دراسة العقد في الإطارات الخرسانية المسلحة المقاومة للزلازل

Study of joints in seismic resistant reinforced concrete frames

إعداد

عبدالله أحمد المصيني محمد محمود الجمعة

إشراف

د. م منار تقلا

1- مقدمة:

تعتبر العقد في الإطارات الخرسانية المسلحة المقاومة للزلازل ذات أهمية خاصة، يجب على المصمم والمنفذ أن يوليها الاهتمام الكاف.

الشكل (1): عقدة وسطية

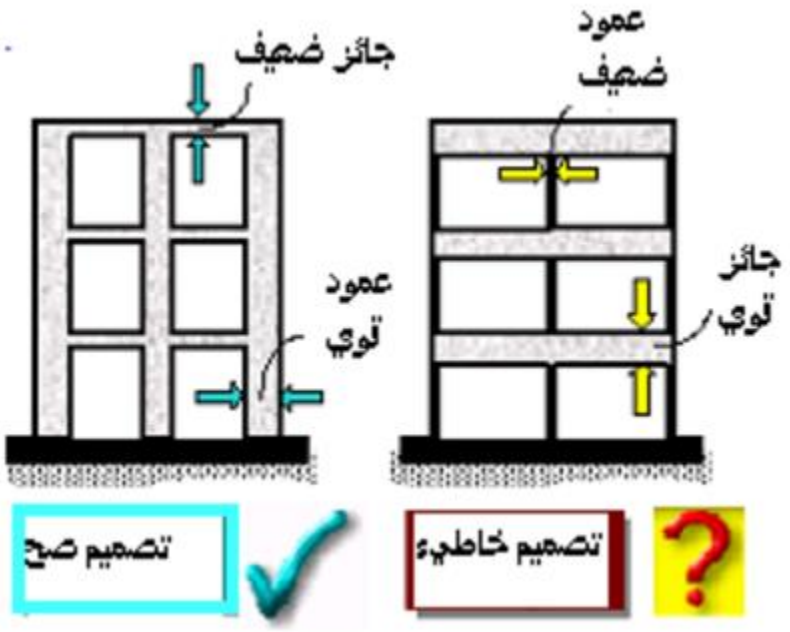
تعرف العقدة بأنها جزء العمود الذي يبدأ بأسفل الجائز الأعمق وينتهي عند نهاية الارتفاع الكلي للجائز المتصل بالعمود، وفي حال اتصال أكثر من عمود تكون العقدة هي الجزء من العمود الذي يحصره الجائز الأعمق.

بما أن الحمولات الزلزالية عشوائية واحتمالية وقد تضرب الأبنية شدات زلزالية أكبر من التصميمية لذلك لا يمكن تصميم عناصر المنشآت بأن تقاوم المرحلة المرنة انما تسمح الكودات المناسبة بأن تحصل ببعض عناصرها تشوهات كبيرة وأن تعمل في مرحلة المرونة- اللدونة، لذلك يسمح بتشكل المفاصل اللدنة في الجوائز وليس في الأعمدة وهذا ما يدعى بمبدأ جائز ضعيف وعمود قوي [1] .

حيث أن:

- ❖ انهيار عمود أو أكثر يؤدي إلى انهيار المبنى جزئياً أو كلياً، مما يسبب خسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات. أما انهيار جائز أو أكثر لا يؤدي إلى انهيار المبنى فوق المستثمرين.

- ❖ الأبنية التي ينهار فيها جائز أو أكثر يمكن إعادة تدعيمها وتقويتها بينما التي ينهار فيها عمود أو أكثر عادة يتم هدمها وبنائها من جديد.
- ❖ تشكل المفاصل اللدنة في الجوائز يؤدي إلى امتصاص أكبر للطاقة الزلزالية، كما يتم توزيع هذه الطاقة على عدد أكبر من المفاصل اللدنة.



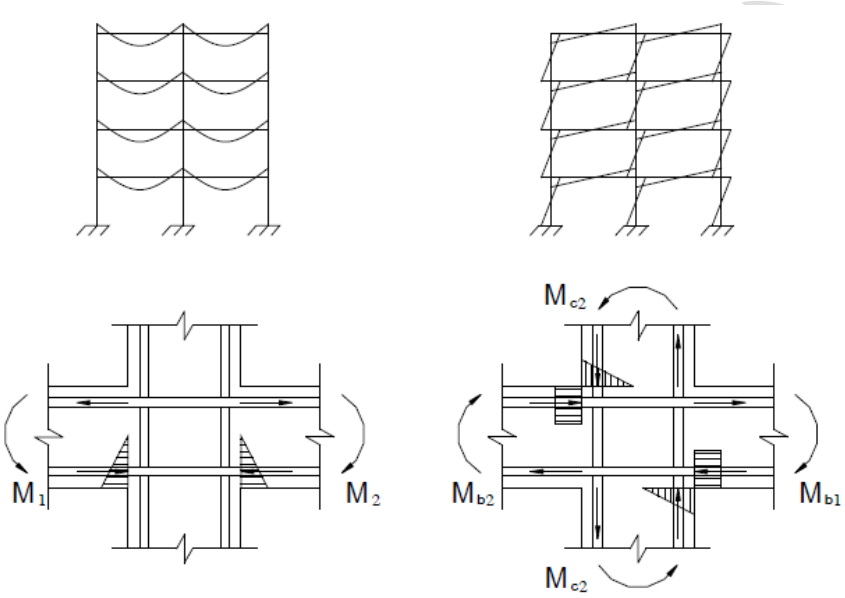
الشكل (2): مبدأ عمود قوي وجائز ضعيف [2]

2- سلوك العقد المقاومة للزلازل:

تتعرض العقد الخاضعة إلى حمولات شاقولية فقط إلى إجهادات تختلف عن الإجهادات التي تتعرض لها العقدة في الإطارات الخاضعة إلى حمولات أفقية زلزالية. يبين الشكل (3) أن العقدة في حالة الحمولات الشاقولية تتعرض إلى عزمين سالبين في طرفيها ينتج عنهما قوى شد في قضبان التسليح العلوية وقوى ضغط في ألياف الجوائز السفلية. وفي معظم الحالات يكون هذان العزمان متقاربين في قيمتهما فينتج عنهما قوى شد وضغط متقاربة أيضاً تتعاكس في جهتها وقيمتها، والفارق بينهما بسيط يمتصه العمود بسهولة.

أما في حالة الإطار الخاضع الحمولات أفقية (زلزالية) فإن العزمين الذين يتشكلان في الجائزين على طرفي عقدة داخلية لهما اتجاه دوران واحد، لكن أحدهما موجب شد التسليح السفلي والآخر سالب شد التسليح العلوي) في الفتحة المقابلة للجائز، وبالتالي تكون قضبان التسليح العلوي للجائز خاضعة إلى قوى شادة في أحد أطراف

العقدة وقوى ضاغطة في الطرف الآخر لها، كما هو مبين بالشكل (3) أما قضبان التسليح السفلي للجائز فتكون خاضعة إلى قوى مماثلة لقضبان التسليح العلوي ولكن باتجاه معاكس وبنفس المناقشة السابقة على العمودين العلوي والسفلي يمكننا أن نستنتج أنها تخضع لقوى مشابهة في التسليح لما تخضع له قضبان تسليح الجوائز، ولهذا ينتج عن مجموعة القوى السابقة حزمة ضغط قطرية تنحصر بين مناطق الضغط الأربع في الجوائز والأعمدة، ويقابلها في الاتجاه القطري الثاني للعقدة قوى شد مرتفعة والتي سرعان ما تسبب التشققات.[2]



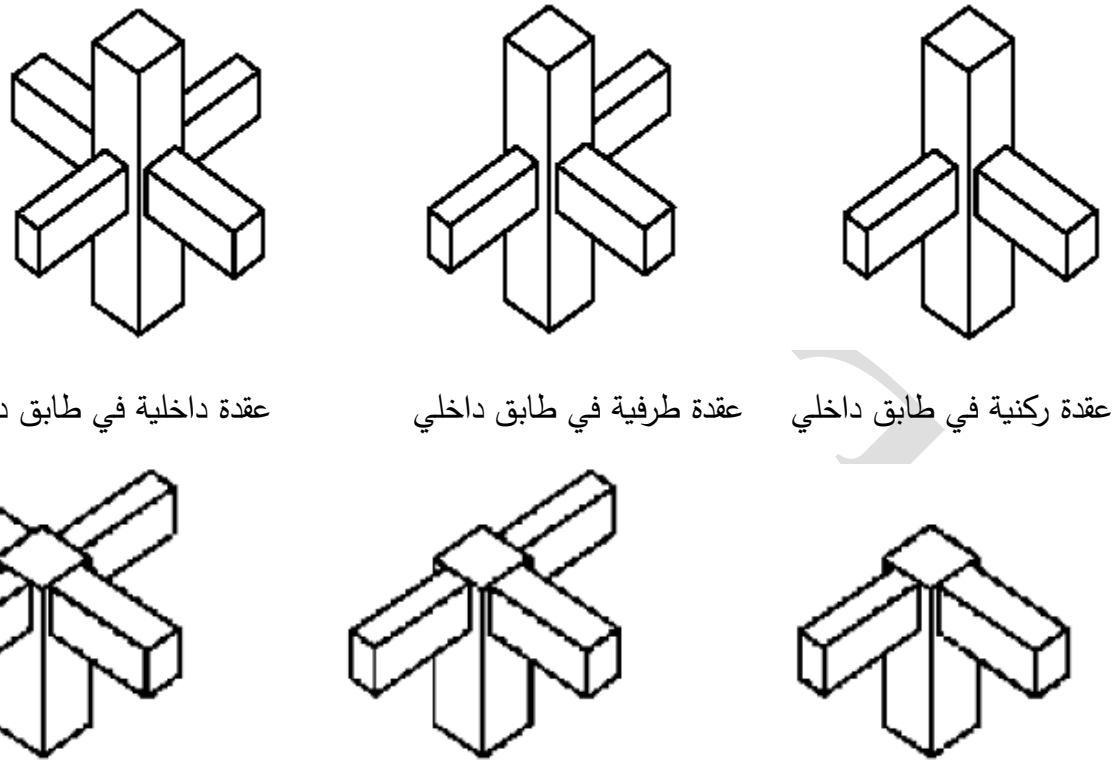
إطار محمل بحمولات شاقولية عادية إطار محمل بحمولات الزلازل الأفقية

الشكل (3): سلوك الإطارات الخرسانية

3- تصنيف العقد:

تصنف عقد الأبنية الإطارية الخرسانية المسلحة المقاومة للزلازل كما هو مبين بالشكل (4) بكونها عقد في الطوابق الداخلية أي يلتقي فيها عمودين علوي وسفلي أو عقد في الطابق الأخير حيث يلتقي فيها عمود واحد.

أيضاً يمكن أن تكون العقدة ركنية يستند فيها جائزين فقط على العمود، أو طرفية حيث يلتقي ثلاث جوائز، أو أن تكون داخلية حيث يلتقي فيها جائزين من كل جانب [3].



الشكل (4): تصنيف العقد [4]

4- تصميم وتحقيق العقد:

إن مجموعة القوى الداخلية المطبقة على العقدة والناتجة عن حزمة الضغط وقوى الشد المذكورة أعلاه بالإضافة إلى جهود القص الخارجية التي تؤثر في الجوائز والأعمدة تولد في العقدة إجهادات قص أفقية وشاقولية. تؤدي إلى تشققها إضافة لذلك فإن هذه الإجهادات القصية ليست باتجاه وحيد بل إنها منعكسة الاتجاه وبشكل متكرر وديناميكي وفق اهتزاز البناء [5]. لذلك لمنع الانهيار ضمن العقد تم تبني مبدأ عمود قوي وجائز ضعيف حتى تتشكل المفاصل اللدنة في الجائز وليس في العمود هذا السلوك المفروض على الإطار له عدة إيجابيات منها:

1. إن الخيار عمود أو أكثر يؤدي إلى انهيار المبنى جزئياً أو كلياً، مما يسبب خسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات.

2 انهيار جائز أو أكثر لا يؤدي إلى الخيار المبنى فوق القاطنين.

3 الأبنية التي ينهار فيها جائز أو أكثر يمكن إعادة تدعيمها وتقويتها بينما التي ينهار فيها عمود أو أكثر عادة يتم هدمها وبنائها من جديد.

4 تشكل المفاصل اللدنة في الجوائز يؤدي إلى امتصاص أكبر للطاقة الزلزالية، كما يتم توزيع هذه الطاقة على عدد أكبر من المفاصل اللدنة.

5- مبادئ تصميم وتحقيق العقد

حتى تعمل عقد الإطارات المقاومة للزلازل بأمان وتتحمل الإجهادات المطبقة عليها يجب أن توافق الأسس التصميمية الثلاثة الأساسية التالية [1] [4]:

1- مبدأ عمود قوي وجائز ضعيف

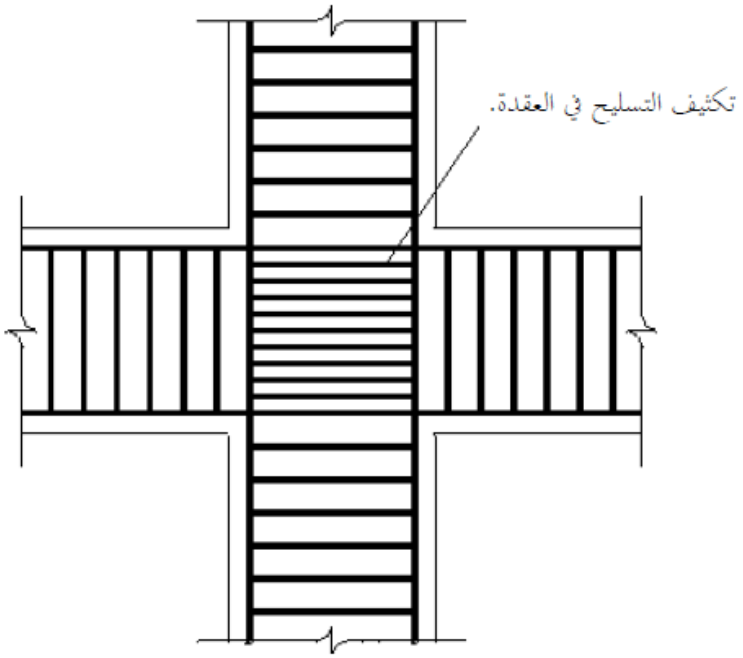
يجب أن تكون نسبة مجموع العزوم المقاومة للأعمدة الملتقية في العقدة إلى مجموع العزوم المقاومة للجوائز أكبر من الواحد (R>1.2). أما إذا حسبت العزوم المقاومة بطريقة مبسطة أي بإهمال أثر القوى المحورية في الأعمدة، ومساهمة البلاطة في العزم المقاوم السالب للجيزان، عندها يجب أن تحقق النسبة السابقة (R>1.4).

$$\Re = \frac{\sum Mc}{\sum Mb} = \frac{Mc1 + Mc2}{Mb1 + Mb2} \geq 1.4$$

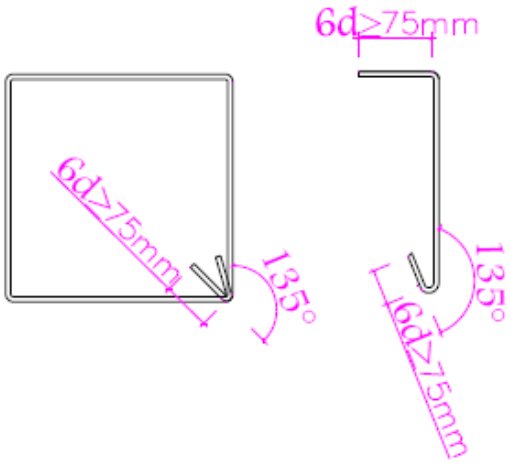
إذا لم يتحقق الشرط السابق يجب عندها تغير أبعاد أو تسليح أو نوعية مواد العناصر الملتقية في العقدة وخاصة الأعمدة، حتى تتحقق النسبة المطلوبة.

2- تطويق العقدة:

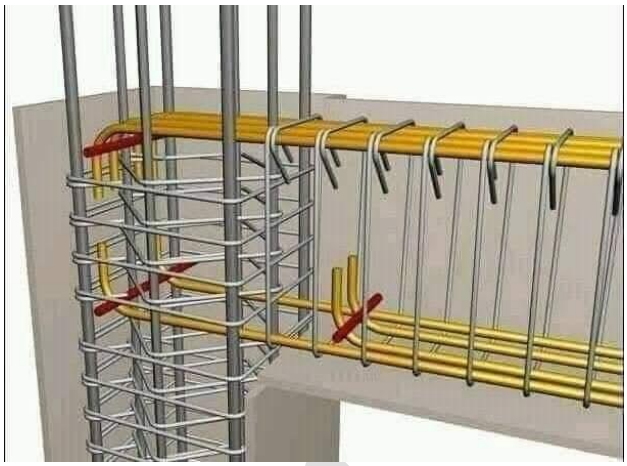
إن تشكل الضغط والشد القطريين وإجهادات القص الديناميكية المنعكسة الاتجاه تسبب تفتتاً سريعاً لبيتون العقدة مما يؤدي إلى فقدان العمود وظيفته في حمل الأحمال الشاقولية، كما تفقد قضبان تسليح الأعمدة والجوائز تماسكها مع البيتون. لذا يجب تسليح العقدة بأساور أفقية مغلقة بغية تطويق العقدة والحفاظ على بيتونها ضد التفتت انظر الشكل (5)، مع مراعاة أن هذه الأساور والشناكل يجب أن تحقق متطلبات الشكل (6). والشكل (7) يوضح كيفية تنفيذ وربط تسليح العمود مع الجائز (منطقة العقدة).



الشكل (5): تكثيف التسليح العرضي لتأمين التطويق



الشكل (6): تفاصيل الأساور المغلقة والدبابيس



الشكل (7): تفصيل تسليح عقدة طرفية

3- يجب ألا تقل نسبة التسليح العرضي (ρs) في العقدة في حال المقطع دائري و التسليح العرضي حلزوني عن اكبر القيم التالية

$$\boldsymbol{\rho s \geq 0.45.\frac{f'_c}{f_{yh}}\left[\frac{Ag}{Ac}-1\right]} \qquad \textbf{(1}$$

او من العلاقة

$$\boldsymbol{\rho_{sh} \geq 0.12\frac{f'_c}{f_{yh}}} \qquad \textbf{(2}$$

كما يجب الا يقل مقطع التسليح العرضي (Ash) في العقدة في حال المقطع مستطيل عن اكبر القيم التالية

$$\boldsymbol{A_{sh} \geq 0.09\frac{S_h h'' f_{c'}}{f_{yh}}\left[\frac{A_g}{A_C}-1\right]} \qquad \textbf{(1}$$

أو من العلاقة:

$$\boldsymbol{A_{sh} \geq 0.09\frac{S_h h'' f_{c'}}{f_{yh}}} \qquad \textbf{(2}$$

حيث S_h: الخطوة ما بين طبقات تسليح العقدة الأفقي (mm) التي يجب ألا تزيد عن أي من القيم التالية:

$$s_h \leq \begin{Bmatrix} 150mm \\ \frac{b_{min}}{4} \\ 6.\emptyset_c \end{Bmatrix}$$

حيث b_{min}: البعد الأصغر للعمود.

$\emptyset_c$: قطر تسليح العمود الشاقولي.

A_{sh}: مقطع التسليح الأفقي الكلي لطبقة من تسليح العقدة (mm^2).

A_g : مقطع العمود الكلي (mm^2).

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

h": طول مقطع العمود المحصور ضمن التسليح الأفقي (mm^2).

f_c': المقاومة المميزة لبيتون العقدة (Mpa).

f_{yh}: إجهاد خضوع التسليح الأفقي (الأساور) للعقدة على ألا يزيد عن (420 MPa).

6- مقاومة القص التصميمية:

يوضح الشكل (8) منطقة العقدة (المنطقة المظللة بالأزرق) ولحساب قوة القص التي تنتقل عبر منطقة العقدة وفق الكود ACI 352 [5] و ACI 318 [4] ، يجب اتباع الخطوات التالية:

1- تحديد قوة القص الواردة إلى العقدة V_u^{joint}، يتم تحديدها من حساب قوة القص في نهاية كل جائز عند موضع الالتقاء بالعمود. وبالتالي القص المؤثر على العقدة من كل جائز

$$V_u^{joint} = \sum V_u, beam\ i$$

2- تحديد أبعاد المنطقة الفعالة للعقدة وفق الشكل (8) حيث $A_j = b_{eff} \times h$

$$b_{eff} = \min(b + h\ , b + 2x)$$

حيث:

b : عرض الجائز.

h : عمق العقدة في المستوي الموازي لفولاذ التسليح الذي يولد القص.

x : مسافة التراكب (بعد أو امتداد فولاذ التسليح).

3- حساب إجهاد القص الفعال $V_{req} = \frac{V_u^{joint}}{A_j}$.

4- حساب مقاومة القص للخرسانة اعتماداً على مقاومة الخرسانة للضغط.

5- إجراء المقارنة التالية $V_{req} \leq V_c$ قد لا تكون هناك حاجة لتقوية خاصة للعقدة (مع مراعاة شروط إضافية للكود). أما في حال $V_{req} > V_c$ يجب توفير تسليح قص إضافي. بحيث:

$$V_{s,needed} = V_u^{joint} - V$$

6- التأكد من شرط التصميم $\emptyset(V_c + V_s) \geq V_u^{joint}$

حيث:

V_s: مقاومة القص لفولاذ التسليح.

$\emptyset = 0.75$

المراجع العلمية:

1- الملحق 2 للكود العربي السوري: تصميم وتحقيق المباني والمنشآت المقاومة للزلازل، نقابة المهندسين السوريين ، دمشق، 2012.

2- الخرسانة المسلحة 5 الدكتور عماد علوش، منشورات جامعة حمص، 2014.

3- الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة، نقابة المهندسين السوريين ، دمشق، 2012.

4- ACI 352R-02,"Recommendation for design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures, Reported by Joint ACI-ASCE committee 352. 2002.

5- ACI 318-19, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-19) and Commentary (ACI318R-19)", American Concrete Institute , 2019.