مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (36) العدد (3) 2014
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (36) No. (3) 2014

حساب الجوائز البيتونية العميقة باستخدام نموذج جائز شبكي

غصون ميشال اندراوس*

(تاريخ الإيداع 3 / 10 / 2013. قُبِل للنشر في 22/ 6 / 2014)

□ ملخّص □

تُعَدُّ الجوائز العميقة من العناصر الإنشائية المهمة، التي نصادفها في بعض المنشآت كجدران الصوامع والخزانات، والجوائز القصيرة المجاز، والجوائز الحاملة للرافعات وأساسات الآلات ولغيرها من المنشآت الخاصة. حيث كان يتم حساب هذه الجوائز وتصميمها بطرق مبسطة تعتمد على علاقات حساب تقريبية لا تأخذ بعين الاعتبار السلوك الفعلي لهذه الجوائز.

يهدف البحث إلى دراسة سلوك الجوائز العميقة، وتوزع الإجهادات الداخلية فيها، وذلك باستخدام نموذج جائز شبكي، حيث يعتمد هذا النموذج على تمثيل الأجزاء المضغوطة من الجائز العميق بعناصر ضغط والأجزاء المشدودة منه بعناصر شد، أي تمثيل الجائز العميق بجائز شبكي مكافئ مؤلف من عناصر ضغط وعناصر شد، وذلك حسب توضع الأحمال عليه من أجل الوصول إلى الحل الأمثل الذي يحاكي السلوك الفعلي اللاخطي لهذه الجوائز.

الكلمات المفتاحية: الجوائز العميقة، العناصر المشدودة، العناصر المضغوطة، توزع الإجهادات، السلوك اللاخطي للجوائز.

* مهندسة مدنية (مشرفة على الأعمال) في قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (36) العدد (3) 2014
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (36) No. (3) 2014

Analysis of Deep Concrete Beams by using the Strut-and-Tie Model

Ghousson Michel Andrawes*

(Received 3 / 10 / 2013. Accepted 22 / 6 / 2014)

□ ABSTRACT □

The deep concrete beams are an important structural members, which we can see in some of structures as: the walls of tanks, hermitages, beams with short spans, girders of cranes, foundations of machines, and some of special structures. The design of these beams was depending on an approximate methods, regardless of the actual behavior for that beams.

The aim of this research is, to study the actual behavior of deep beams, and distribution of stresses, which differs from normal beams partly. We will use the strut-and-tie model, which offers: compressive parts of deep beam are equivalent to compression members, and tensile parts are equivalent to tension members, so the deep beam will be equivalent to a truss beam with compression and tension members, with different cases of loading, in order to obtain the optimum analysis of the actual nonlinear behavior of deep beams.

Keywords: deep beams, tensile members, compressive members, distribution of stresses, the nonlinear behavior.

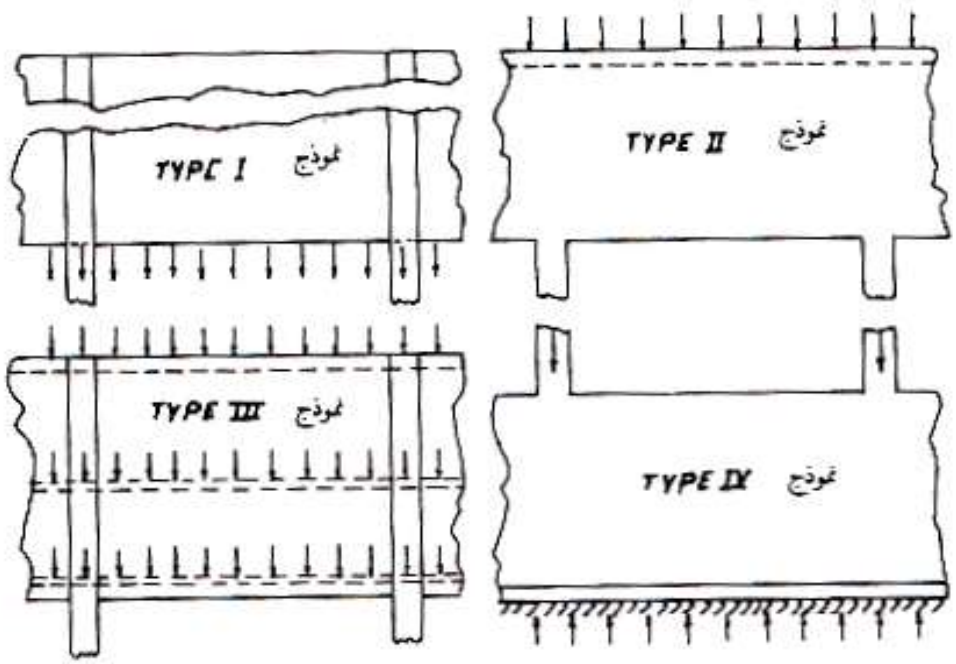
* **Civil Engineer (Supervisor), Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

يعدّ الجائز عميقاً عندما تكون النسبة بين مجازه L وارتفاعه الكلي h لا تزيد عن 2 بالنسبة للجوائز البسيطة، وعن 2.5 بالنسبة للجوائز المستمرة، وذلك عند التصميم لمقاومة العزم، أما عند التصميم لمقاومة القص فلا تزيد النسبة بين مجاز الجائز وارتفاعه عن 5. وعندما يزيد الارتفاع h عن المجاز L، يُعد جزءاً من الجائز بارتفاع L هو الارتفاع الكلي للجائز أي $h \leq L$. ويؤخذ الارتفاع الفعال للجائز العميق ليساوي 0.9 من ارتفاعه الكلي. [2] [1]

تُصادف الجوائزُ العميقة في الكثير من المنشآت، وبشكل خاص في الحالات الآتية (الشكل(1)): [3] [1]

- جدران الصوامع (أو المنشآت المشابهة) كالقواديس ذات المقاطع المستطيلة المحملة من الأسفل (نموذج I).
- الجوائز القصيرة المجاز والمحملة من الأعلى (نموذج II).
- جدران القص المحمولة على أعمدة والمحملة عند منسوب أو أكثر، الحاملة لأكثر من سقف (نموذج III).
- جدران الأقبية (نموذج IV)، المحملة موضعياً بأعمدة التي تكون صلابتها كافية لقبول توزيع خطي لردود فعل الأرض تحت أساس الجدار. وتجدر الإشارة هنا إلى أن هذه الجدران لا تخضع لقواعد الجوائز العميقة إلا إذا كانت الأحمال الشاقولية المنقولة بواسطة الأعمدة لها نفس قيمة ردود فعل مسند الجائز المقلوب، والذي يفترض أنه يرتكز على هذه الأعمدة المعدودة بصفة مساند ثابتة ومحمل برد فعل التربة الذي يفترض أنه موزع خطياً، وفي هذه الحالة فإن توازن نموذجها مماثل لتوازن نموذج الجوائز القصيرة المحملة من الأعلى.
- جدران الخزانات متوازية المستطيلات المحمولة على أعمدة، والمحملة من الأسفل أو من الأسفل والأعلى.
- جوائز حصائر الأساسات المحملة من الأسفل.
- الجوائز الحاملة للرافعات وأساسات الآلات، المحملة بقوى مركزة، نظراً لصغر الحمولات الموزعة الناتجة عن الوزن الذاتي مقابل هذه الحمولات الكبيرة.



الشكل (1) بعض نماذج الجوائز العميقة

أهمية البحث وأهدافه:

هدف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة سلوك الجوائز العميقة، وتوزع الإجهادات الداخلية فيها الذي يختلف جزئياً عن الجوائز العادية وحسابها، وذلك باستخدام نموذج جائز شبكي (strut–and–tie model)، حيث يعتمد هذا النموذج على تمثيل الأجزاء المضغوطة من الجائز العميق بعناصر ضغط، والأجزاء المشدودة من الجائز العميق بعناصر شد، أي تمثيل الجائز العميق بجائز شبكي مكافئ مؤلف من عناصر ضغط وعناصر شد، وذلك حسب توضع الأحمال عليه بغية الوصول إلى الحل الأمثل والأقرب لواقع السلوك اللاخطي الفعلي لهذه الجوائز.

منهجية البحث:

تتمثل بدراسة نظرية لسلوك الجوائز العميقة كما جاءت في المراجع العلمية، مع دراسة تحليلية للعلاقات الناظمة لهذا السلوك للوصول إلى علاقات تصميم تعتمد على تمثيل الجائز العميق باستخدام النموذج المكافئ وهو نموذج جائز شبكي (strut–and–tie model).

الدراسة المرجعية:

قدمت الكثير من المراجع طرقاً تحليلية ودراسات تجريبية عن الجوائز البيتونية العميقة، نذكر منها:

1– الكود العربي السوري [1] الذي اعتمد في الدراسة التحليلية للجوائز العميقة على طرق التحليل النظري للإجهادات والقوى الداخلية المتولدة في العناصر وفق النظريات المطبقة على الصفائح المحملة في مستويها، مع الأخذ بعين الاعتبار التوزع غير الخطي للإجهادات. أما في حالة الجوائز العميقة المعرضة لأحمال موزعة بانتظام وذات المجازات المتساوية أو شبه المتساوية وفي حال عدم وجود فتحات كبيرة ضمنها فيعتمد الكود العربي السوري الطريقة المبسطة الواردة في البند (8–7–3) منه من أجل تحليل هذه الجوائز وحساب تسليحها وفق حالة حد تجاوز الإجهادات المسموح بها، حيث يعرض الكود السوري علاقات حساب التسليح الرئيسي في حالة كان الجائز العميق بسيطاً أو مستمراً، ويضع اشتراطات لشكل هذا التسليح وتوضعه، كما يعرض كيفية حساب التسليح الثانوي (الشاقولي والأفقي) في الجوائز العميقة.

2– عرض د. بدورة و د. زين الدين في كتابهما [3] قواعد تصميم الجوائز العميقة لمقاومة عزم الانعطاف وقوى القص مع حساب التسليح اللازم، وذلك عندما يكون الجائز بسيطاً أو مستمراً.

كما قدّما شرحاً عن توزع الإجهادات في الجوائز العميقة، حيث يكون توزع الاجهادات خطياً على كامل ارتفاع المقطع في حالة الجوائز العادية عندما L/h>5، وذلك حسب النظرية الهندسية للجوائز العادية، حيث الجائز حين تعرضه لعزم انعطاف تنتج تشوهات في مقاطعه، ولكن المقاطع المستوية قبل التشوه تبقى مستوية بعد التشوه، وبالتالي يكون التناسب طردياً في أية نقطة فيما بين التشوه في هذه النقطة و بين بعدها عن المحور السليم. وبما أن الإجهادات تتناسب خطياً مع التشوهات وفق عامل المرونة $\sigma = E \times \varepsilon$ فيكون توزعها أيضاً خطياً مع بعد النقطة المدروسة عن المحور السليم أما عندما تقل النسبة L/h عن 5 نجد أن افتراض السلوك الخطي يصبح غير دقيق، ولا يمثل السلوك الفعلي للجائز، وتنحرف الإجهادات في المقاطع عن التوزع الخطي وتتحول إلى التوزع المنحني، ويزداد هذا الانحناء مع نقصان النسبة L/h حتى تصل إلى الواحد ويصبح h=L، حيث نجد في الجوائز التي يزيد ارتفاعها عن مجازها أن

الجزء العلوي من الجائز الذي يزيد ارتفاعه عن L يصبح غير فعال وتنشأ فيه إجهادات بسيطة يمكن إهمالها كما هو مبين في الشكل (2).

يتم حساب الإجهادات المبينة في الشكل (2) بالاعتماد على نظرية المرونة لحالة الصفائح المحملة في مستويها وذلك بحل المعادلة التفاضلية الجزئية الآتية:

$$\frac{\partial^4\phi}{\partial x^4}+2\cdot\frac{\partial^4\phi}{\partial^2 x\cdot\partial^2 y}+\frac{\partial^4\phi}{\partial y^4}=0$$

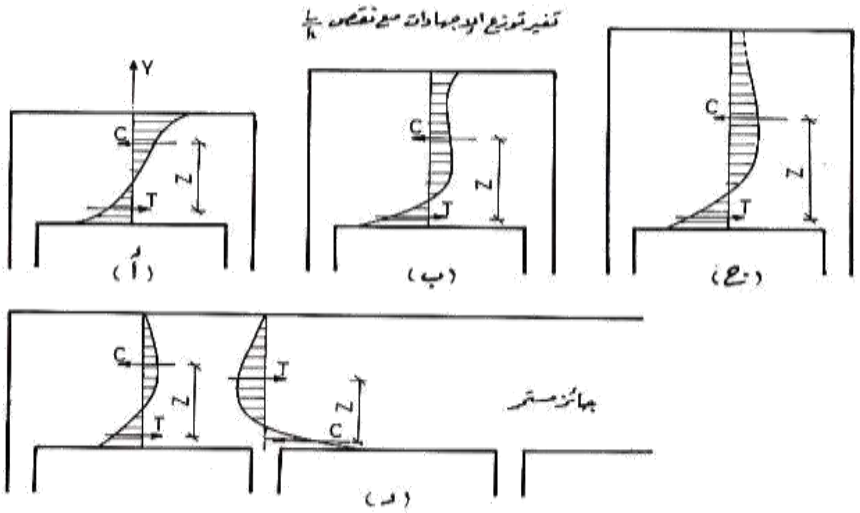
$$\sigma_X=\frac{\partial^2\phi}{\partial y^2}\quad,\quad \sigma_Y=\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2}\quad,\quad \tau_{XY}=\frac{\partial^2\phi}{\partial x\cdot\partial y}$$

ϕ – تابع الإجهادات.

σ_X – الإجهاد الناظمي في اتجاه المحور X.

σ_Y – الإجهاد الناظمي في اتجاه المحور Y.

τ_{XY} – إجهاد القص.



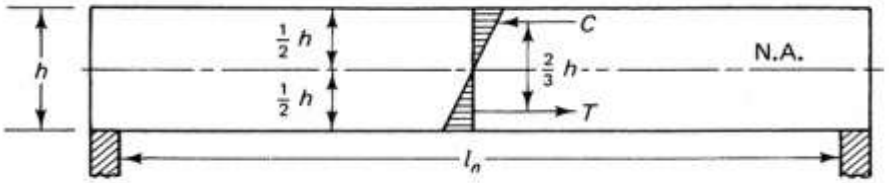
الشكل (2) تغير توزع الإجهادات مع تناقص L/h

وباعتبار أن الحل بهذه الطريقة يحتاج إى الحاسب الإلكتروني، لذلك تمَ حساب الجوائز العميقة سابقاً باللجوء إلى قواعد مبسطة تساعد في التصميم وتحقق شروط الأمان والاستثمار، وهي علاقات حساب للتسليح حسب استناد الجائز بسيطاً أو مستمراً بالإضافة إلى مجموعة اشتراطات موضحة في الكود العربي السوري.

3- قدّم Edward.G.Nawy [4] تعريفاً للجوائز العميقة، مبيّناً السلوك اللاخطي لتلك الجوائز وموضّحاً معايير تصميم الجوائز العميقة لمقاومة القص وفق علاقة قوة القص الحدية مع أبعاد المقطع العرضي ومقاومة البيتون وذلك كما وردت في الكود العربي السوري. كذلك عرض معايير التصميم لمقاومة الانعطاف لكل من الجائز البسيط والجائز المستمر، وطريقة حساب التسليح اللازم لمقاومة العزم المطبق.

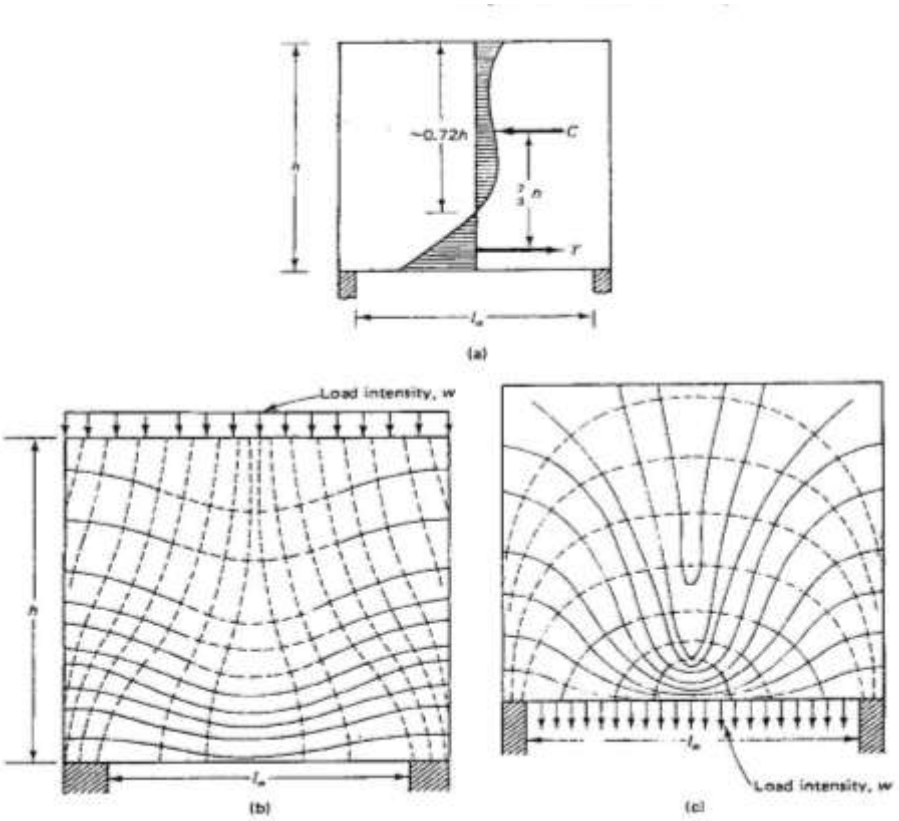
إن السلوك اللاخطي للجوائز العميقة يجعل المقاطع المستوية قبل التشوه غير مستوية بعد التشوه، كما لا يكون توزع التشوهات خطياً، وتصبح التشوهات الناتجة عن القص (والتي كانت مهملة في الجوائز العادية) مهمة مقارنة مع حالة الانعطاف الصافي، ويصبح مخططُ الإجهادات غير خطي حتى في المنطقة المرنة.

في حالة الحمولة القصوى للجوائز العادية لا يكون مخطط توزع الإجهادات على الضغط في البيتون بشكل قطع مكافئ، ويبين الشكل (3) التوزع المرن للإجهادات في منتصف جائز عادي قبل التشقق حيث تتراوح نسبة المجاز الفعال إلى الارتفاع مابين 3.5 و 5 .



الشكل (3) التوزع المرن للإجهادات في الجوائز العادية

في حين يبين الشكل (4–a) التوزع اللاخطي للإجهادات في الجوائز العميقة تبعاً لتوزع التشوهات غير الخطي، حيث تتجاوز إجهادات الشد الأعظمية في الليف السفلي المشدود إجهادات الضغط وهذا ما يوضحه مسار الإجهادات في الشكل (4).



الشكل (4) التوزيع المرن للإجهادات في الجوائز العميقة

a) جائز عميق ($L_n/h \leq 1.0$). b) مسار الإجهادات الرئيسية في جائز عميق محمل من الأعلى بحمولة موزعة شدتها w.

c) مسار الإجهادات الرئيسية في جائز عميق محمل من الأسفل بحمولة موزعة شدتها w.

من الشكل (4) نلاحظ أن البيتون يتشقق باتجاه عمودي على مسار إجهادات الشد الرئيسية، ومع ازدياد الحمولة تتسع التشققات وتزداد، لذلك يتناقص مقطع البيتون الذي سيتحمل الإجهادات، وبالمقابل تتأثر إجهادات الضغط عند المساند بقيمة واتجاه إجهادات الشد فتصبح أقل ميلاً وقيمةً. وفي معظم الحالات تكون التشققات تابعة لمسار الضغط، ويبدأ الجائز بالانهيار نتيجة القص. لذلك في حالة الجوائز العميقة نحتاج تسليحاً أفقياً على كامل ارتفاع الجائز بالإضافة لتسليح القص الشاقولي على طول المجاز. وكما يظهر في الشكل (4-b-c) فإن الميل الشديد لمسار إجهادات الشد في الألياف السفلية يوجب تكثيف قضبان التسليح الأفقية في الأسفل لمقاومة إجهادات الشد العالية في الجائز. وبالنتيجة نجد أن القص هو المسيطر في تصميم الجوائز العميقة.

إن زيادة نسبة الارتفاع الفعال إلى المجاز في الجوائز العميقة يؤدي إلى زيادة في مقاومتها لحمولات القص الخارجية مقارنة بالجوائز العادية، وذلك تبعاً لمبدأ العمل القوسي للجزء العلوي المضغوط من الجائز.

4- قدّم Garay-Moran and S. Lubell [5] دراسة تجريبية لمجموعة من الجوائز البيتونية العميقة المسلحة بفولاذ عالي المقاومة، بالاعتماد على طريقة strut-and-tie، أي تمّ تمثيل الجائز العميق بجائز شبكي، تقوم فيه العناصر المضغوطة والمشدودة بنقل الحمولات من نقاط التحميل إلى المساند.

كما أجرى الباحثان مقارنة بين الطرق التقليدية التي تعتمد فرضيات برنولي وبين طريقة strut-and-tie التي تطبق في مناطق التشوهات اللدنة في الجائز، وتبين بالنتيجة أن طريقة strut-and-tie هي التي تعطي تصور دقيقاً واضحاً عن السلوك الحقيقي للجوائز العميقة في المناطق التي يكون فيها توزع التشوهات غير خطي.

5- قدّم Sudarshan D.kore و S.S.Patil [6] دراسة تجريبية عن مقاومة وسلوك الجوائز العميقة، الخاضعة لقوتين مركزتين، مع اختلاف نسبة المجاز إلى الارتفاع الكلي، وذلك استناداً إلى مجموعة من الكودات العالمية: INDIAN.STANDERD CODE, NEWZEALAND,CANADIAN,CIRIA GUIDE-2, and APPENDIX-A of ACI -318.

وذلك بهدف إجراء مقارنةٍ بين الكودات السابقة من حيث طريقة تحليل وتصميم الجوائز العميقة على الانعطاف والقص، وتبين أن طريقة strut-and-tie التي أخذت من الكود ACI-318، هي الطريقة الفضلى لتصميم الجوائز البيتونية العميقة على الانعطاف والقص.

6- قدّم W.T.Yap [7] نموذج للجوائز البسيطة القصيرة المجاز التي تكون فيها نسبة المجاز إلى الارتفاع أقل من 2، بالاعتماد على طريقة strut-and-tie وذلك لمعرفة أشكال انهيار هذه الجوائز على القص. حيث تسمح معظم الكودات باستخدام هذه الطريقة في الجوائز القصيرة المجاز في مناطق التشوهات اللدنة، حيث يكون القص هو الشكل الحرج للانهيار.

الدراسة التحليلية:

تطرقنا فيما سبق لبعض الدراسات المرجعية حول موضوع الجوائز العميقة، وفيما يلي سنقوم بدراسة تحليلية للجوائز العميقة المحملة بحمولات مركزة من الأعلى وذلك باستخدام نموذج جائز شبكي.

يتلخص المبدأ الأساسي لرسم النموذج بتحديد الحزم المائلة للإجهادات الضاغطة والحزم الأفقية للإجهادات الشادة التي تشكل معاً ما يُسمى نموذج جائز شبكي (strut-and-tie model)، لحساب الجوائز العميقة.

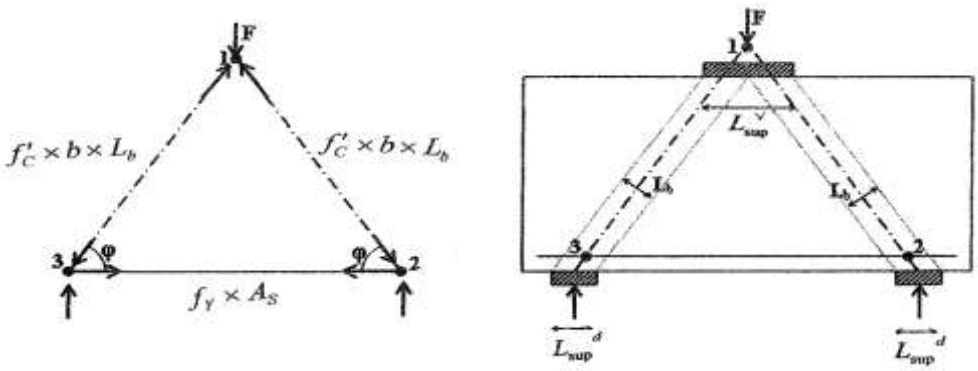
إن العوامل الأساسية التي تلعب دوراً في رسم النموذج الحسابي للجوائز العميقة، تحديداً في رسم الحزم المائلة لإجهادات الضغط هي مساحة تطبيق الحمولة، والمساحة المائلة التي تحمل حزمة الإجهادات الضاغطة المائلة، حيث

يزداد تركز الإجهادات مع نقصان هذه المساحات. ومن ثم فإن مساحة تطبيق الحمولة ومساحة الاستناد يشكلان معاً حزمة الإجهادات المائلة التي يحدد عرضها من الأعلى ومن الأسفل وفقاً لتلك المساحات.

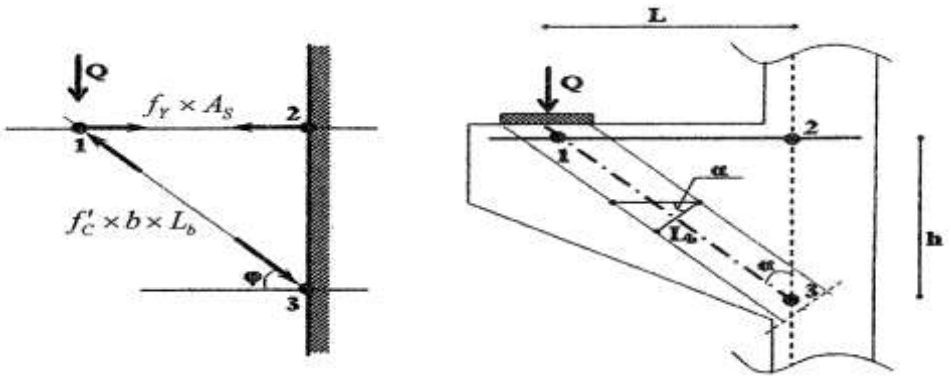
لقد بينت المعطيات التجريبية وجود شكلين لانهيار عناصر الجوائز العميقة، هما انهيار المقاطع المائلة نتيجة إجهادات الضغط أو انهيار المقاطع الأفقية الخاضعة للشد، ومن ثم هناك شكلان حسابيان هما حساب مقاومة المقاطع المائلة للضغط وحساب مقاومة التسليح الأفقي للشد.

النتائج والمناقشة:

لقد بينت الدراسات التجريبية أن زاوية ميل حزمة الإجهادات المائلة الضاغطة الرئيسية تقارب زاوية ميل الخط الواصل بين مركز تطبيق الحمولة ومركز مساحة الاستناد، وتحدد هذه الزاوية يأخذ مركز قوة الاستناد على مستوى التسليح المشدود حيث يشكل تقاطع قوة الاستناد مع محور التسليح المشدود عقدة في النموذج الحسابي المنشود، ويؤخذ مركز قوى التحميل على الليف الأقصى العلوي فيشكل عقدة أخرى من النموذج، وهذه النقطة هي نفسها نقطة تقاطع محوري الحزمتين المائلتين للإجهادات الضاغطة، وتشكل النقاط الثلاثة المذكورة النموذج المطلوب. الشكل (5) والشكل (6). [8]



الشكل (5) النموذج الحسابي لجائز بسيط



الشكل (6) النموذج الحسابي لجائز ظفري

لقد بينت التجارب أن خصوصية إنشاء الجوائز العميقة بأشكالها المختلفة وأشكال تحميلها المختلفة ، أن لا تغير من المبدأ الأساسي لرسم النموذج الحسابي. ويرسم هذا النموذج الحسابي بطريقة مشابهة تأخذ بعين الاعتبار كل شكل من أشكال العنصر أو من أشكال تحميله. ويبين الشكل (5) النموذج الحسابي لجائز بسيط، والشكل (6) النموذج الحسابي لجائز ظفري (كتف).

إن عرض حزمة الإجهادات الضاغطة ليس ثابتاً بل هو متغير، فهو يساوي عرض مساحة التحميل من الأعلى وعرض مساحة الاستناد من الأسفل، وفي أي نقطة أخرى يؤخذ عرضها من التناسب بين العرضين. وفي الحالة العامة تأخذ حزمة الإجهادات الضاغطة شكل شبه المنحرف، حيث يشكل الخط الواصل بين نقاط النموذج أسفل الجائز محور حزمة إجهادات الشد الذي يطابق محور التسليح المشدود.

تتمثل الحالة الحدية للعنصر في وصول الإجهادات الضاغطة في البيتون إلى قيمتها الحدية f'_C وتكون موزعة بانتظام على مساحة الحزمة كاملةً أما الحالة الحدية للتسليح المشدود فتتمثل بوصول الإجهاد في التسليح إلى قيمته الحدية f_Y . ويتحقق شرط المقاومة في الحالة الحدية إذا تحققت العلاقات الآتية:

$$F \le 2 \cdot f'_C \cdot b \cdot L_b \cdot Sin\varphi$$

$$F \le f_Y \cdot A_S \cdot tg\varphi$$

حيث: f'_C – المقاومة المميزة للبيتون. f_Y – المقاومة المميزة للفولاذ.

b – سماكة العنصر. A_S – مساحة التسليح.

φ – زاوية ميل حزمة الإجهادات الضاغطة المائلة الموزعة بانتظام على كامل عرض الحزمة وسماكة العنصر.

L_b – عرض حزمة الإجهادات الذي يساوي القيمة الوسطية بين ${L_b}^V$ و ${L_b}^d$ التي تعطى بالعلاقتين الآتيتين:

$${L_b}^V = 0.5 \times {L_{\sup}}^V \times Sin\varphi$$

$${L_b}^d = {L_{\sup}}^d \times Sin\varphi$$

حيث: ${L_{\sup}}^V$ – عرض التحميل. ${L_{\sup}}^d$ – عرض الاستناد.

لا بد من التنويه إلى أنه في حال نقصان مساحة الاستناد قد يتم انهيار البيتون في مكان تطبيق القوة ومن ثم تشقق البيتون بشكل مطابق تقريباً لحزمة الإجهادات الضاغطة. وقد بينت التجارب أن هذه الظاهرة تحدث عندما يكون:

$$F \rangle 3.5 \times R_{bt} \times b \times h_0$$

حيث: R_{bt} – مقاومة البيتون للشد.

b – سماكة العنصر البيتوني.

h_o – الارتفاع الفعال للعنصر البيتوني.

ويكون الانهيار في هذه الحالة ناتج عن ما يسمى ظاهرة الانفلاق (الفلق).

وفي حالة الأظفار القصيرة يجب علينا تدقيق زاوية الميل الحسابية لحزمة الإجهادات وشكلها، بسبب غياب مساحة الاستناد الحقيقية، حيث تؤخذ بالنسبة للخط الأفقي الواصل بين الحد الخارجي لمساحة التحميل بموازاة التسليح المشدود مع رأس الزاوية السفلية للظفر مع العمود، ويؤخذ عرضها ثابتاً على كامل الطول ومن ثم فإن مقاومة الأظفار القصيرة تحسب بالعلاقة الآتية:

$$Q \le f'_C \cdot b \cdot L_b \cdot Sin\varphi$$

$$Q \le f_Y \cdot A_S \cdot tg\varphi$$

ومن ثم فإن عرض حزمة الإجهادات يعطى بالعلاقة الآتية:

$$L_b = L_{\sup} \times Sin\varphi$$

وقد بينت التجارب أن القوة التي تؤدي إلى الانفلاق هي:

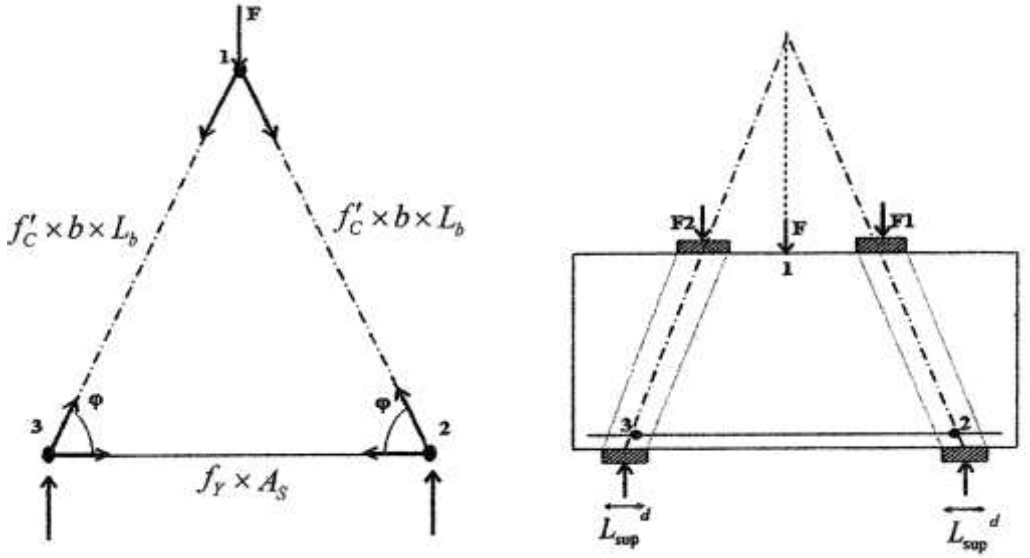
$$Q = 3.5 \times R_{bt} \times b \times h_0$$

تحسب جميع العناصر في الجوائز العميقة بطريقة مشابهة بعد أن يؤخذ بعين الاعتبار المتغيرات لكل حالة أثناء إنشاء النموذج الحسابي.

ونعرض فيما يلي أهم المتغيرات التي تؤثر في رسم النموذج الحسابي للجوائز العميقة:

1- تغير نظام التحميل:

عندما يكون الجائز العميق محملاً بحمولتين متناظرتين يكون النموذج الحسابي ومخطط حزم الإجهادات كما في الشكل (7): [9]



الشكل (7) النموذج الحسابي لجائز بسيط محمل بحمولتين مركزتين

2- احتساب التسليح العرضي:

يعد احتساب التسليح العرضي من أهم المسائل في حساب الجوائز العميقة؛ حيث يتوضع حديد التسليح في منطقة حزمة إجهادات الضغط بشكل مائل، ويقوم هذا التسليح بعملين أساسيين الأول هو ممانعة التشوه العرضي والمساهمة في تحمل إجهادات الضغط، والثاني هو ممانعة التشوهات على طول حزمة إجهادات الضغط، وتتعلق نسبة المساهمة في مقاومة العنصر من خلال العملية الأولى أو الثانية بمركبة قوة الضغط على المحور الطولي والعرضي لحزمة الإجهادات.

في هذه الحالة يكون شرط المقاومة وفق الحزمة المائلة للإجهادات مع الأخذ بعين الاعتبار التسليح العرضي، يكون على الشكل الآتي:

$$Q \le f'_C \cdot b \cdot L_b \cdot Sin\varphi + \left(T_{sw} + N_{sw}\right)$$

حيث: T_{sw} – القوة التي يتحملها التسليح الطولي بسبب مشاركته غير المباشرة لحزمة الإجهادات في مقاومة الضغط.

N_{sw} – القوة التي يتحملها التسليح العرضي من مساهمته المباشرة في تحمل إجهادات الضغط.

وتعطى قيم هذه القوى بالعلاقات التجريبية الآتية:

$$N_{sw} = \lambda_{s1} \cdot \mu_{sw} \cdot f_Y \cdot b \cdot L_b \cdot Cos\varphi$$

$$T_{sw} = \lambda_{s1} \cdot \lambda_{sw} \cdot \mu_{sw} \cdot f_Y \cdot b \cdot L_b \cdot Sin\varphi$$

حيث: λ_{s1} – عامل تجريبي يأخذ القيمة 0.9 .

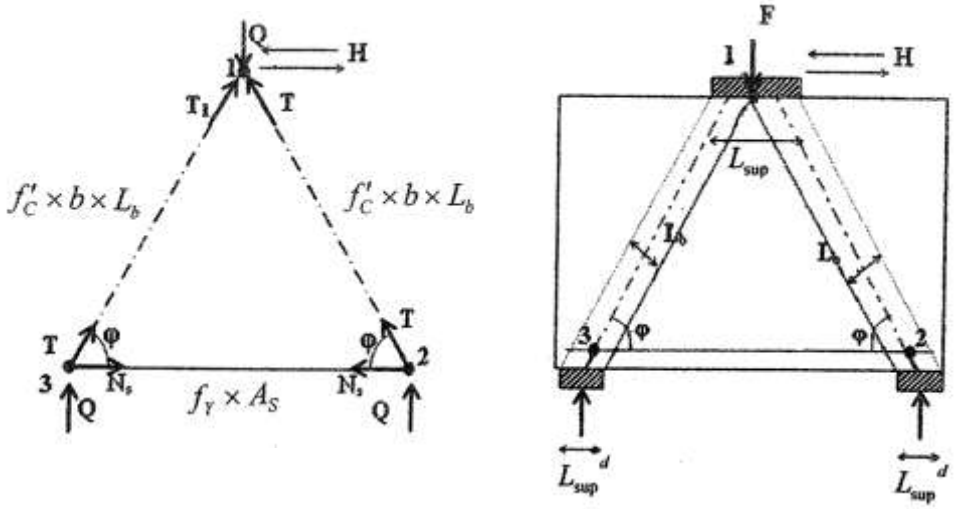
λ_{sw} – عامل يأخذ بعين الاعتبار تأثير التسليح المائل ويؤخذ من الكود المعتمد.

φ – الزاوية بين محور حزمة الإجهادات الضاغطة المائلة ومن محور التسليح المشدود الأفقي.

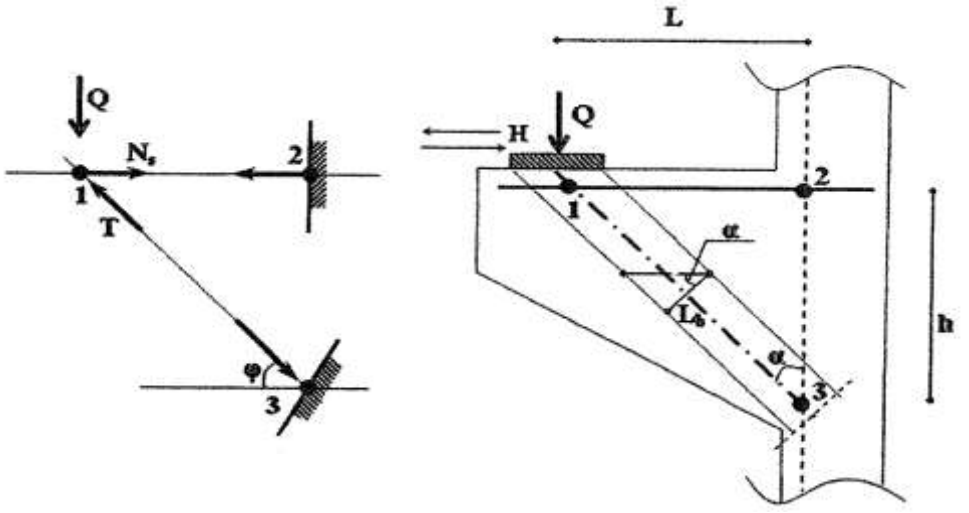
μ_{sw} – نسبة التسليح الإنشائي بالاتجاهين (الأفقي والشاقولي).

3– احتساب القوة الأفقية إضافة إلى القوة الشاقولية:

تؤدي القوة الأفقية المرافقة للقوة الشاقولية إلى الزيادة أو الإنقاص في طاقة تحمل العنصر البيتوني العميق، وذلك لأنها تؤدي إلى زيادة أو إنقاص الإجهادات في حزمة إجهادات الضغط أو في التسليح ويتم احتساب تأثير القوة الأفقية عن طريق إدخالها في جملة توازن القوى في عقدة النموذج الهيكلي المدروس. ويبين الشكل (a–8) والشكل (b–8) على الترتيب النموذجَ الحسابي لجائز بسيط ولجائز ظفري بوجود القوة الأفقية.



الشكل (a–8) النموذج الحسابي لجائز بسيط بوجود القوة الأفقية



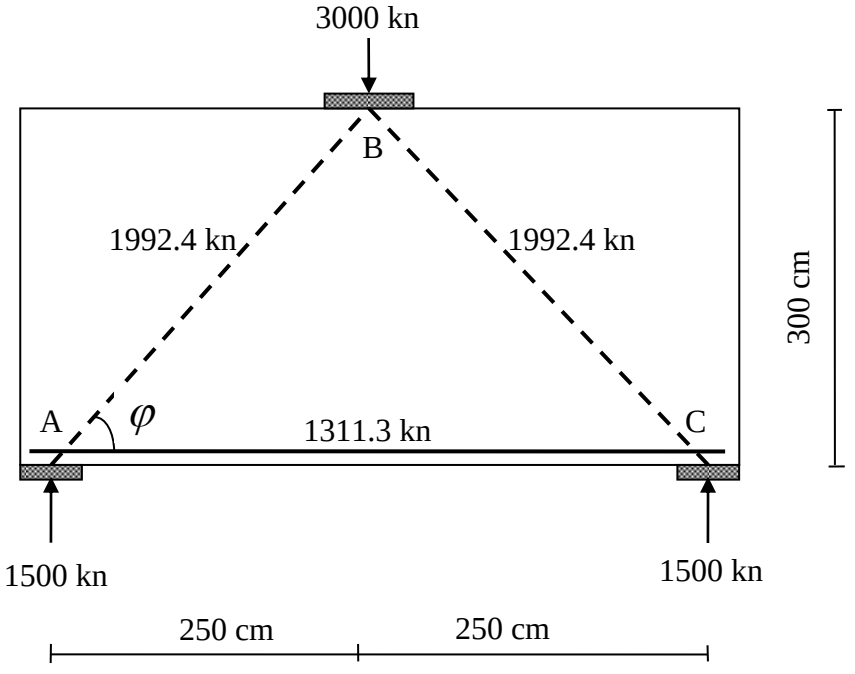
الشكل(b–8) النموذج الحسابي لجائز ظفري بوجود القوة الأفقية

تؤدي القوة الأفقية مهما كان اتجاهها إلى إضعاف طاقة تحمل الجوائز البسيطة العميقة، أما في حالة الأظفار القصيرة فتزداد طاقة تحملها بتأثير قوة الضغط وتنخفض بتأثير قوة الشد.

تطبيق عددي:

يبين الشكل (9) جائزاً بسيطاً عميقاً، أبعاده cm (300×550) وسماكته 40cm، المطلوب تحقيق الجائز باستخدام نموذج جائز شبكي.

عرض التحميل 60cm ، عرض الاستناد 50cm ، تسليح الشد $8\Phi 25mm$ ، $f'_C = 28N/mm^2$ ، $f_Y = 420N/mm^2$.



الشكل (9)

إن العناصر المائلة AB,BC تمثل العناصر المضغوطة (Struts)، أما العنصر الأفقي AC فيمثل العنصر المشدود (Tie).

نفرض:

$$d_v = 300 - 2 \times 7 = 286cm$$

$$tg\varphi = \frac{286}{250} = 1.144 \Rightarrow \varphi = 48.84°$$

بتطبيق معادلات التوازن تنتج القوى في العناصر كما هي مبينة في الشكل (9):

$$F_{AB} = -1992.4kn = F_{BC} \quad \text{(قوة ضغط)}$$

$$F_{AC} = 1311.3kn \quad \text{(قوة شد)}$$

حساب عرض حزمة الاجهادات L_b:

$$L_b{}^{v} = 0.5 \times L_{\sup}{}^{v} \times \sin\varphi = 0.5 \times 60 \times \sin 48.84° = 22.58cm$$

$$L_b{}^{d} = L_{\sup}{}^{d} \times \sin\varphi = 50 \times \sin 48.84° = 37.64cm$$

$$L_b = \frac{22.58 + 37.64}{2} = 30.11cm$$

تحقيق شرط المقاومة:

$$2 f'_C.b.L_b.\sin\varphi = 2 \times 28 \times 10^3 \times 0.4 \times 30.11 \times 10^{-2} \times \sin 48.84° = 5077.86kn$$

$$5077.86kn \rangle 2 \times 1992.4 = 3984.8kn \quad \text{"ok"}$$

$$f_Y.A_S.tg\varphi = 420 \times 10^3 \times 3927 \times 10^{-6} \times tg\,48.84° = 1886.68kn \rangle 1311.3kn \quad \text{"ok"}$$

الاستنتاجات والتوصيات:

نستنتج مما سبق أن الحساب والتصميم للجوائز البيتونية العميقة بالاعتماد على نماذج تحاكي السلوك الفعلي اللاخطي لتلك الجوائز مثل نموذج الجائز الشبكي (strut–and–tie model)، يعطي حلولاً فضلى وأكثر دقة من الطرق التقريبية التي كانت تستخدم سابقاً. لذلك نوصي بالآتي:

- استخدام الطرق البسيطة والدقيقة لتحليل الجوائز البيتونية العميقة ولحسابها، من أهمها طريقة تمثيل الجائز العميق بنموذج جائز شبكي (strut–and–tie model)، والتي تعد الطريقة الفضلى لحساب الجوائز العميقة على الانعطاف والقص في مناطق التشوهات اللدنة.
- الاعتماد على الحاسب الالكتروني في حساب الجوائز البيتونية العميقة وفق الطريقة المذكورة سابقاً، وذلك بغية الوصول إلى التصميم الأمثل لتلك الجوائز، والذي يعطي أفضل الحلول بأقصر الطرق الممكنة.

المراجع:

1- نقابة المهندسين السوريين. *الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة*. الطبعة الثالثة، دمشق، 2004.

2- P.C.VARGHESE., *ADVANCED REINFORCED CONCRETE DESIGN*. 2nd Ed, PHI Learning Pvt. Ltd, 2009, 560.

3- بدورة، محمد كرامة؛ زين الدين، وهيب. *مسائل هامة في تصميم منشآت البيتون المسلح*. الطبعة الأولى، دمشق،1991، 476.

4- Edward G. Nawy., *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach*. 4th Ed, Prentice Hall, 2000, 768.

5- Juan de Dios Garay-Moran., Adam S. Lubell., *Behaviour of Concrete Deep Beams With High Strength Reinforcement.* University of Alberta, Structural Engineering Report No. 277, 2008.

6- Sudarshan D.kore., S.S.Patil., *Analysis and Design of R.C.Deep Beams Using Code Provisions of Different Countries and Their Comparision*. International Journal of Engineering and Advanced Technology, volume-2, Issue-3, 2013.

7-W.T.Yap., *Strut and Tie Modelling of Reinforced Concrete Short Span Beams*. 1st Civil and Environmental Engineering Student Conference, 2012.

8- Баранова Т.И., *ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОРОТКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ КАРКАСНО-СТЕРЖНОВОЙ МОДЕЛИ*, КазаньИСИ, 1999.

9- Мустафин И. И., *Соколов Б. С., ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ДЕЙСТВИ МЕСТНОЙ НАГРУЗКИ*, КазаньИСИ, 2001.