المقارنة بين التصميم اللدن القائم على الأداء والتصميم المتبع في الكودات للجمل الثنائية من البيتون المسلح (إطارات-جدران قص)

* د. علي تريكية
** د. قصي نداف
***م. حسان عيسى

الملخص:

من المعلوم بأن الضرر الزلزالي لا يمكن تجنبه، ولكن يمكن التقليل منه باتباع إرشادات التصميم الزلزالي. ومن جهة أخرى، غالباً ما يقود التصميم الزلزالي وفق الطرق المعتمدة بالكودات حالياً والقائمة على التصميم المرن إلى أنماط انهيار غير مرغوبة، لذلك من المنطق أن يتم البحث عن طرق تصميم تحقق أداء أفضل ونمط انهيار مرغوب بما يلبي معايير التصميم الزلزلي. يهدف البحث للمقارنة بين سلوك الجمل الثنائية من البيتون المسلح (إطارات-جدران قص) باستخدام كل من طريقة التصميم التقليدية المتبعة في الكودات وطريقة التصميم اللدن القائم على الأداء من خلال رصد بارامترات الاستجابة في المنشأ وفق طريقة التصميم المتبعة، وذلك بإجراء دراسة تحليلية تطبيقية على ثلاثة نماذج من الجمل الثنائية بـ 10 و15 و20 طابق مصممة وفق كل من طريقة الكود وطريقة التصميم اللدن القائم على الأداء.

تمت مناقشة النتائج بعد دراسة الانتقالات الكلية والاستجابة وميكانيزمات الانهيار الحاصلة وتغير أبعاد المقاطع التصميمية في نوعي التصميم.

كلمات مفتاحية: الجمل الثنائية، التصميم اللدن القائم على الأداء، ميكانيزم الانهيار.

* أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين اللاذقية، سورية.
** مدرس في قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين اللاذقية، سورية.
*** طالب دراسات عليا (دكتوراه) في قسم الهندسة الانشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، سورية.

Comparison between Performance-Based Plastic Design and the Design Followed in Codes for RC Dual Systems (Frames - Shear Walls)

DR. Ali Turikieh *
DR. Kussai Naddaf **
Eng. Hassan Issa***

Abstract

It is known that seismic damage cannot be avoided, but can be minimized by following seismic design guidelines. On the other hand, seismic design according to the methods currently approved in codes and based on elastic design often leads to undesirable collapse patterns, so it is logical to search for design methods that achieve better performance and a desirable collapse pattern that meets seismic design standards. The research aims to compare the behavior of RC dual systems (frames - shear walls) using both the traditional design method followed in the codes and the performance-based plastic design method by monitoring the response parameters in the structure according to the followed design method, by conducting an applied analytical study on Three models of dual systems with 10, 15 and 20 stories are designed according to both the code method and the performance-based plastic design method. The results were discussed after studying the total displacements, response, collapse mechanisms, and changing the dimensions of the design sections in the two types of design.

Keywords: Dual system, Performance-Based Plastic Design, collapse mechanisms.

* Associate Professor in Department of Structural Engineering, Faculty of Civil

*Associate Professor in Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Lecturer in Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** Postgraduate Student- Department of Structural Engineering- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University- Lattakia- Syria.

-مقدمة البحث:

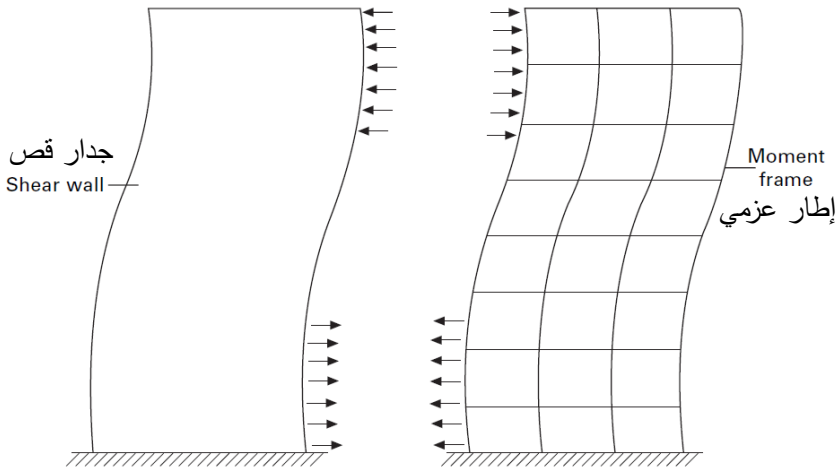
من الملاحظ أن المنشآت المصممة وفق كودات التصميم الحالية يتوقع لها أن تخضع لتشوهات لامرنة كبيرة خلال الأحداث الزلزالية الرئيسية، حيث تعتمد إجراءات التصميم المعتمدة عموماً في هذه الكودات على السلوك المرن، وتفترض بأن المنشأ سيسلك سلوكاً مرناً ومن ثم تخفض تلك الاستجابة بمعامل تعديل الاستجابة R وذلك لاحتساب السلوك اللامرن بطريقة غير مباشرة [1]. لقد بينت التجارب القاسية في الماضي أن هذه المنشآت ليس بالضرورة أن تتبع ميكانيزم الخضوع المرغوب حتى أنها يمكن أن تنهار، وقادت هذه التجارب الباحثين لتطوير طرق تصميمية بمستويات موثوقة من الأداء والأمان والاقتصاد على حد سواء. ومن أجل تحقيق هذه الغاية ينبغي أن تؤخذ بعين الاعتبار وبشكل أولي ضمن طريقة التصميم بارامترات تصميمية مثل القوة الجانبية ومقاومة العناصر وميكانيزم الخضوع المرغوب والانتقال الجانبي.. إلخ.

تعتبر طريقة التصميم اللدن القائم على الأداء [PBPD] واحدة من الطرق التي تأخذ بالاعتبار السلوك اللامرن للمنشأ وقد قام بتطويرها Gole وآخرون [1]. تم اشتقاق هذه الطريقة بشكل أساسي اعتماداً على نتائج التحليلات الستاتيكية والديناميكية التي أجراها الباحثون على الإطارات المصممة بهذه الطريقة باستخدام سجلات زلزالية تقليدية والتي أظهرت مستوى مقبولاً من الأداء الزلزالي [2].

إن تطبيق طريقة PBPD سابقة الذكر كطريقة تصميم حديثة أكسبها أهمية ليتم تعميمها على أنواع عديدة من المنشآت، وطالما أن المنشآت البيتونية ذات الجمل الثنائية تمتلك مزايا كل من الإطارات المقاومة للعزوم SMRF وجدران القص Shear Wall، فإن ميكانيزم الخضوع المرغوب خلال الحدث الزلزالي يعتمد على طريقة التصميم المتبعة. قامت طريقة PBPD التقليدية بإعادة حل مشكلة حدوث ميكانيزم خضوع غير مرغوب به باختيار ميكانيزم خضوع محدد مسبقاً. ومن الجدير بالذكر أن معامل تعديل الطاقة γ المستخدم في طريقة PBPD يعتمد على الطلب على المطاوعة μ وعامل خفض المقاومة R_μ والذي بدوره متعلق بالحمل الزلزالي المدخل.

تعرف الجملة الثنائية [3] Dual System بأنها جملة إنشائية مركبة تقاوم الأحمال الجانبية بأداء متزامن لعناصر إنشائية مختلفة النوع، وتنقلها إلى القواعد. وينبغي في هذا النوع من الجمل تحقيق المتطلبات الآتية:

1. تتم مقاومة أحمال الجاذبية بشكل رئيسي من قبل العناصر الإطارية.
2. تتم مقاومة الأحمال الجانبية بالعمل المشترك لجدران القص أو الإطارات المربطة من جهة مع الإطارات العزمية من جهة أخرى، بحيث تتحمل الإطارات العزمية ما لا يقل عن 25% من الأحمال الجانبية الزلزالية ما يعني امتلاك الجوائز والأعمدة ما يكفي من المقاومة لتحمل تلك الأحمال.



الشكل 1: التفاعل بين الإطار وجدار القص [3].

يمكن أن يكون الإطار المقاوم للعزوم من البيتون المسلح أو الفولاذ لكن الإطارات البيتونية المتوسطة Intermediate Frames لا يسمح باستخدامها في المناطق الزلزالية 3 و4 [4] [5].

أما الجملة التفاعلية (Interactive) فهي نفس الجملة الثنائية المعرفة سابقاً إلا أنه لا يشترط فيها تصميم الإطارات المقاومة للعزم لتحمل 25% من القوى الزلزالية وإنما تصمم لتحمل نسبة من القوى الزلزالية وفقاً لقساوتها [6].

الجملة الثنائية من البيتون المسلح (إطارات–جدران قص) وميكانيزم الانهيار المرغوب:

تعد الجملة الثنائية من البيتون المسلح (إطارات–جدران قص) واحدة من الجمل الإنشائية التي تتميز بأداء زلزالي يجمع تقريباً بين مزايا الإطارات المقاومة للعزوم Moment Resisting Frame (MRF) وجدران القص Shear Wall (SW) في المطاوعة العالية high ductility والصلابة الجانبية الكبيرة high lateral stiffness على الترتيب. في نمط الانهيار المرغوب في مثل هذا النوع من الجمل الإنشائية تلعب الجوائز في كافة الطوابق وجدار القص والأعمدة في الطابق الأرضي الدور الرئيسي في تبديد طاقة الزلزال كعناصر محكومة بالخضوع تتشكل فيها مفاصل لدنة وبذلك تتحكم بأداء المنشأ عند مقاومة الأحمال الزلزالية، بينما تبقى الأعمدة وجدران القص في بقية الطوابق عدا الأرضي مرنة أي غير محكومة بالخضوع. وباختلاف الأبعاد الهندسية للعناصر المؤلفة للجملة الثنائية يختلف نمط الخضوع من قصي إلى انعطافي.

– قام الباحثان Mwafy وElrashai [7] بإجراء دراسة لتقييم صلاحية وفعالية التحليل الدفعي التقليدي بمقارنته مع التحليل الديناميكي لعدة نماذج من الأبنية من البيتون المسلح مكونة من جمل إطارية منتظمة وغير منتظمة وجمل مختلطة (إطارات وجدران قص) معرضة لمجموعة كبيرة من تسجيلات الهزات الأرضية وقد استخدم في التحليل الدفعي ثلاثة أشكال للحمولات الجانبية: الحمولة الموزعة بانتظام لتعبر عن توزع الكتلة الشاقولي في الطوابق، والحمولة الكودية المثلثية لتعبر عن شكل نمط الاهتزاز المسيطر عادة في المجال المرن، والحمولة المجمعة SRSS للأنماط الثلاثة الأولى وذلك للأخذ بالاعتبار تأثير الأنماط العليا. توصل البحث الى أن التحليل الدفعي التقليدي مناسب أكثر للمباني القليلة والمتوسطة الارتفاع أكثر من المباني العالية وأن أشكال الحمولات الثابتة المستخدمة للتعبير عن مشاركة الأنماط العليا SRSS غير كافية في المجال اللدن. وأوصى البحث لتجاوز هذه المشكلة، بضرورة استخدام أكثر من شكل واحد للحمولة الجانبية في التحليل لضمان الإحاطة بالاستجابات الحاصلة بشكل مقبول.

– طور الباحثون Hajirasouliha, Asadi, Pilakoutas [5] طريقة عملية للتصميم المعتمد على الأداء للحصول على تصميم أكثر كفاءة من خلال إعادة تعيين مقاطع العناصر

الإنشائية تبعاً لأداء للعناصر القوية والضعيفة لتشكل حالة من التشوه الموزع بانتظام، وطبق ذلك على جمل ثنائية مؤلفة من 15 و10 طوابق، وبعد التصميم تم تعريضها لتسارعات زلزالية حقيقة ليتبين أنها أبدت نقصاً في الضرر العام بمقدار 30% مقارنة بتلك المصممة وفق الكودات الحالية حيث تم توزيع الضرر الطابقي والمقارنة بين IBC2009 [8] وحالة التصميم المثالية المعتمدة للحالات، وتم التعبير عن مؤشر الضرر Damage Index بالتشققات وتشكل المفصل اللدن واستعماله كميكانزيم لتبديد الطاقة الزلزالية.

– قدمت (R.Z. Taha) [9] دراسة لتقييم منشآت قائمة متعددة الطوابق على الزلازل في الساحل السوري وإعادة تأهيلها حيث تم استخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي لتقييم سلوك منشآت بيتونية مسلحة قائمة ومعرفة الأداء المحتمل لهذه المنشآت ثم مقارنته مع الطلب الزلزالي المتوقع عند مستوى أداء محدد من خلال مقارنة عدة متحولات للاستجابة وتبين من الدراسة ان معظم المفاصل تتشكل في الجوائز مع بعض المفاصل في الأعمدة ولكن مع أضرار متدرجة ضمن مستويات الأداء، وهو الأداء المفضل في الأبنية والذي يتوافق مع نظرية العمود القوي والجائز الضعيف.

– قام الباحث (**Devi, G. N.**) [4] بالاختبار التجريبي لجملة ثنائية من البيتون المسلح بثلاثة مجازات مؤلفة من خمسة طوابق وبمقياس تصغير حتى الربع. خضعت الجملة إلى حمولة جانبية وتم رصد أدائها اعتماداً على استطاعة مقاومة الحمولة، والصلابة، والمطاوعة واستطاعة تبديد الطاقة. غطت الدراسة كافة مراحل التحميل من المرحلة المرنة الأولية حتى مرحلة الانهيار الحدية وتم الحصول على النتائج التحليلية من برنامج العناصر المنتهية ANSYS من أجل حمل تدريجي ومن برنامج SAP2000 اللاخطي من أجل تحليل Push-Over.

– قام الباحثان (**J. Ou و Bai, J.**) [10] بتطوير طريقة التصميم اللدن القائم على الأداء Performance-Based Plastic Design (PBPD) من أجل الجملة الثنائية للإطارات البيتونية المسلحة المقاومة للعزوم مع تربيط مقيد على التحنيب (RC-BRBF). وتم حساب القص القاعدي بناءً على معادلة توازن الطاقة التي تأخذ بالحسبان استطاعة تبديد الطاقة المقدرة وفق نموذج Large Takeda. تم اتباع طريقة التصميم اللدن لاشتقاق القوى الداخلية

للمقاطع، وتم تحقيق المنهجية المقترحة من خلال منشآت إطارية بيتونية مؤلفة من 5 و10 طوابق مع جملة تربيط بشكل Chevron. تم إنشاء النماذج العددية وتحقيقها لرصد الأداء الزلزالي من خلال التحليل الستاتيكي اللاخطي Pushover والتحليل بالسجلات الزمنية باستخدام الحركات الأرضية الموصى بها من قبل FEMA P695. أظهرت نتائج التحليل أن كلا البناءين يمكنه إنجاز مستوى الأداء المطلوب في كل من منحنيات الاستطاعة Capacity Curves وميكانيزم الخضوع Yield Mechanism وتوزيع الإزاحة الطابقية النسبية Story Drift Ratio Distribution والإزاحة المتبقية Residual Drift والمطاوعة الأعظمية Maximum Ductility والطلب التراكمي للمطاوعة Cumulative Ductility Demands.

ستقدم هذه المقالة مقارنة سلوك الجمل الثنائية من البيتون المسلح (إطارات–جدران قص) باستخدام كل من طريقة التصميم التقليدية المتبعة في الكودات وطريقة التصميم اللدن القائم على الأداء من خلال رصد بارامترات الاستجابة في المنشأ وفق طريقة التصميم المتبعة.

طريقة التصميم الستاتيكية المعتمدة وفقاً للكود العربي السوري [6]:

1. تحديد قوة القص القاعدي التصميمية:

تحسب من المعادلة (1):

$$V = \frac{C_v I}{RT} W \qquad (1)$$

حيث: I: عامل أهمية المنشأ، و W : مجموع الأحمال الميتة و25% من الأحمال الحية في حال المستودعات، و C_v: معامل زلزالي يأخذ بالاعتبار زلزالية المنطقة وشروط تربة الموقع ويحدد من الجدول (1)، و R: معامل تعديل الاستجابة يأخذ بالاعتبار السلوك اللامرن للجملة الإنشائية، و T: دور اهتزاز المنشأ الأساسي مقدراً بالثانية، ويمكن تقديره باستخدام العلاقة التقريبية (2):

$$T = C_t (h_n)^{0.75} \qquad (2)$$

حيث: h_n: ارتفاع المنشأ من القاعدة حتى أعلى منسوب فيه مقدراً بالمتر، و C_t : معامل يأخذ القيمة 0.0853 للإطارات الفولاذية المقاومة للعزوم و 0.0731 للإطارات الخرسانية المسلحة المقاومة للعزوم وللإطارات المربّطة لا مركزياً و 0.0488 للأبنية الأخرى كافة.

يجب ألا تزيد قوة القص القاعدي المحسوبة وفق العلاقة (1) عن قوة القص القاعدي المحسوبة وفق العلاقة (3) كما يجب ألا تقل عن القوة المحسوبة وفق العلاقة (4):

$$V = \frac{2.5C_aI}{R}W \qquad (3)$$

$$V = 0.11C_aIW \qquad (4)$$

كما يجب ألا تقل قوة القص القاعدي المحسوبة وفق العلاقة (1) عن القوة المحسوبة وفق العلاقة (5) في المناطق ذات الشدة الزلزالية العالية (المنطقة الرابعة):

$$V = \frac{0.8ZN_vI}{R}W \qquad (5)$$

حيث C_a: معامل زلزالي يأخذ بالاعتبار زلزالية المنطقة وشروط تربة الموقع ويحدد من الجدول (2)، و N_v: معامل القرب من المصدر الزلزالي ويعتمد على درجة القرب من صدع نشط.

الجدول 1: قيم المعامل الزلزالي C_a [6].

نموذج المقطع الشاقولي للتربة	معامل المنطقة الزلزالية (Z)					
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.2	Z=0.25	Z=0.3	Z=0.4
SA	0.06	0.12	0.16	0.20	0.24	0.32Na
SB	0.08	0.15	0.20	0.25	0.3	0.40Na
SC	0.09	0.18	0.24	0.29	0.33	0.40Na
SD	0.12	0.22	0.28	0.32	0.36	0.44Na
SE	0.19	0.30	0.34	0.35	0.36	0.36Na
SF	أنظر الملحوظة (1)					

الجدول 2: قيم المعامل الزلزالي C_v [6].

نموذج المقطع الشاقولي للتربة	معامل المنطقة الزلزالية (Z)					
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.2	Z=0.25	Z=0.3	Z=0.4
SA	0.06	0.12	0.16	0.20	0.24	0.32Na
SB	0.08	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40Na
SC	0.13	0.25	0.32	0.38	0.45	0.56Na
SD	0.18	0.32	0.40	0.47	0.54	0.64Na
SE	0.26	0.50	0.64	0.74	0.84	0.96Na
SF	أنظر الملحوظة (1)					

الملحوظة (1): لتحديد المعاملات الزلزالية للتربة ذات المقطع الجانبي من النوع SF يجب إجراء تحريات ودراسات جيوتكنيكية وحقلية وإجراء التحليل الديناميكي لاستجابة الموقع.

حيث: Z معامل زلزالية المنطقة: ويمثل زلزالية المنطقة التي يقع فيها المنشأ ويساوي القيمة العظمى لتسارع حركة الأرض الناتج عن الزلزال في المنطقة المدروسة PGA مقسوماً على تسارع الجاذبية الأرضية، و S نموذج المقطع الشاقولي للتربة.

2. توزيع قوة القص القاعدي V على الطوابق:

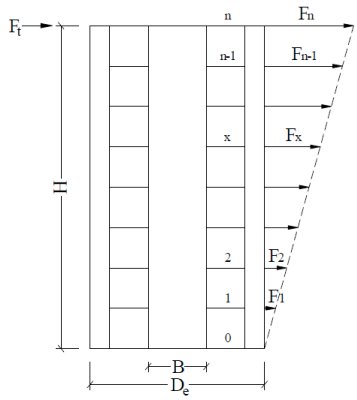
يتم توزيع القوة الزلزالية الكلية على ارتفاع المنشأ كما يوضح الشكل (2) وفق العلاقات (6) و(7) و(8) وذلك في حال عدم توفر إجراء أكثر دقة:

$$V = F_t + \sum_{i=1}^{n} F_i \qquad (6)$$

$$F_t = 0.07TV \leq 0.25V \qquad (7)$$

$$F_x = \frac{(V - F_t)W_x h_x}{\sum_{i=1}^{n} W_i h_i} \qquad (8)$$

حيث: F_t: القوة المركزة عند القمة بالإضافة إلى F_n ويجب ألا تتجاوز قيمة F_t المعتمدة 0.25V ويمكن أخذها مساوية للصفر عندما يكون دور الاهتزاز أقل أو يساوي 0.7 sec، أما الجزء المتبقي من قوة القص فيتم توزيعه على كامل ارتفاع المنشأ بما فيها المنسوب n وفق العلاقة (8).



الشكل 2 توزع القوى الزلزالية التصميمية F المطبقة في الطوابق [6].

طريقة التصميم اللدن القائم على الأداء Performance- Based Plastic Design Method:

1. أهداف الأداء:

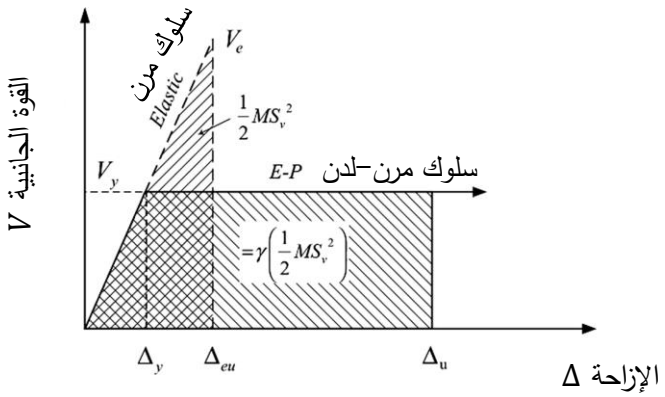
إن الخطوة الأولى في طريقة PBPD هي اختيار الإزاحة المستهدفة (Target Drift) وميكانيزم الخضوع (Yield Mechanism) كأهداف أداء رئيسية. إن ميكانيزم الخضوع المرغوب من أجل الجمل الثنائية من البيتون المسلح (إطارات–جدران قص) هو خضوع أو تشكل مفاصل لدنة في قواعد الأعمدة وجدران القص في الطابق السفلي أولاً عند اتصالها مع القاعدة ويتبعها في بقية الطوابق تشكل مفاصل لدنة انعطافية في الجوائز مع بقاء الأعمدة والجدران سليمة. وبعد اختيار الآلية المناسبة لتطور المفاصل اللدنة يمكن اختيار الانتقال الهدف المتمثل بالدوران أو الانتقال عند الانهيار θ_u والانتقال عند الخضوع θ_y حسب مستوى الخطر الزلزالي حيث اقترح Goel [11] أن يكون الانتقال الهدف $\theta_u =$ 2% من أجل هزة أرضية باحتمال تجاوز 10% خلال 50 عام، وأن يكون الانزياح عند الخضوع $\theta_y = 0.5\%$ وذلك من أجل جملة إطارية معدنية بسلوك مرن لدن وحلقة هيستيرية كاملة. أما من أجل منشآت من البيتون المسلح والتي تتميز بحلقة هيستيرية غير مكتملة يمكننا استخدام العامل $C_2 = 1.2$ المعتمد في حساب الانتقال الهدف وفق ATC-40 [12] حيث يمثل هذا العامل أثر الحلقة الهيستيرية غير المكتملة وتناقص

الصلابة والمقاومة على الانتقال الأعظمي وبالتالي يعمل على تعديل قيمة الانتقال الأعظمي المستهدف وبالتالي نعتمد $\theta_u^* = \theta_u/C_2$ كانتقال هدف من أجل الجمل البيتونية.

2. حساب قوة القص القاعدي V:

يحسب القص القاعدي بطريقة التصميم اللدن القائم على الأداء عبر مساواة الطاقة المطلوبة لدفع المنشأ بشكل تدريجي إلى الانتقال المستهدف مع الطاقة المطلوبة لجملة مرنة لدنة بدرجة واحدة للحرية لإنجاز نفس الانتقال؛ الشكل (3). تعبر المعادلة (9) عن معادلة العمل–الطاقة:

$$E_e + E_p = \gamma\left(\frac{1}{2}MS_v^2\right) = \frac{1}{2}\gamma M\left(\frac{T}{2\pi}S_a g\right)^2 \qquad (9)$$

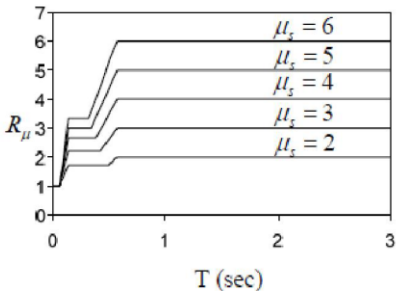


الشكل 3 الاستجابة المعدلة إنشائياً ومبدأ توازن الطاقة [1].

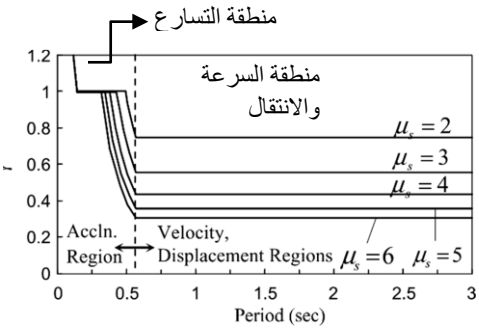
حيث: E_e و E_p مركبتا الطاقة المرنة واللدنة المطلوبة لدفع المنشأ إلى الانتقال الهدف على الترتيب، و M كتلة المنشأ، و S_v السرعة الزائفة و S_a التسارع الزائف التصميمي، و T دور الاهتزاز الأساسي للمنشأ، و g تسارع الجاذبية الأرضية، و γ عامل تعديل الطاقة الذي يعتمد على كل من الطلب على المطاوعة μ وعامل خفض المطاوعة R_μ ويحسب بالعلاقة (10):

$$\gamma = \frac{2\mu_s - 1}{R_\mu^2} \qquad (10)$$

يمكن تحديد μ و R_μ لتبسيط الحسابات باعتماد الطيف اللامرن المثالي المقدم من قبل Newmark و Hall من أجل جملة مرنة لدنة بدرجة حرية واحدة EP-SDOF [13]، الشكل (4)، ويمكن تحديد γ من العلاقة السابقة وفقاً لمخططات Lee و Goel والتي تعتبر صحيحة لمنشأ متعدد درجات الحرية، الشكل (5).



الشكل 4 العلاقة بين T و μ و R_μ وفق Newmark و Hall [13]



الشكل 5 العلاقة بين T و μ و γ وفق Lee و Goel [1]

يمكن إعادة كتابة المعادلة (9) وفق المعادلة (11):

$$\frac{1}{2} = \left(\frac{W}{g}\right) \times \left(\frac{T}{2\pi} \times \frac{V_y}{W} g\right)^2 + V_y \left(\sum_{i=1}^{N} \lambda_i h_i\right) \theta_p = \frac{1}{2}\gamma \left(\frac{W}{g}\right) \times \left(\frac{T}{2\pi} S_a g\right)^2 \quad (11)$$

حيث: $\theta_p = \theta_u - \theta_y$ تشير إلى المركبة اللدنة من الانتقال النسبي المستهدف، و θ_y تشير إلى الإزاحة النسبية عند الخضوع، و W الوزن الزلزالي الكلي للمنشأ، و V_y القص القاعدي عند الخضوع، و λ_i نسبة توزيع القوة الجانبية، و h_i ارتفاع الطابق. وعليه يمكن الحصول على القص القاعدي المطلوب من المعادلة (12) حيث α معامل لا بعدي:

$$\frac{V_y}{W} = \frac{-\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4\gamma S_a^2}}{2} \quad (12)$$

$$;\alpha = \left[\left(\sum_{i=1}^{N} \lambda_i h_i\right) \times \frac{\theta_p 8\pi^2}{T^2 g}\right] \quad (13)$$

حيث: $F_i = \lambda_i V_y$ (14) و $\beta_i = \frac{V_i}{V_n}$ (15)

حيث: V_i و V_n هما القص الطابقي للطابق رقم i والطابق العلوي على الترتيب و n تشير إلى عدد الطوابق الكلي، و λ_i معامل توزيع القوة الجانبية، و β_i معامل توزيع القص للطابق رقم i. وبعد الحصول على قيمة V_y يمكن حساب القوة الجانبية المطبقة على كل طابق باستخدام المعادلة (16) المتضمنة تأثيرات P-Δ؛ ففي عملية الدفع الجانبي التدريجي للمنشأ حتى الإزاحة المستهدفة ستساهم أحمال الجاذبية بالضرر الحاصل للمنشأ طالما أن المنشأ سينخفض قليلاً نتيجة الإزاحة الجانبية، وقد اقترح Bai وآخرون [14] تضمين تأثيرات P-Δ من خلال التعبير عن القوى الجانبية التصميمية بالعلاقة:

$$F_i^* = F_i + F_{iP-\Delta} = \lambda_i * V_y + \theta_u * W_i \qquad (16)$$

يعرف **الطلب على المطاوعة μ Ductility Demand** بأنه النسبة بين انتقال الذروة أو الانتقال الأعظمي Maximum or Peak Displacement والموافق للانتقال الهدف للمنشأ Target Displacement إلى انتقال الخضوع Yield Displacement. إضافة لذلك يعرف **عامل تخفيض المطاوعة R_μ Ductility Reduction Factor** بأنه النسبة بين القص القاعدي المرن والقص القاعدي عند الخضوع، أو يمكن تعريفه بأنه القص القاعدي في النموذج المرن مقسوماً على القص القاعدي في النموذج اللامرن في مستوى شدة زلزالية يحقق عندها المنشأ الضرر المرغوب Desired Damage. وبالاعتماد على قيمة دور الاهتزاز الأساسي للمنشأ يمكن تحديد قيمة مطاوعة المنشأ المتمثلة بالعامل R_μ من الجدول (3):

الجدول 3: قيم عامل تخفيض المطاوعة R_μ بدلالة دور المنشأ [1].

مجال الدور (Period Range)	عامل خفض المطاوعة
$0 \le T < \frac{T_1}{10}$	$R_\mu = 1$
$\frac{T_1}{10} \le T < \frac{T_1}{4}$	$R_\mu = \sqrt{2\mu - 1}\left(\frac{T_1}{4T}\right)^{2.513\log\left(\frac{1}{\sqrt{2\mu-1}}\right)}$
$\frac{T_1}{4} \le T < T_1'$	$R_\mu = \sqrt{2\mu - 1}$
$T_1' \le T < T_1$	$R_\mu = \frac{T\mu}{T_1}$
$T_1 \le T$	$R_\mu = \mu$

$T_1 = 0.57\ sec\ , T_1' = T_1 \frac{\sqrt{2\mu - 1}}{\mu}\ sec$

3. توزيع قوة القص القاعدي V على الطوابق:

أعطى الباحثان Goel وChao [11] عام 2006 علاقات لتوزيع قوة القص القاعدية V على الطوابق بحيث تأخذ بالحسبان أثر الأنماط العليا للاهتزاز مما يعطي قوى قص طابقية أكثر منطقية إضافة إلى التوزيع المنتظم للانزياح الطابقي على كامل ارتفاع المنشأ، يتم حساب القوة الجانبية المؤثرة على كل منسوب طابق بالمعادلة (14) حيث يحسب λ_i معامل توزيع القوة الجانبية وفق المعادلة (17):

$$\lambda_i = (\beta_i - \beta_{i+1})\left(\frac{W_n h_n}{\sum_{i=1}^{n} W_i h_i}\right)^{0.5T^{-0.2}} \qquad (17)$$

حيث: W_i الوزن المركز في منسوب الطابق رقم i، و h_i ارتفاع منسوب الطابق رقم i عن القاعدة، و n تشير إلى عدد الطوابق الكلي، و λ_i معامل توزيع القوة الجانبية، و β_i معامل توزيع القص للطابق رقم i والذي يحسب وفق المعادلة (18):

$$\beta_i = \frac{V_i}{V_n} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} W_i h_i}{W_n h_n}\right)^{0.75T^{-0.2}} \qquad (18)$$

حيث: V_i و V_n هما القص الطابقي للطابق رقم i والطابق العلوي على الترتيب.

وبوضع $\beta_{n+1} = 0$ تكون حصة الطابق الأخير من القص القاعدي عندما $i = n$:

$$F_n = \lambda_n V_y = \left(\frac{W_n h_n}{\sum_{i=1}^{n} W_i h_i}\right)^{0.75T^{-0.2}} V_y \qquad (19)$$

حيث: $\beta_n = 1$ وعليه يمكن حساب القوة الجانبية المؤثرة على كل منسوب طابق وفق العلاقة (20) بعد تعويض العلاقة (17) و(19) في العلاقة (14):

$$F_i = \lambda_i V_y = (\beta_i - \beta_{i+1})F_n \qquad ; i = n, \beta_{n+1} = 0 \qquad (20)$$

-هدف البحث:

يهدف البحث للمقارنة بين سلوك الجمل الثنائية من البيتون المسلح (إطارات-جدران قص) باستخدام كل من طريقة التصميم التقليدية المتبعة في الكودات وطريقة التصميم اللدن القائم على الأداء من خلال رصد بارامترات الاستجابة في المنشأ وفق طريقة التصميم المتبعة.

-مواد وطرق البحث:

يعتمد البحث المنهج النظري التحليلي، حيث سيتم تقديم الدراسة المرجعية وبعد الاطلاع على الأبحاث السابقة المتصلة بموضوع الدراسة، وتم اختيار ثلاثة نماذج لجمل ثنائية من البيتون المسلح (إطارات-جدران قص)، النموذج الأول مكون من 10 طوابق وارتفاع طابقي متماثل 3 m، والنموذج الثاني مكون من 15 طابق وارتفاع طابقي متماثل 3m، والنموذج الثالث مكون من 20 طابق وارتفاع طابقي متماثل 3m، أجري التحليل باستعمال برنامج CSI ETABS 2016 ، وتم إجراء التصميم لهذه النماذج بطريقتين؛ أولاً باستخدام طريقة التصميم التقليدية المتبعة في الكود وثانياً باستخدام طريقة التصميم اللدن القائم على الأداء. ومن ثم تم تقييم ومقارنة سلوك كل من النماذج الثلاثة المصممة بالطريقتين سابقتي الذكر من خلال مقارنة أبعاد مقاطع العناصر الإنشائية وتحديد قيم الانتقالات الجانبية الأعظمية وميكانيزم الخضوع ومقارنتها في طريقتي التصميم المتبعتين، وذلك باستخدام إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي Pushover.

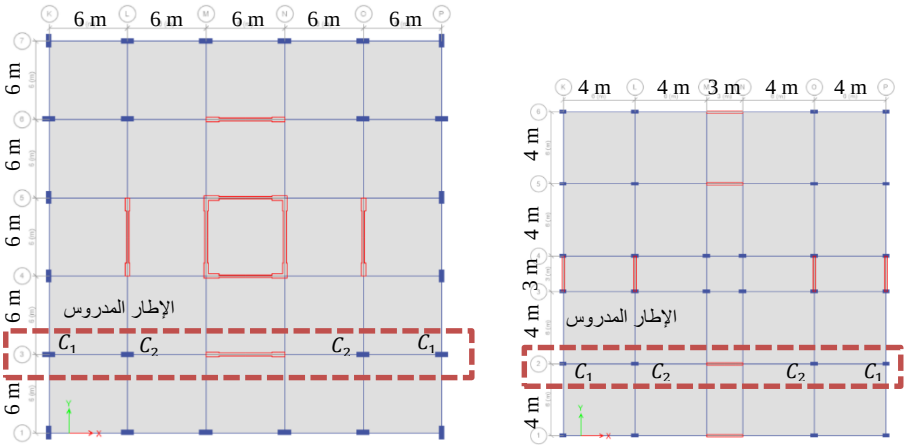
دراسة تطبيقية لنماذج الجمل الثنائية الثلاثة:

يتألف كل من النماذج الثلاثة من خمسة مجازات حيث أن النموذج الأول بارتفاع (10طوابق) وبارتفاع طابقي متماثل 3m، النموذج الثاني بارتفاع (15 طابق) وبارتفاع طابقي متماثل 3m، النموذج الثالث بارتفاع (20 طابق) وبارتفاع طابقي متماثل 3m. تم تصميم كل من النماذج الثلاثة بطريقتين؛ الأولى طريقة التصميم التقليدية المتبعة في الكود والثانية باستخدام طريقة التصميم اللدن القائم على الأداء. ومن ثم تم تقييم نتائج التصميم باستعمال برنامج CSI ETABS 2016 حيث تمت نمذجة الأعمدة والجيزان كعناصر خطية line element ونمذجة جدران القص كعناصر سطحية element shell ونمذجة الأساسات كعناصر موثوقة، ومن ثم أجري تحليل إنشائي ستاتيكي لا خطي للنماذج المذكورة، للحصول على رؤية كاملة لتوصيف الحالة وسلوك كل ومنها ومقارنة هذا السلوك لكل من طريقتي التصميم المتبعتين.

مواصفات النماذج:

نموذج المقطع الشاقولي للتربة (S_D) وقدرة تحمل التربة $3kg/cm^2$، تقع النماذج الثلاثة في المنطقة الزلزالية 2C حيث التسارع الارضي 0.25g، عامل أهمية المبنى I = 1، يوضح الشكل (6) المساقط الأفقية للطابق المتكرر للنماذج المختارة والإطار المدروس في كل منها مع توضيح الأبعاد بين المحاور، وتم اعتماد المواصفات التالية لمواد البناء.

$f'c = 250\ kg/cm^2$، $Fy = 4000\ kg/cm^2$، $Fyw=2400\ kg/cm^2$.



b a

الشكل 6: المسقط الأفقي للنماذج: a: بـ 10 طوابق b: بـ 15 و20 طابق؛ [عمل الباحث].

نمذجة المنشأ:

تمت النمذجة والتصميم الأولي للمنشأ وفق الكود التصميمي باستخدام برنامج ETABS من أجل المعطيات الزلزالية للموقع وتم الحصول على المقاطع التصميمية للعناصر.

الجدول 4: بارامترات وقيم التصميم وفق الكود من أجل الإطار بـ 10 طوابق.

10 STORY CODE DESIGN												
القص جدار في المخفي العمود				القص جدار				الأعمدة				الطابق
العرضي التسليح	الطولي التسليح	العرض (cm)	الطول (cm)	المنطقة تسليح أفقي	المنطقة تسليح شاقولي	السماكة (cm)	الطول (cm)	العرضي التسليح	الطولي التسليح	الأبعاد(cm)	رسم العمود	
3T8/10-15	14T14 mm	30	60	6T12/m	7T14/m	30	300	4T8/10-15	20T20 mm	45*100	C1	1-4
								4T8/10-15	24T20 mm	50*100	C2	
2T8/10-15	12T14 mm	25	60	6T12/m	7T12/m	25	300	3T8/10-15	20T16 mm	40*80	C1	5-7
								3T8/10-15	20T16 mm	40*80	C2	
2T8/10-15	8T14 mm	20	60	6T12/m	7T12/m	20	300	2T8/10-15	14T14 mm	30*70	C1	8-10
								2T8/10-15	14T14 mm	30*70	C2	

توضح الجداول (4) و(5) و(6) أبعاد المقاطع العرضية لكل من الأعمدة والجدران مع التسليح المطلوب لكل منها (التسليح الطولي والتسليح العرضي) وفق الطريقة الستاتيكية المكافئة الموضحة أعلاه والمعتمدة في الكود العربي السوري لتصميم وتحقيق المنشآت البيتونية على الزلازل.

الجدول 5: بارامترات وقيم التصميم وفق الكود من أجل الإطار بـ 15 طابق.

15 STORY CODE DESIGN													
الطاق	الأعمدة				القص جدار				القص جدار في المخفي العمود				
	رقم العمود	الأبعاد(cm)	الطولي التسليح	العرضي التسليح	الطول (cm)	السماكة (cm)	المنطقة الوسطية شاقولي	المنطقة الوسطية أفقي	الطول (cm)	العرض (cm)	الطولي التسليح	العرضي التسليح
1-3	C1	50*100	24T18 mm	5T8/10-15	600	40	7T16/m	6T12/m	120	40	24T20 mm	6T8/10-15
	C2	55*130	28T25 mm	5T8/10-15								
4-6	C1	45*100	22T18 mm	5T8/10-15	600	35	7T14/m	6T12/m	120	35	24T18 mm	6T8/10-15
	C2	50*120	28T20 mm	5T8/10-15								
7-9	C1	40*100	20T16 mm	5T8/10-15	600	30	7T14/m	6T12/m	120	30	22T16 mm	5T8/10-15
	C2	40*120	24T20 mm	5T8/10-15								
10-12	C1	40*80	18T16 mm	5T8/10-15	600	25	7T12/m	6T12/m	120	25	22T14 mm	5T8/10-15
	C2	40*100	20T16 mm	5T8/10-15								
13-15	C1	40*60	16T16 mm	5T8/10-15	600	20	7T10/m	6T12/m	120	20	18T14 mm	4T8/10-15
	C2	40*80	18T16 mm	5T8/10-15								

الجدول 6: بارامترات وقيم التصميم وفق الكود من أجل الإطار بـ 20 طابق.

20 STORY CODE DESIGN													
الطاق	الأعمدة				القص جدار				القص جدار في المخفي العمود				
	رقم العمود	الأبعاد(cm)	الطولي التسليح	العرضي التسليح	الطول (cm)	السماكة (cm)	المنطقة الوسطية شاقولي	المنطقة الوسطية أفقي	الطول (cm)	العرض (cm)	الطولي التسليح	العرضي التسليح
1-4	C1	60*120	32T20 mm	5T8/10-15	600	45	7T16/m	6T12/m	120	45	30T20 mm	6T8/10-15
	C2	60*140	38T25 mm	5T8/10-15								
5-8	C1	55*100	24T20 mm	5T8/10-15	600	40	7T16/m	6T12/m	120	40	24T20 mm	6T8/10-15
	C2	55*120	32T20 mm	5T8/10-15								
9-12	C1	45*100	24T16 mm	5T8/10-15	600	35	7T14/m	6T12/m	120	35	24T18 mm	6T8/10-15
	C2	45*120	30T20 mm	5T8/10-15								
13-16	C1	40*80	16T16 mm	5T8/10-15	600	30	7T14/m	6T12/m	120	30	22T16 mm	5T8/10-15
	C2	40*100	26T16 mm	5T8/10-15								
17-20	C1	30*80	12T16 mm	5T8/10-15	600	25	7T12/m	6T12/m	120	25	22T14 mm	5T8/10-15
	C2	40*80	24T16 mm	5T8/10-15								

تم إجراء تحليل PBPD باستخدام حسابات يدوية وفق منهجية الطريقة الموضحة بالمعادلات من (9) إلى (20) على النماذج الثلاثة السابقة، وتبين الجداول (7) و(8) و(9) حساب وتوزيع الحمل الجانبي على ارتفاع الإطار بـ 10 –15 –20 طابق على الترتيب وفق طريقة PBPD.

الجدول 7: بارامترات وقيم التصميم من أجل الإطار بـ 10 طوابق وفق طريقة PBPD.

10 Stories													
Vi (ton)	$F_i *= Fi + F_{iP-\Delta}$ قوة القص الطابقي (kN)	$F_{iP-\Delta} = \theta u * Wi$ إدخال تأثير P-delta (kN)	$Fi = \lambda i * Vy$ STORY FORCE (kN)	$\lambda i * hi$	λi	$\beta i - \beta(i+1)$	βi	ΣWi*hi (kN.m)	Wi*hi (kN.m)	(wi) (kN/m)	(Wi) (kN)	hi (m)	story (i)
336.1	336.1	35.6	300.5	8.07	0.27	1.00	1.00	53460	53460	66	1782	30	10
563.9	227.8	35.6	192.1	4.64	0.17	0.64	1.64	101574	48114	66	1782	27	9
752.6	188.7	35.6	153.1	3.29	0.14	0.51	2.15	144342	42768	66	1782	24	8
913.7	161.1	35.6	125.4	2.36	0.11	0.42	2.57	181764	37422	66	1782	21	7
1052.1	138.5	35.6	102.8	1.66	0.09	0.34	2.91	213840	32076	66	1782	18	6
1170.7	118.6	35.6	83.0	1.11	0.07	0.28	3.18	240570	26730	66	1782	15	5
1271.2	100.5	35.6	64.9	0.70	0.06	0.22	3.40	261954	21384	66	1782	12	4
1354.7	83.5	35.6	47.8	0.39	0.04	0.16	3.56	277992	16038	66	1782	9	3
1421.9	67.2	35.6	31.5	0.17	0.03	0.10	3.66	288684	10692	66	1782	6	2
1473.2	51.3	35.6	15.7	0.04	0.01	0.05	3.72	294030	5346	66	1782	3	1
	1473.2			22.43	1.00	3.72	27.79				17820		Σ

الجدول 8: بارامترات وقيم التصميم من أجل الإطار بـ 15 طابق وفق طريقة PBPD.

15 Stories													
Vi (ton)	$F_i *= Fi + F_{iP-\Delta}$ قوة القص الطابقي (kN)	$F_{iP-\Delta} = \theta u * Wi$ إدخال تأثير P-delta (kN)	$Fi = \lambda i * Vy$ STORY FORCE (kN)	$\lambda i * hi$	λi	$\beta i - \beta(i+1)$	βi	ΣWi*hi (kN.m)	Wi*hi (kN.m)	(wi) (kN/m)	(Wi) (kN)	hi (m)	story (i)
481.7	481.7	39.6	442.1	9.80	0.22	1.00	1.00	89100	89100	66	1980	45	15
796.0	314.3	39.6	274.7	5.68	0.14	0.62	1.62	172260	83160	66	1980	42	14
1059.2	263.2	39.6	223.6	4.30	0.11	0.51	2.13	249480	77220	66	1980	39	13
1289.0	229.8	39.6	190.2	3.37	0.09	0.43	2.56	320760	71280	66	1980	36	12
1493.2	204.2	39.6	164.6	2.68	0.08	0.37	2.93	386100	65340	66	1980	33	11
1676.1	182.9	39.6	143.3	2.12	0.07	0.32	3.25	445500	59400	66	1980	30	10
1840.3	164.2	39.6	124.6	1.66	0.06	0.28	3.54	498960	53460	66	1980	27	9
1987.7	147.4	39.6	107.8	1.27	0.05	0.24	3.78	546480	47520	66	1980	24	8
2119.6	131.9	39.6	92.3	0.95	0.05	0.21	3.99	588060	41580	66	1980	21	7
2236.9	117.3	39.6	77.7	0.69	0.04	0.18	4.16	623700	35640	66	1980	18	6
2340.4	103.5	39.6	63.9	0.47	0.03	0.14	4.31	653400	29700	66	1980	15	5
2430.5	90.1	39.6	50.5	0.30	0.02	0.11	4.42	677160	23760	66	1980	12	4
2507.7	77.2	39.6	37.6	0.17	0.02	0.09	4.51	694980	17820	66	1980	9	3
2572.2	64.5	39.6	24.9	0.07	0.01	0.06	4.56	706860	11880	66	1980	6	2
2624.2	52.0	39.6	12.4	0.02	0.01	0.03	4.59	712800	5940	66	1980	3	1
	2624.2			33.55	1.00	4.59	51.35				29700		Σ

الجدول 9: بارامترات وقيم التصميم من أجل الإطار بـ 20 طابق وفق طريقة PBPD.

20 Stories													
Vi (ton)	$F_i *= Fi + F_{iP-\Delta}$ قوة القص الطابقي (kN)	$F_{iP-\Delta} = \theta u * Wi$ إدخال تأثير P-delta (kN)	$Fi = \lambda i * Vy$ STORY FORCE (kN)	$\lambda i * hi$	λi	$\beta i - \beta(i+1)$	βi	ΣWi*hi (kN.m)	Wi*hi (kN.m)	(wi) (kN/m)	(Wi) (kN)	hi (m)	story (i)
710.0	710.0	39.6	670.4	11.73	0.20	1.00	1.00	118800	118800	66	1980	60	20
1144.9	434.9	39.6	395.3	6.57	0.12	0.59	1.59	231660	112860	66	1980	57	19
1505.7	360.8	39.6	321.2	5.06	0.09	0.48	2.07	338580	106920	66	1980	54	18
1820.7	315.1	39.6	275.5	4.10	0.08	0.41	2.48	439560	100980	66	1980	51	17
2102.2	281.5	39.6	241.9	3.39	0.07	0.36	2.84	534600	95040	66	1980	48	16
2356.9	254.6	39.6	215.0	2.82	0.06	0.32	3.16	623700	89100	66	1980	45	15
2588.8	232.0	39.6	192.4	2.36	0.06	0.29	3.45	706860	83160	66	1980	42	14
2800.9	212.1	39.6	172.5	1.96	0.05	0.26	3.71	784080	77220	66	1980	39	13
2995.2	194.3	39.6	154.7	1.62	0.05	0.23	3.94	855360	71280	66	1980	36	12
3173.1	177.9	39.6	138.3	1.33	0.04	0.21	4.14	920700	65340	66	1980	33	11
3335.9	162.8	39.6	123.2	1.08	0.04	0.18	4.33	980100	59400	66	1980	30	10
3484.4	148.5	39.6	108.9	0.86	0.03	0.16	4.49	1033560	53460	66	1980	27	9
3619.4	135.0	39.6	95.4	0.67	0.03	0.14	4.63	1081080	47520	66	1980	24	8
3741.4	122.0	39.6	82.4	0.50	0.02	0.12	4.75	1122660	41580	66	1980	21	7
3850.8	109.5	39.6	69.9	0.37	0.02	0.10	4.86	1158300	35640	66	1980	18	6
3948.2	97.3	39.6	57.7	0.25	0.02	0.09	4.94	1188000	29700	66	1980	15	5
4033.7	85.5	39.6	45.9	0.16	0.01	0.07	5.01	1211760	23760	66	1980	12	4
4107.5	73.8	39.6	34.2	0.09	0.01	0.05	5.06	1229580	17820	66	1980	9	3
4169.8	62.3	39.6	22.7	0.04	0.01	0.03	5.10	1241460	11880	66	1980	6	2
4220.8	50.9	39.6	11.3	0.01	0.00	0.02	5.11	1247400	5940	66	1980	3	1
	4220.8			44.97	1.00	5.11	76.66				39600		Σ

حيث: h_i: ارتفاع الطابق i عن منسوب قاعدة البناء، W_i: وزن الطابق i، β_i: معامل توزيع القص للطابق رقم i، λ_i: معامل توزيع القوة الجانبية للطابق رقم i، F_i: حصة الطابق رقم i من القوة الجانبية، V_i: القص في الطابق رقم i.

$$V_i = \sum_i^n F_i \qquad (21)$$

ومن ثم تم تصميم العناصر الإنشائية للإطارات الثلاثة اعتماداً على القوى التصميمية الناتجة عن تراكب الحمولات الجانبية F_i المحسوبة وفق الجداول (7) و(8) و(9) مع الأحمال الشاقولية المؤثرة على المنشأ وفق حصة الإطار المدروس والتي بلغت من أجل حالتي التصميم المعتمدتين $11\ kN/m^2$ للحمولات الميتة الموزعة على مساحة الطابق متضمنة الوزن الذاتي للعناصر و$3\ kN/m^2$ للحمولات الحية الموزعة على مساحة الطابق. توضح الجداول (10) و(11) و(12) أبعاد المقاطع العرضية لكل من الأعمدة والجدران مع التسليح المطلوب لكل منها (التسليح الطولي والتسليح العرضي) وفق طريقة التصميم اللدن القائم على الأداء [PBPD].

الجدول 10: بارامترات وقيم التصميم وفق طريقة PPBD من أجل الإطار بـ 10 طوابق.

10 STORY PBPD DESIGN													
الطابق	الأعمدة					القص جدار				القص جدار في المخفي العمود			
	اسم العمود	الأبعاد(cm)	الطولي التسليح	العرضي التسليح	الطول (cm)	السماكة (cm)	المنطقة تسليح شاقولي	المنطقة تسليح أفقي	الطول (cm)	العرض (cm)	الطولي التسليح	العرضي التسليح
1-4	C1	40*80	18T18 mm	4T8/10-15	300	25	7T14/m	6T12/m	60	25	12T14 mm	3T8/10-15
	C2	40*100	18T18 mm	4T8/10-15								
5-7	C1	30*80	16T14 mm	3T8/10-15	300	25	7T12/m	6T12/m	60	25	10T14 mm	2T8/10-15
	C2	30*100	16T16 mm	3T8/10-15								
8-10	C1	30*70	16T14 mm	2T8/10-15	300	20	7T12/m	6T12/m	60	20	8T14 mm	2T8/10-15
	C2	30*70	16T14 mm	2T8/10-15								

الجدول 11: بارامترات وقيم التصميم وفق طريقة PPBD من أجل الإطار بـ 15 طابق.

15 STORY PBPD DESIGN													
الطابق	الأعمدة					القص جدار				القص جدار في المخفي العمود			
	اسم العمود	الأبعاد(cm)	الطولي التسليح	العرضي التسليح	الطول (cm)	السماكة (cm)	المنطقة تسليح شاقولي	المنطقة تسليح أفقي	الطول (cm)	العرض (cm)	الطولي التسليح	العرضي التسليح
1-3	C1	45*100	24T18 mm	5T8/10-15	600	30	7T16/m	6T14/m	120	30	22T16 mm	5T8/10-15
	C2	50*120	26T20 mm	5T8/10-15								
4-6	C1	40*100	22T18 mm	5T8/10-15	600	30	7T14/m	6T12/m	120	30	22T16 mm	5T8/10-15
	C2	45*120	26T20 mm	5T8/10-15								
7-9	C1	35*100	20T16 mm	5T8/10-15	600	25	7T12/m	6T12/m	120	25	22T14 mm	5T8/10-15
	C2	35*120	24T18 mm	5T8/10-15								
10-12	C1	30*80	18T16 mm	5T8/10-15	600	25	7T12/m	6T12/m	120	25	22T14 mm	5T8/10-15
	C2	35*100	22T16 mm	5T8/10-15								
13-15	C1	30*70	16T16 mm	5T8/10-15	600	20	7T10/m	6T12/m	120	20	18T14 mm	4T8/10-15
	C2	35*80	20T16 mm	5T8/10-15								

الجدول 12: بارامترات وقيم التصميم وفق طريقة PPBD من أجل الإطار بـ 20 طابق.

20 STORY PBPD DESIGN															
الطابق	الأعمدة					القص جدار				القص جداري المخفي العمود					
	اسم العمود	الأبعاد(cm)	الطولي السليح	العرضي السليح	الطول (cm)	السماكة (cm)	المنطقة سليح شاقولي	المنطقة سليح أفقي	الطول (cm)	العرض (cm)	الطولي السليح	العرضي السليح
1-4	C1	60*100	30T20 mm	5T8/10-15	600	40	7T16/m	6T12/m	120	40	24T20 mm	6T8/10-15
	C2	55*130	30T25 mm	5T8/10-15								
5-8	C1	50*100	24T20 mm	5T8/10-15	600	35	7T14/m	6T12/m	120	35	24T18 mm	6T8/10-15
	C2	50*120	32T20 mm	5T8/10-15								
9-12	C1	45*100	24T16 mm	5T8/10-15	600	30	7T14/m	6T12/m	120	30	22T16 mm	5T8/10-15
	C2	45*120	30T20 mm	5T8/10-15								
13-16	C1	40*80	16T16 mm	5T8/10-15	600	25	7T12/m	6T12/m	120	25	22T14 mm	5T8/10-15
	C2	40*100	26T16 mm	5T8/10-15								
17-20	C1	30*80	12T16 mm	5T8/10-15	600	20	7T10/m	6T12/m	120	20	18T14 mm	4T8/10-15
	C2	40*80	24T16 mm	5T8/10-15								

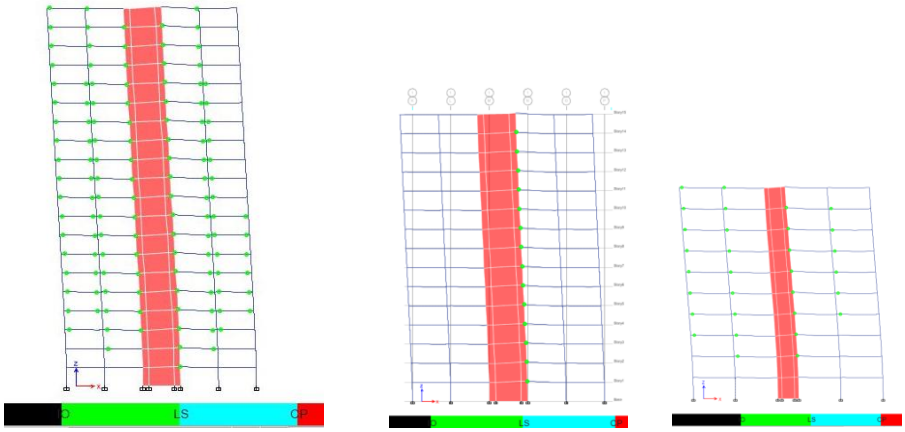
-النتائج ومناقشتها:

تم تصميم ثلاثة إطارات بجمل ثنائية بيتونية (إطارات-جدار قص) مؤلفة من 10 و15 و20 طابق وفق كود التصميم الزلزالي بشكل أولي، ومن ثم تم تصميم هذه الإطارات وفق طريقة التصميم اللدن القائم على الأداء PBPD المقترحة. وكانت أدوار الاهتزاز الأساسية للإطارات الثلاثة 1.095 و1.118 و1.549 ثانية على الترتيب. وبعد ذلك تم رصد سلوك هذين النوعين من الإطارات تحت تأثير التحليل الستاتيكي اللاخطي Pushover والمبين فيما يأتي.

وبما أن كل من الإطارات السابقة المعتمدة على الكود لم تحقق معيار القبول acceptance criteria (نمط انهيار غير مرغوب)، ومن الجدير بالذكر أن الإطارات المصممة وفق طريقة PBPD أفضل من تلك المصممة وفق طريقة الكود، كما أظهرت نتائج التقييم لطريقة PBPD مستوىً مقبولاً من الأداء الزلزالي.

تم إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي باستخدام برنامج العناصر المنتهية ETABS 2016 على الإطارات الثلاثة المصممة وفق طريقة PBPD وطريقة الكود. فيما يلي نعرض النتائج التي تتضمن مكان تشكل المفصل اللدن Location of Plastic Hinges وميكانيزم الانهيار الحاصل، والإزاحة الطابقية الكلية عند نقطة الأداء ومقارنة أبعاد المقاطع للعناصر الإنشائية في كلا نوعي الإطارات.

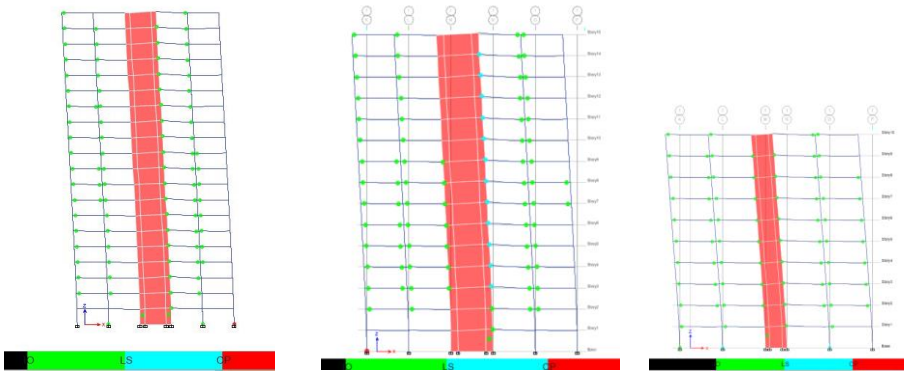
يبين الشكل (7) ميكانيزم الانهيار الموافق للإطارات المؤلفة من 10 15 و20 طابقاً والمصممة وفق طريقة الكود اعتماداً على نتائج تحليل التحليل الستاتيكي اللاخطي Pushover.



Code طابق 20 Code طابق 15 Code طوابق10

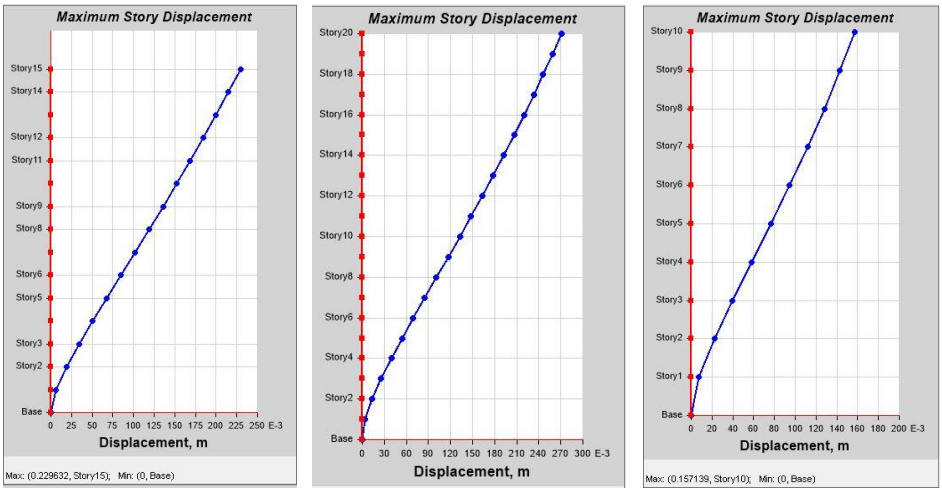
الشكل 7: ميكانيزم الانهيار في الإطارات المصممة وفق الكود؛ [عمل الباحث].

ويبين الشكل (8) ميكانيزم الانهيار الموافق للإطارات المؤلفة من 10 15 و20 طابقاً والمصممة وفق طريقة PPBD اعتماداً على نتائج تحليل التحليل الستاتيكي اللاخطي Pushover.



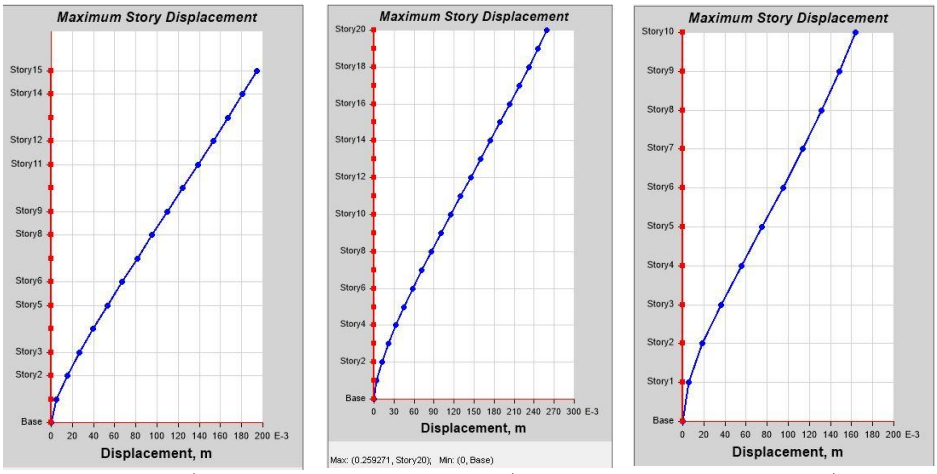
PPBD طابق 20 PPBD طابق 15 PPBD طوابق10

الشكل 8: ميكانيزم الانهيار في الإطارات المصممة وفق PPBD؛ [عمل الباحث].



Code طابق 20 Code طابق 15 Code طوابق10

الشكل 9: الانتقال الطابقي الكلي عند السقف عند نقطة الأداء وفق الكود؛ [عمل الباحث].

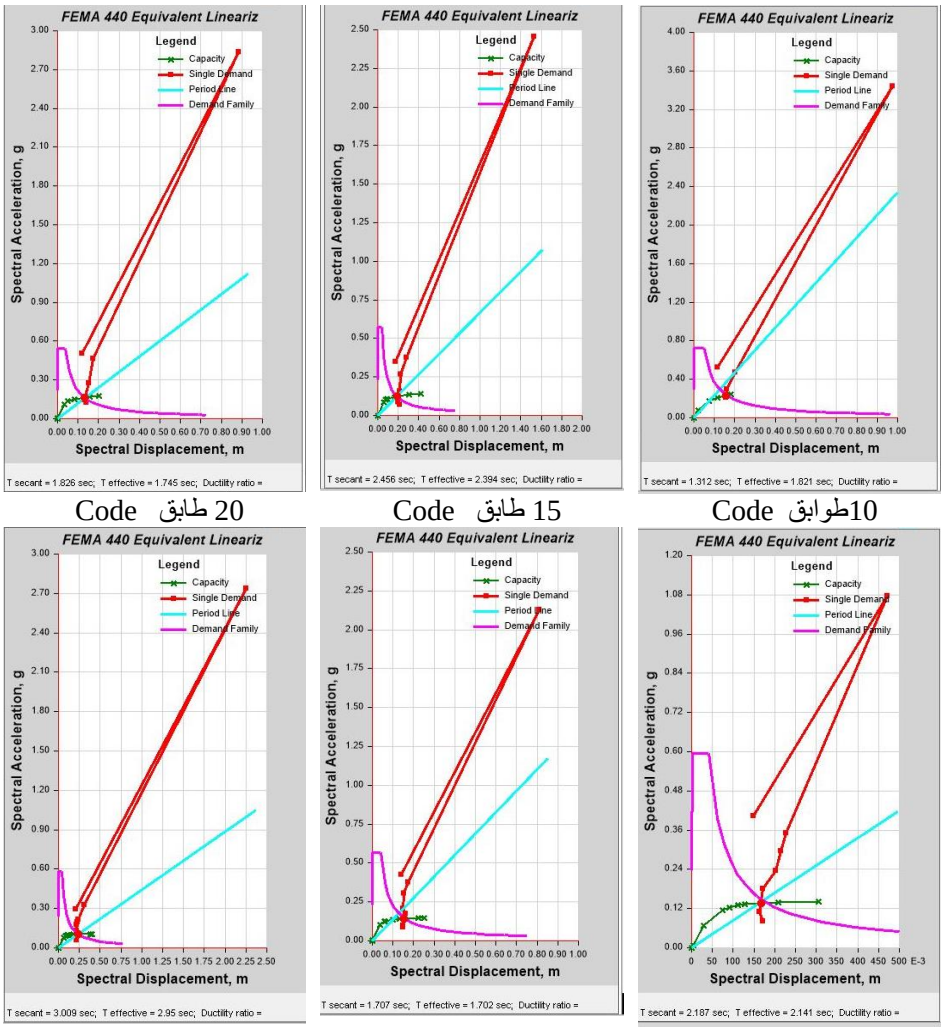


PPBD طابق20 PPBD طابق 15 PPBD طوابق10

الشكل 10: الانتقال الطابقي الكلي عند السقف عند نقطة الأداء للإطارات وفق PPBD؛ [عمل الباحث].

نلاحظ عدم حصول ميكانيزم الانهيار المرغوب في الإطارات بـ 10 و15 و20 طابق والمصممة وفق الكود كما يوضح الشكل (7) حيث لم تتلدن مقاطع الأعمدة والجدران في الطابق الأرضي عند الاتصال مع القاعدة، بينما يوضح الشكل (8) تشكل نمط انهيار

مرغوب في الإطارات بـ 10 و15 و20 طابق والمصممة وفق طريقة PPBD من خلال تشكل مفاصل لدنة في أطراف الجوائز في كافة الطوابق وفي كل من جدار القص والأعمدة في الطابق الأرضي عند الاتصال مع القاعدة كعناصر محكومة بالخضوع بينما تبقى الأعمدة وجدران القص في بقية الطوابق عدا الأرضي خالية من تشكل المفاصل اللدنة وتكون غير محكومة بالخضوع.



Code طابق 20 Code طابق 15 Code طوابق10

PPBD طابق20 PPBD طابق 15 PPBD طوابق10

الشكل 11: منحني الاستطاعة Pushover للإطارات بنوعيها؛ [عمل الباحث].

يبين الشكل (9) نتائج الانتقال الطابقي الكلي عند السقف عند نقطة الأداء للإطارات المؤلفة من 10 15 و20 طابقاً والمصممة وفق طريقة الكود اعتماداً على نتائج تحليل التحليل الستاتيكي اللاخطي Pushover. وبلغت قيمة الانتقال الكلي في الإطارات بـ 10 و15 و20 طابق والمصممة وفق الكود 17mm و23mm و27mm على الترتيب.

وبلغت قيمة الانتقال الكلي في الإطارات بـ 10 و15 و20 طابق والمصممة وفق طريقة PPBD 15mm و19mm و25mm على الترتيب، الشكل (10)، وهي أخفض من الإطارات المصممة وفق الكود. ويوضح الشكل (11) منحني الاستطاعة الموافق لكل إطار من النماذج السابقة ويمكن ملاحظة تحسن المطاوعة في الإطارات المصممة بطريقة PPBD مقارنة بتلك المصممة وفق الكود.

الاستنتاجات والتوصيات:

1- انخفاض قيمة انتقال السقف الأخير الكلي عند نقطة الأداء في الإطارات المصممة بطريقة PPBD عن تلك المصممة وفق الكود بنسبة تتراوح من (14%-11%).
2- تحسن المطاوعة في الإطارات المصممة بطريقة PPBD عن تلك المصممة وفق الكود من خلال الحصول على انتقال حدي أكبر يوضحه منحني الاستطاعة من تحليل Pushover.
3- تعطي طريقة التصميم اللدن القائم على الأداء ميكانيزم الانهيار المرغوب في الجمل الثنائية والمتمثل بتشكل مفاصل لدنة في الأعمدة والجدران عند اتصالها مع القاعدة فقط وتشكل مفاصل لدنة في الجوائز في مختلف الطوابق.
4- انخفاض أبعاد مقاطع العناصر الإنشائية في الإطارات المصممة بطريقة PPBD عن تلك المصممة وفق الكود بنسبة تصل إلى (20%) وبالتالي انخفاض الوزن الكلي للمنشأ.
5- إن استخدام طريقة التصميم اللدن القائم على الأداء ساهم في الحصول على استجابة أمثل للجمل الثنائية من البيتون المسلح (إطارات – جدران قص) وبمقاطع

تصميمية أخفض من طريقة التصميم وفق الكود لذلك نوصي باعتمادها كطريقة تصميم.

6- نوصي بمتابعة البحث في طريقة التصميم اللدن القائم على الأداء في الجمل الثنائية المؤلفة من إطارات مربطة مركزياً ولا مركزياً بأشكال مختلفة.

المراجع:

.1 Goel, S.C., et al., *Performance- based plastic design (PBPD) method for earthquake- resistant structures: an overview.* The structural design of tall and special buildings, 2010. **19**(1- 2): p. 115-137.

.2 Qiu, C., et al., *Robustness of performance-based plastic design method for SMABFs.* International Journal of Steel Structures, 2019. **19**: p. 787-805.

.3 Kaveh, A. and P. Zakian, *Optimal seismic design of reinforced concrete shear wall-frame structures.* KSCE Journal of Civil Engineering, 2014. **18**: p. 2181-219.0

.4 Devi, G.N., *Behaviour of Reinforced Concrete Dual Structural System: Strength, Deformation Characteristics, and Failure Mechanism.* International Journal of Engineering and Technology, 2013. **5**(1): p. 14.

.5 Hajirasouliha, I., P. Asadi, and K. Pilakoutas, *An efficient performance- based seismic design method for reinforced concrete frames.* Earthquake engineering & structural dynamics, 2012. **41**(4): p. 663-679.

.6 Syndicate, S.E., *Appendix No. (2) Of The Syrian Arab Code: Design and Realization Of Earthquake-Resistant Buildings and Structures*. 2020: Damascus.

.7 Mwafy, A. and A.S. Elnashai, *Static pushover versus dynamic collapse analysis of RC buildings.* Engineering structures, 2001. **23**(5): p. 407-424.

.8 IBC– 2009, I.B.C. 1997.

.9 Taha, R., *A Case Study to Evaluate Performance of Multistory Existing Buildings Located At Syrian Coast To Seismic Effect and Rehabilitation*. 2013, Tishreen University: Faculty of Civil Engineering.

.10 Bai, J. and J. Ou, *Earthquake-resistant design of buckling-restrained braced RC moment frames using performance-based plastic design method.* Engineering structures, 2016. **107**: p. 66-79.

.11 Chao, S.-H. and S.C. Goel, *ASEISMIC DESIGN METHOD FOR STEEL CONCENTRIC BRACED FRAMES FOR ENHANCED PERFORMANCE.* 2006.

.12 ATC-40, *Seismic Evaluation and Retrofit of Reinforced Concrete Buildings*. 1996, Applied Technology Council.

.13 Newmark, N.M. and W.J. Hall, *Earthquake spectra and design.* Engineering monographs on earthquake criteria, 1982.

.14 Bai, J., et al., *Seismic optimization design for uniform damage of reinforced concrete moment-resisting frames using consecutive modal pushover analysis.* Advances in Structural Engineering, 2016. **19**(8): p. 1313-1327.