

# Usage of Nonlinear Static Analysis for Dual Systems

Dr. Eng. Ihssan Tarsha

Eng. Shadi Fattoum

Civil Engineering. AL-BAATH University

## Abstract

This paper presents the results of analyzing 17 models with nonlinear static analysis. The models are 5, 10 and 15-story frame-wall structures with Re-entrant corners. The participations of frames to resist the shear force range between 25% and 60%. Moreover, There are 3 frame models used for comparing the performance of dual systems and frame systems. The lateral load pattern is first-mode pattern. The performance points are calculated by *Equivalent Linearization* and the target displacements are calculated by *Displacement Modification*. The results are compared with the roof displacements calculated by nonlinear dynamic analysis. The plastic hinges have been studied and numbers of plastic hinges have been compared with the change of frames participations.

**Key words : Nonlinear Static Analysis, Pushover, Dual System, Frame-wall structures, Plastic Hinges.**

# استخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي في الجمل الثنائية

المهندس شادي فطوم

د.م إحسان الطرشة

كلية الهندسة المدنية - الهندسة الإنشائية - جامعة البعث

## ملخص :

يعرض هذا البحث نتائج تحليل 17 نموذجاً بارتفاع 5 و 10 و 15 طابق باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي . الجمل الإنشائية المستخدمة هي جمل ثنائية ( جدران قص + اطارات ) تراوحت نسبة مساهمة الاطارات بين 25% و 60% بالإضافة لجمل اطارية . تستخدم لمقارنة أداء الجمل الثنائية مع الاطارية . تحتوي الجمل على زاوية داخلية . نموذج الحمولات الأفقية المستخدمة في دفع الجملة هو توزيع النمط الأول . تم ايجاد نقطة الأداء بطريقة الجملة الخطية المكافئة Equivalent Linearization والانتقال الهدف بطريقة تعديل الانتقال Displacement Modification كما تم ايجاد الانتقال في الطابق الأخير باستخدام التحليل الديناميكي اللاخطي والذي يعتمد كمرجع للمقارنة وتم مقارنة النتائج . تم أيضاً دراسة تشكل المفاصل اللدنة ومقارنة عددها مع تغيير نسبة مساهمة الاطارات .

كلمات مفتاحية : التحليل الستاتيكي اللاخطي، الجمل الثنائية، جدران قص-اطارات، مفاصل لدنة .

# استخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي في الجمل

## الثنائية

### 1- مقدمة البحث:

يستخدم المهندسون عادةً في تحليل وتصميم المنشآت التحليل المرن الخطي . ومن أجل دراسة الحمولات الأفقية الناتجة عن الزلازل التصميمية فإنه يتم استخدام معاملات لأخذ مطاوعة الجملة بعين الاعتبار . وعلى الرغم من أن التحليل المرن يعطي تقديراً جيداً للطاقة المرنة للجملة ويشير إلى مكان أول منطقة خضوع ممكن أن تحصل لكن لا يتوقع ميكانيزم الانهيار ولا يتم إعادة توزيع القوى بعد الخضوع .

مع التقدم العلمي والتكنولوجي تطورت طرق تحليل وتصميم المنشآت، وأصبحت إجراءات التحليل من أجل التصميم وتقييم الأداء الزلزالي بسيطة نسبياً وتعبر عن السلوك المرن- اللدن للمنشأ بشكل أفضل .

من أشهر طرق التحليل الزلزالي هي التحليل الستاتيكي الخطي و التحليل الديناميكي الخطي وكلاهما يعتبر تحليلاً مرناً . يضاف لهما أيضاً التحليل الستاتيكي اللاخطي والتحليل الديناميكي اللاخطي .

يساعد التحليل اللاخطي في شرح آلية عمل العناصر الإنشائية والجملة الإنشائية بتحديد أنماط الانهيار ويساعد المهندسين في فهم سلوك الجمل الخاضعة لحركات أرضية قوية حيث تكون الطاقة الناتجة أكبر من الطاقة المرنة للجملة .

### 2- المشكلة العلمية ومبررات البحث :

يعتبر التحليل الديناميكي اللاخطي من أدق الطرق في تقدير الطلب الزلزالي لكن هذا التحليل معقد وغير عملي لأنه يتطلب الكثير من الوقت وتوفر التسجيلات الزلزالية الخاصة بالمنطقة . من الطرق البديلة لذلك التحليل طريقة التحليل الستاتيكي اللاخطي أو تحليل الدفع المتتالي Pushover Analysis .

العديد من الدراسات قد أجريت لتطوير وتقييم هذا التحليل ، لكن معظم الدراسات كانت حول الجمل الاطارية وعدد قليل كان حول الجمل الثنائية المؤلفة من جدران قص

واطارات . لوحظ في جميع الدراسات السابقة اختلاف النتائج بين طرق تحديد الأداء بالتحليل الستاتيكي اللاخطي فيما بينها واختلافها مع التحليل الديناميكي اللاخطي الذي يعتمد كمرجع للمقارنة .

### 3- دراسة مرجعية :

حلل [3] Gupta الاستجابة المسجلة لثمانية مباني ، والتي تعرضت إلى تسارعات أرضية تتجاوز حدود 0.25g في زلزال Northridge earthquake 1994 لفهم السلوك الفعلي وتخمين مدى فعالية الـ Pushover . المباني المختارة هي مباني مزودة بإطارات مقاومة للزلازل مع جملة جدران قص مقاومة للقوى الجانبية وبطوابق عددها ( 5-7-10-13-14-17-19-20 ) مع توثيق زمن الهزة ، كما تم تحديد الانتقال ، والانزياح الطابقي ، والقوى الجانبية الطابقية ، وقوى القص الظاهرة في أوقات متعددة من زمن الهزة ، فلاحظ أن استجابة الأبنية تتأثر بالأنماط ذات المرتبة الأعلى مع استثناء المنشآت المنخفضة الارتفاع .

طبق [4] Yang and Wang طريقة Pushover لثلاث جمل اطارية من 8 و 12 و 15 طابقاً وتم مقارنة النتائج مع التحليل الديناميكي اللاخطي . كانت النتائج انتقالات السقف الأخير . في إحدى الحالات الفرق وصل حتى 30% لكن بشكل عام يمكن اعتبار النتائج مرضية . الفرق في النتائج كانت بسبب محتوى التردد الخاص بالحركات الأرضية المستخدمة بحسب الباحثين ، كما لوحظ أن التمثيل ثنائي الخطية لمنحنيات Pushover سبب بعض الأخطاء في تقدير القص القاعدي وانتقال الخضوع ، وهذا بدوره أدى إلى الفرق في الاستجابة المحسوبة بطرق التحليل .

أنجز [5] Memari, Rafiee, Motlagh and Scanlon تقيماً لطرق التقييم الزلزالي الحالية على مبنى بيتوني مسلح من 32 طابقاً . توصل الباحثون إلى أن تحليل Pushover جيد لتقدير الطلب الزلزالي في الطوابق السفلية في المباني العالية . كانت النتائج قريبة من نتائج التحليل الديناميكي اللاخطي من أجل قيم التسارعات الأرضية الكبيرة . طور الانهيار قد لا يقدر بشكل آمن باستخدام تحليل Pushover .

درس [6] Mwafy and Elnashai الاستجابة الزلزالية ل 12 مبنى من البيتون المسلح باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي والتحليل الديناميكي اللاخطي . قسمت المباني إلى ثلاث مجموعات هي : أربعة إطارات غير منتظمة من 8 طوابق ، أربعة إطارات منتظمة من 12 طابق ، وأربع جمل ثنائية ( اطارات - جدران ) من 8 طوابق . وفي جميع الحالات لوحظ أن الاستجابة حساسة لشكل نموذج الحمولات الجانبية كما أن نموذج الحمولات متعدد الأطوار لم يعطِ نتائج أفضل من النماذج التقليدية . التناقضات الأكبر ظهرت في المجموعة الأخيرة من الأبنية حيث تضخيم القص القاعدي لا يمكن توقعه باستخدام تحليل Pushover .

قام كل من [7] Miao, Ye, Guan and Lu بتقييم اجراءات Pushover وتحديداً طريقة معامل الانتقال الواردة في FEMA 356 وتحليل الدفع المتتالي النمطي ( MPA ) Modal Pushover Analysis وقارنوا النتائج مع التحليل الديناميكي اللاخطي لجملتين ثنائيتين ( جدران قص - اطارات ) من البيتون المسلح، الجملة الأولى مكونة من 10 طوابق ( متوسطة الارتفاع ) والثانية من 18 طابقاً ( كبيرة الارتفاع ) وكانت النتائج كما يلي :

- من أجل الجمل الثنائية متوسطة الارتفاع فإن تحليل pushover يعطي دقة جيدة في حساب الانتقالات الطابقية ، وقوى القص الطابقي لعدم تأثرها بالأطوار ذات المرتبة الأعلى .
- من أجل الجمل الثنائية كبيرة الارتفاع فإن تحليل pushover لا يعطي نتائج مناسبة وذلك بسبب تأثيرات الأطوار ذات المرتبة الأعلى لكن طريقة ( MPA ) تعطي نتائج أفضل .
- تعتبر طريقة ( MPA ) أكثر دقة من أجل الجمل متوسطة وكبيرة الارتفاع من طريقة معامل الانتقال الواردة في FEMA 356 .

قارن [8] Choudhary N., and Wadia M. بين سلوك الجمل الثنائية ( إطارات - جدران قص ) وسلوك الجمل الاطارية بطريقة طيف السعة وطريقة التاريخ

الزماني . أجريت الدراسة على مبنى متناظر وآخر غير متناظر على شكل حرف L من أربعة طوابق بارتفاع 14 متر في المنطقة الرابعة باعتبار جملة المقاومة هي إطارات خاصة مقاومة للعزوم . ثم أضيف جدار قص بسماكة 130mm ، وفي المبنى غير المتناظر تم وضع الجدار بطريقتين وفق الاتجاه القصير للمبنى ووفق الاتجاه الطويل له، وكانت النتائج كما يلي :

- إن إضافة جدار القص أدت إلى انخفاض كبير في قوة القص القاعدية ، وانتقال السقف في كل من حالتي المبنى المتناظر وغير المتناظر .
- في المبنى غير المتناظر يفضل وضع الجدار بالاتجاه القصير ، لأنه يؤدي إلى قوة قص قاعدية أقل ، أما تناقص انتقال السقف بسبب وجود الجدار كان متقارباً ، لكن في حالة الجدار بالاتجاه الطويل يؤدي إلى انخفاض أكبر في انتقال السقف مقارنةً مع باقي الحالات .
- استخدام هذه الطريقة من التحليل أدت إلى انخفاض صغير بالتسليح مقارنة مع طريقة الكود .

#### 4- هدف البحث :

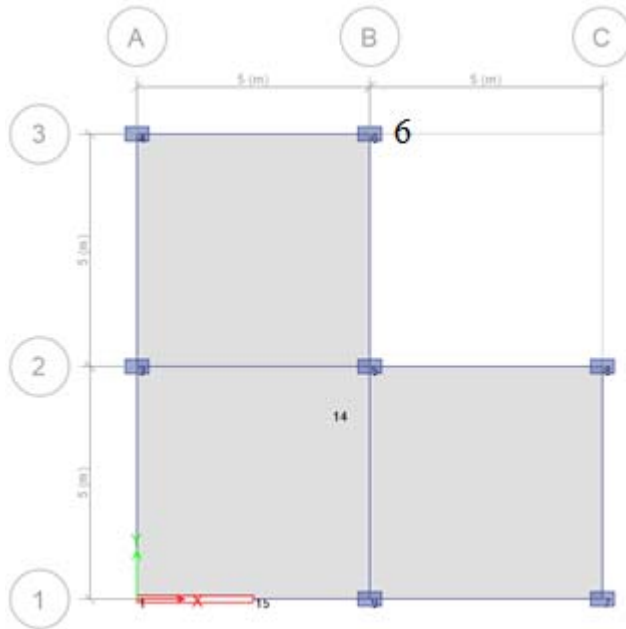
في هذا البحث تم دراسة 17 نموذجاً . حيث الجمل المقاومة للقوى الأفقية في 14 نموذجاً هي جمل ثنائية تختلف بنسبة مساهمة الاطارات والارتفاعات و في النماذج الثلاثة المتبقية جمل اطارية . ويهدف هذا البحث لما يلي :

- 1- مقارنة نتائج تقدير الأداء بالتحليل الستاتيكي اللاخطي بطريقة الجملة الخطية المكافئة [1] FEMA 440 (EL) Equivalent Linearization وطريقة تعديل الانتقال [2] ASCE 41 (DM) Displacement Modification [1] FEMA 440 مع التحليل الديناميكي اللاخطي لتحديد الأفضل بين الإجراءين الستاتيكيين في دراسة هذا النوع من الجمل .
- 2- دراسة السلوك اللاخطي للجمل الثنائية عند تغير نسب مساهمة الاطارات في تحمل القص القاعدي من أجل ارتفاع منخفض ومتوسط وعالي .

## 5- الدراسة التجريبية :

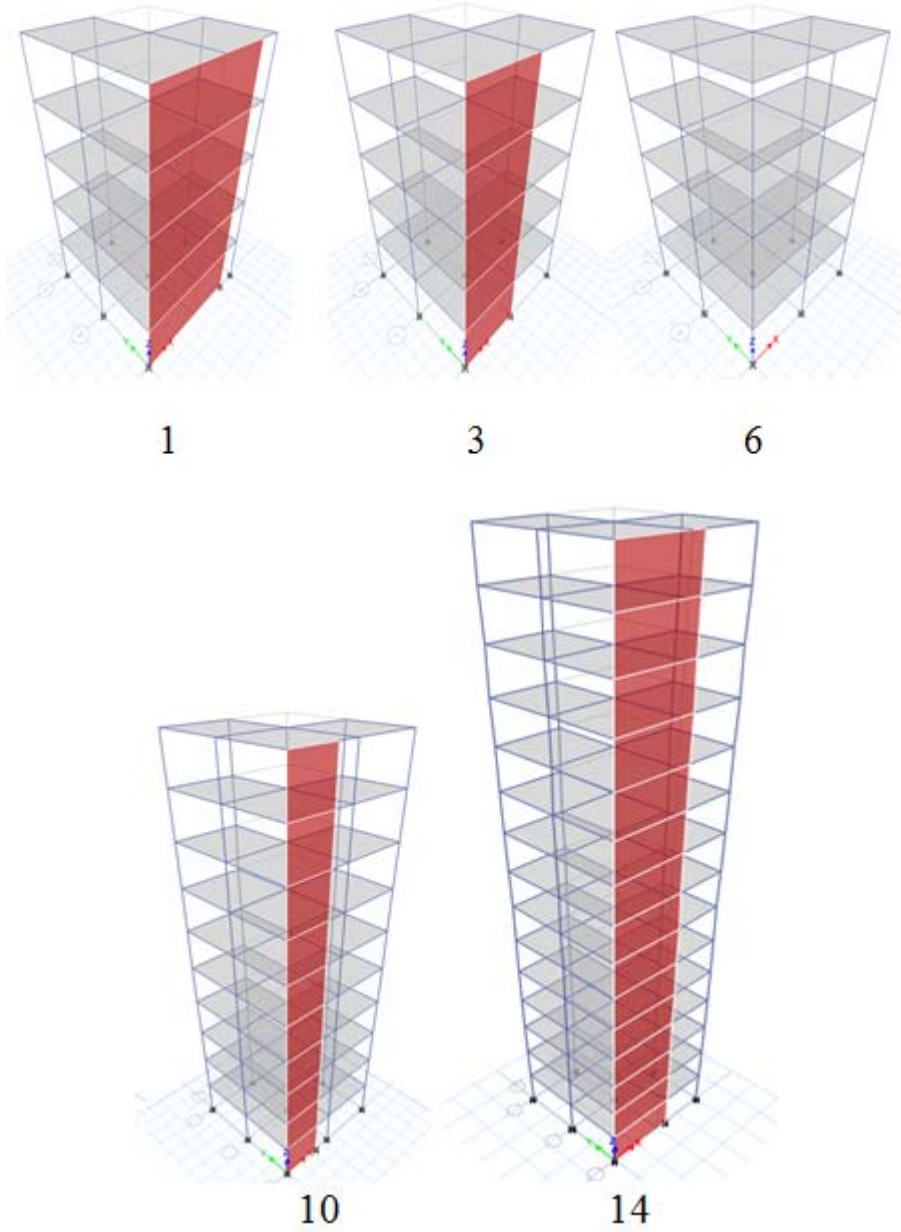
### 5-1- شكل المسقط وأبعاده :

إن نموذج المبنى المختار للدراسة له شكل حرف L ليشكل زاوية داخلية ، ويتألف من فتحتين بكل اتجاه كما في الشكل (1) . إن هذا المبنى مشابه للمبنى المستخدم في البحث الذي أجراه [8] Choudhary N., and Wadia M. ، ولكن مع بعض التغيرات في الارتفاع وأبعاد المقاطع لنتناسب مع أغراض الدراسة . وبما أن الباحثين استخدموا في بحثهما جدار قص واحد فقط ، فقد اعتمد في هذا البحث جدار قص واحد في المكان ذاته ، على الرغم من أن استخدام جدار واحد لا يتوافق مع شروط الكود العربي السوري [11] . سنغير أبعاد مقاطع الأعمدة وطول وسماكة جدار القص من أجل تغيير مساهمة الإطارات في تحمل القص القاعدي ، كما سنغير في عدد الطوابق من أجل دراسة تأثير الارتفاع .



الشكل (1) شكل المسقط المدروس وهو يمثل النموذج رقم 4 .

يظهر الشكل (2) بعض النماذج المستخدمة في الدراسة بشكل ثلاثي الأبعاد .



الشكل (2) بعض النماذج المستخدمة في الدراسة بشكل ثلاثي الأبعاد .  
 سماكة البلاطة المصمتة 12 cm ، أما الجوائز فعرضها 25 cm وارتفاعها  
 45 cm ، الارتفاع الطائقي لجميع الطوابق 3.5 m والمجازات 5 m بالاتجاهين . في  
 الجدول (1) نبين أبعاد مقاطع الأعمدة وطول وسماكة جدار القص المستخدم بالإضافة



لنسبة مساهمة الإطارات الناتجة بعد التحليل الستاتيكي . تم اختيار أبعاد مقاطع الأعمدة وجدار القص عن طريق التجريب بهدف الحصول على إطارات تساهم بالنسب المذكورة في الجدول (1) . الجمل رقم 6 و 12 و 17 هي جمل إطارية خاصة محلية لا تحتوي جدار قص وتدرس للمقارنة بين نتائج الجمل الثنائية والجمل الإطارية .

البرنامج المستخدم في الدراسة هو برنامج [10] ETABS 2015 وذلك لسهولة النمذجة والتحليل والتصميم بالإضافة لوضوح النتائج ودقتها .

الجدول (1) أبعاد مقاطع الأعمدة وجدار القص وعدد الطوابق

نسبة مساهمة الاطارات %	عدد الطوابق	أبعاد الجدار cm		أبعاد الأعمدة cm		رقم النموذج
		سماكة	طول	عرض	طول	
25	5	35	850	25	40	1
30	5	35	750	25	45	2
40	5	30	500	30	50	3
50	5	15	250	30	50	4
60	5	15	250	40	80	5
100	5	----	----	40	80	6
25	10	45	1000	30	60	7
30	10	35	1000	30	60	8
40	10	25	800	35	70	9
50	10	25	350	40	80	10
60	10	25	250	45	95	11
100	10	----	----	45	95	12
30	15	45	1000	40	80	13
40	15	35	600	40	80	14
50	15	30	400	45	95	15
60	15	25	300	50	110	16
100	15	----	----	50	110	17

في حالة النماذج بارتفاع 15 طابقاً لم نتمكن من الحصول على نموذج بإطارات تساهم بتحمل 25% من قوة القص ، وذلك بسبب قوة القص والقوى الشاقولية الكبيرة التي تتطلب مقاطع كبيرة للأعمدة .

## 5-2- التحليل الزلزالي باستخدام الطريقة الستاتيكية المكافئة :

يتعرض المبنى لحمولات موزعة مطبقة على البلاطات دائمة وحية بالإضافة للوزن الذاتي للعناصر . المنطقة الزلزالية الرابعة ونموذج مقطع التربة هو  $S_d$  و المعاملات الزلزالية للعربي السوري [11] باعتبار مصدر الكتل هو الحمولة الميتة وربع الحية ، وباعتبار أن الإطارات هي إطارات خاصة محلية مقاومة للزلازل وقيم المعامل  $R$  تمثل القيم الموجودة في الكود العربي السوري [11] المقابلة لهذه الإطارات . وبما أن البرنامج لا يحتوي على الكود العربي السوري [11] نعتد الكود الموحد للبناء [9] UBC 97 كبديل مماثل .

ملاحظة : اعتمدت الخصائص الزلزالية السابقة من أجل الحصول على قوى قص كبيرة وعلى طيف استجابة يعطي انتقال لاخطي كبير عند اجراء التحليل اللاخطي بحيث لا يقع سلوك النماذج المدروسة ضمن المجال المرن .

الجدول (2) نتائج التحليل الستاتيكي

رقم النموذج	الدور الأساسي (Sec)	R	قوة القص القاعدي (KN)
1	0.584	6	1726.63
2	0.584	6.2	1637.51
3	0.584	6.6	1431.89
4	0.584	7	1240.5
5	0.584	7.1	1368.17
6	0.813	7.5	929.22
7	0.912	6	2584.4
8	0.912	6.2	2312.92
9	0.912	6.6	2020.36
10	0.912	7	1871.13
11	0.912	7.1	1932.88
12	1.368	7.5	1208.16
13	1.236	6.2	2936.27
14	1.236	6.6	2367.84
15	1.236	7	2196.7
16	1.236	7.1	2319.14
17	1.854	7.5	1524.81

### 5-3- التحليل الديناميكي الخطي والتصميم :

تم اعتماد التحليل الديناميكي باعتبار أن النموذج المعتمد غير منتظم وفيه زاوية داخلية وهذا يتطلب تحليلاً لأنماط الاهتزاز الحرة ومعرفة أدوارها بحيث تعبر الأنماط عن درجات الحرية في المنشأ والمتعلقة بالكتل . يؤخذ عدد الأنماط بحيث تكون مساهمة الكتل تزيد عن 90% من مساهمة الكتل الكلية في المنشأ . عدد الأنماط المستخدم هو عدد درجات الحرية أي عدد الطوابق مضروباً ب 3 . وتعتمد أشعة رينتز في التحليل النمطي المتولدة عن التسارعات في الاتجاهات  $U_x$  ,  $U_y$  ,  $U_z$  .

نعرف طيف استجابة حسب الكود العربي السوري [9] والذي يوافق الكود الموحد للبناء [9] UBC 97 باعتبار المعاملات الزلزالية  $C_a=0.44$  ,  $C_v= 0.64$  . تم بعدها تصميم العناصر الإنشائية باستخدام برنامج ETABS وفق التراكيب الواردة في الكود العربي السوري [11] . حيث اعتمد تسليح موحد لكافة العناصر المتشابهة بالمقطع في جميع الطوابق كما هو موضح بالجدول (3) . ويلحظ في هذا الجدول أن التسليح العلوي للجوائز أكبر من السفلي ، وذلك لمقاومة العزوم السالبة .

الجدول (3) تسليح العناصر الإنشائية في كل نموذج

رقم النموذج	تسليح الأعمدة	تسليح الجدار	
		لكل وجه	تسليح الجوائز
		سفلي	علوي
1-4	12T16	5T12/m	4T14
5	14T18	5T12/m	5T18
6	14T18	لا يوجد جدار	4T18
7	12T22	7T22/m	4T22
8	12T22	6T14/m	5T22
11-9	16T22	7T22/m	4T22
12	16T22	لا يوجد جدار	5T22
14-13	16T22	7T22/m	4T22
16-15	16T25	10T25/m	5T22
17	16T25	لا يوجد جدار	6T22

#### 5-4- التحليل الديناميكي اللاخطي :

نعرف التسجيل الزمني لزلزال EL Centro وهو زلزال مرجعي . ونقيس هذا التسجيل على طيف الاستجابة المستخدم حيث نكتفي بتقييس تسجيل زلزالي واحد كون الدراسة نظرية . إن مدة الزلزال هي 10 sec بخطوات زمنية 0.1 sec . التحليل المستخدم هو تحليل تاريخ زمني نمطي لاخطي Modal Nonlinear Time-History بتخامد 5% . يعرف هذا التحليل بالتحليل اللاخطي السريع Fast Nonlinear Analysis ويرمز له ( FNA ) يمتاز هذا التحليل بسرعته في ايجاد الانتقالات اللاخطية الناتجة ولكنه غير قادر على تحديد مستوى التلدن في المفاصل اللدنة ومستويات الأداء للجملة . كما أن هذا التحليل يبدأ من الصفر ولا يعتمد على أية نتائج لاخطية سابقة . يستخدم فقط لمقارنة قوى القص والانتقالات و الإزاحات مع نتائج التحليل الستاتيكي اللاخطي .

#### 5-5- التحليل الستاتيكي اللاخطي :

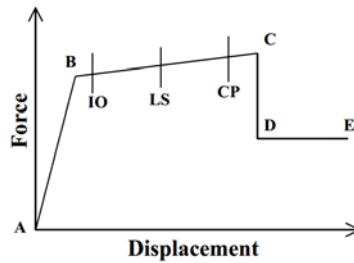
نسند للجوائز مفاصل لدنة تتشكل من العزم M3 أما طول المفصل اللدن يكون 10% من طول الجائز ويقع على بعد 5% من نهايتي الجائز . بالنسبة للأعمدة فنتشكل المفاصل اللدنة من القوة المحورية وعزمي انعطاف أو كما يرمز لها PMM ، وتكون هذه المفاصل من نوع ألياف Fiber P-M2-M3 . تعرف الألياف بشكل افتراضي من تصميم الأعمدة المدخل بالبرنامج . تتوضع المفاصل اللدنة على بعد 5% من نهايتي العمود بطول 10% من طول العمود . بالنسبة لجدار القص فالمفصل اللدن المسند له من نوع أتوماتيكي Auto Fiber P-M3 .

قبل البدء بتحليل Pushover يجب تعريف الحمولات اللازمة لهذا التحليل وهي :  
أولاً : حمولات تؤثر باتجاه الجاذبية Gravity Loads وغيرها من الحمولات التي تؤثر على الجملة قبل تطبيق القوى الجانبية الزلزالية .

ثانياً : حمولات جانبية أفقية واحدة متزايدة تستعمل في دفع الجملة ، ولها شكل الطور الأساسي وذلك لأن الجمل تتأثر بالأطوار ذات المرتبة الأعلى ، كما أن الدور الأساسي حسب التحليل الديناميكي أكبر من 1 sec في كلّ النماذج .

تطبق الحملات السابقة بشكل لاخطي بالاتجاه X ، انطلاقاً من النتائج اللاخطية الخاصة بحمولات Gravity Loads ويكون التحكم بالانتقال . يتم دفع الجملة حتى انزياح قدره 0.02 من ارتفاع المبنى ( الانزياح اللامرن المسموح حسب الكود ) حيث يقوم البرنامج بزيادة قوة القص وتوزيعها كما عرّفناها . نقطة المراقبة هي النقطة رقم 6 الموضحة في الشكل (1) .

يتم تقييم الضرر الزلزالي المتوقع في العناصر باستخدام منحنى القوة- الانتقال المزود بمستويات الاداء والموضح بالشكل (3) .



الشكل (3) منحنى القوة- الانتقال مع مستويات الأداء

- النقطة A : تقابل حالة التفريغ أو نقطة المبدأ .
- النقطة B : تقابل نقطة الخضوع .
- النقطة C : تقابل الحمولة القصوى الاسمية مع تشوه كبير وتدهور في المقاومة يبدأ بالظهور .
- الهبوط من النقطة C إلى النقطة D : يمثل الفشل الأولي للعنصر المدروس في مقاومة الأحمال الجانبية بعد النقطة C .
- المقاومة المتبقية من النقطة D إلى النقطة E : يسمح في هذا المجال بالاستمرار بمقاومة الأحمال الجانبية على العنصر المدروس .
- النقطة E : بعد الوصول إلى هذه النقطة يصبح العنصر غير قادر على الاستمرار بمقاومة الأحمال الجانبية .

## 6- النتائج ومناقشتها :

بعد تحليل النماذج تم ايجاد نقطة الأداء بطريقة الجملة الخطية المكافئة Equivalent Linearization (EL) ، والانتقال الهدف بطريقة تعديل الانتقال Displacement Modification (DM) ، كما تم ايجاد الانتقال في الطابق الأخير باستخدام التحليل الديناميكي اللاخطي والذي يعتمد كمرجع للمقارنة . نوضح في الجدول (4) قيم الانتقالات بالطرق المذكورة والفرق كنسبة مئوية بين الانتقالات المحسوبة بالإجراءات الستاتيكية والانتقالات المحسوبة بالتحليل الديناميكي . وفي الجدول (5) نقارن بين قوى القص الناتجة والفرق كنسبة مئوية بين قوى القص المحسوبة بالإجراءات الستاتيكية وقوى القص المحسوبة بالتحليل الديناميكي .

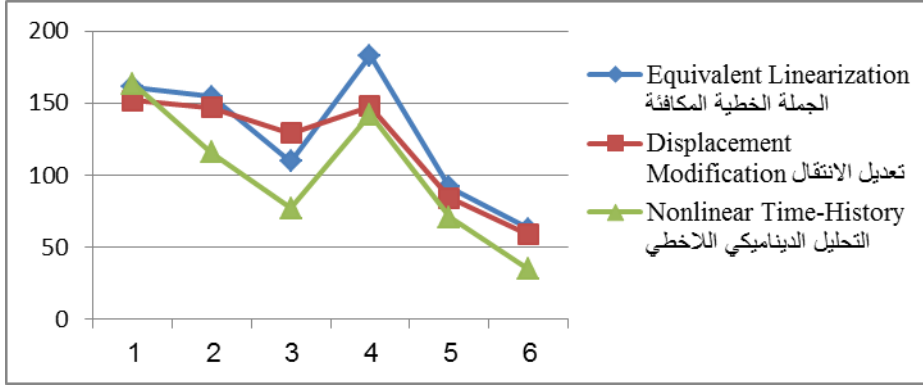
الجدول (4) قيم الانتقالات بال mm باستخدام الإجراءات الستاتيكية والتحليل الديناميكي

الانتقال من التحليل الديناميكي اللاخطي	تعديل الانتقال		الجملة الخطية المكافئة		رقم النموذج
	الفرق %	الانتقال	الفرق %	الانتقال	
163.4	-7.783	151.6	-1.302	161.3	1
115.8	21.278	147.1	25.097	154.6	2
76.8	40.511	129.1	29.735	109.3	3
142.0	3.794	147.6	22.362	182.9	4
70.8	16.014	84.3	22.707	91.6	5
34.7	40.785	58.6	44.745	62.8	6
149.6	3.046	154.3	5.495	158.3	7
194.8	-25.921	154.7	-20.620	161.5	8
129.1	23.744	169.3	31.476	188.4	9
228.6	9.321	252.1	36.693	361.1	10
204.6	26.535	278.5	41.842	351.8	11
122.4	19.790	152.6	66.019	360.2	12
181.0	-0.444	180.2	9.045	199.0	13
320.4	14.787	376.0	27.429	441.5	14
277.0	38.838	452.9	55.416	621.3	15
308.8	31.591	451.4	48.040	594.3	16
232.8	14.850	273.4	18.516	285.7	17

الجدول (5) قيم قوى القص بال kN باستخدام الإجراءات الستاتيكية والتحليل الديناميكي

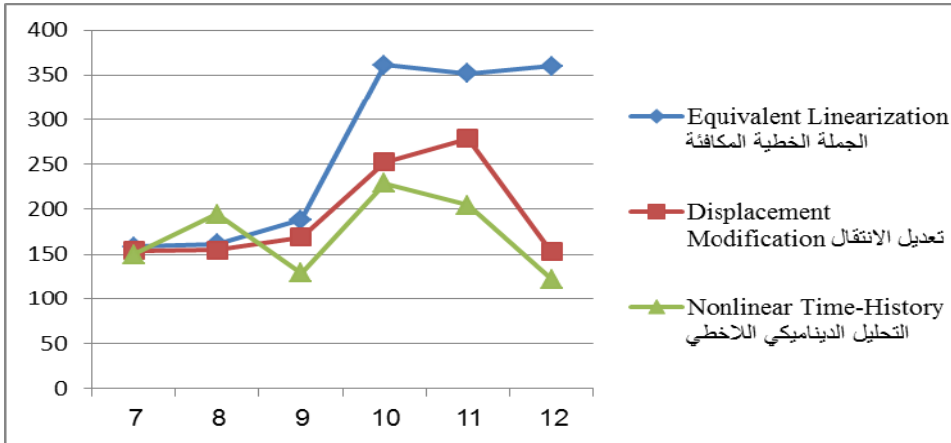
التحليل الديناميكي اللاخطي	تعديل الانتقال		الجملة الخطية المكافئة		رقم النموذج
	الفرق %	القوة	الفرق %	القوة	
1711.86	6.596	1832.75	10.488	1912.43	1
1662.13	2.978	1713.16	6.170	1771.43	2
1427.07	5.334	1507.49	-6.639	1338.22	3
1216.27	-3.449	1175.72	6.846	1305.66	4
1370.73	12.976	1575.12	16.630	1644.15	5
924.41	-8.295	853.60	-1.572	910.10	6
2542.96	-27.449	1995.27	-24.430	2043.70	7
2310.79	-56.446	1477.05	-50.290	1537.56	8
2020.13	-83.431	1101.30	-65.440	1221.10	9
1866.40	-8.194	1725.05	18.209	2281.91	10
1925.09	-1.246	1901.39	13.522	2226.10	11
1210.48	-16.926	1035.25	39.272	1993.29	12
2935.91	-56.961	1870.47	-57.720	1861.48	13
2367.96	-29.005	1835.56	-12.980	2095.99	14
2167.60	-19.158	1819.10	7.772	2350.28	15
2133.60	-1.844	2094.96	17.980	2601.33	16
1523.79	-15.240	1322.28	-10.660	1377.05	17

نقارن بين قيم الانتقالات الناتجة بالطرق الثلاث المذكورة سابقاً في الشكل (4) للنماذج ذات ارتفاع 5 طوابق ، وفي الشكل (5) للنماذج ذات ارتفاع 10 طوابق ، وفي الشكل (6) للنماذج ذات ارتفاع 15 طابقاً .



الشكل (4) الانتقالات بال mm في النماذج الأول وحتى السادس

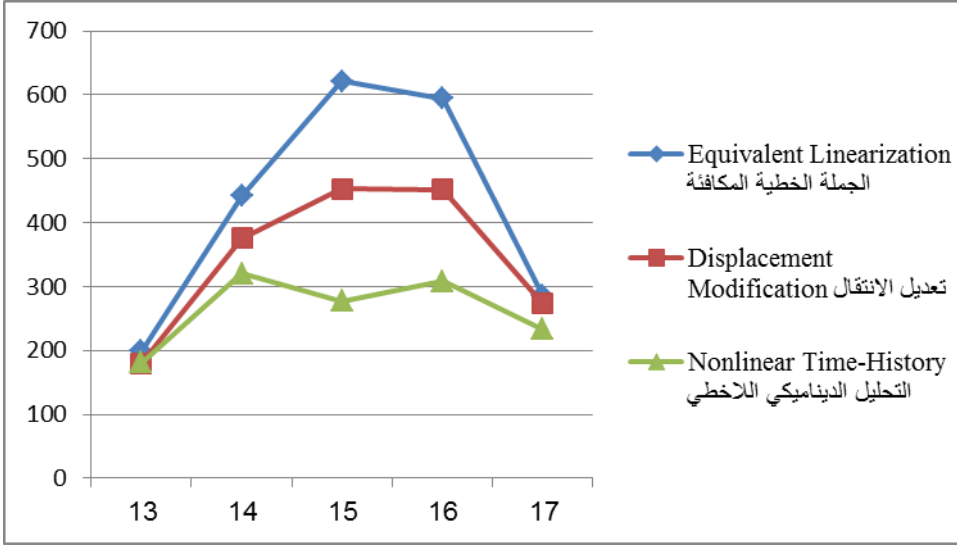
نلاحظ من الشكل (4) أن الانتقالات المحسوبة بطريقتي تعديل الانتقال (DM) والجملة الخطية المكافئة (EL) متقاربة . ونلاحظ أيضاً أن الانتقالات المحسوبة بطريقة تعديل الانتقال قريبة من الانتقالات المحسوبة بالتحليل الديناميكي اللاخطي وخصوصاً في النموذج رقم 1 ورقم 4 .



الشكل (5) الانتقالات بال mm في النماذج السابع وحتى الثاني عشر

نلاحظ من الشكل (5) أن الفارق كبير بين الانتقالات المحسوبة بطريقتي تعديل الانتقال (DM) والجملة الخطية المكافئة (EL) وازداد بزيادة نسبة مساهمة الاطارات . الانتقالات المحسوبة بطريقة تعديل الانتقال (DM) قريبة من الانتقالات المحسوبة بالتحليل الديناميكي اللاخطي في النموذج رقم 7 ورقم 8 .

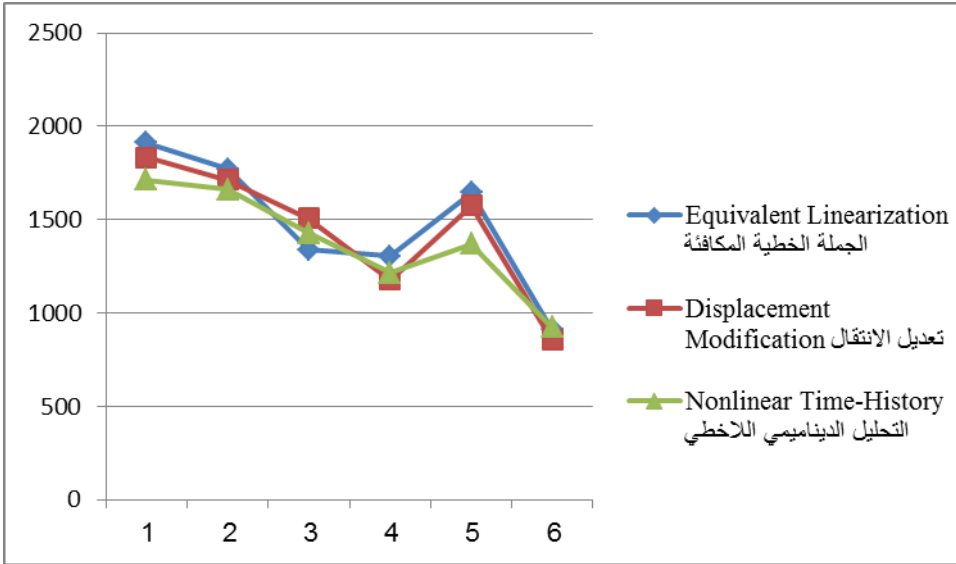




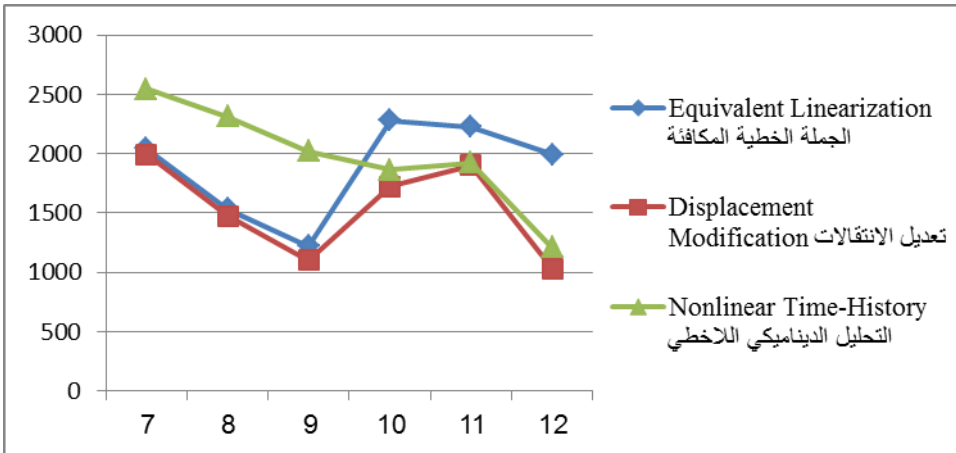
الشكل (6) الانتقالات بال mm في النماذج الثالث عشر وحتى السابع عشر  
 نلاحظ من الشكل (6) أن الفارق كبير بين الانتقالات المحسوبة بطريقتي تعديل  
 الانتقال (DM) والجملّة الخطيّة المكافئة (EL) لكنها كانت متقاربة في النموذج  
 الإطارى ( رقم 17 ) والنموذج ذو الجملّة الثنائية بإطارات تساهم ب 30% ( رقم 13 )  
 وفي هذا النموذج كانت قريبة من التحليل الديناميكي اللاخطي أيضاً .

نقارن بعدها بين قوى القص القاعدي في الشكل (7) للنماذج ذات ارتفاع 5  
 طوابق ونلاحظ أنّ قوى القص في النماذج ذات ارتفاع 5 طوابق كانت متقاربة في جميع  
 الطرق .

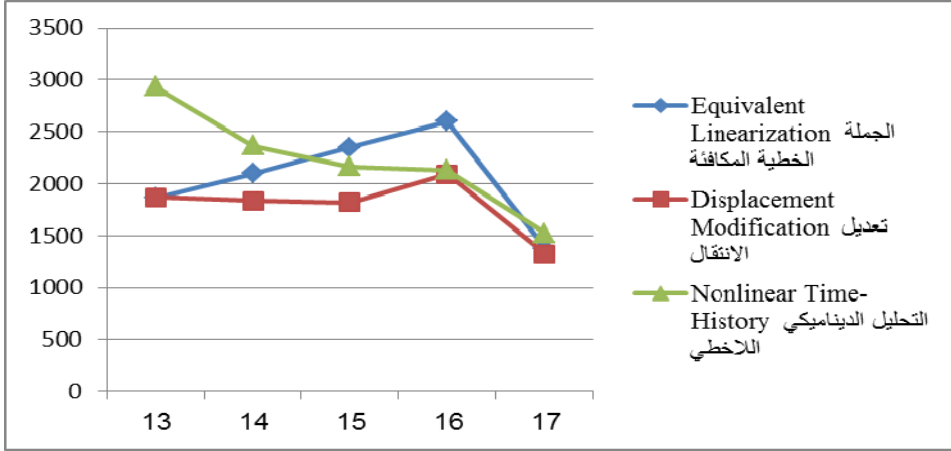
نقارن بين قوى القص القاعدي في الشكل (8) للنماذج ذات ارتفاع 10 طوابق ،  
 وفي الشكل (9) للنماذج ذات ارتفاع 15 طابقاً . نلاحظ أنّه في النماذج ذات ارتفاع 10  
 طوابق و 15 طابق كانت قوى القص المقابلة للانتقالات بطريقة تعديل الانتقال (DM)  
 أقلّ تلك المحسوبة بالتحليل الديناميكي اللاخطي .



الشكل (7) قوى القص القاعدي بال kN في النماذج الأول وحتى السادس



الشكل (8) قوى القص القاعدي بال kN في النماذج السابع وحتى الثاني عشر



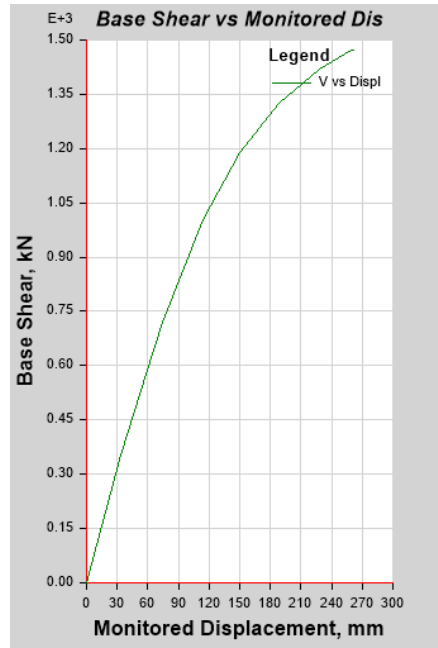
الشكل (9) قوى القص القاعدي بال kN في النماذج الثالث عشر وحتى السابع عشر بعد ذلك نقارن بين تشكل المفاصل اللدنة وحالتها وموقع الانتقال بين خطوات التحليل الستاتيكي اللاخطي حيث كانت حالة المفاصل اللدنة المتشكلة عند الأداء ضمن المجال B-C فقط . وتظهر حالة المفاصل اللدنة في الجدول (6) .

الجدول (6) عدد المفاصل اللدنة المتشكلة عند الخطوات المحددة لأداء الجملة

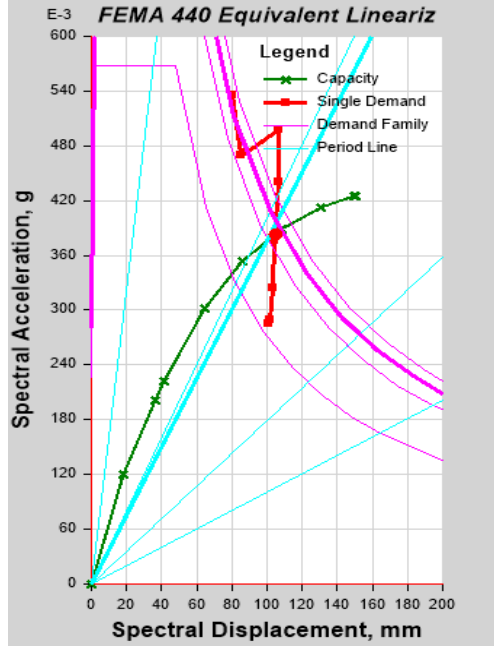
C-D	B-C	A-B	رقم الخطوة	B-C	A-B	رقم الخطوة	عدد المفاصل الكلي	رقم النموذج
0	21	134	5	14	141	4	155	1
0	18	137	5	13	142	4	155	2
0	8	147	4	1	154	3	155	3
0	30	145	5	15	160	4	175	4
0	51	134	4	38	137	3	175	5
0	1	179	2	0	180	1	180	6
0	1	269	3	0	270	2	270	7
0	1	269	3	0	270	2	270	8
0	0	310	3	0	310	2	310	9
0	18	332	4	0	350	3	350	10
0	52	298	5	20	330	4	350	11
0	3	357	3	0	360	5	360	12
0	0	405	2	0	405	1	405	13
0	49	416	5	13	452	4	465	14
0	43	422	5	2	463	4	465	15

0	40	485	5	11	514	4	525	16
0	30	510	4	0	540	3	540	17

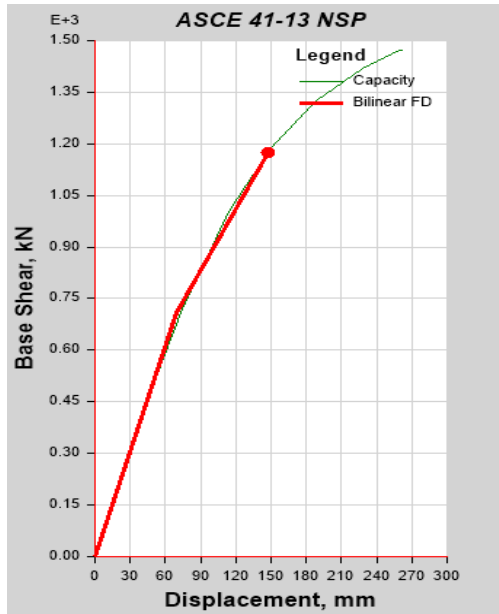
سنعرض فيما يلي نتائج النموذج الرابع والذي ظهر فيه مفصل لدن في جدار القص عند الخطوات المحددة للأداء . حيث يظهر الشكل (10) مخطط الدفع المتتالي للنموذج الرابع . ويظهر الشكل (11) نقطة الأداء باستخدام طريقة الجملة الخطية المكافئة ، حيث أن نقطة الأداء هي تقاطع طيف السعة ثنائي الخطية مع طيف الطلب المخفض بسبب التخامد الفعال ، احداثيات هذه النقطة هي تسارع طيفي وانتقال طيفي يحسب منهما قوة القص والانتقال الموافق . يظهر الشكل (12) الانتقال الهدف باستخدام طريقة تعديل الانتقال ونلاحظ أن قوة القص والانتقال الموافق توجد بشكل مباشر من المخطط الموضح بذلك الشكل . يظهر الشكل (13) الخطوتين الرابعة والخامسة للتحليل الستاتيكي اللاخطي Pushover وأماكن تشكل المفاصل اللدنة .



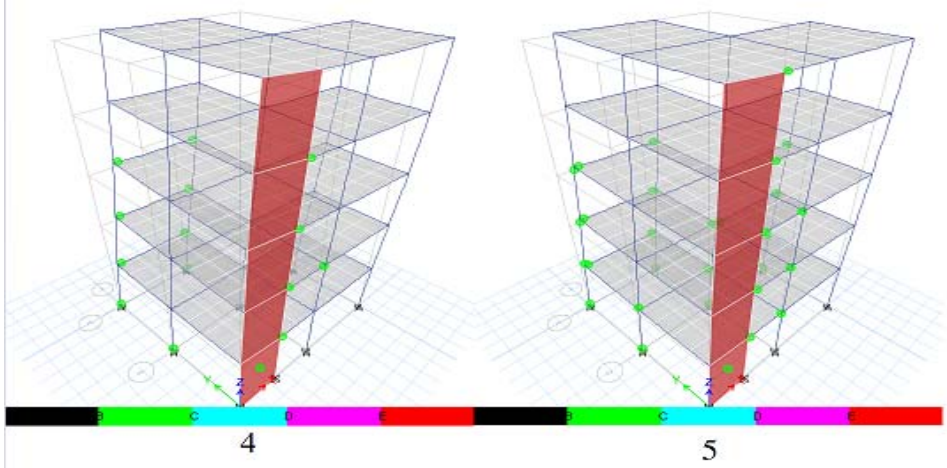
الشكل (10) مخطط الدفع المتتالي للنموذج الرابع .



الشكل (11) تقاطع طيف السعة مع طيف الطلب المخمد بتخامد فعال في نقطة الأداء بطريقة الجملة الخطية المكافئة Equivalent Linearization .



الشكل (12) الانتقال الهدف وتقاطع منحنى السعة مع منحنى الدفع ثنائي الخطية بطريقة تعديل الانتقال Modification Displacement .



الشكل (13) الخطوتين الرابعة والخامسة للتحليل الستاتيكي اللاخطي Pushover .  
النتائج :

- 1- تعطي طريقة Pushover انتقالات طابقية أكبر من التحليل الديناميكي اللاخطي بشكلٍ عام . يتراوح الفارق بين 2% ( وهو فارق مقبول ) و 66% .
- 2- تعطي طريقة تعديل الانتقال (DM) Displacement Modification انتقالات أقرب للقيم الناتجة باستخدام التحليل الديناميكي اللاخطي . حيث يتراوح الفارق بين 3% ( وهو فارق مقبول ) و 40% .
- 3- تعطي طريقة تعديل الانتقال (DM) انتقالات أقل من طريقة الجملة الخطية المكافئة (EL) Equivalent Linearization حيث يصل الفارق ل 136% .
- 4- الفارق في النتائج في الجمل ذات ارتفاع 10 طوابق و ذات ارتفاع 15 طابقاً يعود لتأثر هذه النماذج بأطوار الاهتزاز ذات المرتبة الأعلى .
- 5- في النماذج ذات ارتفاع 5 طوابق و 10 طوابق كان عدد المفاصل اللدنة المتشكلة عند الأداء أكبر ما يمكن في النماذج ذات الاطارات المساهمة بنسبة 60% وكان العدد الأقل في النموذج الإطاري .

6- في النماذج ذات ارتفاع 15 طابقاً كان عدد المفاصل اللدنة المتشكلة عند الأداء أكبر ما يمكن في النماذج ذات الاطارات المساهمة بنسبة 40% ويتناقص العدد مع زيادة نسبة مساهمة الاطارات .

7- تتشكل المفاصل اللدنة في جدران القص في الطابق الأرضي في النماذج ذات الاطارات المساهمة بنسبة لا تقل عن 40% ما يوافق جدران قص بطول أقل من 500 cm .

8- في البداية تتشكل المفاصل اللدنة في جوائز وأعمدة الطوابق السفلية ثم في الطوابق العليا ( تنتشر من الأسفل إلى الأعلى مع زيادة الدفع ) وغالباً ما توافق أداء الجمل مع مفاصل لدنة في الطوابق السفلى فقط .

#### 7- التوصيات :

1- ننصح باستخدام طريقة تعديل الانتقال (DM) في الجمل الثنائية لأنها أعطت نتائج قريبة من التحليل الديناميكي اللاخطي في حال المباني ذات الارتفاع 5 طوابق و 10 طوابق .

2- ننصح باستخدام أكثر من نموذج حمولات للدفع لتحديد أداء الجملة وفي حالتنا استخدمنا توزيع النمط الأول لأن النماذج تتأثر بالأنماط ذات المرتبة الأعلى للاهتزاز .

3- لم يتم دراسة الجمل الثنائية التي تحوي حالات عدم انتظام كثيراً باستخدام Pushover لذا ننصح بإجراء دراسات معمقة حول حالات عدم الانتظام الأخرى .

4- ننصح بإجراء دراسات معمقة حول تأثير أشكال نماذج قوى الدفع المستخدمة في التحليل على النتائج على هذا النوع من الجمل وغيرها من الجمل التي تحوي حالات عدم انتظام .

## References

- [1] FEMA 440, 2005 Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Federal Emergency Management Agency Washington, D.C. p 5-1 – 6-10.
- [2] ASCE 41-13, 2013 Publication Anticipated Seismic Evaluation and Upgrade of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
- [3] Gupta B, 1999 – Enhanced Pushover Procedure and Inelastic Demand Estimation for Performance-Based Seismic Evaluation of Buildings. Ph.D. Dissertation, University of Central Florida, Orlando, FL.
- [4] Yang P, Wang Y, 2000 ‘A Study on Improvement of Pushover Analysis’ Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering Auckland, Paper 1940, New Zealand Society for Earthquake Engineering.
- [5] Memari A.M, Rafiee S, Motlagh A.Y, Scanlon A, 2001 Comparative Evaluation of Seismic Assessment Methodologies Applied to a 32-Story Reinforced Concrete Office Building, Journal of Seismology and Earthquake Engineering, Vol. 3, 31-43.
- [6] Mwafy A.M, Elnashai A.S, 2000 Static Pushover versus Dynamic Collapse Analysis of RC Buildings, Journal of Engineering Structures, Vol. 23, 407-424.
- [7] Miao Z, Ye L, Guan H, Lu X, 2009 Evaluation of Modal and Traditional Pushover Analyses in Frame-Shear-Wall Structures, Advances in Structural Engineering Vol. 14 815-836.
- [8] Choudhary N, Wadia M, 2014 Pushover Analysis of R.C. Frame Building with Shear Wall, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) Vol. 11, 09-13.



[9] UBC 97 - Uniform Building Code 1997 , International Conference of Building Officials, California FL.

[10] CSI Analysis Reference Manual For SAP2000®, ETABS®, SAFE® and CSi Bridge®. Berkeley, California, USA.

[11] الملحق رقم (2) للكود العربي السوري، 2012 تصميم وتحقيق المباني والمنشآت  
المقاومة للزلازل . نقابة المهندسين - الطبعة الثانية - الجمهورية العربية السورية .