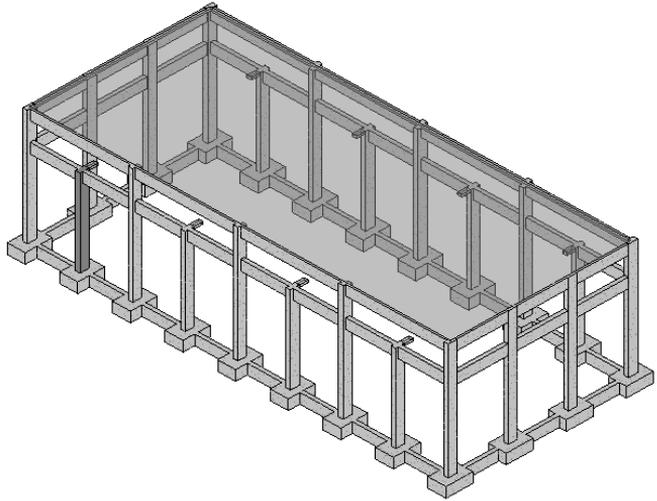
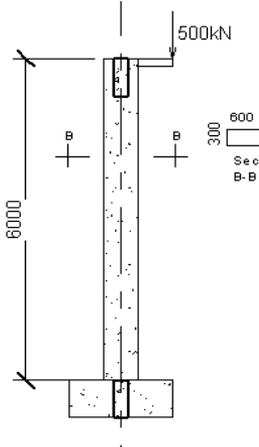




منشورات جامعة الفرات
كلية الهندسة المدنية بالرقعة

بيتون مسلح (2)



د. ريم خرتش

أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية بالرقعة

السنة الثالثة

مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية

1444هـ - 2023م



بیتون مسلح (2)





منشورات جامعة الفرات
كلية الهندسة المدنية بالرقعة

بيتون مسلح (2)

د. ريم خرتش

أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية بالرقعة

السنة الثالثة

مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية

1444هـ - 2023م



الفهرس

الصفحة	الموضوع
9	مقدمة
11	الفصل الأول: تصميم الجيزان البيتونية المسلحة الخاضعة للانعطاف وفق طريقة الحدود القصوى
11	1-1 مقدمة
11	2-1 مواصفات المواد
12	3-1 عوامل تخفيض المقاومة
14	4-1 حساب التسليح الطولي وفق طريقة الحدود القصوى
19	5-1 تفاصيل التسليح الطولي في الجيزان
21	6-1 تسليح التعليق
22	7-1 تسليح التقلص
23	8-1 أماكن إيقاف التسليح السفلي
26	9-1 التكميح في الجيزان
43	الفصل الثاني: التماسك والإرساء والتراكب
43	1-2 مقدمة
43	2-2 متوسط إجهادات الالتحام في جائز
45	3-2 طول التثبيت في الفولاذ
46	4-2 طول التثبيت وفق تعليمات الكود العربي السوري
47	5-2 أشكال العكفات النظامية
49	6-2 تثبيت الأساور
50	7-2 وصل القضبان
57	الفصل الثالث: القص في الجيزان المسلحة
57	1-3 مقدمة
57	2-3 إجهاد القص في الجيزان المسلحة

59	الإجهادات المماسية في جيزان البيتون المسلح المتشققة	3-3
60	انهيار الجيزان بالقص	4-3
61	سلوك الجيزان المسلح بتسليح عرضي	5-3
69	المقطع الحرج للقص	6-3
71	الحد الأعلى لإجهاد القص (الإجهاد المماسي)	7-3
72	العناصر التي لا تحتاج إلى تسليح عرضي	8-3
72	شروط تحديد قطر الأساور الشاقولية	9-3
73	الإجهاد المماسي الذي يتحمله البيتون في حالات التحميل جميعها	10-3
74	التسليح العرضي في منطقة استناد جازر ثانوي على جازر رئيس	11-3
76	أمثلة على تصميم الجيزان على القص	12-3
94	أمثلة على التصميم المتكامل للجيزان	13-3
135	الفصل الرابع: تصميم العناصر الإنشائية على الفتل	
135	مقدمة	1-4
136	أنواع الفتل	2-4
138	إجهاد الفتل	3-4
139	إجهاد الفتل في المقاطع المتجانسة	4-4
140	الإجهاد المماسي الناتج عن الفتل في مقاطع البيتون المسلح	5-4
142	المقطع الحرج على الفتل	6-4
143	تصميم التسليح اللازم لمقاومة الفتل	7-4
147	ترتيبات تسليح الفتل وفق تعليمات الكود العربي السوري	8-4
149	خطوات التصميم على الفتل	9-4
149	أمثلة تطبيقية على حساب تسليح الفتل	10-4
	الفصل الخامس: الأعمدة القصيرة المعرضة إلى ضغط محوري	
167	مقدمة	1-5
168	السلوك والمقاومة	2-5
168	اشتراطات الكود العربي السوري الخاصة بالأعمدة المحملة محورياً	3-5

172	توازن المقطع	4-5
173	قوة الضغط التي يتحملها العمود	5-5
175	تأثير اللامركزية الطارئة	6-5
178	عوامل تخفيض الأحمال الحية وفق تعليمات الكود العربي السوري	7-5
178	خطوات تصميم الأعمدة القصيرة - إيجاد أبعاد العمود	8-5
179	خطوات تصميم الأعمدة القصيرة - إيجاد التسليح لمقطع معلوم	9-5
179	خطوات تحقيق عمود معلوم الأبعاد والتسليح	10-5
180	تراكب التسليح الطولي في الأعمدة	11-5
182	إرساء التسليح الطولي في الطابق الأخير	12-5
187	الأعمدة المحملة محورياً والمسوحة حلزونياً	13-5
189	خطوات تصميم مقطع عمود بتسليح حلزوني - إيجاد أبعاد العمود	14-5
190	خطوات تصميم مقطع عمود بتسليح حلزوني - إيجاد التسليح لمقطع معلوم	15-5
الفصل السادس: التحنيد في الأعمدة البيتونية المسلحة		
195	مقدمة	1-6
195	حمولة التحنيد الحرجة	2-6
197	تعريف العمود النحيف	3-6
201	الطول الحر للعمود	4-6
201	طول التحنيد في الأعمدة	5-6
الفصل السابع: تصميم المقاطع الخاضعة إلى قوى لامحورية		
227	مقدمة	1-7
227	سلوك المقطع الخاضع إلى انعطاف مركب	2-7

228	دراسة الإجهادات في الأعمدة الخاضعة إلى انعطاف مركب	3-7
231	مخططات الترابط	4-7
236	معامل تخفيض المقاومة	5-7
237	إنشاء مخطط الترابط	6-7
251	مركز المقطع البلاستيكي	7-7
253	تصميم المقاطع الخاضعة إلى حمولة ضغط لا مركزية	8-7
274	طريقة العزم الوهمي تصميم المقاطع الخاضعة إلى لا مركزية كبيرة	9-7
279	المقاطع الخاضعة إلى عزم منحرف	10-7
295	الفصل الثامن: الأعمدة النحيفة الخاضعة إلى انعطاف مركب	
295	مقدمة	1-8
296	العزوم الإضافية الناتجة عن تحنيب الأعمدة	2-8
313	طريقة تضخيم العزوم من أجل إدخال أثر التحنيب	3-8
321	الفصل التاسع: الإطارات من البيتون المسلح الخاضعة إلى أحمال شاقولية	
321	مقدمة	1-9
322	أبعاد عناصر الإطار	2-9
322	أنواع الإطارات	3-9
326	تصميم الإطارات البيتونية في قاعة	4-9
327	تفاصيل التسليح في الإطارات الصلبة	5-9
345	المراجع	
347	دليل المصطلحات العلمية: عربي-انكليزي	

مقدمة

يعدّ البيتون المسلّح من أهم المقررات في الهندسة المدنية عامة وفي حساب المنشآت وتصميمها بصورة خاصّة. بسبب كون مواد البناء الخاصة بالبيتون المسلّح متوفرة اقتصادياً أكثر من غيرها. لقد حصلت تطورات علمية عالمية مميزة في مجال البيتون المسلّح نتيجة أبحاث متطورة في مجال التحليل الإنشائي مما أدّى إلى الوصول إلى حقيقة سلوك هذه المادة غير المتجانسة.

دفعت نتائج البحث العلمي الجديدة المؤسسات العلمية الهندسية إلى إصدار نشرات ومعايير جديدة في تصميم البيتون المسلّح. كانت هذه النشرات والتعليمات تتجدد في فترات قصيرة من الزمن لتواكب التطورات الجديدة في مجال البيتون المسلّح والبيتون ذاتي الاكتناز. يخضع منهاج البيتون المسلّح في هذا الكتاب إلى اشتراطات الكود العربي السوري لتصميم المنشآت بالخرسانة المسلّحة وتنفيذها- الطبعة الرابعة 2015 إضافة إلى اشتراطات ملحق التفاصيل والرسومات الإنشائية مع الاستئناس ببعض اشتراطات الكود الأمريكيّ 2019-ACI318 والكود المصريّ ECP203.

يحتوي هذا الكتاب على تسعة فصول؛ يبيّن الفصل الأول منها تصميم الجيزان البيتونيّة المسلّحة الخاضعة للانعطاف البسيط وفق طريقة الحدود القصوى، بينما يتضمّن الفصل الثاني تفصيلاً لدراسة أطوال التماسك والإرساء والتراكب. في حين يتضمن الفصل الثالث دراسة القصّ في الجيزان المسلّح، أمّا الفصل الرابع فيحتوي على تصميم الجيزان على القتل. تتم دراسة الأعمدة في الفصول الخامس والسادس وحتىّ التاسع إذ يتمّ تصميم الأعمدة القصيرة المعرضة إلى ضغط محوري في الفصل الخامس، في حين تتّم دراسة التحنيب في الأعمدة البيتونيّة المسلّحة في الفصل السادس، ويتضمّن الفصل السابع تصميم المقاطع الخاضعة إلى قوى لامتورية، كما يعرض الفصل الثامن الأعمدة النحيفة الخاضعة إلى انعطاف مركّب، وأخيراً يُعنى الفصل التاسع بالإطارات من البيتون المسلّح الخاضعة إلى أحمال شاقوليّة.

نرجو من هذا الكتاب أن يكون لبنة أساسية في ترسيخ مفاهيم التصميم البيتوني لدى طلابنا الأعزاء. ونأمل من السادة الزملاء المهندسين الذين سيطلعون على هذا الكتاب إبداء اقتراحاتهم القيمة بغية دراستها مستقبلاً، كما نأمل أيضاً أن نكون في هذا العمل المتواضع قد قدمنا للمكتبة الهندسية ولجيل المهندسين الجدد بعض الفائدة العلمية.

والله ولي التوفيق

دير الزور 2023

د. ريم فيصل خريش



الفصل الأول

تصميم الجيزان البيتونية المسلحة الخاضعة للانعطاف البسيط وفق طريقة الحدود

القصى

Design of Beams under Simple Bending using Ultimate State Method

1-1 مقدمة:

تصمم الجيزان من أجل قدرة تحمّل أعلى من القدرة اللازمة لمقاومة الحمولات المتوقعة وفق عوامل أمان معينة. هذه القدرة الزائدة لا تعطي فقط هامش أمان ضد الانهيار بسبب حمل زائد مفاجئ أو سوء تنفيذ، وإنما تؤمّن تحكماً كافياً بالإجهادات بحيث تبقى ضمن الحدود المقبولة. تعتبر طريقة الحدود القصوى من أكثر الطرائق انتشاراً في تصميم المقاطع البيتونية المسلحة إذ إنها تتفوق على طريقة حدود الاستثمار من الناحية الاقتصادية. يتم تصعيد الحمولات على اختلاف أنواعها عند التصميم وفق طريقة الحدود القصوى وفق عوامل أمان وتراكيب معينة في حين يتم تخفيض مقاومة كل من البيتون والفولاذ بأخذ جدائها بنسبة أقل من الواحد.

1-2 مواصفات المواد:

إنّ المواصفات الأساسية اللازمة للتصميم وفق طريقة الحدود القصوى هي إجهاد خضوع الفولاذ f_y والمقاومة المميزة الأسطوانية في البيتون بعد 28 يوم من الصب f'_c . تجدر الإشارة إلى أنه يلزم في الحسابات اعتماد قيم مخفضة لإجهاد الخضوع في الفولاذ عن القيمة الاسمية عندما تكون قيمة المقاومة المميزة الأسطوانية في البيتون قليلة نسبياً. يُعطي الكود العربي السوري الجدول (1-1) لقيم f_y المخفضة المعتمدة في الحسابات، وذلك بوحدة $\text{MPa (N/mm}^2\text{)}$ تبعاً للمقاومة المميزة للبيتون f'_c .

الجدول (1-1) قيم f_y المخفضة بحسب المقاومة المميزة الأسطوانية

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

1-3 عوامل تخفيض المقاومة:

بغية تحقيق الأمان في طريقة الحدود القصوى يتم تخفيض مقاومة العنصر بضربها بمعامل تخفيض مقاومة Ω ، تختلف قيمة المعامل Ω بحسب الإجهاد الذي يتعرض له المقطع والذي يجب تحقيق الأمان من أجله.

$$U \leq \Omega(R_u)$$

R_u : مقاومة العنصر الحدّية.

إذ تُعطى قيم معامل تخفيض المقاومة وفق الكود العربي السوري كما يأتي:

- في المقاطع المعرضة إلى الانعطاف البسيط أو إلى قوى شد محورية أو لا محورية: $\Omega = 0.9$
 - في المقاطع المعرضة إلى قوى ضغط محوري $\Omega = 0.65$ أساور عادية.
 - في المقاطع المعرضة إلى قوى ضغط لا محورية (انعطاف مركّب)
- $0.9 \geq \Omega = 0.9 - 0.5 \frac{N_u}{N_c} \geq 0.65$ وذلك في المرحلة الانتقالية بين منطقة الانهيار بالضغط والانهيار بالشد. حيث N_c مقاومة المقطع البيتوني لوحده $0.85 f'_c A_c$.
- في المقاطع المعرضة إلى قص أو قتل أو أحدهما يؤخذ المعامل $\Omega = 0.75$.
- N_u : قوة الضغط المصدّدة المطبقة على المقطع العرضي.

1-3-1 عوامل تصعيد الحمولات Load Factors:

- من أجل المقاطع التي تحمل أحمالاً مبيّنة وحية فقط يتم تصعيد هذه الأحمال وفق التركيبين الآتيين:

$$1.4D$$

$$1.4D + 1.7L$$

D: الحمل الميت.

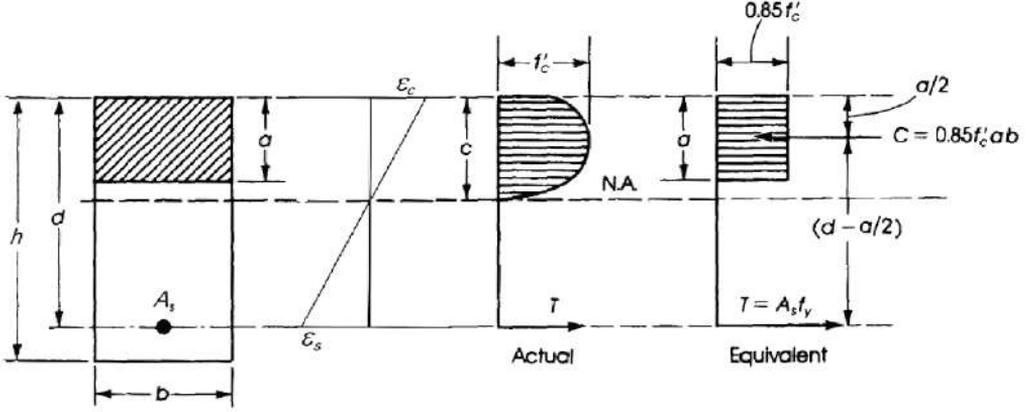
L: الحمل الحي.

1-4 حساب التسليح الطولي وفق طريقة الحدود القصوى:

- 1-4-1 حساب التسليح الطولي من أجل مقطع مستطيل خاضع للانعطاف البسيط ومسلّح بتسليح أحادي:

إن المعادلة الحاكمة لحساب العزم هي المعادلة الآتية:

$$M_u = \Omega A_s f_y (d - a/2) \quad (1-1)$$



الشكل (1-1) إجهادات المقطع المستطيل أحادي التسليح الخاضع إلى الانعطاف البسيط وانفعالاته

إن المعادلة الحاكمة لحساب العزم هي المعادلة الآتية:

$$M_u = \Omega A_s f_y (d - a/2) \quad (1-1)$$

حالة الانعطاف البسيط. $\Omega = 0.9$

حيث a ارتفاع المنطقة المضغوطة في الحالة التوازنية ويُعطى بالمعادلة الآتية:

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{\mu_s f_y}{0.85 f'_c} d$$

• يتّم حساب الثوابت:

$$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{b d^2 0.85 f'_c}$$

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$$

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

• المقارنة مع قيمة α_{\max} :

$$\alpha < \alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y}$$

• يتّم حساب مساحة التسليح:

$$A_s = \frac{M_u / \Omega}{f_y \gamma d}$$

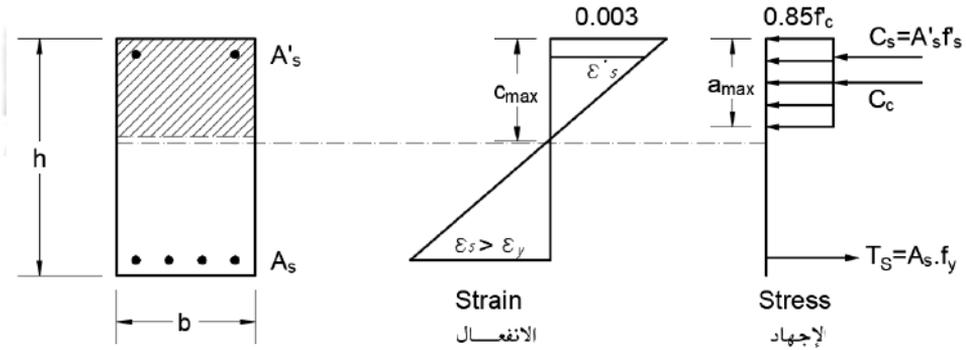
• المقارنة مع مساحات التسليح العظمى والدنيا:

$$\mu_{s \max} = \frac{1}{2} \mu_b = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f'_c}{f_y} \right]$$

$$A_{s \max} = \frac{1}{2} A_{sb} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f'_c}{f_y} \right] bd \quad (2-1)$$

$$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} bd \quad \mu_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} \quad (3-1)$$

1-4-2 حساب التسليح الطولي من أجل مقطع مستطيل خاضع للانحناء البسيط ومسلح بتسليح ثنائي:



الشكل (2-1) قوى الشد والضغط على المقطع المسلح بتسليح ثنائي

• يتم حساب الثوابت:

$$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{bd^2 0.85 f'_c}$$

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$$

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

- المقارنة مع قيمة α_{\max} :

$$\alpha > \alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y}$$

يجب إضافة تسليح ضغط أو زيادة أبعاد الجائز .

- من أجل إضافة تسليح ضغط يجب فرض أحد المجاهيل لذلك يتم اعتبار المقطع الوهمي الثاني مسلحاً بنسبة تسليح عظمى من أجل مقطع أحادي التسليح (وهي القيمة الأكثر اقتصادياً) ثم يتم حساب العزم التصميمي الثاني M_{u2} الذي يتحمله وهو مسلح بنسبة تسليح عظمى قدرها:

$$A_{s2} = (A_s - A'_s) = A_{s\max} = \frac{1}{2} \frac{455}{(630 + f_y)} \frac{f'_c}{f_y} bd$$

- حساب الثابت $A_{0\max}$ الذي يكافئ نسبة تسليح عظمى:

$$A_{0\max} = \alpha_{\max} (1 - \alpha_{\max} / 2)$$

- ويكون العزم التصميمي في المقطع الوهمي الثاني:

$$M_{u2} = \Omega 0.85 f'_c A_{0\max} b d^2$$

- العزم الذي يتحمله المقطع الوهمي الأول المسلح بتسليح الضغط A'_s هو الفرق بين العزم الخارجي والعزم الخاص بالمقطع الوهمي الثاني:

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

- حساب التسليح:

○ تسليح الضغط:

$$A'_s = \frac{M_{u1} / \Omega}{f'_s (d - d')}$$

- تسليح المقطع الوهمي الثاني:

$$A_{s2} = (A_s - A'_s) = \frac{M_{u2} / \Omega}{f_y \gamma_{\max} d} A_{s\max} = \frac{1}{2} \frac{455}{(630 + f_y)} \frac{f'_c}{f_y} bd$$

$$\gamma_{\max} = 1 - \frac{\alpha_{\max}}{2} \quad \text{حيث:}$$

$$A_s = A_{s2} + A'_s \frac{f'_s}{f_y} \quad \circ \text{ تسليح الشد:}$$

• مساحة التسليح العظمى:

$$A_{s \max} = \left[\frac{1}{2} \frac{455}{630 + f_y} \frac{f'_c}{f_y} b d + A'_s \frac{f'_s}{f_y} \right]$$

• حيث يؤخذ الإجهاد في تسليح الضغط f'_s عند الحلة العظمى من العلاقة:

$$f'_{s \max} = 630 \left[1 - \frac{d' (630 + f_y)}{d \cdot 315} \right] \leq f_y$$

• مساحة التسليح الدنيا:

$$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b d$$

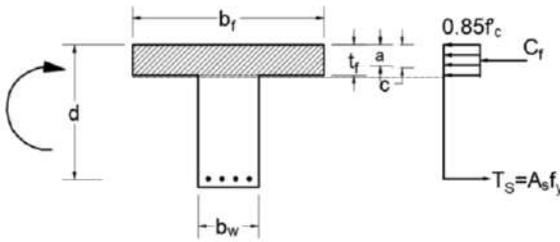
1-4-3 حساب التسليح الطولي من أجل مقطع بشكل T خاضع للانحناء البسيط ومسلح

بتسليح أحادي:

إنَّ أول خطوة في دراسة المقاطع بشكل T هي تحديد موقع المحور المحايد. هل هو واقع ضمن الجناح أم الجسد؟ من أجل معرفة ذلك، يتمُّ حساب العزم الذي يتحمَّله الجناح عندما يكون مضغوطاً بالكامل M_{d0} كما في الشكل:

أي تكون $a = t_f$

تُعطى علاقة العزم الحدِّي:



$$M_{d0} = \Omega 0.85 f'_c b_f a (d - t_f / 2)$$

الشكل (3-1) حالة الجناح المضغوط بالكامل

بتعويض قيمة a :

$$M_{d0} = \Omega 0.85 f'_c b_f t_f (d - t_f / 2)$$

عندما يكون العزم الحدِّي التصميمي المطبق أقل من العزم الذي يتحمَّله الجناح M_{d0} يكون المحور المحايد أعلى من المحور المبين بالشكل (1-2)، أي $a < t_f$ وبالتالي يسلك المقطع سلوك مقطع مستطيل عرضه

b_f . بينما عندما يكون العزم الحدّي التصميمي أكبر من M_{d0} يكون المحور المحايد أخفض من المحور المبين بالشكل أي يكون $a > t_f$ ويسلك المقطع سلوك مقطع T أي إن كل من الجناح والجسد يشركان في مقاومة الإجهادات.

$$1-3-4-1 \quad \underline{\text{عندما يكون المحور المحايد ضمن الجناح}} \quad a \leq t_f, M_u \leq M_{d0}$$

يسلك المقطع في هذه الحالة سلوك مقطع مستطيل عرضه b_f وارتفاعه الفعال d ، وتسري عليه

حسابات تسليح مقطع مستطيل:

- يتم حساب الثوابت:

$$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{b_f d^2 0.85 f'_c} \quad \alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0} \quad \gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

- المقارنة مع قيمة α_{\max} :

$$\alpha < \alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y}$$

- يتم حساب مساحة التسليح من العلاقة (2-1):

$$A_s = \frac{M_u / \Omega}{f_y \gamma d}$$

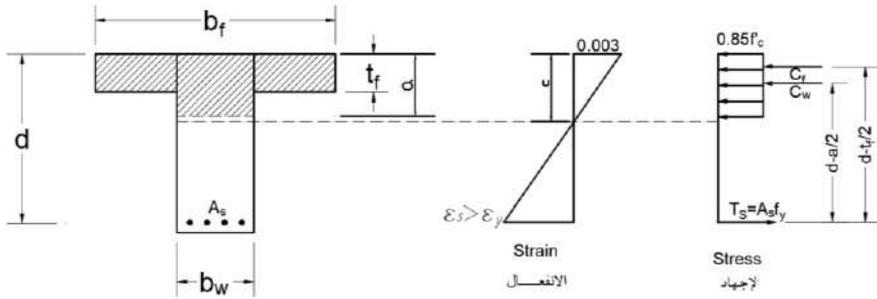
- المقارنة مع مساحة التسليح الدنيا:

$$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d$$

إنّ مساحة التسليح العظمى الخاصة بالمقطع T تختلف عن تلك الخاصة بالمقطع المستطيل؛ وهذه المساحة مرتبطة بموقع المحور المحايد التوازني هل هو ضمن الجناح أم الجسد؟ وهذا ما سيتم شرحه في الفقرة (3-4-1).

$$2-3-4-1 \quad \underline{\text{عندما يكون المحور المحايد ضمن الجسد}} \quad a > t_f, M_u > M_{d0}$$

هنا يكون العزم الخارجي المطبق كبيراً ممّا يؤدي إلى وجود المحور المحايد أسفل الجناح، إذ يُساهم جزء من الجسد في مقاومة هذا العزم. ويكون شكل منطقة الضغط بشكل T. للتبسيط تتم تجزئة منطقة الضغط إلى جزأين كل منهما مستطيل، هما جزأي الجناح بأبعاد $[t_f, (b_f - b_w)]$ والجسد بأبعاد $[a, b_w]$ كما هو موضح في الشكل (3-1):



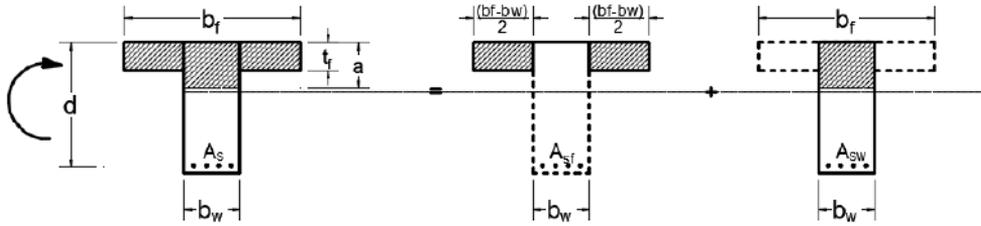
الشكل (4-1) المحور المحايد ضمن جذع الجائز مقطع T

إنَّ التسليح الكلي يساوي إلى مجموع التسليحين في المقطع الأول (جزأي الجناح) والمقطع الثاني (الجسد):

$$A_s = A_{sf} + A_{sw}$$

كذلك الأمر العزم الحدي المطبق يساوي إلى مجموع العزمين في المقطعين:

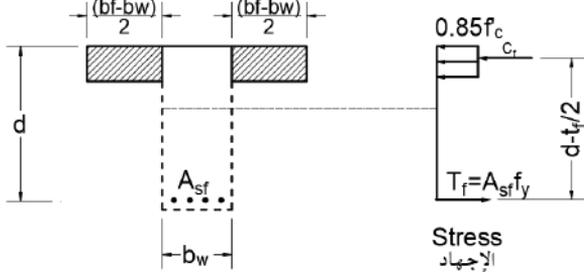
$$M_u = M_{uf} + M_{uw}$$



الشكل (5-1) تجزئة مقطع الجائز T إلى مقطعين

3-3-4-1 دراسة المقطع الأول:

- يتم حساب العزم الذي يتحمله بيتون الأجنحة وذلك بأخذ مجموع العزوم حول القوة \$T_s\$ في الفولاذ.



الشكل (6-1) القوى على

الجناحين

$$M_{uf} = \Omega 0.85 f_c' t_f (b_f - b_w) (d - t_f / 2)$$

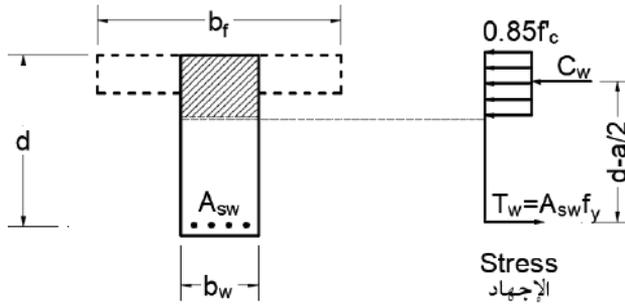
- تسليح الجناح:

بأخذ مجموع العزوم حول قوة الضغط في البيتون C_f :

$$M_{uf} = \Omega A_{sf} f_y (d - t_f / 2)$$

$$A_{sf} = \frac{M_{uf}}{\Omega f_y (d - t_f / 2)} \quad (5-1)$$

4-3-4-1 دراسة المقطع الثاني:



الشكل (7-1) القوى على الجسد

إنَّ العزم الذي يتحمَّله الجسد هو العزم المتبقي:

$$M_{uw} = M_u - M_{uf}$$

- التسليح: إنَّ حسابات التسليح تتبع حسابات مقطع مستطيل عرضه b_w وارتفاعه d :
- يتمُّ حساب الثوابت:

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0} \quad A_0 = \frac{M_{uw} / \Omega}{b_w d^2 0.85 f'_c} \quad \gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

- المقارنة مع قيمة α_{max} : $\alpha < \alpha_{max} = \frac{267.75}{630 + f_y}$

- يتمُّ حساب مساحة التسليح من المعادلة (2-1): $A_{sw} = \frac{M_{uw} / \Omega}{f_y \gamma d}$

- التسليح الكلي هو مجموع تسليحي المقطعين: $A_s = A_{sf} + A_{sw}$

- تتمُّ مقارنة هذا التسليح بمساحة التسليح الدنيا والعظمى من أجل مقطع T.

1-4-4 مساحة التسليح القصوى من أجل مقطع بشكل T:

تُعطى معادلة موقع المحور المحايد التوازني c_b كما يأتي:

$$c_b = \frac{630}{630 + f_y} d \quad a_b = 0.85 \frac{630}{630 + f_y} d$$

a_b : ارتفاع منطقة الإجهاد المضغوط في المقطع التوازني.

c_b : بعد المحور المحايد التوازني عن الليف العلوي للمقطع.

لتحديد موقع المحور المحايد التوازني (وهو يختلف بطبيعة الحال عن المحور المحايد في حالة التسليح الحديدية)، تتم المقارنة بين a_b وسماكة الجناح t_f فإذا كانت a_b أقل من سماكة الجناح فإن المحور المحايد التوازني يقع ضمن الجناح. بينما إذا تجاوزتها فيكون المحور المحايد التوازني ضمن الجسد:

$$t_f \geq 0.85 \frac{630}{630 + f_y} d \quad (6-1)$$

• عندما يكون المحور المحايد التوازني ضمن الجناح $t_f \geq a_b$:

تُحسب مساحة التسليح التوازنية من أجل مقطع مستطيل عرضه b_f وارتفاعه d :

$$A_{sb} = \frac{455}{(630 + f_y)} \frac{f'_c}{f_y} b_f d \quad (7-1)$$

• عندما يكون المحور المحايد التوازني ضمن الجسد $t_f < a_b$:

تُعطى معادلة مساحة التسليح التوازنية في هذه الحالة كما يأتي:

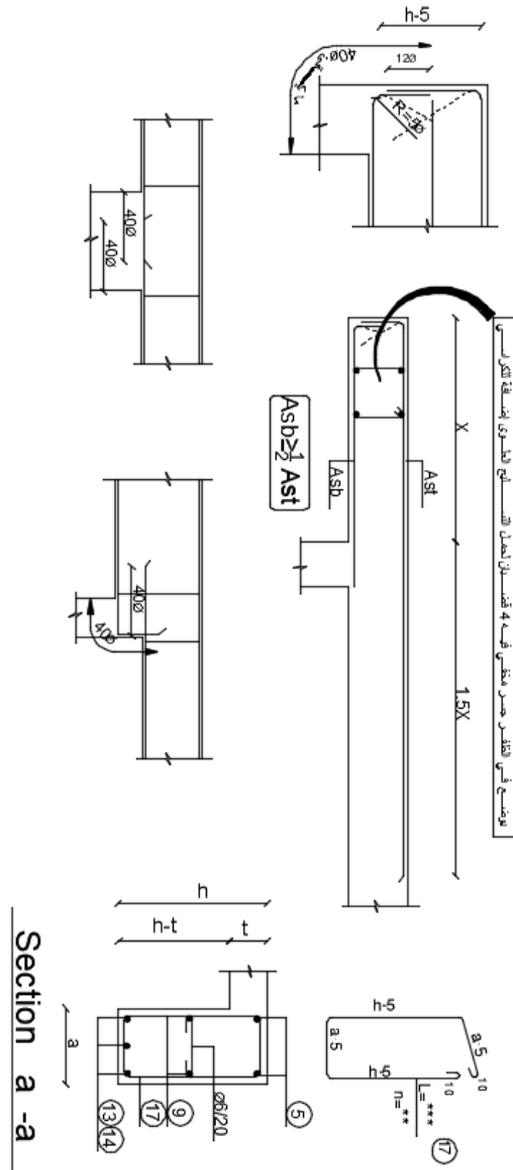
$$A_{sb} = \left[\frac{455}{(630 + f_y)} \frac{f'_c}{f_y} + \frac{0.85 f'_c (b_f - b_w) t_f}{b_w d f_y} \right] b_w d \quad (8-1)$$

1-5 تفاصيل التسليح الطولي في الجيزان:

تُعطى تفاصيل التسليح الطولي للجيزان بحسب الملحق (3) للكود العربي السوري الخاص بالتفاصيل الإنشائية كما في الشكل (1-7-1) - (1-7-1). حيث يتم مد التسليح العلوي بطول يساوي ربع المجاز الصافي (المسافة بين وجهي الاستناد) عند المسند الطرفي بينما يمد بطول يساوي ثلث المجاز الصافي الأكبر بين المجازين المتجاورين عند المجاز الوسطي. إذا كان الطول المتوفر لقضيب التسليح يكفي لمجازين أو أكثر فالأنسب استعمال القضيب بطوله الكامل دون التقطيع بطول كل مجاز، حيث

تأتي القضبان من المصنع بطول 11.70m أو 12m . يتم إرساء التسليح الطولي ضمن المسند الطرفي وفق العكفات النظامية بزوايا (90° ، 135°).





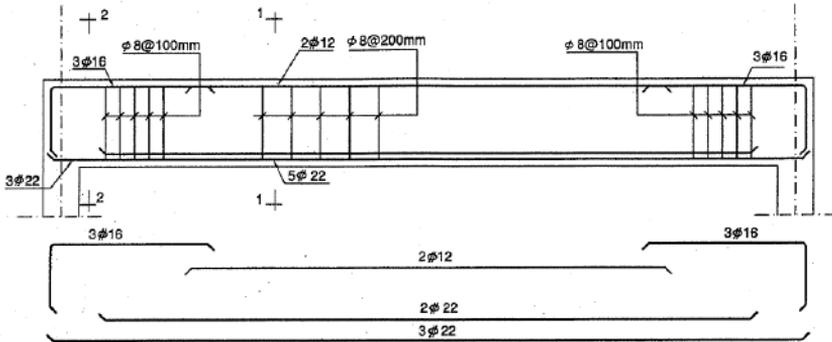
الشكل (1-8b) تفاصيل تسليح الجيزان

6-1 تسليح التعليق Stirrups Hangers:

يُستخدم من أجل تعليق الأساور في منطقة الضغط من الجائز (تسليح علوي وسط المجاز) وذلك في حال عدم الحاجة إلى تسليح ضغط. تُعطى شروط تسليح التعليق وفق تعليمات الكود العربي السوري كما يأتي:

- عدد القضبان: لا يقل عدد قضبان تسليح التعليق عن عدد فروع الأساور المستعملة ولا يقل عن قضيبين في الحالات كلها.
- مساحتها: لا تقل مساحة مقطع قضبان التعليق الكلية عن 20% من مساحة تسليح الشد الرئيس .
- القطر: لا يقل قطر قضبان التعليق عن نصف قطر قضبان التسليح الطولي الأكبر أو 10mm أيها أكبر .

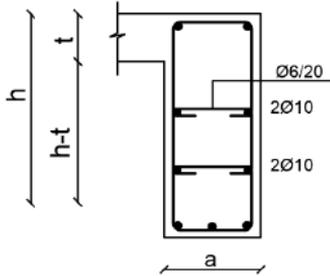
$$\phi_h \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 10mm \\ \frac{\phi_{lmax}}{2} \end{array} \right.$$



الشكل (9-1) تسليح التعليق

7-1 تسليح التقلص Shrinkage side bars

عندما يتجاوز تدلي الجائز أسفل البلاطة القيمة 60cm أو تزيد مساحة مقطعه العرضي على 2000cm² تتم إضافة قضبان طولية على طول الوجهين الجانبيين للجائز تسمى قضبان التقلص، وتحقق قضبان التقلص الشروط الآتية:



- العدد: يحدد العدد بحيث لا يزيد التباعد الشاقولي بين قضبان التقلص على 30cm.
- القطر: لا يقل قطر قضبان التقلص عن نصف قطر أكبر سيخ في التسليح الطولي المحسوب أو 10mm أيهما أكبر .

الشكل (10-1) تسليح التقلص

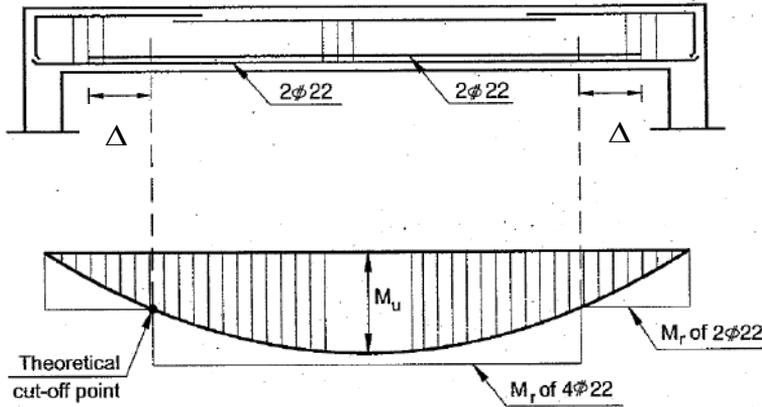
$$\phi_{sh} = \max \begin{cases} 10mm \\ \phi_{max} / 2 \end{cases}$$

• المساحة: لا تقل مساحة تسليح النقل عن: $A_{sh} = 0.001bd$

8-1 أماكن إيقاف التسليح السفلي Bottom Rebar Cutoff Locations

يتم حساب التسليح السفلي من أجل مقاومة العزم الموجب الأعظمي، وبما أن مخطط العزم هو منحني من الدرجة الثانية أو الثالثة يتناقص باتجاه المسند فيمكن تخفيض عدد القضبان المستمرة إلى المسند في المجازات الطويلة لأسباب اقتصادية على ألا تقل عن نصف التسليح السفلي الكلي. لتحديد نقطة إيقاف التسليح السفلي الذي سيستمر في كل مجاز يفترض كون الموقع النظري لهذه النقطة عندما تحقق القضبان السفلية المستمرة مقاومة الانعطاف التصميمية لها $\Omega = 0.9$. بمعنى آخر يتم تحديد نقاط الإيقاف عندما يحقق العنصر مقاومة الانعطاف التصميمية له Design Flexural Capacity حيث تتم مساواة معادلة العزم مع مقاومة العزم التصميمية المحسوبة للأسياخ المستمرة فقط. مثلاً إذا كان التسليح السفلي مساوياً $4\phi 22$ يتم حساب المقاومة التصميمية من أجل مساحة تسليح $2\phi 22$ ، وتتم مساواتها مع معادلة العزم وحساب مسافة الإيقاف x . تعطى معادلة العزم المقاوم كما يأتي:

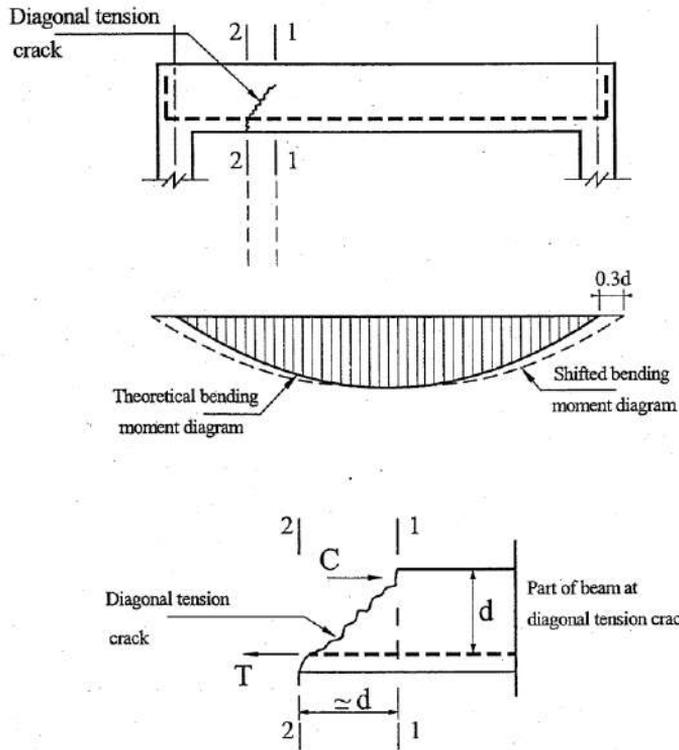
$$M_r = \Omega A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = \Omega \mu_s b d^2 \left(1 - 0.59 \mu_s \frac{f_y}{f'_c} \right)$$



الشكل (11-1) إيقاف التسليح السفلي

هناك بعض الأمور التي تمنع من إيقاف القضبان عند نقاط الإيقاف النظرية، وهي:

1. يمكن أن يختلف مخطط العزم الذي يحدث حقيقة عند الاستمرار عن مخطط العزم المحسوب لأنّ الحمولات المفروضة تقريبية.
2. بعد حدوث أيّ تشقق قطري فإن قوة الشد في الفولاذ عند التشقق محكومة بعزم انعطاف في مقطع مغاير لمقطع التشقق، كما في الشكل الآتي، إذ إنّ قوة الشدّ في المقطع 2-2 محكومة بعزم الانعطاف عند 1-1 الذي قيمته أكبر من العزم في المقطع 2-2.



الشكل (12-1) إيقاف التسليح السفلي - النقاط العملية

بناءً على ذلك، يتمّ مدّ القضبان مسافة أمان إضافية Δ تساوي إلى الارتفاع الفعال d أو 12ϕ أيهما أكبر، إضافةً إلى طول التثبيت l_b ، وفي حال إهمال مساهمة الخرسانة في تحمل الإجهادات المماسية يمكن الاستعاضة عن المقدار d بالمقدار $d/2$.

- يجب أن يستمر ثلث التسليح السفلي (الموجب) على الأقل في الجيزان المستمرة ونصف التسليح السفلي على الأقل في الجيزان البسيطة إلى ما لا يقل عن 150mm داخل المسند مع أخذ

أطوال التثبيت اللازمة بالحسبان، هذا ولا يجوز أن يقل عرض المسند عن نصف الارتفاع الفعال للجائز $d/2$.

- يجب أن يستمر ثلث التسليح العلوي (السالب) على الأقل إلى ما بعد نقطة انعدام العزم بمسافة تعادل 12ϕ أو $1/16$ من المسافة بين المسندين المتجاورين أو d أيها أكبر إضافةً إلى طول التثبيت L_b .
- لا يجوز إيقاف جزء من التسليح في مقطع ما إلا إذا كان إجهاد القص في هذا المقطع لا يتجاوز $2/3$ إجهاد القص الذي يقاومه المقطع وإلا يجب ألا تقل مساحة التسليح المستمر بعد الإيقاف عن ضعف المساحة المطلوبة نظرياً في المقطع المطابق للنقطة المذكورة.

1-8-1 التسليح الموجب المستمر إلى المسند الطرفي:

في حال إيقاف التسليح نظراً لنقصان التسليح الواصل إلى المسند يتم مدّ التسليح ضمن المسند بطول مستقيم قدره L_a ويحسب كما يأتي:

- القيمة النظرية لطول المستقيم المستمر إلى المسند:

$$L_a = L_b - \frac{M_u}{V_u}$$

- يجب ألا تقل قيم L_a عن أكبر القيمتين:
 - نصف عرض الركيزة باتجاه الجائز مضافاً له 12ϕ .
 - $(12\phi + d/2)$ على ألا تقل بجميع الأحوال عن 30ϕ .

M_u : العزم المقاوم للمقطع عند محور المسند باعتبار إجهاد الشد في القضبان المستمرة إلى محور المسند يساوي إلى إجهاد الخضوع.

V_u : الجهد القاطع عند محور المسند.

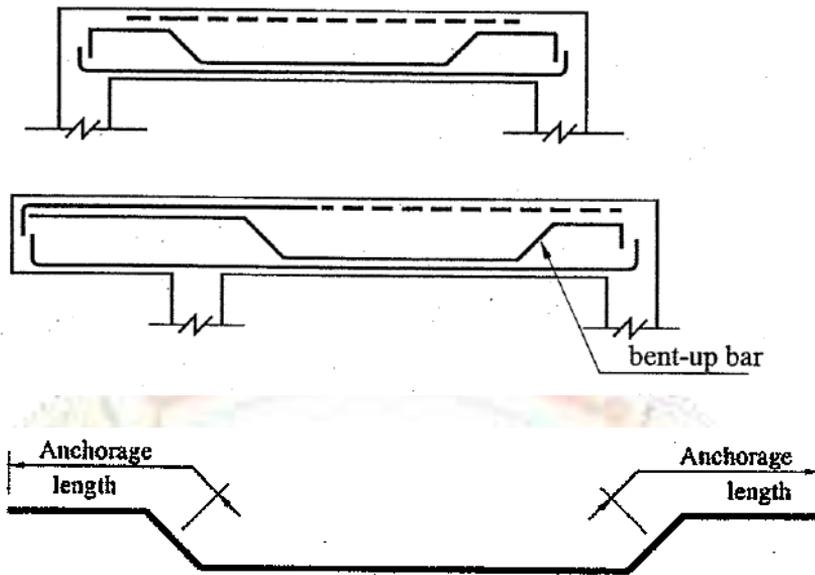
- إذا كانت مساحة التسليح الداخلة إلى المسند كافية لتحمل قوة شد مساوية إلى قوة القص عند وجه الاستناد $A_s = \frac{V_u}{0.9f_y}$ يتم مدّ التسليح حتى محور المسند ثم تبدأ عكفة نظامية

اعتباراً من محور المسند، أو في حال عدم وجود العكفة لا يقل طول الإرساء المستقيم لهذه القضبان ضمن المسند عن 25 مرة القطر ابتداءً من وجه المسند.

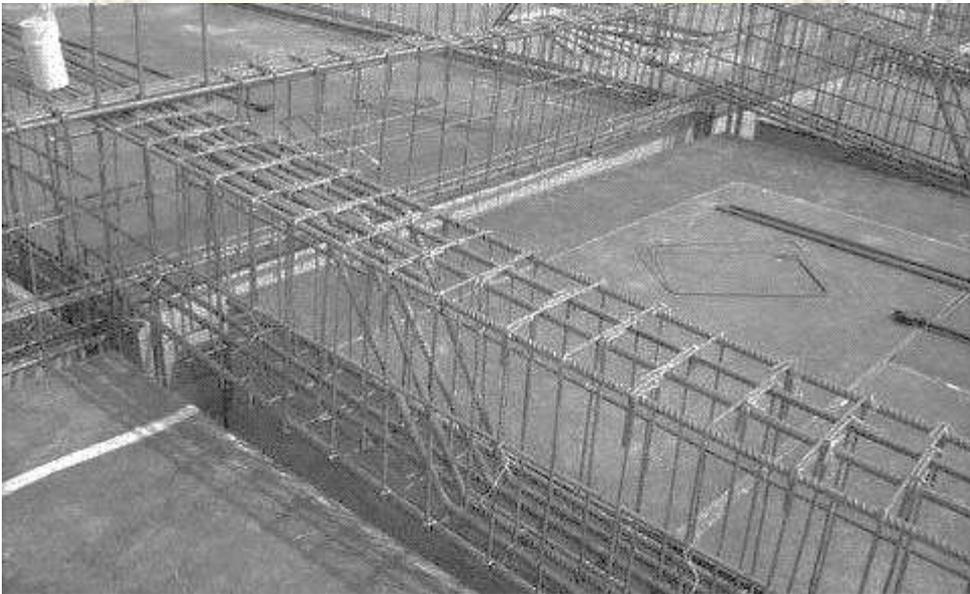
- إن مسافات الإيقاف التي يعطيها الكود العربي السوري 0.1L عند المسند الطرفي، 0.15L عند المسند الوسطي توضع إلى اشتراطات الطرائق التقريبية لحساب الجهود وهي كون الحمولات موزعة بانتظام والمجازات المتجاورة متقاربة والحمولة الحية المصعدة أقل من ضعفي الميتة المصعدة.
- لا تخضع النهايات الطرفية للإطارات المقاومة لقوى أفقية لهذه الشروط، وإنما لها شروطها الخاصة.

1-9 التكميح في الجيزان Beams with Bent-up Bars:

يمكن تكسيح القضبان في الجيزان (غالباً بزواوية 45°) يتم التكميح من أجل المساهمة في مقاومة القصّ أو لأغراض اقتصادية من أجل الاستفادة من التسليح السفلي الذي لم يعد يلزم من أجل مقاومة عزم الانعطاف، وذلك لمقاومة العزم السالب فيصبح تسليحاً علوياً قرب المسند ويستمر إلى داخله، ويصبح في هذه الحالة تسليح شد علوي. يصبح من الصعب التكميح في بعض الحالات كما في الجيزان العميقة في أثناء التنفيذ مما يحدّ من هذه العملية في هذا النوع من الجيزان، وعموماً في الحياة العملية لا يُنصح بتكسيح القضبان في الجيزان إلا في جيزان الحوائج بزواوية 60° نظراً لكبر الإجهادات في مقاطعها. يتم تكسيح القضبان الداخلية في الجيزان ولا يزيد عدد القضبان المكسّحة عن نصف كمية التسليح الطولي الموجود. يجب الانتباه إلى أن يحقق طول التسليح المكسح ابتداءً من نقطة إجهاد الشد الأعظمي الناتج عن القصّ وهي منتصف الجانز طول التثبيت L_D .

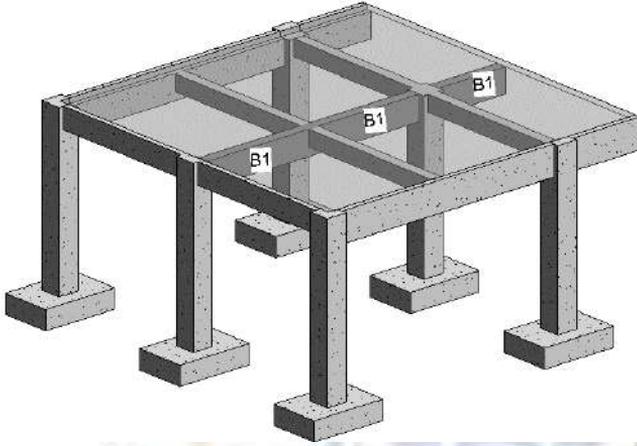


الشكل (13-1) تكسيح القضبان الطولية في الجيزان



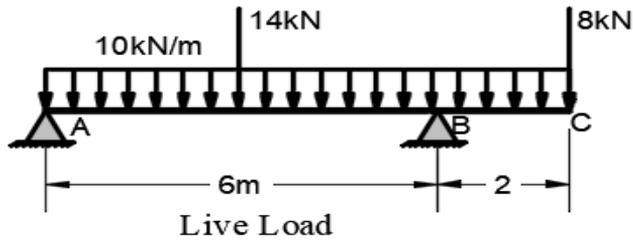
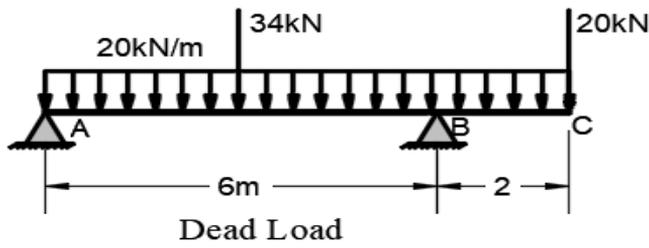
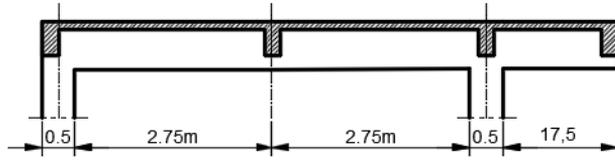
الشكل (14-1) نموذج للتكسيح في الجيزان

مثال تطبيقي (1):



يُطلب تصميم التسليح الطولي للجائز البسيط ذي الظفر B_1 المبين بالشكل، علماً بأن الجائز يحمل بلاطة مليئة سماكتها 120mm والحمولات مبينة بالشكل بما فيها الوزن الذاتي، تؤخذ الأبعاد محورية:

250mm	عرض الجائز
700mm	ارتفاع الجائز
25MPa	f'_c
360MPa	f_y



الحل:

1- التصميم على الانعطاف:

• تصعيد الحمولات:

$$w_u = 1.4 \times 20 + 1.7 \times 10 = 45 \text{ kN/m}$$

○ الحمولات الموزعة

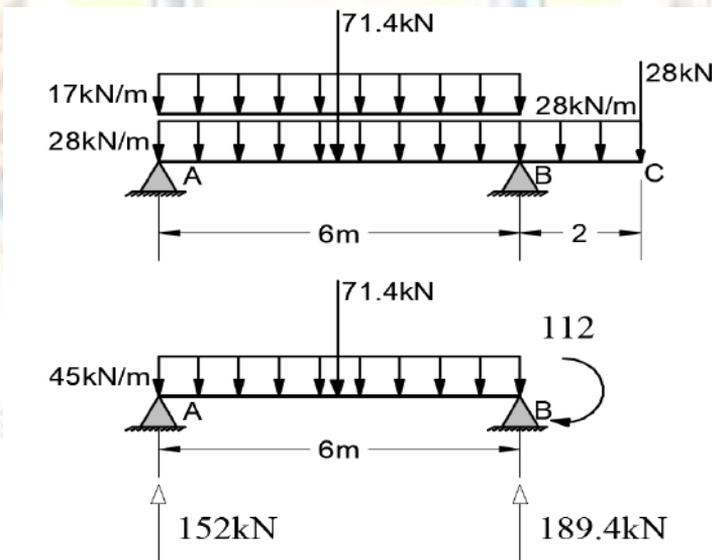
$$P_{u1} = 1.4 \times 34 + 1.7 \times 14 = 71.4 \text{ kN}$$

○ الحمولات المركزة

$$P_{u2} = 1.4 \times 20 + 1.7 \times 8 = 41.6 \text{ kN}$$

• إيجاد مغلف العزوم:

لإيجاد العزم الموجب الأعظمي وسط المجاز يتم تحميل المجاز بكامل الحمولات الميتة والحية في حين يتم تحميل الظفر بالحمولات الميتة فقط.



$$V_u = 152 - 45x$$

وتكون معادلة الجهد القاطع:

$$M_u = 152x - \frac{45x^2}{2}$$

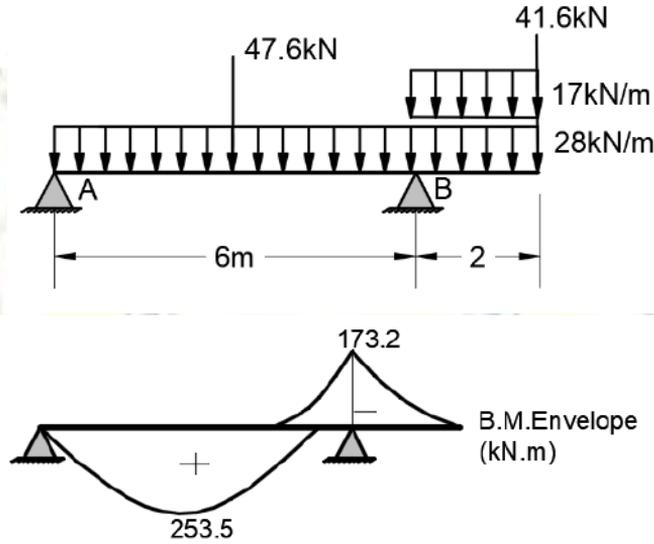
ومعادلة العزم:

قيمة العزم الأعظمي تقع عند القوة المركزة: $x = 3\text{m}$

$$M_{\max}^+ = 152(3) - \frac{45(3)^2}{2} = 253.5 \text{ kN.m}$$

إن قيمة العزم السالب عند المسند B تنتج بتحميل الظفر بكامل الحمولات حية وميتة وتحميل الفتحة بالحمولات الميتة فقط:

$$M_{\max}^- = \frac{W_u L^2}{2} + P_u L = \frac{45 \times 2^2}{2} + 41.6 \times 2 = 173.2 \text{ kN.m}$$



• عرض الجناح:

يتم حساب عرض الجناح في الجائز الأصغر بين القيم الآتية كون الجائز يحمل بلاطة مليئة:

$$b_f = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_0}{4} = \frac{0.87 \times 6000}{4} = 1305 \text{ mm} \\ 12t_f + b_w = 1690 \text{ mm} \\ D = 5000 \text{ mm} \end{array} \right. \quad b_f = 1300 \text{ mm}$$

إذ تمت القسمة على 4/ في الحد الأول لأن عزم الحمولة الموزعة أكبر من عزم الحمولة المركزة.

• الارتفاع الفعال:

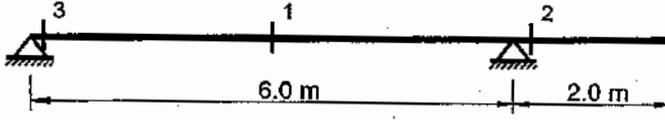
بفرض سماكة التغطية $d' = 50 \text{ mm}$ يكون الارتفاع الفعال مساوياً:

$$d = h_b - d' = 650mm$$

• تحقيق شرط السهم: المجاز مستمر من طرف واحد والمقاومة المميزة أكبر من 20MPa

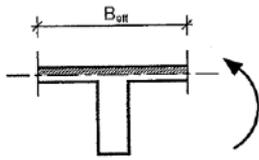
$$h_{\min} = \frac{L}{15} = \frac{6000}{15} = 400mm < 700mm \quad \text{المجاز AB} \quad \circ$$

• الظفر BC



$$h_{\min} = \frac{L}{6} = \frac{2000}{6} = 333.33mm < 700mm \quad \bullet$$

المقطع /1/: العزم الموجب الأعظمي: $M_{\max}^+ = 256.7kN.m$



المقطع يتصرف بشكل T:

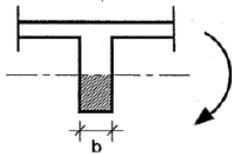
العزم الذي يتحمله الجناح

$$M_{d0}^+ = \Omega 0.85 f_c' b_f t_f \left(d - \frac{t_f}{2} \right) = 1760.2kN.m > M_{\max}^+$$

عرضه bf

المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f_c' b_f d^2}$	0.0241
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.0244
$\alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y}$	0.27
$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.988

$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \quad mm^2$	1218
$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \quad mm^2$	406.3
$a_b = 0.85 \frac{630}{630 + f_y} d \quad mm$	351.6 > 120
$A_{s \max} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f'_c}{f_y} + \frac{0.85 f'_c (b_f - b_w) \gamma_f}{b_w d \cdot f_y} \right] b_w d \quad mm^2$	6312 > 1218
$A_s(used)$	$2\phi 18 + 4\phi 16 = 1313 mm^2$

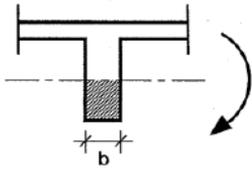


• المقطع /2/: العزم السالب الأعظمي:

$$M_{\max}^- = 173.2 kN.m$$

المقطع يتصرف بشكل مستطيل عرضه bw:

المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f'_c b_w d^2}$	0.0857
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.0897
$\alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y}$	0.27
$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.955
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \quad mm^2$	861
$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \quad mm^2$	406.3
$A_{s \max} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f'_c}{f_y} \right] b_w d \quad mm^2$	2593 > 861
$A_s(used)$	$2\phi 16 + 2\phi 18 = 911 mm^2$



• المقطع /3/: العزم السالب الاعتباري:

$$M_A^- = \frac{M_{\max}^+}{3} = \frac{253.5}{3} = 84.5 \text{ kN.m}$$

المقطع يتصرف بشكل مستطيل عرضه bw:

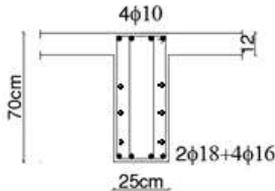
المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f_c' b_w d^2}$	0.0418
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.0427
$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.978
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \text{ mm}^2$	410
$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \text{ mm}^2$	406.3 < 410
$A_{s \max} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f_c'}{f_y} \right] b_w d \text{ mm}^2$	2593 > 410
$A_s (\text{used})$	4φ12 = 452 mm ²

• تسليح التعليق:

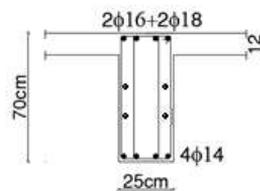
$$\phi = \max \begin{cases} 10 \text{ mm} \\ \phi_{l \max} / 2 = 9 \text{ mm} \end{cases} \quad \text{○ القطر:}$$

$$\text{○ المساحة: } 20\% A_{s \max} = 0.2 \times 1313 = 262.6 \text{ mm}^2$$

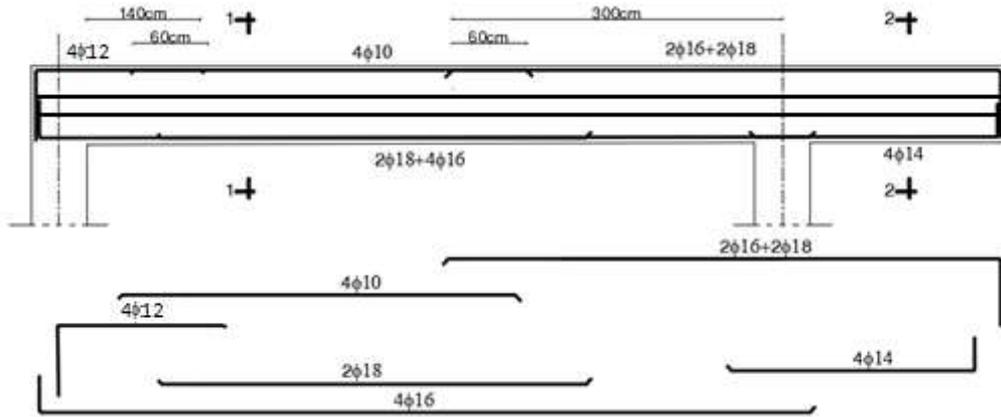
○ العدد: بعدد أذرع الأساور بفرض وجود إسوارتين بأربع أذرع يتم استخدام 4φ10



Section 1-1



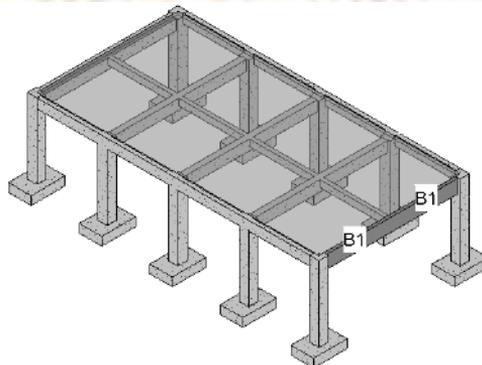
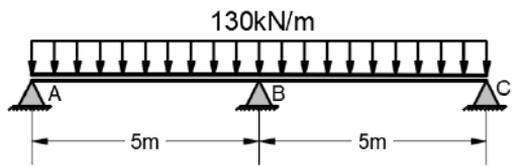
Section 2-2



مثال تطبيقي (2):

يُطلب تصميم التسليح الطولي للجائز الطرفي ذي المجازين المبين بالشكل، محمل بجمولة مصعّدة بما فيها الوزن الذاتي قدرها 130kN/m ، تؤخذ الأبعاد محورية:

250mm	عرض الجائز
600mm	ارتفاع الجائز
20MPa	f'_c
400MPa	f_y



الحل:

1. تحقيق شرط السهم: حيث أن المقاومة المميزة لا تقل عن 20MPa

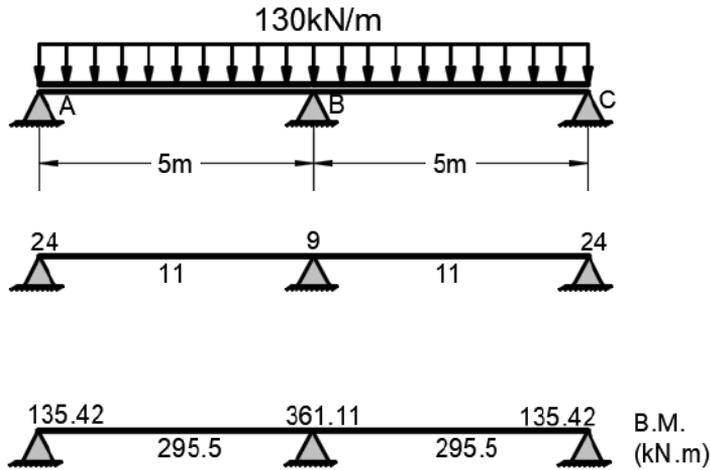
$$h_{\min} = \frac{L}{15} = \frac{5000}{15} = 333.33\text{mm} < 600\text{mm}$$

2. حساب العزوم:

إن طريقة عوامل الكود التقريبية قابلة للتطبيق في هذا المثال حيث تتحقق الشروط الثلاثة:

- الحملات موزعة بانتظام.
- المجازات متساوية.
- لا يزيد الحمل الحي المصعد عن ضعف الحمل الميت المصعد فرضاً.

العوامل k والعزوم:



• الارتفاع الفعال:

بفرض سماكة التغطية $d' = 50\text{mm}$ يكون الارتفاع الفعال مساوياً:

$$d = h_b - d' = 550\text{mm}$$

3. حساب التسليح الطولي: بما أن الجائز طرفي فإن المقطع مستطيل عرضه 250mm وارتفاعه الفعال

550mm

التسليح الموافق للعزم الموجب الأعظمي 295.5kN.m

a. يتم حساب الثوابت:

$$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{bd^2 0.85 f'_c} = \frac{295.5 \times 10^6 / 0.9}{250 \times 550^2 \times 0.85 \times 20} = 0.255$$

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0} = 1 - \sqrt{1 - 2(0.255)} = 0.30$$

$$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2} = 1 - \frac{0.30}{2} = 0.849$$

b. المقارنة مع قيمة α_{\max} :

$$\alpha > \alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y} = 0.26$$

يجب إضافة تسليح ضغط.

c. قدرة تحمل المقطع مع تسليح شد أعظم ومن دون تسليح ضغط:

حساب الثابت $A_{0\max}$ الذي يكافئ نسبة تسليح عظمى:

$$A_{0\max} = \alpha_{\max} (1 - \alpha_{\max} / 2) = 0.26(1 - 0.26 / 2) = 0.226$$

ويكون العزم التصميمي من أجل تسليح شد أعظمي ومن دون تسليح ضغط:

$$M_{u2} = \Omega 0.85 f'_c A_{0\max} b d^2$$

$$= 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 0.226 \times 250 \times 550^2 = 261.87 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

d. العزم الفائض والذي يُسلح بتسليح ضغط:

$$M_{u1} = M_u - M_{u2} = 295.5 \times 10^6 - 261.87 \times 10^6 = 33.81 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

e. حساب التسليح:

f. تسليح الضغط:

$$\frac{d'}{d} = \frac{50}{550} = 0.091 < \frac{1}{2} \frac{(630 - f_y)}{(630 + f_y)} = 0.111$$

وتسليح الضغط متلدين:

$$A'_s = \frac{M_{u1} / \Omega}{f'_s (d - d')} = \frac{M_{u1} / \Omega}{f_y (d - d')} = \frac{33.81 / 0.9}{400(550 - 50)} = 187.86 \text{ mm}^2 \Rightarrow 4\phi 12$$

g. تسليح المقطع الوهمي الثاني:

$$A_{s2} = (A_s - A'_s) = \frac{1}{2} \frac{455}{(630 + f_y)} \frac{f'_c}{f_y} b d$$

$$= \frac{1}{2} \frac{455}{(630 + 400)} \frac{20}{400} 250 \times 550 = 1518.5 \text{ mm}^2$$

h. تسليح الشد الكلي:

$$A_s = A_{s2} + A'_s \frac{f'_s}{f_y} = 1706.9 \text{mm}^2 \Rightarrow 4\phi 20 + 2\phi 18$$

التحقق من تلدن فولاذ الضغط:

$$a = \frac{(A_s - A'_s) f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{(1706.9 - 187.86) 400}{0.85 \times 20 \times 250} = 142.97 \text{mm}$$

$$\frac{d'}{a} = \frac{50}{142.97} = 0.349 < \frac{(630 - 400)}{535.5} = 0.429$$

$$\frac{A'_s}{A_s} = \frac{187.86}{1706.9} = 0.11 = 11\% \Rightarrow ok$$

i. مساحة التسليح العظمى:

$$f'_{s \max} = 630 \left[1 - \frac{d'}{d} \frac{(630 + f_y)}{315} \right] = 442.73 \text{MPa} > f_y; f'_{s \max} = f_y$$

$$A_{s \max} = \left[\frac{1}{2} \frac{455}{(630 + f_y)} \frac{f'_c}{f_y} b d + A'_s \frac{f'_s}{f_y} \right]$$

$$= \left[\frac{1}{2} \frac{455}{(630 + 360)} \frac{20}{400} 250 \times 550 + 187.86 \right] = 1706.9 \text{mm}^2$$

z. مساحة التسليح الدنيا:

$$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b d = 309.4 \text{mm}^2 < A_s$$

التسليح الموافق للعزم السالب الأعظمي 361.11kN.m

a. يتم حساب الثوابت:

$$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{b d^2 0.85 f'_c} = \frac{361.11 \times 10^6 / 0.9}{250 \times 550^2 \times 0.85 \times 20} = 0.312$$

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0} = 1 - \sqrt{1 - 2(0.312)} = 0.387$$

$$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2} = 1 - \frac{0.387}{2} = 0.807$$

b. المقارنة مع قيمة α_{\max} :

$$\alpha > \alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y} = 0.26$$

يجب إضافة تسليح ضغط.

c. قدرة تحمل المقطع مع تسليح شد أعظم ومن دون تسليح ضغط:

حساب الثابت A_{0max} الذي يكافئ نسبة تسليح عظمى:

$$A_{0max} = \alpha_{max} (1 - \alpha_{max} / 2) = 0.26(1 - 0.26 / 2) = 0.226$$

ويكون العزم التصميمي من أجل تسليح شد أعظمي ومن دون تسليح ضغط:

$$M_{u2} = \Omega 0.85 f'_c A_{0max} b d^2$$

$$= 0.9 \times 0.85 \times 20 \times 0.226 \times 250 \times 550^2 = 261.87 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

d. العزم الفائض والذي يُسلح بتسليح ضغط:

$$M_{u1} = M_u - M_{u2} = 361.11 \times 10^6 - 261.87 \times 10^6 = 99.42 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

e. حساب التسليح:

f. تسليح الضغط:

$$\frac{d'}{d} = \frac{50}{550} = 0.091 < \frac{1}{2} \frac{(630 - f_y)}{(630 + f_y)} = 0.111$$

وتسليح الضغط متلدين:

$$A'_s = \frac{M_{u1} / \Omega}{f'_s (d - d')} = \frac{M_{u1} / \Omega}{f_y (d - d')} = \frac{99.42 / 0.9}{400(550 - 50)} = 552.36 \text{ mm}^2$$

g. تسليح المقطع الوهمي الثاني:

$$A_{s2} = (A_s - A'_s) = \frac{1}{2} \frac{455}{(630 + f_y)} \frac{f'_c}{f_y} b d$$
$$= \frac{1}{2} \frac{455}{(630 + 400)} \frac{20}{400} 250 \times 550 = 1518.5 \text{ mm}^2$$

h. تسليح الشد الكلي:

$$A_s = A_{s2} + A'_s \frac{f'_s}{f_y} = 2071.44 \text{ mm}^2 \Rightarrow 4\phi 22 + 2\phi 20$$

التحقق من تلدن فولاذ الضغط:

$$a = \frac{(A_s - A'_s) f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{(2071.44 - 552.36) 400}{0.85 \times 20 \times 250} = 142.97 \text{ mm}$$

$$\frac{d'}{a} = \frac{50}{142.97} = 0.349 < \frac{(630 - 400)}{535.5} = 0.429$$

$$\frac{A'_s}{A_s} = \frac{552.36}{2071.44} = 0.267 = 26.7\% \Rightarrow ok$$

i. مساحة التسليح العظمى:

$$f'_{s\max} = 630 \left[1 - \frac{d' (630 + f_y)}{d \cdot 315} \right] = 442.73 \text{MPa} > f_y; f'_{s\max} = f_y$$

$$A_{s\max} = \left[\frac{1}{2} \frac{455}{(630 + f_y)} \frac{f'_c}{f_y} bd + A'_s \frac{f'_s}{f_y} \right]$$

$$= \left[\frac{1}{2} \frac{455}{(630 + 360)} \frac{20}{400} 250 \times 550 + 552.36 \right] = 2071.44 \text{mm}^2$$

ج. مساحة التسليح الدنيا:

$$A_{s\min} = \frac{0.9}{f_y} bd = 309.4 \text{mm}^2 < A_s$$

التسليح الموافق للعزم السالب الاعتراري 135.42kN.m

a. يتم حساب الثوابت:

$$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{bd^2 0.85 f'_c} = \frac{135.42 \times 10^6 / 0.9}{250 \times 550^2 \times 0.85 \times 20} = 0.117$$

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0} = 1 - \sqrt{1 - 2(0.117)} = 0.125$$

$$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2} = 1 - \frac{0.125}{2} = 0.937$$

b. المقارنة مع قيمة α_{\max} :

$$\alpha < \alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y} = 0.26$$

c. تسليح الشد كافي:

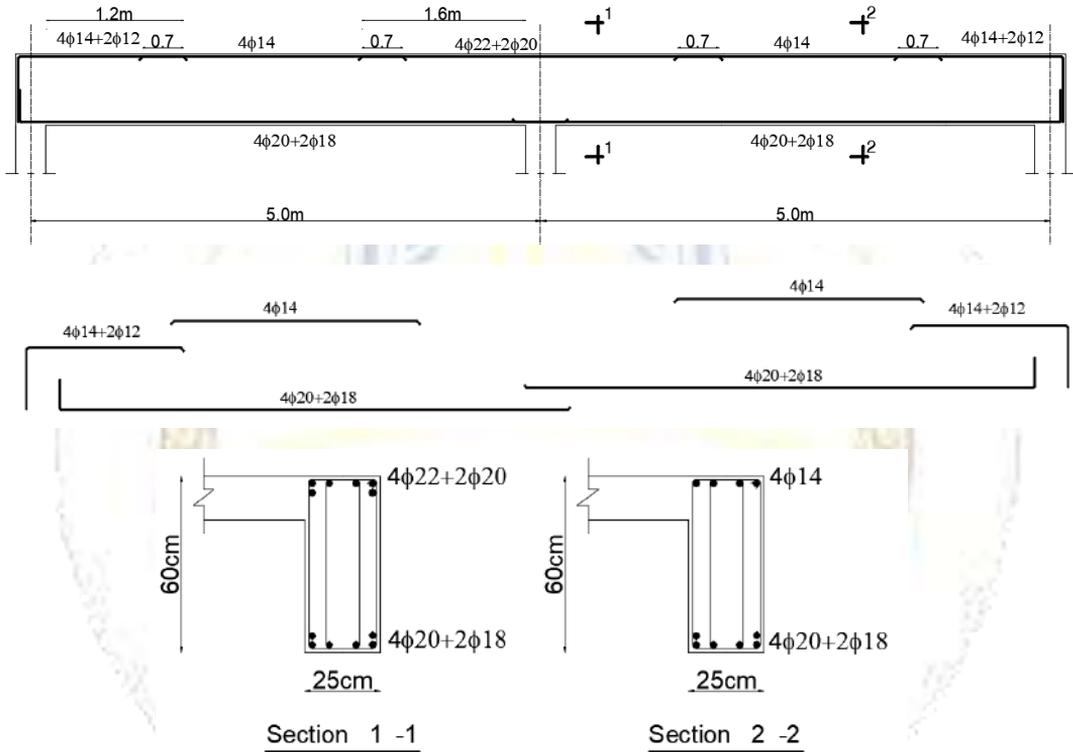
$$A_s = \frac{M_u / \Omega}{f_y \gamma d} = \frac{135.42 \times 10^6 / 0.9}{400 \times 0.937 \times 550} = 729.5 \text{mm}^2 \Rightarrow 4\phi 14 + 2\phi 12$$

d. المقارنة مع مساحات التسليح العظمى والدنيا:

$$A_{s\max} = \frac{1}{2} \mu_b b d = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f'_c}{f_y} \right] b d$$

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + 360} \frac{20}{400} \right] 250 \times 550 = 1518.5 \text{ mm}^2 > 729.5 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\min} = \frac{0.9}{f_y} b d = 309.4 \text{ mm}^2$$



الفصل الثاني

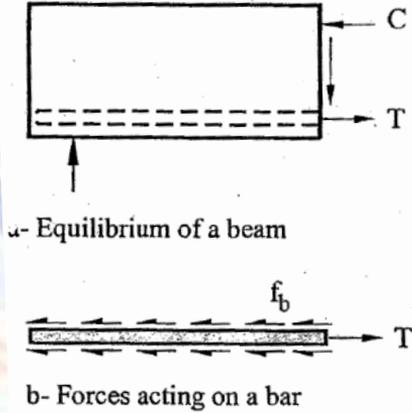
التماسك والإرساء والتراكب

Bond Development Length and Splicing of Reinforcement

1-2 مقدمة:

أحد أهم الافتراضات في تصميم البيتون المسلح هو كون الالتحام كاملاً على السطح المشترك بين الفولاذ والبيتون ولا يوجد انفصال لفولاذ التسليح. بناءً على هذه الفرضية فإن شكلاً من أشكال إجهادات الالتحام يحدث على السطح المشترك بين الفولاذ والبيتون. يتعلق إجهاد الالتحام بعوامل عدة منها التماسك بين سطحي الفولاذ والبيتون والضغط الذي يطبقه البيتون المتصلب على الفولاذ. تحدث قوى الضغط الانعطافية في جائز من البيتون المسلح في مادة البيتون بينما تحدث قوى الشد في التسليح، ولحدوث هذه العملية لابد من وجود نقل حمولة أو التحام بين المادتين.

يبين الشكل القوى المطبقة على فولاذ التسليح، حتى يكون القضيب متوازناً يجب أن توجد إجهادات الالتحام f_b . إذا اختفت تلك الإجهادات فإن القضيب سوف يفصل عن البيتون وتصبح قوة الشد T معدومة مسببة انهيار البيتون.



الشكل (1-2) إجهادات الالتحام في القضبان

2-2 متوسط إجهادات الالتحام في جائز Average Bond Stresses in a Beam:

لدراسة إجهادات الالتحام يتم اعتبار الجائز المبين بالشكل (2-2)، ودراسة عنصر تقاضلي من الجائز طوله dx يكون عزم الانعطاف التقاضلي المطبق عليه:

$$dM = M_2 - M_1 \quad (1-2)$$

إن قوة الشد في الفولاذ تساوي إلى:

$$T = \frac{M}{Y_{ct}} \Rightarrow dT = \frac{dM}{Y_{ct}} \quad (2-2)$$

من (1) و (2) يُستنتج:

$$dT = T_2 - T_1 \quad (3-2)$$

حتى يكون الفولاذ متوازناً يجب أن يكون التغيير في قوى الشد مساوياً إلى جداء متوسط إجهاد الالتحام f_b بمساحة السطح:

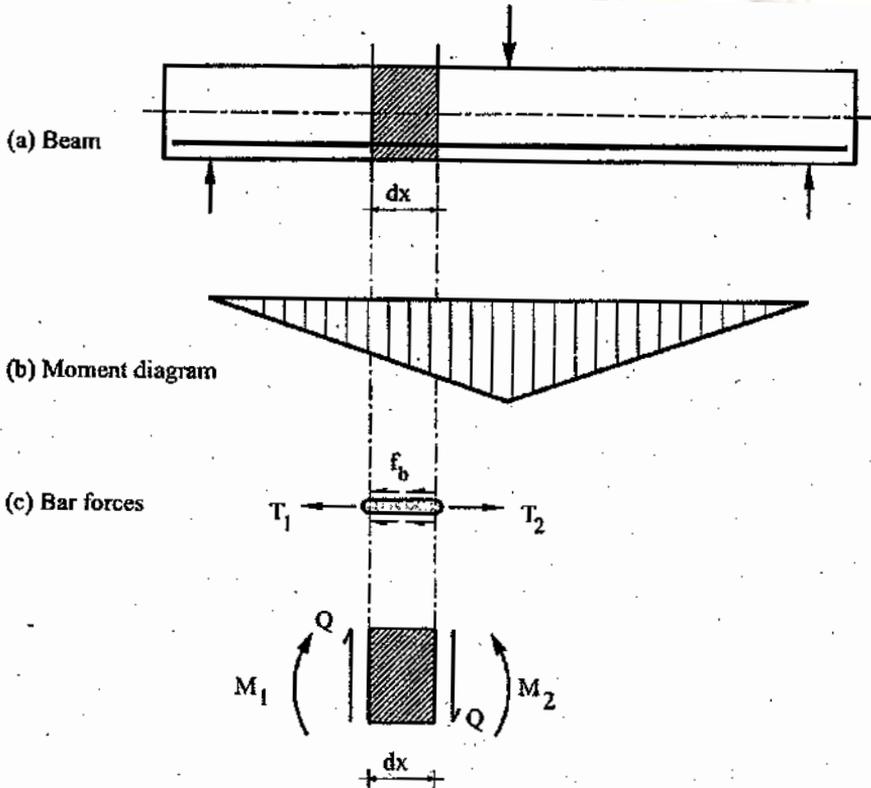
$$dT = f_b \sum P dx \Rightarrow f_b = \frac{dT}{dx \sum P}$$

أي إن متوسط إجهاد الالتحام متناسب مع معدل التغيير في قوى الشد في الفولاذ.

$\sum P$: مجموع محيط قضبان الشد.

f_b : متوسط إجهاد الشد.

Y_{ct} : ذراع القوى الداخلية الشادة والضاغطة (Lever arm of internal forces) C, T



الشكل (2-2) القوى التفاضلية في القضبان

3-2 طول التثبيت في الفولاذ Development Length

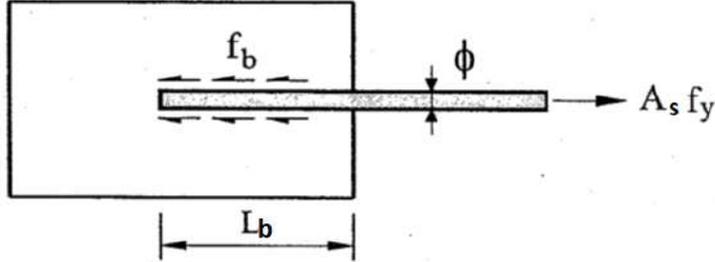
يُعرّف طول التثبيت بأنه الطول اللازم لإرساء الفولاذ في البيتون بغية التأكد من أن الفولاذ مثبت تماماً، ويحصل فيه إجهاد التحام كافٍ. من أجل فولاذ مجهد إلى حد إجهاد الخضوع يكون طول التثبيت هو أقصر طول في الفولاذ، والذي من أجله يزداد الإجهاد من الصفر حتى إجهاد الخضوع f_y . إذا كانت المسافة اعتباراً من النقطة التي يكون فيها الإجهاد في الفولاذ مساوياً إلى f_y وحتى نهاية القضيب أقل من طول التثبيت فإن القضيب ينفصل عن البيتون.

إن إجهاد الالتحام يساوي إلى قوة الشد في الفولاذ ويكون:

$$A_s f_y = f_b \times P \times L_b = f_b \times (\pi \times \phi \times L_b)$$

$$\frac{\pi \phi^2}{4} f_y = f_b \times P \times L_b = f_b \times (\pi \times \phi \times L_b)$$

$$L_b = \frac{\phi f_y}{4 f_b}$$



الشكل (3-2) قوى الشد وإجهادات الالتحام في القضبان

ϕ : قطر قضيب الفولاذ.

f_b : متوسط إجهاد الالتحام حيث أن المخطط الفعلي لإجهادات الالتحام قطعي وليس خطي.

A_s : مساحة مقطع الفولاذ.

f_y : إجهاد الخضوع في الفولاذ.

L_b : طول التثبيت.

يُلاحظ مما سبق أن طول التثبيت يتعلق بالأمور الآتية:

• قطر الفولاذ.

- شروط نهايات القضبان.
- توَضَع القضبان في القالب في أثناء الإنشاء.
- إجهاد الخضوع في الفولاذ.
- المقاومة المميزة في البيتون.

2-4 طول التثبيت وفق تعليمات الكود العربي السوري- الطبعة الرابعة:

من أجل القضبان التي لا يزيد قطرها على 35mm يكون:

1. من أجل القضبان عالية التماسك (ذات النتوءات) Deformed bars

- طول التثبيت الأساسي في حالة الشد والتسليح مستقيم مقدراً بوحدة mm:
- لا يقل عن الأكبر بين القيم الآتية:

$$L_b = \max \left\{ \begin{array}{l} 0.016 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \phi^2 \\ 0.075 \phi f_y \\ 300mm \end{array} \right.$$

- طول التثبيت الأساسي في حالة الضغط والتسليح مستقيم مقدراً بوحدة mm:
- لا يقل عن الأكبر بين القيم الآتية:

$$L_b = \max \left\{ \begin{array}{l} 0.253 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \phi \\ 0.05 \phi f_y \end{array} \right.$$

2. من أجل القضبان الملساء Plain bars

- طول التثبيت الأساسي في حالة الشد والتسليح مستقيم مقدراً بوحدة mm:
- لا يقل عن الأكبر بين القيم الآتية:

$$L_b = \max \left\{ \begin{array}{l} 0.79 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \phi \\ 0.15 \phi f_y \\ 300mm \end{array} \right.$$

- طول التثبيت الأساسي في حالة الضغط والتسليح مستقيم مقدراً بوحدة mm:

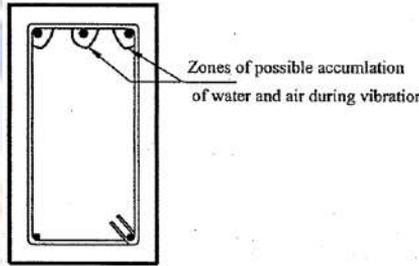
لا يقل عن ثلثي طول التثبيت الأساسي في حالة الشد.

حيث: f'_c, f_y مقدرة بوحدة MPa.

يتم جداء طول التثبيت المحسوب أعلاه بمعامل تصعيد في بعض الحالات الواردة في الجدول (1-2)، فمثلاً من أجل قضيب علوي (في حالة الشد أو الضغط)، وتزيد سماكة البيتون تحته على 300mm يجب تصعيد طول التثبيت الأساسي بالمعامل 1.4، لأن التجارب العملية أظهرت نقصاناً ملحوظاً في مقاومة الالتحام عندما تكون سماكة البيتون تحت الفولاذ 300mm فما فوق. يعود ذلك النقصان إلى أن فقاعات الهواء والماء تتجمع حول القضبان العلوية في أثناء الرج فيحصل ضعف في الالتحام في الأجزاء السفلية للقضبان.

الجدول (1-2) معاملات طول التثبيت حسب موقع القضبان

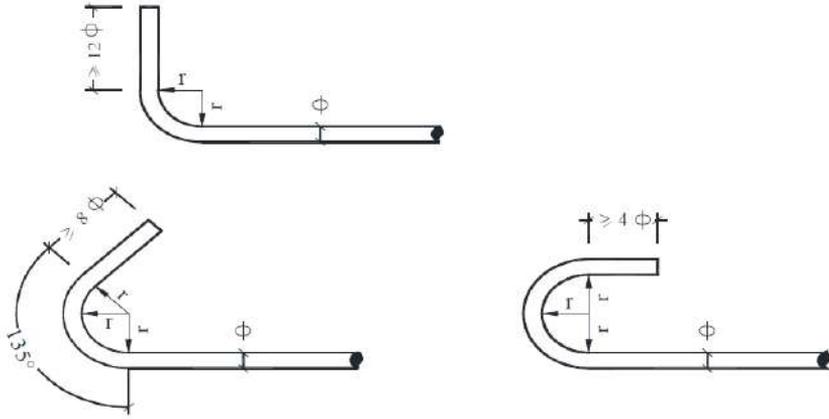
المعامل	نوعية قضيب التسليح ومكان استعماله
1.4	قضيب علوي (يزيد سمك الخرسانة تحته على 300mm)
1.2	كل قضيب من رزمة مؤلفة من قضيبين
1.4	كل قضيب من رزمة مؤلفة من ثلاث قضبان
1.1 x مساحة قطاع التسليح اللازم/مساحة قطاع التسليح الفعلي	أسيخ تزيد مساحة مقطعها على متطلبات العزم الحالي (المنعطف)
1.00	كل قضيب خلاف ذلك



الشكل (2-4) تجمع الفقاعات حول التسليح العلوي

2-5 أشكال العكفات النظامية Standard Hooks:

تعمل العكفات النظامية على زيادة طول التثبيت للقضبان عندما يتعذر تأمين ذلك بالامتداد المستقيم للقضيب، وذلك باستناده بالضغط على البيتون ضمن مجال انحناء العكفة. وتحدد زوايا العكفات النظامية بثلاث قيم 90° , 135° , 180° حيث يبين الشكل الآتي أشكال العكفات النظامية للحالات الثلاث:



الشكل (2-5) أشكال العكفات النظامية

يُحدد نصف قطر الانحناء r في العكفات النظامية، مقاساً من الحرف الداخلي للقضيب كما هو في الجدول (2-2) ولا يزيد على 6 أمثال القطر.

الجدول (2-2) نصف قطر انحناء العكفة

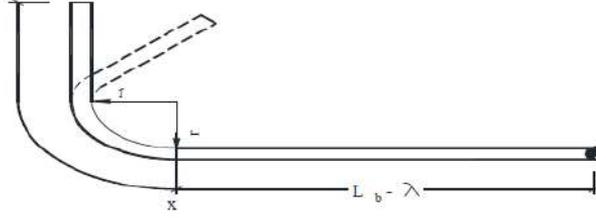
مكان العكفة	صلب أملس طري	صلب ذي نتوءات عالي المقاومة
نهاية إسوارة	2ϕ	2.5ϕ
نهاية قضيب مشدود	2.5ϕ	$(3-5)\phi$

طول التثبيت المكافئ للعكفة النظامية λ ، إذ يُحسب من بداية الانحناء حتى نهاية القضبان. ويؤخذ كما في الجدول (3-2):

الجدول (3-2) طول التثبيت المكافئ للعكفة

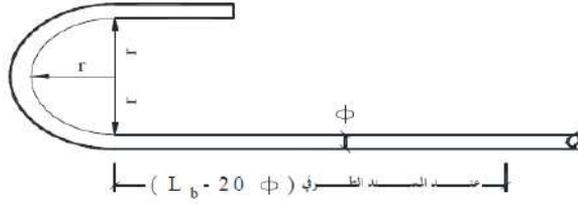
مكان العكفة	$90^\circ, 135^\circ$	180°
تسليح علوي	$4r$	20ϕ
تسليح سفلي	$6r$	

ولا يجوز أن تزيد قيمة λ بكل الأحوال على $24r$. أيضاً لا يمكن زيادة طول التثبيت المكافئ للعكفة النظامية بزيادة الطول المستقيم بعد الانحناء $L_b - \lambda$ كما هو مبين بالشكل. يجب تأمين الطول المستقيم $L_b - \lambda$ بعد الانحناء لضمان الإرساء الكامل ابتداءً من النقطة x .



الشكل (6-2) طول التثبيت المستقيم للعكفة النظامية

لا تستعمل العكفة النظامية 180° إلا في القضبان من الفولاذ الأملس الطري، إذ يكون استعمالها إلزامياً في نهاية كل قضيب مشدود، إذ تكون $\lambda = 20\phi$.

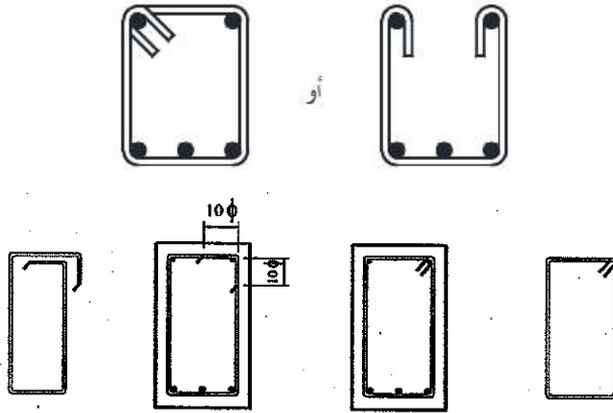


الشكل (7-2) طول التثبيت للعكفة النظامية 180°

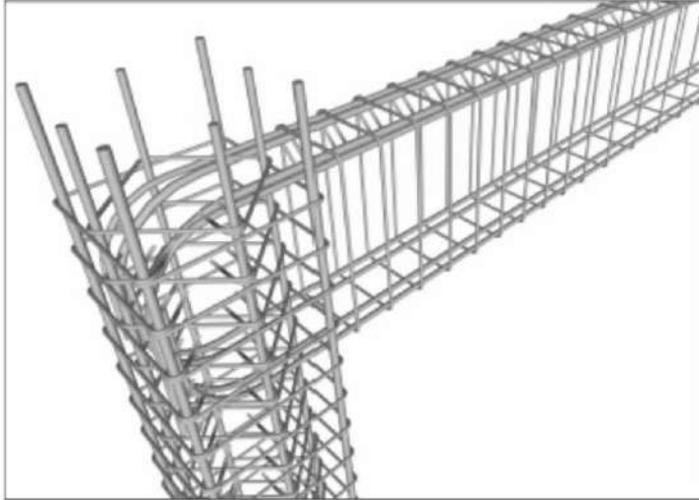
لا تستعمل العكفات النظامية في القضبان المعرضة للضغط دائماً (تسليح سفلي في مسند وسطي مثلاً)، وإن وجدت لا تساهم في زيادة طول التثبيت في الضغط.

2-6 تثبيت الأساور:

يتوجب استعمال العكفات في الأساور بزواوية 90° أو 150° كما في الشكل (7-2) مهما كانت نوعية التسليح المستعمل، ويجب ألا يقل نصف قطر الانحناء في الأساور عن القيم المحددة في الجدول السابق. ويكون التماسك محققاً في حالة الأساور التي تحتضن التسليح السفلي، وتكون معكوفة أو ملتفة حول التسليح العلوي كما هو مبين بالشكل، ويفضل أن يكون قفل الأساور تبادلياً على طول الجانز وضمن منطقة الضغط، كما يكون استعمال الأساور المغلقة إلزامياً في حال تعرض المقطع لعزم الفتل.



الشكل (8-2) تثبيت الأساور



الشكل (9-2) تسليح الجائز والعمود، مرجع رقم (11)

7-2 وصل القضبان:

إن الفرق بين التثبيت والتراكب هو أن التثبيت يحقق التماسك والتلاحم بين الفولاذ والبيتون في حين أن التراكب ينقل الجهود من قضيب إلى آخر.

1-7-2 وصلات الركوب Lap Splicing:

يتم وصل القضبان التي لا يزيد قطرها على 32mm في حالة الشد بطول لا يقل عن طول التثبيت L_b وتزداد بنسبة 30% من أجل نسبة عدد قضبان أقل من (2). في حين يتم وصل القضبان

المضغوطة بطول يساوي إلى 1.3 من طول التثبيت L_b . وإذا كان القضبان ذوي قطرين مختلفين يحسب طول التثبيت L_b بالاعتماد على القطر الأصغر.

الجدول (2-4) طول التراكب

الحد الأدنى للتراكب	طول التراكب	التسليح المستعمل/التسليح المطلوب	
$35\phi + 100mm$	$1.3L_b$	أقل من 2	حالة الشد
$30\phi + 100mm$	$1.0L_b$	أكثر أو تساوي 2	
$25\phi + 150mm$	$1.3L_b$	الحالات جميعها	حالة الضغط

يجب ألا يزيد عدد القضبان الموصولة في المحور الواحد على نصف عدد القضبان بالمقطع إذا كان معرضاً إلى عزم انعطاف مع قوة ضغط محورية مرافقة أو دونها ، ويجب ألا يزيد على ثلث عدد القضبان في المحور الواحد في العناصر المعرضة إلى قوة شد محورية مع عزم مرافق أو دونه. على أنه لا يفضل استعمال وصلات الركوب في العناصر المعرضة إلى قوى شد مطبقة على كامل مقطعها، ويستحسن اللجوء إلى اللحام أو الوصلات الميكانيكية. لا يجوز وصل القضبان في المقاطع المعرضة إلى عزم انعطاف أعظمي.



الشكل (2-10) وصلات القضبان

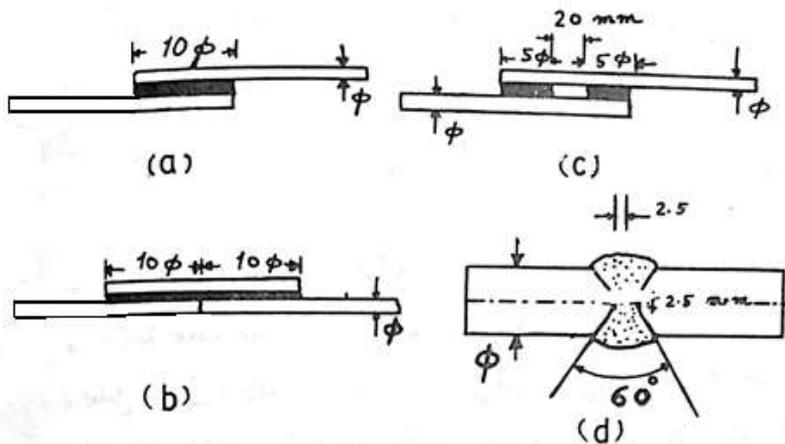
2-7-2 وصلات اللحام Bar Welding:

يتم الوصل باللحام وفقاً للشروط الآتية:

- لا يسمح باستعمال وصلات اللحام في الفولاذ الذي يتجاوز حد مرونته الاصطلاحي $500MPa$.

- يجب ألا يؤدي اللحام إلى تقليص الخواص الميكانيكية للفولاذ.
- لا يُسمح بلحام قضبان الفولاذ المعالج على البارد إلا إذا أخذ بالحسبان انخفاض مقاومتها.
- يجب أن يكون اللحام حسب المواصفات الإقليمية المعمول بها.
- يجب ان تظل محاور القضبان الملحومة على استقامة واحدة عند موضع اللحام.
- يجب اختبار عينات من القضبان الملحومة لإثبات صلاحيتها.
- يكون عدد القضبان المسموح بوصلها في مكان واحد من المقطع كما هو مبين في البند 2-7-1.

عند وصل قضيب بأخر عن طريق اللحام يجب تأمين ركوب مشترك وملحوم يعادل 10ϕ إذا كان الوصل عن طريق الركوب بالتداخل، الشكل (2-11a). أو يتم الوصل باستعمال جبيرة فولاذية بقضيب من قطر يساوي إلى قطر القضيبين الموصولين وبطول يساوي إلى 20ϕ ، كما هو موضَّح بالشكل (2-11b). لتجنب الهيجان الحراري عند وصل القضبان التي يتجاوز قطرها 25mm يتم تنفيذ اللحام على مسافات متقطعة تبلغ 5ϕ ويترك فراغ بينها يساوي إلى 20mm، الشكل (2-11c) ويتم ترك الفراغات نفسها في حال استعمال الجبيرة. يمكن استعمال اللحام التقابلي (اللحام طرفاً لطرف) في القضبان التي تتجاوز أقطارها 20mm وذلك بشطف نهاية كل قضيب ضمن زاوية معينة بحيث تشكل الوصلة الملحومة الحرف x كما هو موضَّح بالشكل (2-11d).



الشكل(2-11) وصلات اللحام الكهربائي

(a) الوصل بالركوب، (b) الوصل بالجبيرة، (c) ترك فراغ أثناء اللحام، (d) اللحام طرفاً لطرف

3-7-2 الوصلات الميكانيكية Mechanical Couplers

يتم عمل وصلات ميكانيكية عن طريق قلوطة نهايات القضبان من أجل أقطار تسليح أكبر أو تساوي 32مم، وتثبيتها بوساطة قطعة التثبيت الموضحة بالشكل (2-10) المعطاة من قبل شركات خاصة وفق أقطار القضبان وإجهادات خضوعها وذلك لتأمين نقل الإجهادات على نحو كامل.



الشكل (2-12) وصلات ميكانيكية

مثال تطبيقي:

أوجد كلاً من طول التثبيت وطول التراكب مقدراً بوحدة mm وذلك في كل من حالة الشد والضغط من أجل أقطار التسليح الموجودة من أجل فولاذ عالي المقاومة محلزن $f_y = 400MPa$ وفولاذ منخفض المقاومة أملس $f_y = 240MPa$ ، ومقاومة أسطوانية مميزة للبيتون تساوي $f'_c = 20MPa$

يتم ترتيب الحل كما في الجداول الآتية:

- طول التثبيت من أجل تسليح سفلي إذ إن الفولاذ عالي المقاومة محلزن (ذي نتوءات):

ϕ	حالة الشد Tension					حالة الضغط Compression			
	$0.016 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \phi^2$	$0.075 \phi f_y$	300 mm	L_b	L_b / ϕ	$0.253 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \phi$	$0.05 \phi f_y$	L_b	L_b / ϕ
12	206	360	300	360	30ϕ	272	240	272	22.6
14	280	420	300	420	30ϕ	317	280	317	22.6ϕ
16	366	480	300	480	30ϕ	362	320	362	22.6ϕ
18	464	540	300	540	30ϕ	407	360	407	22.6ϕ
20	572	600	300	600	30ϕ	453	400	456	22.6ϕ

ϕ

22	693	660	300	693	32 ϕ	498	440	498	22.6
25	894	750	300	894	36 ϕ	566	500	566	22.6
28	1122	840	300	1122	40 ϕ	634	560	634	22.6
32	1465	960	300	1465	46 ϕ	724	640	724	22.6

• طول التثبيت من أجل تسليح علوي إذ إنّ الفولاذ عالي المقاومة محلزن (ذي نتوءات):

ϕ	T		C	
	1.4L _b	1.4L _b / ϕ	1.4L _b	1.4L _b / ϕ
12	504	42 ϕ	380	31.7 ϕ
14	588	42 ϕ	444	31.7 ϕ
16	672	42 ϕ	507	31.7 ϕ
18	756	42 ϕ	570	31.7 ϕ
20	840	42 ϕ	634	31.7 ϕ
22	970	44 ϕ	697	31.7 ϕ
25	1252	50 ϕ	792	31.7 ϕ
28	1571	56 ϕ	887	31.7 ϕ
32	2052	64 ϕ	1014	31.7 ϕ

• طول التثبيت من أجل تسليح سفلي إذ إنّ الفولاذ منخفض المقاومة أملس:

ϕ	حالة الشد Tension				حالة الضغط Compression		
	$0.79 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \phi$	$0.15 \phi f_y$	300 mm	L _b	L _b / ϕ	L _b	L _b / ϕ
12	509	432	300	509	42.4 ϕ	339	28.3 ϕ
14	594	504	300	594	42.4 ϕ	396	28.3 ϕ
16	678	576	300	678	42.4 ϕ	452	28.3 ϕ
18	763	648	300	763	42.4 ϕ	509	28.3 ϕ
20	848	720	300	848	42.4 ϕ	565	28.3 ϕ
22	933	792	300	933	42.4 ϕ	622	28.3 ϕ
25	1060	900	300	1060	42.4 ϕ	707	28.3 ϕ
28	1187	1008	300	1187	42.4 ϕ	791	28.3 ϕ
32	1357	1152	300	1357	42.4 ϕ	904	28.3 ϕ

- طول التثبيت من أجل تسليح علوي إذ إنّ الفولاذ منخفض المقاومة أملس:

ϕ	T		C	
	$1.4L_b$	$1.4L_b / \phi$	$1.4L_b$	$1.4L_b / \phi$
12	712	59.4ϕ	475	39.6ϕ
14	831	59.4ϕ	554	39.6ϕ
16	950	59.4ϕ	633	39.6ϕ
18	1068	59.4ϕ	712	39.6ϕ
20	1187	59.4ϕ	791	39.6ϕ
22	1306	59.4ϕ	871	39.6ϕ
25	1484	59.4ϕ	989	39.6ϕ
28	1662	59.4ϕ	1108	39.6ϕ
32	1899	59.4ϕ	1266	39.6ϕ

- يُلاحظ أن طول التثبيت من أجل تسليح سفلي - فولاذ عالي المقاومة لا يتجاوز 40ϕ حتى قطر 28mm في حين طول التثبيت من أجل تسليح علوي - فولاذ عالي المقاومة لا يتجاوز 50ϕ حتى قطر 25mm ويصل إلى 56ϕ من أجل قطر 28mm. إن طول التثبيت من أجل تسليح علوي منخفض المقاومة أملس يصل إلى 60ϕ لكنه نادراً ما يستخدم في التسليح الطولي.
- طول التراكب من أجل فولاذ عالي المقاومة محلزن (ذي تنوعات):

ϕ	Splice							
	حالة الشد Tension				حالة الضغط Compression			
	$35\phi + 100$	$1.3L_b$	max	$\frac{Splice}{\phi}$	$25\phi + 150$	$1.3L_b$	max	$\frac{Splice}{\phi}$
12	520	468	520	43.3ϕ	450	494	494	41.2ϕ
14	590	546	590	42.15ϕ	500	577	577	41.2ϕ
16	660	624	660	41.25ϕ	550	659	659	41.2ϕ
18	730	702	730	40.6ϕ	600	741	741	41.2ϕ
20	800	780	800	40ϕ	650	824	824	41.2ϕ
22	870	900	900	40.9ϕ	700	906	906	41.2ϕ
25	975	1163	1163	46.5ϕ	775	1030	1030	41.2ϕ
28	1080	1459	1459	52.1ϕ	850	1153	1153	41.2ϕ
32	1220	1905	1905	59.5ϕ	950	1318	1318	41.2ϕ

- طول التراكب من أجل فولاذ أملس منخفض المقاومة:

ϕ	Splice							
	Tension حالة الشد				Compression حالة الضغط			
	$35\phi + 100$	$1.3L_b$	max	$\frac{Splice}{\phi}$	$25\phi + 150$	$1.3L_b$	max	$\frac{Splice}{\phi}$
12	520	661	661	55.1ϕ	450	441	450	37.5ϕ
14	590	772	772	55.1ϕ	500	514	514	36.7ϕ
16	660	882	882	55.1ϕ	550	588	588	36.7ϕ
18	730	992	992	55.1ϕ	600	661	661	36.7ϕ
20	800	1102	1102	55.1ϕ	650	735	735	36.7ϕ
22	870	1213	1213	55.1ϕ	700	808	808	36.7ϕ
25	975	1378	1378	55.1ϕ	775	919	919	36.7ϕ
28	1080	1543	1543	55.1ϕ	850	1029	1029	36.7ϕ
32	1220	1764	1764	55.1ϕ	950	1176	1176	36.7ϕ

يُلاحظ أن طول التراكب من أجل فولاذ عالي المقاومة في حالة الشد لا يتجاوز 52ϕ حتى قطر 28mm في حين طول التراكب من أجل فولاذ منخفض المقاومة لا يتجاوز 55ϕ .

الفصل الثالث

القَصّ في الجيزان المسلّحة

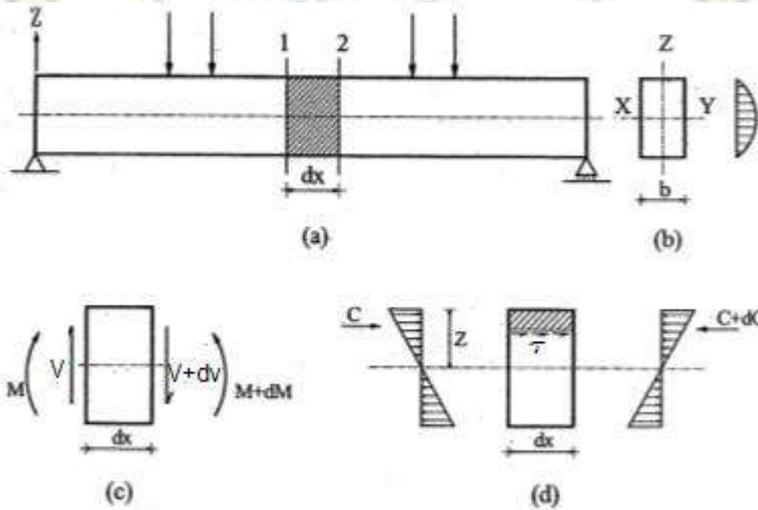
Shear in Reinforced Concrete Beams

1-3 مقّمة:

تقاوم جيزان البيتون المسلّح الأحمال الشاقولية بوساطة العزوم الداخلية والجهد القاطع. أثناء تصميم الجيزان البيتونية المسلّحة تتم دراسة الانعطاف أولاً إذ يتم تحديد أبعاد المقطع البيتوني بحسب عزم الانعطاف ثم يتم التصميم على الجهد القاطع (القص). بما أن الانهيار بالقصّ قد يكون مفاجئاً وهشاً فإنه في التصميم على القصّ يجب التحقق من أن مقاومة القصّ تساوي أو تتجاوز المقاومة الانعطافية في نقاط الجائز كلها.

2-3 إجهاد القصّ في الجيزان المسلّحة Shear Stress in Elastic Beams:

ليكن لدينا الجائز البسيط المبين بالشكل (1-3) والمصنوع من مادة مرنة متجانسة متماثلة الخواص، وهو خاضع إلى حمولات شاقولية واقعة في مستوي التناظر. إذا تم اعتبار شريحة شاقولية طولها يساوي إلى dx واقعة بين المقطعين (1-1)-(2-2) المعرضين إلى عزمي انعطاف M , $M+dM$ وقوى قص V , $V+dV$ على الترتيب.



الشكل (1-3) إجهادات القصّ في المقطع

إن قوى الضغط في الشكل (d) والتي هي محصلة الإجهادات النازمية الناتجة عن عزم الانعطاف وتمثل ب C و C+dC. بأخذ توازن الجزء المهشّر فقط، تكون هناك إجهادات قص أفقية من أجل موازنة القوة dC:

$$dC = \tau.b.dx$$

$$\frac{dC}{dx} = \tau.b \quad \text{وعليه:}$$

$$\sigma_x = \frac{M}{I_z} y \quad \text{ويكون الإجهاد النازمي الناتج عن عزم الانعطاف:}$$

ولكن قوة الضغط C:

$$C = \int \sigma_x dA = \int \frac{M}{I_z} y.dA = \frac{M}{I_z} \int y.dA = \frac{M}{I_z} S_z$$

$$C = \frac{M}{I_z} S_z \Rightarrow \frac{dC}{dx} = \frac{dM}{dx} \frac{S_z}{I_z}$$

ولكن:

$$\frac{dM}{dx} = V; \quad \frac{dC}{dx} = \tau.b$$

بالتعويض يكون:

$$\tau = \frac{V.S_z}{b.I_z} \quad (1-3)$$

V: قوة القص المطبقة على المقطع العرضي.

I_z: عزم عطالة المقطع العرضي حول المحور Z.

S_z: العزم الستاتيكي لنصف المقطع العرضي حول المحور Z.

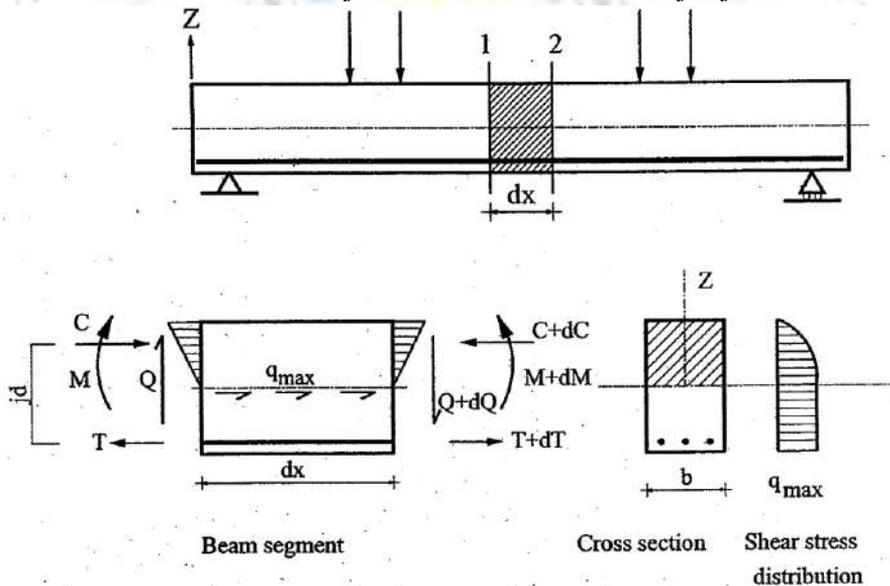
b: عرض مقطع العنصر في المنطقة المطلوب حساب إجهاد القص فيها.

تمثل المعادلة (1-3) قيمة إجهاد القص من أجل مقطع غير متشقق، ويبين الشكل (b) مخطط إجهاد القص.

3-3 الإجهادات المماسية في جيزان البيتون المسلّح المتشققة Shear Stress in Cracked REINFORCED CONCRETE Beams

من الممكن استعمال المعادلة العامة رقم (1-3) التي تعطي توزيع الإجهادات المماسية في المقاطع المتجانسة Homogeneous والمعرضة إلى انعطاف بسيط في مقاطع البيتون المسلّح، وذلك باعتبار مقطع البيتون المسلّح مادة واحدة عن طريق أخذ جداء مساحة الفولاذ بمعامل التحويل n . فتكون مساحة مقطع البيتون المسلّح مساوية إلى مساحة الجزء المضغوط من البيتون إضافة إلى مساحة الفولاذ مضروبة بالمعامل n .

بأخذ عنصر تقاضلي قدره dx من جائز بسيط من البيتون المسلّح ذي مقطع مستطيل ومعرض إلى عزم انعطاف بسيط حيث M على جهة و $M+dM$ على الجهة الأخرى كما في الشكل (2-3). إن قوى الضغط الموافقة والتي هي محصلة الإجهادات الناعمية هي C , $C+dC$.



الشكل (2-3) توزيع إجهادات القص في المقطع

$$dC = \tau_{max} b dx$$

وعليه يمكن الكتابة:

$$C = \frac{M}{j \times d}$$

من الشكل:

$$\frac{dC}{dx} = \frac{dM}{j \times d \times dx}$$

$$\frac{dM}{dx} = V; \quad \frac{dC}{dx} = \tau_{\max} \cdot b$$

بالتعويض:

$$\tau_{\max} = \frac{V}{j \times d \times b}$$

في حالة الجهد القاطع تؤخذ القيمة j مساوية إلى 0.75 :

$$\tau_{\max} = \frac{V}{0.75d \times b} \quad (2-3)$$

3-4 انهيار الجيزان بالقص:

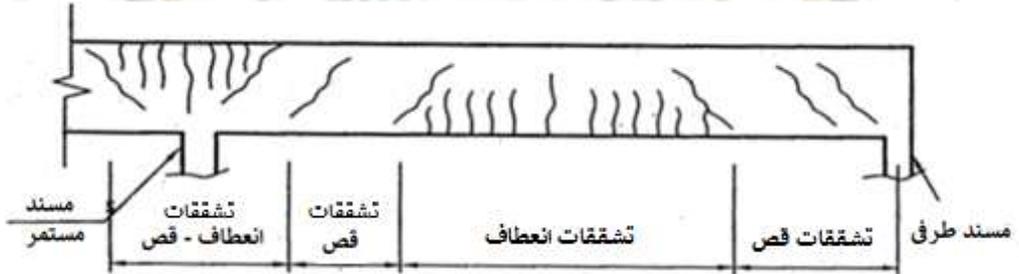
3-4-1 تشققات القص **Inclined Cracking**:

هناك نوعان من التشققات المائلة الناشئة في جيزان البيتون المسلح:

- تشققات القص **Web-shear cracking**

- تشققات الانعطاف والقص **Flexural-Shear Cracking**

يحدث النوع الأول قرب المساند ويكون مائلاً وذلك عندما تكون إجهادات الشد الأساسية الناتجة عن القص أكبر من مقاومة الشد في البيتون. بينما يكون النوع الثاني امتداداً لتشققات الانعطاف الشاقولية ويحدث عندما يكون إجهاد الشد الأساسي الناتج عن الانعطاف والقص معاً أكبر من مقاومة الشد في البيتون.



الشكل (3-3) تشققات كل من الانعطاف والقص

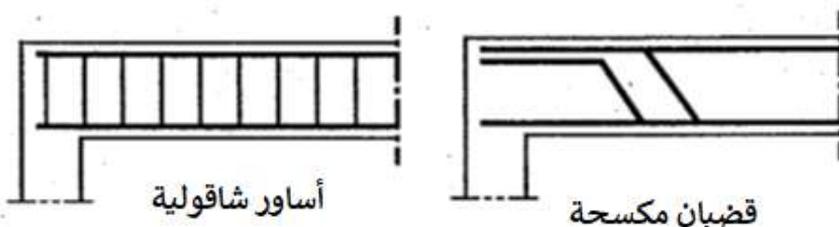
3-4-2 مقاومة القص في البيتون المسلح:

يتحمل البيتون جزءاً من الإجهاد المماسي المطبق على المقطع ويسمى τ_0 ، بينما يتم تحميل

الجزء الباقي إلى أحد أنواع التسليح الآتية، وتسمى بالتسليح العرضي **Transverse Reinforcement**.

- أساور شاقولية **Stirrups** وتكون بشكل U أو مغلقة بفرعين أو مطوّقة للمقطع.

- قضبان مائلة بزوايا 45 درجة وتكون إما قضبان منفردة وإما قضبان ناتجة عن تكسيح بعض القضبان الطولية العاملة على الشد وتثبيتها في منطقة الضغط بصورة مناسبة Bent-up bars، وعادة يتم عمل قضبان مكسحة في جيزان الحوائط أما في الطوابق المتكررة فيتم الاعتماد على الأساور لسهولة العمل بها.



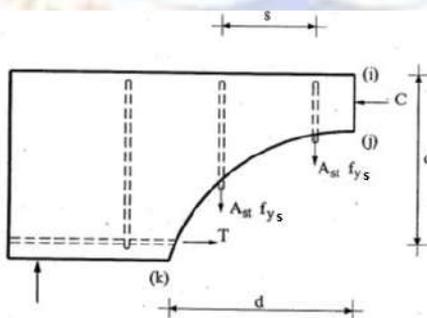
الشكل (3-1) أشكال تسليح القص

5-3 سلوك الجيزان المسلحة بتسليح عرضي Transverse Reinforced Beam's Behavior

1-5-3 سلوك الجيزان ذات الأساور الشاقولية:

إن الغاية من تسليح القص هي منع الانهيار المفاجئ بالقص حيث أظهرت الدراسات أن تسليح القص خالٍ تقريباً من الإجهاد قبل تشكل التشققات (التشققات القطرية). بعد حدوث التشققات القطرية يؤثر تسليح القص على مقاومة الجائز بالنقاط الآتية:

- جزء من قوة القص يُقاوم بواسطة تسليح القص المعامد للتشققات.
- وجود تسليح القص يحد من نمو التشققات القطرية ويخفض انتشارها إلى منطقة الضغط.
- إن وجود الأساور يعزز من مقاومة البيتون بفعل التطويق.



الشكل (3-4) القوى في الأساور الشاقولية

يفرض قوى القص في الأساور هي V_s ، ويفرض عدد الأساور المعرضة للتشققات هو n ، التباعد بين الأساور هو S ، وزاوية التشققات هي 45° فيكون:

$$n = \frac{0.75d}{S}$$

$$V_s = n \cdot A_{st} \cdot f_{ys}$$

$$V_s = A_{st} \cdot f_{ys} \frac{0.75d}{S}$$

A_{st} : مساحة مقطع الأساور .

ويكون إجهاد القص الذي تتحمله الأساور من المعادلة رقم (2-3):

$$\tau_s = \frac{V_s}{0.75d \times b}$$

بالتعويض يكون:

$$\tau_s = \frac{A_{st} \times f_y \times 0.75d}{0.75d \times b \times S} = \frac{A_{st} \times f_{ys}}{b \times S}$$

ويكون تسليح الأساور في المقطع العرضي:

$$A_{st} = \frac{\tau_s \times b \times S}{f_{ys}}$$

وبأخذ مساهمة البيتون على القص بالحسبان يكون:

$$A_{st} = \frac{(\tau_u - \tau_0) \times b \times S}{f_{ys}}$$

وبتصعيد الحملات يكون:

$$A_{st} = \frac{(\tau_u - \tau_{0u}) \times b \times S}{f_{ys}} \quad (3-3)$$

τ_0, τ_{0u} : إجهادات القصّ في البيتون وعادةً تهمل هذه الإجهادات لصالح الأمان.

f_{ys} : إجهاد خضوع فولاذ الأساور ولا يزيد على 300MPa في الجوائز العادية.



الشكل(3-4) الأساور والتكسيح في الجائز، مرجع رقم(11)

3-5-2 حساب مساهمة البيتون على القص:

تختلف نسبة مساهمة البيتون على القصّ بحسب ظروف التنفيذ وتعدّ وفق تعليمات الكود العربي السوري كنسبة من الإجهاد المماسي الذي يقاومه المقطع البيتوني المسلّح بتسليح قص أصغري τ_{cu} كما يأتي:

- $\tau_{0u} = 0$ تهمل مساهمة البيتون على القصّ في الجيزان في حال كون المقطع المدروس يتقاطع أو ينطبق على فاصل صب أفقي أو شاقولي أو مائل وعندما يكون جزء من تسليح الشد الطولي الرئيس الموجب منتهياً ضمن المجاز وفي منطقة الشد.
- $\tau_{0u} = 0.35\tau_{cu}$ في حال غياب أحد الشرطين السابقين.
- $\tau_{0u} = 0.7\tau_{cu}$ في حال غياب الشرطين السابقين.

يُعطى الإجهاد المماسي الذي يقاومه المقطع البيتوني المسلّح بتسليح قص أصغري τ_{cu} في العناصر المعرضة إلى القصّ والانحناء معاً سواءً أكانت في العناصر الخنّية أو البلاطات التي يزيد سمكها على 20cm بالعلاقة:

$$\tau_{cu} = 0.23\sqrt{f'_c}$$

f'_c : المقاومة المميزة للبيتون على الضغط مقدرة بوحدة MPa.

3-5-3 التباعد بين الأساور (S) Stirrup's Spacing:

يجب أن يُحقق التباعد بين الأساور الشروط الآتية وفق تعليمات الكود العربي السوري:

• في الجيزان المتدلّية Projected Beams:

1- لا يزيد على الارتفاع الفعال مقسوماً على /2/.

2- لا يزيد على 300mm ولا يقل عن 100mm.

$$S = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{2} \\ 300mm \end{array} \right.$$

• في الجيزان المخفية الحاملة لبلاطات الهوردي المعصبة Hidden Beams وفي الجيزان التي

يكون عرضها أكبر من 3 مرات ارتفاعها $b > 3h$ يسمح للتباعد بين الأساور أن يصل إلى

قيمة d:

$$S = \min \left\{ \begin{array}{l} d \\ 300mm \end{array} \right.$$

• في الجيزان المسلحة على الضغط إضافةً إلى تسليح الشد يجب أن تطوّق الأساور كامل

القطاع وألا تزيد المسافة بينها على 15 مرة قطر القضيب المضغوط أو 20cm أيهما أقل،

وذلك لتجنب تحنّب القضبان المضغوطة.

$$S = \min \left\{ \begin{array}{l} 15\phi_c \\ 200mm \end{array} \right.$$



الشكل (3-5) أشكال الأساور في الجيزان، مرجع رقم (11)

3-5-4 الحد الأدنى للتسليح العرضي في طريقة الحدود القصوى:

عند حساب إجهاد القص τ_u إذ $\tau_u = \frac{V_u}{0.75d \times b_w}$ نصادف إحدى الحالتين الآتي

تين:

- لا يُحسب التسليح العرضي ويُكتفى بمساحة تسليح دنيا. $\tau_u \leq \tau_{cu}$

- يتم تحميل البيتون إجهاداً مماسياً افتراضياً حدّياً قدره τ_{0u} كجزء من مقاومة القصّ والجزء الباقي يحتمل إلى تسليح القص، هذا ولا يجوز أن يتم تحميل التسليح المائل (المكسّح) أكثر من نصف الإجهاد المماسي الناتج عن القص.

تؤخذ مساحة التسليح الدنيا كما يأتي:

1- في الجيزان العادية:

$$A_{sr\min} = \frac{0.35}{f_{ys}} b_w \times S \quad (4-3)$$

- 2- في الجيزان التي يزيد عرضها على ضعف ارتفاعها تخفض قيمة التسليح الدنيا بشرط ألا تقل قيمة التسليح العرضي عن 1.33 مرة من مساحة التسليح العرضي الحسابي وأن يتم إهمال مقاومة البيتون على القصّ كلياً.

$$A_{sr\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1.33A_{sr} \\ \frac{0.35}{f_{ys}} b_w \times d \end{array} \right.$$

إذ إنّه لا بد من وجود الأساور في الجيزان رغم قدرة البيتون على مقاومة القصّ في بعض الأحيان، للأغراض الآتية:

- زيادة صلابة الجانز.
- تثبيت القضبان الطولية.
- تمنع التمدد والتقلص إلى حد ما.
- توزيع الجهود في جسم الجانز.

3-5-5 سلوك الجيزان المسلّحة بتسليح عرضي مائل بزوايا α :

تكون تشققات القصّ مائلة على المحور الأفقي وتختلف زاوية الميل α تبعاً لعوامل عدة. يكون عادة ميل هذه التشققات صغيراً قرب المساند وتزداد الزاوية α كلّما تم الابتعاد عن المساند. وقد وُجد أن تشققات القصّ العظمى الناتجة عن القصّ تميل على المحور الأفقي بزوايا قدرها $\alpha = 45^\circ$ تقريباً، وبالتالي يمكن مقاومتها باستعمال قضبان مائلة بزوايا 45° معامدة لتشققات القصّ (زاوية معاكسة) إضافة إلى الأساور الشاقولية.

تكون معادلة إجهاد القصّ في حالة الأساور المائلة:

$$\tau_u = \frac{A_{sr} f_y}{b \times S} (\cos \alpha + \sin \alpha)$$

α : زاوية ميل تسليح القص. ومن أجل زاوية $\alpha = 45^\circ$ يكون $\left(\cos \alpha = \sin \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2} \right)$

بالتعويض:

$$\tau_u = \frac{A_{st} f_y}{b \times S} \left(\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \right) = \frac{\sqrt{2} A_{st} f_y}{b \times S}$$

• عليه من أجل أساور شاقولية تكون $\alpha = 90^\circ$ ويكون $(\cos \alpha = 0, \sin \alpha = 1)$:

$$\tau_u = \frac{A_{st} f_y}{b \times S}$$

وهي المعادلة ذاتها التي تم الحصول عليها سابقاً.

بأخذ مساهمة البيتون على القص بالحسبان:

$$(\tau_u - \tau_{0u}) = \frac{\sqrt{2} A_{st} f_y}{b \times S}$$

ومنه يكون التباعد بين القضبان المكسحة:

$$S = \frac{\sqrt{2} A_{st} f_y}{b \times (\tau_u - \tau_{0u})}$$

وتكون مساحة مقطع القضبان المكسحة:

$$A_{st} = \frac{S \times b \times (\tau_u - \tau_{0u})}{\sqrt{2} f_y}$$

3-5-6 حساب مساحة القضبان المكسحة في حال تكسيح صفيين أو أكثر من القضبان:

في هذه الحالة تتم مقاومة إجهاد القص باستخدام أساور شاقولية وقضبان مائلة إضافة إلى مساهمة البيتون. يتم اتباع الخطوات الآتية:

1- يُحسب إجهاد القص المقاوم بوساطة التسليح:

$$\tau_{su} = \tau_u - \tau_{0u}$$

2- يتم فرض قيمة مساحة الأساور الشاقولية A_{st} والتباعد بينها بحسب الشروط ثم حساب مساهمتها في تحمل إجهاد القص كما يأتي:

$$\tau_{sut} = \frac{A_{st} f_{ys}}{b \times S}$$

3- تُحسب القيمة المتبقية من إجهاد القص التي يتحملها التسليح المكسح:

$$\tau_{sub} = \tau_{su} - \tau_{sut} \leq \frac{1}{2} \tau_{su}$$

4- تُحسب المساحة المطلوبة للقضبان المكسحة من المعادلة:

$$A_{Sb} = \frac{\tau_{sub} \times S \times b}{f_y (\sin \alpha + \cos \alpha)}$$

وإذا كانت الزاوية $\alpha = 45^\circ$ تصبح المعادلة:

$$A_{Sb} = \frac{\tau_{sub} \times S \times b}{\sqrt{2} f_y}$$

3-5-7 حساب مساحة القضبان المكسحة في حال تكسيح صف من القضبان:

في هذه الحالة يتم اتباع الإجراءات السابقة نفسها ولكن لحساب مساحة المقطع العرضي للتسليح المكسح يتم استخدام المعادلة الآتية:

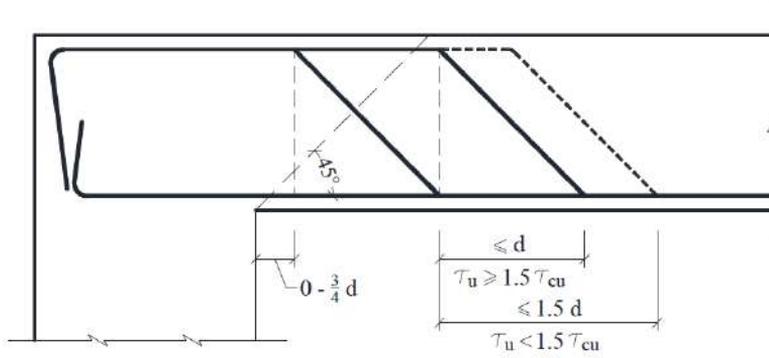
$$A_{Sb} = \frac{\tau_{sub} \times S \times b}{f_y \sin \alpha}$$

وإذا كانت الزاوية $\alpha = 45^\circ$ تصبح المعادلة:

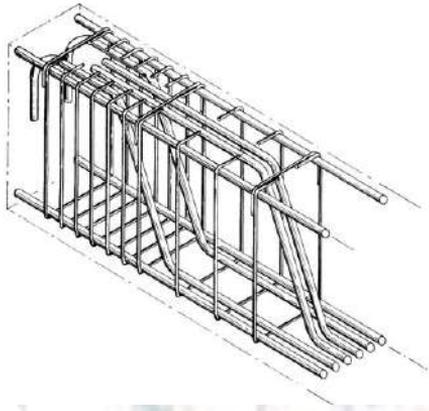
$$A_{Sb} = \frac{\sqrt{2} \tau_{sub} \times S \times b}{f_y}$$

3-5-8 اشتراطات التكسيح:

- يجب أن يتم اختيار القضبان المكسحة من القضبان الداخلية ويُراعى أن تكون متناظرة بالنسبة إلى المقطع العرضي للعنصر.
- يجب أن يحتوي الخط المائل بزاوية $\alpha = 45^\circ$ على محور العنصر والمرسوم من أسفل الوجه الداخلي للمسند على إسوارة أو قضيب مكسح على الأقل.
- لا تزيد المسافة بين كل صفتين من القضبان المكسحة على عمق الجائز الفعال d، إذا كانت الإجهادات المماسية أكبر أو تساوي مرة ونصف الإجهاد المماسي الذي يقاومه المقطع البيتوني المسلح بتسليح قص أصغري $\tau_{cu} : \tau_u \geq 1.5 \tau_{cu}$. وإذا قلت الإجهادات المماسية عن ذلك فيمكن زيادة المسافة بين القضبان المكسحة إلى مرة ونصف العمق الفعال للجائز d.



الشكل (7-3) ترتيب القضبان الطولية المكسحة عند المسند، الكود العربي السوري الطبعة الرابعة



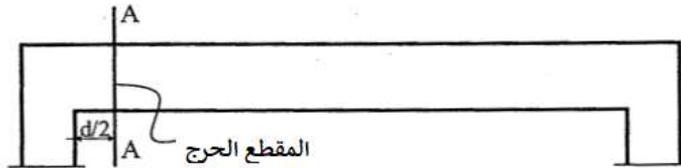
- لا تقاوم القضبان المكسحة أكثر من نصف الإجهادات المماسية.
- يبدأ أول صف بالتكسيح من مستوي شاقولي يبعد عن وجه الاستناد مسافة تتراوح بين 0 و 3/4 العمق الفعال d.

6-3 المقطع الحرج للقص:

تؤخذ قوة القص الحدية عند المقطع الحرج

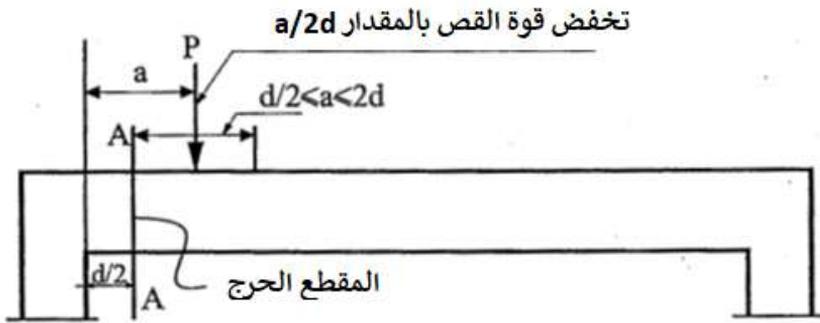
للقص إذ يُعرّف المقطع الحرج للقص كما يأتي:

- 1- في الحالة العامة يؤخذ المقطع الحرج للقص على مسافة قدرها $d/2$ من وجه الاستناد. وذلك على اعتبار أن رد فعل العمود يوولد ضغطاً شاقولياً في منطقة المسند، ولا توجد قوى مركزة قرب المسند على مسافة أقل من $d/2$ من وجه الاستناد. في هذه الحالة يستمر التسليح العرضي المحسوب من أجل المقطع الحرج ضمن المسافة الواقعة بين المقطع الحرج ومسافة قدرها 5cm من وجه الاستناد.



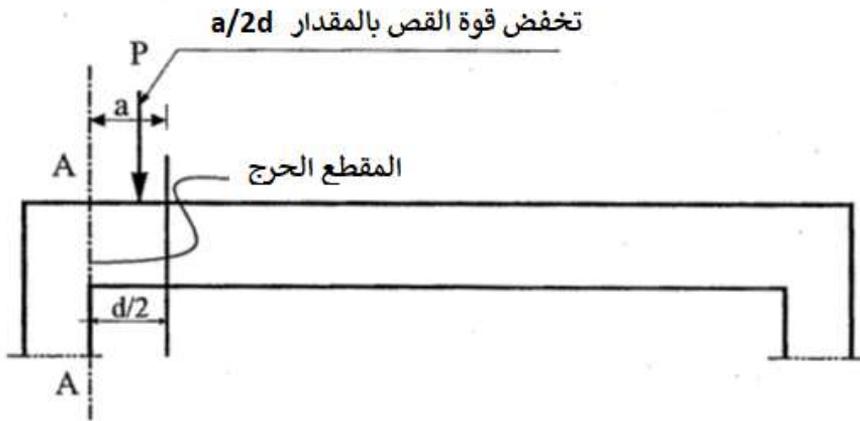
الشكل (8-3) أ المقطع الحرج للقص - الحالة العامة

- 1- إذا كانت هناك حمولة مركزة مطبقة ضمن مسافة قدرها (a) عن وجه الاستناد إذ إنَّ (a) تحقق الشرط $\frac{d}{2} < a \leq 2d$ يؤخذ عندها المقطع الحرج على مسافة قدرها $d/2$ من وجه الاستناد، وتتخذ قوة القص الحرجة مساوية إلى قوة القص الحسابية مضروبة بالمقدار $a/2d$.



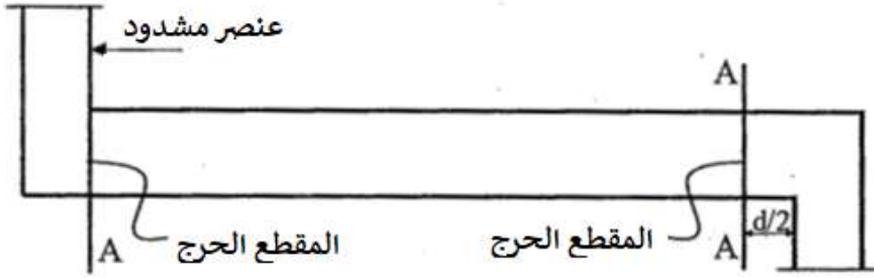
الشكل (8-3) ب المقطع الحرج للقص - حالة قوة مركزة قريبة من المسند $d/2 < a < 2d$

- 2- إذا كانت هناك حمولة مركزة مطبقة ضمن مسافة (a) إذ $a \leq \frac{d}{2}$ يؤخذ المقطع الحرج عند وجه الاستناد مباشرة وتتخذ قوة القص الحرجة مساوية إلى قوة القص الحسابية مضروبة بالمقدار $a/2d$.



الشكل (8-3) ج المقطع الحرج للقص - حالة قوة مركزة قريبة من المسند $a < d/2$

- 3- يؤخذ المقطع الحرج للقص عند وجه الاستناد مباشرة عندما يوَلد العمود منطقة شد في منطقة الاستناد.



الشكل (8-3) د المقطع الحرج للقص - حالة مسند مشدود

4- كذلك الأمر يؤخذ المقطع الحرج عند وجه الاستناد مباشرة في الجيزان المقلوبة Inverted Beams.

5- عندما يكون عرض الاستناد (b_s) كبيراً أو يكون ارتفاع الجائز كبيراً بالنسبة إلى طول المجاز تؤخذ قوة القص الحرجة عند وجه الاستناد.

3-7 الحد الأعلى لإجهاد القص (الإجهاد المماسي):

من أجل تقادي الانهيار بالضغط المماسي ومن أجل منع تشققات القص الكبيرة، تم تحديد قيمة أعظمية لإجهاد القص وهي كما يأتي:

- في حال التسليح بأساور شاقولية فقط:

$$\tau_{u \max} = 0.65 \sqrt{f'_c}$$

- في حال التسليح بأساور شاقولية فقط وقضبان مائلة (مكسحة):

$$\tau_{u \max} = 0.8 \sqrt{f'_c}$$

وعليه يتم التسليح بأساور شاقولية فقط وعندما يزيد إجهاد القص الحدي τ_u على القيمة العظمى $\tau_{u \max} = 0.65 \sqrt{f'_c}$ يفضل تغيير أبعاد المقطع إما بزيادة الارتفاع أو زيادة عرض المقطع. وعند الضرورة أو في جيزان الحوائط يتم إضافة قضبان مائلة ورفع قيمة الإجهاد الأعظمي إلى $0.8 \sqrt{f'_c}$. في هذه الحالة يكون توزع الإجهاد الحدي كما يأتي:

$$\tau_u = \tau_{0u} + \tau_{sut} + \tau_{sub}$$

τ_{0u} : مساهمة البيتون على القص.

τ_{sut} : إجهاد القص الذي تتحمله الأساور الشاقولية.

τ_{sub} : إجهاد القص الذي تتحمله القضبان المائلة.

f'_c : مقدره بواحدة MPa.

وتجدر الإشارة إلى أنه لا يجوز تحميل القضبان المكسحة بأكثر من نصف قيمة إجهاد القص الذي يحمله الفولاذ أي $(\tau_u - \tau_{0u})/2$ والباقي يتم تحميله إلى الأساور الشاقولية.

عندما يزيد الإجهاد الحدي على $\tau_{u\max} = 0.8\sqrt{f'_c}$ فإن المقطع مرفوض وسيحصل فيه تشققات وانهيار وعليه يتم تخفيض إجهاد القص الحدي الحاصل في المقطع بإحدى الطرائق الآتية:

- زيادة أبعاد المقطع البيتوني للجائز.
- تحسين نوعية البيتون وزيادة المقاومة الأسطوانية المميزة f'_c .
- إعادة ترتيب الجملة الإنشائية الحاملة بحيث تنخفض قيمة الحمولات على الجائز.

3-8 العناصر التي لا تحتاج إلى تسليح عرضي (تسليح قص):

- البلاطات المليئة وقواعد الأساسات.
- الجيزان التي لا يزيد ارتفاعها على 250mm أو 2.5 مرة سماكة جناحها، وبشرط ألا يزيد الإجهاد الحدي فيها على 75% من الإجهاد المماسي الذي يقاومه المقطع البيتوني المسلح بتسليح قص أصغري τ_{cu} :

$$h_b \leq \min \begin{cases} 250mm \\ 2.5t_f \end{cases} ; \quad \tau_u \leq 0.75\tau_{cu}$$

3-9 شروط تحديد قطر الأساور الشاقولية Stirrups Daimeter

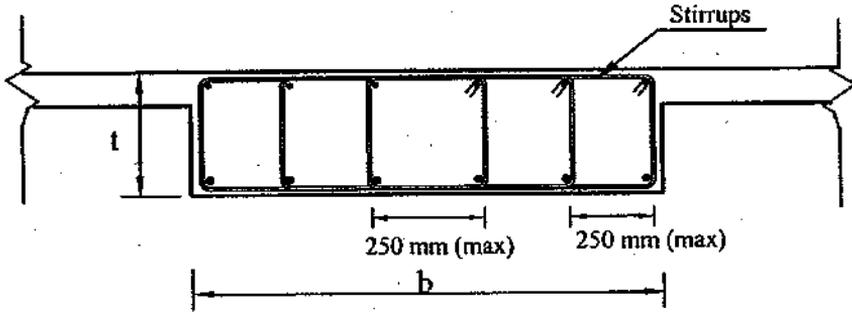
حسب اشتراطات الكود العربي السوري لا يقل قطر الأساور الشاقولية عن أكبر القيمتين:

$$\phi_{st} \geq \max \begin{cases} 6mm \\ \frac{\phi_{l\max}}{3} \end{cases}$$

$\phi_{l\max}$: أكبر قطر تسليح طولي.

لا يزيد قطر الأساور عادة على 12mm ليسهل تشكيل الأساور، خلا أساور الفتل التي تكون محيطة بكامل المقطع. كذلك الأمر لا يستخدم فولاذ عالي المقاومة بسبب قساوته وصعوبة تشكيل الأساور في الورشة.

ملحوظة مهمة: في الجيزان التي يزيد عرضها على 40cm أو أكثر، والجيزان التي يتجاوز عرضها ارتفاعها يتم استخدام أساور بما لا يقل عن أربعة أذرع. ولا تزيد المسافة بين الأذرع على 25cm.



الشكل (3-9) أساور الجائز المخفي

10-3 الإجهاد المماسي الذي يتحمله البتتون في حالات التحميل جميعها:

- ذُكر سابقاً أنه يمكن الاعتماد على العلاقة التجريبية الآتية:

$$\tau_{cu} = 0.23\sqrt{f'_c}$$

ولكن تُعطى العلاقة العامة كما يأتي:

$$\tau_{cu} = \left[0.16\sqrt{f'_c} + 18\mu \frac{V_u}{M_u} d \right] \leq 0.31\sqrt{f'_c}$$

μ : نسبة التسليح الطولي إذ $\mu = \frac{A_s}{b_w d}$.

V_u : قوة القص عند المقطع المدروس مقدرة بوحدة kN.

M_u : قيمة العزم عند المقطع المدروس مقدراً بوحدة kN.m.

- في حال ترافق القص مع قوة ضاغطة فإن تحمل المقطع الببتوني على القص يزداد وعليه يكون إجهاد القص الذي يتحمله الببتون كما يأتي:

$$\tau_{cu} = \left[1 + 0.07 \frac{N'_u}{A_c} \right] 0.16\sqrt{f'_c} \leq 0.31\sqrt{f'_c}$$

N'_u : قوة الضغط الحدية المطبقة على المقطع.

- على العكس في حال تعرّض المقطع إلى قوة شادة فإن تحمل المقطع الببتوني على القص ينقص وعليه يكون:

$$\tau_{cu} = \left[1 - 0.3 \frac{N_u}{A_c} \right] 0.16\sqrt{f'_c} \geq 0$$

- عند ترافق القص مع عزم فتل رئيس بحيث يحقق إجهاد الفتل العلاقة:

$$\tau_{tu} > 0.13\sqrt{f'_c}$$

τ_{tu} : الإجهاد المماسي الحدّي الناجم عن القتل.
عندها يكون إجهاد القصّ الذي يتحمله البيتون ومساهمة البيتون كما في الحالات الآتية:
○ حالة مثالية:

$$\tau_{cu} = \tau_{0u} = \frac{0.16\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\tau_{tu}}{1.2\tau_u}\right)^2}}$$

τ_{tu} : الإجهاد المماسي الحدّي الناجم عن القتل.

τ_u : الإجهاد المماسي الحدّي الكلي في القطاع المدروس.

○ في حال إيقاف التسليح أو تكسيحه:

$$\tau_{cu} = \tau_{0u} = \frac{0.08\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\tau_{tu}}{1.2\tau_u}\right)^2}}$$

○ في حال وجود فاصل صب شاقولي أو مائل:

$$\tau_{cu} = \tau_{0u} = 0$$

3-11 التسليح العرضي في منطقة استناد جوائز ثانوي على جوائز رئيس:

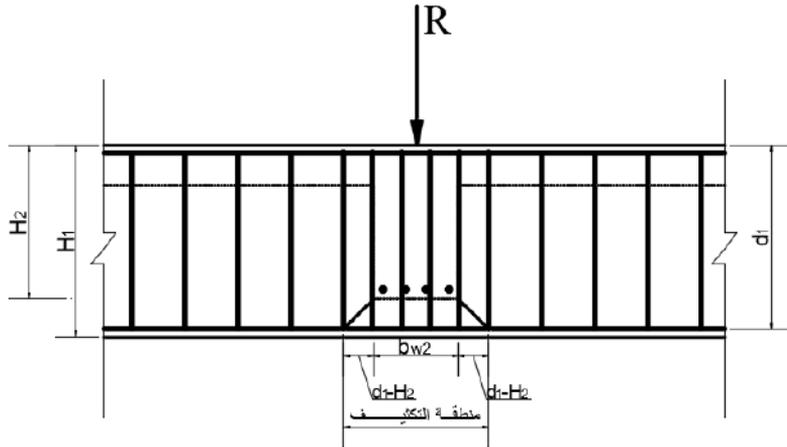
إن رد الفعل الناتج عن الجوائز الثانوي يشكل قوة قص في الجوائز الرئيس لذلك وجب تقوية منطقة الإتصال بوساطة أساور شاقولية أو مائلة لمقاومة إجهاد القصّ الناتج.
● استخدام أساور شاقولية:

توضع على مسافة تكثيف تساوي:

$$A = b_{w2} + 2(d_1 - H_2)$$

كما هو مبين بالشكل (3-10)، وتحسب بحيث يكون مجموع مقاطع أذرعها الشاقولية كافياً لتحمل رد الفعل R:

$$A_s = \frac{R_u}{0.9f_y}$$



الشكل (10-3) أساور الاستناد الثانوي

- استخدام قضبان مائلة (شيال):
وتكون مائلة بزاوية 45° أو 60° بحيث لا يقل عددها عن $2/d$ في منطقة تقاطع الجائز الثانوي مع الرئيس ، وفي هذه الحالة تحسب مساحة التسليح كما يأتي:

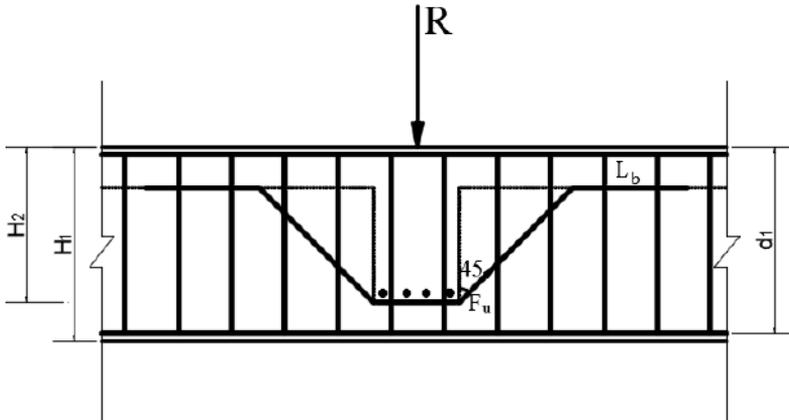
$$A_s = \frac{F_u}{0.9f_y}$$

إذ:

$$F_u = \frac{R_u}{2 \cos 45}$$

وتحسب بالإسقاط على الشاقول:

$$+\uparrow: \sum F_y = 0 \Rightarrow R_u = 2F_u \cos 45$$



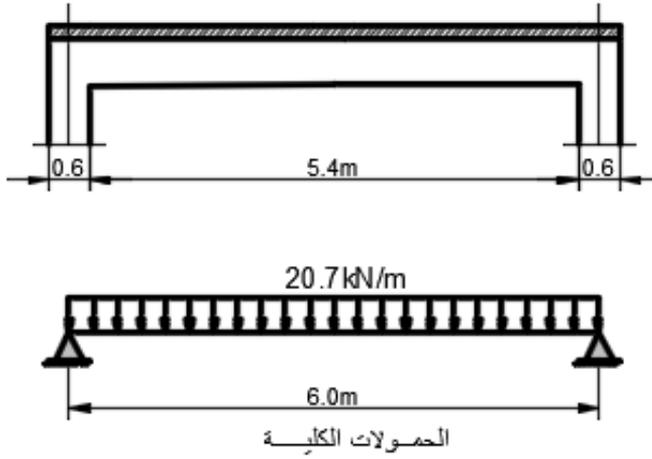
الشكل (10-3) شيال الاستناد الثانوي

3-12 أمثلة على تصميم الجيزان على القص:

مثال تطبيقي (1):

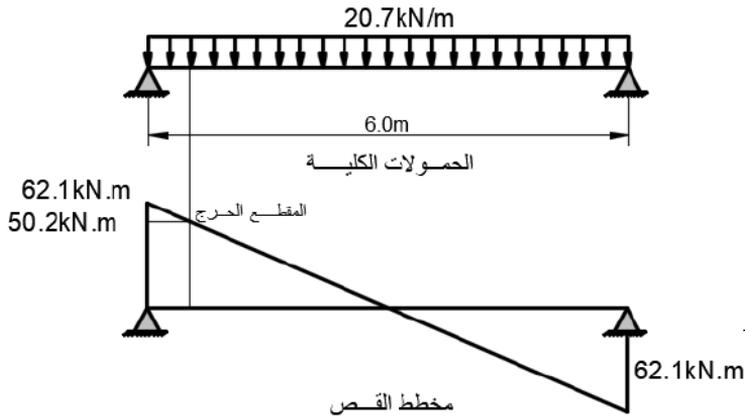
يبين الشكل جانزاً من البيتون المسلح مسنوداً استناداً بسيطاً، ومحمل بحمولة موزعة بانتظام قيمتها المصعدة تساوي 20.7kN/m والمطلوب تصميم الجانز على القص بما يتوافق مع المعطيات الآتية:

300mm	عرض الجانز
600mm	ارتفاع الجانز
600mm	عرض العمود
20MPa	f'_c
240MPa	f_{ys}



الحل:

1- دراسة مخطط القص يتم الحصول على المخطط الآتي:



2- يقع المقطع الحرج للجهد القاطع على مسافة قدرها $d/2$ من وجه المسند، بافتراض سماكة تغطية في البيتون تساوي إلى $50mm$ يكون الارتفاع الفعال:

$$d = h - d' = 600 - 50 = 550mm$$

فيكون المقطع الحرج على مسافة قدرها $325mm$ من وجه المسند وعليه يبعد عن محور المسند:

$$\frac{d}{2} + \frac{b_s}{2} = \frac{0.55}{2} + \frac{0.6}{2} = 0.575m$$

من معادلة الجهد القاطع يتم الحصول على القوة الحرجة عند المقطع الحرج:

$$V_u = R_u - W_u \left(\frac{d}{2} + \frac{b_s}{2} \right) = 62.1 - 20.7 \times 0.575 = 50.2kN$$

3- التحقق من كفاية أبعاد المقطع البيتوني:

تُعدّ أبعاد المقطع البيتونية كافية على القصّ إذا كان إجهاد القصّ من أجل قوة القصّ الحرجة أقل من إجهاد القصّ الأعظمي:

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.75d \times b_w} = \frac{50.2 \times 10^3}{0.75 \times 300 \times 550} = 0.406MPa$$

$$\tau_{u \max} = 0.65 \sqrt{f'_c} = 2.9MPa$$

$$\tau_u < \tau_{u \max}$$

وأبعاد المقطع البيتوني كافية.

4- حساب إجهاد القصّ الذي يتحمّله البيتون:

$$\tau_{cu} = 0.23 \sqrt{f'_c} = 1.028MPa$$

بما أن إجهاد القصّ أصغر من إجهاد القصّ الذي يتحمّله البيتون فليس هناك حاجة إلى تسليح عرضي ونستخدم تسليحاً أصغرياً.

5- حساب تسليح القص:

التباعد بين الأساور يجب أن يحقق الشروط:

$$S \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{2} = 275mm \\ 300mm \end{array} \right.$$

بفرض $S=200mm$

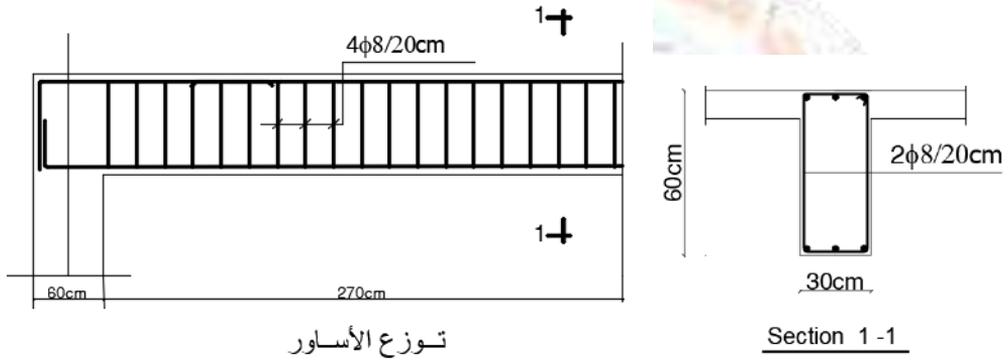
تحسب مساحة تسليح القص:

$$A_{st\min} = \frac{0.35}{f_y} b_w \times S = \frac{0.35}{240} 300 \times 200 = 87.5 \text{ mm}^2$$

لاختيار قطر الإسورة ندقق جدول المساحات الآتي :

$A_s (\text{mm}^2)$	$\phi (\text{mm})$
50	8
78.5	10
113	12

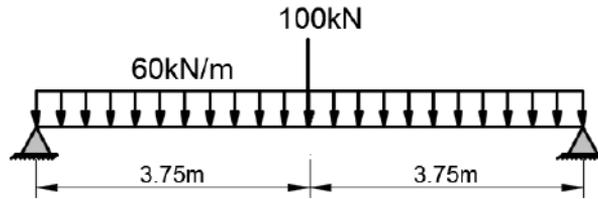
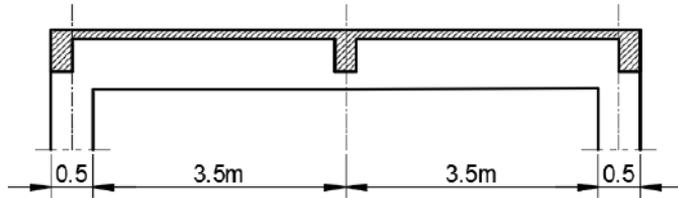
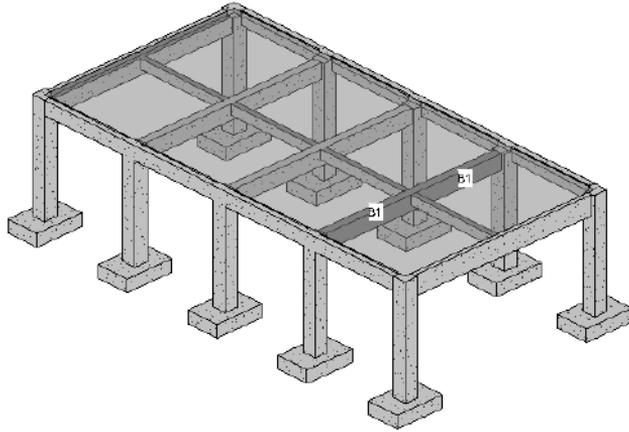
نختار إسورة بذراعين قطر 8 : $2\phi 8 = 100 \text{ mm}^2$ ويكون تسليح القص بالنتيجة $2\phi 8 / 200 \text{ mm}$



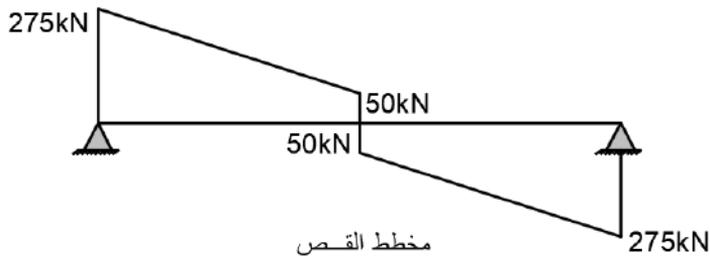
مثال تطبيقي (2):

يبين الشكل جانزاً من البيتون المسلح مسنوداً استناداً بسيطاً، ومحمل بحمولة موزعة بانتظام قيمتها المصعدة تساوي 60 kN/m وحمولة مركزة في المنتصف ناتجة عن استناد جانز ثانوي قيمتها 100 kN . والمطلوب تصميم الجانز على القص بما يتوافق مع المعطيات الآتية:

300mm	عرض الجانز
700mm	ارتفاع الجانز
30MPa	f'_c
240MPa	f_{ys}



الحمولات



الحل:

6- يقع المقطع الحرج للجهد القاطع على مسافة قدرها $d/2$ من وجه المسند، بافتراض سماكة تغطية في البيتون تساوي إلى 50mm يكون الارتفاع الفعال:

$$d = h - d' = 700 - 50 = 650mm$$

فيكون المقطع الحرج على مسافة قدرها 325mm من وجه المسند وعليه يبعد عن محور المسند:

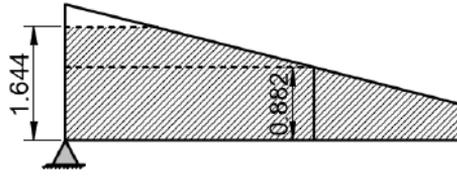
$$\frac{d}{2} + \frac{b_s}{2} = \frac{0.65}{2} + \frac{0.5}{2} = 0.575m$$

يحسب رد الفعل في المسند كما يأتي:

$$R_u = \frac{W_u L}{2} + \frac{P_u}{2} = \frac{60 \times 7.5}{2} + \frac{100}{2} = 275kN$$

من معادلة الجهد القاطع يتم الحصول على القوة الحرجة عند المقطع الحرج:

$$V_u = R_u - W_u \left(\frac{d}{2} + \frac{b_s}{2} \right) = 275 - 60 \times 0.575 = 240.5kN$$



إجهاد القص

7- التحقق من كفاية أبعاد المقطع البيتوني:

تُعدّ أبعاد المقطع البيتونية كافية على القصّ إذا كان إجهاد القصّ من أجل قوة القصّ الحرجة أقل من إجهاد القصّ الأعظمي:

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.75d \times b_w} = \frac{240.5 \times 10^3}{0.75 \times 300 \times 650} = 1.644MPa$$

$$\tau_{u\max} = 0.65\sqrt{f'_c} = 3.56MPa$$

$$\tau_u < \tau_{u\max}$$

وأبعاد المقطع البيتوني كافية.

8- حساب إجهاد القصّ الذي يتحمّله البيتون:

$$\tau_{cu} = 0.23\sqrt{f'_c} = 1.26MPa$$

بما أن إجهاد القصّ أكبر من إجهاد القصّ الذي يتحمّله البيتون فهناك حاجة إلى تسليح عرضي.

9- حساب تسليح القصّ: إجهاد القصّ الذي يتحمّله الفولاذ.

$$\tau_{su} = \tau_u - \tau_{0u}$$

باعتبار شروط تنفيذ مثالية تكون مساهمة البيتون على القصّ:

$$\tau_{0u} = 0.7\tau_{cu} = 0.7 \times 1.26 = 0.882MPa$$

$$\tau_{su} = 1.644 - 0.882 = 0.7624MPa \quad \text{إجهاد القصّ الذي يتحمله الفولاذ:}$$

التباعد بين الأساور يجب أن يحقق الشروط:

$$S \leq \min \begin{cases} \frac{d}{2} = 325mm \\ 300mm \end{cases}$$

بفرض S=150mm

تحسب مساحة تسليح القص:

$$A_{st} = \frac{\tau_{su} \times b \times S}{f_y} = \frac{0.7624 \times 300 \times 150}{240} = 142.95mm^2$$

لاختيار قطر الإسورة ندقق جدول المساحات الآتي :

$A_s (mm^2)$	$\phi (mm)$
50	8
78.5	10
113	12

نختار إسورة بذراعين قطر 10 : $2\phi 10 = 157mm^2$ ويكون تسليح القصّ بالنتيجة

$2\phi 10 / 150mm$

-10 تحقيق تسليح القصّ الأصغري:

$$A_{st \min} = \frac{0.35}{f_y} b_w \times S = \frac{0.35}{240} 300 \times 150 = 65.63mm^2$$

$$A_{st} = 2\phi 10 = 157mm^2 > 65.53mm^2 \quad ok$$

-11 حساب قوة القصّ التي يتحملها البيتون:

من الجدير بالذكر أن استخدام الأساور المحسوبة من التصميم عند المقطع الحرج غير اقتصادي على

كامل المجاز، إذ يتم استخدام تسليح أصغري اعتباراً من المقطع الذي يساوي عنده إجهاد القصّ مساهمة

البيتون على القصّ وهي $0.7\tau_{cu}$ ولإيجاد هذا المقطع يتم اتباع الحسابات الآتية:

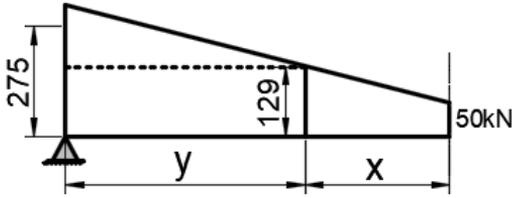
إن قوة القصّ التي تكافئ مساهمة البيتون على القصّ تساوي:

$$V_{0u} = \tau_{0u} b_w 0.75d = 0.882 \times 300 \times 0.75 \times 650 = 129kN$$

من تشابه المثلثات في مخطط القصّ الآتي :

$$\frac{x}{3.75} = \frac{129 - 50}{275 - 50} \Rightarrow x = 1.32m$$

$$y = 3.75 - 1.32 = 2.433m$$

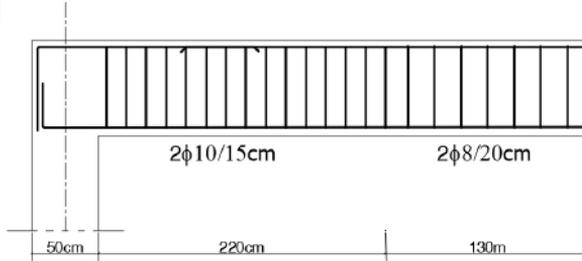


قوى القص

على طول المسافة y يتم استخدام تسليح عرضي $2\phi 10/150mm$ بينما على المسافة x يتم استخدام تسليح قص أصغري، ويمكن زيادة التباعد بين الأساور، بفرض $S=200mm$

$$A_{st\min} = \frac{0.35}{f_y} b_w \times S = \frac{0.35}{240} 300 \times 200 = 87.5mm^2$$

يتم استخدام فرعي إسوارة بقطر $8mm$ ويكون التسليح العرضي $2\phi 8/200mm$

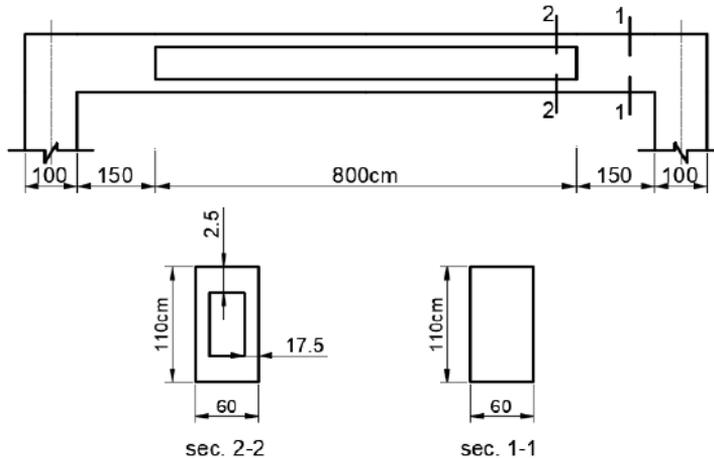


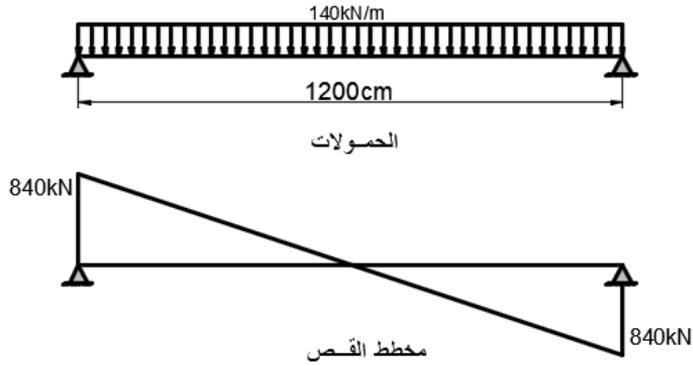
توزيع الأساور

مثال تطبيقي (3):

يبين الشكل جائزاً بسيطاً من البيتون المسلح يحمل حمولة موزعة بانتظام مصعدة قيمتها

$140kN/m$ ، يُطلب حساب تسليح القص علماً بأن $f'_c = 30MPa$, $f_{ys} = 360MPa$.





الحل:

- 1- إيجاد قوة القص التصميمية:
- بما أن الجائز متغير المقطع فيجب تحقيق مقاومة القص في أكثر من مكان، في هذا المثال يجب فحص موضعين في مخطط الجهد القاطع:
- الأول هو المقطع الحرج في الجزء المصمت ويقع على بعد $d/2$ من وجه الاستناد.
 - الثاني هو المقطع الحرج في المقطع المفرغ وموضعه هو نقطة بداية المقطع المفرغ $x=1.5m$.

بافتراض سماكة تغطية في البيتون تساوي إلى 100mm يكون الارتفاع الفعال:

$$d = h - d' = 1100 - 100 = 1000mm$$

فيكون المقطع الحرج على مسافة قدرها 500mm من وجه المسند وعليه يبعد عن محور المسند:

$$\frac{d}{2} + \frac{b_s}{2} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1m$$

يحسب رد الفعل في المسند كما يأتي:

$$R_u = \frac{W_u L}{2} = 840kN$$

من معادلة الجهد القاطع يتم الحصول على القوة الحرجة عند المقطع الحرج:

$$V_{u1} = R_u - W_u \left(\frac{d}{2} + \frac{b_s}{2} \right) = 840 - 140 \times 1 = 700kN$$

$$V_{u2} = R_u - W_u \left(x + \frac{b_s}{2} \right) = 840 - 140 \times (1.5 + 0.5) = 560kN$$

2- التحقق من كفاية أبعاد المقطع البيتوني:

من أجل المقطع الحرج الأول المقطع العرضي مستطيل وعرضه يساوي 600mm:

$$\tau_{u1} = \frac{V_u}{0.75d \times b_w} = \frac{700 \times 10^3}{0.75 \times 600 \times 1000} = 1.56 \text{MPa}$$

$$\tau_{u \max} = 0.65 \sqrt{f'_c} = 3.56 \text{MPa} \quad \tau_{u1} < \tau_{u \max}$$

ومن أجل المقطع الحرج الثاني فإن المقطع العرضي صندوقي وعرضه يساوي 2×175mm:

$$\tau_{u2} = \frac{V_u}{0.75d \times b_w} = \frac{560 \times 10^3}{0.75 \times (2 \times 175) \times 1000} = 2.133 \text{MPa} < \tau_{u \max}$$

وأبعاد المقطع البيتوني كافية.

3- حساب إجهاد القص الذي يتحمله البيتون:

$$\tau_{cu} = 0.23 \sqrt{f'_c} = 1.26 \text{MPa}$$

بما أن إجهاد القص أكبر من إجهاد القص الذي يتحمله البيتون فهناك حاجة إلى تسليح عرضي.

4- حساب تسليح القص: إجهاد القص الذي يتحمله الفولاذ. باعتبار شروط تنفيذ مثالية تكون مساهمة البيتون على القص:

$$\tau_{0u} = 0.7 \tau_{cu} = 0.7 \times 1.26 = 0.882 \text{MPa}$$

- إجهاد القص الذي يتحمله الفولاذ في المقطع الأول:

$$\tau_{su1} = \tau_{u1} - \tau_{0u} = 1.56 - 0.882 = 0.678 \text{MPa}$$

$$S \leq \min \begin{cases} \frac{d}{2} = 500 \text{mm} \\ 300 \text{mm} \end{cases} \quad \text{التباعد بين الأساور يجب أن يحقق الشروط:}$$

بفرض S=200mm: تحسب مساحة تسليح القص:

$$A_{st1} = \frac{\tau_{su} \times b \times S}{f_y} = \frac{0.678 \times 600 \times 200}{360} = 226 \text{mm}^2$$

إن عرض المقطع يزيد على 400mm وهذا يتطلب وجود أكثر من فرعي إسورة:

يتم اختيار إسورتين بأربعة فروع (أذرع) قطر 10: $4\phi 10 = 314 \text{mm}^2$ ويكون تسليح القص بالنتيجة

$$4\phi 10 / 200 \text{mm}$$

- إجهاد القص الذي يتحمله الفولاذ في المقطع الثاني:

$$\tau_{su2} = \tau_{u2} - \tau_{0u} = 2.133 - 0.882 = 1.251 \text{MPa}$$

$$A_{st2} = \frac{\tau_{su} \times b \times S}{f_y} = \frac{1.251 \times (2 \times 175) \times 200}{360} = 243.25 \text{mm}^2$$

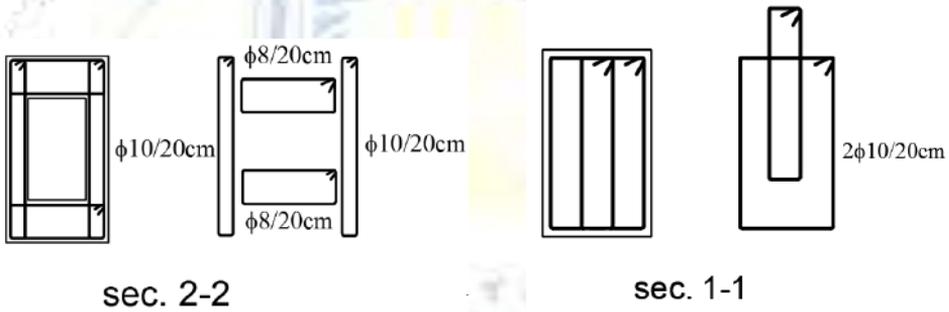
يتم اختيار إسوارتين بأربعة فروع (أذرع) قطر 10: $4\phi 10 = 314 \text{mm}^2$ ويكون تسليح القصّ بالنتيجة $4\phi 10 / 200 \text{mm}$

5- تحقيق تسليح القصّ الأصغري:

$$A_{st \min 1} = \frac{0.35}{f_y} b_w \times S = \frac{0.35}{360} 600 \times 200 = 116.67 \text{mm}^2 < A_{st1}$$

$$A_{st \min 1} = \frac{0.35}{f_y} b_w \times S = \frac{0.35}{360} (2 \times 175) \times 200 = 68.06 \text{mm}^2 < A_{st2}$$

الأشكال الآتية تبين تفاصيل تسليح الأساور من دون توضيح التسليح الطولي.

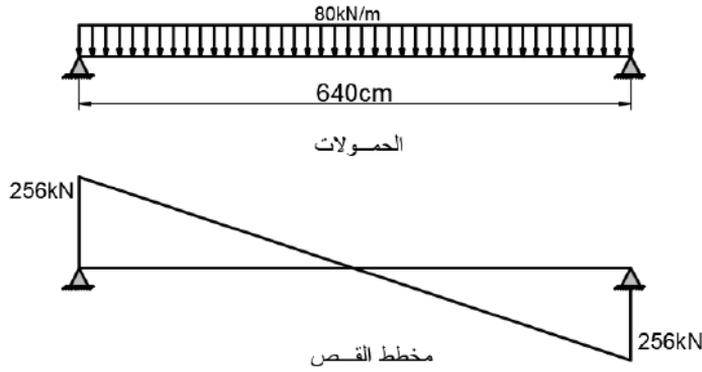


مثال تطبيقي (4):

يبين الشكل جائزاً بسيطاً محملاً بحمولة موزعة بانتظام قيمتها المصغدة تساوي 80kN/m ،

يطلب حساب تسليح القصّ باستخدام أساور شاقولية وقضبان مكشحة، علماً بأن:

300mm	عرض الجائز
800mm	ارتفاع الجائز
400mm	عرض المسند
25MPa	f'_c
240MPa	f_{ys}
400MPa	f_y



الحل:

1- بافتراض سماكة تغطية البيتون 50mm يكون الارتفاع الفعال:

$$d = h - d' = 800 - 50 = 750 \text{ mm}$$

فيكون المقطع الحرج على مسافة قدرها $d/2$ من وجه المسند وعليه يبعد عن محور المسند:

$$\frac{d}{2} + \frac{b_s}{2} = \frac{0.75}{2} + \frac{0.4}{2} = 0.575 \text{ m}$$

يحسب رد الفعل في المسند كما يأتي:

$$R_u = \frac{W_u L}{2} = \frac{80 \times 6.4}{2} = 256 \text{ kN}$$

من معادلة الجهد القاطع يتم الحصول على القوة الحرجة عند المقطع الحرج:

$$V_u = R_u - W_u \left(\frac{d}{2} + \frac{b_s}{2} \right) = 256 - 80 \times 0.575 = 210 \text{ kN}$$

2- التحقق من كفاية أبعاد المقطع البيتوني:

تُعدّ أبعاد المقطع البيتونية كافية على القصّ إذا كان إجهاد القصّ من أجل قوة القصّ الحرجة أقل من إجهاد القصّ الأعظمي:

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.75d \times b_w} = \frac{210 \times 10^3}{0.75 \times 300 \times 750} = 1.244 \text{ MPa}$$

$$\tau_{u \max} = 0.8 \sqrt{f'_c} = 4 \text{ MPa}$$

$$\tau_u < \tau_{u \max} \quad \text{ok}$$

3- حساب إجهاد القصّ الذي يتحمّله البيتون:

$$\tau_{cu} = 0.23 \sqrt{f'_c} = 1.15 \text{ MPa}$$

بما أن إجهاد القصّ أكبر من إجهاد القصّ الذي يتحمّله البيتون فهناك حاجة إلى تسليح عرضي.
4- حساب تسليح القص:

يتألف التسليح العرضي في هذه المسألة من جزأين: أساور شاقولية، قضبان مكسّحة.
باعتبار مساهمة البيتون على القص:

$$\tau_{0u} = 0.35\tau_{cu} = 0.35 \times 1.15 = 0.403MPa$$

إجهاد القصّ الذي يتحمّله الفولاذ. $\tau_{su} = \tau_u - \tau_{0u}$

$$\tau_{su} = \tau_u - \tau_{0u} = 1.244 - 0.403 = 0.842MPa$$

○ تصميم الأساور الشاقولية:

إجهاد القصّ الذي تتحمّله الأساور الشاقولية: يتم فرض مساحة الأساور الشاقولية بحيث تحقق المساحة الدنيا لتسليح القص.

التباعد بين الأساور يجب أن يحقق الشروط:

$$S \leq \min \begin{cases} \frac{d}{2} = 375mm \\ 300mm \end{cases}$$

بفرض S=200mm

تحسب مساحة تسليح القصّ الأصغري:

$$A_{st\min} = \frac{0.35}{f_y} b_w \times S = \frac{0.35}{240} 300 \times 200 = 87.5mm^2$$

نختار إسورة بذراعين قطر 10 مم $2\phi 10 = 157mm^2$ ويكون تسليح القصّ بالنتيجة

$$2\phi 10 / 200mm$$

ويكون إجهاد القصّ الذي تحمّله الأساور:

$$\tau_{sut} = \frac{A_{st} \times f_y}{b \times S} = \frac{157 \times 240}{300 \times 200} = 0.628MPa$$

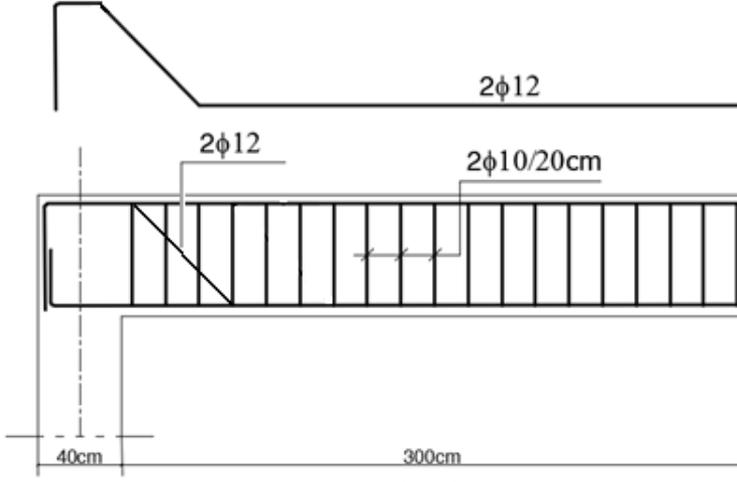
○ تصميم القضبان المكسّحة: إجهاد القصّ المتبقي للقضبان المكسّحة:

$$\tau_{sub} = \tau_{su} - \tau_{sut} = 0.842 - 0.628 = 0.214MPa < \frac{\tau_{su}}{2} = 0.622MPa$$

باستخدام صف واحد من القضبان المكسّحة بزاوية 45° بتباعد $S=d-d'$ تكون مساحة القضبان:

$$A_{sb} = \frac{\sqrt{2}\tau_{sub} \times b \times S}{f_y} = \frac{\sqrt{2} \times 0.181 \times 300 \times (750 - 50)}{400} = 159mm^2$$

نستخدم قضيبين بقطر 12 $2\phi 12 = 226\text{mm}^2$

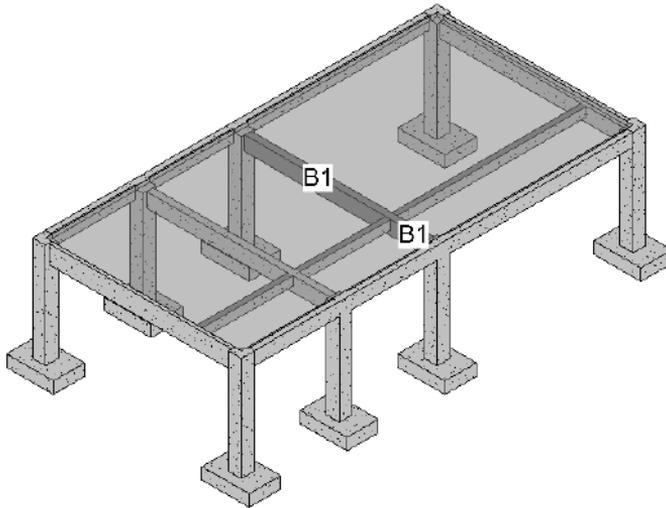


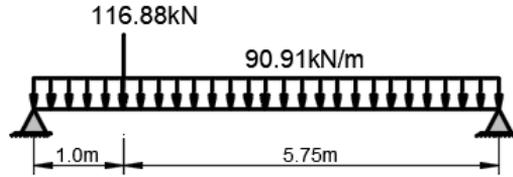
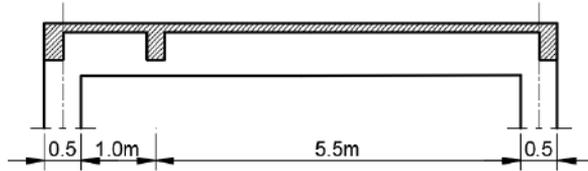
تسليح القص

مثال تطبيقي (5):

250mm	عرض الجائز
700mm	ارتفاع الجائز
25MPa	f'_c
240MPa	f_{ys}

يُظهر الشكل جائزاً بسيطاً من البيتون المسلح محمل بحمولة موزعة بانتظام كاملة مصعدة قدرها 70kN/m وحمولة مركزة ناتجة عن جائز ثانوي قيمتها 90kN . يُطلب التصميم على القص وفقاً للمعطيات الآتية:



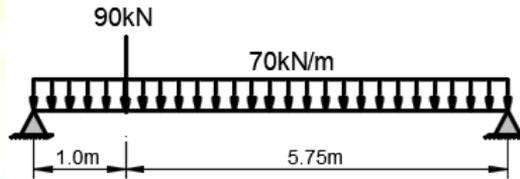


الحمولات

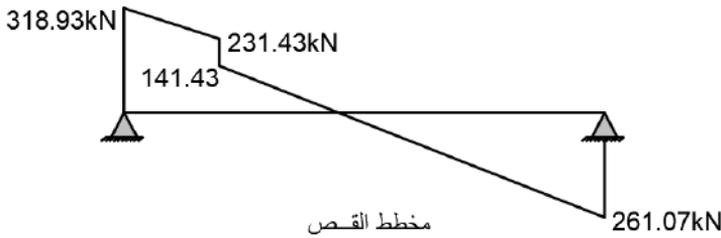
بما أن الحمولة المركزة تبعد عن المسند اليساري مسافة تقل عن $2d$ يتم أخذ جداء الحمولات بالمقدار $a/2d$:

$$\frac{a}{2d} = \frac{1000}{2 \times 650} = 0.77$$

فتكون الحمولات ومخطط القص كما يأتي:



الحمولات



مخطط القص

1- يقع المقطع الحرج للجهد القاطع على مسافة قدرها $d/2$ من وجه المسند، بافتراض سماكة تغطية في البيتون تساوي إلى 50mm يكون الارتفاع الفعال:

$$d = h - d' = 700 - 50 = 650\text{mm}$$

تقع الحمولة المركزة على مسافة a من وجه الاستناد وتساوي:

$$d/2 \leq a \leq 2d : 3.25 \leq a \leq 1.3 \quad \text{ok}$$

فيكون المقطع الحرج على مسافة قدرها 325mm من وجه المسند وعليه يبعد عن محور المسند:

$$\frac{d}{2} + \frac{b_s}{2} = \frac{0.65}{2} + \frac{0.5}{2} = 0.575m$$

يحسب رد الفعل في المسند كما يأتي:

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow \frac{70 \times 7^2}{2} + 90 \times 1.25 - 7R_B = 0$$

$$R_A = 261.07kN \quad R_B = 318.93kN$$

من معادلة الجهد القاطع يتم الحصول على القوة الحرجة عند المقطع الحرج:

$$V_u = R_u - W_u \left(\frac{d}{2} + \frac{b_s}{2} \right) = 318.93 - 70 \times 0.575 = 278.68kN$$

2- التحقق من كفاية أبعاد المقطع البيتوني:

تُعدّ أبعاد المقطع البيتونية كافية على القصّ إذا كان إجهاد القصّ من أجل قوة القصّ الحرجة أقل من إجهاد القصّ الأعظمي:

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.75d \times b_w} = \frac{278.68 \times 10^3}{0.75 \times 250 \times 650} = 2.29MPa$$

$$\tau_{u\max} = 0.65\sqrt{f'_c} = 3.25MPa$$

$$\tau_u < \tau_{u\max}$$

وأبعاد المقطع البيتوني كافية.

$$3- \text{حساب إجهاد القصّ الذي يتحمله البيتون: } \tau_{cu} = 0.23\sqrt{f'_c} = 1.15MPa$$

بما أن إجهاد القصّ أكبر من إجهاد القصّ الذي يتحمله البيتون فهناك حاجة إلى تسليح عرضي.

$$4- \text{حساب تسليح القص: إجهاد القصّ الذي يتحمله الفولاذ. } \tau_{su} = \tau_u - \tau_{0u}$$

$$\tau_{0u} = 0 \quad \text{باعتبار وجود فاصل صب تكون مساهمة البيتون على القص:}$$

$$\tau_{su} = 2.29MPa \quad \text{إجهاد القصّ الذي يتحمله الفولاذ:}$$

التباعد بين الأساور يجب أن يحقق الشروط:

$$S \leq \min \begin{cases} \frac{d}{2} = 325mm \\ 300mm \end{cases}$$

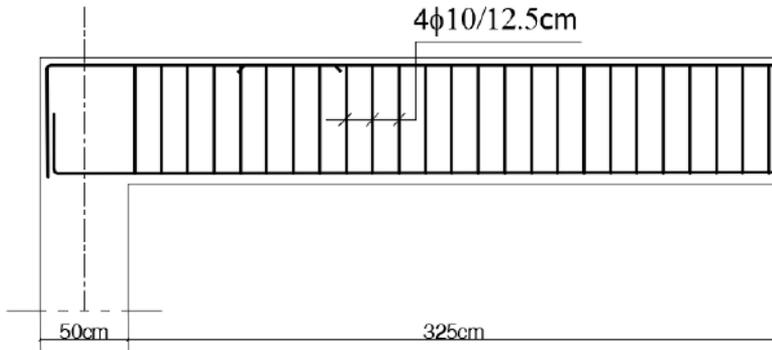
بفرض $S=125mm$ ، تحسب مساحة تسليح القص:

$$A_{st} = \frac{\tau_{su} \times b \times S}{f_y} = \frac{2.29 \times 250 \times 125}{240} = 298.17mm^2$$

نختار إساورتين بأربعة أذراع قطر 10: $4\phi 10 = 314mm^2$ ويكون تسليح القصّ بالنتيجة $4\phi 10/125mm$

5- تحقيق تسليح القصّ الأصغري:

$$A_{st\min} = \frac{0.35}{f_y} b_w \times S = \frac{0.35}{240} 250 \times 125 = 45.6mm^2$$



توزع الأساور

مثال تطبيقي (6):

جائز بسيط يخضع إلى حمولة موزعة بانتظام مية بما فيها الوزن الذاتي $g=35kN/m$ وحية $q=15kN/m$. والمطلوب حساب التسليح العرضي لهذا الجائز باستعمال أساور شاقولية وقضبان مكسحة لمقاومة الجهد القاطع بإهمال مساهمة البيتون، مع العلم أن:

400×700mm	أبعاد الجائز
8φ25	التسليح الطولي للجائز على الشد
4φ18	التسليح الطولي للجائز على الضغط
18MPa	f'_c
240MPa	f_{ys}
300MPa	f_y
400mm	عرض العمود
8000mm	طول المجاز محورياً

الحل:

1- بافتراض سماكة تغطية البيون 50mm يكون الارتفاع الفعال:

$$d = h - d' = 600 - 50 = 650mm$$

فيكون المقطع الحرج على مسافة قدرها $d/2$ من وجه المسند وعليه يبعد عن محور المسند:

$$x_{cr} = \frac{d}{2} + \frac{b_s}{2} = \frac{0.65}{2} + \frac{0.4}{2} = 0.525m$$

المجاز الحسابي:

$$L_{eff} = \min of \begin{cases} L_x = 8000mm \\ 1.05 \times 7700 = 8085mm \Rightarrow L_{eff} = 8000mm \\ 7700 + 650 = 8350mm \end{cases}$$

$$W_u = 1.4g + 1.7q = 74.5kN/m$$

الحمولة المصعدة:

يحسب رد الفعل في المسند كما يأتي:

$$R_u = \frac{W_u L}{2} = \frac{74.5 \times 8}{2} = 298kN$$

من معادلة الجهد القاطع يتم الحصول على القوة الحرجة عند المقطع الحرج:

$$V_u = R_u - W_u \left(\frac{d}{2} + \frac{b_s}{2} \right) = 298 - 74.5 \times 0.525 = 256kN$$

2- التحقق من كفاية أبعاد المقطع البيتوني:

تُعدّ أبعاد المقطع البيتونية كافية على القصّ إذا كان إجهاد القصّ من أجل قوة القصّ الحرجة أقل من إجهاد القصّ الأعظمي:

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.75d \times b_w} = \frac{256 \times 10^3}{0.75 \times 400 \times 650} = 1.313MPa$$

$$\tau_{u \max} = 0.8 \sqrt{f'_c} = 3.39MPa$$

$$\tau_u < \tau_{u \max} \quad ok$$

3- حساب إجهاد القصّ الذي يتحمله البيتون:

$$\tau_{cu} = 0.23 \sqrt{f'_c} = 0.967MPa$$

بما أن إجهاد القصّ أكبر من إجهاد القصّ الذي يتحمله البيتون فهناك حاجة إلى تسليح عرضي.

4- حساب تسليح القص:

يتألف التسليح العرضي في هذه المسألة من جزأين: أساور شاقولية، قضبان مكسحة.

○ تصميم القضبان المكسحة:

باعتماد قضبان مكسحة بزواوية 45 قدرها $2\phi 25 = 2 \times 491mm^2$ وتباعدها

$$S = d - d' = 600mm \text{ على صفتين يكون:}$$

إجهاد القصّ في القضبان المكسحة:

$$\tau_{sub} = \frac{\sqrt{2}A_{sb} \times f_y}{b \times S} = \frac{\sqrt{2} \times 300 \times 2 \times 491}{400 \times 600} = 1.736MPa$$

$$\tau_{sub} = 1.736MPa > \frac{\tau_u}{2} = \frac{1.313}{2} = 0.656MPa$$

بإهمال مساهمة البيتون على القصّ يتم اعتبار القضبان المكسحة تحمل نصف إجهاد القصّ الحديّ ويتم تحميل النصف الباقي للأساور الشاقولية:

$$\tau_{st} = \frac{\tau_u}{2} = \frac{1.313}{2} = 0.656MPa$$

○ تصميم الأساور الشاقولية:

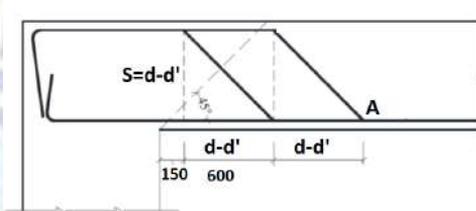
التباعد بين الأساور يجب أن يحقق الشروط:

$$S \leq \min \begin{cases} 15\phi_c = 15 \times 18 = 270mm \\ 200mm \end{cases}$$

بفرض $S=150mm$: مساحة تسليح القصّ باستعمال أساور شاقولية:

$$A_{st} = \frac{\tau_{sut}}{f_y} b_w \times S = \frac{0.656}{240} 400 \times 150 = 164mm^2$$

بما أن عرض الجائز يساوي إلى 400mm نختار إساورتين بأربعة أذرع قطر (8) $4\phi 8 = 201mm^2$ ويكون تسليح القصّ بالنتيجة $4\phi 8 / 150mm$



تدقيق الإجهاد عند النقطة A وهي نقطة نهاية التكميح:

$$x_A = 600 \times 2 + 150 = 1350mm$$

الجهد القاطع عند النقطة A:

$$V_A = R_u - W_u x_A = 298 - 74.5 \times 1.35 = 197.43kN$$

$$\tau_A = \frac{V_u}{0.75d \times b_w} = \frac{197.43 \times 10^3}{0.75 \times 400 \times 650} = 1.013MPa \approx \tau_{cu} = 0.967MPa$$

أي إنه يكفي بالتسليح الأصغري بعد النقطة A.

تحسب مساحة تسليح القص الأصغري:

$$A_{st.min} = \frac{0.35}{f_y} b_w \times S = \frac{0.35}{240} 400 \times 200 = 116.67 \text{mm}^2$$

نختار إسوارتين بأربعة أذرع قطر 8 $4\phi 8 = 201 \text{mm}^2$ ويكون تسليح القص الأصغري في وسط المجاز بالنتيجة $4\phi 8 / 200 \text{mm}$.

3-13 أمثلة على التصميم المتكامل للجيزان:

مثال تطبيقي (1):

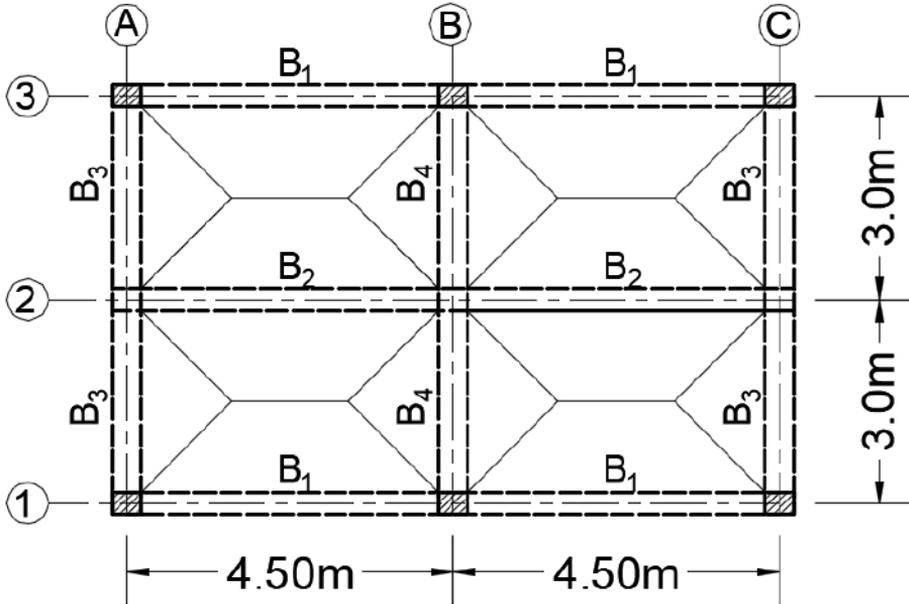
لدينا مسطح البلاطات الملبئة المبين بالشكل والمطلوب:

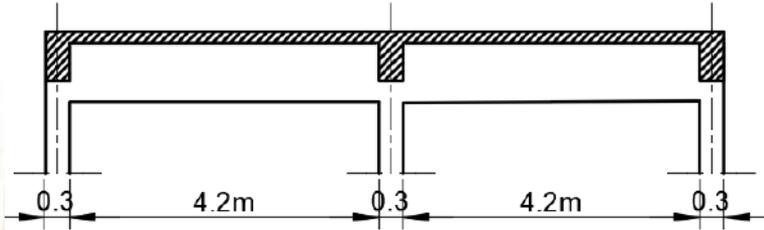
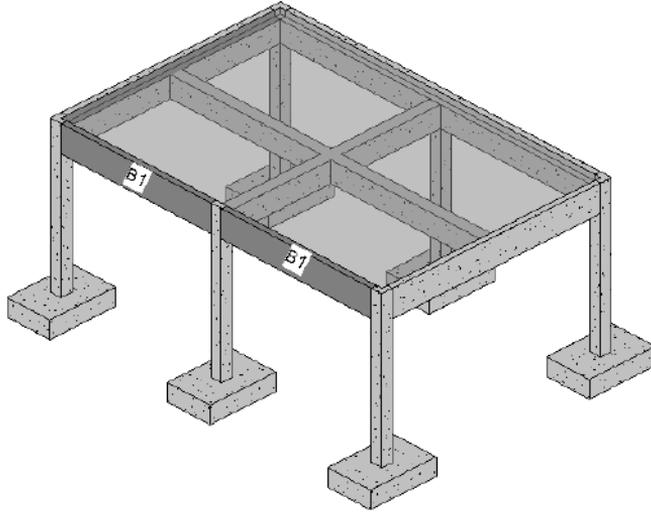
- 1- حساب الحمولات الميتة والحية على الجائز B_1 .
- 2- حساب عزوم الانعطاف وقوى القص بإهمال التحميل الشطرنجي.
- 3- حساب التسليح الطولي والعرضي ورسم تفاصيل التسليح.

علماً بأن:

الحمولة الحية $\text{Live Load} = 2 \text{kN/m}^2$ ، الإكساء والتغطية $\text{Flooring} = 2 \text{kN/m}^2$ ، الوزن الذاتي للجدار من البلوك المفرغ $W_w = 6.5 \text{kN/m}$. افترض سماكة البلاطة $h_s = 120 \text{mm}$ أبعاد الجائز $300 \times 500 \text{mm}$ أبعاد الأعمدة $300 \times 300 \text{mm}$ وتؤخذ الأبعاد محورية.

$$f'_c = 22 \text{MPa}; f_y = 300 \text{MPa}; f_{ys} = 240 \text{MPa}$$





1- تحقيق شرط السهم: إذ إن المقاومة المميزة أكبر من 20MPa

$$h_{\min} = \frac{L}{15} = \frac{4500}{15} = 300\text{mm} < 500\text{mm}$$

2- الحمولات:

• الوزن الذاتي:

$$\text{Beam SW} = 0.3 \times 0.5 \times 25 = 3.75\text{kN/m}$$

يُضاف له وزن الجدار فيكون الحمل الميت الموزع:

$$\text{SW} + \text{Wall} = 3.75 + 6.5 = 10.25\text{kN/m}$$

• الحمولات المنقولة من البلاطة إلى الجائز:

○ الحمولة الميتة للبلاطة:

$$g_s = \text{Slab SW} + \text{Flooring} = 0.12 \times 25 + 2 = 5.0\text{kN/m}^2$$

○ الحمولة الحية للبلاطة:

$$q_s = 2.0\text{kN/m}^2$$

اتجاه عمل البلاطات:

البلاطات تعمل باتجاهين Two-Way Slabs

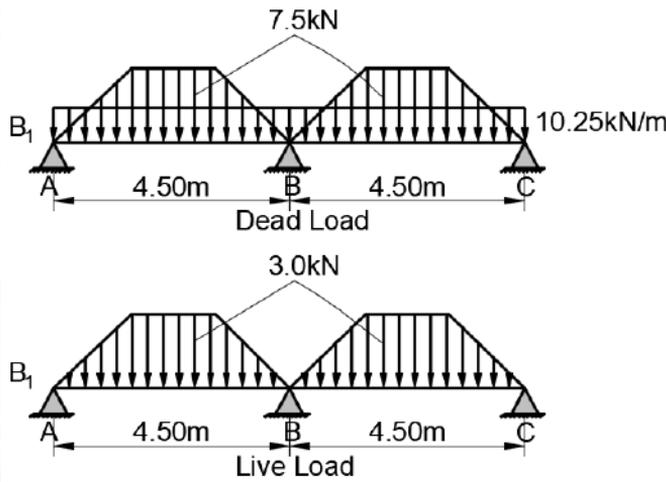
$$r = \frac{m_1 L_1}{m_2 L_2} = \frac{0.87 \times 4500}{0.87 \times 3000} = 1.5 < 2$$

الحمولة الميتة شبه المنحرفة المنقولة من البلاطة إلى الجائز:

$$g_s \times L_2 / 2 = 5 \times 3 / 2 = 7.5 \text{ kN}$$

الحمولة الحية شبه المنحرفة المنقولة من البلاطة إلى الجائز:

$$q_s \times L_2 / 2 = 2 \times 3 / 2 = 3 \text{ kN}$$



يتم اتباع الطريقة التقريبية لإيجاد القيمة المكافئة للحمولة شبه المنحرفة:

$\rho = \frac{L_1}{L_2}$	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
α	0.667	0.725	0.769	0.803	0.829	0.852	0.87	0.885	0.897	0.908	0.917
β	0.5	0.545	0.583	0.615	0.643	0.667	0.688	0.706	0.722	0.737	0.75
الحمولة	مثلثية	شبه منحرفة									

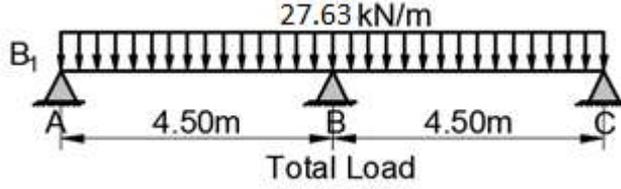
أولاً لأجل حساب عزم الانعطاف:

$$DL_s = 7.5 \times 0.852 = 6.39 \approx 6.4 \text{ kN/m}$$

$$LL_s = 3 \times 0.852 = 2.56 \text{ kN/m}$$

وتكون الحمولة الكلية بعد التصعيد:

$$(10.25 + 6.4)1.4 + 2.56 \times 1.7 = 27.63 \text{ kN/m}$$



إن علاقة العزوم الثلاثة من أجل عزم عطالة ثابت تعطى بالمعادلة:

$$M_A L_1 + 2M_B (L_1 + L_2) + M_C L_2 =$$

$$-\sum P_1 L_1^2 (k_1 - k_1^3) - \sum P_2 L_2^2 (k_2 - k_2^3) - \frac{W_1 L_1^3}{4} - \frac{W_2 L_2^3}{4}$$

وبما أن العزوم الطرفية معدومة، ولا توجد قوى مركزة يكون:

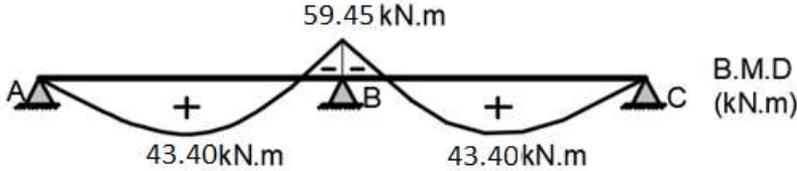
$$2M_B (4.5 + 4.5) = -2 \frac{24.75 \times 4.5^3}{4}$$

$$M_B = -69.94 \text{ kN.m}$$

تخفيض العزم السالب بنسبة 15% بغية أخذ عرض المسند بالحسبان يصبح:

$$M_B = 0.85 \times 69.94 = 59.45 \text{ kN.m}$$

ويكون مخطط عزم الانعطاف:



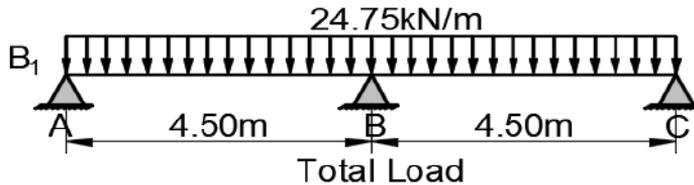
ثانياً لأجل حساب الجهد القاطع:

$$DL_s = 7.5 \times 0.667 = 5.0 \text{ kN/m}$$

$$LL_s = 3 \times 0.667 = 2.0 \text{ kN/m}$$

وتكون الحمولة الكلية بعد التصعيد:

$$(10.25 + 5)1.4 + 2 \times 1.7 = 24.75 \text{ kN/m}$$



الجهد القاطع:

يجب تقرير الجائز من أجل حساب الجهد القاطع:

$$M_A L_1 + 2M_B(L_1 + L_2) + M_C L_2 =$$

$$- \sum P_1 L_1^2 (k_1 - k_1^3) - \sum P_2 L_2^2 (k_2 - k_2^3) - \frac{W_1 L_1^3}{4} - \frac{W_2 L_2^3}{4}$$

وبما أنّ العزوم الطرفية معدومة، ولا توجد قوى مركزة يكون:

$$2M_B(4.5 + 4.5) = -2 \frac{24.75 \times 4.5^3}{4}$$

$$M_B = -62.65 \text{ kN.m}$$

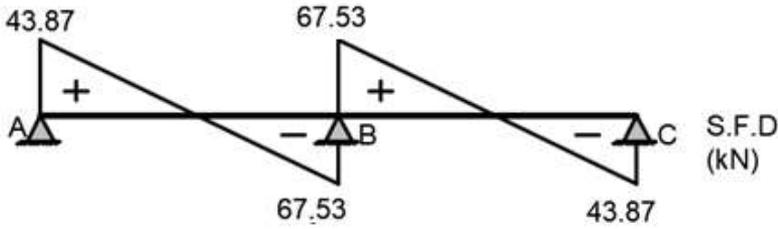
تخفيض العزم السالب بنسبة 15% بغية أخذ عرض المسند بالحسبان يصبح:

$$M_B = 0.85 \times 62.65 = 53.25 \text{ kN.m}$$

$$V_A = \frac{W_u L}{2} - \frac{M_B}{L} = \frac{24.75 \times 4.5}{2} - \frac{53.25}{4.5} = 43.87 \text{ kN}$$

$$V_B = \frac{W_u L}{2} + \frac{M_B}{L} = \frac{24.75 \times 4.5}{2} + \frac{53.25}{4.5} = 67.53 \text{ kN}$$

ويكون مخطط الجهد القاطع:



3- حسابات التسليح الطولي:

يتم حساب التسليح الطولي في المقاطع المبينة بالشكل بسبب التناظر:



• المقطع (1): العزم السالب في المسند B: $M_B^- = 59.45 \text{ kN.m}$

المقطع يتصرف بشكل مستطيل عرضه $b_w = 450 \text{ mm}$:

المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f'_c b_w d^2}$	0.0581
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.0599
تسليح شد فقط $\alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y} > \alpha$	0.288
$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.97
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \text{ mm}^2$	504
$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \text{ mm}^2$	405
$A_{s \max} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f'_c}{f_y} \right] b_w d \text{ mm}^2$	2422 > 504
$A_s (\text{used})$	4φ14 = 616 mm ²

- المقطع (2): العزم الموجب وسط المجاز : $M_{BC}^+ = 43.4 \text{ kN.m}$
المقطع يتصرف بشكل مستطيل عرضه b_w :

المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f'_c b_w d^2}$	0.0424
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.0434
تسليح شد فقط $\alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y} > \alpha$	0.288
$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.98
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \text{ mm}^2$	365

$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \quad mm^2$	405 > 365
$A_s (used)$	$4\phi 12 = 452 mm^2$

• المقطع (2): العزم السالب الاعتباري: $M_c^- = 14.5 kN.m$

بحساب التسليح يتم اعتماد: $2\phi 12 = 226 mm^2$

4- حسابات التسليح العرضي:

• حساب قوة القص الحرجة:

• يقع المقطع الحرج على بعد $d/2$ من المسند الوسطي نحو اليسار:

$$V_{cr} = V_B - W_u x_{cr} = 67.53 - 24.75 \left(\frac{0.45}{2} + \frac{0.3}{2} \right) = 58.25 kN$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.75d \times b_w} = \frac{58.2 \times 10^3}{0.75 \times 450 \times 300} = 0.575 MPa$$

$$\tau_{u \max} = 0.65 \sqrt{f'_c} = 3.04 MPa \quad ; \quad \tau_u < \tau_{u \max}$$

وأبعاد المقطع البيتوني كافية.

• حساب إجهاد القص الذي يتحملة البيتون:

$$\tau_{cu} = 0.23 \sqrt{f'_c} = 1.079 MPa$$

بما أن إجهاد القص أصغر من إجهاد القص الذي يتحملة البيتون فليس هناك حاجة إلى تسليح

عرضي وعليه نستخدم تسليحاً أصغرياً.

التباعد بين الأساور يجب أن يحقق الشروط:

$$S \leq \min \begin{cases} \frac{d}{2} = 225 mm \\ 300 mm \end{cases}$$

بفرض $S=200 mm$:

• مساحة التسليح الدنيا على القص:

$$A_{s \min} = \frac{0.35}{f_{ys}} b_w \times S = \frac{0.35 \times 300 \times 200}{240} = 87.5 mm^2$$

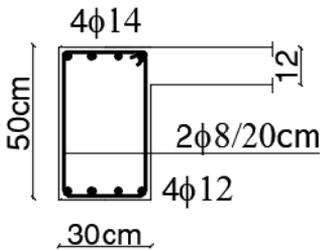
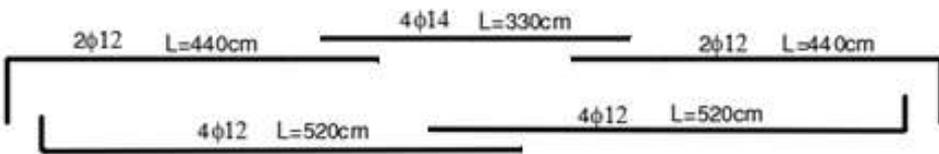
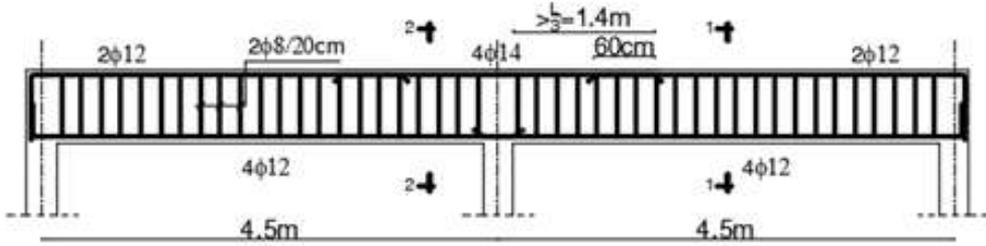
نستخدم إسواره بذراعين $2\phi 8 = 100 mm^2$.

• تسليح التعليق:

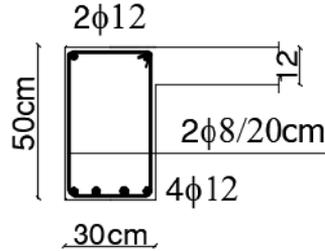
$$\phi = \max \left\{ \begin{array}{l} 10mm \\ \phi_{l_{max}} / 2 = 7mm \end{array} \right. \quad \text{القطر: } \circ$$

المساحة: $20\% A_{s_{max}} = 0.2 \times 407 = 81.4mm^2$ وعليه يتم استخدام

$2\phi 12$



Section 2 -2

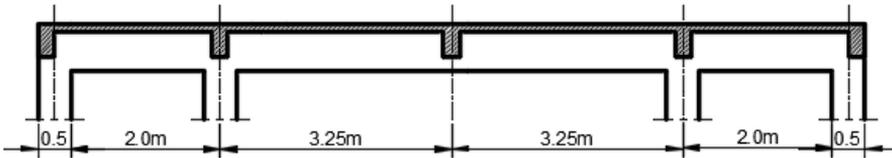
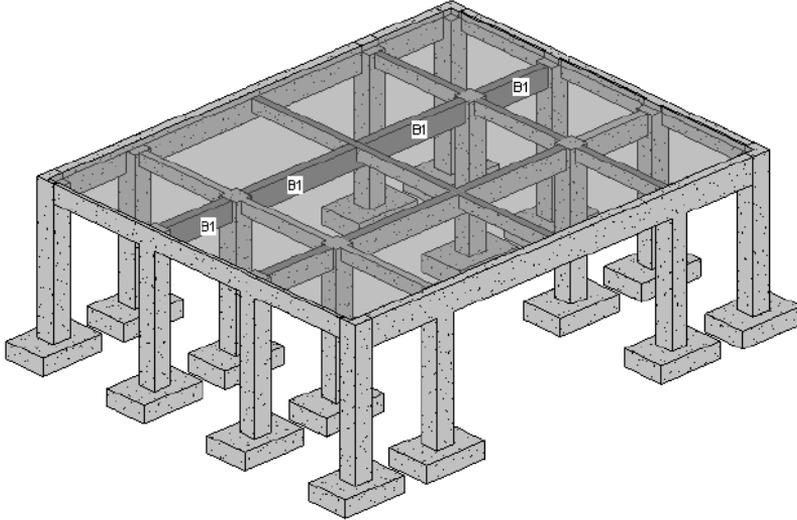


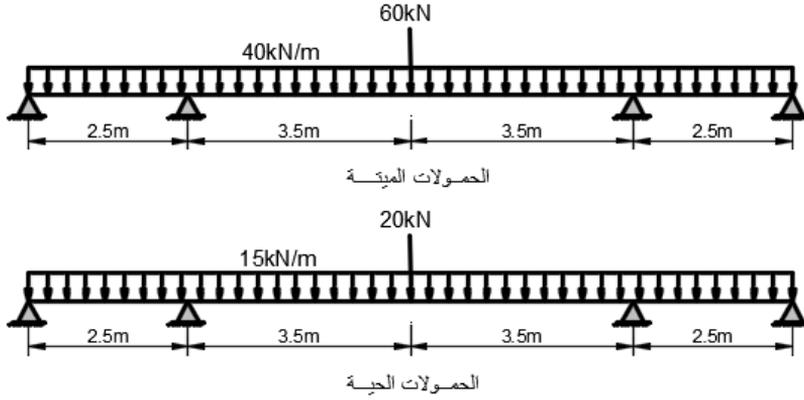
Section 1 -1

مثال تطبيقي (2):

يُطلب تصميم الجائز المستمر المبين بالشكل إذ إنّ المسافة بين الجيزان المتجاورة على المسقط الأفقي 3.25m الجائز يحمل بلاطة ملينة سماكتها 120mm والحمولات مبيّنة بالشكل، تؤخذ الأبعاد محورية:

250mm	عرض الجائز
700mm	ارتفاع الجائز
20MPa	f'_c
360MPa	f_{ys}
360MPa	f_y





1- تصعيد الحمولات:

مركزة	موزعة	نوع الحمولة
$1.4 \times 60 = 84kN/m$	$1.4 \times 40 = 56kN/m$	الميتة المصعدة
$1.7 \times 20 = 34kN/m$	$1.7 \times 15 = 25.5kN/m$	الحية المصعدة

2- تحقيق شرط السهم في الجيزان غير المسلحة على الضغط: إذ إن المقاومة المميزة أكبر من 20MPa

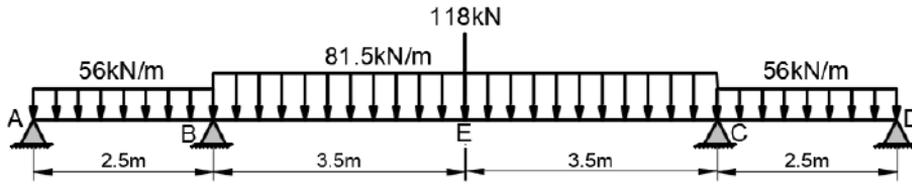
$$h_{\min} = \frac{L}{15} = \frac{2500}{15} = 166.67mm < 700mm \quad \text{a. المجاز AB}$$

b. المجاز BC

$$h_{\min} = \frac{L}{16} = \frac{7000}{16} = 437.5mm < 700mm$$

3- التصميم على الانعطاف:

- لإيجاد العزم الموجب الأعظمي في المجاز BC يتم تحميل كل المجازات بالحمولات الميتة فقط بينما تحمل الحمولات الحية على هذا المجاز فقط:



إن الجائز غير مقرر من الدرجة الثانية، باستعمال طريقة العزوم الثلاثة وبالاستفادة من التناظر يبقى مجهول واحد هو $M_B = M_C$:

$$M_A L_1 + 2(L_1 + L_2)M_B + M_C L_2 = -\frac{W_{u1}L_1^3}{4} - \frac{W_{u2}L_2^3}{4} - P_{u2}L_2^2(k_2 - k_3^3)$$

$$0 + 2(2.5 + 7)M_B + 7M_B = -\frac{56 \times 2.5^3}{4} - \frac{81.5 \times 7^3}{4} - 118 \times 7^2(0.375)$$

$$26M_B = -9375.63 \Rightarrow M_B = -360.6 \text{ kN.m}$$

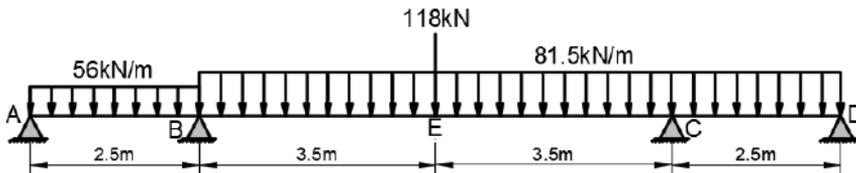
بتخفيض العزم السالب بنسبة 15% بغية أخذ عرض المسند بالحسبان يصبح:

$$M_B = 0.85 \times 360.6 = 306.5 \text{ kN.m}$$

بحسب مبدأ تنضد الأثار يكون العزم الموجب الأعظمي وسط المجاز:

$$M_{u\max}^+ = \frac{W_{u2}L_2^2}{8} + \frac{P_{u2}L_2}{4} - M_B = \frac{81.5 \times 7^2}{8} + \frac{118 \times 7}{4} - 306.5 = 400 \text{ kN.m}$$

- لإيجاد العزم السالب الأعظمي في المسند C والجهد القاطع عند المساند الوسطية، يتم التحميل بكامل الحمولات الحية والميتة يمين المسند ويساره، في حين يتم التحميل بالحمولة الميتة فقط في المجاز AB.



في هذه الحالة لا يوجد تناظر ويجب تطبيق معادلة العزوم الثلاثة مرتين، مرة على المجازين ABC ومرة على المجازين BCD:

$$M_A L_1 + 2(L_1 + L_2)M_B + M_C L_2 = -\frac{W_{u1} L_1^3}{4} - \frac{W_{u2} L_2^3}{4} - P_{u2} L_2^2 (k_2 - k_2^3)$$

$$0 + 2(2.5 + 7)M_B + 7M_C = -\frac{56 \times 2.5^3}{4} - \frac{81.5 \times 7^3}{4} - 118 \times 7^2 (0.375)$$

$$19M_B + 7M_C = -9375.63 \quad (I)$$

$$M_B L_2 + 2(L_2 + L_3)M_C + M_D L_3 = -\frac{W_{u2} L_2^3}{4} - P_{u2} L_2^2 (k_2 - k_2^3) - \frac{W_{u3} L_3^3}{4}$$

$$7M_B + 2(2.5 + 7)M_C + 0 = -\frac{81.5 \times 7^3}{4} - 118 \times 7^2 (0.375) - \frac{81.5 \times 2.5^3}{4}$$

$$7M_B + 19M_C = -9475.23 \quad (II)$$

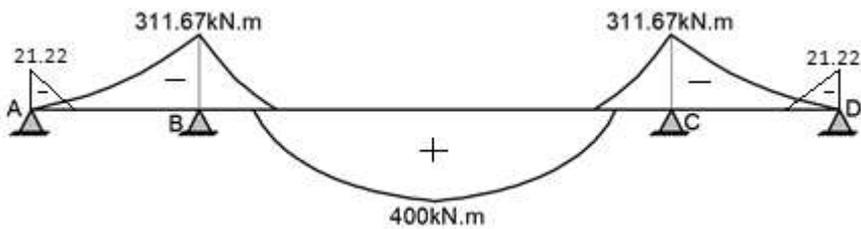
بالحل المشترك يتم الحصول على:

$$M_B = -358.37 \text{ kN.m} \quad M_C = -366.67 \text{ kN.m}$$

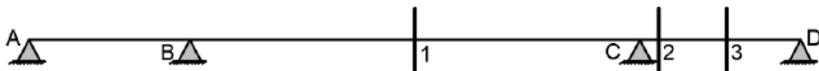
بتخفيض العزم السالب بنسبة 15% يصبح:

$$M_C = -311.67 \text{ kN.m}$$

بالتناظر تكون قيمة العزم السالب في B مساوية لقيمة العزم السالب في C، ويكون شكل مغلف عزم الانعطاف النهائي:



• إن المقاطع الحرجة على الانعطاف مبينة بالشكل:



المقطع رقم (1) العزم الموجب الأعظمي: $M_u^+ = 400kN.m$ المقطع يتصرف بشكل T:
 ○ عرض طاولة الضغط:

يتم حساب عرض الجناح في الجائز الأصغر بين القيم الآتية كون الجائز يحمل بلاطة مليئة:

$$b_f = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_0}{4} = \frac{0.76 \times 7000}{4} = 1330mm \\ 12t_f + b_w = 1690mm \\ D = 3250mm \end{array} \right. \quad b_f = 1300mm$$

إذ تمت القسمة على (4) في الحد الأول لأن عزم الحمولة الموزعة أكبر من عزم الحمولة المركزة.

○ الارتفاع الفعال:

بفرض سماكة التغطية $d' = 50mm$ يكون الارتفاع الفعال مساوياً:

$$d = h_p - d' = 650mm$$

العزم الذي يتحمله الجناح

$$M_{d0}^+ = \Omega 0.85 f_c' b_f t_f \left(d - \frac{t_f}{2} \right) = 1408.2kN.m > 400kN.m$$

مستطيل عرضه b_f

المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f_c' b_f d^2}$	0.0476
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.0488
$\alpha_{max} = \frac{267.75}{630 + f_y} > \alpha$ تسليح شد فقط	0.27
$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.976
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \quad mm^2$	1946

$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \quad mm^2$	406.3
$a_b = 0.85 \frac{630}{630 + f_y} d \quad mm$	351.6 > 120
$A_{s \max} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f'_c}{f_y} + \frac{0.85 f'_c (b_f - b_w) t_f}{b_w \cdot d \cdot f_y} \right] b_w d \quad mm^2$	2924.6 > 1946
$A_s (used)$	$3\phi 20 + 3\phi 22 = 2082 mm^2$

يجوز اختيار تسليح قيمته أكبر من المحسوبة بنسبة لا تزيد على 15% أو أقل من المحسوب بنسبة لا تتجاوز 3%.

- المقطع (2): العزم السالب في المسند B والمسند C: $M_{B-C}^- = 311.67 kN.m$
- المقطع يتصرف بشكل مستطيل عرضه b_w :

المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f'_c b_w d^2}$	0.193
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.216
$\alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y} > \alpha$ تسليح شد فقط	0.27
$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.892
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \quad mm^2$	1659
$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \quad mm^2$	406.3
$A_{s \max} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f'_c}{f_y} \right] b_w d \quad mm^2$	2075 > 1659
$A_s (used)$	$6\phi 20 = 1885 mm^2$

- المقطع (3): العزم الموجب الاعتباري وسط المجاز AB-CD

$$M_u^+ = \frac{W_u L^2}{16} = \frac{81.5 \times 2.5^2}{16} = 31.84 kN.m$$

$$b_f = \min \begin{cases} \frac{L_0}{4} = \frac{0.87 \times 2500}{4} = 543.75 mm \\ 12t_f + b_w = 1690 mm \\ D = 3250 mm \end{cases} \quad b_f = 540 mm$$

العزم الذي يتحمله الجناح

$$M_{d0}^+ = \Omega 0.85 f_c' b_f t_f \left(d - \frac{t_f}{2} \right) = 585 kN.m > 31.84 kN.m$$

مستطيل عرضه b_f :

المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f_c' b_w d^2}$	0.00912
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.00916
$\alpha_{max} = \frac{267.75}{630 + f_y} > \alpha$ تسليح شد فقط	0.27
$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.995
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \quad mm^2$	151.88
$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \quad mm^2$	406.3 > 151.88
$A_{s \max} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f_c'}{f_y} + \frac{0.85 f_c' (b_f - b_w) t_f}{b_w d \cdot f_y} \right] b_w d \quad mm^2$	2925
$A_s (used)$	$3\phi 14 = 462 mm^2$

4- التصميم على القص:

5- من أجل حساب قوة القصّ الحرجة يتم اعتماد الترتيب نفسه للحمولات التي اعتمدت من أجل حساب العزم السالب في المسند C.

$$V_B = \frac{81.5 \times 7}{2} + \frac{118}{2} + (366.67 - 358.37) / 7 = 345.44 kN$$

6- يقع المقطع الحرج على بعد $d/2$ من المسند الوسطي نحو اليسار:

$$V_{cr} = V_B - W_u x_{cr} = 345.44 - 81.5 \left(\frac{0.65}{2} + \frac{0.5}{2} \right) = 298.6 kN$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.75d \times b_w} = \frac{298.6 \times 10^3}{0.75 \times 250 \times 650} = 2.44 MPa$$

$$\tau_{u \max} = 0.65 \sqrt{f'_c} = 2.9 MPa \quad ; \quad \tau_u < \tau_{u \max}$$

وأبعاد المقطع البيتوني كافية.

• حساب إجهاد القصّ الذي يتحمله البيتون:

$$\tau_{cu} = 0.23 \sqrt{f'_c} = 1.028 MPa$$

بما أن إجهاد القصّ أكبر من إجهاد القصّ الذي يتحمله البيتون فهناك حاجة إلى تسليح عرضي.

• حساب تسليح القص: إجهاد القصّ الذي يتحمله الفولاذ.

$$\tau_{su} = \tau_u - \tau_{0u}$$

باعتبار شروط تنفيذ غير مثالية تماماً تكون مساهمة البيتون على القص:

$$\tau_{0u} = 0.35 \tau_{cu} = 0.35 \times 1.028 = 0.3598 MPa$$

إجهاد القصّ الذي يتحمله الفولاذ: $\tau_{su} = 2.44 - 0.3598 = 2.08 MPa$

التباعد بين الأساور يجب أن يحقق الشروط:

$$S \leq \min \begin{cases} \frac{d}{2} = 325 mm \\ 300 mm \end{cases}$$

بفرض $S=200\text{mm}$: تحسب مساحة تسليح القص:

$$A_{st} = \frac{\tau_{su} \times b_w \times S}{f_{ys}} = \frac{2.08 \times 250 \times 200}{360} = 288.89\text{mm}^2$$

• مساحة التسليح الدنيا على القص:

$$A_{st\min} = \frac{0.35}{f_{ys}} b_w \times S = \frac{0.35 \times 250 \times 200}{360} = 48.61\text{mm}^2$$

نستخدم إسوارتين بأربعة أذرع 10mm . $4\phi 10 = 314\text{mm}^2$

• تسليح التعليق:

$$\phi = \max \begin{cases} 10\text{mm} \\ \phi_{\max} / 2 = 11\text{mm} \end{cases} \quad \text{○ القطر:}$$

○ المساحة: $A_{s\max} = 0.2 \times 1946 = 389.2\text{mm}^2$ و عليه يتم استخدام $3\phi 14$

• تسليح التقلص:

○ العدد: يحدد العدد بحيث لا يزيد التباعد الشاقولي بين قضبان التقلص على 30cm .

○ القطر: لا يقل قطر قضبان التقلص عن نصف قطر أكبر قضيب في التسليح الطولي المحسوب أو 10mm أيهما أكبر.

$$\phi_{sh} = \max \begin{cases} 10\text{mm} \\ \phi_{\max} / 2 = 11 \end{cases} \Rightarrow 12\text{mm}$$

○ المساحة: لا تقل مساحة تسليح التقلص عن:

$$A_{sh} = 0.001bd = 0.001 \times 250 \times 650 = 162.5\text{mm}^2 \Rightarrow 2\phi 12 = 226\text{mm}^2$$

1. حساب طول التثبيت:

a. حالة الشد:

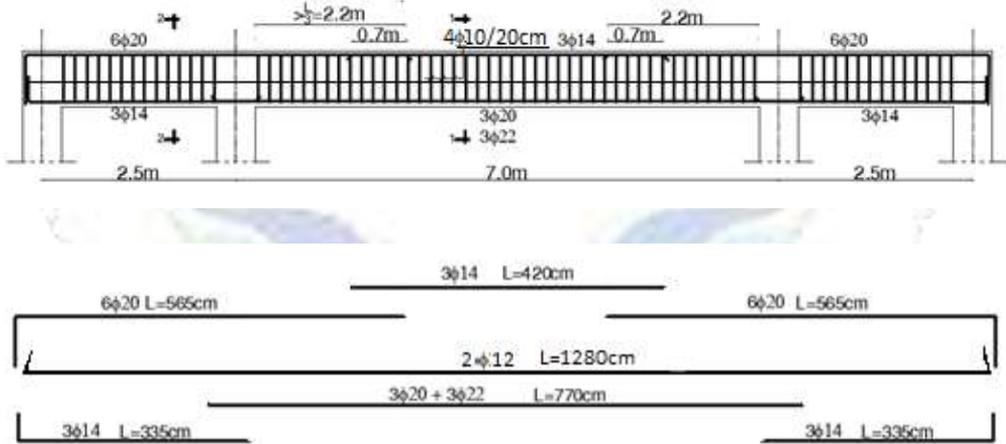
$$L_b = \max \left\{ \begin{array}{l} 0.016 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \phi^2 = 1.288 \phi^2 \\ 0.075 \phi f_y = 27 \phi \\ 300 \text{mm} \end{array} \right.$$

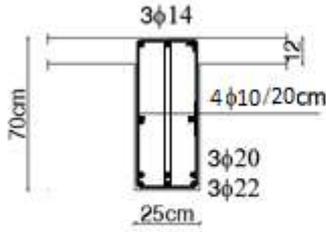
a. حالة الضغط:

$$L_b = \max \left\{ \begin{array}{l} 0.253 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \phi = 20.4 \phi \\ 0.05 \phi f_y = 18 \phi \end{array} \right.$$

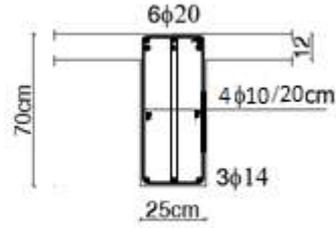
للتسهيل يتم تعميم القيم الخاصة بالقطر الأكبر، من أجل تسليح بقطر 22mm يكون:

علوي	سفلي	
41 ϕ	29 ϕ	الشد
30 ϕ	21 ϕ	الضغط





Section 1 -1

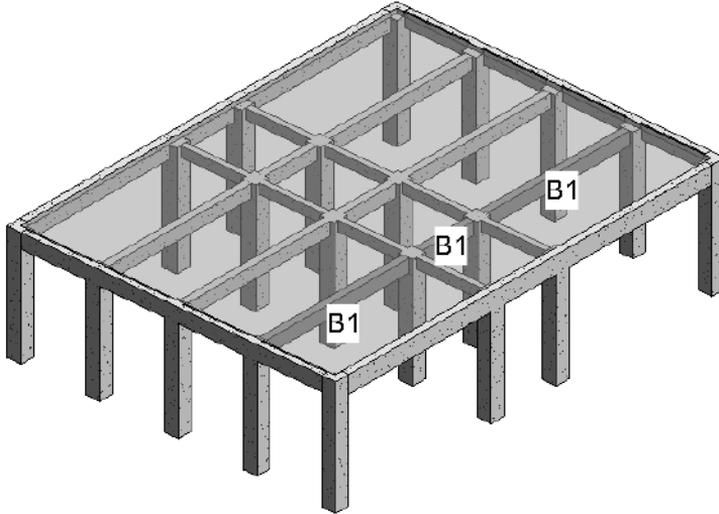


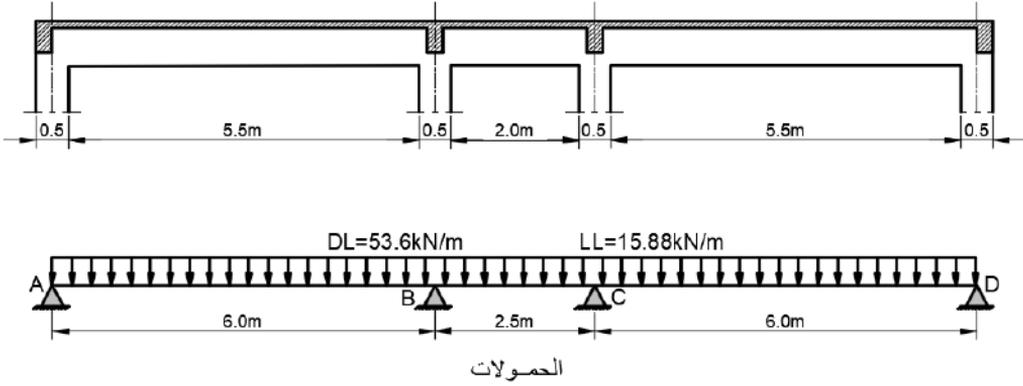
Section 2 -2

مثال تطبيقي (3):

يُطلب تصميم الجائز المبين بالشكل، إذ إنه جائز مستمر بثلاث مجازات غير متساوية، المسافة بين الجيزان المتجاورة تساوي إلى 2.75m، تؤخذ الأبعاد محورية.

120mm	سماكة البلاطة
250mm	عرض الجائز
600mm	ارتفاع الجائز
20MPa	f'_c
360MPa	f_{ys}
360MPa	f_y





الحل:

1- تحقيق شرط السهم: إذ إن المقاومة المميزة أكبر من 20MPa

a. المجاز AB

$$h_{\min} = \frac{L}{15} = \frac{6000}{15} = 400\text{mm} < 600\text{mm}$$

b. المجاز BC

$$h_{\min} = \frac{L}{16} = \frac{2500}{16} = 156\text{mm} < 600\text{mm}$$

2- رسم مغلف العزوم:

• تصعيد الحمولات:

موزعة	نوع الحمولة
$1.4 \times 53.6 = 75\text{kN/m}$	الميتة المصعدة
$1.7 \times 15.88 = 27\text{kN/m}$	الحية المصعدة
102kN/m	الكلية المصعدة

يتم إيجاد العزوم بوساطة طريقة العزوم الثلاثة:

- من أجل العزم الموجب الأعظمي في المجاز AB يتم تحميل المجاز AB والمجاز CD بكامل الحمولات الميتة والحية معاً في حين يتم تحميل المجاز BC بالحمولات الميتة فقط. بتطبيق معادلة العزوم الثلاثة على المجازين ABC:

$$M_A L_1 + 2(L_1 + L_2)M_B + M_C L_2 = -\frac{W_{u1}L_1^3}{4} - \frac{W_{u2}L_2^3}{4}$$

$$0 + 2(6 + 2.5)M_B + 2.5M_B = -\frac{102 \times 6^3}{4} - \frac{75 \times 2.5^3}{4}$$

$$19.5M_B = -5800.97 \Rightarrow M_B = -297.5kN.m$$

بتخفيض العزم السالب بنسبة 15% بغية أخذ عرض المسند بالحسبان يصبح:

$$M_B = 0.85 \times 297.5 = 252.88kN.m$$

بحسب مبدأ تنضد الأثار تكون قوى القص في A و B:

$$V_A = \frac{W_{u1}L_1}{2} - \frac{M_B}{L_1} = \frac{102 \times 6}{2} - \frac{252.88}{6} = 263.85kN.m$$

$$V_B = \frac{W_{u1}L_1}{2} + \frac{M_B}{L_1} = \frac{102 \times 6}{2} + \frac{252.88}{6} = 348.15kN.m$$

$$M_{uAB} = 263.85x - 102\frac{x^2}{2} \quad \text{معادلة عزم الانعطاف في المجاز AB:}$$

نقطة انعدام الجهد القاطع وهي مكان حصول العزم الأعظمي:

$$V_u = 263.85 - 102x = 0 \Rightarrow x = 2.586m$$

$$M_{uAB}^+ = 263.85(2.586) - 102\frac{(2.586)^2}{2} = 341.46kN.m$$

- من أجل العزم الموجب الأعظمي في المجاز BC يتم تحميل المجاز BC بكامل الحمولات الميتة والحية معاً في حين يتم تحميل المجازين AB و CD بالحمولات الميتة فقط. بتطبيق معادلة العزوم الثلاثة على المجازين ABC:

$$M_A L_1 + 2(L_1 + L_2)M_B + M_C L_2 = -\frac{W_{u1}L_1^3}{4} - \frac{W_{u2}L_2^3}{4}$$

$$0 + 2(6 + 2.5)M_B + 2.5M_B = -\frac{75 \times 6^3}{4} - \frac{102 \times 2.5^3}{4}$$

$$19.5M_B = -4448.44 \Rightarrow M_B = -228.125kN.m$$

بتخفيض العزم السالب بنسبة 15% بغية أخذ عرض المسند بالحسبان يصبح:

$$M_B = 0.15 \times 297.5 = 193.9kN.m$$

$$M_{u\max}^+ = \frac{W_{u2}L_2^2}{8} - M_B = \frac{102 \times 2.5^2}{8} - 193.9 = -114.2kN.m$$

وهذا يعني أن العزم على كامل المجاز BC سالب أي إن (الفتحة شاخصة) وهذا منطقي بسبب كون طول المجاز أقل من نصف طول المجاز المجاور.

- لإيجاد العزم السالب الأعظمي في المسند B والجهد القاطع عند المساند الوسطية يتم التحميل بكامل الحمولات الحية والميتة يمين المسند ويساره B، في حين يتم التحميل بالحمولة الميتة فقط في المجاز CD.

في هذه الحالة لا يوجد تناظرو يجب تطبيق معادلة العزوم الثلاثة مرتين، مرة على المجازين ABC ومرة على المجازين BCD:

$$M_A L_1 + 2(L_1 + L_2)M_B + M_C L_2 = -\frac{W_{u1}L_1^3}{4} - \frac{W_{u2}L_2^3}{4}$$

$$0 + 2(6 + 2.5)M_B + 2.5M_C = -\frac{102 \times 6^3}{4} - \frac{102 \times 2.5^3}{4}$$

$$17M_B + 2.5M_C = -5906.44 \quad (I)$$

$$M_B L_2 + 2(L_2 + L_3)M_C + M_D L_3 = -\frac{W_{u2}L_2^3}{4} - \frac{W_{u3}L_3^3}{4}$$

$$2.5M_B + 2(2.5 + 6)M_C + 0 = -\frac{102 \times 2.5^3}{4} - \frac{75 \times 6^3}{4}$$

$$2.5M_B + 17M_C = -4448.44 \quad (II)$$

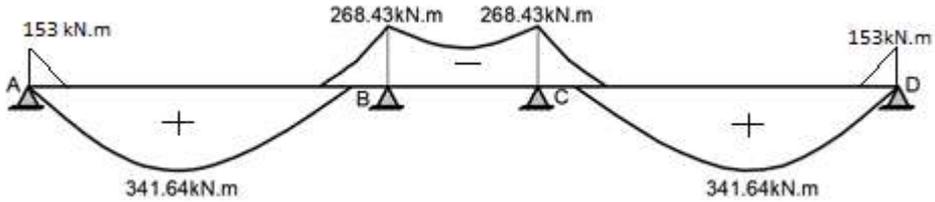
بالحل المشترك يتم الحصول على:

$$M_B = -315.8 \text{ kN.m} \quad M_C = -215.23 \text{ kN.m}$$

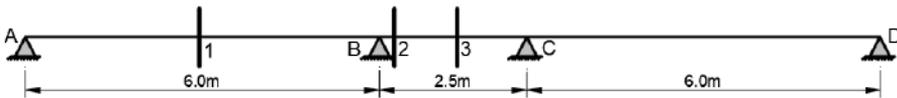
بتخفيض العزم السالب بنسبة 15% يصبح:

$$M_B = -268.43 \text{ kN.m}$$

بالتناظر تكون قيمة العزم السالب في B مساوية لقيمة العزم السالب في C، ويكون شكل مغلف عزم الانعطاف النهائي:



إن المقاطع الحرجة للتصميم على الانعطاف مبينة بالشكل:



- المقطع رقم 1/: العزم الموجب $M_{uAB}^+ = 341.46 \text{ kN.m}$ والمقطع T:

○ الارتفاع الفعال:

بفرض سماكة التغطية $d' = 50mm$ يكون الارتفاع الفعال مساوياً:

$$d = h_b - d' = 550mm$$

○ عرض طاولة الضغط:

يتم حساب عرض الجناح في الجائز الأصغر بين القيم الآتية كون الجائز يحمل بلاطة مليئة:

$$b_f = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_0}{4} = \frac{0.87 \times 6000}{4} = 1305 \text{ mm} \\ 12t_f + b_w = 1690 \text{ mm} \\ D = 2750 \text{ mm} \end{array} \right. \quad b_f = 1300 \text{ mm}$$

العزم الذي يتحمله الجناح

$$M_{d0}^+ = \Omega 0.85 f_c' b_f t_f \left(d - \frac{t_f}{2} \right) = 1169.5 kN.m > M_{max}^+$$

عرضه b_f

المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f_c' b_f d^2}$	0.0568
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.0585
$\alpha_{max} = \frac{267.75}{630 + f_y}$	0.27
$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.97
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \quad mm^2$	1974.7
$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \quad mm^2$	343.75
$a_b = 0.85 \frac{630}{630 + f_y} d \quad mm$	297.5 > 120

$A_{s\max} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f'_c}{f_y} + \frac{0.85 f'_c (b_f - b_w) t_f}{b_w d f_y} \right] b_w d \quad \text{mm}^2$	4730.4 > 1975
$A_s (\text{used})$	3φ20 + 3φ22 = 2082 mm ²

- المقطع /2/: العزم السالب في المسند B والمسند C: $M_B^- = M_C^- = 268.43 \text{ kN.m}$
المقطع يتصرف بشكل مستطيل عرضه b_w :

المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f'_c b_w d^2}$	0.232
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.268
$\alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y}$	0.27
$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.866
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \quad \text{mm}^2$	1739.3
$A_{s\min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \quad \text{mm}^2$	343.75
$A_{s\max} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f'_c}{f_y} \right] b_w d \quad \text{mm}^2$	1755 > 1739.3
$A_s (\text{used})$	6φ20 = 1885 mm ²

- المقطع /3/: العزم سالب بشكل كامل ضمن المجاز BC وعليه يتم فرض عزم اعتياري موجب:

$$M_{BC}^+ = \frac{W_u L^2}{16} = \frac{102 \times 2.5^2}{16} = 39.84 \text{ kN.m}$$

○ عرض طاولة الضغط:

يتم حساب عرض الجناح في الجائز الأصغر بين القيم الآتية كون الجائز يحمل بلاطة مليئة:

$$b_f = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_0}{4} = \frac{0.76 \times 2500}{4} = 475mm \\ 12t_f + b_w = 1690mm \\ D = 2750mm \end{array} \right. \quad b_f = 475mm$$

العزم الذي يتحمله الجناح

$$M_{d0}^+ = \Omega 0.85 f_c' b_f t_f \left(d - \frac{t_f}{2} \right) = 427.33 kN.m > M_{BC}^+$$

عرضه b_f

المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f_c' b_f d^2}$	0.0181
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.0183
$\alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y}$	0.27
$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.991
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \quad mm^2$	225.6
$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \quad mm^2$	343.75 > 225.6
$A_s (used)$	3φ14 = 461 mm ²

7- حساب نقطة إيقاف التسليح في المجاز AB والمجاز BC:

- حساب قيمة العزم المقاوم لمقطع الجائز المسلح بالقضبان المستمرة إلى المساند فقط بفرض أنها تساوي

$$3\phi 22 = 1140.4 \text{mm}^2$$

موقع المحور السليم:

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b_f} = \frac{1140.4 \times 360}{0.85 \times 20 \times 1300} = 18.6 \text{mm} < t_f = 120 \text{mm}$$

$$M_{ur} = \Omega A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0.9 \times 1140.4 \times 360 (550 - 18.6 / 2) = 199.8 \times 10^6 \text{ N.mm} = 199.8 \text{ kN.m}$$

• حساب مسافة الإيقاف النظرية x:

تتم مساواة معادلة العزم في المجاز AB مع قيمة العزم المقاوم:

○ من طرف المسند B:

$$M_{uAB} = 348.15x - 102 \frac{x^2}{2} - 252.88 = 199.8$$

$$-51x^2 + 348.15x - 452.7 = 0 \Rightarrow x = 1.75 \text{m}$$

○ من طرف المسند A:

$$M_{uAB}^+ = 263.85(x) - 102 \frac{(x)^2}{2} = 199.8 \text{ kN.m}$$

$$-51x^2 + 263.85x - 199.8 = 0 \Rightarrow x = 0.92 \text{m}$$

• حساب مسافة الإيقاف الفعلية، إذ تطرح قيمة مسافة الأمان Δ:

$$\Delta = \max \begin{cases} 12\phi = 264 \text{mm} \\ \frac{d}{2} = 275 \text{mm} \end{cases} \quad 275 \text{mm}$$

○ من طرف المسند B: المسافة الصافية:

$$x_C = x - \frac{b_s}{2} - \Delta = 1.75 - 0.25 - 0.275 = 1.225 \text{m} \approx 1.20 \text{m}$$

○ من طرف المسند A: المسافة الصافية:

$$x_C = x - \frac{b_s}{2} - \Delta = 0.92 - 0.25 - 0.275 = 0.395 \text{m}$$

يُلاحظ أنه لا جدوى اقتصادية من إيقاف التسليح السفلي من طرف المسند A.

8- التصميم على القص:

- من أجل حساب قوة القصّ الحرجة يتم اعتماد الترتيب نفسه للحمولات التي اعتمدت من أجل حساب العزم السالب في المسندين B و C.

$$V_B = \frac{W_u L_1}{2} + \frac{M_B}{L_1} = \frac{102 \times 6}{2} + \frac{268.43}{6} = 350.74 kN.m$$

- يقع المقطع الحرج على بعد $d/2$ من المسند الوسطي نحو اليسار:

$$V_{cr} = V_B - W_u x_{cr} = 350.74 - 102 \left(\frac{0.55}{2} + \frac{0.5}{2} \right) = 297.2 kN$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.75d \times b_w} = \frac{297.2 \times 10^3}{0.75 \times 250 \times 550} = 2.543 MPa$$

$$\tau_{u \max} = 0.65 \sqrt{f'_c} = 2.91 MPa \quad ; \quad \tau_u < \tau_{u \max}$$

وأبعاد المقطع البيتوني كافية.

- حساب إجهاد القصّ الذي يتحمله البيتون:

$$\tau_{cu} = 0.23 \sqrt{f'_c} = 1.028 MPa$$

بما أن إجهاد القصّ أكبر من إجهاد القصّ الذي يتحمله البيتون فهناك حاجة إلى تسليح عرضي.

- حساب تسليح القص: إجهاد القصّ الذي يتحمله الفولاذ.

$$\tau_{su} = \tau_u - \tau_{0u}$$

باعتبار شروط تنفيذ غير مثالية تماماً تكون مساهمة البيتون على القص:

$$\tau_{0u} = 0.35 \tau_{cu} = 0.35 \times 1.028 = 0.36 MPa$$

$$\tau_{su} = 2.543 - 0.36 = 2.183 MPa \quad \text{إجهاد القصّ الذي يتحمله الفولاذ:}$$

التباعد بين الأساور يجب أن يحقق الشروط:

$$S \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{2} = 275 mm \\ 300 mm \end{array} \right.$$

بفرض $S=200 mm$: تحسب مساحة تسليح القص:

$$A_{st} = \frac{\tau_{su} \times b_w \times S}{f_y} = \frac{2.183 \times 250 \times 200}{360} = 303.2 mm^2$$

• مساحة التسليح الدنيا على القص:

$$A_{st\min} = \frac{0.35}{f_y} b_w \times S = \frac{0.35 \times 250 \times 200}{360} = 48.6 \text{mm}^2$$

نستخدم إسوارتين بأربعة أذرع 10mm . $4\phi 10 = 314 \text{mm}^2$

• تسليح التعليق:

$$\phi = \max \begin{cases} 10 \text{mm} \\ \phi_{l\max} / 2 = 11 \text{mm} \end{cases} \quad \text{القطر: } \circ$$

• المساحة: $20\% A_{s\max} = 0.2 \times 1974.7 = 394.94 \text{mm}^2$ وعليه يتم استخدام

$3\phi 14$

2. حساب طول التثبيت:

a. حالة الشد:

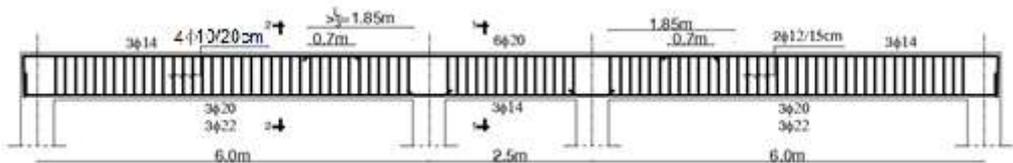
$$L_b = \max \begin{cases} 0.016 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \phi^2 = 1.288 \phi^2 \\ 0.075 \phi f_y = 27 \phi \\ 300 \text{mm} \end{cases}$$

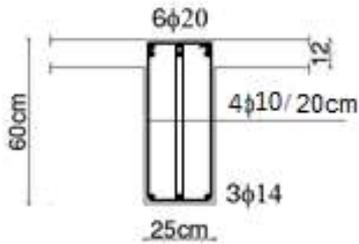
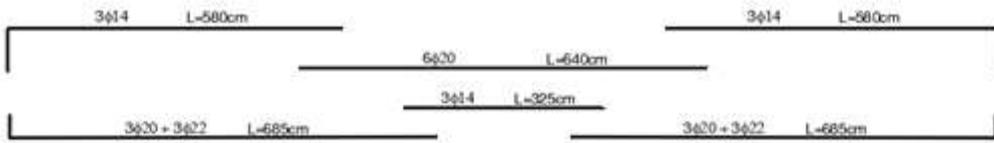
b. حالة الضغط:

$$L_b = \max \begin{cases} 0.253 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \phi = 20.4 \phi \\ 0.05 \phi f_y = 18 \phi \end{cases}$$

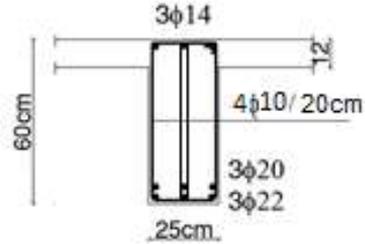
للتسهيل يتم تعميم القيم الخاصة بالقطر الأكبر، من أجل تسليح بقطر 22mm يكون:

علوي	سفلي	
4ϕ	29ϕ	الشد
30ϕ	21ϕ	الضغط





Section 1 - 1

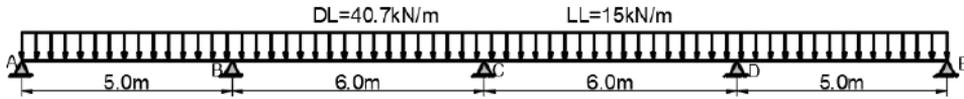
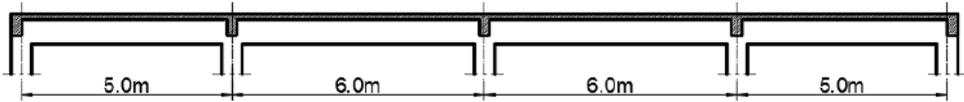
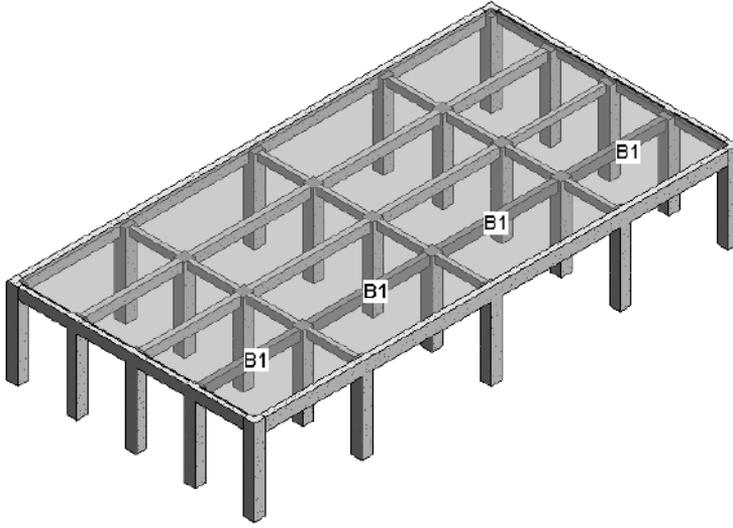


Section 2 - 2

مثال تطبيقي (4):

يُطلب تصميم الجائز المتناظر المبين بالشكل، إذ إنّه جائز مستمر بأربعة مجازات غير متساوية، المسافة بين الجيزان المتجاورة تساوي إلى 2.75m، تؤخذ الأبعاد محورية.

120mm	سماكة البلاطة
250mm	عرض الجائز
600mm	ارتفاع الجائز
500mm	عرض العمود
25MPa	f'_c
240MPa	f_{ys}
360MPa	f_y



الحمولات

الحل:

1- تحقيق شرط السهم: إذ إن المقاومة المميزة أكبر من 20MPa

a. المجاز AB

$$h_{\min} = \frac{L}{15} = \frac{5000}{15} = 333.33\text{mm} < 600\text{mm}$$

b. المجاز BC

$$h_{\min} = \frac{L}{16} = \frac{6000}{16} = 375\text{mm} < 600\text{mm}$$

2- تصعيد الحمولات:

موزعة	نوع الحمولة
$1.4 \times 40.7 = 56.98kN/m$	الميتة المصعدة
$1.7 \times 15 = 25.5kN/m$	الحيمة المصعدة
82.5kN/m	الكليية المصعدة

3- التصميم على الانعطاف:

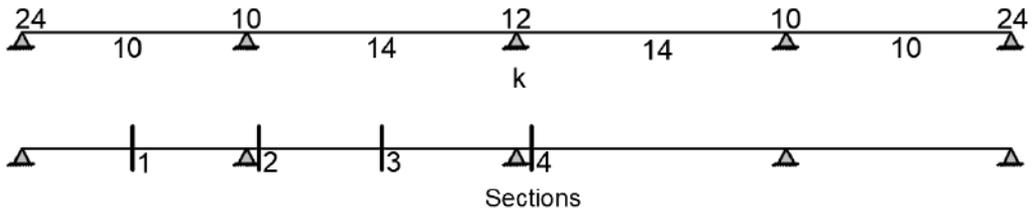
• حساب العزوم:

إن طريقة عوامل الكود التقريبية قابلة للتطبيق في هذا المثال إذ تتحقق الشروط الثلاثة:

- الحمولات موزعة بانتظام.
- المجازات متقاربة $\frac{6-5}{6} = 16\% < 25\%$
- لا يزيد الحمل الحي المصعد عن ضعف الحمل الميت المصعد

$$25.5 < 2 \times 56.98 = 113.96kN/m$$

العوامل k:



العزوم الموجبة	العزوم السالبة
$\frac{W_u L_2^2}{14} = \frac{82.5 \times 6^2}{14} = 212.14kN.m$	$\frac{W_u L_{max}^2}{12} = \frac{82.5 \times 6^2}{12} = 247.5kN.m$
$\frac{W_u L_2^2}{14} = \frac{82.5 \times 6^2}{14} = 212.14kN.m$	$\frac{W_u L_{max}^2}{10} = \frac{82.5 \times 6^2}{10} = 297kN.m$
$\frac{W_u L_1^2}{10} = \frac{82.5 \times 5^2}{10} = 206.25kN.m$	$\frac{W_u L_1^2}{24} = \frac{82.5 \times 5^2}{24} = 85.94kN.m$

• المقطع رقم (1) : العزم الموجب $M_{uAB}^+ = 206.25kN.m$ والمقطع T:

○ عرض طاولة الضغط:

يتم حساب عرض الجناح في الجائز الأصغر بين القيم الآتية كون الجائز يحمل بلاطة مليئة:

$$b_f = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_0}{4} = \frac{0.87 \times 5000}{4} = 1087.5mm \\ 12t_f + b_w = 1690mm \\ D = 2750mm \end{array} \right. \quad b_f = 1050mm$$

○ الارتفاع الفعال:

بفرض سماكة التغطية $d' = 50mm$ يكون الارتفاع الفعال مساوياً:

$$d = h_b - d' = 550mm$$

العزم الذي يتحمله الجناح

$$\cdot M_{d0}^+ = \Omega 0.85 f_c' b_f t_f \left(d - \frac{t_f}{2} \right) = 1180.8kN.m > 206.25kN.m$$

والمقطع مستطيل عرضه b_f

المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f_c' b_f d^2}$	0.0339
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.0345
$\alpha_{max} = \frac{267.75}{630 + f_y}$	0.27
$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.98
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \quad mm^2$	1177.75
$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \quad mm^2$	343.75

$a_b = 0.85 \frac{630}{630 + f_y} d \quad mm$	297.5 > 120
$A_{s \max} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f'_c}{f_y} + \frac{0.85 f'_c (b_f - b_w) t_f}{b_w \cdot d \cdot f_y} \right] b_w d \quad mm^2$	5027.6 > 1177.75
$A_s (used)$	5φ20 = 1270 mm ²

• المقطع (2): العزم السالب في المسند B: $M_B^- = 297 kN.m$

○ المقطع يتصرف بشكل مستطيل عرضه b_w :

المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f'_c b_w d^2}$	0.205
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.232
$\alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y}$	0.27
$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.884
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \quad mm^2$	1885.73
$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \quad mm^2$	343.75
$A_{s \max} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f'_c}{f_y} \right] b_w d \quad mm^2$	2194 > 1886
$A_s (used)$	6φ20 = 1885 mm ²

• المقطع رقم (3): العزم الموجب $M_{uBC}^+ = 212.14 kN.m$ والمقطع T:

○ عرض طاولة الضغط:

يتم حساب عرض الجناح في الجائز الأصغر بين القيم الآتية كون الجائز يحمل بلاطة مليئة:

$$b_f = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_0}{4} = \frac{0.76 \times 6000}{4} = 1140 \text{mm} \\ 12t_f + b_w = 1690 \text{mm} \\ D = 2750 \text{mm} \end{array} \right. \quad b_f = 1000 \text{mm}$$

العزم الذي يتحمله الجناح

$$\cdot M_{d0}^+ = \Omega 0.85 f'_c b_f t_f \left(d - \frac{t_f}{2} \right) = 1124.6 \text{kN.m} > 212.14 \text{kN.m}$$

والمقطع مستطيل عرضه b_f

المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f'_c b_f d^2}$	0.0367
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.0374
$\alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y}$	0.27
$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.981
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \quad \text{mm}^2$	1213
$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \quad \text{mm}^2$	343.75
$a_b = 0.85 \frac{630}{630 + f_y} d \quad \text{mm}$	297.5 > 120
$A_{s \max} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f'_c}{f_y} + \frac{0.85 f'_c (b_f - b_w) t_f}{b_w d \cdot f_y} \right] b_w d \quad \text{mm}^2$	4850.5 > 1177.75
$A_s (\text{used})$	5φ18 = 1270 mm ²

- المقطع /4/: العزم السالب في المسند C: $M_C^- = 247.5kN.m$
المقطع يتصرف بشكل مستطيل عرضه b_w :

المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f_c' b_w d^2}$	0.171
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.189
$\alpha_{max} = \frac{267.75}{630 + f_y}$	0.27
$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.906
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \quad mm^2$	1534
$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \quad mm^2$	343.75
$A_{s \max} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f_c'}{f_y} \right] b_w d \quad mm^2$	2194 > 1534
$A_s(used)$	$5\phi 20 = 1570.8mm^2$

- العزم السالب الاعباري في المسند E, A: $M_A^- = M_E^- = 85.94kN.m$
المقطع يتصرف بشكل مستطيل عرضه b_w :

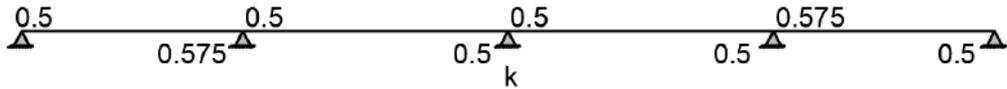
المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f_c' b_w d^2}$	0.0594
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.0613
$\alpha_{max} = \frac{267.75}{630 + f_y}$	0.27

$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.969
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \text{ mm}^2$	497.5
$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \text{ mm}^2$	343.75
$A_{s \max} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f'_c}{f_y} \right] b_w d \text{ mm}^2$	2194 > 497.5
$A_s (\text{used})$	$3\phi 16 = 603 \text{ mm}^2$

4- التصميم على القص:

• حساب قوى القص:

العوامل K



المجاز الوسطي BC	المجاز الطرفي AB
$V_{CL} = \frac{W_u L_2}{2} = \frac{82.5 \times 6}{2} = 247.5 \text{ kN.m}$	$V_{BL} = \frac{W_u L_1}{2} \cdot 1.15 = \frac{82.5 \times 5}{2} \cdot 1.15 = 237.2 \text{ kN.m}$
$V_{BR} = \frac{W_u L_2}{2} = \frac{82.5 \times 6}{2} = 247.5 \text{ kN.m}$	$V_A = \frac{W_u L_1}{2} = \frac{82.5 \times 5}{2} = 206.25 \text{ kN.m}$

• الجهد القاطع الأعظمي في المجاز AB: يقع المقطع الحرج على بعد $d/2$ من المسند الوسطي

نحو اليسار:

$$V_{cr} = V_B - W_u x_{cr} = 237.2 - 82.5 \left(\frac{0.55}{2} + \frac{0.5}{2} \right) = 193.89 \text{ kN}$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.75d \times b_w} = \frac{193.89 \times 10^3}{0.75 \times 250 \times 550} = 1.88 \text{ MPa}$$

$$\tau_{u \max} = 0.65 \sqrt{f'_c} = 3.25 \text{ MPa} \quad ; \quad \tau_u < \tau_{u \max}$$

وأبعاد المقطع البيتوني كافية.

- حساب إجهاد القصّ الذي يتحمّله البيتون:

$$\tau_{cu} = 0.23\sqrt{f'_c} = 1.15MPa$$

بما أن إجهاد القصّ أكبر من إجهاد القصّ الذي يتحمّله البيتون فهناك حاجة إلى تسليح عرضي.

- حساب تسليح القص: إجهاد القصّ الذي يتحمّله الفولاذ.

$$\tau_{su} = \tau_u - \tau_{0u}$$

باعتبار شروط تنفيذ مثالية تماماً تكون مساهمة البيتون على القص:

$$\tau_{0u} = 0.7\tau_{cu} = 0.7 \times 1.15 = 0.805MPa$$

$$\tau_{su} = 1.88 - 0.805 = 1.075MPa \quad \text{إجهاد القصّ الذي يتحمّله الفولاذ:}$$

التباعد بين الأساور يجب أن يحقق الشروط:

$$S \leq \min \begin{cases} \frac{d}{2} = 275mm \\ 300mm \end{cases}$$

بفرض S=125mm:

- تحسب مساحة تسليح القص:

$$A_{st} = \frac{\tau_{su} \times b_w \times S}{f_y} = \frac{1.075 \times 250 \times 125}{240} = 140mm^2$$

- مساحة التسليح الدنيا على القص:

$$A_{st\min} = \frac{0.35}{f_y} b_w \times S = \frac{0.35 \times 250 \times 125}{360} = 30.38mm^2$$

نستخدم إسورة بذراعين 10mm. $2\phi 10 = 157mm^2$ ويتم التخفيف إلى تباعد 200 وسط المجاز.

- الجهد القاطع الأعظمي في المجاز BC: يقع المقطع الحرج على بعد d/2 من المسند الوسطي نحو اليسار:

$$V_{cr} = V_B - W_u x_{cr} = 247.5 - 82.5 \left(\frac{0.55}{2} + \frac{0.5}{2} \right) = 204.2kN$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.75d \times b_w} = \frac{204.2 \times 10^3}{0.75 \times 250 \times 550} = 1.98MPa < \tau_{u\max}$$

وأبعاد المقطع البيتوني كافية.

- إجهاد القصّ الذي يتحمّله الفولاذ: $\tau_{su} = 1.98 - 0.805 = 1.175MPa$

بفرض $S=125mm$:

• تحسب مساحة تسليح القص:

$$A_{st} = \frac{\tau_{su} \times b_w \times S}{f_y} = \frac{1.075 \times 250 \times 125}{240} = 140mm^2$$

• مساحة التسليح الدنيا على القص:

$$A_{stmin} = \frac{0.35}{f_y} b_w \times S = \frac{0.35 \times 250 \times 125}{360} = 30.38mm^2$$

نستخدم إسورة بذراعين $10mm$. $2\phi 10 = 157mm^2$ ويتم التخفيف إلى تباعد 200 وسط المجاز.

• تسليح التعليق:

$$\phi = \max \left\{ \begin{array}{l} 10mm \\ \phi_{lmax} / 2 = 10mm \end{array} \right. \quad \text{○ القطر}$$

$$\text{○ المساحة: } A_{smax} 20\% = 0.2 \times 1177 = 235.4mm^2 \text{ وعليه يتم استخدام } 3\phi 10$$

3. حساب طول التثبيت:

a. حالة الشد:

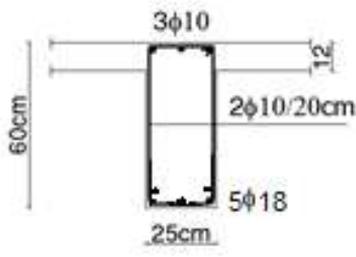
$$L_b = \max \left\{ \begin{array}{l} 0.016 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \phi^2 = 1.288\phi^2 \\ 0.075\phi f_y = 27\phi \\ 300mm \end{array} \right.$$

c. حالة الضغط:

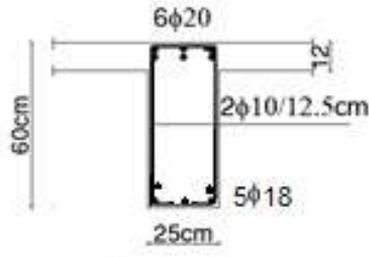
$$L_b = \max \left\{ \begin{array}{l} 0.253 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \phi = 20.4\phi \\ 0.05\phi f_y = 18\phi \end{array} \right.$$

للتسهيل يتم تعميم القيم الخاصة بالقطر الأكبر، من أجل تسليح بقطر 20mm يكون:

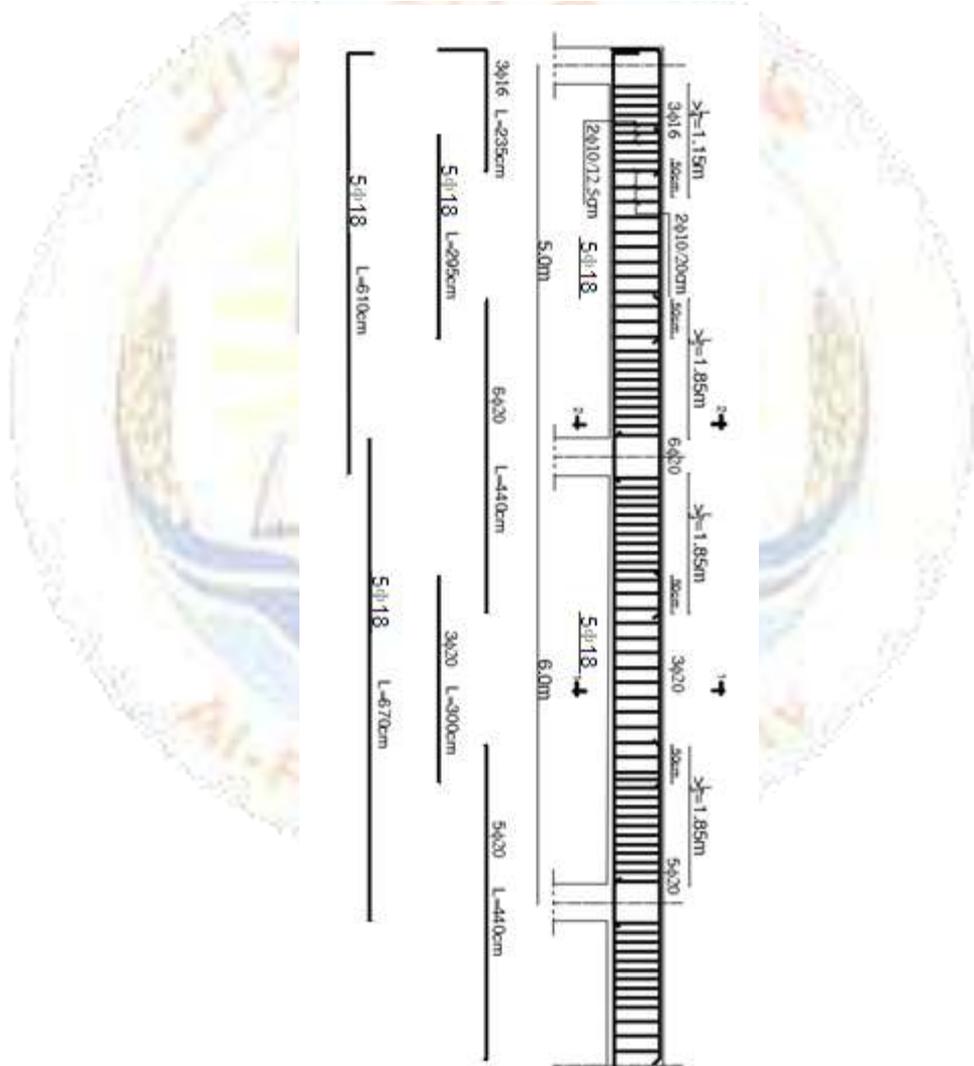
علوي	سفلي	
41 ϕ	26 ϕ	الشد
30 ϕ	21 ϕ	الضغط



Section 1-1



Section 2-2





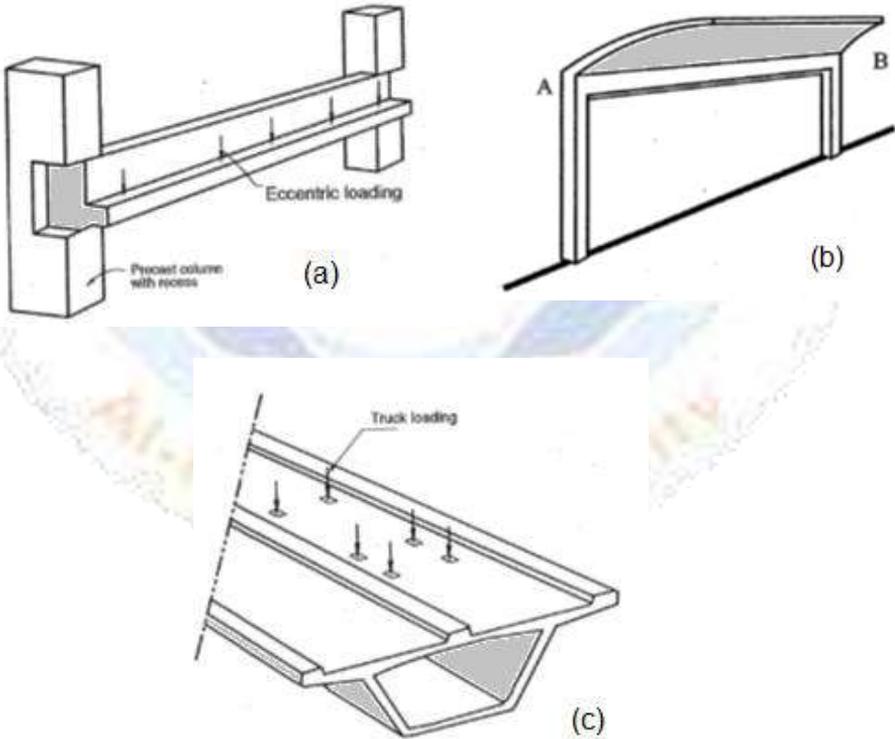
الفصل الرابع

تصميم العناصر الإنشائية على الفتل

Design Structural Elements for Torsion

1-4 مقدمة:

إن الجيزان الحاملة للمظلات Canopy supporting beams للجسور القوسية Curved bridge girders والحاملة للقشريات Edge beamsfor shells والجيزان الحاملة للأدراج الحلزونية Spiral Stair-cases والجيزان الصندوقية المحملة لا مركزياً Eccentrically loaded box girders كلها أمثلة أساسية على العناصر المعرضة إلى عزم فتل مرافق لعزم الانعطاف والجهد القاطع. سيتم في هذا الفصل عرض أسباب حدوث الفتل في عناصر البيتون المسلح، واشتراطات الكود العربي السوري المتعلقة بالفتل إضافة إلى بعض الأمثلة الخاصة بالتصميم على الفتل.



الشكل (1-4) أشكال الفتل

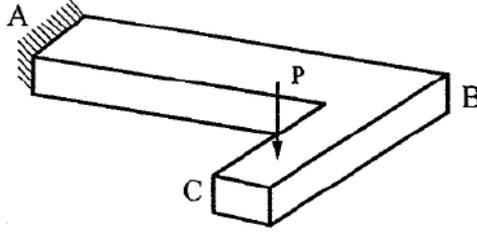
4-2 أنواع الفتل:

يُقسم الفتل إلى مجموعتين رئيسيتين:

- فتل التوازن Equilibrium Torsion
- فتل التوافقية Compatibility Torsion

4-2-1 فتل التوازن Equilibrium Torsion:

يحدث فتل التوازن عندما يكون عزم الفتل أساسياً من أجل توازن المنشأ وكمثال على ذلك يُذكر الجائز الظفري الأفقي المبين بالشكل، إذ يحمل حمولة قدرها P في نهاية الظفر. إن الجزء AB يخضع إلى عزم فتل ويجب أن يقاومه ليبقى متوازناً، وإذا لم تتم مقاومة عزم الفتل فإن الجائز سوف يفتل حول محوره وعليه ينهار المنشأ. كذلك الأمر إن فتل الجائز AB في المظلة المبينة بالشكل (1-4-4) أعلاه سوف يؤدي إلى انهيار البلاطة المتصلة به وانهيائه.

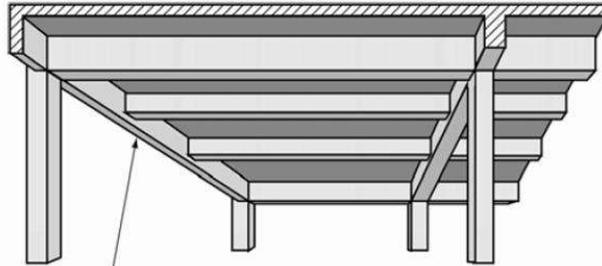


الشكل (2-4) فتل التوازن

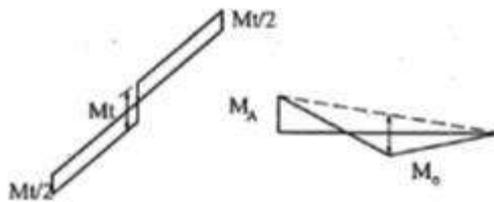
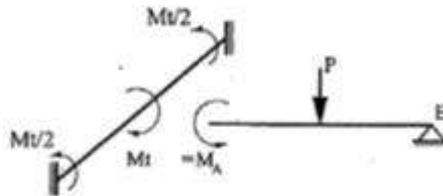
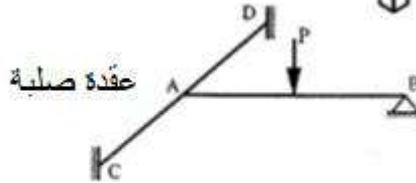
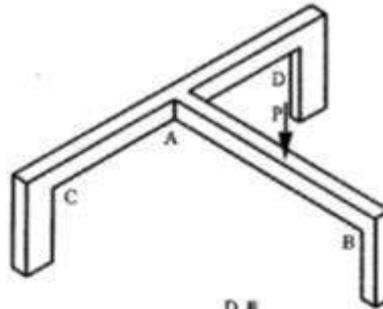
4-2-2 الفتل التوافقية Compatibility Torsion:

ينتج الفتل عن توافقية التشوهات بين العناصر الملتقية في عقدة ما. مثلاً على ذلك المنشأ المبين بالشكل (3-4)، إذ إن العقدة A تربط بين العنصر AB والعنصر CD . من أجل توافقية التشوهات بين العنصرين فإن عزم الانعطاف في العنصر AB وليكن M_A يساوي إلى عزم فتل في العنصر CD وليكن M_t . إن قيمة هذين العزمين تعتمد على النسبة بين الصلابة الفتلية في العنصر CD والصلابة الانعطافية في العنصر AB . بتعبير آخر يمكن القول أن كلاً من عزم الانعطاف M_A وعزم الفتل M_t يتولدان بسبب الحاجة إلى توافق زاوية الدوران في النقطة A من العنصر AB مع زاوية الفتل في النقطة A من العنصر

CD. أي إن العقدة A يجب أن تكون وثيقة فتلية وإلا سوف ينفتل العنصر CD ولن يخضع إلى عزم فتل. إن هذا النوع من الفتل لا يؤدي إلى الانهيار بسبب قدرة العناصر على إعادة توزيع الأحمال.



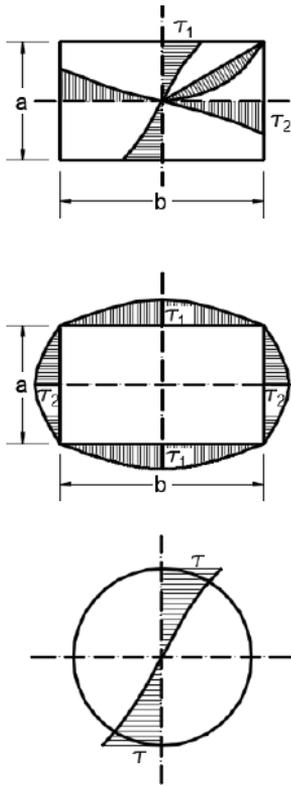
Design torque for this spandrel beam may be reduced because moment redistribution is possible



الشكل (3-4) الفتل التوافقي

يُلاحظ من الشكل (3-4) أن مخطط الفتل من أجل عزم فتل مركز يشبه مخطط الجهد القاطع من أجل قوة مركزة. إن الفتل في الإطارات الفراغية يمثل نموذجاً للفتل التوافقي إذ إن عزم الانعطاف في عنصر ما يولد عزم فتل في العنصر المتصل به.

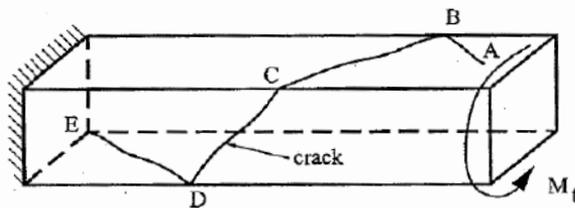
3-4 إجهاد الفتل Torsion Stresses:



إذا كان عنصر ما يخضع إلى عزم فتل فإن إجهاد الفتل يكون أعظماً عند المحيط ويتناقص باتجاه المركز حتى تصبح قيمته صفر عند المركز، يكون الإجهاد في منتصف الضلع الطويل أكبر منه في منتصف الضلع القصير من أجل مقطع مستطيل أي إن $\tau_1 > \tau_2$ إذ إن قيمة الإجهاد تتغير على طول الضلع b والضلع a لتكون أعظمية في منتصف الضلع كما في الشكل (4-4).

تكون الإجهادات متساوية في منتصف الضلعين في المقطع المربع $\tau_1 = \tau_2$. عندما يكون المقطع دائرياً فإن جميع نقاط المحيط تتلقى إجهادات شد متساوية لذلك تكون المقاطع الدائرية مفضلة لمقاومة عزم الفتل لأنها توزع الإجهادات بشكل متساوٍ. تأتي بعدها المقاطع المضلعة القريبة من الدائرية مثل المثلث والمسدس لأنها تعطي توزيعاً منتظماً ولها عزم عطالة منتظم في كل الاتجاهات.

الشكل (4-4) إجهادات الفتل



الشكل (5-4) تشققات الفتل

4-4 إجهاد الفتل في المقاطع المتجانسة Torsion in Homogeneous Materials :

يُعطى إجهاد الفتل بالعلاقة:

$$\tau_T = \frac{M_T}{I_p} a_{\max} \quad (1-4)$$

$$\tau_T = \frac{M_T}{\omega_T} \quad (2-4)$$

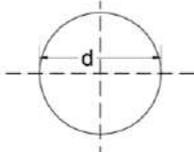
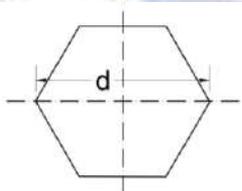
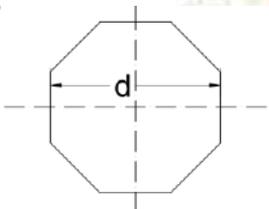
M_T : عزم الفتل المطبق.

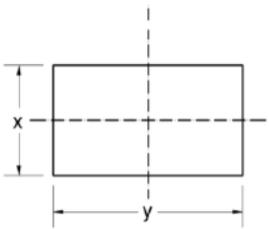
I_p : عزم العطالة القطبي للمقطع ويتعلق بأبعاد وشكل المقطع، ويؤخذ من الجدول (1-4)

a_{\max} : البعد الأعظم عن مركز الثقل.

ω_T : العزم المقاوم للفتل للمقطع ويتعلق بأبعاد وشكل المقطع، ويؤخذ من الجدول (1-4)

الجدول (1-4) عزم العطالة القطبي والعزم المقاوم للفتل

المقطع	عزم العطالة القطبي	العزم المقاوم للفتل	الشكل
دائري	$I_p = \frac{\pi d^4}{32}$	$\omega_T = \frac{\pi d^3}{16}$	
مسدس	$I_p = 0.115d^4$	$\omega_T = 0.188d^3$	
مثمان	$I_p = 0.108d^4$	$\omega_T = 0.185d^3$	

	$\omega_T = \beta(x^2 y)$	$I_T = \alpha(x^3 y)$	مستطيل
---	---------------------------	-----------------------	--------

بالنسبة للمقطع المستطيل يُعطى الثابتان α, β بالمعادلات:

$$\alpha = \frac{0.5634 + y/x}{4.597 + 2.915(y/x)}; \quad \alpha = \frac{y/x - 0.536}{2.991(y/x) + 0.326} \quad (3-4)$$

وتأخذان القيم الواردة في الجدول (2-4):

الجدول (2-4) عوامل عزم العطالة الفتلي والعزم المقاوم الفتلي

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	y/x
0.31	0.31	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.27	0.25	0.21	α
0.31	0.31	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.26	0.23	0.14	β

يمكن القبول أنه من أجل مقطع رقيق الجدران أي $b/a > 10$ تكون الثوابت $\alpha = \beta = 1/3$ ، ويكون:

$$I_T = \frac{1}{3}(x^3 y); \quad \omega_T = \frac{1}{3}(x^2 y)$$

4- 5 الإجهاد المماسي الناتج عن الفتل في مقاطع البيتون المسلح:

تُعطى المعادلة الخاصة بحساب إجهاد القصّ الحدي بحسب شكل المقطع كما يأتي:

• من أجل مقطع مستطيل:

$$\tau_{tu} = \frac{M_{tu}}{\omega_T} = \frac{3M_{tu}}{x^2 y} \quad (4-4)$$

M_{tu} : عزم الفتل الحدي الأقصى.

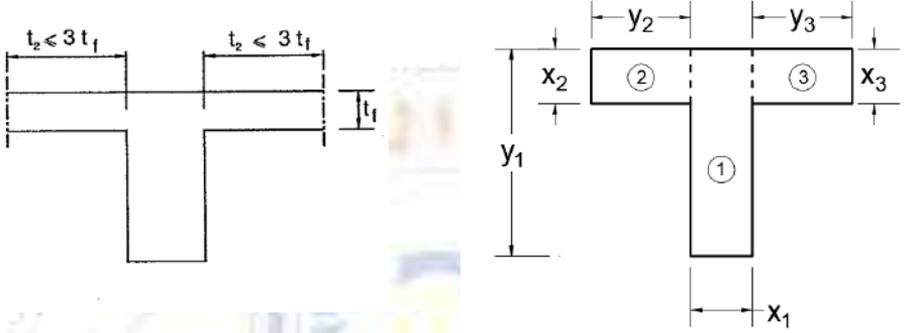
x : عرض المستطيل.

y : طول المستطيل.

• من أجل مقطع بشكل T أو أي مقطع مؤلف من عدة مستطيلات:

$$\tau_{tu} = \frac{3M_{tu}}{\sum x^2 y} \quad (5-4)$$

x: عرض كل من المستطيلات التي يتألف منها المقطع العرضي.
y: طول كل من المستطيلات التي يتألف منها المقطع العرضي.



الشكل (5-4) عناصر المقطع T

وذلك بشرط كون $y \leq 3x$ في جميع المستطيلات، وبالتالي الجزء الفعال الذي يؤخذ من البلاطة ليُشكل الجناح لا يتجاوز ثلاثة أضعاف سماكة الجناح من كل طرف.

- في المقاطع الدائرية المفرغة تُحسب أقصى قيمة للإجهاد المماسي من العلاقة:

$$\tau_{tu} = \frac{M_{tu}}{2A_0 t_0} \quad (6-4)$$

A_0 : مساحة المقطع العرضي في منتصف السماكة t_0 .

t_0 : سماكة المقطع العرضي في النقطة المراد حساب

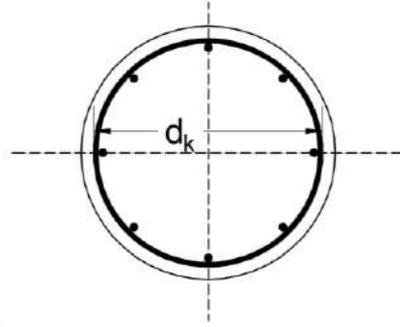
الإجهاد عندها.

$$A_0 = \frac{\pi}{4} (d)^2 \quad (7-4)$$

الشكل (7-4) المقطع الدائري المفرغ

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

$$\tau_{tu} = \frac{3.2M_{tu}}{d_k^3} \quad (8-4)$$



الشكل (8-4) المقطع الدائري المسلح

d_k : قطر نواة المقطع.

على ألا يقل سمك الغطاء البيتوني في هذه الحالة عن 1/12 من قطر المقطع.

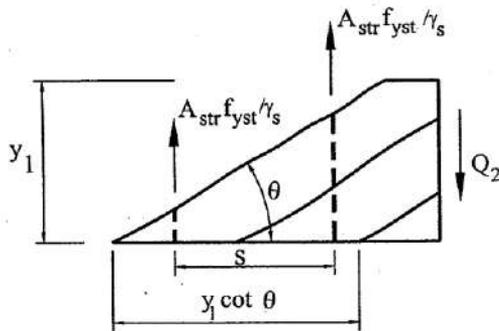
- قيمة الإجهاد المماسي الأقصى في المقاطع المستطيلة المفرغة:

$$\tau_{iu} = \frac{M_{iu}}{A_0(t_1 + t_2)} \quad (9-4)$$

t_1, t_2 : سماكات جدران المقطع العرضي.

4-6 المقطع الحرج على الفتل Critical Section for Torsion:

إن المقطع الحرج هو المقطع الذي يبدأ التشقق عنده، وهو نفسه في حالة الجهد القاطع إذ تؤخذ قيمة عزم الفتل الحدي في المقطع الذي يبعد مسافة تساوي إلى نصف الارتفاع الفعال من وجه الاستناد.



يُحلل عزم الفتل إلى مركبتين قطرية

D وناظمية N إذ إن المركبة القطرية ضاغطة

والناظمية شادة. تتم مقاومة المركبة القطرية

باستعمال تسليح عرضي بينما تقاوم المركبة

الناظمية بوساطة قضبان طولية توزع على محيط

المقطع بسبب كون المركبة الناظمية مطبقة في

مركز ثقل المقطع.

الشكل (9-4) المقطع الحرج للفتل

7-4 تصميم التسليح اللازم لمقاومة الفتل Reinforcement Design:

قد يكون الفتل مترافقاً مع قوى قص أو غير مترافق في مقاطع البيتون المسلح، ولذلك فإن تسليح كل حالة من هاتين الحالتين يُدرس بصورة مستقلة:

1. تصميم التسليح اللازم لمقاومة الفتل الحدي:

يُهمَل تسليح الفتل ويُكتفى بأدنى مساحة تسليح عرضي مسموح بها وهي $A_{stmin} = \frac{0.35}{f_y} b_w S$ في

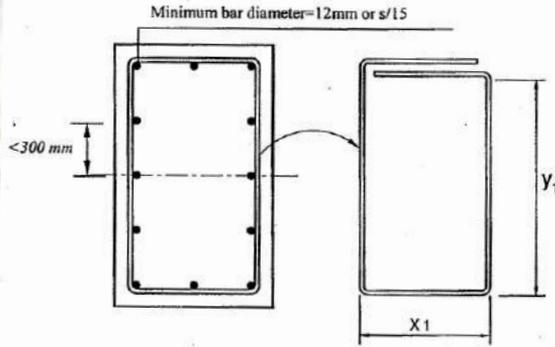
حال كان إجهاد الفتل أقل من:

$$\tau_{icu} = 0.13\sqrt{f'_c}$$

بمعنى أنه عندما يكون $\tau_{tu} > \tau_{icu}$ نحتاج إلى تسليح فتل طولي وعرضي. وعندما يكون $\tau_{tu} \leq \tau_{icu}$ لا نحتاج تسليح فتل طولي ويتم التسليح بتسليح أصغري للتسليح العرضي.

• التسليح العرضي لمقاومة الفتل Transverse Reinforcement:

من أجل مقاومة الفتل يتم استخدام إسورة وحيدة مغلقة تماماً كما هو مبين في الشكل أي يتم تطويق كامل المقطع العرضي.



الشكل (10-4) تسليح الفتل

وتكون مساحة أحد فرعي الإسورة معطاة بالعلاقة:

$$A_{st} = \frac{(\tau_{tu} - \tau_{0u})S \sum x^2 y}{3\alpha_t x_1 y_1 f_{ys}} \quad (10-4)$$

τ_{tu} : الإجهاد المماسي الناتج عن الفتل.

τ_{icu} : الإجهاد المماسي الذي يتحمله البيتون.

S : التباعد بين الأساور.

x : عرض المقطع المستطيل.

ل: طول المقطع المستطيل.

x_1 : عرض إسواره التسليح المستطيلة.

y_1 : طول إسواره التسليح المستطيلة.

f_y : إجهاد الخضوع في الفولاذ.

α_t : معامل يحسب من العلاقة:

$$\alpha_t = 0.66 + 0.33 \left(\frac{y_1}{x_1} \right) \quad (11-4)$$

إذ لا تزيد α_t على (1.5) وإلا تؤخذ مساوية إلى 1.5.

$$\tau_{tu} = \frac{3M_{tu}}{\sum x^2 y} \quad \text{بتعبير آخر، وبما أن}$$

$$A_{st} = \frac{(M_{tu} - M_{0u})S}{\alpha_t A_{0h} f_{ys}} \quad (12-4)$$

A_{0h} : مساحة المقطع البيتوني المطوق بالأساور مقاساً من محور الإسواره الخارجية ويساوي إلى $x_1 y_1$.

بتحقيق الحد الأدنى للتسليح العرضي يكون:

$$2A_{st} \geq A_{st \min} = \frac{0.35}{f_{ys}} b_w S \quad (13-4)$$

إذا استعملت أساور مائلة على التسليح الطولي بزواوية 45° أو قضبان حلزونية يكفي أن تحقق مساحتها

$0.7A_{st}$ المحسوبة أعلاه.

• إن الإجهاد المماسي المسموح مقاومته بالبيتون من أجل الفتل الحدي τ_{tcu} يُعطي كما يأتي

وفق تعليمات الكود العربي السوري:

$$\tau_{tcu} = 0.13 \sqrt{f'_c} \quad \text{لا يزيد على}$$

○ في حال وجود قوة شد مطبقة على المقطع إضافة إلى عزوم الفتل تحمّل كافة

الإجهادات إلى التسليح العرضي أي تهمل مساهمة البيتون على القص $\tau_{tcu} = 0$.

• كفاية المقطع البيتوني:

يجب ألا تتجاوز قيمة الإجهاد المماسي الناتج عن الفتل القيمة الآتية:

$$\tau_{tu \max} = 0.8 \sqrt{f'_c}$$

وإلا يعدّ المقطع العرضي للبيتون مرفوضاً ويجب زيادة أبعاده.

• التسليح الطولي لمقاومة الفتل Longitudinal Reinforcement:

يتم توزيع التسليح الطولي بشكل متناظر ومتساوٍ على محيط المقطع، إذ تؤخذ قيمته مساويةً
للأكبر بين القيمتين الآتي تين:

$$A_{1l} = 2A_{st} \left[\frac{x_1 + y_1}{S} \right]$$

$$A_{2l} = \left[\frac{2.8xS}{f_y} - 2A_{st} \right] \left[\frac{x_1 + y_1}{S} \right] \quad (14-4)$$

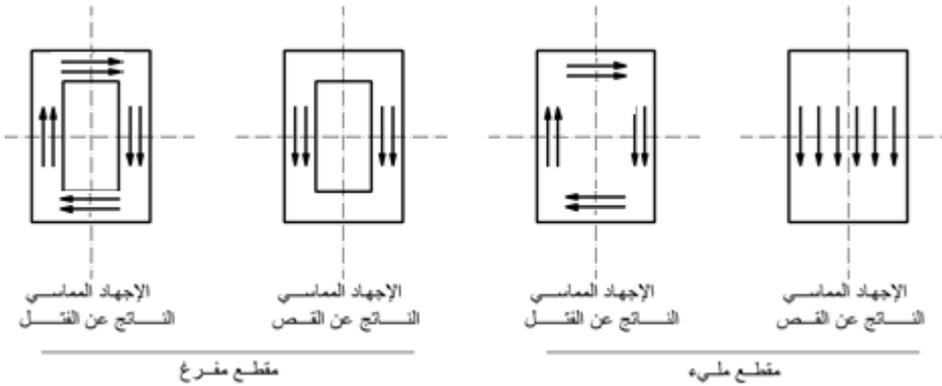
إذا كان إجهاد الخضوع الخاص بالتسليح العرضي f_{ys} مختلفاً عن إجهاد الخضوع الخاص
بالتسليح الطولي f_y يتم استبدال مساحة التسليح العرضي A_{st} في العلاقتين السابقتين بالمقدار

$$: A_{st} \frac{f_{ys}}{f_y}$$

$$A_{1l} = 2A_{st} \frac{f_{ys}}{f_y} \left[\frac{x_1 + y_1}{S} \right]$$

$$A_{2l} = \left[\frac{2.8xS}{f_y} - 2A_{st} \frac{f_{ys}}{f_y} \right] \left[\frac{x_1 + y_1}{S} \right] \quad (15-4)$$

3- تصميم التسليح اللازم لمقاومة الفتل الحدي المترافق مع قوى قص:



الشكل (11-4) توزيع الإجهادات المماسية

يُهمل تسليح الفتل ويُكتفى بأدنى مساحة تسليح عرضي مسموح بها وهي $A_{st\min} = \frac{0.35}{f_y} b_w S$ في

حال كان إجهاد الفتل أقل من $0.13\sqrt{f'_c}$.

• التسليح العرضي لمقاومة الفتل Transverse Reinforcement:

من أجل مقاومة الفتل يتم استخدام إسورة وحيدة مغلقة تماماً كما هو مبين في الشكل (4-10) أي يتم تطويق كامل المقطع العرضي. وتكون مساحة أحد فرعي الإسورة معطاة بالعلاقة:

$$A_{st} = \frac{(\tau_{tu} - \tau_{ou})S \sum x^2 y}{3\alpha_t x_1 y_1 f_{ys}} \quad (10-4)$$

بتعبير آخر:

$$A_{st} = \frac{(M_{tu} - M_{ou})S}{\alpha_t A_{0h} f_y} \quad (12-4)$$

A_{0h} : مساحة المقطع البيتوني المطوق بالأساور مقاساً من محور الإسورة الخارجية.

إذا استعملت أساور مائلة على التسليح الطولي بزاوية 45° أو قضبان حلزونية يكفي أن تحقق مساحتها $0.7A_{st}$ المحسوبة أعلاه.

• إن الإجهاد المماسي الناتج عن القص المسموح مقاومته بالبيتون (من أجل الفتل الحدي المترافق بقص) τ_{cu} يُعطي كما يأتي وفق تعليمات الكود العربي السوري:

$$\tau_{cu} = \frac{0.16\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\tau_{tu}}{1.2\tau_u}\right)^2}} \quad (16-4)$$

• إن الإجهاد المماسي الناتج عن الفتل المسموح مقاومته بالبيتون (من أجل الفتل الحدي المترافق بقص) τ_{tcu} يُعطي كما يأتي وفق تعليمات الكود العربي السوري:

$$\tau_{tcu} = \frac{0.16\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.2\tau_u}{\tau_{tu}}\right)^2}} \quad (17-4)$$

إذ تحسب مساهمة البيتون كما في القَصّ كنسبة قدرها $0.7\tau_{cu}$ أو $0.35\tau_{cu}$ أو صفر حسب شروط التنفيذ.

• كفاية المقطع البيتوني:

يجب ألا تتجاوز قيمة الإجهاد المماسي الناتج عن الفتل القيمة الآتية:

$$\tau_{tu \max} = \frac{0.8\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.2\tau_u}{\tau_{tu}}\right)^2}} \quad (18-4)$$

وإلا يعدّ المقطع العرضي للبيتون مرفوضاً ويجب زيادة أبعاده.

ويجب ألا يتجاوز جميع الإجهاد المماسي الناتج عن الفتل والقَصّ القيمة

$$\tau_{u \max} = 0.8\sqrt{f'_c} \text{ كما يأتي:}$$

$$\sqrt{\tau_u^2 + \tau_{tu}^2} \leq \tau_{u \max} \quad \text{○ مقطع مليء}$$

$$\tau_u + \tau_{tu} \leq \tau_{u \max} \quad \text{○ مقطع مفرغ}$$

8-4 ترتيبات تسليح الفتل وفق تعليمات الكود العربي السوري:

• ترتب أساور التسليح العرضي بتباعد أعظمي قدره S بحيث يحقق الشروط الآتية:

$$S \leq \min \begin{cases} 200mm \\ \frac{x_1 + y_1}{4} \\ b \end{cases} \quad (21-4)$$

• تصمّم الأذرع الخارجية للأساور لمقاومة الفتل والقَصّ بينما تصمّم الأذرع الداخلية لمقاومة القَصّ فقط. عملياً يتم اعتبار الإسورة الخارجية للفتل والداخلي للقَصّ ويكون التباعد واحد للنوعين.

• يجب أن تكون إسورة الفتل مغلقة تماماً كما هو موضّح في الشكل (4-10).

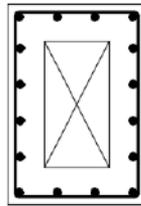
• لا يتجاوز التباعد بين القضبان الطولية لمقاومة الفتل 300mm ويوزّع بشكل منتظم على كامل محيط المقطع، ولا يقل عن (4) قضبان في كل زاوية ويفضل وضع (6) قضبان عملياً.

- إن أصغر قطر مستخدم في التسليح الطولي هو 12mm أو S/15 أيهما أكبر، حيث S هو التباعد بين الأساور.

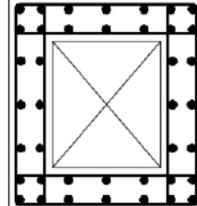
$$\phi_l = \max \left\{ \frac{12mm}{S} \right\} \quad (22-4)$$

وكلاً توزعت القضبان على المحيط بشكل أكبر كلما كان أفضل.

- يقوم التسليح الطولي للفتل مقام تسليح التعليق بشرط أن يكافئ تسليح التعليق أو يكون أكبر منه.
- يجب التحقق من إرساء كافٍ للتسليح الطولي عند وجه العمود (المسند) إذ يكون العزم الفتلي عند قيمته الأعظمية.
- من أجل المقاطع الصندوقية إذا كانت سماكة الجدار $t_w \leq \frac{b}{6}$ حيث b هو البعد الأصغر للمقطع العرضي (أي إن الجدار رقيق) فإنه يتم ترتيب التسليح الطولي والعرضي على طول المحيط الخارجي والداخلي للمقطع. أما إذا كانت $t_w > \frac{b}{6}$ (أي إن الجدار سميك) فإنه يتم ترتيب التسليح على المحيط الخارجي فقط.



إسواره الفتل
في مقطع سميك

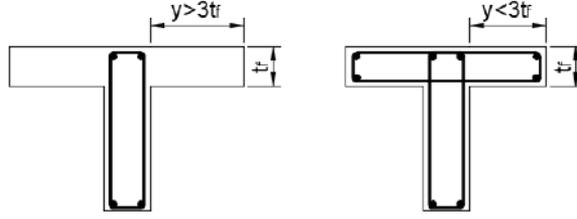


إسواره الفتل
في مقطع رقيق

الشكل (12-4) اختلاف شكل إسواره الفتل بين مقطع رقيق الجدران ومقطع سميك الجدران

- في المقاطع بشكل T أو L:
 - يؤخذ الجزء الفعال من البلاطة مقاساً من الوجه الخارجي للجائز بحيث يكون أقل أو يساوي ثلاثة أضعاف سماكة الجناح.
 - إذا لم يتحقق الشرط السابق تتم دراسة الجسد فقط.

○ يعامل المقطع I المعاملة ذاتها من أجل طول الأجنحة.



الشكل(4-13) اختلاف شكل إسورة الفتل بين مقطع T قصير الجناح ومقطع T طويل الجناح

4-9 خطوات التصميم على الفتل:

أ. تحديد متحولات المقطع العرضي:

- في المقاطع المؤلفة من مستطيلات. x, y, x_1, y_1
- في المقاطع الحلقية. A_0, d
- في المقاطع الدائرية المليئة. d_k

ب. حساب الإجهاد المماسي الناتج عن الفتل الحدي على مسافة قدرها $d/2$ من وجه الاستناد

$$\tau_{tu}$$

ج. التأكد من الحاجة إلى تسليح فتل بمقارنة τ_{tu} مع $0.13\sqrt{f'_c}$.

د. التحقق من كفاية المقطع البيتوني بمقارنة τ_{tu} مع $\tau_{tu\max}$:

هـ. تصميم الأساور المغلقة A_{st} والمقارنة مع $A_{st\min}$ من أجل فرعي إسورة.

و. تصميم التسليح الطولي.

4-10 أمثلة تطبيقية على حساب تسليح الفتل:

مثال تطبيقي (1):

مقطع بشكل مستطيل أبعاده $300 \times 650 \text{mm}$ ويخضع هذا المقطع إلى عزم فتل قدره

$M_{tu} = 30 \text{kN.m}$ يُطلب تصميم المقطع على الفتل بإهمال مقاومة البيتون على القص ووفقاً للمعطيات

الآتية:

$$f'_c = 20 \text{MPa}, \quad f_{ys} = 240 \text{MPa} \quad f_y = 240 \text{MPa}$$

الحل:

إن المقطع يخضع إلى عزم فتل غير مترافق مع قص:

1. متحولات المقطع:

$$x = 300mm, y = 650mm \Rightarrow x_1 = 300 - 2 \times 25 = 250mm, y_1 = 650 - 2 \times 25 = 600mm$$

2. إجهاد الفتل الحدي كون المقطع خاضعاً إلى عزم فتل فقط.

$$\tau_{tu} = \frac{3M_{tu}}{x^2 y} = \frac{3(30 \times 10^6)}{300^2 \times 650} = 1.54MPa$$

3. الإجهاد المماسي الأصغري للفتل:

$$\tau_{tu \min} = 0.13 \sqrt{f'_c} = 0.58MPa < \tau_{tu} = 1.54MPa$$

والمقطع بحاجة إلى تسليح فتل.

4. التحقق من كفاية المقطع البيتوني:

$$\tau_{tu \max} = 0.8 \sqrt{f'_c} = 3.6MPa > \tau_{tu} = 1.54MPa$$

وعليه فأبعاد المقطع البيتوني كافية ولا تحتاج إلى زيادة.

5. التسليح العرضي:

• التباعد بين الأساور:

$$S \leq \min \begin{cases} x_1 + y_1 = \frac{250 + 600}{4} = 212.5mm \\ b = 300mm \end{cases}$$

بفرض S=150mm

• مساحة مقطع فرع الإسورة:

$$\alpha_t = 0.66 + 0.33 \left(\frac{y_1}{x_1} \right) = 0.66 + 0.33 \left(\frac{600}{250} \right) = 1.452 < 1.5$$

$$A_{st} = \frac{(\tau_{tu} - \tau_{0u}) S \sum x^2 y}{3 \alpha_t x_1 y_1 f_{ys}} = \frac{1.54 \times 150 \times 300^2 \times 650}{3 \times 1.452 \times 250 \times 600 \times 240} = 86.174mm^2$$

يمكن استخدام اسورة بقطر 12mm وتباعد 150mm.

$$A_{st \min} = \frac{0.35}{f_{ys}} b_w \times S = \frac{0.35 \times 300 \times 150}{240} = 65.63mm^2 < 2A_{st} = 226mm^2$$

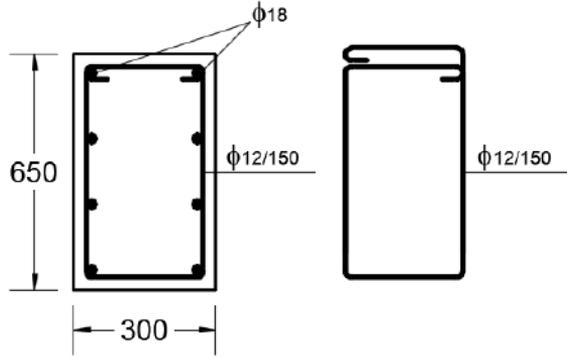
6. التسليح الطولي:

$$A_{1l} = 2A_{st} \left[\frac{x_1 + y_1}{S} \right] = 2 \times 86.17 \left[\frac{250 + 600}{150} \right] = 976.6mm^2$$

$$A_{2l} = \left[\frac{2.8xS}{f_y} - 2A_{st} \right] \left[\frac{x_1 + y_1}{S} \right]$$

$$= \left[\frac{2.8 \times 300 \times 150}{240} - 2 \times 86.17 \right] \left[\frac{250 + 600}{150} \right] = 1998.4 \text{mm}^2$$

تعتمد القيمة الثانية، لا يقل القطر عن 12mm والتباعد عن 300mm لذلك يتم اختيار $8\phi 18$ وتوزع على محيط المقطع بانتظام كما في الشكل:



مثال تطبيقي (2):

مقطع بشكل مستطيل أبعاده $350 \times 750 \text{mm}$ ويخضع هذا المقطع إلى عزم قتل قدره $M_u = 60 \text{kN.m}$ إضافة إلى قوة قص حديدية قدرها $V_u = 210 \text{kN}$ يُطلب حساب التسليح اللازم لمقاومة عزم القتل الحدي وقوة القص الحديدية بإهمال مقاومة البيتون على القص ووفقاً للمعطيات الآتية:

$$f'_c = 20 \text{MPa}, \quad f_{ys} = 360 \text{MPa} \quad f_y = 360 \text{MPa}$$

الحل:

المقطع يخضع إلى عزم قتل حدي مترافق مع قوى قص حديدية:

أ. متحولات المقطع المستطيل:

$$x = 350 \text{mm}, y = 750 \text{mm}$$

$$\Rightarrow x_1 = 350 - 2 \times 25 = 300 \text{mm}, y_1 = 750 - 2 \times 25 = 700 \text{mm}$$

ب. الإجهادات المماسية:

أ. الإجهاد المماسي الناتج عن القتل الحدي:

$$\tau_{uu} = \frac{3M_u}{x^2 y} = \frac{3(60 \times 10^6)}{350^2 \times 750} = 1.96 \text{MPa}$$

ب. الإجهاد المماسي الناتج عن القص الحدي:

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.75bd} = \frac{210 \times 10^3}{0.75 \times 350 \times 700} = 1.14 \text{MPa}$$

1- الإجهاد المماسي الأصغري:

a. للقتل:

$$\tau_{tu \min} = 0.13 \sqrt{f'_c} = 0.581 \text{MPa} < \tau_{tu} = 1.96 \text{MPa}$$

$$\tau_{t_{cu}} = \frac{0.16 \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.2 \tau_u}{\tau_{tu}} \right)^2}} = \frac{0.16 \sqrt{20}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.2 \times 1.36}{1.96} \right)^2}} = 0.55 \text{MPa} < \tau_{tu}$$

b. للقص:

$$\tau_{cu} = \frac{0.16 \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\tau_{tu}}{1.2 \tau_u} \right)^2}} = \frac{0.16 \sqrt{20}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.96}{1.2 \times 1.36} \right)^2}} = 0.458 \text{MPa} < \tau_{cu}$$

والمقطع بحاجة إلى تسليح عرضي على الفتل والقص.

ج. التحقق من كفاية المقطع البيتوني:

$$\tau_{tu \max} = \frac{0.8 \sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.2 \tau_u}{\tau_{tu}} \right)^2}} = \frac{0.8 \sqrt{20}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.2 \times 1.36}{1.96} \right)^2}} = 2.75 \text{MPa} > \tau_{tu}$$

بما أن المقطع مليء يكون:

$$\sqrt{\tau_{tu}^2 + \tau_u^2} = \sqrt{1.96^2 + 1.14^2} = 2.27 < 0.8 \sqrt{f'_c} = 0.8 \sqrt{20} = 3.6 \text{MPa}$$

وبالتالي أبعاد المقطع البيتوني كافية، ولا تحتاج إلى زيادة.

د. التسليح العرضي:

أ. التسليح العرضي لمقاومة القص:

بين الأساور يجب أن يحقق الشروط:

$$S \leq \min \begin{cases} \frac{d}{2} = 350 \text{mm} \\ 300 \text{mm} \end{cases} \quad S = 125 \text{mm}$$

- تحسب مساحة تسليح القص: بإهمال مساهمة البيتون على القص يكون:

$$\tau_{0u} = 0 \Rightarrow \tau_{su} = \tau_u$$

$$A_{st} = \frac{\tau_{su} \times b_w \times S}{f_{ys}} = \frac{1.14 \times 350 \times 125}{360} = 138.54 \text{mm}^2$$

- مساحة التسليح الدنيا على القص:

$$A_{st \min} = \frac{0.35}{f_{ys}} b_w \times S = \frac{0.35 \times 350 \times 125}{360} = 42.53 \text{mm}^2$$

يمكن استخدام اسواره بذرارين بقطر 10mm وتباعده 125mm . $2\phi 10 = 157 \text{mm}^2$

ب. التسليح العرضي لمقاومة الفتل:

- التباعد بين الأساور:

$$S \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{x_1 + y_1}{4} = \frac{300 + 700}{4} = 250 \text{mm} \\ b = 350 \text{mm} \end{array} \right. \quad S = 125 \text{mm}$$

- مساحة مقطع فرع الإسواره:

$$\alpha_t = 0.66 + 0.33 \left(\frac{y_1}{x_1} \right) = 0.66 + 0.33 \left(\frac{700}{300} \right) = 1.43 < 1.5$$

$$A_{st} = \frac{(\tau_{tu} - \tau_{0u}) S \sum x^2 y}{3 \alpha_t x_1 y_1 f_{ys}} = \frac{1.96 \times 125 \times 350^2 \times 750}{3 \times 1.43 \times 300 \times 700 \times 360} = 69.41 \text{mm}^2$$

يمكن استخدام اسواره بقطر 10mm وتباعده 125mm . $\phi 10 = 78 \text{mm}^2$

$$A_{st \min} = \frac{0.35}{f_{ys}} b_w \times S = \frac{0.35 \times 350 \times 125}{360} = 42.53 \text{mm}^2 < 2A_{st} = 157 \text{mm}^2$$

دمج إسواره التسليح الخاص بالقص والقتل معاً نحصل على $4\phi 10 / 125 \text{mm}$

هـ. التسليح الطولي:

$$A_{1l} = 2A_{st} \left[\frac{x_1 + y_1}{S} \right] = 2 \times 69.41 \left[\frac{300 + 700}{125} \right] = 1110.6 \text{mm}^2$$

$$A_{2l} = \left[\frac{2.8xS}{f_y} \left(\frac{\tau_{tu}}{\tau_{tu} + \tau_u} \right) - 2A_{st} \right] \left[\frac{x_1 + y_1}{S} \right]$$

$$= \left[\frac{2.8 \times 350 \times 125}{360} \left(\frac{1.96}{1.96 + 1.14} \right) - 2 \times 69.41 \right] \left[\frac{300 + 700}{125} \right] = 610.6 \text{mm}^2$$

تعتمد القيمة الأولى، لا يقل القطر عن 12mm والتباعد عن 300mm لذلك يتم اختيار $12\phi 12 = 1356\text{mm}^2$ وتوزع على محيط المقطع بانتظام كما في الشكل:



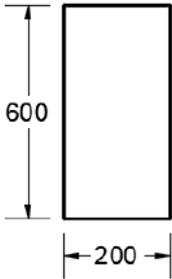
مثال تطبيقي (3):

مقطع بيتوني بشكل T أبعاده مبينة بالشكل، يحمل بلاطة سماكتها 120mm ويخضع إلى عزم فتل قدره $M_{tu} = 12\text{kN.m}$ يُطلب تصميم المقطع على الفتل بإهمال مقاومة البيتون على القص ووفقاً للمعطيات الآتية:

$$f'_c = 18\text{MPa}, \quad f_{ys} = 280\text{MPa} \quad f_y = 280\text{MPa}$$

الحل:

عند تصميم المقطع على الفتل هناك خياران:



• اعتبار البلاطة ضمن الحسابات وذلك بأخذ جناحين طول كل

منهما أقل من 3 أضعاف سماكة البلاطة، وتسليح كل من الجسد والجناح ضد الفتل.

• إهمال مساهمة البلاطة في التصميم على الفتل ويتم تسليح الجسد فقط، وفي هذا المثال

سيتم إهمال البلاطة كون سماكتها قليلة نسبياً.

1. متحولات المقطع:

$$x = 200\text{mm}, y = 600\text{mm} \Rightarrow x_1 = 200 - 2 \times 25 = 150\text{mm}, y_1 = 600 - 2 \times 25 = 550\text{mm}$$

2. إجهاد الفتل الحدي كون المقطع خاضع إلى عزم فتل فقط.

$$\tau_{tu} = \frac{3M_{tu}}{x^2 y} = \frac{3(12 \times 10^6)}{200^2 \times 600} = 1.5\text{MPa}$$

3. الإجهاد المماسي الأصغري للفتل:

$$\tau_{tu\min} = 0.13\sqrt{f'_c} = 0.55\text{MPa} < \tau_{tu} = 1.5\text{MPa}$$

والمقطع بحاجة إلى تسليح فتل.

4. التحقق من كفاية المقطع البيتوني:

$$\tau_{tu \max} = 0.8\sqrt{f'_c} = 3.39MPa > \tau_{tu} = 1.5MPa$$

وبالتالي أبعاد المقطع البيتوني كافية ولا تحتاج إلى زيادة.

5. التسليح العرضي:

• التباعد بين الأساور:

$$S \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{x_1 + y_1}{4} = \frac{150 + 550}{4} = 175mm \\ b = 200mm \end{array} \right. \quad S = 150mm$$

• مساحة مقطع فرع الإسورة:

$$\alpha_i = 0.66 + 0.33 \left(\frac{y_1}{x_1} \right) = 0.66 + 0.33 \left(\frac{550}{150} \right) = 1.87 > 1.5 \Rightarrow \alpha_i = 1.5$$

$$A_{st} = \frac{(\tau_{tu} - \tau_{0u})S \sum x^2 y}{3\alpha_i x_1 y_1 f_{ys}} = \frac{1.5 \times 150 \times 200^2 \times 600}{3 \times 1.5 \times 150 \times 550 \times 280} = 51.95mm^2$$

يمكن استخدام اسورة بقطر 10mm وتباعد 150mm و $\phi 10 = 78.5mm^2$

$$A_{st \min} = \frac{0.35}{f_{ys}} b_w \times S = \frac{0.35 \times 200 \times 150}{280} = 37.5mm^2 < 2A_{st} = 157mm^2$$

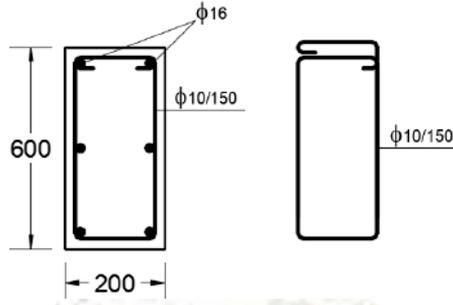
6. التسليح الطولي:

$$A_{1l} = 2A_{st} \left[\frac{x_1 + y_1}{S} \right] = 2 \times 51.95 \left[\frac{150 + 550}{150} \right] = 484.87mm^2$$

$$A_{2l} = \left[\frac{2.8xS}{f_y} - 2A_{st} \right] \left[\frac{x_1 + y_1}{S} \right] = \left[\frac{2.8 \times 200 \times 150}{280} - 2 \times 51.95 \right] \left[\frac{150 + 550}{150} \right] = 915.13mm^2$$

تُعتمد القيمة الثانية، لا يقل القطر عن 12mm والتباعد عن 300mm لذلك يتم اختيار

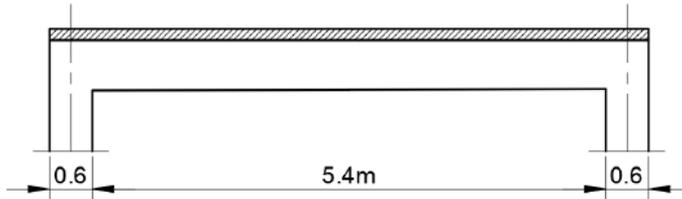
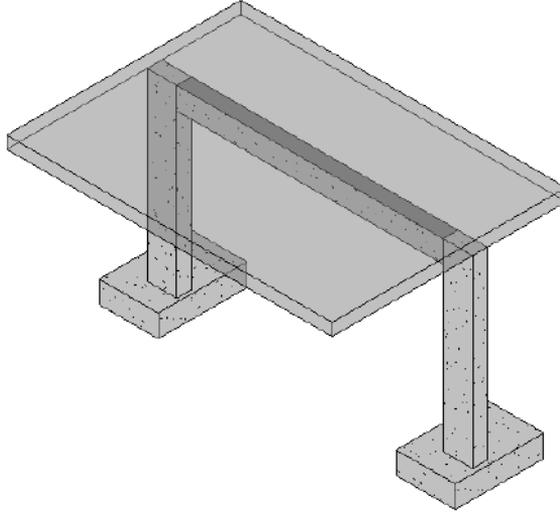
$6\phi 16 = 1206mm^2$ وتوزع على محيط المقطع بانتظام كما في الشكل:

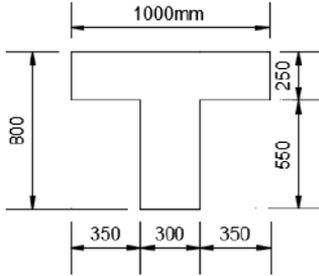
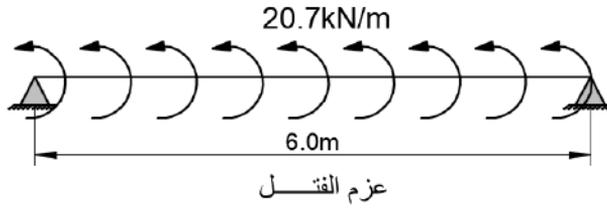


مثال تطبيقي (4):

جائز بيتوني مقطعه بشكل T أبعاده مبينة بالشكل، يحمل بلاطتين ظفريتين فرق عزم الانعطاف الناتج عن كل منهما يساوي إلى عزم فتل موزع على طول المجاز قدره $M_T = 20.7kN.m$ يُطلب تصميم المقطع على الفتل بإهمال مقاومة البيتون على القص واعتبار مساهمة البلاط البيتونية (الأجنحة) وذلك وفقاً للمعطيات الآتية:

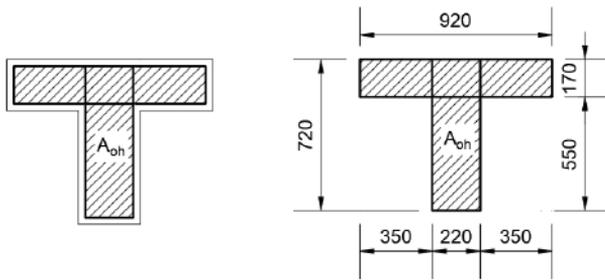
$$f'_c = 25MPa, \quad f_{ys} = 240MPa \quad f_y = 360MPa$$





الحل:

1. متحولات المقطع: بافتراض أن سماكة التغطية حتى مركز الإسورة الخارجية تساوي 40mm يكون:

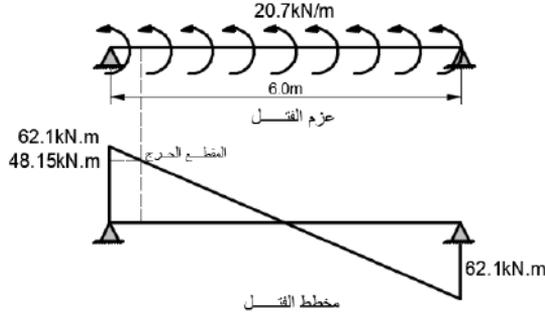


$x = 250mm$	$x_1 = 170mm$	الأجنحة
$y = 350mm$	$y_1 = 350mm$	
$x = 300mm$	$x_1 = 220mm$	الجسد
$y = 800mm$	$y_1 = 720mm$	

2. حساب الإجهاد المماسي الناتج عن عزم القتل:

يقع المقطع الحرج على مسافة قدرها $d/2$ من وجه الاستناد.

$$M_{tu} = \frac{M_T L}{2} - M_T \left(\frac{b_s}{2} + \frac{d}{2} \right) = \frac{20.7 \times 6}{2} - 20.7 \left(\frac{0.6}{2} + \frac{0.75}{2} \right) = 48.15 \text{ kN.m}$$



3. إجهاد الفتل الحدي كون المقطع خاضع إلى عزم فتل فقط.

$$\tau_{tu} = \frac{3M_{tu}}{\sum x^2 y} = \frac{3(48.15 \times 10^6)}{2(250^2 \times 350) + (300^2 \times 800)} = \frac{144.45 \times 10^6}{115.75 \times 10^6} = 1.248 \text{ MPa}$$

4. الإجهاد المماسي الأصغري للفتل:

$$\tau_{tu \min} = 0.13 \sqrt{f'_c} = 0.65 \text{ MPa} < \tau_{tu} = 1.248 \text{ MPa}$$

والمقطع بحاجة إلى تسليح فتل.

5. التحقق من كفاية المقطع البيتوني:

$$\tau_{tu \max} = 0.8 \sqrt{f'_c} = 4 \text{ MPa} > \tau_{tu} = 1.248 \text{ MPa}$$

وبالتالي أبعاد المقطع البيتوني كافية ولا تحتاج إلى زيادة.

6. التسليح العرضي:

• التباعد بين الأساور:

$$S \leq \min \left\{ \frac{\sum (x_1 + y_1)}{4} = \frac{P_{0h}}{8} = \frac{350 \times 4 + 170 \times 2 + 220 \times 2 + 550 \times 2}{8} = \frac{3280}{8} = 410mm \quad S = 200mm \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} b = 300mm \end{array} \right.$$

P_{0h} : محيط مقطع البيتون المطوق بالإسواره مقاساً من محور الإسواره.

• مساحة مقطع فرع الإسواره:

$$\alpha_r = 0.66 + 0.33 \left(\frac{y_1}{x_1} \right) = 0.66 + 0.33 \left(\frac{720}{220} \right) = 1.74 > 1.5 \Rightarrow \alpha_r = 1.5$$

$$A_{st} = \frac{(\tau_{tu} - \tau_{0u}) S \sum x^2 y}{3 \alpha_r x_1 y_1 f_{ys}} = \frac{(\tau_{tu} - \tau_{0u}) S \sum x^2 y}{3 \alpha_r A_{oh} f_y} = \frac{1.248 \times 200 \times [2(250^2 \times 350) + (300^2 \times 800)]}{3 \times 1.5 \times (2 \times 350 \times 170 + 720 \times 220) \times 240} =$$

$$\frac{1.248 \times 200 \times [115.75 \times 10^6]}{3 \times 1.5 \times (277400) \times 240} = 96.44 mm^2$$

A_{0h} : مساحة مقطع البيتون المطوق بالإسواره مقاساً من محور الإسواره.

يمكن استخدام اسواره بقطر 12mm وتباعده 200mm $\phi 12 = 113 mm^2$.

$$A_{st \min} = \frac{0.35}{f_{ys}} b_w \times S = \frac{0.35 \times 300 \times 200}{240} = 87.5 mm^2 < 2A_{st} = 226 mm^2$$

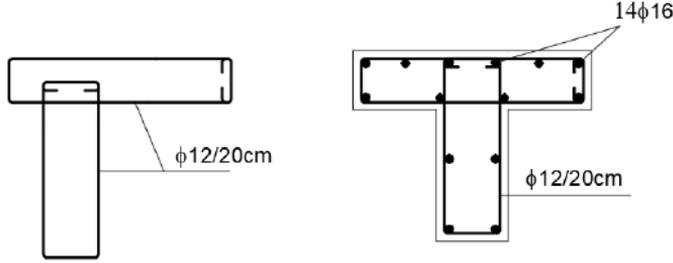
7. التسليح الطولي:

$$A_{1l} = 2A_{st} \frac{f_{ys}}{f_y} \left[\frac{P_{0h}/2}{S} \right] = 2 \times 96.44 \frac{240}{360} \left[\frac{1640}{200} \right] = 1054.4 mm^2$$

$$A_{2l} = \left[\frac{2.8xS}{f_y} - 2A_{st} \frac{f_{ys}}{f_y} \right] \left[\frac{P_{0h}/2}{S} \right] = \left[\frac{2.8 \times 300 \times 200}{360} - 2 \times 96.44 \frac{240}{360} \right] \left[\frac{1640}{200} \right] = 2772.31 mm^2$$

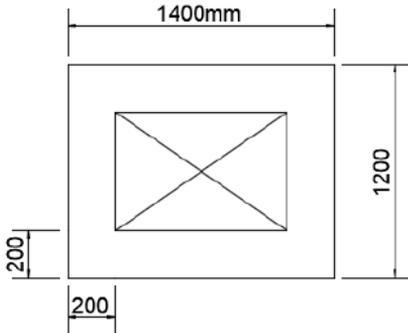
$$\phi_l = \max \begin{cases} 12mm \\ S/15 = 13.33mm \end{cases}$$

تعتمد القيمة الثانية، لا يقل القطر عن 12mm والتباعد عن 300mm لذلك يتم اختيار $14\phi 16 = 2814mm^2$ وتوزع على محيط المقطع بانتظام كما في الشكل:

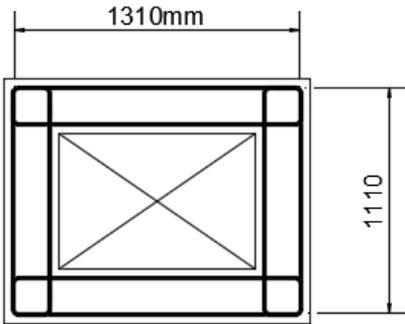


مثال تطبيقي (5):

يبين الشكل الآتي المقطع العرضي لجائز خاضع إلى عزم فتل قيمته تساوي إلى قدره $M_{tu} = 550kN.m$ يُطلب تصميم المقطع على الفتل بإهمال مقاومة البيتون وذلك وفقاً للمعطيات الآتية:



$$f'_c = 25MPa, \quad f_{ys} = 360MPa \quad f_y = 360MPa$$



الحل:

1. متحولات المقطع: يُعامل المقطع الصندوقي معاملة المقطع المفرغ.

بافتراض أن سماكة التغطية حتى مركز الإسوارة الخارجية تساوي 45mm يكون:

$x_1 = 1310mm$	$y_1 = 1110mm$	مساحة البيتون المطوق بالإسورة
$A_{oh} = 1110 \times 1310 = 1.454 \times 10^6 mm^2$		
$P_{oh} = 2(1110 + 1310) = 4840mm$		محيط البيتون المطوق بالإسورة
$A_0 = 1000 \times 1200 = 1.2 \times 10^6 mm^2$		مساحة النواة في منتصف السماعات

2. الإجهادات المماسية الناتجة عن القتل:

$$\tau_{tu} = \frac{M_{tu}}{A_0(t_1 + t_2)} = \frac{550 \times 10^6}{1.2 \times 10^6 (200 + 200)} = 1.146 MPa$$

d_1, d_2 : سماكات جدران المقطع العرضي.

2. الإجهاد المماسي الأصغري للقتل:

$$\tau_{tu \min} = 0.13 \sqrt{f'_c} = 0.65 MPa < \tau_{tu} = 1.146 MPa$$

والمقطع بحاجة إلى تسليح قتل.

3. التحقق من كفاية المقطع البيتوني:

$$\tau_{tu \max} = 0.8 \sqrt{f'_c} = 4 MPa > \tau_{tu} = 1.146 MPa$$

وبالتالي أبعاد المقطع البيتوني كافية ولا تحتاج إلى زيادة.

4. التسليح العرضي:

• التباعد بين الأساور:

$$S \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{200mm}{4} \\ \frac{x_1 + y_1}{8} = \frac{P_{oh}}{8} = 605mm \\ b = 200mm \end{array} \right. \quad S = 200mm$$

• مساحة مقطع فرع الإسورة:

$$\alpha_i = 0.66 + 0.33 \left(\frac{y_1}{x_1} \right) = 0.66 + 0.33 \left(\frac{1310}{1110} \right) = 1.049 < 1.5 \Rightarrow \alpha_i = 1.05$$

$$A_{st} = \frac{M_{tu} S}{\alpha_r A_{0h} f_{ys}} = \frac{550 \times 10^6 \times 200}{1.05 \times 1.454 \times 10^6 \times 360} = 200.14 \text{mm}^2$$

بما أن جدران المقطع الصندوقي ذات سماكة أقل من $b/6$ ، يمكن استخدام إسورة لكل جدار شاقولي ومساحتها تساوي إلى نصف المساحة المطلوبة: يمكن استخدام اسورتين بقطر 12mm وتباعد $2\phi 12 = 226 \text{mm}^2$ 200mm

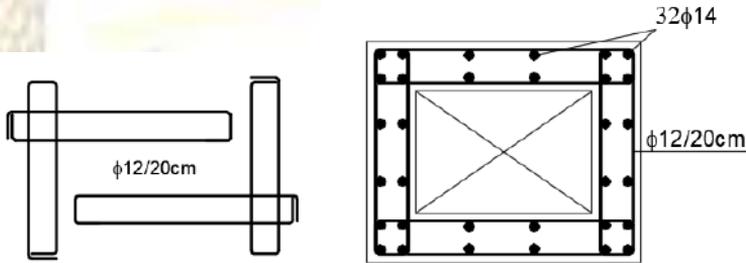
$$A_{st \min} = \frac{0.35}{f_{ys}} b_w \times S = \frac{0.35 \times (2 \times 200) \times 200}{360} = 77.78 \text{mm}^2 < 2A_{st} = 452 \text{mm}^2$$

5. التسليح الطولي:

$$A_{1l} = 2A_{st} \left[\frac{P_{0h}/2}{S} \right] = 2 \times 200.14 \left[\frac{4840/2}{200} \right] = 484.3 \text{mm}^2$$

$$A_{2l} = \left[\frac{2.8xS}{f_y} - 2A_{st} \right] \left[\frac{P_{0h}}{S} \right] = \left[\frac{2.8 \times (2 \times 200) \times 200}{360} - 2 \times 200.14 \right] \left[\frac{4840/2}{200} \right] = 2685.7 \text{mm}^2$$

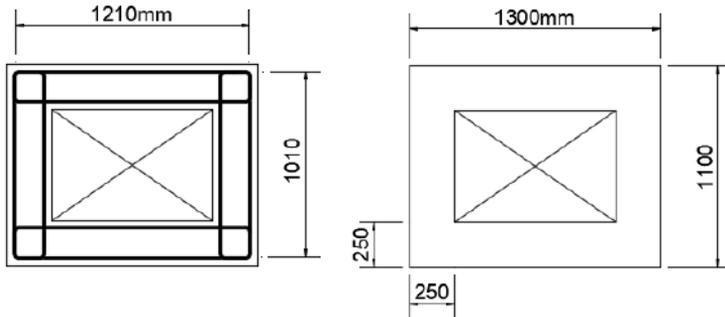
تعتمد القيمة الأولى، لا يقل الفطر عن 12mm والتباعد عن 300mm لذلك يتم اختيار $32\phi 14 = 4926 \text{mm}^2$ وتوزع على محيط المقطع بانتظام كما في الشكل:



مثال تطبيقي (6):

يبين الشكل الآتي المقطع العرضي لجائز صندوقي يخضع إلى عزم فتل حدي قيمته تساوي إلى قدره $M_{tu} = 315 \text{kN.m}$ إضافة إلى قوة قص حدية قدرها $V_u = 415 \text{kN}$ يُطلب تصميم المقطع على الفتل والقص وذلك وفقاً للمعطيات الآتية:

$$f'_c = 25 \text{MPa}, \quad f_{ys} = 240 \text{MPa} \quad f_y = 400 \text{MPa}$$



الحل:

1- متحولات المقطع: بافتراض أن سماكة التغطية حتى مركز الإسورة الخارجية تساوي 45mm يكون:

$x_1 = 1010mm$	$y_1 = 1210mm$	مساحة البيتون المطوق بالإسورة
$A_{oh} = 1010 \times 1210 = 1.222 \times 10^6 mm^2$		
$P_{0n} = 2(1010 + 1210) = 4440mm$		محيط البيتون المطوق بالإسورة
$A_0 = 1050 \times 850 = 0.893 \times 10^6 mm^2$		مساحة النواة في منتصف السماكات

2- الإجهادات المماسية:

a. الإجهاد المماسي الناتج عن الفتل الحدي:

$$\tau_{tu} = \frac{M_{tu}}{A_0(t_1 + t_2)} = \frac{315 \times 10^6}{0.893 \times 10^6 (250 \times 2)} = 0.706 MPa$$

d_1, d_2 : سماكات جدران المقطع العرضي.

b. الإجهاد المماسي الناتج عن القص الحدي:

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.75bd} = \frac{415 \times 10^3}{0.75 \times 500 \times 1050} = 1.054 MPa$$

3- الإجهاد المماسي الأصغري:

a. للفتل:

$$\tau_{tu\min} = 0.13\sqrt{f'_c} = 0.65MPa < \tau_{tu} = 0.706MPa$$

$$\tau_{tcu} = \frac{0.16\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.2\tau_u}{\tau_{tu}}\right)^2}} = \frac{0.16\sqrt{25}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.2 \times 1.054}{0.706}\right)^2}} = 0.39MPa$$

b. للقص:

$$\tau_{cu} = \frac{0.16\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\tau_{tu}}{1.2\tau_u}\right)^2}} = \frac{0.16\sqrt{25}}{\sqrt{1 + \left(\frac{0.706}{1.2 \times 1.054}\right)^2}} = 0.68MPa$$

والمقطع بحاجة إلى تسليح عرضي على الفتل والقص.

4- التحقق من كفاية المقطع البيتوني:

$$\tau_{tu\max} = \frac{0.8\sqrt{f'_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.2\tau_u}{\tau_{tu}}\right)^2}} = \frac{0.8\sqrt{25}}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.2 \times 1.054}{0.706}\right)^2}} = 1.95MPa > \tau_{tu}$$

بما أن المقطع مفرغ يكون: $\tau_{tu} + \tau_u = 1.76 < 0.8\sqrt{f'_c} = 4MPa$

وبالتالي أبعاد المقطع البيتوني كافية ولا تحتاج إلى زيادة.

5- التسليح العرضي:

a. التسليح العرضي لمقاومة القص:

التباعد بين الأساور يجب أن يحقق الشروط:

$$S \leq \min \begin{cases} \frac{d}{2} = 1050/2 = 525mm \\ 300mm \end{cases} \quad S = 100mm$$

• تحسب مساحة تسليح القص: بإهمال مساهمة البيتون على القص يكون:

$$A_{st} = \frac{\tau_u \times b_w \times S}{f_{ys}} = \frac{1.054 \times 500 \times 100}{240} = 172.18mm^2$$

• مساحة التسليح الدنيا على القص:

$$A_{st\min} = \frac{0.35}{f_{ys}} b_w \times S = \frac{0.35 \times 500 \times 100}{240} = 72.92mm^2$$

يتم استخدام إسوارتين بأربعة أذرع بمساحة للذراع الواحد لا تقل عن $A_{st}/4 = 43.05mm^2$

b. التسليح العرضي لمقاومة الفتل:

- التباعد بين الأساور:

$$S \leq \min \begin{cases} 200mm \\ x_1 + y_1 = \frac{P_{0h}}{8} = 555mm \\ b = 250mm \end{cases} \quad S = 100mm$$

- مساحة مقطع فرع الإسورة: بإهمال مساهمة البيتون كونها صغيرة.

$$\alpha_i = 0.66 + 0.33 \left(\frac{y_1}{x_1} \right) = 0.66 + 0.33 \left(\frac{1210}{1010} \right) = 1.0553 < 1.5$$

$$A_{st} = \frac{M_{tu} S}{\alpha_i A_{0h} f_{ys}} = \frac{315 \times 10^6 \times 100}{1.0553 \times 1.222 \times 10^6 \times 240} = 101.77 mm^2$$

بما أن سماكة الجدران أكبر من $b/6$ يتم ترتيب التسليح الفتلي العرضي على المحيط الخارجي فقط:

- إسورة الجناحين هي عبارة عن إسورة فتل فقط وبالتالي يمكن استخدام

$$\phi 12 = 113 mm^2$$

- إسورة الجسد: محيطية ناتجة عن القص والفتل وداخلية ناتجة عن القص فقط.

إسورة الجسد المحيطية $A_{st(T)} + A_{st(Sh)} = 101.77 + 43.05 = 144.8 mm^2$ يتم

$$\text{اختيار } \phi 14 = 154 mm^2$$

الإسورة الداخلية $A_{st(Sh)} = 54 mm^2$ وبالتالي يتم استخدام اساورتين بقطر 14mm

وتباعد 100mm

تحقيق إسورة الفتل:

$$A_{st \min} = \frac{0.35}{f_{ys}} b_w \times S = \frac{0.35 \times 500 \times 100}{240} \\ = 72.92 mm^2 < 2A_{st} = 2\phi 14 = 308 mm^2$$

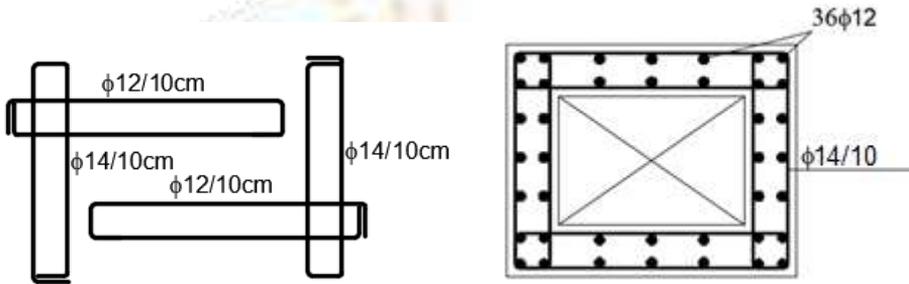
6- التسليح الطولي:

$$A_{ll} = 2A_{st} \frac{f_{ys}}{f_y} \left[\frac{P_{0h}/2}{S} \right] = 2 \times 101.77 \frac{240}{400} \left[\frac{4440/2}{100} \right] = 2711.15 mm^2$$

$$A_{2l} = \left[\frac{2.8 \times S}{f_y} \left(\frac{\tau_{tu}}{\tau_{tu} + \tau_u} \right) - 2A_{st} \frac{f_{ys}}{f_y} \right] \left[\frac{P_{0h}}{S} \right]$$

$$= \left[\frac{2.8 \times (1100) \times 100}{400} \left(\frac{0.706}{0.706 + 1.27} \right) - 2 \times 101.77 \frac{240}{400} \right] \left[\frac{4440/2}{100} \right] = 3396 \text{mm}^2$$

تعتمد القيمة الثانية، لا يقل القطر عن 12mm والتباعد عن 300mm لذلك يتم اختيار $36\phi 12 = 4068 \text{mm}^2$ وتوزع على محيط المقطع بانتظام كما في الشكل:



الفصل الخامس

الأعمدة القصيرة المعرضة إلى ضغط محوري

Axially Loaded Short Columns

1-5 مقدمة:

تصنّف الأعمدة البيتونية المعرضة إلى الضغط إلى نوعين أعمدة خاضعة إلى ضغط محوري وأعمدة خاضعة إلى ضغط لا محوري وكل منها قد يكون قصيراً، أي إنّه مقاوم للتحنيب أو نحيفاً أي إنّه قابل للتحنيب حول المحور الأضعف. إن الأعمدة هي أكثر من العناصر الإنشائية أهمية في البناء، إذ إنّ انهيار الكثير من الأبنية يعود إلى انهيار الأعمدة. تزوّد الأعمدة بتسليح طولي يقوم برفع قدرة العمود على تحمل قوى الضغط بنسبة كبيرة. كما أنها تزود بتسليح عرضي لدعم التسليح الطولي ومنعه من التحنيب. كذلك فإن التسليح العرضي يمنع البيتون من التمدّد الجانبي تحت تأثير عامل بواسون وزيادة انفعال البيتون، وهو أيضاً يحمل قوى القصّ في الأعمدة الحاملة لقوى أفقية. تصنّف الأعمدة بحسب التسليح العرضي إلى أعمدة ذات تسليح حلزوني وأعمدة ذات أساور.

في الحقيقة لا توجد أعمدة محملة محورياً بصورة تامّة. هناك نسبة من اللامركزية تعود إلى اختلاف تقاطع الأعمدة بين الطوابق، إذ تتخفّف في الطوابق العليا أو تعود إلى عدم دقة التنفيذ. لذلك يتم افتراض نسبة تسليح أصغر من أجل أخذ الإجهادات الناتجة عن اللامركزية بالحسبان. يتم تصنيف الأعمدة إلى قصيرة Short أو نحيف Slender بحسب نسبة طوله إلى أبعاد مقطعه العرضي كما سنرى لاحقاً. يتم في هذا الفصل التركيز على الأعمدة القصيرة.

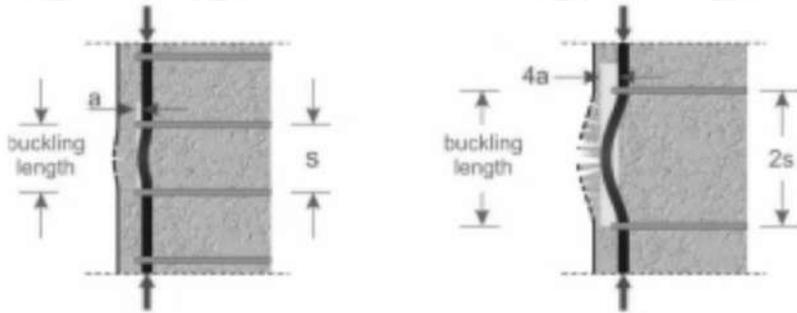


الشكل (1-5) تسليح الأعمدة، مرجع رقم (11)

5-2 السلوك والمقاومة Behavior and Strength:

يحدث الانهيار في الأعمدة لأسباب عدّة منها زيادة التحميل، إذ يظهر بشكل تشققات (تشققات) طولية وانهيار تغطية البيتون، إذ يحدث هذا الانهيار بشكل مفاجئ Brittle وبالتالي فإن هذا الانهيار يحتمل خسارة في الأرواح. لذلك يتم تصميم الأعمدة باستخدام عوامل أمان أعلى من الجيزان. إن الأعمدة المعرضة إلى ضغط محوري صافٍ ذات انهيار هش أكبر من غيرها تُعطى القيمة $\Omega = 0.65$ إلى عامل تخفيض المقاومة من أجل الأعمدة الخاضعة للضغط المحوري وفق تعليمات الكود العربي السوري.

أيضاً يحدث انهيار الأعمدة عندما يكون هناك نقص في الأساور مما يسبب تحنّب القضبان الطولية إذ يظهر الانهيار بشكل تقشّر قشرة البيتون Spalling وانحناء التسليح الطولي مع هبوط في العمود. إن التسليح العرضي في الأعمدة المعرضة إلى الضغط المحوري لا يُقاوم أي إجهاد مماسي وإنما مهمته فقط الحفاظ على شاقولية القضبان الطولية ومنعها من التحنّب Buckling.



الشكل (5-2) طول التحنّب في القضبان الطولية، مرجع رقم (11)

5-3 اشتراطات الكود العربي السوري الخاصة بالأعمدة المحملة محورياً:

5-3-1 أبعاد الأعمدة:

- إن أصغر مساحة مسموحة لمقطع عمود مستخدم بوصفه حملاً (غير تزييني) تساوي إلى 900cm^2 .
- لا يقل أي بعد للمقطع العرضي للعمود عن 20cm.
- لا يقل قطر العمود الدائري عن 35cm.
- إلا في كاسرات الشمس الشاقولية والأعمدة التزيينية فيمكن أن تكون مقاطعها أقل من ذلك.

5-3-2 مساحة التسليح الطولي:

- نسبة التسليح الدنيا لا تقل عن 1% من مساحة المقطع البيتوني اللازم حسابياً

$$A_{s\min} = 0.01A_{cr}$$

في الأعمدة التي تزيد مساحة قطاعها الفعلي على المساحة المطلوبة حسابياً بشكل ملحوظ لا تقل نسبة التسليح عن 0.6% من مساحة المقطع الفعلي للعمود

$$A_{s\min} = 0.006A_c$$

- نسبة التسليح العظمى لا تزيد على 2.5% من مساحة المقطع البيتوني

$A_{s\max} = 0.025A_c$ مع إمكانية زيادة هذه المساحات العظمى إلى 3.5% في حال

كانت المقاومة المميزة للبيتون لا تقل عن 35MPa، كما يمكن زيادتها إلى 4% في حال استعمال وصلات ميكانيكية أينما كان موقع العمود.

- في جميع الأحوال لا تزيد مساحة التسليح الطولي في منطقة اتصال عمودين متتالين

على $0.06A_c$ إذا كانت المقاومة المميزة للبيتون تقل عن 30MPa، في حين يمكن

زيادة هذه المساحة إلى $0.07A_c$ في حال كون المقاومة المميزة للبيتون لا تقل عن 30MPa.

5-3-3 اشتراطات التسليح الطولي للأعمدة:

- لا يقل التسليح الطولي في كل عمود مضلع عن قضيب واحد في كل زاوية، ولا يقل

في الأعمدة الدائرية عن ستة قضبان.

- لا يقل قطر التسليح الطولي العامل عن 12mm.

- لا يزيد التباعد بين قضبان التسليح الطولي المتجاورة على 300mm أو أصغر بعد

للعמוד أيهما أصغر.

- التغطية الدنيا للتسليح لا تقل عن 25mm.

5-3-4 اشتراطات التسليح العرضي للأعمدة:

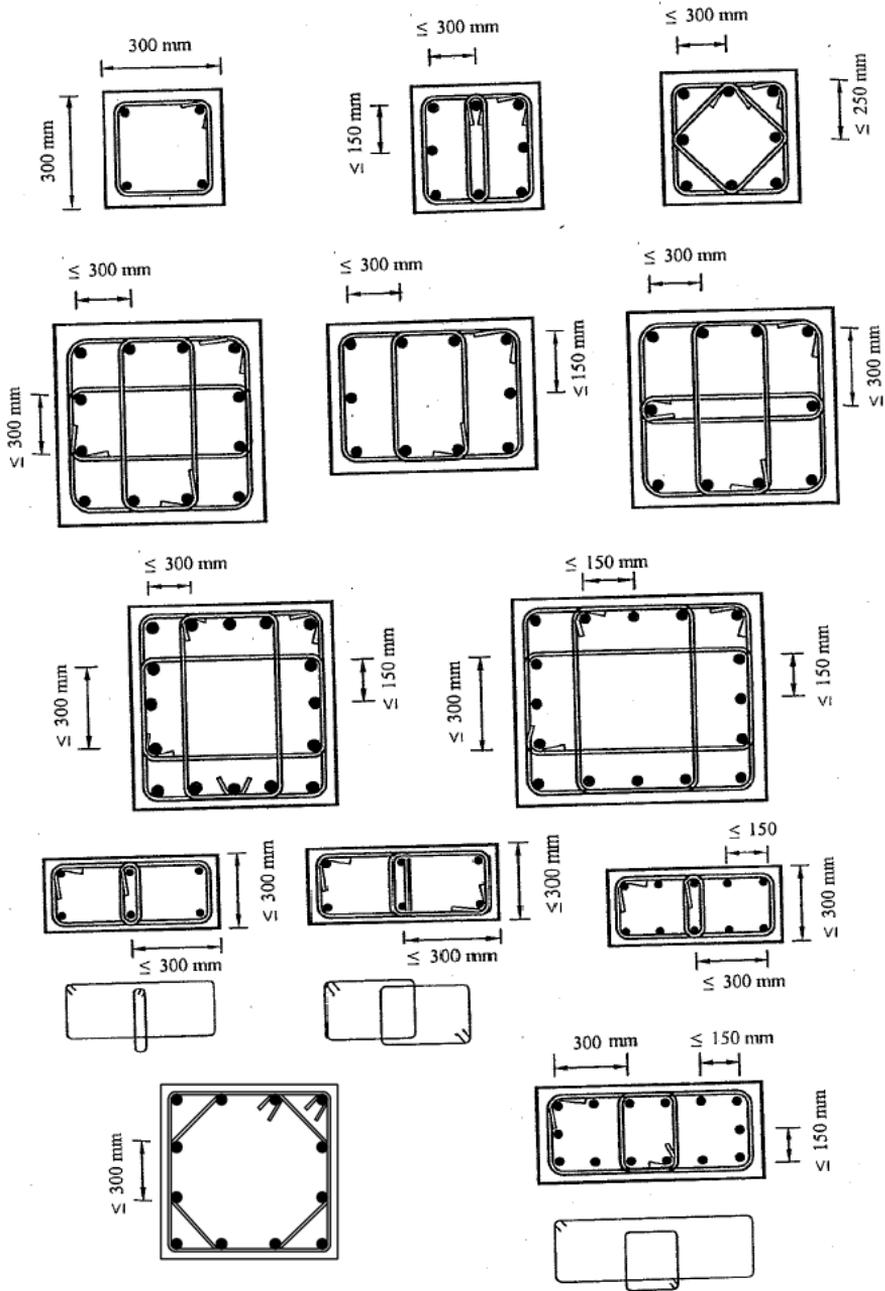
أ. التسليح العرضي في الأعمدة غير المطوّقة (أساور عادية):

- في الأعمدة المستطيلة يتم تركيب التسليح العرضي بحيث يربط كل قضيب طولي

بفرعي إسورة لا تزيد الزاوية بينهما على 135 درجة، إلا إذا كان التباعد بين

قضبان التسليح الطولي أقل أو يساوي 150mm فيمكن أن يُكتفى بتحقيق هذا

الشرط على قضبان الزوايا، ثم على القضبان الوسطية بالتناوب. وإذا زاد أي من بُعدي العمود على 300mm فيلزم إضافة أساور وسطية.

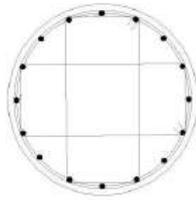


الشكل (3-5) أساور الأعمدة

- في الأعمدة الدائرية تستعمل أساور حلقيه على شكل دائرة مغلقة مع تحقيق طول تماسك كافٍ كما في الشكل، وإذا زاد قطر العمود على 400mm يجب استعمال أساور مربعة أو مستطيلة إضافة إلى الأساور الحلقية لأن الأساور الحلقية قد لا تكون كافية في مثل هذه الحالات لتحمل الشد الناتج عن تحنيب قضبان التسليح.



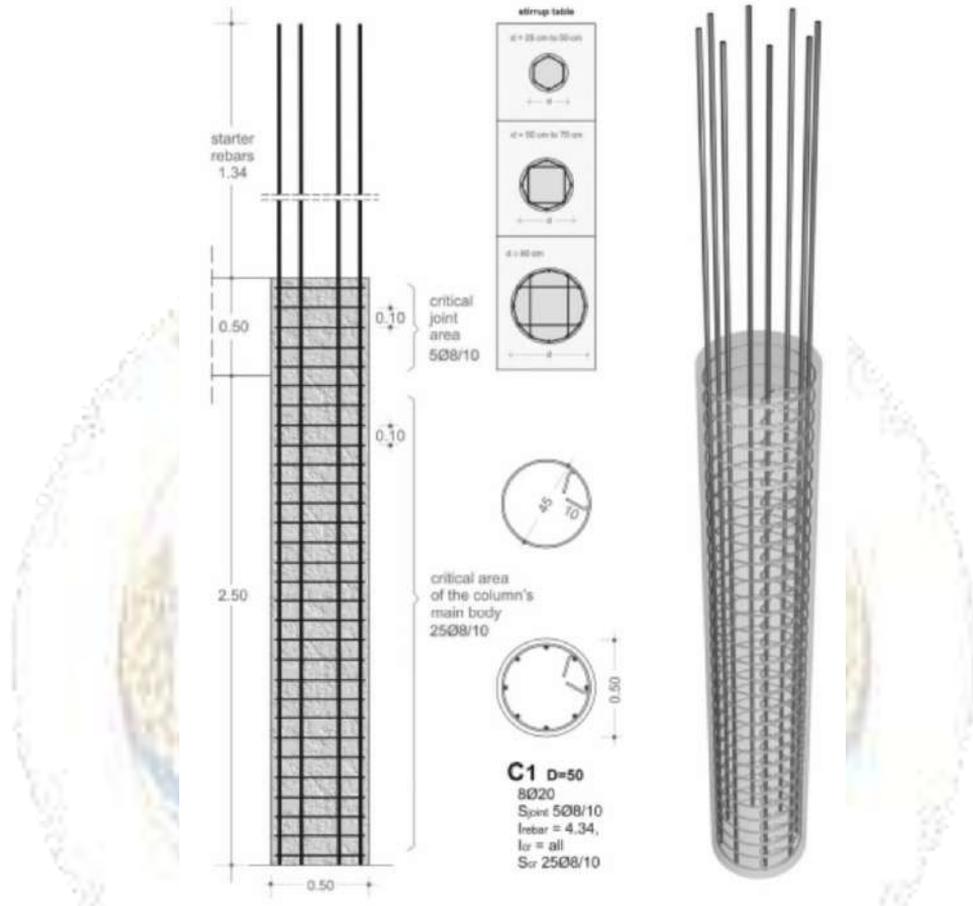
شكل أساور الأعمدة الدائرية ذات الأقطار التي لا تتعدى 400 mm



شكل أساور الأعمدة الدائرية ذات الأقطار التي تتعدى 400 mm

الشكل (4-5) أساور الأعمدة الدائرية، الكود العربي السوري- الطبعة الرابعة

- لا يقل قطر الأساور عن ثلث قطر قضبان التسليح الطولي أو 6mm أيهما أكبر، ولا يزيد على 12mm ويزاد القطر الأدنى إلى 8mm إذا زادت مساحة مقطع العمود على $0.25m^2$.
- لا يقل تباعد الأساور عن 100mm ولا يزيد على 15 مرة أصغر قطر قضيب تسليح مربوط بالإسواره، ولا عرض العمود، ولا على 300mm.
- تكثف الأساور في مناطق وصل القضبان، بحيث لا يزيد التباعد بين الأساور في هذه المناطق على 150mm.



الشكل (5-5) تسليح الأعمدة الدائرية، مرجع رقم (11)

4-5 توازن المقطع Cross Section Equilibrium:

عندما يتعرض العمود إلى تحميل محوري فإنه يحدث انفعالاً طويلاً في كل من البيتون والفولاذ وبسبب الالتحام التام بينهما فإن الانفعال يفترض أن يكون متساوياً في كل منهما. وعليه فإن قدرة تحمل المقطع الكلية هي مجموع مساهمات كل من الفولاذ والبيتون. عند الانتهاء يصل الفولاذ إلى إجهاد الخضوع. بتطبيق معادلة التوازن على المقطع في الحالة الحدية:

$$N_u = 0.85f'_c A_c + f_y A_s$$

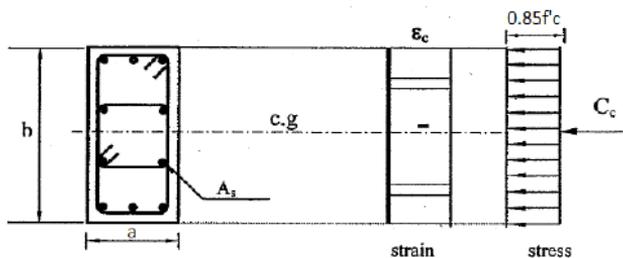
بإدراج كل من عامل تخفيض المقاومة $\Omega = 0.65$ ، وعامل اللامركزية الطارئة ويساوي إلى

:/0.8/

$$N_u = 0.8\Omega[0.85f'_cA_c + f_yA_s] \quad (1-5)$$

A_s : مساحة مقطع التسليح الطولي.

A_c : مساحة مقطع البيتون.



الشكل (5-6) مخطط الإجهاد والانفعال ن أجل مقطع عمود محمل محورياً

- عندما يكون المطلوب هو التسليح وقوة الضغط N_u ومساحة البيتون A_c معلومة، يتم حل المعادلة (1-5) لصالح مساحة التسليح وتكون نسبة التسليح:

$$\mu_s = \frac{N_u}{0.8\Omega A_c f_y} - 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \quad (2-5)$$

- عندما تكون مساحة البيتون A_c مجهولة بينما نسبة التسليح μ_s مفروضة سلفاً تكون مساحة مقطع البيتون:

$$A_c = \frac{N_u}{0.8\Omega[0.85f'_c + \mu_s f_y]} \quad (3-5)$$

5-5 قوة الضغط التي يتحملها العمود

تحمل الأعمدة أوزانها الذاتية وردود أفعال الجيزان المستندة إليها، إضافةً إلى أحمال الأعمدة التي

تستند إليها.

- الوزن الذاتي: يحمل العمود في كل طابق وزنه الذاتي وأحمال الأعمدة التي تعلوه، ويصمّم العمود المحمل محورياً في كل طابق عند منسوب أسفل الطابق إذ تكون الحمولة أعظم ما يمكن في الطابق، الشكل (5-7).

$$SW = \gamma_c(V) = \gamma_c(b \times a \times L)$$

γ_c : الوزن الحجمي للبيتون ويتراوح بين 23.5-25kN/m³.

a, b: أبعاد المقطع العرضي للعمود.

L: ارتفاع العمود (طوله).

تصعد حمولة الوزن الذاتي للعمود بالمعامل /1.4/ وفق

تعليمات الكود العربي السوري بسبب كونه حمولة مبيتة.

ب. ردود أفعال الجيزان المستندة إلى هذا العمود:

وهي عبارة عن مجموع ردود أفعال كل الجيزان المستندة إلى هذا

العمود. فمثلاً بدراسة أحمال العمود C₂ المبين بالشكل، يُلاحظ

أنه يحمل الأحمال الميتة والحية القادمة من المساحة المهشرة

وهي حصته من الحمل الطابقي، هذه الحمولة هي بالنتيجة رد

فعل الجائز B₁ عند المحور /C/ مضافاً إليه رد فعل الجائز

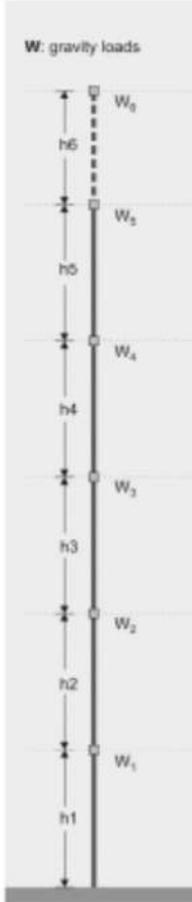
B₅ عند المحور /4/.

ملاحظة: عند حساب أحمال الأعمدة الطرفية عملياً يتم اعتبار رد الفعل المنقول

إليه مساوياً إلى رد فعل لنصف الفتحة بغض النظر عن تأثير العزم في المسند

الثاني (أي يعدّ المجاز الطرفي كجائز بسيط) وخصوصاً في الفتحات

الشاخصة.



الشكل (5-7) الأحمال

التراكمية للعمود، مرجع

رقم (11)

5-6 تأثير اللامركزية الطارئة Minimum Eccentricity:

عند إجراء التحليل الإنشائي للجيزان تم اعتبار استناد الجائز على العمود نقطياً، وهذا افتراض

نظري لا يُطابق الواقع الفعلي الذي يكون فيه استناد الجائز على العمود ثلاثي البعد، عندها تنشأ لا مركزية

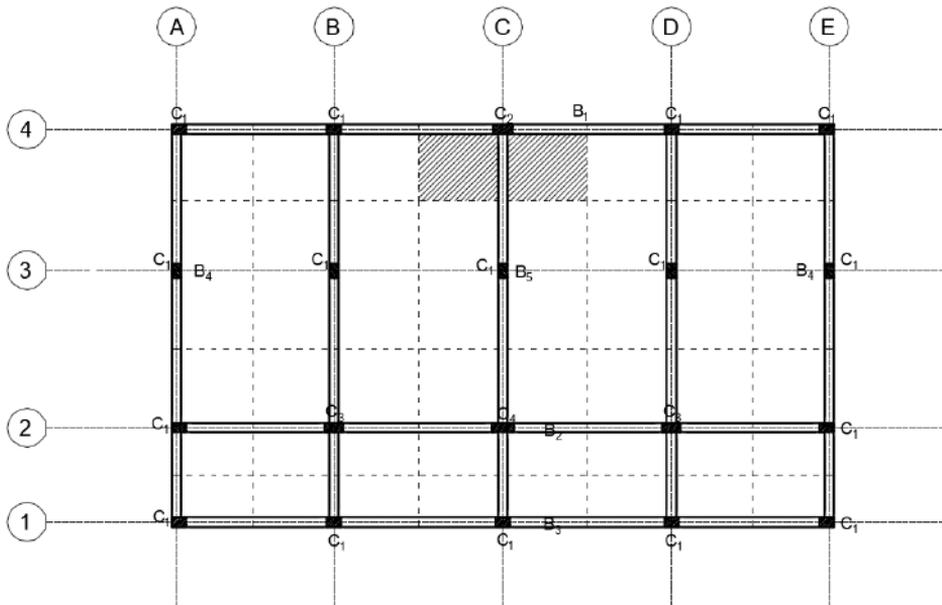
طارئة قيمتها أكبر ما تكون في الأعمدة الركنية Corner Columns بينما تكون قيمتها أقل في الأعمدة

الطرفية Exterior Columns وأقل ما يمكن في الأعمدة الوسطية Interior Columns لأنها متصلة

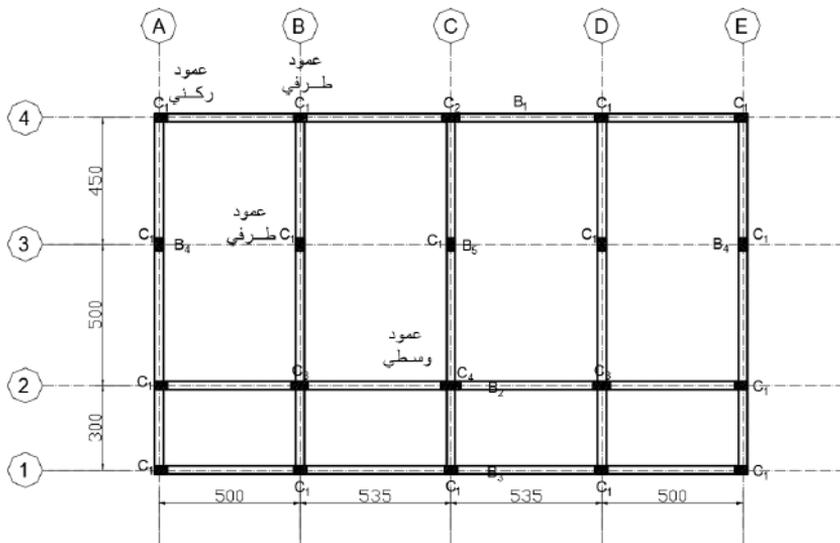
بجيزان من أطرافها الأربعة. كذلك الأمر تكون هذه اللامركزية في الأعمدة السفلية أقل منها في الطوابق

العليا بسبب كبر الحمولة الشاقولية. هذه اللامركزية توّد عزوماً ثانوية إضافةً إلى القوة المحورية في

الأعمدة.



الشكل (8-5) المساحة التي يحملها العمود من البلاطة



الشكل (9-5) موقع العمود من المسقط الأفقي

يمكن إدخال أثر هذه العزوم الثانوية بإحدى طريقتين:

- حساب قيم هذه العزوم الثانوية وتصميم الأعمدة على قوة لامركزية (قوة وعزم).

- إدخال أثر هذه العزوم باستخدام عامل العزوم الطارئة k_e ويسمى عامل التكافؤ، وهي الطريقة التي يعتمدها الكود العربي السوري.

تُعطى قيمة عامل التكافؤ k_e بالجدول (1-5)، (2-5) بحسب موقع العمود في المسقط الأفقي Plan والمقطع الشاقولي للبناء Elevation.

أ. الأعمدة التي لا تحمل بلاطات ظفرية مصمتة:

الجدول (1-5) عامل التكافؤ في اعمدة لا تحمل بلاطات ظفرية مصمتة

موقع العمود	العمود الوسطي	العمود الطرفي	العمود الركني
طابق أخير	1.3	1.6	2
طابق تحت أخير	1.2	1.4	1.7
بقية الطوابق	1.0	1.15	1.3

1. الأعمدة التي تحمل بلاطات ظفرية مصمتة:

الجدول (2-5) عامل التكافؤ في اعمدة تحمل بلاطات ظفرية مصمتة

موقع العمود	العمود الوسطي	العمود الطرفي	العمود الركني
طابق أخير	1.3	1.5	1.6
طابق تحت أخير	1.1	1.3	1.4
بقية الطوابق	1.0	1.1	1.2

بعد إدخال أثر اللامركزية الطارئة تصبح المعادلات الأساسية لتصميم الأعمدة:

$$N_u = \frac{0.8\Omega}{k_e} [0.85f'_c A_c + f_y A_s] \quad (4-5)$$

$$\mu_s = \frac{N_u k_e}{0.8\Omega A_c f_y} - 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \quad (5-5)$$

$$A_c = \frac{N_u k_e}{0.8\Omega [0.85f'_c + \mu_s f_y]} \quad (6-5)$$

5-7 عوامل تخفيض الأحمال الحية وفق تعليمات الكود العربي السوري:

يعدّ الكود العربي السوريّ أن الأحمال الحية لا توجد في آن واحد في الطوابق جميعها وعليه يمكن تخفيض الحمل الحي الذي تحمله الأعمدة تبعاً لموقع العمود في المقطع الشاقولي للبناء، إذ تطبق كامل الحمولة الحية في الطوابق الأخيرة وتحت الأخيرة ثم يتم التخفيض بنسبة 10% لكل طابق نزولاً إلا أن تصل إلى 50% إذ تثبت لبقية الطوابق السفلى. هذا ولا يسمح بتخفيض الحمل الحي إذا كان عدد الطوابق لا يزيد على خمسة طوابق أو إذا كانت الطوابق تستعمل كمستودعات أو مخازن أو مدارس أو أماكن عامة أي إنّ الحمل الحي كبير ولا يمكن توقعه بدقة.

الجدول (3-5) نسب تخفيض الأحمال الحية للأعمدة

الطابق	نسبة الحمل الحي
الطابق الأخير	100%
الطابق تحت الأخير	100%
الطابق الثاني تحت السطح	90%
الطابق الثالث تحت السطح	80%
الطابق الرابع تحت السطح	70%
الطابق الخامس تحت السطح	60%
الطابق السادس تحت السطح	50%
الطابق السابع تحت السطح	50%

5-8 خطوات تصميم الأعمدة القصيرة - إيجاد أبعاد العمود:

1. يتم فرض نسبة تسليح أصغرية $\mu_s = 1\% = 0.01$.
2. يتم حساب الحمولة الحديثة المصعدة $N_u = 1.4DL + 1.7LL$.
3. إيجاد مساحة المقطع البيتوني من المعادلة:

$$A_c = \frac{N_u k_e}{0.8\Omega [0.85f'_c + \mu_s f_y]} \quad (6-5)$$

4. حساب مساحة التسليح $A_s = \mu_s A_c = 0.01A_{cr} \geq 0.006A_{c-actual}$
5. تصميم التسليح العرضي:

$$\phi \geq \max \begin{cases} 8mm \\ \phi_l / 3 \end{cases} \quad \bullet \text{ القطر}$$

$$S \leq \min \begin{cases} 15\phi_{\min} \\ 300mm \\ a \end{cases} \quad \bullet \text{ التباعد}$$

9-5 خطوات تصميم الأعمدة القصيرة - إيجاد التسليح لمقطع معلوم:

1. يتم حساب الحمولة الحديدية المصغدة $N_u = 1.4DL + 1.7LL$

2. يتم حساب نسبة التسليح من المعادلة:

$$\mu_s = \frac{N_u k_e}{0.8\Omega A_c f_y} - 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \quad (5-5)$$

3. التحقق من نسبة التسليح:

$$0.025 \geq \mu_s \geq 0.01$$

4. حساب مساحة التسليح $A_s = \mu_s A_c = 0.01A_c$

5. تصميم التسليح العرضي:

$$\phi \geq \max \begin{cases} 8mm \\ \phi_l / 3 \end{cases} \quad \bullet \text{ القطر}$$

$$S \leq \min \begin{cases} 15\phi_{\min} \\ 300mm \\ a \end{cases} \quad \bullet \text{ التباعد}$$

10-5 خطوات تحقيق عمود معلوم الأبعاد والتسليح:

1. يتم حساب الحمولة الحديدية المصغدة $N_u = 1.4DL + 1.7LL$

2. يتم التحقق من المعادلة:

$$N_u = \frac{0.8\Omega}{k_e} [0.85f'_c A_c + f_y A_s] \quad (4-5)$$

3. التحقق من نسبة التسليح:

$$0.025 \geq \mu_s \geq 0.01$$

4. تصميم التسليح العرضي:

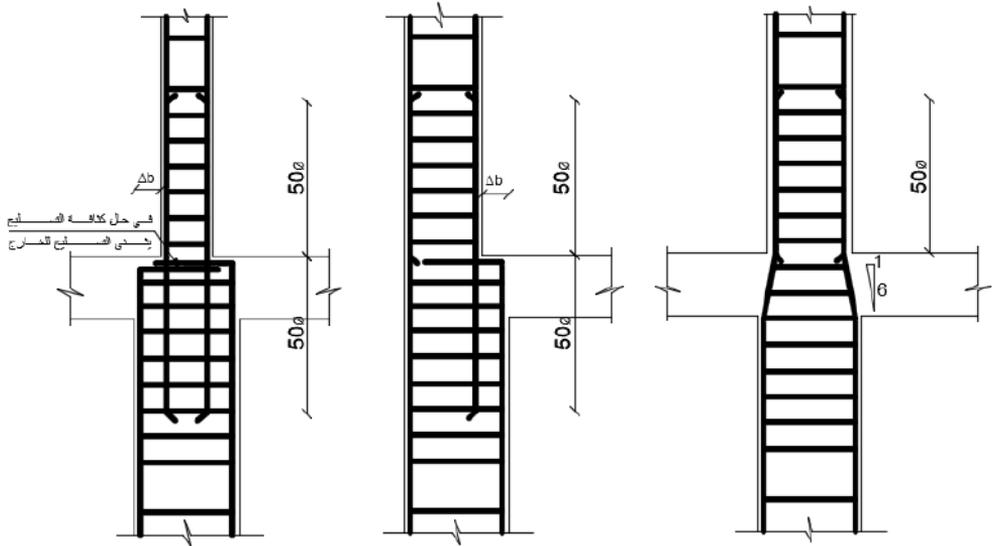
$$\phi \geq \max \begin{cases} 8mm \\ \phi_l / 3 \end{cases} \quad \bullet \text{ القطر}$$

$$S \leq \min \begin{cases} 15\phi_{\min} \\ 300mm \\ a \end{cases} \quad \bullet \text{ التباعد}$$

5-11 تراكب التسليح الطولي في الأعمدة Splicing of Vertical Reinforcement:

في الأعمدة التي لا تقوم بمقاومة قوى أفقية يتم وصل (تراكب) التسليح الطولي بين الطوابق عند منسوب الطابق، إذ غالباً ما يختلف المقطع العرضي للعمود بين طابق وآخر. يمكن التمييز بين حالتين لوصل التسليح الطولي:

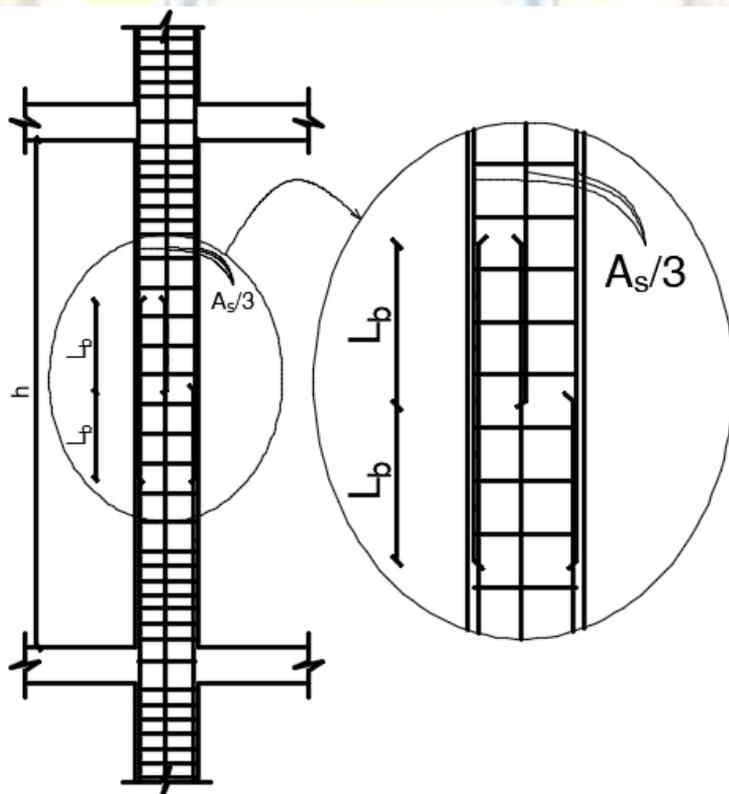
- حالة كون التغيير في المقطع بين الطابقين ذا ميل لا يزيد على 1:6 من جانب واحد أو جانبيين عندها يتم تكسيح التسليح الخاص بالعمود السفلي بزاوية تناسب الفرق بين مقطعي العمودين.
- حالة كون التغيير في المقطع بين الطابقين ذا ميل يزيد على 1:6 من جانب واحد أو جانبيين إذ يتم طي تسليح العمود السفلي وإضافة تشاريك بطول التراكب أعلى المقطع وأسفله.



الشكل (5-10) وصل التسليح الطولي للأعمدة بين الطوابق المتكررة

يمكن عدّ قيمة التراكب تساوي 50ϕ كقيمة تقريبية بدلاً من حسابها بدقة كما ورد سابقاً في الفصل الثالث. يُترك هذا الطول عند تنفيذ الطابق السفلي ليتم وصل قضبان الطابق العلوي لاحقاً ويسمى هذا الطول أيضاً Starter Length. تبين الأشكال (5-10) طرائق وصل التسليح الطولي في الطوابق المتكررة في الحالات المختلفة.

في الأعمدة الحاملة لقوى أفقية يتم عمل وصلات التراكب في المنطقة الوسطى من العمود على مسافات مختلفة لكل قضيب طولي كما هو مبين بالشكل (5-11) إذ يتم وصل $1/3$ قضبان التسليح الطولي في منتصف ارتفاع العمود، $1/3$ قضبان التسليح الطولي أسفل منتصف ارتفاع العمود بمسافة قدرها 50ϕ والثالث الأخير أعلى منتصف ارتفاع العمود بمسافة قدرها 50ϕ . أو كحل بديل يمكن وصل نصف القضبان أعلى منتصف ارتفاع العمود بمسافة قدرها 50ϕ والنصف الآخر أسفل منتصف ارتفاع العمود بمسافة قدرها 50ϕ .

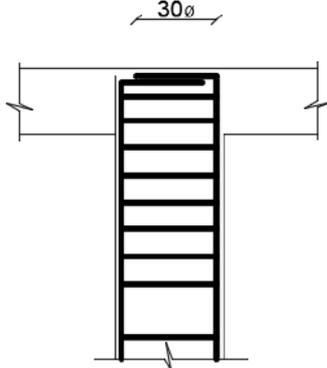


الشكل (5-11) وصل التسليح الطولي للأعمدة الحاملة للزلازل

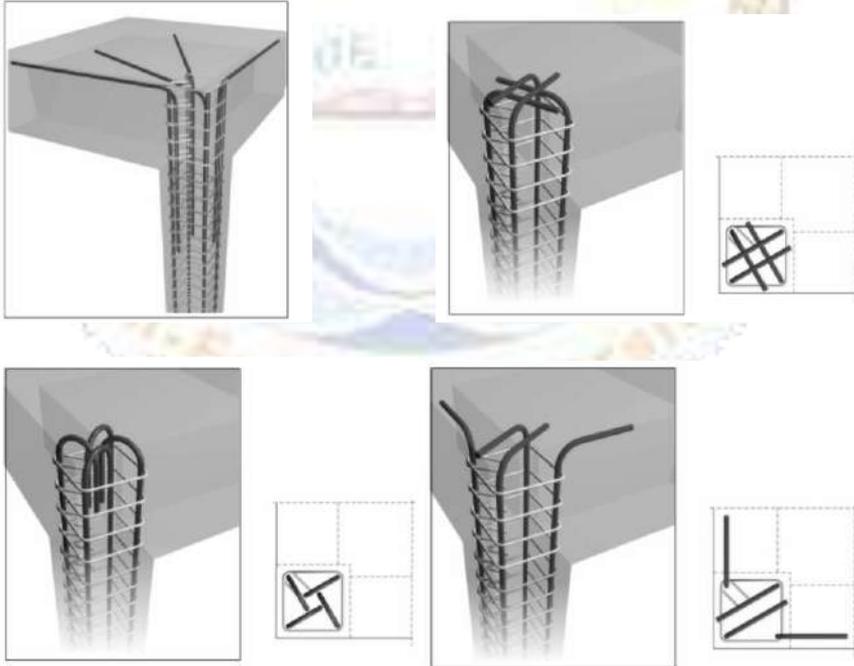
12-5 إرساء التسليح الطولي في الطابق الأخير Anchoring the Reinforcement of the Upper Floor Level

نميز حالتين بخصوص التسليح الطولي في السطح الأخير:

- في حال عدم وجود إمكانية توسع طابقي في المستقبل، فإنه يتم طي التسليح الطولي للعمود في الطابق الأخير بزاوية 90 أو 180 درجة بطول التثبيت أوبمسافة قدرها 30ϕ .

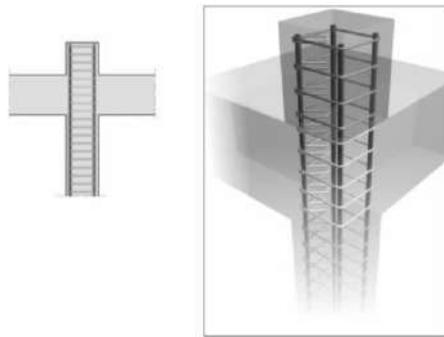


الشكل (12-5) تراكب التسليح الطولي في الطابق الأخير



الشكل (13-5) أشكال تراكب التسليح الطولي في الطابق الأخير، مرجع رقم (11)

- في حال وجود إمكانية توسع في المستقبل والأعمدة محسوبة من أجل طابق إضافي، عندها سيكون من المجهد لفولاذ التسليح أن يتم طيه ثم إعادة فرده في المستقبل وربطه مع فولاذ التسليح الطولي للأعمدة العلوية الجديدة، ولن يكون بإمكانه نقل الأحمال بشكل كفاء. لذلك من الأفضل إضافة قبة بيتونية تقوم بحماية فولاذ التسليح من الصدأ وبالوقت نفسه لا يتم طيه ضمن بلاطة السطح. في حين يتم تكسير هذا البيتون عند إرادة التوسع مستقبلاً.



الشكل (5-14) حماية التسليح الطولي في الطابق الأخير، مرجع رقم (11)

مثال تطبيقي (1):

صمم عموداً مستطيلاً ليقوم بحمل الحمولات المحورية الآتية:

$$DL = 1000kN \quad LL = 400kN$$

علماً بأن مواصفات المواد هي: $f'_c = 25MPa$ $f_y = 400MPa$

الحل:

بما أن أبعاد المقطع غير معطاة يتم اتباع الخطوات الآتية:

1. يتم فرض نسبة تسليح أصغرية $\mu_s = 1\% = 0.01$.
2. يتم حساب الحمولة الحديدية المصعدة $N_u = 1.4DL + 1.7LL = 2080kN$.
3. إيجاد مساحة المقطع البيتوني من المعادلة:

$$A_c = \frac{N_u k_e}{0.8\Omega[0.85f'_c + \mu_s f_y]} \quad (6-5)$$

بفرض $k_e=1$ بما أنه لم يحدد موقع العمود:

$$A_c = \frac{N_u k_e}{0.8\Omega[0.85f'_c + \mu_s f_y]} = \frac{2080 \times 10^3}{0.8 \times 0.65[0.85 \times 25 + 0.01 \times 400]} = 158416 \text{mm}^2$$

بفرض سماكة العمود $a=300\text{mm}$ يكون البعد الآخر $b=528\text{mm}$ يتم اعتبار $b=550\text{mm}$.

$$A_s = \mu_s A_c = 0.01 A_{cr}$$

$$= 0.01 \times 158416 = 1584 \text{mm}^2 \geq 0.006 A_{c-actual} \text{ حساب مساحة التسليح}$$

$$= 0.006 \times 300 \times 550 = 990 \text{mm}^2$$

يتم اختيار تسليح بواقع ثمانية قضبان بقطر 16mm : $8\phi 16 = 1608 \text{mm}^2$

5. تصميم التسليح العرضي:

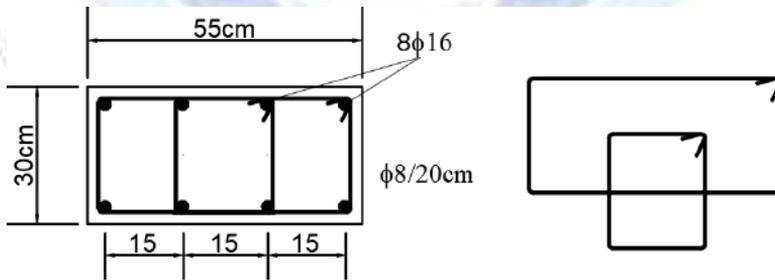
$$\phi \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 8\text{mm} \\ \phi_t / 3 = 5.33\text{mm} \end{array} \right. \quad \phi = 8\text{mm}$$

• القطر

• التباعد

$$S \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 15\phi_{\min} = 15 \times 16 = 240\text{mm} \\ 300\text{mm} \\ a = 300\text{mm} \end{array} \right. \quad S = 200\text{mm}$$

تصبح تفصيلة العمود كما يأتي:



مثال تطبيقي (2):

احسب الحمولة الضاغطة الأعظمية والأصغرية التي يستطيع عمود وسطي Interior Column

أبعاده $250 \times 600 \text{mm}$ تحمّلها، علماً بأنّ مواصفات المواد:

$$f'_c = 20 \text{MPa} \quad f_y = 360 \text{MPa}$$

الحل:

بما أن أبعاد العمود معطية والمطلوب قيمة القوة التي يتحمّلها المقطع:

1. يتم فرض نسبة التسليح ضمن حدود الكود:

• مساحة التسليح العظمى

$$\mu_s = 0.025 \Rightarrow A_s = 0.025(250 \times 600) = 3750 \text{mm}^2 \\ = 12\phi 20 = 3770 \text{mm}^2$$

• مساحة التسليح الدنيا

$$\mu_s = 0.01 \Rightarrow A_s = 0.01(250 \times 600) = 1500 \text{mm}^2 \Rightarrow 8\phi 16 = 1608 \text{mm}^2$$

2. يتم التحقق من المعادلة:

بفرض $k_e = 1$ بما أنه لم يحدد موقع العمود الطابقي:

• قوة الضغط العظمى التي يتحملها العمود:

$$N_u = \frac{0.8\Omega}{k_e} [0.85f'_c A_c + f_y A_s] \\ = \frac{0.8 \times 0.65}{1} [0.85 \times 20 \times 250 \times 600 + 360 \times 3750] = 2028000 \text{N} = 2028 \text{kN}$$

• قوة الضغط الصغرى التي يتحملها العمود:

$$N_u = \frac{0.8\Omega}{k_e} [0.85f'_c A_c + f_y A_s] \\ = \frac{0.8 \times 0.65}{1} [0.85 \times 20 \times 250 \times 600 + 360 \times 1500] = 1606800 \text{N} = 1606.8 \text{kN}$$

5. تصميم التسليح العرضي:

$$\phi_{\max} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 8mm \\ \phi_l / 3 = 6.67 \end{array} \right. \quad \phi = 8mm \quad \bullet \text{ القطر}$$

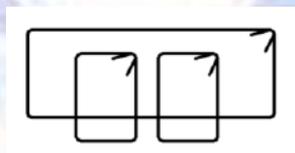
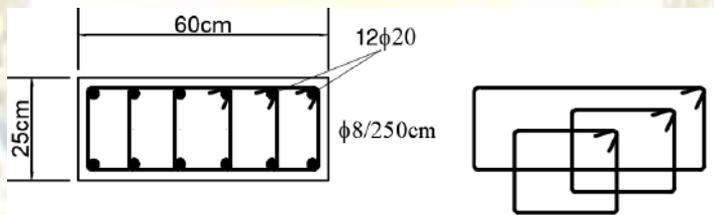
$$\phi_{\min} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 8mm \\ \phi_l / 3 = 5.33 \end{array} \right. \quad \phi = 8mm$$

$$S_{\max} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 15\phi_{\min} = 300 \\ 300mm \\ a = 250mm \end{array} \right. \quad S = 250mm \quad \bullet \text{ التباعد}$$

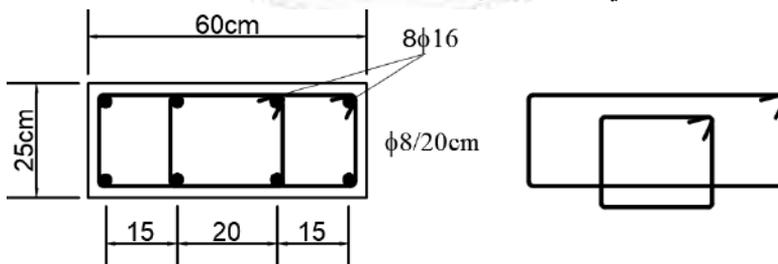
$$S_{\min} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 15\phi_{\min} = 240 \\ 300mm \\ a = 250mm \end{array} \right. \quad S = 200mm$$

• تفصيلة التسليح:

• في حالة التسليح الأعظمي:

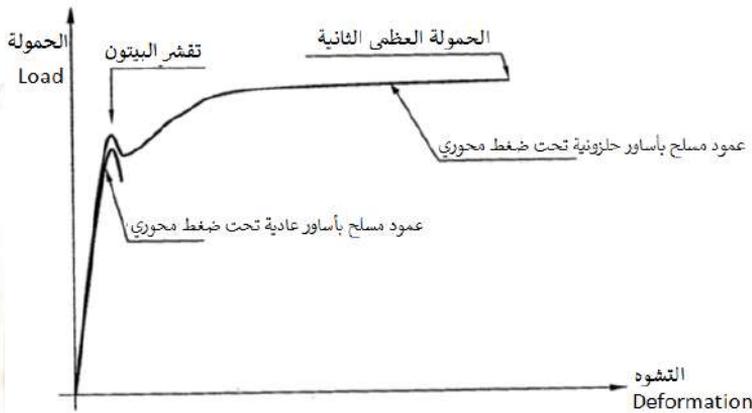


• في حالة التسليح الأصغري:



5-13 الأعمدة المحملة محورياً والمسّحة حلزونياً Axially Loaded Spiral Columns:

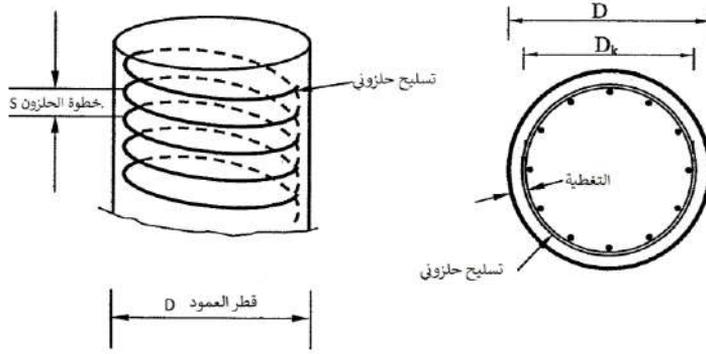
تستخدم الأعمدة ذات الأساور الحلزونية بدلاً من الأعمدة ذات الأساور المنفردة عندما تكون هناك حاجة إلى مطاوعة عالية أو مقاومة أكبر كما في المناطق ذات الشدة الزلزالية العالية وفي الأوتاد البيتونية وذلك لمنع تجمع الأساور العادية فوق بعضها بسبب قوة الضغط عند إنزال تسليح الأوتاد ضمن الحفرة. إن الفائدة الأساسية من الأساور الحلزونية هي زيادة المطاوعة في العمود إذ يُلاحظ كما في الشكل، أن المطاوعة تزداد بشدة باستبدال الأساور العادية بأساور حلزونية.



الشكل (5-15) مخطط حمولة-تشوه من أجل الأعمدة المسّحة حلزونياً

إن الأساور المتقاربة للحلزون والقضبان الطويلة تحيط بالبيتون بصورة تامّة، نتيجة لزيادة التحميل سوف تنتشر تغطية البيتون Spalling-off عند الحمولة العظمى الأولى عندها تبدأ الأعمدة المسّحة بأساور عادية بمرحلة الانهيار في حين أن النواة البيتونية في الأعمدة المسّحة بأساور حلزونية سوف تستمر في حمل الحملات المحورية إلى أن تصل قيمة الانهيار وهي أكبر بنسبة ما من حمولة تقشر البيتون، ويعود ذلك إلى الزيادة في مقاومة الضغط الناتجة عن الأساور الحلزونية بمعنى أن الأساور الحلزونية تساهم في مقاومة الضغط إضافةً إلى تطويق التسليح الطولي والمساهمة في المطاوعة.

إن التقشر يعطي إنذاراً بالانهيار ثم يستمر العمود بالصمود إلى أن يصل إلى الحمولة العظمى الثانية ولكن مع تشوهات كبيرة جداً. من أجل ذلك يتم اعتبار المقطع البيتوني الذي يُقاوم الإجهادات هو مقطع النواة A_k المحاطة بتسليح حلزوني بما فيها سماكة التسليح الحلزوني وليس كامل المقطع البيتوني.



الشكل (5-16) عناصر التسليح الحلزوني

5-13-1 حساب التسليح الحلزوني:

إن العلاقة الأساسية في الأعمدة المسلحة بتسليح حلزوني تأخذ بالحسبان أثر التسليح الحلزوني في زيادة المقاومة:

$$N_u = \frac{0.8\Omega}{k_e} [0.85f'_c A_k + f_y A_s + 2.5f_{yp} A_{sp}] \leq 1.5N_{ou}$$

A_{sp} : حجم التسليح الحلزوني ضمن تباعد قدره S .

f_{yp} : إجهاد الخضوع في الأساور الحلزونية.

N_{ou} : الحمولة المسموحة في العمود من أجل أساور عادية وتعطى قيمتها بالمعادلة:

$$N_{ou} = \frac{0.8\Omega}{k_e} [0.85f'_c A_c + f_y A_s]$$

$$A_c = \frac{\pi D^2}{4} \quad A_k = \frac{\pi D_k^2}{4} \quad D_k = D - 2c$$

A_k : مساحة نواة القطاع البيتوني بما فيها سماكة الحلزون.

A_c : المساحة الكلية للمقطع البيتوني.

• الأساور الحلزونية:

إن الحجم الافتراضي المكافئ للأساور الحلزونية هو:

$$A_{sp} = \frac{\pi D_k a_s}{S}$$

D_k : قطر النواة.

a_s : مساحة مقطع الحلزون إذ لا يقل قطر الحلزون عن 8mm.

S : خطوة الحلزون.

$$40 \leq S \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 80mm \\ \frac{D_k}{5} \end{array} \right.$$

عند الحاجة إلى وصل الحززون يجب ألا يقل التراكم عن مرة ونصف طول اللفة على الأقل.

• الحدود الدنيا والعظمى للتسليح الحزوني:

○ لا تقل المساحة المكافئة لتسليح التطويق العرضي A_{sp} عن:

$$A_{sp \min} = 0.45 \left[\frac{A_c}{A_k} - 1 \right] \frac{f'_c}{f_{yp}} A_k$$

f_{yp} : المقاومة المميزة للتسليح الحزوني.

○ لا تزيد المساحة المكافئة لتسليح التطويق الحزوني عن:

$$A_{sp \max} = 0.34 \left[\left(1.412 \frac{A_c}{A_k} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yp}} + 0.484 \frac{A_s}{A_k} \frac{f_y}{f_{yp}} \right] A_k$$

A_s : مساحة التسليح الطولي.

f_y : المقاومة المميزة لإجهاد التسليح الطولي.

إذا تبين نتيجة الحساب ضرورة استعمال تسليح حزوني مساحته أكبر من القيمة العظمى أعلاه وجب زيادة التسليح الطولي أو زيادة أبعاد المقطع البيتوني أو كليهما.

5-14 خطوات تصميم مقطع عمود بتسليح حزوني - إيجاد أبعاد العمود:

1. يتم فرض نسبة التسليح بحسب الحدود الدنيا والعظمى للكود السوري

$$0.025 \geq \mu_s \geq 0.01$$

2. حساب الحمولة الحدية المصعدة $N_u = 1.4DL + 1.7LL$

3. إيجاد الحمولة المسموحة في العمود من أجل أساور عادية وتغطي قيمتها بالمعادلة:

$$N_{0u} = \frac{0.8\Omega}{k_e} [0.85f'_c A_c + f_y A_s]$$

4. يتم تصعيد N_{0u} بالعامل 1.5 والمقارنة مع الحمولة الحدية المطبقة:

○ يكون المقطع مرفوض الأبعاد ويجب زيادتها. $N_u > 1.5N_{0u}$

○ المقطع مقبول الأبعاد ويتم التسليح بشكل حلزوني. $N_u \leq 1.5N_{0u}$

5. يتم حساب حجم الحلزون A_{sp} من المعادلة:

$$N_u = \frac{0.8\Omega}{k_e} \left[0.85f'_c A_k + f_y A_s + 2.5f_{yp} A_{sp} \right]$$

6. تُفرض خطوة الحلزون من المعادلة:

$$40 \leq S \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 80mm \\ \frac{D_k}{5} \end{array} \right.$$

7. مساحة قطر التسليح الحلزوني:

$$a_s = \frac{A_{sp} S}{\pi D_k}$$

8. تتم مقارنة الحجم العظمى والدنيا للتسليح الحلزوني.

5-15 خطوات تصميم مقطع عمود بتسليح حلزوني - إيجاد التسليح لمقطع معلوم:

1. يتم فرض نسبة التسليح بحسب الحدود الدنيا والعظمى للكود السوري

$$0.025 \geq \mu_s \geq 0.01$$

2. حساب الحمولة الحدية المصعدة $N_u = 1.4DL + 1.7LL$

3. إيجاد مساحة المقطع البيتوني من المعادلة:

$$N_u = 1.5N_{0u} = 1.5 \frac{0.8\Omega}{k_e} \left[0.85f'_c A_c + f_y A_s \right]$$

4. إيجاد حجم التسليح الحلزوني A_{sp} من المعادلة:

$$N_u = \frac{0.8\Omega}{k_e} \left[0.85f'_c A_k + f_y A_s + 2.5f_{yp} A_{sp} \right]$$

$$A_{sp} = \left[\frac{N_u k_e}{0.8\Omega} - 0.85f'_c A_k - f_y A_s \right] \frac{1}{2.5f_{yp}}$$

5. تُفرض خطوة الحلزون من المعادلة:

$$S \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 80mm \\ \frac{D_k}{5} \end{array} \right.$$

6. مساحة قطر التسليح العرضي:

$$a_s = \frac{A_{sp} S}{\pi D_k}$$

7. تتم مقارنة الحجم العظمى والدنيا للتسليح الحلزوني.

مثال تطبيقي (1):

صمم عموداً دائرياً ذا تسليح حلزوني ليتحمل حمولة ميتة غير مصعدة DL=1320kN وحمولة

حية غير مصعدة LL=730kN علماً بأن خصائص المواد:

$$f'_c = 20MPa \quad f_y = 240MPa \quad f_{yp} = 240MPa$$

الحل:

المقطع البيتوني غير معلوم الأبعاد:

1. يتم فرض نسبة التسليح بحسب الحدود الدنيا والعظمى للكود السوري $\mu_s = 0.01$.

2. حساب الحمولة الحدية المصعدة $N_u = 1.4DL + 1.7LL = 3089kN$.

3. إيجاد مساحة المقطع البيتوني من المعادلة:

$$N_u = 1.5N_{ou} = 1.5 \frac{0.8\Omega}{k_e} [0.85f'_c A_c + f_y A_s]$$

$$3089 \times 10^3 = 1.5 \frac{0.8\Omega}{k_e} [0.85f'_c + f_y \mu_s] A_c = 1.5 \frac{0.8 \times 0.65}{1} [0.85 \times 20 + 240 \times 0.01] A_c$$

$$A_c = \frac{3089 \times 10^3}{15.132} = 204137mm^2$$

$$A_c = \frac{\pi D^2}{4} = 204137mm^2 \Rightarrow D = 509.82mm$$

$$D = 550mm; A_{c-Actual} = \frac{\pi(550)^2}{4} = 237583mm^2$$

$$A_s = 0.01A_c = 2376\text{mm}^2 \Rightarrow 10\phi 18 = 2545\text{mm}^2$$

$$D_k = D - 2c = 550 - 50 = 500\text{mm} \Rightarrow A_k = \frac{\pi D_k^2}{4} = \frac{\pi(500)^2}{4} = 196350\text{mm}^2$$

4. إيجاد حجم التسليح الحلزوني A_{sp} من المعادلة:

$$N_u = \frac{0.8\Omega}{k_e} \left[0.85f'_c A_k + f_y A_s + 2.5f_{yp} A_{sp} \right]$$

$$A_{sp} = \left[\frac{N_u k_e}{0.8\Omega} - 0.85f'_c A_k - f_y A_s \right] \frac{1}{2.5f_{yp}} =$$

$$\left[\frac{3089 \times 10^3}{0.8 \times 0.65} - 0.85 \times 20 \times 196350 - 240 \times 2376 \right] \frac{1}{2.5 \times 240} = 3387\text{mm}^2$$

5. تُفرض خطوة الحلزون من المعادلة:

$$40 \leq S \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 80\text{mm} \\ \frac{D_k}{5} = 100\text{mm} \end{array} \right. \quad S = 40\text{mm}$$

6. مساحة قطر التسليح الحلزوني:

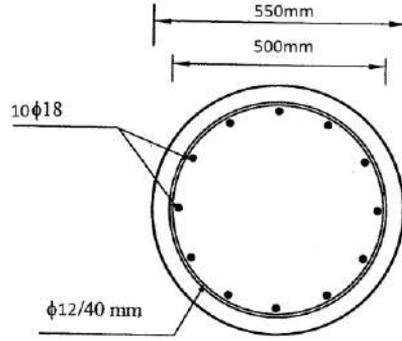
$$a_s = \frac{A_{sp} S}{\pi D_k} = \frac{3387 \times 40}{500\pi} = 86.25\text{mm}^2 \Rightarrow \phi 12 = 113\text{mm}^2$$

7. تتم مقارنة الحجم العظمى والدنيا للتسليح الحلزوني.

$$A_{sp\min} = 0.45 \left[\frac{A_c}{A_k} - 1 \right] \frac{f'_c}{f_{yp}} A_k = 0.45 \left[\frac{237583}{196350} - 1 \right] \frac{20}{240} 196350 = 1546.24\text{mm}^2 < A_{sp}$$

$$A_{sp\max} = 0.34 \left[\left(1.412 \frac{A_c}{A_k} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yp}} + 0.484 \frac{A_s}{A_k} \frac{f_y}{f_{yp}} \right] A_k$$

$$A_{sp\max} = 0.34 \left[\left(1.412 \frac{237583}{196350} - 1 \right) \frac{20}{240} + 0.484 \frac{2376}{196350} \right] 196350 = 4333\text{mm}^2 > A_{sp} = 3387\text{mm}^2$$



مثال تطبيقي (2):

أوجد الحمولة الحدية التي يستطيع تحملها عمود طرفي واقع في طابق تحت أخير ذي مقطع دائري وتسليح حلزوني قطره 800mm علماً بأن التسليح الحلزوني ذي قطر 10mm بخوطة قدرها 50mm خصائص المواد هي:

$$f'_c = 25MPa \quad f_y = 360MPa \quad f_{yp} = 360MPa$$

الحل:

أبعاد المقطع معلومة.

$$A_c = \frac{\pi D^2}{4} = 502655mm^2 \Rightarrow D_k = 800 - 50 = 750mm; A_k = \frac{\pi(750)^2}{4} = 441786mm^2$$

1. يتم فرض نسبة التسليح بحسب الحدود الدنيا والعظمى للكود السوري:

$$\mu_s \geq 0.01 \Rightarrow A_s = 0.01A_c = 5026mm^2 \Rightarrow 12\phi25 = 5890mm^2$$

2. حساب الحمولة الحدية المقارنة:

$$\begin{aligned} 1.5N_{ou} &= 1.5 \frac{0.8\Omega}{k_e} [0.85f'_c A_c + f_y A_s] \\ &= 1.5 \frac{0.8 \times 0.65}{1.4} [0.85 \times 25 \times 502655 + 360 \times 5026] = 6959kN \end{aligned}$$

3. حساب حجم الحزون بقطر 10mm وتباعده 50mm:

$$A_{sp} = \frac{\pi D_k a_s}{S} = \frac{\pi 750(78.5)}{50} = 3699.2 \text{mm}^2$$

4. حساب N_u :

$$N_u = \frac{0.8\Omega}{k_e} [0.85f'_c A_k + f_y A_s + 2.5f_{yp} A_{sp}]$$

$$N_u = \frac{0.8 \times 0.65}{1.4} [0.85 \times 25 \times 441786 + 360 \times 5026 + 2.5 \times 240 \times 3699.2]$$
$$= 4778 \text{kN} \leq 1.5N_{ou} = 6959$$

قدرة تحمل العمود: $N_u = 4778 \text{kN}$





الفصل السادس

التحنيب في الأعمدة البيتونية المسلحة

Buckling in REINFORCED CONCRETE Columns

1-6 مقدمة:

تصنف الأعمدة بحسب نحافتها إلى عمود قصير Short Column وعمود نحيف (طويل) Slender Column. إذ يختلف سلوك كل منهما تحت تأثير القوة المحورية. عندما يتعرض العمود القصير إلى قوة ضاغطة محورية متزايدة فإن إجهادات الضغط تترادى حتى تصل إلى حد ما ينهار عندها بالضغط. بينما عندما يتعرض العمود النحيف إلى قوة ضاغطة محورية متزايدة فإنه يبدأ بالانحناء الجانبي حول محوره الأضعف عند قيمة معينة للقوة المحورية وهذا ما يسمى بالتحنيب الجانبي.

2-6 حمولة التحنيب الحرجة Buckling Load:

تُعطى حمولة التحنيب الحرجة من أجل عمود شاقولي تماماً وتدعى أيضاً بحمولة أولر Euler Load بالعلاقة:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{L^2}$$

$(EI)_{eff}$: الصلابة (الجساءة) الانعطافية الفعالة Effective Flexural Rigidity.

L: طول العمود.

يُلاحظ من المعادلة أنه بزيادة طول العمود أو نقصان صلابته الانعطافية تنقص قيمة P_{cr} فيبدأ بالانحناء عند حمولة أدنى، بتعبير آخر تزيد نسبة نحافته. يمكن التمييز بين ثلاث حالات للتحميل وهي التوازن المستقر، التوازن المحايد، التوازن غير المستقر.

تعطى الصلابة الانعطافية الفعالة في الكود ACI 318-19 sec 6.6.4.4.4 كما يأتي:

$$(EI)_{eff} = \frac{0.2E_c I_g + E_s I_{se}}{1 + \beta_{dns}}$$

ويمكن استعمال العلاقة التقريبية الآتية:

$$(EI)_{eff} = \frac{0.4E_c I_g}{1 + \beta_{dns}}$$

I_g : عزم عطالة المقطع البيتوني بالكامل حول محور التحنيب مع إهمال فولاذ التسليح.

I_{se} : عزم عطالة فولاذ التسليح حول المحور المدروس.

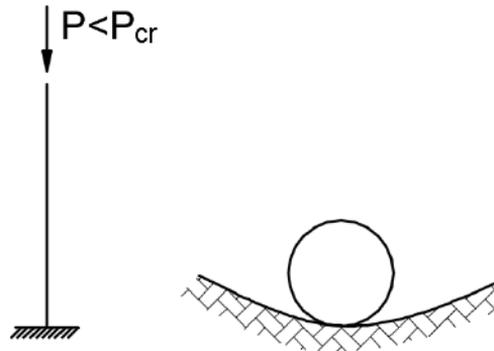
β_{dns} : النسبة بين الأحمال المحورية المصعدة الدائمة العظمى إلى الأحمال المحورية الكلية

المصعدة:

$$\beta_{dns} = \frac{1.4DL}{1.4DL + 1.7LL} \leq 1$$

○ التوازن المستقر Stable Equilibrium:

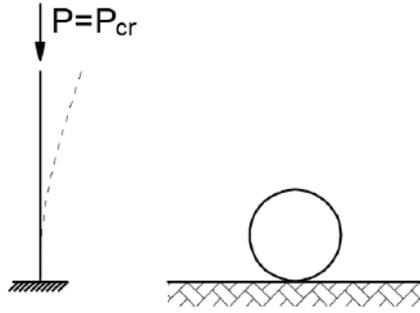
عندما تكون الحمولة الضاغطة المحورية $P < P_{cr}$ يكون العنصر في حالة توازن مستقر، إذ لا توجد تشوهات دائمة في العنصر، أي إنَّ أيَّ إنحناء يحصل في العنصر يختفي بزوال الحمولة، ويمكن تشبيه هذه الحالة بكرة موضوعة على سطح مقعر. إذ إنَّ أيَّة إزاحة للكرة عن وضعها الأصلي تزلزل بزوال المسبب وتعود الكرة إلى وضعها الأصلي.



الشكل (1-6) التوازن المستقر

○ التوازن المحايد Neutral Equilibrium:

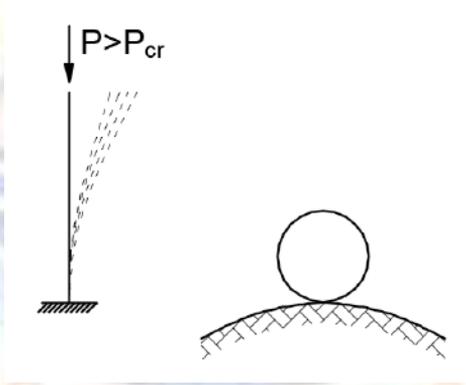
عندما تصل القوة الضاغطة المحورية إلى القيمة الحرجة $P = P_{cr}$ فإنَّ أيَّ إنحناء يبقى بشكل دائم لا يزيد ولا ينقص، وتسمى هذه الحالة حالة التوازن المحايد. تمثل هذه الحالة بحالة كرة على سطح مستوٍ، إنَّ أيَّة إزاحة لهذه الكرة عن وضعها الأصلي تبقى بشكل دائم ولا تعود الكرة إلى مكانها الأصلي بعد زوال المسبب.



الشكل (2-6) التوازن المحايد

○ التوازن غير المستقر Unstable Equilibrium:

عندما تتجاوز القوة الضاغطة المحورية القيمة الحرجة $P > P_{cr}$ فإن التشوهات تزداد من دون زيادة القوة المطبقة فتحصل تشوهات كبيرة جداً أكبر من المسموح بها وينهار العنصر. تسمى هذه الحالة بحالة التوازن غير المستقر. تمثل هذه الحالة بكرة موضوعة على سطح محدب إن أي إزاحة لهذه الكرة تؤدي إلى إزاحة متزايدة وانهايار للتوازن.



الشكل (3-6) التوازن غير المستقر

3-6 تعريف العمود النحيف Slender Column Definition

إن العمود النحيف لديه انخفاض ملحوظ في قدرة تحمل الحملات المحورية بسبب العزوم الناتجة عن الانحناء الجانبي للعمود. بتعبير رياضي يمكن معرفة حدود النحافة عن طريق عامل النحافة λ :
 إذ يُحسب من المعادلة:

$$\lambda = \frac{L_b}{i}$$

L_b : طول التحنيط في العمود، وهو نسبة من الطول الحر للعمود L_0 .

i : نصف قطر العطالة لمقطع العمود Radius of Gyration

- نصف قطر العطالة: وهو الجذر التربيعي لنسبة عزم عطالة مقطع العمود الكامل حول محور التحنيط وهو المحور الأضعف، إلى مساحة مقطع العمود الكامل، ويُعطى بالمعادلة العامة:

$$i = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}}$$

○ مقطع مستطيل:

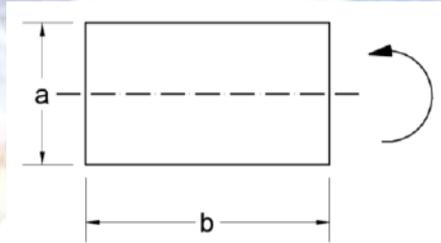
$$I_g = \frac{ba^3}{12}; A_g = a \times b$$

$$i = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}} = \sqrt{\frac{ba^3/12}{a \times b}} = \frac{a}{\sqrt{12}} = \frac{a}{2\sqrt{3}}$$

$$\lambda = \frac{L_b}{a} 2\sqrt{3} = \frac{L_b}{0.289a}$$

يمكن للسهولة اعتبار المعيار:

$$\lambda_a = \frac{L_b}{a} \approx 0.3\lambda$$



الشكل (4-6) اتجاه التحنيط حول المحور الضعيف

○ مقطع دائري:

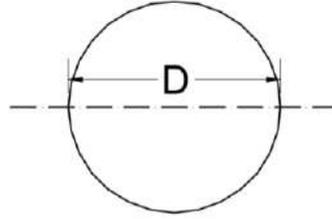
$$I_g = \frac{\pi D^4}{64}; A_g = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$i = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}} = \sqrt{\frac{\pi D^4}{\frac{64}{\pi D^2}}} = \frac{D}{4}$$

$$\lambda = \frac{L_b}{D} 4 = \frac{4L_b}{D}$$

يمكن للسهولة اعتماد المعيار:

$$\lambda_D = \frac{L_b}{D} \approx 0.25\lambda$$



الشكل (5-6) العنصر الدائري

• حدود النحافة:

يعدّ العمود نحيفاً إذا كانت قيمة عامل النحافة أكبر تماماً من /40/ في الأعمدة المسندة جانبياً في حين يعدّ العمود غير المسند جانبياً نحيفاً عندما تكون قيمة عامل النحافة أكبر من /22/، مرجع رقم (4).

إذ تُعدّ الأعمدة مسندة جانبياً إذا وجدت في الطابق المدروس جدران قص أو روابط أفقية تحمل القوى الأفقية مجموع صلاباتها لا تقل عن 12 مرة مجموع صلابات الأعمدة في الطابق المدروس.

$$\lambda > 40 \quad \lambda > 22$$

من أجل أعمدة مسندة جانبياً وبالنسبة إلى مقطع مستطيل أو دائري يكون:

$$\lambda_a > 12 \quad \lambda_b > 10$$

يجب ألا تزيد نحافة الأعمدة المضغوطة في كل اتجاه على /100/ مع استثناء الحالتين الآتيتين:

1. عندما يُجرى تحليل حسابي للمنشأ بالطرائق الدقيقة مع أخذ العزوم من الدرجة الثانية بالحسبان (تأثير $P-\Delta$) أي تأثير انحراف المنشأة على القوى الداخلية فيها.
2. في العناصر المضغوطة ذات الأهمية الثانوية كالعناصر التزينية أو كاسرات الشمس.
3. وفي جميع الحالات يجب ألا تزيد قيمة عامل النحافة في كل اتجاه على $150/$.

• عامل التحنيب k_b :

عندما تكون قيمة عامل النحافة ضمن المجال بين 40 و 80 ($80 \geq \lambda > 40$) يكون العمود نحيفاً ويخضع للتحنيب. وفق تعليمات الكود العربي السوري يتم إدخال أثر التحنيب في هذه الحالة بوساطة عامل التحنيب k_b ، بشرط كون العمود مستطيلاً أو دائرياً، ولا يخضع إلى عزم انعطاف. تؤخذ قيمة عامل التحنيب من الجدول (1-6).

الجدول (1-6) عامل التحنيب k_b

λ	40	42	44	46	48	50	55	60	65	70	75	80
λ_a	11.5	12.1	12.7	13.3	13.9	14.4	15.9	17.3	18.8	20.2	21.7	23.1
λ_D	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13.7	15	16.2	17.5	18.7	20
k_b	1	1.02	1.04	1.07	1.1	1.13	1.2	1.35	1.6	1.95	2.4	3

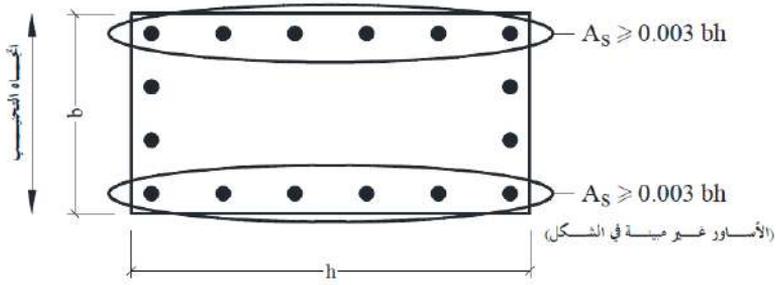
تُصبح المعادلات الأساسية بعد إدراج عامل التحنيب:

$$N_u = \frac{0.8\Omega}{k_e k_b} [0.85f'_c A_c + f_y A_s] \quad (1-6)$$

$$\mu_s = \frac{N_u k_e k_b}{0.8\Omega A_c f_y} - 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \quad (2-6)$$

$$A_c = \frac{N_u k_e k_b}{0.8\Omega [0.85f'_c + \mu_s f_y]} \quad (3-6)$$

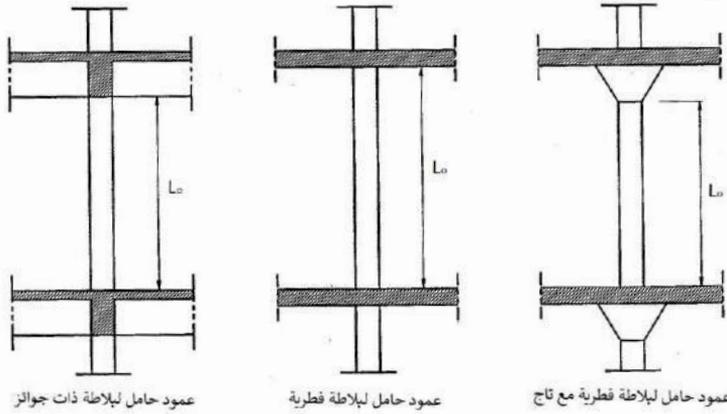
- في الأعمدة المربعة والمستطيلة النحيفة التي لا تقل نسبة نحافتها $\lambda = \frac{L_0}{i}$ عن 40، يشترط ألا تقل مساحة التسليح الموجودة في كل من طرفي القطاع بالاتجاه المعرض للتحنيب عن 0.3% من مساحة المقطع الكلية.



الشكل (6-6) التسليح الطولي في اتجاه التحنيب

4-6 الطول الحر للعمود Unsupported Height:

إن الطول الحر للعنصر المضغوط L_0 هو المسافة الصافية بين البلاطات أعلى العمود وأسفله أو الجيزان أو أية عناصر قادرة على توفير دعم جانبي للعنصر المضغوط. عندما يكون هناك تاج للعمود يُحسب الطول الحر للعمود من أسفل التاج.



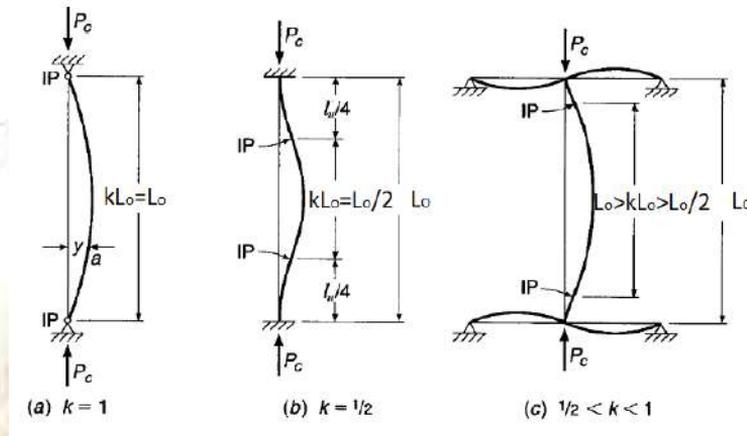
الشكل (7-6) الطول الحر للعمود

5-6 طول التحنيب في الأعمدة Effective Height:

وهو المسافة بين نقطتي الانعطاف في الشكل المتشوّه Inflexion Points في العمود عند حدوث التحنيب. ويعتمد على شروط النهايات في العمود وفي كونه مسنداً ضد الانزياح الجانبي أو غير مسنداً جانبياً.

6-5-1 طول التحنيد في الأعمدة المسندة جانبياً Braced Nonsway Columns- Columns

إن طول التحنيد هو نسبة من الطول الحر للعمود $L_b = kL_o$ تسمى النسبة k عامل التشكل أو التشوه، وتكون في الأعمدة المسندة ضد الانزياح الجانبي واقع ضمن المجال بين الصفر والواحد كما في الشكل:

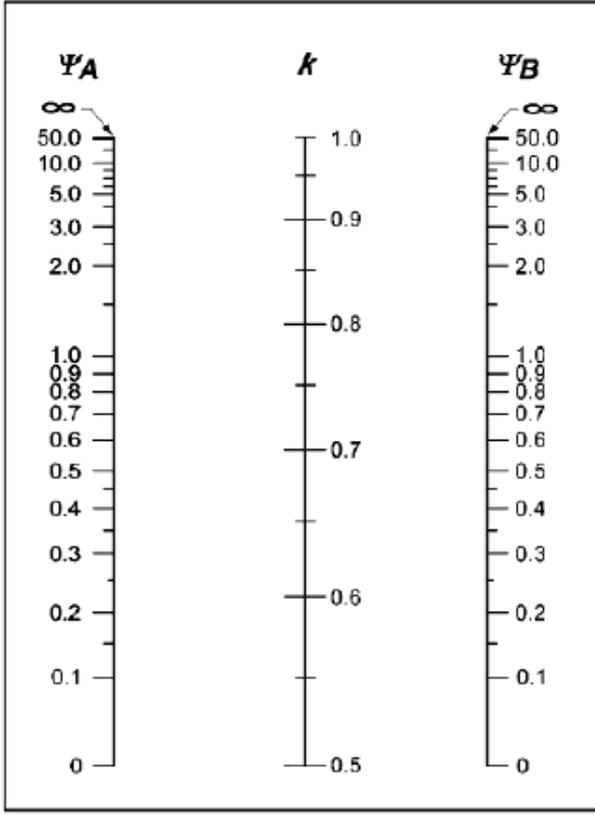


الشكل (6-8) طول التحنيد في الأعمدة المسندة جانبياً

يُعطى عامل التشكل من أجل الأعمدة المسندة جانبياً في الكود العربي السوري- الطبعة الرابعة بحسب شروط الاستناد كما في الجدول (6-2).

الجدول (6-2) عامل التشكل وطول التحنيد

L_b	k	استنادات العمود
$L_b=L_o$	1	عمود متمفصل من الطرفين
$L_b=L_o/2$	1/2	عمود موثوق من الطرفين
$L_b=0.85L_o$	0.85	عمود متمفصل من طرف ومثبت من الآخر بوثاقة جزئية
$L_b=0.7L_o$	0.7	عمود ذي وثاقة جزئية من نهايته



(a)
Nonsway Frames

الشكل (9-6) عامل التشكل في الأعمدة المسندة جانبياً

$$k = \min \begin{cases} 0.7 + 0.05(\psi_A + \psi_B) \leq 1 \\ 0.85 + 0.05(\psi_{\min}) \leq 1 \end{cases}$$

$$\psi_{\min} = \min(\psi_A, \psi_B)$$

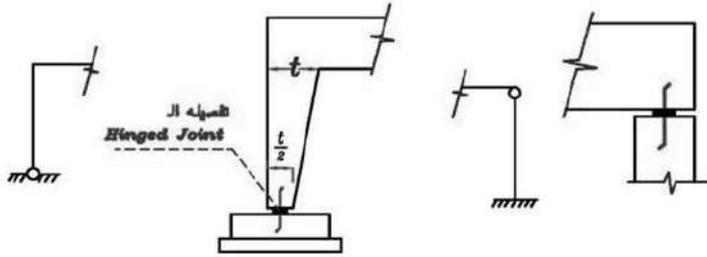
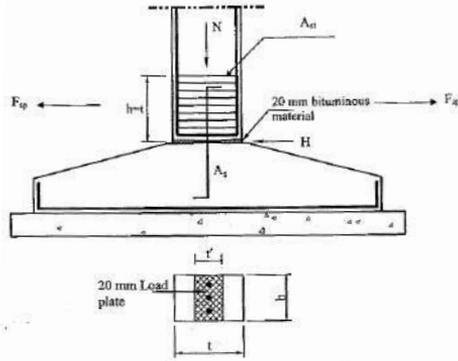
إذ إن صلابة العقدة ψ تمثل مجموع الصلابات النسبية للأعمدة الملتقية عندها مقسوماً على مجموع الصلابات النسبية للعناصر الأفقية الملتقية في العقدة.

$$\psi = \frac{\sum E_C I_C / L_C}{\sum E_B I_B / L_B} \geq 0.4$$

• الحساب الدقيق لعامل التشكل k :

تؤخذ قيمة عامل التشكل في الأعمدة المسندة جانبياً من المخطط الآتي ، وذلك بحسب صلابة كل من العقدة العلوية والعقدة السفلية ψ_A, ψ_B للعمود:

يتم الحصول على قيمة k بشكل حسابي بأخذ أصغر القيمتين:



الشكل (6-10) تفاصيل الاستناد المفصلي في الأساسات

E_C, E_B : عامل المرونة الطولاني لمادة العمود والجائز على الترتيب، ويحسب للبيتون وفق تعليمات الكود العربي السوري $E = 5700\sqrt{f'_c}$.

I_C, I_B : عزم عطالة المقطع المتشقق لكل من العمود والجائز ويؤخذ كما في الجدول (6-3).

الجدول (6-3) عوامل تخفيض عزوم العطالة

عزوم العطالة		
$0.70I_g$	عمود	عنصر مضغوط
$0.70I_g$	جدار-غير متشقق	
$0.35I_g$	جدار-متشقق	
$0.35I_g$	جائز	عنصر منعطف
$0.25I_g$	بلاطة فطرية	

I_g : عزم العطالة لمقطع العنصر من دون أخذ التسليح بالحسبان.

عند حساب عزم عطالة الجائز ذي المقطع T يؤخذ عرض الجناح كما يأتي:

$$b_f = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_e}{4}, \frac{L_e}{5} \\ b_w + 6t_f \\ D \end{array} \right.$$

يمكن الاستتارة بقيم الجدول (4-6) من أجل إيجاد قيم k عامل التشكل في حالة عمود مسند جانبياً والمعطى من قبل الكود المصري ECP203:

الجدول (4-6) عامل التشكل من أجل أعمدة مسندة جانبياً وفق تعليمات الكود المصري ECP203

العقدة السفلية للعمود			العقدة العلوية للعمود
3	2	1	
0.9	0.8	0.75	1
0.95	0.85	0.8	2
1.0	0.95	0.9	3

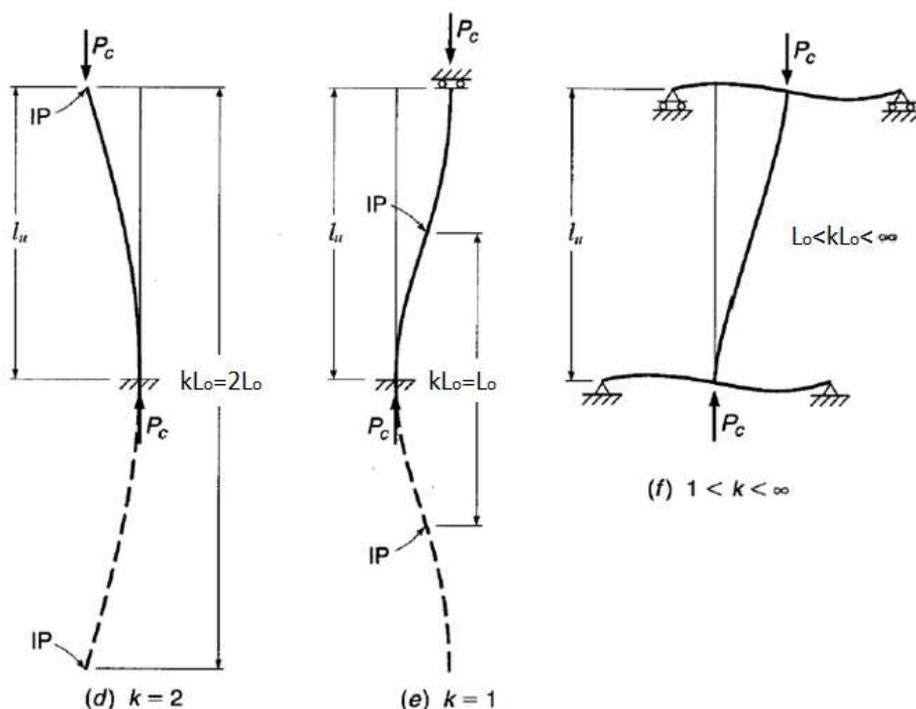
إذ تعني الحالات (1,2,3) ما يأتي:

1. نهاية العمود موصولة بشكل مياتي ثي Monolithically إلى الجيزان التي يساوي ارتفاعها إلى أبعاد العمود في المستوي المدروس أو يزيد عليها. وإذا كانت العقدة سفلية فإن الأساس يجب أن يتحمل العزوم والقوى المحورية.
2. نهاية العمود متصلة بجيزان أو بلاطات ارتفاعها أقل من أبعاد العمود.
3. نهاية العمود متصلة بعناصر غير مصممة لتوليد قيود على الدوران في العمود (نهاية مفصلية Hinge).

2-5-6 طول التحنّب في الأعمدة غير المسندة جانبياً Sway Columns- Unbraced Columns

إن عامل التشكّل أو التشوّه k في الأعمدة غير المسندة ضد الانزياح الجانبي واقع ضمن المجال

بين الواحد واللانهاية الشكل:



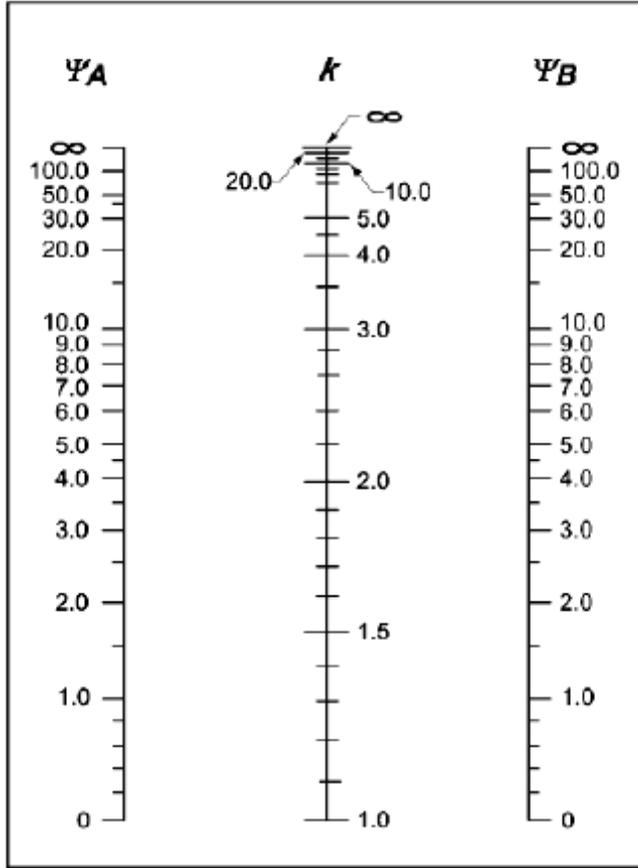
الشكل (11-6) طول التحنّب في الأعمدة غير المسندة جانبياً

- الحساب الدقيق لعامل التشكّل k :
في الأعمدة غير المسندة جانبياً تؤخذ من المخطّط ، وذلك بحسب صلابة كلّ من العقدة العلوية والعقدة السفلية ψ_A, ψ_B للعمود:
إذ إنّ صلابة العقدة ψ تمثل مجموع الصلابات النسبية للأعمدة الملتقية عندها مقسوماً على مجموع الصلابات النسبية للعناصر الأفقية الملتقية في العقدة.

$$\psi = \frac{\sum E_C I_C / L_C}{\sum E_B I_B / L_B} \geq 0.4$$

يتم الحصول على قيمة k بشكل حسابي بأخذ أصغر القيمتين:

$$k = \min \begin{cases} 1 + 0.15(\psi_A + \psi_B) \geq 1 \\ 2 + 0.3(\psi_{\min}) \geq 1 \end{cases}$$



(b)
Sway Frames

الشكل (6-12) عامل التشكل في الأعمدة غير المسندة جانبياً

يمكن الاستئارة بقيم الجدول الآتي من أجل إيجاد قيم k عامل التشكل في حالة عمود غير مسند

جانبياً المعطى من قبل الكود المصري ECP203:

الجدول (5-6) عامل التشكل من أجل أعمدة غير مسندة جانبياً وفق تعليمات الكود المصري ECP203

العقدة السفلية للعمود			العقدة العلوية للعمود
3	2	1	
1.6	1.3	1.2	1
1.8	1.5	1.3	2
-	1.8	1.6	3
-	-	2.2	4

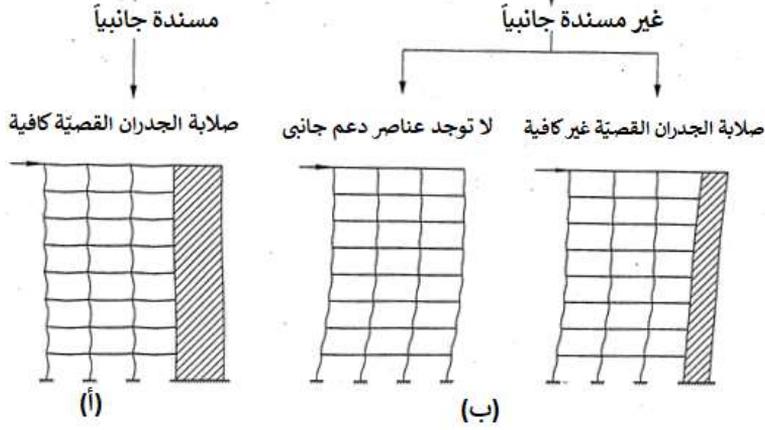
إذ تم بيان الحالات (1,2,3) في حالة الأعمدة المسندة جانبياً، بينما تعني الحالة (4):

4. نهاية العمود غير مقيدة ضد الانتقال الجانبي أو الدوران (نهاية حرة).

3-5-6 الأعمدة المسندة جانبياً والأعمدة غير المسندة جانبياً:

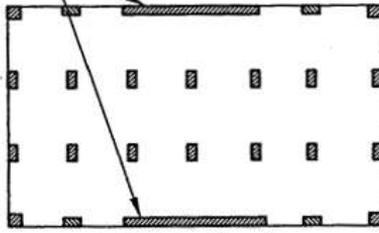
تكون الأعمدة مسندة جانبياً في الأبنية الحاوية على جدران قص Shear Walls أو نواة بيت درج Cores أو آبار مصاعد Elevator Shaft من البيتون المسلح، إذ إن هذه العناصر تستقطب كل القوى الأفقية كلها. بينما تكون الأعمدة غير مسندة جانبياً في الأبنية التي لا توجد فيها عناصر مقاومة للقوى الأفقية السابقة وإنما الفعل الإطاري للجيزان والأعمدة هو الذي يقوم بمقاومة القوى الأفقية بالكامل (إطارات مقاومة للعزوم). إذ تُعد الأعمدة مسندة جانبياً إذا وجدت في الطابق المدروس جدران قص أو روابط أفقية تحمل القوى الأفقية مجموع صلاباتها لا تقل عن 12 مرة مجموع صلابات الأعمدة في الطابق المدروس.

أنواع الهياكل



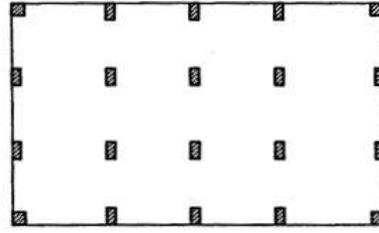
الشكل (6-13) أ- الأعمدة المستندة جانبياً، ب- الأعمدة غير المستندة جانبياً

جدران قص عالية الصلابة



(ب) - هياكل مستندة جانبياً وفق الاتجاه X

وغير مستندة جانبياً وفق الاتجاه Y

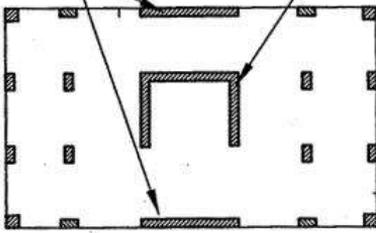


(أ) - هياكل غير مستندة جانبياً

لا توجد عناصر دعم جانبي

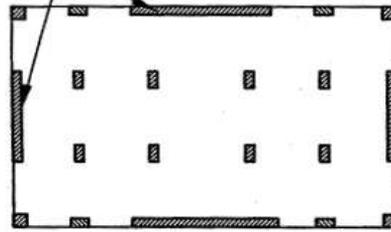
جدران قص

نواة



(د) - هياكل مستندة جانبياً- جدران قص + نواة

جدران قص عالية الصلابة



(ج) - هياكل مستندة جانبياً وفق الاتجاه X والاتجاه Y

الشكل (6-14) أ- هياكل غير مستندة جانبياً، ب- هياكل مستندة جانبياً وفق الاتجاه X

ج- هياكل مستندة جانبياً وفق الاتجاهين، د- هياكل مستندة جانبياً وفق الاتجاهين بوجود نواة

معيار كون الأعمدة مسندة جانبياً حسب ACI 318-19 sec R6.6.4:

ينص الكود الأمريكي ACI على أنه يمكن عدّ الأعمدة مسندة جانبياً في حال كون نسبة العزوم الثانوية إلى العزوم من الدرجة الأولى في الطابق المدروس أقل من 5% وتسمى بمعامل الاستقرار Stability Index.

$$Q = \frac{\sum P_u \Delta}{V_u L} \leq 0.05$$

$\sum P_u$: مجموع الحمولات الشاقولية الكلية المصعدة في أعمدة الطابق المدروس كلها.

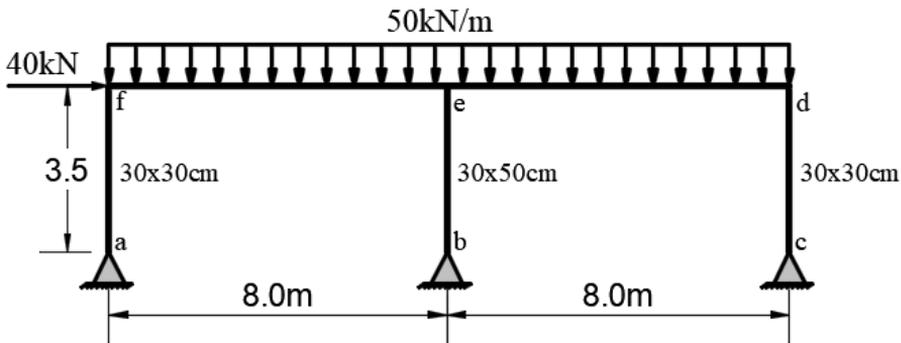
Δ : الانتقال الناتج عن القوى الأفقية أعلى الإطار.

V_u : قوى القص الأفقية المصعدة في الطابق المدروس.

L : ارتفاع العناصر المضغوطة في الطابق المدروس.

مثال تطبيقي (1):

إطار يحمل حمولة ممتدة بانتظام ومصعدة تساوي 50kN/m وحمولة رياح أفقية مصعدة أيضاً قدرها 40kN، أبعاد الجيزان 30x60cm. تحقّق من كون الإطار مسنداً جانبياً، تحقّق من نحافة الأعمدة:

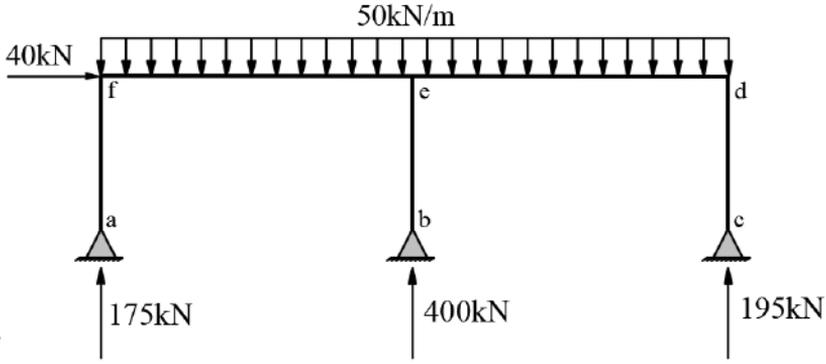


الحل:

يتم الحصول على الانتقال الأفقي باستخدام حساب الإنشاءات، وبإهمال التشوهات المحورية يكون

$$\Delta = 19.5mm$$

ردود الأفعال:



1. حساب معامل الاستقرار:

$$Q = \frac{\sum P_u \Delta}{V_u L} \leq 0.05$$

$$Q = \frac{(175 + 400 + 195)0.0195}{40 \times 3.5} = 0.1073 > 0.05 \Rightarrow \text{Sway Frame}$$

وعليه فإن الإطار غير مسند ضد الانزياح الجانبي.

2. نحافة العمود AF-CD:

$$\lambda_a = \frac{L_b}{a} \approx 0.3\lambda \quad \text{معامل النحافة}$$

العمود غير مسند جانبياً وعليه يُحسب معامل التشكل k كما يأتي:

$$k = \min \begin{cases} 1 + 0.15(\psi_A + \psi_B) \geq 1 \\ 2 + 0.3(\psi_{\min}) \geq 1 \end{cases}$$

وتُحسب صلابة العقد كما يأتي:

$$\psi = \frac{\sum E_C I_C / L_C}{\sum E_B I_B / L_B} \geq 0.4$$

عزم عطالة العمود:

$$I_C = 0.7I_g = 0.7 \frac{ba^3}{12} = 0.7 \frac{0.3^4}{12} = 4.725 \times 10^{-4} m^4$$

عزم عطالة الجائز:

$$I_B = 0.35I_g = 0.35 \frac{bh^3}{12} = 0.35 \frac{0.3 \times 0.6^3}{12} = 1.89 \times 10^{-3} m^4$$

$$\psi_A = \frac{\frac{4.725 \times 10^{-4}}{3.5}}{\frac{1.89 \times 10^{-3}}{8}} = 0.5714 \geq 0.4$$

صلابة العقدة العلوية:

$$\psi_B = \infty \text{ نهاية مفصلية.}$$

صلابة العقدة السفلية:

$$k = \min \begin{cases} 1 + 0.15(\psi_A + \psi_B) = \infty \geq 1 \\ 2 + 0.3(0.571) = 2.17 \geq 1 \end{cases} \quad k = 2.17 \approx 2.2$$

ويكون معامل النحافة:

$$\lambda = \frac{L_b}{0.289a} = \frac{2.2 \times 3.2}{0.289 \times 0.3} = 81.2 > 22$$

والعمود نحيف

3. نحافة العمود BE:

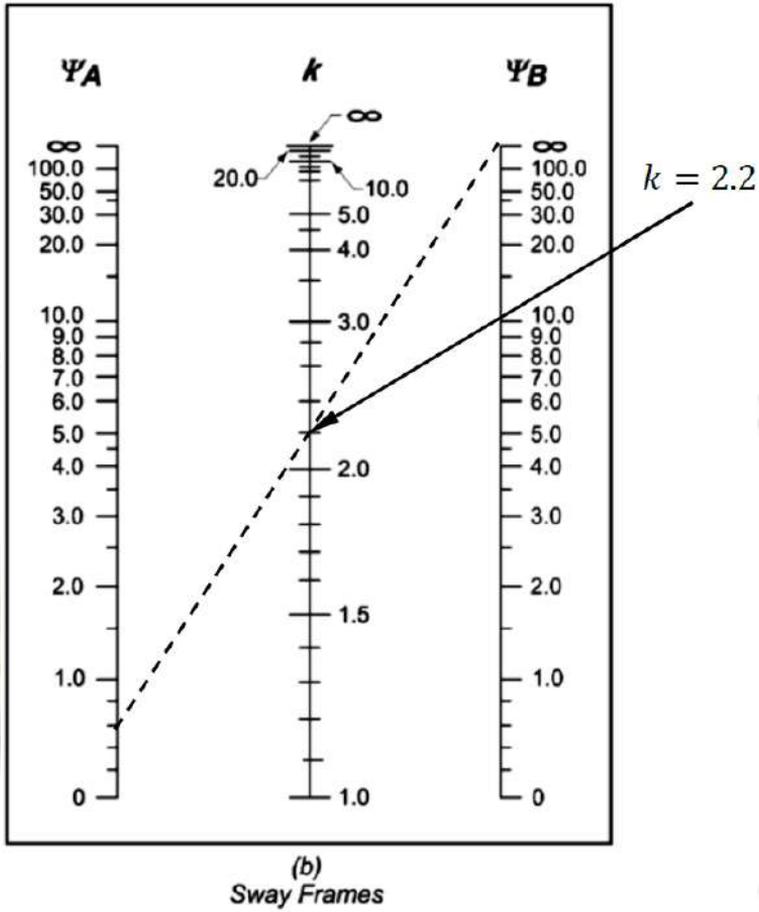
$$\lambda_a = \frac{L_b}{a}$$

معامل النحافة

تُحسب صلابة العقد كما يأتي:

$$\psi = \frac{\sum E_C I_C / L_C}{\sum E_B I_B / L_B} \geq 0.4$$

عزم عطالة العمود:



$$I_C = 0.7I_g = 0.7 \frac{ba^3}{12} = 0.7 \frac{0.5 \times 0.3^3}{12} = 7.88 \times 10^{-4} m^4$$

عزم عطالة الجائز:

$$I_B = 0.35I_g = 0.35 \frac{bh^3}{12} = 0.35 \frac{0.3 \times 0.6^3}{12} = 1.89 \times 10^{-3} m^4$$

$$\psi_A = \frac{7.88 \times 10^{-4}}{2 \frac{3.5}{1.89 \times 10^{-3}} \cdot 8} = 0.48 \geq 0.4$$

صلابة العقدة العلوية:

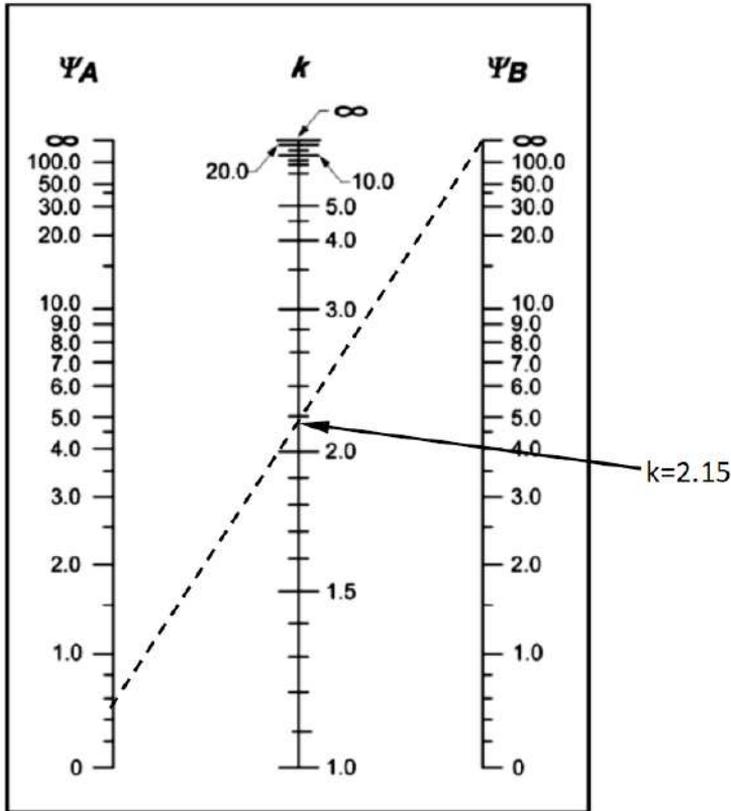
$$\psi_B = \infty \text{ نهاية مفصلية.}$$

صلابة العقدة السفلية:

$$k = \min \begin{cases} 1 + 0.15(\psi_A + \psi_B) = \infty \geq 1 \\ 2 + 0.3(0.48) = 2.144 \geq 1 \end{cases} \quad k = 2.15$$

ويكون معامل النحافة:

$$\lambda = \frac{L_b}{0.289a} = \frac{2.15 \times 3.2}{0.289 \times 0.3} = 79.4 > 22$$



(b)
Sway Frames

مثال تطبيقي (2):

عمود ركني واقع في الطابق الثاني من مبنى مؤلف من أربعة طوابق، حمولة العمود الميتة المحورية 140kN من دون الوزن الذاتي، وحمولته الحية المحورية 50kN. أبعاد الجيزان المستندة إلى العمود 250×500mm وهي ذات مجازات تساوي 4m، الارتفاع الطائقي 3.2m والمطلوب أوجد أبعاد العمود في حال كون البناء مستنداً جانبياً.

$$f'_c = 22MPa \quad f_y = 400MPa$$

الحل:

العمود مستند جانبياً:

- يتم فرض نسبة تسليح اقتصادية (دنيا) $\mu_s = 1\% = 0.01$.
 - حساب نسبة النحافة:
 - بفرض البعد الأصغر للعمود يساوي 250mm، والبعد الأكبر يساوي 400mm،
 $A_c = 1000cm^2 > 900cm^2$
 - من الجداول $k_e = 1.3$
 - حساب عامل التشكل k من أجل عمود مستند جانبياً، بحسب الكود العربي السوري:
 $K = 1.0$
- فيكون معامل النحافة:

$$\lambda_a = \frac{L_b}{a} = \frac{2.7}{0.25} = 10.8 < 12$$

- يتم حساب الحمولة الحديدية المصعدة من أجل أعمدة ثلاثة طوابق:
 $N_u = 1.4DL + 1.7LL$
 $= 3[1.4(140 + 25 \times 0.25 \times 0.4 \times 2.7) + 1.7 \times 50] = 3 \times 290.45 = 871.35kN$
- إيجاد مساحة المقطع البيتوني من المعادلة:

$$A_c = \frac{N_u k_e}{0.8\Omega[0.85f'_c + \mu_s f_y]} \quad (6-5)$$

$$A_c = \frac{N_u k_e}{0.85 \Omega [0.85 f'_c + \mu_s f_y]} = \frac{871.35 \times 10^3 \times 1.3}{0.8 \times 0.65 [0.85 \times 22 + 0.01 \times 400]} = 95963.7 \text{ mm}^2 = 959.6 \text{ cm}^2 < 1000 \text{ cm}^2$$

وعليه فالأبعاد المفروضة محققة.

التحقق من النحافة: إذ تؤخذ الأطوال محورية.

$$\psi = \frac{\sum E_C I_C / L_C}{\sum E_B I_B / L_B} \geq 0.4$$

عزم عطالة العمود:

$$I_C = 0.7 I_g = 0.7 \frac{b a^3}{12} = 0.7 \frac{0.4 \times 0.25^3}{12} = 3.646 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

عزم عطالة الجائز الواحد:

$$I_B = 0.35 I_g = 0.35 \frac{b h^3}{12} = 0.35 \frac{0.25 \times 0.5^3}{12} = 0.00091 \text{ m}^4$$

صلابة العقدة العلوية:

$$\psi_A = \frac{2 \frac{3.646 \times 10^{-4}}{3.2}}{\frac{0.00091}{4}} = 0.952 > 0.4 \Rightarrow \psi_A = 0.476$$

بفرض صلابة الأعمدة الملتقية في العقدة واحدة.

$$\psi_B = 0.952$$

صلابة العقدة السفلية:

$$k = \min \begin{cases} 0.7 + 0.05(\psi_A + \psi_B) = 0.795 \leq 1 \\ 0.85 + 0.05(\psi_{\min}) = 0.898 \leq 1 \end{cases} \quad k \approx 0.8$$

وهي أصغر من القيمة التي تم افتراضها سابقاً وعليه فالفرض أمين.

• مساحة التسليح:

$$A_s = 0.01 \times 100000 = 1000 \text{mm}^2$$

$$4\phi 14 + 4\phi 12 = 1068 \text{mm}^2 \text{ يتم اختيار التسليح الآتي}$$

إذ لا تقل أقطار التسليح عن 12mm والتسليح ذي القطر الأكبر يوضع في الأركان.

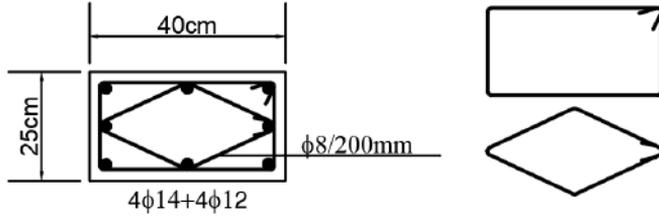
تصميم التسليح العرضي:

$$\phi \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 8 \text{mm} \\ \phi_l / 3 = 4.667 \text{mm} \end{array} \right. \quad \phi = 8 \text{mm}$$

• القطر
• التباعد

$$S \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 15\phi_{\min} = 15 \times 14 = 210 \text{mm} \\ 300 \text{mm} \\ a = 250 \text{mm} \end{array} \right. \quad S = 200 \text{mm}$$

تصبح تفصيلة العمود كما يأتي:



مثال تطبيقي (3):

عمود طرفي واقع في الطابق الثاني من صالة صناعية مسندة جانبياً مؤلفة من طابقين، ولا يحمل في نهايته بلاطة ظفرية، مقطع العمود مستطيل بأبعاد 40×60cm يحمل حمولة محورية ممتدة بما فيها الوزن الذاتي تساوي إلى 750kN، وحمولة محورية حية تساوي إلى 325kN. أبعاد الجيزان المستندة إلى العمود 400×500mm وهي ذات مجازات تساوي 6m، الطول الحر للعمود 6.25m والمطلوب

$$f'_c = 20 \text{MPa} \quad f_y = 360 \text{MPa} \text{ التحقق من النخافة وحساب التسليح الطولي.}$$

الحل:

العمود طرفي والطابق أخير غير حامل لبلاطة ظفرية فيكون العامل $k_e = 1.6$

1- دراسة التحنيب:

التحقق من النحافة:

$$\psi = \frac{\sum E_C I_C / L_C}{\sum E_B I_B / L_B} \geq 0.4$$

عزم عطالة العمود:

$$I_C = 0.7I_g = 0.7 \frac{ba^3}{12} = 0.7 \frac{0.6 \times 0.4^3}{12} = 2.24 \times 10^{-3} m^4$$

عزم عطالة الجائز:

$$I_B = 0.35I_g = 0.35 \frac{bh^3}{12} = 0.35 \frac{0.4 \times 0.5^3}{12} = 1.458 \times 10^{-3} m^4$$

صلابة العقدة العلوية:

$$\psi_A = \frac{\frac{2.24 \times 10^{-3}}{6.75}}{2 \frac{1.458 \times 10^{-3}}{6}} = 0.683 > 0.4$$

صلابة العقدة السفلية، بفرض أبعاد الجيزان ذاتها:

$$\psi_B = \frac{2 \frac{2.24 \times 10^{-3}}{6.75}}{2 \frac{1.458 \times 10^{-3}}{6}} = 1.365 > 0.4$$

$$k = \min \begin{cases} 0.7 + 0.05(\psi_A + \psi_B) = 0.8 \leq 1 \\ 0.85 + 0.05(\psi_{\min}) = 0.88 \leq 1 \end{cases} \quad k = 0.8$$

ويكون معامل النحافة:

$$\lambda_a = \frac{L_b}{a} = \frac{0.77 \times 6.25}{0.4} = 12.1 > 12$$

فيكون عامل التحنيب من الجدول $k_b = 1.02$

2- حساب الحمولة الحديدية المصعدة:

$$N_u = 1.4DL + 1.7LL = 1.4 \times 750 + 1.7 \times 325 = 1602.5 kN$$

3- إيجاد نسبة التسليح من المعادلة:

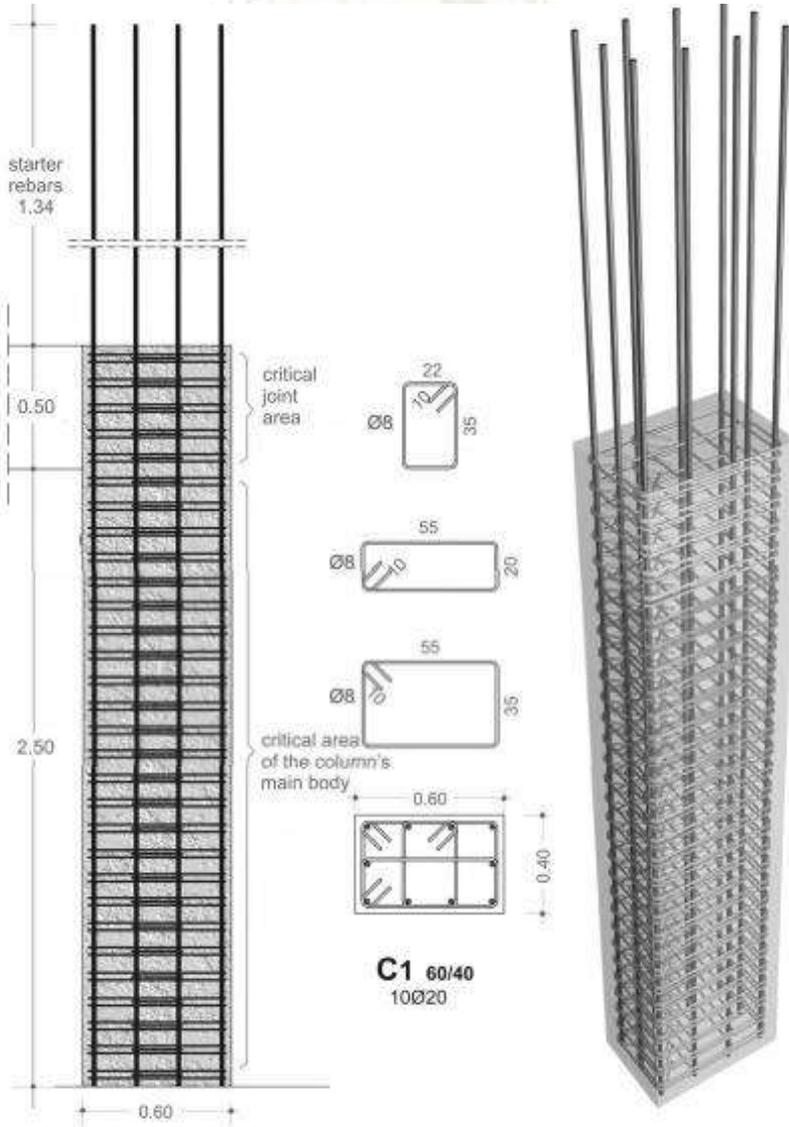
$$\mu_s = \frac{N_u k_e k_b}{0.8 \Omega A_c f_y} - 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \quad (2-6)$$

$$\mu_s = \frac{1602.5 \times 10^3 \times 1.6 \times 1.02}{0.8 \times 0.65 \times 240000 \times 360} - 0.85 \frac{20}{360} = 0.011 < 0.025$$

$$A_s = 0.011 \times 240000 = 2640 \text{ mm}^2$$

$$10\phi 20 = 3141 \text{ mm}^2$$

يتم اختيار التسليح الآتي:



مثال تطبيقي (4):

عمود وسطي واقع في الطابق الأول من مبنى سكني مسند جانبياً مؤلف من سبعة طوابق، يخضع إلى حمولة محورية طابقية قدرها $DL=150kN$, $LL=80kN$. الارتفاع الطائقي يساوي إلى 3m وأبعاد الجيزان تساوي $250 \times 500mm$ بمجاز قدره 4.5m ومواصفات المواد:

$$f'_c = 20MPa \quad f_y = 360MPa$$

والمطلوب بفرض البعد الصغير للعمود يساوي إلى 250mm أوجد البعد الثاني باعتبار المقطع ذا نسبة تسليح اقتصادية.

الحل:

- العمود يقع في طابق سفلي وهو عمود وسطي فيكون $k_e=1$.
- يتم فرض نسبة تسليح اقتصادية (دنيا) $\mu_s = 1\% = 0.01$.
- حساب نسبة النحافة:

- بفرض البعد الأصغر للعمود يساوي 250mm، والبعد الأكبر يساوي 400mm،
 $A_c = 1000cm^2 > 900cm^2$.

- حساب عامل التشكل k من أجل عمود مسند جانبياً، بحسب الكود العربي السوري:

$$K=1.0$$

فيكون معامل النحافة:

$$\lambda_a = \frac{L_b}{a} = \frac{2.5}{0.25} = 10 < 12$$
 والعمود غير خاضع للتحنيب

1- حساب الحمولة الحدية: الوزن الذاتي للعمود في كل طابق:

$$25 \times 0.25 \times 0.4 \times 2.5 = 6.25kN$$

$$6.25 + 150 = 156.25kN$$

وفقاً للكود العربي السوري يمكن تخفيض الحمل الحي المطبق على الأعمدة والجدران والأساسات

في الأبنية السكنية التي يزيد عدد الطوابق فيها على 5 طوابق:

الموقع	الطاقب	الحمولة الحية kN	الحمولة الميتة kN
سقف أخير	7	1×80	156.25
الأول تحت الأخير	6	1×80	156.25
الثاني تحت الأخير	5	$0.9 \times 80 = 72$	156.25
الثالث تحت الأخير	4	$0.8 \times 80 = 64$	156.25
الرابع تحت الأخير	3	$0.7 \times 80 = 56$	156.25
الخامس تحت الأخير	2	$0.6 \times 80 = 48$	156.25
السادس تحت الأخير	1	$0.5 \times 80 = 40$	156.25
المجموع المصعد		748	1531.25

وتكون الحمولة الحدية $N_u = 1531.25 + 748 = 2279.25kN$

2- إيجاد مساحة المقطع البيتوني من المعادلة:

$$A_c = \frac{N_u k_e}{0.8\Omega [0.85f'_c + \mu_s f_y]} \quad (6-5)$$

$$A_c = \frac{N_u k_e}{0.8\Omega [0.85f'_c + \mu_s f_y]} = \frac{2279.25 \times 10^3 \times 1}{0.8 \times 0.65 [0.85 \times 20 + 0.01 \times 360]}$$

$$= 212775mm^2 = 2127.8cm^2 > 1000cm^2$$

وعليه فالمقطع المفروض غير كافٍ:

$$\frac{A_c}{250} = \frac{212775}{250} = 851.1mm$$

3- بفرض أبعاد المقطع: $250 \times 900mm$:

$$A_c = 250 \times 900 = 225000mm^2 = 2250cm^2$$

يكون الوزن الذاتي للعمود في كل طابق تجاوزاً: $25 \times 0.25 \times 0.9 \times 2.5 = 14.063kN$ وعليه

يصبح الحمل الميت الطائفي: $14.063 + 150 = 164.063kN$

ويصبح الحمل الميت الكلي المصعد: $1607.8kN$

وتكون الحمولة الحدية $N_u = 1607.8 + 748 = 2355.8kN$

$$A_c = \frac{N_u k_e}{0.8\Omega [0.85f'_c + \mu_s f_y]} = \frac{2355.8 \times 10^3 \times 1}{0.8 \times 0.65 [0.85 \times 20 + 0.01 \times 360]}$$

$$= 219923mm^2 = 2199cm^2 < 2250cm^2$$

$$0.01 \times 225000 = 2250 \text{mm}^2$$

$$12\phi 16 = 2413 \text{mm}^2$$

يتم اختيار التسليح الآتي:

التحقق من النحافة:

$$\psi = \frac{\sum E_C I_C / L_C}{\sum E_B I_B / L_B} \geq 0.4$$

عزم عطالة العمود:

$$I_C = 0.7I_g = 0.7 \frac{ba^3}{12} = 0.7 \frac{0.9 \times 0.25^3}{12} = 8.2 \times 10^{-4} \text{m}^4$$

عزم عطالة الجائز بإهمال بلاطة الجناح لصالح الأمان:

$$I_B = 0.35I_g = 0.35 \frac{bh^3}{12} = 0.35 \frac{0.25 \times 0.5^3}{12} = 9.11 \times 10^{-4} \text{m}^4$$

صلابة العقدة العلوية:

$$\psi_A = \frac{2 \frac{8.2 \times 10^{-4}}{3}}{2 \frac{9.11 \times 10^{-4}}{4.5}} = 1.348 > 0.4$$

صلابة العقدة السفلية، بفرض أبعاد شيناجات الأرضي من أبعاد الجيزان ذاتها،
وبإهمال صلابة رقاب الأعمدة:

$$\psi_B = \frac{\frac{8.2 \times 10^{-4}}{3}}{2 \frac{9.11 \times 10^{-4}}{4.5}} = 0.755 > 0.4 \Rightarrow \psi_B = 0.775$$

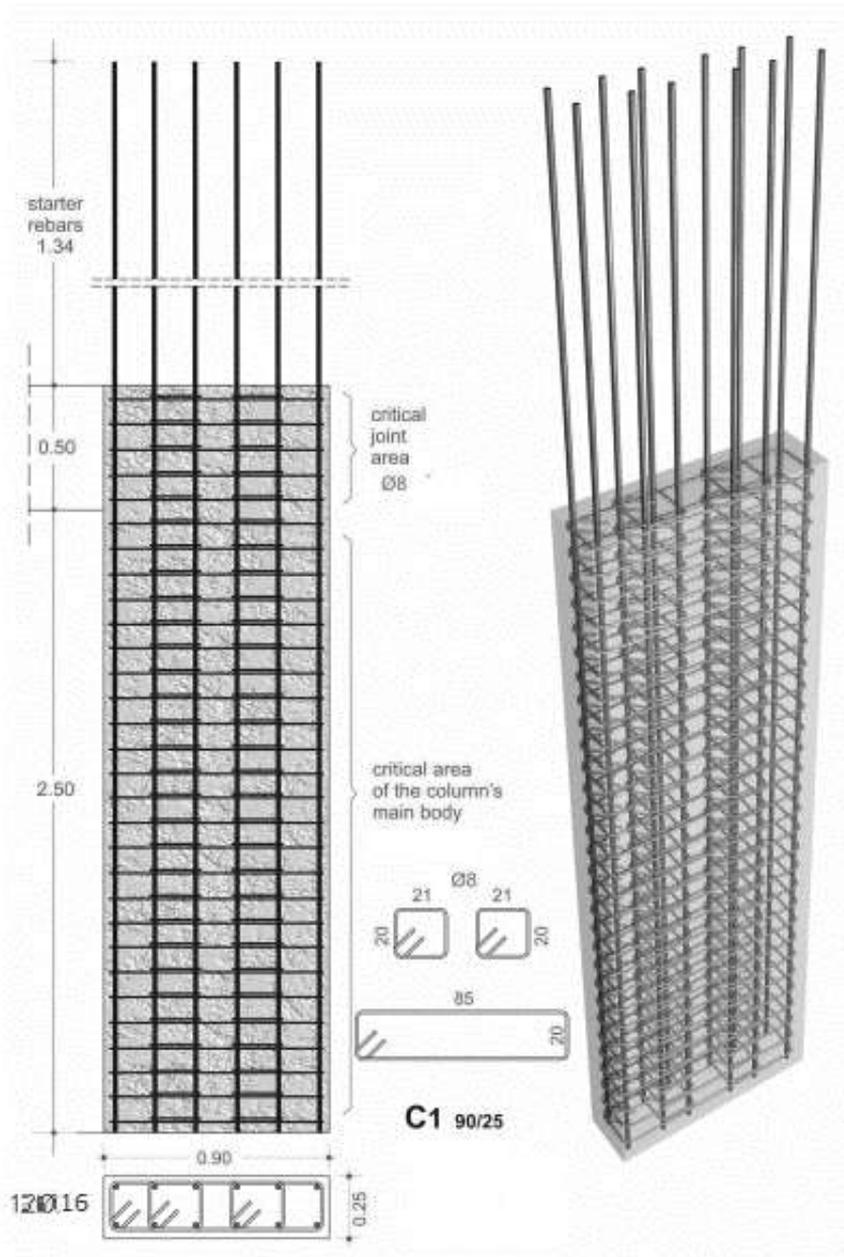
$$k = \min \begin{cases} 0.7 + 0.05(\psi_A + \psi_B) = 0.81 \leq 1 \\ 0.85 + 0.05(\psi_{\min}) = 0.89 \leq 1 \end{cases} \quad k = 0.81$$

وهي أصغر من القيمة التي تم افتراضها.

1- تصميم التسليح العرضي:

$$\phi \geq \max \begin{cases} 8 \text{mm} \\ \phi_l / 3 = 5.33 \text{mm} \end{cases} \quad \phi = 8 \text{mm} \quad \bullet \text{ القطر}$$

$$S \leq \min \begin{cases} 15\phi_{\min} = 15 \times 16 = 240\text{mm} \\ 300\text{mm} \\ a = 250\text{mm} \end{cases} \quad S = 200\text{mm} \text{ التباعد} \bullet$$



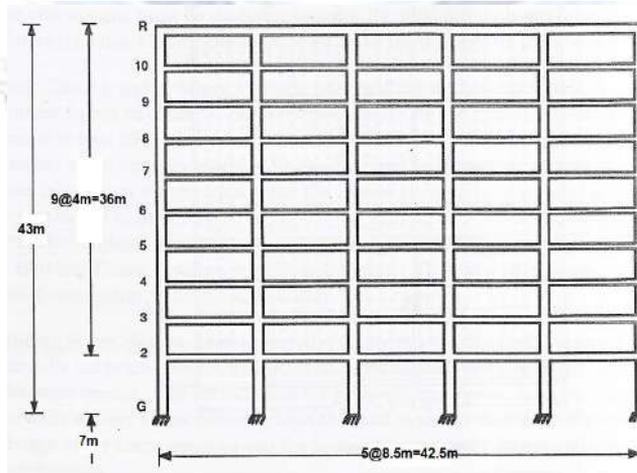
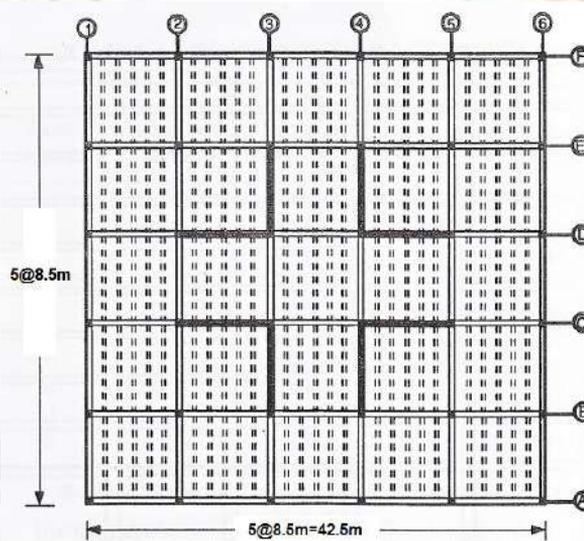
مثال تطبيقي (5):

مبنى مؤلف من 9 طابق مكون من جدران قصية وأعمدة، تحقّق من كون الأعمدة مسندة جانبياً

عن طريق نسب الصلابة:

الأبعاد		
Shear walls الجدران القاصة	t_w (mm)	400
Columns أعمدة	C (mm)	500×500

$$f'_c = 28MPa \quad f_y = 400MPa$$



الحل:

• عدد الجدران القصية في كل اتجاه يساوي أربعة:

عطالة كل منها:

$$I_w = \frac{0.4 \times 8.5^3}{12} = 20.47m^4$$

$$\sum I_w = 4 \times 20.47 = 81.88m^4 \quad \text{العطالة الكلية:}$$

• عدد الأعمدة يساوي إلى 24 عمود:

$$I_c = \frac{0.5^4}{12} = 5.21 \times 10^{-3} m^4$$

$$\sum I_c = 24 \times 5.21 \times 10^{-3} = 0.125m^4 \quad \text{العطالة الكلية:}$$

باعتبار المادة هي ذاتها لا داع للجداء بعامل المرونة الطواني E_c :

نسب العطالات:

$$\frac{\sum I_w}{\sum I_c} = \frac{81.88}{0.125} = 655 > 12$$

وعليه فالأعمدة مسندة جانبياً بالاتجاهين بسبب التناظر.



الفصل السابع

تصميم المقاطع الخاضعة إلى قوى لامحورية

Design of Sections Subjected to Eccentric Forces

1-7 مقدمة:

إنّ أعمدة الإطارات الحاملة لأحمال شاقولية فقط أو أحمال شاقولية وأفقية (الإطارات المقاومة للقوى الأفقية وجدران القص) تخضع إلى عزم انعطاف إضافةً إلى القوة المحورية، الأعمدة الحاملة لمظلات إذ يكون الجائز مسنوداً بشكل ظفري على العمود أو عندما يكون هناك ظفران غير متساويين بالطول يستندان إلى العمود، كذلك الأمر الأعمدة التي تحمل قوة شاقولية غير مطبقة في مركز العمود تؤدي إلى نشوء عزم انعطاف فتصبح الحالة عمود خاضع إلى قوة وعزم. قد تكون القوة المحورية ضاغطة (وهي كذلك في أغلب الحالات) أو شادة في حين قد يكون العزم وفق محور واحد Uniaxial Moment أو وفق محورين Biaxial Moment، وتسمى هذه الحالة الإجهادية بحالة الانعطاف المركب Eccentric Load.

2-7 سلوك المقطع الخاضع إلى انعطاف مركب:

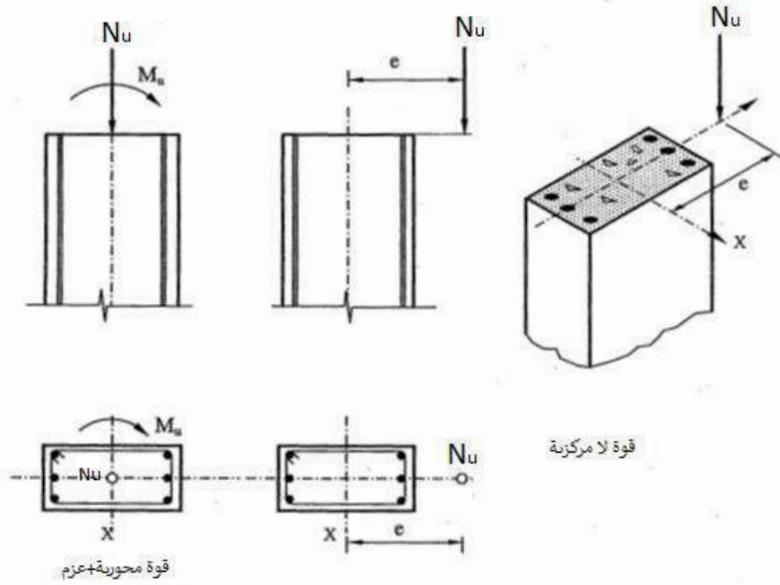


الشكل (1-7) أعمدة المظلات الخاضعة إلى قوة لامحورية

يعتمد سلوك المقطع الخاضع إلى انعطاف مركب على قيمة العزم M_u والقوة المحورية N_u فإذا كان العزم M_u صغيراً نسبياً بالمقارنة مع القوة N_u تكون اللامركزية صغيرة ويكون معظم المقطع العرضي خاضعاً إلى الضغط وسوف يسيطر سلوك العمود Column behavior will dominate على.

العكس عندما يكون العزم M_u كبيراً بالنسبة إلى القوة المحورية المطبقة N_u سوف تكون اللامركزية كبيرة بحيث تكون القوة N_u خارج المقطع العرضي، في هذه الحالة يتعرض الجانب القريب من المقطع إلى ضغط فيما يتعرض الجانب البعيد إلى شد ويُلاحظ أن السلوك الجائزي سوف يسيطر Beam behavior will dominate. تتم مكافأة القوة المحورية N_u والعزم M_u بحمولة N_u ذات لا مركزية e_0 كما يأتي:

$$e_0 = \frac{M_u}{N_u}$$



الشكل (2-7) تطبيق القوى اللامركزية على الأعمدة

3-7 دراسة الإجهادات في الأعمدة الخاضعة إلى انعطاف مركب:

تمت دراسة ثلاثة أنواع من القوى الداخلية في بحث الجيزان وهي عزم الانعطاف وقوى القص وعزم الفتل، عزم الانعطاف يولد إجهاداتٍ ناظميةً $\sigma = \frac{M_u}{I} y$ بينما يولد عزم الفتل وقوى القص إجهاداتٍ مماسية τ . يتم التسليح من أجل الإجهادات الناظمية بتسليح طولي Longitudinal Reinforcement، فيما يتم التسليح من أجل الإجهادات المماسية بتسليح عرضي Transverse Reinforcement في حالة القص وعرضي وطولي في حالة الفتل. في حالة الانعطاف المركب فإن كلاً من عزم الانعطاف والقوة المحورية يولد إجهادات ناظمية وعليه فهذه الإجهادات لها طبيعة واحدة وتدرس بشكل مشترك.

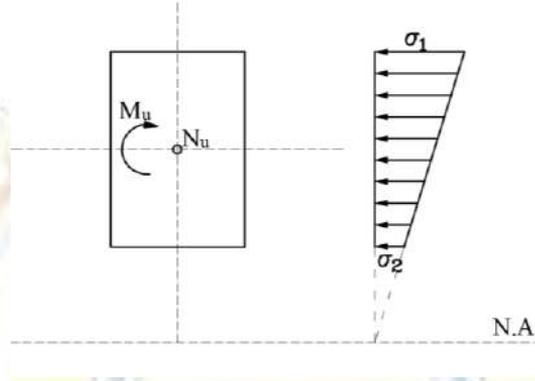
$$\sigma_{1,2} = \frac{N_u}{A} \mp \frac{M_u}{I} y$$

يمكن التمييز بين الحالات الآتية من أجل مقطع متجانس معرض إلى عزم موجب:

- القوة المحورية N_u كبيرة والعزم M_u صغير - لا مركزية صغيرة:

وبالتالي تصبح حصيـلة الإجهادات النازمية في الليف السفلي موجبة، أي إنه مضغوط أيضاً كما في الشكل:

$$\sigma_2 = \frac{N_u}{A} - \frac{M_u}{I} y > 0$$



الشكل (3-7) مخطط الإجهاد على مقطع ذي لامركزية صغيرة

من أجل مقطع مستطيل يكون:

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_u}{A} \mp \frac{N_u e_0}{ab^3} \frac{12b}{2} \quad \sigma_{1,2} = \frac{N_u}{A} \mp \frac{N_u e_0}{I} y$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_u}{A} \left(1 \mp \frac{6e_0}{b} \right)$$

$$\sigma_2 = \frac{N_u}{A} \left(1 - \frac{6e_0}{b} \right) > 0 \Rightarrow \frac{6e_0}{b} < 1$$

وعليه حتى تكون اللامركزية كبيرة يجب أن تحقق الشرط:

$$e_0 < \frac{b}{6}$$

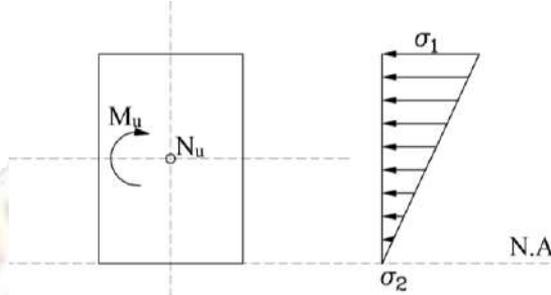
- حالة التوازن، وعليه تصبح حصيـلة الإجهادات النازمية في الليف السفلي معدومة:

$$\sigma_2 = \frac{N_u}{A} - \frac{M_u}{I} y = 0 \Rightarrow \frac{N_u}{A} = \frac{M_u}{I} y$$

$$e_b = \frac{b}{6}$$

وتكون قيمة اللامركزية في هذه الحالة:

وتسمى e_b في هذه الحالة اللامركزية المتوازنة Balanced Eccentricity



الشكل (4-7) مخطط الإجهاد على مقطع ذي لامركزية متوازنة

- القوة المحورية N_u صغيرة والعزم M_u كبير - لا مركزية كبيرة:

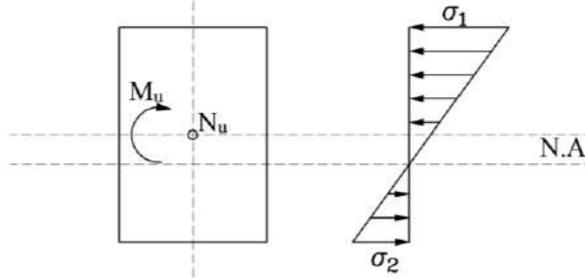
وبالتالي تصبح حصىلة الإجهادات الناظمية في الليف السفلي سالبة، أي إنه مشدود كما في

الشكل:

$$\sigma_2 = \frac{N_u}{A} - \frac{M_u}{I} y < 0$$

$$\sigma_2 = \frac{N_u}{A} \left(1 - \frac{6e_0}{b} \right) < 0 \Rightarrow \frac{6e_0}{b} > 1$$

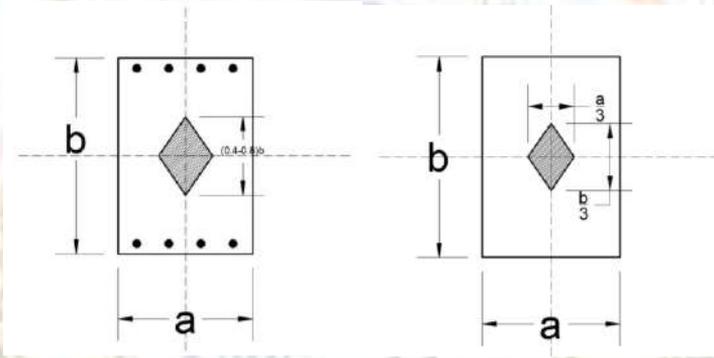
وعليه حتى تكون اللامركزية كبيرة يجب أن تحقق الشرط: $e_0 > \frac{b}{6}$



الخلاصة:

في حال تطبيق قوة ناظرية ذات لا مركزية تبعد عن مركز ثقل المقطع مسافة أقل من $b/6$ في مقطع متجانس تماماً فإن الإجهادات في كامل المقطع هي إجهادات ضاغطة. أما عند وصول اللامركزية إلى حدود النواة المركزية (وتسمى أيضاً نواة الثلث) فإن الإجهادات تتعدم في الطرف المقابل لشد العزم، الحالة التوازنية، أما عندما تقع خارج النواة المركزية فإن المقطع يتعرض إلى كل من الشد والضغط.

في حالة مقاطع البيتون المسلح لا تكون أبعاد النواة المركزية هي ثلث أبعاد العنصر ولكن يمكن القول بشكل تقريبي إنها بين 0.4-0.8 من الارتفاع.



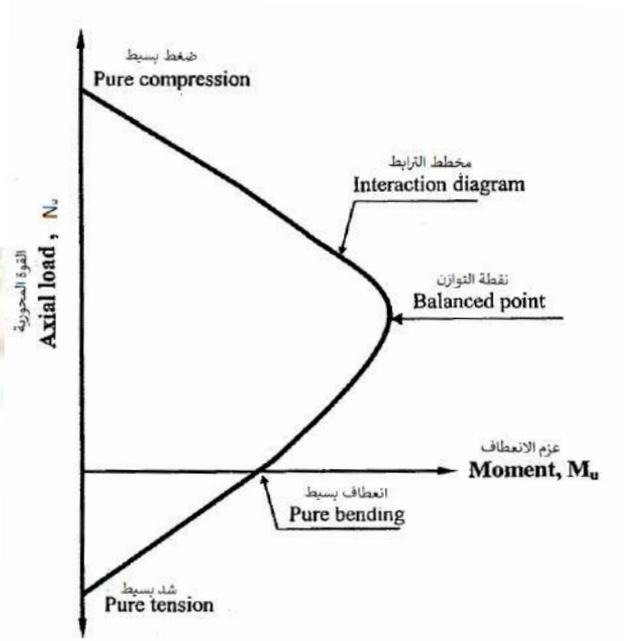
الشكل (5-7) النواة المركزية

4-7 مخططات الترابط Interaction Diagrams:

إن مخطط الترابط عبارة عن مغلف الانهيار Failure Envelope من أجل مقطع من البيتون المسلح خاضع إلى قوة ناظرية N_u وعزم انعطاف M_u . يتألف المخطط من مجموعة من النقاط تمثل القيم المختلفة للقوة الناظرية والعزم M_u , N_u والتي تؤدي مع بعضها إلى انهيار المقطع. بتعبير آخر فإن نقاط مخطط الترابط هي كل احتمالات الجمع بين القوة المحورية وعزم الانعطاف التي تؤدي إلى انهيار المقطع. من أجل رسم مخطط الترابط نحتاج معرفة أبعاد المقطع العرضي للعمود ونسبة تسليحه الطولي، إضافة إلى مواصفات المواد من مقاومة مميزة وإجهاد خضوع.

إن مخطط الترابط يخضع للمبدأين الآتيين في كل نقطة من نقاطه:

- التوافق بين الانفعالات Compatibility of strains
- توازن القوى والعزوم Equilibrium of forces and moments



الشكل (6-7) النقاط الأساسية في مخطط الترابط

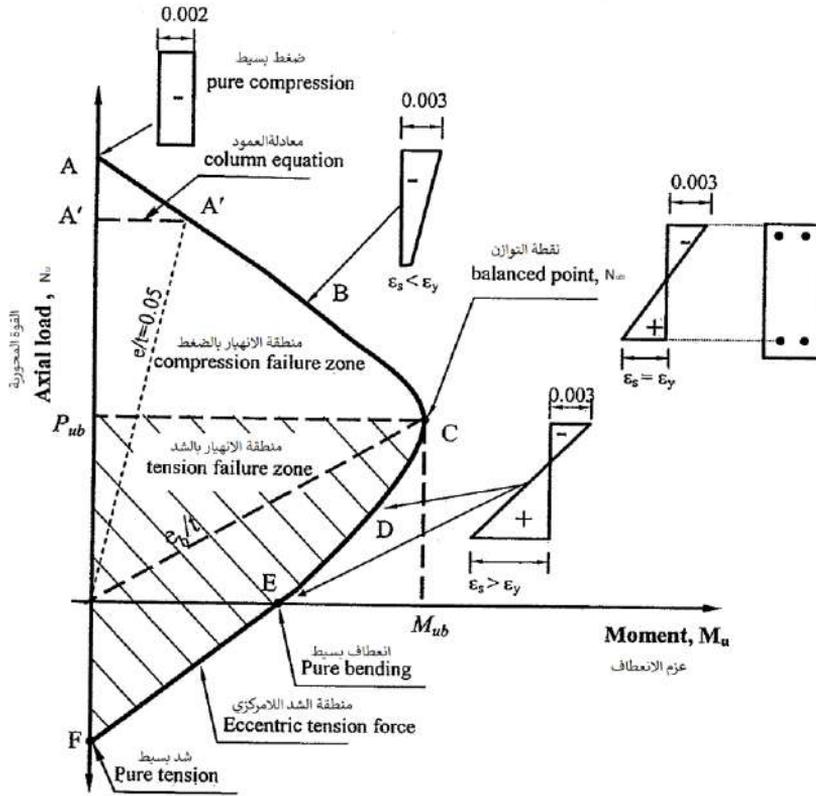
7-4-1 أجزاء مخطط الترابط:

يمكن تقسيم مخطط الترابط إلى منطقتين هما منطقة الانهيار بالضغط Compression Failure وتقع في الجزء العلوي من المخطط، ومنطقة الانهيار بالشد Tension Failure إذ تقع في الجزء السفلي من المخطط، تفصل بينهما نقطة التوازن Balance point الشكل:

أ. منطقة الانهيار بالضغط Compression Failure Zone:

إن شكل الإجهادات المتولدة في البيتون هو الذي يتحكم بنوع الانهيار. إن منطقة الانهيار بالضغط تمتد من النقطة A حتى النقطة C. تمثل النقطة A حالة حمولة ضغط محوري بسيط من دون عزوم انعطاف ولكن هذه الحالة مثالية جداً بينما في الواقع توجد على الأقل لا مركزية دنيا قدرها $e=5\%=0.05$ وهي النقطة A' على المخطط.

تمثل النقطة B حالة عزوم صغيرة نسبياً، إذ يحصل الانهيار بالضغط عندما يصل البيتون إلى الانفعال الأعظمي 0.003 بينما لم يصل تسليح الشد إلى إجهاد الخضوع بعد. هذا النوع من الانهيار قصيف Brittle إذ ينهار العمود حالما يصل انفعال الضغط في البيتون إلى 0.003 من دون تشوهات كبيرة أو إنذار كافٍ. لذلك فإن عامل تخفيض المقاومة (عامل الأمان ضد الانهيار) من أجل هذا النوع من الانهيار يكون كبيراً $\Omega = 0.65$.



الشكل (7-7) أجزاء مخطط الترابط

ب. نقطة التوازن Balance Point:

عند النقطة C يصل البيتون إلى الانفعال الحدي 0.003 في اللحظة نفسها التي يصل فيها الفولاذ إلى إجهاد الخضوع f_y . إن العزم عند هذه النقطة هو أعظم عزم يستطيع المقطع تحمّله ويرمز له M_{ub} بينما تكون الحمولة المحورية N_{ub} هي الحمولة التوازنية وأي حمولة أكبر منها تؤدي إلى الانهيار

بالضغط بينها أي حمولة أقل منها تؤدي إلى الانهيار بالشد. إن موقع المحور السليم (المحايد) في هذه الحالة يُعطى بالعلاقة:

$$c_b = \frac{0.003}{0.003 + \varepsilon_s} d = \frac{630}{630 + f_y} d$$

ت. منطقة الانهيار بالشد Tension Failure Zone:

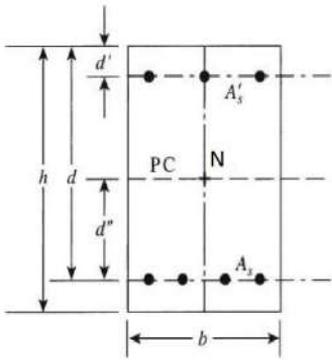
بدراسة النقطة D الواقعة ضمن منطقة الانهيار بالشد يُلاحظ أن الانفعال في الفولاذ يكون أكبر من انفعال الخضوع، أي إن فولاذ التسليح متلدن. يسمى هذا النوع من الانهيار بالانهيار المطاوع Ductile Failure لأن المقطع سوف يتشقق ويولد تشوهات كبيرة قبل الانهيار بفترة مما يعطي إنذاراً كافياً قبل الانهيار. إن هذا السلوك أقرب إلى الجيزان منه إلى الأعمدة.

تمثل النقطة E حالة الانعطاف البسيط، وهو سلوك جائزي صرف، إذ تكون القوة المحورية معدومة. بينما تمثل النقطة F حالة الشد البسيط أي وجود قوة شد محورية مطبقة على المقطع دون أي جهود أخرى. إن الجزء E-F يمثل قدرة تحمل المقطع على الشد المحوري المترافق بعزم انعطاف.

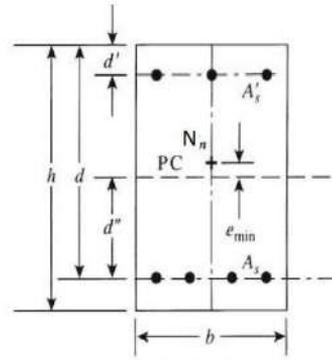
يمكن تلخيص متحولات كل منطقة من مخطّط الترابط بالجدول (1-7):

الجدول (1-7) مناطق مخطّط الترابط

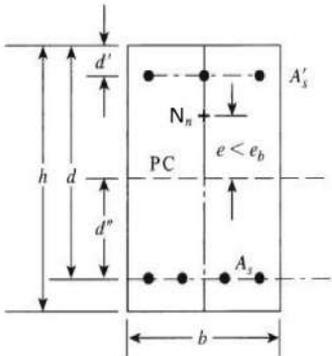
نقطة التوازن	منطقة الانهيار بالشد	منطقة الانهيار بالضغط	
$f_s = f_y$	$f_s > f_y$	$f_s < f_y$	الإجهاد في تسليح الشد
$c = c_b$	$c < c_b$	$c > c_b$	موقع المحور السليم
$e_0 = e_b$	$e_0 > e_b$	$e_0 < e_b$	اللامركزية
$M_u = M_{ub}$	$M_u < M_{ub}$	$M_u < M_{ub}$	العزم الحدي
$N_u = N_{ub}$	$N_u < N_{ub}$	$N_u > N_{ub}$	القوة المحورية الحدية
$\Omega = 0.65$	$\Omega = 0.9$	$\Omega = 0.65$	معامل تخفيض المقاومة



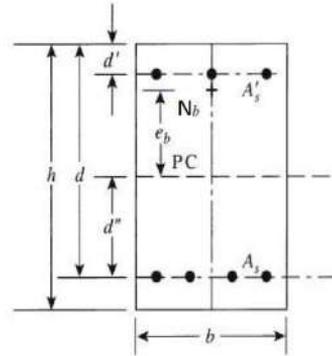
Case 1: Axial load, N_0
ضغط محوري



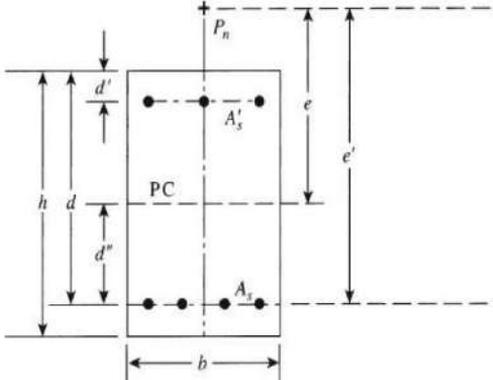
Case 2: $N_n = 0.8N_0$
لامركزية دنيا



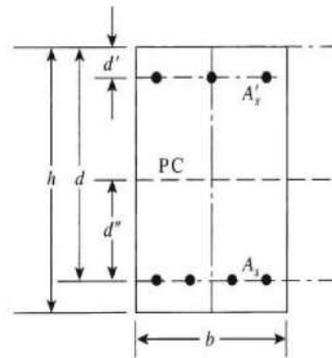
Case 3: Compression controls, $N_n > N_b$
ضغط حاكم



Case 4: Balanced load, N_b
حمولة توازنية



Case 5: Tension controls, $N_n < N_b$
شد حاكم



Case 6: Pure moment, $N_n = 0$
انعطاف بسيط

الشكل (7-8) قيمة اللامركزية في مختلف نقاط مخطّط الترابط

5-7 معامل تخفيض المقاومة Strength Reduction Factor:

تُعطى قيم معامل تخفيض المقاومة وفق الكود العربي السوري كما يأتي:

- في المقاطع المعرضة إلى الانعطاف البسيط أو إلى قوى شد محورية أو لا محورية: $\Omega = 0.9$
- في المقاطع المعرضة إلى قوى ضغط محوري $\Omega = 0.65$ أساور عادية، $\Omega = 0.75$ تسليح حلزوني.

- في المقاطع المعرضة إلى قوى ضغط لا محورية (انعطاف مركب)

$$0.9 \geq \Omega = 0.9 - 0.5 \frac{N_u}{N_c} \geq 0.65$$

$$\text{والانهيار بالشد، } 0.9 \geq \Omega = 0.9 - 0.5 \frac{N_u}{N_c} \geq 0.75 \text{ تسليح حلزوني.}$$

إذ N_c مقاومة المقطع البيتوني لوحده $0.85f'_c A_c$.

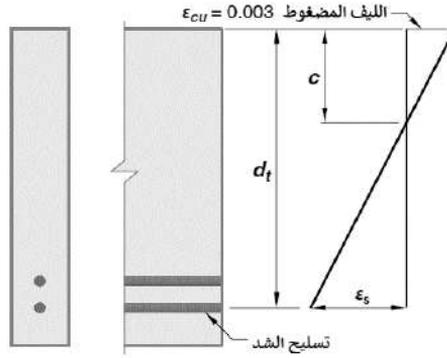
- في المقاطع المعرضة إلى قص أو قتل، أو أحدهما $\Omega = 0.75$

يُلاحظ من معادلة تخفيض المقاومة لأجل مقاطع معرضة إلى انعطاف مركب أن القيم تكون أقرب إلى 0.65 في الجزء الخاضع إلى مركزية صغيرة (ضغط مسيطر) في حين تكون أقرب إلى 0.9 في حالة اللامركزية الكبيرة (انعطاف مسيطر). وكما تم بيانه سابقاً فإن هذا النوع من الانهيار يُعطي إنذاراً لذلك تكون قيمة عامل تخفيض المقاومات نسبة تخفيض غير كبيرة.

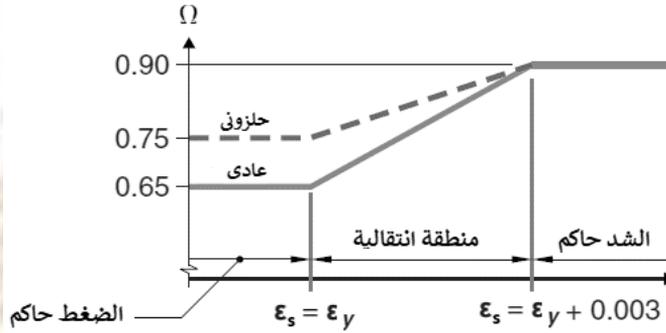
هذا ويُعطى عامل تخفيض المقاومة من أجل مقطع خاضع إلى انعطاف مركب وفق تعليمات الكود الأمريكي ACI 318-19 البند 2-2-21 كما يأتي:

الجدول (2-7) عامل تخفيض المقاومة من أجل الانعطاف المركب وفق تعليمات الكود ACI 318-19

ε_y انفعال الفولاذ	التصنيف	Ω	
		نوع التسليح العرضي	
		حلزوني	عادي
$\varepsilon_s \leq \varepsilon_y$	الضغط حاكم	0.75	0.65
$\varepsilon_y < \varepsilon_s \leq \varepsilon_y + 0.003$	المنطقة الانتقالية	$0.75 + 0.15 \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_y}{0.003}$	$0.65 + 0.25 \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_y}{0.003}$
$\varepsilon_s \geq \varepsilon_y + 0.003$	الشد حاكم	0.9	0.9



الشكل (9-7) انفعال الفولاذ المشدود

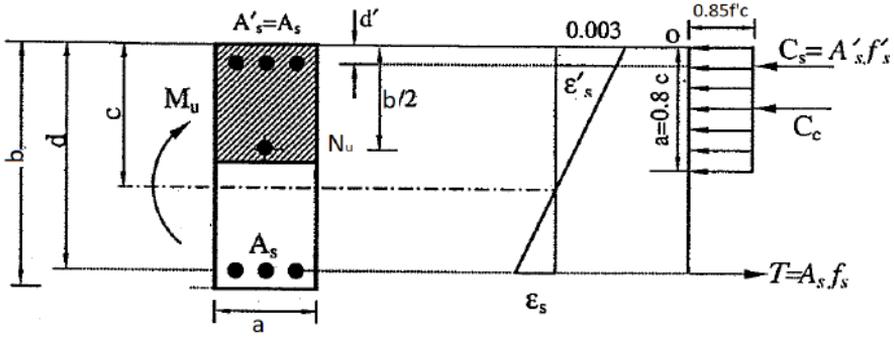


الشكل (10-7) معامل تخفيض المقاومة في حالة الانعطاف المركب وفق الكود ACI 318-19

6-7 إنشاء مخطط الترابط:

ينبغي تحديد النقاط المهمة من مخطط الترابط والتي تم شرحها سابقاً ثم الوصل بينها إذ يتم حسابها بالاعتماد على كل من مبدأ توافق الانفعالات وتوازن القوى الداخلية في المقطع المدروس. إذ يكون بشكل أساسي انفعال البيتون في اللبف الأقصى المضغوط يساوي إلى 0.003.

- تحسب الانفعالات في كل من الفولاذ المضغوط والمشدود بالاعتماد على تشابه المثلثات.
- يتم إيجاد موقع المحور السليم في كل نقطة وإيجاد القوى والعزوم.



الشكل (11-7) انفعالات الفولاذ المشدود والمضغوط

• الانفعالات في الفولاذ المشدود والمضغوط:

إنّ الانفعال في الفولاذ المشدود يساوي من تشابه المثلثات:

$$\varepsilon_s = 0.003 \frac{d - c}{c}$$

ويكون الإجهاد الحاصل في الفولاذ المشدود:

$$f_s = E_s \varepsilon_s = E_s \left(0.003 \frac{d - c}{c} \right) = 630 \frac{d - c}{c} \leq f_y$$

عامل المرونة الطولاني في الفولاذ. $E_s = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$

بينما يساوي الانفعال في الفولاذ المضغوط من التشابه:

$$\varepsilon'_s = 0.003 \frac{c - d'}{c}$$

ويكون الإجهاد الحاصل في الفولاذ المضغوط:

$$f'_s = E_s \varepsilon'_s = E_s \left(0.003 \frac{c - d'}{c} \right) = 630 \frac{c - d'}{c} \leq f_y$$

كما تم بيانه سابقاً فإن الانهيار يكون قصيفاً (مفاجئاً) في منطقة الانهيار بالضغط وهي أعلى نقطة التوازن، لأن الانفعال في الفولاذ المشدود أقل من انفعال الخضوع ويكون الإجهاد في الفولاذ المشدود أقل من إجهاد الخضوع $f_s < f_y$. بينما في منطقة الانهيار بالشد وهي أسفل نقطة التوازن يكون الانهيار مطاوعاً ويكون الانفعال في الفولاذ المشدود أكبر من انفعال الخضوع $\epsilon_s > \epsilon_y$ والإجهاد يساوي إلى إجهاد الخضوع $f_s = f_y$.

• القوى التي يتحملها المقطع والعزوم:

قوة الضغط في البيتون:

$$C_c = 0.85f'_c \times b \times a = 0.85f'_c \times b \times 0.85c = 0.72f'_c \times b \times c$$

القوى في الفولاذ المضغوط والمشدود:

$$C_s = A'_s f'_s \quad T_s = A_s f_s$$

بأخذ توازن القوى تكون القوة الاسمية التي يتحملها المقطع:

$$N_n = C_s + C_c - T_s$$

$$N_n = 0.72f'_c b c + A'_s f'_s - A_s f_s$$

بأخذ عزوم القوى حول مركز ثقل الشكل يكون العزم الاسمي الذي يتحمّله المقطع:

$$M_n = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

إن القوى والعزوم الخارجية الحديثة تساوي إلى جداء القوى والعزوم الاسمية بعامل تخفيض المقاومة:

$$N_u = \Omega N_n$$

$$M_u = \Omega M_n$$

ويكون:

$$N_u = \Omega N_n = \Omega [0.72 f_c' b c + A_s' f_s' - A_s f_s]$$

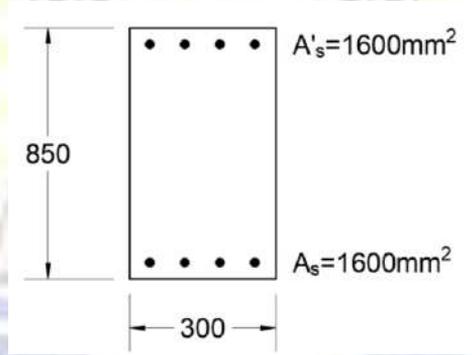
$$M_u = \Omega M_n = \Omega \left[C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) \right]$$

مثال تطبيقي (1):

احسب القوة الضاغطة التوازنيّة والعزم التوازنيّ في المقطع المبين بالشكل، علماً بأن خصائص

المواد هي الآتية:

$$f_y = 400 \text{ MPa} \quad f_c' = 20 \text{ MPa}$$



الحل:

• موقع المحور السليم التوازنيّ والإجهاد في الفولاذ المضغوط:

$$c_b = \frac{630}{630 + f_y} d = \frac{630}{630 + 400} 800 = 489.3 \text{ mm}$$

$$f_s' = 630 \frac{c - d'}{c} = 630 \frac{489.3 - 50}{489.3} = 565.6 \text{ MPa} > f_y \Rightarrow f_s' = f_y$$

$$f_s = 630 \frac{d - c}{c} = 630 \frac{800 - 489.3}{489.3} = 400 = f_y$$

• القوى والعزوم الداخلية:

$$a_b = 0.85 c_b = 0.85 \times 489.3 = 415.92 \text{ mm}$$

قوة الضغط في البتون:

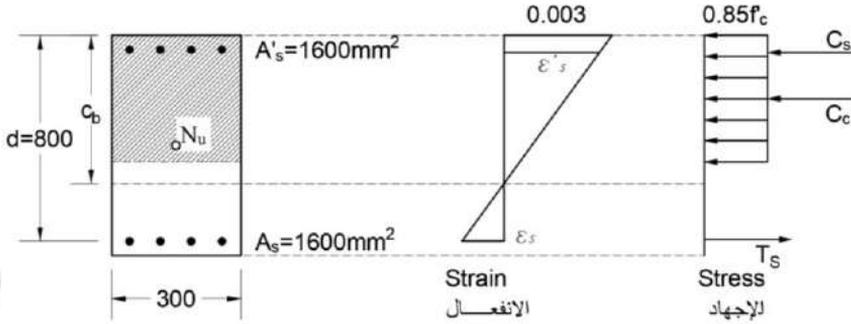
$$C_c = 0.85f'_c \times (b \times a - A'_s)$$

$$= 0.85 \times 20 \times (300 \times 415.92 - 1600) = 2093992N = 2093.99kN$$

قوة الضغط والتشد في الفولاذ:

$$C_s = A'_s f'_s = 1600 \times 400 = 640000N = 640kN$$

$$T_s = A_s f_s = 640kN$$



القوة الاسميّة التي يتحمّلها المقطع:

$$N_{nb} = C_s + C_c - T_s = 2094 + 640 - 640 = 2094kN$$

عزم الانعطاف حول مركز ثقل المقطع:

$$M_{nb} = \left[C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) \right]$$

$$= \left[2094 \left(425 - \frac{415.92}{2} \right) + 640(425 - 50) + 640(425 - 50) \right] 10^{-3} = 934.5kN.m$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{N_{nb}} = \frac{934.5}{2094} = 0.446m \Rightarrow \frac{e_b}{h} = 0.52$$

بحساب عامل تخفيض المقاومة وفق الكود ACI 318-19:

$$\Omega = 0.65 + 0.25 \left(\frac{\varepsilon_t - \varepsilon_{ty}}{0.003} \right)$$

إذ إنّ انفعال الفولاذ المشدود عند النقطة التوازنيّة ε_t يساوي إلى انفعال الخضوع ε_{ty} وهذا يعني أن معامل

تخفيض المقاومة $\Omega = 0.65$ وهذا واضح من المخطّط الوارد في الكود ACI 318-19.

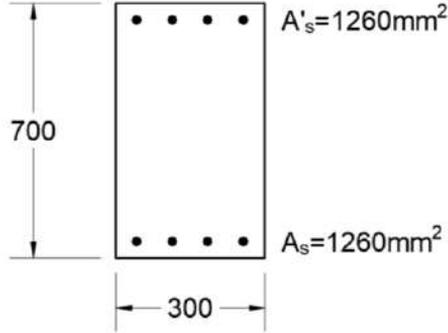
$$N_{ub} = 0.65N_{nb} = 0.65 \times 2094 = 1361.1kN$$

$$M_{ub} = 0.65M_{nb} = 0.65 \times 934.5 = 607.43kN$$

مثال تطبيقي (2):

أنشئ مخطط الترابط للمقطع المبين بالشكل، علماً بأن خصائص المواد هي الآتية:

$$f_y = 360MPa \quad f'_c = 20MPa$$



الحل:

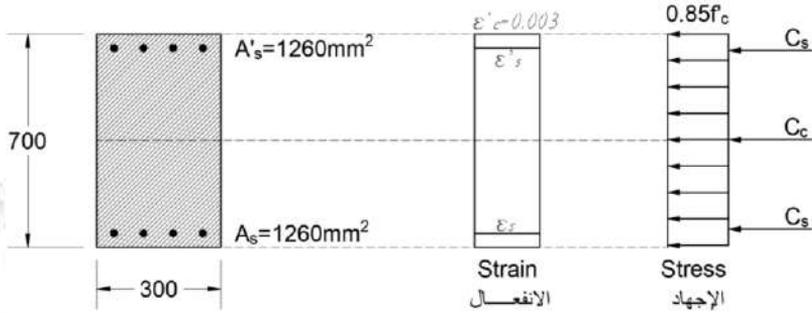
يتم حساب النقاط المبينة بالجدول من أجل رسم مخطط الترابط:

$\Omega = 0.65$	ضغط محوري بسيط Pure Axial Compression	النقطة A
$\Omega = 0.65$	لامركزية دنيا Minimum Eccentricity	النقطة A'
$\Omega = 0.65$	الانهيار بالضغط Compression Failure	النقطة B
$\Omega = 0.65$	نقطة التوازن Balance Point	النقطة C
$\Omega = 0.65 + 0.25 \left(\frac{\epsilon_t - \epsilon_{ty}}{0.003} \right)$	الانهيار بالتشد Tension Failure	النقطة D
$\Omega = 0.9$	انعطاف بسيط Pure Bending	النقطة E

$\Omega = 0.9$	شد محوري بسيط Pure Axial Tension	النقطة F
----------------	-------------------------------------	----------

1. النقطة A (ضغط محوري بسيط):

يكون المقطع خاضعاً للضغط بكامله ويقع المحور المحايد في الألفانهاية، ويكون مخطط الانفعال منتظماً ويبلغ القيمة الحدية. كل الفولاذ مضغوط وواصل إلى حد التلدن:



قوة الضغط في البيتون:

$$C_c = 0.85f'_c \times (b \times h - A'_s)$$

$$= 0.85 \times 20 \times (300 \times 700 - 1260) = 3548600N = 3548.6kN$$

$$f'_s = f_s = E_s \varepsilon_s = 2.1 \times 10^5 \times 0.003 = 360MPa > f_y \Rightarrow f'_s = f_y = 360MPa$$

قوة الضغط والشد في الفولاذ:

$$C_s = A'_s f'_s = A_s f_s = 1260 \times 360 = 453600N = 453.6kN$$

القوة الاسمية التي يتحملها المقطع:

$$N_n = 2C_s + C_c = 2 \times 453.6 + 3548.6 = 4455.8kN$$

عزم الانعطاف حول مركز ثقل المقطع:

$$M_n = 0$$

$$N_u = \Omega N_n = 0.65 \times 4455.8 = 2896.3kN$$

القوة الحدية التي يتحملها المقطع:

$$\frac{e_A}{h} = 0$$

اللامركزية معدومة

2. النقطة A' (لا مركزية دنيا):

إن القوة الناظمية المترافقة مع اللامركزية الدنيا $\frac{eA'}{h} = 5\%$ تكافئ 0.8 من القوة الناظمية عند

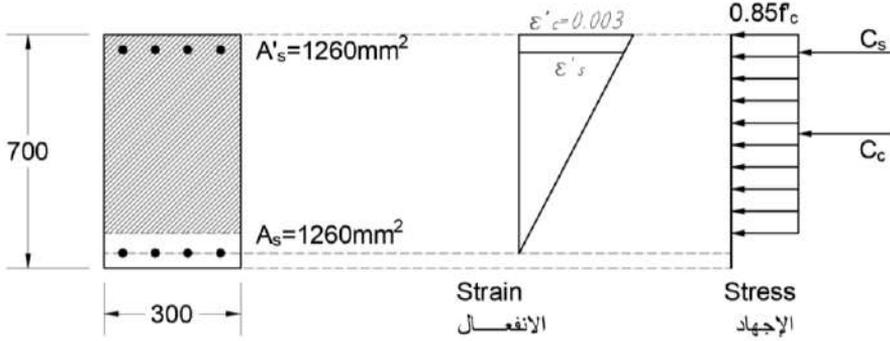
النقطة A وهي الضغط البسيط:

$$N_n = 0.8 \times 4455.8 = 3564.6kN$$

$$N_u = \Omega N_n = 0.65 \times 3564.6 = 2317kN$$

3. النقطة B (الانهيار بالضغط):

يكون المحور المحايد أخفض من المحور المحايد التوازني $c > c_b$ ومن أجل التسهيل يعدّ المحور المحايد عند الفولاذ المشدود $c = d$ حتى تنعدم قوة الشد في الفولاذ بسبب انعدام الانفعال عندها:



$$c = 650mm \Rightarrow a = 0.85c = 552.5mm$$

$$f'_s = 630 \frac{c-d'}{c} = 630 \frac{650-50}{650} = 581.5MPa > f_y \Rightarrow f'_s = f_y = 360MPa$$

قوة الضغط في البيتون:

$$C_c = 0.85f'_c \times (b \times a - A'_s)$$

$$= 0.85 \times 20 \times (300 \times 552.5 - 1260) = 2796330N = 2796.33kN$$

قوة الضغط والشد في الفولاذ:

$$C_s = A'_s f'_s = 1260 \times 360 = 453600N = 453.6kN \quad T_s = 0$$

القوة الاسمية التي يتحملها المقطع:

$$N_n = C_s + C_c - T_s = 2796.33 + 453.6 - 0 = 3249.93kN$$

عزم الانعطاف حول مركز ثقل المقطع:

$$M_n = \left[C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) \right]$$

$$= \left[2796.33 \left(350 - \frac{552.5}{2} \right) + 453.6(350 - 50) \right] 10^{-3} = 342.3 \text{ kN.m}$$

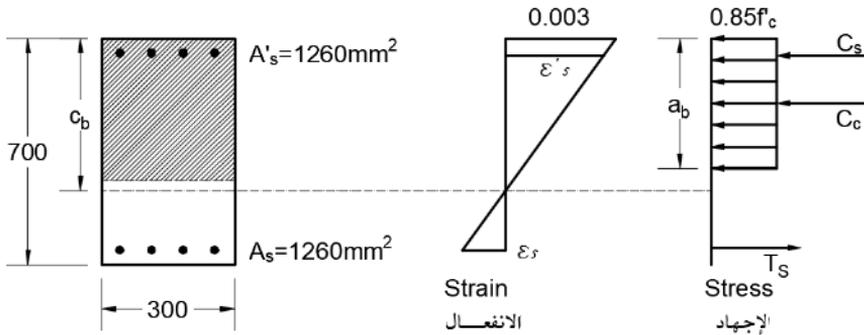
$$e_B = \frac{M_n}{N_n} = \frac{342.3}{3249.93} = 0.105 \text{ m} \Rightarrow \frac{e_B}{h} = 0.15 = 15\%$$

$N_u = \Omega N_n = 0.65 \times 3249.93 = 2112.5 \text{ kN}$: القوة الحدية التي يتحملها المقطع:

$M_u = \Omega M_n = 0.65 \times 342.3 = 222.5 \text{ kN.m}$: العزم الحدي الذي يتحمّله المقطع:

4. النقطة C (نقطة التوازن):

موقع المحور السليم التوازني والإجهاد في الفولاذ المضغوط:



$$c_b = \frac{630}{630 + f_y} d = \frac{630}{630 + 360} 650 = 413.64 \text{ mm}$$

$$f'_s = 630 \frac{c - d'}{c} = 630 \frac{413.64 - 50}{413.64} = 553.84 \text{ MPa} > f_y \Rightarrow f'_s = f_y = 360 \text{ MPa}$$

$$f_s = 630 \frac{d - c}{c} = 630 \frac{650 - 413.64}{413.64} = 360 = f_y$$

القوى والعزوم الداخلية:

$$a_b = 0.85c_b = 0.85 \times 413.64 = 351.6 \text{ mm}$$

قوة الضغط في البيتون:

$$C_c = 0.85f'_c \times (b \times a - A'_s)$$

$$= 0.85 \times 20 \times (300 \times 351.6 - 1260) = 1771700 \text{ N} = 1771.7 \text{ kN}$$

قوة الضغط والتشد في الفولاذ:

$$C_s = A'_s f'_s = 1260 \times 360 = 453600N = 453.6kN \quad T_s = A_s f_s = 453.6kN$$

القوة الاسمية التي يتحملها المقطع:

$$N_{nb} = C_s + C_c - T_s = 1771.7 + 453.6 - 453.6 = 1771.7kN$$

عزم الانعطاف حول مركز ثقل المقطع:

$$M_{nb} = \left[C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) \right]$$

$$= \left[1771.7 \left(350 - \frac{351.6}{2} \right) + 453.6(350 - 50) + 453.6(350 - 50) \right] 10^{-3} = 580.8kN.m$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{N_{nb}} = \frac{580.8}{1771.7} = 0.328m \Rightarrow \frac{e_b}{h} = 0.469 = 46.9\%$$

$$N_{ub} = 0.65N_{nb} = 0.65 \times 1771.7 = 1151.6kN$$

$$M_{ub} = 0.65M_{nb} = 0.65 \times 580.8 = 377.5kN.m$$

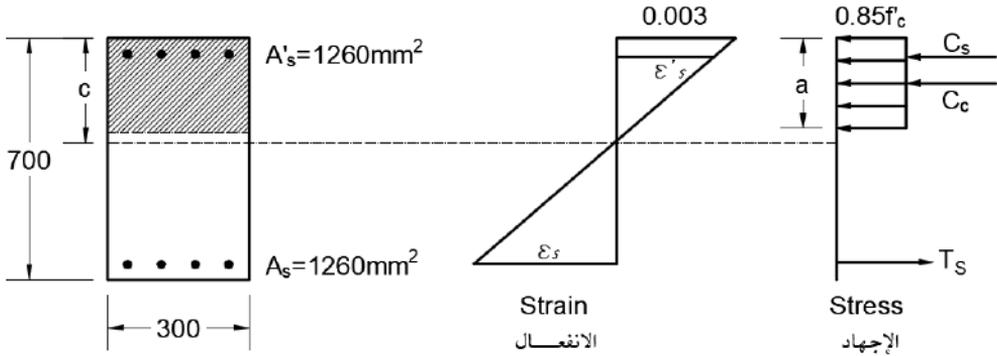
5. النقطة D (الانهيار بالتشد):

في هذه المنطقة يكون موقع المحور المحايد أعلى المحور المحايد التوازني $c < c_b$ وبالتالي يمكن افتراض المحور المحايد على مسافة تساوي ثلثي المسافة c_b :

$$c = \frac{2}{3} c_b = \frac{2}{3} 413.64 = 275.8mm$$

$$f'_s = 630 \frac{c - d'}{c} = 630 \frac{275.8 - 50}{275.8} = 515.8MPa > f_y \Rightarrow f'_s = f_y = 360MPa$$

$$f_s = 630 \frac{d - c}{c} = 630 \frac{650 - 275.8}{275.8} = 854.8 > f_y \Rightarrow f_s = f_y$$



القوى والعزوم الداخلية:

$$a = 0.85c = 0.85 \times 275.8 = 234.4 \text{ mm}$$

قوة الضغط في البيتون:

$$C_c = 0.85f'_c \times (b \times a - A'_s) \\ = 0.85 \times 20 \times (300 \times 234.4 - 1260) = 1174000 \text{ N} = 1174 \text{ kN}$$

قوة الضغط والشد في الفولاذ:

$$C_s = A'_s f'_s = 1260 \times 360 = 453600 \text{ N} = 453.6 \text{ kN} \quad T_s = A_s f_s = 453.6 \text{ kN}$$

القوة الاسمية التي يتحملها المقطع:

$$N_n = C_s + C_c - T_s = 1174 + 453.6 - 453.6 = 1174 \text{ kN}$$

عزم الانعطاف حول مركز ثقل المقطع:

$$M_n = \left[C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) \right] \\ = \left[1174 \left(350 - \frac{234.4}{2} \right) + 453.6(350 - 50) + 453.6(350 - 50) \right] 10^{-3} = 545.5 \text{ kN.m}$$

$$e_D = \frac{M_n}{N_n} = \frac{545.5}{1174} = 0.465 \text{ m} \Rightarrow \frac{e_D}{h} = 0.664 = 66.4\%$$

بحساب عامل تخفيض المقاومة وفق الكود ACI 318-19:

$$\Omega = 0.65 + 0.25 \left(\frac{\varepsilon_t - \varepsilon_{ty}}{0.003} \right)$$

بحساب الانفعال في الفولاذ المشدود:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_s = 0.003 \frac{d - c}{c} = 0.003 \frac{650 - 275.8}{275.8} = 0.00407 \Rightarrow$$

$$\varepsilon_{ty} = \frac{f_y}{E_s} = 0.0017 < \varepsilon_t < 0.005$$

يُلاحظ أنه ضمن المرحلة الانتقالية بين منطقة الضغط الحاكم ومنطقة الشد الحاكم:

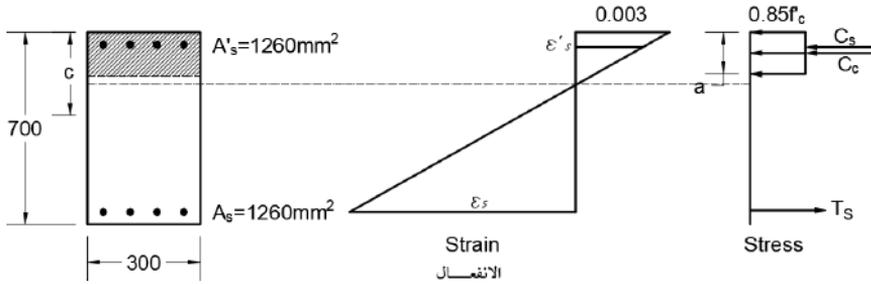
$$\Omega = 0.65 + 0.25 \left(\frac{\varepsilon_t - \varepsilon_{ty}}{0.003} \right) = 0.65 + 0.25 \left(\frac{0.00407 - 0.0017}{0.003} \right) = 0.8475$$

$$N_u = 0.8475 N_n = 0.8475 \times 1174 = 993.7 \text{ kN}$$

$$M_u = 0.848 M_n = 0.848 \times 550.5 = 461.7 \text{ kN.m}$$

6. النقطة E (الانهيار بالشد - انعطاف بسيط):

النقطة E تمثل الانعطاف البسيط وهي واقعة على المحور الأفقي (محور العزم)، وعليه $N_n=0$ أي قوى الشد تساوي قوى الضغط. يمكن الاستفادة من هذه المعلومة لإيجاد موقع المحور المحايد (بإهمال تفرغ الفولاذ المضغوط من مساحة الببتون لتسهيل العمل):



$$C_c = 0.85f'_c \times b \times a = 0.85 \times 20 \times 300 \times 0.85c = 4335c$$

$$C_s = A'_s f'_s = 1260 \times 630 \frac{c-50}{c} = 793800 \frac{c-50}{c} \quad T_s = A_s f_y = 453600N$$

القوة الاسمية التي يتحملها المقطع معدومة:

$$N_n = C_s + C_c - T_s = 4335c + 793800 \frac{c-50}{c} - 453600 = 0$$

$$4335c^2 + 340200c - 39.69 \times 10^6 = 0$$

$$c_1 = 64.18; c_2 = -142.66 \Rightarrow c = 64.18mm$$

$$a = 0.85c = 0.85 \times 64.18 = 54.55mm$$

$$f'_s = 630 \frac{c-50}{c} = 630 \frac{64.18-50}{64.18} = 139.2MPa < f_y = 360MPa$$

لم يتلدن فولاذ التسليح المضغوط وهذا يعني أن الفرض السابق صحيح.

$$C_c = 0.85f'_c \times b \times a = 4335c = 278220N = 278.22kN$$

$$C_s = A'_s f'_s = 1260 \times 139.2 = 175392N = 175.392kN$$

عزم الانعطاف حول مركز ثقل المقطع:

$$M_n = \left[C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) \right]$$

$$= \left[278.22 \left(350 - \frac{54.55}{2} \right) + 175.392(350 - 50) + 453.6(350 - 50) \right] 10^{-3}$$

$$= 278.486kN.m$$

بحساب الانفعال في الفولاذ المشدود:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_s = 0.003 \frac{d - c}{c} = 0.003 \frac{650 - 64.18}{64.18} = 0.027 \Rightarrow \varepsilon_t > 0.005$$

يُلاحظ أنه ضمن منطقة الشد الحاكم: $\Omega = 0.9$

$$M_u = 0.9M_n = 0.9 \times 278.48 = 250.63 \text{ kN.m}$$

7. النقطة F (شد محوري بسيط):

في هذه الحالة تهمل مقاومة البيتون ويكون الفولاذ العلوي والسفلي في حالة شد: وتكون القوة الاسمية التي يتحملها المقطع:

$$N_n = -(A_s + A'_s) f_y = -(1260 \times 2) 360 = -907200 \text{ N} = -907.2 \text{ kN}$$

$$M_n = 0$$

$$N_u = 0.9N_n = -0.9 \times 907.2 = -816.48 \text{ kN.m}$$

تُلخص نتائج المسألة في الجدول الآتي:

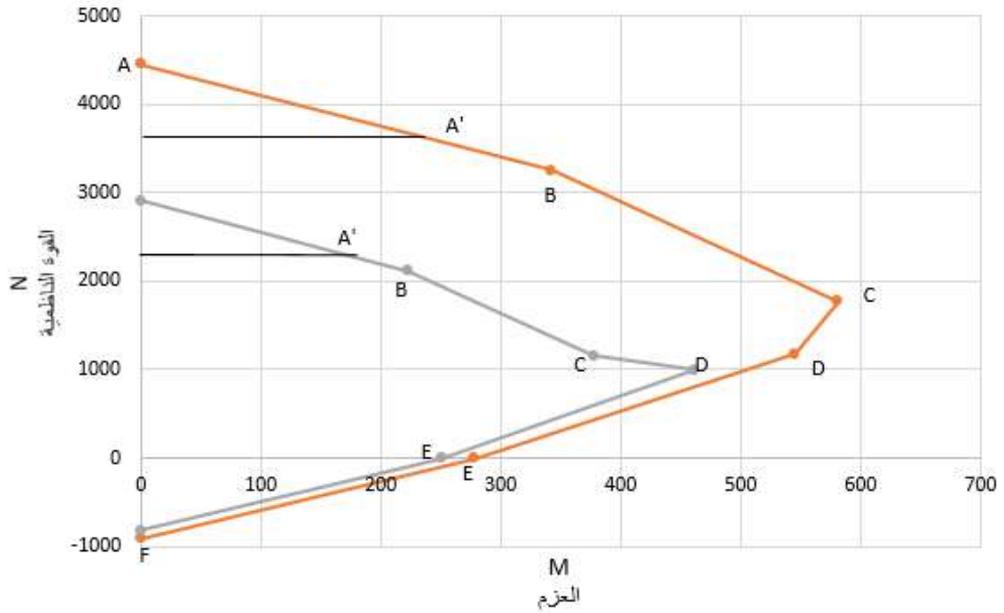
مخطط الترابط الحدي		مخطط الترابط الاسمي		موقع المحور المحايد c	الوصف	الرمز
القوة الحدية N_u	العزم الحدي M_u	القوة الاسمية N_n	العزم الاسمي M_n			
2896.3	0	4455.8	0	$c = \infty$	ضغط محوري بسيط Pure Axial Compression	النقطة A
2317.0		3564.6		$c > h$	لامركزية دنيا Minimum Eccentricity	النقطة A'
2112.5	222.5	3249.93	342.3	$c = d$	الانهيار بالضغط Compression Failure	النقطة B
1151.6	377.5	1771.7	580.8	$c = c_b$	نقطة التوازن Balance Point	النقطة C

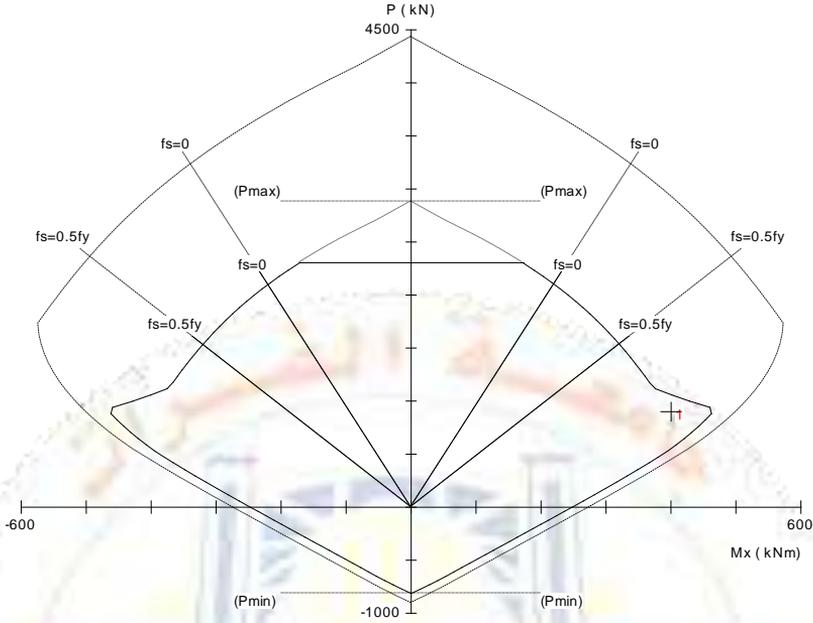
993.7	461.7	1174	545.5	$c = \frac{2}{3}c_b$	الانهيار بالشد Tension Failure	النقطة D
0	250.63	0	278.5	$c < \frac{2}{3}c_b$	انعطاف بسيط Pure Bending	النقطة E
-816.48	0	-907.2	0	$c = \infty$	شد محوري بسيط Pure Axial Tension	النقطة F

بوصل النقاط يتم الحصول على مخطط الترابط:

Interaction Diagram

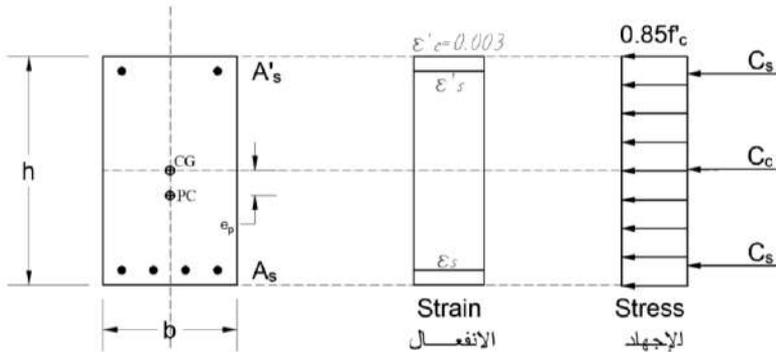
مخطط الترابط





7-7 مركز المقطع البلاستيكي Plastic Centroid:

يعرّف مركز المقطع البلاستيكي بأنه نقطة تطبيق محصلة القوى عندما يكون العمود مضغوطاً بشكل منتظم تحت تأثير انفعال الانهيار. إذ تقاس اللامركزية بالنسبة إلى مركز المقطع البلاستيكي. وعندما يكون العمود مسلحاً بشكل متناظر فإن مركز المقطع البلاستيكي Plastic Center ينطبق على مركز الثقل Center of Gravity. إن معظم أعمدة البيتون المسلح المصبوب في المكان تكون مسلحة بشكل متناظر. ولكن في حال كون اللامركزية كبيرة. يكون من الأفضل اقتصادياً وضع معظم التسليح على الطرف المشدود. في هذه الحال حتى تكون القوة محورية يجب أن تطبق في مركز المقطع البلاستيكي.

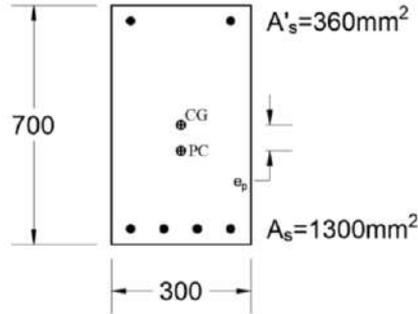


الشكل (7-12) مركز المقطع البلاستيكي

مثال:

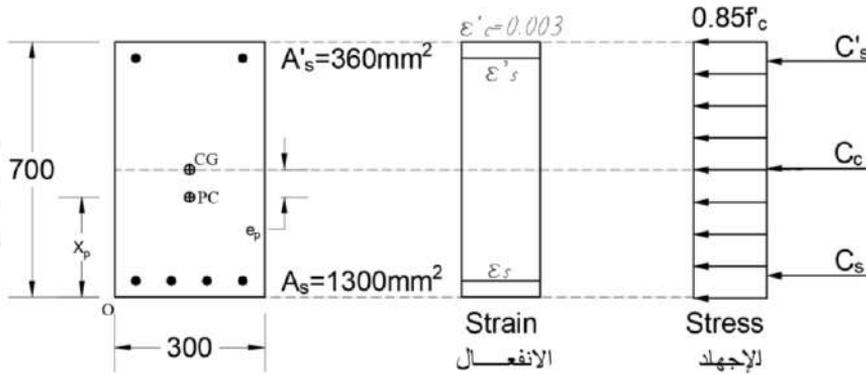
أوجد مركز المقطع البلاستيكي في مقطع العمود المبين بالشكل، علماً بأن

$$: f_y = 400MPa \quad f'_c = 20MPa$$



الحل:

لإيجاد مركز المقطع البلاستيكي يجب أن يكون كامل المقطع خاضعاً للضغط:



ومن أجل حساب X_p يتم أخذ مجموع العزوم حول النقطة O أسفل المقطع العرضي.

• القوى الداخلية:

$$C_c = 0.85f'_c \times (b \times h - A'_s)$$

$$= 0.85 \times 20 \times (300 \times 700 - 1300) = 3547900N = 3547.9kN$$

$$C_s = A_s f_y = 1300 \times 400 = 520000N = 520kN$$

$$C'_s = A'_s f'_s = A'_s f_y = 360 \times 400 = 144000N = 144kN$$

$$N_n = C_c + C_s + C'_s = 4211.9kN$$

• مجموع العزوم حول O:

$$X_p N_n = C_c \frac{h}{2} + C'_s d + C_s d' \Rightarrow X_p = \frac{C_c \frac{h}{2} + C'_s d + C_s d'}{N_n}$$

$$= \frac{3547.9 \times 350 + 520 \times 50 + 144 \times 650}{4211.9} = 323.22mm$$

وتكون المسافة بين مركز الثقل ومركز المقطع البلاستيكي:

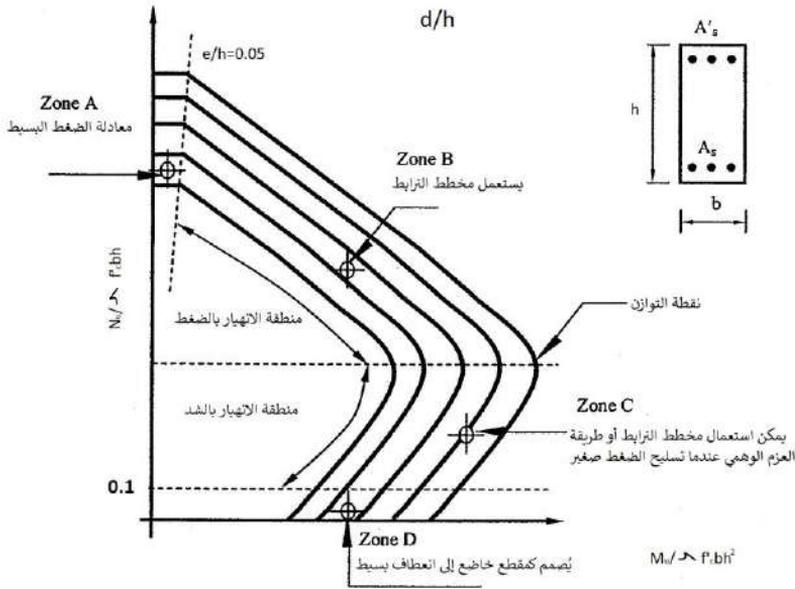
$$e_p = \frac{h}{2} - X_p = 350 - 323.22 = 26.78mm = 2.68cm$$

7-8 تصميم المقاطع الخاضعة إلى حمولة ضغط لا مركزية (انعطاف مركب):

تُستخدم مخططات الترابط الجاهزة كأداة تصميمية بديلة عن رسم مخطط الترابط. إذ إنّ هذه المخططات مرسومة من أجل نسب تسليح مختلفة من أجل قيم لا بعدية على المحور الأفقي والشاقولية إذ

تكون القيم على المحور الأفقي مساوية إلى عزم انعطاف لا بُعدي $\frac{M_u}{\Omega f'_c b h^2}$ في حين تكون القيم على

المحور الشاقولي مساوية إلى قوة محورية لا بعدية $\frac{N_u}{\Omega f'_c b h}$.



الشكل (7-13) مخططات الترابط بدلالة نسبة التسليح

- يُجزأ مخطط الترابط إلى أربع مناطق:
- A. المنطقة التي تكون فيها اللامركزية أقل من 5%، إذ يتم التصميم في هذه المنطقة باستخدام معادلة الضغط المحوري البسيط.
- B. منطقة الانهيار بالضغط أعلى نقطة التوازن، إذ يتم تصميم المقاطع في هذه المنطقة باستخدام تسليح متناظر باستخدام مخططات الترابط.
- C. في حال استخدام تسليح متناظر في هذه المنطقة وهي منطقة الانهيار بالشد يمكن استخدام مخططات الترابط، بينما يمكن استعمال طريقة العزم الوهمي عندما نسبة تسليح الضغط إلى تسليح الشد أقل من 40%.
- D. عندما تكون النسبة $\frac{N_u}{\Omega f_c' b h} \leq 0.1$ في هذه الحالات يمكن إهمال قوة الضغط بشكل كامل والتصميم على الانعطاف البسيط فقط.

7-8-1 خطوات التصميم باستعمال مخططات الترابط الجاهزة:

1. اختيار أبعاد المقطع البيتوني.

2. تحديد مخطّط الترابط الموافق بحسب المتحولات الآتية $f'_c, f_y, \frac{d}{h}, \frac{d-d'}{h}$

تستخدم المخططات رقم (1,2,3,4) من أجل تسليح متناظر على طرفي المقطع في حين تستخدم المخططات رقم (4,5,6,7,8) من أجل تسليح متناظر على المحيط.
3. حساب القيم اللابعدية الآتية:

$$K = \frac{N_u}{\Omega f'_c b h} K \frac{e}{h} = \frac{M_u}{\Omega f'_c b h^2}$$

4. إيجاد نسبة التسليح من مخطط الترابط، ويمكن الاستعانة بالتوسط الداخلي إن لزم الأمر:

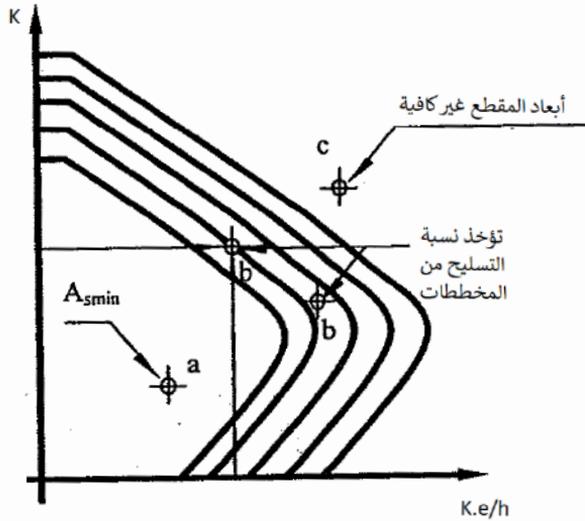
المخططات الأربعة الأولى: $m = \frac{f_y}{0.85 f'_c}$; $m \mu_r$; بينما بقية المخططات تعطي نسبة التسليح مباشرة.

5. مقارنة نسبة التسليح مع النسب العظمى والدنيا وهي على الترتيب 2.5% و 1%.

$$A_{s(rot)} = \mu_r b h$$

6. حساب مساحة التسليح:

7. توزيع التسليح على طرفي المقطع العرضي.



الشكل (7-14) موقع المقطع بالنسبة لمخطط الترابط

يُلاحظ من الشكل، أنه هناك ثلاث حالات للتصميم:

أ. إذا وقعت النقطة داخل مخططات الترابط يتم استخدام مساحة تسليح دنيا.

ب. وإذا وقعت النقطة بين مخططات الترابط يتم حساب نسبة التسليح حسب المنحني الموافق.

ج. بينما إذا وقعت النقطة خارج حدود مخططات الترابط فالمقطع مرفوض ويجب زيادة أبعاد المقطع البيتوني.



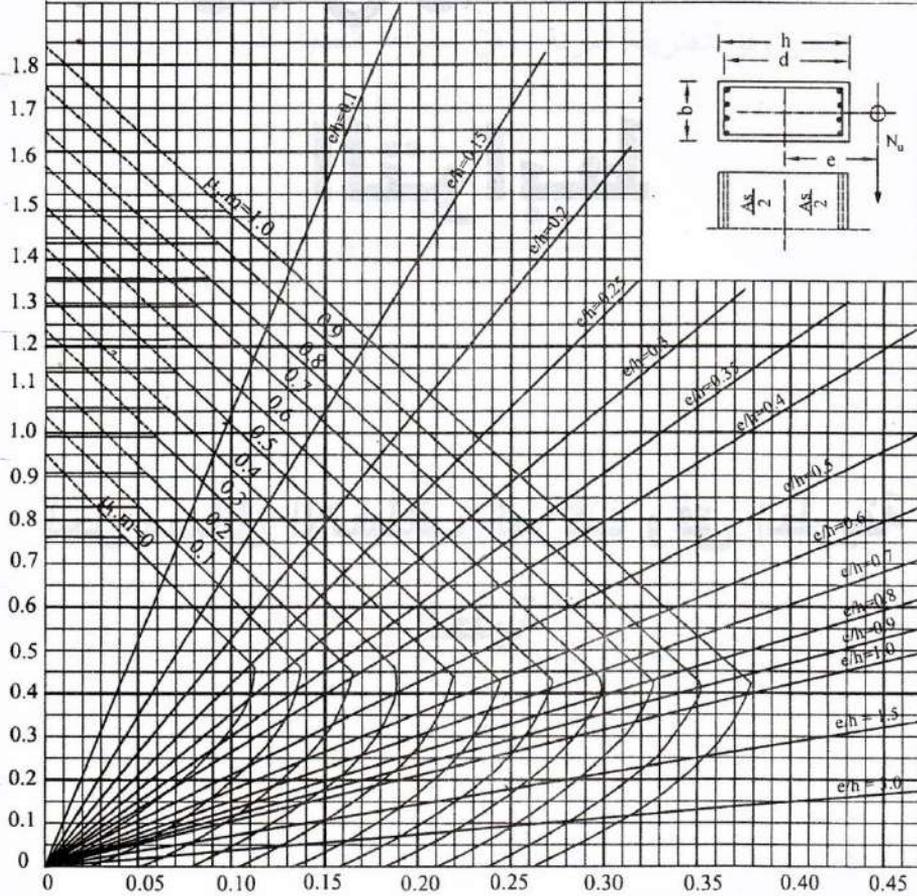
$$A(\text{total}) = \mu_1 \cdot b \cdot h \quad m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \quad M_u' = N_u' \cdot e \quad N_u' = \frac{N_u}{\Omega}$$

$$K = \frac{N_u'}{f_c' \cdot b \cdot h} = \frac{N_u}{\Omega \cdot f_c' \cdot b \cdot h}$$

$$f_c' \leq 28 \text{ N/mm}^2$$

$$f_y \approx 280 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{d}{h} = 0,80$$



$$K \cdot \frac{e}{h} = \frac{N_u' \cdot e}{f_c' \cdot b \cdot h^2} = \frac{N_u \cdot e}{\Omega \cdot f_c' \cdot b \cdot h^2}$$

المخطط رقم -1-

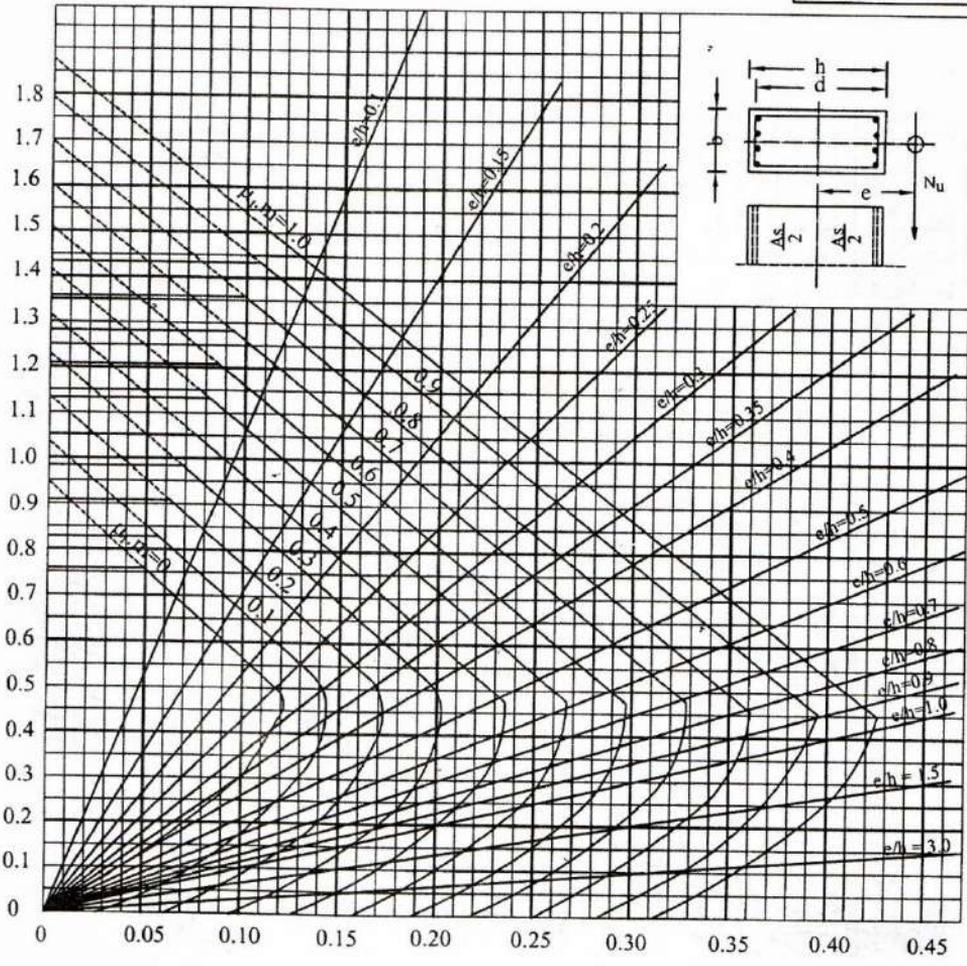
$$A_{(total)} = \mu_1 \cdot b \cdot h \quad m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \quad M'_u = N'_u \cdot e \quad N'_u = \frac{N_u}{\Omega}$$

$$K = \frac{N'_u}{f'_c \cdot b \cdot h} = \frac{N_u}{\Omega \cdot f'_c \cdot b \cdot h}$$

$$f'_c \leq 28 \text{ N/mm}^2$$

$$f_y \approx 280 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{d}{h} = 0,85$$



$$K \frac{e}{h} = \frac{N'_u \cdot e}{f'_c \cdot b \cdot h^2} = \frac{N_u \cdot e}{\Omega \cdot f'_c \cdot b \cdot h^2}$$

المخطط رقم -2-

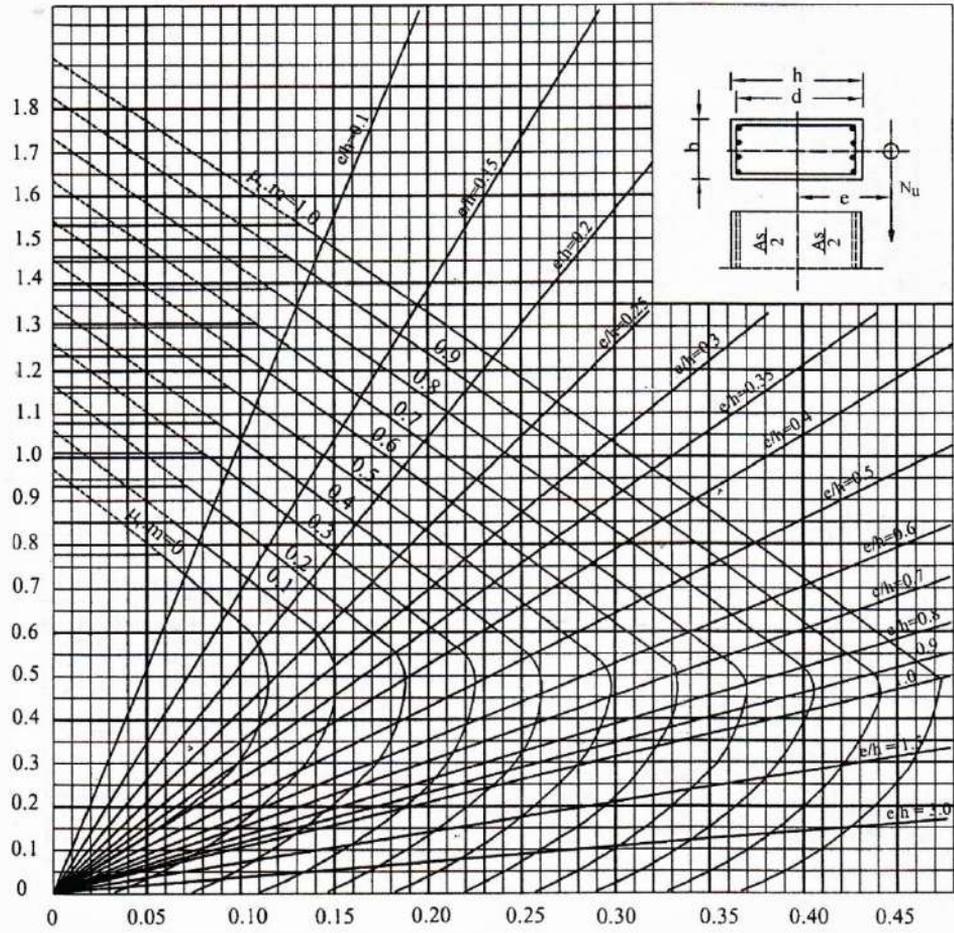
$$A(\text{total}) = \mu_1 \cdot b \cdot h \quad m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \quad M'_u = N'_u \cdot e \quad N'_u = \frac{N_u}{\Omega}$$

$$K = \frac{N'_u}{f'_c \cdot b \cdot h} = \frac{N_u}{\Omega \cdot f'_c \cdot b \cdot h}$$

$$f'_c \leq 28 \text{ N/mm}^2$$

$$f_y \approx 280 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{d}{h} = 0,90$$



$$K \frac{e}{h} = \frac{N'_u \cdot e}{f'_c \cdot b \cdot h} = \frac{N_u \cdot e}{\Omega \cdot f'_c \cdot b \cdot h}$$

المخطط رقم-3-

$$A_{(total)} = \mu_s \cdot b \cdot h$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c}$$

$$M'_u = N'_u \cdot e$$

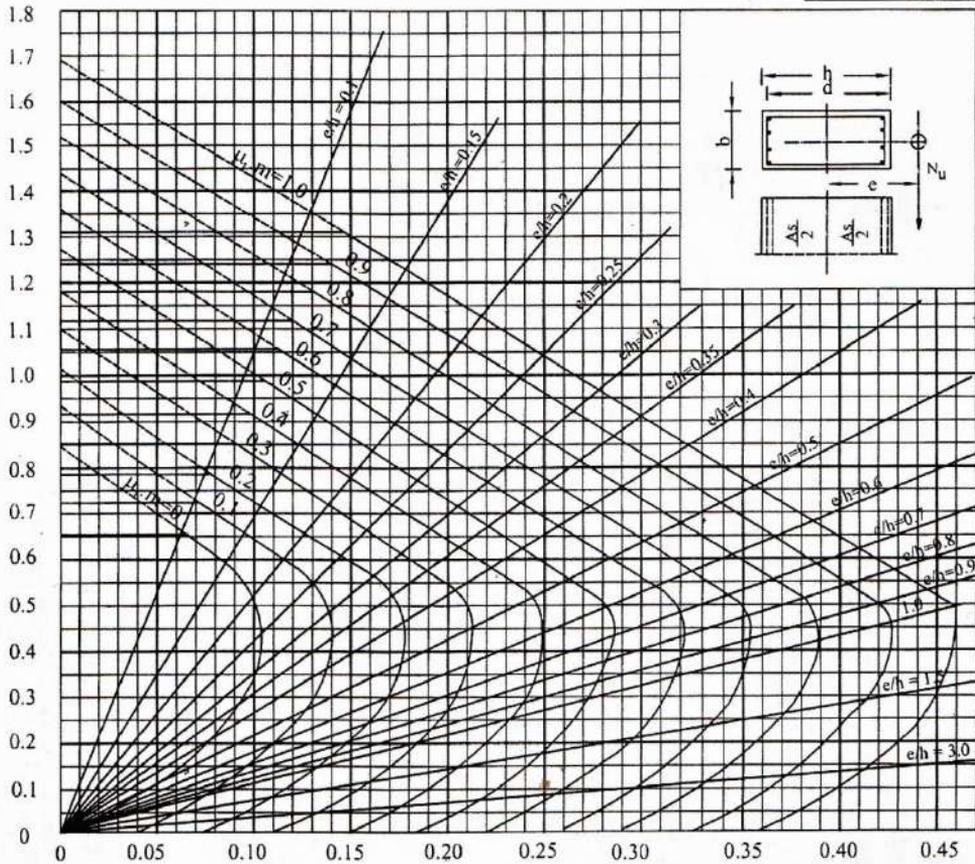
$$N'_u = \frac{N_u}{\Omega}$$

$$K = \frac{N'_u}{f'_c \cdot b \cdot h} = \frac{N_u}{\Omega \cdot f'_c \cdot b \cdot h}$$

$$f'_c \leq 28 \text{ N/mm}^2$$

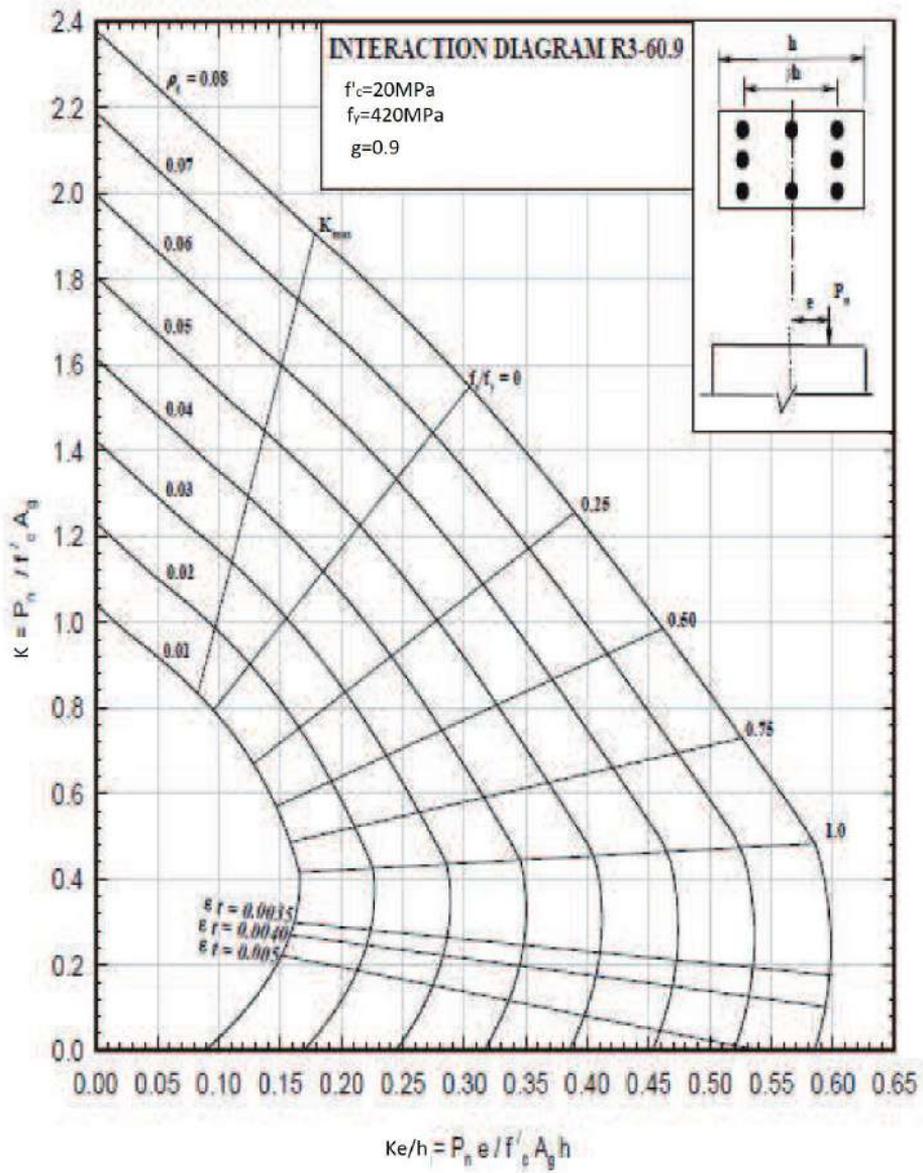
$$f_y \approx 280 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{d}{h} = 0,95$$

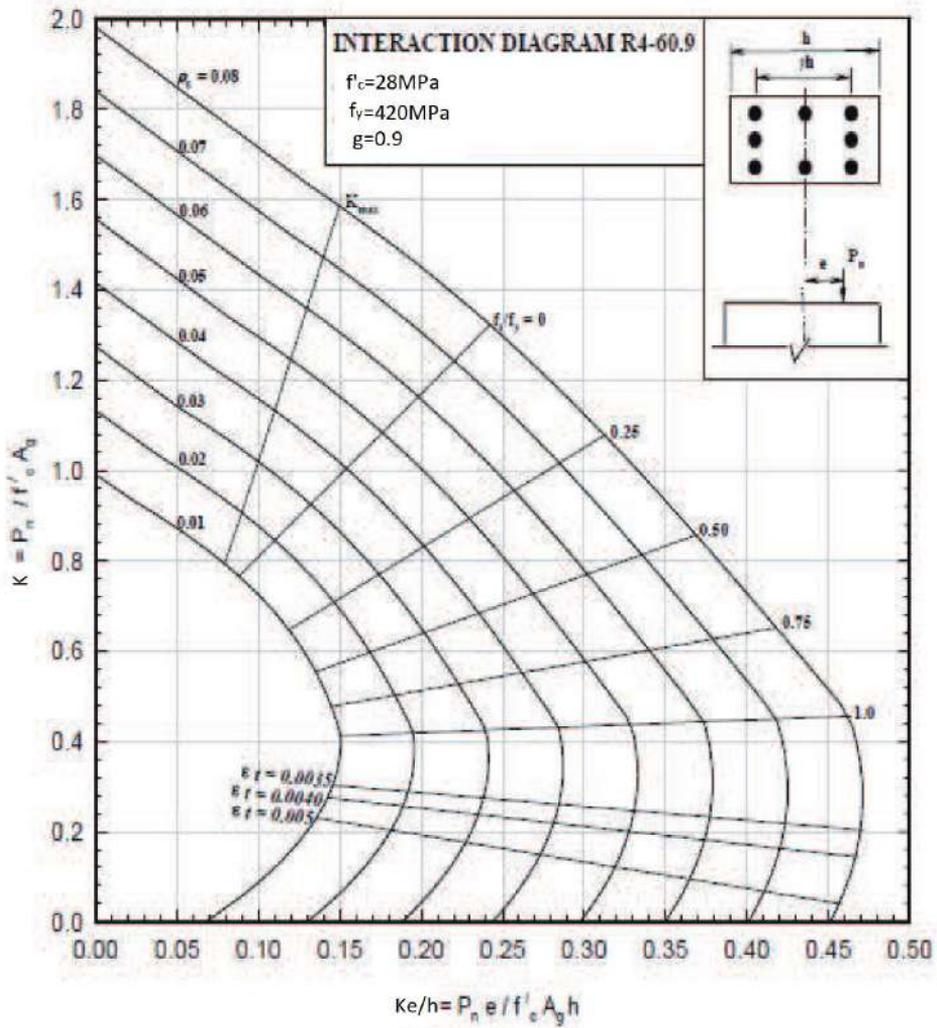


$$K \frac{e}{h} = \frac{N'_u \cdot e}{f'_c \cdot b \cdot h} = \frac{N_u \cdot e}{\Omega \cdot f'_c \cdot b \cdot h}$$

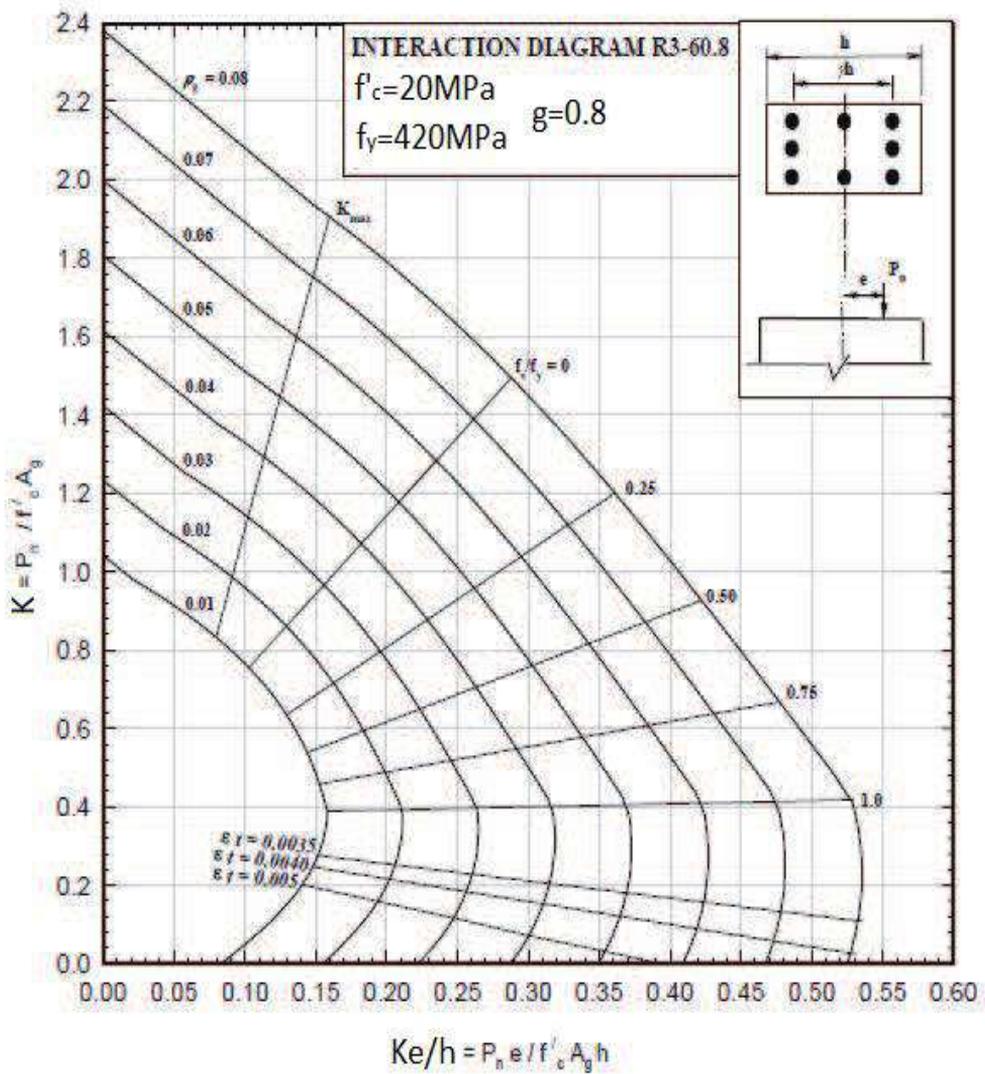
المخطط رقم -4-



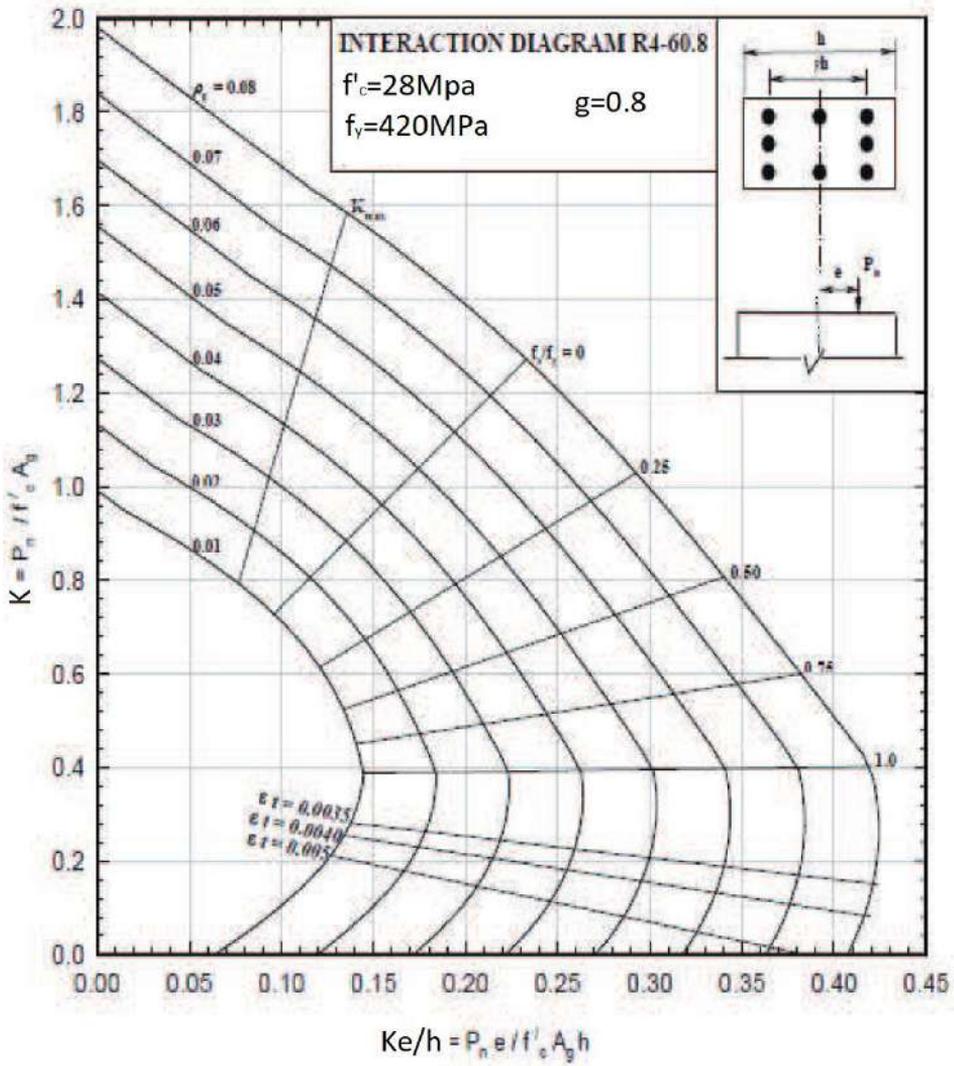
مخطط رقم /5/



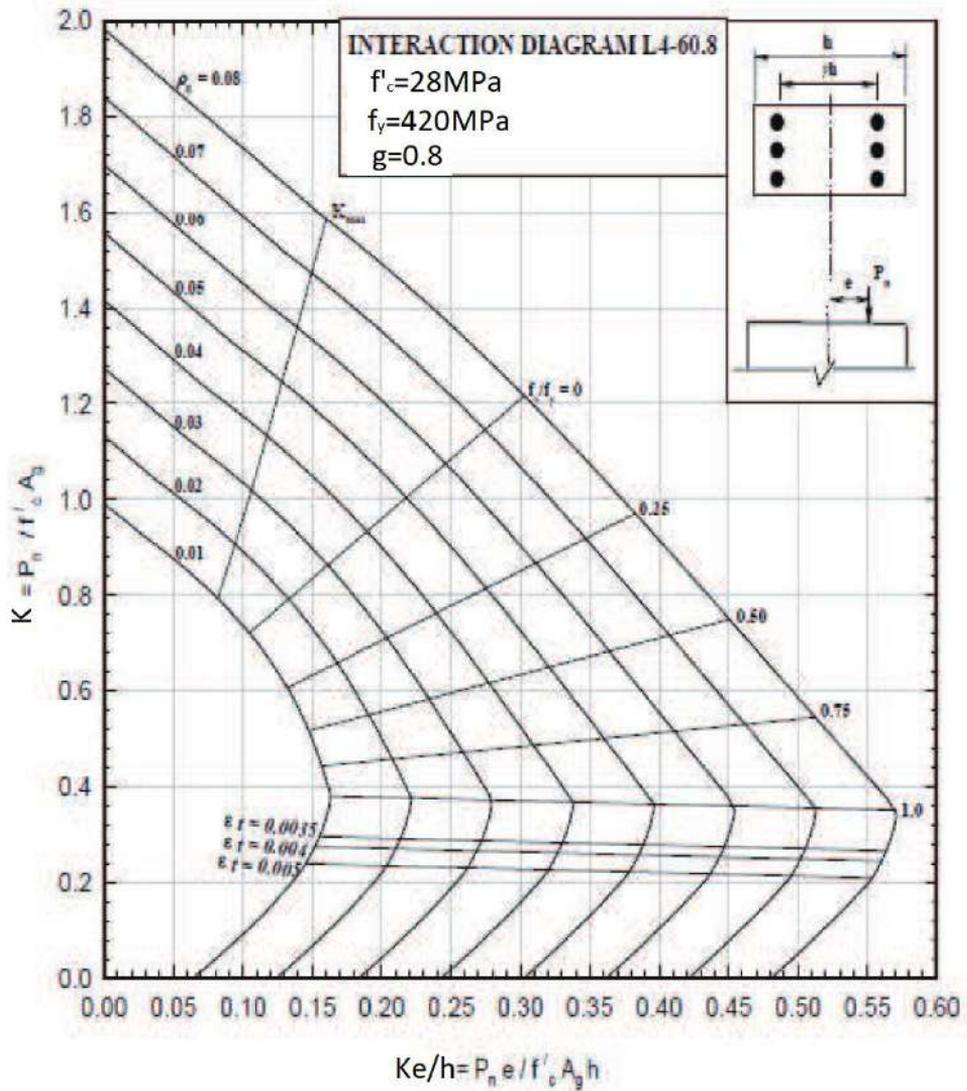
مخطط رقم /6/



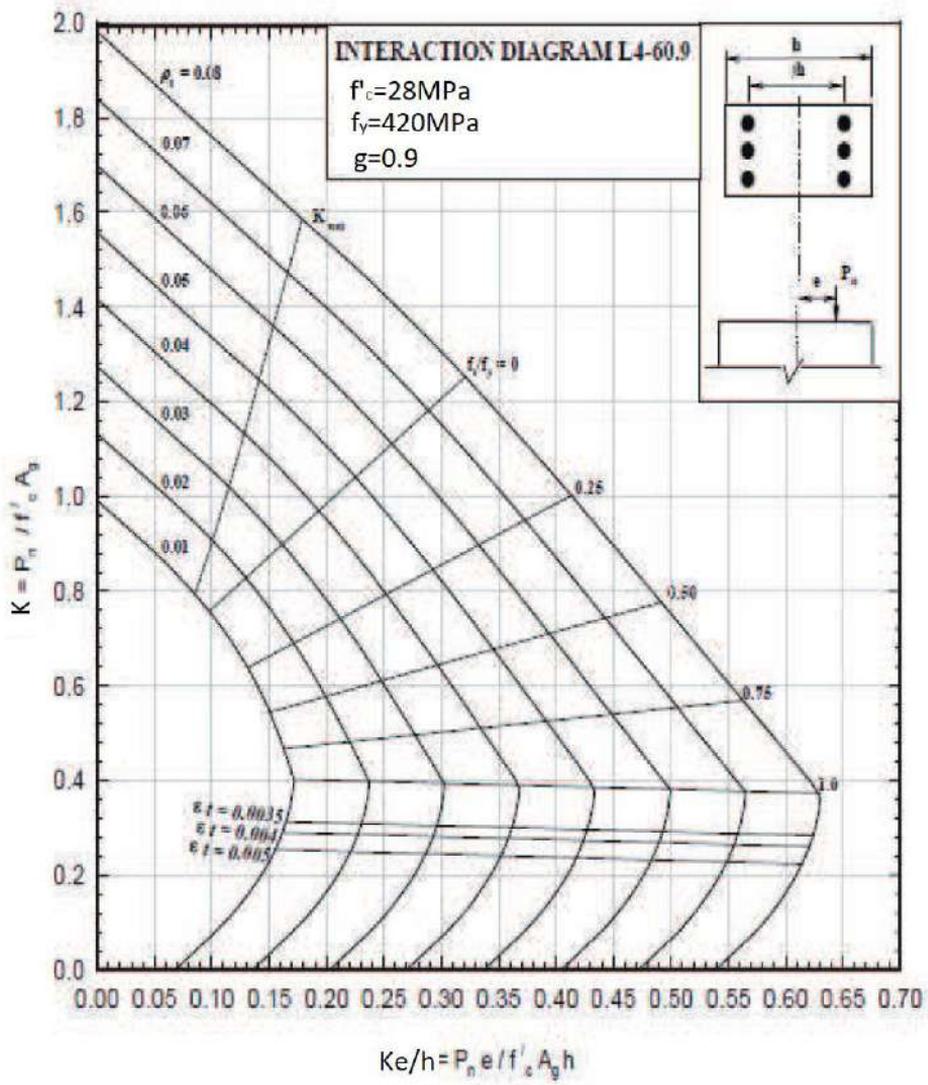
مخطط رقم 171



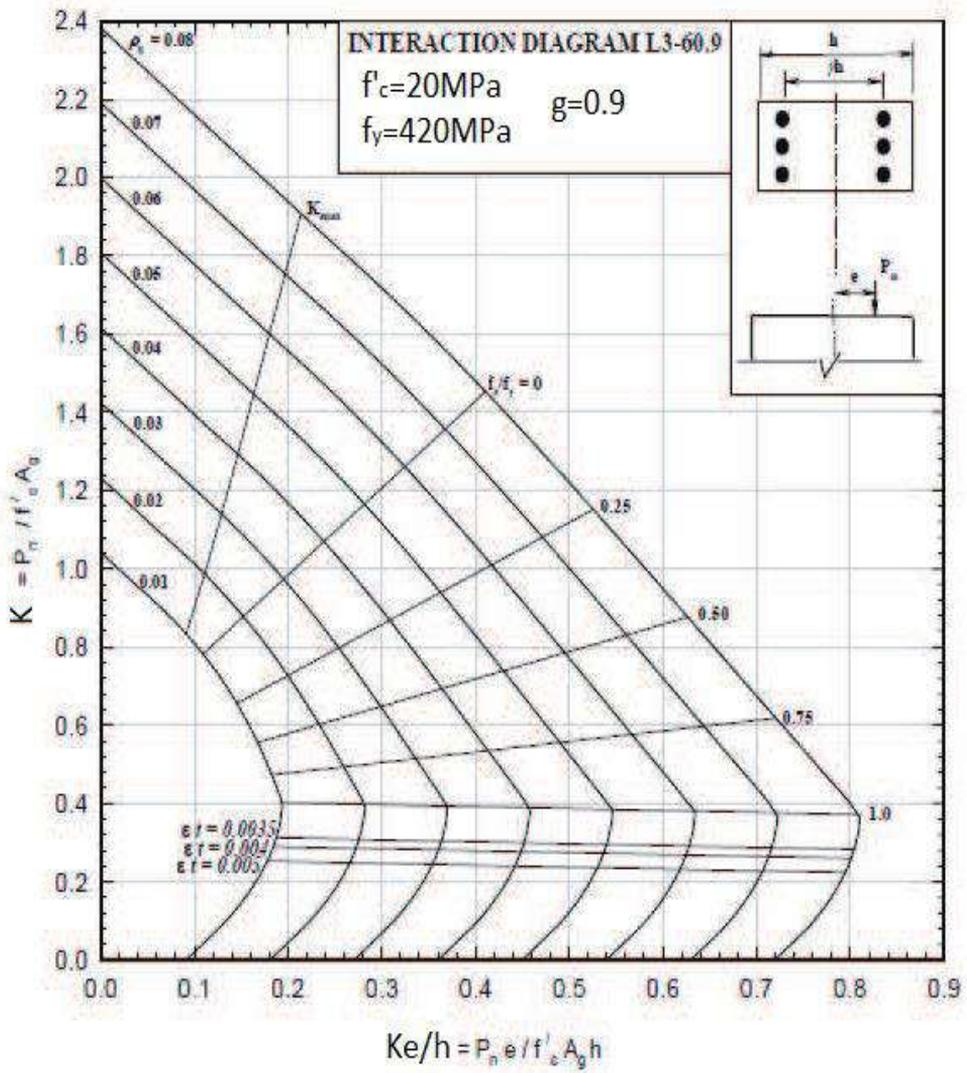
مخطّط رقم /8/



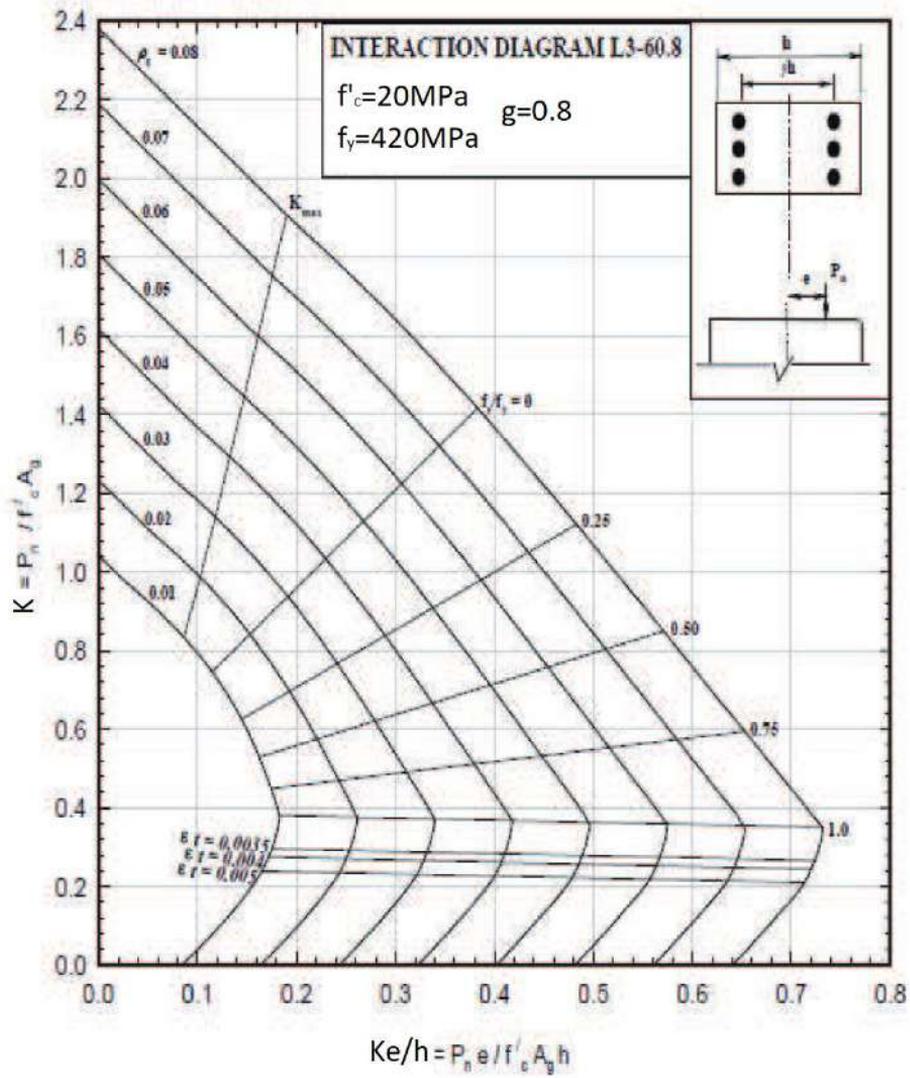
مخطّط رقم /9/



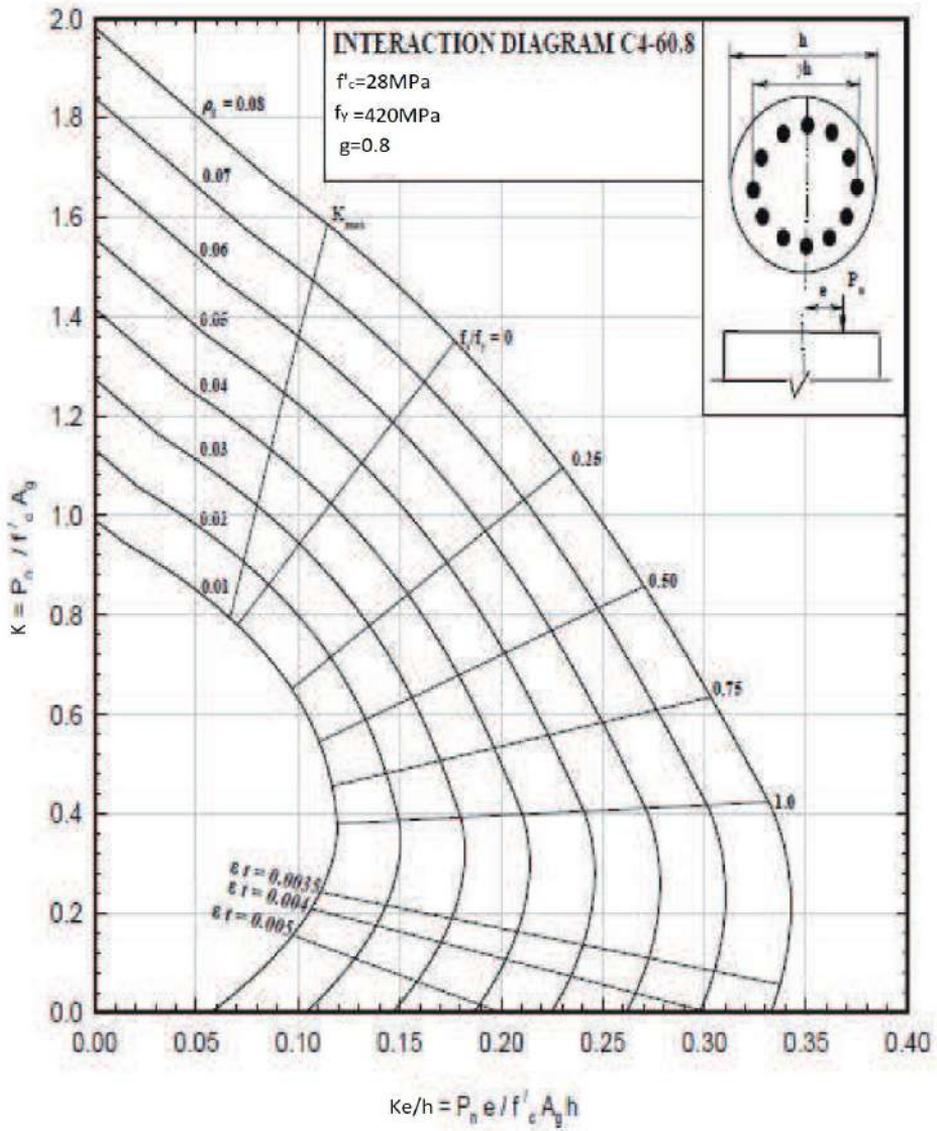
مخطط رقم /10/



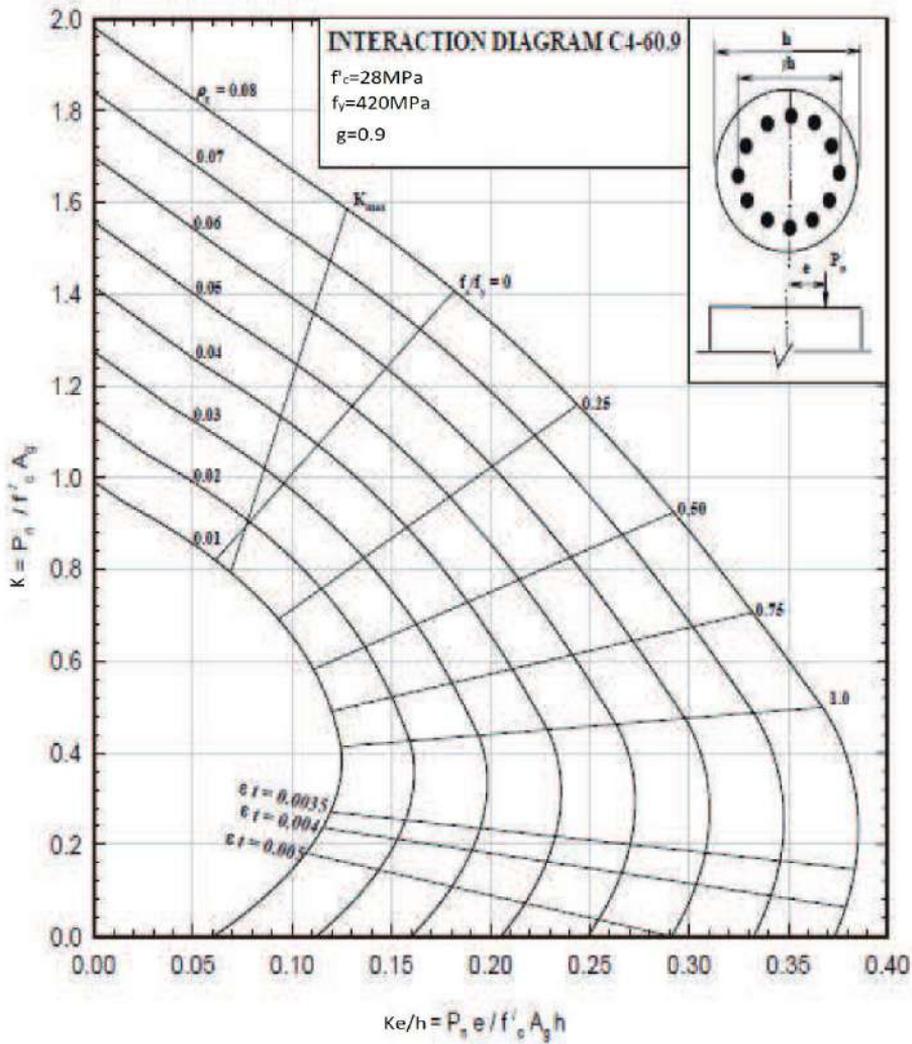
مخطط رقم /11/



مخطّط رقم /12/



مخطط رقم /13/



مخطط رقم /14/

مثال تطبيقي (1):

عمود قصير ذي أبعاد تساوي إلى $250 \times 650 \text{ mm}$ صمم التسليح ليتحمل العمود الحملات

الآتية:

$$N_u = 1400 \text{ kN}, M_u = 300 \text{ kN.m}$$

$$f_y = 280 \text{ MPa} \quad f'_c = 25 \text{ MPa} \quad d' = 65 \text{ mm}$$

مواصفات المواد:

الحل:

1. حساب المتحولات: $f'_c = 25 < 28MPa, f_y = 280MPa, \frac{d}{h} = \frac{650-65}{650} = 0.9$

مخطط الترابط المناسب هو رقم/3.

2. اللامركزية:

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{300}{1400} = 0.214m > e_a = 0.025m; \frac{e}{h} = 0.329 = 32.9\%$$

$$e_a = \max \left\{ \begin{array}{l} 0.025m \\ \frac{h}{20} = 0.0325m \\ \frac{L_0}{250} \end{array} \right.$$

3. حساب القيم اللابعدية:

$$N_c = 0.85 f'_c b h = 0.85 \times 25 \times 250 \times 650 = 3453kN$$

$$0.9 \geq \Omega = 0.9 - 0.5 \frac{1400}{3453} = 0.7 \geq 0.65$$

$$K \frac{e}{h} = \frac{M_u}{\Omega f'_c b h^2} = 0.492 \times 0.329 = 0.162$$

$$K = \frac{N_u}{\Omega f'_c b h} = \frac{1400 \times 10^3}{0.7 \times 25 \times 250 \times 650} = 0.492$$

4. حساب نسبة التسليح من مخطط الترابط رقم /3/:

$$m \mu_t = 0.125; m = \frac{f_y}{0.85 f'_c} = \frac{280}{0.85 \times 25} = 13.18 \Rightarrow \mu_t = 0.0095$$

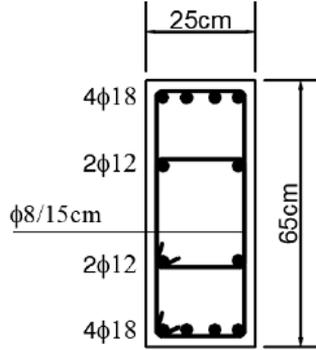
5. مقارنة نسبة التسليح بالنسب العظمى والدنيا، وهي على الترتيب 2.5% و 1%.

إن نسبة التسليح تقل عن نسبة التسليح الدنيا، لذلك يتم اعتبارها تساوي 0.01.

6. حساب مساحة التسليح:

$$A_{s(tot)} = \mu_t b h = 0.01 \times 250 \times 650 = 1625mm^2$$

توزع بشكل متناظر على طرفي المقطع: $A_{s(tot)}/2 = 812.5mm^2 \Rightarrow 4\phi 18$



على الضلع الطويل للمقطع يتم وضع تسليح إنشائي ليصبح التباعد بين القضبان أقل من 300mm وعليه يتم استخدام $2\phi 12$ من كل طرف.

7. التسليح العرضي:

$$\phi \geq \max \begin{cases} 8mm \\ \phi_t / 3 = 6mm \end{cases} \quad \phi = 8mm$$

- القطر
- التباعد

$$S \leq \min \begin{cases} 15\phi_{\min} = 15 \times 12 = 180mm \\ 300mm \\ a = 250mm \end{cases} \quad S = 150mm$$

مثال تطبيقي (2):

عمود من البيتون المسلح يخضع إلى الأحمال الحدية الآتية:

$$N_u = 1340kN, M_u = 268kN.m \text{ ذو عرض معلوم يساوي إلى } 500mm.$$

صمم المقطع إذا علمت أن العمود قصير وأن مواصفات المواد:

$$f_y = 280MPa \quad f'_c = 28MPa \quad d' = 50mm$$

الحل:

1. يتم فرض نسبة تسليح اقتصادية 1% مبدئياً بغية إعطاء فرضية أولى لأبعاد العمود:

من معادلة المقطع الخاضع لضغط بسيط:

$$A_c = \frac{N_u}{0.8\Omega[0.85f'_c + \mu_s f_y]}$$

$$= \frac{1340 \times 10^3}{0.8 \times 0.65[0.85 \times 28 + 0.01 \times 280]} = 96877mm^2$$

ويكون البعد الثاني مساوياً $b = A_c / 500 = 193mm \approx 200mm$

2. حساب اللامركزية:

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{268}{1340} = 0.2m > e_a = 0.025m; \frac{e}{h} = 0.4 = 40\%$$

$$e_a = \max \left\{ \begin{array}{l} 0.025m \\ \frac{h}{20} = 0.025m \\ \frac{L_0}{250} \end{array} \right.$$

3. حساب المتحولات: $f'_c = 28MPa, f_y = 280MPa, \frac{d}{h} = \frac{500-50}{500} = 0.9$

مخطط الترابط المناسب هو رقم /3/.

4. حساب القيم اللابعدية:

$$N_c = 0.85f'_c b h = 0.85 \times 28 \times 200 \times 500 = 2380kN$$

$$0.9 \geq \Omega = 0.9 - 0.5 \frac{1340}{2380} = 0.62 < 0.65 \Rightarrow \Omega = 0.65$$

$$K \frac{e}{h} = \frac{M_u}{\Omega f'_c b h^2} = 0.736 \times 0.4 = 0.295$$

$$K = \frac{N_u}{\Omega f'_c b h} = \frac{1340 \times 10^3}{0.65 \times 28 \times 200 \times 500} = 0.736$$

5. حساب نسبة التسليح من مخطط الترابط رقم /3/:

$$m\mu_t = 0.61; m = \frac{f_y}{0.85f'_c} = \frac{280}{0.85 \times 28} = 11.76 \Rightarrow \mu_t = 0.0518 > 0.025$$

المقطع غير مقبول الأبعاد. بزيادة البعد الصغير إلى 350mm:

$$0.9 \geq \Omega = 0.9 - 0.5 \frac{1340}{4165} = 0.74 > 0.65$$

$$N_c = 0.85f'_c b h = 0.85 \times 28 \times 350 \times 500 = 4165kN$$

$$K \frac{e}{h} = \frac{M_u}{\Omega f'_c b h^2} = 0.37 \times 0.4 = 0.147$$

$$K = \frac{N_u}{\Omega f'_c b h} = \frac{1340 \times 10^3}{0.74 \times 28 \times 350 \times 500} = 0.37$$

حساب نسبة التسليح من مخطط الترابط رقم /3/:

$$m\mu_t = 0.11; m = \frac{f_y}{0.85f'_c} = \frac{280}{0.85 \times 28} = 11.76 \Rightarrow \mu_t = 0.00935 < 0.01$$

6. مقارنة نسبة التسليح بالنسب العظمى والدنيا وهي على الترتيب 2.5% و 1%.

إن نسبة التسليح تقل عن نسبة التسليح الدنيا لذلك يتم اعتبارها تساوي 0.01.

7. حساب مساحة التسليح:

$$A_{s(tot)} = \mu_t bh = 0.01 \times 350 \times 500 = 1750 \text{mm}^2$$

توزع بشكل متناظر على طرفي المقطع:

$$A_{s(tot)} / 2 = 875 \text{mm}^2 \Rightarrow 3\phi 20 = 942 \text{mm}^2$$

على الضلع الطويل للمقطع يتم وضع تسليح إنشائي ليصبح التباعد بين القضبان أقل من 300mm وعليه يتم استخدام 2 ϕ 16.

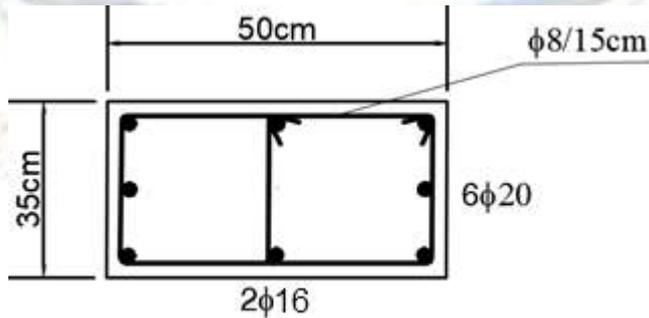
8. التسليح العرضي:

$$\phi \geq \max \begin{cases} 8 \text{mm} \\ \phi_t / 3 = 6.667 \text{mm} \end{cases} \quad \phi = 8 \text{mm}$$

• القطر

• التباعد

$$S \leq \min \begin{cases} 15\phi_{\min} = 15 \times 12 = 180 \text{mm} \\ 300 \text{mm} \\ a = 250 \text{mm} \end{cases} \quad S = 150 \text{mm}$$



9-7 طريقة العزم الوهمي تصميم المقاطع الخاضعة إلى لا مركزية كبيرة M_{us} Approach:

في حال كون اللامركزية كبيرة (القوة تطبق خارج المقطع) فإن المقطع يقع في منطقة الانهيار بالشد Tension Failure Zone إذ يكون الإجهاد في الفولاذ أكبر من إجهاد الانفعال. في هذه المقاطع

إذا كان التسليح متناظراً فإنه يمكن استخدام مخططات الترابط الجاهزة. ولكن كما وُجد سابقاً فإنّ التسليح المتناظر في هذه الحال غير اقتصادي ولا بد من أن يكون التسليح المشدود أكبر من التسليح المضغوط بنسبة لا تقل عن 60%، وبالتالي يوجد طريقتان، إما أن يتم رسم مخطط ترابط خاص بالعنصر المدروس وإما أن يتم اللجوء إلى طريقة العزم الوهمي. إن هذه الطريقة تقريبية، ونسبة التقريب فيها تأتي من إهمال التسليح المضغوط وعليه لا يمكن استخدامها في حال كون قيمة تسليح الضغط كبيرة.

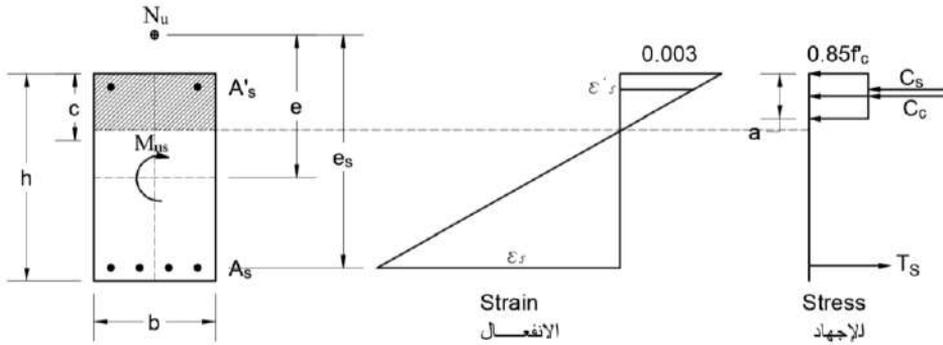
- في هذه الطريقة يتم حساب العزم حول مركز التسليح المشدود ويسمى M_{US} :

$$M_{ns} = M_n + N_n \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

$$M_{ns} = N_n e_s$$

$$e_s = e + \frac{h}{2} - d'$$

إذ:



الشكل (7-15) لا مركزية العزم الوهمي

يتم حساب نقطة التوازن من أجل التأكد من أن نوع الانهيار هو انهيار بالشد:

- بأخذ مجموع عزوم القوى الداخلية حول مركز الفولاذ المشدود:

$$M_{ns} = \left[C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right]$$

$$M_{ns} = \left[0.85 f_c' b a \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') \right] \quad (1-7)$$

- يُعطي توازن القوى: القوى الخارجية = القوى الداخلية

$$N_n = C_c + C_s - T_s$$

$$N_n + A_s f_y = 0.85 f_c' b a + A_s' f_y$$

$$A_s = \frac{0.85f_c'ba}{f_y} - \frac{N_n}{f_y} + A_s' \quad (2-7)$$

من المعادلة (1-7) يمكن الكتابة:

$$0.85f_c'ba = \frac{M_{ns}}{\left(d - \frac{a}{2}\right)} - A_s'f_y \frac{(d-d')}{\left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$\frac{0.85f_c'ba}{f_y} = \frac{M_{ns}}{f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} - A_s' \frac{(d-d')}{\left(d - \frac{a}{2}\right)} \quad (3-7)$$

بتعويض (3-7) في (2-7):

$$A_s = \frac{M_{ns}}{f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} - A_s' \frac{(d-d')}{\left(d - \frac{a}{2}\right)} - \frac{N_n}{f_y} + A_s' \quad (4-7)$$

$$A_s = \frac{M_{ns}}{f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} - \frac{N_n}{f_y} + A_s' \left[1 - \frac{(d-d')}{\left(d - \frac{a}{2}\right)} \right]$$

بإهمال الحد الثالث من المعادلة السابقة لأن قيمته صغيرة جداً نسبياً وبالقسمة على عامل تخفيض المقاومة:

$$A_s = \frac{M_{us}}{\Omega f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} - \frac{N_u}{\Omega f_y}$$

إن الحد الأول من لمعادلة هو تصميم التسليح من أجل الانعطاف البسيط وفق الطريقة الخديّة. هذه الطريقة قابلة للتطبيق عندما تكون قوة الضغط صغيرة جداً بالنسبة إلى قوة الضغط التوازنيّة $N_u \ll N_{ub}$ إذ تكون قيمة تسليح الضغط صغيرة جداً. بينما عندما تزيد قوة الضغط المطبقة وتقترب من الحمولة التوازنيّة تزداد نسبة تسليح الضغط وتصبح فكرة إهمال الحد الخاص بتسليح الضغط غير صحيحة، خاصّةً في النسب العالية لتسليح الشد. تطبق هذه الطريقة عادة في تصميم الشيناجات في الأبنية المقاومة للزلازل إذ يتم تحميل الشيناج بحمولة ناظمية تساوي إلى 10% من الحمولة المحورية الأعظم بين حمولتي العمودين على طرفي الشيناج إضافةً إلى عزم الانعطاف الناتج عن الأحمال الشاقولية، إن قيمة هذه الحمولة الناظمية تكون غالباً صغيرة وتخضع لشروط طريقة العزم الوهمي. في حال كون القوة الناظمية شادة يكون:

$$M_{ns} = N_n e_s$$

$$e_s = e - \frac{h}{2} + d'$$

$$A_s = \frac{M_{us}}{\Omega f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)} + \frac{N_u}{\Omega f_y}$$

مثال:

مقطع بيتوني مستطيل أبعاده $250 \times 600 \text{mm}$ إذا كان خاضعاً إلى قوة ضغط حدية قدرها 150kN وعزم انعطاف حدي قدره 200kN.m ، احسب التسليح علماً بأن نسبة تسليح الضغط إلى تسليح الشد تساوي إلى 0.2 .

$$f_y = 360 \text{MPa} \quad f'_c = 20 \text{MPa} \quad d' = 50 \text{mm}$$

الحل:

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{200}{150} = 1.33 \text{m} \Rightarrow \frac{e}{h} = 2.22$$

• يتم حساب اللامركزية:

• باتباع طريقة العزم الوهمي يتم حساب العزم حول منسوب الفولاذ المشدود:

$$M_{us} = M_u + N_u \left(\frac{h}{2} - d' \right) = 200 + 150(300 - 50)10^{-3} = 237.5 \text{kN.m}$$

وبطريقة أخرى:

$$e_s = e + \frac{h}{2} - d' = 1.33 + 0.3 - 0.05 = 1.58 \text{m}$$

$$M_{us} = N_u e_s = 150 \times 10^3 \times 1.58 = 237000 \text{N.m} = 237 \text{kN.m}$$

• مساحة تسليح الشد: يتم حساب الحد الأول وهو ناتج عن التصميم على الانعطاف:

$$A_s = \frac{M_{us}}{\Omega f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)} - \frac{N_u}{\Omega f_y}$$

المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f'_c b d^2}$	0.205
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.232
$\alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y}$	$0.27 > 0.232$

$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.884
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \text{ mm}^2$	1504
$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \text{ mm}^2$	343.75
$A_{s \max} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f'_c}{f_y} \right] b_w d \text{ mm}^2$	1755.4

$$A_s = 1504 - \frac{150 \times 10^3}{0.9 \times 360} = 1041 \text{ mm}^2$$

- مساحة تسليح الضغط: بفرض مساحة تسليح ضغط تساوي إلى 20% من تسليح الانعطاف البسيط وهي نسبة تسليح التعليق:

$$A'_s = 0.2 \times 1504 = 300.8 \text{ mm}^2$$

- التحقق من القوة الحديدية التوازنية:

$$c_b = \frac{630}{630 + f_y} d = \frac{630}{630 + 360} 550 = 350 \text{ mm}$$

$$f'_s = 630 \frac{c - d'}{c} = 630 \frac{350 - 50}{350} = 540 \text{ MPa} > f_y \Rightarrow f'_s = f_y$$

$$f_s = 630 \frac{d - c}{c} = 630 \frac{550 - 350}{350} = 360 = f_y$$

- القوى والعزوم الداخلية:

$$a_b = 0.85 c_b = 0.85 \times 350 = 297.5 \text{ mm}$$

قوة الضغط في البتوتون:

$$C_c = 0.85 f'_c \times b \times a = 0.85 \times 20 \times 250 \times 297.5 = 1264375 \text{ N} = 1264.4 \text{ kN}$$

قوة الضغط والتشد في الفولاذ:

$$C_s = A'_s f'_s = 300.8 \times 360 = 108288 \text{ N} = 108.3 \text{ kN}$$

$$T_s = A_s f_s = 1041 \times 360 = 374760 = 374.8 \text{ kN}$$

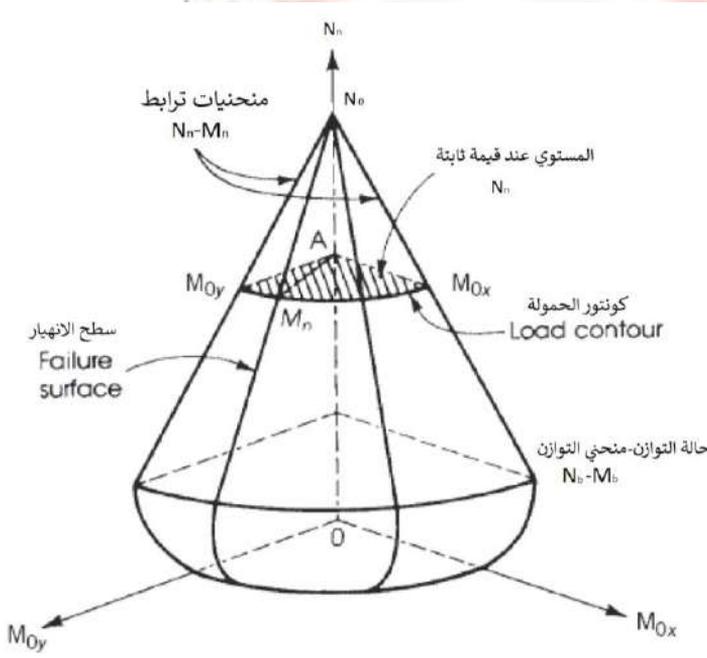
القوة الاسمية التي يتحملها المقطع:

$$N_{nb} = C_s + C_c - T_s = 1264.4 + 108.3 - 374.8 = 997.9kN$$

$$N_{ub} = 0.65N_{nb} = 0.65 \times 997.9 = 648.6kN \gg N_u = 150kN$$

بالمقارنة يُلاحظ أن القوة المحورية المطبقة أصغر بكثير من القوة التوازنية وهذا يعني أن الفرض صحيح.

10-7 المقاطع الخاضعة إلى عزم منحرف Biaxial Sections Subjected to Bending



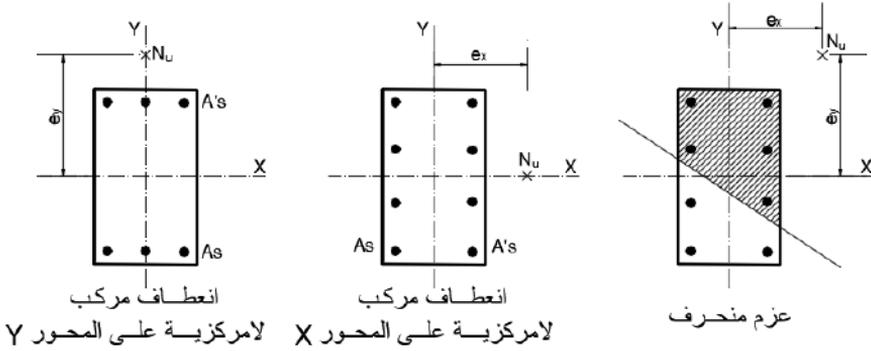
تتعرض الكثير من الأعمدة إلى عزم منحرف (عزم ثنائي المحور) إذ يكون الانعطاف حول محوري العنصر كما هو مبين بالشكل، على سبيل المثال الأعمدة الركنية في الأبنية الإطارية، إذ تنقل الجيزان بالاتجاهين عزوماً إلى الأعمدة. ركائز الجسور غالباً ما تتعرض إلى عزم منحرف.

الشكل (7-16) مخطط الترابط للعزم المنحرف

في حالة الانعطاف المركب كانت القوة الناظمية اللامركزية N_n مطبقة إما بلامركزية على المحور Y فيكون العزم المرافق لها حول المحور X $M_{nx} = N_n e_y$ ، وإما أن تكون مطبقة بلامركزية حول المحور X فيكون العزم المرافق لها حول المحور Y $M_{ny} = N_n e_x$. في حالة العزم المنحرف تكون القوة الناظمية مطبقة بلامركزية منحرفة لها مسقط على كل من المحور X والمحور Y فتكون مترافقة في هذه الحالة بالعزمين $M_{nx} = N_n e_y$ و $M_{ny} = N_n e_x$.

إنّ تصميم المقاطع الخاضعة إلى عزم منحرف ليس بالأمر السهل، إذ يكون المحور المحايد مائلاً على المحورين بزواوية معيّنة. ولابد من إنجاز حسابات طويلة بغية تحديد موقع وزاوية ميل المحور المحايد، والقوى الداخلية ونقاط تطبيقها، وأيضاً عزومها حول المحور المحايد.

إن مقاومة المقطع الخاضع إلى عزم منحرف تتمثل بمخطط ترابط ثلاثي البعد Three Dimensional Interaction Curve كما هو مبين بالشكل. إن الجسم مؤلف من سلسلة من منحنيات الترابط المرسومة بشكل شعاعي انطلاقاً من المحور N_n . إن المنحني M_{0x} يمثل مخطط الترابط من أجل انعطاف مركّب- وحيد المحور حول المحور X ، في حين يمثّل المنحني M_{0y} مخطط الترابط الخاص بالانعطاف المركّب- وحيد المحور حول المحور Y . إن المستوي الموافق لحمولة معيّنة N_n يمثل منحني العزم M_n حول أي محور.



الشكل (7-17) لا مركزية العزم والمنحرف والانعطاف المركّب حول X و Y

7-10-1 المقاطع الدائرية الخاضعة إلى عزم منحرف:

إنّ المقاطع الدائرية ذات تناظر قطبي، وعليه فإن لها قدرة التحمل الحدّيّة ذاتها في الاتجاهات كلها. بناءً على ذلك ستكون عملية التصميم هي ذاتها بغض النظر عن اتجاه العزوم. يمكن تصميم الأعمدة الدائرية الخاضعة إلى عزم منحرف وكأنها خاضعة إلى انعطاف مركّب باعتبار ما يأتي:

$$e = \sqrt{e_x^2 + e_y^2} = \frac{M_u}{N_u}$$

$$M_u = \sqrt{M_{ux}^2 + M_{uy}^2} = N_u e$$

العزم الحدّيّ حول المحور X : $M_{ux} = N_u e_y$

العزم الحدّي حول المحور Y: $M_{uy} = N_u e_x$

العزم الحدّي المنحرف المكافئ للعزمين حول X وحول Y: $M_u = N_u e$

مثال:

صمّم عموداً دائرياً ذا قطر 400mm علماً بأنه معرض إلى الجهود الآتية: $M_{ux} = 112kN.m$

$$N_u = 889kN \quad M_{uy} = 78kN.m$$

$$f_y = 420MPa \quad f'_c = 28MPa$$

الحل:

يكون عامل تخفيض المقاومة

$$0.9 \geq \Omega = 0.9 - 0.5 \frac{N_u}{N_c} = 0.75$$

إن العمود خاضع إلى انعطاف منحرف:

• حساب العزم المكافئ

$$M_u = \sqrt{M_{ux}^2 + M_{uy}^2} = \sqrt{112^2 + 78^2} = 136.48kN.m$$

• حساب نسبة التسليح باستخدام مخطط الترابط:

• اللامركزية المكافئة:

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{136.48 \times 10^3}{889} = 153.5mm \Rightarrow \frac{e}{h} = 0.384$$

• نسبة المسافة بين التسليح إلى القطر الكلي بفرض قطر الإسورة 10mm

وقطر التسليح الطولي 25mm:

$$g = \frac{d - d'}{h} = \frac{400 - 2 \times 25 - 2 \times 10 - 25}{400} = 0.79 \approx 0.8$$

• حساب المتحوّلات الأبعديّة:

$$K = \frac{N_u}{\Omega f'_c A_g} = \frac{889 \times 10^3}{0.75 \times 28 \times 125600} = 0.337$$

$$K \frac{e}{h} = \frac{M_u}{\Omega f'_c A_g h} = \frac{136.48 \times 10^6}{0.75 \times 28 \times 125600 \times 400} = 0.129$$

باستخدام مخطّطي الترابط الخاص بعمود دائري رقم (13) من أجل $g=0.8$ يكون:

$$\mu_s = 0.013$$

$$A_s = 0.013 \times 125600 = 1632.8 \text{ mm}^2 \Rightarrow 8\phi 18 = 2032 \text{ mm}^2$$

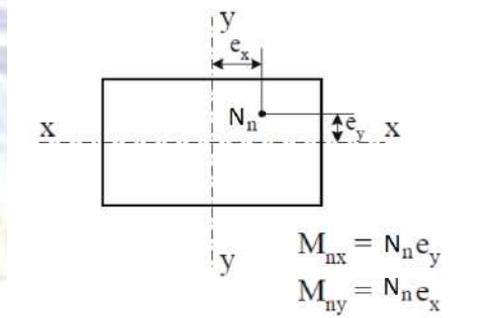
7-10-2 الأعمدة المستطيلة الخاضعة إلى انعطاف منحرف:

إن الطريقة الدقيقة لتصميم المقاطع الخاضعة إلى عزم منحرف معقّدة للغاية وحساباتها تحتاج إلى برمجة حاسوبية. في الحقيقة توجد برمجيات عدة تقوم بتصميم المقاطع الخاضعة إلى انعطاف مركّب أو عزم منحرف بدقة. يُذكر منها Csi-Column – SP-Column – PCACol. أيضاً برمجيات التحليل والتصميم الإنشائي الشامل مثل SAP2000- Etabs-ROBOT-STAAD.Pro وغيرها تتضمن هذه الأدوات.

يمكن التصميم بالطرائق التقريبية باتباع إحدى الطريقتين الآتيتين:

1. طريقة الحمولة التبادلية The Reciprocal Load Method–Bresler Method
2. طريقة كونتور الحمولة The Load Contour Method–Parme Method

إن طريقة الحمولة التبادلية ملائمة أكثر لإجراء تحليل من أجل مقطع أولي مفروض، في حين طريقة كونتور الحمولة تلائم مسائل إيجاد المقطع البيتوني. كلا الطريقتين تعتمد على مبدأ سطح الانهيار من أجل ثلاثة متحوّلات هي الحمولة المحورية الاسميّة N_n عزم الانعطاف الاسميّ حول $X - M_{nx}$ وعزم الانعطاف الاسميّ حول $Y - M_{ny}$ بوجود هذه الجهود مع بعضها تصل الألياف القصوى للمقطع إلى انفعال الانهيار.



الشكل (7-18) لا مركزية العزم المنحرف على المقطع العرضي

أ. طريقة الحمولة التبادلية – بريسلر:

هي طريقة مقدّمة من قبل Boris Bresler من أجل تحقيق الأعمدة المستطيلة الخاضعة إلى انعطاف منحرف. يمكن التعبير عن قدرة تحمل العمود لهذه الحالة الإجهادية بالمعادلة:

$$\frac{1}{N_u} = \frac{1}{N_{ux}} + \frac{1}{N_{uy}} - \frac{1}{N_{u0}}$$

أو بالمعادلة:

$$\frac{1}{N_n} = \frac{1}{N_{nx}} + \frac{1}{N_{ny}} - \frac{1}{N_{n0}}$$

يمكن أيضاً استخدام المتحول اللابعدي K:

$$\frac{1}{K_n} = \frac{1}{K_{nx}} + \frac{1}{K_{ny}} - \frac{1}{K_{n0}}$$

$$K = \frac{N_u}{\Omega f'_c 0.85bh}$$

إذ

إن طريقة بريسلر قابلة للتطبيق طالما كانت القوة المطبقة $N_u \geq N_0 = 0.1f'_c A_g$ في حال كانت القوة المطبقة أصغر من 10% من القوة التي يتحملها البيتون فإنها تهمل ويتم التصميم على الانعطاف البسيط باستعمال المعادلات:

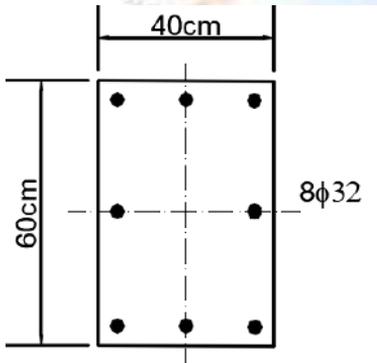
$$\frac{M_{ux}}{M_x} + \frac{M_{uy}}{M_y} \leq 1$$

أو بالمعادلة:

$$\frac{M_{nx}}{M_x} + \frac{M_{ny}}{M_y} \leq 1$$

لا يُنصح بتطبيق طريقة بريسلر في حال كون القوة شادة.

مثال تطبيقي (1):



عمود مستطيل قصير، أبعاد مقطعه 400×600mm

ومسلح بثمانية قضبان قطر 32 موزعة على المحيط كما في

الشكل. أوجد القوة التصميمية للمقطع (التي يتحملها المقطع)

باستعمال طريقة بريسلر باعتبار القوة ذات لامركزية

$$e_x = 200mm, e_y = 300mm$$

$$f_y = 414MPa \quad f'_c = 35MPa$$

الحل:

1. إيجاد قدرة تحمل العمود N_{nx} بلا مركزية على Y قدرها $300mm$:

$$b = 400mm, h = 600mm, d' = 60mm, d = 540mm$$

$$A_s = A'_s = 3\phi 32 = 2412mm^2$$

نسبة اللامركزية إلى الارتفاع أقل من الواحد وعليه يمكن عدُّ الضغط حاكماً:

$$\frac{e_y}{h} = \frac{300}{600} = 0.5$$

وعليه يكون المحور المحايد أسفل المحور المحايد التوازني:

$$c_b = \frac{630}{630 + f_y} d = \frac{630}{630 + 414} 540 = 325.86mm$$

بفرض:

$$c = 335mm > c_b = 325.86mm$$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05(f'_c - 28)}{7} = 0.8$$

قوة الضغط في البيتون:

$$C_c = 0.85f'_c \times b \times a = 0.85 \times 35 \times 400 \times 0.8(335) = 3189200N = 3189.2kN$$

قوة الضغط في الفولاذ:

التحقق من تلدن فولاذ الضغط:

$$f'_s = 630 \left(\frac{c - d'}{c} \right) = 630 \left(\frac{335 - 60}{335} \right) = 517 > f_y$$

$$C_s = A'_s f'_s = 2412 \times 414 = 998568N = 998.6kN$$

القوة الاسمية التي يتحملها المقطع:

$$N_n = C_s + C_c - T_s = 3189.2 + 998.6 - 2412f_s$$

$$f_s = 630 \left(\frac{d - c}{c} \right) = 630 \left(\frac{540 - 335}{335} \right) = 385.5 < f_y$$

$$N_n = C_s + C_c - T_s = 3189.2 + 998.6 - 2412 \times 385.5 / 1000 = 3257.97kN$$

عزم الانعطاف حول مركز الثقل:

$$M_n = N_n e_y = \left[C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) \right]$$

$$= \left[3189.2 \left(300 - \frac{268}{2} \right) + 998.6(300 - 60) + 930.6(300 - 60) \right] 10^{-3} = 992.42kN.m$$

ذلك لأن مركز المقطع البلاستيكي هو في مركز المقطع.

$$N_n = \frac{M_n}{e_y} = \frac{992.42 \times 10^3}{300} = 3308kN$$

إن القيمة التي تم الحصول عليها بالطريقتين متقاربة بفرق لا يزيد عن 1.5%.
انفعال فولاذ الشد:

$$\varepsilon_s = 0.003 \left(\frac{d-c}{c} \right) = 0.003 \left(\frac{540-335}{335} \right) = 0.00184 < 0.002 = \varepsilon_y$$

وعليه فإن عامل تخفيض المقاومة يساوي إلى 0.65.

$$N_{ux} = 0.65N_n = 0.65 \times 3308 = 2150kN$$

2. إيجاد قدرة تحمل العمود N_{ny} بلا مركزية على X قدرها 200mm:

$$b = 600mm, h = 400mm, d' = 60mm, d = 340mm$$

$$A_s = A'_s = 3\phi 32 = 2412mm^2$$

نسبة اللامركزية إلى الارتفاع أقل من الواحد وعليه يمكن عدّ الضغط حاكماً:

$$\frac{e_y}{h} = \frac{200}{400} = 0.5$$

وبالتالي يكون المحور المحايد أسفل المحور المحايد التوازني:

$$c_b = \frac{630}{630 + f_y} d = \frac{630}{630 + 414} 340 = 205.2mm$$

بفرض:

$$c = 210mm > c_b = 205.2mm$$

التحقق من تلدن فولاذ الضغط:

$$f'_s = 630 \left(\frac{c-d'}{c} \right) = 630 \left(\frac{210-60}{210} \right) = 450 > f_y$$

$$C_c = 0.85f'_c \times b \times a = 0.85 \times 35 \times 600 \times 0.8(210) \times 10^{-3} = 2999kN$$

قوة الضغط في الفولاذ:

$$C_s = A'_s f'_s = 2412 \times 414 = 998568N = 998.6kN$$

$$f_s = 630 \left(\frac{d-c}{c} \right) = 630 \left(\frac{340-210}{210} \right) = 390 < f_y$$

$$N_n = C_s + C_c - T_s = 2999 + 998.6 - 2412 \times 390/1000 = 3056.72kN$$

عزم الانعطاف حول مركز ثقل المقطع:

$$M_n = N_n e_x = \left[C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) \right]$$

$$= \left[2999 \left(200 - \frac{168}{2} \right) + 998.6(200 - 60) + 930.6(200 - 60) \right] 10^{-3} = 618 kN.m$$

$$e'_x = e_x + (d - h/2) = 340 mm$$

ذلك لأن مركز المقطع البلاستيكي هو في مركز المقطع.

$$N_n = \frac{M_n}{e_x} = \frac{618 \times 10^3}{200} = 3089.86 kN$$

إن القيمة التي تم الحصول عليها بالطريقتين متقاربة بفرق لا يزيد عن 1%.
انفعال فولاذ الشد:

$$\varepsilon_s = 0.003 \left(\frac{d - c}{c} \right) = 0.003 \left(\frac{340 - 210}{210} \right) = 0.00186 < 0.002 = \varepsilon_y$$

وعليه فإن عامل تخفيض المقاومة يساوي إلى 0.65.

$$N_{uy} = 0.65 N_n = 0.65 \times 3089.86 = 2008.4 kN$$

3- استعمال معادلة بريسler:

$$\frac{1}{N_u} = \frac{1}{N_{ux}} + \frac{1}{N_{uy}} - \frac{1}{N_{u0}}$$

$$N_{u0} = 0.85 f'_c A_g + A_{st} f_y = 0.85 \times 35 \times 400 \times 600 + 6432 \times 414$$

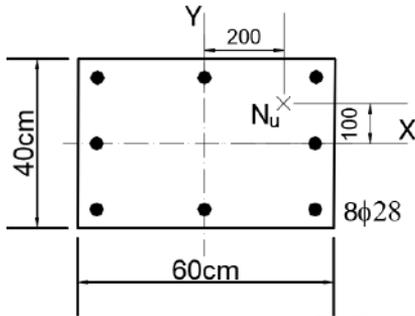
$$= 9802848 N = 9802.85 kN$$

$$N_{u0} = 0.65 \times 9802.85 = 6371.85 kN$$

$$\frac{1}{N_u} = \frac{1}{2150} + \frac{1}{2008.4} - \frac{1}{6371.85} = 0.000806$$

$$N_u = 1240.7 kN$$

مثال تطبيقي (2):



أوجد مقاومة الضغط الاسميّة للعمود القصير المبين بالشكل، علماً أنه يخضع إلى عزم منحرف بلامركزية قدرها:

$$e_x = 200mm, e_y = 100mm$$

$$f_y = 280MPa \quad f'_c = 28MPa$$

الحل:

1. حساب نسبة التسليح:

$$\mu_s = \frac{A_s}{A_g} = \frac{4926}{240000} = 0.0205$$

2. الانحناء حول المحور Y - M_{uY} :

$$\frac{e_x}{h} = \frac{200}{600} = 0.33$$

• نسبة اللامركزية إلى الارتفاع:

• نسبة المسافة بين التسليح إلى الارتفاع الكلي:

$$\frac{h - d'}{h} = \frac{600 - 60}{600} = 0.9$$

• من المخطط رقم /3/ ومن أجل $e/h = 0.33$ و $m\mu_s = 0.24$ يكون:

$$K = \frac{N_u}{\Omega f'_c A_g} = 0.6$$

$$N_{ny} = K f'_c A_g = 4032kN$$

3. الانحناء حول المحور X - M_{uX} :

$$\frac{e_y}{h} = \frac{100}{600} = 0.25$$

• نسبة اللامركزية إلى الارتفاع:

• نسبة المسافة بين التسليح إلى الارتفاع الكلي:

$$\frac{h - d'}{h} = \frac{400 - 60}{400} = 0.85$$

• من المخطط رقم /2/ ومن أجل $e/h = 0.25$ و $m\mu_s = 0.24$ يكون:

$$K = \frac{N_u}{\Omega f'_c A_g} = 0.64$$

$$N_{nX} = K f'_c A_g = 4301kN$$

4. استعمال معادلة بريسler:

$$\frac{1}{N_u} = \frac{1}{N_{ux}} + \frac{1}{N_{uy}} - \frac{1}{N_{u0}}$$

$$N_{u0} = 0.85f'_c A_g + A_{st} f_y = 0.85 \times 28 \times 400 \times 600 + 4926 \times 280 = 7091.3kN$$

$$\frac{1}{N_n} = \frac{1}{4032} + \frac{1}{4301} - \frac{1}{7091.3} = \frac{1}{2945.5}$$

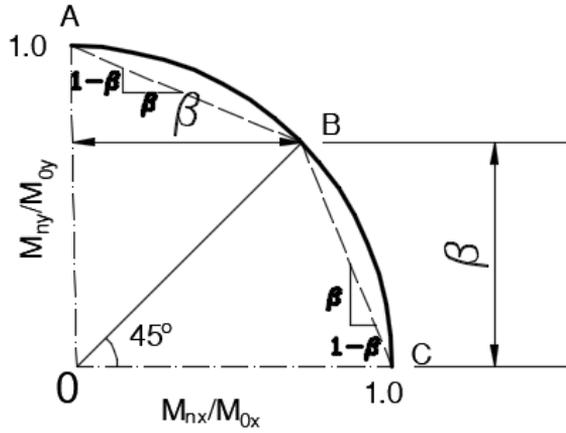
$$N_n = 2945.5kN$$

وهي القوة الناعمة الاسمية التي يتحملها المقطع وفق اللامركزيات المعروفة.

ب. طريقة كونتور الحمولة:

تم طرح هذه الطريقة من قبل مؤسسة الإسمنت البورتلاندي الأمريكية PCA وهي تطوير لطريقة بريسler الأتفة الذكر. مبدأ الطريقة هو أن قدرة تحمل المقطع على العزم المنحرف على كل من X و Y وهي M_{nx} , M_{ny} ذات نسب متساوية بالنسبة إلى قدرة تحمل المقطع للانعطاف المركب على X و Y وهي M_{0x} , M_{0y} بصورة مستقلة.

$$\frac{M_{nx}}{M_{ny}} = \frac{M_{0x}}{M_{0y}} = Const. \quad \frac{M_{nx}}{M_{0x}} = \frac{M_{ny}}{M_{0y}} = \beta$$



الشكل (7-19) طريقة كونتور الحمولة

إنّ النسبة β مبيّنة بالشكل كإحداثيات النقطة B على الكونطور الممثل للجهود النسبية المطبّقة. لتبسيط العمل يمكن تقريب الكونطور إلى مستقيمين AB و BC. إن ميل المستقيم AB يساوي إلى $(1 - \beta) / \beta$ وميل المستقيم BC يساوي إلى $\beta / (1 - \beta)$ وعليه يكون:

$$\bullet \text{ عندما } \frac{M_{nx}}{M_{0x}} < \frac{M_{ny}}{M_{0y}}$$

$$\frac{M_{nx}}{M_{0x}} \frac{(1 - \beta)}{\beta} + \frac{M_{ny}}{M_{0y}} = 1$$

$$\bullet \text{ عندما } \frac{M_{nx}}{M_{0x}} > \frac{M_{ny}}{M_{0y}}$$

$$\frac{M_{nx}}{M_{0x}} + \frac{M_{ny}}{M_{0y}} \frac{(1 - \beta)}{\beta} = 1$$

إن قيمة النسبة β تعتمد على النسبة N_n / N_0 وعلى خصائص المواد. ويمكن القول إنّها تتراوح بين 0.55 و 0.7 من أجل الأعمدة ذات الأعمال العادية. في حال اعتماد التوزيع المنتظم للتسليح على محيط المقطع فإن نسبة قدرة تحمل العزوم المنفردة M_{0y} / M_{0x} تساوي إلى b/h تقريباً إذ إنّ b هي عرض العمود و h هي الارتفاع الكلي للعمود. بالتعويض في المعادلات السابقة يكون:

$$\frac{M_{nx}}{M_{0x}} M_{ny} \frac{(1 - \beta)}{\beta} + M_{ny} = M_{0y}$$

$$M_{0y} \approx M_{nx} \frac{b}{h} \frac{(1 - \beta)}{\beta} + M_{ny}$$

$$M_{nx} + \frac{M_{ny}}{M_{0y}} M_{0x} \frac{(1 - \beta)}{\beta} = M_{0x}$$

$$M_{0x} \approx M_{nx} + M_{ny} \frac{h}{b} \frac{(1 - \beta)}{\beta}$$

من أجل $\beta = 0.65$ كقيمة متوسطة وباعتبار نسبة الارتفاع إلى العرض تساوي إلى 1.5:

$$M_{0y} \approx M_{ny} + 0.36M_{nx}$$

$$M_{0x} \approx M_{nx} + 0.8M_{ny}$$

يمكن الحصول على $(1 - \beta) / \beta$ من المعادلة التقريبية: $R = \frac{N_u}{0.85 f_c' b h}$; $R = 0.9 - \frac{R}{2}$

فتكون قيمها كما في الجدول (3-7).

الجدول (3-7) قيم $(1 - \beta) / \beta$

$\frac{N_u}{0.85f'_c b h}$	0.2	0.3	0.4	0.5	>0.6
$(1-\beta)/\beta$	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6

مثال تطبيقي (1):

عمود ركني قصير خاضع إلى حمولة بلامركزية منحرفة على المحورين X و Y، صمم العمود بمقطع مستطيل إذا علمت أن:

$$N_u = 1500kN, e_x = 65mm, e_y = 200mm$$

$$f_y = 420MPa \quad f'_c = 28MPa$$

الحل:

- الثابت β : بفرض أبعاد العمود $250 \times 750mm$:

$$R = \frac{N_u}{0.85f'_c b h} = \frac{1500 \times 10^3}{0.85 \times 28 \times 250 \times 750} = 0.336$$

$$(1-\beta)/\beta = 0.9 - \frac{R}{2} = 0.9 - \frac{0.336}{2} = 0.732$$

- العزوم الحديدية المكونة للعزم المنحرف:

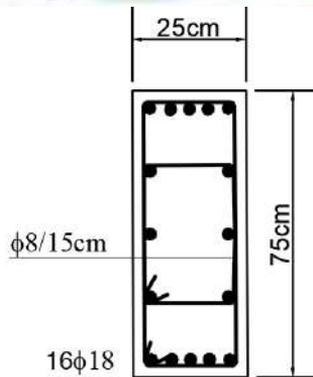
$$M_{ux} = N_u e_y = 1500 \times 0.2 = 300kN.M$$

$$M_{uy} = N_u e_x = 1500 \times 0.065 = 97.5kN.M$$

- بما أن M_{ux} هو الأكبر يكون العزم التصميمي حول المحور X:

$$M_{0x} \approx M_{nx} + M_{ny} \frac{h(1-\beta)}{\beta}$$

$$M_{0x} \approx 300 + \frac{750}{250} 0.732 \times 97.5 = 514.11kN.m$$



إيجاد نسبة التسليح من مخطط الترابط:

$$g = \frac{d - d'}{h} = \frac{750 - 2 \times 35}{750} = 0.9$$

$$K = \frac{N_u}{\Omega 0.85 f'_c b h} = \frac{1500 \times 10^3}{0.732 \times 0.85 \times 28 \times 250 \times 750} = 0.459$$

$$K \frac{e}{h} = \frac{M_u}{\Omega f'_c A_g h} = \frac{514.11 \times 10^6}{0.732 \times 28 \times 250 \times 750^2} = 0.178$$

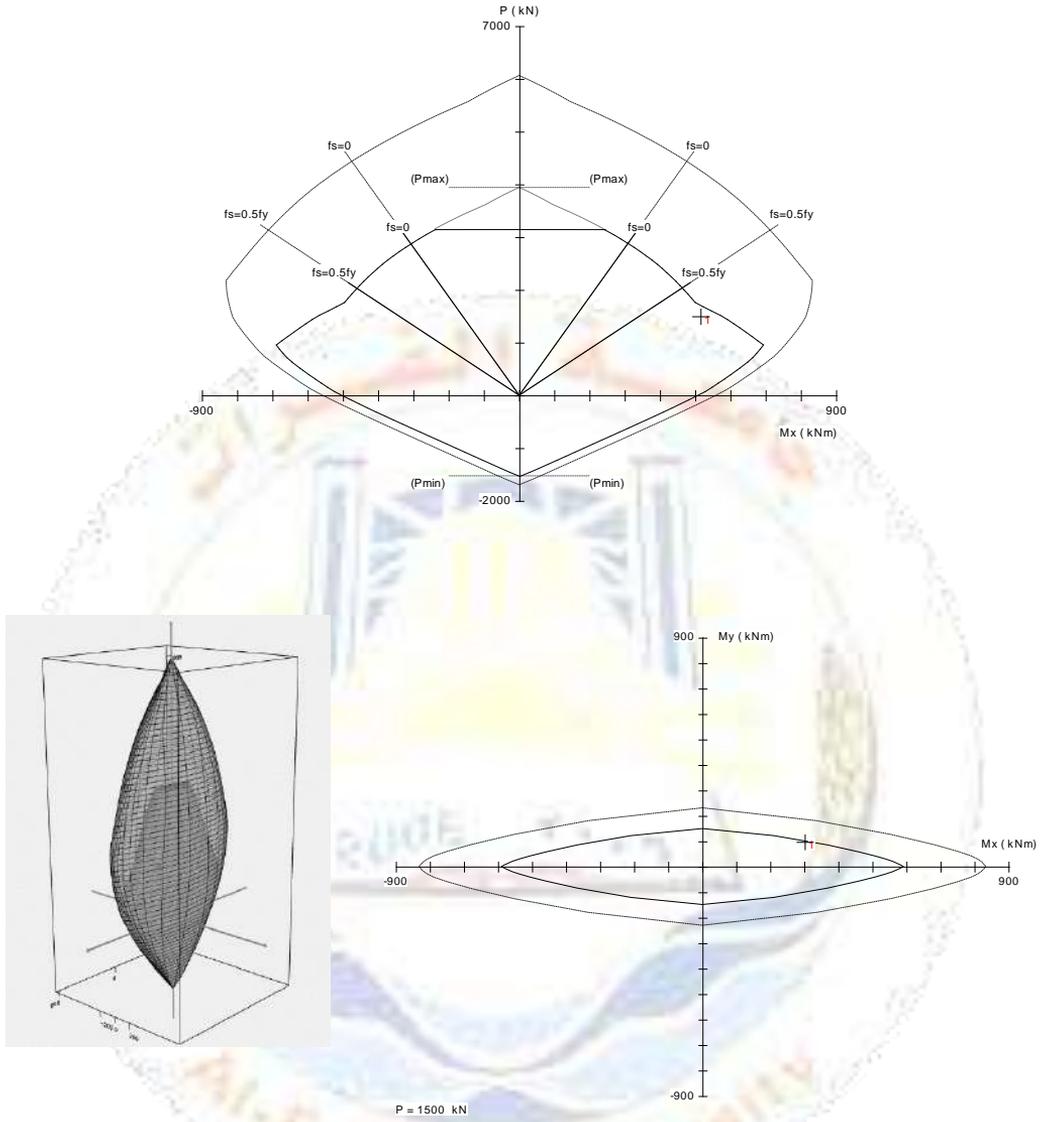
باستخدام مخطط الترابط الخاص بتسليح منتظم رقم /6/ يكون:

$$\mu_s = 0.022 < 0.025$$

$$A_s = 0.022 \times 250 \times 750 = 4125 \text{mm}^2 \Rightarrow 16\phi 18 = 4579 \text{mm}^2; \mu_s = 0.0244$$

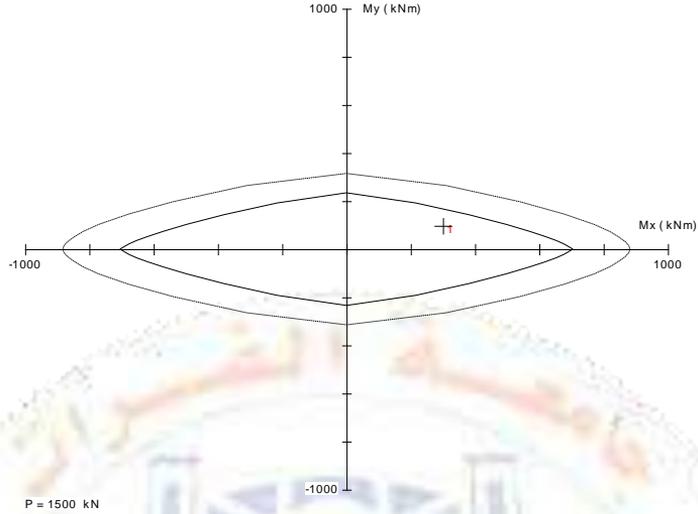
توزع خمس قضبان على كل طرف:

ويتم التحقق برسم مخطط الترابط الخاص بالمقطع من أجل الانعطاف المركب.



مخطط الترابط ثلاثي الأبعاد ومقطع أفقي ورأسي عند نقطة التحميل

لدى رسم مخطط الترابط ثلاثي البعد من أجل الانعطاف المنحرف وجد أن المقطع محقق ولكن من دون هامش أمان لذلك يفضل زيادة مقطع البيتون إلى $300 \times 750 \text{ mm}$ مثلاً.



مقطع أفقي عند نقطة التحميل من أجل أبعاد 300X750mm

مثال تطبيقي (2):

أعد تصميم العمود في المثال السابق بوصف مقطع العمود مربعاً:

الحل:

بما أن مقطع العمود مربع والتسليح موزع بشكل متناظر على محيط العمود، فإنّ كونتور الحمولة أقرب إلى القطع الناقص. ويمكن الحصول على عزم الانعطاف المركّب المكافئ حول أحد المحورين من المعادلة:

$$M_{0x} = M_{ux} + M_{uy}$$

$$M_{0x} = 300 + 97.5 = 397.5$$

بفرض طول ضلع المقطع المربع 450mm:

إيجاد نسبة التسليح من مخطط الترابط:

$$g = \frac{d - d'}{h} = \frac{450 - 2 \times 45}{450} = 0.9$$

$$0.9 \geq \Omega = 0.9 - 0.5 \frac{N_u}{N_c} = 0.9 - 0.5 \frac{1500 \times 10^3}{0.85 \times 28 \times 450^2} = 0.744 \geq 0.65$$

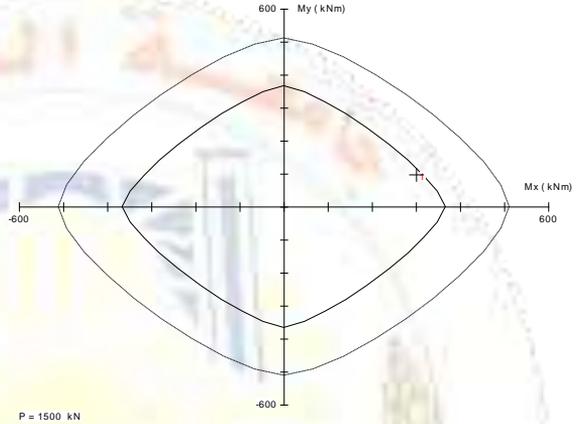
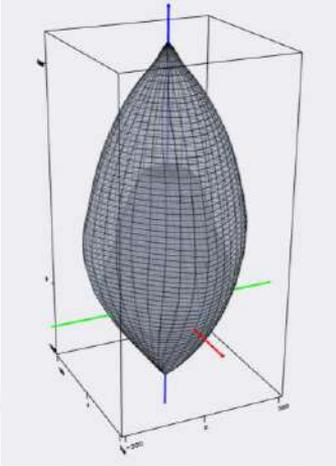
$$K = \frac{N_u}{\Omega 0.85 f'_c b h} = \frac{1500 \times 10^3}{0.744 \times 0.85 \times 28 \times 450^2} = 0.418$$

$$K \frac{e}{h} = \frac{M_u}{\Omega f'_c A_g h} = \frac{397.5 \times 10^6}{0.744 \times 28 \times 450^3} = 0.21$$

باستخدام مخطط الترابط الخاص بتسليح منتظم رقم 6/ يكون:

$$\mu_s = 0.023 < 0.025$$

$$A_s = 0.023 \times 450 \times 450 = 4657.5 \text{ mm}^2 \Rightarrow 16\phi 20 = 5024 \text{ mm}^2; \mu_s = 0.0248$$



مخطط الترابط ثلاثي الأبعاد ومقطع أفقي عند نقطة التحميل

الفصل الثامن

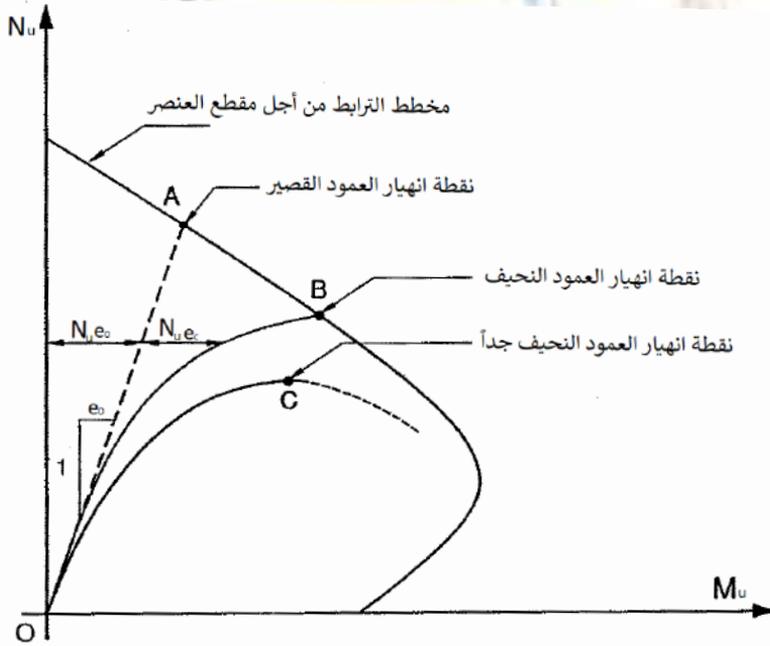
الأعمدة النحيفة الخاضعة إلى انعطاف مركب

Slender Columns under Eccentric Load

1-8 مقدمة:

من أجل عمود قصير خاضع إلى قوة محورية ذات لامركزية قدرها e_0 تكون نقطة الانهيار هي النقطة A على مخطط الترابط كما في الشكل، في حين تحصل مركزية إضافية e_c في منتصف ارتفاع العمود في حال كون العمود نحيفاً بسبب التحنّب وعليه يكون هناك عزم إضافي $N_u e_c$ وتصبح نقطة الانهيار على مخطط الترابط هي B. إن هذا النقصان في قدرة تحمل القوة المحورية ناتج عن تأثير النحافة Slenderness Effect. وبما أنّ الانهيار لا يزال يحدث في نقطة واقعة على مخطط الترابط فلا يزال الانهيار انهياراً في المادة Material Failure.

عندما يكون العمود نحيفاً جداً يحصل الانهيار في النقطة C. إنّ هذا النوع من الانهيار يسمّى انهيار استقرار Stability Failure لأن القوة التي ينهار عندها العمود أقل من القوة الفعلية التي تنهار عندها مادة العمود الممثلة بمنحني مخطط الترابط.



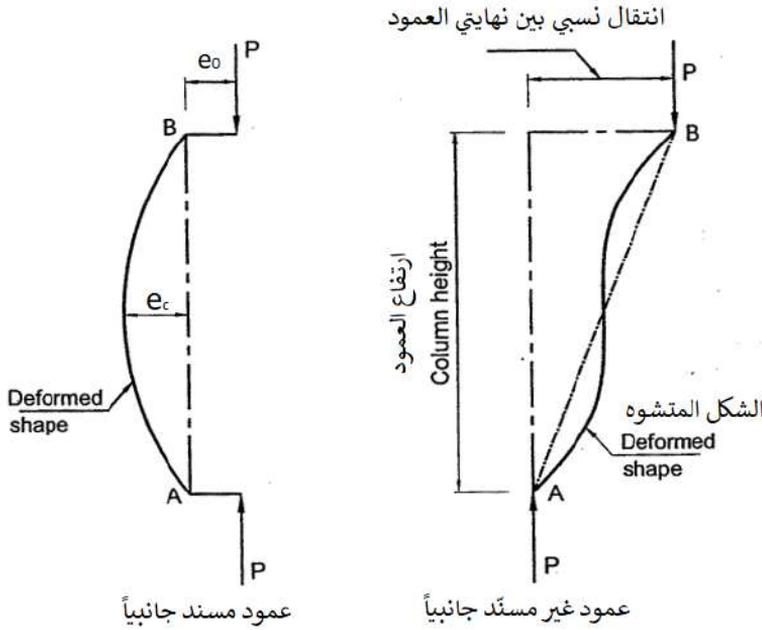
الشكل (1-8) نقطة انهيار العمود النحيف على مخطط الترابط

2-8 العزوم الإضافية الناتجة عن تحنّب الأعمدة:

1-2-8 تشوهات الأعمدة النحيفة المسندة وغير المسندة ضد الانزياح الجانبي:

• الأعمدة المسندة جانبياً Braced Columns–Nonsway Columns

تتعرض الأعمدة النحيفة المحملة محورياً إلى عزوم إضافية ناتجة عن اللامركزية الناتجة عن انحناء محور العنصر عن الشاقول e_c هذه العزوم ناتجة عن تأثيرات استقرار العنصر Stability Effect. وفي حال كون الحمولة لا مركزية بالأصل بلامركزية ولتكن e_0 تضاف اللامركزية الناتجة عن التحنيب إلى لامركزية الحمولة.



الشكل (2-8) تشوهات الأعمدة النحيفة المسندة وغير المسندة جانبياً

• الأعمدة غير المسندة جانبياً Unbraced Columns–Sway Columns:

تتعرض الأعمدة النحيفة في هذه الحالة إلى عزوم إضافية ناتجة عن تأثير الإزاحة الطابقية، إذ إن كل طابق ينزاح جانبياً بالنسبة إلى الطابق الذي أدناه Lateral Story Drift Effect وفي هذه الحالة تأثير التحنيب سيكون صغيراً بالنسبة إلى الإزاحة الطابقية. من الجدير بالذكر أن الأعمدة القصيرة تتعرض أيضاً إلى الإزاحة الطابقية ولكنها غير مترافقة مع تأثيرات استقرار العنصر. بينما يكون العزم الإضافي أكبر في الأعمدة النحيفة بسبب الجمع بين الإزاحة الطابقية وتأثيرات التحنيب.

8-2-2 حساب العزوم التصميمية الناتجة عن التحنيب في الأعمدة:

تحسب العزوم التصميمية في الأعمدة النحيفة في حال كون النحافة λ لا تزيد على 100 كما

يأتي:

$$M_{ui} = N_{ui}(e_0 + e_c)$$

$$e_0 = \frac{M_{ui}}{N_{ui}} \geq e_a$$

e_0 : اللامركزية الأصلية الناتجة عن الأحمال والتأثيرات الخارجية ولا تقل عن المركزية الطارئة.

e_c : اللامركزية الناتجة عن التحنيب.

e_a : اللامركزية الطارئة وتؤخذ الأكبر من القيم الآتية:

$$e_a = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{25mm}{h} \\ 20 \\ \frac{L_0}{250} \end{array} \right.$$

هذا ولا تقل اللامركزية الكلية $(e_0 + e_c)$ عن $0.08h$ حتى في حال انعدام e_c .

h : بعد العمود في اتجاه التحنيب المدروس.

L_0 : الطول الحر للعمود.

• اللامركزية الإضافية الناتجة عن التحنيب:

العمود نحيف في الاتجاه a حول المحور Y :

$$e_c = \frac{\lambda^2(a + e_0)}{30000} \beta \leq \lambda^2 \beta \frac{a}{15000}$$

العمود نحيف في الاتجاه b حول المحور X :

$$e_c = \frac{\lambda^2(b + e_0)}{30000} \beta \leq \lambda^2 \beta \frac{b}{15000}$$

a, b تمثل الضلع في اتجاه التحنيب، الذي يتم تكعيبه عند حساب العطالة أي الارتفاع h .

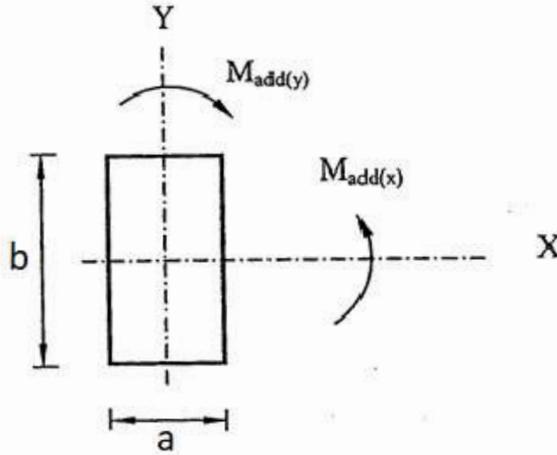
العامل β يسمى عامل جريان البيتون ويساوي إلى:

- في الجو الجاف: $\beta = 1.65 - 0.65\alpha$

- في الجو الرطب: $\beta = 1.30 - 0.33\alpha$

$$\alpha = \left| \frac{M_{us}}{M_u} \right| \leq 1 \quad \text{إذ إن:}$$

في حال كون المعامل ألفا سالب فإنه يؤخذ بالقيمة المطلقة بحيث لا يزيد على الرقم واحد. M_{us} : العزوم الناتجة عن الأحمال الآتية وتشمل أحمال الرياح، الهزات الأرضية، وأحمال المركبات أو الآلات المتحركة (متضمنة الأثر الديناميكي) وكذلك الحمل الحي المطبق على السطوح ذات الاستعمال القليل أو النادر.



الشكل (3-8) العزوم الإضافية في الأعمدة

- العزم M_{ui} يمثل العزم الحدي الأصلي المطبق في القطاع الحرج فيما تكون N_{ui} القوة الناطمية الحدية المرافقة له.

○ في حال عمود مسنداً جانبياً يؤخذ من العلاقة:

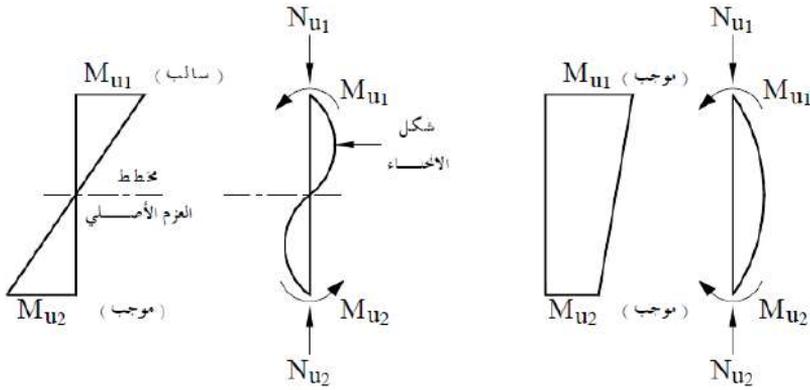
$$M_{ui} = 0.6M_{u1} + 0.4M_{u2} \geq 0.4M_{u1}$$

M_{u1} : العزم الأكبر بالقيمة المطلقة والمطبق على أحد طرفي العمود ويؤخذ موجباً دوماً.

M_{u2} : العزم الأصغر بالقيمة المطلقة والمطبق على الطرف الآخر للعمود ويؤخذ موجباً

إذا كان العمود باتجاه منحنياً باتجاه واحد وسالباً إذا كان العمود منحنياً باتجاهين

(موثوق من الطرفين).



عمود مسنود منحني باتجاهين

عمود مسنود منحني باتجاه واحد

الشكل (4-8) العزوم الأصلية المطبقة على الأعمدة

○ في حال عمود غير مسند جانبياً يعدّ العزم الأعظمي على الإطلاق في كل من قطاعات العمود المضغوط بالقيمة المطلقة (سواءً أكان M_{u1} أو M_{u2}).

وتكون قيمة اللامركزية في هذه الحالة مساويةً إلى $e_{av} = \frac{\sum e_i}{n}$

e_{av} : متوسط الإزاحات في الطابق.

e_i : الإزاحة في كل عمود من الطابق المدروس.

n : عدد الأعمدة في الطابق المدروس.

عندما تكون أية قيمة للإزاحة e_i أكبر من ضعف الإزاحة المتوسطة e_{av} فإنه يتم حذفها

من الحسابات، وإنقاص العدد.

n بما يتناسب مع ذلك.

مثال تطبيقي على حساب العزوم التصميمية الناتجة عن التحنيب (1):

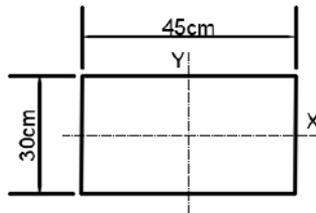
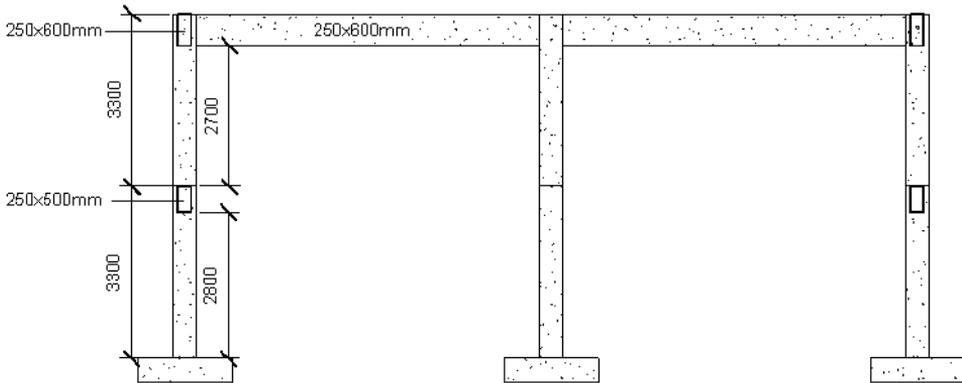
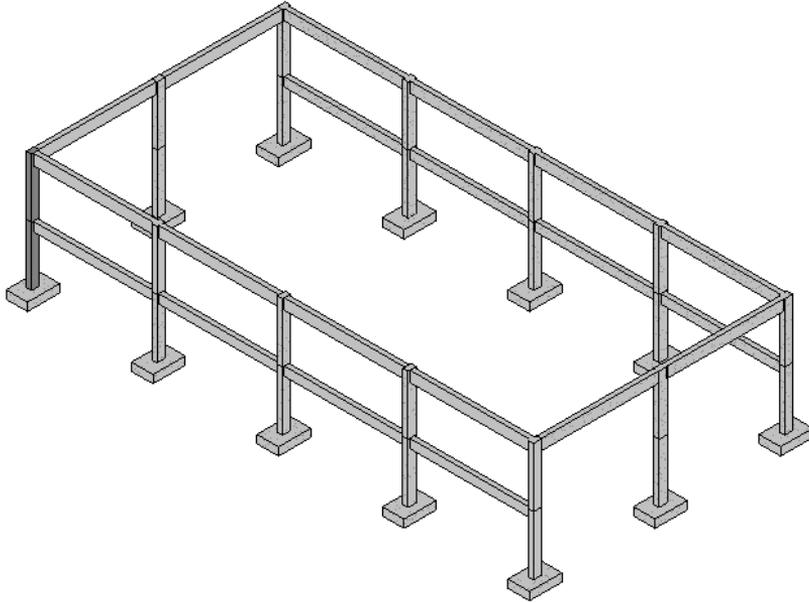
ادرس التحنيب في العمود المستطيل الركني المبين بالشكل، وصمّمه بالطريقة الدقيقة ليحمل حمولة محورية حدية قدرها 1500kN إذ تمّ إظهار مجسم ثلاثي البعد ومقطع طولي. العمود غير مسند جانبياً وفق الاتجاه X والاتجاه Y. استناد العمود عند الأساس موثوق والوسط جاف. طول مجاز الجائز من الطرفين 6m.

$$f_y = 360MPa \quad f'_c = 28MPa$$

الحل:

1. التحنيب وفق الاتجاه X: M_y وبعد العمود في اتجاه التحنيب هو 450mm

- طول العمود الحر في الاتجاه Y يساوي $L_0=6.6-0.6=6m$:



- عامل التشكل: العمود غير مسند جانبيًا:

$$k = \min \begin{cases} 1 + 0.15(\psi_A + \psi_B) \geq 1 \\ 2 + 0.3(\psi_{\min}) \geq 1 \end{cases}$$

وتُحسب صلابة العقد كما يأتي:

$$\psi = \frac{\sum E_C I_C / L_C}{\sum E_B I_B / L_B} \geq 0.4$$

عزم عطالة العمود:

$$I_C = 0.7I_g = 0.7 \frac{ba^3}{12} = 0.7 \frac{0.3 \times 0.45^3}{12} = 1.595 \times 10^{-3} m^4$$

عزم عطالة الجائز:

$$I_B = 0.35I_g = 0.35 \frac{bh^3}{12} = 0.35 \frac{0.25 \times 0.6^3}{12} = 1.575 \times 10^{-3} m^4$$

صلابة العقدة العلوية:

$$\psi_A = \frac{\frac{1.595 \times 10^{-3}}{6.6}}{\frac{1.575 \times 10^{-3}}{6}} = 0.92 > 0.4$$

صلابة العقدة السفلية: $\psi_B = 0.4$ نهاية موثوقة.

$$k = \min \begin{cases} 1 + 0.15(\psi_A + \psi_B) = 1.198 \geq 1 \\ 2 + 0.3(0.4) = 2.12 \geq 1 \end{cases} \quad k = 1.198$$

ويكون معامل النحافة:

$$\lambda = \frac{L_b}{0.289a} = \frac{1.198 \times 6}{0.289 \times 0.45} = 55.27 > 22$$

والعمود نحيف وفقاً للاتجاه X

• العزم الإضافي وفقاً للاتجاه X:

$$e_c = \frac{\lambda^2 (b + e_0)}{30000} \beta \leq \lambda^2 \beta \frac{b}{15000}$$

العامل β يسمى عامل جريان البيتون ويساوي إلى:

- في الجو الجاف: $\beta = 1.65 - 0.65\alpha$

$$\alpha = \left| \frac{M_{us}}{M_u} \right| \leq 1 \quad \text{إذ إن:}$$

$$M_{us} = 0 \Rightarrow \alpha = 0$$

M_{us} : العزوم الناتجة عن الأحمال الآتية وتشمل أحمال الرياح، الهزات الأرضية وأحمال المركبات أو الآلات المتحركة (متضمنة الأثر الديناميكي) وكذلك الحمل الحي المطبق على السطوح ذات الاستعمال القليل أو النادر.

$$\beta = 1.65 - 0.65\alpha = 1.65$$

$$e_0 = e_a = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{25mm}{20} = 1.25mm \\ \frac{b}{20} = \frac{450}{20} = 22.5mm \\ \frac{L_0}{250} = \frac{6000}{250} = 24mm \end{array} \right. \quad e_a = 0.025m$$

$$e_c = \frac{\lambda^2(b + e_0)}{30000} \beta = \frac{55.27^2(0.45 + 0.025)}{30000} 1.65$$

$$= 0.0798m \leq \lambda^2 \beta \frac{b}{15000} = 55.27^2 \times 1.65 \frac{0.45}{15000} = 0.151m$$

• العزم الإضافي وفق الاتجاه X:

$$M_{addY} = N_u e_c = 1500 \times 0.0798 = 119.73 kN.m$$

$$M_{totY} = N_u (e_0 + e_c) = 1500(0.025 + 0.0798) = 157.23 kN.m$$

$$e_0 + e_c = 0.025 + 0.0798 = 0.105 > 0.08b = 0.08 \times 0.450 = 0.036m$$

2. التحنيب وفق الاتجاه Y: M_x وبعد العمود في اتجاه التحنيب هو 300mm

• طول العمود الحر في الاتجاه Y يساوي $L_0 = 2.8m$:

• عامل التشكل: العمود غير مسند جانبيًا:

عزم عطالة العمود:

$$I_C = 0.7I_g = 0.7 \frac{ba^3}{12} = 0.7 \frac{0.45 \times 0.3^3}{12} = 7.09 \times 10^{-4} m^4$$

عزم عطالة الجائز:

$$I_B = 0.35I_g = 0.35 \frac{bh^3}{12} = 0.35 \frac{0.25 \times 0.5^3}{12} = 9.115 \times 10^{-4} m^4$$

صلابة العقدة العلوية:

$$\psi_A = \frac{2 \frac{7.09 \times 10^{-4}}{3.3}}{9.115 \times 10^{-4}} = 2.83 > 0.4$$

صلابة العقدة السفلية: $\psi_B = 0.4$ نهاية موثوقة.

$$k = \min \begin{cases} 1 + 0.15(\psi_A + \psi_B) = 1.48 \geq 1 \\ 2 + 0.3(0.4) = 2.12 \geq 1 \end{cases} \quad k = 1.48$$

ويكون معامل النحافة:

$$\lambda = \frac{L_b}{0.289a} = \frac{1.48 \times 2.8}{0.289 \times 0.3} = 47.8 > 22$$

$$e_0 = e_a = \max \begin{cases} \frac{25mm}{20} = \frac{300}{20} = 15mm \\ \frac{L_0}{250} = \frac{2800}{250} = 11.2mm \end{cases} \quad e_a = 0.025m$$

$$e_c = \frac{\lambda^2(a + e_0)}{30000} \beta = \frac{47.8^2(0.3 + 0.025)}{30000} 1.65$$

$$= 0.0411m \leq \lambda^2 \beta \frac{b}{15000} = 47.8^2 \times 1.65 \frac{0.3}{15000} = 0.0758m$$

• العزم الإضافي وفق الاتجاه Y:

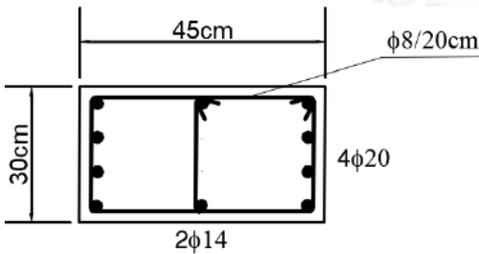
$$M_{addX} = N_u e_c = 1500 \times 0.0411 = 61.65 kN.m$$

$$M_{totX} = N_u (e_0 + e_c) = 1500(0.025 + 0.0411) = 99.15 kN.m$$

$$e_0 + e_c = 0.025 + 0.0411 = 0.0661 > 0.08b = 0.08 \times 0.30 = 0.024m$$

3. تصميم العمود وفق الحالة الإجهادية:

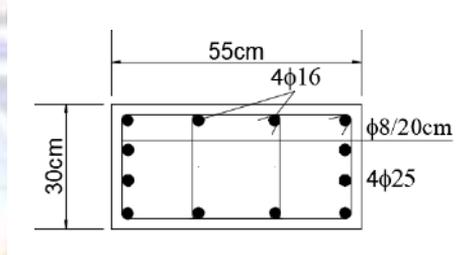
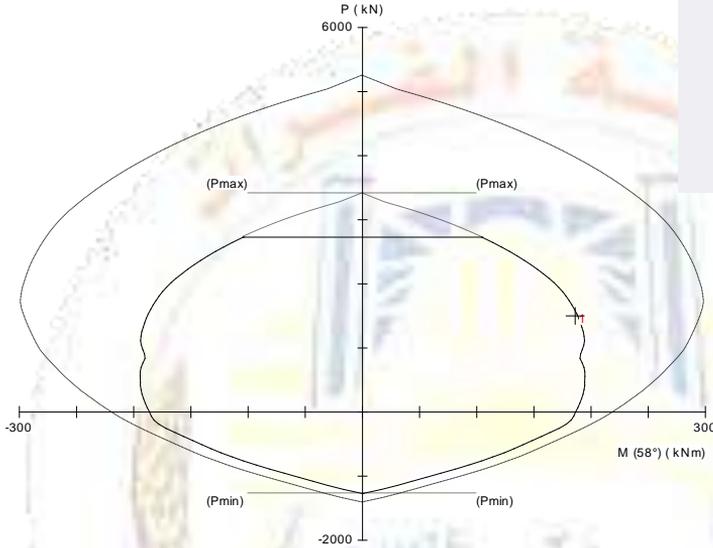
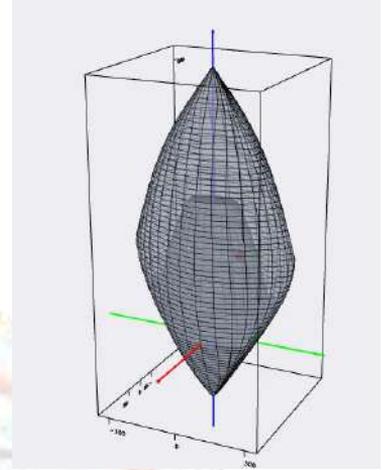
$$N_u = 1500 kN \quad M_{totY} = 157.23 kN.m \quad M_{totX} = 99.15 kN.m$$



بافتراض تسليح العمود $4\phi 20$ من كل طرف كما في الشكل يتم تحقيق العمود على برنامج Sp-Column

يُلاحظ وجود النقطة خارج الجسم مما يستدعي تكبير المقطع أو تغيير التسليح.

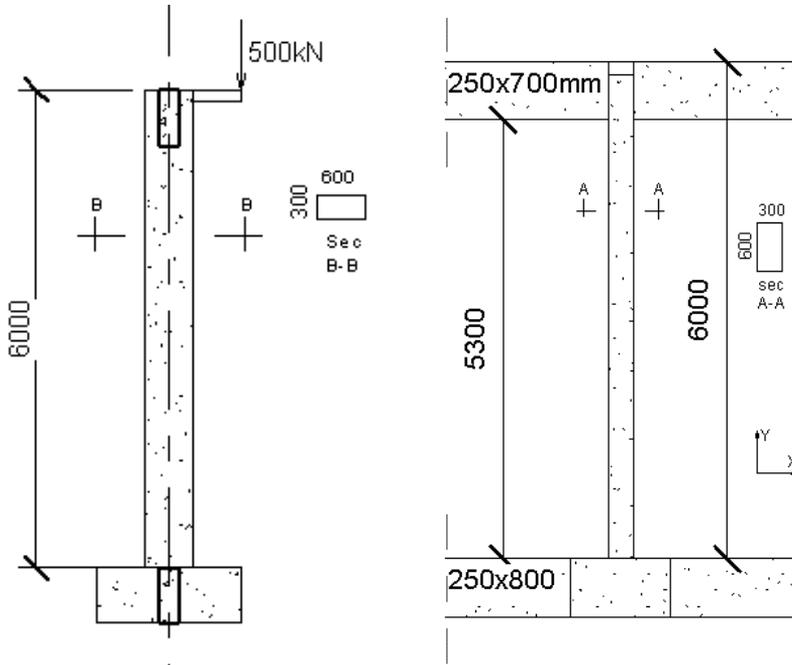
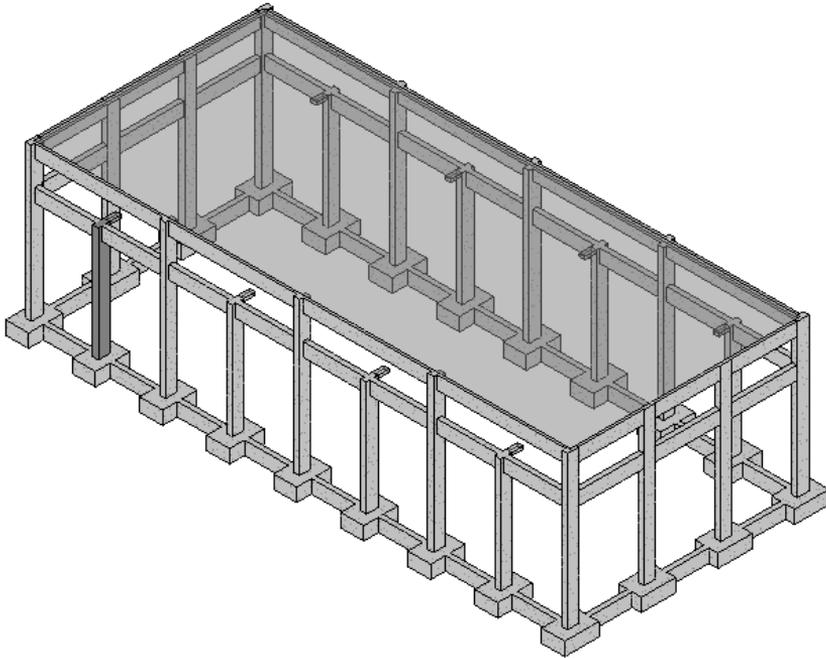
بتغيير أبعاد المقطع بتغيير أبعاد المقطع إلى 550x300mm وتغيير التسليح إلى 4φ25 يصبح مجسم الترابط ومخططات الترابط كما يلي:



مثال تطبيقي على حساب العزوم التصميمية الناتجة عن التحنيب (2):

عمود واقع في صالة صناعية، يحمل حمولة روافع ضاغطة حدية قدرها 500kN ذات لامركزية قدرها 0.5m على المحور Y، والمطلوب تصميم العمود بوصف العمود غير مسند جانبياً وفق الاتجاه X والاتجاه Y. استناد العمود عند الأساس موثوق والوسط رطب. طول مجاز الجائز من الطرفين 6m.

$$f_y = 400MPa \quad f'_c = 28MPa$$



الحل:

1. التحنيب وفق الاتجاه Y (المحور القوي) M_x ، بعد العمود في اتجاه التحنيب هو 600mm

- طول العمود الحر في الاتجاه Y يساوي $L_0=6m$
- عامل التشكل: العمود غير مسند جانبيًا: موثوق من الأسفل وحر من الأعلى $K=2$
- العزم الإضافي وفقاً للاتجاه Y: $\lambda = \frac{L_b}{0.289b} = \frac{2 \times 6}{0.289 \times 0.6} = 69.2 > 40$ والعمود نحيف وفقاً للاتجاه Y

$$e_c = \frac{\lambda^2(b + e_0)}{30000} \beta \leq \lambda^2 \beta \frac{b}{15000}$$

العامل β يسمى عامل جريان البيتون ويساوي إلى:

$$\beta = 1.3 - 0.33\alpha \quad - \text{ في الجو الرطب:}$$

$$\alpha = \frac{|M_{us}|}{M_u} \leq 1 \quad \text{إذ إن:}$$

$$M_{us} = 0 \Rightarrow \alpha = 0$$

M_{us} : العزوم الناتجة عن الأحمال الأتية وتشمل أحمال الرياح، الهزات الأرضية وأحمال المركبات أو الآلات المتحركة (متضمنة الأثر الديناميكي) وكذلك الحمل الحي المطبق على السطوح ذات الاستعمال القليل أو النادر.

$$\beta = 1.3$$

$$e_0 > e_a = \max \begin{cases} \frac{25mm}{b} = \frac{600}{20} = 30mm \\ \frac{L_0}{250} = \frac{6000}{250} = 24mm \end{cases} \quad e_a = 0.03m$$

$$e_c = \frac{\lambda^2(b + e_0)}{30000} \beta = \frac{69.2^2(0.6 + 0.5)}{30000} 1.3$$

$$= 0.228m \leq \lambda^2 \beta \frac{b}{15000} = 69.2^2 \times 1.3 \frac{0.6}{15000} = 0.249m$$

$$e_0 + e_c = 0.5 + 0.228 = 0.728m > 0.08b = 0.08 \times 0.6 = 0.048m$$

$$M_{addX} = N_u e_c = 500 \times 0.228 = 114kN.m$$

$$M_u = N_u(e_0) = 500(0.5) = 250kN.m \quad \text{العزم الخارجي:}$$

باعتبار العمود يعمل بشكل ظفري يكون مخطط العزم الخارجي بشكل ثابت ويكون العزم التصميمي الأعظم هو مجموع العزمين:

$$M_{XD} = 114 + 250 = 364 \text{ kN.m}$$

2. التثبيت وفق الاتجاه X (المحور الضعيف) M_Y وبعد العمود في اتجاه التثبيت هو 300mm

- طول العمود الحر في الاتجاه X يساوي $L_0 = 5.3 \text{ m}$
- عامل التشكل: العمود غير مسند جانبيًا يرتبط بالأعلى بجائز ذي ارتفاع يزيد على أبعاد العمود: عزم عطالة العمود:

$$I_C = 0.7I_g = 0.7 \frac{ba^3}{12} = 0.7 \frac{0.6 \times 0.3^3}{12} = 9.45 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

عزم عطالة الجائز:

$$I_B = 0.35I_g = 0.35 \frac{bh^3}{12} = 0.35 \frac{0.25 \times 0.7^3}{12} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

صلابة العقدة العلوية:

$$\psi_A = \frac{\frac{9.45 \times 10^{-4}}{5.65}}{2 \frac{2.5 \times 10^{-3}}{7}} = 0.234 < 0.4$$

صلابة العقدة السفلية: $\psi_B = 0.4$ نهاية موثوقة.

$$k = \min \begin{cases} 1 + 0.15(\psi_A + \psi_B) = 1.12 \geq 1 \\ 2 + 0.3(0.4) = 2.12 \geq 1 \end{cases} \quad k = 1.12$$

ويكون معامل النحافة:

$$\lambda = \frac{L_b}{0.289b} = \frac{1.12 \times 5.3}{0.289 \times 0.3} = 68.5 > 40$$

• العزم الإضافي وفقاً للاتجاه X: M_{addY}

$$\beta = 1.3$$

$$e_c = \frac{\lambda^2 (a + e_0)}{30000} \beta =$$

$$\frac{68.5^2 (0.3 + 0.025)}{30000} 1.3 = 0.066 \text{ m} \leq \lambda^2 \beta \frac{a}{15000} = 68.5^2 \times 1.3 \frac{0.3}{15000} = 0.122 \text{ m}$$

$$e_0 + e_c = 0.025 + 0.066 = 0.091 \text{ m} > 0.08a = 0.08 \times 0.3 = 0.024 \text{ m}$$

$$M_{addY} = N_u e_c = 500 \times 0.066 = 33 \text{ kN.m}$$

$$e_0 = e_a = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{25mm}{20} = \frac{300}{20} = 15mm \\ \frac{L_0}{250} = \frac{6000}{250} = 24mm \end{array} \right. \quad e_a = 0.025$$

$$M_u = N_u (e_a) = 500(0.025) = 12.5kN.m \quad \text{العزم الخارجي:}$$

يكون العزم التصميمي هو مجموع العزمين:

$$M_{YD} = 45.5kN.m$$

3. تصميم العمود:

يتم التصميم من أجل الجهود الآتية:

$$N_u = 500kN \quad M_{XD} = 364kN.m \quad M_{YD} = 45.5kN.m$$

يتم فرض تسليح يساوي $4\phi22 = 1520mm^2$ على الضلعين القصيرين للعمود.

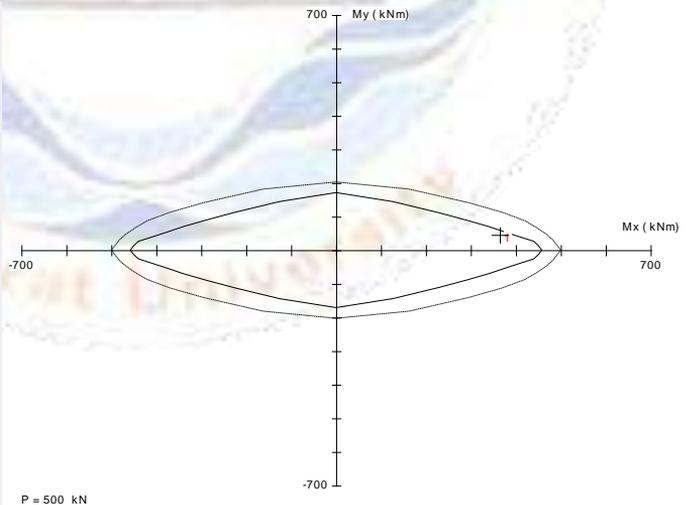
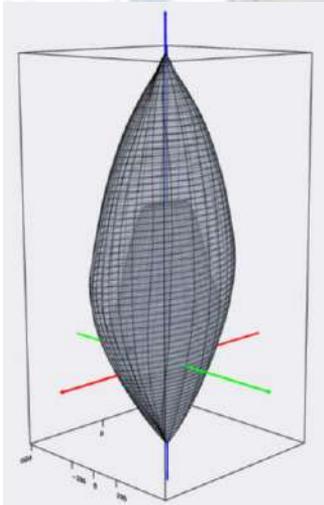
وتسليح يساوي $2\phi20 = 628mm^2$ على كل من الضلعين الطويئتين للعمود.

وتكون المحصلة: $8\phi22 + 4\phi20 = 4296mm^2$

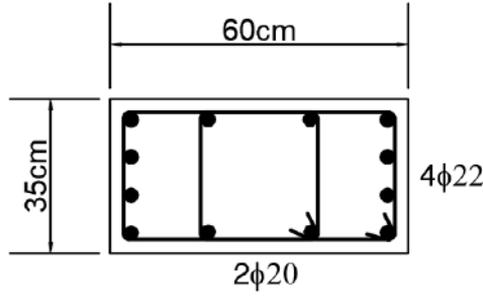
نسبة التسليح: $\mu_s = 0.023 < 0.025$

برسم مخطط الترابط باستعمال برنامج SP-Column يلاحظ أن المقطع كافٍ ولكن من دون هامش

أمان، تتم زيادة أبعاد العمود إلى $350 \times 600mm$.

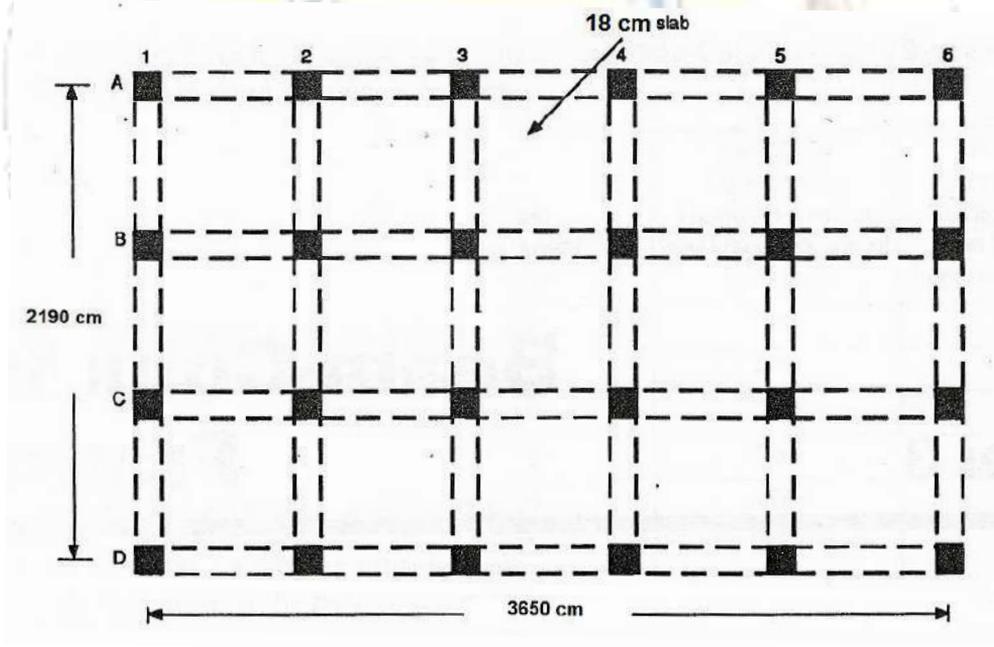


مخطط الترابط ثلاثي الأبعاد ومقطع أفقي عند نقطة التحميل

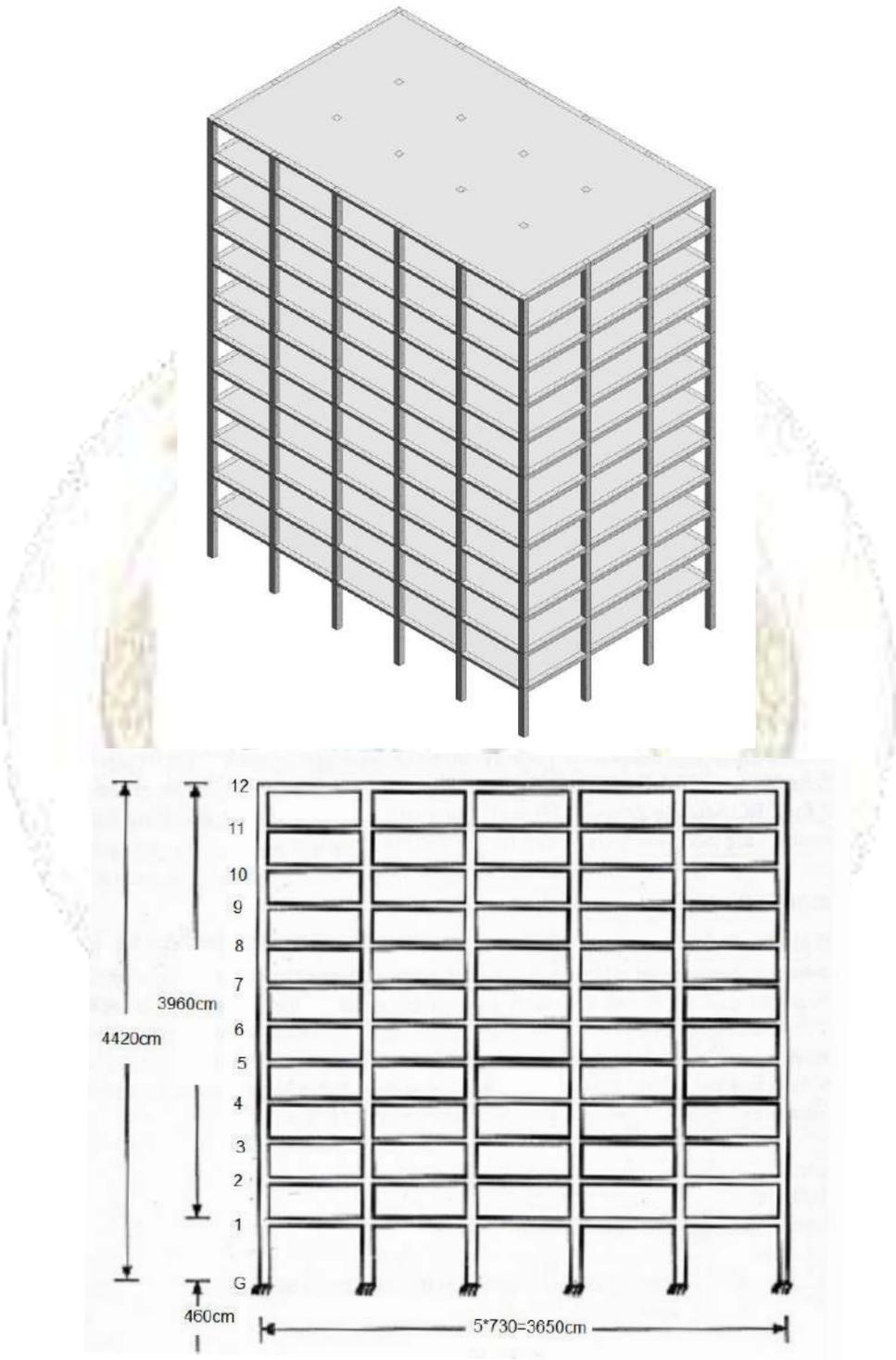


مثال تطبيقي على حساب العزوم التصميمية الناتجة عن التحنيب (3):

يبين الشكل مسقطاً ومنظوراً في مبنى تجاري إذ الأعمدة غير مسندة جانبياً، والمطلوب إيجاد العزوم التصميمية الكلية في العمود A1 في الطابق الأول عند منسوب التأسيس مع أخذ التحنيب بالحسبان. مع العلم أنه معرض إلى حمولة محورية مصعدة قدرها 3963kN وعزم انعطاف $M_{uy}=451\text{kN.m}$ ، $M_{ux}=620\text{kN.m}$ الأعمدة مربعة بطول ضلع 600mm أبعاد الجيزان 600×700mm والوسط رطب، نسبة العزوم الزلزالية تساوي 0.6 من العزوم الكلية.



$$f_y = 400\text{MPa} \quad f'_c = 28\text{MPa}$$



الحل:

1. حساب الإزاحة الناتجة عن التحنيب وفق الاتجاه $X - M_{uy}$:

• الصلابة النسبية للعمود:

$$I_C / L_C = 0.7I_g / L_C = 0.7 \frac{ba^3}{12 \times L_C} = 0.7 \frac{0.6^4}{12 \times 4.6} = 1.643 \times 10^{-3} m^4$$

• الصلابة النسبية للجائز:

$$I_B / L_B = 0.35I_g / L_B = 0.35 \frac{bh^3}{12 \times L_B} = 0.35 \frac{0.6 \times 0.7^3}{12 \times 7.3} = 8.222 \times 10^{-4} m^4$$

• عامل التشكل:

$$k = \min \begin{cases} 1 + 0.15(\psi_A + \psi_B) \geq 1 \\ 2 + 0.3(0.4) = 2.12 \geq 1 \end{cases}$$

$$\lambda = \frac{L_b}{0.289h} \quad \bullet \text{ يكون معامل النفاقة:}$$

$$\beta = 1.3 - 0.33\alpha \quad \bullet \text{ في الجو الرطب:}$$

$$\alpha = \left| \frac{M_{us}}{M_u} \right| = 0.6 \leq 1 \quad \bullet \text{ إذ إن:}$$

$$\beta = 1.3 - 0.33\alpha = 1.102$$

$$e_c = \frac{\lambda^2(a + e_0)}{30000} \beta = \frac{\lambda^2(0.6 + e_0)}{30000} 1.102 \leq \lambda^2 \beta \frac{a}{15000} = \lambda^2 1.102 \frac{0.6}{15000}$$

$$e_a = \max \begin{cases} \frac{25mm}{b} = \frac{600}{20} = 30mm \\ \frac{L_0}{250} = \frac{4600}{250} = 18.4mm \end{cases} \quad e_a = 0.03$$
$$e_0 = \frac{M_{uy}}{N_u} = 0.114m$$

لإيجاد متوسط الإزاحة وفق الاتجاه X يجب حساب اللامركزية الناتجة عن التحنيب e_c لكل

عمود على حدة، الجدول الآتي يُلخص الحسابات:

إذ تم إهمال أثر البلاطة في عطالة الجائز لصالح الأمان، وتم تعميم قيمة اللامركزية الأصلية للعمود $A1$ على الأعمدة جميعها لصالح الأمان.

ρ_c	ρ_0	$\lambda > 22$	طول التحبيب	κ	ψ_B	ψ_A	العقدة السفلية	العقدة العلوية	الطول الحر	موقع العمود	العمود
0.025	0.114	30.6	5.3	1.36	0.4	2	وثيقة	جائز	3.9	ركني	A1
0.025	0.114	30.6	5.3	1.36	0.4	2	وثيقة	جائز	3.9	طرفي	A2
0.019	0.114	27.22	4.72	1.21	0.4	1	وثيقة	جائز 2	3.9	وسطي	B2

• اللامركزية المتوسطة:

$$e_{av} = \frac{\sum e_c}{n} = \frac{4e_{c1} + 12e_{c2} + 8e_{c3}}{24} = 0.023m$$

يُلاحظ أنه لا توجد أي من القيم تتجاوز ضعف القيمة المتوسطة.

وتكون اللامركزية الكلية وفق الاتجاه X في العمود A1:

$$e_0 + e_{av} = 0.114 + 0.023 = 0.137m > 0.08a = 0.048m$$

• العزم التصميمي وفق الاتجاه X:

$$M_{uY} = N_u (e_0 + e_{av}) = 3963 \times 0.137 = 543kN.m$$

2. حساب الإزاحة الناتجة عن التحبيب وفق الاتجاه $-Y - M_{ux}$:

بما أن الأعمدة مربعة، ولا يختلف طول التحبيب وفق الاتجاه Y عن الاتجاه X تبقى الحسابات

$$e_0 = \frac{M_{ux}}{N_u} = 0.156m \quad \text{ذاتها وتختلف قيمة اللامركزية الأصلية فقط:}$$

• اللامركزية المتوسطة:

$$e_{av} = \frac{\sum e_c}{n} = \frac{4e_{c1} + 12e_{c2} + 8e_{c3}}{24} = 0.0189m$$

يُلاحظ أنه لا توجد أي من القيم تتجاوز ضعف القيمة المتوسطة.

e_c	e_0	$\lambda > 22$	طول التحنيب	κ	ψ_B	ψ_A	العقدة السفلية	العقدة العلوية	الطول الحر	موقع العمود	العمود
0.026	0.156	30.6	5.3	1.36	0.4	2	وثيقة	جائز	3.9	ركني	A1
0.026	0.156	30.6	5.3	1.36	0.4	2	وثيقة	جائز	3.9	طرفي	A2
0.021	0.156	27.22	4.72	1.21	0.4	1	وثيقة	جائز 2	3.9	وسطي	B2

• اللامركزية المتوسطة:

$$e_{av} = \frac{\sum e_c}{n} = \frac{4e_{c1} + 12e_{c2} + 8e_{c3}}{24} = 0.024m$$

يُلاحظ أنه لا توجد أي من القيم تتجاوز ضعف القيمة المتوسطة.

وتكون اللامركزية الكلية وفق الاتجاه Y في العمود A1:

$$e_0 + e_{av} = 0.156 + 0.0243 = 0.180m > 0.08a = 0.048m$$

• العزم التصميمي وفق الاتجاه Y:

$$M_{uX} = N_u(e_0 + e_{av}) = 3963 \times 0.180 = 714.66kN.m$$

3-8 طريقة تضخيم العزوم من أجل إدخال أثر التحنيب Moment Magnification

:Method

وردت هذه الطريقة في الكود ACI 318-19 sec 6.6.4.5.1 وهي تعتمد على إدراج أثر

العزوم الإضافية (العزوم من الدرجة الثانية) الناتجة عن التحنيب عن طريق تضخيم العزوم من الدرجة

الأولى بعامل تصعيد بحيث لا تزيد نسبة التصعيد الكلية على 1.4.

• من أجل أعمدة مستندة جانبياً Nonsway Frames:

$$M_{u(tot)} = \delta M_u$$

$$\delta = \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{0.75N_{cr}}} \geq 1$$

$$C_m = 0.6 + 0.4 \frac{M_{u1}}{M_{u2}}$$

M_{u1}, M_{u2} عزمي نهائي العمود وقيمة M_{u1} هي الأصغر بالقيمة المطلقة.

إذ إنّ النسبة M_{u1}/M_{u2} موجبة في حال تحنّب العمود وفق اتجاه واحد، وسالبة في حال تحنّب العمود وفق اتجاهين.

• من أجل أعمدة غير مسندة جانبياً Sway Frames:

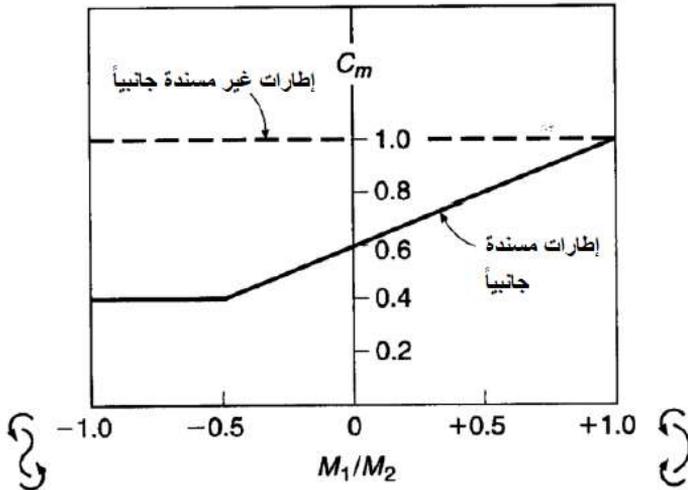
$$M_{1u} = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

$$M_{2u} = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{N_u}{0.75N_{cr}}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - Q} \geq 1 \quad \text{أو:}$$

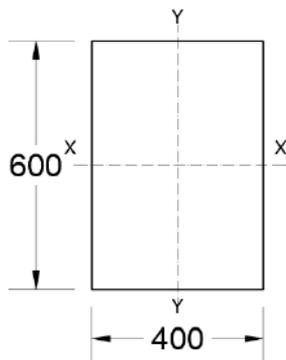
في حال تجاوزت النسبة δ_s الرقم $1.5/$ لا يجوز استعمال العلاقة الثانية، إما تستعمل العلاقة الأولى فقط وإما أن يتم إجراء تحليل مرّن من الدرجة الثانية.



الشكل (5-8) المعامل C_m

إن N_{cr} هي حمولة التحنيب الحرجة، في حال كانت الحمولة المطبقة N_u تتجاوز 0.75 من حمولة التحنيب الحرجة فإن معامل التضخيم يصبح سالباً وهذا يعني أن العمود غير مستقر وجبت زيادة أبعاده. أيضاً في حال تجاوز قيمة معامل التضخيم القيمة /2/ وجبت زيادة أبعاد العمود لأن حسابات تحنيب العمود في هذه الحالة معقدة ولا يمكن حله بهذه الطريقة.

مثال تطبيقي (1):



عمود مستطيل ذي أبعاد $400 \times 600 \text{ mm}$ مسند جانبياً

ويحمل الأحمال الآتية: $N_{DL} = 925 \text{ kN}$ $N_{LL} = 830 \text{ kN}$

طول التحنيب للعمود يساوي إلى 4.8m وهو الطول الحر، صمم العمود باستعمال طريقة تضخيم العزوم من أجل المواصفات الآتية:

$$f'_c = 28 \text{ MPa} \quad f_y = 420 \text{ MPa}$$

الحل:

1. التحقق من النحافة:

$$\lambda_y = \frac{L_b}{0.289h} = \frac{4.8}{0.289 \times 0.4} = 41.5 > 40$$

$$\lambda_x = \frac{L_b}{0.289h} = \frac{4.8}{0.289 \times 0.6} = 27.7 < 40$$

يُلاحظ أن العمود خاضع للتحنيب حول المحور Y فقط.

2. حساب اللامركزية الدنيا (الطارئة):

$$e_a = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{25 \text{ mm}}{h} = \frac{400}{20} = 20 \text{ mm} \\ \frac{L_0}{250} = \frac{4800}{250} = 19.2 \text{ mm} \end{array} \right. \quad e_{\min} = 0.08h = 32 \text{ mm}$$

3. الحمولة الحديدية والعزم الأصغري:

$$N_u = 1.4 \times 925 + 1.7 \times 830 = 2706 \text{ kN}$$

$$M_{u \min} = N_u e_{\min} = 2706 \times 0.032 = 86.6 \text{ kN.m}$$

4. حساب حمولة التحنيب الحرجة:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{L^2}$$

$$(EI)_{eff} = \frac{0.4E_c I_g}{1 + \beta_{dns}}$$

وإ: عزم عطالة المقطع البيتوني بالكامل حول محور التحنيد مع إهمال فولاذ التسليح.

$$E = 5700\sqrt{f'_c} = 30161.56MPa$$

$$I_g = \frac{0.6 \times 0.4^3}{12} = 3.2 \times 10^{-3} m^4$$

β_{dns} : النسبة بين الأحمال المحورية المصعدة الدائمة العظمى إلى الأحمال المحورية الكلية

المصعدة:

$$\beta_{dns} = \frac{1.4DL}{1.4DL + 1.7LL} = \frac{1.4 \times 925}{2706} = 0.342 \leq 1$$

$$(EI)_{eff} = \frac{0.4 \times 30161.6 \times 3.2 \times 10^{-3}}{1 + 0.342} = 28.76MN.m^2 = 28768kN.m^2$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2(28768)}{4.8^2} = 12323.3kN$$

5. معامل التضخيم:

$$C_m = 0.6 + 0.4 \frac{M_{u1}}{M_{u2}} = 1$$

$$\delta = \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{0.75N_{cr}}} \geq 1$$

$$\delta = \frac{1}{1 - \frac{2706}{0.75 \times 12323.3}} = 1.4 > 1$$

$$M_c = \delta M_{u \min} = 1.4 \times 86.6 = 121.24kN.m$$

6. التصميم على الانعطاف المركب $M_u=121.24kN.m$ ، $N_u=2706kN$

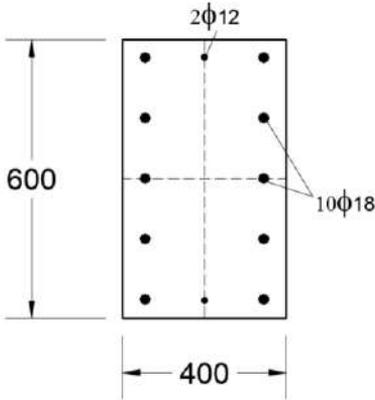
$$e = \frac{M_c}{N_u} = 0.045m \Rightarrow \frac{e}{h} = \frac{0.045}{0.4} = 0.112 = 11.2\%$$

• حساب المتحولات: $f'_c = 28MPa$ ، $f_y = 420MPa$ ، $\frac{d-d'}{h} = \frac{400-2 \times 40}{400} = 0.8$

حساب القيم اللابعدية:

$$N_c = 0.85f'_c b h = 0.85 \times 28 \times 400 \times 600 = 5712kN$$

$$0.9 \geq \Omega = 0.9 - 0.5 \frac{2706}{5712} = 0.66 > 0.65$$



$$K \frac{e}{h} = \frac{M_u}{\Omega f'_c b h^2} = 0.61 \times 0.112 = 0.068$$

$$K = \frac{N_u}{\Omega f'_c b h} = \frac{2706 \times 10^3}{0.66 \times 28 \times 600 \times 400} = 0.61$$

• حساب نسبة التسليح من مخطط الترابط /9/:

$$\mu_t = 0.01$$

• حساب مساحة التسليح:

$$A_{s(tot)} = \mu_t b h = 0.01 \times 400 \times 600 = 2400 \text{ mm}^2$$

توزع بشكل متناظر على طرفي المقطع:

$$A_{s(tot)} / 2 = 1200 \text{ mm}^2 \Rightarrow 5\phi 18 = 1272 \text{ mm}^2$$

مثال تطبيقي (2):

باستعمال طريقة تضخيم العزوم أوجد العزوم التصميمية من أجل عمود مستطيل ذي أبعاد $250 \times 300 \text{ mm}$ من مبنى غير مستد جانبياً ويحمل الأحمال المحورية الآتية وفق $M_{ns} = 125 \text{ kN.m}$ $M_s = 30 \text{ kN.m}$ العزوم $N_{DL} = 80 \text{ kN}$ $N_{LL} = 32.7 \text{ kN}$ المحور الضعيف أعلى العمود وهي ناتجة عن القوى الأفقية والشاقولية على الترتيب، إذ إن أسفل العمود متمفصل. طول التحنيط للعمود يساوي إلى 7.15 m والطول الحر 3.25 m :

$$f'_c = 28 \text{ MPa} \quad N_{LL} = 420 \text{ MPa}$$

الحل:

التحقق من النحافة:

$$\lambda_y = \frac{L_b}{0.289h} = \frac{7.15}{0.289 \times 0.25} = 98.96 > 22$$

$$\lambda_x = \frac{L_b}{0.289h} = \frac{7.15}{0.289 \times 0.3} = 82.47 > 22$$

يُلاحظ أن العمود خاضع للحنيط حول المحور Y والمحور X.

أ. التحليل بالاتجاه Y وهو المحور الضعيف $h=0.25 \text{ m}$.

1. الحمولة الحدية:

$$N_u = 1.4 \times 80 + 1.7 \times 32.7 = 167.6 \text{ kN}$$

2. حساب حمولة التحنيد الحرجة:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{L^2}$$

$$(EI)_{eff} = \frac{0.4 E_c I_g}{1 + \beta_{dns}}$$

ا: عزم عطالة المقطع البيتوني بالكامل حول محور التحنيد مع إهمال فولاذ التسليح.

$$E = 5700 \sqrt{f'_c} = 30161.56 \text{ MPa}$$

$$I_g = \frac{0.3 \times 0.25^3}{12} = 3.91 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

β_{dns} : النسبة بين الأحمال المحورية المصعدة الدائمة العظمى إلى الأحمال المحورية الكلية المصعدة:

$$\beta_{dns} = \frac{1.4 DL}{1.4 DL + 1.7 LL} = \frac{1.4 \times 80}{167.6} = 0.668 \leq 1$$

$$(EI)_{eff} = \frac{0.4 \times 30161.6 \times 3.91 \times 10^{-4}}{1 + 0.668} = 2.828 \text{ MN.m}^2 = 2828 \text{ kN.m}^2$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 (2828)}{7.15^2} = 546 \text{ kN}$$

3. معامل التضخيم:

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{N_u}{0.75 N_{cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{167.6}{0.75 \times 546}} = 1.69 > 1$$

العزوم الكلية أعلى العمود:

$$M_{2u} = M_{2ns} + \delta_s M_{2s} = 125 + 1.69(30) = 175.8 \text{ kN.m} < 1.4 M_u = 217 \text{ kN.m}$$

ب. التحليل بالاتجاه X وهو المحور القوي $h=0.3\text{m}$

أ. حساب اللامركزية الدنيا (الطارئة):

$$e_a = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{25\text{mm}}{20} = 1.25 \\ \frac{h}{20} = \frac{300}{20} = 15\text{mm} \\ \frac{L_0}{250} = \frac{7150}{250} = 28.6\text{mm} \end{array} \right. \quad e_a = 28.6\text{mm}$$

ب. حساب حمولة التحنيد الحرجة:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2(EI)_{eff}}{L^2}$$

$$(EI)_{eff} = \frac{0.4E_c I_g}{1 + \beta_{dns}}$$

وا: عزم عطالة المقطع البيتوني بالكامل حول محور التحنيد مع إهمال فولاذ التسليح.

$$I_g = \frac{0.25 \times 0.3^3}{12} = 5.625 \times 10^{-4} m^4$$

$$(EI)_{eff} = \frac{0.4 \times 30161.6 \times 5.625 \times 10^{-4}}{1 + 0.668} = 4.068 MN.m^2 = 4068.6 kN.m^2$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2(4068.6)}{7.15^2} = 785.5 kN$$

ج. معامل التضخيم:

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{167.6}{0.75 \times 785.5}} = 1.397 > 1$$

العزوم الكلية وفق المحور X:

$$M_{u\min} = N_u e_a = 167.6 \times 0.029 = 4.86 kN.m$$

$$M_{2u} = \delta_s M_{u\min} = 1.4(4.86) = 6.8 kN.m$$

مثال تطبيقي (3):

عمود نحيف واقع في إطار مسند جانبياً، مربع المقطع طول ضلع العمود 350mm طول

التحنيد 4.2m، يخضع إلى الأحمال المبينة بالجدول:

حمولة حية	حمولة ميتة
$N_{LL} = 675 kN$	$N_{DL} = 930 kN$
$M_{top} = 40 kN$	$M_{top} = 110 kN$
$M_{bot} = -20 kN$	$M_{bot} = -55 kN$

$$f'_c = 28 MPa \quad N_{LL} = 420 MPa$$

أوجد العزوم التصميمية:

الحل:

1. الحمولة الحدية والعزم الحدي:

$$N_u = 1.4 \times 930 + 1.7 \times 675 = 2451.2kN$$

$$M_{u(top)} = 1.4 \times 110 + 1.7 \times 40 = 222kN \quad \text{أعلى العمود:}$$

$$M_{u(bot)} = -(1.4 \times 55 + 1.7 \times 20) = -111kN \quad \text{أسفل العمود:}$$

2. التحقق من النحافة:

$$\lambda = \frac{L_b}{0.289h} = \frac{4.2}{0.289 \times 0.35} = 41.5 > 40$$

3. حساب حمولة التحنيب الحرجة:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{L^2} \quad (EI)_{eff} = \frac{0.4 E_c I_g}{1 + \beta_{dns}}$$

وإ: عزم عطالة المقطع البيتوني بالكامل حول محور التحنيب مع إهمال فولاذ التسليح.

$$I_g = \frac{0.35^4}{12} = 1.25 \times 10^{-3} m^4$$

$$\beta_{dns} = \frac{1.4DL}{1.4DL + 1.7LL} = \frac{1.4 \times 930}{2451.2} = 0.531 \leq 1$$

$$(EI)_{eff} = \frac{0.4 \times 30161.6 \times 1.25 \times 10^{-3}}{1 + 0.531} = 9.85 MN.m^2 = 9849.2kN.m^2$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 (9849.2)}{4.2^2} = 5510.6kN$$

4. معامل التضخيم:

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{111}{222} = 0.4$$

$$\delta = \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{0.75N_{cr}}} \geq 1$$

$$\delta = \frac{0.4}{1 - \frac{2451.2}{0.75 \times 5510.6}} = 0.98 < 1$$

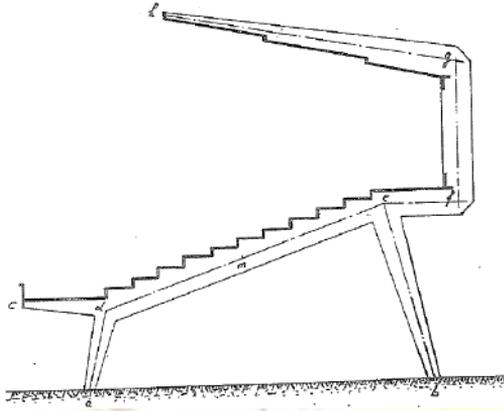
يلاحظ أن قيمة معامل التضخيم أقل من الواحد وهذا يعني أن التحنيب لا يزيد من قيمة العزوم الحدية أعلاه وذلك بسبب كون العمود ذي انحناء مزدوج مما يعدّل التحنيب.

الفصل التاسع

الإطارات من البيتون المسلح الخاضعة إلى أحمال شاقولية

Reinforced Concrete Frames Supporting Vertical Loads

1-9 مقدمة:

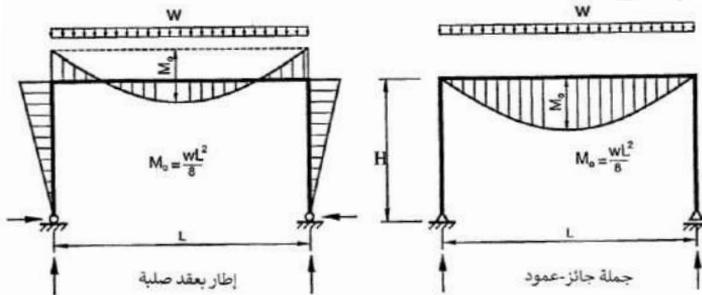


الشكل (1-9) نموذج عن هيكل المسارح

تستخدم الإطارات البيتونية في القاعات الكبيرة Halls مثل قاعات الاجتماعات والمسارح والصالات الرياضية والمخازن والمعارض والصالات الصناعية والتجارية ودور العبادة. في هذه الصالات تكون المجازات كبيرة (تتجاوز 10 متر) فيكون استعمال جملة جانز عمود غير اقتصادي وغير مناسب معمارياً إذ تصبح

سماكات الجيزان كبيرة جداً بحيث تعيق الإضاءة والرؤية.

يعرّف الإطار بأنه جيزان وأعمدة تكون عقد الاتصال بينها صلبة بحيث تتم مقاومة الحمولات بواسطة الفعل المشترك بين الجانز والعمود. يبين الشكل الفرق في عزم الانعطاف في عقد كل من إطار ذي عقد صلبة وجملة جانز-عمود.



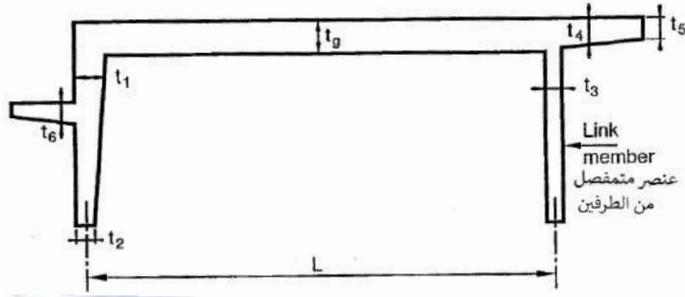
الشكل (2-9) مقارنة بين مخططات العزوم لجملة جانز-عمود وإطار بعقد صلبة

9-2 أبعاد عناصر الإطار:

من أجل الحصول على توزيع جيد للعزوم في عناصر الإطار يُنصح بالسمكات المبينة بالجدول (9-1) حسب الشكل (9-3).

جدول (9-1) سماكات عناصر الإطار الدنيا، مرجع رقم (9)

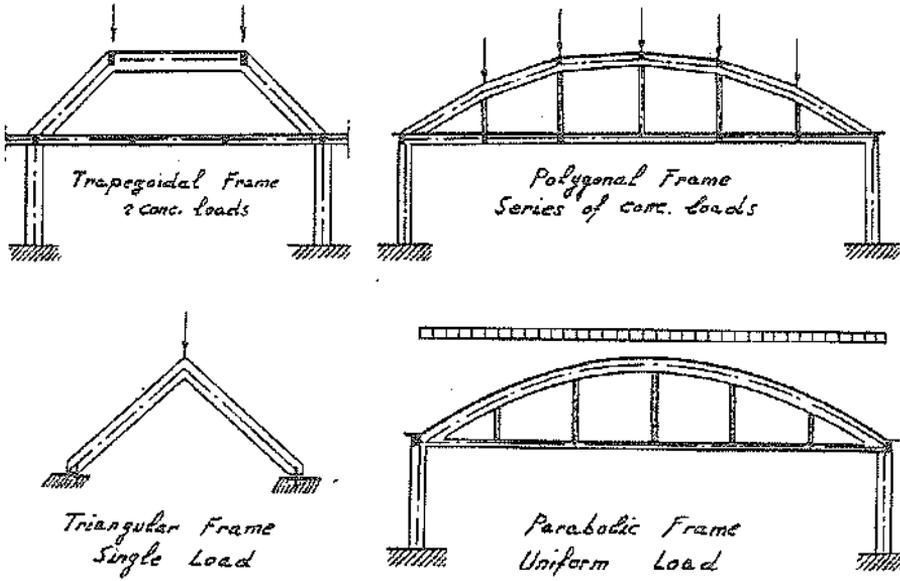
العنصر	القيمة
t_g	$L/12 \rightarrow L/16$
t_1	$(0.8 \rightarrow 1)t_g$
t_2	$0.67t_1$
t_3	$0.6t_g$
t_4	وفقاً للتصميم



الشكل (9-3) سماكات عناصر الإطار

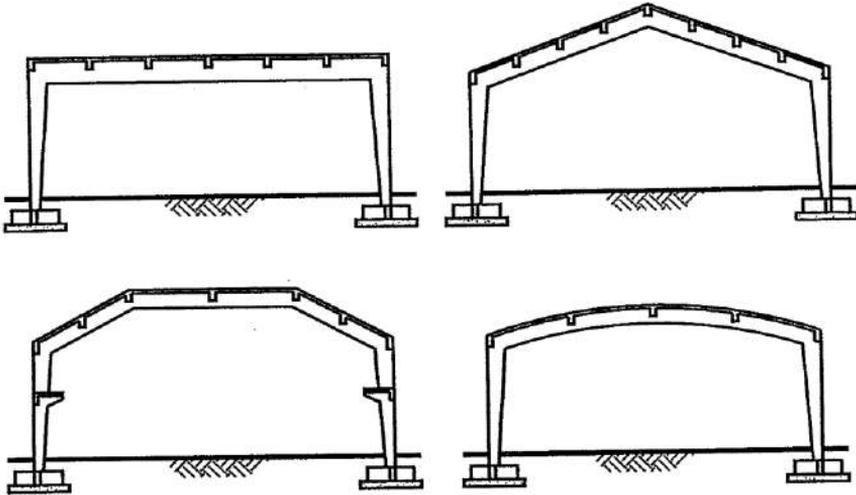
9-3 أنواع الإطارات:

يتم اختيار نوع الإطار تبعاً لاعتبارات معمارية إضافة إلى وظيفية المنشأ وكذلك نوع تربة التأسيس. ففي الترب الصلبة الجيدة Firm soil يمكن استخدام إطارات ذات وثاقات. في هذا النوع من الإطارات تكون الإجهادات الداخلية الناتجة عن التغيرات الحرارية والانكماش كبيرة نسبياً ويجب أخذها بالحسبان.



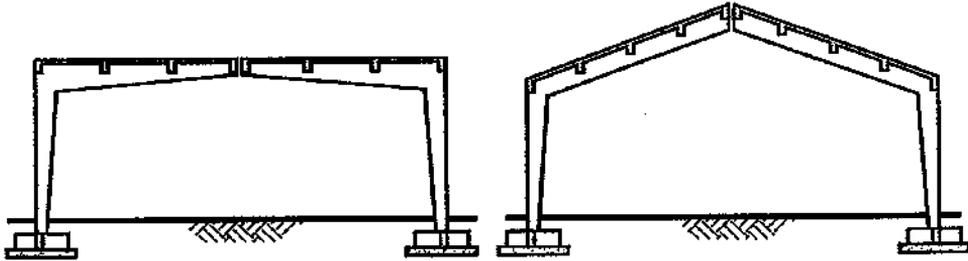
الشكل (4-9) إطارات ذات تربة تأسيس صلبة، مرجع رقم (12)

في حال التأسيس على تربة متوسطة Medium soil يفضل استخدام إطارات ذات استناد ثابت Pinned support كما في الشكل:



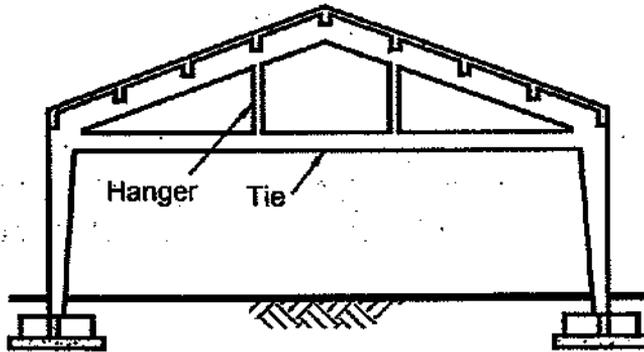
الشكل (4-9) إطارات ذات تربة تأسيس متوسطة الصلابة، مرجع رقم (9)

في حال التأسيس على تربة ضعيفة Weak soil يجب ألا تكون هناك قوى أفقية أو شاقولية كبيرة، لذلك يتم تصميم الإطارات بوجود مفصل علوي في الجائز.

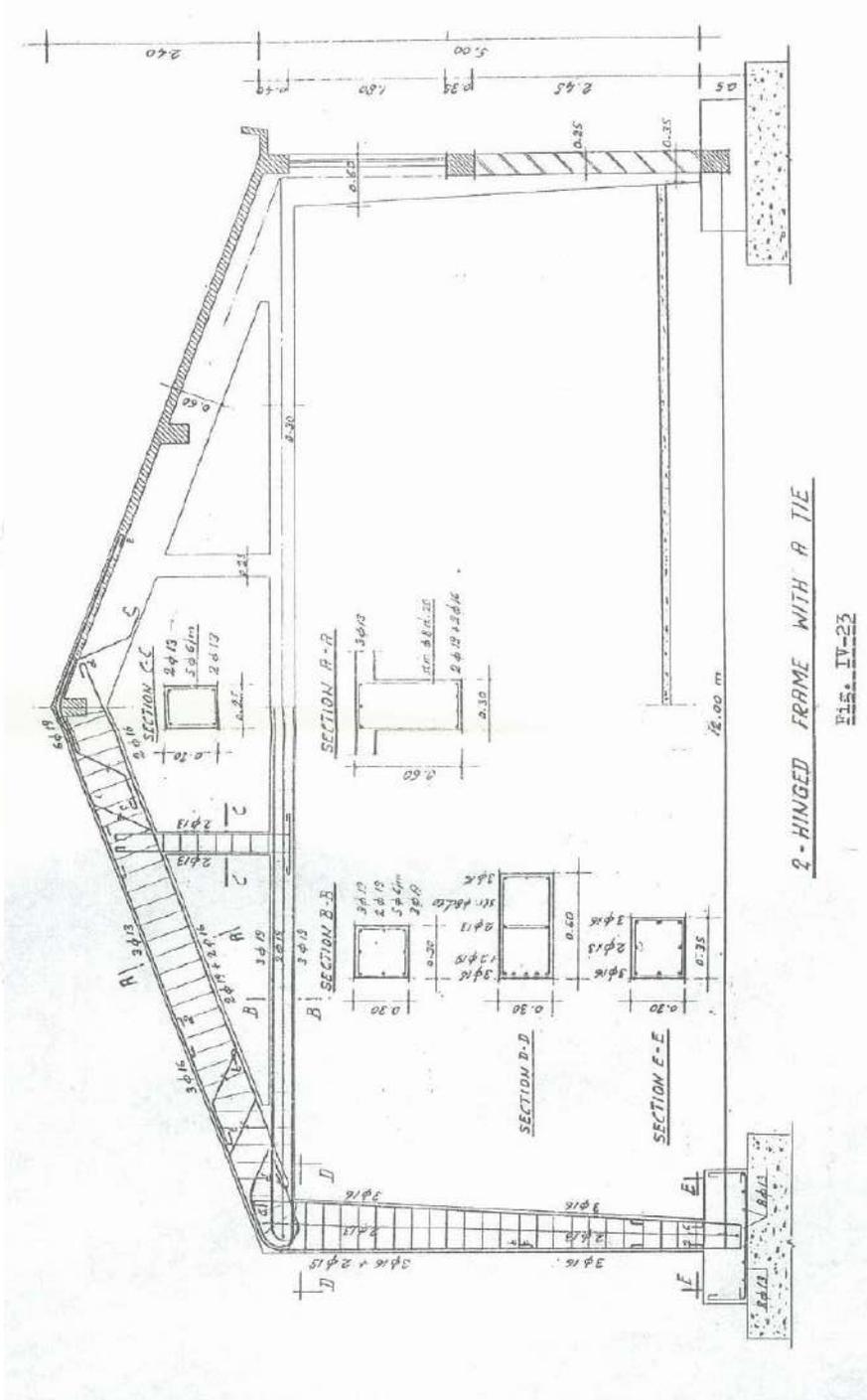


الشكل (9-5) إطارات ذات تربة تأسيس ضعيفة، مرجع رقم (9)

في حال كانت العزوم في جيزان الإطار كبيرة جداً يمكن اللجوء إلى استعمال عناصر تقوية Ties في الإطار إذ تؤمن توزيعاً أفضل للقوى الداخلية في الأعمدة والجيزان، على الرغم من أنه حل غير اقتصادي بسبب كمية الفولاذ الكبيرة المستهلكة وبسبب صعوبة تنفيذ قالب الصب.



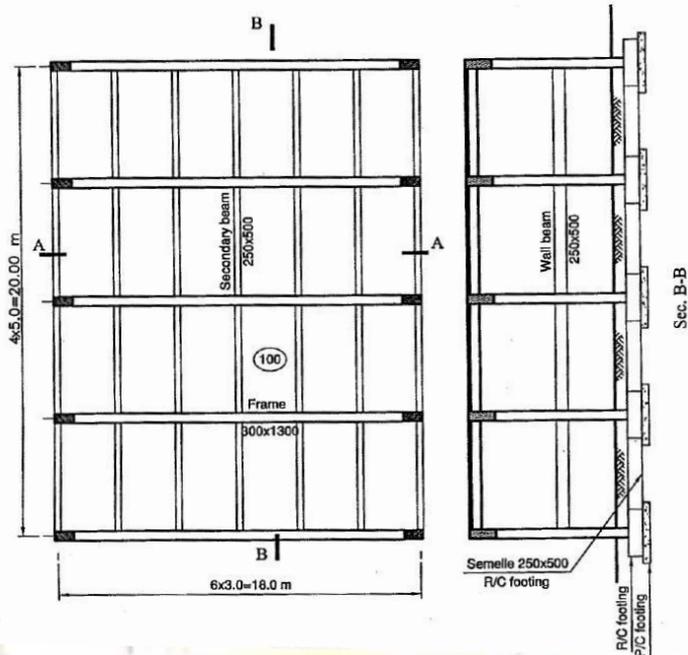
الشكل (9-6) إطارات ذات عزوم كبيرة، مرجع رقم (9)



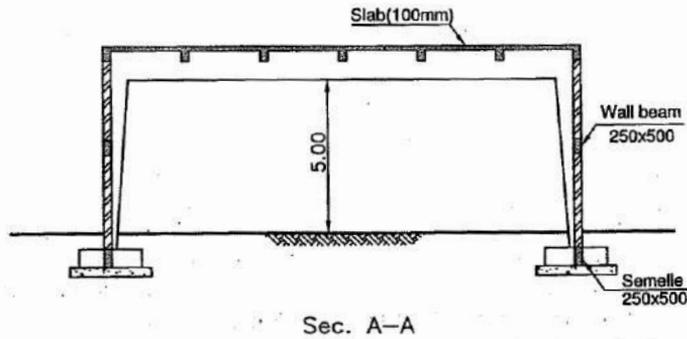
2-HINGED FRAME WITH A TIE

Fig. IV-23

الشكل (7-9) تسليح الإطارات ذات الروابط، مرجع رقم (12)



الشكل (9-10) نموذج قاعة إطارية _ مسقط ومقطع طولي، مرجع رقم (9)

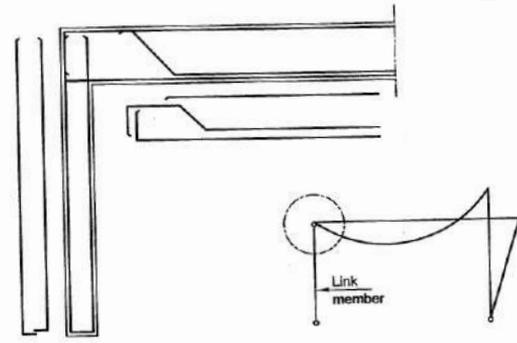


الشكل (9-11) نموذج قاعة إطارية _ مقطع طولي، مرجع رقم (9)

- يتم وضع جيزان ثانوية Roof beams معاملة للإطار كل 3m كتقوية لجيزان الإطار ضد التحنيب (كوابح تحنيب) ومن أجل تخفيف سماكة البلاطة لتصبح معقولة نسبياً.
- يتم وضع جيزان محيطية Wall beams-Belt beams على محيط القاعة عند منتصف الارتفاع تقريباً لتخفيف مساحة الجدران إذا يجب ألا تزيد مساحة جدار البلوك على 25m^2 .

- تفيد كل من الجيزان الثانوية في السقف والجيزان المحيطية في زيادة صلابة الإطارات في الاتجاه Out of plane direction، لأنها صلبة في مستويها ومرنة جداً في المستوي المعامد .direction
- يتم استعمال شيناجات رابطة بين الأساسات من أجل تخفيف أثر الهبوطات التفاضلية Differential settlements كما أنها تحمل جدران الطابق الأرضي.

5-9 تفاصيل التسليح في الإطارات الصلبة Reinforcement Detailing of Rigid Frames:

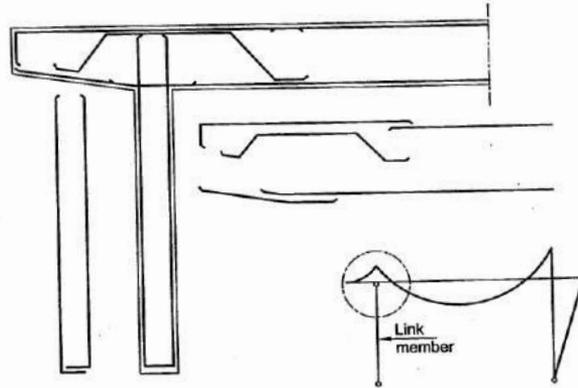


يتم فيما يأتي استعراض تفاصيل التسليح المختلفة الخاصة بالإطارات الصلبة:

أ. عقدة إطارية لا تقاوم العزوم: عقدة واصله بين عمود متمفصل من الطرفين Link وجائز:

الشكل (9-12) عقدة عمود متمفصل، مرجع رقم (9)

ب. عقدة اتصال جائز ذي ظفر مع عمود متمفصل من الطرفين Link:

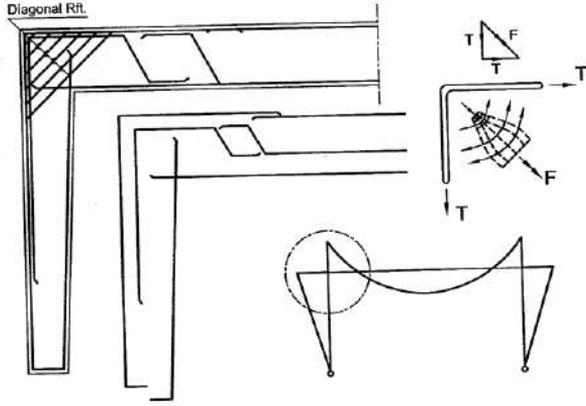


الشكل (9-13) تفاصيل عقدة جائز ظفري مع عمود متمفصل، مرجع رقم (9)

ج. عقدة صلبة بين الجائز والعمود، في هذه الحالة يشكل مخطط العزم ما يسمى عقدة غالقة "Closing Joint" ولتحقيقها يجب مدّ تسليح الشد الخاص بالعمود ضمن الجائز ويتم كذلك

الأمر مدّ تسليح الشد العلوي في الجائز ضمن العمود بما لا يقل عن مسافة العزم السالب مضافاً إليه مسافة أمان، من أجل مقاومة العزم السالب في العقدة.

تولّد قوة الشد في الفولاذ إجهادات شدّ تؤدي إلى تشققات شادة 'Tensile stress' splitting وعليه تجب إضافة تسليح قطري من أجل المساهمة في مقاومة إجهادات الشد.



$$A_{sj} = \frac{T}{0.9f_y}$$

A_{sj} : التسليح المائل في العقدة.

الشكل (9-15) عقدة صلابة تقاوم عزوم، مرجع رقم (9)

1- يُعطي الكود العربي السوري الحد الأدنى لتسليح العقدة المائل كما يأتي:

- إذا كان طول المجاز أقل من 10 متر لا يقل التسليح القطري في العقدة عن 15% من التسليح العلوي:

$$A_{sj} \geq 0.15A_s$$

A_s : التسليح العلوي في العقدة.

- إذا كان طول المجاز أكبر من 10 متر وأقل من 20 متر لا يقل التسليح القطري في

$$A_{sj} \geq 0.2A_s \quad \text{العقدة عن 20\% من التسليح العلوي:}$$

- إذا كان طول المجاز أكبر من 20 متر وأقل من 25 متر لا يقل التسليح القطري في

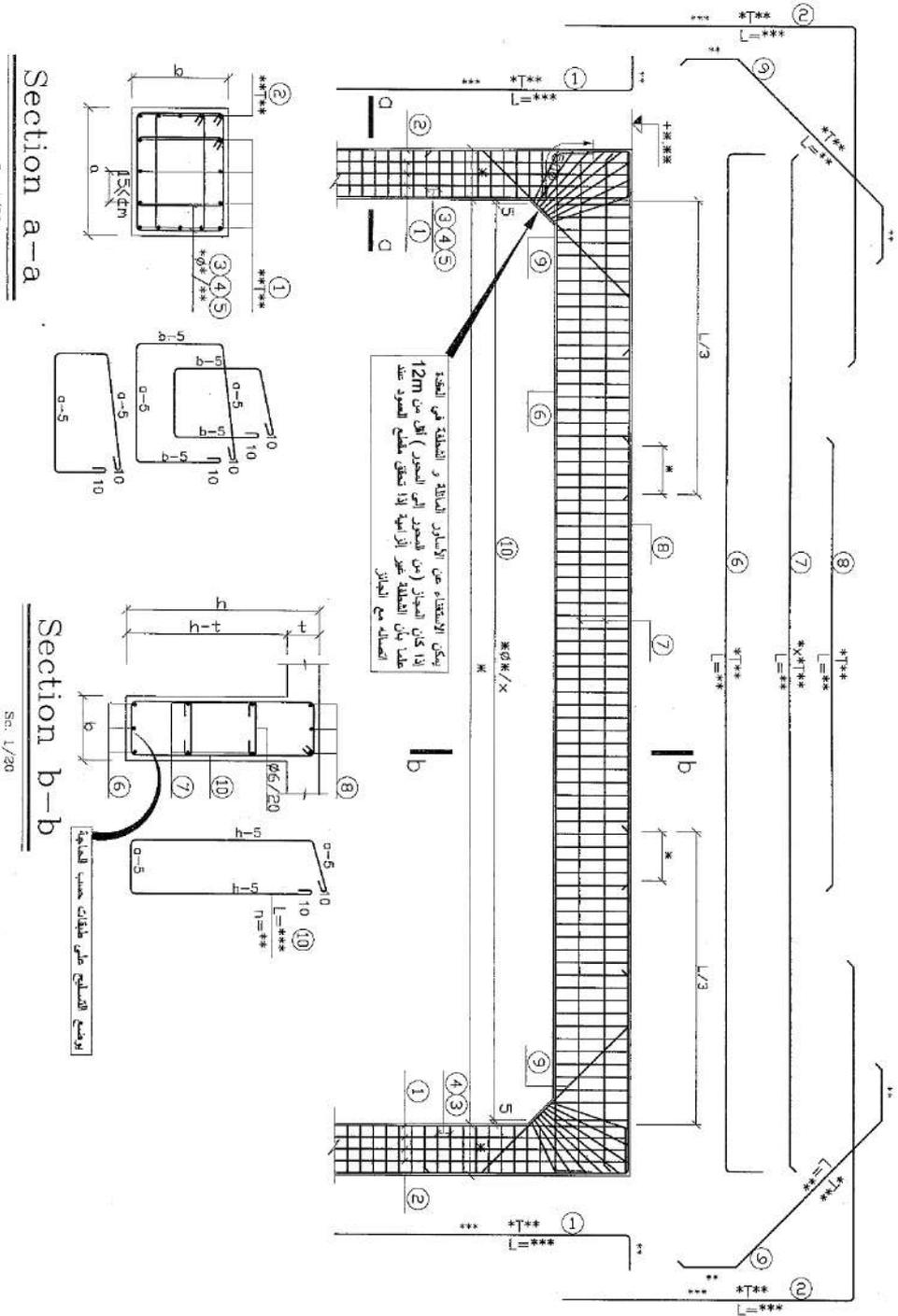
$$A_{sj} \geq 0.25A_s \quad \text{العقدة عن 25\% من التسليح العلوي:}$$

- إذا كان طول المجاز أكبر من 25 متر وأقل من 30 متر لا يقل التسليح القطري في

$$A_{sj} \geq 0.3A_s \quad \text{العقدة عن 30\% من التسليح العلوي:}$$

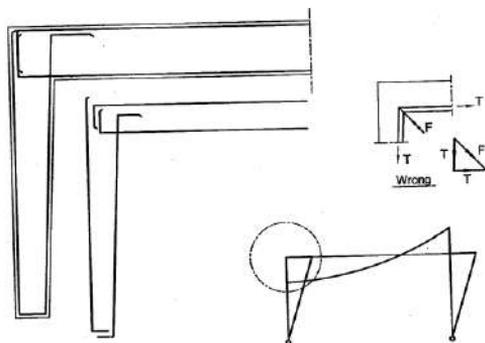
- 2- عندما يزيد طول المجاز على 30 متر يصبح الجائز غير اقتصادياً ويستهلك عندها الوزن الذاتي ما يقارب 70-80% من استطاعة الإطار لذلك يتم اللجوء إلى البيتون مسبق الإجهاد
- 3- يمكن وضع أساور مروحية ضمن العقدة كحل بديل لاستمرار أساور العمود ضمن العقدة.
- 4- يمكن وضع شطفة مائلة عندما يزيد المجاز على 12 متر ولكنها غير إلزامية.





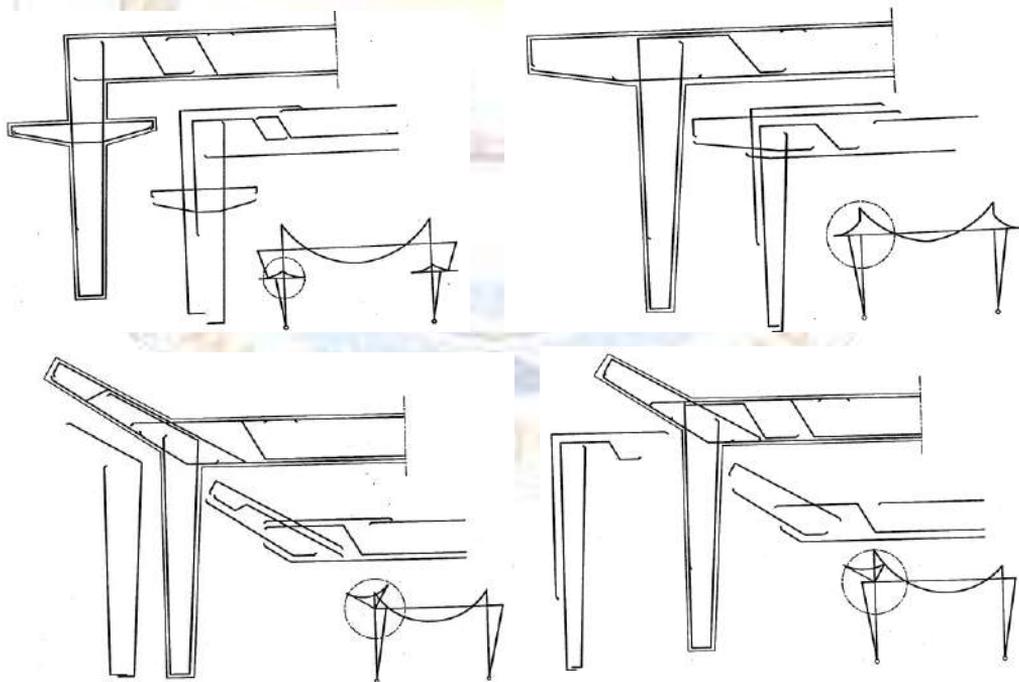
الشكل (9-16) تفاصيل تسليح الإطارات ذات الأحمال الشاقولية وفق تعليمات الكود العرب السوري، مرجع رقم (2)

د. عقدة صلبة بين الجائز والعمود إذ يُشكّل مخطط العزم ما يسمّى بالعقدة متباعدة " Opening Joint". في هذه الحالة لا يُمدّ تسليح العمود ضمن الجائز، وتتم تقوية العقدة من الداخل بمد تسليح العمود مسافة طول التثبيت بشكل معكوس.



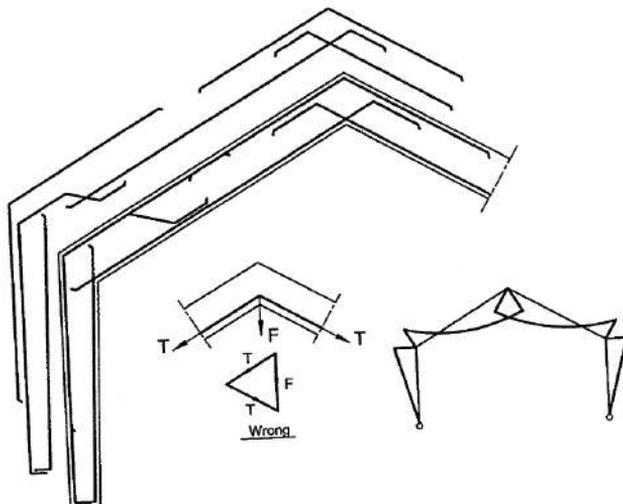
الشكل(9-17) تفاصيل عقدة صلبة متباعدة، مرجع رقم (9)

هـ- تفاصيل العقد الصلبة في إطارات ذات أظفار:



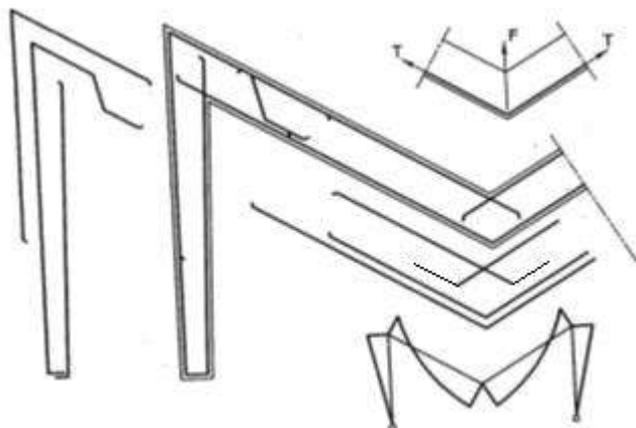
الشكل(9-18) تفاصيل عقدة صلبة ذات ظفر، مرجع رقم (9)

و- في حال وجود جزء منكسر في الجائز يُشكّل عقدة مفتوحة "Opening Joint" يتم ترتيب التسليح السفلي بشكل مقص بحيث يمنع تقشّر التغطية البيتونية:



الشكل(9-19) تفاصيل عقدة منكسرة مفتوحة، مرجع رقم (9)

ز- في حال كون الجائز منكسراً بحيث تكون عقدة الانكسار عقدة غالقة "Closing Joint" يتم ترتيب التسليح العلوي بشكل مقص لأن محصلة القوى أصبحت للداخل.

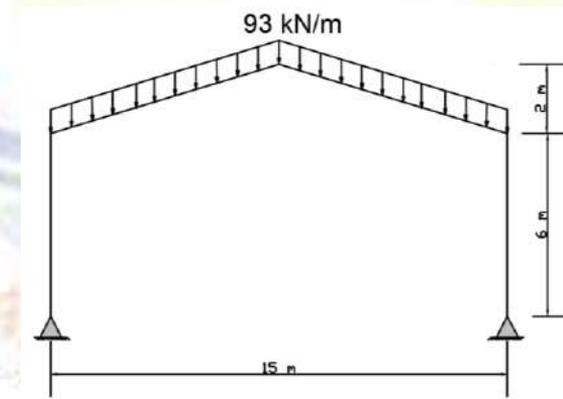
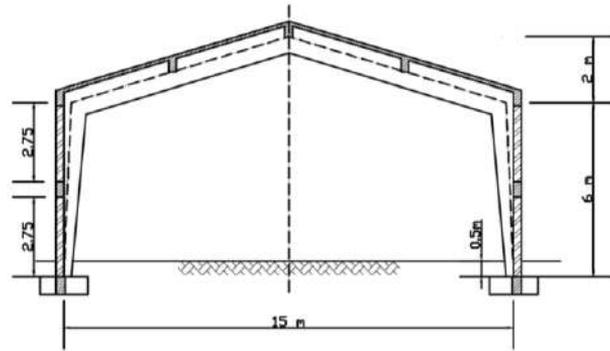


الشكل(9-20) تفاصيل عقدة منكسرة غالقة، مرجع رقم (9)

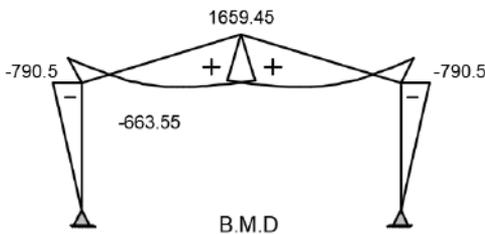
مثال تطبيقي (1):

صمّم الإطار المبين بالشكل، علماً بأنّه يحمل حمولة شاقولية مصعّدة بما فيها الوزن الذاتيّ تساوي إلى 93 kN/m الحمولة الميتة تساوي 40kN/m، الحمولة الحيّة تساوي 21.76kN/m. الإطار غير مسندّ جانبيّاً في مستويّه، ومسندّ جانبيّاً في المستوي المعامد. سماكة البلاطة 120mm، يتكرر الإطار كل 5m وتوجد جيزان ثانويّة في السقف معامدة لمستوي الإطار كل 2.5m:

$$f_y = 420MPa \quad f'_c = 20MPa \quad f_{ys} = 280MPa$$



الحل:



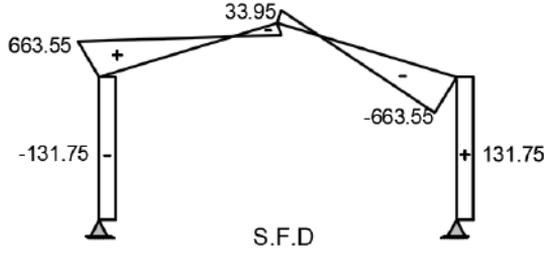
1. إيجاد الجهود بالاستعانة ببرامج التحليل

الإنشائيّ:

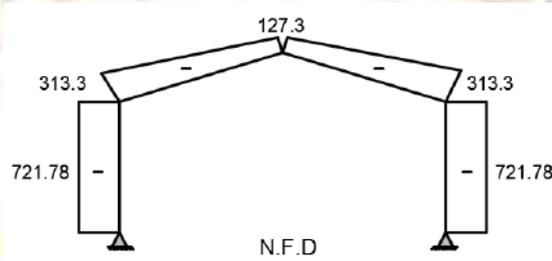
• مخطّط عزم الانعطاف

:B.M.D

• مخطط القوة القاطعة S.F.D:

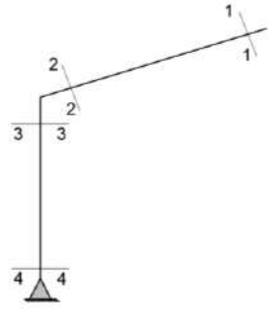


• مخطط القوة الناعمة N.F.D:



2. التصميم على الانعطاف:

يتم التصميم على الانعطاف بسبب التناظر في المواقع الحرجة الأربعة الآتية فقط:



• المقطع رقم (1)، يخضع إلى الجهود الآتية:

$$: M_u = 1659.5kN.m \quad N_u = 127.3kN(C)$$

يتم فرض سماكة الجائز حسب شرط السهم، جائز متدلي ومستمر من الطرفين:

$$t_g = \frac{L}{16} = \frac{15}{16} = 0.94m$$

يتم اعتبار السماكة $t_g = 1.1m = 1100mm$ والعرض $b = 400mm$

بفرض التغطية 80mm فيكون الارتفاع الفعال:

$$d = t_g - d' = 1100 - 80 = 1020mm$$

المقطع يخضع إلى انعطاف مركب وهو يتصرف كمقطع T بسبب الفعل المشترك مع البلاطة المليئة، ويكون عرض طاولة الضغط:

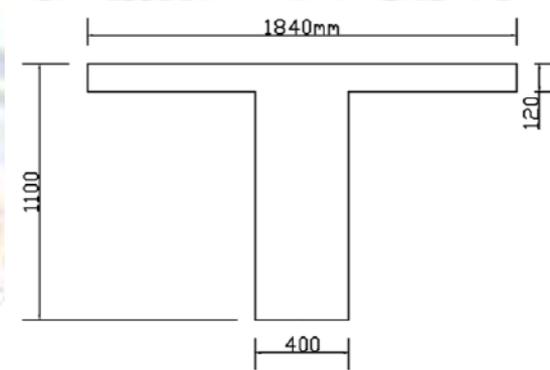
$$b_f = \min \left\{ \begin{array}{l} L_e / 4 = \frac{0.76 \times 15000}{4} = 2850mm \\ 12t_f + b_w = 12 \times 120 + 400 = 1840mm \\ D = 5000mm \end{array} \right. \quad b_f = 1840mm$$

في حال كانت القوة الناطمية أقل من 10% من مقاومة المقطع على الضغط فإنها تهمل ويتم التصميم على الانعطاف البسيط فقط:

$$N_0 = 0.85f'_c b t_g =$$

$$0.85 \times 20 \times 400 \times 1100 = 7480kN \Rightarrow 0.1N_0 = 748kN > N_u = 127.3kN$$

يُصمم المقطع كمقطع T خاضع إلى انعطاف بسيط موجب:



$$M_{d0}^+ = \Omega 0.85f'_c b_f t_f \left(d - \frac{t_f}{2} \right) = 3243kN.m > M_{max}^+ \text{ العزم الذي يتحمله الجناح}$$

والمقطع مستطيل عرضه b_f

المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f_c' b_f d^2}$	0.0567
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.0584
$\alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y}$	0.27
$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.97
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \text{ mm}^2$	5172.4
$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \text{ mm}^2$	1020
$a_b = 0.85 \frac{630}{630 + f_y} d \text{ mm}$	551.7 > 120
$A_{s \max} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f_c'}{f_y} + \frac{0.85 f_c' (b_f - b_w) t_f}{b_w \cdot d \cdot f_y} \right] b_w d \text{ mm}^2$	9288.8
$A_s (\text{used})$	12φ25 = 5890 mm ²

يُستخدم تسليح تعليق لا يقل عن 20% من التسليح الرئيس:

$$0.2(5172.4) = 1034.5 \text{ mm}^2 \Rightarrow 4\phi 18 = 1018 \text{ mm}^2$$

• المقطع رقم (2)، يخضع إلى الجهود الآتية:

$$: M_u = -790.5 \text{ kN.m} \quad N_u = 313.3 \text{ kN (C)}$$

$$N_0 = 0.85 f_c' b t_g =$$

$$0.85 \times 20 \times 400 \times 1100 = 7480 \text{ kN} \Rightarrow 0.1 N_0 = 748 \text{ kN} > N_u = 313.3 \text{ kN}$$

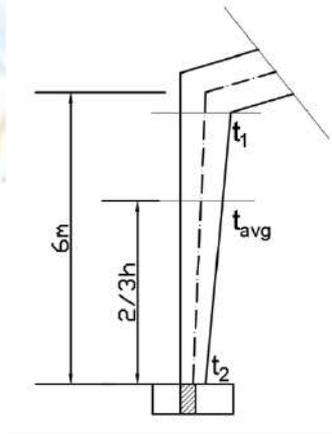
يُصمم كمقطع مستطيل 400×1100mm عرضه b_w خاضع إلى عزم سالب

$$: 790.5$$

المعادلة	القيمة
$A_0 = \frac{M_u / \Omega}{0.85 f_c' b_w d^2}$	0.124
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$	0.133
$\alpha_{\max} = \frac{267.75}{630 + f_y}$	0.27
$\gamma = 1 - \frac{\alpha}{2}$	0.934
$A_s = \frac{M_u / \Omega}{\gamma d \times f_y} \text{ mm}^2$	2562
$A_{s \min} = \frac{0.9}{f_y} b_w d \text{ mm}^2$	1020
$A_{s \max} = \frac{1}{2} \left[\frac{455}{630 + f_y} \frac{f_c'}{f_y} \right] b_w d \text{ mm}^2$	5208
$A_s(\text{used})$	$6\phi 25 = 2945 \text{ mm}^2$

يمتد التسليح العلوي مسافة تساوي $L/3=2.5\text{m}$ وهي أكبر من المسافة حتى انعدام العزم مع هامش أمان $12\phi, d/2$.

• المقطع رقم (3)، يخضع إلى الجهود الآتية:



• $M_u = -790.5 \text{ kN.m}$ $N_u = 721.87 \text{ kN}(C)$

مقطع العمود مستطيل وخاضع إلى انعطاف مركّب، تُفرض أبعاد المقطع كما يأتي:

$$t_1 = 0.8t_g = 880\text{mm} \approx 900\text{mm} = 0.9\text{m}$$

$$t_2 = 0.67t_1 = 603\text{mm} \approx 650\text{mm} = 0.65\text{m}$$

البعد المعامد يساوي 400mm.

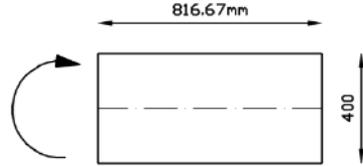
أ. دراسة التحنّب في الاتجاه المعامد لمستوي الإطار :Out of plane direction

بسبب وجود الجائز المحيطي يكون طول التحنّب 2.75m.

بما أن المقطع متغيّر السماكة يتم اعتماد

السماكة على ارتفاع $2/3h$ من أجل التحنّب:

$$t_{avg} = t_2 + \frac{2}{3}(t_1 - t_2) = 816.67\text{mm}$$

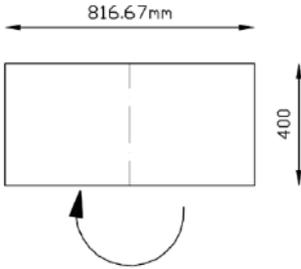


وبما أن الإطار مسند جانبيّاً في هذا الاتجاه يمكن افتراض $k=0.75$:

$$\lambda = \frac{L_0}{0.289h} = \frac{0.75 \times 2.75}{0.289 \times 0.4} = 17.84 < 40$$

لمستوي الإطار.

ب. دراسة التحنّب في الاتجاه الموازي لمستوي الإطار :Inplane direction



في هذا الاتجاه الطول الحر للعمود يساوي إلى 6m.

العمود غير مسند جانبيّاً وعليه يُحسب معامل التشكّل

k كما يأتي:

$$k = \min \begin{cases} 1 + 0.15(\psi_A + \psi_B) \geq 1 \\ 2 + 0.3(\psi_{\min}) \geq 1 \end{cases}$$

وتُحسب صلابة العقد كما يأتي:

$$\psi = \frac{\sum E_C I_C / L_C}{\sum E_B I_B / L_B} \geq 0.4$$

عزم عطالة العمود:

$$I_C = 0.7I_g = 0.7 \frac{bh^3}{12} = 0.7 \frac{0.4 \times 0.816^3}{12} = 0.0127m^4$$

عزم عطالة الجائز:

$$I_B = 0.35I_g = 0.35 \frac{bh^3}{12} = 0.35 \frac{0.4 \times 1.1^3}{12} = 0.0155m^4$$

إذ تم إهمال البلاطة لرقعة سماكتها.

$$\psi_A = \frac{0.0127}{\frac{6}{0.0155}} = 0.34 < 0.4$$

صلابة العقدة العلوية:

صلابة العقدة السفلية: $\psi_B = \infty$ نهاية مفصلية.

$$k = \min \begin{cases} 1 + 0.15(\psi_A + \psi_B) = \infty \geq 1 \\ 2 + 0.3(0.4) = 2.12 \geq 1 \end{cases} \quad k = 2.12$$

ويكون معامل النخافة:

$$\lambda = \frac{L_b}{0.289h} = \frac{2.12 \times 6}{0.289 \times 0.817} = 53.87 > 22$$

والعمود نحيف

بحسب طريقة تضخيم العزوم:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2(EI)_{eff}}{L^2}$$

حساب حمولة التحنّب الحرجة:

$$(EI)_{eff} = \frac{0.4E_c I_g}{1 + \beta_{dns}}$$

و: عزم عطالة المقطع البيتوني بالكامل حول محور التحنّب مع إهمال فولاذ التسليح.

$$I_g = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.4 \times 0.816^3}{12} = 0.01814m^4$$

$$E = 5700\sqrt{f'_c} = 25491.2MPa$$

$$\beta_{dns} = \frac{1.4DL}{1.4DL + 1.7LL} = \frac{1.4 \times 40}{93} = 0.602 \leq 1$$

$$(EI)_{eff} = \frac{0.4 \times 25491.2 \times 0.01814}{1 + 0.602} = 115.46MN.m^2 = 115458kN.m^2$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2(115458)}{6^2} = 31653kN$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{721.78}{0.75 \times 31653}} = 1.031 > 1$$

معامل التضخيم:

العزوم الكلية أعلى العمود في مستوى الإطار:

$$M_{2u} = \delta_s M_u = 1.031(790.5) = 815.3kN.m$$

تصميم العمود وفق الحالة الإجهادية: $M_u = -815.3kN.m$ $N_u = 721.87kN(C)$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = 1.129m \Rightarrow \frac{e}{h} = \frac{1.129}{0.9} = 1.255$$

• حساب المتحولات: $f'_c = 20MPa$, $f_y = 420MPa$, $\frac{d-d'}{h} = \frac{900-2 \times 45}{900} = 0.9$

حساب القيم اللابعدية:

$$N_c = 0.85f'_c b h = 0.85 \times 20 \times 400 \times 900 = 6120kN$$

$$0.9 \geq \Omega = 0.9 - 0.5 \frac{721.87}{6120} = 0.84 > 0.65$$

$$K = \frac{N_u}{\Omega f'_c b h} = \frac{721.87 \times 10^3}{0.84 \times 20 \times 400 \times 900} = 0.119$$

$$K \frac{e}{h} = \frac{M_u}{\Omega f'_c b h^2} = 0.119 \times 1.255 = 0.149$$

• حساب نسبة التسليح من مخطط الترابط رقم /11/:

$$\mu_t = 0.016 > 0.01$$

• حساب مساحة التسليح:

$$A_{s(tot)} = \mu_t b h = 0.016 \times 400 \times 900 = 5760mm^2$$

توزع بشكل متناظر على طرفي المقطع:

$$A_{s(tot)} / 2 = 2880mm^2 \Rightarrow 6\phi 25 = 2945mm^2$$

• المقطع رقم (4)، يخضع إلى الجهود الآتية:

$$: M_u = 0.00kN.m \quad N_u = 721.87kN(C)$$

المقطع يخضع إلى الضغط البسيط، أبعاد المقطع $400 \times 650mm$ بما أن العمود ركني

والطابق أخير يكون المعامل $k_e = 2$

بافتراض نسبة تسليح دنيا:

$$A_{s,min} = 0.01 \times 400 \times 650 = 2600mm^2$$

$$N_u = \frac{0.8\Omega}{k_e} [0.85f'_c A_c + f_y A_s] =$$

$$\frac{0.8 \times 0.6}{2} [0.85 \times 20(360000) + 420(2600)] = 1730.88kN > N_u$$

يتم استخدام تسليح قدره $3\phi 25 = 1472mm^2$ على كل طرف.

3. التصميم على القص:

• تصميم الجائز على القص:

يقع المقطع الحرج على بعد $d/2$ من وجه العمود، وتكون قوة القص على بعد $0.96m$:

$$V_u = 600N.m$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.75b_w \times d} = \frac{600 \times 10^3}{0.75 \times 400 \times 1020} = 1.96MPa$$

$$\tau_{u\max} = 0.65\sqrt{f'_c} = 2.9MPa$$

$\tau_u < \tau_{u\max}$ والمقطع مقبول الأبعاد

بما أن قوة القص تترافق مع قوة ضغط فإن تحمل البيتون على القص يزداد.

$$\tau_{cu} = \left[1 + 0.07 \frac{N'_u}{A_c} \right] 0.16\sqrt{f'_c} \leq 0.31\sqrt{f'_c}$$

$$\tau_{cu} = \left[1 + 0.07 \frac{313.3 \times 10^3}{400 \times 1100} \right] 0.16\sqrt{20} = 0.751 \leq 0.31\sqrt{f'_c} = 1.38MPa$$

والمقطع يحتاج إلى تسليح قص:

بافتراض مساهمة البيتون على القص:

$$\tau_{0u} = 0.35\tau_{cu} = 0.35 \times 0.751 = 0.26MPa$$

$$\tau_{su} = 1.96 - 0.26 = 1.70MPa$$

إجهاد القص الذي يتحمّله الفولاذ:

التباعد بين الأساور يجب أن يحقق الشروط:

$$S \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{2} = 510mm \\ 300mm \end{array} \right.$$

بفرض $S=150mm$ ، تحسب مساحة تسليح القص:

$$A_{st} = \frac{\tau_{su} \times b \times S}{f_y} = \frac{1.7 \times 400 \times 150}{280} = 364mm^2$$

يتم استخدام اساورتين بأربعة أذرع بقطر 12mm.

• تصميم العمود على القص: $V_u = 131.75 N.m$

أسفل العمود وهو المقطع الأخطر 400×650mm

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.75b_w \times d} = \frac{131.75 \times 10^3}{0.75 \times 400 \times 570} = 0.77 MPa$$

$$\tau_{cu} = \left[1 + 0.07 \frac{N'_u}{A_c} \right] 0.16 \sqrt{f'_c} \leq 0.31 \sqrt{f'_c}$$

$$\tau_{cu} = \left[1 + 0.07 \frac{721.87 \times 10^3}{400 \times 650} \right] 0.16 \sqrt{20} = 0.854 \leq 0.31 \sqrt{f'_c} = 1.38 MPa$$

$\tau_u < \tau_{cu} \Rightarrow$ Minimum Reinf.

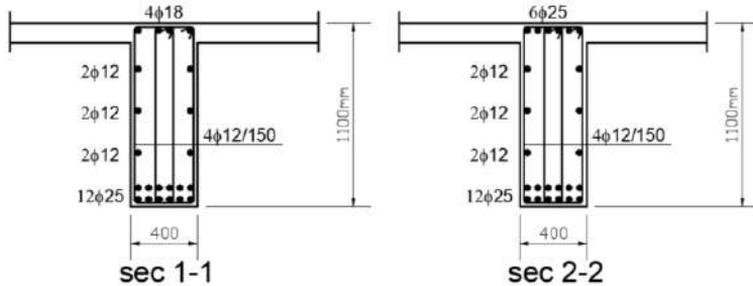
$$A_{stmin} = \frac{0.35 \times b \times S}{f_y} = \frac{0.35 \times 400 \times 200}{280} = 100 mm^2$$

يتم استعمال إساور بقطر 10mm وتباعد 200mm أعلى العمود ويتم تكثيف الأساور قرب

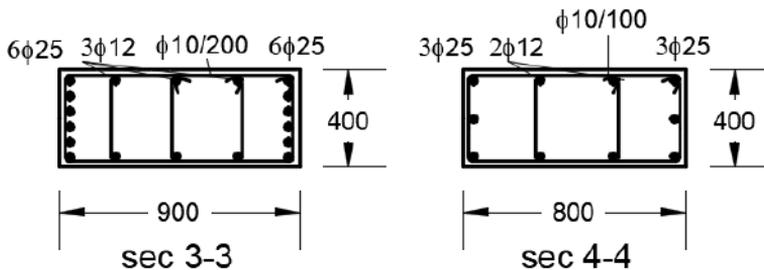
الأساس بتباعد S=100mm.

• 4. رسم تفاصيل التسليح:

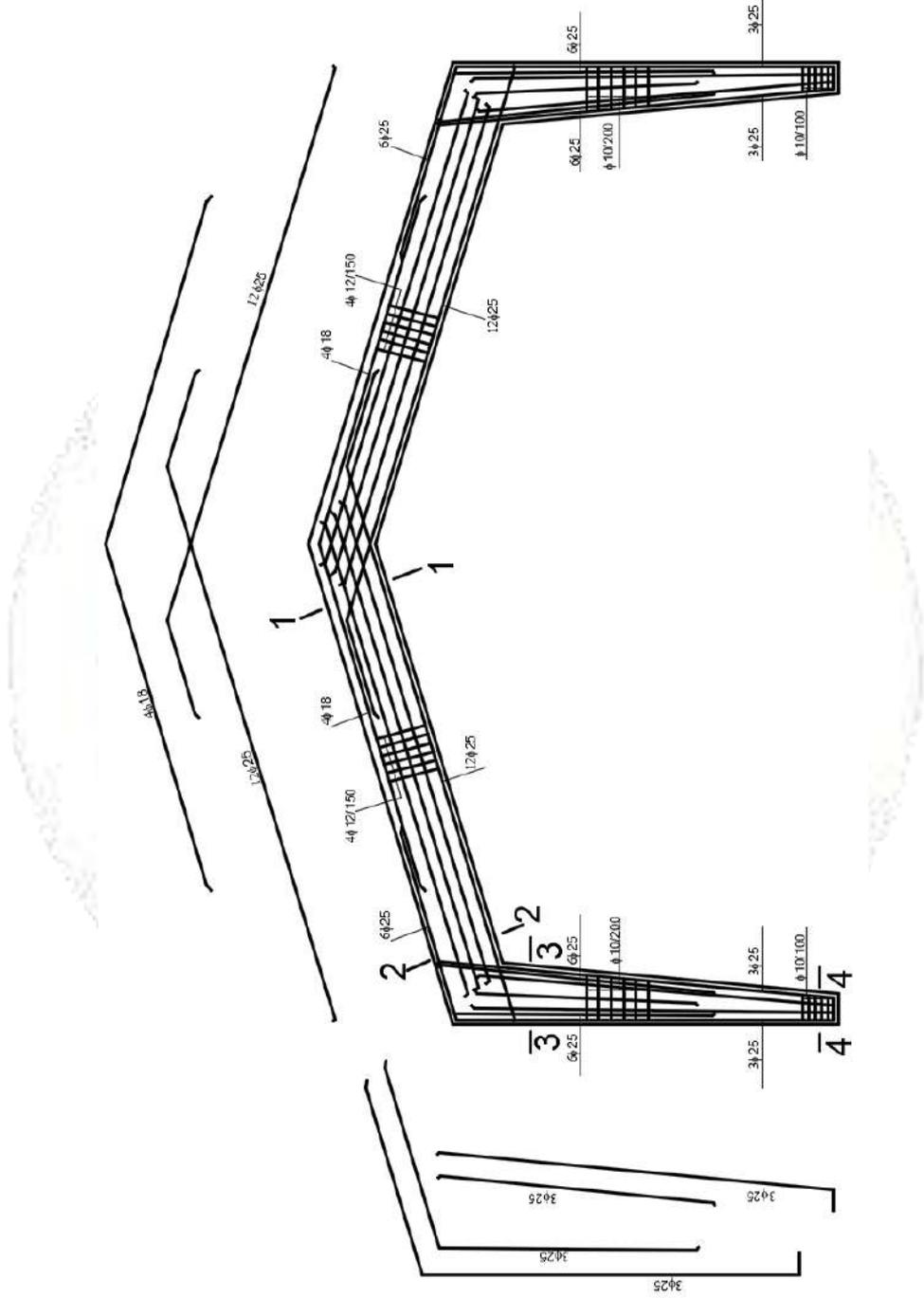
• مقاطع عرضية في الجائز:



• مقاطع عرضية في الأعمدة:



● مقطع طولى في الإطار:



المراجع

1. الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة- نقابة المهندسين، 2015.
2. ملحق الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة رقم (3) - التفاصيل والرسومات.
3. فؤاد المدرّس، (1987). بيتون مسلح (1). منشورات جامعة حلب.
4. ACI 318-19 (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete*. American Concrete Institute.
5. Nasr Abboushi, (2014). *Reinforced Concrete*. Palestine: Palestine Polytechnic University.
6. David Darwin, et al. (2016). *Design of Concrete Structures*. New York: McGraw Hill.
7. M. Nadim Hassoun, et al. (2015). *Structural Concrete Theory and Design*. New Jersey: Wiley.
8. Mahmoud E. Kamara, et al. (2011). *Simplified Design of Reinforced Concrete Building*. Illinois: PCA.
9. Mashhour Ghoneim, et al. (2008). *Design of Reinforced Concrete Structure*. Cairo.
10. Ray, S. S. (1995). *Reinforced Concrete Analysis and Design*. London: Blackwell Science Ltd.
11. Konstantinidis, Apostolos (2008). *Earthquake Resistant Buildings from Reinforced Concrete*. Athens: Alta Grafico.
12. Hilal, M. (2004). *Design of Reinforced Concrete Halls*. Cairo: Cairo University.



دليل المصطلحات العلمية

عربي - انكليزي

A

Alternative Method	طريقة بديلة
Absolute maximum moment (M)	عزم الانعطاف (الانحناء) الأعظمي
Allowable-stress	الإجهاد المسموح
Angular displacement	تشوه زاوي
Antisymmetric loads	أحمال متناظرة عكسياً
Approximate methods of analysis	طرائق تحليل تقريبية
Areas of reinforcing steel	مساحات التسليح
Axial compression	ضغط محوري
Axial Tension	شد محوري
Average	متوسط
Applied force	قوة مطبقة
Action	فعل
Assembly	عناصر مجمعة

B

Bay	مجاز
Beam	جانز
Bending moment	عزم انعطاف
Bending moment diagram	مخطط عزم الانعطاف
Buckling	تحنيب
Biaxial bending	عزم منحرف
Bond	التحام
Bar	قضيب
Base	أساس
Basic Method	طريقة أساسية

C

Creep	زحف
Cantilever	ظفر
Cantilever beam	جانز ظفري
Column	عمود
Compatibility	توافقية
Capital	تاج العمود
Compressive force	قوة ضغط
Concrete	خرسانة
Curvature	انحناء
Concentrated loads	قوى مركزة
Circular	دائري

Codes	كودات
Continuity conditions	شروط الاستمرارية
D	
Dead loads	أحمال ميةة
Deflection	تشوه
Determinacy	تقرير
Displacements	انتقالات
Distributed loads	أحمال موزعة
Deep beam	جانز عميق
Design loads	حمولات تصميمية
Detailing	تفاصيل تسليح
Diagonal	قطري
Design	تصميم
E	
Effective Depth	ارتفاع فعال
Effective flange width	عرض الجناح الفعال
Elements	عناصر
Expansion	تمدد
Equilibrium	توازن
External stability	استقرار خارجي
Eccentric compression	ضغط لا مركزي
Effect	تأثير
F	
Fixed-end moments (FEM)	عزوم وثق
Flanges	أجنحة الجيزان
Flexibility	قابلية تشوه
Flexural rigidity	صلابة انعطافية (انحنائية)
Floors	أرضيات
Force	قوة
Frames	إطارات
Fixed-support	وثاقة
Free-body diagrams	مخطط الجسم الحر
G	
Girder	جانز مستعرض
Gross moment of inertia	عزم العطالة غير المتشقق
H	
Hinge	مفصل
I	
Inflection points	نقاط انعطاف

Interaction diagram	مخطط ترابط
Inclined cracking	تشققات قطرية
Impact	تأثير
Internal stresses	إجهادات داخلية
Internal stability	استقرار داخلي
Initial modulus	معامل أولي
Instable	غير مستقر
Instability	عدم استقرار
	J
Joint	عقدة
	L
Lateral loads	قوى جانبية
Line	خط
Limit State	حالة حدية
Load Factors	عامل حمولة
Longitudinal reinforcement	تسليح طولي
Live Load	حمل حي
Loads	أحمال
	M
Magnification factor	عامل تصعيد
Middle strip	شريحة وسطية
Modes of failure	أنماط الانهيار
Moment distribution	توزيع العزوم
Moment of inertia	عزم العطالة
Moving loads	أحمال متحركة
	N
Neutral Axis	محور محايد
Nominal strength	مقاومة اسمية
	P
Plastic hinge	مفصل لدن
Prestress	مسبق الإجهاد
Post-tensioning	لاحق الشد
Portals	إطارات
Plastic centroid	مركز المقطع البلاستيكي
Pile caps	قبعة الأوتاد
Pattern Loading	نموذج تحميل
Principle of Superposition	مبدأ تنضد الأثار
	R
Reinforcing-Reinforcement	تسليح

Rectangular section
Radius of gyration

مقطع مستطيل
نصف قطر العطالة

S

Stress block
Shear wall
Simplified analysis
Serviceability
Shear
Stirrups
Slenderness ratio
Shrinkage
Singly reinforced section
Spandrel beam
Spacing
Slabs
Span
Stability
Strength reduction factor
Stresses
Support

الإجهاد
جدار قص
تحليل مبسّط
حدود الاستمرار
قص
أساور
نسبة النحافة
انكماش
مقطع أحادي التسليح
جائز رابط
تباعد
بلاطات
مجاز
استقرار
معامل تخفيض المقاومة
الإجهادات
استناد

T

Temperature (T)
Thickness
Torsion
Transverse reinforcement
Two-way slabs
T-section

درجة حرارة
سماعة
فتل
تسليح عرضي
بلاطة تعمل باتجاهين

U

Uniform loads
Units
Ultimate State

أحمال موزعة بانتظام
واحدات
حالة حدية

V

Vertical components
Virtual work
Vertical loads

عناصر شاقولية
عمل افتراضي
أحمال شاقولية

W

Webs
Wind loads

جذع الجائز
أحمال رياح

التدقيق العلمي

الأستاذ الدكتور
سهيل جنزير
جامعة حلب

الأستاذ الدكتور
محمد صفو
جامعة حلب

الأستاذ الدكتور
عبد القادر ملحم
جامعة حلب

المدقق اللغوي

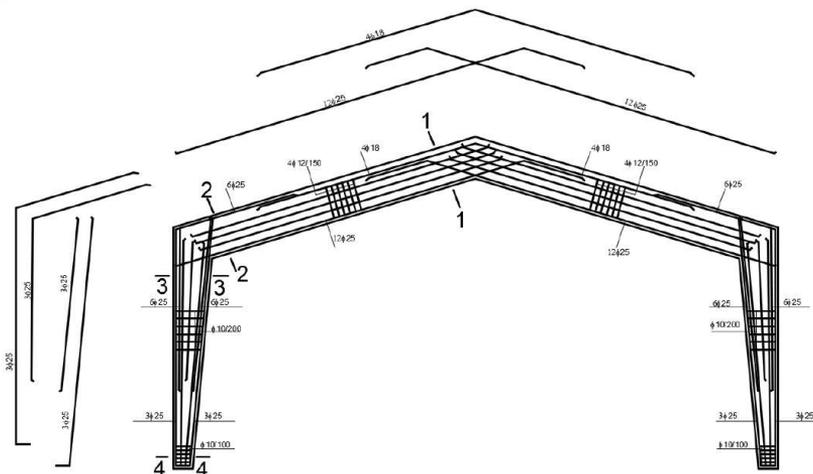
الدكتورة منى العلي

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة

لمديرية الكتب والمطبوعات الجامعية



Reinforced Concrete (2)



Dr. Rim KHARTASH

Assistant Professor - Structural Engineering Department

Third Year

Academic Year 1444ھ - 2023م

سعر المبيع للطلاب