محاضرات مادة خرسانة مسلحة /1/

لطلاب السنة الثالثة

(هندسة مدنية)

الدكتورنزيه يعقوب منصور

2026 - 2025

المحاضرة العاشرة والحادية عشرة

حدود الاستثمار:

حد التشكل (السهوم) وحد التشقق في الخرسانة المسلحة

مقدمة :

يعرف الكود العربي السوري حدود الاستثمار :

أ – حالة حد تجاوز الإجهادات المسموح بها.

ب – حالة حد التشقق المعيب: التي تسبب صدأ صلب (فولاذ) التسليح مثل مقاطع الخزانات التي تكون فيها السوائل من الجهة المشدودة، وكذلك مقاطع الجدران الاستنادية جهة الردميات المشبعة بالرطوبة أو المغمورة بالمياه الجوفية، والتي يلزم تحقيق الإجهادات الشادة في الخرسانة وفقاً للبند (٣-٢-٣-١٠).

ج – حالة حد التشكل (السهم) المعيب دون ضياع الاتزان، ويدخل فيه الارتجاج (الاهتزاز) غير المقبول.

٦-٤- تحقيق حدود الأمان في حالات حدود الاستثمار:

٦-٤-١- الأسس العامة لتحقيق الأمان في حالات حدود الاستثمار:

يكون الأمان مُحقّقاً في حالة حدود الاستثمار، عندما تكون الإجهادات الفعلية الناجمة عن أفعال الاستثمار غير المصعّدة في أسوأ وضعيات التحميل، غير متجاوزة الإجهادات المسموح بها للمواد المستعملة في العنصر أو في مقطع منه، وعندما لا تتجاوز عروض الشقوق المتوقعة أو السهوم المحسوبة، القيم التي تعيب استثمار المنشأة.

٦-٤-١-١- تحقيق الأمان في حالة حد تجاوز الإجهادات المسموح بها:

أ – يتم أو يمكن التحقق من الأمان في حالة حد تجاوز الإجهادات المسموح بها، في الحالات الواردة في البند (٣-١٠)، وحيث تصمم أو تحقق العناصر أو مقاطعها الحرجة، تحت تأثير أحمال الاستثمار غير المصعّدة.

ب- يُفترض في تحقيق الأمان الكافي، ألا تتجاوز الإجهادات الفعلية في المقاطع الحرجة، في كل من الخرسانة في الضغط، وفولاذ التسليح في الشد والضغط، الإجهادات المسموح بها، والتي يُحددها هذا النظام في الباب العاشر. على أساس أن كلاً من الخرسانة في الضغط وفولاذ التسليح في الشد والضغط، يسلكان مسلك المواد المرنة، وتعتمد الفرضيات الأساسية المبينة في الباب العاشر.

ج- تؤخذ الإجهادات المسموح بها بقيمها المبينة في الباب العاشر إذا كان العنصر أو المقطع معرضاً لأثر الأحمال الثابتة D والإضافية L وبضمنها الأثر الحركي (الديناميكي) إن وُجد، و / أو أثر ضغط التربة H أو أثر ضغط السوائل F في حال وجود أحدهما.

د- أما إذا شملت الأحمال المؤثرة ضغط الرياح W أو أثر التشوهات (التشكلات) المفروضة T، فيمكن زيادة الإجهادات المسموح بها، في كل من الخرسانة وفولاذ التسليح بنسبة 25%، على القيم المبينة في الباب العاشر، على أن يتم التحقق دوماً من دون هذه الآثار، حسبما ورد في (ج) أعلاه.

هـ- أما إذا شملت الأحمال المؤثرة ضغط الرياح W وأثر التشوهات (التشكلات) المفروضة T معاً، فيمكن زيادة الإجهادات المسموح بها، في كل من الخرسانة وفولاذ التسليح بنسبة 33%، على القيم المبينة في الباب العاشر، على أن يتم التحقق دوماً من دون هذه الآثار، حسبما ورد في (ج) أعلاه.

و- في حال وجوب التحقيق لأثر الزلازل، يُرجع للبند (٤-١-٣-١٠).

ز- في جميع الأحوال، يتم تصميم أو تحقيق العنصر أو المقطع على تراكب الآثار التي تعطي أكبر قيمة للإجهاد المحسوب في المقطع المدروس، أو التراكب الأسوأ بالنسبة لاستقرار المنشأة، وبضمن ذلك، إن لزم، الحالات الخاصة التي قد يُؤدي فيها حسبان قيمة لآثار الأحمال الإضافية (الأحمال الحية) $L = 0$ إلى وضع أكثر خطورة، بالنسبة للإجهادات المتولدة في العنصر أو المقطع، أو بالنسبة لاستقرار المنشأة أو أحد أجزائها.

٦-٤-١-٢- تحقيق الأمان في حالة حد التشقق المعيب:

يتم التحقق من الأمان في حالة حد التشقق المعيب، طبقاً لما هو وارد في الفصل (١٠-٤)، وذلك تحت تأثير أحمال الاستثمار غير المصعّدة.

٦-٤-١-٣- تحقيق الأمان في حالة حد التشوه (التشكل) المعيب:

يتم التحقق من الأمان في حالة حد التشوه (التشكل) المعيب، طبقاً لما هو وارد في البند (١٠-٥)، وذلك تحت تأثير أحمال الاستثمار غير المصعّدة.

أ-الحساب بالاجهادات المسموحة في الاستثمار في الخرسانة المسلحة :

١٠-١- أساسيات في حالات حدود الاستثمار:

يتناول هذا الباب الأسس التي تعتمد في حساب مقاطع الخرسانة المسلحة، في الحالات التي تحقق الاشتراطات الواردة في البند (٣-١٠)، أو التحقق منها نتيجة لتأثير أفعال الاستثمار، وبالاستناد إلى عمل المقاطع في المرحلة الثانية، إذ تكون الخرسانة متشققة في منطقة الشدّ، ويكون إجهاد الفولاذ ضمن حدّ المرونة.

يُسمح باعتماد الأسس الواردة في هذا البند لتصميم العناصر التي تحقق اشتراطات البند (١٠-٣)، وبذلك يمكن اعتماد هذه الأسس لهذه العناصر بدلاً عن الأسس الواردة في حساب المقاطع، بموجب حالتي الحد الأقصى وحدّ الاتزان لحالات الحدود، أو التحقق من حالة حدّ الإجهادات المسموح بها للعناصر التي لا تحقق اشتراطات البند (٣-١٠).

أما تحقيق سلامة العناصر للوضعيّات الإجهادية الأخرى، أي التشقق أو التشكّل، فيبقى ضرورياً في الحالات الموجبة له، ويتم كما ورد في البندين (٤-١٠) و(٥-١٠)، حيث تُعتمد أفعال الاستثمار أصلاً.

يجدر التنويه إلى أنه يلزم في الحسابات اعتماد قيم مخفضة لـ fy عن القيم المميزة الاسمية وذلك عندما تكون قيم f 'c (MPa) الفعلية قليلة نسبياً (أي تقل عن القيمة الدنيا المعتمدة في هذا الكود وهي (f 'c =18 MPa) وذلك فقط عند التحقق من المنشآت القائمة فعلياً، ويمكن اعتماد الجدول الآتي لقيم fy (MPa) المخفضة المعتمدة في الحسابات.

fy / 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.

أي عند تحقيق المنشآت والمباني القائمة يمكن استعمال قيم المقاومة المميزة الاسمية (f_y) للفولاذ المستعمل عندما ($f'_c \geq 18$ MPa). وفي كل الحالات يجب أن تتحقق العلاقة الآتية في القطاع المدروس: $(A_s - A'_s) \leq 0.5A_{sb}$

١٠-٢- الفرضيات في حالات حدود الاستثمار:

١٠-٢-١- يستند التحليل الخطي المرن في تحقيق سلامة المقاطع الخاضعة لأفعال الاستثمار، إلى الفرض بأن الإجهادات الفعلية في المقاطع الحرجة في كل من الخرسانة والفولاذ، يجب ألا تزيد على إجهادات الاستثمار المسموحة والمحددة في البنود الآتية.

١٠-٢-٢- المقاطع المستوية قبل الانعطاف تظلّ مستوية بعده، أي أن الانفعال في كل من الخرسانة والفولاذ يتناسب مع البعد عن المحور السليم.

١٠-٢-٣- تسلك الخرسانة والفولاذ سلوك المواد المرنة في حدود أفعال الاستثمار، وبذلك يكون توزيع الإجهادات في المقطع خطياً.

١٠-٢-٤- يتم تحليل وتصميم المقاطع، بإهمال الخرسانة في الشدّ، بفرض وجود شروخ بها، ويتحمل الفولاذ وحده كل إجهادات الشدّ في المقطع.

١٠-٢-٥- تأخذ النسبة المعيارية $n = E_s / E_c$ القيم الآتية:

١- في حال الحساب وفق حالة حدّ تجاوز الإجهادات المسموح بها ($n = 15$).

٢- في حال الحساب وفق حالة حدّ التشقق المعيب ($n = 10$).

٣- في حال الحساب وفق حالة حدّ التشكّل، تحسب n من العلاقة: ($n = \frac{E_s}{E_c}$)

حيث: تؤخذ قيم E_s من الشكل (١-٤) أو الشكل (٢-٤)، وE_c من البند (٨-٢-٤).

ويجوز تخفيض قيم n، في حالتي حدّ الإجهادات المسموح بها وحدّ التشقق، عند استعمال خرسانة بمقاومة مميزة عالية تزيد على 25 MPa، وذلك بمقدار 20%.

١٠-٣- حالة حدّ تجاوز الإجهادات المسموح بها:

١٠-٣-١- مجال الاستعمال:

١- يتوجب التحقق من حالة حد (أي عدم) تجاوز الإجهادات المسموح بها على نحو إلزامي، في الحالات الآتية:

أ - العناصر والمقاطع المعرّضة لضغط السوائل، عندما لا تتخذ احتياطات كافية لحمايتها من تسرب السوائل عبر الشقوق، أو احتمالات أضرار التآكل في فولاذ التسليح. وفي هذه الحالة يتم التحقق على المرحلة الأولى (ما قبل التشقق) وفق البند (٤-١٠).

وفي جميع الأحوال، يلزم التحقق في مرحلة ما قبل التشقق، للمنشآت المعرضة لمياه أو رطوبة أو أوساط ضارة. ومن هذه المنشآت: الخزانات والجدران الاستنادية، حسبما هو وارد في الملحق الخاص بها.

ب- المنشآت المعرّضة لأحمال حركية (ديناميكية) متكررة، تؤدي إلى ظاهرة التعب في فولاذ التسليح، وفي هذه الحالة تُعدّل قيم الإجهادات المسموح بها في التسليح، وفق ملاحق الكود الخاصة بها (الجسور، على سبيل المثال).

ج- بعض المنشآت التي تتطلب الكودات الخاصة بها، شرطاً صريحاً لتحديد الإجهادات تحت تأثير أحمال الاستثمار (على سبيل المثال: المداخن، أو المنشآت من الخرسانة المسبقة الإجهاد).

وفي هذه الحالات المبيّنة أعلاه، يجب التحقق أيضاً من حالة حدّ الانهيار، ويبقى التحقق من حالات حدود الاستثمار الأخرى (الشقوق والسهوم)، خاضعاً للاشتراطات الواردة لاحقاً في هذا الفصل.

٢- يمكن الاكتفاء بالتحقق من حالة حد تجاوز الإجهادات المسموح بها من دون وجوب التحقق من حالة حد الانهيار، كونها محققة ضمناً في الحالات الآتية:

أ - العناصر المعرّضة للانعطاف والقصّ، مع أو من دون فتل، تحت تأثير جميع مصادر التحميل، وفي أسوأ وضعياتها، ما عدا حالة إدخال أفعال الهزات الأرضية.

ب- الأعمدة القصيرة المعرّضة للضغط البسيط، أو العناصر المضغوطة القصيرة أو الطويلة التي تسمح هذه المواصفات القياسية بحسابها، كونها معرّضة للضغط البسيط (البند (٩-٢-٣))، أو العناصر الخاضعة لشدّ أو ضغط لا مركزيّين.

ج- عناصر الأساسات المعرّضة للانعطاف والقصّ.

د- الجوائز العميقة والجدران الحاملة وجدران القص وما يُماثلها، على ألا يكون تصميمها محكوماً بإدخال أفعال الهزات الأرضية.

هـ- المنشآت القشرية.

ويبقى التحقق من حالات الاستثمار الأخرى (الشقوق والسهوم)، خاضعاً للاشتراطات الخاصة بها الواردة في البندين (٤-١٠) و(٥-١٠).

٣- في حال التحقق من حالات حدود الحدّ الأقصى وفق الباب التاسع، وما عدا الحالات الواردة في البند (١-١-٣-١٠) أعلاه، يمكن الاستغناء عن التحقق من حالة حدّ تجاوز الإجهادات المسموح بها، ويبقى التحقق من حالات الاستثمار الأخرى (الشقوق والسهوم)، خاضعاً للاشتراطات الخاصة بها الواردة في البندين (٤-١٠) و(٥-١٠).

٤- في حال إدخال أفعال الهزات الأرضية في الحساب، يصبح التحقق من مقاومة المقاطع والعناصر المقاومة لهذه الأفعال، تحت تاثير حالات التحميل التي تشمل الهزات الأرضية، وفق حالات حدود المقاومة الواردة في الباب التاسع، إلزامياً.

١٠-٣-٢- قيم الإجهادات الناظمية المسموح بها:

يجب ألا تزيد الإجهادات الناظميّة المسموحة، عن القيم الآتية:

١٠-٣-٢-١- الشدّ أو الضغط لفولاذ التسليح في حالات حدود الاستثمار:

تعدّ قيمة الشدّ المسموح بها لفولاذ التسليح، مساوية إلى $0.55\ f_y$، أما قيمة الضغط المسموح به لفولاذ التسليح فتؤخذ على النحو الآتي:

أ - بالنسبة للأعمدة الخاضعة للضغط البسيط، تُعتمد القيم الواردة في البند (٢-٣-٣-١٠)، وهي محسوبة من العلاقة (9-1) المأخوذ فيها تأثير اللامركزية الطارئة، بعد قسمتها على 1.6 (المتوسط الموزون لعامل التصعيد للأحمال الحية والميتة).

ب- أما بالنسبة للعناصر المعرّضة للانعطاف البسيط أو المركّب، فتؤخذ قيمة الضغط في التسليح، مساوياً الضغط في الخرسانة المجاورة لهذا التسليح مضروباً بالنسبة المعيارية $n = 15$، شريطة ألا تزيد هذه القيمة على $0.55\ f_y$.

١٠-٣-٢-٢- الضغط في الخرسانة في حالات حدود الاستثمار:

أ - الضغط البسيط لا يزيد على $0.3\ f'_c$.

ب- الضغط اللامركزي لا يزيد على:

$$(0.3 + \frac{e}{4t})\ f'_c \leq 0.55\ f'_c$$

ج- الانعطاف أو حالة الشدّ اللامركزي (اللا مركزية الكبيرة):

١) لا يزيد الضغط في المقاطع المستطيلة على $0.55\ f'_c$

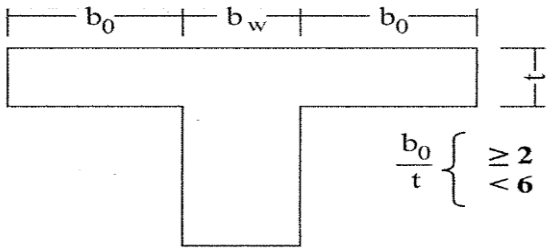
٢) لا يزيد الضغط في المقاطع بشكل T، التي لا يقل سمك جناح منطقة الضغط فيها عن 0.4 الارتفاع الفعّال للمقطع، مهما كان عرض الجناح على $0.55\ f'_c$

٣) في المقاطع بشكل T، التي يقلّ سمك جناح المقطع فيها على 0.1 الارتفاع الفعّال للمقطع، أو إذا كان سمك البلاطة تقلّ عن 60 mm، يُحسب المقطع الفعّال بافتراضه مستطيلاً، وتهمل مشاركة الجناح في حساب مقاومة المقطع.

٤) لا يزيد الضغط في المقاطع بشكل T، التي لا يتجاوز عرض جناح منطقة الضغط فيها، من كل جهة، مرتين سمك الجناح على $0.5\ f'_c$.

٥) في المقاطع بشكل حرف T (الشكل ١٠-١)، التي يتجاوز عرض جناح منطقة الضغط، من كل جهة (b_o)، مرّتين سمك الجناح (t)، ولا يتجاوز 6 مرّات سمك الجناح، تؤخذ

قيمة الإجهاد المسموح به، عند أقصى ليف مضغوط للمقطع من الجدول (١-١٠)، تبعاً للنسبة b_o / t .



الشكل (١-١٠): نسب أبعاد المقطع بشكل حرف T من أجل الإجهادات المسموحة في الضغط

الجدول (١-١٠): الإجهاد المسموح به في المقاطع حرف T

$\frac{b_0}{t}$	2	3	4	5	6
الإجهاد المسموح به في أقصى ليف مضغوط في الخرسانة.	0.50 f ′c	0.45 f ′c	0.40 f ′c	0.35 f ′c	0.30 f ′c

٦) يُنوّه عند حساب المقاطع المجنّحة، بألا يقلّ العزم المقاوم لها، عن العزم المقاوم للمقطع المستطيل بإهمال الجناح، وبافتراض الإجهاد المسموح به مساوياً إلى القيمة غير المخفضّة والبالغة 0.55 f ′c.

حيث: b_o = عرض جناح منطقة الضغط من كل جهة.

t = سمك جناح منطقة الضغط.

ويُنوّه إلى أن التصميم الاقتصادي لهذه المقاطع، ينتج عن استعمال إجهادات مسموحة تقلّ عن القيم المعطاة في الجدول (١-١٠).

٧) في المقاطع المتناظرة الأخرى 0.55 f ′c

يُنوّه بأن هذه الحدود (المعطاة لجميع الحالات ب، ج) للإجهادات المسموح بها في الضغط الناتج عن الانعطاف البسيط تمثل حدوداً عليا، وأن اختيار أبعاد المقاطع المعرّضة للانعطاف، اعتماداً على هذه القيم في الحالات التي يكون فيها اختيار أبعاد المقاطع غير محكوم باشتراطات أخرى، يؤدي إلى الحصول على مقاطع غير اقتصادية ومزدحمة بالتسليح. ويُفضّل، في الحالات غير الاضطرارية، ألا يزيد إجهاد الضغط الفعلي في الخرسانة على 0.45 f ′c.

١٠-٣-٢-٣- الشدّ المركزي والشدّ اللامركزي في الخرسانة:

أ - يجري حساب المقاطع الخاضعة للشدّ المركزي، أو الشدّ اللامركزي، استناداً إلى الفرضيات الأساسية الواردة في البند (٢-١٠)، أي إنه: في حساب المقاومة تهمل الخرسانة في الشدّ، ويكون فولاذ التسليح وحده قادراً على تحمّل كامل إجهادات الشدّ.

ب- في المنشآت المعرّضة لعوامل ضارّة شديدة التأثيرعلى الخرسانة أو الفولاذ في حال التشقق (البند ١٠-٤) يُحسب المقطع الخرساني بكامله على أنه يعمل في مجال المرونة (أي المرحلة الأولى من عمل المقطع مثل مقاطع الخزانات أو الجدران الاستنادية)، ولا يجوز أن تزيد إجهادات الشدّ في الخرسانة والناتجة عن أفعال الاستثمار، على ما يلي:

١) لحالة الشدّ المركزي أو الشدّ اللامركزي (القوة بين التسليحين العلوي والسفلي):

$0.4\sqrt{f'_c}$ (في النظام المتري $1.25\sqrt{f'_c}$)

٢) لحالة الانعطاف البسيط أو الشدّ اللامركزي (القوة خارج التسليحين العلوي والسفلي):

$0.57\sqrt{f'_c}$ (في النظام المتري $1.80\sqrt{f'_c}$)

ويجوز في هذه الحالة إدخال فولاذ التسليح في الحساب، على فرض أن النسبة المعيارية $n = 10$، ولايجوز في هذه الحالة إهمال إجهادات الشدّ الناتجة عن انكماش الخرسانة. مثال مقاطع الخزانات التي تكون فيها السوائل من الجهة المشدودة، وكذلك مقاطع الجدران الإستنادية جهة الردميات المشبعة بالرطوبة أو المغمورة بالمياه الجوفية، والتي يلزم تحقيق الإجهادات الشادة في الخرسانة، وفقاً لهذا البند. ويتم التحقق من سعة الشقوق وأقطار التسليح حسب البند (٤-١٠).

ج- إن تحقيق المقاطع الخاضعة للانعطاف البسيط، في حالة المنشآت المعرّضة لعوامل ضارّة حسب الفقرة (٣-٢-٣-١٠- ب)، لتأمين سلامتها من التشقق، يخضع للأسس ذاتها الواردة في الفقرة المذكورة.

١٠-٣-٣- حساب القطاعات لمقاومة الإجهادات الناظمية:

١٠-٣-٣-١- حساب القطاعات (المقاطع) المعرّضة لعزم انعطاف بسيط:

يجري حساب هذه المقاطع وفق الفرضيات الأساسية الواردة في البند (٢-١٠)، وبحيث لا تتجاوز الإجهادات الناظميّة المسموح بها، القيم الواردة في البند (٢-٣-١٠). أما نسب التسليح الدنيا والقصوى، والاشتراطات البعدية في اختيار أبعاد المقطع والتسليح، فيتم وفقاً للباب السابع.

١٠-٣-٣-٢- حساب المقاطع المعرّضة للضغط البسيط (الأعمدة القصيرة):

أ - يُعدّ العضو المضغوط قصيراً (حالة المسند جانبياً)، إذا لم تزد نحافته في الاتجاهين ($\lambda = \frac{L_0}{i}$) على 40

حيث: L_o الطول الحسابي الفعّال للعضو.

$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ نصف قطر القصور الذاتي لمقطع العضو.

ب- يُحدد الحمل المسموح للعضو القصير ذي الأساور العادية، وفق العلاقة (a) الآتية:

$$N = 0.3\ f'_c\ (A'_c + 1.17\ \frac{f_y}{f'_c} A_s) \quad .....(a)$$

حيث: $A'c$ = مساحة المقطع الخرساني الكلّي.

As = مساحة التسليح الطولي.

ج- يُحدد الحمل المسموح للعضو القصير ذي الأساور الحلزونية، من العلاقة (b) الآتية:

$$N = 0.3\ f'_c\ [A'_k + 1.17\ \frac{f_y}{f'_c}\ A_s + 3\ \frac{f_{yp}}{f'_c}\ .A_{sp}] \quad .....(b)$$

حيث: f_y = إجهاد الخضوع للتسليح الطولي.

f_{yp} = إجهاد الخضوع للتسليح الحلزوني.

A'_k = مساحة مقطع النواة الداخلية للحلزون.

A_{sp} = المساحة الفرضية المكافئة للأساور الحلزونية، وتساوي إلى:

$$A_{sp} = \pi d_k\ a_s / s$$

حيث: d_k = قطر النواة.

a_s = مقطع تسليح قضبان الحلزون.

s = خطوة الحلزون.

ولتوفير أمانٍ كافٍ ضد انهيار الغطاء الخرساني في العناصر المسلحة حلزونياً، يجب ألا تزيد مقاومة المقطع حسب العلاقة (b) أعلاه، على 1.5 مرة من مقاومة المقطع حسب العلاقة (a) أعلاه، في الفقرة ب. كذلك راجع الفقرة (١٠-٣-٣-٤) في حالة الأعمدة غير القصيرة (الطويلة أو النحيفة).

د- يُسمح بحساب الأعمدة القصيرة التي يُبيّن التحليل الإنشائي أنها غير معرّضة لعزوم انعطاف، أو الأعمدة القصيرة المعرّضة لعزوم انعطاف صغيرة نسبياً، أي الأعضاء المضغوطة التي تنطبق عليها الاشتراطات الواردة في البند (٥-٣-٨)، وفقاً لما هو مُبيّن أعلاه في هذا البند، وباستعمال إحدى العلاقتين (a) أو (b) حسب الحال.

هـ- في المباني الهيكلية الطابقية العادية، التي تصمم أعمدتها لتحمل الأحمال الشاقولية فقط، وغير الخاضعة لتأثيرات ناتجة عن أحمال أفقية، يمكن تسهيلاً، حساب أعمدتها القصيرة بافتراضها معرّضة للضغط البسيط وفقاً لما هو مُبيّن أعلاه في هذا البند، وباستعمال إحدى العلاقتين (a) أو (b) حسب الحال، حتى لو لم تتحقق اشتراطات الفقرة (د) أعلاه، وذلك بعد تقسيم الطرف الأيمن لهاتين العلاقتين (a) و(b) على معامل التكافؤ ke الوارد في

جداول البند (٥-٣-٨)، والذي يلحظ ضمناً أثر عزوم الانعطاف الطارئة المنقولة إلى الأعمدة، والتي أُهمل حسابها.

و- أما في الحالات الأخرى التي لا تنطبق عليها الاشتراطات الواردة في (د) أو (هـ) أعلاه، وحيث يكون الترتيب الإنشائي للعناصر يُعرّض الأعمدة لعزوم انعطاف من الأحمال المطبقة، فيجب أخذ هذه العزوم بالحسبان بلامركزية دنيا (بما فيها اللامركزية الطارئة) لا تقل عن 0.1 من عمق القطاع في اتجاه العزم، وحساب الأعمدة كعناصر معرّضة لضغط لا تمركزي، على أن تحسب قيم عزوم الانعطاف وفقاً لما ورد في الباب الثامن.

تؤخذ نسب التسليح الدنيا والقصوى، وترتيبات التسليح وفقاً للباب السابع.

١٠-٣-٣-٣- حساب المقاطع المعرّضة للضغط اللامركزي:

تحسب المقاطع (المسندة جانبياً) الخاضعة للضغط اللامركزي، التي لا تزيد نحافتها λ بالنسبة لمحور الانعطاف على 40، وفقاً لإحدى الطريقتين الآتيتين:

أ - استناداً للفرضيات الأساسية الواردة في البند (١٠ - ٢)، والإجهادات المسموح بها وفق البند (١٠-٣-٢)، على أن تؤخذ في الحساب القوة الناظميّة الاستثمارية N والعزم الاستثماري، المعرّض لهما المقطع والناتجين عن أحمال الاستثمار، والتحقق من المقاطع وفق حالة حدّ تجاوز الإجهادات المسموح بها، ويُميّز بين حالتين، هما:

١) **حالة اللامركزية الصغيرة:** تحصل عندما تكون الإجهادات في أقصى ليف مشدود من الخرسانة لا تزيد على القيمة: $0.35\sqrt{f'_c}$ (في النظام المتري $1.1\sqrt{f'_c}$). في هذه الحالة يُعدّ المقطع الخرساني غير متشقق، ويُؤخذ كامل المقطع الخرساني في الحساب. لكن اختيار مقطع التسليح المشدود، يتم بافتراض المقطع الخرساني متشققاً، وأن كامل قوة الشدّ الاستثمارية يتحمّلها التسليح بمفرده.

٢) **حالة اللامركزية الكبيرة:** تحصل عندما تكون الإجهادات في أقصى ليف مشدود من الخرسانة تزيد على القيمة: $0.35\sqrt{f'_c}$ (في النظام المتري $1.1\sqrt{f'_c}$). في هذه الحالة يُعدّ المقطع الخرساني متشققاً، وتهمل مساحة المقطع الخرساني المشدود.

تؤخذ نسب التسليح الدنيا والعظمى في المقاطع المعرّضة إلى اللامركزية من الباب السابع.

ب- وكبديل عن ما سبق، وفي الحالات التي يكون فيها حساب المقاطع الخاضعة للضغط اللامركزي للتأكّد من حدّ المقاومة القصوى لها، يمكن الحساب استناداً إلى افتراضات حالة الحدّ الأقصى، كما هو وارد في الباب التاسع، ويتم ذلك بتصعيد كل من الحمولة الناظميّة الاستثمارية N وعزم الانعطاف المُطبّق الاستثماري M، بمعامل تصعيد موحّد لكل منهما مقداره 1.55:

$$M_u = 1.55\ M$$
$$N_u = 1.55\ N$$

وتحسب المقاطع الخاضعة للضغط المركزي استناداً لفرضيات حالة حدود المقاومة، كما هو وارد في الفقرات من (٦-٦-٢-٩) إلى (١٢-٦-٢-٩).

ملاحظة: إذاكانت الأحمال الحية تزيد على نصف الأحمال الميتة فيزاد عامل التصعيد 1.55 إلى قيمة أكبر حسب المتوسط الموزون لعامل التصعيد.

١٠-٣-٣-٤- حساب المقاطع المضغوطة للأعمدة النحيفة:

يُؤخذ أثر التحنيب في العناصر المضغوطة (المسندة جانبياً)، التي تزيد نحافتها λ بالنسبة لمحور الانعطاف (الانحناء) في الاتجاه المدروس على 40، بإحدى الطريقتين الآتيتين:

أ - في العناصر الخاضعة للضغط البسيط، أو العناصر المضغوطة التي يُسمح بموجب البند (١٠-٣-٣-٢- (د) و(هـ))، بحسابها على أساس أنها عناصر معرّضة للضغط البسيط (أي بإهمال عزم الانعطاف في الحساب، وأخذ أثره بوساطة معامل التكافؤ k_e)، وذلك بتقسيم الطرف الأيمن من العلاقتين (a) أو (b) الواردتين في البند (١٠-٣-٣-٢) حسب الحال، على معامل التحنيب k_b الوارد في الجدول (٣-١٠)، شريطة تحقق ما يلي:

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

٢) ألا تقلّ مساحة التسليح الموجودة في كل طرف من طرفي المقطع بالاتجاه المقاوم للتحنيب، عن 0.003 من مساحة المقطع الكليّة، وألا تزيد نحافة العمود λ على 80.

ب- في الحالات الأخرى يُحقق مقطع العمود باستعمال فرضيات حالة الحدّ الأقصى وفق ما ورد في الباب التاسع، وذلك بعد تصعيد العزم المُطبّق الاستثماري M، والحمولة الناظميّة الاستثمارية N، وذلك بضربهما بالمعامل 1.6، كما ورد في البند (٣-٣-٣-١٠-ب)، وبإدخال أثر التحنيب وفق ما ورد في الفقرات (٩-٢-٦-٦ إلى ٩-٢-٦-١٢) من البند (٩-٢-٦).

الجدول (٣-١٠): قيم معامل التحنيب k_b

$\lambda = \frac{L}{i}$	40	42	44	46	48	50	55	60	65	70	75	80
المقطع المستطيل L/ b	11.5	12.1	12.7	13.3	13.9	14.4	15.9	17.3	18.8	20.2	21.7	23.1
المقطع الدائري L/ d	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.7	15.0	16.2	17.5	18.7	20
k_b	1.00	1.02	1.04	1.07	1.10	1.13	1.20	1.35	1.6	1.95	2.40	3.00

١٠-٣-٤- الحساب للإجهادات المماسية في حالات حدود الاستثمار:

١٠-٣-٤-١- عموميّات:

إن مقاومة عنصر ما خاضع لأفعال مماسية ناتجة عن قوى القصّ، يجب أن تؤمّن بمقاومة الخرسانة للإجهادات المماسية، بالإضافة إلى تسليح عرضي يخترق المساحات التي تعمل فيها هذه الأفعال المماسية، ويُثبّت جيداً، ويُدعى التسليح العرضي.

يجب أن تحتوي العناصر المعرّضة لأحمال مماسية، على تسليح أدنى لمقاومة الإجهادات المماسية، باستثناء العناصر الآتية:

أ - البلاطات العاديّة وقواعد الأساسات.

ب- الجوائز التي لا يزيد ارتفاعها على 250 mm أو 2.5 مرة سمك جناحها في حالة المقاطع بشكل T، وبشرط ألا يزيد إجهاد القصّ فيها على $0.75\ \tau_c$

ج - الأعصاب التي لا يزيد إجهاد القص فيها على0.4 الإجهاد المسموح للخرسانة.

١٠-٣-٤-٢- مقاومة الإجهادات المماسية في حالات حدود الاستثمار:

تقاوم الإجهادات المماسية في عنصر ما، بتسليح عرضي من الأنواع الآتية:

أ - أساور عمودية على التسليح الرئيسي الطولي للعنصر.

ب- أساور مائلة بزاوية لا تقلّ عن 30° مع تسليح الشدّ الرئيسي.

ج- أساور حلزونية، أي متواصلة، على طول العنصر ومُطوّقة لكامل مقاطعه.

د- قضبان طولية مائلة بزاوية لا تقلّ عن 30° مع تسليح الشدّ الرئيسي.

هـ- استعمال اثنين أو أكثر من الأنواع السابقة.

١٠-٣-٥- تصميم المقاطع المعرضة لقوى القص:

١٠-٣-٥-١- قوى القصّ المؤثرة لحساب إجهادات القصّ:

أ - لحساب إجهادات القصّ، يُؤخذ في الحسبان عامّة أن أكبر قوة قصّ مؤثرة، هي تلك المحسوبة عند أوجه الركائز. أما في حالات الركائز المباشرة تحت الجوائز، حيث يتولد نتيجة هذا الارتكاز انضغاط عمودي على الحافة السفلى للجائز، فيُسمح تصميم التسليح العرضي اللازم (وليس حساب إجهاد القص الأعظمي) على قيمة القصّ المؤثرة على الجائز، على مسافة من وجه الركيزة الداخلي، تساوي نصف الارتفاع الفعّال للجائز (0.5d).

ب- عند وجود حمل مركّز P على مسافة a من الركيزة، تساوي أو تقلّ عن ضعف الارتفاع الفعّال للجائز، أي: ($a \leq 2d$) يُسمح في حساب إجهاد القصّ الناتج عن هذا الحمل، بأخذ قوة قصّ V مؤثرة، تساوي قوة القصّ الحسابية مضروبة في ($a / 2d$).

ج– يمكن تثبيت قيمة قوة القصّ المؤثرة في المسافة بين أكبر قوة قصّ مؤثرة وبين الركيزة تبعاً لخط مستقيم، يبدأ بقيمة أكبر قوة عند المقطع المحدد في الفقرة (أ) من هذا البند، ويستمر بالقيمة نفسها حتى وجه الركيزة.

١٠–٣–٥–٢– الحساب الافتراضي لإجهاد القصّ:

أ – في حالة الجوائز الثابتة الارتفاع يُحسب إجهاد القص τ في مقطع ما، من العلاقة:

$$\tau_r = \frac{V}{0.80 b_w d}$$

حيث: V قوة القصّ المؤثرة على المقطع والمحسوبة على أساس البند (١–٥–٣–١٠).

b_w عرض جسد المقطع.

d الارتفاع الفعّال للمقطع.

ب– في حالة الجوائز المتغيرة الارتفاع:

نستعيض عن قوة القصّ V بالقيمة V_r:

$$Vr = V - (M \tan \beta) / d$$

حيث: $\tan \beta$ ميل الشطفة.

يُفترض في هذه المعادلة أن ارتفاع المقطع يزيد مع زيادة عزوم الانعطاف. أما في حالة صغر ارتفاع المقطع مع زيادة عزوم الانعطاف، فيستعاض عن إشارة (–) بإشارة (+).

١٠–٣–٥–٣– الحد الأدنى للتسليح العرضي:

في حال وجوب تسليح عرضي حسب ما ورد في البند (١–٤–٣–١٠) للمقاطع المعرّضة لقوى قصّ، يجب ألا تقلّ نسبة التسليح العرضي الدنيا عن ما ورد في البند (٧–١–٢–٧).

١٠–٣–٥–٤– الإجهاد المماسي المسموح به في الخرسانة والناتج عن قوى القصّ:

أ – في العناصر المعرّضة للانعطاف والقصّ معاً، سواء كانت في العناصر الخطية أو البلاطات التي يزيد سمكها على 200mm (ما عدا البلاطات أو الأساسات المعرّضة لحمل أو رد فعل مركّز (الفقرة ب أدناه)). وغير المعرّضة لعزم فتل رئيسي أو قوة ناظميّة، يُسمح للخرسانة مقاومة إجهادات مماسية تساوي:

$$\tau_c = 0.088 \sqrt{f'_c} + 10 \mu_w \frac{V.d}{M} \leq 0.167 \sqrt{f'_c}$$

حيث: τ_c الإجهاد المماسي المسموح به بالخرسانة، مقدّراً بـ MPa.

f'_c المقاومة المميزة للخرسانة في الضغط، مقدرة بـ MPa.

μ_w نسبة التسليح الطولي المشدود في المقطع محسوبة على أساس عرض الجسد.

d الارتفاع الفعّال للمقطع.

V و M قوة القصّ الحسابية وعزم الانعطاف المطبقين على المقطع، والناجمان عن أحمال الاستثمار، شرط أن لا يزيد $(V.d / M)$ على 1، وإلا يُؤخذ مساوياً 1.

$$\left(\tau_c = 0.27\sqrt{f'_c} + 97\mu_w \frac{V \cdot d}{M} \le 0.55\sqrt{f'_c}\right.$$ (في النظام المتري

ويمكن للتبسيط (للعناصر العادية)، الاستغناء عن حساب قيمة الإجهاد τ_c من العلاقة السابقة واعتماد قيمة عظمى له مساوية:

$$\tau_c = 0.128\sqrt{f'_c}$$

$$\left(\tau_c = 0.4\sqrt{f'_c}\right.$$ (في النظام المتري

ب- في البلاطات والأساسات بجوار الحمل أو رد الفعل المركّز، يُسمح للخرسانة مقاومة إجهادات مماسية افتراضية تساوي:

$$\tau_c = [\,0.088 + 0.183\ a/b\,]\ \sqrt{f'_c} \le 0.167\ \sqrt{f'_c}$$

$$\left(\tau_c = \left[0.27 + 0.573\frac{a}{b}\right]\sqrt{f'_c} \le 0.55\sqrt{f'_c}\right.$$ (في النظام المتري

حيث: a = طول الضلع الأقصر لمساحة الحمل أو رد الفعل المركّز.

b = طول الضلع الأطول لمساحة الحمل أو رد الفعل المركّز.

ج- عند ترافق القصّ مع قوة ضغط ناظمية استثمارية مقدارها N، يُسمح للخرسانة مقاومة إجهادات مماسية تساوي:

$$\tau_c = [\,1 + 0.119\ \frac{N}{A_c}\,]\ 0.088\ \sqrt{f'_c}$$

حيث: Ac = مساحة المقطع الخرساني الإجمالية.

N/A_c، f'_c، τ_c مقدرة بـ MP_a.

$$\left(\tau_c = [1 + 0.012\frac{N}{A_c}] \times 0.27\sqrt{f'_c}\right.$$ (في النظام المتري

د- عند ترافق القصّ مع قوة شدّ ناظمية استثمارية مقدارها N، يُسمح للخرسانة مقاومة إجهادات مماسية تساوي:

$$\tau_c = [\,1 - 0.051\ \frac{N}{A_c}\,]\ 0.088\ \sqrt{f'_c}$$

حيث: Ac = مساحة المقطع الخرساني الإجمالية.

N/A_c، f'_c، τ_c مقدرة بـ MP_a.

$$\left(\tau_c = \left[1 - 0.051\ \frac{N}{A_c}\right]\ 0.27\ \sqrt{f'_c}\right.$$ (في النظام المتري

هـ- إذا كان الإجهاد المماسي المحسوب τ الناجم عن أحمال الاستثمار في مقطع ما، أصغر من أو يساوي τ_c ، لا يُحسب التسليح العرضي، ويُكتفى باستعمال نسبة التسليح الدنيا. أما إذا زادت قيمة τ على τ_c، فتؤخذ قيمة الإجهاد المماسي الافتراضي τ_o الذي تقاومه الخرسانة في هذا المقطع بقيمة عظمى تحَدّد كما يلي:

١) تساوي الصفر، إذا كان المقطع المدروس يتقاطع أو ينطبق مع فاصل صب أفقي أو شاقولي أو مائل، وعندما يكون جزء من تسليح الشدّ الطولي الرئيسي الموجب، منهيّاً ضمن المجاز وفي منطقة الشدّ $(\tau_o = 0)$.

٢) في حال غياب أحد الشرطين السابقين، يمكن أخذ قيمة τ_o بحيث لا تزيد على: $(\tau_o = 0.35\ \tau_c)$.

٣) في حال غياب الشرطين السابقين (أي في الحالة المثالية للتصميم والتنفيذ) تؤخذ قيمة τ_o بحيث لا تزيد على $(\tau_o = 0.7\ \tau_c)$.

و- عند ترافق القصّ مع عزم فتل ينتج عنه إجهاد فتل τ_t تزيد قيمته على: $0.072\sqrt{f'_c}$ (في النظام المتري $0.22\sqrt{f'_c}$) يُسمح للخرسانة في الحالة المثالية للتصميم والتنفيذ (أي وفق الفقرة هـ-٣ أعلاه)، مقاومة إجهادات مماسيّة افتراضية τ_o تساوي:

$$\tau_o = \tau_c = \frac{0.088\ \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1+\left(\frac{\tau_t}{1.2\tau}\right)^2}}$$

(في النظام المتري $\tau_o = \tau_c = \frac{0.27\ \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1+\left(\frac{\tau_t}{1.2\tau}\right)^2}}$)

حيث: τ = الإجهاد المماسي المحسوب تحت أحمال الاستثمار على المقطع المدروس.

τ_t = الإجهاد المماسي الناتج عن الفتل.

١) أما في الحالة هـ -١ أعلاه، فتؤخذ قيمة τ_o مساوية للصفر.

٢) أما في الحالة هـ -٢ أعلاه، فتؤخذ قيمة τ_o بحيث لا تزيد على القيمة الآتية:

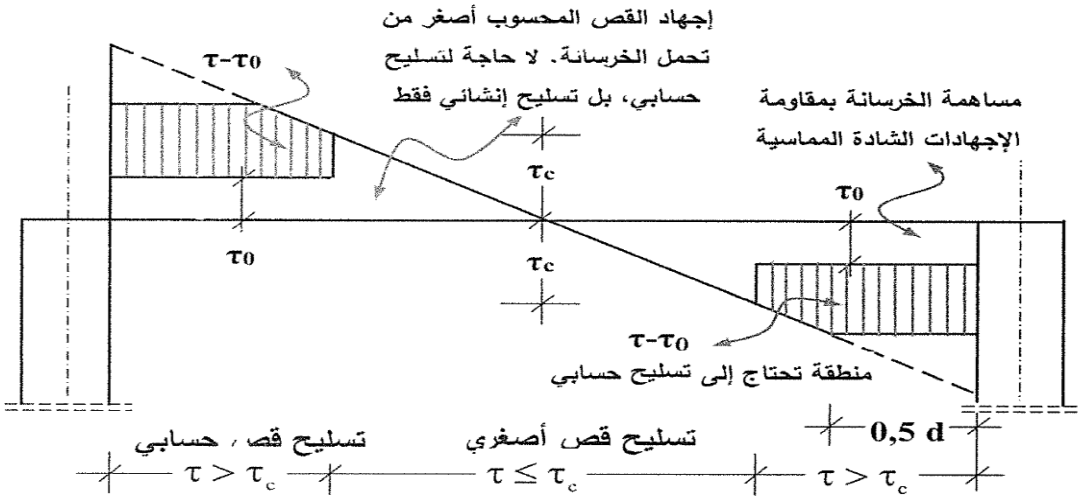
$$\tau_o = \frac{0.044\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1+\left(\frac{\tau_t}{1.2\tau}\right)^2}}$$

(في النظام المتري $\tau_o = \frac{0.14\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1+\left(\frac{\tau_t}{1.2\tau}\right)^2}}$)

وتحسب مساحة التسليح العرضي اللازم لمقاومة الإجهادات المماسية الباقية $(\tau-\tau_o)$.

ز- في حالة تعرّض العنصر إلى قوى شدّ تتسبب في وقوع المحور السليم خارج المقطع، يُصمم التسليح العرضي، لمقاومة الإجهادات المماسية المحسوبة (τ) كاملة.

ح– لا يجوز في حال من الأحوال، أن تزيد قيمة الإجهادات المماسية المحسوبة (τ) ، عن: $\tau_{max} = 0.36\sqrt{f'_c}$ (في النظام المتري $\tau_{max} = 1.12\sqrt{f'_c}$) في حال استعمال أساور في اتجاه عمودي، أو غير مقرونة بتسليح طولي مُكسّح، وعن: $\tau_{max} = 0.44\sqrt{f'_c}$ (في النظام المتري $\tau_{max} = 1.38\sqrt{f'_c}$) في حال استعمال أساور شاقولية وقضبان تسليح مائلة (أو أساور شاقولية و أساور مائلة) بدرجة ٤٥° مع التسليح الطولي، ويُوضّح الشكل (٢–١٠) كيفية حساب إجهادات القصّ التصميمية اللازمة لحساب تسليح خاص لمقاومتها على الشدّ.



τ_o = الإجهاد المماسي الافتراضي الذي تقاومة الخرسانة.

τ_c = الإجهاد المماسي المسموح بالخرسانة، والذي يحتاج لنسبة تسليج دنيا.

τ = الإجهاد المماسي المحسوب.

الشكل (٢–١٠): إجهادات القص التصميمية المسموحة لحساب التسليح العرضي

٢–١٠–٣–٥–٥– تصميم التسليح العرضي لمقاومة القصّ:

أ – في حال استعمال أساور عرضية عمودية على التسليح الطولي، يُؤخذ الحدّ الأدنى لمقطعها:

$$A_{st} = \frac{(\tau - \tau_o)\, b_w s}{\overline{\sigma_s}}$$

حيث: $\overline{\sigma_s}$ تمثل قيمة الإجهاد المسموح على الشد في التسليح، ويكون $\leq 0.55\ fy$

ب– في حال استعمال أساور عرضية مائلة أو تسليح مُكسّح، يميل على محور التسليح الرئيسي بزاوية α، يُؤخذ الحدّ الأدنى لمقطعها:

$$A_{st} = \frac{(\tau - \tau_o)\, b_w s}{\overline{\sigma_s}(\sin\alpha + \cos\alpha)}$$

وإذا كانت $\alpha = 45^\circ$، فتكون:

$$Ast = \frac{(\tau - \tau_o)\, b_w s}{\sqrt{2} \cdot \overline{\sigma_s}}$$

ج- إذا كان التسليح مؤلفاً من عدة أنواع، يكون مقطع التسليح الأدنى مساوياً لمجموع مقاطع الأنواع المختلفة على أن تؤخذ مقاومة الخرسانة τ_o مرّة واحدة في هذه الحسابات.

١٠-٣-٦- تصميم المقاطع المعرّضة لعزوم فتل:

يتأثر سلوك الوحدات الإنشائية المعرّضة لعزوم فتل بعدة عوامل، أهمها شكل المقطع وكمية وترتيب ما به من تسليح، والخواص الميكانيكية للمواد، وطبيعة ومقدار القوى الداخلية الأخرى، كعزوم الانعطاف وقوى الضغط والشدّ والقصّ التي يمكن أن تصاحب الفتل. وتؤخذ عزوم الفتل T عند التصميم للعناصر الإنشائية في الحساب، إذا كان الفتل فيها عنصراً أساسياً يُؤثر على اتزانها.

١٠-٣-٦-١- عزوم الفتل المؤثرة لحساب الإجهادات المماسية في حالات حدود الاستثمار:

في العناصر المحمّلة على ركائز، تؤخذ قيمة عزم الفتل T على المقاطع بجوار الركائز، مساوية لقيمتها على مقاطع العناصر التي تبعد مسافة 0.5 الارتفاع الفعّال (0.5d) من وجه الركائز.

١٠-٣-٦-٢- حساب الإجهاد المماسي الافتراضي الناتج عن الفتل:

أ - تحسب قيمة الإجهاد المماسي τ_t في المقاطع المستطيلة والمقاطع ذات الأجنحة، من العلاقة:

$$\tau_t = \frac{3T}{\sum x^2 y}$$

حيث: T = عزم الفتل الناجم عن أحمال الاستثمار.

x = عرض كل من المستطيلات التي يتألف منها المقطع.

y = طول كل من المستطيلات التي يتألف منها المقطع، على أن لا تتجاوز 3x في حال جناح الجوائز بشكل T.

ب- تحسب أقصى قيمة للإجهاد المماسي τ_t في المقاطع الدائرية المفرّغة، من العلاقة:

$$\tau_t = \frac{T}{2 \cdot A_o d_o}$$

حيث: A_o = المساحة الداخلية المحصورة بالكونتور المرسوم في منتصف السمك d_o.

d_o = سمك المقطع في النقطة المحسوب فيها الإجهاد.

ج- تُحسب أقصى قيمة للإجهاد المماسي τ_t في المقاطع الدائرية المليئة المسلحة، من العلاقة:

$$\tau_t = \frac{3.2T}{d_k^{\,3}}$$

حيث: d_k = قطر نواة المقطع، ويجب أن لا يقلّ سمك الغطاء الخرساني في هذه الحالة، عن 1/12 من قطر المقطع.

١٠-٣-٦-٣- الحدّ الأدنى للتسليح العرضي في حالات حدود الاستثمار:

يُؤخذ بتأثير الفتل في حسابات القصّ والانعطاف، إذا كانت الإجهادات المماسية المحسوبة الناتجة عن الفتل τ_t تفوق: $0.072\sqrt{f'_c}$ (في النظام المتري $0.22\sqrt{f'_c}$). أما إذا كانت هذه الإجهادات من دون $0.072\sqrt{f'_c}$ فيُهمل تأثير الفتل في الحسابات، ويُكتفى بأدنى نسبة تسليح عرضي مسموح بها، كما هي معطاة في البند (٧-٢-١-٧).

١٠-٣-٦-٤- الإجهاد المماسي المسموح مقاومته بالخرسانة في حالة الفتل:

أ - يجب ألا تزيد إجهادات الفتل المسموحة τ_{tc} التي تقاومها الخرسانة، عن:

$\tau_{tc} = 0.072\sqrt{f'_c}$ (في النظام المتري $\tau_{tc} = 0.22\sqrt{f'_c}$)

ب- في حال وجود قوة شدّ هامّة على المقطع بالإضافة إلى عزوم الفتل، يُصمم التسليح العرضي لمقاومة كامل الإجهادات المماسية المحسوبة τ_t الناتجة من الفتل، أي تؤخذ:

$$\tau_{tc} = 0$$

ج- لا يُسمح أن تتجاوز الإجهادات المماسية المحسوبة τ_t والناتجة عن الفتل:

$\tau_t \le 0.44\sqrt{f'_c}$ (في النظام المتري $\tau_t \le 1.39\sqrt{f'_c}$)

١٠-٣-٦-٥- تصميم التسليح اللازم لمقاومة الفتل:

أ - يُؤخذ المقطع الأدنى لقضيب أسوارة التسليح العرضي المُطوّقة تطويقاً كاملاً للمقطع، مساوياً إلى:

$$Ast = \frac{(\tau_t - \tau_{tc}) \cdot s \cdot \sum x^2 \cdot y}{3 \cdot \alpha_t \cdot x_1 \cdot y_1 \cdot \sigma_s}$$

حيث: x_1 عرض أسوارة التسليح المستطيلة.

y_1 طول أسوارة التسليح المستطيلة.

α_t معامل يُؤخذ من العلاقة:

$$\alpha_t = [\, 0.66 + 0.33 \left(\frac{y_1}{x_1}\right) \,] \le 1.50$$

ب- يُؤخذ المقطع الأدنى للتسليح الطولي، أكبر قيمة تنتج من المعادلتين الآتيتين:

$$A_l = 2\, A_{st} \left[\frac{x_1 + y_1}{s}\right]$$

$$A_l = \left[\frac{2.8\, s}{f_y}\left(\frac{\tau_1}{\tau_1 + \tau}\right) - 2\, A_{st}\right]\left(\frac{x_1 + y_1}{s}\right)$$

حيث: A_l مجموع مقاطع التسليح الطولي لمقاومة الفتل، على أن تكون:

$$2\, Ast \ge \frac{0.35 b_w s}{f_y}$$

ج- إذا استعملت أساور مائلة على التسليح الطولي بزاوية 45° (أوقضبان حلزونية)، تكون مساحتها المطلوبة هي $0.7A_{st}$ المحدّدة في الفقرة (أ) أعلاه من هذا البند.

١٠-٣-٧- تصميم القطاعات المعرضة للقص والفتل (اللي):

١٠-٣-٧-١- قوى القصّ وعزوم الفتل المؤثرة لحساب إجهادات القصّ:

تؤخذ قيمتها وفق ما ورد في البندين (١-٥-٣-١٠) و(١-٦-٣-١٠).

١٠-٣-٧-٢- الحساب الافتراضي لإجهاد القصّ:

تؤخذ قيمة τ الناتجة عن قوى القصّ، وقيمة τ_t الناتجة عن عزوم الفتل، وفق العلاقات الواردة في البندين (٢-٥-٣-١٠) و(٢-٦-٣-١٠).

١٠-٣-٧-٣- الحدّ الأدنى للتسليح العرضي للمقاطع المعرّضة للقصّ والفتل:

في حال وجوب تسليح عرضي حسب ما ورد في البند (٣-٦-٣-١٠) للمقاطع المعرّضة لقوى قصّ مصحوبة بعزم فتل يُسبب إجهادات τ_t لا تزيد على: $0.072\sqrt{f'_c}$ (في النظام المتري $0.22\sqrt{f'_c}$) فإن أدنى نسبة تسليح عرضي مسموح به، هي المُعطاة في البند (٧-٢-١-٧).

١٠-٣-٧-٤- الإجهاد المماسي المسموح مقاومته بالخرسانة للمقاطع المعرّضة للقصّ والفتل:

أ - في حال عدم خضوع المقطع إلى قوة الشدّ، أو خضوعه إلى إجهاد قصّ ناتج عن عزم فتل تقلّ قيمته عن أو تعادل: $\tau_t = 0.072\sqrt{f'_c}$، يُسمح للخرسانة مقاومة إجهاد مماسي ناتج عن قوى القصّ يساوي إلى قيمة τ_c المُعطاة في البند (١٠-٤-٥-٣).

ب- في حال عدم خضوع المقطع إلى قوة شدّ، وتعرّضه إلى إجهاد قصّ ناتج عن عزم فتل تفوق قيمته: $\tau_t = 0.072\sqrt{f'_c}$ فإن القيمة العظمى المسموحة للإجهاد المماسي الذي تتحمّله الخرسانة والناتج عن القصّ يُعطى بالعلاقة:

$$\tau_c = \frac{0.088\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1+\left(\frac{\tau_t}{1.2\tau}\right)^2}}$$

(في النظام المتري $\tau_c = \frac{0.27\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1+\left(\frac{\tau_t}{1.2\tau}\right)^2}}$

ج- في حال وجود القصّ والفتل معاً، فإن القيمة العظمى المسموحة للإجهاد المماسي الناتج عن الفتل، والذي تتحمّله الخرسانة، يُعطى بالعلاقة:

$$\tau_{tc} \le \frac{0.088\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1+\left(\frac{1.2\tau}{\tau_t}\right)^2}}$$

$$\tau_{tc} \le \frac{0.27\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1+\left(\frac{1.2\tau}{\tau_t}\right)^2}}$$ (في النظام المتري)

وتعتمد قيمة τ_o في هذه الحالة مساوية إلى الصفر، أو إلى τ_t 0.35، أو إلى τ_{tc} 0.7، وفقاً للشروط الواردة في البند (٤-٥-٢-١٠-هـ).

د- لا يُسمح أن تتجاوز قيمة الإجهادات المماسية المحسوبة والناتجة عن الفتل:

$$\tau_t \le \frac{0.44\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1+\left(\frac{1.2\tau}{\tau_t}\right)^2}}$$

$$\tau_t \le \frac{1.39\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1+\left(\frac{1.2\tau}{\tau_t}\right)^2}}$$ (في النظام المتري)

١٠-٣-٧-٥- تصميم التسليح لمقاومة القصّ والفتل:

في حال تجاوز كل من τ أو τ_t القيم المحدّدة لـ τ_c، τ_{tc} المُبيّنة في البند (١٠-٣-٧-٤ (ب) و(ج))، تحسب مساحة التسليح العرضي لمقاومة الإجهادات المماسية الناتجة عن القصّ وعزم الفتل، كل على حدة، بموجب العلاقات الواردة في البندين (٥-٣-٥-١٠) و(٦-٣-١٠-٥)، على أن تؤخذ قيمة τ_{tc} مساوية للقيمة المحسوبة بموجب البند (٤-٧-٣-١٠- (ج)).

١٠-٣-٧-٦- شروط خاصة لتصميم الجوائز العميقة المعرّضة للقصّ والفتل:

أ - تطبّق هذه الشروط في الجوائز التي تكون فيها نسبة المجاز L للارتفاع الكلي h، أقلّ من 5، والمحمّلة على طرفها المعرّض لإجهادات ضغط.

ب- تؤخذ قيمة الإجهادات المماسية المحسوبة التي تقاومها الخرسانة بقيمة عظمى مساوية:

$\tau_{tc} = 0.27\sqrt{f'_c}$ ($\tau_{tc} = 0.088\sqrt{f'_c}$ (في النظام المتري)

ج- يُحدد المقطع الحرج للقصّ في الجوائز العميقة، بالمقطع الذي يبعد (0.15 L_n) من حافة الركيزة في الجوائز الخاضعة لأحمال منتظمة التوزيع، و(0.5a) في الجوائز الخاضعة لأحمال مركّزة، على ألا تزيد على (0.5 d).

حيث: L_n المجاز الصافي، أي البعد بين وجهي المسندين.

a المسافة بين نقطة الحمل المركّز وحافة الركيزة.

د- يُستعمل نفس التسليح المطلوب للقصّ في المقطع الحرج في جميع مقاطع الجائز.

هـ- في حال ($L / h < 2$)، لا يجوز أن يفوق الإجهاد المماسي المحسوب τ:

$\tau = 0.36\sqrt{f'_c}$ ($\tau = 1.13\sqrt{f'_c}$ (في النظام المتري

و – في حال $2 \le L / h \le 5$، تؤخذ قيمة τ من العلاقة:

$$\tau \le 0.03 \left[10 + \frac{L}{h}\right] \sqrt{f'c}$$

(في النظام المتري $\tau \le 0.094 \left[10 + \frac{L}{h}\right] \sqrt{f'c}$)

ز – يُصمم التسليح العرضي لمقاومة القصّ في الجوائز العميقة من المعادلة:

$$\frac{A_{st}}{s}\left(\frac{1+\frac{l_n}{d}}{12}\right)\overline{\sigma_{sl}} + \frac{A_l}{s'}\left(\frac{11-\frac{l_n}{d}}{12}\right)\overline{\sigma_s} = (\tau - \tau_o)\,.\,b_w$$

حيث: A_{st} = قطاع التسليح العمودي على التسليح الطولي.

s = تباعد التسليح العرضي.

A_l = قطاع التسليح الموازي للتسليح الطولي.

s' = تباعد التسليح الطولي.

$\overline{\sigma_{sl}}$ = الإجهاد المسموح للتسليح العرضي.

$\overline{\sigma_s}$ = الإجهاد المسموح للتسليح الطولي.

في حالة الجوائز العميقة ذات المقطع العرضي بشكل T أو T مقلوبة أو I، والتي يزيد سمك جناح منطقة الضغط فيها عن 0.5 عرض جسد الجائز، ولا يقلّ سمك جناح منطقة الضغط أيضاً عن 0.2 الارتفاع، يجب ألا يفوق الإجهاد المماسي (τ) القيمة الآتية:

$0.44 \sqrt{f'_c}$ (في النظام المتري $1.44 \sqrt{f'_c}$).

١٠-٣-٧-٧- شروط خاصة بتصميم جدران القص المعرّضة للقص والفتل:

أ – يُؤخذ الارتفاع الفعّال لحساب الإجهاد المماسي τ في العلاقة الواردة في البند (١٠-٣-٥-٢) مساوياً إلى 0.8 الارتفاع الفعّال للمقطع العرضي إذا كان الجدار لا يساهم في المقاومة الزلزالية.

ب– تؤخذ مقاومة الخرسانة الافتراضية للإجهادات المماسية مساوية إلى: $\tau_o = 0.088 \sqrt{f'c}$ (في النظام المتري $0.27 \sqrt{f'_c}$) إذا كان المقطع معرّضاً لقوة ضاغطة، ولا يُعتَدّ بكل مقاومة للخرسانة في حساب التسليح العرضي عندما تكون القوة شادّة (أي تؤخذ $\tau_o = 0$).

ج– يجب ألا يتعدى مجموع الإجهادات المماسية الحسابية τ في جدران القصّ، عن: $\tau \le 0.36 \sqrt{f'_c}$، (في النظام المتري $1.12 \sqrt{f'_c}$).

١٠-٣-٧-٨- شروط خاصة بالبلاطات وقواعد الأساسات المعرّضة للقصّ والفتل بجوار الأحمال المركّزة:

أ - يُؤخذ المقطع الحرج لحساب الإجهادات المماسية الناتجة عن القصّ، بجوار الأحمال المركّزة في البلاطات وقواعد الأساسات وما شابهها، على بعد (0.5d) من حيث تأثير القوة المركّزة.

ب- تحسب الإجهادات المماسية من العلاقة الواردة في البند (٢-٥-٣-١٠) بافتراض:

b_w = محيط المقطع الحرج المحدد في (أ) أعلاه.

d = الارتفاع الفعّال عند المقطع الحرج.

V = قوة القصّ على محيط المقطع الحرج.

ج- تؤخذ إجهادات الخرسانة المسموحة في القص وفقاً للفقرة (٤-٥-٣-١٠).

د- إذا زاد الإجهاد المماسي على القيمة المحددة في (ج) أعلاه، يُحسب التسليح كما في العلاقات الواردة في البند (٥-٥-٣-١٠)، بافتراض أن: $\tau_o = 0.105 \sqrt{f'_c}$

(في النظام المتري $\tau_o = 0.33 \sqrt{f'_c}$)

هـ- لا يجوز أن تزيد الإجهادات المماسية τ عن: $0.264 \sqrt{f'_c}$ (في النظام المتري $0.83 \sqrt{f'_c}$)

و- إذا كانت τ أقلّ من القيمة المحددة في (ج) أعلاه، فلا حاجة لتسليح قصّ.

ب -حد التشقق في الخرسانة المسلحة :

١٠ - ٤ - حالة حد التشقق المعيب:

١٠ - ٤ - ١ - المقدّمة:

تحدث في عناصر الخرسانة المسلحة المعرّضة لإجهادات شدّ، شقوق تحت تأثير أحمال الاستثمار، وحتى لا يكون لهذه الشقوق أثر ضارّ، على مدى تحمّل الخرسانة أو على صدأ فولاذ التسليح، لا يجوز أن يزيد اتساعها عن حدّ مُعيّن يُسمّى حدّ التشقق. ويتوقف هذا الحد على نوع المبنى والغرض من إنشائه، ومدى تأثره من الجو المحيط به.

١٠ - ٤ - ٢ - تقسيم المنشآت الخرسانية حسب حدّ التشقق:

تقسّم المنشآت حسب حدّ التشقق المسموح، إلى ثلاثة أنواع:

النوع الأول: يشمل الإنشاءات المعرّضة لعوامل ضارّة شديدة التأثير على الخرسانة. في هذا النوع من المنشآت لا يجوز أن تزيد سعة الشقوق على 0.1 mm، ويجب أن تحقّق المقاطع بموجب ما ورد في البند (٣-٢-٣-١٠). بالإضافة إلى ما هو وارد أدناه.

النوع الثاني: يشمل الإنشاءات الموجودة في العراء، مثل الجسور والإنشاءات المعدنية والوحدات الخارجية، التي يمكن أن تتأثر بعوامل الرطوبة، أو وحدات المصانع الموجودة في جو رطب أو فيه كميّات كبيرة من الأبخرة، ولا يجوز في هذا النوع من الإنشاءات أن تزيد سعة الشقوق على 0.15 mm.

النوع الثالث: يشمل الوحدات المحميّة من الإنشاءات العادية، والتي لا تؤثر فيها سعة الشقوق المحدّدة على مدى تحمّل الخرسانة أو على فولاذ التسليح، ولا يجوز في هذا النوع من المنشآت أن تزيد سعة الشقوق على 0.3 mm.

١٠-٤-٣- وسائل تلافي الوصول إلى حدّ التشقق:

لكي لا تتعرّض الوحدات الخرسانية لشقوق متسعة، يتحتم:

١- استعمال خرسانة كثيفة ما أمكن.

٢- أن يكون الغطاء الخرساني لفولاذ التسليح كافياً، وأن يُوفي النصوص الواردة في البند (١١-٩).

٣- ألا يزيد قطر قضبان التسليح عما تعطيه القيمة الأكبر من العلاقتين الآتيتين:

$$\varphi = \psi_s \left[\frac{800}{f_y} \right]^2 \qquad \text{(في النظام المتري)} \quad \varphi = \psi_s \left[\frac{8000}{f_y} \right]^2$$

$$\varphi = \psi_s \frac{75000}{f_y} \cdot \frac{\mu_t}{1+10\,\mu_t}$$

$$\text{(في النظام المتري)} \quad \varphi = \psi_s \frac{750000}{f_y} \cdot \frac{\mu_t}{1+10\,\mu_t}$$

حيث: φ = أكبر قطر لقضبان تسليح الشدّ بالميليمتر (mm).

f_y = حدّ الخضوع لفولاذ تسليح الشدّ بـ(MPa)، (kgf/cm^2 في النظام المتري).

μ_t = نسبة تسليح الشدّ A_s، منسوبة إلى مساحة مقطع الخرسانة الذي يُحيط بهذا التسليح، وينطبق محوره على محور هذا المقطع.

وتختلف قيم ψ_s حسب حدّ التشقق، كما هو مُبيّن في الجدول (١٠-٤).

الجدول (١٠-٤): قيم المعامل ψ_s حسب حدّ التشقق المسموح

حد التشقق المسموح	تسليح ذو نتوءات	تسليح أملس مستدير
0.1 mm	1.8	1.0
0.15 mm	2.7	1.5
0.2 mm	3.6	2.0
0.3 mm	5.4	3.0

٤- إذا زاد قطر التسليح المستعمل عما تعطيه العلاقات في الفقرة (٣) أعلاه، يمكن حينذاك الحدّ من سعة الشقوق، بتقليل الإجهادات في فولاذ التسليح، وحساب سعة الشقوق من العلاقات الآتية:

أ – إذا كانت الأحمال ساكنة (ستاتيكية) من دون اهتزازات:

$$\Omega_{imax} = [\ 0.15\ C + \frac{0.016\Phi}{\mu_t}\ ]\ [10\ \sigma s - \frac{10}{\mu_t}\ ] \times 10^{-5} \ldots\ldots \leq \text{limit of } \Omega_i$$

(في النظام المتري:

$$(\Omega_{imax} = [\ 1.5\ C + \frac{0.16\Phi}{\mu_t}\ ]\ [\sigma s - \frac{10}{\mu_t}\ ] \times 10^{-6} \ldots\ldots \leq \text{limit of } \Omega_i$$

ب– إذا كانت الأحمال تسبب اهتزازات:

$$\Omega_{imax} = [\ 0.15\ C + \frac{0.016\,\Phi}{\mu_t}\ ]\ [\ \sigma_s\ ] \times 10^{-4} \ldots\ldots \leq \text{limit of } \Omega_i$$

(في النظام المتري:

$$(\Omega_{imax} = [\ 1.5\ C + \frac{0.16\,\Phi}{\mu_t}\ ]\ [\ \sigma_s\ ] \times 10^{-6} \ldots\ldots \leq \text{limit of } \Omega_i$$

حيث: الوحدات هي بـ mm و MPa، (kgf/cm^2, cm في النظام المتري).

ϕ = قطر قضيب التسليح.

σ_s = أقصى إجهاد شدّ في فولاذ التسليح، تحت أحمال الاستثمار للمقطع المتشقق (حالة حد الاستثمار)، وتضرب بالمعامل 1.6 في حال استعمال التسليح الأملس.

C = سمك الغطاء الخرساني لقضيب التسليح.

$\Omega_{i\,max}$ = أكبر سعة للشقوق.

$\mu_t = \frac{A_s}{A_{to}}$ لنسبة بين تسليح الشدّ A_s ومساحة مقطع الخرسانة التي تحيط بهذا التسليح

A_{to}

A_{to} = مساحة مقطع الجزء من الخرسانة الذي يُحيط بتسليح الشدّ، وينطبق محوره مع محور هذا التسليح.

8–4– حساب عرض فتحة الشقوق :

ان التحليل الحسابي للشقوق يحتاج لوقت طويل ، لذلك سنكتفي بدراسة وحساب التشققات بشكل مبسط ومختصر .

أ – الشقوق العمودية على المحور الطولي للعنصر الانشائي :

ان عرض فتحة الشقوق العمودية على المحور الطولي للعنصر الانشائي هو عبارة عن الفرق بين تمدد قضبان فولاذ التسليح وتمدد البيتون المعرض للشد في القسم الواقع بين الشقوق ، الذي طوله L_{cr} ، أي :

$$W_1 = \varepsilon_{sm} \cdot L_{cr} - \varepsilon_{cm} \cdot L$$

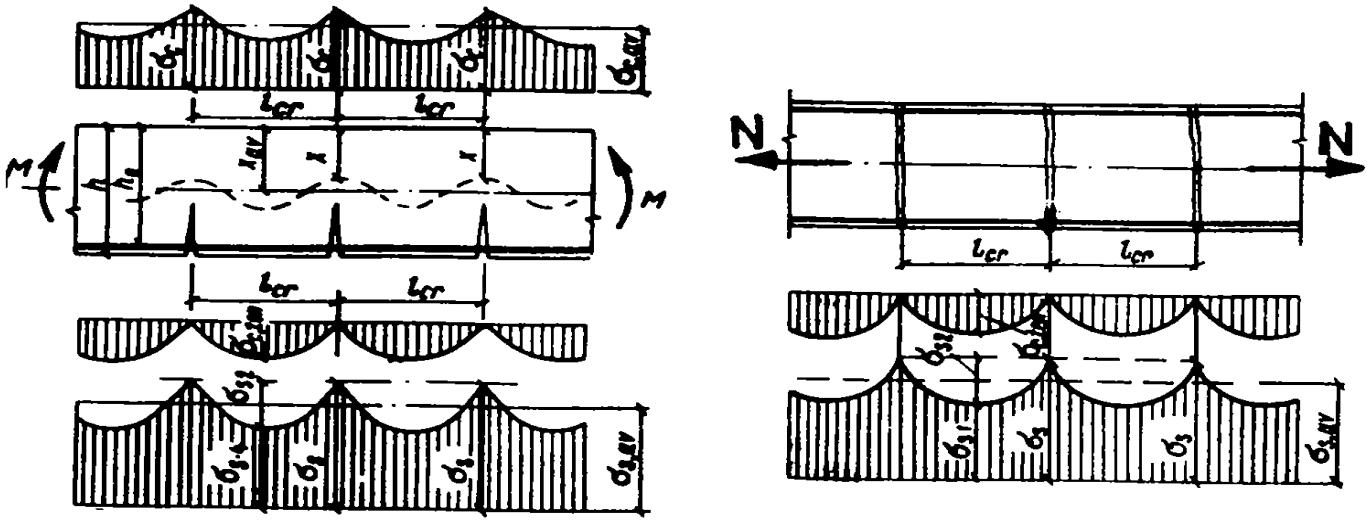
حيث : W_i – عرض الشق بالـ (mm) ، L_{cr} – المسافة بين شقين متجاورين بالـ(m m) ، $\varepsilon_{s,sm}$ متوسط تشوه فولاذ التسليح ، $\varepsilon_{c,av}$ – متوسط تشوه البيتون المشدود ، شكل 8–1 .

ولكن بما أن التشوه في البيتون المعرض للشد أصغر بكثير من تشوه فولاذ التسليح لذلك يمكن اهماله ، وتؤخذ قيمة عرض فتحة الشق كما يلي :

$$W_i = \varepsilon_{s,sm} . L_{cr} = (\varepsilon_{s,av}/\varepsilon_s)\varepsilon_s . L_{cr}$$

$$W_i = \psi_s . (\sigma_s/E_s) . L_{cr} \ldots\ldots\ldots\ldots (8-5)$$

حيث : $\psi_s = \varepsilon_{s,av}/\varepsilon_s \leq 1$



(آ) (ب)

شكل 8–1 – التشققات والاجهادات في العناصر البيتونية المسلحة .

آ – عنصر مشدود ، ب – عنصر معرض للانعطاف

واستنادا الى المواصفات القياسية المعمول بها يحدد عرض الشق العمودي على المحور الطولي للعنصر الانشائي في مستوى محور فولاذ تسليح الشد باستخدام الصيغة التالية :

$$W_1 = 20(3,5 - 100\mu_s)K.\eta.C_d.\sigma_s.\sqrt[3]{\phi}/E_s \quad \ldots\ldots (8-6)$$

حيث :

$\mu_s = A_s/(bd)$ – وتؤخذ بحيث لاتزيد عن 0,02 في الحساب

A_s – مساحة المقطع العرضي لتسليح الشد

K – عامل قيمته مساوية الواحد في حالة العناصر المعرضة للانعطاف أو ضغط لامركزي وتساوي 1,2 في حالة العناصر المعرضة لشد لامركزي

η – عامل قيمته تساوي الواحد بالنسبة للقضبان ذات النتوءات ، ومساويا 1,2 للأسلاك الفولاذية ذات النتوءات ، و 1,4 للأسلاك الفولاذية الملساء و 1,3 للقضبان الفولاذية الملساء

C_d – عامل يأخذ بالاعتبار مدة التحميل الزمنية ويكون مساويا للواحد في حالة الأحمال المؤقتة ، و 1,5 في حالة الأحمال طويلة الأمد

σ_s – الاجهاد في قضبان تسليح الشد عند المقطع المحتوي على الشق .

ϕ – قطر قضيب فولاذ الشد مقدرا بالميليمتر ، واذا اختلفت أقطار القضبان ، يؤخذ وسطي الأقطار في الحساب .

ب – الشقوق المائلة على المحور الطولي للعنصر الانشائي :

يحدد عرض فتحة الشقوق المائلة على المحور الطولي في العناصر الانشائية المعرضة للانعطاف حسب الصيغة التالية :

$$W_1 = (d + 30\,\phi_{max})K.\eta.C_d.\tau.^2/(\mu_{a.b}.E_s^2) \quad \ldots (8-7)$$

حيث : $\tau = Q/(bd) - 0,25N_0/A_c$ تمثل اجهاد التشظي في البيتون ، الناجم عن قوة القص Q وتأثير قوة الاجهاد المسبق N_0 في حالة العناصر مسبقة الاجهاد (اذا كان العنصر من البيتون المسلح العادي يكون $N_0 = 0$)

$\mu_{s,b}$ – تمثل نسبة التسليح للقضبان العرضية من أساور وقضبان قطرية مائلة (مكسحة)

$$K = (20 - 1200\mu_{s,b}).10^3 \leq 8.10^3$$

ϕ_{max} – القطر الأكبر للقضبان العرضية والقطرية المائلة .

$C_d ; \eta$ – كما هما معرفتان أعلاه

8-5- حساب المسافة الفاصلة بين الشقوق :

أ –في العناصر الانشائية المعرضة للشد المركزي :

يمكن حساب المسافة الفاصلة بين الشقوق (L_{cr}) باستخدام العلاقة التالية :

$$L_{cr} = \eta_s . A_c / U \quad .....(8-8)$$

حيث : A_c – مساحة المقطع العرضي البيتوني(mm^2)

U – المحيط الخارجي للمقطع العرضي للقضبان الفولاذية (mm)

η_s – عامل يؤخذ بالاعتبار نوع وشكل قضبان فولاذ التسليح ، ويكون مساويا للمقدار 0,7 للقضبان ذات النتوءات ، و 0,9 للأسلاك الفولاذية ذات النتوءات ، و 1 للقضبان الفولاذية الملساء و 1,25 للأسلاك الملساء .

ب – في العناصر الانشائية المعرضة للانعطاف أو الضغط اللامركزي أو الشد اللامركزي :

نحسب المسافة الفاصلة بين الشقوق(L_{cr}) باستخدام العلاقة التالية :

$$L_{cr} = K`.n.A_s / U \quad .....(8-9)$$

حيث :

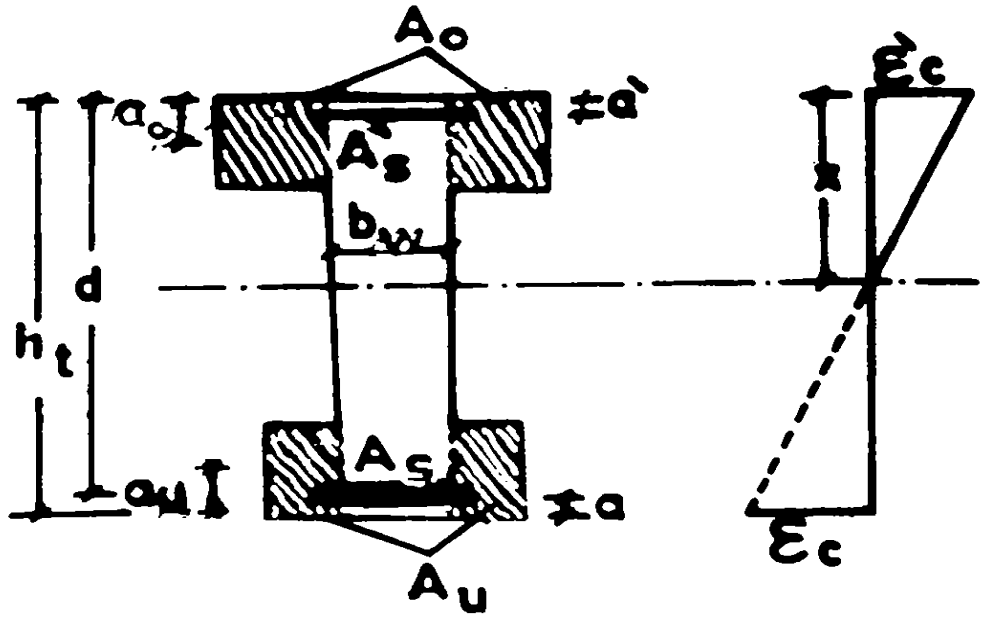
$$n = E_s / E_c$$

$$K` = W_{cr} / (nW_s) = 2$$

$$W_s = A_s . Z$$

حيث : Z ذراع العزم

W_{cr} – العزم المرن اللدن لمقاومة المقطع العرضي في منطقة الشد بالـ (mm^3) فبالنسبة لمقطع I تعطى بالعلاقة التالية ،[الشكل (8 – 2)] :



شكل 8-2 : الرسم التخطيطي الخاص لتحديد العزم المقاوم المرن اللدن للمقطع العرضي

$$W_{cr} = b_w(h_t - x)(h_t/2 + x/6) + A_u(h_t - a_u - x/3)$$
$$+2A_o(x - a_o)(x/3 - a_o)(h_t - x)$$
$$+2nA_s(d - x/3) + 2nA'_s(x - a')(x/3 - a')/(h_t - x)$$

أما بالنسبة لمقاطع أخرى T مثلا ، تستخدم العلاقة السابقة نفسها باعطاء قيمة $A_u = 0$ وبالنسبة لمقطع مستطيل $b_w = b$ و $A_u = A_o = 0$

وفي حالة تسليح أحادي يكون $A'_s = 0$

8-6- مثال :

جائز بسيط مجازه $10\,m$ مقطعه العرضي مستطيل أبعاده $350 \times 800\,mm$

يتعرض لأحمال موزعة بانتظام ، حية مقدارها $p = 10KN/m$ ودائمة $g_1 = 13KN/m$

ووزنه الذاتي g_2 . الأقطار المتوفرة للقضبان $\phi 28\,mm$

حد التشقق المسموح $W_{i\,max} \le 0,2\,mm$

$f_y = 420N/mm^2$; $f'_c = 20N/mm^2$

يطلب حساب التسليح الطولي اللازم للمقطع وحساب عرض الشقوق والمسافة بين الشقوق .

الحل :

-حساب التسليح الطولي من حد الانهيار على الانعطاف :

$$g_2 = 0.35 * 0.8 * 25 = 7\ \text{kN/m}$$

$$M_u = 1.4 * M_g + 1.7 * M_p = (1.4 * (13 + 7) + 1.7 * 10) * \frac{(10)^2}{8} = 562.5\ \text{kNm}$$

$$A_0 = \frac{M_u}{\Omega . 0.85 f'_c . b . d^2} = 562.5 * \frac{10^6}{0.9 * 0.85 * 20 * 350 * 750^2} = 0.1867 \Rightarrow$$

$$\alpha = 0.2084 \rightarrow \gamma_0 = 0.895 \leftrightarrow \alpha < \alpha_{max} = 0.388 \rightarrow$$

$$A_s = \frac{M_u}{\Omega . \gamma_0 . d . f_y} = A_s = \frac{562.5 * 10^6}{0.9 * 0.895 * 750 * 420} = 2215 mm^2$$

نختار من القضبان المتوفرة في نص المسالة : $\boldsymbol{4T28\ mm = 2463}\ \text{mm}^2$

-التحقق من سعة الشقوق :

توزع التسليح كما هو مبين على الشكل 8-3-

$$A_t = 350.100 = 35000\ mm^2$$

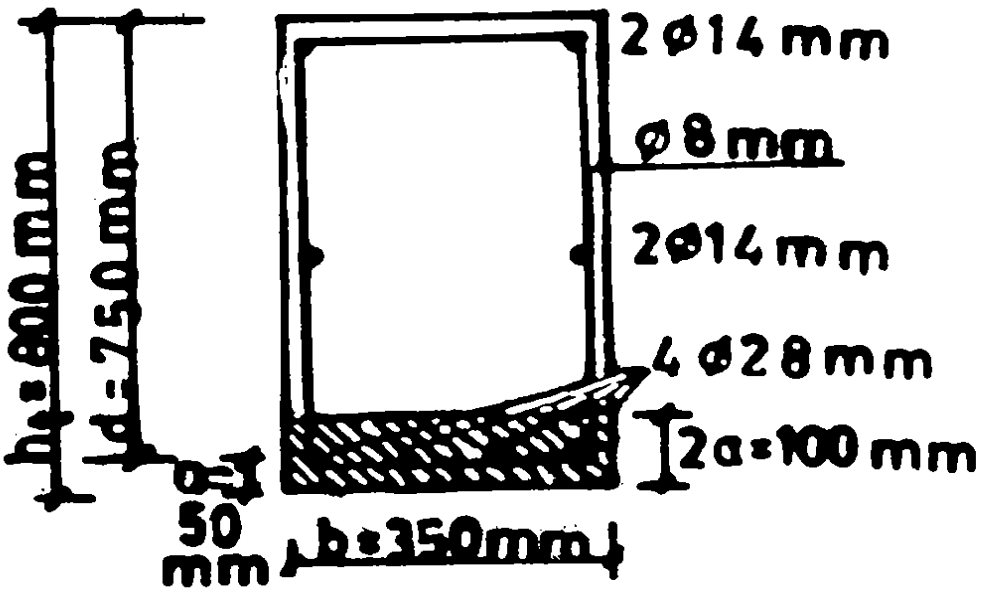
$$\mu_t = 2463,00/35000 = 0,07$$

$$\psi_s = 3,6$$

$$\varphi = \psi_s . \frac{75000}{f_y} \frac{\mu_t}{1+10\mu_t}$$

$$\varphi = 3,6 \frac{75000}{420} \frac{0,07}{1+10.0,07} = 26,47\ mm < 28\ mm$$

$$\varphi = \psi_s (700/f_y)^2 = 10\ mm < 28\ mm$$



شكل 8-3- توزع التسليح على المقطع العرضي

القطر غير محقق

حساب مقطع التسليح اللازم بعد تخفيض اجهادات الشد في الفولاذ في وضعية الاستثمار :

$$W_{i\max} = (0,15C + 0,016\phi/\mu_t)(10\sigma_s - 30/\mu_t).10^{-5}$$

$$0,2 = (0,15.35 + 0,016.28/0,07)(10.\sigma_s - 30/0,07).10^{-5}$$

$$\Rightarrow \sigma_s = 214,53\,N/mm^2$$

$$M = (7+13+10).10^2/8 = 375\ KNm$$

بافتراض أن ذراع المزدوجة يساوي $0,85$ من الارتفاع الفعال نجد :

$$A_s = M/(0,85.d.\sigma_s) = 375.10^6/(0,85..750.214,53)$$

$$A_s = 2741,97\,mm^2$$

نستخدم $5\phi 28\ mm = 3078,76\ mm^2$

نلاحظ هنا ازدياد مساحة التسليح اللازمة أي $2741,97\ mm^2$ بدلا من $2384,95\ mm^2$ وذلك عند اختيار قضبان $\phi 28\ mm$ وبالتالي فان مساحة تسليح الشد في هذه الحالة حددت نتيجة لاعتبار حد التشقق بدلا من حالة الحد الأقصى .

- حساب عرض الشق :

$$W_i = 20(3,5 - 100\mu_s)K.\eta.C_d.\sigma_s\sqrt[3]{\phi}/E_s$$

$$K = 1 ; \eta = 1$$

$$C_d = \frac{1.10 + 1,5(13+7)}{10+13+7} = 1,333$$

$$\sigma_s = 214,53\frac{2741,97}{3078,76} = 191,06 N/mm^2$$

$$\phi = 28\ mm$$

$$\mu_s = 3078,76/(350.750) = 0,0117$$

$$W_i = 20(3,5 - 100.0,0117)1.1.1,333.191,06\sqrt[3]{28}/(2,1.10^5)$$

$$W_i = 0,17\ mm$$

حساب المسافة بين الشقوق :

$$L_\alpha = K`.n.A_s/U$$

$$n = 10$$

$$A_s = 3078,76\ mm^2$$

$$U = 439,82\ mm$$

$$K` = W_{cr} / (nw_s) - 2$$

$$W_s = A_s . Z = 3078,76.0,85.750 = 1962709,5\,mm^2$$

$$W_{cr} = b(h_t - x)(h_t/2 + x/6) + 2nA_s(d - x/3)$$

$$bx^2/2 - nA_s(d - x) = 0$$

$$350.x^2/2 - 10.3078,76(750 - x) = 0$$

$$x = 285,78\,mm$$

$$w_{cr} = 350(800 - 285,78)(800/2 + 285,78/6)$$

$$+2.10.3078,76(750 - 285,78/3)'$$

$$w_{cr} = 1,2088.10^8\,mm^3$$

$$K` = 1,2088.10^8/(10.1962709,5) - 2 = 4,16$$

$$L_{cr} = 4,16.10.3078,76/439,82 = 291,20\,mm$$

ج-حد التشكل (السهوم)في الخرسانة المسلحة :

١٠-٥- حالة حدّ التشكّل المعيب:

١٠-٥-١- يجب أن تكون الوحدات الإنشائية المعرّضة لعزوم انعطاف، ذات جساءة كافية لمنع الزحف (الترخيم) والتشكّلات الضارّة، التي تؤثر على مقاومة هذه الوحدات، أو على صلاحيتها للاستعمال.

١٠-٥-٢- يمكن الاستغناء عن حسابات التشكّل في المقاطع المعرّضة لعزوم انعطاف في كل من الحالات الآتية:

أ - عندما تحقق الحدود الدنيا، المتعلقة بنسبة الارتفاع الكلي للمقطع إلى مجازه الصافي، كما هو وارد في الباب السابع.

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).

٧-٣-٢- البلاطات المصمتة ذات الاتجاه الواحد:

٧-٣-٢-١- الاشتراطات البعدية للبلاطات:

أ- تُحدد نسبة $\frac{L}{t}$ للبلاطات المستندة على جدران، أو على جوائز بارزة (حيث: L المجاز الفعّال للبلاطة و t سمكها الكلي)، بما لا يزيد على النسب الواردة في الجدول (٧-٢)، إلا إذا تم حساب السهم، والتأكد من عدم تجاوزه للقيم المسموح بها في الباب العاشر من هذا الكود الأساس.

ب- في حال استناد البلاطة على جوائز بارزة يجب أن لا يقلّ الارتفاع الكلي لكل جائز عن مثلي سمك البلاطة، وإلا يجب حساب السهم الكلي للبلاطة بطريقة دقيقة.

الجدول (٢-٧): السمك الأدنى (t_{min}) للبلاطات المصمتة ذات الاتجاه الواحد

نوع الاستناد	استناد بسيط	مستمرة من طرف واحد	مستمرة من طرفين	ظفرية
t_{min}	L/25	L/27	L/30	L/10

٧-٣-٤-١- الاشتراطات البعدية للبلاطات المفرغة ذات الاتجاه الواحد:

أ - بلاطات مفرّغة ذات اتجاه واحد، ولا يزيد التباعد بين محاور الأعصاب فيها على (700mm) إذا استعملت قوالب دائمة، أو بلاطات مفرّغة مسبقة الصنع، لا يزيد عرض الفراغ الواحد فيها على (500mm)، وتستند البلاطات على جدران، أو على جوائز (من الطرفين) يزيد ارتفاعها على ضعفي سمك البلاطة، تؤخذ قيم $\frac{L}{t}$ بحيث لا تزيد على قيم الجدول (٣-٧-أ) إلا إذا تم التحقق من السهم. انظر ملحق الأحمال (الملحق ١) من أجل أوزان البلوك.

ب- بلاطات مفرّغة ذات اتجاه واحد مع قوالب دائمة، ولا يزيد التباعد بين محاور الأعصاب فيها على 700mm، أو بلاطات مفرّغة مسبقة الصنع لا يزيد عرض الفراغ الواحد فيها على 500mm، وتستند البلاطات على جوائز من سمك البلاطة ذاته (في طرف واحد على الأقل)، تؤخذ قيم $\frac{L}{t}$ كما هو وارد في الجدول (٣-٧-ب) إلا إذا تم التحقق من السهم.

الجدول (٣-٧): السمك الأدنى (t_{min}) للبلاطات المفرغة ذات الاتجاه الواحد

نوع الاستناد	استناد بسيط	مستمرة من طرف واحد	مستمرة من طرفين	ظفرية
أ- تستند على جدران أو على جوائز متدلية من الطرفين يزيد ارتفاعها على ضعف سمك البلاطة	L/20	L/22	L/25	L/8
ب- تستند على جوائز من سمك البلاطة أو ذات ارتفاع أقل من ضعف سمك البلاطة	L/16	L/18	L/20	L/8

٧-٣-٥- البلاطات المفرغة ذات الأعصاب باتجاهين:

٧-٣-٥-١- الاشتراطات البعدية للبلاطات المفرغة ذات الأعصاب باتجاهين:

أ - حالة البلاطات المفرّغة ذات الأعصاب باتجاهين والتي لا يزيد التباعد بين محاور أعصابها على متر واحد، والمستندة على جدران أو جوائز يزيد عمقها على مثلي سمك البلاطة، أو مستندة على جوائز بسمك البلاطة ذاتها، ولكن هذه الجوائز مستندة على اعمدة في مجازها إضافة لاستنادها على أعمدة عند زوايا البلاطة، لا يقل السمك الأدنى عن محيطها المكافئ (كما ورد للبلاطات المصمتة في الفقرة ٧-٣-٣-١) مقسوماً على 120، إلاّ إذا تم التحقق حسابياً من السهم.

ت-حالة البلاطات المفرّغة ذات الأعصاب باتجاهين، والتي لا يزيد التباعد بين محاور أعصابها على متر واحد، والمستندة على جوائز من سمك البلاطة ذاته (أي حالة البلاطة الفطرية المفرغة)، أو على جوائز يقل عمقها عن مثلي سمك البلاطة، يُؤخذ السمك الأدنى (t_{min}) بحيث لا يقل عن ما ورد في السطر (أ) من الجدول (٤-٧)، وتؤخذ L في هذه الحالة مساوية للمتوسط الحسابي للمسافتين بين محاور الأعمدة في الاتجاهين المتعامدين.

ج- أما إذا زاد التباعد بين الأعصاب على متر واحد (في حالة البلاطة المستندة على جوائز من سمك البلاطة ذاته، أي حالة البلاطة الفطرية المفرغة أيضاً)، يُؤخذ السمك الأدنى (t_{min}) بحيث لا يقل عن ما ورد في السطر (ب) من الجدول (٤-٧)، وتؤخذ L في هذه الحالة أيضاً مساوية للمتوسط الحسابي للمسافتين بين محاور الأعمدة في الاتجاهين المتعامدين.

الجدول (٤-٧): السمك الأدنى (t_{min}) للبلاطات المفرغة ذات الأعصاب بإتجاهين المستندة على جوائز من سمك البلاطة ذاتها أو ذات عمق أقل من ضعف سمك البلاطة (إلا إذا تم التحقق من السهم) (مع التأكيد على التحقق من شرط العمق الأدنى للجوائز الحاملة الجدول (٧-١))

موقع المجاز	المجازات الداخلية دون سقوط	المجازات الداخلية مع سقوط	المجازات الطرفية دون سقوط	المجازات الطرفية مع سقوط
أ- تباعد لا يتعدى 1 متر	L/27	L/30	L/24	L/27
ب- تباعد يتعدى 1 متر	L/22	L/24	L/20	L/22

د- في حالة البلاطة ذات الجوائز المتصالبة (panelled beams slab)، حيث يزيد التباعد بين محاور الأعصاب على متر واحد، والجائز المحيطي بعمق لا يقل عن ضعفي سمك الجوائز المتصالبة للبلاطة، أو يكون الجائز المحيطي بالسمك ذاته لهذه الجوائز المتصالبة وإنما مسنود على أعمدة إضافية غير أعمدة زوايا البلاطة، فيجب أن لا يقل السمك الأدنى عن محيطها المكافئ (كما ورد تعريفه للبلاطات المصمتة في البند ٧-٣-٣-١) مقسوماً على 90، إلاّ إذا تم التحقق حسابياً من السهم.

هـ - تُعتمد أيضاً للبلاطات المفرّغة ذات الأعصاب باتجاهين، الاشتراطات ج، د، هـ، و، من البند (٧-٣-٤-١)، لحالة البلاطات المفرّغة باتجاه واحد.

ب- عندما لا تزيد نسبة تسليح الشدّ الناتجة حسابياً في العناصر المعرّضة للانعطاف البسيط عن: $\frac{0.18f'_c}{f_y}$ في المقاطع المستطيلة، أما في المقاطع بشكل T، فتنسب نسبة التسليح هذه إلى عرض الجسد.

١٠-٥-٣- عندما يكون العنصر غير مُحقِق لأي من الاشتراطات الواردة في البند (٢-٥-١٠)، يجري حساب التشكّل بالطرائق المعروفة في نظريات المرونة، مع أخذ معاير التشكّل الأوّلي (اللحظي) E_{co} كما ورد في البند (٨-٢-٤) كأساس للحساب. ثم يحسب السهم النهائي حسب معايير التشكل E_c من أجل الأحمال الدائمة التي طبقت بعد فك القوالب مباشرة كما ورد في البند (٦-٥-١٠).

9 ـ 3 ـ حساب السهوم:

هناك سهوم لحظية وسهوم طويلة الأمد ، وكما ذكرنا سابقا يتم حساب السهوم بأخذ حمولات التشغيل دون تصعيدها .

9 ـ 3 ـ 1 ـ السهوم اللحظية :

تحدث السهوم اللحظية مباشرة عند تطبيق الحمولات الدائمة أو المؤقتة ، وتحسب السهوم للمقاطع المرنة حسب النظريات الأساس في مقاومة المواد وحساب الإنشاءات ، فيمكن تحديد السهم مباشرة من المعادلة التفاضلية التالية :

$$\delta = \int_0^L \overline{M}\frac{1}{\rho}(x)dx = \int_0^L \overline{M}(M/EI)dx \ldots (9-2)$$

حيث : $\overline{M}$ ـ عزم الانعطاف عند المقطع رقم X الناجم عن تأثير وحدة القوى في اتجاه السهم المبحوث .

$\frac{1}{\rho}(x)$ ـ تقوس محور العنصر الإنشائي المعرض للانعطاف .

M ـ عزم الانعطاف الناجم عن تأثير تلك الأحمال التي يحدد السهم تبعا لها.

EI ـ صلابة المقطع العرضي للعنصر .

وتعطى قيمة السهم بشكل عام بالعلاقة التالية :

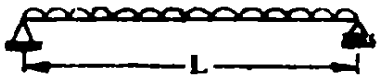
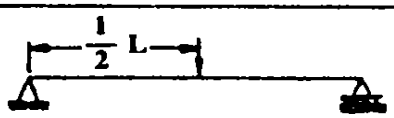
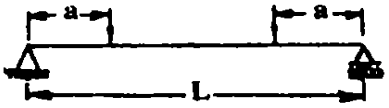
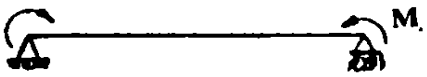
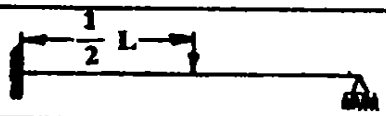
$$\delta = \beta . L^2 . M/(EI) \ldots (9-3)$$

حيث : δ ـ السهم الأعظمي

M ـ العزم في موقع السهم وفق وضعية التحميل المرافقة للسهم المحسوب (العزم في الوثاقة في حالة ظفر) .

L ـ طول المجاز

جدول 9 ـ 2 ـ قيم العامل β لأشكال مختلفة من التحميل والاستناد

شروط الاستناد والتحميل	قيمة β
	$\frac{5}{48}$
	$\frac{1}{12}$
	$\frac{1}{24}\left[3-4\left(\frac{a}{L}\right)^2\right]$
	$\frac{1}{8}$
	$\frac{1}{24}$
	$\frac{1}{16}$
	$\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{4}$
	$\frac{1}{20.12} \approx \frac{1}{20}$
	$\frac{1}{23.06} \approx \frac{1}{23}$

E ـ عامل مرونة المادة

I ـ عزم عطالة المقطع

β ـ عامل يتعلق بطبيعة الارتكاز عند المساند وشكل التحميل المطبق وتغير عزم العطالة على طول العنصر ، ويمكن أخذه من الجدول 9 ـ 2 ، لبعض الحالات .

وفي الجوائز المستمرة ثابتة المقطع على طول المجاز ، يمكن حساب السهوم في منتصف المجاز حسب العلاقة التالية :

$$\delta = \frac{5L^2}{48.EI}\left[M_f - \frac{1}{10}(M_L + M_r)\right] \ldots (9-4)$$

حيث : M_f ـ العزم الموجب في منتصف المجاز .

M_L , M_r ـ العزوم السالبة عند المساند وتؤخذ بالقيم المطلقة .

إن عامل الصلابة EI في البيتون كمادة مرنة ـ لدنة غير متجانسة ، لايأخذ قيمة ثابتة وهو متغير ويتعلق بعدد من العوامل أهمها الحمولات المطبقة وفترة تطبيقها . وحتى نتمكن من استخدام العلاقة (3 ـ 9) أو (4 ـ 9) لحساب السهوم في العناصر البيتونية المسلحة لابد من تحديد قيمة الصلابة EI لهذه العناصر .

إن تحديد عامل المرونة الفعلي للبيتون غير ممكن وذلك بسبب تأثير السيلان في البيتون ـ الناتج عن الحمولات طويلة الأمد ـ على التشوهات والسهوم ، ويسمح الكود العربي السوري بأخذ عامل المرونة للبيتون حسب العلاقة التالية :

$$E_{co} = 6645\sqrt{f'_{cj}} \ldots (9-5)$$

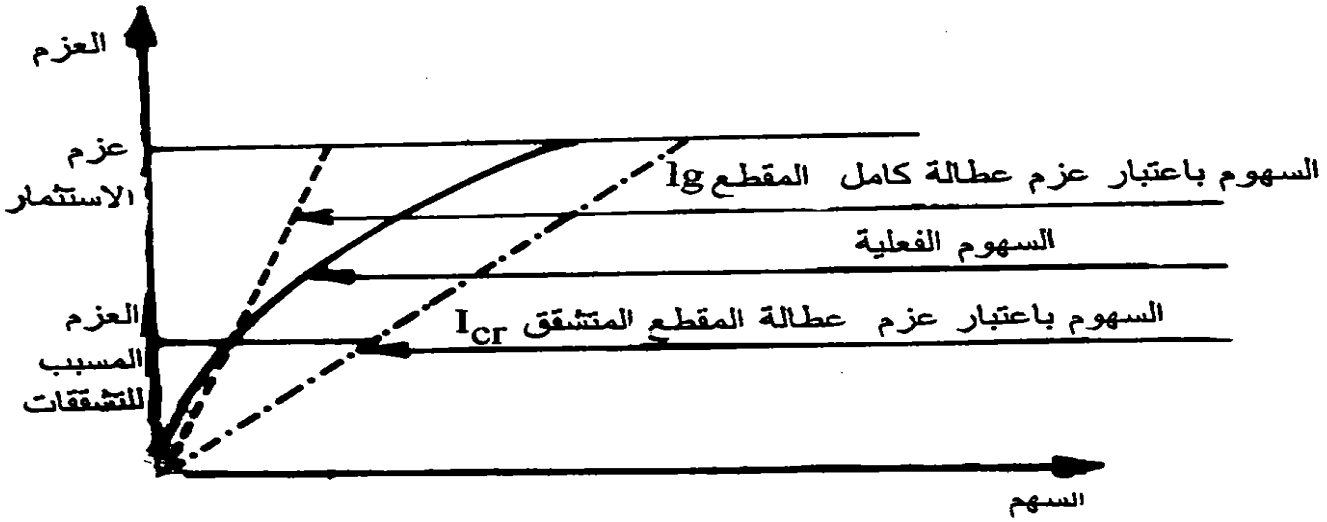
حيث : Eco ـ عامل المرونة اللحظي مقدرا بالـ N/mm^2

f'_{cj} ـ المقاومة الاسطوانية للبيتون على الضغط في تاريخ تقييم عامل المرونة بالـ N/mm^2 ، (عمر البيتون j يوم) .

أما عزم عطالة مقطع بيتوني مسلح لايمكن أن يبقى ثابتا على طول المجاز وذلك لأن ارتفاع المنطقة المعرضة لإجهادات الضغط وأيضا ارتفاع الجزء المتشقق من المقطع يتأثر باختلاف قيم عزوم الانعطاف على طول المجاز وتغير مساحات التسليح المستخدم على طول الجائز في معظم الأحيان ، وبالتالي تتأثر

السهوم بتغيرات عزم عطالة المقطع المتشقق ، فعندما تكون الحمولات أقل من الحمولات المؤدية للتشققات تتناسب السهوم مع عزم عطالة المقطع الكلي I_g (غير المتشقق) . ومع زيادة الحمولات وظهور التشققات تصبح السهوم متناسبة مع عزم عطالة المقطع المكافئ المتشقق I_{cr} .

ويبين الشكل 9 – 1، العلاقة بين الحمولات (أوالعزوم) المطبقة وبين السهوم الفعلية الناتجة .



شكل 9 – 1 – العلاقة بين العزوم المطبقة وبين السهوم الفعلية

١٠-٥-٤- يُؤخذ عزم العطالة (القصور الذاتي) الفعّال للمقطع I_e من المعادلة:

$$I_e = \left[\left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g \right] + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr}$$

حيث: I_{cr} = عزم القصور الذاتي للمقطع المكافئ المتشقق، على ألا يزيد على I_g .

I_g = عزم القصور الذاتي لكامل المقطع الخرساني حول محور الخمول، (غير المتشقق، مع إهمال فولاذ التسليح).

M_a = قيمة عزم الانعطاف المعرّض له العضو عند حساب التشكّل.

M_{cr} = أقل عزم انعطاف يُسبب التشقق في الخرسانة ، ويُؤخذ من المعادلة:

$$M_{cr} = \frac{f_{cb} \cdot I_g}{y_t}$$

حيث: f_{cb} = إجهاد الشدّ الأقصى للخرسانة عند الانعطاف، ويُؤخذ من المعادلة:

$$f_{cb} = 0.7 \sqrt{f'_c}$$

$$f_{cb} = 2.21 \sqrt{f'_c} \quad \text{(في النظام المتري)}$$

y_t = المسافة من محور الخمول حتى الطرف الأقصى للألياف المشدودة، في المقطع غير المتشقق.

١٠-٥-٥- في الأعضاء المستمرة يمكن اعتماد عزم القصور الذاتي الفعّال في حساب التشكّل، هو مُعدّل قيمتي هذا العزم، في مقطعي العضو المعرّضين لأقصى عزمي انعطاف سالب وموجب.

١٠-٥-٦- يُسبب الزحف نتيجة للأحمال الدائمة، سهماً (ترخيماً) إضافياً يزداد مع الزمن، وتتوقف قيمته القصوى على نسبة تسليح الضغط في المقطع. ويمكن حسابه بضرب قيمة الترخيم اللحظي نتيجة للأحمال الدائمة، والمحسوب طبقاً للقواعد السابقة في المعامل α، وتؤخذ قيمة α من العلاقة الآتية:

$$\alpha = \frac{\zeta}{1 + 50 \cdot \frac{A'_s}{b.d}}$$

حيث:

A'_s = مساحة تسليح الضغط في المقطع، عند منتصف المجاز للجوائز البسيطة أو المستمرة، وعند المسند للجائز الظفري.

b = عرض المقطع المستطيل، أو b_w عرض جسد المقطع بشكل T أو I.

ζ = معامل تجريبي يتعلّق بمدة التحميل للأحمال الدائمة المطبقة التي انقضت وقت حساب السهم، وذلك عندما يكون عمر البيتون عند البدء بتطبيق الأحمال لا يتعدى الثلاثة أشهر، ويُؤخذ على الشكل الآتي:

2.0 للتحميل لمدة 5 سنوات أو أكثر.

1.4 للتحميل لمدة 1 سنة.

1.2 للتحميل لمدة $\frac{1}{2}$ سنة.

1.0 للتحميل لمدة 3 شهر.

على ألا تكون α أقل من 0.8 .

أما في الحالات غير الاعتيادية (الجو الحار أو الجاف جداً، أو عند تحميل الخرسانة بعد مدة تزيد على ٣ أشهر من صبّها)، فيمكن حساب التشكّل الناتج من الزحف، انطلاقاً من التشوهات، مع أخذ قيمة انفعال الزحف المُبيّنة في البند (١١-٢-٤). فعلى سبيل المثال، عندما يبدأ تحميل الخرسانة بعد مدة ثلاث سنوات من صبها، فإن السهم الناتج عن الأحمال الدائمة المطبقة في ذلك الوقت (أو الأحمال الحية طبعاً) فيحسب باستعمال معاير المرونة اللحظي.

١٠-٥-٧- لا يجوز أن يتجاوز السهم في أعضاء المنشآت، والمحسوب على أساس ما ورد أعلاه، القيم الواردة في الجدول (٥-١٠) أدناه.

جَامعة
المَنارة
MANARA UNIVERSITY

الجدول (٥-١٠): السهوم المسموحة

نوع العنصر	قيمة السهم المدروس	الحد الأعلى للسهم بدلالة L^*
السطوح الأخيرة غير المرتبطة بعناصر غير إنشائية يمكن أن تتأثر بالسهم الكبير.	السهم الآني الناتج عن الأحمال الحية فقط.	$\frac{L}{180}$
السقوف غير المرتبطة بعناصر غير إنشائية يمكن أن تتأثر بالسهم الكبير (مثل ان تكون غير حاملة لجدران البلوك).	السهم الآني الناتج عن الأحمال الحية فقط.	$\frac{L}{360}$
السقوف أو السطوح الأخيرة المرتبطة أو الحاملة لعناصر غير إنشائية أو إكساءات عادية لا تتأثر كثيراً بالسهم الكبير.	السهم الكلي من الأحمال الميتة والحية والافعال غير المباشرة مطروحاً منه السهم الآني الناتج عن الوزن الذاتي. كما يمكن أن يطرح منه السهم الآني الناتج عن الجزء من الأحمال الثابتة التي يكون مؤكداً أنها ستطبق على المنشأة قبل تحميلها بالعناصر غير الإنشائية أو الإكساءات.	$\frac{L}{240}$
السقوف أو السطوح الأخيرة المرتبطة أو الحاملة لعناصر غير إنشائية أو تجهيزات دقيقة يمكن أن تتأثر إلى حد بالغ بالسهم الكبير (**)		$\frac{L}{480}$
جميع العناصر (***) على أن يدرس تأثيره على العناصر الإنشائية وغير الإنشائية أيضاً.	السهم الكلي (ويمكن أن يطرح منه السهم المعاكس على أن يطلب تنفيذ هذا السهم المعاكس صراحة على المخططات).	$\frac{L}{180}$
الجائز الحامل للرافعة في المنشآت الصناعية	السهم الكلي من وزن الرافعة والحمل الحي	$\frac{L}{600}$

ملاحظات:

* تؤخذ قيمة L مساوية إلى مجاز العنصر الحر، للعناصر المستندة على أعمدة وجدران، ومجاز العنصر من المحور إلى المحور، بالنسبة للعناصر المستندة على عناصر أخرى معرّضة للانعطاف. أما بالنسبة للظفر فتؤخذ L مساوية لضعف مجاز الظفر.

** لا يُطبّق هذا الشرط، إلا في الحالات الاستثنائية للعناصر المرتبطة أو الحاملة لتجهيزات أو إنهاءات دقيقة (مثل جدران البلوك)، يمكن أن تتضرر نتيجة السهوم التي تزيد على الحدّ المعيّن، ويمكن أن يُخفض هذا الحدّ إذا أخذنا بالحسبان قيمة التسامح في الحركة، التي يمكن أن تسمح بها العناصر أو التجهيزات المتأثرة بالسهم.

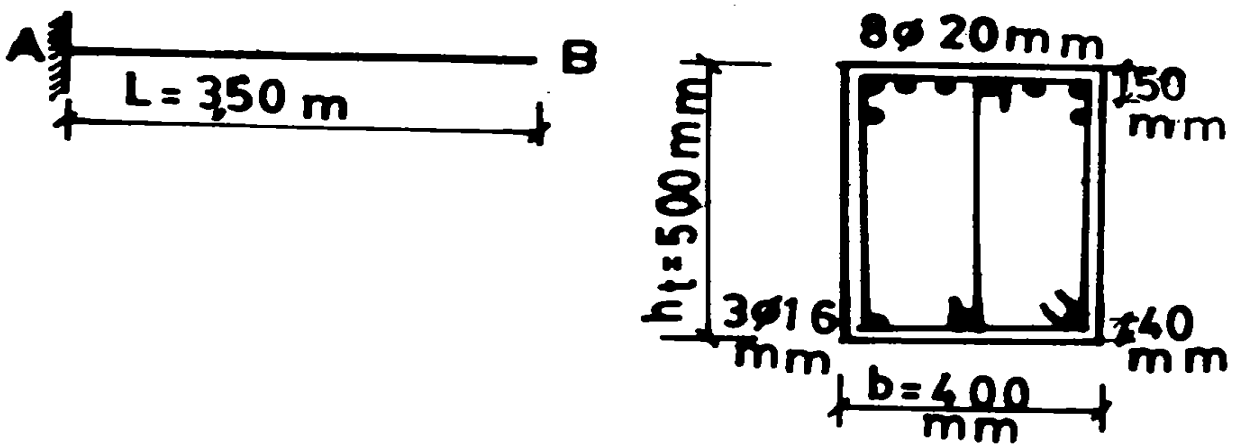
*** هذا الشرط يُطبّق على الدوام، بالإضافة إلى ما يتوجب تطبيقه من الشروط الأخرى.

9.5.مثال :

جائز ظفري AB مجازه L = 3,5 m ، مقطعه مستطيل أبعاده 500mm × b × ht = 400 ، مسلح بتسليح شد As=8ϕ 20mm وتسليح ضغط $A'_s = 3$ ϕ 16mm ، شكل 9 ـ 2 ، يتعرض للأحمال الموزعة بانتظام التالية : حمولة ميتة $g_1 = 8$ KN/m ، الوزن الذاتي للجائز g_2 =5 KN/m ، وحمولة حية p = 20 KN/m .

$$f_y = 420 N/mm^2, f'_c = 20 N/mm^2$$

المطلوب التحقق من السهوم علما بأن الجائز موجود في سطح ، ويرتبط بعناصر محمولة لاتتأثر كثيرا بالسهم الكبير .



المقطع العرضي للجائز

شكل 9.2.جائز ظفري ومقطعه العرضي

الحل :

أ ـ التحقق من السهوم : $h_t = 500\ mm < L/6 = 583\ mm$

أو :

$$\mu_w = (A_s - A'_s)/(bd) = (2513,27 - 603,18)/(400.450)$$
$$\mu_w = 0,0106 > 0,18 f'_c / f_y = 0,00857$$

فالظفر يحتاج لحساب وتحقيق السهوم .

ب ـ حساب السهوم :

بعد مركز ثقل المقطع غير المتشقق عن الليف العلوي المشدود :

$$y_t = h_t/2 = 250 \text{ mm}$$

عزم عطالة المقطع غير المتشقق حول مركز الثقل :

$$I_g = 400.500^3/12 = 4,167.10^9 \text{ mm}^4$$

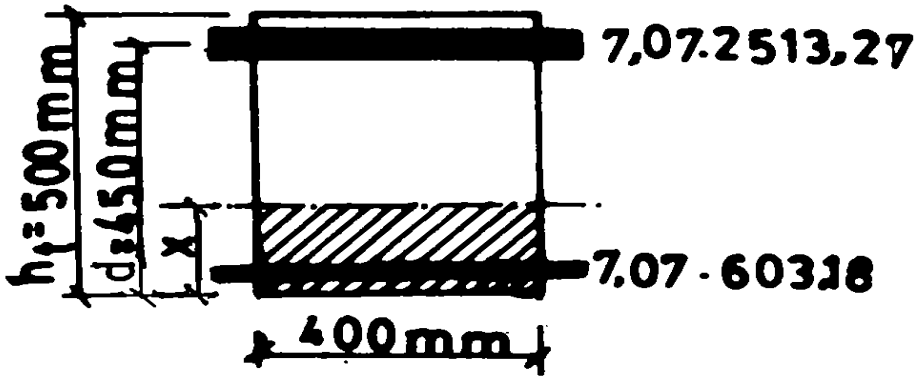
عامل مرونة البيتون :

$$E_\infty = 6645\sqrt{f'_c} = 2,97.10^4 \text{ N/mm}^2$$

نسبة عامل مرونة الفولاذ إلى البيتون :

$$n = E_s/E_\infty = 2,1.10^5/(2,97.10^4) = 7,07$$

نأخذ العزم الستاتيكي للمقطع المكافئ المتشقق حول المحور المار بمركز ثقل المقطع (المحور السليم) مساويا الصفر ، شكل 9 ـ 3 ، فنجد :



شكل 9.3. المقطع المكافئ المتشقق

$$bx^2/2 + nA'_s.(x - a') - nA_s(d - x) = 0$$
$$400.x^2/2 + 7,07.603,18(x - 40) - 7,07.2513,27(450 - x) = 0$$
$$\Rightarrow x^2 + 110,16.x - 40832,74 = 0$$
$$\Rightarrow x = 154,4 \text{ mm}$$

حساب العزم المسبب للتشقق :

$$f_{ct} = 0,64\sqrt{f'_c} = 2,86\ N/mm^2$$

$$M_{cr} = f_{ct}.I_g / y_t = 2,86.4,167.10^9 / 250$$

$$= 4,76.10^7 N.mm = 47,6 kN.m$$

حساب عزم عطالة المقطع المكافئ المتشقق حول المحور المار بمركز ثقله (المحور السليم) :

$$I_{cr} = bx^3/3 + nA'_s(x-a')^2 + nA_s(d-x)^2$$

$$I_{cr} = 400.154,4^3/3 + 7,07.603,18(154,4-40)^2 +$$

$$+ 7,07.2513,27(450-154,4)^2$$

$$I_{cr} = 2,099.10^9\ mm^4 < I_g = 4,167.10^9\ mm^4$$

حساب السهوم :

$$\delta = \beta . L^2 . M/(E_{ij}.Ie) = (1/4).L^2.M/(E_{ij}.Ie)$$

- السهم اللحظي الناتج عن الوزن الذاتي (δ_{i0}) :

$$M_a = g_2.L^2/2 = 5.3,5^2/2 = 30,62\ KNm$$

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3.I_g + \left[1-\left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right]I_{cr}$$

$$I_e = \left(\frac{47,6.10^6}{30,62.10^6}\right)^3.4,167.10^9 + \left[1-\left(\frac{47,6.10^6}{30,62.10^6}\right)^3\right].2,099.10^9$$

$$I_e = 9,86.10^9\ mm^4$$

$$\delta_{i0} = (1/4)3500^2.30,62.10^6/(2,97.10^4.9,86.10^9) = 0,32\ mm$$

- السهم اللحظي الناتج عن كامل الحمولات الدائمة (δ_{id}) :

$$M_a = 13.3,5^2/2 = 79,62\ KNm$$

$$I_e = \left(\frac{47,6.10^6}{79,62.10^6}\right)^3.4,167.10^9 + \left[1-\left(\frac{47,6.10^6}{79,62.10^6}\right)^3\right].2,099.10^9$$

$$I_e = 2,54.10^9\ mm^4$$

$$\delta_{id} = (1/4)3500^2.79,62.10^6/(2,97.10^4.2,54.10^9)$$

$$\delta_{id} = 3,23\ mm$$

- السهم اللحظي الناتج عن الحمولة الحية (δ_{iL}) :

$$M_s = 20.3,5^2/2 = 122,5\ KNm$$

$$I_e = \left(\frac{47,6.10^6}{122,5.10^6}\right)^3.4,167.10^9 + \left[1-\left(\frac{47,6.10^6}{122,5.10^6}\right)^3\right].2,099.10^9$$

$$I_e = 2,22.10^9\ mm^4$$

$$\delta_{iL} = (1/4)3500^2.122,5.10^6/(2,97.10^4.2,22.10^9)$$

$$\delta_{iL} = 5,69\ mm$$

- السهم طويل الأمد (δ_{LA}) :

$$\alpha = \eta/[1+50A'_s/(bd)] \geq 0,8$$

$$\alpha = 2/[1+50.603,18/(400.450)] = 1,71$$

$$\delta_{LA} = \alpha.\delta_{id} = 1,71.3.23 = 5,52\ mm$$

- السهم الأعظمي الكلي :

$$\delta_{max} = \delta_{id} + \delta_{iL} + \delta_{LA} = 3,23 + 5,69 + 5,52 = 14,44\ mm$$

جـ - المقارنة مع السهوم المسموحة :

السهم بدون تأثير السهم اللحظي للوزن الذاتي :

$$\delta'_{max} = \delta_{max} - \delta_{io} = 14,44 - 0,32 = 14,12\ mm$$

- السهم المسموح به :

$$\delta_{adm} = L/240 = 3500/240 = 14,58\ mm > \delta'_{max} = 14,12\ mm$$

وبالتالي فإن السهم محقق .

لو فرضنا أن تسليح الضغط غير موجود يكون :

$$X = 160,40mm$$

$$I_{cr} = 2,04.10^9\ mm^4$$

- السهم اللحظي الناتج عن الوزن الذاتي :

$$\delta_{io} = 0,31\ mm$$

- السهم اللحظي الناتج عن كامل الحمولات الدائمة :

$$\delta_{id} = 3,30 \text{ mm}$$

- السهم اللحظي الناتج عن الحمولة الحية :

$$\delta_{iL} = 5,85 \text{ mm}$$

- السهم طويل الأمد :

$$\delta_{La} = \alpha \cdot \delta_{id} = 2.3,30 = 6,60 \text{mm}$$

- السهم الأعظمي الكلي :

$$\delta_{max} = 3,30 + 5,85 + 6,60 = 15,75 \text{mm}$$

- السهم بدون تأثير السهم اللحظي للوزن الذاتي :

$$\delta'_{max} = 15,75 - 0,31 = 15,44 \text{mm} > \delta_{all} = 14,58 \text{mm}$$

فالسهم غير محقق بحالة إلغاء وجود تسليح الضغط .

ومنه نلاحظ أهمية تسليح الضغط في تخفيض قيمة السهوم .