مجلة جامعة دمشق لبحوث الزلازل والكوارث

المجلد 2 العدد (1) – 2025: 1-17

Damascus University Journal of Earthquake and Disaster Research

Vo 2 number (1) -2025: 1-17

" دراسة تأثير طرائق النمذجة اللاخطية لجدار القص على سلوك الجملة الثنائية تحت تأثير الأحمال الجانبية"

سوزان عبدالله حاج سليمان[*1] هالة توفيق حسن[2] عمار كعدان[3]

[*1]. طالبة دكتوراه، مهندسة في قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق، سورية.

E-mail: suzan.suliman@damascusuniversity.edu.sy

[2]. أستاذ، دكتور، مهندس في قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق، سورية.

E-mail: hala.hasan@damascusuniversity.edu.sy

[3]. أستاذ، دكتور، مهندس في قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب، سورية.

E-mail: dr.a.kaadan@alepuniv.edu.sy

الملّخص:

تُعد الجملة الثنائية من أهم الجمل الإنشائية المقاومة للأحمال الجانبية (الزلزالية)، وأكثرها شيوعاً، وبتحقيق العمل المشترك الجيد للإطارات والجدران والفهم الصحيح لسلوك هذه الجملة، نصل للتصميم الأفضل تحت تأثير الحمولات الزلزالية. لذلك لابد من اختيار النماذج اللاخطية المناسبة لتمثيل السلوك اللدن الفعلي لعناصر هذه الجملة من إطارات وجدران قص، لذلك تم في هذا البحث دراسة جملة ثنائية خرسانية مسلحة(إطار متوسط مقاوم للعزوم + جدار قص خاص) باستخدام برنامج العناصر المحدودة المتطور ABAQUS، واستخدام برنامج العناصر المحدودة الخاص بالتصميم والتحليل الإنشائي ETABS، وفق ثلاثة طرائق لتمثيل السلوك اللاخطي لجدار القص، وهي النموذج التفصيلي في برنامج ABAQUS والذي يعتمد على نموذج CDP(Concrete Damage Plasticity) لتمثيل سلوك البيتون، ونموذجين في برنامج ETABS نموذج مفصل الألياف Fiber hinge، ونموذج القشرة متعددة الطبقات (Multi-layered shell element)، وذلك للتحقق من تأثير اختيار النموذج اللاخطي لجدار القص على سلوك الجملة الثنائية واختيار النموذج الأفضل.

تمت دراسة جملة ثنائية مؤلفة من خمسة طوابق، تساهم فيها الإطارات بتحمل 29% من قوة القص الإجمالية، بتغيير النموذج اللاخطي المعتمد في تمثيل السلوك اللاخطي لجدار القص (النموذج التفصيلي(Micro model، نموذج مفاصل الألياف(Fiber hinge)، نموذج عنصر القشرة متعدد الطبقات (Multi-layered shell element)) وتمت دراسة النماذج بتأثير حمل دفع جانبي باستخدام التحليل الاستاتيكي اللاخطي، كما تم رسم منحني قوة جانبية-انتقال جانبي، ورصد أماكن تشكل المفاصل اللدنة، وقيم الإجهادات. تم حساب عامل تعديل الاستجابة للنموذج الأفضل ومقارنته مع قيم الكودات. أظهرت النتائج قدرة نموذج عنصر القشرة متعدد الطبقات على تمثيل السلوك الفعلي للجدار، وبالتالي السلوك الفعلي للجملة الثنائية، بالإضافة لتوفيره في كلفة وجهد التحليل وخاصة عند الحاجة لنمذجة منشآت بالمقياس الكامل، كما تمتع نموذج بالدقة وسهولة التعامل مع المخرجات والإستفادة منها وخاصة عند حساب عامل تعديل الاستجابة.

الكلمات المفتاحية: الجمل الثنائية، الإطارات البيتونية المسلحة، الجدران القصية البيتونية المسلحة، طريقة العناصر المحدودة، النمذجة اللاخطية، القشرة متعددة الطبقات، عامل تعديل الاستجابة.

تاريخ الإيداع: 2024/2/4

تاريخ القبول: 2024/4/29

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب **CC BY-NC-SA**

Studying the Effect of Nonlinear Modeling Methods of Shear Wall on the Behavior of Dual System under Lateral Loads

Suzan Abdullah Haj Suliman*[1] Hala Tawfiq Hasan[2] Ammar Kaadan[3]

*[1]. PHD student,Eng of Seismic Structural Engineering Department, Higher Institute of Earthquake Studies & Research - University of Damascus, Syria

E-mail: suzan.suliman@damascusuniversity.edu.sy

[2]. Professor of Seismic Structural Engineering Department Higher Institute of Earthquake Studies & Research - University of Damascus, Syria

E-mail: hala.hasan@damascusuniversity.edu.sy

[3]. Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Aleppo, Syria.

E-mail: dr.a.kaadan@alepuniv.edu.sy

Received: 4/2/2024

Accepted: 29/4/2024

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

ABSTRACT:

Dual systems are crucial for resisting seismic loads, and their optimal design relies on the interaction between frames and walls. This paper studies the RC dual system using the advanced finite element program ABAQUS and the finite element program for structural analysis and design ETABS. Three models were used: the detailed model according to ABAQUS, based on the CDP (Concrete Damage Plasticity), and two models in the ETABS program, the fiber hinge model and the multi-layered shell element model. A five-story 2D building with dual systems was modeled and analyzed, with frames contributing 29% of the total shear force. The models were analyzed under lateral loads using nonlinear static analysis, and a capacity curve was drawn to compare plastic hinge locations and stresses values. The response modification factor for the optimal model was calculated and compared with code values. The results showed that the multi-layer shell element model effectively represents the nonlinear behavior of shear walls and dual systems, but it also has a brevity and cost-effectiveness, especially for 3D buildings.

Key words: Dual Systems, RC frames, RC Shear walls, Finite element method (FEM), Nonlinear Modeling, Multi-Layered shell element, Response Modification Factor.

المقدمة:

تعتبر الجمل الثنائية (إطارات+جدران قص) من أكثر الجمل الإنشائية شيوعاً لمقاومة الحمولات الزلزالية، وخاصة في الأبنية المرتفعة، لما لها من ميزات حيث تتمتع جدران القص بكفاءة عالية في مقاومة الحمولات الأفقية، وتؤمن الإطارات مطاوعة كافية للمبنى، وبتحقيق السلوك المشترك الجيد للإطارات والجدران والفهم الصحيح لهذا السلوك، نصل للتصميم الأمثل للأنظمة الإنشائية المقاومة للحمولات الزلزالية.

يعد اختيار النموذج اللاخطي المناسب لجدار القص من أكبر التحديات التي تواجه الدارسين والمصممين الإنشائيين، حيث إن إختيار نموذج غير مناسب قد لايمثل السلوك الفعلي لجدار القص، وبالتالي لايمكن عكس السلوك الحقيقي للجملة الثنائية، ولايحقق الفهم الصحيح لسلوك هذه الجمل، كما أظهرت العديد من الدراسات الأثر الكبير لإختيار طريقة النمذجة اللاخطية لجدار القص في تحسين السلوك الزلزالي للجمل الثنائية البيتونية المسلحة.

1- أهمية البحث وأهدافه(Objective):

تأتي أهمية هذا البحث في اختبار العديد من النماذج اللاخطية لتمثيل سلوك الجدران القصية وفق العديد من برامج العناصر المحدودة البحثية، وبرامج التحليل والتصميم الإنشائي المعروفة، وتحديد النموذج الأدق في عكس السلوك المعقد لجدار القص ضمن الجملة الثنائية، وذلك ببناء نموذج عددي لجملة ثنائية مؤلفة من إطار متوسط وجدار قص خاص وذلك بالإعتماد على طريقة العناصر المحدودة وباستخدام برنامجي (ABAQUS2019)، (ETABS20.3)وفق التحليل الاستاتيكي اللاخطي، حيث يهدف البحث الحالي إلى اختيار طريقة النمذجة اللاخطية الأفضل لجدار القص البيتوني المسلح، ويهدف للمقارنة بين نتائج النمذجة باستخدام البرامج البحثية وبرامج التحليل والتصميم الإنشائي، والتأكيد على أهمية معيار كلفة وزمن التحليل ضمن حدود الدقة المطلوبة، كما يهدف إلى دراسة تأثير تغيير طريقة النمذجة اللاخطية على سلوك الجملة الثنائية المدروسة تحت تأثير الحمولات الجانبية المطبقة.

2- المراجعة التاريخية والبحثية Historical and Literature Review:

قام الباحث Clough et(1965) بأول محاولة لاستخدام النماذج العددية لمحاكاة السلوك اللاخطي للعناصر البيتونية المسلحة على وجه التحديد، لجدران القص، باستخدام عنصر جائز-عمود عند المحور الوسطى للجدار مع وصلات صلبة على جائز العارضة، كما استخدم الباحثون Takayanagi and Schnobrich (1976)، والباحثون Keshavarzian and Schnobrichused (1984) هذا النموذج لمحاكاة سلوك نظام جدار القص المزدوج تحت تأثير التحميل الاستاتيكي والديناميكي، افترض هذا النموذج أن الدوران حول نقطة ثابتة على المحور الوسطي للجدار، مما جعل هذا النموذج غير قادر على الأخذ بعين الاعتبار تأثيرات السلوك اللاخطي للجدار،مثل تغير موقع المحور المحايد.

كما قامKabeyasawa et al (1984) بتطوير هذا النموذج، واختبر السلوك اللاخطي لنموذج جدار قصي بسبعة طوابق، وفرض نموذج جديد لتمثيل السلوك اللاخطي للجدار-Three vertical-line-element-model(TVLEM) كان هذا النموذج قادراً على اعتبار الإختلاف في موقع المحور المحايد، وتفاعل الجدار مع عناصر الإطار الأخرى، مع التنبؤ بالاستجابات المحلية مثل الإزاحة الجانبية، والقص القاعدي، والدوران عند نهايات الجوائز، والتي كانت متوافقة بشكل مناسب مع النتائج التجريبية.

كما استخدم Smith and Girgis(1984) لأول مرة الجوائزالشبكية لمحاكاة سلوك جدران القص.

قام (1997)Kabeyasawa باقتراح النموذج المعدل Modified model of a three-vertical-line-element model(TVLEM)، حيث قام الباحث باستبدال النوابض الوسطية الأفقية والشاقولية في النموذج الأصلي بعناصر صفائحية مستوية لاخطية، بينما بقيت النوابض الطرفية الشاقولية كما هي في النموذج الأصلي.

استخدم Chen et al(2000) محاكاة عنصر الصفيحة اللاخطي المستوي لتمثيل السلوك اللاخطي للجدار، حيث اعتمد في النموذج عنصرين مستويين لاخطيين، أحدهما متماثل الشروط (isoperimetric) والآخر غير متماثل الشروط (incompatible).

وفي عام (2007) قام الباحث نفسه باختبار هذا النموذج على جملة (إطار – جدار) بالمقياس الكامل لنموذج بستة طوابق.

نتيجةً لتطور العلوم الهندسية وتطور نظرية العناصر المحدودة، وظهور العديد من البرامج المعتمدة عليها والقادرة على تمثيل سلوك معظم عناصر المنشآت، حالياً، أصبح لدينا العديد من برامج العناصر المحدودة التي تمكن الباحثين والمصممين من الوصول إلى استجابة دقيقة لسلوك العناصر، حيث قام الباحثون Kolozvari et al (2019) بالتحقق من سلوك جدار القص، باستخدام خمس برامج تعتمد على نظرية العناصرالمحدودة VecTor2, SAFE,DIANA,QLMEDD and LS-DYNA.

كما ظهرت طريقة أخرى للعناصر المحدودة، تدعى طريقة الألياف FIBER يتم فيها تقسيم العناصر شاقولياً لمجموعة من الألياف أو الطبقات المتوازية، وكل ليف يمكن أن يمثل مادة جديدة، حيث استخدم الباحثون Belmouden and Lestuzzi (2007) هذه الطريقة لتمثيل السلوك اللاخطي لجدار القص البيتوني المسلح تحت تأثير حمل دوري معكوس.

في عام(2016) ظهرت طريقة جديدة لتمثيل السلوك اللاخطي لجدار القص باستخدام عنصر القشرة متعدد الطبقات(Multi-layered shell element) حيث قام الباحثان , Anderson, Massone بتطبيق هذا النموذج على مختلف تكوينات جدران القص، وأظهرت الطريقة دقة جيدة في التنبؤ بالاستجابة المحلية والعامة للجدار، كما أنها تأخذ بعين الاعتبار التأثير المشترك للقوى المحورية وعزم الإنعطاف والقص.

قام الباحثان Mousavi, Tariverdilo (2020) بتعريف ثلاثة نماذج رقمية لتمثيل السلوك اللاخطي لجدار القص، نموذج القشرة ذات الطبقات المتعددة، ونموذج عنصر الخط العمودي المتعدد(MVLE)، ونموذج مقطع الألياف باستخدام البرامج Open Sees و AP2000 على التوالي، حيث تم أولاً إجراء دراسة بارامترية لتقييم تأثير حجم الشبكة والعنصر على الإستجابات العامة والمحلية لكل نموذج. ثم تمت مقارنتها مع نتائج الاختبار التجريبي لجدار قص بيتوني مسلح نموذجي من الدراسات السابقة .أظهرت النتائج أن جميع النماذج، بغض النظر عن حجم الشبكة، توفر استجابة دقيقة نسبيًا لنتائج منحني حمولة–إنتقال العام بينما تختلف النتائج بالنسبة لقيم الانفعالات المحلية.

قام الباحثون Papanikolaou, Vassilis, et al(2021) بدراسة لتطوير عنصر القشرة متعدد الطبقات المستخدم لتمثيل السلوك اللاخطي لجدران القص الخرسانية المسلحة، تم تعيين القوانين التأسيسية الدورية اللاخطية للبيتون والفولاذ لكل طبقة ذات مغلف إجهاد مستوي متماثل المناحي Isotropic للبيتون ومتعامد المناحي Orthotropic للفولاذ، اعتمادًا على اتجاهها الطولي أو العرضي. ثم تم اشتقاق الانفعالات في كل طبقة على حدة من الانفعالات التجريبية وانحناءات نقطة التكامل المحددة، ثم تم حساب االاجهادات، تم أخيرًا اشتقاق القوى وعزوم الانعطاف لكل نقطة تكامل من خلال التكامل العددي لجميع الطبقات، تم التحقق من صحة الصيغة المذكورة أعلاه باستخدام القانون التأسيسي لمختلف تواريخ الانفعالات النمطية والدورية، بهدف ادخالها بشكل كامل في كود العناصر المحدودة للبرنامج المسخدم TOL-RAF.

قام الباحثون Hussain, Nadeem, et al (2024) بتقديم مراجعة منهجية ومقارنة للأدبيات حول عوامل الاستجابة الزلزالية وتلخيص المباني المنتظمة وغير المنتظمة على مدى أربعة عقود ونوع الأنظمة، ونوع التحليل، ومكونات عوامل التصميم الزلزالي، وعدم الانتظام، والحركات الأرضية المدخلة، والتحميل الزلزالي المطبق على المباني. أوصت العديد من الدراسات بتحسين قيم R الموصى بها من قبل الكودات للمباني العادية بسبب هوامش السلامة الكافية الملحوظة. بناءً على مراجعة عوامل الاستجابة الزلزالية والقيود والثغرات التي تم تحديدها، قدمت الدراسة أبحاثًا مستقبلية محتملة تغطي هذه الثغرات.

3- وصف النموذج المدروس Model Describtion:

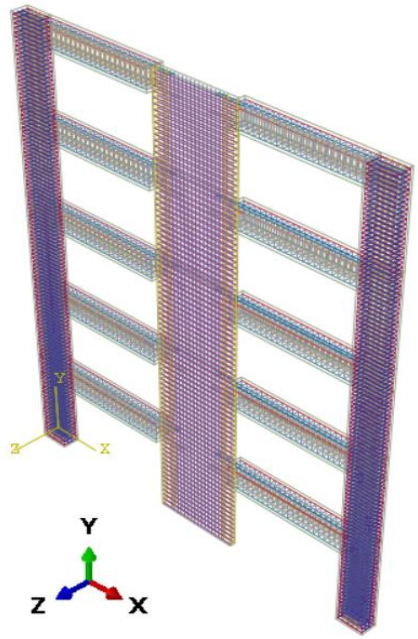
يبين الشكل(1) نموذج العناصر المحدودة للجملة الثنائية المدروسة(إطار بفتحة واحدة وجدار قص واحد)، حيث إن مجاز فتحة الإطار m 5، وارتفاع الطابقm 3.25، وعدد الطوابق 5 طابق، وطول الجدارm 3، بسماكة 20cm، والجملة بيتونية مسلحة خصائص المواد فيها:

fy=400MPa, fys=240MPa, f`c=30MPa

تم تصميم وتحقيق عناصر الإطار المتوسط المقاوم للعزوم (IMRF) (جوائز وأعمدة) وجدار القص الخاص وفق اشتراطات الكود العربي السوري، والكود الأمريكي ASCE7-16، وحسبت نسبة مساهمة الإطار بتحمل قوى القص الزلزالي فكانت 29% وللجدار 71%.

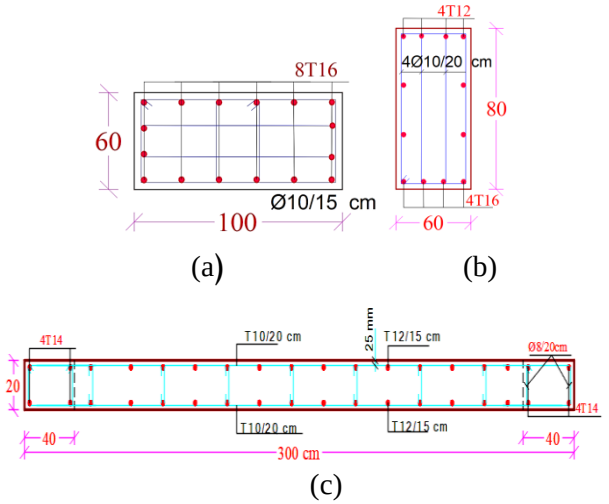
الحمولات المطبقة على الجوائز والجدار:

DL=9kN/m, LL=7.5 kN/m



الشكل(1) نموذج العناصر المحدودة للجملة الثنائية المدروسة مع كافة ترتيبات التسليح الطولي والعرضي.

كما يبين الشكل (2) ترتيبات التسليح الطولي والعرضي ضمن كافة عناصر تلك الجملة، و المقاطع العرضية، وتفاصيل كل من التسليح الطولي والعرضي لكافة عناصر النموذج (الإطار(الجوائز، الأعمدة)- جدار القص).



الشكل(2) تفاصيل التسليح والمقاطع العرضية لعناصر الإطار. (a)عمود- (b)جائز- (c)المقطع العرضي لجدار القص المدروس

4- طرائق البحث Research Methods:

تمت دراسة نموذج الجملة الثنائية وفق برنامجي ABAQUS,ETABS، وتم استخلاص النتائج ومقارنتها (منحني قوة جانبية– انتقال جانبي، عدة أنواع من الإجهادات، منحنيات الطاقة المبددة، أنماط الإنهيار).

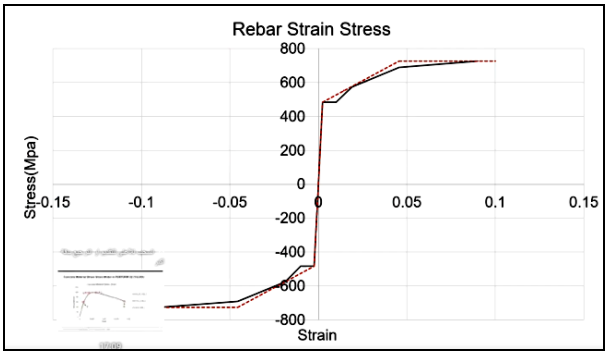
4-1- فرضيات النمذجة ووصف النموذج التحليلي وفق برنامج ETABS:

تمت نمذجة الجملة الثنائية البيتونية المسلحة المدروسة (إطار متوسط– جدارقص خاص) وفق برنامج العناصر المحدودة ETABS,V20.3 يمكن تلخيص أهم نقاط النمذجة وفق ما يلي:

-تم تعريف المواد المستخدمة بادخال منحني السلوك المناسب كما يلي:

✓ نموذج قضبان التسليح Rebar Model:

تم اعتماد نموذج Park لتمثيل منحني اجهاد –انفعال المحوري للشد والضغط لفولاذ التسليح في برنامج ETABS كما هو موضح بالشكل(3).

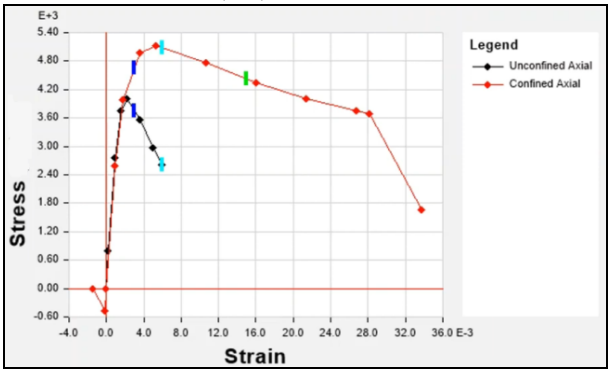


الشكل (3) منحني اجهاد –انفعال وفق Park ببرنامج ETABS (Berkeley, 2008,CSI).

✓ نموذج البيتون Concrete Model

تم اعتماد نموذج Mander لتمثيل سلوك البيتون، والذي يعطي تابعين لتمثيل سلوك البيتون في حالة التطويق وعدمه، كما هو مبين بالشكل(4).

حيث تم اعتماد نموذج البيتون غير المطوق لجسد جدار القص، وتم أخذ تأثير التطويق في العناصر المحيطية لجدار القص، بسبب وجود التسليح العرضي في الأعمدة الطرفية.



الشكل (4) منحني اجهاد –انفعال للبيتون على الشد والضغط وفق Mander ببرنامج ETABS (Berkeley, 2008,CSI).

- تم تعريف مقاطع الجوائز والأعمدة وتثبيتها في جميع الحالات المدروسة، كما تم إسناد مفاصل من النوع M_3-V_2 في بداية ونهاية الجوائز، ومفاصل من النوع P-M_2-M_3 في بداية ونهاية كل عمود، وذلك لتمثيل السلوك اللاخطي لهذه العناصر.

-تم تعريف جدار القص، وتمثيل سلوكه اللاخطي بطرق مختلفة وذلك لتحديد تأثير طريقة نمذجة السلوك اللاخطي للجدار على سلوك الجملة الثنائية وذلك كمايلي:

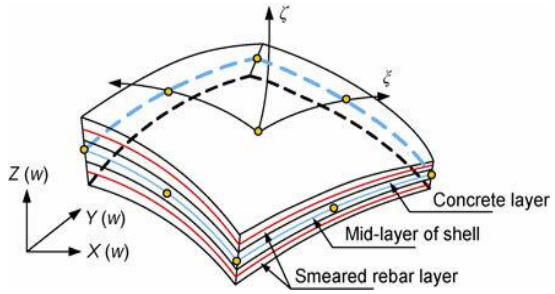
- النموذج Fiber Element

تم تعريف جدار القص كعنصر سطحي قليل الثخانة Thin Shell بسماكة 20cm وتم تمثيل السلوك اللاخطي للجدار باسناد مفاصل من النوع Auto Fiber Hinge المعنمدة وهي مفاصل تعرف مباشرة من قبل البرنامج من النوع P-M3 وتم اعتماد التسليح الحقيقي للجدار.

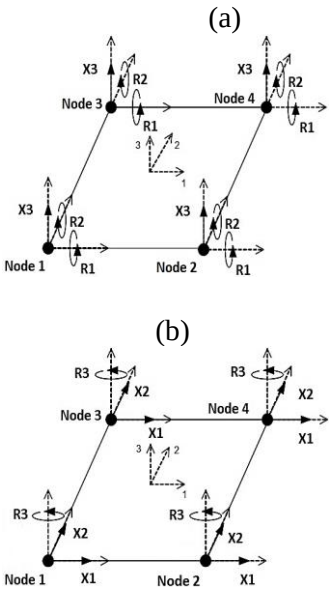
- النموذج Multi-Layered Shell element :

تم في هذا النموذج تعريف الجدار كقشرية سميكة بطبقات متعددة، كل طبقة يمكن أن تمثل مادة جديدة بمساحة مختلفة وخواص مختلفة وببعد مختلف عن الخط الأوسط لمقطع الجدار العرضي، تتألف القشرة من مجموعة من الطبقات كل طبقة تمثل جزء من الجدار، حيث تم تقسيم نموذج الجدار لثلاثة أقسام مستطيلة الشكل، وفرض مقطع الجدار كمنطقة مساحية

تنقسم لنوعين، غشائية (Membrane) تولد مخرجات ضمن مستوي الجدار (انتقالين ودوران ضمن هذا المستوي) تمثل القسم الخارجي المتشقق من بيتون الجدار على الوجهين، وصفائحية (Plate) تولد مخرجات خارج مستوي الجدار (انتقال ودورانين) تمثل القسم الداخلي غير المتشقق من بيتون الجدار (القسم المركزي)، كما هو مبين بالشكلين(5,6).

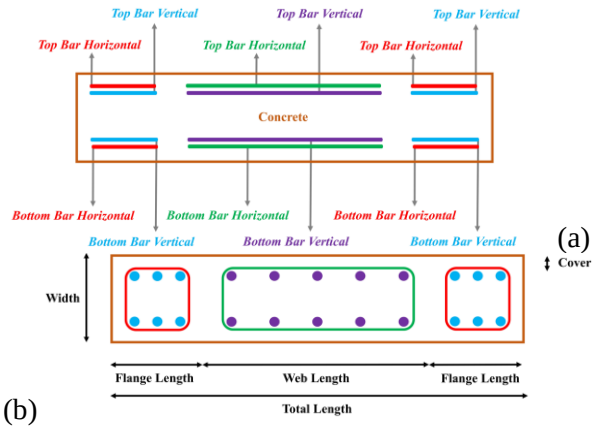


الشكل(5) طبقات العنصر لعنصر القشرة متعدد الطبقات (Berkeley, 2008,CSI).



الشكل 6: أنواع المقطع المساحي (a)Membrane, (b)Plate (Mander, 1988, 1804-1826).

يوضح الشكل(7)الطبقات التي تم تعريفها للمقطع العرضي للجدار، وذلك بإعتماد بيتون مطوق للعناصر الطرفية وبيتون غير مطوق لجسد الجدار، وإعتماد طبقتي تسليح أمامية وخلفية بكل منها شبكتين شاقولية وأفقية تعمل كل منها محورياً.



الشكل(7) مقطع جدار القص العرضي (a)المقطع الحقيقي (b)، وفق نموذج الطبقات المتعددة(Mander, 1988, 1804-1826)

- تم تحليل النموذج بالاعتماد على تحليل الدفع المتتالي، التحليل الاستاتيكي اللاخطي (PUSHOVER) بإعتماد انتقال هدف 400mm لضمان وصول المنشأ حتى الانهيار، وتم رسم منحني (قوة جانبية-انتقال جانبي) (Pushover Curve)، كما تم تحديد أنماط الإنهيار من خلال عرض آليات تشكل المفاصل في العناصر الإطارية، وقيم الإجهادات في الجدار، كما تم عرض منحنيات الطاقة الهيستيرية المبددة لكل نموذج (نموذج مفاصل الألياف Fiber Hinge- نموذج الطبقات المتعددة Multi-layered shell element)، وتم تحديد قيم القوى والإجهادات خلال خطوات التحليل لمقارنة النتائج.

4-2- فرضيات النمذجة ووصف النموذج التحليلي وفق برنامج ABAQUS:

بالاعتماد على كافة التفاصيل التي تم ذكرها في الفقرات السابقة فقد تمت نمذجة الجملة المعتمدة كنموذج ثلاثي البعد 3D ضمن برنامج العناصر المحدودة ABAQUS. يمكن تلخيص أهم نقاط النمذجة وفق ما يلي:

- تمت نمذجة الجوائز والأعمدة وجدار القص بالاعتماد على العنصر المحدود الفراغي المكعبي الخطي من النوع C3D8R

(Solid) والذي يتصف بثمان عقد وبأنه ذو تكامل جزئي Reduced Integration.

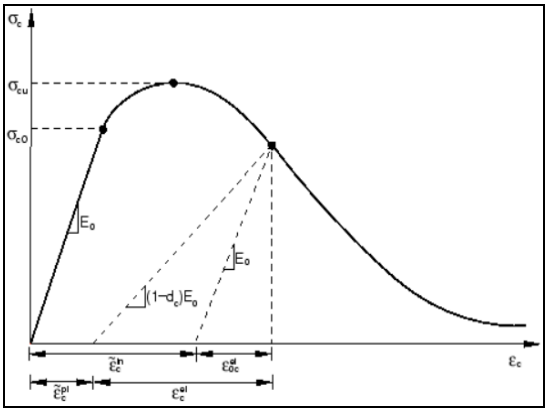
- تمت نمذجة فولاذ التسليح الطولي والعرضي ضمن كافة عناصر الإطار بالاعتماد على العنصر المحدود الشبكي الخطي T3D2 (Truss) والذي يتصف بأنه عنصر ذو عقدتين (في البداية والنهاية).
- اعتمد نموذج الإطار المدروس على الترابط التام بين العناصر البيتونية والعناصر الفولاذية وذلك باستخدام الرابط من النوع Embedded region.
- تم افتراض وجود صفيحة مكان وجود تطبيق الحمل وفق محور الجائز في الطابق الأخير، حيث تم تضمين سلوك تلك الصفيحة ضمن البرنامج كجسم صلب وذلك من خلال استخدام الرابط من النوع Rigid Body، وبوجود نقطة مرجعية تمثل نقطة تطبيق الحمل.
- لم يتم تقييد الإنتقالات والدورانات في النقطة المرجعية سابقة الذكر كون شروط التناظر في الأبعاد والحمولات والشروط المحيطية تمنع الإطار من التشوهات في مختلف الإتجاهات.
- لم تتم نمذجة أساس الإطار كونه صلباً وممنوع من التشوهات، حيث تم تمثيل سلوك الأساس من خلال تقييد جميع النقاط السفلية للإطار (أعمدة وجدار) ومنعها من الانتقالات والدورانات بالاتجاهات الثلاثة.
- تم تقسيم العناصر البيتونية المسلحة (جوائز، أعمدة، جدار) إلى عدد من العناصر المحدودة الفراغية مكعبية الشكل بلغ 4427 عنصر، بينما تم تقسيم قضبان الفولاذ الطولي والعرضي إلى عدد من العناصر المحدودة شبكية الشكل بلغ 16418 عنصراً.

بالنسبة لتوصيف المواد فيمكن تلخيصها كما يلي:

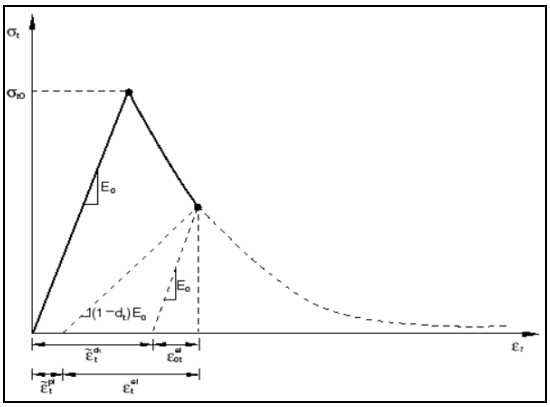
- تم تعريف سلوك مادة فولاذ التسليح كسلوك مرن–لدن Elastic- Plastic behavior، وفق البيانات الواردة في الشكل (3– منحني اجهاد –انغعال وفق Park).
- تم تعريف سلوك مادة البيتون كقسمين مرن ولدن، حيث تم تعريف السلوك المرن باعتماد قيمة لثابت بواسون مساوية إلى 0.15 وقيمة لعامل يونغ مساوية إلى 25084 MPa، بينما تم تعريف السلوك اللدن باستخدام النموذج المتوفر ضمن البرنامج المستخدم (Concrete Damage Plasticity) CDP والذي يعرف بأنه نموذج يعتمد على أن الضرر الحاصل متماثل الخواص ضمن المادة، كما أن التدهور بالصلابة المرنة ناتج عن بلوغ المادة تشوهات لدنة بكل من حالتي الضغط والشد (Demir et al., 2018)، ويجدر التنويه إلى أن تعريف القيم ضمن مخططات (الإجهاد–الانفعال) تم بالاعتماد على برنامج جزئي كُتب بلغة البرمجة Python وذلك باستخدام علاقات (Carreira and Chu, 1985).

CDP (Concrete Damage Plasticity): الذي يعرف بأنه نموذج اللدونة للبيتون المتضرر فيABAQUS والذي يعتمد على أن الضرر الحاصل متماثل الخواص ضمن المادة، كما أن التدهور بالصلابة المرنة ناتج عن بلوغ المادة تشوهات لدنة بكل من حالتي الضغط والشد (Demir, et al., 2018) ويسمح للمستخدم بالتحكم في تأثيرات استعادة القساوة أثناء التحميل الدوري المعكوس؛ يمثل النموذج المستمر للضرر القائم على اللدونة السلوك الميكانيكي للبيتون.

ويفترض أن آليتي الانهيار الرئيسيتين هما التشقق على الشد والسحق على الضغط. يتم التحكم في تطور سطح الخضوع (أو الانهيار) من خلال متغيرين يرتبطان بآليات الانهيار تحت تحميل الشد والضغط، على التوالي. يفترض النموذج أن استجابة الشد والضغط أحادية المحور للبيتون اللدن (المتضرر)، كما هو موضح في الشكلين (8,9) حيث يوضح الشكل(8) سلوك الضغط النموذجي ضمن البيتون، بينما يوضح الشكل (9) سلوك الشد النموذجي ضمن البيتون وذلك بالاعتماد على نموذج CDP (ABAQUS, 2019).



الشكل (8) مخطط الإجهاد–الانفعال بحالة الضغط ضمن البيتون، (Demir, et al., 2018)



الشكل(9) مخطط الإجهاد–الانفعال بحالة الشد ضمن البيتون ، (Aydin et al., 2018)

بالنسبة لتعريف الحمولات وطريقة التحليل المعتمدة فيمكن تلخيصها كما يلي:

- تم إدخال الوزن الذاتي لعناصر النموذج من خلال اعتماد قيمة للجاذبية الأرضية مساوية إلى 9810 mm/sec2 وباعتبار كثافة البيتون مساوية إلى 2.4e-9 ton/mm3.
- تم تطبيق الحمولات الميتة والحية على الجوائز كحمولات في واحدة السطح، كما تم تطبيق الحمولات ذاتها على الجدار القصي في كل طابق كحمولات في واحدة الحجم.
- تم تطبيق حمولة دفع متزايدة ضمن النقطة المرجعية وفق محور الجائز في الطابق الأخير وصولاً لقيمة الانتقال الهدف 400 mm.
- تم إجراء تحليل لاخطي (Materially Non-Linear Analysis, MNA) والذي يأخذ لاخطية المادة والانتقالات الكبيرة بعين الاعتبار، وذلك باستعمال التحليل من النوع Static, General Analysis.

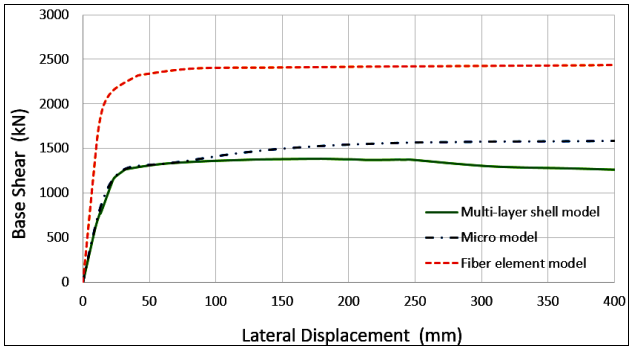
5–النتائج والمناقشة:

:Results and Discussion

بعد القيام بتحليل النماذج المنجزة ضمن برنامجي العناصر المحدودة المعتمدين ETABS, ABAQUS، وذلك باعتماد نموذجين ضمن برنامج ETABS، يمثلان: (نموذج مفاصل الألياف Fiber hinge، ونموذج الطبقات المتعددة Multi-layered shell element)، بالإضافة إلى النموذج التفصيلي Micro model ضمن برنامج ABAQUS، فقد تم تقسيم آلية عرض النتائج ومناقشتها إلى ثلاثة أجزاء، تم ضمن الجزء الأول رسم منحني القدرة Capacity curve والذي هو عبارة عن علاقة تربط بين القوة الجانبية المتزايدة المطبقة على النموذج والانتقال الجانبي للطابق الأخير ومقارنته بين النماذج الثلاثة المنجزة، بينما تناول الجزء الثاني مقارنة قيم عدة أنواع من الإجهادات بين النماذج المدروسة، حيث تم قراءة الإجهادات ضمن كل من البيتون وقضبان التسليح عند قيم محددة من الانتقالات الأفقية (50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400) mm، شملت هذه الإجهادات إجهادات فون ميسز والإجهادات الناظمية ضمن الجدار البيتوني والإجهادات المحورية ضمن قضبان التسليح، وأما الجزء الأخير من النتائج فشمل مقارنة منحنيات الطاقة المبددة التراكمية بين مختلف النماذج، حيث تم التركيز على الطاقة المبددة نتيجة دخول العناصر الإنشائية ضمن مرحلة اللدونة (Plastic dissipation)، كما تم حساب عامل تعديل الإستجابة ومقارنته بقيم الكودات.

يبين الشكل (10) مقارنة منحني القدرة بين النماذج الثلاثة المدروسة، حيث يلاحظ التطابق الكامل بين النموذج التفصيلي ونموذج الطبقات المتعددة وصولاً لقيمة للانتقال الأفقي مساوية لـ 100 mm، ومن ثم يلاحظ التدهور الواضح في منحني القدرة

باعتماد نموذج الطبقات المتعددة وفق برنامج ETABS بخلاف النموذج التفصيلي وفق برنامج ABAQUS الذي لم يعطي أي تدهور في المنحني، وبالعودة إلى نموذج مفاصل الألياف فلوحظ ابتعاد منحني القدرة عن الحالتين السابقتين، سواء ضمن مرحلة المرونة أو اللدونة، مما يعطي مؤشر على عدم دقة هذا النموذج، وعدم صلاحيته لنمذجة السلوك اللاخطي لجدران القص البيتونية المسلحة ، لعدم أخذ تأثير القص والعزم وأخذ السلوك المحوري فقط.



الشكل (10) مقارنة منحنيات القدرة (علاقة قوة قص–انتقال جانبي) بين مختلف النماذج الثلاثة المدروسة

ومن أجل تبرير النتائج السابقة بشكل أفضل فقد تم استعراض قيم الإجهادات في النموذجين(النموذج التفصيلي ونموذج الطبقات المتعددة)، حيث يبين الجدول(1) قيم(إجهادات فون ميسز، الإجهادات الناظمية، والإجهادات المحورية) وذلك في كلاً من الجدار البيتوني وقضبان التسليح عند قيم الانتقالات الأفقية التي تم الإشارة إليها سابقاً، حيث تم مقاربة هذه الانتقالات فيETABS عن طريق أخذ قيم الاجهادات عند خطوة التحليل ذات الإنتقال الأقرب للإنتقال المطلوب.

الجدول(1) قيم (إجهادات فون ميسز، الإجهادات الناظمية، الإجهادات المحورية) ضمن(الجدار البيتوني، قضبان التسليح) عند مختلف قيم الانتقالات الأفقية وفق برنامجي ABAQUS, ETABS

			D=50 mm	D=100 mm	D=150 mm	D=200 mm
			Step 9	Step 10	Step12	Step 14
(MPa)CONCRETE	VON MISES	ABAQUS	26.4	38.8	47.9	51.8
		ETABS	25.81	27.02	30.33	32.9
	S22 T	ABAQUS	3.05	2.95	3.03	2.88
		ETABS	3.18	2.85	3.06	2.51
	S22 C	ABAQUS	−27.6	−40.9	−50.6	−54
		ETABS	−30.07	−30.92	−21.03	−27.53
(MPa)STEEL	VON MISES	ABAQUS	413	468	482	493
		ETABS	457.2	476.4	505.1	521.4
	S22 T	ABAQUS	385	468	482	493
		ETABS	457.2	476.4	484.2	521.3
	S22 C	ABAQUS	−325	−424	−444	−447
		ETABS	−470.1	−445	−456	−481.6
			D=250mm	D=300 mm	D=350	D=400

					mm	mm
			Step 22	Step 29	Step32	Step 37
(MPa)CONCRETE	VON MISES	ABAQUS	44.1	45.2	48.3	50.3
		ETABS	34.22	33.1	25.89	20.17
	S22 T	ABAQUS	2.78	2.96	2.83	2.93
		ETABS	1.68	1.33	1.1	1.48
	S22 C	ABAQUS	−46.8	−48.4	−51.3	−53.2
		ETABS	−32.7	−26.8	−24.14	−33.8
(MPa)STEEL	VON MISES	ABAQUS	502	512	522	530
		ETABS	531.4	542.2	548.6	597.4
	S22 T	ABAQUS	502	512	522	530
		ETABS	531.4	542.3	544.94	596.9
	S22 C	ABAQUS	−452	−458	−463	−467
		ETABS	−488.8	−514.4	−526	−536.5

حيث أن:

S22: الإجهادات الناظمية لبيتون الجدار (المحورية لقضبان التسليح).

T: الإجهادات الشادة (Tension)

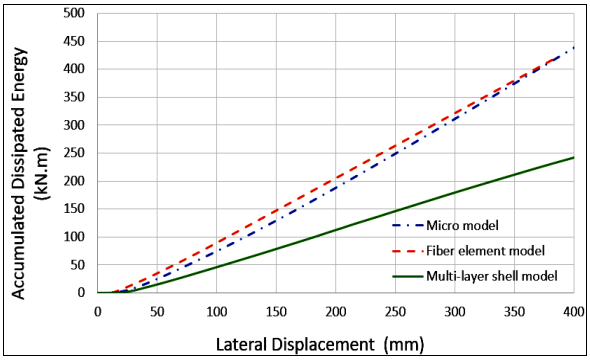
C: الإجهادات الضاغطة (Compression)

بالعودة إلى الشكل (10) والجدول (1) يمكن مناقشة عدة نقاط

وفق ما يلي:

- ظهر التلدن ضمن البيتون في النموذج التفصيلي عند قيمة للإنتقال الأفقي مساوية لـ 75 mm، حيث يشاهد نقطة انكسار واضحة في منحني القدرة ضمن النموذج، بينما أبدى نموذج الطبقات المتعددة مطاوعة أكبر بسبب تلدن قضبان التسليح بمرحلة أبكر، مما أخر حدوث التلدن ضمن البيتون ليحدث عند قيمة للانتقال الأفقي مساوية لـ 150 mm.
- كان هناك تقارب واضح بين قيم الإجهادات الضاغطة في الجدار البيتوني وصولاً لقيمة للانتقال الأفقي مساوية لـ 50 mm، كما كان هناك تقارب واضح بين قيم الإجهادات الشادة في الجدار البيتوني من أجل مختلف قيم الانتقالات الأفقية.
- ظهر التلدن في قضبان التسليح بنموذج الطبقات المتعددة عند قيمة للانتقال الأفقي مساوية لـ 25 mm (نقطة انكسار واضحة في منحني القدرة)، بينما ظهر بالنموذج التفصيلي عند قيمة للانتقال الأفقي مساوية لـ 75 mm (نقطة انكسار واضحة في منحني القدرة)، وبمقارنة مختلف قيم الإجهادات سواء فون ميسز أو الإجهادات المحورية يلاحظ تقارب القيم بين النموذجين المدروسين ومن أجل كافة قيم الانتقالات الأفقية.

تم ضمن هذا البحث مقارنة منحنيات الطاقة المبددة التراكمية بين النماذج الثلاثة المدروسة، حيث تم التركيز على الطاقة المبددة نتيجة دخول العناصر البيتونية المسلحة بمرحلة اللدونة كما هو موضح بالشكل (11).



الشكل(11) مقارنة منحنيات الطاقة المبددة التراكمية بين مختلف النماذج الثلاثة المدروسة

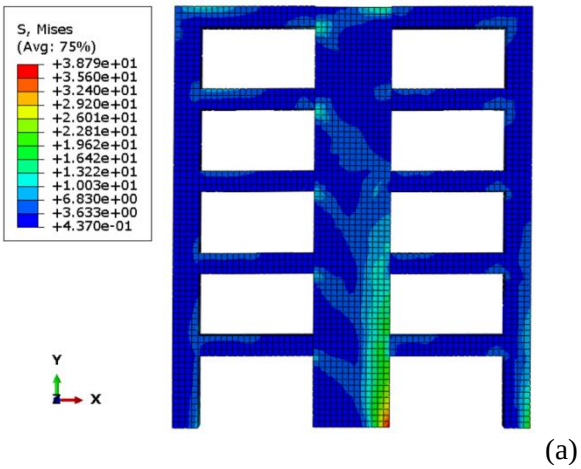
– يوضح الشكل (11) مقارنة منحني تبديد الطاقة التراكمي بين النماذج الثلاثة المدروسة، حيث يلاحظ التقارب الكبير بالقيم بين النموذج التفصيلي ونموذج الطبقات المتعددة وصولاً لقيمة للانتقال الأفقي مساوية لـ 25 mm، ومن ثم يلاحظ تباعد النتائج بشكل كبير، حيث يعزى هذا الأمر لاختلاف سلوك مادة البيتون في مرحلة اللدونة (بعد بلوغ الإجهاد قيمة المقاومة المميزة الإسطوانية 30 MPa) وذلك بين النموذجين، حيث ظهر التدهور الواضح بالمقاومة والصلابة ضمن نموذج الطبقات المتعددة بينما لم يظهر هذا الأمر ضمن النموذج التفصيلي.

– تم في هذا البحث مقارنة آليات الانهيارمن خلال مقارنة أماكن تشكل المفاصل اللدنة في العناصر الإطارية، ومخطط الإجهادات (اجهادات فون مبسز) في الجدار في نموذج الطبقات المتعددة ETABS، مع مخططات الإجهادات لعناصر النموذج التفصيل (ABAQUS) لكل من البيتون وقضبان التسليح للجملة المدروسة، وذلك عند كل قيم الإنتقال الواردة سابقاً.

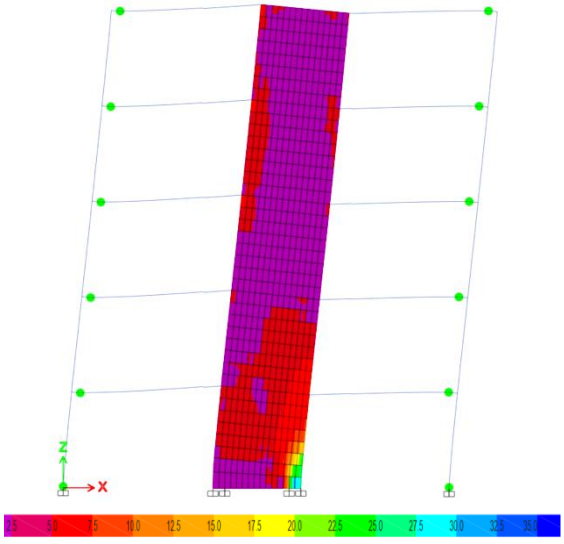
يوضح الشكلين (12،13) تلك المقارنة بين النموذجين من أجل انتقال جانبي قدره 100mm ونلاحظ توافق شكل التشوه وأماكن تشكل المفاصل اللدنة (مناطق تجاوز الإجهاد الحدي للفولاذ والبيتون) بشكل جيد بين نموذج الطبقات المتعددة والنموذج التفصيلي ويكون هذا التوافق جيدا في سلوك الفولاذ، بينما نلاحظ إختلافاً واضحاً في سلوك البيتون بعد الذروة، نظراً لغياب ظاهرة التليين (softening) في منحني سلوك البيتون على الضغط وفق برنامج ABAQUS .

– يوضح الشكل 10 مقارنة مخطط إجهادات فون ميسز في العناصر البيتونية.

– يوضح الشكل 11 مقارنة مخطط إجهادات فون ميسز في قضبان التسليح.

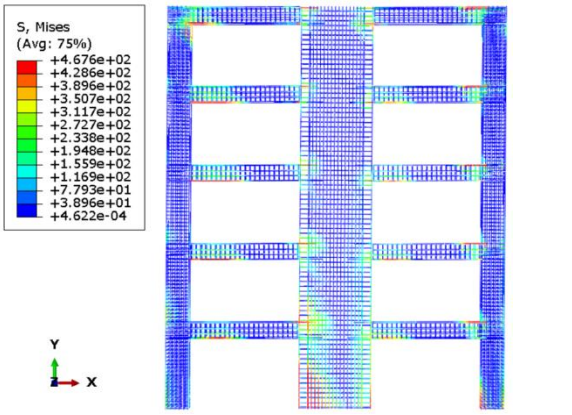


(a)

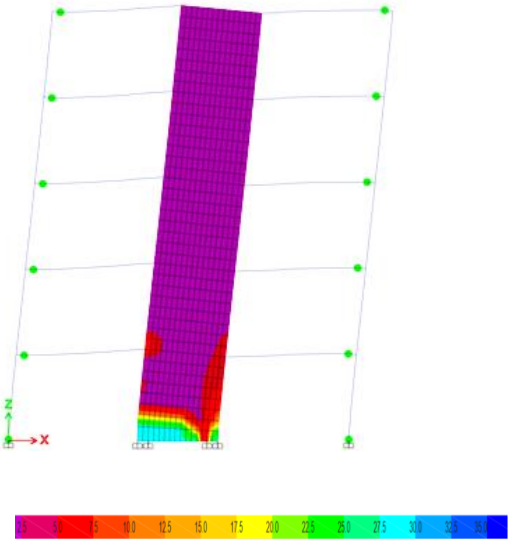


(b)

الشكل(12)مخطط اجهادات فون ميسز في البيتون(100mm).
(a) النموذج التفصيلي ,(b) وفق نموذج الطبقات المتعددة.



(a)



(b)

الشكل (13)مخطط اجهادات فون ميسز في الفولاذ (100mm).
(a) النموذج التفصيلي ,(b) وفق نموذج الطبقات المتعددة.

– نلاحظ في الخطوات الأخيرة لنموذج الطبقات المتعددة انهيار بيتون الأجنحة، لذلك قام البرنامج بعملية إعادة توزيع للإجهادات على المنطقة الملاصقة للجناح، وبالتالي سيتشكل المفصل اللدن عند هذه المرحلة، ويصبح المنشأ غير مستقر جانبياً، ويحدث تناقص كبير في المقاومة والقساوة، بينما لم يلحظ هذا السلوك في العناصر البيتونية للنموذج التفصيلي .

وفق النموذجين المدروسين كان من الواضح أن انسحاق المنطقة البيتونية كان في المناطق الطرفية لجدار القص.

❖ حساب عامل تعديل الاستجابة
Response Modification Factor R

- من أجل نموذج القشرة متعددة الطبقات و بالإعتماد على منحنيpushover curve capacity (قوة جانبية –انتقال جانبي) تم حساب عامل تعديل الإستجابة R بالإعتماد على علاقة ATC-19:

$$R = R\mu\ R\Omega\ R\xi\ Rr \approx R\mu\ R\Omega$$

حيث أن:

Rξ : عامل يعتمد على التخميد لعامل تخفيض القوة، والذي عادة ما يتم إهماله من قبل الكودات إلا إذا زود المنشأ بأجهزة تخميد إضافية.

Rr : عامل يعتمد على الوثوقية في المنشأ وتتراوح قيمته من 1 إلى 1.3 . وفي الجملة المدروسة Rr=1.

Rω: عامل المقاومة الزائدة، ويحسب من إحدى العلاقتين:

$R\omega=Vy/Vfirst$

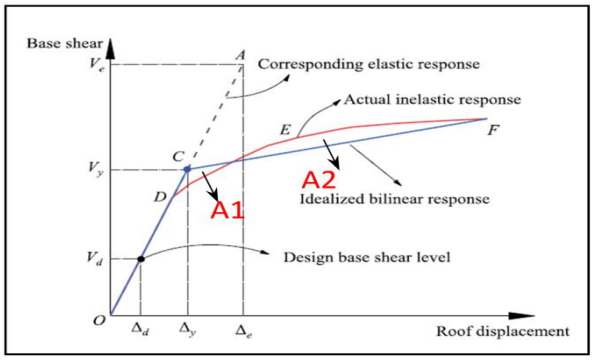
وفي الجملة المدروسة من التقريب ثنائي الخطية لمنحني القدرة نجد أن:

$R\omega=Vy/Vfirst= 2.06$

$$R_\mu=\begin{cases}\mu & (for\quad T>0.5s)\\ \sqrt{2\mu-1} & (for\quad 0.1<T<0.5s)\\ 1 & (for\quad T<0.03)\end{cases}$$

Rμ: عامل تخفيض المطاوعة تم حسابه وفق and Hall, Newmark (1973, 1982)

تم الحساب عن طريق تمثيل ثنائي الخطية لمنحني القدرة pushover بحيث تم رسم خط للأعلى من نقطة الصفر بميل يساوي القساوة الأولية للجملة المدروسة؛ ثم يتم سحب خط ثانٍ من النقطة الأخيرة Vu,Δu، بحيث إنه عندما يقطع الخط الأول عند النقطة Vy,Δy، فإن المساحة المحددة بـA1 تساوي المساحة A2 ويبين الشكل(14)التمثيل ثنائي الخطية لمنحني القدرة.



الشكل(14) المنحني ثنائي الخطية المكافئ لمنحني القدرة pushover curve

$R\omega=Vy/Vd$

حيث أن:

Vy :قوة القص عند نقطة الخضوع التام.

Vfirst: قوة القص عند تشكل أول مفصل لدن.

Vd: قوة القص التصميمية المحسوبة وفق الطريقة المعتمدة من قبل كود التصميم (مكافئة، مطورة).

وبنتيجة التحليل النمطي للنموذج المدروس كانت قيمة الدور الأساسي له $T_n=0.297$ sec .

$0.1< T=0.297sec < 0.5s$

أي إن الجملة المدروسة قصيرة الدور ويعتمد حساب Rμ على مبدأ تساوي الطاقة، تحسب Rμمن العلاقة:

$R\mu = \sqrt{(2\mu-1)}$

μ: تمثل مطاوعة المنشأ وتحسب من العلاقة:

$\mu = \Delta t/\Delta y= 2.717$

حيث أن: Δy :الانتقال عند نقطة الخضوع التام.

Δt :الانتقال الهدف للمنشأ.

Rμ =2.1

فتكون قيمة عامل تعديل الاستجابة للجملة المدروسة R=4.32 وفقاً للجدول(1-4) من الملحق 2 للكود العربي السوري، المتعلق بقيم عامل تعديل الاستجابة للجمل الشائعة الإستعمال في الجمهورية العربية السورية، عند استعمال إطارات عزمية متوسطة محلية مع جدران قص خرسانية مسلحة باعتبار نسبة مساهمة الإطارات في الجملة المدروسة 29% تكون R=5 . ووفقاً للكود الأمريكي ASCE7-16, تكون R=6.

6- الإستنتاجات:

يمكن تلخيص الاستنتاجات النهائية للبحث وفق ما يلي:

1) تبين أن نموذج عنصر القشرة متعدد الطبقات(Multi-layered shell element) هو الأكثر قدرة على عكس السلوك الحقيقي للعناصر القشرية (جدران القص)، بعكس نموذج مفصل الألياف(Fiber Hinge) الذي لايأخذ بالاعتبار تأثير باقي مكونات الإجهاد والانفعال الأخرى، ويعتمد فقط

الإجهادات والانفعالات المحورية(شد محوري، ضغط محوري)، وبالتالي يكون سلوك الليف محكوم فقط بمنحني واحد (اجهاد محوري–انفعال محوري) أو (عزم–دوران).

2) قدرة نموذج الطبقات المتعددة (Multi-layered shell element) على مقاربة تحديد المنطقة المتشققة من البيتون بدقة كافية.

3) إن نموذج اللدونة للبيتون المتضرر CDP في ABAQUS لم يتمكن من مقاربة السلوك الحقيقي للمنشأ بعد وصوله لقيمة المقاومة الأعظمية للبيتون، وذلك بسبب اختيار طريقة التحليل Static-General التي لاتقوم بمقاربة الحل بعد بلوغ القيمة الأعظمية لمقاومة البيتون.

4) بمقارنة منحنيات الطاقة التراكمية أعطى نموذج القشرة متعددة الطبقات المنحني الذي يعطي أكبر تبديد طاقة وهذا نتيجة التلدن الحاصل في البيتون بينما كانت الطاقة التراكمية في النموذج التفصيلي ونموذج المفاصل اللدنة أعلى بكثير.

5) لوحظ أن قيمة عامل تعديل الإستجابة للنموذج المدروس اكبر من القيم الواردة بالكودات مما يستدعي ضرورة إعادة النظر في هذه القيم.

6) تعتبر برامج العناصر المحدودة الخاصة بالتحليل والتصميم الإنشائي مثل ETABS, SAP خياراً جيداً عند اختيار النموذج اللاخطي المناسب لتمثيل سلوك المواد والعناصر وخاصة عند الحاجة لتحليل منشأ بالمقياس الكامل أي عند دراسة سلوك عام للجملة أما في حال الحاجة لدراسة سلوك عنصر محدد أو مراقبة تقطة معينة فينصح بالبرامج البحثية مثل ABAQUS.

7–التوصيات(Recommendations):

1) إمكانية اعتماد التحليل الديناميكي الصريح (Explicit-Dynamic)Analysis ضمن برنامج ABAQUS للوصول للسلوك الفعلي للمنشآت وذلك بعد فهم ودراسة هذا التحليل.

2) دراسة تأثير الفتل في النواة على عامل تعديل الاستجابة الزلزالية.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

8-References:

Vatanshenas: “Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Shear Walls Using Nonlinear Layered Shell Approach” This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs licens. (http://creaticecommons.org/licenses/by. nc-nd/3.0/).

ABAQUS, Version 6.19, 2019 - ABAQUS/ Standard User’s Manual, ABAQUS Inc, USA.
Applied Technology Council (ATC). Structural response modification factors (ATC-19). ATC: Redwood City, CA, US; 1995

S. Smith and A. Girgis, “Simple Analogous Frames for Shear Wall Analysis,” J. Struct. Eng., vol. 110, no. 11, pp. 2655–2666, Nov. 1984, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1984)110:11(2655).
Carreira,

D., Chu, K. Stress-strain relationship for plain concrete in compression, Journal American Concrete Institute, Vol. 82 no. 6, pp. 797-804.1985
Computers and Structures, Inc. (CSI): “Technical Note Material Stress-strain Curves”.2008, Berkeley, California, USA.

Demir, A., Ozturk, H., Edip, K., Stojmanovska, M., Bogdanovic, A. Effect of viscosity parameter on the numerical simulation of reinforced concrete deep beam behavior , Journal of Science and Technology, Vol. 8, pp. 50-56. July/2018.

F. Rojas, J. C. Anderson, and L. M. Massone, “A nonlinear quadrilateral layered membrane element with drilling degrees of freedom for the modeling of reinforced concrete walls,” Eng. Struct., vol. 124, pp. 521–538, 2016, doi: 10.1016/j.engstruct.2016.06.024
https://concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal.aspx?m=details&ID=10309
https://www.tojsat.net/journals/tojsat/articles/v08i03/v08i03-09.pdf

Hussain, Nadeem, Shahria Alam, and Aman Mwafy."Developments in Quantifying the Response Factors Required for Linear Analytical and Seismic Design Procedures." Buildings 14.1 (2024):247. https://www.mdpi.com/2075-5309/14/1/247

M. Keshavarzian and W. C. Schnobrich, “Computed Nonlinear Seismic Response of R/C Wall-Frame Structures,” Univ. Illinois Eng. Exp. Station. Coll. Eng. Univ. Illinois Urbana-Champaign., p. 238, 1984, doi: http://hdl.handle.net/2142/14123.

Mander J B, Priestley M J & Park R: “Theoretical stress-strain model for confined concrete”. Journal of structural engineering, No. 144(8), 1988, pp. 1804-1826.

Newmark, N. M. and W. J. Hall, “Earthquake spectra and design,” Engineering Monograph, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California,1982 ; Volume1.

Newmark, N.M.; Hall, W.J. Procedures and criteria for earthquake resistant design. In National Bureau of Standards; No Building Sci. Series No. 46; U.S. Department of Commerce: Washington, DC, USA, 1973.
OriginPro, Graphics and Data Analysis Software, 2018, OriginLab Corporation, Northampton, Massachusetts, USA.

Papanikolaou, Vassilis K., et al. "A MULTILAYER SHELL ELEMENT FOR NONLINEAR ANALYSIS OF R/C SHEAR WALLS.": conference Paper · June 2021. COMPDYN 2021 (https://www.researchgate.net/profile/Vassilis_Papanikolaou/publication/353719422_A_multilayer_shell_element_for_nonlinear_analysis_of_RC_shear_walls/links/610c2757169a1a0103e21694/A-multilayer-shell-element-for-nonlinear-analysis-of-RC-shear-walls.pdf).
R. W. Clough, K. L. Benuska, and E. Wilson, "Inelastic Earthquake Response of Tall Buildings," 3 rd World Conf. Earthq. Eng. New Zealand. 1965.

S. Chen and T. Kabeyasawa, "Modeling of Reinforced Concrete Shear Wall for Nonlinear Analysis," 12WCEE, Twelfth World Conf. Earthq. Eng. New Zeal, no. 1596, pp. 1–8, 2000.
S. Chen, T. Matsumori, and T. Kabeyasawa, "Simulation of the six-story full-scale wall-frame test," 2007, doi: 10.1061/40944(249)9.

S. Mousavi , Iowa State University "Modeling Reinforced Concrete structural walls with micro scale and macro scale methods" December 2020 International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS) 7(12):46-53

S. Otanl, T. KabeyaSawa, H. Shiohara, and H. Aoyama, "Analysis of the Full Scale Seven Story Reinforced Concrete Test Structure," Spec. Publ., vol. 84, pp. 203–239, Oct. 1984, doi: 10.14359/16895.
SAC, Syrian Arab Code, Index2 "Design and Check The Structures under Seismic loads", 2021.
Seyedamin Mousavi, Saeed Tariverdilo. Modeling Reinforced Concrete structural walls with micro-scale and macro-scale methods International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS) ISSN: 2394-3661, Volume-7, Issue-12, December 2020 (Approved by University Grants Commission, India).

Shen Li, Wang-Ge Liang, Dui-Xian Gao and Xiu-zhen Pan, "Response modification factor and displacement amplification factor of K-shaped eccentrically braced high-strength steel frames," School of Civil Engineering and Architecture, Xi' an University of Technology, Xi' an, China.

T. KabeyaSawa, "Design of RC shear walls in hybrid wall system," Fourth Jt. Tech. Coord. Committee, U.S.-Japan Coop. Seism. Res. Compos. Hybrid Struct. Monterey, California. 1997.
T. Takayanagi and W. C. Schnobrich, "Computed Behavior of Reinforced Concrete Coupled Shear Walls," Report No. SRS 434. University of Illinois. Urbana, Champaign. 1976. https://books.google.com/books/about/

Computed_Behavior_of_Reinforced_Concrete.html? id=o3IUtwAACAAJ accessed Nov. 30, 2019).
Y. Belmouden and P. Lestuzzi, "Analytical model for predicting nonlinear reversed cyclic behaviour of reinforced concrete structural walls," Eng. Struct., vol. 29, no. 7, pp. 1263–1276, Jul. 2007,doi: 10.1016/j.engstruct.2006.08.014.