أثر إيقاف الجدران القصية في الجمل المختلطة لمقاومة القوى الجانبية

الدكتور محمد ملهم بدوي، المهندس مالك عتيق

قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية– جامعة حلب

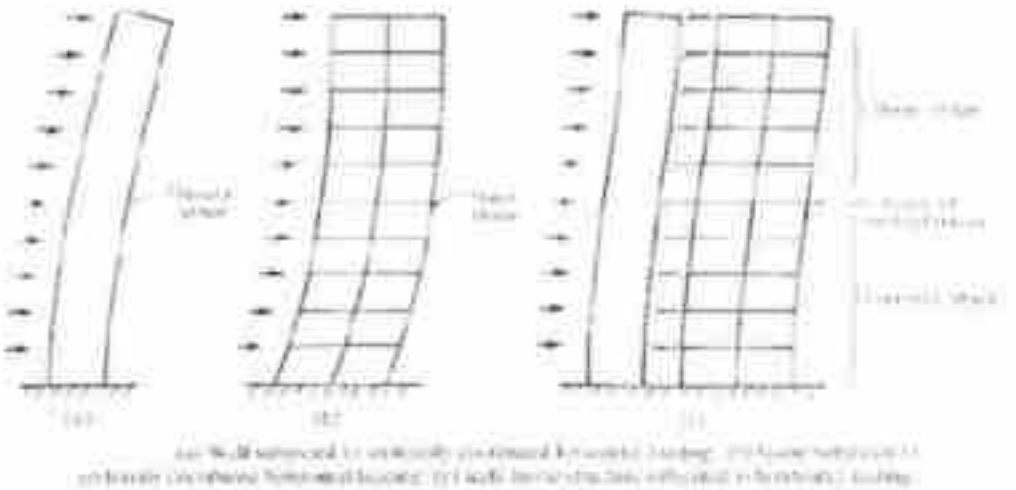
الملخص

تتألف الجمل الإنشائية المقاومة للقوى الجانبية والتي لا يزيد عدد الطوابق فيها عن 50 طابق بشكل عام من إطارات وجدران قصية.

تم من خلال هذا البحث دراسة سلوك الجمل المختلطة وتحديد المنسوب الأمثل لإيقاف الجدران القصية حيث تم عرض الأسس النظرية لدراسة سلوك الجمل المختلطة ذات الجدران الموقفة و تم تعديل بعض العلاقات الواردة في الأبحاث السابقة نتيجة لوجود خطأ في اشتقاقها و من ثم تم تمثيل المنسوب الأمثل لإيقاف الجدران القصية بمنحنيات وفقاً للعلاقات المعدلة، إن من أهم النتائج المستنتجة في هذا البحث هو أن إيقاف الجدران القصية في الجمل المختلطة عند المنسوب الأمثل من شأنه أن يلغي قوى القص والعزوم السلبية و ذلك عند الحصول على أصغر انتقال أفقي في أعلى الجملة الإنشائية كما أن هذا المنسوب الأمثل يقع بين نقطة انعدام القص في الجدار ونقطة انعدام العزم فيه

مقدمه:

تتألف الجمل الإنشائية المقاومة للقوى الجانبية والتي لا يزيد عدد الطوابق فيها عن 50 طابق بشكل عام من إطارات وجدران قصية Re[5] .وبسبب اختلاف الشكل المتشوه الحر لكل من الإطارات والجدران القصية تحت تأثير القوى الجانبية (حيث يأخذ الإطار طابع تشوه قصي بينما يأخذ الجدار القصي طابع تشوه انعطافي)،الشكل(1)، وبسبب وجود الرابط الصلب (البلاطة) يكون الانتقال الأفقي متساو لكل من الإطارات والجدران القصية عند كل مستوى من مستويات الطوابق وبالتالي تنشأ قوى أفقية متبادلة بين الإطارات والجدران القصية، وبالتالي فإن توزيع القوى الأفقية بين الإطارات والجدران القصية حسب صلابة كل منهما على حدة يختلف اختلافاً كبيراً عن التوزع الحقيقي لتلك القوى.

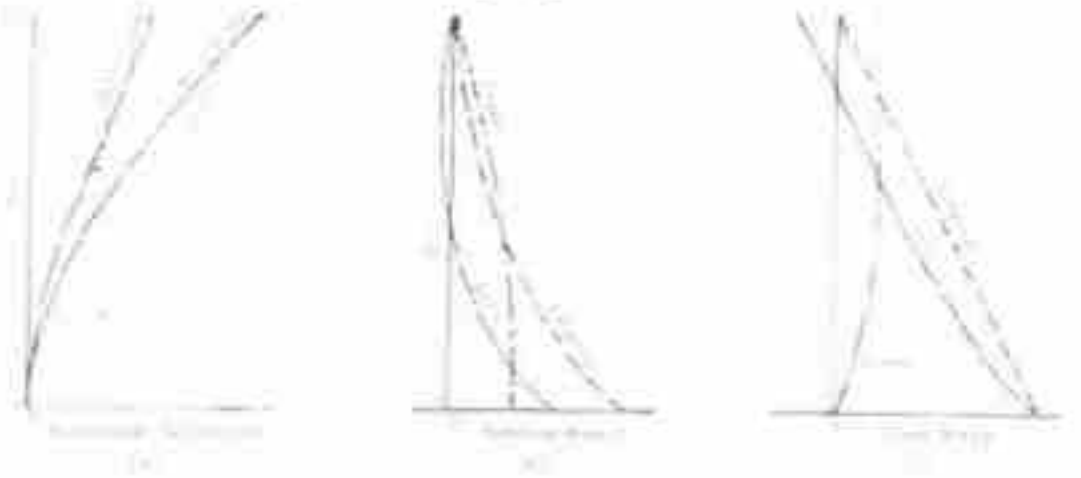


الشكل(1)

فكرة إيقاف الجدران القصية:

يوضح الشكل(1-1) أن جهة تقعر الجدار القصي في الجزء العلوي من الجملة المختلطة هو بعكس جهة الحمولة الخارجية و بالتالي فإن الإطار في هذا الجزء- فوق نقطة الانعطاف- يتحمل بالإضافة إلى العزم الخارجي المطبق العزم العكسي المتولد في الجدار القصي وبالتالي فإن الجدار القصي في هذا الجزء من

الجملة المختلطة يؤثر بشكل سلبي في مقاومة العزم ، الشكل(2)

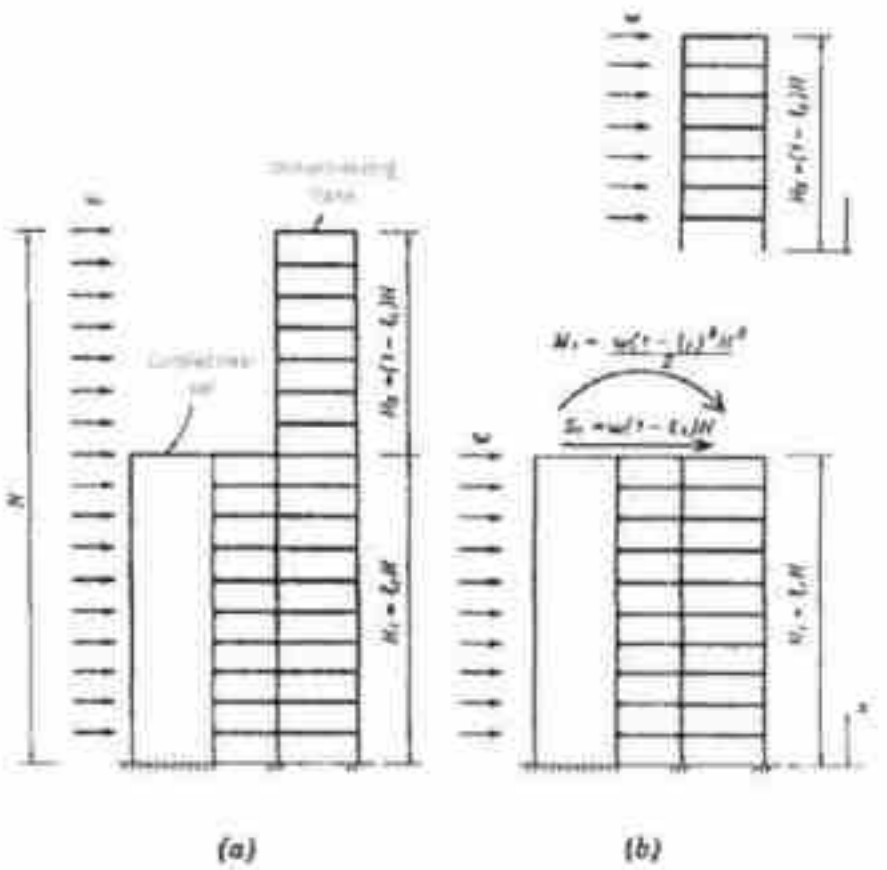


الشكل(2)

و كذلك الأمر بالنسبة للقوة القاصة حيث نلاحظ أن الإطار في الجزء العلوي-فوق نقطة انعدام القص في الجدار- يتحمل قوة قاصة أكبر من القوة القاصة الناتجة عن الحمولة الخارجية وهي ناتجة عن القص السلبي في الجدار و بالتالي فإن الجدار القصي في هذا الجزء من الجملة المختلطة يؤثر بشكل سلبي في مقاومة القوة القاصة و العزم.

الطريقة التقريبية لتحليل جملة الإطارات – الجدران الموقفة، طريقة النموذج المستمر:

قام الباحثان Nollet and Stafford – Re[2] بدراسة سلوك المختلطة ذات الجدران الموقفة وذلك بإدخال أثر التشوهات المحورية في الأعمدة و بتقسيم المنشأ إلى جزأين، الشكل(3):



(a) (b)

الشكل(3)

الجزء العلوي الذي يمثل إطار مقاوم للعزوم و الجزء السفلي الذي يمثل جملة الإطار- الجدار

وبكتابة المعادلات بدلالة نسبة ارتفاع الجملة المختلطة إلى الارتفاع الكلي للمبنى

$$\xi_1 = \frac{H_1}{H}$$

نحصل على معادلة الانتقال :

- من أجل الجزء السفلي من المنشأ (الجدران بارتفاع كامل H_1) :

من أجل حمولة موزعة بالتظام ذات شدة W:

$$y_W(X) = \frac{WH_1^4}{EI}\left\{\frac{(k^2-1)}{k^2}\left[\frac{1}{4}\left(\frac{X}{H_1}\right)^2 - \frac{1}{6}\left(\frac{X}{H_1}\right)^3 + \frac{1}{24}\left(\frac{X}{H_1}\right)^4\right] + \frac{1}{k^2}\left[\frac{2\left(\frac{X}{H_1}\right)-\left(\frac{X}{H_1}\right)^2}{2(k\alpha H_1)^2}\right]\right\} + \frac{WH_1^4}{EI}\frac{1}{k^2}\left[\frac{(\cosh k\alpha x-1)(k\alpha H\sinh k\alpha H_1+1)}{(k\alpha H_1)^4\cosh k\alpha H_1} - \frac{\sinh k\alpha x}{(k\alpha H_1)^3}\right]$$

من أجل حمولة مركزة في أعلى المنشأ ذات شدةS:

$$y_S(X) = \frac{SH_1^3}{EI}\left\{\frac{(k^2-1)}{k^2}\left[\frac{1}{2}\left(\frac{X}{H_1}\right)^2 - \frac{1}{6}\left(\frac{X}{H_1}\right)^3\right] + \frac{1}{k^2}\left[\frac{\frac{X}{H_1}}{(k\alpha H_1)^2}\right]\right\} + \frac{SH_1^3}{EI}\frac{1}{k^2}\left[\frac{\tanh k\alpha H_1(\cosh k\alpha x-1)}{(k\alpha H_1)^3} - \frac{\sinh k\alpha x}{(k\alpha H_1)^3}\right]$$

من أجل عزم مركز في أعلى المنشأ ذات شدة M :

$$y_M(X) = \frac{MH_1^2}{EI}\frac{(k^2-1)}{k^2}\left[\frac{1}{2}\left(\frac{X}{H_1}\right)^2 - \frac{(\cosh k\alpha x-1)}{(k\alpha H_1)^2\cosh k\alpha H_1}\right]$$

فيكون الانتقال الكلي في أعلى الجزء السفلي من المنشأ :

$$y_1(X) = y_W(X) + y_S(X) + y_M(X)$$

- من أجل الجزء العلوي من المنشأ :

من أجل حمولة موزعة بانتظام ذات شدة W يكون الانتقال للمنشأ العلوي عند المنسوب x_2 :

$$y_2(x_2) = \frac{WH^4}{EI}\left[\frac{\left(\frac{x_2}{H_2}-\left(\frac{x_2}{H_2}\right)^2\right)}{2(\alpha H)^2}(1-\xi_1)^2\right] + \frac{WH^4}{EI}(k^2-1)\left\{(1-\right.$$

$$\left.\xi_1)^4\left[\frac{\left(\frac{x_2}{H_2}\right)^4}{24} - \frac{\left(\frac{x_2}{H_2}\right)^3}{6} + \frac{\left(\frac{x_2}{H_2}\right)^2}{4}\right]\right\} + \emptyset_{H_1} x_2$$

- وبالتالي من أجل كامل المنشأ :

For $x \le H_1$, $y(x) = y_1(x)$

And for $x > H_1$, $y(x) = y_1(H_1) + y_2(x_2)$

حيث:

$$EI = EI_c + EI_w$$

$$\alpha^2 = \frac{(GA)}{EI}$$

GA الصلابة القصية للإطار سوف يتم توضيح كيفية حسابه لاحقاً

$$k^2 = \frac{EI + E\sum AC^2}{E\sum AC^2}$$

$\sum AC^2$ العزم من الدرجة الثانية لمقاطع الأعمدة حول محور المساحة المشترك لها

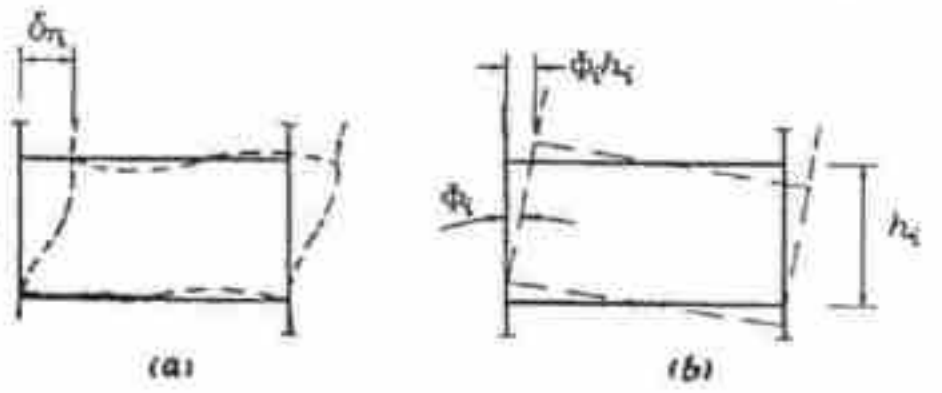
$$\emptyset_{H_1}{}' = \frac{WH^3}{EI}\frac{(k^2-1)}{k^2}\left(3\xi_1 - 3\xi_1{}^2 + \xi_1{}^3\right)^2 - (k^2-1)y'(H_1)$$

$$y_1'(H_1)' = \frac{WH^3}{EI}\left\{\frac{(k^2-1)}{k^2}\left[\frac{\xi_1}{2} - \frac{\xi_1^2}{2} + \frac{\xi_1^3}{6} - \frac{(1-\xi_1)^2}{2}\frac{\tanh \xi_1 k\alpha H}{(k\alpha H)}\right]\right\} + \frac{WH^3}{EI}\frac{1}{k^2}\left[\frac{(1-\xi_1)}{(k\alpha H)^2} - \frac{1}{(k\alpha H)\cosh \xi_1 k\alpha H} + \frac{\tanh \xi_1 k\alpha H}{(k\alpha H)^3}\right]$$

• تم تصحيح هذه العلاقة كما سيمر لاحقاً و تم الاشارة لمكان الخطأ ضمن العلاقة باللون الغامق.

حيث: $y'(H_1)$ يمثل ميل الجدار أو الإطار في أعلى الجزء السفلي من المنشأ حيث أن ميل الإطار عند أي منسوب يساوي إلى ميل الجدار عند ذلك المنسوب بسبب وجود الرابط الصلب بينهما.

Φ_{H_1} يمثل ميل الإطار الناتج عن التشوهات المحورية في أعلى الجزء السفلي من المنشأ حيث أن ميل الإطار عند أي منسوب يتألف من مركبتين، مركبة ناتجة عن التشوه القصي عند ذلك المنسوب، الشكل(4-a) و مركبة ناتجة عن التشوهات المحورية في الأعمدة التي تتراكم من القاعدة حتى ذلك المنسوب، الشكل(4-b).



الشكل(4)

ولكن ومن خلال مقارنة الانتقالات الناتجة عن العلاقات السابقة مع نتائج البرامج الإنشائية وجد أن هناك فروقات كبيرة نسبياً وخصوصاً مع زيادة ارتفاع المبنى مما استدعى إعادة تدقيق العلاقات النظرية ووجد أن هناك خلاف في العلاقتين المعبرتين عن $\emptyset_{H_1}$ و $y'(H_1)$ لذلك تم إعادة اشتقاق هاتين العلاقتين وكانت النتائج كالتالي :

$$\emptyset_{H_1} = \frac{WH^3}{EI}\frac{(k^2-1)}{6}\left(3\xi_1 - 3\xi_1^2 + \xi_1^3\right) - (k^2-1)y'(H_1)$$

$$y'_1(H_1) = \frac{WH^3}{EI}\frac{(K^2-1)}{K^2}\left[\frac{\xi_1}{2} - \frac{\xi_1^2}{2} + \frac{\xi_1^3}{6} - \frac{(1-\xi_1)^2}{2}\frac{\tanh \xi_1 k\alpha H}{(k\alpha H)}\right] + \frac{WH^3}{EI}\frac{1}{K^2}\left[\frac{(1-\xi_1)}{(k\alpha H)^2} - \frac{1}{(K\alpha H)^2 \cosh \xi_1 k\alpha H} + \frac{\tanh \xi_1 k\alpha H}{(k\alpha H)^3}\right]$$

وبالتالي تم اعتماد العلاقات المعدلة في هذا البحث.

حساب الصلابة القصية (GA) :

تعرف الصلابة القصية (GA) بأنها قوة القص التي تسبب انتقال أفقي واحدي لكل واحدة ارتفاع وبالتالي :

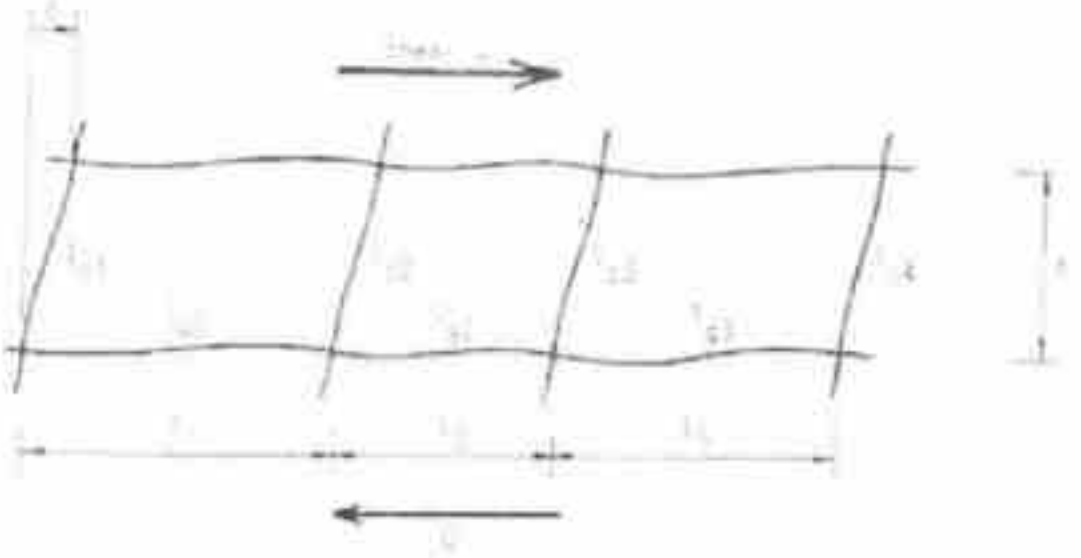
$$(GA) = \frac{Qh}{\delta}$$

فمن أجل إطار بعدة فتحات الشكل(5) تعطى الصلابة القصية بالعلاقة :

$$(GA) = \frac{12E}{h\left(\frac{1}{G} + \frac{1}{C}\right)}$$

من أجل الجوائز في مستوى طابقي واحد $G = \sum I_g / L$

من أجل الأعمدة في طابق واحد $C = \sum I_c / L$



الشكل(5)

المنسوب الأمثل لإيقاف الجدران القصية:

إن إيقاف الجدار القصي فوق نقطة الانعطاف يؤدي إلى إنقاص العزم في الجزء العلوي من الإطار، بينما إيقاف الجدار القصي فوق نقطة انعدام القص في الجدار يؤدي إلى إنقاص كل من العزم والقوة القاصة في الجزء العلوي من الإطار وبالتالي فإن إيقاف الجدار القصي فوق نقطة انعدام القص في الجدار مفيد من الكل النواحي أما إيقاف الجدار القصي بين نقطة الانعطاف و نقطة انعدام القص في الجدار يؤدي إلى إنقاص العزم في الجزء العلوي من الإطار من جهة وزيادة قوة القص في هذا الجزء من جهة أخرى.

إن هذه المناقشة الواردة في المرجع صحيحة فيما إذا كانت نقطة انعدام عند القص في الجدار ونقطة الانعطاف ثابتة حتى بعد إيقاف الجدران القصية منسوب معين ولكن من المعلوم بالضرورة في العنصر المنعطف أن نقطة العزم الأعظمي (النهاية المحلية العظمى أو الصغرى الرياضياً) تتوافق مع

نقطة انعدام القص (نقطة انعدام المشتق الأول رياضياً)،وبالتالي فان إلغاء القص السلبي في الجدار بجعله يساوي الصفر في أعلى الجدار من شأنه في نفس الوقت أن يجعل النهاية المحلية الصغرى للعزم أيضاً في أعلى الجدار ولكن وبما أن العزم في أعلى الجدار يساوي الصفر (حسب شروط النهايات) يكون العزم على كامل ارتفاع الجدار موجباً،أي أن منسوب إيقاف الجدار القصي الذي يؤدي إلى إلغاء القص السلبي فيه هو نفس المنسوب الذي يؤدي إلى إلغاء العزم السلبي فيه، وبالتالي فإن إيقاف الجدار القصي عند هذا المنسوب من شانه ان يلغي و بشكل كامل الدفع العكسي الذي يطبقه الجدار على الإطار و بالتالي يكون الانتقال الأفقي في أعلى الجملة الإنشائية أقل ما يمكن.

أي أنه يكفي لتحديد المنسوب الأمثل لإيقاف الجدران القصية بتحديد منسوب إيقاف الجدران القصية الذي يؤدي للحصول على أقل سهم في أعلى الجملة الإنشائية.

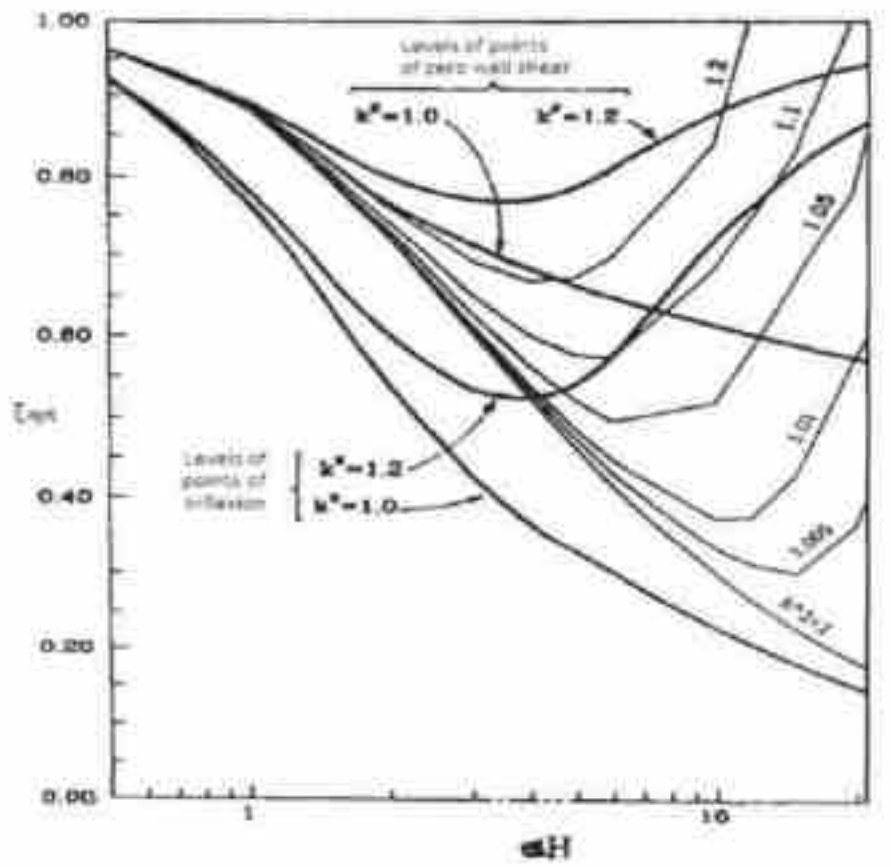
قام الباحثان Nollet and Stafford Smith –Re[2] بتحديد منسوب إيقاف الجدران القصية والذي يؤدي للحصول على أقل سهم في أعلى الجملة الإنشائية ذات الخواص الثابتة على كامل الارتفاع و الخاضعة لحمولة موزعة بانتظام حيث تم التعبير عن معادلة الانتقال في أعلى المنشأ $y(H)$ كتابع لـ ξ_1 :

$$y(H) = F(\xi_1)$$

$$= \frac{WH^4}{EI}\frac{(k^2-1)}{k^2}\left[\frac{\xi_1^{\,2}}{4} - \frac{\xi_1^{\,3}}{6} + \frac{\xi_1^{\,4}}{24}\right.$$
$$\left. - \frac{(1-\xi_1)^2}{2}\frac{(\cosh \xi_1 k\alpha H - 1)}{(k\alpha H)^2 \cosh \xi_1 k\alpha H}\right]$$
$$+ \frac{WH^4}{EI}\frac{1}{k^2}\left[\frac{(2\xi_1 - \xi_1^{\,2})}{2(k\alpha H)^2} - \frac{\tanh \xi_1 k\alpha H}{(k\alpha H)^3}\right.$$
$$\left. + \frac{(\cosh \xi_1 k\alpha H - 1)}{(k\alpha H)^4 \cosh \xi_1 k\alpha H}\right]$$
$$+ \frac{WH^4}{EI}\left[\frac{(1-\xi_1)^2}{2(\alpha H)^2} + (k^2-1)\frac{(1-\xi_1)^4}{8}\right]$$
$$+ \frac{WH^4}{EI}\frac{(k^2-1)}{6}\left[(1-\xi_1)(3\xi_1 - 3\xi_1^{\,2} + \xi_1^{\,3})^2\right]$$
$$- \frac{WH^4}{EI}\frac{(K^2-1)^2}{K^2}(1-\xi_1)\left[\frac{\xi_1}{2} - \frac{\xi_1^2}{2} + \frac{\xi_1^3}{6}\right.$$
$$\left. - \frac{(1-\xi_1)^2}{2}\frac{\tanh \xi_1 k\alpha H}{(k\alpha H)}\right]$$
$$- \frac{WH^4}{EI}\frac{(k^2-1)}{K^2}(1-\xi_1)\left[\frac{(1-\xi_1)}{(k\alpha H)^2}\right.$$
$$\left. - \frac{1}{(K\alpha H)^2 \cosh \xi_1 k\alpha H} + \frac{\tanh \xi_1 k\alpha H}{(k\alpha H)^3}\right]$$

وبالتالي يكون هذا التابع أصغر ما يمكن عندما يكون المشتق بالنسبة لـــ ξ_1 يساوي الصفر أي $F'(\xi_1) = 0$ إن هذه المعادلة $F'(\xi_1) = 0$ هي تابع ضمني بالنسبة لـــ ξ_1 لذلك تم اللجوء لطرائق التقريب المتتالي(طريقة نيوتن– رافسون) للحصول على قيمة ξ_1 التي تعطي أقل قيمة للانتقال في أعلى الجملة الإنشائية (ξ_{op})

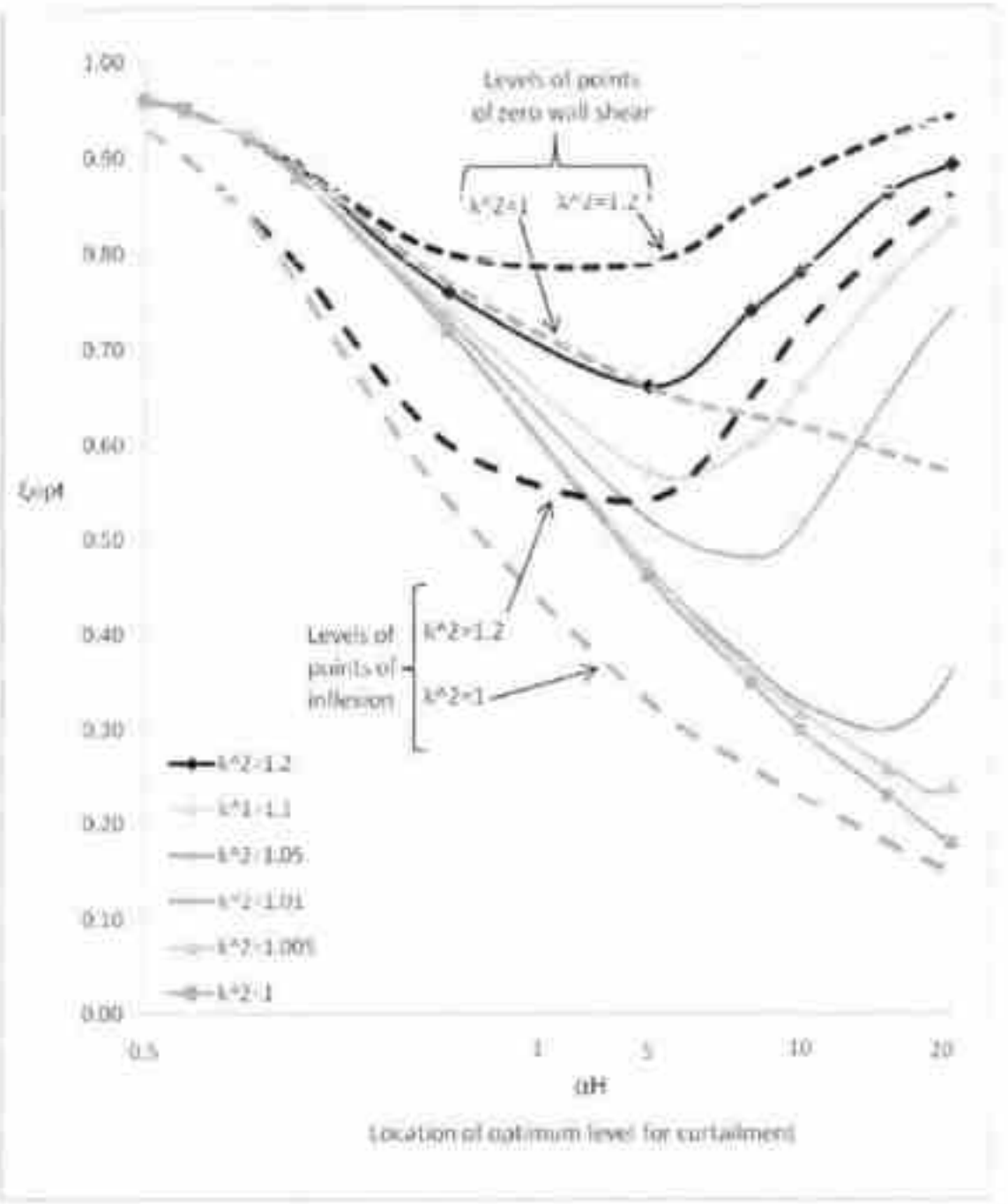
قام الباحثان بأخذ عدة قيم لـ αH و k^2 وتم إيجاد ξ_{opt} الموافقة لهم و تم رسم المنحنيات التالية الشكل(6):



الشكل(6)

من المنحنيات يتبين أن هناك بعض الحالات التي لا تستدعي إيقاف الجدران القصية ($\xi_{opt} = 1$) مع إنه يوجه قوى قاصة وعزوم سلبية في الجدار.

هذه الملاحظة استوجبت إعادة تدقيق هذه المنحنيات لذلك تم إعادة حل المعادلة $F'(\xi_1) = 0$ واعادة رسم المنحنيات، الشكل(7):



الشكل(7)

من المنحنيات السابقة الشكل(7) نلاحظ:

إن المنسوب الأمثل لإيقاف الجدران القصية في الجمل المختلطة يقع بين نقطة انعدام القص في الجدار ونقطة انعدام العزم فيه.

من أجل مبنى ذو جملة مختلطة يتعلق المنسوب الأمثل لإيقاف الجدران القصية فيه بنسبة الصلابة القصية للإطارات على الصلابة الانعطافية $\alpha = \frac{\cdots}{EI}$ فمن أجل قيمة معينة ل (α) يكون منسوب الايقاف الأمثل أقل مايمكن وبزيادة هذه النسبة أو نقصانها يرتفع المنسوب الأمثل للإيقاف أي تقل أهمية إيقاف الجدران القصية، وبالتالي فإن زيادة صلابة الإطارات في الجمل المختلطة لا يعني بالضرورة انخفاض المنسوب الأمثل لايقاف الجدران القصية.

من أجل مبنى ذو جملة مختلطة يرتفع المنسوب الأمثل لإيقاف الجدران القصية بزيادة قيمة العامل k^2 حيث يمكن التعبير عن العامل k^2 بالشكل:

$$k^2 = \frac{EI + E\sum AC^2}{E\sum AC^2} = \frac{EI}{E\sum AC^2} + 1$$

و بالتالي فان نقصان العامل $\sum AC^2$ يؤدي إلى ارتفاع المنسوب الأمثل لإيقاف الجدران القصية وذلك لنقصان الصلابة المحورية للأعمدة فتزداد قيمة الدوران الناتجة عن التشوهات المحورية في أعمدة الإطارات θ و بالتالي يزداد طابع التشوه الانعطافي للاطارات فيقل الدفع العكسي الذي تطبقه الجدران على الإطارات في أعلى المنشأ وبالتالي تقل أهمية إيقاف الجدران القصية.

النتائج والتوصيات:

- عدم التسليم بصحة أي بحث إلا بعد إجراء مناقشة منطقية للنتائج
- إن المنسوب الأمثل لإيقاف الجدران القصية في الجمل المختلطة يقع بين نقطة انعدام القص في الجدار ونقطة انعدام العزم فيه

- إن إيقاف الجدران القصية في الجمل المختلطة عند المنسوب الأمثل من شأنه أن يلغي قوى القص والعزوم السلبية و ذلك عند الحصول على أصغر انتقال أفقي في أعلى الجملة الإنشائية ويمكن استخدام البرامج الإنشائية في تحديد ذلك .
- إن زيادة صلابة الإطارات في الجمل المختلطة لا يعني بالضرورة انخفاض المنسوب الأمثل لايقاف الجدران القصية.
- نقترح إجراء تحليل لا خطي(Pushover analysis) لدراسة سلوك الجمل المختلطة ذات الجدران الموقفة
- نوصي بدراسة تأثير شروط استناد كل من الإطارات والجدران على سلوك الجمل المختلطة.

المراجع:

1 - Bryan Stafford Smith , Alex Coull "Tall Building Structure : Analysis and Design" ,1991

2- Nollet.M.J and Stafford Smith.B "Behavior of Curtailed Wall-Frame Structures", 1993

3 -Bryan Stafford Smith, M. Kuster , and Johannes Christinus Do-

7 -2006 (IBC) International Building Code

8 - 2006 (IBC) , STRUCTURAL/SEISMIC DESIGN MANUAL
CODE APPLICATION EXAMPLES

9- ETABS Software V.8.5

10- الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ الإنشاءات بالخرسانة المسلحة ،2005 نقابة المهندسين السوريين

11- الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ الإنشاءات بالخرسانة المسلحة-الملحق رقم(2) ،2005 نقابة المهندسين السوريين

12- محمد أحمد سمارة، أساسيات ديناميك المنشآت والهندسة الزلزالية.2006

The Effect of Curtailed Walls in Wall-Frame Structures to Resist Lateral Loads

Dr. Mohamed Mulham Badawi
Structural Engineering Department
Faculty of Civil Engineering-Aleppo

Eng.Malik Atik
Structural Engineering Department
Faculty of Civil Engineering-Aleppo

Abstract:

concrete structures whose resistance to horizontal loading and which consist of no more than 50 stories is provided in general by a combination of shear walls and rigid frame.

This research studies the behavior of Wall-Frame Structures and finds the optimum level to stop the shear walls. At first the research has illustrated the theoretical foundations to study the behavior of curtailed walls in wall-frame structures then some equations in the previous researches have been modified because of the error in the derivation.

The most important results in this research are: The curtailment of shear walls at the optimum level omits the negative shear forces and moments in the walls . As the result the top deflection is a minimum and this level located between the point of inflection and the point of zero wall shear.