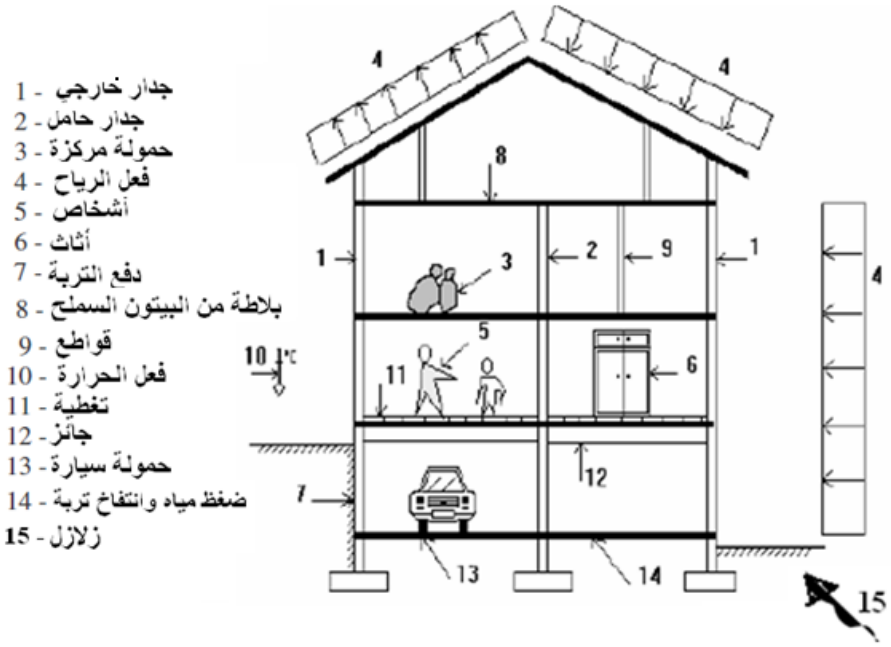
2- أساسيات دراسة الجمل الإنشائية

2-1- مقدمة - عموميات

بعد الانتهاء من مرحلة التصميم المعماري للمنشأ المتمثلة بتحديد شكل هيكله الإنشائي والمواد المكونة له، ومواقع القواطع الداخلية، وأشكال الواجهات، والارتفاعات وتراجع الطوابق الأخيرة إن وجدت ...الخ، تبدأ مرحلة جديدة من الدراسة تسمى مرحلة التحليل الإنشائي، في هذه المرحلة يقوم المهندس بتحديد كافة أنواع الحمولات الشاقولية والأفقية التي يمكن أن تؤثر على الهيكل الحامل للمنشأة، كما هو موضح في الشكل (1).



الشكل (1): منشأ الحمولات المطبقة على منشأة ما

ومن ثم يجري التحليل على النموذج الإنشائي الذي يختاره، وذلك وفق الطريقة التي يراها مناسبة (نظرية المرونة أو اللدونة) والتي توافق طبيعة سلوك مادة البيتون المسلح بهدف تحديد القوى الداخلية الأعظمية (قوى محورية، عزوم انعطاف، قوى قص، عزوم فتل...الخ)، في كافة مقاطع العناصر الإنشائية، الناجمة عن أسوأ حالات التحميل الممكنة للحمولات المطبقة (مغلفات القوى الداخلية)، ويمكن أن يكون الحساب يدوياً أو باستخدام الحاسبات الإلكترونية.
ومن الجدير بالذكر أنه يتم كتابة معادلات التوازن باستخدام الأبعاد الهندسية للمنشأ قبل التشوه سواء تم التحليل الإنشائي بطريقة المرونة (قانون هوك) أو بطريقة اللدونة التي تعتمد على السلوك الفعلي للمادة (أي تحليل المنشأ من الدرجة الأولى)، ماعدا حالات دراسة استقرار المنشأ أو بعض عناصره حيث يجب إدخال بعض افتراضات تحليل المنشأة من الدرجة الثانية أو كلها كما في حالة تحنيب الأعمدة مثلا. ويمكن الرجوع إلى نظريات مقاومة المواد للإطلاع على هذا الموضوع.
نتيجة لعدم انسجام سلوك مادة البيتون المسلح مع فرضيات نظرية المرونة، ولعدم تجانس هذه المادة، فيفترض أن توزع القوى الداخلية الناتج عن حساب المنشآت الهيكلية وفق نظرية المرونة لا يمثل بالضرورة التوزع الحقيقي في المنشأ، ولكن يمكن أن يعد هذا التوزع حلا مقبولا من الناحية التوازنية. يسمح بالابتعاد على نحو محدد عن التوزع

المرن للقوى الداخلية بإعادة توزيع عزوم الانعطاف، وسوف نعالج هذا الموضوع في الفصول القادمة المخصصة لحساب وتصميم الهياكل الحاملة في المنشآت (جوائز، إطارات...).

بعد أن يتم تحديد مغلفات القوى الداخلية الناجمة عن أسوأ حالات التحميل لكافة عناصر الهيكل الحامل للمنشأ (مرحلة التحليل الإنشائي)، يقوم المهندس بإجراء المرحلة الأخيرة في التصميم، والمسماة " مرحلة التصميم الإنشائي"، وإعداد المخططات التنفيذية للمشروع مع كافة تفصيلات وترتيبات التسليح. وفي هذه المرحلة يتوجب على المصمم مراعاة النقاط التالية:

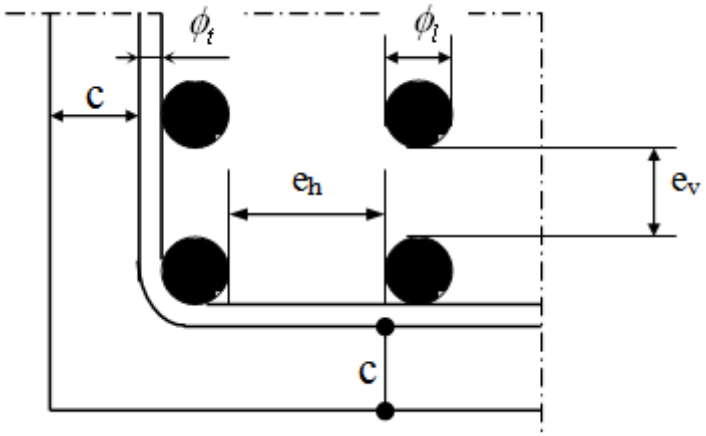
أ. **تصميم المقاطع الحرجة في العناصر:**

تصمم هذه المقاطع بحيث يكون نمط انهيارها مطاوعاً، أي أن يسبق مرحلة الانهيار ظهور علائم وتشوهات ملحوظة تنذر بالخطر مسبقا، إن كان ذلك ممكنا. بالتالي يتوجب تحاشي التصميم الذي ينجم عنه نمط انهيار هش ومفاجئ حيث لا يسبق مرحلة الانهيار ظهور علامات إنذار وتشوهات ملحوظة.

- يكون الانهيار مطاوعا في العناصر أو المقاطع المعرضة لانعطاف بسيط (M) أو قوى لامحورية $(N;e)$ إذا كان التشوه الفعلي في فولاذ التسليح المشدود في مرحلة الانكسار للمقطع الحرج للعنصر أكبر من المقاومة المميزة للفولاذ مقسومة على عامل مرونة الفولاذ $(\varepsilon_s \geq f_y / E_s)$، ويكون الانهيار هشاً ومفاجئاً في هذه الحالة عندما يكون $(\varepsilon_s < f_y / E_s)$.
- يكون الانهيار هشا في العناصر أو المقاطع المعرضة لإجهادات ضغط $(N';e_{\min})$ على كامل سطح المقطع أو معظمه (حالة ضغط بسيط أو لامركزية صغيرة جداً)، وكذلك المقاطع المعرضة للقص (V) أو للفتل (T) ، إذا لم تكن هذه المقاطع مزودة بالتسليح المناسب. ويمكن في هذه الحالة تحسين نمط الانهيار الهش المفاجئ بالالتزام بمساحات التسليح الطولي والعرضي الدنيا المعتمدة في الكود ونسبها.

ب. **مواقع قضبان التسليح وتباعداتها:**

لتأمين صب صحيح للبيتون وتغليف جيد لقضبان التسليح وبالتالي تأمين حماية فعالة ضد الصدأ وتلاحم جيد بين المادتين، يتوجب الحصول على مايلي (الشكل 2):



الشكل (2): سماكة التغطية و التباعدات بين القضبان

- **سماكة التغطية c، أو البعد بين سطح القضيب والسطح الخارجي للعنصر**، ولمختلف أنواع قضبان التسليح سواء الطولي منها أو العرضي:

$c \geq 5cm$ في المنشآت المطمورة والواقعة في تماس مع مواد كيميائية، أساسات، جدران استنادية...الخ.

$c \geq 4cm$ في حالة المنشآت القريبة من البحر أو المعرضة لرزاز مالح.

$c \geq 2.5-3cm$ في حالة المنشآت المعرضة لتقلبات الطقس أو الواقعة في تماس مع السوائل.

$c \geq 2cm$ للمقاطع الواقعة داخل المباني المغطاة والمغلفة وغير المعرضة للتكاثف.

- **التباعد الأفقي بين القضبان:**

$$e_h \geq \begin{cases} \bullet\ 1{,}5\,D_{\max} \\ \bullet\ \phi_l \\ \bullet\ 3 \rightarrow 4\,cm \end{cases}$$

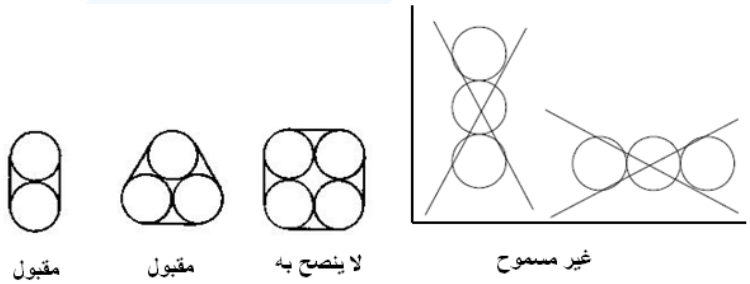
- **التباعد الشاقولي بين القضبان:**

$$e_v \geq \begin{cases} \bullet\ D_{\max} \\ \bullet\ \phi_l \\ \bullet\ 2\,cm \end{cases}$$

حيث: $D_{\max}$: القطر الأعظمي لحبات البحص.

ϕ_l ; ϕ_t : قطر قضيب التسليح الطولي والعرضي بالترتيب.

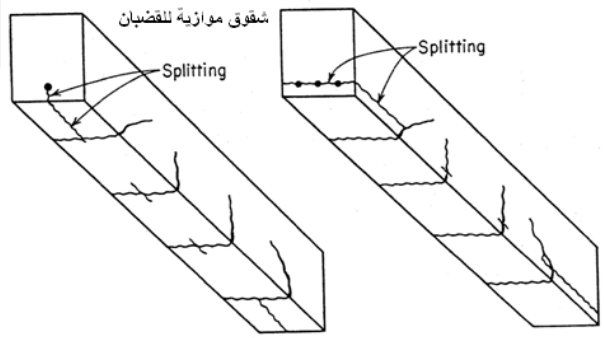
علماً أنه يمكن استخدام حزم معينة من قضبان التسليح كما هو موضح في الشكل (3)، مع الانتباه إلى أن أثر الحزمة الواحدة على ظاهرة التلاحم لا يساوي مجموع آثار القضبان بشكل منعزل.



الشكل (3): إمكانية استخدام حزم من قضبان التسليح

ت. **دور قضبان الخياطة – اختطاطها وفعاليتها:**

يتولد في المناطق البيتونية المحيطة بقضبان التسليح جهود قطرية ومحيطية تسعى لشق الغمد البيتوني طولانياً. وتكون تلك الجهود عالية نسبياً في القضبان كبيرة التلاحم حيث يعمل هذا الشق الطولاني على تخريب مقاومة التلاحم، (الشكل 4)، بالتالي انهيار العنصر.

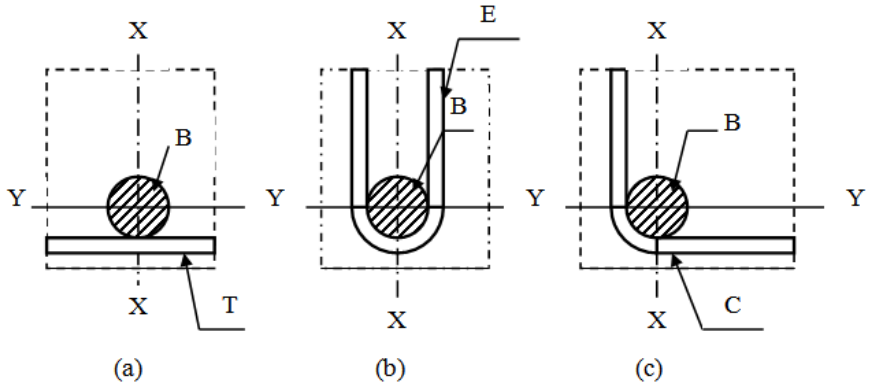


الشكل (4): تشققات الغمد البيتوني نتيجة تشكل جهود قطرية ومحيطية على طول قضبان التسليح

ومن هنا جاءت أهمية استعمال قضبان خياطة الشقوق في أماكن احتمال ظهورها. لكن على الرغم من أننا لا نستطيع حساب مقاطع التسليح التي يجب أن تخاط بها الغمود، إلا أننا سنعطي عن هذا الموضوع ما درج العمل به وما أثبتت التجربة العملية صحته وموافقته:

لا يكون قضيب خياطة معين فعالا بالنسبة للخياطة إلا إذا كان باستطاعته أن يعاكس تفتح التشققات أو انتشار العيوب التي يمكن أن تحدث بعد الشد المباشر، ويمكن الحكم على فعالية هذا القضيب بدلالة اختطاطه وارساءاته.

لندرس الشكل (5)، حيث يبين الشكلان (a) و (b) أنه في حالة عدم وجود قضبان خياطة يكون خطر التشقق وفق المستوي XX كبيراً، وذلك فيما إذا كان القضيب B يشكل جزءاً من التسليح الرئيس لجائز ما، وفي حالة كون إجهادات التلاحم التي تؤثر فيه كبيرة. كذلك يكون التشقق كبيراً أيضاً وفق المستوي XX إذا كان القضيب B أحد قضبان طبقة تسليح قضبانها قريبة من بعضها البعض، وإجهادات التلاحم التي تؤثر فيه كبيرة.



الشكل (5): قضبان الخياطة

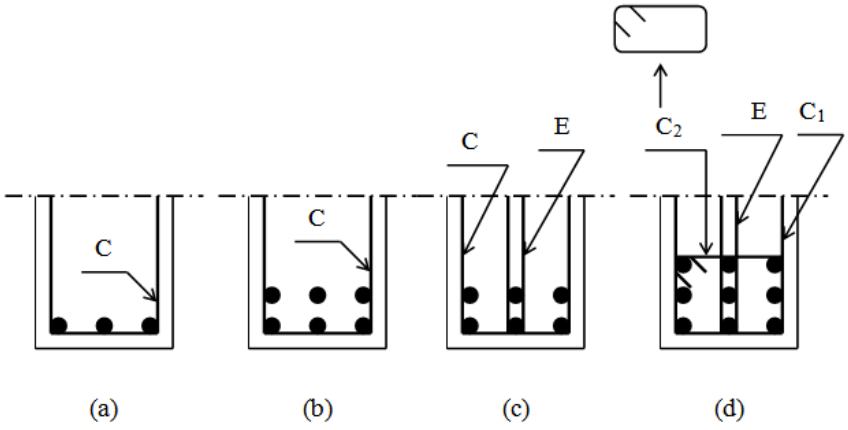
نلاحظ في الشكل (a) أن القضيب T يخيط بصورة فعالة المستوي XX ، لأنه مرسي في البيتون بعيداً إلى يسار هذا المستوي ويمينه، وهذا ما يضمن متانة إرسائه، ولأن وجود شق وفق هذا المستوي سيخضع هذا القضيب للشد حتماً. وبالمقابل ليس لهذا القضيب أية فعالية بالنسبة للخياطة وفق المستوي YY.

كذلك نلاحظ في الشكل (b) ، أن الأترية E تخيط بصورة فعالة المستوي YY، لأنها مرسية بصورة جيدة فوق هذا المستوي وبعيدة عنه، وبالمقابل ليس لهذه الأترية أية فعالية بالنسبة للخياطة وفق المستوي XX .

أخيرا نلاحظ في الشكل (c) أن الإطار C يخيط بصورة فعالة الاتجاهين YY و XX المحتملين لتشقق غمد القضيب B الموجود في الزاوية وذلك لأنه مرسي بصورة متينة باتجاهين متعامدين باستخدام التثبيت المستقيم والمنحني.

يسمح ما سبق ذكره أن نحكم على مدى موافقة اختطاط التسليح العرضاني في الجوائز التي تحتوي على ثلاثة صفوف من القضبان والتي يمثلها الشكل (6). ونستطيع مبدئيا أن نقرر كفاية خياطة القضيب المركزي فيما لو كان هذا القضيب أملسا، بينما يحكم بعدم كفايته في المناطق التي يرسى فيها قضيب كبير التلاحم. لذلك من الأفضل أن نضع في هذه المناطق بالإضافة إلى الإطارات C ، أترية E كالتي يحتويها الجائز (c).

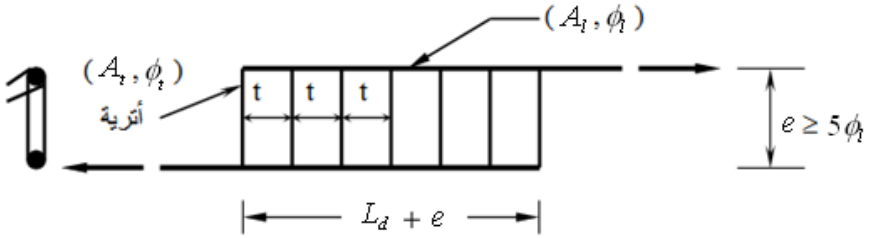
أما إذا احتوى الجائز على طبقتين من التسليح، فمن المحتمل أن تكون تأثيرات التساوق أكبر (التلاحم بالانسحاب). ومهما يكن نوع القضبان الطولانية الرئيسية، فمن المستحسن دائما وضع أتاري E ، وبصورة خاصة إذا كانت تلك القضبان كبيرة التلاحم، حيث لا بد من وضع أتاري E في المناطق التي ترسى فيها القضبان الرئيسية التي يتألف منها الصف الأوسط.



الشكل (6): اختطاط التسليح العرضاني في الجوائز

أما إذا احتوى الجائز على ثلاث طبقات من القضبان فتكون الخياطة العرضانية للقضبان الرئيسية الجانبية التي تحتوي عليها الطبقة الثالثة غير كافية في المناطق التي ترسى فيها تلك القضبان إذا كانت هذه الأخيرة كبيرة التلاحم، بالتالي نلجأ لإطارين C_1 و C_2 ولأترية E كما هو مبين في الجائز (d) .

يتوجب استخدام هذا النوع من التسليح "خياطة" عندما يراد تأمين الوصل بالتغطية لقضبان التسليح حيث تزداد المسافة بين محاورها e عن $5\phi_l$. في هذه الحالة يزود بيتون التغليف بتسليح خياطة على شكل أتاري، ويتم اعتماد أكبر طول تثبيت مستقيم L_d مضافا إليه البعد e ، كما هو مبين في الشكل (7).



الشكل (7): الوصل بالتغطية لقضبان التسليح

ويحسب التسليح العرضي A_t بحيث يستطيع نقل جهود الشد في التسليح الطولي A_l :

$$A_t \frac{L_d}{t} \sigma_{st} = A_l \sigma_{sl}$$

σ_{sl} : إجهاد الشد في القضيب الطولاني، σ_{st} : إجهاد الشد في الأترية،

L_d : طول التثبيت المستقيم، t : التباعد بين أتريتين.

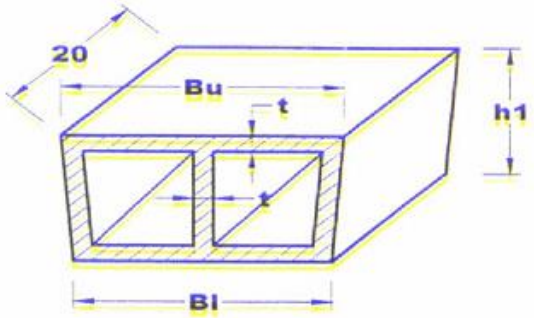
وعندما لا تزيد المسافة بين المحاور e عن $5\phi_l$، يكتفى بطول تثبيت مستقيم يساوي $(L_d + e)$.

2-2- تقدير الأحمال والأفعال

أ- الأحمال الدائمة (الميتة) $(G \text{ or } DL)$، وتشمل:

- الوزن الذاتي، تعتمد الأبعاد من الاشتراطات البعدية في الدراسة الأولية: مرحلة التصميم المعماري بحيث يتم تحديد هذه الأبعاد بالتعاون مع المعماري مراعين شروط التشوهية (الأسهم) والتحنيب واشتراطات الكود الأساسية الأخرى.
- التغطيات والقواطع وغيرها، وتؤخذ من الدراسة المعمارية بحيث تعتمد الأوزان الحجمية من الكود الأساس أو الملحق 1 الخاص بالأحمال.

ونبين فيما يلي أوزان البلوكات المستعملة في بلاطات الأسقف المفرغة (الهوردي):



أوزان البلوك من أجل سماكة 3 سم بافتراض وزن حجمي مصمت 2000 كغ / م3		
وزن بلوك بأبعاد 35 / 38 سم	وزن بلوك بأبعاد 35 / 32 سم	h1 سم
11.6	10.9	14
12.4	11.6	16
13.1	12.4	18
13.8	13.1	20
14.5	13.8	22
15.2	14.5	24
15.6	14.9	25
16.0	15.2	26
16.7	16.0	28
17.4	16.7	30
18.1	17.4	32
18.8	18.1	34
19.6	18.8	36

أوزان البلوك من أجل سماكة 2.5 سم بافتراض وزن حجمي مصمت 2000 كغ /		
وزن بلوك بأبعاد 35 / 38 سم	وزن بلوك بأبعاد 35 / 32 سم	h1 سم
10	9.4	14
10.6	10.0	16
11.2	10.6	18
11.8	11.2	20
12.4	11.8	22
13	12.4	24
13.3	12.7	25
13.6	13.0	26
14.2	13.6	28
14.8	14.2	30
15.4	14.8	32
16	15.4	34
16.6	16.0	36

ب- الأحمال الاضافية (الحية)، $(P\ or\ LL)$:

تؤخذ من الكود العربي السوري الأساس، أو من الملحق 1 الخاص بالأحمال.

ج- بقية الأحمال والأفعال وتشمل:

- الرياح: تؤخذ من الملحق 1 الخاص بالأحمال.
- الزلازل: تؤخذ من الملحق 2 الخاص بالزلازل.
- الضغط الجانبي للتربة: تؤخذ من الملحق 2 الخاص بالزلازل.

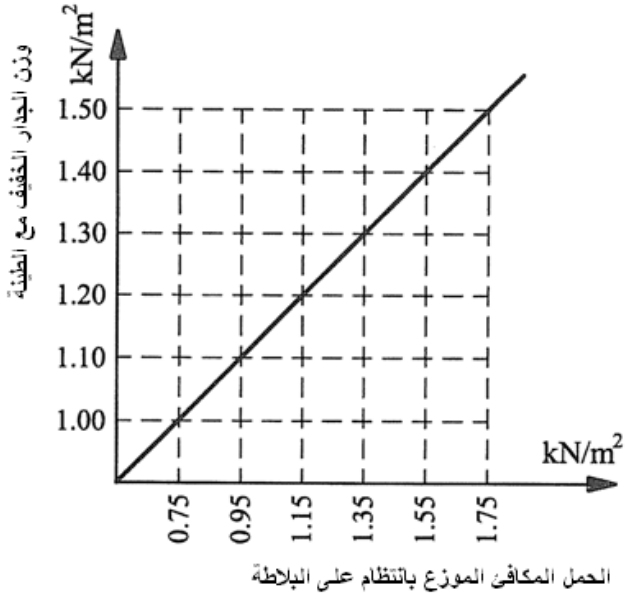
د- أحمال الانتقالات وتشمل:

- الأحمال الحرارية (إن وجدت).
- أحمال التشوهات القسرية (هبوط أو دوران أو إنزلاق مساند).

هـ- أحمال الانتقالات وتشمل: أحمال الإنشاء والتركيب والأحمال الخاصة الأخرى: تؤخذ من الملحق 1 الخاص بالأحمال أو من مراجع مختصة.

2-3- الحمل الإضافي المكافئ للجدران الخفيفة على البلاطات

تعتبر الجدران الداخلية (حوائط وقواطع) الموجودة على البلاطات البيتونية المسلحة خفيفة، إذا كانت أوزانها في المتر المربع من مساحتها لا تزيد عن 1.5 kN ($\leq$1.5 kN/m^2). ويمكن الاستعاضة عن حمل الجدار الخفيف المركز على خط طولي بحمل مكافئ موزع بانتظام على مساحة بلاطة السقف الموجود عليها بعد الأخذ بالحسبان الوزن الفعلي تبعاً لمادته وسمكه وطوله وارتفاعه، والتعويض بالشدة المبينة في الشكل (8):



الشكل (8): الحمل المكافئ من الجدران الخفيفة

ونشير إلى أن الكود السوري سمح بإهمال أوزان الجدران والقواطع الخفيفة المتوضعة على بلاطات خاضعة لحمولة إضافية أكبر من 6 kN/m^2 .

أخيراً، نشير إلى ضرورة معاملة أوزان الجدران الداخلية الخفيفة المعرفة كما ورد أعلاه معاملة الحمولات الإضافية المؤقتة (الحية P).

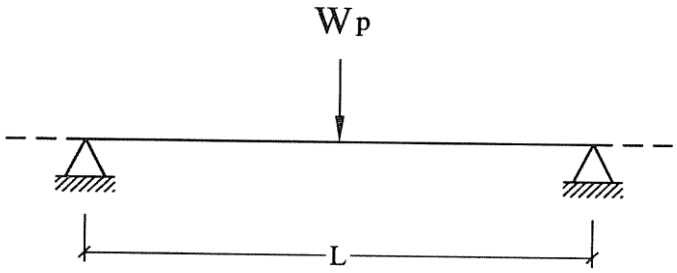
2-4- الحمل المكافئ للجدران الثقيلة على البلاطات

تعد الجدران الفاصلة الداخلية الموجودة على البلاطات البيتونية المسلحة ثقيلة، إذا كانت أوزانها في المتر المربع من مساحتها لا تقل عن 1.5 kN ($\leq$1.5 kN/m^2). وتعامل هذه الجدران معاملة الحمولات الدائمة (الميتة G).

ويمكن الاستعاضة عن حمل الجدار الثقيل المركز على خط طولي بحمل مكافئ موزع بانتظام على مساحة بلاطة السقف الموجود عليها، وفق الحالات التالية:

- **حالة البلاطات المصمتة العاملة باتجاه واحد:**

أ- الجدار متعامد مع مجاز البلاطة كما هو مبين في الشكل التالي:



مجاز البلاطة

مع ضرورة تمييز شروط الاستناد وحالاته التالية:

- البلاطة بسيطة الاستناد: $W_e = 2\frac{W_P}{L}$
- البلاطة مستمرة من طرف وبسيطة الاستناد من طرف آخر: $W_e = 1.75\frac{W_P}{L}$
- البلاطة مستمرة من الطرفين: $W_e = 1.5\frac{W_P}{L}$

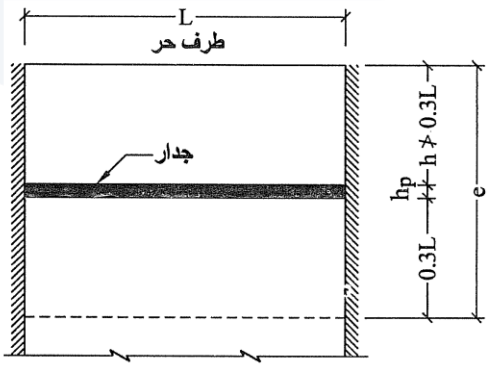
حيث:

W_P: وزن الجدار على كامل الارتفاع متضمناً وزن الطينة مقدراً بالـ (kN/m).

W_e: الحمل المكافئ للجدران الثقيلة على الأسقف البيتونية مقدراً بالـ (kN/m^2).

L: المجاز الحسابي للبلاطة مقدراً بالـ (m).

ب- الجدار محمل قريباً من الطرف الحر للبلاطة، بصورة موازية لاتجاه عمل البلاطة، أو مستنداً على جدار أو جائز ساقط يبعد أكثر من $0.3L$ عن موقع الجدار، كما هو مبين في الشكل التالي:



في هذه الحالة، يتم حساب العرض الفعال (e) الواجب أخذه بالحسبان لحساب الحمل المكافئ على النحو التالي:

$$e(m) = h_P + 0.3L + h \le h_P + 0.6L$$

حيث: h: بعد الجدار عن الطرف الحر للبلاطة مقدراً بالـ (m).

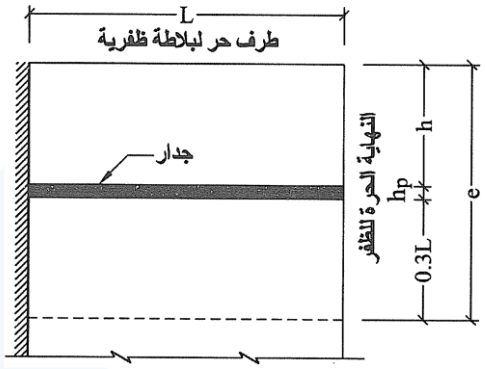
h_P: سمك الجدار مقدراً بالـ (m).

ويحدد الحمل المكافئ على البلاطة البيتونية المسلحة مقدراً بالـ (kN/m^2) كما يلي:

$$W_e = \frac{W_P}{e}$$

حالة البلاطات المصمتة الظفرية:

أ- عندما يتوضع الجدار بشكل حمل موزع بانتظام باتجاه مجاز الظفر، كما هو مبين في الشكل التالي:

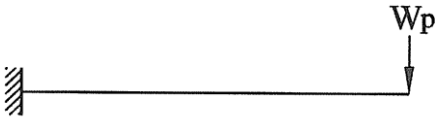


يحدد الحمل المكافئ مقدراً بالـ (kN/m^2):

$$W_e = \frac{W_P}{e}$$

حيث: $e(m) = h_P + 0.3L + h \le h_P + 0.6L$

ب- وعندما يكون الجدار متوضعاً بشكل حمل مركز متعامد مع مجاز الظفر، كما هو مبين في الشكل التالي، فيؤخذ تأثيره بصفته حملاً مركزاً:



حالة البلاطات المصمتة العاملة باتجاهين:

يؤخذ وزن جميع الجدران المتوضعة على البلاطة، وبضمنها أوزان الحمولات الميتة المطبقة أو المعلقة على هذه الجدران، ويضرب بمعامل تكبير مقداره 1.5، ثم تحدد الحمولة المكافئة الموزعة بانتظام بتقسيم الناتج على مساحة البلاطة بين خطوط الاستناد.

حالة البلاطات المفرغة (هوردي) باتجاه واحد:

يحدد الحمل المكافئ كما هو وارد للبلاطات المصمتة العاملة باتجاه واحد والبلاطات المصمتة الظفرية، شريطة تحقق ما يلي:

- وجوب لحظ عصب تقوية (رابط) لأعصاب البلاطة المفرغة باتجاه واحد، كما ينص عليه الكود السوري الأساس.
- لا يزيد العرض الفعال (e) على ثلاثة أمتار والمحسوب من العلاقة:

$$e(m) = h_p + 0.3L + h \le h_p + 0.6L$$

حالة البلاطات المفرغة باتجاهين:

يحدد الحمل المكافئ كما هو وارد للبلاطات المصمتة العاملة باتجاهين، وفق ما هو وارد أعلاه.

2-5- اختيار الجملة الإنشائية المناسبة

قبل عملية التصميم النهائي وإعداد المخططات التنفيذية للمنشأة موضوع الدراسة، يعمل الدارس الإنشائي على تحديد بعض المسائل والمعطيات الأولية الأساسية ودراستها التي تخدم في عملية التصميم وذلك اعتماداً على الفكرة المعمارية، ويتضمن ذلك مايلي:

- وضع الفواصل بين الكتل، للتمدد والتقلص الحراريين، للهبوط التفاضلي، وللزلازل.
- إجراء الدراسة الأولية الإنشائية: دراسة أولية لتحديد مسار الأحمال (الأفقي والشاقولي)، واقتراح الجملة الإنشائية المناسبة (في كل كتلة) والمقاومة للقوى الشاقولية والأفقية. ويمكن أن تكون الجملة المقاومة للقوى الأفقية: جملة إطارات مقاومة للعزوم أو جملة جدران قص، أو جملة مختلطة من إطارات أو جدران قص، أو جملة أخرى. عندما تقاوم الإطارات المقاومة للعزوم (في الجملة المختلطة) ما لا يقل عن 25% من القوى الأفقية، تسمى الجملة جملة ثنائية. وكما ذكرنا سابقاً، ترافق هذه المرحلة من الدراسة الإنشائية مرحلة الدراسة المعمارية، بحيث يجري في هذه المرحلة اختيار الجملة الإنشائية (أو الجمل الإنشائية) المناسبة لنقل الأوزان الشاقولية من حية وميتة وغيرها إلى الأعمدة والجدران ومنها إلى الأساسات. قد يكون هناك حاجة لعمل عدة حلول إنشائية ثم إجراء مقارنة اقتصادية وفنية بينها. وبعد التوصل إلى الحل الأنسب، يلزم توضيح هذا الحل بالرسم عن طريق رسم مخططات القالب (الكوفراج) وبشكل يوضح طريقة عمل جميع العناصر الإنشائية، كما يجب توضيح الأبعاد الأولية المختارة لجميع العناصر على مخططات القالب، وتعطى هذه الأبعاد للمعماري ليستعملها في رسوماته المعمارية. تعد مخططات القالب (الكوفراج) هي المخططات المطلوب من الإنشائي تسليمها في نهاية مرحلة الدراسة الأولية.

- من أجل إنجاز هذه المرحلة، يجب معرفة عدة أمور، يمكن تلخيصها في نقطتين مهمتين: النقطة الأولى هي المجازات المناسبة لكل جملة من الجمل الإنشائية، وذلك لتخفيف عدد الحلول المقارنة الواجب دراستها، والنقطة الثانية هي كيفية إجراء الدراسة التقريبية السريعة لاختيار أبعاد العناصر الإنشائية للحل المقترح.

في النتيجة يلخص المهندس نتائج الدراسة الأولية ضمن ما يسمى بالمذكرة التفسيرية أو التبريرية، التي تحتوي على شروحات وحسابات مبسطة في الوقت نفسه.

وبعد أن يتم استلام الدراسة الأولية وإبداء الملاحظات عليها، يقوم المهندس الدارس بإعداد المذكرة الحسابية اعتبارا من الأبعاد والسماكات التي تم تحديدها مسبقا، وبتطبيق إحدى القواعد المعروفة في تصميم وحساب منشآت البيتون المسلح. ومن ثم يقوم بإعداد المخططات التنفيذية ورسم المساقط (الكوفراج) والمقاطع الطولية والمقاطع العرضية والتفصيلات وترتيبات التسليح (التفريد) بما في ذلك العقد والوصلات مع الأخذ بالحسبان الاشتراطات المتعلقة بالتسليح الواردة بالكود (النسب الدنيا والعظمى وترتيبات التسليح).

2-6- المجازات المناسبة للجمل الإنشائية

اعتماداً على الخبرة بمواد الإنشاء المحلية، وبطرائق الإنشاء الممكنة، يمكن افتراض المجازات التالية المناسبة لعناصر الجمل الإنشائية من البيتون المسلح.

- جائز ظفري: حتى 4 متر.
- جائز بسيط: حتى 8-12 متر (وفقاً لمقاومة البيتون المسلح).
- جائز مستمر (أو إطار): حتى 12-18 متر (وفقاً لمقاومة البيتون المسلح).
- جائز مسبق الإجهاد مسبق الصنع: حتى 30-40 متر (وفقاً لمقاومة البيتون المسلح).
- بلاطة مصمتة ظفرية: حتى 2 متر.
- بلاطة مصمتة باتجاه واحد: حتى 5 متر (وفقاً لمقاومة البيتون المسلح).
- بلاطة مصمتة باتجاهين: حتى 7 × 7 متر (وفقاً لمقاومة البيتون المسلح).
- بلاطة ذات قوالب مفرغة (هوردي) باتجاه واحد: بين 4 - 8 متر.
- بلاطة ذات قوالب مفرغة (هوردي) باتجاهين: بين 6 × 6 متر و 10 × 10.
- بلاطة فطرية: بين 5 × 5 متر و 12 × 12.
- بلاطة مصمتة مع جوائز متصالبة : بين 8 × 8 متر و25 × 25.

2-7- النمذجة وتحليل المنشآت

يجب أن يتضمن النموذج الرياضي الممثل للمنشأة الفيزيائية كافة العناصر المساهمة بجملة مقاومة القوى الشاقولية والجانبية. كما يجب أن يتضمن النموذج صلابة و مقاومة العناصر المؤثرة في توزيع القوى، كما يلزم أن يمثل هذا النموذج التوزيع الأساسي للكتل و الصلابات في المنشأة. وعند تحديد خصائص الصلابة للعناصر، يجب أن يؤخذ بالحسبان تأثيرات المقاطع المتشققة.

يجري تحليل المنشآت، بحساب القوى الداخلية (قوى محورية، عزوم انحناء، قوى قص، عزوم فتل، الخ) الناتجة في المقاطع، عن التأثير الأعظمي للأفعال والحمولات المختلفة التي تخضع لها المنشأة، وتحسب هذه القوى بالاعتماد على

طرائق التحليل الإنشائية المعروفة، وذلك بافتراض هياكل المنشآت تعمل في مجال المرونة أو في مجال اللدونة أو في المجالين معاً، وهي طرائق مختلطة بين الاثنتين ومعدّلة بصورة تناسب طبيعة سلوك مادة البيتون المسلح.

ويمكن أن يكون التحليل يدوياً, باستعمال الطرائق المبسطة أو آلياً باستعمال الحواسب الإلكترونية، التي تعتمد على التحليل العددي وطرائق المصفوفات بما فيها طرائق العناصر المحدودة.

يعتمد التحليل الإنشائي المبسط على نظرية المرونة باستعمال إحدى الطرائق المبسطة لتحليل المنشأة, وذلك بالاعتماد على الخصائص الرئيسية لجملها الإنشائية المتنوعة (إطارات، جدران قص، جمل مختلطة، جمل أخرى....) وتكون الحلول معتمدة على استعمال طرائق تقريبية لتحديد السلوك الإنشائي التقريبي لهذه الجمل.

وفي الحالة العامة يمكن تبسيط الإطارات الفراغية، إلى إطارات مستوية، تُدرَس بصورة مستقلة في كل من المستويين المتعامدين ماعدا الحالات التالية (حيث يجب فيها دراسة الإطار فراغياً):

- في حال كون عناصره غير متعامدة فيما بينها.
- في حال وجود أحمال منحرفة بصورة ملحوظة عن محاور عناصر الإطار.
- في حال توقّع وجود عزوم فتل مهمة.
- في الحالات الخاصة التي لا يَسمح فيها الشكل الهندسي للمنشأة بتجزئتها إلى إطارات مستوية مستقلة.

تؤخذ أبعاد الإطارات مساوية إلى المسافات بين محاور العناصر الخطيّة، أما في حال وجود عناصر ذات مقاطع متغيرة الأبعاد، فيمكن أخذ محور المقطع ذو القساوة المساوية إلى متوسط قساوتي مقطعي العناصر الشاقولية في الأعلى وفي الأسفل في الاتجاه المدروس.

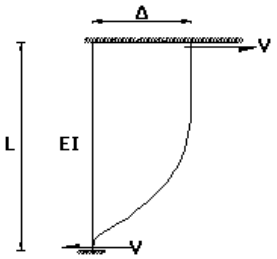
تحدد أبعاد المقطع العرضي للجوائز وفق مايلي:

- للجوائز غير المتصلة مع البلاطات: أبعاد المقطع العرضي للجائز.
- للجوائز الساقطة المتصلة مع البلاطات: يُؤخذ جزء من البلاطة بصفة جناح للمقطع العرضي للجائز، ويدخل في حساب عزم العطالة، ويكون عرض هذا الجناح $b + 6t_f$، أو المسافة بين محاور الجوائز، أيهما أقل.
- للجوائز المخفية المتصلة مع البلاطات: تؤخذ أبعاد المقطع العرضي المستطيل للجائز.
- للجوائز الساقطة الطرفية ذات المقاطع بشكل حرف L: تؤخذ أبعاد المقطع العرضي المستطيل للجائز.

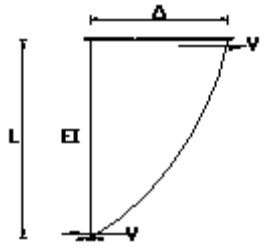
2-8- تحديد صلابة النابض الجانبية

ترتبط هذه الخاصية بالشروط الطرفية للعنصر المدروس (اتصال العمود بالبلاطة مثلاً ...)، وعطالة مقطع العنصر، وطوله، وعامل مرونة المادة المكونة له. ونبين فيما يلي العلاقات التي يمكن استخدامها لحساب الصلابة الجانبية لعنصر ما:

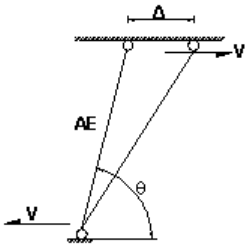
- عمود موثوق من الطرفين: $K = \frac{V}{\Delta} = \frac{12EI}{L^3}$

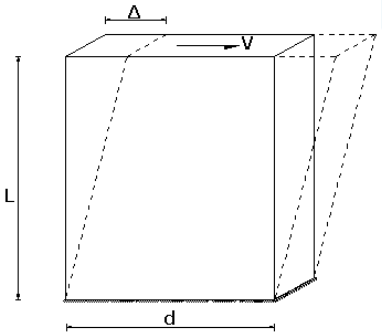


- عمود متمفصل من طرف وموثوق من الطرف الأخر: $K = \frac{V}{\Delta} = \frac{3EI}{L^3}$



- عنصر تربيط قطري: $K = \frac{V}{\Delta} = \frac{AE}{L}\cos^2\theta$





- جدار ظفري:

$$K = \frac{V}{\Delta} = \frac{3EI}{L^3\left[1+0.6(1+\nu)\left(\frac{d}{L}\right)^2\right]}$$

حيث:

E: عامل مرونة المادة. I: عزم عطالة المقطع بالاتجاه المدروس.

L: طول العنصر (عادة هو ارتفاع الطابق). A: المقطع العرضي لقضيب التربيط. d: بعد مقطع الجدار بالاتجاه المدروس. ν: عامل بواسون.

2-9- نمذجة التربة

✓ تأثير التربة على استجابة المنشأة الخاضعة لفعل زلزالي (الفعل المتبادل تربة - منشأة):

عند تصميم منشأة ما لمقاومة الأفعال الزلزالية يجب الأخذ بالحسبان لظاهرة الفعل المتبادل تربة – منشأ، ودراستها جيداً بهدف تحديد السلوك الفعلي للمنشأة واستجابتها تحت تأثير هذه الأفعال الزلزالية. في الواقع أثبتت الدراسات والمشاهدات العينية أن تأثير هذه الظاهرة يكون ضاراً أو مفيداً وذلك تبعا لخواص تربة التأسيس و الفعل الزلزالي.

تعطينا محطات الرصد الزلزالي جملة من المخططات والتوابع الزمنية الممثلة لحركة التربة (تسارع – زمن مثلاً) عند السطح بغياب أية منشأة. وفي حالة وجود منشأة ما فإن الحركات بالقرب من الأساسات تختلف حكماً عن المحددة عند السطح، ويزداد الفرق بين المخططين كلما كانت التربة ضعيفة وذات تشوهية كبيرة. فضلاً عن ذلك ستولد كتلة المنشأة قوى عطالة تعمل على تشويش حركة التربة، وسيولد عزم الوثاقة عند القاعدة دوراناً لها. بالتالي إن المخطط الحسابي عند قاعدة المنشأة يكون مرتبطاً بكتلة المنشأة وبتربة التأسيس.

ويمكننا اعتبار هذا التأثير المتبادل بين التربة والمنشأة عن طريق إعداد نماذج تكون فيها التربة ممثلة بنوابض أو بعناصر منتهية.

✓ تمثيل التربة بنوابض:

تتم نمذجة التربة بجملة من النوابض الرابطة لعقدة أو لمجموعة عقد بقاعدة صلبة تطبق عليها الحركة. ففي حالة نموذج مستوي يكون لدينا:

- تحت قاعدة منعزلة (أساس سطحي): يتم التمثيل بثلاثة نوابض : نابضين على الانتقال، ونابض على الدوران.
- تحت الحصيرة: تمثل التربة عند كل عقدة: بنابض أفقي على الانتقال ونابض شاقولي على الانتقال.

تتعلق صلابة النوابض K (الشاقولية – الأفقية أو الدورانية)، بخواص التربة وسطح وعطالة الأساس، وهي مرتبطة مباشرة بعامل بالاست μ :

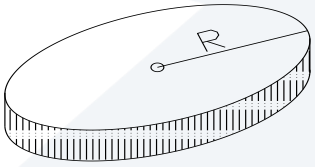
- حالة الانتقال الأفقي أو الشاقولي : $K_\Delta = \mu_\Delta . S$
- حالة الدوران : $K_O = \mu_O . I$

ويلخص الجدول التالي قيم عامل بالاست و صلابة النوابض الانتقالية والدورانية :

الاتجاه	الصلابة (K)	عامل بالاست (μ)	
شاقولي	$\frac{2}{(1-\nu^2)}ER$	$0.64\frac{E}{R}\frac{1}{(1-\nu^2)}$	$\frac{K}{S}$
أفقي	$\frac{16(1-\nu)}{(7-8\nu)(1+\nu)}ER$	$5.1\frac{E}{R}\frac{1-\nu}{(7-8\nu)(1+\nu)}$	$\frac{K}{S}$
دوران	$\frac{4}{3}\frac{ER^3}{(1-\nu^2)}$	-	$\frac{K}{I}$

علماً أن :

ν: عامل بواسون ، E: عامل مرونة التربة ، R: نصف قطر القرص المرن (البناء – الأساس) ، I : عطالة الأساس ، S : مساحة القرص .



✓ **تمثيل التربة بعناصر منتهية:**

بهدف اعتبار الخواص الديناميكية للتربة يمكننا استبدال النوابض التي تمثل التربة بجملة من العناصر المنتهية، بالتالي تكون التربة ممثلة بمجموعة من الطبقات المتتالية لعناصر مكدسة على قاعدة تمثل الطبقة الصخرية، ويتم توصيف كل طبقة بعامل المرونة، عامل بواسون، الكتلة الحجمية و عامل التخامد.

وكما في حالة التمثيل بالنوابض يتم تطبيق الحركة على القاعدة ونفترض أنها تنتشر عبر التربة على شكل أمواج قص تنتقل رأسياً فقط.

إن حركة القاعدة المتوضعة في العمق تختلف عن حركة سطح التربة، بالتالي يجب إعداد دراسة مسبقة للتربة بغياب أية منشأة من أجل تحديد حركة القاعدة التي تولد حركة السطح المحددة بالمخطط المعطى أصلاً من قبل المحطة.

2-10- الاستغناء عن التحليل الزلزالي

عندما تكون المنشأة معرضة لأفعال زلزالية، توصي الكودات العالمية مراعاة مايلي:

- التناظر في الشكل ما أمكن، بهدف تجنب الفتل.
- تنزيل مركز ثقل المنشأة للأسفل ما أمكن، سواء من جهة الأحمال الحية (وضع الأحمال الحية الثقيلة بالطوابق السفلى)، أم من جهة الأحمال الميتة، وذلك باختيار الشكل الذي يجعل الأحمال الميتة أقرب للأرض (مثلاً إذا كانت المنشأة ستصمم بشكل تكون لها واجهة بشكل شبه منحرف، فمن المناسب أن تكون قاعدته الكبرى بالأسفل).
- استعمال الجمل الإنشائية غير المقررة، وتجنب الجمل المقررة، خاصة الأظفار.
- استعمال نوعيات جيدة من البيتون ومن فولاذ التسليح، على ألا تتعدى المقاومة المميزة لفولاذ التسليح في الشد $\left(f_y = 400\ MPa\right)$ ، وذلك لتوفير قدر جيد من المطاوعة.
- تكون جملة الإطارات المقاومة للعزوم مناسبة عندما يكون المسقط الأفقي بشكل مستطيل، وحاوياً موديولات منتظمة (التباعد بين المحاور)، وإلا فالأنسب جملة جدران القص أو الجملة المختلطة.
- وفي حالة استعمال جملة جدران القص، يجب أن تكون الجدران باتجاهين متعامدين، ومتناظرة ما أمكن.
- عند تنفيذ الإطارات، بحيث تحقق الاحتياطات والاشتراطات المطلوبة في طرائق الإنشاء والتسليح، يمكن الاستغناء عن حساب أفعال الزلازل وكل ما يتعلق به من توزيع هذه الأحمال

و تحقيق الانقلاب وغيرها، عند استخدام إطارات مقاومة للزلازل في المباني العادية المصبوبة في المكان (التباعد بين الأعمدة لا يتجاوز 6 متر بالاتجاهين) وذات الجمل الإنشائية شبه المتناظرة والمنتظمة (مركز القساوة لا يبعد عن مركز الكتل بأكثر من 0.1 بعد المبنى في الاتجاه المتعامد لتأثير الزلزال المدروس)، وذلك في الحالات التالية:

أ- في المنطقة الزلزالية (1) شريطة ألا يزيد ارتفاعه الكلي من منسوب السطح العلوي للأساس على 20m . أما في المنطقة الزلزالية (0) تعفى دوماً من الحساب، ويبقى تطبيق الاحتياطات والاشتراطات إلزامياً.

ب- في المناطق الزلزالية (2A, 2B & 2C) شريطة ألا يزيد ارتفاع البناء الكلي من منسوب السطح العلوي للأساس على 8.5m في حال عدم استعمال جدران قص بالاتجاهين، و على 15m في حال استعمال جدران قص بالاتجاهين، بحيث يتم استعمال جداري قص على الأقل في كل اتجاه، متناظرين قدر الإمكان، وبأطوال لا تقل عن الحد الأدنى المبين أدناه:

الارتفاع H من ظهر الأساسات حتى منسوب السقف الأخير	الطول (العمق) للمقطع الأفقي لجدار القص
حتى 10m	H/3.5
أكبر من 10m وحتى 20m	H/5
أكبر من 20m وحتى 30m	H/6.5
أكبر من 30m وحتى 50m	H/8
أكبر من 50m	H/9

وفي جميع الحالات السابقة يجب ألا تزيد نسبة ارتفاع البناء إلى أدنى بعد في مسقطه عن (2,5) ، وذلك للاستغناء عن الحسابات الزلزالية.

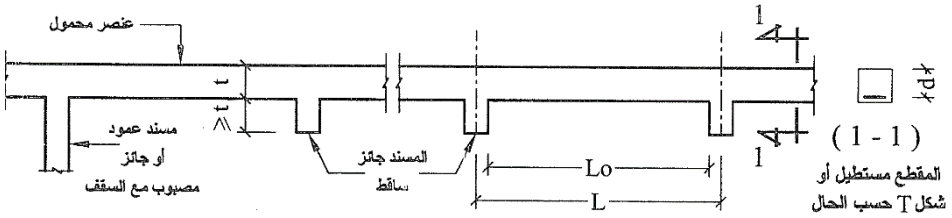
وتحسب الارتفاعات على الشكل التالي:

- في حال كون القبو طابقا عاديا لا يحتوي على جدران استنادية محيطية، أو في حال عدم وجود قبو تحسب الارتفاعات ابتداء من المنسوب العلوي للشيناج المرتبط بالأساسات.
- في حال كون القبو يحتوي على جدران استنادية (محيطية ومستمرة ومرتبطة مع الأعمدة في القبو) ولا يتخللها فاص (تمدد أو هبوط) من البيتون المسلح وعلى جدران قص مستمرة حتى الأساسات، ومع وجود شيناجات رابطة للأساسات بالاتجاهين تحسب الارتفاعات ابتداء من المنسوب العلوي لسقف القبو.

2-11- تعيين المجازات الفعالة

☒ المجازات الفعالة للبلاطات والأعصاب والجوائز:

أ- المسند مصبوب بشكل مستمر مع العنصر المحمول، ويكون المسند عموداً أو جداراً أو جائزاً ساقطاً ذا ارتفاع لا يقل عن مثلي ارتفاع العنصر المحمول، كما هو مبين في الشكل التالي:



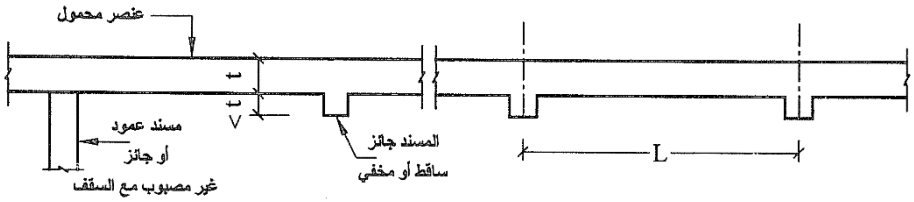
يؤخذ المجاز الفعال لكل فتحة من الجائز أو العصب أو البلاطة حسب الحال، سواءً كان الاستناد بسيطاً أو مستمراً، مساوياً القيمة الأدنى من القيم الثلاث التالية:

- المسافة بين محوري الركيزتين (L).
- المسافة الحرة بين الركيزتين (L0) مضافاً إليها العمق الفعال d.
- المسافة الحرة بين المسندين (L0) مضروبة بالمعامل 1.05

علماً أن:

العمق الفعال d هو المسافة بين مركز تسليح الشد وحافة المقطع الأكثر انضغاطاً.

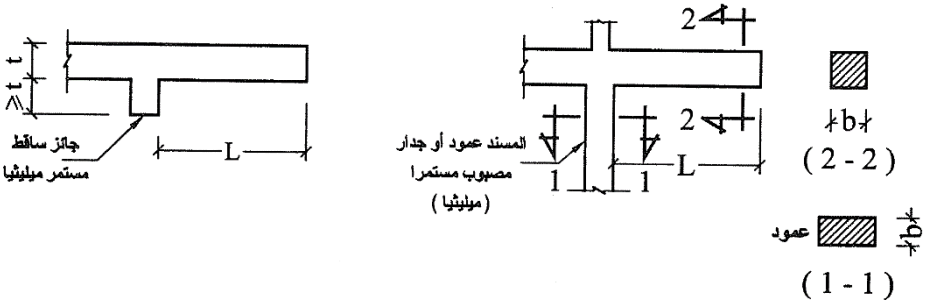
ب- المسند هو جائز مصبوب مستمراً مع العنصر المحمول وذو ارتفاع يقل عن مثلي ارتفاع العنصر المحمول، أو جائز مخفي، وكذلك عندما يكون المسند هو عمود أو جدار أو جائز ساقط غير مصبوب مستمراً مع العنصر المحمول، كما هو مبين في الشكل التالي:



يؤخذ المجاز الفعال لكل فتحة من الجائز أو العصب أو البلاطة حسب الحال (سواء كان الاستناد بسيطاً أو مستمراً) مساوياً المسافة بين محوري المسندين، ويمكن أن يؤخذ تأثير عرض المسند في تعديل قيمة العزم السالب عن القيمة عند محور المسند.

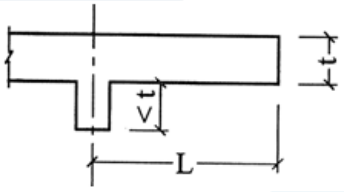
☒ المجازات الفعالة للعناصر الظفرية:

أ) المسند مصبوب مستمر مع الظفر المحمول، ويكون المسند عموداً له نفس العرض، أو جداراً أو جائزاً ساقطاً لا يقل ارتفاعه عن مثلي ارتفاع الظفر المحمول، كما هو مبين في الشكل التالي:

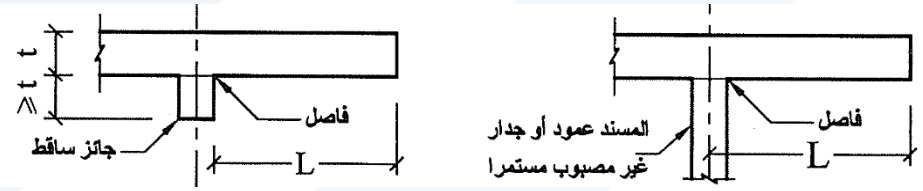


يؤخذ المجاز الفعال للعنصر الظفري حسب الحال مساوياً إلى مجازه من الطرف الحر حتى وجه المسند.

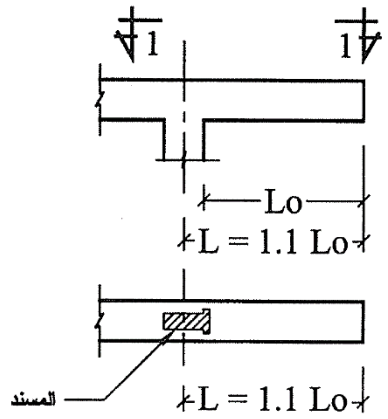
ب) الظفر المستند على جائز مخفي أو على جائز ساقط بارتفاع يقل عن مثلي ارتفاع الظفر المحمول:



ت) الظفر المستند على عمود أو جدار أو جائز ساقط غير مصبوب معه بشكل مستمر:



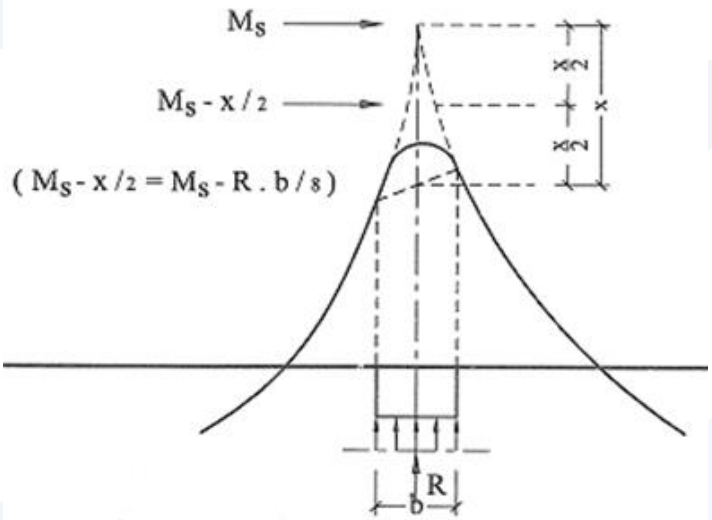
ث) الظفر المستند على مسند ذي عرض يقل عن 70% من عرض الظفر:



ملاحظة: في حال تخشين السطح بين المسند والعنصر المحمول ومن ثم تنظيفه وتنفيذ روبة إسمنتية فوقه عند الصب فيمكن تصنيفه مصبوباً مستمراً.

☒ **أخذ عرض المسند بالحسبان عند حساب العزوم السالبة (حالة الجوائز المستمرة):**

عندما تحسب العزوم في الجوائز المستمرة على أساس الأبعاد بين المحاور يمكن تعديل قيمة العزم السالب عند المسند باعتبار رد فعل هذا المسند موزعاً على عرضه بصورة منتظمة مما يسبب عزماً معاكساً للعزم السالب فوق المسند، وذلك كما هو مبين في الشكل التالي:



2-12- الطول الفعال لتحنيب الجدران الحاملة

يمكن في الأبنية العادية، التي لا يزيد ارتفاعها على 50 متر، والتي جدرانها مقواة ضد الانزياح الجانبي، اعتماد الآتي:

1) المسافة الشاقولية بين طابقين متتالين،

2) المسافة الأفقية بين عنصرين شاقوليين ساندين للجدار الحامل.

أما في غير هذه الحالة الخاصة، فيرجع للكود وللتحاليل الأكثر دقة.

2-13- أطوال جدران القص في المسقط الأفقي

يفضل ألا يقل طول (عمق) المقطع العرضي الأفقي لجدار القص، دون فتحات بشكل ظفر، عن: 1/10-12 من الارتفاع الكلي للجدار، إلا إذا تحققت السهوم. ويمكن اعتماد الجدول المذكور سابقاً حول "الاستغناء عن التحليل الزلزالي" (لصالح الأمان). ونؤكد على ضرورة زيادة الطول في حال وجود فتحات.

2-14- التقدير الأولي لأبعاد المقاطع العرضية للعناصر الإنشائية

يخضع اختيار أبعاد المقاطع العرضية لشروط متعددة، يمكن تلخيصها كما يلي:

- **الشرط المعماري:**

الأبعاد التي تناسب الدراسة المعمارية. في بعض الحالات تضع الدراسة المعمارية حدوداً قصوى على الأبعاد الإنشائية، ويلزم الالتزام بهذه الأبعاد، إلا إذا كانت لا تحقق السلامة الإنشائية، عندها يلزم مناقشة المعماري للاتفاق على أبعاد مناسبة مقبولة إنشائياً. كما قد تطلب أبعاداً تزيد كثيراً على المطلوب إنشائياً، ويلزم الالتزام بها إذا كانت أساسية من الناحية المعمارية.

- **شرط السهم:**

يتعلق أساساً بالعناصر المعرضة لعزوم انعطاف، نص الكود على ارتفاعات دنيا لتحقيق شرط السهم، وفي حال اعتماد ارتفاعات أقل منها، يطلب الكود تحقيق السهم حسابياً. وينصح باعتماد الارتفاعات المطلوبة لشرط السهم (ما دام ذلك ممكناً)، خاصة وأن النزول عنها يعني زيادة في كمية التسليح، إضافة لضرورة التحقيق الحسابي.

- **شرط التحنيب الجانبي:**

يتعلق بالعناصر المعرضة لإجهادات الضغط، كالأعمدة، وكالجوائز عندما يكون جناحها المضغوط ذا عرض قليل.

ففي حالة الجوائز، إذا كانت الجهة المعرضة للضغط من الجائز غير مسنودة جانبياً (حالة جائز مقلوب مثلاً)، فيمكن أن يتعرض الجائز للتحنيب الجانبي، ويلزم تخفيض مقاومته (الكود السوري)، كما هو مبين في الجدول الآتي:

$\frac{L}{b_w}$	$30 \geq$	35	40	45	50	55	60
عامل التخفيض	1	0.875	0.75	0.625	0.5	0.375	0.25

ملاحظة: من أجل الظفر يؤخذ الطول L مساوياً ضعف طول الظفر من وجه المسند.

وفي حالة الأعمدة، يعد العنصر المضغوط (العمود):

- طويلاً إذا زادت نسبة أحد طوليه الحسابيين (بالاتجاهين المتعامدين) على سمك قطاعه في الاتجاه المعتمد على 12 بالنسبة لعمود ذي مقطع مستطيل أو مربع و 10 بالنسبة لعمود ذي مقطع دائري.
- قصيراً إذا لم تزد النسبة عن القيم المحددة أعلاه.
- في حالة الأعمدة ذات المقاطع غير المستطيلة أو الدائرية، يعد العمود طويلاً إذا زادت نحافته ($\lambda = L_0/i$) على 40، حيث $i = \sqrt{(I/A)}$ هي نصف قطر العطالة في الاتجاه المدروس.

- **شرط الصلابة:**

يتعلق مباشرة بالأساسات، وذلك لتأمين صلابة مناسبة قادرة على توزيع الأحمال توزيعاً منتظماً.

- **شرط التشقق:**

يتعلق أساساً بالوسط المحيط بالمنشأة وبالعناصر الحاملة. ويلزم الكود السوري حساب السماكات للعناصر الواقعة بتماس مع الماء بحيث لا يزيد عرض الشق على 0.1mm، بينما في المنشآت العادية، يمكن أن يصل عرض الشق إلى 0.3mm .

- **شرط المقاومة:**

مقاومة الجهود والقوى التي يمكن أن يتعرض لها المقطع، وهي:

- عزوم الانعطاف : M_x - M_y
- عزم فتل: T (أي عزم حول المحور z)
- قوة ناظميه: N (على المحور z)
- قوتا قص: هما V_x - V_y.

بالتالي يمكن القول أن شرط المقاومة يتضمن ثلاثة شروط أساسية يمكن تلخيصها كما يلي:

- شرط العزم، وهو الذي يحكم التصميم عادة بالعناصر المنعطفة ذات المجازات الطويلة نسبياً والأحمال غير الثقيلة.

- شرط القص، وهو الذي يحكم التصميم عادة بالعناصر المنعطفة ذات المجازات القصيرة نسبياً والأحمال الثقيلة. ويتفرع عن هذا الشرط، شرط الثقب، وهو الذي يحكم التصميم عادة في البلاطات المعرضة لأحمال ثقيلة مركزة، كالبلاطات الفطرية والأساسات.
- شرط الضغط، وهو الذي يحكم التصميم عادة بالعناصر المضغوطة كالأعمدة.

مع ملاحظة أنه يمكن أن يتعرض العنصر الإنشائي لأكثر من قوة، من القوى السابقة بالوقت ذاته. مثلاً تتعرض جدران القص والأعمدة (في حالة الزلازل) لقوى ناظمية ولعزوم انحناء ولقص أفقي، ويلزم تصميمها لمقاومة هذه القوى.

أخيراً، وبعد اختيار الأبعاد الأولية للعناصر الإنشائية من الشروط السابقة، يتم حساب الأحمال على العناصر، ثم يتم التحليل الإنشائي لهذه العناصر وحساب القوى المعرضة لها من عزوم وقوى قص وقوى ناظمية، وبعدها يتم التحقق من كفاية هذه الأبعاد وحساب التسليح اللازم. أما إذا ثبت أن الأبعاد المختارة من الشروط الخمسة السابقة غير كافية لمقاومة القوى والعزوم الناتجة عن التحليل الإنشائي، فيلزم زيادة هذه الأبعاد حتى الوصول للأبعاد المناسبة. إذا احتجنا لزيادة الأبعاد بنسبة لا تتعدى 25%، يمكن إهمال الزيادة في الوزن الذاتي، ولا حاجة لإعادة التحليل الإنشائي. أما إذا تعدت الزيادة في الأبعاد نسبة 25% فيلزم أخذ زيادة الوزن الذاتي للعنصر بالحسبان وإعادة التحليل.