

جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

## دراسة حدود تطبيق التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد على الأبنية البيتونية المسلحة

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية – قسم الهندسة الإنشائية

إعداد :

المهندسة رغد سعد الدين شرف الدين

إشراف :

الدكتور المهندس مصطفى بطيخة

العام الدراسي

2014

جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

## دراسة حدود تطبيق التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد على الأبنية البيتونية المسلحة

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية – قسم الهندسة الإنشائية

إعداد :

المهندسة رغد سعد الدين شرف الدين

إشراف :

الدكتور المهندس مصطفى بطيخة

العام الدراسي

2014

لجنة الحكم السادة الأساتذة:

## موجز البحث

### Abstract

تم استعمال طريقة الدفع المتزايد (PushOver Analysis, POA) بشكل واسع في الأونة الأخيرة عند التصميم والتحقيق على الأحمال الزلزالية، لما تتمتع به هذه الطريقة من مزايا من حيث أنها تعطي نتائج مقبولة وفي زمن قصير نسبياً مقارنة مع طرق التحليل الديناميكي، كما تسمح هذه الطريقة بتتبع أماكن تشكل المفاصل اللدنة (Plastic Hinges) والتي تؤثر على مطاوعة (Ductility) المنشأ.

تم في هذا البحث وباستعمال طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Analysis)، المقارنة بين طريقتي الدفع المتزايد والتحليل الديناميكي باستعمال طيف الاستجابة (Response Spectrum Analysis, RSA) على المنشآت الإطارية المنتظمة وغير المنتظمة، لمعرفة حدود تطبيق طريقة الدفع المتزايد على هذه المنشآت.

بين هذا البحث أن استخدام طريقة POA للمباني الإطارية المنتظمة يعطي أماناً عن الطريقة الديناميكية باستخدام RSA بعكس المباني الإطارية غير المنتظمة. من هنا خلص هذا البحث إلى استخدام هذه الطريقة للمباني المنتظمة ولاسيما للمباني ذات الأدوار القصيرة والمتوسطة.

## شكر و تقدير

## الرموز المستخدمة

### Symbols

$E_c$  معامل المرونة للبيتون (Modulus of elasticity of Concrete)

$E_s$  معامل المرونة لحديد التسليح (Modulus of elasticity of Reinforcement)

$f_c$  مقاومة البيتون على الضغط ( The compressive strength of concrete )

$F_y$  اجهاد الخضوع للفلاذ (المقاومة المميزة في الشد) (Yeild Strength Of Steel)

$\gamma_{conc}$  الوزن الحجمي للبيتون (Self-weight of concrete)

$C_a$  معامل زلزالي (Seismic Factor)

$C_v$  معامل زلزالي (Seismic Factor)

$T_s$  الدور المميز لطيف الاستجابة (Fundamental Period)

$T$  دور المنشأ (Period Of Structure)

$TD$  الانتقال الهدف (Target Displacement)

$IO$  مستوى التشغيل الفوري (Level Immediate Occupancy)

$LS$  مستوى الحفاظ على الحياة (Life Safety Level)

$CP$  مستوى منع الانهيار (Collapse Prevention Level)

$POA$  التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد ( PushOver Analysis )

$RSA$  التحليل الديناميكي بطيف الاستجابة (Response Spectrum Analysis)

$S_a$  التسارع الطيفي (Spectral Acceleration)

$S_d$  الانتقال الطيفي (Spectral Displacement)

$\rho$  نسبة تسليح الشد (Ratio of tensile reinforcement)

$\rho'$  نسبة تسليح الضغط (Ratio of compression reinforcement)

$\rho_{bal}$  نسبة التسليح التوازنية (Balanced reinforcement ratio)

$b_w$  عرض جسد القطاع (Web width)

$d$  العمق الفعال للقطاع (Effective depth of Section)

$\nu$  نسبة بواسون (Poisson's ratio)

$A_g$  مساحة المقطع الفعالة (Effective section area)

$P$  القوة المحورية التصميمية (Design value of compression force)

$V$  قوة القص التصميمية في العناصر (Design value of shear force)

$T_1$  دور المنشأ الأساسي الأول (Fundamental Period)

$T_2$  دور المنشأ الثاني (Second Period)

$T_3$  دور المنشأ الثالث (Third Period)

$\delta_e$  الانتقال المرن الأعظمي عند بداية الخضوع (Maximum Elastic Displacement at First Yield)

$V_{max}$  قيمة القص القاعدي الأعظمية (Maximum Value of Base Shear)

$\mu$  معامل مطاوعة المنشأ (Ductility Factor of Structure)

$d_u$  الانتقال الأعظمي الكلي عند الانهيار (Maximum displacement at failure)

$d_y$  الانتقال المرن عند بداية الخضوع (Displacement at yield)

$M_u$  عزم الانحناء الأقصى (Ultimate Bending Moment)

OS قيمة تجاوز مقاومة المقطع (Over Strength)

DL الحمولات الميتة (Dead Loads)

LL الحمولات الحية (Live Loads)

Z ارتفاع المنشأ الكلي (Total height of structure)

$\Delta_{all}$  الانتقال المسموح (Allowable Displacement)

Tables List

- الجدول(1-2): قيم المعامل C1 (FEMA-273,1997) ..... 12
- الجدول(2-2): قيم المعامل C<sub>2</sub> (FEMA-273,1997) ..... 13
- الجدول (3-2):حدود الدورانات المسموحة للأعمدة البيتونية المسلحة في المنشآت القائمة(FEMA-356,2000; 2009, العرب)..... 19
- الجدول (4-2):حدود الدورانات المسموحة للجوائز البيتونية المسلحة في المنشآت القائمة(FEMA-356,2000; 2009, العرب)..... 20
- الجدول (5-2): قيم الانتقالات الأعظمية الناتجة عن تحليل السجل الزمني وقيم الانتقال الهدف الناتج عن POA (Martino, 2001) ..... 30
- الجدول (6-2): قيم الانتقال الأعظمي الناتج عن تحليل السجل الزمني وقيم الانتقال الهدف الناتج عن POA للمنشآت الاطارية (Martino, 2001)..... 30
- الجدول(7-2): قيم الانتقالات والقص القاعدي بالاتجاهين X, Y ومستوى الأداء (Ravikumar. etal, 2012)..... 36
- الجدول(1-3):قيم العزم الحدي وفق POA والكود السوري ونسبة الفرق للمنشأ - طابق واحد وموضع حدوث الانهيار(الدراسة الحالية).... 43
- الجدول(2-3):قيم العزم الحدي وفق RSA والكود السوريونسبة الفرق للمنشأ - طابق واحد (الدراسة الحالية)..... 45
- الجدول (3-3):مقارنة بين قيم العزم الحدي وفق POA وRSA والنسبة بينهما للمنشأ - طابق واحد (الدراسة الحالية) ..... 46
- الجدول(4-3):قيم الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشأ طابق واحد المدروس(الدراسة الحالية)..... 46
- الجدول(5-3): أبعاد وتسليح مقاطع الجوائز والأعمدة المستخدمة للنموذج قصير الدور - 4 طوابق المدروس(الدراسة الحالية)..... 47
- الجدول (6-3): احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار للطابق قبل الأخير وقيم تجاوز المقاومة للمنشأ -4 طوابق (الدراسة الحالية)..... 52
- الجدول (7-3):قيم الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشأ 4 طوابق المنتظم المدروس(الدراسة الحالية)..... 52
- الجدول(8-3): أبعاد وتسليح مقاطع الأعمدة والجوائز المستخدمة في المنشأ متوسط الدور - 8 طوابق المدروس(الدراسة الحالية) ..... 53
- الجدول (9-3): احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار للطابق قبل الأخير وقيم تجاوز المقاومة للمنشأ -8طوابق المنتظم (الدراسة الحالية) ..... 57
- الجدول (10-3): قيم الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشأ 8 طوابق المنتظم المدروس (الدراسة الحالية) ..... 58
- الجدول(11-3): أبعاد وتسليح مقاطع الأعمدة والجوائز المستخدمة في المنشأ ذي الدور المرتفع- 16 طابقاً المدروس (الدراسة الحالية)..... 59
- الجدول (12-3): احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار للطابق قبل الأخير وقيم تجاوز المقاومة, للمنشأ - 16 طابق المنتظم (الدراسة الحالية) .... 62
- الجدول (13-3): قيم الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشأ 16 طابق المنتظم(الدراسة الحالية) ..... 63

- الجدول (14-3): الأدوار الثلاثة الأولى للأبنية الإطارية المنتظمة المدروسة (الدراسة الحالية) ..... 63
- الجدول (15-3): الانتقالات عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشآت للمنشآت الإطارية المنتظمة (الدراسة الحالية) ..... 64
- الجدول (16-3): احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار للطابق قبل الأخير عند تركيب الأحمال للمنشآت الإطارية المنتظمة (الدراسة الحالية) .... 64
- الجدول (17-3): نسبة الطاقة للدنة إلى الطاقة الكلية للمباني المنتظمة (الدراسة الحالية) ..... 65
- الجدول (1-4): أبعاد وتسليح مقاطع الأعمدة والجوائز المستخدمة في المنشأ ذي الدور القصير - 4 طوابق المدروس (الدراسة الحالية) ..... 67
- الجدول (2-4): احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار للطابق قبل الأخير وقيم تجاوز المقاومة للمنشأ - 4 طوابق غير المنتظم (الدراسة الحالية) ... 70
- الجدول (3-4): قيم الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشأ 4 طوابق غير المنتظم المدروس (الدراسة الحالية) ..... 71
- الجدول (4-4): أبعاد وتسليح مقاطع الأعمدة والجوائز المستخدمة في المنشأ متوسط الدور - 8 طوابق المدروس (الدراسة الحالية) ..... 71
- الجدول (5-4): احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار للطابق قبل الأخير وقيم تجاوز المقاومة للمنشأ 8 طوابق غير المنتظم (الدراسة الحالية) .... 74
- الجدول (6-4): قيم الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشأ 8 طوابق غير المنتظم المدروس (الدراسة الحالية) ..... 75
- الجدول (7-4): أبعاد وتسليح مقاطع الأعمدة والجوائز المستخدمة في المنشأ ذي الدور المرتفع - 16 طابقاً المدروس (الدراسة الحالية) ..... 76
- الجدول (8-4): احتمالية تشكل ميكانيكية للمنشأ 16 طابق غير المنتظم (الدراسة الحالية) ..... 79
- الجدول (9-4): قيم الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشأ 16 طابق غير المنتظم المدروس (الدراسة الحالية) ..... 80
- الجدول (10-4): الأدوار الثلاثة الأولى للأبنية الإطارية المدروسة (الدراسة الحالية) ..... 80
- الجدول (11-4): الانتقالات وفق طريقتي التحليل POA و RSA عند نهاية مرحلة المرونة والنسبة بينهما (الدراسة الحالية) ..... 80
- الجدول (12-4): احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار للطابق قبل الأخير عند تركيب الأحمال المستخدم (الدراسة الحالية) ..... 81
- الجدول (13-4): نسبة الطاقة للدنة إلى الطاقة الكلية للمباني غير المنتظمة (الدراسة الحالية) ..... 82
- الجدول (1-5): الدور الأساسي لجميع المنشآت الإطارية المدروسة (الدراسة الحالية) ..... 83
- الجدول (2-5): قيم النسبة  $OS_{POA}/OS_{RSA}$  للمنشآت الإطارية المنتظمة وغير المنتظمة (الدراسة الحالية) ..... 84
- الجدول (3-5): قيم النسبة  $\Delta POA/\Delta RSA$  عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشأ (الدراسة الحالية) ..... 84
- الجدول (4-5): احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار للطابق قبل الأخير ونوع التحليل المؤدي للانهيار (الدراسة الحالية) ..... 84
- الجدول (5-5): قيم المطاوعة لجميع المنشآت الإطارية المدروسة (الدراسة الحالية) ..... 85

## فهرس الأشكال

### Figures List

- الشكل(1-1):تنفيذ و أشكال جدران القص.....2
- الشكل(2-1):التفاعل بين الإطار و جدار القص في الجملة الثنائية (Penelis and Kappos , 1997).....2
- الشكل(1-2):تفاصيل التسليح الأدنى في أعمدة الجمل الإطارية (Han and Jee,2005).....7
- الشكل(2-2):مقارنة الانهيار الهش و الأداء المطاوع(Seismic design philosophy for buildings,2012).....8
- الشكل(3-2): تشكل مفصل لدن عند التقاء الجائز بالعمدة على يمين و يسار العمدة (Penelis , 1997 and Kappos).....9
- الشكل(4-2): تشكل مفصل لدن في العمود أعلى و أسفل العمدة (Penelis , 1997 and Kappos).....9
- الشكل (5-2):الأداء الأفضل للجملة الإطارية(عمود قوي – جائز ضعيف) (Murty, 2005).....10
- الشكل (6-2):أنماط انهيار عقد الإطارات البيتونية المسلحة على الأحمال الزلزالية (Penelis and Kappos , 1997).....10
- الشكل(7-2): المراحل التي يمر بها المنشأ عند تحليله تحليلاً ستاتيكيًا لاخطياً بالدفع المتزايد(Papanikolaou et al.,2005).....11
- الشكل(8-2): التمثيل ثنائي الخطية للعلاقة بين القص القاعدي وانتقال السقف (Martino,2001).....13
- الشكل (9-2): النظام المرن أحادي درجة الحرية المكافئ ( Abd-ALLA , 2007).....14
- الشكل(10-2): تحويل منحنى الاستطاعة الى طيف استطاعة (ATC40, 1996).....15
- الشكل(11-2): التمثيل ثنائي الخطية لمنحنى الاستطاعة (ATC40, 1996).....15
- الشكل(12-2):طيف الطلب المخفض (ATC40, 1996).....16
- الشكل (13-2): مراحل الحصول على نقطة الأداء (Zou and Chan, 2005).....17
- الشكل(14-2): مستويات أداء المنشأ (Moehle ,etal. 2004).....19
- الشكل (15-2):سلوك المفصل اللدن (Kadid and Boumrkik , 2008).....21
- الشكل(16-2): وصف تخطيطي لطيف الاستجابة التصميمي(Taranath,2003).....22
- الشكل(17-2):مخطط طيف الاستجابة (ملحق الكود العربي السوري(2), 2005).....23
- الشكل (18-2): المخطط العام العزم – التشوه (Eurocode 8-2 , 2005).....24

- الشكل (19-2): المخطط العام للقوة- الانتقال (Eurocode 8-2 , 2005)..... 24
- الشكل (20-2): حدود المطاوعة وتصنيف المنشأ وفق الكود الأوروبي (Eurocode 8-2 , 2005)..... 25
- الشكل (21-2): شكل الاطارات المستخدمة في الدراسة (Martino,2001)..... 26
- الشكل (22-2): مقاطع عناصر المستخدمة في الاطارات المدروسة (Martino,2001)..... 27
- الشكل (23-2): تسليح وأبعاد مقاطع الجوائز التصميمية المستخدمة في الدراسة (Martino,2001)..... 28
- الشكل (24-2): تسليح وأبعاد مقاطع الأعمدة المستخدمة في الدراسة (Martino, 2001)..... 29
- الشكل (25-2): شكل الاطار ذو الدور المرتفع – 15 طابق المدروس (Abd-Alla,2007)..... 31
- الشكل (26-2): منحنيات الدفع المتزايد لأجل المنشأ 15 طابق من البيتون المسلح المدروس (Abd-Alla,2007)..... 33
- الشكل (27-2): الازاحة الطابقية الكلية الناتجة عن POA وتحليل السجل الزمني لزلزال Elcentro للمنشأ 15 طابق (Abd-Alla,2007)..... 34
- الشكل (28-2): قيم IDR الناتجة عن تحليلي POA و تحليل السجل الزمني لزلزال Elcentro للمنشأ 15 طابق (Abd-Alla,2007) ... 34
- الشكل (29-2) : حالات عدم الانتظام في المسقط الرأسي المدروسة (Ravikumar. etal , 2012)..... 36
- الشكل (1-3): الأبعاد الإنشائية للنموذج قصير الدور – طابق واحد المدروس وأبعاد المقاطع المستخدمة (الدراسة الحالية)..... 38
- الشكل (2-3): توضع المفاصل اللدنة على النموذج ونوعها وفق البرنامج (SAP2000–Ultimate Ver 15.0.1) (الدراسة الحالية) ..... 39
- الشكل (3-3): مراحل تحليل POA وأماكن تشكل المفاصل اللدنة المتشكلة وحالتها وقيم العزوم الناتجة (الدراسة الحالية) ..... 40
- الشكل (4-3): مخطط الدفع المتزايد الناتج عن التحليل الستاتيكي اللاخطي للمنشأ طابق واحد المدروس (الدراسة الحالية)..... 41
- الشكل (5-3): مخططات العزم والقوة المحورية الناتجة عن التحليل الستاتيكي اللاخطي للمنشأ - طابق واحد (الدراسة الحالية)..... 42
- الشكل (6-3): أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمنشأ طابق واحد وفق تحليل الدفع المتزايد (الدراسة الحالية)..... 42
- الشكل (7-3): منحنى طيف الاستجابة المستخدم في التحليل الديناميكي (الدراسة الحالية)..... 44
- الشكل (8-3): مغلفات العزم والقوة المحورية الناتجة عن تحليل RSA للمنشأ- طابق واحد (الدراسة الحالية)..... 44
- الشكل (9-3): أماكن انهيار مقاومة العناصر للمنشأ طابق واحد وفق تحليل RSA (الدراسة الحالية) ..... 45
- الشكل (10-3): الأبعاد الإنشائية للنموذج قصير الدور- 4 طوابق المدروس (الدراسة الحالية)..... 47
- الشكل (11-3): مخطط الدفع المتزايد الناتج عن التحليل الستاتيكي اللاخطي للمنشأ 4 طوابق المنتظم المدروس (الدراسة الحالية)..... 49
- الشكل (12-3) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمنشأ 4 طوابق عند تركيب الأحمال المدروس وفق تحليل الدفع المتزايد (الدراسة الحالية)..... 50

- الشكل (13-3): منحني طيف الاستجابة المستخدم في التحليل الديناميكي (الدراسة الحالية)..... 51
- الشكل (14-3): أماكن انهيار مقاومة العناصر للمنشأ 4 طوابق عند تركيب الأحمال المستخدم وفق تحليل RSA (الدراسة الحالية)..... 51
- الشكل (15-3): الأبعاد الإنشائية للنموذج متوسط الدور - 8 طوابق المدروس (الدراسة الحالية)..... 53
- الشكل (16-3): مخطط الدفع المتزايد الناتج عن التحليل الستاتيكي للاخطي للمنشأ 8 طوابق المنتظم المدروس (الدراسة الحالية)..... 55
- الشكل (17-3): أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمنشأ 8 طوابق عند تركيب الأحمال المدروس وفق تحليل الدفع المتزايد (الدراسة الحالية)..... 56
- الشكل (18-3): أماكن انهيار مقاومة العناصر للمنشأ 8 طوابق عند تركيب الأحمال المستخدم وفق تحليل RSA (الدراسة الحالية)..... 57
- الشكل (19-3): الأبعاد الإنشائية للنموذج ذو الدور المرتفع - 16 طابق المدروس (الدراسة الحالية)..... 58
- الشكل (20-3): مخطط الدفع المتزايد الناتج عن التحليل الستاتيكي للاخطي للمنشأ 16 طابق المنتظم المدروس (الدراسة الحالية)..... 60
- الشكل (21-3): أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمنشأ 16 طابق عند تركيب الأحمال المدروس وفق تحليل الدفع المتزايد (الدراسة الحالية)..... 61
- الشكل (22-3): أماكن انهيار مقاومة العناصر للمنشأ 16 طابق عند تركيب الأحمال المستخدم وفق تحليل RSA (الدراسة الحالية)..... 62
- الشكل (23-3): مقارنة منحنيات الدفع المتزايد للمنشآت الاطارية المنتظمة المدروسة وقيم المطاوعة الناتجة (الدراسة الحالية)..... 64
- الشكل (24-3): حساب الطاقة المرنة والطاقة اللدنة (الدراسة الحالية)..... 65
- الشكل (1-4): النموذج قصير الدور - 4 طوابق المدروس (الدراسة الحالية)..... 67
- الشكل (2-4): مخطط الدفع المتزايد الناتج عن التحليل الستاتيكي للاخطي للمنشأ 4 طوابق غير المنتظم (الدراسة الحالية)..... 68
- الشكل (3-4): أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمنشأ 4 طوابق عند تركيب الأحمال المدروس وفق تحليل الدفع المتزايد (الدراسة الحالية)..... 69
- الشكل (4-4): أماكن انهيار مقاومة العناصر للمنشأ 4 طوابق عند تركيب الأحمال المستخدم وفق RSA (الدراسة الحالية)..... 70
- الشكل (5-4): شكل النموذج متوسط الدور - 8 طوابق المدروس (الدراسة الحالية)..... 71
- الشكل (6-4): مخطط الدفع المتزايد الناتج عن التحليل الستاتيكي للاخطي للمنشأ 8 طوابق المدروس (الدراسة الحالية)..... 72
- الشكل (7-4): أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمنشأ 8 طوابق عند تركيب الأحمال المدروس وفق تحليل الدفع المتزايد (الدراسة الحالية)..... 72
- الشكل (8-4): أماكن انهيار مقاومة العناصر للمنشأ 8 طوابق عند تركيب الأحمال المستخدم وفق تحليل RSA (الدراسة الحالية)..... 74
- الشكل (9-4): شكل النموذج ذو الدور المرتفع - 16 طابق المدروس (الدراسة الحالية)..... 75
- الشكل (10-4): مخطط الدفع المتزايد الناتج عن التحليل الستاتيكي للاخطي للمنشأ 16 طابق غير المنتظم المدروس (الدراسة الحالية)..... 77
- الشكل (11-4): أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمنشأ 16 طابق عند تركيب الأحمال المدروس وفق تحليل الدفع المتزايد (الدراسة الحالية)..... 78

الشكل (4-12): أماكن انهيار مقاومة العناصر للمنشأ 16 طابق عند تركيب الأحمال المستخدم وفق تحليل RSA (الدراسة الحالية) ..... 79

الشكل (4-13): مقارنة منحنيات الدفع المتزايد للمنشآت الاطارية غير المنتظمة وقيم المطووعة الناتجة (الدراسة الحالية) ..... 81

# فهرس المحتويات

## Contents

### 1 ..... الفصل الأول.....

#### Introduction مقدمة

- 1.1 مقدمة عن الجمل الإنشائية المقاومة للزلازل ..... 1
- 2.1 مقدمة عن طرائق التحليل الزلزالي ..... 3
- 3.1 أنواع عدم الانتظام في الأبنية ..... 4
- 4.1 الهدف من البحث ..... 4
- 5.1 محتويات البحث ..... 5

### 6 ..... الفصل الثاني.....

#### Literature Review الدراسة المرجعية

- 1.2 مقدمة ..... 6
- 2.2 أنواع جمل الإطارات الخرسانية المقاومة للزلازل ..... 6
- 3.2 السلوك الزلزالي لإطارات البيتون المسلح ..... 7
- 4.2 التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد ..... 10
- 1.4.2 طريقة العوامل ..... 11
- 2.4.2 طريقة طيف الاستطاعة ..... 14
- 3.4.2 إجابيات التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد ..... 17
- 4.4.2 مستويات الأداء ..... 17

19	5.4.2 الحدود المسموحة لدورانات المفاصل اللدنة
21	5.2 التحليل الديناميكي بطريقة طيف الاستجابة
23	6.2 مفهوم معامل المطاوعة
25	7.2 دراسات مرجعية سابقة

### الفصل الثالث ..... 37

التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (دراسة الأبنية الإطارية المنتظمة)

## Structural Analysis Using Finite Element Method ( FEM ) (RegularFrame System Buildings)

37	1.3 مقدمة
37	2.3 دراسة المنشأ قصير الدور المنتظم – طابق واحد
37	1.2.3 توصيف النموذج
37	2.2.3 التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة
38	1.2.2.3 الأحمال المطبقة على النموذج
38	2.2.2.3 توصيف نمذجة المفاصل
39	3.2.2.3 تحليل المنشأ سناتيكياً وديناميكياً ومقارنة النتائج بينهما, ومع الكود العربي السوري
39	A. التحليل الإنشائي باستخدام تحليل الدفع المتزايد
42	B. مقارنة نتائج التحليل بالدفع المتزايد مع نتائج الكود العربي السوري
43	C. التحليل الإنشائي باستخدام طيف الاستجابة
45	D. مقارنة نتائج التحليل بطيف الاستجابة مع نتائج الكود العربي السوري
45	E. مقارنة نتائج التحليل بالدفع المتزايد مع نتائج التحليل بطيف الاستجابة

46	3.3 دراسة المنشأ قصير الدور المنتظم – 4 طوابق
46	1.3.3 توصيف النموذج
47	2.3.3 التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة
48	1.2.3.3 الأحمال المطبقة على النموذج
48	2.2.3.3 تحليل المنشأ ستاتيكيًا وديناميكيًا
49	A. التحليل الإنشائي باستخدام تحليل الدفع المتزايد
50	B. التحليل الإنشائي باستخدام طيف الاستجابة
51	C. مقارنة نتائج التحليل بالدفع المتزايد مع التحليل بطيف الاستجابة
52	4.3 دراسة المنشأ المنتظم متوسط الدور المنتظم – 8 طوابق
52	1.4.3 توصيف النموذج
53	2.4.3 التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة
54	1.2.4.3 الأحمال المطبقة على النموذج
54	2.2.4.3 تحليل المنشأ ستاتيكيًا وديناميكيًا
54	A. التحليل الإنشائي باستخدام تحليل الدفع المتزايد
56	B. التحليل الإنشائي باستخدام طيف الاستجابة
57	C. مقارنة نتائج التحليل بالدفع المتزايد مع التحليل بطيف الاستجابة
58	5.3 دراسة المنشأ ذو الدور المرتفع المنتظم – 16 طابق
59	1.5.3 توصيف النموذج
59	2.5.3 التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة
59	1.2.5.3 الأحمال المطبقة على النموذج

59	.....تحليل المنشأ ستاتيكيًا وديناميكيًا
60	.....A. التحليل الإنشائي باستخدام تحليل الدفع المتزايد
61	.....B. التحليل الإنشائي باستخدام طيف الاستجابة
62	.....C. مقارنة نتائج التحليل بالدفع المتزايد مع التحليل بطيف الاستجابة
62	.....6.3 النتائج

## 66 .....الفصل الرابع

التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (دراسة الأبنية الإطارية غير المنتظمة)

### Structural Analysis Using Finite Element Method ( FEM ) (Irregular Frame System Buildings)

66	.....1.4 مقدمة
66	.....2.4 دراسة المنشأ قصير الدور غير المنتظم – 4 طوابق
67	.....1.2.4 توصيف النموذج
68	.....2.2.4 التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة
68	.....1.2.2.4 الأحمال المطبقة على النموذج
69	.....2.2.2.4 تحليل المنشأ ستاتيكيًا وديناميكيًا
69	.....A. التحليل الإنشائي باستخدام تحليل الدفع المتزايد
70	.....B. التحليل الإنشائي باستخدام طيف الاستجابة
71	.....C. مقارنة نتائج التحليل بالدفع المتزايد مع التحليل بطيف الاستجابة
72	.....3.4 دراسة المنشأ متوسط الدور غير المنتظم – 8 طوابق
72	.....1.3.4 توصيف النموذج

73	..... 2.3.4 التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة
73	..... 1.2.3.4 الأحمال المطبقة على النموذج
73	..... 2.2.3.4 تحليل المنشأ ستاتيكيًا وديناميكيًا
73	..... A. التحليل الإنشائي باستخدام تحليل الدفع المتزايد
75	..... B. التحليل الإنشائي باستخدام طيف الاستجابة
75	..... C. مقارنة نتائج التحليل بالدفع المتزايد مع التحليل بطيف الاستجابة
75	..... 4.4 دراسة المنشأ ذو الدور المرتفع غير المنتظم – 16 طبق
75	..... 1.4.4 توصيف النموذج
76	..... 2.4.4 التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة
76	..... 1.2.4.4 الأحمال المطبقة على النموذج
76	..... 2.2.4.4 تحليل المنشأ ستاتيكيًا وديناميكيًا
77	..... A. التحليل الإنشائي باستخدام تحليل الدفع المتزايد
78	..... B. التحليل الإنشائي باستخدام طيف الاستجابة
79	..... C. مقارنة نتائج التحليل بالدفع المتزايد مع التحليل بطيف الاستجابة
80	..... 5.4 النتائج

## 83 ..... الفصل الخامس

### Results and Recommendations النتائج و التوصيات

83	..... 1.5 النتائج
86	..... 2.5 التوصيات لأعمال مستقبلية
87	..... References المراجع

# الفصل الأول

## مقدمة

### Introduction

#### 1.1 مقدمة عن الجمل الإنشائية المقاومة للزلازل

#### Introduction to Structural Seismic Resisting Systems

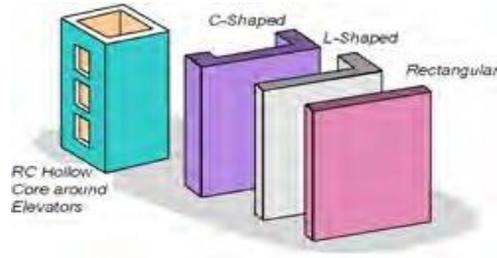
تشترط الكودات الحديثة على ضرورة دخول المنشأ في المرحلة اللدنة أثناء تعريضه لزلزال عالي الشدة، وبالتالي اقتصادية أكبر في التصميم، على أن يبقى هدف التصميم الحفاظ على سلامة المنشأ من الانهيار للحفاظ على الأرواح البشرية ( Life Safety)، كما يشترط في بعض المنشآت أن تبقى ضمن مجال الاستخدام (Immediate Occupancy) بعد حدوث الهزة الأرضية، لذا تصمم الجمل الإنشائية على مقاومة الزلازل بحيث تمتلك القدرة الكافية على مقاومة القوى الجانبية ( Lateral Loads) ومطاوعة (Ductility) كافية ليستطيع المنشأ تبديد كميات كبيرة من الطاقة الزلزالية من خلال عملية تشكل المفاصل اللدنة (Plastic Hinges)، حيث يفضل تشكلها في الجوائز قبل تشكلها في الأعمدة بحيث نحصل على سلوك مطاوع للمنشأ ونتجنب حصول الانهيار المفاجئ في العناصر الإنشائية للمنشأ.

تم تصنيف الجمل الإنشائية الخرسانية المقاومة للزلازل إلى ثلاثة أنواع (ملحق الكود العربي السوري رقم 2، 2005):

#### A – جمل جدران القص (Systems Shear Wall):

تقاوم جدران القص في هذه الجمل الأحمال الجانبية بمفردها و لها اشتراطات تسليح و أبعاد محددة (الكود العربي السوري، 2004). تتمتع هذه الجمل بصلابة عالية مقارنة مع الجمل الأخرى، إلا أن أبرز سلبيات هذه الجملة انخفاض المطاوعة فيها ( UBC 97 )، بينما تتمثل أهم ايجابياتها بكونها تزيد صلابة البناء وبالتالي تخفيض الانتقالات والتأثيرات من الدرجة الثانية (P-Δ) وهذا يزيد الأمان ضد الانهيار، كما تنقص الضرر في العناصر غير الإنشائية و تخفض كثيراً من التأثيرات النفسية على سكان الطوابق العليا في الأبنية العالية التي تسببها الانتقالات الناتجة عن الزلازل (سمارة، 2006).

يوضح الشكل (1-1) بعض أشكال جدران القص.



الشكل (1-1): بعض أشكال جدران القص

## B – الجمل الإطارية ( Frame Systems ) :

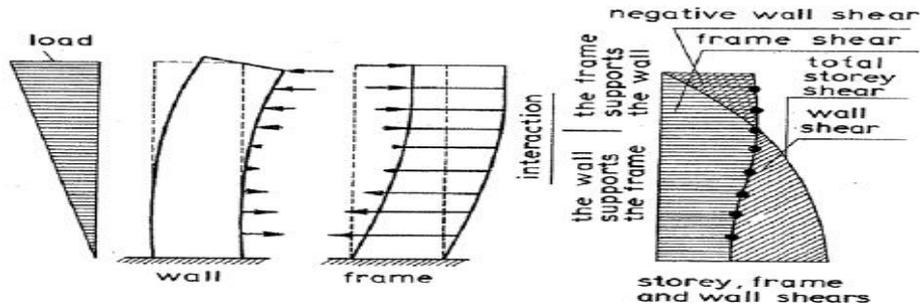
و هي جمل مؤلفة من إطارات, وهي عبارة عن جوائز وأعمدة تربط بينها عقد, تؤمن هذه الإطارات بشكل رئيس نقل الأحمال الشاقولية وكذلك مقاومة القوى الزلزالية عن طريق مقاومة الانحناء (Bending Resistance), يجب أن تتمتع الإطارات بالمطاوعة ليتم تبديد أكبر قدر ممكن من الطاقة الزلزالية لتضمن حدوث تشوهات كبيرة قبل الانهيار, لكن الانتقالات الكبيرة في هذه الجمل تعتبر أحد أهم مساوئها.

## C – الجمل المختطة من الإطارات الخرسانية المقاومة للعزوم و جدران القص :

### ( Dual Systems of Concrete Moment Resisting Frames and Shear Walls)

تتألف هذه الجمل من إطارات بيتونية مسلحة (Frame) و جدران قص (Shear Wall). يشترط (الكود العربي السوري الملحق (2), 2005) أن تصمم الإطارات المقاومة للعزوم لتحتمل على الأقل 25% من قوة القص القاعدية التصميمية وإن كانت نسبة مساهمتها الفعلية أقل من ذلك. يعمل الإطار بشكل فعال في الجزء العلوي من المنشأ بينما يقاوم جدار القص القوى الأفقية في الجزء السفلي من المنشأ (الكود العربي السوري, 2004), ومن خلال مساهمة الإطارات تؤمن هذه الجمل المطاوعة, وتملك هذه الجمل القدرة على تخفيف انتقالات المبنى من خلال مساهمة جدران القص.

يوضح الشكل (2-1) التفاعل بين الإطار وجدار القص في الجمل الثنائية (Penelis and Kappos, 1997).



الشكل (2-1): التفاعل بين الإطار و جدار القص في الجمل الثنائية (Penelis and Kappos , 1997)

## 2.1 مقدمة عن طرائق التحليل الزلزالي

### Introduction to Seismic Analysis Methods

بيّن الكود العربي السوري في الملحق رقم(2),2005. وجود نوعين من التحليل الزلزالي للمنشآت:

1. التحليل الستاتيكي

2. التحليل الديناميكي

**في التحليل الستاتيكي:** يتم تحديد قوى العطالة كقوى ساكنة مكافئة باستخدام علاقات تجريبية لا تأخذ بشكل ظاهري الخصائص الديناميكية للجملة الانشائية المدروسة, لكن هذه العلاقات طورت بحيث تمثل التصرف الديناميكي للمنشآت المنتظمة ذات التوزيع المنتظم للكتلة والصلابة (السمارة,2006).

للتحليل الستاتيكي عدة طرق منها: طرائق (الكود العربي السوري ,2004) المكافئة الستاتيكية الأولى والمكافئة الستاتيكية الثانية (الكود العربي السوري الملحق رقم (2),2005), وكذلك التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد (FEMA356;ATC40).

يكتفى بتصميم المنشآت على مقاومة الزلازل وفق الطرق الستاتيكية الواردة في الكود(الكود العربي السوري الملحق رقم (2),2005) دون الحاجة لتحليلها تحليلاً ديناميكياً طالما توفرت به شروط محددة نذكر منها :

- المنشآت المنتظمة وغير المنتظمة الواقعة في المنطقة الزلزالية (1), والمباني ذات الاشغال (حيث معامل الأهمية  $I=1$ ) من المنطقة الزلزالية (2).
- المنشآت المنتظمة التي لايزيد ارتفاعها عن 73m.
- المنشآت غير المنتظمة التي لا تزيد على 5 طوابق أو ارتفاعها لايزيد على 20m.
- المنشآت المؤلفة من جزأين , جزء علوي لين وسفلي صلب وكل منهما منتظم بحد ذاته, على أن تكون القساوة المتوسطة للجزء السفلي عشرة أمثال الجزء العلوي, ودور كامل المنشأة لايزيد على 1.1 مرة الدور الأساسي للجزء العلوي.

أما **التحليل الديناميكي:** يتم فيه تطبيق مبادئ ديناميك المنشآت لتحديد الانتقالات والإجهادات التي يتعرض لها المنشأ, حيث يتم بشكل أساسي أخذ القيم العظمى لاستجابة المنشأ (السمارة,2006).

للتحليل الديناميكي طرق عدة منها: التحليل باستعمال طيف الاستجابة, التحليل باستعمال (التسجيلات الزمنية) التاريخ الزمني (الكود العربي السوري الملحق رقم (2),2005).

## 3.1 المنشآت غير المنتظمة

### Introduction to Irregular Buildings

عرّف (الكود العربي السوري في الملحق رقم (2), 2005) المنشآت غير المنتظمة على أنها المنشآت التي تتميز بانقطاعات مهمة (تغيرات واضحة) في الكتل أو الجساءات (القساوات), نتيجة تغير في الشكل أو في جملة مقاومة القوى الجانبية.

هنالك نوعان لعدم الانتظام: عدم الانتظام الانشائي في المسقط الرأسي، وعدم الانتظام الانشائي في المسقط الأفقي. ميّز

(الكود العربي السوري في الملحق رقم (2), 2005) خمسة أشكال لعدم الانتظام في المسقط الرأسي هي:

- عدم انتظام القساوة
- عدم انتظام في الوزن (الكتلة)
- عدم انتظام هندسي في الاتجاه الرأسي
- انقطاع في المستوي في العناصر الرأسية المقاومة للقوى الجانبية
- انقطاع في الاستطاعة- الطابق الضعيف

بينما حدد أشكال عدم الانتظام في المسقط الأفقي بخمسة اشكال هي (الكود العربي السوري في الملحق رقم (2), 2005):

- عدم انتظام الفتل (عندما تكون الديافرامات غير لينة)
- الزوايا الداخلية
- الانقطاع في الديافرام
- تغيرات مفاجئة خارج المستوي
- الجمل غير المتوازية

## 4.1 الهدف من البحث Objective of This Research

يهدف البحث إلى تحديد إمكانية استخدام التحليل اللاخطي باستخدام طريقة الدفع المتزايد على المنشآت الإطارية من البيتون المسلح المنتظمة وغير المنتظمة, وإيجاد الفروق بين التحليل اللاخطي الستاتيكي (POA) والتحليل الديناميكي باستخدام طيف الاستجابة (RSA) على المنشآت الإطارية من البيتون المسلح المنتظمة وغير المنتظمة.

## 5.1 محتويات الأطروحة Contents of Thesis

تتألف هذه الأطروحة من خمسة فصول كالتالي:

**الفصل الأول:** يحتوي مقدمة عامة عن العناصر الأساسية في هذا البحث، حيث يبدأ بمقدمة عن الجمل الإنشائية المقاومة للزلازل و أنواعها المستخدمة، ثم يستعرض طرائق التحليل الزلزالي الشائعة، و أخيراً تم التحدث عن الهدف من البحث و محتويات البحث.

**الفصل الثاني:** تم فيه استعراض الدراسات المرجعية السابقة لمكونات البحث، حيث تم التركيز على السلوك الزلزالي لإطارات البيتون المسلح و ميكانيكيات انهيارها تحت تأثير الأحمال الجانبية، كما تم تسليط الضوء على التحليل الستاتيكي اللاخطي بطريقة الدفع المتزايد و الذي هو موضوع البحث .

**الفصل الثالث:** يتضمن الدراسة التحليلية التي تمت في هذا البحث على المنشآت الاطارية المنتظمة من البيتون المسلح. حيث تم توصيف النموذج المعتمد في التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method) و برنامج (SAP2000 , Ver 15.0.1) من حيث توصيف المواد الداخلة في النموذج و شروط الاستناد و الأحمال المطبقة و تراكيب الأحمال المدروسة و طرائق التحليل و بما يحقق هدف البحث .

**الفصل الرابع:** يتضمن الدراسة التحليلية التي تمت في هذا البحث على المنشآت الاطارية غير المنتظمة من البيتون المسلح. حيث تم توصيف النموذج المعتمد في التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة ( Finite Element Method) و برنامج (SAP2000 , Ver 15.0.1) من حيث توصيف المواد الداخلة في النموذج و شروط الاستناد و الأحمال المطبقة و تراكيب الأحمال المدروسة و طرائق التحليل و بما يحقق هدف البحث .

**الفصل الخامس:** يلخص النتائج التي تم التوصل إليها في الفصول السابقة بالإضافة إلى وضع توصيات من أجل الأعمال المستقبلية.

## الفصل الثاني

### الدراسة المرجعية

## Literature Review

### 1.2 مقدمة Introduction

يستعرض هذا الفصل السلوك الزلزالي للإطارات البيتونية المسلحة و أنماط انهيارها ومفهوم المطاوعة، كما تم استعراض طرق التحليل باستخدام طريقة الدفع المتزايد (PushOver Analysis, POA)، وطريقة التحليل الديناميكي باستخدام طريقة طيف الاستجابة، حيث أن هاتين الطريقتين قد تم استخدامهما في هذه الأطروحة. في نهاية هذا الفصل تم استعراض بعض الدراسات المرجعية وبما يتوافق مع هدف البحث من حيث المقارنة بين طريقة الدفع المتتالي والتحليل الديناميكي.

### 2.2 أنواع جمل الإطارات الخرسانية المقاومة للعزوم

#### Concrete Moment Resisting Frame Systems

يعرف الإطار المقاوم للعزوم بأنه إطار تملك عناصره ووصلاته القدرة على مقاومة القوى و عزوم الانحناء المؤثرة الناتجة بشكل رئيسي عن أحمال الزلازل، مع الأخذ بالحسبان القوى وعزوم الانحناء الناتجة عن الأحمال الشاقولية عند الأعمدة الطرفية للإطار كحد أدنى، يميز له ثلاثة أنواع حسب تصنيف (ملحق الكود العربي السوري رقم (2) ، 2005 ) تبعاً لتفاصيل التسليح و درجة المطاوعة وهي :

#### **A – الإطار العادي المقاوم للعزوم ( Ordinary Moment Resisting Frame - OMRF ):**

هو إطار مقاوم للعزوم لكنه لا يحقق التفاصيل الخاصة بمتطلبات سلوك المطاوعة، ولا يسمح باستخدامه في المنطقتين الزلزاليتين (3) و (4) .

#### **B – الإطار المتوسط المقاوم للعزوم ( Intermediate Moment Resisting Frame - IMRF ):**

هو إطار مقاوم للعزوم، يفصل تسليحه بشكل خاص لتأمين سلوك المطاوعة بدرجة تتوسط ما بين الإطار العادي المقاوم للعزوم (OMRF) والإطار الخاص المقاوم للعزوم (SMRF)، وتصمم فيه العناصر لتقاوم قوة قص تحسب من المقاومات الاسمية للعناصر عند العقد، لا يسمح باستخدام هذا النوع من الاطارات في المنطقة الزلزالية (4) .

### C- الإطار الخاص المقاوم للعزوم (Special Moment Resisting Frame - SMRF) :

هو إطار مقاوم للعزوم يفصل تسليحه بشكل خاص لتأمين سلوك المطاوعة، و يختلف عن الإطار العادي المقاوم للعزوم أن مقاطعه مصممة لمقاومة قوى قص حسابية تحدد من قيم طاقات العزوم عند العقد، بعد تصعيدها بمعامل تصعيد يساوي 1.25 و هو ناتج عن المقاومة الإضافية للمادة في مرحلة ما بعد الخضوع و ما قبل الانهيار ( $1.25f_y$ ). يوضح الشكل (1-2) تفاصيل التسليح الأدنى في أعمدة الأنواع المختلفة للجمل الإطارية، حيث يمكن ملاحظة أن التراكب في حديد تسليح الأعمدة تم في الثلث الوسطي كما تم تكثيف الأساور في هذه المنطقة وهي نقطة انعدام العزم تحت تأثير الأحمال الأفقية.

Ordinary Moment Resisting Concrete Frame	Intermediate Moment Resisting Concrete Frame	Special Moment Resisting Concrete Frame

$d_b, d_t$  : diameter of longitudinal and transverse bars,  $s$ : spacing of lateral bars,  $h_{min}$  : minimum dimension of column,  $s_x$  : longitudinal spacing of transverse bars within  $l_o$

الشكل (1-2): تفاصيل التسليح الأدنى في أعمدة الجمل الإطارية (Han and Jee, 2005)

## 3.2 السلوك الزلزالي لإطارات البيتون المسلح Seismic behavior of RC Frames

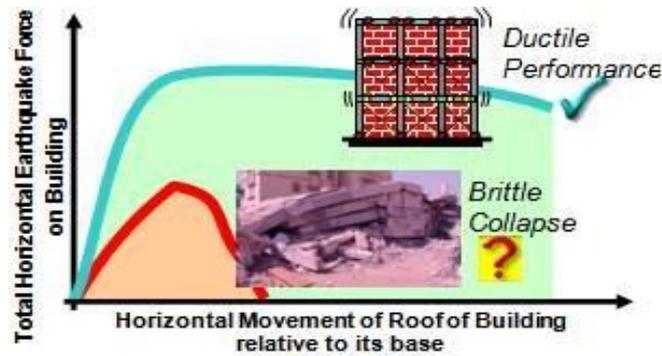
### 2.3.1 السلوك الهش والسلوك المطاوع للإطارات Brittle and Ductile Performance of Frames

يحدث الانهيار في العناصر الإنشائية وفق نمطي انهيار (سمارة , 2006):

- **الانهيار الهش (Brittle Collapse):** يحدث الانهيار في هذه الحالة بشكل مفاجئ، لذا فان هذا النمط من الانهيار هو نمط غير مرغوب في التصميم الزلزالي.

- **الأداء المطاوع (Ductile Performance):** يكون الانهيار وفق هذا النمط انهياراً آمناً يحدث الانهيار بعد تبديد كبير للطاقة الزلزالية نتيجة نشوء تشوهات كبيرة بعد انتهاء المرحلة المرنة، وهو نمط الانهيار المطلوب.

تعتبر المطاوعة من أهم عوامل تقييم أداء المنشأ على مقاومة الزلازل، لذا يتم الاعتناء بتفاصيل تسليح المناطق الأكثر عرضة للضرر الزلزالي والتي يمكن توقعها مسبقاً للتأكد من السلوك المطاوع للبناء. يبين الشكل (2-2) الفرق بين الانهيار الهش و الأداء المطاوع للأبنية الموضح من خلال تمثيل علاقة قوة القص القاعدي – الانتقال في أعلى المبنى حيث يوضح الشكل أن الانتقالات في الأداء المطاوع كبيرة بعد انتهاء مرحلة الأداء المرن للمنشأ، مقارنة مع تلك التي تحدث للمنشآت ذات الانهيار الهش.



الشكل (2-2): مقارنة الانهيار الهش و الأداء المطاوع (Seismic design philosophy for buildings, 2012)

### ميكانيكيات الانهيار Mechanisms of Failure

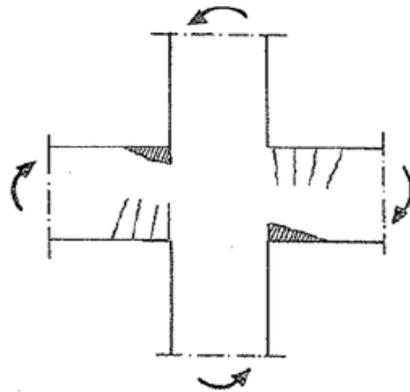
نميز ثلاثة أنواع لميكانيكيات انهيار الإطارات البيتونية المسلحة، هي:

#### a. جملة عمود قوي جانز ضعيف Weak column - Strong beam

وفيه تتشكل المفاصل اللدنة في الجوائز أولاً (الشكل 2-3)، لأن قساوة الجوائز أقل من قساوة الأعمدة، وفي هذه الحالة يكون الانهيار مطاوعاً، وهو السلوك المطلوب للمنشأ، ينصح (الكود العربي السوري، 2004) لرفع مطاوعة المنشأة الإطارية عند تعرضها للزلازل في حالة الحد الأقصى بحيث تتشكل المفاصل اللدنة في الجوائز أولاً باختيار الأبعاد النسبية لأعمدة و جوائز كل عقدة و تسليحها بحيث يتحقق الشرط التالي:

$$\frac{Mc1 + Mc2}{Mb1 + Mb2} \geq 1.25 \quad (1 - 2)$$

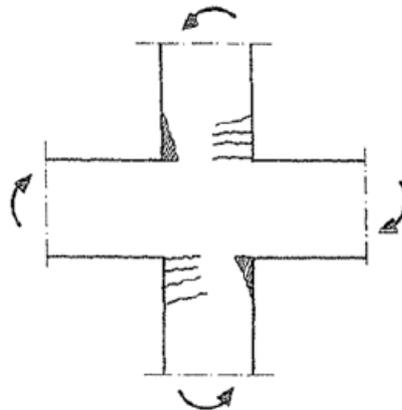
حيث  $Mc_1$  و  $Mc_2$  هي العزم المقاوم الذي تتحمله الأعمدة عند أوجه العقدة، مع الأخذ بالحسبان القوى المحورية التي تنشأ في العمود، بينما تعبر  $Mb_1$  و  $Mb_2$  العزوم المقاومة للجوائز المتصلة بالعقدة.



الشكل (3-2): تشكل مفصل لدن عند التقاء الجائز بالعقدة على يمين و يسار العقدة (Penelis and Kappos , 1997)

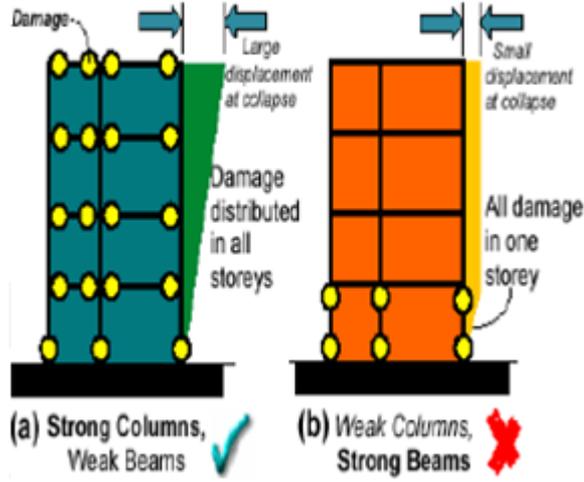
### b. جملة جائز قوي عمود ضعيف Strong beam – weak column

تتشكل المفاصل اللدنة في هذه الحالة في الأعمدة أولاً (الشكل 4-2) كون قساوة الأعمدة أقل من قساوة الجوائز، و بالتالي ينهار المبنى انهياراً هشاً.



الشكل (4-2): تشكل مفصل لدن في العمود أعلى و أسفل العقدة ( Penelis and Kappos , 1997)

يبين الشكل (2-5 a) آلية تشكل مفاصل لدنة في الجوائز و السماح بحصول انتقالات كبيرة قبل الانهيار، أما الشكل (5-2b) فيوضح آلية تشكل مفاصل لدنة في أعمدة الطابق الأرضي و انهيار المبنى عند انتقالات صغيرة بالرغم من بقاء أعمدة الطوابق العليا سليمة.

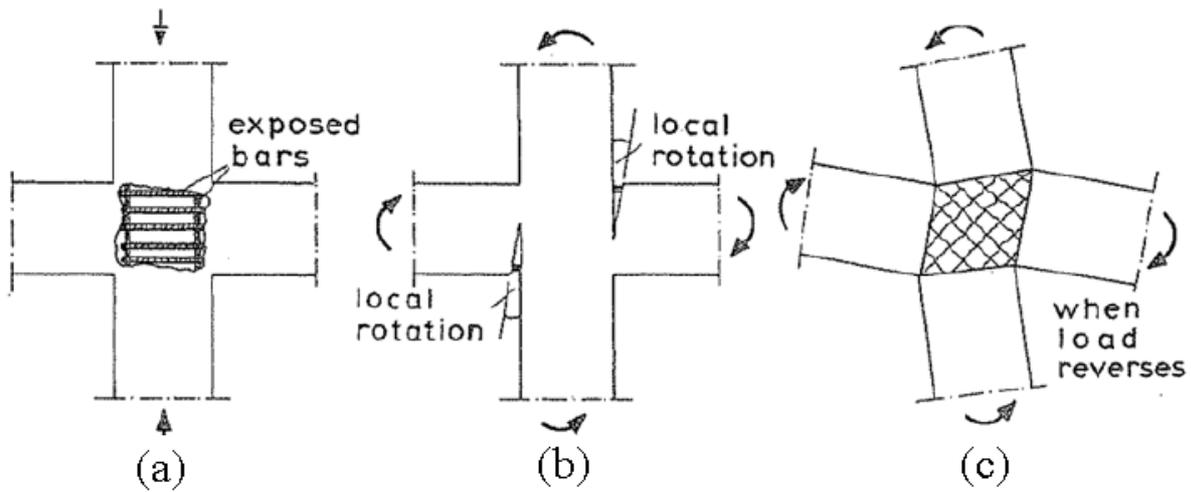


الشكل (5-2): الأداء الأفضل للجملة الإطارية (عمود قوي - جائر ضعيف) (Murty, 2005)

### c. انهيار العقد Nodes Failure

و هو انهيار قلب عقدة جائر عمود حيث تم تصنيف أنماط انهيار العقد إلى ثلاثة أنماط (Penelis and Kappos, 1997) :

- تكسر طبقة الغطاء البيتوني لوجهي العقدة مما يؤدي إلى إضعاف قدرة تحمل العمود (الشكل 6-2a).
- انهيار إرساء قضبان الجائر داخل العقدة مما يؤدي إلى هبوط في المقاومة وحصول تشوهات كبيرة و دائمة و بدوره يؤدي إلى حصول هبوط خطير في صلابة العقدة (الشكل 6-2b).
- انهيار قلب العقدة بسبب الشد القطري وهو ناتج عن القص الدوري مما يؤدي إلى هبوط شديد في المقاومة و الصلابة (الشكل 6-2c).

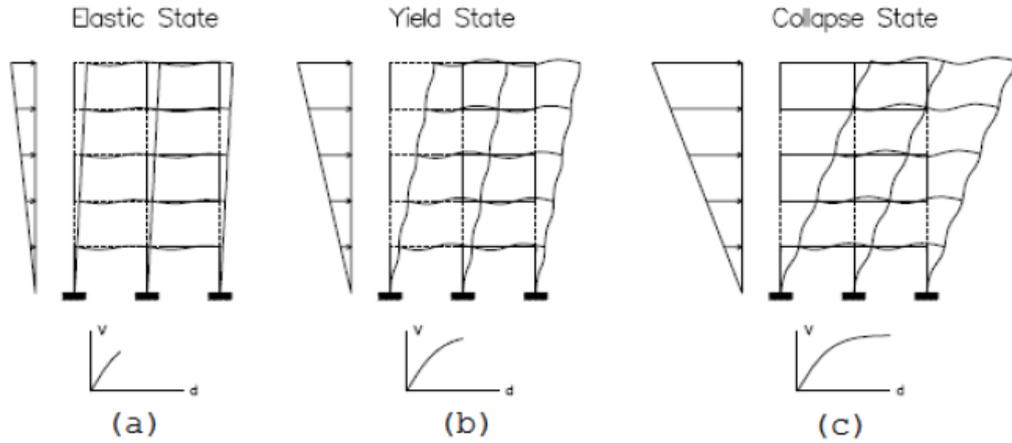


الشكل (6-2): أنماط انهيار عقد الإطارات البيتونية المسلحة على الأحمال الزلزالية (Penelis and Kappos , 1997)

## 4.2 التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد

## (POA)Non-Linear Static PushOver Analysis

تسمح هذه الطريقة بتتبع تصرف العنصر انطلاقاً من مرحلة المرونة (الشكل a-7-2), فالسيلان (الشكل b-7-2), وحتى الوصول الى الانهيار (الشكل c-7-2).



الشكل (7-2): المراحل التي يمر بها المنشأ عند تحليله تحليلاً ستاتيكيّاً لاخطياً بالدفع المتزايد (Papanikolaou et al., 2005)

هناك طريقتان للتحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد وفقاً لـ (FEMA-356, 2000), هما:

### 1.4.2 طريقة العوامل (Coefficient Method): يتم في هذه الطريقة حساب الانتقال الهدف (Target

Displacement) مباشرة وفق خطوات عديدة, وذلك بضرب الاستجابة المرنة الخطية لنظام أحادي درجة حرية مكافئ بمجموعة من العوامل والذي يوافق تحويل منشأ متعدد درجة الحرية (MDOF) إلى نظام أحادي درجة الحرية (SDOF) مكافئ (الشكل 9-2).

تستخدم هذه الطريقة غالباً من أجل المنشآت ذات الصلابة العالية (Holmes Consulting Group Ltd, 2001).

يتم حساب الانتقال الهدف بالعلاقة:

$$\delta_t = C_0 * C_1 * C_2 * C_3 * S_a * T_e^2 * g / 4\pi^2 \quad (2 - 2)$$

$C_0$ : معامل تعديل يتعلق بالانتقال الطيفي والانتقال المتوقع لسقف المبنى, تؤخذ من الجدول (1-2) حسب عدد طوابق المنشأ.

الجدول(1-2): قيم المعامل  $C_0$  (FEMA-273,1996)

Number of Stories	Modification Factor $C^1$
1	1.0
2	1.2
3	1.3
5	1.4
10 +	1.5
1. Linear Interpolation should be used for intermediate values	

$C_1$ : معامل تعديل يتعلق بالانتقال اللامرّن المتوقع تختلف قيمته حسب قيمة الدور  $T_e$  حيث:

$$T_e \geq T_0 \text{ من أجل } C_1=1 \quad (3 - 2)$$

$$T_0 \geq T_e \text{ من أجل } C_1=[1+(R-1)*T_0/T_e]/R \quad (4 - 2)$$

حيث:

$T_e$ : الدور الأساسي الفعال للمنشأ وحسب من العلاقة (2-7).

$T_0$ : الدور يؤخذ من مخطط طيف الاستجابة موضح على الشكل (2-17).

$R$  تعطى بالعلاقة :

$$R = S_a / (V_y / W) * 1 / C_0 \quad (5 - 2)$$

$S_a$ : التسارع الطيفي.

$W$ : الوزن الميت والنسبة المشاركة من الوزن الحي للمنشأ.

$V_y$ : قوة القص القاعدي عند نهاية المرحلة المرنة بعد تمثيل منحنى التصرف الفعلي للمنشأ (Structural Response)

بمنحنى ثنائي الخطية (الشكل 2-8).

$C_2$ : معامل تعديل لإدخال أثر شكل الحلقة الهستيرية على الانتقال الأعظمي يتعلق بنوع الإطار, مستوى أداء المنشأ, الدور

الأساسي للمنشأ وتؤخذ قيمته من الجدول (2-2).

الجدول (2-2): قيم المعامل  $C_2$  (FEMA-273,1997)

Building Performance Level	$T = 0.1$ second		$T > T$ second	
	Framing Type 1 <sup>1</sup>	Framing Type 2 <sup>2</sup>	Framing Type 1 <sup>1</sup>	Framing Type 2 <sup>2</sup>
Immediate Occupancy	1.0	1.0	1.0	1.0
Life Safety	1.3	1.0	1.1	1.0
Collapse Prevention	1.5	1.0	1.2	1.0

1. Structures in which more than 30% of the story shear at any level is resisted by components or elements whose strength and stiffness may deteriorate during the design earthquake. Such elements and components include: ordinary moment – resisting frames, concentrically braced frames, frames with partially restrained connections, tension – only braced frames, unreinforced masonry walls, shear – critical walls and piers, or any combination of the above.

2. All frames not assigned to Framing Type 1.

$C_3$ : معامل تعديل يأخذ بالإعتبار تأثير  $P-\Delta$  ويعطى بالعلاقة:

$$C_3 = 1 + \alpha * (R-1)^{3/2} / T_e \quad (6 - 2)$$

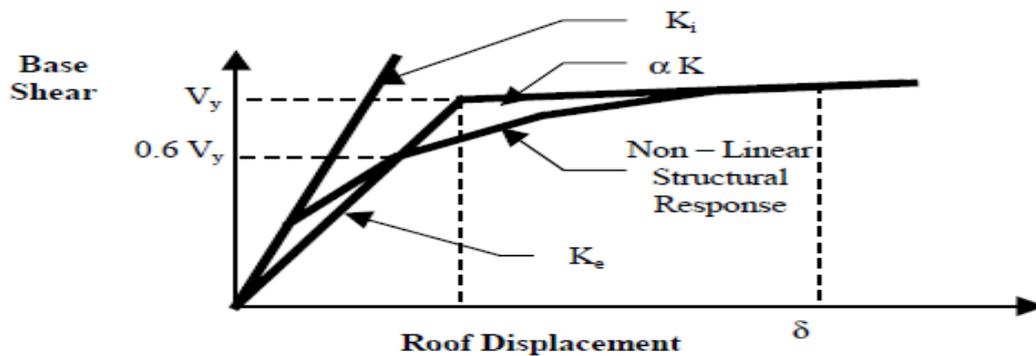
$\alpha$ : نسبة القساوة بعد التلدن ( $K_i$ ) إلى القساوة المرنة الفعالة ( $K_e$ ).

$$T_e = T * \sqrt{K_i / K_e} \quad (7 - 2)$$

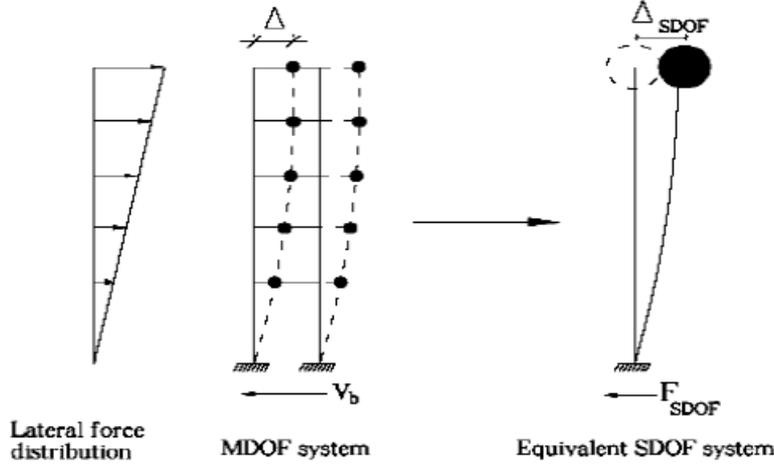
$T$ : الدور الأساسي للمنشأ.

$K_i$ : القساوة المرنة للمنشأ مأخوذة من منحنى التصرف الفعلي كما هو موضح في الشكل (8-2).

$K_e$ : القساوة المرنة للمنشأ مأخوذة من تمثيل التصرف الفعلي بمنحنى ثنائي الخطية (الشكل 8-2).



الشكل (8-2): التمثيل ثنائي الخطية للعلاقة بين القص القاعدي وانتقال أعلى المبنى (Martino,2001)



الشكل(2-9): النظام المرن أحادي درجة الحرية المكافئ (Abd-ALLA,2007)

## 2.4.2 طريقة طيف الاستطاعة (Capacity Spectrum Method) : تعتمد في ايجاد الانتقال الهدف أو

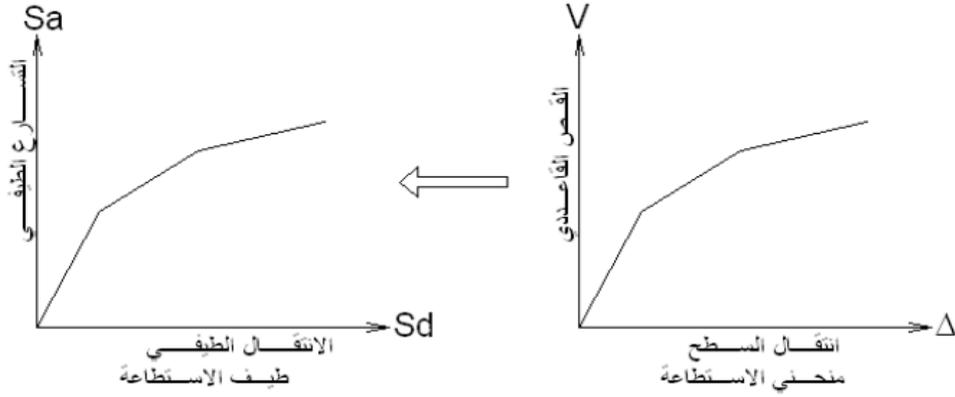
نقطة الأداء (Performance Point) على تقاطع منحنى الاستطاعة الطيفي (Capacity Spectrum) مع منحنى الطلب التصميمي (Demand Response Spectrum) , وتستخدم هذه الطريقة غالباً من أجل المنشآت المطواعة مثل الاطارات (Holmes Consulting Group Ltd, 2001)، من هنا فقد تم استخدام هذه الطريقة في هذا البحث.

يتم في هذه الطريقة تقدير الانتقال الأعظمي لجملة لاخطية وحيدة درجة الحرية من الانتقال الأعظمي لجملة خطية وحيدة درجة الحرية لها دور ونسبة تخميد أكبر من مقابلاتها الابتدائية الخاصة بالجملة اللاخطية. تسمى هذه الجملة اللاخطية بالجملة المكافئة (ATC40, 1996). وتتضمن هذه الطريقة الخطوات التالية (ATC40, 1996):

### 1. ايجاد منحنى الاستطاعة :

تعرف الاستطاعة بأنها تمثيل لقدرة المنشأ على مقاومة الطلب الزلزالي ويعتمد ذلك على مقاومة العناصر وقدرتها على التشوه في مرحلة ما بعد المرونة. يتم تحديد منحنى الاستطاعة باستخدام سلسلة من التحاليل المتعاقبة ويعدّل النموذج الرياضي للمنشأ باستمرار وفق تناقص مقاومة وقساوة العناصر التي تعرضت للخضوع. ومن ثم تحويله إلى طيف الاستطاعة.

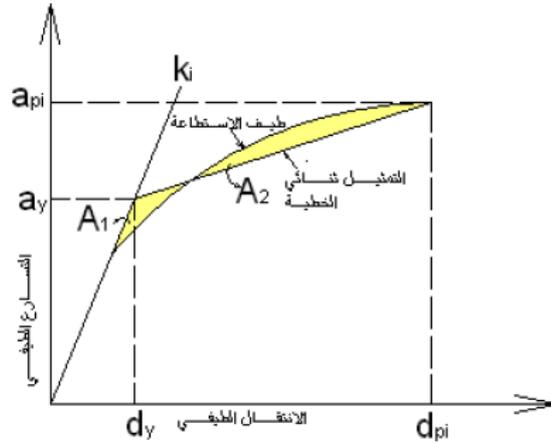
يبين الشكل(2-10) تحويل منحنى الاستطاعة (بدلالة انتقال الطابق الأخير - القص القاعدي) إلى طيف استطاعة (بدلالة الانتقال الطيفي - التسارع الطيفي)



الشكل (10-2) : تحويل منحنى الاستطاعة الى طيف استطاعة (ATC40, 1996)

### إنشاء التمثيل ثنائي الخطية لطيف الاستطاعة:

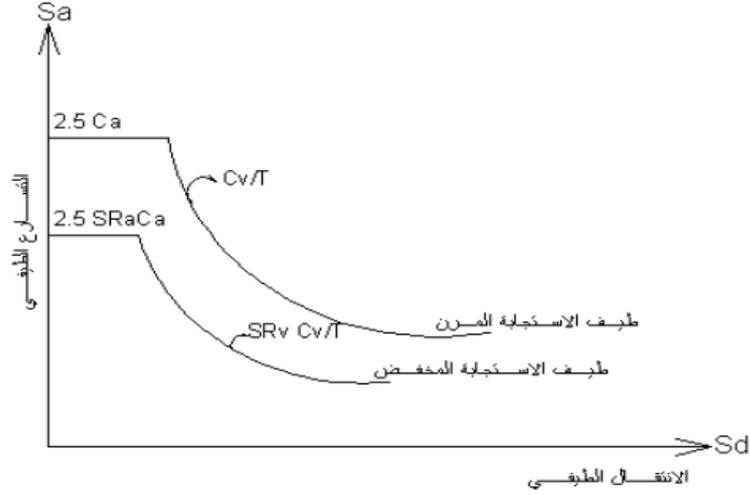
يتم رسم مستقيم ينطلق من المبدأ بميل يساوي قساوة المنشأ الابتدائية ( $K_i$ ), ثم يتم رسم مستقيم راجع من نقطة الأداء المفروضة (النقطة الأخيرة على منحنى طيف الاستطاعة ( $d_{pi}, a_{pi}$ )) يميل بحيث يتقاطع مع المستقيم الأول عند ( $d_y, a_y$ ) بما يحقق:  $A_1 = A_2$  كما في الشكل (11-2).



الشكل (11-2): التمثيل ثنائي الخطية لمنحنى الاستطاعة (ATC40, 1996)

## 2. ايجاد منحنى طيف الطلب:

يتم انشاء منحنى الطلب (طيف الاستجابة) المرن ذي التخامد 5% بالاعتماد على عوامل الموقع الزلزالي  $C_v$ ,  $C_a$  حيث تمثل  $C_a$  القيمة العظمى لتسارع الأرض الفعّال و  $C_v$  تمثل تسارع جملة مرنة ذات دور مساوٍ لثانية واحدة وتخامد 5%. يتم تحديد  $C_a, C_v$  لكل منشأ وفقاً لمستوى الخطر الزلزالي المطلوب التصميم عليه, ثم ايجاد طيف الطلب المخفّض ذي التخامد الفعّال ( $\beta_{eff}$ ). يبين الشكل (12-2) طيف الطلب المخفّض الناتج عن طيف الطلب المرن بضربه بعوامل التخفيض  $SR_v, SR_a$ .



الشكل (12-2): طيف الطلب المخفض (ATC40, 1996)

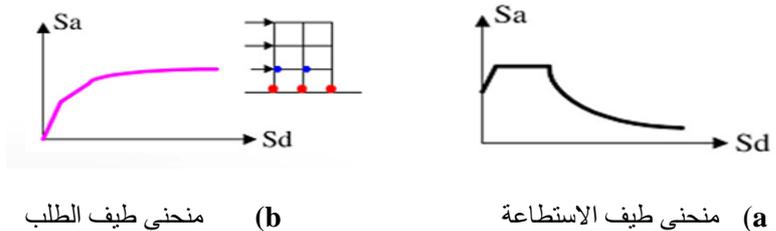
3. **ايجاد نقطة الأداء:** يجب أن تحقق نقطة الأداء الشرطين التاليين :

- A. أن تنتمي لطيف الاستطاعة- لتمثيل المنشأ عند الانتقال المطلوب.  
 B. أن تنتمي لطيف الطلب المخفض لتمثل القوة الزلزالية التي يتعرض لها المنشأ عند نفس الانتقال المطلوب.

لايجاد نقطة الأداء نتبع الخطوات التالية:

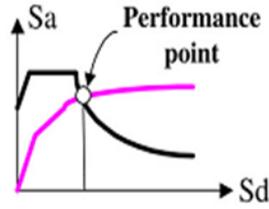
- (a) تحويل منحنى الاستطاعة الى طيف الاستطاعة  
 (b) انشاء التمثيل ثنائي الخطية لطيف الاستطاعة  
 (c) تقدير التخامد الفعّال  
 (d) ايجاد طيف الطلب المخفض ذي التخامد ( $\beta_{eff}$ )  
 (e) ايجاد نقطة تقاطع طيفي الاستطاعة والطلب .

يبين الشكل (13-2) مراحل الحصول على نقطة الأداء حيث يبين الشكل (a) (13-2) منحنى طيف الاستطاعة بدلالة الانتقال الطيفي (المحور الأفقي) والتسارع الطيفي (المحور الشاقولي). أما الشكل (b) (13-2) فيبين منحنى طيف الطلب بدلالة الانتقال الطيفي (المحور الأفقي) والتسارع الطيفي (المحور الشاقولي). ويبين الشكل (c) (13-2) نقطة تقاطع المنحنيين السابقين الممثلة لنقطة الأداء (Zou and Chan, 2005).



منحنى طيف الطلب (b)

منحنى طيف الاستطاعة (a)



(c) نقطة الأداء والتي تنتج عن تقاطع كل من منحنى طيف الاستطاعة مع طيف الطلب

الشكل (2-13): مراحل الحصول على نقطة الأداء (Zou and Chan, 2005)

### 3.4.2 ايجابيات استخدام التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد Positives of Using POA

(1) تعطي نتائج دقيقة (لحالات محددة) بوقت قصير نسبياً، حيث أن التحليل يطبق حمل أفقي متزايد باتجاه واحد فقط وبالتالي يوفر الوقت اللازم للحصول على نفس النتائج بالتحليل الديناميكي (Krawinkler and Seneviratna, 1998).

(2) تسمح للمصمم أو المالك أن يقرر أداء المنشأ (Krawinkler and Seneviratna, 1998; FEMA-73, 1997).

(3) تسمح للمصمم إنفاص الاستجابة الأعظمية (Krawinkler and Seneviratna, 1998).

### 4.4.2 مستويات أداء البناء Building Performance Levels

يتم تحديد مستويات أداء البناء بتركيب مستويات الأداء الإنشائية ومستويات الأداء غير الإنشائية، حيث تحدد **مستويات الأداء الإنشائية** كالتالي (ATC40, 1996; FEMA273, 1997):

1. مستوى الإشغال الفوري (Immediate Occupancy Level).
2. مستوى أمان الحياة (Life Safety Level).
3. مستوى منع الانهيار أو الاستقرار الإنشائي (Collapse Prevention Level Or Structural Stability).
4. مستوى السيطرة على الأضرار أو الضرر المحدود (Damage Control Range or Limited Damage).

أما **مستويات الأداء غير الإنشائية** فهي (ATC40, 1996; FEMA273, 1997):

1. مستوى التشغيل (Operational Performance Level).

2. مستوى الإشغال الفوري.

3. مستوى أمان الحياة.

4. مستوى المخاطر المخفّض (Reduced Hazards Level).

5. مستوى عدم اعتبار الأداء غير الانشائي (Nonstructural Performance Not Considered).

و عليه يوجد عدد كبير من التراكمات، أكثرها شيوعاً هي المستويات الأربعة التالية (ATC40,1996) FEMA 273,1997::

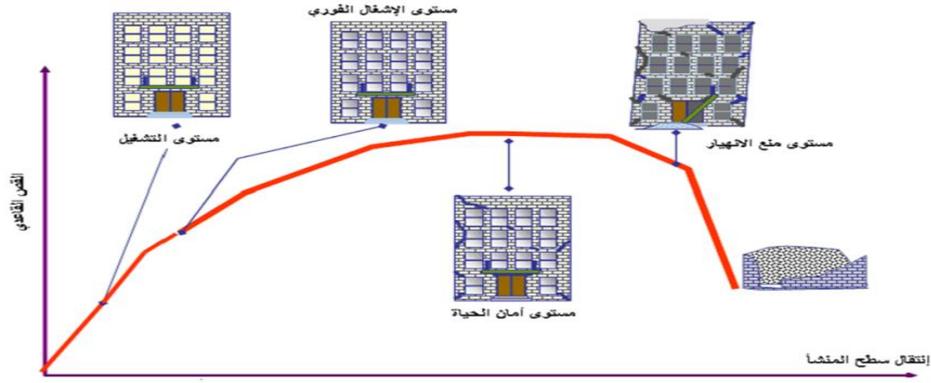
**A. مستوى التشغيل:** وهو تركيب لمستوى الإشغال الفوري الانشائي مع مستوى التشغيل غير الانشائي حيث يتوقع للأبنية التي تحقق هذا المستوى أن تتعرض للحد الأدنى من الأضرار الانشائية وغير الانشائية. يستخدم مستوى الأداء هذا غالباً في تصميم الأبنية عند تعرضها للهزات الزلزالية الخفيفة وفيما عدا ذلك (باستثناء حالات خاصة) يعتبر التصميم على هذا المستوى غير اقتصادي.

**B. مستوى الإشغال الفوري:** وهو تركيب لمستوى الإشغال الفوري الانشائي وغير الانشائي حيث يتوقع للأبنية التي تحقق هذا المستوى من الأداء أن تتعرض للحد الأدنى من الأضرار الانشائية مع أضرار طفيفة غير انشائية، وعلى الرغم من أن استخدام هذه الأبنية بعد الهزة أماناً إلا أن بعض النظم غير الانشائية قد لا تعمل نتيجة تعطل بعض التجهيزات ولذا يفضل قبل اشغال البناء إجراء التنظيف والإصلاح للعناصر التي تعرضت للضرر وكذلك اصلاح الخطوط الخارجية التخديمية.

**C. مستوى أمان الحياة:** وهو تركيب لمستوى أمان الحياة الانشائي وغير الانشائي حيث يتوقع للأبنية التي تحقق هذا المستوى أن تتعرض لأضرار انشائية وغير انشائية كبيرة، ولكن احتمال المخاطرة في الأرواح منخفض. تحتاج هذه الأبنية لإصلاح قبل إعادة تشغيلها وفي كثير من الحالات تكون عملية الإصلاح مكلفة وغير اقتصادية.

**D. مستوى منع الانهيار أو الاستقرار الانشائي:** وهو يعني منع انهيار العناصر الانشائية الرئيسية في البناء مع عدم اعتبار الأضرار غير الانشائية، وبالتالي يشكل انهيار العناصر غير الانشائية خطراً كبيراً على الأرواح إلا أن المنشأ يبقى قادراً على حمل القوى الشاقولية.

يبين الشكل (2-14) أهم مستويات الأداء (Moehle et al., 2004) بدلالة انتقال سطح المنشأ (المحور الأفقي) والقص القاعدي (المحور الشاقولي) وتم تثبيت مواضع مستويات أداء البناء على الشكل والتي تم ذكرها سابقاً عليه.



الشكل (2-14): مستويات أداء المنشأ (Moehle, etal. 2004)

## 5.4.2 الحدود المسموحة لدورانات المفاصل اللدنة Allowable Limits of Plastic Hinge Rotations

### Rotations

حددت الكودات الأمريكية الحدود المسموحة لدورانا المفاصل اللدنة كمايلي (ATC-40,1996;FEMA-273,1997):

#### A-الحدود المسموحة لدورانات المفاصل المتشكلة في الأعمدة: اعتماداً على العزم المسيطر على سلوك

العمود بما يتناسب مع قيم التسليح العرضي لمقطع العمود وأبعاد مقطعه العرضي (b,w,d), المقاومة المميزة للبيتون ( $f_c'$ ), ومساحة المقطع العرضي للعمود ( $A_g$ ), والقوة الشاقولية المطبقة (P), والقوة الأفقية المطبقة (V). أو بمايتناسب مع القص المسيطر على سلوك العمود و التباعد بين التسليح العرضي للعمود, كما هو موضح بالجدول (2-3).

الجدول (2-3):حدود الدورانات المسموحة للأعمدة البيتونية المسلحة في المنشآت القائمة (FEMA-356,2000; 2009, العرب)

			عوامل النمذجة			الحدود المسموحة لدورانات المفاصل				
			زاوية الدوران اللدن , راديان	نسبة المقاومة المتبقية	c	زاوية الدوران اللدن , راديان				
a	b	IO				LS	CP	أنواع العناصر		
			رئيسية	ثانوية						
						مستويات الأداء				
						IO	LS	CP	LS	CP
العزم مسيطر على سلوك العمود										
$\frac{P}{A_g f_c}$	التسليح العرضي	$\frac{V}{b w . d . \sqrt{f_c}}$								
$\leq 0.1$	C	$\leq 3$	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.015	0.03
$\leq 0.1$	C	$\geq 6$	0.015	0.025	0.2	0.005	0.01	0.015	0.01	0.025
$\geq 0.4$	C	$\leq 3$	0.015	0.025	0.2	0.0	0.005	0.015	0.01	0.025
$\geq 0.4$	C	$\geq 6$	0.01	0.015	0.2	0.0	0.005	0.01	0.01	0.015
$\leq 0.1$	NC	$\leq 3$	0.01	0.015	0.2	0.005	0.005	0.01	0.005	0.015
$\leq 0.1$	NC	$\geq 6$	0.005	0.005	-	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
$\geq 0.4$	NC	$\leq 3$	0.005	0.005	-	0.0	0.0	0.005	0.00	0.005
$\geq 0.4$	NC	$\geq 6$	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
القص مسيطر على سلوك العمود										
			$d/2$ ≤ تباعد التسليح العرضي							
			أو $p/A_g . f_c \leq 0.1$	0.0	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01
			حالات أخرى	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

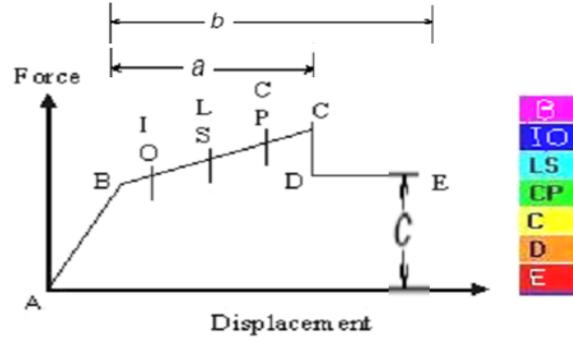
## B-الحدود المسموحة لدورانات المفاصل المتشكلة في الجوائز: اعتماداً على العزم المسيطر على سلوك

الجائز بما يتناسب مع قيم التسليح العرضي لمقطع الجائز وأبعاد مقطعه العرضي ( $b_w, d$ ), المقاومة المميزة للبيتون ( $f_c'$ ), والقوة الأفقية المطبقة ( $V$ ), ونسبة تسليح منطقة الشد والضغط ( $\rho', \rho$ ), ونسبة التسليح التوازنية لمقطع الجائز ( $\rho_{bal}$ ). أو بما يتناسب مع القص المسيطر على سلوك الجائز والتباعد بين التسليح العرضي للجائز, كما هو موضح بالجدول (2-4).

الجدول (2-4): حدود الدورانات المسموحة للجوائز البيتونية المسلحة في المنشآت القائمة (FEMA-356,2000; 2009, العرب)

			عوامل النمذجة			الحدود المسموحة لدورانات المفاصل					
			زاوية الدوران اللدن , راديان	نسبة المقاومة المتبقية	c	زاوية الدوران اللدن , راديان					
a	b	c				أنواع العناصر					
			IO	LS	CP	رئيسية		ثانوية			
مستويات الأداء											
			a	b	c	IO	LS	CP	LS	CP	
العزم المسيطر على سلوك الجائز											
$\rho - \rho'$	التسليح العرضي	$\frac{V}{b_w \cdot d \cdot \sqrt{f_c'}}$									
$\leq 0.0$	C	$\leq 3$	0.025	0.05	0.2	0.005	0.02	0.025	0.02	0.05	
$\leq 0.0$	C	$\geq 6$	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04	
$\geq 0.5$	C	$\leq 3$	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03	
$\geq 0.5$	C	$\geq 6$	0.015	0.02	0.2	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02	
$\leq 0.0$	NC	$\leq 3$	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03	
$\leq 0.0$	NC	$\geq 6$	0.01	0.015	0.2	0.0	0.005	0.01	0.01	0.015	
$\geq 0.5$	NC	$\leq 3$	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015	
$\geq 0.5$	NC	$\geq 6$	0.005	0.01	0.2	0.0	0.005	0.005	0.005	0.01	
القص المسيطر على سلوك الجائز											
			$\leq d/2$	0.0	0.02	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.02
			$\leq d/2$	0.0	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01

من خلال هذه الجداول يمكن معرفة الحدود المسموحة لدورانات المفاصل حسب مستوى أداء المفصل (FEMA273,1997). يتم نمذجة سلوك المفصل باستخدام العلاقة بين الانتقال والحمل المطبق معرفة بسلسلة خطوط مستقيمة كما هو مبين في الشكل (2-15)، حيث العلاقة خطية حتى نقطة بدء الخضوع (B)، بعدها تزداد طاقة التحمل نتيجة التقسية التشوهية حتى النقطة (C)، ومن ثم تتخفف المقاومة حتى النقطة (D)، يحصل الانهيار النهائي حيث يفقد المقطع القدرة على تحمل حاصلات الاجهادات الناتجة عن الأحمال الشاقولية عند النقطة (E). تمثل النقطة (A) حالة اللاتحميل، حيث يمثل ميل المستقيم A-B القساوة الأولية للمقطع، أما الميل B-C فيؤخذ 5-10% من الميل الابتدائي، وتتوافق فاصلة النقطة C مع التشوه الذي يبدأ عنده الإنخفاض في المقاومة حيث لا يمكن ضمان الحصول على مقاومة جانبية بعد هذا التشوه، يمثل الهبوط من C إلى D الانهيار الأولي للمقطع، بينما تحدد النقطة E استطاعة التشوه العظمى، والتشوه بعد هذه النقطة غير مسموح حيث يصبح المنشأ غير قادر على تحمل حاصلات الاجهادات الناتجة عن الأحمال الشاقولية.



الشكل (15-2): سلوك المفصل اللدن (Kadid and Boumrkik , 2008)

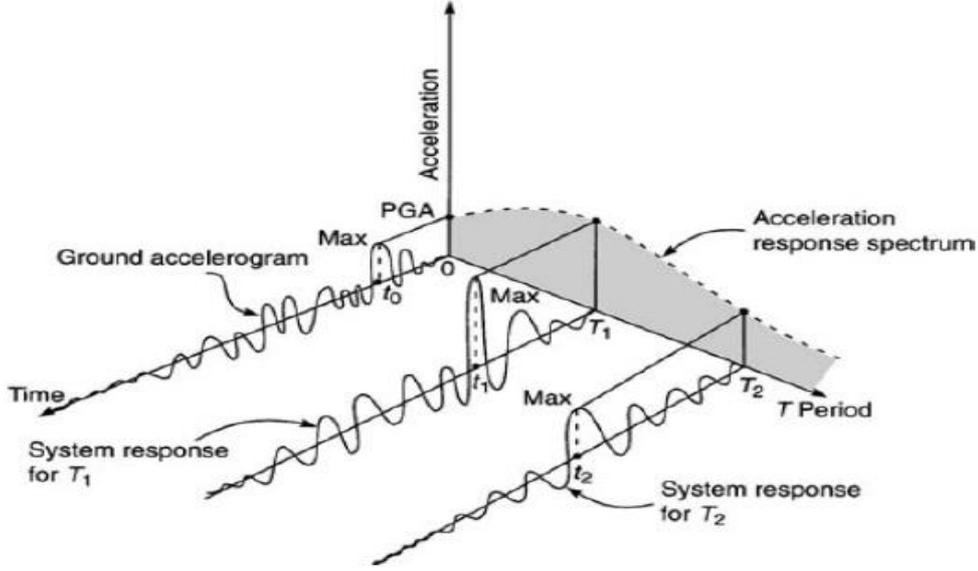
## 5.2 التحليل الديناميكي بطريقة طيف الاستجابة

### Dynamic Analysis Using Response Spectrum Method

تأخذ هذه الطريقة بعين الاعتبار جميع أنماط الاهتزاز في حساب استجابة المنشأ، يشترط الكود السوري في هذا التحليل (الكود العربي السوري الملحق رقم (2)، 2005) أن تكون كافة الأطوار الهامة مأخوذة بالحسبان. بإثبات أن 90% على الأقل من الكتل المساهمة (الفعالة) في المنشأة، قد اخذت في حساب الاستجابة لكل اتجاه أفقي رئيسي.

يتم تجميع القوى الداخلية في العناصر والإزاحات والقوى الطابقيّة وقوى القص الطابقيّة وردود الأفعال والناشئة عن كل طور (نمط) بطرائق إحصائية معلومة، ولأجل النماذج ثلاثية الأبعاد يجب الأخذ بالحسبان التأثيرات المتبادلة للأطوار عند تركيب القيم العظمية للأطوار. يمكن تخفيض قيم مكونات الاستجابة المرنة عند التصميم بشرط أن لا تقل تحت أي ظرف قيمة القص القاعدي التصميمي المقابلة لها (الناشئة عن هذا التخفيض) عن قوة القص القاعدي الناتجة عن الاستجابة المرنة مقسومة على المعامل (R).

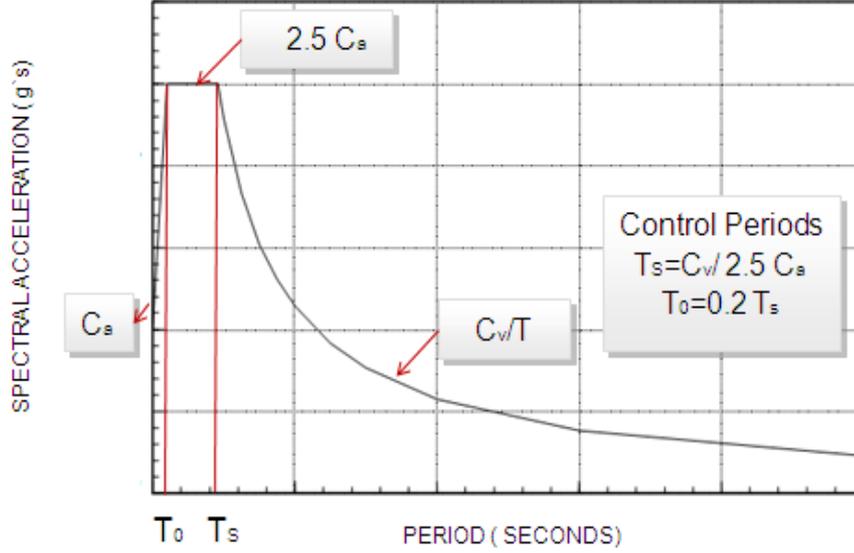
يشترك طيف الاستجابة التصميمي لمنطقة ما من السجلات الزمنية للتسارعات الأرضية لمجموعة من الهزات الأرضية محتملة الحدوث في تلك المنطقة، على أن يشتمل هزات قريبة وأخرى بعيدة وليس ناتجاً عن سجل زمني واحد فقط (الشكل 2-16).



الشكل(2-16): وصف تخطيطي لطيف الاستجابة التصميمي (Taranath,2003)

يتم التخفيض وفق البنود الواردة في (الكود العربي السوري الملحق رقم (2), 2005):

- A.** لكافة المنشآت المنتظمة والتي يكون فيها تمثيل حركة الأرض بطيف استجابة تصميمي مرن، يمكن تخفيض مكونات الاستجابة المرنة على أن لا تقل قوة القص القاعدي المقابلة لها عن (90%) من قوة القص القاعدي المحددة وفق طريقة ملحق الكود العربي السوري رقم (2) لعام 2005, الطريقة الستاتيكية الثانية.
- B.** لكافة المنشآت المنتظمة والتي يكون فيها تمثيل الأرض بطيف استجابة تصميمي مرن خاص بالموقع المدروس، يمكن تخفيض بارامترات الاستجابة المرنة على أن لا تقل قوة القص القاعدي المقابلة لها عن (80%) من قوة القص القاعدي المحددة وفق طريقة ملحق الكود العربي السوري رقم (2) لعام 2005, الطريقة الستاتيكية الثانية.
- C.** لكافة المنشآت غير المنتظمة وبغض النظر عن طريقة تمثيل حركة الأرض، يمكن تخفيض مكونات الاستجابة المرنة على أن لا تقل قوة القص القاعدي المرتبط بذلك عن (100%) من قوة القص القاعدي المحددة وفق طريقة ملحق الكود العربي السوري رقم (2) لعام 2005, الطريقة الستاتيكية الثانية.
- من أجل التصميم: يجب أن يمثل طيف الاستجابة كل الخصائص الزلزالية التي تحدث في موقع ما، ويجب أن يعتمد طيف الاستجابة التصميمي على الخصائص الجيولوجية، التكتونية، الزلزالية، خصائص التربة للموقع المدروس. إذا كانت هذه الخصائص غير معلومة يمكن عندها يمكن اعتماد شكل الطيف المبين بالشكل(2-17) بمعرفة قيم عوامل الاستجابة الزلزالية المتعلقة بالموقع  $C_a, C_v$ . تأخذ العوامل  $C_a, C_v$  بالحسبان التضخيم الكامن لاهتزاز الأرض نتيجة الهزة الزلزالية المتولدة في الموقع المدروس.



الشكل (2-17): مخطط طيف الاستجابة (ملحق الكود العربي السوري (2)، 2005)

## 6.2 مفهوم معامل المطاوعة ( $\mu$ )

### Ductility Factor ( $\mu$ )

تعرف المطاوعة بأنها: قدرة المادة أو المقطع أو العنصر الإنشائي على التشوه بشكل كبير دون فقدان كبير في المقاومة وتعطى كما يلي (Eroucode8-2,2005):

- مطاوعة المادة، وتعرف بالمعامل التالي:

$$\mu_{\varepsilon} = \varepsilon_u / \varepsilon_y \quad (8 - 2)$$

حيث  $\varepsilon_u$ : التشوه النسبي الأقصى عند الانهيار

$\varepsilon_y$ : التشوه النسبي عند بدء السيلان

فعلى سبيل المثال يعرف الفولاذ بأنه مادة مطاوعة (Ductile Material) ذلك أن  $\mu_{\varepsilon}$  يكون مساوياً لـ 20 أو أكثر،

بينما يكون انهيار البيتون مفاجئاً أو هشاً (Brittle Material) حيث  $\mu_{\varepsilon}$  ضئيل.

- مطاوعة المقطع على الانحناء، وتعرف بالمعامل التالي (الشكل 2-18):

$$\mu_{\theta} = \theta_u / \theta_y \quad (9 - 2)$$

حيث  $\theta_u$ : الانحناء الأعظمي عند الانهيار

$\theta_y$ : الانحناء عند بدء السيلا

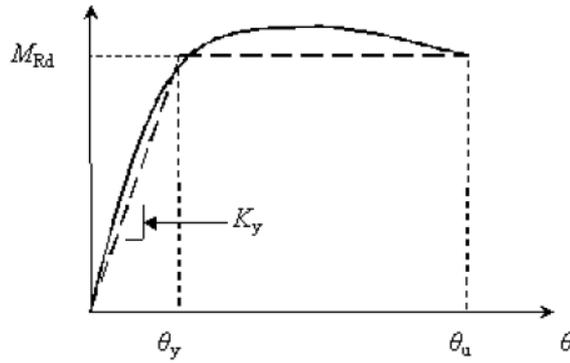
• مطاوعة الجملة وتعرّف بالمعامل التالي (الشكل 2-19):

$$\mu_d = d_u/d_y \quad (10 - 2)$$

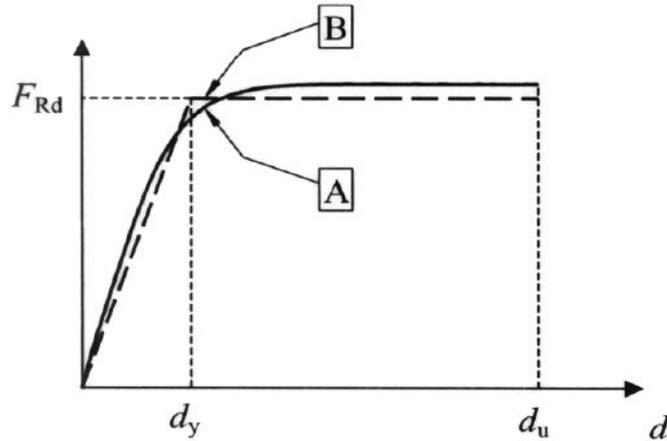
حيث  $d_u$ : الانتقال الأعظمي عند الانهيار

$d_y$ : الانتقال عند بدء السيلا

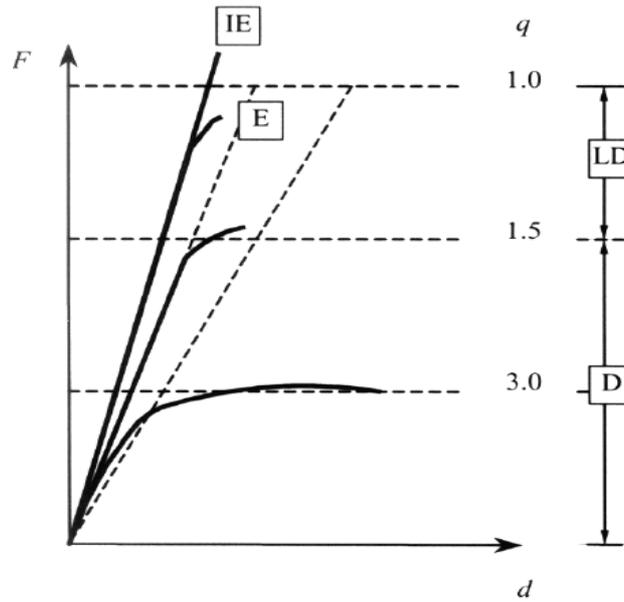
بيّن الشكل (2-20) حدود المطاوعة حيث يعتبر المنشأ ذي مطاوعة مرتفعة عندما ( $\mu_d > 3$ )



الشكل (2-18): المخطط العام العزم – التشوه (Eurocode 8-2 , 2005)



الشكل (2-19): المخطط العام القوة- الانتقال (Eurocode 8-2 , 2005)



الشكل (20-2): حدود المطاوعة وتصنيف المنشأ وفق الكود الأوروبي (Eurocode 8-2 , 2005)

## 7.2 دراسات مرجعية سابقة

قامت العديد من الدراسات التحليلية بدراسة امكانية استخدام التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد (POA) على الأبنية البيتونية المسلحة وتحديد ايجابيات وسلبيات هذا التحليل, ومقارنة الانتقالات وميكانيكيات الانهيار الناتجة عن هذا التحليل مع انتقالات وميكانيكيات الانهيار الناتجة عن التحليل الديناميكي, نستعرض منها:

### (Martino,2001) (a)

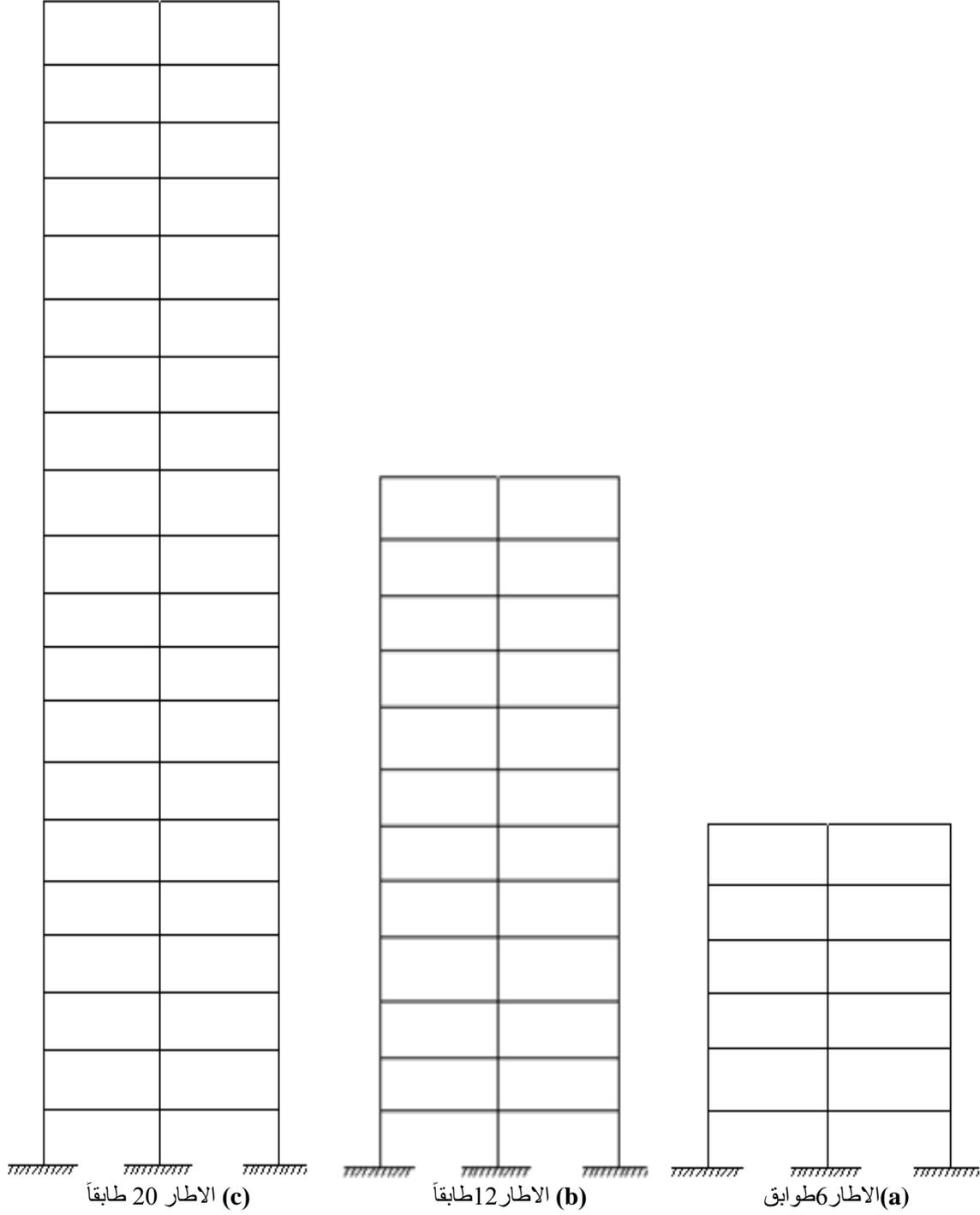
تم في هذا البحث التحليلي دراسة ثلاثة مبان إطارية من البيتون المسلح بارتفاعات مختلفة, بفتحتين, 2D, من النوع الخاص المقاوم للعزوم (SMRF) (الفقرة 2.2), حيث كان الهدف الأساس لهذا البحث هو مقارنة الانتقالات الأعظمية الناتجة عن التحليل الديناميكي بطريقة السجل الزمني, باستخدام السجل الزمني لزلزال Elcentro, مع الانتقال الهدف الناتج عن التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد.

أخذت ثلاثة اطارات, بفتحتين, مجاز الفتحة 11m, والارتفاع الطابقي 4.25m, بقيم أدوار مختلفة هي:

قصيرة الدور - 6 طوابق (  $T=1.61 \text{ sec}$  )

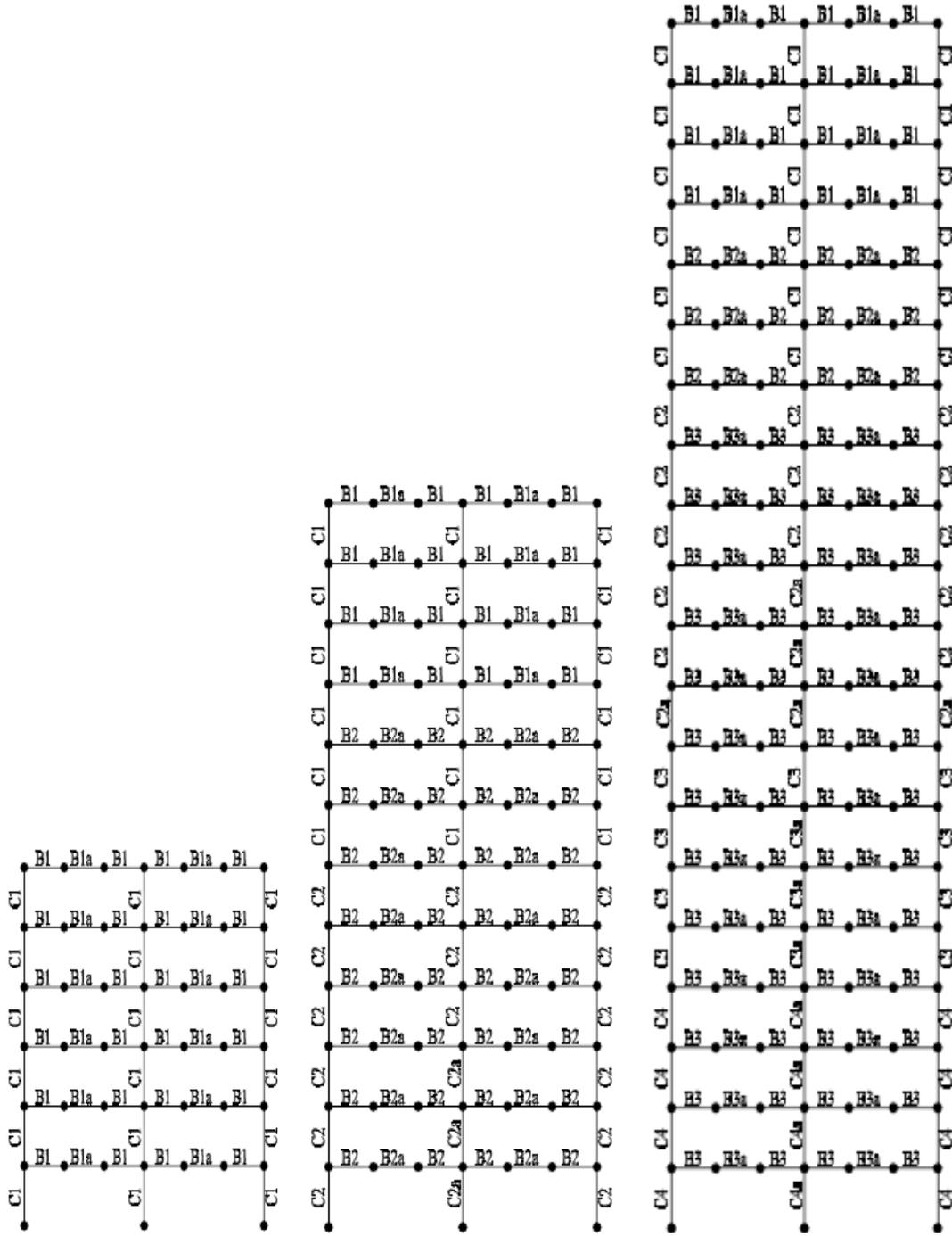
متوسطة الدور - 12 طابقاً (  $T=2.66 \text{ sec}$  )

ذو دور مرتفع - 20 طابقاً (  $T=3.59 \text{ sec}$  ) يبين الشكل (21-2) المسقط الرأسي لهذه الاطارات.



الشكل (21-2): الاطارات المستخدمة في الدراسة (Martino, 2001)

يبين الشكل (22-2a) تسميات المقاطع المختلفة المستخدمة للجوائز والأعمدة للبناء ذي الـ 6 طوابق, بينما يوضح الشكل (22-2b) تسميات المقاطع المختلفة المستخدمة للجوائز والأعمدة للبناء ذي الـ 12 طابقاً, في حين يوضح الشكل (22-2c) تسميات المقاطع المختلفة المستخدمة للجوائز والأعمدة للبناء ذي الـ 20 طابقاً.



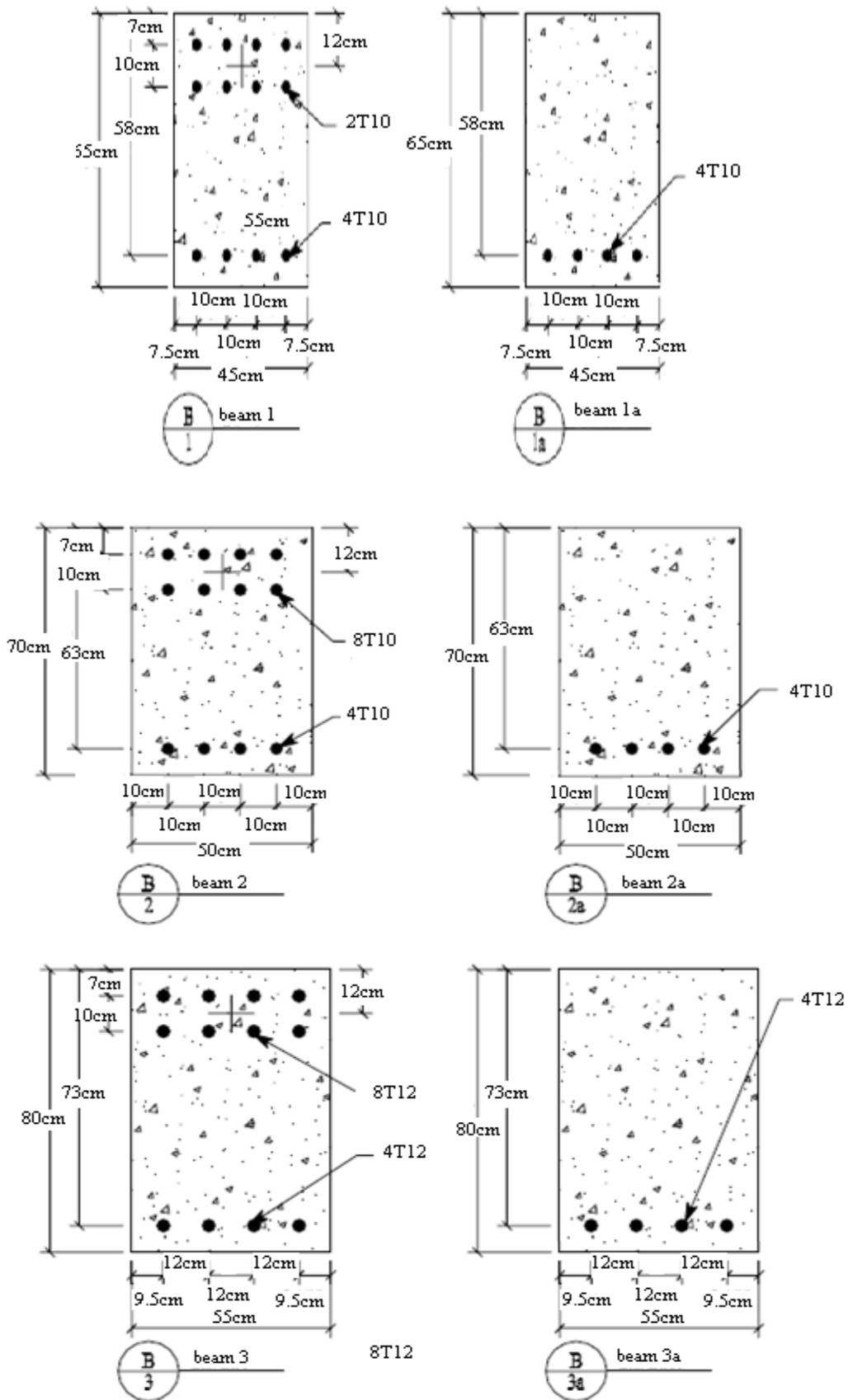
مقاطع عناصر الاطار 20 طابق (22-2c)

مقاطع عناصر الاطار 12 طابق (22-2b)

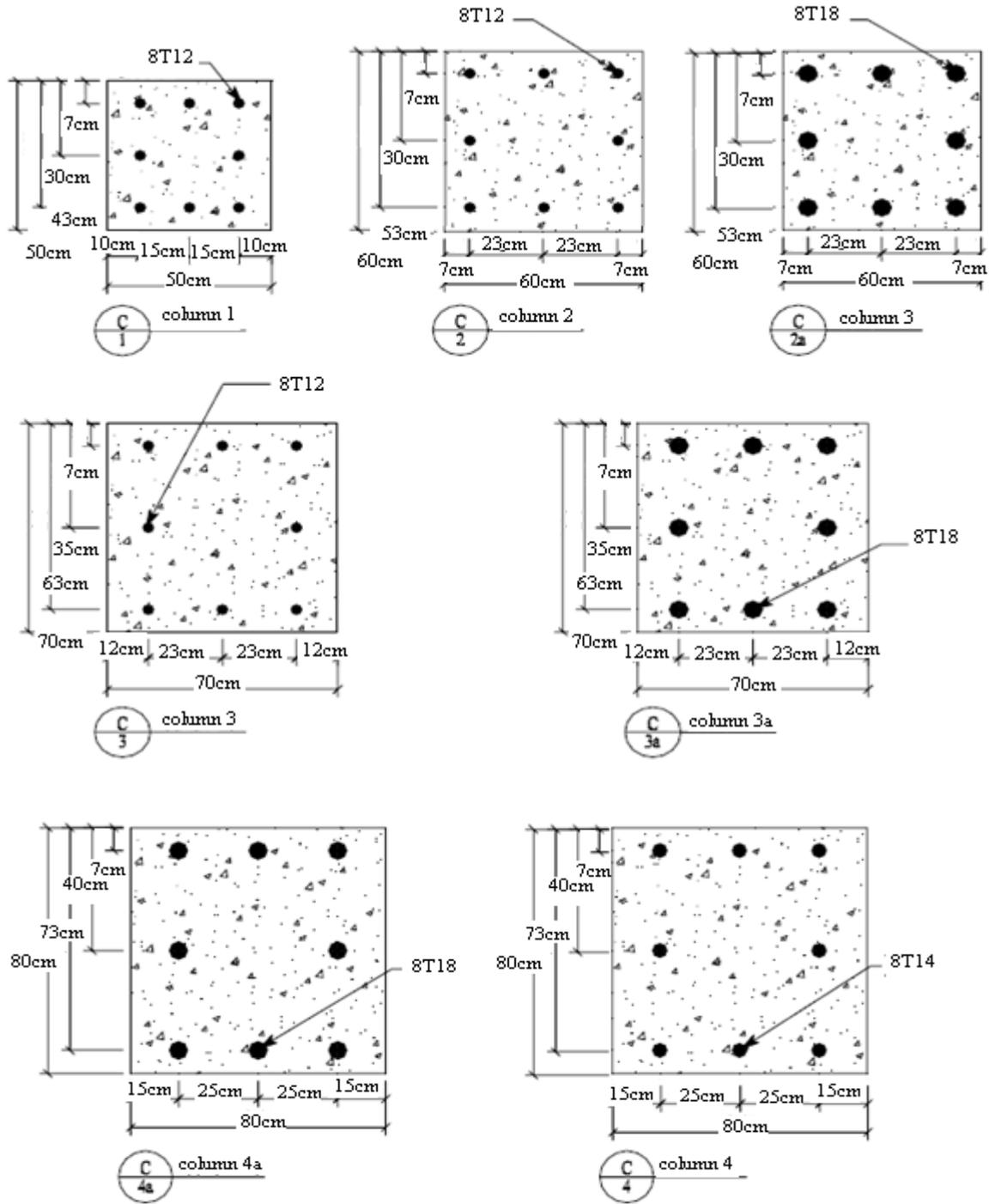
مقاطع عناصر الاطار 6 طابق (22-2a)

الشكل (22-2): مقاطع عناصر المستخدمة في الاطارات المدروسة (Martino, 2001)

يبين الشكل (23-2) تسليح وأبعاد مقاطع الجوائز التصميمية النهائية المستخدمة في الأبنية المدروسة، بينما يبين الشكل (24-2) أبعاد وتسليح مقاطع الأعمدة التصميمية المستخدمة.



الشكل (23-2): تسليح وأبعاد مقاطع الجوائز التصميمية المستخدمة في الدراسة (Martino,2001)



الشكل (2-24): تسليح وأبعاد مقاطع الأعمدة المستخدمة في الدراسة (Martino, 2001)

طبق وزن حي على الطوابق المتكررة 50 PSF وعلى السقف الأخير 30PSF، بينما كان حمل القواطع 20 PSF، طبق الباحث أحمال الجاذبية ( $1.1\text{Gravity Loads} = 1.1\text{ DL} + 0.27\text{ LL}$ ) بالإضافة لحمل أفقي تتزايد قيمته تدريجياً وفق تحليل الدفع المتزايد. تمت مقارنة الانتقال الأعظمي عند السقف الأخير الذي تم الحصول عليه من هذا التحليل، أي الانتقال الهدف مع الانتقال الذي حصل عليه بتطبيق الأحمال الشاقولية السابقة نفسها على الاطارات السابقة، مضافاً إليها حمل أفقي ديناميكي وفق التحليل الديناميكي بطريقة السجل الزمني. يبين الجدول (2-5) مقارنة قيم الانتقال الهدف الناتج عن تحليل الدفع المتزايد مع قيم الانتقالات الأعظمية الناتجة عن

تحليل السجل الزمني, حيث يمكن ملاحظة التقارب في قيم الانتقالات الناتجة عن كلا التحليلين من أجل المنشأ قصير الدور – 6 طوابق المدروس, حيث كانت النسبة (السجل الزمني/  $\Delta_{POA}$ ) = 1.25, في حين نجد تزايد الفرق بينهما من أجل المنشأ متوسط الدور – 12 طابقاً المدروس, حيث أصبحت النسبة (السجل الزمني/  $\Delta_{POA}$ ) = 2.17, ويزداد الفرق بزيادة دور المنشأ, فنجد وصول النسبة حتى (3.18) من أجل المنشأ ذي الدور المرتفع – 20 طابقاً المدروس. يبين الجدول (2-6) قيم الانتقالات الأعظمية الناتجة عن كلا تحليلي الدفع المتزايد والسجل الزمني والنسبة بينهما لكل من الاطارات الثلاث المدروسة.

**الجدول (2-5):** قيم الانتقال الأعظمي الناتج عن تحليل السجل الزمني وقيم الانتقال الهدف الناتج عن تحليل الدفع المتزايد (Martino, 2001)

# stories	Target Displacement (mm)	Maximum Dynamic Roof Displacement (mm)	Minimum Dynamic Roof Displacement (mm)
6	478	381	-381
12	782	361	-323
20	1010	272	-318

**الجدول (2-6):** نسبة قيم الانتقال الأعظمي الناتج عن تحليل السجل الزمني إلى قيم الانتقال الهدف الناتج عن تحليل POA (Martino, 2001)

رقم الطابق	الانتقال الكلي عند الأداء وفق POA (mm)	الانتقال الكلي عند الأداء وفق السجل الزمني (mm)	السجل الزمني/ $\Delta_{POA}$
6	478	381	1.25
12	782	361	2.17
20	1010	318	3.18

خُصَّ الباحث إلى أنه: يمكن تطبيق التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد لمثل هذه الأبنية والحصول على نتائج مقبولة وذلك للمباني قصيرة الدور, كأبنية الـ 6 طوابق (أي أنها مقبولة لأجل المباني حيث نمط الاهتزاز الأول هو المسيطر).

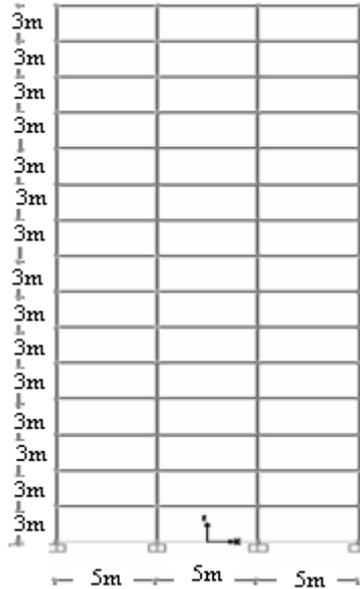
### (b) (Abd-Alla, 2007)

تم في هذا البحث التحليلي دراسة أبنية اطارية من الببتون المسلح 2D, من النوع المتوسط المقاوم للعزوم IMRF (الفقرة 2.2), ذات دور مرتفع, بارتفاعات مختلفة (15-20 طابقاً), بثلاث فتحات, مصممة وفق الكود المصري, حيث كان الهدف الأساس لهذا البحث هو مقارنة كل من مخططات الاستطاعة, نسب الازاحات الداخلية الطابقية, قيم القوة القاصة القاعدية الناتجة عن التحليل الديناميكي

بطريقة السجل الزمني, باستخدام مجموعة من السجلات الزمنية ( السجل الزمني لزلزال Elcentro , North ridge , Kobe , Loma Prieta , Imperial Vally), مع القيم والمخططات المقابلة الناتجة عن التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد.

تمت دراسة اطارين, بارتفاع 15 طابقاً والآخر 20 طابقاً, مجاز الفتحة 5m, والارتفاع الطابقي المتكرر 3m وكانت مواصفات المواد المستخدمة كالتالي: الفولاذ: للتسليح العرضي  $f_y=235 \text{ N/mm}^2$ , للتسليح الطولي  $f_y=360 \text{ N/mm}^2$ , أما البيتون:  $f_c=25 \text{ N/mm}^2$ . كان الوزن الحي  $2 \text{ KN/m}^2$ , الحمل الميت على الطوابق المتكررة  $1.5 \text{ KN/m}^2$  وعلى السقف الأخير  $2.5 \text{ KN/m}^2$ , بينما كان حمل القواطع  $2 \text{ KN/m}^2$ .

طبّق الباحث أحمالاً الجاذبية (1.1Gravity Loads = 1.1 DL+0.27LL). يبين الشكل (25-2) شكل الاطار ذو الدور المرتفع 15 طابق المستخدم في الدراسة.



الشكل (25-2): الاطار ذو الدور المرتفع – 15 طابق المدروس (Abd-Alla,2007)

قام الباحث بتطبيق أربعة نماذج مختلفة للتحميل الأفقي عند اجراء تحليل الدفع المتزايد هي:

### 1. نموذج التحميل المنتظم (ULP) Uniform Load Pattern

$$f_i = m_i \quad (11 - 2)$$

$f_i$  : القوة الأفقية الطابقية عند الطابق  $i$ .

$m_i$  : كتلة الطابق  $i$ .

## 2. نموذج التحميل المكافئ (ELP) Equivalent Load Pattern

$$f_i = m_i \cdot h_i^k \quad (12 - 2)$$

حيث  $h_i$ : ارتفاع الطابق  $i$  عن منسوب القاعدة.

$k$ : ثابت تتعلق قيمته بقيمة الدور الأساسي للمنشأ  $T$ .

$$T \leq 0.5 \text{ sec} \quad k=1$$

$$T \geq 2.5 \text{ sec} \quad k=2$$

$k$  يحسب خطياً بين 1 و 2 من أجل  $2.5 > T > 0.5$

## 3. نموذج التحميل الموافق للنمط الأول من الاهتزاز (FLP) First Mode Load Pattern

$$f = M \{ \varphi \} \quad (13 - 2)$$

$f$ : معامل القوى الأفقية.

$\{ \varphi \}$ : شعاع النمط الأول للاهتزاز.

$M$ : مصفوفة الكتلة للمنشأ متعدد درجة الحرية.

$$f_i = m_i \varphi_i \quad (14 - 2)$$

$m_i$ : قساوة الطابق  $i$ .

$\varphi_i$ : المكون الموافق للطابق  $i$  في شعاع النمط الاول للاهتزاز.

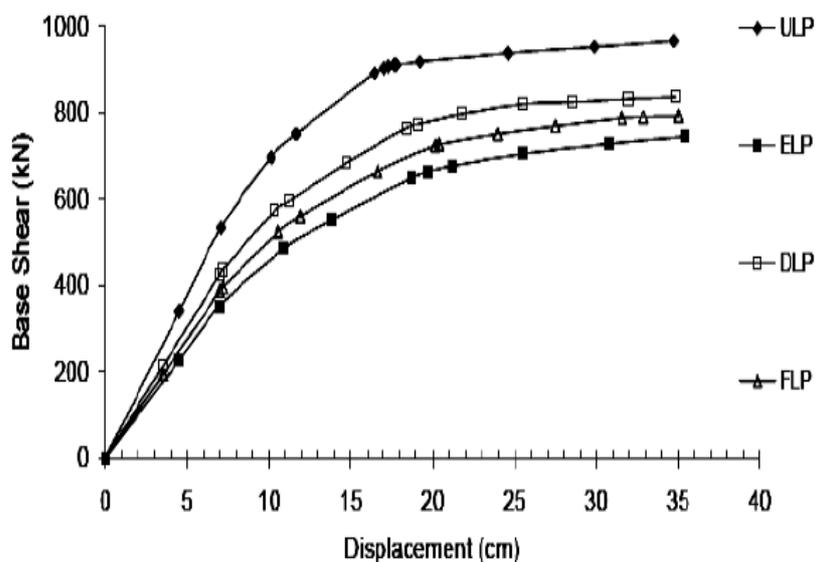
## 4. نموذج التحميل المعدل عن النمط الأول للاهتزاز (DLP) Deformed First Mode Load Pattern

$$f_i = m_i \varphi_{Di} \quad (15 - 2)$$

$m_i$ : قساوة الطابق  $i$ .

$\varphi_{Di}$ : المكون الموافق للطابق  $i$  في شعاع النمط الاول للاهتزاز المعدل بحيث يأخذ بالاعتبار حالة التشوه الأعظمية.

قارن الباحث بين المخططات التي حصل عليها نتيجة إجراء التحليل بالدفع المتزايد والنتيجة عن كل من نماذج التحميل الأربعة بين بعضها. يبيّن الشكل (26-2) مقارنة منحنيات الاستطاعة الناتجة عن كل من نماذج التحميل المختلفة عند إجراء التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد، وجد الباحث أن منحنيات الدفع المتزايد لنماذج التحميل المختلفة كانت قريبة من بعضها في المجال المرن للتشوهات، في حين أصبحت الاختلافات بينها أكثر وضوحاً لأجل المجال اللامرن للتشوهات، كما يمكن ملاحظة أن الخضوع وفق النموذج ELP قابل أقل قيمة للقصر القاعدي، في حين أن القيمة الأعظمية للقصر القاعدي كانت وفق النموذج ULP.

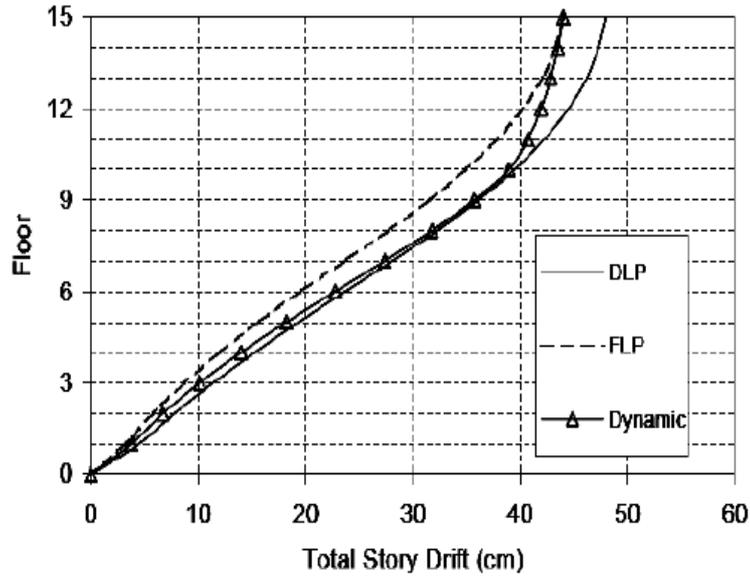


الشكل (26-2): منحنيات الدفع المتزايد لأجل المنشأ 15 طابق من البيتون المسلح المدروس (Abd-Alla, 2007)

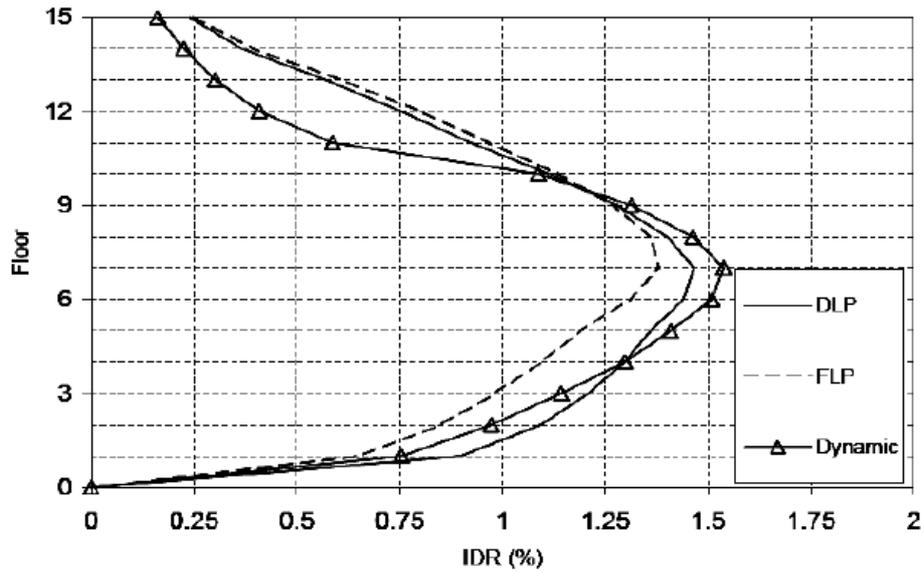
يبيّن الشكل (27-2) الإزاحات الطابقية الكلية الناتجة عن تحليل الدفع المتزايد بتطبيق نموذجي التحميل ELP, DLP بالمقارنة مع القيم الناتجة عن التحليل الديناميكي باستخدام السجل الزمني لزلزال Elcentro، حيث يمكن ملاحظة تقارب في قيمة الانتقال الهدف الناتجة عن تحليل الدفع المتزايد بالمقارنة مع قيمة إزاحة السقف الناتجة عن تحليل السجل الزمني، فمثلاً من أجل المبنى ذي 15 طابقاً من البيتون المسلح وجد الباحث أن الفرق بينهما كان 12% لأجل نموذج التحميل DLP.

بينما يوضح الشكل (28-2) نسب الإزاحة الداخلية الطابقية للمنشأ 15 طابق من البيتون المسلح الناتجة عن تطبيق التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد لأجل نموذجي التحميل ELP, DLP ومقارنتها بنتائج التحليل الديناميكي باستخدام السجل الزمني لزلزال Elcentro. تم حساب نسبة الإزاحة الطابقية الداخلية وفق العلاقة:

$$IDR = (\Delta_i - \Delta_{i-1}) / h_i \quad (16 - 2)$$



الشكل (27-2): الازاحة الطابقية الكلية الناتجة عن POA وتحليل السجل الزمني لزلزال Elcentro للمنشأ 15 طابق (Abd-Alla,2007)

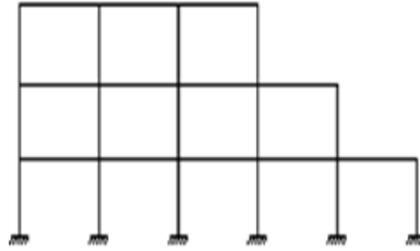


الشكل (28-2): قيم IDR الناتجة عن تحليلي POA وتحليل السجل الزمني لزلزال Elcentro للمنشأ 15 طابق (Abd-Alla,2007)

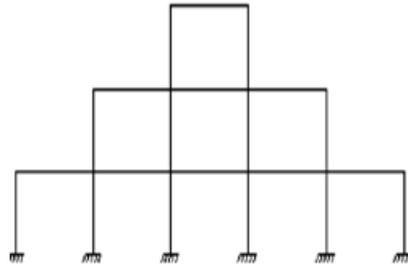
أكد الباحث دقة النتائج العددية التي حصل عليها من الدراسة المطبقة على الأبنية البيتونية المسلحة، متعددة الطوابق، واعتبارها مقبولة لأجل التصميم المكتبي اليومي وخاصة لمخططات استطاعة القص القاعدي. الازاحات الداخلية، نسب الازاحة الطابقية الداخلية. وأن منحنيات الدفع الناتجة عن التحليل بالدفع المتزايد تعطي وصفاً جيداً للعلاقة اللاخطية بين انتقال السقف العلوي والقص القاعدي لأجل الأبنية البيتونية المسلحة مرتفعة الدور، كما يعتمد ذلك أيضاً على نموذج التحميل المطبق عند اجراء التحليل بالدفع المتزايد.

تناول البحث دراسة تأثير عدم الانتظام على مقاومة الأبنية البيتونية المسلحة للزلازل, تم في هذا البحث دراسة أربعة أبنية اطارية من البيتون المسلح, من النوع العادي المقاوم للعزوم OMRF, بارتفاع ثلاثة طوابق, تختلف بشكل عدم الانتظام, وجميعها تحوي عدم انتظام في المسقط الرأسي(الفقرة 3.1), الارتفاع الطابقى 3 م, عرض المجاز 5م.

يبين الشكل(29-2) حالات عدم الانتظام في المسقط الرأسي المدروسة, حيث يمثل الشكل(29-2a) حالة عدم الانتظام في المسقط الرأسي يتراجع فيها الطابق العلوي 40% والطابق الأوسط 20% - من جهة واحدة, بينما الشكل(29-2b) فإن حالة عدم انتظام في المسقط الرأسي تظهر بتراجع في الطابق العلوي 40% والطابق الأوسط 20% - من الجهتين, بينما في الشكل(29-2c) فإن حالة عدم انتظام في المسقط الرأسي تتمثل بتراجع في الطابقين العلويين 20%- من الجهتين, بينما يعبر الشكل(29-2d) عن حالة عدم انتظام في المسقط الرأسي- تراجع في الطابق العلوي 10% والطابقين السفليين 20% - من الجهتين.



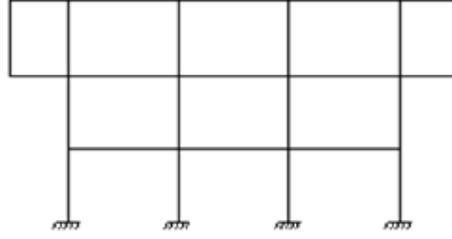
(a) تراجع في الطابق العلوي 40% والطابق الأوسط 20% - من جهة واحدة



(b) تراجع في الطابق العلوي 40% والطابق الأوسط 20% - من الجهتين



(c) تراجع في الطابقين العلويين 20% - من الجهتين



(d) تراجع في الطابق العلوي 10% والطابقين السفليين 20% - من الجهتين

الشكل (29-2) : حالات عدم الانتظام في المسقط الرأسي المدروسة (Ravikumar. etal , 2012)

يبين الجدول (7-2) قيم الانتقالات بالاتجاهين X,Y وقوة القص القاعدي بالاتجاهين, ومستوى الأداء للاطارات الأربعة المدروسة. تظهر النتائج أن الطلب الزلزالي يتغير بشكل كبير بتغير شكل انتظام المنشأ فنجد الفرق في الانتقال بين a,d بحدود 19%, وبين a,c بحدود 25.6%, بينما الفرق بين a,b بحدود 28.4%, أما التغير في استطاعة المنشأ يكون بنسبة أقل من التغير في قيمة الانتقال فنجد الفرق بين قوة القص القاعدي لحالة a,d بحدود 9%, بينما الفرق بين a,c بحدود 0%, وبين a,b بحدود 4%, في حين لم يتغير مستوى أداء المنشأ بتغير شكل البناء فنجد أن مستوى الأداء لجميع المنشآت السابقة هو بين الحفاظ على الحياة (LS) ومنع الإنهيار (CP).

الجدول (7-2): قيم الانتقالات وقوة القص القاعدي بالاتجاهين X,Y ومستوى الأداء (Ravikumar. etal , 2012)

Models	Displacement in mm	Base Shear in kN	Performance level	Displacement in mm	Base Shear in kN	Performance level
direction	X-direction			Y-direction		
Model - a	105.4	3191.8	LS-CP	94.6	3953.1	LS-CP
Model - b	100.9	2870.7	LS-CP	73.7	3729.2	LS-CP
Model - c	105.1	2815.8	LS-CP	75.3	3777.2	LS-CP
Model - d	115.3	2310.2	CP-C	79.2	3684.1	LS-CP

## الفصل الثالث

### تحليل المباني الإطارية المنتظمة من البيتون المسلح

## Analysis of Regular Reinforced Concrete Frame buildings

### 1.3 مقدمة Introduction

يهدف هذا الفصل إلى استعراض الدراسة التحليلية باستخدام برنامج (SAP2000 , ver ultimate 15.0.1) لسلوك جمل إطارية منتظمة من البيتون المسلح ومختلفة الدور.

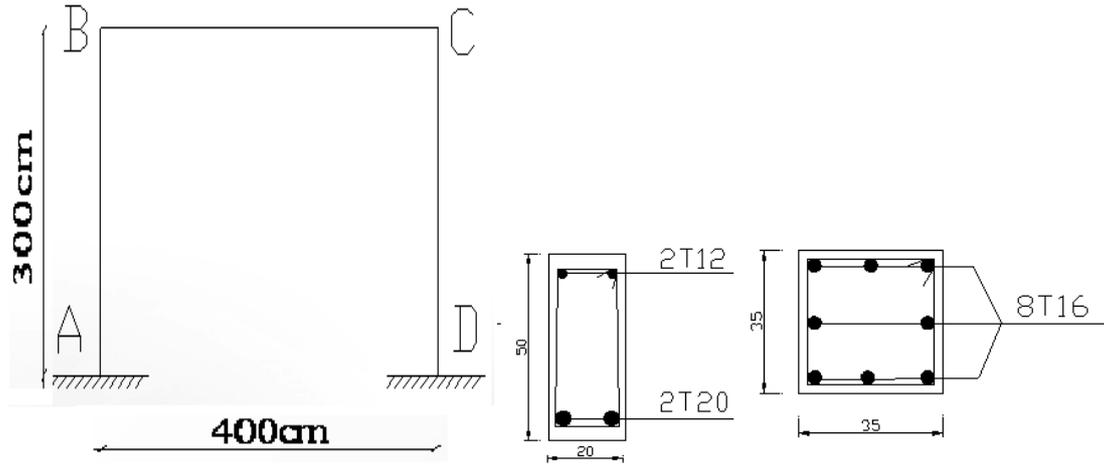
تم في هذا الفصل إجراء التحليل العددي باستخدام طريقة العناصر المحدودة ( Finite Element Method ) و استخدم التحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة ( Materially Non- Linear Analysis , MNA ) باستخدام طريقة التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد (POA)، كما تم إعادة تحليل المنشآت تحليلاً ديناميكياً باستخدام طريقة طيف الاستجابة (RSA).

يحتوي هذا الفصل توصيفاً للنموذج المعتمد في التحليل، ثم خطوات التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة، و أخيراً نتائج الدراسة التحليلية في تحديد الحدود الممكنة لاستخدام التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد للمنشآت الإطارية المنتظمة، من حيث تحديد ميكانيكية الانهيار والانتقالات الناتجة .

### 2.3 دراسة منشأ قصير الدور من طابق واحد:

#### 1.2.3 توصيف النموذج Model Description

يبين الشكل (1-3) النموذج المدروس وهو عبارة عن إطار بيتوني وحيد الفتحة من طابق واحد. ارتفاع الإطار البيتوني (H=300 cm) و مجازه بين محاور الأعمدة (L=400cm)، أبعاد المقطع العرضي للعمود (35X35 cm)، تسليح عناصر الإطار البيتوني للنموذج المدروس موضح في الشكل (1-3) حيث التسليح الطولي للعمود 8T16 و التسليح العرضي 10ø8/m'، أما أبعاد المقطع العرضي للجائز فهي (50X20 cm) وكل من التسليح الطولي للجائز العلوي 2T12 و السفلي 2T20 أما تسليحه العرضي فهو 10ø8/m'.



الشكل (1-3): الأبعاد الإنشائية للنموذج قصير الدور – طابق واحد وأبعاد المقاطع المستخدمة (الدراسة الحالية)

### 2.2.3 التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

#### Structural Analysis Using Finite Elements Method (FEM)

تم استعمال العنصر **Frame** في المستوي لتوصيف عناصر الاطار من البيتون المسلح، وهو عنصر خطي بعقدتين ولكل عقدة ثلاث درجات حرية (انتقالين ودوران).

تم اعتماد شروط الاستناد : وثيقة تامة لجميع العقد عند نقاط استناد أعمدة الإطار البيتوني مع القاعدة .

مواصفات المواد المستخدمة:

الفولاذ:  $E_{steel}=200 \text{ GPa}$  ,  $f_y=400 \text{ N/mm}^2$  للتسليح الطولي,  $f_y=240 \text{ N/mm}^2$  للتسليح العرضي.

البيتون:  $f_c=25 \text{ MPa}$  ,  $E_{concrete}=25 \text{ GPa}$  ,  $\gamma_{concrete}=25 \text{ KN/m}^3$

#### 1.2.2.3 الأحمال المطبقة على النموذج Loads applied to the Model

لم يتم تطبيق حمولة حية (Live Load) او حمولة ميتة (Dead Load) في هذا النموذج لنتمكن من تقييم نتائج التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد فقط، دون وجود تأثيرات اخرى، ومقارنة النتائج بالقيم الحدية وفقاً للكود العربي السوري (2004) , ومقارنة نتائج هذا التحليل مع النتائج التي سنحصل عليها باستخدام التحليل الديناميكي بطريقة طيف الاستجابة .

#### Modeling of Plastic Hinges

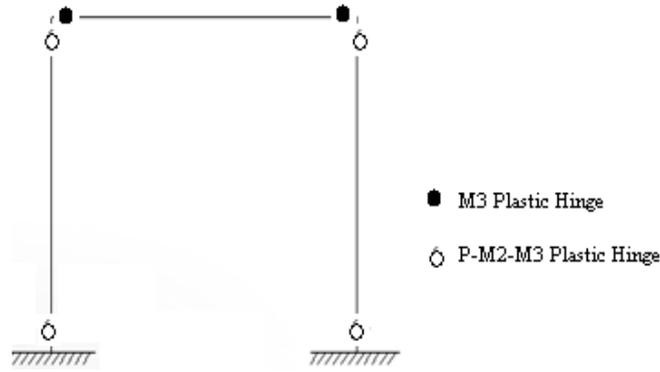
#### 2.2.2.3 توصيف نمذجة المفاصل اللدنة

تمت نمذجة المفاصل اللدنة في عناصر المنشأ المدروس باستخدام برنامج (SAP2000 (Ver Ultimate 15.0.1), حيث تم تحديدها في نهايات العناصر (الأعمدة والجوائز), باستخدام نوعين من المفاصل اللدنة:

(1) المفاصل اللدنة في العناصر الأفقية (الجوائز) من نوع: M3 أي أن المفصل اللدن يتشكل نتيجة عزم الانعطاف حول المحور المحلي (3) (FEMA 356,2000).

(2) المفاصل اللدنة في العناصر الشاقولية (الأعمدة) من نوع: P-M2- M3 أي أن المفصل اللدن يتشكل نتيجة القوة المحورية وعزمي الانعطاف حول المحورين المحليين 2,3.

يبين الشكل (2-3) النموذج النهائي المدروس وفق برنامج (SAP2000 (Ver Ultimate 15.0.1), حيث يظهر في الشكل الإطار البيتوني, أماكن توضع المفاصل اللدنة ونوعها.



الشكل (2-3): توضع المفاصل اللدنة على النموذج ونوعها وفق البرنامج (SAP2000–Ultimate Ver 15.0.1) (الدراسة الحالية)

### Dynamic and Static Analysis

### 3.2.2.3 تحليل المنشأ ستاتيكيًا و ديناميكيًا

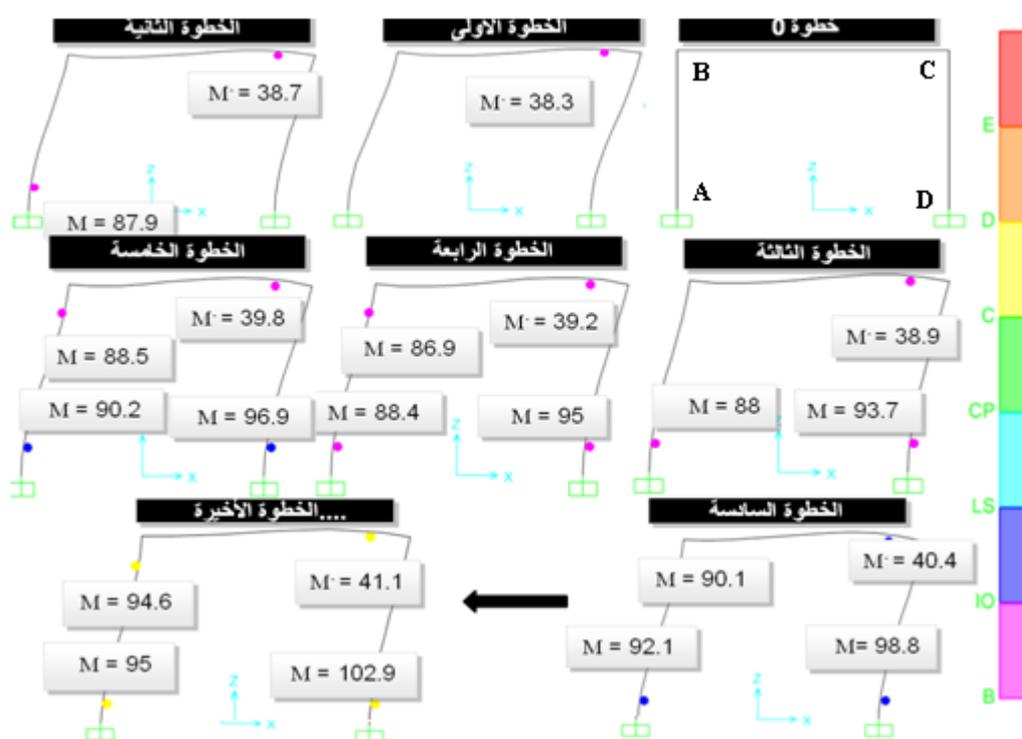
تم اعتماد تحليل لاخطي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة (Materially non-linear analysis) لحالة التحليل الستاتيكي بالدفع المتزايد. كما تم اعتبار المادة خطية مرنة (Linear Elastic Analysis) عند استخدام التحليل الديناميكي وفق طريقة طيف الاستجابة.

### Static Structural Analysis using POA

### A. تحليل المنشأ ستاتيكيًا باستخدام تحليل الدفع المتزايد

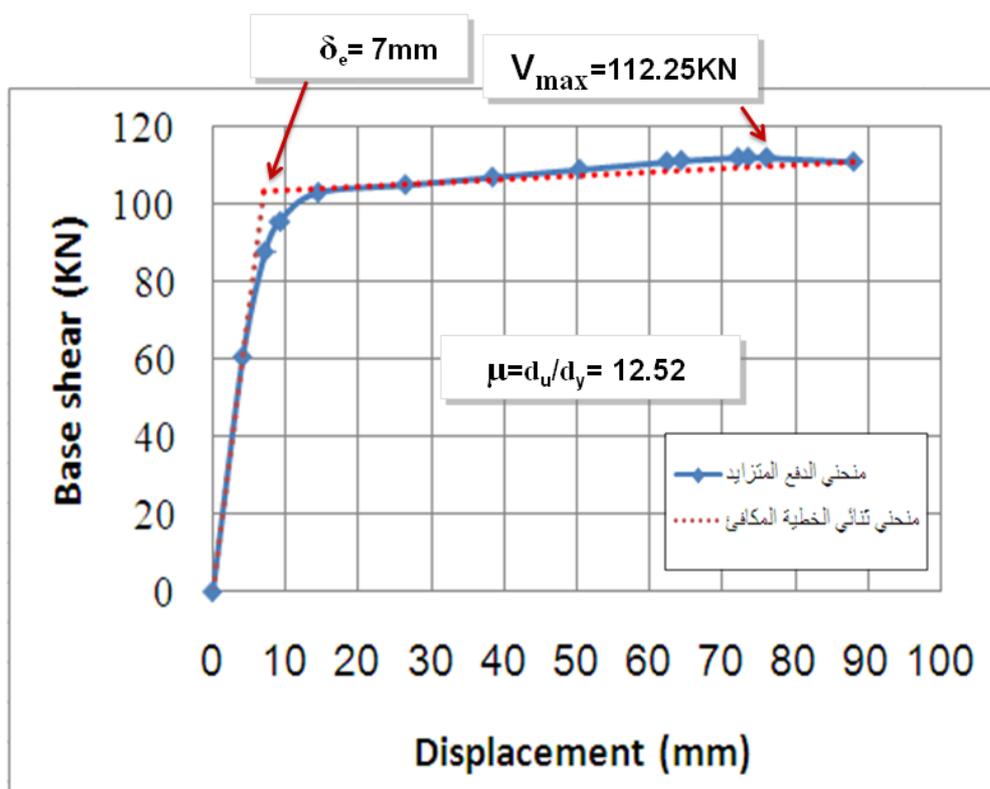
يبين الشكل (3-3) مراحل التحليل بالدفع المتزايد من حيث أماكن تشكل المفاصل اللدنة مع زيادة قيمة قوة الدفع تدريجياً ونوع هذه المفاصل، وقيم العزوم التي نتجت في العناصر.

نلاحظ تشكل أول مفصل لدن في الجائز في الجهة اليمنى نتيجة وصول قيمة العزم في الجائز الى قيمة تحمل العنصر القصوى على العزم السالب، وبالتالي تعتبر العقدة C (الشكل 3-3) قد وصلت لطاقتها القصوى. ومع زيادة الحمل الأفقي تدريجياً يتشكل المفصل الثاني في أسفل العمود اليساري نتيجة وصول العزم في هذا العمود لقيمة تحمل المقطع القصوى، وبالتالي تعتبر العقدة A (الشكل 3-3) قد وصلت لطاقتها القصوى، ومع استمرار زيادة قيمة الحمل الأفقي يتشكل المفصل اللدن في أسفل العمود اليميني لوصول العنصر لعزم تحمله الأقصى، وبالتالي تعتبر العقدة D (الشكل 3-3) قد وصلت لطاقتها القصوى، وباستمرار زيادة قيمة الحمل الأفقي يتشكل المفصل اللدن في أعلى العمود اليساري، وبالتالي تعتبر العقدة B (الشكل 3-3) قد وصلت لطاقتها القصوى، إن استمرار زيادة الحمل الأفقي بعد هذه المرحلة سيؤدي لدخول بعض المفاصل اللدنة المتشكلة سابقاً في مستوى أعلى (الفقرة 2.4.4)، ولن يؤدي لتشكيل مفاصل لدنة اضافية، بسبب تشكل ميكانيكية انهيار لدن للمنشأ، مع تحول المفصل في العقدة A وD من المستوى B-IO إلى IO-LS، وهكذا حتى حصول الانهيار التام في الخطوة الأخيرة وتوقف التحليل عند وصول جميع المفاصل اللدنة لمستوى C-D.



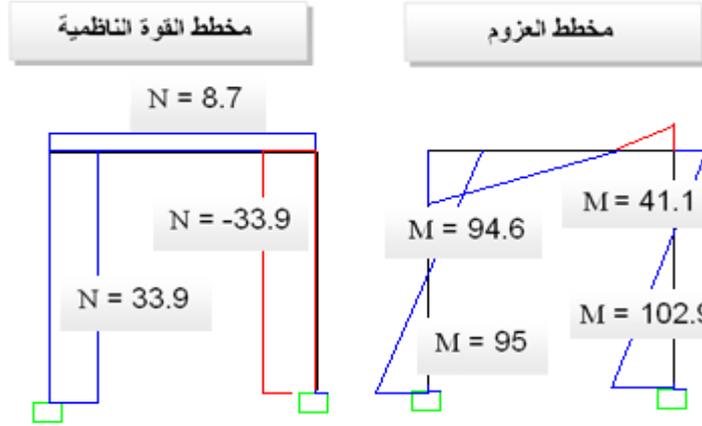
الشكل (3-3): مراحل تحليل POA وأماكن تشكل المفاصل اللدنة المتشكلة وحالتها وقيم العزوم الناتجة (الدراسة الحالية)

يبين الشكل (3-4) منحنى الدفع المتزايد بدلالة الانتقال في أعلى المنشأ (المحور الأفقي) - القص القاعدي (المحور الشاقولي). يبين الخط المنقط تحويل منحنى الاستطاعة الى شكل ثنائي الخطية (الشكل 2-11). يظهر الشكل أن قساوة المنشأ ثابتة (k=14.86 KN/mm) حتى الوصول الى انتقال مقدارها (δ<sub>e</sub>=7mm), ومن ثم يحدث ثبات تقريبي لقوة القص القاعدي حتى الوصول الى قيمة أعظمية مقدارها (112.25 KN) وانتقال مقابل (76mm), بعد ذلك تنخفض القوة بشكل طفيف حتى انتقال أعظمي مقدارها (89mm) نتيجة تشكل ميكانيكية انهيار في الاطار وتشكل جميع المفاصل اللدنة الممكنة فيه, ووصول جميع المفاصل اللدنة لمستوى C-D. وفق العلاقة (2 - 10) فإن مطاوعة الإطار μ<sub>d</sub>=12.52 وهي أكبر من (3) (الشكل 2-20) وبالتالي فالمنشأ مطاوع بشكل كبير.



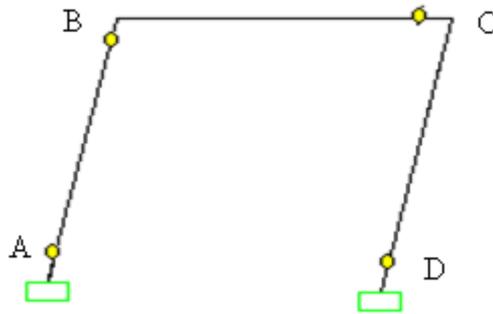
الشكل (3-4): مخطط الدفع المتزايد الناتج عن التحليل الساتاتيكي اللاخطي للمنشأ طابق واحد (الدراسة الحالية)

يبين الشكل (3-5) مخططات العزوم والقوى المحورية الناتجة في عناصر الإطار المدروس, والموافقة للخطوة الاخيرة لتحليل الدفع المتزايد. يمكن ملاحظة الاختلاف في قيمة العزم المؤدية لتشكل المفاصل اللدنة بين عمودي المنشأ المدروس, لاختلاف نوع القوة المحورية الناتجة في الأعمدة بين الشد والضغط, وبالتالي اختلاف قدرة تحمل المقطع.



الشكل (5-3): مخططات العزم والقوة المحورية الناتجة عن التحليل الستاتيكي للاخطي للمنشأ - طابق واحد (الدراسة الحالية)

كما يبين الشكل (6-3) مكان تشكل المفاصل في الإطار, حيث تشكلت المفاصل اللدنة في الأعمدة عند العقد A, B, D, بينما تشكل المفصل في الجائز عند العقدة C بسبب عدم كفاية التسليح العلوي للجائز.



الشكل (6-3): أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمنشأ طابق واحد وفق تحليل POA (الدراسة الحالية)

### B. مقارنة نتائج التحليل بالدفع المتزايد مع الكود العربي السوري 2004

تم استخدام علاقات (الكود العربي السوري, 2004), لايجاد قيم العزوم الحدية في عناصر المنشأ السابق (العلاقات من 1-3 حتى 5-3). يبين الجدول (1-3) قيم العزم الحدي الناتج في عناصر المنشأ بطابق واحد المدروس, وفقاً لتحليل الدفع المتزايد مقارنة مع (الكود العربي السوري, 2004), ونسب الفروق بينهما, كما يبين مكان انهيار العنصر (جائز أو عمود), حيث يمكن ملاحظة أن الفروق لم تتجاوز بالحالة القصوى 10% بين الطريقتين مما يدل على صحة النمذجة والنتائج التي تم الحصول عليها.

- في حالة الانحناء البسيط :
- العلاقات الأساسية المستخدمة في تصميم وتحقيق القطاعات المستطيلة ثنائية التسليح

يُحدد العزم المقاوم من العلاقة التالية:

$$M_u = \Omega \left[ \frac{A_s - A'_s}{b.d} \left( 1 - 0.59 \left( \frac{A_s - A'_s}{b.d} \right) \frac{f_y}{f'_c} \right) + \frac{A'_s}{bd} (1 - \beta) \right] f_y b d^2 \quad (1-3)$$

$$\frac{A_s - A'_s}{b.d} \geq \frac{0.85 f'_c \cdot d'}{f_y \cdot d} \cdot \frac{535}{630 - f_y} \quad (2-3)$$

$$\left( \frac{A_s - A'_s}{b.d} \geq \frac{0.85 f'_c \cdot d'}{f_y \cdot d} \cdot \frac{5350}{6300 - f_y} \right) \text{ وفي النظام المتري} \quad (3-3)$$

- العلاقات الأساسية للحساب في حالة الضغط اللامركزي
- حالة قطاع متناظر مسلح بتسليح موزع على محيطه

$$N_{ur} = \Omega \left[ 0.85 \cdot f'_c \cdot A'_c + \sum A_{si} \cdot f_{si} \right] \quad (4-3)$$

$$M_{ur} = N_{ur} \cdot e = \Omega \left[ 0.85 \cdot f'_c \cdot A'_c \cdot \eta_c + \sum f_{si} \cdot A_{si} \cdot \eta_{si} \right] \quad (5-3)$$

حيث:  $N_{ur}$  قوة الضغط الحديدية القصوى التي يمكن للقطاع تحملها، والمرافقة للعزم  $M_u$ .

$M_{ur}$  العزم الحدي الأقصى الذي يمكن للقطاع تحمله، والمرافق للقوة  $N_{ur}$ .

الجدول (1-3): قيم العزم الحدي وفق POA والكود السوري ونسبة الفرق للمنشأ - طابق واحد (الدراسة الحالية)

العقدة	مكان الانهيار		العزم الحدي POA (sap,2000)	العزم الحدي (الكود العربي السوري, 2004)	نسبة الفرق
	الجائز	العمود			
A	✗	✓	95	87.9	8%
B	✗	✓	94.6	87.9	7.6%
C	✓	✗	41.1	38.4	7%
D	✗	✓	102.9	93.7	9.8%

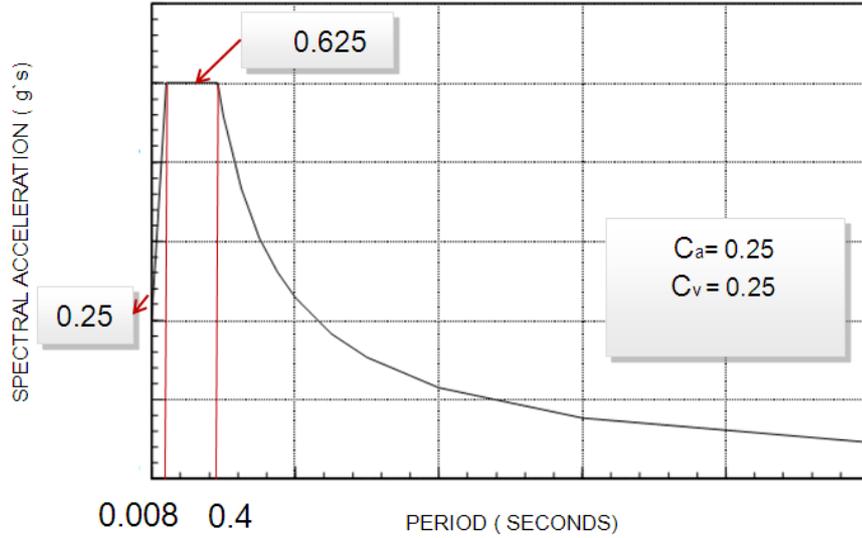
### C. تحليل المنشأ ديناميكياً باستخدام طيف الاستجابة

**Dynamic Strutral Analysis using RSA** يبين الشكل (7-3) منحنى طيف الاستجابة (الشكل 2-17)

المستخدم في التحليل الديناميكي للمنشأ الإطاري بطابق واحد المدروس، بأخذ القيم التالية لعوامل الموقع الزلزالية:

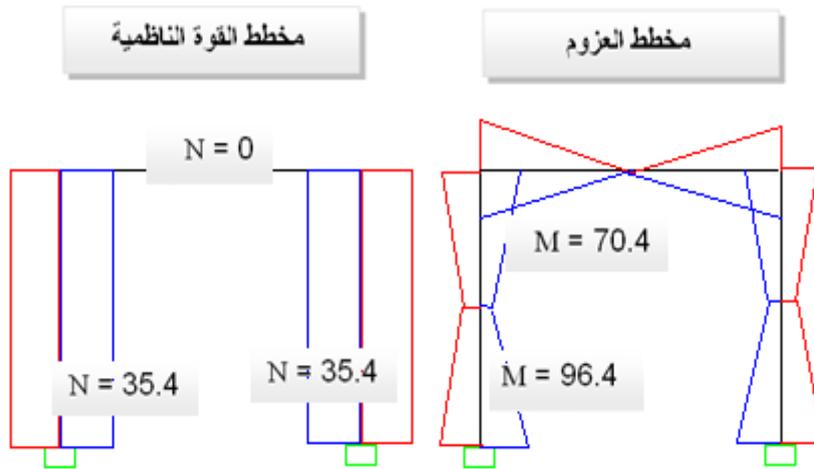
$C_v = C_a = 0.25$ ، حيث تم فرض أن نموذج مقطع التربة من النوع SB ومعامل المنطقة الزلزالية  $Z=0.25$  (الكود العربي

السوري- الملحق 2، 2005).



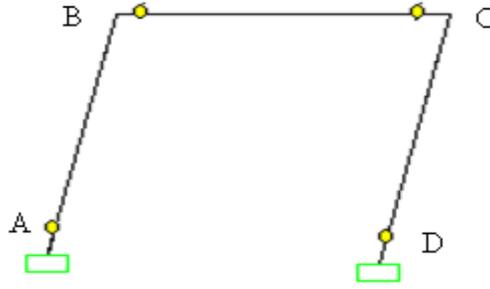
الشكل (7-3): منحنى طيف الاستجابة المستخدم في التحليل الديناميكي (الدراسة الحالية)

تمت معايرة طيف الاستجابة على قوة القص القاعدية الأعظمية (112 KN) الناتجة عن تحليل الدفع المتزايد المطبق على المنشأ الإطاري بطابق واحد المدروس (الشكل 4-3). يبين الشكل (8-3) مغلقات العزوم والقوى المحورية وقيمها الناتجة عن تحليل طيف الاستجابة.



الشكل (8-3): مغلقات العزوم والقوى المحورية الناتجة عن تحليل RSA للمنشأ - طابق واحد (الدراسة الحالية)

كما يبين الشكل (9-3) مكان انهيار العناصر في منشأ - طابق واحد المدروس. يمكن ملاحظة أن المفاصل في العقدتين B و C قد تشكلت في الجائز على العزم السالب نتيجة تجاوز قيمة العزم السالب المتشكل في جائز الإطار للقيمة الحدية لتحمل مقطع العنصر على العزم السالب بسبب عدم كفاية التسليح العلوي.



الشكل (9-3): أماكن انهيار مقاومة العناصر للمنشأ طابق واحد وفق تحليل RSA (الدراسة الحالية)

### D. مقارنة نتائج التحليل بطيف الاستجابة مع الكود العربي السوري 2004

يبين الجدول (2-3) قيم العزم الحدية في مقاطع عناصر المنشأ الإطاري بطابق واحد المدروس والنتيجة عن تحليل طيف الاستجابة بالمقارنة مع القيم الحدية للعزم وفق (الكود العربي السوري، 2004)، ونسبة الفرق بينهما، وأماكن انهيار العقد (جائز أو عمود). يمكن ملاحظة وصول الفرق إلى 83% في العقدتين B و C بسبب اعتماد التحليل المرن بطريقة طيف الاستجابة وبالتالي تجاوز العزم الناتج للعزم المقاوم الحدي (العزم اللدن)، بينما كان الفرق أقل من 10% من أجل العقد A و C.

الجدول (2-3): قيم العزم الحدي وفق RSA والكود السوري ونسبة الفرق للمنشأ - طابق واحد (الدراسة الحالية)

العقدة	مكان الانهيار		العزم الحدي RSA (sap2000)	العزم الحدي (الكود العربي السوري، 2004)	نسبة الفرق
	الجائز	العمود			
A	✗	✓	96.4	89	10%
B	✓	✗	70.4	38.4	83%
C	✓	✗	70.4	38.4	83%
D	✗	✓	96.4	93.7	3%

### E. مقارنة نتائج التحليل بالدفع المتزايد مع التحليل بطيف الاستجابة

بأخذ نقاط الانهيار الناتجة عن تحليل الدفع المتزايد بشكل متناظر، باعتبار أن الهزة تحدث ذهاباً وإياباً، يبيّن الجدول (3-3) تماثلاً في أماكن انهيار عقد الإطار بطابق واحد المدروس وفق طريقتي التحليل (بالدفع المتزايد- طيف الاستجابة)، كما تظهر تقارب (الفروق أقل من 10%) بقيم العزم الحدي في مقاطع الأعمدة وفقاً لطريقتي التحليل بينما ظهر اختلاف كبير بين قيم العزم الناتجة عن التحليلين السابقين في مقطع الجائز (الفرق بحدود 42%). نعل ذلك كون التحليل بالدفع المتزايد يأخذ

بعين الاعتبار لاختية المادة , بينما تعتبر طريقة طيف الاستجابة سلوك المادة خطياً مرناً وبالتالي فإن العزم وفق طريقة طيف الاستجابة يستمر بالزيادة دون حد أعظمي.

الجدول (3-3):مقارنة بين قيم العزم الحدي وفق POA و RSA والنسبة بينهما للمنشأ - طابق واحد (الدراسة الحالية)

العقدة	مكان الانهيار وفق RSA		مكان الانهيار وفق POA		العزم الحدي POA (sap,20 00)	العزم الحدي RSA (sap20 00)	$\frac{\text{Mu}_{\text{POA}}}{\text{Mu}_{\text{RSA}}}$
	الجائز	العمود	الجائز	العمود			
A	✗	✓	✗	✓	95	96.4	0.99
B	✓	✗	✓	✗	41.1	70.4	0.58
C	✓	✗	✓	✗	41.1	70.4	0.58
D	✗	✓	✗	✓	102.9	96.4	1.07

يبين الجدول (4-3) المقارنة بين قيم الانتقال في اعلى المنشأ الإطاري بطابق واحد المدروس, وذلك عند نهاية مرحلة المرونة والنتيجة عن كل من تحليلي الدفع المتزايد وطيف الاستجابة, حيث نجد أن الفرق لايزيد عن 1mm أي مايعادل 12% فقط وهي نسبة مقبولة .

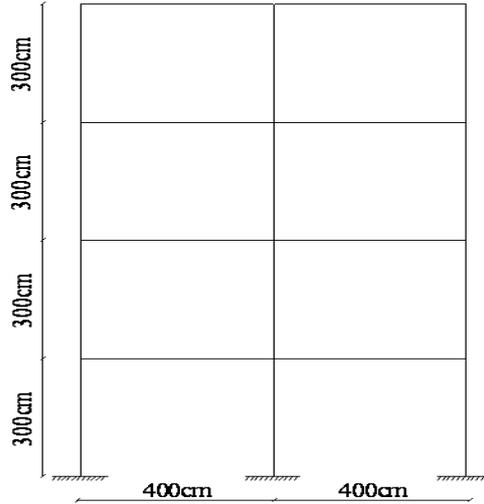
الجدول(4-3):قيم الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشأ طابق واحد المدروس(الدراسة الحالية)

رقم الطابق	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق POA (mm)	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق RSA (mm)	$\Delta_{\text{POA}}/\Delta_{\text{RSA}}$
1	7	8	0.88

### 3.3 دراسة منشأ قصير الدور- منتظم (4 طوابق):

#### 1.3.3 توصيف النموذج

يبين الشكل(3-10) النموذج المدروس (منشأ قصير الدور - 4 طوابق) وهو عبارة عن منشأ بفتحيتين من 4 طوابق، الارتفاع الطابقي (H=300 cm) و المجاز بين محاور الأعمدة (L=400cm).



الشكل (10-3): الأبعاد الإنشائية للنموذج قصير الدور- 4 طوابق المدروس (الدراسة الحالية)

يوضح الجدول (5-3) أبعاد مقاطع الأعمدة المستخدمة للمنشأ السابق، وتسليحه الطولي والعرضي، كما يوضح أبعاد مقاطع الجوائز المستخدمة وتسليحه العلوي والسفلي.

الجدول(5-3): أبعاد وتسليح مقاطع الجوائز والأعمدة المستخدمة للنموذج قصير الدور- 4 طوابق المدروس(الدراسة الحالية)

رقم الطابق	الأعمدة			الجوائز		
	الأبعاد (cm)	التسليح الطولي	التسليح العرضي	الأبعاد (cm)	التسليح العلوي	التسليح السفلي
1-2	40X40	8T16	Ø8/10cm	50x20	2T20	3T20
3-4	30x30	8T12	Ø8/10cm			

### 2.3.3 التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

#### Structural Analysis Using Finite Elements Method (FEM)

تم استعمال العنصر **Frame** في المستوي لتوصيف عناصر الاطار من البيتون المسلح، كما ورد في المنشأ قصير الدور- طابق واحد المدروس سابقاً (الفقرة 2.2.3).

تم اعتماد شروط الاستناد ومواصفات المواد المستخدمة كما ورد في المنشأ قصير الدور- طابق واحد المدروس سابقاً(الفقرة 2.2.3).

#### Applied Loads to The Model

#### 1.2.3.3 الأحمال المطبقة على النموذج

**A. الأحمال الشاقولية:** تم تطبيق حمولة حية موزعة بانتظام على الجوائز (Live Load)  $LL=5KN/m$ ، حمولة ميتة

موزعة بانتظام على الجوائز (Dead Load)  $DL=25KN/m$ ، بالإضافة إلى حمولة ميتة مركزة في العقد بقيمة

65KN عند الأعمدة الطرفية، 130KN عند الأعمدة الوسطية ناتجة عن نقل الحمل من الجوائز بالاتجاه المتعامد.

**B. الأحمال الأفقية:** تم تطبيق حمل أفقي تزداد قيمته تدريجياً وفق تحليل الدفع المتزايد أو حمل أفقي ديناميكي وفق تحليل

طيف الاستجابة. تم توزيع قوة الدفع المتزايد على الطوابق وفق العلاقة (6-3) التالية (FEMA-273):

$$F_i = \frac{W_i h_i^K}{\sum W_i h_i^K} V \quad (6-3)$$

حيث:

V قوة القص القاعدية الكلية المطبقة على المنشأ.

$F_i$  قوة الدفع الطابقية عند المنسوب i.

$W_i$  وزن الطابق عند المنسوب i.

$h_i$  ارتفاع المنسوب i من القاعدة.

K معامل يرتبط بدور المنشأ (T) حيث:

K=1 عندما  $T \leq 0.5sec$ .

K=2 عندما  $T \geq 2.5sec$ .

يتم أخذ K بشكل متناسب خطي بين القيمتين 1 و 2 لأجل الأدوار ما بين 0.5sec و 2.5sec.

**C. تركيب الأحمال المستخدم:**

(Martino,2009)  $DL+0.27 LL+ Vseismic$

من أجل تحليل الدفع المتزايد يتم أخذ  $Vseismic$  بحيث  $Vmax = Vseismic$  الناتجة عن التحليل.

ومعايرة  $Vseismic$  الموافقة لتركيب الأحمال المستخدم في تحليل طيف الاستجابة بنفس قيمة  $Vmax$  الناتجة عن تحليل

الدفع المتزايد.

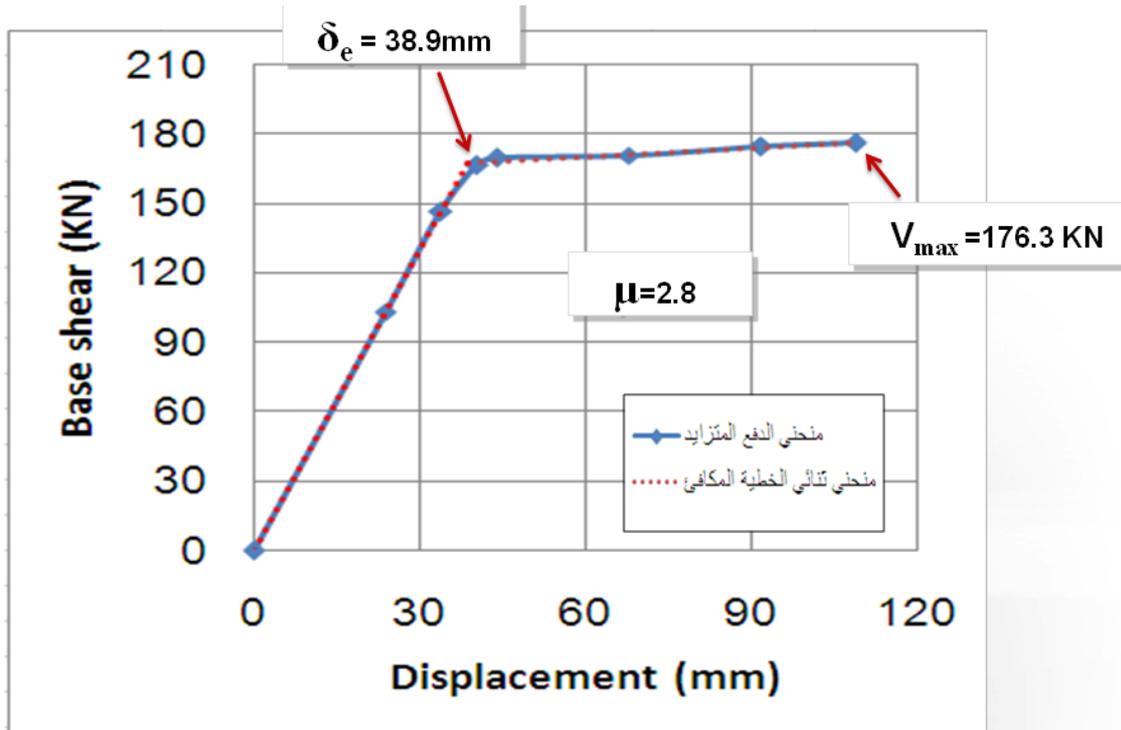
## Dynamic and Static Analysis

## 2.2.3.3 تحليل المنشأ تحليلاً ستاتيكيًا وديناميكيًا

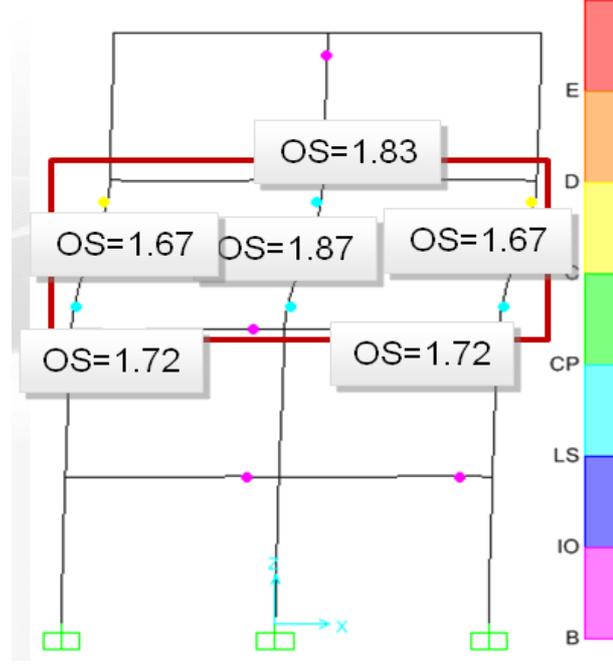
تم اعتماد تحليل لاخطي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة (Materially non-linear analysis) عند استعمال التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد، كما تم اعتماد التحليل الديناميكي بطريقة طيف الاستجابة مع تحليل خطي مرن للمادة.

### A التحليل الإنشائي باستخدام تحليل الدفع المتزايد Static Structural Analysis using POA

يبين الشكل (11-3) منحنى الدفع المتزايد بدلالة الانتقال في أعلى المنشأ (المحور الأفقي) - القص القاعدي (المحور الشاقولي). يبين الخط المنقط تحويل منحنى الاستطاعة الى شكل ثنائي الخطية (الشكل 11-2). يظهر الشكل أن قساوة المنشأ ثابتة (k=4.31KN/mm) حتى الوصول الى انتقال مقداره (δe=38.9mm), ومن ثم تزداد قيمة قوة القص القاعدي بشكل بسيط حتى الوصول الى قيمة أعظمية مقدارها (176.3 KN) وانتقال (109 mm), نتيجة تشكل ميكانيكية انهيار طابقية في الطابق قبل الأخير. تعطى قيمة المطاوعة وفق العلاقة (10-2) بالقيمة  $\mu_d=2.8$ , وبالتالي:  $1.5 < \mu_d < 3$  (الشكل 20-2) أي أن الإطار متوسط المطاوعة.



الشكل (11-3): مخطط الدفع المتزايد الناتج عن التحليل الستاتيكي اللاخطي للمنشأ 4 طوابق المنتظم المدروس (الدراسة الحالية)



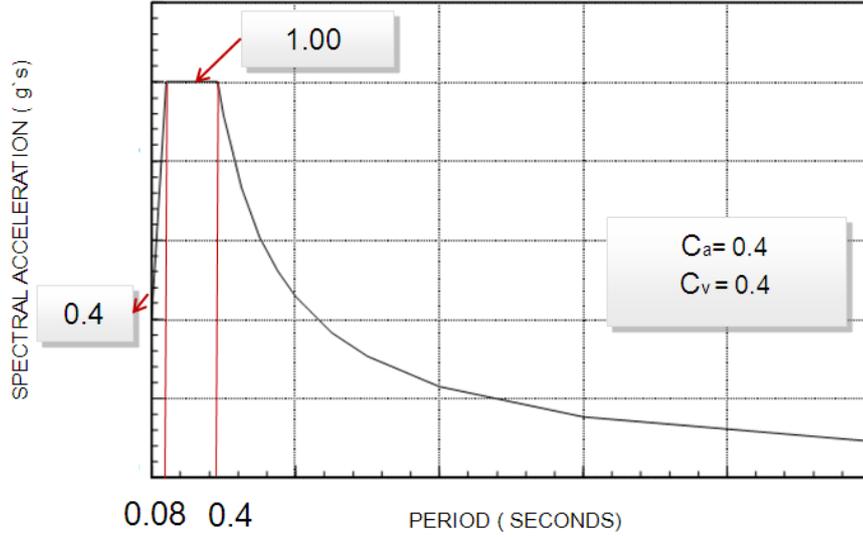
**الشكل (12-3):** أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمنشأ 4 طوابق عند تركيب الأحمال المدروس وفق تحليل الدفع المتزايد (الدراسة الحالية) يبين الشكل (12-3) أماكن تشكل المفاصل اللدنة ونوعها في المنشأ الاطاري 4 طوابق المدروس, والنتيجة عن التحليل بالدفع المتزايد, بنتيجة تركيب الأحمال:  $(V_{max}Sismic) + 1.1 DL + 0.27 LL$ , حيث يوضح الشكل تشكل جميع المفاصل اللدنة لأعمدة الطابق قبل الأخير مع وصول بعضها لحالة الانهيار C-D.

كما يوضح الشكل (12-3) قيم تجاوز المقاومة (Over Strength, OS) لجميع أعمدة الطابق قبل الأخير المنهارة, حيث أن القيمة العظمى لتجاوز المقاومة بلغت  $1.87 = \text{Max}(OS_{POA})$ .

### Dynamic Structural Analysis using RSA

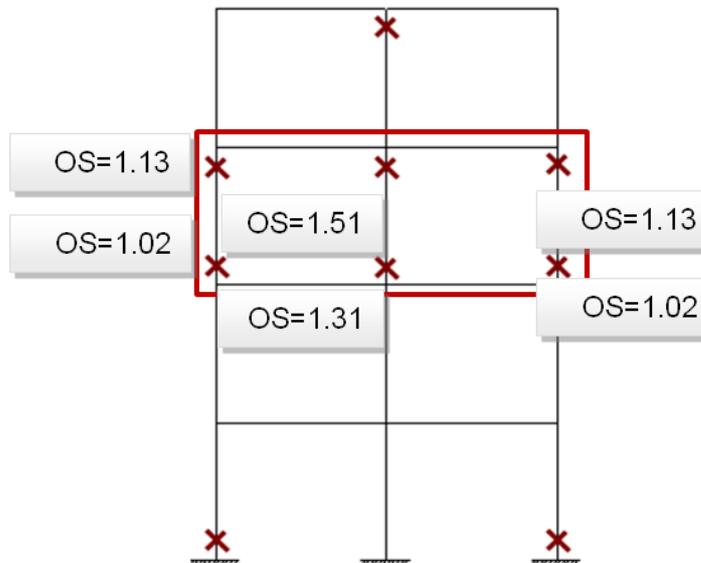
### B التحليل الانشائي باستخدام طيف الاستجابة

يبين الشكل (13-3) منحنى طيف الاستجابة المستخدم في تحليل طيف الاستجابة للمنشأ الإطاري 4 طوابق المدروس, تم استخدام منحنى طيف الاستجابة التصميمي (الشكل 15-2), بأخذ القيم التالية لعوامل الموقع الزلزالية:  $C_v = C_a = 0.4$ , حيث تم الفرض لحالة المباني متعددة الطوابق أن المنطقة الزلزالية هي المنطقة 4 ( $Z=0.4$ ), وأن نموذج المقطع الشاقولي للتربة من النوع SB, وأن نموذج المصدر الزلزالي من النوع C (الكود العربي السوري-الملحق 2، 2005).



الشكل (13-3): منحنى طيف الاستجابة المستخدم في التحليل الديناميكي (الدراسة الحالية)

تمت معايرة طيف الاستجابة على قوة القص القاعدية الأعظمية الناتجة عن تحليل الدفع المتزايد (176.3 KN) المطبق على المنشأ الإطاري 4 طوابق المدروس. يبين الشكل (14-3) أماكن انهيار العناصر في المنشأ الإطاري 4 طوابق المدروس، والناتجة عن التحليل بطيف الاستجابة، بنتيجة تركيب الأحمال (1.1 DL + 0.27 LL + (V<sub>max</sub> Seismic) المستخدم في طريقة الدفع المتزايد، حيث يمكن ملاحظة تشكل ميكانيكية انهيار طبقي في الطابق قبل الأخير، كما يمكن ملاحظة أن القيمة العظمى لتجاوز المقاومة (OS<sub>RSA</sub>) = 1.51.



الشكل (14-3): أماكن انهيار مقاومة العناصر للمنشأ 4 طوابق عند تركيب الأحمال المستخدم وفق RSA (الدراسة الحالية)

**C مقارنة نتائج التحليل بالدفع المتزايد مع التحليل بطيف الاستجابة**

يبين الجدول (6-3) تشكل ميكانيكية انهيار وفقاً لطريقتي التحليل الديناميكي والستاتيكي المستخدمة وذلك للمنشأ الاطاري

المنتظم ذو الدور القصير 4 طوابق المدروس, حيث النسبة  $1.24 = \text{Max}(\text{OS}_{\text{POA}})/\text{Max}(\text{OS}_{\text{RSA}})$ .

الجدول (6-3): احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار للطابق قبل الأخير وقيم تجاوز المقاومة لأعمدة هذا الطابق للمنشأ 4 طوابق (الدراسة الحالية)

4 story	طريقة التحليل	عند تركيب الأحمال المستخدم		
		احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار	Max O/S	$\text{OS}_{\text{POA}}/\text{OS}_{\text{RSA}}$
	POA	✓	1.87	1.24
	RSA	✓	1.51	

يبين الجدول (7-3) قيم الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة وفق تحليل الدفع المتزايد والتحليل بطيف الاستجابة عند أعلى المنشأ. تظهر القيم أن قيمة الانتقال وفق تحليل الدفع المتزايد أكبر من الانتقال الناتج عن التحليل بطيف الاستجابة بحدود (11%).

تعطى القيمة المسموحة للانتقال وفق (UBC,1997) بالعلاقة:

$$\Delta_{\text{all}} = 0.02Z \quad (7-3)$$

حيث Z : ارتفاع المنشأ

وبمقارنة الانتقال الناتج مع القيم المسموحة للانتقال حيث  $Z=12\text{m}$  وبالتالي  $\Delta_{\text{all}}=240\text{ m}$  وبالتالي فإن الانتقالات الناتجة ضمن الحدود المسموحة.

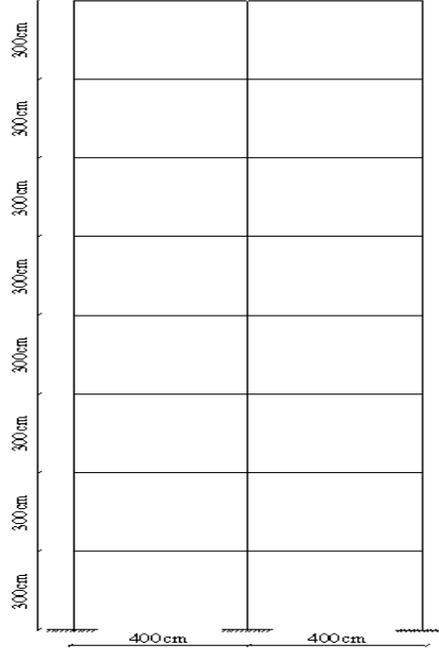
الجدول (7-3): الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشأ 4 طوابق المنتظم المدروس (الدراسة الحالية)

رقم الطابق	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق POA (mm)	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق RSA (mm)	$\Delta_{\text{POA}}/\Delta_{\text{RSA}}$
4	38.9	35.1	1.11

### 4.3 دراسة منشأ متوسط الدور منتظم (8 طوابق):

#### 1.4.3 توصيف النموذج

يبين الشكل (3-15) النموذج المدروس (منشأ متوسط الدور - 8 طوابق) وهو عبارة عن منشأ بفتحتين. 8 طوابق، الارتفاع الطابقي (H=300 cm) و المجازه بين محاور الأعمدة (L=400cm).



الشكل (3-15): الأبعاد الإنشائية للنموذج متوسط الدور - 8 طوابق المدروس (الدراسة الحالية)

يوضح الجدول (3-8) أبعاد مقاطع الأعمدة المستخدمة للمنشأ السابق، وتسليحه الطولي والعرضي، كما يوضح أبعاد مقاطع الجوائز المستخدمة وتسليحه العلوي والسفلي.

الجدول (3-8): أبعاد وتسليح مقاطع الأعمدة والجوائز المستخدمة في المنشأ متوسط الدور - 8 طوابق المدروس (الدراسة الحالية)

رقم الطابق	الأعمدة			الجوائز		
	الأبعاد (cm)	التسليح الطولي	التسليح العرضي	الأبعاد (cm)	التسليح العلوي	التسليح السفلي
1-2	50X50	8T20	Ø8/10cm	50x20	2T20	3T20
3-4	45x45	8T20	Ø8/10cm			
5-6	40X40	8T16	Ø8/10cm			
7-8	30x30	8T12	Ø8/10cm			

### 2.4.3 التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

### Structural Analysis Using Finite Elements Method (FEM)

تم استعمال العنصر **Frame** في المستوي لتوصيف عناصر الاطار من البيتون المسلح، كما تم اعتماد شروط الاستناد ذاتها المستخدمة في نمذجة المنشأ قصير الدور – طابق واحد (الفقرة 2.2.3).

### Loads Applied to The Model

### 1.2.4.3 الأحمال المطبقة على النموذج

تم تطبيق الحمولة الحية والميتة الموزعة بانتظام على الجوائز وباستخدام الأحمال الأفقية وتركيب الأحمال ذاته المستخدم في دراسة المنشأ قصير الدور- 4 طوابق (الفقرة 1.2.3.3) ومعايرة Vseismic الموافقة لتركيب الأحمال المستخدم في تحليل طيف الاستجابة بالطريقة ذاتها المستخدمة في دراسة المنشأ قصير الدور- 4 طوابق (الفقرة 1.2.3.3), بينما طبقت حمولة ميتة مركزة في العقد بقيمة 65KN عند الأعمدة الطرفية, 130KN عند الأعمدة الوسطية ناتجة عن نقل الحمل من الجوائز بالاتجاه المتعامد.

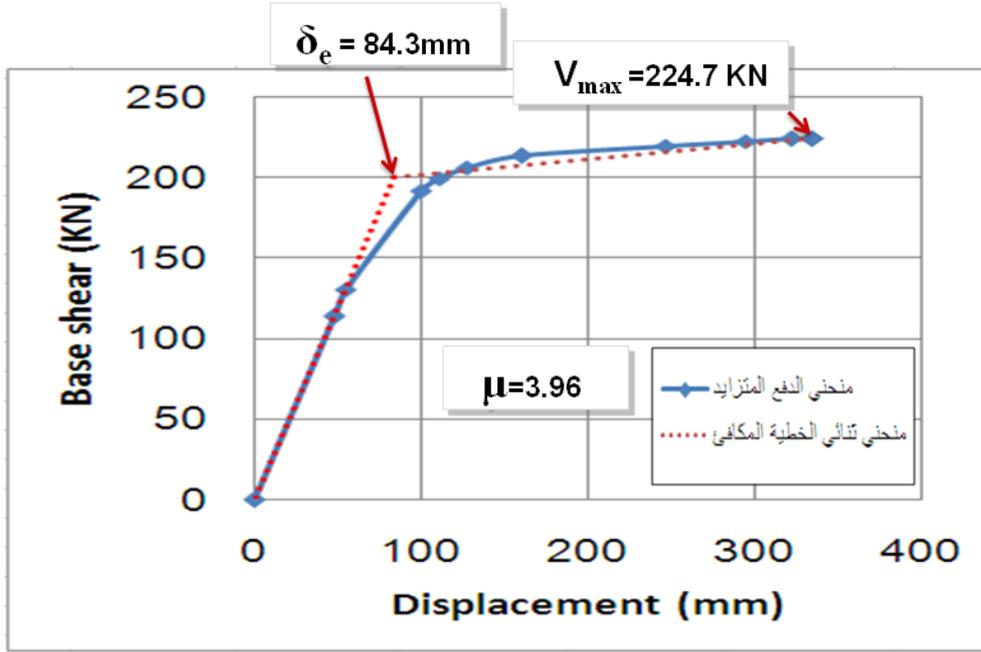
### 2.2.4.3 تحليل المنشأ تحليلاً ستاتيكيًا وديناميكيًا Dynamic and Static Analysis

تم اعتماد تحليل لاخطي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة (Materially non-linear analysis) عند استعمال التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد, كما تم اعتماد التحليل الديناميكي بطريقة طيف الاستجابة واعتبار المادة مرنة خطية.

#### A التحليل الإنشائي باستخدام تحليل الدفع المتزايد Static Structural Analysis using POA

يبين الشكل (16-3) منحنى الدفع المتزايد بدلالة الانتقال في أعلى المنشأ (المحور الأفقي)- القص القاعدي (المحور الشاقولي), كما يبين الخط المنقط تحويل منحنى الاستطاعة الى شكل ثنائي الخطية (الشكل 2-11). يظهر الشكل أن قساوة المنشأ ثابتة ( $k=2.38\text{KN/mm}$ ) حتى الوصول الى انتقال مقداره ( $\delta_e=84.3\text{mm}$ ), ومن ثم تنخفض القساوة ( $k=0.67\text{KN/mm}$ ) حتى الوصول الى قيمة أعظمية مقدارها (224.7 KN) وانتقال (334mm).

يمكن من الشكل (16-3) ملاحظة أن قيمة المطاوعة وفق العلاقة (2-10) هي: ( $\mu_h=3.96$ ) وبالتالي فإن مطاوعة المنشأ مرتفعة (الشكل 2-20).



الشكل (16-3): مخطط الدفع المتزايد الناتج عن التحليل الستاتيكي اللاخطي للمنشأ 8 طوابق المنتظم المدروس (الدراسة الحالية)

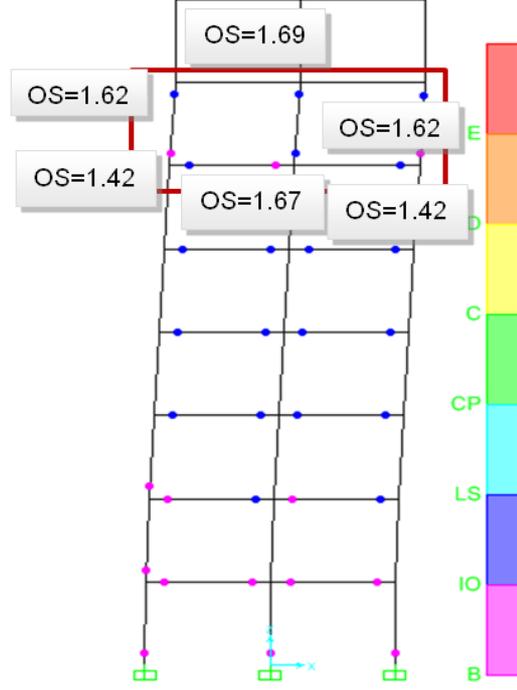
يبين الشكل (17-3) أماكن تشكل المفاصل اللدنة ونوعها في المنشأ الاطاري 8 طوابق المدروس, والناتجة عن التحليل بالدفع

المتزايد, بنتيجة تركيب الأحمال:  $1.1 DL + 0.27 LL + (V_{max} Sismic)$

يمكن ملاحظة تشكل ميكانيكية انهيار طابقي في الطابق قبل الأخير نتيجة وصول جميع مفاصل أعمدة هذا الطابق للحالة

اللدنة, كما يوضح الشكل قيم تجاوز المقاومة (Over Strength, OS) لجميع أعمدة الطابق قبل الأخير المنهارة, حيث أن

القيمة الأعظمية لتجاوز المقاومة  $1.69 = Max ( OS_{POA} )$  لأعمدة الطابق قبل الأخير.



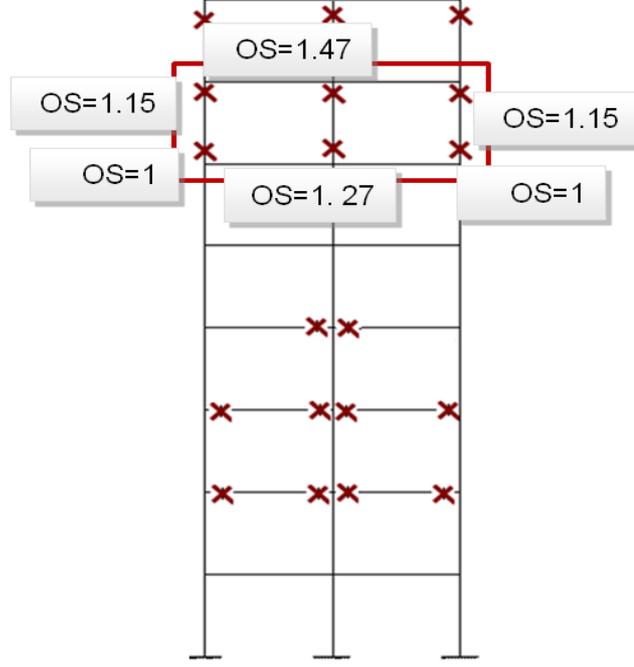
الشكل (17-3): أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمنشأ 8 طوابق عند تركيب الأحمال المدروس وفق تحليل الدفع المتزايد (الدراسة الحالية)

### B التحليل الانشائي باستخدام طريقة طيف الاستجابة

### Dynamic Strutral Analysis using RSA

تم استخدام منحنى طيف الاستجابة المستخدم في تحليل طيف الاستجابة للمنشأ الإطاري 4 طوابق السابق الموضح بالشكل (3-13)، تمت معايرة طيف الاستجابة على قوة القص القاعدية الأعظمية الناتجة عن تحليل الدفع المتزايد (224.7KN) المطبق على المنشأ الإطاري 8 طوابق المدروس. يبين الشكل (3-18) أماكن انهيار العناصر في المنشأ الإطاري 8 طوابق المدروس، والنتيجة عن التحليل بطيف الاستجابة، بنتيجة تركيب الأحمال:  $(1.1 DL + 0.27 LL + V_{max} seismic)$ .

يمكن ملاحظة تشكل ميكانيكية انهيار طابقي في الطابق قبل الأخير، حيث يبين الشكل انهيار جميع أعمدة الطابق قبل الأخير من كلتا نهايتيه. كما تظهر قيم تجاوز المقاومة لجميع أعمدة الطابق قبل الأخير المنهارة على الشكل، حيث القيمة الأعظمية لتجاوز المقاومة  $(OS_{RSA}) = 1.47 = \text{Max}$  لأعمدة الطابق قبل الأخير.



الشكل (18-3): أماكن انهيار مقاومة العناصر للمنشأ 8 طوابق عند تركيب الأحمال المستخدم وفق RSA (الدراسة الحالية)

### C مقارنة نتائج التحليل بالدفع المتزايد مع التحليل بطيف الاستجابة

يبين الجدول (9-3) احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار للمنشأ متوسط الدور - 8 طوابق المدرس، وفقاً لطريقتي التحليل المستخدمة في الدراسة، حيث النسبة  $1.15 = \text{Max}(\text{OS}_{\text{POA}}) / \text{Max}(\text{OS}_{\text{RSA}})$ .

الجدول (9-3): احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار وقيم تجاوز المقاومة للمنشأ 8 طوابق المنتظم (الدراسة الحالية)

8 story	طريقة التحليل	عند تركيب الأحمال المستخدم		
		احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار	Max O/S	$\text{OS}_{\text{POA}} / \text{OS}_{\text{RSA}}$
	POA	✓	1.69	1.15
	RSA	✓	1.47	

يبين الجدول (10-3) قيم الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة وفق تحليل الدفع المتزايد والتحليل بطيف الاستجابة عند أعلى المنشأ، تظهر القيم أن قيمة الانتقال وفق تحليل الدفع المتزايد أكبر من الانتقال الناتج عن التحليل بطيف الاستجابة بحدود (15%). وبمقارنة الانتقال الناتج مع القيم المسموحة للانتقال وفق العلاقة رقم (6-3)، حيث  $Z=24\text{m}$  وبالتالي  $\Delta_{\text{all}}=480\text{ mm}$  وبالتالي الانتقالات الناتجة ضمن الحدود المسموحة.

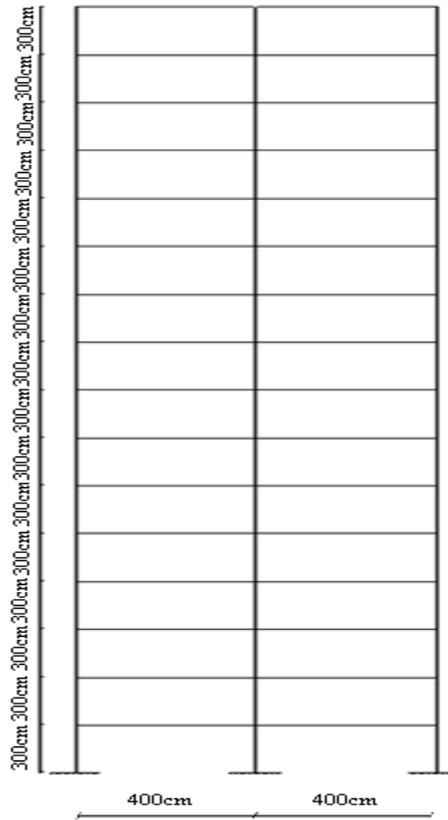
الجدول (10-3): الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشأ 8 طوابق المنتظم المدروس (الدراسة الحالية)

رقم الطابق	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق POA (mm)	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق RSA (mm)	$\Delta_{POA}/\Delta_{RSA}$
8	84.3	73.1	1.15

### 5.3 دراسة منشأ ذو دور مرتفع-منتظم (16 طابق):

#### 1.5.3 توصيف النموذج

يبين الشكل (19-3) النموذج المدروس (منشأ ذو دور مرتفع - 16 طابق) وهو عبارة عن منشأ بفتحتين من 16 طابق، الارتفاع الطائفي (H=300 cm) و المجاز بين محاور الأعمدة (L=400cm).



الشكل (19-3): الأبعاد الإنشائية للنموذج ذي الدور المرتفع - 16 طابق المدروس (الدراسة الحالية)

يوضح الجدول (11-3) أبعاد مقاطع الأعمدة المستخدمة للمنشأ السابق، وتسليحه الطولي والعرضي، كما يوضح أبعاد مقاطع الجوائز المستخدمة وتسليحه العلوي والسفلي.

الجدول (11-3): أبعاد وتسليح مقاطع الأعمدة والجوائز المستخدمة في المنشأ ذي الدور المرتفع- 16 طابقاً المدروس (الدراسة الحالية)

رقم الطابق	الأعمدة			الجوائز		
	الأبعاد (cm)	التسليح الطولي	التسليح العرضي	الأبعاد (cm)	التسليح العلوي	التسليح السفلي
1-2	70X70	12T22	Ø8/10cm	50x20	2T20	3T20
3-4	65x65	12T22	Ø8/10cm			
5-6	60X60	12T20	Ø8/10cm			
7-8	55x55	12T20	Ø8/10cm			
9-10	50X50	8T20	Ø8/10cm			
11-12	45x45	8T20	Ø8/10cm			
13-14	40X40	8T16	Ø8/10cm			
15-16	30x30	8T12	Ø8/10cm			

### 2.5.3 التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

#### Structural Analysis Using Finite Elements Method (FEM)

تم استعمال العنصر **Frame** في المستوي لتوصيف عناصر الاطار من البيتون المسلح، كما تم اعتماد شروط الاستناد ذاتها المستخدمة في نمذجة المنشأ قصير الدور – طابق واحد (الفقرة 2.2.3).

#### 1.2.5.3 الأحمال المطبقة على النموذج Loads Applied to The Model

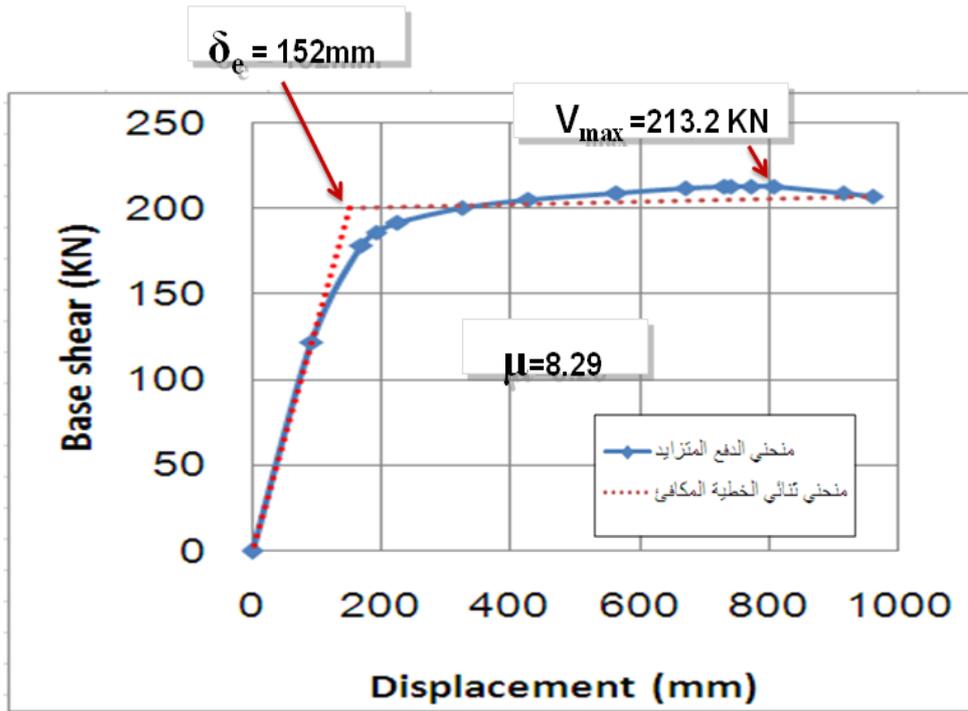
تم تطبيق الحمولة الحية والميتة الموزعة بانتظام على الجوائز وباستخدام الأحمال الأفقية وتركيب الأحمال ذاته المستخدم في دراسة المنشأ قصير الدور- 4 طوابق (الفقرة 1.2.3.3) ومعايرة Vseismic الموافقة لتركيب الأحمال المستخدم في تحليل طيف الاستجابة بالطريقة ذاتها المستخدمة في دراسة المنشأ قصير الدور- 4 طوابق (الفقرة 1.2.3.3). بينما طبقت حمولة ميتة مركزة في العقد بقيمة 65KN عند الأعمدة الطرفية، 130KN عند الأعمدة الوسطية ناتجة عن نقل الحمل من الجوائز بالاتجاه المتعامد.

#### 2.2.5.3 تحليل المنشأ تحليلاً ستاتيكيًا وديناميكيًا Dynamic and Static Analysis

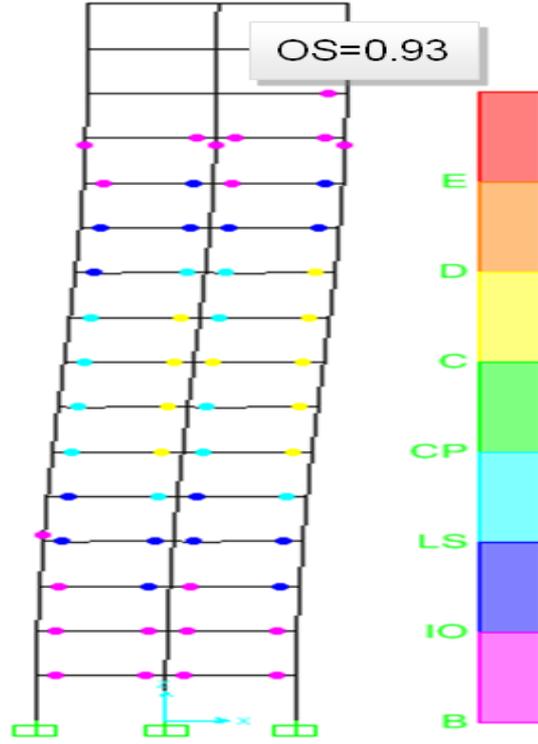
تم اعتماد تحليل لاخطي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة (Materially non-linear analysis) عند استعمال التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد، كما تم اعتماد التحليل الديناميكي بطريقة طيف الاستجابة واعتبار المادة مرنة خطية.

يبين الشكل (20-3) منحنى الدفع المتزايد بدلالة الانتقال في أعلى المنشأ (المحور الأفقي)- القص القاعدي (المحور الشاقولي), حيث يبين الخط المنقط تحويل منحنى الاستطاعة الى شكل ثنائي الخطية (الشكل 2-11). يظهر الشكل أن قساوة المنشأ ثابتة ( $k=1.32 \text{ KN/mm}$ ) حتى الوصول الى انتقال مقداره ( $\delta_e=152\text{mm}$ ), ومن ثم تنخفض القساوة ( $k=0.26\text{KN/mm}$ ) حتى الوصول الى قيمة قوة قص أعظمية مقدارها ( $213.2\text{KN}$ ) وانتقال مقابل ( $807\text{mm}$ ) ثم تنخفض القوة بعد ذلك بشكل طفيف حتى انتقال أعظمي مقداره ( $960\text{mm}$ ). بحساب معامل المطاوعة وفق العلاقة (2-10) نجد أن  $\mu_d= 8.29$  وهي قيمة أكبر من 3 (الشكل 20-2), مما يدل على المطاوعة المرتفعة للإطار. كما أن التحليل توقف دون تشكل ميكانيكية انهيار وإنما بسبب وصول الإطار إلى الانتقال الأعظمي المسموح والمعطى بالعلاقة (3-6) حيث:

$$\Delta_{all}=960 \text{ mm}$$



الشكل (20-3): مخطط الدفع المتزايد الناتج عن التحليل الساتاتيكي اللاخطي للمنشأ 16 طابق المنتظم المدروس (الدراسة الحالية) يبين الشكل (21-3) أماكن تشكل المفاصل اللدنة ونوعها في المنشأ الاطاري 16 طابقاً المدروس, والنتيجة عن التحليل بالدفع المتزايد, بنتيجة تركيب الأحمال: ( $1.1 \text{ DL} + 0.27 \text{ LL} + (V_{max} \text{ Seismic})$ ), حيث يمكن ملاحظة أن القيمة الأعظمية لتجاوز المقاومة لأعمدة الطابق قبل الأخير ( $OS_{POA} = 0.93$ ) أي أن أي من الأعمدة لم تتجاوز المقاومة العظمى.

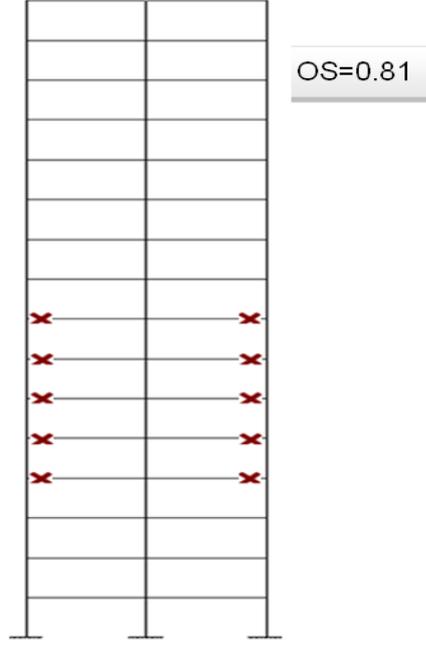


الشكل (21-3): أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمنشأ 16 طابق عند تركيب الأحمال المدروس وفق تحليل الدفع المتزايد (الدراسة الحالية)

### Dynamic Strutral Analysis using RSA

### B التحليل الانشائي باستخدام طيف الاستجابة

تم استخدام منحنى طيف الاستجابة المستخدم في تحليل طيف الاستجابة للمنشأ الإطاري 4 طوابق المدروس سابقاً الموضح بالشكل (3-13)، تمت معايرة طيف الاستجابة على قوة القص القاعدية الأعظمية الناتجة عن تحليل الدفع المتزايد (213.2KN) المطبق على المنشأ الإطاري 16 طابقاً المدروس. يبين الشكل (3-22) أماكن انهيار العناصر في المنشأ الإطاري 16 طابقاً المدروس، والناتجة عن التحليل بطيف الاستجابة، بنتيجة تركيب الأحمال:  $(1.1 DL + 0.27 LL + 1.1 V_{max} Seismic)$  أي تركيب الأحمال ذاته المستخدم في تحليل الدفع المتزايد. يمكن ملاحظة عدم تشكل ميكانيكية انهيار طبقية في الطابق قبل الأخير. وكانت القيمة الأعظمية لتجاوز المقاومة لأعمدة الطابق قبل الأخير  $OS_{RSA} = 0.81 = \text{Max}$ .



الشكل (22-3): أماكن انهيار مقاومة العناصر للمنشأ 16 طابق عند تركيب الأحمال المستخدم وفق RSA (الدراسة الحالية)

### C مقارنة نتائج التحليل بالدفع المتزايد مع التحليل بطيف الاستجابة

يبين الجدول (12-3) النتائج التي تم الحصول عليها من جراء تطبيق التحليلين السابقين على المنشأ مرتفع الدور – 16 طابقاً المدروس، فيبين عدم تشكل ميكانيكية انهيار وفقاً لأي من التحليلين POA وRSA.

الجدول (12-3): احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار للطابق قبل الأخير وقيم تجاوز المقاومة للمنشأ 16 طابق المنتظم (الدراسة الحالية)

16 stories	طريقة التحليل	عند تركيب الأحمال المستخدم		
		احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار	Max O/S	$OS_{POA}/OS_{RSA}$
	POA	×	0.93	—
	RSA	×	0.81	

يبين الجدول (13-3) قيم الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة وفق تحليل الدفع المتزايد والتحليل بطيف الاستجابة عند أعلى المنشأ، تظهر القيم أن قيمة الانتقال وفق تحليل الدفع المتزايد أكبر من الانتقال الناتج عن التحليل بطيف الاستجابة بحدود (31%). وبمقارنة الانتقال الناتج مع القيم المسموحة للانتقال وفق العلاقة (7-3) حيث  $Z=48m$  وبالتالي:

$$\Delta_{all} = 96cm \text{ وبالتالي الانتقالات الناتجة ضمن الحدود المسموحة.}$$

الجدول (13-3): الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشأ 16 طابق المنتظم (الدراسة الحالية)

رقم الطابق	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق POA (mm)	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق RSA (mm)	$\Delta_{POA}/\Delta_{RSA}$
16	152	115.8	1.31

### 6.3 نتائج الدراسة على المنشآت الإطارية المنتظمة Conclusions

تلخص الجداول التالية النتائج التي تم الحصول عليها من الدراسة الحالية لأجل المنشآت الإطارية المنتظمة:

يبين الجدول (14-3) قيم الدور الأساسي والدور الثاني والثالث لجميع المنشآت المستخدمة في الدراسة, حيث تم اختيار مجموعة من المنشآت مختلفة الدور (قصيرة الدور الأساسي حتى 1 sec , متوسطة الدور بحدود 2.5 sec , ومنشأ ذي دور مرتفع بحدود 6.5 sec).

الجدول (14-3): الأدوار الثلاثة الأولى للأبنية الإطارية المنتظمة المدروسة (الدراسة الحالية)

Frame Stories #	T1(sec)	T2(sec)	T3(sec)
1	0.119	0.104	0.073
4	1.047	0.514	0.28
8	2.697	0.895	0.613
16	6.492	1.603	1.353

يوضح الجدول (15-3) ميكانيكيات انهيار للإطارات مختلفة الارتفاع المدروسة بكل من طريقتي طيف الاستجابة RSA والتحليل بالدفع المتزايد POA, تقاربت النتائج بشكل كبير بين الطريقتين لحالة المنشآت ذات الأدوار القصيرة (حتى 1sec) ومتوسطة الدور (8 طوابق) والمنشآت ذات الأدوار المرتفعة (16 طابقاً) من حيث ميكانيكية الانهيار, حدثت ميكانيكية انهيار طابقية باستعمال طريقة RSA و طريقة POA وذلك في الطابق قبل الأخير لكل من المنشآت قصيرة ومتوسطة الدور, في حين لم يتم لحظ تشكل لميكانيكية انهيار للمنشآت مرتفعة الدور.

كما تبين النتائج المرتبة في الجدول (15-3) أن عدم تحقق العناصر (Over Strength, OS) باستعمال طريقة POA أعطت قيم أكبر من مقابلاتها وفق طريقة RSA وكان الفارق يتراوح بين 8% وحتى 24%.

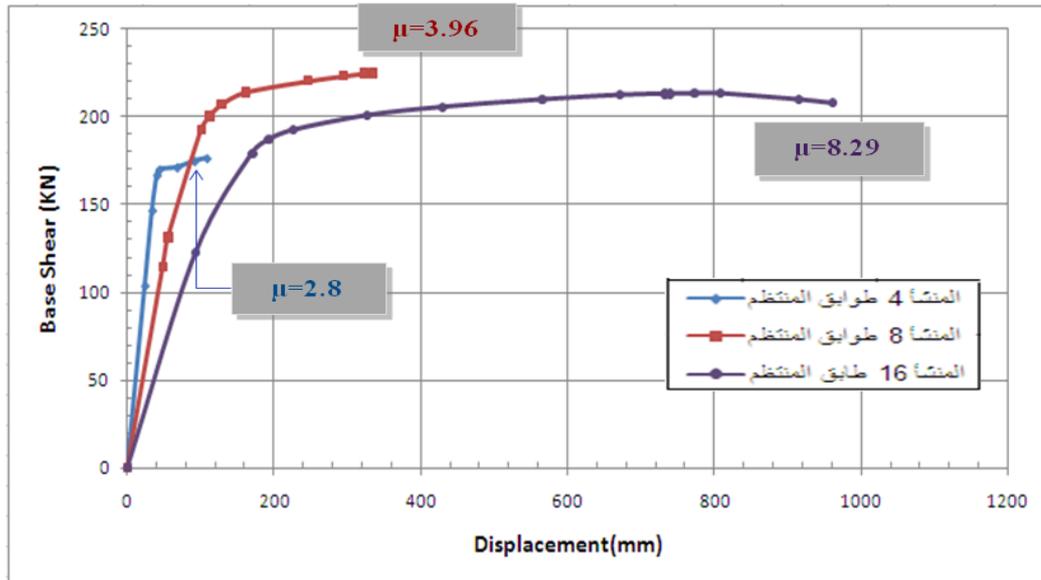
الجدول (15-3): الانتقالات وفق POA و RSA عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشأ للمنشآت الاطارية المنتظمة (الدراسة الحالية)

طريقة التحليل	احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار عند تركيب الأحمال المستخدم				Max O/S عند تركيب الأحمال المستخدم				OS <sub>POA</sub> /OS <sub>RSA</sub>			
	1	4	8	16	1	4	8	16	1	4	8	16
POA	✓	✓	✓	✗	1.18	1.87	1.69	—	1.08	1.24	1.15	—
RSA	✓	✓	✓	✗	1.09	1.51	1.47	—	—	—	—	—

يبين الجدول (16-3) أن طريقة الـ POA تعطي انتقالات أصغر من تلك الناتجة عن طريقة RSA لأجل المنشأ قصير الدور بطابق واحد- ثم أصبحت الانتقالات الناتجة عن طريقة POA أكبر من تلك الناتجة عن RSA وذلك للمنشآت قصيرة الدور (4 طوابق) ومتوسطة ومرتفعة الدور. كما يمكن ملاحظة زيادة الفارق بين الطريقتين بزيادة قيمة الدور.

الجدول (16-3): احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار للطابق قبل الأخير عند تركيب الأحمال للمنشآت الاطارية المنتظمة (الدراسة الحالية)

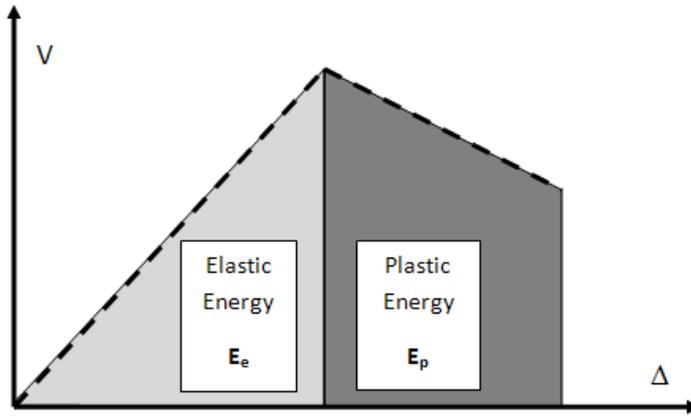
رقم الطابق	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق POA (mm)	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق RSA (mm)	POA/ RSA
1	7	8	0.88
4	38.9	35.1	1.11
8	84.3	73.1	1.15
16	152	115.8	1.31



الشكل (23-3): مقارنة منحنيات الدفع المتزايد للمنشآت الاطارية المنتظمة وقيم المطاوعة الناتجة (الدراسة الحالية)

يبين الشكل (3-23) مقارنة منحنيات الدفع المتزايد الناتجة عن التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد للمنشآت الإطارية المنتظمة المدروسة، وتظهر على الشكل قيم المطاوعة، يمكن لحظ القيمة المتوسطة للمطاوعة للمنشأ قصير الدور (4طوابق) والقيمة مرتفعة للمنشأ متوسط الدور (8 طوابق) وكانت القيمة مرتفعة بشكل أكبر للمنشأ ذي الدور المرتفع (16 طابق).

تم إعادة حساب مطاوعة المباني المنتظمة من خلال حساب نسبة الطاقة اللدنة من الطاقة الكلية (الجدول 3-17)، حيث تم حساب الطاقة لكل من المنشآت المنتظمة من المنحني ثنائي الخطية بأخذ مساحة ماتحت المنحني وفق الشكل (3-24):



الشكل (3-24): حساب الطاقة المرنة والطاقة اللدنة (الدراسة الحالية)

الجدول (3-17): نسبة الطاقة اللدنة إلى الطاقة الكلية للمباني المنتظمة (الدراسة الحالية)

معامل المطاوعة وفق الكود الأوروبي	$E_p/E_T$	الطاقة الكلية $E_T = E_p + E_e$ (KN.m)	الطاقة اللدنة $E_p$ (KN.m)	عدد الطوابق
2.8	0.78	15.3	12.0	4
3.96	0.87	62.8	54.4	8
8.29	0.92	180.5	165.3	16

يبين الجدول (3-17) أن الطاقة اللدنة  $E_p$  للمبنى من 16 طابقاً شكلت حوالي 0.92 من الطاقة الكلية دلالة المطاوعة العالية والتي تتفق مع معيار المطاوعة وفق الكود الأوروبي (الشكل 2-20)، حيث أن معامل المطاوعة لنفس المبنى كان مرتفعاً (8.29)، وأن مطاوعة المنشآت تزداد بزيادة الدور وفقاً لطريقتي الطاقة ومعامل المطاوعة.

## الفصل الرابع

### تحليل المباني الإطارية غير المنتظمة من البيتون المسلح

## Analysis of Irregular Reinforced Concrete Frame buildings

### 1.4 مقدمة Introduction

يهدف هذا الفصل إلى استعراض الدراسة التحليلية باستخدام برنامج (SAP2000 , ver ultimate 15.0.1) لسلوك جمل إطارية غير منتظمة من البيتون المسلح، مختلفة الأدوار، تم أخذ عدم الإنتظام لهذه الإطارات بالشكل الرأسي باختلاف عدد المجازات عند الإرتفاع.

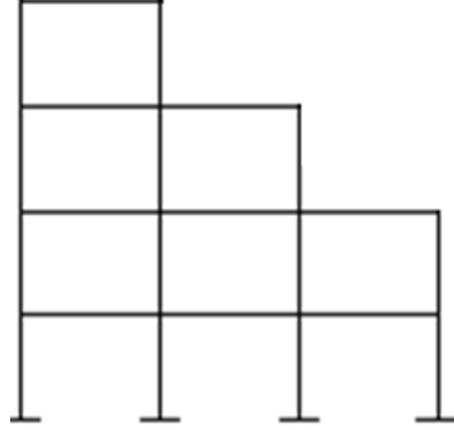
تم في هذا الفصل إجراء التحليل العددي باستخدام طريقة العناصر المحدودة ( Finite Element Method ) و استخدم التحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة ( Materially Non- Linear Analysis , MNA ) باستخدام طريقة التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد، كما تم إعادة تحليل المنشآت تحليلاً ديناميكياً باستخدام طريقة طيف الاستجابة.

يحتوي هذا الفصل توصيفاً للنموذج المعتمد في التحليل، ثم خطوات التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة، و أخيراً نتائج الدراسة التحليلية في تحديد الحدود الممكنة لاستخدام التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد من حيث تحديد ميكانيكية الانهيار والانتقالات الناتجة للمنشآت الإطارية غير المنتظمة.

### 2.4 دراسة منشأ قصير الدور- غير منتظم (4 طوابق):

#### 1.2.4 توصيف النموذج

يبين الشكل (1-4) النموذج المدروس وهو عبارة عن منشأ مؤلف من 4 طوابق، الارتفاع الطابقي (H=300 cm) و المجازه بين محاور الأعمدة (L=400cm).



الشكل (1-4): شكل النموذج قصير الدور – 4 طوابق المدروس (الدراسة الحالية)

يوضّح الجدول (1-4) أبعاد مقاطع الأعمدة المستخدمة للمنشأ السابق، وتسليحه الطولي والعرضي، كما يوضّح أبعاد مقاطع الجوائز المستخدمة وتسليحه العلوي والسفلي.

الجدول (1-4): أبعاد وتسليح مقاطع الأعمدة والجوائز المستخدمة في المنشأ ذي الدور القصير - 4 طوابق المدروس (الدراسة الحالية)

رقم الطابق	الأعمدة			الجوائز		
	الأبعاد (cm)	التسليح الطولي	التسليح العرضي	الأبعاد (cm)	التسليح العلوي	التسليح السفلي
1-2	40X40	6T16	Ø8/10cm	50x20	2T20	3T20
3-4	30x30	6T12	Ø8/10cm			

## 2.2.4 التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

### Structural Analysis Using Finite Elements Method (FEM)

تم استعمال العنصر **Frame** في المستوي لتوصيف عناصر الاطار من البيتون المسلح، كما تم اعتماد شروط الاستناد ذاتها المستخدمة في نمذجة المنشأ قصير الدور – طابق واحد (الفقرة 2.2.3).

#### 1.2.2.4 الأحمال المطبقة على النموذج Loads Applied to The Model

تم تطبيق الحمولة الحية والميتة الموزعة بانتظام على الجوائز وباستخدام الأحمال الأفقية وتركيب الأحمال ذاته المستخدم في دراسة المنشأ قصير الدور - 4 طوابق (الفقرة 1.2.3.3) ومعايرة Vseismic الموافقة لتركيب الأحمال المستخدم في تحليل طيف الاستجابة بالطريقة ذاتها المستخدمة في دراسة المنشأ قصير الدور - 4 طوابق (الفقرة 1.2.3.3). بينما طبقت

حمولة مية مركزة في العقد بقيمة 115KN عند الأعمدة الطرفية، 230KN عند الأعمدة الوسطية ناتجة عن نقل الحمل من الجوائز بالاتجاه المتعامد.

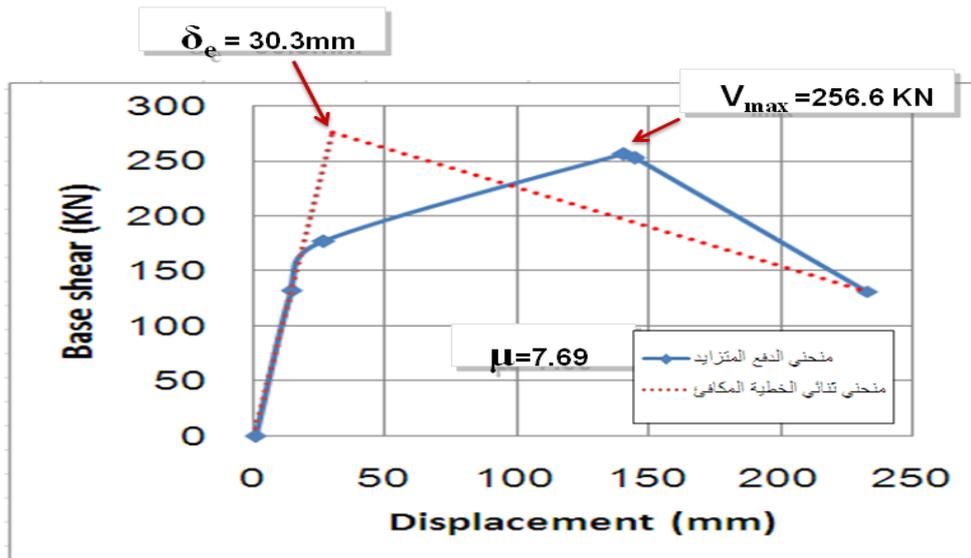
#### 2.2.2.4 تحليل المنشأ تحليلًا ستاتيكيًا وديناميكيًا ومقارنة النتائج

#### and compare the results Dynamic & Static Analysis

تم اعتماد تحليل لاخطي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة (Materially non-linear analysis) عند استعمال التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد، كما تم اعتماد التحليل الديناميكي بطريقة طيف الاستجابة واعتبار المادة مرنة خطية.

#### A التحليل الإنشائي باستخدام تحليل الدفع المتزايد Static Structural Analysis using POA

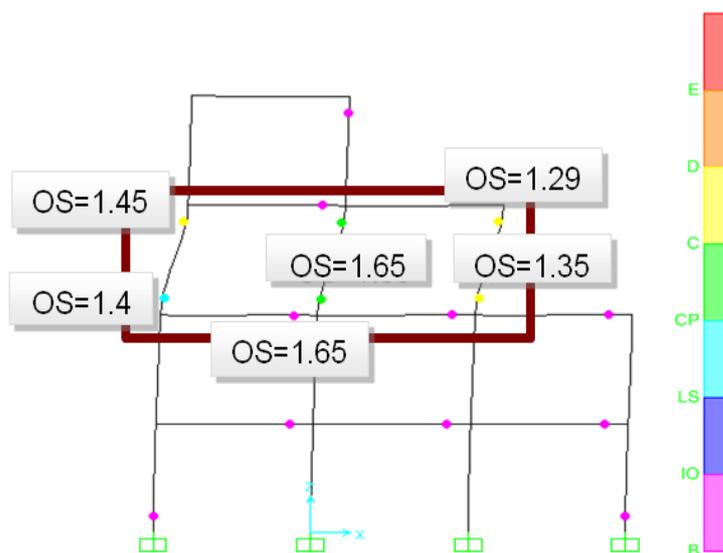
يبين الشكل (2-4) منحنى الدفع المتزايد بدلالة الانتقال في أعلى المنشأ (المحور الأفقي) - القص القاعدي (المحور الشاقولي)، حيث يبين الخط المنقط تحويل منحنى الاستطاعة الى شكل ثنائي الخطية (الشكل 2-11). يظهر الشكل أن قساوة المنشأ الابتدائية ( $k=9.1 \text{ KN/mm}$ ) حتى الوصول الى انتقال مرن أعظمي مقداره ( $\delta_e=30.3 \text{ mm}$ )، ومن ثم تنخفض القساوة بشكل كبير إلى القيمة ( $k=1.82 \text{ KN/mm}$ ) حتى الوصول الى قيمة قوة قص قاعدي أعظمية مقدارها ( $256.6 \text{ KN}$ ) وانتقال مقابل مقداره ( $141 \text{ mm}$ ) ويحدث انخفاض كبير في قيمة القص القاعدي حتى الوصول إلى قوة قص مقدارها ( $131.6 \text{ KN}$ ).



الشكل (2-4): مخطط الدفع المتزايد الناتج عن التحليل الستاتيكي اللاخطي للمنشأ 4 طوابق غير المنتظم (الدراسة الحالية)

إن انهيار المنشأ انهيار مطوع رغم تشكل ميكانيكية انهيار طابقية في الطابق قبل الأخير للمنشأ، إن قيمة المطاوعة وفقاً للعلاقة (10-2) هي  $\mu_d = 7.69$  وهي تعتبر مطاوعة عالية (الشكل 2-20).

يبين الشكل (3-4) أماكن تشكل المفاصل اللدنة ونوعها في المنشأ الإطاري غير المنتظم من 4 طوابق المدروس. يمكن من الشكل (3-4) ملاحظة تشكل ميكانيكية انهيار طابقي في الطابق قبل الأخير، نتيجة تشكل المفاصل اللدنة في نهايتي جميع أعمدة هذا الطابق. يوضح الشكل السابق قيم تجاوز المقاومة (Over Strength, OS) لجميع أعمدة الطابق قبل الأخير المنهارة، حيث القيمة الأعظمية لتجاوز المقاومة  $\text{Max} (OS_{POA}) = 1.65$  لأعمدة الطابق قبل الأخير.



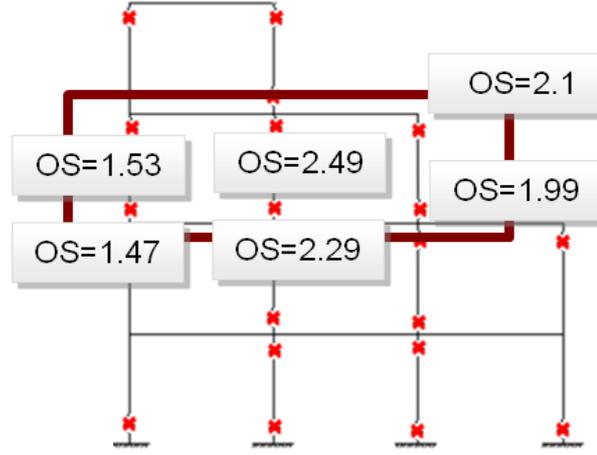
الشكل (3-4): أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمنشأ 4 طوابق عند تركيب الأحمال المدروس وفق تحليل الدفع المتزايد (الدراسة الحالية)

### B التحليل الانشائي باستخدام طيف الاستجابة

#### Dynamic Strutral Analysis using RSA

تم استخدام منحنى طيف الاستجابة المستخدم في تحليل طيف الاستجابة للمنشأ الإطاري 4 طوابق المنتظم المدروس والموضح بالشكل (3-13).

تمت معايرة طيف الاستجابة على قوة القص القاعدية الأعظمية (256.6KN) الناتجة عن تحليل الدفع المتزايد. يبين الشكل (4-4) أماكن انهيار العناصر في المنشأ الإطاري 4 طوابق المدروس، والناتجة عن التحليل بطيف الاستجابة، حيث يمكن ملاحظة تشكل ميكانيكية انهيار طابقي في الطابق قبل الأخير أيضاً. تم تحديد معامل تجاوز المقاومة العظمى  $\text{Max} (OS_{RSA}) = 2.49$ .



الشكل (4-4): أماكن انهيار مقاومة العناصر للمنشأ 4 طوابق عند تركيب الأحمال المستخدم وفق RSA (الدراسة الحالية)

### C مقارنة نتائج التحليل بالدفع المتزايد مع التحليل بطيف الاستجابة

يلخص الجدول (2-4) النتائج التي تم الحصول عليها من تحليل المنشأ قصير الدور - 4 طوابق غير المنتظم السابق تحليلاً ديناميكياً وتحليلاً لاختباراً سناتيكياً، من حيث احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار وقيم تجاوز مقاومة عناصره، حيث يمكن ملاحظة تشكل ميكانيكية انهيار وفق طريقتي التحليل RSA, POA، كما نجد النسبة  $0.66 = \text{Max}(\text{OS}_{\text{POA}}) / \text{Max}(\text{OS}_{\text{RSA}})$ .

الجدول (2-4): احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار للطابق قبل الأخير وقيم تجاوز المقاومة للمنشأ 4 طوابق غير المنتظم (الدراسة الحالية)

4 story	طريقة التحليل	عند تركيب الأحمال المستخدم		
		احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار	Max O/S	$\text{OS}_{\text{POA}} / \text{OS}_{\text{RSA}}$
	POA	✓	1.65	0.66
	RSA	✓	2.49	

يبين الجدول (3-4) قيم الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة وفق تحليل الدفع المتزايد والتحليل بطيف الاستجابة عند أعلى المنشأ يبين الجدول أن قيمة الانتقال وفق تحليل الدفع المتزايد أقل من الانتقال الناتج عن التحليل بطيف الاستجابة بحدود (20%)، وبمقارنة الانتقال الناتج مع القيم المسموحة للانتقال وفق العلاقة (3-6) نجد أن الانتقال أقل من القيمة المسموحة وهي:  $\Delta_{\text{all}} = 240 \text{ mm}$ .

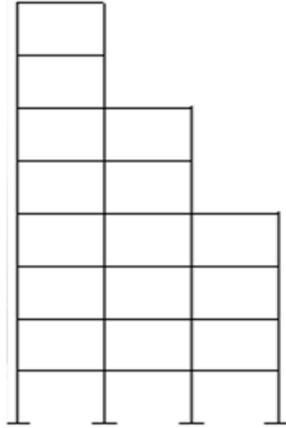
الجدول (3-4): الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشأ 4 طوابق غير المنتظم المدروس (الدراسة الحالية)

رقم الطابق	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق POA (mm)	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق RSA (mm)	$\Delta_{POA}/\Delta_{RSA}$
4	30.3	38	0.8

### 3.4 دراسة المنشأ متوسط الدور - غير المنتظم (8 طوابق):

#### 1.3.4 توصيف النموذج

يبين الشكل (4-5) النموذج المدروس (منشأ متوسط الدور - 8 طوابق) وهو عبارة عن منشأ من 8 طوابق، الارتفاع الطائقي (H=300 cm) و المجازه بين محاور الأعمدة (L=400cm).



الشكل (4-5): شكل النموذج متوسط الدور - 8 طوابق المدروس (الدراسة الحالية)

يوضّح الجدول (4-4) أبعاد مقاطع الأعمدة المستخدمة للمنشأ السابق، وتسليحه الطولي والعرضي، كما يوضّح أبعاد مقاطع الجوائز المستخدمة وتسليحه العلوي والسفلي.

الجدول (4-4): أبعاد وتسليح مقاطع الأعمدة والجوائز المستخدمة في المنشأ متوسط الدور - 8 طوابق المدروس (الدراسة الحالية)

رقم الطابق	الأعمدة			الجوائز		
	الأبعاد (cm)	التسليح الطولي	التسليح العرضي	الأبعاد (cm)	التسليح العلوي	التسليح السفلي
1-2	50X50	10T16	Ø8/10cm	50x20	2T20	3T20
3-4	45x45	10T16	Ø8/10cm			
5-6	40X40	6T16	Ø8/10cm			
7-8	30x30	6T12	Ø8/10cm			

## 2.3.4 التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

### Structural Analysis Using Finite Elements Method (FEM)

تم استعمال العنصر **Frame** في المستوى لتوصيف عناصر الاطار من البيتون المسلح، كما تم اعتماد شروط الاستناد ذاتها المستخدمة في نمذجة المنشأ قصير الدور - طابق واحد (الفقرة 2.2.3).

### 1.2.3.4 الأحمال المطبقة على النموذج Applied Loads to The Model

تم تطبيق الحمولة الحية والميتة الموزعة بانتظام على الجوائز وباستخدام الأحمال الأفقية وتركيب الأحمال ذاته المستخدم في دراسة المنشأ قصير الدور - 4 طوابق (الفقرة 1.2.3.3) ومعايرة Vseismic الموافقة لتركيب الأحمال المستخدم في تحليل طيف الاستجابة بالطريقة ذاتها المستخدمة في دراسة المنشأ قصير الدور - 4 طوابق (الفقرة 1.2.3.3)، بينما طبقت حمولة ميتة مركزة في العقد بقيمة 115KN عند الأعمدة الطرفية، 230KN عند الأعمدة الوسطية ناتجة عن نقل الحمل من الجوائز بالاتجاه المتعامد.

### 2.2.3.4 تحليل المنشأ تحليلاً ستاتيكيًا وديناميكياً

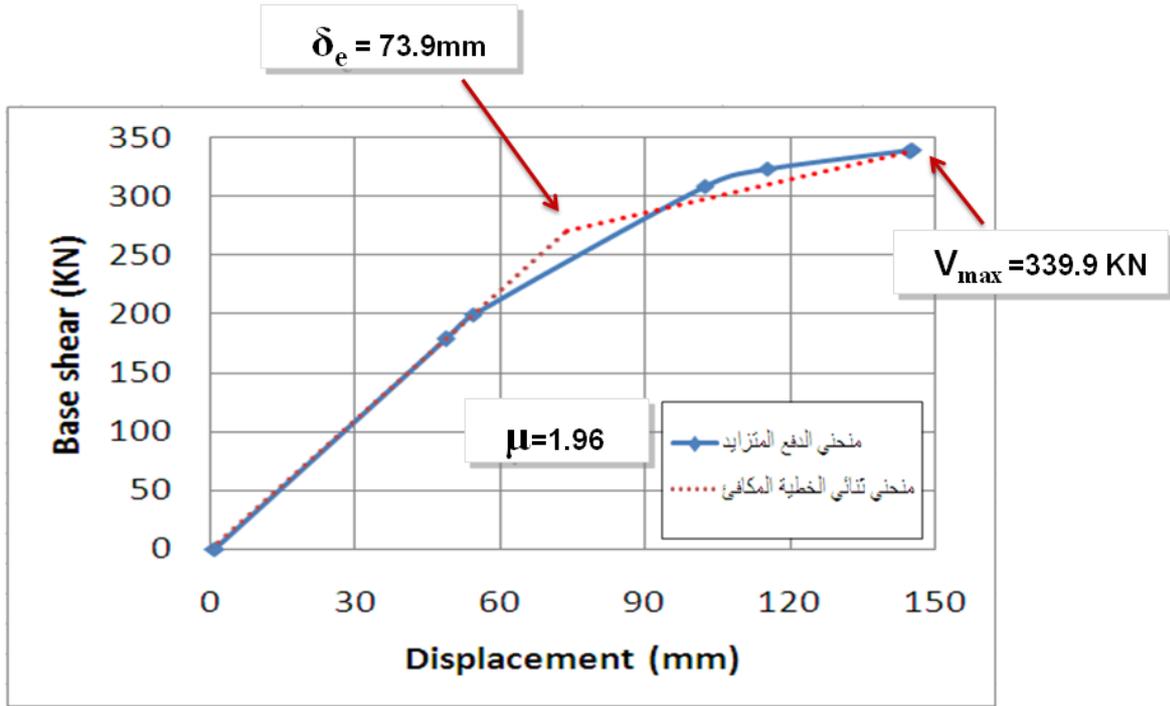
### Dynamic and Static Analysis

تم اعتماد تحليل لاخطي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة (Materially non-linear analysis) عند استعمال التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد، كما تم اعتماد التحليل الديناميكي بطريقة طيف الاستجابة واعتبار المادة مرنة خطية.

### A التحليل الإنشائي باستخدام تحليل الدفع المتزايد Static Structural Analysis using POA

يبين الشكل (4-6) منحنى الدفع المتزايد بدلالة الانتقال في أعلى المنشأ (المحور الأفقي) - القص القاعدي (المحور الشاقولي)، حيث يبين الخط المنقط تحويل منحنى الاستطاعة الى شكل ثنائي الخطية (الشكل 2-17). يظهر الشكل أن قساوة المنشأ ثابتة ( $k=3.67 \text{ KN/mm}$ ) حتى الوصول الى انتقال مقداره ( $\delta_e=73.9\text{mm}$ )، ومن ثم يحدث انخفاض في قساوة المنشأ حتى الوصول إلى ( $k=2.34 \text{ KN/mm}$ ) عند قيمة أعظمية لقوة القص القاعدي مقدارها (339.9 KN) مع انتقال موافق بمقدار (145mm). يمكن تحليل ذلك نتيجة تشكل ميكانيكية انهيار طابقية في الطابق قبل الأخير.

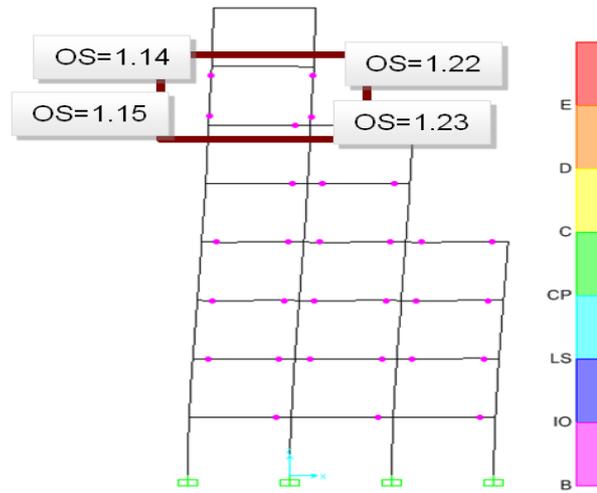
إن قيمة مطاوعة المنشأ وفق العلاقة (2-10) هي:  $\mu_d=1.96$  وبالتالي تعتبر مطاوعة المنشأ متوسطة (الشكل 2-20).



الشكل (4-6): منحنى الدفع المتزايد الناتج عن التحليل الستاتيكي اللاخطي للمنشأ 8 طوابق المدروس (الدراسة الحالية)

يبين الشكل (4-7) أماكن تشكل المفاصل اللدنة ونوعها في المنشأ الاطاري غير المنتظم من 8 طوابق المدروس، والناتجة عن التحليل بالدفع المتزايد، حيث تتشكل ميكانيكية انهيار طابقية في الطابق قبل الأخير. يوضح الشكل قيم تجاوز المقاومة (Over

Strength, OS) لجميع أعمدة الطابق قبل الأخير المنهارة، حيث أن القيمة الأعظمية  $OS = 1.23 = \text{Max}(OS_{POA})$ .



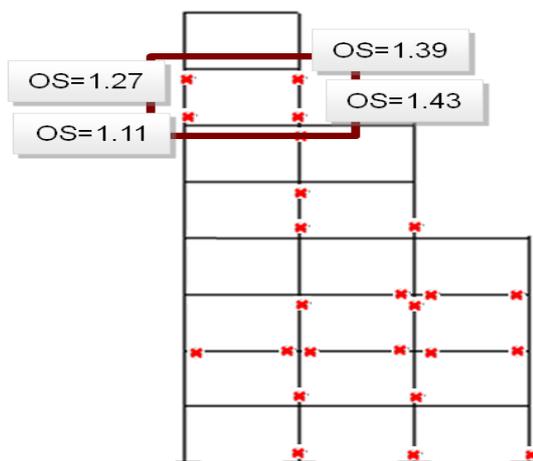
الشكل (4-7): أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمنشأ 8 طوابق عند تركيب الأحمال المدروس وفق تحليل الدفع المتزايد (الدراسة الحالية)

**Dynamic Strutral Analysis using RSA**

**B التحليل الانشائي باستخدام طيف الاستجابة**

تم استخدام منحني طيف الاستجابة والموضح بالشكل (3-13). تمت معايرة طيف الاستجابة على قوة القص القاعدية الأعظمية الناتجة عن تحليل الدفع المتزايد (263KN) الشكل (4-6).

يبين الشكل (4-8) أماكن انهيار العناصر في المنشأ الاطاري 8 طوابق المدروس, والناتجة عن التحليل بطيف الاستجابة. يمكن ملاحظة تشكل ميكانيكية انهيار طابقية أيضاً وفق هذا التحليل, وذلك في الطابق قبل الأخير. وأن القيمة العظمى لتجاوز المقاومة في أعمدة الطابق قبل الأخير  $1.43 = \text{Max} (OS_{RSA})$ .



الشكل (4-8): أماكن انهيار مقاومة العناصر للمنشأ 8 طوابق عند تركيب الأحمال المستخدم وفق RSA (الدراسة الحالية)

### C مقارنة نتائج التحليل بالدفع المتزايد مع التحليل بطيف الاستجابة

يلخص الجدول (4-5) النتائج التي تم الحصول عليها من تحليل المنشأ 8 طوابق غير المنتظم وفق تحليلي الدفع المتزايد وطيف الاستجابة, من حيث احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار, كما نجد النسبة  $0.86 = \text{Max}(OS_{POA}) / \text{Max}(OS_{RSA})$ .

الجدول (4-5): احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار للطابق قبل الأخير وقيم تجاوز المقاومة للمنشأ 8 طوابق غير المنتظم (الدراسة الحالية)

8 story	طريقة التحليل	عند تركيب الأحمال المستخدم		
		احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار	Max O/S	$OS_{POA} / OS_{RSA}$
	POA	✓	1.23	0.86
	RSA	✓	1.43	

يبين الجدول (4-6) قيم الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة وفق تحليل الدفع المتزايد والتحليل بطيف الاستجابة عند أعلى المنشأ. يمكن ملاحظة أن قيمة الانتقال وفق تحليل الدفع المتزايد قريبة جداً من قيمة الانتقال الناتج عن التحليل بطيف

الاستجابة بحدود (1%) وبمقارنة الانتقال الناتج مع القيم المسموحة للانتقال وفق العلاقة (6-3) حيث  $\Delta_{all}=480\text{mm}$  وبالتالي الانتقالات الناتجة ضمن الحدود المسموحة.

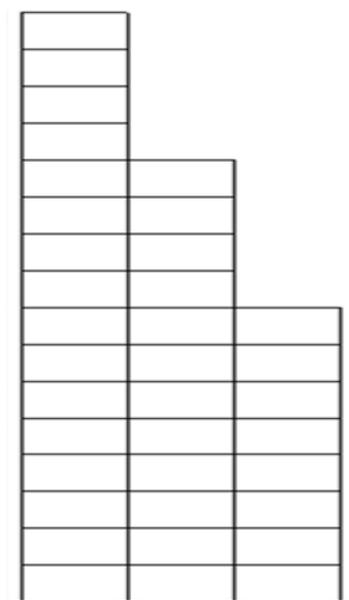
**الجدول (6-4):** الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشأ 8 طوابق غير المنتظم المدروس (الدراسة الحالية)

رقم الطابق	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق POA (mm)	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق RSA (mm)	$\Delta_{POA}/\Delta_{RSA}$
8	73.9	75	0.99

#### 4.4 دراسة المنشأ ذي الدور المرتفع - غير المنتظم (16 طابق):

##### 1.4.4 توصيف النموذج

يبين الشكل (9-4) النموذج المدروس (منشأ ذو دور مرتفع - 16 طابق) وهو عبارة عن منشأ 16 طابق، الارتفاع الطابقي (H=300 cm) و المجازه بين محاور الأعمدة (L=400cm).



**الشكل (9-4):** شكل النموذج ذو الدور المرتفع - 16 طابق المدروس (الدراسة الحالية)

يوضح الجدول (7-4) أبعاد مقاطع الأعمدة المستخدمة للمنشأ السابق، وتسليحه الطولي والعرضي، كما يوضح أبعاد مقاطع الجوائز المستخدمة وتسليحه العلوي والسفلي.

الجدول(7-4): أبعاد وتسليح مقاطع الأعمدة والجوائز المستخدمة في المنشأ في الدور المرتفع-16 طبقاً للمدروس (الدراسة الحالية)

رقم الطابق	الأعمدة			الجوائز		
	الأبعاد (cm)	التسليح الطولي	التسليح العرضي	الأبعاد (cm)	التسليح العلوي	التسليح السفلي
1-2	70X70	10T22	Ø8/10cm	50x20	2T20	3T20
3-4	65x65	10T22	Ø8/10cm			
5-6	60X60	8T20	Ø8/10cm			
7-8	55x55	8T20	Ø8/10cm			
9-10	50X50	10T16	Ø8/10cm			
11-12	45x45	10T16	Ø8/10cm			
13-14	40X40	6T16	Ø8/10cm			
15-16	30x30	6T12	Ø8/10cm			

#### 2.4.4 التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

### Structural Analysis Using Finite Elements Method (FEM)

تم استعمال العنصر **Frame** في المستوي لتوصيف عناصر الاطار من البيتون المسلح، كما تم اعتماد شروط الاستناد ذاتها المستخدمة في نمذجة المنشأ قصير الدور – طابق واحد (الفقرة 2.2.3).

#### 1.2.4.4 الأحمال المطبقة على النموذج Applied Loads to The Model

تم تطبيق الحمولة الحية والميتة الموزعة بانتظام على الجوائز وباستخدام الأحمال الأفقية وتركيب الأحمال ذاته المستخدم في دراسة المنشأ قصير الدور- 4 طوابق (الفقرة 1.2.3.3) ومعايرة Vseismic الموافقة لتركيب الأحمال المستخدم في تحليل طيف الاستجابة بالطريقة ذاتها المستخدمة في دراسة المنشأ قصير الدور- 4 طوابق (الفقرة 1.2.3.3)، بينما طبقت حمولة ميتة مركزة في العقد بقيمة 115KN عند الأعمدة الطرفية، 230KN عند الأعمدة الوسطية ناتجة عن نقل الحمل من الجوائز بالاتجاه المتعامد.

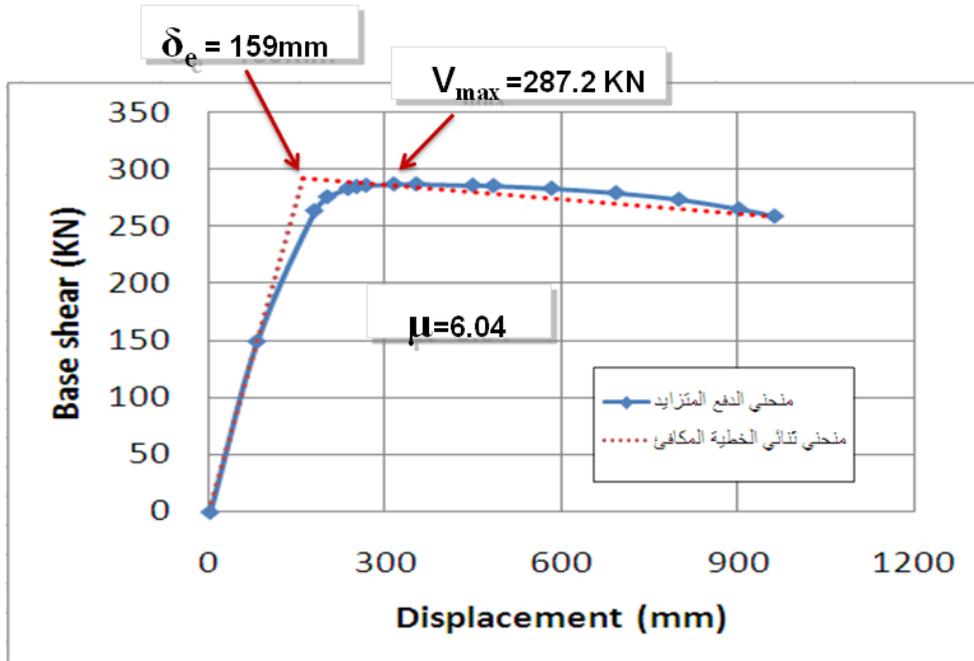
#### Dynamic and Static Analysis

#### 2.2.4.4 تحليل المنشأ تحليلاً ستاتيكيًا وديناميكيًا

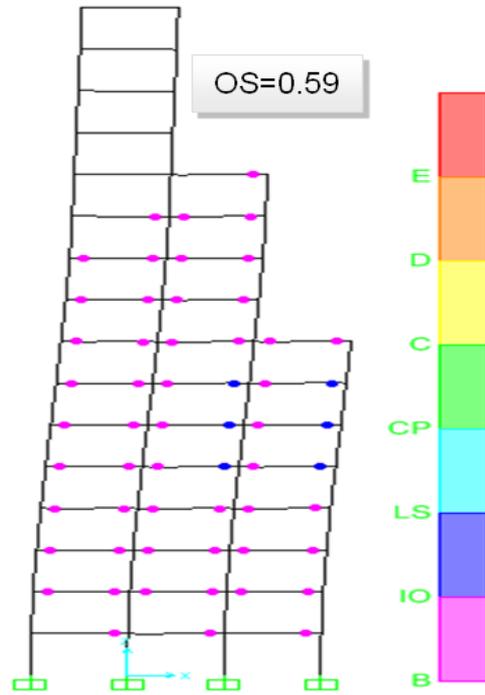
تم اعتماد تحليل لاخطي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة (Materially non-linear analysis) عند استعمال التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد, كما تم اعتماد التحليل الديناميكي بطريقة طيف الاستجابة واعتبار المادة مرنة خطية.

### A التحليل الإنشائي باستخدام تحليل الدفع المتزايد Static Structural Analysis using POA

يبين الشكل (10-4) منحنى الدفع المتزايد بدلالة الانتقال في أعلى المنشأ (المحور الأفقي)- القص القاعدي (المحور الشاقولي), حيث يبين الخط المنقط تحويل منحنى الاستطاعة الى شكل ثنائي الخطية (الشكل 2-11). يظهر الشكل أن قساوة المنشأ ثابتة ( $k=1.84 \text{ KN/mm}$ ) حتى الوصول الى انتقال بمقداره ( $\delta_e=159\text{mm}$ ), حيث القيمة الأعظمية للقص القاعدي الناتج ( $287.2\text{KN}$ ), ومن ثم حدث انخفاض للقوة بشكل طفيف بنسبة (10%) عند انتقال موافق بمقدار (960mm). إن سلوك المنشأ هو سلوك مطاوع. يمكن تفسير ذلك كون توقف التحليل قد تم نتيجة وصول المنشأ للانتقال المسموح وليس نتيجة تشكل ميكانيكية انهيار في أحد طوابقه, أو أي ميكانيكية انهيار أخرى في المنشأ, وهذا ما يؤكد الحصول على قيمة مرتفعة لعامل المطاوعة وفق العلاقة (10-2) هي: ( $\mu_d=6.04$ ), وهي أعلى من القيمة 3 (الشكل 2-20).



الشكل (10-4): منحنى الدفع المتزايد الناتج عن التحليل الستاتيكي اللاخطي للمنشأ 16 طابق غير المنتظم المدروس (الدراسة الحالية) يبين الشكل (11-4) أماكن تشكل المفاصل اللدنة ونوعها في المنشأ الاطاري 16 طابق المدروس, حيث يوضح عدم تشكل ميكانيكية انهيار طابقي. أما معامل تجاوز المقاومة الأعظمي فهو  $\text{Max}(os_{POA}) = 0.59$  لأعمدة الطابق قبل الأخير.



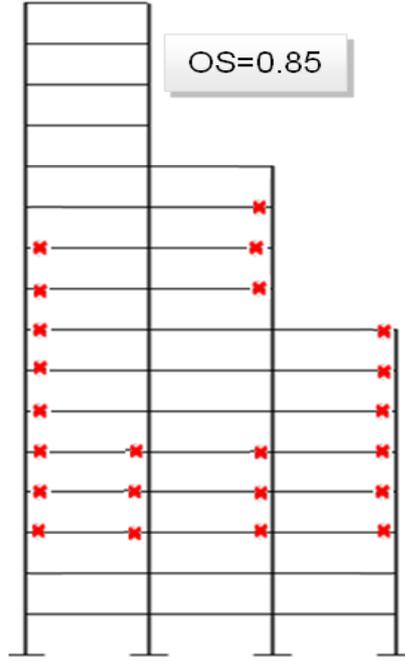
شكل (11-4): أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمنشأ 16 طابق عند تركيب الأحمال المدروس وفق تحليل الدفع المتزايد (الدراسة الحالية)

**B التحليل الانشائي باستخدام طيف الاستجابة**

### Dynamic Strutral Analysis using RSA

تم استخدام منحنى طيف الاستجابة الموضح بالشكل (13-3). تمت معايرة طيف الاستجابة على قوة القص القاعدية الأعظمية (299 KN) والنتيجة عن تحليل الدفع المتزايد المطبق على المنشأ الإطاري 16 طابق المدروس (الشكل 10-4).

يبين الشكل (12-4) أماكن انهيار العناصر في المنشأ الإطاري 16 طابقاً، والنتيجة عن التحليل بطيف الاستجابة، حيث يمكن ملاحظة عدم تشكل ميكانيكية انهيار طابقية، كما وصل معامل تجاوز المقاومة الأعظمي  $OS_{RSA} = 0.85 = \text{Max}$  لأعمدة الطابق قبل الأخير.



الشكل (4-12): أماكن انهيار مقاومة العناصر للمنشأ 16 طابقاً عند تركيب الأحمال المستخدم وفق RSA ( الدراسة الحالية )

### C مقارنة نتائج التحليل بالدفع المتزايد مع التحليل بطيف الاستجابة

يلخص الجدول (4-8) نتائج ما تم الحصول عليه بتحليل المنشأ 16 طابقاً غير المنتظم وفق التحليل بالدفع المتزايد والتحليل بطيف الاستجابة من حيث احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار، كما نجد النسبة  $0.69 = \text{Max}(OS_{POA}) / \text{Max}(OS_{RSA})$ .

الجدول (4-8): احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار للمنشأ 16 طابقاً غير المنتظم (الدراسة الحالية)

16 story	طريقة التحليل	عند تركيب الأحمال المستخدم
		احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار
	POA	X
	RSA	X

يبين الجدول (4-9) قيم الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة وفق تحليل الدفع المتزايد والتحليل بطيف الاستجابة عند أعلى المنشأ. حيث قيمة الانتقال وفق تحليل الدفع المتزايد أكبر من الانتقال الناتج عن التحليل بطيف الاستجابة بحدود (54%)، وهي أقل من الحد المسموح به وفق العلاقة (3-6)، حيث  $\Delta_{all} = 960 \text{ mm}$ .

الجدول (4-9): الانتقال عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشأ 16 طابق غير المنتظم المدروس (الدراسة الحالية)

رقم الطابق	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق POA (mm)	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق RSA (mm)	$\Delta_{POA}/\Delta_{RSA}$
16	159	103	1.54

## 5.4 نتائج الدراسة على المنشآت الإطارية غير المنتظمة Conclusions

يبين الجدول (4-10) قيم الدور الأساسي والدور الثاني والثالث لجميع المنشآت المستخدمة في الدراسة للمنشآت غير المنتظمة، حيث يظهر الجدول أن المنشأ ذي الطوابق الأربع هو منشأ قصير الدور (0.9sec)، أما المنشأ ذي الطوابق الثمانية فهو متوسط الدور (2.2 sec)، والمنشأ ذي 16 طابقاً فهو ذو دور مرتفع (5.8 sec).

الجدول (4-10): الأدوار الثلاثة الأولى للأبنية الإطارية المدروسة (الدراسة الحالية)

Frame Stories #	T1(sec)	T2(sec)	T3(sec)
4	0.9	0.44	0.27
8	2.2	0.82	0.57
16	5.8	1.8	1.3

يبين الجدول (4-11) تشكّل ميكانيكية انهيار باستعمال طريقة POA و RSA في الطابق قبل الأخير لكل من المنشآت قصيرة ومتوسطة الدور. في حين يمكن لحظ عدم تشكّل ميكانيكية انهيار في المنشأ ذي الدور المرتفع، سواء عند تحليله وفق RSA أو وفق POA. كما تبين النتائج أن عدم تحقق العناصر (Over Strength, OS) باستعمال طريقة POA أقل مما هي عليه باستعمال طريقة RSA.

الجدول (4-11): الانتقالات وفق طريقتي التحليل POA و RSA عند نهاية مرحلة المرونة والنسبة بينهما (الدراسة الحالية)

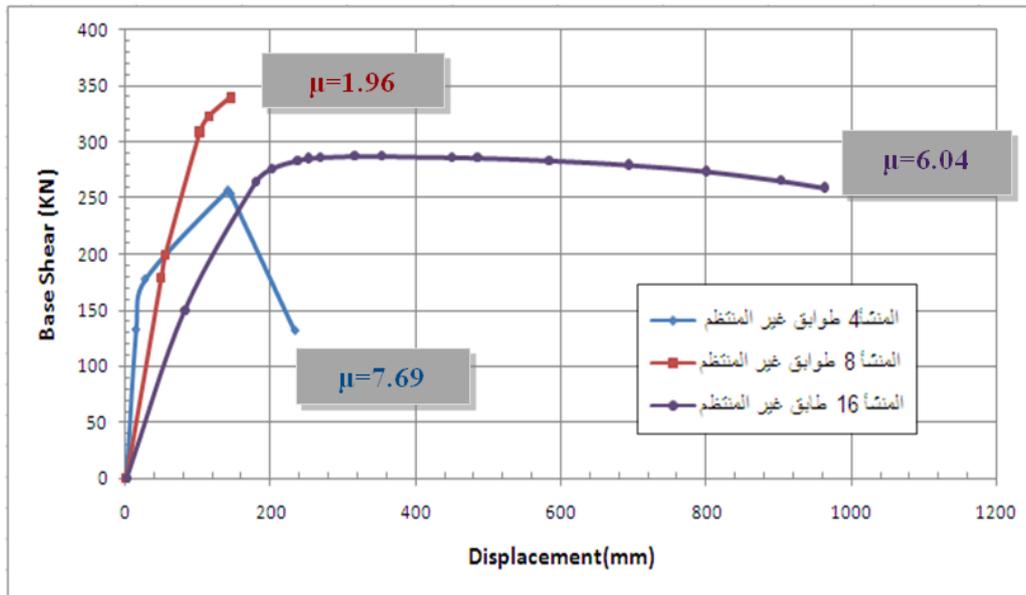
طريقة التحليل	احتمالية تشكّل ميكانيكية انهيار عند تركيب الأحمال المستخدم			Max O/S			$OS_{POA} / OS_{RSA}$		
	4	8	16	4	8	16	4	8	16
POA	✓	✓	✗	1.65	1.23	—	0.66	0.86	—
RSA	✓	✓	✗	2.49	1.43	—	0.66	0.86	—

يبين الجدول (12-4) الانتقالات التي نتجت للمنشآت غير المنتظمة، كانت الانتقالات وفق POA لأجل المنشآت قصيرة ومتوسطة الدور هي الأقل وينقص الفرق مع ازدياد قيمة الدور، ويكون الانتقال أكبر باستخدام POA لحالة المنشأ مرتفع الدور (16 طابق).

الجدول (12-4): احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار للطابق قبل الأخير عند تركيب الأحمال المستخدم (الدراسة الحالية)

رقم الطابق	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق POA (mm)	الانتقال الكلي عند نهاية مرحلة المرونة وفق RSA (mm)	$\Delta_{POA}/\Delta_{RSA}$
4	30.3	38	0.8
8	73.9	75	0.99
16	159	103	1.54

يظهر الشكل (13-4) مقارنة بين منحنيات الدفع المتزايد الناتجة عن التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد، للمنشآت الاطارية غير المنتظمة والتي تمت دراستها (قصيرة الدور - متوسطة الدور - مرتفعة الدور)، مع قيم المطاوعة على المخطط. يمكن ملاحظة انخفاض قوة القص القاعدي المفاجئة في المنشأ من 4 طوابق والمنشأ من 8 طوابق بسبب تشكل ميكانيكية انهيار مفاجئة، بينما احتفظ المنشأ من 16 طابقاً بنوع من المطاوعة حيث أن التحليل توقف نتيجة وصول الانتقال للقيمة الحدية المنصوص عليها في الكودات.



الشكل (13-4): مقارنة منحنيات الدفع المتزايد للمنشآت الاطارية غير المنتظمة وقيم المطاوعة (الدراسة الحالية)

تم إعادة حساب مطاوعة المباني غير المنتظمة من خلال حساب نسبة الطاقة للذنة من الطاقة الكلية (الجدول 4-13)، وفق الشكل (3-24)

الجدول (4-13): نسبة الطاقة للذنة إلى الطاقة الكلية للمباني غير المنتظمة (الدراسة الحالية)

معامل المطاوعة وفق الكود الأوروبي	$E_p/E_T$	الطاقة الكلية $E_T=E_p+E_e$ (KN.m)	الطاقة للذنة $E_p$ (KN.m)	عدد الطوابق
7.69	0.91	45.5	41.3	4
1.96	0.68	31.7	21.7	8
6.04	0.9	244.6	221.3	16

يبين الجدول (4-13) أن النتائج التي تم الحصول عليها وفق مبدأ حساب نسبة الطاقة للذنة إلى الطاقة الكلية للمنشآت غير المنتظمة المدروسة تتفق ومعياري الكود الأوروبي (الشكل 2-20)، حيث أن المبنى من 8 طوابق أعطى نسبة طاقة لذنة 0.68 بينما كان وفق معيار المطاوعة للكود الأوروبي منخفضاً أيضاً (1.96).

## الفصل الخامس

### النتائج و التوصيات

## Conclusions and Recommendations

### 1.5 النتائج Conclusions

تم في هذا البحث دراسة حدود تطبيق التحليل اللاخطي الستاتيكي بالدفع المتزايد على الأبنية البيتونية المسلحة المنتظمة وغير المنتظمة (عدم انتظام في المسقط الرأسي)، مختلفة الدور (قصيرة- متوسطة- مرتفعة الدور).

تم في هذه الدراسة إجراء التحليل باستخدام طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Analysis, FEM), باستخدام تحليل لاخطي ستاتيكي بالدفع المتزايد (PushOver Analysis, POA) بطريقة طيف الاستطاعة، وتحليل ديناميكي بطريقة طيف الاستجابة (Response Spectrum Analysis, RSA) للمقارنة بين الطريقتين.

تم اعتبار المادة مرنة لدنة (Elasto-Plastic Material) عند التحليل بالدفع المتتالي (POA)، والمادة خطية مرنة (Elastic Material) عند استخدام طيف الاستجابة.

### تلخص الجداول التالية نتائج المقارنة لما تمت دراسته على كل من المنشآت المنتظمة وغير المنتظمة :

يبين الجدول (1-5) مقارنة لقيم الدور الأساسي بين منشآت الدراسة والتي تم تصنيفها في مجموعتين (منشآت منتظمة- منشآت غير منتظمة).

الجدول (1-5): الدور الأساسي لجميع المنشآت الإطارية المدروسة (الدراسة الحالية)

Stories #	T1(sec)	
	المنتظم	غير المنتظم
4	1.05	0.91
8	2.70	2.20
16	6.49	5.80

يوضح الجدول (2-5) تلخيصاً لقيم نسبة تجاوز المقاومة (Over Strength, OS) لكل من المنشآت المنتظمة وغير المنتظمة.

الجدول (2-5): قيم النسبة  $OS_{POA}/OS_{RSA}$  للمنشآت الإطارية المنتظمة وغير المنتظمة (الدراسة الحالية)

Stories #	$OS_{POA}/OS_{RSA}$	
	المنتظم	غير المنتظم
4	1.24	0.66
8	1.15	0.86
16	—	—

يبين الجدول (3-5) قيم نسبة الانتقالات عند نهاية مرحلة المرونة لطريقتي التحليل المستخدمتين وذلك للمنشآت المنتظمة وغير المنتظمة.

الجدول (3-5): قيم النسبة  $\Delta_{POA}/\Delta_{RSA}$  عند نهاية مرحلة المرونة عند أعلى المنشأ (الدراسة الحالية)

Stories #	$\Delta_{POA}/\Delta_{RSA}$	
	المنتظم	غير المنتظم
4	1.11	0.8
8	1.15	0.99
16	1.31	1.54

يبين الجدول (4-5) إمكانية تشكل ميكانيكية انهيار وفق الطريقة المتبعة في التحليل لكل من الإطارات المنتظمة و الإطارات غير المنتظمة.

الجدول (4-5): احتمالية تشكل ميكانيكية انهيار للطابق قبل الأخير ونوع التحليل المؤدي للانهيار (الدراسة الحالية)

Stories #	حدوث الانهيار	
	المنتظم	غير المنتظم
4	POA , RSA	POA , RSA
8	POA , RSA	POA , RSA
16	—	—

يبين الجدول (5-5) قيم معامل المطاوعة للمنشآت الإطارية المنتظمة وغير المنتظمة المدروسة، والتي تم الحصول عليها نتيجة طريقة الدفع المتزايد.

**الجدول (5-5):** قيم المطاوعة لجميع المنشآت الإطارية المدروسة (الدراسة الحالية)

Stories #	$\mu = d_u/d_y$		غير المنتظم / $\mu$ المنتظم
	المنتظم	غير المنتظم	
4	2.8	7.69	0.37
8	3.96	1.96	1.42
16	8.29	6.04	1.09

في نهاية البحث تم التوصل للنتائج التالية:

1. تقارب الدور الأساسي للمنشأ بين المنشآت المنتظمة وغير المنتظمة حيث كان الفرق ضئيلاً (حدود 20%) بين النوعين (الجدول 5-1).
2. تبين الدراسة الحالية أن استخدام أي من طريقتي POA أو RSA أدى إلى تشكل ميكانيكية انهيار للمنشآت قصيرة الدور (4 طوابق) ومتوسطة الدور (8 طوابق) المنتظمة وغير المنتظمة، بينما لم يتم لحظ تشكل ميكانيكية انهيار للمنشآت مرتفعة الدور (16 طابقاً) (الجدول 5-4).
3. في المباني المنتظمة، أعطت طريقة POA قيمةً لتجاوز المقاومة أكبر من طريقة RSA (الجدول 5-2)، وبالتالي فإن استخدام طريقة POA جاء لصالح الأمان، مع ملاحظة اقتراب النتائج مع ازدياد الدور.
4. في المباني غير المنتظمة، أعطت طريقة POA قيمةً لتجاوز المقاومة أقل من تلك التي أعطتها طريقة RSA (الجدول 5-2)، وبالتالي فإن استخدام طريقة POA ليست لصالح الأمان في المباني غير المنتظمة. وقد كان الفارق بحدود 34% من أجل المباني قصيرة الدور (4 طوابق).
5. في المباني المنتظمة، أعطت طريقة POA انتقالاً أكبر من الانتقال الذي تم الحصول عليه باستخدام طريقة RSA (الجدول 5-3)، وقد كان الفارق يزداد مع ازدياد الدور، حيث وصل في المباني مرتفعة الدور (16 طابقاً) إلى 31%. من هنا يتأكد أن استخدام طريقة الـ POA للمباني المنتظمة هو لصالح الأمان.
6. في المباني غير المنتظمة، أعطت طريقة POA انتقالاً أقل من الانتقال الذي تم الحصول عليه باستخدام طريقة RSA في حال الأدوار القصيرة (4 طوابق) (الجدول 5-3)، بينما جاء متقارباً لحالة الأدوار المتوسطة (8 طوابق)، وجاء الانتقال أكبر بنسبة 54% في حالة المباني ذات الدور المرتفع (16 طابقاً).
7. تزداد المطاوعة بازدياد الدور في المباني المنتظمة (الجدول 5-5)، بينما لم ترتبط المطاوعة بدور المبنى في المنشآت غير المنتظمة.

8. يمكن استخدام طريقة POA من أجل المباني المنتظمة لأنها تعطي نتائجاً لصالح الأمان، وتقترب هذه النتائج من طريقة RSA لحالة المباني ذات الأدوار القصيرة والمتوسطة (أقل من 3sec).
9. لا يمكن استخدام طريقة POA من أجل المباني غير المنتظمة لأنها تعطي نتائج ليست لصالح الأمان ولاسيما في المباني قصيرة الدور (أقل من 1sec).

## 2.5 التوصيات لأعمال مستقبلية Recommendations for Future Work

من أجل أعمال مستقبلية في نفس الموضوع يوصى بمايلي:

1. دراسة احتمالية تطبيق طريقة POA من أجل الجمل المختلفة (Dual Systems)، حيث أن وجود جدران القص تؤدي إلى تغيير دور المبنى ليصبح أقصر.
2. دراسة احتمالية تطبيق POA باستخدام التمثيل ثلاثي الأبعاد (3D)، وأخذ أثر الفتل بعين الاعتبار.

## المراجع

### References

- Abd- Alla. M (2007). "**Application of recent techniques of pushover for evaluating seismic performance of multistory buildings**", *PhD thesis, Cairo University, Egypt.*
- ATC-40 (1996) ,**Seismic evaluation and Retrofit of Concrete Building** , Applied Technology Council , Redwood City ,California , USA.
- BS EN 1998-2: 2005. Eurocode 8: **Design Of Structures For Earthquake Resistance –Part2: Bridges**, Brussels,CEN.
- FEMA-356 (2000)," **Presstandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation Of Buildings**".Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- FEMA-273. (1996) ," **NEHRP Guidelines For The Seismic Rehabilitation Of Buildings** ". Federal Emergency Management Agency ,Washington, D.C.
- Han S.W. and Jee N.Y. (2005) ."**Seismic Behaviors of columns in ordinary and intermediate moment resisting concrete frames**",*Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea.*
- Kadid .A.( 2000)."**Pushover Analysis of Reinforced Concrete Frame Structures**", *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, Vol. 9, No.1, 75-83.
- Krawinkler. H.and Seneviratna.G.D (1998),"**Pros and cons of pushover analysis of seismic performance evaluation**",*Engineering Structures*,Vol.20 ,452-464.
- Martino. R (2001)."**Non-Linear PushOver Analysis Of Reinforced Concrete Structures**" ,*PhD thesis, Colorado Advanced Software Institute,USA.*

- Moehle J. and Gregory G. (2004).“**A Framework Methodology For Performance Based Earthquake Engineering**”,*Proceedings of 13th World Conference on Earthquake Engineering ,Vancouver, B.C., Canada , August 1-6, Paper No.679.*
- Murty,C.V.R. and Jain S.K. (2000)."**Beneficial influence of Masonry infills on seismic performance of RC frame buildings**", *Proceedings of 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 30Jan.-4Feb., Paper No.1790.*
- Papanikolaou V.K.,Elnashai A.S.,Pareja J.F.(2005)."**Limits of Applicability of Conventional and Adaptive PushOver Analysis for Seismic Response Assessment**". *Mid-America Earthquake center, Civil and Environmental Engineering Department, University of Illinois at Urban- Champaign.*
- Penelis G.G. and Kappos A.J. , (1997). "**Earthquake Resistant Concrete Structures**", *E & FN Spon, London, UK.*
- Ravikumar C. M., Babu Narayan K .S., Sujith B .V., Venkat Reddy D.(2012). "**Effect of Irregular Configurations on Seismic Vulnerability of RC Buildings**",*Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Surathkal, U.B.D.T College of Engineering, Davangere, India .*
- Sap2000,Version 15.0.1Ultimate. **Sap2000/ Standerd user ’s Manual**,*Computers and Structures, inc. 1995 University Ave. Berekly, USA.*
- Taranath B.S. (2003)."**Wind and Earthquake Resistance Buildings**", Marcel Dekker, New York, USA.
- UBC (1997): Uniform Building Code- Volume 2 :**Structural Engineering Design international conference of building officials ,USA.**

Zou.X. K and Chan. C. M (2005)."**Optimal seismic performance-based design of reinforced concrete buildings using nonlinear pushover analysis** ", *Journal of Engineering Structures*, Vol. 27, No. 8, 1289-1302.

السمارة ,محمد (2006). "أساسيات ديناميك المنشآت و الهندسة الزلزالية " ، دمشق , سوريا .

العرب ,ميساء(2009). " تصميم المنشآت الهيكلية على الأداء باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي "،رسالة ماجستير, جامعة دمشق, المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية, دمشق .

الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة (2004). منشورات نقابة المهندسين, الطبعة الثالثة, دمشق.

الكود العربي السوري لتصميم وتحقيق المباني والمنشآت لمقاومة الزلازل - الملحق رقم (2)(2005). منشورات نقابة المهندسين, سوريا, دمشق.

## **Abstract**

Recently, PushOver Analysis (POA) procedures are widely used by engineers to check and design building against seismic action. These procedures provide many advantages such as the limited solving time compared to the dynamic procedures. On the other hand, PushOver Analysis offers the ability to define the locations of plastic hinges which affect the ductility of structure.

Using Finite Element Analysis (FEA), a comparison between PushOver Analysis (POA) way and Response Spectrum Analysis (RSA) procedure is done in this research to explore the application limits of POA on the both regular and irregular frame buildings.

This research demonstrates that using POA is safer to be used in the regular frame buildings more than the irregular frame building, specially for building of short and intermediate periods.

Damascus University

Faculty of civil engineering

Department of Structural Engineering

***Application Limits of Nonlinear Static PushOver Analysis for Reinforced  
Concrete Buildings***

Thesis Submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Master of  
Science in structural Engineering

By

**Raghad Sharaf Eddin**

Supervisor

**Dr Mustafa Batikha**

**Damascus 2014**