Journal of Engineering Sciences, Assiut University, Vol. 39, No. 4, pp.795-809, July 2011.

SEISMIC BEHAVIOR OF CONCRETE SHEAR WALL – FRAMES - STRUCTURAL SYSTEMS SUBJECTED TO EARTHQUAKE LOADS

Fadwa Issa
PHD student Department of Structural Engineering Faculty of Civil Engineering, Damascus University
e-mail: fadwa.issa650@gmial.com

Mohamad Nazih Alyagchi Eilouch
Professor
Department of Structural Engineering
Faculty of Civil Engineering
Damascus University, Yarmouk University
e-mail nazihayagchi@gmail.com

Abbas Tasnimi
Professor
Department of Structural Engineering
Faculty of Civil Engineering
Damascus University
e-mail tasnimi@gmail.com

(Received May 9, 2011 Accepted June 22, 2011)

In most designing cases, design engineers assign shear walls the total seismic loads while the frames (columns and beams) take the gravity loads. This procedure imposes additional seismic loads on the buildings; moreover the Syrian Code requires the application of the requirements related to seismic resistance on the frame elements (columns, beams and joints). This design procedure raises two basic issues. The first is the complete elimination of the frame effect on shear walls behavior regarding the internal forces and deformations. The second is the effect of the shear walls on the moment resisting frames behavior. In this study, the mutual effect of each system on the other is called interaction.

These systems are being studied by formulating several mathematical models covering buildings with shear walls and frames that have different heights and walls stiffness, expanding over a range of high and low stiffness values relative to the total stiffness of the building. Linear static and dynamic analyses have been applied on these models to show the possible contribution of frames in the performance of the building in terms of internal forces and deformations. This study also focuses on the nonlinear behavior of shear wall-frame structural system by using nonlinear pushover analysis.

At the end of this study, the most important results and recommendations are summarized, especially the necessity of considering the interaction between frames system and shear walls system. Increasing structural system factor is recommended when seismic loads are calculated. This leads to a reduction in the seismic loads on buildings.

KEY WORDS: *shear wall-frame systems, nonlinear pushover analysis.*

الأداء الزلزالي لنظم إنشائية بيتونية من إطار- حوائط قص معرضة لأحمال الزلازل

م. فدوى عيسى

طالبة دكتوراه في قسم الهندسة الإنشائية
كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق – دمشق
e-mail: fadwa.issa650@gmail.com

أ.د.م محمد نزيه اليغشي إيلوش

أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية
كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق – دمشق
كلية الهندسة المدنية – جامعة اليرموك – درعا
e-mail: nazihayagchi@gmail.com

أ.د.م عباس تسنيمي

أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية
المعهد الدولي للهندسة الزلزالية وعلم الزلازل - إيران
e-mail tasnimi@gmail.com

في معظم حالات التصميم يقوم المهندسون بتحميل حوائط القص كامل الأحمال الزلزالية بينما تأخذ الإطارات (الكمرات والأعمدة) الأحمال الجاذبية. إن هذا الإجراء يفرض زيادة الأحمال الزلزالية على المبنى، ومع ذلك يفرض الكود السوري تطبيق اشتراطات تتعلق بالمقاومة الزلزالية على مكونات النظام الإنشائي من الإطارات المقاومة للعزوم من أعمدة وكمرات وعقد. إن طريقة التصميم هذه تثير مسألتين أساسيتين، الأولى الإهمال الكامل لأثر الإطارات على سلوك حوائط القص من ناحية القوى الداخلية والتشوهات والثانية أثر الجدران في سلوك الإطارات وهذا نسميه في هذا البحث التفاعل أو الأثر المتبادل بين حوائط القص والإطارات.

تمت دراسة هذا النظام الإنشائي من خلال تشكيل عدة نماذج رياضية تغطي أبنية تحتوي حوائط قص وإطارات ذات ارتفاعات مختلفة وصلابات حوائط تتراوح بين العالية إلى المنخفضة نسبة لصلابة المبنى الكلية. تم إجراء تحليل خطي استاتيكي وديناميكي لهذه النماذج لمعرفة مدى مساهمة الإطارات المحتملة في الأداء الزلزالي للمبنى من ناحية القوى والتشكلات. وقد ركز البحث أيضاً على السلوك اللاخطي لهذه النظم الإنشائية وذلك باستخدام التحليل الاستاتيكي اللاخطي (Pushover).

هذا وقد تم في نهاية البحث تلخيص أهم النتائج والتوصيات المستقاة من هذه الدراسة وبشكل خاص ضرورة الاهتمام بالتأثير المتبادل بين النظام الإنشائي من الإطارات وحوائط القص والتوصية بزيادة عامل النظم الإنشائية الذي يمكن اعتماده عند حساب الأحمال الزلزالية مما يخفض الأحمال الزلزالية على المباني.

كلمات مفتاحيه: نظام إنشائي إطار- حوائط قص، تحليل استاتيكي لاخطي.

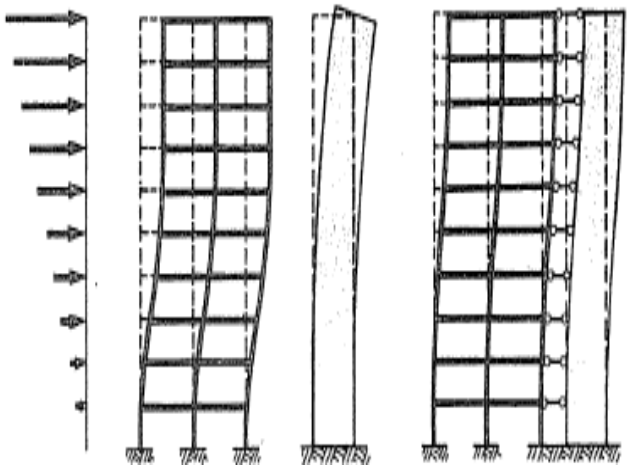
1. مقدمة

تتواجد حوائط القص والإطارات معاً في معظم الأبنية السكنية، وتسمى النظم الإنشائية التي تتم فيها مقاومة الأحمال الجانبية عن طريق الإطارات والجدران بنظام إطار- حوائط قص.

عندما يتعرض المبنى للأحمال الجانبية يتشوه الإطار بنمط القص في حين يتشوه الجدار بنمط الانحناء كما في الشكل(1) وينتج عن الاختلاف في أشكال التشوه الحر للإطارات وحوائط القص حصول تفاعل أفقي عن طريق البلاطات التي تربط حوائط القص والأعمدة وتجعل حركتهما الأفقية متساوية الأمر الذي يؤدي إلى أن الجدار سيشد الإطار في أعلى المبنى وسيضغطه في الأسفل.

في معظم مشاريع الأبنية تصمم حوائط القص لتتحمل القوى الجانبية مثل أحمال الزلازل وتهمل مشاركة الإطارات في مقاومة هذه الأحمال، إلا أن الأحداث الزلزالية أظهرت أن الكثير من المباني التي صممت بحيث تحمل حوائط القص كامل الحمل الزلزالي عانت عند تعرضها لزلازل من أضرار في جملتها الإطارية بحيث أصبحت كلفة إعادة تأهيلها وتدعيمها كبيرة.

يلزم الكود العربي السوري بتفاصيل تسليح للكمرات والأعمدة والعقد تتعلق بمقاومة الزلازل وذلك حتى لو كانت حوائط القص تتحمل لوحدها كامل الأحمال الزلزالية. وبالتالي فإن المنشأ الناتج سيكون فيه زيادة في مقاطع حوائط القص وتسليحها والتي غالباً ما تترافق مع أعمدة ظاهرة أو مخفية في نهاياتها.



الشكل(1): شكل التشوه لكل من مكونات جمل إطار – جدار قص[4]

2. هدف البحث

يهدف هذا البحث إلى دراسة سلوك جمل إطار- حوائط قص لمباني سكنية وإظهار ميزات هذه النظم الإنشائية في المرحلة الخطية، والتعرف على النتائج المترتبة عن إهمال أثر التفاعل المتبادل بين حوائط القص والإطارات، كما يهدف أيضاً إلى دراسة سلوك هذه النظم الإنشائية في المرحلة اللاخطية.

3. مراجعة تاريخية للأبحاث السابقة

بعد استعراض المراجع المتوفرة المتعلقة بموضوع البحث، من مجلات علمية أو منشورات المؤتمرات العلمية أو حتى في شبكة المعلومات الدولية التي تعد من أهم المصادر المعتمد عليها، تم تلخيص أهم الأبحاث السابقة، مرتبة وفق تاريخ النشر:

- درس فضلور خان Fazlur Khan (1964) [2] النظام المسمى بنظام إطار_جدار قص وأعطى فكرة معمقة عن سلوك هذا النظام، وقد ساهم ذلك في تطور الأبنية العالية من الخرسانة المسلحة بشكل كبير. في هذا النظام تتفاعل النواة المركزية أو حوائط القص الموزعة مع الأعمدة والكمرات الأخرى أو مع الإطارات المشكلة من الأعمدة والبلاطة في البناء عن طريق ديافرامات بلاطة صلبة rigid floor diaphragms.
- اقترح إيان IainA(1970) [3]طريقة مبسطة لتحليل التفاعل بين حوائط القص والإطارات تحت تأثير القوى الجانبية في الأبنية العالية وأعطى فكرة عامة عن سلوك هذه النظم الإنشائية. وقد أوصى بإجراء تحليل ثلاثي الأبعاد في حال وجود التواء (Torsion).
- قام باولي وبريسلي Paullay& Priestley (1995) [4] بدراسة تحليلية لبعض نماذج الأبنية القائمة وأجريا تجارب باستخدام طاولة اهتزاز لدراسة سلوك جمل إطار- جدار قص في المرحلة اللاخطية. وقد وجدا أن الإطارات وحوائط القص تتشارك في مقاومة قوى القص في الطوابق السفلية لكنها تعاكس بعضها في المناسيب العلوية، وأوصيا بدراسة معمقة للمتغيرات المختلفة التي تؤثر على تفاعل حوائط القص والإطارات.
- بعض الأبحاث درست نواحي محددة متعلقة ببجمل إطار- جدار قص من أجل معرفة تأثيرها على سلوك هذه الجمل واستنتجت منحنيات خاصة بنماذج معينة للأبنية التي اعتمدت في الدراسة. أوصت هذه الأبحاث بدراسة تأثير هذه العوامل في حالات أخرى (وجود فتحات في حوائط القص، دوران الأساسات، طرائق نمذجة أخرى، تحليل فراغي، تغير صلابة البلاطات .....).

بالرغم من انتشار وتفضيل جمل إطار- جدار قص إلا أن جهود البحث بدأ توجيهها حديثاً إلى تطوير طرائق التصميم الزلزالي الخاصة بهذه الجمل. إذ يوجد عدد قليل من الأبحاث التي تتضمن دراسات تحليلية لبعض نماذج الأبنية

القائمة إضافة إلى أعمال تجريبية باستخدام اختبارات طاولة الاهتزاز مشيرة إلى احتمال استجابة زلزالية لا خطية ممتازة.

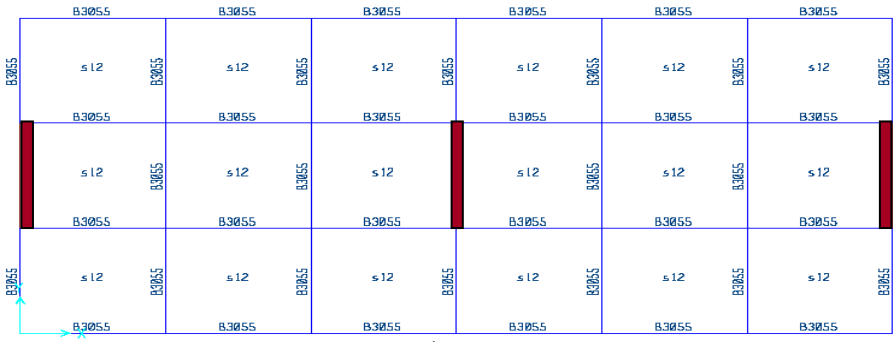
4. النماذج الهندسية المدروسة

تم اختيار النماذج الهندسية بحيث تغطي شرائح مختلفة من المباني من حيث عدد الطوابق وبالتالي أدوار الاهتزاز الأساسية وأيضاً كثافة حوائط القص التي تعكس مناطق زلزالية مختلفة وشروط تربة مختلفة. وهذا ما يشكل 15 حالة دراسية. تمت نمذجة هذه المباني باستخدام برنامج SAP 2000. وتطبيق حمولة زلزالية أفقية استاتيكية مكافئة باتجاه عمل حوائط القص وذلك باستخدام الطريقة الاستاتيكية الثانية في الكود العربي السوري التي تتوافق مع الكود الأمريكي UBC97. يبين الشكل(2) المسقط الأفقي للنماذج المدروسة.

يبين الجدول(1) الزمن الدوري الأساسي لكل من الجمل المدروسة. تم افتراض قيمة معامل الجملة الإنشائية $R = 6.5$ وعوامل التربة $c_a = c_v = 0.25$ (هذه العوامل توافق منطقة زلزالية 2C وقدرة تحمل تربة $(\sigma \geq 3kg/cm^2)$.

الجدول(1): الدور الأساسي (sec) للنماذج المدروسة باتجاه جدران القص

عدد الطوابق / طول جدار القص(م)	9	12	15	17	19
3	1	1.5	2	2.5	3
6	0.69	1.1	1.59	1.97	2.39
9	0.5	0.82	1.22	1.54	1.9



الشكل(2): المسقط الأفقي للنماذج المدروسة.
طول جدار القص يتغير من 3 – 6 – 9م

5. أدوات البحث

- برنامج SAP2000 – V9.1 استخدم للتحليل الاستاتيكي الخطي.
- برنامج IDARC – V6 للتحليل الاستاتيكي اللاخطي والديناميكي اللاخطي، والذي طور في

جامعة Buffalo في نيويورك، إصدار 2006.

- أبحاث ومراجع مختلفة.

6. دراسة سلوك جمل إطار- جدار ومميزات هذه الجمل في المرحلة الخطية

1.6. دراسة سلوك جمل إطار- جدار باستخدام تحليل استاتيكي خطي

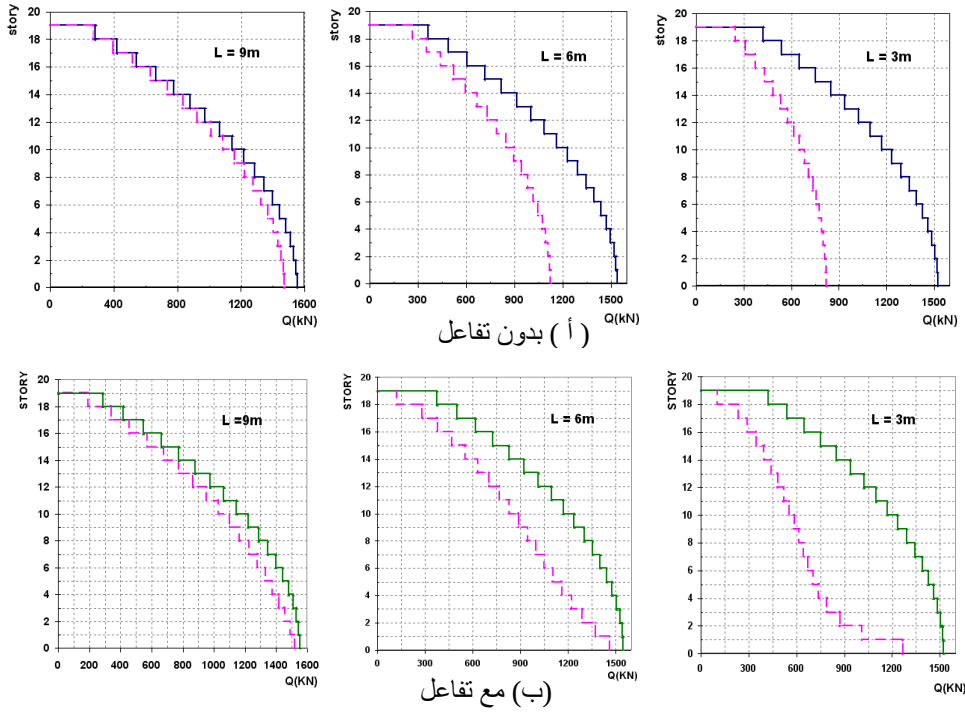
تمت دراسة النماذج المعتمدة في حالتين بهدف دراسة النتائج المترتبة على إهمال التفاعل المتبادل بين حوائط القص والإطارات على المقاومة الزلزالية، الحالتين هما:

أ. إهمال العمل المشترك للإطارات وحوائط القص

من أجل كافة النماذج فقد تم حساب حصة كل من حوائط القص والإطارات من الأحمال الزلزالية المطبقة وفقاً لصلابتها مع إهمال مشاركة الإطارات وبدون تأثير العمل المشترك.

ب. مراعاة العمل المشترك للإطارات وحوائط القص

تم إجراء التحليل الاستاتيكي الخطي لكافة النماذج مع اعتبار مشاركة الإطارات واستخرجت القوى الداخلية والانتقالات في الحالات المختلفة كما تم رسم منحنيات تبين توزع القوى بين الإطارات وحوائط القص في الحالتين: إهمال/مراعاة العمل المشترك



القص الطابقي الكلي ------ مساهمة الجدران

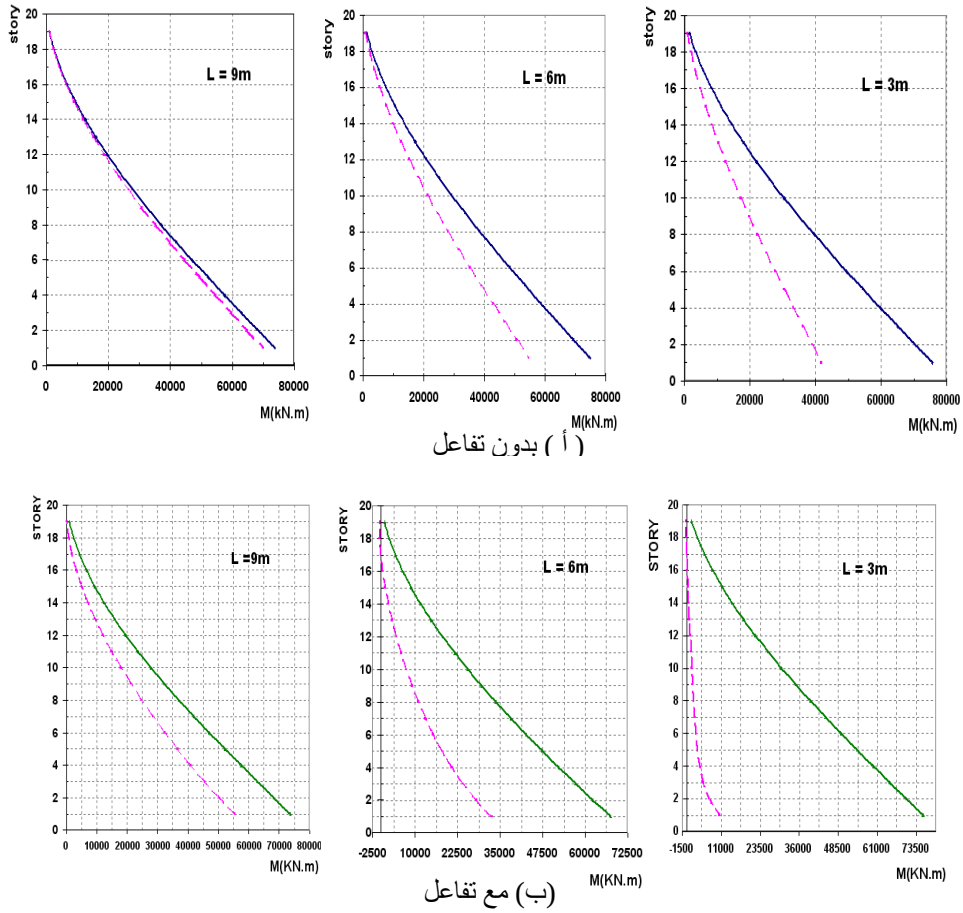
الشكل(3): توزع قوى القص الطابقية بين الجدران والإطارات

يبين الشكل(3) مقارنة توزع قوى القص الطابقي بين حوائط القص والإطارات في الحالتين: مع/بدون تفاعل. وفيها نجد:

- في الطوابق السفلية تتحمل حوائط القص فعلياً قوى قص أكبر من القوى التي نحسبها عند إهمال تأثير قوى الفعل المتبادل بين الإطارات وحوائط القص، لكن في الطوابق الوسطية والعلوية تتحمل الإطارات قص أكبر

من القص المحسوب عند إهمال أثر الفعل المتبادل.

- إن مشاركة قوى القص الطابقية الأفقية بين الإطارات وحوائط القص تبين أن حوائط القص الأكثر مرونة تقل مساهمتها بشكل أسرع مع الارتفاع. مثلاً في حالة جدار بطول 3م في مبنى 19طابق فإن أكثر من 80% من قوة القص يتم مقاومتها بواسطة الإطارات فوق الطابق الثالث وهذا يؤكد حقيقة أن حوائط القص في جمل إطار- جدار يمكن أن يكون لها مشاركة هامة في مقاومة القوى الجانبية في الطوابق السفلية بشكل أكثر فاعلية مقارنة مع الطوابق العليا.



(أ) بدون تفاعل

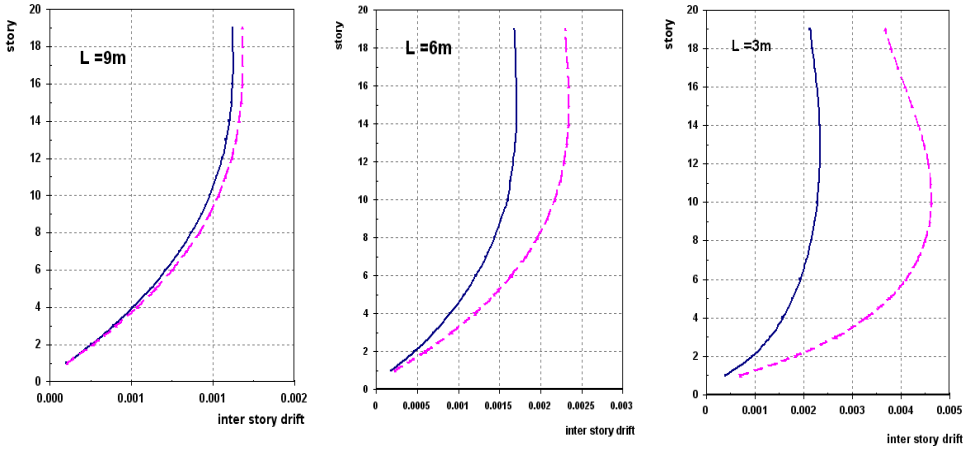
(ب) مع تفاعل

——— العزم الطابقي الكلي - - - -مساهمة الجدران

الشكل(4): توزع العزم الطابقي بين الجدران والإطارات

كما يبين الشكل(4) مقارنة توزع العزم الطابقي بين حوائط القص والإطارات في الحالتين: مع/بدون تفاعل. وفيها نجد:

- عند المناسيب العلوية فإن كل حوائط القص تصبح أقل فعالية ومساهمتها في مقاومة العزوم عند قمة البناء تصبح مهملة وبالتالي فإن الفرق بين العزم الكلي عند كل منسوب وحصة حوائط القص يجب أن تقاوم عن طريق الإطارات.
- بسبب تنافر التشوهات للمكونات المستقلة في الطوابق العليا تتعرض الإطارات لعزوم أكبر من العزم الإجمالي الناتج عن القوى الجانبية الخارجية عند هذه المناسيب.
- إن مساهمة حوائط القص في مقاومة القوى الجانبية في جمل إطار- جدار تتغير غالباً بشكل سريع على ارتفاع المبنى.



جدران + إطارات ——— جدران ----

الشكل(5): مقارنة الإزاحة الطابقية النسبية في الحالتين: مع/بدون تشغيل الإطارات

يظهر الشكل(5) تغير الإزاحة الطابقية النسبية مع الارتفاع في الحالتين: مع/بدون تشغيل الإطارات. وفيه نجد:

- عند استخدام جدران بطول 3m تلعب الإطارات دور هام في تقليل الإزاحة الطابقية النسبية من 0.0046 إلى 0.0025، لكن دورها يقل عند استخدام جدران ذات صلابة 6m حتى يصبح دورها مهمل في حالة استخدام جدران بطول 9m حيث يسيطر العمل الجداري على سلوك جملة إطار- جدار قص.

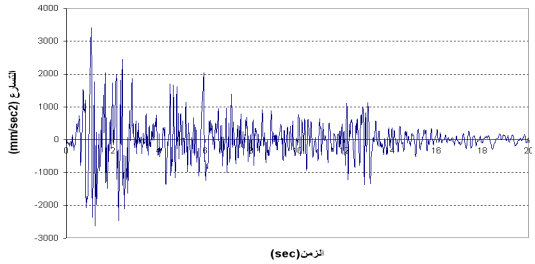
2.6. دراسة سلوك جمل إطار- جدار قص باستخدام تحليل ديناميكي خطي

استخدم برنامج SAP2000 لإجراء تحليل ديناميكي خطي (Linear Time History Analysis) للنماذج المدروسة تحت تأثير زلزال السنترو بعد معايرته إلى 0.25g. يبين الشكل(6) السجل الزمني لزلزال السنترو قبل معايرته. تعطى المعادلة العامة للحركة بالعلاقة :

$$[M]\{\ddot{U}\}+[C]\{\dot{U}\}+[K]\{U\}=-[M]\{1\}\ddot{Y}_g \qquad (1)$$

حيث $[M]$: مصفوفة الكتلة للمبنى. $[C]$: مصفوفة التخامد للمبنى.

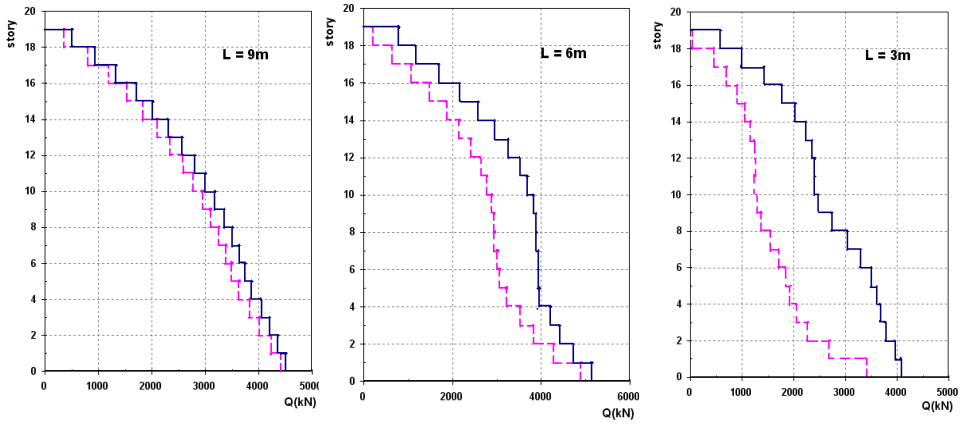
$[K]$: مصفوفة الصلابة للمبنى. $\{\ddot{U}\}$: شعاع التسارع النسبي للمبنى. $\ddot{Y}_g$: تسارع الأساسات.



الشكل(6): السجل الزمني لزلزال السنترو قبل المعايرة

يبين الشكل(7) القص الطابقي الأعظمي الناتج من تحليل ديناميكي خطي تحت تأثر زلزال السنترو، بمقارنة هذا الشكل مع الشكل(3) الذي يبين توزع قوى القص الناتجة من تحليل استاتيكي نجد:

- حوائط القص في جمل إطار- جدار يمكن أن يكون لها مشاركة هامة في مقاومة القوى الجانبية في الطوابق السفلية بشكل أكثر فاعلية مقارنة مع الطوابق العليا.
- تقل مساهمة حوائط القص في تحمل القص الطابقي الناتج ديناميكياً بسرعة كبيرة مع الارتفاع عندما تكون حوائط القص ذات صلابة قليلة نسبة إلى صلابة المبنى، وبالتالي تتعرض الإطارات في الطوابق الوسطية والعليا لقوى قص طابقية ديناميكية أكبر من قوى القص الناتجة من التحليل الاستاتيكي. وهذا يبرر الحاجة إلى إجراء تحليل ديناميكي للتعرف على توزع القوى في هذه الحالة.

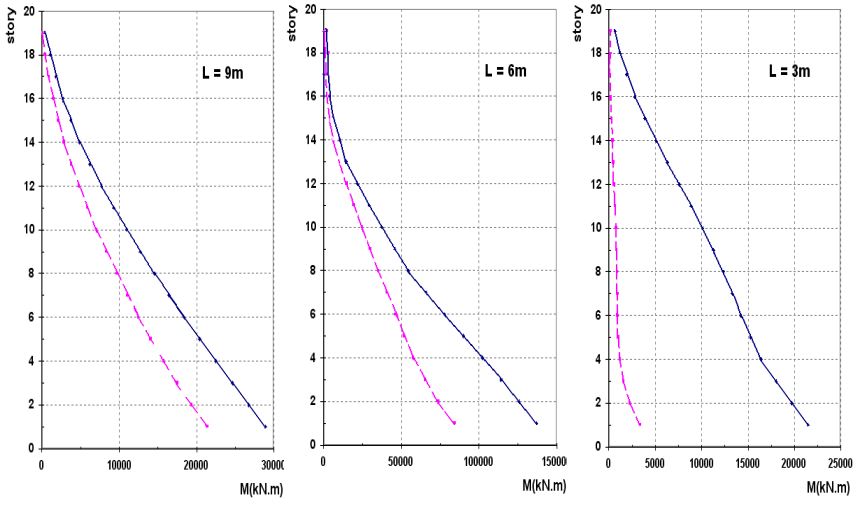


جدران + إطارات ----- جدران

الشكل(7): القص الطابقي الأعظمي الناتج من تحليل ديناميكي خطي تحت تأثر زلزال السنترو المعاير إلى $0.25g$

يبين الشكل(8) العزوم الطابقية الأعظمية الناتجة من تحليل ديناميكي خطي تحت تأثر زلزال السنترو، بمقارنة هذا الشكل مع الشكل(4) الذي يبين توزع العزوم الطابقية الناتجة من تحليل استاتيكي نجد:

- إن مساهمة حوائط القص في مقاومة القوى الجانبية في جمل إطار- جدار تنخفض تدريجياً باتجاه الطوابق العليا.
- عند استخدام حوائط قص ذات صلابة حوائط قص كبيرة نسبة إلى صلابة المبنى يكون سلوك جمل إطار- جدار قص أقرب إلى سلوك الجملة الجدارية، ويكون دور الإطارات مهمل.



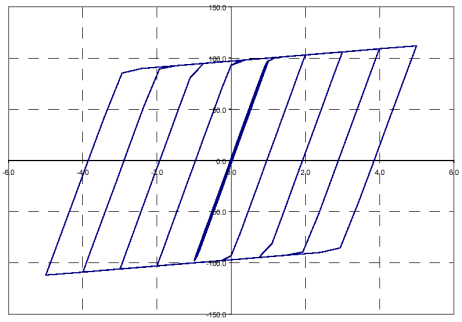
جدران + إطارات ---- جدران

الشكل(8): العزوم الطابقية الأعظمية الناتجة من تحليل ديناميكي خطي تحت تأثر زلزال السنترو المعاير إلى $0.25g$

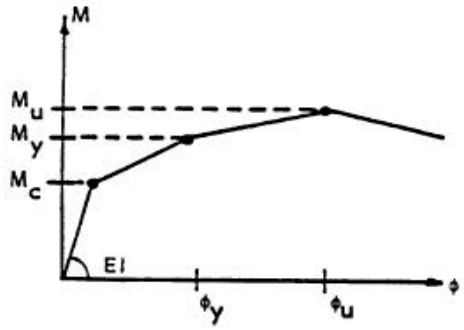
7.دراسة سلوك جمل إطار- جدار قص وإظهار مميزات هذه الجمل في المرحلة اللاخطية

تعرضت المنشآت والمباني البيتونية المسلحة في مواقع عديدة من العالم إلى عمليات اختبار واقعي خلال الأحداث الزلزالية المدمرة، وقد دفع السلوك غير المناسب لجمل الأبنية خلال الحركات الزلزالية إلى محاولة التعرف على السلوك اللاخطي وصولاً إلى معرفة سيناريو الانهيار، وقد ظهرت مفاهيم المطاوعة التي أصبحت من العوامل الهامة في تصميم المنشآت المقاومة للزلازل

تم استخدام برنامج IDARC 2D [7] لإجراء التحليل الاستاتيكي اللاخطي للنماذج الرياضية المدروسة. يمكننا من خلال هذا البرنامج تمثيل الأعمدة والجوائز وحوائط القص والعناصر الطرفية والقواطع والمخمدات باستخدام النموذج الليفي (fiber model). تم اعتماد النموذج الهستيري ثنائي الخطية المبين في الشكل(9) كما يبين الشكل(10) بارامترات التشوه.



الشكل(9) : نموذج عن السلوك الثنائي [7]



الشكل(10) : بارامترات التشوه [7]

مؤشرات الضرر (Damage Indices) [7]

إن الغاية من مؤشرات الضرر هي تقييم استجابة المنشآت. وتحسب مؤشرات الضرر في البرنامج على مستوى العنصر والطابق والمنشأ كاملاً. استخدم في هذه الدراسة نموذج بارك-أونغ-وين المعدل (Modified PARK_ANG_WEN Model)لحساب مؤشرات الضرر على مستوى العنصر والطابق والمنشأ كاملاً. تعطى قيمة مؤشر بارك للضرر من أجل عنصر إنشائي بالعلاقة التالية:

$$DI = \frac{\theta_m - \theta_r}{\theta_u - \theta_r} + \frac{\beta}{M_y.\theta_u}.E_h \qquad (2)$$

θ_m : الدوران الأعظمي الحاصل خلال تاريخ الاستجابة. θ_u : قدرة تحمل الدوران الأعظمية للمقطع.

θ_r : التشوه المرن عند إلغاء التحميل. M_y : عزم السيلان. E_h : الطاقة المتبددة بالمقطع. β: ثابت الموديل وقيمته 0.1.

يتم حساب مؤشر الضرر على مستوى الطابق والمنشأ ككل باستخدام معاملات الوزن المتعلقة بالطاقة الهستيرية المتبددة بالعناصر وذلك من خلال العلاقات :

$$DI_{story} = \sum(\lambda_i)_{component}.(DI_i)_{component}; (\lambda_i)_{component} = \left(\frac{E_i}{\sum E_i}\right)_{component}$$

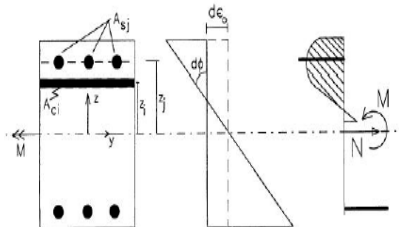
$$DI_{overall} = \sum(\lambda_i)_{story}.(DI_i)_{story}; (\lambda_i)_{story} = \left(\frac{E_i}{\sum E_i}\right)_{story} \qquad (3)$$

λ_i : معاملات وزن الطاقة. E_i : الطاقة المستهلكة الكاملة من قبل العنصر أو الطابق i.

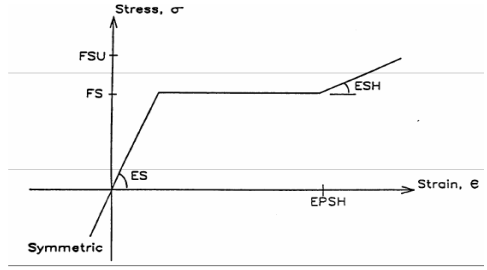
تم اختبار نموذج بارك (Park)على تسعة أبنية من البيتون المسلح ومن خلال ظواهر الضرر المشاهدة تم اعتماد درجات الضرر الموضحة في الجدول التالي:

الجدول(2): درجة الضرر المرافقة لمؤشرات الضرر

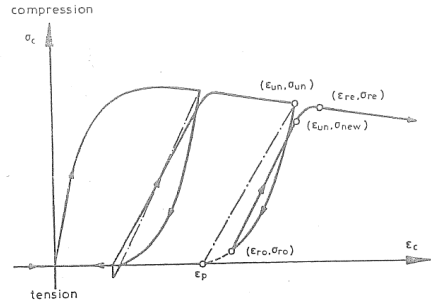
وضع المبنى	مؤشر الضرر	الظواهر المشاهدة	درجة الضرر
انهيار كامل	>1.0	انهيار جزئي أو كلي للمبنى	انهيار
غير قابل للإصلاح	0.4 – 1.0	تصدع شديد في البيتون – تكشف لحديد تسليح الانعطاف	شديد
قابل للإصلاح	< 0.4	شقوق كبيرة زائدة – تفلق البيتون في العناصر الضعيفة	متوسط
غير متضرر		شقوق صغيرة – تصدعات جزئية في الأعمدة	قليل
غير متضرر		حدوث تشققات غير مستمرة	بسيط



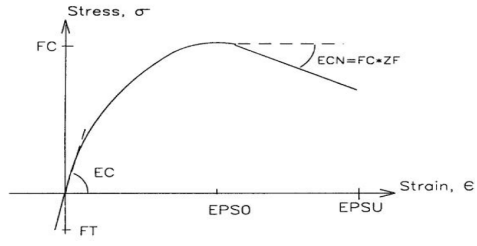
الشكل(11) : تفصيلة المقطع المدروس من خلال النموذج الليفى [7]



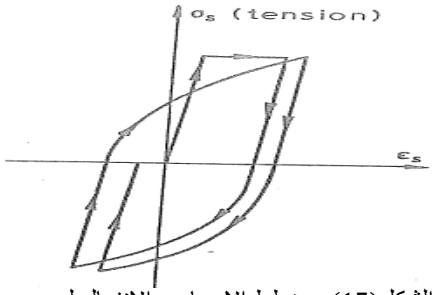
الشكل(12) : مخطط الإجهاد_الانفعال لحديد التسليح [7]



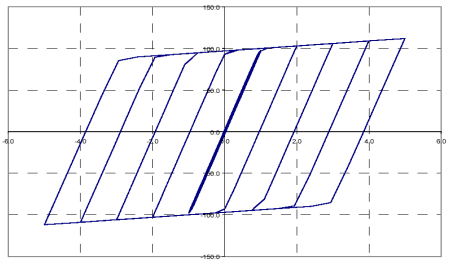
الشكل(13): مخطط الإجهاد – الانفعال للبيتون المطوق المعرض لحمولات دورية [7]



الشكل(14) : مخطط الإجهاد_الانفعال للبيتون غير المطوق [7]



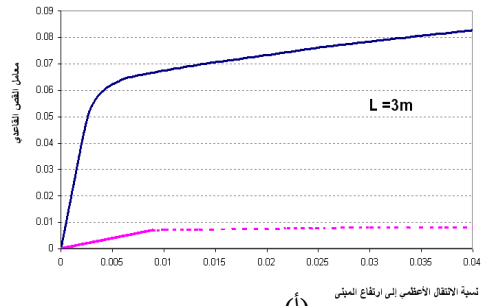
الشكل(15): مخطط الإجهاد – الانفعال لحديد معرض لحمولات دورية [7]



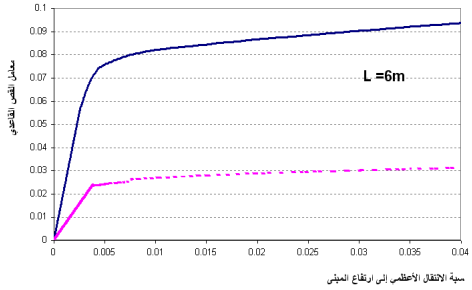
الشكل(16) : نموذج عن السلوك الثنائي [7]

يظهر الشكل(17) مقارنة العلاقة بين القص القاعدي النسبي ونسبة الانتقال الأعظمي في أعلى المبنى إلى ارتفاعه في الحالتين: مع/بدون تشغيل الإطارات، وفيه نلاحظ ما يلي:

- تلعب الإطارات دور في التحمل في المرحلة اللاخطية حيث تتحمل حوالي 89% من قوة القص القاعدي عند استخدام جدران بطول 3m، و 67% عند استخدام جدران بطول 6m، و 34% في حالة جدران بطول 9m. وهذا يعني أنه حتى عند استخدام جدران ذات صلابة كبيرة نسبة إلى صلابة المبنى يبقى للإطارات دور في التحمل في المرحلة اللاخطية.



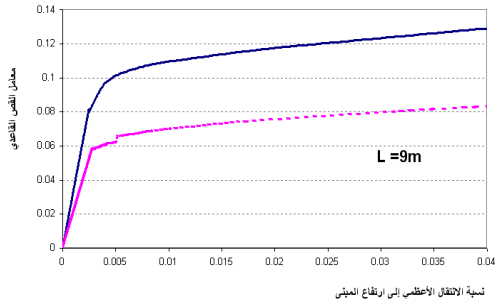
(أ)



(ب)

تحليل ستاتيكي لا خطي

Pushover Analysis



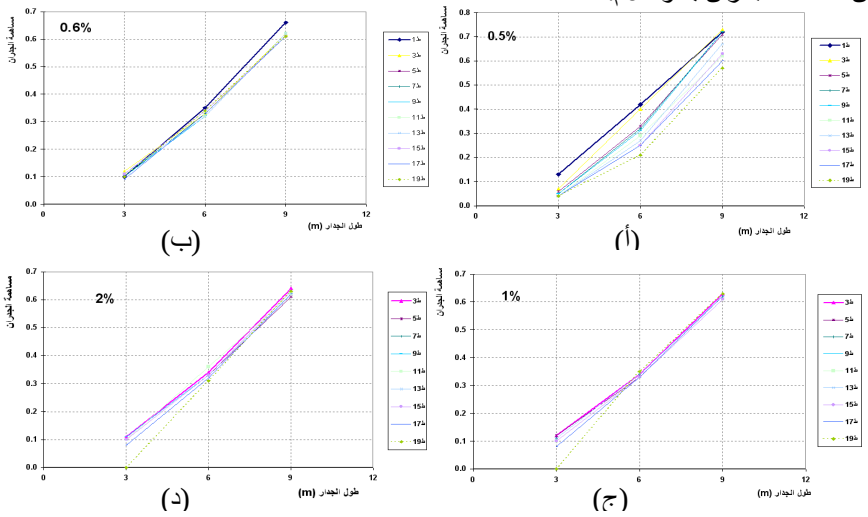
(ج)

——— جدران + إطارات ----- جدران

الشكل(17): مقارنة منحني العلاقة بين معامل القص القاعدي ونسبة الانتقال الأعظمي في أعلى المبنى إلى ارتفاعه في الحالتين: مع/بدون تشغيل الإطارات

يبين الشكل(18) العلاقة بين مساهمة حوائط القص وطولها من أجل عدة قيم للإزاحة الطابقية النسبية من أجل جميع الطوابق، وفيه نلاحظ :

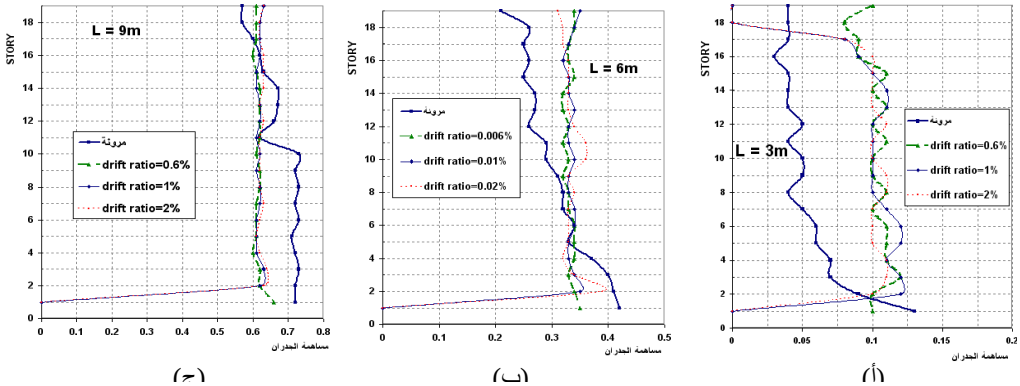
- تزداد مساهمة حوائط القص بشكل واضح مع زيادة صلابتها. فمن أجل الطابق الأول مثلاً ومن أجل إزاحة نسبية تتوافق مع نهاية المرحلة المرنة نجد أن مساهمة حوائط القص تزداد عند زيادة طول الجدار من 3م إلى 6م بمقدار 3.6ضعف. كما أن مساهمة حوائط القص من أجل جدران بطول 9م تكون أكبر بـ 1.7 مرة تقريباً من مساهمة جدران بطول 6م.



الشكل(18): العلاقة بين مساهمة الجدران وطولها من أجل عدة قيم للإزاحة الطابقية النسبية

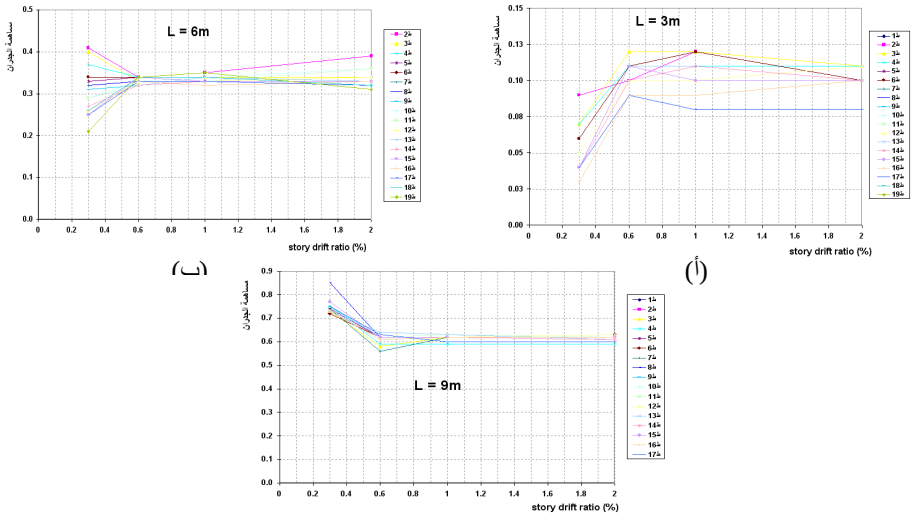
يبين الشكل(19) تغير مساهمة حوائط القص عبر الارتفاع من أجل عدة قيم للإزاحة الطابقية النسبية، وفيه نلاحظ:

- من أجل نسبة الانزياح الطابقي الموافقة لنهاية المرحلة المرنة ($0.005 \geq$): تقل بشكل عام مساهمة حوائط القص مع الارتفاع.
- من أجل نسبة الانزياح الطابقي في المرحلة اللدنة ($0.005 <$): تصبح مساهمة حوائط القص ثابتة تقريباً مع الارتفاع وربما يعزى هذا إلى أن حوائط القص قد استنفذت طاقتها.



الشكل(19): تغير مساهمة الجدران مع الارتفاع من أجل عدة قيم للإزاحة الطابقية النسبية

يبين الشكل(20) العلاقة بين مساهمة حوائط القص والإزاحة الطابقية النسبية من أجل جميع الطوابق، وفيه نجد أن مساهمة حوائط القص في المرحلة اللدنة تصبح ثابتة تقريباً عبر الارتفاع مهما كانت قيمة نسبة الإزاحة الطابقية.



(ب) (أ)

(ج)

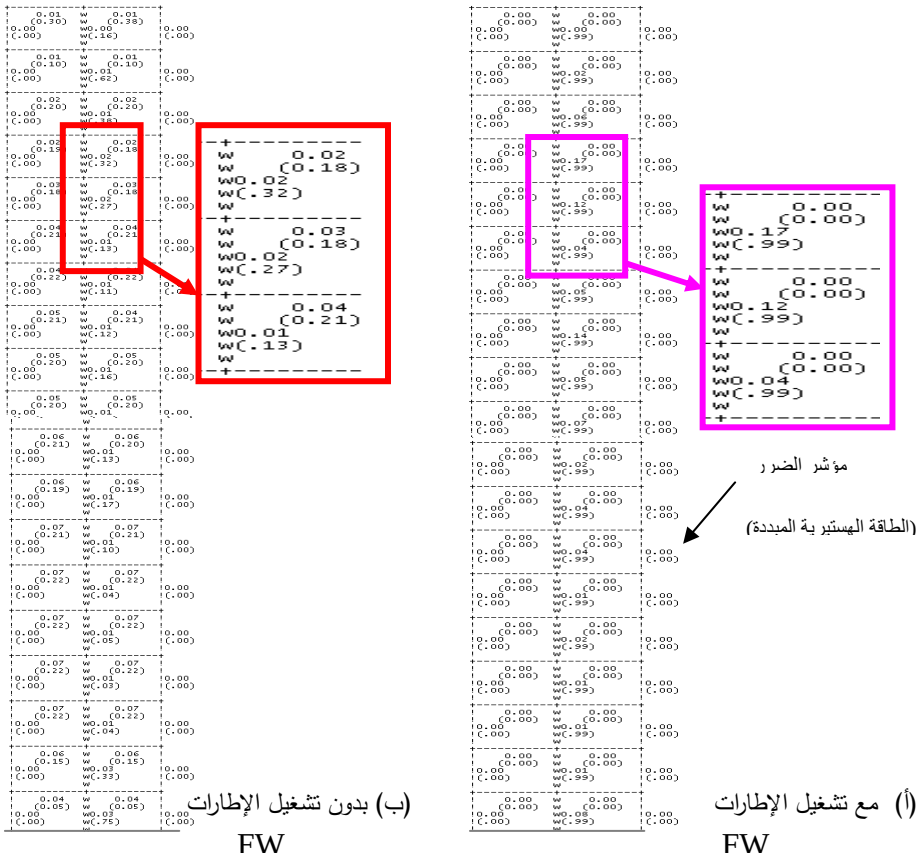
الشكل(20): العلاقة بين مساهمة الجدران والإزاحة الطابقية النسبية

توضح الأشكال(21): قيم مؤشرات الضرر ومقدار الطاقة الهستيرية المبددة من خلال العناصر ، وفيها نجد أن الإطارات تلعب دور هام في تقليل قيمة مؤشر الضرر للجدران عند تعرض جمل إطار- جدار قص للزلازل.

8. معامل الجملة الإنشائية في بعض الكودات العالمية والكود العربي السوري

بمراجعة ما ورد في كل من الكود العربي السوري[1] والكود الأمريكي UBC97[5] و IBC2003[6] حول جمل إطار- جدار قص وكيفية حساب معامل الجملة الإنشائية R (وهو معامل رقمي يمثل المقاومة المتأصلة الزائدة ومقدار الممطولية العامة للجملة المقاومة للقوى الأفقية) نجد مايلي:

- في الكودات الثلاثة تم تعريف جمل إطار- جدار قص (Dual Systems) بأنها الجمل التي يتم فيها تصميم الإطارات بحيث تقاوم كحد أدنى 25% من القص القاعدي أو مساهمتها الفعلية أيهما أكبر.
- فرضت الكودات الثلاثة استخدام جمل إطار- جدار قص في المنطقتين الزلزاليتين 3,4 ومنعت استخدام إطارات في هذه الجمل تقل مساهمتها عما حدد في تعريف جمل إطار- جدار قص.
- اشترط كل من الكود السوري والأمريكي UBC97 استخدام إطارات خاصة متوسطة المقاومة للعزوم عند استعمال جملة إطار- جدار قص في المنطقتين 3,4. أما في المناطق الزلزالية 2A, 2B, 2C فسمح أن يكون الإطار متوسط المقاومة للعزم على الأقل.
- منع كل من الكود السوري والأمريكي UBC97 استخدام الجمل ذات الفعل المتبادل بين الإطارات وحوائط القص Interactive Shear Wall – Frame Systems (وهي الجمل التي تستعمل فيها حوائط القص والإطارات المصممة لمقاومة القوى الجانبية بنسبة قساواتها النسبية مع الأخذ بالحسبان الفعل المتبادل بين حوائط القص والإطارات على كافة المناسيب).
- أضاف الكود السوري جدول مبسط لتحديد قيم R للجمل الإنشائية العادية الشائعة الاستعمال في سوريا وفيه يفرض استخدام تفاصيل تسليح للعناصر الإطارية تتعلق بمقاومة الزلازل حتى إذا لم يعط للإطارات أي مساهمة في مقاومة الأحمال الزلزالية، وحدد قيمة R لهذه الحالة بـ 4.5



الشكل(21): قيم مؤشرات الضرر ومقدا ر الطاقة الهستيرية المبددة من خلال العناصر الإنشائية $L = 3m$
الرقم بين قوسين هو مقدار الطاقة الهستيرية المبددة في كل عنصر

9. نتائج وتوصيات

1.9. نتائج

- إن عملية توزيع الأحمال الجانبية بين الإطارات وحوائط القص وفق صلابة كل منهما فقط تعتبر طريقة غير دقيقة، إذ يجب أخذ الأثر المتبادل بينهما الذي يراعي شكل التشوه.
- تملك جمل إطار- جدار قص العديد من المميزات فهي تزيد الصلابة والمقاومة الجانبية للنظام كما تسمح بالتحكم بالانحراف الطابقي والقدرة على تبديد الطاقة عند الحاجة خصوصاً في الطوابق العليا من المبنى العنصرين.
- تلعب الإطارات دور هام في تقليل المطاوعة المطلوبة من حوائط القص ويزداد دورها كلما زاد ارتفاع المبنى (دور المبنى). كما تساهم في تقليل قيمة مؤشر الضرر للجدران إذ تتحمل جزء هام من القص القاعدي حتى في المرحلة اللدنة.

2.9. توصيات

- ضرورة أخذ مساهمة الإطارات بعين الاعتبار عند تصميم جمل إطار- جدار قص نظراً لمشاركتها في التحمل في المرحلتين الخطية واللاخطية وفي تخفيف الضرر عن حوائط القص وتقليل المطاوعة المطلوبة من حوائط القص عند التعرض للزلازل.
- تبني قيم R الواردة في الكود IBC2003 حيث أن هذا لا يتعارض مع بقاء العوامل الأخرى الواردة في

هذا الكود كما هي.

- وضع إجراءات لتصميم جمل إطار- جدار قص في الكود العربي السوري.

10. المراجع

[1] الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ الإنشاءات بالخرسانة المسلحة 2005 ، نقابة المهندسين.

[2] Khan، F. R. and Sbarounis، J.A.، "Interaction of Shear Walls and Frames in Concrete Structures under Lateral Loads،" Journal of the American Society of Civil Engineering، 90 (ST3)، June 1964.

[3] Iain A.، Macleod، Shear Wall-Frame Interaction – A Design Aid (EB066.01 D)، Portland Cement Association، 1970.

[4] Paullay، T. & Priestly، M.J.N، Seismic Design of Reinforced Concrete and Massonary Building، 1995.

[5] Uniform Building Code (UBC) 1997، International Conference of Building Officials.

[6] International Building Code (IBC) 2003، International Code Council، INC.

[7] Valles، R. E.، Reinhorn، A.M.، Kunnath، S.K.، and Madan، A Program for the Inelastic Damage Analysis of Buildings"، IDARC 2D Ver.6 Technical Report"، NCEER – State University of NewYork at Buffalo، 2005.