القسم الثاني

توزيع القوى الأفقية على عناصر التقوية

1- لمحة عامّة

إن عناصر التقوية في الأبنية العالية تشكّل بالارتباط مع الأسقف منشأ غير مقرّر من الدرجة العالية ، بحيث أن الحل الدقيق لهذا المنشأ غير ممكن بدون استخدام الكومبيوتر. ولكي نتمكّن من إجراء الحسابات بطريقة مبسّطة ، لابدّ من طرق تقريبية تعتمد بعض التسهيلات التي تساعدنا في إيجاد جمل إنشائية بديلة ذات سلوك إنشائي قريب من السلوك الحقيقي للمنشأ ، هذه الطرق تساعدنا أيضاً في التحقّق من النتائج التي نحصل عليها باستخدام الطرق الدقيقة (طريقة العناصر المنتهية) .

سنعمل في هذا البحث على تصنيف الجمل الإنشائية للأبنية العالية إلى جمل إنشائية ***مقرّرة*** وجمل إنشائية ***غير مقرّرة استاتيكياً*** ، وإلى جمل إنشائية **مستوية** وجمل إنشائية **فراغيّة** ، وسنعالج الجمل الإنشائية الفراغية المؤلّفة من جدران قص (عناصر تقوية) مصمتة بطريقة الجائز الشامل .

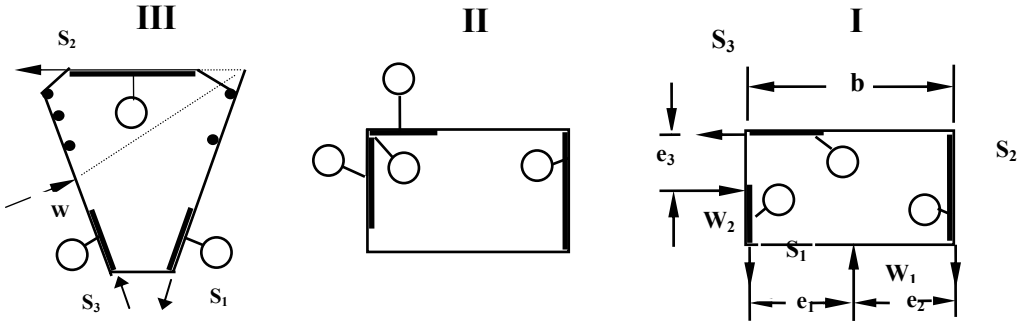
كما ذكرنا في الباب الأوّل ، سيتم افتراض بلاطات الأسقف ككتلة صلبة (قرص صلب) تنتقل تحت تأثير الحمولات الأفقية المطبّقة في مستويها ، بينما تكون طرية قابلة للانعطاف تحت تأثير الحمولات الشاقولية ، مما يمكّننا من الافتراض بأن الاتصال بين البلاطات وعناصر التقوية عبارة عن اتصال مفصلي . تحت هذه الشروط تتعرض بلاطات الأسقف إلى انتقالات بالاتجاهين **x , y** ودورانات حول المحور **z** وتبعاً لذلك فإن عناصر التقوية ستتعرّض أيضاً إلى انتقالات ودورانات متوافقة مع انتقالات ودورانات بلاطات الأسقف .

2- توزيع القوى الأفقية على عناصر التقوية للأبنية العالية (حسب النظرية الخطية الهندسية) :

2-1- التمييز بين الجمل الإنشائية المستوية والفراغية للأبنية العالية

حسب طريقة توزّع عناصر التقوية في مسقط البناء يمكن التمييز بين جمل إنشائية **مستوية** وجمل إنشائية **فراغية** ، كما أننا سنفرّق حسب عدد عناصر التقوية بين جمل إنشائية ***مقررة استاتيكياً*** وجمل إنشائية ***غير مقررة استاتيكياً*** .

تتكون الجمل الإنشائية ***المقررة استاتيكيا*** ، الشكل [1] ، على سبيل المثال من ثلاثة جدران قص لاتلتقي محاورها في نقطة واحدة ، يتم توزيع القوى الخارجية على هذه الجدران باستخدام شروط توازن المنشأ (معادلات التوازن) .



الشكل [1]

أما الجمل غير ***المقرّرة استاتيكيا*** فإنه يتوجب علينا إدخال شروط التوافق في الانتقالات بين عناصر التقوية وبلاطات الأسقف إلى جانب شروط التوازن كي نتمكن من توزيع القوى الخارجية على عناصر التقوية في المنشأ ، وهنا سنعدّد الأنواع التالية للجمل الإنشائية ***غير المقررة استاتيكيا*** :

1- **جمل متناظرة ، مؤلّفة من عناصر تقوية لها نفس السلوك الإنشائي ،**

تحت تأثير حمولات متناظرة تخضع عناصر التقوية إلى انتقالات متساوية وهنا يمكن اعتبار الجملة الإنشائية جملة **مستوية** ، يتم توزيع القوى الخارجية المؤثرة على عناصر التقوية بنسب عطالاتها ويجري تصميم جدران القص كجائز ظفري موثوق من الأسفل وحر من الأعلى يخضع لنصيبه من الحمولات الخارجية .

2- **جمل متناظرة ، مؤلّفة من عناصر تقوية ليس لها نفس السلوك الإنشائي ،**

هذه الجمل تعتبر أيضاً جمل **مستوية** ، ولكن توزيع القوى على عناصر التقوية يخضع لشروط أخرى غير نسب عطالاتها .

3- **جمل إنشائية متناظرة ومؤلّفة من عناصر تقوية لها نفس السلوك الإنشائي أو سلوك إنشائي مختلف ، (كالحالتين 1 ، 2) ، ولكنّها تخضع لحمولات لامركزية ،**

في هذا النوع من الجمل الإنشائية تتم دراسة كل من حالتي الانعطاف والفتل على حدة وتجمع النتائج لتعطي القيم النهائية ، ويندرج هذا النوع من الجمل الإنشائية في إطار الجمل الإنشائية **الفراغية** .

4- **جمل إنشائية مؤلّفة من عناصر تقوية متوضّعة بشكل غير منتظم في المسقط ،**

هذه الجمل تتعرّض لانتقالات ودورانات ، وتندرج أيضاً ضمن إطار الجمل الإنشائية **الفراغية** .

2-2- توزيع القوى الأفقية على عناصر التقوية للجمل الإنشائية الفراغية (الجائز الشامل)

سيتم في هذا الباب شرح طريقة مبسّطة لتوزيع القوى الخارجية (الرياح) على عناصر التقوية في الجمل الفراغيّة ، بحيث نتمكّن ، على الأقل في الدراسات الأوليّـة ، من الاسـتغناء عـن اسـتخدام الحاسوب .

من ميّزات هذه الطريقة ، أنه سيتم أخذ جميع عزوم العطالة لعناصر التقوية بما فيها مقاومتهـا على الفتل الصافي أو ما يسمى بـ " **فتل سانت فنانت** " الناجم عن إجهادات القص الأوليّـة ، ومقاومتهـا على الفتل القسري أو " **الفتل المعاند** " الناجم عن إجهادات القص الثانوية ، بعين الاعتبار . إن اعتبار هذه القيم هو ليس متطلّب اقتصادي فحسب بل إنّـه من متطلبات الأمان ، لأن الوصول إلى تصميم أمين لايتم إلاّ بعد معرفة السلوك الدقيق للمنشأ .

بسبب صعوبة وتعقيد المعادلات التفاضلية للمنشأ يتوجّب علينا فرض بعض الشروط على المنشأ التي تمكّننا من الوصول إلى حلّ لهذه المعادلات ، هذه الشروط تـمّ ذكرها في الباب الأوّل مـن هـذه الدراسة (الفقرة 2-3-1) . سيتم افتراض الحمولات الخارجية عبارة عن حمولات أفقية وعزوم فتـل موزّعة بانتظام على كامل ارتفاع المبنى ، علماً أنه توجد حلول لأنواع أخرى من الحمولات وذلك بطرق أكثر تعقيداً لامجال لعرضها هنا .

2-2-1- النظام الستاتيكي والحمولات .

2-2-2- مراحل الحساب .

إن ملخّص هذه الطريقة ، أنّه سيتم دراسة المنشأ ، والذي اعتبرناه كجـائـز " شامل " لعناصر التقوية الموجودة في المسقط موثوقاً بشكل تام من الأسفل وحرّاً من الأعلى ومعرضاً للحمولات الخارجية ، باتّباع الخطوات التالية :

• **الخطـوة الأولـى :** سيتم فيها حساب القوى الداخلية في الجائز الشامل والنّاجمـة عـن الحمـولات الخارجية المؤثرة على المنشأ ، وذلك تحت تأثير الحمولات الخارجية وهنا يجب أن نفرّق بين حـالتي تحميل :

الحالة الأولى : وتؤثر الحمولات الأفقية فيها في مركز الفتل للمنشأ (حالة الانعطاف) .

الحالة الثانية : عبارة عن عزم فتل خارجي موزّع بانتظام على كامل الارتفاع ويؤثر في مركز فتل المنشأ (حالة الفتل) .

•**الخطوة الثانيـة :** سيتم فيها توزيع هذه القوى على عناصر التقوية ، وذلك باستخدام شـروط التـوازن وشروط التوافق في الانتقالات بين عناصر التقوية والأسقف المرتبطة بها . وذلك كما يلي :

1- توزيع القوى الداخلية الناجمة عن حالة التحميل الأولى (حالة انعطاف المنشأ) .

2- توزيع القوى الداخلية الناجمة عن حالة التحميل الثانية (حالة الفتل للمنشأ) .

إن نتيجة هذا التوزيع هو القوى الداخلية في كل عنصر تقوية ، النّاجمة عن الحمولات الخارجية المؤثرة على الجائز الشامل .

أخيراً يجب الإشارة إلى أن دقة هذه الطريقة تـزداد بازديـاد عـدد الطوابـق ولا ينصـح باستخدامها للأبنية قليلة الارتفاع .

2-2-2-1- حساب القوى الداخلية والانتقالات للجائز الشامل

الحمولات الخارجية التي تؤثر على المبنى هي :

1 - حمولة موزعة بانتظام بالاتجاه x p_x

2 - حمولة موزعة بانتظام بالاتجاه y p_y

3 - عزم فتل موزع بانتظام حول المحور z m_z

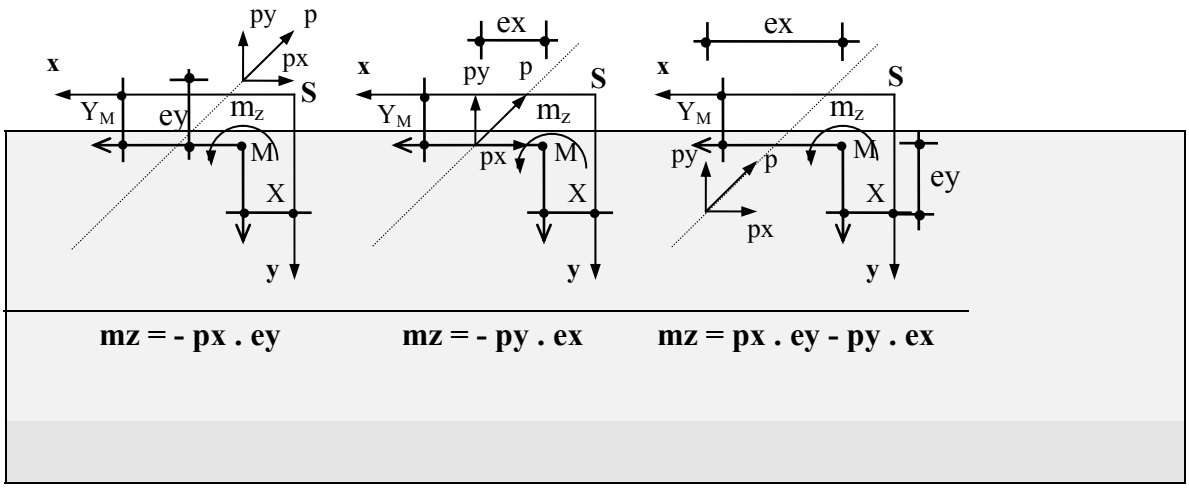
لتحديد عزم الفتل الخارجي حول مركز فتل المنشأ يجب أولاً تحديد إحداثيات مركز فتل المنشـأ بالنسبة للمحاور الإحداثية العامة ، ومن ثم حساب لا مركزية القوى الأفقية بالنسبة لمركز الفتل وذلك في الاتجاهين x , y تبعاً للقوى المؤثرة ويتم عندها حساب عزم الفتل الخارجي المؤثر حول مركز فتل المنشأ ، والعلاقات التالية توضح طريقة الحساب :

• تحديد إحداثيات مركز فتل المنشأ بالنسبة للمحاور الإحداثية العامة بالعلاقات **[I , 17]**

• حساب لا مركزية القوى الأفقية بالنسبة لمركز فتل المنشأ وذلك في الاتجاهين x , y بالعلاقات التالية :

$$e_y = \frac{B_{tot}}{2} - Y_M \qquad , \qquad e_x = \frac{L_{tot}}{2} - X_M$$

- حساب عزم الفتل الخارجي المؤثر حول مركز فتل المنشأ وهو عبارة عن عزم فتل مـ وزّع بانتظـام على كامل ارتفاع المبنى



القوى الداخلية الناجمة عنها تحسب كما يلي :

$$
\begin{cases}
M_{x,o} = -p_y \cdot \dfrac{H_{tot}^2}{2} \cdot \bar{\zeta}^2 \\
M_{y,o} = +p_x \cdot \dfrac{H_{tot}^2}{2} \cdot \bar{\zeta}^2 \\
Q_{x,o} = +p_x \cdot H_{tot} \cdot \bar{\zeta} \\
Q_{y,o} = +p_y \cdot H_{tot} \cdot \bar{\zeta} \\
M_{z,o} = +m_z \cdot H_{tot} \cdot \bar{\zeta} \\
M_{zs,o} = \dfrac{F-CF}{\varphi} \cdot m_z \cdot H_{tot} \\
M_{zw,o} = \dfrac{CF}{\varphi} \cdot m_z \cdot H_{tot} \\
M_{\omega,o} = -\dfrac{S_F-1}{\varphi^2} \cdot m_z \cdot H_{tot}^2
\end{cases}
$$

حيث أن :

$$\bar{\zeta} = \frac{\bar{z}}{\bar{l}} \begin{cases} = 0 \\ = 1 \end{cases}$$

$$F = \varphi \,.\, \bar{\zeta}$$

$$C_F = \frac{\varphi - \sinh\varphi}{\cosh} \cdot \cosh(F) + \sinh(F)$$

$$S_F = \frac{\varphi - \sinh\varphi}{\cosh} \cdot \sinh(F) + \cosh(F)$$

أما الانتقالات فيمكن حسابها كما يلي :

$$V = \frac{P_x \cdot H_{tot}^4}{EI_y} \cdot C$$

$$W = \frac{P_y \cdot H_{tot}^4}{EI_x} \cdot C$$

حيث أن :

$$C = \frac{1}{24}\left(\bar{\zeta}^4 - 4\bar{\zeta} + 3\right)$$

دوران المنشأ حول مركز الفتل يعطى بالعلاقة التالية :

$$\theta = \frac{m_z \cdot H_{tot}^4}{E_b CM} \cdot D$$

والعامل D يحدد كما يلي :

$$D = \frac{1}{\vartheta^4}\left(\frac{\vartheta^2 - F^2}{2} - S_\vartheta + SF\right)$$

2-2-2-2- **توزيع القوى الداخلية على عناصر التقوية :**

وهنا يجب أن نفرّق بين حالتي تحميل :

الحالة الأولى : وتؤثر الحمولات الأفقية فيها في مركز الفتل للمنشأ (حالة الانعطاف) .

الحالة الثانية : عبارة عن عزم فتل خارجي موزّع بانتظام على كامل الارتفاع ويؤثر في مركز فتل المنشأ (حالة الفتل) .

وفيما يلي خطوات :

أ ـ حساب لا مركزية القوى الأفقية بالنسبة لمركز الفتل وعزم الفتل الخارجي المؤثر حول مركز فتل المنشأ .

1 ـ تحديد إحداثيات مركز الفتل بالنسبة للمحاور الإحداثية العامة بالعلاقات رقم (10) من المحاضرة الثانية .

2 ـ حساب لا مركزية القوى الأفقية بالنسبة لمركز الفتل وذلك في الاتجاهين x , y تبعاً للقوى المؤثرة وحساب عزم الفتل الناجم .

جـ ـ ـ توزيع القوى الداخلية الناجمة عن حالة التحميل الأولى (حالة انعطاف المنشأ) .

فيكون نصيب عنصر التقوية رقم (j) من القوى القاطعة وعزوم الانعطاف كما يلي :

$$M_{x,j} = \varepsilon_{1,j} \cdot M_{y,o} + \varepsilon_{2,j} \cdot M_{x,o}$$

$$M_{y,j} = \varepsilon_{3,j} \cdot M_{y,o} + \varepsilon_{4,j} \cdot M_{x,o}$$

$$Q_{y,j} = -\varepsilon_{1,j} \cdot Q_{x,o} + \varepsilon_{2,j} \cdot Q_{y,o}$$

$$Q_{x,j} = \varepsilon_{3,j} \cdot Q_{x,o} - \varepsilon_{4,j} \cdot Q_{y,o}$$

و يجب حساب القيم المساعدة التالية لكل عنصر تقوية (j) .

$$\begin{cases} \varepsilon_{1,j} = \dfrac{I_{xy,j} \cdot I_{x,o} + I_{x,j} \cdot I_{xy,o}}{I_{x,o} \cdot I_{y,o} - I_{xy,0}^2} \\ \varepsilon_{2,j} = -\dfrac{I_{xy,j} \cdot I_{xy,o} - I_{x,j} \cdot I_{y,o}}{I_{x,o} \cdot I_{y,o} - I_{xy,0}^2} \\ \varepsilon_{3,j} = \dfrac{I_{y,j} \cdot I_{x,o} - I_{xy,j} \cdot I_{xy,o}}{I_{x,o} \cdot I_{y,o} - I_{xy,0}^2} \\ \varepsilon_{4,j} = \dfrac{I_{y,j} \cdot I_{xy,o} - I_{xy,j} \cdot I_{y,o}}{I_{x,o} \cdot I_{y,o} - I_{xy,0}^2} \end{cases}$$

في العلاقات رقم (2) تعني

عزم عطالة المنشأ حول المحور X

$$I_{x,o} = \sum_j I_{x,j}$$

عزم عطالة المنشأ حول المحور y $\quad I_{y,o} = \sum_j I_{y,j}$

جداء العطالة للمنشأ $\quad I_{xy,o} = \sum_j I_{xy,j}$

علماً أن $I_{xy,j}, I_{y,j}, I_{x,j}$ هي خواص العنصر (j) الهندسية وذلك حول المحاور المارة من مركز فتله .

د ـ ـ توزيع القوى الداخلية الناجمة من حالة التحميل الثانية (حالة الفتل للمنشأ) .

$$
(4)\quad
\begin{cases}
M_{x,j} = \left(\dfrac{I_{xy,j}}{C_M} \cdot Y_{Mm,j} - \dfrac{I_{x,j}}{C_M} \cdot X_{Mm,j} \right) \cdot M_{\omega,o} \\[2ex]
M_{y,j} = \left(\dfrac{I_{xy,j}}{C_M} \cdot X_{Mm,j} - \dfrac{I_{y,j}}{C_M} \cdot Y_{Mm,j} \right) \cdot M_{\omega,o} \\[2ex]
Q_{y,j} = -\left(\dfrac{I_{xy,j}}{C_M} \cdot Y_{Mm,j} - \dfrac{I_{x,j}}{C_M} \cdot X_{Mm,j} \right) \cdot M_{zw,o} \\[2ex]
Q_{x,j} = \left(\dfrac{I_{xy,j}}{C_M} \cdot X_{Mm,j} - \dfrac{I_{y,j}}{C_M} \cdot Y_{Mm,j} \right) \cdot M_{zw,o} \\[2ex]
M_{zs,j} = \dfrac{I_{t,j}}{I_{t,o}} \cdot M_{zs,o} \\[2ex]
M_{zw,j} = \dfrac{C_{M,j}}{C_M} \cdot M_{zw,o} \\[2ex]
M_{\omega,j} = \dfrac{C_{M,j}}{C_M} \cdot M_{\omega,o}
\end{cases}
$$

إحداثيات مركز الفتل للعنصر (j) بالنسبة للمحاور المارة من مركز فتل المنشأ (تؤخذ باشـارتها الموجبة أو السالبة) .

إن نتيجة التوزيع النهائية هي حاصل جمع القيم الناجمة عن العلاقات رقم (4) لكل عنصر مـع القـيم الناجمة عن العلاقات رقم (3) .

أي أن :

$$M_{x,i} = M_{x,i}(1) + M_{x,i}(2)$$

$$M_{y,i} = M_{y,i}(1) + M_{y,i}(2)$$

$$Q_{x,i} = Q_{x,i}(1) + Q_{x,i}(2)$$

$$Q_{y,i} = Q_{y,i}(1) + Q_{y,i}(2)$$