



Development of a Design Methodology for Ground Beams

تطوير طريقة تصميم الشيناجات الأرضية

بقلم المهندس محمد أنس الشردوب

تمهيد (ملخص البحث)

بالرغم من تأكيد الكود العربي السوري لأهمية الشيناجات (الكمرات الأرضية) والتوصيات والملاحظات الكثيرة لدراساتها وتصميمها بالأحمال الأفقية إضافة للأحمال الشاقولية، إلا أن المراجع وكتب التصميم لم تعطِ الشيناجات ذات الأهمية، بل إن بعض المراجع تحدد أن يتم تسليحها (بشكل متناظر) لمقاومة القوى الشادة والضاغطة الإضافية بدون أي تفاصيل إضافية لهذه التوصية أو تحديد المرجع لها من الكود السوري أو الأكواد العالمية. عموماً، في كتب البيتون لتصميم المقاطع الخرسانية أو المراجع الخاصة بالأساسات يتم تجاهل طريقة تصميم الشيناجات، ولا يتم إيراد أمثلة لها أو دراستها بشكل مخصص.

سأحاول في هذا البحث الإشارة للمتطلبات الخاصة بتصميم الشيناجات (الكمرات الأرضية وهو المقابل لمصطلح عام: Ground Beams وفي حال ارتباطها بقوى محورية تقابل مصطلح Tie Beams) بحسب الكود العربي السوري ومجموعة الملاحق المرتبطة، ثم إيجاد طريقة التصميم المناسبة التي يجب أن يتم اتباعها



بحسب القوانين والعلاقات الخاصة بتصميم الخرسانة المسلحة في الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة.

الكلمات المفتاحية: الجوائز الأرضية، الروابط الأرضية، الانعطاف المركب، مخطط الترابط، مقاومة الزلازل، متطلبات التصميم

Abstract

Despite the significant role assigned to ground beams (tie beams) in the Syrian Building Code, and the various provisions and recommendations provided for their analysis and design under both vertical and lateral loading, these structural members have received relatively limited attention in the available structural design literature and foundation engineering references. In several commonly used references, the design of ground beams is addressed only briefly, with a general recommendation to provide symmetrical longitudinal reinforcement to account for additional axial tensile and compressive forces. However, the basis of this recommendation is rarely discussed in detail, nor is its relationship to the provisions of the Syrian Building Code or other internationally recognized design standards clearly established.

More broadly, conventional reinforced concrete design textbooks and foundation engineering literature generally do not present a comprehensive or systematic methodology for the



analysis and design of ground beams. In particular, dedicated analytical treatments, design procedures, and worked examples addressing their structural behavior and the interaction between axial and flexural actions remain limited.

This study investigates the specific design requirements applicable to ground beams in accordance with the Syrian Building Code and its relevant supplements. The term ground beam is used herein in a general sense, while the term tie beam is adopted where the structural member is primarily intended to resist axial forces and provide structural continuity between foundation elements. Based on the fundamental principles and design provisions governing reinforced concrete structures in the Syrian Building Code, a systematic design methodology for ground beams is proposed. The proposed methodology aims to provide a rational and practical framework for determining the governing design actions, evaluating the required reinforcement, and verifying the structural safety of ground beams under the loading conditions considered by the Code.

Keywords: Ground Beams, Tie Beams, Biaxial Bending, Interaction Diagram, Seismic Resistance, Design Requirements



بحث الاعتبارات التصميمية والاشتراطات:

ما الذي يميز الشيناج عن بقية الجوائز والكمرات من ناحية العمل الانشائي وبالتالي التصميم والتنفيذ؟ هذا السؤال يرافقنا خلال تصميم المباني، وعند تدقيق الأعمال والدراسات الإنشائية. فما هي محددات الكود ومجموعة الملاحق لتصميم وتنفيذ الشيناجات (الكمرات الأرضية)؟ وما الملاحظات أو المفارقات التي تستوجب التوضيح وإعادة النظر فيها ليتم التصميم وفق هذه المتطلبات؟ وهل يمكن أن يتم اعتبار تسليحها بشكل متناظر (تعميم التسليح الرئيسي للأسفل والأعلى)؟

سيتم البحث هنا عن أهم النقاط والمتطلبات، وتقصيل الاشتراطات في الكود ومجموعة الملاحق، علماً أن متطلبات الكود (وكافة الإصدارات) أن يتم تصميمها باعتبارها تتلقى حمولة (ضاغطة وشادة) بقيمة 10% من حمولة أكبر عمود إضافة للحمولات الشاقولية، وهذا الاعتبار هو لمقاومة الزلازل نجده مرتبطاً بمعامل استجابة تسارع الجاذبية الأرضية قصير المدى (S_{DS}) في الكود الأمريكي ACI-318-25 ضمن الفقرة التالية (R18.13.4.3):

The minimum foundation seismic tie design strength requirement based on a percentage of the factored dead plus live load provides a minimum connection between foundation elements. Other types of restraint can be used if substantiated as equivalent to the minimum tie design strength. The required



design strength for the tie beam must be at least equal to $0.1S_{DS}$ times the larger force on either end of the tie beam, and that force is from the column or pile cap, whichever applies.

تم تعريف الشيناج في الكود (متبوعاً مع الأساسات) في نهاية الباب السابع بأنه:
"جوائز (كمرات) أرضية واصله بين الأساسات أو الواصله بين القواعد". يفرق الكود بين الأساسات والقواعد، حيث يعدّ الأخيرة بأنها أساسات الأعمدة الفولاذية المطمورة بالتربة. مع الإشارة لتوضيح الكود بأن المزيد من التفاصيل لتحليل الأساسات وملحقاتها وتصميمها وتنفيذها (أي القواعد والشيناجات) نجدها في الملحق رقم (5) الخاص بتصميم الأساسات وتنفيذها.

تحتاج أغلب منشآت الخرسانة إلى الكمرات الأرضية (أسفل البلاطة الأرضية) لمجموعة من الأسباب والحالات، أهمها:

- تقليل الطول الحر للأعمدة في الطابق الأرضي (الذي يكون ارتفاعه عموماً أعلى من بقية الطوابق المتكررة)، وبحسب عمق التأسيس.
- حمل القواطع الداخلية والجدران الخارجية للمبنى (مع الإكساء) في الطابق الأرضي.



- الإسهام في تقوية المنشأ على قوى الزلازل (وهي بحسب الكود تقع ضمن الاحتياطات والتدابير لمقاومة الزلازل)، بالإضافة لمنع الهبوطات التفاضلية بين الأساسات للمنشأ.

الاعتبارات التصميمية في الملحق الخاص بالأساسات:

بالبحث عن الاعتبارات الخاصة بالشيناجات في الملحق رقم (5) الخاص بالأساسات، نلاحظ توضيحه مصطلح الشيناج بأنه: "هو جائر أرضي يربط بين الأساسات أو بين القواعد، ومهمته تحمل القوى الأفقية التي يمكن أن تحصل نتيجة لأي سبب، وكذلك حمل قواطع أو جدران البلوك إن وجدت، كذلك يمكن أن يوجد الشيناج بمناسيب أعلى، ويعمل على منع تحنيب الأعمدة، إضافة لما سبق".

أي أن مهمة الشيناج بحسب الملحق، هي مقاومة القوى الأفقية بالدرجة الأولى ثم حمل الجدران، وتقليل طول تحنيب الأعمدة.

يُضاف إلى ما سبق، الفقرة الخاصة عن دور الشيناجات القوية (في الاتجاهين) في تقليل الهبوطات التفاضلية.

ومع الإشارة أيضاً بأن الملحق يعرف القواعد بأنها: أساس العمود، ليس بالضرورة أن تكون مستندة إلى تربة التأسيس وليس من الضروري أن تكون مطمورة بالتربة، ويمكن أن تكون قاعدة خرسانية لعمود فولاذي. ويضيف الملحق أيضاً تعريفاً خاصاً



لجائز التقويم الذي يصل الأساس الطرفي (رجل البطة) والأساس المنفرد الداخلي المجاور له.

يوضح الملحق الاشتراطات البعدية التي هي متوافقة مع الفقرة الخاصة بالشيناجات في الكود الأساس، وقيم وأقطار التسليح المتوافقة أيضاً مع اشتراطات التسليح الخاصة بالكمرات الواردة في الفقرة (7-1-2-7) في الكود الأساس، مع الملاحظة أو التوصية الخاصة بإضافة أساس وسطي أسفل الشيناج للتخفيف من أبعاده. أما بخصوص التصميم، فيشير الملحق إلى أن يتم وفق العلاقات والقوانين الخاصة بالتصميم الخرساني في الكود الأساس، ولا يوجد أي إشارة في الملحق المخصص للأساسات لأي مواضيع إنشائية خاصة بالشيناجات لتحديد طبيعة هذه القوى والأفعال أو طرق التصميم، لذلك ستتم المتابعة من خلال الكود الأساس والملحق رقم (2) الخاص بالتصميم والتحقيق لمقاومة الزلازل.

اشتراطات ملحق المباني والمنشآت المقاومة للزلازل

يوضح الملحق رقم (2) الخاص بتصميم وتحقيق المباني والمنشآت المقاومة للزلازل الكثير من الاشتراطات والاحتياطات المطلوبة، وسأذكر أهمها هنا، علماً أنه قد تم تأكيد الكثير منها أيضاً في الملحق (16) الخاص بتصميم المباني العالية وتنفيذها.



1. وصل الأساسات بالشيناجات:

تُوصَل الأساسات المنفردة بجوائز أرضية (شيناجات ربط) قريبة قدر الإمكان من منسوب ظهر الأساسات وتحت منسوب سطح الأرض، ويتم افتراض أن الشيناج يتحمل قوى شدّ وقوى ضغط محورية لا تقل عن 10% من الحمل الرأسي للعمود (ذو الحمل الأكبر)، يتم تطبيقها مرة كقوة ضغط ومرة كقوة شدّ، بحيث يتم تصميم الشيناج لمقاومة الحالتين (مع أخذ تأثير الحمولات الشاقولية كالوزن الذاتي وحمولة الجدار)، وأن يتم تثبيت قضبان (أسياخ) تسليح الشيناجات في الأعمدة حسب الأصول وطبقاً لاشتراطات الكود الأساس، مع إشارة الملحق المتكررة في الباب السابع (بضرورة ربط الأساسات مع الشيناجات، في عدة فقرات: (اختيار الأساسات السطحية، الاشتراطات والاحتياجات في تربة التأسيس، الاشتراطات والاحتياجات المطلوبة في الشيناجات ورقبات القواعد)، حيث إن الأساسات المنفردة غير المتصلة (أو المربوطة) بالشيناجات هي الأضعف في مقاومة الزلازل، ويتحسن سلوكها (ويصبح مقبولاً) إذا كانت مربوطة فيما بينها بالاتجاهين بشيناجات (جوائز أرضية) منفذة فوق الأساسات مباشرة (دون رقبات) بحيث يتم تصميمها وفق ما ذكر.

2. ويحدد الملحق، أنه في حالة حمل الشيناجات لقواطع البلوك، فإذا كانت المسافة بين الشيناج والأرضية قليلة، فإنه يمكن تنزيل قواطع البلوك حتى



منسوب الشيناج، أو زيادة ارتفاع الشيناج أو الحلين معاً، أما إذا كانت المسافة كبيرة نسبياً فيمكن وضع شيناجات بمنسوب الأرضية لحمل القواطع، إضافة للشيناجات الرابطة بين الأساسات.

3. أما الاستغناء عن الشيناجات (السفلية) فتحدده الملاحظة (رقم هـ) إذا كانت تربة التأسيس قاسية أو صخرية (لا تقل عن 5 كغ/سم²) وكانت الأساسات المنفردة منفذة ضمن هذه التربة أو عند وجود جدران مسلحة محيطة بقبو المبنى ودون أن يقسمها أي فاصل تمدد، مع غمر القاعدة داخل الصخر بمسافة لا تقل عن 300 مم.

في الفقرة الخاصة بالشيناجات والبلاطات على الأرض، نذكر الملاحظات الآتية:

1. يجب أن تصمم الشيناجات لتعمل كشدادات أفقية بين قبعات الأوتاد أو القواعد، وأن تحتوي على تسليح طولي مستمر، وأن يتم الإرساء ضمن العمود المحمول أو بعده، أو أن يتم الإرساء ضمن القبعة أو القاعدة.
2. يجب أن تصمم الشيناجات لتعمل كشدادات أفقية بين قبعات الأوتاد أو القواعد، بحيث لا يقل أصغر بعد للشيناج المسافة الصافية بين الأعمدة مقسومة على 20، ولا داعي أن يتعدى 45 سم، ويجب استعمال أساور مغلقة بتباعد لا يتعدى الأدنى من نصف البعد الأصغر للمقطع المتعامد أو 30 سم.



الشروط البعدية والتسليح:

بحسب الكود الأساسي، في الباب السابع (اشتراطات عامة في تصميم العناصر الإنشائية)، يحدد الاشتراطات البعدية وقيم التسليح والملاحظات المرتبطة بالشيناجات (والتي هي متوافقة مع ما ذكر في الملحق الخاص بالأساسات)، وهي وفق الآتي:

1. لا يقل أيٌّ من بُعدي المقطع العرضي للشيناج عن 200مم، وإذا كان حاملاً لجدار بلوك (أو آجر أو حجر) وكانت المسافة بين الأعمدة كبيرة، ولتخفيف أبعاد مقطع الشيناج؛ فيجب أن يُعمل أساس وسطي (أو أكثر) إضافي تحت الشيناج من الخرسانة العادية بأبعاد لا تقل عن 60سم*60سم، ويصل حتى تربة التأسيس المناسبة.

2. تطبق على الشيناجات مساحات التسليح الدنيا والقصى ذاتها المطبقة على الكمرات، باعتبارها كمرات أرضية، علماً أن الكمرات ترتبط باشتراطات بعدية وتصميمية أكثر وضوحاً، مثل: شرط تحديد المجاز وشرط السهم، وتوصيات كثيرة للتسليح الطولي الرئيسي والثانوي والتسليح العرضي، والربط والوصلات، وتأثير عرض المساند، إضافة لحالة وجود الكمرات في الإطارات العزمية.

3. في فقرة الاحتياطات والاشتراطات للشيناجات في الكود الأساسي، بأنه يجب استخدامها لربط العناصر الشاقولية بحيث توضع فوق سطح الأساسات



مباشرة أو متداخلة معها، على ألا تستند إلى التربة، إضافة للملاحظة نفسها التي ذكرت سابقاً عن حالة الاستغناء عن الشيناجات، ويجب أن تُصمَّم على قوة الضغط وقوة الشد (10%) من حمولة العمود كملاحظة عامة وغير مرتبطة بمقاومة الزلازل)، وهي الملاحظة نفسها المذكورة في ملحق التصميم على الزلازل، وفي حالة العمود الداخلي فإن نسبة الـ 10% من حملة، توزع على الشيناجين الرابطين له في الاتجاه المدروس.

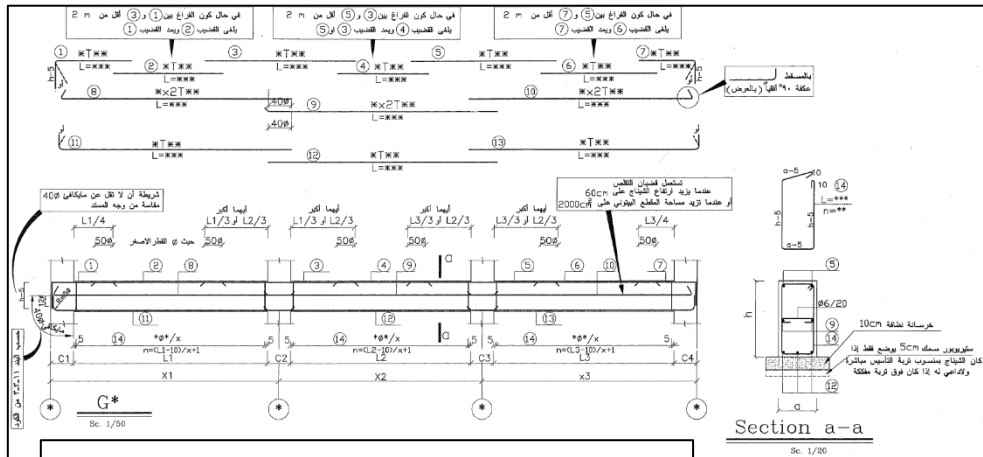
4. في الباب الثامن (فقرة: الافتراضات الأساسية في تحليل المنشآت) يوضح بأن الشيناجات الحاملة لجدران من القرميد أو الآجر أو الحجر تحسب بافتراضها جوائز.

5. وفي ملاحظة ثانية، بأن الشيناجات التي توضع لتقصير طول تحنيب الأعمدة، تُصمَّم (سواء كانت حاملة لجدران أو لا) على قوة محورية (شادة أو ضاغطة)، بقيمة لا تقل عن 5% من قيمة أكبر حمل من أحمال الأعمدة المرتبطة بالشيناج.

6. أما قيمة الحمل 10% المعروفة من السابق فإن الكود في ملاحظة أخيرة (ضمن فقرة تحليل الأساسات والقواعد والشيناجات)، يقارنها بالقوى الناتجة عن التحليل الإنشائي (بما فيها تأثير القوى الزلزالية) بحيث لا تقل عن 10% من قيمة أكبر حمل من أحمال الأعمدة المرتبطة بالشيناج، وذلك عند وضع الشيناجات لمقاومة تأثير الزلازل فقط.



يوفر الكود الأساسي مجموعة القوانين الخاصة بالتحقيق والتصميم لمختلف الحالات، قوة الضغط المحورية واللامركزية البسيطة والكبيرة، ومع عزوم الانحناء، وكذلك على قوة الشد مع اللامركزية البسيطة والكبيرة (اللامركزية الكبيرة لحالتي الشد والضغط ينشأ عنها تسليح شد وضغط لكل منهما)، ويمكن العودة لها في الكود، وبحسب الملحق الخاص بالرسومات، الصورة الآتية:



رسم توضيحي 1 تفصيلة نموذجية للشيناجات بحسب ملحق التفاصيل والرسومات

فإننا نلاحظ أن الشيناج لا يتضمن تسليحاً متناظراً. وبالمقارنة مع الجوائز، وفق تفريد التسليح، نلاحظ أيضاً أنه لا يوجد أي فرق فيها في وسط المجاز أو عند المساند أو التسليح العرضي، وهي بحاجة لقضبان التعليق وقضبان التقصص الحراري، والشيناج أيضاً لا يتصل مع البلاطة الأرضية "Slab on Grade" (غير العاملة كحجاب) وهو مسنود على خرسانة نظافة (فوق ألواح ستيروبور إذا كان الشيناج



بمنسوب تربة التأسيس ولا داعي لها إذا كانت التربة مفككة)، وهذه الملاحظة مهمة جداً في حالة التنفيذ.

باعتبار الشيناج يتعرض لحمولة محورية وعزم انعطاف، العزم متغير بحسب موقع المقطع ضمن المجاز، والحمولة تتغير مرة شادة ومرة ضاغطة، فيجب تصميم المقطع وتحقيقه بحسب هذه المتغيرات وفق علاقات الانعطاف المركب، مع الانتباه إلى أنّ الحمولة المحورية لا تتطابق مع مركز تسليح المقطع (مركز المقطع البلاستيكي)، حيث ينشأ عنها لامركزية إضافية مع اللامركزية الناشئة عن عزم الانعطاف مع القوة المحورية. إن أفضل طريقة للتصميم هي عمل شريحة إكسل بحيث يتم افتراض الأبعاد والتسليح وتحقيقها للوصول للحل الأمثل.

نستنتج مما سبق، أنّ تصميم الشيناجات يعدّ مسألة متنوعة ودراسة هندسية إنشائية تحتاج جميع التوصيات والمتطلبات السابقة التي تم الإشارة لها، وكذلك النظر في مجموعة من الاعتبارات الخاصة بالدراسة وتنفيذها بالشكل الصحيح.

الغطاء الخرساني:

في البداية، لا بد من الإشارة لأمر مهم وهو تحقيق الغطاء الخرساني لحديد التسليح وذلك بالتزامن مع تصميم أي مقطع خرساني، لتوفير حماية حديد التسليح لضمان



استمراره بأداء عمله، وكذلك توزيع التسليح الطولي والعرضي ضمن المقطع، وتحقيق التباعدات والاشتراطات التنفيذية.

في الملحق رقم (3) الخاص بالرسومات والتفاصيل (الإنشائية) وضمن لوحة الملاحظات العامة (صفحة 5) إشارة لسماكات التغطية (بحسب نموذج الملاحظات التنفيذية)، وفيها أن ثخانة التغطية للأساسات مثلاً هي 5سم.

أما في الكود الأساسي للتصميم والتنفيذ، فنجد أن الثخانة الخاصة بالتغطية، قد وُضِّحت في الباب الحادي عشر الخاص بالتماسك والإرساء وتفاصيل التسليح، بـألا تقل عن 50مم في العناصر الخرسانية المعرضة للتماس مع التربة، وفي حال كانت التربة تحتوي على مواد كبريتية فيجب استخدام أسمنت مقاوم للكبريتات، وتشير الملاحظات العامة في ملحق الرسومات بأن الثخانة الدنيا للغطاء الخرساني لقضبان التسليح للشيناجات هي 50 مم، مع ملاحظة توصيات تقرير التربة، أما بالنسبة للرسومات والمقاطع فهي توضح أن تغطية الخرسانة للأساسات يساوي 5 سم (بشكل صريح) وهي 2.5 سم للشيناجات (بشكل ضمني حسب تفريد التسليح).

علماً أن التغطية تتبع أيضاً مجموعة من الاعتبارات للتربة (للحفرية أو الردم) وكذلك نوعية الخرسانة (مقاومة للكبريتات ومحتوى السيلكا)، ورطوبة التربة والمحتوى المائي، وجودة التصنيع والتنفيذ (خلطة جاهزة أو صب في المكان)، بالإضافة لحالة العزل (دهان بيتومين أو معجونة أسمنتية عازلة، أو شرائح البيتومين). ويجب



تضمنها في فقرة خاصة بديمومة Durability الخرسانة كما هو الحال في الكود الأمريكي "ACI CODE-318-25" الذي يشير بوضوح لثخانات التغطية ضمن جداول متنوعة بحسب الخرسانة وأنواع العناصر المصبوبة، وهي تتحدد أيضاً بحسب أقطار التسليح المستخدمة، كالجدول التالي (Table 20.5.1.3.1) مثلاً:

Table 20.5.1.3.1

Specified concrete cover for cast-in-place non prestressed concrete members

Concrete exposure	Member	Reinforcement	Specified cover, in.
Cast against and permanently in contact with ground	All	All	3
Exposed to weather or in contact with ground	All	No. 6 through No. 18 bars	2
		No. 5 bar, W31 or D31 wire, and smaller	1-1/2
Not exposed to weather or in contact with ground	Slabs, joists, and walls	No. 14 and No. 18 bars	1-1/2
		No. 11 bar and smaller	3/4
	Beams, columns, pedestals, and tension ties	Primary reinforcement, stirrups, ties, spirals, and hoops	1-1/2



المجاز (البحر) الحسابي:

أو الطول الفعال "L"، وهو الطول المرتبط بفتحة الكمرة، وسيرتبط بهذا المجاز تحديد عمق الكمرة (وتقدير أبعاد مقطع الجائز) وحساب القوى المؤثرة على المقطع وتصميمه، علماً أن طريقة حساب المجاز الفعال تشترك فيها الجوائز عموماً مع الأعصاب والبلاطات. فيما يأتي سنخصصها للشيناجات ضمن الحالتين الآتيتين:

الحالة الأولى: المسند مصبوب ميلينياً (مستمراً) مع الشيناج، هذه الحالة نلاحظها على الأغلب إذا تم سند الشيناج بشكل مباشر على رقاب الأعمدة، وتم صبهما معاً، وهو بهذه الحالة الخاصة الشيناج مسنود على رقبة العمود ومصبوب معه، يتم اعتبار المجاز الحسابي القيمة الأصغر من القيم الآتية:

- المسافة بين محوري الركيزتين (L)
 - المسافة الحرة بين الركيزتين (L_0) مضافاً لها العمق الفعال "d".
 - المسافة الحرة بين المسندين مضروبة بالمعامل "1.05".
- الحالة الثانية:** الصب غير مستمر، قد يكون الشيناج إما على العمود (رقبة العمود) أو مسنود مباشرة على سطح الأساس (المصبوب سابقاً) وهي الحالة العامة، في هذه الحالة يُعدّ المجاز الحسابي مساوياً للبعد المحوري.



علماً أن الكود يسمح، بحسب ملاحظة موجودة ضمن حالات العنصر الظفري، أن يُعدّ الصب مستمراً (مبثلياً) إذا تم تخشين السطح وتنظيفه مع تنفيذ روبة أسمنتية فوقه أثناء الصب.

الملاحظة السابقة تُعدّ ملاحظة عامة ضمن المراجع وكتب البيتون ومنشآت الخرسانة، وهي متوافقة مع متطلبات ربط الشيناجات بالأساسات المذكورة في الملحق رقم 2 (تصميم وتحقيق المباني والمنشآت المقاومة للزلازل) بحسب الفقرة (ب) الخاصة بتنفيذ الشيناجات:

"يفضل أن يكون المنسوب لأسفل الشيناج هو منسوب السطح العلوي للأساسات ذاتها، ويفضل ترك تشاريك على سطح الأساسات لتأمين الربط الكافي بين الشيناجات والأساسات. ويمكن تخفيض منسوب أسفل الشيناجات بحيث يكون على منسوب أعلى بقليل من السطح السفلي للأساسات المسلحة، وهذا يؤمن أفضل ربط للأساسات. ويمكن أخذ منسوب أسفل الشيناجات عند منسوب السطح السفلي للأساسات. وفي هذه الحالة تعمل الشيناجات كأجزاء رابطة بين أساسات مشتركة؛ إذ ينتج تحتها إجهادات من رد فعل التربة يجب أخذها بالحسبان عند تصميمها."



تأثير عرض الاستناد:

بحسب الكود، عندما تكون العزوم السالبة في الجوائز المستمرة محسوبة وفق الأبعاد المحورية للمساند، فيمكن تعديل قيمة العزم السالب في المسند الداخلي باعتبار رد فعل المسند موزعاً على عرضه بصورة منتظمة، ما يسبب عزمًا معاكساً للعزم السالب فوق المسند حيث قيمة التخفيض تساوي قيمة رد الفعل للجائز مضروبة بعرض الاستناد على 8، أي بالشكل: $(R \times b/8)$ وهي هنا قيمة كبيرة لأن عرض الاستناد (عرض الأساس) كبير نسبياً.

وبحسب الافتراضات الأساسية في تحليل المنشآت في الكود، بأنه نتيجة لعدم انسجام سلوك مادة الخرسانة مع فرضيات نظرية المرونة، فإنه يتم تخفيض قيمة العزم السالب (المحسوب بالطريقة الدقيقة) بنسبة بحسب قيم تسليح المقطع (عند المسند) بالقيمة: $30 \times \left[1 - \frac{(A_s - A'_s)}{A_{sb}} \right]$ ، ويمكن فرضها قبل حساب التسليح بقيمة 20% وزيادة العزم الموجب بقيمة التخفيض الناتجة (أي تعديل العزوم)، راجع (بيتون مسلح - 2 د. علاء الدين ناصر، د. يوسف الرغبان).

أما بالنسبة للمقطع الحرج لعزم الانعطاف (السالب) عند المساند في الجوائز المستمرة فهي على وجه الاستناد وذلك عند اعتبار الصب مستمراً (أو إذا كان المسند ذا ارتفاع لا يقل عن مثلي ارتفاع الجائز).



تحديد أبعاد مقطع الشيناج:

بحسب متطلبات الكود فإن الأبعاد يجب ألا تقل عن 20 سم، وبحسب اشتراطات الملحق رقم (ز) في الكود الأساس، بالأقل يقل أصغر بعد للشيناج المسافة الصافية بين الأعمدة مقسومة على 20، ولا داعي أن يتعدى 45 سم، ويتم تحديد ارتفاع المقطع الأصغري بتحقيق شرط السهم بحسب فقرة الاشتراطات البعدية للجوائز ذات المقطع المستطيل في الكود، لكن نذكر بالملاحظة عن إمكان تقليل طول المجاز (إن كانت المسافات بين الأعمدة كبيرة) بإضافة أساس وسطي (أو أكثر) من الخرسانة العادية كما ورد في المقالة السابقة.

اشتراطات حديد التسليح:

في الكمرات يجب ألا تقل مساحة تسليح الشد (الناتج عن الانعطاف) في أي مقطع (كافة العلاقات هي بالوحدات المترية كغ، سم) عن القيمة الآتية: $As_{min} = \frac{9}{f_y} * b * d$ على أن يتم زيادة هذه النسبة بقيمة 20% إذا كان الجائز ضمن الإطارات المقاومة للزلازل بحسب الكود، ويمكن تخفيض المساحة السابقة في الجوائز ذات القطاع الأكبر مما هو مطلوب للمقاومة على ألا تقل عن 1.33 مرة مساحة التسليح المطلوب في المقطع الحرج، ولا عن ثلثي القيمة المحسوبة في العلاقة الأخيرة.



لا تزيد مساحة تسليح الشد في المقاطع أحادية التسليح عن نصف مساحة التسليح التوازنية: $\max A_s \leq 0.5 A_{s_b}$ يمكن زيادتها بحسب الكود إلى القيمة $0.75 A_{s_b}$ شريطة حساب السهم وعدم إجراء إعادة توزيع عزوم للجوائز المستمرة، ووضع كمية تسليح ضغط دنيا بحيث تتحقق $A_s - A'_s \leq 0.5 A_{s_b}$ ، علماً أن مساحة التسليح التوازنية تعطى بالعلاقة التالية في حالة مقطع مستطيل تسليح شد فقط:

$$A_{s_b} = \left(\frac{4550}{6300 + f_y} \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot b \cdot d \right)$$

أما في حالة مقطع مستطيل بتسليح شد مع ضغط فتعطى بالعلاقة الآتية:

$$A_{s_b} = \left(\frac{4550}{6300 + f_y} \cdot \frac{f'_c}{f_y} + \frac{A'_s}{b \cdot d} \cdot \frac{f'_s}{f_y} \right) \cdot b \cdot d$$

$$f'_s = 6300 \cdot \left(1 - \frac{d'}{d} \cdot \frac{6300 + f_y}{6300} \right) \leq f_y$$

يجب ألا يقل قطر التسليح الطولي عن 12مم، وعند استخدام أكثر من قطر لقضبان التسليح الطولي يجب ألا تزيد الفروقات عن درجتين وذلك لغاية القطر 20مم، مثلاً Ø12، Ø16، أما الأقطار الأكبر فيفضل استخدام القطر الذي يليها مباشرة، مثلاً Ø22، Ø25. وذلك لأن إجهادات التلاحم تكون أكبر حول السيخ ذي القطر الأكبر فيحصل نوع من عدم التناظر في الإجهادات، وأيضاً بسبب خطورة أن يدخل فولاذ السيخ ذي القطر الأقل بمرحلة السيلا في حين عدم وصول إجهاد السيخ ذي القطر



الكبير إلى إجهاد الخضوع (بيتون مسلح - 2 د. علاء الدين ناصر، د. يوسف
الربان).

بالنسبة للمسافات المسموحة بين الأسياخ، يجب ألا يقل الفراغ الأفقي e_h بين كل
سيخين متجاورين عن القيمة الآتية:

$$e_h \geq \max\{25\text{mm}; d_s; 1.5 \cdot d_{gr}\}$$

ولا يقل الفراغ الرأسي e_v بين كل سيخين متجاورين عن القيمة الآتية:

$$e_v \geq \max\{20\text{mm}; 0.75 \cdot d_s; d_{gr}\}$$

أما بالنسبة للتسليح العرضي، فيجب ألا يقل قطر التسليح العرضي (الأساور) عن
ثلث أكبر قطر للحديد الطولي ولا عن 6م، ويجب ألا تزيد المسافة الأفقية بين كل
فرعين متجاورين عن نصف الارتفاع الفعال ($d/2$) ولا عن 30سم، وفي حالة
الجوائز المسلحة على الضغط يجب أن تطوق الأساور كامل المقطع وألا تزيد
المسافة بينها عن 15 مرة قطر السيخ المضغوط، أو 20سم، أيهما أقل، وذلك
ضماناً لعدم تحنيب قضبان الحديد المضغوط.

عند استخدام أسياخ التسليح المكسحة يراعى أن تكون من الأسياخ الداخلية وبشكل
متناظر ضمن المقطع، وألا تقاوم أكثر من نصف الإجهادات المماسية.



أما في الملحق (ز) فإن الأساور يجب أن تكون مغلقة بتباعد لا يتعدى نصف البعد الأصغر للمقطع المتعامد أو 30سم.

بالنسبة للتسليح الثانوي، وهو التسليح غير المحسوب، ويوضع للتعليق أو للتقلص. تستخدم أسياخ التعليق لربط الكانات في القسم المضغوط من مقطع الخرسانة، بحيث تحقق الاشتراطات الآتية: القطر لا يقل عن نصف قطر أسياخ تسليح الشد الأكبر ولا يقل عن 10مم، وعددها لا يقل عن سيخين (أي سيخ في كل زاوية أسوارة)، ويستغنى عنها في حالة وجود تسليح طولي (كاستمرار التسليح الطولي في المساند)، ولا تقل مساحة أسياخ التعليق الكلية عن 20% من مساحة تسليح الشد الرئيسي.

أسياخ التقلص في الأوجه الجانبية الخارجية لجسد الجوائز، عندما يزيد ارتفاع الجائز عن 60سم أو تزيد مساحة مقطعه عن 0.2م²، أقطار قضبان التقلص باشتراطات أقطار تسليح التعليق نفسها، ولا يزيد تباعدها شاقولياً عن 30سم، ولا تقل نسبة مساحة تسليح التقلص عن 1% من المساحة الفعالة للمقطع (0.001b.d).

مركز المقطع البلاستيكي:

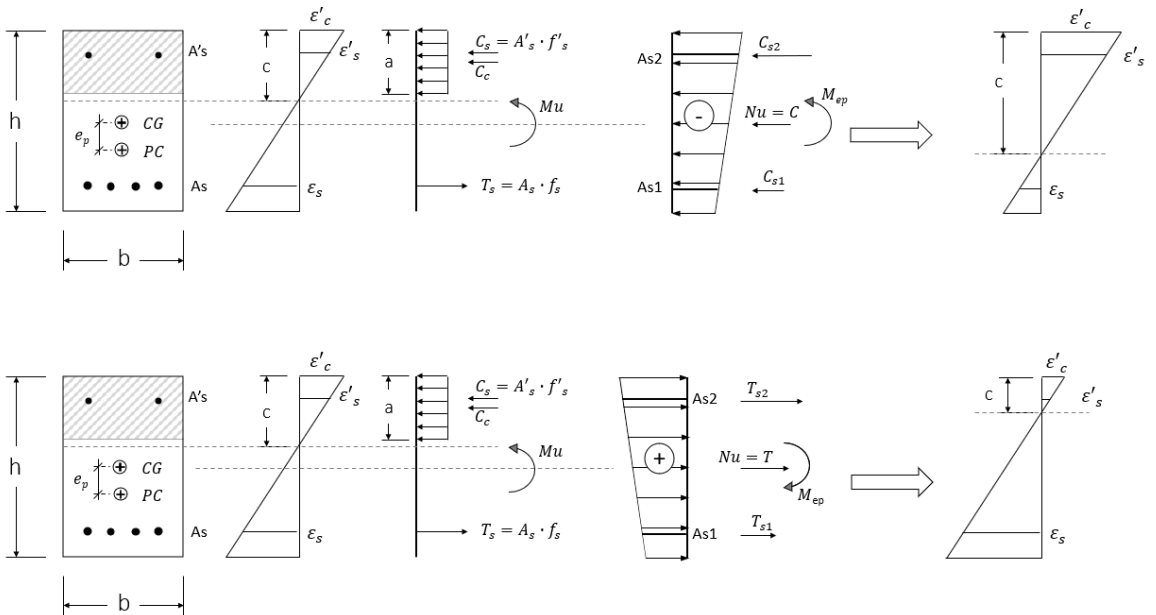
في حالة المقطع المسلح بشكل غير متناظر، وعند تطبيق قوة محورية، تنشأ لا مركزية نتيجة عدم تطابق مركز المقطع البيتوني مع مركز مقطع قضبان التسليح



الطولي. يتم حساب قيمة اللامركزية بموازنة قيم القوى الداخلية في المقطع، كما في (بيتون مسلح - 2 د. ريم خرتش).

منهجية دراسة الشيناجات وتصميمها:

كما هو متفق بأن الشيناجات يتطلب تصميمها مع اعتبار العزم (عزم الانعطاف) واعتبار القوة المحورية، وهذه الأخيرة يتم تطبيقها ضاغطة وشادة، في الشكل التالي توضيح حالة القوى الداخلية في المقطع للحالتين، في الأولى تطبيق القوة الضاغطة مع عزم الانعطاف الموجب، وفي الثانية تطبيقها شادة مع العزم (في منتصف الجانز):





نلاحظ من الشكل السابق، أن إضافة حديد للمنطقة المضغوطة بشكل متناظر للحديد (الذي تم حسابه على العزم الموجب فقط أي لمنطقة الشد)، لن تجعل المقطع مقاوماً لحالتي إضافة قوة الشد والضغط مع العزم (أي يتم الانهيار بالشد $\epsilon_s > f_y/E_s$ بحسب الشكل)، أي أن الملاحظة (التي يتكرر ذكرها) هي غير صحيحة عموماً، طالما أنها لم تُحسب لمقاومة العزم الموجب وقوة الشد المحورية معاً، والحالة نفسها أيضاً للعزم السالب عند المساند مع قوة الشد.

ولدراسة المقطع بالشكل الصحيح أرى أن تتم منهجية الدراسة بالطريقة الآتية: 1. دراسة المقطع على الانعطاف البسيط، 2. دراسة المقطع على قوة الشد المحورية فقط، 3. تحقيق المقطع بحسب مجموع قيم التسليح (السابقة) على الانعطاف المركب، بحسب التسلسل التالي للمنهجية:

1. تصميم المقطع على عزم الانعطاف البسيط، بعد افتراض أبعاد المقطع وتحديد قيم العزم والقص بحسب المقاطع الحرجة، يتم حساب مساحة حديد التسليح (منطقة الشد الناتج عن العزم) المطلوبة $As_{(1)}$.
2. تصميم المقطع على حمولة محورية شادة فقط، وحساب التسليح وفق العلاقة: $As_{(2)} = N_u / \Omega \cdot f_y$ ، حيث قيمة Ω تساوي 0.9 في هذه الحالة، ويتم توزيع قيمة المساحة الناتجة على طرفي المقطع، بحيث ينتج تسليح سفلي بقيمة: $0.5 \cdot As_{(2)}$ ، وتسليح علوي بقيمة: $0.5 \cdot As_{(2)}$.



3. بعد اختيار القضبان لمجموع قيم التسليح السابقة، يتم تحقيق المقطع على الانعطاف المركب (العزم وقوة الضغط المحورية)، وذلك إما بعمل مخطط الترابط الخاص بالمقطع أو من خلال طريقة العزم الوهمي للمقطع المسلح بشكل غير متناظر المعرض لقوة ضغط وعزم، كما هو في المرجع السابق (بيتون مسلح - 2 د. ريم خرتش)، وأيضاً في كتاب (الخرسانة المسلحة - 2 د. علاء الدين ناصر، د. يوسف الرغبان).

أما بالنسبة للدراسة على القص، فإنه لا بد من التذكير بأن يتم التدقيق على حالتي الشد والضغط، حيث تختلف مقاومة الخرسانة تبعاً لها بالشكل التالي، وتحقيق كافة الاعتبارات المطلوبة.

عند ترافق القص مع قوة ضغط حدية مقدارها N_u :

$$\tau_{cu} = 0.5 \left(1 + 0.007 \cdot \frac{N_u}{A_c} \right) \sqrt{f'_c} \quad (Kg/cm^2)$$

عند ترافق القص مع قوة شد ناظرية حدية مقدارها N_u :

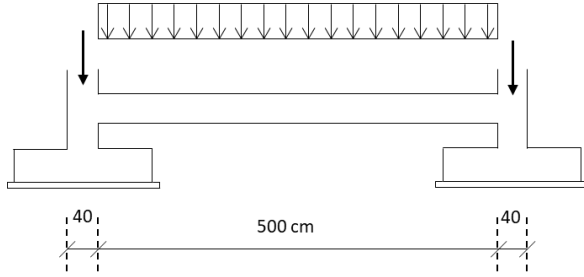
$$\tau_{cu} = 0.5 \left(1 - 0.03 \cdot \frac{N_u}{A_c} \right) \sqrt{f'_c} \geq 0 \quad (Kg/cm^2)$$

تطبيق عددي:

الغاية من هذا المثال العددي، هي تصميم الشيناج وإيجاد قيم التسليح بحسب تطبيق منهجية الدراسة، في الشكل التالي بفرض أنه يحمل حمولة جدار (خارجي) مصعدة



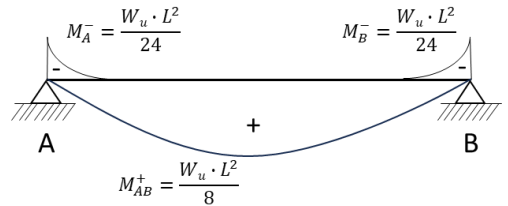
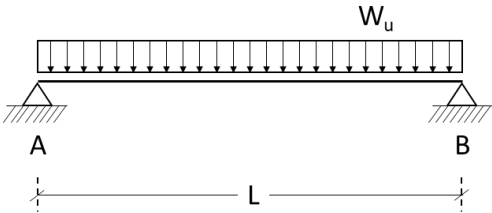
مع وزنه الذاتي $W_u=2.3\text{t/m}$ وأن حمولة العمود المصعدة الواسلة لمستوى الأساس $P_u=140\text{t}$ بافتراض قيمة التغطية لا تقل عن 4.5 سم للمقطع، وأن الصب تم بشكل مستمر مع رقاب الأعمدة، وبحسب مواصفات الحديد المستخدم والخرسانة:

$$f_c 200\text{kg/cm}^2, f_y 4000\text{kg/cm}^2, f_{y_{st}} 2400\text{kg/cm}^2$$


من شرط تحقيق السهم للجائز، $h=L/14 \Rightarrow 540/14=38.57\text{cm}$ ، ولا اعتبارات تحقيق قيمة تغطية خرسانية مناسبة لحديد التسليح، نعتبر المقطع بأبعاد 45 سم * 25 سم.

$$L=5.2\text{m} \Leftrightarrow L=\min(L=5.4\text{m}; 1.05*5.00=5.25; 5+0.5d=5.20)$$

لإيجاد العزم وردود الأفعال:





بفرض قيمة التغطية 4.8سم، وقطر حديد التسليح Ø14;16mm

$$d = 45 - (4.8 + 0.6 + 0.8) = 38.8\text{cm}; d' = 6.2\text{cm}$$

$$\min A_s = \frac{9}{f_y} \cdot b_w \cdot d \Rightarrow \min A_s = \frac{9}{4000} \cdot 25 \cdot 38.8 = 2.19\text{cm}^2$$

$$\max A_s = 0.5 \cdot A_{sb} = 0.5 \cdot \left(\frac{4550}{6300 + f_y} \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot b_w \cdot d \right)$$

$$\max A_s = 0.5 \cdot \left(\frac{4550}{6300 + 4000} \cdot \frac{200}{4000} \cdot 25 \cdot 38.8 \right) = 10.72\text{cm}^2$$

As(max)	As(min)	d	d'	b	h	f _c	f _y
10.72cm ²	2.19cm ²	38.8	6.2	25cm	45cm	200kg/cm ²	4000kg/cm ²

قيمة العزم الموجب في منتصف الفتحة $M^+_{AB} = 7.774\text{t.m}$

وقيمة العزم السالب الاعتباري للمساند الطرفية: $M^-_A = M^-_B = 2.591\text{t.m}$

وقيمة رد الفعل عند المساند $R_A = R_B = 5.98\text{t}$

يتم تصميم المقاطع وتحقيقها وفق المنهجية المقترحة للتصميم:

أولاً: تصميم المقطع على عزم الانعطاف، بالشكل التالي:



حساب قيمة العزم الحدي للمقطع بتعويض قيمة التسليح الأعظمي للمقطع:

$$\max M_u = \Omega \cdot \max A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\max A_s \cdot f_y}{2 \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot b_w} \right)$$

$$\begin{aligned} \max M_u &= 0.65 \cdot 10.71 \cdot 4000 \cdot \left(38.8 - \frac{10.72 \cdot 4000}{2 \cdot 0.85 \cdot 200 \cdot 25} \right) \\ &= 13026.85 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

حساب قيمة التسليح الرئيسي للعزوم (في وسط المجاز وعند المساند):

المقطع	Mu	Ao	α	γ	As1 (cm ²)
وسط المجاز	7.774	0.135	0.146	0.927	6.004
عند الأطراف	2.5913	0.045	0.046	0.977	1.899

ثانياً: تحديد قيمة الحمولة المحورية الضاغطة أو الشادة:

$$N_u = 0.1 \cdot (N_u + R_A) = 0.1 \cdot (140 + 5.98) = 14.598 \text{ t}$$

حساب قيمة تسليح الشد بحسب القوة المحورية الشادة من العلاقة:

$$A_{s2} = N_u / (\Omega \cdot f_y) = 14598 / (0.9 \cdot 4000) = 4.055 \text{ cm}^2$$

قيمة تسليح منطقة الشد في منتصف المجاز:

$$\begin{aligned} A_s &= A_{s1} + 0.5 \cdot A_{s2} \Rightarrow A_s = (6.004 + 0.5 \cdot 4.055) = 8.032 \text{ cm}^2 = \\ &(4\emptyset 16 = 8.04 \text{ cm}^2) \end{aligned}$$



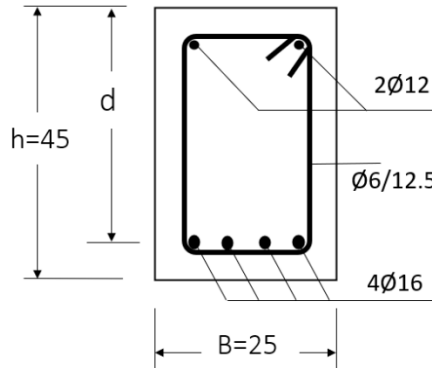
إذا المقطع حالياً هو بتسليح سفلي $A_s = 4\phi 16 = 8.04 \text{ cm}^2$ وتسليح علوي $A'_s = 2\phi 12 = 2.26 \text{ cm}^2$

نتحقق من تحقيق شرط تباعد الحديد السفلي في المقطع:

$$e_h = (25 - 2 \cdot 4.5 - 2 \cdot 0.6 - 4 \cdot 1.6) / 3 = 2.8 \text{ cm (OK)}$$

ثالثاً: تحقيق المقطع بحسب قيم التسليح على العزم وقوة الضغط المحورية بحسب

قيم التسليح الأخيرة.



ثم من خلال تصميم مخطط الترابط للمقطع وبحسب قيم التسليح من خلال تصميم شريحة إكسل للنقاط وتنظيمها ضمن جدول:

النقطة الأولى: إيجاد نقطة مقاومة المقطع لعزم الانعطاف البسيط، وهي بحسب العلاقة الآتية:

$$M_n = (A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_s) \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s \cdot f'_s \cdot (d - d')$$

$$a = (A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_s) / (0.85 \cdot f'_c \cdot b)$$



$$f'_s = 6300 \cdot \frac{x - d'}{x} \leq f_y$$

ولتحديد خط الصفر لمقطع مسلح بتسليح ثنائي بجل معادلة من الدرجة الثانية للعلاقة الآتية:

$$x^2 + \frac{6300 \cdot A'_s - A_s \cdot f_y}{0.85^2 \cdot f'_c \cdot b} \cdot x - \frac{6300 \cdot d' \cdot A'_s}{0.85^2 \cdot f'_c \cdot b} = 0 \Rightarrow x = 8.011 \text{ cm}$$

بتطبيق العلاقات السابقة نجد قيمة العزم للنقطة الأولى $M_n(1) = 11.293 \text{ t.m}$

ثم إيجاد نقطة الانهيار المتوازن النقطة (5):

$$x_b = \left[\frac{6300}{6300 + f_y} \right] \cdot d = \left[\frac{6300}{6300 + 4000} \right] \cdot 38.8 = 23.73 \text{ cm}$$

$$f_s = 6300 \cdot \frac{d - x_b}{x_b} \leq f_y$$

$$f'_s = 6300 \cdot \frac{x_b - d'}{x_b} \leq f_y$$

$$y = \beta_1 \cdot x \leq h; \text{ if: } f'_c \leq 28 \text{ Mpa} \Rightarrow \beta_1 = 0.85 \Rightarrow y = 0.85 \cdot x$$

$$N_n = 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot y + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_s$$

$$M_n = N_n \cdot e = 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot y \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{y}{2} \right) + A'_s \cdot f'_s \cdot \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s \cdot f_s \cdot \left(d - \frac{h}{2} \right)$$



بتطبيق العلاقات السابقة نجد:

$$Nn(5) = 62.6t, Mn(5) = 17.36t.m$$

وأيضاً نحدد النقطة الخاصة بالضغط المحوري للمقطع رقم 13 على المخطط

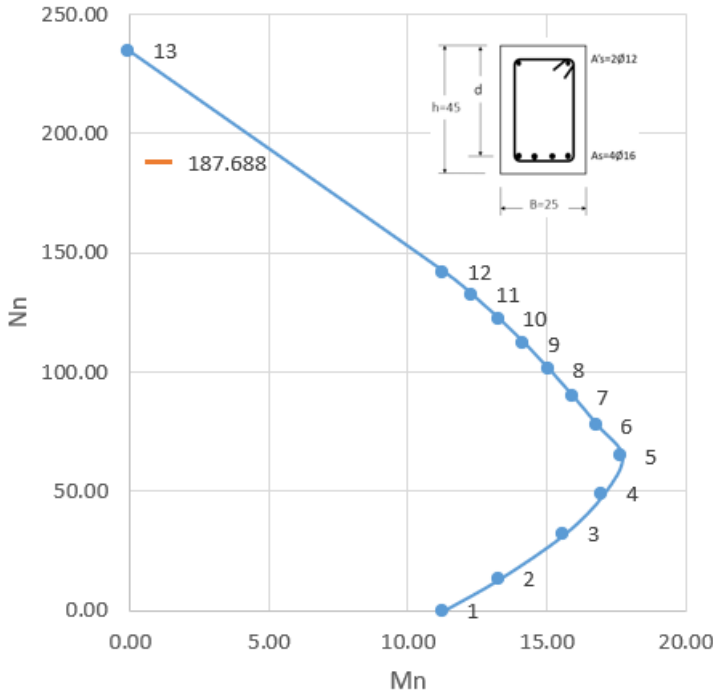
$$Nn(13) = 232.45t$$

ثم نحدد مجموعة من النقاط المساعدة في منطقة الشد حاكم ومنطقة الضغط حاكم

لرسم مخطط الترابط (القيم الإسمية) لمقطع الجائز وهو بالشكل الآتي:

مثلاً النقطة رقم 3 في المخطط: $Nn(3) = 30.24t, Mn(3) = 15.33t.m$

والنقطة رقم 9 في المخطط: $Nn(9) = 109.78t, Mn(9) = 13.87t.m$





من خلال مخطط الترابط، يتم تدقيق كافة النقاط الحرجة عليه، مثلاً النقطة منتصف الجائز بحسب قيمة العزم وقيمة القوة الضاغطة مع تأكيد قيمة Ω لتثبيت هذه النقاط على المخطط للقيم الاسمية:

$$\text{قوة الضغط المحورية والعزم: } Nu=14.598t, Mu = 7.774t.m$$

إن قوة الضغط تؤثر بشكل محوري ينشأ عنها عزم بسبب عدم تطبيقها في مركز المقطع البلاستيكي (راجع: بيتون مسلح - 2 د. ريم خرتش، منشورات جامعة الفرات 2023)، يتم إضافة هذا العزم للعزم الموجب:

$$e_p = \frac{h}{2} - \frac{0.85f'_c \cdot b \cdot h^2 \cdot 0.5 + A_s f_y \cdot d + A'_s f_y \cdot d'}{0.85f'_c \cdot b \cdot h + A_s f_y + A'_s f_y} = 1.62cm$$

$$Mu(e_p)=Nu \cdot e_p=14.598 \cdot 1.62 \cdot 10^{-2} = 0.237t.m \Rightarrow Mu=7.774+0.237 = 8.011t.m$$

تحديد قيمة عامل الأمان في الانعطاف المركب Ω بحسب الكود العربي السوري بالعلاقة الآتية:

$$0.65 \leq \Omega = 0.9 - 0.5 \cdot \left(\frac{N_u}{N_c} \right) \leq 0.9$$

$$\text{حيث } \Omega=0.862 \text{ بالتعويض } N_c=0.85 \cdot f'_c \cdot A'_c$$

أو بتطبيق العلاقة الثانية (راجع: بيتون مسلح - 2 د. علاء الدين ناصر، د. يوسف الرغبان، منشورات جامعة حلب 2021) وهذه العلاقة (مذكورة في الكود بشكل نصي) الآتية:

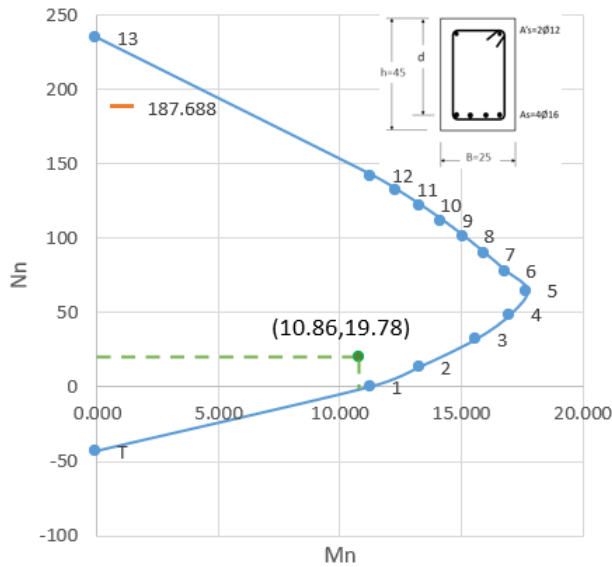


$$0.65 \leq \Omega = 0.65 + 0.25 \cdot \left(1 - \frac{N_u}{0.1 \cdot f'_c \cdot A'_c}\right) \leq 0.9$$

فنجدها: $\Omega=0.738$ وهي تمنح قيمة عامل أمان أكبر من القيمة السابقة، نثبت هذه النقطة على المخطط الاسمي لمقاومة المقطع بالشكل الآتي:

$$M_u = \Omega \cdot M_n \Rightarrow M_n = 8.011 / 0.738 = 10.86 \text{ t.m}$$

$$N_u = \Omega \cdot N_n \Rightarrow N_n = 14.598 / 0.738 = 19.78 \text{ t}$$



بتوقيعها على المخطط نجد أنها محققة.

حساب تسليح القص:

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.85 \cdot b_w \cdot d}$$



سأطبق العلاقة على أكبر قيمة للجهد القاطع، وعدم اعتبار أي إسهام للخرسانة، ⇨

$$\tau_u = 7.253 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \tau_u < \tau_{cu} = 0.72 * 200^{0.5} = 10.18 \text{ kg/cm}^2$$

المقطع يكفيه تسليح قص أصغري:

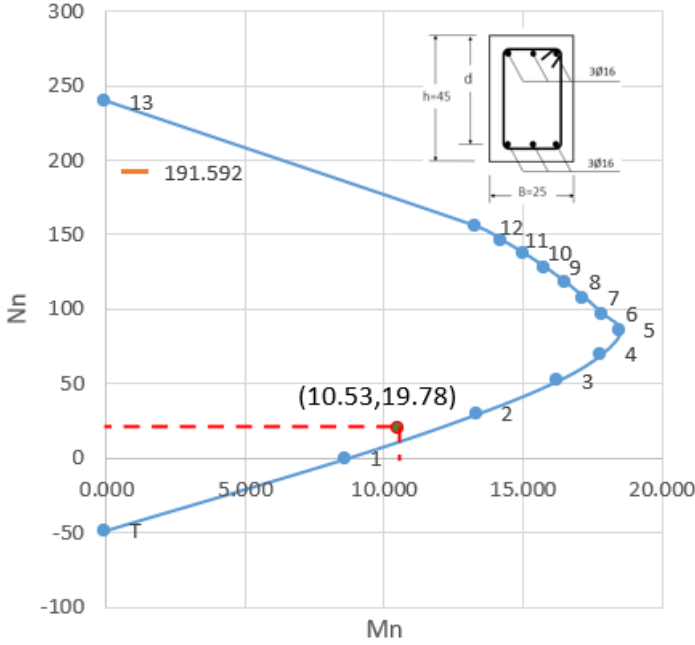
$$A_{st_{min}} = \frac{3.5}{f_y} \cdot b_w \cdot S$$

بتطبيق الاشتراطات الخاصة بقطر الأساور، وتباعدها $b/2 = 12.5 \text{ cm}$ بحسب متطلبات الملحق (ز) التي تم الإشارة لها في هذا البحث، أي نستخدم $\emptyset 6/12.5$ وبمقارنتها مع تسليح القص الأصغري، نجدها أيضاً محققة.

بحسب هذا المثال، نجد أنه قد تم تحقيق الأمان وفق الاشتراطات المطلوبة لتحميل المقطع، ومع ذلك فقد تم توفير في كمية الحديد (عن حالة تسليحه بشكل متناظر بتعميم قيمة مساحة حديد الشد لعزم الانعطاف البسيط) حيث إن تسليح المقطع بالانعطاف البسيط في هذا المثال، يحتاج قيمة

$$A_{s1} = 6.004 \text{ cm}^2 = (3\emptyset 16 = 6.03 \text{ cm}^2)$$

وبدراسة المقطع (الثاني) بالتسليح المضاعف (يجب إضافة قيمة التسليح المضاعف) ورسم مخطط الترابط، نجد أن النقطة الخاصة بمنصف الجائز هي أقل أماناً (قريبة من الحالة الحرجة) بالمقارنة مع التسليح وفق المنهجية التي تم الحل والتصميم وفقها، بحسب الشكل الآتي:



ومن خلال مقارنة كمية الحديد للحالتين نجد أن المقطع الثاني (مضاعفة حديد التسليح) يتطلب زيادة بحدود 17% عن حاجة المقطع مع عدم توفيره الأمان المطلوب بحسب المخطط الأخير، والأهم أيضاً أن المقطع الثاني لم يتم تصميمه على تحمل قوة الشد مع عزم الانعطاف كما هو متبع في المقطع الأول.

في النهاية:

الأبنية، كل الأبنية تحتاج الأساسات السليمة، لقد حاولت في هذا البحث أن أشير لمتطلبات التصميم المطلوبة للكمرات الأرضية، والتوجيه لضرورة اتباع الطريقة الصحيحة في دراسة قيم التسليح المطلوبة، بدل أن يتم مضاعفة قيمة حديد الشد



الناتج عن العزم البسيط لمقاومة القوى الشادة والضاغطة، لأنها كما بينت لن تعمل بالشكل الصحيح في منطقة الشد، مع إضافة قوة الشد كحمولة محورية (الانهيار بالشد)، مترافقة مع عزم الانعطاف الموجب، وبالطريقة نفسها أيضاً مع العزم السالب عند المساند. والغاية من هذه الدراسة هي تحقيق أمان المنشآت مع تحقيق التوفير الناتج عن هدر مضاعفة حديد تسليح منطقة الشد لعزم الانعطاف، وكل ما سبق تمّ حسب علاقات التصميم والتحقيق في الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة، ومجموعة المراجع المختصة.

المراجع:

- الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة – الطبعة السادسة 2024
- الملحق رقم 2 تصميم وتحقيق المباني والمنشآت المقاومة للزلازل – الطبعة الرابعة 2024
- الملحق رقم 3 التفاصيل والرسومات – الطبعة الرابعة 2018
- الملحق رقم 5 تصميم وتنفيذ الأساسات – الطبعة الثانية 2012
- الملحق رقم 16 لتصميم المباني العالية وتنفيذها – الطبعة الأولى 2018
- بيتون مسلح – 2 د. علاء الدين ناصر، د. يوسف الرغبان، منشورات جامعة حلب 2021



- الخرسانة المسلحة - 2 د. علاء الدين ناصر، د. يوسف الرغبان، منشورات جامعة حلب 2004
- بيتون مسلح - 2 د. ريم خرتش، منشورات جامعة الفرات 2023
- الكود الأمريكي (2025) ACI CODE-318-25