محاضرات مادة خرسانة مسلحة /1/

لطلاب السنة الثالثة

(هندسة مدنية)

الدكتور نزيه يعقوب منصور

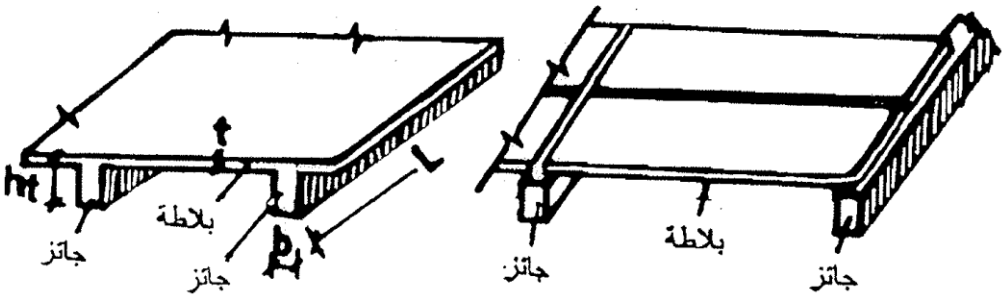
2026 - 2025

المحاضرة الثالثة والرابعةوالخامسة

العناصر الخرسانية المسلحة الخاضعة للانعطاف (الانحناء البسيط)

مقدمة : العناصر الخاضعة للانعطاف

إن أكثر العناصر المعرضة للانعطاف انتشارا في إنشاءات البيتون المسلح هي البلاطات والجوائز، فالبلاطات هي العناصر الانشائية المستوية التي تكون سماكتها بالنسبة الى البعدين الأخرين صغيرة جدا والتي تتحمل حمولات عمودية على مستويها، أما الجوائز فهي العناصر المستقيمة التي يكون طولها أكبر بكثير من ارتفاعها وعرضها وتتحمل حمولات تقع في مستوى عمودي على محورها الطولي . وقد تكون البلاطات والجوائز وحيدة المجاز أو متعددة المجازت (مستمرة)، وقد تكون مستقلة أو مركبة حيث ترتبط البلاطات بالجوائز ، (شكل 4 - 1)

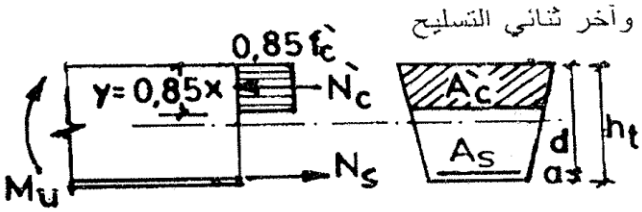


شكل 4 - 1 - العناصر البيتونية المسلحة المعرضة لعزم انعطاف بلاطات وجوائز

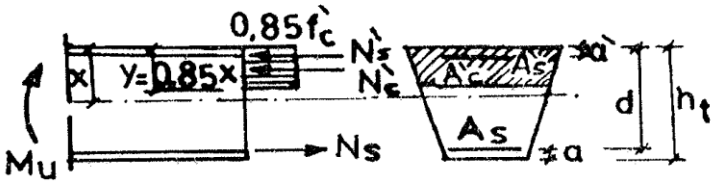
يتم تصميم وتحقيق العناصر الانشائية مع مراعاة الناحية الاقتصادية لاستهلاك المواد (بيتون وفولاذ) وتحقيق عامل الأمان المحدد في النظم والذي يضمن سلامة العنصر أو المنشأ خلال فترة الاستثمار .

يفضل تصميم المقاطع المعرضة لعزم انعطاف بحيث يكون تسليحها أحاديا أي وجود تسليح عامل في منطقة الشد ويتحمل البيتون وحده اجهادات الضغط،

وفي بعض الحالات التي تحكم فيها الناحية المعمارية أن يكون للعنصر الانشائي مقطعا محددا لا يمكن تجاوزه عندئذ قد يلزم استخدام تسليح ثنائي أي وضع تسليح عامل أيضا في منطقة الضغط ليشارك البيتون في تحمل تلك الاجهادات . كما قد يستخدم تسليح ضغط أيضا في غير تلك الحالة عندما يلزم التخفيف من أثر السهوم الناتجة عن التحميل طويل الأمد . ويبين الشكل 4 – 2 – عنصرا خاضعا لعزم انعطاف أحادي التسليح وآخر ثنائي التسليح



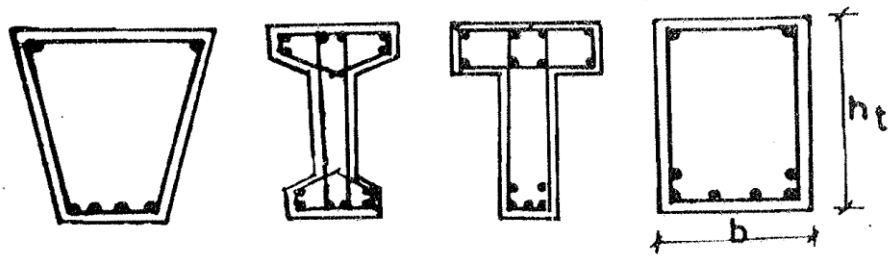
آ – عنصر مسلح بتسليح أحادي



ب – عنصر مسلح بتسليح ثنائي

شكل 4 – 2 – العناصر الخاضعة لعزم انعطاف

إن المقاطع العرضية الأكثر انتشارا للجوائز هي المستطيلة ، بشكل T ، I وعلى شكل شبه منحرف، شكل 4 – 3 .



شكل 4 – 3 – أشكال المقاطع العرضية للجوائز مع مخططات التسليح .

يؤخذ ارتفاع مقطع الجائز عادة مساويا ضعف أو ثلاثة أضعاف عرضه أي $h_t = (2-3)b$ ويتعلق ذلك بالمتطلبات الانشائية والمعمارية ويفضل أن تكون أبعاد المقطع من مضاعفات الـ 50 mm ويكون تسليح الجوائز على ثلاثة أنواع هي :

- التسليح الطولي الرئيسي وهو التسليح الحسابي الذي ينتج تبعا لقيمة عزم الانعطاف المطبق على المقطع .
- التسليح العرضي أي أساور و قضبان مرفوعة وقد يكون هذا التسليح حسابي أو إنشائي .
- التسليح الثانوي للربط وللتقلص .

ينص الكود العربي السوري على الاشتراطات العامة للجوائز الخرسانية (الكمرات):

٧ – ٢ – الجوائز (الكمرات):

٧ – ٢ – ١ – عموميات:

٧ – ٢ – ١ – ١ – العمق الفعال للقطاعات:

العمق الفعال لقطاع ما هو المسافة بين مركز قضبان تسليح الشد وحافة القطاع الأكثر انضغاطاً (أبعد ليف لحافة منطقة الضغط). ويكون هذا التحديد أيضاً صحيحاً في حالة الجوائز ذات المقطع بشكل (T) شريطة تأمين الاتصال الفعلي بين الجذع والجناح، وذلك بمراعاة وجود تسليح عرضي في جذع الجائز ومثبت في الجناح.

٧ – ٢ – ١ – ٢ – المجاز (البحر) الفعال للجوائز والأعصاب والبلاطات:

أ – الحالة الأولى:

المسند مصبوب مستمراً (ميليثياً) مع العنصر المحمول، ويكون المسند عموداً أو جداراً أو جائزاً ساقطاً ذا ارتفاع لا يقل عن مثلي ارتفاع العنصر المحمول.

يؤخذ المجاز الفعال لكل فتحة من الجائز أو العصب أو البلاطة حسب الحال (سواء كان الاستناد بسيطاً أو مستمراً) مساوياً القيمة الأدنى من القيم الثلاث الآتية (انظر الشكل ٧ – ٥ – أ):

١) المسافة بين محوري الركيزتين (L).

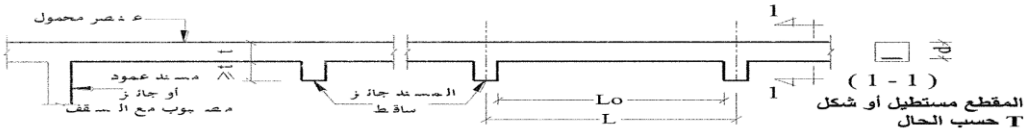
٢) المسافة الحرة بين الركيزتين (L_o) مضافاً إليها العمق الفعال d .

٣) المسافة الحرة بين المسندين مضروبة بالمعامل 1.05 .

ب – الحالة الثانية:

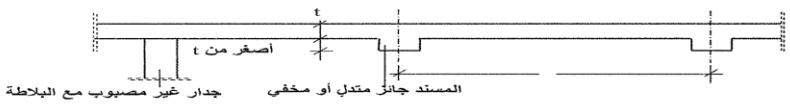
١) المسند هو جائز مصبوب مستمراً مع العنصر المحمول وذو ارتفاع يقل عن مثلي ارتفاع العنصر المحمول.

٢) المسند هو عمود أو جدار أو جائز ساقط غير مصبوب مستمراً (غير ميليثي) مع العنصر المحمول.



الشكل (٧ – ٥ – أ): مجاز الجائز المستند على أعمدة أو جوائز ساقطة ذوات ارتفاعات لا تقل عن مثلي ارتفاع الجائز المحمول

يؤخذ المجاز الفعال لكل فتحة من الجائز أو العصب أو البلاطة حسب الحال (سواء كان الاستناد بسيطاً أو مستمراً) مساوياً المسافة بين محوري المسندين (كما في الشكل ٧ – ٥ – ب)، ويمكن أن يؤخذ تأثير عرض المسند في تعديل قيمة العزم السالب عن محور المسند كما هو مبين في البند (٧ – ٢ – ١ – ٣).

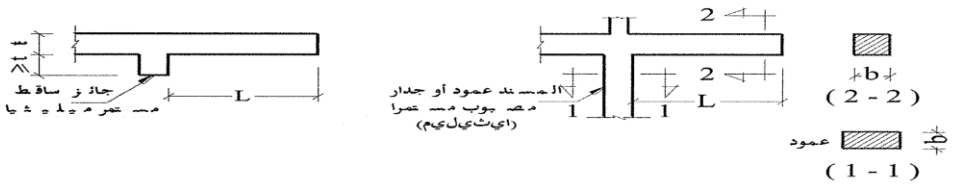


الشكل (٧ – ٥ – ب): مجاز الجائز المستند على أعمدة غير مصبوبة معه أو على جوائز مخفية أو ساقطة بارتفاعات تقل عن مثلي ارتفاع الجائز المحمول

ج – حالات العنصر الظفري:

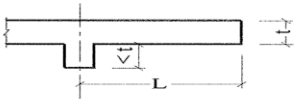
١) المسند مصبوب مستمراً (ميليثياً) مع العنصر الظفري المحمول، ويكون المسند عموداً عرضه نفس عرض العنصر المحمول أو جداراً أو جائزاً ساقطاً ذا ارتفاع لايقل عن مثلي ارتفاع العنصر المحمول (انظر الشكل ٧ – ٥ – ج).

٢) يؤخذ المجاز لفتحة البلاطة أو العصب أو الجائز الظفري حسب الحال (L) مساوياً إلى مجازه من الطرف الحر حتى وجه المسند.



الشكل (٧–٥–ج): مجاز الظفر المستند على عمود أو جدار مصبوب معه ميليثيا أو على جائز ساقط لا يقل ارتفاعه عن مثلي ارتفاع الظفر المحمول

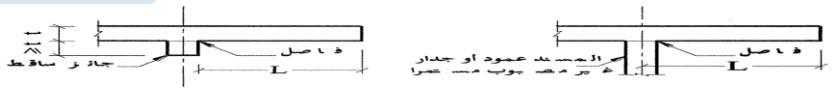
٢) المسند مصبوب مستمراً (ميليثياً) مع العنصر الظفري المحمول ويكون المسند جائزاً ساقطاً ذي ارتفاع يقل عن مثلي ارتفاع العنصر المحمول. يؤخذ المجاز لفتحة البلاطة أو العصب أو الجائز الظفر بحسب الحال (L) مساوياً إلى طول مجازه من الطرف الحر حتى محور الجائز الذي يعمل مسنداً (انظر الشكل ٧–٥–د). ويمكن أن يؤخذ تأثير عرض المسند في تعديل قيمة العزم السالب عند محور المسند كما هو مبين في البند (٧–٢–١–٣).



الشكل (٧–٥–د): مجاز الظفر المستند على جائز مخفي أو على جائز ساقط بارتفاع يقل عن مثلي ارتفاع الظفر المحمول

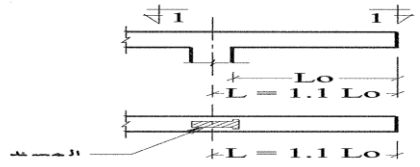
٣) المسند غير مصبوب مستمراً (غير ميليثي) مع العنصر الظفري المحمول، ويكون المسند عموداً أو جداراً أو جائزاً. يؤخذ المجاز لفتحة البلاطة والعصب أو الجائز الظفري حسب الحال مساوياً إلى طول مجازه من الطرف الحر حتى محور الجائز الذي يعمل مسنداً (انظر الشكل ٧–٥–هـ). ويمكن أن يؤخذ تأثير عرض المسند في تعديل قيمة العزم السالب عند محور المسند كما هو مبين في البند (٧– ٣–١–٢).

ملاحظة: في حال تخشين السطح بين المسند والعنصر المحمول ومن ثم تنظيفه وتنفيذ روبة إسمنتية فوقه عند الصب فيمكن تصنيفه مصبوب مستمراً (ميليثيا).



الشكل (٧–٥–هـ): مجاز الظفر المستند على عمود أو جدار أو جائز ساقط غير مصبوب بشكل مستمر معه (غير ميليثي)

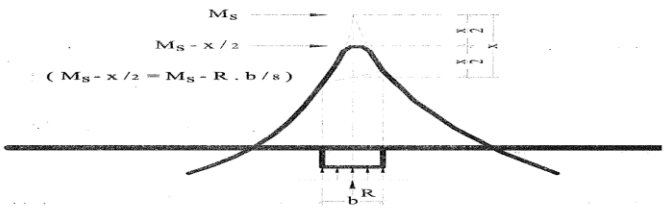
٤) المسند مصبوب مستمراً مع العنصر الظفري وهو عمود يُعد قطاعه بالاتجاه المتعامد مع المجاز للعنصر الظفري أقل من 0.7 عرض العنصر الظفري المحمول. يؤخذ المجاز لفتحة البلاطة أو العصب أو الجائز الظفري حسب الحال مساوياً إلى طول مجازه من الطرف الحر حتى وجه المسند Lo مضروباً بـ 1.1 (كما في الشكل ٧–٥–و). ولايؤخذ تأثير عرض المسند عند حساب العزم السالب فوق المسند.



الشكل (٧–٥–و): مجاز الظفر المستند على مسند ذي عرض يقل عن 70% من عرض الظفر

٧–٢–١–٣– أخذ عرض المسند بالحسبان عند حساب العزوم السالبة:

أ – عندما تكون العزوم في الجوائز المستمرة محسوبة على أساس الأبعاد بين محاور المساند يمكن تعديل قيمة العزم السالب عند المسند الداخلي باعتبار رد فعل هذا المسند موزعاً على عرضه بصورة منتظمة مما يسبب عزماً معاكساً للعزم السالب فوق المسند بحيث يصبح تغير العزم على عرض المسند بشكل قطع مكافىء كما هو موضح بالشكل (٥–٧–ز).



الشكل (٥—٧—ز): أخذ تأثير عرض المسند على العزم عند المسند الداخلي

ب — يحسب تأثير عرض المسند على قوى القص وردود الأفعال باستعمال قيمة العزم الحسابي الأصلي M_s، ويقصد بالعزم الحسابي الأصلي M_s العزم النهائي الناتج عن الحساب في محور المسند، وذلك بعد إجراء إعادة توزيع العزوم إن لزم.

٧—٢—١—٤— القطاعات الحرجة لتصميم الجوائز:

أ — بالنسبة لعزم الانحناء ضمن المجاز (البحر):

١) إذا كان الجائز ذا قطاع عرضي ثابت على طول المجاز يكون القطاع الحرج هو القطاع الذي يكون عنده عزم الانعطاف أعظمياً.

٢) أما إذا كان الجائز ذا قطاع عرضي متغير (بالعرض أو بالارتفاع أو بكليهما) فيؤخذ ضمن المجاز أكثر من قطاع حرج. من هذه القطاعات الحرجة، يمكن ذكر القطاع الذي يكون عنده عزم الانعطاف أعظمياً والقطاع الذي يكون ارتفاعه أصغرياً، والقطاع الذي يكون عرضه أصغرياً والقطاع الذي يكون عزم عطالته أصغرياً ... الخ.

ب — بالنسبة لعزم الانحناء عند المسند:

١) يكون القطاع الحرج لعزم الانحناء (الانعطاف) عند المسند في الجوائز المستمرة والأطفار، على وجه المسند إذا كان المسند عموداً أو جداراً من الخرسانة المسلحة المصبوبة استمرارياً (مونوليثياً) مع الجائز أو الظفر موضوع الدرس، أو كان المسند بشكل جائز متعامد ذي ارتفاع لا يقل عن مثلي ارتفاع الجائز أو الظفر المحمولين.

٢) أما إذا كان ارتفاع الجائز الحامل يقل عن مثلي الجائز أو الظفر المحمولين، أو إذا كان المسند عموداً أو جداراً من مادة أخرى غير الخرسانة المسلحة (حجر أو آجر مثلاً) أو كان من الخرسانة المسلحة مع وجود فاصل من مادة أخرى، فيكون القطاع الحرج لعزم الانعطاف عند المسند، للظفر وللجائز المستمر، عند محور المسند، مع إمكان أخذ تأثير عرض المسند بالحسبان حسب البند (٣—١—٢—٧). أما إذا كان الجائز ذا قطاع عرضي متغير فيؤخذ أكثر من قطاع حرج.

ج — بالنسبة للقص:

١) يحدد القطاع الحرج للقص وفقاً للبند (١—٥—٣—١٠) أو البند (١—٨—٢—٩) حسب الحال.

٢) أما إذا كان القطاع العرضي للجائز أو الظفر متغيراً، فيجب أخذ قطاعات حرجة أخرى للقطاع السابق. من هذه القطاعات يمكن ذكر القطاع ذي العرض الأصغر والقطاع ذي الارتفاع الأصغر ... الخ، ومع مراعاة ما ورد في البند (١) أعلاه.

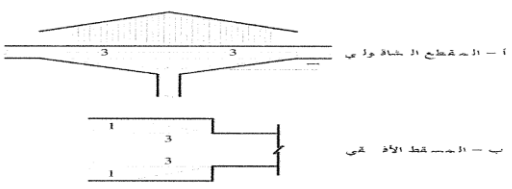
٧—٢—١—٥— تغيير القطاعات عند المساند:

في الجوائز التي تتغير فيها القطاعات عند المساند لمقاومة العزوم الحانية وقوى القص، تكون الأعماق الفعالة في تصميم القطاعات هي المحددة بخطوط ميلها ($\frac{1}{3}$) كما هو مبين في الشكل (٦—٧). ويمكن تطبيق هذا المبدأ في حالة تغير عرض القطاع. وإذا زاد العمق الأكبر على 1.5 h، فيجب أن يؤخذ تأثير هذا التغير في عزم القصور الذاتي في الحسبان، عند دراسة المنشأة.

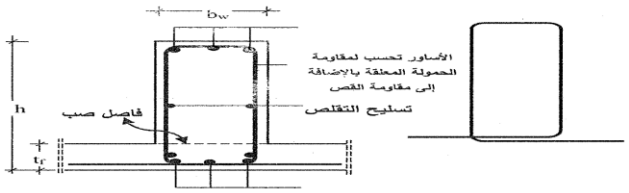
٧—٢—١—٦— حالات الأحمال المركّزة والمعلقة:

أ — في حالة تحميل جائز ما بحمل مركّز أو أكثر، يجب تأمين نقل كل حمل مركّز إلى أجزاء المنشأة الحاملة للجائز (ويضمنها الجوائز الرئيسية والأعمدة والأساسات) بطريقة تقنية سليمة.

ب— إذا كانت الأحمال معلقة بأسفل الجائز، يجب إضافة تسليح عرضي إضافي (يُفترض أنه ينقل هذه الأحمال في الشد) لهذا الجائز، لتأمين هذا التعليق، كما هو مبين في الشكل (٦—٧—أ).



الشكل (٦—٧): تغيُّر القطاعات عند الركائز (المساند)



الشكل (٦–٧–أ): تسليح التعليق في الجائز المقلوب

٧–٢–١–٧– مساحات التسليح الدنيا والعظمى للجوائز:

أ – لا تقل مساحة تسليح الشد الرئيسي في كل قطاع عن ($\frac{0.9}{f_y}$ × مساحة القطاع الفعّال) ($\frac{9}{f_y}$ × مساحة القطاع الفعال، بواحدات النظام المتري التقليدي).

وتزاد بمقدار 20% عندما يكون الجائز عنصراً في إطار مقاوم للعزم.

ب– يمكن تخفيض المساحة الواردة في (أ) أعلاه، في الجوائز ذات القطاعات الأكبر مما هو مطلوب للمقاومة، على أن لا تقل مساحة التسليح عن 1.33 مرّة مساحة التسليح المطلوب في القطاع الحرج، ولا عن ثلثي المساحة الواردة في (أ).

ج– في حالة القطاعات بشكل T أو ما يُماثلها من القطاعات المجنحة، تؤخذ مساحة القطاع الفعّال مساوية إلى $b_w.d$.

حيث: b_w عرض الجسد، d الارتفاع الفعّال.

د– لا تزيد مساحة تسليح الشد الرئيسي في القطاعات الأحادية التسليح على نصف المساحة التوازنية ($0.5\ A'_{sb}$) المعرّفة في البند (٩–٢–٥–١).

هـ– يمكن زيادة مساحة تسليح الشد الرئيسي القصوى في القطاعات الأحادية التسليح إلى ثلاثة أرباع المساحة التوازنية ($0.75\ A_{sb}$)، شريطة حساب السهم، وعدم إجراء إعادة توزيع عزوم للجوائز المستمرة ، ووضع كمية تسليح ضغط دنيا بحيث يكون:

$$A_s - A'_s \leq 0.5\ A_{sb}$$

و – في حال التصميم وفق حالة حد الاستثمار (الباب العاشر) مع استعمال تسليح ضغط (قطاعات ثنائية التسليح)، يمكن زيادة مساحة تسليح الشد الرئيسي القصوى، وبحيث لا تتجاوز مساحة هذا التسليح المضغوطة مساحة التسليح المشدودة.

ز – لا تقل مساحة التسليح العرضي (الأساور، الكانات) عن:

$$(A_s)_{min} = \frac{0.35}{f_y}\ b_w \cdot s$$

حيث: b_w عرض القطاع المستطيل للجائز، أو عرض الجسد في القطاعات المجنحة.

s تباعد الأساور.

ح– في الجوائز التي يزيد عرضها على ارتفاعها، يمكن تخفيض مساحة التسليح العرضي الواردة في (ز) أعلاه، شريطة ألا تقل مساحة التسليح العرضي المستعملة عن 1.33 مرّة مساحة التسليح العرضي الحسابي، على أن تهمل مقاومة الخرسانة في القص كلياً. تعتمد القيمة الأدنى بين القيمتين المبينتين أعلاه.

٧–٢–١–٨– ترتيبات التسليح الرئيسي (الطولي والعرضي) للجوائز:

يُقصد بالتسليح الرئيسي: التسليح الناتج عن الحساب، وفي القطاعات التي يُبين التحليل ضرورة وجود مثل هذا التسليح فيها، والتي لا تقل مساحتها عن المساحات الدنيا للتسليح.

أ – لا يقل قطر قضبان تسليح الشد الرئيسي في الجوائز عن (12 mm).

ب– لا تزيد المسافة بين محوري كل قضيبين طوليين متجاورين على (300mm).

ج– لا يقل قطر التسليح العرضي عن ثلث (1/3) أكبر قطر للتسليح الطولي وعن (6mm).

د– لا تزيد المسافة بين كل فرعين متجاورين للتسليح العرضي عن(300mm).

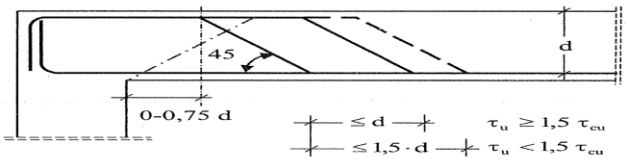
هـ– لا تتجاوز المسافة بين الأربطة العرضية (الأساور، الكانات) نصف الارتفاع الفعّال للقطاع (d/2)، مع حد أقصى (300mm)، عدا في حالة الجوائز المخفية الحاملة لبلاطات مفرغة (الهوردي)، والجوائز التي يزيد عرضها على 3 أمثال ارتفاعها، حيث يُسمح أن تصل إلى d

و – في حالة ضرورة وضع تسليح عرضي لإجهادات مماسية ناتجة عن الفتل، تكون الكانات (الأساور) من النوع الذي يُطوّق القطاع بكامله.

ز – في حالة الجوائز التي لها تسليح ضغط يجب أن تُطوّق الكانات (الأساور) كامل القطاع، وألا تزيد المسافة بينها عن 15 مرّة قطر القضيب المضغوط، أو (200mm)، أيهما أقل، وذلك ضماناً لعدم تحنيب قضبان التسليح الطولي.

ح– يُثبّت التسليح العرضي في أطرافه وفقاً لقواعد التثبيت الخاصة.

ط– في حال استعمال أساور مائلة، أو قضبان طولية مكسّحة، فيجب أن يحتوي الخط المائل بزاوية 45 على محور العنصر، والمرسوم من أسفل الوجه الداخلي للركيزة، على إسوارة أو قضيب مكسّح، كما هو مبين في الشكل (٦–٧–ب).



الشكل (٦–٧–ب): ترتيب القضبان الطولية المكسحة عند المسند

ي– في حالة وجوب استعمال تسليح عرضي لمقاومة الفتل (اللي) يتحتم تأمين هذا التسليح بالإضافة لتسليح القص والقوى المحورية، كما سيرد في البابين التاسع والعاشر، حسب الحال. ويتم دمج مساحات التسليح الناتجة، على أن تكون مساحة التسليح المستعملة مساوية لمجموع مساحات التسليح المطلوبة، وعلى أن تراعى المتطلبات القصوى في توزيع التسليح المطلوب لكل منها على حدة.

ك– في حال استعمال قضبان مكسّحة لمقاومة القص، يجب أن لا تزيد المسافة بين كل صفين من القضبان المكسّحة على عمق الجائز الفعّال d ، إذا كانت إجهادات القص ($\tau_u \geq 1.5$ τ_{cu}). أما إذا قلّت إجهادات القص عن ذلك، فيمكن زيادة المسافة بين القضبان المكسّحة، إلى مرّة ونصف العمق الفعّال (1.5 d).

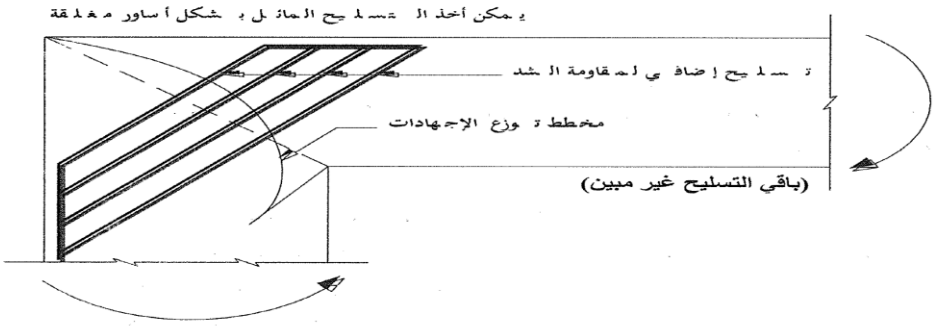
ل– يُراعى قدر الإمكان، أن تكون قضبان التسليح المكسّحة، من القضبان الداخلية، وأن تكون متماثلة بالنسبة للقطاع العرضي للعنصر، وألا تقاوم أكثر من نصف الإجهادات المماسية.

م– يُراعى في الجوائز الطرفية ذات القطاع (L) استعمال أساور مُطوّقة للجسد.

ن– عند وضع قضبان التسليح بعضها فوق بعض بأكثر من صف، يجب أن توضع قضبان الصف الثاني وما فوقه في المستويات الشاقولية ذاتها المارة من قضبان الصف الأول السفلي.

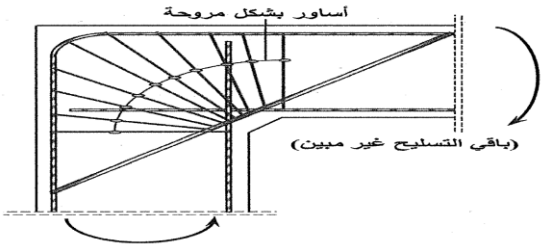
س– بالنسبة للجوائز بمجازات تتجاوز (10m)، يمكن السماح بتوقيف ما لا يتعدى نصف التسليح السفلي على بعد لا يتعدى 0.1 L من وجه المسند، شريطة تكثيف الأساور بحيث يستطيع المقطع العرضي مقاومة ضعف قوة القص المطبقة على المقطع، وأن يكون التسليح المستمر قادراً على تحمل الأحمال المطبقة بما فيها أحمال الزلازل، وأن لا تكون قضبان التسليح موصولة.

ش– عند عقد الإطارات بين الجوائز والأعمدة، وعندما تزيد مجازات الجوائز على (10m)، فيلزم إضافة تسليح عند العقد الطرفية لمقاومة إجهادات الشد (الانفلاع) الناتجة على مستوى مائل يصل بين الركنين الداخلي والخارجي للعقدة، نتيجة للتوزع غير الخطي للإجهادات كما هو مبين في الشكل (٦–٧–ج). ويوزع هذا التسليح على هذا الطول المائل، و يؤخذ بنسبة 15% من التسليح العلوي المشدود للعقدة، للجوائز بمجازات حوالي (10m)، وتزاد لتصل لحوالي 30% للمجازات التي تصل إلى حوالي (20m).



الشكل (٦–٧–ج): توزع الإجهادات والتسليح الإضافي لمقاومة شد الانفلاق في عقد الإطارات التي تزيد مجازاتها على عشرة أمتار

إضافة لذلك يجب أن تستمر أساور العمود ضمن العقدة، أو تستعمل أساور خاصة للعقدة بشكل مروحة، كما هو مبين في الشكل (٦–٧–د).



الشكل (٦–٧–د): الأساور بشكل مروحة في عقد الإطارات التي تزيد مجازاتها على عشرة أمتار (البديلة عن أساور العمود ضمن العقدة)

٧–٢–١–٩– ترتيبات التسليح الثانوي للجوائز:

يُقصد بالتسليح الثانوي: التسليح غير المحسوب، ويُوضع للتعليق، أو للتقلص، أو للتوزيع.

أ – تستعمل قضبان تعليق طولية في منطقة الضغط في الجوائز، ويمكن إهمال أثر قضبان التعليق هذه في حساب المقاومة.

ب– لا يقل عدد قضبان التعليق، عن عدد فروع الأساور المستعملة إلا إذا كانت أساورة داخلية حول قضيب واحد، ولا يقل هذا العدد عن قضيبين في جميع الحالات.

ج– لا يقل قطر قضبان التعليق، عن نصف قطر قضبان التسليح الطولي الأكبر، أو عن 10 mm، أيهما أكبر.

د– لا تقل مساحة قضبان التعليق الكلية عن (0.2) من مساحة تسليح الشد الرئيسي.

هـ– عندما يزيد ارتفاع العنصر على (600mm)، أو تزيد مساحة قطاعه على $0.20m^2$، يجب إضافة قضبان طولية على الوجهين الخارجيين للعنصر (تسمى قضبان التقلص)، عدا الجوائز المخفية في البلاطات الهوردي فلا حاجة لتسليح التقلص فيها إذا لم تزد سماكتها على (500mm) .

و– لا يقل قطر قضبان التقلص، عن نصف قطر قضبان التسليح الطولي الأكبر، أو عن (10mm)، أيهما أكبر.

ز– لا يزيد تباعد قضبان التقلص على (300mm)، ولا تقل نسبة مساحة تسليح التقلص على واحد بالألف من المساحة الفعالة للقطاع ($0.001\ b_w\ .\ d$). يمكن تخفيض هذه المساحة بشكل خطي من المساحة السابقة في حالة المقطع المربع ($b_w = d$) حتى نصف القيمة إذا زاد عرض المقطع على ارتفاعه، بحيث لا يقل العرض عن ضعفي الارتفاع ($b_w \geq 2\ d$).

٧–٢–٢– الاشتراطات البعدية للجوائز ذات القطاع المستطيل:

١– **تحدد نسبة** $\frac{L}{h}$ (حيث: L المجاز الصافي و h العمق الكلي) في الجوائز التي لا يزيد مجازها الصافي (L) على 12 متراً بما لا يزيد على النسب الواردة في الجدول (١–٧–أ)، إلا إذا تم حساب السهم في الجائز، والتأكد من عدم تجاوزه للقيم المسموح بها في الباب العاشر من هذا الكود. يستثنى من ذلك، الجوائز المحملة بأحمال مركزة من أعمدة أو جدران مسلحة حاملة، تحمل عدة طوابق، حيث يلزم تحقيق السهم دوماً. أما في حالة الجوائز المخفية للبلاطات المفرّغة، فتحدد النسب $\frac{L}{h}$ كما في الجدول (٧–١–ب)، إلا في حالة الأحمال المركزة من أعمدة وجدران مسلحة حاملة، فيُنصح عندها بتحويل الجائز المخفي إلى جائز بارز، وتحقيقه على شرط السهم، كما سبق ذكره.

الجدول (٧–١): العمق الأدنى (h_{min}) للجوائز التي لا يتجاوز مجازها الصافي 10 متراً ولا تقل مقاومتها المميزة عن 20 MPa

نوع الاستناد	استناد بسيط	مستمر من طرف واحد	مستمر من طرفين	ظفري
أ– بارز (متدلي أو مقلوب)	L/14	L/15	L/16	L/6
ب– مخفي	L/16	L/18	L/20	L/8

العمق الأدنى (h_{min}) للجوائز التي لا يتجاوز مجازها الصافي 10 متراً وتقل مقاومتهاالمميزة عن 20 Mpa

نوع الاستناد	استناد بسيط	مستمر من طرف واحد	مستمر من طرفين	ظفري
أ– بارز (متدلي أو مقلوب)	L/12	L/13	L/14	L/6
ب– مخفي	L/14	L/16	L/18	L/8

٢– في الجوائز التي يزيد مجازها الصافي على 12 متراً، يجب التأكد من شرط السهم حسابياً طبقاً للباب العاشر من هذا الكود، حتى ولو تحققت نسبة $\frac{L}{h}$ الواردة بالجدول (١–٧).

٣ – الاستقرار العرضي ضد التحنيب:

أ – من أجل تأمين الاستقرار العرضي ضد التحنيب، في الجوائز البسيطة والمستمرة غير المربوطة في المنطقة المضغوطة، تخفض قدرة تحمل المقطع (أو الإجهادات المسموحة حسب الحال) تبعاً للنسبة $\frac{L}{b_w}$ بعامل التخفيض المبين في الجدول الآتي:

(حيث: L المسافة الصافية بين الروابط العرضية للجائز و b_w عرض قطاع الجائز في منطقة الضغط في منتصف الفتحة الحرة):

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

ب– يمكن التغاضي عن موضوع التحنيب إذا لم تزد المسافة الصافية بين الروابط العرضية للجوائز عن القيمة الأدنى من القيمتين الآتيتين:

$$30 \cdot b_w$$

$$(250 \cdot \frac{b_w^2}{d})$$

حيث: b_w = عرض قطاع الجائز في منطقة الضغط، في منتصف الفتحة الحرة.

d = العمق الفعّال لقطاع الجائز في منتصف الفتحة الحرّة.

ج– من أجل الظفر يؤخذ الطول L في النسبة $\frac{L}{b_w}$ مساوياً ضعف طول الظفر من وجه المسند.

٧–٢–٣– الجوائز على شكل حرف T أو حرف L:

٧–٢–٣–١ – أنواع الجوائز بشكل حرف T:

تكون الجوائز على شكل T على نوعين:

أ – نوع أول يكون في المسطحات المؤلفة من جوائز عادية متصلة اتصالاً وثيقاً مع البلاطات المحمولة عليها، ويكون ذلك بالصب استمرارياً (ميليئياً)، ومع تشريك التسليح بحيث يكون الجائز والبلاطة المضغوطة فوقه، مترابطين ترابطاً فعالاً فيؤلفان وحدة من الوجهة الإنشائية، ويسلكان سلوكاً موحداً تحت تأثير الأفعال المطبّقة، ويُسمى الجائز الأصلي جسداً، والبلاطة فوقه (طاولة الضغط) أو جناح الضغط، ويُسمى القسم من البلاطة الذي يعمل بالفعل مع الجسد، العرض الفعّال لطاولة الضغط أو جناح الضغط.

ت–نوع ثان يكون في القطاعات المصنوعة خصيصاً بشكل (T) لإعداد طاولة ضغط خاصة.

٧–٢–٣–٢ – العرض الفعّال للقطاع بشكل حرف (T):

يكون العرض الفعّال (b) لطاولة الضغط في الجائز ذي القطاع بشكل (T)، الناتج عن الجائز والبلاطة المرتكزة عليها، غير ثابت على طول الجائز، وهو يتعلق بالعناصر الآتية:

– فتحة الجائز البسيط، أو المسافة بين نقطتي عزمي الصفر في الجوائز المستمرة، إلى عرض جذع (جسد) الجائز.

– نسبة سمك طاولة الضغط t_f إلى ارتفاع الجائز h.

– المسافة بين محوري جذعين (جسدين) متوازيين.

– نوع الجائز: مجاز مستقل (جائز بسيط)، أو مجازات مستمرة (جوائز مستمرة).

– نوع الأحمال: منتظمة أو مركّزة.

– وجود شطفات ساندة بين الطاولة وجذع (جسد) الجائز.

وفي الحالات العادية، يمكن الاكتفاء بالقاعدة الآتية:

يُؤخذ العرض الفعّال لطاولة الضغط، مساوياً للقيمة الدنيا من الأبعاد الآتية للجوائز بشكل (T) الموافقة للبند (٧–٢–٣–١–أ).

أ – $\frac{L}{4}$ في حالة الجوائز المعرّضة لأحمال موزّعة بصورة رئيسية.

$\frac{L}{5}$ في حالة الجوائز المعرّضة لأحمال مركّزة 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، و0.87 من المجاز في الفتحات الطرفية.

ب– عرض الجسد b_w مضافاً إليه 12 مرّة سمك البلاطة t_f، أي: $b = b_w + 12\ t_f$ على الأكثر لحساب المقاومة.

عرض الجسد b_w مضافاً إليه 6 مرات سمك البلاطة t_f، أي $b = b_w + 6\ t_f$ على الأكثر لحساب عزم العطالة الفعال.

ج– المسافة بين محوري جائزين متجاورين.

أما بالنسبة للجوائز بشكل T الموافقة للبند (٧–٢–٣–١–ب). فيؤخذ كامل عرض الجناح، شريطة ألا يزيد على $5\ b_w$، وبحيث يكون: $t_f \geq \frac{b_w}{2}$.

٧–٢–٣–٣ – حساب القطاعات بشكل حرف L:

يُهمل تأثير جناح الضغط في القطاعات بشكل L، وتحسب كما يُحسب القطاع المستطيل.

٧-٢-٣-٤- السمك الأدنى للجناح:

أ- في حالة الجوائز المتصلة مع بلاطات، يجب ألا يقل سمك الجناح (سمك البلاطة عملياً) عن $\frac{1}{10}$ العمق الكلي للقطاع، وإلا يعد الجائز ذا قطاع مستطيل بعرض يساوي عرض الجسد b_w.

ب- في الجوائز بشكل T التي يوجد فيها بلاطة مستقلة لتأمين الضغط، فإضافة للشرط السابق، يجب ألا يقل سمك هذه البلاطة المستقلة عن نصف عرض قطاع الجسد.

٧-٢-٣-٥- نسبة مجاز الجائز إلى ارتفاعه:

يُطبّق على الجوائز ذات القطاع بشكل L، النسب الدنيا لمجاز الجائز إلى ارتفاعه للجوائز ذات القطاع المستطيل، التي وردت في البند (٧-٢-٢- (أ) و (ب)).

- أما الجوائز ذات القطاع بشكل T فيمكن زيادة النسبة $\frac{L}{h}$ بمقدار 2 في حالة الجوائز ذات الجسد البارز، إلا إذا تم التحقق من السهم لحالة الجوائز المخففة.

٧-٢-٣-٦- اشتراطات خاصة بتسليح القطاعات بشكل حرف T:

أ - لا يعدّ قسم من البلاطة، طاولة ضغط لجذع جائز، إلا إذا استمرت قضبان التسليح للطاولة ضمن جذع الجائز للجهتين، وعلى ألا تقلّ مساحة مقاطع القضبان المستمرة عن:

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

حيث:

A_{ct} = مساحة مقاطع قضبان التواصل في المتر الطولي من الجائز، التي تخترق الجذع، على طول بلاطة الضغط (قضبان العزم السالب للبلاطة)، ويمكن أن يُحسب ضمنها قضبان العزم الموجب في البلاطة الممدودة ضمن جذع الجائز.

V = قوة القص في قطاع الجائز، الناتجة من أفعال التشغيل.

d = الارتفاع الفعّال لقطاع الجائز.

f_y = إجهاد الخضوع لفولاذ قضبان تسليح التواصل بين البلاطة وجذع الجائز.

b_f = العرض الفعّال لطاولة الضغط.

b' = العرض الفعّال لجزء الجناح الواقع على أحد طرفي الجذع.

ب- إضافة للشرط السابق، يجب ألا تقلّ مساحات القطاعات العرضية لقضبان التواصل (قضبان التسليح السالب والموجب لبلاطة الضغط) عن 0.3% من مساحة قطاع البلاطة الطولي، ما عدا وضع الأعصاب فلا تقل النسبة 0.2%

٧-١١-٣- الاحتياطات للجوائز (الكمرات):

١- يجب ألا يقل التسليح الموجب عند وجه المسند عن $\frac{1}{3}$ التسليح السالب عند وجه المسند ذاته.

٢- يجب ألا يقل التسليح السالب أو الموجب في كل قطاع ضمن مجاز الجائز (بحر الكمرة) عن $\frac{1}{6}$ التسليح الأكبر عند كل من المسندين.

٣- لا يتعدى الفرق $(A_s-A'_s)$ الأعظمي عند العزم الموجب أو السالب في كل قطاع نصف المساحة التوازنية المعرفة بالبند (١-٥-٢-٩).

٤- توضع الإسوارة (الكانة) الأولى على مسافة لا تزيد على 50mm من وجه المسند.

٥- لا تزيد المسافة بين الأساور (الكانات) المتجاورة على نصف $(\frac{1}{2})$ العمق الفعال لقطاع الجائز (الكمرة) للجوائز الساقطة وثلاثة ارباع العمق الفعال للجوائز المخفية.

٦- عند كل من نهايتي الجائز (الكمرة)، أو لمسافة لا تقل عن ضعف عمق الكمرة عند كل نهاية، يجب ألا تزيد المسافة بين الأساور المتجاورة على القيمة الأدنى من القيم الآتية:

أ - ثلث عمق القطاع.

ب- 10 مرات القطر الأصغر للتسليح الطولي المحصور بالأساور.

ج- 25 مرة قطر الإسوارة.

د- مسافة 250mm.

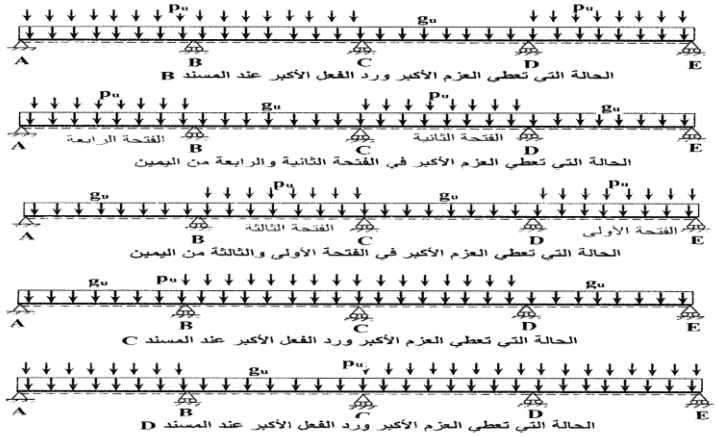
٨-٣-٢- حالات التحميل المبسطة للجوائز والأعمدة:

٨-٣-٢-١- الجوائز:

عند حساب الجوائز المستمرة تحت تأثير الأحمال الناتجة عن الثقالة، يمكن دراسة حالة تحميل واحدة، تشمل كامل الأحمال الحية والميتة المصعّدة، والمطبّقة على جميع المجازات في آن واحد، إذا كانت نسبة الأحمال الحية المصعّدة إلى الأحمال الميتة المصعّدة لا تتجاوز الثلث في كل مجاز. أما إذا لم يتحقق الشرط السابق، فيجوز الاكتفاء بدراسة حالات التحميل الآتية:

أ - الحمل الميت المصعّد مُطبّق على جميع المجازات، والحمل الحي المصعّد مُطبّق على المجازات بالتناوب (الحالتان ١ و ٢ من الشكل ٨-٤).

ب- الحمل الميت المصعّد مُطبّق على جميع المجازات، والحمل الحي المصعّد مُطبّق على مجازين متتاليين، وعلى المجازات الأخرى بالتناوب (الحالات ٣ و ٤ من الشكل ٨-٤) والحالة ٥ تحميل أول مجاز من اليسار والمجاز الثالث والرابع (غير مرسومة).



الشكل (٤-٨): حالات تحميل الجوائز المستمرة

ج- عندما يتجاوز الحمل الحي المصعّد مثلي الحمل الميت المصعّد، يجب دراسة حالات إضافية أخرى، إذ إن إشارة عزوم الانحناء في بعض القطاعات الحرجة قد تتغير. ويجب أن يُلحظ أثر ذلك في تصميم القطاعات، إن حدث.

د - عند الحساب لحالات حدود الاستثمار، تحسب الأحمال الاستثمارية الميتة D والحية L من دون تصعيد، وتوزّع على المجازات المختلفة كما ورد أعلاه مع اعتماد النسب من دون تصعيد.

٨-٣-٢-٢- الأعمدة:

من أجل حساب القوى الناظمية في الأعمدة، تعدّ جميع الطوابق التي تعلو العمود (فوق المنسوب المدروس) محمّلة بكامل الأحمال الحية والميتة، مع إمكانية اعتماد نسب تخفيض الحمولات الحية. أما من أجل حساب العزوم على الأعمدة، فيمكن الاقتصار على دراسة حالات التحميل الواردة في البند (١-٢-٣-٨) للجوائز في سقف الطابق المدروس، ويُختار منها عند تصميم الأعمدة الحالات الآتية:

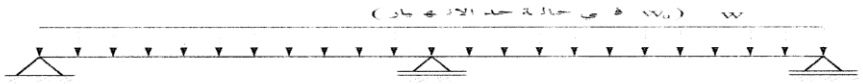
أ – حالات التحميل التي ينتج عنها أكبر عزم انحناء مصعّد مع الحمل الناظمي المصعّد المرافق.
ب– حالات التحميل التي ينتج عنها أكبر حمل ناظمي مصعّد مع عزم الانحناء المصعّد المرافق.
ج– حالة التحميل التي ينتج عنها أكبر لا مركزية، مع الحمل الناظمي المصعّد وعزم الانحناء المصعّد المرافقين (إن اختلفا عن (أ) أعلاه).
د– عند الحساب في حالات حدود الاستثمار، تُحسب القوى الداخلية بقيمها الاستثمارية غير المصعّدة، عند تطبيق أحكام الفقرات (أ– ب–ج) أعلاه.

٨–٣–٤– تحليل الجوائز بطرائق مبسّطة:

في حالة المباني العادية التي تحتوي على جوائز مستمرة خاضعة لأحمال منقولة إليها من البلاطات، بالإضافة إلى وزنها الذاتي، والأحمال المباشرة الأخرى، يمكن بديلاً لما ورد في البندين (٨–٢) و(٨–٣)، حساب عزوم الانحناء وقوى القص وردود الأفعال على الجوائز المستمرة، وفقاً للطرائق المبسّطة الآتية:

٨–٣–٤–١– طريقة العوامل التقريبية:

تُستعمل هذه الطريقة، لحساب عزوم الانحناء وقوى القص وردود الأفعال في الجوائز المستمرة، في حال تحقق الشروط الآتية معاً:
أ – الجوائز محمّلة بأحمال موزّعة بانتظام.
ب– لا يزيد الحمل الحي المصعّد على مثلي الحمل الميت المصعّد.
ج– لا يختلف كل مجازين متجاورين أحدهما عن الآخر، بنسبة تزيد على 25% من المجاز الأكبر. عند تحقق هذه الشروط، تُؤخذ العزوم وقوى القص وردود الأفعال من الشكل (٨–٦ – أ)، في حالة الجوائز المستمرة على مجازين فقط، ومن الشكل (٨–٦– ب)، في حالة الجوائز المستمرة على ثلاثة مجازات أو أكثر.



العزوم	$-\frac{wl^2}{24}$	$+\frac{wl^2}{11}$	$-\frac{wl^2}{9}$	$+\frac{wl^2}{11}$	$-\frac{wl^2}{24}$
قوى القص	$\frac{0.9wl}{2}$		$1.2\frac{wl}{2}$ $1.2\frac{wl}{2}$		$\frac{0.9wl}{2}$
ردود الأفعال	0.45 wl		1.15 wl		0.45 wl

الشكل (٦ – ٨ –أ): العزوم وقوى القص وردود الأفعال لجائز مستمر على مجازين فقط

العزوم	$-\frac{wl^2}{24}$	$+\frac{wl^2}{10}$	$-\frac{wl^2}{10}$	$+\frac{wl^2}{14}$	$-\frac{wl^2}{12}$	$+\frac{wl^2}{14}$
قوى القص	$\frac{wl}{2}$		$1.15\frac{wl}{2}$ $\frac{wl}{2}$		$\frac{wl}{2}$ $\frac{wl}{2}$	
ردود الأفعال	$\frac{wl}{2}$		1.1 wl		1.0 wl	

الشكل (٦ – ٨ –ب): العزوم وقوى القص وردود الأفعال لجائز مستمر على ثلاثة مجازات أو أكثر

حيث: w = الحمل الكلي (حي وميت g+p) على وحدة الطول من الجائز، عند حساب العزم الموجب وقوة القص، أو متوسط الحملين الكليين للمجازين المتجاورين من الجائز عند حساب العزم السالب ورد الفعل. وتؤخذ w_u في حالة الحساب بطريقة الحد الأقصى.

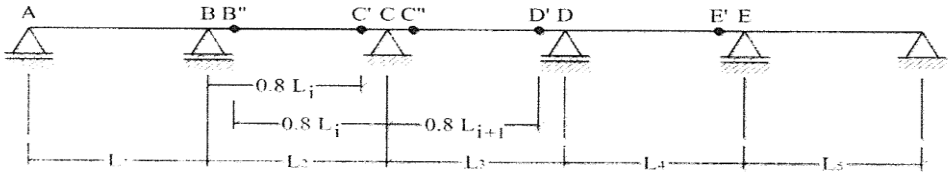
l = الطول الفعّال للجائز وفق البند (٢-١-٢-٧) عند حساب العزم الموجب، والطول الفعّال الأكبر بين المجازين المتجاورين، عند حساب العزم السالب فوق المسند، ومتوسط الطولين المتجاورين عند حساب رد الفعل.

٨-٣-٤-٢- طريقة التحويل إلى جوائز مركّبة:

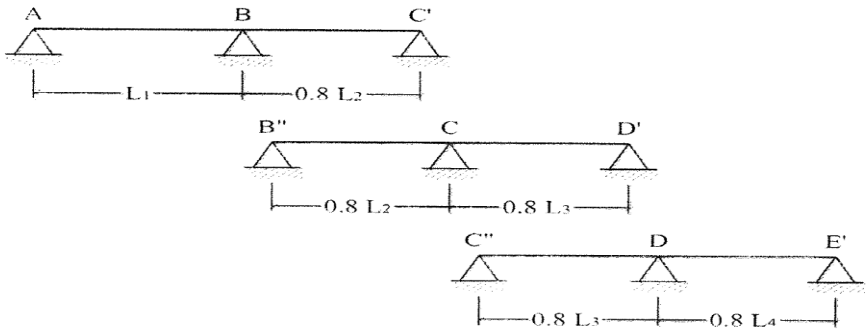
يمكن بهذه الطريقة حساب العزوم السالبة عند المساند، بتحويل الجائز المستمر ذي المجازات العديدة، كما هو مبيّن في الشكل (٧-٨- أ) إلى مجموعة من الجوائز ذات المجازين، كما هو مبيّن في الشكل (٧-٨-ب) وذلك بفرض نقاط انعدام عزم الانحناء في المواقع الآتية:

أ - عند المجازات الطرفية: تنطبق نقطة انعدام عزم الانحناء على المسند الطرفي البسيط.

ب- عند المجازات الداخلية: تقع نقطتا انعدام عزم الانحناء على بُعد 0.8 L من المسند المدروس من كل جهة، حيث: L تساوي المجاز الفعّال.



الشكل (٧-٨-أ): تحويل جائز مستمر إلى جملة مكافئة من مجموعة جوائز ذات مجازين



الشكل (٧-٨-ب): مجموعة من الجوائز ذات المجازين مكافئة للجائز المستمر

ويُحسب العزم السالب لكل مسند داخلي اعتماداً على ما سبق، بطريقة العزوم الثلاثة (إذ يُوجد فيها مجهول واحد، وهو عزم الانحناء المطبّق عند المسند الداخلي المدروس) أو أي طريقة أخرى.

بعد معرفة قيم العزوم السالبة عند المساند، تحسب قيم العزوم الموجبة، باستعمال المجازات الفعّالة الأصلية.

يتناول هذا الباب تحقيق الأغراض الأساسية في تصميم المنشآت كما وردت في الباب الأول، والمتضمّن تحديد حالات الحدود القصوى مع ضمان مدى كاف للأمان، وذلك باستيفاء متطلبات الباب السادس المتضمّن تحديد الأمان والعوامل التصعيدية للأفعال والعوامل التخفيضية للمقاومات، مع مراعاة ما ورد في الافتراضات الأساسية في تحليل المنشآت (الباب الثامن)، وكذلك الاشتراطات العامة في تصميم العناصر الإنشائية (الباب السابع).

يجدر التنويه إلى أنه يلزم في الحسابات اعتماد قيم مخفضة لـ f_y عن القيم المميزة الإسمية، وذلك عندما تكون قيم f'_c المعتمدة قليلة نسبياً. ويمكن اعتماد الجدول الآتي لقيم f_y المخفضة المعتمدة في الحسابات (الوحدات هي بالميغا باسكال MPa، وتضرب جميعها بعشرة لتصبح بالوحدات المترية kgf/cm^2).

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

ويمكن استعمال الاستقراء الخطي للقيم غير الواردة في الجدول.

عند تحقيق المنشآت والمباني القائمة، فيمكن استعمال قيم المقاومة المميزة الإسمية (f_y) للفولاذ المستعمل. وفي كل الحالات يجب أن تتحقق العلاقة الآتية في المقطع المدروس:

$$(A_s - A'_s) \leq 0.5A_{sb}$$

تصميم العناصر الخاضعة للانعطاف :

٩–٢– حالات حدّ الانهيار (الحدّ الأقصى للمقاومة):

٩–٢–١– المبادئ الأساسية والفرضيات لحالة حدّ الانهيار بتأثير الإجهادات الناظميّة على القطاع (الانهيار في مستوٍ ناظمي):

تعتَمد الفرضيات الآتية:

١– القطاعات المستوية قبل الانحناء تظلّ مستوية بعده، أي إن الانفعال في الخرسانة وفولاذ التسليح يتناسب خطياً مع البعد عن المحور السليم (الخمول).

٢– يُؤخذ الانفعال الأقصى في ليف الخرسانة الأكثر انضغاطاً مساويا لـ 0.003

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

٤– يؤخذ توزيع الإجهادات في منطقة الضغط من القطاع الخرساني، حسب منحني الإجهاد والانفعال المبني على تجارب معملية (مخبرية) قياسية.

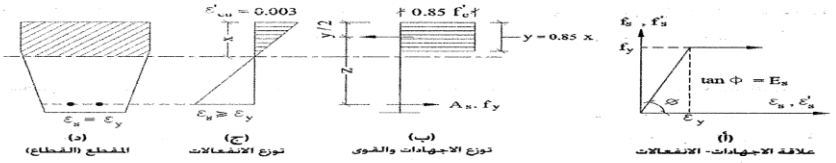
٥– يمكن تقريب شكل توزيع إجهادات الخرسانة في الضغط، باستعمال توزيع مكافئ على شكل مستطيل أو شبه منحرف أو كل شكل آخر يحقق العلاقة الواردة في البند (٩–٢–١–٤).

٦– يمكن افتراض متطلبات البند (٤–١–٢–٩) مستوفاة باعتماد ما يلي:

يُفرض إجهاد الخرسانة موزعاً بالتساوي على منطقة مكافئة ومحددة بحافة الألياف المعرّضة لأقصى انفعال في منطقة الضغط، وبخط مواز للمحور السليم (محور الخمول) يبعد مسافة $y = 0.85\ x$ من هذه الحافة، وتكون قيمة إجهاد الضغط مساوية $0.85\ f'_c$ حسب الشكل (٩–١).

ملاحظة: عندما تزيد المقاومة المميزة f_c على 30 MPa (300 kgf/cm²) فيلزم تخفيض ارتفاع منطقة الضغط بمقدار 0.05 من أجل كل زيادة بمقدار 7 MPa أو أجزائها. وفي هذه الحالة ستتغير جميع العلاقات المتعلقة بـ y.

٧– تهمل مقاومة الخرسانة للشدّ، ويُقاوم الفولاذ (الصُلب) جميع إجهادات الشدّ.



الشكل (٩–١): الإجهادات والانفعالات (التشوهات النسبية) والقوى في القطاع الخرساني

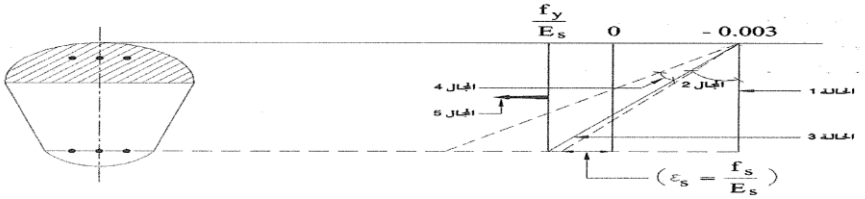
٨– القوةُ الخارجية تساوي محصلة القوى الداخلية، وفي حال الانحناء البسيط تكون القوة الخارجية معدومة، وبالنتيجة قوة الشد في الفولاذ تساوي قوة الضغط في الخرسانة، وفي تسليح الضغط إن وجد.

٩– العزم الخارجي عند محور ما، يساوي مجموع عزوم القوى الداخلية الناتجة عن الإجهادات في القطاع، أي محصلة عزوم قوة الشد في الفولاذ، والضغط في الخرسانة، وتسليح الضغط إن وجد.

١٠– العزم الخارجي عند محور ما، يساوي مجموع عزوم القوى الداخلية الناتجة عن إجهادات الشد في الفولاذ، وإجهادات الضغط في الخرسانة وفي فولاذ الضغط.

٩–٢–٢– أشكال الانهيار المحتملة:

يحدث الانهيار بتأثير الإجهادات الناظمية على القطاع (انهيار القطاع الناظمي) في إحدى الحالات الآتية (الشكل ٩–٢):



الشكل (٩–٢): أشكال الإنهيار المحتملة في القطاع الخرساني

الحالة-١- تمثل حالة انهيار العناصر المضغوطة مركزياً (الأعمدة)، ويكون مخطط التشوه (الانفعال) موزّعاً بانتظام على كامل القطاع، وقيم انفعال الضغط الأقصى في الخرسانة والتسليح على السواء مساوية 0.003

المجال-٢- يمثل حالات انهيار العناصر المضغوطة لا تمركزياً (لا مركزية صغيرة، وكذلك القطاعات المعرّضة للانحناء ذات مساحات التسليح التي تزيد على المساحة التوازنية، علماً بأن ذلك غير مسموح)، كما في البند (٩-٢-٥-١)، ويكون الانفعال الأقصى في الخرسانة المضغوطة مساوياً 0.003، أما الانفعال الأقصى في مركز ثقل التسليح المشدود فيساوي: $\varepsilon_s = \frac{f_s}{E_s} \leq \frac{f_y}{E_s}$

الحالة-٣- تمثل حالة الانهيار التوازني، ويكون الانفعال في الفولاذ المعرّض لأقصى انفعال شدّ، بلغ القيمة المقابلة لانفعال الخضوع والمساوي إلى: $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$ في اللحظة ذاتها التي يبلغ فيها انفعال الضغط في الخرسانة قيمته القصوى 0.003.

المجال-٤- يمثل حالات انهيار العناصر المضغوطة لا تمركزياً (لا مركزية كبيرة، وكذلك القطاعات المعرّضة للانحناء ذات نسب التسليح التي تقلّ عن النسبة التوازنية). ويكون الانفعال الأقصى في الخرسانة المضغوطة مساوياً 0.003، أما الانفعال الأقصى في مركز ثقل التسليح المشدود فيكون $\varepsilon_s \geq \frac{f_y}{E_s}$.

المجال-٥- يمثل حالات انهيار العناصر المشدودة مركزياً أو لا تمركزياً (لا مركزية صغيرة، عندما تقع قوة الشدّ بين مركزي ثقل التسليحين).

ويكون الانفعال الأقصى عند مركزي ثقل التسليح العلوي والسفلي على السواء $\varepsilon_s \geq \frac{f_y}{E_s}$

أما القطاع الخرساني فمشدود ومتشقق وتهمل مقاومته حسابياً.

أما حالة الانهيار الناجمة عن الشد اللامركزي (اللامركزية الكبيرة حيث تقع قوة الشد خارج مركزي ثقل التسليحين)، فتشبه حالات الانهيار المحددة في المجال (٤) بفارق وحيد، هو أن يصبح التسليح المشدود هو الأقرب من نقطة تطبيق قوة الشدّ، والتسليح المضغوط هو الأبعد عنها (بعكس حالة الضغط اللامركزي: لا مركزية كبيرة).

٩-٢-٥- العلاقات الأساسية للحساب في حالة الانحناء البسيط:

يجري حساب القطاعات المعرّضة للانحناء البسيط من دون أية قوى ناظميّة مرافقة، وبصورة خاصة الجوائز والأعصاب والبلاطات ... الخ، إذ تتعرّض هذه القطاعات إلى الأحمال القصوى. وتنطبق على هذه القطاعات الفرضيات الأساسية الواردة في البندين (٩-٢-١ و ٩-٢-٢).

٩-٢-٥-١- تعريف الحالة التوازنية (الانحناء البسيط):

تحدُث الحالة التوازنية في الأعضاء الخاضعة للانحناء البسيط، عندما يبلغ الانفعال في الفولاذ المعرّض لأقصى انفعال شدّ القيمة المقابلة لانفعال الخضوع، والمساوي إلى: $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$ في اللحظة ذاتها التي يبلغ فيها انفعال الضغط في الخرسانة قيمته القصوى 0.003

وتكون مساحة تسليح الشدّ المقابلة للحالة التوازنية مساوية مساحة التسليح التوازنية A_{sb}، وتحدد هذه المساحة على النحو الآتي:

أ - تأخذ مساحة التسليح التوازنية A_{sb} للقطاعات المستطيلة ذات تسليح شدّ فقط، القيمة الآتية:

$$A_{sb} = \frac{455}{630 + f_y} \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot b \cdot d \quad \ldots\ldots (9\text{-}5)$$

(وفي النظام المتري $A_{sb} = \frac{4550}{6300 + f_y} \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot b \cdot d$)

ب- تأخذ مساحة التسليح التوازنية A_{sb} للقطاعات المستطيلة ووجود تسليح شدّ وضغط، القيمة الآتية:

$$A_{sb} = \left[\frac{455}{630 + f_y} \cdot \frac{f'_c}{f_y} + \frac{A'_s}{b.d} \frac{f'_s}{f_y}\right] \cdot b \cdot d \quad \ldots\ldots (9\text{-}6)$$

(وفي النظام المتري $A_{sb} = [\frac{4550}{6300 + f_y} \cdot \frac{f'c}{f_y} + \frac{A'_s}{bd} \cdot \frac{f'_s}{f_y}] \cdot b \cdot d$)

حيث: A'_s = مساحة تسليح الضغط في القطاع.

f'_s = إجهاد تسليح الضغط، ويُؤخذ من العلاقة:

$$f'_s = 630 \left[1 - \frac{d'}{d} \cdot \frac{630 + f_y}{630}\right] \leq f_y \ldots\ldots (9\text{-}7)$$

(وفي النظام المتري $f'_s = 6300 \ [1 - \frac{d'}{d} \cdot \frac{6300 + f_y}{6300}] \leq f_y$)

ج- تأخذ مساحة التسليح التوازنية A_{sb} للقطاعات بشكل T ووجود تسليح شدّ فقط القيمة الآتية:

إذا تحقق الشرط الآتي: $t_f \geq 0.85 \times \frac{630}{630 + f_y} d$

(وفي النظام المتري $t_f \geq 0.85 \times \frac{6300}{6300 + f_y} .d$)

الرمز x يعني إشارة الضرب وأحياناً نستعمل رمز النقطة إن لم يكن من استعمالها التباس.

تُحسب A_{sb} من العلاقة الآتية:

$$A_{sb} = \left[\frac{455}{630+f_y}\cdot\frac{f'_c}{f_y}\cdot\frac{b_f}{b_w}\right]\cdot b_w\cdot d \quad \ldots\ldots (9\text{-}8a)$$

(وفي النظام المتري $A_{sb} = [\frac{4550}{6300+f_y}\cdot\frac{f'_c}{f_y}\cdot\frac{b_f}{b_w}].b_w.d$)

وإلا فتحسب A_{sb} من العلاقة الآتية :

$$A_{sb} = \frac{b_w}{b_f}\left[\frac{455}{630+f_y}\cdot\frac{f'_c}{f_y}+\frac{0.85f'_c(b_f-b_w)t_f}{b_w.d.f_y}\right]\cdot b_f\cdot d \quad \ldots (9\text{-}8b)$$

(وفي النظام المتري: $A_{sb} = \frac{b_w}{b_f}[\frac{4550}{6300+f_y}\cdot\frac{f'_c}{f_y}+\frac{0.85f'_c(b_f-b_w).t_f}{b_w.d.f_y}].b_f.d$)

حيث: b_w = عرض الجسد للقطاع.

b_f = العرض الفعال للجناح.

t_f = سماكة جناح القطاع.

د- أما إذا كان شكل القطاع ذا أشكال مختلفة عن القطاعات المستطيلة، أو بشكل T، فتُحسب مساحة التسليح A_{sb} الموافقة للحالة التوازنية حسب المبادئ الأساسية أي من مبدأي توازن القوى (قوة الشد = قوة الضغط) وتوازن العزوم ومخطط التشوه في الحالة التوازنية.

٩-٢-٥-٢- مساحة التسليح العظمى:

يجب ألا تتجاوز مساحة التسليح العظمى القيم الآتية:

أ - $A_{s\,max} \le 0.75A_{sb}$

وبحيث $(A_s - A'_s) \le 0.5A_{sb}$

ب- يتوجب مراعاة الفقرة هـ من البند (٧-١-٢-٧)، بالإضافة إلى التوزّع السليم للتسليح في القطاع العرضي للعنصر.

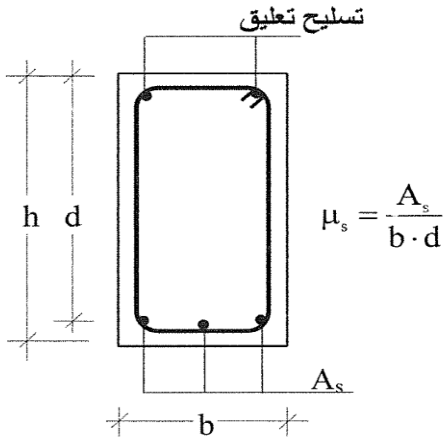
٩-٢-٥-٣- العلاقات الأساسية المعتمدة في تصميم وتحقيق القطاعات المستطيلة أحادية التسليح:

عندما يكون القطاع مستطيلاً ومسلحاً تسليحاً أحادياً (الشكل ٩-٣)، فإن العلاقات الأساسية المستعملة في تصميم وتحقيق القطاع هي على الشكل الآتي:

أ - علاقة إسقاط القوى على محور الجائز باعتبارها متوازنة ومحصلتها تساوي الصفر:

$$\frac{y}{d} = \frac{A_s}{b.d}\cdot\frac{f_y}{0.85f'_c} \le \frac{y_{max}}{d} \quad \ldots\ldots (9\text{-}9)$$

$$\frac{y_{max}}{d} = \frac{A_{s\,max}}{b.d}\cdot\frac{f_y}{0.85f'_c} \quad \ldots\ldots (9\text{-}10)$$



الشكل (٣-٩): قطاع مستطيل أحادي التسليح

ب- علاقة العزوم: حيث يكون العزم الخارجي مساوياً إلى، أو أقلّ، من العزم المقاوم الداخلي:

$$M_{ur} = \Omega \left[1 - 0.59 \frac{A_s}{b.d} \cdot \frac{f_y}{f'_c}\right] \cdot A_s \cdot f_y \cdot d$$

أو $$M_{ur} = \Omega \left[\frac{y}{d}\left(1 - 0.5 \cdot \frac{y}{d}\right)\right] \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d^2 \quad \ldots (9.11)$$

حيث: $\Omega = 0.9$ في حالة الانحناء البسيط.

وعادة تتم صياغة هذه العلاقات بصورة لا بعدية وتعطى بالجدول الآتي:

α	r	γ	A_o
0.01	10.00	0.995	0.010
0.02	7.12	0.990	0.020
0.03	5.82	0.985	0.030
0.04	5.05	0.980	0.039
0.05	4.53	0.975	0.048
0.06	4.15	0.970	0.058
0.07	3.85	0.965	0.067
0.08	3.61	0.960	0.077
0.09	3.41	0.955	0.085
0.10	3.24	0.950	0.095
0.11	3.11	0.945	0.104
0.12	2.98	0.940	0.113
0.13	2.88	0.935	0.121
0.14	2.77	0.930	0.130
0.15	2.68	0.925	0.139

α	r	γ	A_o
0.16	2.61	0.920	0.147
0.17	2.53	0.915	0.155
0.18	2.47	0.910	0.164
0.19	2.41	0.905	0.172
0.20	2.36	0.900	0.180
0.21	2.31	0.895	0.188
0.22	2.26	0.890	0.196
0.23	2.22	0.885	0.203
0.24	2.18	0.880	0.211
0.25	2.14	0.875	0.219
0.26	2.10	0.870	0.226
0.27	2.07	0.865	0.236
0.28	2.04	0.860	0.241
0.29	2.01	0.855	0.248
0.30	1.98	0.850	0.255
0.31	1.95	0.845	0.262
0.32	1.93	0.840	0.269
0.33	1.90	0.835	0.275
0.34	1.88	0.830	0.282
0.35	1.86	0.825	0.289
0.36	1.84	0.820	0.295
0.37	1.82	0.815	0.301
0.38	1.80	0.810	0.309
0.39	1.78	0.805	0.314
0.40	1.77	0.800	0.320
0.41	1.75	0.795	0.326
0.42	1.74	0.790	0.332
0.43	1.72	0.785	0.337
0.44	1.71	0.780	0.343
0.45	1.69	0.775	0.349
0.46	1.68	0.770	0.354
0.47	1.67	0.765	0.359
0.48	1.66	0.760	0.365
0.49	1.64	0.755	0.370

α	r	γ	A_o
0.50	1.63	0.750	0.375
0.51	1.62	0.745	0.380
0.52	1.61	0.740	0.385
0.53	1.60	0.735	0.390
0.54	1.59	0.730	0.395
0.55	1.58	0.725	0.400

وتعرف α، r، γ، A_0 وفق ما يلي:

حيث: $\sigma'_c = 0.85 \cdot f'_c$

$$A_o = \frac{M_u/\Omega}{b \cdot d^2 \cdot \sigma'_c}$$

$$A_o = \alpha \cdot (1 - \frac{\alpha}{2})$$

$$\alpha^2 - 2 \cdot \alpha + 2 \cdot A_o = 0$$

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot A_o}$$

$$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

$$r = \frac{1}{\sqrt{A_o}}$$

$$d = r \cdot \sqrt{\frac{M_u/\Omega}{b \cdot \sigma'_c}}$$

$$A_s = \frac{M_u/\Omega}{\gamma \cdot d \cdot f_y} \quad \text{or}$$

$$A_s = \mu \cdot b \cdot d$$

حيث: $\mu = \alpha \cdot \frac{\sigma'_c}{f_y}$

ج- العزم الأقصى لقطاع أحادي التسليح والمقابل لاستعمال مساحة التسليح العظمى A_{smax}.

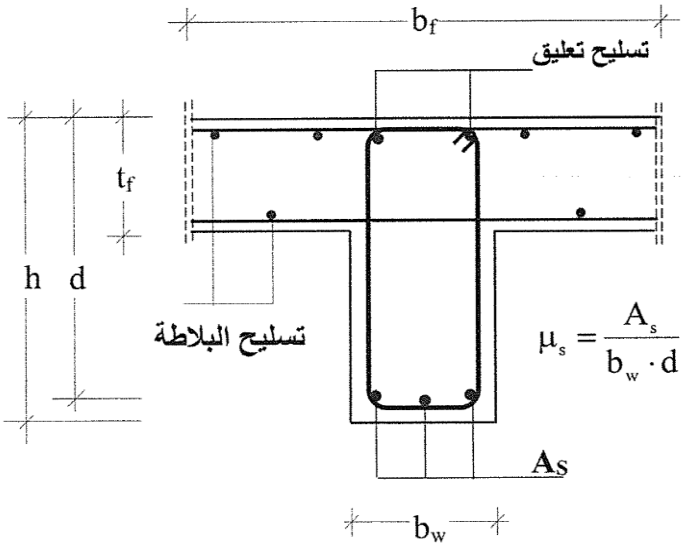
$$(M_{ur})_{max} = \Omega \left[\frac{y_{max}}{d} \left(1 - 0.5 \frac{y_{max}}{d} \right) \right] \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d^2 \quad .. (9.12)$$

د – يجب زيادة مساحة التسليح المحسوب أو تصغير أقطاره (أو كلاهما) لتحقيق حد التشقق، مع التأكد من عدم تجاوز اشتراط أن A_s لا تتجاوز $\frac{1}{2} A_{sb}$.

٩-٢-٥-٤- العلاقات الأساسية المعتمدة في تصميم وتحقيق القطاعات بشكل T الأحادية التسليح:

أ – العزم المقاوم للقطاع بشكل T الأحادي التسليح (الشكل ٩-٤):

إذا كانت: $\frac{A_s}{b_f \cdot d} \le \frac{t_F}{d} \cdot \frac{0.85 \cdot f_c}{f_y}$



الشكل (٤-٩): قطاع حرف T أحادي التسليح

يُعطى العزم المقاوم بالعلاقة:

$$M_u = \Omega \left[1 - 0.59 \cdot \frac{A_s \cdot f_y}{d \cdot f'_c} \cdot \frac{1}{b_f}\right] \cdot A_s \cdot f_y \cdot d \quad \ldots (9.13)$$

وإلا فيُعطى العزم المقاوم بالعلاقة:

$$M_{ur} = [M_{ur}]_1 + [M_{ur}]_2$$

$$= \Omega\left[A_{s1} \cdot f_y\left(d - \frac{t_f}{2}\right)\right] + \Omega \cdot \left[A_{s2} \cdot f_y\left(d - \frac{y}{2}\right)\right] \quad \ldots . (9.14)$$

حيث:

$$A_{s1} = \left(\frac{b_f - b_w}{f_y}\right) 0.85 f'_c \, t_f$$

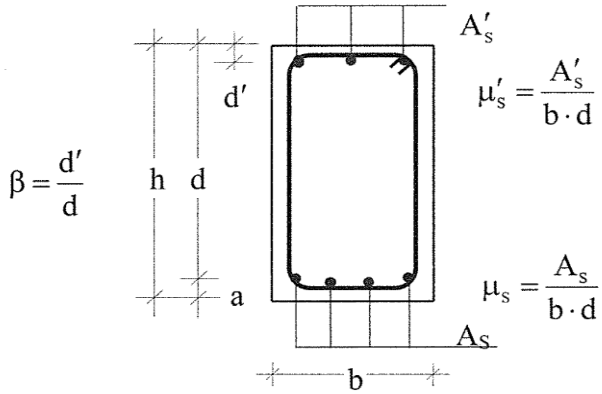
$$A_{s2} = A_s - A_{s1}$$

$$y = \frac{A_{s2}}{b_w} \frac{f_y}{0.85 f'_c}$$

ب- يُحسب العزم المقاوم الأقصى $(M_{ur})_{max}$ باستعمال إحدى العلاقتين (9.13) و(9.14) بعد تعويض قيمة A_s بـ A_{smax} المحسوبة بالبند (٢-٥-٢-٩).

ج – يجب زيادة مساحة التسليح المحسوب أو تصغير أقطاره (أو كلاهما) لتحقيق حد التشقق، مع التأكد من عدم تجاوز اشتراط أن A_s لا تتجاوز $\frac{1}{2}A_{sb}$.

٩-٢-٥-٥- العلاقات الأساسية المعتمدة في تصميم وتحقيق القطاعات المستطيلة ثنائية التسليح: (راجع الشكل ٩-٥)



الشكل (٥-٩): قطاع مستطيل ثنائي التسليح

أ - يُحدد العزم المقاوم من العلاقة الآتية:

$$M_u = \Omega\left[\frac{A_s - A'_s}{b.d}\left(1 - 0.59\left(\frac{A_s - A'_s}{b.d}\right)\frac{f_y}{f'_c}\right) + \frac{A'_s}{bd}(1-\beta)\right] f_y bd^2 \quad \dots (9.15)$$

على أن يتحقق الشرط الآتي:

$$\frac{A_s - A'_s}{b.d} \geq \frac{0.85 f'_c}{f_y} \cdot \frac{d'}{d} \cdot \frac{535}{630 - f_y} \quad \dots (9\text{-}16)$$

(وفي النظام المتري $\frac{A_s - A'_s}{b.d} \geq \frac{0.85 f'_c}{f_y} \cdot \frac{d'}{d} \cdot \frac{5350}{6300 - f_y}$)

وإلا فيفترض الإجهاد في التسليح المضغوط أقل من f_y، ويتم الحساب بالاستناد إلى المبادئ الأساسية، أو يمكن إهمال تسليح الضغط، وحساب القطاع بشكل أحادي التسليح.

ب- في الحالة العامة، يمكن استعمال تسليح الضغط لزيادة طاقة تحمل القطاع القصوى بتسليح أحادي، وفق ما سيرد في (ج) و (د) أدناه.

ج- عند استعمال مساحة تسليح ضغط A'_s ومساحة تسليح شدّ قصوى لقطاع أحادي التسليح A_{smax}، مضافاً إليها مساحة تسليح شدّ تقابل مساحة الضغط وتساوي A'_s، تزاد قيمة العزم الأقصى $(M_{ur})_{max}$ المسموح به لقطاع أحادي التسليح بالقيمة:

$$(\Delta M_{ur})_{max} = \Omega\,[\,\gamma . A'_s\,(1-\beta)\,] f_y\, d \quad \dots (9\text{-}17)$$

حيث: تؤخذ قيمة γ من العلاقة الآتية:

$$y_{max} \geq \frac{535 \cdot d'}{630 - f_y} \quad \Rightarrow \gamma = 1$$

(وفي النظام المتري $y_{max} \geq \frac{5350 \cdot d'}{6300 - f_y}$)

$$y_{max} \leq \frac{535 \cdot d'}{630 - f_y} \Rightarrow \gamma = \frac{630 \cdot (y_{max} - 0.85d')}{f_y \cdot y_{max}} \quad \ldots\ldots (9-18)$$

مع مراعاة: (البند ٧-٢-١-٧-د) والبند (٧-١-٢-٧-هـ) والبند (٢-٥-٢-٩-أ).

د- في حال استعمال تسليح ضغط بغية زيادة طاقة تحمّل القطاع، فإن مساحة تسليح الضغط القصوى المستعملة، يجب ألا تزيد على مساحة تسليح الشدّ، وعلى أن تحقق الشرط الآتي: إذا كانت مساحة تسليح الشدّ القصوى لقطاع أحادي التسليح A_{smax}، فإن مساحة تسليح الشدّ القصوى لقطاع ثنائي التسليح، يتوجب ألا تزيد على $1.5A_{s_{max}}$. حيث: A_{smax} تؤخذ المقابلة لـ $0.5A_{sb}$، وإلا فتزاد أبعاد القطاع.

هـ- يجب زيادة مساحة التسليح أوتصغير أقطاره (أو كلاهما) لتحقيق حد التشقق، مع التأكد من عدم تجاوز اشتراط أن $(A_s\text{-}A_s')$ لا تتجاوز $\frac{1}{2}A_{sb}$.

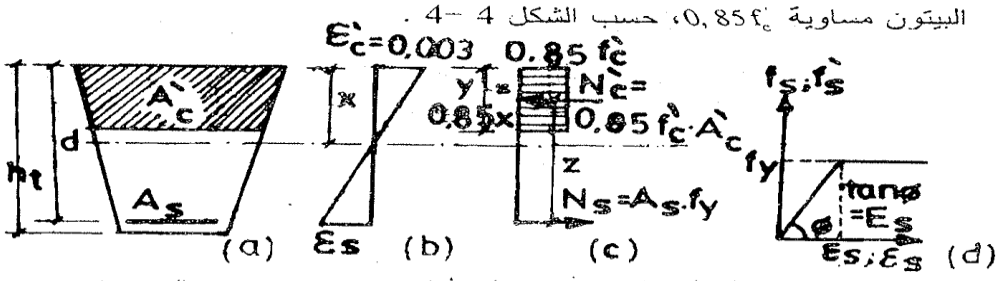
الحساب العملي للعناصر الخاضعة للانعطاف :

4 – 2 – حساب المقاطع العرضية المتناظرة :

4 -2- 1 - حساب مقطع متناظر وحيد التسليح :

يعتمد الحساب على الفرضيات التالية :

- المقاطع المستوية قبل الانعطاف تبقى مستوية بعده .
- يؤخذ التشوه الأقصى في ليف البيتون الأكثر انضغاطا مساويا $\varepsilon_c' = 0,003$.
- إهمال مقاومة البيتون في منطقة الشد ويقاوم الفولاذ كامل إجهادات الشد .
- يؤخذ إجهاد فولاذ التسليح مساويا التشوه (ε_s) مضروبا في عامل المرونة Es على ألا تزيد قيمته المطلقة عن إجهاد الخضوع fy .
- اعتبار مخطط مكافىء لإجهادات الضغط في البيتون بشكل مستطيل ارتفاعه x 0,85 ، حيث x ارتفاع منطقة الضغط، وتكون قيمة إجهاد الضغط في البيتون مساوية $0,85f_c'$، حسب الشكل 4 – 4 .



شكل 4 – 4 – التشوهات والإجهادات في مقطع متناظر أحادي التسليح يتعرض لعزم انعطاف بسيط .

(d) – العلاقة بين الاجهادات والتشوهات (c) – توزع الاجهادات (b) – توزع التشوهات (a) – المقطع العرضي .

نحصل على دساتير حساب العناصر الخاضعة للانعطاف من شروط توازن القوى الداخلية في مرحلة الانكسار ، وتكون اجهادات التسليح قد بلغت إجهادات الخضوع (حد السيلان) f_y و إجهادات البيتون في منطقة الضغط تكون قد

وصلت حد المقاومة للبيتون على الضغط في حالة الانعطاف (المقاومة المميزة f'_c) . من شروط التزان بين القوى الداخلية والخارجية وبالاعتماد على الشكل 4 – 4 نجد :

$$\Sigma M = 0 \Rightarrow Mu = \Omega . N'_c . z = \Omega . Ns . z \quad \dots (4-1)$$

$$\Sigma N = 0 \Rightarrow N'_c = Ns \quad \dots (4-2)$$

حيث :

N'_c – محصلة قوى الضغط في البيتون المضغوط وتساوي $0,85 . f'_c . A'_c$

A'_c – مساحة البيتون المضغوط .

Ns –محصلة قوى الشد في تسليح الشد وتساوي $A_s . f_y$

z – ذراع المزدوجة بين N_s وN'_c أي $z = d - y/2$.

نعرف الحالة التوازنية في حالة الانعطاف البسيط على النحو التالي : تحدث الحالة التوزانية في العناصر الخاضعة لعزم بسيط عندما يبلغ التشوه في فولاذ التسليح تشوه السيلان أي $\varepsilon_s = \varepsilon_y = f_y / E_s$، وفي اللحظة نفسها التي يبلغ فيها تشوه الضغط في البيتون قيمته القصوى أي $\varepsilon'_c = 0,003$ وتكون مساحة تسليح الشد المقابلة للحالة التوازنية A_b . ومن مخطط التشوهات في الشكل 4 – 4 نستطيع كتابة العلاقة التالية :

$$\frac{x}{d} = \frac{\varepsilon'_c}{\varepsilon'_c + \varepsilon_s} \quad \dots (4-3)$$

وبما أن $\varepsilon'_c = 0,003$ و $\varepsilon_s = f_y / E_s$ وبافتراض $E_s = 2,1.10^5 N/mm^2$ نجد :

$$\frac{xb}{d} = \frac{0,003}{0,003 + f_y / E_s} = \frac{630}{630 + f_y} \quad \dots (4-4)$$

ومن هذه العلاقة يمكن حساب y_b وهي :

$$\frac{y_b}{d} = \frac{0,85 x_b}{d} = \frac{535}{630 + f_y} \quad \dots (4-5)$$

فمن أجل مقطع مستطيل مثلا واعتمادا على شروط التوازن نجد :

$$0,85 . f'_c . b . y_b = A_s . f_y \quad \dots (4-6)$$

حيث b عرض المقطع المستطيل و y_b ارتفاع مخطط اجهادات الضغط المستطيل في الحالة التوازنية .

من العلاقة (6 – 4) يمكن أن نكتب :

$$y_b = \frac{A_s . f_y}{b . 0,85 . f_c'}$$

$$\frac{y_b}{d} = \frac{A_s}{b.d}\frac{f_y}{0,85.f_c'} = \mu_b \cdot \frac{f_y}{0,85.f_c'} \quad \dots (4-7) \text{ أو}$$

حيث : $\mu_b = \frac{A_s}{bd}$ تمثل نسبة التسليح التوازنية والمقابلة لـ y_b . من العلاقتين (5 – 4) و (7 – 4) نجد :

$$\mu_b = \frac{455}{630 + f_y}\frac{f_c'}{f_y} \quad \dots (4-8)$$

وبما أن نسبة التسليح العظمى المسموحة أقل من نسبة التسليح التوازنية وذلك لضمان انهيار مطاوع (فولاذ التسليح) يسبقه مؤشرات إنذار ولتحاشي الانهيار الهش المفاجىء (في بيتون الضغط)، حيث يسمح الكود بأن تأخذ نسبة التسليح المستخدمة قيمة قصوى مقدارها ثلاثة أرباع التوازنية ، (و لو رمزنا بـ μ_s لنسبة مقطع التسليح المشدود As إلى المقطع الفعال للبيتون Ac أي :

$$\mu_s = \frac{A_s}{A_c} = \frac{A_s}{b.d}$$

يكون : $\mu_{s_{max}} \le 0,75\mu_b = 0,75\frac{455}{630 + f_y}\frac{f_c'}{f_y}$

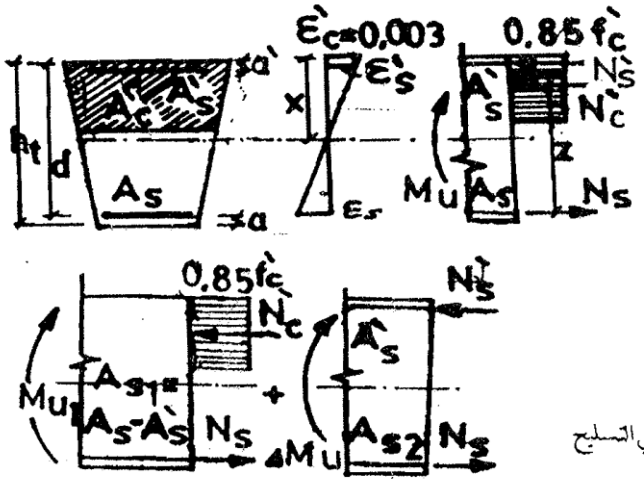
أو بتقريب بسيط :

$$\mu_{s_{max}} \le \frac{340}{630 + f_y}\frac{f_c'}{f_y} \quad \dots (4-9)$$

4 - 2 - 2- حساب مقطع متناظر ثنائي التسليح :

إذا فرضت الناحية المعمارية الالتزام بأبعاد محددة للمقطع البيتوني للعنصر وعندما يزيد العزم الخارجي المطبق على المقطع عن التحمل الأقصى لبيتون

منطقة الضغط فعندئذ يجب وضع تسليح ضغط في منطقة الضغط كي يتحمل العزم المتبقي (الفرق بين العزم الخارجي المطبق والعزم الذي يتحمله البيتون) ، شكل 4 –5 ، تستهلك المقاطع ثنائية التسليح كمية كبيرة من الفولاذ فهي بسبب ذلك غير اقتصادية .



شكل 4 –5 – مقطع متناظر ثنائي التسليح

واعتمادا على الشكل السابق يكون :

$$M_u = M_{u1} + \Delta M_u \qquad \dots (4-10)$$

$$A_s = A_{s1} + A'_s \qquad \dots (4-11)$$

ومن توازن القوى نجد :

$$A_s . f_y = A'_s . f_y + A'_c . 0,85 f'_c \Rightarrow$$

$$(A_s - A'_s) f_y = A'_c . 0,85 f'_c \qquad \dots (4-12)$$

ويجب أن يتحقق الشرطان :

$$(\mu_s - \mu'_s) = \frac{A_s - A'_s}{A_c} \le 0,75 \mu_b \qquad \dots (4-13)$$

$$y \le y_{max} \qquad (4-14)$$

ويشترط أن يكون التشوه في التسليح المضغوط أكبر من تشوه السيلان أي :

$$\varepsilon'_s = 0,003 \frac{x - a'}{x} \ge \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \qquad \dots (4-15)$$ (شكل 4 –5)

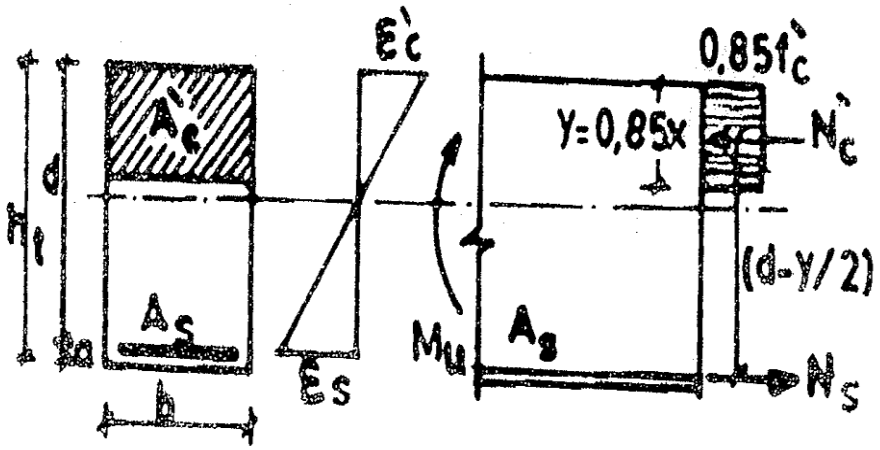
وإلا فيفترض الإجهاد في التسليح المضغوط أقل من f_y ويتم الحساب بالاستناد إلى المبادىء الأساس أو يمكن إهمال تسليح الضغط وحساب المقطع بشكل أحادي التسليح .

4 – 3 – حساب المقاطع المستطيلة :

4 -3- 1- حساب المقاطع المستطيلة أحادية التسليح :

4 -3- 1 – 1- العلاقات الأساس في حساب المقاطع المستطيلة أحادية التسليح :

في حالة مقطع مستطيل ومسلح بتسليح أحادي (شكل 4 – 6) تأخذ العلاقة (4 – 1) والعلاقة (4 – 2) الشكل التالي :



شكل 4 – 6 – الإجهادات والتشوهات في مقطع مستطيل أحادي التسليح

$$Mu = \Omega . b . y . 0,85 f'_c . z = \Omega . A_s . f_y . z \quad \dots (4-16)$$

$$b . y . 0,85 f'_c = A_s . f_y \quad \dots (4-17)$$

من العلاقة (4 – 17) يمكن أن نكتب :

$$y = \frac{A_s}{b}\frac{f_y}{0,85f_c'} \Rightarrow$$

$$y/d = \frac{A_s}{b.d}\frac{f_y}{0,85f_c'} \Rightarrow$$

$$\alpha = \mu_s \cdot \frac{f_y}{0,85f_c'} \quad \ldots\ldots(4-18)$$

حيث :

$$\alpha = y/d ; \mu_s = \frac{A_s}{b.d}$$

تحدد نسبة التسليح العظمى بثلاثة أرباع نسبة التسليح التوازنية وعندئذ يستطيع المقطع المستطيل أحادي التسليح أن يتحمل عزما ذا قيمة قصوى. وهذا يعني أنه توجد قيمة قصوى لـ y توافق القيمة القصوى لنسبة التسليح، ويمكن تحديد y_{max} من العلاقة (4 – 7) وبما أن $\mu_{smax} = 0,75\mu_b$ يكون :

$$\frac{y_{max}}{d} = 0,75\frac{535}{630+f_y} = \frac{400}{630+f_y}$$

أو يمكن أن تحدد باستخدام العلاقتين (4 – 7) و (4 – 9) حيث يمكن كتابة العلاقة (4 – 7) على الشكل التالي: $\frac{y_{max}}{d} = \mu_{smax}\cdot\frac{f_y}{0,85f_c'}$ ... (4 – 19)

وبوضع قيمة μ_{smax} من العلاقة (4–9) في العلاقة (4 – 19) نجد :

$$\frac{y_{max}}{d} = \frac{340}{630+f_y}\cdot\frac{f_c'}{f_y}\frac{f_y}{0,85f_c'} \Rightarrow$$

$$\frac{y_{max}}{d} = \frac{400}{630+f_y} \quad \ldots \quad (4-20)$$

وهذا يعني أن النسبة القصوى لـ $\alpha = y/d$ تتعلق فقط بحد السيلان للفولاذ fy، وبالتالي نستطيع تحديد قيم α_{max} لبعض الأنواع المألوفة لفولاذ التسليح كما هي مبينة بالجدول (4 – 1)

نستطيع الوصول إلى علاقة لتحديد قيمة العزم الأقصى بالانطلاق من العلاقة (4 – 16) بعد تبديل (Z) بـ (d - y/2) بالشكل التالي :

جدول (4 – 1) قيم α_{max} من أجل بعض أنواع الفولاذ

f_y	α_{max}
240 N / mm^2	0.46
280 N / mm^2	0.44
340 N / mm^2	0.41
380 N / mm^2	0.39
420 N / mm^2	0.38

$$Mu = \Omega . b . y . 0,85 f_c' (d - y/2) \Rightarrow$$
$$Mu = \Omega . b . y . 0,85 f_c' . d (1 - 0,5 y/d) \Rightarrow$$
$$Mu = \Omega \frac{y}{d} (1 - 0,5 y/d) . 0,85 f_c' . b . d^2 \quad \dots \quad (4-21)$$

4 – 3 – 1 – 2 – تصميم المقاطع المستطيلة أحادية التسليح :

في تصميم المقطع المستطيل أحادي التسليح يلزم حساب أبعاد المقطع والتسليح، وعندما تكون أبعاد المقطع معلومة فعندئذ يلزم حساب التسليح فقط .

لحساب أبعاد المقطع يجب أن نفرض عرض للمقطع ومن ثم يتم حساب الارتفاع اللازم. فيمكن الانطلاق من العلاقة (4 – 21) لحساب ارتفاع المقطع :

$$d = \sqrt{\frac{Mu}{\Omega . \frac{y}{d} (1 - 0,5 y/d) . 0,85 f_c' . b}}$$

فلو رمزنا بـ $A_0 = \frac{y}{d} (1 - 0,5 y/d) = \alpha (1 - 0,5\alpha)$

نحصل على :

$$d = \sqrt{\frac{Mu}{\Omega . A_0 . 0,85 f_c' . b}} = \sqrt{\frac{1}{A_0}} \sqrt{\frac{Mu}{\Omega . 0,85 f_c' . b}}$$

$$d = r_0 \sqrt{\frac{Mu}{\Omega . 0,85 f_c' . b}} \quad \dots \quad (4-22)$$

حيث رمزنا بـ $r_0 = \sqrt{\frac{1}{A_0}}$

ويجب فرض نسبة تسليح μ_s ومنها نوجد $\alpha = \mu_s . \frac{f_y}{0,85 f'_c}$ وبالتالي يمكن ايجاد A_0 ومنها r_0 ونحسب d من العلاقة (4 -2 2) . ونستطيع إعطاء قيمة الذراع z كالتالي :

$$Z = d - y/2 \Rightarrow \frac{z}{d} = 1 - 0,5y/d = 1 - 0,5\alpha$$
$$\Rightarrow z = \gamma_0 . d$$

حيث $\gamma_0 = 1 - 0,5\alpha$ وبالتعويض بعلاقة العزم التالية :

$$Mu = \Omega A_s . f_y . z \quad \dots \quad (4-23)$$

نجد : $$Mu = \Omega . A_s . f_y \gamma_0 . d \quad \dots \quad (4-24)$$

وبالتالي نحصل على مقطع التسليح حسب العلاقة :

$$A_s = \frac{Mu}{\Omega . f_y . \gamma_0 . d} \quad \dots \quad (4-25)$$

ولتسهيل عملية الحساب يمكن استخدام الجدول (4 – 2) الذي يعطي قيم r_0, A_0, γ_0 وذلك تبعا لقيمة α .

وعندما يكون ارتفاع المقطع معلوما والمطلوب حساب التسليح فقط عندئذ يمكن الاعتماد على العلاقة (4 – 21) والتي تصبح كالتالي :

$$Mu = \Omega . A_0 . 0,85 . f'_c . b . d^2$$

حيث عوضنا $A_0 = (y/d)(1 - 0,5y/d)$ ونوجد من الجدول γ_0, α ونتأكد من أن $\alpha \le \alpha_{max}$ ونحسب التسليح من العلاقة (4 – 25) . أما إذا كانت $\alpha > \alpha_{max}$ فهذا يعني أن المقطع يحتاج لتسليح ثنائي .

4 -3- 1 -3 – تحقيق المقاطع المستطيلة أحادية التسليح :

يعني تحقيق المقاطع المستطيلة أن المقطع معلوم والتسليح معلوم والمطلوب تحديد العزم الأقصى الذي يمكن للمقطع تحمله ومقارنته مع العزم الخارجي المطبق على المقطع وأحيانا يطلب إيجاد التحمل الأقصى للمقطع .

نوجد نسبة التسليح :

$$\mu_s = \frac{A_s}{b.d}$$

ومنها نوجد $\alpha = \mu_s \frac{f_y}{0,85 f'_c}$

ونقارن فإذا كانت $\alpha > \alpha_{max}$ تكون نسبة التسليح أكبر من العظمى $\mu_s > \mu_{s_{max}}$ ويتعلق تحمل المقطع بالطاقة القصوى للبيتون فنأخذ $\alpha = \alpha_{max}$ ونوجد A_{0max} المقابلة ، وبالتالي قيمة التحمل هي :

$$Mu = \Omega . A_{0max} . b.d^2 . 0,85 f'_c$$

وعندما تكون نسبة التسليح أعظمية $\mu_s = \mu_{s_{max}}$ يتعلق التحمل بالطاقة القصوى للبيتون و أيضا بالطاقة القصوى للفولاذ (أي تحمل البيتون المضغوط مساو لتحمل فولاذ التسليح) .

امثلة في حساب المقاطع المستطيلة احادية التسليح :

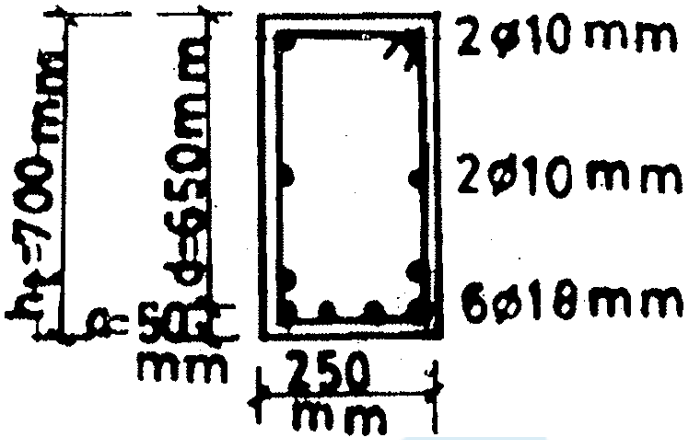
مثال (4 - 1) :

مقطع مستطيل عرضه $b = 250\ mm$ ، يتعرض لعزم انعطاف أقصى مقداره $Mu = 200\ kN.m$ ، يطلب تصميم المقطع علما بأن المقاومة المميزة للبيتون على الضغط $f'_c = 20 N/mm^2$ و المقاومة المميزة للفولاذ المستخدم $f_y = 240 N/mm^2$

الحل :

نفرض نسبة تسليح تقع ضمن الحدود الدنيا والعظمى حيث :

$$\mu_{min} = \frac{0,9}{f_y} = \frac{0,9}{240} = 0,375\%$$



توزيع التسليح على المقطع العرضي

(:

$$\mu_{0,m} = \frac{340}{630 + f_y}\frac{f_c'}{f_y} = \frac{340}{630+240}.\frac{20}{240} = 3,26\%$$

بفرض نسبة تسليح اقتصادية (تكبير المقطع البيتوني وتصغير مقطع فولاذ التسليح) :

نفرض نسبة التسليح $\mu_0 = 1\%$

$$\alpha = \mu_0 \frac{f_y}{0.85 f_c'} = 0,01\frac{240}{0,85.20} = 0,141$$

من الجدول نوجد :

$$r_0 = 2,761 \qquad \gamma_0 = 0,9295$$

$$d = r_0\sqrt{\frac{Mu}{\Omega.b.0,85f_c'}} = 2,761\sqrt{\frac{200.10^6}{0,9.250.0,85.20}} = 631\,mm$$

نأخذ $h_t = 700\,mm,\ d = 650\,mm$

نوجد A_0 المقابلة لهذا الارتفاع :

$$A_0 = \frac{Mu}{\Omega.b.d^2.0,85f_c'} = \frac{200.10^6}{0,9.250.650^2.0,85.20} = 0,124$$

من الجدول نجد $\gamma_0 = 0,933$

$$A_s = \frac{Mu}{\Omega.\gamma_0.d.f_y} = \frac{200.10^6}{0,9.0,933.650.240} = 1526,8\,mm^2$$

نختار $6\phi 18\,mm = 1526,8\,mm^2$

ونختار قضبان تعليق $2\phi 10mm$ وقضبان تقلص $2\phi 10mm$ بعد اختيار تسليح الشد يجب التحقق من الارتفاع الفعال d حيث $d = h_t - a$ فلو فرضنا سماكة تغطية 20 mm واستخدام أساور $\phi 8mm$ وتتوضع القضبان على طبقتين كما هو مبين على الشكل 4 – 7 وبتباعد شاقولي بين القضبان قيمته 20 mm تكون :

$a = 49,7$ mm وبالتالي $d = 700 - 49,7 = 653mm$

> 650 mm ok

مثال (4-2) :

جائز بسيط مجازه $L = 8000\ mm$ ، مقطعه مستطيل أبعاده $b = 350mm;\ h_t = 700mm$ ، يتعرض لحمولة دائمة بما في ذلك وزنه الذاتي موزعة بانتظام مقدراها $30\ kN/m$ وحمولة حية موزعة بانتظام $P = ?,\ f'_c = 18N/mm^2,\ f_y = 340N/mm^2$ والمطلوب تحديد قيمة P الأعظمية التي يمكن للجائز تحملها عندما تكون كمية التسلح مساوية لـ :

أ – $A_s = 6\phi 25mm = 2945mm^2$

ب – $A_s = 7\phi 28mm = 4310mm^2$

الحل :أ-

$$\mathbf{A_s = 6T25\ mm = 2945\ mm^2}$$

$$M_u = 1.4 * M_g + 1.7 * M_p = 1.4 * 30 + 1.7 * p * \frac{(8)^2}{8} = 336 + 13.6 * p\ kNm$$

$$h_t = 700\ mm \Rightarrow\ d = 650\ mm$$

$$\mu_s = \frac{A_s}{b * d} = \frac{2945}{350 * 650} = 0.0129$$

$$\alpha = \mu_s \frac{f_y}{0.85\ f'c} = 0.0129 * \frac{340}{0.85 * 18} = 0.278 < \alpha_{max} = 0.41 \text{ من الجداول}$$

$$A_0 = 0.2424 \Rightarrow$$

$$M_u = \Omega.0.85 f'_c.b.d^2 A_0 = 0.9 * 0.85 * 18 * 350 * (650)^2 * 0.2424 = 493.58kNm$$

$$336 + 13.6 * p = 493.58kNm \Rightarrow \quad p_{max} = 11.58\ kN/m$$

ب-

$$\mathbf{A_s = 7T28\ mm = 4310\ mm^2}$$

نفرض $d = 640\ mm$ لاننا نضع التسليح على طبقتين :

$$\mu_s = \frac{A_s}{b * d} = \frac{4310}{350 * 640} = 0.0192$$

$$= 0.0192 * \frac{340}{0.85 * 18} = 0.427 > \alpha_{max} = 0.41 \text{نأخذ} \alpha = \alpha_{max} = 0.41 \text{ من الجداول } A_0 = 0.326 \Rightarrow$$

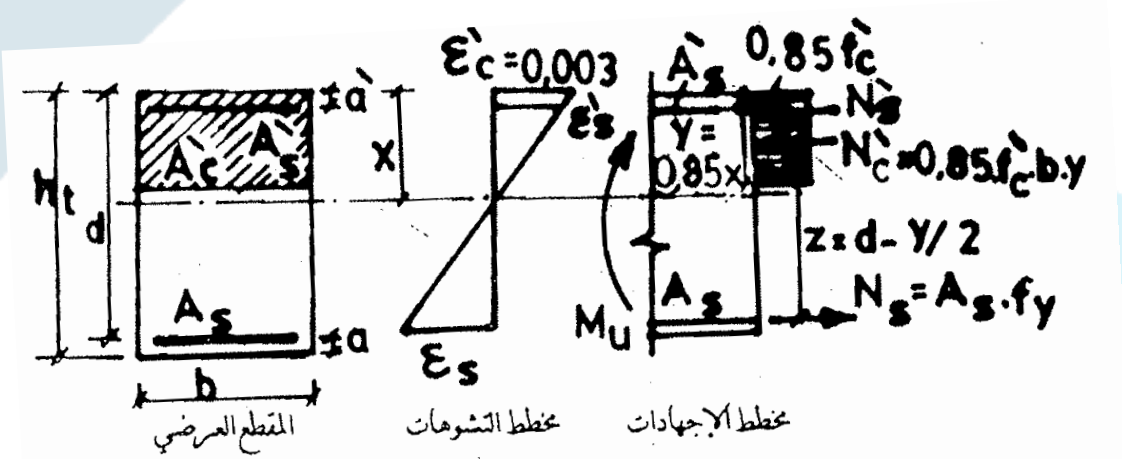
$$M_u = \Omega. 0.85 f'_c. b. d^2 A_0 = 0.9 * 0.85 * 18 * 350 * (640)^2 * 0.326 = 643.54 \text{ kNm}$$

$$336 + 13.6 * p = 643.54 \text{kNm} \Rightarrow \quad p_{max} = 22.61 \text{ kN/m}$$

4 -3- 2 - حساب المقاطع المستطيلة ثنائية التسليح :

يحتاج المقطع تسليحا ثنائيا أي في منطقتي الشد والضغط إذا كانت أبعاد المقطع مفروضة لأسباب معمارية والتسليح الأحادي الأقصى لهذا المقطع لا يكفي لمقاومة العزم الخارجي، أو في الحالة التي يتعرض فيها المقطع لعزوم سالبة وموجبة متناوبة أو عندما نحتاج إلى تسليح ضغط للتخفيف من أثر السهوم الناتجة عن الحمولات طويلة الأمد. وقد يتعلق تحديد أبعاد المقطع في بعض الحالات بالوزن الأقصى للقطعة المسبقة الصنع، انطلاقا من حمولة الرافعة أو يتعلق مثلا بضرورة إنتاج قطع ذات حمولات مختلفة في أحد القوالب الموجودة بالذات .

يبين الشكل 4 –8 الإجهادات والتشوهات في مقطع مستطيل ثنائي التسليح .



شكل 4 –8 – الإجهادات والتشوهات في مقطع مستطيل ثنائي التسليح .

4 - 3- 2 -1 - العلاقات الأساس في حساب المقاطع المستطيلة ثنائية التسليح :

اعتمادا على الشكل 4 -8 يمكن أن نكتب العلاقات الأساس لمقطع مستطيل ثنائي التسليح على النحو التالي :

$$Mu = Mu_1 + \Delta Mu =$$

$$= \Omega[\, b.y.0,85.f_c'(d-0,5y) + A_s'.f_y(d-a')\,] \quad \cdots \quad (4-26)$$

$$N_s = N_c' + N_s' \Rightarrow$$

$$A_s.f_y = 0,85.f_c'.b.y + A_s'.f_y \Rightarrow$$

$$(A_s - A_s')f_y = 0,85 f_c'.b.y \quad \cdots \quad (4-27)$$

ويجب تحقيق الشرطين في العلاقتين (13 - 4) و (14 - 4) .

ويشترط أن يكون التشوه في التسليح المضغوط أكبر من تشوه السيلان حسب العلاقة (4-15) و إلا فيكون الاجهاد في تسليح الضغط أقل من fy ويعاد الحل على هذا الأساس أي $f_s' < f_y$.

4 - 3 - 2 - 2 - تصميم المقاطع المستطيلة ثنائية التسليح :

نميز حالتين للتصميم :

- في الحالة الأولى تكون أبعاد المقطع معلومة والمطلوب حساب تسليح الضغط A_s' وتسليح الشد A_s .
- في الحالة الثانية تكون أبعاد المقطع معلومة وأيضا تسليح الضغط A_s' والمطلوب حساب تسليح الشد A_s .

في الحالة الأولى يجب اختيار التسليح بحيث يكون مجموع كمية التسليح $(A_s + A'_s)$ أقل ما يمكن ويتم ذلك عندما تأخذ y قيمتها الأعظمية $y = y_{max}$ وهذا يعني استغلال كامل طاقة البيتون على الضغط أو بمعنى آخر عندما يأخذ Mu1 قيمته القصوى واستنادا إلى ذلك نحصل على A'_s من العلاقة (26 – 4) :

$$A'_s = \frac{Mu - \Omega . b . y_{max} . 0,85 f'_c . (d - 0,5 y_{max})}{\Omega . f_y . (d - a')}$$

أو

$$A'_s = \frac{Mu - \Omega . b_s d^2 . 0,85 f'_c . \alpha_{max} (1 - 0,5 \alpha_{max})}{\Omega . f_y . (d - a')} \quad \dots \quad (4-28)$$

أما تسليح الشد A_s فيمكن حسابه من العلاقة (27 – 4) :

$$A_s = b . d . \alpha_{max} \frac{0,85 f'_c}{f_y} + A'_s$$

وبما أن $\alpha_{max} \frac{0,85 f'_c}{f_y} = \mu_{s_{max}}$ نكتب :

$$A_s = b . d . \mu_{s_{max}} + A'_s \quad \dots \quad (4-29)$$

يمكن استخدام الجدول (4 – 2) لتصميم المقاطع المستطيلة ثنائية التسليح كما يلي :

نحدد أولا القيمة القصوى للعزم Mu1 الذي يمكن أن يتحمله المقطع في حالة تسليحه بشكل أحادي أي :

$$Mu_1 = \Omega . b . d^2 . 0,85 f'_c . \alpha_{max} (1 - 0,5 \alpha_{max}) \quad \dots \quad (4-30)$$

ثم نوجد قيمة التسليح A_{s1} المقابلة للعزم السابق :

$$A_{s1} = b . d \ . \mu_{s max} = b . d . \alpha_{max} \frac{0,85 f'_c}{f_y} \quad \dots \quad (4-31)$$

ونحسب العزم الباقي من العلاقة :

$$\Delta Mu = Mu - Mu_1$$

ثم نحسب تسليح الضغط A'_s من العلاقة :

$$A'_s = A_{s_2} = \frac{\Delta Mu}{\Omega . f_y . (d - a')} \quad \cdots (4-32)$$

وبالتالي يصبح تسليح الشد :

$$A_s = A_{s_1} + A_{s_2} \quad \cdots (4-33)$$

أما في الحالة الثانية والتي يكون فيها تسليح الضغط A'_s معلوما و أبعاد المقطع معلومة أيضا، نبدأ بحساب العزم الذي يمكن أن يتحمله تسليح الضغط A'_s أي :

$$\Delta Mu = \Omega . A'_s . f_y . (d - a')$$

والعزم الباقي :

$$Mu_1 = MU - \Delta Mu$$

ونحدد مقطع التسليح المقابل للعزم Mu_1 كما لو كان المقطع وحيد التسليح (يمكن استخدام الجدول 4 –2 أيضا في هذه الحالة) وهكذا يكون تسليح الشد الكلي حسب العلاقة (33 – 4) .

ويجب في هذه الحالة التحقق من وصول تسليح الضغط إلى حد السيلان أي: $\varepsilon'_s = 0,003 \frac{x - a'}{x} \geq \varepsilon'_y = \frac{f_y}{E_s}$، فإذا لم يصل تسليح الضغط إلى حد السيلان فعندئذ يجب اعادة الحل من العلاقات الأساس (26 – 4) و (27 – 4) حيث يتم تعويض الإجهاد في فولاذ الضغط (f'_s) بدلالة x أو y ، العلاقة (26 – 4) تكتب على الشكل التالي :

$$Mu = \Omega\{ b . y . 0,85 . f'_c . (d - 0,5y) + A'_s . 630 \frac{y - 0,85a'}{y} (d - a')] \quad \cdots (4-34)$$

حيث عوضنا $f'_s = \varepsilon'_s . E_s = 0,003 \frac{x - a'}{x} E_s$

$$= 0,003 \frac{y - 0,85a'}{y} . 2,1 . 10^5 = 630 \frac{y - 0,85a'}{y}$$

العلاقة (34 – 4) تعطي معادلة من الدرجة الثانية لـ y ، بحلها نحصل على قيمة y ومن ثم يمكن إيجاد الاجهاد في تسليح الضغط .

والعلاقة (27 – 4) تصبح على الشكل التالي :

$$A_s . f_y = 0,85 f'_c . b . y + A'_s . f'_s \quad ... (4-35)$$

بتعويض قيمة f'_s و y بالعلاقة السابقة يمكن الحصول على قيمة تسليح الشد A_s.

4 -3- 2- 3- تحقيق المقاطع المستطيلة ثنائية التسليح :

أبعاد المقطع معلومة وتسليح الشد وتسليح الضغط أيضا معلوم. بهذه الحالة نحسب تحمل تسليح الضغط ، فنفرض أن تسليح الضغط وصل حد السيلان يكون تحمله مساويا إلى :

$$\Delta Mu = \Omega . A'_s . f_y (d - a')$$

وتسليح الشد A_{s1} المقابل لـ Mu_1 هو : $A_{s1} = A_s - A'_s$

نحسب نسبة التسليح μ_{s1} ومنها نستنتج قيمة α و y :

$$\mu_{s1} = \frac{A_{s1}}{b.d} \Rightarrow \alpha = \mu_{s1} . \frac{f_y}{0,85 f'_c} \Rightarrow y = \alpha . d$$

ونتأكد من وصول تسليح الضغط إلى حد السيلان ، فإذا كان $\varepsilon'_s \geq \varepsilon'_y = \frac{f_y}{E_s}$

يكون تسليح الضغط قد وصل إلى حد السيلان فنوجد Mu_1 :

$$Mu_1 = \Omega . 0.85 f'_c . b . d^2 . \alpha (1 - 0,5\alpha)$$

ويكون تحمل المقطع $Mu = Mu_1 + \Delta Mu$

أما إذا لم يصل تسليح الضغط إلى حد السيلان أي $\varepsilon'_s < \varepsilon'_y = \frac{f_y}{E_s}$ فنعود إلى العلاقات الأساس فمن العلاقة التالية :

$$\Sigma N = 0 \Rightarrow A_s . f_y - A'_s . f'_s = 0,85 . f'_c . b . y$$

وبتعويض $f'_s = 630 \frac{y - 0,85a'}{y}$ نحصل على معادلة من الدرجة الثانية لـ y

بحلها نحصل على y وبعدها نوجد تحمل تسليح الضغط

$$\Delta Mu = \Omega A'_s . f'_s (d - a')$$

وتحمل البيتون $Mu_1 = \Omega . 0,85 . f'_c . b . y (d - y/2)$

وبالتالي تحمل المقطع $Mu = \Delta Mu + Mu_1$

4 -3- 4 -2- 4 - أمثلة في حساب المقاطع المستطيلة ثنائية التسليح :

مثال (4 - 3) :

جائز مقطعه مستطيل أبعاده b=350mm , ht=700mm ، يتعرض لعزم انعطاف أقصى مقداره Mu=750kNm ، مقاومة المواد $f_c' = 18N/mm^2$, $f_y = 240N/mm^2$ والمطلوب تصميم المقطع (حساب التسليح اللازم) .

الحل :

نبدأ الحل على أساس تسليح أحادي ، وبفرض d = 650 mm يكون :

$$A_0 = \frac{Mu}{\Omega.0,85.f_c'.b.d^2} = \frac{750.10^6}{0,9.0,85.18.350.650^2} = 0,3683$$

من الجدول (4 - 2) نجد: $\alpha = 0,4866 > \alpha_{max} = 0,46$ يلزم تسليح ثنائي .

نصمم المقطع بحيث نحصل على تسليح أصغري أي نحمل البيتو ن كامل طاقته نأخذ a = 80 mm أي d = 700 - 80 = 620 mm وذلك لأنه متوقع أن نحتاج لكمية كبيرة من تسليح الشد

$$\alpha = \alpha_{max} = 0,46 \Rightarrow \gamma_0 = 0,770$$

$$M_{u1} = \Omega.0,85.f_c'.b.d^2.\alpha(1-0,5\alpha)$$

$$= 0,9.0,85.18.350.620^2.0,46(1-0,5.0,46) = 656.10^6\,Nmm$$

$$= 656\,kNm$$

$$A_{s1} = \frac{Mu_1}{\Omega.\gamma_0.d.f_y} = \frac{656.10^6}{0,9.0,770.620.240} = 6361,62\,mm^2$$

$$\Delta Mu = 750 - 656 = 94\,kNm$$

$$A_s' = \frac{\Delta Mu}{\Omega(d-a').f_y} = \frac{94.10^6}{0,9(620-50).240} = 763,48\,mm^2 = A_{s2}$$

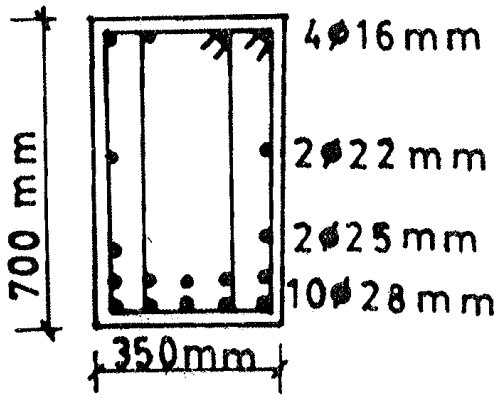
$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 6361,62 + 763,48 = 7125,10\,mm^2$$

نختار $A_s = 10\phi 28\,mm + 2\phi 25\,mm = 7139,26\,mm^2$

$$A'_s = 4\phi 16\,mm = 804,24\,mm^2$$

ونستخدم قضبان تقلص $2\phi 22\,mm = 760,26\,mm^2 > 10\%A_s$ نتأكد من الارتفاع الفعال بعد توزيع تسليح الشد على المقطع، فبفرض أن التباعد الشاقولي بين القضبان25 mm وسماكة التغطية 20 mm و الأساور المستخدمة ϕ 8 mm يكون :

$a = 79,2\,mm < 80\,mm$ ويكون توزيع التسليح على المقطع العرضي كما هو مبين على الشكل (4 -9)



شكل 4 - 9 - توزيع التسليح على المقطع العرضي

مثال (4 - 4)

جائز مقطعه مستطيل أبعاده b=350mm , ht=700mm ، يتعرض لعزم انعطاف أقصى مقداره Mu = 750kNm ، ومسلح بمنطقة الضغط بـ $A'_s = 5\phi 25\,mm = 2454,36\,mm^2$. مقاومة المواد $f_y = 240\,N/mm^2$, $f'_c = 18\,N/mm^2$

والمطلوب تصميم المقطع (حساب تسليح الشد) .

الحل :

نفرض أن تسليح الضغط يصل حد السيلان فيكون تحمله هو :

$$\Delta Mu = \Omega . A'_s . f_y (d - a') =$$

$$= 0,9 . 2454,36 . 240 (620 - 50) = 302,18 . 10^6\,Nmm = 302,18\,KNm$$

فرضنا (d = 620 mm)

$$M_{u1} = M_u - \Delta M_u = 750 - 302,18 = 447,82\,KNm$$

$$A_0 = \frac{M_{u1}}{\Omega.0,85.f_c'.b.d^2} = \frac{447,82.10^6}{0,9.0,85.18.350.620^2} = 0,2417$$

$$\Rightarrow \alpha = 0,2812 \Rightarrow y = \alpha.d = 0,2812.620 = 174,34\,mm$$

نتأكد من وصول تسليح الضغط إلى حد السيلان

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_c' \frac{y - 0.85.a'}{y} = 0,003\frac{174,34 - 0,85.50}{174,34} = 0,002268$$

$$> \frac{f_y}{E_s} = \frac{240}{2,1.10^5} = 0,00114$$

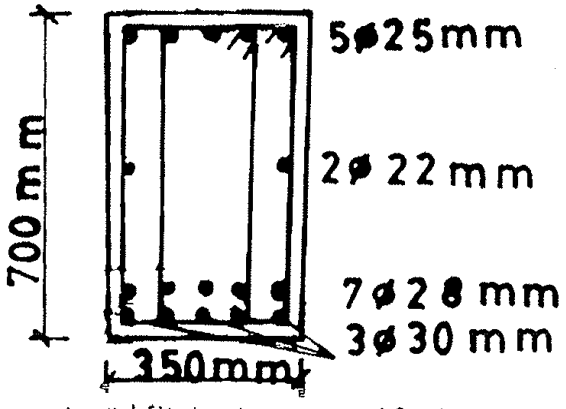
فتسليح الضغط وصل حد السيلان .

نحسب تسليح الشد

$$\alpha = 0,2812 \rightarrow \gamma_0 = 0,8594$$

$$A_{s1} = \frac{Mu1}{\Omega.\gamma_0.d.f_y} = \frac{447,82.10^2}{0,9.0,8594.620.240} = 3891,01\,mm^2$$

نستخدم $A_s = 7\phi 28\,mm + 3\phi 30\,mm = 6430,84\,mm^2$ ، وتسليح
تقاص $2\phi 22\,mm = 760,26\,mm^2$ وتوزيع التسليح مبين على الشكل (4 – 10)



شكل (4–10) – توزيع التسليح على المقطع العرضي

مثال (4 –5)

جائز مقطعه مستطيل أبعاده $b = 350\ mm$, $ht = 800\ mm$ ومسلح بتسليح

ضغط $A_s' = 4\phi 25\,mm = 1963,49\,mm^2$

وتسليح شد $A_s = 10\phi 25\,mm = 4908,73\,mm^2$

مطبق عليه عزم انعطاف أقصى مقداره 480 kNm .

مقاومة المواد $f_y = 240 N/mm^2 ; f'_c = 18 N/mm^2$

المطلوب التحقق من المقطع .

الحل :

نفرض أن تسليح الضغط وصل حد السيلان $f'_s = f_y$ فيكون تحمل تسليح الضغط :

$$\Delta Mu = \Omega . A'_s . f_y (d - a') = 0,9.1963,49.240(730 - 50)$$

$$= 288,4.10^6 Nmm = 288,4 kNm$$

$$Mu_1 = Mu - \Delta Mu = 480 - 288,4 = 191,6 kNm$$

$$A_0 = \frac{Mu1}{\Omega . 0,85 . f'_c . b . d^2} = \frac{191,6.10^6}{0,9.0,85.18.350.730^2} = 0,0746$$

$$\Rightarrow \alpha = 0,0776 \rightarrow y = \alpha . d = 0,0776.730 = 56,64 mm$$

التأكد من وصول تسليح الضغط إلى حد السيلان : $\varepsilon'_s = 0,000748 < \varepsilon y$

نعيد الحل من العلاقات الأساس ، باستبدال f'_s بـ $f'_s = 0,003 \frac{y - 0,85a'}{y} E_s$

نجد :

$$Mu = \Omega . 0,85 . f'_c . b . y(d - y/2) + \Omega . A'_s . f'_s . (d - a')$$

$$480.10^6 = 0,9.0,85.18.350.y(730 - y/2) +$$

$$+ 0,9.1963,49.0,003 \frac{y - 0,85.50}{y} . 2,1.10^5 (730 - 50)$$

$$\Rightarrow y^3 - 1460y^2 - 114949,68y + 13350970 = 0$$

بحل المعادلة السابقة بطريقة التقريب المتتالي نجد :

$$y = 64,95 mm$$

ومنه تحمل تسليح الضغط هو :

$$\Delta Mu = 0,9.1963,49.0,003\frac{64,95-0,85.50}{64,95}.2,1.10^5.(730-50)$$

$$= 261,67.10^6\,Nmm = 261,67kNm$$

$$Mu_1 = Mu - \Delta Mu = 480 - 261,67 = 218,33\,kNm$$

$$A_0 = \frac{218,33.10^6}{0,9.0,85.18.350.730^2} = 0,0850 \Rightarrow \alpha_0 = 0,955$$

$$A_{s1} = \frac{218,33.10^6}{0,9.0,955.730.240} = 1449,88\,mm^2$$

تسليح الشد اللازم :

$$A_s = A_{s1} + A'_s\frac{f'_s}{f_y} =$$

$$= 1449,88 + 1963,49.(0,003\frac{64,95-0,85.50}{64,95}.2,1.10^5)/240$$

$$= 3231,42\,mm^2 < 4908,73\,mm^2$$

وكان من الممكن التحقق من المقطع بحساب التحمل الأقصى للمقطع كالتالي :

نفرض وصول تسليح الضغط حد السيلان فيكون تحمل تسليح الضغط هو :

$$\Delta Mu = 288,40\,kNm$$

تسليح الشد المقابل $A_{s2} = 1963,49\,mm^2$

نحسب A_{s1} : $A_{s1} = 4908,73 - 1963,49 = 2945,24\,mm^2$

ونحسب ارتفاع منطقة الضغط من العلاقة :

$$0,85.f'_c.b.y = A_{s1}.f_y$$

$$0,85.18.350.y = 2945,24.240 \Rightarrow y = 132\,mm$$

$$\Rightarrow \alpha = y/d = 132/730 = 0,1808 < \alpha_{max} = 0,46$$

التحقق من وصول تسليح الضغط إلى حد السيلان :

$$\varepsilon'_s = 0,003\frac{132-0,85.50}{132} = 0,00203 > \varepsilon_y = 0,00114$$

فتسليح الضغط وصل حد السيلان كما افترضنا .

حساب Mu1 :

$$Mu_1 = \Omega.0,85.f'_c.b.y(d-y/2)$$

$$= 0,9.0,85.18.350.132(730-132/2) = 422,42.10^6\,Nmm$$

$$= 422,42\,kNm$$

تحمل المقطع :

$$Mu = \Delta Mu + Mu_1 = 288,40 + 422,42 = 710,82\,kNm > 480\,kN$$

فالمقطع محقق .

4 – 4 – المقاطع T :

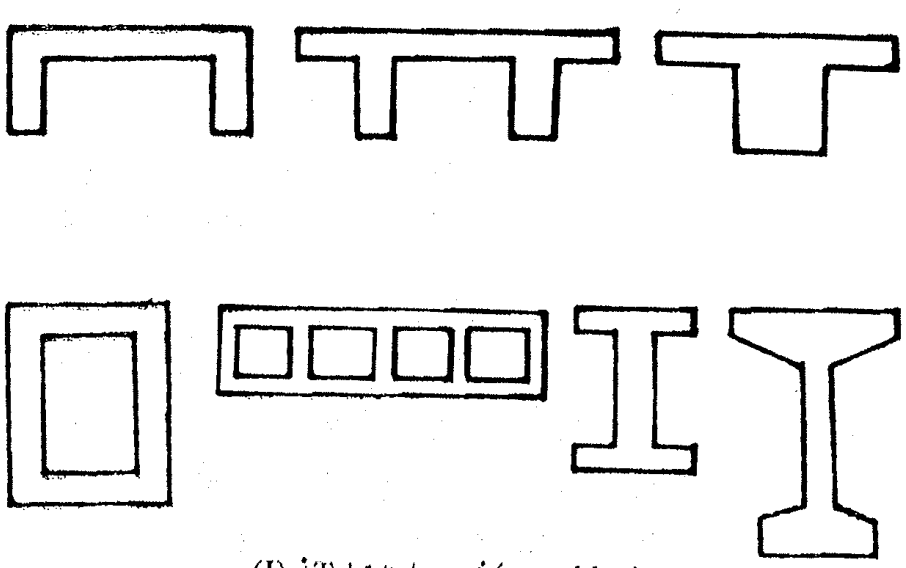
يمكن أن تكون المقاطع T بشكل عام على نوعين، أولهما يكون فيها المقطع بشكل جائز عادي متصل اتصالا وثيقا مع البلاطات المحمولة عليه ويكون ذلك بصب البيتون صبا استمراريا ومع تشريك التسليح بحيث يكون الجائز والبلاطة المضغوطة فوقها مترابطين ترابطا فعالا فتؤلفان عنصرا واحدا و تسلكان سلوكا موحدا تحت تاثير الأفعال الخارجية المطبقة ويسمى الجائز عندئذ بالعصب أو (الجسد) والبلاطة فوقه (طاولة الضغط) أو جناح الضغط . والنوع الثاني يكون في المقاطع المصنوعة خصيصا بشكل (T) .وبالمقارنة مع المقاطع المستطيلة يعتبر المقطع T أكثر اقتصادية ، ذلك لأن بيتون منطقة الشد لا يدخل في العمل الانشائي في حالة الانعطاف ، حيث مهمته تغطية تسليح الشد وربطه مع بيتون منطقة الضغط فقط، لذلك فإن حذف جزء من بيتون منطقة الشد للمقطع المستطيل ليصبح مقطع T يقلل من استهلاك البيتون ويخفف من الوزن الذاتي. أيضا لو كان المقطع مستطيلا مفرغا يتم تحويله إلى مقطع I وبالتالي يحسب على شكل مقطع T .

يبين الشكل 4 –11 بعض الأشكال للمقطع T أو (I) .

إن العرض الفعال (b_f) لطاولة الضغط في الجائز ذات المقطع بشكل (T) غير ثابت على طول الجائز وهو يتعلق بما يلي :

- نسبة طول الجائز (L) أو المسافة بين نقطتي عزمي الصفر في الجوائز المستمرة إلى عرض جسد الجائز (b_w) .
- نسبة سماكة طاولة الضغط (t_f) إلى ارتفاع الجائز (h_t) .
- المسافة بين محوري جائزين متجاورين .

- نوع الجائز وحيد المجاز أو مستمر .
- نوع الحمولات منتظمة أو مركزة .
- وجود شطفات ساندة بين طاولة الضغط وجسد الجائز .



شكل 4 - 11 - بعض الأشكال للمقطع T أو (I)

وبشكل عام للحالات العادية يؤخذ العرض الفعال لطاولة الضغط مساويا للقيمة الدنيا بين الأبعاد التالية :

- (L/4) في حالة الجوائز المعرضة لأحمال موزعة بانتظام بصورة رئيسة أو (L/5) في حالة الجوائز المعرضة لأحمال مركزة بصورة رئيسة. حيث L هي مجاز الجائز البسيط ، وعندما يكون الجائز مستمرا فتكون (L) المسافة بين نقطتي انعدام العزم ، ويمكن أن تؤخذ مساوية 0,76 من المجاز في الفتحات الداخلية من الجوائز المستمرة ذات المجازات المتقاربة و 0,87 من المجاز في الفتحات الطرفية .
- عرض الجسد (b_w) مضافا إليه 12 مرة سمك طاولة الضغط (t_f) أي :

$$b_f = b_w + 12t_f$$

- المسافة بين محوري جائزين متجاورين

وبالنسبة للجوائز المصنوعة خصيصا بشكل (T) فيؤخذ كامل عرض الجناح شريطة ألا يزيد عن 5 bw وبحيث يكون $t_f \geq \frac{b_w}{2}$.

يشترط ألا يقل السمك الأدنى للجناح (t_f) عن (1/10) من العمق الكلي للقطاع و إلا يعتبر الجائز ذو مقطع مستطيل بعرض يساوي عرض الجسد b_w. سمح الكود العربي السوري بحساب المقاطع بشكل L بحيث يمكن إهمال جناح منطقة الضغط لتحسب كمقطع مستطيل عرضه b_w .

4 -4- 1 -العلاقات الاساس للمقاطع بشكل T احادية التسليح :

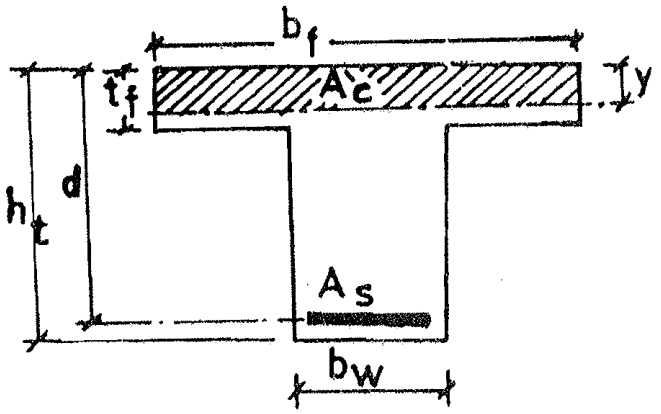
4 -4- 1 -1- تحقيق المقاطع T :

عندما يكون العزم التصميمي (Mu) وأبعاد المقطع b_f , b_w, t_f, h_t وكمية التسليح والمقاومات المميزة للبيتون وفولاذ التسليح معلوما تصادف إحدى الحالتين التاليتين :

– عندما تتحقق المتراجحة التالية :

$$A_s . f_y \leq 0,85 . f'_c . t_f . b_f \quad \ldots \quad (4-36)$$

تكون قوة الشد في تسليح الشد أقل من قوة الضغط في بيتون طاولة الضغط بأكمله وبالتالي يمر المحور السليم ضمن الجناح ، شكل (4 –12) .



شكل 4 –12 – مقطع T ، المحور السليم يمر ضمن الجناح

وعندئذ يحسب الجائز مقطع (T) كجائز مقطعه مستطيل عرضه b_f وتكون العلاقات الأساس لهذه الحالة هي :

$$Mu = \Omega[0,85.f'_c.b_f.y(d-y/2)] \quad \dots (4-37)$$

$$A_s.f_y = 0,85.f'_c.b_f.y \quad \dots (4-38)$$

من العلاقة الأخيرة نجد :

$$y = \frac{A_s.f_y}{b_f.0,85f'_c}$$

$$y/d = \frac{A_s}{b_f.d}\frac{f_y}{0,85.f'_c} = \mu_f.\frac{f_y}{0,85f'_c}$$

حيث :

$$\mu_f = \frac{A_s}{b_f.d}$$

ان نسبة التسليح هذه (μ_f) للمقطع المستطيل ذي العرض (b_f) والارتفاع الفعال(d) هي نسبة وهمية وتكون دوما صغيرة جدا قد تكون أصغر من الحد الأدنى المحدد سابقا للمقطع المستطيل ، ويمكن استخدام هذه النسبة للاستفادة من الجدول (4-2) السابق .

- عندما لا تتحقق المتراجحة (36 - 4) أي أن :

$$A_s.f_y > 0,85.f'_c.t_f.b_f \quad \dots (4-39)$$

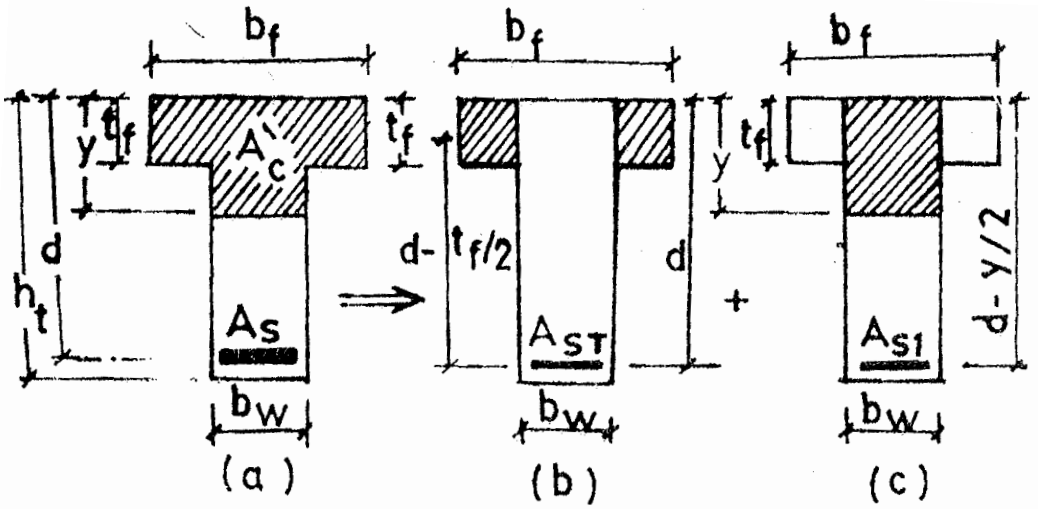
يعني ذلك أن المحور السليم يمر في الجسد ، (شكل 4 -13 - a) . في هذه الحالة يكون العزم الداخلي الأقصى للجائز مؤلفا من مجموع عزمين ، $Mu = Mu_T + Mu_1$ حيث Mu_T هو العزم الأقصى الذي تتحمله الأجنحة (شكل 4 -13 - b) و Mu_1 العزم الأقصى الذي يتحمله المقطع المستطيل للجسد ذي العرض b_W (شكل 4 -13 - C) .

يحدد العزم الأقصى الذي تتحمله الأجنحة بالعلاقة التالية :

$$Mu_T = \Omega[0,85.f'_c.t_f.(b_f-b_w)(d-t_f/2)] \quad \dots (4-40)$$

والعزم الأقصى الذي تتحمله منطقة الضغط من الجسد حسب علاقة مقطع مستطيل وحيد التسليح كالتالي :

$$Mu_1 = \Omega[0,85.f'_c.b_w.y(d-y/2)] \quad \dots (4-41)$$



شكل 4-13 - المقطع T : المحور السليم يمر ضمن الجسد .

ويصبح العزم الأقصى الكلي للمقطع T مساويا إلى :

$$M_{us} = \Omega 0,85.f'_c[t_f.(b_f - b_w).(d - t_f/2) + b_w.y(d - y/2)] \quad \dots (4-42)$$

أما ارتفاع منطقة الضغط (y) فيحدد من شرط التوازن :

$$\Sigma N = 0 \Rightarrow A_s.f_y = 0,85.f'_c[(b_f - b_w)t_f + b_w.y] \quad \dots (4-43)$$

ومنه نجد :

$$y = \frac{A_s.f_y - 0,85.f'_c.(b_f - b_w)t_f}{0,85.f'_c.b_w}$$

4 - 4 -1 -2 - تصميم المقطع T :

عند تصميم المقطع T نصادف حالتين : إما أن يكون المقطع البيتوني معلوما و المطلوب حساب التسليح، أو أن يكون المطلوب حساب كل من المقطع البيتوني والتسليح .

ففي الحالة الأولى نتبع ما يلي :

نختبر فيما إذا كانت المتراجحة (44 - 4) التالية محققة أم لا :

$$M_{us} \leq \Omega 0,85.f'_c.t_f.b_f(d - t_f/2) \quad \dots (4-44)$$

فإذا كانت المتراجحة السابقة محققة فإن المحور السليم يقع ضمن الجناح وبالتالي يتم حساب المقطع T كمقطع مستطيل عرضه b_f وحسب الطرق المعروفة سابقا.

أما إذا لم تتحقق العلاقة (44- 4) يكون المحور السليم واقعا ضمن الجسد وعندئذ نحسب العزم الذي تتحمله الأجنحة من العلاقة (40 -4) ، ونحسب التسليح الموافق حسب العلاقة التالية :

$$A_{sT} = \frac{Mu_T}{\Omega . f_y (d - t_f/2)}$$

أو من العلاقة :

$$A_{sT} = \frac{0,85 . f_c' (b_f - b_w) . t_f}{f_y}$$

أما فرق العزم (العزم المتبقي) وهو ($Mu_1 = Mu - Mu_T$) فيتحمله الجسد كمقطع عرضه b_W ، يكون أحادي التسليح إذا كان $\alpha \le \alpha_{max}$ أي $y \le y_{max}$ ، وعندئذ تحسب A_{s1} الموافقة ويصبح التسليح الكلي مساويا إلى :

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

ويجب تحقيق الشرط الذي يحدد نسبة التسليح العظمى للمقطع T بتسليح أحادي حسب التالي :

- إذا تحقق الشرط التالي $t_f \ge \frac{630}{630 + f_y} . d$ ، تحسب $\mu_{s\,max}$ حسب العلاقة :

$$\mu_{s\,max} = \frac{A_{s\,max}}{b_w . d} = \frac{340}{630 + f_y} . \frac{f_c'}{f_y} . \frac{b_f}{b_w}$$

- في حالات أخرى تحسب $\mu_{s\,max}$ من العلاقة التالية :

$$\mu_{s\,max} = \left[\frac{340}{630 + f_y} + 0,64 \left(\frac{b_f}{b_w} - 1 \right) \frac{t_f}{d} \right] \frac{f_c'}{f_y}$$

وعندما يكون العزم Mu_1 أكبر من العزم الأعظمي الذي يمكن للمقطع المستطيل ذي العرض b_W أحادي التسليح تحمله ، يجب عندئذ حساب العزم الأعظمي الذي يتحمله المقطع المستطيل ونوجد التسليح الموافق ثم نحمل فرق العزمين أي ($Mu_1 - Mu_{max}$) لتسليح ضغط وتسليح شد إضافي يساويه .

المقطع

أما في الحالة الثانية عندما يطلب تصميم البيتوني والتسليح فنبدأ باختيار نسبة تسليح (μ_w) مناسبة بأخذ نسبة تسليح قريبة من الدنيا بحيث تسمح بعدم التحقق من شرط السهم وذلك حسب العلاقة التالية :

$$\mu_w = 0,18 \frac{0,85.f'_c}{f_y}$$

نستخدم نسبة التسليح الوهمية (μ_f) من العلاقة :

$$\mu_f = \frac{A_s}{b_f.d} = \frac{A_s}{b_w.d}\frac{b_w}{b_f} = \mu_w \frac{b_w}{b_f}$$

نتابع الحساب بافتراض أن المحور السليم يقع ضمن الجناح – غالبا ما يتحقق ذلك مع نسب التسليح الدنيا المختارة – فنحسب المقطع كمستطيل عرضه b_f ونجد قيمة α من العلاقة :

$$\alpha = \mu_f . \frac{f_y}{0,85 f'_c}$$

وباستخدام الجدول (4 – 2) نجد قيمة d و As كما هو معروف في حساب المقاطع المستطيلة بعد التحقق من أن $y = \alpha.d \le t_f$. وإذا تبين أن $y > t_f$ فيجب حساب المقطع على شكل T كما هو معروف أو يجب زيادة سماكة الجناح إذا كان ذلك مناسبا أو زيادة ارتفاع المقطع .

4 -4 – 2 – امثلة في حساب المقاطع T :

مثال (4 – 6) :

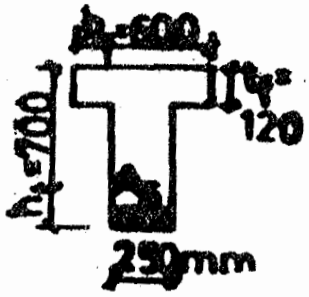
جائز مقطعة بشكل T ، أبعاده مبينة على الشكل 4 – 14 . مقاومة المواد :

للفولاذ $f_y = 240 N/mm^2$

للبيتون على الضغط $f'_c = 15 N/mm^2$ والمطلوب :

1 – حساب تحمل المقطع عندما يكون

$A_s = 10\phi 20 mm = 3141 mm^2$



شكل 4 – 14 – المقطع T وأبعاده

2 – حساب تحمل المقطع عندما يكون $A_s = 15\phi 20 mm = 4712 mm^2$

الحل :

$A_s = 3141\,mm^2$ – 1

نبدأ بالحساب على أساس مقطع مستطيل عرضه b_f :

$$A_s . f_y \le 0,85 . f'_c . t_f . b_f$$

$$3141 . 240 \le 0,85 . 15 . 120 . 600$$

$$753840\,Nmm < 918000\,Nmm$$

فالمقطع يعمل بشكل مستطيل عرضه b_f .

$$h_t = 700\,mm \Rightarrow d = 640\,mm$$

$$\mu_f = \frac{A_s}{b_f . d} = \frac{3141}{600 . 640} = 0,818\%$$

$$\alpha = \mu_f \frac{f_y}{0,85 . f'_c} = 0,00818 \frac{240}{0,85 . 15} = 0,154$$

من الجدول 4 –2 نجد :

$$A_0 = 0,142$$

$$Mu_{max} = \Omega . A_0 . b_f . d^2 . 0,85 . f'_c$$

$$= 0,9 . 0,142 . 600 . 640^2 . 0,85 . 15 = 400,45 . 10^6\,Nmm$$

$$= 400,45\,kNm$$

وهو العزم الأعظمي الذي يمكن أن يتحمله المقطع .

2– $A_s = 4712\,mm^2$ ، في هذه الحالة $d = 620\,mm$

$$A_s . f_y \le 0,85 . f'_c . t_f . b_f$$

$$4712 . 240 = 1130880\,Nmm > 918000\,Nmm$$

فالمقطع يعمل بشكل T وليس بشكل مستطيل .

$$y = \frac{A_s . f_y - (b_f - b_w) t_f . 0,85 . f'_c}{0,85 . f'_c . b_w}$$

$$= \frac{4712 . 240 - (600 - 250) . 120 . 0,85 . 15}{0,85 . 15 . 250} = 186,78\,mm$$

العزم الذي يتحمله الجسد :

$$Mu_1 = \Omega[b_w . y . 0,85 . f'_c (d - y/2)]$$
$$= 0,9[250 . 186,78 . 0,85 . 15(620 - 186,78/2)] . 10^{-6}$$
$$= 282,17 kNm$$

العزم الذي تتحمله الأجنحة :

$$Mu_T = \Omega[t_f (b_f - b_w) . 0,85 . f'_c (d - t_f/2)]$$
$$= 0,9[120(600 - 250) . 0,85 . 15(620 - 120/2)] . 10^{-6} = 269,89 kNm$$

العزم الأعظمي الذي يمكن أن يتحمله المقطع :

$$Mu_{max} = Mu_1 + Mu_T == 282,17 + 269,89 = 552,06 kNm$$

مثال (4 – 7) :

جائز بسيط مجازه $L = 9\ m$ ، مقطعه T أبعاده مبينة على الشكل 4 – 15 .

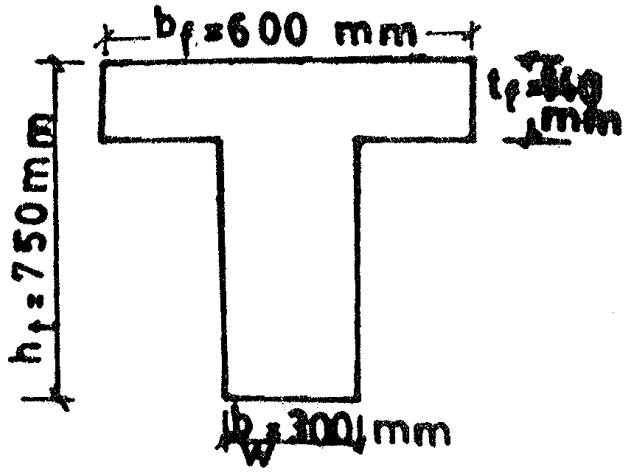
$$f_y = 420 N/mm^2 ; f'_c = 22,5 N/mm^2$$

والمطلوب حساب المقطع تحت تأثير عزم الانعطاف حسب الحالات التالية :

1 – تصميم المقطع عندما تكون الحمولة الدائمة $g_1 = 30 kN/m$ والحية $P = 15 kN/m$.

2 – تصميم المقطع عندما تكون الحمولة الدائمة $g_1 = 35 kN/m$ والحية $P = 20 kN/m$

3 – تصميم المقطع عندما تكون الحمولة الدائمة $g_1 = 40 kN/m$ والحية $P = 30 kN/m$



شكل 4 – 15 – المقطع T وأبعاده

الحل :

-1

$$p = 15kN/m, g_1 = 30\ kN/m$$

الوزن الذاتي $g_2 = (0.14 * 0.61 + 0.61 * 0.3) * 25 = 6.68 *\ kN/m$:

الحمولة الدائمة الكلية : $g \quad = g_1 + g_2 = 30 + 6.68 = 36.68 *\ kN/m$:

$$M_u = (1.4 * 36.68 + 1.7 * 15) * \frac{(9)^2}{8} = 778.1265\ kNm$$

نفرض $d = 690mm$

$$M_u = \Omega.0.85f'_c.t_f.b_f\left(d - \frac{t_f}{2}\right) = 0.9 * 0.85 * 22.5 * 140 * 600\left(690 - \frac{140}{2}\right) = 896.42kNm > M_u = 778.1265\ kNm$$

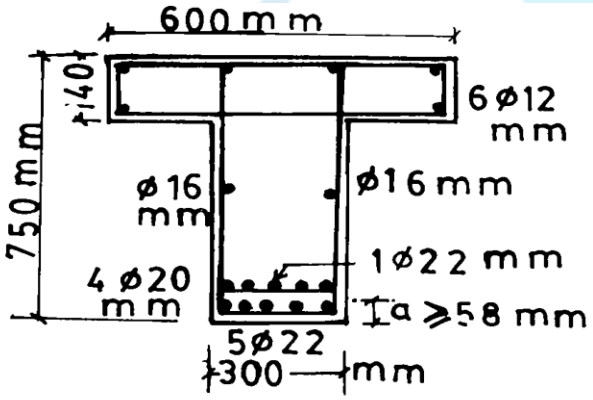
فالمقطع يعمل كمستطيل عرضه $b_f = \boldsymbol{600mm}$

$$A_0 = \frac{M_u}{\Omega.0.85f'_c.b.d^2} = 778.1265 * \frac{10^6}{0.9 * 0.85 * 22.5 * 600 * 690^2} = 0.15825 \Rightarrow \gamma_0 = 0.913 \Rightarrow$$

$$A_s = \frac{M_u}{\Omega.\gamma_0.d.f_y} = A_s = \frac{778.1265 * 10^6}{0.9 * 0.913 * 690 * 420} = 3267.67mm^2$$

نختار: $\boldsymbol{6T22\ mm + 4T20\ mm = 3537.43}\ mm^2$

ويتم توزيع التسليح كما هو مبين على الشكل التالي بما في ذلك تسليح التعليق وتسليح التقلص .



-2

$$p = 20\text{kN/m}, g_1 = 35\ \text{kN/m}$$

الحمولة الدائمة $g_2 = 6.68\ \text{kN/m} \Rightarrow g = 35 + 6.68 = 41.68 *\ \text{kN/m}$:

$$M_u = (1.4 * 41.68 + 1.7 * 20) * \frac{(9)^2}{8} = 934.79\ \text{kNm}$$

نفرض $d = 680\text{mm}$

$$M_u = \Omega.0.85f'_c.t_f.b_f\left(d - \frac{t_f}{2}\right) = 0.9 * 0.85 * 22.5 * 140 * 600\left(680 - \frac{140}{2}\right) = 881.96\text{kNm} < M_u = 934.79\ \text{kNm}$$

فالمحور السليم يقع ضمن الجسد والمقطع يعمل بشكل T

$$M_{uT} = \Omega.[t_f(b_f - b_w).0.85f'_c\left(d - \frac{t_f}{2}\right)] = 0.9 * [140 * (600 - 300) * 0.85 * 22.5 * \left(680 - \frac{140}{2}\right)]10^{-6} = 440.98\text{kNm}$$

$$M_{u1} = \Omega.0.85f'_c.y.b_w\left(d - \frac{y}{2}\right) = 0.9 * 0.85 * 22.5 * 300 * y\left(680 - \frac{y}{2}\right)$$

$$M_{u1} = M_u - M_{u1} = 934.79 - 440.98 = 493.81\text{kNm}$$

$$(y)^2 - 1360y + 215548.78 = 0 \Rightarrow y = 183.16\text{mm}$$

$$\alpha = \frac{y}{d} = \frac{183.16}{680} = 0.2693 \rightarrow \gamma_0 = 0.8653 \leftrightarrow \alpha < \alpha_{max} = 0.388 \rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{M_{u1}}{\Omega.\gamma_0.d.f_y} = \frac{493.81 * 10^6}{0.9 * 0.8653 * 680 * 420} = 2220.2\text{mm}^2$$

$$A_{sT} = \frac{M_{uT}}{\Omega.f_y(d - \frac{t_f}{2})} = \frac{400.98 * 10^6}{0.9 * (680 - \frac{140}{2}) * 420} = 1912.48\text{mm}^2$$

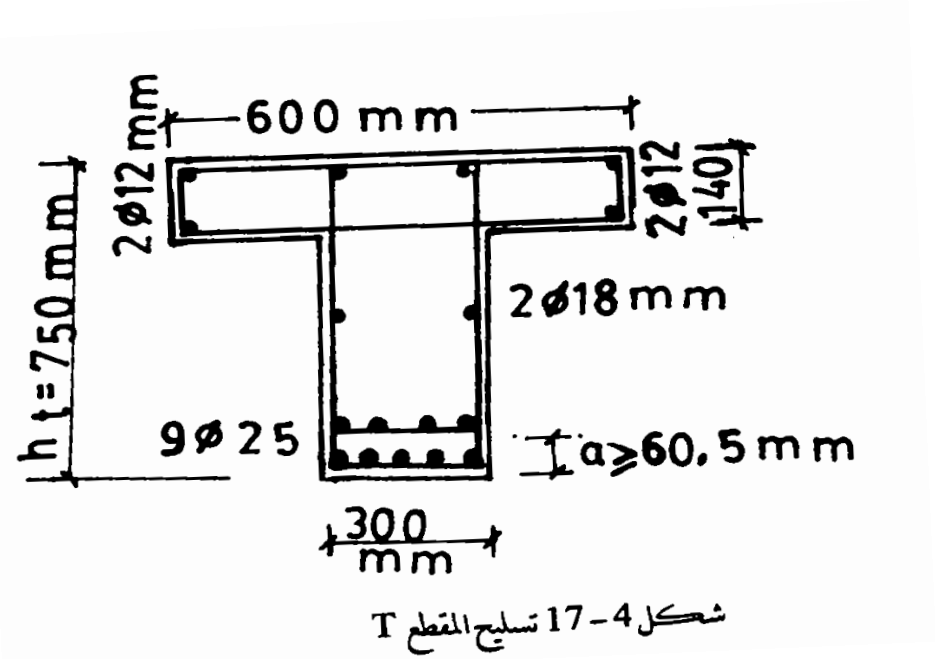
$$A_s = A_{s1} + A_{sT} = 4132.68\ \text{mm}^2$$

نختار: $\boldsymbol{9T25\ mm = 4417.86}\ \text{mm}^2$

التأكد من نسبة التسليح العظمى :

$$\mu_{smax} = [\frac{340}{630 + f_y} + 0.64\left(\frac{b_f}{b_w} - 1\right) * \frac{t_f}{d}]\frac{f'c}{f_y} = 2.44\% > \mu_w = \frac{A_s}{b_w * d} = 2.16\%$$

ويتم توزيع التسليح كما هو مبين على الشكل 4-17



شكل 4-17 تسليح المقطع T

-3

$$p = 30\text{kN/m}, g_1 = 40\ \text{kN/m}$$

الحمولة الدائمة $g_2 = 6.68\ \text{kN/m} \Rightarrow g = 40 + 6.68 = 46.68 *\ \text{kN/m}$:

$$M_u = (1.4 * 46.68 + 1.7 * 30) * \frac{(9)^2}{8} = 1178.06\ \text{kNm}$$

نفرض $d = 670\text{mm}$

$$M_{uT} = 440.98\text{kNm}$$

$$M_{u1} = M_u - M_{u1} = 1178.06 - 440.98 = 737.084\text{kNm}$$

$$M_{u1} = 737.084\text{kNm} = \Omega.0.85f'_c.y.b_w\left(d - \frac{y}{2}\right) = 0.9 * 0.85 * 22.5 * 300 * y\left(670 - \frac{y}{2}\right) =$$

$$(y)^2 - 1340y + 318353.91 = 0 \Rightarrow y = 265.75\text{mm}$$

$$\alpha = \frac{y}{d} = \frac{265.75}{670} = 0.3966 \rightarrow \alpha > \alpha_{max} = 0.388 \rightarrow$$ يلزم تسليح ثنائي

$$\alpha > \alpha_{max} = 0.388 \rightarrow M_{u1} = \Omega.0.85f'_c.y.b_w\left(d - \frac{y}{2}\right)$$

$$= 0.9 * 0.85 * 22.5 * 300 * (670)^2 * 0.38\left(1 - \frac{0.38}{2}\right) * 10^6 = 713.48\ \text{kNm}$$

$$\Delta M_u = M_u - (M_{uT} + M_{u1}) = 1178.06 - (440.98 + 713.48) = 23.6\ \text{kNm}$$

$$A'_s = \frac{\Delta M_u}{\Omega . f_y (d - a')} = \frac{23.6 * 10^6}{0.9 * (670 - 50) * 420} = 100.7 \text{mm}^2$$

$$\alpha = 0.38 \rightarrow \gamma_0 = 0.81$$

$$A_{s1} = \frac{713.48 * 10^6}{0.9 * 0.810 * 670 * 420} = 3478.0 \text{mm}^2$$

$$A_{sT} = \frac{M_{uT}}{\Omega . f_y (d - \frac{t_f}{2})} = \frac{440.98 * 10^6}{0.9 * (670 - \frac{140}{2}) * 420} = 1944.35 \text{mm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{sT} + A'_s = 1944.35 + 3478 + 100.7 = 5523.68\ \text{mm}^2$$

تحقيق نسبة التسليح العظمى :

$$\mu_{smax} == 2.44\% > \mu_w = \frac{A_{s1} + A_{sT}}{b_w * d} = \frac{3478 + 1944.35}{300 * 670} = 2.69\%$$

يجب اعادة التصميم

$$A_{s1} + A_{sT} = (1944.35 + 3478) * \frac{2.44}{2.68} = 4918.41\ \text{mm}^2$$

$$A_{s1} = (4918.4 - 1944.35) = 2974.05\ \text{mm}^2$$

$$A_{s1} * f_y = 0.85 f'_c . y . b_w = 0.85 * 22.5 * y * 300 \rightarrow y = 217.7 \text{mm}$$

$$M_{u1} = \Omega . 0.85 f'_c . y . b_w \left(d - \frac{y}{2}\right) = 0.9 * 0.85 * 22.5 * 300 * 217.7 \left(670 - \frac{217.7}{2}\right) = 630.811$$

$$\Delta M_u = M_u - (M_{uT} + M_{u1}) = 1178.06 - (440.98 + 630.811) = 106.268.6\ \text{kNm}$$

$$A'_s = \frac{\Delta M_u}{\Omega . f_y (d - a')} = \frac{100.5 * 10^6}{0.9 * (670 - 50) * 420} = 453.44.7 \text{mm}^2$$

$$\alpha = \frac{y}{d} = \frac{217.70}{670} = 0.324 \rightarrow \gamma_0 = 0.8375$$

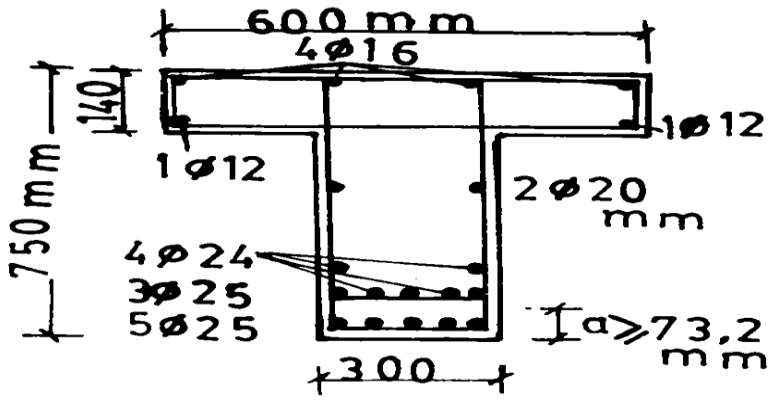
$$A_{s1} = \frac{630.811 * 10^6}{0.9 * 0.8375 * 670 * 420} = 2974.04 \text{mm}^2$$

$$A_s = 1944.35 + 453.44 + 2974.04.7 = 5372.017\ \text{mm}^2$$

نختار: $A_s = \mathbf{8T25\ mm + 4T24\ mm = 5736.54}\ \text{mm}^2$

$$A'_s = \mathbf{4T16\ mm = 804.24}\ \text{mm}^2$$

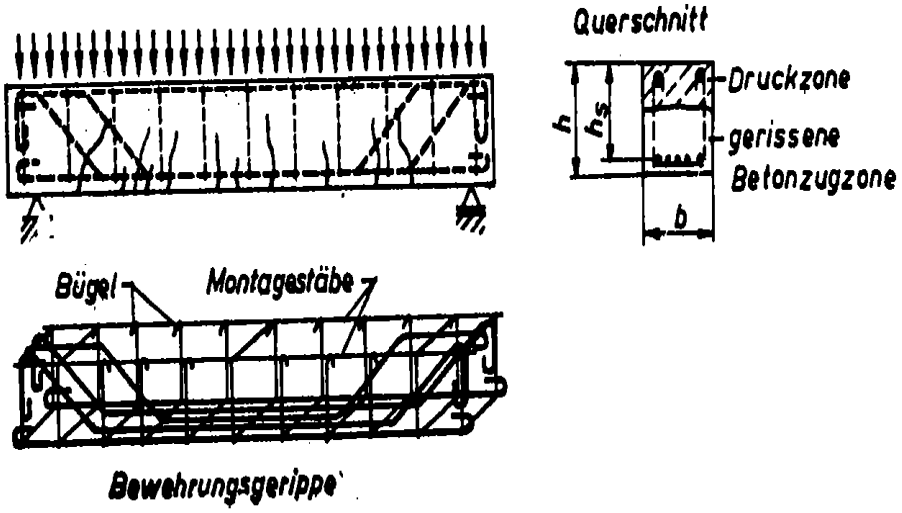
ويتم توزيع التسليح كما هو مبين على الشكل 4-18



الشكل 4 – 18 – تسليح لمقطع T

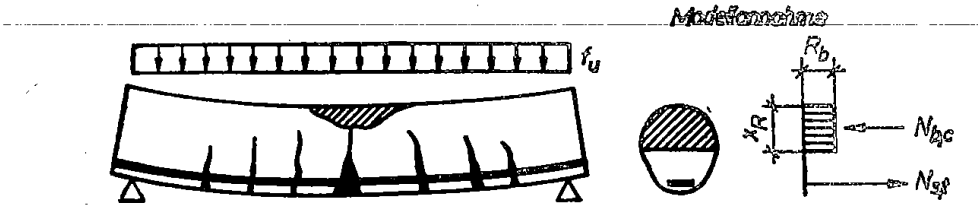
انكسار العناصر الخاضعة للانعطاف البسيط :

تؤدي الاجهادات الناظمية الناتجة عن عزم الانعطاف المطبق على العنصر الانشائي إلى ظهور شقوق في الجزء المشدود وتكون عمودية على المحور الطولي للعنصر ، ويتزايد عرض وعمق الشق مع تزايد العزم . ويبين الشكل 4 – 19 مثالا لجائز بسيط يتعرض لحمولات شاقولية وقد ظهرت بعض الشقوق في الجزء السفلي منه (في المنطقة المشدودة).

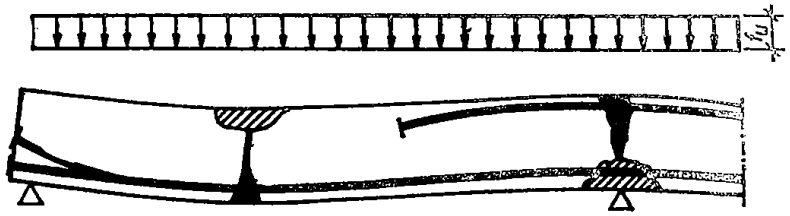


شكل 4-19 - ظهور الشقوق في الجائز البسيط الخاضع لعزم انعطاف .

يتم انهيار العنصر البيتوني المسلح إما على الضغط حيث ينكسر البيتون عندما تزيد الاجهادات الضاغطة المطبقة عليه عن حد الانكسار (المقاومة القصوى للبيتون على الضغط) أو يمكن أن يسبق انكسار البيتون انقطاع فولاذ التسليح وذلك عندما تزيد الاجهادات الشادة المطبقة على الفولاذ عن مقاومته القصوى على الشد. ينكسر البيتون بشكل فجائي بينما يسبق انقطاع الفولاذ مؤشرات تدل على الخطر حيث تظهر الشقوق الكبيرة وتحدث سهوم كبيرة . يبين الشكل 4 - 20 الانكسار في جائز بسيط وجائز مستمر وذلك عند نقاط العزوم الأعظمية، حدث الانهيار نتيجة انكسار بيتون منطقة الضغط. وفي الشكل 4 - 21 نلاحظ انهيار جائز عند تطبيق حمولة الانكسار عليه أثناء التجربة وحدث الانهيار بانكسار بيتون منطقة الضغط عند العزم الأعظمي .

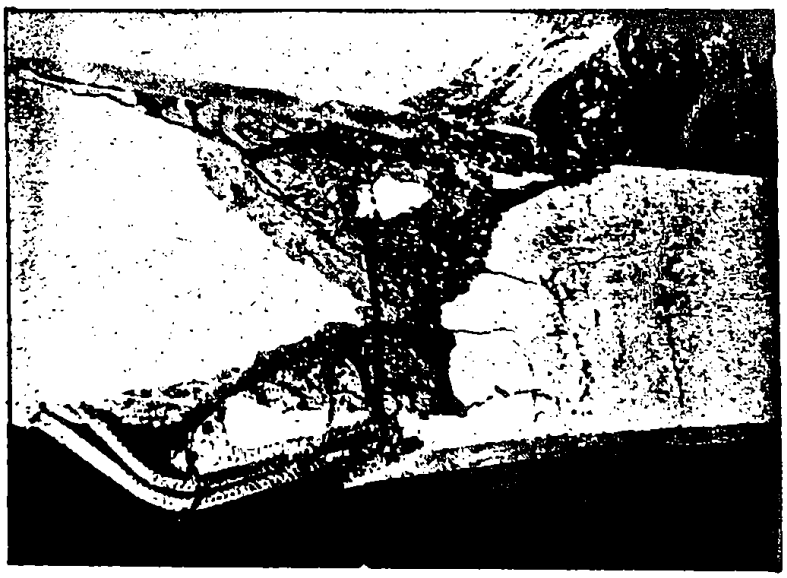


Biegebruch, Versagen des Betons und der Bewehrung im maximal beanspruchten Schnitt



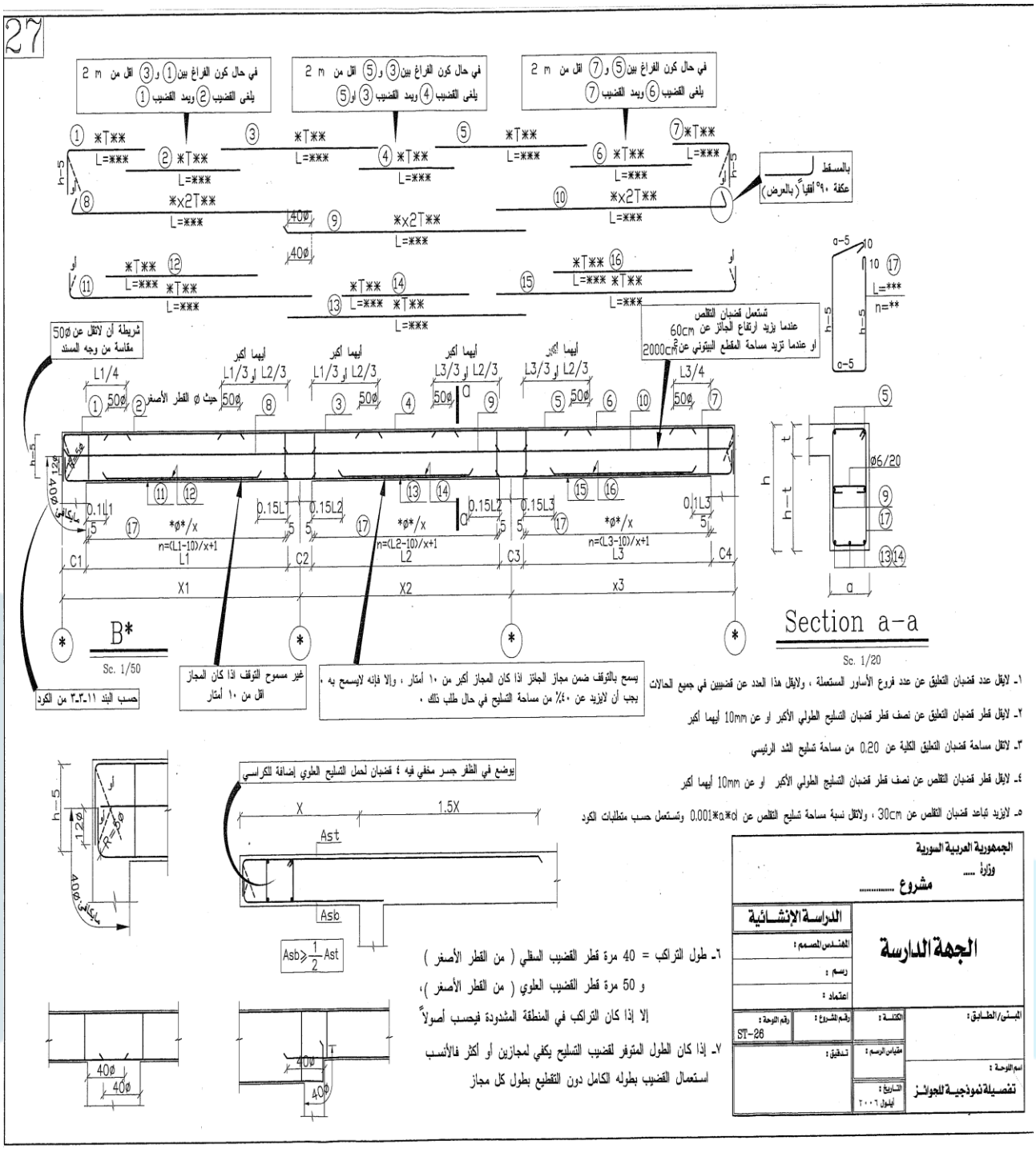
Versagen des Systems, Versagen der Betondruckzone im Bereich zweier plastischer Gelenke

شكل 4-20 الانكسار في جائز بسيط وجائز مستمر عند نقاط العزوم الأعظمية في بيتون منطقة الضغط

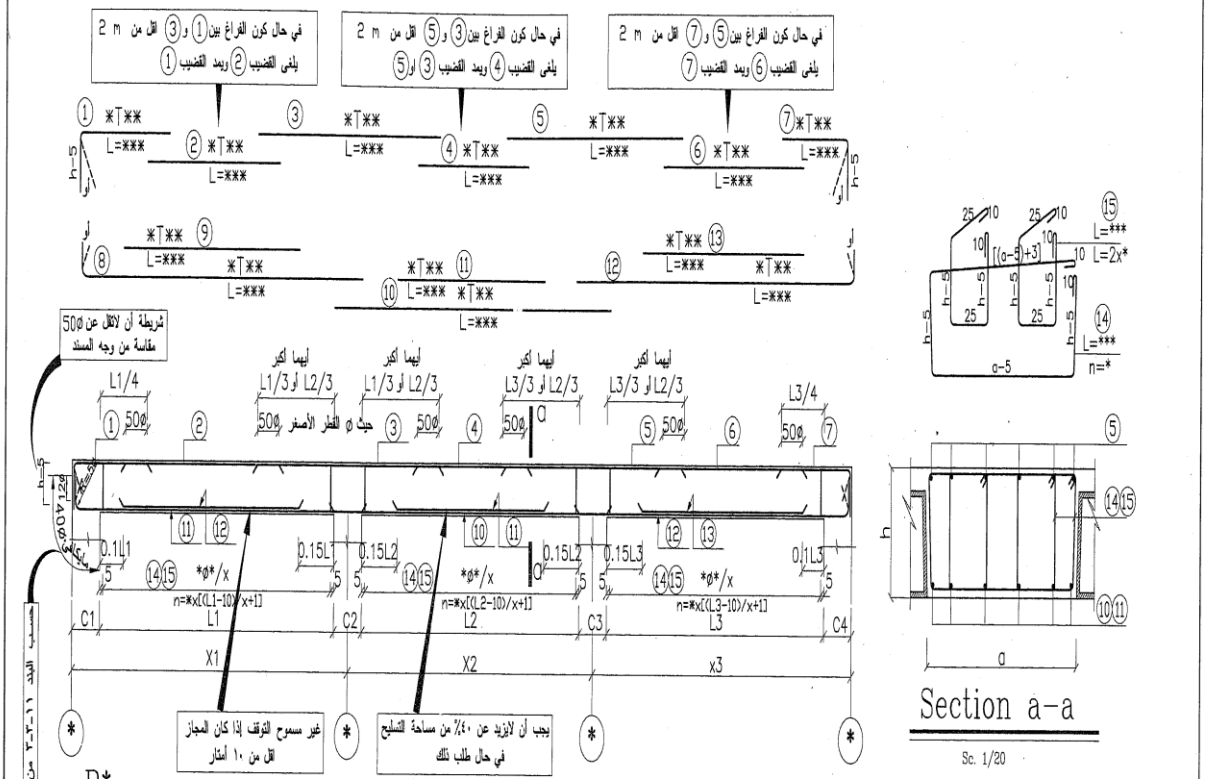


شكل 4-21 انكسار بيتون منطقة الضغط في جائز عند تطبيق حمولة الانكسار عليه أثناء التجربة

تفاصيل نموذجية لتسليح الجوائز بحسب الملحق رقم 3 للكود العربي السوري



28



١ـ لايقل عدد قضبان التعليق عن عدد فروع الأساور المستعملة ولايقل هذا العدد عن قضيبين في جميع الحالات ،

٢ـ لايقل قطر قضبان التعليق عن نصف قطر قضبان التسليح الطولي الأكبر أو عن 10mm أيهما أكبر ،

٣ـ لاتقل مساحة قضبان التعليق الكلية عن 0.20 من مساحة تسليح الند الرئيسي ،

٤ـ لاتزيد المسافة بين كل فرعين متجاورين للتسليح العرضي عن 300mm ،

٥ـ طول التراكب = 40 مرة قطر القضيب السفلي (من القطر الأصغر)

و 50 مرة قطر القضيب العلوي (من القطر الأصغر)

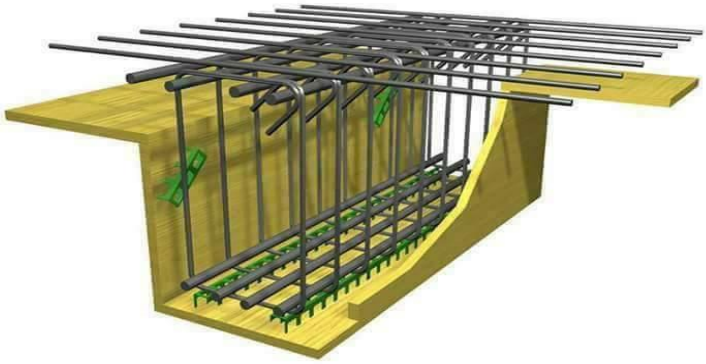
إلا إذا كان التراكب في المنطقة المشدودة فيحسب أصولاً ،

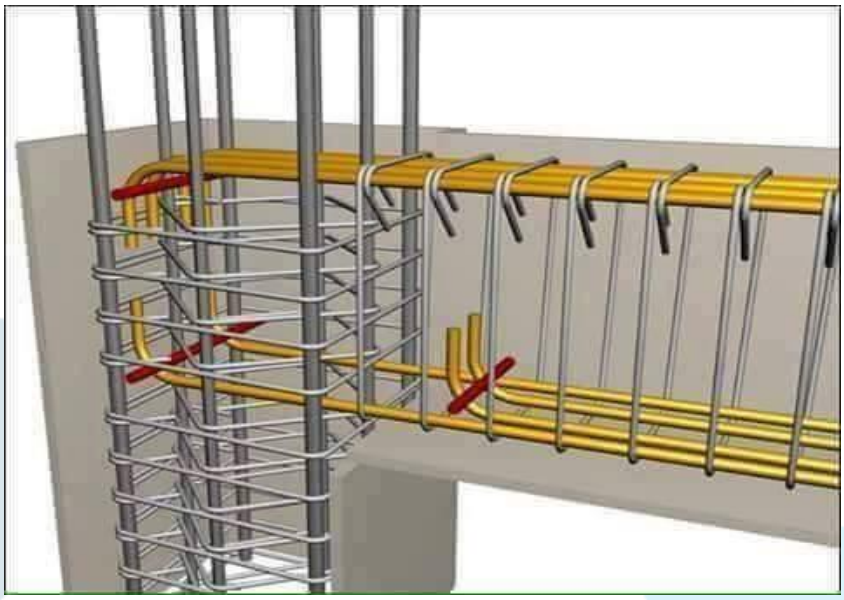
٦ـ إذا كان الطول المتوفر لقضيب التسليح يكفي لمجازين أو أكثر فالأنسب استعمال القضيب بطوله الكامل دون التقطيع بطول كل مجاز

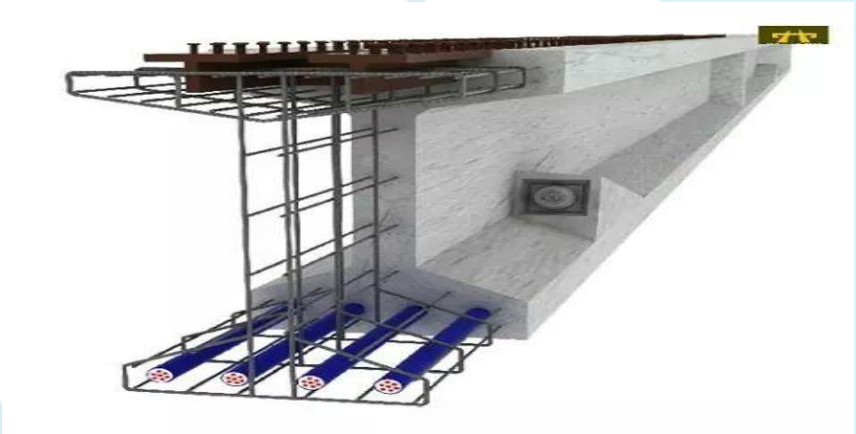
الجمهورية العربية السورية
وزارة .....
مشروع .....

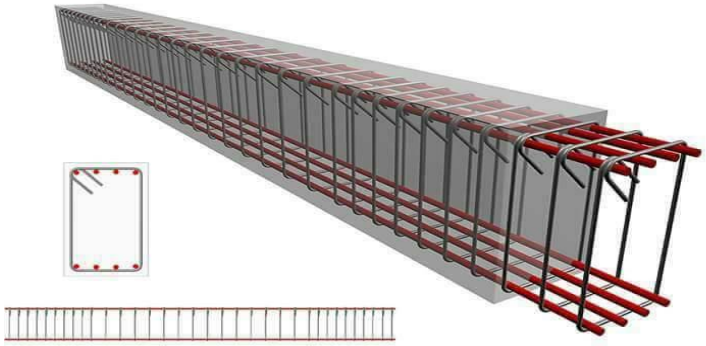
الجهة الدارسة	الدراسة الإنشائية
	المهندس المصمم :
	رسم :
	اعتماد :
المبنى/الطابق :	الكتلة : / رقم المشروع : / رقم اللوحة : ST-27
اسم اللوحة : تفصيلة نموذجية للجوائز المخفية	مقياس الرسم : / تدقيق :
	التاريخ : أيلول ٢٠٠٦

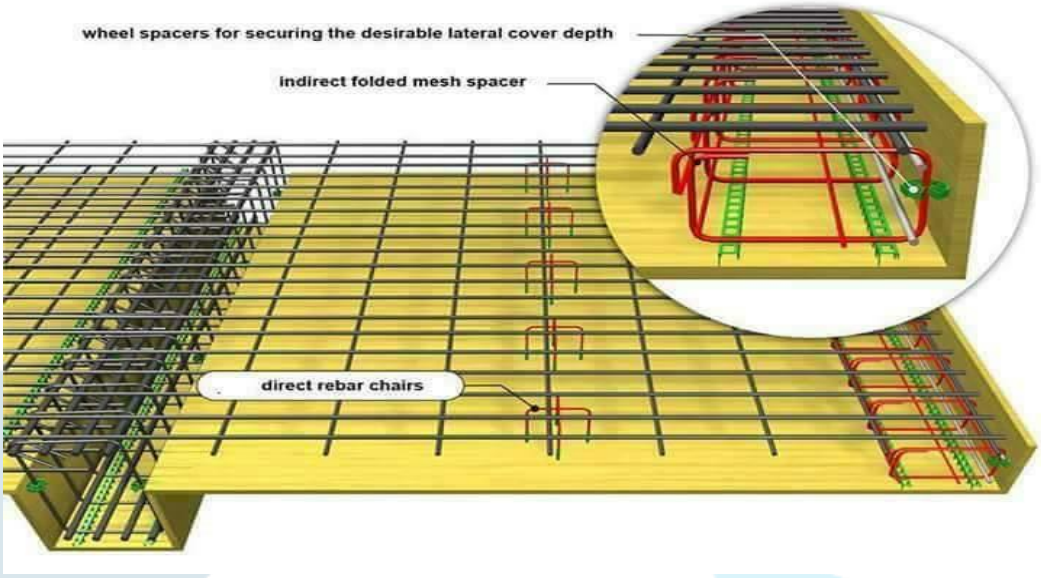
بعض الصور التوضيحية للجوائز وتسليحها

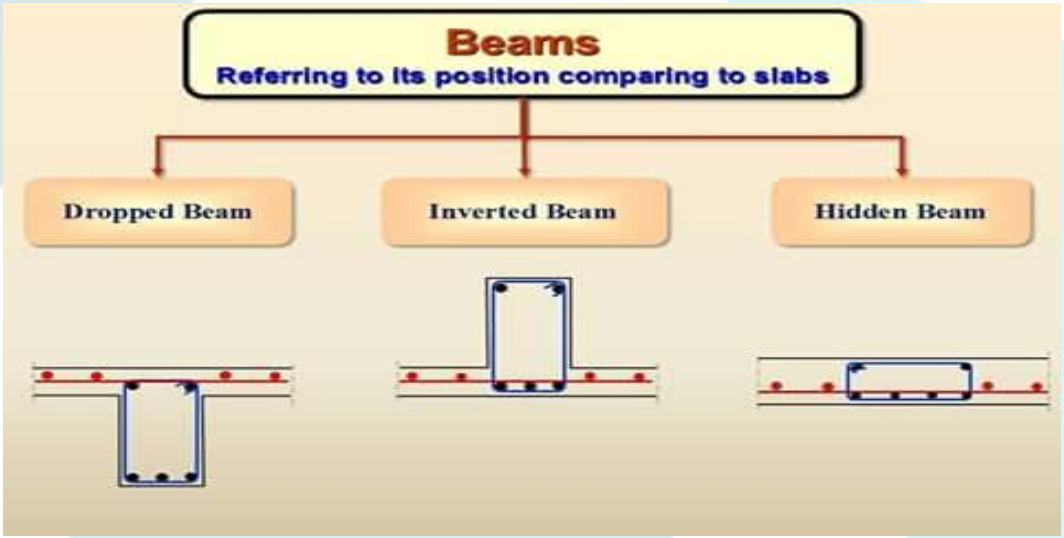


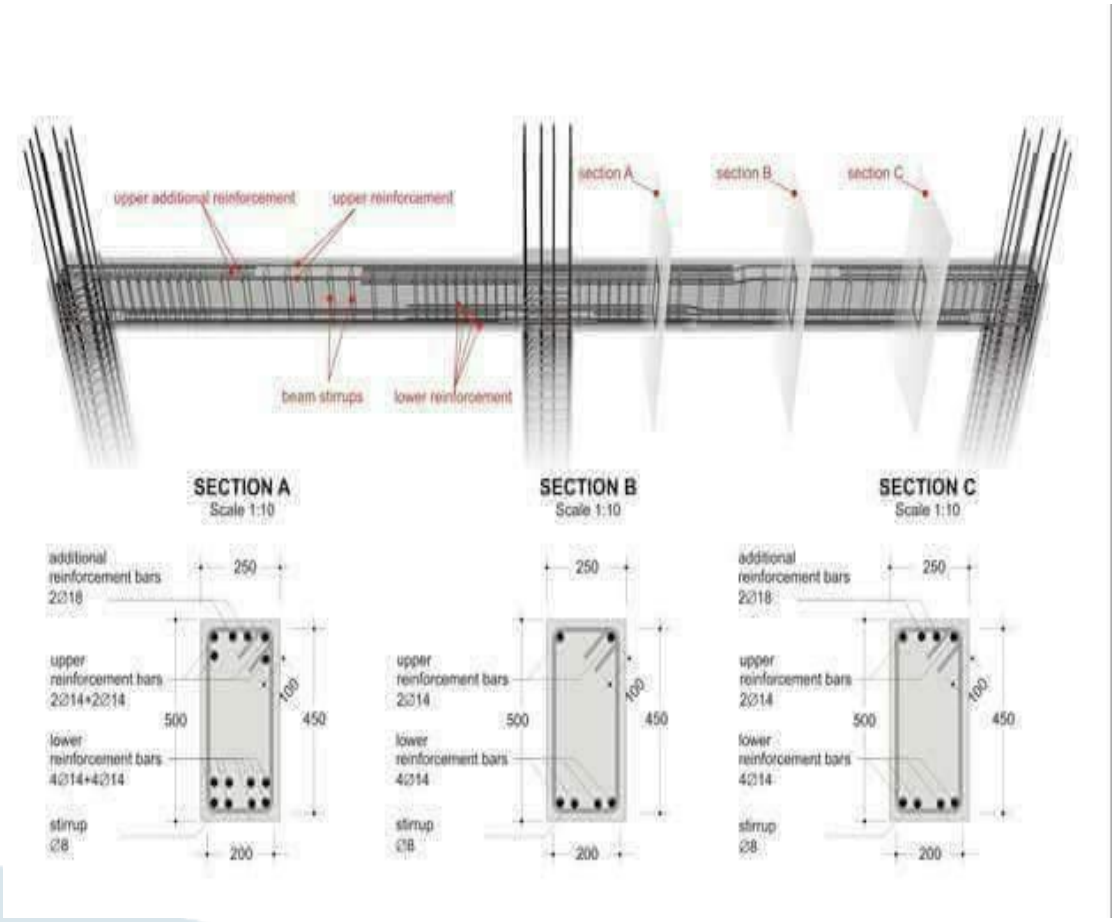


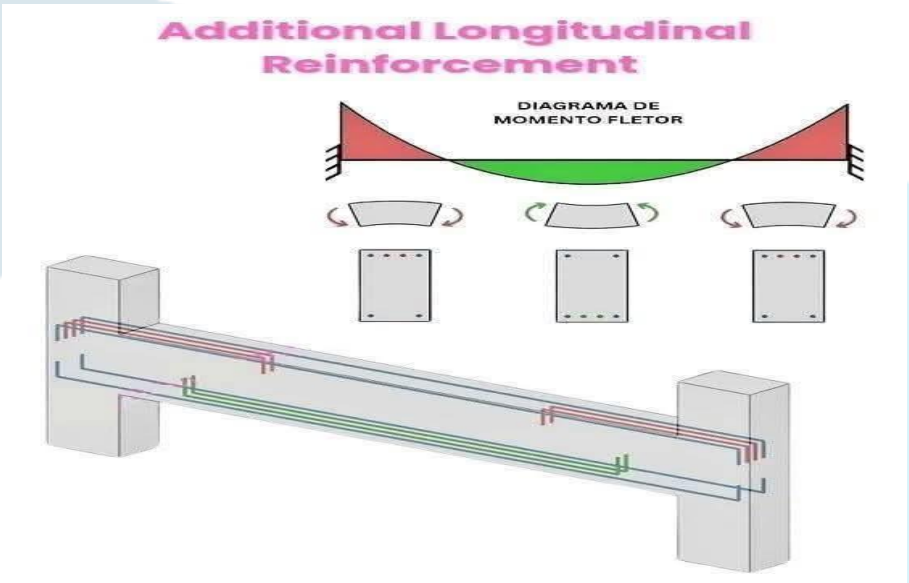


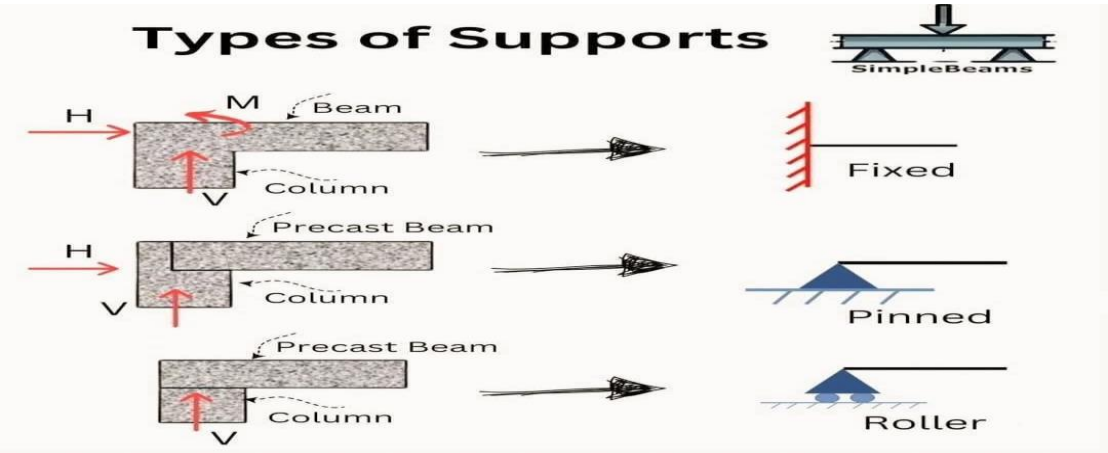


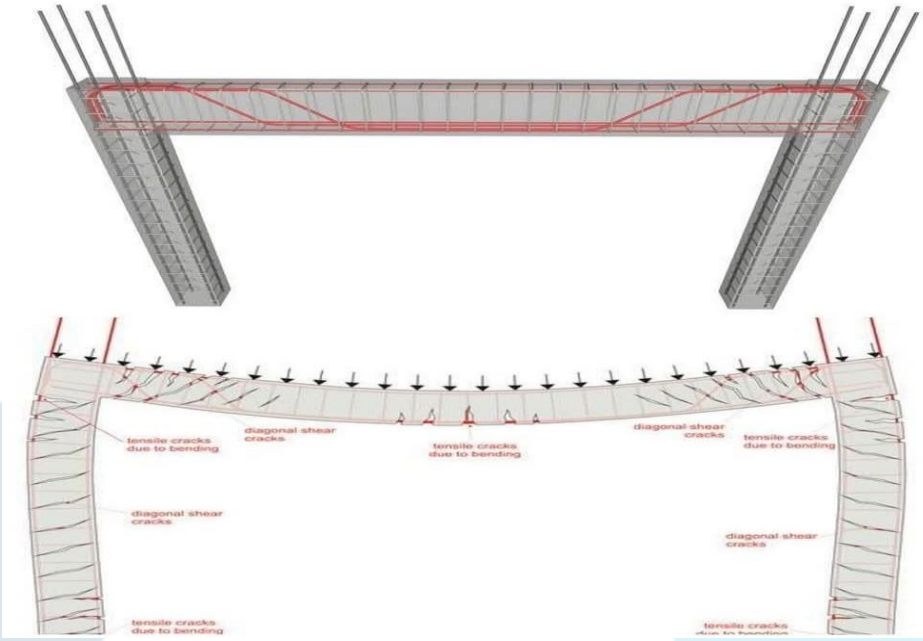

wheel spacers for securing the desirable lateral cover depth
indirect folded mesh spacer
direct rebar chairs

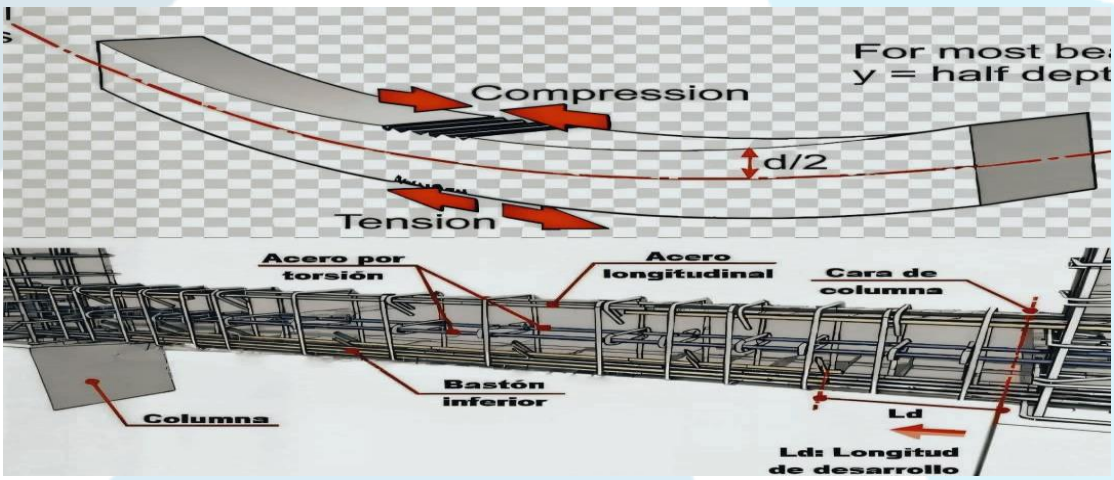

Beams
Referring to its position comparing to slabs
Dropped Beam
Inverted Beam
Hidden Beam


upper additional reinforcement
upper reinforcement
section A
section B
section C
beam stirrups
lower reinforcement
SECTION A
Scale 1:10
SECTION B
Scale 1:10
SECTION C
Scale 1:10
additional reinforcement bars 2Ø18
upper reinforcement bars 2Ø14+2Ø14
lower reinforcement bars 4Ø14+4Ø14
stirrup Ø8
upper reinforcement bars 2Ø14
lower reinforcement bars 4Ø14
250
500
450
100
200


Additional Longitudinal Reinforcement
DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR


Types of Supports
SimpleBeams
H
M
Beam
Column
V
Fixed
Precast Beam
Column
Pinned
Roller




Compression
d/2
Tension
Acero por torsión
Acero longitudinal
Cara de columna
Bastón inferior
Columna
Ld
Ld: Longitud de desarrollo