

$$n = \frac{200000}{4729.77 \sqrt{f_c}}$$

8-12-009

## المجلد السابع

### المنشآت المركبة البيتونية - البيتونية

### CONCRETE - CONCRTE COMPOSITE STRUCTURES

#### 7-1 المقدمة Introduction

يتناول هذا الفصل تحليل العناصر الإنشائية المركبة وتصميمها من مادتين مختلفتين هما البتتون المسبق الصنع والبتتون ذو الصب المحلي . وقد ورد سابقاً أن عامل المرونة للبتتون يتعلق بكل من كثافة البتتون والمقاومة الأسطوانية وهكذا يمكن لأي منشأة أن تتكون من مادتين من البتتون على الأقل تختلفان باختلاف كل من الكثافة والمقاومة الأسطوانية لكل منهما .

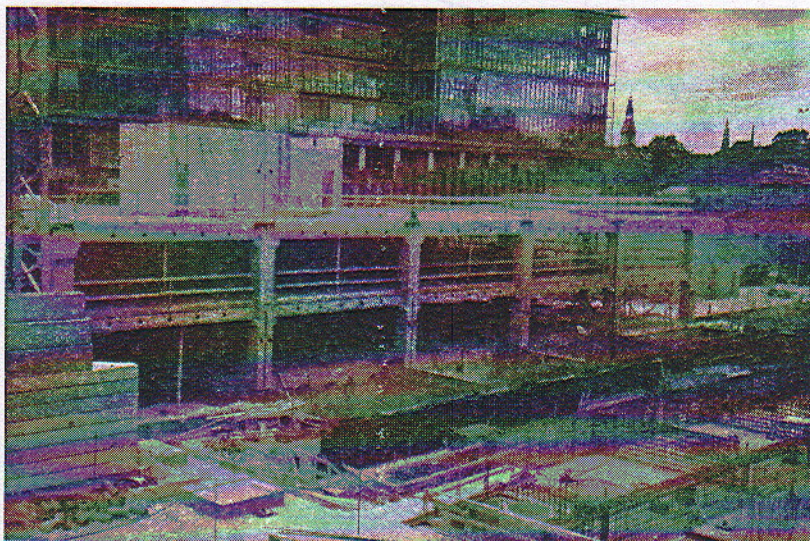
#### 7-2 الجائز المركب البتتوني - البتتوني

##### Concrete Composite Beams - Concrete

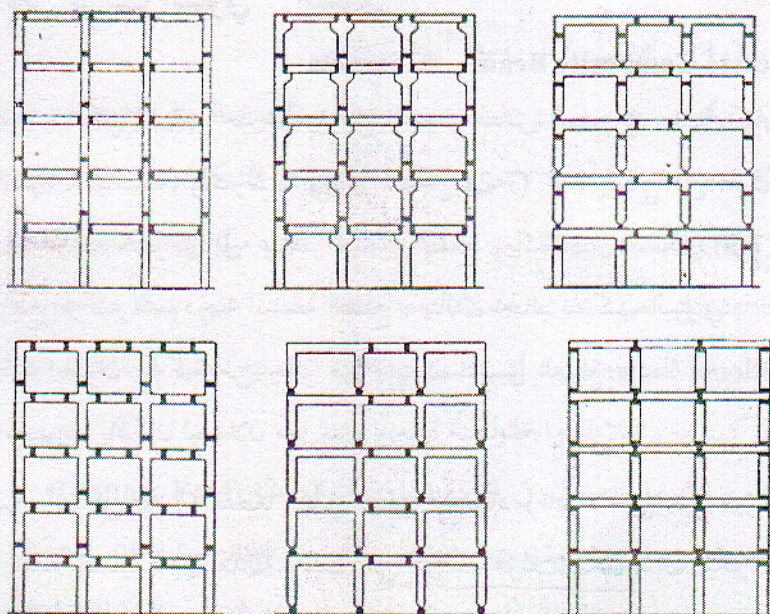
يبين الشكل (7-1) أحد الأبنية من البتتون المسبق الصنع في مدينة كوبنهاغن Copenhagen عاصمة الدنمارك . ويبين الشكل (7-2) عدة نماذج من طرق تجزئة الإطارات المتعددة الطوابق إلى عناصر مسبقة الصنع . كما يبين الشكل (7-3) عدداً من المقاطع المركبة النموذجية المسبقة الصنع . يتألف الجائز المركب البتتوني - البتتوني أسوة ببقية الجيزان المركبة من جائز من البتتون المسبق الصنع يرتبط مع بلاطة من البتتون المصبوب بالمكان ليعملان معاً بمثابة وحدة متكاملة .

يبين الشكل (7-4) مقطعاً للجائز مسبق الإجهاد (شد لاحق) من جيزان أحد جسور عقدة الشقيف في مدينة حلب من دراسة مؤلف الكتاب . يتكون فولاذ التسليح المسبق الإجهاد من أربع حزم . تتكون كل حزمة من ثمانية كابلات ، قطر الكبل الواحد (0.6 in) 15.24 mm ، ومساحة الكبل الواحد 140 mm<sup>2</sup> . ويتشكل



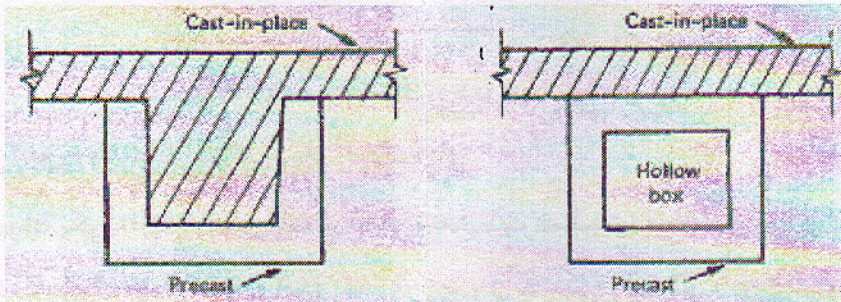
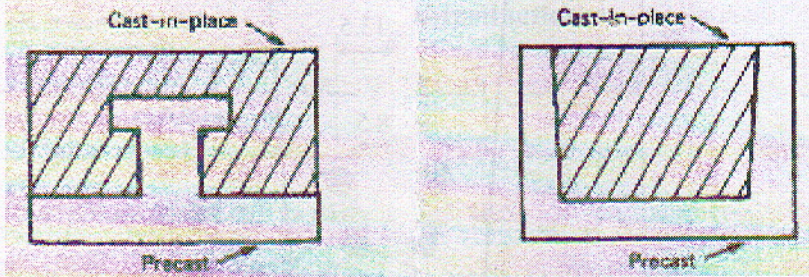
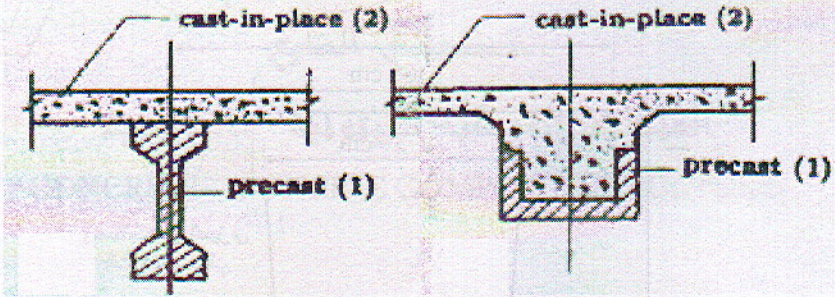


الشكل (7-1) بناء من البيتون المسبق الصنع والبيتون المصبوب بالمكان  
(كوبنهاغن - الدنمارك ، حزيران 2004 )

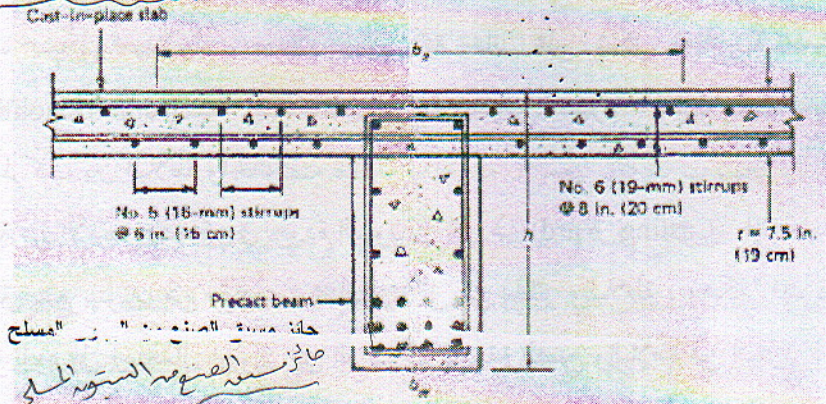


الشكل (7-2) طرق تجزئة الإطارات المتعددة الطوابق إلى عناصر (قطع) مسبقة الصنع





### بلاطة مصبوبة بالمكان



الشكل (7-3) عدة نماذج من المقاطع النموذجية المسبقة الصنع

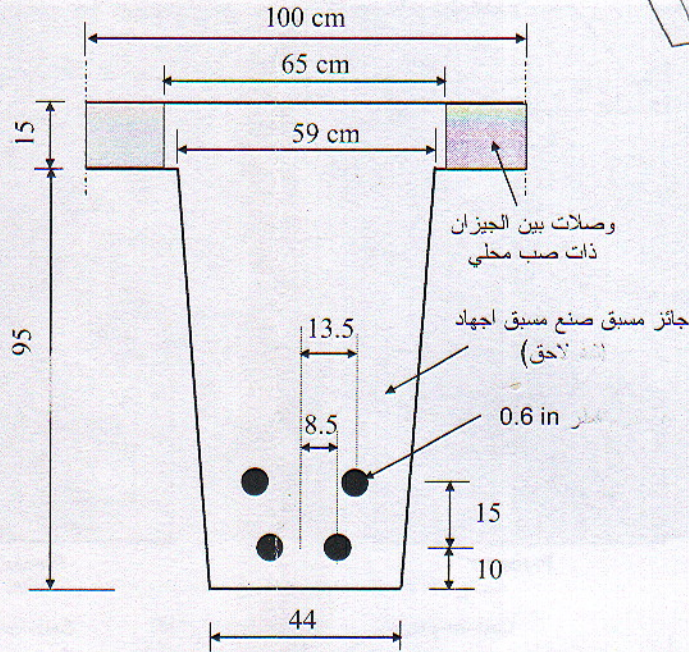
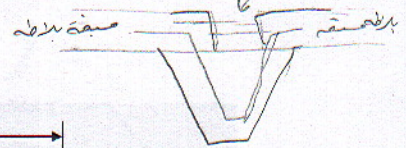
- طول سبوت البلاطة كى سبوت بلاز
- طول سبوت البلاطة كى سبوت بلاز

$$n = \frac{2000000}{4729.77 \sqrt{f_c}}$$

$$n_c = \frac{\sqrt{f_c}}{\sqrt{f_c}}$$

- ٣٣١ -





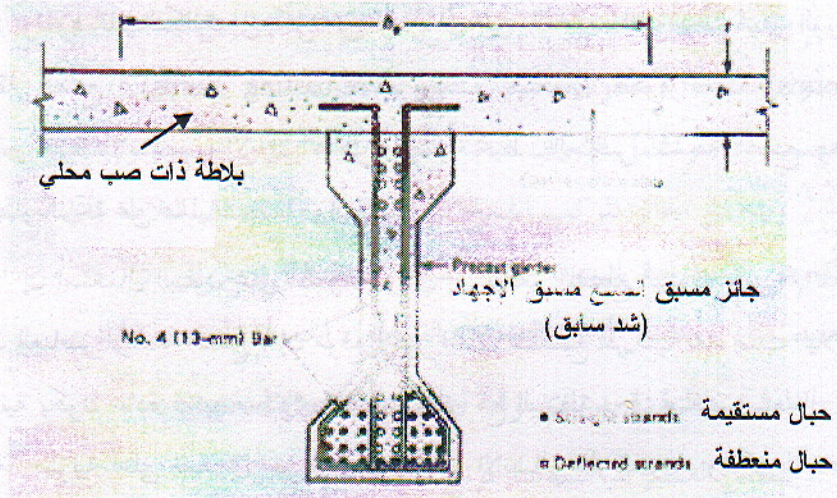
الشكل (7-4) جائز مركب من البيتون المسبق الإجهاد (شد لاحق)

الكبل بدوره من عدة أسلاك (سبعة أسلاك هنا) .

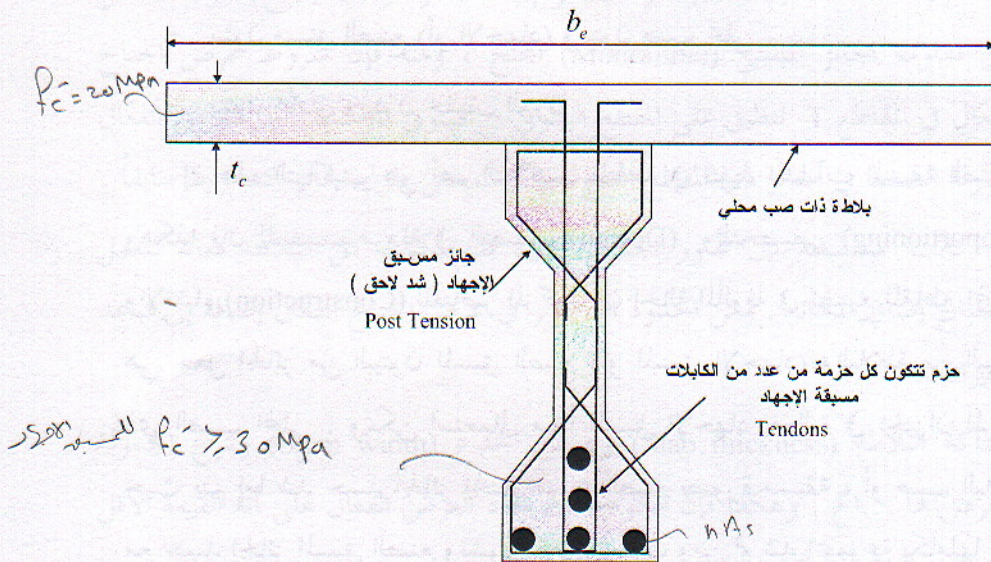
وقد يكون الجائز المسبق الصنع مصنوعاً من البيتون المسبق الإجهاد ، شد سابق في الشكل (7-5 a) أو شد لاحق) كما هو مبين في الشكل (7-5 b) . يقوم الوصل القصي Shear Connection بين الجائز والبلاطة على مبدأ ربط هذين العنصرين مع بعضهما بشكل جيد بحيث يعملان معاً بمثابة جائز على شكل مقطع T ميليشياً Beam-Monolithic T بعد أن تتصلب البلاطة البيتونية المصبوبة بالمكان ويبدأ عندئذ الفعل المركب بين البلاطة والجائز .

وبما أنه من الأسهل التحكم في جودة البيتون في الورشة (Casting Yard) فإنه من السهولة صنع بيتونين من مقاومتين مختلفتين لكل من الجائز والبلاطة . وهكذا فإن قلة التكلفة تقود إلى استعمال الجوائز من الوحدات المسبقة الصنع والبلاطة من البيتون ذي الصب المحلي .





(a) مقطع مسبق الإجهاد - شد سابق



(b) مقطع مسبق الإجهاد - شد لاحق

الشكل (7-5) جائز مركب من البيتون المسبق الإجهاد وبلاطة مصبوبة بالمكان



وتعود قلة التكلفة إلى كل من استعمال اليد العاملة المحلية الخبيرة في الورش المسبقة الصنع (Pre-casting Yards) وإعادة استعمال الكوفراجات (Forms) وتقصير فترة الإنشاء . إلا أن هناك أخطاراً تحيط بالعناصر المسبقة الصنع وهي الأخطار الناتجة عن عمليات النقل والتوزيع ... الخ .

إن استعمال البيتون عالي المقاومة يؤدي إلى تصغير المقاطع البيتونية ومن ثم تقليل أوزان العناصر المسبقة الصنع . إن موقع المحور المحاذي للمقطع المركب بعد صب البلاطة البيتونية يكون عادة قرب مستوي اتصال الجائز مع البلاطة ومن ثم فإن استعمال أية مقاومة بيتونية أعلى تفيد في تحسين أداء العنصر الإنشائي المركب . ويمكن للعناصر البيتونية - البيتونية المركبة أن تتشكل من التراكيب التالية :

- بيتون عالي المقاومة وبيتون منخفض المقاومة .
- بيتون مسبق الصنع (أو الإجهاد) وبيتون صب محلي .
- بيتون عادي وبيتون خفيف الوزن .

إن هذه التراكيب هي أهم التراكيب المتاحة في تنفيذ المنشآت المسبقة الصنع . وهكذا فإن للمصمم مرونة في التصميم (Design) والتخصيص (Proportioning) والإنشاء (Construction) للعناصر المركبة. إن الحالة المألوفة في تصنيع المقاطع المنحنية هي جعل الجائز من البيتون المسبق الصنع (أو المسبق الإجهاد) والبلاطة من البيتون ذي الصب المحلي . ويمكن استعمال مبدأ المسبق الإجهاد بفعالية في الجيزان المركبة حيث يتم إما شد جسد الجائز المنحني المسبق الصنع بصورة مسبقة ، أو صب البلاطة مع جسد الجائز المسبق الصنع ونشوء الفعل المركب ومن ثم شد المجموعة بكاملها .

### 7-3 طرق تنفيذ المنشآت البيتونية - البيتونية

#### Construction Methods of Concrete-Concrete Structures

##### 1- المنشآت غير المزودة بدعائم مؤقتة Un-Shored Constructions :



وفيهما يتحمل العنصر المسبق الصنع الحمولات الميتة قبل تصلب البلاطة (أي قبل وصول المقاومة الأسطوانية للبيتون على الضغط بعد 28 يوماً إلى 75 % من المقاومة التصميمية) . وتشمل الأوزان الذاتية لكل من الجائز (أو العمود) والبلاطة الرطبة ... الخ . ويتحمل الجائز المركب الحمولات الإضافية بعد تصلب البلاطة (أي بعد وصول المقاومة الأسطوانية للبيتون على الضغط بعد 28 يوماً إلى 75 % من المقاومة التصميمية) . وتشمل أوزان التغطية ، القواطع ، الحمولة الحية ... الخ .

## 2- المنشآت المزودة بدعائم مؤقتة Shored Constructions :

يتحمل العنصر المركب هنا أنواع الحمولات كافة .

## 7-4 عرض الجناح الفعال Effective Flange Width

إن هدف تصميم العنصر المركب هو إيجاد عنصر مركب يتمتع بمقاومة لا تقل عن مقاومة الجائز الملبثي (Monolithic) المنح ، ومنه فإن شروط عرض الجناح الفعال في المقاطع T تنطبق على المقطع البيتوني - البيتوني المركب . إن العرض الفعال لطاولة الضغط في الجائز ذي المقطع المنح غير ثابت على طول الجائز كما ورد سابقاً . إذا كانت المسافة بين محاور الجيزان كبيرة فلن تكون كل البلاطة فعالة لتعمل كجناح إضافي للجائز . ومن الحدود التي تؤثر في عرض الجناح الفعال إضافة إلى تباعد الجيزان :

سماكة البلاطة (Slab thickness) وعرض الجذع (Stem width) ونوع الحمولة المعرض لها ... الخ . وهكذا فإن الكود ACI يحدد العرض الفعال على أنه القيمة الأقل من القيم الثلاث التالية :

$$b_e \leq \frac{L}{4} \text{ or } b_{web} + 16t_c \text{ or } \text{Beam spacing}$$

حيث :

$$L = \text{مجاز الجائز} \text{ و } b_{web} = \text{عرض جذع الجائز} \text{ و } t_c = \text{سماكة البلاطة}$$



ويحدد الكود الأمريكي ACI التسليح الحراري والتقلص في البلاطات حيث يمتد التسليح الرئيسي في اتجاه واحد فقط . ويوضع التسليح الحراري والتقلص في اتجاه عمودي على سليح الرئيسي . وفي جملة الخيز ، المركبة يتم تصميم البلاطة على أنها بلاطة في اتجاه وحيد تمتد عرضانياً بين الجيزان الطولانية . إن التسليح الحراري والتقلص المطلوب في الكود يهدف إضافة إلى وظيفته الأساسية إلى الحفاظ على تكامل عمل القسم المعلق من المقطع المنح . يحدد الكود تباعد قضبان التسليح الحراري على أنها القيمة الأقا مما يلي :  $5t_c \leq 45.7 \text{ cm}$  .

حيث :

$$t_c = \text{سمائة البلاطة البيتونية}$$

ينصح الكود ACI باتباع الطريقة الحدية (Ultimate strength design) عموماً إلا أنه يقبل اتباع الطريقة البديلة (المرنة) (Alternative Method) ، وهي طريقة إجهاد التشغيل القديمة (Old working stress method) .

## 7-5 الطريقة المرنة لتصميم المقاطع المسبقة الصنع (الشكل 7-6)

### 7-5.1- المنشآت غير المزودة بدعائم مؤقتة Un-Shored Constructions

عندما لا تكون أبعاد مقطع الجائز المسبق الصنع معروفة ، تستعمل العلاقة التالية

في الشكل (7-6.a) لإيجاد الارتفاع الفعّال  $d_p$  وعرض المقطع  $b_w$  :

$$b_w d_p^2 = M_D \left\{ \frac{2}{\bar{\sigma}_{c,beam} \alpha_p \xi_p} \right\} \quad (7-1)$$

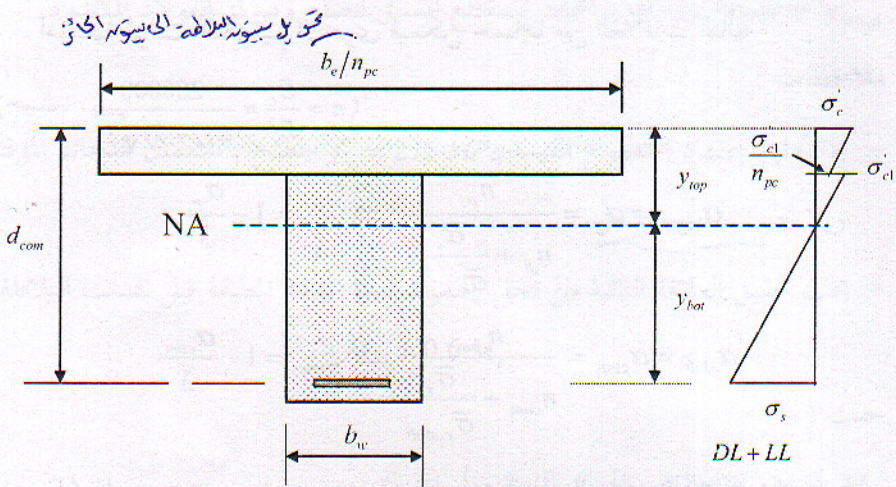
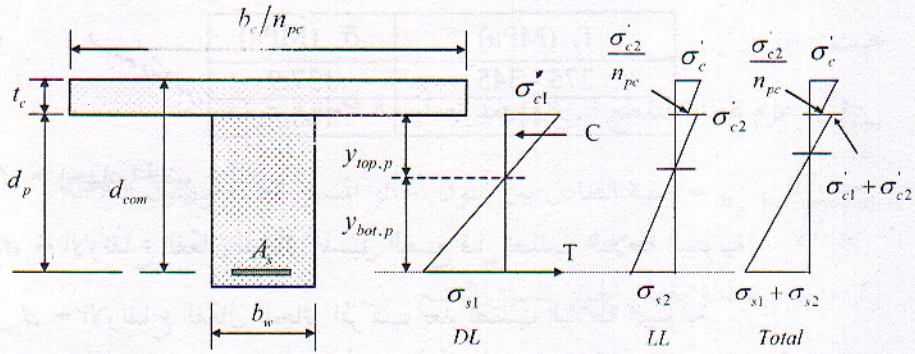
هذه العلاقة مستعمل  
إدخالها في معادلة  
تأخذ العرض  $b$   
بشكل  $b_1$   
بشكل  $b_2$

وعندما تكون أبعاد كل من البلاطة والجائز المسبق الصنع معروفة والمطلوب تصميم فولاذ التسليح اللازم ، فإن العلاقة التالية تعطي مساحة فولاذ التسليح المشدود اللازم للجائز المسبق الصنع :

$$A_s = \frac{M_D}{\bar{\sigma}_s \xi_p d_p} + \frac{M_L}{\bar{\sigma}_s \xi_{com} d_{com}} \geq \frac{1.4}{f_y} b_w d_{com} \quad (7-2)$$

التسليح المطلوب





### (b) المنشأة مزودة بدعائم مؤقتة

الشكل (7-6) مقطع مركب من البيتون المسقو والبليتون المصبوب بالمكان

حيث :

$M_D$  = عزم الانعطاف الميت للحمولات المطبقة قبل تصلب البلاطة البيتونية

$M_f$  = عزم الانعطاف الحي للحمولات المطبقة بعد تصلب البلاطة البيتونية

$\bar{\sigma}_c = 0.45 f_c$  = الإجهاد المسموح للبيتون على الانعطاف

$f_c$  = المقاومة الأسطوانية للبيتون على الضغط بعد 28 يوماً (MPa)

$\bar{\sigma}_s$  = الإجهاد المسموح للفولاذ، وبحسب وفقاً لما يلي:



$f_y$ (MPa)	$\bar{\sigma}_s$ (MPa)
275 - 345	137.9
$\geq 414$	165.5

بسم الله الرحمن الرحيم

$f_y$  = إجهاد الخضوع للفلاد

$d_p$  = الارتفاع الفعّال للجائز المسبق الصنع قبل تصلب البلاطة البيتونية

$d_{com}$  = الارتفاع الفعّال للجائز المركب بعد تصلب البلاطة البيتونية

$b_w$  = عرض جذع الجائز

أما بقية ثوابت التصميم الأخرى فيمكن حسابها من العلاقات التالية

$$\text{(حيث: } n = \frac{E_s}{E_c} \approx \frac{200000}{4729.77\sqrt{f_c}} \text{)}$$

$$\alpha_{beam} = \alpha_p = \frac{n_p}{n_p + \frac{\bar{\sigma}_s}{\bar{\sigma}'_{c,beam}}} \Rightarrow \xi_p = 1 - \frac{\alpha_p}{3}$$

$$\alpha_{slab} = \alpha_{com} = \frac{n_{com}}{n_{com} + \frac{\bar{\sigma}_s}{\bar{\sigma}'_{c,slab}}} \Rightarrow \xi_{com} = 1 - \frac{\alpha_{com}}{3}$$

$n_{beam} = n_p = E_s / E_{c,beam}$  = نسبة التعادل لبيتون للجائز المسبق الصنع

$n_{slab} = n_{com} = E_s / E_{c,slab}$  = نسبة التعادل لبيتون بلاطة الجائز المركب

أما الإجهادات الناتجة فهي :

للبيتون (السطح العلوي للبلاطة)

$$\text{Slab: } \sigma'_c = \frac{M_L y_{top}}{I_{com}} \frac{1}{n_{pc}} \leq 0.45 f'_c \quad (7-3)$$

للفلاد (مركز الفلاد المشدود)

$$\sigma_s = n_p \frac{M_D y_{bot,p}}{I_p} + n_p \frac{M_L (d_{com} - y_{top})}{I_{com}} \leq \bar{\sigma}_s \quad (7-4)$$



حيث:

$$I_{com} = \text{عزم عطالة المقطع المركب بعد تصلب البلاطة البيتونية}$$

$$n_{pc} = \text{نسبة التعادل بين بيتون الجائز المسبق الصنع وبيتون البلاطة} = \frac{\sqrt{f'_{c,beam}}}{\sqrt{f'_{c,slab}}}$$

$$I_p = \text{عزم عطالة مقطع الجائز المسبق الصنع}$$

$$y_{top} = \text{المسافة بين المحور المحايد للمقطع المركب وأعلى ليف بيتوني مضغوط}$$

$$y_{bot,p} = \text{المسافة بين المحور المحايد للمقطع المسبق الصنع ومركز الفولاذ المشدود}$$

ملاحظات :

- إذا تجاوز إجهاد الخضوع القيمة  $f_y = 275 \text{ MPa}$  ينصح باستعمال الدعائم المؤقتة وإلا يجب تدقيق التشقق .

- يجب تحقيق العلاقة التالية من أجل الحمولة الميتة المؤقتة المطبقة قبل تصلب البلاطة

$$M_D = 0.6 M_u$$

حيث :

$$M_u = \text{عزم الانعطاف الحدي للجائز المسبق الصنع}$$

- يجب تدقيق العلاقتين التاليتين في حالة عدم أخذ الحمولة الميتة المؤقتة الناتجة في أثناء

التنفيذ (حمولة الكوفراج ، الآليات ، العمال ... الخ) في الحساب عند تصميم

المقطع:

$$\sigma_s (\text{Due to } M_D) = \frac{M_D}{A_s \xi_p d_p} \frac{1}{0.60} \leq \bar{\sigma}_s \quad (7-5)$$

$$\sigma'_c (\text{Due to } M_D) = \frac{\sigma_s}{n_p} \frac{y_{top,p}}{(d_p - y_{top,p})} \frac{1}{0.60} \leq \bar{\sigma}'_c \quad (7-6)$$

حيث :



$y_{top,p}$  = المسافة بين المحور المحايد للمقطع المسبق الصنع وأعلى ليف بيتوني مضغوط

## 7-5.2 المنشآت المزودة بدعائم مؤقتة Shored Constructions

يتحمل المقطع المركب في هذه الحالة الحمولات المطبقة كافة بأن واحد .

ويمكن تلخيص خطوات الحل بما يلي :

1- اختيار أبعاد المقطع

2- حساب مساحة الفولاذ من إحدى العلاقتين التقريبيتين :

$$A_s = \frac{M_D + M_L}{\bar{\sigma}_s \xi_{com} d_{com}} \geq \frac{1.4}{f_y} b_e d_{com} \quad (7-7)$$

$$A_s = \frac{M_D + M_L}{\bar{\sigma}_s (d_{com} - 0.5t_c)} \geq \frac{1.4}{f_y} b_e d_{com} \quad (7-8)$$

حيث :

$b_e$  = العرض الفعال للبلاطة و  $t_c$  = سماكة البلاطة

3- تدقيق الإجهاد في كل من ألياف البيتون والفولاذ

في حالة استعمال الدعائم المؤقتة يمكن استعمال البيتون نفسه لكل من البلاطة والجائز بسبب قرب المحور المحايد من سطح الشاق البلاطة مع الجائز مما يجعل كامل مقطع الجائز في حالة الشد .

ويمكن حساب الإجهادات في أقصى ألياف المقطع المركب من العلاقات التالية

في الشكل (7-6.b) :

في حالة  $y_{top} \leq t_c$  فإن المحور المحايد يقع في البلاطة وبالتالي فإن الإجهاد :

في أعلى ألياف البلاطة :

$$\sigma'_c = \frac{(M_D + M_L)y_{top}}{I_{com}} \leq 0.45 f'_{c,slab} \quad (7-9)$$

في أسفل ألياف الفولاذ :







حيث :

$M_a$  = عزم الانعطاف الذي يتم حساب السهم بناءً عليه والعائد للحمولة الفعلية  
(غير المصعدة)

$y_{tension} = y_{bot}$  = المسافة بين مركز ثقل المقطع البيتوني الخام الكلي والليف السفلي <sup>المشدد</sup>

$I_g$  = عزم عطالة المقطع البيتوني الخام الكلي (دون اعتبار فولاذ التسليح) (مولد <sup>مركز الثقل</sup>)

$I_{cr}$  = عزم عطالة المقطع المتشقق للمقطع (بعد حذف البيتون المتشقق) <sup>المشدد</sup>

وهناك حالتين:

### 1- المنشآت غير المزودة بدعائم مؤقتة Un-Shored Constructions

يتم جمع السهم الناتج عن الحمولة الميتة قبل تصلب البلاطة مع السهم الناتج عن الحمولة المطبقة بعد تصلب البلاطة البيتونية ثم مقارنة ذلك مع السهم المسموح .

### 2- المنشآت المزودة بدعائم مؤقتة Shored Constructions

يتم حساب السهم الناتج عن الحمولة الكلية (الميتة والحية) ثم مقارنة ذلك مع السهم المسموح .

### 7-7 تسليح القص (الطريقة المرنة)

ويعطى إجهاد القص بالعلاقات التالية :

للمنشآت غير المزودة بدعائم مؤقتة Un-Shored Constructions :

$$v = \frac{V_D}{b_w d_p} + \frac{V_L}{b_w d_{com}} \leq v_c = 0.91 \sqrt{f_c} \quad (7-12)$$

وللمنشآت المزودة بدعائم مؤقتة Shored Constructions :

$$v = \frac{V_D + V_L}{b_w d_{com}} = \frac{V_{total}}{b_w d_{com}} \quad (7-13)$$

وإجهاد القص المسموح للبيتون :



$$v_c = 0.091 \sqrt{f_c}$$

أما تباعد الأساور فهو :

$$s = \text{spacing} = \frac{A_v f_s}{(v - v_c) b_w} \leq \frac{d_p}{2} \text{ or } \frac{d_{com}}{2} \quad (7-14)$$

إذا كانت منضغطة سارات

حيث :

$V_D$  = الجهد القاطع الناتج عن الحمولة الميتة قبل تصلب البلاطة البيتونية

$V_L$  = الجهد القاطع الناتج عن الحمولة الحية وبقية الحمولة الميتة بعد تصلب البلاطة

البيتونية

$f_s$  = الإجهاد المسموح لفولاذ الأساور

$A_v$  = مساحة مقطع الأساور

## 7-8 مساحة مقطع الروابط أو الوصلات القصية

يمكن حساب مساحة مقطع الوصلات القصية أو الروابط ( والتي يمكن أن تكون

نفس مقطع الأساور بعد تمديدتها ضمن البلاطة ) وفقاً لما يلي :

$$v_h = \begin{cases} \text{Unshored} : \frac{V_L Q}{I_{com} b_v} & \text{غير مدعوم بعام} \\ \text{Shored} : \frac{V_L Q}{I_{com} b_v} & \text{مدعوم} \end{cases} \quad (7-15)$$

حيث :

$$Q = b_e t_c \left[ y_{top} - \frac{t_c}{2} \right]$$

$v_h \leq 275 \text{ KN/m}^2$  : يجب تأمين وصلات قصية (أو روابط) إنشائية فقط

$275 \text{ KN/m}^2 < v_h < 1100 \text{ KN/m}^2$  : يجب تأمين وصلات قصية (أو روابط)

تكفي في هذه الحالة مساحة أساور الجذع بعد مدنها إلى الأعلى (زمن)

أما تباعد الروابط فهو :



$$s = \text{spacing} = \frac{A_{sh}}{0.0015b_v} \leq s_{\max} \quad (7-16)$$

$$s_{\max} \leq 4t_c \leq 60 \text{ cm}$$

حيث :

$b_v$  = عرض مستوي الاتصال بين الجذع والبلاطة البيتونية عرض المفاصل

$Q$  = العزم الستاتيكي للمساحة البيتونية المكافئة (البلاطة البيتونية) فوق مستوى الاتصال

$I_{com}$  = عزم العطالة المشتق للمقطع المركب (بعد تصلب البلاطة البيتونية)

$A_{sh}$  = مساحة مقطع الوصلات القصية أو الروابط

وفي كافة الأحوال يجب أن يكون سطح التلاقي بين الجائز المسبق الصنع والبلاطة المصبوبة بالمكان خشناً ونظيفاً ، أما طريقة تصميم الوصلات القصية أو الروابط فيشبه تلك الواردة في الفصل الخامس . يبين المثال (7-1) كيفية تصميم مقطع جائز مركب من البيتون المسبق الصنع والبيتون المصبوب بالمكان .

**المثال (7-1) :**

المطلوب تصميم مقطع مركب من جائز من البيتون المسبق الصنع وبلاطة مصبوبة بالمكان ذات سماكة 12 cm . يبلغ طول هذا الجائز البسيط 8 m وتباعده الجيزان الطولانية 2.5 m .

المعطيات :

يتألف الجائز المركب من جذع مستطيل من البيتون المسبق الصنع (Precast) وبلاطة مصبوبة بالمكان (Cast in place) .

المقاومة الأسطوانية للبيتون على الضغط بعد 28 يوماً :

لبيتون الجائز المسبق الصنع  $f'_c = 30 \text{ MPa}$  ، ولبيتون البلاطة  $f'_c = 20 \text{ MPa}$



وإجهاد الخضوع لفولاذ التسليح  $(\bar{\sigma}_s = 165 \text{ MPa})$   $f_y = 400 \text{ MPa}$

الحمولة الحية المتوقعة  $10 \text{ KN/m}^2$

المنشأة غير مزودة بدعائم مؤقتة Un-Shored Constructions

طريقة الحل : الطريقة المرنة .

الحل :

1- اختيار أبعاد مقطع الجائز المسبق الصنع ذو المقطع المستطيل الشكل

وزن البلاطة :  $0.12(2.5)(24) = 7.20 \text{ KN/m}$

وزن الجائز المسبق الصنع (فرضاً) :  $3.5 \text{ KN/m}$

$$DL = 720 + 3.5 = 10.70 \text{ KN/m}$$

$$M_D = (1/8) (10.70) (8)^2 = 85.60 \text{ KN/m}$$

ثوابت التصميم للجائز المسبق الصنع :

$$\text{Beam: } \bar{\sigma}_c = 0.45(30) = 13.50 \text{ MPa}, n_p = 7.72$$

$$\alpha_p = \alpha_{beam} = 0.3871, \zeta_p = \xi_{beam} = 1 - \frac{\alpha}{3} = 0.8710$$

ثم نختار أبعاد الجائز المسبق الصنع من العلاقة التالية :

$$b_w d_p^2 = M_D \frac{2}{\bar{\sigma}_c \alpha_p \xi_p} = 37612(10)^{-6} \text{ m}^3$$

$$\text{Use, } b_w = 30 \text{ cm and } d_p = 40 \text{ cm}$$

$$d_p = 40 \text{ cm} \geq \frac{L}{20} = 40 \text{ cm (ACI 909b)}$$

$$b_w d_p^2 = 48000 \text{ cm}^3 > 37612 \text{ cm}^3$$

الارتفاع الكلي للمقطع المسبق الصنع :

$$h = 40 + 1.0 + 2.0 + 3.0 = 46 \text{ cm}$$

حيث :



قطر الإسورة 1.0 cm

مركز ثقل قضبان التسليح (فرضاً) 2.0 cm

سمائة طبقة التغطية البيتونية 3.0 cm

الوزن من جديد :

$$0.30 (0.46) (24) = 3.31 \text{ KN/m} < 3.50 \text{ KN/m}$$

$$DL = 7.20 + 3.31 = 10.51 \text{ KN/m}$$

$$M_D = (1/8) (10.51) (8)^2 = 84.08 \text{ KN.m}$$

2- حساب مساحة فولاذ التسليح

يمكن إيجادها من العلاقة التالية (7-2):

$$A_s = \frac{M_d}{\bar{\sigma}_s \xi_p d_p} + \frac{M_L}{\bar{\sigma}_s \xi_{com} d_{com}}$$

Precast beam      Composite beam

$$d_p = 40 \text{ cm} \quad d_{com} = 52 \text{ cm}$$

ثوابت المقطع المركب :

$$\text{Slab: } f'_c = 20 \text{ MPa} , \bar{\sigma}'_c = 0.45(20) = 9 \text{ MPa}$$

$$n_{com} = 9.46 \quad \alpha_{com} = 0.3404 \quad \xi_{com} = 1 - \frac{\alpha}{3} = 0.8865$$

$$d_{com} = d_p + t_c = 52 \text{ cm}$$

عزم الانعطاف المحي :

$$M_L = (1/8) (10) (2.5) (8)^2 = 200 \text{ KN.m}$$

مساحة فولاذ التسليح :

$$A_s = \frac{84.08(10)^{-3}}{165(0.8710)(0.40)} + \frac{200(10)^{-3}}{165(0.8865)(0.52)}$$

$$A_s = 40.92(10)^{-4} \text{ m}^2 = 40.92 \text{ cm}^2$$

$$\text{Use: } A_s = 6\phi 30 = 42.41 \text{ cm}^2$$



### 3- تدقيق الإجهادات في الجائز المسبق الصنع

موقع المحور المحايد  $y_{top}$

$$0.5(30)y_{top}^2 = 7.72(42.41)(40 - y_{top})$$

$$\text{Then, } y_{top} = 20.58 \text{ cm}$$

أ- الطريقة التقريبية

$$\xi = 1 - \frac{y_{top}}{d_p} \frac{1}{3} = 1 - \frac{20.58}{40} \left( \frac{1}{3} \right) = 0.8285$$

$$\sigma_s = \frac{M_D}{A_s \xi d_p}$$

$$\sigma_s = \frac{84.08(10)^{-3}}{42.41(10)^{-4} (0.8285)(0.40)} = 59.82 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_c = \frac{\sigma_s}{n_p} \frac{y_{top}}{d_p - y_{top}}$$

$$\sigma'_c = \left( \frac{59.82}{7.72} \right) \frac{20.58}{40 - 20.58} = 8.21 \text{ MPa}$$

الإجهادات الناتجة عن الحمولات المؤقتة في أثناء التنفيذ (وهي ليست محددة في المسألة):

$$\sigma_s = 59.82/0.60 = 99.70 < \bar{\sigma}_s = 165 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_c = 8.21/0.60 = 13.68 \approx \bar{\sigma}'_c = 13.50 \text{ MPa}$$

ب- الطريقة الأكثر دقة

$$I_p = I_{beam} = \frac{1}{3}(30)y_{top}^3 + 7.72(42.41)(40 - y_{top})^2 = 210640.21 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_s = \frac{M_D (d_p - y_{top}) n_p}{I_p}$$



$$\sigma_s = \frac{84.08(10)^{-3}(40 - 20.58)(10)^{-2}(7.72)}{210640.21(10)^{-8}} = 59.84 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cl}' = \frac{M_D y_{top}}{I_p} = 8.21 \text{ MPa}$$

تتقارب قيم هذه الطريقة مع الطريقة التقريبية كما هو مبين .

#### 4- تدقيق الإجهادات في المقطع المركب

العرض الفعال للبلاطة البيتونية Effective width

$$\left. \begin{aligned} b_e &= L/4 = 800/4 = 200 \text{ cm} \\ b_e &= 30 + 16(12) = 222 \text{ cm} \\ b_e &= \text{Spacing} = 250 \text{ cm} \end{aligned} \right\} \text{ use: } b_e = 200 \text{ cm}$$

لمعرفة موقع المحور المحايد في البلاطة أم في جسد الجائز :

$$\text{If } 0.5b_e f_c^2 < n_{slab} A_s d_e$$

فإن المحور المحايد يقع في جذع الجائز المسبق الصنع .

$$0.5(200)(12)^2(10)^{-6} \text{ vs } 9.46(42.41)(40)(10)^{-6}$$

$$14400(10)^{-6} < 16048(10)^{-6}$$

وهكذا فإن المحور المحايد يقع في جذع الجائز المسبق الصنع .

#### أ- الطريقة التقريبية

وتعتمد على إهمال القسم المضغوط من الجذع ويبقى بيتون البلاطة فقط كما

هو موضح في الشكل (7-7) :

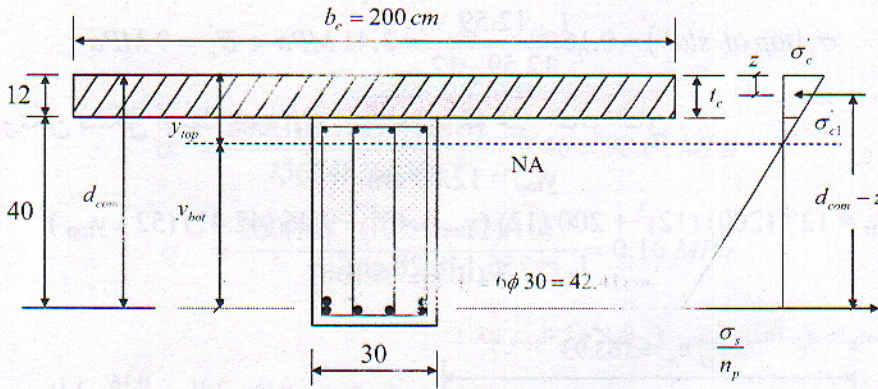
$$200(12)(y_{top} - 6) = 9.46(42.41)(52 - y_{top})$$

$$\text{Then, } y_{top} = 12.59 \text{ cm} > t_c = 12 \text{ cm}$$

مركز ثقل شبه المنحرف الذي يمثل الإجهاد في البلاطة من مخطط الإجهاد :

$$z = \frac{t_c}{3} \left[ \frac{3y_{top} - 2t_c}{2y_{top} - t_c} \right] = \frac{12}{3} \left[ \frac{3(12.59) - 2(12)}{2(12.59) - 12} \right] = 4.18 \text{ cm}$$





الشكل (7-7) الإجهادات في المقطع باهمال بيتون الجذع

ذراع العزم الداخلي :

$$\xi_{com} d_{com} = d_{com} - z = 52 - 4.18 = 47.82 \text{ cm}$$

الإجهادات الناتجة (في ألياف الفولاذ السفلية ثم في أعلى مقطع الجائز المسبق الصنع) :

$$\sigma_s = \frac{M_L}{A_s (d_{com} - z)}$$

$$\sigma_s = \frac{200(10)^{-3}}{42.41(10)^{-4} (47.82)(10)^{-2}} = 98.62 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cl}' = \frac{\sigma_s}{n_{slab}} \frac{y_{top} - t_c}{d_{com} - y_{top}}$$

$$\sigma_{cl}' = \left( \frac{98.62}{9.46} \right) \frac{0.59}{52 - 12.59} = 0.16 \text{ MPa}$$

الإجهادات النهائية في المقطع المركب (7-8.a) :

$$\sigma_s = 59.82 + 98.62 = 158.44 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_s = 165$$

$$\sigma_{cl}' = 8.21 + 0.16 = 8.37 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_c' = 13.5 \text{ MPa}$$

الإجهاد في أعلى ليف في البلاطة البيتونية :

$$\sigma_c'(\text{top of slab}) = \sigma_{cl}' \frac{y_{top}}{y_{top} - t_c}$$



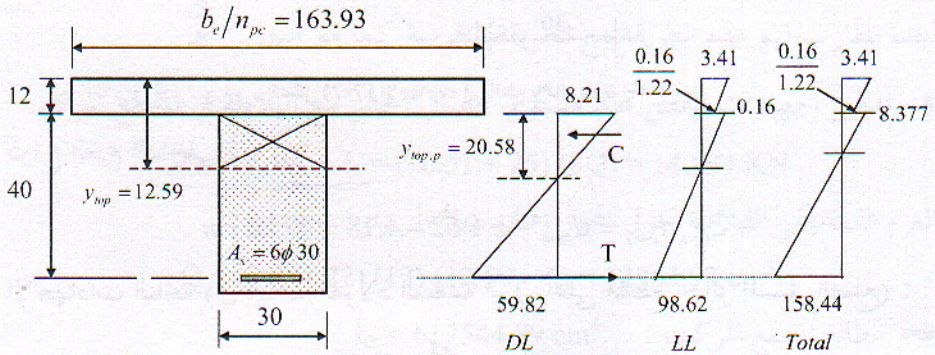
$$\sigma_c'(\text{top of slab}) = 0.16 \frac{12.59}{12.59 - 12} = 3.41 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_c' = 9 \text{ MPa}$$

ويمكن بشكل أبسط إيجاد الإجهادات السابقة على النحو التالي :

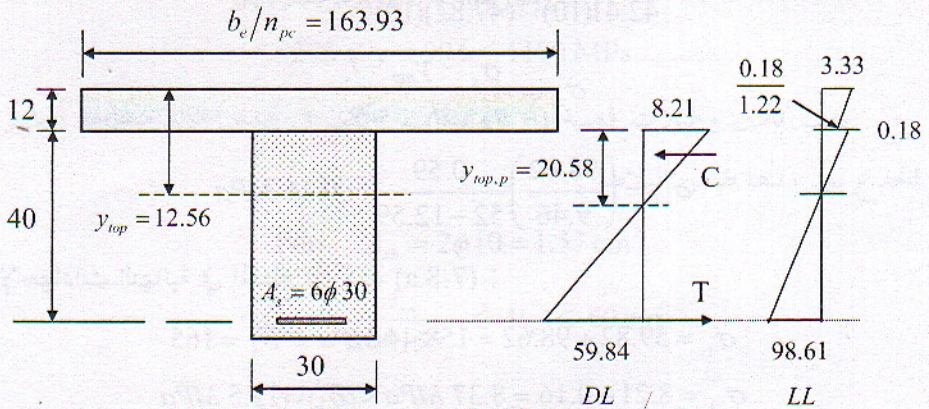
$$y_{\text{top}} = 12.59 \text{ cm}$$

$$I_{tr} = 12^{-1} (200) (12)^3 + 200 (12) (y_{\text{top}} - 6)^2 + 9.46 (42.41) (52 - y_{\text{top}})^2$$

$$I_{tr} = 756 148.28 \text{ cm}^4$$



(a) الإجهادات في المقطع بإهمال بيتون الجذع



(b) الإجهادات في المقطع دون إهمال بيتون الجذع

الشكل (7-8) الإجهادات في المقطع المركب



$$\sigma_s = \frac{M_L (d_{com} - y_{top})}{I_{tr}} n$$

$$\sigma_s = \frac{200(10)^{-3} (39.41)(10)^{-2}}{756148.28(10)^{-8}} 9.46 = 98.61 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cl} = \frac{200(10)^{-3} (12.59 - 12)(10)^{-2}}{756148.28(10)^{-8}} = 0.16 \text{ MPa}$$

الإجهاد في أعلى ليف في البلاطة البيتونية :

$$\sigma'_c (\text{top of slab}) = \frac{200(10)^{-3} (12.59)(10)^{-2}}{756148.28(10)^{-8}} = 3.33 \text{ MPa} < \bar{\sigma}'_c = 9 \text{ MPa}$$

ب- الطريقة الأكثر دقة في الشكل (7-8.b)

نسبة التعادل بين بيتون البلاطة وبيتون الجائر :

$$n_{pc} = \frac{\sqrt{f'_{c,beam}}}{\sqrt{f'_{c,slab}}} = \frac{\sqrt{30}}{\sqrt{20}} = 1.22$$

العرض الفعال المعدل :

$$b_e = \frac{b_e}{n_{pc}} = \frac{200}{1.22} = 163.93 \text{ cm}$$

المحور المحايد وعزم عطالة المقطع :

$$163.93 (12) (y_{top} - 6) + 0.5 (30) (y_{top} - 12)^2 = 7.72 (42.41) (52 - y_{top})$$

$$y_{top} = 12.56 \text{ cm} > t_c = 12 \text{ cm}$$

$$I_{com} = (1/12) (163.93) (12)^3 + 163.93 (12) (y_{top} - 6)^2 +$$

$$(1/3) (30) (y_{top} - 12)^3 + 7.72 (42.41) (52 - y_{top})^2 = 617544.89 \text{ cm}^4$$

الإجهاد في ألياف البيتون والفولاذ :

$$\sigma_s (\text{bottom steel}) = \frac{M_L (d'_{com} - y_{top}) n_{beam}}{I_{tr}}$$

$$\sigma_s (\text{bottom steel}) = \frac{200(10)^{-3} (52 - y_{top}) (10)^{-2}}{617544.89(10)^{-8}} (7.72) = 98.61 \text{ MPa}$$



$$\sigma_c'(\text{top of precast beam}) = \frac{M_L (y_{top} - t_c)}{I_{com}}$$

$$\sigma_c' = \frac{200(10)^{-3} (y_{top} - 12)(10)^{-2}}{617544.89(10)^{-8}} = 0.18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c'(\text{top of slab}) = \frac{M_L y_{top}}{I_{com} n_{pc}} = \frac{200(10)^{-3} (y_{top})(10)^{-2}}{617544.89(10)^{-8} (1.22)} = 3.33 \text{ MPa}$$

أيضاً تتقارب قيم هذه الطريقة مع الطريقة التقريبية كما هو مبين .

5- تدقيق إجهادات القص عند مستوي اتصال الجانز مع البلاطة في المقطع المركب

$$V = 0.5 W_{total} L = (10.51 + 25) (8/2) = 142.04 \text{ KN}$$

العزم الستاتيكي للبلاطة حول المحور المحايد (بإهمال بيتون الجسد) :

$$Q = (200/1.22) (12) (12.59 - 6) = 12963.93 \text{ cm}^3$$

عزم عطالة المقطع المركب :  $I_{cr} = 617544.89 \text{ cm}^4$

$$\text{Also, } b_v = b_w = 30 \text{ cm}$$

$$v = \frac{142.04(10)^{-3} (12963.93)(10)^{-6}}{617544.89(10)^{-8} (30)(10)^{-2}} = 0.994 \text{ MPa}$$

$$275 < v = 994 < 1100 \text{ MPa}$$

يجب تأمين وصلات قصية (أو روابط) . تكفي في هذه الحالة مساحة أساور

الجزع بعد مدها ضمن البلاطة .

$$\text{For: } A_{sh} = 2\phi 10 = 1.57 \text{ cm}^2$$

$$s_{max} = \frac{A_{sh}}{0.0015b_v} \leq 4t_c \leq 60 \text{ cm}$$

$$s_{max} = \frac{1.57(10)^{-4}}{0.0015(30)(10)^{-2}} = 34.88(10)^{-2} \text{ m} = 34.88 \text{ cm}$$

$$\text{Check, } 34.88 \text{ cm} < 4 t_c = 4 (12) = 48 \text{ cm}$$

Use,  $2\phi 10$  every 35 cm

يمكن وضعها على شكل أساور بارزة من الجانز ضمن البلاطة .



## 6- تدقيق حد التشقق في الشكل (7-9)

يجب تدقيق حد التشقق لأن إجهاد الفولاذ المستعمل يتجاوز الحد التالي :

$$f_y = 400 \text{ MPa} > 275 \text{ MPa}$$

يجب تحقيق العلاقة التالية :

$$Z_I = \sigma_s (A d_c)^{\frac{1}{3}} \leq 30.25 \text{ MN/m}$$

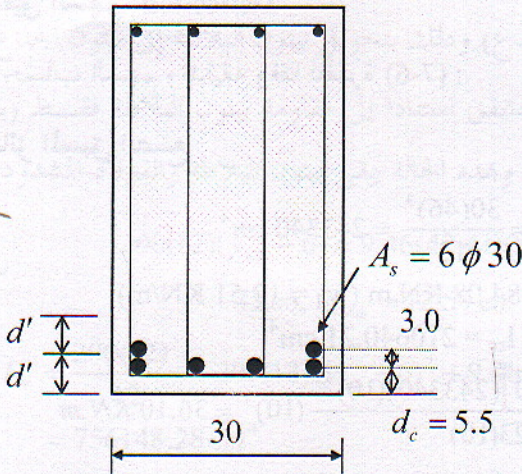
حيث :

$\sigma_s = 0.6 f_y$  = إجهاد الفولاذ تحت تأثير حمولة التشغيل ويمكن اعتباره

$A$  = مساحة البيتون المحيط بالقضبان مقسومة على عدد القضبان ، وتؤخذ مساحة

البيتون المحيط بالقضبان أو ضعف بعد مركز ثقل الفولاذ المشدود عن الوجه

الخارجي للبيتون المشدود:



الشكل (7-9)

$$A = \frac{2 d' b_w}{\text{No. of steel bars}}$$

$d_c$  = سماكة تغطية القضيب المشدود بالبيتون ، مقاسة من الوجه الخارجي للبيتون

المشدود إلى مركز ثقل أقرب قضيب فولاذي .



$$d_c = 3.0 + 1.0 + 1.5 = 5.5 \text{ cm}$$

حيث :

$$= 3.0 \text{ cm} = \text{سماكة طبقة التغطية البيتونية}$$

$$= 1.0 \text{ cm} = \text{قطر الإسوار}$$

$$= 1.5 \text{ cm} = \text{مركز ثقل أقرب طبقة قضبان تسليح}$$

$$d' = \text{مركز ثقل قضبان التسليح المشدودة أو}$$

$$d' = \frac{4(5.5) + 2(3 + 5.5)}{6} = 6.5 \text{ cm}$$

$$A = \frac{2(6.5)(30)}{6} = 65 \text{ cm}^2$$

الآن يتم تحقيق العلاقة المطلوبة

$$Z_i = 0.60 (400) [65 (10)^{-4} (5.5) (10)^{-2}]^{1/3} = 17.03 \text{ MN/m} < 30.25$$

#### 7- تدقيق السهم Deflection

سيتم حساب السهم وتدقيقه وفقاً للفقرة (7-6) :

أ- الجائز المسبق الصنع

$$I_g = \frac{30(46)^3}{12} = 243340 \text{ cm}^4$$

$$M_a = M_D = 84.08 \text{ KN.m} (w_d = 10.51 \text{ KN/m})$$

$$I_{cr} = 210640.21 \text{ cm}^4$$

$$M_{cr} = \frac{[0.623\sqrt{30}](243340)(10)^{-8}}{23(10)^{-2}} (10)^3 = 36.10 \text{ KN.m}$$

$$M_{cr} / M_a = 0.4294$$

$$I_e = (0.4294)^3 (243340) (10)^{-8} + [1 - 0.4294]^3 (210640.21)(10)^{-8}$$

$$= 213229.20 (10)^{-8} \text{ m}^4$$

$$\delta_D = \frac{5}{384} \frac{w_D L^4}{E_c I_e}$$



$$E_c = 4729.77\sqrt{30} = 25906.02 \text{ MPa}$$

$$\delta_D = \frac{5}{384} \frac{10.51(10)^{-3}(8)^4}{(25906.02)(213229.20)(10)^{-8}} (10)^3 = 10.15 \text{ mm}$$

$$k = 2.0 - 1.2 \frac{A'_s}{A_s} > 0.60, A'_s = 0.0, k = 2.0$$

$$k\delta_D = 20.30 \text{ mm}$$

### ب- الجائز المركب

موقع المحور المحايد وعزم العطالة للمقطع البيتوني الخام :

$$y_{top} = 16.59 \text{ cm} \quad \text{and} \quad y_{bot} = 41.41 \text{ cm}$$

$$I_x = 1009016.22 \text{ cm}^4$$

$$M_a = M_L = 200 \text{ KN.m}$$

يمكن حساب عزم العطالة المشتق استناداً إلى مقاومة بيتون الجائز المسبق الصنع (دون اهمال القسم المضغوط من الجذع) وذلك بتحويل بيتون البلاطة إلى بيتون الجذع . سيتم حساب عزم العطالة المشتق استناداً إلى مقاومة بيتون البلاطة فقط (باهمال القسم المضغوط من الجذع) ، وبهذه الحالة يبقى بيتون البلاطة والفولاذ المشدود .

$$200(12)(y_{top} - 6) = 9.46(42.41)(52 - y_{top})$$

$$\text{Then, } y_{top} = 12.59 \text{ cm}$$

$$I_{cr} = \frac{200(12)^3}{12} + 200(12)(y_{top} - 6)^2 + 9.46(42.41)(52 - y_{top})^2$$

$$= 756148.28 \text{ cm}^4$$

ثم يتم حساب السهم كما يلي :

$$M_{cr} = \frac{[0.623\sqrt{20}](1009016.22)(10)^{-8}}{41.41(10)^{-2}} (10)^3 = 67.89 \text{ KN.m}$$

$$M_{cr} / M_a = 0.3395$$



$$I_e = 766043.22(10)^{-8} m^4$$

$$E_c = 4729.77\sqrt{20} = 21152.17 MPa$$

$$\delta_L = \frac{5}{384} \frac{20(1)(10)}{(21152.17)(766043.22)(10)^{-8}} (10)^3 = 8.23 mm$$

السهم الكلي :

$$20.30 + 8.23 = 28.53 mm < \frac{L}{240} = 33.33 mm$$

**Shored Constructions** حالة الإنشاء مع وجود دعائم مؤقتة

يبين الشكل (7-10) هذه الحالة :

عزم الانعطاف الكلي :

$$M_1 = 284.08 KN.m.$$

$$\text{Assume : } d = \frac{L}{16} = \frac{800}{16} = 50 \text{ cm and } b_w = 30 \text{ cm}$$

مساحة الفولاذ اللازمة :

$$A_s = \frac{M_D + M_L}{\bar{\sigma}_s \epsilon_{slab} d_{com}}$$

$$A_s = \frac{284.08(10)^{-3}}{165(0.8865)(0.50)} = 38.84(10)^{-4} m^2$$

$$\text{Use: } 5\phi 30 = 36.95 cm^2$$

موقع المحور المحايد :: Neutral Axis location, NA

$$\frac{200y^2}{2} = 9.46 (36.95) (50-y)$$

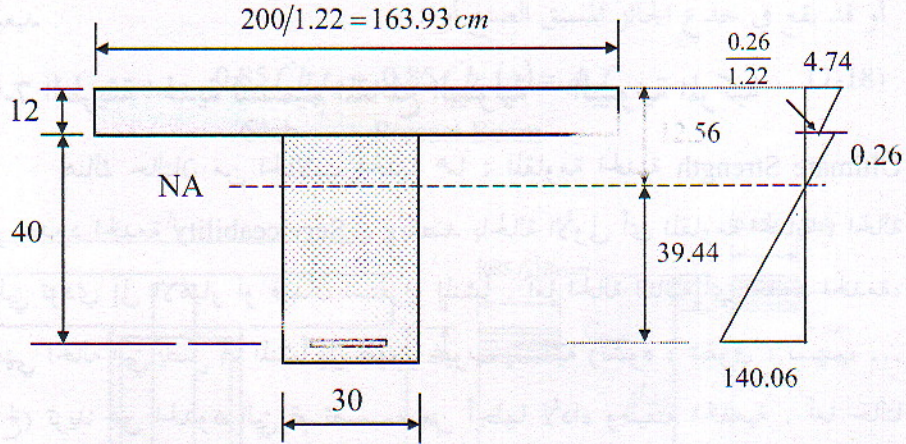
$$y = 11.59 \text{ cm} < t_c = 12 \text{ cm}$$

المقارنة مع الارتفاع التوازني :

$$y_b = \frac{n}{n + (\bar{\sigma}_s / \bar{\sigma}_c)} = \frac{9.46}{9.46 + (165/9)} (50) = 17.02 cm$$

$$y = 11.59 \text{ cm} < y_b = 17.02 \text{ cm}$$





الشكل (7-10) الإجهادات في المقطع المزود بدعائم مؤقتة

ومنه فإن المقطع أحادي التسليح .

عزم عطالة المقطع وتدقيق الإجهاد في ألياف البيتون والفولاذ :

$$I_{tr} = \frac{200y^3}{3} + 9.46(36.95)(50 - y)^2 = 619487.34 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_c' = \frac{284.08(10)^{-3}(11.59)(10)^{-2}}{619487.34(10)^{-8}} = 5.31 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_c' = 9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \frac{284.08(10)^{-3}(50 - 11.59)(10)^{-2}}{619487.34(10)^{-8}} (9.46)$$

$$\sigma_s = 166.64 \text{ MPa} \approx \sigma_s = 165 \text{ MPa}$$

ملاحظات :

- لا داعي لإعادة حساب الوزن الذاتي من جديد لأن الوزن الذاتي الذي تم اعتماده كان بناءً على أن  $h = 46 \text{ cm}$  من الحل السابق من دون دعائم مؤقتة .

- يمكن عدم جعل مقاومة بيتون الجائز أكبر من مقاومة بيتون البلاطة لكون المحور

المحايد يقع في البلاطة ومن ثم فإن مقطع الجائز في حالة الشد (في حالة وجود دعائم

مؤقتة) على أن استعمال بيتون أقوى في الجائز يفيد في مقاومة السيالان على المدى



البعيد .

## 7-9 الطريقة الحدية لتصميم المقاطع البيتونية - البيتونية المركبة

هناك حالتان من الحالات الحدية هما : المقاومة الحدية Ultimate Strength و حدود الخدمة Serviceability . ويقصد بالحالة الأولى أي المقاومة الحدية ، الحالة التي تؤدي إلى الانهيار أو فقدان استقرار المنشأ . أما الحالة الثانية أي حدود الخدمة، فهي الحالة التي يصل بها المنشأ إلى ظهور عيوب إنشائية (تشوه ، شقوق ، تسهم، ... الخ) تزيد عن الحدود التي تم تصميمه من أجلها لأداء وظيفته الخدمية . أما حالتا التنفيذ فهما :

### 1 - الإنشاء من دون دعائم مؤقتة Un-Shored Constructions

يتحمل الجوائز المسبق الصنع الحمولة الميتة قبل تصلب البلاطة البيتونية ويتم تصميمه على أساس ذلك . وبعد تصلب البلاطة يتم تدقيق المقطع المركب على تحمل كافة الحمولات المطبقة قبل تصلب البلاطة وبعد تصلب البلاطة . يبين الشكل (7-11.a) المخططات في هذه الحالة.

### 2 - الإنشاء بوجود دعائم مؤقتة Shored Constructions

في حالة استعمال الدعائم المؤقتة يمكن استعمال البيتون نفسه لكل من البلاطة والجوائز بسبب قرب المحور المحايد من سطح التصاق البلاطة مع الجوائز مما يجعل كامل مقطع الجوائز في حالة الشد . يتحمل المقطع المركب كافة الحمولات الحمولة الطبقة قبل تصلب البلاطة البيتونية و بعد تصلب البلاطة البيتونية في الوقت نفسه ويتم تصميمه على أساس ذلك . يبين الشكل (7-11.b) المخططات في هذه الحالة .

وفي الحالتين أعلاه قد يقع المحور المحايد في البلاطة :

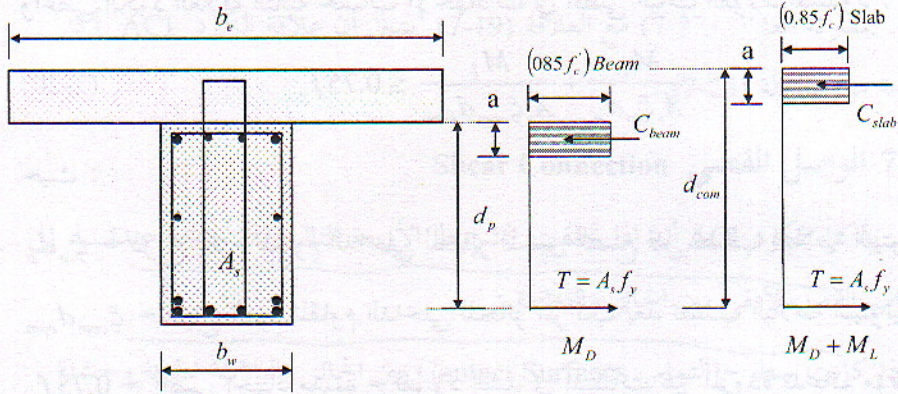
$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b_e} \leq t_c \quad (7-17)$$



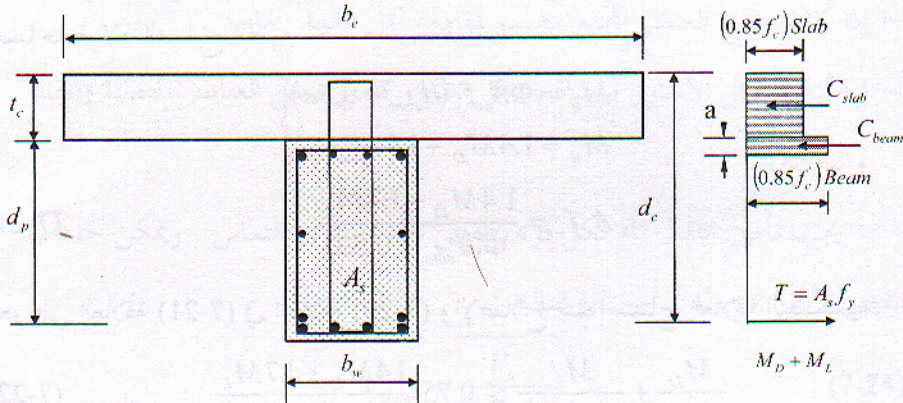
أو قد يقع في جذع الجائز المسبق الصنع أو :

$$0.85f'_c b_e t_c + 0.85f'_c b_w (a) = A_s f_y \quad (7-18)$$

Slab      Precast Beam



(a) المنشأة غير مزودة بدعائم مؤقتة



(b) المنشأة مزودة بدعائم مؤقتة

الشكل (7-11) مقطع مركب من البتون المسبق الصنع والبتون المصبوب

## 7-10 العلاقة بين الارتفاع الفعّال للمقطع المسبق الصنع والارتفاع الفعّال للمقطع المركب

يعطي الكود ACI 2504b العلاقة التالية بين الارتفاع الفعّال للمقطع المسبق



الصنع  $d_p$  والارتفاع الفعال للمقطع المركب  $d_{com}$

$$\xi_p \leq \left( 1.15 + 0.24 \frac{M_L}{M_D} \right) d_p \quad (7-19)$$

وأعطى الكود العلاقة التالية لحساب الإجهادات في أقصى ألياف الفولاذ المشدود :

$$\frac{M_D}{A_s \xi_p d_p} + \frac{M_L}{A_s \xi_{com} d_{com}} \leq 0.75 f_y \quad (7-20)$$

حيث :

$\xi_p d_p$  = ذراع العزم المقاوم الداخلي للجائز المسبق الصنع قبل تصلب البلاطة البيتونية

$\xi_{com} d_{com}$  = ذراع العزم المقاوم الداخلي للجائز المركب بعد تصلب البلاطة البيتونية

$0.75 f_y$  = أقصى إجهاد مسموح لفولاذ الشد في المنشآت غير المزودة بدعائم مؤقتة

$A_s$  = مساحة فولاذ التسليح المشدود

مساحة فولاذ التسليح اللازم :

$$\left. \begin{aligned} M_u &= \Phi A_s f_y (d_{com} - 0.5a) \\ M_u &= 1.4 M_D + 1.7 M_L \end{aligned} \right\} \quad A_s f_y = \frac{1.4 M_D + 1.7 M_L}{\Phi (d_{com} - 0.5a)} \quad (7-21)$$

بتعويض العلاقة (7-21) في العلاقة (7-20) والإصلاح يتم استنتاج العلاقة التصميمية :

$$\frac{M_D}{\xi_p d_p} + \frac{M_L}{\xi_{com} d_{com}} \leq 0.75 \frac{1.4 M_D + 1.7 M_L}{\Phi (d_{com} - 0.5a)} \quad (7-22)$$

بضرب طرفي العلاقة (7-22) بالحد  $\frac{d_p d_{com}}{M_D}$  وبعد عدة خطوات ( $\Phi = 0.90$ ) :

$$\frac{d_{com}}{\xi_p} + \frac{M_L}{M_D} \frac{d_p}{\xi_{com}} \leq \left( 1.17 + 1.42 \frac{M_L}{M_D} \right) \frac{d_p d_{com}}{(d_{com} - 0.5a)}$$

$$d_{com} \leq 1.17 \frac{\xi_p d_{com}}{(d_{com} - 0.5a)} + \frac{M_L}{M_D} \left( 1.42 \frac{\xi_p d_{com}}{(d_{com} - 0.5a)} - \frac{\xi_p}{\xi_{com}} \right) d_p$$



Assume:  $\frac{\xi_p d_{com}}{(d_{com} - 0.5a)} \approx 0.95$  and  $\frac{\xi_p}{\xi_{...}} \approx 0.95$

$$d_{com} \leq \left( 1.11 + 0.40 \frac{M_L}{M_D} \right) d_p \quad (7-23)$$

بمقارنة العلامة (7-23) مع العلاقة (7-19) يتبين أن علاقة الكود ACI أكثر صرامة من المعادلة (7-23) .

### 7-11 الوصل القصي Shear Connection

يذكر الكود ACI أنه إذا تحققت الشروط الأربعة التالية فلا حاجة عندئذ إلى حساب القص الأفقي بين الجائز والبلاطة :

- إذا كانت سطوح التماس Contact Surfaces بين الجائز والبلاطة نظيفة وخشنة .
- إذا توفر أساور (روابط) صغرى Minimum ties .
- إذا كان جذع العنصر المنح مصمم لمقاومة كل الجهد القاطع .
- إذا كانت كل الأساور مرساة بشكل جيد وكامل ضمن العناصر المتصلة (الجائز والبلاطة) .

يجب تأمين انتقال تام لكل قوى القص عند مستوى التماس . ويمكن حساب القص الأفقي من العلامة الحدية التالية :

$$v_{shear} = \frac{V_u}{\Phi b_v d_p} \quad (7-24)$$

حيث :

$v_{shear}$  = إجهاد القص الأفقي عند أي مقطع عرضي

$V_u = 1.4V_D + 1.7V_L$  = قوة القص التصميمية المطبقة الكلية

$\Phi$  = ثابت ويساوي 0.85 لأجل القص و 0.90 لأجل الانعطاف في الطريقة الحدية



$b_v$  = عرض خط التماس في المقطع العرضي ويساوي عرض الجذع  $b_w$  في المقطع المستطيل

$d_p$  = الارتفاع الفعال للجائز المسبق الصنع (المسافة بين أقصى ليف مضغوط ومركز الفولاذ المشدود)

وتعطي العلاقة التالية مساحة الأساور المطلوبة :

$$A_v = \frac{0.34 b_w S}{f_y}, \quad S_{\max} = \frac{d_p}{2}$$

ويتم نقل القص الأفقي بوساطة وسائل قصية مختلفة أهمها :

- الالتحام المباشر (Direct bond)
  - الاحتكاك القصي (Shear friction)
  - التسليح البارز من الجائز عبر مستوي التماس (Reinforcement across the interface)
- يقوم الاحتكاك القصي بوظيفته الفعلية عندما ينهار الالتحام بين الجائز والبلاطة بوساطة الحمولة المتكررة أو الحمولة الكبيرة .

ويذكر الكود ACI الحالات الحدية التالية لإجهاد القص الأفقي عند مستوي الاتصال بين البلاطة والجائز :

1- إجهاد القص الأفقي المسموح يساوي  $552 \text{ KN/m}^2$  عندما تكون سطوح التماس نظيفة وخشنة ولا يوجد روابط .

2- تستعمل القيمة  $552 \text{ KN/m}^2$  نفسها أيضاً عندما لا تكون سطوح التماس خشنة ولكن يوجد روابط .

3- إجهاد القص الأفقي يساوي  $2400 \text{ KN/m}^2$  عندما تكون سطوح التماس خشنة ويوجد روابط .



4- عندما تتجاوز قيمة إجهاد القص الأفقي المطبق القيمة  $2400 \text{ KN/m}^2$  يجب تصميم الوصل القصي وفقاً لقواعد الكود ACI 11.15 .

إن التصميم السليم لجذع الجائز المنح يتضمن روابط شاقولية Vertical ties (أساور للجدع Stirrups) . ويمكن أن تكون الروابط الشاقولية من أي نوع إلا أن النوع السائد هو العروة المغلقة (Closed loop) لأنه يعطي مقاومة جيدة للرفع Uplift resistance . وهذا يفترض وجود مسافة كافية لتأمين طول إرساء كامل للقصيب الفولاذي .

وفي طريقة إجهاد التشغيل فإن الاجهادات المسموحة تخفض إلى 55 % من قيم الكود ولا تستعمل عوامل تصعيد الحمولة ولا الثابت  $\Phi$  . وقد بين الباحثان الأمريكيان Wang, C. K. and Salmon, C. G. أنه عملياً لا يوجد فائدة حقيقية من استعمال الطريقة البديلة في حساب القص لأسباب عديدة أهمها :

- تزامن تخفيض الإجهاد Combination of reduced stress

- وجود عوامل تصعيد الحمولة U factors والثابت  $\Phi$

- لا تتغير قيمة القص إلا بمقدار قليل

7-12 ملخص قواعد الكود الأمريكي ACI لحساب التسليح الخاص بالجهد القاطع وفقاً للطريقة الحديثة

Summary of the ACI design procedure for shear

يجب اتباع الخطوات التالية (انظر الشكل 3-12):

1- رسم مخطط الجهد القاطع المصعد:  $V_u = 1.4 V_{DL} + 1.7 V_{LL}$

2- حساب مقاومة القص التي يتحملها البيتون من إحدى العلاقتين:

$$V_c = \left( 0.16 \sqrt{f'_c} + 17.2 \rho \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d \text{ Or } V_c = 0.17 \left( \sqrt{f'_c} \right) b_w d \quad (7-25)$$



Where:

$$\frac{V_u d}{M_u} \leq 1 \quad \text{And} \quad V_c \leq 0.29 (\sqrt{f'_c}) b_w d$$

$$M_u = 1.4 M_{DL} + 1.7 M_{LL}$$

حيث:

$V_u, M_u$  = الجهد القاطع والعزم المصعد في المقطع قيد الدراسة

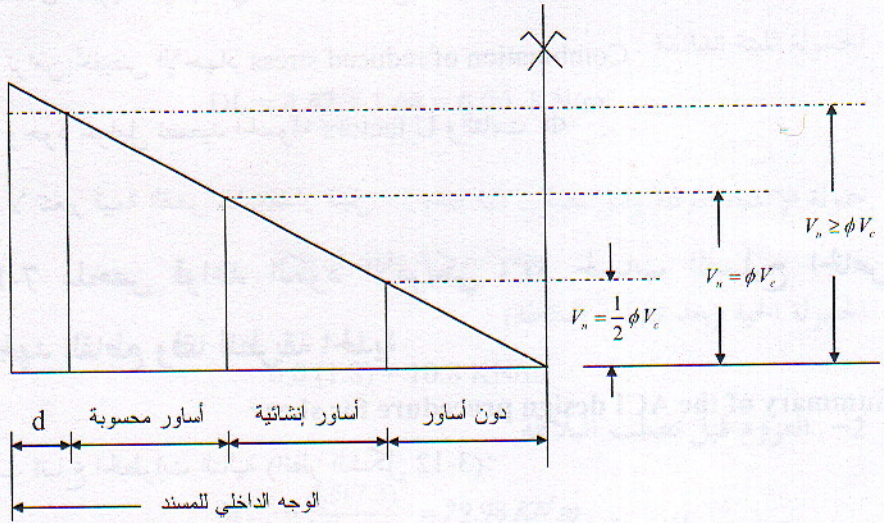
$f'_c$  = مقاومة البيتون الاسطوانية على الضغط بعد ٢٨ يوماً MPa

$\rho$  = نسبة التسليح في المقطع أو:  $A_s / b_w d$

$A_s$  = مساحة الفولاذ المشدود  $m^2$

$d$  = ارتفاع المقطع الفعال (m)

$b_w$  = عرض جذع المقطع (m)



الشكل (7-12) التسليح الخاص بالقص وفقاً لقواعد الكود ACI

$$3- \text{ إذا كانت: } \frac{\phi V_c}{2} \leq V_u \leq \phi V_c$$

يتم استعمال تسليح قص أصغري بأساور ذات تباعد أصغر قيمة من القيم التالية:



$$s = 60 \text{ cm} , s = \frac{A_v f_y}{0.34 b_w} , s = d/2$$

حيث:

$$\phi = \text{ثابت يساوي } 0.85$$

$$A_v = \text{مساحة مقطع الأساور (m}^2\text{)}$$

$$f_y = \text{إجهاد الخضوع لفولاذ الأساور (MPa)}$$

4- إذا كانت :  $V_u > \phi V_c$  فإن:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \leq 0.66(\sqrt{f'_c})b_w d \quad (7-26)$$

يتم استعمال أساور ذات تباعد من العلاقات التالية:

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} \leq \begin{cases} \frac{A_v f_y}{0.34 b_w} \\ \frac{d}{2} \leq 60 \text{ cm, When : } V_s \leq 0.33(\sqrt{f'_c})b_w d \\ \frac{d}{4} \leq 30 \text{ cm, When : } V_s > 0.33(\sqrt{f'_c})b_w d \end{cases}$$

$$5- \text{ إذا كانت : } V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c > 0.66(\sqrt{f'_c})b_w d$$

يجب زيادة أبعاد المقطع لأن المقطع صغير في هذه الحالة

المثال (7-2) :

المطلوب تصميم مقطع مركب من جائر مستطيل من البيتون المسلح المسبق الصنع وبلاطة من البيتون المصبوب بالمكان علماً بأن المنشأة غير مزودة بدعائم مؤقتة عند التنفيذ وفقاً للطريقة الحديدية .

المعطيات :

$$\text{Span length} = 730 \text{ cm} , \text{ Beam spacing} = 180 \text{ cm}$$



Slab thickness = 10 cm

Concrete: Slab :  $f'_c = 21 \text{ MPa}$ , Beam :  $f'_c = 28 \text{ MPa}$

Steel :  $f_y = 400 \text{ MPa}$

Temporary construction load :  $2.5 \text{ KN/m}^2$

Live load :  $6.0 \text{ KN/m}^2$

الحل :

### 1- تحليل الحمولات

البلاطة :  $0.10(1.8)(24) = 4.32 \text{ KN/m}$

جذع الجائز المسبق الصنع :

Height:  $\frac{L}{20}$  to  $\frac{L}{22}$  ,  $\frac{730}{22} \approx 35 \text{ cm}$  , width:  $b_w = 20 \text{ cm}$

$0.35(0.20)(24) = 1.68 \text{ KN/m}$

الحمولة الميتة الدائمة :

$DL = 4.32 + 1.68 = 6.00 \text{ KN/m}$

حمولة الإنشاء المؤقتة (قبل تصلب البلاطة) :

$2.5(1.8) = 4.5 \text{ KN/m}$

الحمولة الحية (بعد تصلب البلاطة) :

$6.0(1.8) = 10.8 \text{ KN/m}$

### 2- العزوم قبل تصلب البلاطة

$$M_{Tem} = \frac{4.5(7.3)^2}{8} = 29.98 \text{ KN.m}$$

$$M_D = \frac{6.00(7.3)^2}{8} = 39.97 \text{ KN.m}$$

$$M_u = 1.4(39.97) + 1.7(29.98) = 106.92 \text{ KN.m}$$

$$M_u = 106.92 / 0.90 = 118.80 \text{ KN.m}$$



### 3- تدقيق أبعاد المقطع المسبق الصنع وحساب فولاذ التسليح (الشكل 7-13.a)

إيجاد نسبة التسليح بناءً على نسبة التسليح التوازنية:

$$\rho_b = 0.85 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left( \frac{0.003}{0.003 + (f_y / E_s)} \right), E_s = 20000 \text{ MPa}$$

$$\rho_b = 0.85 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

Where:

$$\beta_1 = 0.85, \text{ for } f'_c \leq 27.58 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0.85 - (0.05 / 6.895)(f'_c - 27.58) \geq 0.65, \text{ for } f'_c > 27.58 \text{ MPa}$$

$$\rho_b = \frac{(0.85)^2 (28)}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0.03035$$

$$\rho = 0.75 (0.03035) = 0.02276$$

إيجاد أبعاد المقطع :

$$M_u = \rho f_y b d^2 \left\{ 1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c} \right\}$$

$$118.80 (10)^{-3} = 0.02276 (400) b d^2 \left\{ 1 - 0.59(0.02276) \frac{400}{28} \right\}$$

$$b d^2 = 16.15 (10)^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{For: } b = 20 \text{ cm}, d = 28.42 \text{ cm} \approx 29 \text{ cm}$$

$$h = 29.0 + (3/2) + 1.0 + 3.0 = 34.5 \text{ cm} \approx 35 \text{ cm}$$

حيث :

$$3/2 = \text{قطر التسليح} \text{ و } 1.0 = \text{قطر الإسورة} \text{ و } 3.0 = \text{سماكة التغطية}$$

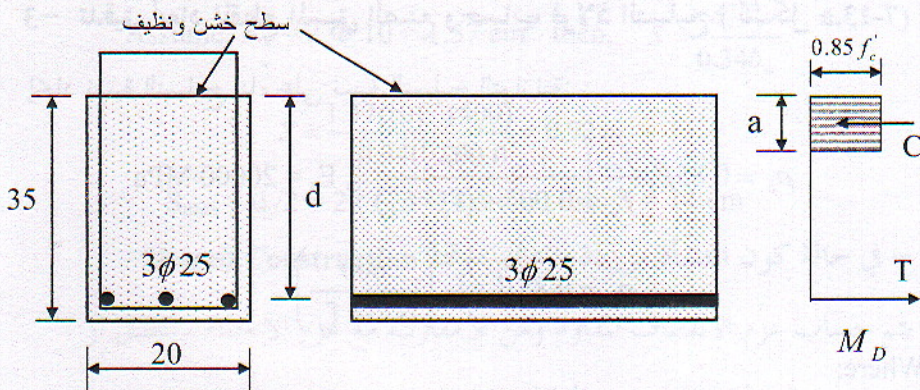
$$\text{Use: } 35 \times 20, d = 29 \text{ cm} \text{ For pre-cast beam}$$

$$A_s = 0.02276(29)(20) = 13.2 \text{ cm}^2$$

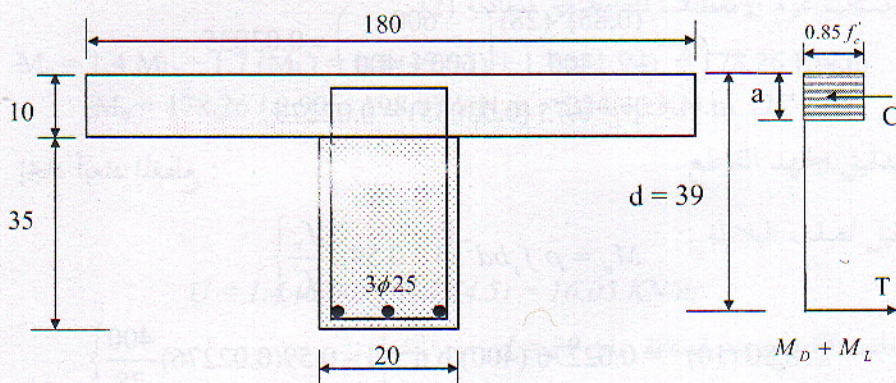
$$\text{Use, } 3 \phi 25 = 14.73 \text{ cm}^2$$

تدقيق عزم الانعطاف :





(a) مقطع الجائز المسبق الصنع



(b) مقطع الجائز المركب

الشكل (7-13) جائز مركب من البيوتون المسبق الصنع والبيوتون المصبوب بالمكان

$$T = A_s f_y = 14.73 (10)^{-4} (400) (10)^3 = 589.20 \text{ KN}$$

$$a = \frac{T}{0.85 f'_c b} = \frac{589.20 (10)^{-3}}{0.85 (28) (0.20)} = 0.1238 \text{ m}$$

$$M_u = T \left( d - \frac{a}{2} \right) = 589.20 \left\{ 29.0 - \frac{12.38}{2} \right\} (10)^{-2}$$

$$M_u = 134.40 \text{ KN.m} > 118.80 \text{ KN.m}$$

4- تدقيق المقطع بعد تصلب البلاطة البيتونية (الشكل 7-13.b)

$$M_L = (1/8) (10.8) (7.3)^2 = 71.94 \text{ KN.m}$$



$$M_u = 1.4 (39.97) + 1.7 (71.94) = 178.26 \text{ KN.m}$$

$$M_u = 178.26 / 0.9 = 198.07 \text{ KN.m}$$

العرض الفعال Effective width

$$\left. \begin{aligned} b_e &= L/4 = 730/4 = 182.5 \text{ cm} \\ b_e &= b_w + 16t_c = 20 + 16(10) = 180 \text{ cm} \\ b_e &= \text{Beam Spacing} = 180 \text{ cm} \end{aligned} \right\}$$

$$\text{Use: } b_e = 180 \text{ cm}, d_{com} = 39 \text{ cm}$$

تدقيق العزم Bending Moment

$$a = \frac{T}{0.85 f_c' b_e} = \frac{589.20(10)^{-3}}{0.85(21)(1.8)} = 0.0183 \text{ m} \quad (1)$$

$$M_u = T \left( d_{com} - \frac{a}{2} \right) = 589.20 \left\{ 39 - \frac{1.83}{2} \right\} (10)^{-2} \quad (2)$$

$$M_u = 224.40 \text{ KN.m} > 198.07 \text{ KN.m}$$

5- تدقيق علاقة الكود ACI

$$d_{com} \leq \left( 1.15 + 0.24 \frac{M_L}{M_D} \right) d_p$$

$$d_{com} = 39 \text{ cm} \leq \left( 1.5 + 0.24 \frac{(71.94)}{(39.97)} \right) (29) = 56.03 \text{ cm}$$

6- تدقيق الوصل القصي بين الجائز والبلاطة

$$V_D = 6.00 (7.3 / 2) = 21.90 \text{ KN}$$

$$V_L = 10.80 (7.3 / 2) = 39.42 \text{ KN}$$

$$V_u = 1.4 (21.90) + 1.7 (39.42) = 97.67 \text{ KN}$$

$$v = \frac{V_u}{\phi b_w d_p} = \frac{97.67}{0.85(0.20)(0.29)} = 1981.14 \text{ KN/m}^2$$

وهذه القيمة أكبر من  $552 \text{ KN/m}^2$  لذلك يجب تزويد المقطع بأساور وجعل

سطح التماس خشناً .

أما مساحة الأساور المطلوبة فهي :



Assume:  $A_v = 2 \Phi 10 = 1.57 \text{ cm}^2$  then,  $S = \frac{A_v f_v}{0.34 b_w}$

$$S = \frac{1.57(10)^{-4}(400)}{0.34(0.20)} = 0.92 \text{ m}$$

$S_{\max} = d / 2 = 29 / 2 = 14.5 \text{ cm}$ , use:  $S = 14 \text{ cm}$

- في حالة كون المنشأة مزودة بدعائم مؤقتة **Shored Construction**

يتم حساب عزم الانعطاف المقاوم ومن ثم مقارنته مع عزم الانعطاف المطبق أو :

حساب موقع المحور المحايد من المعادلة (1) :

$$a = 0.0183 \text{ m} < t_c = 10 \text{ cm}$$

حساب عزم الانعطاف المقاوم من المعادلة (2) :

$$M_u = 1.4 M_D + 1.7 (M_L) = 1.4 (39.97) + 1.7 (71.94) = 178.26 \text{ KN.m}$$

$$M_u = 178.26 / 0.90 = 198.07 \text{ KN.m} < 224.40 \text{ KN.m} \text{ OK}$$

تدقيق الجهد القاطع

قبل تصلب البلاطة :

$$U = 1.4 (6.00) + 1.7 (4.5) = 16.05 \text{ KN/m}$$

الجهد القاطع عند مسافة  $d = 29 \text{ cm}$  من المسند :

$$V_u = 16.05 \{0.5(7.3) - 0.29\} = 53.93 \text{ KN}$$

$$V_c = 0.17 \sqrt{28} (10)^{-3} (0.29) (0.20) = 52.17 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0.85 (52.17) = 44.34 \text{ KN}$$

$$\frac{\phi V_c}{2} \leq V_u \leq \phi V_c \quad \text{إذا كانت :}$$

فإن مساحة الأساور :

$$22.17 < 53.93 > 44.34 \text{ KN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = 11.28 \text{ KN}$$

$$V_{s,\max} = 0.33 \sqrt{f_c'} b_w d$$

$$V_{s,\max} = 0.33 \sqrt{28} (0.20) (0.29) (10)^3 = 101.28 \text{ KN}$$



20-12-009

$$V_{s,max} > V_s, \text{ Use: } s_{max} = d/2 = 15 \text{ cm}$$

إذا تم استعمال اسوار ذات قطر  $\phi 8 \text{ mm}$  بجذعين :

$$A_v = 2\phi 8 = 1.0 \text{ cm}^2$$

$$\text{Spacing} = s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{1.0(10)^{-4} (400)(0.29)(10)^3}{11.28(10)^{-3}} = 103 \text{ cm}$$

$$\text{Use: } \phi 8 / 15 \text{ cm}$$

بعد تصلب البلاطة :

$$U = 1.4 (6.00) + 1.7 (10.80) = 26.76 \text{ KN/m}$$

الجهد القاطع على بعد  $d_{com} = 39 \text{ cm}$  من وجه المسند :

$$V_u = 26.76 \{0.5(7.3) - 0.39\} = 87.24 \text{ KN}$$

$$V_c = 0.17 \sqrt{28} (10)^3 (0.39) (0.20) = 70.17 \text{ KN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{87.24}{0.85} - 70.17 = 32.47 \text{ KN}$$

$$V_{s,max} = 0.33 \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$V_{s,max} = 0.33 \sqrt{28} (10)^3 (0.20)(0.39) = 136.20 \text{ KN}$$

$$V_{s,max} > V_s, \text{ Use: } s_{max} = d/2 = 20 \text{ cm}$$

$$A_v = 2\phi 8 = 1.0 \text{ cm}^2$$

$$\text{Spacing} = s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{1.0(10)^{-4} (400)(0.39)(10)^3}{136.20(10)^{-3}} = 115 \text{ cm}$$

$$\text{Use: } \phi 8 / 15 \text{ cm}$$

### 7-13 الجيزان المركبة من البيتون المسبق الإجهاد والبيتون المصبوب بالمكان

#### Composite Beams of pre stressed concrete and cast in place concrete

تتكون المقاطع المركبة هنا من عناصر مسبقة الصنع أو مسبقة الصنع مسبقة

الإجهاد وبلاطة مصبوبة بالمكان (بالموقع) . حيث تستخدم الجيزان المسبقة الإجهاد في

الفعل المركب مع البيتون المصبوب بالمكان ليتصرف العنصر الإنشائي في مرحلة

الاستثمار بمثابة وحدة متكاملة. ويؤمن الفعل المشترك الجزئين إما عن طريق خشونة



سطح الجزء المسبق الإجهاد ، أو بوساطة الأساور البارزة من الجائز ، أو عن طريق تجويفات تتشكل بين العناصر مسبقة الإجهاد يتم ملؤها عند صب بيتون البلاطة . وتساهم ظاهرة فرق الانكماش بين البيتون المسبق الإجهاد للجيزان والبيتون المصبوب في الموقع للبلاطة في تأمين الفعل المركب .

ويمكن تلخيص مزايا هذا النوع من المنشآت المركبة بما يلي :

التوفير في تكلفة الفولاذ والبيتون بالمقارنة مع المنشآت البيتونية العادية ، التقليل من ارتفاعات العناصر الإنشائية ومن الأوزان وبالتالي تخفيض التكلفة الإجمالية ، استعمال مجازات أطول ، الاستفادة من استطاعة أكبر لمقاومة الحمولة الزائدة ، استخدام البيتون بشكل مثالي : إذ يستخدم البيتون ذو المقاومة المنخفضة والمتوسطة في الجزء المصبوب بالمكان بينما يستخدم البيتون عالي المقاومة في الجزء المسبق الإجهاد .

أما النواقص من استعمال هذه المنشآت فهي :

تكاليف الوصل القصي بين الجيزان والبلاطة ، أضف إلى أن بروز الوصلات فوق السطح العلوي للجائز يشكل عقبة عند تنفيذ البيتون ذي الصب المحلي .

وأسوة ببقية المنشآت المركبة تنقسم هذه المنشآت إلى :

- المنشآت التي تكون فيها البلاطة المصبوبة بالمكان غير مستندة على دعائم مؤقتة في الشكل (7-14) :

تستند البلاطة المصبوبة بالمكان على الجيزان المسبقة الإجهاد ريثما تتصلب البلاطة المصبوبة بالموقع ، وبعد تصلب البلاطة يصبح المقطع بجزأيه الصب المحلي والمسبق الإجهاد وحدة متكاملة .

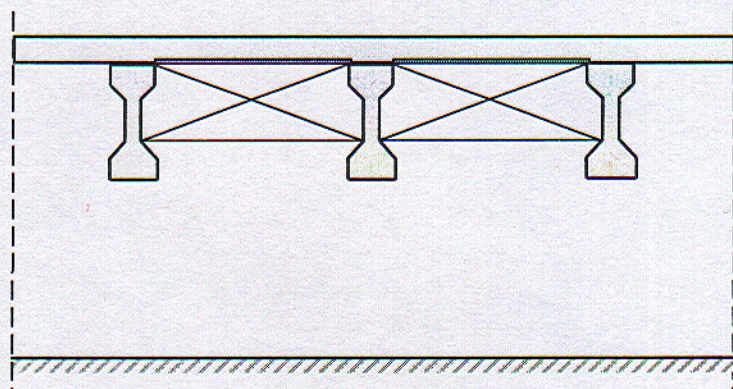
- المنشآت التي تكون فيها البلاطة المصبوبة بالمكان مستندة على دعائم مؤقتة في الشكل (7-15) :

تستند البلاطة البيتونية على دعائم (كوترحات) خاصة مؤقتة حتى يتصلب

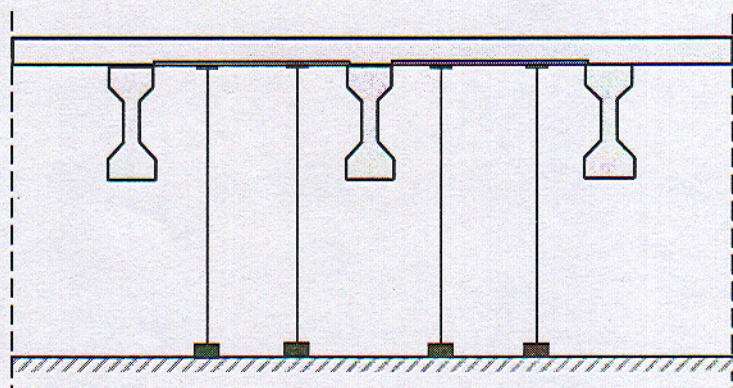


بيتون البلاطة المصبوب بالموقع ويلتحم مع الجائز المسبق الإجهاد ، عندئذ يتم إزالة الدعائم (الكوفراجات) المؤقتة كما هو مبين في الشكل (7-15) . تجدر الإشارة إلى أن لإجهادات الناتجة عن الحمولة الميتة أصغرية في هذه الحالة . وفي الحالتين كليهما يتصرف الجائز في مرحلة استثماره بمثابة وحدة متكاملة.

ويؤمن الفعل المركب بين الجيزان والبلاطة عن طريق تخشين سطوح التماس أو بوساطة الأساور البارزة من الجيزان ضمن البلاطة . لقد بدأ استخدام هذا النوع من المنشآت المركبة في عام 1940 ويتطور بشكل مستمر كمّاً ونوعاً مع تطور البحث العلمي التكنولوجي.



الشكل (7-14) مقطع عرضي من البيتون المسبق الصنع والبيتون المصبوب بالمكان في منشأة غير مزودة بدعائم مؤقتة



الشكل (7-15) مقطع عرضي من البيتون المسبق الصنع والبيتون المصبوب بالمكان في منشأة مزودة بدعائم مؤقتة



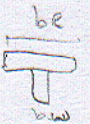
## - العرض الفعال:

عندما تعمل البلاطة ذات الصب المحلي مع الجائز المسبق الصنع أو المسبق الإجهاد بشكل مركب ، فإن المقطع المركب الناتج يعمل بمثابة مقطع T من البيتون المسلح. إن أهم العوامل التي تحكم في العرض الفعال هي كما تم ذكره سابقاً: نسبة سماكة البلاطة إلى الارتفاع الكلي للمقطع  $t_c/h$  ، نسبة مجاز الجائز إلى عرض الجائز  $L/b_w$  ، نسبة مجاز الجائز إلى التباعد بين الجيزان  $L/b_0$  ، نوع الحمولات المطبقة ، عامل بواسون .

يلخص الجدول (7-1) قيم العرض الفعال للبلاطة المضغوطة (في الجائز البسيط والمناطق الموجبة من الجائز المستمر) وفقاً للنظامين الأمريكيين AASHTO , ACI ، حيث يتم اختيار القيمة الأقل في كل حالة. وإذا كان بيتون البلاطة يختلف عن بيتون الجائز المسبق الإجهاد يجب تعديل عرض البلاطة وفقاً لتجانس البيتونين في طريقة إجهاد التشغيل (طريقة التصميم المرنة) كما تم ذكره في الفقرة (7-5).

الجدول (7-1) قيم العرض الفعال وفقاً للنظامين الأمريكيين AASHTO , ACI

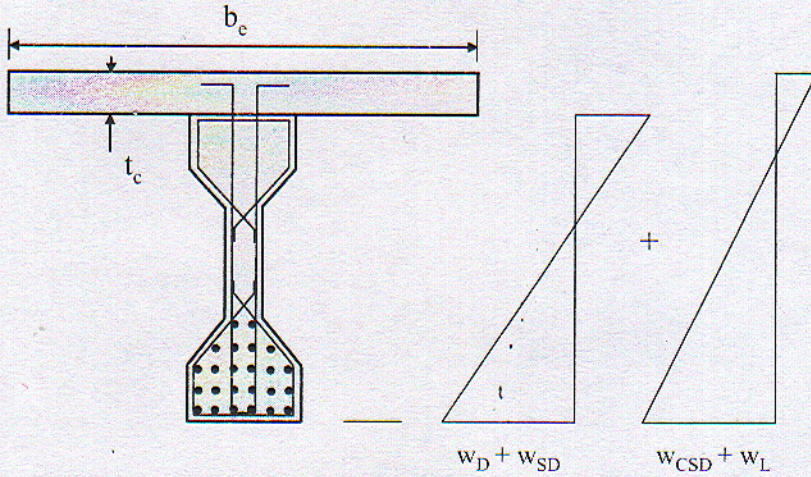
AASHTO	ACI	
$b_e \leq L / 4$ $b_e \leq \text{Beam spacing}$ $b_e \leq b_w + 1 \frac{1}{2} t_c$	$b_e \leq L / 4$ $b_e \leq \text{Beam spacing}$ $b_e \leq b_w + 16 t_c$	جائز وسطي
$b_e \leq \frac{L}{12} + b_w$ $b_e \leq 0.5 (b_w + \text{BSP})$ $b_e \leq b_w + 6 t_c$	$b_e \leq \frac{L}{12} + b_w$ $b_e \leq 0.5 (b_w + \text{BSP})$ $b_e \leq b_w + 6 t_c$	جائز طرفي
$t_c = \text{سماكة البلاطة البيتونية}$		$b_w = \text{عرض جذع الجائز}$
$\text{Beam Spacing} = \text{BSP} = \text{التباعد بين محاور الجيزان}$		



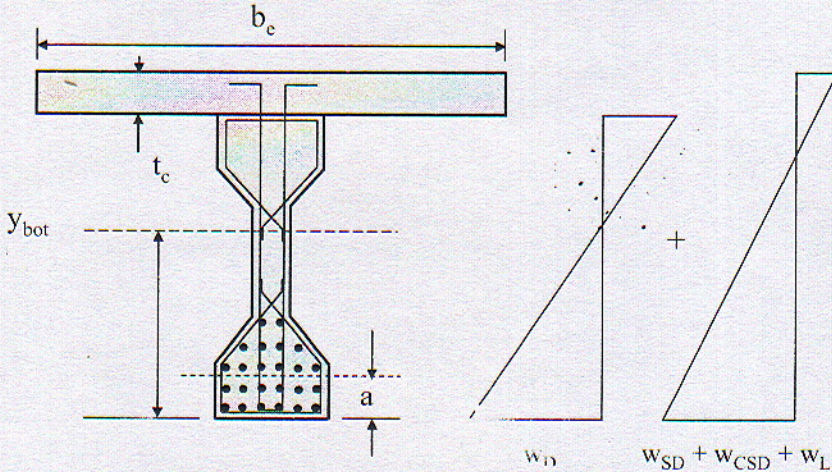


## - معادلات الإجهادات:

يمكن كتابة معادلات الإجهادات في المنطقة المضغوطة (من الجائز البسيط والمناطق الموجبة من الجائز المستمر) على النحو الآتي كما هو مبين في الشكلين (7-16) و (7-17) لكل من الحالتين التاليتين:



الشكل (7-16) جائز مركب من البيتون المسبق الصنع والبيتون المصبوب بالمكان في منشأة غير مزود بدعائم مؤقتة



الشكل (7-17) جائز مركب من البيتون المسبق الصنع والبيتون المصبوب بالمكان في منشأة مزود بدعائم مؤقتة



البلاطة غير مزودة بدعائم مؤقتة:

## 1- الإجهادات في الجوائز المسبق الإجهاد:

في أعلى ليف من الجوائز المسبق الإجهاد: (حيث يتصلب البلاطة)

$$f_{top} = -\frac{P_e}{A_c} + \frac{P_e e}{S_{top}} - \frac{M_D + M_{SD}}{S_{top}} \leq \text{تسمح} \quad (7-27)$$

حيث:  $\frac{I_{beam}}{y_{top}}$  مظهر على أن في الأصل

$P_e$  = قوة الشد الناتجة عن الفولاذ مسبق الإجهاد: (-) للضغط و (+) للشد

$A_c$  = مقطع الجوائز مسبق الإجهاد

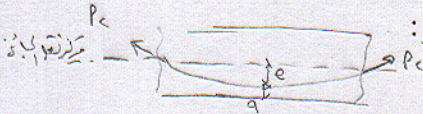
$M_D$  = عزم الانعطاف الناتج عن الوزن الذاتي للجوائز

$M_{SD}$  = عزم الانعطاف الناتج عن الأوزان الميتة قبل تصلب البلاطة البيتونية

$S_{top}$  = معامل المقطع نسبة إلى الليف العلوي للجوائز المسبق الإجهاد

$S_{bot}$  = معامل المقطع نسبة إلى الليف السفلي للجوائز المسبق الإجهاد

$e$  = لا مركزية الكابلات المسبقة الإجهاد في المنطقة الموجبة أو:



$$e = y_{bot} - a$$

$y_{bot}$  = المسافة بين مركز ثقل الجوائز المسبق الإجهاد وأقصى ليف سفلي

$a$  = المسافة بين مركز ثقل الكابلات المسبقة الإجهاد وأقصى ليف سفلي مشدود

في أدنى ليف من الجوائز المسبق الإجهاد:

$$f_{bot} = -\frac{P_e}{A_c} - \frac{P_e e}{S_{bot}} + \frac{M_D + M_{SD}}{S_{bot}} \leq \text{تسمح} \quad (7-28)$$

حيث:

$S_{bot}$  = معامل المقطع نسبة إلى الليف السفلي للجوائز المسبق الإجهاد

## 2- الإجهادات في الجوائز المركب بعد تصلب البلاطة والتصاقها مع الجوائز المسبق



صبي ندرته الاجهاد في ابع واسف الجانز  
وفي رة البلاطة

الإجهاد:

في أعلى ليف من الجانز المركب المسبق الإجهاد:

$$f_{top} = -\frac{P_e}{A_c} + \frac{P_e e}{S_{top}} - \frac{M_D + M_{SD}}{S_{top}} - \frac{M_{CSD} + M_L}{S_{top,c} = \frac{I_{com}}{S_{top,c}}} \quad (7-29)$$

في أدنى ليف من الجانز المركب المسبق الإجهاد:

$$f_{bot} = -\frac{P_e}{A_c} - \frac{P_e e}{S_{bot}} + \frac{M_D + M_{SD}}{S_{bot}} + \frac{M_{CSD} + M_L}{S_{bot,c}} \quad (7-30)$$

حيث:

$M_L$  = عزم الانعطاف الناتج عن الحمولة الجية

$M_{CSD}$  = عزم الانعطاف الناتج عن الحمولة المطبقة بعد أن يصبح المقطع مقطعاً مركباً

$S_{top,c}$  = معامل المقطع المركب بعد تصلب البلاطة والتصاقها مع الجانز نسبة إلى

الليف العلوي للجانز

$S_{bot,c}$  = معامل المقطع المركب بعد تصلب البلاطة والتصاقها مع الجانز نسبة إلى

الليف السفلي للجانز المسبق الإجهاد

أما الإجهادات في أعلى وأسفل ألياف البلاطة المصبوبة بالمكان بعد تصلبها فهي:

$$f_{top,slab} = -\frac{M_{CSD} + M_L}{S_{top,slab}} \times \frac{1}{n_c} \quad (7-31)$$

$$f_{bot,slab} = -\frac{M_{CSD} + M_L}{S_{bot,slab}} \times \frac{1}{n_c} \quad (7-32)$$

حيث:

$S_{top,slab}$  = معامل المقطع المركب بعد تصلب البلاطة نسبة إلى أعلى ليف من البلاطة

$S_{bot,slab}$  = معامل المقطع المركب بعد تصلب البلاطة نسبة إلى أدنى ليف من البلاطة







$$\bar{\sigma}_{sp} = 0.70 f_{sp} \text{ (Where: } f_{sp} = 270 \text{ ksi} = 1861.65 \text{ MPa)}$$

$f_{sp}$  = إجهاد الشد الحدي لل فولاذ مسبق الإجهاد (الانقطاع)

بعد حدوث الضياعات (عند الاستثمار):

$$\bar{\sigma}_{sp} = 0.80 f_{sp} \text{ (Where: } f_{sp} = 270 \text{ ksi} = 1861.65 \text{ MPa)}$$

Losses = الضياعات في البيتون تحسب كما هو وارد في الجدول (7-2)

الجدول (7-2) الضياعات (عدا تلك العائدة للاحتكاك)

نوع الفولاذ المسبق الإجهاد	$f'_c$ MPa		
	28	35	42
الشد السابق باستعمال الحبال Pre tensioned with strand	-	310	310
الشد اللاحق باستعمال الحبال أو الأسلاك Post tensioned with strand or wire	221	228	241
الشد اللاحق باستعمال قضبان عالية المقاومة على الشد Post tensioned with high tension strength	152	159	165

- الإجهادات المسموحة في البيتون:

يعطي الجدول (7-3) الإجهادات المسموحة في البيتون لحالاتي الشد السابق والشد اللاحق في كل من مرحلة قبل الاستثمار (قبل حدوث الضياعات) وعند الاستثمار (عند حدوث الضياعات).

الجدول (7-3) الضياعات (عدا تلك العائدة للإحتكاك)

الإجهادات المسموحة في البيتون	
الإجهادات الأولية قبل حدوث الضياعات	
العناصر المسبقة الشد : $0.60 f'_c$	الضغط
العناصر اللاحقة الشد : $0.55 f'_c$	
صفر	الشد



حالة عدم وجود التحام بين الحبال Strands والغمد Duct في أماكن الشد: $1.379 \text{ or } 0.249 \sqrt{f'_c} \text{ MPa}$	حالات أخرى للشد
حالة وجود التحام بين الحبال والغمد في أماكن الشد: $0.623 \sqrt{f'_c} \text{ MPa}$	
الإجهادات عند الاستثمار بعد حدوث الضياعات	
$0.40 f'_c$	الضغط
حالة عدم وجود التحام بين الحبال Strands والغمد Duct في أماكن الشد: صفر	الشد
حالة وجود التحام بين الحبال والغمد في أماكن الشد:	
الحالة العادية: $0.498 \sqrt{f'_c} \text{ MPa}$	
حالة وجود المنشأة في ظروف معرضة للصدأ كالمناطق الساحلية: $0.249 \sqrt{f'_c} \text{ MPa}$	

## 7-15 حساب مساحة الفولاذ المسبق الإجهاد

### Calculation of area of pre-stressed concrete

يمكن وبشكل أولي حساب مساحة الفولاذ مسبق الإجهاد  $A_{sp}$  بوساطة

الخطوات التالية على أن يتم تحديد الإجهادات بعدئذ:

حساب أبعاد النواة المركزية من العلاقات:

$$r^2 = I_c / A_c, \quad k_{top} = r^2 / y_{bot}, \quad k_{bot} = r^2 / y_{top}$$

حيث:

$r$  = نصف قطر عطالة مقطع الجائز مسبق الإجهاد (المقطع الخام غير المشقق)

$I_c$  = عزم عطالة مقطع الجائز مسبق الإجهاد (المقطع الخام غير المشقق)

$A_c$  = مساحة مقطع الجائز مسبق الإجهاد (المقطع الخام غير المشقق)

$y_{top}$  و  $y_{bot}$  = أبعاد موقع المحور المحايد للجائز مسبق الإجهاد (المقطع الخام غير

المشقق)



$$z = k_{top} + y_{bot} - a \quad \text{الذراع:}$$

حيث:

$$a = \text{التغطية البيتونية}$$

$$T = M_t / z \quad \text{القوة المكافئة:}$$

$$A_{sp} = T / f'_s \quad \text{مساحة الفولاذ مسبق الإجهاد:}$$

حيث:

$$M_t = \text{عزم الانعطاف الكلي}$$

$$f'_s = \text{حساب الإجهاد الصافي لفولاذ مسبق الإجهاد:}$$

$$f'_s = (0.70 f_{sp} - \text{Losses}) (1 - \text{Losses due to friction})$$

حيث:

$$\text{Losses due to friction} = \text{الضیاعات نتيجة احتكاك البيتون مع الفولاذ مسبق}$$

الإجهاد

## 7-16 دراسة السهوم في الجيزان المركبة من البيتون المسبق الإجهاد

### والبيتون المصبوب بالمكان

إن دراسة السهم لا تختلف عن دراسة السهم في المنشآت المركبة التقليدية، على

أن السهوم Deflections تتأثر بالعوامل التالية:

الحمولات الميتة والحمولات الحية، مقدار قوة الشد المسبق في الفولاذ المسبق الإجهاد، أشكال المسارات الطولية للحبال Strands ، عزم عطالة المقطع العرضي، عامل المرونة للبيتون، الإنكماش في البيتون وارتخاء الحبال، طول العنصر شروط الاستناد ... إلخ. إن لتوضع الحبال في الجيزان البسيطة مسبقة الإجهاد أهمية خاصة لأن تطبيق قوة الإجهاد المسبق في الجوائز يولد سهماً معاكساً يعطى بالعلاقة التالية كما هو مبين في الشكل (7-18):



$$E_s = 200000 \text{ كغ/سم}^2$$

$$E_s = 193000 \text{ م٢/سم}^2$$

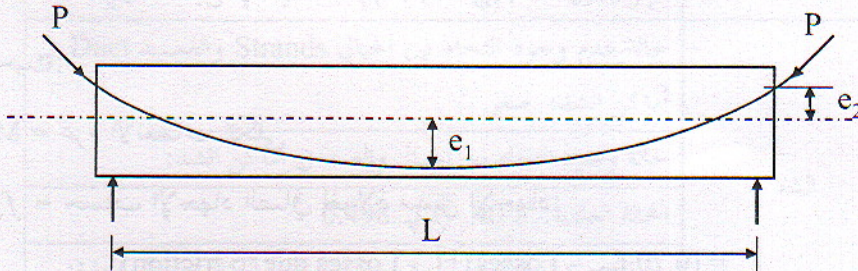
$$E_c = 29171 \sqrt{f_c}$$

$$\Delta = \frac{PL^2}{48E_c I_c} (-5e_1 + e_2) \quad (7-37)$$

حيث:

Strand = قوة الشد في الحبل في الجهد

$E_c$  = عامل المرونة لببتون الجائز المسبق الإجهاد



الشكل (7-18) قوة الشد في الحبل

ويمكن تمييز الحالتين التاليتين:

- المنشأة غير مزودة بدعائم مؤقتة:

يتم حساب السهم الأولي الناتج عن الإجهاد مسبق (إلى الأعلى) والسهم الناتج عن الوزن الذاتي للجائز مسبق الصنع (إلى الأسفل) والسهم الناتج عن البلاطة المصبوبة بالمكان (إلى الأسفل) باستعمال عزم عطالة الجائز مسبق الإجهاد، ثم حساب السهم الناتج عن الحمولة الحية (إلى الأسفل) باستعمال عزم عطالة المقطع المركب بعد تصلب البلاطة المصبوبة بالمكان.

- المنشأة مزودة بدعائم مؤقتة:

يتم حساب السهم الأولي الناتج عن الإجهاد مسبق (إلى الأعلى) والسهم الناتج عن الوزن الذاتي للجائز مسبق الصنع (إلى الأسفل)، ثم يتم حساب السهم الناتج عن البلاطة المصبوبة بالمكان (إلى الأسفل) باستعمال عزم عطالة المقطع المركب والسهم الناتج عن الحمولة الحية (إلى الأسفل) باستعمال عزم عطالة المقطع المركب أيضاً بعد



تصلب البلاطة. ويعطى السهم المسموح عند مرحلة الاستثمار (أو المجموع الجبري لكل السهوم) بـ:  $L / 25$

## 7-17 بعض من مقاطع الجيزان المسبقة الإجهاد من النظامين الأمريكيين AASHTO, PCI

أوردت الأنظمة الأمريكية مقاطع قياسية للمقاطع على شكل I. توضح الأشكال (7-19) و (7-20) بعض مقاطع الجيزان مسبقة الإجهاد ذات المقطع I لأجل مجازات الجسور. هناك مقطع محدد لكل طول مجاز (مقدراً بالقدم،  $0.3048 \text{ m} = 1 \text{ foot}$ ). فمثلاً إذا كان مجاز أحد الجسور  $30 \text{ m}$ ، فيتم اختيار النموذج الرابع أو Type IV Beam. ويبين الجدول (7-4) المواصفات المقطعية لهذه النماذج. أما الجدول (7-5) فيبين أبعاد هذه المقاطع عند نهاياتها حيث يصبح المقطع I على شكل مستطيل. ويوضح الشكل (7-21) شكل مقطع الجائز المسبق الإجهاد ذي المقطع I عند نهايته.

### المثال (7-3) :

المطلوب اختيار مساحة الفولاذ المسبق الإجهاد ثم قوة الشد في كل حزمة لمقطع الجائز المسبق الإجهاد المبين في الشكل (7-22 a) والعائد لأحد جسور عقدة الشقيف في مدينة حلب.

المعطيات:

- المقاومة المميزة لبيتون الجائز:  $f'_c = 28 \text{ MPa}$

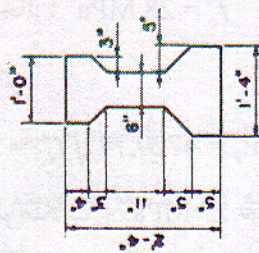
- عامل المرونة لبيتون الجائز:

$$\text{AASHTO 1.5.23.D: } E_p = 4729.77 \sqrt{f'_c} = 25028 \text{ MPa}$$

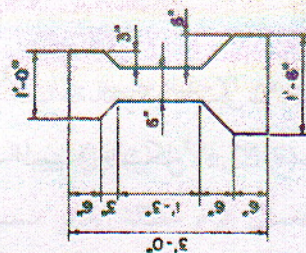
- المقاومة المميزة لبيتون الوصلات:  $f'_c = 25 \text{ MPa}$

- عامل المرونة لبيتون الجائز:

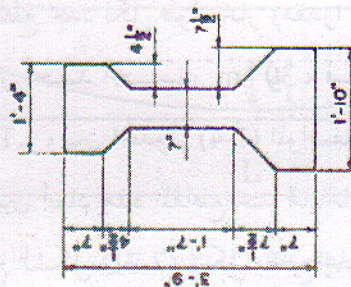




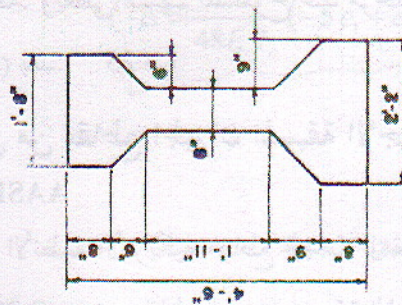
SECTION  
TYPE I BEAM  
30 FT. TO 48 FT. SPANS



SECTION  
TYPE II BEAM  
40 FT. TO 80 FT. SPANS

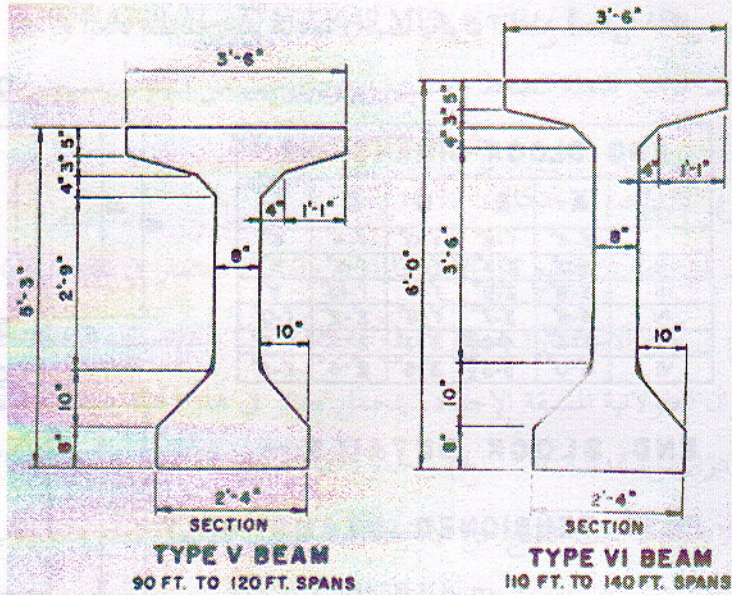


SECTION  
TYPE III BEAM  
85 FT. TO 90 FT. SPANS



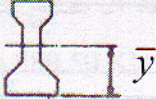
SECTION  
TYPE IV BEAM  
70 FT. TO 100 FT. SPANS





الشكل (7-20) بعض مقاطع الجيزان مسبقة الإجهاد

I الجدول (7-4) المواصفات المقطعية للمقاطع ذات الشكل

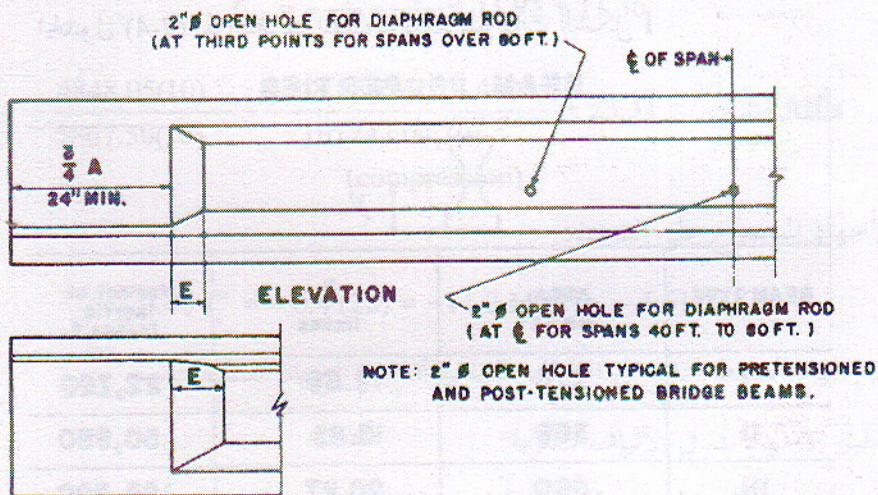
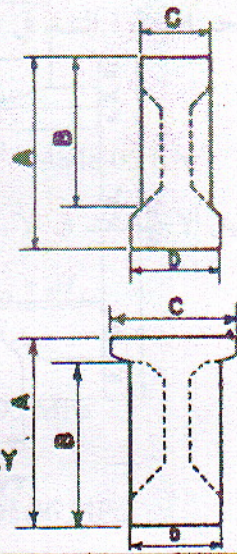
BEAM PROPERTIES			
			
BEAM TYPE	AREA Inches <sup>2</sup>	$\bar{y}$ Inches	Moment of Inertia Inches <sup>4</sup>
I	276	12.59	22,750
II	369	15.83	50,980
III	560	20.27	125,390
IV	789	24.73	260,730
V	1013	31.96	521,180
VI	1085	36.38	733,320



الجدول (7-5) أبعاد المقاطع عند نهايتها (حيث يكون المقطع I على شكل مستطيل)

END BLOCK DIMENSIONS					
BEAM TYPE	A	B	C	D	E
I	2'-4"	1'-9"	1'-0"	1'-4"	6"
II	3'-0"	2'-3"	1'-0"	1'-6"	6"
III	3'-9"	2'-11"	1'-4"	1'-10"	9"
IV	4'-6"	3'-7"	1'-6"	2'-2"	1'-0"
V	5'-3"	4'-8"	3'-3"	2'-4"	1'-8"
VI	6'-0"	5'-5"	3'-6"	2'-4"	1'-8"

END BLOCK DETAILS —  
FOR POST-TENSIONED BEAMS ONLY



الشكل (7-21) شكل الجانز مسبق الإجهاد ذي المقطع I عند نهايته



$$E_c = 4729.77 \sqrt{f'_c} = 23649 \text{ MPa}, n = E_p / E_c = 1.06$$

وهكذا فإن عرض طاولة الضغط وبسبب وجود نوعين من البيتون يصبح:

$$100 / 1.06 = 98.02 \text{ cm}$$

- الضياع الناتج عن الاحتكاك: 10 %

- نحسب مواصفات المقطع قبل الاستثمار وفي أثناء الاستثمار في الجدول (7-6).

- المقطع في أثناء الاستثمار: يصبح المقطع مقطوعاً مركباً بعد تصلب الوصلات البيتونية بين الجيزان الطولانية المسبقة الإجهاد، يتحمل الجائز في هذا الحالة بقية الحمولات الميتة (تغطية، درابزين، تمديدات ... الخ) والحمولات الحية في الشكل (7-22 a, b).

- عزم الانعطاف الميت الناتج عن الأوزان الميتة قبل أن يصبح المقطع مقطوعاً مركباً:

$$M_D = 1210.30 \text{ KN.m}$$

- عزم الانعطاف الميت الناتج عن الأوزان الميتة بعد أن يصبح المقطع مقطوعاً مركباً

$$M_d = 365.80 \text{ KN.m} \quad \text{(عند الاستثمار):}$$

- عزم الانعطاف الحي الناتج عن الحمولات الحية بعد تصعيده بالعامل الديناميكي

وضربه بعامل التوزيع العرضي (بعد أن يصبح المقطع مقطوعاً مركباً عند الاستثمار):

$$M_L = 889.50 \text{ KN.m}$$

- عزم الانعطاف الناتج عن كل الحمولات:

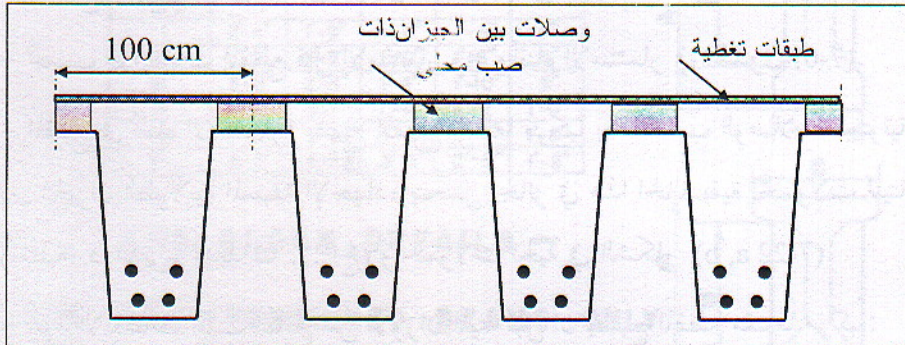
$$M_t = 1210.30 + 365.80 + 889.50 = 2465.60 \text{ KN.m}$$

الجدول (7-6) المواصفات المقطعية للمقطع البيتوني

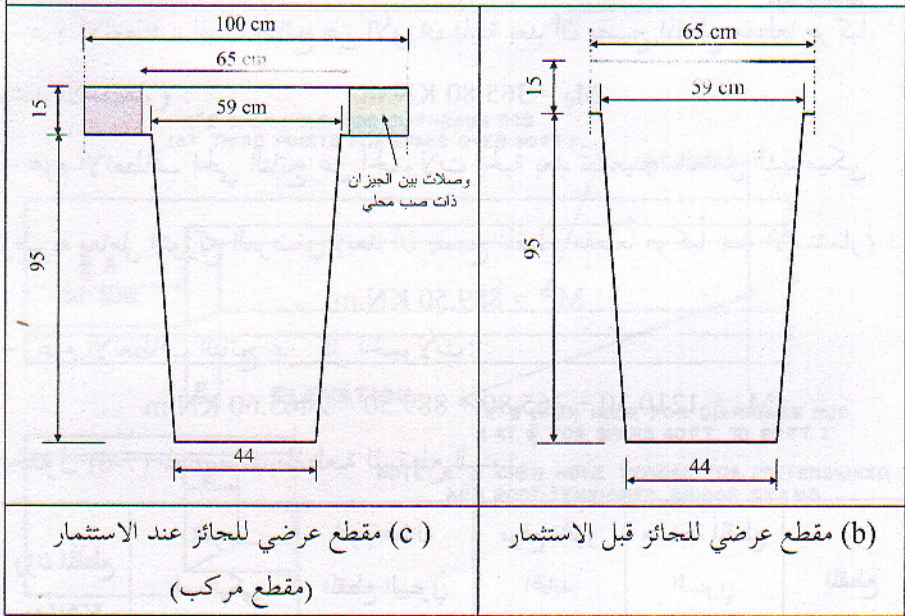
المقطع	مساحة المقطع البيتوني $\text{cm}^2$	موقع الخور الخاص $\text{cm}$	عزم عطالة المقطع البيتوني $\text{cm}^4$	العزم الستاتيكي $\text{cm}^3$	وزن المقطع $\text{KN/m}$
قبل الاستثمار (غير مركب)	5867.50	$y_{\text{top}} = 51.44$ $y_{\text{bot}} = 58.56$	5929229.14	$S_{\text{top}} = 112269.43$ $S_{\text{bot}} = 101247.04$	14.08



بعد الانشاء (مركب)	6392.5	$y_{top} = 47.83$ $y_{bot} = 62.17$	6869373.17	$S_{top} = 143622.10$ $S_{bot} = 110492.49$	15.34
-----------------------	--------	--	------------	--	-------



(a) جزء من المقطع العرضي العام للجسر



الشكل (7-22) الجانز المسبق الإجهاد (شد لاحق)

الحل:

حساب الإجهاد الصافي لفولاذ المسبق الإجهاد:



المواصفات: ASTM 416 - 74 ، المقاومة الحدية لل فولاذ المسبق الإجهاد:

$$f'_s = 270 \text{ ksi} = 1861.65 \text{ MPa} = 18982.88 \text{ Kg/cm}^2$$

الإجهاد البدائي : AASHTO

$$\text{Initial stress} = 0.70 f'_s = 0.70 (1861.65) = 1303.16 \text{ MPa}$$

الضياعات الكلية (عدا الضياع الناتج عن الاحتكاك):

Total losses, AASHTO 1.6.7.B.:

$$\text{For } f'_c = 28 \text{ MPa, the losses is: } - 221 \text{ MPa}$$

وهكذا فإن الإجهاد الصافي بعد حسم الضياعات السابقة (حيث أن الضياع بالاحتكاك 0.10):

$$f'_s = (1303.16 - 221) (1 - 0.10) = 973.94 \text{ MPa}$$

حساب مساحة الفولاذ مسبق الإجهاد:

يتم بواسطة الخطوات التالية:

حساب أبعاد النواة المركزية:

$$r^2 = I_c / A_c = 5929229.14 / 5867.50 = 1010.52$$

$$k_{\text{top}} = r^2 / y_{\text{bot}} = 1010.52 / 58.56 = 17.26 \text{ cm}$$

$$k_{\text{bot}} = r^2 / y_{\text{top}} = 1010.52 / 51.44 = 19.64 \text{ cm}$$

$$z = k_{\text{top}} + y_{\text{bot}} - a$$

الذراع:

$$a = \frac{2(10) + 2(25)}{4} = 17.5 \text{ cm}$$

التغطية:

$$z = 17.27 + 58.56 - 17.5 = 58.33 \text{ cm}$$

$$T = M_t / z = 2465.60 / 0.5833 = 4226.98 \text{ KN}$$

$$A_{sp} = T / f'_s = 4226.98 (10)^{-3} / 973.94 = 43.40 (10)^{-4} \text{ m}^2$$

تم استعمال أربعة حزم ، تتألف كل حزمة من ثمانية كابلات ، مساحة كل كبل

140 mm<sup>2</sup> ، وهذا مساحة الكلية لل فولاذ مسبق الإجهاد:

$$A_{sp} = 4 (8) 1.4 = 44.80 \text{ cm}^2$$



يبين الشكل (7-4) الذي مر سابقاً المقطع النهائي.

- حساب قوة الشد في الحزمة (الحبل Strand) وفقاً للنظام الأمريكي AASHTO

$$P_e = A_{sp} [\bar{\sigma}_{sp} - \text{Losses}]$$

$$P_e = (44.8) (10)^{-4} [0.70 (1861.65) - 221] (10)^3 = 4848.05 \text{ KN}$$

تدقيق الاجهادات في الألياف السفلية:

$$f_{bot} = -\frac{P_e}{A_c} - \frac{P_e e}{S_{bot}} + \frac{M_D + M_{SD}}{S_{bot}} + \frac{M_{CSD} + M_L}{S_{bot,c}}$$

$$\frac{M_D + M_{SD}}{S_{bot}} = \frac{1210.30(10)^{-3}}{101247.04(10)^{-6}} = 11.95 \text{ MPa}$$

$$\frac{M_{SD} + M_L}{S_{bot,c}} = \frac{(365.80 + 889.5)(10)^{-3}}{110492.49(10)^{-6}} = 11.36 \text{ MPa}$$

$$e = 58.56 - 17.5 = 41.06 \text{ cm}$$

$$f_{bot} = -\frac{P_e}{A_c} - \frac{P_e e}{S_{bot}} + 11.95 + 11.36$$

$$= -\frac{4848.05(10)^{-3}}{5867.50(10)^{-4}} - \frac{4848.05(10)^{-3} (0.4106)}{101247.04(10)^{-6}} + 23.31 = -4.61 \text{ MPa}$$

(compression)

الإجهاد المسموح على الضغط:

$$-0.40 f'_c = -0.4 (28) = -11.2 \text{ MPa} > -4.61 \text{ OK}$$

إن إجهاد الضغط الناتج في الألياف السفلية أقل من إجهاد الضغط المسموح.

تدقيق الاجهادات في الألياف العلوية:

$$f_{top} = -\frac{P_e}{A_c} + \frac{P_e e}{S_{top}} - \frac{M_D + M_{SD}}{S_{top}} - \frac{M_{CSD} + M_L}{S_{top,c}}$$

$$f_{top} = -\frac{4848.05(10)^{-3}}{5867.50(10)^{-4}} + \frac{4848.05(10)^{-3} (0.4106)}{112269.43(10)^{-6}} - \frac{1210.30(10)^{-3} + 0.0}{112269.43(10)^{-6}}$$



$$-\frac{(365.80 + 889.50)(10)^{-3}}{143622.10(10)^{-6}} = -10.05 \text{ MPa} < -11.2$$

إن إجهاد الضغط الناتج في الألياف العلوية أقل من إجهاد الضغط المسموح.

وبالتالي فإن قوة الشد الكلية في الحزم جميعاً:

4848.05 KN for four Strands

قوة الشد في الحزمة الواحدة:

$$4848.05 / 4 = 1212.01 \text{ KN}$$

**Use: 1212.01 KN = 123.59 Tons**

وبعد إدخال الضياع الناتج عن الاحتكاك:

$$123.59 / (1 - 0.10) = 137.30 \text{ Tons}$$



