الفصل الخامس

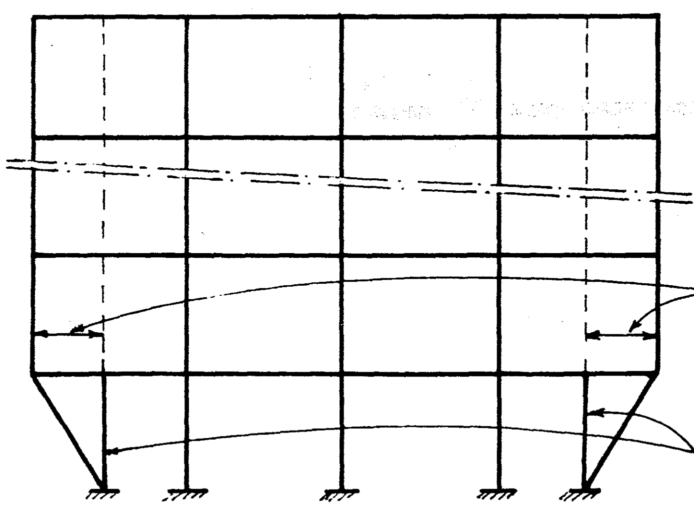
الأعمـــدة الفرعـونيـــة

الفصل الخامس

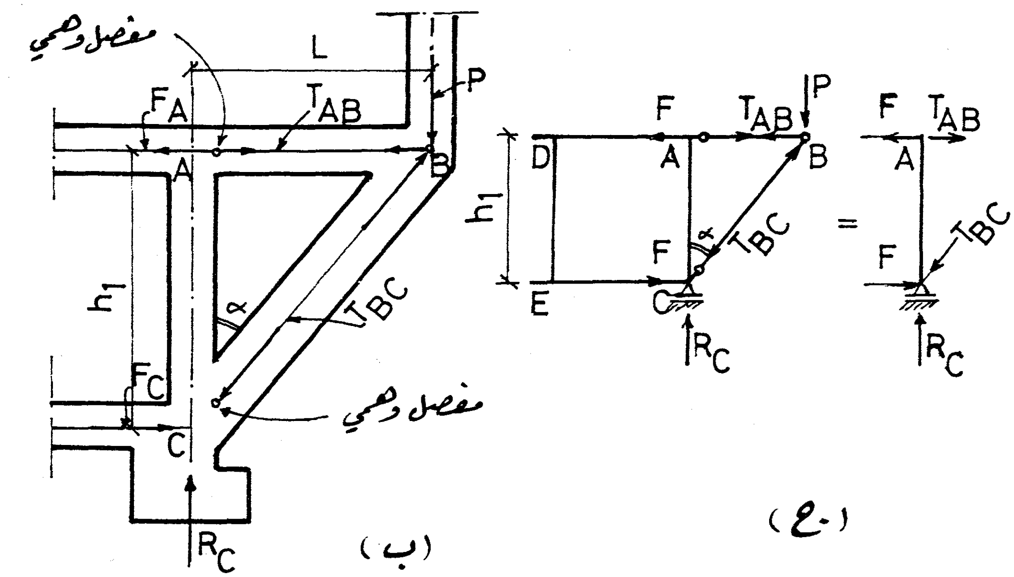
٥ ـ الأعمدة الفرعونية

٥ ـ ١ ـ مقدمة :

يصادف المهندس الانشائي في بعض الأبنية حالة انتقال محور عمود حامل لعدة طوابق من الطابق الأعلى إلى موقع آخر في الطابق الأدنى لأسباب مختلفة . تؤدي هذه الحالة إلى تولد جملة من الإجهادات الإضافية في منطقة الانتقال لابدَّ من دراستها وتحليلها بعناية وإعتماد جملة إنشائية قادرة على تأمين التوازن والاستقرار وإمتصاص هذه الإجهادات . تشمل هذه الجملة أعمدة مائلة وتسمى الأعمدة الفرعونية .



الشكل (٥ ـ ١) (أ)



تابع للشكل (٥ ــ ١)

أكثر الأمثلة على الأعمدة الفرعونية المباني السكنية التي تقام في بعض المدن حيث يسمح نظام البناء برقعة بناء معينة ويسمح اعتباراً من سقف الطابق بالبروز ، لكن لاتسمح لهذه البروزات أحياناً أن تكون مستندة على أعمدة عند محيطها الخارجي (الشكل ٥-١-أ) . يمكن حل هذه المسألة باستخدام الأعمدة الفرعونية وذلك لأسباب معمارية في توزيع الفراغات وأسباب انشائية لتجنب استخدام البلاطات الظفرية في كل الطوابق . يناقش هذا الفصل كيفية التحليل الانشائي والتصميم للأعمدة الفرعونية مدعماً بمثال عملي لتوضيح هذه المراحل .

٥ ــ ٢ تحليل الأعمدة الفرعونية :

٥ ــ ٢ ــ ١ التحليل الانشائي للأعمدة الفرعونية في المباني ذات الطابق الأرضي دون قبو :

أ ــ العمود الفرعوني في الطابق الأرضي دون قبو :

يمكن تمثيل الجملة بجائز شبكي كما هو مبين في الشكل (٥ ــ ١ ب و ج).تؤخذ عناصر الجائز الشبكي متمفصلة عند العقدة B وعلى يمين العقدتين A و

C وبالتالي تكون العناصر معرضة لقوى محورية (شادة أوضاغطة) .

بدراسة توازن هذه الجملة ينتج مايلي :

١ ـــ ردود الأفعـال للجملـة :

$$F_A = \frac{P.L}{h1} \qquad \text{.....}\ (٥ — ١)$$

$$F_c = -F_A \qquad \text{....}\ (٥ — ٢)$$

$$R_c = P \qquad \text{....}\ (٥ — ٣)$$

٢ ـــ القـوى المحوريـة في عنـاصر الجملـة :

ـــ العنصر (AB)

يتعرض إلى قوة محورية شادة مقدارها

$$T_{AB} = \frac{P.L}{h1} \qquad \text{....}\ (٥ — ٤)$$

أي أن :

$$F_A = F_c = T_{AB} = F$$

ـــ العنصر (BC)

يتعرض إلى قوة محورية ضاغطة مقدارها

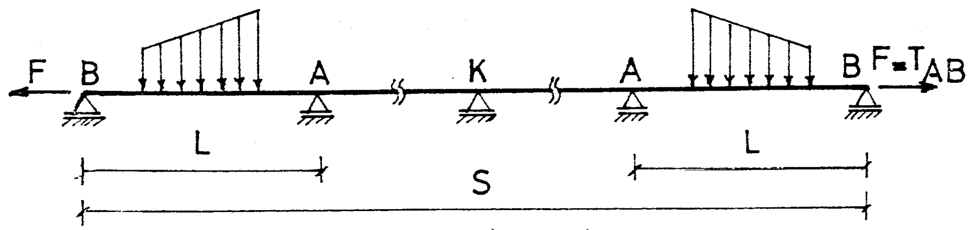
$$T_{Bc} = \frac{P}{\cos\alpha} \qquad \text{....}\ (٥ — ٥)$$

أما العناصر (AC) و (DE) و (AD) و (CE) فتتعرض الى قوى داخلية من القوتين الأفقيتين F ويمكن أن تتعرض الى عزوم حسب نوع الجملة كما سنرى في البنود التالية .

ب ـــ تصميم عناصر الجملة الإنشائية في المباني ذات الطابق الأرضي دون قبو :

١ ـــ العنصـــر AB والجـائز المتصـل بـه :

بما أن العنصر الانشائي AB هو جزء من جائز مستمر محمول على جملة الأعمدة للبناء ، فيتعرض هذا الجائز الموضح في الشكل (٥ ـــ ٢) إلى القوى التالية :



الشكل (٥ــ٢)

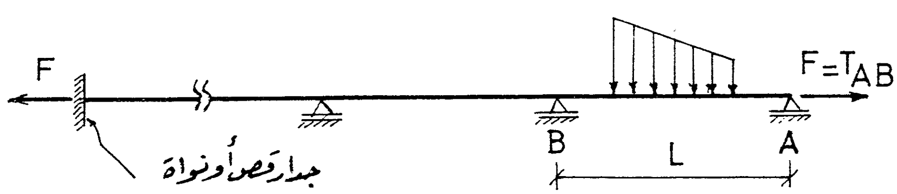
ــ عزوم انحناء تنجم عن الأحمال الشاقولية المطبقة على هذا الجزء (يمكن في حالات كون حمولة العمود الفرعوني كبيرة نسبياً إهمال تأثير العزوم) .

ــ قوة شد محورية (F = TAB) تطبق على هذا الجزء أوعلى كامل الجائز المستمر تبعاً لطبيعة استناد جملة الجائز الشبكي وتميز الحالات التالية :

أ ــ الجملة متناظرة أي يوجد عمود فرعوني عند كل من طرفي الجائز المستمر كما هو مبين في الشكل (٥ ــ ١) . في هذه الحالة يتعرض كامل الجائز المستمر بطول (S) الى قوة شد منتظمة مقدارها في كل مقطع F يجب أخذها بالحسبان عند تصميم المقاطع العرضية الحرجة لهذا الجائز . وينوه إلى ضرورة تأمين الاستمرارية لهذا الجائز كي يكون قادراً على امتصاص قوة الشد هذه .

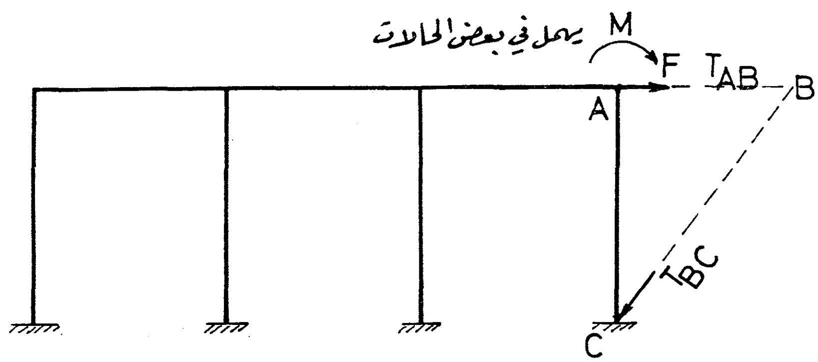
ب ــ الجملة غير متناظرة في هذه الحالة لابدّ من تأمين جملة مستقرة ومتوازنة قادرة على امتصاص قوة الشد F ويتم ذلك :

ــ بربط الجائز المستمر بعنصر مقاوم للأحمال الأفقية ، مثل جدار قص أونواة مركزية لهما عطالة كبيرة في إتجاه القوة الأفقية F على أن يتم الربط بشكل سليم وكاف كما هو مبين في الشكل (٥ ــ ٣) .



الشكل (٥ ــ ٣)

ج ــ **يمكن في بعض حالات عدم التناظر إعتماد** الجملة الانشائية للمنشأ على شكل إطارات للطابق الأرضي فقط ، وحساب الاطار عند منسوب العمود الفرعوني تحت تأثير القوة الأفقية F كما هو مبين في الشكل (٥ ــ ٤) والبند (٥ ــ ٣)



الشكل (٥ ــ ٤)

في هذه الحالة يُصمَّم التسليح ويُنفذ المنشأ باعتباره جملة إطارية مع الأخذ بالحسبان تأمين استمرارية التسليح عند العقد وتحديد فواصل الصب مسبقاً وتثبيتها على المخططات التنفيذية . وغالباً يكون هذا الحل مكلفاً نسبياً .

٢ ــ العنصر BC :

يصمم العنصر الانشائي BC بافتراضه عموداً متمفصلاً من طرفيه ، ويجب التأكد من نحافته ، ويلزم الاعتناء بطريقة تسليحه ونوعية البيتون المنفذ فيه .

٣ ــ أعمدة الإطار :

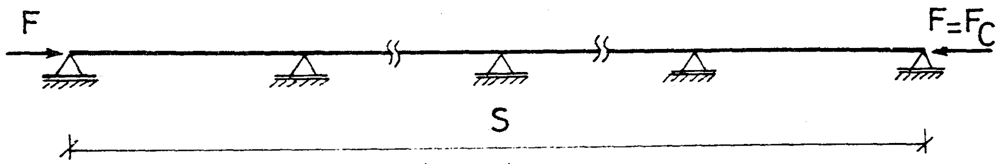
يصمم العمود AC وباقي أعمدة الإطار في الطابق الأرضي لتحمل الحمولات الشاقولية المنقولة من الطوابق العلوية في حال وجود عمود فرعوني متناظر (أي عند طرفي الإطار) أوفي حال عدم التناظر عندما نستطيع نقل القوة الأفقية F إلى جدار قص أونواة مركزية لهما عطالة كبيرة باتجاه القوة F . أما في حال عدم التناظر وغياب جدار القص أوالنواة الكبيرة بالصفة المبينة أعلاه فيلزم تصميم أعمدة

الإطار لتتحمل العزوم الكبيرة التي تنتج عن القوة F إضافة للقوى الناظمية التي تنتج في الاطار عندما يتعرض للقوة F من جانب واحد أولقوتين F1 و F2 عند الطرفين عندما يكون الفرق بينهما كبيراً .

٤ ــ الشيناج الأرضي :

يتم امتصاص رد الفعل الأفقي (Fc = F) بواسطة شيناج أرضي يحسب على الضغط ويجب تأمين الاستمرارية لهذا الشيناج على كامل البناء وتميز أيضاً الحالات التالية :

أ ــ المنشأ متناظر كما هو مبين في الشكل (٥ ــ ٥)

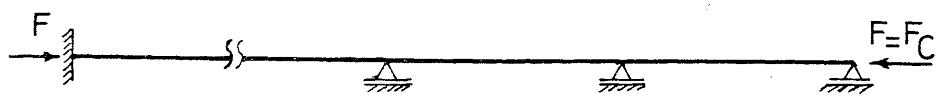


الشكل (٥ــ٥)

آي يوجد من كل طرف للمنشأ عمود فرعوني ، في هذه الحالة يصمم الشيناج الأرضي مستمراً على كامل الطول S ليكون قادراً على امتصاص القوة المحورية الضاغطة Fc . ويجب التحقق من شرط التحنيب لهذه الأعمدة ووضع الأساور الكافية لربط التسليح الطولي للشيناج .

ب ــ المنشأ غير متناظر : في هذه الحالة لابدَّ من تأمين جملة مستقرة ومتوازنة قادرة على امتصاص قوة الضغط Fc ويتم ذلك :

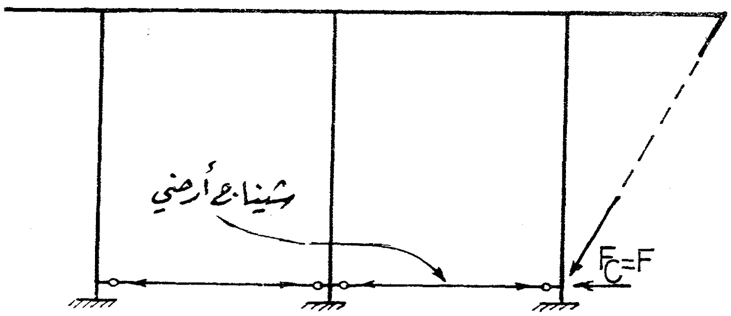
ــ بربط الشيناج الأرضي بعنصر مقاوم للأحمال الأفقية مثل جدران القص أونواة مركزية ، بشكل سليم وكاف كما هو مبين في الشكل (٥ ــ ٦) .



الشكل (٥ــ٦)

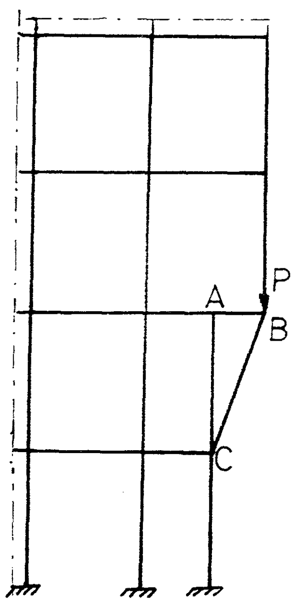
ــ عندما يكون المنشأ مصمماً كجملة إطارية يوضع شيناج أرضي

متمفصل أوموثوق لامتصاص هذه القوة الأفقية كما هو مبين في الشكل (٥ ــ ٧) . ويلزم الإنتباه إلى أن هذه القوة الأفقية تكون محصلتها الصفر عند مستوى الأساسات عندما يكون المنشأ غير معرض بالأصل لقوة أفقية خارجية .



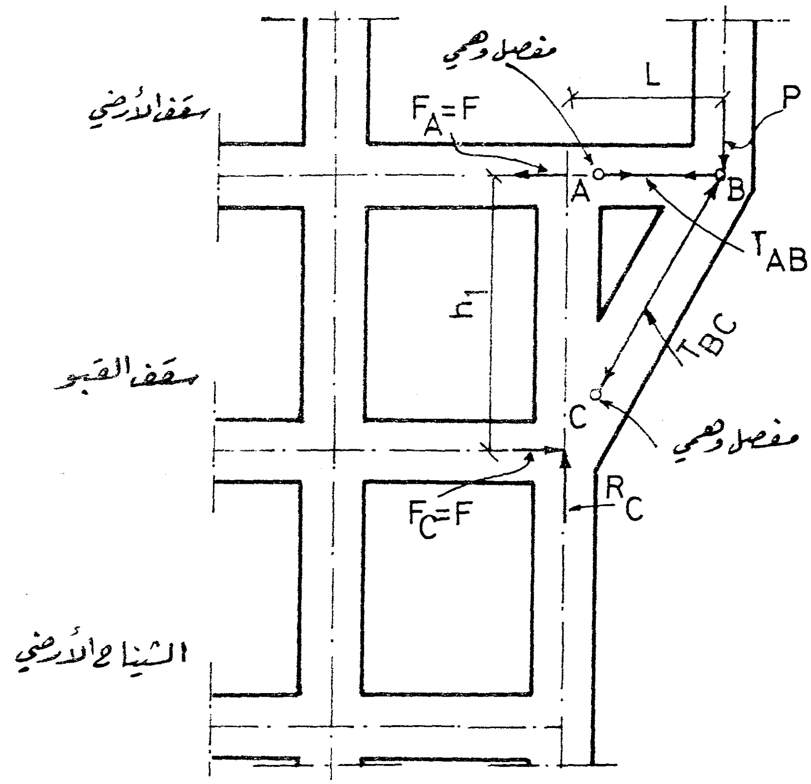
الشكل (٥ ــ ٧)

٥ ــ ٢ ــ ٢ ــ التحليل الإنشائي للأعمدة الفرعونية في المباني ذات الطابق الأرضي مع قبو :



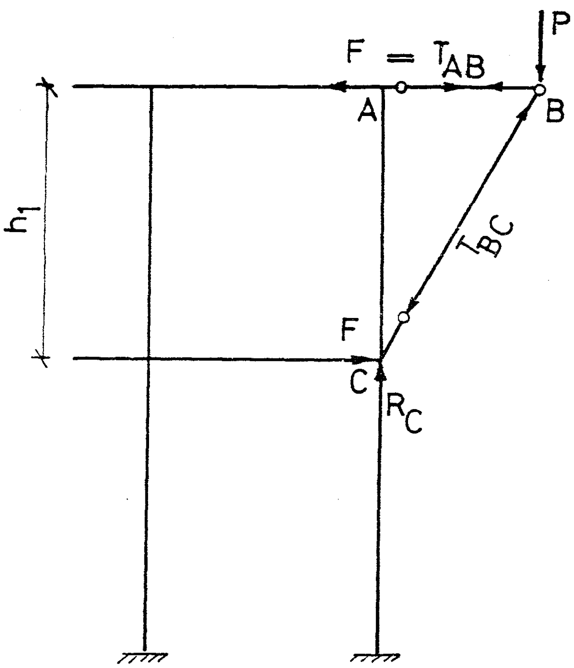
الشكل (٥ ــ ٨ أ)

أ ـــ العمود الفرعوني في الطابق الأرضي مع قبو (الشكل ٥ ـــ ٨-أً) يمكن تمثيل الجملة أيضاً بجائز شبكي كما هو مبين في الشكل (٥ ـــ ٨ ـــ ب وج) ، حيث تؤخذ للتبسيط عناصر الجائز الشبكي متمفصلة عند العقد وبالتالي قادرة على إمتصاص قوى محورية (شادة أوضاغطة) .



الشكل (٥ ـــ ٨ ب)

بدراسة توازن هذه الجملة تنتج ردود أفعال الجملة والقوى المحورية في عناصرها وتؤخذ قيمها من العلاقات (٥ ـــ ١) الى (٥ ـــ ٥) .



الشكل (٥ ــ ٨ ج)

ب ــ تصميم عناصر الجملة الإنشائية في المباني ذات الطابق الأرضي مع قبو :

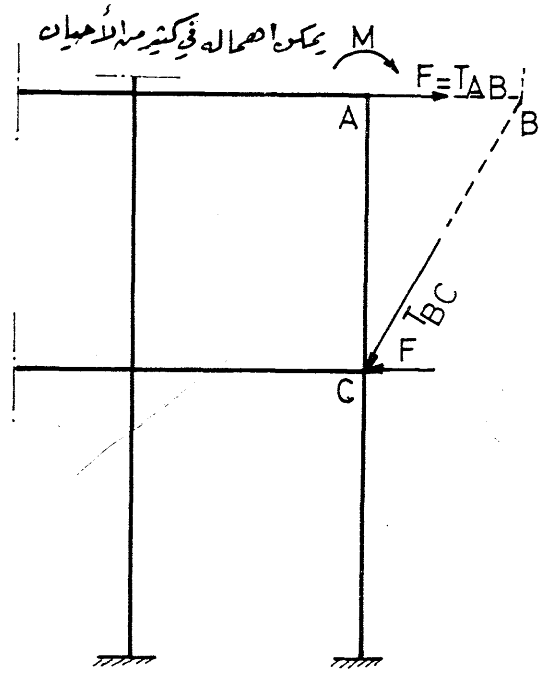
١ ــ العنصر AB والجائز المتصل به :

يحسب هذا العنصر الانشائي باعتباره معرضاً لعزوم انحناء M تنجم عن الأحمال الشاقولية المطبقة على هذا الجزء (ويمكن اهمالها في بعض الحالات عند صغره النسبي) ، وقوة شد محورية T_{AB} تطبق على هذا الجزء أوعلى كامل الجائز المستمر تبعاً لطبيعة الاستناد المعتمدة وتميز الحالات التالية :

أ ــ الجملة متناظرة ، الشكل (٥ ــ ٢) وتحسب كما ورد في الفقرة (٥ ــ ٢ ــ ١ ب) .

ب ــ الجملة غير متناظرة مربوطة بجدار قص أونواة مركزية (انظر الشكل ٥ ــ ٣) وتحسب أيضاً كما ورد في الفقرة (٥ ــ ٢ ــ ١ ــب) .

ج — الجملة المستخدمة اطارية وتحسب الجملة كما هو مبين في الشكل (٥ — ٩) والبند (٥ — ٣) .



الشكل (٥ـ٩)

٢ ــ العنصر BC

كما ورد في الفقرة (٥ — ٢ — ١ — ب) .

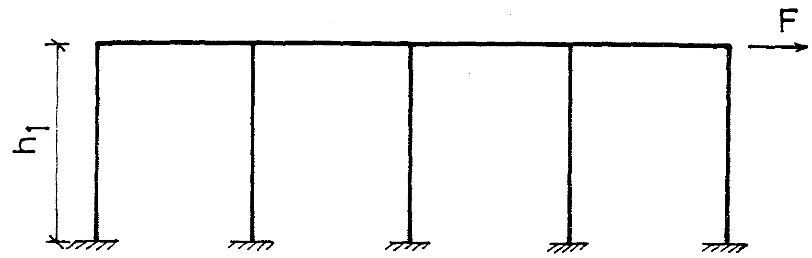
٣ ــ أعمدة الاطار

تصمم كما في الفقرة (٥ — ٢ — ١ — ب) مع مراعاة أن الإطار أصبح من طابقين في الحل التقريبي وتحليله معطى في البند (٥ — ٤) .

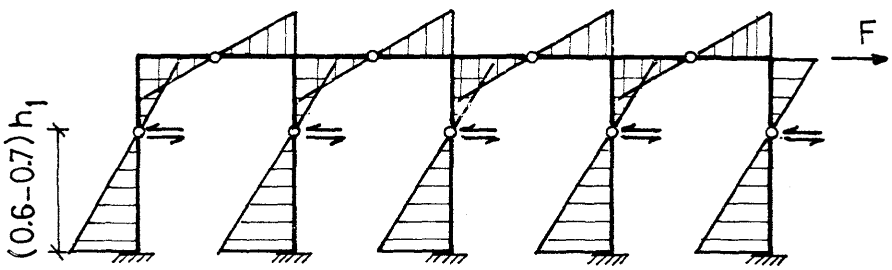
٤ ــ الشيناج الأرضي :

يتم امتصاص ردود الأفعال الأفقية بواسطة عنصر مقاوم للضغط كما ورد في الفقرة (٥ — ٢ — ١ — ب) . ونذكر أيضاً أن محصلة ردود الأفعال الأفقية للمساند تساوي للصفر من أجل الحمولات الشاقولية .

٥ ـ ٣ ـ تحليل الاطار ذي الطابق الواحد :
(جملة عمود فرعوني ذي طابق أرضي دون قبو)



(أ)



(ب)

الشكل (٥ـ ١٠)

يتم تحليل هذا الاطار نتيجة تعرضه إلى قوة F ، الناتجة عن العمود الفرعوني ، باحدى الطرق المعروفة في حساب الإنشاءات . على أنه يمكن الاستفادة من خواص هذا الاطار للوصل إلى حلول سريعة وتعطي دقة كبيرة : نذكر من طرق الحل هذه اثنتان .

٥ ـ ٣ ـ ١ طريقة الاطار ذي المفاصل : Portal Method

عندما يكون :

أ ـ عزم عطالة مقاطع الأعمدة الداخلية تقريباً متساو .

ب ـ عزم عطالة كل من العمودين الطرفيين يساوي حوالي نصف عزم عطالة عمود داخلي .

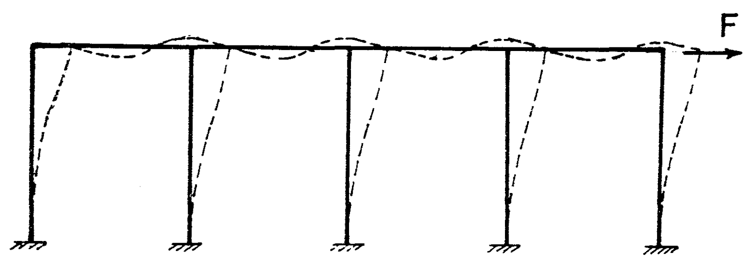
ج ـ مجازات الجائز الأفقي المستمر تقريباً متساوية ومقاطعه ثابتة .

فإن الحل الدقيق للاطار يبين وجود مفاصل في منتصف مجازات الجائز المستمر عندما يتعرض لقوة أفقية F . كما يظهر أن المفاصل في الأعمدة تقع على ارتفاع يتراوح بين (0.6 h1 ← 0.7h1) من المساند السفلية . حيث (h1 إرتفاع الطابق الأرضي) كما هو مبين بالشكل (٥ ـ ١٠) . وقد وجد من الحلول الدقيقة أيضاً امكان استعمال هذه النتائج أيضاً للوصول الى حلول تقريبية مقبولة للحالات التي لاتتحقق فيها الفقرات (أ ، ب و ج) بشكل كامل .

وبالتالي يمكن بفرض مفاصل في منتصف مجازات الجائز ومفاصل على إرتفاع (0.6 h1 ← 0.7 h1) من أسفل الأعمدة تحويل الإطار إلى جملة مقررة يمكن تحليلها بسهولة . ويتم ذلك بتوزيع القوة الأفقية على الأعمدة بشكل متناسب مع عزوم عطالاتها . ومن ثم تحسب العزوم في الأعمدة أولاً ثم في عناصر الجائز من مبادىء التوازن للمنشأ المقرر .

ومبين في المثال المحلول توضيح لخطوات الحل .

٥ ـ ٣ ـ ٢ طريقة العمود المكافىء Equivalent Frame Method



(أ)

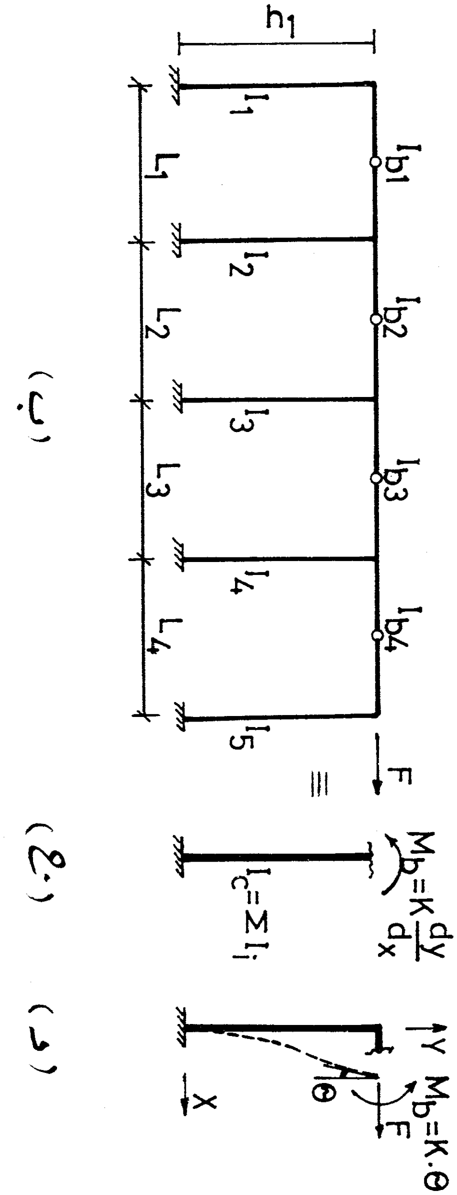
الشكل (٥ ـ ١١)

في هذه الطريقة يفترض وجود مفاصل في منتصف مجازات الجائز المستمر عندما يتعرض الإطار لقوة أفقية F . وكما بينا في البند (٥ ـ ٣ ـ ١) فهذا الأمر قريب من الواقع في الحالات العادية التي تصادف بها هذه الإطارات . ونذكر بأن

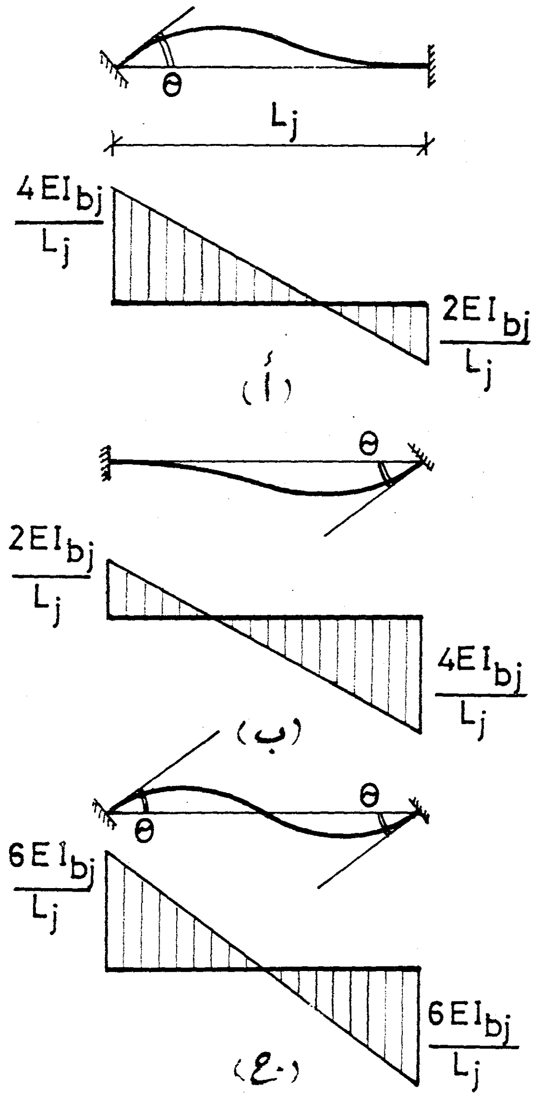
هذا الافتراض يكون صحيحاً بشكل كامل عندما تتحقق الشروط الثلاثة المحدودة في البند السابق .

أما موقع المفاصل في الأعمدة فيحدد بالحساب وبالتالي فهذه الطريقة أكثر دقة من الطريقة السابقة . وإذا تحققت الشروط الثلاثة المشار إليها فإن هذه الطريقة تعطي نتائج صحيحة تماماً .

تعتمد هذه الطريقة على تحويل الإطار إلى عمود مكافىء ومتصل في أعلاه بوثاقة مرنة كما هو مبين بالشكل (٥ ــ ١١) .



تابع الشكل (٥ ــ ١١)



الشكل (٥ ــ ١٢)

ــ يكون عزم العطالة للعمود المكافىء :

$$I_c = \sum_{i=1}^{i=m} I_i \quad \text{..... (٥ ــ ٦)}$$

أي مجموع عزوم عطالات الأعمدة (حيث m عدد الأعمدة) .

ـــ من الخط المرن للإطار الناتج عن تعرضه الى القوة الأفقية (F) كما في الشكل (٥ ـــ ١١ ـــ أ) يمكن نتيجة فرض مفاصل عند منتصف المجازات أخذ زاويتي دوران متساويتين عند نهايتي كل مجاز . وواضح أن دوران كل عنصر من الجائز عند كل نهاية له يعطي عزماً يؤثر على العمود وذلك ناتج من قساوة عناصر الجائز .

ولحالتنا تحسب القساوة التناظرية عكسياً من الشكل (٥ ـــ ١٢) .

ومبين في الشكل (٥ ـــ ١٢ ـــ أ) العزوم الناتجة من دوران Θ عند المسند اليساري لعنصر من الجائز . وفي الشكل (٥ ـــ ١٢ ـــ ب) العزوم الناتجة من دوران Θ عند المسند اليميني للعنصر ذاته . بجمع العزوم الناتجة عن الحالتين ينتج العزوم من وضع الدوران المتناظر عكسياً كما هو مبين بالشكل (٥ ـــ ١٢ ـــ ج) . حيث يتضح أن العزم الناتج من هذا الدوران عند كل مسند :

$$M_{bj} = \left(\frac{6EI_{bj}}{L}\right)\Theta \qquad \ldots\ldots (٥ — ٧)$$

ويتضح أن دوران Θ عند نهايتي كل عنصر يسبب عزمين على الأعمدة يساوي مجموعهما لمجموع العزمين M_{bj} . أي :

$$M_j = 2M_{bj} = \left(\frac{12\,EI_{bj}}{L}\right)\Theta \qquad \ldots\ldots (٥ — ٨)$$

وبفرض تحقق الشروط الثلاثة الواردة في البند السابق ولو بشكل تقريبي نجد أن الزاوية Θ تكون ثابتة لجميع عناصر الجائز ويكون العزم الكلي المؤثر من الجائز على العمود المكافىء :

$$M_b = \Sigma M_j = \left(\sum_{j=1}^{j=m-1} \frac{12I_{bj}}{L_j}\right)E.\Theta \qquad \ldots (٥ — ٩)$$

ويكتب بالشكل :

$$M_b = KE\,\Theta \qquad \ldots\ldots (٥ — ١٠)$$

حيـث :

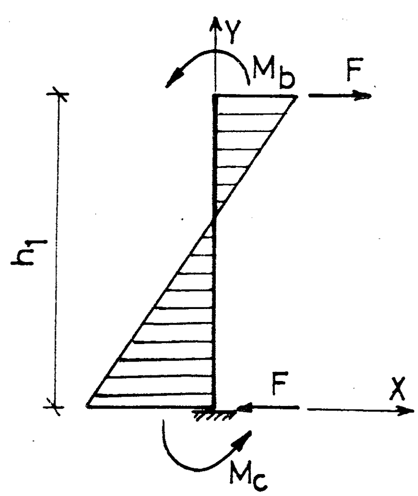
$$K = \left(\sum_{j=1}^{j=m-1} \frac{12I_{bj}}{L_j} \right) \quad ..... (٥ — ١١)$$

وتمثل مجموع القساوة (المتناظرة عكسياً) للجائز المستمر وهي مجموع قيم العزوم عند نهايتي عناصره والناتجة عن دوران ($E\Theta = 1$) .

— وفق التمثيل المعتمد تكون المسألة قد تحولت من حل إطار ذي مجاهيل عديدة (وفق الطرق الدقيقة لحساب الانشاءات) إلى حل عمود ذي مجهول واحد وهو قيمة مجموع عزوم عناصر الجائز (M_b) عند أعلى العمود كما هو مبين بالشكل (٥ — ١١ — ج و د) .

— يتم حساب زاوية الدوران Θ عند رأس العمود المكافىء بدلالة العزوم النهائية الناتجة فيـه كما هو مبين بالشكـل (٥ — ١٣) وفـق نظريـة حساب الانشاءات :

حيث أن العزم في أعلى العمود المكافىء يساوي M_b فيكون العزم في أسفل العمود المكافىء :



الشكل (٥ـ١٣)

$$M_c = F.h1 - M_b \quad ..... (٥ — ١٢)$$

وتكون الزاوية Θ :

$$\Theta = \frac{dy}{dx}$$

$$= \frac{1}{EIc} \left[\frac{Mc\,h1}{2} - \frac{M_b\,h1}{2} \right] \quad \text{.... (٥ — ١٣)}$$

وبتعويض قيمة θ بدلالة Mb من العلاقة (٥ — ١٠) نجد :

$$\frac{M_b}{Ek} = \frac{h1}{2EIc} [\,Mc - M_b\,]$$

وبفرض :

$$\lambda = K\frac{h1}{Ic} = \frac{12\sum\left(\frac{I_{bj}}{Ij}\right)}{\frac{Ic}{h1}} \quad \text{... (٥ — ١٤)}$$

تصبح العلاقة السابقة كما يلي :

$$Mc = \left(1 + \frac{2}{\lambda}\right) M_b \quad \text{.... (٥ — ١٥)}$$

بتعويض Mc من العلاقة (٥ — ١٢) في العلاقة أعلاه ينتج :

$$\left(1 + \frac{2}{\lambda}\right) Mb = Fh1 - M_b$$

وتكون القيمة Mb :

$$M_b = \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{\lambda}}\right) \frac{Fh1}{2} \quad \text{................. (٥ — ١٦)}$$

وبالتعويض في (٥ — ١٢) نجد :

$$Mc = \left(\frac{1 + \frac{2}{\lambda}}{1 + \frac{1}{\lambda}}\right) \frac{Fh1}{2} \quad \text{...... (٥ — ١٧)}$$

يوزع العزم M_b بين عناصر الجائز حسب قساوتها فيكون العزم عند كل طرف للعنصر j :

$$Mbj = \frac{\frac{6Ibj}{Lj}}{K} Mb$$ .... (٥ — ١٨)

ويوزع العزم Mb والعزم Mc على الأعمدة حسب عزم عطالتها كما يلي :

العزم عند المقطع العلوي للعمود i :

$$M1i = \frac{Ii}{I_c} M_b$$ .... (٥ — ١٩)

العزم عند المقطع السفلي للعمود i :

$$M2i = \frac{Ii}{I_c} Mc$$ .... (٥ — ٢٠)

— يلاحظ من العلاقتين (٥ — ١٦) و (٥ — ١٧) أنه في حالة الجائز ذي الصلابة الكبيرة جداً بالنسبة لصلابة الأعمدة أي عندما : ($\lambda = \infty$) فإن :

$$Mb = Mc = \frac{Fh}{2}$$ .... (٥ — ٢١)

ويكون موقع المفاصل للأعمدة في منتصف ارتفاعها .

— وفي الحالة العامة يكون موقع المفاصل في الأعمدة على ارتفاع Z1 من الأسفل حيث :

$$\frac{Z1}{h1 - Z1} = \frac{Mc}{Mb}$$ يؤخذ العزمان بالقيمة المطلقة .

وبجمع الصور إلى المخارج :

$$\frac{Z1}{h1} = \frac{Mc}{Mb + Mc}$$

بالتعويض من العلاقتين (٥ — ١٦) و (٥ — ١٧) :

$$\frac{Z1}{h1} = \frac{\frac{\lambda + 2}{\lambda + 1}}{\frac{\lambda}{\lambda + 1} + \frac{\lambda + 2}{\lambda + 1}} = \frac{1}{2} \frac{\lambda + 2}{\lambda + 1}$$ .... (٥ — ٢٢)

واضح أن النسبة $\frac{Z1}{h1}$ تتراوح بين القيمتين :

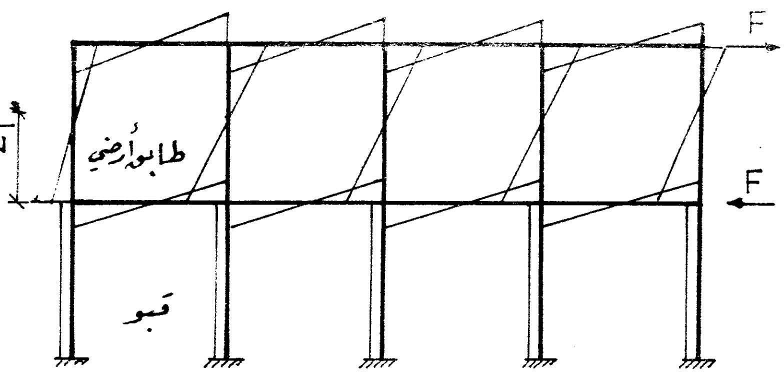
1 من أجل ($\lambda = 0$) أي انعدام قساوة الجائز

2 من أجل ($\lambda = \infty$) أي قساوة ∞ للجائز .

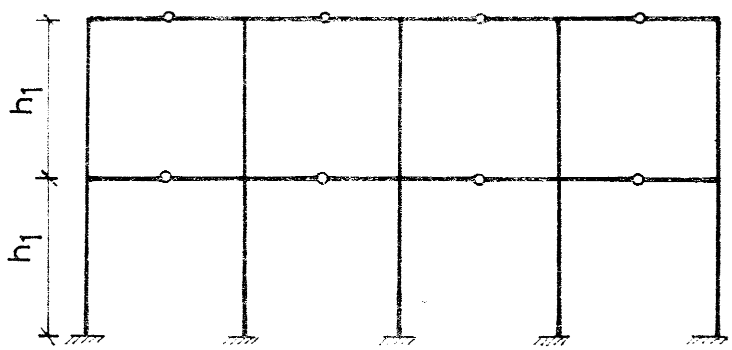
أما في حالات الأبنية العادية فتتراوح من (0.6) إلى (0.7) تقريباً .

٥ ــ ٤ تحليل الإطار ذي الطابقين :

(جملة عمود فرعوني ذي طابق أرضي مع قبو)

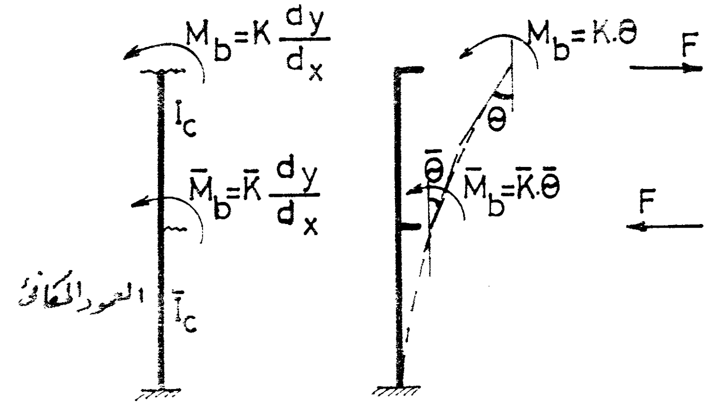


(أ)



(ب)

الشكل (٥ــ١٤)



(ج ـ ١)

تابع الشكل (٥ ــ ١٤)

يمكن حل هذا الإطار ، الشكل (٥ ــ ١٤ ـأ) ، نتيجة تعرضه للقوتين المتعاكستين F الناتجتين عن العمود الفرعوني ، بأية طريقة من طرق حساب الإنشاءات . على أنه بالاستفادة من خواص هذا الإطار يمكن تبسيط الحل واختصار الوقت للوصول إلى نتائج مقبولة باعتماد احدى الطريقتين التاليتين .

٥ ــ ٤ ــ ١ طريقة الإطار ذي المفاصل

هذه الطريقة تم شرحها بالفقرة (٥ ــ ٣ ــ١) . وللإطار ذي الطابقين المعرض لقوتين أفقيتين F متعاكستين نفرض مفاصل في منتصف مجازات الجائز المستمر ونفرض مفاصل على بعد (Z1) من أسفل أعمدة الطابق الأرضي حيث $Z1 = (0.55 \rightarrow 0.65)h1$ في الحالات العادية . وتكون العزوم التي تنتج في أعمدة القبو ثابتة ومجموعها M3 يساوي $(0.25 \rightarrow 0.35)$ من مجموع عزوم الأعمدة (M_2) أسفل الطابق الأرضي . وينتقل الفرق بين (M2 - M3) الى عناصر الجائز المستمر لسقف القبو كما هو مبين بالشكل (٥ ــ ١٤ ــ أ) . ويتم توزيع العزوم بين عناصر الجائز المستمر حسب قساواتها ، ويتم توزيع العزوم بين الأعمدة حسب عزوم عطالتها تماماً كما في حالة الإطار ذي الطابق الواحد . وإن متابعة الطريقة الثانية في البند التالي توضح الأسس النظرية لطريقة المفاصل التقريبية .

٥ ـــ ٤ـ٢ ـــ طريقة العمود المكافىء لحل الاطار ذي الطابقين :

المبادىء الأساسية لهذه الطريقة تم شرحها في الفقرة (٥ ـــ ٣ ـــ ٢) . وبالتالي يحول الإطار ذي الطابقين الى عمود مكافىء عزم عطالته (Ic) وسنفترض لتبسيط العلاقات الرياضية أن Ic ثابتة في الطابقين . على أنه يمكن في الحالات العامة أن تتغير وعندها نحل مباشرة دون اللجوء للعلاقات الناتجة . ويكون هذا العمود موثوقاً جزئياً عند منسوب سقف الأرضي ومنسوب سقف القبو بعناصر الجائزين الأفقيين ، أي لدينا مجهولين M_b و $\bar{M}_b$ حيث :

M مجموع عناصر الجائز عند سقف الأرضي ويرتبط مع زاوية الدوران عند نفس المنسوب بالعلاقة (٥ ـــ ١٠) :

$$M_b = KE\,\Theta \qquad \text{(٥ــ٢٣)}$$

حيث تحسب K من العلاقة (٥ ـــ ١١) .

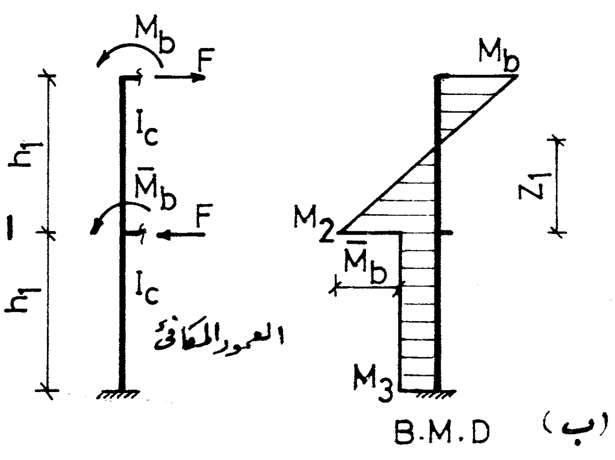
$\bar{M}_b$ مجموع عزوم عناصر الجائز عند سقف القبو ويرتبط مع زاوية الدوران $\bar{\Theta}$ عند نفس المنسوب بالعلاقة :

$$\bar{M}_b = \bar{K}\,E\,\bar{\Theta} \qquad \text{(٥ــ٢٤)}$$

حيث تحسب $\bar{K}$ من العلاقة (٥ ـــ ١١) بتعويض $\bar{I}bj$ عزوم عطالة عناصر الجائز في سقف القبو أي :

$$\bar{K} = \sum_{j=1}^{j=m-1} \frac{12\,\bar{I}bj}{Lj} \qquad \ldots \text{(٥ ـــ ٢٥)}$$

الشكل (٥ــ١٥)



يحدد المجهولان (Mb و $\bar{M}b$) عن طريق حساب زاويتي الدوران (Θ و $\bar{\Theta}$) للاطار عند منسوب الطابقين حيث ينتج لدينا معادلتين بحلهما نصل إلى قيم المجهولين . وسيتم من خلال التحليل التالي حل المعادلتين مباشرة .

— زاوية الدوران $\bar{\Theta}$ للعمود المكافىء عند سقف القبو :

$$\bar{\Theta} = \frac{dy}{dx} = \frac{M3\ h1}{EIc} \qquad \text{.... (٥ — ٢٦)}$$

حيث Ic مجموع عزوم عطالة الأعمدة في طابق القبو .

ومن توازن العمود عند أسفل القبو نجد :

$$M3 = Fh1 - M_b - \bar{M}_b \qquad \text{..... (٥ — ٢٧)}$$

ومن العلاقة (٥ — ٢٤) نجد أن :

$$\bar{\Theta} = \frac{\bar{M}_b}{E\bar{k}} \qquad \text{.... (٥ — ٢٨)}$$

بالتعويض من العلاقتين (٥ — ٢٧) و (٥ — ٢٨) في العلاقة (٥ — ٢٦) ينتج :

$$\frac{\bar{M}_b}{E\bar{K}} = \frac{h1}{EIc}\ (\, Fh1 - M_b - \bar{M}_b\,) \qquad \text{.... (٥ — ٢٩)}$$

وبفرض :

$$\lambda 2 = \frac{\bar{K}h1}{Ic} = \frac{12\ \Sigma\ (\ \dfrac{\bar{I}bj}{Lj}\ )}{\dfrac{Ic}{h1}} \qquad \text{.... (٥ — ٣٠)}$$

تصبح العلاقة (٥ — ٢٩) بعد الإختصار :

$$\bar{M}_b = \frac{Fh1 - M_b}{(\ 1 + \dfrac{1}{\lambda 2}\ )} \qquad \text{..... (٥ — ٣١)}$$

— زاوية الدوران Θ للعمود المكافىء عند سقف الأرضي :

$$\Theta = \frac{dy}{dx} = \bar{\Theta} + \frac{1}{EIc}\left(\frac{M2\ h1}{2} - \frac{M_b\ h1}{2}\right) \quad \ldots (٥ — ٣٢)$$

ومن توازن العمود عند منسوب أسفل الطابق الأرضي نجد :

$$M2 = Fh1 - M_b \quad \ldots\ldots (٥ — ٣٣)$$

كما أن قيمة Θ من العلاقة (٥ — ٢٣) تساوي :

$$\Theta = \frac{M_b}{Ek} \quad \ldots\ldots (٥ — ٣٤)$$

بتعويض قيم (Θ) من العلاقة أعلاه و (M2) من العلاقة (٥ — ٣٣) و $\bar{\Theta}$ من العلاقة (٥ — ٢٨) في العلاقة (٥ — ٣٢) ينتج أن :

$$\frac{M_b}{EK} = \frac{\bar{M}_b}{EK} + \frac{h1}{2EIc}\left[Fh1 - M_b - \bar{M}_b\right]$$

بضرب طرفي العلاقة بالحد $\frac{EIc}{h1}$ ينتج :

$$\frac{M_b}{\lambda 1} = \frac{\bar{M}_b}{\lambda 2} + \frac{Fh1}{2} - M_b$$

ونختصر إلى :

$$\bar{M}_b = \lambda 2\left[-\frac{Fh1}{2} + \left(1 + \frac{1}{\lambda 1}\right) M_b\right] \quad \ldots\ldots (٥ — ٣٥)$$

حيث $\lambda 1$ معطاة في العلاقة (٥ — ١٤) .

بمساواة طرفي العلاقتين (٥ — ٣١) و (٥ — ٣٥) نجد :

$$\frac{Fh1 - M_b}{\left(1 + \frac{1}{\lambda 2}\right)} = \lambda 2\left[-\frac{Fh1}{2} + \left(1 + \frac{1}{\lambda 1}\right) M_b\right]$$

وبحل هذه المعادلة نجد :

$$M_b = \left[\frac{\lambda 1\,(3 + \lambda 2)}{1 + 2\lambda 1 + \lambda 2 + \lambda 1 \lambda 2}\right]\frac{Fh1}{2} \quad \ldots\ldots (٥ — ٣٦)$$

وبالتعويض في العلاقة (٥ ــ ٣١) نجد :

$$\bar{M}b = \left[\frac{\lambda 2\,(2 + \lambda 1\ \ )}{1 + 2\,\lambda 1 + \lambda 2 + \lambda 1 \lambda 2} \right] \frac{Fh1}{2} \qquad \ldots\ldots (٥ ــ ٣٧)$$

وتكون قيمة العزم M2 في أسفل الطابق الأرضي :

$$M2 = Fh1 - Mb$$
$$= \left[\frac{(2 + \lambda 1)\,(1 + \lambda 2)}{1 + 2\,\lambda 1 + \lambda 2 + \lambda 1 \lambda 2} \right] \frac{Fh1}{2} \qquad \ldots\ldots (٥ ــ ٣٨)$$

وتكون قيمة العزم الثابت M3 في طابق القبو :

$$M3 = Fh1 - Mb - \bar{M}b$$
$$= \left[\frac{(2 + \lambda 1)}{1 + 2\,\lambda 1 + \lambda 2 + \lambda 1\,\lambda 2} \right] \frac{Fh1}{2} \qquad \ldots\ldots (٥ ــ ٣٩)$$

ــ من الضروري التنويه الى أن العزوم في جميع العلاقات آخذ بقيمتها المطلقة واتجاهها مبين في الشكل (٥ ــ ١٥) .

ــ يتم توزيع العزم Mb على عناصر جائز سقف الأرضي بشكل متناسب مع قساواتها كما في حالة الاطار ذي الطابق الواحد وفق العلاقة (٥ ــ ١٨) .

ــ ويتم توزيع العزم $\bar{M}b$ على عناصر جائز سقف القبو بشكل متناسب مع قساواتها باستعمال العلاقة ذاتها انما مع أخذ ($\bar{M}b, \bar{K}, \bar{I}_{bj}$) عوضاً عن (Mb, K, I_{bj}) .

ــ وتوزع العزوم Mb و M2 و M3 بين الأعمدة وفقاً لعزم عطالتها باستعمال العلاقات (٥ ــ ١٩) و (٥ ــ ٢٠) والعلاقة التالية :

$$M_{3i} = \frac{I_i}{I_ع}\, M3 \qquad \ldots\ldots (٥ ــ ٤٠)$$

حيث M3i العزم الثابت المؤثر في العمود i في القبو

يمكن تحديد موقع المفاصل في الطابق الأرضي ، الشكل (٥ ــ ١٥ ــ ب) من العلاقة :

$$\frac{Z1}{h1 - Z1} = \frac{M2}{Mb}$$

وبجمع الصور الى المخارج :

$$\frac{Z1}{h1} = \frac{M2}{Mb + M2} \quad \text{..... (٥ — ٤١)}$$

بتعويض قيمتي Mb و M2 من العلاقتين (٥ — ٣٦) و (٥ — ٣٨)
والاختصار ينتج :

$$\frac{Z1}{h1} = \frac{1}{2}\left[\frac{(2 + \lambda 1)(1 + \lambda 2)}{1 + 2\lambda 1 + \lambda 2 + \lambda 1\lambda 2}\right] \quad \text{..... (٥ — ٤٢)}$$

وكان يمكن الوصول لهذه العلاقة مباشرة من العلاقة (٥ — ٤١) حيث :

$$\frac{Z1}{h1} = \frac{M2}{Fh}$$

وواضح أن $\frac{M2}{Fh1}$ من العلاقة (٥ — ٣٨) تعطي النتيجة المبينة في العلاقة
(٥ — ٤٢) .

بتقسيم الصورة والمخرج على λ1 λ2 تكتب النسبة كما يلي :

$$\frac{Z1}{h1} = \frac{1}{2}\left[\frac{\left(\frac{2}{\lambda 1} + 1\right)\left(\frac{1}{\lambda 2} + 1\right)}{\frac{1}{\lambda 1\lambda 2} + \frac{2}{\lambda 2} + \frac{1}{\lambda 1} + 1}\right] \quad \text{...(٥ — ٤٣)}$$

يتضح من هذه العلاقـــة أن النسبـــة تؤول إلى ($\frac{1}{2}$) عندمـــا
($\lambda 1 = \lambda 2 = \infty$) أي عندما تكون عناصر الجائز ذات قساوة لامتناهية .

وواضح أيضاً أنه إذا كانت ($\lambda 1 = \lambda 2 = 0$) أي حالة وجود جائزين ذي قساوة معدومة (أي شداد وضاغط) فإن النسبة تؤول إلى (1) أي حالة العمود الظفري تماماً .

على أنه في حالة المباني العادية فإن النسبة $\frac{Z1}{h1}$ تتراوح بين (0.55 –0.65)

وهذا مافترضناه في طريقة المفاصل التقريبية في الفقرة (٥ — ٤ — ١) .

— تكون النسبة بين عزم العمود المكافىء في طابق القبو إلى عزمه في أسفل الطابق الأرضي :

$$\frac{M3}{M2} = \frac{1}{1 + \lambda_2} \quad \ldots\ldots (٥ — ٤٤)$$

عندما يكون الجائز المستمر لامتناهي القساوة في سقف القبو تؤول هذه النسبة إلى الصفر أي تنعدم عزوم الأعمدة في القبو . وعندما تتضاءل قساوة الجائز المستمر في سقف القبو إلى الصفر يصبح العزمان (M3 و M2) متساويين .

وفي الأبنية العادية تتراوح النسبة بينهما بين (0.35 ← 0.25) وبناء على هذه النتيجة وضع مبدأ الطريقة التقريبية ، الفقرة (٥ — ٤ — ٢) .

● **مثـال :**

بناء سكني مؤلف من طابق أرضي وثمانية طوابق متكررة ، مسقطة متناظر مبين في الشكل (٥ — ١٦) . وله المعطيات التالية :

$AB = 2\,m \qquad AC = 3.5m \qquad BC = 4m$

$\alpha = 29.74^\circ$

مقطع الجائز المستمر ثابت 40×60 cm

مقطع العمود الطرفي في الأرضي 40×80 cm

مقطع الأعمدة الوسطية في الأرضي 40×100 cm

مقطع العمود المائل BC 40×80 cm

$Fy = 2400\ Kg/cm^2 \qquad F'c = 200\ Kg/cm^2$

فإذا كانت الحمولات كما هي مبينة بالشكل المذكور فالمطلوب تصميم العمود الفرعوني الحامل لعمود طرفي من البناء .

حساب ردود الأفعال :

$$F_A = F = \frac{P.L}{h1} = \frac{120\,(2)}{3.5} = 68.6t \text{ (شد)}$$

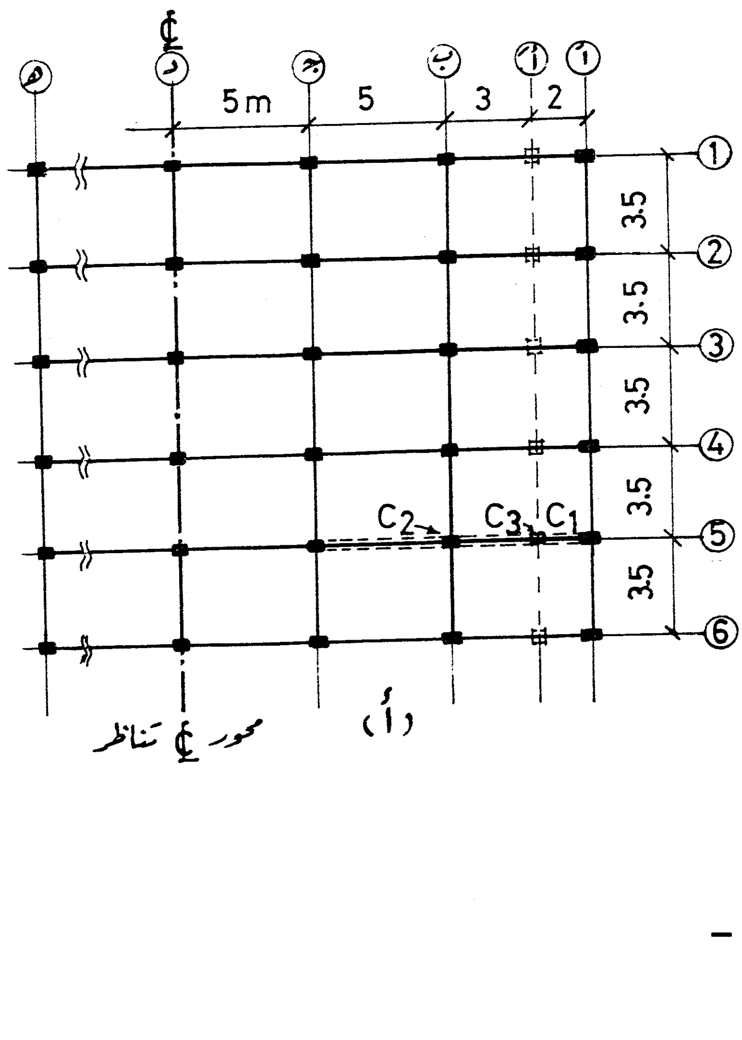
$$Fc = F = 68.6 \text{ (ضغط)}$$

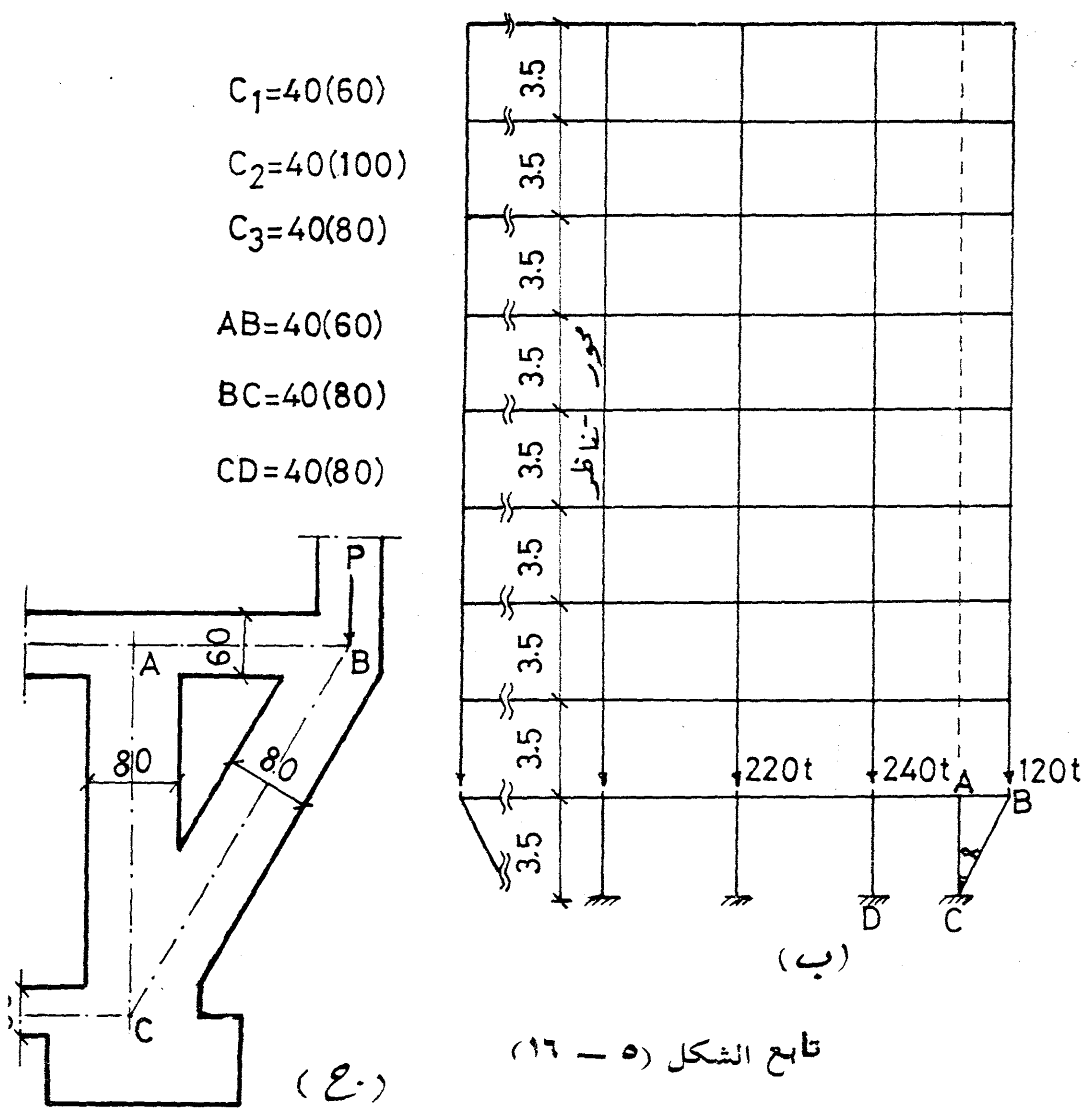
$$Rc = P = 120\ t$$

$$T = F = 68.6\ t$$

$$T_{BC} = \frac{P}{\cos\ \propto} = \frac{120}{0.868} = 138.2\ (\text{ضغط})$$

الشكل (٥ـ١٦)





تابع الشكل (٥ — ١٦)

تصميم العناصر الانشائية :

أ — **العنصر** -AB- (40 × 60cm) يمكن إهمال تأثير العزوم لصغرها بالمقارنة مع قوة الشد المطبقة ومقدارها (68.6T) .

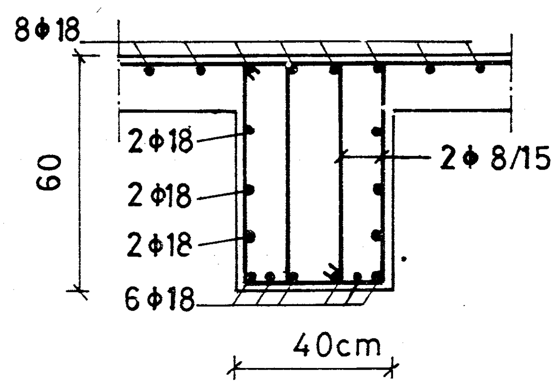
تسليح الشد اللازم :

$$A_s = \frac{68600}{0.55(2400)} = 52\ \text{cm}^2\ (20\ \phi\ 18\text{mm})$$

هذا التسليح مطلوب للجزء AB .

يمد التسليح المشدود على كامل الجائز الأفقي ($B\acute{B}$) حيث ($\acute{B}$ تناظر B) وتحسب مساحته عند المقاطع المختلفة لوضعية الشد اللامركزي حيث M قيمة العزم عند مقطع ما و $N = 68.6t$ قوة الشد.ويجب وصل التسليح وفق الأصول الهندسية أي لايسمح قطع أكثر من ٤ قضبان في مقطع واحد ، وتأمين طول التماسك على الشد على كامل الجائز الأفقي . ويجب دوماً وضع جزء من التسليح المشدود بحدود 20% ضمن بلاطة سقف الأرضي حيث أن هذه البلاطة تكون معرضة بأكملها في اتجاه القوة الأفقية الى اجهادات شادة نتيجة تعرض جائزها الى القوى الشادة .

يبين الشكل (٥ ــ ١٧) تفاصيل التسليح لمقطع العنصر AB .



الشكل (٥ ــ ١٧)

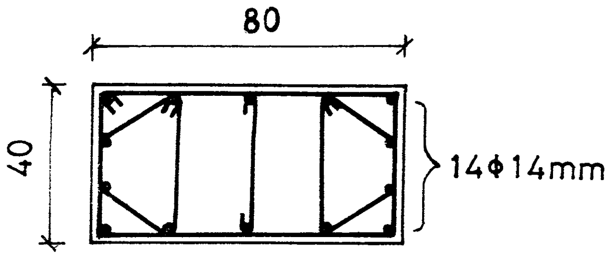
ب ــ العنصر -AC- (40× 80cm)

يصمم على الضغط البسيط وهو يتعرض فقط لحمولة شاقولية من سقف الطابق الأرضي . ويجب ألّا تقل نسبة التسليح فيه عن 0.006 :

$$AS = 0.006\,(40)\,80 = 19.2\text{cm}^2$$

يختار ($14\phi 14$mm) . يبين الشكل (٥ ــ ١٨) مقطع في العمود -AC- .

والواقع أنه يمكن تصغير الأبعاد لهذا المثال إلى 60×40 على أنه أخذت كبيرة من أجل مقارنة حل المثال مع الأمثلة القادمة لحالات مختلفة .



الشكل (٥ — ١٨)

ج — **العنصر** -BC- (80 cm) 40 :

يصمم على الضغط البسيط باعتباره متمفصلاً من الطرفين

نسبة النحافة 35 = $\lambda = \frac{400}{0.29\ (40)}$ فالعمود قصير .

من الحساب ينتج أن التسليح الانشائي يكفي حيث : $P = 140\ t$

$As = 0.006\ (40)\ 80 = 19.6\ cm^2$ كما هو مبين في الشكل (٥ — ١٨) .

وواضح أن المقطع أخذ أكبر من اللازم وذلك لمقاومة العزوم الانشائية غير المحسوبة التي لابد أن تنتج من تصرف المنشأ الفعلي .

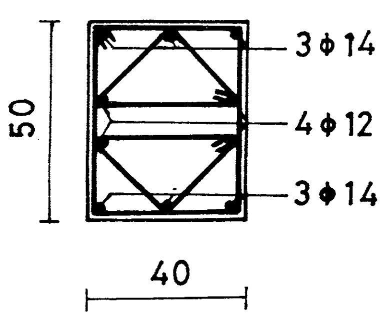
د — التحقق من الشيناج —DC— باعتبار أبعاده (50m) 40 :

يتعرض الى حمولة محورية ضاغطة تساوي (68.6T)

نسبة النحافة 36 = $\lambda = \frac{(500 - 80)}{0.29\ (40)}$ (العمود قصير) .

التسليح إنشائي $As = 0.006\ (50)\ 40 = 12\ cm^2$

يختار $4\phi 12$ و $6\phi 14$ كما هو مبين في الشكل (٥ — ١٩)



الشكل (٥ — ١٩)

● **مثـال :**

تعاد نفس المسألة الأولى ذات الجملة المبينة في الشكل (٥ ــ١٦ ــ أ) مع وجود الاختلافات التالية :

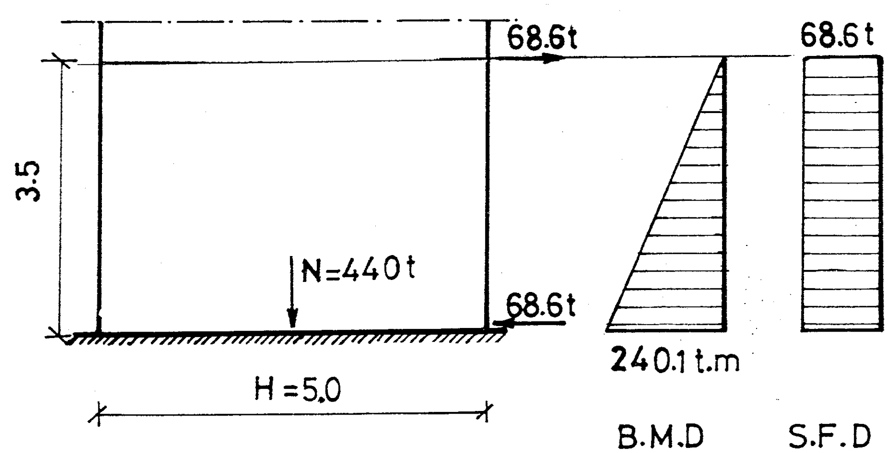
ــ المسقط غير متناظر ومؤلف من المحاور أ و ب و جـ و د و هـ فقط . أي طول المسقط (20m) .

ــ توجد الأعمدة الفرعونية عند المحور أ فقط أي أن المنشأ غير متناظر .

ــ يوجد جدران قص بين المحورين د و هـ والمحاور ١ و ٢ و ٣ و ٤ و ٥ و٦ .

الحــل :

تحسب جميع العناصر المتصلة بالعمود الفرعوني كما ورد في المثال السابق ويضاف إلى ذلك حساب جدار القص على القوة الأفقية المطبقة عليه بسبب العمود الفرعوني كالآتي (الشكل ٥ ــ ٢٠) :



الشكل (٥ ــ ٢٠)

بفرض حمولة الجدار N = 440t وحيث أن العزم من القوة الأفقية يساوي :

$$M = 68.6\,(3.5) = 240.1 \text{ tm}$$

$$e = \frac{M}{N} = \frac{240.1}{440} = 0.55m \quad , \quad \frac{e}{h} = \frac{0.55}{5} = 0.11$$

إذن اللامركزية صغيرة . ويتم تصميم المقطع كما في حالة الأعمدة الخاضعة للامركزية صغيرة .

باستعمال نسبة تسليح دنيا $\mu = 0.006$ وبفرض سماكة الجدار 25 cm نجد من علاقات اللامركزية الصغيرة أن :

$\sigma'_c = 53.6\ kg/cm^2 < 0.3\ (200) = 60$ محقق

على أنه يلزم تحقيق الجدار من تأثير ضغط الرياح .

ـ لمقاومة قوة القص :

$$\tau = \frac{68600}{0.85\ (0.8)\ 500\ (25)} = 8.07\ Kg/cm^2$$

تحمل كل إجهادات القص (τ) الى تسليح أفقي .

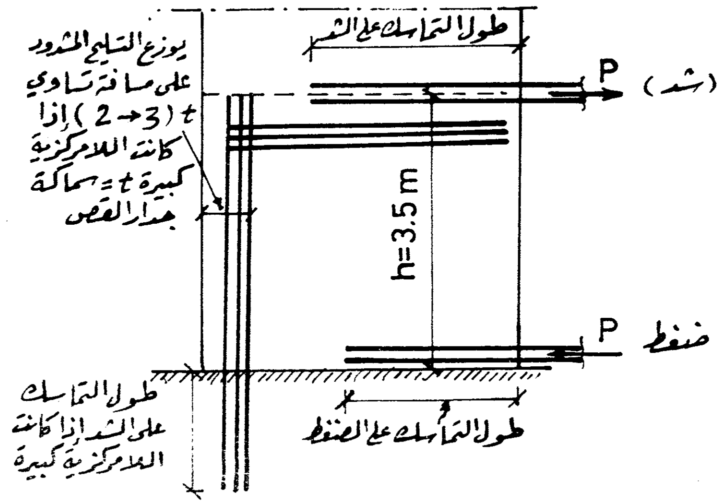
نفرض التباعد ($s = 1m$) تحسب مساحة القضبان الأفقية من العلاقة التالية :

$$Ah = \frac{\tau . b.s}{0.55\ Fy} = \frac{8.07\ (25)\ 100}{0.55\ (2400)} = 15.3 cm^2/m$$

يضاف هذا التسليح للتسليح المحسوب من الحمولات الأخرى ويوزع أفقياً على وجهي جدار القص وعلى كامل ارتفاع الطابق الأرضي .

ملاحظة : يمد تسليح الجائز الأفقي داخل جدار القص بحيث يحقق طول التماسك المطلوب .

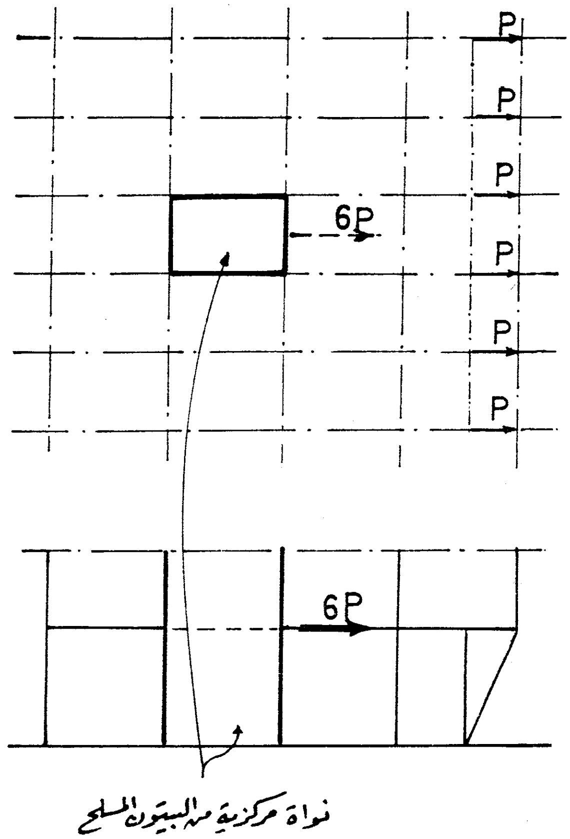
يبين الشكل (٥ ـ ٢١) كيفية توزع التسليح الاضافي اللازم لمقاومة الاجهادات المتولدة في جدار القص بسبب فعل العمود الفرعوني وذلك في حالة اللامركزية الكبيرة . أما في حالة اللامركزية الصغيرة كما في المثال الحالي فيوزع التسليح على محيط المقطع كما في الأعمدة ويفضل وضع تسليح اضافي عند الأركان .



الشكل (٥ ــ ٢١)

ــ ينوه بأنه إذا كانت جدران القص غير متناظرة في المسقط الأفقي للبناء فيتوجب حساب تأثير الفتل الناجم بسبب عدم تطابق محصلة القوى الأفقية الناجمة عن الأعمدة الفرعونية للجملة مع المركز المرن لجدران القص .

ملاحظة : يمكن في بعض الحالات تبعاً للحل المعماري استبدال جدران القص بنواة مركزية أوأكثر لامتصاص القوى الأفقية الناجمة عن الأعمدة الفرعونية غير المتناظرة . نبين فيما يلي أحد الحلول على سبيل المثال لا الحصر للتوضيح (الشكل ٥ ــ ٢٢) :



الشكل (٥ ــ ٢٢)

ملاحظـة : يوصى دائماً وضع النواة المركزية بشكل متناظر بالنسبة للمسقط الأفقي للبناء إن أمكن ، وإلّا يتوجب حساب النواة المركزية على الفتل . ويتوجب أيضاً حساب بلاطة سقف الطابق الأرضي تحت فعل القوى الأفقية الناجمة عن الأعمدة الفرعونية ووضع التسليح اللازم لنقل هذه القوى الى النواة المركزية بأمان كاف .

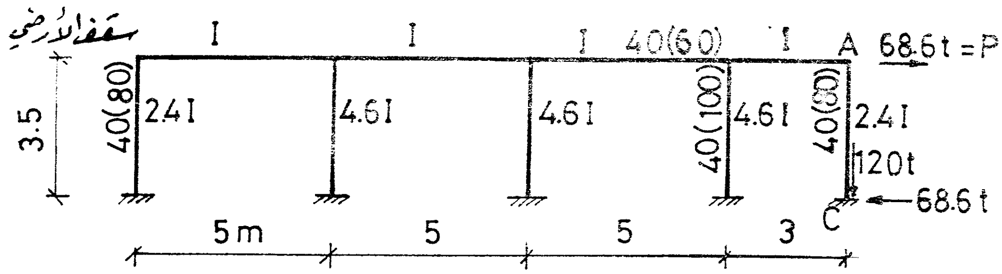
مثـال :

تعاد نفس المسألة الأولى ذات الجملة المبينة في الشكل (٥ ــ ١٦ أ) مع وجود الاختلافات التالية :

ــ المسقط مؤلف من المحاور أ و ب و جـ و د و هـ فقط أي طول المسقط (2om)

ـــ توجد الأعمدة الفرعونية عند المحور أ فقط أي أن المنشأ غير متناظر

ـــ إن الجملة المقاومة للانزياح الأفقي الناتج عن الأعمدة الفرعونية هي إطارات من البيتون المسلح حيث مبيَّن في الشكل (٥ ـــ ٢٣) إطار وسطي مرتبط بعمود فرعوني طرفي .



الشكل (٥ ـــ ٢٣)

الحـــل :

يحسب العنصر المائل BC و العنصر الأفقي AB كما في الأمثلة السابقة حيث نجد القوى المنقولة الى الاطار كما يلي :

ـــ قوة أفقية $F = 68.6\ t$ تؤثر عند منسوب سقف الأرضي

ـــ قوة أفقية $F = 68.6t$ تؤثر عند c المسند الأول بجوار العمود المائل

ـــ قوة شاقولية $P = 120\ t$ تؤثر عند c .

أ ـــ الحـل بطريقة الإطـار ذي المفاصل :

كما ورد في الفقرة (٥ ـــ ٣ ـــ ١) نفترض مواقع المفاصل في منتصف مجازات الجائز المستمر . كما نفترض مواقع المفاصل في الأعمدة على ارتفاع :

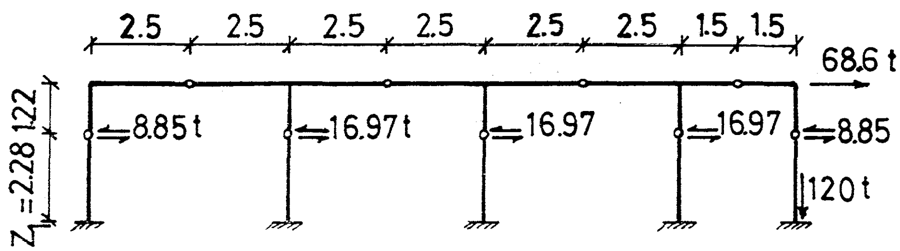
$$Z1 = (0.6 \rightarrow 0.7)\ h1 = 0.65h1 = 2.28\ m$$

نقسم القوة الأفقية بين الأعمدة بشكل متناسب مع عزم عطالتها كما هو مبين في الشكل (٥ ـــ٢٤) :

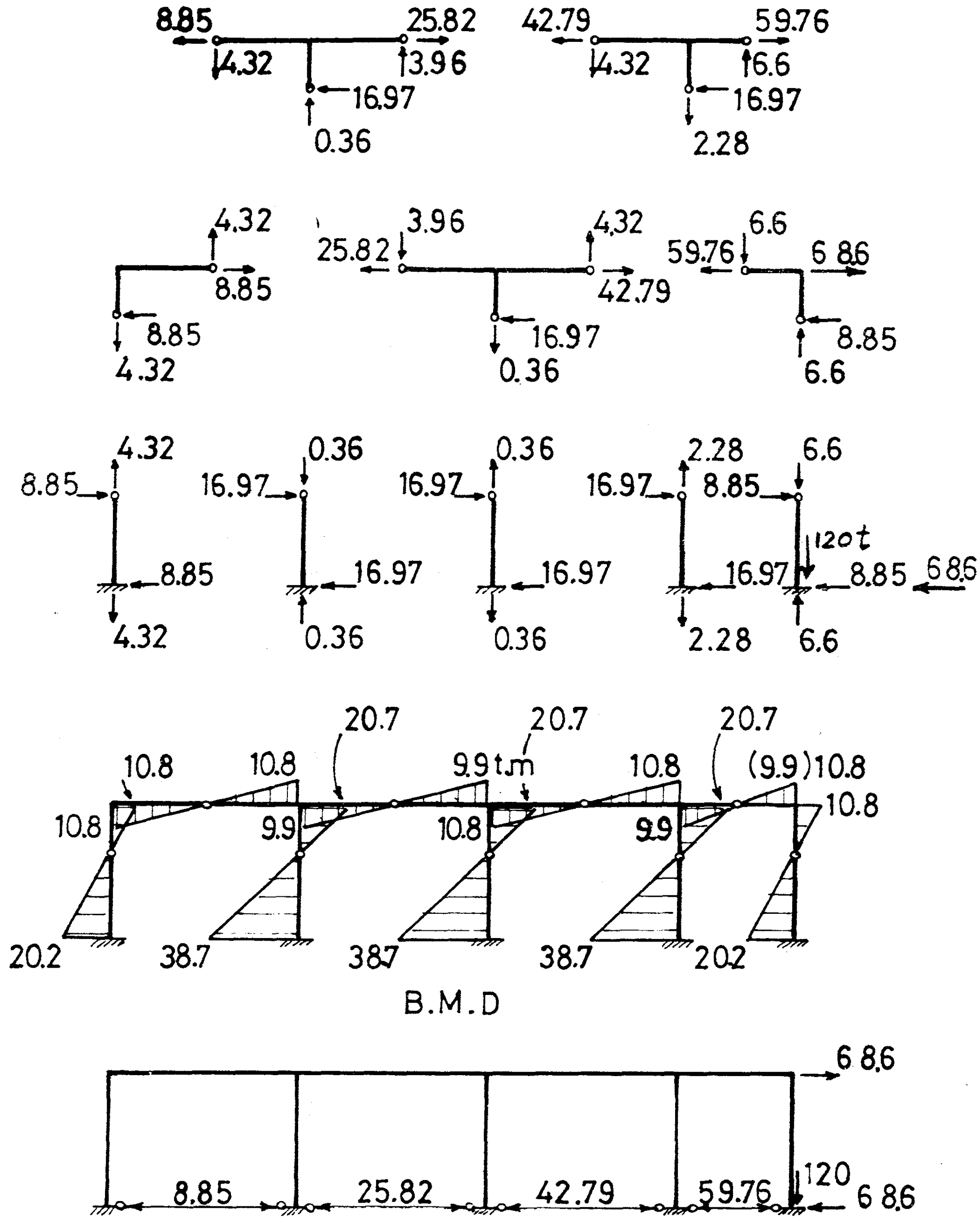
$$F1 = 68.6 \frac{I1}{\Sigma Ii} = 68.6 \frac{2.4}{18.6} = 8.85\ t$$

$$F2 = 68.6 \frac{I2}{\Sigma Ii} = 68.6 \frac{4.6}{18.6} = 16.97\ t$$

يبين الشكل (٥ ــ ٢٥) قيم عزوم الانحناء والقوى الناظمية وقوى القص الناجمة عن القوة الأفقية المتولدة في المنشأ بسبب العمود الفرعوني .



الشكل (٥ــ ٢٤)



قوة الضغط في الشيناج

الشكل (٥ ــ ٢٥)

ملاحظات :

— يتم تحليل أجزاء الاطار التي أصبحت مقررة بعد وضع المفاصل اعتباراً من القسم اليساري مثلاً . ثم نتابع باتجاه اليمين على أن العزوم في الأعمدة تحسب مباشرة من قوى القص المؤثرة .

— ويلاحظ عند الوصول الى العقدة A أن العزم المحسوب في الجائز من التحليل السابق يساوي (9.9 tm) بينما العزم الناتج في العمود عند العقدة ذاتها يساوي (10.8 tm) . وسبب عدم توازن العقدة ناتج من كون الإطار ليس محققاً بشكل تام للشروط الثلاثة التي تم ذكرها في البند (٥ — ٣ — ١) . على أنه يتضح أن هذا الفرق ليس له أهمية عملية وبالتالي يؤخذ في تصميم العمود والجائز قيمة العزم الأكبر إلى جانب الأمان حيث أن القيمة الحقيقية للعزم قريبة من القيمتين السابقتين .

— يلاحظ من النتائج أيضاً أن القوى الناظمية المتولدة في الأعمدة ذات قيم صغيرة جداً . ولو أن الإطار متوافق مع الشروط الثلاثة المذكورة في البند (٥ — ٣ — ١) لكانت القوى المحورية في الأعمدة الداخلية معدومة أي تتولد في العمودين الخارجين فقط قوة ناظمية واحدة شادة وأخرى ضاغطة .

— كما ويتضح أن قيم العزوم الناتجة في الأعمدة كبيرة نسبياً وهذه العزوم تتطلب زيادة في مقاطع الأعمدة وتسليحها عما تحتاجه الحمولات الشاقولية المنقولة لها .

ومن هنا يتضح أن هذه الجملة مكلفة نسبياً عندما تكون الأعمدة الفرعونية غير متناظرة ولايتوفر جدران قص أو نواة كافية لامتصاص قوة الدفع الأفقي .

— يستعمل شيناج أرضي لنقل القوة الضاغطة عند اليمين حيث تخف تدريجياً حتى تصل قيمتها الى 8.85t عند اليسار.وبالطبع فإن محصلة القوى الأفقية تساوي صفر من الحمولات الشاقولية، الشكل (٥ — ٢٥) .

ب — الحل بطريقة العمود المكافىء :

يحسب عزم البطالة للعمود المكافىء من العلاقة (٥ — ٦) :

$$I_c = 2(2.4\ I) + 3\ (4.6I) = 18.6\ I$$

يحسب مجموع القساوة (المتقاظرة عكسياً) للجوائز من العلاقة (٥ — ١١) :

$$K = 3\left(\frac{12\,I}{5}\right) + \frac{12I}{3} = 11.2\,I$$

وتكون قيمة λ ، من العلاقة (٥ — ١٤) :

$$\lambda = \frac{11.2\,I}{18.6\,I}(3.5) = 2.11$$

يحسب مجموع عزوم عناصر الجائز Mb من العلاقة (٥ — ١٦) :

$$Mb = \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{2.11}\right)}\;\frac{68.6}{2}\;(3.5) = 81.\;45\ \text{tm}$$

يوزع هذا العزم على نهايات العناصر وفقاً للعلاقة (٥ — ١٨) فيكون العزم لكل نهاية من العناصر ذات المجاز 5m :

$$Mb1 = \left(\frac{\frac{6I}{5}}{11.2I}\right)81.45 = 8.73\ \text{tm}$$

ويكون العزم لكل نهاية من العنصر الأيمن (L = 3m) :

$$Mb4\quad\left(\frac{\frac{6I}{3}}{11.2I}\right)81.45 = 14.6\ \text{tm}$$

أما العزم الوسطي لكل نهاية من عناصر الجائز ذات 8 نهايات :

$$Mbj = \frac{81.45}{8} = 10.2\text{tm}$$

والواقع يظهر أن العزوم الفعلية تأخذ قيمة متوسطة بين (8.73 tm و 10.2) للعناصر الثلاثة المتساوية وتأخذ قيمة متوسطة بين (10.2 tm و 14.6) للمجاز القصير .

ويوزع العزم Mb على الأعمدة عند نهاياتها العلوية وفق العلاقة (٥ —

١٩) : للعمودين الطرفيين :

$$M1 = \frac{2.4 I}{18.6 I}(81.45) = 10.5 \text{ tm}$$

للعمودين الوسطيين :

$$M1 = \frac{4.6}{18.6}(81.45) = 20.1 \text{ tm}$$

ويحسب العزم Mc عند أسفل الأعمدة من العلاقة (٥ ــ ١٧) :

$$Mc = \left(\frac{1 + \frac{2}{2.11}}{1 + \frac{1}{2.11}}\right)\frac{68.6}{2}(3.5) = 158.6 \text{ Tm}$$

ويوزع العزم Mc على الاعمدة عند نهاياتها السفلية وفق العلاقة (٥ ــ ٢٠) :

للعمودين الطرفيين :

$$M_2 = \frac{2.4}{18.6}(158.6) = 20.46 \text{ tm}$$

للعمودين الوسطيين :

$$M2 = \frac{4.6}{18.6}(158.6) = 39.2 \text{ tm}$$

ويلاحظ أن قيم العزوم متطابقة تقريباً في الطريقتين .

ويكون موقع المفاصل في الأعمدة على بعد Z1 من الأسفل ، من العلاقة (٥ ــ ٢٢) :

$$\frac{Z1}{h1} = \frac{1}{2}\,\frac{2.11 + 2}{2.11 + 1} = 0.66$$

وهي قيمة قريبة جداً من المفترضة (0.65) في الطريقة السابقة .

تحسب القوى الناظمية في الأعمدة مباشرة من قوى القص في عناصر الجائز . وتكون قوة القص في العنصر اليساري (باعتماد القيمة المتوسطة) :

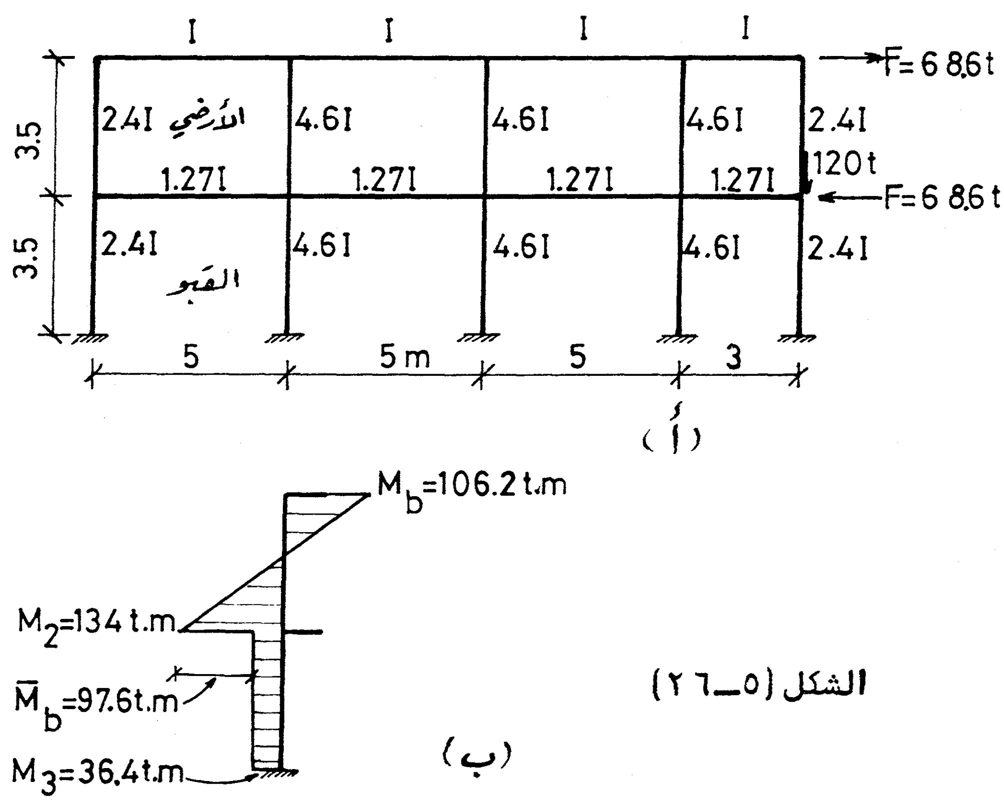
$$Q = \frac{Mb1 + Mb1}{L} = \frac{2(10.2)}{5} = 4.08 \text{ t}$$

وهكذا تحسب في باقي عناصر الجائز وتضاف جبرياً لبعضها لتعطي القوى الناظمية في الأعمدة . ففي العمود الأول تكون القوة 4.08t وهكذا ....

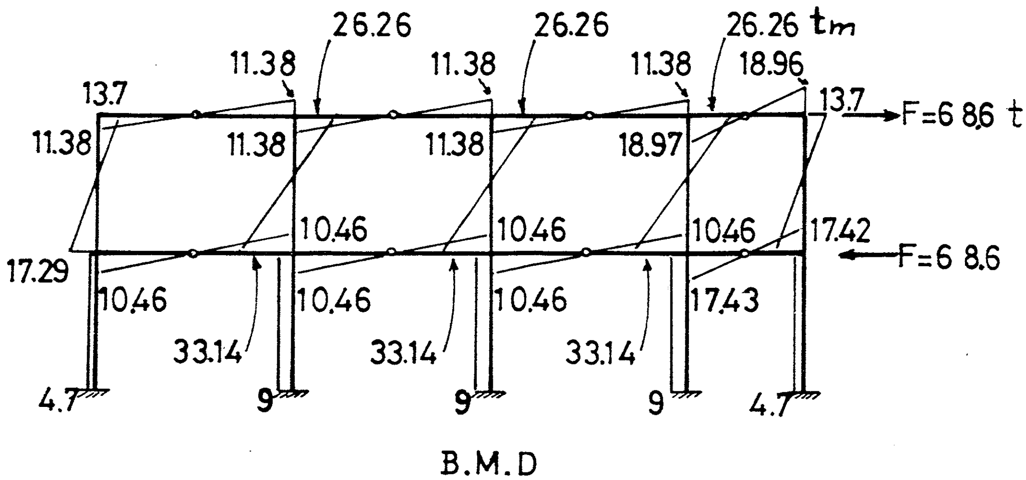
وبالطبع فإن الملاحظتين الأخيرتين الواردتين في الطريقة السابقة تسريان على النتائج بهذه الطريقة أيضاً .

● مثـــال :

المطلوب اعادة المثال السابق من أجل بناء له نفس المواصفات المذكورة وإنما يشمل على قبو أيضاً ارتفاعه (3.5m) وجائز سقفه ثابت المقطع (40 x 65 cm) . وأعمدة القبو مماثلة لأعمدة الأرضي .



الشكل (٥ـ٢٦)



(ع٠)

تابع الشكل (٥ ــ ٢٦)

الحــل :

سنعتمد بالحل على طريقة العمود المكافىء ثم نعود للاشارة الى طريقة الاطار ذي المفاصل .

يتم الحل بشكل مباشر وفق الفقرة (٥ ــ ٤ ــ ٢) حيث نفرض مفاصل في منتصف مجازات الجائزين فقط .

يحسب عزم العطالة للعمود المكافىء من العلاقة (٥ ــ ٦) .

$Ic = 2(2.4I) + 3(4.6I) = 18.6\ I$

ونذكر هنا بأنه في حالة إختلاف مقاطع الأعمدة بين الطابقين الأرضي والقبو فنحسب عزم العطالة للعمود المكافىء في كل طابق لوحده . ونتابع الحل من المبادىء الأساسية المبينة في الفقرة (٥ ــ ٤ ــ ٢) حيث نصل إلى معادلتين بمجهولين Mb و $\overline{\text{M}}$b ، ولانلجأ إلى العلاقات النهائية المعطاة في تلك الفقرة حيث أنها تصلح لحالة Ic ثابتة في الطابقين ومن أجل ارتفاع للقبو مساو لارتفاع الطابق الأرضي .

يحسب العامل K لجائز سقف الأرضي من العلاقة (٥ ــ ١١) :

$$K = 3 \left(\frac{12\,I}{5} \right) + \frac{12\,I}{3} = 11.2\,I$$

وتكون قيمة λ 1 من العلاقة (٥ ــ ١٤) :

$$\lambda 1 = \frac{11.2\,I}{18.6\,I}(3.5) = 2.11$$

يحسب العامل $\bar{K}$ لجائز سقف القبو من العلاقة (٥ ــ ٢٥) :

$$\bar{K} = 3 \left(\frac{12}{5} \right) 1.27\,I + \frac{12}{3}\,1.27\,I = 14.22\,I$$

وتكون قيمة λ 2 من العلاقة (٥ ــ ٣٠) :

$$\lambda 2 = \frac{14.22\,I}{18.6\,I}(3.5) = 2.68$$

ــ يحسب مجموع عزوم عناصر الجائز Mb عند سقف الأرضي من العلاقة (٥ ــ ٣٦) :

$$Mb = \frac{2.11\,(3 + 2.68)}{1 + 2\,(2.11) + 2.68 + 2.11(2.68)}\;\frac{68.6}{2}\,(3.5) = 106.2\ \text{tm}$$

ويوزع هذا العزم على نهايات عناصر الجائز وفق العلاقة (٥ ــ ١٨) والنتيجة مبينة على الشكل (٥ ــ ٢٦) .

كما ويوزع هذا العزم على الأعمدة عند سقف الأرضي وفق العلاقة (٥ ــ ١٩) وأيضاً النتيجة مبينة على نفس الشكل .

ويحسب مجموع عزوم عناصر الجائز $\bar{M}b$ عند سقف القبو من العلاقة (٥ ــ ٣٧) :

$$\bar{M}b = \frac{2.68\,(2 + 2.11)}{1 + 2\,(2.11) + 2.68 + 2.11\,(2.68)}\;\frac{68.6}{2}\,(3.5) = 97.6\ \text{tm}$$

ويوزع هذا العزم على نهايات عناصر الجائز عند سقف القبو وفق العلاقة

(٥ ـــ ١٨) مع أخذ ($\overline{K}$ و $\overline{M}b$) عوضاً عن (K و Mb) والنتيجة مبينة على الشكل ذاته .

ـــ ويحسب مجموع عزوم الأعمدة عند أسفل الطابق الأرضي من العلاقة (٥ ـــ ٣٨) :

$$M2 = \frac{(2+2.11)\ (1+2.68)}{1+2\ (2.11)+2.68+2.11(2.68)}\ \frac{68.6}{2}\ (3.5) = 134\ \text{tm}$$

يوزع هذا العزم على الأعمدة عند أسفل الطابق الأرضي وفق العلاقة (٥ ـــ ١٩) والنتيجة مبينة على الشكل ذاته .

ـــ يحسب مجموع عزوم الأعمدة عند القبو من العلاقة (٥ ـــ ٣٩) :

$$M3 = \frac{(2+2.11)}{1+(2.11)+2.68+2.11(2.68)}\ \frac{68.6}{2}\ (3.5) = 36.4\ \text{tm}$$

وللتحقيق نجد :

$$M3 = M2 - \overline{M}b = 134 - 97.6 = 36.4\ \text{tm}$$

يوزع هذا العزم على الأعمدة في القبو حسب العلاقة (٥ ـــ ١٩) والنتيجة مبينة على الشكل ذاته . وواضح أن عزوم الأعمدة تكون ثابتة القيمة في القبو لانعدام قوى القص .

• ملاحظات :

ـــ من النتائج السابقة يتضح أن عزوم عناصر الجائزين عند نهاياتها لاتتوازن مع عزوم الأعمدة والاختلاف ناتج من كون الاطار لايحقق تماماً الشروط الثلاثة المذكورة في البند (٥ ـــ ٣ ـــ ١) . ومع ذلك فان الفروق بسيطة وليست ذات تأثير بالنسبة للتصميم خاصة إننا نعتمد قيم العزوم السالبة لعناصر الجائز عند وجه الأعمدة ولذلك يتم تصغير العزم الكبير للمجاز القصير بحيث يتقارب مع باقي عزوم العناصر . وواضح أن الاتزان يكون محققاً لمجموع عزوم العناصر مع مجموع عزوم الأعمدة .

ـــ يحدد موقع المفـــاصل ضمـــن الأعمـــدة في الطابـــق الأرضي من العلاق (٥ ـــ ٤٢) :

$$\frac{Z1}{h1} = \frac{1}{2}\left[\frac{(2 + 2.11)(1 + 2.68)}{1 + 2(2.11) + 2.68 + 2.11(2.68)}\right] = 0.56$$

وكان بالامكان تحديدها مباشرة من النتائج كما يلي :

$$\frac{Z1}{h1} = \frac{M2}{M2 + Mb} = \frac{134}{134 + 106.2} = 0.56$$

وبالتالي يمكن حل المثال السابق باستعمال طريقة المفاصل بأخذ قيمة $(Z1 = 0.56)$ وبأخذ قيمة $(\bar{M}b = 0.7\,M2)$ فتكون $(M3 \approx 0.3M2)$ ونصل إلى نتائج مقبولة .

وواضح منالنتائج أن :

$$\frac{M3}{M2} = \frac{36.4}{134} = 0.27$$

ويمكن الحصول على هذه النسبة مباشرة من العلاقة (٥ ـــ ٤٤) .

$$\frac{M3}{M2} = \frac{1}{1 + 2.68} = 0.27$$

ـــ أيضاً يلاحظ في الإطار ذي الطابقين القوى المحورية في الأعمدة تكون ذات قيمة صغيرة يمكن عملياً إهمالها ماعدا العمود القريب من العمود الفرعوني في القبو حيث يتعرض الى الحمولة الشاقولية للعمود المائل $P = 120t$.