصبح مقبولاً إذا كانت مربوطة فيما بينها بالاتجاهين بشيناجات (جوائز أرضية) منفذة فوق الأساسات مباشرة (دون رقبات). وتصمم الشيناجات لتحمل قوى محورية (شد أو ضغط) لا تقل عن 10% من حمل العمود، إضافة إلى ما ينقل له من عزم ناتج عن حمولات الزلزال بحيث لا تزيد منطقة الشد تحت كل أساس على 50% من مساحته $\left(C \le \frac{1}{2} A\right)$، على أن تكون الإجهادات العظمى على التربة مقبولة.

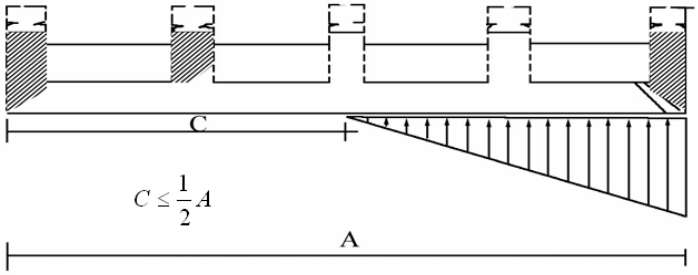
- إن الأساسات المنفردة دون ربطها بشيناجات، مع وجود رقبات غير محسوبة على الحمولات الجانبية، هي الأضعف في سلوكها عند تعرضها إلى زلزال، وقد تشكل نقاط ضعف في المنشأة، يجب التدقيق في مقاومتها خاصة إذا كانت لها رقبات قصيرة ومؤسسة على مناسيب متعددة (الشكل 5-41).
- تعد الأساسات غير البيتونية ضعيفة جداً، وتشكل نقاط ضعف في المنشأة عند تعرضها للزلزال.

وفي جميع الأحوال، لا يتخذ القرار النهائي في تقييم الأساسات إلا بعد إنجاز التحقق الحسابي التفصيلي لهذه العناصر، من حيث الاجهادات المطبقة، الانهيار الموضعي، الاستقرار، الدوران، المقاومة والتشققات المعيبة.

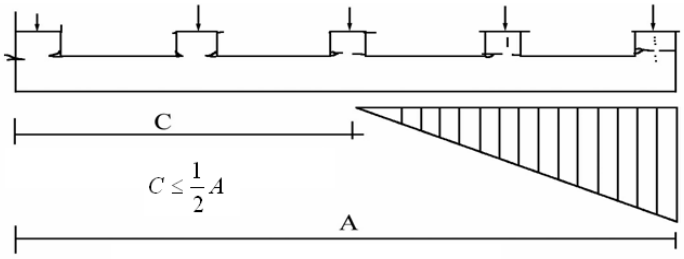
مع الإشارة إلى أنه من الناحية الزلزالية يفضل تشكل المفاصل اللدنة في الأعمدة قبل الأساسات.



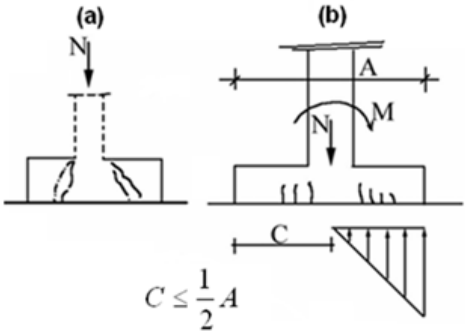
الشكل (5-38): مقاومة قوى الشد عن طريق إرساء التسليح في البيتون الكتلي (تسليح ربط)



الشكل (5-39): أساس حصيرة من البيتون المسلح



الشكل (5-40): أساس خطي من البيتون المسلح



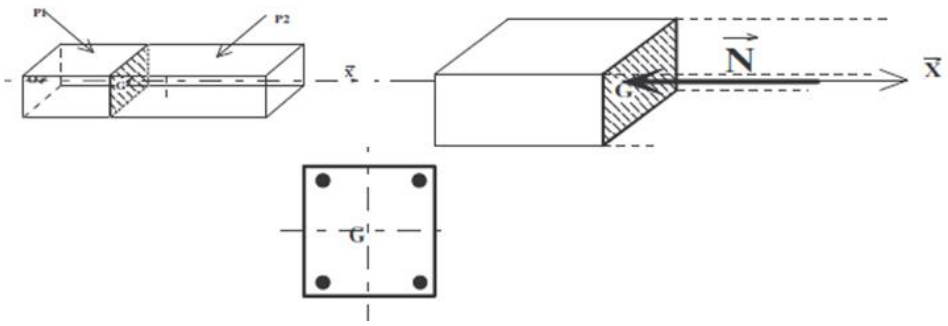
(a) أساس منفرد من البيتون غير المسلح، (b) أساس منفرد من البيتون المسلح،

الشكل (5-41): التشققات في أساس سطحي منفرد

5-4- الأعمدة من البيتون المسلح

5-4-1- تمهيد:

يخضع عنصر معين إلى الضغط البسيط عندما يمكن اختزال القوى العاملة عليه والواقعة من جهة واحدة لمقطع قائم، إلى قوة ضغط وحيدة موازية للخط الوسطي، مارة من مركز ثقل المقطع القائم (الشكل 5-42).



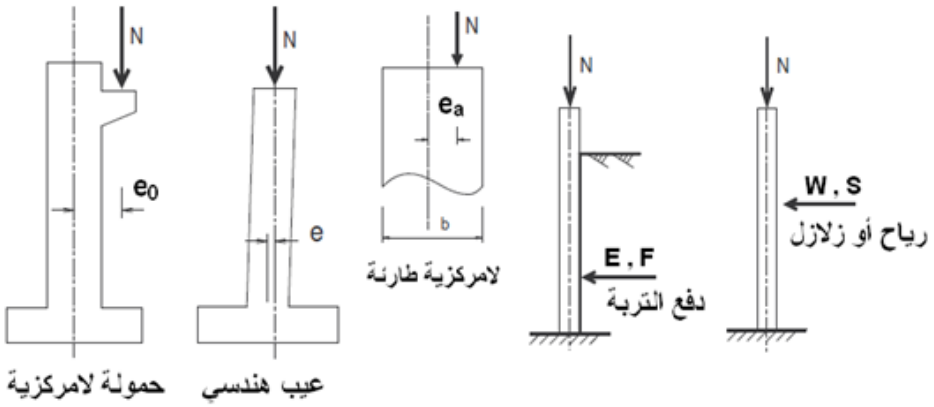
الشكل (5-42): مقطع معرض للضغط البسيط

وإن أكثر العناصر المعرضة للضغط البسيط هي الأعمدة التي لا تتأثر بظاهرة التحنيب و الخاضعة لقوة محورية (أعمدة الأبنية، ركائز الجسور، عناصر الجوائز الشبكية والأوتاد الخ...).

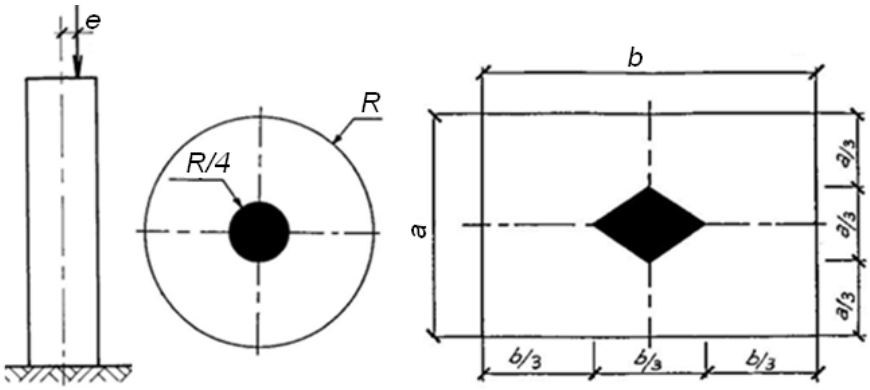
في الواقع، من النادر الحصول على تطابق تام بين مركز مرور القوة الخارجية ومركز ثقل العمود، بسبب عدم الدقة الكافية في الإنشاء من جهة ولأن خط تأثير هذه القوة الخارجية يمكن أن يتغير حسب موقع وكبر الحمولات الإضافية المطبقة على المنشأ من جهة أخرى. ويوضح الشكل (5-43) وجود حالات أخرى يحصل فيها تباعد هذين المركزين، وحصول لامركزية صغيرة أو كبيرة مسببة عزم حدي مقداره $M_u = N'_u e$ ، حيث e : اللامركزية، و N'_u : قوة الضغط الحدية.

وتكون الاجهادات في المقطع هي إجهادات ضغط عندما تكون القوة الخارجية مطبقة بلا مركزية صغيرة تقع ضمن حدود النواة المركزية، كما هو مبين في الشكل (5-44).

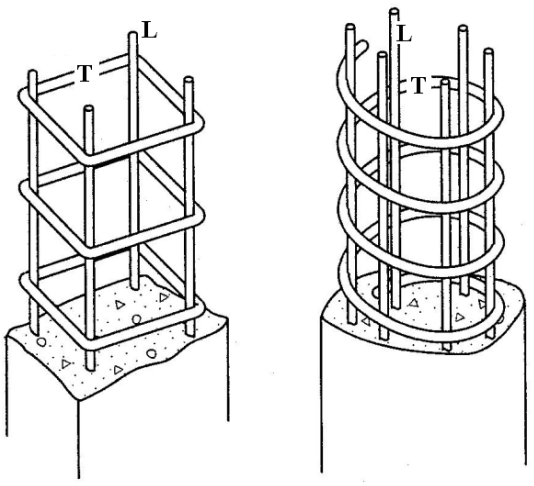
تحتوي الأعمدة من البيتون المسلح على نوعين من التسليح كما هو مبين على الشكل (5-45): قضبان التسليح الطولية (L) موضوعة بصورة موازية للمحور الطولي للعمود ، والتسليح العرضي (T) الذي يقع في المستوى العمودي على محور العمود على شكل إطارات أو أساور، أتاري، شناكل، حلزون، ويمكن أن يتألف من الشبكات الملحومة.



الشكل (5-43): عدم تطابق بين مركز مرور القوة الخارجية ومركز ثقل العمود (لا مركزية)



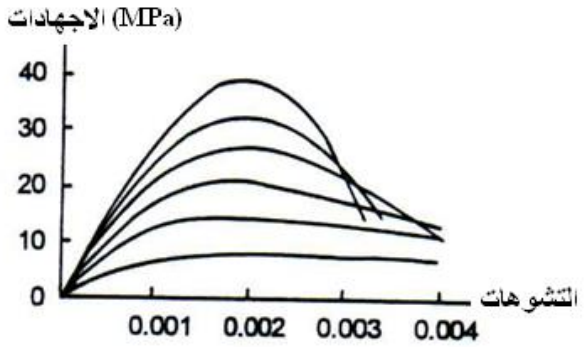
الشكل (5-44): النواة المركزية لمقطع مستطيل ودائري



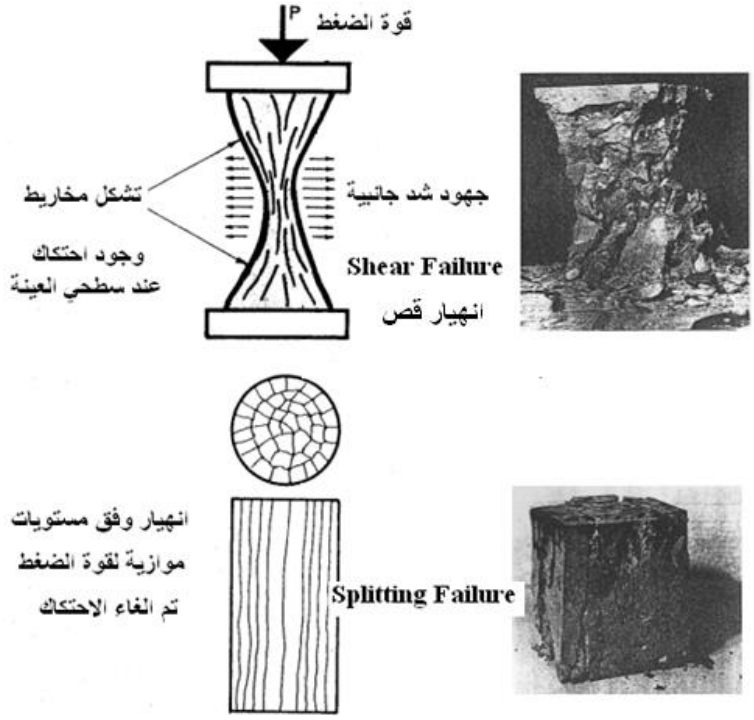
الشكل (5-45): أنواع التسليح في الأعمدة (طولي وعرضي: L & T)

يبين الشكل (5-46) العلاقة بين الإجهادات والتشوهات لعينات نظامية من البيتون بأنواع مختلفة، خاضعة لضغط مركزي (اختبار الضغط على عينات نظامية)، حيث نلاحظ أنه مهما اختلفت مقاومة البيتون فإن التشوهات عند الذروة تكون حوالي $(\varepsilon_0 \approx 0.2\%)$ ، وتتراوح التشوهات عند الانهيار $(\varepsilon_0 \approx 0.3\% \rightarrow 0.4\%)$. وهذا السلوك يبين أن البيتون هو مادة ذات مطاوعة ضعيفة، بالتالي يكون انهيارها هشاً.

يبين الشكل (5-47) أنماط انهيار العينة البيتونية المعرضة للضغط البسيط (مركزي).



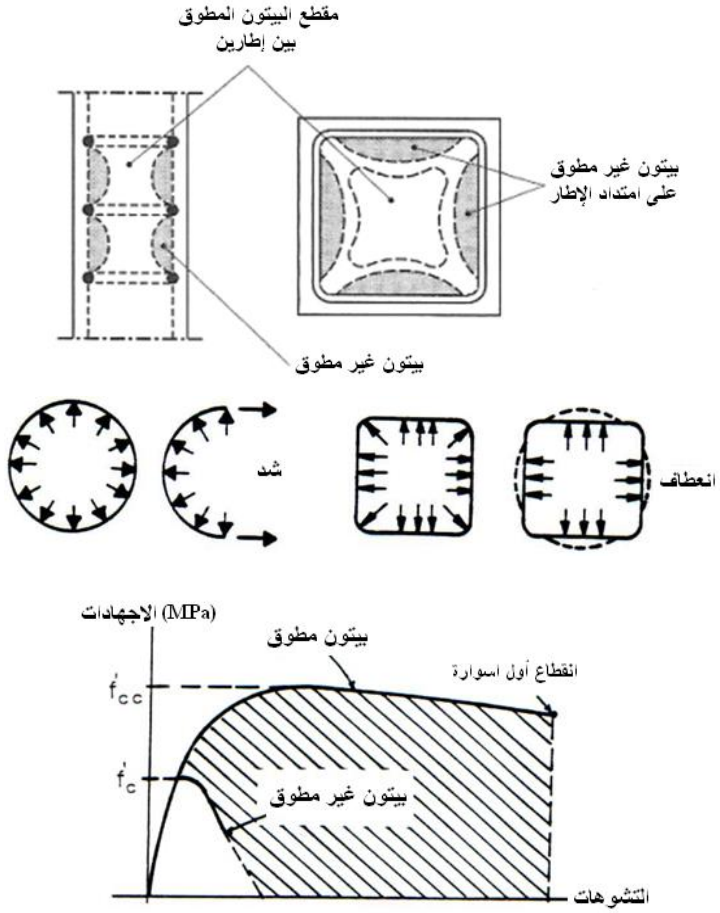
الشكل (5-46): مخطط الإجهادات والتشوهات لعينات نظامية من البيتون، خاضعة لضغط مركزي



الشكل (5-47): أنماط انهيار عينة بيتونية على الضغط المركزي

ولتفادي الانهيار الهش للبيتون المعرض للضغط نعمل على تحسين مطاوعته قدر الإمكان، ويمكن أن يتم ذلك بتطويق البيتون بأساور أو بإطارات مغلقة من فولاذ التسليح. في الواقع، أثبتت التجارب أن هذا التسليح العرضي لا يؤثر على مقاومة البيتون عند تعرضه لحمولات ضغط تسبب إجهادات صغيرة، ولكن بالمقابل عندما تكون إجهادات الضغط كبيرة بمعنى قريبة من المقاومة المميزة للبيتون (f'_c)، فتلعب هذه الأساور دوراً مهماً في زيادة مقاومة البيتون وذلك بفعل بواسون حيث يتحول قسم كبير من التشوهات الطولية الكبيرة في اتجاه التحميل إلى تشوهات عرضية. هذه

التشوهات العرضية، إضافة للتشققات في البيتون، تعمل على ضغط هذه الأساور بالتالي تحاول بدورها مقاومة هذا الضغط بالشد (تسليح عرضي بأساور) أو بالانعطاف (تسليح عرضي بإطارات)، كما هو مبين في الشكل (5-48).



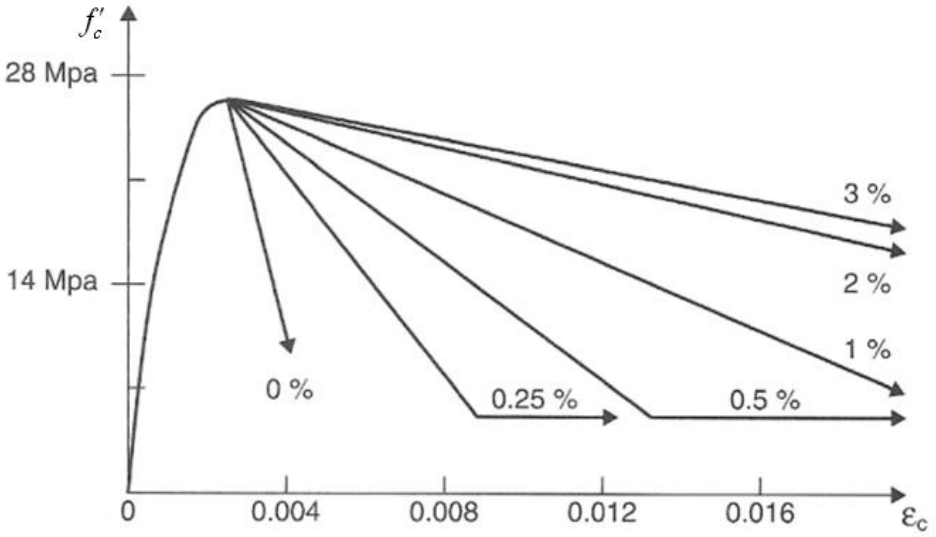
الشكل (5-48): تأثير التطويق على سلوك البيتون المعرض لضغط

في الواقع، يلعب التسليح العرضي دوراً مهماً في تحسين سلوك المنشآت، وإن فاعليته تعتمد على العوامل التالية:

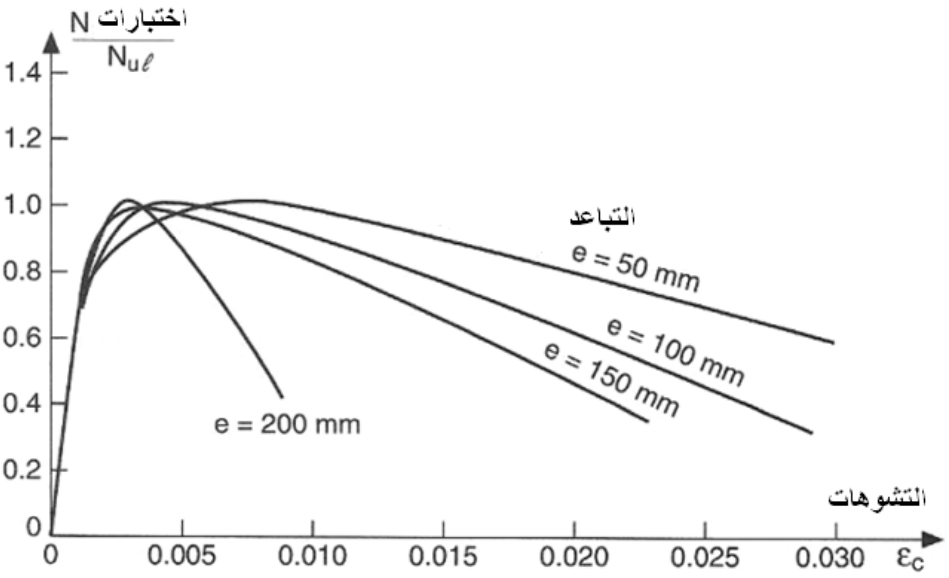
- نسبة التسليح الحجمية (μ_{tv}): يتحسن مخطط الاجهاد – تشوه بزيادة هذه النسبة (الشكل 5-49).

- النسبة بين تباعد التسليح العرضي و أبعاد النواة المطوقة: أن تخفيض التباعد بين صفوف التسليح العرضي يزيد من فعل التطويق (الشكل 5-50)، وأثبتت الدراسات النظرية والتجريبية أن ظاهرة تحنيب التسليح الطولي لا تحدث، في حال أن هذا التباعد لا يتجاوز المجال $(6\phi_l \rightarrow 10\phi_l)$ ، باعتبار أن (ϕ_l) هو القطر الأصغري للتسليح الطولي.

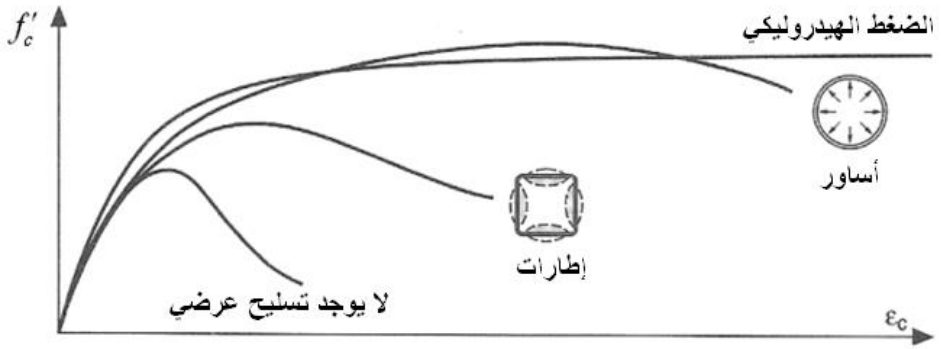
- شكل التسليح العرضي: تقدم الأساور تطويقاً فعالاً للنواة، بالمقابل يقدم التسليح العرضي المستطيل (إطارات)، تطويقاً فعالاً عند الزوايا، بالتالي يجب وضع إطارات إضافية أو شناكل نظامية للقضبان الطولية الواقعة عند جوانب العمود (الشكل 5-51).



الشكل (5-49): تأثير نسبة التسليح العرضي الحجمية (μ_{tv}) على سلوك البيتون المضغوط



الشكل (5-50): تأثير التباعد بين نسبة التسليح العرضي على سلوك البيتون المضغوط



الشكل (5-51): تأثير شكل التسليح العرضي على سلوك البيتون المضغوط

5-4-2- تحقيق الأعمدة على التحنيب:

التحنيب هو ظاهرة عدم استقرار عرضي ترافق العناصر المضغوطة، وهي ظاهرة خطيرة لأنها سريعة وليس بالإمكان التنبؤ بها. ويمكن تلخيص البارامترات المؤثرة على هذه الظاهرة وفق ما يلي:

- عزم العطالة: كلما كان عزم العطالة كبيراً كلما انخفض الخطر.
- طول التحنيب: كلما زاد طول التحنيب كلما زاد الخطر.

إذن من أجل تشغيل العمود على الضغط البسيط ، كما مر سابقاً يجب ضمان عدم تحنيبه، ومن هنا جاء مفهوم نحافة العمود أو رشاقته.

5-4-2-1- النحافة λ:

النحافة هي النسبة بين طول التحنيب (L_O) و نصف قطر العطالة $\left(i=\sqrt{I/A}\right)$ للمقطع القائم للبيتون بمفرده، الموافق للمستوى الذي ندرس فيه التحنيب ، حيث I : عزم عطالة المقطع و A : مساحة المقطع.

واستناداً لقيمة النحافة يتم التمييز بين الأعمدة الطويلة و الأعمدة القصيرة.

وفي هذا الخصوص، ينص الكود السوري على ما يلي:

- يعتبر العنصر المضغوط طويلا إذا زادت نسبة أحد طوليه الحسابيين (بالاتجاهين المتعامدين) على سماكة مقطعه في الاتجاه المعتمد عن (12) بالنسبة للعمود المستطيل أو المربع ، وعن (10) بالنسبة للعمود الدائري. وعندما تقل النسبة عن هذه القيم المحددة فيعتبر العمود قصيراً.
- وفي حالة الأعمدة ذات المقاطع غير المستطيلة أو غير الدائرية، يعد العمود طويلا إذا زادت نحافته عن 40 ، $\left(\lambda=L_O/i>40\right)$.

5-4-2-2- طول التحنيب (L_O):

يحدد طول التحنيب اعتمادا على الطول الحر (L) للعنصـــر في الاتجاه المدروس على التحنيب، على طريقة ارتباط أطرافه (الشـــروط الطرفية) وفيما إذا كانت الأعمدة تنتمي إلى هياكل مقواة أو غير مقواة لمقاومة الانزياح الجانبي كأن تحتوي على جملة جدران قص أو أنظمة تربيط أو تكتيف شـبكي (قطرية أو مثلثية) بصـلابة لا تقل عن سـتة أضـعاف مجموع صـلابات الأعمدة في كل طابق وفي الاتجاه المدروس. وتعتبر الهياكل غير مقواة جانبيا عندما تعتمد على صلابة أعمدتها فقط في مقاومة القوى الأفقية .

يبين الشكل (5-52) قيم الطول الحر (L) للأعمدة حسب الارتباط الموافق.

أ- طول التحنيب للهياكل غير المقواة جانبيا:

يؤخذ طول التحنيب لأعمدة هذه الهياكل كما يلي:

$$L_O = \alpha . L$$

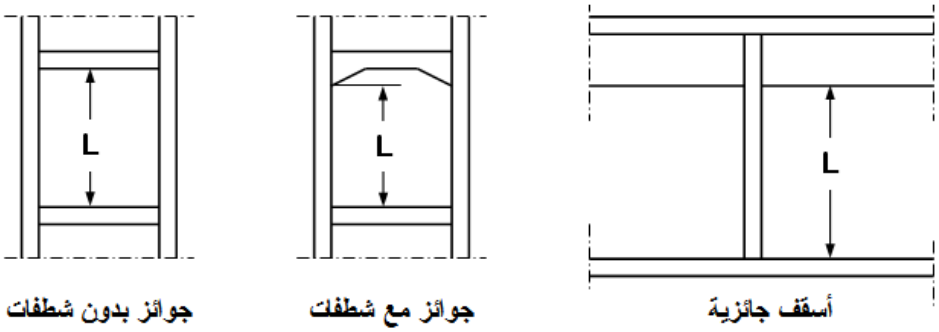
$$\alpha = f(\Psi_A, \Psi_B)$$

$$\Psi = \frac{\sum \frac{EI}{L} Columns}{\sum \frac{EI}{L} Beams}$$

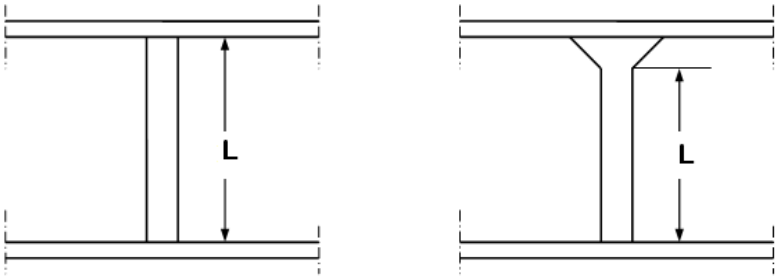
تحدد α من الشكل (5-53)، بدلالة $\Psi_{A,B}$.

حيث: $\Psi_{A,B}$ تمثل مجموع صلابات الأعمدة مقسومة على مجموع صلابات الجوائز عند طرفي العنصر: A (علوي) و B (سفلي).

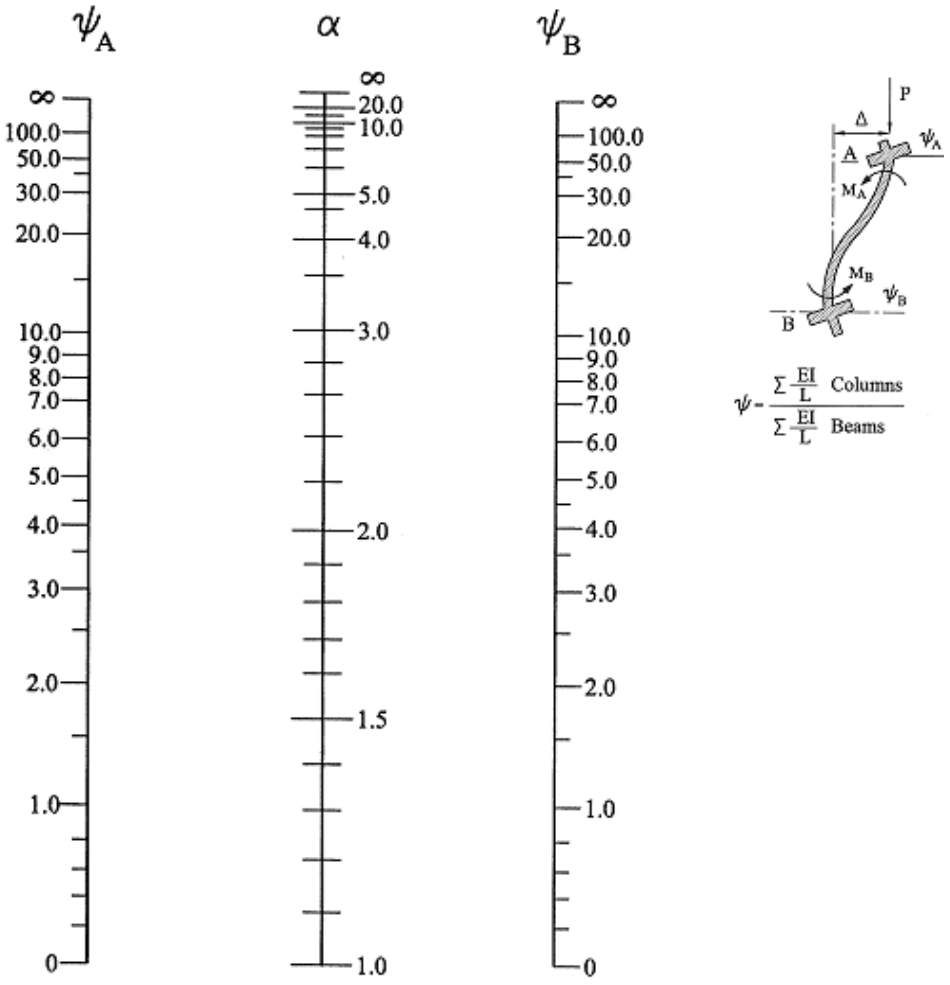
مع التذكير بضرورة تخفيض عزم عطالة الجائز بالقيمة 0.6 لأخذ تأثير التشقق بالحسبان.



الشكل (5-52): الطول الحر للأعمدة (L)



تابع للشكل (5-52): الطول الحر للأعمدة (L)



الشكل (5-53): تحديد قيمة α تبعاً لقيمة $\Psi_{A,B}$

ويمكن بدلاً من حساب (L_O)، اعتماد التحليل الإنشائي من الدرجة الثانية، الذي يأخذ بالحسبان تأثير $(P-\Delta)$ ، بمعنى أن تحسب القوى الداخلية والعزوم الإضافية الناتجة من الانزياحات الجانبية وتأثير الحمولات الشاقولية عليها.

ب- طول التحنيب للهياكل المقواة جانبياً:

يؤخذ طول التحنيب لأعمدة هذه الهياكل كما يلي :

$L_O = L$: حالة عنصر متمفصل من طرفيه.

$L_O = 0{,}85L$: حالة عنصر متمفصل من طرف وموثوق جزئيا من الطرف الأخر.

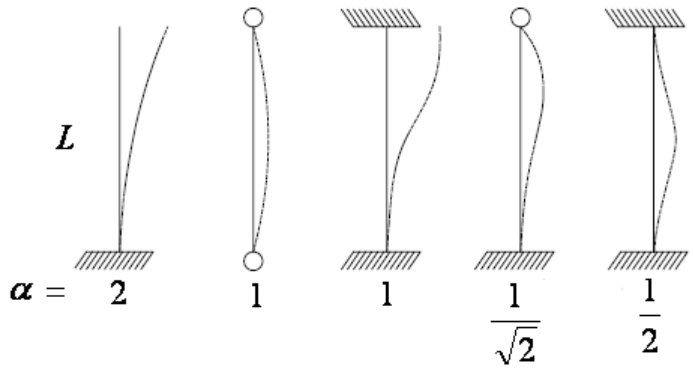
$L_O = 0{,}70\,L$: حالة عنصر موثوق جزئيا من الطرفين.

$L_O = L$: في حالة الأبنية العادية.

وتؤخذ أيضاً $L_O = L$ ، في حالة الأبنية غير المقواة جانبيا (سكنية مثلا) التي لا تزيد عن ستة طوابق (هيكلها متناظر نسبيا)، والمقاومة للأفعال الأفقية، شرط تحقيق المتراجحة التالية: $\lambda \le 60$.

ج- طول تحنيب العمود المعزول:

نعتمد القيمة المبينة في الشكل (5-54):



الشكل (5-54): طول تحنيب الأعمدة المعزولة $L_O = \alpha\, L$

5-4-3- حساب الأعمدة القصيرة:

5-4-3-1- اشتراطات عامة:

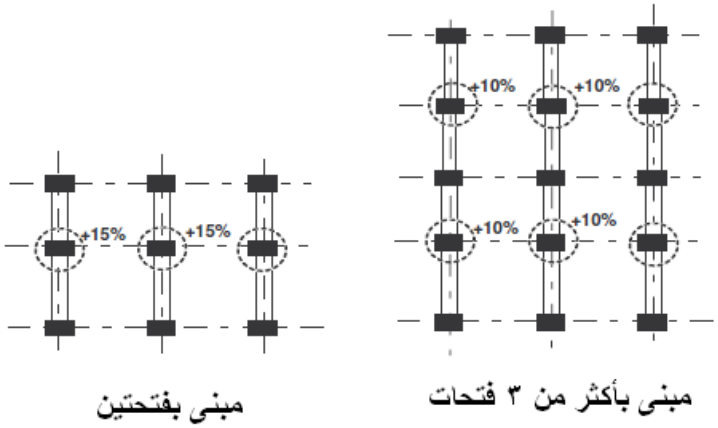
نذكر فيما يلي بعض الملاحظات الهامة والاشتراطات الواجب تحقيقها لكي نتمكن من تصميم الأعمدة كعناصر خاضعة للضغط البسيط:

- في الحالة العامة، يجب حساب القوى الداخلية في الأعمدة مع الأخذ بالحسبان لأسوأ حالات التحميل (طرق مبسطة مع اعتبار أثر الاستمرارية أو طرق تحليل دقيقة). فإذا بين التحليل الإنشائي أن العمود لا يخضع لعزم

انعطاف أو يخضع لعزم صغير يؤدي إلى لامركزية لا تزيد عن 5% من العمق الكلي لمقطع العمود $(b \times h)$ في الاتجاه المدروس $(e \le 0{,}05b\,;\,0{,}05h)$، أو عن $(25mm)$ أو $\left(\frac{L_O}{250}\right)$ أيهما أصغر، فإنه يمكن إهمال هذا العزم ويحسب العمود كأنه معرض للضغط البسيط. وإذا تعرض العمود لعزم انعطاف أكبر من المحدد سابقاً فيجب أن يحسب على الضغط اللامركزي.

- عند استخدام الطرائق المبسطة المسموح بها في التحليل لتحديد القوى الناظمية، يلحظ أثر الاستمرارية كعامل تصعيد كما يلي :

1. عندما تحدد القوة الناظمية من ردود أفعال الجوائز، يجب ألا يقل رد الفعل عن رد فعل الجائز البسيط الاستناد عند المساند الداخلية.
2. وعندما تحسب القوة الناظمية من خلال تحديد المساحات الطابقية التي تغذي العمود بالحمولات (الخطوط المنصفة للمسافات بين الأعمدة)، فإنه يجب زيادة الحمولات الطابقية بمقدار 10% عن كل اتجاه يكون فيه العمود أول عمود داخلي إذا كان عدد المجازات بالاتجاه المدروس يزيد عن اثنين ، و 15% إذا كان عدد المجازات بالاتجاه المدروس اثنين فقط (الشكل 5-55).



الشكل (5-55): زيادة الحمولات الطابقية للأعمدة

(طريقة مبسطة: حالة حساب حمولة العمود من المساحة الطابقية)

في الواقع، عند تطبيق طرائق الحساب المبسطة في حساب الجوائز المستمرة، كنا قد أهملنا ارتباط تلك الجوائز بالأعمدة التي تحملها، في حين تخضع تلك الأعمدة في مناطق ارتباطها مع الجوائز إلى عزوم انعطاف سببها التحميل غير المتناظر للسقف أو التحميل الشطرنجي للبلاطات، يمكن ترجمتها إلى ردود أفعال إضافية. وللتعويض عن هذه العزوم المهملة، يتعين علينا زيادة الحمولات. وفيما يخص الأعمدة الداخلية، تؤدي قاعدة الزيادات هذه إلى حمولات

مطابقة تقريباً لما تعطيه الحسابات الدقيقة. أما بالنسبة للأعمدة الطرفية التي تحسب على أساس فرضية عدم الارتباط فلا تعدل حمولاتها لأن تقدير هذه الحمولات بالطرائق المبسطة يؤدي تقدير أكبر مما هي عليه، وهذا يضاف إلى حد ما بالنسبة للأمان، الأثر الذي ينتج عن عدم الأخذ بالحسبان عزوم الانعطاف التي تؤثر على تلك الأعمدة.

- استثناء مما ورد أعلاه، يمكن للمصمم وفي حالة الأبنية الهيكلية الطابقية (غير الخاضعة لحمولات أفقية) ذات المجازات المألوفة في المباني السكنية والتجارية وما شابهها، إهمال تأثير العزوم الناجمة عن الحمولات الشاقولية و حساب مقاطع أعمدة هذه المباني على الضغط البسيط، بعد إدخال أثر العزوم الطارئة بصورة ضمنية عن طريق اعتماد عامل تصعيد يؤخذ من الجدول (5-2). يسمى هذا العامل "عامل التكافؤ (K_e) " ، ولا يدخل أثره في حساب الأساسات أو الجدران الحاملة للأعمدة.

موقع العمود (الطابق)	وسطي		طرفي		ركني	
	ظفر	بدون ظفر	ظفر	بدون ظفر	ظفر	بدون ظفر
الأخير	1,30	1,30	1,50	1,60	1,60	2,00
تحت الأخير	1,10	1,10	1,30	1,40	1,40	1,70
باقي الطوابق	1,00	1,00	1,10	1,15	1,20	1,30

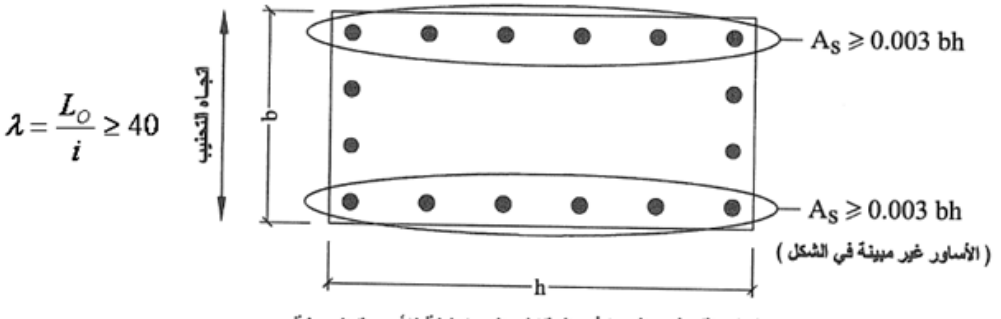
عامل التكافؤ (K_e) (تأثير العزوم الطارئة الناجمة عن الحمولات الشاقولية)

الجدول (5-2)

وفي حالة العناصر المضغوطة (الأعمدة) الطويلة، المعرضة للضغط البسيط (وما في حكمها)، يمكن أخذ تأثير التحنيب بتقسيم قدرة تحمل العنصر المضغوط (المحسوب على أساس عمود قصير) على عامل التحنيب عامل التحنيب (K_b) ، الوارد في الجدول (5-3). شريطة تحقيق ما يلي:

1) أن يكون مقطع العضو المضغوط مربعاً أو مستطيلاً أو متناظراً.

2) ألا تقل مساحة التسليح الموجودة في كل طرف من طرفي المقطع بالاتجاه المقاوم للتحنيب عن 0.003 من مساحة المقطع الكلية، وألا تزيد نحافة العمود λ على 80، كما هو مبين في الشكل (5-56).



مساحات التسليح الدنيا في المقاطع المستطيلة للأعمدة النحيفة

الشكل (5-56)

$\lambda = L/i$	40	42	44	46	48	50	55	60	65	70	75	80
مقطع مستطيل L/b	11.5	12.1	12.7	13.3	13.9	14.4	15.9	17.3	18.8	20.2	21.7	23.1
مقطع دائري L/D	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.7	15.0	16.2	17.5	18.7	20.0
عامل التحنيب k_b	1.00	1.02	1.04	1.07	1.10	1.13	1.20	1.35	1.60	1.95	2.40	3.00

الجدول (5-3): عامل التحنيب (K_b) بدلالة λ

- **تحسب أعمدة البلاطات الفطرية وكذلك أعمدة كافة المنشآت الخاضعة لأفعال أفقية (زلازل أو رياح ...)،** وكذلك في حال اللامركزية الأساس كبيرة للقوى الشاقولية، أو حالة الأعمدة الطويلة، على الضغط اللامركزي.

5-4-3-2- العلاقات الأساسية لحساب الأعمدة القصيرة (الضغط البسيط)

$[\lambda = L_O / i \le 80]$:

تحدد القوة الناظمية الحدية القصوى للعمود N'_U ، بعد اعتبار ما يلي:

- اللامركزية الطارئة الناجمة عن التحميل اللامحوري ، التي يجب ألا تقل عن 8% من العمق الكلي لمقطع العمود $(b \times h)$ في الاتجاه المدروس $(e \le 0{,}08b\,;\,0{,}08h)$ ، أو عن $(25mm)$ أيهما أكبر.

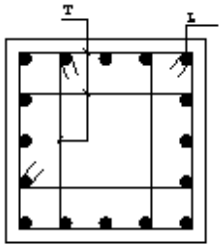
ويعتمد الكود السوري القيمة $(0{,}8)$ للأعمدة التي تحوي تسليح عرضي قائم (إطارات، أساور، أتاري ...)، و القيمة $(0{,}85)$ للأعمدة التي تحوي تسليح عرضي حلزوني

- عامل التكافؤ (K_e) الذي يأخذ بالحسبان تأثير العزوم الطارئة الناجمة عن الحمولات الشاقولية، من الجدول (5-2).
- عامل التحنيب (K_b) الذي يأخذ بالحسبان تأثير لامركزية التحنيب، بحيث يتم تحقيق: $40 < \lambda \le 80$ ، و $\mu_s \ge 0.3\%$ باتجاه التحنيب، من الجدول (5-3).
- عامل تخفيض المقاومة : $\Omega = 0{,}70$
- التحقق من نسب التسليح الأصغرية و الأعظمية التي يحددها الكود السوري.

- عندما تكون نسبة النحافة $\lambda = \frac{L_O}{i} \leq 40$ ، لا تأثير كبير للتحنيب ويمكن إهماله، وتحسب الأعمدة كأعمدة قصيرة على الضغط البسيط (قوة الضغط تمر في مركز الثقل)، مع الأخذ بالحسبان تأثير كل من مايلي:
  - عامل اللامركزية الطارئة (e_a) (الصنع): $(0.8 \text{ or } 0.85)$.
  - عامل العزم الطارئ: (K_e).
- وعندما تكون نسبة النحافة $40 < \lambda = \frac{L_O}{i} \leq 80$ ، هناك تأثير واضح للتحنيب ولا يمكن إهماله. بالتالي تحسب الأعمدة كأعمدة قصيرة على الضغط البسيط (قوة الضغط تمر في مركز الثقل)، مع الأخذ بالحسبان تأثير كل من مايلي:
  - عامل اللامركزية الطارئة (e_a) (الصنع): $(0.8 \text{ or } 0.85)$.
  - عامل العزم الطارئ: (K_e).
  - عامل لامركزية التحنيب (e_c): (K_b)، وبحيث نؤمن نسبة تسليح دنيا بالاتجاه المدروس، لا تقل عن $\mu_s \geq 0.3\%$.

وعندما لا تتحقق المعايير السابقة (متطلبات دراسة العمود كعمود قصير)، نلجأ إلى دراسة العمود على الضغط اللامركزي، كعمود طويل.

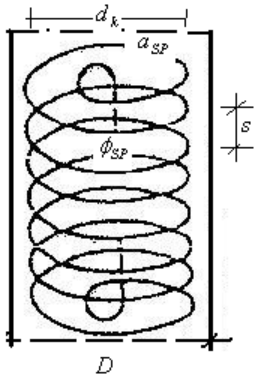
حالة استخدام تسليح عرضي قائم:



$$N'_u = 0{,}80\,\Omega\left[0{,}85\,f'_c\,A'_c + f_y\,A'_s\right]\frac{1}{K_e\,K_b}$$

$$\mu'_s = \frac{A'_s}{A'_c} \Rightarrow A'_c = \frac{N'_u\,K_e\,K_b}{0{,}56\left[0{,}85\,f'_c + \mu'_s\,f_y\right]} \quad ; \quad A'_s = \mu'_s\,.\,A'_c$$

حالة استخدام تسليح عرضي حلزوني:



يستخدم هذا النوع من التسليح العرضي بهدف زيادة قدرة تحمل الأعمدة للحمولات الشاقولية، وعادة يستعمل عندما تزيد نسبة التسليح الطولي للأعمدة عن $\mu'_{sl} \geq 2\%$.

$$N'_u = 0{,}85\Omega\left[0{,}85\, f'_c\, A'_k + f_y\, A'_s + 2{,}50\, f_{ysp}\, A_{sp}\right]\frac{1}{K_e\, K_b}$$

$$\mu'_{ks} = \frac{A'_s}{A'_k} \quad ; \quad \mu_{sp} = \frac{A_{sp}}{A'_k} \quad ; \quad A_{sp} = \frac{\pi\, d_k\, a_{sp}}{s}$$

$$A'_c = \frac{\pi D^2}{4} \quad ; \quad A'_k = \frac{\pi\, d_k^2}{4} \quad ; \quad a_{sp} = \frac{\pi\, \phi_{sp}^2}{4}$$

$$\Rightarrow A'_k = \frac{N'_u\, K_e\, K_b}{0{,}595\left[0{,}85\, f'_c + \mu'_{ks}\, f_y + 2{,}50\, \mu_{sp}\, f_{ysp}\right]}$$

ونبين فيما يلي بعض الملاحظات الهامة حول التسليح الحلزوني:

- ضرورة تحقيق شرط عدم انهيار طبقة التغطية البيتونية في هذه العناصر بحيث لا تزيد مقاومة المقطع عن مرة ونصف القوة الناظمية القصوى لحالة الأعمدة الحاوية على تسليح عرضي قائم :

$$N'_{uR} \le 1{,}50 \times 0{,}56\left[0{,}85\, f'_c\, A'_c + f_y\, A'_s\right]\frac{1}{K_e\, K_b}$$

- والتحقق من أن خطوة الحلزون $4cm \le s = cte \le \min\left[8cm\,;\, d_k/5\right]$ ، تبقى ثابتة على كامل طول العمود، وفي حال وصل الحلزون عن طريق التراكب يجب أن يتم عن طريق تراكب 1.5 لفة على الأقل.

باعتبار أن :

f'_c : المقاومة المميزة للبيتون.

f_y ; f_{ysp} : المقاومة المميزة للتسليح الطولي والعرضي (حلزوني) بالترتيب.

A'_k : مساحة مقطع النواة المطوقة.

A_{sp} : المقطع المكافئ للأساور الحلزونية.

$a_{sp} = \pi\phi_{sp}/4$: مقطع تسليح قضيب الحلزون.

$\phi_{sp} \ge 8mm$: قطر تسليح قضيب الحلزون.

$$\mu_{sp\max} \ge \mu_{sp} \ge 0.45\frac{f'_c}{f_{ysp}}\left(\frac{A'_c}{A'_k} - 1\right)$$

$$\mu_{sp\max} = 0.34\left[\left(1.412\frac{A'_c}{A'_k} - 1\right)\frac{f'_c}{f_{ysp}} + 0.484\frac{A'_s}{A'_k}\frac{f_y}{f_{ysp}}\right]$$

5-4-4- حساب الأعمدة الطويلة – حالة حد الاتزان الناتج عن التحنيب:

كما رأينا سابقاً، تحسب الأعمدة في المباني على أساس أنها أعمدة قصيرة عندما يتحقق ما يلي:

- حمولة الضغط المطبقة هي حمولة ناظمية مركزية.

- تأثير التحنيب مهمل، بمعنى: $\left(\lambda = \frac{L_O}{i} \le 40\right)$.

بالمقابل تحسب الأعمدة على الضغط اللامركزي في الحالتين التاليتين:

- قوة الضغط لا تمر من مركز ثقل المقطع $\left(e = \frac{M_u}{N'_u}\right)$.

- الأعمدة طويلة حيث لا يمكن إهمال تأثير التحنيب: $\left(\lambda = \frac{L_O}{i} > 40\right)$. في الواقع، وبسبب التأثير المتبادل بين الأحمال الناظمية وتشوهات العنصر النحيف المضغوط، يتحول حساب حالة حد الاتزان الناتج عن تحنيب العناصر الطويلة، إلى حساب المقاومة القصوى للعزوم الأصلية $(M_{u0} = N'_u(e_0))$ ، وتلك الناجمة عن التحنيب $(M_{uc} = N'_u(e_c))$.

نعرض فيما يلي القيم العظمى المسموحة للنحافة (λ) وفق ما ورد في الكود السوري:

أ. يجب ألا تزيد نحافة العنصر المضغوط $\left(\lambda = \frac{L_O}{i}\right)$ في كل اتجاه عن 100 إلا في الحالتين التاليتين:

- عندما يجري تحليل حسابي للمنشأ بالطرق الدقيقة مع أخذ الأفعال من الدرجة الثانية بالحسبان (أي تأثير انحراف المنشأ على القوى الداخلية فيه، $(P-\Delta)$)، سواء أكان العمود معرض لضغط بسيط أم غيره.
- في العناصر المضغوطة ذات الأهمية الثانوية كالعناصر التزينية أو المتقاربة.

ب. وفي جميع الحالات، يجب ألا تزيد نحافة العنصر المضغوط في كل اتجاه عن 150.

بالنتيجة، يمكن أن يؤخذ بالحسبان أثر التحنيب، بحساب مقطع العمود أو العنصر المضغوط الذي لا تزيد نحافته عن 100، في حالة الحد الأقصى تحت تأثير القوة الناظمية الحدية المطبقة عليه (N'_u) ، مترافقة مع عزم انعطاف حدي (M_u) مقداره:

$$M_u = N'_u(e_0 + e_a + e_c)$$

حيث: e_0 تمثل اللامركزية الأصلية المطبقة، الناجمة عن الحمولات الخارجية.

e_a اللامركزية الطارئة.

$$e_0 = \frac{M_{ui}}{N'_{ui}}$$

$$e_a = \max\left[25mm\,;\,\frac{h}{20}\,;\,\frac{L_0}{250}\right]$$

مع الانتباه إلى ضرورة تحقيق ما يلي:

- لامركزية التحنيب الإضافية معدومة $(e_c = 0)$: $e_0 + e_a \geq \frac{h}{12.5}$

- لامركزية التحنيب الإضافية غير معدومة: $e_0 + e_a + e_c \geq \frac{h}{10}$

حيث: L_0 طول التحنيب للعنصر المضغوط، على ألا يقل عن طوله الحر L.

h البعد الكلي للمقطع في اتجاه التحنيب المدروس.

M_{ui} العزم الحدي الأعظمي، و N'_{ui} القوة الناظمية الحدية المرافقة.

ويتم حساب قيمة اللامركزية الإضافية e_c كما يلي:

$$e_c = \frac{\beta \lambda^2 (e_0 + e_a + h)}{30000} \leq \frac{\beta \lambda^2 h}{15000}$$

حيث:

$\beta = 1.65 - 0.65\alpha$ في حالة الجو الجاف.

$\beta = 1.30 - 0.33\alpha$ في حالة الجو الرطب.

$$\alpha = \frac{M_{us}}{M_{ui}} \leq 1.00$$

M_{us} : الجزء من M_{ui} ، الناتج عن الحمولات الآنية : رياح، زلازل، مركبات أو آلات متحركة (بضمنها الأثر الديناميكي)، والحمولة الحية المطبقة على السطوح ذات الاستعمال القليل أو النادر.

من أجل $\alpha \leq 0$ نعتمد قيمتها المطلقة بما لا يزيد على 1.

وفي الحالات التي تكون فيها $\alpha > 0$ ، يجب أن يتم التحقق من قدرة تحمل العمود لحالة تحميل لا تشمل الحمولات الآنية مع افتراض قيمة $\alpha = 0$.

5-4-5- الإطارات من البيتون المسلح:

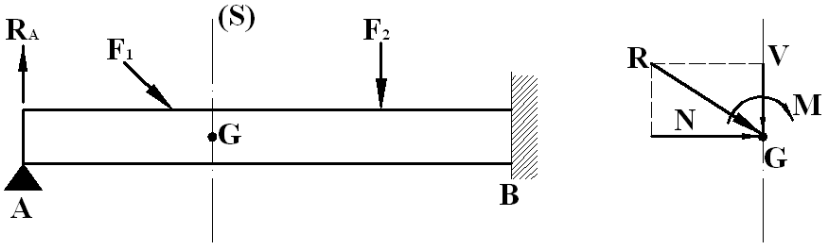
أ- الانعطاف المركب:

يخضع العنصر الإنشائي للانعطاف المركب عندما يمكن اختزال القوى العاملة عليه (بما فيه ردود أفعال المساند) والواقعة إلى يسار المقطع القائم (S) بالنسبة لمركز ثقل المقطع (G)، إلى عزم (M) وقوة مائلة (R)، بقيمة ما على مستوى المقطع.

يمكن تحليل هذه المحصلة (R) إلى مركبتين، كما هو مبين في الشكل (5-57).

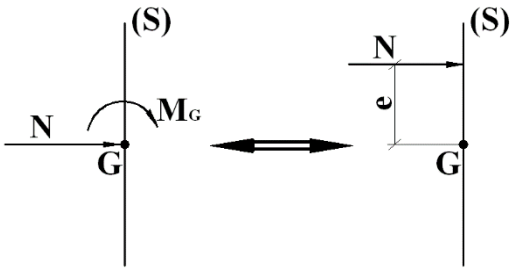
- جهد ناظمي (N) عمودي على مستوى المقطع.

- جهد قاطع (قوة قص) (V) واقع في مستوى المقطع.



الشكل (5-57): عنصر إنشائي خاضع لانعطاف مركب

لندرس جملة من القوى مؤلفة من (N) و (M_G)، حيث (M_G) يمثل العزم بالنسبة لمركز ثقل المقطع للقوى الخارجية الواقعة على يسار هذا المقطع، وفق الشكل (5-58). تكافئ هذه الجملة تلك الجملة المؤلفة من القوة (N) الواقعة على مسافة $\left(e=\frac{M_G}{N}\right)$ من النقطة G، لأن لهاتين الجملتين العزم المحصل نفسه والمحصلة العامة نفسها بالنسبة للنقطة G، تدعى e اللامركزية .



الشكل (5-58)

يشتغل المقطع إذن على الانعطاف المركب :

- إذا خضع لعزم انعطاف (M) وجهد ناظمي (N) مطبق في مركز الثقل أو في أية نقطة (O) من المقطع .
- إذا خضع لجهد ناظمي غير مركزي.

عندما يكون الجهد الناظمي المطبق جهد ضغط نقول إن المقطع معرض لضغط لامركزي (N',M)، وعندما يكون الجهد الناظمي المطبق جهد شد نقول إن المقطع معرض لشد لامركزي (N,M).

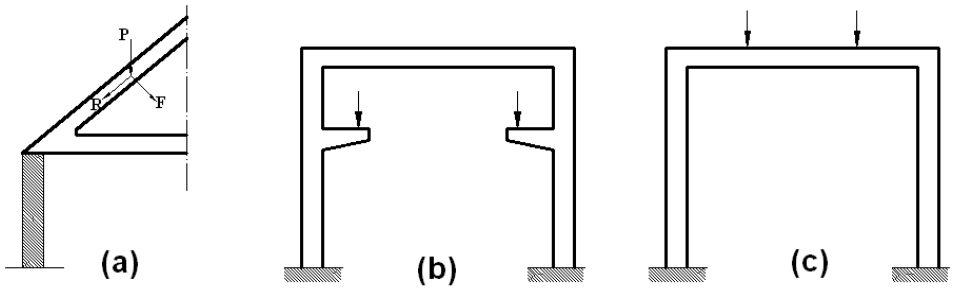
ويوضح الشكل (5-59) بعض الأمثلة من الجمل والعناصر الخاضعة للانعطاف المركب.

(a) سقف على شكل جائز شبكي،

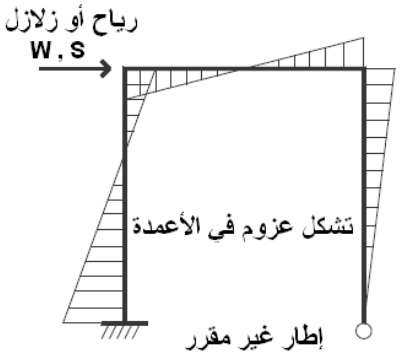
(b) إطار يحمل الجوائز الرافعة المتحركة،

(c) إطار محمل في عارضته الأفقية.

والشكل (5-60) يبين أن أعمدة الإطار تخضع لانعطاف مركب، عند تعرضها لأفعال أفقية من زلازل أو رياح.

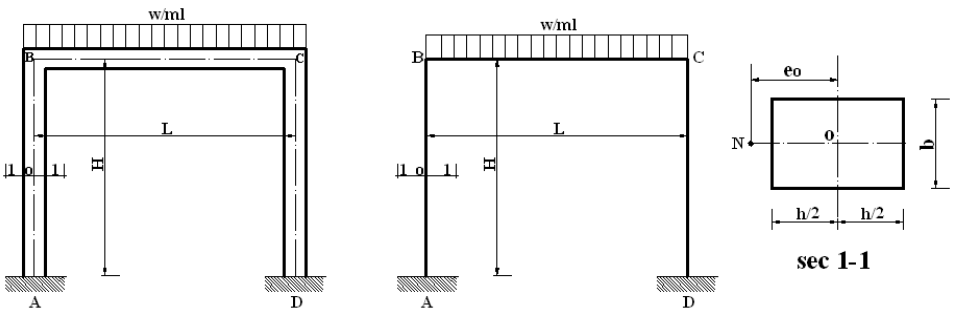


الشكل (5-59)



الشكل (5-60)

لا تعرف إلا نادرا نقطة مرور الجهد الناظمي غير المركزي. ويعرف بصورة عامة الانعطاف المركب بجهد ناظمي (N) وبعزم انعطاف (M_0) مأخوذين بالنسبة لنقطة (0) من المقطع. وقد رأينا أنه يمكن الرجوع للحالة السابقة بأخذ المسافة $\left(e=\frac{M_0}{N}\right)$ اعتبارا من (0)، فنحصل بذلك على جملتين متكافئتين. من الضروري إذن معرفة بالنسبة لأية نقطة، يكون الجهد الناظمي والعزم معروفين (الشكل 5-61).



الشكل (5-61)

في حساب الجمل غير المقررة ستاتيكيا، يؤخذ بالحسبان مركز ثقل مقطع البيتون بمجمله بما فيه البيتون المشدود، لأن حساب الجمل غير المقررة يعتمد على حساب التغيرات في حين يهمل البيتون المشدود فقط في حسابات المقاومة. أما فيما يتعلق بحقيقة عدم أخذ التسليح بالحسبان في حساب مركز الثقل، فيبدو أن ذلك لا يمكن تجنبه تقريباً، لأن التسليح غير معروف في البداية، ولأن معرفة قيم (N) و (M) هي التي تسمح بتعيينه على وجه التحديد. إضافة إلى ذلك تعتبر النتائج التي يتم الحصول عليها اعتباراً من هذا التقريب مقبولة، بسبب كون مقطع التسليح صغيراً عموماً بالمقارنة مع مقطع البيتون.

ب- الحمولات – ملاحظات هامة حول الإطارات وتسليح العقد:

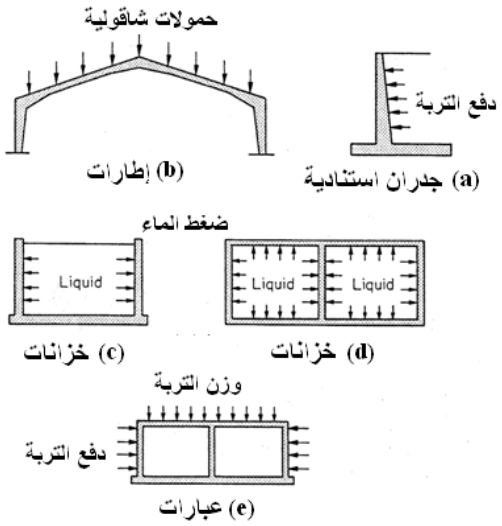
كما ذكرنا سابقاً حول قانون إنقاص الحمولات الإضافية العظمى، الخاص بالأبنية المعدة للسكن ذات الطوابق المتكررة حيث يندر أن تكون هذه الحمولات مطبقة بكاملها وبآن واحد، فإننا نؤكد على ضرورة تطبيق هذا القانون على العناصر الحاملة كالجدران والأعمدة والأساسات يزيد عدد الطوابق عن خمسة، بحيث لا تستعمل الطوابق كمستودعات أو مخازن أو مشاغل أو مدارس أو أماكن عامة يمكن أن يفرض استخدامها المتوقع تحميل الطوابق بالحمولات الإضافية القصوى في نفس الوقت.

وكذلك نشير على إمكانية إهمال أوزان الجدران والقواطع الخفيفة المتوضعة على بلاطات خاضعة لحمولة إضافية أكبر من 6 kN/m^2، حيث يعتبر القاطع أو الجدار خفيف عندما لا يزيد وزن المتر المربع من مساحته عن (≤1.5 kN/m^2).

ونبين فيما يلي مجموعة من الملاحظات العامة حول دراسة وتصميم الإطارات من البيتون المسلح:

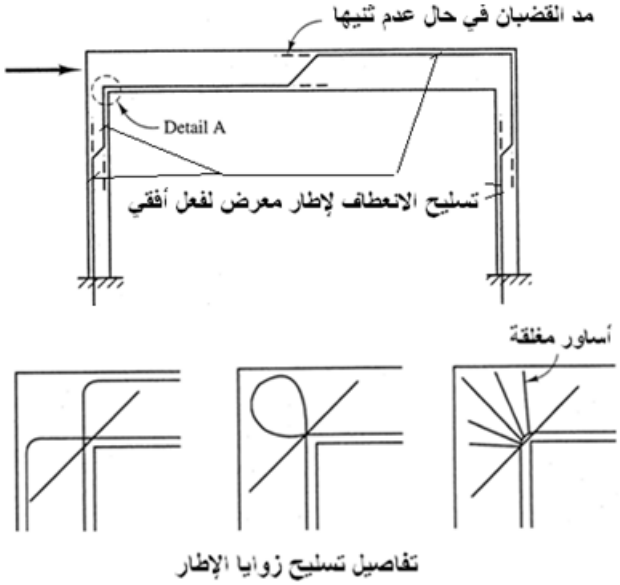
- نظراً لكون الإطار جملة غير مقررة، يستطيع المصمم عن طريق التلاعب بقيم عطالات وسماكات الأعمدة والعارضة الأفقية، التحكم بقيم العزوم الموجبة والسالبة، حيث تجر العطالات الكبيرة، العزوم إليها.
- عندما تكون تربة التأسيس صخرية، يعتبر الإطار في هذه الحالة، موثوقاً تماماً عند الوجه العلوي للأساس البيتوني المسلح، وكذلك في حالة تنفيذ هذا الأساس محصوراً تماماً في جوانبه بالأرض الصخرية، أو عند التأسيس على أوتاد، لا يكون هناك حاجة لعمل شداد من شأنه مقاومة رد الفعل الأفقي عند قاعدة العمود، وإلغاء قوى الانزلاق. في الحالة المعاكسة وعندما تبلغ فتحة الإطار ستة أمتار فما فوق، يتوجب شداد تحت مستوي الأرض الطبيعية وعند الوجه العلوي للأساس، ندعم هذا الشداد عند المنتصف في حال زيادة طوله على عشرة أمتار.

- في التربة الضعيفة التي يبلغ فيها الاجهاد المسموح حوالي $\overline{\sigma}_s = 0.1MPa$ ، وعندما يكون الأساس رقيقاً أي قابلاً للدوران، يحسب الإطار على اعتبار أنه متمفصل من الطرفين.
- في الحالات الأخرى، يعتبر الإطار موثوقاً وثاقة جزئية في أطرافه بدرجة تتراوح بين الحالتين السابقتين.
- في المجازات الكبيرة حتى 20 متراً كحد أقصى، وعند الرغبة في تخفيف الاجهادات على تربة التأسيس، يمكن إحداث مفاصل حقيقية في منطقة اتصال العمود بالأساس، وتحسب الإطارات في هذه الحالة على اعتبار أنها متمفصلة من الطرفين.
- إضافة لعقد إطارات الأبنية والمنشآت الصناعية، يوجد بعض المنشآت الحاوية على عقد وزوايا تشكل مناطق حرجة يتوجب الاهتمام بها من حيث التسليح ومن حيث الأبعاد، ونذكر منها الجدران الاستنادية والعبارات وخزانات المياه وغيرها. هذه الزوايا أو المناطق يمكن أن تتعرض لعزوم فتح أو عزوم غلق، ونبين في الشكل (5-62) بعضاً من هذه الحالات، مع الإشارة إلى أن العقد الخاضعة لعزوم فتح هي خطيرة جداً وتشكل فعلاً مناطق حرجة نتيجة تشكل قوى الدفع نحو الفراغ، بالتالي ضرورة اتخاذ الإجراءات والترتيبات المناسبة عند تنفيذ تسليحها.



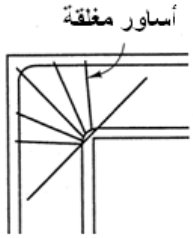
الشكل (5-62)

- يبين الشكل (5-63) إطاراً من البيتون المسلح، معرض لفعل أفقي. يتم تسليح عناصره وفق الألياف المشدودة، حيث نلاحظ أن الزاوية اليسارية تتعرض لعزوم فتح، ويجب تزويد هذه المنطقة بتسليح إضافي يساعد في تثبيت تسليح الانعطاف، ويلعب التسليح القطري دوراً مهماً في الحد من التشققات.



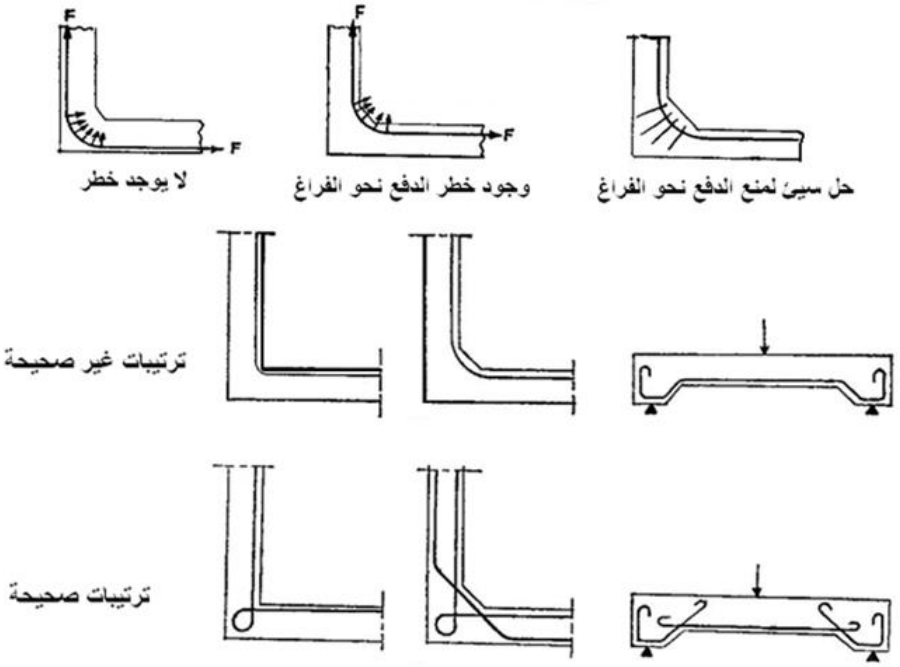
الشكل (5-63)

- أما الشكل (5-64)، يوضح تفصيلة تسليح عقدة إطار معرضة لعزوم متناوبة.



الشكل (5-64): تفصيلة عقدة معرضة لعزوم متناوبة

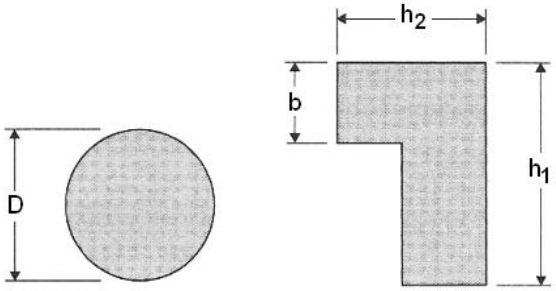
- يوضح الشكل (5-65) الترتيبات الصحيحة مقارنة مع الترتيبات الخاطئة، لتوضع قضبان التسليح عند العقد أو الزوايا بهدف تجنب الفعل السلبي لقوة الدفع نحو الفراغ.



الشكل (5-65): ترتيبات لتجنب قوى الدفع نحو الفراغ عند الزوايا

5-4-6- الاشتراطات البعدية للأعمدة - التوضعات النسبية للجوائز و الأعمدة:

- لا يقل أصغر بعد للعمود المستطيل عن $20\,cm$ ، ولا تقل مساحته عن $b \times h \geq 900\,cm^2$ (الشكل 5-66)، وعندما تزيد النسبة بين بعدي المقطع عن $\left(\frac{h}{b} \geq 4.5\right)$ يدرس كجدار.
- لا يقل قطر العمود الدائري عن $35\,cm$.

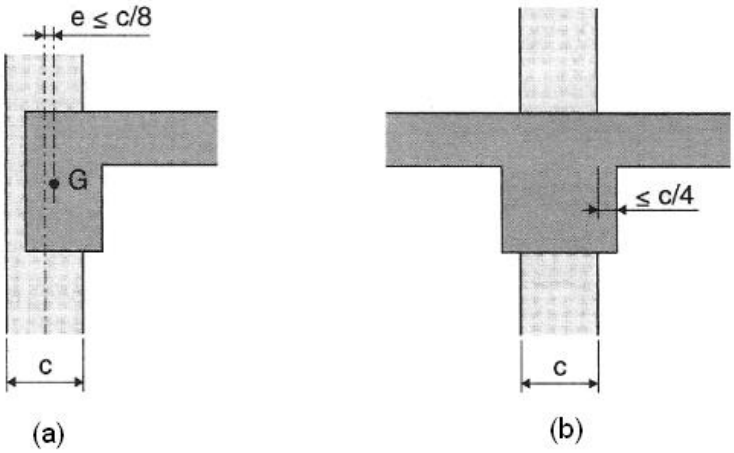


الشكل (5-66): الأبعاد الأصغرية للأعمدة

- المواقع النسبية للجوائز والأعمدة يجب أن تحقق الشروط التالية:

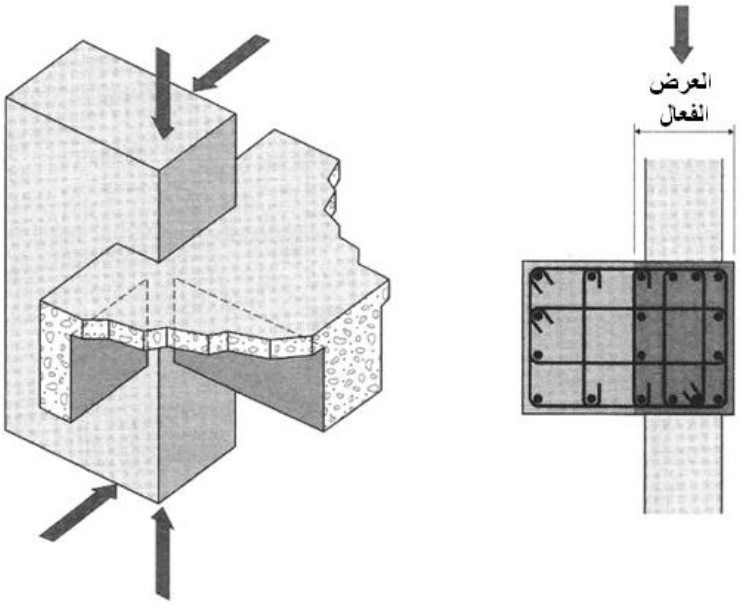
- يجب ألا تزيد اللامركزية بين محوري العنصرين (العمود والجائز) عن $(1/8)$ من بعد العمود بالاتجاه الموافق، $e \leq c/8$ (الشكل 5-67-a).

- يجب ألا يتجاوز طول الجزء البارز من الجائز، عن طرف العمود بمقدار $(1/4)$ عرض العمود بالاتجاه الموافق (الشكل 5-67-**b**).



الشكل (5-67): الموقع النسبي للجوائز والأعمدة

ملاحظة: عندما تكون اللامركزية $e > c/8$ ، يكون المقطع الفعال للعمود كعنصر تقوية هو المتمحور مع الجائز (الشكل 5-68).



الشكل (5-68): العرض الفعال للعمود عندما يكون $e > c/8$

5-4-7- المناطق الحرجة في الأعمدة:

بهدف التوضيح، نعرض فيما يلي ما ورد في القواعد الفرنسية حول هذا المناطق التي يجب على الدارس الاهتمام بها عند إعداد دراسته، كونها المناطق التي تتركز فيها التشوهات والجهود. ويجب على الدارس اعتبار أبعاد هذه المناطق وفق ما ورد في الكود السوري وذلك وفقاً للمنطقة الزلزالية التي يتواجد فيها المبنى المدروس، كما سيرد لاحقاً.

تحدد المناطق الحرجة تبعاً لتوضع العمود، ويمكن أن نذكر الحالات التالية:

أ- الحالة العامة للأعمدة:

تقع المناطق الحرجة في أطراف الأعمدة، خارج العقدة كما هو مبين في الشكل (5-69). ويجب أن يحقق طول المنطقة الحرجة l_c، الشرط التالي:

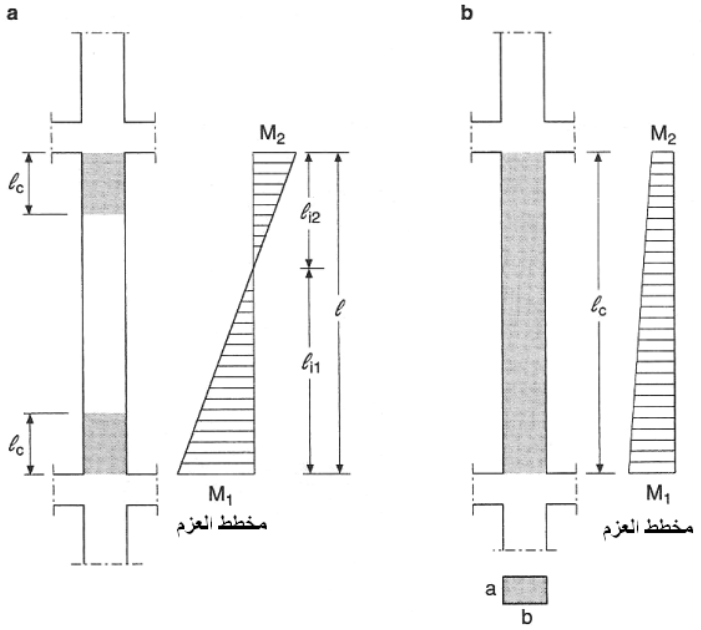
$$l_c \geq \max\left[d, \frac{l_1}{3}, 45cm\right]$$

حيث:

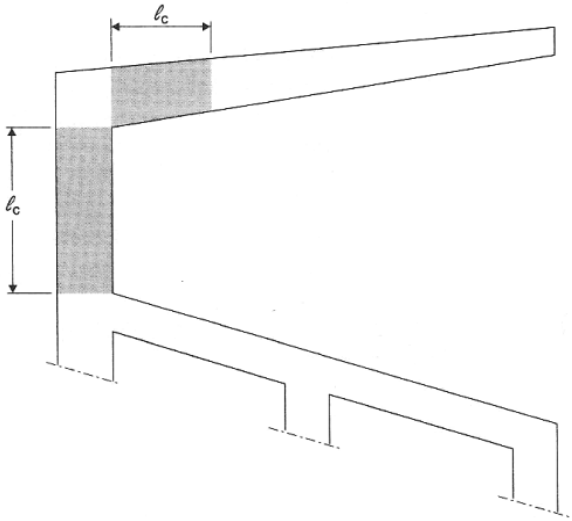
d : الارتفاع المفيد (وهو البعد الأكبر لمقطع العمود).

l_1 : الطول المقاس حتى نقطة انعدام العزم (الشكل 5-69-**a**).

فعندما لا يوجد تغير في إشارة العزم، يكون الطول الحرج هو الطول الصافي للعمود (الشكل 5-69-**b**)، ويمكن أن نصادف هذا الطول الحرج في أعمدة الملاعب الرياضية الحاملة لأسقفها الكبيرة، كما هو مبين في الشكل (5-70).



الشكل (5-69): المناطق الحرجة لعمود ما



الشكل (5-70): المناطق الحرجة لعمود في ملعب رياضي (ستاد)

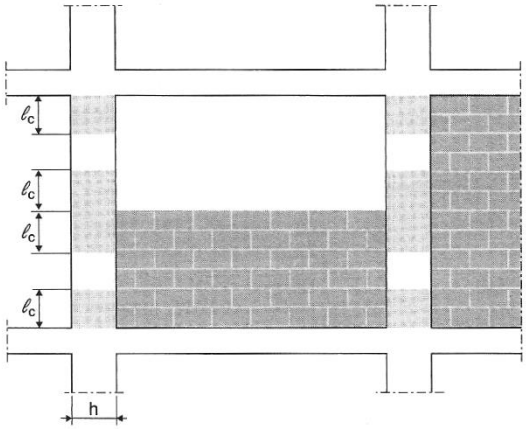
ب- حالة الأعمدة المجاورة للجدران والقواطع:

في الإطارات من البيتون المسلح التي تحوي جدران ملئ غير كاملة أو في حالة حواجب التي لا تغطي كامل الارتفاع (الشكل 5-71)، يتشكل أيضاً مناطق حرجة عند نقاط أو مستويات الانقطاع. بالتالي، وفضلاً عن تلك المناطق المشار إليها في الفقرة السابقة، يجب اعتبار أطوال أصغرية لهذه المناطق تساوي:

$$l_c \geq \max[h, 45cm]$$

باعتبار h : ارتفاع العمود بالاتجاه الموازي للجدار.

من الناحية العملية، ينظر للعمود في هذه الحالة على أنه منطقة حرجة على كامل طوله.



الشكل (5-71): المناطق الحرجة في حالة القواطع غير الكاملة

ج- حالة العناصر العاملة كأظفار شاقولية:

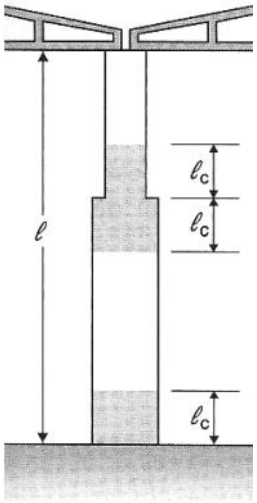
يمكن أن نذكر، على سبيل المثال، حالة الأعمدة في المنشآت الصناعية الحاملة لسكك الروافع (الشكل 5-72)، إذ تكون المناطق الحرجة متواجدة عند الوثاقات وعند مناطق تغيير المقاطع، حيث يمكن أن يتشكل مفصل لدن، ويحدد الطول في هذه الحالة بالعلاقة التالية:

$$l_c \geq \max\left[d, \frac{l}{3}, 45cm\right]$$

حيث:

d : الارتفاع المفيد (وهو البعد الأكبر لمقطع العمود).

l : طول العمود.



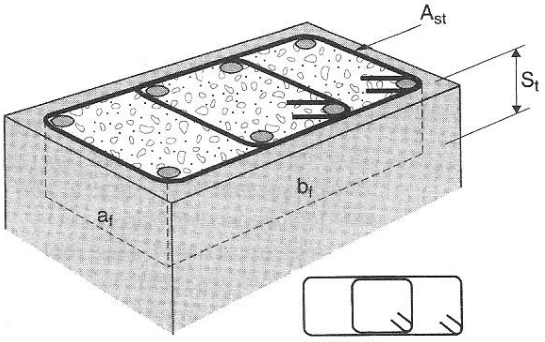
الشكل (5-72): المناطق الحرجة في عمود حامل لسكة رافعة

د- التسليح العرضي الأصغري للمناطق الحرجة:

- القطر الأصغري للتسليح العرضي: $\phi_t \geq 8mm$
- نسبة التسليح الأصغرية في المنطقة الحرجة (الشكل 5-73):

$$\mu_{tv} = \frac{A_{st} \times L}{S_t \times a_f \times b_f} \geq 0.8\%$$

حيث: L هو الطول المنشور.



الشكل (5-73): تحديد النسبة الأصغرية للتسليح العرضي (مناطق حرجة)

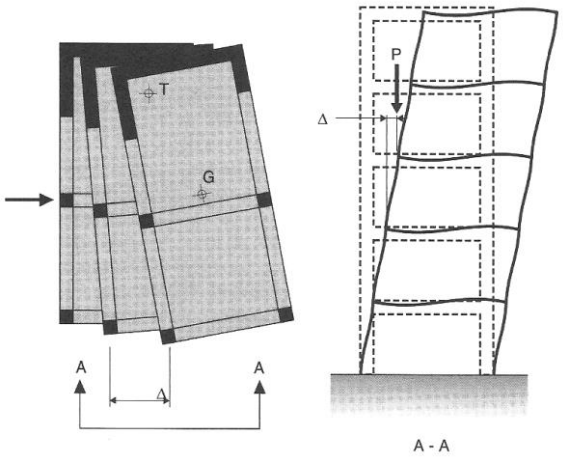
- التباعد الأعظمي:
  - في المناطق العادية: $S_t = \min\left[12\phi_l\ ;\ \frac{a}{2}\ ;\ 30\,cm\right]$
  - في المنطقة الحرجة: $S_t = \min\left[8\phi_l\ ;\ \frac{a}{4}\ ;\ 15\,cm\right]$

حيث: ϕ_l هو القطر الأصغر للتسليح الطولي، و a أصغر بعد لمقطع العمود.

5-4-8- حالات خاصة من الأعمدة:

5-4-8-1- أعمدة ركنية:

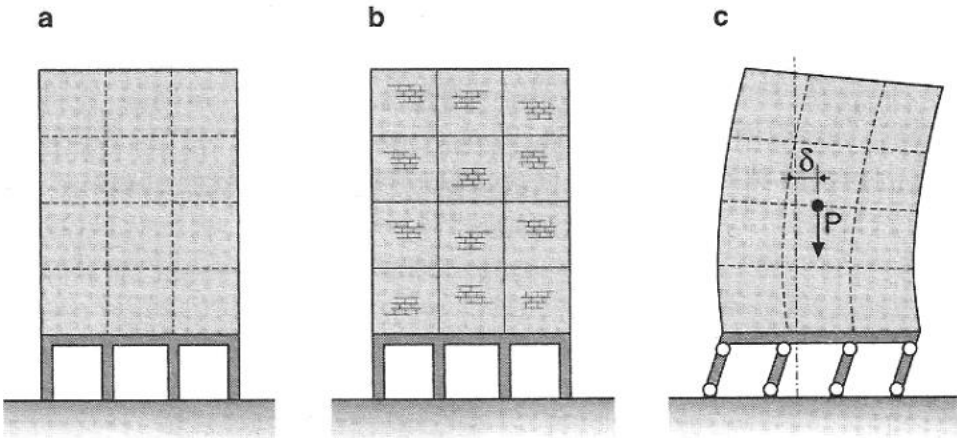
كما ذكرنا في فقرات سابقة، بأن الأعمدة الركنية تتعرض بصورة خاصة لعزوم فتل حول محور شاقولي، من مصادر مختلفة، وقد تم ملاحظة حالات انهيار كثيرة في الأبنية التي تعرضت لزلازل، كان سببها انهيار أعمدة الزوايا، بالتالي يجب على الدارس تحقيق هذه العناصر وفي كل طابق على الفعل $(P-\Delta)$ (الشكل 5-74)، بمعنى تحت تأثير الجهد الناظمي P و العزم $P\times\Delta$ ، ويتم انجاز هذا التحقيق على الانعطاف المنحرف (لامركزية باتجاهين).



الشكل (5-74): تشوهات الأعمدة الركنية في حالة الفتل حول محور شاقولي

5-4-8-2- الأعمدة الواقعة في الطوابق اللينة:

تسلك المنشآت الحاوية على طوابق لينة سلوكاً خطيراً، إذ تشكل نظماً على شكل نواس مقلوب، وهي تقدم مساهمة ضعيفة في تبديد الطاقة عند مستوى الطابق اللين، بطريقة يكون فيها استجابة القسم العلوي مضخمة جداً، حيث يعتبر هذا القسم العلوي كبلوك غير قابل للتشوه (تشكل مفاصل لدنة في أطراف أعمدة الطابق اللين) (الشكل 5-75).



(a) جدران قص في الطوابق وأعمدة في الطابق الأرضي، (b) مبنى إطاري يحوي جدران ملئ في الطوابق العلوية فقط، (c) تشكل المفاصل اللدنة في أعمدة الطابق اللين والتحول إلى ميكانيزم)

الشكل (5-75): الطابق اللين

يجب اعتبار هذا النوع من المنشآت بأنها منشآت غير منتظمة، بحيث يمكن تنفيذها بعد تحقيق الشروط التالية:

- بعد التحقق والتدقيق السليم من انجاز المخطط الستاتيكي الحقيقي لنقل الحمولات الشاقولية، يجب وضع عدد أصغري من الجدران في الطابق اللين بحيث يتم نقل كافة الحمولات الأفقية إلى هذه الجدران عن طريق بلاطة هذا الطابق (الديافرام).
- ومن أجل ضبط سلوك الطابق اللين، من المفضل إجراء التحليل الديناميكي.
- يجب تطبيق الفعل الزلزالي وفق ثلاثة اتجاهات، ومن ثم إجراء التراكبات المناسبة.
- معاملة أعمدة الطابق اللين كمناطق حرجة على كامل الارتفاع، بحيث تسلح وفقاً لاشتراطات تسليح المناطق الحرجة.
- يجب أن يتم تراكب قضبان التسليح الطولي لأعمدة الطابق اللين عند منتصف ارتفاع هذه الأعمدة.

5-4-8-3- الأعمدة القصيرة:

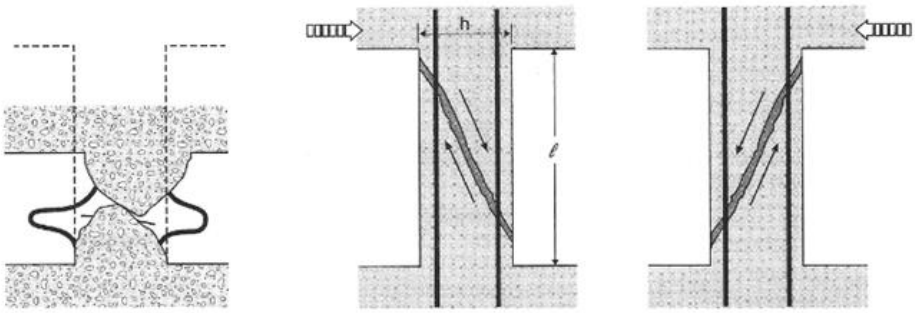
تعتبر الأعمدة قصيرة عندما يكون طولها l :

$$l \leq 4h$$

باعتبار h : الارتفاع الوسطي بالاتجاه المدروس.

ويكون الطول الحرج هو طول العمود، بالتالي تسلح هذه العناصر وفقاً لاشتراطات تسليح المناطق الحرجة.

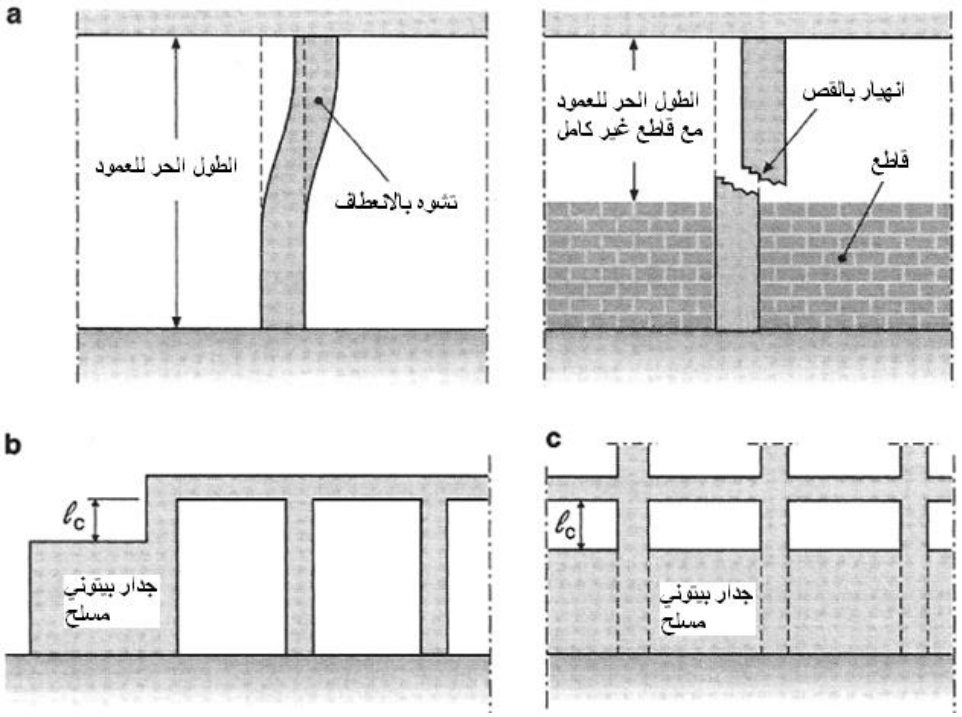
بالنسبة للعناصر القصيرة، تصبح المقاومة على القص هي المسيطرة، حيث ينهار البيتون عن طريق قوة ضغط مائلة، وإن تشكل مفصل لدن بالانعطاف غير وارد. ويمكن أن يوصف ميكانيزم التضرر لمثل هذه العناصر وفق ما هو مبين في الشكل (5-76).



الشكل (5-76): ميكانيزم تضرر الأعمدة القصيرة

يمكن أن نصادف الحالتين التاليتين:

- أعمدة "أصبحت قصيرة" : عندما لا يتم اعتبار وجود قواطع غير كاملة، فإن الطول الحر للعمود يصبح أقل وسلوكه سوف يتغير، والانهيار سيحصل بالقص وليس بالانعطاف (الشكل 5-77-a).
- أعمدة قصيرة "مصدر إنشائي" : وهي حالة المباني التي تحوي فتحات خاصة بأعمال الصحية أو الكهربائية، أو في حالة الفتحات الموجودة في القبو (الشكل 5-77-b و c).



الشكل (5-77): منشآت حاوية على أعمدة قصيرة

5-4-9- ترتيبات التسليح في الأعمدة (الكود السوري):

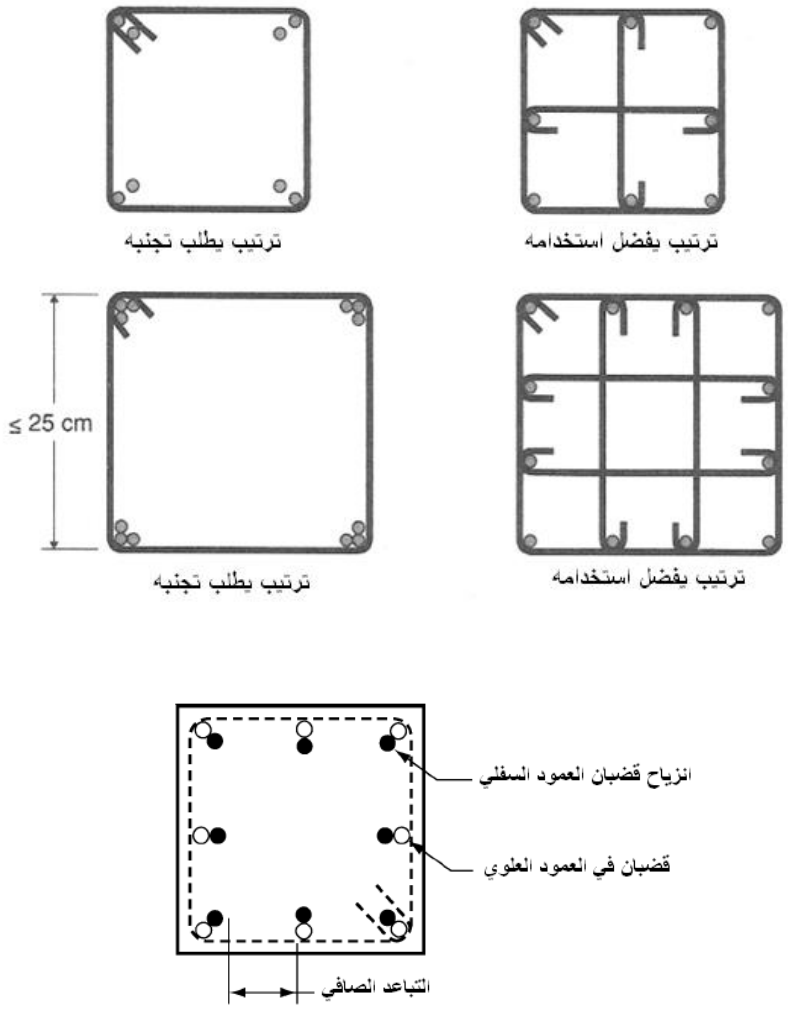
- تحدد نسب التسليح الطولي كما يلي:
  - أعمدة واقعة في المناطق الزلزالية $(2,3)$: $\mu_{s\max} = 2.5\%$
  - أعمدة واقعة في المناطق الزلزالية $(0,1)$: $\mu_{s\max} = 5\%$
  - في مناطق التراكب: $\mu_{s\max} = 6\%$
  - التسليح الأصغري للمقطع الحسابي: $A_{s\min} = 0.01A'_c$
  - التسليح الأصغري لمقطع أكبر من الحسابي: $A_{s\min} = 0.006\,A'_c$
- عدد قضبان التسليح الطولي لا يقل عن 6 في حالة العمود الدائري، وقضيب واحد في كل زاوية لعمود مضلع.
- لا يقل قطر قضيب التسليح الطولي عن $12\,mm$.
- لا يزيد تباعد التسليح الطولي عن $30cm$ أو أصغر بعد لمقطع العمود، أيهما أقل.
- لا يقل قطر التسليح العرضي عن ثلث قطر التسليح الطولي، أو عن $6mm$، أو $8mm$ في حالة زادت مساحة مقطع العمود عن $0.25m^2$.

- تباعد التسليح العرضي يجب أن يحقق ما يلي:

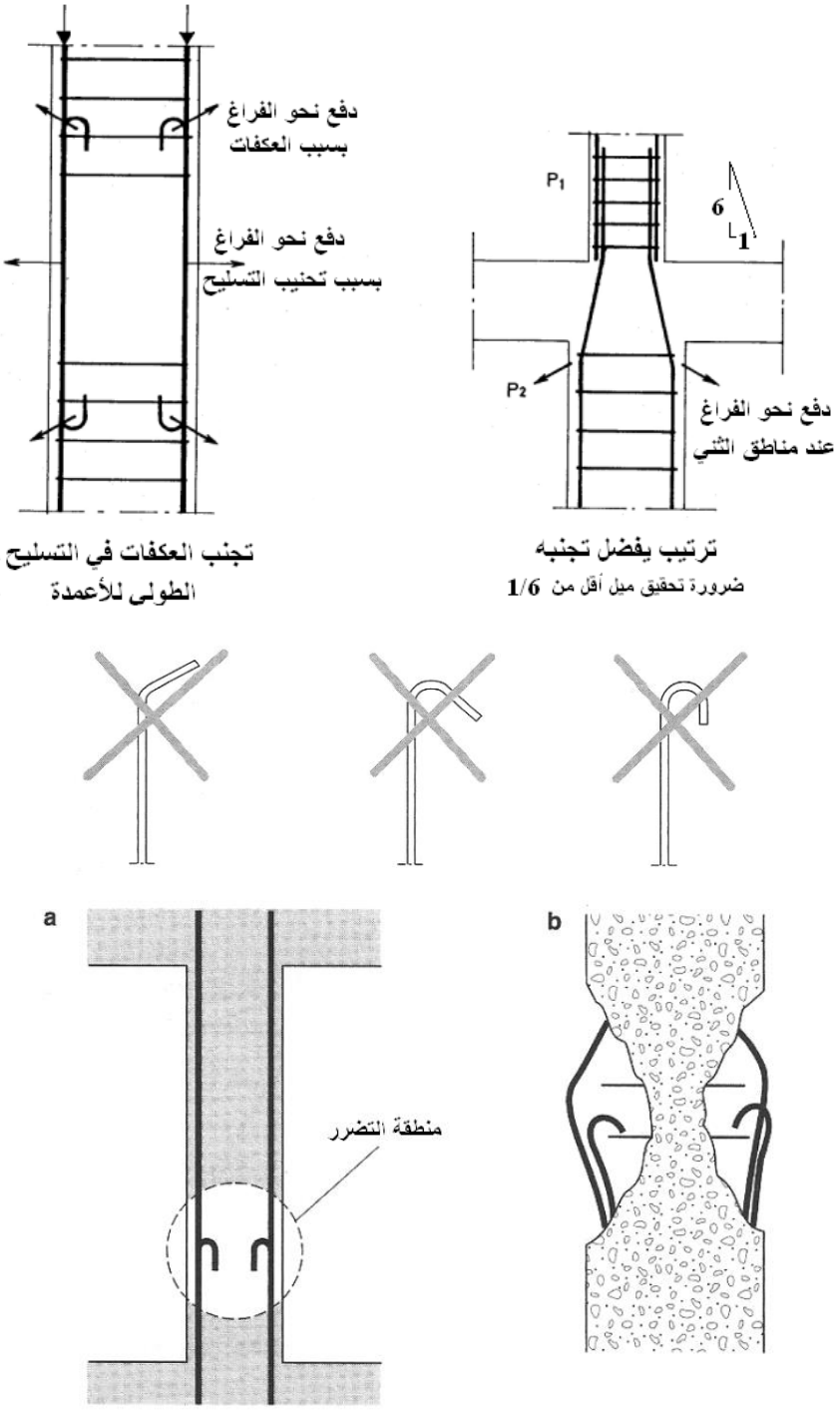
$$10cm \le t = \min\begin{cases} 30cm \\ b \\ 15\phi_{l\min} \end{cases}$$

- يجب ألا يترك أي تسليح طولي دون تسليح عرضي عندما يزيد التباعد بين القضبان الطولية عن $15cm$.
- لا تزيد الزاوية بين فرعي الأسوارة عن 135 درجة إلا إذا كان التباعد بين قضبان التسليح الطولي أقل من $150mm$ فيمكن أن يكتفى بتحقيق هذا الشرط على قضبان الزوايا ومن ثم على القضبان الوسطية بالتناوب.
- يفضل إضافة شناكل أو إطارات، إضافة للأساور الحلقية، للأعمدة الدائرية التي يزيد قطرها عن $40cm$.
- يكثف التسليح العرضي في مناطق وصل القضبان، بحيث يتضاعف العدد، مع الانتباه إلى عدم تنفيذ وصلات هذا التسليح على خط شاقولي واحد. وتكثف الأساور أيضاً في حالة الأعمدة المعزولة (منفردة)، وفي حالة الأعمدة المخفية لجدران القص.
- في المناطق الزلزالية (2(A-B-C)&3)، يجب استعمال نسبة تسليح عرضي دنيا، كما في حالة الجوائز، بمعنى: $A_{st\min} = \frac{0.35}{f_y} b\,s\,(or\ h\,s)$
- عندما تزيد أو تساوي نحافة الأعمدة (المستطيلة أو المربعة) على 40، ($\lambda = \frac{L_O}{i} \ge 40$)، يجب ألا تقل مساحة التسليح الموجودة في كل من طرفي المقطع بالاتجاه المعرض للتحنيب عن 0.3% من مساحة المقطع الكلية.

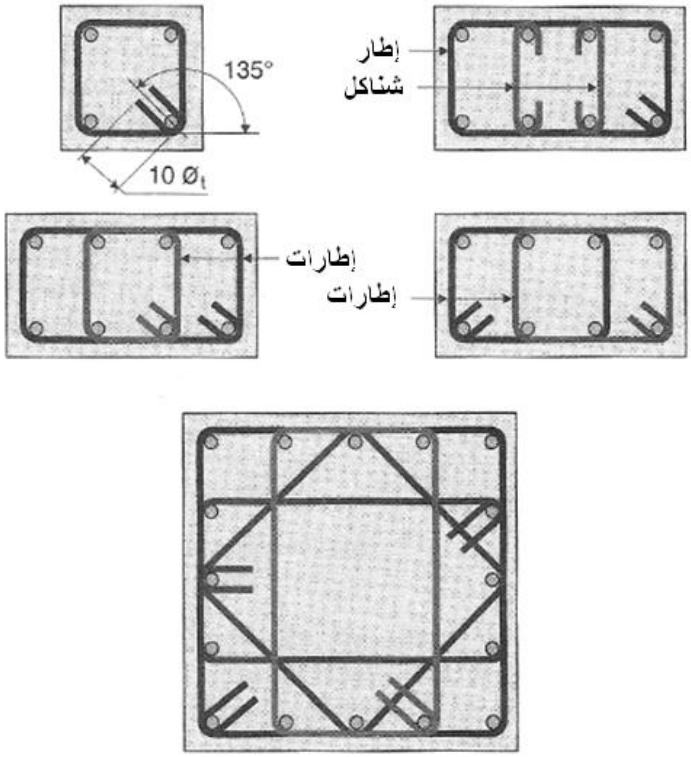
وتبين الأشكال (5-78 حتى 5-84) ملخص الاشتراطات المذكورة أعلاه، إضافة لجملة من الإجراءات والترتيبات الخاصة بتسليح الأعمدة.



الشكل (5-78): ترتيب وتوضع التسليح الطولي في الأعمدة

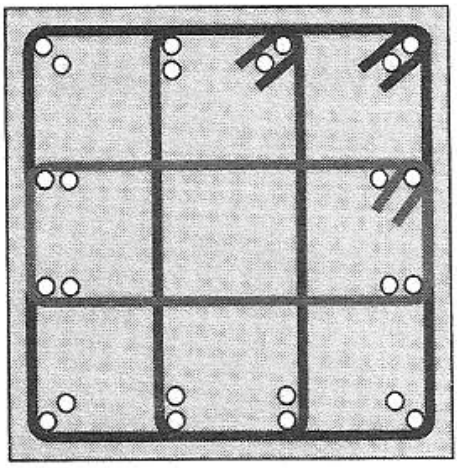


الشكل (5-79): تضرر البيتون في حال وجود عكفات للتسليح الطولي (يمنع استخدام العكفات)



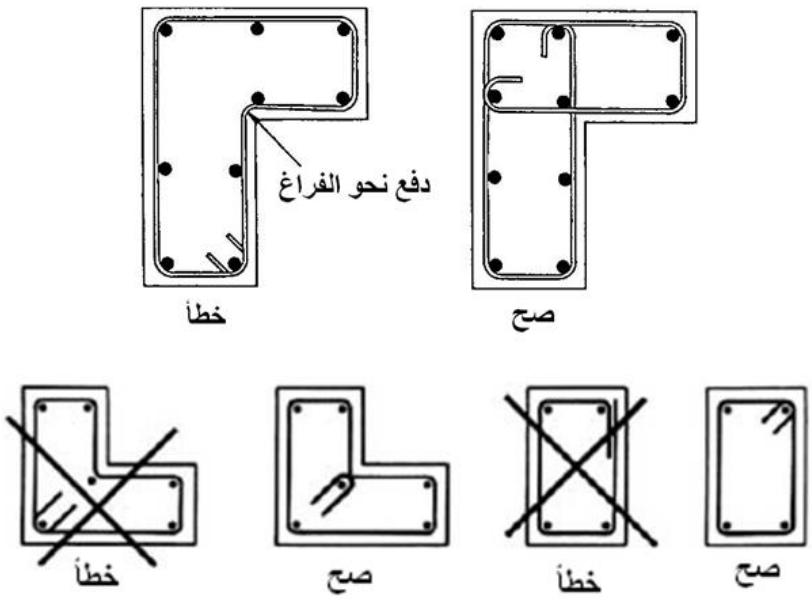
الشكل (5-80): ترتيب وتوضع التسليح العرضي في الأعمدة

(ضمان ثبات كل القضبان الطولية)

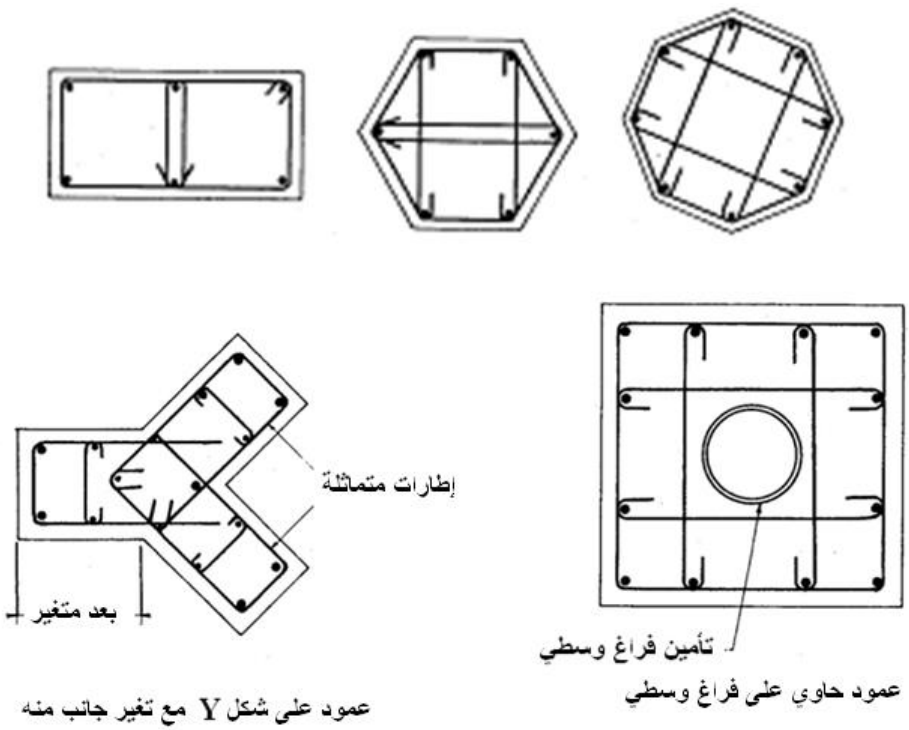


الشكل (5-81): التسليح العرضي في حال استخدام رزم قضبان طولية

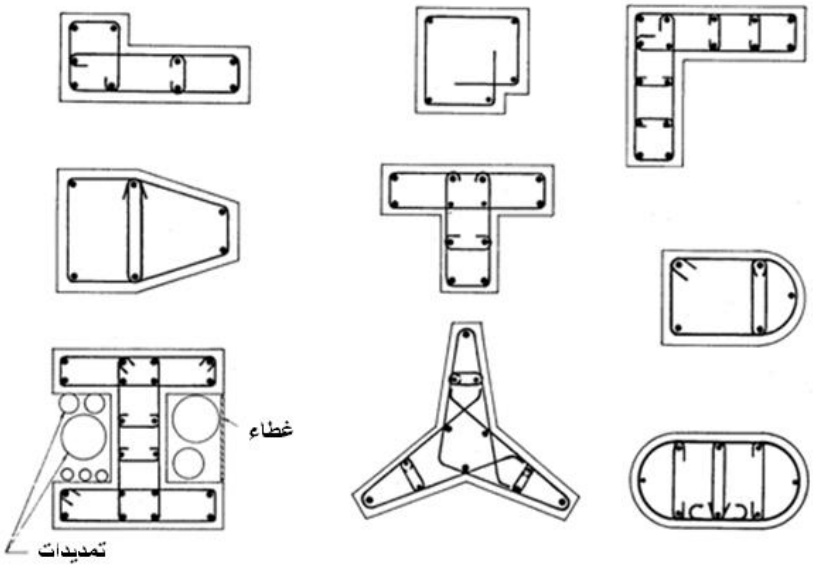
(يفضل تجنب استخدام الرزم)



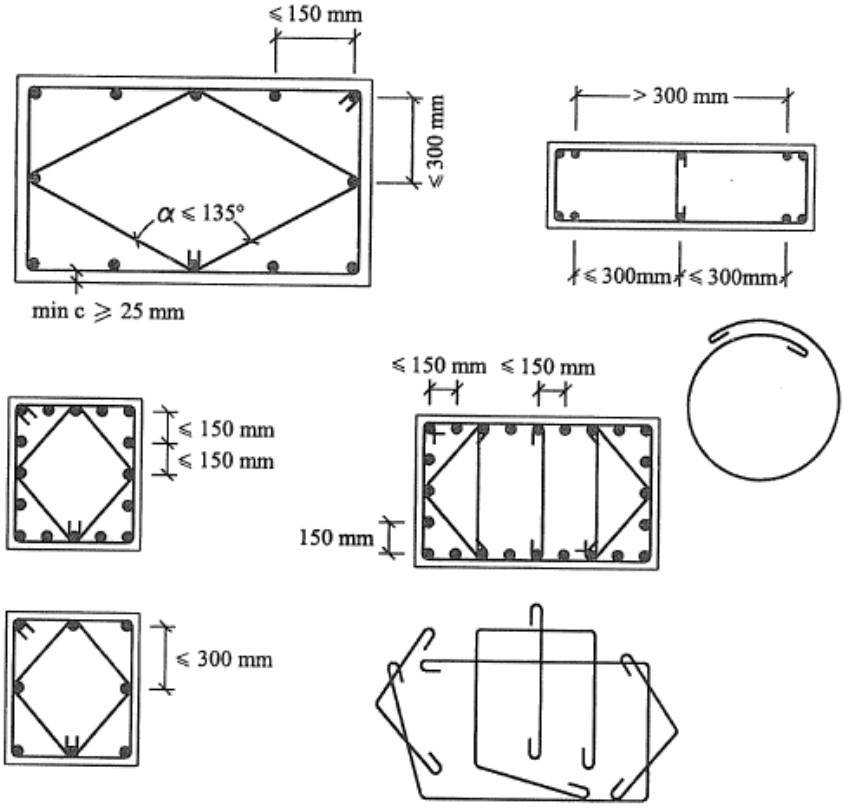
الشكل (5-82): نماذج من التسليح العرضي الواجب تجنبه



الشكل (5-83): نماذج تسليح مقاطع الأعمدة بأشكال مختلفة



تابع للشكل (5-83): نماذج تسليح مقاطع الأعمدة بأشكال مختلفة



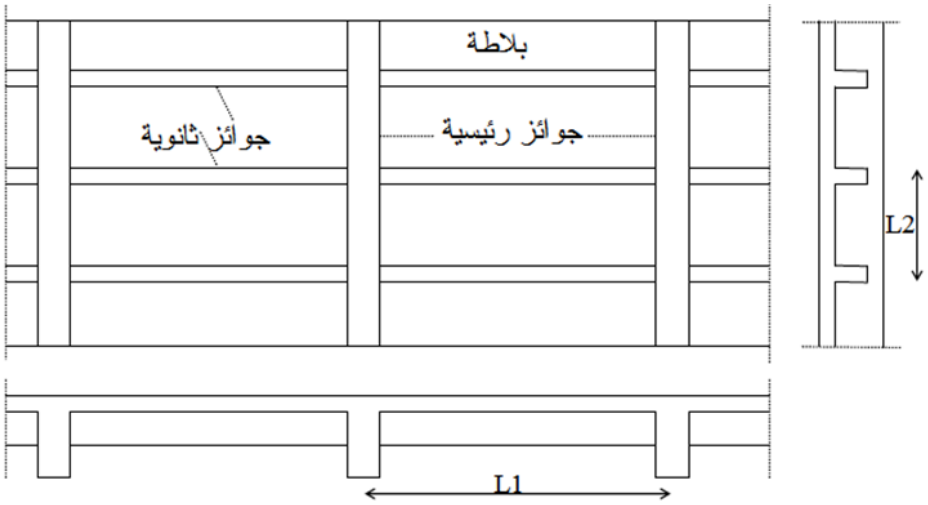
الشكل (5-84): ترتيبات التسليح في الأعمدة (الكود السوري)

5-5- الجوائز من البيتون المسلح

5-5-1- آراء عامة:

الجائز هو عبارة عن عنصر إنشائي خطي يقوم على نقل الحمولات الآتية من البلاطات إلى الأعمدة أو الجدران التي يستند عليها. في الواقع إن تحديد مقاومة جملة حاملة ما واستقرارها يستند على المساهمة المقدمة من كل عنصر في هذه الجملة حيث تشترك البلاطات والجوائز في مقاومة الحمولات المطبقة مباشرة لتنقلها إلى الأعمدة أو الجدران، ومن ثم لتفرغ في الأرض عن طريق جملة الأساسات المقترحة .

بشكل عام يتطلب إنشاء سقف ما إلى تنفيذ عدة بلاطات مستندة على جملة من الجوائز الثانوية أو الرئيسية (الشكل 5-85).

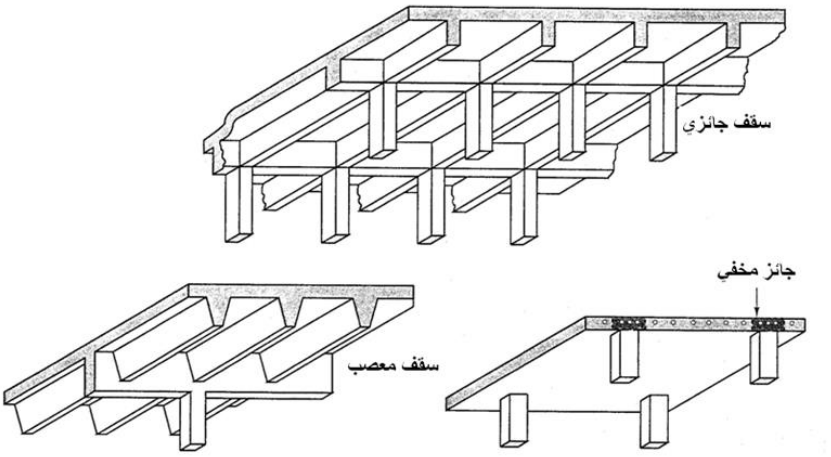


الشكل (5-85): بلاطة سقف مع الجوائز

هذا ويمكن للبلاطة نفسها أن تعمل على أساس جائز في بعض الحالات، على سبيل المثال: في حالة بلاطة عاملة باتجاه واحد يمكن حسابها على أساس جائز بعرض واحدة الطول (1m)، وفي البلاطات المعصبة تعامل الأعصاب على أنها جوائز ثانوية تصب حمولتها في الجوائز الرئيسية الحاملة.

يمكن تصنيف الجوائز وفق عدة اعتبارات (الشكل 5-86)، فنلاحظ:

- جوائز بارزة، متدلية أو مقلوبة يكون ارتفاعها أكبر من ارتفاع البلاطة المحمولة.
- جوائز مخفية (مبطوحة) لها سماكة مساوية لسماكة البلاطة المحمولة.
- جوائز ثانوية وجوائز رئيسية حاملة للثانوية.
- جوائز بسيطة وجوائز مستمرة.
- يمكن للجوائز أن تأخذ مقاطع عرضية مختلفة ولكن بشكل عام تكون المقاطع مستطيلة أو على شكل T .



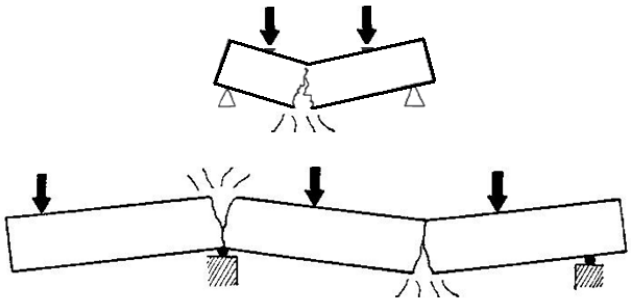
الشكل (5-86): منظومة البلاطات والأعمدة

ونبين فيما يلي آلية عمل الجوائز البيتونية ودور التسليح، وكذلك سلوكها الميكانيكي وأنماط انهيارها تحت تأثير الحمولات الخارجية:

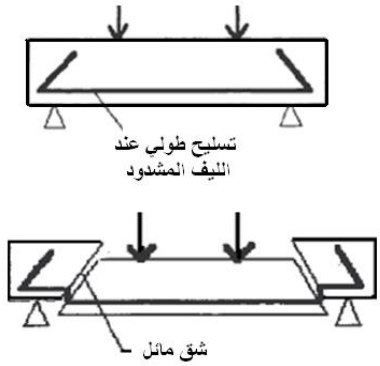
أ- حالة جائز بيتوني غير مسلح، يحصل الانهيار بشكل مفاجئ تحت تأثير حمولات خفيفة، ويعود ذلك لعدم كفاية مقاومة البيتون على الشد، كما هو مبين في الشكل (5-87).

ب- حالة جائز بيتوني حاوي على تسليح طولي فقط، يحصل الانهيار بعد تشكل شقوق مائلة عند مناطق القص الأعظمي تحت تأثير حمولات أكبر من السابقة، ويعود ذلك لعدم كفاية البيتون لمقاومة الجهود القاطعة، كما هو مبين في الشكل (5-88).

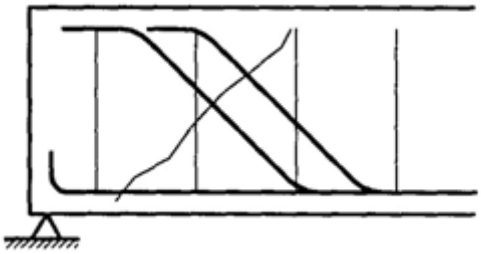
بالتالي يجب إضافة تسليح مقاوم للقص، على شكل أساور شاقولية، أو على شكل تسليح مائل على المحور الوسطي للجائز، كما هو مبين في الشكل (5-89).



الشكل (5-87): انهيار جائز بيتوني غير مسلح عند مناطق الشد القصوى

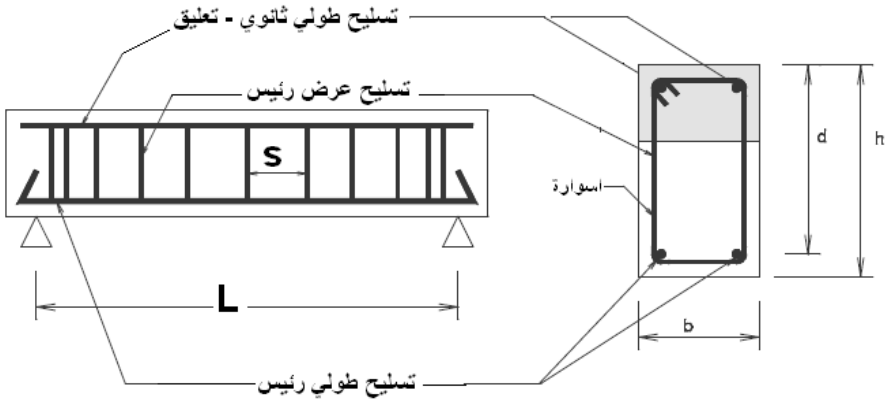


الشكل (5-88): انهيار جائز بيتوني بسبب عدم كفاية البيتون لمقاومة القص



الشكل (5-89): إضافة تسليح عرضاني (أساور أو مكسح) لمقاومة القص

ج- جائز بيتوني مسلح بشكل صحيح ومدروس، مع تسليح طولي وعرضي. الانهيار سوف يتأخر وستزداد مقاومة الجائز للحمولات الخارجية مقارنة بالجوائز السابقة، وكذلك يعمل هذا التسليح على الحد من تطور التشققات وجبهة التضررات (الشكل 5-90).

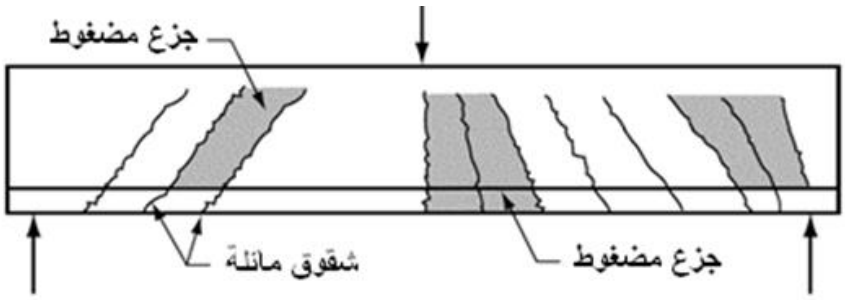


الشكل (5-90): جائز بيتوني مسلح لمقاومة الانعطاف والقص

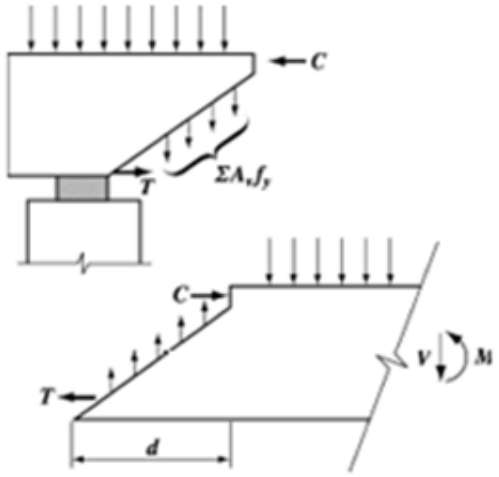
في الواقع، تولد جملة المؤثرات الخارجية على جائز ما عزوم انعطاف وجهود قاطعة مترافقة في المقطع. ينجم عن عزم الانعطاف في هذا المقطع إجهادات شد وضغط ناظميه، بينما ينتج عن الجهود القاطعة إجهادات قص تسبب في انزلاق مستويات البيتون أفقياً وشاقولياً، وتؤدي بدورها إلى إجهادات شد وضغط قطرية (شقوق مائلة موازية للجزوع المضغوطة). ويوضح الشكل (5-91) هذه الجزوع المضغوطة الموازية للشقوق المائلة. أما الشكل (5-92) فيبين مخطط الجسم الحر في طرف الجائز.

بالتالي عند مراقبة التشققات وتطورها (جهة التضرر) في جائز ما خاضع لحمولة ما، كما هو مبين في الشكل (5-93)، وقبل وصوله للانهيار يمكننا ملاحظة ما يلي:

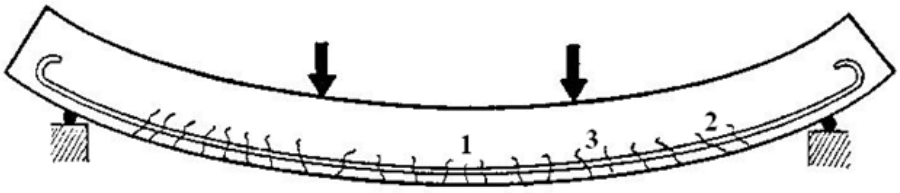
- نشوء تشققات شاقولية في المنطقة الوسطية للجائز ناجمة عن إجهادات الشد الناظمية المتولدة عن عزم الانعطاف.
- جملة من التشققات المائلة بزاوية (45°) ، بالقرب من المساند، ناجمة عن إجهادات الشد القطرية التي يسببها الجهد القاطع الأعظمي.
- جملة تشققات مختلطة ناجمة عن تأثير إجهادات الشد القطرية والناظمية، وهي تكون مائلة بين $(45^\circ \& 90^\circ)$.



الشكل (5-91): الجزوع المضغوطة الموازية للشقوق المائلة

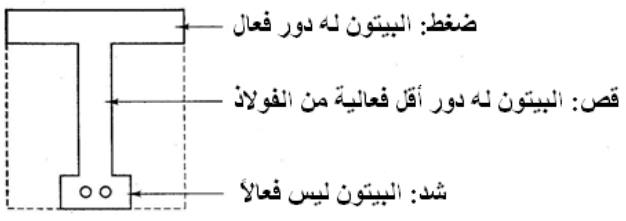


الشكل (5-92): مخطط الجسم الحر في طرف الجائز



الشكل (5-93): التشققات في جائز محمل – تطور جهة التضررات

تؤمن مقاومة المقاطع البيتونية المعرضة لإجهادات قص عن طريق مقاومة البيتون للقص والتسليح العرضي الذي يخترق المساحات التي تعمل فيها الإجهادات المماسية الناجمة عن قوى القص. وفيما يخص مقاومة المقطع للشد بالانعطاف، يقوم التسليح الطولي بتأمينها حيث تهمل مساهمة البيتون للشد، بالمقابل يكون البيتون فعالاً جداً في مقاومة إجهادات الضغط بالانعطاف. وهذا في الواقع يلخص مفاهيم تصميم العناصر الخاضعة لانعطاف، كما هو مبين في الشكل (5-94).



الشكل (5-94): مفاهيم التصميم للعناصر المنعطفة

وتنص معظم الكودات العالمية ومنها الكود السوري على ضرورة تأمين نسبة تسليح عرضية أصغرية للمقاطع الخاضعة لإجهادات قص، ويمكن أن يستثنى من هذا الشرط البلاطات العادية وقواعد الأساسات.

ونذكر فيما يلي أنواع التسليح العرضي المستخدم لمقاومة الإجهادات المماسية:

- إطارات أو أساور أو أتاري عمودية على التسليح الطولي للعنصر (تسليح قائم).
- إطارات أو أساور أو أتاري مائلة بزاوية لا تقل عن (30°) مع تسليح الشد الرئيس. (تسليح مائل).
- أساور حلزونية مطوقة لكامل المقطع، متواصلة على كامل طول العنصر، (تسليح حلزوني).
- قضبان طولية مكسحة بزاوية لا تقل عن (30°) مع تسليح الشد الرئيس (متناظر)، على أن تستعمل الأساور مع هذا التسليح، بحيث لا يقاوم هذا التسليح المائل أكثر من نصف إجهادات القص.
- ويمكن استعمال اثنين أو أكثر من الأنواع السابقة.

5-5-2- المناطق الحرجة في الجوائز:

كما ذكرنا في فقرة المناطق الحرجة في الأعمدة، وبهدف الإشارة إلى خطورة هذه المناطق وضرورة الاهتمام بها في حالة الزلازل، نعرض فيما يلي ما ورد في القواعد الفرنسية حول هذا الموضوع. ويجب على الدارس اعتبار أبعاد هذه المناطق وفق ما ورد في الكود السوري وذلك وفقاً للمنطقة الزلزالية التي يتواجد فيها المبنى المدروس، كما سيتم توضيحه عند عرض عقد الإطارات المقاومة للعزوم وتسليحها.

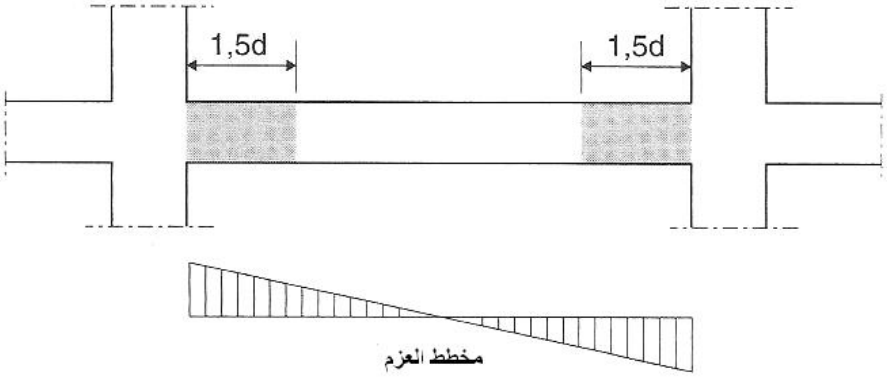
في الواقع، إن غالبية الكودات والقواعد الزلزالية العالمية تعتبر المناطق الطرفية للجوائز، مناطق حرجة، وذلك لأن الانهيار في هذه المناطق يحصل بفعل القص. لذلك يجب على الجوائز نشر كامل طاقتها على الانعطاف قبل أن تصل لمقاومتها الحدية للقص.

في حالة الجوائز يمكن أن نصادف الحالات التالية:

أ- الحالة العامة للجوائز:

تعتبر المناطق التالية هي مناطق حرجة:

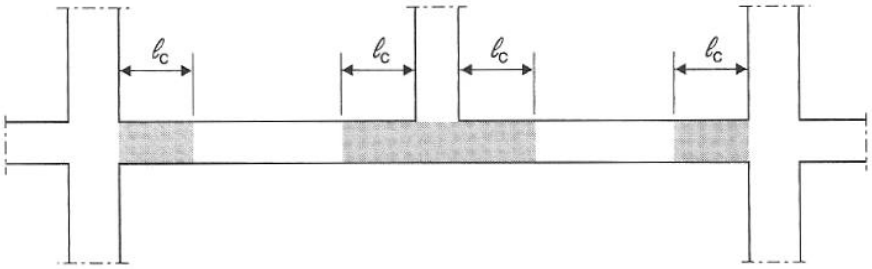
- المناطق في الجوائز التي تحتاج، مع اعتبار الفعل الزلزالي، لتسليح ضغط.
- المناطق القريبة من المقاطع الخاضعة لعزوم أعظمية تحت تأثير الأفعال الزلزالية فقط، وهي أطراف الجوائز (الشكل 5-95)، بطول $1.5d$، حيث d يمثل الارتفاع الفعال.



الشكل (5-95): المناطق الحرجة في جائز ما

ب- حالة الجوائز الساندة لأعمدة:

تعتبر مناطق حرجة تلك المناطق المجاورة لمقاطع العزم الأعظمي الواقعة على جانبي استناد العمود (الشكل 5-96).



الشكل (5-96): المناطق الحرجة لجائز حامل لعمود

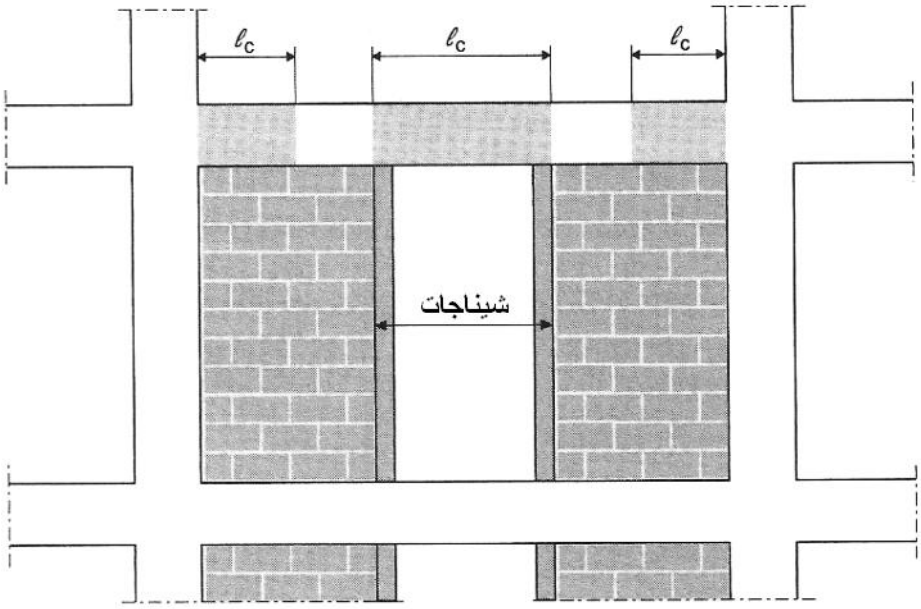
ج- حالة الجوائز القصيرة:

تعتبر الجوائز قصيرة عندما يكون مجازها l:

$$l \leq 4h$$

باعتبار أن h هو الارتفاع الوسطي بالاتجاه المدروس.

وفي مثل هذه الحالة، تمتد المنطقة الحرجة على كامل مجاز الجائز. وتصادف هذه الحالة في اللمعات الرابطة لجدران القص، وفي حالة الجوائز التي يتم فيها إرساء تسليح الشيناجات الشاقولية التي تشكل عناصر تقوية للفتحات الموجودة في الجدران والقواطع (الشكل 5-97).



الشكل (5-97): المناطق الحرجة بوجود قواطع

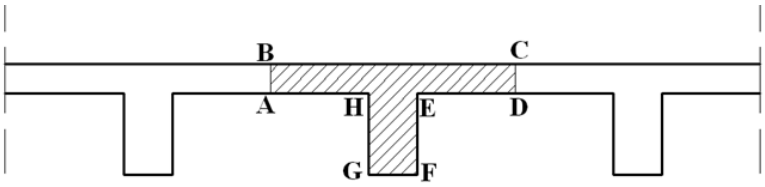
د- التسليح العرضي الأصغري للمناطق الحرجة:

- القطر الأصغري للتسليح العرضي: $\phi_t \geq 6\,mm$
- التباعد الأعظمي:
  - في المناطق العادية: $S_t \leq \frac{d}{2}$
  - في المنطقة الحرجة: $S_t = \min\left[24\phi_t\,;\,8\phi_l\,;\,\frac{d}{4}\right]$

حيث: ϕ_l هو القطر الأصغر للتسليح الطولي، و d الارتفاع الفعال.

5-5-3- اشتراطات بعدية – ترتيبات التسليح:

- تتعرض الجوائز إلى جملة من الحمولات الدائمة والإضافية، وتعتمد طرائق حساب هذه الجوائز على نوعها سواء أكان بسيطاً أم مستمراً.
- تصادف مقاطع بشكل (T) بكثرة في منشآت البيتون المسلح كالسقوف، والجدران الاستنادية، وجسور السيارات وبصورة عامة في جميع المنشآت التي يتم فيها مشاركة البلاطة المليئة للجوائز في المقاومة (الشكل 5-98).



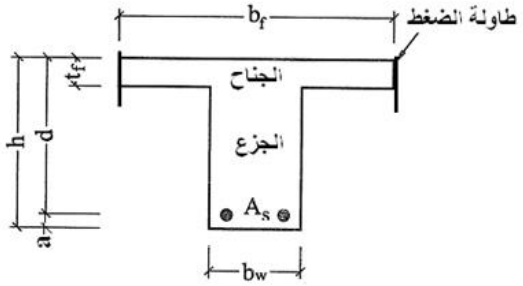
الشكل (5-98): مقطع جائز بشكل (T)

ويعتبر هذا المقطع اقتصادياً تماماً لأنه ينتج عن حذف أكبر كمية ممكنة من البيتون المشدود، ذلك البيتون الذي لا يشكل إلا وزنا ذاتيا ميتا غير مفيد، نظرا لكونه مهملا في حسابات المقاومة.

نسمي القسم $(ABCD)$ بلاطة الضغط أو جناح الضغط أو أكثر بساطة البلاطة، كما نطلق على القسم $(EFGH)$ اسم الجسد أو العصب. سنفترض في هذه الدراسة أن البلاطة واقعة في المنطقة المضغوطة من الجائز، فإذا لم يكن كذلك، كما يحصل في مساند الجائز المستمر حيث تقع البلاطة في منطقة الشد، تعود المسألة إلى حساب مقطع مستطيل بعرض (GF) لأن البيتون المشدود لا يؤخذ بالحسبان عند تعيين التسليح المشدود.

وتكون الجوائز بشكل حرف T على نوعين:

- ✓ **النوع الأول:** نوع يكون في الأسقف المؤلفة من جوائز عادية متصلة اتصالاً وثيقاً مع البلاطات المحمولة عليها، ويكون ذلك بالصب استمرارياً، ومع تشريك التسليح بحيث يكون الجائز والبلاطة المضغوطة فوقه مترابطين ترابطاً فعالاً فيؤلفان وحدة من الوجهة الإنشائية، ويسلكان سلوكاً موحداً تحت تأثير الحمولات المطبقة، ويسمى الجائز الأصلي جسداً بعرض (b_w)، والبلاطة فوقه طاولة أو جناح الضغط، ويسمى القسم من البلاطة الذي يعمل بالفعل مع الجسد، العرض الفعال لجناح الضغط (b_f) (الشكل 5-99).



الشكل (5-99)

لا يعد قسم من البلاطة، طاولة ضغط لجزع جائز، إلا إذا استمرت قضبان التسليح لهذه الطاولة ضمن جزع الجائز للجهتين، وعلى ألا تقل مساحة مقاطع القضبان المستمرة عن:

$$A_{ct} = 1.7 \frac{V}{d\, f_y} \frac{b'}{b_f}$$

حيث:

A_{ct} مساحة مقاطع قضبان التواصل في المتر الطولي من الجائز، التي تخترق الجذع على طول بلاطة الضغط.

V قوة القص في مقطع الجائز (حمولات استثمارية).

d الارتفاع الفعال لمقطع الجائز.

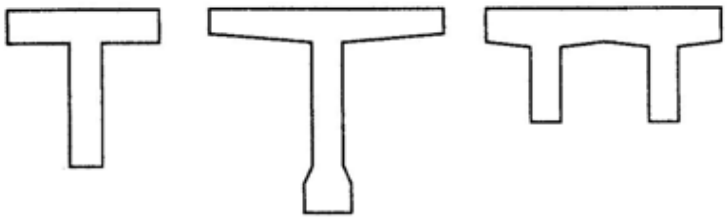
f_y إجهاد الخضوع (المقاومة المميزة) لتسليح التواصل.

b_f العرض الفعال لطاولة الضغط.

b' العرض الفعال لجزء الطاولة الواقع على أحد طرفي الجذع.

إضافة للشرط السابق، يجب ألا تقل مساحة مقاطع القضبان المستمرة (قضبان التواصل: تسليح سالب وموجب لبلاطة الضغط) عن 0.3% من مساحة مقطع البلاطة الطولي.

✓ **النوع الثاني:** يكون في المقاطع المصنوعة خصيصاً بشكل (T) لإعداد طاولة ضغط خاصة (الشكل 5-100).



الشكل (5-100)

- في الواقع يرتبط العرض الفعال لجناح الضغط (b_f) للمقطع بشكل حرف (T) بعناصر مختلفة يمكن تلخيصها كما يلي:
  - نوع الجائز: بسيط أو مستمر.
  - طول فتحة الجائز البسيط، أو المسافة بين نقطتي انعدام العزم في الجوائز المستمرة إلى عرض الجسد.
  - نسبة سماكة طاولة الضغط إلى ارتفاع الجائز $\left(\frac{t_f}{h}\right)$.
  - المسافة بين محوري جسدين متوازيين.
  - نوع الحمولات: مركزة أو موزعة بانتظام.

- وجود شطفات ساندة بين الطاولة وجسد الجائز.

- ويمكننا اعتماد العرض الفعال لجناح الضغط للمقطع بشكل حرف (T) من النوع الأول، القيمة الدنيا من الأبعاد التالية (الكود السوري):

1) $\left(\frac{L}{4}\right)$ في حالة الجوائز المعرضة لحمولات موزعة بانتظام، أو $\left(\frac{L}{5}\right)$ لحالة الحمولات المركزة. علماً أن (L) تمثل المسافة بين نقطتي انعدام العزم، ويمكن أن تقاس من مخطط العزم، أو تؤخذ 0.76 من المجاز في الفتحات الداخلية من الجوائز المستمرة ذات المجازات المتقاربة، و 0.87 من المجاز في الفتحات الطرفية.

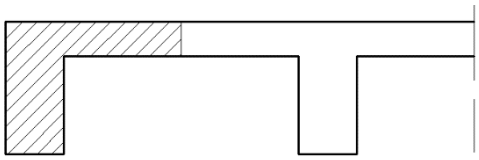
2) عند حساب المقاومة يكون: $b = b_w + 12t_f$. وعند حساب عزم العطالة الفعال يكون: $b = b_w + 6t_f$.

3) المسافة بين محوري جائزين متجاورين.

- ويجب أن تحقق سماكة الجناح (سمك طاولة الضغط) الشرط التالي: $t_f \geq \frac{h}{10}$ ، وإلا يعد المقطع مستطيل بعرض: $b = b_w$

- أما بالنسبة للنوع الثاني للمقطع بشكل حرف (T)، فيؤخذ العرض الفعال للجناح مساوياً لـ: $b = b_f$ ، شريطة ألا يزيد على $5b_w$ ، وبحيث يكون: $t_f \geq \frac{b_w}{2}$.

- تحسب المقاطع بشكل حرف (L) كما تحسب المقاطع المستطيلة، ويهمل تأثير جناح الضغط (الشكل 5-101).



الشكل (5-101)

- الارتفاع الفعال لمقطع جائز ما (d) هو المسافة بين مركز ثقل التسليح وليف حافة منطقة الضغط.

- المجاز الفعال للجوائز (L): ميز الكود الســوري بين حالات عدة عند تحديد المجاز الفعال للجوائز والبلاطات، والموضوع مرتبط بآلية استناده بالمسند.

- يســتخدم الجدول (5-4) من أجل تحديد قيمة الارتفاع الكلي للجائز ($h \geq \frac{L}{K}$)، في حالة الجوائز التي لا يزيد مجازها الفعال عن $15m$، على أنه يمكن تنقيص هذه القيم بشرط تحقيق شرط السهم وشرط المقاومة. وفي حال الجوائز التي يزيد مجازها الفعال عن $15m$، يجب التحقق من شرط السهم حسابياً.

طبيعة الاستناد	غير مستمر من الجانبين		مستمر من جانب واحد		مستمر من الجانبين		ظفري	
$f'_C(MPa)$	≥ 20	< 20	≥ 20	< 20	≥ 20	< 20	≥ 20	< 20
جائز متدلي عادي	$\frac{L}{14}$	$\frac{L}{12}$	$\frac{L}{15}$	$\frac{L}{13}$	$\frac{L}{16}$	$\frac{L}{14}$	$\frac{L}{6}$	$\frac{L}{6}$
جائز مخفي (بلاطات مفرغة)	$\frac{L}{16}$	$\frac{L}{14}$	$\frac{L}{18}$	$\frac{L}{16}$	$\frac{L}{20}$	$\frac{L}{18}$	$\frac{L}{8}$	$\frac{L}{8}$

الجدول (5-4)

- لا تقل نسبة تسليح الشد الرئيس بالانعطاف عن $\mu_{s\min} = \frac{A_{s\min}}{b_W d} \geq \left(\frac{0.9}{f_y}\right)$.

- لا تزيد نسبة تسليح الشد الرئيس في المقاطع أحادية التسليح عن $\left(0.5\mu_{Sb} = 0.5\left[\frac{455}{630+f_y}.\frac{f'_c}{f_y}\right]\right)$. ويمكن زيادتها لتصل إلى $(0.75\mu_{Sb})$ شريطة حساب السهم وعدم إجراء إعادة توزيع العزوم، ووضع كمية تسليح ضغط دنيا : $(A_S - A'_S \leq 0.50A_{Sb})$

- بالنسبة للتسليح العرضي، يتم حسابه على القص ويجب ألا يقل عن:

$$\mu_{St\min} = \frac{A_{st\min}}{b_W s} \geq \left(\frac{0.35}{f_y}\right)$$

حيث s : التباعد بين التسليح العرضي.

- لا يقل قطر قضيب التسليح الطولي عن $12\,mm$.
- لا يزيد تباعد محاور التسليح الطولي عن $30cm$.
- لا يقل قطر التسليح العرضي عن ثلث قطر التسليح الطولي، أو عن $6mm$.
- لا تزيد المسافة بين كل فرعين متجاورين للتسليح العرضي عن $30cm$.
- تباعد التسليح العرضي يجب أن يحقق ما يلي (حالة جوائز متدلية):

$$s = \min\begin{cases} 30cm \\ d/2 \end{cases}$$

- تباعد التسليح العرضي يجب أن يحقق ما يلي (حالة جوائز مخفية):

$$s = \min\begin{cases} 30cm \\ 2d/3 - d \end{cases}$$

- في حال وجود تسليح ثنائي (ضغط)، يجب أن يحقق التسليح العرضي :

$$s = \min\begin{cases} 20cm \\ 15\phi_{lc} \end{cases}$$

- التسليح الثانوي للجوائز:

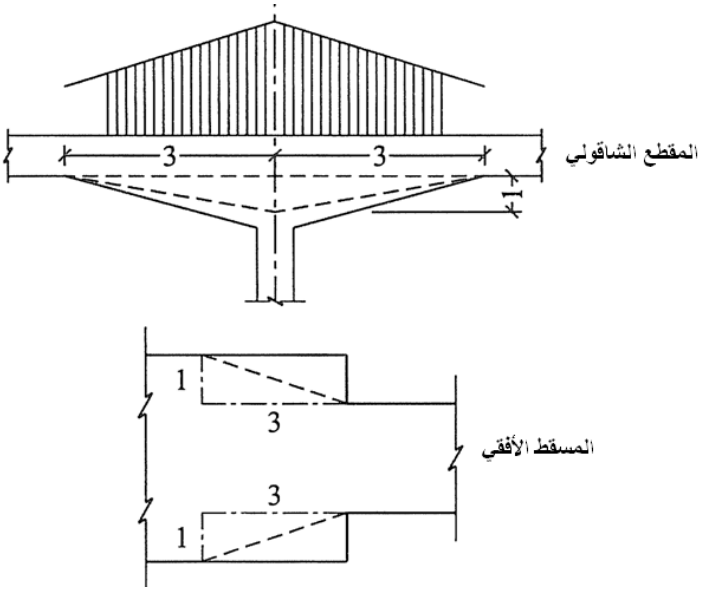
- **قضبان التعليق:** لا يقل عدد القضبان عن عدد فروع الأساور إلا إذا كانت اسوارة داخلية حول قضيب واحد. ويجب ألا تقل مساحة هذه القضبان عن 15% مساحة التسليح الرئيس، ولا يقل العدد عن قضيبين. ويجب أن يحقق قطر هذه القضبان:

$$\phi_l = \max\begin{cases} 8mm \\ 0.5\phi_{l\max} \end{cases}$$

- **قضبان التقلص:** عندما يزيد ارتفاع العنصر عن $(60cm)$ أو تزيد مساحة مقطعه عن $(0.20m^2)$، فإنه يجب إضافة قضبان تقلص على الوجهين. ويجب ألا تقل مساحة هذه القضبان عن $(0.001b_w d)$ ، ولا يزيد تباعدها عن $(30cm)$. وكذلك يجب أن يحقق قطر هذه القضبان:

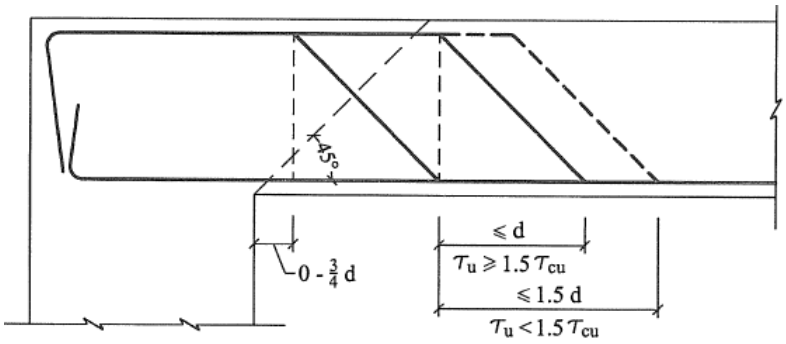
$$.\phi_{sh} = \max\begin{cases} 10mm \\ 0.5\phi_{l\max} \end{cases}$$

- يجب أخذ تأثير عرض المسند الحامل للجوائز بالحسبان عند حساب العزوم السالبة (تخفيضها).
- في حال تغير مقاطع الجوائز عند مناطق الاستناد بهدف مقاومة العزوم والقص، تكون الارتفاعات الفعالة هي المحددة بخطوط ميلها $(1/3)$ كما هو مبين في الشكل (5-102)، ويمكن تطبيق هذا المبدأ في حال تغير عرض المقطع. وعندما يزيد الارتفاع عن $(1.5h)$ ، فيجب أن يؤخذ تأثير هذا التغير على عطالة المقطع عند الدراسة.



الشكل (5-102): تغير المقاطع عند المساند

- يحدد العرض الفعال (b_w) للجوائز على شكل (T) وفقاً للكود السوري الأساس كما مر معنا سابقاً.
- في حال استعمال أساور مائلة أو قضبان طولية مكسحة لمقاومة القص، فيجب أن يحتوي الخط المائل بزاوية (45°) على محور العنصر، والمرسوم من أسفل الوجه الداخلي للركيزة، على إسوارة أو قضيب مكسح، كما هو مبين في الشكل (5-103).



الشكل (5-103): ترتيب القضبان الطولية المكسحة عند المسند

هذا ويجب ألا تزيد المسافة بين كل صفين من هذه الأساور أو القضبان المائلة على الارتفاع الفعال للجائز d في حال كانت إجهادات القص الحدية أكبر من مقاومة البيتون $(\tau_u \geq 1.5\,\tau_{cu})$، وتؤخذ مرة ونصف من الارتفاع الفعال $1.5d$ عندما يكون $(\tau_u < 1.5\,\tau_{cu})$.

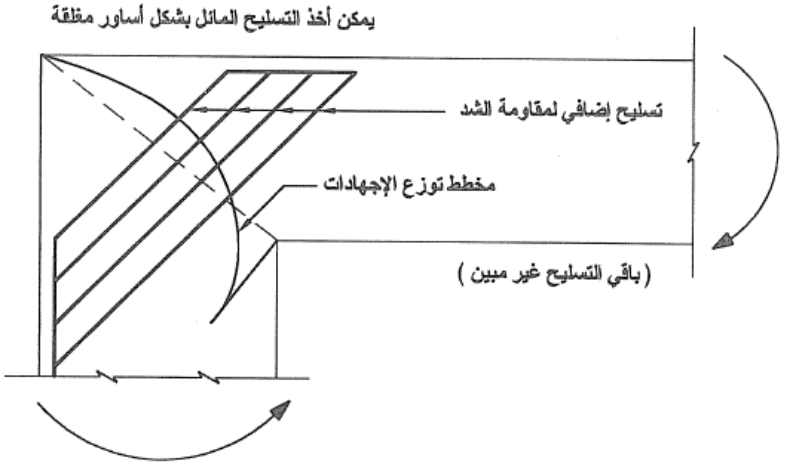
- يجب تأمين الاستقرار العرضي ضد التحنيب، ففي الجوائز البسيطة والمستمرة غير المربوطة في المنطقة المضغوطة (حالة جائز مقلوب مثلاً)، تخفض قدرة تحمل المقطع تبعاً للنسبة (L/b_w) بعوامل تخفيض تؤخذ من الجدول (5-5).

$\frac{L}{b_w}$	30 ≥	35	40	45	50	55	60
عامل التخفيض	1	0.875	0.75	0.625	0.5	0.375	0.25

الجدول (5-5)

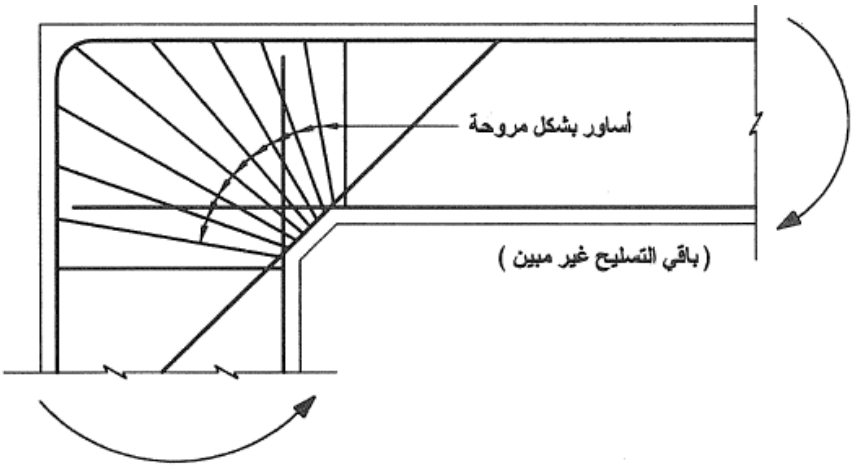
ملاحظة: من أجل الظفر يؤخذ الطول L مساوياً ضعف طول الظفر من وجه المسند.

- عند عقد الإطارات بين الجوائز والأعمدة، وعندما تزيد مجازات الجوائز على $10m$، فيلزم إضافة تسليح خاص في العقدة الطرفية بهدف مقاومة إجهادات الشد الناتجة على مستوى مائل، يصل بين الركنين الداخلي والخارجي لهذه العقدة، كما هو مبين في الشكل (5-104). ويؤخذ بنسبة 15% من مساحة التسليح العلوي المشدود للعقدة وذلك لحالة الجوائز بمجازات قريبة من $10m$، وتزاد حتى 30% للمجازات التي تصل إلى حوالي $30m$.



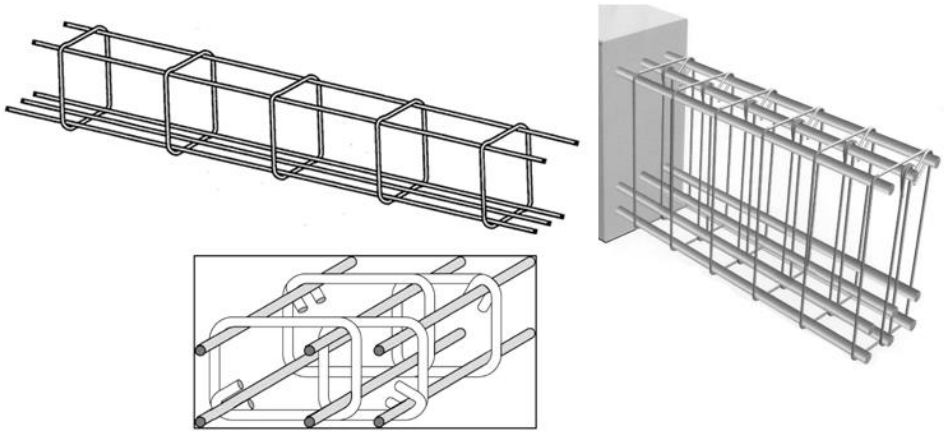
الشكل (5-104): إضافة تسليح خاص في عقدة طرفية لإطار مجازه يزيد عن عشرة أمتار

إضافة لذلك يجب تطويق بيتون العقدة بحيث تستمر أساور العمود ضمنها، أو تستعمل أساور خاصة بشكل مروحة كما هو مبين في الشكل (5-105).

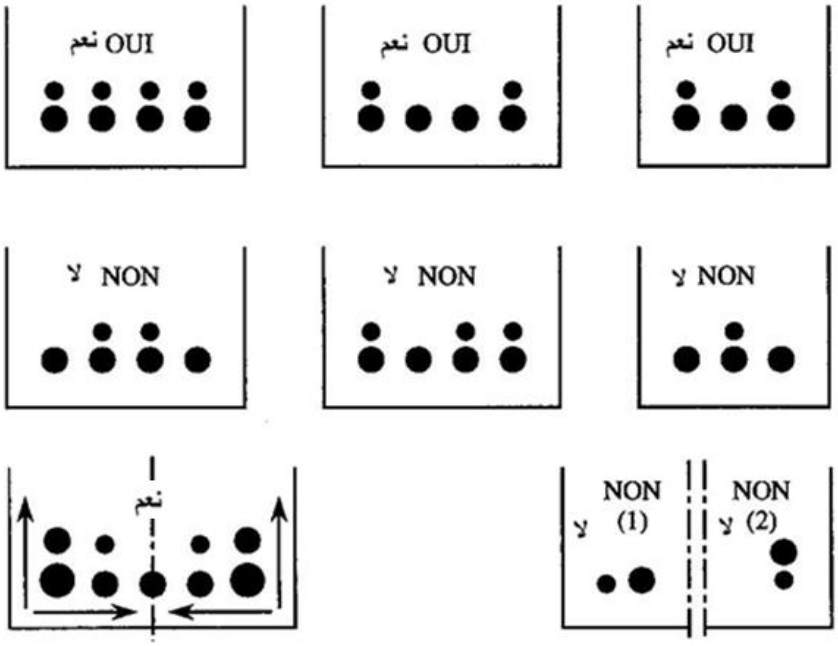


الشكل (5-105): استمرار أساور العمود ضمن العقد، أو تزويدها بأساور بشكل مروحة (إطارات مجازها يزيد عن عشرة أمتار)

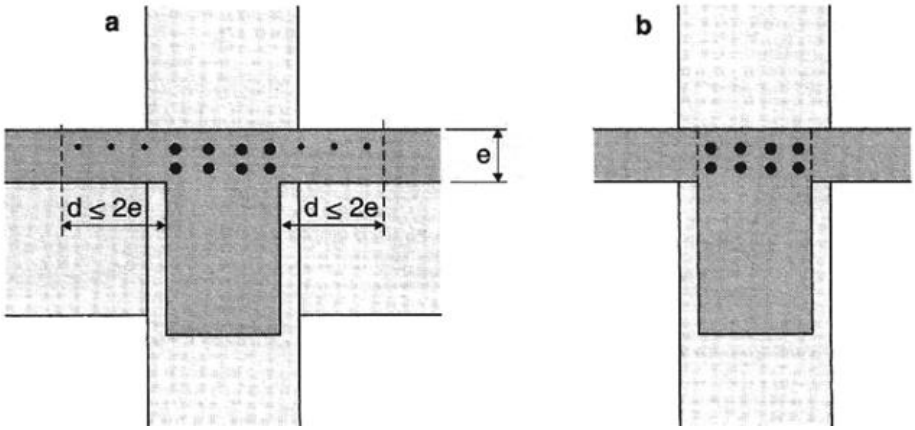
وتبين الأشـــكال (5-106 حتى 5-115) نماذج وترتيبات التســـليح الواجب اعتمادها أو تجنبها عند دراســـة وإعداد المخططات التنفيذية للجوائز.



الشكل (5-106): التسليح الطولي والعرضي في الجوائز

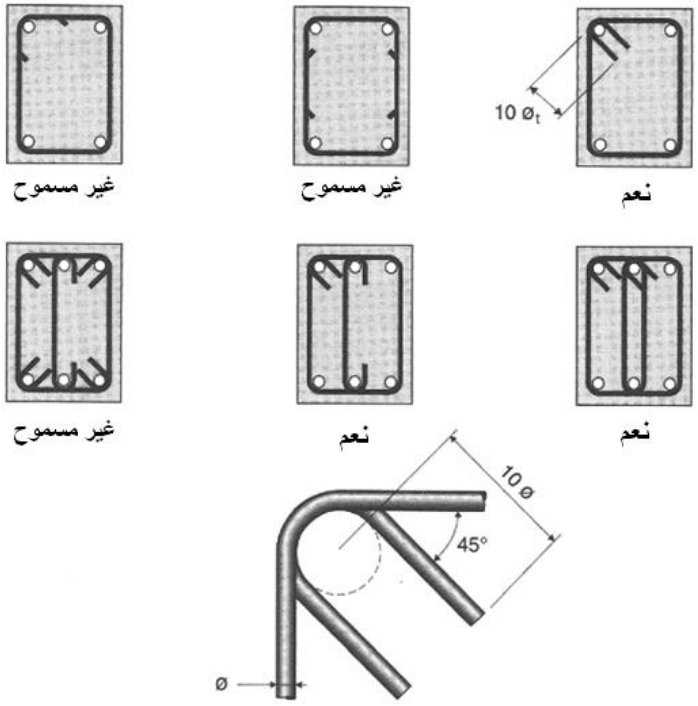


الشكل (5-107): توزيع التسليح الطولي في الجوائز

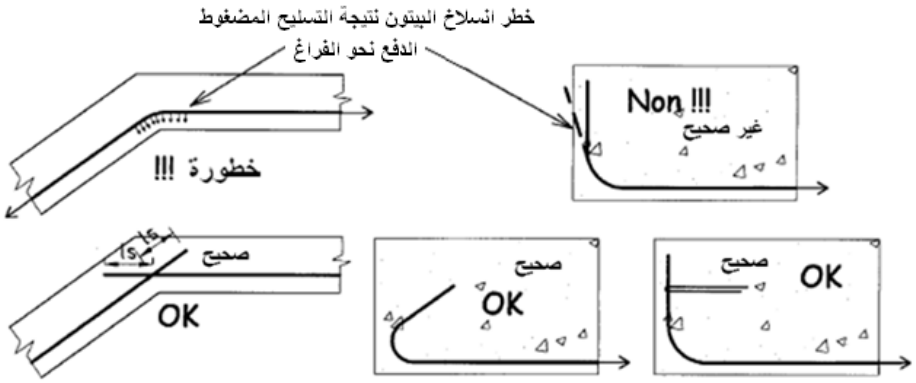


(a) يمكن وضع (1/8) مساحة التسليح المشدود في البلاطة بعرض ($d \leq 2e$) حيث (e) سماكة البلاطة، بشرط وجود جائز عرضي بصلابة متقاربة من الجائز الأساس، وإذا لم يتحقق هذا الشرط نلجأ لوضع كافة التسليح في الجائز (b) .

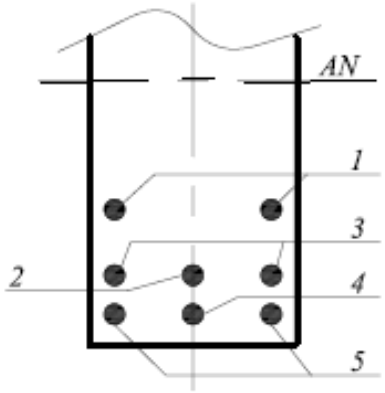
الشكل (5-108): توزيع التسليح الطولي العلوي للجوائز T عند المساند



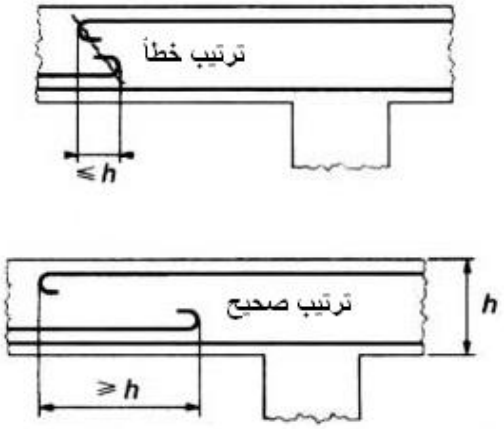
الشكل (5-109): ترتيبات التسليح العرضي في الجوائز وإرساءه



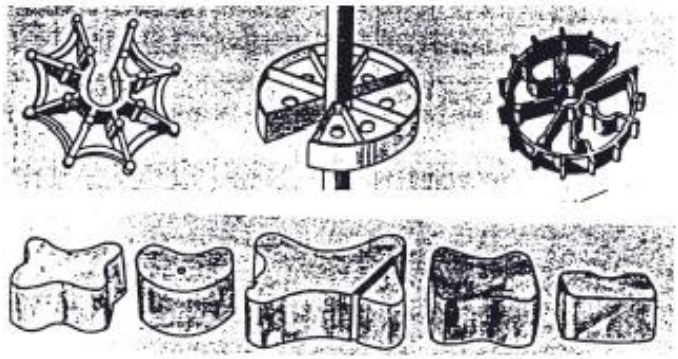
الشكل (5-110): إرساء التسليح الطولي في الجوائز



الشكل (5-111): تسلسل إيقاف قضبان التسليح في مقطع الجائز

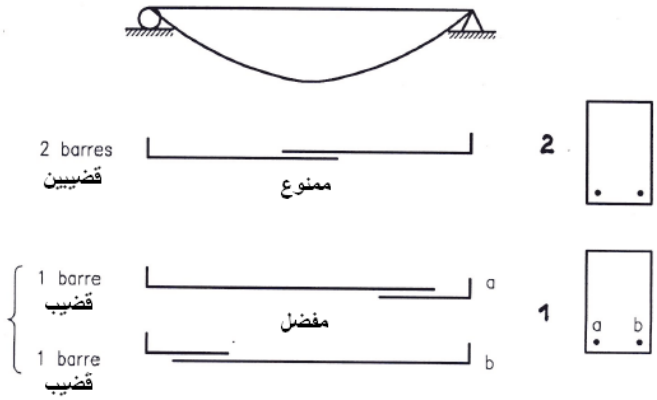


الشكل (5-112): التباعد بين قضبان التسليح الموقوفة (سفلي وعلوي)

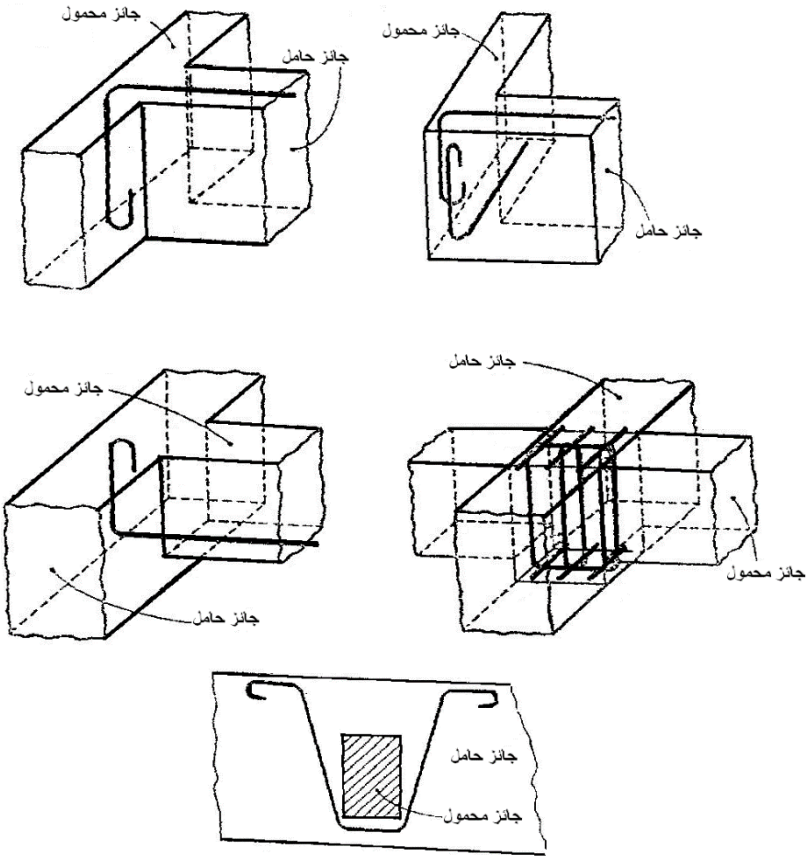


الشكل (5-113): أنواع المساند الخاصة بتأمين التغطية المناسبة لقضبان التسليح

(نماذج من الاسمنت الليفي أو من البلاستيك)



الشكل (5-114): وصل قضبان التسليح الطولي في الجوائز



الشكل (5-115): ترتيبات اتصال الجوائز الحاملة مع الجوائز المحمولة

5-6- العقد والمناطق الحرجة في الإطارات المقاومة للعزوم

(ترتيبات الكود السوري)

5-6-1- آراء عامة:

لقد تم في الفصل الرابع، عرض تفصيلي لدراسة عقد الإطارات المقاومة للعزوم وفقاً للكود الأمريكي، بالتالي يمكن للمهندس تصميم هذه العقد ومن ثم التحقق من أن هذه النتائج تحقق اشتراطات وترتيبات تسليح العقد والمناطق الحرجة التي ينص عليها الكود السوري.

في الواقع، أثبتت الخبرة أن العقد في المنشآت الإطارية من البيتون المسلح، هي أكثر الأجزاء انعطابية وتعرضاً للضرر الزلزالي، إذ نلاحظ ما يلي:

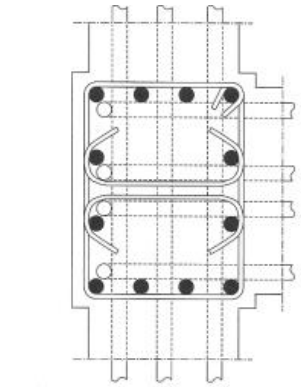
- يمكن للتشققات في بيتون العقدة، وكذلك وصول فولاذ تسليحها لحده المرن، أن يضعف قدرتها على نقل الحمولات الشاقولية.
- إن تضرر العقدة يخفض من قدرة الإطارات على تبديد الطاقة.
- من الناحية التقنية، يكون تدعيم العقد صعباً جداً، فضلاً على فعاليته المشكوك بها.

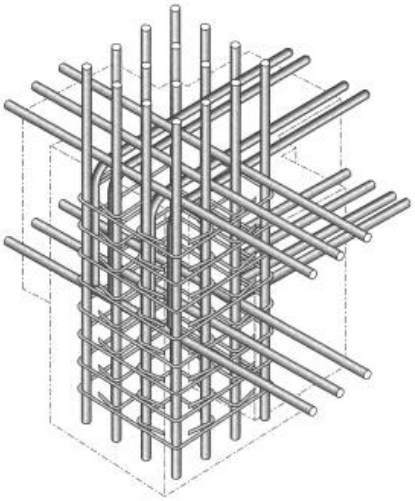
بالتالي، عند دراسة المنشآت الإطارية المقاومة للزلازل، يجب العمل على تحقيق النقاط التالية:

1- ضمان أداء مميز للعقد في مقاومة الجهود المتناوبة، بشكل مكافئ للعناصر المكونة للوصلة.

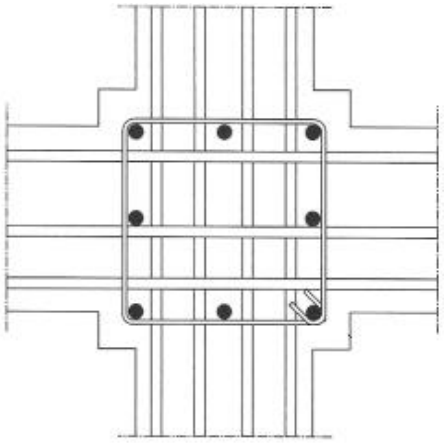
2- ضبط سلوك العناصر المكونة للوصلة ومقاومتها للأفعال الحسابية، بمقاومة العقدة ذاتها.

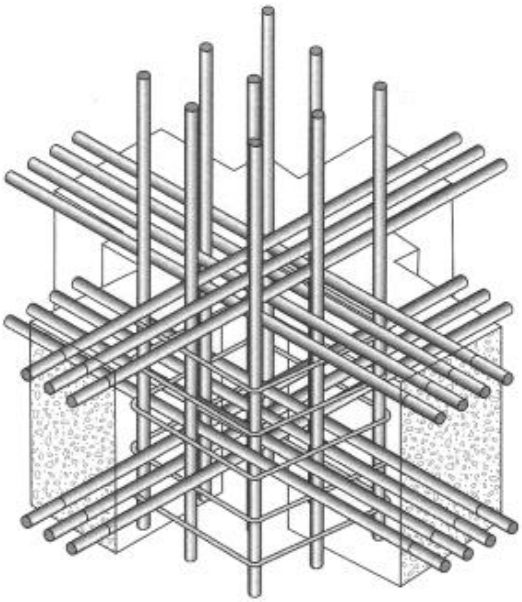
3- عند تصميم العقد، يجب التفكير جيداً بقابلية تنفيذها وذلك من حيث ترتيبات التسليح وعملية صب البيتون. والشكلان (5-116 و 5-117) يعطيان فكرة واضحة عن مدى صعوبة تنفيذ العقد سواء كانت طرفية أم وسطية.





الشكل (5-116): تسليح عقدة جانبية





الشكل (5-117): تسليح عقدة وسطية

5-6-2- تسليح العقد وإطارات الأبنية المقاومة للعزوم (كود سوري):

يجب أن تحقق ترتيبات التسليح في عنصر الإطار، كافة المتطلبات الخاصة بالجوائز، إذا كانت قوة الضغط المركزية المصعدة (N'_u) في هذا العنصر لا تتعدى (10%) من تحمل البيتون لوحدة، بمعنى: $N'_u \le 0.1A'_c f'_c$. بالمقابل، عندما يكون $N'_u > 0.1A'_c f'_c$ ، فيجب أن تحقق ترتيبات التسليح في هذا العنصر، المتطلبات الخاصة بالأعمدة كافة.

ويمكن تلخيص الاشتراطات الإنشائية لعناصر الجمل الإطارية المقاومة للعزوم، على النحو التالي:

1- يجب ألا يزيد الفرق في أي مقطع حرج في جوائز الإطارات على نصف مساحة التسليح التوازنية، $(A_s - A'_s) \le 0.5\mu_{sb}$.

2- يجب استعمال تسليح تعليق في الجوائز بنسبة لا تقل عن 20% من تسليح الشد، $(0.2A_s)$.

3- يجب أن يمد التسليح المشدود أو المضغوط في أي مقطع حرج في الجائز مسافة لا تقل عن سبعين مرة قطر التسليح في الاتجاهين، (70ϕ).

4- يجب استعمال التسليح العرضي المغلق في جوائز الإطارات.

5- يتم حساب التسليح العرضي في المقاطع الحرجة ليقاوم وحده قوى القص لجميع حالات التحميل، وبدون مساهمة البيتون.

6- يمكن استعمال أي فولاذ تسليح يكون حد مرونته ما بين $f_y = 240 \rightarrow 400\ MPa$ ، وفي حال كون حد المرونة أعلى من هذه القيم، يمكن اعتماده في الحساب بشرط ألا تقل مقاومة الشد عند الانقطاع عن $1.25\, f_y$، وألا تقل الاستطالة النسبية عند الانقطاع عن 10%.

7- يجب ألا يقل التسليح الموجب الواصل إلى المسند عن نصف التسليح الرئيس الموجب، ولا عن نصف التسليح الرئيس السالب.

8- يجب ألا يقل التسليح الموجب في أي مقطع ضمن مجاز الجائز عن التسليح المقاوم لنصف العزم الموجب الأعظمي المقرر ستاتيكياً، $0.5M_0$.

9- يجب ألا يقل التسليح السالب في أي مقطع ضمن مجاز الجائز عن خمس التسليح اللازم الأكبر عند أي من مسندي هذا الجائز.

10- توضع الإسوارة الأولى على مسافة لا تزيد على $5cm$ من وجه المسند.

11- لا تزيد المسافة بين الأساور (التسليح العرضي) المتجاورة في المناطق الطرفية للجائز (المناطق الحرجة التي يحدد طولها الكود السوري بمسافة لا تقل عن ضعفي ارتفاع الجائز، $l_{cBeam} 2h = 2t$)، على ما يلي:

$$S = \min \begin{bmatrix} \frac{h}{3}; or\ \frac{h}{2} \\ 10\phi_{l\min} \\ 25\phi_t \\ 20cm \end{bmatrix}$$

حيث $\frac{h}{3}$ عندما يكون الجائز متدلياً، و $\frac{h}{2}$ عندما يكون مخفياً.

12- يجب ألا تتعدى نسبة التسليح الطولي للعمود عن $\mu'_{s\max} = \frac{A_{s\max}}{A'_c} \le 2.5\%$.

13- يحدد طول المناطق السفلية والعلوية للعمود (المناطق الحرجة في الأعمدة)، بمسافة لا تقل عمّا يلي:

$$l_{cColumn} = \max\begin{bmatrix} \frac{L}{6} \\ b \\ 45cm \end{bmatrix}$$

حيث L : الطول الحر للعمود، و b: البعد الأكبر لمقطع العمود.

14- لا تزيد المسافة بين الأساور (التسليح العرضي) المتجاورة في المناطق الحرجة للعمود، عمّا يلي:

$$S' = \min\begin{bmatrix} \frac{a}{2} \\ 8\phi_{l\min} \\ 20\phi_t \\ 15cm \end{bmatrix}$$

حيث a: البعد الأصغر لمقطع العمود.

وتوضع الإسوارة الأولى على بعد لا يزيد على $5cm$ من أعلى وأسفل الجائز.

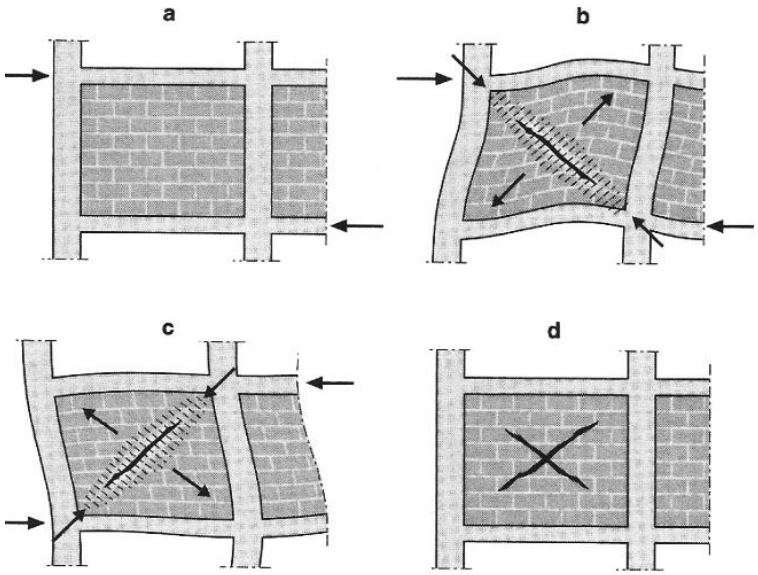
15- تسلح العقد بتسليح مماثل لتسليح المناطق الحرجة في العمود، ويسمح استعمال أساور على شكل حرف U ، لسهولة التنفيذ.

16- وفي بقية ارتفاع العمود، يجب ألاّ تزيد المسافة بين الأساور على $25cm$.

5-7- الإطارات وجدران الملئ

إن هذا النوع من المنشآت هو الأكثر رواجاً، ويمكن القول بأن تضرره، وأحياناً انهياره، يكون بسبب نقص في الدراسة التي لم تأخذ بالحسبان العمل الحقيقي لهذه الجدران وكذلك نوعية تنفيذها.

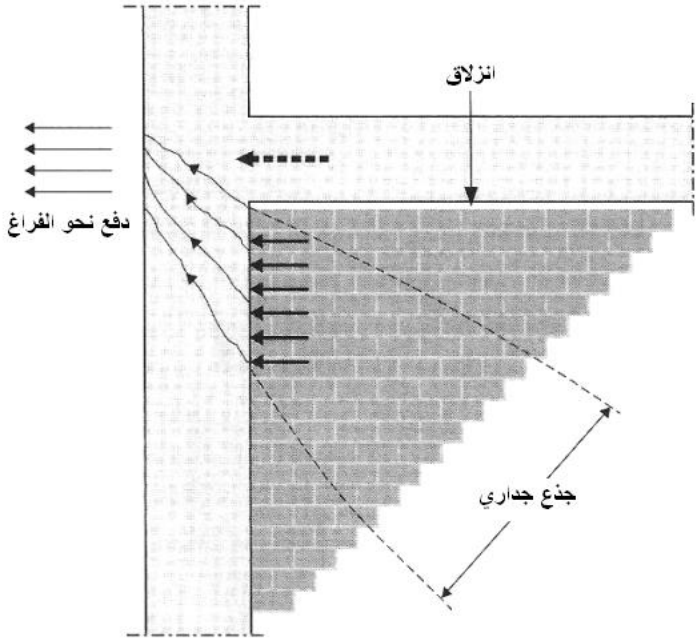
يبين الشكل (5-118) آلية عمل جدار ملئ في إطار خاضع لقوى أفقية بالاتجاهين، حيث نلاحظ إمكانية تنشيط جذوع قطرية مضغوطة ومشدودة، مسببة ولادة تشققات مائلة.



الشكل (5-118): عمل جدار الملئ الخاضع لقوى أفقية

عند إنشاء الجدران، غالباً ما ينفذ الفاصل بين الصف الأخير لبلوك الجدار والوجه السفلي للجائز، بشكل سيئ أو قد يكون غير موجود أصلاً (غير مملوء)، بالتالي يحدث انزلاق بين الجائز والجدار، مسبباً جهداً قاطعاً في العمود، يساوي الفعل الزلزالي الأفقي (الشكل 5-119).

ومن جهة أخرى، يمكن لهذه القواطع أو الجدران أن تسبب تغيراً في عمل المجموعة كاملة (المنشأة)، فعلى سبيل المثال، إن وجود جدران ملئ في واجهتي متعامدتين من مبنى ما، يسبب فتلاً كبيراً وجهوداً مهمة في العمود الركني، $\sigma_2 > \sigma_1$ (ضغط لامركزي باتجاهين)، بالمقابل عندما لا يوجد فيها جدران أو تكون موزعة بانتظام لا تسبب فتلاً، فيخضع هذا العمود لضغط لامركزي باتجاه واحد (الشكل 5-120).



الشكل (5-119): توازن الجهود في حال وجود فاصل غير مملوء بين الجدار والجائز

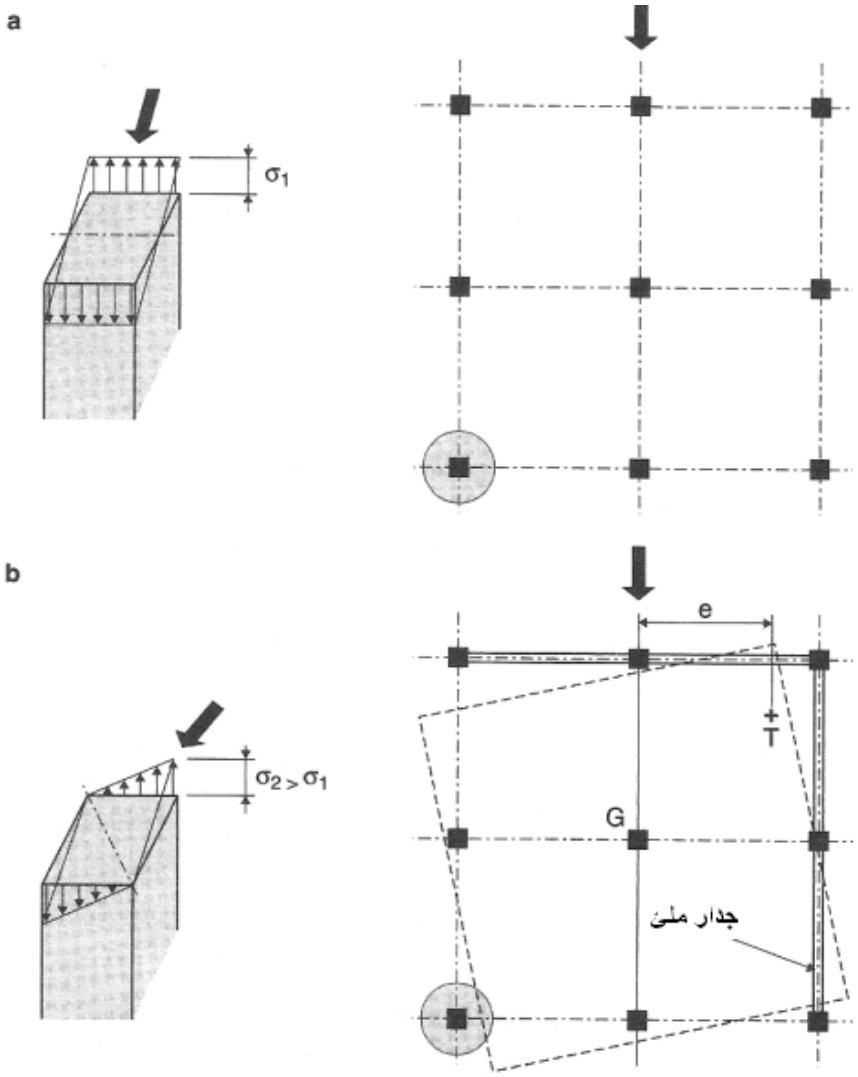
ونبين فيما يلي المنهجية اللازم اعتمادها عند دراسة مثل هذا النوع من المنشآت:

1- تحديد وتوزيع الجهود من خلال إعداد نموذج يمثل المنشأة بنظام شبكي حيث تكون العناصر القطرية مكونة من جذوع ضغط بميل $\left(2 \rightarrow \frac{1}{2}\right)$، يمكن أن تتشكل في الجدار (الجدران الحاوية على فتحات أو غير الكاملة لا تؤخذ بالحسبان).

2- التحقق من المنشأة تحت تأثير الحمولات المحددة في الخطوة (1)، دون وجود الجدران.

3- تدقيق مقاومة كافة الأعمدة المأخوذة في النموذج، على القص الناجم عن جذوع الضغط يسببه الانزلاق بين الجدار والجائز، على أن نعتبر في هذا التدقيق المركبة الشاقولية للجذع والفعل الشاقولي للزلزال. ويجب عدم نسيان تدقيق قوى الدفع نحو الفراغ للجهد القاطع بحيث تتم موازنتها من قبل الجوائز، وذلك للأعمدة الركنية والجانبية (الشكل 5-119).

4- إجراء التحقيقات اللازمة على الأعمدة التي تم إهمال وجود الجدران حولها.



(a) حالة عدم وجود جدران ملئ، (b) حالة وجود جدران ملئ بشكل غير منتظم

الشكل (5-120): الجهود المطبقة على عمود ركني

5-8- جدران القص

5-8-1- آراء عامة:

مقارنة ببقية النظم الإنشائية المقاومة للزلازل، تملك جدران القص المزايا التالية:

- وجودها يحد من التشوهات الجانبية.
- صلابتها تسمح بحماية العناصر غير الإنشائية، وكذلك بعض الأعمدة الموجودة.
- وجودها يعفي من التنفيذ الصعب والمعقد لعقد الإطارات، ويكون تأثير جدران الملئ أقل ضرراً.

بالنتيجة، يوجد أسباب متعددة ذات طابع إنشائي واقتصادي، تشجع المهندس على استخدام هذا النوع من المنشآت في المناطق الزلزالية.

عند دراسة جدران القص، يجب التمييز بين الجدران ذات الارتفاع الكبير مقارنة مع طولها ($\frac{H}{L} \geq 1.5$)، التي تسلك سلوك جائز ظفري طويل، وتلك الجدران ذات الارتفاع الصغير التي تعمل كجائز ظفري قصير.

يبين الشكل (5-121) أنماط انهيار الجدران العالية، والتي يمكن تلخيصها كما يلي:

أ - الانهيار بالانعطاف بسبب تطاول تسليح الشد:

يكون تحطم بيتون الضغط ناجماً عن تلدن التسليح المشدود (الشكل 5-121-a)، ويعتبر هذا النمط مرغوباً كونه يتوافق مع تشكل المفصل اللدن في الجزء السفلي للجدار، مع تبديد طاقة مهم. وتشير الدراسات إلى أن المطاوعة الأعظمية للجدران على شكل I ، تحصل عندما يتم تركيز التسليح الشاقولي في الأطراف.

ب - الانهيار بالانعطاف بسبب تحطم البيتون وعدم استقرار الأطراف:

يحصل هذا النمط في حالة الجدران المستطيلة المحملة بصورة كبيرة، والحاوية على تسليح طولي موزع (الشكل 5-121-b). يمكن تحسين سلوك هذه الجدران بتنفيذ تسليح عرضي عند الأطراف (تطويق تسليح الأطراف)، وفقاً للطريقة المعتمدة في حالة الأعمدة.

ج - انهيار هش لجدار بتسليح خفيف (الشكل 5-121-c):

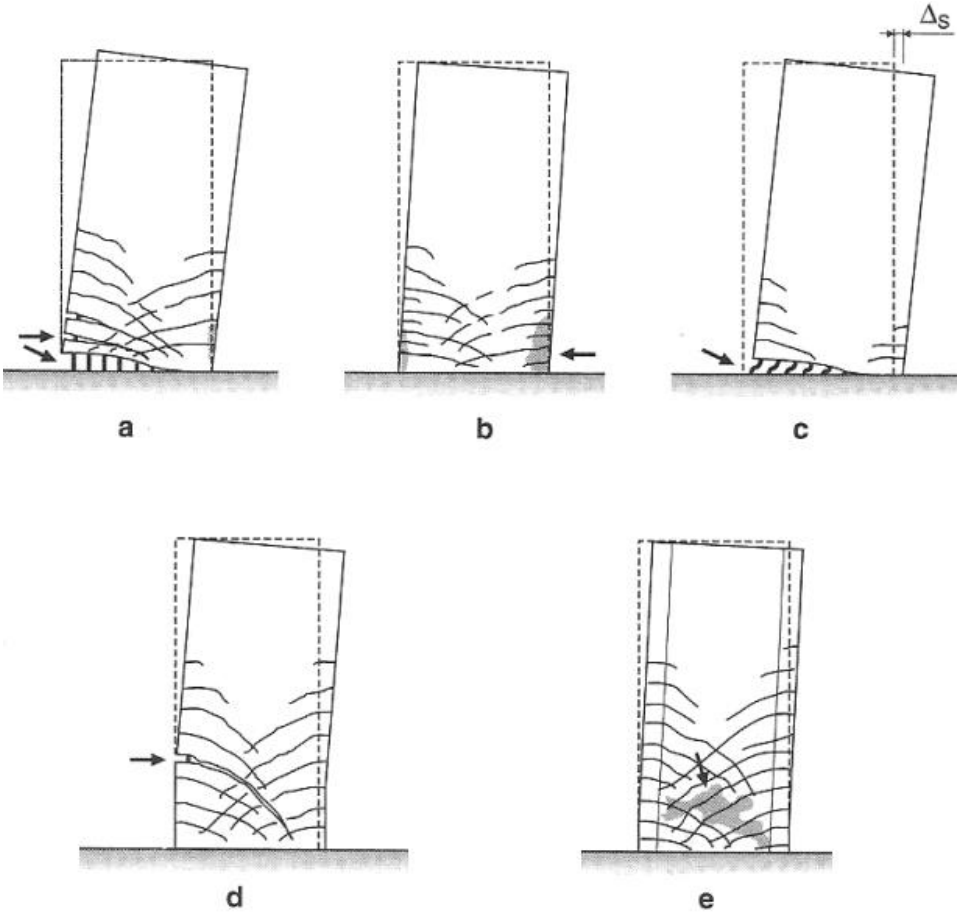
يجب أن نتخذ جملة من الترتيبات الإنشائية تمنع حصول مثل هذا النمط من الانهيار الخطير.

د - انهيار بالانعطاف وبالقص (الشكل 5-121-d):

في هذا النمط، يتلدن كل من التسليح الطولي والعرضي، ونشاهد هذه الحالة في الجدران متوسطة الارتفاع حيث الانعطاف غير مسيطر، أو تسليحها الأفقي غير كافي.

هـ - انهيار جذوع الضغط المتشكلة في الجسد أو الانهيار بالقص (الشكل 5-121-e):

إنها حالة الجدران ذات عناصر تقوية عالية التسليح (مقاومة الانعطاف الكبير)، وخاضعة لقص كبير. ولتجنب هذا النمط الخطير من الانهيار، يجب معالجته مثل الحالة التي مرت معنا عند دراسة عقد الإطارات "فرضية العمود القوي والجائز الضعيف"، بمعنى أن تتشكل المفاصل اللدنة في المناطق الطرفية للجائز وليس في الأعمدة، وبالتالي يجب وضع تسليح عرضي قادر على مقاومة، ليس فقط القص الحسابي، بل القص الناجم عن الفعل الزلزالي الذي يحرض كامل مقاومة المقطع للانعطاف (فائض مقاومة الانعطاف).



(a) تلدن التسليح المشدود، (b) تحطم البيتون المضغوط، (c) انقطاع التسليح المشدود

(d) تلدن التسليح العرضي والطولي، (e) انهيار بيتون الجسد

الشكل (5-121): أنماط انهيار جدران القص العالية

وأما في حالة الجدران منخفضة الارتفاع $\frac{H}{L} < 1.5$ ، فإن الانهيار بالانعطاف غير قادر للتشكل، وتكون الجدران معرضة لانهيارات هشة بالقص، ونبين فيما يلي أنماط الانهيار لهذه الجدران (الشكل 5-122):

أ - انهيار بالانزلاق عند القاعدة (الشكل 5-122-a):

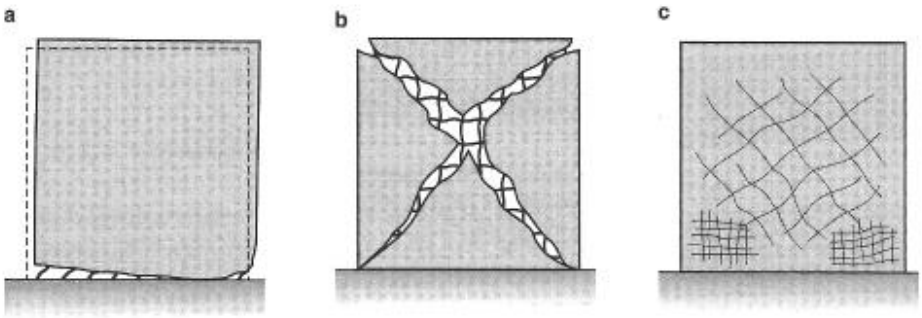
يحصل الانهيار بسبب عدم كفاية التسليح الشاقولي، فضلاً عن سوء بالتنفيذ سببه إعادة الصب.

ب - انهيار بالقص مع تلدن التسليح أو انقطاعه (الشكل 5-122-b):

يحصل الانهيار بالقص مع تلدن قضبان التسليح، وأحياناً انقطاعها، وذلك عل طول مناطق التشققات.

ج - انهيار بالقص في بيتون الجسد (الشكل 5-122-c):

يحصل الانهيار بالقص بسبب عدم كفاية سماكة الجسد البيتوني.



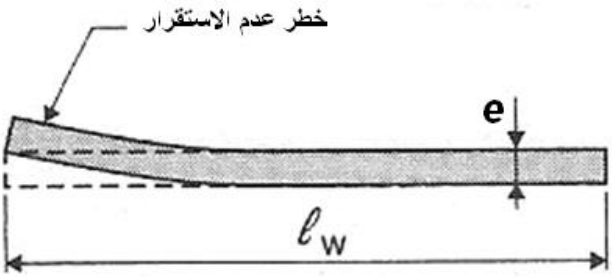
(a) انزلاق عند القاعدة، (b) الانهيار بالقص مع تلدن التسليح، (c) انهيار بالقص (سماكات صغيرة)

الشكل (5-122): أنماط انهيار جدران القص منخفضة الارتفاع

من خلال ما تقدم، نستنتج بأنه يمكن تحسين مطاوعة المنشأة الجدارية، بإجراء بعض الترتيبات الإنشائية المناسبة التي تبعد خطر الانهيار الهش، وهذا ما تنص عليه الكودات العالمية ومنها الكود السوري، كما سنبين ذلك في فقرة لاحقة.

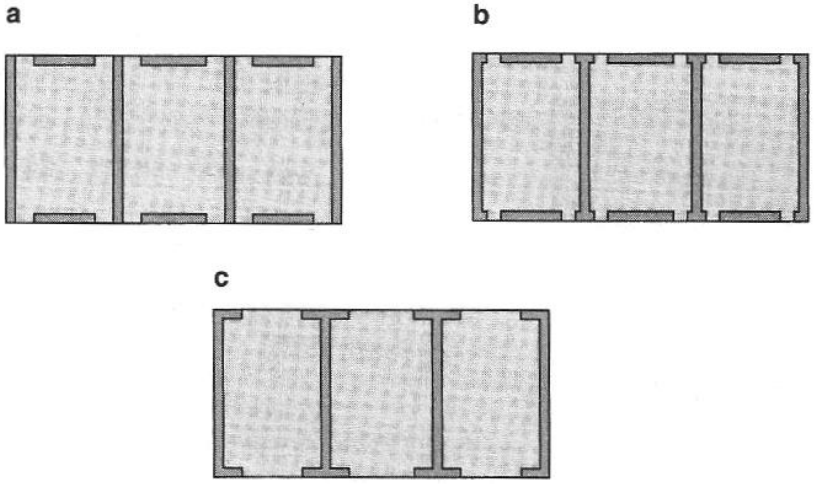
5-8-2- أشكال الجدران والأبعاد الأصغرية:

كما ذكرنا سابقاً، بأن الأجزاء الطرفية لجدران القص تكون معرضة لجهود مهمة في حالة الزلازل، وغالباً ما تكون في حالة غير مرنة، وبالتالي إمكانية وجود عدم استقرار جانبي لهذه الأطراف، كما هو مبين في الشكل (5-123). ولهذا السبب نلاحظ بأن معظم الكودات والقواعد الزلزالية تنص على إلزامية اعتماد سماكة أصغرية للجدران لا تقل عن $e \geq 15cm$ ، وبطول لا يقل عن $l_w \geq 4e \rightarrow 5e$. وعندما لا تتحقق هذه الشروط فيعتبر العنصر عنصراً خطوطياً.



الشكل (5-123): عدم استقرار جانبي للجدران

وأثبتت الخبرة، أنه انطلاقاً من مستوى معين للإجهادات، يجب تزويد أطراف جدران القص بعناصر تقوية تصمم كالأعمدة، أو بجدران راجعة، كما هو مبين في الشكل (5-124).

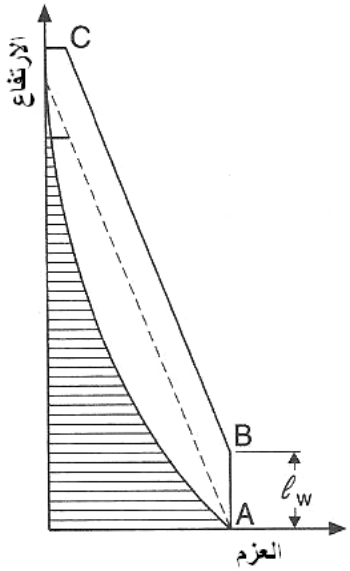


الشكل (5-124): تقوية أطراف الجدران

5-8-3- المناطق الحرجة في الجدران:

تنص الكودات الزلزالية العالمية على اعتبار المنطقة الواقعة عند قاعدة الجدار هي منطقة حرجة، وبشكل اعتيادي يؤخذ طولها مساوياً لارتفاع الطابق، بحيث لا يزيد عن طول الجدار l_w. هذا وتعتبر مناطق حرجة تلك المناطق المتوضعة عند كل منسوب يحصل فيه تغيراً واضحاً لمقطع الكوفراج، فلذلك ينصح بألا يحصل هناك أي تغير مفاجئ على كامل ارتفاع الجدار حتى لا تتشكل مناطق حرجة أخرى، وغالباً نعمل على إنشاء مغلف للعزوم عند تصميم الجدار بحيث نبعد إمكانية تشكل مفاصل لدنة، وذلك وفق النحو التالي: بافتراض أن طول المنطقة الحرجة (الارتفاع الحرج) يساوي إلى طول الجدار l_w، نعمل على تطبيق عزم حسابي يغطي هذا الارتفاع $l_w = AB$، حيث نتوقع تشكل مفصل لدن في هذه المنطقة من الجدار (الشكل 5-125)، ولتجنب تشكل مفصل لدن ثانٍ في الجدار، نعمل

على استبدال مخطط العزم الحسابي بمخطط آخر يمثله الخط BC "مغلف العزم"، وذلك عن طريق سحبه نحو الأعلى بمقدار يساوي طول الجدار l_w (انظر الشكل 5-125).



الشكل (5-125): مغلف العزم التصميمي لجدار قص

5-8-4- اللمعات – جوائز الربط (اشتراطات التسليح وفق الكود السوري):

تساهم اللمعات في نظم جدران القص الحاوية على فتحات، بتبديد الطاقة من خلال تشكل مفاصل لدنة فيها (الشكل 5-126)، بالتالي تخضع هذه العناصر لقص كبير، فضلاً على الجهود الناظمية (شد وضغط) التي يمكن أن تتشكل في بعض الأحيان.

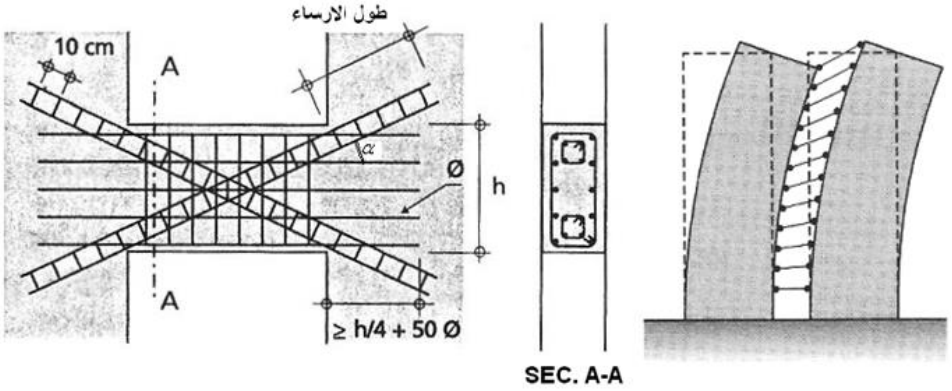
في الواقع، يعتمد تضرر هذه العناصر مباشرة على ترتيب التسليح المعتمد بهدف تحسين مطاوعتها (الشكل 5-127)، فيمكن أن يكون تسليح عرضاني قائم بتباعدات كبيرة أو صغيرة (الشكل 5-127-a&b)، أو تسليح على شكل X يقاوم بشكل مباشر الشد القطري (الشكل 5-127-c).

لأغراض التصميم، يتم حساب اللمعات كأنها جوائز أو أنها عناصر قصيرة، وفقاً للنسبة بين الطول l والارتفاع h، فعندما يكون $h > \frac{l}{4}$ نقول إن اللمعة قصيرة.

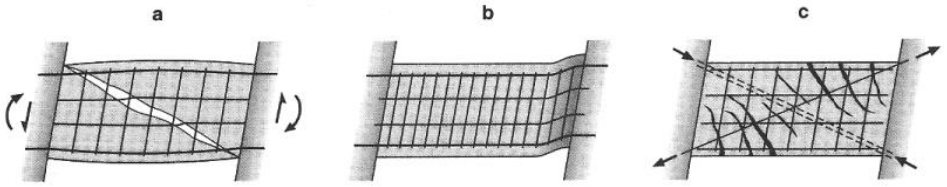
يتم تحديد القوة القطرية (شد أو ضغط) بدلالة القص V في اللمعة، وزاوية الميل مع الأفق α، بالعلاقة التالية:

$$C_b = T_b = \frac{V}{2\sin\alpha}$$

بالتالي يتم حساب العناصر المائلة التي تعمل كشداد أو ضاغط (عمود قصير)، على أن يتم إرساء تسليحها خارج منطقة الوثاقة بما لا يقل عن مرة ونصف طول التثبيت الأساسي. بالنسبة للتسليح السفلي والعلوي يجب إرساؤه بحيث لا يقل عن $(h/4+50\phi)$ (انظر الشكل 5-126).



الشكل (5-126): تشكل مفاصل لدنة في اللمعات



(a) تسليح عرضي قائم متباعد، (b) تسليح عرضي قائم متقارب، (c) تسليح قائم وقطري

الشكل (5-127): تضرر اللمعات

ونبين فيما يلي اشتراطات الكود السوري الواجب مراعاتها عند تصميم هذه العناصر:

1- يجب أن يكون التسليح الطولي متناظراً.

2- يختار التسليح الطولي والعرضي للجائز بافتراضه عميقاً.

3- يمد التسليح الطولي السفلي والعلوي، مسافة لا تقل عن خمسين مرة قطر التسليح المستعمل، داخل جدار القص.

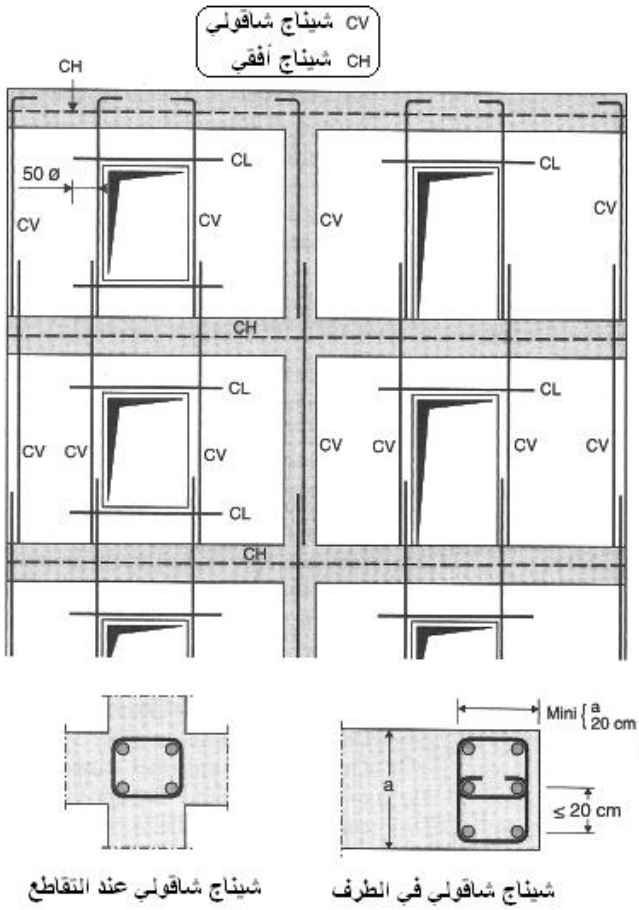
4- يحسب التسليح العرضي ليقاوم القص الحدي ، مع إهمال مساهمة البيتون، ويجب أن يكون هذا التسليح مغلقاً.

5- يجب ألا تزيد نسبة التسليح في الشد أو في الضغط، على ثلاثة أرباع النسبة التوازنية، $\mu_s = \mu'_s \le \frac{3}{4}\mu_{sb}$.

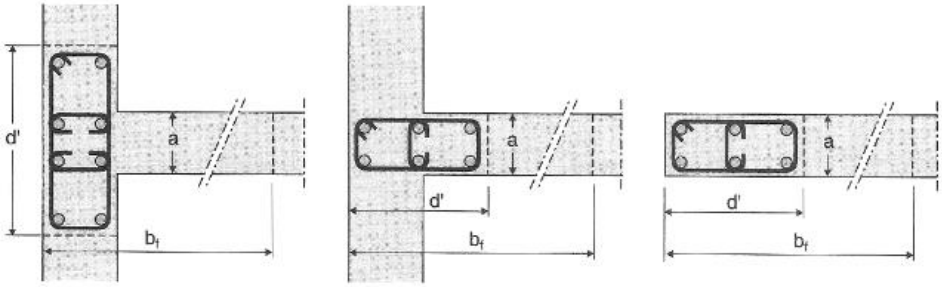
6- في حال الحاجة لتسليح مائل لمقاومة القص، فيؤخذ بشكل قطري متصالب.

5-8-5- ترتيبات التسليح في جدران القص:

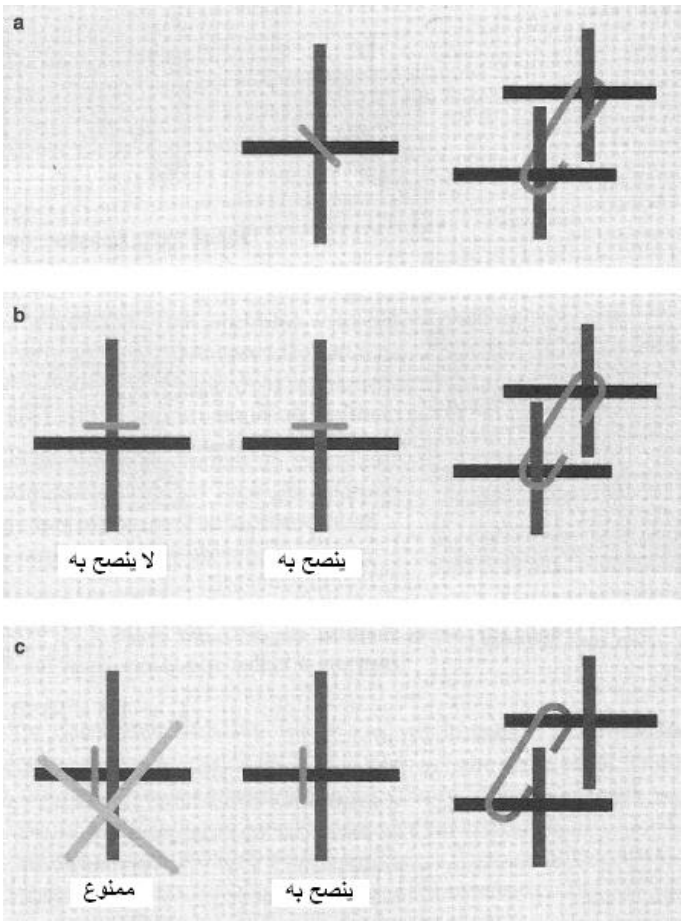
نعرض فيما يلي بانوراما لأشكال التسليح (عرضاً وصفياً) المستخدم في جدران القص (القواعد الفرنسية)، على أن نلتزم بنسب التسليح وترتيباته الواردة في الكود السوري.



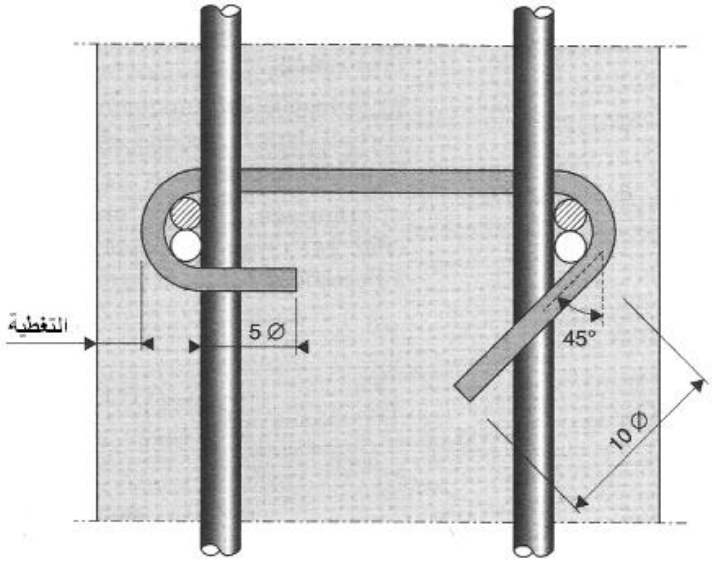
الشكل (5-128): ترتيبات التسليح الأصغري لأطراف الجدران غير المسلحة (الشيناجات)



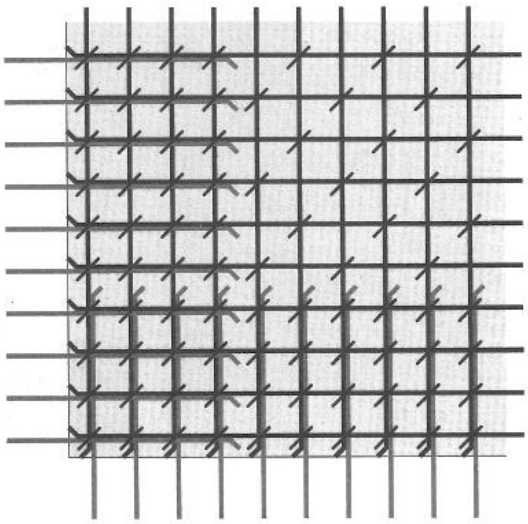
الشكل (5-129): ترتيبات التسليح الطولي لأطراف الجدران المسلحة (أعمدة مخفية)



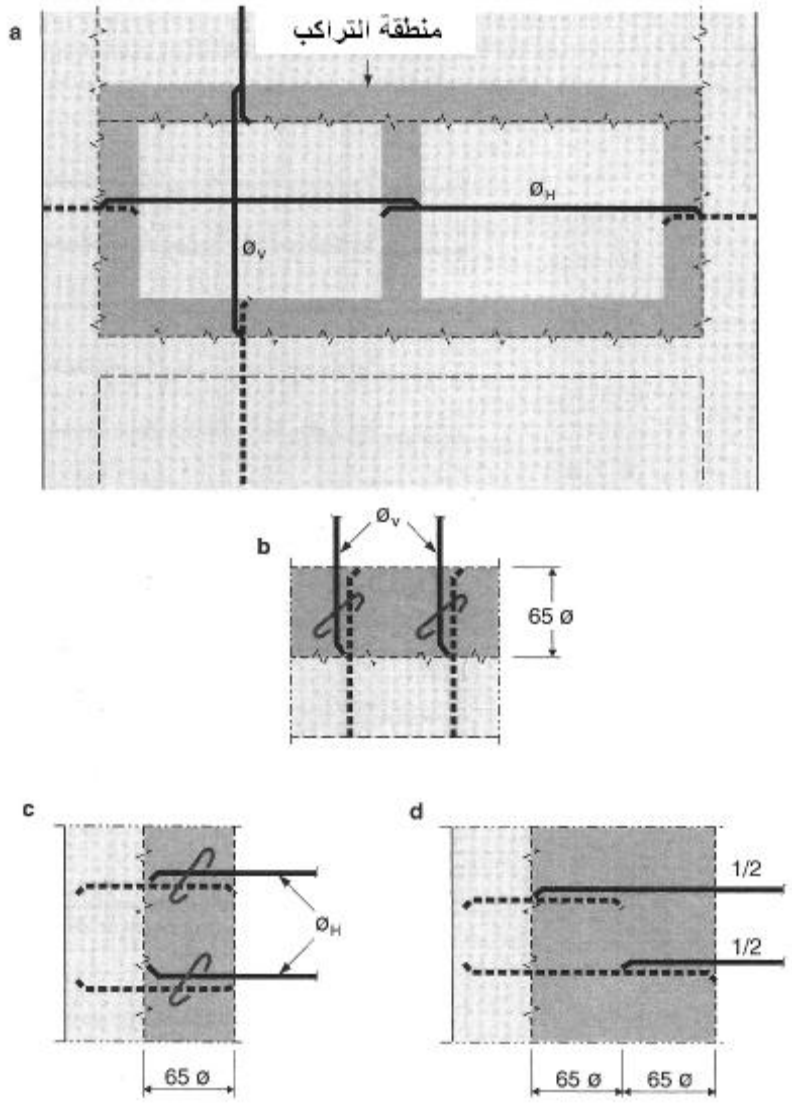
الشكل (5-130): ترتيبات الشناكل (لمنع تحنيب التسليح الشاقولي ونقل الجهود في مناطق التراكب)



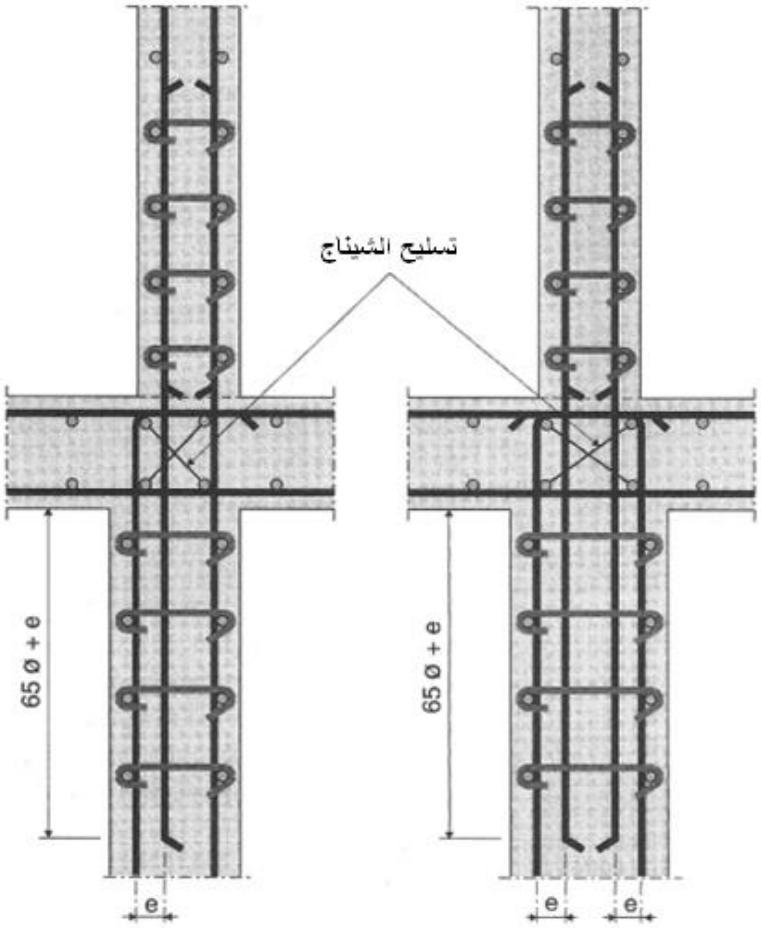
الشكل (5-131): الشناكل كتسليح تخييط ونقل الجهود



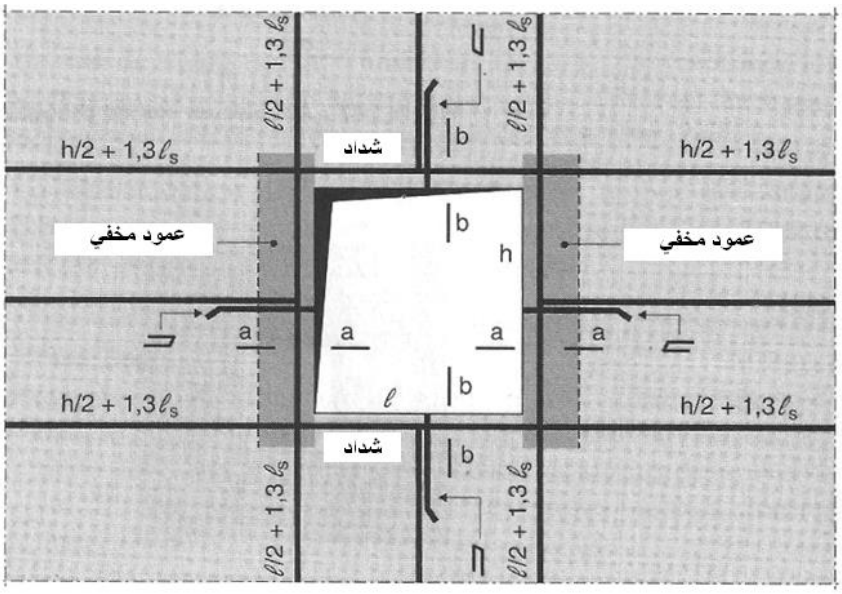
الشكل (5-132): تفصيلة في زاوية جدار قص: الشناكل داخل وخارج مناطق التراكب



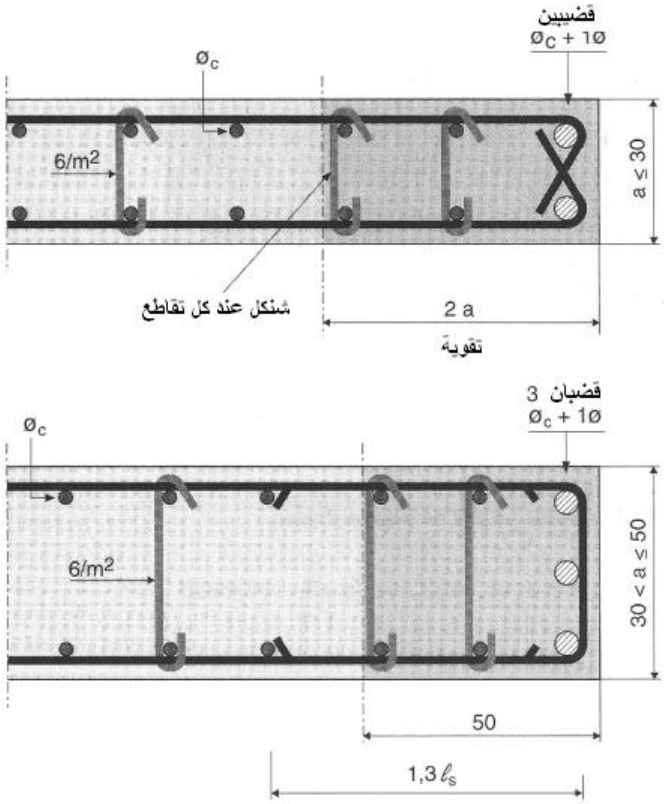
الشكل (5-133): توضع الشناكل في مناطق التراكب



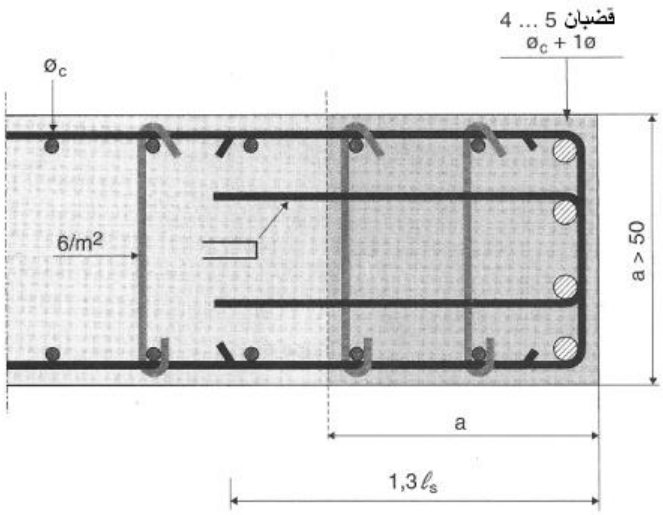
الشكل (5-134): الوصل في حال تغير سماكة الجدار



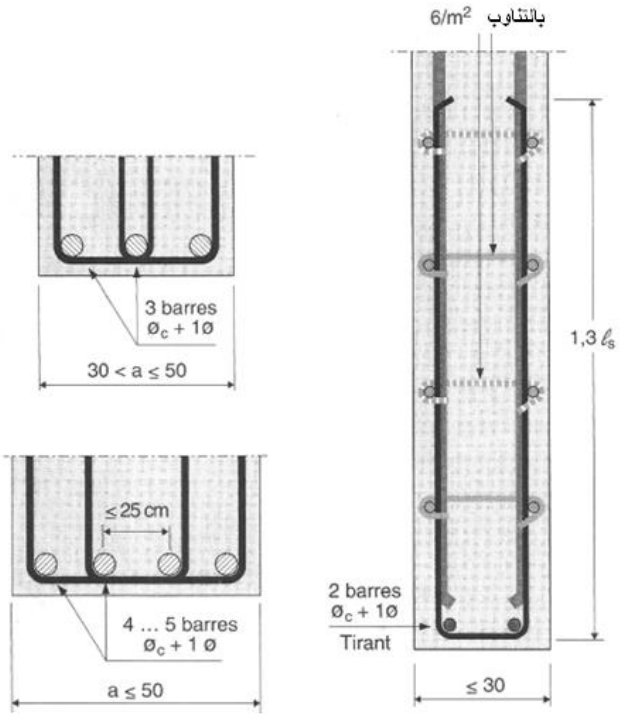
الشكل (5-135): تقوية محيط الفتحات الكبيرة بشدادات وأعمدة مخفية



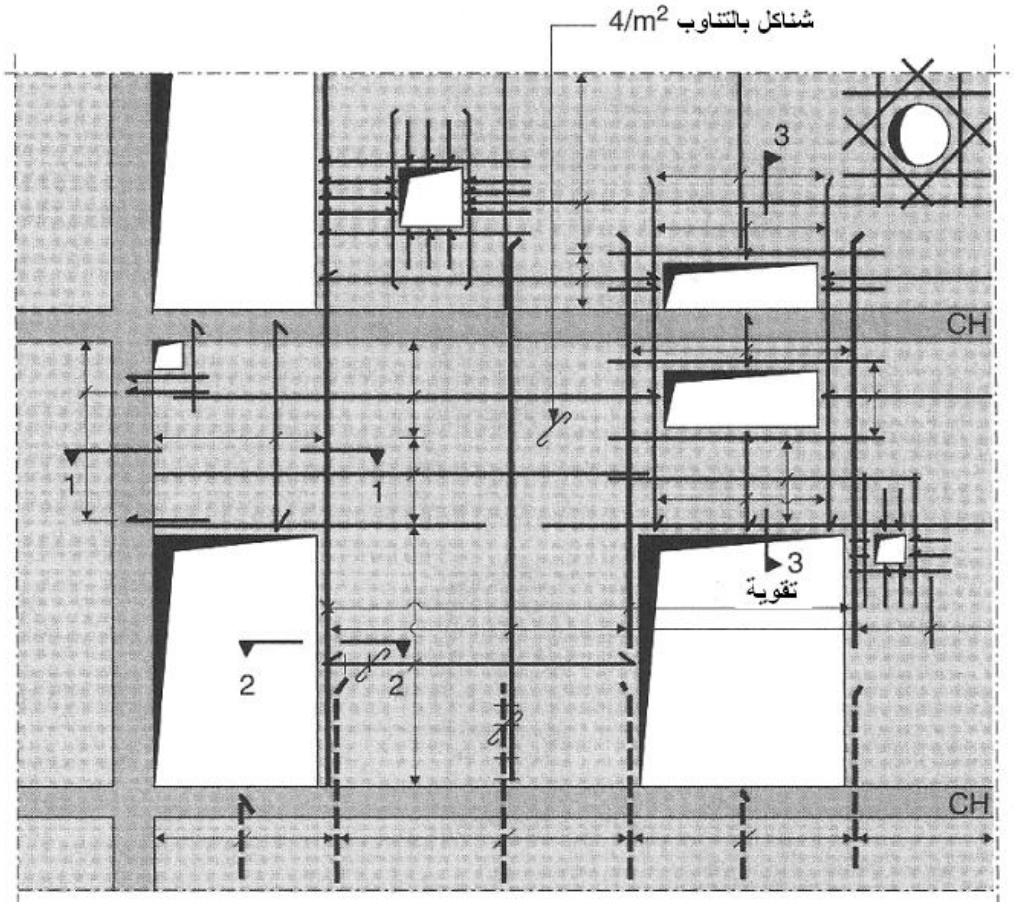
تابع للشكل (5-135): المقطع a-a – تقوية شاقولية



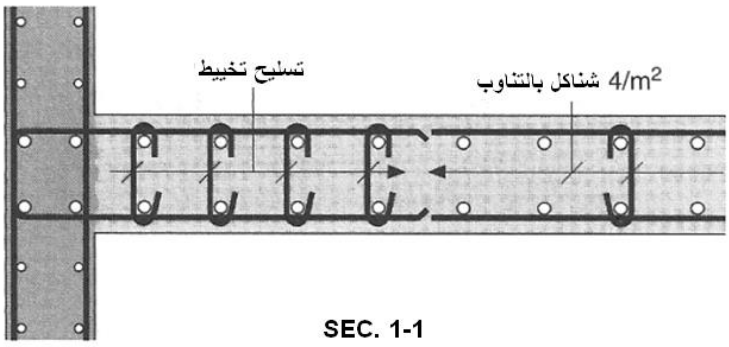
تابع للشكل (5-135): المقطع a-a – تقوية شاقولية



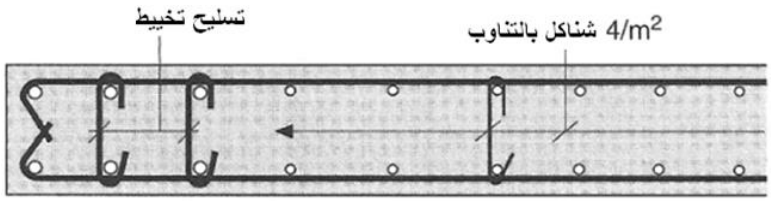
تابع للشكل (5-135): المقطع b-b – تقوية أفقية



الشكل (5-136): مثال على تسليح جدار (حالة عامة)

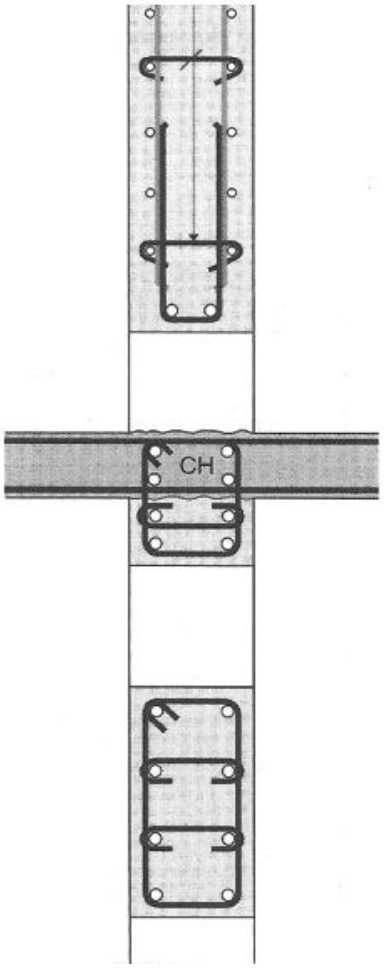


تابع للشكل (5-136): مقطع 1-1



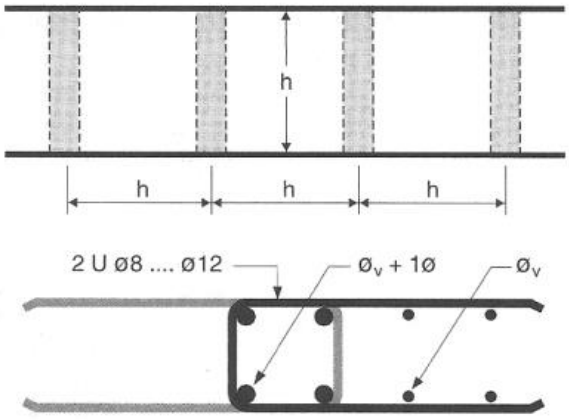
SEC. 2-2

تابع للشكل (5-136): مقطع 2-2

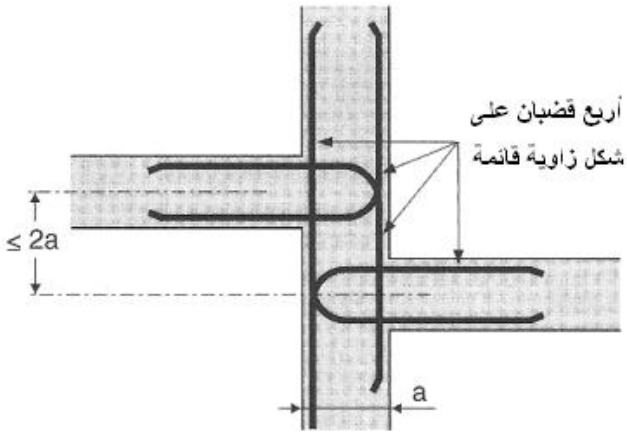


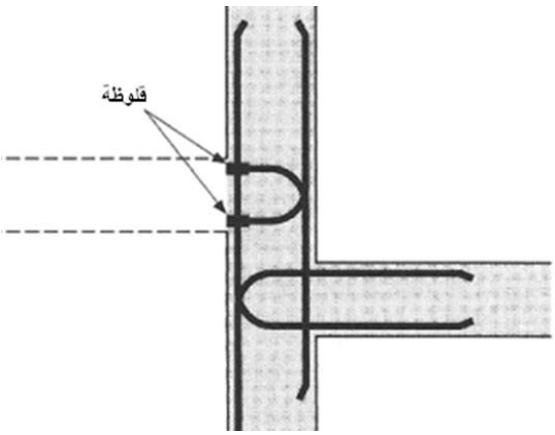
SEC. 3-3

تابع للشكل (5-136): مقطع 3-3

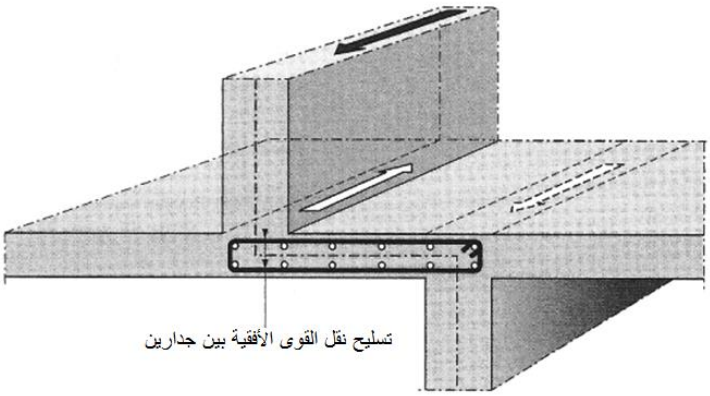


الشكل (5-137): شيناجات شاقولية إضافية بتباعد يساوي ارتفاع الطابق



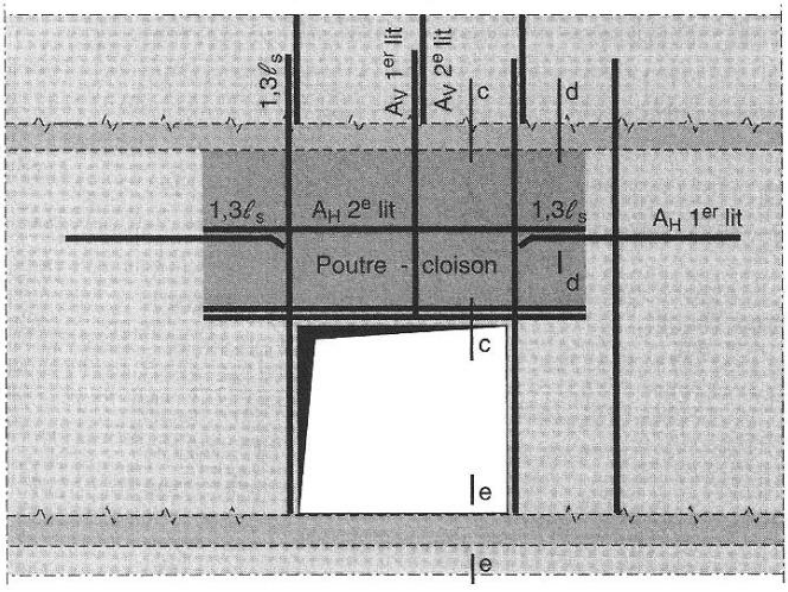


الشكل (5-138): حالة خاصة - ربط البلاطات مع جدران القص (غير واقعة على منسوب واحد)

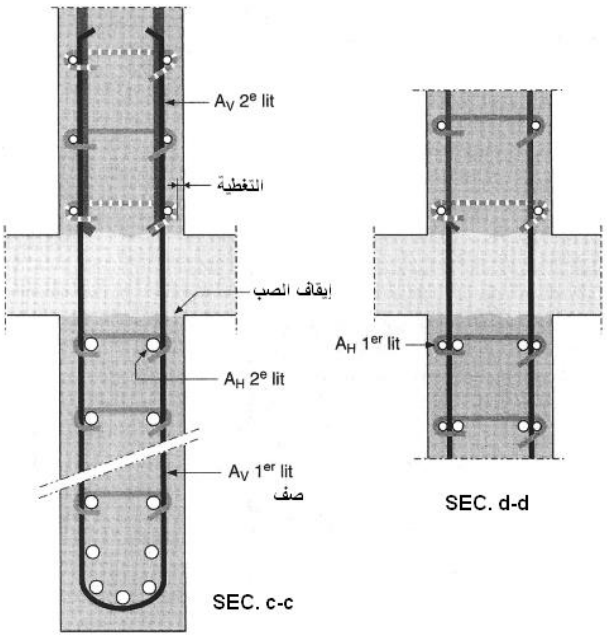


الشكل (5-139): تأمين الاستمرارية الميكانيكية لجدارين ليستا على شاقول واحد

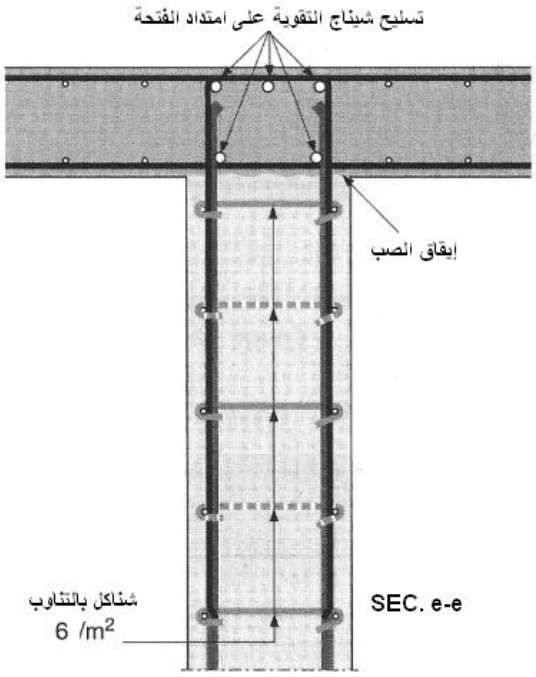
عن طريق شيناجين أفقيين موصولين بتسليح عرضي



الشكل (5-140): التسليح في حالة جائز جداري (عميق)



تابع للشكل (5-140): المقطع c-c على امتداد الفتحة، و المقطع d-d خارج الفتحة



تابع للشكل (5-140): المقطع e-e ، تفصيلة التسليح أسفل الفتحة

5-8-6- الترتيبات الإنشائية للجدران الإنشائية وفق الكود السوري:

5-8-6-1- الجدران البيتونية المسلحة الحاملة:

يعرف الجدار الحامل بأنه المسطح المحمل في مستواه بأحمال شاقولية، عندما يكون طوله في المسقط الأفقي L أكبر من ست مرات سمكه t: $(L > 6t)$.

أ- الاشتراطات البعدية للجدران البيتونية المسلحة الحاملة:

- يجب ألا تقل سماكة الجدران البيتونية المسلحة في المباني عن 150 mm.

- إذا كان البناء من طابقين فقط، يمكن الاكتفاء بالسماكة 150 mm، على كامل الارتفاع للبناء.

- إذا كان البناء مؤلفاً من عدة طوابق، تكون السماكة الدنيا للجدران كما يلي:

/150 mm/ لأعلى /5/ أمتار من الارتفاع.

/50mm/ تزاد لكل /20/ متراً من الارتفاعات التالية للخمسة أمتار السابقة، أو جزء منها باتجاه الأسفل.

ويمكن الاستغناء عن تحقيق هذا الشرط في جدران النواة الصندوقية.

- لا تقل سماكة الجدران البيتونية المسلحة عن (1/25) من الطول الفعّال للتحنيب المعرف كما يلي (حالة الأبنية العادية التي لا يزيد ارتفاعها عن 50 م):

آ- حالة الجدران المقواة ضد الانزياح الجانبي، يؤخذ القيمة الصغرى من:

- المسافة الشاقولية بين طابقين متتاليين.

- المسافة الأفقية بين عنصرين شاقوليين ساندين للجدار الحامل.

ب- للجدران غير المقواة ضد الانزياح الجانبي، فتضرب المسافة الشاقولية بين طابقين متتاليين بالمعامل α لتشكل طول التحنيب (كما في حالة الأعمدة).

- لا تقل السماكة الدنيا للجدران الحاملة المستخدمة في الأقبية (كجدران خارجية) وجدران الأساسات، وجدران مقاومة الحريق عن 250 mm.

- في حالة الجدران الحاملة بشكل ألواح بيتونية مسبقة الصب، يجب ألا تقل السماكة الدنيا عن 100مم، كما لا تقل عن (1/30) من المسافة الدنيا بين العناصر الحاملة (التي هي عملياً طول التحنيب).

- يفضل ألا يقل طول الجدار، دون فتحات بشكل ظفر عن (1/10) الارتفاع الكلي للجدار إلاّ إذا تحقق شرط السهم.

- إذا سمح التصميم المعماري، يمكن تدعيم نهايات الجدار (الأطراف) التي ستتعرض لإجهادات مركزة كبيرة، بأجنحة عرضانية من البيتون المسلح، طبقاً للمتطلبات الحسابية الإنشائية، وبما يلائم التصميم المعماري.

ب- مساحات التسليح الدنيا والقصوى للجدران الحاملة:

1- لا تقل مساحة التسليح الدنيا في الجدران الحاملة في كلا الاتجاهين الأفقي والشاقولي عن $0.0025A'_c$ للتسليح العادي، وعن $0.002\,A'_c$ للتسليح عالي المقاومة ولتسليح الشبكات، وذلك عندما لا تزيد القوة الحدية المعرض لها الجدار N_u ، عن نصف قدرة التحمل N_{uR} المحسوبة طبقاً للعلاقة:

$$N_{uR} = 0.8\Omega[0.85\,f'_c.A'_c + f'_y.A'_s]$$

حيث Ω معامل تخفيض المقاومة وتؤخذ قيمته 0.7 .

أو عندما تصل القوة الاستثمارية المطبقة إلى القوة $(N_u / 2\times 1.6)$.

2- تزاد مساحة التسليح الدنيا الشاقولية فقط، بشكل خطي إلى $0.006\,A'_c$ ، وذلك عندما تصل القوة الحدية القصوى المعرض لها الجدار إلى قيمة قدرة التحمل: $N_{uR} = N_u$ ، أو عندما تصل القوة الاستثمارية المطبقة إلى القوة السابقة مقسومة على 1.6.

3- لا تزيد مساحة التسليح الشاقولي القصوى عن $0.025A'_c$ ، وذلك عند حساب الجدار الحامل بصفة عمود وأخذ مساهمة التسليح الشاقولي في المقاومة.

ج- ترتيبات التسليح في الجدران الحاملة:

1- يرتب تسليح الجدران الحاملة الخارجية، التي لا تقل سماكتها عن 20 cm على شبكتين مع سطحي الجدار، بحيث لا تقل كمية الشبكة الواحدة عن نصف كمية التسليح الكلية ولا تزيد عن 2/3 كمية التسليح الكلية، وتوضع على مسافة لا تقل عن 2-4 cm من السطح الخارجي للجدار (الشكل 5-141)، ويوضع التسليح الأفقي من خارج التسليح الشاقولي، وتستعمل الشناكل لمنع تحنيب القضبان الشاقولية، أو لربط الشبكتين.

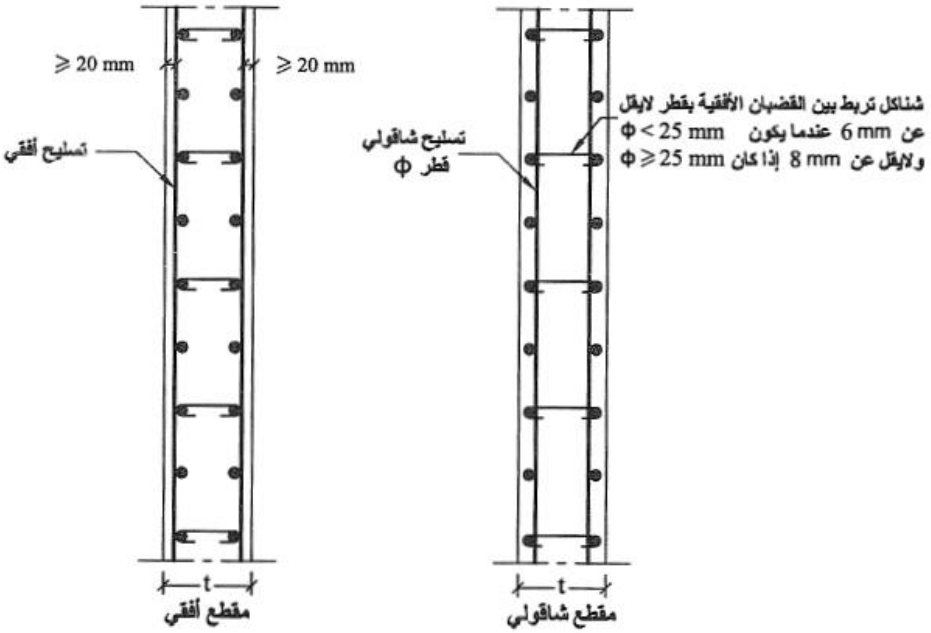
2- يرتب تسليح الجدران الحاملة الداخلية، التي لا تقل سماكتها عن 20 cm على شبكتين مع سطحي الجدار، بحيث تكون كمية الشبكة الواحدة مساوية لنصف كمية التسليح الكلية، وتوضع على مسافة لا تقل عن 2 cm من السطح الخارجي للجدار، ويوضع التسليح الأفقي من خارج التسليح الشاقولي، وتستعمل الشناكل لمنع تحنيب القضبان الشاقولية، أو لربط الشبكتين.

3- لا يقل القطر الأدنى لقضبان التسليح المستعملة عن 10 mm للتسليح الشاقولي، وعن 8 mm للتسليح الأفقي.

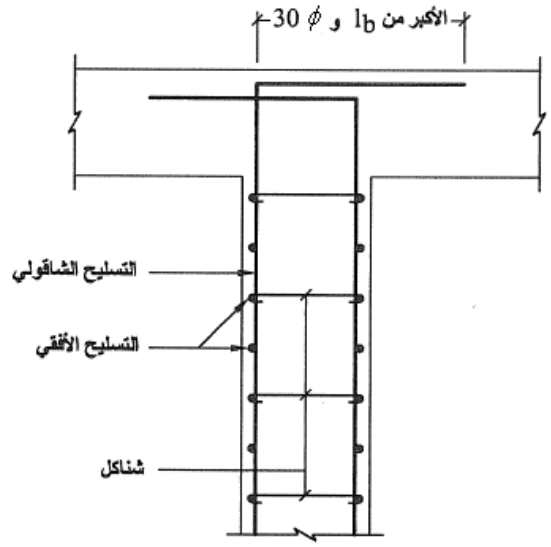
4- تستعمل الشناكل لربط الشبكتين $(\phi 6-8\,mm)$ ، بحيث يتم الربط بين القضبان الأفقية كافة عندما تزيد القوة الحدية المعرض لها الجدار N_u ، عن نصف قدرة التحمل N_{uR} . ويتم الربط بالتناوب للقضبان الأفقية عندما لا تتجاوز القوة الحدية المعرض لها الجدار N_u ، نصف قدرة التحمل N_{uR} .

5- لا يزيد التباعد بين قضبان التسليح الشاقولي أو الأفقي، على 25 cm ، كما لا يزيد تباعد التسليح الأفقي على 15 مرة أصغر قطر للتسليح الشاقولي، عندما تتجاوز القوة الحدية المعرض لها الجدار N_u ، نصف قدرة التحمل N_{uR} .

6- يجب ربط الجدران البيتونية المسلحة مع الأسقف أو الأعمدة أو الجدران المتقاطعة بواسطة تسليح لا تقل كميته عن قضيب بقطر 10 mm كل 25 cm لكل شبكة.



الشكل (5-141): تسليح الجدران الحاملة

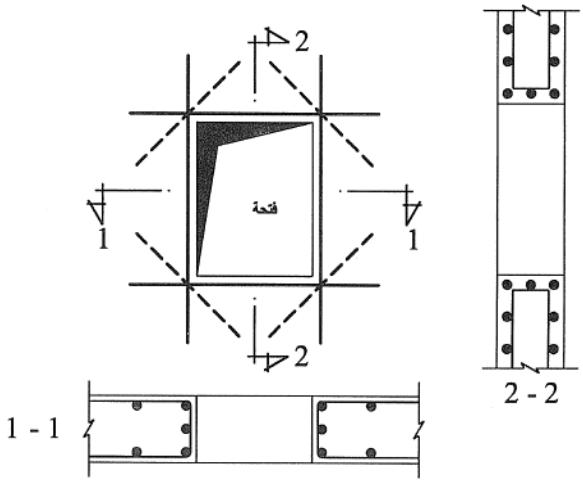


تابع للشكل (5-141): مقطع شاقولي في جدار في الطابق الأخير

د- الفتحات في الجدران الحاملة:

في حالة وجود فتحات في الجدران (أبواب أو نوافذ) وما شابهها ضمن الجدران الحاملة، يوضع على محيط هذه الفتحات التسليح الناتج من الحساب والمساوي في كل اتجاه لنصف التسليح المقطوع بالفتحة، شرط ألا يقل عن $2\phi 12\,mm$ ويمتد لمسافة لا تقل عن خمسين مرة القطر من زاوية الفتحة، 50ϕ ، ويجب أيضاً وضع تسليح مائل إضافي عند الزوايا، بحيث لا يقل عن $2\phi 12\,mm$ أو قضيبين من القطر المستعمل، أيهما أكبر عند كل زاوية (الشكل 5-142) بطول لا يقل عن $2\times 50\phi$ ، ويمكن الاستغناء عن هذا التسليح المائل الإضافي عند الزوايا، بزيادة قيمة التسليح في كل اتجاه (الشاقولي والأفقي) على جوانب الفتحة بمقدار 50% في كل اتجاه.

وعندما تكون الجدران الحاملة من البيتون المسلح، حاوية على فتحات شاقولية مستمرة ومتعددة، فإنه يجب أن تربط مع بعضها بعضاً عند منسوب كل طابق بعنصر أفقي من البيتون المسلح. يمكن اعتبار هذه اللمعات الشاقولية المتشكلة أعمدة مع التقيد بالأبعاد والأقطار ونسب التسليح الدنيا للأعمدة، ويجب ألا يقل التسليح عند الأطراف لكل اتجاه، عن $\left(\frac{3}{4}\right)$ التسليح المقطوع بالفتحة في الاتجاه ذاته، وبحيث لا يقل عن $2\phi 12\,mm$.



الشكل (5-142): التسليح حول الفتحة في الجدار الحامل

5-8-6-2- الاشتراطات الزلزالية لجدران القص:

إذا تعرض الجدار البيتوني المسلح لحمولات أفقية موازية لطوله، بحيث كانت هذه الحمولات أساسية في تصميم الجدار، فيسمى جدار قص.

تطبق في جدران القص الاشتراطات البعدية ومساحات التسليح وترتيباته ذاتها العائدة للجدران البيتونية المسلحة الحاملة المذكورة أعلاه. إضافة إلى ذلك، يجب أن نأخذ بالاعتبار كافة الإجراءات والترتيبات التالية:

1) يفضل ألا تقل سماكة جدار القص في المباني عن (200 mm).

2) إذا كان البناء من طابقين فقط يمكن الاكتفاء بالسماكة (200 mm)، على كامل ارتفاع البناء.

3) إذا كان البناء مؤلفاً من عدة طوابق فتكون السماكة الدنيا لجدران القص كما يلي :

- 200 mm لأعلى 5 أمتار من الارتفاع.
- 50 mm تزاد لكل 20 متراً من الارتفاع التالية للخمسة أمتار السابقة أو جزء منها باتجاه الأسفل.

ويمكن الاستغناء عن تحقيق هذا الشرط في جدران النواة الصندوقية.

4) لا يزيد التباعد بين جدران القص المتجاورة في الاتجاه الواحد على 15m ولا على مثلي البعد الأدنى لمسقط السقف الواقع بين الجدارين، ولا يقل عدد جدران القص في كل اتجاه عن جدارين غير واقعين على خط مستقيم واحد. ويمكن تجاوز الشرط الأخير إذا كان الجداران في منتصف المسقط الأفقي وكان التحليل سيتم بالطرائق الديناميكية.

5) في حال تنفيذ فتحات صغيرة لا يتعدى أكبر بعد لها 3 مرات سماكة جدار القص المصمت فيجب ألا يقل بعد الفتحة عن طرف الجدار عن 80 سم، وكذلك البعد الأدنى بين فتحتين متجاورتين عن 40 سم، كما هو مبين في الشكل (5-143).

6) في جدران القص التي تتعرض لضغط بلا مركزية كبيرة في حالة الحد الأقصى فتطبق عليها مساحات التسليح الدنيا والقصوى للجوائز.

7) لا يزيد التباعد بين قضبان التسليح الشاقولي على 20 cm ، كما لا يزيد تباعد التسليح الأفقي على 25 cm أو على 15 مرة أصغر قطر للتسليح الشاقولي، عندما تتجاوز القوة الحدية المعرض لها الجدار N_u ، نصف قدرة التحمل N_{uR} .

8) إذا كان جدار القص في حالة الحد الأقصى معرضاً إلى ضغط بلا مركزية صغيرة أي أن كامل مقطعه يتعرض لإجهادات ضغط أو الجزء الأكبر منه، فيمكن تمييز الحالتين التاليتين:

الحالة الأولى: لا تتجاوز القوة الحدية المعرض لها الجدار N_u ، نصف قدرة التحمل N_{uR} ، يمكن في هذه الحالة الاستغناء عن وضع أعمدة مخفية في نهايات الجدران ويكتفي بتسليح الجدار وفق النسبة المناسبة، كما ورد أعلاه، مع إضافة أتاري مفتوحة على شكل ⊃ لا يقل قطرها عن 8 mm وبذات تباعد التسليح الأفقي للجدران مهمتها تثبيت شبكتي التسليح للجدار في مواضعها (الشكل 5-144).

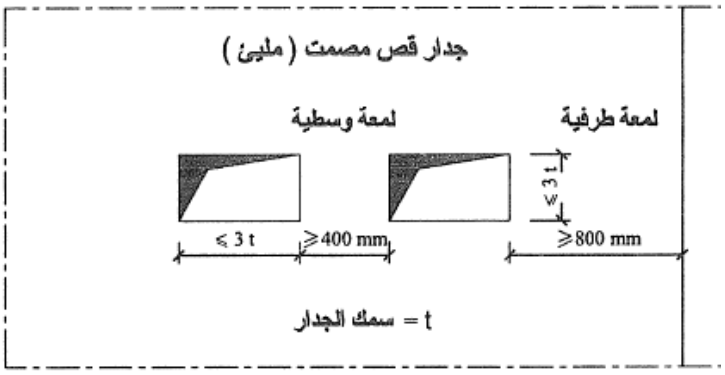
الحالة الثانية: تتجاوز القوة الحدية المعرض لها الجدار N_u ، نصف قدرة التحمل N_{uR} ، توضع في هذه الحالة أعمدة مخفية عند نهايات الجدار سماكتها t وطول مقطعها $2t$ كحد أدنى، وبطول أعظمي $0.2L$ (L: طول الجدار)، ويستعمل في هذه الأعمدة تسليح طولي لا تقل مساحته عن 1% ، ويوزع بانتظام، ويستخدم تسليح عرضي ملائم وفق الاشتراطات المطلوبة في التسليح العرضي للأعمدة (الشكل 5-145).

وينوه إلى ضرورة استعمال التسليح المتناظر في جدران القص، على أن يكون التسليح الأفقي هو الأقرب للسطح الخارجي.

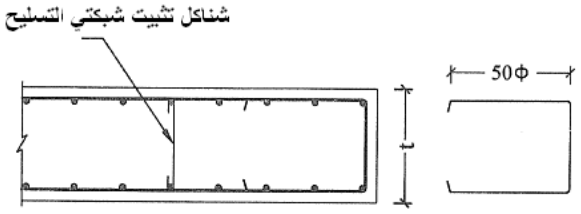
9) إذا كان جدار القص في حالة الحد الأقصى معرضاً إلى ضغط بلا مركزية كبيرة أي أن التسليح المشدود في المقطع الحرج سيصل إلى حد الخضوع قبل أن ينهار البيتون في الضغط. في هذه الحالة يحسب التسليح اللازم للشد ويركز في عمود مخفي سماكته t وطول مقطعه $2t$ (على الأقل) عند كل من نهايتي الجدار، على ألا يزيد على $0.2L$ (L: طول الجدار)، أما بقية مقطع الجدار فيسلح إنشائياً كما ورد سابقاً.

وفي كل الحالات يجب ألا تزيد نسبة التسليح في الأعمدة المخفية على 2.5% .

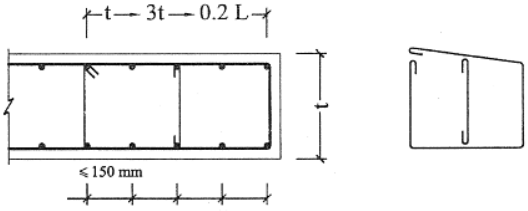
10) يجب ألا تقل أطوال التماسك بين قضبان التسليح الشاقولي في جدران القص على خمسين مرة قطر التسليح المستعمل.



الشكل (5-143): اشتراطات أبعاد الفتحات واللمعات في جدران القص



الشكل (5-144)



الشكل (5-145)