البيتون مسبق الإجهاد (Prestressed Concrete)

اشتراطات عامّة في التصميم

1- افتراضات تصميم عناصر مسبق الإجهاد

☒ **الافتراضات العامّة**

- التشوهات في التسليح والبيتون، تؤخذ بالنسبة والتناسب من البعد عن المحور السليم.
- أكبر تشوه للبيتون مسموح باستعماله عند ابعد نقطة من البيتون عن المحور السليم هو (0.003).
- مقاومة البيتون على الشدّ، تهمل في التصميم على الانعطاف والقوى المحوريّة.
- العلاقة بين توزّع إجهاد الضغط على البيتون، وتشوه البيتون، هي بشكل مستطيل، وبقيمة مكافئة لتوزّع إجهادات البيتون بشكل مستطيل.
- إجهاد البيتون المخفّض $0.85\ f'_c$ موزّع بشكل منتظم، على منطقة الضغط، التي يحدّدها حرف المقطع المضغوط، وخطّ وهميّ مواز للمحور السليم، على مسافة مقدارها a من الحرف ذي تشوه الضغط الأعظميّ.
- يجب قياس المسافة بين حرف المقطع ذي التشوه الأعظميّ والمحور السليم c، في الاتّجاه العموديّ على المحور السليم.

☒ **مستويات دراسة العناصر البيتونية مسبقة الإجهاد**

تتمّ دراسة العناصر البيتونية مسبقة الإجهاد، على المستويات الثلاثة الآتية، لفئات عناصر مسبق الإجهاد:

- عند نقل قوى مسبق الإجهاد.
- على أحمال الاستثمار.
- على تراكيب الأحمال الحدّيّة.

☒ تصميم عناصر مسبق الإجهاد مبنيّ على المقاومة، وعلى سلوك العناصر في حالات الاستثمار، التي يمرّ بها العنصر مع الزمن، منذ لحظة نقل قوى الإجهاد.

أهمّ المراحل الحرجة، التي يتمّ عندها التصميم، أو التحقّق من المتطلّبات الواجب توافرها في العنصر، هي:

- مرحلة نقل الشدّ في الشدّ اللاحق، أو نقل حمل الشدّ المطبّق في تسليح الشدّ السابق إلى البيتون.
- مرحلة الاستثمار، بعد حصول جميع تغيّرات حجم البيتون؛ باستعمال جميع الحمولات المطبّقة على العنصر؛ بما فيها الأحمال الميّتة والحيّة من دون تصعيد.
- مرحلة الأحمال المصعّدة، بعد حصول جميع ضياعات الإجهاد الناتجة عن الإجهاد المسبق، والتغيّرات الناتجة عن سلوك البيتون مع العمر؛ باستعمال جميع الحمولات المطبّقة على العنصر؛ بما فيها الأحمال الميّتة والحيّة. تستعمل إجراءات هذه المرحلة للتحقّق من المتطلّبات الواجب توافرها في العنصر.

- يمكن التصميم لمراحل أخرى من عمر العنصر؛ كالتحقّق من المقطع المتشقّق، في حال حصول تشقّقات أكبر من المسموح؛ أو الحمولات الناتجة عن التحميل والنقل، في حال كون العنصر سابق الصنع.
- يجب أن يلحظ التصميم الإنشائيّ دراسة الإجهادات المركّزة؛ نتيجة نقل قوى مسبق الإجهاد في مناطق نقل هذه القوى.
- يجب اتّخاذ الاحتياطات اللازمة؛ نتيجة الآثار المرافقة لعمليّة الشدّ؛ كالتشوّهات الناتجة عن اللدونة والمرونة، وتشوّهات العنصر، من حمل الشدّ، وتغيّر أبعاده، والدوران، وكذلك تأثيرات الحرارة والانكماش والزحف على البيتون.
- يجب الانتباه إلى إمكانية حدوث تحنيب في جسد العناصر المجنّحة وجناحها؛ بسبب نحافة هذه الأجزاء من العنصر؛ كما يجب الانتباه إلى احتمال حدوث تحنيب ناتج عن مرور التسليح مسبق الإجهاد، بالقرب من فتحة كبيرة البعد في المقطع البيتوني.
- في حال حساب مساحة مقطع قبل إجراء عمليّة الحقن، يجب حذف مساحة الأغماد أو المراسي من المقطع الكلّيّ. يمكن إهمال هذه المساحات، إن كانت ضئيلة جدّاً؛ مقارنة مع المقطع الكلّيّ للعنصر؛ كما أنّه، في بعض الحالات، في الشدّ اللاحق بعد الحقن، يمكن أخذ مواصفات المقطع؛ باحتساب المساحة المكافئة لتسليح مسبق الإجهاد والتسليح العاديّ.

☒ **فرضيّات التصميم العامّة لعناصر البيتون مسبقة الإجهاد**

✓ التصميم بالطريقة الحدّيّة للعناصر مسبقة الإجهاد على الانعطاف والقوى المحوريّة، مبنيّ على فرضيّات التصميم الواردة في الكود الأساس؛ باستثناء مواصفات حديد التسليح، الذي يطبّق فقط على التسليح العاديّ؛ أمّا تسليح مسبق الإجهاد، فتطبّق عليه المواصفات الخاصة به.

✓ تطبّق نظريّة المرونة للتحقّق من الإجهادات في مرحلة نقل قوّة الشدّ، ومرحلة الاستثمار، ومرحلة المقطع المتشقّق.

✓ يتغيّر التشوه خطّيّاً، مع عمق المقطع المضغوط.

✓ في المقاطع المتشقّقة البيتون، لا يقاوم أيّ قوى شد.

☒ **تصنّف العناصر مسبقة الإجهاد، المصمّمة على الانعطاف، في ثلاث فئات:**

- العناصر غير المتشقّقة U.
- العناصر المتشقّقة C.
- العناصر الانتقاليّة T.

وذلك بحسب قيمة f_t وهي إجهاد الشدّ للحرف المتعرّض لإجهاد الشدّ الأعظميّ في المنطقة، التي تعرّضت للشدّ، قبل نقل قوّة مسبق الإجهاد؛ نتيجة للأحمال الاستثماريّة.

☒ **حدود الإجهادات قبل نقل قوى مسبق الإجهاد.**

يجب ألّا يتجاوز إجهاد الشدّ f_t في الليف الأكثر تعرّضاً للشدّ، في "المنطقة المعرّضة للشدّ من الأحمال الاستثماريّة، وقبل نقل أحمال مسبق الإجهاد"، الحدود الآتية:

- الفئة U للجوائز والبلاطات وحيدة الاتّجاه $f_t \le 0.625\sqrt{f'_c}$
- الفئة U للبلاطات ثنائيّة الاتّجاه $f_t \le 0.50\sqrt{f'_c}$
- الفئة T $0.625\sqrt{f'_c} < f_t \le 1.0\sqrt{f'_c}$
- الفئة C $f_t \ge 1.0\sqrt{f'_c}$

تطبّق الحدود أعلاه على نظامّي الأوتار الملتصقة أو غير الملتصقة.

يقصد بـ "المنطقة المعرّضة للشدّ من الأحمال الاستثماريّة، وقبل نقل الإجهاد اللاحق"، المنطقة الخاضعة للشدّ، والناتجة عن تحميل العنصر بالأحمال الميّتة والحيّة فقط؛ أي من دون أحمال مسبق الإجهاد، ومن دون تصعيد. هذه المنطقة، في الأغلب، سوف يسبّب نقل قوى مسبق الإجهاد فيها تقليلاً لقيمة الشدّ، أو تحويلها إلى منطقة ضغط.

☒ تحسب الإجهادات الناتجة عن الانعطاف للعناصر من الفئتين U وT، ويسمح باستعمال خواصّ المقطع غير المتشقّق.

أمّا عناصر الفئة C فمن الواجب استعمال خواص المقطع المتشقّق؛ المرجع الآتي، يوضح طريقة حساب عطالة المقطع المتشقّق.

☒ تحسب قيمة سهوم العناصر مسبقة الإجهاد الخاضعة للانعطاف، ويفترض أنّ جميع قيم السهوم الواردة في الكود الأساس، غير قابلة للاستعمال.

☒ تصنّف البلاطات في اتّجاهين بالفئة U باستعمال إجهاد $f_t < 0.50\sqrt{f'_c}$ وإلّا فإنّ البلاطة ستتعرّض إلى حالة فرط إجهاد Over-Stressed (O/S)

2- متطلّبات حالة الاستثمار للعناصر الخاضعة للانعطاف

☒ حدود إجهادات البيتون الناتجة عن الوزن الذاتيّ، وقوّة مسبق الإجهاد مباشرة، عند نقل قوّة مسبق الإجهاد إلى البيتون، وبعد احتساب الضياعات الناتجة عن قصر طول العنصر، وارتخاء تسليح مسبق الإجهاد، واستقرار الممسك في المرسى (أي قبل بدء الضياعات المرتبطة بالزمن كالزحف والانكماش)؛ يجب ألّا تتجاوز الحدود الآتية:

أ- الإجهاد الأعظميّ في منطقة الضغط، عدا المناطق المشار إليها في الفقرة الآتية $0.60\ f'_{ci}$

ب- الإجهاد الأعظميّ في منطقة الضغط، عند نهايات العنصر المستندة استناداً بسيطاً $0.70\ f'_{ci}$

ت- الإجهاد الأعظميّ في منطقة الشدّ، الذي يتحمّله البيتون من دون تسليحٍ إضافيٍّ $0.25\sqrt{f'_{ci}}$

ث- الإجهاد الأعظمي في منطقة الشدّ، عند نهايات العنصر المستندة استناداً بسيطاً من دون تسليح إضافيٍّ $0.50\sqrt{f'_{ci}}$

☒ حدود إجهادات البيتون في حالة الاستثمار، من جميع الأحمال، وحصول كامل الضياعات المتعلّقة بالزمن:

أ- الإجهاد الأعظميّ في منطقة الضغط، عدا المناطق المشار إليها في الفقرة الآتية $0.60\ f'_c$

ب- إجهاد الشدّ للفئة U للجوائز والبلاطات وحيدة الاتّجاه $f_t \le 0.625\sqrt{f'_c}$

ت- إجهاد الشدّ للفئة U للبلاطات ثنائيّة الاتّجاه $f_t \le 0.50\sqrt{f'_c}$

ث- إجهاد الشدّ للفئة T للجوائز $0.625\sqrt{f'_c} < f_t \leq 1.0\sqrt{f'_c}$

ج- إجهاد الشد للفئة C للجوائز $f_t \geq 1.0\sqrt{f'_c}$

ح- الإجهاد الأعظميّ في منطقة الشدّ، الذي يتحمّله البيتون من دون تسليحٍ إضافيٍّ $0.25\sqrt{f'_{ci}}$

☒ المقاطع غير المتشقّقة للعناصر من الفئتين U وT يجب ألّا تتجاوز الحدود الواردة في الفقرة السابقة؛ باستثناء الحدّ /أ/، الذي يستعاض عنه بأحد الحدّين الآتيين، في الليف الأكثر تعرّضاً للضغط في منطقة الضغط:

أ- الإجهاد الأعظميّ في منطقة الضغط، من الأحمال الدائمة، وقوى مسبق الإجهاد $0.45\ f'_{ci}$

ب- الإجهاد الأعظميّ في منطقة الضغط، من كامل الأحمال، وقوى مسبق الإجهاد $0.60\ f'_{ci}$

يطبّق الحدّ الوارد في الفقرة (ب) أعلاه، عندما تكون الأحمال الحيّة عالية القيمة؛ بالمقارنة مع مجمل الأحمال، وتطبّق لفترات زمنيّة قصيرة.

☒ يمكن للمصمّم تجاوز الإجهادات المشار إليها في الفقرتين السابقتين، إذا ثبت بالتحليل الإنشائيّ، أو بالتجارب، أنّ أداء العنصر، لن يضعف، ويجب أخذ موافقة الجهات الوصائيّة على هذا التجاوز.

☒ من اجل العناصر من الفئة C غير الخاضعة للتعب، أو غير المعرّضة لوسط عدائيّ (مياه البحر أو مياه المجاري أو مواد صناعيّة)، يسبّب هجوماً كيميائيّاً؛ فإنّ التباعد بين الأوتار القريبة من منطقة الشدّ الأعظميّ، يجب ألّا تتجاوز اشتراطات وحدود مغينة.

☒ يجب اتّخاذ احتياطات خاصّة مناسبة للعناصر الخاضعة للتعب، أو المعرّضة لوسط عدائيّ؛ منها التقيّد بالحدّ الأدنى من طبقات التغطية؛ كما ينصح بتخفيض إجهادات الشدّ المستعملة؛ كي يتمّ التقليل من التشقّقات أو إلغائها كلّيّاً.

3- عوامل تخفيض المقاومة

تطبّق عوامل تخفيض المقاومة على قيم مقاومة المواد المستعملة؛ للحصول على قيم المقاومة المطلوبة، لتصميم العناصر الإنشائيّة. وتكون لكلّ من الانعطاف والقصّ والفتل:

$\emptyset_t = 0.9$ للانعطاف في العناصر، التي تكون محكومة بالشدّ.

$\emptyset_c = 0.65$ للانعطاف في العناصر، التي تكون محكومة بالضغط.

$\emptyset = 0.75$ للقصّ والفتل.

تتغيّر قيمة عامل التخفيض بين العناصر المحكومة بالضغط والعناصر المحكومة بالشدّ، بصورة خطّيّة؛ انطلاقاً من قيمة تشوه التسليح على الضغط عند الحرف الأعلى.

4- التحقّق من إجهادات قضبان الشدّ في مرحلة الاستثمار

يجب ألّا يتجاوز إجهاد الشدّ في تسليح لاحق الإجهاد، الحدود الآتية:

آ- عند نقل قوّة مسبق الإجهاد بالمكبس ..... $0.94\ f_{py}$

بشرط ألّا يتجاوز الإجهاد المسموح عن القيمة الأدنى من القيمتين الآتيتين:

- $0.80\ f_{pu}$

- أكبر قيمة محدّدة من قبل المصنّع، لتسليح مسبق الإجهاد وأجهزة الإرساء.

ب- مباشرة بعد انتقال قوّة مسبق الإجهاد إلى البيتون ..... $0.82\ f_{py}$

بشرط ألّا تتجاوز القيمة $0.74\ f_{pu}$

ت- مباشرة بعد انتقال قوّة مسبق الإجهاد في الأوتار، عند أجهزة الإرساء ووصلات الأوتار $0.70\ f_{pu}$

5- توزيع التسليح

- ✓ يجب ألّا تزيد المسافات العظمى للأوتار الملتصقة لمسبق الإجهاد عن (3/2) المسافات المقرّرة لقضبان التسليح العاديّ.
- ✓ عند استعمال الجدائل في تسليح مسبق الإجهاد، يجب استعمال عامل التخفيض (3/2) عن المسافات المقرّرة للقضبان ذات النتوءات؛ نظراً لأنّ الجدائل ملساء.
- ✓ في المقاطع المتشقّقة، ينصح باستعمال حديد تسليح عاديّ ذي نتوءات؛ لزيادة التلاصق بين البيتون والفولاذ.
- ✓ عند استعمال التسليح العادي والتسليح مسبق الإجهاد؛ أحدهما بالقرب من الآخر، يجب ألّا يزيد التباعد بينهما على (6/5) المسافات المحددة من قبل الكود.
- ✓ عندما يزيد ارتفاع العنصر عن (900) ميلي متر، تجب إضافة تسليح تقلّص في مناطق تسليح الشدّ، في قضبان التسليح العاديّ و/أو تسليح مسبق الإجهاد، وفقاً للكود الناظم.

6- المقاومة على الانعطاف

لدى تصميم العناصر مسبقة الإجهاد على الانعطاف، تطبّق عليها العلاقات ذاتها المستعملة في تصميم العناصر البيتونية العاديّة؛ باستبدال إجهاد الخضوع للتسليح العاديّ f_y بقيمة إجهاد تسليح مسبق الإجهاد f_{ps} في جميع علاقات التصميم.

يسمح باستعمال قيمة تقريبيّة لحساب f_{ps} ؛ بشرط ألّا تقل قيمة f_{ps} عن $0.5\ f_{pu}$؛ كطريقة بديلة عن الطريقة الدقيقة لحساب f_{ps} المبنيّة على تآلف التشوه.

أ- العناصر ذات الأوتار الملتصقة

$$f_{ps} = f_{pu}\left\{1 - \frac{\gamma_p}{\beta 1}\left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p}(\omega - \omega')\right]\right\}$$

حيث:

$$\omega = \rho f_y / f'_c$$

$$\omega' = \rho' f_y / f'_c$$

$$\rho = A_s/(b \times d_b)$$

$$\rho' = A'_s/(b \times d_b)$$

$$\rho_p = A_{ps}/(b \times d_b)$$

$\gamma_p = 0.55$ عندما f_{py}/f_{pu} لا تقلّ عن (0.80)

$\gamma_p = 0.40$ عندما f_{py}/f_{pu} لا تقل عن (0.85)

$\gamma_p = 0.28$ عندما f_{py}/f_{pu} لا تقلّ عن (0.90)

في حال استعمال أيّ تسليح ضغط في العلاقة، يجب ألّا يقلّ الحدّ $\left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p}(\omega - \omega')\right]$ عن (0.17)،

و d' يجب ألّا تزيد على $0.15\ d_p$

لا يسمح باستعمال العلاقة المبسّطة المذكورة أعلاه، في حالة وجود نسبة تسليح عالية في الجوائز، ويرجع إلى الطريقة النظريّة المعتمدة على مبدأ توافق التشوهات (التشوهات) والتوازن بين القوى الناتجة في العنصر.

يجب أن تكون d' أقلّ ما يمكن؛ للاستفادة من تسليح الضغط، في زيادة مقاومة المقطع.

وتطبّق هذه العلاقة فقط على الجوائز.

يمكن كتابة الحدّ $\left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p}(\omega - \omega')\right]$ بالشكل الآتي: $\left[\rho_p \frac{f_{pu}}{\acute{f}_c} + \frac{A_s \cdot f_y}{b \cdot d_p \cdot \acute{f}_c} - \frac{\acute{A}_s \cdot f_y}{b \cdot d_p \cdot \acute{f}_c}\right]$

ب- العناصر ذات الأوتار غير الملتصقة، ونسبة مجاز العنصر إلى ارتفاعه، تساوي (35) أو أقلّ:

$$f_{ps} = f_{pe} + 70 + \frac{f'_c}{100\ \rho_p}$$

f_{ps} في هذه المعادلة، يجب ألّا تتجاوز القيمة الأدنى من f_{py} أو $(f_{pe}+420)$

ت- العناصر ذات الأوتار غير الملتصقة، ونسبة مجاز العنصر إلى ارتفاعه أكبر من (35):

$$f_{ps} = f_{pe} + 70 + \frac{f'_c}{300\ \rho_p}$$

f_{ps} في هذه المعادلة يجب ألّا تتجاوز القيمة الأدنى من f_{py} و $(f_{pe}+210)$

يسمح باستعمال التسليح العاديّ؛ بالمشاركة مع تسليح مسبق الإجهاد، إذا كانت مواصفاته مطابقة لمواصفات التسليح الواردة في الكود الأساس. هذه المشاركة هي لمقاومة إجهادات الشدّ الناتجة في العنصر؛ كما يسمح بإدخال مساهمة الحديد العاديّ، في حساب مقاومة العنصر على الانعطاف بالقيمة f_y .

أمّا بقيّة أنواع التسليح العاديّ (تسليح الضغط)، فيمكن إدخال مساهماتها في حساب مقاومة العنصر، إذا تمّت دراسة توافق قيم التشوه، لتحديد قيمة الإجهاد المطلوب اعتماده، في حساب مقاومة العنصر.

الطريقة الدقيقة لحساب f_{ps}:

يحسب إجهاد تسليح مسبق الإجهاد f_{ps} (في جميع علاقات التصميم)، والمسمى في بعض المراجع بإجهاد الانهيار الاسمي لفولاذ سبق الإجهاد.

من أجل الفولاذ / Grade 250 / الدرجة (1725):

$$f_{ps} = \begin{cases} 19700.\varepsilon & for\ \varepsilon \le 0{,}008 \\ 1710 - \dfrac{0{,}4}{\varepsilon - 0{,}006} & for\ \varepsilon > 0{,}008 \end{cases}$$

من أجل الفولاذ / Grade 270 / الدرجة (1860):

$$f_{ps} = \begin{cases} 19700.\varepsilon & for\ \varepsilon \leq 0{,}008 \\ 1848 - \dfrac{0{,}517}{\varepsilon - 0{,}0065} & for\ \varepsilon > 0{,}008 \end{cases}$$

من أجل القضبان:

$$f_{ps} = \begin{cases} 20700.\varepsilon & for\ \varepsilon \leq 0{,}004 \\ 1020 - \dfrac{0{,}912}{\varepsilon - 0{,}003} & for\ \varepsilon > 0{,}004 \end{cases}$$

7- حدود التسليح في العناصر الخاضعة للانعطاف

- ✓ تصنّف مقاطع البيتون مسبق الإجهاد، ضمن واحدة من الفئات الآتية: مقاطع محكومة بالشدّ أو مقاطع محكومة بالضغط، أو مقاطع انتقاليّة بين الفئتين السابقتين.

المقاطع المحكومة بالضغط، هي المقاطع، التي يصل فيها تشوه البيتون في منطقة الضغط، إلى الحدّ الأعظميّ المسموح ε_{cu}=0.003 ولم يصل تشوه تسليح الشدّ ε_t إلى الحدّ الأعلى المسموح به.

المقاطع المحكومة بالضغط، هي المقاطع، التي لم تصل فيها قيمة التشوه الصافيّ للشدّ ε_t في التسليح الأبعد عن المحور السليم، إلى قيمة تشوه البيتون في منطقة الضغط، إلى الحدّ الأعظميّ المسموح ε_{cu}=0.003

التشوه الصافي هو التشوه، الذي لا يدخل فيه التشوهات الناتجة عن الزحف والانكماش والحرارة.

الحدّ الأعلى لتشوه المقاطع المحكومة بالضغط، هو الحدّ الأعلى لتشوه الشدّ، في المقاطع المحقّقة لتوازن التشوهات.

عند استعمال تسليح مسبق الإجهاد أو تسليح عاديّ من النوع (420) (Grade 420)، يسمح بأخذ الحدّ الأعلى للمقاطع المحكومة بالضغط بالقيمة (0.002).

المقاطع المحكومة بالشدّ، هي المقاطع، التي يتجاوز فيها تشوه الشدّ في التسليح الأبعد عن المحور السليم، القيمة (0.005) في الوقت، الذي يصل فيه تشوه البيتون إلى حدّه الأعظميّ المسموح (0.003).

المقاطع الانتقاليّة بين الحالتين: المحكومة بالشدّ، أو المحكومة بالضغط، هي المقاطع، التي يكون فيها تشوه الشدّ في التسليح، يتراوح بين تشوه المقاطع المحكومة بالضغط، وبين القيمة (0.005).

- ✓ المجموع الكلّيّ للتسليح العاديّ، والتسليح مسبق الإجهاد، في العناصر ذات الأوتار الملتصقة، يجب أن يكون كافياً لتأمين قوّة مصعّدة، تساوي على الأقلّ (1.2) مرّة القوّة المتسبّبة في تشقّق المقطع، والمحسوبة باعتماد معامل الانقطاع (rupture) f_r الذي يعطى بالعلاقة $f_r = 0.625\lambda\sqrt{f'_c}$.

لا تطبّق هذه الفقرة على العناصر ذات الأوتار غير الملتصقة.

يمكن تجاوز الاشتراط الوارد في هذا البند، عند تصميم المقاطع على الانعطاف، إذا كانت قدرة تحمّل المقطع على القصّ والانعطاف، أكبر من ضعف المطلوب حسابيّاً، الناتجة عن الحمولات التصميميّة المصعّدة.

- ✓ قسم من، أو كامل حديد التسليح مسبق الإجهاد، المشكّل من قضبان أو أوتار ملتصقة، يجب أن يكون قريباً، ما أمكن، من الطرف المشدود للمقطع المعرّض للانعطاف.

أمّا بالنسبة إلى المقاطع، التي تحتوي على أوتار غير ملتصقة، فيجب استعمال قضبان ملتصقة، أو بعض الأوتار الملتصقة، بالقرب من طرف المقطع المعرّض للشدّ؛ لتفادي حدوث تشقّقات في هذه المناطق.

8- المنشآت غير المقرّرة ستاتيكيّاً

- ☒ الإطارات والعناصر المستمرّة من البيتون مسبق الإجهاد، يجب أن تصمّم؛ بما يؤمّن أداءً مقبولاً على الأحمال الاستثماريّة، وبمقاومة مقبولة.
- ☒ نحصل على الأداء في مرحلة الاستثمار، من التحليل المرن؛ لمعرفة ردود الأفعال والعزوم والقصّ والقوى المحوريّة، الناتجة عن قوى مسبق الإجهاد، وعن الزحف والانكماش والتغيّر الحراريّ والتشوّه

المحوري، والتقييد الناتج عن العناصر المحيطة وهبوط الأساسات. يطلق على العزوم الناتجة من ردود الأفعال الحاصلة من قوى مسبق الإجهاد، اسم العزوم الثانويّة (Secondary Moments) وتجب إضافتها إلى مجموعة العزوم المذكورة أعلاه.

☒ العزوم المستعملة في حساب مقاومة العناصر، هي مجموع العزوم الناتجة من ردود الأفعال الحاصلة من قوى مسبق الإجهاد؛ بعامل تصعيد، مقداره الواحد، مع العزوم الناتجة عن الأحمال المختلفة المصعّدة بعوامل خاصّة، لكلّ نوع من الأحمال.

9- العناصر المضغوطة من الانعطاف والقوى المحوريّة معاً

☒ تدرس العناصر من البيتون مسبقة الإجهاد الخاضعة للانعطاف والقوى الأفقيّة، مع أو من دون تسليح عاديّ، بحسب العلاقات الواردة في الكود الأساس، من أجل طريقة حدّ المقاومة. يجب إدخال تأثيرات مسبق الإجهاد والزحف والانكماش وتغيّرات الحرارة في الدراسة.

☒ حدود التسليح للعناصر البيتونية المضغوطة:

- العناصر، التي لم تتجاوز إجهادات الضغط، من قوى مسبق الإجهاد الفعّالة فقط، 1.6 MPa تسلّح بالحدّ الأدنى الوارد في الكود الأساس.
- باستثناء الجدران؛ فإنّه، في جميع العناصر المضغوطة، من قوى مسبق الإجهاد فقط، التي تجاوزت إجهادات الضغط 1.6 MPa، يجب أن تحاط الأوتار كلّها بأساور عاديّة أو حلزونيّة، تحقّق الاشتراطات الآتية:

أ- الأساور الحلزونيّة؛ كما هو معرف في الكود الأساس.

ب- يجب ألّا يقلّ قطر الأساور العاديّة عن (10) مم، ولا يزيد التباعد الشاقوليّ بين الأساور على (48) قطر الإسوارة، أو البعد الأصغر للعنصر.

ت- بُعد أوّل إسوارة عن مركز استناد العنصر (العمود أو الجدار)، لا يتجاوز نصف التباعد بين الأساور، وكذلك لا يتجاوز بُعد آخر إسواره في أعلى العنصر، عن تسليح العنصر الأفقيّ المحمول عليه، نصفَ التباعد بين الأساور.

ث- عند وجود جوائز مستندة على أطراف العمود كافّة، يجب ألّا يزيد تباعد آخر إسوارة على (75) مم عن تسليح الجوائز المحمولة.

☒ في الجدران، التي تتجاوز إجهادات الضغط الناتجة عن قوى مسبق الإجهاد الفعّالة فقط 1.6 MPa، يمكن إلغاء الحدّ الأدنى للتسليح العاديّ الوارد في الكود الأساس للجدران من البيتون العاديّة، إذا أثبت التحليل الإنشائيّ أنّ تسليح مسبق الإجهاد، يؤمّن المقاومة والاستقرار.