البيتون المسلح ١

الجزء الأول

جامعة البعث

كلية الهندسة المدنية

البيتون المســـلح ١

السنة الثالثة -مدني عام- الجزء الأول

الدكتور المهندس

عبد الرزاق ســـــالم

أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية

مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية

٢٠١٣-٢٠١٤

اللجنة العلمية:

الأستاذ الدكتور المهندس وليد ابراهيم
الأستاذ الدكتور المهندس علي الجراش
الأستاذ الدكتور المهندس عبدالرحمن العيسى

المدقق اللغوي:

د. عصام الكوسى

"حقوق الطبع و الترجمة و النشر محفوظة لمديرية الكتب و المطبوعات"

الفهرس

الموضوع	رقم الصفحة
١- مقدمة	١١
الفصل الأول : مقدمة عن البيتون المسلح	١٣
٢- ١ مقدمة	١٣
١- ٢ الصفات الفيزيائية والميكانيكية للبيتون المسلح	١٧
- مزايا البيتون المسلح :	١٧
- مساوئ البيتون المسلح	١٨
١-٢-١ فولاذ التسليح	١٩
القضبان الملساء	١٩
القضبان المحلزنة	١٩
١-٢-٢ الخصائص الميكانيكية للبيتون المتصلب	٢٢
آ- المقاومة المميزة للبيتون على الضغط	٢٢
ب- المقاومة المميزة للبيتون على الشد	٢٩
التجربة البرازيلية (الشد بالانفلاق)	٢٩
الانعطاف البسيط	٣٠
ج- معامل التشكل الطولي (معامل المرونة)	٣٠
د- معامل التشكل العرضي للبيتون (نسبة يواسون)	٣١
الفرضيات الأساسية الخاصة بالبيتون المسلح:	٣٢
مسائل	٣٤
الفصل الثاني : الانكماش و الزحف	٣٩
٢-١ الانكماش أو التقلص	٣٩
آ- الانكماش اللدن	٤٠

الموضوع	رقم الصفحة
ب- الانكماش الذاتي	٤٠
٢-١-١ الإجهادات الناتجة عن التقلص في المقاطع المسلحة تسليح متناظر	٤١
٢-١-٢ الإجهادات الناتجة عن التقلص في المقاطع المسلحة تسليح غير متناظر	٤٣
٢-١-٣ حساب الانكماش	٤٦
٢-٢ الزحف (الجريان)	٤٩
٢-٥-٢ تأثير الجريان (الزحف) و الانكماش في الأعمدة البيتونية المسلحة	٥٣
مسائل	
الفصل الثالث : طريقة حالات الحدود	٦٥
٣- ١ مقدمة	٦٥
٣-١-١ دراسة مراحل الحالة الإجهادية لعنصر من البيتون المسلح	٦٥
٣-١-٢ أشكال الانهيار في العنصر البيتوني المسلح	٦٨
حالة الانهيار التوازني	٦٨
حالة الانهيار دون التوازني	٧٠
حالة الانهيار فوق التوازني	٧٠
طرق تصميم مقاطع البيتون المسلح	٧١
طريقة إجهادات التشغيل (الطريقة الكلاسيكية أو المرنة أو طريقة الإجهادات المقبولة)	٧٢
طريقة الانكسار (الانهيار)	٧٥
طريقة حالات الحدود أو مايسمى بالطريقة الحدية	٧٥
أسس طريقة حالات الحدود	٧٦

الموضوع	رقم الصفحة
٣-٢-١ الفرضيات الأساسية	٧٦
٣-٢-٢ العوامل الحسابية	٧٧
عوامل تصعيد الحمولات	٨٢
التراكيب الأساسية للأحمال القصوى	٨٢
التراكيب الثانوية للأحمال القصوى	٨٣
عوامل تخفيض المقاومة	٨٦
٣-٣ دراسة المقاطع بالطريقة الحدية	٨٧
٣-٣-١ المقاطع العرضية المتناظرة	٨٧
٣-٣-٢ حالة الانهيار التوازني	٨٩
نسبة التسليح التوازنية	٩٠
٣-٣-٣-١ مقطع مستطيل أحادي التسليح	٩٠
النسبة الأعظمية	٩٠
العزم الحدي في الحالة التوازنية	٩٣
حالة المقطع المستطيل المسلح بتسليح ثنائي (شد وعلى الضغط)	٩٥
النسبة الأعظمية	٩٤
العزم الحدي في الحالة التوازنية	٩٦
حالة المقطع بشكل T المسلح بتسليح أحادي (شد فقط في الجسد)	٩٧
الحالة الاولى : المحور المحايد يقع ضمن بلاطة الضغط	٩٧
الحالة الثانية المحور المحايد تحت طاولة الضغط (يقطع الجسد)	٩٨
مسائل	١٠٦
الفصل الرابع : تصميم وتحقيق المقاطع المستطيلة	١٢٣
٤-١ تصميم وتحقيق المقاطع المستطيلة أحادية التسليح والخاضعة	١٢٣

الموضوع	رقم الصفحة
لانعطاف بسيط	
٤-١-١ العلاقات الأساسية	١٢٣
٤-١-٢ تصميم المقاطع المستطيلة أحادية التسليح	١٢٥
٤-٢ تصميم وتحقق المقاطع المستطيلة ثنائية التسليح والخاضعة لعزم انعطاف بسيط :	١٣٨
٤-٢-١ العلاقات الأساسية	١٤٢
٤-٢-٢ تصميم المقاطع المسلحة بتسليح ثنائي	١٤٢
٤-٢-٢-١ حساب التسليح الأعظمي في حالة المقطع مسلح بتسليح ثنائي	١٥٠
٤-٢-٣ تحقق المقاطع المستطيلة ثنائية التسليح	١٥١
مسائل	١٥٣
الفصل الخامس : تصميم وتحقيق المقاطع بشكل T	١٨٧
٥-١ مقدمة :	١٨٧
٥-٢ المقاطع بشكل T أحادية التسليح والخاضعة لا نعطاف بسيط	١٩١
٥-٢-١ المحور المحايد يقع ضمن بلاطة الضغط :	١٩٣
٥-٢-٢ المحور المحايد يقطع الجسد :	١٩٣
٥-٣ تصميم المقاطع بشكل T أحادية التسليح والخاضعة لا نعطاف بسيط	١٩٦
٥-٤ تحقق المقاطع بشكل T أحادية التسليح والخاضعة لا نعطاف بسيط	٢٠١
مسائل	٢٠٤
الفصل السادس : دراسة الأعمدة الخاضعة للضغط البسيط	٢٤١
٦-١ مقدمة	٢٤١
٦-٢ الاشتراطات البعدية للأعمدة المسلحة	٢٤٣

الموضوع	رقم الصفحة
٦-٣ اشتراطات التسليح	٢٤٤
٦-٤ أطوال التحنيب	٢٤٩
أ- الهياكل المسندة جانبا	٢٤٩
ب- الهياكل غير المستندة جانبا	٢٥٠
٦-٤-١ الطول الفعال (الحسابي) لأعمدة الهياكل المسندة جانبا	٢٥٠
٦-٤-٢ الطول الفعال (الحسابي) لأعمدة الهياكل غير المسندة جانبا	٢٥١
الأعمدة القصيرة والأعمدة الطويلة	٢٥٢
حساب الأعمدة في الأبنية السكنية	٢٥٤
تصميم وتحقيق الأعمدة الخاضعة للضغط البسيط	٢٥٦
٦-٧-١ العلاقات الأساسية	٢٥٦
آ- العمود مسلح بأساور عادية	٢٥٦
ب- العمود مسلح بأساور حلزونية (المطوقة)	٢٥٨
٦-٧-٢ تصميم الاعمدة الخاضعة لضغط بسيط	٢٦٠
٦-٨ تخفيض الاحمال الحية في الأبنية الطابقية	٢٦٢
مسائل	٢٦٤
الفصل السابع : الالتحام وشروط الإرساء	٢٨٤
مقدمة :	٢٨٤
إجهادات التماسك (أو التلاحم):	٢٨٦
أطوال الإرساء وفقاً للكود العربي السوري	٢٨٧
طول التثبيت الأساسي في حالة الشد (التسليح المستقيم) :	٢٨٧
آ- الأسياخ ذات النتوءات:	٢٨٧
ب- الأسياخ الملساء:	٢٨٩

الموضوع	رقم الصفحة
طول التثبيت الأساسي في حالة الضغط (التسليح المستقيم) :	٢٩٢
آ- الأسياخ ذات النتوءات:	٢٩٢
ب- الأسياخ الملساء:	٢٩٢
أشكال العكفات النظامية:	٢٩٥
التحقق من التماسك وإيقاف قضبان التسليح:	٢٩٦
التحقق في حالة قضبان تسليح الشد الموجبة :	٢٩٦
I- نقاط إجهادات الشد القصوى :	٢٩٧
II - نقاط انعدام العزم :	٢٩٧
III - النقاط عند المساند غير المستمرة :	٢٩٨
التحقق في حالة قضبان تسليح الشد السالبة :	٢٩٨
٧-٦ وصل القضبان	٢٩٨
٧-٧ إيقاف بعض قضبان الشد الرئيسي وفق مخطط العزم	٢٩٩
٧-٨ التباعد بين قضبان التسليح:	٣٠٠
طبقة التغطية لفولاذ التسليح:	٣٠١
الملحق	٣٠٣
المراجع	٣١٥
المصطلحات العلمية	٣١٧

مقدمـــــــة

يعد البيتون المسلح من أكثر المواد الإنشائية شيوعاً في معظم أنحاء العالم، نظراً لتوافر المواد الضرورية لصناعة البيتون ورخص ثمنها. لذلك فإن مقرر البيتون المسلح من أهم المقررات التي يجب أن يتعلمها الطالب في كلية الهندسة المدنية بعامة، وفي الهندسة الانشائية بخاصة.

البيتون المسلح عبارة عن مادة مركبة من مادتيين ، البيتون وفولاذ التسليح ، فالبيتون هومادة غير متجانسة لأنه يتشكل من مجموعة مواد ذات خصائص متغيرة ، هذا جعل تصميم منشآت البيتون المسلح يعتمد على خلاصة كبيرة للابحاث المتطورة والتجارب العلمية، التي أجريت لمعرفة حقيقة سلوك هذه المادة. ونتيجة للأبحاث العلمية وضعت أسس علمية وتوصيات للاعتماد عليها في تصميم المنشآت البيتونية المسلحة ، فتم إصدار الأنظمة الخاصة لحساب العناصر المصنوعة من البيتون المسلح وتصميمها في أكثر البلدان. في سورية وضع كود خاص بالقطر العربي السوري وفق الظروف المحلية يضمن التصميم الاقتصادي والآمن للمنشآت البيتونية المسلحة.

يتناول الجزء الاول من هذا الكتاب الطرق المتبعة لتصميم المقاطع البيتونية المسلحة وفق الأسس الواردة في الكود العربي السوري والتي تفيد الطالب والمهندس في الحياة العملية قدر الإمكان لمساعدتهم في دراسة وتصميم المنشآت المصنوعة من البيتون المسلح.

ويأمل المؤلف أن يفي الكتاب بالغاية التي وضع الكتاب لأجلها ويساعد الطلاب في فهم المقرر.

نرجو من الزملاء أن لا يبخلو علينا بملاحظاتهم وأن يقدموا مقترحاتهم لإغناء هذا الكتاب ولتلافي النواقص جميعها أو العيوب التي يمكن أن تكون موجودة ونقدم الشكر سلفاً لكل من يبدي ملاحظة أو تعليقاً على هذا الكتاب .

المؤلف

الفصل الأول

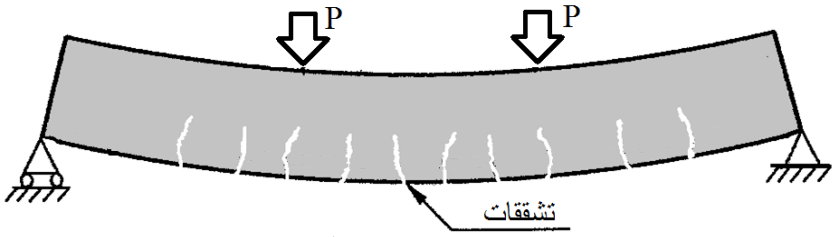
مقدمة عن البيتون المسلح

Reinforced Concrete

١-١ مقدمة :

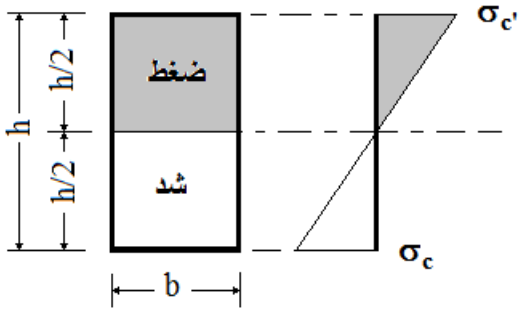
يعد البيتون المسلح من أكثر المواد الإنشائية شيوعاً واستعمالاً في سورية و معظم أنحاء العالم ، وذلك لتوفره والرخص النسبي للمواد المكونة له بالإضافة إلى سهولة التصنيع والتنفيذ. يستخدم البيتون المسلح في إنشاء الأبنية والجسور ، الجدران الاستنادية، الأنفاق، الخزانات والسدود والعديد من المنشآت الأخرى.

في البداية استخدم البيتون العادي (بدون تسليح) بشكل محدود ، لأن مقاومتة جيدة على الضغط و ضعيفة على الشد ، حيث تبلغ مقاومته على الشد 1/10 من مقاومته على الضغط تقريباً ، فالجائز المصنوع من البيتون العادي والمحمل بقوتين P كما في الشكل (١-١) ومع ازدياد قيمة القوى المطبقة، سينهار بعد تطور التشققات في المنطقة المشدودة نتيجة وصول الإجهادات الشادة إلى القيمة التي يتحملها البيتون من دون وصول الإجهادات في المنطقة المضغوطة إلى القيمة التي يتحملها البيتون. فإذا كان البيتون يتحمل إجهادات شادة تساوي 3Mpa كحد أقصى وبالتالي يتحمل إجهادات ضاغطة 30Mpa، فإن أكبر عزم انعطاف يمكن أن يتحمله المقطع المصنوع من البيتون العادي



الشكل (١-١) جائز مصنوع من البيتون العادي (بدون تسليح)

(من دون تسليح) يحسب وفق قوانين مقاومة المواد من أجل المقطع المستطيل ، ارتفاعه h وعرضه b



$$\sigma = \pm\frac{M.y}{I} \quad , \quad y = \frac{h}{2} \quad I = \frac{b.h^3}{12}$$

$$\sigma = \pm\frac{M.\frac{h}{2}}{\frac{bh^3}{12}} \Rightarrow \sigma = \pm\frac{6M}{b.h^2} \Rightarrow M = \pm\frac{\sigma.b.h^2}{6}$$

من أجل الإجهادات الشادة :

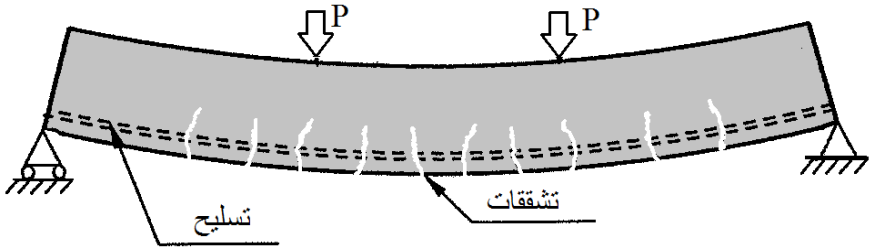
$$\sigma_c = 3Mpa \Rightarrow M = \frac{3b.h^2}{6} = \frac{b.h^2}{2} \quad N.m$$

من أجل الإجهادات الضاغطة :

$$\sigma_c^{'} = 30Mpa \Rightarrow M = \frac{30b.h^2}{6} = 5b.h^2 \quad N.m$$

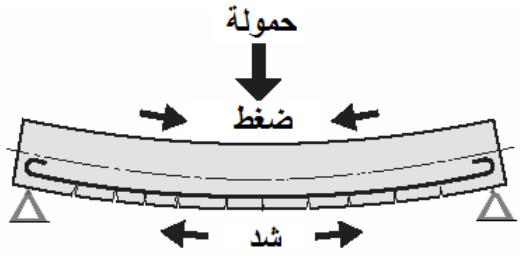
وبالتالي لا يمكن تحميل الجائز حمولات تولد عزم انعطاف أكبر من $\frac{b.h^2}{2}$ N.m بسبب وصول الإجهادات في المنطقة المشدودة إلى الحد الأقصى الذي يتحمله البيتون وتكون الإجهادات في الجزء المضغوط أقل بكثير من الحد الأقصى الذي يتحمله البيتون على الضغط وبهذا يكون جزء من المقطع لا يزال قادراً على تحمل قوى أكبر، بينما جزء آخر لا يمكن أن يتحمل أية قوى إضافية .

للاستفادة من كامل قدرة المقطع يمكن تقوية المنطقة المشدودة بقضبان فولاذية، الشكل (١-٢) حيث يعمل الفولاذ على مقاومة الإجهادات الشادة ، والبيتون على مقاومة الإجهادات الضاغطة .

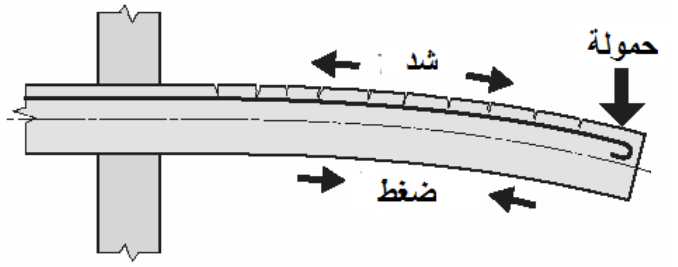


الشكل (١-٢) جائز من البيتون المسلح

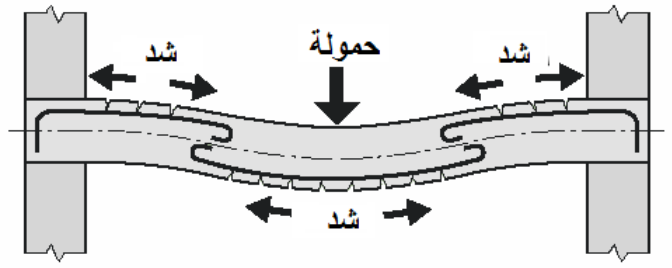
توضع القضبان الفولاذية في المنطقة المعرضة لأقصى إجهادات شادة أي عند الحافة السفلية للجائز مع تأمين حمايته من العوامل الخارجية وذلك بإبعاده عن الحافة بمقدار معين يسمى طبقة التغطية. تم اختيار الفولاذ للتقوية كون مقاومته للشد عالية جداً وتساوي 140-100 مرة مقاومة الشد للبيتون، و أن التماسك بين الفولاذ والبيتون فعال وجيد. إن البيتون والفولاذ يعملان معاً بشكل جيد في المنشآت حيث إن محاسن مادة تغطي مساوئ مادة أخرى.



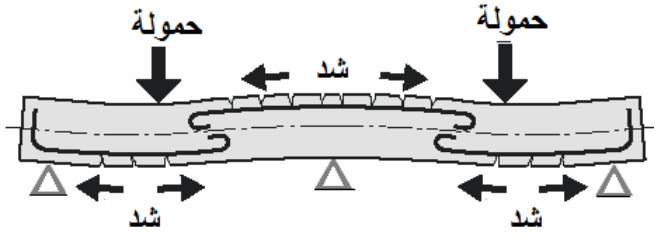
الشكل (١-٣) جائز بسيط



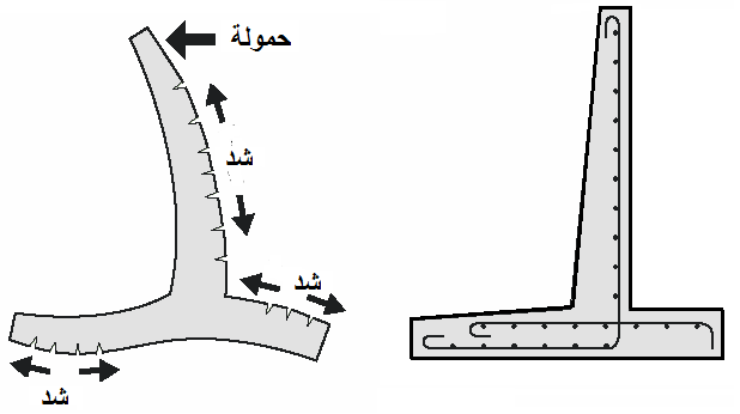
الشكل (١-٤) جائز ظفري



الشكل (١-٥) جائز موثوق من الطرفين



الشكل (١-٦) جائز مستمر



الشكل (١-٧) جائز مستمر

الأشكال من (١-٣) وحتى (١-٧) توضح أماكن الشد والضغط وأماكن التسليح المشدود

الجدول (١-١) يوضح خصائص البيتون والفولاذ.

الجدول (١-١) خصائص البيتون والفولاذ

الخاصية	البيتون	فولاذ التسليح
مقاومة الشد	ضعيف	جيد
مقاومة الضغط	جيد	جيد ولكن يحدث انبعاج في المقاطع النحيفة
مقاومة القص	متوسط	جيد
الديمومة	جيد جداً	ضعيف ويتآكل إذا كان غير محمي
مقاومة الحريق	جيد	ضعيف وتتغير مقاومته سريعاً في درجات الحرارة العالية

يتشكل البيتون بشكل أساسي من الإسمنت ، الحصويات الناعمة والخشنة ، الرمل والماء(70%-60% حصويات خشنة وناعمة، 30%-40% عجينة إسمنتية ، 2%-1% فراغات) حيث تخلط المواد بنسب خلط مدروسة لتعطي المزيج بعد تصلبه مادة مقاومة تتمتع بخصائص فيزيائية وميكانيكية تميزه من باقي مواد الإنشاء العادية المعروفة كالحجارة والخشب والفولاذ.

١-٢ الصفات الفيزيائية والميكانيكية للبيتون المسلح:

- **مزايا البيتون المسلح :**

☒ القدرة على الاحتفاظ بالمقاومة : تبقى مقاومته مستقرة وثابتة نسبياً مع مرور الزمن ، و يعود ذلك إلى فقدان التفاعل الكيميائي بين مكونات البيتون وإلى الالتحام الجيد بين الفولاذ والبيتون .

☒ إن خاصة الالتحام الجيد بين البيتون وقضبان التسليح ، هي إحدى الصفات الهامة في البيتون المسلح.

☒ مرونة الاستعمال في البيتون المسلح فالبيتون مادة لزجة يسهل تكييفها بحسب الحاجة ، وهذا يمكن تأمينه من خلال استخدام قوالب خشبية أو معدنية .

- ☒ الصيانة المطلوبة معدومة إلى حد ما. حيث إن البيتون يغلف الفولاذ وبالتالي يحميه من الصدأ على عكس المنشآت المعدنية التي بحاجة إلى دهان باستمرار.
- ☒ البيتون يقاوم التأثيرات الكيميائية والاهتراء والتآكل إذا تم إدخال بعض المواد الخاصة.
- ☒ يمكن تكييف البيتون بصنع واجهات مزخرفة لغايات تزينية باستخدام بعض أنواع الحصى الملونة .
- ☒ إن طريقة صنع البيتون لا يتطلب خبرة واسعة بعكس المنشآت المعدنية .

- **مساوئ البيتون المسلح :**

- ☐ مقاومة البيتون على الضغط ضعيفة بالنسبة لمقاومة الفولاذ ، وهذا يؤدي إلى زيادة في أبعاد العناصر وبالتالي زيادة في الوزن الذاتي وبالتالي كبر الأساسات.
- ☐ تأثر البيتون المصبوب حديثا بالحرارة والصقيع و يمكن التغلب على تأثير التمدد الناتج عن الحرارة بترك فواصل بين العناصر وفق الآتي:

  ٤٥ متر في المناطق عالية الرطوبة،

  ٤٠ متر في المناطق الرطبة،

  ٢٥متر في المناطق متوسطة الرطوبة،

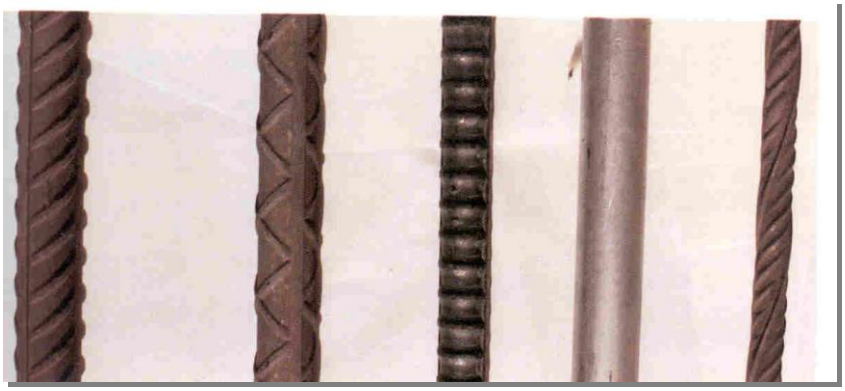
  ٢٠ متر في المناطق الجافة.
- ☐ تأثر البيتون بالمواد الكيميائية المنحلة بالماء،(يمكن التغلب على تأثير المواد الكيميائية بإضافة مواد خاصة).
- ☐ صعوبة إجراء التعديلات في المقاطع البيتونية. إذ لا يمكن إجراء أي تغيير بعد تصلب البيتون إلا بالهدم.
- ☐ بسبب ضعف مقاومة البيتون على الشد تظهر شقوق شعرية في أثناء مراحل التحميل المختلفة وهذا يؤثر في استعمال البيتون في المنشآت المائية كالخزانات وغيرها.

١-٢-١ فولاذ التسليح Reinforcement :

تستخدم قضبان من الفولاذ بأقطار وأشكال مختلفة لمقاومة إجهادات الشد بشكل أساسي أو تقوية منطقة البيتون المضغوط. يمكن أن تكون من حيث المظهر قضبان ملساء أو محلزنة كما هو موضح في الشكل (١-٣) أومن حيث المقاومة ، فولاذ مطاوع أو عالي المقاومة . يتميز الفولاذ المطاوع بالمرونة المطلوبة للثني على عكس الفولاذ عالي المقاومة الذي يصعب ثنيه بسهولة للحصول على الأشكال المطلوبة .

- **القضبان الملساء Plain bars :**

عبارة عن قضبان ذات مقطع دائري سطحها أملس لذلك لا تمتلك مقاومة كافية على التماسك مما يتوجب تزويد نهاياتها بعكفات إلا أنها تمتاز بسهولة ليها ووصلها باللحام. يبلغ حد مرونتها 240Mpa . تستخدم غالبا في التسليح العرضي لمقاومة إجهادات القص.



الشكل (١-٣) انواع قضبان التسليح

- **القضبان المحلزنة :**

وهي قضبان مستديرة المقطع يحتوي سطحها على نتوءات بأشكال مختلفة لزيادة التماسك مع البيتون . وقد تكون طرية أو قاسية وفق طريقة تشكلها . يحدد قطر القضيب المحلزن حسب شكل النتوءات ، فإذا كانت النتوءات مستمرة يؤخذ القطر

النظري للدائرة التي تعطي الوزن نفسه للمتر الطولي و إلا فيؤخذ أصغر مقطع للقضيب.

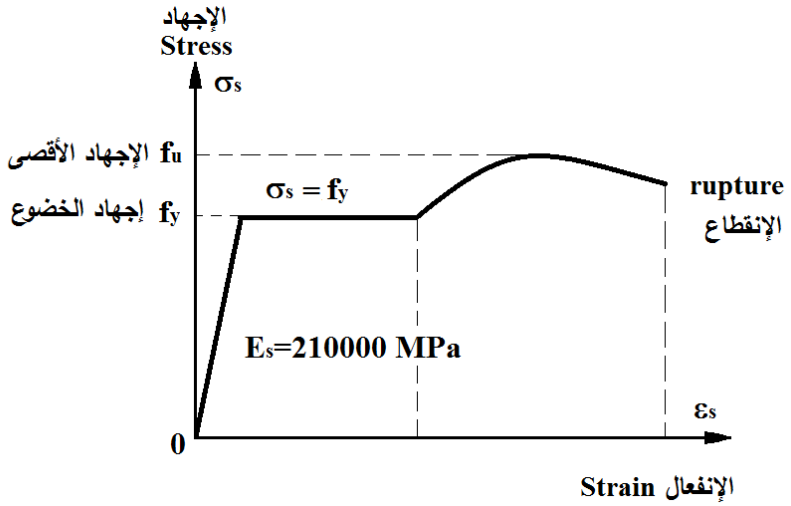
تحدد مواصفات الفولاذ من خلال العلاقة بين الإجهاد والتشوه (منحني الإجهاد–التشوه) والتي تختلف حسب المكونات الكيميائية للمعدن وبنيته وتكنولوجيا صنع الفولاذ. وأهم مايميز هذه العلاقة النقاط الآتية :

أ– إجهاد الخضوع f_y وهو الإجهاد الأصغري اللازم لبدء حدوث تشوهات لدنة من دون زيادة في الإجهادات. في حالة ، قد تكون هذه النقطة واضحة على منحني الإجهاد–التشوه (نقطة التحول من الحالة المرنة إلى الحالة اللدنة) وإلا نستخدم إجهاد الخضوع الاصطلاحي (إجهاد الضمان) الذي يترك 0.2% من الانفعالات الدائمة.

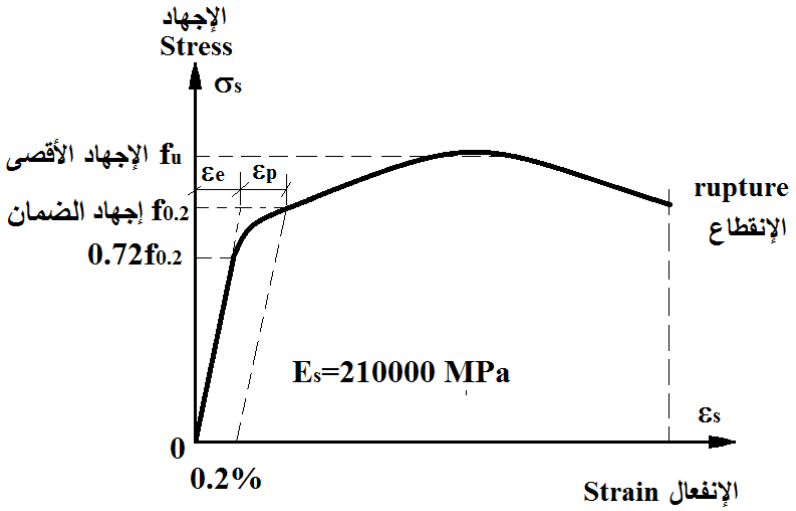
ب– مقاومة الشد القصوى f_{SU} وهي الإجهاد الموافق لأكبر حمولة تسبق انهيار العينة.

ت– النسبة المئوية للاستطالة عند الانقطاع.

يعطي الكود العربي السوري المنحنيات الافتراضية التي يمكن اعتمادها في التصميم للفولاذ المستخدم في التسليح الشكل (١–٤) و (١–٥) . الجدول (١–٢) يبين أنواع الفولاذ المتوافر.



الشكل (١–٤) المنحني الافتراضي للإجهاد والانفعال للفولاذ الطري العادي والعالي المقاومة (بشكل متناظر عكسيا)



الشكل (١-٥) المنحني الافتراضي للإجهاد والانفعال للفولاذ المعالج على البارد

الجدول (١-٢) أنواع الفولاذ

القضبان	نوع الفولاذ والرمز	الحد الأدنى لمقاومة الانقطاع MPa	الحد الأدنى لإجهاد الخضوع أو 2% إجهاد الضمان MPa	النسبة المئوية الدنيا للاستطالة عند الانقطاع
ملساء	فولاذ طري Φ	370	240	20
ذات نتوءات	فولاذ طري متوسط لمقاومة H	440	300	16
عالية المقاومة ذات نتوءات	فولاذ طري عالي المقاومة T	500	400	12
عالية المقاومة ذات نتوءات	فولاذ قاس عالي المقاومة معالج على البارد T	500	400	10

قد يتوافر في الأسواق $f_y = 280MPa$ أملس و $f_y = 360MP$ ذو نتوءات.

ملاحظات :

١- في مناطق الزلزال : لا يجوز اختيار فولاذ تسليح ذو مقاومة مميزة (حد الخضوع للشد) أكبر من 400MPa ولا أقل من 240MPa و في حال زاد حد الخضوع للفولاذ المختبر على 400MPa يمكن قبوله شريطة:

- أن لا يقل إجهاد الانقطاع لكل عينة عن 1.25 مرة حد المرونة للعينة ذاتها .
- لا تزيد نسبة العينات التي يزيد حد مرونتها على 460MPa على 5% من مجموع العينات المختبرة عندما يزيد عدد العينات على 30 عينة.
- في حال اختبار عينتين فقط ، فيسمح للتبسيط بأن يكون حد المرونة لأحدى العينتين أكبر من 460MPa
- إذا تعدى حد المرونة للعينتين القيمة 460MPa يتم اختبار أربع عينات أخرى ولا يسمح بأن يزيد حد المرونة على 460MPa سوى لعينة واحدة من العينات الأربع.
- وفي جميع الحالات يجب أن لا تقل الاستطالة النسبية عن 12%

الأقطار العملية للقضبان المستعملة مقدرة بالميليمتر هي

6 – 8 – 10 – 12 – 14 – 16 – 18 – 20 – 22 - 25 -28 – 30 – 32- 40

١-٢-٢ الخصائص الميكانيكية للبيتون المتصلب :

يعتمد الوزن الحجمي للبيتون من دون تسليح $24KN/m^3$ أما الوزن الحجمي للبيتون المسلح فهو $25KN/m^3$

آ- المقاومة المميزة للبيتون على الضغط:

تحدد المقاومة المميزة للبيتون على الضغط f_c' من خلال اختبار عينات قياسية مكعبية أو موشورية أو اسطوانية الشكل بعد مرور ٢٨ يوم من حفظ العينات تحت الماء في درجة حرارة (2±20) درجة مئوية.

يختار المهندس المصمم للمنشأ باختيار جودة البيتون التي تمثل المقاومة المميزة بالضغط f_c' بما يتناسب مع طبيعة المنشأ المراد تنفيذه. يمكن الاستعانة بالجدول (١-٣) لاختيار المقاومة المميزة المناسبة .

الجدول (١-٣) درجات جودة البيتون واستعمالاتها المناسبة

درجة الجودة	المقاومة المميزة بالضغط $f_c^{'}$ MPa	مجال الاستعمال
C5	5	ردم
C8	8	نظافة تحت الأساسات
C10	10	بيتون عادي (أساسات ، جدران .....)
C12	12	
C15	15	بيتون مسلح
C18	18	
C20	20	
C25	25	
C30	30	بيتون مسلح أو بيتون مسبق الإجهاد
C35	35	
C40	40	
C45	45	

- تشير المقاومة المميزة للبيتون على الضغط إلى جودة البيتون المستخدم
- **C20** المقاومة المميزة على الضغط للبيتون تساوي **20MPa**

وللوصول إلى المقاومة المميزة المعتمدة في التصميم لا بد من تحديد كمية المواد التي تشكل البيتون. يمكن أن يتم ذلك من خلال :

I – تصميم خلطة بيتونية لتحديدالكميات المثالية اللازمة من الإسمنت والماء والرمل والبحص (الناعم والخشن) لإنتاج متر مكعب من البيتون ذات قابلية تشغيل معينة وذات مقاومة متوسطة $f_{cm}^{'}$ في الضغط للحصول على مقاومة مميزة $f_c^{'}$ اعتماداً على مبادئ علم الإحصاء الرياضي حيث :

$$f_{cm}^{'} = f_c^{'} + k.S \qquad \textbf{(1-1)}$$

k : معامل يتوقف على عدد الاختبارات وعلى احتمال أن تكون فقط نسبة 10% من الاختبارات أقل من المقاومة المميزة وتعطى قيمته بالجدول (١-٤).

S : الانحراف المعياري ويحسب من

$$S = \sqrt{\frac{\sum (f_i' - \bar{f}_i')^2}{n-1}} \qquad \textbf{(1-2)}$$

$\bar{f}_i'$: وسطي المقاومات للعينات الاسطوانية المختبرة (قطرها ١٥سم وارتفاعها ٣٠سم)

$$\bar{f}_i' = \frac{\sum f_i'}{n} \qquad \textbf{(1-3)}$$

n : عدد عينات الاختبار ، بحيث لا تقل عن خمس عشرة عينة في حالة تصميم الخلطة ولا تقل عن ثلاثين عينة في حالة ضبط الجودة خلال التنفيذ. تهمل العينات الشاذة (وهي العينات التي لا تتعدى نسبة احتمال حدوثها 1%) أي k=2.33.

الجدول (١-٤) قيمة المعامل k

عدد الاختبارات	نسب احتمال حدوث مقاومات اقل من المقاومة المميزة					
	2.5%	5%	10%	15%	20%	25%
3	3.18	2.35	1.64	1.25	0.98	0.76
4	2.78	2.13	1.53	1.19	0.94	0.74
5	2.57	2.02	1.48	1.16	0.92	0.73
6	2.45	1.94	1.44	1.13	0.91	0.72
7	2.36	1.90	1.42	1.12	0.90	0.71
8	2.31	1.86	1.40	1.11	0.89	0.71
9	2.26	1.83	1.38	1.10	0.88	0.70
10	2.23	1.81	1.37	1.09	0.88	0.70
15	2.13	1.75	1.34	1.07	0.87	0.69
20	2.09	1.73	1.32	1.06	0.87	0.69
25	2.06	1.71	1.32	1.06	0.86	0.68
30	2.04	1.70	1.31	1.05	0.85	0.68
∞	1.96	1.65	1.28	1.04	0.84	0.67

ملاحظة ١:

تستعمل العلاقات السابقة إذا كان تصنيع البيتون يتم بوساطة مجبل مركزي يحوي سجلاتٍ لنتائج كسر عينات اسطوانية بعدد لا يقل عن ثلاثين اسطوانة ، مأخوذة من البيتون

المصنوع من المواد نفسها التي سيتم استعمالها، وضمن فترة لا تزيد عن ستة أشهر، وتحت إشراف مماثل، وبشرط $S \geq 3Mpa$ ودرجة جودة البيتون لاتقل عن C15 وبالتالي تحسب المقاومة المتوسطة

$$f'_{cm} = f'_c + 1.31.S_{30}$$

حيث S_{30} : الانحراف المعياري لعدد من العينات لايقل عن ثلاثين.

ملاحظة ٢:

أما إذا كان تصنيع البيتون لا يتم وفق الشروط المبينة في الملاحظة ١ (مثلاً عدم وجود سجلات لنتائج الكسر) فيمكن حساب المقاومة المتوسطة التي يجب الحصول عليها لبيتون ذات جودة لا تقل عن C15 من العلاقة :

$$f'_{cm} = 1.25f'_c \ MPa \quad \text{أو} \quad f'_{cm} = f'_c + 8 \ MPa$$

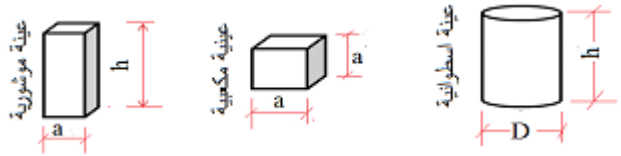
تحدد المقاومة المميزة للبيتون على الضغط من خلال اختبار عينات اسطوانية عمرها ٢٨ يوم وقطرها ١٥سم وارتفاعها ٣٠سم بتعريضها لحمل الكسر

ملاحظة ٣ : تهمل العينات الشاذة (وهي العينات التي لا تتعدى نسبة احتمال حدوثها 1%) أي k=2.33

الحد الأعلى $f'_{imax} = f'_{cm} + 2.33.s$

الحد الادنى $f'_{imin} = f'_{cm} - 2.33.s$

في كثير من الأحيان يتم اختبار البيتون على الضغط باستخدام عينات بأبعاد غير الأبعاد المعطاة للاسطوانة و للحصول على المقاومة المميزة للبيتون على الضغط لابد من ضربها بعامل التحويل المعطى في الجدول (١-٥)



الشكل (١-٦) شكل العينات المختبرة

الجدول (١-٥) عوامل تصحيح الشكل

شكل العينة	D mm	h mm	a mm	معامل التصحيح
اسطوانية	150	300	-	1
	100	200	-	0.97
	250	500	-	1.05
موشورية	-	300	150	1
	-	450	150	1.05
	-	600	200	1.05
مكعبية	-	-	100	0.78
	-	-	150	0.8
	-	-	200	0.83
	-	-	300	0.90

إذا تم كسر العينات البيتونية قبل مرور ٢٨ يوم، يجب تصحيح المقاومات من أجل العمر وفق القيم الواردة في الجدول (١-٦)

الجدول (١-٦) عوامل تصحيح مقاومة الضغط المميزة حسب العمر

العمر باليوم	نوع الإسمنت	
	إسمنت بورتلاندي عادي	إسمنت بورتلاندي سريع التصلب
3	2.5	1.8
7	1.5	1.3
28	1	1
60	0.95	0.97
90	0.90	0.95
360 او أكثر	0.80	0.90

II - أما في حالة عدم وجود اختبارت مسبقة لتحديد المقاومة المميزة للبيتون على الضغط فيمكن الاعتماد على القيم الواردة في الجدول (١-٧) و (١-٨) بشرط أن يتم خلط البيتون وصبه ومعالجته وفق الشروط الفنية المطلوبة.

الجدول (١-٧) مقاومة الضغط المميزة المحتملة في حالة البيتون المراقب بشكل دقيق

كمية الإسمنت kg/m^3	300	350	400			450		
درجة جودة الخرسانة	C18	C20	C25	C30	C35	C40	C45
المقاومة الاسطوانية المميزة المحتملة MPa	18	20	25	30	35	40	45

الجدول (١-٨) مقاومة الضغط المميزة المحتملة في حالة البيتون غير المراقب بشكل دقيق

كمية الإسمنت kg/m^3	درجة جودة الخرسانة	المقاومة الاسطوانية المميزة المحتملة MPa	مجال الاستعمال
100	C5	5	ردم
150	C8	8	نظافة تحت الأساسات
200	C10	10	
250	C12	12	بيتون عادي من دون تسليح
300	C15	15	بيتون مسلح
350	C18	18	
400	C20	20	
450	C25	25	

يقصد بمراقبة البيتون بشكل دقيق اتباع الاجراءات الآتية في عملية تصنيع البيتون :

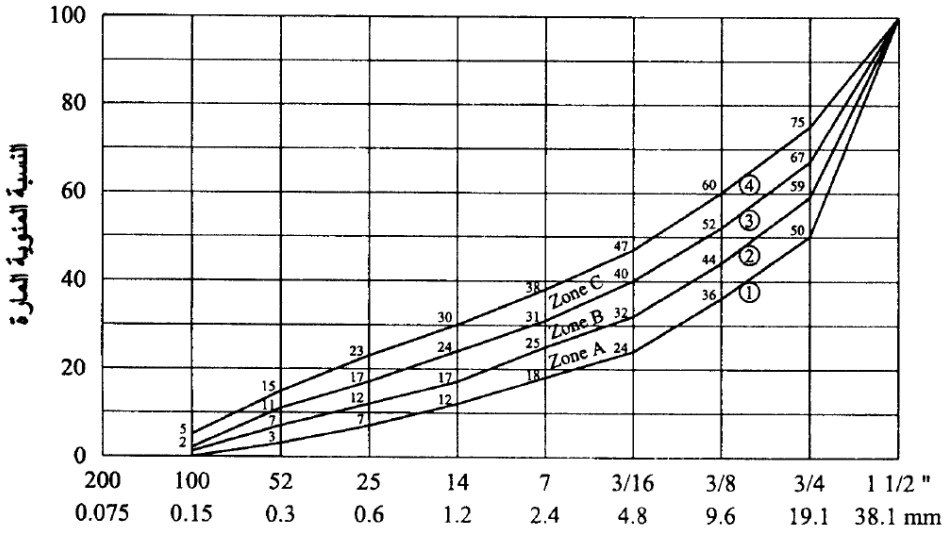
أ- تقسيم المواد الحصوية عدة حجوم ، و رمل ،بحص ناعم، بحص خشن .....إلخ

ب-استعمال العيارات الوزنية بحيث يكون التدرج الحبي ضمن حزمة المنحنيات المبية في الشكل (١-٧)

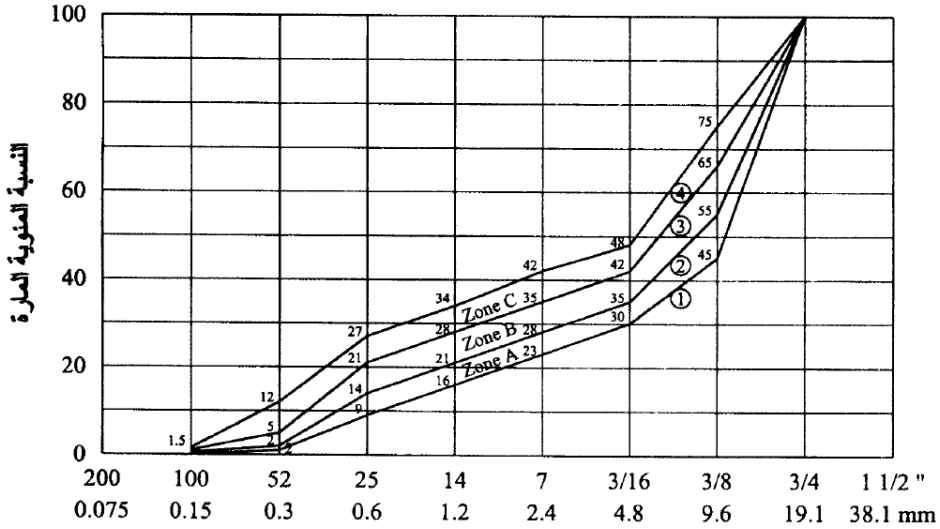
ت-قياس نسبة الرطوبة في الحصويات قبل استعمالها وأخذ هذه النسبة عند حساب كمية ماء الخلط

ث-وجود إشراف دائم على عملية تصنيع البيتون بدءاً من العيارات الوزنية وانتهاء بمعالجة البيتون بعد الصب وأخذ عينات اسطوانية لضبط الجودة.

إذا لم يتحقق أي من الشروط السابقة يعد تصنيع البيتون غير مراقب.



الشكل (١-٧-آ) التركيب الحبي للحصويات بمقاس افتراضي أعظمي 38.1mm



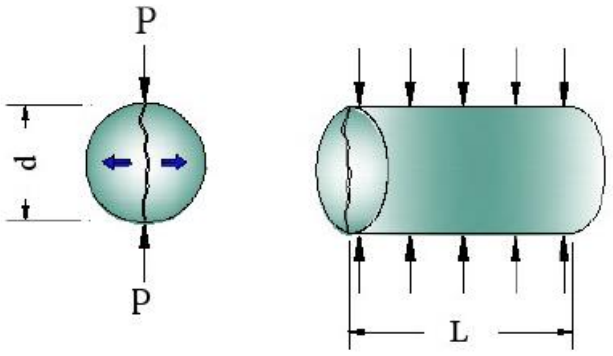
(١-٧- ب) التركيب الحبي للحصويات بمقاس افتراضي أعظمي 19.1mm

ب- المقاومة المميزة للبيتون على الشد :

يمكن تحديد المقاومة البيتونية على الشد من خلال اما التجربة البرازيلية (الشد بالانفلاق) أو الانعطاف البسيط على عينات عند عمر ٢٨ يوماً.

- **التجربة البرازيلية (الشد بالانفلاق) :**

يتم كسر عينة اسطوانية قياسية (h=30cm , D=15cm) بالضغط كما هو موضح بالشكل (٨-١) وثم يحسب إجهاد الشد في البيتون بالانفلاق من العلاقة



الشكل (١-٨) التجربة البرازيلية

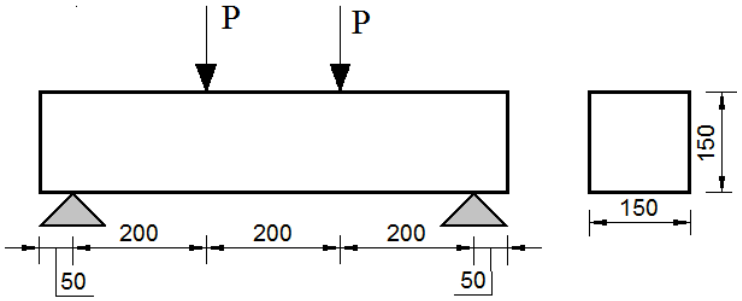
$$f_{sp} = \frac{2P}{\pi d.L} \qquad \textbf{(1-4)}$$

من الإجهاد المحسوب بالتجربة أي **0.85** وتؤخذ مقاومة البيتون على الشد مساوية

$$f_{ct} = \frac{0.55P}{d.L} \qquad \textbf{(1-5)}$$

- **الانعطاف البسيط :**

تعتمد التجربة على كسر عينة موشورية مقطعها مربع طول ضلعه 150mm وطوله 70mm بتطبيق قوتين متساويتين ومتناظرتين بالنسبة إلى المنتصف، يبعد كل منها 100mmعن المنتصف كما هو ظاهر في الشكل (١-٩) ويحسب إجهاد الكسر نتيجة الانعطاف من العلاقة



الشكل (١-٩) الشد بالانعطاف

$$f_{cb} = \frac{6M_u}{b^3} \qquad \textbf{(1-6)}$$

حيث M_u عزم الانعطاف اللازم لكسر العينة.

وتؤخذ مقاومة البيتون على الشد مساوية **0.60** من الإجهاد المحسوب بالتجربة

$$f_{ct} = \frac{3.6M_u}{b^3} \qquad \textbf{(1-7)}$$

يمكن أن نحصل على المقاومة المميزة على الشد من مقاومة البيتون المميزة على الضغط من العلاقة

$$f_{ct} = 0.44\sqrt{f'_c} \qquad \textbf{(1-8)}$$

أو من الجدول (١-٩) حسب درجة جودة البيتون

الجدول (١-٩) مقاومة الشد المميزة المحتملة في البيتون

درجة جودة	C10	C12	C15	C18	C20	C25
المقاومة	1.4	1.5	1.7	1.9	2.0	2.2

في حالة معرفة مقاومة الشد في وقت مبكر أي قبل مرور ٢٨ يوماً يمكن استنتاج مقاومة الشد المميزة من الجدول (١-١٠)

الجدول (١-١٠) معامل تصحيح مقاومة الشد المميزة وفق العمر

العمر باليوم	نوع الاسمنت	
	إسمنت بورتلاندي عادي	إسمنت بورتلاندي سريع التصلب
3	2	1.5
7	1.4	1.2
28	1	1
90	0.95	0.95
360 او أكثر	0.90	0.90

ج- معامل التشكل الطولي (معامل المرونة) :

- حالة الأحمال اللحظية أو المتغيرة سريعاً وعندما تكون إجهادات التشغيل أقل من 55% من مقاومة الكسر

$$E_{co} = 5700\sqrt{f'_{cj}} \qquad \textbf{(1-9)}$$

- **حالة الأحمال الدائمة**

$$E_c = 1900\sqrt{f'_{cj}} = \frac{1}{3}E_{co} \qquad \textbf{(1-10)}$$

f'_{cj} المقاومة الاسطوانية على الضغط في يوم حساب معامل المرونة مقدر بـ MPa

E_{co} معامل التشكل الطولي اللحظي (معامل المرونة) مقدر بـ MPa

E_c معامل التشكل الطولي طويل الأمد (معامل المرونة) مقدر بـ MPa

د- معامل التشكل العرضي للبيتون (نسبة بواسون) :

$$\text{معامل بواسون} = \frac{\text{التشوه العرضي}}{\text{التشوه الطولي}}$$

وبالتالي العلاقة بين معامل التشكل الطولي والتشكل العرضي G تعطى بالعلاقة

$$G = \frac{E_c}{2(1+\nu)} \qquad \textbf{(1-11)}$$

G : معامل التشكل العرضي E_c : معامل التشكل الطولي في البيتون

$\nu = 0.2$: نسبة أو معامل بواسون.

١-٣ الفرضيات الأساسية الخاصة بالبيتون المسلح:

بما أن مقاومة البيتون للشد ضعيفة فإننا نهمل البيتون المشدود في الحسابات الخاصة بتعيين الإجهادات الناظمية وفي الحسابات الخاصة بتعيين مقاطع التسليح وهذا يعني أن محصلة إجهادات الشد الناظمية ستقاومها قضبان التسليح المشدود فقط.

- التلاحم بين ليفين متجاورين أحدهما من البيتون والآخر من الفولاذ يبقى قائماً على الرغم من التغييرات التي حدثت فيهما أي في نقطة التماس التشوه في البيتون يساوي التشوه في الفولاذ أي

$$\varepsilon_s = \varepsilon_c \Rightarrow \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{\sigma_c}{E_c} \Rightarrow \sigma_s = \frac{E_s}{E_c}\sigma_c = n.\sigma_c$$

تؤخذ قيمة النسبة المعيارية n ثابتة في معظم الحالات ومساوية 15 عند تصميم المقاطع وحساب الإجهادات أي : $\frac{E_s}{E_c} = n$

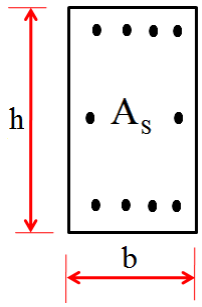
أما في حالة تصميم العناصر التي لا يسمح فيها بوجود شقوق فتؤخذ النسبة المعيارية مساوية لـ 10

هذا يعني أن الإجهادات في الفولاذ تساوي n الإجهاد في البيتون في الليف نفسه .

- المقطع المتجانس :

بما أن البيتون المسلح مادة غير متجانسة ولكي نستطيع تطبيق قواعد مقاومة المواد يجب استبدال هذا المقطع بمقطع آخر متجانس، لتحويل أي مقطع من البيتون المسلح إلى مقطع متجانس يتم استبدال الفولاذ بمقطع مكافئ من البيتون يساوي مساحة الفولاذ مضروبة بمعامل التكافؤ.

آ- المقطع المتجانس في حالة المقطع المضغوط بالكامل:



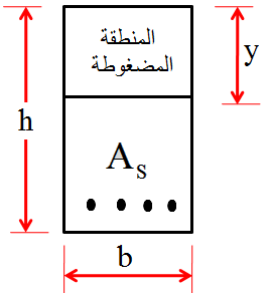
$$A_E = A_c - A_s + n.A_s = A_c + (n-1)A_s$$

$$A_c = b.h$$

ويمكن تقريب العلاقة

$$A_E = A_c + n.A_s$$

ب- المقطع المتجانس في حالة المقطع مضغوطاً ومشدوداً:



$$A_E = A_c + n.A_s$$

$$A_c = b.y$$

مسائل

المسألة (١-١)

أوجد المقاومة المميزة على الضغط إذا كانت نتائج كسر عدد من العينات المكعبية (150x150) بعمر 7 يوماً على النحو الآتي :

رقم العينة	f_i Mpa	رقم العينة	f_i Mpa	رقم العينة	f_i Mpa
1	7	11	5.5	21	5.4
2	6.5	12	7.2	22	4.9
3	5.3	13	7.7	23	8
4	6	14	5.8	24	6.9
5	5.2	15	6.4	25	7.5
6	6	16	6.1	26	6.4
7	7	17	7.6	27	6.3
8	7.5	18	6.6	28	5
9	6.5	19	6	29	9
10	6.5	20	7	30	8

ثم احسب المقاومة المميزة على الشد وعامل المرونة الآني وطويل الأمد.

الحل :

لتحويل العينات إلى عينات اسطوانية يجب ضربها بعامل الشكل أي 0.8

وضربها بـ 1.5للحصول على المقاومة بعد مرور 28 يوماً

عدد العينات 30 وبالتالي k=1.31

$$\sum f_i^{'} = 236.16Mpa \Rightarrow f_{cm}^{'} = \frac{\sum f_i^{'}}{n} = \frac{236.16}{30} = 7.872Mpa$$

الانحراف المعياري :

رقم العينة	f_i Mpa	رقم العينة	f_i Mpa	رقم العينة	f_i Mpa
1	8.4	11	6.6	21	6.48
2	7.8	12	8.64	22	5.88
3	6.36	13	9.24	23	9.6
4	7.2	14	6.96	24	8.28
5	6.24	15	7.68	25	9.00
6	7.2	16	7.32	26	7.68
7	8.4	17	9.12	27	7.56
8	9	18	7.92	28	6.00
9	7.8	19	7.2	29	10.8
10	7.8	20	8.4	30	9.6

$$s = \sqrt{\frac{(f_i^{'} - f_{cm}^{'})^2}{n-1}} = 1.86$$

الحد الأعلى المقبول :

$$f_{cmax}^{'} = f_{cm}^{'} + 2.33.s = 7.872 + 2.33 \times 1.86 = 10.63Mpa$$

الحد الأدنى المقبول :

$$f_{cmin}^{'} = f_{cm}^{'} - 2.33.s = 7.872 - 2.33 \times 1.86 = 5.11Mpa$$

نلاحظ وجود عينة شاذة أعلى من الحد الأعلى المقبول فيصبح عدد العينات 29عينة

عدد العينات 29 وبالتالي k=1.314

$$\sum f_i^{'} = 225.36Mpa \Rightarrow f_{cm}^{'} = \frac{\sum f_i^{'}}{n} = \frac{225.36}{29} = 7.77Mpa$$

الانحراف المعياري :

$$s=\sqrt{\frac{(f_i^{'}-f_{cm}^{'})^2}{n-1}}=1.067$$

الحد الأعلى المقبول

$$f_{cmax}^{'}=f_{cm}^{'}+2.33s=7.77+2.33\times1.067=10.26Mpa$$

الحد الأدنى المقبول

$$f_{cmin}^{'}=f_{cm}^{'}-2.33s=7.77-2.33\times1.067=5.28Mpa$$

المقاومة المميزة :

$$f_c^{'}=f_{cm}^{'}-ks=7.77-1.314\times1.067=6.37Mpa$$

المقاومة المميزة على الشد

$$f_{ct}=0.44\sqrt{f_c^{'}}=0.44\sqrt{6.37}=1.11Mpa$$

معامل المرونة اللحظي :

$$E_{co}=5700\sqrt{f_c^{'}}=5700\sqrt{6.37}=14386.15Mpa$$

معامل المرونة طويل الأمد :

$$E_c=\frac{E_{co}}{3}=\frac{14386.15}{3}=4795.38Mpa$$

المسألة (١-٢) :

جائز بسيط من البيتون العادي (من دون تسليح)يحمل حمولة مركزة في منتصف المجاز قيمتها P . مجاز الجائز L=6m والمطلوب حساب أكبر قيمة للحمولة المركزة يمكن أن يحملها الجائز بحيث لا يحدث فيه تشقق إذا علمت أن مقطع الجائز مستطيل ارتفاعه الكلي 500mm وعرضه 250mm وأن إجهاد كسر عينات بيتونية مكعبة الشكل (150x150x150mm) بعد سبعة أيام من الصب تساوي 15MPa.

الحل :

العزم الأعظمي

$$M_{max} = \frac{P_{max}.L}{4} \Rightarrow P_{max} = \frac{4M_{max}}{L}$$

العزم الأعظمي من علاقة الإجهاد

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}.y}{I} \Rightarrow M_{max} = \frac{I.\sigma_{max}}{y}$$

$$M_{max} = \frac{\frac{b.h^3}{12}.\sigma_{max}}{\frac{h}{2}} = \frac{b.h^2\sigma_{max}}{6}$$

المقاومة المميزة للبيتون على الضغط

$$f_c^{'} = 1.5 \times 0.8 \times 15 = 18MPa$$

المقاومة المميزة للبيتون على الشد

$$f_{ct} = 0.44\sqrt{f_c^{'}} = 0.44\sqrt{18} = 1.87MPa$$

$$f_{ct} = \sigma_{max}$$

$$M_{max} = \frac{250 \times 500^2 \times 1.87}{6} = 19.445kN.m$$

$$P_{max} = \frac{19.445}{6} = 3.24kN$$

الفصل الثاني

الانكماش و الزحف

Shrinkage and Creep

٢-١ الانكماش أو التقلص : Shrinkage

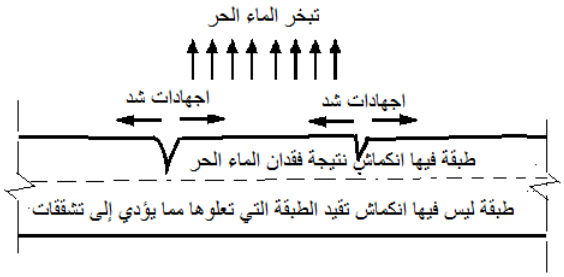
التقلص هو ظاهرة تغير في حجم البيتون بعد الصب عند بدء التجمد والتصلب ، ويكون كبيراً في الأشهر الأولى من عمر البيتون وينعدم بعد ثلاث سنوات تقريبا. إن البيتون المحفوظ في الهواء تأخذ التغييرات فيه شكل نقصان في أبعاده وهذا ما يسمى بالتقلص أما البيتون المحفوظ في الماء تأخذ التغييرات شكل زيادة في أبعاده وهذا ما يسمى بالانتفاخ ويكون الانكماش أكبر من الانتفاخ بثلاثة أضعاف تقريباً.

نتيجة : ظاهرة التقلص تتعلق بالجو المحيط بالبيتون ولا تتعلق بالأحمال.

يوجد ثلاثة أنواع للانكماش:

أ- الانكماش اللدن :Plastic Shrinkage

يحدث بعد بضع ساعات من البيتون وسببه فقدان الماء الحر من البيتون وصعوده نحو السطح ثم تبخره مما يؤدي إلى هبوط المواد الحصوية ويزداد أثره بزيادة معدل تبخر الماء من البيتون. ويلاحظ هذا النوع من الانكماش في العناصر البيتونية المسطحة ذات المساحات الكبيرة كالبلاطات، والمعرضة للجو الحار أو الرياح مما يؤدي إلى حدوث تشققات سطحية بالبيتون



الشكل (٢-١) الانكماش اللدن

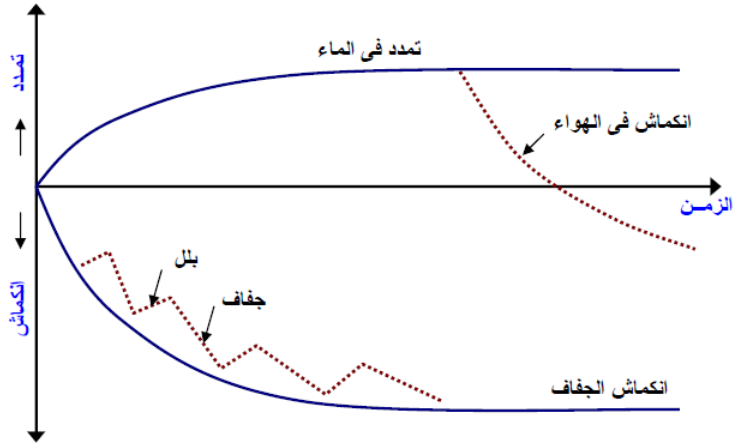
الشكل (٢-٢) التشققات اللدنة

ب- الانكماش الذاتي : Autogenous Shrinkage

يحدث الانكماش الذاتي نتيجة النقص في حجم المونة عند التصلب، حيث إن حجم المونة المتصلبة أقل من مجموع حجمي الماء والإسمنت في المزيج البيتوني مما يؤدي إلى انكماش البيتون وهذا ما يسمى بالانكماش الذاتي.

ت- الانكماش الجاف : Dry Shrinkage

يبدأ الانكماش الجاف عند تعرض البيتون المتصلب للجفاف فيفقد الماء الموجود في الفجوات والشقوق الشعرية ويمكن افتراض أن نصف الانكماش الكلي نتيجة الجفاف يحدث في السنة الأولى.



الشكل (٢-٣) تمدد وانكماش البيتون نتيجة دورات البلل والجفاف

٢-١-١ الإجهادات الناتجة عن التقلص في المقاطع المسلحة تسليحاً متناظراً :

لنأخذ عينة موشورية من البيون بطول L_1 عند الصب ، وبعد مرور زمن ، تتعرض العينة إلى تقاصر بسبب ظاهرة التقلص فيصبح طولها L_2 كما في الشكل (٢-٤). في هذه الحالة العينة لا تتعرض لأي نوع من الإجهادات لأن الحركة غير مقيدة. أما إذا كانت العينة تحتوي على فولاذ A_s موزع بشكل متناظر في المقطع فإن تقاصرها سيكون أقل، نتيجة مقاومة فولاذ التسليح للتقاصر ، مما يؤدي إلى تولد إجهادات شد في البيتون σ_c وضغط في الفولاذ σ'_s.

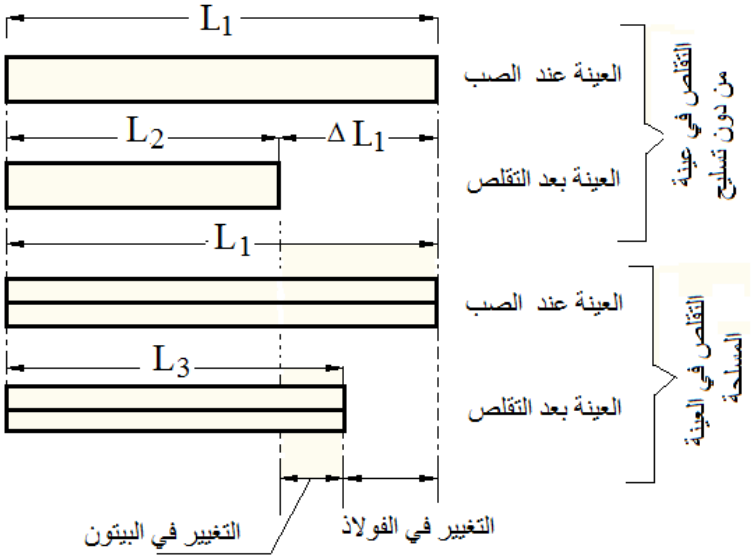
القوى المتولدة في المقطع بيتوني A_c تساوي القوى المتولدة في فولاذ التسليح أي :

$$(A_c - A_s).\sigma_c = A_s.\sigma'_s$$

$$(1-\frac{A_s}{A_c}).\sigma_c = \frac{A_s}{A_c}.\sigma'_s$$

وبتقسيم الطرفين على المقطع البيتوني نحصل على نتيجة :

$$(1-\mu).\sigma_c = \mu\sigma'_s \qquad \textbf{(2-1)}$$



الشكل (٢-٤) التقلص بعينة موشورية

حيث :

$$\mu = \frac{A_s}{A_c}$$

يكون التشوه الناتج عن التقلص

$$\varepsilon_{sh} = \varepsilon_s^{'} + \varepsilon_c \qquad \textbf{(2-2)}$$

أو

$$\varepsilon_{sh} = \frac{\sigma_s^{'}}{E_s} + \frac{\sigma_c}{E_c} \qquad \textbf{(2-3)}$$

بفرض : $n = \frac{E_s}{E_c}$

نحصل من العلاقتين (2-1) (2-3) على إجهادات ضغط في الفولاذ:

$$\sigma_s^{'} = \frac{\varepsilon_{sh.} E_s (1-\mu)}{1+(n-1).\mu} \qquad \textbf{(2-4)}$$

نلاحظ أن إجهادات الضغط ترتفع في الفولاذ بتناقص نسبة التسليح

من العلاقتين (2-1) (2-4) ونحصل على إجهادات الشد في البيتون:

$$\sigma_c = \frac{\varepsilon_{sh.} E_s . \mu}{1 + (n-1).\mu} \qquad \textbf{(2-5)}$$

العلاقة السابقة توضح أن إجهادات الشد في البيتون ترتفع بزيادة نسبة التسليح.

حيث ε_{sh} : معامل التشوة للبيتون ويؤخذ

في المناطق الرطوبة $\varepsilon_{sh} = 2\times10^{-4} - 3\times10^{-4}$

في المناطق الجافة $\varepsilon_{sh} = 4\times10^{-4} - 5\times10^{-4}$

بما أن مساحة مقطع فولاذ التسليح A_s صغيرة مقارنة بمساحة المقطع البيتوني A_c ، يمكن إهمال المساحة التي يشغلها الفولاذ ضمن المقطع البيتوني أي إن العلاقات (2-4) (2-5) تصبح

$$\sigma_s^{'} = \frac{\varepsilon_{sh}.E_s}{1+n.\mu} \qquad \textbf{(2-6)} \qquad\qquad \sigma_c = \frac{\varepsilon_{sh}.E_s.\mu}{1+n.\mu} \qquad \textbf{(2-7)}$$

٢-١-٢ الإجهادات الناتجة عن التقلص في المقاطع المسلحة تسليحاً غير متناظر :

عندما يكون العنصر مسلحاً بشكل غير متناظر كما في الشكل (٢-٥) فإنه سوف يتقلص بشكل غير متناظر ، أي الطرف الذي لايحتوي على تسليح سوف يتقاصر أكثر من الطرف الحاوي على التسليح .

نحسب الإجهادات المتولدة في البيتون والفولاذ وكأن التسليح متناظر

قوى الضغط في الفولاذ $T_s^{'}$ = قوى الشد في البيتون T_c

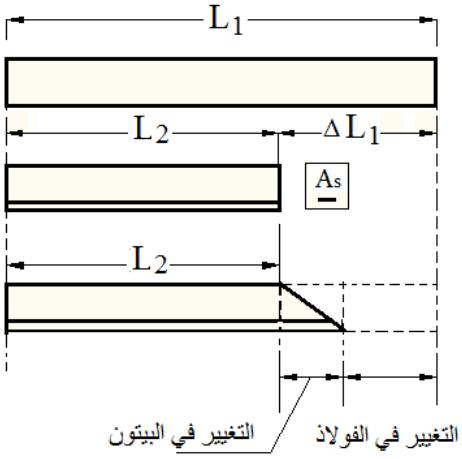
$$\sigma_c.A_c = \sigma_s^{'}.A_s \qquad \textbf{(2-8)}$$

يعطى التقاصر الكلي

$$\varepsilon_{sh} = \varepsilon_c + \varepsilon_s^{'} \qquad \textbf{(2-9)}$$

أو

$$\varepsilon_{sh} = \frac{\sigma_c}{E_c} + \frac{\sigma_s^{'}}{E_s} \qquad \textbf{(2-10)}$$



الشكل (٢-٥) التقلص بعينة موشورية مسلحة بتسليح غير متناظر

وبالتالي اجهاد الضغط في الفولاذ

$$\sigma_s^{'} = \varepsilon_{sh}.E_s - \sigma_c.n \qquad \textbf{(2-11)}$$

و اجهاد الشد في البيتون

$$\sigma_c = \frac{\varepsilon_{sh}.E_s.A_s}{A_c + n.A_s} \qquad \textbf{(2-12)}$$

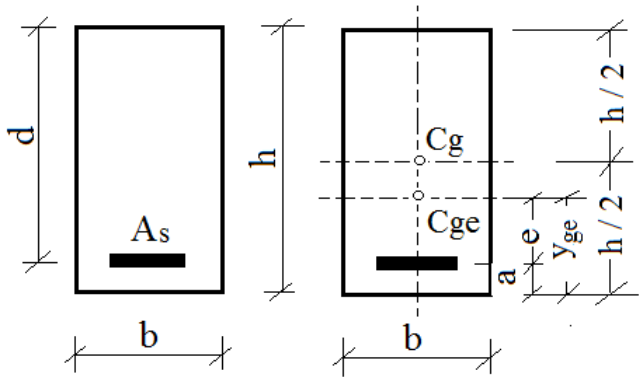
تدل العلاقة (2-12) على أن المقطع يخضع لقوة وهمية قيمتها $T = \varepsilon_{sh}.E_s.A_s$ مطبقة في مركز التسليح. ولكي نحسب الإجهادات لا بد من نقل القوة إلى مركز المقطع المكافئ الذي يبعد عن مركز التسليح بمقدار e

تحسب الإجهادات من :

$$\sigma_e = \frac{T}{A_e} \pm \frac{T.e}{I_e} y \qquad \textbf{(2-13)}$$

مثال : مقطع في جائز مسلح أبعاده h.b ومسلح بـ $A_s\ cm^2$ هذا المقطع يخضع لتقلص مقداره $\varepsilon_{sh} = 2.5 \times 10^{-4}$

المطلوب : إيجاد الإجهادات المتولدة في هذا المقطع



الحل :

١- حساب مساحة مقطع البيتون الصافي

$$A_c = b.h - 100A_s$$

h, b : أبعاد المقطع بالملميتر

٢- حساب مساحة المقطع المكافئ

$$A_e = A_c + n \times 100A_s$$

٣- بعد مركز ثقل المقطع عن الليف السفلي $\frac{h}{2}$

٤- بعد مركز ثقل المقطع المتجانس عن الليف السفلي

$$y_{ge} = \frac{A_c \frac{h}{2} + n \times 100A_s . a}{A_e}$$

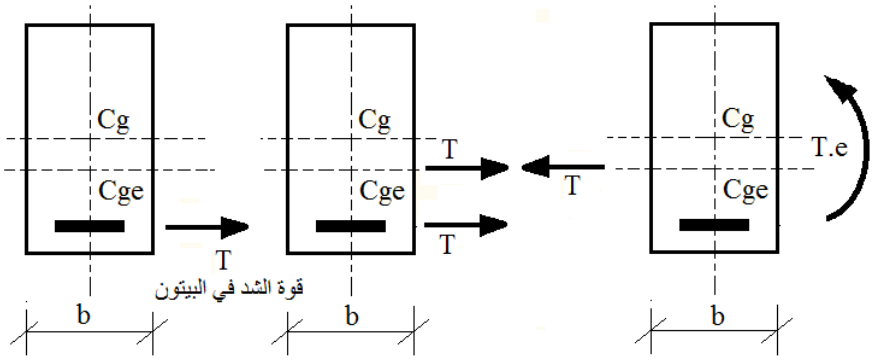
٥- عزم عطالة المقطع المتجانس

$$Ie = \frac{b.h^3}{12} + n \times 100A_s \times (\frac{h}{2} - a)^2 + A_e(\frac{h}{2} - y_{ge})^2$$

٦- القوة الوهمية الناتجة عن التقلص

$$T = 100A_s . \varepsilon_{sh} . E_s$$

هذه القوة تكون شادة في البيتون في منطقة التسليح وضاغطة على التسليح



بما أن القوة شادة في البيتون سيتم نقلها إلى مركز المقطع المتجانس فتولد عزماً موجباً شاداً للألياف السفلية وضاغطاً للألياف العلوية

٧- الإجهادات في البيتون

$$\sigma_c = \frac{T}{A_e} + \frac{T.e}{I_e} y$$

٧- الليف العلوي : $y_{top} = y_{cg} - h$

٨- الليف السفلي : $y = y_{cg}$

٨- عند التسليح : $y = y_{cg} - a$

٩- يكون اجهاد الضغط في الفولاذ :

$$\sigma_s' = \varepsilon_{sh}.E_s - n\sigma_c$$

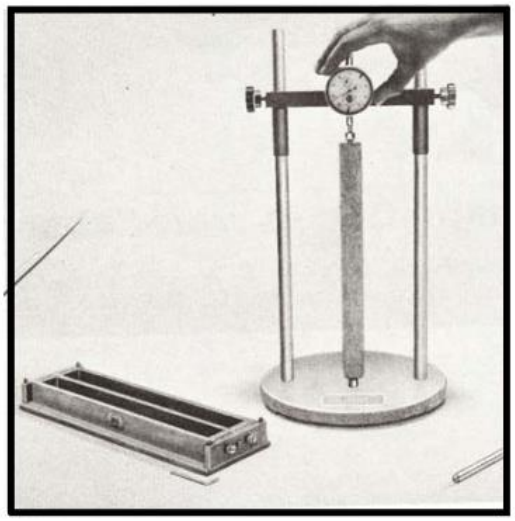
٢-١-٣ حساب الانكماش :

يمكن أن يقاس الانكماش بوساطة جهاز خاص كما في الشكل (٢-٦) يحسب معامل الانكماش وفق ماجاء بالكود العربي السوري من العلاقة :

$$\varepsilon_{sh} = \varepsilon_{sho}.k_b.k_d.k_p.k_t \qquad \textbf{(2-13)}$$

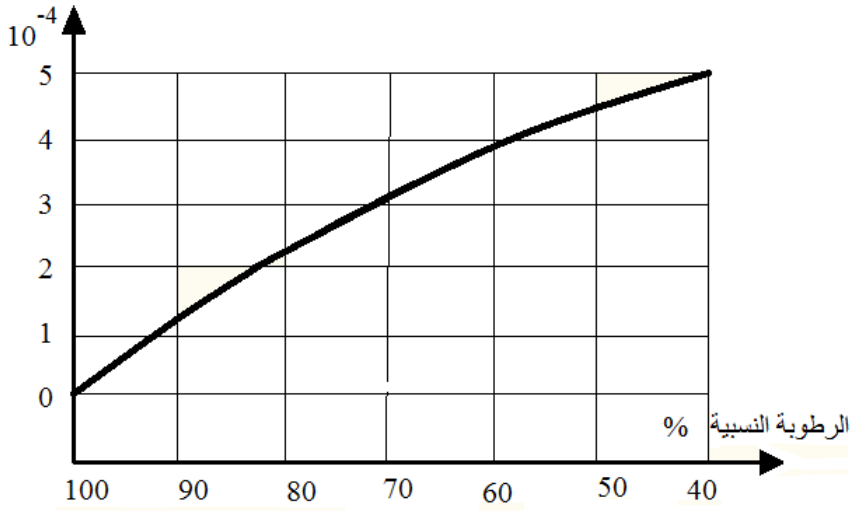
k_p معامل يتعلق بنسبة التسليح

$$k_p = \frac{1}{1+20\mu} \qquad \textbf{(2-14)}$$



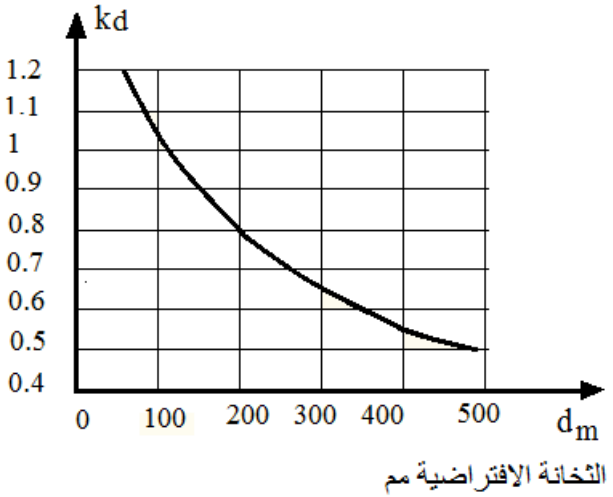
الشكل (٢-٦) مقياس الإنكماش

ε_{sh0} : قيمة الانكماش الأساسية وتتعلق بالرطوبة النسبية للوسط المحيط بالعنصر



الشكل (٢-٧) قيم ε_{sho} وفقا للرطوبة النسبية

k_d : معامل بالأبعاد الهندسية للعنصر المدروس لا سيما بالثخانة الافتراضية للعنصر



الشكل (٢-٨) قيم k_d وفقا للثخانة الافتراضية

تعرف ثخانة العنصر الافتراضية d_m: بأنها النسبة بين مساحةالمقطع العرضي للعنصر ونصف محيط العنصر المعرض مباشرة للوسط الخارجي.

من أجل مقطع دائري مصمت نصف قطره R : $d_m = R$

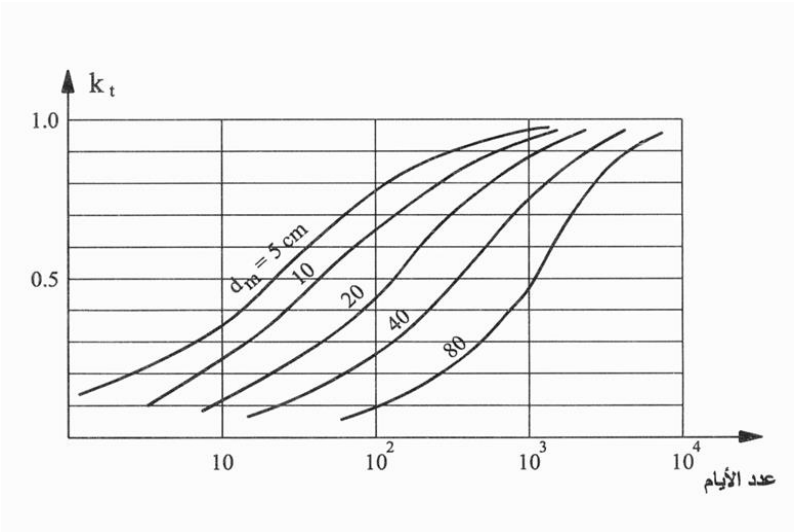
من أجل مقطع حلقي سمكه e : $d_m = e$

من أجل مقطع مربع ضلعه a : $d_m = 0.5\,a$

من أجل مقطع مستطيل b.h : $d_m = \dfrac{b.h}{b+h}$

من أجل بلاطة رقيقة سمكها e : $d_m = e$

k_t : معامل يتعلق بعمر المنشأ وأبعاده الهندسية



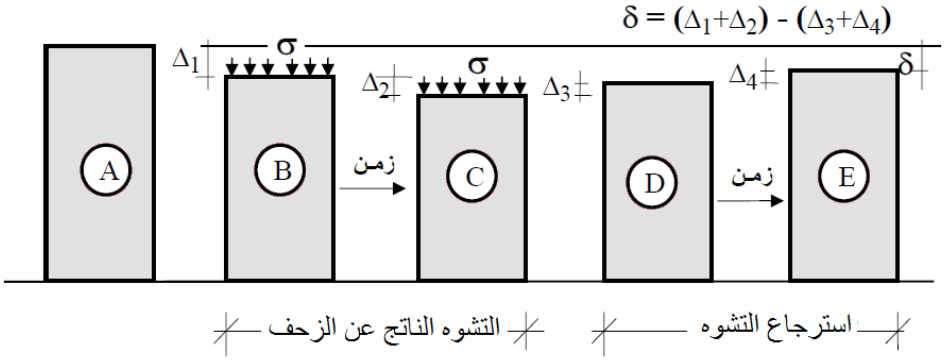
الشكل (٢-٩) قيم k_d وفقا للثخانة الافتراضية

٢-٢ الزحف (الجريان) Creep

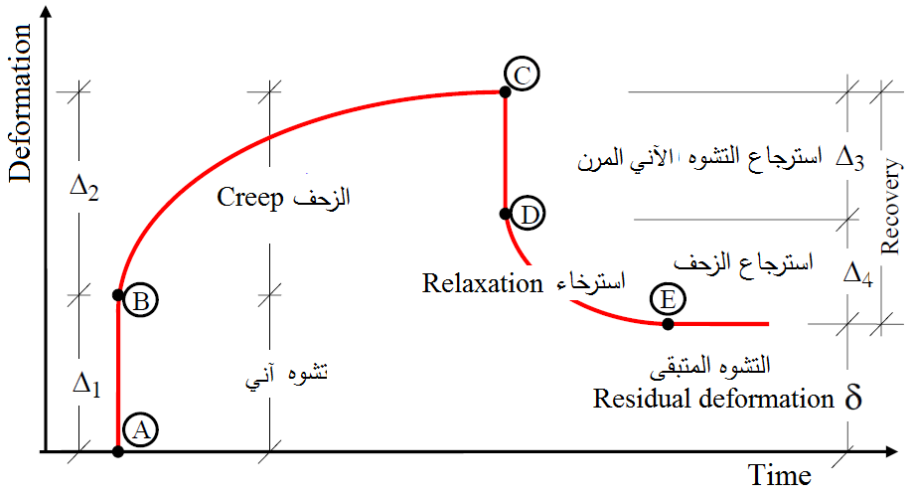
عند تطبيق حمولة أو إجهاد على عينة بيتونية يحدث تشوه آني (تشوه مرن)، مع بقاء الحمولة يزداد التشوه في البيتون على الرغم عدم زيادة الحمولة الزيادة في التشوه تكون تشوه لدن بفعل ظاهرة تسمى بظاهرة بالزحف.

عند تحميل عينة بحمولة ضاغطة فإن العينة ستتقاصر مباشر بشكل آني، بمقدار Δ_1 الشكل (٢-١٠) (من النقطة A إلى النقطة B) وتسمى بالتشوهات المرنة اللحظية ، تستمر العينة بالتقاصر مع مرور الزمن مع بقاء الحمولة وبمعدل سريع في البداية ثم يتباطئ حتى نصل إلى النقطة C حيث يكون مقدار التقاصر Δ_2 .

تسمى التشوهات الحاصلة بعد التشوهات اللحظية (من النقطة B إلى النقطة C) بالزحف. في حالة تم رفع الحمولة عند زمن معين (النقطة C) تسترد العينة جزء من التشوهات وبشكل آني بعد رفع الحمولة (من النقطة C إلى النقطة D أي Δ_3) ، مع مرور الزمن تسترد العينة جزء أخر من التشوه Δ_4 (النقطة E) ويبقى الجزء δ من التشوهات لا يمكن استرداده.



الشكل (٢-١٠) تحميل وتفريغ عينة بيتونية



الشكل (٢-١١) العلاقة بين التشوهات والزمن نتيجةالتحميل والتفريغ

الزحف : هو خاصة البيتون التي تعبر عن زيادة في التشوهات غير المرنة عند تأثير أحمال لفترة طويلة . يمكن أن تكون التشوهات اللدنة الناتجة عن الزحف أكبر بـ 3-4 التشوهات المرنة. تكون تغيرات الزحف في البداية كبيرة وسريعة نسبياً ثم تتباطأ تدريجياً مع الزمن فإذا عددنا أن الزحف بعد مرور سنة هو 1 . يعطي الجدول (١-١) نسب الزحف مع مرور الزمن.

نتيجة :

الزحف يتعلق بشكل أساسي بالجهود والقوى المؤثرة ولا يمكن ملاحظة أثاره في عناصر البيتون إلا عندما تطبق الحمولات لفترة طويلة من الزمن .

إن قيمة الانفعال الناتج من الزحف للبيتون تتراوح من 4×10^{-6} إلى 20×10^{-6} وذلك لكل $1kg/cm^2$ إجهاد .

يوجد عدة عوامل تؤثر في قيمة الزحف منها نوع الإسمنت المستخدم، مقاومة البيتون ، نسبة الماء إلى الإسمنت فى الخلطة ، الوقت الذي تم فيه أول تحميل للبيتون ، خصائص المقطع البيتوني وقيمة الرطوبة النسبية للجو المحيط بالمنشأ . عموماً فإن قيمة الزحف تقل كلما زادت مقاومة البيتون .

يستمر الزحف مع الوقت فى الأعضاء المعرضة لأحمال ثابتة لسنوات عديدة، ولكن معدل زيادة انفعالات الزحف يقل حتى يصبح ضئيلا يمكن إهماله . وبالتقريب فإننا يمكننا أن نقول أن ربع قيمة الزحف الكلية تحدث فى أول شهر و نصف قيمة الزحف الكلية تحدث فى أول سنة . وأن قيمة الزحف بعد حوالى سبعة سنوات يزيد عن قيمة الزحف بعد عام بحوالى ٣٠ % فقط .

الجدول (٢-١) نسب الزحف مع مرور الزمن.

الزحف بعد مرور					
٣٠سنة	٢٠سنة	١٠سنة	٥ سنوات	سنتان	سنة
1.56	1.35	1.26	1.25	1.14	1

٢-٥-١ حساب الانفعال نتيجة الزحف :

أ- في القطع المحملة محوريا والخاضعة لإجهاد ضغط مرن مقداره σ_c ولانفعال مرن مناظر ε_{ce}

يمكن التعبير عن الانفعال الناتج عن الزحف بالعلاقة

$$\varepsilon_{cr} = \phi.\varepsilon_{ce} \qquad \textbf{(2-15)}$$

وبالتالي يحسب الانفعال الكلي

$$\varepsilon_t = \phi.\varepsilon_{ce} + \varepsilon_{ce} = (1+\phi).\varepsilon_{ce} \qquad \textbf{(2-16)}$$

حيث ϕ معامل الزحف $\qquad \phi = \dfrac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_{ce}}$

يحسب معامل الزحف من العلاقة التجريبية

$$\phi = k_c.k_a.k_d.k_b.k_t \qquad \textbf{(2-17)}$$

k_c معامل يتعلق بالرطوبة النسبية للوسط المحيط بالبيتون

k_a معامل بعمر البيتون عند التحميل

k_b معامل يتعلق بعيار الإسمنت للمتر مكعب من البيتون

k_d معامل يتعلق بالابعاد الهندسية للعنصر البيتوني

k_t معامل يأخذ بالحسبان زيادة زحف البيتون مع الزمن

تؤخذ قيم هذه المعاملات من الكود العربي السوري ص ٢٩-٣٠-٤١

مسائل

المسألة (٢-١) :

ليكن لدينا عمود من البيتون المسلح مقطعه مربع 30x30cm ومسلح بنسبة تسليح 1% يتحمل العمود حمولة خارجية قدرها 500kN نصف الحمولة دائمة ونصفها إضافية (حية) وبفرض أن عامل الزحف لوحدة الإجهاد يساوي $\varepsilon_{cr} = 7\times10^{-5}$ والانكماش $\varepsilon_{sh} = 4\times10^{-4}$ و $E_s = 2.1\times10^{5}\,MPa$

يطلب :

١- حساب الإجهادات الناتجة عن الحمولات الدائمة فقط بأخذ الزحف والانكماش بالحسبان

٢- حساب الإجهادات الناتجة عن الحمولات

الحل :

١- بما أننا سيتم حساب الإجهادات بأخذ أثر التقلص والزحف لا بد من معرفة قيمة أمثال التعادل n

أولا نحسب قيمة الانفعال المرن لوحدة الإجهاد التي تكون قيمة n=15

$$\varepsilon_{ce} = \frac{1}{E_c}$$

ولكن في الحالة المرنة يمكن حساب عامل المرونة

$$E_c = \frac{E_s}{15} = \frac{210000}{15} = 14000MPa$$

ومنه نجد الانفعال النسبي المرن

$$\varepsilon_{ce} = \frac{1}{E_c} = \frac{1}{14000} = 7.143\times10^{-5}$$

الانفعال النسبي الناتج عن الجريان والانفعال المرن

$$\varepsilon_{tot} = 7.143\times10^{-5} + 7\times10^{-5} = 14.143\times10^{-5}$$

قيمة عامل المرونة المعدلة :

$$E_c = \frac{1}{14.143\times10^{-5}} = 7070.64MPa$$

تصبح قيمة أمثال التعادل بالأخذ بالحسبان أثر الزحف

$$n = \frac{210000}{7070.64} = 29.7$$

الآن حساب الإجهادات الناتجة عن التقلص في البيتون والفولاذ :

- إجهاد الضغط في الفولاذ :

$$\sigma_s^{'} = \frac{\varepsilon_{sh}.E_s.(1-\mu)}{1+(n-1).\mu}$$

$$\sigma_{s1}^{'} = \frac{4\times10^{-4}\times210000(1-0.01)}{1+(29.7-1)\times0.01} = 64.62MPa$$

- إجهاد الشد في البيتون :

$$\sigma_c = \frac{\varepsilon_{sh}.E_s.\mu}{1+(n-1).\mu}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{4\times10^{-4}\times210000\times0.01}{1+(29.7-1)\times0.01} = 0.653MPa$$

الإجهادات من الحمولة الدائمة

$$N_D = 0.5\times500 = 250kN \qquad \sigma_{c2}^{'} = \frac{N_D}{A_E}$$

- إجهاد الضغط في البيتون:

$$A_E = (A_c - A_s) + nA_s = 300\times300 - 0.01\times300\times300$$

$$+ 29.7\times0.01\times300\times300 = 115830mm^2$$

$$\sigma'_{c2} = \frac{250000}{115830} = 2.16MPa$$

- إجهاد الضغط في الفولاذ:

$$\sigma'_{s2} = n\sigma'_{c2} = 29.7 \times 2.16 = 64.10MPa$$

حساب الإجهادات الكلية :

- الإجهادات في الفولاذ (ضغط من الانكماش +ضغط من الحمولة الدائمة) :

$$\sigma'_{st1} = \sigma'_{s1} + \sigma'_{s2} = 64.62 + 64.10 = 128.722MPa$$

- الإجهادات في البيتون (شد من الانكماش +ضغط من الحمولة الدائمة) :

$$\sigma'_{ct1} = \sigma_{c1} + \sigma'_{s2} = -0.635 + 2.16 = 1.525MPa$$

٢- حساب الإجهادات الناتجة عن الحمولات الإضافية : n=15

- إجهاد الضغط في البيتون:

$$\sigma'_{c3} = \frac{N_L}{A_E} \qquad N_L = 0.5 \times 500 = 250kN$$

$$A_E = (A_c - A_s) + nA_s = 300 \times 300 - 0.01 \times 300 \times 300$$

$$+15 \times 0.01 \times 300 \times 300 = 102600mm^2$$

$$\sigma'_{c3} = \frac{250000}{102600} = 2.44MPa$$

- إجهاد الضغط في الفولاذ:

$$\sigma'_{s3} = n\sigma'_{c3} = 15 \times 2.44 = 36.55MPa$$

- حساب الإجهادات الكلية الناتجة عن الحمولات الدائمة +الإضافية :

إجهادات الضغط في البيتون :

$$\sigma'_{ct} = \sigma'_{ct1} + \sigma'_{c3} = 1.525 + 2.44 = 3.965MPa$$

إجهادات الضغط في الفولاذ:

$$\sigma_{st} = 128.722 + 36.55 = 165.27MPa$$

المسألة (٢-٢) :

عمود مربع من البيتون المسلح مقطعه 500x500mm ومسلح بـ $As=500mm^2$ يتعرض لحمولة ضاغطة محورية

الحمولة الحية : 500kN الميتة : 1000kN بفرض أن الأحمال طبقت بعد مرور شهر على صب العمود

١- حساب الإجهادات في البيتون وفولاذ التسليح الناتجة لحظة تطبيق الأحمال

٢- حساب الإجهادات في البيتون وفولاذ التسليح بعد مرور خمس سنوات من تطبيق الأحمال بفرض أن النسبة بين التشوهات الناتجة عن الزحف إلى التشوهات المرنة يساوي 2 أي $\Phi=\frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_{ce}}=2$

٣- حساب الإجهادات في البيتون وفولاذ التسليح بعد مرور خمس سنوات من تطبيق الأحمال وبفرض أن التحميل تم بعد مرور ثلاثة أشهر من الصب علماً

$$\frac{\varepsilon_{cr30}}{\varepsilon_{cr90}}=1.5$$

$$E_s=2.1\times10^5\,Mpa\quad E_{co}=2.1\times10^4\,MPa$$

الحل :

١- حساب الإجهادات في البيتون وفولاذ التسليح الناتجة لحظة تطبيق الأحمال

بما أن التحميل لحظي يكون

$$n=\frac{E_s}{E_{co}}=\frac{2.1\times10^5}{2.1\times10^4}=10$$

مساحة المقطع المتجانس :

$$A_e=A_c+nA_s=500\times500-500+10\times500=254500mm^2$$

الإجهاد في البيتون :

$$\sigma_c=\frac{P_D+P_L}{A_e}=\frac{(500+400)\times1000}{254500}=3.54MPa$$

الإجهاد في الفولاذ :

$$\sigma_s = n\sigma_c = 10 \times 3.54 = 35.4 MPa$$

٢- حساب الإجهادات في البيتون وفولاذ التسليح بعد مرور ثلاثة أشهر من تطبيق الأحمال بفرض أن النسبة بين التشوهات الناتجة عن الزحف إلى التشوهات المرنة يساوي 2 أي

$$\Phi = \frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_{ce}} = 2$$

حساب n بعد مرور ثلاثة أشهر

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$E_c = \frac{E_{co}}{1+\phi} = \frac{2.1 \times 10^4}{1+2} = 7000 MPa$$

$$n = \frac{2.1 \times 10^5}{7000} = 30$$

الإجهاد في البيتون عن الأحمال الحية :

$$\sigma_{cL} = \frac{P_L}{A_c + nA_s} = \frac{(400) \times 1000}{500 \times 500 - 500 + 10 \times 500} = 1.572 MPa$$

الإجهاد في الفولاذ عن الأحمال الحية :

$$\sigma_{sL} = n\sigma_{cL} = 10 \times 1.572 = 15.72 MPa$$

الإجهاد في البيتون عن الأحمال الميتة :

$$\sigma_{cD} = \frac{P_L}{A_c + nA_s} = \frac{(500) \times 1000}{500 \times 500 - 500 + 30 \times 500} = 1.89 MPa$$

الإجهاد في الفولاذ عن الأحمال الميتة :

$$\sigma_{sD} = n\sigma_{cD} = 30 \times 1.89 = 56.70 MPa$$

الإجهاد الكلية في البيتون :

$$\sigma_c = \sigma_{cL} + \sigma_{cD} = 1.572 + 1.89 = 3.46MPa$$

الإجهاد الكلية في الفولاذ :

$$\sigma_s = \sigma_{sL} + \sigma_{sD} = 15.72 + 56.70 = 72.42MPa$$

٣- حساب الإجهادات في البيتون وفولاذ التسليح بعد مرور خمس سنوات من تطبيق الأحمال وبفرض أن التحميل تم بعد مرور ثلاثة أشهر من الصب علماً أن:

$$\frac{\varepsilon_{cr30}}{\varepsilon_{cr90}} = 1.5$$

$$\phi = \frac{\varepsilon_{cr30}}{\varepsilon_{ce}} = \frac{\varepsilon_{cr90}}{1.5\varepsilon_{ce}} = \frac{2}{1.5} = 1.333$$

$$E_c = \frac{E_{co}}{1+1.333} = \frac{2.1\times10^4}{1+1.333} = 9000.129MPa$$

$$n = \frac{2.1\times10^5}{9000.129} = 23.33$$

الإجهاد في البيتون عن الأحمال الحية :

$$\sigma_{cL} = \frac{P_L}{A_c + nA_s} = \frac{(400)\times1000}{500\times500 - 500 + 10\times500} = 1.572MPa$$

الإجهاد في الفولاذ عن الأحمال الحية :

$$\sigma_{sL} = n\sigma_{cL} = 10\times1.572 = 15.72Mpa$$

الإجهاد في البيتون عن الأحمال الميتة :

$$\sigma_{cD} = \frac{P_L}{A_c + nA_s} = \frac{(500)\times1000}{500\times500 - 500 + 23.33\times500} = 1.914MPa$$

الإجهاد في الفولاذ عن الأحمال الميتة :

$$\sigma_{sD} = n\sigma_{cD} = 23.33\times1.914 = 44.66MPa$$

الإجهاد الكلي في البيتون :

$$\sigma_c = \sigma_{cL} + \sigma_{cD} = 1.572 + 1.914 = 3.486 MPa$$

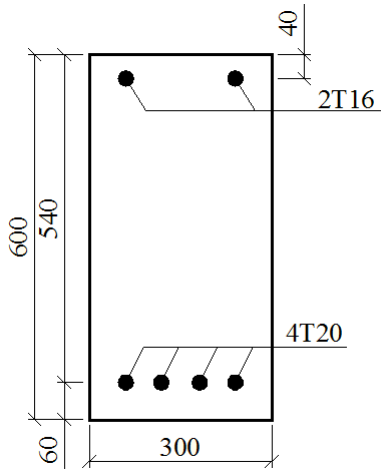
الإجهاد الكلي في الفولاذ :

$$\sigma_s = \sigma_{sL} + \sigma_{sD} = 15.72 + 44.66 = 60.38 MPa$$

المسألة (٣-٢) :

مقطع من البيتون المسلح عرضه b=300mm وارتفاعه H=600mm ومسلح بتسليح سفلي مقداره 4T20 وتسليح علوي مقداره 2T16 كما موضح في الشكل بفرض أن معامل المرونة في الفولاذ E_s=210000MPa ومعامل المرونة الأولي للبيتون E_{co}=21000MPa وعامل تأثير الجريان في البيتون أما الانفعال النسبي للبيتون الناتج عن التقلص $\phi = 1.5$

$\varepsilon_{sh} = 35 \times 10^{-5}$

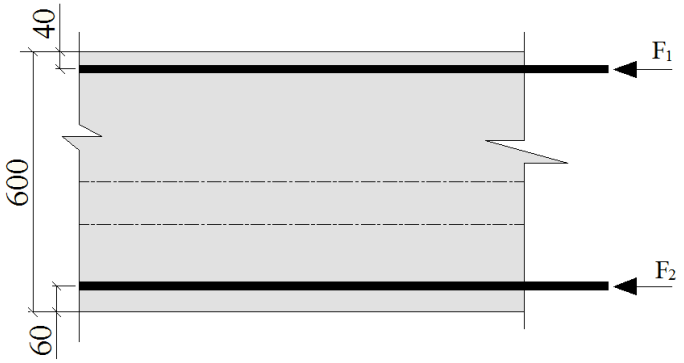


المطلوب حساب الإجهادات الناتجة في الفولاذ والبيتون .

الحل :

بما أن التسليح غير متناظر تعالج المسألة على النحو الآتي :

١- بفرض أن المقطع يتقلص من دون أن تقاوم القضبان هذا التقلص وبالتالي فإن القضبان سوف تبرز بمقدار التقلص ε_{sh} هذا يستدعي تطبيق قوتين F_1, F_2 على قضبان الفولاذ لتعيدها إلى البيتون



الشكل يوضح القوى المطبقة التي تحاول إعادة الفولاذ للبيتون

$$F_1 = \varepsilon_{sh} E_s A_{s1}$$

$$F_2 = \varepsilon_{sh} E_s A_{s2}$$

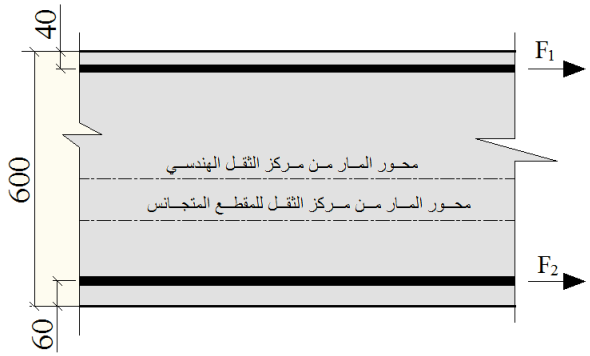
$$A_{s2} = 1257 mm^2 \quad A_{s1} = 402 mm^2$$

$$F_1 = 35 \times 10^{-5} \times 210000 \times 402 = 29547 N$$

$$F_2 = \varepsilon_{sh} E_s A_{s2} = 35 \times 10^{-5} \times 210000 \times 1257 = 923895 N$$

٢- وبالتالي يخضع البيتون لقوة شادة معاكسة للقوى المطبقة وقيمتها

$$F = F_1 + F_2 = 29547 + 923895 = 1219365 N$$



وتكون مطبقة في مركز المقطع المتجانس مع عزم مقداره M . لحساب خصائص المقطع المتجانس لا بد من معرفة قيمة أمثال التعادل n

قيمة عامل المرونة المعدلة :

$$E_c = \frac{E_{co}}{1+\phi} = \frac{21000}{1+1.5} = 8400 MPa$$

تصبح قيمة أمثال التعادل بالأخذ بالحسبان أثر الزحف

$$n = \frac{210000}{8400} = 25$$

المساحة المكافئة

$$A_E = (A_c - A_{s1} - A_{s2}) + nA_{s1} + nA_{s2} = 300 \times 600 - 402 - 1257$$
$$+ 25 \times 402 + 25 \times 1257 = 219816 mm^2$$

مركز ثقل المقطع المتجانس :

نأخذ العزم الستاتيكي حول الليف الأقصى السفلي

$$A_E . Z_E = b.h\frac{h}{2} + (n-1)A_{s1}(h-d') + (n-1)A_{s2}.a$$

$$.Z_E = \frac{b.h\frac{h}{2} + (n-1)A_{s1}(h-d') + (n-1)A_{s2}.a}{A_E}$$

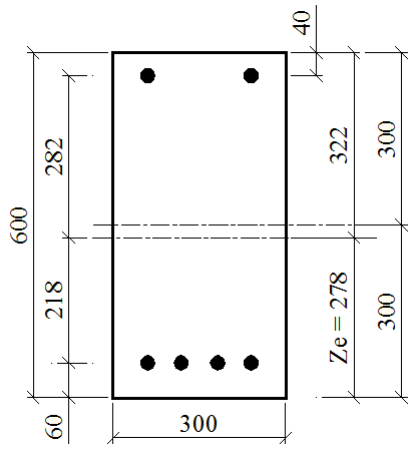
$$Z_E = \frac{600 \times 300\frac{600}{2} + (25-1) \times 402 \times (600-40) + (25-1) \times 1257 \times 60}{219816}$$

$$Z_E = 278 mm$$

عزم عطالة المقطع المتجانس حول محور مار من مركز ثقله:

$$I_E = \frac{b,h^3}{12} + n.A_{s1}(\frac{h}{2} - d')^2 + n.A_{s2}(\frac{h}{2} - a)^2 + A_E(\frac{h}{2} - Z_E)^2$$

$$I_E = \frac{300 \times 600^3}{12} + 25 \times 402 \times (\frac{600}{2} - 40)^2$$
$$+ 25 \times 1257 \times (\frac{600}{2} - 60)^2 + 219816 \times (\frac{600}{2} - 278)^2$$
$$I_E = 5.4 \times 10^9 + 6.79 \times 10^8 + 1.81 \times 10^9 + 1.64 \times 10^8$$
$$I_E = 7.995 \times 10^9 mm^4$$



العزم الناتج عن القوى

$$M_1 = 29547 \times (600 - 40 - 278) = 8332254 N.mm$$

$$M_2 = 923895 (278 - 60) = 20140802 N.mm$$

$$M = 20140802 - 8332254 = 11808548 N.mm$$

وهو عزم موجب أي يشد الألياف السفلية

$$\sigma_c = \frac{F}{A_E} + \frac{M}{I_E} y$$

$$\sigma_c = \frac{1219365}{219816} + \frac{11808548}{7.995 \times 10^9} y$$

$$\sigma_c = 0.555 + 0.00148 y$$

الإجهاد في البيتون عند الليف العلوي

$$y_{top} = 278 - 600 = -322 mm$$

$$\sigma_c = 0.555 - 0.00148 \times 322 = 0.078 MPa$$ شد

الإجهاد في البيتون عند الفولاذ العلوي

$$y_{s1} = -600 + 278 + 40 = -282 mm$$

$$\sigma_c^{top} = 0.555 - 0.00148 \times 282 = 0.138 MPa$$ وهي شادة

وفي الفولاذ

$$\sigma_s^{top} = 25 \times 0.138 = 3.441 MPa$$

الإجهاد في البيتون عند الليف السفلي

$$y_{bot} = 278 mm$$

شد $\sigma_c^{bot} = 0.555 + 0.00148 \times 278 = 0.966 MPa$

الإجهاد في البيتون عند الفولاذ السفلي

$$y_{s2} = 278 - 60 = 218 mm$$

$$\sigma_c = 0.555 + 0.00148 \times 218 = 0.878 MPa$$

وهي شادة

وفي الفولاذ

$$\sigma_s^{bot} = 25 \times 0.878 = 21.941 MPa$$

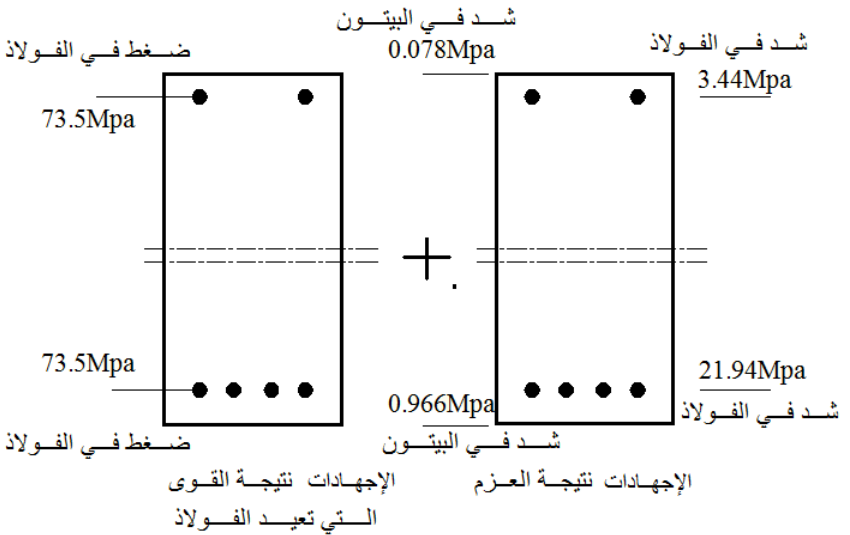
حساب الإجهادات الكلية :

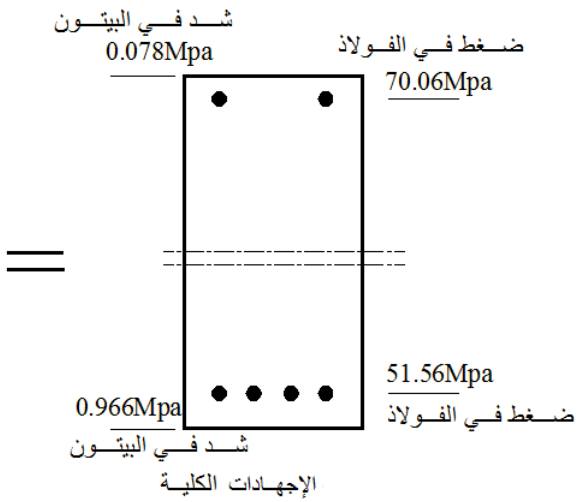
- الإجهادات في الفولاذ العلوي (ضغط من الانكماش +شد من العزم) :

$$\sigma'_{st} = -\varepsilon_{sh}.E_s + \sigma_s^{top} = -35 \times 10^{-5} \times 210000 + 3.44 = -70.06 MPa$$

- الإجهادات في الفولاذ السفلي (ضغط من الانكماش +شد من العزم) :

$$\sigma'_{st} = -\varepsilon_{sh}.E_s + \sigma_s^{Bot} = -35 \times 10^{-5} \times 210000 + 21.94 = -51.56 MPa$$




شد في البيتون
0.078Mpa
ضغط في الفولاذ
70.06Mpa
51.56Mpa
ضغط في الفولاذ
0.966Mpa
شد في البيتون
الإجهادات الكلية

الفصل الثالث

طريقة حالات الحدود

Limit State Method

٣- ١ مقدمة :

يتألف أي منشأ من البيتون المسلح من مجموعة عناصر مترابطة مع بعضها بعضاً تعمل لمقاومة جميع المؤثرات الخارجية المحتملة. ولتصميم هذه العناصر بشكل آمن واقتصادي لا بد من معرفة سلوك البيتون المسلح تحت تأثير الأحمال الخارجية باعتبار أن البيتون المسلح مادة مركبة وسلوكها يختلف عن سلوك أية مادة أخرى متجانسة .

٣-١-١ دراسة مراحل الحالة الإجهادية لعنصر من البيتون المسلح

لدراسة الحالة الإجهادية نأخذ جائز مسلح على الشد ويستند استناداً بسيطاً ولمعرفة المراحل التي يمر بها الجائز نبدأ بتحميل الجائز بحمولتين مركزتين متساوتين ومتوضعتين بشكل متناظر على أن يبدأ التحميل من الصفر وبالتدريج حتى الانهيار . يمكن أن نميز ثلاث مراحل :

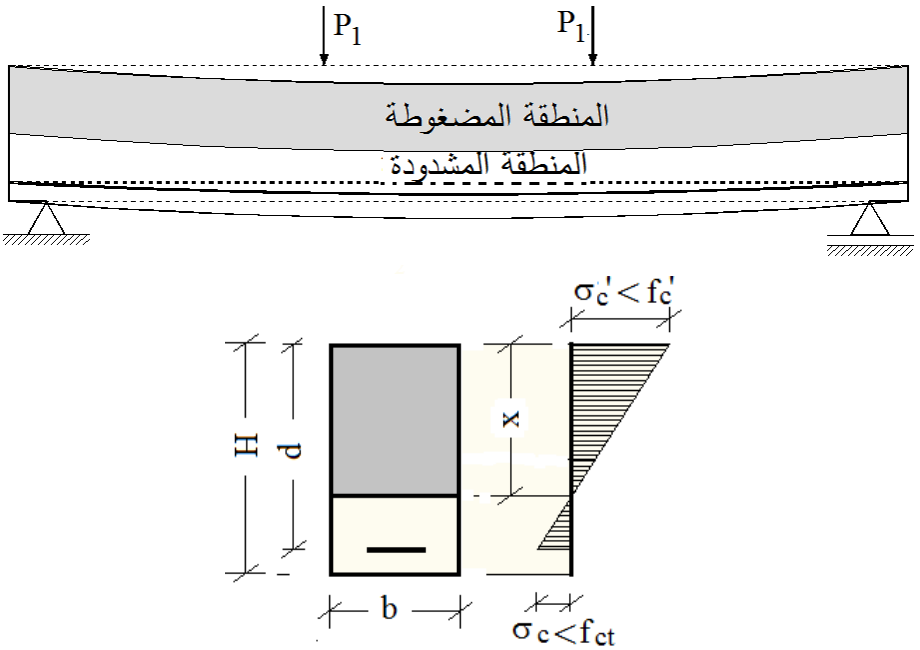
- المرحلة الأولى : تستمر إلى ما قبل ظهور التشققات في البيتون

تبدأ المرحلة الأولى مع بدء التحميل بحمولة قيمتها مساوية للصفر وتزداد بشكل تدريجي حتى تصبح مساوية لـ P_1 الموافقة للحظة ماقبل ظهور التشققات. في هذه المرحلة تكون الإجهادات الشادة في البيتون أقل بقليل من مقاومة البيتون على الشد ، وتكون التشوهات مرنة . أما العلاقة بين التشوهات والإجهادات فهي خطية ومخطط الإجهادات في منطقة البيتون المضغوط والمشدود شكله مثلثي. مع الاقتراب من نهاية هذه المرحلة تتطور تشوهات غير مرنة ويصبح مخطط الإجهادات منحنيا.

في هذه المرحلة يتحمل قوى الشد الفولاذ والبيتون معاً وبالتالي كامل المقطع يقاوم الحمولات الخارجية ، ويكون دور فولاذ التسليح محدوداً حيث تكون الإجهادات فيه أقل بكثير من حد الخضوع.

- يكون المحور المحايد أخفض من المحور الهندسي للجائز.

باستمرار التحميل أي بزيادة قيمة الحمولات المطبقة حتى تقترب الإجهادات الشادة في البيتون إلى القيمة المقابلة إلى مقاومة البيتون على الشد المحوري أي f_{ct} بهذا نكون قد وصلنا إلى نهاية المرحلة الأولى.



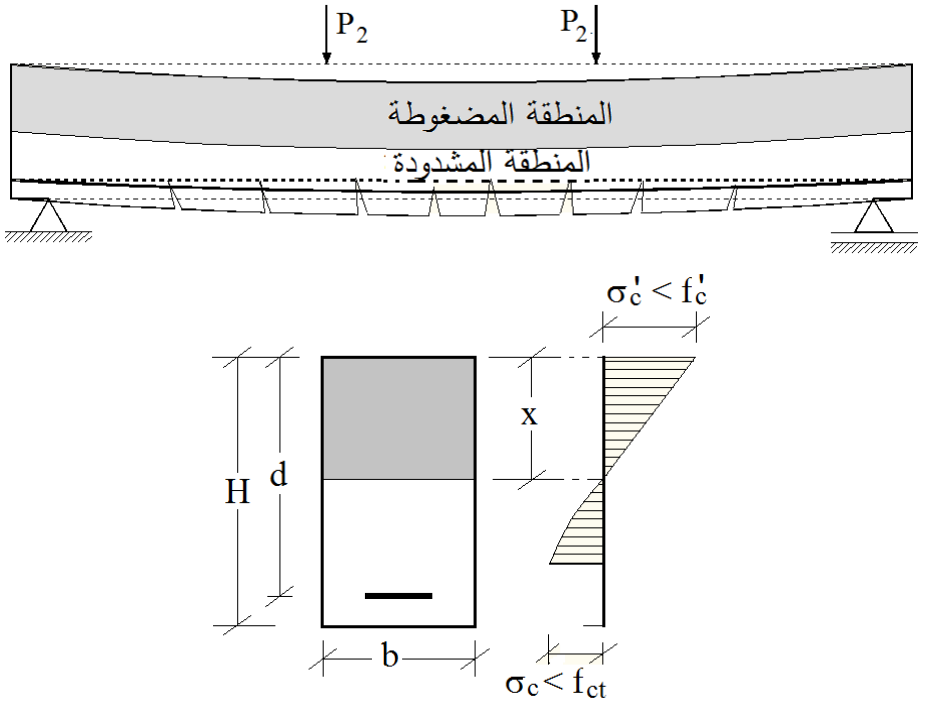
الشكل (٣-١) توزع الإجهادات في المرحلة الأولى

- **المرحلة الثانية : تبدأ بظهور الشقوق في البيتون في المنطقة المشدودة**

- تبدأ هذه المرحلة بظهور التشققات، حيث بزيادة الحمولات تتوسع الشقوق وتمتد نحو الأعلى فيقاوم فولاذ التسليح الإجهادات في مناطق البيتون المتشقق بشكل كامل أما الجزء المشدود الواقع بين الشقوق وفوقها فيقاوم بوساطة الفولاذ والبيتون معاً ، و

مع زيادة الحمولات يصبح مخطط الإجهادات في منطقة الضغط أكثر انحناءً بسبب التشوهات اللدنة في البيتون ثم تتطور التشوهات غير المرنة في فولاذ تسليح المنطقة المشدودة ويتناقص تماسكه مع البيتون حيث في النهاية يخرج البيتون من العمل بشكل تدريجي.

توافق هذه المرحلة مرحلة الأحمال في مرحلة الاستثمار وتكون الحمولة عادة مساوية لـ 65% من حمولة الانهيار ، وعلى أساس هذه المرحلة يتم تصميم المقاطع البيتونية المسلحة وفق ما يسمى بالطريقة الكلاسيكية أو طريقة الإجهادات المسموحة حيث يتم تحويل مخطط الإجهادات في المنطقة المضغوطة إلى شكل مثلثي .



الشكل (٣-٢) توزع الإجهادات في المرحلة الثانية

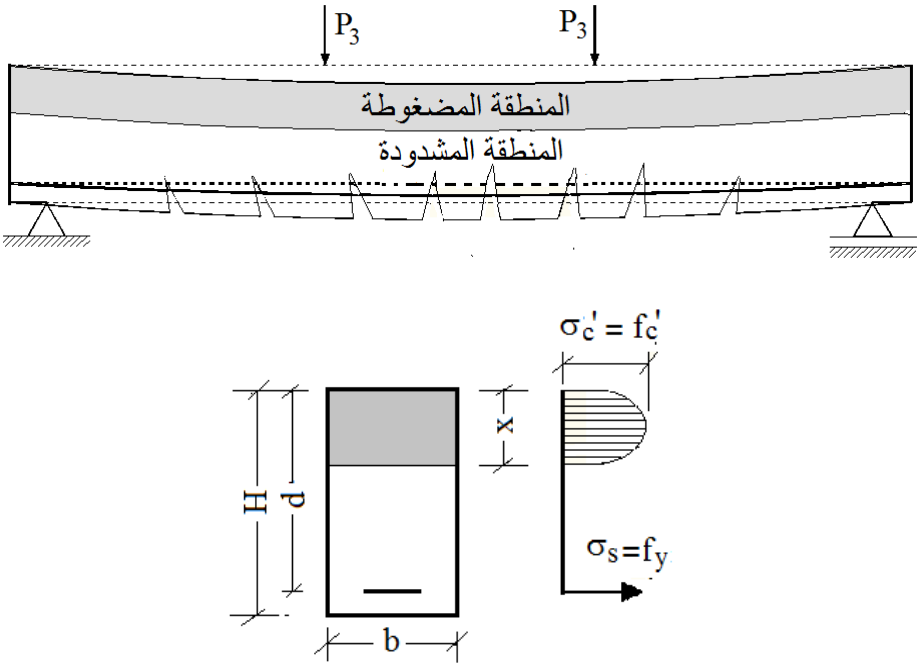
تتميز نهاية هذه المرحلة بظهور تشوهات غير مرنة في فولاذ التسليح والإجهاد في الفولاذ المشدود يقترب من اجهاد الخضوع.

بهذا نكون قد وصلنا إلى نهاية المرحلة الثانية

المرحلة الثالثة : مرحلة الانهيار

- **مرحلة انهيار العنصر البيتوني المسلح وهي أقصر المراحل في استمراريتها**

تصل الإجهادات في فولاذ التسليح إلى قيمة اجهاد الخضوع و الإجهادات في البيتون المضغوط تصل إلى قيمة المقاومة المميزة للبيتون، ويصبح شكل مخطط الإجهادات في المقطع قطع مكافئ. بهذه الحالة يخرج البيتون المشد عن العمل بشكل كامل.



الشكل (٣-٣) توزع الإجهادات في المرحلة الثالثة

٣-١-٢ أشكال الانهيار في العنصر البيتوني المسلح :

- **حالة الانهيار التوازني Balanced Failure :**

يعد الانهيار توازنياً في العنصر البيتوني المسلح إذا وصلت التشوهات في الفولاذ المشدود إلى حد التشوهات الموافقة لتشوهات الخضوع في الوقت نفسه والمتزامن مع وصول التشوهات في الليف الأقصى المضغوط إلى القيمة القصوى المساوية 0.003 .

يتعلق انهيار أي عنصر بيتوني مسلح بعاملين أساسين ، الأول الأحمال التي يتعرض لها والثاني مساحة مقطع فولاذ التسليح .

أ- **الحمولة الضاغطة المركزية :**

تتعرض الأعمدة لقوى ضاغطة محورية .عند الانهيار، تخضع مقاطعها إلى إجهادات ضاغطة موزعة بانتظام على كامل المقطع مع تشوهات قصوى تساوي 0.003 .

ب- **الحمولة الضاغطة اللا مركزية :**

تكون هذه الحالة في الأعمدة والعناصر التي تتعرض لعزوم انعطاف وقوى محورية ضاغطة فتخضع مقاطعها لإجهادات ضغط وأخرى شد ، تختلف قيمتها حسب قيمة اللامركزية . وهنا نميز بين حالتين :

الحالة الأولى : حالة اللامركزية الصغيرة :

عند الانهيار يكون الانفعال الأقصى في البيتون المضغوط مساوياً 0.003 أما الانفعال الأقصى في مركز ثقل التسليح المشدود فيساوي : $\varepsilon_s = \frac{f_s}{E_s} \le \frac{f_y}{E_s}$

الحالة الثانية : حالة اللامركزية الكبيرة :

عند الانهيار يكون الانفعال الأقصى في البيتون المضغوط مساوياً 0.003 أما الانفعال الأقصى في مركز ثقل التسليح المشدود فيساوي : $\varepsilon_s = \frac{f_s}{E_s} \ge \frac{f_y}{E_s}$

ت- **الحمولة الشادة المركزية :**

عندما تتعرض العناصر البيتونية لقوى شد محورية ، يكون المقطع البيتوني مشدوداً ومتشققاً وتهمل مقاومته حسابياً بينما يكون الانفعال الأقصى عند مركزي ثقل التسليح مساوياً

$$\varepsilon_s = \frac{f_s}{E_s} \ge \frac{f_y}{E_s}$$

ث- **الحمولة الشادة اللا مركزية :**

الحالة الأولى : حالة اللامركزية الصغيرة : تكون القوة الشادة واقعة بين مركزي ثقل التسليحين و الانفعال الأقصى في مركز ثقل التسليح المشدود فيساوي : $\varepsilon_s = \frac{f_s}{E_s} \geq \frac{f_y}{E_s}$

الحالة الثانية : حالة اللامركزية الكبيرة :

تكون القوة الشادة واقعة خارج مركزي ثقل التسليحين ويكون التسليح المشدود هو الأقرب إلى نقطة تطبيق القوة و والتسليح المضغوط هو الأبعد عنها و الانفعال الأقصى في مركز ثقل التسليح المشدود يساوي : $\varepsilon_s = \frac{f_s}{E_s} \geq \frac{f_y}{E_s}$.

ج- **الانعطاف البسيط :**

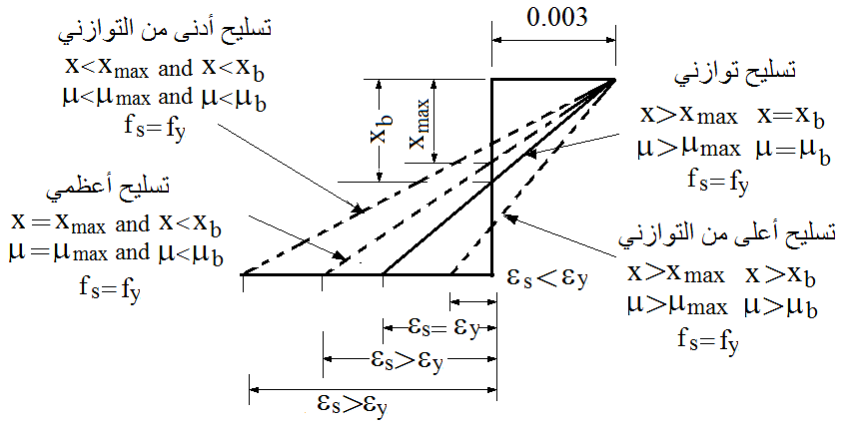
نميز بين نوعين للانهيار :

- **حالة الانهيار دون التوازني under Balanced failure:**

عندما يكون المقطع مسلحاً على الشد بتسليح أقل من التسليح التوازني يحدث الانهيار بوصول التشوهات في الفولاذ المشدود إلى المرحلة اللدنة من دون استنفاد كامل قدرة تحمل المنطقة البيتونية ويكون الانهيار بطيئاً ويتطور تدريجياً مع ظهور تشققات في المنطقة المشدودة تنذر ببدء الانهيار .

- **حالة الانهيار فوق التوازني Over Balanced failure:**

عندما يكون المقطع مسلح على الشد بتسليح أكبر من التسليح التوازني فيحدث الانهيار فجأة نتيجة وصول الإجهادات في البيتون المضغوط إلى القيمة التي يتحملها البيتون وبالتالي استنفاذ كامل قدرة تحمل البيتون في المنطقة المضغوطة وعدم استخدام كامل قدرة الفولاذ المشدود وبكون الانهيار مفاجئاً على شكل انفجار.



الشكل (٣-٤) مخطط الانفعال في حالات الانهيار المختلفة

الجدول (٣-١) حالات الانهيار

		الانهيار			الحالة الاعظمية
		دون التوازني	التوازني	فوق التوازني	
قيمة التشوه	في البيتون المضغوط	0.003	0.003	0.003	0.003
	في الفولاذ المشدود	$\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$	$\varepsilon_s = \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$	$\varepsilon_s < \varepsilon_y$	$\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$
بعد المحور المحايد		$x < x_b$	x_b	$x > x_b$	$x_{max} < x_b$
نسبة التسليح		$\mu < \mu_b$	μ_b	$\mu > \mu_b$	$\mu_{max} < \mu_b$
اجهاد الخضوع في الفولاذ		$f_s = f_y$	$f_s = f_y$	$f_s < f_y$	$f_s = f_y$

٣-١-٣ طرق تصميم مقاطع البيتون المسلح

Design Method of Reinforced concrete Section :

يوجد عدة طرق لحساب مقاطع البيتون المسلح :

١- طريقة إجهادات التشغيل (الطريقة الكلاسيكية أو المرنة أو طريقة الإجهادات المقبولة) Working Strength Method

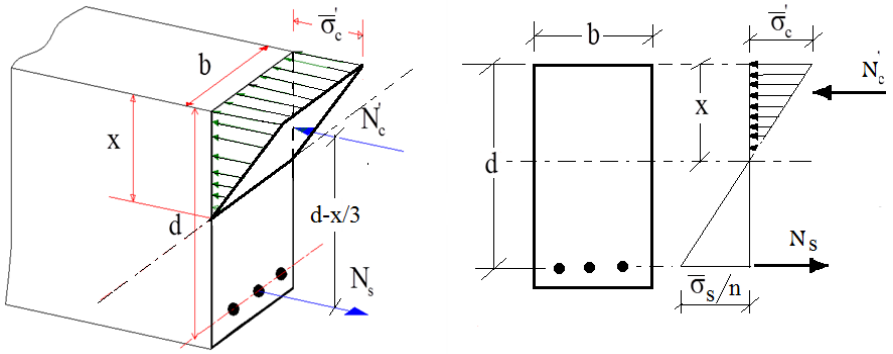
تعتمد هذه الطريقة على عدم تجاوز الإجهادات المحسوبة على أساس الحمولات الفعلية (حمولات الاستثمار) واستخدام الإجهادات المسموحة وتستند إلى الفرضيات الأساسية التالية :

آ- المقاطع المستوية قبل الإنعطاف تظل مستوية بعده. أي إن الانفعال في كل من البيتون والفولاذ يتناسب طرداً مع البعد عن المحور السليم.

ب- يسلك البيتون والفولاذ سلوك المادة المرنة في حدود أفعال الاستثمار وبذلك يكون توزع الإجهادات خطياً أكما في الشكل (٣-٥).

ج- يهمل البيتون في منطقة الشد

د- تؤخذ الإجهادات المسموحة للبيتون



الشكل (٣-٥) مخطط الإجهادات في طريقة إجهادات التشغيل

- على الضغط البسيط $\bar{\sigma}_C' = 0.3f_c'$
- الضغط اللامركزي $\bar{\sigma}_C' = (0.3+\frac{e}{4t})f_c' \le 0.55f_c'$
- الانعطاف البسيط أو الشد اللامركزي (اللامركزية الكبيرة)

❖ المقاطع المستطيلة $\bar{\sigma}_C' \le 0.55f_c'$

- المقاطع بشكل T التي لايقل سمك جناح منطقة الضغط فيها عن 0.4 الارتفاع الفعال للمقطع مهما كان عرض الجناح $\overline{\sigma}_C^{'} \le 0.55f_c^{'}$
- المقاطع بشكل T التي يقل سمك جناح منطقة الضغط فيها عن 0.1 الارتفاع الفعال للمقطع أو كان سمك البلاطة تقل عن 600mm تهمل مساهمة الجناح ويحسب كمقطع مستطيل أي $\overline{\sigma}_C^{'} \le 0.55f_c^{'}$
- المقاطع بشكل T التي يتجاوز عرض جناح منطقة الضغط من كل جهة b_o مرتين سمك الجناح ولا يتجاوز 6 مرات سمك الجناح يؤخذ الإجهاد المسموح على الضغط في البيتون من الجدول

$\frac{b_o}{t}$	2	3	4	5	6
$\overline{\sigma}_C^{'}$	$0.5f_c^{'}$	$0.45f_c^{'}$	$0.4f_c^{'}$	$0.35f_c^{'}$	$0.3f_c^{'}$

يحدد المحور المحايد من العلاقة

$$x = \frac{n}{n + \frac{\overline{\sigma}_s}{\overline{\sigma}_c^{'}}} d \Rightarrow \frac{x}{d} = \frac{n}{n + \frac{\overline{\sigma}_s}{\overline{\sigma}_c^{'}}} \Rightarrow$$

$$\boxed{\alpha = \frac{n}{n+\beta}}$$

حيث $n = \frac{E_s}{E_c} \cong 15$ ، $\beta = \frac{\overline{\sigma}_s}{\overline{\sigma}_c^{'}}$ ، $\alpha = \frac{x}{d}$ ويحسب ذراع الرافعة (المسافة بين مركز محصلة الإجهادات في الجزء المضغوط ومركز الفولاذ المشدود) من

$$z = d - \frac{x}{3} = d(1 - \frac{x}{3d}) = d(1 - \frac{\alpha}{3})$$

أو

$$\boxed{\varepsilon = \frac{z}{d} = (1 - \frac{\alpha}{3})}$$

فمن أجل تصميم مقطع يتعرض لعزم خارجي ناتج عن أحمال الاستثمار قيمته M يمكن استخدام معادلات التوازن نأخذ العزم حول المحور المار من مركز الفولاذ المشدود

$$M = \frac{1}{2}\bar{\sigma}_c'.b.x.(d - \frac{x}{3}) \Rightarrow M = \frac{1}{2}\bar{\sigma}_c'.b..d^2\,\frac{x}{d}.(1 - \frac{x}{3d})$$

$$M = \frac{1}{2}\bar{\sigma}_c'.b..d^2\alpha.(1 - \frac{\alpha}{3}) \Rightarrow M = \frac{1}{2}\bar{\sigma}_c'.b..d^2\alpha.\varepsilon$$

$$d = \sqrt{\frac{2}{\alpha.\varepsilon.\bar{\sigma}_c'}}.\sqrt{\frac{M}{b}} \Rightarrow \qquad \boxed{d = \gamma.\sqrt{\frac{M}{b}}}$$

$$\boxed{\gamma = \sqrt{\frac{2}{\alpha.\varepsilon.\bar{\sigma}_c'}}}$$

ويحسب التسليح :

$$\boxed{A_s = \frac{M}{\bar{\sigma}_s.\varepsilon.d}}$$

يمكن الاعتماد على الثوابت الموجودة في الملحق

في حال أبعاد المقطع معروفة ويخضع لعزم إنعطاف خارجي ناتج عن أحمال الاستثمار يتم حساب أولا الارتفاع المطلوب بتسليح على الشد فقط أي $\bar{d} = \gamma.\sqrt{\frac{M}{b}}$ فإذا كانت القيمة للارتفاع الفعال المحسوب أقل من القيمة الفعلية للمقطع أي $\bar{d} \le d$ فإن المقطع مسلح تسليحاً أحادياً فقط قيمته $A_s = \frac{M}{\bar{\sigma}_s.\varepsilon.d} \ge \frac{0.9}{f_y} b.d$

أما في حالة $\bar{d} > d$ فإن المقطع بحاجة لتسليح ثنائي

الجزء الأول يقاوم عزم انعطاف قدره $M_1 = (\frac{d}{\gamma})^2.b$ والتسليح المشدود الموافق

$$A_{s1} = \frac{M}{\bar{\sigma}_s.\varepsilon.d}$$

أما ما تبقى من العزم الخارجي $M_2 = M - M_1$ التسليح المشدود المقابل

$$A_{s2} = \frac{M}{\bar{\sigma}_s.(d - d')}$$

يصبح التسليح الكلي المشدود $A_s = A_{s1} + A_{s2}$ أما التسليح المضغوط فيساوي

$$A_s^{'} = \frac{M}{\sigma_s^{'}.(d - d^{'})}$$

حيث $\sigma_s^{'} = \frac{x - d'}{x} n\overline{\sigma}_c^{'}$ و d' : البعد بين مركز الفولاذ المضغوط وأقصى ليف بيتوني مضغوط.

٢- طريقة الانكسار (الانهيار)

تعتمد هذه الطريقة على معرفة آلية انهيار العنصر والمناطق التي يمكن أن يتشكل فيها مفاصل لدنة وبالتالي نحسب حمولة الانهيار .

٣- طريقة حالات الحدود أو مايسمى بالطريقة الحدية: Limit State Method

سندرس في هذا الكتاب طريقة حالات الحدود

الوضعية الحدية لمنشأ : هي تلك الحالة التي يصبح بعدها استثمار المنشأ غير ممكن نتيجة

- فقدان قدرة تحمله وهي الحالة الحدية الأولى.
- بسبب حصول انتقالات أو تغيرات موضعية أو تشققات غير مسموحة وهي الحالة الحدية الثانية.

عند حساب منشآت البيتون المسلح بطريقة حالات الحدود يجب أن تحقق هذه المنشآت متطلبات الحساب بحالتي الحدود :

١- قدرة التحمل (المتانة) وهي الحالة الحدية الأولى،

Limit State Collapse في هذه الحالة تحسب عزوم الانهيار وتصمم المقاطع.

٢- صلاحية الاستثمار الطبيعي وهي الحالة الحدية الثانية،

Limit State of Serviceability في هذه الحالة تحسب السهوم وزوايا الدوران والتشققات .

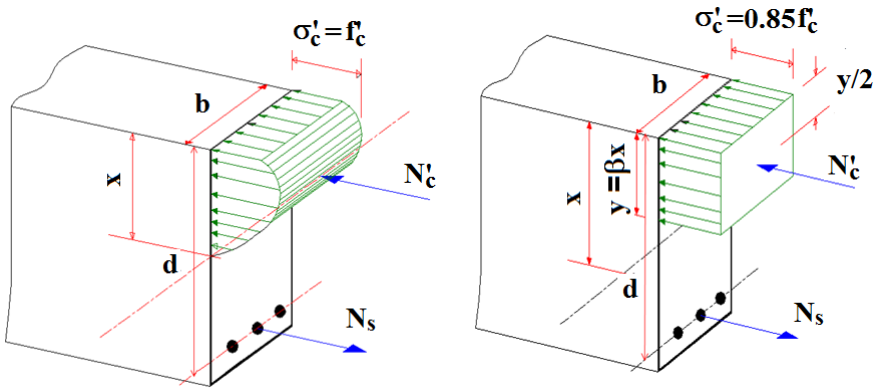
٣-٢ أسس طريقة حالات الحدود

٣-٢-١ الفرضيات الأساسية : Basic Assumption

١- بقاء المقاطع مستوية بعد التشوه أي إن الانفعال في البيتون وفولاذ التسليح يتناسب خطياً مع البعد عن المحور السليم (الخمول – المحايد).

٢- يؤخذ الانفعال الأقصى في ليف البيتون الأكثر انضغاطاً مساوياً لـ 0.003

٣- تتغير إجهادات الشد والضغط لفولاذ التسليح مع تغير الانفعال حسب منحيات الإجهاد والانفعال الشكل (٣-٦). ويمكن أخذ مخطط توزيع الإجهادات في منطقة الضغط مستطيلا بارتفاع مساوٍ $y = \beta x$ حيث $\beta = 0.85$ من أجل $f_c' \le 28MPa$



توزع الإجهادات المكافئ توزع الإجهادات الحقيقي

الشكل (٣-٦) توزع الإجهادات في المنطقة المضغوطة

ملاحظة :

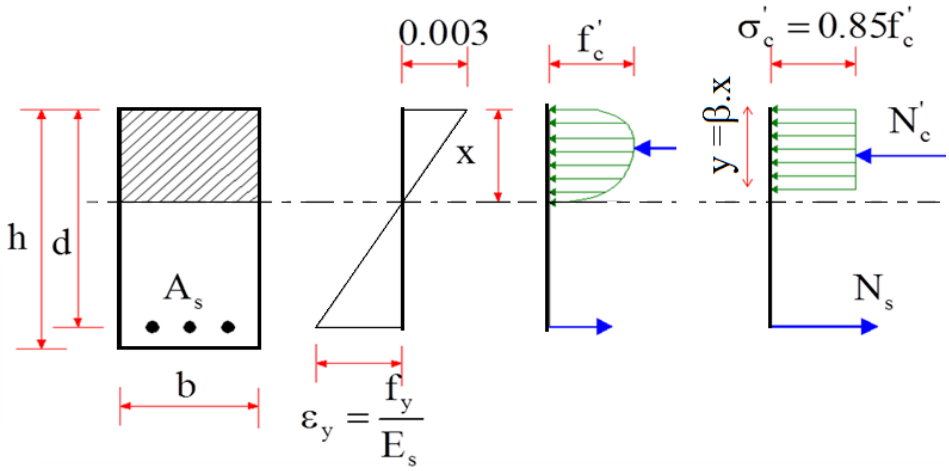
- تعطى قيمة β بـ

إذا كانت $f_c' \le 30Mpa$ $\beta = 0.85$

- أما إذا كانت $f_c' > 30Mpa$ فإن قيمة β تعطى بـ

$$\beta = 0.85 - 0.05\frac{f_c' - 30}{7}$$

لا حقا سيتم اعتماد $y = 0.85x$ في كل العلاقات أي $f_c' \ge 30MPa$



الشكل (٣-٧) مخطط الإجهادات والانفعال

٤- تتغير إجهادات الشد والضغط لفولاذ التسليح مع تغير الأنفعال حسب منحنيات الإجهاد والإنفعال المستخرجة من تجارب قياسية أو يمكن اعتماد المنحنيات المبينة في البند (٤-١-٤) . ويمكن للتبسيط أن يؤخذ إجهاد فولاذ التسليح مساوياً للانفعال المناظر مضروباً في معامل المرونة E_s على ألا تزيد قيمته على إجهاد الخضوع f_y.

٥- تهمل مقاومة البيتون للشد ويقاوم الفولاذ جميع إجهادات الشد.

٣-٢-٢ العوامل الحسابية :

تصمم العناصر الإنشائية لتقاوم الجهود المتولدة كلها نتيجة تطبيق الأحمال الخارجية جميعها التي يمكن أن يتعرض لها العنصر خلال عمره التصميمي. يمكن تصيف الأحمال الخارجية وفق الآتي :

- الأحمال الثابتة أو الدائمة ويرمز لها بـ g أو D وهي غالباً شاقولية وتكون ناتجة عن الأوزان الذاتية للعناصر الإنشائية بالإضافة إلى أية حمولة ثابتة لا تتغير قيمتها مع الزمن (أجهزة-تمديدات صحية-عناصر الإكساء.....). تقيم الأحمال الدائمة حسب أحجامها وأوزانها الحجمية. يمكن اعتماد الأوزان الحجمية في الجدول (٣-٢) .

- الأحمال المتغيرة أو الحية ويرمز لها بـ P أو L وهي الأحمال المتغيرة بالقيمة أو الاتجاه مع الزمن (حمولات ناتجة عن الأشخاص أو الآليات). تقيم الأحمال الحية حسب وظيفة المنشأ الاستثمارية كما في الجدول (٣-٢).

الجدول (٣-٢) الوزن الحجمي لبعض المواد الاكثر استعمالاً

المادة	الوزن الحجمي	
	kg/m^3	kN/m^3
البيتون العادي (من دون تسليح)	2.4	24
الفولاذ	7.85	78.5
البيتون المسلح (نسبة التسليح 1%)	2.5	25
الحجر البازلتي (حجم ملئ)	3	30
الحجر الغرفيتي (حجم ملئ)	2.8	28
الحجر الكلسي (حجم ملئ)	2.7	27
الحجر الرملي (حجم ملئ)	2.3	23
االبلوك (الطوب) المجوف	1.4-1.9	14-19
البحص (الزلط) حجم طبيعي مفكك غير مرصوص	1.5-1.8	15-18
الرمل حجم طبيعي مفكك غير مرصوص	1.5-1.8	15-18
الإسمنت (الفلت)	1-1.2	10-12
البناء العادي بالمونة	1.8-2	1.8-20
البيتون العادي خفيف الوزن	1.2-2	12-20
البناء بالحجر المجوف البيتوني	1.4	14
البناء بالبلوك (الطوب) المجوف	1.4	14
بلاط الرخام أو السرميك	2.4-2.5	24-25
الطينة (لا يقل ثخانتها عن 20cm من كل جهة من الجدران)	2	20
المجبول الإسفلتي	2.3	23

ملاحظة: في حال عدم القيام بحساب دقيق ، تؤخذ أحمال التغطية مساوية $2kN/m^2$ عند عدم وجود تمديدات مطمورة تحت البلاط

$3kN/m^2$ عند وجود تمديدات مطمورة تحت البلاط أو السطح النهائي

الجدول (٣-٤) الأحمال الحية غير الديناميكية المميزة والموزعة بانتظام والمركزة

الغرض من استعمال البناء			شدة الحمل الموزع	الحمل المركز المطبق على مربع طول ضلعه 300mm
			kN/m^2	kN
السطوح	غير مستعملة (لا يمكن الوصول إليها)	أفقية أو مائلة حتى 10 درجات	1	
		مائلة أكثر من 10 درجات	0.5	
	مستعملة بمكن الوصول إليها		الطابق المتكرر لا تقل عن 2	
الشرفات	أبنية خاصة		4	
	أبنية عامة		5	
الأبنية السكنية	غرف		2	1.4
	ممرات خارجية وأدراج		3	1.8
الفنادق	غرف		2.5	1.8
	ممرات خارجية وأدراج		5	4.5
المدارس	غرف صفوف وإدارة		3	2.7
	ممرات وأدراج		5	4.5
المشافي	غرف نوم		2.5	1.8
	ممرات خارجية وأدراج		4	4.5
	غرف عمليات		تحسب ولاتقل عن 4	4.5
المكاتب	غرف	أبنية عامة	3	2.7
		أبنية خاصة	2	2.7
	أضابير		تحسب ولاتقل عن 5	تحسب
	غرف حاسوب		تحسب و لاتقل عن 4	تحسب
	ممرات خارجية وأدراج	أبنية عامة	4	4.5
		أبنية خاصة	3	4.5

تابع الجدول (٣-٤) الأحمال الحية غير الديناميكية المميزة والموزعة بانتظام والمركزة

الغرض من استعمال البناء		شدة الحمل الموزع	الحمل المركز المطبق على مربع طول ضلعه 300mm
		kN/m^2	kN
المكتبات	غرف مطالعة من دون تخزين كتب	3	4.5
	غرف مطالعة مع تخزين كتب	5	4.5
الصالات (القاعات والمدرجات)	مقاعد ثابتة	5	
	مقاعد متحركة	6	3.6
	رقص وجمباز	6	3
	غرف إسقاط	6	3.6
	مدرجات رياضية	6	3
	منصة مسرح	6	3.6
	متاحف وقاعات فن و عرض	تحسب ولا تقل عن 5	تحسب
المخازن والمستودعات	مخازن سلع (عرض وبيع)	5	3.6
	مخازن كتب	2.4 لكل متر ارتفاع ولا تقل عن 7	4.5
	مخازن وقرطاسية للمطابع	تحسب ولا تقل عن 4 لكل متر ارتفاع	تحسب
	برادت خزن	5 لكل متر ارتفاع ولا تقل عن 15	تحسب
	مستودعات مصانع وأبينة مشابهة	حسب المواد والآلات 5-10	تحسب
أماكن التجمع العامة	دور عبادة	5	4.5
	بهوات عامة و فسحات	5	4.5
	مسارح ، سينما	5	4.5

تابع الجدول (٣-٤) الأحمال الحية غير الديناميكية المميزة والموزعة بانتظام والمركزة

الغرض من استعمال البناء		شدة الحمل الموزع	الحمل المركز المطبق على مربع طول ضلعه 300mm
		kN/m^2	kN
الورشات ومرائب السيارات	ورش تصليح	تحسب ولا تقل عن 6	أسوء وضع للعجلات
	مواقف وممرات ومنحدرات لسيارات بوزن أقل من 2.5ton	6	9
	مواقف وممرات ومنحدرات لسيارات بوزن أكثر من 2.5ton	تحسب ولا تقل عن 6	تحسب ولا تقل عن 9
استعمالات مختلفة	مرافق صحية	2	–
	مطابخ عامة ، مختبرات	تحسب ولا تقل عن 3	–
	مصابغ ، غرف غسيل	تحسب ولا تقل عن 3	4.5
	غرف سخانات ومراجل ومضخات	7.5	4.5
	ستديو	4	تحسب
	مطابع	تحسب ولا تقل عن 20	تحسب

- الأحمال الناتجة عن الرياح ويرمز لها بـ W وهي أفقية وتحسب وفق الكود المعتمد .
- الأحمال الناتجة عن ضغط التربة ويرمز لها بـ H وهي أفقية .
- الأحمال الناتجة عن ضغط السوائل ويرمز لها بـ F هي أفقية .

أ- **عوامل تصعيد الحمولات :**

تعتمد الطريقة الحدية على الجهود الناتجة عن تحمبل المنشأ بحمولات خارجية فعلية بعد ضربها بعوامل تصعيد محددة ، حيث تحدد قيم الأحمال القصوى **U** المأخوذة في التصميم وتراكيبها الممثلة كما يلي :

- **التراكيب الأساسية للأحمال القصوى:**

☒ العنصر يخضع لحمولات دائمة (ثابتة) D وحمولات إضافية (حية) L

$$U = 1.4D \qquad (a)$$

$$U = 1.4D + 1.7L \qquad (b)$$

☒ العنصر يخضع لحمولات دائمة (ثابتة) D وحمولات إضافية (حية) P مع أخذ أثر ضغط الرياح في الحسبان W ، تحسب الأحمال القصوى وفق التركيبين الآتيين ، وتعتمد النتائج الأخطر منهما في كل مقطع:

$$1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S) + (f_1 L \text{ or } 0.8W) \qquad \textbf{(c)}$$

$$1.2D + 1.3W + f_1 L + 0.5(L_r \text{ or } S) \qquad \textbf{(c)}$$

حيث :

W : تمثل قيمة الأحمال الناتجة عن ضغط الرياح بقيمتها المميزة (أوالأسمية)

L_r : الحمل الحي على السطح الأخير.

S : حمولات الثلج

f_1=1 : للأسقف المتكررة

في المواقع ذات التجمعات العامة

وفي الأماكن التي تتجاوز فيها الأحمال الحية

وفي الأحمال الحية لمرائب السيارات

f_1=0.5 : لباقي الأحمال

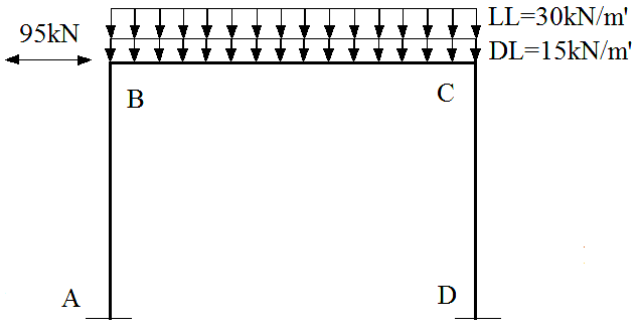
☒ العنصر يخضع لحمولات دائمة (ثابتة) G وحمولات إضافية (حية) P مع أخذ أثر الزلزال في الحسبان باستعمال الطريقة الستاتيكية المكافئة الواردة في الملحق (٢) الخاص بالزلازل ، تحسب الأفعال القصوى وفق التراكيب الواردة في الملحق (٢).

- **التراكيب الثانوية للأحمال القصوى:**

في حال تأثير الأحمال **F** (حمل السوائل) ، **H** (الضغط الجانبي للتربة والماء ضمنها) ، **P** (وزن حمل تجمع المياه على السطح الأخير)، **T** (قوى ذاتية ناتجة عن الحرارة والأنكماش وغيرها)، فإنها يجب أن تضاف إلى التراكيب السابقة بعد تصعيدها بالعوامل الآتية

1.2T , 1,2P , 1.6H , 1.3F

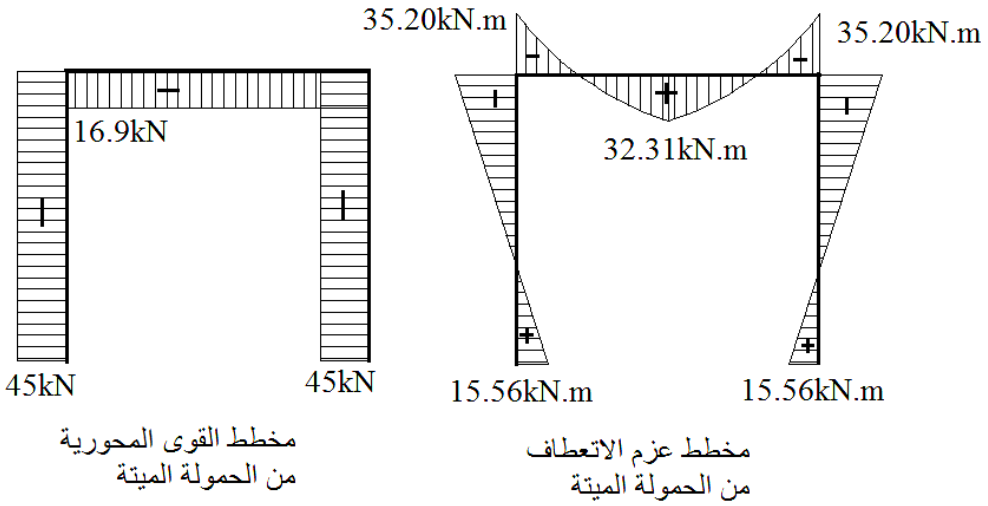
لتوضيح التراكيب الأساسية، نأخذ إطاراً محملاً بحمولة أفقية حية موزعة بانتظام مقدارها L=30kN/m' وحمولة أفقية ميتة مقدارها D=15kN/m' وحمولة مركزة في أعلى العمود ناتجة عن الرياح ويمكن أن تؤثر في الاتجاهين مقدارها 95kN ولنحسب القوى الحدية المحورية وعزم الانعطاف الحدي للعنصر CD.



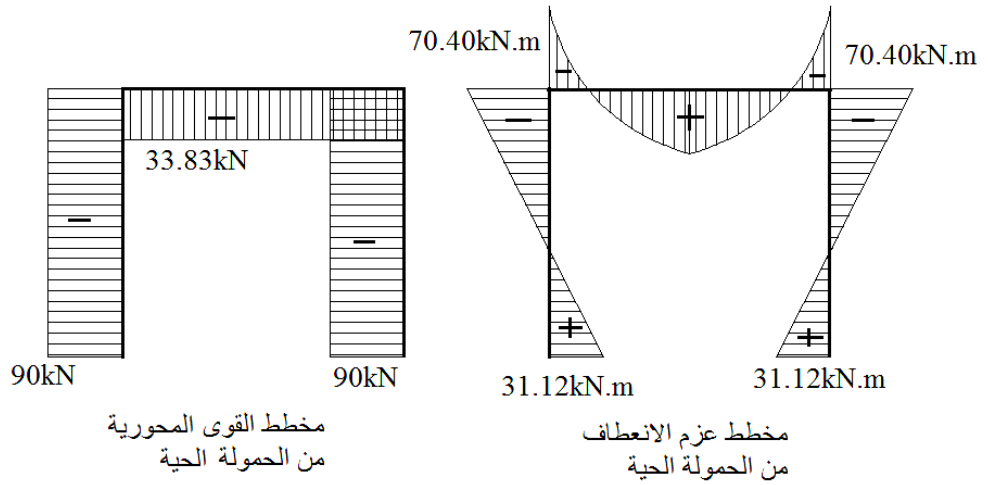
الشكل (٣-٨) اطار بحمولات استثمارية (غير مصعدة)

الحل :

نرسم مخططات القوى المحورية والعزوم الناتجة عن الأحمال الاستثمارية الميتة والحية وحمولة الرياح (الاحمال الاستثمارية أي الاحمال الفعلية دون ضربها بعوامل تصعيد).



الشكل (٣-٩) مخطط القوى الناظمية وعزم الانعطاف من تأثير القوى الميتة الاستثمارية



الشكل (٣-١٠) مخطط القوى المحورية وعزم الانعطاف من تأثير القوى الحية الاستثمارية

- **الحالة رقم ١ : يكون المنشأ محملاً بحمولة حية وحمولة ميتة فقط**

$$U = 1.4DL + 1.7LL$$

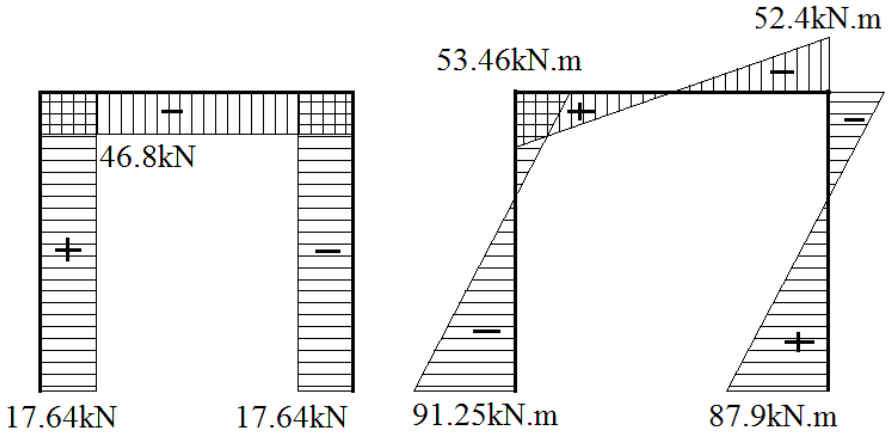
القوى المحورية الحدية على العنصر CD عند D

$$(N_u)_1 = 1.4(-45) + 1.7(-90) = -216kN$$

عزم الانعطاف الحدي على العنصر CD عند D

$$(M_u)_1 = 1.4(15.56) + 1.7(31.12) = 74.688 kN.m$$

$(M_u)_1 = 74.688 kN.m$ $(N_u)_1 = 74.688 kN$



الشكل (٣-١١) مخطط القوى المحورية وعزم الانعطاف من تأثير الرياح

- **الحالة رقم ٢ : يكون المنشأ محملاً بحمولة حية وحمولة ميتة وحمولة الرياح بالاتجاه (يسار-يمين)**

$$U = 1.2D + 0.8W$$

أو

$$U = 1.2D + 1.3W + f_1 L$$

القوى المحورية الحدية على العنصر CD عند D

$$(N_u)_2 = 1.2(-45) + 0.8 \times (-17.64) = -68.112 kN$$

$$(N_u)_2 = 1.2(-45) + 1.3 \times (-17.64) + 0.5 \times (-90) = -121.698 kN$$

عزم الانعطاف الحدي على العنصر CD عند D

$$(M_u)_2 = 1.2(15.56) + 0.8(87.9) = 88.992 kN.m$$

$$(M_u)_2 = 1.2(15.56) + 1.3(87.9) + 0.5 \times 31.12 = 148.502 kN.m$$

$$(M_u) = 148.992kN.m \qquad (N_u) = -121.69kN$$

- **الحالة رقم ٣ : يكون المنشأ محملاً بحمولة حية وحمولة ميتة وحمولة الرياح بالاتجاه (يمين- يسار)**

القوى المحورية الحدية على العنصر CD عند D

$$(N_u)_2 = 1.2(-45) + 0.8\times(+17.64) = -39.888kN$$

$$(N_u)_2 = 1.2(-45) + 1.3\times(17.64) + 0.5\times(-90) = -76.066kN$$

عزم الانعطاف الحدي على العنصر CD عند D

$$(M_u)_2 = 1.2(15.56) + 0.8(-91.25) = -54.328kN.m$$

$$(M_u)_2 = 1.2(15.56) + 1.3(-91.25) + 0.5\times 31.12 = -84.393kN.m$$

$$(M_u) = -84.393kN.m \qquad (N_u) = -76.066kN$$

عوامل تخفيض المقاومة :

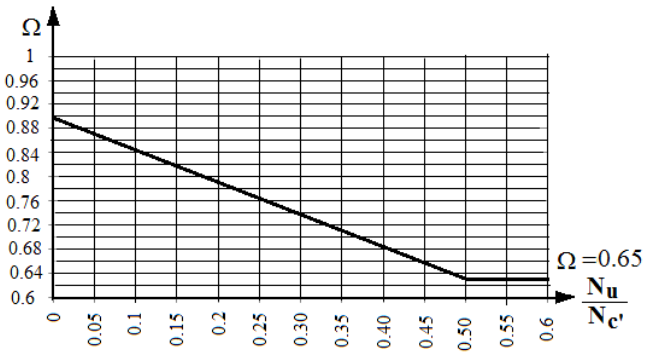
- حالة المقاطع المعرضة للانعطاف البسيط أو لقوى شد محورية أو لا مركزية $\Omega = 0.9$
- المقاطع المعرضة لقوى ضغط محورية $\Omega = 0.65$
- المقاطع المعرضة لقوى ضغط لا محورية

$$0.9 \geq \Omega = 0.9 - 0.5\left(\frac{N_u}{N_c}\right) \geq 0.65 \qquad \textbf{(3-1)}$$

أو

$$\left\{\begin{array}{l} \dfrac{N_u}{N_c} \geq 0.5 \Rightarrow \Omega = 0.65 \\ 0.5 \geq \dfrac{N_u}{N_c} \geq 0 \Rightarrow \Omega = 0.9 - 0.5(\dfrac{N_u}{N_c}) \end{array}\right\} \qquad \textbf{(3-2)}$$

$$N_c = 0.85 f_c^{'} A_c$$



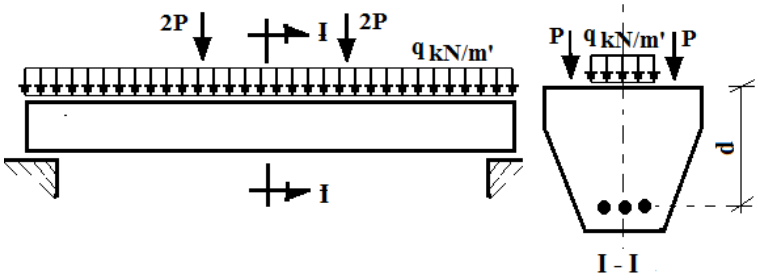
الشكل (٣-١٢) تغير عامل الأمان للعناصر المعرضة للضغط اللامركزي

- **المقاطع المعرضة للقص أو الفتل أو كليهما** $\Omega = 0.75$

٣-٣ دراسة المقاطع بالطريقة الحدية

٣-٣-١ المقاطع العرضية المتناظرة :

يكون المقطع متناظراً إذا كانت الأحمال بالاتجاه العرضي متناظرة بالنسبة لمحور مار من مركز ثقل المقطع كما هو موضح بالشكل (٣-١٣) حتى لايخضع المقطع لعزوم فتل ويكون خاضا لعزم انعطاف بسيط.



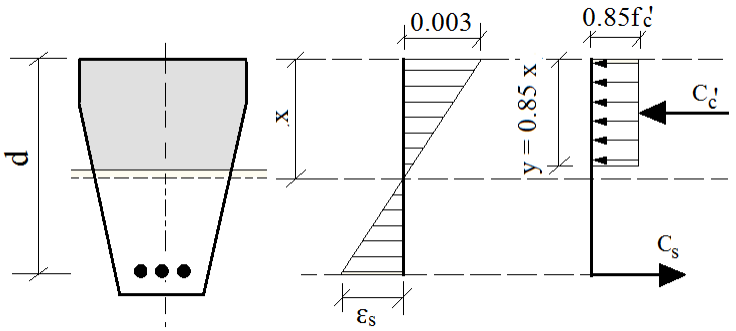
الشكل (٣-١٣) تناظر الحمولات في المقاطع

من أجل المقطع I-I يمكن رسم مخطط التشوهات والإجهادات نتيجة عزم الانعطاف في هذا المقطع وفق الفرضيات الأساسية للطريقة الحدية. بفرض أن d الارتفاع الفعال (المسافة بين مركز قضبان التسليح المشدود وأقصى نقطة مضغوطة من البيتون (أقصى ليف بيتوني مضغوط)). تخضع الألياف الموجودة فوق المحور السليم (المحور المحايد) إلى إجهادات ضغط في حين تخضع الألياف الواقعة تحت المحور السليم على

إجهادات شد. وبما أن مقاومة البيتون ضعيفة للإجهادات الشادة فإنها تهمل المنطقة الواقعة تحت المحور السليم حيث تقاوم قضبان الفولاذ (الموضوعة على مسافة من الألياف العلوية المضغوطة) إجهادات الشد بينما يتحمل البيتون فوق المحور السليم إجهادات الضغط الكلية٠

- **المقاطع أحادية التسليح (تسليح شد)**

توازن القوى الأفقية : القوى الضاغطة في البيتون = القوى الشادة في الفولاذ



الشكل (٣-١٤) مخطط الانفعالات والإجهادات

$$C'_c = C_s \Rightarrow 0.85f'_c.A'_c = A_s.f_s \qquad \textbf{(3-3)}$$

حيث :

$$\sigma'_c = 0.85f'_c \qquad \mu = \frac{A_s}{A_c}$$

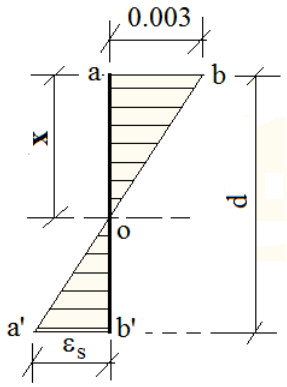
A_c مساحة مقطع البيتون الكامل من دون الجزء الواقع خارج مركز التسليح المشدود .

يمكن أن نجد

$$\mu = \frac{\sigma'_c}{f_s}\frac{A'_c}{A_c} \qquad \textbf{(3-4)}$$

- **تحديد موقع المحور السليم (المحور المحايد لتشوه فيه يساوي الصفر)**

يحدد موقع المحور السليم من مخطط التشوهات بفرض قيمة التشوه في الليف البيتوني الأقصى المضغوط مساوية 0.003 وقيمة التشوه في الفولاذ المشدود ε_s ويتغير التشوه بشكل خطي من b حتى a' . من تشابه المثلث abo مع المثلث a'b'o في مخطط التشوهات نجد أن



$$\frac{x}{d-x}=\frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_s}\Rightarrow \qquad \frac{x}{d}=\frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_s+\varepsilon_c'}$$

$$\frac{x}{d}=\frac{0.003}{\frac{f_s}{E_s}+0.003}$$

$$E_s=210000\ \text{Mpa}\ (\text{N/mm}^2)$$

$$\frac{x}{d}=\frac{630}{f_s+630} \qquad \alpha=\frac{y}{d}=\frac{0.85x}{d}$$

$$\alpha=\frac{y}{d}=\frac{535.5}{f_s+630} \qquad \textbf{(3-6)}$$

ملاحظات :

- **موقع المحور المحايد لا يتعلق إلا بالارتفاع الفعال وإجهاد الفولاذ المشدود.**
- **عمق المحور المحايد يتناسب طرداً مع الارتفاع الفعال وعكساً مع إجهاد الخضوع للفولاذ المشدود**

٣-٣-٢ حالة الانهيار التوازني Balanced Failure :

حالة الانهيار التوازني هي الحالة التي يبلغ عندها الانفعال في الفولاذ المشدود المعرض لأقصى انفعال شد القيمة المقابلة لانفعال الخضوع والمساوي $\varepsilon_s=\varepsilon_y=\frac{f_y}{E_s}=\frac{f_y}{210000}$ في اللحظة ذاتها التي يبلغ فيها انفعال الضغط في أقصى ليف بيتوني قيمته القصوى 0.003

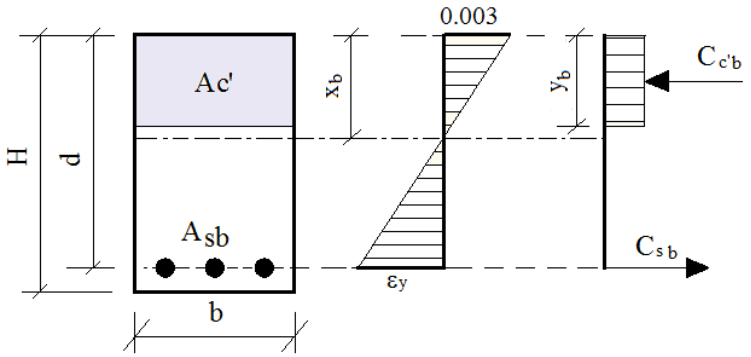
$$\frac{x_b}{d}=\frac{630}{f_y+630}\Rightarrow \qquad \alpha_b=\frac{y_b}{d}=\frac{0.85x_b}{d}\Rightarrow$$

$$\alpha_b = \frac{y_b}{d} = \frac{535.5}{f_y + 630} \qquad \textbf{(3-7)}$$

٣-٣-٣ نسبة التسليح التوازنية :

٣-٣-٣-١ مقطع مستطيل أحادي التسليح :

يبين الشكل (٣-١٥) مقطع مستطيل الشكل خاضعاً لعزم انعطاف توازني ومسلح تسليحاً أحادياً توازني على الشد .



الشكل (٣-١٥) مخطط الانفعالات والإجهادات في الحالة التوازنية لمقطع مستطيل أحادي التسليح

من توازن القوى في الحالة التوازنية نجد أن:

$$C'_{cb} = C_{sb} \Rightarrow 0.85 f'_c . A'_{cb} = A_{sb} . f_y \qquad \textbf{(3-8)}$$

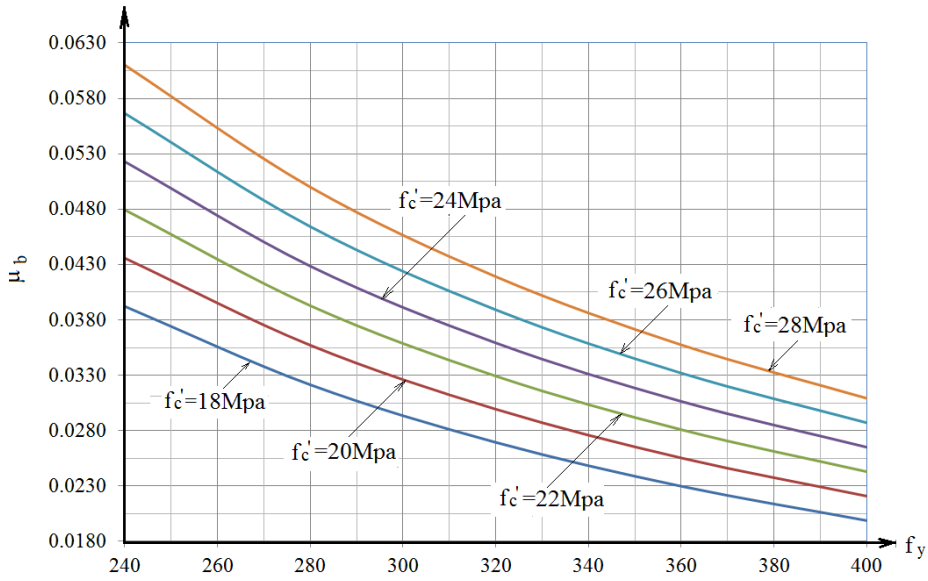
وبالتالي يعطى عمق المنطقة المضغوطة في الحالة التوازنية بالعلاقة :

$$y_b = \frac{A_{sb} f_y}{0.85 f_c' . b} \qquad \textbf{(3-9)}$$

بتعويض قيمة y_b من العلاقة **(3-7)** في المعادلة **(3-9)** نجد

$$\mu_b = \frac{455}{630 + f_y}\frac{f_c'}{f_y} \qquad \textbf{(3-10)}$$

الشكل (٣-١٦) يعطي نسب التسليح في الحالة التوازنية للمقاطع المستطيلة والمسلحة تسليحاً أحادياً على الشد أو يمكن الحصول عليها من الجدول (٣-٥).



الشكل (٣-١٦) نسبة التسليح التوازنية

الجدول (٣-٥) نسب التسليح التوازنية

f_y Mpa	f_c' Mpa					
	18	20	22	24	26	28
240	0.0392	0.0436	0.0479	0.0523	0.0567	0.0610
280	0.0321	0.0357	0.0393	0.0429	0.0464	0.0500
320	0.0269	0.0299	0.0329	0.0359	0.0389	0.0419
360	0.0230	0.0255	0.0281	0.0306	0.0332	0.0357
400	0.0199	0.0221	0.0243	0.0265	0.0287	0.0309

النسبة الأعظمية :

تؤخذ نسبة التسليح الأعظمية مساوية لـ 0.5-0.75 من نسبة التسليح التوازنية لضمان تلدن الفولاذ المشدود، أي التشوهات في الفولاذ المشدود أكبر من التشوهات الموافقة لإجهاد الخضوع.

آ- تؤخذ $\mu_{max} = 0.75\mu_b$ شريطة حساب السهم ووضع كمية تسليح ضغط دنيا أي

$$\mu_{max} = 0.75\mu_b = \frac{340}{630 + f_y}\frac{f_c'}{f_y} \qquad \textbf{(3-11)}$$

ويمكن حساب العمق الأعظمي للمنطقة المضغوطة y_{max}

$$\alpha_{max} = \frac{y_{max}}{d} = \mu_{max}\frac{f_y}{0.85f_c'} \qquad \textbf{(3-12)}$$

$$\alpha_{max} = \frac{401}{f_y + 630} \qquad \textbf{(3-13)}$$

ب- تؤخذ $\mu_{max} = 0.5\mu_b$ شريطة في الأحوال العادية أي

$$\mu_{max} = 0.5\mu_b = \frac{227.58}{630 + f_y}\frac{f_c'}{f_y} \qquad \textbf{(3-14)}$$

$$\alpha_{max} = \frac{267.45}{f_y + 630} \qquad \textbf{(3-14-a)}$$

الجدول (٣-٦) قيم α الحدية

f_y Mpa	$\alpha = \frac{y}{d}$		
	α_b	$\alpha_{max} = 0.75\alpha_b$	$\alpha_{max} = 0.5\alpha_b$
240	0.616	0.462	0.308
280	0.588	0.441	0.294
320	0.564	0.423	0.282
360	0.541	0.406	0.270
400	0.520	0.390	0.260

العزم الحدي في الحالة التوازنية :

نأخذ العزم حول المحور المار من الفولاذ المشدود :

$$M_{ub} = \Omega 0.85 f_c' b.d^2 \frac{y_b}{d}(1 - \frac{y_b}{2d}) \qquad \textbf{(3-15)}$$

أو

$$M_{ub} = \Omega 0.85 f_c' b.d^2 \alpha_b (1 - 0.5\alpha_b)$$

$$\boxed{M_{ub} = \Omega 0.85 f_c' b.d^2 A_{ob}} \qquad \textbf{(3-16)}$$

$$M_{ub} = \Omega . A_{sb} . f_y b.d^2 (1 - 0.5\alpha_b) \qquad \textbf{(3-17)}$$

وبالتالي

$$M_{u\,max} = \Omega 0.85 f_c' b.d^2 \alpha_{max} (1 - 0.5\alpha_{max})$$

أو

$$\boxed{M_{u\,max} = \Omega 0.85 f_c' b.d^2 A_{o(\alpha_{max})}} \qquad \textbf{(3-18)}$$

الجدول (٣-٧) قيم $\frac{M_{ub}}{b.d^2}$

f_y Mpa	f_c' Mpa							
	18	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**
240	5.867	6.519	6.845	7.171	7.497	7.823	8.149	8.475
280	5.719	6.354	6.672	6.990	7.308	7.625	7.943	8.261
320	5.574	6.194	6.503	6.813	7.123	7.432	7.742	8.052
340	5.504	6.115	6.421	6.727	7.032	7.338	7.644	7.950
360	5.434	6.038	6.340	6.641	6.943	7.245	7.547	7.849
380	5.365	5.962	6.260	6.558	6.856	7.154	7.452	7.750
400	5.298	5.887	6.181	6.475	6.770	7.064	7.358	7.653
420	5.232	5.813	6.104	6.395	6.685	6.976	7.267	7.557

الجدول (٣-٨) قيم $\frac{M_{u\,max}}{b.d^2}$ من أجل $\mu_{max}\ 0.75\mu_b$

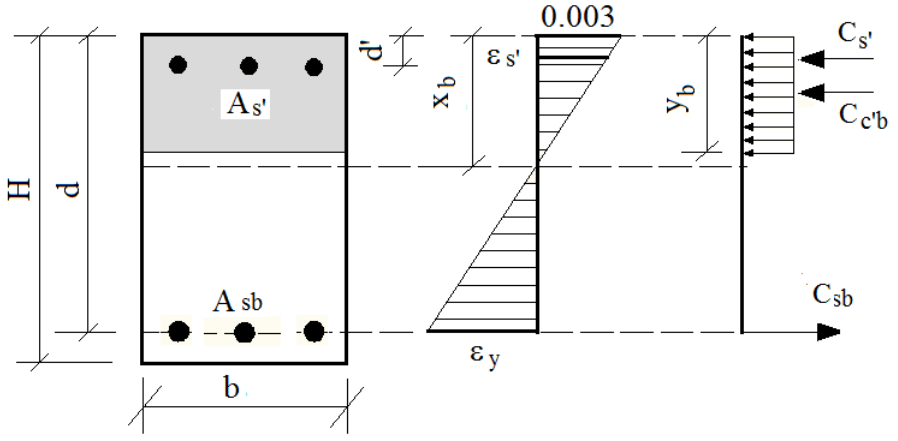
f_y Mpa	f_c' Mpa							
	18	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**
240	4.884	5.427	5.698	5.970	6.241	6.512	6.784	7.055
280	4.731	5.257	5.519	5.782	6.045	6.308	6.571	6.834
320	4.586	5.095	5.350	5.605	5.859	6.114	6.369	6.624
340	4.516	5.018	5.269	5.519	5.770	6.021	6.272	6.523
360	4.448	4.942	5.189	5.436	5.683	5.931	6.178	6.425
380	4.382	4.869	5.112	5.356	5.599	5.842	6.086	6.329
400	4.317	4.797	5.037	5.277	5.517	5.757	5.996	6.236
420	4.255	4.727	4.964	5.200	5.436	5.673	5.909	6.146

الجدول (٣-٩) قيم الثوابت للحالة التوازنية والأعظمية

الثوابت		f_y Mpa				
		240	280	300	360	400
التوازنية	α_b	0.616	0.588	0.576	0.541	0.520
	γ_b	0.692	0.706	0.712	0.730	0.740
	A_{ob}	0.426	0.415	0.410	0.395	0.385
	r_b	1.238	1.246	1.250	1.262	1.270
الأعظمية – يلزم حساب السهم–	$\alpha_{max} = 0.75\alpha_b$	0.462	0.441	0.432	0.406	0.390
	γ	0.769	0.779	0.784	0.797	0.805
	A_o	0.355	0.344	0.339	0.323	0.314
	r	1.295	1.306	1.311	1.326	1.336
الأعظمية الأحوال العادية	$\alpha_{max} = 0.5\alpha_b$	0.308	0.294	0.288	0.270	0.260
	γ	0.846	0.853	0.856	0.865	0.870
	A_o	0.260	0.251	0.246	0.234	0.226
	r	1.400	1.413	1.419	1.438	1.450

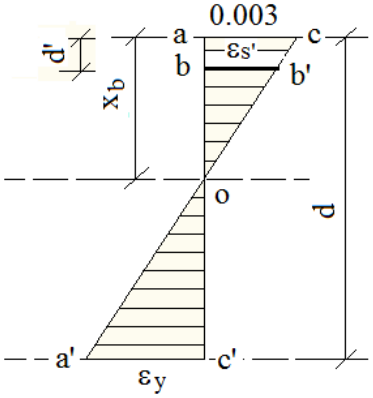
٣-٣-٣-٢ حالة المقطع المستطيل المسلح تسليحاً ثنائياً (شد و ضغط) :

ليكن لدينا مقطع بيتوني مسلح بتسليح ثنائي أي مسلح على الشد وعلى الضغط.



الشكل (٣-١٧) مخطط الانفعالات والإجهادات في الحالة التوازنية لمقطع مستطيل ثنائي التسليح

قضبان فولاذ التسليح المشدود متوضعة على بعد d من أقصى ليف بيتوني مضغوط وقضبان فولاذ التسليح المضغوط متوضعة على بعد 'd من اقصى منطقة مضغوطة. بعد رسم مخطط التشوهات والإجهادات اعتماداً على الفرضيات الأساسية للطريقة الحدية ، يمكن إيجاد موقع المحور السليم من تشابه المثلثين oac و oa'c' في مخطط التشوهات



$$\frac{x_b}{d-x_b}=\frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_y} \qquad \frac{x_b}{d}=\frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_s+\varepsilon_c'}$$

$$\frac{x_b}{d}=\frac{0.003}{\frac{f_y}{E_s}+0.003}=\frac{630}{f_y+630}$$

$$E_s=210000\,MPa\,(N/mm^2)$$

$$\frac{x_b}{d}=\frac{630}{f_y+630} \qquad \frac{y_b}{d}=\frac{535.5}{f_y+630}$$

أيضا بتوازن القوى نجد :

القوى الضاغطة في البيتون = القوى الشادة في الفولاذ

نكتب القوى الداخلية المؤثرة في المقطع

$$C_c'+C_s'=C_s \qquad C_c'=0.85f_c'.A_c'=\sigma_c'.b.y \qquad C_s=A_s.f_y$$

$$C_s'=A_s'.f_s'$$

$$0.85f_c'.b.y_b+A_s'f_s'=A_s.f_y$$

$$0.85f_c'.b.d\frac{535.5}{f_y+630}+A_s'f_s'=A_{sb}.f_y$$

بتقسيم الطرفين على $b.d.f_y$

$$\frac{f_c^{'}}{f_y}\frac{455}{f_y+630}+\frac{A_s^{'}}{b.d}\frac{f_s^{'}}{f_y}=\frac{A_{sb}}{b.d}$$

$$\mu_b=\frac{A_{sb}}{b.d}$$

$$\boxed{\mu_b=\frac{455}{f_y+630}\frac{f_c^{'}}{f_y}+\frac{A_s^{'}}{b.d}\frac{f_s^{'}}{f_y}} \qquad \textbf{(3-16)}$$

من تشابه المثلثين obb' و oac في مخطط التشوهات

$$\frac{\varepsilon_s^{'}}{\varepsilon_c^{'}}=\frac{x_b-d^{'}}{x_b}\Rightarrow\frac{\frac{f_s^{'}}{E_s}}{0.003}=(1-\frac{d^{'}}{x_b})\Rightarrow f_s^{'}=630(1-\frac{d^{'}}{x_b})$$

$$\boxed{f_s^{'}=630(1-\frac{d^{'}}{d}\frac{630+f_y}{630})} \qquad \textbf{(3-17)}$$

العزم الحدي في الحالة التوازنية :

نأخذ العزم حول المحور المار من الفولاذ المشدود :

$$M_{ub}=\Omega(C_{cb}^{'}.Z_{cb}+C_{sb}^{'}Z_{cb}^{'})=\Omega 0.85f_c^{'}b.y_b(d-\frac{y_b}{2})+A_{bs}^{'}.f_s^{'}(d-d')$$

$$M_{ub}=\Omega 0.85f_c^{'}b.\frac{y_b}{d}(1-\frac{y_b}{2d})+A_{bs}^{'}.f_s^{'}(d-d)$$

فإذا كان $f_s^{'}$ أكبر أو يساوي f_y فإن $f_s^{'}=f_y$ نقول إن الفولاذ المضغوط متلدن وتصبح العلاقة 3-16

$$\boxed{\mu_b=\frac{455}{f_y+630}\frac{f_c^{'}}{f_y}+\frac{A_s^{'}}{b.d}} \qquad \textbf{(3-18)}$$

والعزم الحدي التوازني

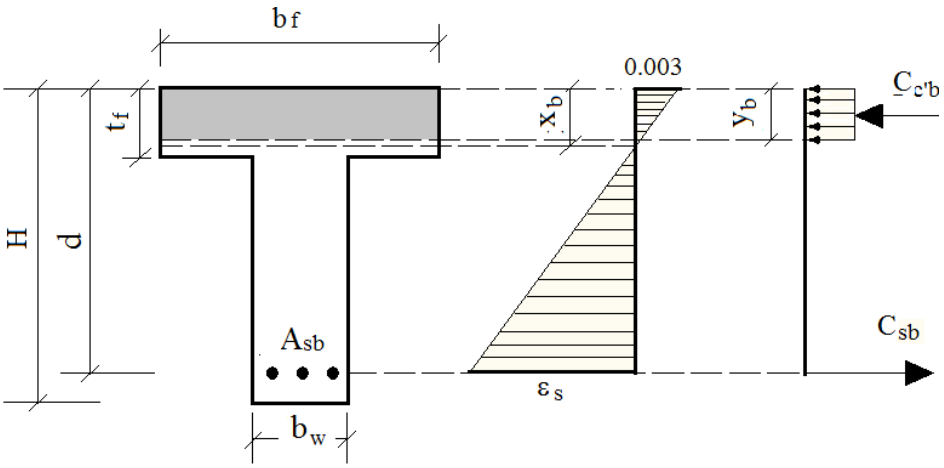
$$M_{ub}=\Omega 0.85f_c^{'}b.y_b(d-\frac{y_b}{2})+A_{bs}^{'}.f_y(d-d')$$

أما إذا كان $f_s^{'}$ أصغر من f_y فإن $f_s^{'}\neq f_y$ نقول أن الفولاذ المضغوط غير متلدن .

٣-٣-٣-٣ حالة المقطع بشكل T المسلح بتسليح أحادي (شد فقط في الجسد):

الحالة الاولى : المحور المحايد يقع ضمن بلاطة الضغط

ليكن لدينا مقطع بشكل T مسلح تسليحاً أحادياً على الشد فقط ويتعرض لعزم حدي توازني M_{ub} موجب وبفرض أن المحور السليم يقع ضمن منطقة الجناحين أي إن كامل المنطقة المضغطة ضمن الجناحين (تسمى هذه المنطقة بطاولة الضغط) .



الشكل (٣-١٨) مخطط الانفعالات والإجهادات في الحالة التوازنية لمقطع بشكل T أحادي التسليح والمحور ضمن بلاطة الضغط

بعد رسم مخططات التشوهات والإجهادات يمكن أن نجد موقع المحور السليم أي

$$y_b = 0.85x_b = 0.85\frac{630}{630+f_y}d$$

وبالتالي يمكن استنتاج شرط وقوع المحور المحايد ضمن طاولة الضغط

$$t_f \geq 0.85\frac{630}{630+f_y}d \qquad \textbf{(3-18)}$$

في هذه الحالة المقطع مستطيل عرضه b_f وارتفاعه الفعال d و مسلح تسليحاً أحادياً على الشد

$$0.85f'_c.y_b.b_f = A_{sb}.f_y$$

$$\mu_b = \frac{A_{sb}}{b_w.d}$$

$$A_{sb} = \frac{0.85 f_c^{'} . y_b . b_f}{f_y}$$

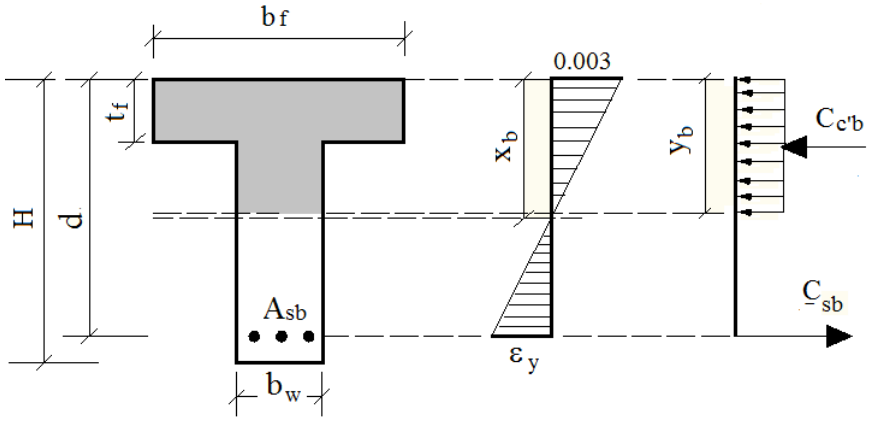
$$A_{sb} = \frac{0.85 f_c^{'} . b_f}{f_y} 0.85 \frac{630}{630 + f_y} d$$

$$A_{sb} = \frac{455}{630 + f_y} \frac{f_c^{'}}{f_y} b_f . d$$

$$\mu_b = \frac{455}{630 + f_y} \frac{f_c^{'}}{f_y} \frac{b_f}{b_w} \qquad \textbf{(3-19)}$$

الحالة الثانية المحور المحايد تحت طاولة الضغط (يقطع الجسد)

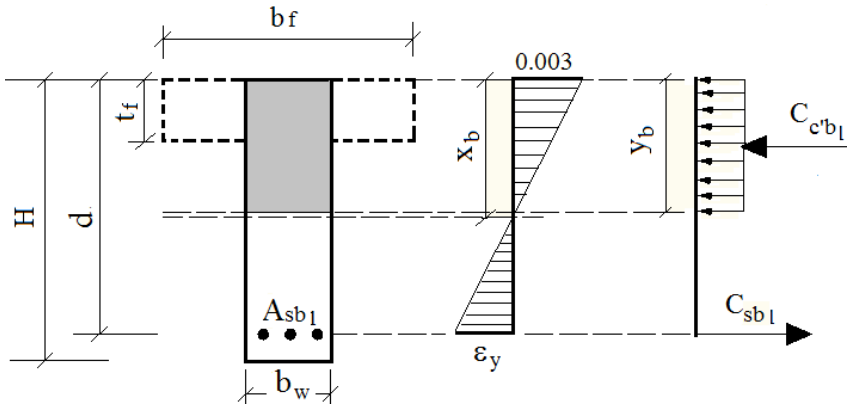
في هذه الحالة يقع المحور السليم تحت الجناحين اي يقطع الجسد كما هو موضح في الشكل (٣-١٩)



الشكل (٣-١٩) مخطط الانفعالات والإجهادات في الحالة التوازنية لمقطع بشكل T أحادي التسليح والمحور يقطع الجسد

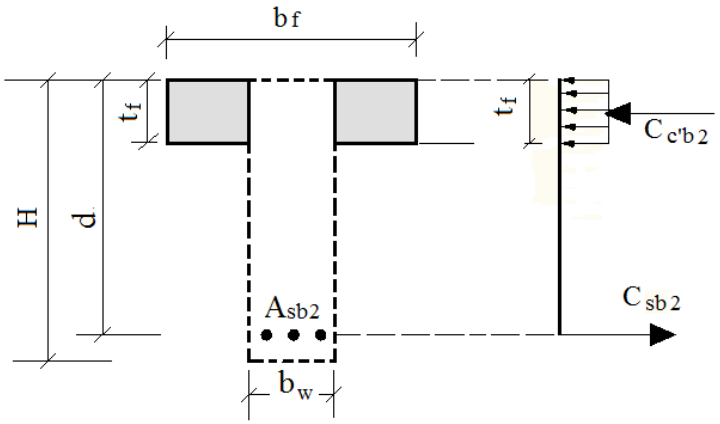
في هذه الحالة يمكن تقسيم المنطقة المضغوطة إلى قسمين يحتوي القسم الاول على الجزء المستطيل ذا العرض b_w والارتفاع y_b . ويكون مخطط الإجهادات في هذا القسم كما هو موضح في الشكل (٣-٢٠) اما القسم الثاني فيمثل جناحي البلاطة المضغوطة كما في الشكل (٣-٢١) ويكون التسليح الكلي

$$A_{sb} = A_{sb1} + A_{sb2}$$



الشكل (٣-٢٠) مخطط الانفعالات والإجهادات في الحالة التوازنية لمقطع بشكل T أحادي التسليح للجزء الأول

$$A_{sb1} = \frac{455}{630 + f_y}\frac{f_c'}{f_y} b_w.d \qquad \textbf{(3-20)}$$



الشكل (٣-٢١) مخطط الانفعالات والإجهادات في الحالة التوازنية لمقطع بشكل T أحادي التسليح للجزء الثاني

توازن القوى :

$$C_{c'b2} = C_{sb2}$$

$$A_{sb2} f_y = 0.85 f_c'.t_f (b_f - b_w)$$

$$A_{sb2} = \frac{0.85 f_c'.t_f (b_f - b_w)}{f_y}$$

$$A_{sb} = \frac{455}{630 + f_y}\frac{f_c^{'}}{f_y} b_w.d + \frac{0.85 f_c^{'}.t_f (b_f - b_w)}{f_y}$$

$$A_{sb} = \frac{b_w}{b_f}\left(\frac{455}{630 + f_y}\frac{f_c^{'}}{f_y} + \frac{0.85 f_c^{'}.t_f (b_f - b_w)}{f_y.b_w.d}\right) b_f.d \qquad \textbf{(3-21)}$$

أو

$$\boxed{\mu_b = \frac{0.85 f_c^{'}}{f_y}\left(\frac{545.3}{630 + f_y} + \frac{t_f}{d}\left(\frac{b_f}{.b_w} - 1\right)\right)} \qquad \textbf{(3-22)}$$

حيث

$$\mu_b = \frac{A_s}{b_w.d}$$

القيم العظمى

$$\alpha_{max} = 0.75\alpha_b \Rightarrow \mu_b \rightarrow \mu_{max}$$

$$\boxed{\mu_{max} = \frac{0.85 f_c^{'}}{f_y}\left(\frac{401}{630 + f_y} + \frac{t_f}{d}\left(\frac{b_f}{.b_w} - 1\right)\right)} \qquad \textbf{(3-23)}$$

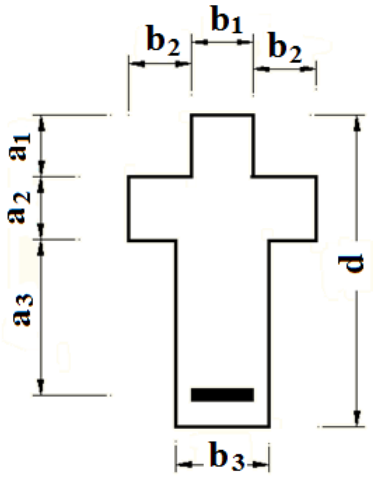
و من أجل

$$\mu_{max} = 0.5\mu_b$$

$$\boxed{\mu_{max} = \frac{0.85 f_c^{'}}{f_y}\left(\frac{227}{630 + f_y} + \frac{t_f}{d}\left(\frac{b_f}{.b_w} - 1\right)\right)} \qquad \textbf{(3-24)}$$

٣-٣-٣-٣ حالة مقطع كيفي ومسلح تسليحاً أحادياً (على الشد فقط):

لنأخذ مقطعاً كيفياً كما في الشكل (٣-٢٤)



الشكل (٣-٢٢) مقطع كيفي مسلح على الشد

يحدد موقع المحور المحايد كما في السابق في الحالة التوازنية من العلاقة

$$\frac{x_b}{d} = \frac{630}{f_y + 630}$$

وبالتالي عمق المنطقة المضغوطة في الحالة التوازنية:

$$y_b = 0.85 x_b$$

نناقش عدة حالات حسب موقع المحور

الفاصل بين المنطقة المشدودة والمنطقة (أو المناطق) المضغوطة

الحالة الأولى : $y_b \le a_1$

في هذه الحالة يعالج المقطع كمقطع مستطيل عرضه b_1

التسليح التوازني :

$$A_{sb} = \frac{455}{630 + f_y} \frac{f_c'}{f_y} b_1 . d \qquad \textbf{(3-35)}$$

العزم الحدي التوازني :

$$M_{ub} = \Omega \left[0.85 f_c' b_1 . y_b \left(d - \frac{y_b}{2} \right) \right] \qquad \textbf{(3-36)}$$

أو

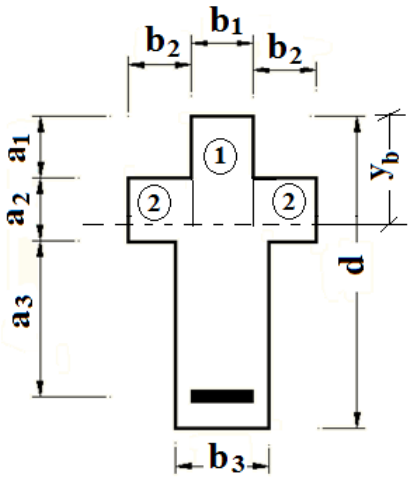
$$M_{ub} = \Omega\left[0.85f_c^{'}b_1.y_b(d-\frac{y_b}{2})\right] \qquad \textbf{(3-36)}$$

الحالة الثانية :

$(a_1 + a_2) \geq y_b > a_1$

في هذه الحالة تقسم المنطقة المضغوطة إلى ثلاث مناطق الشكل (٣-٢٥)

ننظم جدولاً لحساب التسليح في الحالة التوازنية وثم حساب العزم الحدي التوازني



الشكل (٣-٢٣) تقسيم المنطقة المضغوطة

i	$A_{ci}^{'}$ mm^2	$Z_{ci}^{'}$ mm	$C_{ci}^{'}$ N	M_{ubi} N.m
1	$y_b.b_1$	$d-\frac{y_b}{2}$	$0.85f_c^{'}A_{c1}^{'}$	$\Omega F_{c1}^{'}Z_{c1}^{'}$
2	$(y_b-a_1).b_2$	$d-\frac{y_b+a_1}{2}$	$0.85f_c^{'}A_{c2}^{'}$	$\Omega F_{c2}^{'}Z_{c2}^{'}$
3	$(y_b-a_1).b_2$	$d-\frac{y_b+a_1}{2}$	$0.85f_c^{'}A_{c3}^{'}$	$\Omega F_{c3}^{'}Z_{c3}^{'}$
			$\sum F_{ci}^{'}$	$\sum M_{ubi}$

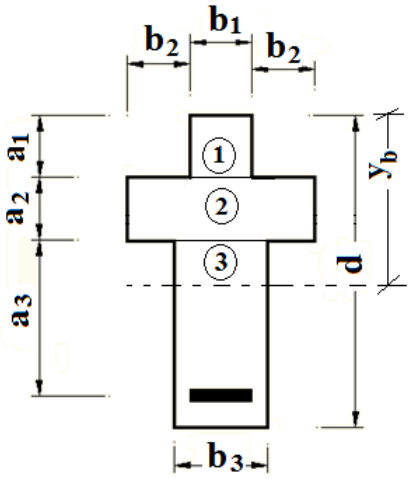
التسليح التوازني :

$$A_{sb} = \frac{\Sigma C'_{ci}}{f_y}$$

الحالة الثالثة : $y_b > (a_1 + a_2)$

في هذه الحالة تقسم المنطقة المضغوطة إلى ثلاث مناطق الشكل (٣-٢٦)

ننظم جدول لحساب التسليح في الحالة التوازنية وثم حساب العزم الحدي التوازني



الشكل (٣-٢٤)

i	A'_{ci} mm^2	Z'_{ci} mm	C'_{ci} N	M_{ubi} N.m
1	$a_1.b_1$	$d-\frac{a_1}{2}$	$0.85f'_cA'_{c1}$	$\Omega F'_{c1}Z'_{c1}$
2	$a_2.(b_1+2b_2)$	$d-a_1-\frac{a_2}{2}$	$0.85f'_cA'_{c2}$	$\Omega F'_{c2}Z'_{c2}$
3	$(y_b-a_1-a_2).b_3$	$d-\frac{y_b+a_1+a_2}{2}$	$0.85f'_cA'_{c3}$	$\Omega F'_{c3}Z'_{c3}$
			$\Sigma F'_{ci}$	ΣM_{ubi}

التسليح التوازني :

$$A_{sb} = \frac{\sum F'_{ci}}{f_y}$$

الخلاصة :

أولا : حساب العزم الحدي التوازني لأي مقطع من البيتون المسلح تسليحاً أحادياً على الشد فقط

نتبع الخطوات الآتية :

١- يتم تحديد موقع المحور المحايد من العلاقة $x_b = \frac{630}{630 + f_y} d$ وثم نحصل على عمق المنطقة المضغوط في الحالة التوازنية $y_b = 0.85 x_b$

٢- يتم تقسيم المنطقة المضغوطة إلى عدة مناطق بحيث نحصل على أشكال هندسية (مربعات، مستطيلات، مثلثات) يمكن حساب مساحتها ومعرفة موقع مركز ثقلها الهندسي وبالتالي بعد مركز ثقلها عن مركز مقطع الفولاذ المشدود.

٣- نحسب مساحة كل منطقة مضغوطة A'_{ci} وبعد مركز ثقلها عن الفولاذ المشدود هو Z'_{ci}

٤- نحسب القوة الداخلية الناتجة عن الضغط لكل منطقة $C'_{ci} = 0.85 f'_c A'_{ci}$

٥- نحسب القوة الداخلية الناتجة عن الضغط $C'_c = \sum_{i=1}^{n} C'_{ci}$

٦- نحسب التسليح التوازني المشدود $A_{sb} = \frac{C'_c}{f_y}$

٧- نحسب العزم الحدي التوازني $M_{ub} = \sum_{i=1}^{n} C'_{ci} . Z'_{ci}$

ثانياً : حساب العزم الحدي الأعظمي لأي مقطع من البيتون المسلح تسليحاً أحادياً على الشد فقط

نتبع الخطوات الآتية :

١- يتم تحديد موقع المحور المحايد من العلاقة $x_b = \frac{630}{630 + f_y} d$ وثم نحصل على عمق المنطقة المضغوط في الحالة التوازنية $y_b = 0.85 x_b$

٢- نحدد موقع المحور الفاصل بين المناطق المضغوطة في الحالة الأعظمية والمنطقة المشدودة من $y_{max} = 0.75y_b$

٢- نتبع بعد ذلك الخطوات من ٢ إلى ٧

مسائل

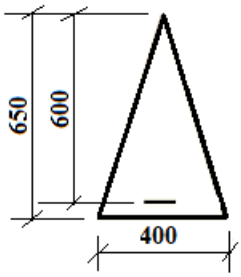
مسألة (٣-١) :

بفرض أن $f_y = 400\,MPa$ $f_c' = 20\,MPa$

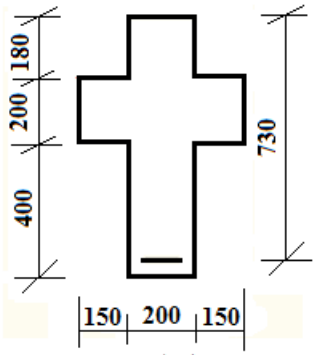
١- أوجد عمق المنطقة المضغوطة التوازنية

٢- احسب العزم التوازني

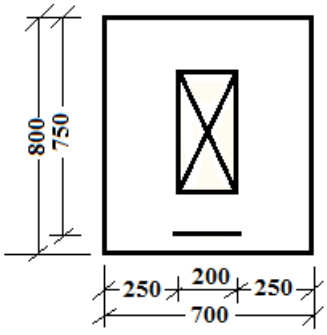
٣- احسب التسليح التوازني



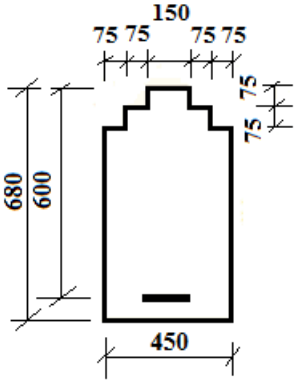
الشكل (١)



الشكل (٢)



الشكل (٣)



الشكل (٤)

الحل :

من أجل الشكل (١) :

$$x_b = \frac{630}{630 + f_y} d$$

$$x_b = \frac{630}{630 + 400} d = 0.612d \Rightarrow x_b = 0.612 \times 600 = 367mm$$

$$y_b = 0.85 x_b = 0.85 \times 367 = 312mm$$

قاعدة المثلث لمنطقة الضغط

$$b_1 = \frac{312}{650} \times 400 = 192mm$$

مساحة منطقة الضغط :

$$A_c = \frac{312 \times 192}{2} = 29952mm^2$$

ذراع منطقة الضغط

$$z_c = 600 - \frac{2}{3} \times 312 = 392mm$$

العزم التوازني

$$M_{ub} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 29952 \times 392 = 179.64kN.m$$

التسليح التوازني

$$A_{sb} = \frac{0.85 \times 20 \times 29952}{400} = 1273mm^2$$

الشكل (٢) :

$$x_b = \frac{630}{630 + 400} d = 0.612d \Rightarrow x_b = 0.612 \times 730 = 447mm$$

$$x_b = \frac{630}{630 + f_y} d$$

$$y_b = 0.85 x_b = 0.85 \times 447 = 380mm$$

مساحة منطقة الضغط (١):

$$A_{c1} = 200 \times 180 = 36000 mm^2$$

ذراع منطقة الضغط (١)

$$Z_{c1} = 730 - 90 = 640 mm$$

العزم التوازني (١)

$$M_{ub1} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 36000 \times 640 = 352.512 kN.m$$

التسليح التوازني (١)

$$A_{sb1} = \frac{0.85 \times 20 \times 36000}{400} = 1530 mm^2$$

مساحة منطقة الضغط (٢):

$$A_{c2} = 500 \times 180 = 90000 mm^2$$

ذراع منطقة الضغط (٢)

$$Z_{c2} = 730 - 180 - 100 = 450 mm$$

العزم التوازني (٢)

$$M_{ub2} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 90000 \times 450 = 619.65 kN.m$$

التسليح التوازني (٢)

$$A_{sb2} = \frac{0.85 \times 20 \times 90000}{400} = 3825 mm^2$$

العزم التوازني الكلي

$$M_{ub} = 352.512 + 619.65 = 972.16 kN.m$$

التسليح التوازني الكلي

$$A_{sb} = 1530 + 3825 = 5355 mm^2$$

الشكل (٣) :

$$x_b = \frac{630}{630 + f_y} d$$

$$x_b = \frac{630}{630 + 400} d = 0.612d \Rightarrow x_b = 0.612 \times 750 = 459mm$$

$$y_b = 0.85 x_b = 0.85 \times 459 = 390mm$$

مساحة منطقة الضغط (١):

$$A_{c1} = 200 \times 700 = 140000mm^2$$

ذراع منطقة الضغط (١)

$$Z_{c1} = 750 - 100 = 650mm$$

العزم التوازني (١)

$$M_{ub1} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 140000 \times 650 = 1392.3kN.m$$

التسليح التوازني (١)

$$A_{sb1} = \frac{0.85 \times 20 \times 140000}{400} = 5950mm^2$$

مساحة منطقة الضغط (٢):

$$A_{c2} = 2 \times (250 \times 190) = 95000mm^2$$

ذراع منطقة الضغط (٢)

$$Z_{c2} = 750 - 200 - \frac{190}{2} = 455mm$$

العزم التوازني (٢)

$$M_{ub2} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 95000 \times 455 = 661.34kN.m$$

التسليح التوازني (٢)

$$A_{sb2} = \frac{0.85 \times 20 \times 95000}{400} = 4037.5mm^2$$

العزم التوازني الكلي

$$M_{ub} = 1392.3 + 661.34 = 2053.64 kN.m$$

التسليح التوازني الكلي

$$A_{sb} = 5950 + 4037.5 = 9988 mm^2$$

الشكل (٤)

$$x_b = \frac{630}{630+400} d = 0.612d \Rightarrow x_b = 0.612 \times 750 = 459 mm$$

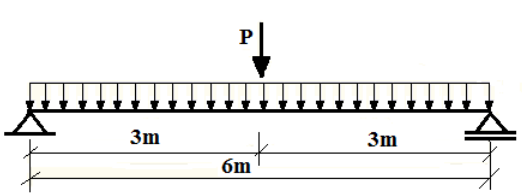
$$x_b = \frac{630}{630+f_y} d$$

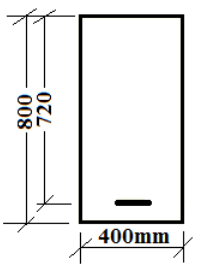
$$y_b = 0.85 x_b = 0.85 \times 459 = 390 mm$$

المنطقة	مساحة mm^2	القوة N	الذراع mm	العزم kN.m	التسليح mm^2
1	11250	191250	712.5	122.64	478
2	22500	382500	637.5	219.46	956
3	108000	1836000	480	793.1	4590
المجموع				1135.25	6024

المسألة (٣-٢) :

جائز بسيط مقطعه مستطيل يحمل حمولة حية مركزة بقيمة P بالإضافة إلى الوزن الذاتي للجائز بفرض أن المقاومة المميزة للبيتون $f_c' = 20MPa$ اجهاد الخضوع للفولاذ $f_y = 300MPa$





المطلوب :

١- حساب العزم التوازني والتسليح الموافق للمقطع .

٢- حساب قيمة الحمولة المركزة الحية في الحالة التوازنية للمقطع .

الحل :

الطلب الأول :

$$x_b = \frac{630}{630 + f_y} d$$

$$x_b = \frac{630}{630 + 300} d = 0.677d \Rightarrow x_b = 0.677 \times 720 = 488mm$$

$$y_b = 0.85 x_b = 0.85 \times 488 = 415mm$$

$$M_{ub} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 400 \times 415 \times (720 - \frac{415}{2}) = 1302kN.m$$

$$A_{sb} = \frac{0.85 f_c^{'} b.y_b}{f_y} = \frac{0.85 \times 20 \times 400 \times 415}{300} = 9407mm^2$$

الطلب الثاني :

- الوزن الذاتي

$$s.w = 0.8 \times 0.4 \times 25 = 8kN/m$$

- العزم الحدي الناتج عن الوزن الذاتي

$$M_{u1} = \frac{1.4 \times 8 \times 6^2}{8} = 50.4kN.m$$

- العزم الحدي الناتج عن الحمولة الحية المركزة

$$M_{u2} = \frac{1.7 \times P \times 6}{4} = 2.55PkN.m$$

- العزم الحدي الكلي

$$M_{ub} = 50.4 + 2.55P = 1302 \Rightarrow P = 490.82kN$$

المسألة (٣-٣) :

أعد المسألة رقم (٣-٢) واحسب :

١- حساب العزم الأعظمي والتسليح الموافق للمقطع .

٢- حساب قيمة الحمولة المركزة الحية الأعظمية للمقطع .

الحل :

الطلب الأول :

$$x_b = \frac{630}{630 + f_y} d$$

$$x_b = \frac{630}{630+300} d = 0.677d \Rightarrow x_b = 0.677 \times 720 = 488mm$$

$$y_b = 0.85 x_b = 0.85 \times 488 = 415mm$$

$$y_{max} = 0.75 y_b = 0.75 \times 415 = 311mm$$

$$M_{u\,max} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 400 \times 311 \times (720 - \frac{311}{2}) = 1074kN.m$$

$$A_{s\,max} = \frac{0.85 f_c^{'} b.y_{max}}{f_y} = \frac{0.85 \times 20 \times 400 \times 311}{300} = 7049mm^2$$

الطلب الثاني :

- الوزن الذاتي

$$s.w = 0.8 \times 0.4 \times 25 = 8kN/m$$

- العزم الحدي الناتج عن الوزن الذاتي

$$M_{u1} = \frac{1.4 \times 8 \times 6^2}{8} = 50.4kN.m$$

- العزم الحدي الناتج عن الحمولة الحية المركزة

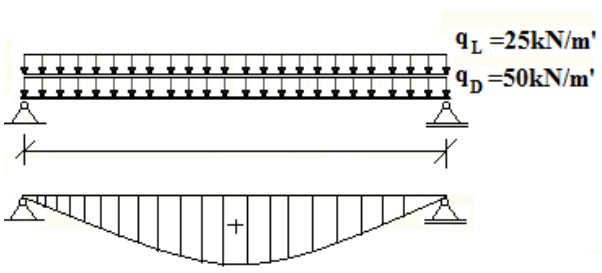
$$M_{u2} = \frac{1.7 \times P \times 6}{4} = 2.55PkN.m$$

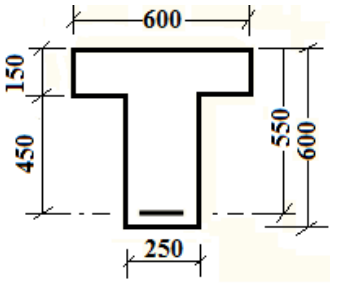
- العزم الحدي الكلي

$$M_{u\,max} = 50.4 + 2.55P = 1074 \Rightarrow P = 401.41kN$$

مسألة (٣-٤) دورة ٢٠١٣-٢٠١٤ الفصل الأول

جائز بسيط من البيتون المسلح مجازه الفعال **L** يحمل حمولة موزعة بانتظام حية مقدارها **25kN/m'** وميتة مقدارها **50kN/m'** بما فيه الوزن الذاتي للجائز. المقطع العرضي للجائز موضح بالشكل (الابعاد بالملميتر) مسلح تسليحاً أحادياً على الشد فقط.





المطلوب : $f_c^{'} = 20MPa$ $f_y = 400MPa$

١- حساب المجاز الأعظمي الممكن بحيث يعمل المقطع بشكل مستطيل عرضه b_f **=600mm** وحساب التسليح الموافق.

٣-حساب المجاز الأعظمي الممكن ثم حساب التسليح الموافق.

الحل :

الطلب الأول :

حساب المجاز الأعظمي الممكن بحيث يعمل المقطع بشكل مستطيل عرضه b_f **=600mm** وحساب التسليح الموافق.

- حساب العزم الأعظمي الحدي

$$M_{uf} = 0.9 \times 0.85 f_c^{'}.b_f.t_f\left(d - \frac{t_f}{2}\right)$$

$$M_{uf} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 600 \times 150\left(550 - \frac{150}{2}\right)$$

$$M_{uf} = 654.07 kN.m$$

- حساب الحمولة الحدية

$$q_u = 50\times1.4 + 25\times1.7 = 112.5kN/m'$$

حساب المجاز الأعظمي

$$M_u = M_{uf} = \frac{q_u.L^2}{8} \Rightarrow L = \sqrt{\frac{8M_{uf}}{q_u}} = \sqrt{\frac{8\times654.07}{112.5}}$$

$$L = 6.82m$$

حساب التسليح الموافق

$$A_s = \frac{0.85\times20\times150\times600}{400} = 3825mm^2$$

الطلب الثاني : حساب المجاز الأعظمي الممكن ثم حساب التسليح الموافق.

موقع المحور السليم في حالة التسليح الأعظمي

$$x_{max} = 0.75x_b = \frac{0.75\times630}{630+400}550 \Rightarrow x_{max} = 252.31mm$$

$$y_{max} = 0.85x_{max} = 0.85\times252.3 \Rightarrow y_{max} = 214.46mm$$

حساب العزم الحدي من الجناحين

$$M_{ut} = 0.9\times0.85\times20\times(600-250)\times150(550-\frac{150}{2})$$

$$M_{ut} = 2295\times350\times475 = 381.54kN.m$$

حساب العزم الحدي من الجسد

$$M_{u1} = 0.9\times20\times0.85\times250\times214.46(550-\frac{214.46}{2})$$

$$M_{u1} = 363.21 kN.m$$

العزم الكلي الأعظمي

$$M_u = M_{ut} + M_{u1} = 744.75 kN.m$$

حساب المجاز الأعظمي

$$M_u = \frac{q_u . L^2}{8} \Rightarrow L = \sqrt{\frac{8M_u}{q_u}} \Rightarrow M_u = \sqrt{\frac{8 \times 744.75}{112.5}}$$

$$L = 7.28m$$

حساب التسليح الموافق

$$A_{st} = \frac{0.85 \times 20 \times 150 \times (600 - 250)}{400} \Rightarrow A_{st} = 2231 mm^2$$

$$A_{s1} = \frac{0.85 \times 20 \times 250 \times 214.46}{400} \Rightarrow A_{s1} = 2278.64 mm^2$$

$$A_s = A_{st} + A_{s1} = 2231 + 2278.64 \Rightarrow A_s = 4510 mm^2$$

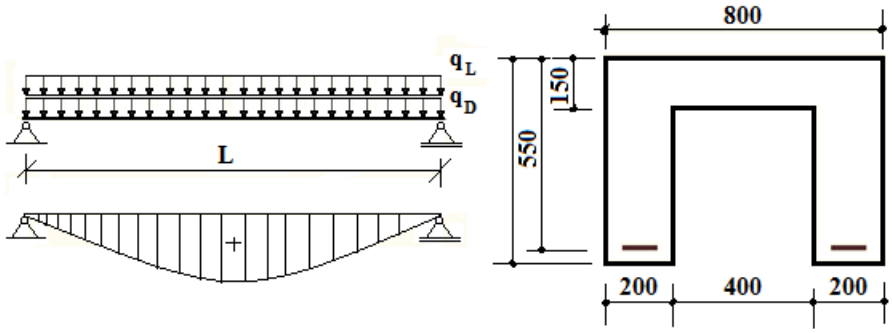
مسألة (٣-٥) دورة ٢٠١١-٢٠١٢ الفصل الأول

جائز بسيط مجازه **L=8m** مقطعه موضح في الشكل ، يحمل حمولة حية موزعة بانتظام **g=50kN/m'** (تتضمن الوزن الذاتي للجائز) وحمولة موزعة بانتظام حية **pkN/m'** والمطلوب :

١- حساب العزم الحدي التوازني والتسليح الموافق له

٢- حساب أكبر حمولة حية موزعة بانتظام يمكن أن يتحملها الجائز بتسليح أحادي على الشد

$$a = 50mm \quad f_c^{'} = 20 MPa \quad f_y = 400 MPa$$



الطلب الأول :

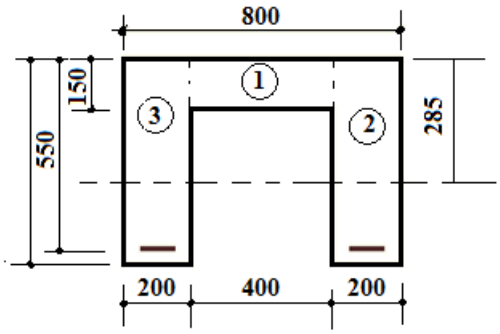
إيجاد موقع المحور المحايد في الحالة التوازنية

عمق المنطقة المضغوطة

$$x_b = \frac{630}{630 + f_y} d = \frac{630}{630 + 400} 550 \Rightarrow x_b = 335.5mm$$

$$y_b = 0.85 x_b = 0.85 \times 335.5 \Rightarrow y_b = 285mm$$

بما أن موقع المحور الفاصل بين المنطقة المضغوطة والمنطقة المشدودة يقطع الجسد نقسم المنطقة المضوطة إلى ثلاثة مناطق



قوة الضغط للمنطقة رقم ١

$$C'_{c1} = 0.85 \times 20 \times (800 - 400) \times 150 \Rightarrow C'_{c1} = 1020000N$$

ذراع قوة الضغط للمنطقة رقم ١

$$Z'_{c1} = 550 - \frac{150}{2} = 475mm$$

العزم الحدي لقوة الضغط للمنطقة رقم ١

$$M_{u1} = 0.9 \times 1020000 \times 475 \Rightarrow M_{u1} = 436kN.m$$

قوة الضغط للمنطقة رقم ٢ و٣

$$C'_{c2} = 0.85 \times 20 \times 400 \times 285 \Rightarrow C'_{c2} = 1938000N$$

ذراع قوة الضغط للمنطقة رقم ٢و٣

$$Z'_{c2} = 550 - \frac{285}{2} = 407.5mm$$

قوة الضغط للمنطقة رقم ٢و٣

$$M_{u2} = 0.9 \times 1938000 \times 407.5 \Rightarrow M_{u2} = 711kN.m$$

العزم الحدي التوازني الكلي

$$M_{ur} = 436 + 711 = 1147.1kN.m$$

التسليح التوازني

$$A_{sb} = \frac{1020000 + 1938000}{400} \Rightarrow A_{sb} = 7395mm^2$$

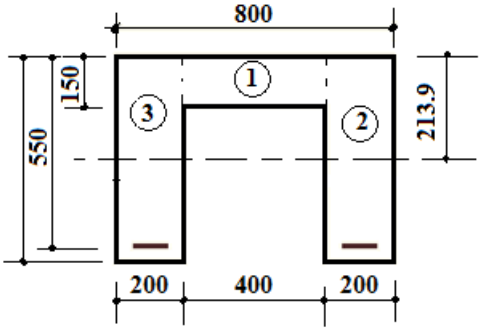
الطلب الثاني :

إيجاد موقع المحور المحايد الأعظمي

$$x_{max} = 0.75x_b = 0.75 \times 335.5 \Rightarrow x_{max} = 252mm$$

عمق المنطقة المضغوطة

$$y_{max} = 0.85x_{max} = 0.85 \times 252 \Rightarrow y_{max} = 213.9mm$$



قوة الضغط للمنطقة رقم ١

$$C'_{c\max 1} = 0.85 \times 20 \times (800 - 400) \times 150 \Rightarrow C'_{c\max 1} = 1020000N$$

ذراع قوة الضغط للمنطقة رقم ١

$$Z'_{c\max 1} = 550 - \frac{150}{2} = 475mm$$

العزم الحدي لقوة الضغط للمنطقة رقم ١

$$M_{u\max 1} = 0.9 \times 1020000 \times 475 \Rightarrow M_{u\max 1} = 436kN.m$$

قوة الضغط للمنطقة رقم ٢ و٣

$$C'_{c\max 2} = 0.85 \times 20 \times 400 \times 213.9 \Rightarrow C'_{c\max 2} = 1453840N$$

ذراع قوة الضغط للمنطقة رقم ٢و٣

$$Z'_{c\max 2} = 550 - \frac{213.9}{2} = 443mm$$

العزم الحدي لقوة الضغط للمنطقة رقم ٢ و٣

$$M_{u\max 2} = 0.9 \times 1453840 \times 443 \Rightarrow M_{u\max 2} = 579.6kN.m$$

العزم الحدي الأعظمي الكلي

$$M_{u\max r} = 436 + 579.6 \Rightarrow M_{u\max r} = 1015.6kN.m$$

التسليح الأعظمي

$$A_{s\,max} = \frac{1020000 + 1453840}{400} \Rightarrow \qquad A_{s\,max} = 6185mm^2$$

الحمولة الحدية

$$q_u = 1.4 \times 50 + p \times 1.7 \Rightarrow p = \frac{q_u - 70}{1.7}$$

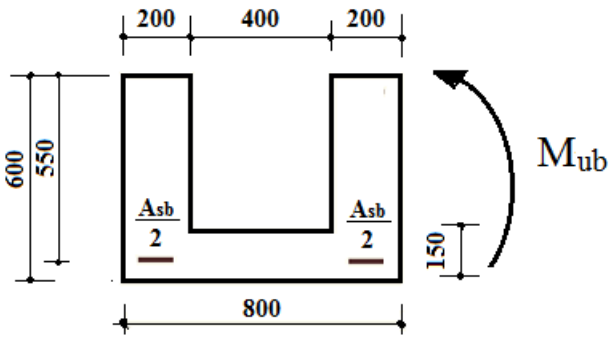
$$M_u = \frac{q_u L^2}{8} \Rightarrow q_u = \frac{8M_u}{L^2} = \frac{8 \times 1015.6}{64}$$

$$q_u = 126.95kN/m'$$

$$p = \frac{126.95 - 70}{1.7} \Rightarrow p = 33.5kN/m'$$

مسألة (٣-٦) دورة ٢٠١٢-٢٠١٣ الفصل الثاني

مقطع من البيتون المسلح بشكل **u** مسلح تسليحاً أحادياً على الشد فقط ويخضع لعزم موجب حدي توازني $\mathbf{M_{ub}}$. المطلوب :



١- حساب التسليح التوازني اللازم للمقطع .

٢- حسساب العزم الحدي التوازني

$$a = 50mm \quad f_c' = 20MPa \quad f_y = 400MPa$$

الطلب الأول : حساب التسليح التوازني

- حساب عمق المنطقة التوازنية في الحالة التوازنية :

$$y_b = 0.85\frac{630}{630+f_y}d \Rightarrow y_b = 0.85\frac{630}{630+400}550 = 285.95mm$$

بما أن الشد في البلاطة فإن المقطع يعمل كمقطع مستطيل

$$b = 2\times 200 = 400mm$$

- حساب التسليح التوازني :

$$A_{sb} = \frac{0.85f_c^{'}b.y_b}{f_y} \Rightarrow A_{sb} = \frac{0.85\times 20\times 400\times 285.95}{400}$$

$$A_{sb} = 4861.15mm^2$$

الطلب الثاني : حساب العزم التوازني

$$M_{ub} = \Omega.0.85f_c^{'}.b.y_b(d-0.5y_b)$$

$$M_{ub} = 0.9\times 0.85\times 20\times 400\times 285.95(550-0.5\times 285.95)$$

$$M_{ub} = 712.3kN.m$$

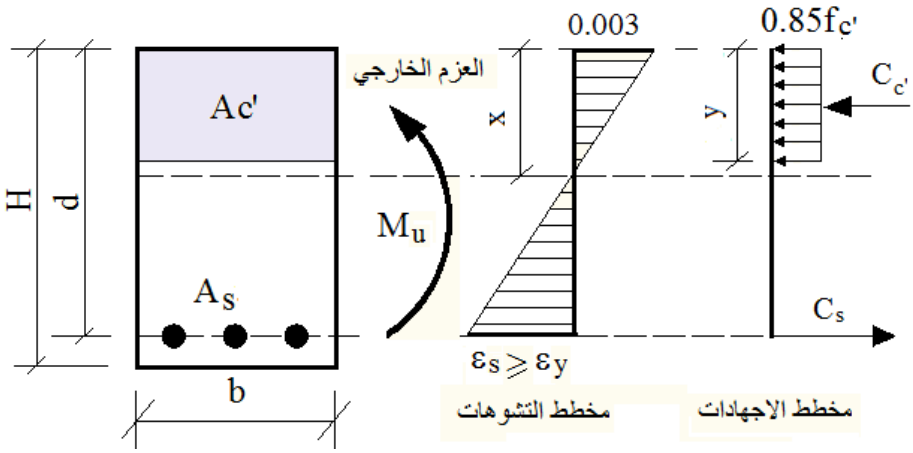
الفصل الرابع

تصميم وتحقيق المقاطع

٤-١ تصميم وتحقيق المقاطع المستطيلة أحادية التسليح والخاضعة لا نعطاف بسيط

٤-١-١ العلاقات الأساسية

ليكن لدينا مقطعاً مستطيل الشكل يخضع لعزم خارجي حدي قدره M_u (يكون المقطع خاضعاً لانعطاف بسيط عندما يخضع المقطع لعزم انعطاف وقوى قص فقط) والمطلوب إيجاد أبعاد المقطع المستطيل والتسليح اللازم حيث f_y اجهاد الخضوع للفولاذ المستخدم و f_c' المقاومة المميزة للبيتون. القيم المجهولة في هذه الحالة هي إذن ابعاد المقطع (العرض b والارتفاع H) ومقطع الفولاذ المشدود.



الشكل (٤-١) مخطط الانفعالات والإجهادات لمقطع أحادي التسليح

لنوجد العلاقات الاساسية بغض النظر عن المجاهيل والمعاليم

عند التصميم نفرض دائماً التسليح المشدود متلدن أي $f_s = f_y$ بفرض أن مساحة مقطع الفولاذ المشدود ستكون أقل من المساحة التوازنية

- توازن القوى الأفقية : القوى الضاغطة في البيتون = القوى الشادة في الفولاذ

$$C_c^{'} = C_s \Rightarrow 0.85 f_c^{'} b.y = A_s.f_y \qquad \textbf{(4-1)}$$

حيث :

$$\mu = \frac{A_s}{b.d} \qquad \sigma_c^{'} = 0.85 f_c^{'}$$

أيضا يمكن نجد أن

$$\mu = \frac{0.85 f_c^{'}}{f_y} \frac{y}{d} \qquad \textbf{(4-2)}$$

$$\mu = \frac{0.85 f_c^{'}}{f_y} \alpha \qquad \textbf{(4-3)}$$

- العزم الخارجي الحدي = العزم الداخلي مصروباً بعامل الأمان . نأخذ العزم حول المحور المار من مركز ثقل فولاذ التسليح المشدود

$$M_u = \Omega(0.85 f_c^{'} b.y)(d - \frac{y}{2}) = \Omega 0.85 f_c^{'} b.d.y(1 - 0.5\frac{y}{d})$$

$$M_u = \Omega 0.85 f_c^{'} b.d^2 \frac{y}{d}(1 - 0.5\alpha)$$

$$M_u = \Omega 0.85 f_c^{'} b.d^2 \alpha.\gamma$$

$$M_u = \Omega 0.85 f_c^{'} b.d^2.A_o \qquad \textbf{(4-4)}$$

حيث :

$$A_o = \alpha(1 - 0.5\alpha) \qquad \textbf{(4-5)}$$

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_o} \qquad \textbf{(4-6)}$$

$$\gamma = 1 - 0.5\alpha \qquad \textbf{(4-7)}$$

من العلاقة (4-4) نجد أن

$$d = \sqrt{\frac{1}{A_o}}\sqrt{\frac{M_u}{\Omega 0.85 f_c' b}}$$

$$\boxed{d = r.\sqrt{\frac{M_u}{\Omega 0.85 f_c' b}}} \qquad \textbf{(4-8)}$$

$$r = \sqrt{\frac{1}{A_o}} \qquad \textbf{(4-9)}$$

٤-١-٢ تصميم المقاطع المستطيلة أحادية التسليح

لتصميم المقطع إما نفرض قيمة لـ b وقيمة العامل α أو نفرض قيمة لـ b وقيمة نسبة التسليح μ

	البلاطات	الجوائز
α	تتراوح بين 0.1 و 0.15	تتراوح بين 0.3 و 0.4
μ	تتراوح بين 0.3% و 0.6%	تتراوح بين 1% و 2%

يمكن أن نفرض نسبة تسليح تسمى نسبة المفضلة

$$\mu = 0.18\frac{f_c'}{f_y}$$

الجدول (٤-١) يعطي نسب تسليح الشد الرئيسي (الدنيا والعظمى)

f_c' Mpa	f_y Mpa	μ_b	μ_{max}		μ_P	μ_{min}
			$0.75\mu_b$	$0.5\mu_b$	$0.18\frac{f_c'}{f_y}$	$\frac{0.9}{f_y}$
15	240	0.0327	0.0245	0.0163	0.0113	0.0038
	280	0.0327	0.0245	0.0163	0.0113	0.0038
	300	0.0310	0.0233	0.0155	0.0108	0.0036
18	240	0.0392	0.0294	0.0196	0.0135	0.0038
	280	0.0322	0.0265	0.0177	0.0116	0.0032
	300	0.0294	0.0253	0.0169	0.0108	0.0030
	360	0.0230	0.0202	0.0135	0.0090	0.0025
	400	0.0199	0.0172	0.0115	0.0081	0.0023
20	240	0.0436	0.0327	0.0218	0.0150	0.0038
	280	0.0357	0.0268	0.0179	0.0129	0.0032
	300	0.0326	0.0245	0.0163	0.0120	0.0030
	360	0.0255	0.0191	0.0128	0.0100	0.0025
	400	0.0221	0.0166	0.0110	0.0090	0.0023
25	240	0.0545	0.0409	0.0272	0.0188	0.0038
	280	0.0446	0.0335	0.0223	0.0161	0.0032
	300	0.0408	0.0306	0.0204	0.0150	0.0030
	360	0.0319	0.0239	0.0160	0.0125	0.0025
	400	0.0276	0.0207	0.0138	0.0113	0.0023

الجدول (٤-٢) قيم α, γ, A_o, r

α	A_o	γ	r	α	A_o	γ	r
0.010	0.010	0.995	10.025	0.140	0.130	0.930	2.771
0.015	0.015	0.993	8.196	0.145	0.134	0.928	2.727
0.020	0.020	0.990	7.107	0.150	0.139	0.925	2.685
0.025	0.025	0.988	6.364	0.155	0.143	0.923	2.645
0.030	0.030	0.985	5.817	0.160	0.147	0.920	2.606
0.035	0.034	0.983	5.393	0.165	0.151	0.918	2.570
0.040	0.039	0.980	5.051	0.170	0.156	0.915	2.536
0.045	0.044	0.978	4.768	0.175	0.160	0.913	2.502
0.050	0.049	0.975	4.529	0.180	0.164	0.910	2.471
0.055	0.053	0.973	4.324	0.185	0.168	0.908	2.441
0.060	0.058	0.970	4.145	0.190	0.172	0.905	2.412
0.065	0.063	0.968	3.988	0.195	0.176	0.903	2.384
0.070	0.068	0.965	3.848	0.200	0.180	0.900	2.357
0.075	0.072	0.963	3.722	0.205	0.184	0.898	2.331
0.080	0.077	0.960	3.608	0.210	0.188	0.895	2.307
0.085	0.081	0.958	3.505	0.215	0.192	0.893	2.283
0.090	0.086	0.955	3.411	0.220	0.196	0.890	2.260
0.095	0.090	0.953	3.324	0.225	0.200	0.888	2.238
0.100	0.095	0.950	3.244	0.230	0.204	0.885	2.216
0.105	0.099	0.948	3.170	0.235	0.207	0.883	2.196
0.110	0.104	0.945	3.102	0.240	0.211	0.880	2.176
0.115	0.108	0.943	3.037	0.245	0.215	0.878	2.157
0.120	0.113	0.940	2.977	0.250	0.219	0.875	2.138
0.125	0.117	0.938	2.921	0.255	0.222	0.873	2.120
0.130	0.122	0.935	2.868	0.260	0.226	0.870	2.103
0.135	0.126	0.933	2.818	0.265	0.230	0.868	2.086

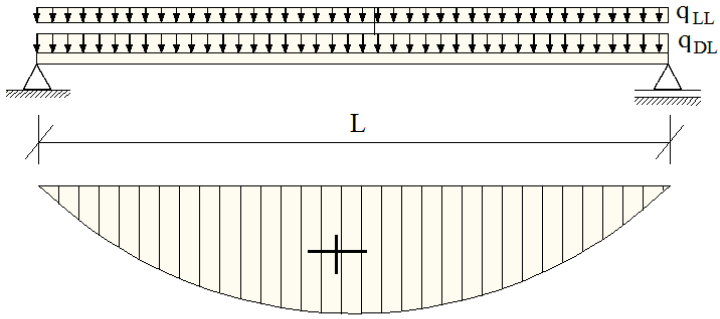
الجدول (٤-٣) قيم α, γ, A_o, r

α	A_o	γ	r	α	A_o	γ	r
0.270	0.234	0.865	2.069	0.400	0.320	0.800	1.768
0.275	0.237	0.863	2.053	0.405	0.323	0.798	1.760
0.280	0.241	0.860	2.038	0.410	0.326	0.795	1.752
0.285	0.244	0.858	2.023	0.415	0.329	0.793	1.744
0.290	0.248	0.855	2.008	0.420	0.332	0.790	1.736
0.295	0.251	0.853	1.994	0.425	0.335	0.788	1.729
0.300	0.255	0.850	1.980	0.430	0.338	0.785	1.721
0.305	0.258	0.848	1.967	0.435	0.340	0.783	1.714
0.310	0.262	0.845	1.954	0.440	0.343	0.780	1.707
0.315	0.265	0.843	1.941	0.445	0.346	0.778	1.700
0.320	0.269	0.840	1.929	0.450	0.349	0.775	1.693
0.325	0.272	0.838	1.917	0.455	0.351	0.773	1.687
0.330	0.276	0.835	1.905	0.460	0.354	0.770	1.680
0.335	0.279	0.833	1.894	0.465	0.357	0.768	1.674
0.340	0.282	0.830	1.882	0.470	0.360	0.765	1.668
0.345	0.285	0.828	1.872	0.475	0.362	0.763	1.662
0.350	0.289	0.825	1.861	0.480	0.365	0.760	1.656
0.355	0.292	0.823	1.851	0.485	0.367	0.758	1.650
0.360	0.295	0.820	1.841	0.490	0.370	0.755	1.644
0.365	0.298	0.818	1.831	0.495	0.372	0.753	1.638
0.370	0.302	0.815	1.821	0.500	0.375	0.750	1.633
0.375	0.305	0.813	1.812	0.505	0.377	0.748	1.628
0.380	0.308	0.810	1.802	0.510	0.380	0.745	1.622
0.385	0.311	0.808	1.793	0.515	0.382	0.743	1.617
0.390	0.314	0.805	1.785	0.520	0.385	0.740	1.612
0.395	0.317	0.803	1.776	0.525	0.387	0.738	1.607

ملاحظة ١:

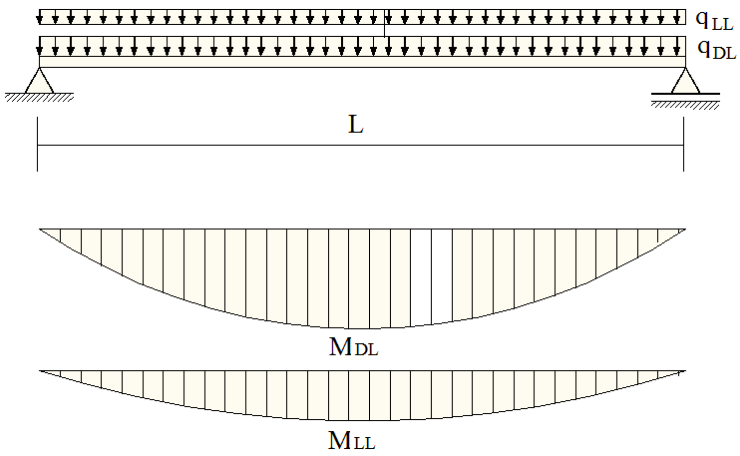
العزم الحدي الخارجي : هو ناتج عن العزم عند المقطع المطلوب تصميمه من الأحمال الخارجية الفعلية بعد ضربها بعوامل التصعيد الخاصة.

بفرض أنه لدينا جائز بسيط مجازه الفعال L ومحمل بأحمال استثمارية ميتة موزعة بانتظام q_{DL} وأحمال حية q_{LL} أيضا موزعة بانتظام. فالعزم الأعظمي الحدي يكون عند منتصف الجائز.



$$M_u = \frac{q_u L^2}{8}$$

$$M_u = \frac{(1.4q_{DL} + 1.7q_{LL})L^2}{8}$$

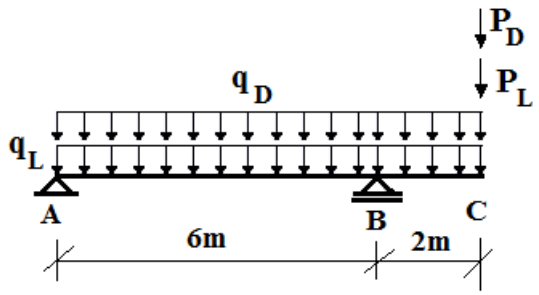


او

$$M_u = 1.4M_{DL} + 1.7M_{LL} = 1.4\frac{q_{DL}.L^2}{8} + 1.7\frac{q_{LL}.L^2}{8}$$

دوما نبحث عن المقاطع التي يكون فيها العزم الحدي أعظمياً وقد يحتوي الجائز على أكثر من مقطع حسب تغير إشارة العزم.

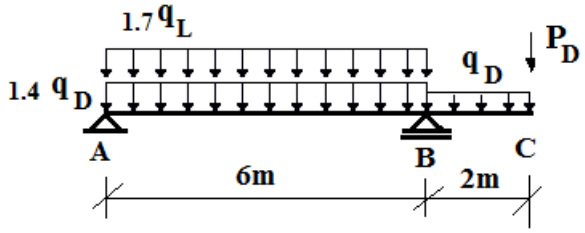
مثال : جائز ABC بسيط يحتوي على ظفر في C ويحمل أحمال استثمارية موزعة بانتظام وأخرى مركزة كما في الشكل ($q_D = 20kN/m'$ ، $q_L = 10kN/m'$ ، $P_D = 40kN$ ، $P_L = 20kN$)



نتيجة للأحمال الخارجية على الجائز ، فإنه يخضع لعزوم موجبة وأخرى سالبة ، لذلك نبحث عن المقطع الذي يكون فيه العزم الموجب أعظمياً والمقطع الذي فيه العزم السالب أعظمياً علماً أن الأحمال الحية ممكن أن تكون موجودة أو غير موجودة .

الحالة الأولى : العزم الموجب الحدي الأعظمي :

يكون العزم الحدي الموجب أعظمياً في المقطع ضمن المجاز AB على أن يتم تحميل المجاز AB بأحمال حدية ميتة وحية والظفر محمل بحمولة ميتة استثمارية فقط



$$6R_A = 6(1.7q_L + 1.4q_D)\times 3 - 2q_D \times 1 - P_D \times 2$$

$$6R_A = 6(1.7\times 10 + 1.4\times 20)\times 3 - 2\times 20\times 1 - 40\times 2$$

$$R_A = 115kN$$

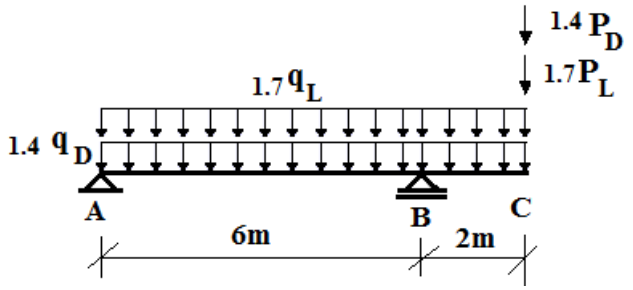
$$RB = 235kN$$

معادلة العزم :

$$M_u = 115x - \frac{(1.4q_D + 1.7q_L)x^2}{2} \Rightarrow M_{u\,max} = 146.95kN.m$$

الحالة الثانية : العزم السالب الحدي الأعظمي :

يكون العزم الحدي السالب أعظمياً في المقطع عند B على أن يتم تحميل المجاز AB بأحمال حدية ميتة وحية والظفر محمل بحمولة ميتة وحية حدية

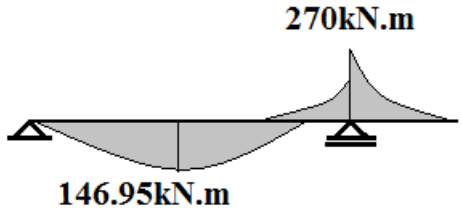


$$M^-_{u\,max} = (1.4P_D + 1.7P_L)\times 2 + (1.4q_D + 1.7q_L)\times 2\times 1$$

$$M^-_{u\,max} = (1.4\times 40 + 1.7\times 20)\times 2 + (1.4\times 20 + 1.7\times 10)\times 2\times 1$$

$$M^-_{u\,max} = 270kN.m$$

يتم تصميم المقاطع عند العزوم الأعظمية السالبة والموجبة .



مخطط مغلف العزوم الحدية

ملاحظة ٢: تخفيض قيمة اجهاد الخضوع لفولاذ التسليح:

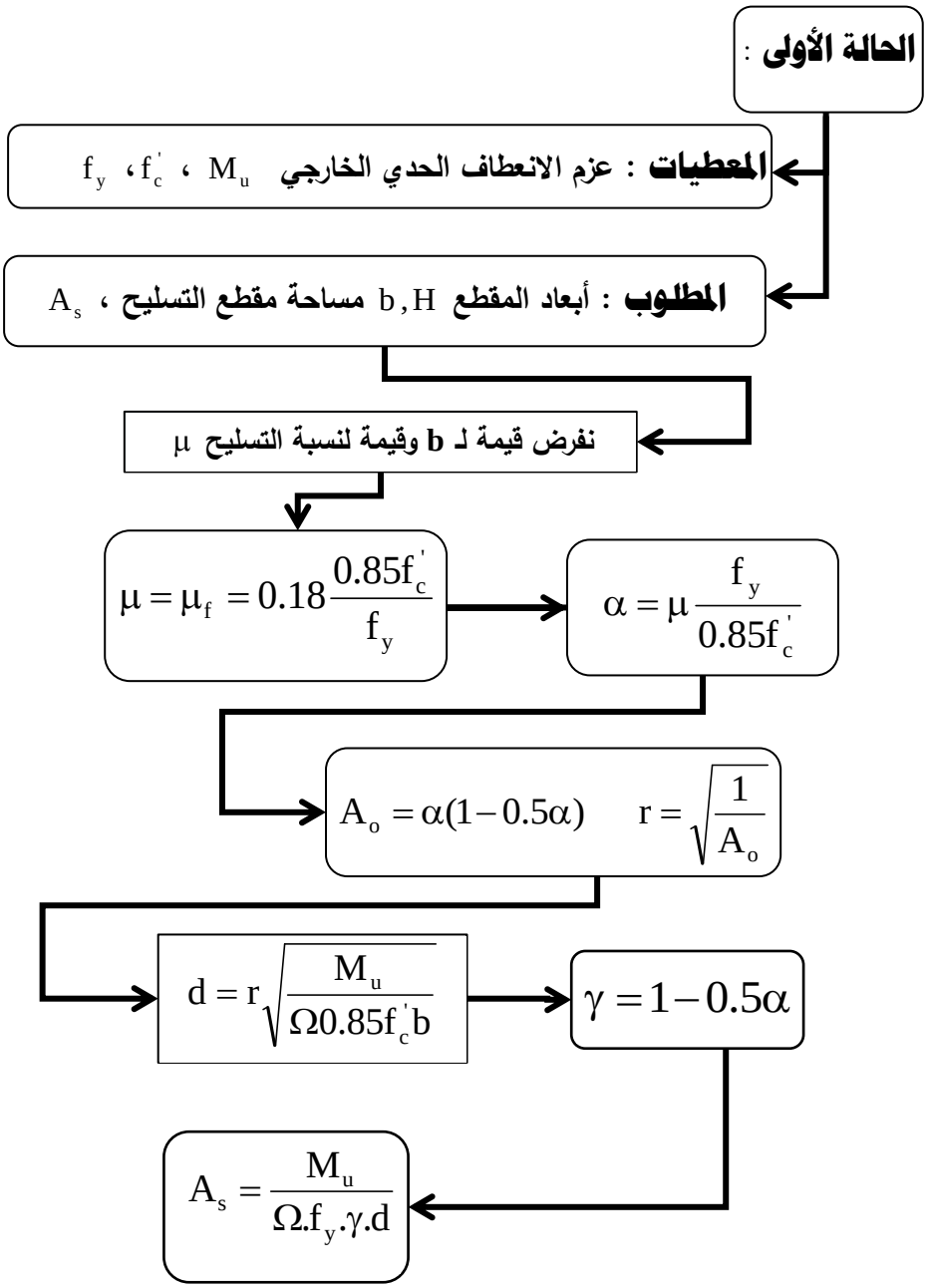
يلزم تخفيض قيمة اجهاد الخضوع لفولاذ التسليح وفق الجدول (٣-٥) في تصميم المقاطع البيتونية المسلحة أي عند تحديد أبعاد المقطع أو حساب مقطع الفولاذ اللازم أو كليهما. على أن لا يتم التخفيض في حالة التحقيق.

الجدول (٣-٥) تخفيض إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح عند التصميم

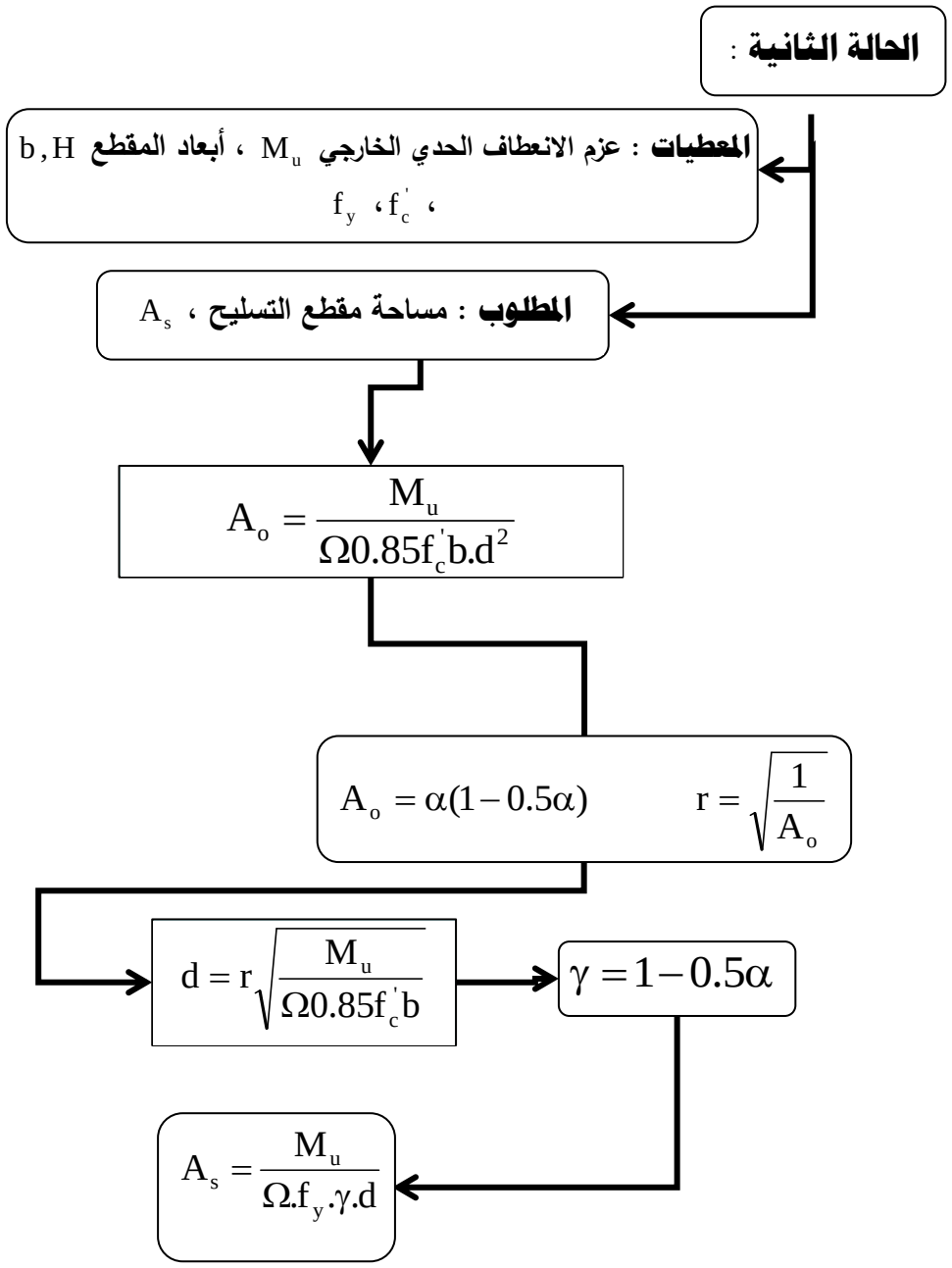
f_y Mpa	f'_c Mpa		
	≤ 15	16.5	≥ 18
240	240	240	240
280	240	250	280
300	250	260	300
360	--	300	360
400	--	--	400

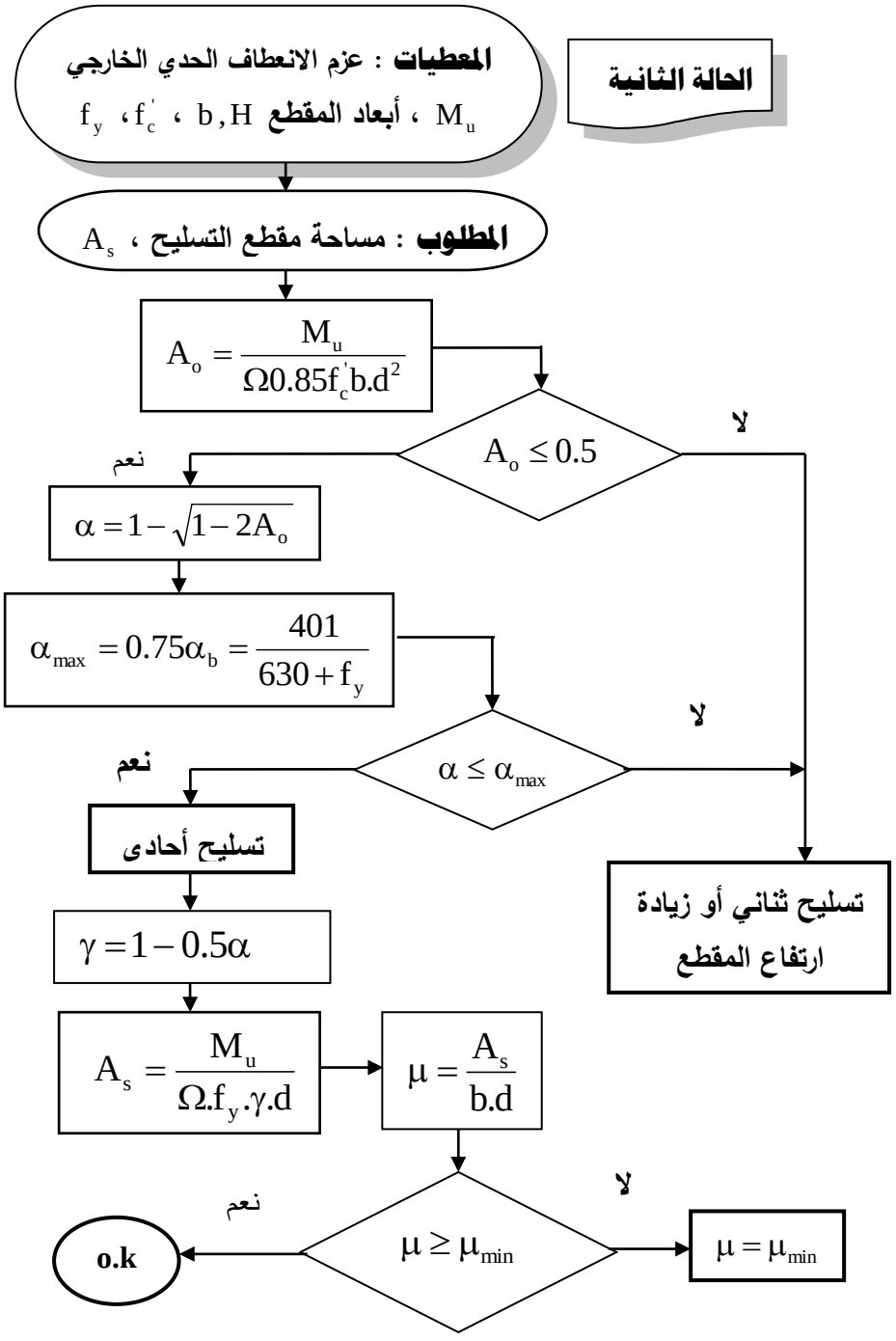
الحالة الاولى :

أبعاد المقطع مستطيل الشكل غير معلومة وكذلك مساحة التسليح اللازم والمعلوم العزم الحدي الخارجي واجهاد الخضوع للفولاذ والمقاومة المميزة للبيتون المستخدم.



الشكل (٤-٢) خطوات الحالة الأولى لتصميم مقطع مستطيل

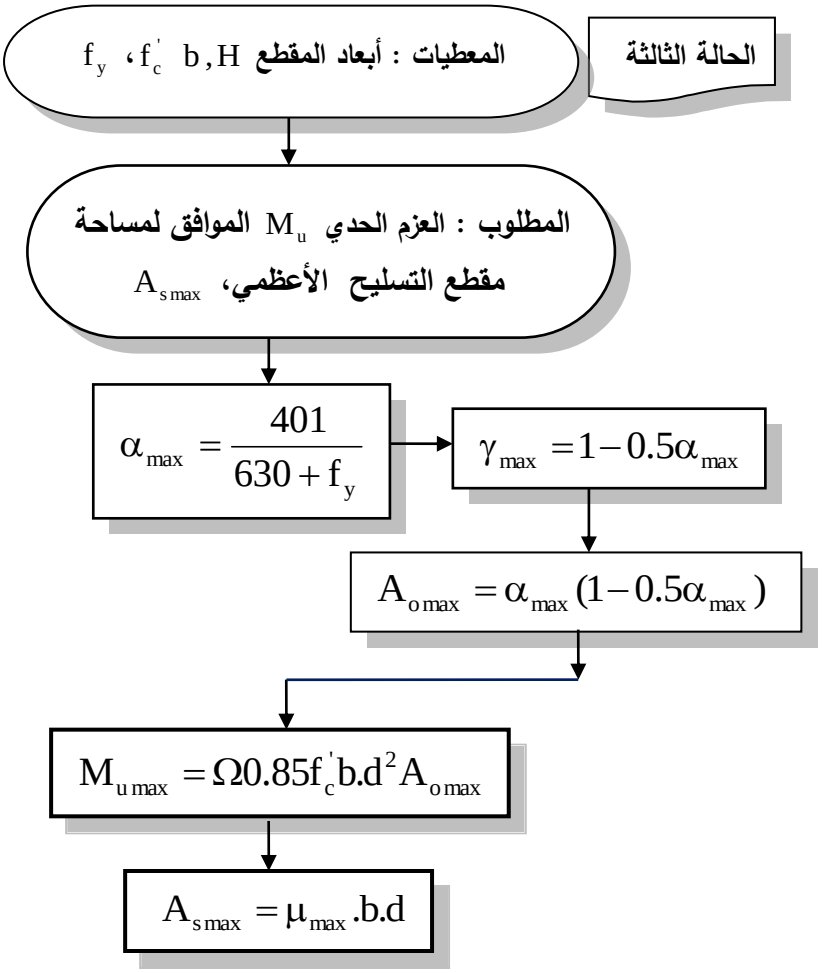

الحالة الثانية :
المعطيات : عزم الانعطاف الحدي الخارجي M_u ، أبعاد المقطع b, H
f_y ، f_c' ،
المطلوب : مساحة مقطع التسليح ، A_s
$A_o = \frac{M_u}{\Omega 0.85 f_c' b.d^2}$
$A_o = \alpha(1-0.5\alpha)$
$r = \sqrt{\frac{1}{A_o}}$
$d = r\sqrt{\frac{M_u}{\Omega 0.85 f_c' b}}$
$\gamma = 1-0.5\alpha$
$A_s = \frac{M_u}{\Omega . f_y . \gamma . d}$



الشكل (٤-٣) خطوات الحالة الثانية لتصميم مقطع مستطيل

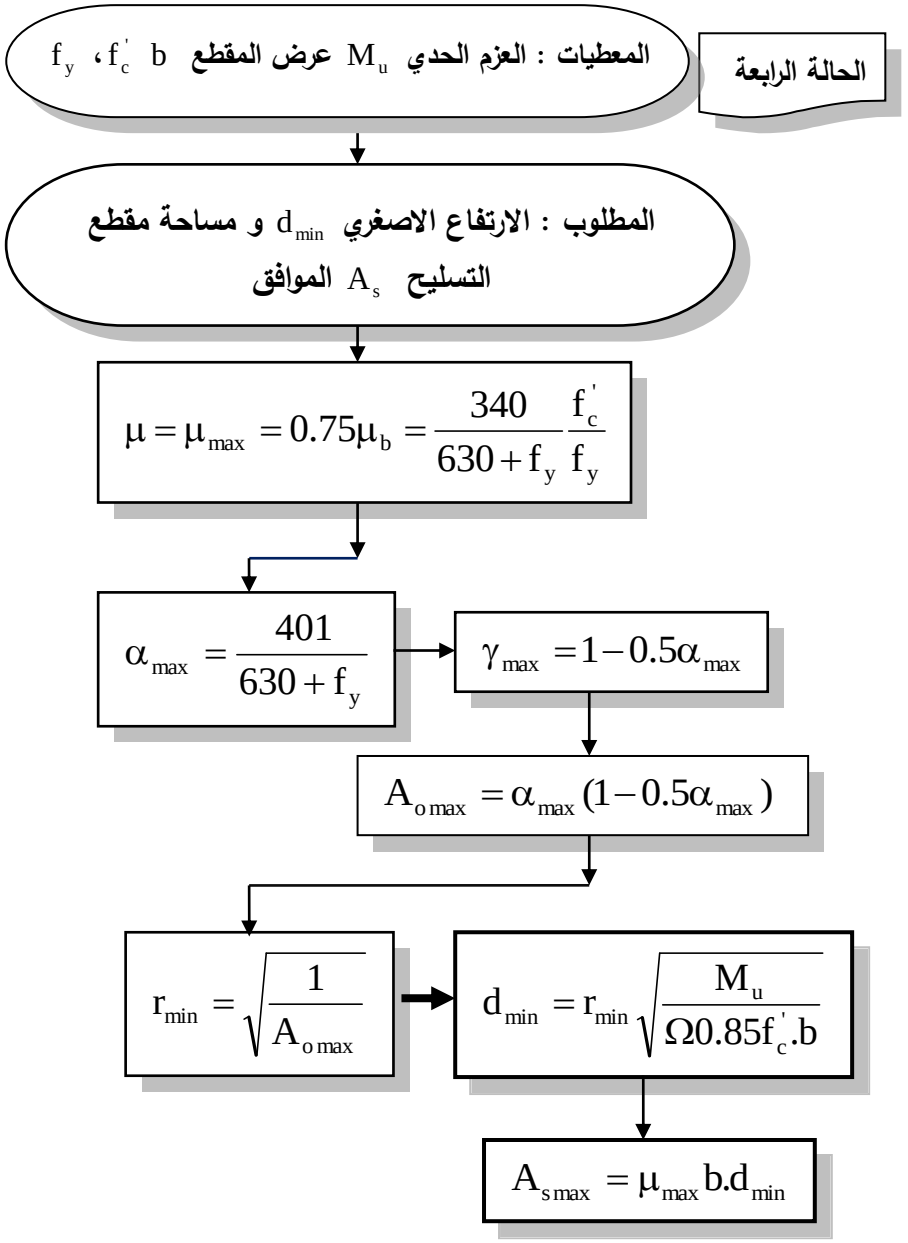
الحالة الثالثة :

أبعاد المقطع المستطيل الشكل وإجهاد الخضوع للفولاذ والمقاومة المميزة للبيتون المستخدم. والمطلوب حساب العزم الحدي الموافق لمساحة التسليح الأعظمية.



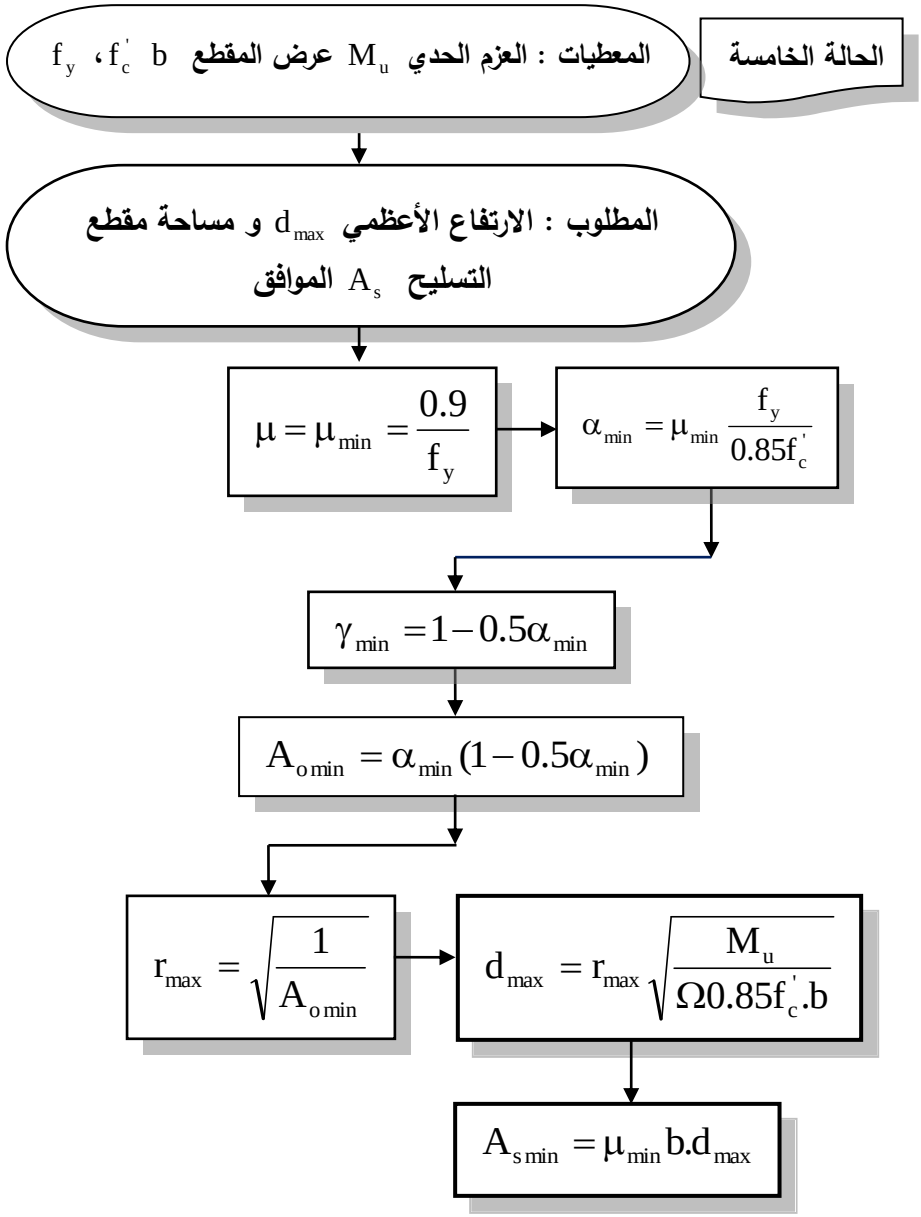
الشكل (٤-٤) خطوات الحالة الثالثة لتصميم مقطع مستطيل

الحالة الرابعة : العزم الحدي الخارجي معلوم وكذلك إجهاد الخضوع للفولاذ والمقاومة المميزة للبيتون المستخدم. والمطلوب حساب الارتفاع الأصغري ومساحة التسليح الموافقة من أجل عرض معلوم للمقطع المستطيل.



الشكل (٤- ٥) خطوات الحالة الرابعة لتصميم مقطع مستطيل

الحالة الخامسة : العزم الحدي الخارجي معلوم وكذلك اجهاد الخضوع للفولاذ والمقاومة المميزة للبيتون المستخدم. والمطلوب حساب الارتفاع الأعظمي ومساحة التسليح الموافقة من أجل عرض معلوم للمقطع المستطيل.

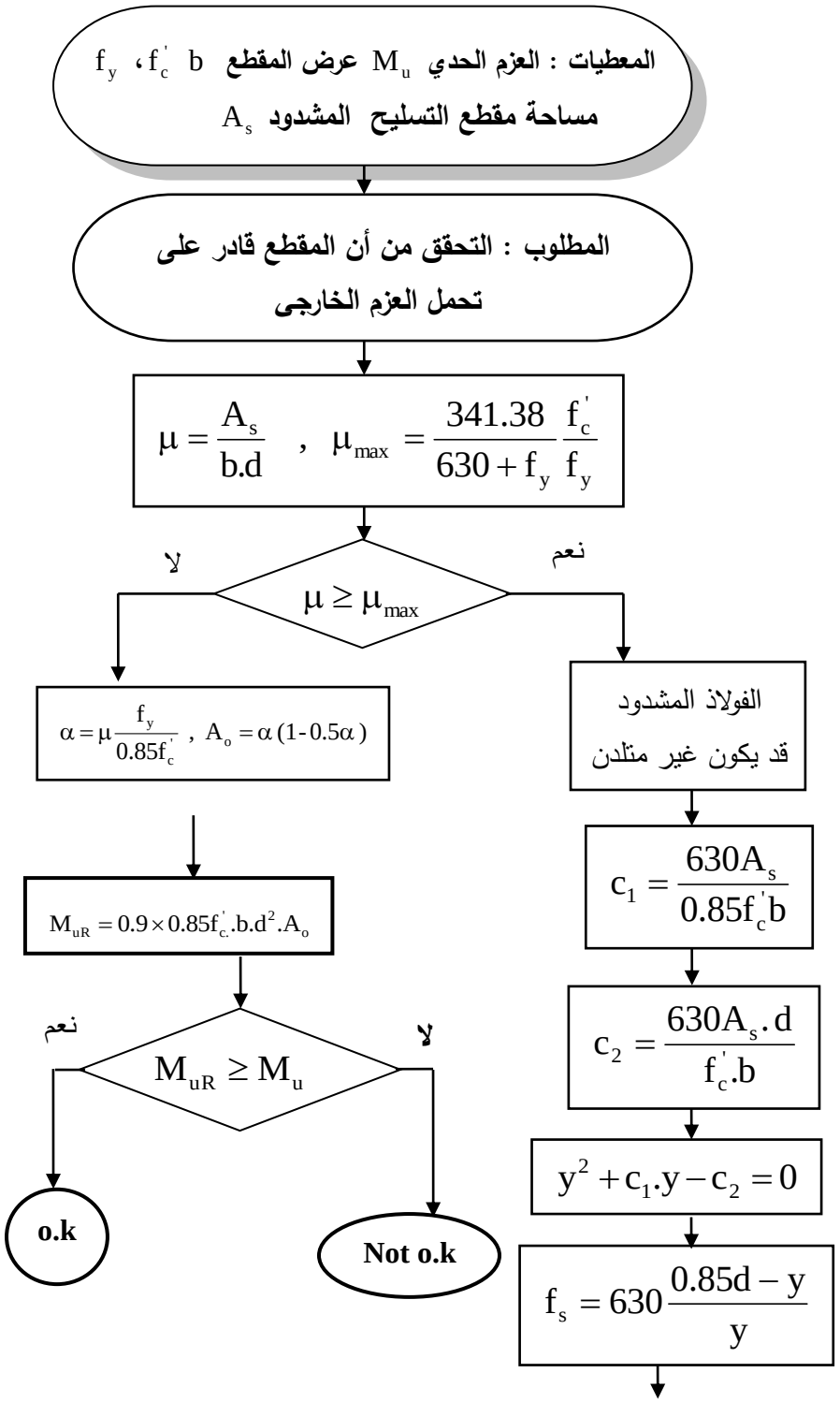


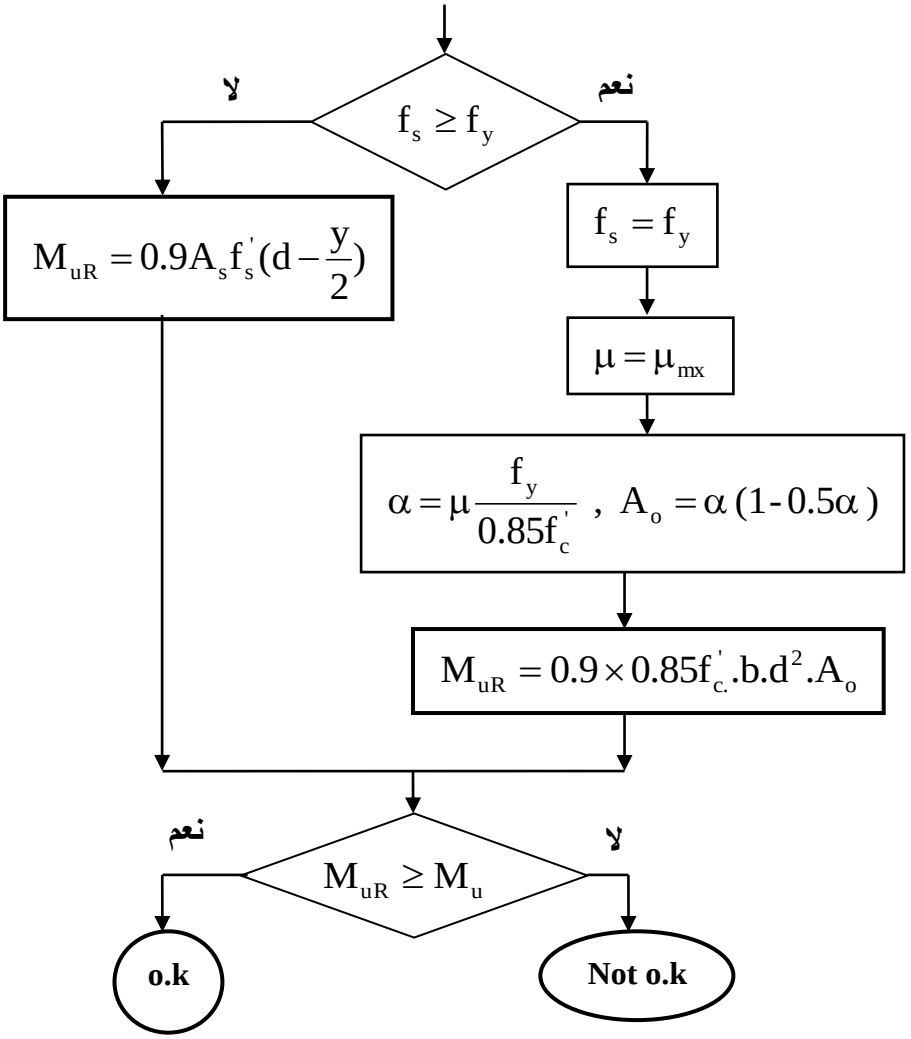
الشكل (٤-٦) خطوات الحالة الخامسة لتصميم مقطع مستطيل

٤-١-٣ تحقق المقاطع المستطيلة المسلحة بتسليح أحادي

في هذه الحالة تكون أبعاد المقطع H b ومساحة مقطع التسليح المشدود A_s معلومة بالإضافة إلى f_y و $f_{c'}$ والمطلوب التحقق من العزم الحدي الخارجي الذي يمكن أن يتحمله المقطع .

- بما أن الحالة حالة التحقيق فلا حاجة لتخفيض قيمة إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح.


المعطيات : العزم الحدي M_u عرض المقطع b ، f_c' ، f_y
مساحة مقطع التسليح المشدود A_s
المطلوب : التحقق من أن المقطع قادر على تحمل العزم الخارجي
$\mu = \frac{A_s}{b.d}$, $\mu_{max} = \frac{341.38}{630 + f_y} \frac{f_c'}{f_y}$
$\mu \geq \mu_{max}$
لا
نعم
$\alpha = \mu \frac{f_y}{0.85 f_c'}$, $A_o = \alpha (1 - 0.5\alpha)$
$M_{uR} = 0.9 \times 0.85 f_c'.b.d^2.A_o$
$M_{uR} \geq M_u$
نعم
لا
o.k
Not o.k
الفولاذ المشدود قد يكون غير متلدن
$c_1 = \frac{630 A_s}{0.85 f_c' b}$
$c_2 = \frac{630 A_s.d}{f_c'.b}$
$y^2 + c_1.y - c_2 = 0$
$f_s = 630 \frac{0.85d - y}{y}$



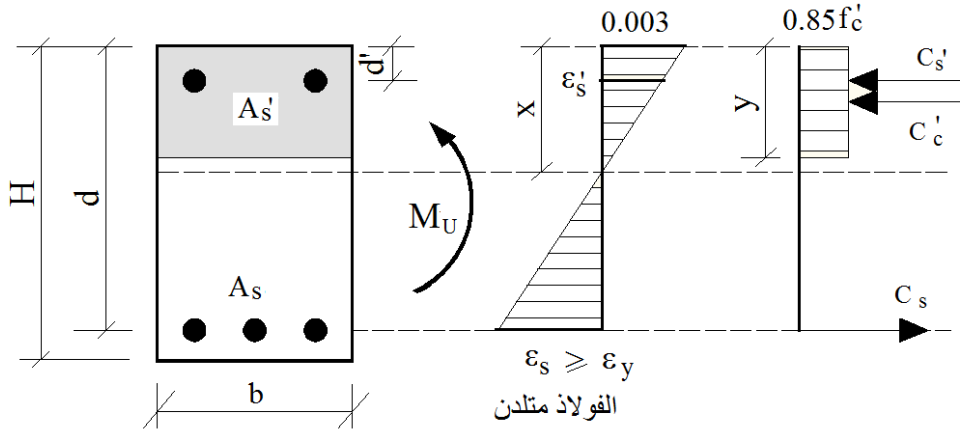
الشكل (٤-٧) خطوات تحقيق مقطع مستطيل مسلح بتسليح أحادي

٤-٢ تصميم وتحقق المقاطع المستطيلة ثنائية التسليح والخاضعة لعزم انعطاف بسيط :

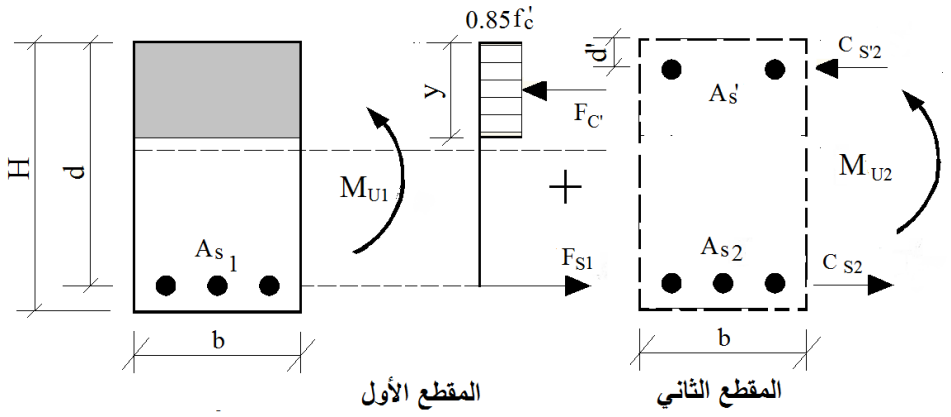
٤-٢-١ العلاقات الأساسية :

يطلب في كثير من الأحيان تصميم المقطع المستطيل الشكل بأبعاد مفروضة ويكون خاضعاً لعزم انعطاف حدي أكبر من العزم الحدي الذي يتحمله المقطع تسليحاً أحادياً ولا يمكن زيادة الارتفاع ، يمكن تزويد المنطقة المضغوطة بمقطع كاف من التسليح المضغوط .

لندرس المقطع المستطيل الذي يمثله الشكل (٤-٨) والمسلح بتسليح ثنائي ويخضع لعزم انعطاف حدي خارجي قدره M_u . يمكن افتراض وهمياً أن المقطع مشكل من مقطعين الأول مؤلف من البيتون المضغوط مع جزء من التسليح المشدود ويقاوم جزء من العزم الخارجي الحدي أما المقطع الثاني فيتشكل من التسليح المضغوط والجزء المتبقي من التسليح المشدود ويقام ما تبقى من العزم الحدي الخارجي كما هو موضح في الشكل (٤-٩)



الشكل (٤-٨) مخطط الانفعالات والإجهادات لمقطع ثنائي التسليح



الشكل (٤-٩) مخطط القوى للمقطعين الوهميين

أولاً : بفرض أن الفولاذ المضغوط متلدن أي

$$\varepsilon_s' \geq \varepsilon_y \Rightarrow C_s' = C_y$$

- المقطع الأول من البيتون مسلح بتسليح أحادي مشدود فقط يتحمل عزم حدي مقداره M_{u1}
- المقطع الثاني لا يوجد فيه بيتون إنما حديد مشدود وآخر مضغوط يتحمل فائض العزم

$$M_{u2} = M_u - M_{u1}$$

وبالتالي يكون التسليح الكلي المشدود هو

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

من توازن القوى الأفقية للمقطع

$$C_s' = C_{s2} \Rightarrow \quad A_s'.f_y = A_{s2}.f_y$$

$$A_s' = A_{s2}$$

بأخذ مجموع العزوم حول N_{s1} للمقطع الأول :

$$M_{u1} = \Omega C_c'.Z = \Omega 0.85 f_c' b.y(d - \frac{y}{2})$$

$$M_{u1} = \Omega N_c'.Z = \Omega 0.85 f_c' b.y \ (d - \frac{y}{2}) \qquad \textbf{(4-10)}$$

بأخذ العزوم حول المحور المار بـ N_{s2} في المقطع الثاني

$$M_{u2} = \Omega C_s'.Z = \Omega A_s'.f_y(d - d') \qquad \textbf{(4-11)}$$

يصبح العزم الكلي :

$$M_u = M_{u1} + M_{u2} = \Omega.0.85f_c^{'}b.y\ (d - \frac{y}{2}) + \Omega A_s^{'}.f_y(d - d')$$

يمكن أن نجد العزم الكلي من أخذ العزم حول قوة البيتون المصغوط

$$M_u = \Omega\left[\frac{A_s - A_s^{'}}{b.d}\left((1 - 0.59\frac{A_s - A_s^{'}}{b.d}\frac{f_y}{f_c^{'}})\right) + \frac{A_s^{'}}{b.d}(1 - \frac{d'}{d})\right]f_y.b.d^2$$

بفرض أن $\beta = \frac{d^{'}}{d}$

$$M_u = \Omega\left[\frac{A_s - A_s^{'}}{b.d}\left((1 - 0.59\frac{A_s - A_s^{'}}{b.d}\frac{f_y}{f_c^{'}})\right) + \frac{A_s^{'}}{b.d}(1 - \beta)\right]f_y.b.d^2 \quad \textbf{(4-12)}$$

لحساب التسليح في المقطع الأول نأخذ معادلة التوازن للقوى الأفقية:

$$C_c^{'} = C_{s1}$$

$$A_{s1}f_y = 0.85f_{c.}^{'}.by$$

$$A_{s1} = A_s - A_{s2} = A_s - A_s^{'}$$

بالتعويض

$$A_s - A_s^{'} = 0.85f_c^{'}b.y$$

أو

$$A_s = \frac{0.85f_c^{'}b.y}{f_y} + A_s^{'} \qquad \textbf{(4-15)}$$

نجد العلاقات بدلالة النسب :

$$A_s = \frac{0.85f_c^{'}b.y}{f_y} + A_s^{'} = \frac{0.85f_c^{'}.bd}{f_y}\alpha + A_s^{'} \qquad \textbf{(4-16)}$$

$$\alpha = \mu\frac{f_y}{0.85f_c^{'}} \qquad \textbf{(4-17)}$$

$$A_s = \mu.b.d + A_s^{'} \qquad \textbf{(4-18)}$$

$$A_{s1} = \mu.b.d \qquad \textbf{(4-19)}$$

ملاحظة : لقد فرضنا أن الفولاذ المضغوط قد وصل إلى مرحلة الخضوع أي $f_s' = f_y$ **وهذا يتحقق فقط إذا كان :**

$$\frac{A_s - A_s'}{b.d} \geq \frac{0.85 f_c'}{f_y} \frac{d'}{d} \frac{535.5}{630 - f_y} \qquad \textbf{(4-20)}$$

ثانياً : بفرض أن الفولاذ المضغوط غير متلدن :

إذا لم يتحقق شرط التلدن فإن قيمة $f_s' \neq f_y$ وبالتالي لابد من إعادة الحسابات من أجل القيمة الفعلية لـ f_s'

من توازن القوى للمقطع بالكامل :

$$C_c' + C_s' = C_s$$

أو

$$0.85 f_c' b.y + A_s'.f_s' = A_s.f_y \qquad \textbf{(4-21)}$$

من مخطط التشوه نجد أن

$$.\varepsilon_s' = 0.003 \frac{x - d'}{x} = 0.003 \frac{y - 0.85d'}{y}$$

$$.f_s' = \varepsilon_s'.E_s = 630 \frac{x - d'}{x} = 630 \frac{y - 0.85d'}{y} \qquad \textbf{(4-22)}$$

نعوض **(4-22)** في **(4-21)** نجد أن

$$0.85 f_c' b.y + 630 A_s'. \frac{y - 0.85d'}{y} = A_s.f_y$$

$$0.85 f_c' b.y^2 + 630 A_s'. - 0.85 \times 630 A_s' d' - A_s.f_y.y = 0$$

$$0.85 f_c' b.y^2 + (630 A_s' - A_s.f_y) y - 0.85 \times 630 A_s' d' = 0 \qquad \textbf{(4-23)}$$

بحل المعادلة السابقة نجد قيمة y

العزم الحدي :

$$M_u = M_{u1} + M_{u2} = \Omega.0.85f_c'b.y\ (d - \frac{y}{2}) + \Omega A_s'.f_s'(d - d') \quad \textbf{(4-24)}$$

شرط التلدن : من العلاقة (**4–22**)

$$.f_s' = \varepsilon_s'.E_s = 630\frac{x - d'}{x} = 630\frac{y - 0.85d'}{y}$$

يكون الفولاذ المضغوط متلدناً إذا كان $f_s' \geq f_y$. وبالتالي

$$.f_s' = 630\frac{y - 0.85d'}{y} \geq f_y$$

أو

$$\frac{d'}{y} \leq 1.176(1 - \frac{f_y}{630}) \qquad \textbf{(4-25)}$$

أو

$$y \geq \frac{535.5}{(630 - f_y)}d' \qquad \textbf{(4-26)}$$

ملاحظة : يمكن اعتبار أن الفولاذ المضغوط قد وصل إلى مرحلة الخضوع أي $f_s' = f_y$ إذا كان : $y \geq 2d'$

٤–٢–٢ تصميم المقاطع المسلحة بتسليح ثنائي

المعطيات : العزم الحدي الخارجي M_u ، أبعاد المقطع b,d و f_c' , f_y

المطلوب : حساب التسليح اللازم للمقطع.

١– – قيمة α للتسليح الأحادي

$$A_o = \frac{M_u}{\Omega 0.85f_c'b.d^2} \Rightarrow \alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_o}$$

٢- - قيمة α_{max}

$$\alpha_{max} = 0.75\frac{535.5}{630 + f_y}$$

٣- نقارن α_{max} مع α

آ- الاحتمال الأول أن تكون $\alpha \le \alpha_{max}$ المقطع ليس بحاجة لتسليح ضغط

ب- الاحتمال الثاني أن تكون $\alpha > \alpha_{max}$ المقطع بحاجة لتسليح ضغط

- الجزء الأول من تسليح الشد

$$\alpha_{max} = 0.5\frac{535.5}{630 + f_y}$$

$$A_{s1} = \alpha_{max}\frac{0.85f_c^{'}}{f_y}bd$$

- العزم الذي يقاومة الجزء الأول من تسليح الشد

$$M_{u1} = \Omega A_{s1} f_y d(1 - .05\alpha_{max})$$

- العزم المتبقي من العزم الحدي الخارجي

$$M_{u2} = M_u - M_{u1}$$

- **التسليح اللازم لـ** M_{u2}

١- إذا كان الفولاذ المضغوط متلدناً : يتحقق من الشرط

$$y_{max} \ge \frac{535.5}{630 - f_y}d'$$

$$A_{s2} = A_s^{'} = \frac{M_{u2}}{\Omega . f_y (d - d')}$$

٢- إذا كان الفولاذ المضغوط غير متلدن : يتحقق من الشرط

$$y_{max} < \frac{535.5}{630 - f_y}d'$$

$$f_s^{'} = 630\frac{y_{max} - 0.85d'}{y_{max}} \le f_y$$

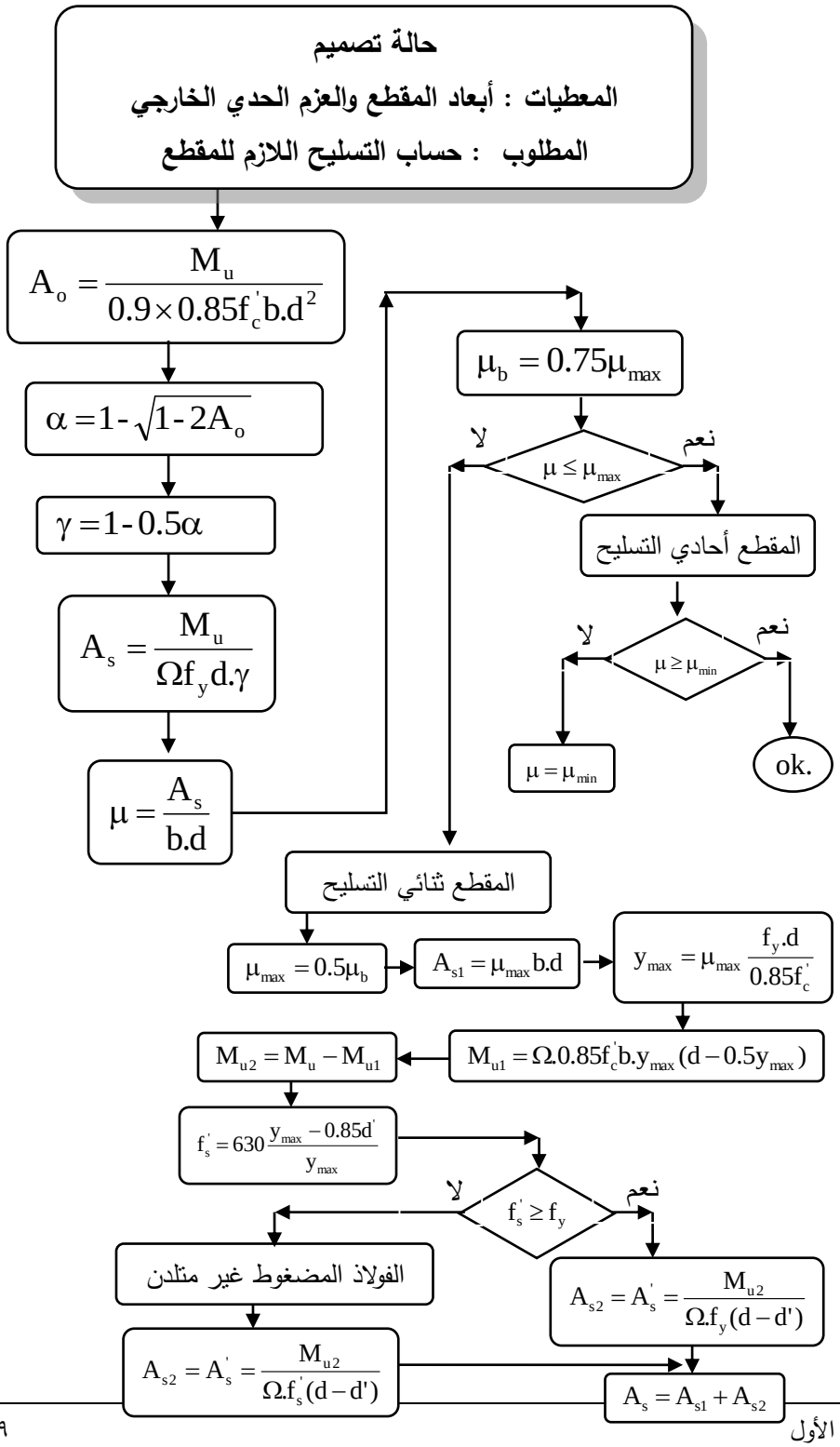
$$A_s^{'} = \frac{M_{u2}}{\Omega . f_s^{'}(d - d')}$$

$$A_{s2} = \frac{f_s^{'}}{f_y} A_s^{'} = \frac{M_{u2}}{\Omega . f_y (d - d')}$$

- التسليح الكلي اللازم للشد

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

يجب ألا يزيد تسليح الشد الكلي عن $A_s \le 1.5(0.5A_{sb)}$ **وإلا وجب تغير أبعاد المقطع .** (A_{sb} **المساحة التوازنية لمقطع مستطيل مسلح على الشد فقط)**


حالة تصميم
المعطيات : أبعاد المقطع والعزم الحدي الخارجي
المطلوب : حساب التسليح اللازم للمقطع
$A_o = \frac{M_u}{0.9\times 0.85 f_c' b.d^2}$
$\alpha = 1-\sqrt{1-2A_o}$
$\gamma = 1-0.5\alpha$
$A_s = \frac{M_u}{\Omega f_y d.\gamma}$
$\mu = \frac{A_s}{b.d}$
$\mu_b = 0.75\mu_{max}$
$\mu \le \mu_{max}$
لا
نعم
المقطع أحادي التسليح
$\mu \ge \mu_{min}$
لا
نعم
$\mu = \mu_{min}$
ok.
المقطع ثنائي التسليح
$\mu_{max} = 0.5\mu_b$
$A_{s1} = \mu_{max} b.d$
$y_{max} = \mu_{max} \frac{f_y.d}{0.85 f_c'}$
$M_{u1} = \Omega.0.85 f_c' b.y_{max}(d-0.5y_{max})$
$M_{u2} = M_u - M_{u1}$
$f_s' = 630\frac{y_{max}-0.85d'}{y_{max}}$
$f_s' \ge f_y$
لا
نعم
الفولاذ المضغوط غير متلدن
$A_{s2} = A_s' = \frac{M_{u2}}{\Omega.f_s'(d-d')}$
$A_{s2} = A_s' = \frac{M_{u2}}{\Omega.f_y(d-d')}$
$A_s = A_{s1} + A_{s2}$

٤-٢-٢-١ حساب التسليح الأعظمي في حالة المقطع مسلح بتسليح ثنائي :

$$A_{sd\max} = A_{s\max} + A_s' \qquad \textbf{(4-27)}$$

أو

$$A_s' = \varphi A_{sd\max} \qquad \textbf{(4-28)}$$

A_s' : مقطع التسليح المضغوط ، $A_{s\max}$: مقطع التسليح المشدود الأعظمي تسليح أحادي ، $A_{sd\max}$: مقطع التسليح المشدود الكلي الأعظمي في حالة وجود تسليح ضغط

من **(4-27)** و **(4-28)** نجد

$$A_{sd\max} = \frac{A_{s\max}}{1-\varphi} \qquad \textbf{(4-29)}$$

أو

$$\mu_{sd\max} = \frac{\mu_{\max}}{1-\varphi} \qquad \textbf{(4-30)}$$

وبالتالي

$$A_{sd\max} = \mu_{\max} b.d + A_s' \qquad \textbf{(4-31)}$$

إذا كان الفولاذ المضغوط غير متلدن

$$A_{sd\max} = \mu_{\max} b.d + A_s' \frac{f_s'}{f_y} \qquad \textbf{(4-31)}$$

العزم الموافق للتسليح الأعظمي في حالة الفولاذ المضغوط متلدن

$$M_{ud\max} = \Omega\, 0.85 f_c' b.d^2 A_{o\max} + A_s' f_y (d-d') \qquad \textbf{(4-32)}$$

العزم الموافق للتسليح الأعظمي في حالة الفولاذ المضغوط غيرمتلدن

$$M_{ud\max} = \Omega\, 0.85 f_c' b.d^2 A_{o\max} + A_s' \frac{f_s'}{f_y} (d-d') \qquad \textbf{(4-33)}$$

حيث :

$$A_{o\max} = \alpha_{\max}(1 - 0.5\alpha_{\max})$$

٤-٢-٣ تحقق المقاطع المستطيلة ثنائية التسليح:

في هذه الحالة تكون المعطيات عبارة عن أبعاد المقطع ومقطع التسليح المشدود والمضغوط بالإضافة إلى f_y , f_c' والمطلوب حساب العزم الحدي

١- - مساحة التسليح من دون تسليح الضغط

$$A_{s1} = A_s - A_s'$$

٢- - نسبة التسليح من دون تسليح الضغط

$$\mu_1 = \frac{A_{s1}}{b.d}$$

٣- - قيمة y

$$\alpha = \mu_1 \frac{f_y}{0.85f_c'}$$

٤- نتحقق من تلدن الفولاذ المضغوط

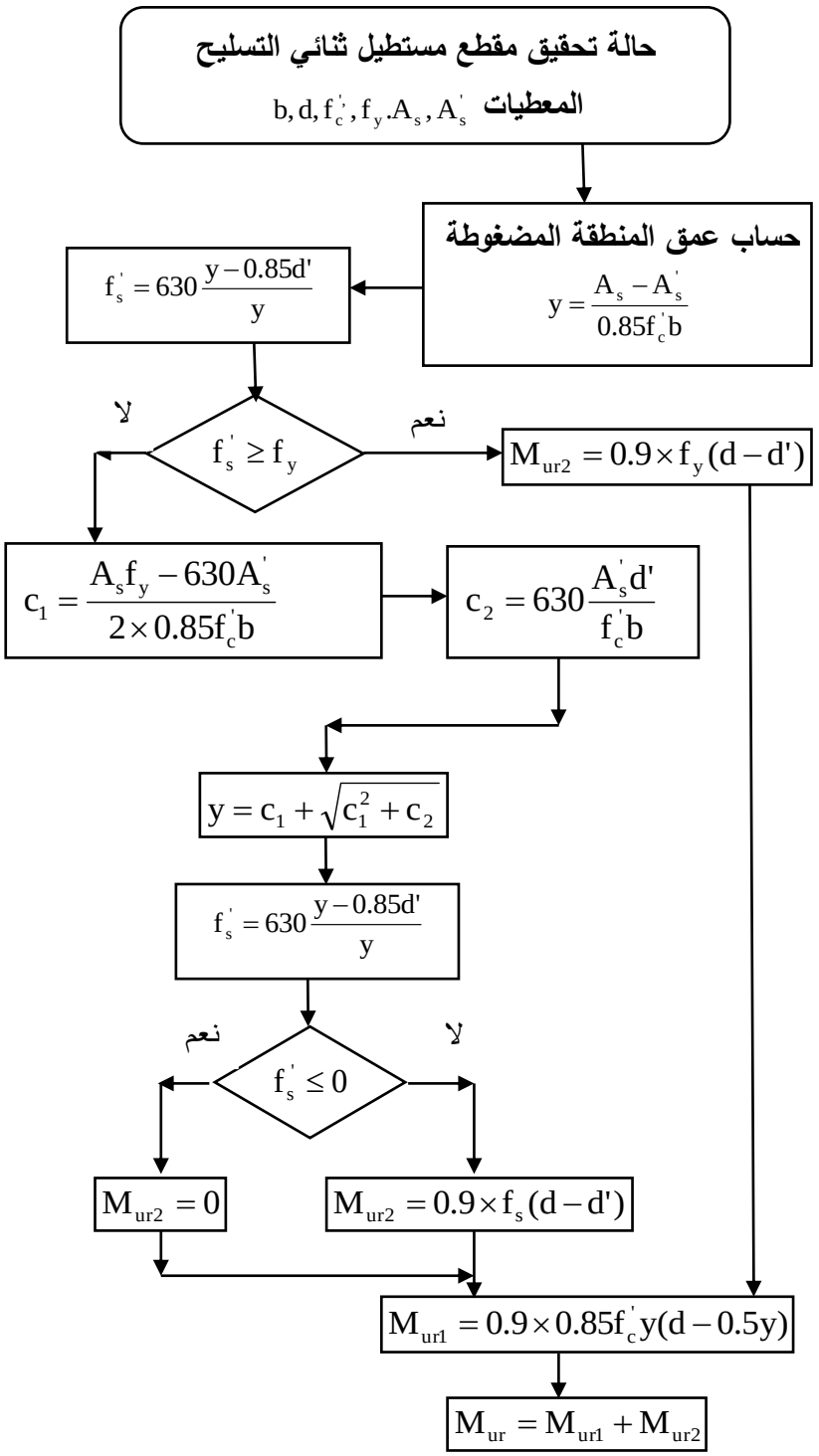
$$.f_s' = 630\frac{y - 0.85d'}{y} \geq f_y$$

الفولاذ المضغوط متلدن نتابع

٥- - قيمة M_u

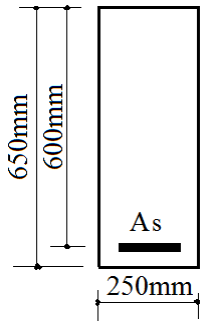
$$M_u = \Omega\left[0.85f_c'b.y(d - 0.5y) + A_s'f_y(d - d')\right]$$

إذا كان الفولاذ المضغوط غير متلدن إما نهمل الفولاذ المضغوط ونعد المقطع أحادي التسليح أو نحسب قيمة y على أساس قيمة إجهاد الضغط في الفولاذ المضغوط.


حالة تحقيق مقطع مستطيل ثنائي التسليح
المعطيات $b, d, f_c', f_y, A_s, A_s'$
حساب عمق المنطقة المضغوطة
$y = \frac{A_s - A_s'}{0.85 f_c' b}$
$f_s' = 630 \frac{y - 0.85d'}{y}$
$f_s' \geq f_y$
لا
نعم
$M_{ur2} = 0.9 \times f_y (d - d')$
$c_1 = \frac{A_s f_y - 630 A_s'}{2 \times 0.85 f_c' b}$
$c_2 = 630 \frac{A_s' d'}{f_c' b}$
$y = c_1 + \sqrt{c_1^2 + c_2}$
$f_s' = 630 \frac{y - 0.85d'}{y}$
$f_s' \leq 0$
نعم
لا
$M_{ur2} = 0$
$M_{ur2} = 0.9 \times f_s (d - d')$
$M_{ur1} = 0.9 \times 0.85 f_c' y (d - 0.5y)$
$M_{ur} = M_{ur1} + M_{ur2}$

مسائل محلولة

المسألة (٤-١)



مقطع مستطيل من البيتون المسلح عرضه b=250mm وارتفاعه الفعال d=600mm ، $f_c^{'} = 18MPa$ والمطلوب : $f_y = 400MPa$

١- حساب العزم الحدي الذي يمكن أن يتحمله المقطع بفرض أنه مسلحاً على الشد فقط بـ $A_s = 1200mm^2$

٢- حساب التسليح الأعظمي المسموح وحساب العزم الحدي الموافق

الحل :

١- حالة تحقيق لا تخفيض للإجهادات

- نسبة التسليح الفعلية

$$\mu = \frac{A_s}{b.d} = \frac{1200}{600 \times 250} = 0.008$$

- نسبة التسليح الأعظمية المسموحة

$$\mu_{max} = 0.75\mu_b = \frac{341}{630 + f_y}\frac{f_c^{'}}{f_y}$$

$$\mu_{max} = \frac{341}{630 + 400}\frac{18}{400} = 0.0149$$

بما أن نسبة التسليح الفعلية أقل من نسبة التسليح الأعظمية يكون الفولاذ المشدود متلدناً.

- عمق المنطقة المضغوطة

$$\alpha = \mu\frac{f_y}{0.85f_c^{'}} = 0.008\frac{400}{0.85 \times 18} = 0.21$$

$$A_o = \alpha(1 - 0.5\alpha) = 0.21(1 - 0.5 \times 0.21) = 0.188$$

ممكن من الجدول (٤-٣) إيجاد A_o

- العزم الحدي المقاوم

$$M_{ur} = 0.9 \times 0.85 \times 18 \times 250 \times 600^2 \times 0.188 = 233kN.m$$

النتيجة : $M_{ur} = 233kN.m$

٢- مساحة التسليح العظمى المسموحة والعزم الحدي الموافق

$$\mu_{max} = \frac{341}{630+400}\frac{18}{400} = 0.0149$$

$$A_{s\,max} = \mu_{max} b.d = 0.0149 \times 600 \times 250 = 2235mm^2$$

- عمق المنطقة المضغوطة

$$\alpha_{max} = \mu_{max}\frac{f_y}{0.85f_c'} = 0.0149\frac{400}{0.85\times 18} = 0.39$$

$$A_{o\,max} = \alpha_{max}(1-0.5\alpha_{max}) = 0.39(1-0.5\times 0.39) = 0.238$$

ممكن من الجدول (٤-٢) (٤-٣) إيجاد A_o

- العزم الحدي المقاوم الاعظمي

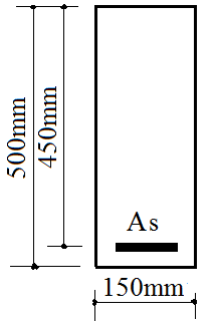
$$M_{u\,max\,r} = 0.9 \times 0.85 \times 18 \times 250 \times 600^2 \times 0.238 = 295kN.m$$

النتيجة : $M_{u\,max\,r} = 295kN.m$

المسألة (٤-٢)

تحقق من أن المقطع المعطى يمكن أن يتحمل عزماً حدياً خارجياً مقداره $80kN.m$ بفرض أنه مسلحاً على الشد فقط بـ $A_s = 600mm^2$.

$f_y = 240MPa \quad f_c' = 20MPa$



الحل :

- حالة تحقيق لا تخفيض للإجهادات

– نسبة التسليح الفعلية

$$\mu = \frac{A_s}{b.d} = \frac{600}{450 \times 150} = 0.0089$$

– نسبة التسليح الأعظمية المسموحة

$$\mu_{max} = 0.75\mu_b = \frac{341}{630 + f_y}\frac{f_c'}{f_y}$$

$$\mu_{max} = \frac{341}{630 + 240}\frac{20}{240} = 0.0276$$

بما أن نسبة التسليح الفعلية أقل من نسبة التسليح الأعظمية يكون الفولاذ المشدود متلدناً.

– عمق المنطقة المضغوطة

$$\alpha = \mu\frac{f_y}{0.85f_c'} = 0.0089\frac{240}{0.85 \times 20} = 0.126$$

$$A_o = \alpha(1 - 0.5\alpha) = 0.126(1 - 0.5 \times 0.126) = 0.1181$$

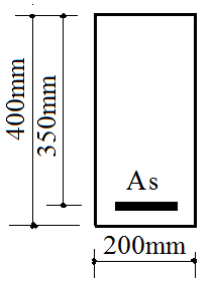
ممكن من الجدول (٤–٣) إيجاد A_o

– العزم الحدي المقاوم

$$M_{ur} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 150 \times 450^2 \times 0.118 = 54.83kN.m$$

النتيجة : $M_{ur} = 54.83 < 80kN.m$

المسألة (٤-٣)



مقطع مستطيل مسلح تسليحاً أحادياً عرضه b=200mm وارتفاعه الفعال d=350mm ومسلح بـ $A_s=170mm^2$ و $f_c' = 18MPa$ $f_y = 400MPa$ والمطلوب العزم الحدي المقاوم لهذا المقطع.

الحل :

- نسبة التسليح الفعلية

$$\mu = \frac{A_s}{b.d} = \frac{1700}{350 \times 200} = 0.0243$$

- نسبة التسليح الأعظمية المسموحة

$$\mu_{max} = 0.75\mu_b = \frac{341}{630 + f_y}\frac{f_c'}{f_y}$$

$$\mu_{max} = \frac{341}{630 + 400}\frac{18}{400} = 0.0149$$

بما أن نسبة التسليح الفعلية أكبر من نسبة التسليح الأعظمية قد يكون الفولاذ المشدود غير متلدن.

توازن القوى:

$$f_s = \frac{0.85f_c'by}{A_s} = \frac{0.85 \times 18 \times 200}{1700}y \Rightarrow f_s = 1.8y$$

من مخطط التشوه

$$f_s = 630\frac{0.85d - y}{y} = \frac{187425 - 630y}{y}$$

نعوض

$$1.8y = \frac{187425 - 630y}{y} \Rightarrow y^2 + 350y - 104125 = 0$$

$$y = 192mm$$

$$f_s = 1.8y = 1.8 \times 192 = 345.6Mpa < f_y$$

- العزم الحدي المقاوم

$$M_{ur} = 0.9 \times 0.85 \times 18 \times 200 \times 192(350 - 0.5 \times 250) = 134kN.m$$

النتيجة : $M_{ur} = 134kN.m$

ملاحظة : بما أن الفولاذ المشدود لم يتلدن هذايعني أن الانهيار سيكون في البيتون أولا وهذا غير مقبول

المسألة (٤-٤)

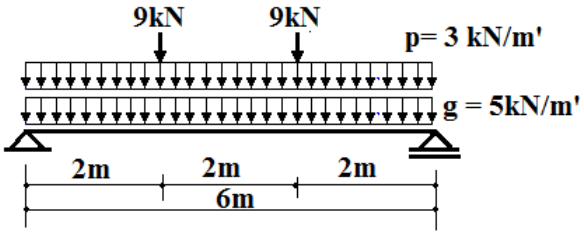
جائز من البيتون المسلح موضح في الشكل يحمل حمولة ميتة موزعة بانتظام g=5kN/m' بما في الوزن الذاتي وحمولتين ميتة مركزة كل واحدة تساوي 9kN وحمولة حية p=3kN/m' المطلوب:

١- تصميم المقطع وسط الجائز بفرض b=300mm

٢- حساب أكبر ارتفاع ممكن للجائز تسليحاً أحادياً (b=300mm) والتسليح الموافق

٣- حساب أصغر ارتفاع ممكن للجائز تسليحاً أحادياً و (b=300mm) والتسليح الموافق.

$f_y = 240MPa \quad f_c' = 20MPa$



الحل :

١- حساب العزم الحدي الخارجي الأعظمي

ملاحظة :

في حالة عدم معرفة موقع العزم الأعظمي يجب رسم مخطط العزم وإيجاد العزم الأعظمي.

- الحمولة الحدية الموزعة بانتظام

$$q_u = 1.4\times 5 + 3\times 1.7 = 12.1 kN/m'$$

- الحمولة الحدية المركزة :

$$P_u = 1.4\times 9 = 12.6 kN$$

- العزم الأعظمي الحدي :

$$M_u = \frac{q_u L^2}{8} + 2P_u = \frac{12.1\times 36}{8} + 2\times 12.6 = 79.65 kN.m$$

بما أن الارتفاع مجهول وكذلك التسليح نفرض نسبة التسليح مساوية لنسبة التسليح المفضلة :

$$\mu = 0.18\frac{f_c'}{f_y} = 0.18\frac{20}{240} = 0.015$$

- من أجل $f_c' = 20Mpa$ و $f_y = 400Mpa$ لا يوجد تخفيض

$$\alpha = \mu\frac{f_y}{0.85 f_c'} = 0.015\frac{240}{0.85\times 20} = 0.212$$

$$A_o = \alpha(1-0.5\alpha) = 0.212(1-0.5\times 0.212) = 0.1895$$

$$r = \sqrt{\frac{1}{A_o}} = \sqrt{\frac{1}{0.1895}} = 2.297$$

$$d = r\sqrt{\frac{M_u}{\Omega 0.85 f_c' b}} =$$

$$2.297\sqrt{\frac{79.65\times 10^6}{0.9\times 0.85\times 20\times 300}} = 303mm$$

$$d = 320mm \qquad h = 350mm$$

$$\gamma = (1-0.5\alpha) = (1-0.5\times 0.212) = 0.894$$

$$A_s = \frac{M_u}{\Omega f_y . d.\gamma} = \frac{85.05\times 10^6}{0.9\times 240\times 320\times 0.894} = 1377mm^2$$

$$\Rightarrow 5T20 = 1571mm^2$$

٢- حساب أكبر ارتفاع ممكن للجائز تسليحاً أحادياً (b=300mm) والتسليح الموافق

أكبر ارتفاع للجائز يوافق حالة التسليح الأصغرية

$$\mu_{min} = \frac{0.9}{f_y} = \frac{0.9}{240} = 0.00375$$

$$\alpha = \mu \frac{f_y}{0.85 f_c'} = 0.00375 \frac{240}{0.85 \times 20} = 0.053$$

$$A_o = \alpha(1 - 0.5\alpha) = 0.053(1 - 0.5 \times 0.053) = 0.0516$$

$$r = \sqrt{\frac{1}{A_o}} = \sqrt{\frac{1}{0.0516}} = 4.402$$

$$d = r\sqrt{\frac{M_u}{\Omega 0.85 f_c' b}} =$$

$$4.402\sqrt{\frac{79.65 \times 10^6}{0.9 \times 0.85 \times 20 \times 300}} = 580mm$$

$$d = 600mm \qquad h = 650mm$$

$$\gamma = (1 - 0.5\alpha) = (1 - 0.5 \times 0.053) = 0.974$$

$$A_s = \frac{M_u}{\Omega f_y . d . \gamma} = \frac{85.05 \times 10^6}{0.9 \times 240 \times 600 \times 0.974} = 674mm^2$$

$$\Rightarrow 3T18 = 763mm^2$$

٣- حساب أصغر ارتفاع ممكن للجائز بتسليح أحادي و (b=300mm) والتسليح الموافق

أصغر ارتفاع للجائز يوافق حالة التسليح الأعظمية

$$\mu_{max} = \frac{227.3}{f_y + 630} \frac{f_c'}{f_y} = \frac{227.3}{240 + 630} \frac{20}{240} = 0.022$$

$$\alpha = \mu \frac{f_y}{0.85 f_c'} = 0.022 \frac{240}{0.85 \times 20} = 0.311$$

$$A_o = \alpha(1 - 0.5\alpha) = 0.311(1 - 0.5 \times 0.311) = 0.263$$

$$r = \sqrt{\frac{1}{A_o}} = \sqrt{\frac{1}{0.263}} = 1.95$$

$$d = r \sqrt{\frac{M_u}{\Omega 0.85 f_c' b}} =$$

$$1.95 \sqrt{\frac{79.65 \times 10^6}{0.9 \times 0.85 \times 20 \times 300}} = 257 mm$$

$$d = 300 mm \qquad h = 350 mm$$

$$\gamma = (1 - 0.5\alpha) = (1 - 0.5 \times 0.311) = 0.844$$

$$A_s = \frac{M_u}{\Omega f_y . d . \gamma} = \frac{85.05 \times 10^6}{0.9 \times 240 \times 300 \times 0.844} = 1556 mm^2$$

$$\Rightarrow 5T20 = 1571 mm^2$$

المسألة (٤-٥) :

جائز بسيط مجازه 5m مقطعه مستطيل يخضع لحمولة موزعة بانتظام ميتة D.L=58kN/m' وحية L.L=30kN/m' . أبعاد المقطع h=85cm و b=30cm إذا علمت أن المقاومة المميزة للبيتون $f_c'=18MPa$ إجهاد الخضوع للفولاذ $f_y = 300MPa$ التغطية a=5cm . المطلوب حساب التسليح اللازم .

الحل:

الحمولة الحدية :

$$q_u = 1.4D.L + 1.4 \times 25 \times 0.85 \times 0.3 + 1.7L.L =$$
$$1.4 \times 58 + 1.4 \times 6.375 + 1.7 \times 30 = 141.125 kN/m'$$

العزم الحدي :

$$M_u = \frac{141.125 \times 5^2}{8} = 441 kN.m$$

– العوامل :

$$A_o = \frac{M_u}{\Omega.0.85 b.d^2 f_c'} = \frac{441 \times 10^6}{0.9 \times 0.85 \times 300 \times 800^2 \times 18} = 0.167$$

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_o} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.167} = 0.184$$

$$r = \sqrt{\frac{1}{A_o}} = \sqrt{\frac{1}{0.184}} = 2.332$$

الارتفاع المطلوب :

$$d = r\sqrt{\frac{M_u}{0.85\Omega.b.f_c'}} = 2.332\sqrt{\frac{441 \times 10^6}{0.85 \times 0.9 \times 300 \times 18}} = 762mm \le 800$$

التسليح أحادي

ويمكن معرفة أن التسليح أحادي من حساب

$$\alpha_b = \frac{535.5}{630 + f_y} = \frac{535.5}{630 + 300} = 0.576$$

القيمة الأعظمية :

$$\alpha_{max} = 0.75\alpha_b = 0.432 > \alpha$$

التسليح أحادي

حساب التسليح :

$$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2} = 1 - \frac{0.184}{2} = 0.908$$

$$A_s = \frac{M_u}{\Omega.\gamma.d.f_y} = \frac{441 \times 10^6}{0.9 \times 0.908 \times 800 \times 300} = 2249mm^2$$

المسألة (٤-٦) :

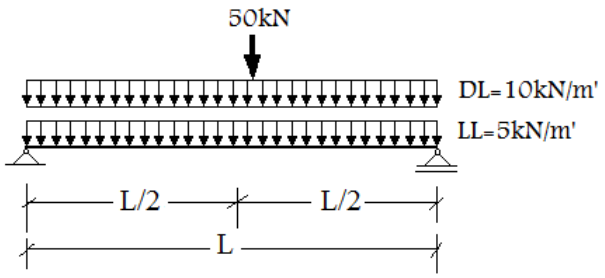
جائز بسيط من البيتون المسلح مقطعه مستطيل موضح في الشكل أبعاده b=300mm H=600mm يحمل حمولة موزعة بانتظام . ميتة DL=10kN/m' بما فيها الوزن الذاتي وحية LL=5kN/m' وحمولة حية مركزة تساوي P=50kN . a=d'=50mm المطلوب:

١- احسب كلا من x_b ، y_b ، α_b، A_{ob} ، γ_b، M_{ub} ، A_{sb} ، f_s ، f_s' ، L

٢- احسب كلا من x_{max} ، y_{max} ، α_{max}، A_{omax} ، γ_{max}، M_{umax} ، A_{smax}

f_s ، f_s' ، L

$f_c' = 20MPa \quad f_y = 400MPa$



الحل :

١- الحساب في الحالة التوازنية

$$d = 600 - 50 = 550mm$$

$$x_b = \frac{630}{630 + f_y} d = \frac{630}{630 + 400} 550 = 336mm$$

$$y_b = 0.85 \times x_b = 336 \times 0.85 = 286mm \Rightarrow \alpha_b = 0.52$$

$$A_{ob} = \alpha_b (1 - \frac{\alpha_b}{2}) = 0.52(1 - \frac{0.52}{2}) = 0.385$$

$$\gamma_b = (1 - \frac{\alpha_b}{2}) = (1 - \frac{0.52}{2}) = 0.74$$

- **العزم الحدي التوازني :**

$$M_{ub} = \Omega 0.85 f_c' b.d^2 A_{ob} =$$
$$M_{ub} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 300 \times 550^2 \times 0.385$$
$$M_{ub} = 534.6 kN.m$$

- **التسليح التوازني :**

$$A_{sb} = \frac{0.85 f_c' b.y_b}{f_y} = \frac{0.85 \times 20 \times 300 \times 286}{400} = 3647 mm^2$$

- **حساب التشوه في الفولاذ :**

$$\varepsilon_s = 0.003 \frac{d - x_b}{x_b} = 0.003 \frac{550 - 336}{336} = 1.91 \times 10^{-3}$$
$$\Rightarrow f_s = 401 > 400 Mpa$$

- **حساب العزم الحدي الخارجي :**

$$P_u = 50 \times 1.7 = 85 kN.m$$
$$q_u = 10 \times 1.4 + 1.7 \times 5 = 22.5 kN.m$$
$$M_u = \frac{q_u L^{\backslash 2}}{8} + \frac{P_u \times L}{4} = \frac{22.5 L^{\backslash 2}}{8} + \frac{85 \times L}{4}$$

$$M_u = 2.8125 L^{\backslash 2} + 21.25 L$$

$$534.6 = 2.8125 L^2 + 21.25 L \Rightarrow L = 10.52 m$$

٢- **الحساب في الحالة الأعظمية**

$$d = 600 - 50 = 550 mm$$
$$x_{max} = 0.75 \frac{630}{630 + f_y} d = 0.75 \frac{630}{630 + 400} 550 = 252 mm$$

$$y_{max} = 0.85 \times x_{max} = 252 \times 0.85 = 214.2 mm \Rightarrow \alpha_{max} = 0.389$$

$$A_{o\,max} = \alpha_{max} (1 - \frac{\alpha_{max}}{2}) = 0.389 (1 - \frac{0.389}{2}) = 0.313$$

$$\gamma_{max} = (1 - \frac{\alpha_{max}}{2}) = (1 - \frac{0.389}{2}) = 0.806$$

$$M_{u\,max} = \Omega 0.85 f_c' b.d^2 A_{o\,max} =$$

$$M_{u\,max} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 300 \times 550^2 \times 0.313$$

$$M_{u\,max} = 434.6 kN.m$$

$$A_{s\,max} = \frac{0.85 f_c' b.y_{max}}{f_y} = \frac{0.85 \times 20 \times 300 \times 214.2}{400} = 2731 mm^2$$

حساب التشوه في الفولاذ :

$$\varepsilon_s = 0.003 \frac{d - x_{max}}{x_{max}} = 0.003 \frac{550 - 252}{252} = 3.55 \times 10^{-3}$$

$$\Rightarrow f_s = 745 > 400 Mpa$$

حساب المجاز :

$$434.6 = 2.8125 L^2 + 21.25 L \Rightarrow L = 9.21 m$$

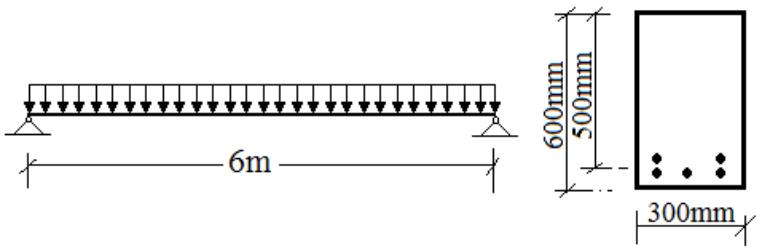
المسألة (٤-٧)

جائز بسيط مجازه 6m مقطعه مستطيل ارتفاعه الكلي h=50cm وعرضه b=30cm يخضع لحمولة موزعة بانتظام ميتة بما فيها الوزن الذاتي D.L وحية L.L ومسلح تسليحاً أحادياً على الشد بـ 5T25 . إذا علمت أن المقاومة المميزة للبيتون $f_c' = 20MPa$ إجهاد الخضوع للفولاذ $f_y = 400MPa$ التغطية للفولاذ السفلي a=45mm

المطلوب :

١- حساب أكبر عزم حدي يستطيع المقطع مقاومته

٢- حساب الحمولات الحية الأعظمية الموزعة بانتظام بفرض أن الحمولة الميتة هي الحمولة الناتجة فقط عن الوزن الذاتي



الحل :

بما أن أبعاد المقطع معطاة وأيضاً التسليح لذلك أولاً نتأكد من أن مساحة التسليح الفعلية أصغر من المساحة المسموحة

$$A_s = 2454.4mm^2 \Rightarrow \mu = \frac{2454.4}{300\times 450} = 0.0182$$

المسموحة :

$$A_{s\max} = \frac{226.67}{630 + f_y}\frac{f_c'}{f_y}b.d$$

$$\mu_{\max} = \frac{226.67}{630+400}\frac{20}{400} = 0.011$$

نلاحظ أن نسبة التسليح الفعلية أكبر من المسموحة لذلك نتأكد من تلدن الفولاذ المشدود

$$c_1 = \frac{630\times A_s}{0.85 f_c' b} \qquad c_1 = \frac{630\times 226.67}{0.85\times 20\times 300} = 28$$

$$c_2 = \frac{630\times A_s d}{f_c' b} \qquad c_2 = \frac{630\times 226.67\times 550}{20\times 300} = 13.1$$

$$y^2 + 28y - 13.1 = 0 \Rightarrow y = 101.27mm$$

$$f_s = 630\frac{0.85d - y}{y} = 630\frac{0.85\times 550 - 101.27}{101.27} = 2278Mpa$$

نعتمد المسموحة

$$\alpha_{max} = \mu_{max} \frac{f_y}{0.85 f_c^{'}}$$

$$\alpha_{max} = 0.011 \frac{400}{0.85 \times 20} = 0.259$$

$$A_o = \alpha_{max}(1 - 0.5\alpha_{max}) \quad A_o = 0.259(1 - 0.5 \times 0.259) = 0.225$$

$$M_{uR} = \Omega 0.85 f_c^{'}.b.d^2 A_o = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 300 \times 450^2 \times 0.225$$

$$M_{uR} = 209 kN.m$$

أو من

$$M_{uR} = \Omega \mu_{max} b.d^2.f_y (1 - 0.5 \times \alpha_{max})$$

$$M_{uR} = 0.9 \times 0.011 \times 300 \times 450^2 \times 400(1 - 0.5 \times 0.259)$$

$$M_{uR} = 209 kN.m$$

$$M_u = \frac{q_u L^2}{8} \Rightarrow q_u = \frac{8 \times 209}{36} = 46.44 kN/m$$

$$q_u = 1.4DL + 1.7LL$$

$$DL = 0.3 \times 0.5 \times 25 = 3.75 kN/m$$

$$q_u = 1.4 \times 3.75 + 1.7LL \Rightarrow LL = \frac{46.44 - 5.25}{1.7} = 24.23 kN/m$$

المسألة (٤-٨) :

مقطع مستطيل من البيتون المسلح أبعاده b=300mm ، d=500mm

$f_y = 360Mpa$, $f_c^{'} = 20Mpa$ والمطلوب حساب الحدي المقاوم بفرض أن المقطع مسلحاً بـ ١- $A_s = 4T20$ ٢- $A_s = 4T20$ ، $A_s^{'} = 2T20$ ٣- $A_s = A_s^{'} = 3T20$

الحل :

١- المقطع مسلح على الشد فقط بـ $A_s = 1256mm^2$

$$\mu = \frac{1256}{500 \times 300} = 0.00837$$

$$\mu_{max} = 0.75 \frac{455}{630 + f_y} \frac{f_c^{'}}{f_y}$$

$$\mu_{max} = 0.75 \frac{455}{630 + 360} \frac{20}{360} = 0.0192$$

$$\alpha = \mu \frac{f_y}{0.85 f_c^{'}} = 0.00837 \frac{360}{0.85 \times 20} = 0.177$$

$$A_o = \alpha(1 - 0.5\alpha) = 0.177(1 - 0.5 \times 0.177) = 0.161$$

$$M_{ur} = \Omega 0.85 f_c^{'} b.d^2 A_o = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 300 \times 500^2 \times 0.161$$

$$\boxed{M_{ur} = 185kN.m}$$

بوساطة الجداول رقم (٣-٦) و (٤-٢) :

$$f_y = 360Mpa \ , \ f_c^{'} = 20Mpa \Rightarrow \alpha_{max} = 0.406$$

$$\Rightarrow \mu_{max} = 0.0191$$

$$\mu = \frac{1256}{500 \times 300} = 0.00837$$

$$\alpha = \mu \frac{f_y}{0.85 f_c'} = 0.00837 \frac{360}{0.85 \times 20} = 0.177$$

من الجدول رقم (٤-٣) :

$$\alpha = 0.177 \Rightarrow$$

α	A_o	γ	r
0.175	0.160	0.913	2.502
0.180	0.164	0.910	2.471

0.005 0.04

$$\alpha = 0.177 \Rightarrow A_o = 0.160 + \frac{0.177 - 0.17}{0.005} 0.004 = 0.161 \Rightarrow$$

٢- المقطع مسلح على الشد بـ $A_s = 1256 mm^2$ وعلى الضغط $A_s' = 628 mm^2$

بفرض أن التسليح المضغوط متلدن :

$$(A_s - A_s').f_y = 0.85 f_c'.b.y \Rightarrow y = \frac{A_s - A_s'}{0.85 f_c'.b} f_y$$

$$y = \frac{1256 - 628}{0.85 \times 20 \times 300} 360 = 44.33 mm$$

$$f_s' = 630 \frac{y - 0.85d'}{y} = 630 \frac{44.33 - 0.85 \times 50}{44.33} = 26 Mpa < f_y$$

الفرض غير صحيح لذلك

$$A_s f_y - A_s'.f_s' = 0.85 f_c'.b.y \Rightarrow f_s' = \frac{A_s f_y}{A_s'} - \frac{0.85 f_c'.b.y}{A_s'}$$

$$f_s' = 630 \frac{y - 0.85d'}{y}$$

$$630 \frac{y - 0.85d'}{y} = \frac{A_s f_y}{A_s'} - \frac{0.85 f_c'.b.y}{A_s'}$$

$$630A_s^{'}y-0.85\times630A_s^{'}d=A_sf_y y-0.85f_c^{'}b.y^2$$

$$y^2+\frac{630A_s^{'}-A_sf_y}{0.85f_c^{'}b}y-630\frac{A_s^{'}d}{f_c^{'}b}=0$$

$$y^2-2c_1y+c_2=0$$

$$c_1=\frac{A_sf_y-630A_s^{'}}{2\times0.85f_c^{'}b}\quad,\quad c_2=-630\frac{A_s^{'}d}{f_c^{'}b}$$

$$c_1=\frac{1256\times360-630\times625}{2\times0.85\times20\times300}=5.726\quad,\quad c_2=-630\frac{625\times50}{20\times300}=-3281.25$$

$$y=c_1+\sqrt{c_1^2+c_2}$$

$$y=5.726+\sqrt{(5.726)^2+3281.25}=63.29\text{mm}$$

$$f_s^{'}=630\frac{63.29-0.85\times50}{86.72}=207\text{Mpa}$$

$$M_{ur}=\Omega0.85f_c^{'}b.y(d-0.5y)+A_s^{'}f_s^{'}(d-d')$$

$$M_{ur}=0.9\times0.85\times20\times300.\times63.29\times(500-0.5\times63.29)$$
$$+0.9\times625\times207\times(500-50)$$

$$\boxed{M_{ur}=188.45\text{kN.m}}$$

٣- المقطع مسلح على الشد والضغط بـ $A_s=A_s^{'}=3T20=942.48\text{mm}^2$

بفرض أن التسليح المضغوط متلدن هذا يؤدي إلى أن :

$$(A_s-A_s^{'}).f_y=0.85f_c^{'}b.y\Rightarrow y=\frac{0}{0.85f_c^{'}.b}f_y=0$$

الفرض غير صحيح

$$y^2-2c_1y+c_2=0$$

$$c_1=\frac{A_sf_y-630A_s^{'}}{2\times0.85f_c^{'}b}\quad,\quad c_2=-630\frac{A_s^{'}d}{f_c^{'}b}$$

$$c_1 = \frac{942.48 \times 360 - 630 \times 942.48}{2 \times 0.85 \times 20 \times 300} = -24.95 \quad ,$$

$$c_2 = -630 \frac{942.48 \times 50}{20 \times 300} = -4948.02$$

$$y = c_1 + \sqrt{c_1^2 + c_2}$$

$$y = -24.95 + \sqrt{(24.95)^2 + 4938.02} = 49.62mm$$

$$f_s^{'} = 630 \frac{49.62 - 0.85 \times 50}{49.62} = 91.18Mpa$$

$$M_{ur} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 300. \times 49.62 \times (500 - 0.5 \times 49.62)$$
$$+ 0.9 \times 625 \times 91.18 \times (500 - 50)$$

$$\boxed{M_{ur} = 131.15kN.m}$$

ملاحظة : نلاحظ عدم تأثير تسليح الضغط في العزم المقاوم الحدي كثيراً ما دام الفولاذ المضغوط لم يتلدن.

المسألة (٤-٩) :

جائز من البيتون المسلح مقطعه مستطيل عرضه b=25cm وارتفاعه الكلي **h=70cm** مسلح على الضغط $A_s^{'} = 1600mm^2$ وخاضع لعزم انعطاف حدي $M_u = 620kN.m$ المطلوب حساب تسليح الشد اللازم بفرض أن أبعاد المقطع محققة للسهم $a = d^{'} = 40mm \quad f_c^{'} = 18MPa \quad f_y = 240MPa$

الحل :

- نسبة التسليح التوازنية :

$$\mu_b = \frac{455}{f_y + 630} \frac{f_c^{'}}{f_y} = \frac{455}{240 + 630} \frac{18}{240} = 0.0392$$

- **نسبة تسليح الضغط :**

$$\mu' = \frac{1600}{660 \times 250} = 0.0097$$

- **نسبة التسليح الأعظمية :**

$$\mu_{max} = 0.75\mu_b = 0.0294$$

العزم المقاوم من قبل التسليح المضغوط وجزء من التسليح المشدود

$$M_{uR2} = \Omega A_{s2}.f_y(d - d') = 0.9 \times 1600 \times 240(660 - 40)$$

$$M_{uR2} = 214.3kN.m$$

العزم المتبقي من العزم الحدي

$$M_{uR1} = M_u - M_{uR2} = 620 - 214.3 = 405.73kN.m$$

$$A_o = \frac{407.73 \times 10^6}{0.9 \times 0.85 \times 18 \times 250 \times 660^2} = 0.272 \Rightarrow \alpha = 0.325$$

إما

$$\alpha_{max} = \mu_{max} \frac{f_y}{0.85f_c'} = 0.0294 \frac{240}{0.85 \times 18} = 0.461 > \alpha$$

الجزء الأول من التسليح المشدود :

$$\gamma_o = 1 - 0.5\alpha = 1 - 0.5 \times 0.325 = 0.837 \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{405.73 \times 10^6}{0.9 \times 0.837 \times 660 \times 240} = 3398mm^2$$

التسليح المشدود الكلي :

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 3398 + 1600 = 4998mm^2$$

- **الفولاذ المضغوط متلدن لأن**

$$y = \alpha.d = 0.325 \times 660 = 214.5mm > 2a'$$

- النسبة الكلية للفولاذ المشدود يجب أن تكون أصغر من مرة ونصف من النسبة التوازنية أي

$$\mu = \frac{A_s}{b.d} = \frac{4998}{250 \times 660} = 0.030$$

$$1.5(0.5\mu_b) = 1.5 \times 0.5 \times 0.0396 = 0.030 \quad \textbf{ok}$$

$$\mu - \mu' = 0.03 - 0.0097 = 0.0203 < 0.5\mu_b = 0.02 \quad \textbf{not. Ok}$$

يمكن قبول الحسابات لأن القيم متقاربة

المسألة (٤-١٠) :

جائز من البيتون المسلح مقطعه مستطيل عرضه **b=30cm** وارتفاعه **d=60cm** المطلوب حساب العزم الحدي الممكن وتحمله لهذا المقطع (في الحالة العادية) علماً أن:

$f_y = 360\,MPa \quad f_c' = 20MPa \quad a = d' = 50mm$ وذلك في الحالات الآتية:

١- مسلح على الشد فقط $A_s = 1472\,mm^2$

٢- مسلح على الشد والضغط $A_s = 1472\,mm^2 \quad A_s' = 402\,mm^2$

٣- مسلح على الشد والضغط $A_s = 1472\,mm^2 \quad A_s' = 1472\,mm^2$

الحل :

١- الحالة الأولى : مسلح على الشد فقط $A_s = 1472\,mm^2$

- نسبة التسليح التوازنية :

$$\mu_b = \frac{455}{f_y + 630}\frac{f_c'}{f_y} = \frac{455}{2360 + 630}\frac{20}{360} = 0.0253$$

- نسبة التسليح الأعظمية (هنا في الحالة العادية) وبالتالي:

$$\mu_{max} = 0.5\mu_b = 0.0126$$

نسب التسليح الفعلية :

$$\mu = \frac{1472}{300 \times 600} = 0.0082$$

$$\alpha = \mu \frac{f_y}{0.85 f_c^{'}} = 0.0082 \frac{360}{0.85 \times 20} = 0.174$$

$$A_o = \alpha(1 - 0.5\alpha) = 0.174(1 - 0.5 \times 0.174) = 0.159$$

$$M_{ur} = \Omega 0.85 f_c^{'}.b.d^2 A_o$$

$$M_{ur} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 300 \times 600^2 \times 0.159 = 262.7 kN.m$$

٢- الحالة الثانية المقطع مسلح على الشد ولضغط $A_s = 1472\,mm^2$

$A_s^{'} = 402\,mm^2$

- نسب التسليح الفعلية :

$$\mu = \frac{1472}{300 \times 600} = 0.0082$$

$$\mu^{'} = \frac{402}{300 \times 600} = 0.0022$$

$$\mu - \mu^{'} = 0.006$$

- بفرض أن الفولاذ المضغوط متلدن $f_s^{'} = f_y$

عمق المنطقة المضغوطة :

$$A_s.f_y = 0.85 f_c^{'}.b.y + f_y.A_s^{'} \Rightarrow$$

$$y = \frac{(A_s - A_s^{'}).f_y}{0.85 f_c^{'}.b} = \frac{(1472 - 402) \times 360}{0.85 \times 20 \times 300} = 75.53mm$$

$$f_s^{'} = 630 \frac{y - 0.85 d^{'}}{y} = 630 \frac{75.53 - 0.85 \times 50}{75.53} = 275 Mpa < f_y$$

هذا يعني أن الفولاذ المضغوط غير متلدن والفرض خاطئ لذلك

$$A_s.f_y = 0.85 f_c^{'}.b.y + f_s^{'}.A_s^{'}$$

$$A_s.f_y = 0.85f_c^{'}.b.y + 630\frac{y-0.85d^{'}}{y}.A_s^{'}$$

$$A_s.f_y.y = 0.85f_c^{'}.b.y^2 + 630.A_s^{'}y - 630\times 0.85d^{'}A_s^{'}$$

$$y^2 + \frac{630.A_s^{'} - A_s.f_y}{0.85f_c^{'}.b}y - \frac{630d^{'}A_s^{'}}{f_c^{'}.b} = 0$$

$$y^2 + \frac{630\times 402 - 1472\times 360}{0.85\times 20\times 300}y - \frac{630\times 50\times 402}{20\times 300} = 0$$

$$y^2 - 54.25y - 2110.5 = 0$$

$$y = 80.5mm$$

$$f_s^{'} = 630\frac{y-0.85d^{'}}{y} = 630\frac{80.5-0.85\times 50}{80.5} = 297.39Mpa$$

$$M_{ur} = \Omega 0.85f_c^{'}.by(d-\frac{y}{2}) + A_s^{'}(d-d^{'})f_s^{'} =$$

$$M_{ur} = 0.9\times 0.85\times 20\times 300\times 80.5(600-\frac{80.5}{2})$$

$$+ 297.39\times 402(600-50) = 272.6kN.m$$

٣- الحالة الثالثة : المقطع مسلح على الشد والضغط $A_s = 1472\,mm^2$

$A_s^{'} = 1472\,mm^2$

- بفرض أن الفولاذ المضغوط متلدن $f_s^{'} = f_y$

عمق المنطقة المضغوطة :

$$A_s.f_y = 0.85f_c^{'}.b.y + f_y.A_s^{'} \Rightarrow y = \frac{(A_s - A_s^{'}).f_y}{0.85f_c^{'}.b} = 0$$

هذا يعني أن الفولاذ المضغوط غير متلدن والفرض خاطئ لذلك

$$A_s.f_y = 0.85f_c^{'}.b.y + f_s^{'}.A_s^{'}$$

$$A_s.f_y = 0.85f_c^{'}.b.y + 630\frac{y-0.85d^{'}}{y}.A_s^{'}$$

$$A_s.f_y.y = 0.85f_c^{'}.b.y^2 + 630.A_s^{'}y - 630\times 0.85d^{'}A_s^{'}$$

$$y^2 + \frac{630.A_s^{'} - A_s.f_y}{0.85f_c^{'}.b}y - \frac{630d^{'}A_s^{'}}{f_c^{'}.b} = 0$$

$$y^2 + \frac{630\times 1472 - 1472\times 360}{0.85\times 20\times 300}y - \frac{630\times 50\times 1472}{20\times 300} = 0$$

$$y^2 + 77.93y - 7728 = 0$$

$$y = 57.2mm$$

$$f_s^{'} = 630\frac{y-0.85d^{'}}{y} = 630\frac{57.2-0.85\times 50}{57.2} = 161.90Mpa$$

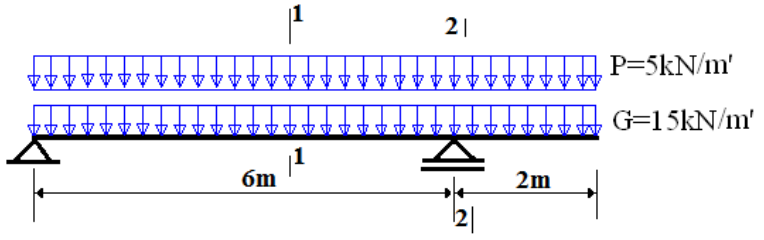
$$M_{ur} = \Omega 0.85f_c^{'}.by(d-\frac{y}{2}) + A_s^{'}(d-d^{'})f_s^{'} =$$

$$M_{ur} = 0.9\times 0.85\times 20\times 300\times 57.2(600-\frac{57.2}{2}) + 161.90\times 1472(600-50)$$

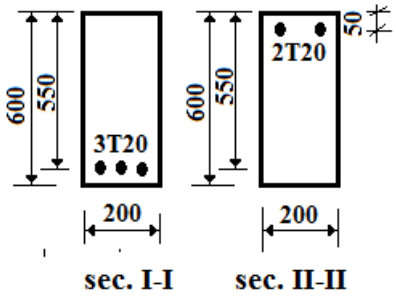
$$M_{ur} = 281.1kN.m$$

مسألة (٤ -١١)

جائز من البيتون المسلح موضح في الشكل يحمل حمولة ميتة موزعة بانتظام **G=15kN/m'** من دون الوزن الذاتي وحمولة حية **P=5kN/m'** المطلوب تحقيق الجائز عند المقطعين بفرض $f_c^{'} = 20MPa \quad f_y = 280MPa$



الحل :



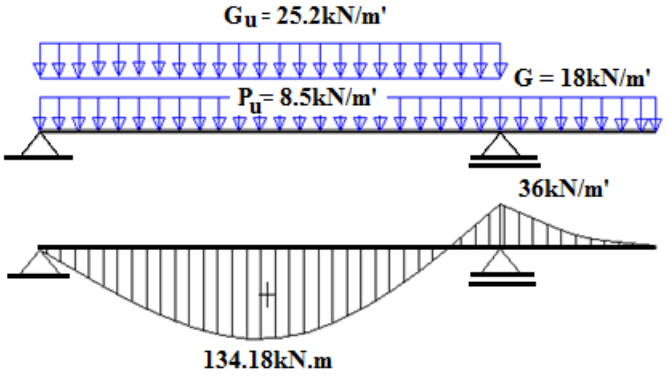
الأحمال الحدية :

$$G_u = 1.4(0.2\times 0.6\times 25+15) = 25.2kN/m'$$

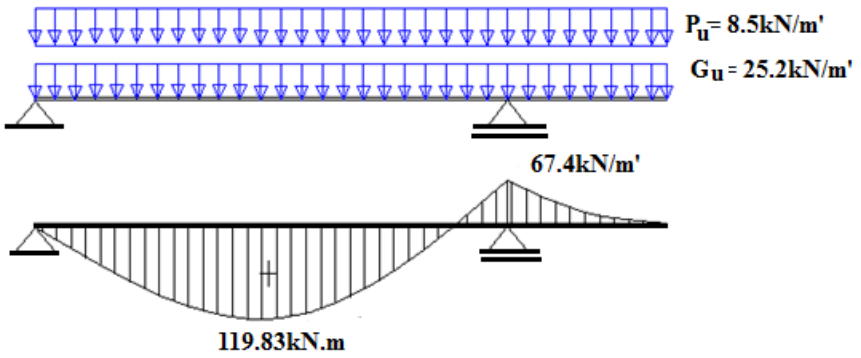
$$P_u = 1.7\times 5 = 8.5kN/m'$$

رسم مخططات العزم الحدي

من أجل العزم الموجب يتم تحميل الجائز بالحمولة وفق الشكل



من أجل العزم السالب يتم تحميل الجائز بالحمولة وفق الشكل



١- المقطع 1-1 العزم الحدي M_u =136.125 ومسلح على الشد فقط بـ 3T20

- النسبة الأعظمية

$$\mu_{max} = \frac{341}{f_y + 630}\frac{f_c'}{f_y} = \frac{341}{280+630}\frac{20}{280} = 0.0268$$

- النسبة الفعلية :

$$\mu = \frac{A_s}{b.d} = \frac{942.48}{200\times 550} = 0.0086$$

نلاحظ أن :

$$\mu < \mu_{max}$$

$$\alpha = \mu\frac{f_y}{0.85f_c'} = 0.0086\frac{280}{0.85\times 20} = 0.141$$

$$A_o = \alpha(1-0.5\alpha) = 0.141(1-0.5\times 0.141) = 0.131$$

$$M_{ur} = \Omega.0{,}85f_c'.bd^2A_o = 0.9\times 0.85\times 20\times 200\times 550^2\times 0.131$$

$$M_{ur} = 121.26kN.m$$

نلاحظ أن العزم المقاوم أقل من العزم الخارجي

٢- المقطع ٢-٢ العزم الحدي M_u =72 ومسلح على الشد فقط بـ 2T20

- النسبة الأعظمية

$$\mu_{max} = \frac{341}{f_y + 630}\frac{f_c'}{f_y} = \frac{341}{280+630}\frac{20}{280} = 0.0268$$

النسبة الفعلية :

$$\mu = \frac{A_s}{b.d} = \frac{628.32}{200 \times 550} = 0.0057$$

نلاحظ أن

$$\mu < \mu_{max}$$

$$\alpha = \mu \frac{f_y}{0.85 f_c^{'}} = 0.0057 \frac{280}{0.85 \times 20} = 0.094$$

$$A_o = \alpha(1 - 0.5\alpha) = 0.094(1 - 0.5 \times 0.094) = 0.0896$$

$$M_{ur} = \Omega 0,85 f_c^{'}.bd^2 A_o = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 200 \times 550^2 \times 0.0896$$

$$M_{ur} = 82.92 kN.m$$

نلاحظ أن العزم المقاوم أكبر من العزم الخارجي

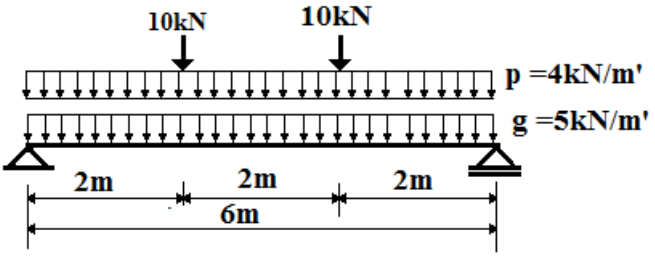
مسألة (٤-١٢)

جائز من البيتون المسلح موضح في الشكل يحمل حمولة ميتة موزعة بانتظام **g=5kN/m'** بما فيه الوزن الذاتي وحمولتان ميتة مركزة كل واحدة تساوي **10kN** وحمولة حية **p=4kN/m'** المطلوب:

١- تصميم المقطع وسط الجائز بفرض **b=300mm**

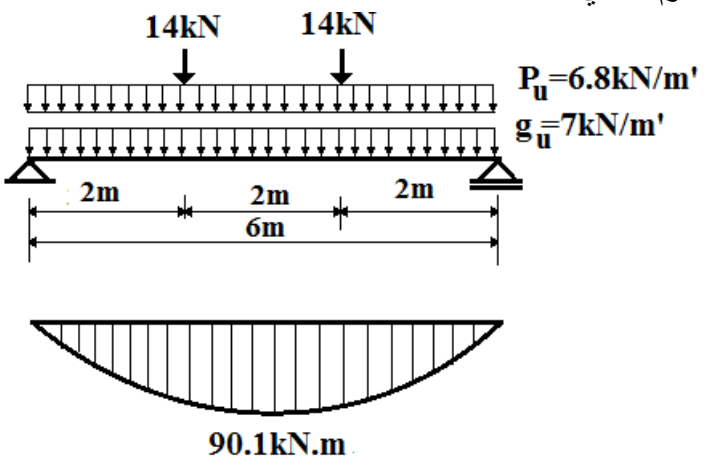
٢- حساب أكبر ارتفاع ممكن للجائز بتسليح أحادي (**b=300mm**) والتسليح الموافق

٣- حساب أصغر ارتفاع ممكن للجائز بتسليح أحادي و (**b=300mm**) والتسليح الموافق



١ – تصميم المقطع وسط الجائز

العزم الحدي :



$$M_u = 90.1kN.m$$

بما أن الارتفاع مجهول وكذلك التسليح نفرض نسبة التسليح مساوية لنسبة التسليح المفضلة:

$$\mu = 0.18\frac{f_c'}{f_y} = 0.18\frac{20}{240} = 0.015$$

$$\alpha = \mu\frac{f_y}{0.85f_c'} = 0.015\frac{240}{0.85\times 20} = 0.212$$

$$A_o = \alpha(1-0.5\alpha) = 0.212(1-0.5\times 0.212) = 0.1895$$

$$r = \sqrt{\frac{1}{A_o}} = \sqrt{\frac{1}{0.1895}} = 2.297$$

$$d = r\sqrt{\frac{M_u}{\Omega 0.85f_c'b}} = 2.297\sqrt{\frac{90.1\times 10^6}{0.9\times 0.85\times 20\times 300}} = 322mm$$

$$d = 330mm \qquad h = 365mm$$

$$\gamma = (1-0.5\alpha) = (1-0.5\times 0.212) = 0.894$$

$$A_s = \frac{M_u}{\Omega f_y . d . \gamma} = \frac{90.1 \times 10^6}{0.9 \times 240 \times 330 \times 0.894}$$

$$A_s = 1414 mm^2 \Rightarrow 6T18 = 1526 mm^2$$

٢- حساب أكبر ارتفاع ممكن للجائز بتسليح أحادي على الشد (b=300mm) والتسليح الموافق

$$\mu_{min} = \frac{0.9}{f_y} = \frac{0.9}{240} = 0.00375$$

$$\alpha = \mu \frac{f_y}{0.85 f_c^{'}} = 0.00375 \frac{240}{0.85 \times 20} = 0.053$$

$$A_o = \alpha(1 - 0.5\alpha) = 0.053(1 - 0.5 \times 0.053) = 0.0516$$

$$r = \sqrt{\frac{1}{A_o}} = \sqrt{\frac{1}{0.0516}} = 4.402$$

$$d = r \sqrt{\frac{M_u}{\Omega 0.85 f_c^{'} b}} = 4.402 \sqrt{\frac{90.1 \times 10^6}{0.9 \times 0.85 \times 20 \times 300}} = 617 mm$$

$$d = 620 mm \qquad h = 650 mm$$

$$\gamma = (1 - 0.5\alpha) = (1 - 0.5 \times 0.053) = 0.974$$

$$A_s = \frac{M_u}{\Omega f_y . d . \gamma} = \frac{90.1 \times 10^6}{0.9 \times 240 \times 620 \times 0.974}$$

$$A_s = 691 mm^2 \Rightarrow 3T18 = 763 mm^2$$

٣-حساب أصغر ارتفاع ممكن للجائز بتسليح أحادي و (b=300mm) والتسليح الموافق

$$\mu_{max} = \frac{227.3}{f_y + 630} \frac{f_c^{'}}{f_y} = \frac{227.3}{240 + 630} \frac{20}{240} = 0.022$$

$$\alpha = \mu \frac{f_y}{0.85 f_c^{'}} = 0.022 \frac{240}{0.85 \times 20} = 0.311$$

$$A_o = \alpha(1 - 0.5\alpha) = 0.311(1 - 0.5 \times 0.311) = 0.263$$

$$r = \sqrt{\frac{1}{A_o}} = \sqrt{\frac{1}{0.263}} = 1.95$$

$$d = r\sqrt{\frac{M_u}{\Omega 0.85 f_c' b}} = 1.95\sqrt{\frac{90.1\times10^6}{0.9\times0.85\times20\times300}} = 274mm$$

$$d = 300mm \qquad h = 350mm$$

$$\gamma = (1-0.5\alpha) = (1-0.5\times0.311) = 0.844$$

$$A_s = \frac{M_u}{\Omega f_y.d.\gamma} = \frac{90.1\times10^6}{0.9\times240\times300\times0.844}$$

$$A_s = 1648mm^2 \Rightarrow 5T20 = 1571mm^2$$

مسألة (٤-١٢)

جائز من البيتون المسلح مقطعه مستطيل عرضه **b=300mm** و ارتفاعه الفعال **d=550mm** إذا كان ارتفاع المنطقة المشدودة في الحالة التوازنية يساوي **302.5mm** ومساحة التسليح التوازنية تساوي $A_{sb}=3793.125mm^2$ والمطلوب :

١- حساب f_c' و f_y

٢- حساب العزم الحدي التوازني

٣- حساب العزم الحدي الأعظمي والتسليح الموافق

الحل :

١- حساب f_c' و f_y

$$y_b = 600 - 302.5 = 297.5mm$$

$$y_b = \frac{0.85\times630}{630+f_y}550 = 297.5 \Rightarrow f_y = 360MPa$$

$$A_{sb} = \frac{0.85\times f_c'\times300\times297.5}{360} = 3793.125 \Rightarrow f_c' = 18MPa$$

٢- حساب العزم الحدي التوازني

$$M_{ub} = 0.9\times0.85\times18\times300\times297.5\times(550-\frac{297.5}{2}) = 493.13kN.m$$

٣- حساب العزم الحدي الأعظمي والتسليح الموافق

$$y_{max} = 0.75y_b = 0.75\times 297.5 = 223.125mm$$

$$M_{u\,max} = 0.9\times 0.85\times 18\times 300\times 223.125\times (550-\frac{223.125}{2}) = 404.121kN.m$$

$$A_{s\,max} = \frac{0.85\times 18\times 300\times 223.125}{360} = 2844.84mm^2$$

مسألة (٤-١٢)

جائز من البيتون المسلح مقطعه بشكل T حيث b_w=200mm ، H=600mm

d'=40mm , a=50mm , b_f=600mm, t_f=100mm

$f_c' = 18MPa$ و $f_y = 240MPa$

والمطلوب :

١- حساب العزم الحدي التوازني والتسليح الموافق

٢- حساب التسليح الأعظمي الأحادي على الشد والعزم الموافق

٣- حساب التسليح الأعظمي ثنائي التسليح على الشد والضغط والعزم الموافق

الحل :

١- حساب العزم الحدي التوازني والتسليح الموافق.

$$d = 600-50 = 550mm$$

$$y_b = \frac{0.85\times 630}{630+240}550 = 338.53mm$$

$$M_{ub1} = 0.9\times 0.85\times 18\times 100\times (600-200)\times (550-\frac{100}{2}) = 275.4kN.m$$

$$M_{ub2} = 0.9\times 0.85\times 18\times 200\times 338.53\times (550-\frac{338.53}{2}) = 354.76kN.m$$

$$M_{ub} = M_{ub1}+M_{ub2} = 275.4+354.76 = 630.16kN.m$$

$$A_{sb1} = \frac{0.85\times 18\times 100\times (600-200)}{240} = 2550mm^2$$

$$A_{sb2} = \frac{0.85\times 18\times 200\times 338.53}{240} = 4317mm^2$$

$$A_{sb} = A_{sb1}+A_{sb2} = 2550+4317 = 6867mm^2$$

٢- حساب التسليح الأعظمي الأحادي على الشد والعزم الموافق

$$A_{s\,max} = A_{sb1} + 0.75A_{sb2} = 2550 + 0.75 \times 4317 = 5788mm^2$$

$$y_{max} = \frac{0.75 \times 4317 \times 240}{0.85 \times 18 \times 200} = 253.94mm$$

$$M_{u\,max\,1} = M_{ub1} = 275.4kN.m$$

$$M_{u\,max\,2} = 0.9 \times 0.85 \times 18 \times 200 \times 253.94 \times (550 - \frac{253.94}{2}) = 295.85kN.m$$

$$M_{u\,max} = M_{u\,max\,1} + M_{u\,max\,2} = 275.4 + 295.85 = 571.25kN.m$$

٣- حساب التسليح الأعظمي ثنائي التسليح على الشد والضغط والعزم الموافق

التسليح المشدود الأعظمي للمقطع المستطيل يجب ألا يزيد عن 1.5 التسليح الأعظمي المحسوب على أساس $0.5A_{sb}$

أي

$$A_{s\,max} = 1.5 \times 0.5 \times A_{sb2} + A_{sb1} + A_s^{'}$$

$$A_s^{'} = 0.25A_{sb2} = 0.25 \times 4317 = 1079.25mm^2$$

$$A_{s\,max} = 1.5 \times 0.5 \times 4317 + 2250 + 1079.25 = 6567mm^2$$

$$y_{max} = \frac{0.5 \times 4317 \times 240}{0.85 \times 18 \times 200} = 169.3mm$$

$$M_{u\,max\,1} = M_{ub1} = 275.4kN.m$$

$$M_{u\,max\,2} = 0.9 \times 0.85 \times 18 \times 200 \times 169.3 \times (550 - \frac{169.3}{2}) = 216.97kN.m$$

$$M_{u\,max\,3} = 0.9 \times 1079.25(550 - 40) \times 240 = 118.9kN.m$$

$$M_{u\,max} = M_{u\,max\,1} + M_{u\,max\,2} + M_{u\,max\,3} = 275.4 + 216.97 + 118.97 = 611.27kN.m$$

لنختبر بأن الفولاذ المضغوط متلدن

$$f_s^{'} = 630\frac{169.3 - 0.85 \times 40}{169.3} = 503.4MPa$$

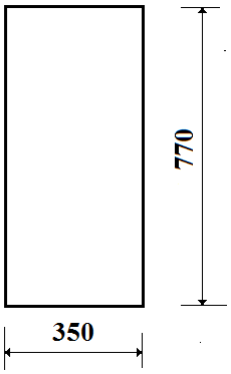
الزيادة في العزم للمقطع ثنائي التسليح فقط 7% من العزم أحادي التسليح .

مسائل غير محلولة

مسألة (٤-١٨)

جائز من البيتون المسلح مقطعه مستطيل موضح في الشكل بجانبه يخضع لعزم خارجي حدي موجب مقداره $M_u = 1400kN.m$ والمطلوب حساب التسليح اللازم بفرض أن $a = d' = 70mm$ و $f_y = 400MPa$ $f_c' = 28MPa$

أجوبة : $A_s = 6763mm^2$ $A_s' = 2304mm^2$

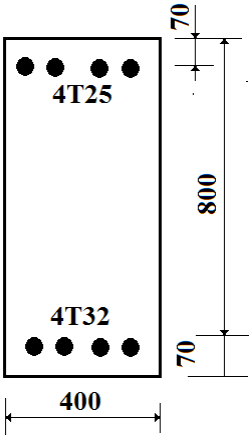


مسألة (٤-١٩)

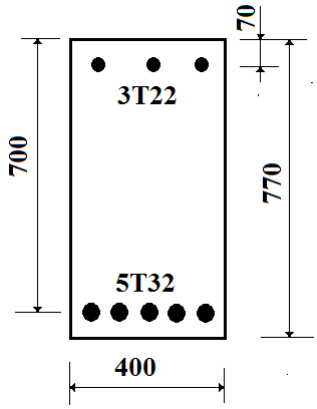
جائز من البيتون المسلح مقطعه مستطيل موضح في الشكل بجانبه مسلح على الضغط والشد والمطلوب حساب العزم المقاوم الحدي الذي يتحمله المقطع علماً أن $f_y = 400MPa$ $f_c' = 20MPa$

أجوبة : $y = 107.7mm$ $f_s' = 282Mpa$

$M_{ur} = 855.6kN.m$



مسألة (٤-٢٠)

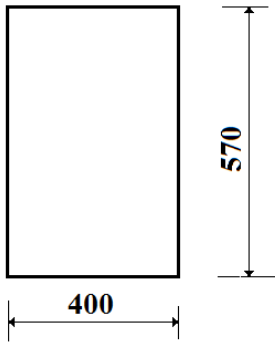


جائز من البيتون المسلح مقطعه مستطيل موضح في الشكل بجانبه مسلح على الضغط والشد والمطلوب حساب العزم المقاوم الحدي الذي يتحمله المقطع علماً أن

$f_c' = 20MPa \quad f_y = 400MPa$

أجوبة : $y = 169mm \qquad M_{ur} = 1079kN.m \; f_s' = f_y$

مسألة (٤-٢١)



جائز من البيتون المسلح مقطعه مستطيل موضح في الشكل بجانبه يخضع لعزم خارجي حدي موجب مقداره $M_u = 650kN.m$ والمطلوب حساب التسليح اللازم بفرض أن $a = d' = 70mm$ و $f_y = 400MPa$

$f_c' = 28MPa$

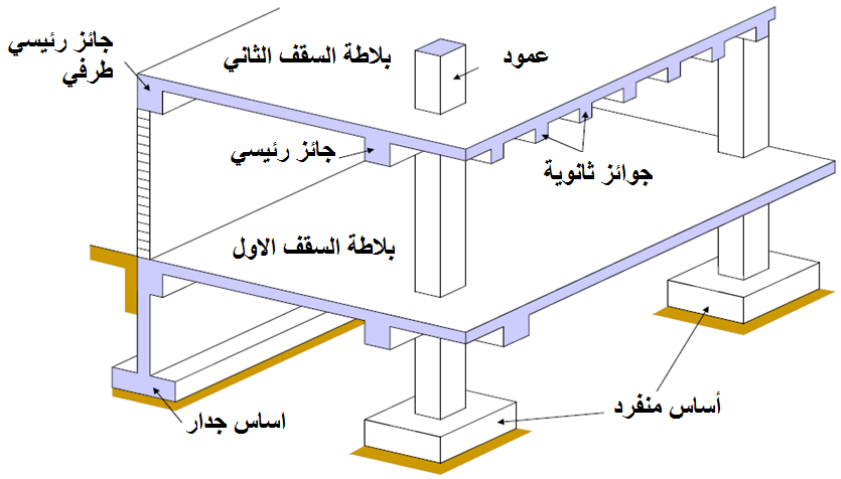
أجوبة : $A_s = 3972mm^2 \qquad A_s' = 1069mm^2$

الفصل الخامس

تصميم وتحقيق المقاطع بشكل T

٥-١ مقدمة :

كما هو معروف أن بناء سقف من البيتون المسلح يتم بإنشاء مجموعة من البلاطات المستوية بجوار بعضها بعضاً، تستند هذه البلاطات على الجوائز الثانوية التي تستند بدورها على جوائز رئيسية . تشترك البلاطات و الجوائز الثانوية والرئيسية مع بعضها بعضاً في مقاومة الأحمال الخارجية ٠الشكل (٥-١) يوضح سقفاً مع الجوائز الرئيسية والثانوية



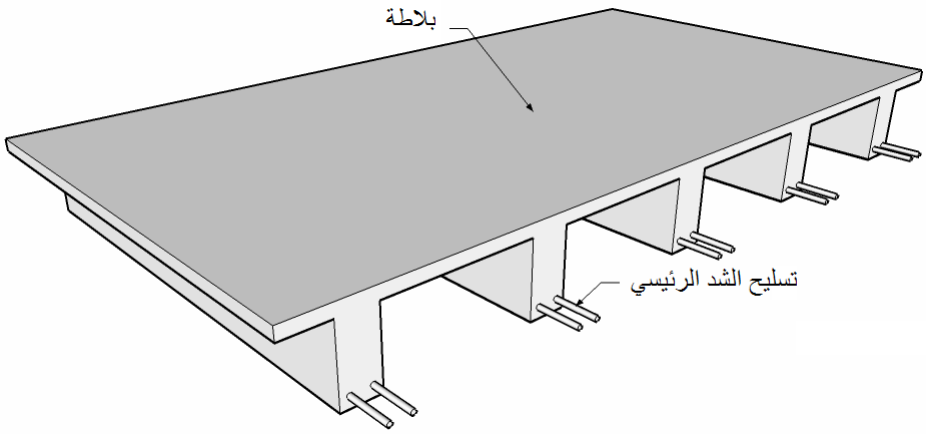
الشكل (٥-١) توضيح للجوائز الرئيسية والثانوية

عادة يتم صب الجوائز والبلاطة بشكل متصل وبالتالي يوجد جزء مشترك بين البلاطة والجائز هذا الجزء يمكن أن يمتد بعرض أكبر من عرض الجائز المتدلي ، يدعى بالجناحين ويسمى المقطع مقطع T ويدعى الجزء المتدلي بالجسد. وبالتالي يمكن الاستفادة من المناطق التي تخضع على إجهادات ضاغطة في البلاطة نتيجة تاثير عزوم موجبة في مقاومة هذه الجهود. أما المناطق التي تؤثر فيها عزوم انعطاف سالبة ، فالبلاطة تخضع فيها

لإجهادات شد، وهنا لا يمكن الاستفادة من البلاطة في مقاومة الجهود التي تولدها هذه العزوم.

الجوائز على شكل T نوعين :

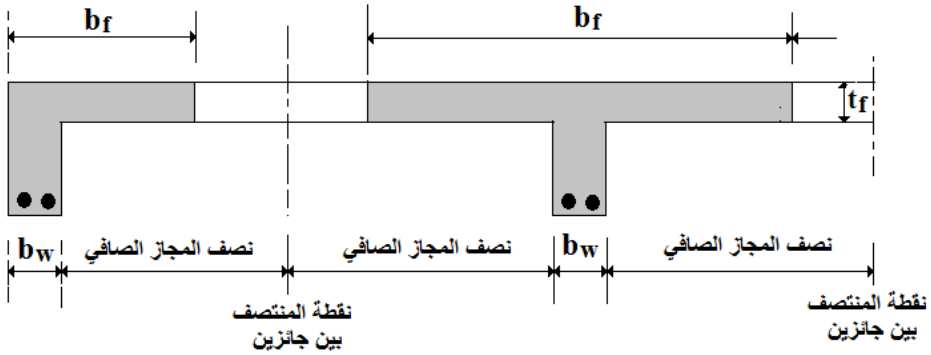
آ- نوع أول يكون في البلاطات المؤلفة من جوائز عادية متصلة اتصالا وثيقاُ مع البلاطات المحمولة عليها، ويكون ذلك بالصب استمرارياُ وتشريك التسليح بحيث يكون الجائز والبلاطة المضغوطة فوقه ، مترابطين ترابطاُ فعالاُ فيؤلفان وحدة من الوجهة الإنشائية ، ويسلكان سلوكاُ موحداُ تحت تاثير الأحمال المطبقة . يسمى الجائز الاصلي جسداُ والبلاطة فوقه (طاولة الضغط ويسمى القسم من البلاطة الذي يعمل بالفعل مع الجسد ، العرض الفعال لطاولة الضغط .



الشكل (٥-٢) توضيح للجوائز الرئيسية

ب- نوع ثاني يكون في القطاعات المصنعة مسبقاً خصيصاً بشكل T لإعداد طاولة ضغط خاصة.

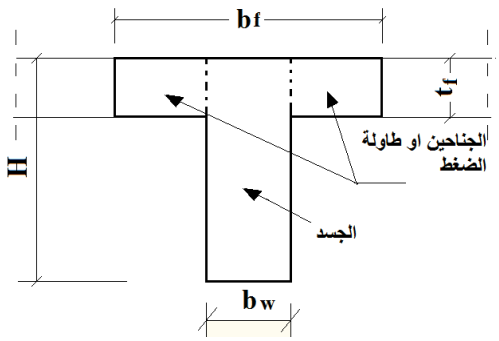
يحدد عرض المنطقة المضغوطة الفعالة (طاولة الضغط) والتي تشترك مع الجوائز وفق ما جاء في الكود العربي السوري وفق الآتي :



الشكل

ل (٥-٣) مقطع عرضي في البلاطة والجوائز

يؤخذ العرض الفعال لطاولة الضغط مساوياً للقيمة الدنيا من الأبعاد الآتية للجوائز بشكل T:



أ- في حالة $\frac{L}{4}$ الجوائز

المعرضة لأحمال موزعة بصورة رئيسية.

$\frac{L}{5}$ في حالة الجوائز المعرضة لأحمال مركزة بصورة رئيسية.

حيث L : 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.

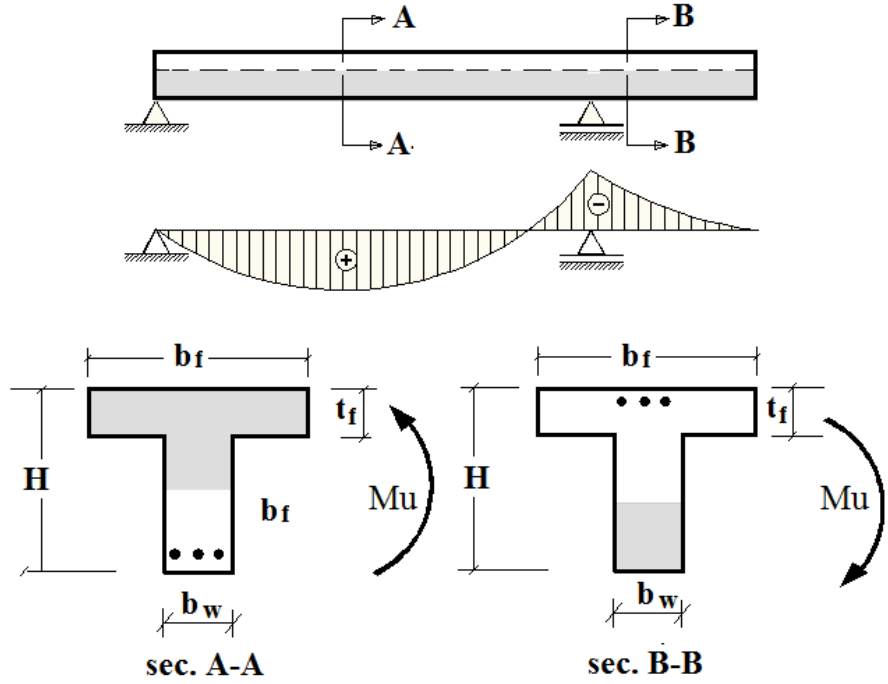
ب – عرض الجسد b_w مضافاً إليه 12 مرة أي $b_f = b_w + 12t_f$ على الأكثر لحساب المقاومة.

عرض الجسد b_w مضافاً إليه 6 مرات ثخانة البلاطة t_f

$b_f = b_w + 6t_f$ على الأكثر لحساب عزم العطالة الفعال.

ج – المسافة بين محوري جائزين متجاورين

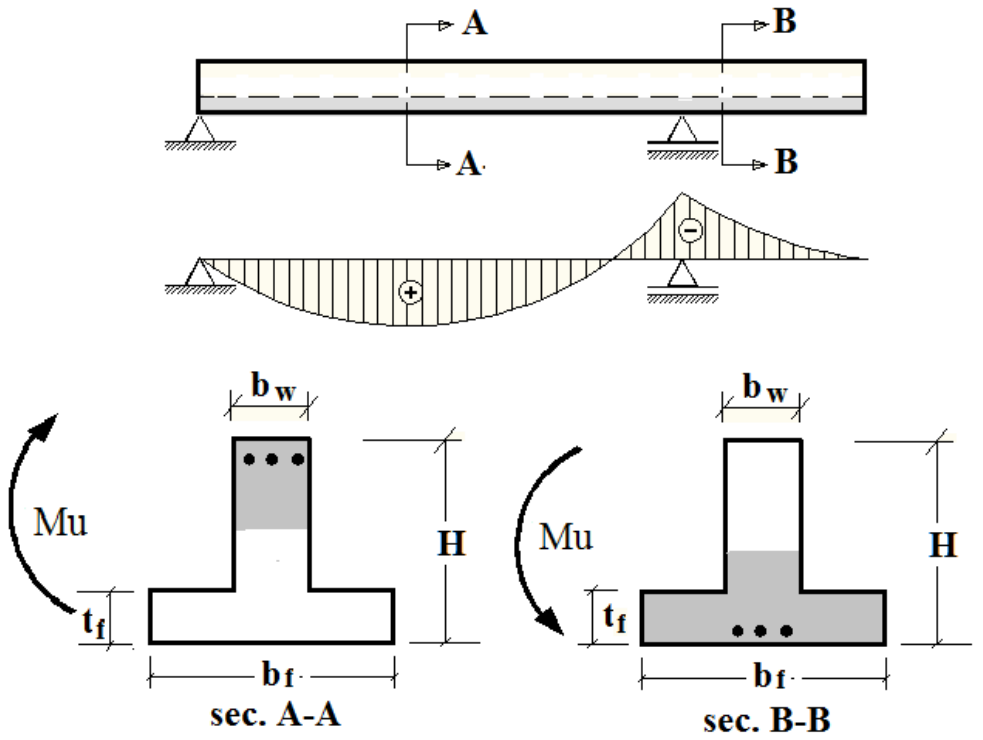
يمكن معرفة متى يعمل المقطع كمقطع مستطيل أو كمقطع تيه من خلال دراسة الشكل (٥-٤) الذي يمثل جائزاً متصلاً مع البلاطة من الأعلى ويخضع لعزم حدي موجب عند المقطع A-A فنكون إجهادات الشد في الجسد والضغط في البلاطة وبالتالي المقطع يعمل كمقطع T ، بينما يخضع الجائز لعزم سالب عند المقطع B-B فتكون إجهادات الشد في البلاطة والضغط في الجسد وبالتالي المقطع يعمل كمقطع مستطيل عرضه b_w ، أما الشكل (٥-٥) فيمثل جائزاً مقلوباً أي الجائز متصل مع البلاطة من الأسفل ويخضع لعزم



حدي

الشكل (٥-٥) الجائز متدلي للأسفل .المقطع A-A يعمل بشكل T لخضوعه لعزم موجب . المقطع B-B يعمل بشكل مستطيل لخضوعه لعزم سالب

موجب عند المقطع A-A فتكون إجهادات الشد في البلاطة والضغط في الجسد وبالتالي المقطع يعمل كمقطع مستطيل ، بينما يخضع الجائز لعزم سالب عند المقطع B-B فتكون إجهادات الشد في الجسد والضغط في البلاطة وبالتالي المقطع يعمل كمقطع T.



الشكل (٥-١٥) الجائز مقلوب نحو الأعلى . المقطع A-A يعمل بشكل مستطيل لخضوعه لعزم موجب . المقطع B-B يعمل بشكل T لخضوعه لعزم سالب

٥-٢ المقاطع بشكل T أحادية التسليح والخاضعة لا نعطاف بسيط

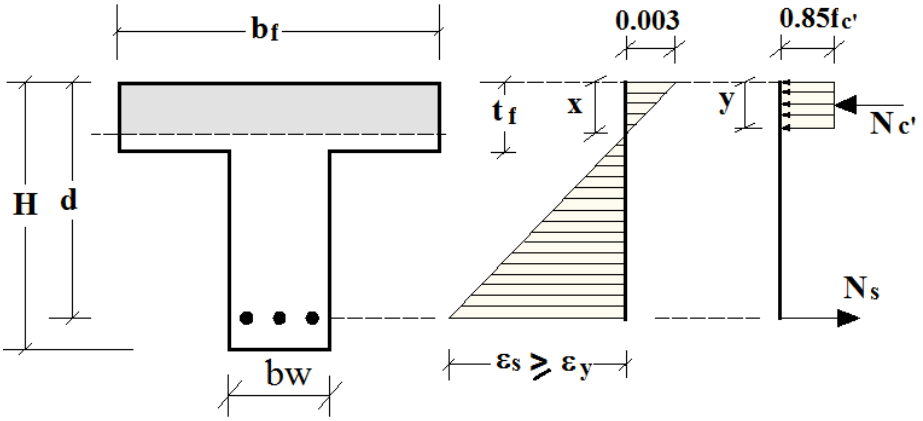
٥-٢-١ المحور المحايد يقع ضمن بلاطة الضغط :

في هذه الحالة يكون عمق المنطقة المضغوطة أصغر أويساوي ثخانة البلاطة أي $y \le t_f$. الشكل (٥-٦) يوضح مقطعاً بشكل T يخضع لعزم موجب حدي خارجي M_u ، يكون في هذه الحالة الشد في الجسد والضغط في البلاطة مما يتيح الاستفادة من البلاطة.

العزم الناتج من قوى الضغط في البيتون لبلاطة الضغط فقط هو

$$M_{uf} = \Omega.0.85f_c^{'}.t_f.b_f(d-\frac{t_f}{2}) \qquad \textbf{(5-1)}$$

إن شرط وقوع المحور المحايد ضمن بلاطة الضغط هو أن يكون العزم الذي يحسب من بلاطة الضغط أكبر من العزم الحدي الخارجي.



الشكل (٥-٦) مقطع جائز T والمحور يقع ضمن البلاطة

$$M_u \le M_{uf} = \Omega.0.85f_c^{'}.t_f.b_f(d-\frac{t_f}{2}) \qquad \textbf{(5-2)}$$

من توازن القوى :

$$A_s.f_y = 0.85f_c^{'}.b_f.y \Rightarrow$$

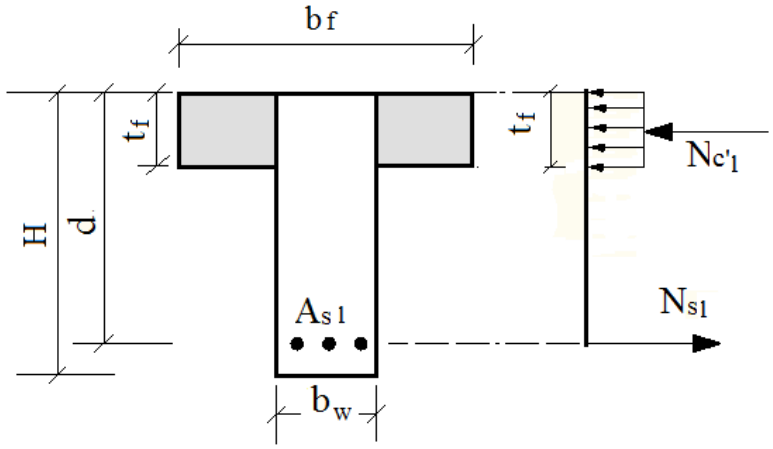
$$y = \frac{A_s.f_y}{0.85f_c^{'}.b_f} \le t_f \qquad \textbf{(5-3)}$$

إذا تحقق شرط وقوع المحور المحايد ضمن بلاطة الضغط فهذه الحالة هي حالة المقطع نفسها المستطيل عرضه b_f لذلك نعود إلى علاقات المقطع المستطيل بعد استبدال b بـ b_f

٥-٢-٢ المحور المحايد يقطع الجسد :

هذه الحالة يكون عمق المنطقة المضغوطة أكبر من ثخانة البلاطة أي $y > t_f$ وبمعنى آخر يكون $M_{uf} < M_u$. يعامل المقطع كمقطع T ارتفاعه الفعال d ويحسب التسليح بعد تقسيم المقطع إلى جزأين ، الأول مستطيل عرضه b_w وارتفاعه الفعال d والثاني عبارة عن جناحي المقطع. العزم المقاوم بالجناحين :

الجزء الأول : الجناحين مع جزء من التسليح المشدود الشكل (٥-٧)



الشكل (٥-٧) القوى الداخلية للجناحين لمقطع جائز T

نحسب التسليح المقابل لهذا الجزء :

$$A_{s1} = \frac{M_{ut}}{\Omega . f_y . (d - \frac{t_f}{2})} = \frac{0.85 f_c^{'} (b_f - b_w) . t_f}{f_y} \qquad \textbf{(5-4)}$$

إن قيمة الجزء الأول من التسليح والموافق للمنطقة المضغوطة في الجناحين ثابتة ولا تتعلق بقيمة العزم الحدي الخارجي إنما تتعلق فقط بخصائص المقطع الهندسية.

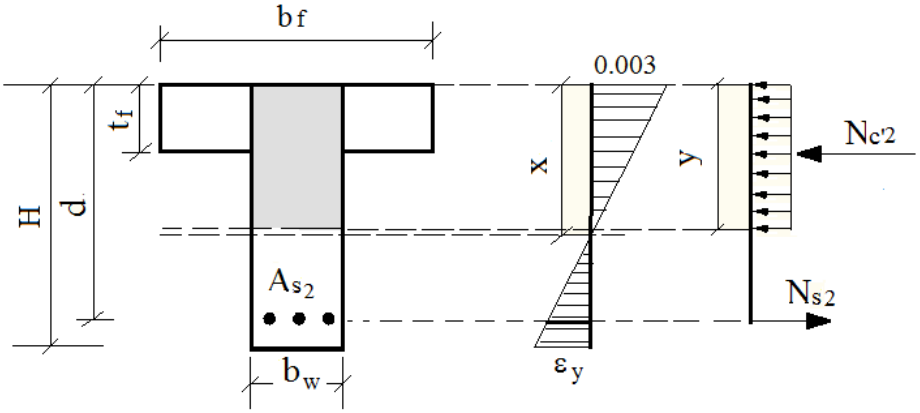
العزم المقاوم بواسطة هذا الجزء

$$M_{ut} = \Omega 0.85 f_c^{'}.b.t_f\,(d - \frac{t_f}{2}) \qquad \textbf{(5-5)}$$

العزم المتبقي :

$$M_{u1} = M_u - M_{ut} \qquad \textbf{(5-6)}$$

يقاوم هذا الجزء المتبقي بوساطة الجسد الذي هو عبارة عن مقطع مستطيل عرضه b_w وارتفاعه الفعال d كما هو موضح في الشكل (٥-٨)



الشكل (٥-٨) القوى الداخلية للجسد لمقطع جائز T

ولا بد من الإشارة إلى أن التسليح الموافق للعزم المتبقي قد يكون تسليح شد فقط أو تسليحاً ثنائياً شد وضغط وذلك وفق

$$A_o = \frac{M_{u1}}{\Omega 0.85 f_c^{'}.b_w.d^2} \Rightarrow \alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_o} \Rightarrow \gamma = 1 - 0.5\alpha$$

بمقارنة قيمة α بالقيمة الأعظمية α_{max}

$$\alpha_{max} = \frac{401}{630 + f_y}$$

أ- $\alpha \le \alpha_{max}$ **تسليح أحادي على الشد**

$$A_{s1} = \frac{M_{u1}}{\Omega.f_y.\gamma.d}$$

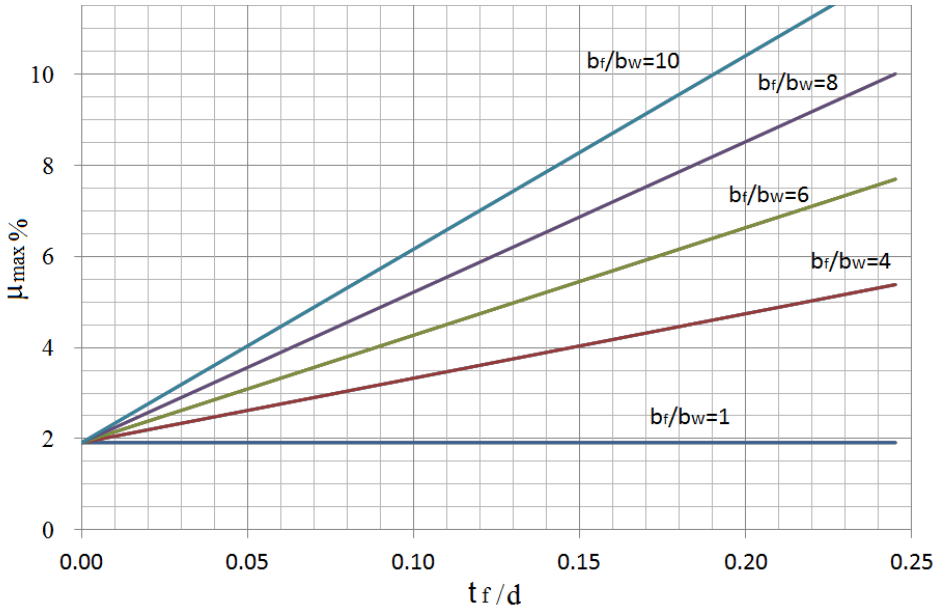
يصبح تسليح الشدالكلي

$$A_s = A_{st} + A_{s1}$$

نسبة التسليح

$$\mu = \frac{A_s}{b_w.d} \le \mu_{max}$$

$$\mu_{max} = \frac{A_{s_{max}}}{b_w d} = \frac{f_c'}{f_y}\left[\frac{340}{630+f_y} + 0.85\left(\frac{b_f}{b_w}-1\right)\frac{t_f}{d}\right] \qquad \textbf{(5-4)}$$



الشكل (٥-٩) نسبة التسليح الأعظمية لمقطع بشكل T

ب- $\alpha > \alpha_{max}$ تسليح الجسد ثنائي :

يحسب العزم الأعظمي الذي يقاومه الجسد بتسليح أحادي حيث

$$\mu_{max} = 0.5\mu_b = \frac{227.6}{630+f_y}\frac{f_c'}{f_y}$$

$$\alpha_{max} = \mu_{max}\frac{f_y}{0.85f_c'} \Rightarrow A_o = \alpha_{max}(1-0.5\alpha_{max})$$

$$\gamma = (1-0.5\alpha_{max})$$

$$M_{u2} = \Omega 0.85 f_c^{'}.b_w.d^2.A_o$$

العزم المتبقي

$$M_{u3} = Mu_1 - M_{u2}$$

تسليح الشد الموافق للعزم M_{u3}

$$A_{s2} = \frac{M_{u2}}{\Omega.f_y.\gamma.d}$$

التسليح على الضغط بفرض التسليح المضغوط متلدناً

$$A_{s3} = A_s^{'} = \frac{M_{u3}}{\Omega.f_y.(d-d')}$$

التسليح النهائي على الشد

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} + A_{s3}$$

٣-٥ تصميم المقاطع بشكل T أحادية التسليح والخاضعة لا نعطاف بسيط

الحالة الأولى :

أبعاد المقطع مجهولة بالإضافة إلى التسليح اللازم لمقاومة عزم حدي مقداره M_u

١- نفرض نفرض نسبة تسليح مناسبة

$$\mu = \frac{A_s}{b_w.d} = 0.18\frac{f_c^{'}}{f_y} \qquad \textbf{(5-5)}$$

٢- نجد نسبة التسليح الوهمية

$$\mu_f = \frac{A_s}{b_f.d} = \frac{A_s}{b_f.d}\frac{b_w}{b_w} = \mu\ \frac{b_w}{b_f} \qquad \textbf{(5-6)}$$

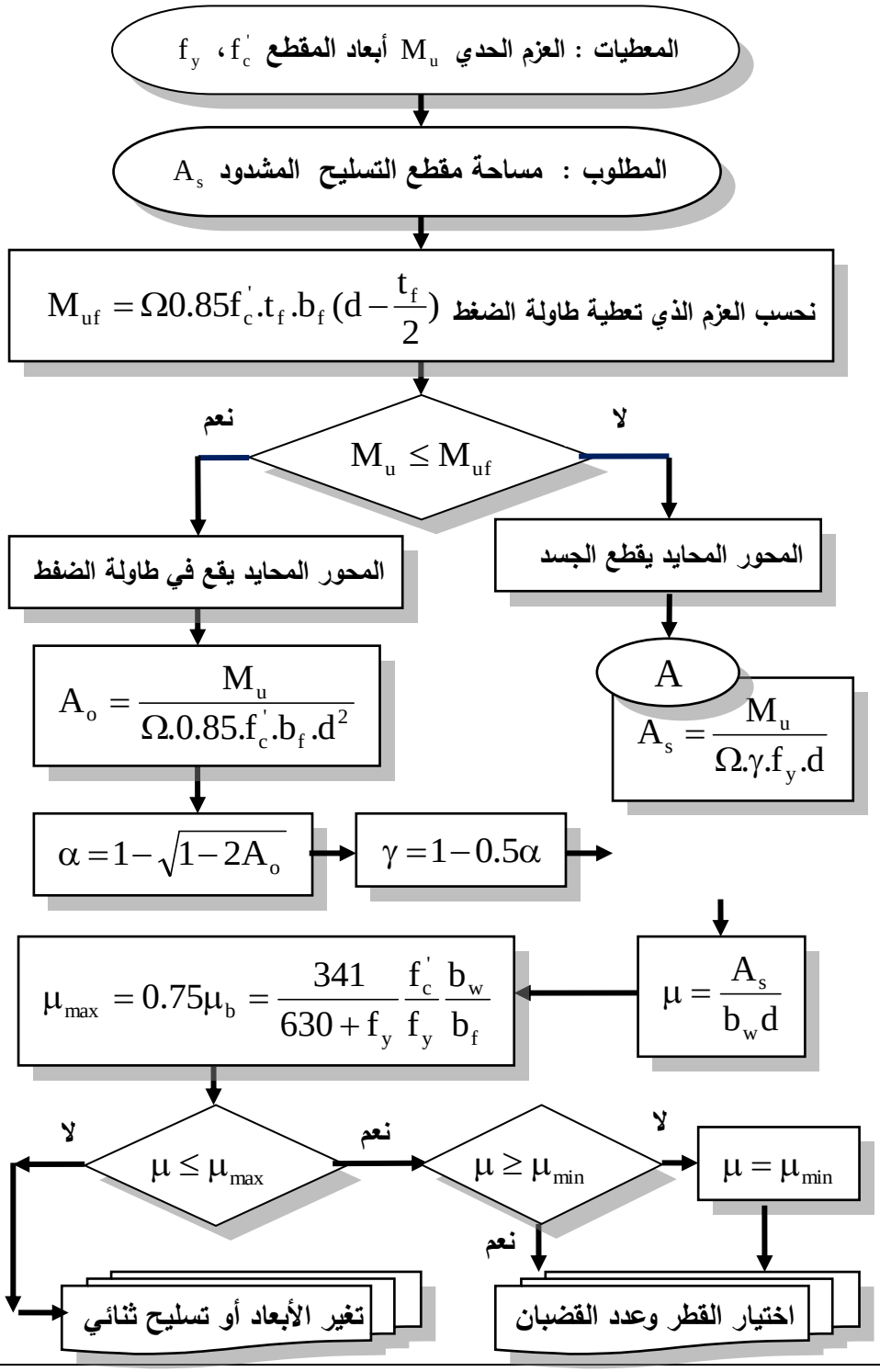
٣- هذا يضمن وقوع المحور السليم ضمن البلاطة وبالتالي المقطع مستطيل عرضه عرض طاولة الضغط .

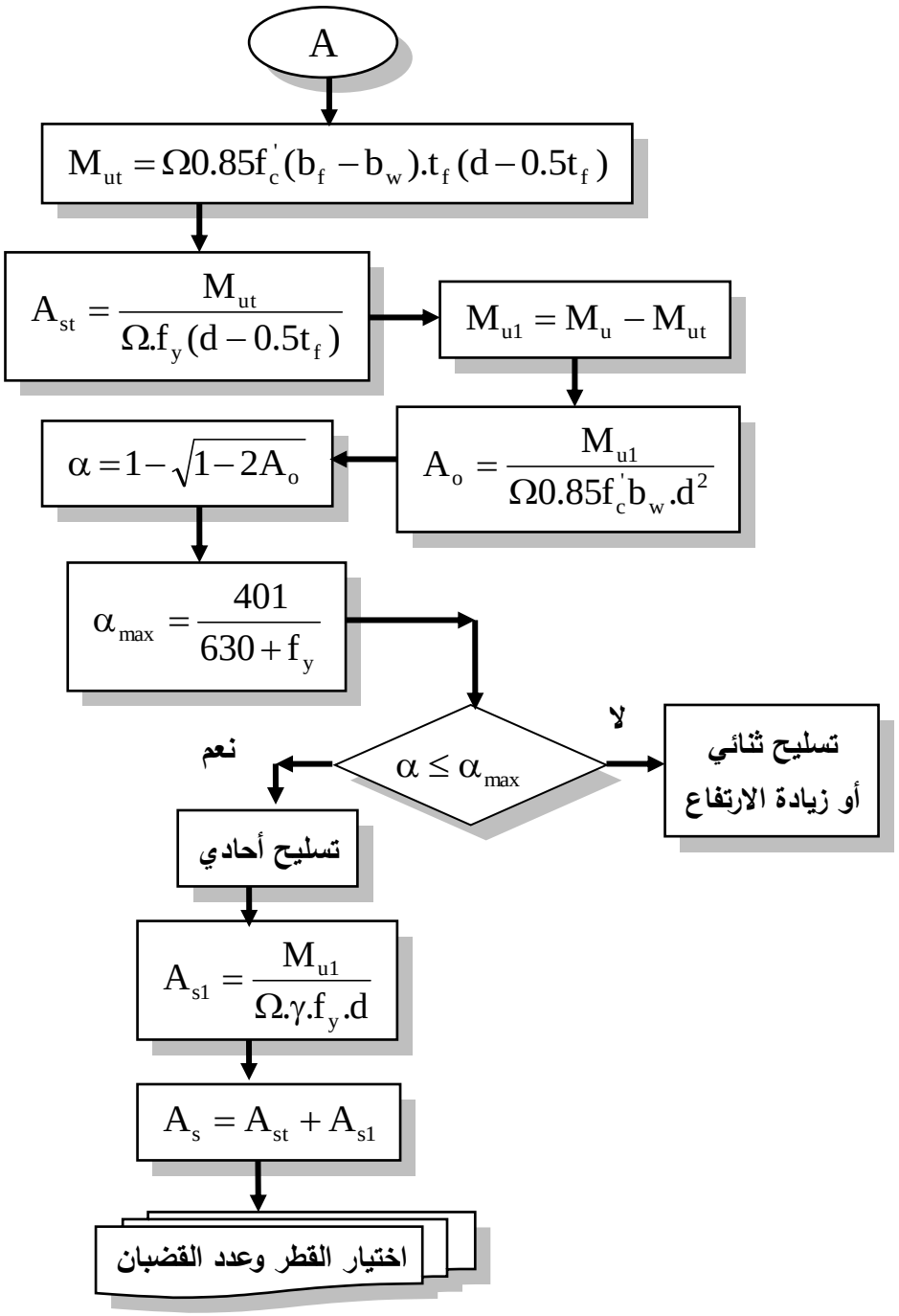
$$\alpha = \frac{f_y}{0.85f_c^{'}}\mu_f \qquad \textbf{(5-7)}$$

٤- نتابع الحل على أساس مقطع مستطيل عرضه b_f

$$A_o = \alpha(1-0.5\alpha) \qquad \gamma = (1-0.5\alpha) \qquad r = \sqrt{\frac{1}{A_o}}$$

$$d = r\sqrt{\frac{M_u}{\Omega 0.85f_c^{'}b_f}} \qquad A_s = \frac{M_u}{\Omega.f_y.d.\gamma}$$


المعطيات : العزم الحدي M_u أبعاد المقطع f_c' ، f_y
المطلوب : مساحة مقطع التسليح المشدود A_s
نحسب العزم الذي تعطية طاولة الضغط $M_{uf} = \Omega 0.85 f_c' . t_f . b_f (d - \frac{t_f}{2})$
$M_u \le M_{uf}$
نعم
لا
المحور المحايد يقع في طاولة الضفط
المحور المحايد يقطع الجسد
$A_o = \frac{M_u}{\Omega . 0.85 . f_c' . b_f . d^2}$
A
$A_s = \frac{M_u}{\Omega . \gamma . f_y . d}$
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_o}$
$\gamma = 1 - 0.5\alpha$
$\mu = \frac{A_s}{b_w d}$
$\mu_{max} = 0.75\mu_b = \frac{341}{630 + f_y} \frac{f_c'}{f_y} \frac{b_w}{b_f}$
$\mu \le \mu_{max}$
لا
نعم
$\mu \ge \mu_{min}$
لا
$\mu = \mu_{min}$
نعم
تغير الأبعاد أو تسليح ثنائي
اختيار القطر وعدد القضبان



الشكل (٥-١٠) خطوات تصميم مقطع جائز T

الحالة الثانية :

أبعاد المقطع معلومة وكذلك العزم الخارجي الحدي M_u والمطلوب التسليح اللازم .

١- حساب العزم الأعظمي الذي تعطيه طاولة الضغط

$$M_{uf} = \Omega 0.85 f_c^{'}.b_f.t_f\,(d - \frac{t_f}{2})$$

٢- نقارن بين العزم الخارجي والعزم الأعظمي

$M_u \le M_{uf}$ هذا يعني أن المحور المحايد يقع ضمن طاولة الضغط وبالتالي يعامل المقطع كمقطع مستطيل عرضه b_f

$M_u > M_{uf}$ أي أن المحور يقطع الجسد وبالتالي المقطع يعمل كـ T

الحالة الثالثة :

أبعاد المقطع معلومة والمطلوب العزم الخارجي الحدي الأعظمي M_{umax} وتسليح الشد الموافق

١- نحسب عمق المنطقة المضغوطة الأعظمية

$$y_{max} = \frac{401}{630 + f_y} d$$

٢- نقارن بين y_{max} و t_f

$y_{max} \le t_f$ هذا يعني أن المحور المحايد يقع ضمن طاولة الضغط وبالتالي يعامل المقطع كمقطع مستطيل عرضه b_f

$$M_{u\,max} = \Omega 0.85 f_c^{'}.b_f.y_{max}\,(d - \frac{y_{max}}{2})$$

$$A_{s\,max} = \frac{0.85f'_c.b_f.y_{max}}{f_y}$$

$y_{max} > t_f$ هذا يعني أن المحور المحايد يقطع الجسد

$$M_{u\,max} = \Omega 0.85f'_c.\left[(b_f - b_w)t_f\,(d - \frac{t_f}{2}) + b_w.y_{max}\,(d - \frac{y_{max}}{2})\right]$$

$$A_{s\,max} = \frac{0.85f'_c.[(b_f - b_w)t_f. + y_{max}.b_w]}{f_y}$$

٤-٥ **تحقق المقاطع بشكل T أحادية التسليح والخاضعة لا نعطاف بسيط**

أبعاد المقطع معلومة وكذلك تسليح الشد والمطلوب العزم الخارجي الحدي المقاوم.

١- مساحة المقطع البيتوني المضغوطة والمقابلة للتسليح المعطى

$$A'_c = \frac{A_s.f_y}{0.85f'_c}$$

٢- مقارنة

أ- $A'_c \le b_f.t_f$ هذا يعني أن المحور يقع ضمن طاولة الضغط ويكون التسليح المعطى أقل من التسليح الأعظمي لذلك يكون الفولاذ المشدود متلدناً على الأغلب.

$$y = \frac{A_s.f_y}{0.85f'_c.b_f}$$

$$M_{u\,r} = \Omega 0.85f'_c.b_f.y\ (d - \frac{y}{2})$$

ب- $A'_c > b_f.t_f$ هذا يعني أن المحور يقطع الجسد

العزم الذي يعطيه الجناحين

$$M_{u\,rt} = \Omega 0.85f'_c.(b_f. - b_w)\ t_f\,(d - \frac{t_f}{2})$$

تسليح الشد الموافق

$$A_{st} = \frac{M_{urt}}{\Omega f_y (d - \frac{t_f}{2})}$$

تسليح الشد المتبقي

$$A_{s1} = A_s - A_{st}$$

عمق منطقة الضغط

$$y = \frac{A_{s1}.f_y}{0..85f_c^{'}.b_w}$$

لا بد من التأكد من تلدن الفولاذ المشدود

$$y_{max} = 0.75y_b = \frac{401}{630 + f_y} d$$

$y < y_{max}$ الفولاذ المشدود متلدن والفرض صحيح

$$M_{ur1} = \Omega 0.85f_c^{'}.b_w.y(d - \frac{y}{2})$$

العزم المقاوم الكلي

$$M_{ur} = M_{urt} + M_{ur1}$$

$y > y_{max}$ الفولاذ المشدود قد يكون غير متلدن

$$A_s f_s = 0.85f_c^{'}\left[(b_f - b_w)t_f + b_w.y\right]$$

من مخطط التشوهات:

$$f_s = 630\frac{0.85d - y}{y}$$

نعوض

$$A_s 630\frac{0.85d - y}{y} = 0.85f_c^{'}\left[(b_f - b_w)t_f + b_w.y\right]$$

$$y^2 + \left[\frac{A_s 630}{0.85f_c^{'}.b_w} - (\frac{b_f}{b_w} - 1)t_f\right]y - \frac{630A_s.d}{f_c^{'}.b_w} = 0$$

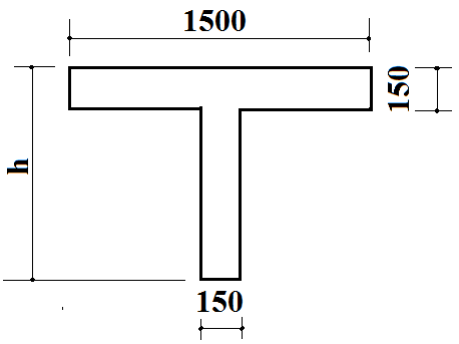
بعد معرفة y نعيد حساب $f_s = 630\frac{0.85d - y}{y}$

إذا كان $f_s = f_y \Rightarrow f_s \geq f_y$ وإلا فإننا نعتمد القيمة المحسوبة

$$M_{ur} = \Omega 0.85 f_c^{'}.\left[b_w.y(d-\frac{y}{2}) + (b_f - b_w)t_f(d-\frac{t_f}{2}) \right]$$

مسائل محلولة

مسألة (٥-١)



مقطع بشكل T موضح بالشكل يخضع لعزم موجب حدي قدره M_u=305kN.m والمطلوب تصميم المقطع بفرض أن المقاومة المميزة للبيتون $f_c' = 20MPa$ وإجهاد الخضوع للفولاذ $f_y = 360MPa$

الحل :

- نفرض نسبة تسليح بحيث نضمن وقوع المحور ضمن بلاطة الضغط

$$\mu = 0.18\frac{f_c'}{f_y} = 0.18\frac{20}{360} = 0.01$$

$$\mu_f = \mu\frac{b_w}{b_f} = 0.01\frac{150}{1500} = 0.001$$

- بفرض أن المحور يقع ضمن المنطقة المضغوطة

$$\alpha = \mu_f\frac{f_y}{0.85f_c'} = 0.001\frac{360}{0.85\times 20} = 0.0212$$

$$A_o = \alpha(1-0.5\alpha) = 0.012(1-0.5\times 0.0212) = 0.021$$

$$r = \sqrt{\frac{1}{A_o}} = \sqrt{\frac{1}{0.021}} = 6.9$$

$$d = r\sqrt{\frac{M_u}{\Omega 0.85 f_c' b_f}} = 6.9\sqrt{\frac{305\times10^6}{0.9\times0.85\times20\times1500}} = 795mm$$

$$d = 800mm \Rightarrow h = 850mm$$

$$y = 0.0212d = 0.2\times800 = 16.96mm < 150mm$$

الفرض صحيح نتابع

- نحسب عمق المنطقة المضغوطة بدقة

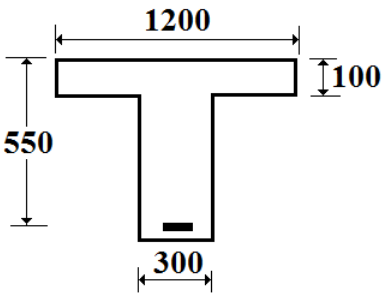
$$M_u = \Omega 0.85 f_c'.b_f\, y \Rightarrow y = \frac{M_u}{\Omega 0.85 f_c'.b_f}$$

$$y = \frac{305\times10^6}{0.9\times0.85\times20\times1500} = 13.29mm$$

التسليح

$$A_s = \frac{0.85 f_c'.b_f.y}{f_y} = \frac{0.85\times20\times1500\times13.29}{360} = 942mm^2$$

مسألة (٥-٢)



المطلوب حساب العزم المقاوم للمقطع المبين في الشكل علماً أنه مسلح على الشد بقيمة $A_s = 3060mm^2$ و $f_c' = 35MPa$

$f_y = 420MPa$

الحل :

- موقع المحور في الحالة التوازنية

$$y_b = \beta\frac{630}{630 + f_y}d$$

$$\beta = 0.85 - 0.05\frac{35-30}{7} = 0.814$$

$$y_b = 0.814\frac{630}{630+420}550 = 269mm$$

- موقع المحور في الحالة الأعظمية

$$y_{max} = 0.75y_b = 0.75\times 269 = 202mm > t_f$$

- المساحة البيتونية المضغوطة اللازمة

$$A_c' = \frac{A_s.f_y}{0.85f_c'} = \frac{3060\times 420}{0.85\times 35} = 43200mm^2$$

- المساحة البيتونية لطاولة الضغط

$$A_{cf}' = b_f.t_f = 1200\times 100 = 120000mm^2$$

نلاحظ أن المساحة المطلوبة أصغر من المساحة المعطاة من بلاطة الضغط هذا يعني أن المحور موجود ضمن بلاطة الضغط

- نحسب عمق منطقة الضغط

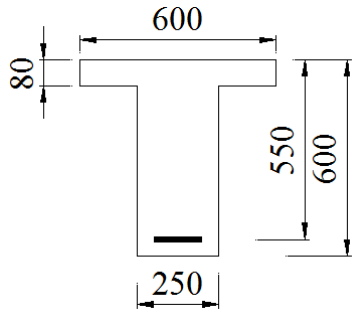
$$y = \frac{A_c'}{b_f} = \frac{43200}{1200} = 36mm < t_f = 100mm$$

- العزم المقاوم

$$M_{ur} = 0.9\times 0.85\times 35\times 36\times 1200(550-\frac{36}{2})$$

$$M_{ur} = 615.35kN.m$$

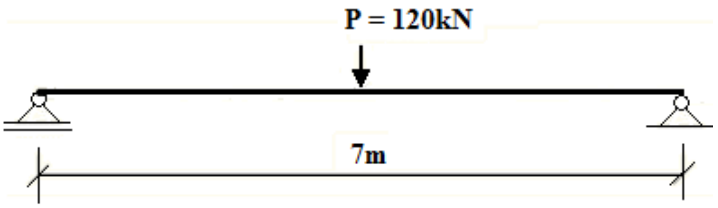
مسألة (٥-٣)



جائز بسيط من البيتون المسلح مجازه الفعال L=7m يحمل حمولة حية مركزة في منتصف المجاز بالإضافة إلى الوزن الذاتي للجائز

المطلوب : حساب التسليح اللازم للمقطع في منتصف الجائز

$$a = 50mm \quad f_c' = 20MPa \quad f_y = 400MPa$$



الحل :

حساب التسليح اللازم

١- الحمولات الحدية

- الحمولة الحدية المركزة

$$P_u = 120 \times 1.7 = 204kN$$

- الحمولة الموزعة

$$q = (0.6 \times 0.08 + 0.25 + 0.52)25 = 4.45kN/m'$$

- الحمولة الحدية الموزعة

$$q_u = 4.45 \times 1.4 = 6.23kN/m'$$

- العزم الحدي الأعظمي

$$M_{u\,max} = \frac{204 \times 7}{4} + \frac{6.23 \times 7^2}{8} = 357 + 38.16 = 396kN.m$$

حساب العزم الذي تقاومه طاولة الضغط

$$M_{uf} = 0.9 \times 0.85 f_c^{'}.t_f.b_f\,(d - \frac{t_f}{2})$$

$$M_{uf} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 80 \times 600(550 - \frac{80}{2}) = 374.54kN.m$$

مقارنة مع العزم الخارجي الحدي الأعظمي

المحور المحايد يقطع الجسد $M_{uf} < M_{u\max}$

حساب العزم الذي يقاوم بواسطة الجناحين

$$M_{ut} = 0.9 \times 0.85 f_c^{'}.t_f.(b_f - b_w)(d - \frac{t_f}{2})$$

$$M_{ut} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 80.(600 - 250)(550 - \frac{80}{2})$$
$$M_{ut} = 218.484 kN.m$$

حساب التسليح الموافق للعزم المقاوم بواسطة الجناحين

$$A_{st} = \frac{0.85 f_c^{'}.t_f (b_f - b_w)}{f_y}$$

$$A_{st} = \frac{0.85 \times 20 \times 80(600 - 250)}{400} = 1190 mm^2$$

العزم المتبقي

$$M_{u1} = M_u - M_{ut} = 396 - 218.484 = 177.52 kN.m$$

حساب A_o α

$$A_o = \frac{M_{u1}}{0.9 \times 0.85 f_c^{'} b.d^2}$$

$$A_o = \frac{177.52 \times 1000000}{0.9 \times 0.85 \times 20 \times 250 \times 550^2} = 0.153$$

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_o} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.153} = 0.167$$

حساب α_{max}

$$\alpha_{max} = \frac{401}{630 + f_y} = \frac{401}{630 + 400} = 0.39$$

التسليح أحادي

حساب التسليح

$$\gamma = 1 - 0.5\alpha = 1 - 0.5 \times 0.167 = 0.917$$

$$A_{s1} = \frac{M_{u1}}{0.9 \times f_y \gamma.d} = \frac{177.52 \times 1000000}{0.9 \times 400 \times 550 \times 0.917} = 978mm^2$$

حساب التسليح الكلي

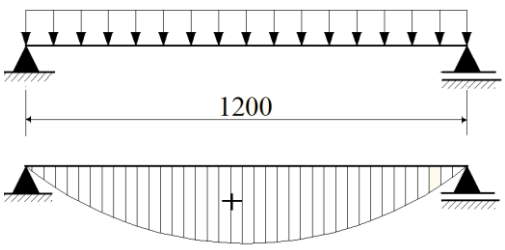
$$A_s = A_{st} + A_{s1} = 1190 + 978 = 2168mm^2$$

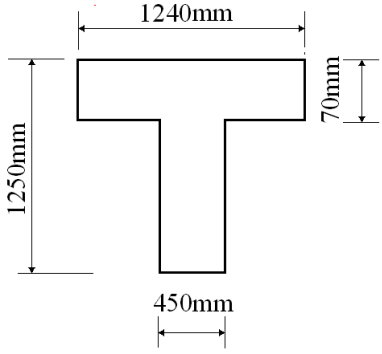
مسألة (٥-٤)

جائز بسيط مجازه 12m يخضع لحمولة موزعة بانتظام ميتة بما فيها الوزن الذاتي D.L=40kN/m' وحية L.L=25kN/m' . أبعاد المقطع كما في الشكل إذا علمت المقاومة المميزة للبيتون $f_c' = 20MPa$ إجهاد الخضوع للفولاذ $f_y = 400MPa$ التغطية للفولاذ السفلي a=50mm والعلوي d'=40mm

المطلوب : ١- حساب التسليح اللازم بفرضه يعمل كمقطع T

٢- حساب التسليح اللازم بفرضه يعمل كمقطع مستطيل





الحل :

- حساب الحمولة الحدية

$$q_u = 1.4\times 40 + 1.7\times 25 = 98.5 kN/m$$

- حساب العزم الحدي

$$M_u = \frac{89.5\times 12^2}{8} = 1773 kN.m$$

١- المقطع يعمل كـ T

- نحسب العزم الذي يقاوم بوساطة طاولة الضغط

$$M_{uf} = \Omega 0.85 f_c^{'}.b_f.t_f(d-0.5t_f)$$

$$d = 1250-50 = 1200mm$$

$$M_{uf} = 0.9\times 0.85\times 20\times 1240\times 70(1200-0.5\times 70) = 1547.17 kN.m$$

بما أن $M_{uf} < M_u$ هذا يعني أن المحور المحايد يقطع الجسد

نحسب العزم الذي يقاومه الجناح :

$$M_{ut} = \Omega 0.85 f_c^{'}.(b_f - b_w).t_f(d-0.5t_f)$$

$$M_{ut} = 0.9\times 0.85\times 20\times (1240-450)\times 70(1200-0.5\times 70)$$
$$M_{ut} = 985.695 kN.m$$

التسليح اللازم

$$A_{st} = \frac{0.85 f_c^{'}(b_f - b_w).t_f}{f_y}$$

$$A_{st} = \frac{0.85\times 20(1240-450).70}{400} = 2351 mm^2$$

العزم المتبقي يقاوم بوساطة مقطع مستطيل عرضه b_w :

$$M_{u1} = M_u - M_{ut} = 1773 - 985.695 = 787.31 kN.m$$

نحسب العوامل :

$$A_o = \frac{M_u}{\Omega 0.85 b.d^2 f_c'} = \frac{787.3\times 10^6}{0.9\times 0.85\times 450\times 1200^2\times 20} = 0.079$$

$$\alpha = 1-\sqrt{1-2A_o} = 1-\sqrt{1-2\times 0.079} = 0.083$$

$$\gamma = 1-\frac{\alpha}{2} = 1-\frac{0.083}{2} = 0.959$$

نحسب التسليح لمقطع أحادي التسليح

$$A_s = \frac{M_u}{\Omega.\gamma.d.f_y} = \frac{787.3\times 10^6}{0.9\times 0.959\times 1200\times 400} = 1901 mm^2$$

التسليح الكلي :

$$A_s = 2351+1901 = 4252 mm^2$$

نحسب نسبة التسليح :

$$\mu = \frac{A_s}{b.d} = \frac{4252}{1200\times 450} = 0.0078$$

نحسب النسبة الأعظمية :

$$\mu_{max} = 0.5\mu_b = \frac{0.5A_{sb}}{b_w d}$$

$$\mu_{max} = 0.75\left(\frac{455}{630+f_y}\frac{f_c'}{f_y}+\frac{0.85f_c'.t_f(b_f-b_w)}{f_y.b_w.d}\right)$$

$$\mu_{max} = 0.5\mu_b = \frac{0.75A_{sb}}{b_w d}$$

$$\mu_{max} = 0.5\left(\frac{455}{630+400}\frac{20}{400}+\frac{0.85\times 20\times 70(1240-450)}{400\times 450\times 1200}\right)$$

$$\mu_{max} = 0.0132$$

نحسب نسبة التسليح الأصغري

$$\mu_{min} = \frac{0.9}{f_y} = \frac{0.9}{400} = 0.00225$$

٣- المقطع يعمل كمستطيل أي بإهمال الجناحان

نحسب العوامل :

$$A_o = \frac{M_u}{\Omega 0.85b.d^2 f_c'} = \frac{1773\times 10^6}{0.9\times 0.85\times 450\times 1200^2\times 20} = 0.18$$

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_o} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.18} = 0.20$$

القيمة الأعظمية :

$$\alpha_{max} = \frac{267.33}{630 + f_y} = \frac{267.33}{630 + 400} = 0.259 > \alpha$$

$$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2} = 1 - \frac{0.2}{2} = 0.9$$

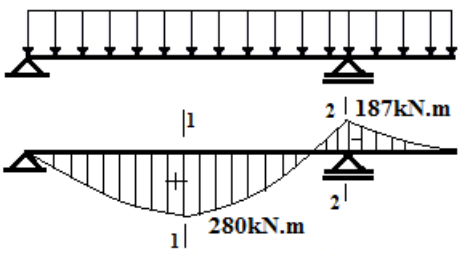
نحسب التسليح لمقطع أحادي التسليح

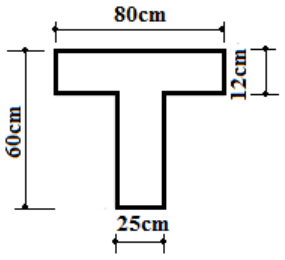
$$A_s = \frac{M_u}{\Omega.\gamma.d.f_y} = \frac{1773 \times 10^6}{0.9 \times 0.9 \times 1200 \times 400} = 4561 mm^2$$

مسألة(٥-٥)

جائز بسيط ذو ظفر من البيتون المسلح ارتفاعه الكلي h=60cm وعرض طاولة الضغط b_f=80cm وسماكة البلاطة t_f =12cm المقطع النموذجي للجائز مبين في الشكل ،إذا علم مخطط العزم الحدي لهذا الجائز مع الظفر وكانت المقاومة المميزة للبيتون $f_c' = 20MPa$ إجهاد الخضوع للفولاذ $f_y = 400MPa$ و التغطية للفولاذ السفلي a=6cm

المطلوب : حساب مساحة التسليح اللازم للجائز في المقطعين 1و 2





الحل :

حساب مساحة التسليح للمقطع 1-1 العزم الحدي M_u=280kN.m

بما أن العزم موجب فالشد في الجسد وبالتالي نعالج المقطع كـ T

العزم الذي يقاوم من قبل طاولة الضغط :

$$M_{ut} = \Omega 0.85 f_c' . b_f . t_f (d - 0.5 t_f)$$

$$d = 600 - 60 = 540mm$$

$$M_{uf} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 800 \times 120(540 - 0.5 \times 120) = 705kN.m$$

بما أن $M_{uf} > M_u$ هذا يعني أن المحور المحايد يقع ضمن طاولة الضغط

المقطع مستطيل عرضه $b_f = 80cm$

نحسب العوامل :

$$A_o = \frac{M_u}{\Omega 0.85 b_f . d^2 f_c'} = \frac{280 \times 10^6}{0.9 \times 0.85 \times 800 \times 540^2 \times 20} = 0.0784$$

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_o} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.0784} = 0.0817$$

القيمة الأعظمية :

$$\alpha_{max} = \frac{267.33}{630 + f_y} = \frac{267.33}{630 + 400} = 0.259 > \alpha$$

$$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2} = 1 - \frac{0.0817}{2} = 0.959$$

نحسب التسليح لمقطع أحادي التسليح

$$A_s = \frac{M_u}{\Omega . \gamma . d . f_y} = \frac{280 \times 10^6}{0.9 \times 0.959 \times 540 \times 400} = 1502\,mm^2$$

نختار 5T20 تعطي مساحة مقادرها $1570mm^2$

٢- حساب مساحة التسليح للمقطع 2-2 العزم الحدي M_u=187kN.m

بما أن العزم سالب فالشد في الجناح وبالتالي نعالج المقطع كـ مستطيل عرضه b_w

نحسب العوامل :

$$A_o = \frac{M_u}{\Omega 0.85 b_w . d^2 f_c'} = \frac{187 \times 10^6}{0.9 \times 0.85 \times 250 \times 540^2 \times 20} = 0.168$$

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_o} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.168} = 0.185$$

القيمة الأعظمية :

$$\alpha_{max} = \frac{267.33}{630 + f_y} = \frac{267.33}{630 + 400} = 0.259 > \alpha$$

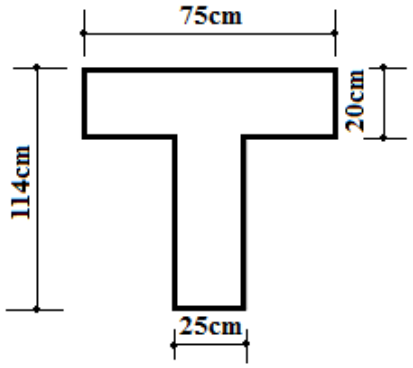
$$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2} = 1 - \frac{0.185}{2} = 0.908$$

نحسب التسليح لمقطع أحادي التسليح

$$A_s = \frac{M_u}{\Omega.\gamma .d.f_y} = \frac{187 \times 10^6}{0.9 \times 0.908 \times 540 \times 400} = 1060\,mm^2$$

نختار 5T18 تعطي مساحة مقدارها $1272mm^2$

مسألة (٥-٦)



مقطع لجائز من البيتون المسلح ارتفاعه الكلي h=114cm وعرض طاولة الضغط b_f=75cm ثخانة البلاطة t_f =20cm المقطع النموذجي للجائز مبين في الشكل بجانبيه إذا كان العزم الحدي $M_u = 3300kN.m$ (موجب أي يشد الألياف السفلية ويضغط الألياف العلوية) و المقاومة المميزة للبيتون $f_c' = 20MPa$ إجهاد الخضوع للفولاذ $f_y = 360MPa$ التغطية للفولاذ السفلي a=6cm

الحل :

العزم الذي يقاوم من قبل طاولة الضغط:

$$M_{uf} = \Omega 0.85 f_c^{'}.b_f.t_f(d-0.5t_f)$$

$$d = 1140 - 60 = 1080mm$$

$$M_{uf} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 750 \times 200(1080 - 0.5 \times 200)$$
$$M_{uf} = 2249kN.m$$

بما أن $M_{uf} < M_u$ هذا يعني أن المحور المحايد يقطع الجسد

العزم الذي يقاومه جزآ طاولة الضغط :

$$M_{ut} = \Omega 0.85 f_c^{'}.(b_f - b_w).t_f(d-0.5t_f)$$
$$M_{ut} = 0.9 \times 0.85 \times 20(750 - 250) \times 200 \times (1080 - 0.5 \times 200)$$
$$M_{ut} = 1499.4kN.m$$

التسليح اللازم

$$A_{st} = \frac{0.85 f_c^{'}.(b_f - b_w).t_f}{.f_y}$$
$$A_{st} = \frac{0.85 \times 20 \times (750 - 250) \times 200}{360} = 4722.22mm^2$$

العزم المتبقي :

$$M_{u1} = M_u - M_{ut} = 3300 - 1499.4 = 1800.6kN.m$$

نحسب العوامل :

$$A_o = \frac{M_{u1}}{\Omega 0.85 b_w.d^2 f_c'} = \frac{1800.6 \times 10^6}{0.9 \times 0.85 \times 250 \times 1080^2 \times 20} = 0.4036$$

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_o} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.4036} = 0.561$$

القيمة الأعظمية :

$$\alpha_{max} = 0.75\alpha_b = 0.75\frac{535.5}{630 + f_y} = 0.406 < \alpha$$

$$\alpha_{max} = 0.5\alpha_b = 0.5\frac{535.5}{630 + f_y} = 0.27 < \alpha$$

$$A_{o\,max} = \alpha_{max}(1 - \frac{\alpha_{max}}{2}) = 0.27(1 - \frac{0.27}{2}) = 0.234$$

$$\gamma_{max} = (1 - \frac{\alpha_{max}}{2}) = (1 - \frac{0.27}{2}) = 0.865$$

نحسب العزم

$$M_{u\,max} = M_{u1} = \Omega 0.85 f_c^{'}.b_w.d^2 A_{o\,max}$$

$$M_{u\,max} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 250 \times 1080^2 \times 0.234 = 1043.98 kN.m$$

$$A_{s1} = \frac{M_{u1}}{0.9.d.\gamma_{o\,max} f_y} = \frac{1043.98 \times 10^6}{0.9 \times 1080 \times 0.865 \times 360} = 3449 mm^2$$

$$M_{u\,2} = 1800.6 - 1043.98 = 756.62 kN.m$$

$$A_{s2} = A_s^{'} = \frac{M_{u2}}{0.9.(d - d')f_y} = \frac{756.62 \times 10^6}{0.9 \times (1080 - 60) \times 360} = 2289.5 mm^2$$

$$A_s = 4722.22 + 3449 + 2289.5 + = 10461 mm^2$$

$$\mu_{max} = 0.75\mu_{sb} = 0.75\left(\frac{455}{630 + f_y}\frac{f_c^{'}}{f_y} + \frac{0.85 f_c^{'}.t_f(b_f - b_w)}{f_y.b_w.d}\right)$$

$$\mu_{max} = 0.75\mu_{sb}$$

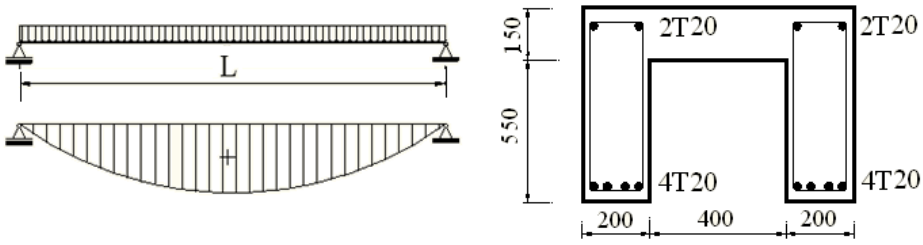
$$\mu_{max} = 0.75\left(\frac{455}{630 + 360}\frac{20}{360} + \frac{0.85 \times 20 \times 20(750 - 250)}{360 \times 250 \times 1080}\right) = 0.0315$$

$$\mu = \frac{10461 - 2289.5}{250 \times 1080} = 0.031$$

مسألة (٥-٧)

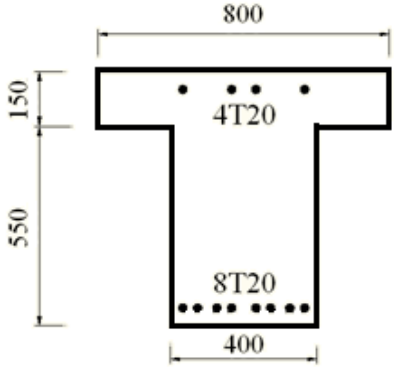
جائز بسيط مجازه L يحمل حمولة حية موزعة بانتظام q=25kN/m' بالإضافة إلى الوزن الذاتي والمطلوب إيجاد أكبر مجاز ممكن بفرض أنه مسلح كما هو في الشكل.

$$a = d' = 50mm \quad f_c' = 20MPa \quad f_y = 400MPa$$



الحل :

المقطع يمكن رده إلى مقطع بشكل T كما هو موضح



- الوزن الذاتي للجائز

$$s.w = (0.7 \times 0.8 - 0.4 \times 0.55)25 = 8.5kN/m'$$

الحمولة الحدية :

$$q_u = 1.4 \times 8.5 + 1.7 \times 25 = 54.4kN/m'$$

$$M_u = \frac{q_u.L^2}{8} \Rightarrow L = \sqrt{\frac{8M_u}{q_u}}$$

$$A_s = 2512\,mm^2 \qquad A_s^{'} = 1256\,mm^2$$

- بفرض أن كامل المنطقة المضغوطة ضمن البلاطة وأن الفولاذ المضغوط متلدن من توازن القوى نجد :

$$(A_s - A_s^{'}).f_y = 0.85f_c^{'}.b_f.y \Rightarrow$$
$$y = \frac{(2512-1256)\times 400}{0.85\times 20\times 800} = 36.94mm$$

نلاحظ بأن $y < t_f$ هذا يؤكد صحة الفرض وبالتالي المقطع يعامل كمقطع مستطيل عرضه b_f ولكن يجب التأكد من تلدن الفولاذ المضغوط

$$f_s^{'} = 630\frac{y - 0.85d^{'}}{y}$$
$$f_s^{'} = 630\frac{36.94 - 0.85\times 50}{36.94} = -94.82Mpa$$

أي إن الفولاذ المضغوط غير متلدن

نعيد الحل بفرض أن الفولاذ المضغوط غير متلدن

$$A_s.f_y = 0.85f_c^{'}.b_f.y + A_s^{'}f_s^{'}$$
$$A_s.f_y = 0.85f_c^{'}.b_f.y + A_s^{'}630\frac{y - 0.85d^{'}}{y}$$
$$A_s.f_y.y = 0.85f_c^{'}.b_f.y^2 + A_s^{'}630\,y - A_s^{'}630\times 0.85d^{'}$$

$$y^2 + \frac{A_s^{'}.630 - A_s.f_y}{0.85f_c^{'}b_f}y - \frac{A_s^{'}630 \times 0.85d^{'}}{0.85f_c^{'}b_f} = 0$$

$$y^2 + \frac{1256 \times 630 - 2512 \times 400}{0.85 \times 20 \times 800}y - \frac{1256 \times 630 \times 0.85 \times 50}{0.85 \times 20 \times 800} = 0$$

$$y^2 - 15.7y - 2472.75 = 0 \Rightarrow y = 58.19mm$$

نحسب قيم الإجهاد في الفولاذ المضغوط

$$f_s^{'} = 630\frac{y - 0.85d^{'}}{y} = 630\frac{58.19 - 0.85 \times 50}{58.19} = 169.87Mpa$$

نحسب العزم المقاوم الحدي

$$M_u = 0.9 \times 0.85f_c^{'}b_f.y(d - \frac{y}{2}) + 0.9A_s^{'}.f_s^{'}(d - d^{'})$$

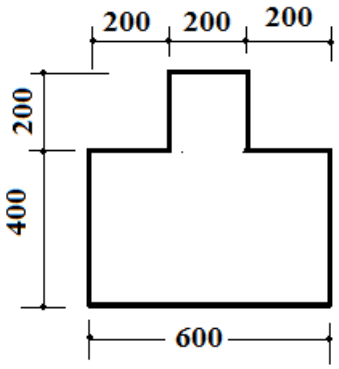
$$M_u = 557.45kN.m \quad M_u = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 800 \times 58.19(650 - \frac{58.19}{2}) + 0.9 \times 1256 \times 169.87(650 - 50)$$

$$L = \sqrt{\frac{8 \times 557.45}{54.4}} = 9m$$

مسألة (٥-٨)

مقطع موضح بالشكل مسلح تسليحاً أحادياً إذا علمت $f_y = 360MPa$

$a = 50mm \quad f_c^{'} = 20MPa$



احسب :

١-العزم التوازني والتسليح الموافق له

٢-احسب العزم التصميمي الأعظمي والتسليح الموافق له بفرض أن السهم محقق وسيزود المقطع بتسليح علوي.

الحل :

١ – العزم التوازني والتسليح الموافق له

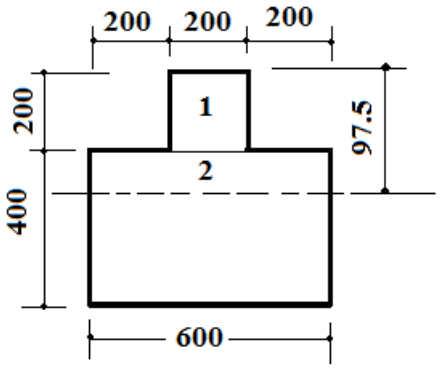
- موقع المحور المحايد في الحالة التوازنية

$$y_b = \frac{535.5d}{630 + f_y} = \frac{545.5 \times 550}{630 + 360} = 297.5mm$$

نقسم المنطقة المضغوطة منطقتين

$$A_{c1} = 200 \times 200 = 40000\,mm^2$$
$$F_{c1} = 0.85 \times 20 \times 200 \times 200 = 680000\ N$$

-



$$M_{u1} = F_{c1}.Z_{c1} = 275.4kN.m$$

$$A_{c2} = 600 \times 97.5 = 58500\,mm^2$$
$$F_{c2} = 0.85 \times 20 \times 58500 = 994500\ N$$
$$Z_{c2} = 350 - \frac{97.5}{2} = 301.25mm$$

$$M_{u2} = F_{c2}.Z_{c2} = 269.63kN.m$$
$$M_u = M_{u1} + M_{u2} = 545kN.m$$
$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$
$$A_{s1} = \frac{F_{c1}}{f_y} = \frac{680000}{360} = 1888.9mm^2$$

$$A_{s2} = \frac{F_{c2}}{f_y} = \frac{994500}{360} = 2762.5mm^2$$

$$A_{sb} = A_{s2} + A_{s2} = 4651.4mm^2$$

٢- حساب العزم التصميمي الأعظمي والتسليح الموافق له بفرض أن السهم محقق وسيزود المقطع بتسليح علوي.

$$A_s = 0.75A_{sb} = 0.75 \times 4651.4 = 3488.55mm^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s3} \Rightarrow A_{s3} = A_s - A_{s1} = 3488.55 - 1888.9 = 1599.65mm^2$$

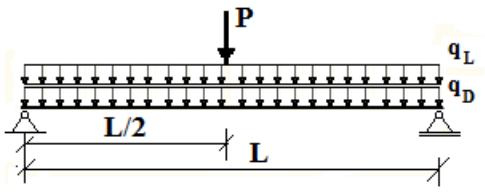
$$A_{s3}.f_y = 0.85 \times 20 \times 600 \times a \Rightarrow a = 56.46mm$$

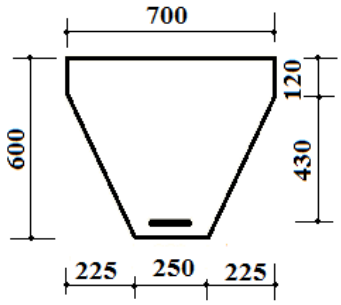
$$M_{u3} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 600 \times 56.46(350 - \frac{56.46}{2}) = 166.77kN.m$$

$$M_u = 275.4 + 166.77 = 442.17kN.m$$

مسألة (٥-٩)

لدينا الجائز المبين في الشكل مقطعه موضح بالشكل. يتعرض هذا الجائز لحمولة ميتة موزعة بانتظام تساوي `11kN/m ، وحمولة حية موزعة بانتظام تساوي `11kN/m، وحمولة حية مركزة مقدارها 40kN مطبقة في منتصف المجاز.





١- العزم المقاوم الحدي التوازني للمقطع والتسليح الموافق

٢- حساب العزم المقاوم الحدي الأعظمي للمقطع

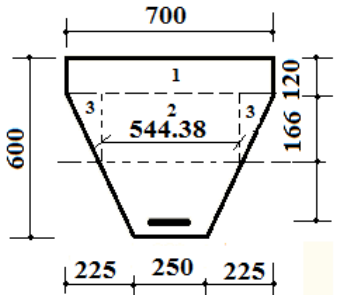
٣- حساب المجاز الأعظمي الذي يمكن استخدامه لتحمل الحمولات المطبقة

. $f_y = 400\ MPa$ ، $f`_c = 20\ MPa$ ، $a = a` = 50\ mm$

الحل :

الطلب الأول :

١- تحديد ارتفاع المنطقة المضغوطة في الحالة التوازنية



$$y_b = 0.85x_b = 0.85\frac{630}{630+300}d$$

$$y_b = 0.52d = 0.52\times 550 = 286mm$$

	$A'_c\ mm^2$
1	$700\times 120 = 84000$
2	$544.38\times 166 = 90367.08$
3	$2\times 77.81\times 166\times 0.5 = 12916.46$
	$N'_{cb}\quad N$
1	$0.85\times 20\times 84000 = 1428000$
2	$0.85\times 20\times 90367.08 = 1536240.4$
3	$0.85\times 20\times 12916.46 = 219579.82$
	3183820.2
	$Z'_{cb}\quad mm$
1	$550-60 = 490$

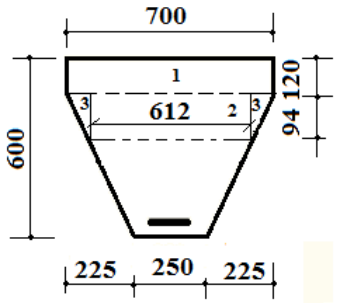
2	$550-120-83=347$
3	$550-120-\frac{166}{3}=374.67$

	$(M_{ur})_b$ kN.m
1	$1428000\times490\times0.9=629.748$
2	$1536240.4\times347\times0.9=479.77$
3	$219579.82\times374.67\times0.9=74.04$
	1183.56

$$N'_{cb}=A_{sb}.f_y \Rightarrow A_{sb}=\frac{3183820.2}{400}=7960mm^2$$

الطلب الثاني :

- تحديد ارتفاع المنطقة المضغوطة الأعظمية



$$y_{max}=0.75y_b=286\times0.75=214mm$$

	A'_c mm^2	N'_c N
1	$700\times120=84000$	$0.85\times20\times84000=1428000$
2	$612\times94=57528$	$0.85\times20\times57528=977976$
3	$2\times44\times94\times0.5=4136$	$0.85\times20\times4136=70312$
		2476288

	$Z_c^{'}$ mm	M_{ur} kN.m
1	$550-60=490$	$1428000\times490\times0.9=629.748$
2	$550-120-47=383$	$1536240.4\times347\times0.9=337$
3	$550-120-\frac{94}{3}=399$	$70312\times399\times0.9=25.22$
		992

$$N_{cb}^{'}=A_{sb}.f_y \Rightarrow A_{sb}=\frac{2476288}{400}=6191mm^2$$

الطلب الثالث :

تحديد المجاز الأعظمي

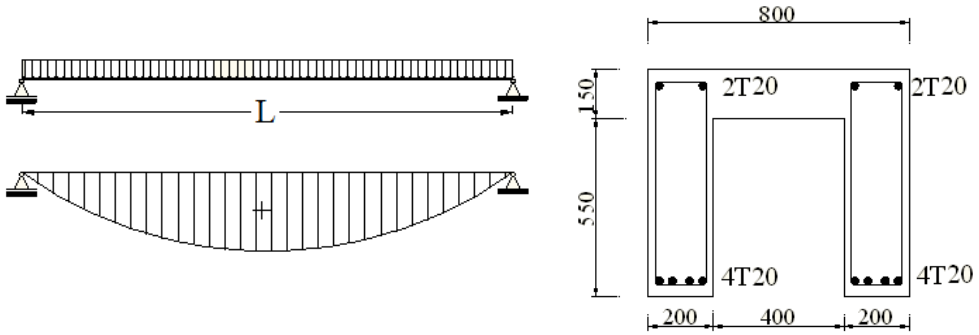
$$M_{u\,max}=1.4\frac{75L^2}{8}+1.7\frac{50L^2}{8}+1.7\frac{100L}{4}=992$$

$$L^2+1.789L-41.77=0 \Rightarrow L=5.63m$$

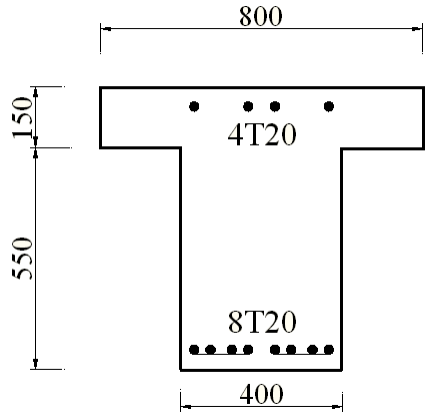
مسألة (٥-١٠)

جائز بسيط مجازه L يحمل حمولة حية موزعة بانتظام q=25kN/m' بالإضافة إلى الوزن الذاتي والمطلوب إيجاد أكبر مجاز ممكن باعتبار أنه مسلح كما هو في الشكل.

$$a=d'=50mm \quad f_c^{'}=20MPa \quad f_y=400MPa$$



الحل :



- الوزن الذاتي للجائز

$$s.w = (0.7\times 0.8 - 0.4\times 0.55)25 = 8.5kN/m'$$

$$q_u = 1.4\times 8.5 + 1.7\times 25 = 54.4kN/m'$$

$$M_u = \frac{q_u.L^2}{8} \Rightarrow L = \sqrt{\frac{8M_u}{q_u}}$$

$$A_s = 2512\,mm^2 \qquad A_s^{'} = 1256\,mm^2$$

- نحسب التسليح اللازم لجناحي المقطع

$$A_s.f_y = 0.85f_c^{'}.t_f\,(b_f - b_w) \Rightarrow$$

$$A_s = \frac{0.85\times 20\times 150\times (800-400)}{400} = 2550mm^2$$

نلاحظ بأن التسليح اللازم أكبر من التسليح الفعلي وبالتالي فالمحور يقع ضمن بلاطة الضغط ويعالج المقطع كمقطع مستطيل عرضه b_f ومسلح بتسليح ثنائي

نفرض أن الفولاذ المضغوط متلدن $f_s^{'} = f_y$

موقع المحور المحايد :

$$A_s.f_y = 0.85f_c^{'}.b_f.y + A_s^{'}f_y \Rightarrow y = \frac{(2512-1256)\times 400}{0.85\times 20\times 800} = 36.94mm$$

$$f_s^{'} = 630\frac{y-0.85d^{'}}{y} = 630\frac{36.94-0.85\times 50}{36.94} = -94.82Mpa$$

أي أن الفولاذ المضغوط غير متلدن

نعيد الحل باعتبار أن الفولاذ المضغوط غير متلدن

$$A_s.f_y = 0.85f_c^{'}.b_f.y + A_s^{'}f_s^{'}$$

$$A_s.f_y = 0.85f_c^{'}.b_f.y + A_s^{'}630\frac{y-0.85d^{'}}{y}$$

$$A_s.f_y.y = 0.85f_c^{'}.b_f.y^2 + A_s^{'}630y - A_s^{'}630\times 0.85d^{'}$$

$$y^2 + \frac{A_s^{'}.630 - A_s.f_y}{0.85f_c^{'}b_f}y - \frac{A_s^{'}630\times 0.85d^{'}}{0.85f_c^{'}b_f} = 0$$

$$y^2 + \frac{1256\times 630 - 2512\times 400}{0.85\times 20\times 800}y - \frac{1256\times 630\times 0.85\times 50}{0.85\times 20\times 800} = 0$$

$$y^2 - 15.7y - 2472.75 = 0 \Rightarrow y = 58.19mm$$

$$f_s^{'} = 630\frac{y-0.85d^{'}}{y} = 630\frac{58.19-0.85\times 50}{58.19} = 169.87Mpa$$

$$M_u = 0.9\times 0.85f_c^{'}b_f.y(d-\frac{y}{2}) + 0.9A_s^{'}.f_s^{'}(d-d^{'})$$

$$M_u = 0.9\times 0.85\times 20\times 800\times 58.19(650-\frac{58.19}{2}) +$$

$$0.9\times 1256\times 169.87(650-50)$$

$$M_u = 557.45kN.m$$

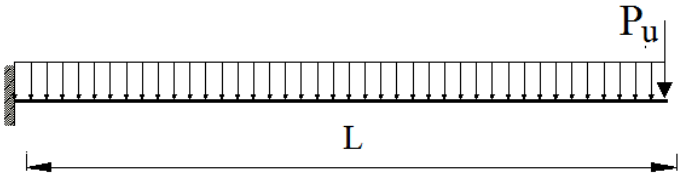
$$L = \sqrt{\frac{8\times 557.45}{54.4}} = 9m$$

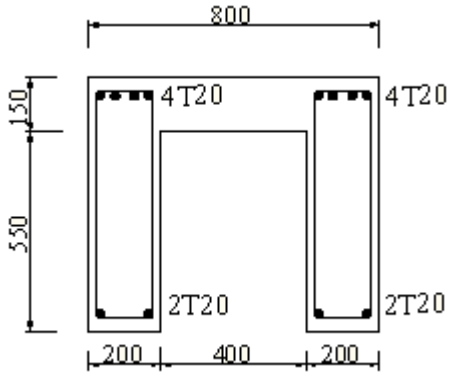
مسألة (٥-١١)

جائز ظفري مجازه L يحمل حمولة حية موزعة بانتظام q=25kN/m' بالإضافة إلى الوزن الذاتي مع حمولة مركزة حدية في نهاية الظفر Pu =253kN والمطلوب إيجاد أكبر مجاز

ممكن باعتبار أنه مسلح كمت هو في الشكل. $f_y = 400\,MPa$ $f_c^{'} = 20MPa$

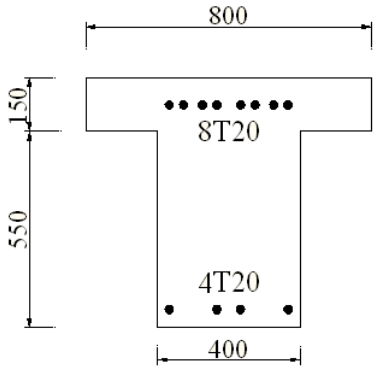
$a = d' = 50mm$





الحل :

- الوزن الذاتي للجائز



$$s.w = (0.7 \times 0.8 - 0.4 \times 0.55)25 = 8.5kN/m'$$

$$q_u = 1.4 \times 8.5 + 1.7 \times 25 = 54.4kN/m'$$

$$M_u = P_u.L + \frac{q_u.L^2}{2} \Rightarrow L^2 + 2\frac{P_u}{q_u}L + 2\frac{M_u}{q_u}$$

$$A_s = 2512mm^2 \quad A_s^{'} = 1256mm^2$$

بما أن طاولة الضغط تخضع لإجهادات شد فإن المقطع يعالج كمقطع مستطيل عرضه b_w ومسلح بتسليح ثنائي

$$A_s.f_y = 0.85f_c^{'}.b_w.y + A_s^{'}f_y \Rightarrow y = \frac{(2512-1256)\times 400}{0.85\times 20\times 400} = 73.88mm$$

$$f_s^{'} = 630\frac{y-0.85d^{'}}{y} = 630\frac{73.88-0.85\times 50}{73.88} = 267.61Mpa$$

الفولاذ المضغوط غير متلدن

$$A_s.f_y = 0.85f_c^{'}.b_w.y + A_s^{'}f_s^{'}$$

$$A_s.f_y = 0.85f_c^{'}.b_w.y + A_s^{'}630\frac{y-0.85d^{'}}{y}$$

$$A_s.f_y.y = 0.85f_c^{'}.b_w.y^2 + A_s^{'}630y - A_s^{'}630\times 0.85d^{'}$$

$$y^2 + \frac{A_s^{'}.630 - A_s.f_y}{0.85f_c^{'}b_w}y - \frac{A_s^{'}630\times 0.85d^{'}}{0.85f_c^{'}b_w} = 0$$

$$y^2 + \frac{1256\times 630 - 2512\times 400}{0.85\times 20\times 400}y - \frac{1256\times 630\times 0.85\times 50}{0.85\times 20\times 400} = 0$$

$$y^2 - 131.4y - 4945.5 = 0 \Rightarrow y = 87.76mm$$

$$f_s^{'} = 630\frac{y-0.85d^{'}}{y} = 630\frac{87.76-0.85\times 50}{87.76} = 324.90Mpa$$

$$M_u = 0.9\times 0.85f_c^{'}b_w.y(d-\frac{y}{2}) + 0.9A_s^{'}.f_s^{'}(d-d^{'})$$

$$M_u = 0.9\times 0.85\times 20\times 400\times 87.76(650-\frac{87.76}{2}) +$$

$$0.9\times 1256\times 324.90(650-50)$$

$$M_u = 545.90 kN.m$$

$$L^2 + 2\frac{253}{54.4}L - 2\frac{545.90}{54.4} \Rightarrow L^2 + 9.3L - 10.03 = 0 \Rightarrow L = 0.98m$$

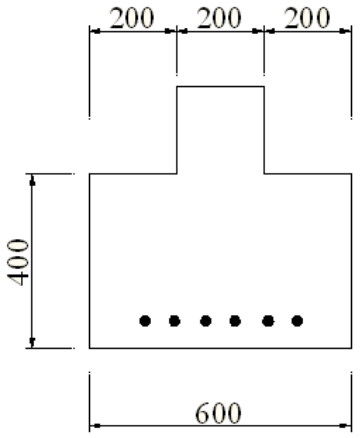
مسألة (٥-١٢)

مقطع موضح بالشكل مسلح تسليحاً أحادياً إذا علمت $f_y = 360MPa \quad f_c' = 20MPa$

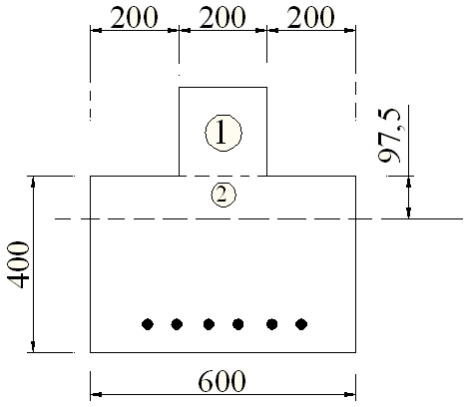
احسب : $a = 50mm$

١-العزم التوازني والتسليح الموافق له

٢-احسب العزم التصميمي الأعظمي والتسليح الموافق له باعتبار السهم محقق وسيزود المقطع بتسليح تعليق.



الحل :



$$y_b = \frac{535.5d}{630 + f_y} = \frac{545.5 \times 550}{630 + 360} = 297.5mm$$

$$A_{c1} = 200 \times 200 = 40000 mm^2$$

$$F_{c1} = 0.85 \times 20 \times 200 \times 200 = 680000 N$$

$$Z_{c1} = 550 - 100 = 450 mm$$

$$M_{u1} = F_{c1}.Z_{c1} = 275.4 kN.m$$

$$A_{c2} = 600 \times 97.5 = 58500 mm^2$$

$$F_{c2} = 0.85 \times 20 \times 58500 = 994500 N$$

$$Z_{c2} = 350 - \frac{97.5}{2} = 301.25 mm$$

$$M_{u2} = F_{c2}.Z_{c2} = 269.63 kN.m$$

$$M_u = M_{u1} + M_{u2} = 545 kN.m$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

$$A_{s1} = \frac{F_{c1}}{f_y} = \frac{680000}{360} = 1888.9 mm^2$$

$$A_{s2} = \frac{F_{c2}}{f_y} = \frac{994500}{360} = 2762.5 mm^2$$

$$A_{sb} = A_{s2} + A_{s2} = 4651.4 mm^2$$

٢- احسب العزم التصميمي الأعظمي والتسليح الموافق له باعتبار السهم محقق وسيزود المقطع بتسليح تعليق.

$$A_s = 0.75 A_{sb} = 0.75 \times 4651.4 = 3488.55 mm^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s3} \Rightarrow A_{s3} = A_s - A_{s1} = 3488.55 - 1888.9 = 1599.65 mm^2$$

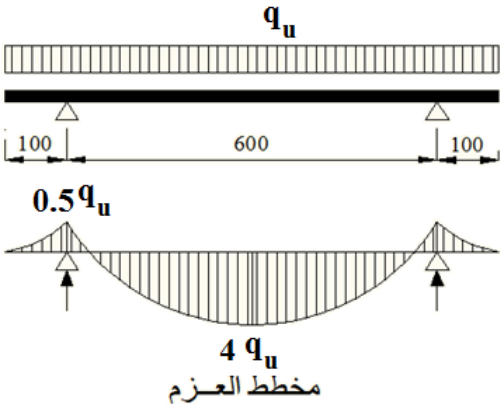
$$A_{s3}.f_y = 0.85 \times 20 \times 600 \times a \Rightarrow a = 56.46 mm$$

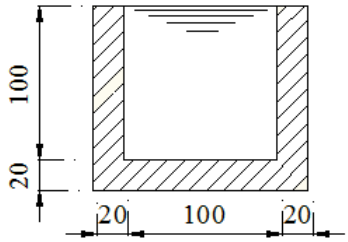
$$M_{u3} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 600 \times 56.46 (350 - \frac{56.46}{2}) = 166.77 kN.m$$

$$M_u = 275.4 + 166.77 = 442.17 kN.m$$

مسألة (٥-١٣)

قناة مياه مقطعها العرضي بشكل U أبعاده مبينة على الشكل. الحمولة الميتة عبارة عن الوزن الذاتي للقناة بالإضافة إلى وزن المياه $(\gamma_w = 10kN/m^3)$ المقاومة المميزة للبيتون $f_c' = 20MPa$ اجهاد الخضوع للفولاذ $f_y = 400MPa$ التغطية للفولاذ السفلي a=50mm . المطلوب : حساب التسليح اللازم للقناة





مقطـع عرضـي فـي القنـاة

الحمولات الحدية :

الوزن الذاتي

$$S.W = 1\times 0.2\times 25\times 2 + 0.2\times 1\times 25 = 15kN/m$$

وزن الماء

$$W.W = 1\times 1\times 10 = 10kN/m$$

$$q_u = 1.4(15+10) = 35kN/m$$

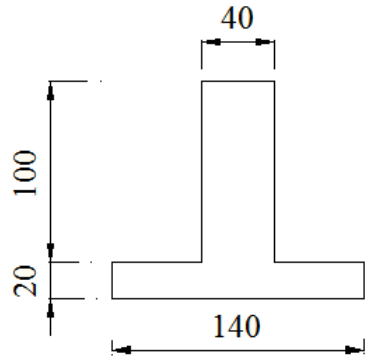
العزوم الحدية :

$$M_{u\,max}^{+} = 4q_u = 4\times 35 = 140kN.m$$

$$M_{max}^{-} = 0.5q_u = 0.5\times 35 = 17.5kN.m$$

التسليح :

العزم الموجب : المقطع يعامل كمقطع مستطيل عرضه **b=40cm**



نحسب العوامل :

$$A_o = \frac{M_u}{\Omega 0.85 b_w .d^2 f_c'} = \frac{140\times10^6}{0.9\times0.85\times400\times1150^2\times20} = 0.0173$$

$$\alpha = 1-\sqrt{1-2A_o} = 1-\sqrt{1-2\times0.0173} = 0.0174$$

القيمة الأعظمية :

$$\alpha_{max} = \frac{401}{630+f_y} = \frac{401}{630+400} = 0.39 > \alpha$$

$$\gamma = 1-\frac{\alpha}{2} = 1-\frac{0.0174}{2} = 0.99$$

نحسب التسليح لمقطع أحادي التسليح

$$A_s = \frac{M_u}{\Omega.\gamma.d.f_y} = \frac{140\times10^6}{0.9\times0.99\times1150\times400} = 342mm^2$$

التسليح الأصغري

$$A_{smin} = \frac{0.9}{.f_y} b.d = \frac{0.9}{400} 400\times1150 = 1035mm^2$$

نختار 6T16 تعطي مساحة قدرها $1205mm^2$

العزم الموجب : المقطع يعامل كمقطع تيه

$$d = 1200-50 = 1150mm$$

$$M_{uf} = \Omega 0.85 f_c'.b_f.t_f (d-0.5t_f)$$

$$M_{uf} = 0.9\times0.85\times20\times1400\times200(1150-0.5\times200) = 4498.2kN.m$$

بما أن $M_{uf} > M_u$ هذا يعني أن المحور المحايد يقع ضمن بلاطة الضغط

المقطع يعمل كمقطع مستطيل عرضه b_f

نحسب العوامل :

$$A_o = \frac{M_u}{\Omega.0.85f_c'b_f.d^2} = \frac{17.5\times10^6}{0.9\times0.85\times20\times1150^2\times1400} = 0.0006$$

$$\alpha = 1-\sqrt{1-2A_o} = 1-\sqrt{1-2\times0.0006} = 0.0006$$
$$\gamma = 1-0.5\alpha = 1-0.5\times0.0006 = 0.99$$

$$A_s = \frac{M_u}{\Omega.f_y.\gamma.d} = \frac{17.5\times10^6}{0.9\times400\times0.99\times1150} = 43mm^2$$

$$A_{s\,min} = \frac{0.9}{f_y}1150\times400 = \frac{0.9}{400}1150\times400 = 1035 \quad O.K$$

نختار 6T16 تعطي مساحة قدرها $1205mm^2$

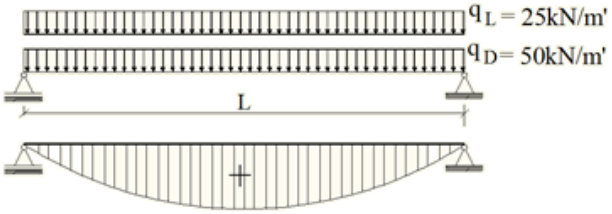
مسألة (٥-١٠) دورة ٢٠١٣-٢٠١٤ الفصل الأول

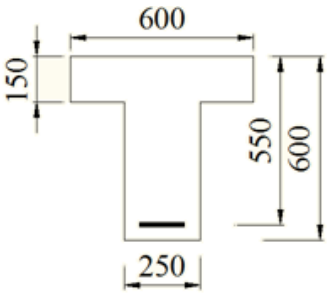
جائز بسيط من البيتون المسلح مجازه الفعال L يحمل حمولة موزعة بانتظام حية مقدارها 25kN/m' وميتة مقدارها 50kN/m' بما فيها الوزن الذاتي للجائز. المقطع العرضي للجائز موضح بالشكل (الابعاد بالمليمتر) مسلح تسليحاً أحادياً على الشد فقط.

المطلوب : ١- حساب المجاز الأعظمي الممكن بحيث يعمل المقطع بشكل مستطيل عرضه b_f =600mm واحسب التسليح الموافق.

٢- حساب المجاز الأعظمي الممكن ثم حساب التسليح الموافق.

$f_c' = 20MPa \quad f_y = 400MPa$





الحل :

الطلب الأول :

حساب المجاز الأعظمي الممكن بحيث يعمل المقطع بشكل مستطيل عرضه b_f =600mm وحساب التسليح الموافق.

١- حساب العزم الأعظمي الحدي

$$M_{uf} = 0.9 \times 0.85 f_c^{'} . b_f . t_f (d - \frac{t_f}{2})$$

$$M_{uf} = 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 600 \times 150 (550 - \frac{150}{2})$$

$$M_{uf} = 654.07 kN.m$$

٢- حساب الحمولة الحدية

$$q_u = 50 \times 1.4 + 25 \times 1.7 = 112.5 kN/m'$$

٣- حساب المجاز الأعظمي

$$M_u = M_{uf} = \frac{q_u . L^2}{8} \Rightarrow L = \sqrt{\frac{8 M_{uf}}{q_u}} = \sqrt{\frac{8 \times 654.07}{112.5}}$$

$$L = 6.82m$$

٤- حساب التسليح الموافق

$$A_s = \frac{0.85 \times 20 \times 150 \times 600}{400} = 3825 mm^2$$

الطلب الثاني

حساب المجاز الأعظمي الممكن ثم احسب التسليح الموافق.

١- موقع المحور السليم في حالة التسليح الأعظمي

$$x_{max} = 0.75x_b = \frac{0.75\times 630}{630+400}550 = 252.31mm$$

$$y_{max} = 0.85x_{max} = 0.85\times 252.3 = 214.46mm$$

٢- حساب العزم الحدي من الجناحين

$$M_{ut} = 0.9\times 0.85\times 20\times(600-250)\times 150(550-\frac{150}{2})$$

$$M_{ut} = 2295\times 350\times 475 = 381.54kN.m$$

٣- حساب العزم الحدي من الجسد

$$M_{u1} = 0.9\times 20\times 0.85\times 250\times 214.46(550-\frac{214.46}{2})$$

$$M_{u1} = 363.21kN.m$$

٤- العزم الكلي الأعظمي

$$M_u = M_{ut} + M_{u1} = 744.75kN.m$$

٥- حساب المجاز الأعظمي

$$M_u = \frac{q_u.L^2}{8} \Rightarrow L = \sqrt{\frac{8M_u}{q_u}} = \sqrt{\frac{8\times 744.75}{112.5}}$$

$$L = 7.28m$$

٦- حساب التسليح الموافق

$$A_{st} = \frac{0.85\times 20\times 150\times(600-250)}{400} = 2231mm^2$$

$$A_{s1} = \frac{0.85\times 20\times 250\times 214.46}{400} = 2278.64mm^2$$

$$A_s = A_{st} + A_{s1} = 2231 + 2278.64 = 4510mm^2$$

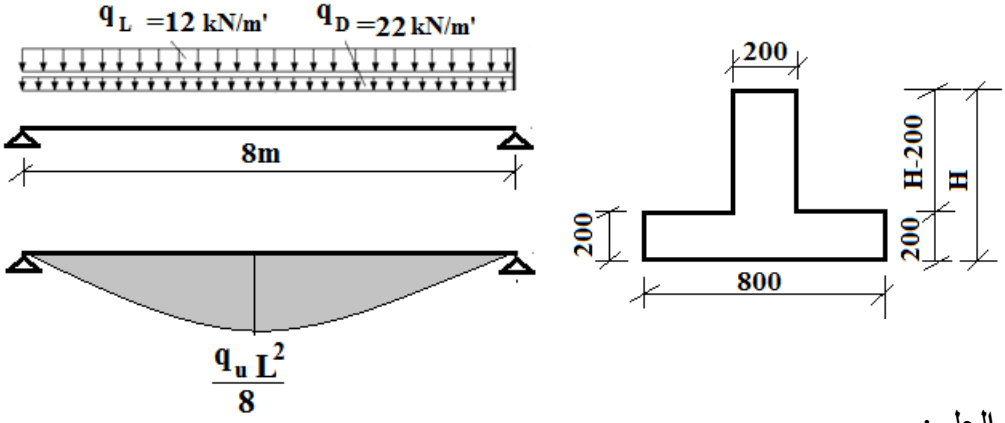
مسألة (٥-١٠) دورة ٢٠١٤-٢٠١٥ الفصل الثاني

جائز بسيط من البيتون المسلح مجازه الفعال 8m يحمل حمولة موزعة بانتظام حية مقدارها 12kN/m' وميتة مقدارها 22kN/m' متضمنة الوزن الذاتي للجائز. المقطع العرضي للجائز بشكل تيه مقلوب . $f_c^{'}=18Mpa \quad f_y=360Mpa$ d'=30mm a=40mm

والمطلوب :

١- حساب الارتفاع الفعال الأصغري للمقطع بتسليح أحادي على الشد والتسليح اللازم

٢- حساب التسليح اللازم بفرض أن الارتفاع الفعال $d=600mm$



الحل :

الطلب الأول : حساب الارتفاع الفعال الأصغري للمقطع بتسليح أحادي على الشد والتسليح اللازم

- **الحمولة الحدية**

$$q_u=1.4\times22+12\times1.7=51.2kN/m'$$

- **العزم الحدي الأعظمي**

$$M_u=\frac{q_u L^2}{8}=\frac{51.2\times64}{8}=409.6kN.m$$

- **العوامل**

$$\mu_b = \frac{0.85\times 630}{630+f_y}\frac{0.85f_c^{'}}{f_y}$$

$$\mu_b = \frac{0.85\times 630}{630+360}\frac{0.85\times 18}{360}$$

$$\mu_b = 0.023$$

$$\mu_{max} = 0.75\mu_b = 0.75\times 0.023 = 0.0172$$

$$\alpha_{max} = \mu_{max}\frac{f_y}{0.85f_c^{'}} = 0.0172\frac{360}{0.85\times 18} = 0.405$$

$$\Rightarrow A_{omax} = 0.323$$

- **الارتفاع الفعال الأصغري**

$$d_{min} = r_{min}\sqrt{\frac{M_u}{\Omega 0.85f_c^{'}b}} =$$

$$1.76\sqrt{\frac{409600000}{0.9\times 0.85\times 18\times 300}} = 678.75mm$$

- **حساب التسليح**

$$A_s = 700\times 200\times 0.0172 = 2408mm^2$$

- **الطلب الثاني**

- **حساب العوامل من أجل تسليح ثنائي**

بما أن الارتفاع الفعال أصغر من الارتفاع المطلوب لا بد من وضع تسليح ثنائي

$$\alpha_b = \frac{0.85\times 630}{630+360} = 0.541 \Rightarrow \alpha_{max} = 0.5\alpha_b$$

$$\alpha_{max} = 0.5\times 0.541 = 0.27$$

$$\mu_{max} = \alpha_{max}\frac{0.85f_c^{'}}{f_y} = 0..27\frac{0.85\times 18}{360} = 0.0115$$

$$\Rightarrow A_o = 0.234$$

١- حساب الجزء الأول من العزم الحدي

$$M_{u1} = 0.9 \times 0.85 \times 18 \times 200 \times 600^2 \times 0.234 = 232kN.m$$

٢- حساب الجزء الأول من التسليح المشدود

$$A_{s1} = 0.0115 \times 200 \times 600 = 1380mm^2$$

٣- حساب الجزء المتبقي من العزم

$$M_{u2} = 409.6 - 232 = 177.6kN.m$$

٤- حساب الجزء الثاني من التسليح المشدود والمساوي للتسليح المضغوط

$$A_{s2} = As' = \frac{177600000}{0.9 \times 360(600 - 30)} = 1034mm^2$$

٥- التسليح الكلي المشدود

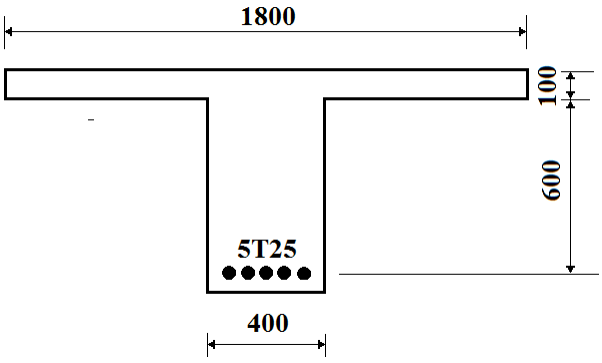
$$A_s = 2414mm^2$$

١- التحقق من التسليح :

$$A_s = 2414mm^2 > 1.5 \times 1380$$

مسائل غيرمحلولة

مسألة (٥-١٤)

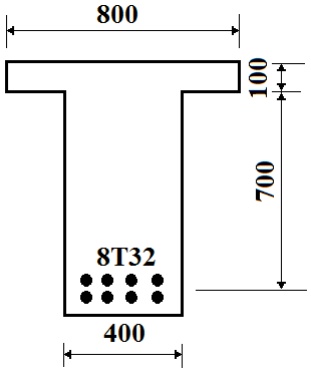


أحسب العزم الحدي المقاوم للمقطع المبين بالشكل علماً أنه مسلح على الشد فقط وبفرض أن

$f_y = 420MPa$

$f_c^{'} = 28MPa$

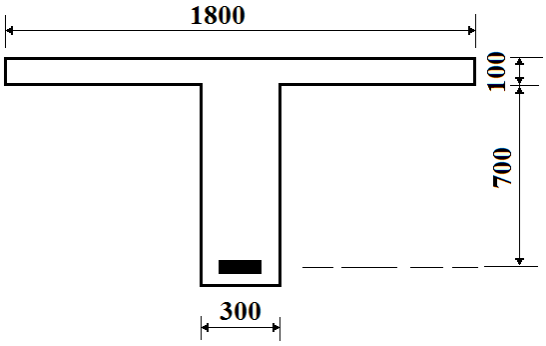
مسألة (٥-١٥)



أحسب العزم الحدي المقاوم للمقطع المبين بالشكل علماً أنه مسلح على الشد فقط وبفرض أن

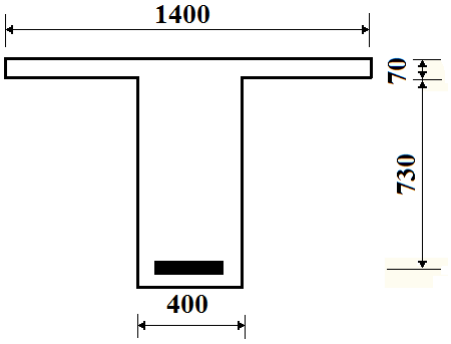
$f_c^{'} = 28MPa \quad f_y = 420MPa$

مسألة (٥-١٦)



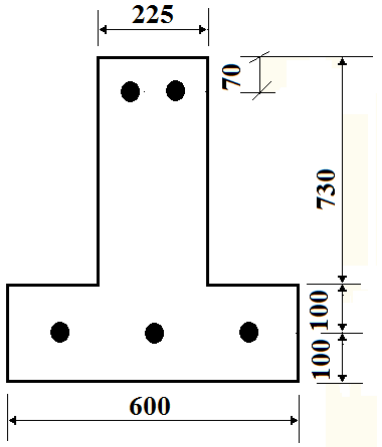
المطلوب حساب التسليح اللازم للمقطع المبين في الشكل باعتبار أنه يخضع لعزم حدي خارجي موجب قدره $M_u = 1100kN.m$ بفرض أن $f_c' = 28MPa \quad f_y = 420MPa$

مسألة (٥-١٧)



المطلوب حساب التسليح اللازم للمقطع المبين في الشكل باعتبار أنه يخضع لعزم حدي خارجي موجب قدره $M_u = 1100kN.m$ بفرض أن $f_c' = 28MPa \quad f_y = 420MPa$

مسألة (٥-١٨)



المطلوب حساب العزم الحدي المقاوم للمقطع المبين في الشكل باعتبار أنه مسلح على الشد والضغط بفرض أن $f_y = 420MPa$ $f_c' = 20MPa$

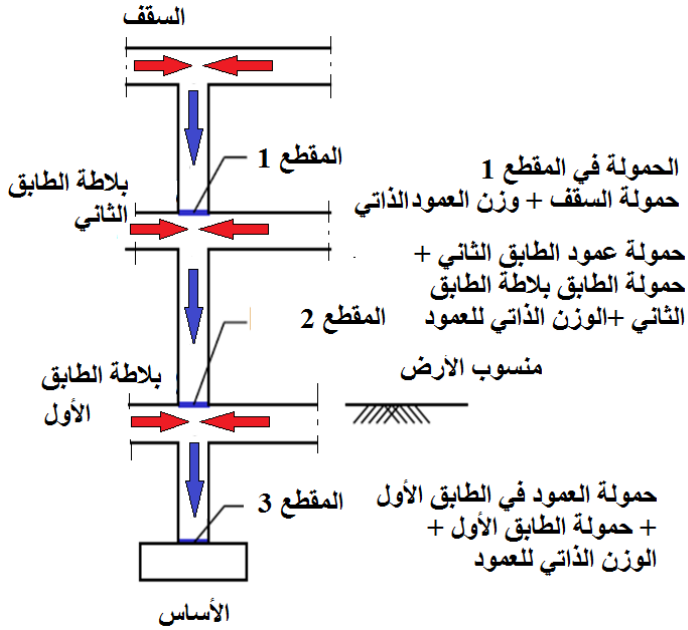
الفصل السادس

دراسة الاعمدة الخاضعة للضغط البسيط

٦-١ مقدمة :

تعد الأعمدة أهم عنصر من عناصر أي منشأ، فسبب انهيار معظم المنشآت يعود لانهيار أحد أعمدتها. يمكن للأعمدة المصنعة من البيتون فقط مقاومة الإجهادات الضاغطة المتولدة من تأثير الأحمال الشاقولية ولكن تزداد مقاومتها بشكل كبير عند تزويدها بتسليح طولي.

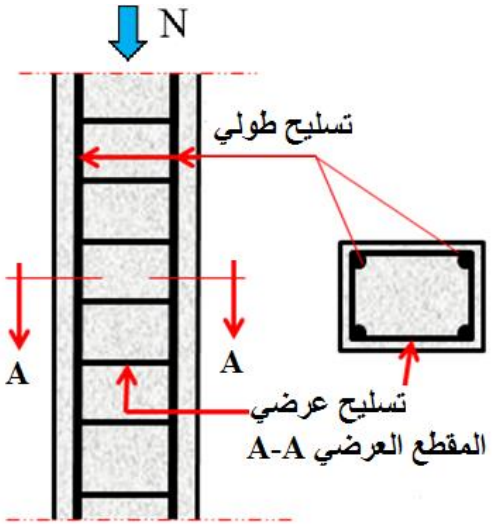
الأعمدة هي العناصر الخطية الشاقولية في البناء وظيفتها نقل الأحمال من طوابق البناء إلى الأساس (الشكل ٦-١) .



الشكل (٦-١) انتقال الاحمال الى الاساس

يعد العمود خاضعاً إلى الضغط البسيط عندما ينطبق مركز ثقل المقطع على المحور الذي تمر منه القوة الخارجية. من الصعب جداً أن تتحقق هذه الحالة، بسبب وجود انحرافات لا يمكن تحديدها بدقة في أكثر الحالات العملية. فالعمود ليس مستقيماً ولا حتى شاقولياً تماماً نظراً لعدم الدقة في التنفيذ واختلاف مهارة اليد العاملة في تركيب التسليح والصب.

بما أن حساب هذه الانحرافات بدقة غير ممكن، نلجأ في كثير من الاحيان إلى علاقات او طرق تقريبية وفق ما جاء في الأنظمة المعتمدة لتصميم الأعمدة الخاضعة لضغط بسيط.



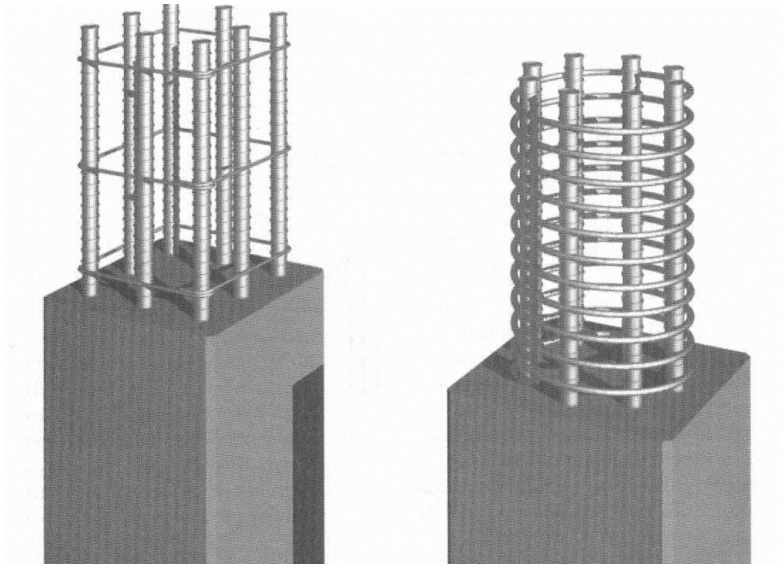
الشكل (٦-٢) مقطع طولي في العمود

بفرض أن عنصر يتعرض إلى الضغط البسيط نتيجة قوى محورية تمر من مركز ثقل مقطعه فسوف تتولد إجهادات ضغط منتظمة على كامل المقطع بما أن البيتون ذو مقاومة جيدة على الضغط فمن الممكن الاعتماد كلياً على البيتون لمقاومة القوى المحورية. يمكن تزويد المقطع بتسليح طولي يتحمل قسماً من القوى المحورية التي يتعرض لها العمود كما تزود الأعمدة بأساور عرضانية تثبت قضبان الفولاذ الطولية وتمنعها من التحنيب العرضاني.

عند تعرض أي عنصر إلى قوة ضاغطة سوف يتقاصر في الاتجاه الطولي ويتطاول في الاتجاه العرضي.

فعندما يكون هذا العنصر مطوقاً بأساور (تسليح عرضي) سوف يكون مقدار التطاول العرضي غير مما يزيد في مقاومة العنصر وتحمله للقوى الخارجية .

وعندما يتم تكثيف الأساور أي وضع أساور بتباعدات صغيرة تسمى الأعمدة بالأعمدة المطوقة حيث تكون قدرة تحملها أكبر من تلك المسلحة بأساور عادية وغالباً ما تكون الأساور على شكل حلزون



الشكل (٦-٣) أنواع التسليح العرضي في الأعمدة

٦-٢ الاشتراطات البعدية للأعمدة المسلحة :

<u>أبعاد العمود تحدد من خلال مجموعة من العوامل :</u>

- المتانة
- مقاومة الحريق
- عوامل معمارية
- تحمل القوى المنقولة إليها

يحدد الكود العربي السوري ٢٠٠٤ القيم الدنيا والقصوى للاعمدة

المقطع مستطيل :

البعد الأصغر يجب أن يكون أكبر من 200mm و مساحته لا تقل عن $0.09m^2$

المقطع دائري :

قطره لا يقل عن 350mm

ويستثنى مما سبق الأعمدة ذات الهدف المعماري شبه التزييني (كاسرات الشمس الشاقولية مثلاً) على ألا يزيد الحمل الحدي المطبق عليها عن نصف طاقتها القصوى بعد أخذ أثر التحنيب بعين الاعتبار .

٦-٣ اشتراطات التسليح :

يفيد التسليح الطولي في الأعمدة على زيادة قدرة تحمل العنصر وخفض اللامركزية الفجائية وتحمل القوى الأفقية الفجائية . يعطي الجدول (٦-١) قيم التسليح الطولي الدنيا والعظمى المسموح بها. ويشترط أن لا يقل التسليح الطول في كل عمود مضلع عن قضيب واحد في كل زاوية وفي الأعمدة الدائرية من ستة قضبان

الجدول(٦-١) قيم التسليح الطولي الدنيا والعظمى المسموح بها.

الأصغري	الأعظمي
وسطي أو طرفي أو ركني	وسطي أو طرفي أو ركني
$0.01A'_{cr}$	$0.025A'_c \quad f'_c < 30MPa$ $0.035A'_c \quad f'_c \geq 30MPa$
$0.006A'_c$	$0.04A'_c$ وجود وصلات ميكانيكية

حيث : $A'_c = b.d$ مساحة القطاع العرضي للعمود (الفعلي).

A'_{cr} : مساحة القطاع المطلوب حسابياً. ويحسب $A'_{cr} = \dfrac{N_u K_e K_b}{0.7 \times 0.8 \times 0.85 f'_c}$

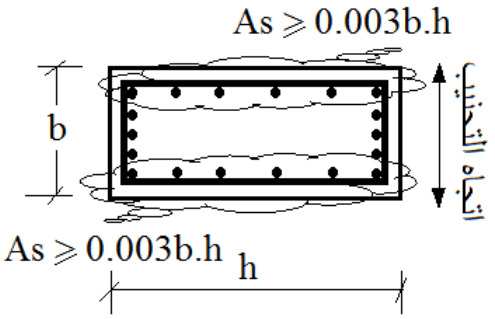
- في جميع الحالات يجب ألا تزيد مساحة التسليح الطولي في منطقة اتصال عمودين متتالين عن

$$0.06A'_c \quad f'_c < 30MPa$$

$$0.07A'_c \quad f'_c \geq 30MPa$$

- يجب أن لا يقل قطر التسليح الطولي العامل عن **12mm**

في الأعمدة المربعة المستطيلة النحيفة التي تساوي أو تزيد نسبة نحافتها λ عن **40** يشترط أن لا تقل مساحة التسليح الموجود في كل من طرفي القطاع بالاتجاه المعرض للتحنيب عن **0.003** من مساحة القطاع الكلية.



الشكل (٦-٤)

- ينصح بأن تكون جميع قضبان التسليح ذات قطر واحد . وإذا كان لابد من استخدام أقطار مختلفة فلا يسمح باستخدام أكثر من قطرين مختلفين ويتم توضع القضبان ذات الأقطار الكبيرة في الزوايا (شرط أن لا يزيد الفرق بين القطرين عن **4mm**).
- كما يجب ألا تتوضع قضبان التسليح في الأعمدة – في حالات الضرورة بأكثر من صفين.

- عند اختيار تسليح العمود فإنه يفضل قضبان تسليح بعدد اقل وأقطار أكبر التي تؤمن هيكل للعمود أكثر قساوة كما أن الحل مرغوب أثناء تنفيذ الأعمدة ولكن يجب ملاحظة أنه لا يسمح أن يزيد التباعد بين قضبان التسليح الطولي عن **300mm** أو أصغر بعد للعمود أيهما أصغر.

أما التسليح العرضي فله اشتراطات خاصة حيث نوضح في الجدول القطر الأصغري والأعظمي للتسليح العرضي.

القطر الأصغري والأعظمي للتسليح العرضي في الأعمدة:

قطر التسليح الأصغري للأساور العادية $\frac{\phi_l}{3}$ (ϕ_l هي قطر التسليح الطولي المربوط بالإسوارة) أو **6mm** . اما القطر الأصغري للتسليح الحلزوني **8mm**

قطر التسليح الأعظمي **12mm**

أما بالنسبة للتباعد المسموحة بين الأساور:

يجب أن لا يقل التباعد عن **100mm** ولا يزيد عن القيم $< \begin{cases} 15\phi_l \\ 300\,mm \\ b \end{cases}$ حيث

b عرض العمود.

الجدول(٦-٢) التباعد الاعظمي للإساور

قطر التسليح الطولي mm	القطر الأصغري للأساور mm	عرض العمود mm							
		200	250	300	350	400	450	500	550
		التباعد الاعظمي للإساور mm							
12	6 (8)	100	180	180	180	180	180	180	180
14	6 (8)	180	210	210	210	210	210	210	210
16	6 (8)	200	240	240	240	240	240	240	240
18	6 (8)	200	250	270	270	270	270	270	270
20	8	200	250	300	300	300	300	300	300
22	8	200	250	300	300	300	300	300	300
25	10	200	250	300	300	300	300	300	300
28	10	200	250	300	300	300	300	300	300
30	10	200	250	300	300	300	300	300	300

خطوة العمود المسلح بتسليح حلزوني

يجب ألا تقل الخطوة S عن **40mm** ولا تزيد عن **80mm** أو $1/5\,d_0$ حيث d_0 قطر نواة القطاع.

ويجب عندما تنفيذ الحلزون استخدام مباعدات لحفظ خطوة الحلزون وهي عبارة عن قضبان بعكفات صغيرة ولا يجوز تأمين الخطوة بواسطة القضبان الطولية . أما عند وصل قضبان الحلزون فيجب مراعاة طول التراكب وفق الكود السوري: طول التراكيب لفة ونصف

- الأساور النظامية :

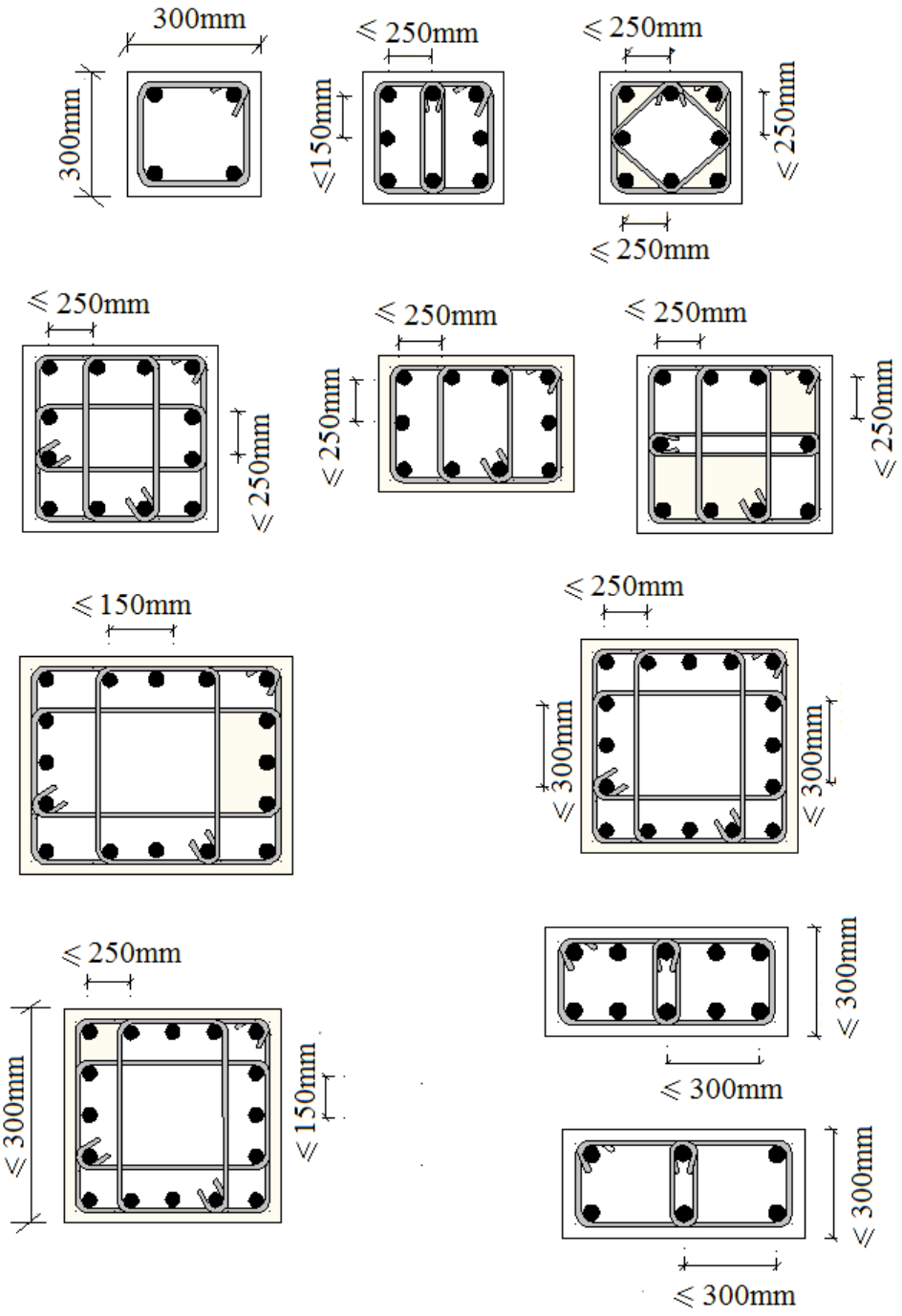
هناك بعض الملاحظات الأساسية المتعلقة مع بعض الأشكال التي توضح أكثر أشكال الأساور انتشاراً بحسب توزع القضبان الطولية.

ومن هذه الملاحظات:

- ❖ وضع العكفات بشكل متناوب مع الأساور المتتالية.
- ❖ يمكن إلغاء تطويق القضبان الوسطية في الأوجه ذات الثلاثة قضبان إذا لم تزد المسافة في الضوء بين القضيب الوسطى وأي من القضيبين الآخرين عن **150mm**
- ❖ يجب تثبيت القضبان بشكل جيد حتى لا تتحرك أثناء صب البيتون
- ❖ في الأعمدة ذات الوصلات والتسليح المسبق التجميع يجب أن لا تقل طبقة التغطية عن **40mm** حتى الإسوارة

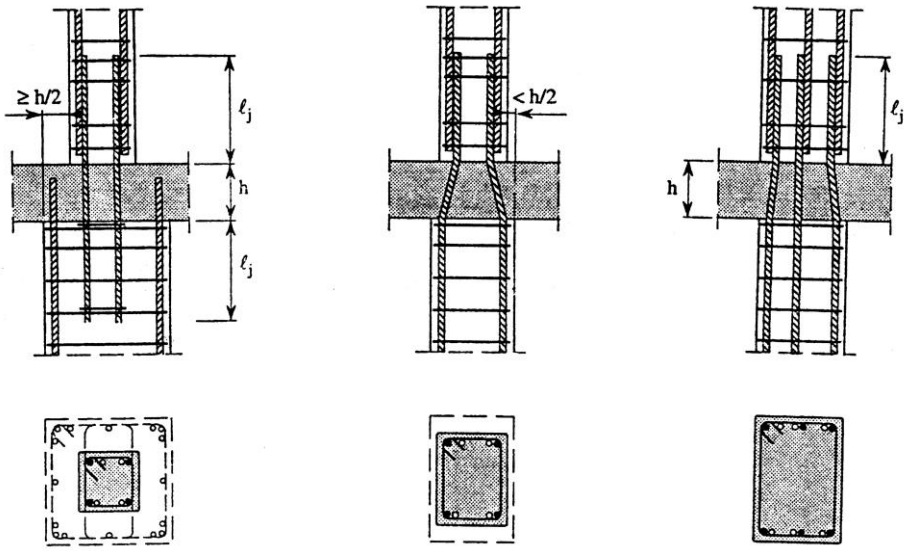
بالنسبة للملاحظات الأخرى تم التنويه لها في الأشكال حيث نوضح في الشكل أهم أشكال الأساور النظامية المستخدمة في الأعمدة ذات التسليح المسبق التجميع والمصنع في الورشة والأعمدة ذات الحالات الخاصة (شكل خاص أو التسليح على وجهين فقط) بالإضافة لحالات أخرى .

نعطي أشكال بعض الأساور في الأعمدة



الشكل (٦-٥) توزيع التسليح والتباعد الأصغري

وصلات الأعمدة :



الشكل (٦-٦) أشكال الوصلات في الاعمدة

٦-٤ أطوال التحنيب :

أ- <u>الهياكل المسندة جانبا :</u>

هي الهياكل المقواة بعناصر لمقاومة الانزياح الجانبي كأن تحتوي على جدران قص أو رباطات شبكية تساوي صلابتها ما لا يقل عن ستة أضعاف مجموع صلابات الاعمدة في كل طابق وفي الاتجاه المدروس.

ب- **<u>الهياكل غير مستندة جانبا :</u>**

هي الهياكل غير المقواة بعناصر لمقاومة الانزياح الجانبي والتي تعتمد على صلابة أعمدتها فقط في مقاومة الأفعال الناتجة عن الانزياح الجانبي .

٦-٤-١ الطول الفعال (الحسابي) لأعمدة الهياكل المسندة جانبا :

يحدد الطول الحسابي L_o وفق التالي:

$L_o = L$ حالة عنصر متمفصل من طرفين. **<u>(الأبنية العادية)</u>**

$L_o = 0.85L$ حالة عنصر متفصل من طرف ومثبت (وثاقة جزئية) من الطرف الآخر.

$L_o = 0.70L$ حالة عنصر مثبت (وثاقة جزئية) من طرفين.

$L_o = 2L$ حالة عنصر مثبت (وثاقة تامة) من طرف وحر من الطرف الأخر.

٦-٤-٢ الطول الفعال (الحسابي) لأعمدة الهياكل غير المسندة جانبا :

يحدد الطول الحسابي L_o في الهياكل غي مسنودة جانبياً كما يلي : $L_o = \alpha L$

حيث α معامل يحدد من الشكل (٦-٨)

ψ_A : قساوات الاعمدة المتصلة في العقدة العلوية A مقسومة على مجموع قساوات العناصر الخاضعة للانعطاف (الجوائز) لاحد طرفي العنصر.

ψ_B : قساوات الاعمدة المتصلة في العقدة السفلية B مقسومة على مجموع قساوات العناصر الخاضعة للانعطاف (الجوائز) عند الطرف الاخر للعنصر.

بعد حساب القيم ψ_A و ψ_B فإن الخط الواصل بين هذه النقاط يحدد فيمة α المطلوبة.

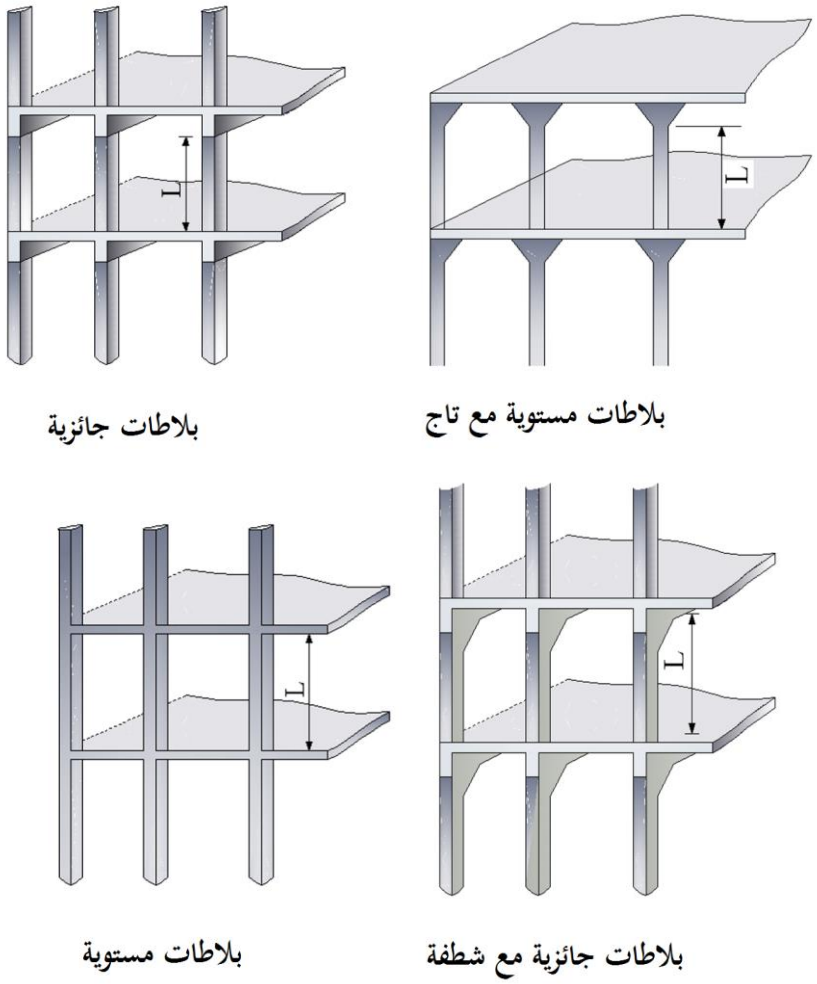
مع التذكير ضرورة تخفيض عزوم العطالة للجوائز بقيمة 0.6 للاخذ بعين الاعتبار اثر التشقق.

ملاحظة :

تعتبر الاعضاء المضغوطة في المباني الهيكلية العادية الطابقية التي لا يزيد عدد طوابقها على الستة، مسندة حتى ولو لم تشمل جملتها الإنشائية على عناصر تقوية جانبية واضحة مثل جدران القص او ما يماثلها، شريطة تحقق الشروط التالية :

أ- ان تكون مقاطع وتسليح جميع الاعمدة المعتمدة ذات مقاومة كافية لحالات التحميل التي تحوي إضافة إلى الاحمال الميتة والحية القصوى، أحمالاً افقية كالرياح والزلازل وقى دفع التربة ... الخ.

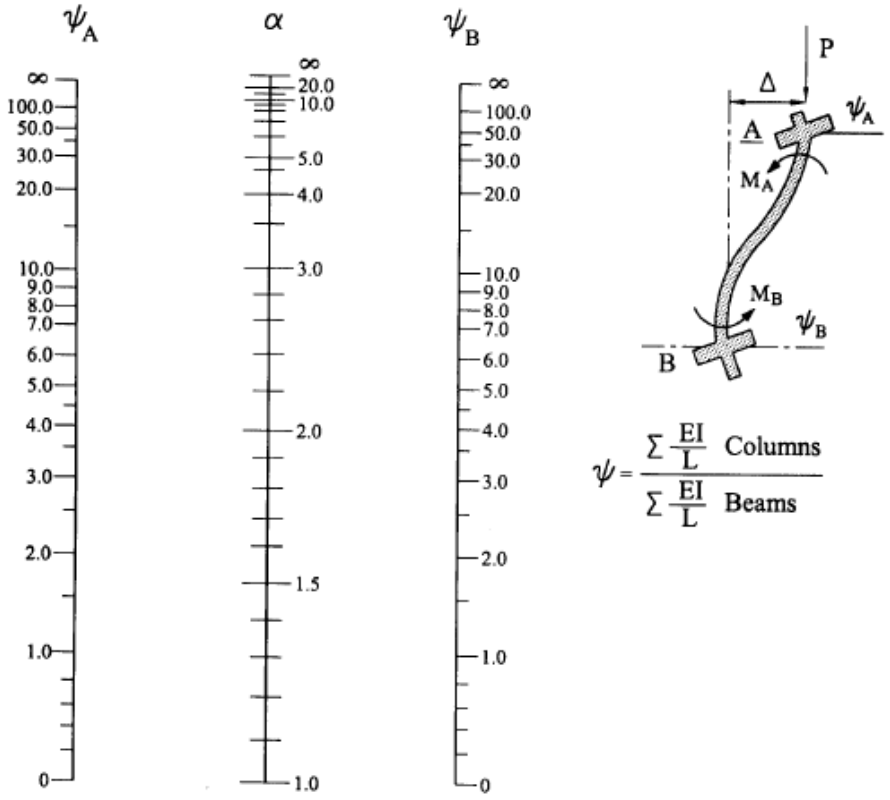
ب- ألا تزيد نحافة كل عمود على 60 .



الشكل (٦-٧) الطول L حسب اتصال الاعمدة مع البلاطات

ت- الا تحتوي الجملة الإنشائية على عدم تناظر هندسي بالغ، سواء في اشكال الاحمال أو في الشكل الهندسي أو المرن للمنشأ بحيث يؤدي إلى ابتعاد مركز القساوة عن مركز الثقل بمقدار يزيد على 20% من بعد المنشأ بالاتجاه ذاته.

ث–أن لا يؤخذ الطول الحر للعمود L_o أقل من الطول الحقيقي الصافي بين العناصر المرتبطة به.



الشكل (٦–٨) قيم المعامل α لحساب ψ

٦–٥ الأعمدة القصيرة والاعمدة الطويلة :

أ– يعد العمود المضغوط طويلاً إذا زادت نسبة أحد طوليه الحسابين ٠بالاتجاهين المتعامدين) على سمك قطاعه في الاتجاه المعتمد على 12بالنسبة لعمود ذي قطاع مستطيل أو مربع وعن 10 بالنسبة لعمود ذي قطاع دائري.

ب–قصيراً إذا لم تزد النسبة عن القيم المحددة في (أ) أعلاه.

ت–في حالة الاعمدة ذات القطاعات غير المستطيلة أو الدائرية يعد طويلاً إذا زادت نحافته $\lambda = \frac{L_o}{i}$ عن 40 حيث $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ نصف قطر العطالة في الاتجاه المدروس.

الجدول (٦–٣) عامل k_b أثر التحنيب

معامل التكافؤ k_b	شكل المقطع		$\lambda = \frac{L_o}{i}$
	دائري $\frac{L_o}{D}$	مستطيل $\frac{L_o}{b}$	
1	10.0	11.5	40
1.02	10.5	12.1	42
1.04	11	12.7	44
1.07	11.5	13.3	46
1.10	12	13.9	48
1.13	12.5	14.4	50
12	13.7	15.9	55
1.35	15	17.3	60
1.6	16.2	18.8	65
1.95	17.5	20.2	70
2.4	18.7	21.7	75
3	20	23.1	80

٦-٦ حساب الأعمدة في الأبنية السكنية :

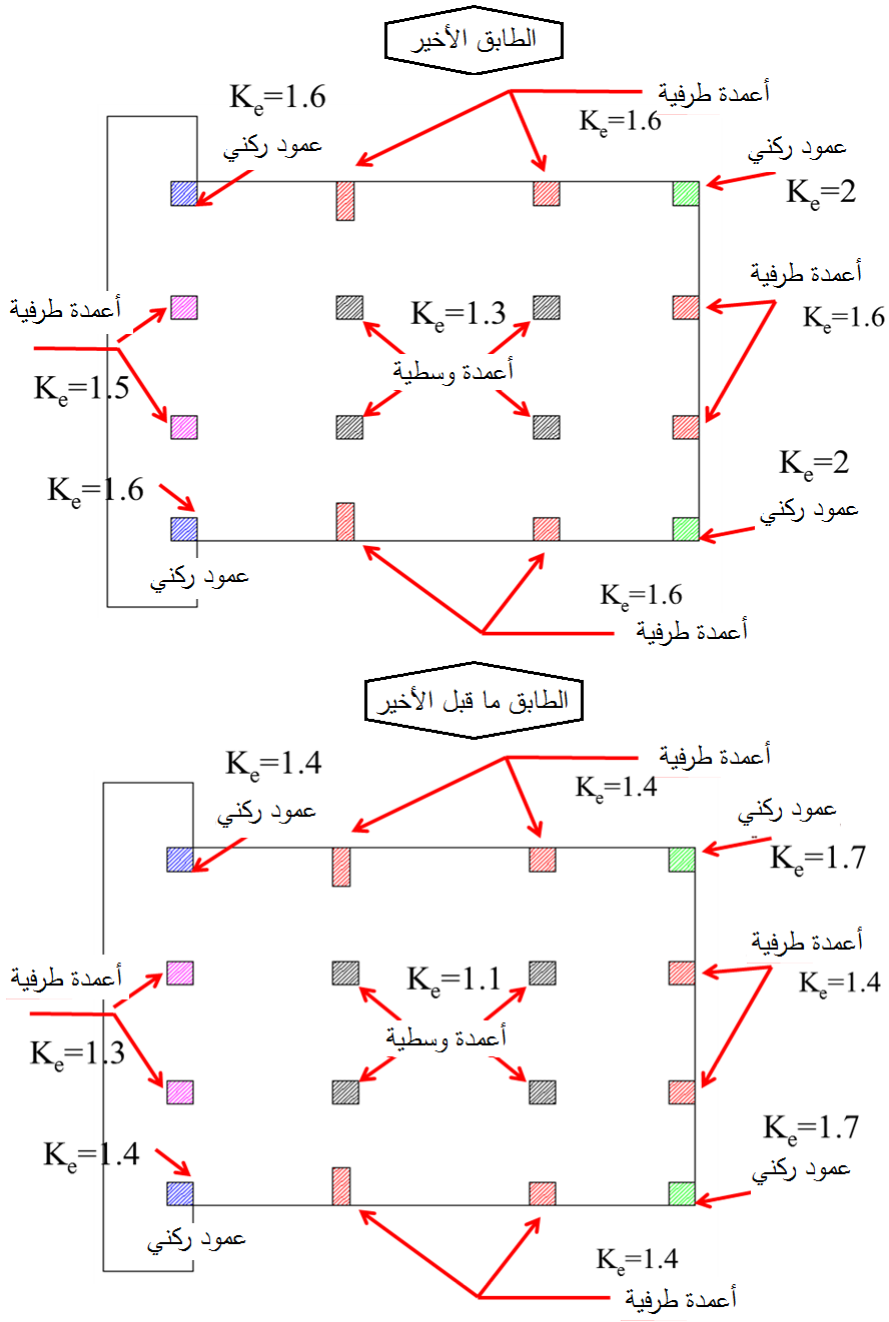
يسمح الكود العربي السوري في المباني الهيكلية الطابقية العادية (الابنية السكنية) التي تصمم أعمدتها لتحمل الاحمال الشاقولية وغير الخاضعة لتأثيرات ناتجة عن احمال أفقية (وذلك عند اعتماد جملة جدران قص تقاوم كامل الأحمال الجانبية الناتجة عن الزلازل أو الرياح) فيمكن تسهيلاً حساب أعمدتها القصيرة بافتراضها خاضعة لضغط بسيط، بعد ضرب الحمولة الحدية الخارجية بعامل تصعيد يسمى بعامل التكافؤ k_e الذي يلحظ ضمناً أثر العزوم المنقولة إلى الاعمدة والتي تم إهمالها في الحساب. تختلف قيم المعامل k_e حسب موقع العمود كما هو موضح في الجدول (٦-٤)و(٦-٥) والأشكال (٦-٩).

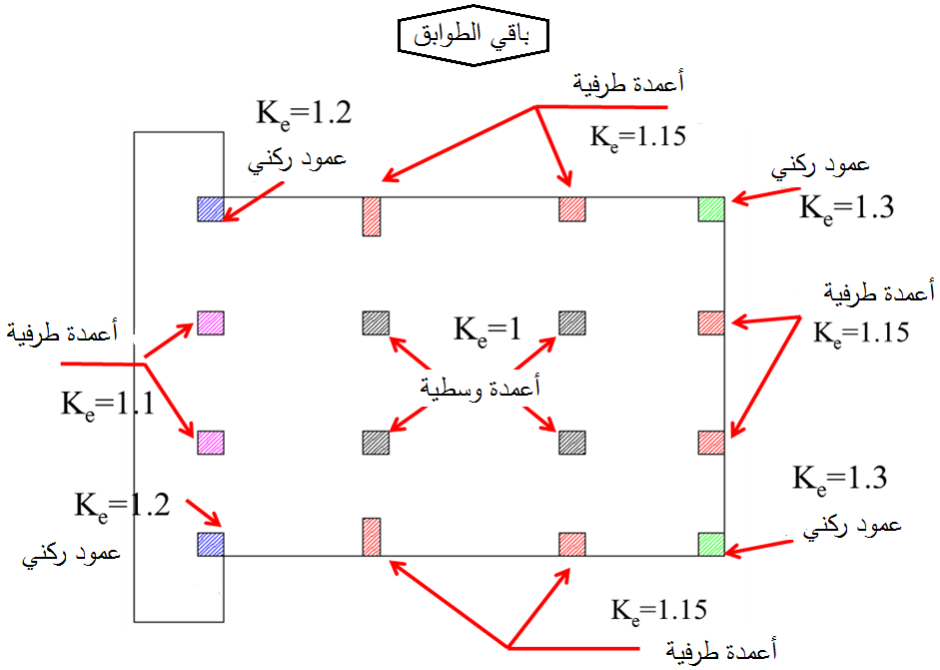
الجدول(٦-٤) معامل التكافؤ k_e في حال عدم وجود أظفار

الطابق	الأعمدة		
	وسطية	طرفية	الركنية
الأخير	1.3	1.6	2
تحت الأخير	1.1	1.4	1.7
باقي الطوابق	1.0	1.15	1.30

الجدول(٦-٦) معامل التكافؤ k_e في حال وجود أظفار

الطابق	الأعمدة		
	وسطية	طرفية	الركنية
الأخير	1.3	1.5	1.6
تحت الأخير	1.1	1.3	1.4
باقي الطوابق	1.0	1.1	1.2


الطابق الأخير
K_e=1.6
عمود ركني
أعمدة طرفية
K_e=1.6
عمود ركني
K_e=2
أعمدة طرفية
K_e=1.6
أعمدة طرفية
K_e=1.3
أعمدة وسطية
K_e=1.5
K_e=2
K_e=1.6
عمود ركني
عمود ركني
K_e=1.6
أعمدة طرفية
الطابق ما قبل الأخير
K_e=1.4
عمود ركني
أعمدة طرفية
K_e=1.4
عمود ركني
K_e=1.7
أعمدة طرفية
K_e=1.4
أعمدة طرفية
K_e=1.1
أعمدة وسطية
K_e=1.3
K_e=1.7
عمود ركني
K_e=1.4
عمود ركني
K_e=1.4
أعمدة طرفية



الشكل (٦-٩) قيم المعامل k_e

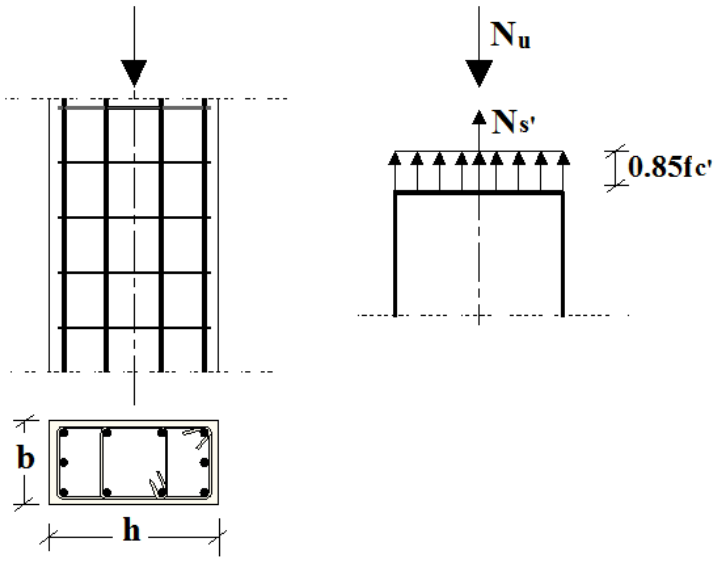
ملاحظة : لا يدخل أثر عامل التكافؤ k_e في حساب الاساسات أو الجدران التي ترتكز عليها الاعمدة في حال وجودها .

٦-٧ تصميم وتحقيق الاعمدة الخاضعة للضغط البسيط

٦-٧-١ العلاقات الأساسية :

أ- العمود مسلح بأساور عادية:

لنأخذ عمود يتعرض لحمولة محورية ضاغطة قيمتها N_u مسلح بتسليح طولي موزع بشكل متناظر بالنسبة لمحور شاقولي مار من مركز ثقل المقطع ، مساحة مقطع التسليح الطولي A_s' ومسلح بتسليح عرضي عبارة عن أساور عادية. A_c' مساحة المقطع البيتوني للعمود. تقاوم القوة الحدية الخارجية من قبل التسليح الطولي والبيتون بآن واحد.



الشكل (٦-١٠) مقطع طولي وعرضي في عمود مسلح بأساور عادية

القوة الحدية الضاغطة الخارجية = القوى الدخلية مضروبه بعدة عوامل أمان

$$N_u = N_c' + N_s'$$

يضرب الطرف الأيمن من المعادلة السابقة بـ 0.8 لأخذ أثر اللامركزية الطارئة من الصنع كما تضرب بعامل الأمان $\Omega = 0.7$ باعتبار الضغط بسيط. تصبح المعادلة

$$N_u = 0.8 \times 0.7(N_c' + N_s') \qquad \textbf{(6-1)}$$

بتعويض بقيمة القوى الداخلية

$$N_u = 0.8 \times 0.7(0.85 f_c' A_c' + A_s' . f_y)$$

أو

$$N_u = 0.476 f_c' A_c' + 0.56 A_s' . f_y \qquad \textbf{(6-2)}$$

مساحة مقطع التسليح المضغوط :

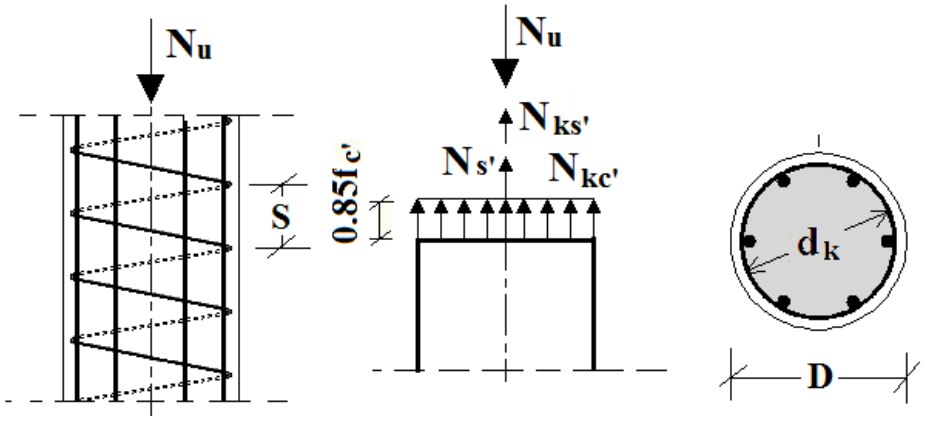
$$A_s' = \frac{N_u}{0.56 f_y} - \frac{0.85 f_c' b.h}{f_y} \qquad \textbf{(6-3)}$$

مساحة المقطع البيتوني المضغوط :

$$A_c^{'} = \frac{N_u}{0.476 f_c^{'}} - \frac{A_s^{'} f_y}{0.85 f_c^{'}} \qquad \textbf{(6-4)}$$

ب- **العمود مسلح بأساور حلزونية (المطوقة):**

إن مقاومة الاعمدة المسلحة بتسليح عرضي حلزوني أكبر من تلك التي تؤمنها الاعمدة المسلحة بتسليح عرضي عادي لان الاساور الحلزونية تؤمن قوى تطويق داخلي مما يزيد في تحمل البيتون للإجهادات بشكل كبير.



الشكل (٦-١١) عمود مسلح تسليح حلزوني

من توازن القوى :

$$N_u = \quad N_{kc}^{'} + N_s^{'} + N_{ks}^{'}$$

$N_{kc}^{'}$: القوى الداخلية التي تؤمن بواسطة البيتون المضغوط المطوق فقط

$N_s^{'}$: القوى الداخلية التي يؤمنها التسليح الطولي.

$N_{ks}^{'}$: القوى الداخلية التي يؤمنها التسليح الحلزوني.

حيث :

$A_k^{'}$: مساحة مقطع البيتون المطوق

$$A_k^{'} = \frac{\pi d_k^2}{4} - A_s^{'}$$

أو

$$A_k^{'} = 0.785 d_k^2 - A_s^{'} \qquad (6\text{-}5)$$

A_{sp} : حجم التسليح المحلزن في واحدة الطول من العمود، وتساوي

$$A_{sp}=\frac{\pi d_k a_s}{S} \qquad (6\text{-}6)$$

a_s : مساحة مقطع قصيب التسليح الحلزوني ويساوي

$A_{sp}=\frac{\pi\phi^2}{4}$ حيث : ϕ قطر قضيب التسليح الحلزوني

S : خطوة الأساور الحلزونية.

تصبح المعادلة (6-6)

$$A_{sp}=\frac{\pi d_k \pi\phi^2}{4S}$$

أو

$$A_{sp}=2.466\frac{\phi^2 d_k}{S} \qquad (6\text{-}7)$$

يعطي الكود العربي السوري الحمولة الحدية لعمود مسلح بتسليح حلزوني ويخضع لضغط بسيط بالعلاقة التالية:

$$N_u=0.7\times 0.85(0.85f_c^{'}A_k^{'}+A_s^{'}f_y+2.5A_{sp}.f_{yp})$$

أو

$$N_u=0.506f_c^{'}A_k^{'}+0.595A_s^{'}f_y+1.487A_{sp}.f_{yp} \qquad (6\text{-}8)$$

f_{sp} : إجهاد الخصوع لفولاذ التسليح المصنوع منه الحلزون.

$$A_{sp}=\frac{N_u}{1.487f_{yp}}-0.34f_c^{'}A_k^{'}-\frac{A_s^{'}f_y}{2.5f_{yp}} \qquad (6\text{-}9)$$

الحد الاعظمي لقيمة A_{sp}

$$(A_{sp})_{max}=0.34\left[\left(1.412\frac{A_c^{'}}{A_k^{'}}-1\right)\frac{f_c^{'}}{f_{yp}}+0.484\frac{A_s^{'}}{A_k^{'}}\frac{f_y}{f_{yp}}\right].A_k^{'}$$

أو

$$(A_{sp})_{max} = 0.48A_c^{'}\frac{f_c^{'}}{f_{yp}} - 0.34A_k^{'}\frac{f_c^{'}}{f_{yp}} + 0.165A_s^{'}\frac{f_y}{f_{yp}} \qquad (6\text{-}10)$$

الحد الأدنى لقيمة A_{sp}

$$(A_{sp})_{min} = 0.45\left[\frac{A_c^{'}}{A_k^{'}} - 1\right].\frac{f_c^{'}}{f_{yp}}A_k^{'}$$

$$(A_{sp})_{min} = 0.45\frac{f_c^{'}}{f_{yp}}A_c^{'} - 0.45\frac{f_c^{'}}{f_{yp}}A_k^{'} \qquad (6\text{-}11)$$

ولكي يكون هناك امان كاف ضد انهيار الغطاء البيتوني في العناصر المسلحة حلزونياً ، يجب الا تزيد مقاومة المقطع المحسوب بالعلاقة (4-8) على 1.5 مرة مقاومة المقطع حسب العلاقة (4-2) ، وهذا يتحقق إذا كان $A_{sp} \le (A_{sp})_{max}$ و وإلا وجب تعديل التصميم بزيادة التسليح الطولي، أو أبعاد المقطع أو كليهما بما يحقق.

٦-٧-٢ تصميم الاعمدة الخاضعة لضغط بسيط :

الحالة الاولى :

المعطيات :

المقاومة المميزة للبيتون : f_c'

اجهاد الخضوع للفولاذ : f_y

الحمولة التي يتعرض لها العمود : N_u

الطول الحسابي للعمود : L

المطلوب :

حساب أبعاد مقطع العمود بشكل مستطيل وحساب التسليح باستخدام أساور عادية

الحل :

١- يضاف إلى الحمولة مقدار 5% كوزن ذاتي

٢- حساب الطول الفعال للعمود ويؤخذ في الأبنية السكنية $L_o = L$

٣- يمكن أن نفرض نسبة تسليح محددة مثلا $\mu = 0.01 - 0.02$

٤- أثر موقع العمود – وما يسمى بعامل التكافؤ k_e : يؤخذ من الجداول(٤-٣) و (٤-٤)

٥- أثر التحنيب : يؤخذ معامل التصعيد k_b لاثر التحنيب من الجدول (٦-٣)

٦- يحسب المقطع البيتوني المطلوب :

$$A_c^{'} = (\frac{k_e.k_b\ N_u}{0.476f_c^{'}} - \frac{\mu A_c^{'} f_y}{0.85f_c^{'}})$$

$$A_c^{'} = \frac{k_e.k_b\ N_u}{0.405f_c^{'} + 0.56\mu f_y} \qquad (4\text{-}12)$$

٧- نختار عرض العمود b ينتج ارتفاع مقطع العمود h بحيث يكون $b.h \geq A_c^{'}$

الحالة الثانية :

المعطيات :

المقاومة المميزة للبيتون : f_c'

اجهاد الخضوع للفولاذ : f_y

الحمولة التي يتعرض لها العمود : N_u

الطول الحسابي للعمود : L

أبعاد المقطع b h

المطلوب :

حساب التسليح باستخدام أساور عادية

الحل :

١- يحسب الوزن الذاتي للعمود $s.w = 25 \times b \times h \times L$ kN/m' (الواحدات بالمتر).

٢- نضيف الوزن الذاتي إلى الحمولة الحدية بعد ضربه بعامل التصعيد 1.5

$$(N_u)' = N_u + 1.5 \times s.w$$

٣- حساب الطول الفعال للعمود ويؤخذ في الأبنية السكنية $L_o = L$ او حسب شروط النهايات.

٤- أثر موقع العمود – وما يسمى بعامل التكافؤ – k_e : يؤخذ من الجداول(٤-٣) و (٤-٤)

٥- أثر التحنيب : يؤخذ معامل التصعيد k_b لاثر التحنيب من الجدول (٤-٢)

٦- يحسب مقطع التسليح :

$$A_s' = \frac{(N_u)' k_e . k_b}{0.56 f_y} - \frac{0.85 f_c' b.h}{f_y} \qquad \textbf{(6-13)}$$

٧- يوجد احتمالين :

الاحتمال الاول : ان تكون قيمة التسليح من العلاقة (13-4) موجبة، في هذه الحالة نحسب نسبة التسليح : $\mu = \frac{A_s'}{b.h}$ ونقارنها مع الحدود المسموحة.

أ- $\mu_{min} \le \mu \le \mu_{max}$ اذا تحققت المتراجحة فالتسليح مقبول إذا ونختار عدد وقطر القضبان بحيث يحقق المساحة المطلوبة.

ب- $\mu > \mu_{max}$ فإن المقطع غير كافي لا بد من زيادة الابعاد.

ت- $\mu < \mu_{min}$ يسلح المقطع بتسليح أصغري

الاحتمال الثاني : ان تكون قيمة التسليح من العلاقة (13-4) سالبة، هذا يعني أن المقطع المفروض هو أكبر من المطلوب. يسلح المقطع بتسليح أصغري

٤-٨ تخفيض الاحمال الحية في الابنية الطابقية :

كما هو معروف أن الاحمال الشاقولية الواردة إلى الاعمدة عبارة عن احمال ميتة وأحمال حية. وإن احتمال تأثير كامل الاحمال الحية في كافة الطوابق في وقت واحد صغير.

فقد سمح الكود العربي السوري بتخفيض الحمولات الحية المؤثرة على الاعمدة في الابنية ذات الطبقات المتعددة والمؤلفة من أكثر من خمسة طوابق.

الشكل (٦-١٢) نسب تخفيض الاحمال الحية

لا يجوز التخفيض في حالة الأبنية المخصصة للمستودعات و المرآب والمدارس.

مسائل

مسألة (٦-١)

عمود ركني موثوق من الطرفين بوثاقات جزئية ويقع في الطابق الأرضي لبناء مؤلف من خمسة طوابق يخضع لحمولة محورية ضاغطة حدية. 1400kN ارتفاع العمود L=7.8m غير خاضع لإزاحة جانبية $f_y = 240MPa$ $f_c^{'} = 18M\ P$ والمطلوب تصميم العمود وفق الحالات التالية :

١- المقطع بأبعاده المفروضة 40x50cm

٢- المقطع بأبعاده المفروضة 70x80cm

٣- أكبر مقطع اقتصادي مستطيل عرضه 35cm

٤- أكبر مقطع اقتصادي مربع الشكل

٥- أصغر مقطع مربع الشكل

الحل :

١- المقطع بأبعاده المفروضة 40x50cm

- الوزن الذاتي للعمود

$$s.w = 0.40 \times 0.5 \times 25 \times 7.8 = 39kN$$

- الحمولة المركزية الحدية

$$N_u = 1.4 \times 39 + 1400 = 1454.6kN$$

- عامل موقع العمود : الموقع ركني في الطابق الأرضي

$$K_e = 1.3$$

- عامل التحنيب :

$$L_o = 0.7 \times 7.8 = 5.46m$$

$$\lambda = \frac{546}{40} = 13.65 \Rightarrow K_b = 1.09$$

$$N_u.k_e.k_b = 0.65 \times 0.8(0.85 f_c' b.h + f_y A_s'')$$

$$1454600 \times 1.3 \times 1.09 = 0.65 \times 0.8(0.85 \times 18 \times 400 \times 500 + 240 A_s')$$

$$A_s' = 3766mm^2 \Rightarrow 10\phi 20 = 3142mm^2 \Rightarrow \mu = 0.019 > 0.01$$

$$\mu = 0.019 < 0.025$$

٢- المقطع بأبعاده المفروضة 70x80cm :

- الوزن الذاتي للعمود

$$S.W = 0.70 \times 0.8 \times 25 \times 7.8 = 109.2kN$$

- الحمولة المركزية الحدية

$$N_u = 1.4 \times 109.2 + 1400 = 1552.88kN$$

- عامل موقع العمود : الموقع ركني في الطابق الأرضي

$$K_e = 1.3$$

- عامل التحنيب :

$$L_o = 0.7 \times 7.8 = 5.46m$$

$$\lambda = \frac{546}{70} = 7.8 \Rightarrow K_b = 1.$$

$$N_u.k_e.k_b = 0.65 \times 0.8(0.85 f_c' b.h + f_y A_s'')$$

$$1552880 \times 1.3 \times 1. = 0.65 \times 0.8(0.85 \times 18 \times 700 \times 800 + 240 A_s')$$

$A_s' =$ سالب

في هذه الحالة يسلح العمود بتسليح أصغري

$$A_s' = 0.006 \times 700 \times 800 = 3360mm^2$$

لنحسب المساحة المطلوبة حسابياً بدون تسليح

$$N_u.k_e.k_b = 0.65 \times 0.8(0.85 f_c' b.h + f_y A_s'')$$

$$1552880 \times 1.3 \times 1. = 0.65 \times 0.8(0.85 \times 18 \times A_{cr}') \Rightarrow$$
$$A_{cr}' = 253739mm^2$$

$$\mu_{min} = 0.01 A_{cr}' = 2538mm^2$$

نعتمد الأكبر

$$A_s^{'} = 0.006 \times 700 \times 800 = 3360\,mm^2$$

٣- أكبر مقطع اقتصادي مستطيل عرضه 35cm تكون نسبة التسليح اصغرية:

لتقدير الوزن الذاتي نفرض أن الطول سيكون ضعف العرض أي **70cm**

- الوزن الذاتي للعمود

$$S.W = 0.70 \times 0.35 \times 25 \times 7.8 = 47.8kN$$

- الحمولة المركزية الحدية

$$N_u = 1.4 \times 47.8 + 1400 = 1466.92kN$$

- عامل موقع العمود : الموقع ركني في الطابق الأرضي

$$K_e = 1.3$$

- عامل التحنيب :

$$L_o = 0.7 \times 7.8 = 5.46m$$

$$\lambda = \frac{546}{35} = 15.6 \Rightarrow K_b = 1.19$$

$$N_u.k_e.k_b = 0.65 \times 0.8(0.85 f_c^{'} b.h + f_y A_s^{''})$$

$$1466.920 \times 1.3 \times 1.19 = 0.65 \times 0.8(0.85 \times 18 \times 350 \times h + 240 \times 0.01 \times 350 \times h)$$

$$h = 705cm \approx 71cm$$

$$A_s^{'} = 0.01 \times 350 \times 710 = 2485mm^2$$

٤- أكبر مقطع اقتصادي مربع الشكل تكون نسبة التسليح اصغرية:

لتقدير الوزن الذاتي نفرض أن طول الضلع 40cm

- الوزن الذاتي للعمود

$$S.W = 0.40 \times 0.40 \times 25 \times 7.8 = 31.2kN$$

- الحمولة المركزية الحدية

$$N_u = 1.4 \times 31.2 + 1400 = 1443.68kN$$

- عامل موقع العمود : الموقع ركني في الطابق الأرضي

$$K_e = 1.3$$

عامل التحنيب :

$$L_o = 0.7 \times 7.8 = 5.46m$$

$$\lambda = \frac{546}{40} = 13.65 \Rightarrow K_b = 1.09$$

$$1443680 \times 1.3 \times 1.09 = 0.65 \times 0.8(0.85 \times 18 \times h^2 + 240 \times 0.01 \times h^2)$$

$$h = b = 402cm \approx 45cm$$

$$A_s' = 0.01 \times 450 \times 450 = 2025mm^2$$

٥- أصغر مقطع مربع الشكل تكون نسبة التسليح أعظمية

لتقدير الوزن الذاتي نفرض أن طول الضلع **40cm**

- الوزن الذاتي للعمود

$$S.W = 0.40 \times 0.40 \times 25 \times 7.8 = 31.2kN$$

- الحمولة المركزية الحدية

$$N_u = 1.4 \times 31.2 + 1400 = 1443.68kN$$

- عامل موقع العمود : الموقع ركني في الطابق الأرضي

$$K_e = 1.3$$

- عامل التحنيب :

$$L_o = 0.7 \times 7.8 = 5.46m$$

$$\lambda = \frac{546}{40} = 13.65 \Rightarrow K_b = 1.09$$

$$1443680 \times 1.3 \times 1.09 = 0.65 \times 0.8(0.85 \times 18 \times h^2 + 240 \times 0.025 \times h^2)$$

$$h = b = 43cm \approx 43cm$$

$$A_s' = 0.025 \times 430 \times 430 = 4623mm^2$$

مسألة (٦-٢)

عمود مستطيل المقطع (**40x60cm**) موثوق من طرف وحر من الطرف الأخر يتعرض لحمولة محورية ضاغطة حدية. **1500kN** ارتفاع العمود **L=4m** غير خاضع لإزاحة جانبية $f_y = 400MPa$ $f_c' = 20MPa$ والمطلوب تصميم العمود باعتبار عامل التكافؤ $K_e = 1$

الحل :

- الوزن الذاتي للعمود

$$S.W = 0.60 \times 0.4 \times 25 \times 4 = 24kN$$

- الحمولة المركزية الحدية

$$N_u = 1.4 \times 24 + 1500 = 1533.6kN$$

$$K_e = 1$$

- عامل التحنيب

$$L_o = 2 \times 4 = 8m$$

$$\lambda = \frac{800}{40} = 20 \Rightarrow K_b = 1.775$$

$$1533600 \times 1.775 \times 1 = 0.65 \times 0.8(0.85 \times 20 \times 600 \times 400 + 400A_s')$$

$$A_s' = 2888mm^2 \Rightarrow 10T20 = 3140mm^2 \Rightarrow \mu = 0.013 > 0.01$$

أعد المسألة بفرض أن العمود بتعرض لحمولة محورية ضاغطة حدية.1000kN

- الوزن الذاتي للعمود

$$S.W = 0.60 \times 0.4 \times 25 \times 4 = 24kN$$

- الحمولة المركزية الحدية

$$N_u = 1.4 \times 24 + 1000 = 1033.6kN$$

$$K_e = 1$$

- عامل التحنيب :

$$L_o = 2 \times 4 = 8m$$

$$\lambda = \frac{800}{40} = 20 \Rightarrow K_b = 1.775$$

$$1033600 \times 1.775 \times 1 = 0.65 \times 0.8(0.85 \times 20 \times 600 \times 400 + 400A'_s)$$

$A'_s =$ سالب

- النسبة الأصغرية نحسبها أولا من المقطع الفعلي

$$A'_{s\min} = 0.006 \times A'_c = 0.006 \times 600 \times 400 = 1440mm^2$$

ثانياً من المقطع المطلوب حسابياً

$$A'_{s\min} = 0.01 \times A'_{cr} = 0.01 \times \frac{N_u K_e . K_b}{0.8 \times 0.65 \times 0.85 \times 20} = 2076mm^2$$

أعد المسألة بفرض أن العمود بتعرض لحمولة محورية ضاغطة حدية.1600kN

- الوزن الذاتي للعمود

$$S.W = 0.60 \times 0.4 \times 25 \times 4 = 24kN$$

- الحمولة المركزية الحدية

$$N_u = 1.4 \times 24 + 1600 = 1633.6kN$$

$$K_e = 1$$

عامل التحنيب

$$L_o = 2 \times 4 = 8m$$

$$\lambda = \frac{800}{40} = 20 \Rightarrow K_b = 1.775$$

$$1633600\times1.775\times1=0.65\times0.8(0.85\times20\times600\times400+400A'_s)$$

$$A'_s=3741mm^2$$

$$A'_s=3741mm^2\Rightarrow12T20=3768mm^2\Rightarrow\mu=0.016>0.01$$

مسألة (٦-٣):

عمود مستطيل المقطع (**30x60cm**) موثوق بوثاقة جزئية من الطرفين ارتفاع العمود **L=6.2m** غير خاضع لإزاحة جانبية $f_y=240MPa$ $f'_c=18MPa$ والمطلوب حساب الحمولة الحدية للعمود باعتبار عامل التكافؤ $K_e=1$

الحل :

$$A'_s=2402544.7\Rightarrow\mu=0.0141<0.025$$

$$K_e=1$$

- عامل التحنيب :

$$L_o=0.7\times6.2=4.34m$$

$$\lambda=\frac{434}{30}=14.46\Rightarrow K_b=1.133$$

$$N_u1.133=0.65\times0.8(0.85\times18\times600\times300+240\times2544.7)$$

$$N_u=1545kN$$

نحذف الوزن الذاتي

$$s.w=1.4\times0.3\times0.6\times25\times6.2=39.06kN$$

$$N_u=1545-39.06=1505.94kN$$

مسألة (٦-٤)

عمود دائري قطره **D=500mm** طرفي موجود في الطابق الأرضي لبناء مؤلف من خمسة طوابق الطول الحسابي للعمود **L_o=4m** . $f_c' = 20MPa$ $f_y = 420MPa$ $f_{y_p} = 240MPa$

المطلوب :

١-حساب الحمولة الحدية التي يمكن أن يتحملها العمود بتسليح طولي أعظمي وبأساور عادية.

٢-حساب الحمولة الحدية التي يمكن أن يتحملها العمود بتسليح طولي أصغري وبأساور عادية.

٣-حساب الحمولة الحدية التي يمكن أن يتحملها العمود بتسليح طولي أعظمي وبأساور حلزونية.

٤-حساب أصغر مقطع مربع بتسليح حلزوني وحمولة الطلب ٣.

الحل :

١-حساب الحمولة الحدية التي يمكن أن يتحملها العمود بتسليح طولي أعظمي وبأساور عادية.

$$A_c' = \frac{\pi 500^2}{4} = 196349.54mm^2 \Rightarrow A_s' = 0.01A_c' = 1963.49mm^2$$

$$\frac{L_o}{D} = \frac{400}{50} = 8 < 10 \Rightarrow K_b = 1$$

العمود طرفي بدون ظفر في باقي الطوابق

$$K_e = 1.15$$

$$N_u.K_e.K_b = \Omega.0.8(0.85f_c'A_c' + A_s'.f_y)$$

$$1.15\times1\times N_u = 0.65\times0.8(0.85\times20\times196349.54+1963.49\times420)\Rightarrow$$
$$N_u = 1882.22kN$$

٢- حساب الحمولة الحدية التي يمكن أن يتحملها العمود بتسليح طولي أعظمي وبأساور عادية.

$$A_c^{'} = \frac{\pi500^2}{4} = 196349.54mm^2 \Rightarrow A_s^{'} = 0.025A_c^{'} = 4908.74mm^2$$

$$N_u.K_e.K_b = \Omega.0.8(0.85f_c^{'}A_c^{'} + A_s^{'}.f_y)$$

$$1.15\times1\times N_u = 0.65\times0.8(0.85\times20\times196349.54+4908.74\times420)\Rightarrow$$
$$N_u = 2441.6kN$$

٣-حساب الحمولة الحدية التي يمكن أن يتحملها العمود بتسليح طولي أعظمي وبأساور حلزونية.

$$1.15\times0.65\times0.85(0.85f_c^{'}A_k^{'} + A_s^{'}f_y + 2.5A_{sp}.f_{yp}) \le 1.5\times2441.6\times1000$$

$$A_k^{'} = \frac{\pi450^2}{4} = 159043.13mm^2$$

$$1.15\times0.65\times0.85(0.85\times20\times159043.13+4908.74\times420+2.5A_{sp}\times240)$$
$$\le 1.5\times2441.6\times1000$$

$$A_{sp} \ge 1665mm^2$$

$$(A_{sp})_{min} = 0.45(\frac{A_c^{'}}{A_k^{'}}-1)\frac{f_c^{'}}{f_{yp}}A_k^{'}$$

$$(A_{sp})_{min} = 0.45(\frac{196349.54}{159043.13}-1)\frac{20}{240}159043.13 = 1399mm^2$$

$$(A_{sp})_{max} = 0.34[(1.412\ \frac{A_c^{'}}{A_k^{'}}-1)\frac{f_c^{'}}{f_{yp}} + 0.484\frac{As'}{A_k^{'}}\frac{f_y}{f_{yp}}]A_k^{'}$$

$$(A_{sp})_{max} = 0.34[(1.412\ \frac{196349.54}{159043.13} - 1)\frac{20}{240}$$

$$+ 0.484\frac{4908.74}{159043.13}\frac{420}{240}]159043.13$$

$$(A_{sp})_{max} = 4763mm^2$$

$$S = 60mm$$

$$A_{sp} = \frac{\pi d_k a_s}{S} \Rightarrow a_s = \frac{60\times1665}{\pi\times450} = 70.7 \Rightarrow \phi = 10mm$$

$$a_s = \pi\times5^2 = 78.53mm^2 \Rightarrow A_{sp} = \frac{\pi\times450\times78.53}{60} = 1850.66mm^2$$

$$N_u 1.15 = 0.65\times0.85(0.85\times20\times159043.13 + 4908.74\times420$$

$$+ 2.5\times1850.66\times240)$$

$$N_u = 2823kN$$

٤-حساب أصغر مقطع مربع بتسليح حلزوني وحمولة الطلب ٣.

$$1.15\times2823000 = 0.8\times0.65(0.85\times20A_c^{'} + 420\times0.025\times A_c^{'})$$

$$A_c^{'} = 227025mm^2 \Rightarrow b = 500mm$$

$$D_k = 450mm, A_k^{'} = 159043.13mm^2$$

مسألة (٦-٥)

عمود ركني في الطابق الأرضي لبناء مؤلف من عدد من الطوابق وبدون وجود ظفر طوله الفعال **4m** مقطعه دائري يتعرض لحمولة حدية أعظمية (بما فيها الوزن الذاتي) **2700kN**

$$f_{yp} = 240MPa \qquad f_y = 400MPa \quad f_c^{'} = 20MPa$$

والمطلوب :

١- أكبر قطر للعمود بتسليح عادي
٢- أصغر قطر للعمود بتسليح عادي ويقع البناء ضمن المنطقة الزلزالية ٢
٣- أكبر قطر للعمود بتسليح حلزوني أعظمي ويقع البناء ضمن المنطقة الزلزالية ٢

الحل :

١- أكبر قطر للعمود :

- نسبة التسليح أصغرية **0.01**
- موقع العمود يعني $K_e = 1.3$
- التحنيب غير معروف نتحقق منه بعد حساب القطر

$$2700 \times 1000 \times 1.3 = 0.65 \times 0.8(0.85 \times 20A_c^{'} + 400 \times 0.01A_c^{'})$$

$$\Rightarrow A_c^{'} = 321428.6mm^2$$

$$D = 639.9mm \Rightarrow D = 650mm$$

نتحقق من التحنيب :

$$\frac{L_o}{D} = \frac{4000}{650} = 6.15 < 10 \Rightarrow K_b = 1 \quad \textbf{ok}$$

٢- أصغر قطر للعمود :

- نسبة التسليح أعظمية المنطقة الزلزالية رقم ٢ **0.05**
- موقع العمود يعني $K_e = 1.3$
- التحنيب غير معروف نتحقق منه بعد حساب القطر

$$2700 \times 1000 \times 1.3 = 0.65 \times 0.8(0.85 \times 20A_c^{'} + 400 \times 0.05A_c^{'}) \Rightarrow$$

$$A_c^{'} = 182433mm^2$$

$$D = 482mm \Rightarrow D = 500mm$$

نتحقق من التحنيب :

$$\frac{L_o}{D}=\frac{4000}{500}=8<10\Rightarrow K_b=1 \quad \textbf{ok}$$

٣- أصغر قطر للعمود بتسليح حلزوني أعظمي :

- نحسب المقطع الأعظمي من شرط حماية طبقة التغطية :

$$2700\times1000\times1.3\le1.5\times0.65\times0.8(0.85\times20A_c^{'}+400\times0.05A_c^{'})\Rightarrow$$

$$A_c^{'}\ge121521.621mm^2$$

$$\Rightarrow D\ge394mm\Rightarrow D=400mm\Rightarrow d_k=350mm$$

$$A_k^{'}=96211.275mm^2 \quad , \quad A_c^{'}=125663.71mm^2$$

$$A_s^{'}=0.05\times125663.71=6283.2mm^2$$

- نحسب كمية التسليح الحلزوني من العلاقة الأساسية :

$$N_u\textbf{.}K_e\textbf{.}K_b=\Omega0.85(0.85f_c^{'}A_k^{'}+f_yA_s^{'}+2.5f_{yp}A_{sp})$$

$$2700000\times1.3\times1=0.65\times0.85(0.85\times20\times96211.275$$

$$+400\times6283.2+2.5\times240\times A_{sp})$$

$$A_{sp}=3674mm^2$$

$$(A_{sp})_{max}=0.34[(1.412\ \frac{A_c^{'}}{A_k^{'}}-1)\frac{f_c^{'}}{f_{yp}}+0.484\frac{As'}{A_k^{'}}\frac{f_y}{f_{yp}}]A_k^{'}$$

$$(A_{sp})_{max}=0.34[(1.412\ \frac{125663.71}{96211.275}-1)\frac{20}{240}$$

$$+0.484\frac{6283.2}{96211.275}\frac{400}{240}]\times96211.275$$

$$(A_{sp})_{max} = 4025mm^2$$

$$(A_{sp})_{min} = 0.45(\frac{A_c^{'}}{A_k^{'}} - 1)\frac{f_c^{'}}{f_{yp}}A_k^{'}$$

$$(A_{sp})_{min} = 0.45(\frac{125663.71}{96211.275} - 1)\frac{20}{240} \times 96211.275 = 1104.5mm^2$$

$$S = 40mm \Rightarrow 3674 = \frac{\pi \times 350a_s}{40} \Rightarrow a_s = 134 \Rightarrow \phi = 14/40mm$$

مسألة (٦-٥) دورة ٢٠١١-٢٠١٢- الفصل الأول

عمود من البيتون المسلح ، وسطي يقع في الطابق الأخير ، متمفصل من الطرفين طوله الحر **L=4.77m** غير خاضع لإزاحة جانبية ، مقطعه مربع أبعاده مساوية للحد الادنى المسموح به وفق الكود العربي السوري ، يتعرض لحمولة محورية ضاغطة بفرض $f_y = 400Mpa$ $f_c^{'} = 20Mpa$ والمطلوب : حساب الحمولة الضاغطة الحدية الأعظمية التي يمكن أن يتحملها العمود.

١- أبعاد مقطع العمود الأدنى وفق الكود العربي السوري

$$b = 300mm$$

٢- نسبة التسليح الأعظمية

$$A_{smax} = 0.025 \times 300 \times 300 = 2250mm^2$$

٣- عامل التكافؤ $K_b = 1.3$

٤- الطول الحسابي $L_o = L$

٥- العمود قصير أم طويل

$$\frac{L_o}{b} = \frac{4770}{300} = 15.9 > 12$$

٦- عامل التحنيب

$$\frac{L_o}{b} = 15.9 \Rightarrow K_b = 1.2$$

٧- الحمولة الحدية

$$1.2\times1.3.N_{u1}=$$
$$0.65\times0.8\times(0.85\times20\times300\times300+400\times2250)$$
$$N_{u1}=810kN$$

٨- الوزن الذاتي للعمود

$$S.W=4.77\times0.3\times0.3\times25\times1.4=15.021kN.m$$

الحمولة المحورية الضاغطة الأعظمية الحدية

$$N_u=810-10.74=794.98kN$$

مسألة (٦-٦) دورة ٢٠١٢-٢٠١٣- الفصل الأول

عمود من البيتون المسلح ، ركني بدون ظفر في الطابق الأخير لبناء سكني يقع في المنطقة الزلزالية الأولى ، متمفصل من الطرفين غير خاضع لإزاحة جانبية ، مقطعه مستطيل أبعاده **h=400mm b=300mm** ، يتعرض لحمولة محورية ضاغطة. المطلوب :

١-احسب طوله الحر الأعظمي بحيث لا يخضع للتحنيب

٢- حساب الحمولة المحورية الضاغطة الحدية الأعظمية التي يمكن أن يتحملها العمود

$$f_c^{'}=18Mpa \quad f_y=360Mpa$$

الطلب الأول :

- **حساب طول العمود الحر**

$$L=L_o$$
$$\frac{L_o}{b}=12\Rightarrow L_o=12\times b=12\times300=3600mm$$

الطلب الثاني : حساب الحمولة المحورية الضاغطة الحدية الأعظمية

$K_b=1$ لا يوجد تحنيب

$K_e=2$ العمود ركني بدون ظفر وفي الطابق الأخير

$\mu_{max}=0.05$ نسبة التسليح الأعظمية في المنطقة الزلزالية الأولى

$$f_y = 320Mpa$$

$$K_e K_b N_u = \Omega 0.80(0.85 f_c^{'}.A_c^{'} + 0.05 A_c^{'} f_y)$$

$$1 \times 2N_u = 0.65 \times 0.80(0.85 \times 18 \times 300 \times 400 + 0.05 \times 300 \times 400 \times 320)$$

$$N_u = 977kN$$

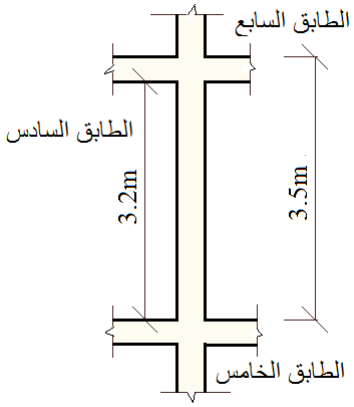
الوزن الذاتي

$$S.W = 0.3 \times 0.4 \times 3.6 \times 25 = 10.8kN$$

$$N_u = 977 - 1.4 \times 10.8 = 961kN$$

مسألة (٦-٧) دورة ٢٠١٢-٢٠١٣- الفصل الثاني

عمود وسطي مقطعه مربع من البيتون المسلح يقع في الطابق السادس لبناء سكني مؤلف من عشرة طوابق متكررة ، ارتفاع الطابق **3.5m** ، موثوق بوثاقات جزئية وغير خاضع لإزاحة جانبية .الأحمال الاستثمارية (بدون تصعيد) الواردة إلى العمود في كل طابق هي حمولات ميتة **DL=180kN** وحية **LL=60kN**



المطلوب :

حساب أكبر أبعاد لمقطع العمود المربع في الطابق السادس والتسليح اللازم.

$$f_c^{'} = 20MPa \quad f_y = 400MPa$$

الحل :

حساب أكبر أبعاد للمقطع

- حساب الحمولة الحدية

الأحمال الحدية الشاقولية الميتة

$$N_D = 5 \times 180 = 900kN$$

الأحمال الحدية الشاقولية الحية

عوامل التخفيض للأحمال الحية باعتبار البناء مؤلف من أكثر خمسة طوابق

الطابق الأخير (العاشر)	100%
الطابق ما قبل الأخير (التاسع)	100%
الطابق الثامن	90%
الطابق السابع	80%
الطابق السادس	70%

$$N_L = 60 + 60 + 0.9\times 60 + 0.8\times 60 + 0.7\times 60 = 264kN$$

$$N_u = 1.4N_D + 1.7N_L$$
$$N_u = 1.4\times 900 + 1.7\times 264 = 1708.8kN$$

- العوامل

العمود وسطي $k_e = 1$

نفرض أن $k_b = 1$

بما أن المطلوب أكبر أبعاد نفرض $\mu = \mu_{min} = 0.001$

- حساب أبعاد المقطع

$$N_u.k_e.k_b = 0.8\times 0.65(0.85f_c^{'}A_c^{'} + \frac{1}{100}A_c^{'}f_y)$$

$$1708800\times 1\times 1 = 0.8\times 0.65(0.85\times 20A_c^{'} + \frac{1}{100}A_c^{'}400)$$

$$A_c^{'} = 15684mm^2 \Rightarrow b = 400mm$$

- التحقق من التحنيب

$$L = 3.2m \Rightarrow L_o = 0.7 \times 3.2 = 2.24m$$

$$\frac{L_o}{b} = \frac{2240}{400} = 5.6 < 12 \Rightarrow k_e = 1$$

- حساب التسليح

$$1708800 \times 1 \times 1 = 0.8 \times 0.65(0.85 \times 20 \times 400 \times 400 + A_s^{'} 400)$$

$$A_s^{'} = 1416mm^2$$

$$\mu' = 0.009 < 0.01 \Rightarrow A_s^{'} = 1600mm^2$$

مسألة (٦-٨) الدورة الإضافية ٢٠١٣-٢٠١٤

عمود ركني بدون ظفر في بناء سكني عادي يقع في الطابق الأرضي لبناء طابقي . مقطع العمود مستطيل عرضه **b=300mm** . الطول الفعال للعمود **L=360cm** يتعرض العمود لحمولة ضاغطة مركزية مؤلفة من حمولة ميتة استثمارية مقدارها **G=1000kN** متضمنة الوزن الذاتي للعمود وحمولة استثمارية حية مقدارها **P=400kN** بفرض $f_c^{'} = 20MPa \quad f_y = 400MPa$

والمطلوب :

١- حساب أكبر طول لمقطع العمود والتسليح اللازم

٢- حساب أصغر طول لمقطع العمود والتسليح اللازم .

الحل :

١- الحمولة الحدية :

$$N_u = 1000 \times 1.5 + 1.8 \times 400 = 2220kN$$

$$\frac{L_o}{b} = \frac{360}{300} = 12 \le 12 \Rightarrow K_b = 1$$

٢- موقع العمود : $K_e = 1.3$

٣- حساب أكبر طول لمقطع العمود والتسليح اللازم

$$A_s^{'} = \frac{1}{100} \times 300h = 3h$$

$$2220000 \times 1 \times 1.3 = 0.8 \times 0.7\ (0.85 \times 20 \times 300h + 3h \times 400)$$

$$2886000 = 0.56\ (5100h + 1200h) \Rightarrow h = 818mm \approx 850mm$$

$$A_s^{'} = \frac{1}{100} \times 300 \times 850 = 2250mm^2$$

٤- حساب أصغر طول لمقطع العمود والتسليح اللازم

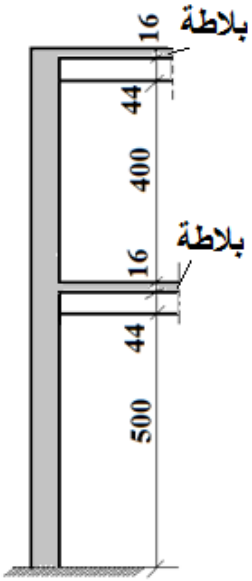
$$A_s^{'} = \frac{2.5}{100} \times 300h = 7.5h$$

$$2220000 \times 1 \times 1.3 = 0.8 \times 0.7\ (0.85 \times 20 \times 300h + 7.5h \times 400)$$

$$2886000 = 0.56\ (5100h + 3000h) \Rightarrow h = 637mm \approx 650mm$$

$$A_s^{'} = \frac{2.5}{100} \times 300 \times 650 = 4875mm^2$$

مسألة (٦-٩) الفصل الأول ٢٠١٤-٢٠١٥



عمود من البيتون المسلح ، ركني لبناء مؤلف من طابقين ، غير خاضع لإزاحة جانبية ، العمود بمقطع مستطيل أبعاده **b=250mm h=400mm** للطابقين حيث الحمولة المنقولة للعمود من كل طابق تساوي الحية **LL=30kN** والميتة **DL=70kN** دون الوزن الذاتي للعمود.

والمطلوب :

حساب التسليح الطولي اللازم في كل طابق إذا كانت الأساور عادية. $f_y = 360Mpa$

$f_c^{'} = 18Mpa$

الحل :

الوزن الذاتي :

$$S.W = 9 \times 0.4 \times 0.25 \times 25 = 22.5kN$$

الحمولة الميتة الحدية $g_u = (70 \times 2 + 22.5) \times 1.4 = 227.5kN$

الحمولة الحية الحدية $P_u = 30 \times 2 \times 1.7 = 102kN$

الحمولة الحدية الكلية $N_u = 227.5 + 102 = 329.5kN$

العوامل :

$$L_o = 5m \Rightarrow \frac{5000}{250} = 20 \Rightarrow K_b = 1.95 \qquad K_e = 1.7$$

التسليح :

$$N_u.K_b.K_e = 0.65 \times 0.8(0.85f_c'A_c' + A_s'f_y)$$

$$329500 \times 1.95 \times 1.7 = 0.65 \times 0.8(0.85 \times 20 \times 400 \times 250 + A_s \times 360)$$

$$A_s = 1585mm^2 \Rightarrow 6T20 = 1884mm^2 \Rightarrow \mu = 0.01884$$

تصميم العمود في الطابق الأول

الوزن الذاتي :

$$S.W = 4 \times 0.4 \times 0.25 \times 25 = 10kN$$

الحمولة الميتة الحدية $g_u = (70 + 10) \times 1.4 = 112kN$

الحمولة الحية الحدية $P_u = 30 \times 1.7 = 51kN$

الحمولة الحدية الكلية $N_u = 112 + 51 = 163kN$

العوامل :

$$L_o = 4m \Rightarrow \frac{4000}{250} = 16 \Rightarrow K_b = 1.21 \qquad K_e = 2$$

التسليح :

$$N_u.K_b.K_e = 0.65 \times 0.8(0.85f_c'A_c' + A_s'f_y)$$

$$329500 \times 1.95 \times 1.7 = 0.65 \times 0.8(0.85 \times 20 \times 400 \times 250 + A_s \times 360)$$

$$A_s = 1585mm^2 \Rightarrow 6T20 = 1884mm^2 \Rightarrow \mu = 0.01884$$

$$N_u.K_b.K_e = 0.65\times 0.8(0.85f_c^{'}A_c^{'} + A_s^{'}f_y)$$

$$163000\times 2\times 1.21 = 0.65\times 0.8(0.85\times 20\times 400\times 250 + A_s\times 360)$$

$$A_s = -2143mm^2 \Rightarrow A_{s\min} = 0.006\times 250\times 400 = 600mm^2$$

$$A_{s\min} = 0.01\times \frac{163000\times 2\times 1.21}{0.65\times 0.8\times 0.85\times 18} = 497mm^2 \Rightarrow$$

$$A_s = 600mm^2 \Rightarrow 6T12 = 679mm^2$$

الفصل السابع

الالتحام وشروط الإرساء

Bond and Anchorage

٧-١ مقدمة :

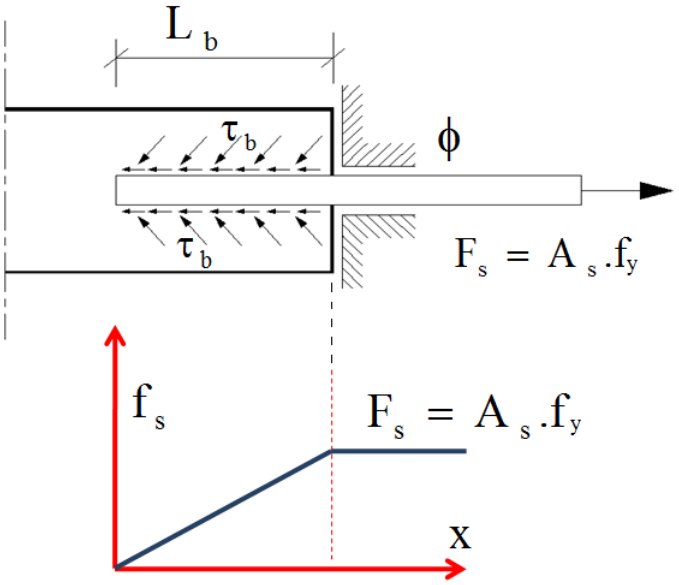
إن أهم الفرضيات الأساسية في البيتون المسلح هو العمل المشترك بين البيتون وحديد التسليح ، حيث يفترض أن يكون التلاحم بين قضبان التسليح والبيتون تام ويعملان معاً كمادة واحدة فلا يسمح للفولاذ الإنفصال عن البيتون مما يؤدي إلى تولد إجهادات في نقاط التماس بينهما ، لذا وجب على المهندس التحقق من أن قيمة الإجهادات التي تؤمن التماسك لا تزيد عن الإجهاد المسموح. إن حالات التحميل المختلفة للعنصر البيتوني تؤدي إلى تولد قوى داخلية في المقاطع المختلفة للعنصر ، وهذه القوى إما شاده أو ضاغطة وتعمل هذه القوى في منطقة مقطع قضيب التسليح إلى كسر الطوق البيتوني حول القضيب وعلى وطوله مما قد بسبب الانفصال وإفلات القضيب وتتأثر المقاومة ضد التماسك بعدد من العوامل :

- نوعية القضبان ملساء أو ذات نتواءات
- شكل قضبان التسليح مستقيمة أم معكوفاً
- موقع القضيب بالنسبة لسمك البيتون حوله
- نوعية البيتون ومقاومته على الكسر
- التسليح العرضي ونسبته

تحدد كل العوامل السابقة طول التثبيت اللازم لكي لا يفلت قضيب الفولاذ من البيتون

الإرساء : ينتج التلاحم والتماسك بين الحديد و البيتون نتيجة تشكل إجهادات تدعى إجهادات التماسك على سطح القضبان الفولاذية ، فإذا لم تكن هذه الإجهادات كافية لتحقيق

التماسك فإنه سيحصل انزلاق لقضبان التسليح ضمن البيتون ، مما يؤدي إلى عمل العنصر الإنشائي كعنصر بيتوني غير مسلح مما يسبب انهياره



الشكل (٧-١) تطور قوى التلاحم

$$F_s = \frac{\pi.\phi^2}{4} f_y = \pi.\phi.\tau_b.L_b \qquad (7\text{-}1)$$

٧-٢ إجهادات التماسك (أو التلاحم):

يعرف التماسك بأنه الخاصية المميزة التي تؤمن نقل الإجهادات ما بين مادتي البيتون والفولاذ تلقائياً أما إجهاد التماسك (أو التلاحم) : فهو بالتعريف الإجهاد الناشئ على السطح المشترك للبيتون وحديد التسليح والذي يسبب تماسك المادتين.

ويمكن إرجاع سبب نشوء إجهادات التماسك لعاملين أساسيين:

- التلاصق الميكانيكي بين المادتين أو ما يدعى بالاحتكاك والذي ينتج عن الخشونة الطبيعية لكلا المادتين.

- ارتكاز نتوءات الحلزنة في القضبان على البيتون الموجود في المسافة المحصورة بين النتوءات.

ويجب الملاحظة أن العامل الثاني لا يتواجد إلا في الحديد المحلزن بينما تعتمد القضبان الملساء على عامل الاحتكاك فقط ، لذا فإن اقتلاع القضبان الملساء أسهل من المحلزنة بالإضافة لتأثير التشوه العرضي للقضيب الذي يكون أثره واضحاً في القضبان الملساء. حيث يتضاءل مقطعها العرضي مما يساهم في سهولة اقتلاعها.

إذاً عند استخدام القضبان الملساء يجب تأمين إرساء منفذ بشكل سليم لتحقيق الأمان (وخاصة عند استخدام نهايات مستقيمة للقضبان ،أي بدون عكفات) ، وإلا فإن العنصر البيتوني المسلح لن تزداد مقاومته للقوى كثيراً عنه لو كان بيتونياً فقط ، لذلك يفضل أن يكون الاستخدام الرئيسي للقضبان الملساء في مقاومة القص (تسليح القص – الأساور) حيث يكون الإرساء فيها ميكانيكياً.

ولكن الكودات والدراسات الكثيرة حول هذا الموضوع جعلت المهندس يتخلص من عبئ هذا الحساب ، حيث تم تحديد اشتراطات لأطوال التماسك والإرساء والوصل وأشكال العكفات واشتراطاتها.

٧-٣ أطوال الإرساء وفقاً للكود العربي السوري:

نميز بين القضبان الملساء وتلك ذات النتوءات وبين المشدود منها أو المضغوط ، وذلك كما يلي:

- **طول التثبيت الأساسي في حالة الشد (التسليح المستقيم) :**

آ- الأسياخ ذات النتوءات:

$$L_b \min = 0.016\frac{f_y}{\sqrt{f'_c}}\phi^2 \geq \begin{cases} 0.075\phi f_y \\ 300\,mm \end{cases} \qquad (7\text{-}2)$$

على ألا يزيد قطر السيخ المستعمل عن 35mm

الجدول (٧-١-آ) طول التثبيت للقضبان المحلزنة في حالة الشد

$f_y = 240Mpa$

ϕ mm	f_c' Mpa					
	18	20	22	25	28	30
8	300	300	300	300	300	300
10	300	300	300	300	300	300
12	300	300	300	300	300	300
14	300	300	300	300	300	300
16	300	300	300	300	300	300
18	330	330	330	330	330	330
20	370	360	360	360	360	360
22	440	420	400	400	400	400
25	570	540	530	480	460	450
28	710	680	650	610	570	550
30	820	780	750	700	660	640

الجدول (٧-١-ب) طول التثبيت للقضبان المحلزنة في حالة الشد

$f_y = 300Mpa$

ϕ mm	f_c' Mpa					
	18	20	22	25	28	30
8	300	300	300	300	300	300
10	300	300	300	300	300	300
12	300	300	300	300	300	300
14	320	320	320	320	320	320
16	360	360	360	360	360	360
18	410	410	410	410	410	410
20	460	450	450	450	450	450
22	550	520	500	500	500	500
25	710	680	640	600	570	570
28	890	850	810	760	720	700
30	1020	970	930	870	820	790

الجدول (٧-١-ج) طول التثبيت للقضبان المحلزنة في حالة الشد

$f_y = 360Mpa$

ϕ mm	$f_c^{'}$ Mpa					
	18	20	22	25	28	30
8	300	300	300	300	300	300
10	300	300	300	300	300	300
12	330	330	330	330	330	330
14	380	380	380	380	380	380
16	440	440	440	440	440	440
18	490	490	490	490	490	490
20	550	540	540	540	540	540
22	660	630	600	600	600	600
25	850	810	770	720	690	680
28	1070	1010	970	910	860	830
30	1230	1160	1110	1040	980	950

الجدول (٧-١-د) طول التثبيت للقضبان المحلزنة في حالة الشد

$f_y = 400Mpa$

ϕ mm	$f_c^{'}$ Mpa					
	18	20	22	25	28	30
8	300	300	300	300	300	300
10	300	300	300	300	300	300
12	360	360	360	360	360	360
14	420	420	420	420	420	420
16	480	480	480	480	480	480
18	540	540	540	540	540	540
20	610	600	600	600	600	600
22	740	700	670	660	660	660
25	950	900	860	800	760	750
28	1190	1230	1070	1010	950	920
30	1360	1290	1230	1160	1090	1060

ب. الأسياخ الملساء:

$$L_b \min = 0.79\frac{f_y}{\sqrt{f'_c}}\phi \geq \begin{cases} 0.15\phi f_y \\ 300\,mm \end{cases} \qquad (7\text{-}3)$$

الجدول (٧-٢-آ) طول التثبيت للقضبان الملساء في حالة الشد

$f_y = 240Mpa$

ϕ mm	f'_c Mpa					
	18	20	22	25	28	30
8	300	300	300	300	300	300
10	360	340	330	310	300	300
12	450	430	410	380	360	360
14	540	510	490	460	440	440
16	630	600	570	540	510	510
18	720	680	650	610	580	580
20	810	770	730	690	650	650
22	900	850	810	760	720	720
25	990	940	890	840	800	800
28	1120	1060	1020	950	900	900
30	300	300	300	300	300	300

الجدول (٧-٢-ب) طول التثبيت للقضبان الملساء في حالة الشد

$f_y = 300Mpa$

ϕ mm	f'_c Mpa					
	18	20	22	25	28	30
8	340	320	310	300	300	300
10	450	430	410	380	360	360
12	560	530	510	480	450	450
14	680	640	610	570	540	540
16	790	750	710	670	630	630
18	900	850	810	760	720	720
20	1010	960	910	860	810	810
22	1120	1060	1020	950	900	900
25	1230	1170	1120	1050	990	990
28	1400	1330	1270	1190	1130	1130
30	340	320	310	300	300	300

الجدول (٧-٢-ج) طول التثبيت للقضبان الملساء في حالة الشد

$f_y = 360Mpa$

ϕ mm	$f_c^{'}$ Mpa					
	18	20	22	25	28	30
8	410	390	370	350	330	330
10	540	510	490	460	440	440
12	680	640	610	570	540	540
14	810	770	730	690	650	650
16	940	900	850	800	760	760
18	1080	1020	980	920	870	870
20	1210	1150	1100	1030	980	980
22	1350	1280	1220	1140	1080	1080
25	1480	1400	1340	1260	1190	1190
28	1680	1590	1520	1430	1350	1350
30	410	390	370	350	330	330

الجدول (٧-٢-د) طول التثبيت للقضبان الملساء في حالة الشد

$f_y = 400Mpa$

ϕ mm	$f_c^{'}$ Mpa					
	18	20	22	25	28	30
8	450	430	410	380	360	360
10	600	570	540	510	480	480
12	750	710	680	640	600	600
14	900	850	810	760	720	720
16	1050	990	950	890	840	840
18	1200	1140	1080	1020	960	960
20	1350	1280	1220	1140	1080	1080
22	1490	1420	1350	1270	1200	1200
25	1640	1560	1490	1400	1320	1320
28	1870	1770	1690	1580	1500	1500
30	450	430	410	380	360	360

على ألا يزيد قطر السيخ المستعمل عن 25mm ويشترط أن ينتهي طرف السيخ بعكفة.

وبعد أن نكون قد حسبنا القيمة في الحالتين آ و ب نقوم بضربها بالواحد أو بقيمة أكبر من الواحد وذلك وفق الجدول الموضح وهذه القيمة تعتمد على نوعية سيخ التسليح ومكان استعماله.

الجدول (٧-٣) معاملات تعديل طول التثبيت

نوعية سيخ التسليح ومكان استعماله	المعامل
تسليح علوي (تزيد سماكة البيتون تحته عن 300mm)	1.4
كل سيخ في رزمة مؤلفة من سيخين	1.2
كل سيخ في رزمة مؤلفة من ثلاثة أسياخ	1.4
أسياخ تزيد مساحة مقطعها عن متطلبات العزم الحاني (المنعطف)	(مساحة قطاع التسليح اللازم ÷ مساحة قطاع التسليح الفعلي) 1.1
كل سيخ خلاف ذلك	1.00

- **طول التثبيت الأساسي في حالة الضغط (التسليح المستقيم) :**

آ- الأسياخ ذات النتوءات:

$$L'_b\ min = 0.253\frac{f_y}{\sqrt{f'_c}}\phi \geq 0.05\phi f_y \qquad (7\text{-}4)$$

ب- الأسياخ الملساء:

$$L'_b\ min = \frac{2}{3}L_b = 0.527\frac{f_y}{\sqrt{f'_c}}\phi \geq 0.1\phi f_y \qquad (7\text{-}4)$$

الجدول (٧-٤-آ) طول التثبيت للقضبان المحلزنة في حالة الضغط

$f_y = 240Mpa$

ϕ mm	f_c' Mpa					
	18	20	22	25	28	30
8	120	110	100	100	100	100
10	150	140	130	130	120	120
12	180	170	150	150	150	150
14	210	200	180	180	170	170
16	230	220	200	200	200	200
18	260	250	220	220	220	220
20	290	280	250	250	240	240
22	320	300	270	270	270	270
25	360	340	310	310	300	300
28	410	390	350	350	340	340
30	430	410	370	370	360	360

الجدول (٧-٤-ب) طول التثبيت للقضبان المحلزنة في حالة الضغط

$f_y = 300Mpa$

ϕ mm	f_c' Mpa					
	18	20	22	25	28	30
8	150	140	130	130	120	120
10	180	170	160	160	150	150
12	220	210	190	190	180	180
14	260	240	220	220	210	210
16	290	280	250	250	240	240
18	330	310	280	280	270	270
20	360	340	310	310	300	300
22	400	380	340	340	330	330
25	450	430	380	380	380	380
28	510	480	430	430	420	420
30	540	510	460	460	450	450

الجدول (٧-٤-ج) طول التثبيت للقضبان المحلزنة في حالة الضغط

$f_y = 360Mpa$

ϕ mm	f_c' Mpa					
	18	20	22	25	28	30
8	180	170	150	150	150	150
10	220	210	190	190	180	180
12	260	250	220	220	220	220
14	310	290	260	260	260	260
16	350	330	300	300	290	290
18	390	370	330	330	330	330
20	430	410	370	370	360	360
22	480	450	410	410	400	400
25	540	510	460	460	450	450
28	610	580	520	520	510	510
30	650	620	550	550	540	540

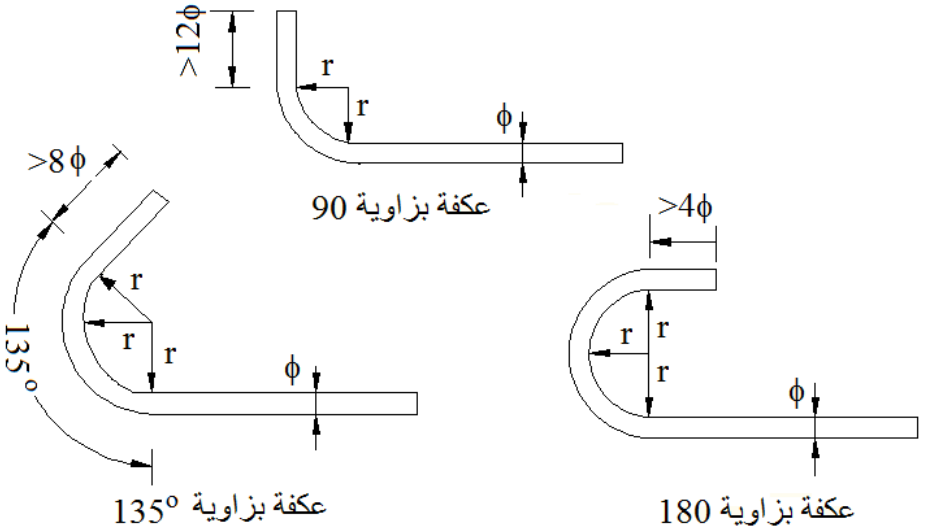
الجدول (٧-٤-د) طول التثبيت للقضبان المحلزنة في حالة الضغط

$f_y = 400Mpa$

ϕ mm	f_c' Mpa					
	18	20	22	25	28	30
8	200	190	170	170	160	160
10	240	230	210	210	200	200
12	290	280	250	250	240	240
14	340	320	290	290	280	280
16	390	370	330	330	320	320
18	430	410	370	370	360	360
20	480	460	410	410	400	400
22	530	500	450	450	440	440
25	600	570	510	510	500	500
28	670	640	570	570	560	560
30	720	680	610	610	600	600

٧-٤ أشكال العكفات النظامية:

يقاس نصف قطر الانحناء r في العكفات النظامية بالنسبة المولد الداخلي للقضيب $r \le 6\phi$



الشكل (٧-٢) أشكال العكفات النظامية

الجدول (٧-٥) جدول يبين نصف قطر الانحناء في العكفات

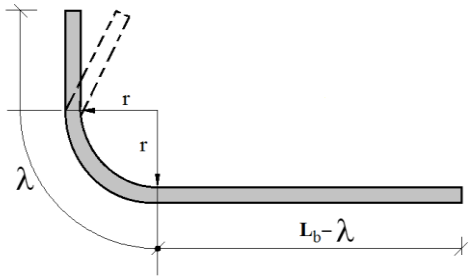
مكان العكفة	فولاذ أملس طري	فولاذ مع نتوءات عالي المقاومة
نهاية الأساوارة	2Φ	2.5Φ
نهاية قضيب مشدود	2.5Φ	Φ (من 5 إلى 3)

طول التثبيت المكافئ λ للعكفة النظامية 135 و 90

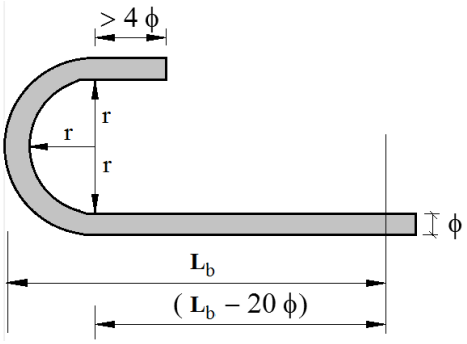
حالة التسليح العلوي : $4r \le 24\phi$

الحالات الأخرى : $6r \le 24\phi$

الطول المكافئ للعكفة يحسب ابتداء من بداية الانحناء بحيث يجب تأمين الطول $(L_b - \lambda)$ بعد هذه النقطة باتجاه الجزء المستقيم من السيخ لضمان الإرساء الكامل ابتداءً من النقطة (x)المبينة في الشكل



الشكل (٧-٢) الطول المكافئ للعكفة



الشكل (٧-٣) الطول المكافئ للعكفة

إن العكفة النظامية 180 لا تستخدم إلا في الأسياخ من الصلب الأملس الطري ويكون استخدامها إلزامياً في نهاية كل سيخ مشدود وفي هذه الحالة يقاس طول التثبيت L_b ابتداء من نهاية السيخ كما في الشكل إلا عند المساند الطرفية فتقاس باعتبار $\lambda = 20\phi$ للقضبان التي لا يزيد قطرها عن ٣٢مم

٧-٥ التحقق من التماسك وإيقاف قضبان التسليح:

يوجد نقاط رئيسية لكل قضيب تسليح، تشكل خطورة على انهيار التماسك ، أكثر من غيرها. وهي :

- نقاط إجهاد الشد أو الضغط القصوى في القضيب.
- النقاط التي تقطع أو تحنى فيها قضبان أخرى بجوارها
- مراكز انعدام العزوم
- النقاط التي تنتهي فيها القضبان الموجبة عند المساند.

٧-٥-١ التحقق في حالة قضبان تسليح الشد الموجبة :

يجب أن نتحقق من طول القضيب في الحالات الآتية :

I- نقاط إجهادات الشد القصوى :

- يجب التأكد من أن طول قضيب التسليح ما بين نقطة إجهاد الشد الأقصى وطرف القضيب لا يقل عن ($L_b + (12\phi$ أو d) (d : لارتفاع الفعال للمقطع.)
- في حالة إيقاف بعض القضبان قبل وصولها إلى المسند المجاور يجب ألا يقل طول القضبان الأخرى المستمرة ما بين نقطة الإيقاف النظرية وطرفها الحر عن ($L_b + (12\phi$ أو d)

II - نقاط انعدام العزم :

- يجب أن تحقق مساحة التسليح الموجب A_s وثخانة قضبانه الشرط الآتي

$$\frac{M_u}{V_u} + (12\phi \text{ أو } d) \geq L_b$$

حيث : M_u = طاقة المقطع عند انعدام العزم أي $M_u = 0.9A_s f_y.d$

V_u = قوة القص الحدية القصوى المطبقة على هذا المقطع .

III - النقاط عند المساند غير المستمرة :

آ- في حالة المساند غير المستمرة للجوائز ، يجب أن تحقق مساحة القضبان الموجبة الداخلة في المسند وثخانتها الشرط الآتي:

$$\frac{M_u}{V_u} + L_a \geq L_b$$

L_a : طول الاستمرار المستقيم للقضبان الموجبة ما بعد وجه الاستناد ويجب ألا يقل عن $12\phi + \frac{d}{2}$ وعن 30ϕ

ت-يمكن الاستغناء عن الشرط الوارد في الفقرة (آ) إذا تحقق الشرطان الآتيان معاً :

الشرط الأول : أن لا تقل مساحة قضبان الداخلة ضمن المسند غير المستمر عن $\frac{V_u}{0.9f_y}$

الشرط الثاني : أن تنتهي قضبان التسليح الموجبة الداخلة ضمن المسندبعكفة نظامية، تبدأ استدارتها بعد محور المسند، وأن لا يقل طول الإرساء المستقيم لهذه القضبان ضمن المسند عن 25 مرة قطرها ابتداء من وجه المسند.

٧-٥-٢ التحقق في حالة قضبان تسليح الشد السالبة :

- يجب أن نتحقق من أن طول القضيب ما بين المقطع الحرج وطرف القضيب لا يقل عن الطول (d أو $L_b + (12\phi$
- يجب أن لا تقل المسافة بين النقاط التي يمكن نظرياً إيقاف بعض القضبان فيها وذلك بالنسبة للقضبان الأخرى المستمرة وطرفها الحر عن $L_b + (12\phi$ أو d)

٧-٦ وصل القضبان :

عند عدم توفر قضبان تسليح بالأطوال المطلوبة ،يمكن اللجوء إلى وصل القضبان التي لا يزيد قطرها على ٣٢ مم على أن يتم تراكب القضبان الموصولة لمسافة لا تقل عن القيمالمعطاة في الجدول (٧-٦)

الجدول (٧-٦) جدول يبين طول التراكب

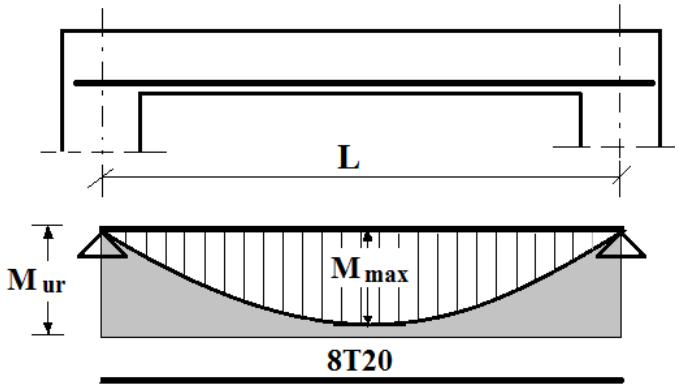
نوع القوة	التسليح المستعمل / التسليح المطلوب	طول التراكب	الحد الأدنى للتراكب
حالة الشد	أقل من 2	$1.3\ L_b$	35Φ+100mm
	أكثر أو يساوي 2	L_b	30Φ+100mm
حالة الضغط	جميع الحالات	$1.3\ L_b$	25Φ+150mm

- يجب ألا يزيد عدد القضبان الموصولة في المكان الواحد على نصف عدد القضبان بالمقطع.

- يمكن اللجوء إلى الوصل باللحام أو الوصل الميكانيكي ضمن شروط معينة.

٧-٧ إيقاف بعض قضبان الشد الرئيسي وفق مخطط العزم :

نفرض أنه لدينا جائز بسيط مقطعه ثابت و يحمل حمولة حدية موزعة بانتظام q_u على كامل المجاز L . العزم الأعظمي الحدي في منتصف المجاز يساوي $M_{u\max} = \frac{q_u L^2}{8}$، فإذا كان $A_s = 2400mm^2$ مساحة مقطع الفولاذ المطلوب لمقاومة العزم الحدي الأعظمي وتم اختيار ٨ قضبان بقطر ٢٠مم تعطي مساحة مقدارها $2512mm^2$ يكون العزم المقاوم مساوياً $M_{ur} \geq M_{u\max}$ ، الشكل (٧-٤)

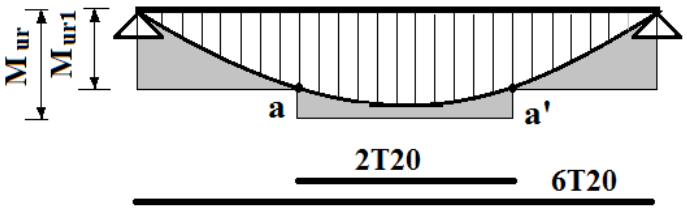


الشكل (٧-٤)

إذا تم تسليح الجائز بـ 8T20 على كامل المجاز، فإن العزم المقاوم سيكون ثابتاً على كامل طول الجائز نظراً لأن أبعاد المقطع ثابتة كما في الشكل (٧-٤).

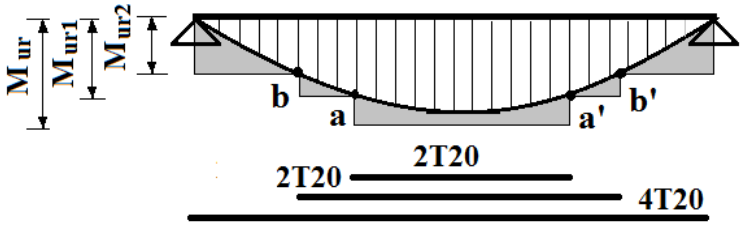
إن العزم الحدي يتغير من قيمة أعظمية في منتصف الجائز إلى الصفر عند المساند وبالتالي يمكن الاستغناء عن قسم من التسليح كلما اتجهنا نحو المساند.

فإذا كانت النقاط a و a' تمثل العزم الحدي الموافق لتسليح بستة قضبان فيمكن إيقاف قضبين عند هذه النقاط واستمرار ست قضبان إلى المساند كما في الشكل (٧-٥)



الشكل (٧-٥)

كذلك يمكن إيقاف قضبين آخرين عند النقاط b و 'b واستمرار أربع قضبان نحو المسند الشكل (٧-٦)



الشكل (٧-٦)

بهذه العملية نكون قد خفضنا قيمة الهدر في الفولاذ المستخدم لمقاومة اجهادات الشد.

ملاحظة :

- يجب أن تستمر القضبان المقطوعة إلى ما بعد نقاط الإيقاف النظرية بمقدار $L_b + (12\phi$ أو d)
- يجب أن يستمر على الأقل نصف التسليح السفلي على الأقل في الجوائز البسيطة إلى ما لا يقل عن 150mm داخل المسند.
- يجب أن يستمر على الأقل ثلث التسليح السفلي على الأقل في الجوائز المستمر إلى ما لا يقل عن 150mm داخل المسند.

٧-٨ التباعد بين قضبان التسليح:

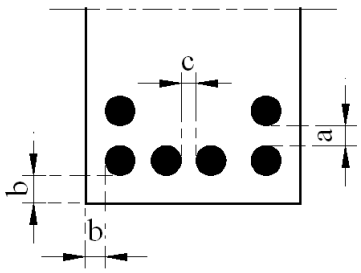
لكي يتم تأمين العمل المشترك بين التسليح والبيتون يجب أن يتم تغليف قضبان التسليح بشكل تام وتعبئة الفراغات الموجودة بين التسليح من جهة والقالب من جهة أخرى

- تأمين صب البيتون بشكل سليم دون حصول انفصال

- إمكانية رج البيتون

لذلك تحدد الكودات الخاصة الحدود الدنيا للمسافات بين قضبان التسليح بالاتجاهين الشاقولي والأفقي:

- تؤخذ المسافة الأفقية C بين القضبان أكبر القيم التالية :



- 20mm
- $0.75\ \Phi_{max}$
- المقاس الافتراضي الأكبر للبحص

أما المسافة الشاقولية a بين القضبان فتؤخذ أكبر القيم التالية :

- 25mm
- Φ_{max}
- مرة ونصف المقاس الافتراضي الأكبر للبحص

٧-٩ طبقة التغطية لفولاذ التسليح:

يجب ألا يقل البعد b عن القيم التالية :

- المنشآت الداخلية التي لا تتعرض لتأثيرات جوية مباشرة :
  - البلاطات 15mm
  - الجوائز والأعمدة 25mm
- المنشآت الداخلية المعرضة لتأثيرات جوية مباشرة :
  - البلاطات 20mm

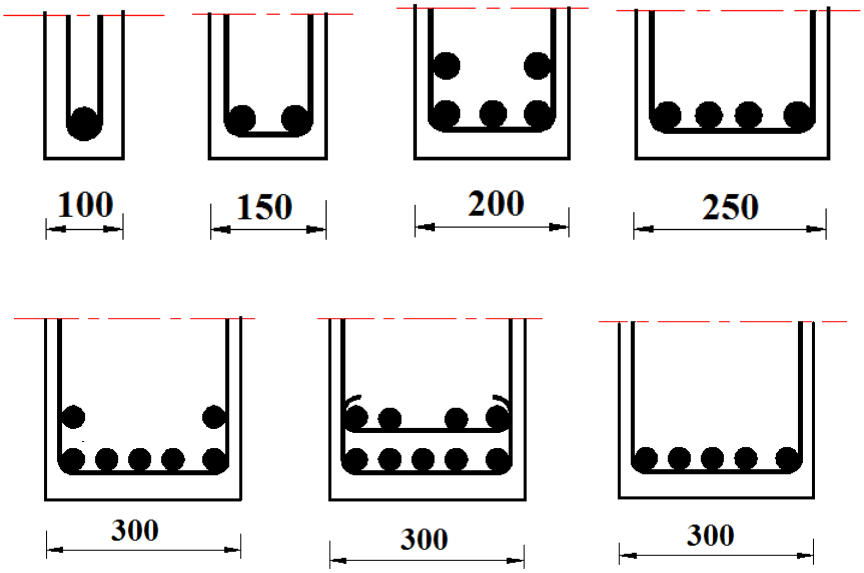
- الجوائز والأعمدة 30mm

- العناصر التي على تماس مباشر مع التربة بشكل مستمر:

- لا تقل عن 50mm

- يجب أن لا تقل سمك طبقة التغطية عن القيم المعطاة في جداول خاصة بمقاومة الحريق

الشكل (٧-٤) يبين عدد القضبان المسموح .



الشكل (٧-٤) عدد القضبان المسموح في المقطع

الملحق

الجدول (١-٢) مساحات مقاطع القضبان (mm^2) حسب القطر والعدد

القطر مم	عدد القضبان										وزن المتر الطولي kg
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
6	28	57	85	113	141	170	198	226	254	280	0.22
8	50	101	151	201	251	302	352	402	452	500	0.39
10	79	157	236	314	393	471	550	628	707	790	0.62
12	113	226	339	452	565	679	792	905	1018	1130	0.89
14	154	308	462	616	770	924	1078	1232	1385	1540	1.21
16	201	402	603	804	1005	1206	1407	1608	1810	2010	1.58
18	254	509	763	1018	1272	1527	1781	2036	2290	2540	2.00
20	314	628	942	1257	1571	1885	2199	2513	2827	3140	2.47
22	380	760	1140	1521	1901	2281	2661	3041	3421	3800	2.98
25	491	982	1473	1963	2454	2945	3436	3927	4418	4910	3.85
28	616	1232	1847	2463	3079	3695	4310	4926	5542	6160	4.83
30	707	1414	2121	2827	3534	4241	4948	5655	6362	7070	5.55

$$\alpha = \frac{15}{15 + \frac{\overline{\sigma}_s}{\overline{\sigma}'_c}} \qquad \varepsilon = 1 - \frac{\gamma}{3} \qquad \gamma = \sqrt{\frac{2}{\alpha.\varepsilon.\overline{\sigma}'_c}}$$

الجدول (٢) ثوابت الطريقة المرنة (الكلاسيكية)

$\overline{\sigma}_s$ MPa	$\overline{\sigma}'_c$ MPa	α	ε	γ
120	6	0.429	0.857	0.953
	7	0.467	0.844	0.851
	8	0.500	0.833	0.775
	9	0.529	0.824	0.714
	10	0.556	0.815	0.665
	11	0.579	0.807	0.624
	12	0.600	0.800	0.589
130	6	0.409	0.864	0.971
	7	0.447	0.851	0.867
	8	0.480	0.840	0.787
	9	0.509	0.830	0.725
	10	0.536	0.821	0.674
	11	0.559	0.814	0.632
	12	0.581	0.806	0.597
140	6	0.391	0.870	0.990
	7	0.429	0.857	0.882
	8	0.462	0.846	0.800
	9	0.491	0.836	0.736
	10	0.517	0.828	0.684
	11	0.541	0.820	0.640
	12	0.563	0.813	0.604
150	6	0.375	0.875	1.008
	7	0.412	0.863	0.897
	8	0.444	0.852	0.813
	9	0.474	0.842	0.746
	10	0.500	0.833	0.693
	11	0.524	0.825	0.648
	12	0.545	0.818	0.611

تابع جدول (٢) ثوابت الطريقة المرنة (الكلاسيكية)

$\bar{\sigma}_s$ MPa	$\bar{\sigma}'_c$ MPa	α	ε	γ
160	6	0.360	0.880	1.026
	7	0.396	0.868	0.911
	8	0.429	0.857	0.825
	9	0.458	0.847	0.757
	10	0.484	0.839	0.702
	11	0.508	0.831	0.657
	12	0.529	0.824	0.618
170	6	0.346	0.885	1.043
	7	0.382	0.873	0.926
	8	0.414	0.862	0.837
	9	0.443	0.852	0.767
	10	0.469	0.844	0.711
	11	0.493	0.836	0.665
	12	0.514	0.829	0.625
180	6	0.333	0.889	1.061
	7	0.368	0.877	0.940
	8	0.400	0.867	0.849
	9	0.429	0.857	0.778
	10	0.455	0.848	0.720
	11	0.478	0.841	0.673
	12	0.500	0.833	0.632
190	6	0.321	0.893	1.078
	7	0.356	0.881	0.954
	8	0.387	0.871	0.861
	9	0.415	0.862	0.788
	10	0.441	0.853	0.729
	11	0.465	0.845	0.680
	12	0.486	0.838	0.639

تابع جدول (٢) ثوابت الطريقة المرنة (الكلاسيكية)

$\bar{\sigma}_s$ MPa	$\bar{\sigma}'_c$ MPa	α	ε	γ
200	6	0.310	0.897	1.095
	7	0.344	0.885	0.968
	8	0.375	0.875	0.873
	9	0.403	0.866	0.798
	10	0.429	0.857	0.738
	11	0.452	0.849	0.688
	12	0.474	0.842	0.646
210	6	0.300	0.900	1.111
	7	0.333	0.889	0.982
	8	0.364	0.879	0.884
	9	0.391	0.870	0.808
	10	0.417	0.861	0.747
	11	0.440	0.853	0.696
	12	0.462	0.846	0.653
220	6	0.290	0.903	1.127
	7	0.323	0.892	0.996
	8	0.353	0.882	0.896
	9	0.380	0.873	0.818
	10	0.405	0.865	0.755
	11	0.429	0.857	0.704
	12	0.450	0.850	0.660
230	6	0.281	0.906	1.144
	7	0.313	0.896	1.009
	8	0.343	0.886	0.907
	9	0.370	0.877	0.828
	10	0.395	0.868	0.764
	11	0.418	0.861	0.711
	12	0.439	0.854	0.667

جدول (٣) قيم α من أجل $f_y = 240Mpa$

$f_c^{'}$ Mpa	18	20	22	24	25	26	28
$\mu_{min}\%$	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
$\mu_{max}\%$	2.940	3.266	3.593	3.920	4.083	4.246	4.573
$\mu\%$	α						
0.375	0.059	0.053	0.048	0.044	0.042	0.041	0.038
0.40	0.063	0.056	0.051	0.047	0.045	0.043	0.040
0.55	0.086	0.078	0.071	0.065	0.062	0.060	0.055
0.70	0.110	0.099	0.090	0.082	0.079	0.076	0.071
0.85	0.133	0.120	0.109	0.100	0.096	0.092	0.086
1.00	0.157	0.141	0.128	0.118	0.113	0.109	0.101
1.15	0.180	0.162	0.148	0.135	0.130	0.125	0.116
1.30	0.204	0.184	0.167	0.153	0.147	0.141	0.131
1.45	0.227	0.205	0.186	0.171	0.164	0.157	0.146
1.60	0.251	0.226	0.205	0.188	0.181	0.174	0.161
1.75	0.275	0.247	0.225	0.206	0.198	0.190	0.176
1.90	0.298	0.268	0.244	0.224	0.215	0.206	0.192
2.05	0.322	0.289	0.263	0.241	0.232	0.223	0.207
2.20	0.345	0.311	0.282	0.259	0.248	0.239	0.222
2.35	0.369	0.332	0.302	0.276	0.265	0.255	0.237
2.50	0.392	0.353	0.321	0.294	0.282	0.271	0.252
2.65	0.416	0.374	0.340	0.312	0.299	0.288	0.267
2.80	0.439	0.395	0.359	0.329	0.316	0.304	0.282
2.94	0.461	0.415	0.377	0.346	0.332	0.319	0.296
3.09		0.436	0.397	0.363	0.349	0.336	0.312
3.24		0.457	0.416	0.381	0.366	0.352	0.327
3.27		0.461	0.419	0.384	0.369	0.355	0.329
3.42			0.438	0.402	0.386	0.371	0.344
3.59			0.461	0.423	0.406	0.390	0.362
3.74				0.440	0.423	0.406	0.377
3.89				0.458	0.440	0.423	0.393
3.92				0.461	0.443	0.426	0.395
4.08					0.461	0.443	0.412
4.25						0.461	0.428
4.40							0.443
4.55							0.458
4.57							0.461

$$\mu_{min}\% = 100\frac{0.9}{f_y} \qquad \alpha = \mu\frac{f_y}{0.85f_c^{'}} \qquad \mu_{max}\% = 100\times 0.75\mu_b = 100\frac{341.38}{630+f_y}\frac{f_c^{'}}{f_y}$$

جدول (٤) قيم α من أجل $f_y = 360Mpa$

$f_c^{'}$ Mpa	18	20	22	24	25	26	28
$\mu_{min}\%$	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
$\mu_{max}\%$	1.722	1.914	2.105	2.296	2.392	2.488	2.679
$\mu\%$	α						
0.25	0.059	0.053	0.048	0.044	0.042	0.041	0.038
0.35	0.082	0.074	0.067	0.062	0.059	0.057	0.053
0.45	0.106	0.095	0.087	0.079	0.076	0.073	0.068
0.55	0.129	0.116	0.106	0.097	0.093	0.090	0.083
0.65	0.153	0.138	0.125	0.115	0.110	0.106	0.098
0.75	0.176	0.159	0.144	0.132	0.127	0.122	0.113
0.85	0.200	0.180	0.164	0.150	0.144	0.138	0.129
0.95	0.224	0.201	0.183	0.168	0.161	0.155	0.144
1.05	0.247	0.222	0.202	0.185	0.178	0.171	0.159
1.15	0.271	0.244	0.221	0.203	0.195	0.187	0.174
1.25	0.294	0.265	0.241	0.221	0.212	0.204	0.189
1.35	0.318	0.286	0.260	0.238	0.229	0.220	0.204
1.45	0.341	0.307	0.279	0.256	0.246	0.236	0.219
1.55	0.365	0.328	0.298	0.274	0.263	0.252	0.234
1.65	0.388	0.349	0.318	0.291	0.280	0.269	0.250
1.72	0.405	0.365	0.332	0.304	0.292	0.281	0.261
1.82		0.386	0.351	0.322	0.309	0.297	0.276
1.91		0.405	0.368	0.338	0.324	0.312	0.289
2.01			0.388	0.355	0.341	0.328	0.305
2.10			0.405	0.371	0.357	0.343	0.318
2.20				0.389	0.374	0.359	0.334
2.30				0.405	0.389	0.374	0.347
2.39					0.405	0.390	0.362
2.49						0.405	0.376
2.59							0.391
2.68							0.405

$$\mu_{min}\% = 100\frac{0.9}{f_y} \qquad \alpha = \mu\frac{f_y}{0.85f_c^{'}} \qquad \mu_{max}\% = 100\times 0.75\mu_b = 100\frac{341.38}{630+f_y}\frac{f_c^{'}}{f_y}$$

جدول (٥) قيم α من أجل $f_y = 400Mpa$

$f_c^{'}$ Mpa	18	20	22	24	25	26	28
$\mu_{min}\%$	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225
$\mu_{max}\%$	1.490	1.655	1.821	1.986	2.069	2.152	2.317
$\mu\%$	α						
0.225	0.059	0.053	0.048	0.044	0.042	0.041	0.038
0.31	0.080	0.072	0.065	0.060	0.057	0.055	0.051
0.39	0.101	0.091	0.082	0.075	0.072	0.070	0.065
0.47	0.122	0.109	0.099	0.091	0.088	0.084	0.078
0.55	0.142	0.128	0.117	0.107	0.103	0.099	0.092
0.63	0.163	0.147	0.134	0.123	0.118	0.113	0.105
0.71	0.184	0.166	0.151	0.138	0.133	0.128	0.118
0.79	0.205	0.185	0.168	0.154	0.148	0.142	0.132
0.87	0.226	0.204	0.185	0.170	0.163	0.157	0.145
0.95	0.247	0.222	0.202	0.185	0.178	0.171	0.159
1.03	0.268	0.241	0.219	0.201	0.193	0.186	0.172
1.11	0.289	0.260	0.236	0.217	0.208	0.200	0.186
1.19	0.310	0.279	0.253	0.232	0.223	0.214	0.199
1.27	0.331	0.298	0.271	0.248	0.238	0.229	0.213
1.35	0.352	0.316	0.288	0.264	0.253	0.243	0.226
1.43	0.373	0.335	0.305	0.279	0.268	0.258	0.239
1.49	0.389	0.351	0.319	0.292	0.280	0.270	0.250
1.57		0.369	0.336	0.308	0.295	0.284	0.264
1.66		0.389	0.354	0.325	0.312	0.300	0.278
1.74			0.371	0.340	0.327	0.314	0.292
1.82			0.389	0.357	0.343	0.330	0.306
1.90				0.373	0.358	0.344	0.319
1.99				0.389	0.374	0.360	0.334
2.07					0.389	0.375	0.348
2.15						0.389	0.362
2.23							0.375
2.32							0.389

$$\mu_{min}\% = 100\frac{0.9}{f_y} \qquad \alpha = \mu\frac{f_y}{0.85f_c^{'}} \qquad \mu_{max}\% = 100\times 0.75\mu_b = 100\frac{341.38}{630+f_y}\frac{f_c^{'}}{f_y}$$

جدول (٦) قيم φ من أجل المقاطع بتسليح ثنائي

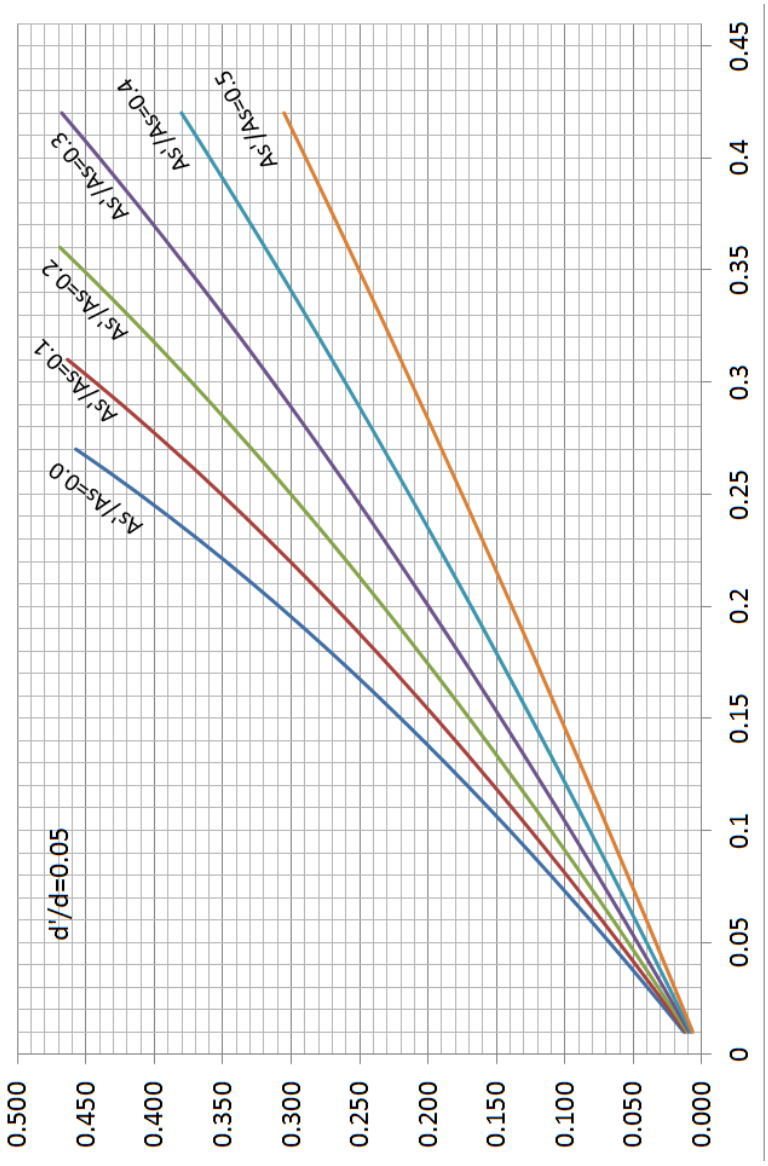
$\beta = 0.05$ $R = \frac{M_u}{b.d^2.f_c'}$	φ					
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.01	0.013	0.012	0.011	0.009	0.008	0.007
0.02	0.026	0.024	0.021	0.019	0.016	0.013
0.03	0.040	0.036	0.032	0.028	0.024	0.020
0.04	0.054	0.048	0.043	0.038	0.032	0.027
0.05	0.068	0.061	0.054	0.047	0.041	0.034
0.06	0.082	0.073	0.065	0.057	0.049	0.041
0.07	0.096	0.086	0.076	0.067	0.057	0.047
0.08	0.111	0.099	0.088	0.076	0.065	0.054
0.09	0.126	0.112	0.099	0.086	0.074	0.061
0.1	0.141	0.125	0.111	0.096	0.082	0.068
0.12	0.172	0.152	0.134	0.116	0.099	0.082
0.14	0.204	0.180	0.158	0.137	0.116	0.096
0.16	0.237	0.209	0.182	0.157	0.133	0.110
0.18	0.272	0.239	0.208	0.179	0.151	0.125
0.2	0.309	0.269	0.233	0.200	0.169	0.139
0.22	0.348	0.301	0.260	0.222	0.187	0.153
0.24	0.390	0.334	0.287	0.244	0.205	0.168
0.26	0.434	0.369	0.315	0.267	0.223	0.183
0.27	0.458	0.387	0.329	0.278	0.233	0.190
0.28		0.405	0.343	0.290	0.242	0.198
0.3		0.444	0.373	0.314	0.261	0.213
0.31		0.464	0.388	0.326	0.270	0.220
0.32			0.404	0.338	0.280	0.228
0.34			0.436	0.362	0.300	0.243
0.36			0.469	0.388	0.319	0.258
0.38				0.414	0.339	0.274
0.4				0.440	0.360	0.290
0.42				0.468	0.380	0.305

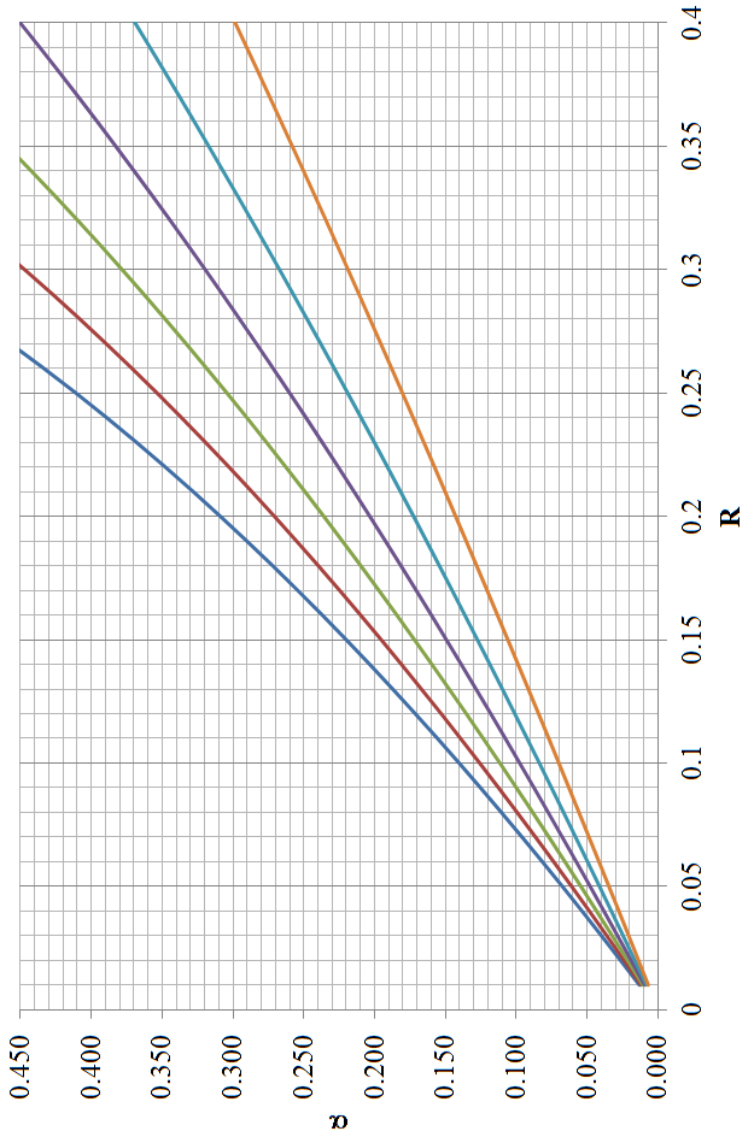
جدول (٦) قيم φ من أجل المقاطع بتسليح ثنائي

$\beta = 0.08$ $R = \frac{M_u}{b.d^2.f_c'}$	φ					
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.01	0.013	0.012	0.011	0.009	0.008	0.007
0.02	0.026	0.024	0.021	0.019	0.016	0.014
0.03	0.040	0.036	0.032	0.028	0.024	0.021
0.04	0.054	0.048	0.043	0.038	0.033	0.027
0.05	0.068	0.061	0.054	0.048	0.041	0.034
0.06	0.082	0.074	0.066	0.057	0.049	0.041
0.07	0.096	0.086	0.077	0.067	0.058	0.048
0.08	0.111	0.099	0.088	0.077	0.066	0.055
0.09	0.126	0.112	0.100	0.087	0.075	0.062
0.1	0.141	0.126	0.111	0.097	0.083	0.069
0.11	0.156	0.139	0.123	0.107	0.092	0.076
0.12	0.172	0.153	0.135	0.117	0.100	0.084
0.14	0.204	0.181	0.159	0.138	0.118	0.098
0.16	0.237	0.210	0.184	0.159	0.135	0.112
0.18	0.272	0.239	0.209	0.180	0.153	0.127
0.2	0.309	0.270	0.235	0.202	0.171	0.141
0.22	0.348	0.302	0.262	0.224	0.189	0.156
0.24	0.390	0.336	0.289	0.247	0.208	0.171
0.25	0.411	0.353	0.303	0.258	0.217	0.178
0.26	0.434	0.371	0.317	0.270	0.227	0.186
0.27	0.458	0.389	0.332	0.282	0.236	0.194
0.28		0.407	0.346	0.293	0.246	0.201
0.29		0.426	0.361	0.305	0.255	0.209
0.3		0.446	0.376	0.317	0.265	0.216
0.31		0.466	0.392	0.330	0.274	0.224
0.32			0.408	0.342	0.284	0.232
0.33			0.424	0.354	0.294	0.240
0.34			0.440	0.367	0.304	0.247
0.35			0.457	0.380	0.314	0.255
0.36				0.393	0.324	0.263

جدول (٦) قيم φ من أجل المقاطع بتسليح ثنائي

$\beta = 0.1$ $R = \frac{M_u}{b.d^2.f_c'}$	φ					
	0	**0.1**	**0.2**	**0.3**	**0.4**	**0.5**
0.01	0.013	0.012	0.011	0.009	0.008	0.007
0.02	0.026	0.024	0.022	0.019	0.016	0.014
0.03	0.040	0.036	0.032	0.029	0.025	0.021
0.04	0.054	0.049	0.043	0.038	0.033	0.028
0.05	0.068	0.061	0.055	0.048	0.041	0.035
0.06	0.082	0.074	0.066	0.058	0.050	0.042
0.07	0.096	0.087	0.077	0.068	0.058	0.049
0.08	0.111	0.100	0.089	0.078	0.067	0.056
0.09	0.126	0.113	0.100	0.088	0.075	0.063
0.1	0.141	0.126	0.112	0.098	0.084	0.070
0.12	0.172	0.153	0.136	0.118	0.101	0.084
0.14	0.204	0.181	0.160	0.139	0.119	0.099
0.16	0.237	0.210	0.185	0.160	0.137	0.113
0.18	0.272	0.240	0.210	0.182	0.154	0.128
0.2	0.309	0.271	0.236	0.204	0.173	0.143
0.22	0.348	0.303	0.263	0.226	0.191	0.158
0.24	0.390	0.337	0.291	0.249	0.210	0.173
0.26	0.434	0.372	0.319	0.272	0.229	0.188
0.27	0.458	0.390	0.333	0.284	0.238	0.196
0.28		0.409	0.348	0.296	0.248	0.204
0.3		0.447	0.379	0.320	0.267	0.219
0.31		0.468	0.394	0.332	0.277	0.227
0.32			0.410	0.345	0.287	0.235
0.34			0.443	0.370	0.307	0.250
0.35			0.460	0.383	0.317	0.258
0.36				0.396	0.328	0.266
0.38				0.423	0.348	0.282
0.4				0.451	0.369	0.299
0.41				0.465	0.380	0.307


d'/d=0.05
As'/As=0.0
As'/As=0.1
As'/As=0.2
As'/As=0.3
As'/As=0.4
As'/As=0.5
0.500
0.450
0.400
0.350
0.300
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
0
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
0.35
0.4
0.45


R
0
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
0.35
0.4
ω
0.450
0.400
0.350
0.300
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000

المراجع العلمية

١- الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة
نقابة المهندسين – الطبعة الرابعة – دمشق ٢٠١٢
٢- منشآت البيتون المسلح (٣) – د.م محمد فريز عابدين د.م نادر نبيل أنيس
منشورات جامعة حلب –كلية الهندسة المدنية – حلب ١٩٩٦
٣- المبسط في البيتون المسلح
م. حسين بطيخة و محمد بدر المصري –مكتبة المهندس العربي
٤- دليل حساب العناصر البيتونية المسلحة باستخدام الطريقة الحدية
م. عبدالغني كبة – نقابة المهندسين –فرع حلب– ١٩٩٨
٥- نظريات البيتون المسلح – ج١ د. محمود نوفل، د. أسامة النحاس، منشورات جامعة دمشق – ١٩٨١.
٦- نظريات البيتون المسلح – ج٢ د. محمود نوفل، د. أسامة النحاس، منشورات جامعة دمشق – ١٩٨٢.
٧- البيتون المسلح – د. نادر نبيل أنيس، منشورات جامعة حلب – ١٩٧٨.
٨- دليل المهندس الإنشائي، د. محمد سليمان تادفي – ١٩٨٣.
٩- منشآت البيتون المسلح – ج١ د. محمود نوفل، د. محمود وردة ، د. أسامة النحاس، منشورات جامعة دمشق – ١٩٨٨.
١٠- منشآت البيتون المسلح /٣/ د.منيب العلاف منشورات جامعة البعث – ١٩٩٥
١١- البيتون المسلح (٢)– د. تامر الحجة، د. عصام ملحم، منشورات جامعة البعث – ١٩٩٤

1- Design of Reinforced Concrete 7th Edition ACI 318-05 Cod Edition Jack C. McCormac & James K. Nelson John Wiley & Sons, Inc. 2005

2- Reinforced Concrete Design Theory and Example 2th T.J.MacGinley. Taylor & Francis e-Library, 2003.

3- Structural Concrete Mechanics & Design
James G. MacGregor
6th Edition Pearson Eduction Inc. 2009

4- Reinforced Concrete Design Theory and Example 2th T.J.MacGinley. Taylor & Francis e-Library, 2003.

5- Building Code Requirements For Structural Concrete and Commentary (ACI 318M-05) . American Concrete Institute

6- Design of Reinforced Concrete 9th Edition Jack C. McCromac & Russell H. Brown 2014, 2009, 2006, 2005 John Wiley & Sons, Inc.

7- Design of Concrete Structural 14th Edition Arthur H. Nilson , David Darwin ,Charles Dolan. MacGrawn Hill Higher eduction , 2010

8- Structural Concrete Theory & Design
M. Nadim Hassoun Akthem Al-manaseer 5th Edition
Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.2012

المصطلحات العلمية	
A	
Allowable stress	الإجهاد المسموح
Action	فعل
Anchorage	واسطة تثبيت (مرسى)
At transfer	عند النقل (التنفيذ)
Axis	محور
B	
Balanced steel ratio	نسبة التسليح التوازنية
Bar	قضيب
Beam	جائز
Behavior	سلوك
Bending Moment	عزم انعطاف
Bond	تماسك
Buckling	تحنيب، انبعاج
C	
Coefficient	معامل
Compressive stresses	إجهادات ضغط
Concrete	بيتون
Concentrated load	حمولة مركزة
Construction	إنشاء
Cover	تغطية
Creep	زحف

Critical Section	المقطع الحرج
D	
Dead load	حمولة ميتة
Deflection	السهم
Deformation	تشوه ، تغير
Dome	قبة
E	
Earthquake load	حمولة الزلزال
Earth pressure	ضغط التربة
Eccentric load	حمولة لا محورية
Effective depth	الارتفاع الفعال
Effective span	المجاز الفعال
F	
Failure	انهيار
Fiber	ليف
Flat slabs	بلاطات مستوية
Force	قوة
Four way reinforcement	تسليح بأربع اتجاهات
Fixed base	قاعدة موثوقة
Frame	إطار
G	
Gusset	شطفة
H	

Helical stair	درج حلزوني
High tensile steel	فولاذ عالي المقاومة
Hinged base	قاعدة مفصلية
Hoping	تطويق
I	
Inertia	عطالة
Internal force	قوى داخلية
J	
Junction	وصلة، تربيط
Joint	عقدة، فاصل
L	
Liquid pressure	ضغط السائل
Lever Arm	ذراع الرافعة
Limit state	حالة حدية
Live load	حمولة حية
M	
Materials	مواد
Maximum moment	عزم أعظمي
Middle strip	شريحة وسطية (مجازية)
Mild steel	فولاذ مرن أو مطاوع
Modulus of elasticity	معاير المرونة
Modulus of the foundation	معامل الأساس
Moment of Inertia	عزم العطالة

Mortar	مونة، ملاط
Mushroom slab	بلاطة فطرية (لا جائزية)
N	
Negative moment	عزم سالب
Neutral axis	محور حيادي (سليم)
Normal force	القوة العمودية أو المحورية
O	
One way Reinforcement	تسليح باتجاه وحيد
One way slab	بلاطة وحيدة الاتجاه
P	
Panel	شريحة من بلاطة
Percentage of reinforcement	نسبة التسليح
Permissible stress	الإجهاد المسموح
Pipes	أنابيب
Plasticity	لدانة
Pile foundation	أساس على أوتاد
Pile cap	قبعة الأوتاد
Post – tension	شد سابق
Pressure	ضغط
Pre – Tension	شد سابق
Positive moment	عزم موجب
Projection Line	خط عرضاني (معترض)
Proof stress of steel	إجهاد الضمان للفولاذ (حد المرونة

الاسمي)	
مخروط الثقب أو القص	Punching cone
R	
نصف قطر	Radius
نسبة	Ratio
رد فعل	Reaction
مقطع مستطيل	Rectangular section
تسليح	Rei forcemeat
بيتون مسلح	Reinforced concrete
ارتخاء	Relaxation
محصلة	Resultant
فعل حلقي	Ring action
فاصل مطاطي	Rubber joint
حمولة الانهيار	Rupture load
S	
مقطع	Section
وزن ذاتي	Self weight
تسليح القص	Shear Reinforcement
إجهاد القص	Shear stress
قاعدة منزلقة (حرة)	Striding base
بلاطة	Slab
مجاز (البحر)	Span
نحافة	Slenderness

Stability	استقرار
Steel compressive	فولاذ مضغوط
Structure	منشأ
Strain	تشوه نسبي
Strength	مقاومة
Stirrups	أساور (كانات)
System	نظام
T	
Tensile stress	إجهاد شد
Tensile Reinforcement	تسليح مشدود
Tension link	خط شد
Test	تجربة
Theory	نظرية
Thickness	سماكة
Tensional moment	عزم فتل
Tow way Reinforcement	التسليح باتجاهين
U	
Ultimate strength	المقاومة الحدية (القصوى)
Ultimate load	حمولة حدية
Uniform load	حمولة منتظمة
Uniformly distributed load	حمولة موزعة بانتظام
V	
Value	قيمة

Vertical	شاقولي
W	
Wall	جدار
Wedge	لقمة (واسطة تثبيت)، إسفين
Web of beam	جسد الجائز
Wind load	حمولة الريح
Y	
Yield strength	مقاومة الخضوع (السيلان)