الجمهورية العربية السورية

وزارة التعليم العالي

جامعة تشرين

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الانشائية

مساهمة في دراسة تأثير أنماط الاهتزاز على التحليل الستاتيكي اللاخطي المبسط في الأبنية العالية من البيتون المسلح

رسالة علمية أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية في كلية الهندسة المدنية

إعداد الطالبة

زينة بسام أبو عسلي

بإشراف:

الدكتور نبيل دبانة

الدكتور نزيه منصور

العام الدراسي

2015–2016

قدمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات نيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية من كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين.

This thesis has been submitted as a partial fulfillment of the requirement for master degree in structural engineering at the Faculty of Civil Engineering at Tishreen University.

تصريح

أصرح أن هذا البحث "مساهمة في دراسة تأثير أنماط الاهتزاز على التحليل الستاتيكي اللاخطي المبسط في الأبنية العالية من البيتون المسلح" لم يسبق أن قبل للحصول على شهادة ، ولا هو مقدم حالياً للحصول على شهادة أخرى.

اسم المرشح

زينة بسام أبو عسلي

تاريخ : 31 / 8 / 2016

DECLERATION

This is to declare that this work "Contribution to studying Effects of modes of vibration on simplified nonlinear static analysis of reinforced concrete high buildings" has not been being submitted concurrently for any other degree.

Candidate name

Zena Abou Assalie

Date: 31 / 8 / 2016

شهادة

نشهد بأن هذا العمل الموصوف في هذه الرسالة " **مساهمة في دراسة تأثير أنماط الاهتزاز على التحليل الستاتيكي اللاخطي المبسط في الأبنية العالية من البيتون المسلح**" هو نتيجة بحث علمي قامت به المرشحة المهندسة زينة بسام أبو عسلي بإشراف الدكتور نبيل دبانة (أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين، اللاذقية، سورية) والدكتور نزيه منصور (مدرس في قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين، اللاذقية، سورية) و إن أي مرجع ورد في هذه الرسالة موثق في النص.

المُرشح	**بإشراف**
م. زينة بسام أبو عسلي	**د. نبيل دبانة د. نزيه منصور**

تاريخ: 31/ 8 /2016

CERTIFICATION

It is hereby certified that, the work described in this thesis " **Contribution to studying Effects of modes of vibration on simplified nonlinear static analysis of reinforced concrete high buildings**" is the results of Eng. Zena Bassam Abou Assalie own investigations under the supervision of Dr. Nabil Debbaneh (Associate Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, SYRIA), and Dr. Nazih Mansour (Lecturer , Department of Structural Engineering , Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, SYRIA), and any reference of other researchers work has been duly acknowledged in the text.

Candidate	Supervisors
Zena Bassam Abou Assalie	Dr. Nabil Debbaneh Dr. Nazih Mansour

Date : 31 / 8 / 2016

نوقشت رسالة الماجستير بعنوان "مساهمة في دراسة تأثير أنماط الاهتزاز على التحليل الستاتيكي اللاخطي المبسط في الأبنية العالية من البيتون المسلح" للطالبة زينة أبو عسلي بتاريخ 2016/8/31 وأجيزت.

لجنة الحكم:

الدكتور بسام حويجة

التوقيع ....

المرتبة العلمية: أستاذ، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين، اللاذقية، سوريا.

الدكتور نبيل دبانة

التوقيع ....

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين، اللاذقية، سوريا.

الدكتورة فدوى عيسى

التوقيع ....

المرتبة العلمية: مدرس، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين، اللاذقية، سوريا.

أصرح بأنني قد قمت بإجراء كافة التعديلات المطلوبة من قبل لجنة الحكم على موضوع الرسالة بعنوان "مساهمة في دراسة تأثير أنماط الاهتزاز على التحليل الستاتيكي اللاخطي المبسط في الأبنية العالية من البيتون المسلح".

اسم المرشح

م. زينة بسام أبو عسلي

الإشراف : المشرف الرئيسي

د. نبيل دبانة

المشرف المشارك

د.نزيه منصور

لجنة الحكم:

أ.د. بسام حويجة

د.نبيل دبانة

د.فدوى عيسى

كلمة شكر

ACKNOWLEDGMENT

أتقدم بالشكر لإدارة كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين لكل ما قدمته في سبيل إنجاز هذا البحث وأخص بالشكر الكبير أستاذي المشرف:

الدكتور نبيل دبانة

و المشرف المشارك

الدكتور نزيه منصور

اللذين قدما الكثير من الجهد والوقت وكان لملاحظاتهما و توجيهاتهما الدور الكبير في إتمام هذا البحث و إخراجه على هذا النحو

فهرس المحتويات

رقم الصفحة

ملخص	I
قائمة الجداول	II
قائمة الأشكال	VI
مقدمة	XI
الفصل الأول : طرائق التحليل الإنشائي:	1
مقدمة :	2
1-1 التحليل الديناميكي للمنشآت :	3
1-1-1 الاهتزاز الحر (Free vibration):	3
2-1-1 الاهتزاز القسري (Forced Vibration):	6
3-1-1 طريقة تحليل طيف الاستجابة (Response Spectrum Analysis):	8
4-1-1 طريقة تحليل السجلات الزمنية (THA(Time History Analysis :	10
2-1 التحليل الستاتيكي اللاخطي :	11
1-2-1 مبدأ التحليل الستاتيكي اللاخطي:	11
2-2-1 مستويات الأداء Performance levels:	12
3-2-1 الحمولات الجانبية المستخدمة في التحليل الستاتيكي اللاخطي :	16
1-3-2-1 حسب ATC- 40 :	16
2-3-2-1 حسب FEMA 356 :	16
4-2-1 تحديد نقطة الأداء :	19
1-4-2-1 طريقة طيف الاستطاعة Capacity Spectrum Method(CSM) :	19
2-4-2-1 طريقة عوامل الانتقال Displacement Coefficient Method :	25
5-2-1 التحقق من الأداء Performance Check:	27
الفصل الثاني : طرائق التحليل الدفعي النمطي (دراسة مرجعية) :	31
1-2 مراجعة عامة لتطور التحليل الستاتيكي اللاخطي الدفعي :	32
2-2 2-2 طرائق التحليل الدفعي النمطي :	34
1-2-2 التحليل الدفعي متعدد الأنماط (Multi-Mode Pushover) MMP :	34
2-2-2 طريقة MPA للتحليل الدفعي (Modal Pushover Analysis) :	35
3-2-2 طريقة MMPA(Modified Modal Pushover Analysis):	41

4-2-2	طريقة الحد الأعلى(المغلف) في التحليل الدفعي UBPA(Upper Bound)	44
5-2-2	طريقة التجميع النمطي : MMC(Method of Modal Combination)	47
6-2-2	طريقة التجميع الأمثل للأنماط الموزونة في التحليل الدفعي:	53
3-2	طرائق التحليل المتكيف :	54
1-3-2	التحليل المتكيف المعتمد على الأطياف (Adaptive Spectra-based Pushover)	55
2-3-2	طريقة التجميع النمطي المتكيف AMC(Adaptive Modal Combination)	58
4-2	التحليل الدفعي ثلاثي الأبعاد :	61
1-4-2	طريقة التحليل الدفعي النمطي ثلاثية الأبعاد(3D MPA) :	61
2-4-2	التحليل الدفعي باستخدام منحنيات الاستطاعة المعممة :	65
الفصل الثالث : النمذجة والتحليل :		69
مقدمة:		70
1-3	التحليل الستاتيكي اللاخطي باستخدام SAP2000:	70
2-3	خصائص المفصل اللدن :	70
3-3	حالات التحميل :	72
4-3	نماذج الحمولات الجانبية :	74
5-3	بارامترات هامة للتحكم بالتحليل :	74
6-3	تحديد نقطة الأداء :	77
الفصل الرابع : دراسة تطبيقية لنماذج وفق طرائق التحليل اللاخطي الدفعي النمطي المعتمدة :		79
مقدمة :		80
1-4	طرائق التحليل المعتمدة :	81
1-1-4	طريقة (UBPA)	81
2-1-4	طريقة(MMC)	81
3-1-4	طريقة التجميع المباشر(direct)	81
4-1-4	طريقة مقترحة (Proposed)	81
2-4	معايير الاستجابة :	82
3-4	النماذج الإنشائية المدروسة :	82
1-3-4	المجموعة الأولى- النماذج الإطارية المستوية:	83
1-1-3-4	الإطار(F1-7):	84
2-1-3-4	الإطار (F2-12):	85

4-3-1-3 الإطار (F3-18): 86
4-3-2 المجموعة الثانية – النماذج الإطارية الفراغية : 87
4-3-2-1 المبنى(S1-5): 87
4-3-2-2 المبنى(S2-9): 90
4-3-2-3 المبنى(S3-16): 93
4-4 نتائج تحليل المجموعة الأولى: 100
4-4-1 نتائج الإطار(F1-7): 100
4-4-2 مقارنة نتائج الإطار (F1-7): 112
4-4-3 نتائج الإطار(F2-12): 116
4-4-4 مقارنة نتائج الإطار (F2-12): 129
4-4-5 نتائج الإطار (F3-18): 132
4-4-6 مقارنة نتائج الإطار (F3-18): 146
4-4-7 خلاصة المجموعة الأولى: 149
4-5 نتائج المجموعة الثانية : 151
4-5-1 نتائج المبنى (S1-5): 151
4-5-2 مقارنة نتائج المبنى (S1-5): 161
4-5-3 نتائج المبنى (S2-9): 166
4-5-4 مقارنة نتائج المبنى (S2-9): 180
4-5-5 نتائج المبنى (S3-16): 186
4-5-6 مقارنة نتائج المبنى (S3-16): 201
الاستنتاجات والتوصيات: 207
الاستنتاجات: 208
التوصيات: 210
المراجع: 211
ملحق A: الحمولات الجانبية في الاطار F1-7 بالطريقة المقترحة(Proposed) 215
Abstract 217

ملخص

تعتبر طرائق التحليل الستاتيكي اللاخطي من أفضل الطرائق في مجال التصميم و التقييم المعتمد على الأداء، وجاءت كبديل جيد جداً عن التحليل الديناميكي اللاخطي المعقد نسبياً في الممارسة العملية. يستخدم في التحليل الستاتيكي اللاخطي حمولات جانبية متزايدة تدريجياً بخطوة ثابتة، و توصي الكودات بأشكال معينة لهذه الحمولات لا تأخذ بالاعتبار مساهمة أنماط الاهتزاز في الاستجابة وهذا الأمر غير مناسب للمباني العالية ذات الأدوار الأساسية التي تتجاوز 1 ثانية.

يتناول هذا البحث دراسة وتقييم تأثير أنماط الاهتزاز على شكل الحمولات الجانبية المستخدمة في التحليل الستاتيكي اللاخطي، وتأثير الأشكال المختلفة للحمولات المجمعة وفق أنماط متعددة على نتائج التحليل.

أجريت الدراسة على مجموعتين من النماذج الإطارية من البيتون المسلح : الأولى مكونة من 3 إطارات مستوية، والثانية من 3 مباني ذات جمل إطارية فراغية مصممة وفق الكود العربي السوري، واستخدم برنامج SAP2000 لإجراء التحليل باستخدام 3 طرائق للتحليل الدفعي النمطي إضافة إلى طريقة مقترحة، تأخذ كل منها مساهمة عدد من أنماط الاهتزاز، وتم تحديد 4 معايير للاستجابة اللاخطية هي منحني الاستطاعة ونقطة الأداء والازاحات النسبية الطابقية وأماكن المفاصل اللدنة ومستويات الأداء. تم من خلال هذه المعايير تقييم الطرائق المعتمدة بالنسبة لتحليل النمط الأساسي وتحديد الحالات الأكثر خطورة من ناحية تخفيض الاستطاعة وذلك من أجل كل نموذج مدروس. أظهرت النتائج أن عدداً من حالات تجميع الأنماط باستخدام الطرائق النمطية المعتمدة سبب انخفاضاً وتدهوراً في الاستطاعة ومستويات الأداء، مما أظهر جلياً مساهمة الأنماط في الاستجابة الزلزالية و تأثيرها في نتائج التحليل الستاتيكي اللاخطي الدفعي، وهذا التأثير يزداد مع زيادة ارتفاع المبنى و مدة دوره الأساسي.

قائمة الجداول

رقم الجدول	العنوان	الصفحة
الجدول 1-1	مستويات أداء المباني الكلي	14
الجدول 1-2	مستويات الخطر الزلزالي حسب FEMA	15
الجدول 1-3	مستويات الأداء المستخدمة حسب الخطر الزلزالي وأهداف التصميم وإعادة التأهيل	15
الجدول 1-4	القيم الدينا لعوامل تخفيض طيف الاستجابة	22
الجدول 1-5	تصنيف السلوك الانشائي للمباني	23
الجدول 1-6	قيم عامل التعديل C_0	26
الجدول 1-7	الانزياحات النسبية المسموحة عند مستويات الأداء	27
الجدول 1-8	بارامترات النمذجة ومعيار القبول للجيزان من البيتون المسلح في التحليل اللاخطي	29
الجدول 1-9	بارامترات النمذجة ومعيار القبول للأعمدة من البيتون المسلح في التحليل اللاخطي	30
الجدول 2-1	الخواص الديناميكية للمبنى النموذجي 8 و16 طابق	49
الجدول 2-2	الخواص الديناميكية للجمل المدروسة للأدوار الخمسة الأولى	57
الجدول 4-1	إطارات المجموعة الأولى	83
الجدول 4-2	أبعاد وتسليح عناصر الإطار F1-7	84
الجدول 4-3	أبعاد وتسليح عناصر الإطار F2-12	85
الجدول 4-4	أبعاد وتسليح عناصر الإطار F3-18	86
الجدول 4-5	مباني المجموعة الثانية	87
الجدول 4-6	أبعاد وتسليح عناصر المبنى S1-5	88
الجدول 4-7	أبعاد وتسليح عناصر المبنى S2-9	91
الجدول 4-8	أبعاد وتسليح عناصر المبنى S3-16	94
الجدول 4-9	الخصائص الديناميكية للإطار (F1-7)	100
الجدول 4-10	العوامل المستخدمة في تشكيل الحمولة الجانبية للإطار (F1-7) بطريقة UBPA	101
الجدول 4-11	نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في الاطار (F1-7) بطريقةUBPA	102
الجدول 4-12	نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في الاطار(F1-7) بطريقة MMC	105
الجدول 4-13	نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في الاطار (F1-7) بطريقة (direct)	108
الجدول 4-14	نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في الاطار(F1-7) بالطريقة المقترحة (proposed)	110
الجدول 4-15	مقارنة نقطة الأداء و المفاصل اللدنة لحالات التجميع الأخطر للإطار (F1-7) بالطرائق المعتمدة	113
الجدول 4-16	الخصائص الديناميكية للإطار (F2-12)	116
الجدول 4-17	العوامل المستخدمة في تشكيل الحمولة الجانبية للإطار (F2-12)بطريقة UBPA	116
الجدول 4-18	نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في الاطار (F2-12) بطريقة UBPA	118
الجدول 4-19	نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في الاطار (F2-12) بطريقة MMC	121
الجدول 4-20	نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في الاطار (F2-12) بطريقة (direct)	124

قائمة الجداول

الجدول 4−21 نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في الاطار(F2−12) بطريقة المقترحة (proposed) 127
الجدول 4−22 مقارنة نقطة الأداء والمفاصل اللدنة لحالات التجميع الأخطر للإطار(F2−12) بالطرائق المعتمدة 129
الجدول 4−23 الخصائص الديناميكية للإطار (F3−18) 132
الجدول 4−24 العوامل المستخدمة في تشكيل الحمولة الجانبية للإطار (F3−18) بطريقة UBPA 133
الجدول 4−25 نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في الاطار (F3−18) بطريقة UBPA 134
الجدول 4−26 نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في الاطار (F3−18) بطريقة MMC 138
الجدول 4−27 نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في الاطار(F3−18) بطريقة (direct) 141
الجدول 4−28 نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في الاطار(F3−18) بطريقة المقترحة (proposed) 144
الجدول 4−29 :مقارنة نقطة الأداء والمفاصل اللدنة لحالات التجميع الأخطر للإطار(F3−18) بالطرائق المعتمدة 146
الجدول 4−30 الخصائص الديناميكية للمبنى (S1−5) 151
الجدول 4−31 العوامل المستخدمة في تشكيل الحمولة الجانبية للمبنى (S1−5) بطريقة UBPA 152
الجدول 4−32 نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى (S1−5) بطريقة UBPA 154
الجدول 4−33 نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى (S1−5) بطريقة MMC 158
الجدول 4−34 نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى (S1−5) بطريقة المقترحة proposed 161
الجدول 4−35 مقارنة نقطة الأداء والمفاصل اللدنة لحالات التجميع الأخطر للمبنى(S1−5) بالطرائق المعتمدة 163
الجدول 4−36 الخصائص الديناميكية للمبنى (S2−9) 166
الجدول 4−37 نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى (S2−9)بطريقة UBPA 169
الجدول 4−38 نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى (S2−9) بطريقة MMC 172
الجدول 4−39 نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى (S2−9)بطريقة المقترحة proposed 177
الجدول 4−40 نقطة الأداء والمفاصل اللدنة لحالات التجميع الأخطر للمبنى(S2−9) بالطرائق المعتمدة 182
الجدول 4−41 الخصائص الديناميكية للمبنى (S3−16) 186
الجدول 4−42 نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى(S3−16) بطريقة UBPA 190
الجدول 4−43 نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى (S3−16) بطريقة MMC 193
الجدول 4−44 نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى(S3−16) بطريقة المقترحة proposed 198
الجدول 4−45 نقطة الأداء والمفاصل اللدنة لحالات التجميع الأخطر للمبنى(S3−16) بالطرائق المعتمدة 202

قائمة الأشكال

رقم الشكل	العنوان	الصفحة
الشكل 1-1	طيف التسارع	9
الشكل 1-2	طيف التسارع التصميمي بحسب الكود السوري	9
الشكل 1-3	الجملة MDOF والجملة المكافئة ESDOF	11
الشكل 1-4	الشكل العام لعلاقة (قوة–انتقال) للسلوك اللاخطي لمفصل لدن.	12
الشكل 1-5	منحني الاستطاعة (القص القاعدي–انتقال الذروة) .	12
الشكل 1-6	مستويات الأداء الأكثر استخداما بالنسبة لمنحني الاستطاعة.	14
الشكل 1-7	القيم المستخدمة في حساب التوزع الشاقولي للحمولات الأفقية	17
الشكل 1-8	تغييرات k حسب الدور الأساسي	17
الشكل 1-9	قيم C_{vx} من أجل k=1,k=2	17
الشكل 1-10	أشكال الحمولات الجانبية بحسب FEMA	18
الشكل 1-11	نقطة الأداء بطريقة طيف الاستطاعة	19
الشكل 1-12	طيف الاستجابة بصيغة ADRS والصيغة النظامية	20
الشكل 1-13	تحويل منحني الاستطاعة إلى طيف استطاعة	21
الشكل 1-14	نقطة الأداء المبدئية بحسب مبدأ الانتقال المتساوي	21
الشكل 1-15	إيجاد التخامد الهستيري من الطاقة المبددة	22
الشكل 1-16	تخفيض طيف المطلب الزلزالي	22
الشكل 1-17	طريقة طيف الاستطاعة الإجراء A	23
الشكل 1-18	نقطة الأداء بطريقة طيف الاستطاعة الإجراء B	25
الشكل 1-19	حساب الصلابة الفعالة بطريقة عوامل الانتقال	26
الشكل 2-1	منحنيات Pushover للأنماط1,2,3 للإطار المدروس حسب طريقة MMP	35
الشكل 2-2	رسم توضيحي لمبدأ تحليل MRHA	36
الشكل 2-3	خصائص الجملة اللامرنة SDF– n من منحني Pushover	38
الشكل 2-4	الإطار المعدني SAC 9 طوابق	39
الشكل 2-5	أنماط الاهتزاز الثلاث الأولى للإطار المعدني 9 طوابق	40
الشكل 2-6	الحمولة الجانبية للانماط الثلاثة الأولى	40
الشكل 2-7	الحمولات الجانبية المستخدمة بحسب FEMA	40
الشكل 2-8	الخطأ المرتكب في تقديرات انتقالات الطوابق والإزاحات النسبية الطابقية ودورانات المفاصل اللدنة في الإطار المدروس	41
الشكل 2-9	متوسط نسبة الإزاحة , لإطارات مشروع SAC من 9و20 طابق	42
الشكل 2-10	متوسط نسبة الإزاحة ل 6 إطارات من ,3,6,9,12,15,18 طابق	43
الشكل 2-11	القيم العظمى لانتقالات الطوابق والانزياحات النسبية الطابقية للإطار 10طوابق	46
الشكل 2-12	القيم العظمى لانتقالات الطوابق والانزياحات النسبية الطابقية للإطار 20 طابق	47

قائمة الأشكال

الشكل 2-13	القيم العظمى لدورانت المفاصل اللدنة للإطار10طوابق و 20 طابق	47
الشكل 2-14	مسقط أفقي للمبنى النموذجي 8 و16 طابق	49
الشكل 2-15	توزع القوى الجانبية للأنماط 1و2 مستقلة ومجمعة للإطار 8 طوابق	50
الشكل 2-16	انتقالات الطوابق والازاحات النسبية الطابقية الناتجة عن تحليل الأنماط 1و2 المستقلة والمجمعة للإطار 8 طوابق	50
الشكل 2-17	توزع القوى الجانبية للأنماط 1و2 مستقلة ومجمعة للإطار 16 طابق	51
الشكل 2-18	الازاحات النسبية الطابقية الناتجة عن تحليل الأنماط 1و2 للإطار 16 طابق	51
الشكل 2-19	مغلف الانزياحات النسبية الطابقية الناتجة عن تحليل الأنماط 1و2و3 للإطار 16 طابق	51
الشكل 2-20	توزع للحمولات الجانبية $S_n = \Gamma_n \text{m}\, \Phi_n$ للأنماط 1و 2و3 في الإطار 14 طابق	52
الشكل 2-21	مقارنة الإنزياحات النسبية الطابقية للإطار14 طابق (MMC بإدخال الأنماط 1و2)	52
الشكل 2-22	مقارنة الإنزياحات النسبية الطابقية للإطار14 طابق (MMC بإدخال الأنماط 1و2و3)	52
الشكل 2-23	الانزياحات النسبية الطابقية في الاطار 12 طابق المحسوبة بالطرائق المدروسة	54
الشكل 2-24	مثال على شعاع الحمولة الجانبية لمتكيف أثناء كل خطوة من خطوات التحليل	55
الشكل 2-25	الانزياحات النسبية الطابقية باستخدام الطريقة المقترحة بالمقارنة مع الطرائق المدروسة	58
الشكل 2-26	أماكن تشكل المفاصل اللدنة باستخدام الطريقة المقترحة والمقارنة مع الطرائق المدروسة	58
الشكل 2-27	مقارنة القيم العظمى الانزياحات النسبية الطابقية للإطار البيتوني20 طابق بين الطرائق المدروسة	61
الشكل 2-28	انتقال السطح المرافق للأنماط الثلاثة الأولى في (CW48) و((CW62	63
الشكل 2-29	الأدوار الطبيعية وأنماط الاهتزاز في (CW48) و((CW62 وفق الانتقالات x,y والانتقال الفتلي	64
الشكل 2-30	انتقال الطوابق والانتقالات النسبية الطابقية عند مركز الكتلة في (CW48) و((CW62	64
الشكل 2-31	المسقط الأفقي والواجهة والنموذج التجريبي لمبنى SPEAR	66
الشكل 2-32	أنماط الاهتزاز الأولى بالاتجاه x,y لمبنى SPEAR	66
الشكل 2-33	منحنيات الاستطاعة للنمط الأول من كل اتجاه (T=0.618,T=0.442)	67
الشكل 2-34	منحنيات الاستطاعة للنمط الأول باتجاهx (T=0.618,)بأشكالها	67
الشكل 3-1	محني السلوك (قوة – انتقال) للمفصل اللدن تظهر عليه حدود مستويات الأداء	71
الشكل 3-2	تعريف خواص المفصل اللدن M3 فيSAP2000	71
الشكل 3-3	تعريف المفصل اللدن أوتوماتيكيا حسب FEMA356 فيSAP2000	72
الشكل 3-4	نافذة تعريف حالات التحميل الستاتيكي اللاخطي	73
الشكل 3-5	نافذة تعريف التحكم بالحمولة	74
الشكل 3-6	نافذة التحكم بالخطوات المحفوظة	75
الشكل 3-7	نافذة التحكم ببارامترات التحليل اللاخطي	76

قائمة الأشكال

الشكل 3-8	خيارات تحديد نقطة الأداء	78
الشكل 3-9	البارامترات اللازمة لطريقة طيف الاستطاعة	78
الشكل 4-1	طيف الاستجابة التصميمي المرنRS1	83
الشكل 4-2	الإطار النموذجي F1-7	82
الشكل 4-3	الإطار النموذجي F2-12	85
الشكل 4-4	الإطار النموذجي F3-18	86
الشكل 4-5	طيف الاستجابة الخاص بالموقع للمبنىS1-5	88
الشكل 4-6	مسقط افقي للطوابق المتكررة للجملة الانشائية للمبنىS1-5	89
الشكل 4-7	النموذج التحليلي للمبنىS1-5	90
الشكل 4-8	مسقط افقي للطوابق من الارضي إلى الخامس للجملة الانشائية للمبنىS2-9	92
الشكل 4-9	مسقط افقي للطابق 6 للجملة الانشائية للمبنىS2-9	92
الشكل 4-10	مسقط افقي للطابق 7 للمبنىS2-9	92
الشكل 4-11	مسقط افقي للطابق 8 للمبنىS2-9	92
الشكل 4-12	النموذج التحليلي للمبنىS2-9	93
الشكل 4-14	مسقط افقي للطابق الأرضي للمبنىS3-16	95
الشكل 4-15	مسقط افقي للطابق الأول للمبنىS3-16	95
الشكل 4-16	مسقط افقي للطابق الثاني للمبنىS3-16	96
الشكل 4-17	مسقط افقي للطابق الثالث للمبنىS3-16	96
الشكل 4-18	مسقط أفقي للطوابق من4 إلى12 للمبنىS3-16	97
الشكل 4-19	مسقط أفقي للطابق13 للمبنىS3-16	97
الشكل 4-20	مسقط أفقي للطابق 14 للمبنىS3-16	98
الشكل 4-21	مسقط أفقي للطابق15 للمبنىS3-16	98
الشكل 4-22	مسقط أفقي للطابق الأخير للمبنىS3-16	99
الشكل 4-23	النموذج التحليلي للمبنىS3-16	99
الشكل 4-24	أشكال أنماط الاهتزاز للإطار (F1-7)	100
الشكل 4-25	الحمولات الجانبية على الإطار(F1-7) بطريقة UBPA	101
الشكل 4-26	منحنيات الاستطاعة للإطار(F1-7) بطريقة UBPA	102
الشكل 4-27	الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F1-7) بطريقة UBPA	103
الشكل 4-28	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار(F1-7) بطريقة UBPA	103
الشكل 4-29	الحمولات الجانبية على الإطار(F1-7) بطريقةMMC	104
الشكل 4-30	منحنيات الاستطاعة للإطار(F1-7) بطريقة MMC	104
الشكل 4-31	الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F1-7) بطريقة MMC	105
الشكل 4-32	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار(F1-7) بطريقة MMC	106

قائمة الأشكال

الشكل 4-33	الحمولات الجانبية على الإطار(F1-7) بطريقةdirect	107
الشكل 4-34	منحنيات الاستطاعة للإطار(F1-7) بطريقةdirect	107
الشكل 4-35	الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F1-7) بطريقةdirect	108
الشكل 4-36	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار(F1-7) بطريقة direct	109
الشكل 4-37	الحمولات الجانبية على الإطار(F1-7) بالطريقة المقترحةproposed	109
الشكل 4-38	منحنيات الاستطاعة للإطار(F1-7) بالطريقة المقترحةproposed	110
الشكل 4-39	الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F1-7)بالطريقة المقترحة proposed	111
الشكل 4-40	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار(F1-7)بالطريقة المقترحةproposed	112
الشكل 4-41	مقارنة منحنيات الاستطاعة لحالات التجميع الأخطر للإطار(F1-7) بالطرائق المعتمدة	113
الشكل 4-42	الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F1-7)للحالات الأخطر	114
الشكل 4-43	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F1-7)حسب النمط الأساسي	115
الشكل 4-44	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F1-7)حسب UBPA بالحالة الأخطر	115
الشكل 4-45	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F1-7)حسب بالحالة الأخطر MMC	115
الشكل 4-46	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F1-7) حسبProposed بالحالة الأخطر	115
الشكل 4-47	أشكال أنماط الاهتزاز للإطار F2-12	116
الشكل 4-48	الحمولات الجانبية على الإطار(F2-12) بطريقة UBPA	117
الشكل 4-49	منحنيات الاستطاعة للإطار(F2-12) بطريقة UBPA	117
الشكل 4-50	الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F2-12) بطريقة UBPA	118
الشكل 4-51	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار(F2-12)بطريقةUBPA	119
الشكل 4-52	الحمولات الجانبية على الإطار(F2-12) بطريقةMMC	120
الشكل 4-53	منحنيات الاستطاعة للإطار(F2-12)بطريقة MMC	120
الشكل 4-54	الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F2-12) بطريقةMMC	121
الشكل 4-55	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار(F2-12) بطريقة MMC	122
الشكل 4-56	الحمولات الجانبية على الإطار(F2-12) بطريقةdirect	123
الشكل 4-57	منحنيات الاستطاعة للإطار(F2-12) بطريقةdirect	123
الشكل 4-58	الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F2-12)بطريقةdirect	124
الشكل 4-59	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار(F2-12) بطريقة direct	125
الشكل 4-60	الحمولات الجانبية على الإطار(F2-12) بطريقة المقترحةproposed	126
الشكل 4-61	:منحنيات الاستطاعة للإطار(F2-12) بطريقة المقترحةproposed	126
الشكل 4-62	الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F2-12) بطريقة المقترحةproposed	127
الشكل 4-63	: أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار(F2-12) بطريقة المقترحةproposed	128
الشكل 4-64	منحنيات الاستطاعة لحالات التجميع الأخطر للإطار(F2-12) بالطرائق المعتمدة	129
الشكل 4-65	الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F2-12)للحالات الأخطر	130

قائمة الأشكال

الشكل 4-66	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2-12)حسب النمط الأساسي	131
الشكل 4-67	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2-12)حسب UBPA بالحالة الأخطر	131
الشكل 4-68	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2-12)حسبMMC بالحالة الأخطر	131
الشكل 4-69	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2-12) حسبProposed بالحالة الأخطر	131
الشكل 4-70	أشكال أنماط الاهتزاز للإطار F3-18	132
الشكل 4-71	الحمولات الجانبية على الإطار(F3-18) بطريقة UBPA	133
الشكل 4-72	منحنيات الاستطاعة للإطار(F3-18) بطريقة UBPA	134
الشكل 4-73	الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F3-18) بطريقة UBPA	135
الشكل 4-74	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار(F2-12) بطريقة UBPA	136
الشكل 4-75	الحمولات الجانبية على الإطار(F3-18) بطريقة MMC	137
الشكل 4-76	:منحنيات الاستطاعة للإطار(F3-18) بطريقة MMC	137
الشكل 4-77	الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F3-18) بطريقة MMC	138
الشكل 4-78	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار(F3-18) بطريقة MMC	139
الشكل 4-79	الحمولات الجانبية على الإطار(F3-18) بطريقةdirect	140
الشكل 4-80	:منحنيات الاستطاعة للإطار(F2-18) بطريقةdirect	141
الشكل 4-81	الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F3-18) بطريقةdirect	142
الشكل 4-82	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار(F3-18) بالطريقة المقترحة direct	142
الشكل 4-83	الحمولات الجانبية على الإطار(F3-18) بالطريقة المقترحةproposed	143
الشكل 4-84	منحنيات الاستطاعة للإطار(F3-18) بالطريقة المقترحة proposed	143
الشكل 4-85	لازاحة النسبية الطابقية للإطار(F3-18) بالطريقة المقترحة proposed	144
الشكل 4-86	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار(F3-18) بالطريقةproposed	145
الشكل 4-87	منحنيات الاستطاعة للإطار(F3-18)لحالات التجميع الاخطر بالطرائق المدروسة	146
الشكل 4-88	إزاحة النسبية الطابقية للإطار(F3-18)لحالات التجميع الأخطر بالطرائق المدروسة	147
الشكل 4-89	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F3-18)حسب النمط الأساسي	148
الشكل 4-90	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2-18)بطريقة UBPA بالحالة الأخطر	148
الشكل 4-91	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2-18)بطريقةMMC بالحالة الأخطر	148
الشكل 4-92	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2-18)بطريقة Proposed بالحالة الأخطر	148
الشكل 4-93	أشكال أنماط الاهتزاز للمبنى (S1-5)	151
الشكل 4-94	الحمولات الجانبية على المبنى(S1-5)بطريقة UBPA بالاتجاهين	152
الشكل 4-95	منحنيات الاستطاعة المبنى(S1-5)بطريقة UBPA بالاتجاهين X,Y	153
الشكل 4-96	لازاحة النسبية الطابقية للمبنى (S1-5)بطريقة UBPA بالاتجاهين X,Y	154
الشكل 4-97	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S1-5)بطريقة UBPA بالاتجاه X,	155
الشكل 4-98	الحمولات الجانبية على المبنى(S1-5)بطريقة MMC بالاتجاهين X,Y	156

قائمة الأشكال

الشكل 4-99	منحنيات الاستطاعة المبنى(S1-5)بطريقةMMC بالاتجاهين X,Y	157
الشكل 4-100	الازاحات النسبية الطابقية للمبنى (S1-5)بطريقةUBPA بالاتجاهين X,Y	158
الشكل 4-101	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S1-5)بطريقة MMC)بالاتجاه X,	159
الشكل 4-102	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S1-5)حسب MMC بالاتجاه Y,	160
الشكل 4-103	منحنيات الاستطاعة المبنى((S1-5 للحالات الأخطر بالاتجاهين X,Y	162
الشكل 4-104	الازاحات النسبية الطابقية للمبنى (S1-5)للحالات الأخطر بالاتجاهين X,Y	164
الشكل 4-105	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S1-5)حسب النمط الأساسي اتجاه x	165
الشكل 4-106	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S1-5)بطريقة UBPA بالحالة الأخطر	165
الشكل 4-107	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S1-5)حسب النمط الأساسي اتجاه Y	165
الشكل 4-108	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S1-5)بطريقة MMC, Proposed بالحالة الأخطر	165
الشكل 4-109	أشكال أنماط الاهتزاز للمبنى (S2-9)	166
الشكل 4-110	الحمولات الجانبية على المبنى(S2-9) بطريقة UBPA بالاتجاهين X,Y	167
الشكل 4-111	منحنيات الاستطاعة المبنى(S2-9)بطريقة UBPA بالاتجاهين X,Y	168
الشكل 4-112	الازاحة النسبية الطابقية المبنى(S2-9)بطريقةUBPA بالاتجاهين X,Y	169
الشكل 4-113	تشكل المفاصل اللدنة في المبنى(S2-9)بطريقة UBPA بالاتجاه X,	170
الشكل 4-114	:الحمولات الجانبية على المبنى(S2-9) بطريقة MMC بالاتجاهين X,Y	170
الشكل 4-115	منحنيات الاستطاعة المبنى(S2-9)حسب MMC بالاتجاهين X,Y	171
الشكل 4-116	الازاحات النسبية الطابقية للمبنى (S2-9) حسب MMC بالاتجاهين X,Y	173
الشكل 4-117	تشكل المفاصل اللدنة في المبنى(S2-9) بطريقة MMC بالاتجاه X,	174
الشكل 4-118	شكل المفاصل اللدنة في المبنى(S2-9) بطريقة MMC بالاتجاه Y,	175
الشكل 4-119	الحمولات الجانبية على المبنى(S2-9) بالطريقة المقترحة proposed	175
الشكل 4-120	منحنيات الاستطاعة المبنى(S2-9) بالطريقة المقترحةproposed	176
الشكل 4-121	الازاحات النسبية الطابقية للمبنى (S2-9) بطريقة propsoed بالاتجاهين X,Y	178
الشكل 4-122	تشكل المفاصل اللدنة في للمبنى (S2-9) بالطريقة المقترحةpropsoed بالاتجاه X,	179
الشكل 4-123	تشكل المفاصل اللدنة في للمبنى (S2-9) بالطريقة المقترحة proposed بالاتجاه Y	180
الشكل 4-124	منحنيات الاستطاعة المبنى (S2-9) للحالات الأخطر بالاتجاهين X,Y	181
الشكل 4-125	لازاحات النسبية الطابقية للمبنى((S2-9 للحالات الأخطر بالاتجاهين X,Y	183
الشكل 4-126	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S2-9)حسب النمط الأساسي بالاتجاه x	184
الشكل 4-127	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S2-9)بطريقة UBPA بالحالة الأخطر	184
الشكل 4-128	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S2-9)بطريقة MMC بالحالة الأخطر	184
الشكل 4-129	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى(S2-9)بطريقة المقترحة بالحالة الأخطر	184
الشكل 4-130	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S2-9)حسب النمط الأساسي بالاتجاه Y	185
الشكل 4-131	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S2-9) بطريقة MMC بالحالة الأخطر	185

قائمة الأشكال

الشكل 4-132	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S2-9)بطريقة المقترحة بالحالة الأخطر	185
الشكل 4-133	أشكال أنماط الاهتزاز من 1 إلى6 للمبنى (S3-16)	187
الشكل 4-134	أشكال أنماط الاهتزاز من 7 إلى11 للمبنى (S3-16)	187
الشكل 4-135	الحمولات الجانبية على المبنى(S3-16) بطريقة UBPA بالاتجاهين X,Y	188
الشكل 4-136	منحنيات الاستطاعة للمبنى(S3-16) بطريقة UBPA بالاتجاهين X,Y	189
الشكل 4-137	الازاحات النسبية الطابقية في المبنى(S3-16) بطريقة UBPA بالاتجاه Y	190
الشكل 4-138	أماكن المفاصل اللدنة في المبنى(S3-16) بطريقة UBPA بالاتجاه Y	191
الشكل 4-139	الحمولات الجانبية على المبنى(S3-16) بطريقة MMC بالاتجاهين X,Y	191
الشكل 4-140	منحنيات الاستطاعة للمبنى(S3-16) بطريقة MMC بالاتجاهين X,Y	192
الشكل 4-141	الازاحات النسبية الطابقية المبنى(S3-16) بطريقة MMC بالاتجاهين X,Y	193
الشكل 4-142	أماكن تشكل المفاصل اللدنة في المبنى(S3-16) بطريقة MMC بالاتجاه X,	194
الشكل 4-143	أماكن المفاصل اللدنة في المبنى(S3-16) بطريقة MMC بالاتجاه Y	195
الشكل 4-144	الحمولات الجانبية على المبنى(S3-16) بالطريقة المقترحة Proposed بالاتجاهين X,Y	196
الشكل 4-145	منحنيات الاستطاعة المبنى(S3-16) بالطريقة المقترحة Proposed بالاتجاهين X,Y	197
الشكل 4-146	الازاحات النسبية الطابقية المبنى(S3-16) بالطريقة المقترحة Proposed بالاتجاهين X,Y	198
الشكل 4-147	أماكن المفاصل اللدنة في المبنى(S3-16) بالطريقة المقترحة Proposed بالاتجاه X,	199
الشكل 4-148	أماكن المفاصل اللدنة في المبنى(S3-16) بالطريقة المقترحة Proposed بالاتجاه Y	200
الشكل 4-149	منحنيات الاستطاعة المبنى((S3-16) للحالات الأخطر بالاتجاهين X,Y	201
الشكل 4-150	الازاحات النسبية الطابقية للمبنى((S3-16 للحالات الأخطر بالاتجاهين X,Y	203
الشكل 4-151	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S3-16)حسب النمط الأساسي بالاتجاه X	204
الشكل 4-152	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S3-16)بطريقة MMC بالحالة الأخطر	204
الشكل 4-153	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S3-16)بطريقة, Proposed بالحالة الأخطر	204
الشكل 4-154	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S3-16)حسب النمط الأساسي بالاتجاه Y	205
الشكل 4-155	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S3-16)بطريقة UBPA بالحالة الأخطر	205
الشكل 4-156	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S3-16)بطريقة Proposed بالحالة الأخطر	205
الشكل 4-157	أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S3-16)بطريقة MMC بالحالة الأخطر	205

مقدمة

استخدمت طرائق التصميم المعتمد على الأداء (Performance Based Design) خلال العقود الماضية بشكل واسع في مجالات صناعية متعددة كصناعة الطائرات والسيارات من خلال اختبار نماذج فعلية ودراسة سلوكها وتأديتها للغرض المطلوب منها. أما فكرة الهندسة الزلزالية المعتمدة على الأداء PBSE (Performance Based Seismic Engineering) فقد حازت على اهتمام المهندسين المدنيين مؤخراً، بالرغم من صعوبة اختبار منشآت بالمقياس الحقيقي واختلاف مواصفات كل مبنى عن الآخر، لكن التطور الحاصل في التطبيقات البرمجية والهندسة الزلزالية ساعد في انتشار طرائق التصميم المعتمد على الأداء لتصميم مباني ذات سلوك متوقع عند تعرضها لزلزال معين، أو تقييم سلوك المباني التي لم يراعى في تنفيذها اشتراطات الكودات الزلزالية، وإعادة تأهيلها. **[5]**

ترتكز طرائق الهندسة الزلزالية المعتمدة على الأداء على مبدأين أساسيين هما الطلب Demand والاستطاعة Capacity، حيث يمثل الطلب حركة الأرض الزلزالية بينما تمثل الاستطاعة قدرة المنشأ على مقاومة الطلب الزلزالي وبالتالي فإن أداء المنشأ performance يعتمد على الحالة التي تتعامل معها الاستطاعة مع الطلب، وبعبارة أخرى يجب أن يملك المنشأ الاستطاعة اللازمة لمقاومة الطلب الزلزالي بحيث يكون أداؤه متوافق مع أهداف التصميم.

<u>لماذا التحليل الستاتيكي اللاخطي؟</u>

إن طرائق التحليل التقليدية المستخدمة في التصميم الزلزالي للمنشآت والموجودة في معظم كودات البناء بما فيها الكود العربي السوري، هي طرائق ستاتيكية خطية أو خطية مكافئة، تمثل فيها العناصر الإنشائية بنماذج رياضية بسيطة ذات سلوك خطي، وتعرض لقوى زلزالية مأخوذة من أطياف استجابة مرنة، ومخفضة بعامل تخفيض للسلوك الزلزالي. لكن هذه الطرائق، بالرغم من سهولة استخدامها، تعاني من عيوب أهمها :

1. عوامل التخفيض المستخدمة تقريبية .
2. لا تأخذ بالاعتبار تلدن المناطق الحرجة و تغيير توزع القوى والانتقالات الناتج عنها، أي لا تمثل السلوك اللاخطي للعناصر وما ينتج عنه من انهيارات موضعية تسبب خروجها عن العمل، كما أنها لا تمثل بشكل جيد ميكانيزمات الانهيار التي غالبا ما تكون مسبباً لانهيار المنشآت .

لذلك فإن هذه الطرائق الخطية لا تخدم مجالات التصميم المعتمد على الأداء لفشلها في تمثيل السلوك العام الفعلي للمنشآت عند تعرضها للزلازل. هذا الأمر دفع إلى الاهتمام أكثر بطرائق التحليل اللاخطي **[4]**. وتعتبر طرائق التحليل الديناميكي اللاخطي وخاصة طريقة السجلات الزمنية اللاخطية NTHA (Nonlinear Time History Analysis) أكثر الطرائق دقة وموثوقية في تقييم السلوك الزلزالي لكنها في الواقع غير مناسبة للممارسة العملية وصعبة التنفيذ للأسباب التالية:

1- تتطلب وجود عدد من تسجيلات زلزالية للمنطقة المدروسة قد لا تكون متوفرة

2- تتطلب زمن تحليل كبير بسبب تكرار التحليل لعدد كبير من المعادلات التفاضلية عند كل خطوة زمنية، مما يتطلب حجما كبيرة من ذاكرة الحاسب المستخدم .

وجاءت طرائق التحليل الستاتيكي اللاخطي الدفعي (Nonlinear static pushover analysis) NSPA كتقريب ستاتيكي للسلوك الديناميكي وبديل جيد جدا لطريقة NTHA في تقييم الأداء الزلزالي، وأصبحت إحدى طرائق PBSE الأكثر شعبية بين المهندسين الانشائيين. عمل الباحثون خلال السنوات العشرين الأخيرة، وما يزالون، على تطويرها وتجاوز السلبيات والثغرات المرافقة لتطبيقها من أجل الحصول على تقديرات أكثر واقعية لاستجابات المباني للزلازل والقوى الأفقية. وقد تم تبني هذه الطريقة في عدد من الهيئات والكودات العالمية أهمها: (ATC-40) الموضوع من قبل مجلس التكنولوجيا التطبيقية **[1]** ، والكودات (FEMA 273,356,440) **[2]** **[3]** **[4]** الموضوعة من قبل وكالة إدارة الطوارئ الفيديرالية، والكود الأوروبي EUROCODE 8 .

أهمية البحث-(مشكلة البحث):

تعتمد طرائق التحليل الستاتيكي اللاخطي على تمثيل الحمولات الزلزالية، بتعريض المبنى لحمولة جانبية متزايدة تدريجيا بخطوات تحميل ثابتة، وموزعة على ارتفاع المبنى. وتوصي الكودات التي تتناول هذه الطرائق بتطبيق عدة أشكال لهذه الحمولات: إما موزعة بشكل منتظم أو مثلثي أو بشكل متناسب مع نمط الاهتزاز الأساسي الأول للمبنى. هذا الفرض يبدو واقعياً من أجل المباني قليلة الارتفاع و المباني المنتظمة ذات النمط الأساسي المسيطر بحيث تبدي استجابة كجملة مكافئة وحيدة درجة الحرية وفق شكل نمط الاهتزاز الاساسي، أما من أجل المباني الأعلى ذات الأدوار الأساسية الأكبر والمباني غير المنتظمة فإن عدد من الأنماط الأولى يؤثر في استجابة المبنى وليس النمط الأول فقط، ولا يمكن اعتبار استجابة هذه المباني كاستجابة جملة وحيدة درجة الحرية، وتوزيع الحمولة الجانبية وفق النمط الأول لا

يعبر عن قوى العطالة المتشكلة فعليا في المنشأ نتيجة الاهتزاز، ويقود إلى مقادير استجابات غير صحيحة لا تعطي تقييما جيداً للسلوك الزلزالي.

يعتبر هذا الجانب ثغرة أساسية في إجراءات NSPA لذلك أوصت الكودات العالمية بتطويره وبضرورة استخدام نموذج نمطي للحمولة الجانبية يأخذ بالاعتبار مساهمة عدة أنماط. هذا الأمر دفع إلى تطوير طرائق لتحليل NSPA تأخذ في الاعتبار مساهمة الأنماط المختلفة.

من الطرائق المعروفة التي ظهرت خلال تسعينات القرن الماضي ما يتضمن إجراء تحليل دفعي من أجل كل نمط اهتزاز مرغوب ثم تجميع مقادير الاستجابة الناتجة من كل تحليل بطريقة احصائية للحصول على الاستجابة النهائية للمبنى. وهذه الطرائق من حيث المبدأ مشابهة لتحليل أطياف الاستجابة، إلا أنها غير عملية ولا تتضمن سهولة التطبيق المرجوة لأنها تتطلب إجراء أكثر من تحليل دفعي للمبنى الواحد للوصول إلى الاستجابة النهائية، إضافة إلى أن الطريقة الاحصائية المستخدمة في التجميع لا تعبر عن المساهمة الفعلية لكل نمط في الاستجابة الكلية.

تلافياً لهذه العيوب، بدأ الباحثون باقتراح صيغ للحمولات الجانبية المستخدمة في التحليل الستاتيكي اللاخطي تأخذ بالاعتبار الأنماط المساهمة في الاستجابة بحيث يجرى التحليل مرة واحدة ونحصل مباشرة على استجابة يشترك فيها أكثر من نمط واحد للاهتزاز، وأظهرت استجابات المباني المدروسة وفق هذه الصيغ اختلافا واضحا عن الطرائق الكودية، ونسب خطأ أقل مقارنة مع الاستجابات الفعلية، وتمثيلا أكثر واقعية للسلوك الزلزالي لهذه المباني. ومازالت هذه الصيغ وطرائق تجميعها موضوعا لأبحاث عديدة يمكن أن ندرجها تحت مسمى تطوير طرائق التحليل الدفعي النمطي Methods for Modal Pushover Analysis. ويسعى هذا البحث إلى تقديم مساهمة في تقييم هذه الطرائق وتطويرها للاستفادة منها في المجالات العملية للتصميم والتقييم المعتمد على الأداء من قبل المهندس الانشائي.

هدف البحث :

يهدف هذا البحث إلى:

1- دراسة وتقييم تأثير أنماط الاهتزاز على شكل الحمولات الجانبية المستخدمة في التحليل الستاتيكي اللاخطي.

2– دراسة وتقييم تأثير الأشكال المختلفة للحمولات المجمعة وفق أنماط متعددة على نتائج التحليل الستاتيكي اللاخطي في مجموعة من المباني الإطارية متعددة الارتفاع من البيتون المسلح.

3–تقديم مساهمة في توطين استخدام طرائق التحليل الدفعي النمطي (Modal Pushover Analysis) من خلال تطبيقها على مباني مصممة وفق الكود العربي السوري تحت تأثير الهزات الأرضية المتوقعة في الساحل السوري باعتباره منطقة عالية الشدة الزلزالية بحسب الكود، والتأكيد على أهمية استخدام التحليل الدفعي النمطي عمليا عند تصميم أو تقييم المباني العالية بالاعتماد على الأداء. كما أن هذا الأمر يخدم أحد محاور البحث العلمي في الكلية الهندسة المدنية في مجال تطوير طرائق التحليل الانشائي.

مكونات الرسالة:

تتكون الرسالة من مقدمة عامة و أربعة فصول. يتضمن الفصل الاول تعريف مختصر بطرائق التحليل الانشائي للمباني مع التوسع في التحليل الستاتيكي اللاخطي وخطوات إجرائه حسب الكودات العالمية وأهم العوامل المؤثرة في نتائجه خاصة الحمولة الجانبية المستخدمة في التحليل. ويشمل الفصل الثاني دراسة مرجعية تتناول طرائق التحليل الدفعي النمطي (Modal Pushover Anlysis) ودراسات أجريت لتقييم هذه الطرائق ومقارنتها مع الطرائق الكودية التقليدية واختيار بعض الطرائق لاستخدامها في الدراسة. أما الفصل الثالث فيتضمن خيارات النمذجة وتعريف متحولات التحليل باستخدام برنامج SAP2000 مثل السلوك اللاخطي والحمولات الجانبية وبارامترات أخرى. ننتقل إلى الفصل الرابع الذي يتضمن دراسة تطبيقية ل 6 نماذج إطارية ضمن مجموعتين وذلك وفق 3 طرائق للتحليل الدفعي النمطي إضافة لطريقة مقترحة، حيث تم تحديد معايير الاستجابة ليتم من خلالها مقارنة نتائج حالات التجميع المختلفة للأنماط بالطرائق المدروسة مع نتائج التحليل وفق النمط الأساسي لتحديد الحالة الأخطر على استطاعة المنشأ وتحقيقه لمستويات الأداء. يختم البحث بالنتائج النهائية والتوصيات.

الفصل الأول

طرائق التحليل الإنشائي

مقدمة:

تقسم طرائق التحليل المستخدمة في التحليل الانشائي للمنشآت الهندسية بشكل عام إلى :

A– طرائق تحليل ستاتيكية : وتشمل التحليل الستاتيكي الخطي والتحليل الستاتيكي اللاخطي.

B–طرائق تحليل ديناميكية : وتشمل التحليل الديناميكي الخطي و التحليل الديناميكي اللاخطي .

A–1 طرائق التحليل الستاتيكي الخطي: تستخدم هذه الطرائق نموذج رياضي خطي مرن للمنشأة المدروسة باعتبار العناصر لا تتجاوز حد المرونة. وتعتمد عند تحليل المنشأ تحت تأثير الحمولات الأفقية على تطبيق حمولة جانبية مكافئة وتوزيعها على ارتفاع النموذج عند منسوب كل طابق ثم تحلل المنشأة ستاتيكيا وتحسب القوى الداخلية في العناصر وتصمم مقاطعها ضمن مجال السلوك المرن، و تنص الكودات عموما على اعتبار هذه الحمولة قوة قص قاعدي تحسب كنسبة من وزن المنشأة الفعال باستخدام مجموعة من العوامل**[2]**. تبنى الكود العربي السوري طريقتين أساسيتين للتحليل الستاتيكي هما الطريقة الستاتيكية الأولى والطريقة الستاتيكية الثانية (أو المكافئة) حيث يسمح باستخدام الأولى للمنشآت المتناظرة أو التي لا تزيد اللامركزية فيها بين مركز ثقل الأحمال ومركز الصلابة عن 10% بينما تستخدم الثانية للمنشآت المنتظمة التي لا يزيد ارتفاعها عن 73m والمنشآت غير المنتظمة التي لا تزيد عن 5 طوابق أو ارتفاع 20m ، وقد تم الاستغناء عن الطريقة الأولى وإضافة الطريقة الستاتيكية المطورة في الطبعة الأخيرة من الكود**[35]**. تعتمد الطريقة الستاتيكية الثانية في حساب قوة القص القاعدي الناتجة عن هزة أرضية على العلاقة التالية :

$$V = \frac{C_v \cdot I}{R \cdot T} \cdot W$$

V: القص القاعدي المكافئ

C_v : عامل متعلق بتصنيف المنطقة الزلزالية وصنف التربة

I : عامل أهمية المنشأ

R : عامل السلوك اللامرن متعلق بنوع الجملة الانشائية المقاومة للأحمال الجانبية(عامل المطاوعة)

T الدور الأساسي للمنشأ

W الوزن الزلزالي المساوي للحمولة الميتة يضاف له 25% من الحمولة الحية في بعض الحالات.

هذه الطرائق الستاتيكية المكافئة واسعة الاستخدام في الممارسة العملية وتصميم المباني لسهولة استخدامها لكنها تعاني من عيوب أهمها :

1. تستخدم عوامل تقريبية في تقدير القوى الزلزالية.

2. لا تأخذ بالاعتبار تلدن المناطق الحرجة وتغيير توزع القوى والانتقالات الناتج عنه، ولا تعبر عن السلوك اللاخطي للعناصر، كما أنها لا تمثل ميكانيزمات الانهيار بشكل جيد، التي قد تكون سبباً لانهيار المنشآت .

بالتالي فإن هذه الطرائق لا تخدم مجالات التصميم المعتمد على الأداء لفشلها في تمثيل السلوك العام الفعلي للمنشآت عند تعرضها للزلازل.

A-2 طرائق التحليل الستاتيكي اللاخطي : تستخدم هذه الطرائق نماذج تأخذ في الاعتبار السلوك اللاخطي للعناصر الانشائية وتعبر عن السلوك العام للمنشآت تحت تأثير الزلازل لذلك فهي تعتبر من الطرائق الرئيسية في الهندسة الزلزالية المعتمدة على الأداء، يمكن استخدامها لتقييم السلوك الزلزالي لمباني قائمة بوضعها الراهن أو لتقييم التصاميم النهائية للمباني استناداً على مفاهيم الأداء. تتضمن تطبيق حمولة جانبية بشكل تدريجي حتى الوصول إلى انتقال محدد مسبقا أو انهيار المنشأ. سنأتي على شرح هذا التحليل بالتفصيل في هذا الفصل.

B-1 طرائق التحليل الديناميكي الخطي : تستخدم نموذج مشابه للنموذج المستخدم في التحليل الستاتيكي الخطي ويتم الحصول على الاستجابة إما من طيف استجابة مرن أو من تحليل السجلات الزمنية.

B-2 طرائق التحليل الديناميكي اللاخطي تستخدم نموذج يعبر عن السلوك اللاخطي للعناصر وهي أكثر الطرائق دقة وموثوقية في تقييم السلوك الزلزالي وتعتمد غالبا على تحليل السجلات الزمنية للهزات الأرضية.

إن الاختلاف الرئيسي بين الطرائق الستاتيكية والديناميكية هو أنه في الطرائق الستاتيكية تدرس الجمل تحت تأثير حمولات خارجية ثابتة بالنسبة للزمن أما في الطرائق الديناميكية فتكون الحمولات والتأثيرات تابعة للزمن، وهذا يجعل مسائل الديناميك لا تملك حلاً وحيداً ويتوجب علينا إيجاد سلسلة من الحلول المتعاقبة والمتعلقة بكل الأزمنة اللازمة والهامة وهذا يسبب تعقيداً في إجراءات التحليل الديناميكي و استهلاكا أكبر للزمن من التحليل الستاتيكي، ومن الصعب إجراؤه للمنشآت الهندسية بدون معونة الحاسب. نورد فيما يلي شرحا لمبادئ التحليل الديناميكي بشكل عام وأهم طرائقه التي تخدم مجال هذا البحث

1-1 التحليل الديناميكي للمنشآت [18]:

1-1-1 الاهتزاز الحر (Free vibration):

الاهتزازات الحرة أو الاهتزازات الذاتية : هي الحركات الاهتزازية التي تقوم بها المنشأة المحررة من تأثير القوى الخارجية والمتروكة لذاتها، وهي تعطينا فكرة عن الانتقالات وشكل الاستجابة في الفترة التي تتبع

تعرض هذه المنشأة لاهتزازت قسرية كما في الزلازل والتعرض لحمولات الرياح. ويعرف أيضا دور الاهتزاز T ، والتردد الطبيعي (التواتر) للاهتزاز : $f = \frac{1}{T}$ ، والتردد الدوراني : $\omega = \frac{2\pi}{T}$

تعتبر الأدوار والترددات الطبيعية وأنماط الشكل Shape Modes من الخواص الهامة والفريدة لأي جملة مهتزة تختلف بحسب نظامها الانشائي وارتفاعها وتوزع الكتل والصلابات والمواد الانشائية.

تدرس الاهتزازات الحرة للجمل الانشائية المهتزة في مجال سلوكها المرن Elastic من معادلة الحركة الحرة لجملة وفق العلاقة المصفوفية التالية:

$$\mathbf{m}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{k}\mathbf{u} = \{0\} \qquad (1-1)$$

m: مصفوفة الكتلة المجمعة (Lumped) , **k** : مصفوفة الصلابة للمنشأ

إذا افترضنا أن الحركة "هارمونية" توافقية يمكننا وضع شعاع الانتقالات تحت الشكل التالي:

$$\mathbf{u} = \o \sin(\omega t) \qquad (2-1)$$

(ω): الترددات الطبيعية

ø : شعاع أنماط الانتقال أو سعة الاهتزاز في العقد الموافقة للترددات .

و يمكن حسابهما من خلال حل مسألة القيم المميزة Eigen values وذلك بوضع:

$$\ddot{\mathbf{u}} = -\omega^2 \o \sin(\omega t) = -\omega^2 \mathbf{u} \qquad (3-1)$$

وبالتعويض في العلاقة (1−1)نحصل على :

$$(\mathbf{k} - \omega^2 \mathbf{m})\o = \{0\} \qquad (4-1)$$

ولكي تكون قيم الانماط ø غير صفرية يجب أن تتحقق المعادلة المميزة بتعويض $\omega^2 = \lambda$:

$$\mathbf{k} - \lambda\, \mathbf{m} = 0 \qquad (5-1)$$

λ تعبر عن القيم المميزة لهذه المعادلة، أي أن المنشأ يرد على الحركة الاهتزازية وفق النمط التابع لكل تردد معين. وتعبر الأنماط ø عن شكل الاهتزاز والذي يعطي القيم النسبية لدرجات الحرية وهي تنتج عن حل جملة المعادلات المتجانسة(1−4).

خاصية تعامد أنماط الانتقال:

إن الخاصة الهامة لأنماط الانتقال (ϕ) هي خاصة التعامد بالنسبة لمصفوفة الكتلة **m** ومصفوفة الصلابة **k**. بأخذ حلين مختلفين من القيم المميزة مثل: $\o_r\ ,\omega_r^2$ و $\o_s\ ,\omega_s^2$ حيث يحققان:

$$\mathbf{k}\o_r = \omega_r^2 \mathbf{m}\o_r \qquad (6-1)$$

$$\mathbf{k}\o_s = \omega_s^2 \mathbf{m}\o_s$$

بجداء طرفي العلاقات السابقة بـ $\o_r^T$ و $\o_s^T$ وتطبيق المنقول على العلاقة الثانية ثم طرحها من الأولى نحصل على :

$$(\omega_r^2 - \omega_s^2)\o_s^T \mathbf{m}\, \o_r = 0 \qquad (7-1)$$

وبشكل عام فإن الترددات الطبيعية غير متساوية$\omega_r \neq \omega_s$ هذا يؤدي إلى وضع:

$$\emptyset_s^T \mathbf{m}\, \emptyset_r = 0 \qquad (8-1)$$

حيث $r \neq s$ والتي تترجم شرط التعامد لأنماط الانتقال. بالتعويض من العلاقة (1−8) في العلاقة (1−7) نجد أن:

$$\emptyset_s^T \mathbf{k}\, \emptyset_r = 0 \qquad (9-1)$$

ومن أجل r = s نجد:

$$\emptyset_s^T \mathbf{m}\, \emptyset_s = \mathbf{m_s} \qquad (10-1)$$

$$\emptyset_s^T \mathbf{k}\, \emptyset_s = \mathbf{k}_s = \omega_s^2 \mathbf{m}_s$$

حيث تعبر $\mathbf{m}_s$ عن الكتلة المعممة (generalized mass) وهي قيمة قياسية، وتعبر $\mathbf{k}_s$ عن الصلابة المعممة (generalized stiffness) هي أيضا قيمة قياسية. ونحصل على شعاع مميز جديد بقسمة ø على جذر الكتلة المعممة:

$$\bar{\emptyset}_s = \emptyset_s \frac{1}{\sqrt{\mathbf{m}_s}} \qquad (11-1)$$

والذي يسمى بنمط الشكل القياسي normalized Shape Modes. وتصبح العلاقات بالشكل التالي:

$$\emptyset_s^T \mathbf{m}\, \emptyset_r = \delta_{sr} \qquad \delta_{sr} = \begin{cases} 1 & s = r \\ 0 & s \neq r \end{cases} \qquad (12-1)$$

$$\emptyset_s^T \mathbf{k}\, \emptyset_r = \delta_{sr}\omega_s^2$$

وعند تجميع أنماط الشكل المختلفة ضمن مصفوفة مربعة Φ (n×n) بحيث يحتل كل عمود من أعمدتها نمط تابع لتردد طبيعي من الأصغر للأكبر، وإدخالها بدلا من الشعاع المميز نحصل على العلاقات التالية:

$$\Phi^T \mathbf{m}\, \Phi = \mathbf{m_n} \qquad (13-1)$$

$$\Phi^T \mathbf{k}\, \Phi = \mathbf{k}_n$$

وتصبح الكتلة المعممة$\mathbf{m_n}$ والصلابة المعممة $\mathbf{k_n}$ حدودا قطرية للمصفوفات التالية:

$$\boldsymbol{K} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\omega}_1^2\mathbf{m_1} & & & \\ & \boldsymbol{\omega}_2^2\mathbf{m_2} & 0 & \\ & 0 & . & \\ & & & \boldsymbol{\omega}_n^2\mathbf{m_n} \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad M = \begin{bmatrix} \mathbf{m_1} & & & \\ & \mathbf{m_2} & 0 & \\ & 0 & . & \\ & & & \mathbf{m_n} \end{bmatrix} \qquad (14-1)$$

وعند استخدام أنماط الشكل القياسية بدلاً من الأشعة المميزة نحصل على:

$$\bar{\Phi}^T \mathbf{m}\, \bar{\Phi} = \mathbf{I} \qquad \bar{\Phi}^T\, \mathbf{k}\, \bar{\Phi} = \wedge \qquad (15-1)$$

حيث تعبر $\mathbf{I}$ عن المصفوفة الواحدية القطرية و ∧ عن مصفوفة قطرية حدودها القيم المميزة $\boldsymbol{\omega}_i^2$.

2-1-1 الاهتزاز القسري (Forced Vibration):

الاهتزاز القسري هو الحركات الاهتزازية التي تقوم بها المنشأة تحت تأثير حمولات خارجية ديناميكية.
وتعرف الحمولات الديناميكية: بأنها الحمولة التي تكون طويلتها واتجاهها أو موضعها متغير مع الزمن، وبشكل مشابه تعتبر التأثيرات المتولدة في المنشأة نتيجة الحمولات الديناميكية مثل الاجهادات والتشوهات تابعة أيضاً للزمن. عندما يكون تغير هذه الحمولات مع الزمن غير محدداً بشكل كامل تسمى بالحمولات الديناميكية العشوائية وتندرج تحت هذا النوع من الحمولات دراسة الهزات الأرضية.

عندما تتعرض جملة إنشائية إلى تحريض خارجي ممثل بحمولة تابعة للزمن مثل: $\overline{\mathrm{P}}\,(t)$ تصبح معادلة الحركة في المجال المرن (بإهمال التخامد)على الشكل :

$$\mathbf{m\ddot{u}} + \mathbf{ku} = \overline{\mathrm{P}}\,(t) \qquad (16-1)$$

هذه المعادلة التفاضلية تابعة للزمن (t) وتظهر تداخلا في درجات الحرية (coupled equations).

وتعتبر **طريقة تنضد الأنماط Modal Superposition Method** الطريقة الأكثر استخداما لحلها. توظف هذه الطريقة نتائج الاهتزاز الحر مثل الترددات الطبيعية وأنماط الأشكال المهتزة في الحل وتعتمد على فصل درجات الحرية المتداخلة عن بعضها البعض من خلال تحويل المتحولات باستخدام متحول نمطي جديد q_1 يرتبط مع الانتقالات بواسطة مصفوفة أنماط الاهتزاز Φ الناتجة عن تحليل الاهتزاز الحر :

$$\mathbf{u}(\boldsymbol{t}) = \Phi\, q(t) \qquad (17-1)$$

بالتعويض في العلاقة $(16-1)$ وبجداء طرفي العلاقة ب Φ^T نحصل على:

$$\Phi^{\boldsymbol{T}}\mathbf{m}\,\Phi\,\ddot{\mathbf{q}} + \Phi^{\boldsymbol{T}}\,\mathbf{k}\,\Phi\mathbf{q} = \Phi^{\boldsymbol{T}}\,\overline{\mathrm{P}}\,(t) \qquad (18-1)$$

وبتطبيق شروط التعامد وتعويض العلاقات$(13-1)$ في المعادلة $(18-1)$ نحصل على المعادلات التفاضلية غير المتداخلة Uncoupled التالية

$$\mathbf{m}_{\boldsymbol{n}}\,\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{k}_{\boldsymbol{n}}\,\mathbf{q} = \mathrm{p} \qquad (19-1)$$

حيث: $\mathrm{P} = \Phi^{\boldsymbol{T}}\,\overline{\mathrm{P}}\,(t)$ والمصفوفات $\mathbf{k}_{\boldsymbol{n}}$ و $\mathbf{m}_{\boldsymbol{n}}$ مصفوفات قطرية. وانطلاقاً من هذه النتائج يمكن أن نعبر عن العلاقة $(19-1)$ غير المتداخلة بـ (n) معادلة كل منها تملك شكل المعادلة التي تحكم جملة بدرجة حرية واحدة بالشكل التالي:

$$\mathbf{m}_{\boldsymbol{i}}\,\ddot{\mathbf{q}}_{\boldsymbol{i}} + \mathbf{k}_{\boldsymbol{i}}\,\mathbf{q}_{\boldsymbol{i}} = \mathrm{p}_{i} \quad ; \mathrm{i} = 1,2,..\mathrm{n} \qquad (20-1)$$

حيث m_i و k_i تمثل قيم الكتلة والصلابة المعممة .

أما في الجمل المتخامدة Damping Systems تصبح العلاقة التي تحكم الحركة في هذه الحالة :

$$\mathbf{m}\ddot{\boldsymbol{u}} + \boldsymbol{c}\dot{\boldsymbol{u}} + \mathbf{k}\boldsymbol{u} = \bar{\mathrm{p}}(t) \qquad (21-1)$$

حيث [C] مصفوفة التخامد. بإدخال هذه المصفوفة الجديدة على العلاقة وبعد تحويل المتحولات وإصلاح المعادلة نحصل على المعادلات النمطية التالية:

$$\ddot{q}_i + 2\,\zeta_i\,\omega_i\,\dot{q}_i + \omega_i^2\,\dot{q}_i = \frac{\mathrm{p}_i}{\mathbf{m}_i} \qquad (22-1)$$

حيث عامل التخامد ξ_i :

$$\xi_i = \frac{C_i}{2M_i\,\omega_i} \qquad (23-1)$$

بالتعويض عن الشروط البدئية في علاقة التابع $q(t)$ وإيجاد الحل العام والخاص يتم الحصول على القيم النهائية الكاملة للانتقال **u** للجملة ذات (n) درجة حرية والمحملة بحمولات كيفية تابعة للزمن $P(\mathrm{t})$:

$$\mathbf{u}(\boldsymbol{t}) = \Phi\,\boldsymbol{q}(t) = \sum q_i(t)\,\phi_i \qquad (24-1)$$

ويمكن بعد ذلك حساب القيمة الكلية لأي استجابة أخرى r عند اللحظة t من العلاقة :

$$r(t) = \sum_{i=1}^{N} r_i\,(t) \qquad (25-1)$$

تعتبر **الهزات الأرضية** المسبب الأكثر شيوعا لحدوث اهتزاز قسري وانتقالات في أساسات المنشآت، فعدما تؤثر الهزة الأرضية باتجاه معين بتسارع مقداره $\ddot{u}_g(t)$ تسبب انتقالا للأساس $u_g(t)$ وبالتالي يصبح شعاع الانتقالات الكلية **'u** للجملة:

$$\mathbf{u'} = \mathbf{u} + \iota\,\mathrm{u_g} \qquad (26-1)$$

u: الانتقالات النسبية الناتجة عن حركة الأساسات و ι : شعاع توزيع واحدي

فتصبح المعادلات التي تحكم هذه الحركة من الشكل التالي مع الأخذ بالاعتبار قانون نيوتن الثاني :

$$\mathbf{m}\ddot{\mathrm{u}}' + \mathbf{c}\dot{\mathrm{u}} + \mathbf{k}\mathrm{u} = 0 \qquad (27\text{-}1)$$

بتعويض(1−26) في (1−27) نحصل على علاقة الحركة :

$$\mathbf{m}\ddot{\mathrm{u}} + \mathrm{c}\dot{\mathrm{u}} + \mathbf{k}\mathrm{u} = -\mathbf{m}\iota\ddot{\mathrm{u}}_{\mathrm{g}} \qquad (28-1)$$

يسمى الطرف الأيمن في هذه العلاقة بالقوة الفعالة للهزة الأرضية P_{eff}

$$P_{eff}(t) = -\mathbf{m}\iota\,\ddot{\mathrm{u}}_{\mathrm{g}}(t) \qquad (29-1)$$

وبتطبيق طريقة تنضد الأنماط على المعادلة(1−28) نحصل على العلاقات المستقلة:

$$\ddot{q}_i + 2\xi_i\,\omega_i\,\dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = -\Gamma_i\ddot{u} \qquad (30-1)$$

حيث

$$\Gamma_i = \frac{\phi_i{}^T\mathbf{m}\,\iota}{\mathbf{m_i}} \qquad (31-1)$$

يسمى المقدار Γ_i بعامل مساهمة النمط i Modal Participation Ratio هو ليس مستقلا عن الطريقة التي تحسب بها الأنماط في الاهتزاز الحر فعند استخدام أنماط الشكل القياسية $[\bar{\Phi}]$ تكون:

$$\mathbf{m}_i = 1 \quad \text{و} \quad \mathbf{m}_n = \bar{\Phi}^T\mathbf{m}\,\bar{\Phi} = I \qquad (32)$$

فيصبح عامل مساهمة النمط i :

$$\Gamma_i = \overline{\Phi_i}^T \, \mathbf{m} \, \iota \qquad (33)$$

تعتبر عوامل مساهمة النمط من المميزات الخاصة أيضا للجمل المهتزة، وهي تحسب مباشرة من تحليل الاهتزاز الحر بعد إيجاد Φ. وتعطي قيم Γ_i للأنماط المختلفة في اتجاه حركة معين بالنسبة لبعضها البعض فكرة عن الانماط الأكثر والأقل مشاركة في استجابة الجملة في الاتجاه المدروس، وهذا الأمر سيفيدنا في اختيار الأنماط المشاركة في الاستجابة عند دراسة التحليل الدفعي النمطي كما سيرد في الفصول اللاحقة.

3-1-1 طريقة تحليل طيف الاستجابة (Response Spectrum Analysis):

يعتمد التصميم الانشائي عادة على القيم العظمى للقوى والانتقالات الحاصلة أثناء التعرض للزلزال. وتعتبر طريقة تحليل طيف الاستجابة من الطرق الأساسية في الهندسة الزلزالية لإيجاد الاستجابات العظمى لجملة معرضة للاهتزاز الأرضي بالاعتماد على أطياف الاستجابة .

أما طيف الاستجابة: فهو مخطط أو رسم بياني للقيم العظمى لاستجابة معينة كتابع لدور الاهتزاز الطبيعي T أو للبارامتر المتعلق به كالتردد الدوراني أو التردد الطيفي

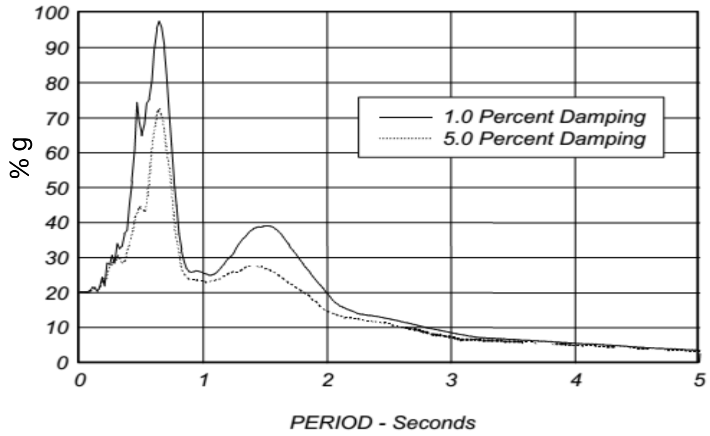
يتم إنشاء طيف استجابة لحركة أرضية معينة ذات تسارع $\ddot{u}_g(t)$ بواسطة التحليل الديناميكي RHA بالاعتماد على متحول جديد D_i مرتبط مع المتحول النمطي q_i حيث $q_i = \Gamma_i \; D_i$ فتصبح العلاقة(1-30) بالشكل التالي:

$$\ddot{D}_i + 2\zeta_i \omega_i \dot{D}_i + D_i = -\ddot{u}_g(t) \qquad (34\text{-}1)$$

D_i يعبر عن انتقال الجملة المكافئة وحيدة درجة الحرية ذات التواتر ω_i عند تعرضها للتسارع الأرضي $\ddot{u}_g(t)$

وبإيجاد مغلف القيم العظمى ل D_i من أجل القيم المختلفة ω ورسمهما على منحني واحد نحصل على ما يسمى بطيف الانتقال ويمكن أن يرسم بدلالة الدور $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ويمكن منه الحصول على طيف السرعة وطيف التسارع.

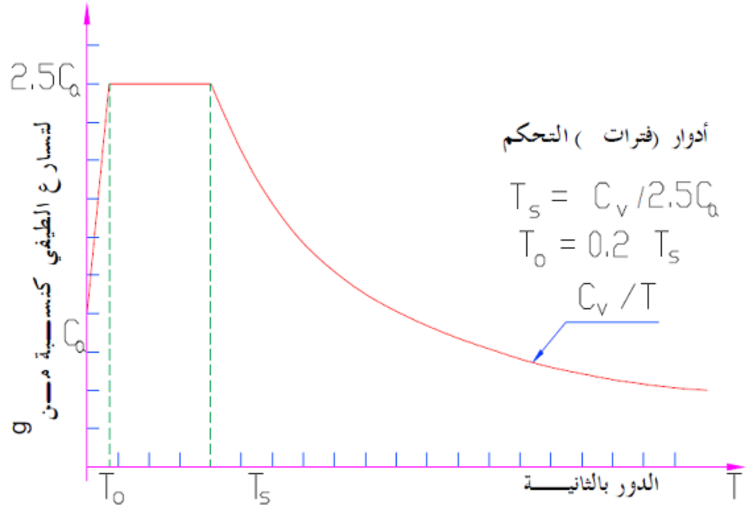
إن الطيف الأكثر استخداما هو طيف التسارع المكافئ A المبين في الشكل(1-1) الذي يربط بين المقدار $A = \omega^2 D$ والدور T.



Pseudo-Acceleration Spectrum, $S_a = \omega^2 y(\omega)_{MAX}$ -
Percent of Gravity

شكل(1−1) : طيف التسارع [18].

طيف الاستجابة التصميمي :يستخدم في عمليات التصميم طيف استجابة تصميمي يعبر عن متوسط لعدد من الهزات الأرضية حدثت أو ممكن أن تحدث في المنطقة المدروسة فهو لا ينتج عن سجل زمني لزلزال معين وإنما تستخدم في انشائه طرائق إحصائية وهو ما يعطى في كودات التصميم المختلفة. يحدد الكود العربي السوري إحدى الطرائق لإنشاء طيف استجابة تصميمي مرن باستعمال العوامل C_a, C_v المتوافقة مع خصوصية الموقع المدروس حيث تتعلق قيمها بنموذج المقطع الشاقولي للتربة وبمعامل المنطقة الزلزالي Z في الجدولين (3−9) (3−10) **[35]**، يبين الشكل(1−2) طيف التسارع التصميمي. يوصي الكود بتمثيل حركة الأرض كحد أدنى بقيم يمكن تجاوزها باحتمال قدره 10% خلال 50 عاما.



شكل(1−2) : طيف التسارع التصميمي بحسب الكود السوري .**[35]**

أما طريقة تحليل طيف الاستجابة فهي عبارة عن مجموعة من عمليات التحليل الستاتيكي تجرى بعد إيجاد الخواص الديناميكية للجملة . تتلخص بإجراء تحليل ستاتيكي للجملة من أجل كل نمط اهتزاز n بإخضاعها للقوى الخارجية $\{s_n\} = \Gamma_n \boldsymbol{m} \Phi_n$ للحصول على الاستجابة الستاتيكية النمطية r_n^{st} . ثم تحسب الاستجابة العظمى للنمط r_{no} بالاعتماد على طيف التسارع A_n مأخوذا من طيف استجابة التسارع التصميمي للمنطقة المدروسة وذلك تبعا للدور T_n بالعلاقة:

$$r_{no} = r_n^{st} A_n(T,\zeta) \qquad (35-1)$$

وبما أن الاستجابات العظمى للأنماط المختلفة لا تحدث في نفس اللحظة فإنها تجمع إحصائيا بطريقة الجذر التربيعي لمجموع المربعات SRSS للحصول على الاستجابة الكلية للجملة حسب العلاقة

$$r_o \approx (\sum_{n=1}^{N} r_{no}^2)^{1/2} \qquad (36)$$

وعندما تكون الأنماط متقاربة جدا من بعضها يفضل استخدام طريقة تجميع التربيعات الكاملة CQC حسب العلاقة:

$$r_o \approx \sqrt{\sum_n \sum_m r_n \, \rho_{nm} \, r_m} \qquad (37-1)$$

$$\rho_{nm} = \frac{8\xi^2(1+r)r^{3/2}}{(1-r^2)^2 + 4\xi^2 r(1+r)^2} \qquad (38-1)$$

حيث

$$r = \frac{\omega_n}{\omega_m}$$

توصي الكودات بتجميع استجابات الانماط ذات المساهمة الفعالة في الاستجابة بما يحقق مساهمة 90% على الأقل من الكتلة الفعالة في الاتجاه المدروس.

4-1-1 طريقة تحليل السجلات الزمنية THA (Time History Analysis) :

تسمح طريقة تحليل السجلات الزمنية THA أو RHA بالحصول على انتقالات الجملة والمقادير المرافقة لها عند كل خطوة زمنية من زمن تأثير القوة الزلزالية المتغيرة مع الزمن من العلاقة (1-25)سواء للجمل الخطية أو اللاخطية. ويوصي الكود العربي السوري بضرورة إجراء هذا التحليل عند تصميم المنشآت التي تعاني من عدم انتظام كبير وذات الأهمية الاستثمارية الكبيرة، وينص على إجراء التحليل باستخدام أزواج من المركبات المناسبة للتأريخ الزمني لحركة الأرض الأفقية التي يتم انتقاؤها وضبطها مما لا يقل عن ثلاثة أحداث زلزالية مسجلة للمنطقة وفي حال عدم توفر أزواج التواريخ الزمنية لحركة الأرض والمسجلة زلزالياً، يمكن استعمال أزواج ممثلة صناعياً، ومناسبة للتواريخ الزمنية لحركة الأرض لإيجاد وتركيب العدد الكلي المطلوب**[35]** .

وتعتبر طريقة السجلات الزمنية اللاخطية NTHA أكثر الطرائق دقة وموثوقية في تقييم السلوك الزلزالي لكنها تعتبر غير مناسبة للممارسة العملية وصعبة التنفيذ للأسباب التالية:

1- تتطلب عدد من التسجيلات الزلزالية للمنطقة المدروسة قد لا تكون متوفرة

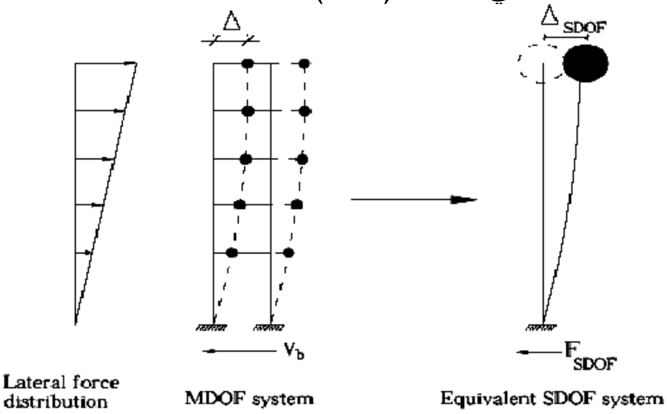
2- زمن تحليل كبير بسبب تكرار التحليل لعدد كبير من المعادلات التفاضلية عند كل خطوة زمنية، مما يتطلب حجما كبيرة من ذاكرة الحاسب المستخدم. وتتطلب في بعض الأحيان خبرة من المهندس الانشائي لتقييم النتائج.

جاءت طرائق التحليل الستاتيكي اللاخطي Nonlinear static analysis كبديل جيد جدا لطريقة NTHA في تقييم الأداء الزلزالي. وأصبحت خلال السنوات العشرين الماضية إحدى طرائق التصميم المعتمد على الأداء PBSE الأكثر انتشارا بين المهندسين الانشائيين، نعرضها في الفقرة التالية.

1-2- التحليل الستاتيكي اللاخطي NSA (Nonlinear Static Analysis):

1-2-1 مبدأ التحليل الستاتيكي اللاخطي:

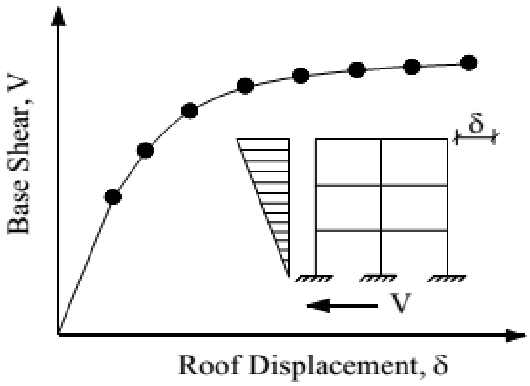
هو تقريب ستاتيكي لاخطي للاستجابة التي يبديها المنشأ عند تعرضه لحمولة زلزالية ديناميكية، اعتمد في شكله البدائي على تمثيل استجابة الجملة متعددة درجات الحرية MDOF باستجابة جملة مكافئة لها وحيدة درجة الحرية ESDOF كما في الشكل (1-3) **[1]** .



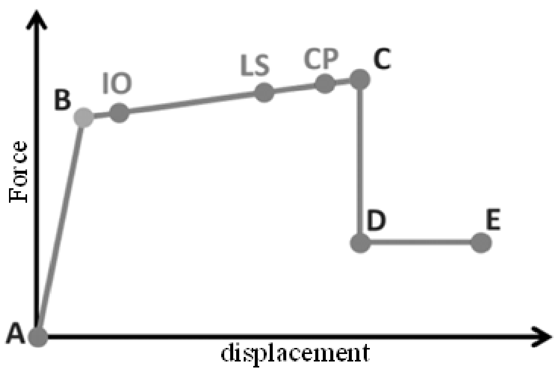
شكل(1-3) : الجملة MDOF والجملة المكافئة ESDOF .

وهذا التقريب يتضمن تطبيق حمولة جانبية موزعة رأسيا على ارتفاع نموذج المنشأ الخاضع لحمولاته الشاقولية، هذا النموذج يأخذ بالاعتبار الخواص اللاخطية لمواد العناصر والتي تمثل بمنحني السلوك العام اللاخطي (القوة – الانتقال) (الشكل1-4) لكل نوع من العناصر المقاومة للأحمال الجانبية. تتم زيادة هذه الحمولة تدريجياً Monotonically بخطوة ثابتة (invariant) حتى انهيار المنشأ (تشكل ميكانيزم انهيار) أو وصول ذروة المنشأ إلى انتقال محدد بحسب مستوى الأداء المرغوب يسمى الانتقال الهدف Target displacement . وتمثل كل خطوة بنقطة على منحني يربط بين القص القاعدي وانتقال الذروة المرافق له، يسمى منحني الاستطاعة (Capacity curve) (القص القاعدي–انتقال الذروة) شكل (1-5)، ويختار عادة انتقال مركز الكتلة في الطابق الأعلى كممثل لانتقال الذروة. من الجدير بالذكر أنه أثناء مراحل زيادة الحمولة الجانبية، تصل بعض عناصر المنشأ إلى مرحلة الخضوع

لتخرج عن العمل في مقاومة الاحمال الجانبية الأمر الذي يتطلب إعادة حساب صلابة المنشأ بإهمال صلابات هذه العناصر .



شكل(1-5) :منحني الاستطاعة (القص القاعدي-انتقال الذروة) .



شكل(1-4) :الشكل العام لعلاقة (قوة-انتقال) للسلوك اللاخطي لمفصل لدن.

بربط منحني الاستطاعة مع الطلب الزلزالي الناتج عن هزة أرضية معينة ,فإنه يمكن إيجاد نقطة على منحني الاستطاعة تحدد الانتقال الأعظمي الذي تسببه هذه الهزة للمبنى وهي تمثل ما يسمى نقطة الأداء الموافقة للانتقال الهدف. إن موقع نقطة الأداء بالنسبة لمستويات الأداء يعبر عن تحقق هدف الأداء أو عدم تحققه.

يتم بعد ذلك حساب التشوهات والقوى الداخلية الناتجة في عناصر المنشأ عند قيمة الانتقال الهدف ومقارنتها بالحدود الموافقة لمستوى الأداء المطلوب (Performance level). وفي حال عدم وصول هذه العناصر إلى المستوى المطلوب فإنه لابد من زيادة صلابتها تصميمياً أو في حالة المباني القائمة نلجأ إلى إحدى طرائق التدعيم لزيادة الصلابة أو تخفيف الأثر الزلزالي. مع الانتباه إلى أن تحقيق المبنى لمستوى الأداء المطلوب بهامش أمان كبير يدل على تصميم غير اقتصادي يجب إعادة النظر فيه .

1-2-2 مستويات الأداء Performance levels [3] [1]:

لابد من خطوة أساسية قبل البدء بإجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي لأي منشأ وهي تحديد مستوى الأداء المطلوب منه عند تعرضه لخطر زلزالي معين، وتوصيف الأضرار المسموحة في العناصر الانشائية وغير الانشائية عند هذا المستوى. ويعرف مستوى الأداء بحسب (ATC -40) بأنه الحالة التي نرغب أن يكون عليها المنشأ المدروس بعد تعرضه لحركة أرضية معينة وبعبارة أخرى هو الحد الأعلى للضرر المسموح حدوثه في مبنى نتيجة تعرضه لمستوى معين من الخطر الزلزالي. وصنفت الكودات مستويات الأداء لأي منشأ إلى مستوى أداء إنشائي SP ومستوى أداء غير إنشائيNP.

تعرف مستويات الأداء الإنشائيةSP كما يلي:

1. مستوى الإشغال الفوري (IO) Immediate Occupancy: يسمح بظهور أضرار إنشائية محدودة مع محافظة عناصر الجملة الانشائية المقاومة للأحمال الشاقولية والأفقية على خواصها واستطاعتها بما يسمح باستعمال المنشأة مباشرة بعد الزلزال.
2. السيطرة على الأضرار : بين المستويين 1 و3
3. مستوى سلامة الأرواح أو أمان الحياة (LS) Life Safety : تظهر عنده أضرار واضحة في عناصر الجملة الانشائية مع المحافظة على هوامش أمان قبل الانهيار الكلي أو الجزئي، بما يمنع حدوث أضرار بشرية خطيرة، أما إصلاح الأضرار الانشائية فقد يكون أمر غير مجدي اقتصاديا.
4. مستوى السلامة المحدودة : بين المستويين 3 و5
5. مستوى ما قبل الانهيار أو الاستقرار الإنشائي (CP) Collapse Prevention: تحدث عنده أضرار إنشائية كبيرة في عناصر الجملة الانشائية تؤدي إلى انهيار المنشأ جزئيا أو كليا مما يشكل خطر على الأرواح البشرية. ولابد هنا من هدم المنشأة بعد التضرر بسبب عدم إمكانية إصلاحها .
6. مستوى عدم اعتبار الأداء الانشائي.

وتعرف مستويات الأداء غير الإنشائية NP كما يلي :

A. مستوى التشغيل : تبقى عنده العناصر غير الانشائية سليمة إلى حد ما وتمكن المنشأ من القيام بوظائفه.

B. مستوى الإشغال الفوري: تحدث عنده أضرار محدودة في العناصر غير الانشائية لا تسبب خطر على الحياة

C. مستوى أمان الحياة (سلامة الأرواح) : تحدث عنده أضرار كبيرة ومكلفة في العناصر غير الانشائية دون أن يخرج المنشأ عن الخدمة.

D. مستوى المخاطر المخفضة : تحدث عنده أضرار بالغة في العناصر غير الانشائية قد تسبب إصابات بشرية.

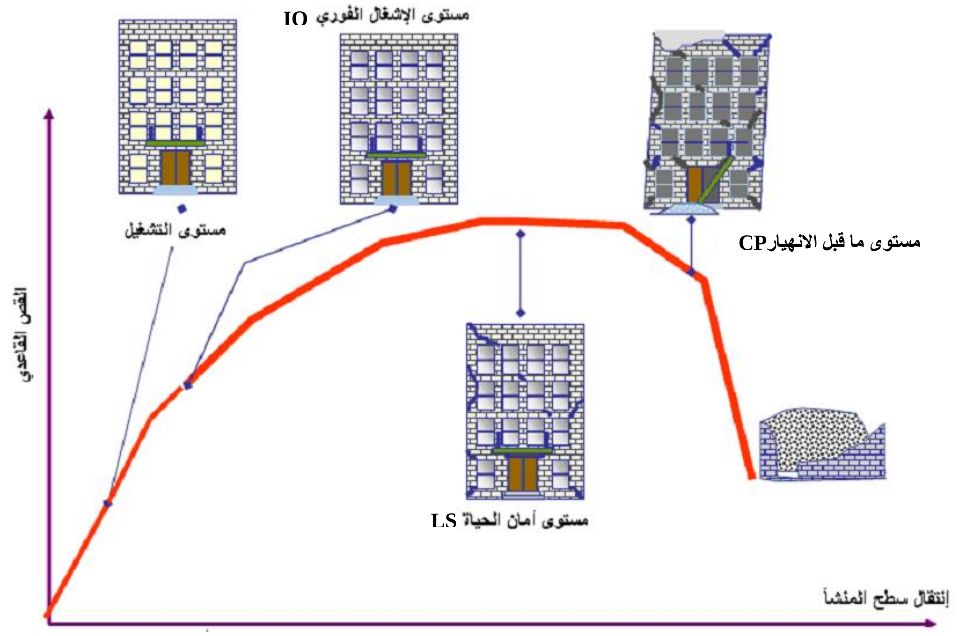
E. مستوى عدم الاعتبار غير الانشائي:

و يعطي مستوى الأداء الكلي للمنشأ كتركيب بين مستويين الأداء SP وNP كما في الجدول (1-1) وتحدد مستويات الأداء الأكثر استخداماً على منحني السلوك اللاخطي كما في الشكل (1-4).

جدول (1−1): مستويات أداء المباني الكلي[3]

مستويات أداء البناء						
مستويات الأداء غير الإنشائية	مستويات الأداء الإنشائي					
	SP-1 مستوى الإشغال الفوري	SP-2 مجال السيطرة على الضرر	SP-3 مستوى أمان الحياة	SP-4 مجال الأمان المحدود	SP-5 مستوى الاستقرار الإنشائي	SP-6 مجال عدم اعتبار الأداء الإنشائي
NP-A مستوى التشغيل	1-A	2-A	غير مفضل	غير مفضل	غير مفضل	غير مفضل
NP-B مستوى الإشغال الفوري	1-B	2-B	3-B	غير مفضل	غير مفضل	غير مفضل
NP-C مستوى أمان الحياة	1-C	2-C	3-C	4-C	5-C	6-C
NP-D مستوى المخاطر المخفض	غير مفضل	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E مستوى عدم اعتبار لأداء غير الإنشائي	غير مفضل	غير مفضل	3-E	4-E	5-E	غير قابل للتطبيق

مستويا ت الأداء الأكثر استخداما



شكل(1− 6) : مستويات الأداء الأكثر استخداما بالنسبة لمنحني الاستطاعة.

وقد حدد FEMA مستويات الخطر الزلزالي على أساس احتمالي من أجل أهداف التصميم و إعادة التأهيل، ويعرف أربع مستويات للخطر الزلزالي كما في الجدول (1−2).

جدول (1−2): مستويات الخطر الزلزالي حسب FEMA [3]

Earthquake Probability of Exceedence	Mean Return Period (years)
50% in 50 years	72
20% in 50 years	225
BSE-1 10% in 50 years	474
BSE-2 2% in 50 years	2,475

حيث يوافق خطر الهزة الارضية التي لا يتجاوز احتمال حدوثها 10% خلال 50 سنة لهدف السلامة الأساسيBasic Safety Earthquake (BSE−1)، ويوافق خطر الهزة الارضية التي لا يتجاوز احتمال حدوثها 2% خلال 50 سنة لهدف السلامة الأساسي(BSE−2)

وحددت مستويين للأداء لتحقيق هدف السلامة الأساسي وهما : مستوى سلامة الأرواح من أجل (BSE−1)، ومستوى ما قبل الانهيار من أجل(BSE−2)، كما في الجدول (1−3).

جدول (1−3): مستويات الأداء المستخدمة حسب الخطر الزلزالي وأهداف التصميم وإعادة التأهيل [3]

Earthquake Hazard Level		Building Performance Levels			
		Operational Level (1-A)	Immediate Occupancy Level (1-B)	Life Safety Performance Level (3-C)	Collapse Prevention Performance Level
	50%/50 yrs	a	b	c	d
	20%/50 yrs	e	f	g	h
	BSE-1 10%/50 yrs	i	j	k	l
	BSE-2 2%/50 yrs	m	n	o	p

k+p = Basic Safety Objective
k+p+any of a, e, i or m; or b, f, j, or n = Enhanced Objectives
o = Enhanced Objectives
k alone or p alone = Limited Objective
c, g, d, h = Limited Objectives

3-2-1 الحمولات الجانبية المستخدمة في التحليل الستاتيكي اللاخطي :

يعتبر شكل الحمولة الجانبية المستخدمة في التحليل الستاتيكي اللاخطي من أهم العوامل المؤثرة في نتائج التحليل لأنه يعبر عن توزع قوى العطالة الناشئة في عناصر المبنى المدروس خلال تعرضه للهزة الأرضية. وفي الواقع إن تحديد هذا التوزع فعلياً ليس بالأمر السهل وذلك يعود لسببين رئيسيين:

1- كونه متعلق بالخواص الديناميكية للمنشأ وأشكال أنماط الاهتزاز الحر ونسب مشاركتها في الاستجابة الكلية

2- هذا التوزع متغير وغير ثابت أثناء التعرض للهزات القوية التي تسبب تجاوز بعض العناصر لحد المرونة، وتغير توزع الصلابات والقوى الداخلية، وزيادة في أدوار الاهتزاز .

وحددت الكودات الأساسية بعض الحمولات الجانبية ذات الشكل الخطي و الثابت خلال مراحل التحليل تدفع المنشأ باتجاه واحد وتستخدم في طرائق التحليل المسماة بطرائق التحليل الدفعي التقليدية pushover Conventional Analysis. أهم الاشكال المستخدمة في الكودات:

1-3-2-1 <u>حسب (ATC -40)</u> [1]:

أوصى الكود (**ATC -40**) باستخدام أحد الأشكال التالية تبعا للدور الأساسي للمنشأ :

- حمولات مثلثية الشكل F_x مركزة عند كل طابق x ومتناسبة مع ارتفاعه بالنسبة لمستوى الأساسات h_x . هذا التوزع شبيه بالتوزع المستخدم في الطرائق الستاتيكية الخطية المكافئة.

$$F_x = V \left[\frac{W_x\ h_x}{\sum W_x\ \ h_x}\right] \qquad (39-1)$$

V : قوة القص القاعدي المحسوبة بالطرائق الستاتيكية الخطية

W_x : وزن الطابق (الوزن الجزئي المتركز في الطابق x)

- في الأبنية ذات الدور الأساسي أقل من 1 ثانية، تبنى الكود شكل توزع متناسب مع وزن الطوابق ومع شكل نمط الاهتزاز الأول للنموذج المرن، باعتباره النمط المسيطر:

$$F_x = V \left[\frac{W_x\ \emptyset_x}{\sum W_x\ \ \emptyset_x}\right] \qquad (40-1)$$

W_x : وزن الطابق x　　　　$\emptyset_x$: مطال النمط الأول عند الطابق x

- من أجل المباني التي يكون دور اهتزازها الأساسي كبيراً ($T_1 > 1$ sec) فقد اكتفى الكود بالإشارة إلى ضرورة الأخذ بالاعتبار تأثير الأنماط الأعلى في شكل الحمولة الجانبية .

2-3-2-1 <u>حسب (FEMA 356) [3]</u> :

سعى فريق (FEMA 273) ومن بعده (FEMA 356) إلى الإحاطة بشكل أكبر بالتوزع المحتمل لقوى العطالة الناتجة عن الهزة الأرضية سواء في المستوى الأفقي للطابق الواحد أو في مستوى التوزع الرأسي

للمبنى. لهذا الهدف أوصى الفريق بضرورة استعمال شكلين مختلفين على الأقل للحمولة الجانبية بالاتجاه المدروس عند تطبيق التحليل الستاتيكي اللاخطي وتحديد الاستجابات الزلزالية من مغلف النتائج للحالات المستخدمة، و يجب اختيار أحد الشكلين من المجموعة A والآخر من المجموعة B مما يلي:

A– <u>نموذج نمطي Modal</u>: يمثل تقريبيا قوى العطالة في مجال السلوك المرن نختاره مما يلي:

1.A توزيع متناسب مع شكل النمط الأساسي في الاتجاه المدروس، يجوز استخدام هذا التوزيع فقط عندما تكون مشاركة الكتلة الفعالة في النمط الأساسي أكبر من 75٪ في الاتجاه المدروس الشكل (1–10–a).

2.A توزيع متناسب مع عامل توزيع الحمولة الجانبية C_{vx} الشكل (1–10–b) ، يستخدم فقط عندما تكون مشاركة الكتلة الفعالة في هذا النمط أكبر من 75٪ في الاتجاه المدروس. القوة المطبقة عند مستوى الطابق x هي F_x :

$$F_x = C_{vx} V$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} W_i h_i^k} \qquad (41-1)$$

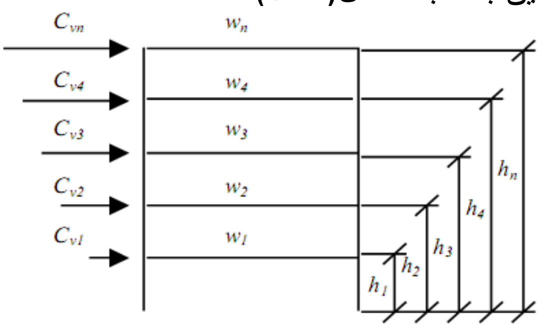
n:عدد طوابق المنشأ.

K : عامل متغير بحسب الدور الأساسي للمنشأ.

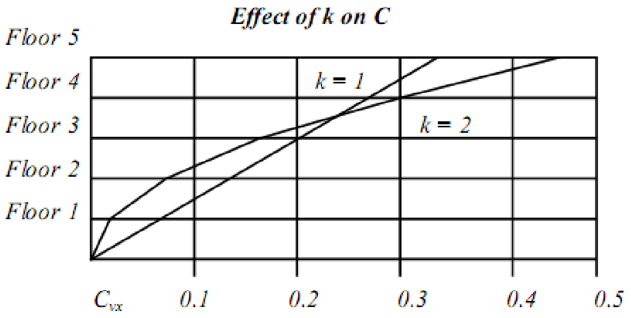
K=1 من أجل $T \leq 0.5$ sec

K=2 من أجل $T \geq 2.5$ sec

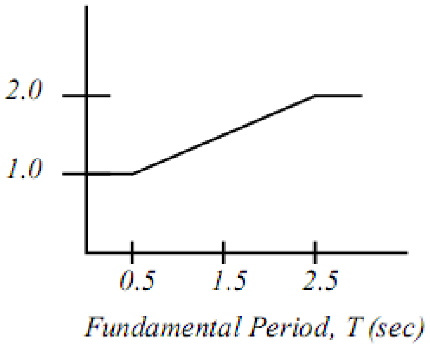
وهو متغير خطياً بين هاتين القيمتين بحسب الشكل(1–8).



شكل(1–7) : القيم المستخدمة في حساب التوزع الشاقولي للحمولات الأفقية



شكل(1–9): قيم C_{vx} من أجل k=1,k=2



شكل(1–8): تغييرات k حسب الدور الأساسي

إن القيم المتزايدة للعامل K في المجال 1−2 تعبر عن مشاركة الأنماط المغايرة للنمط الأول في الاستجابة، فمن أجل المباني القصيرة ذات الصلابة العالية والدور الأساسي المنخفض تعطي العلاقة توزع رأسي للحمولات الجانبية يقارب الشكل الخطي أو المثلثي. أما من أجل المباني الأعلى ذات القابلية الأكبر للانحناء والدور الأساسي الأكبر من 1 ثانية تعطي العلاقة توزعا يقارب الشكل اللاخطي شكل (1−9) **[5]** .

A.3− توزيع متناسب مع توزع القص في الطوابق الشكل (c−10−1) ، والمحسوب من تجميع الاستجابات النمطية من تحليل طيف الاستجابة للمبنى، وذلك لعدد كافي من الأنماط بما يضمن مشاركة 90٪ على الأقل من للكتلة الفعالة، مع استخدام طيف مناسب للحركة الأرضية. ويجب استخدام هذا الشكل من التوزيع عندما يتجاوز الدور الأساسي للمبنى 1 ثانية.

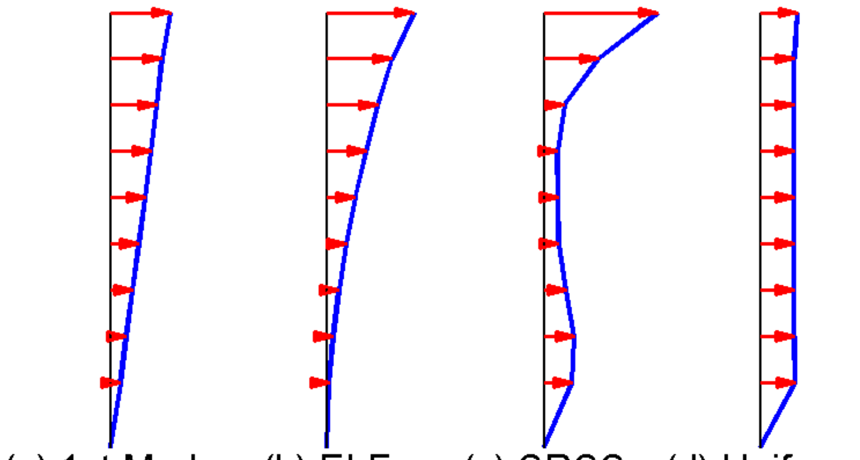
B− نموذج يمثل تقريبياً قوى العطالة في مجال السلوك اللدن نختاره مما يلي :

B.1− توزع منتظم للحمولة Uniform الشكل (d−10−1) مطبقة في مستوي كل طابق ومتناسبة مع كتلته وذلك بفرض تشكل طابق ضعيف في أسفل المنشأة

B.2− توزع حمولات متكيف Adaptive يتغير مع زيادة انتقال المبنى عند كل خطوة ، بحيث يتعدل توزع الحمولات الجانبية الأصلي بحسب تغيير قوى العطالة وخواص المنشأ في مرحلة ما بعد الخضوع.

ومع تطور التجارب المتعلقة بتشكيل أشعة الحمولات الجانبية زادت الحاجة إلى اتباع طرائق جديدة لتشكيل أشعة الحمولات الجانبية يذكر بعض منها في الفصل الثاني.

يبين الشكل (1−10) بعض أشكال الحمولات الجانبية بحسب FEMA المشار لها أعلاه.



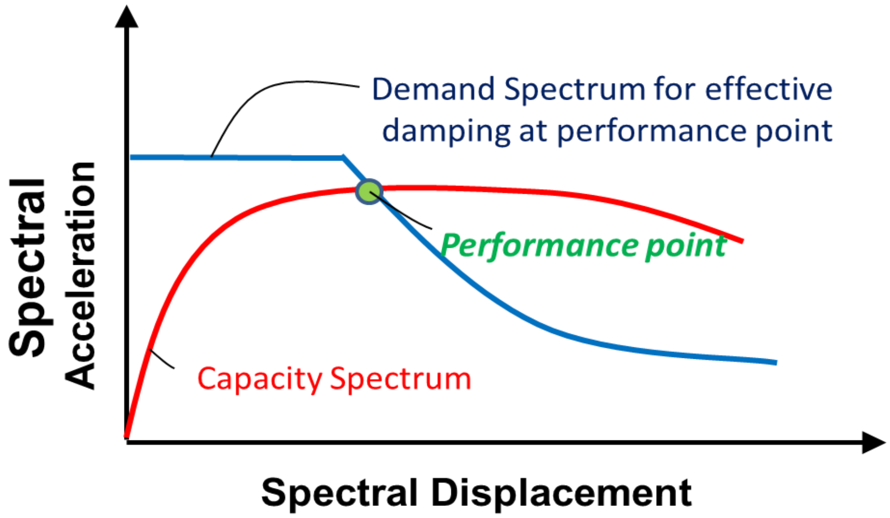
شكل(1−10) : أشكال الحمولات الجانبية بحسب FEMA

1-2-4 تحديد نقطة الأداء :

بعد تعريض المنشأ للحمولات الجانبية والحصول على منحني الاستطاعة يجب تحديد نقطة الأداء الموافقة للانتقال الهدف الذي سيبديه المنشأ من أجل الاهتزاز الأرضي المختار (الطلب الزلزالي) والذي يمثل عادة بطيف استجابة تصميمي خاص بالموقع المدروس. هناك عدة طرائق لتحديد الانتقال الهدف بحسب كودات التحليل الستاتيكي اللاخطي أهمها **طريقة طيف الاستطاعة** و **طريقة عوامل الانتقال.**

1-2-4-1 طريقة طيف الاستطاعة : Capacity Spectrum Method (CSM) [1]:

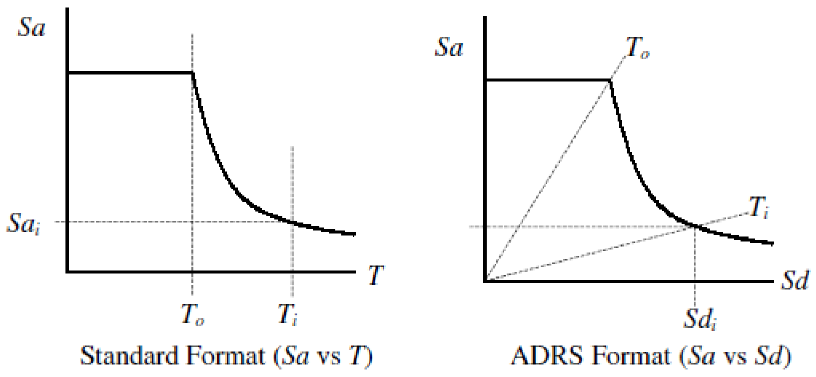
تسمى أيضا طريقة أطياف الاستجابة (تسارع – انتقال) Acceleration –Displacement Response Spectra (ADRS) تعتمد على مبدأ المكافئة الخطية للجملة اللاخطية MDOF بجملة خطية SDOF مكافئة ذات دور ونسبة تخامد مكافئين أكبر منهما في الجملة اللاخطية بحالتها البدائية. تتطلب هذه الطريقة بحسب (ATC -40) أن يكون كلٌّ من منحني الاستطاعة ومنحني الطلب الزلزالي ممثَّلين بإحداثيات طيفية على نفس المخطط. حيث يمثل الطلب الزلزالي باستخدام طيف استجابة خطي مرن ذو تخامد 5%، يخفض بما يعكس تأثيرات تبدد الطاقة من أجل تقدير طلب الانتقال اللدن، ويحول منحني الاستطاعة إلى طيف استطاعة كما سيعرض لاحقا، وتمثل النقطة التي يتقاطع عندها طيف الاستطاعة مع منحني الطلب الزلزالي المخفض نقطة الأداء المطلوبة التي تتساوى عندها الاستطاعة مع الطلب. تنص الطريقة على المراحل التالية:



شكل(1-11) : نقطة الأداء بطريقة طيف الاستطاعة**[1]**

1- تحويل طيف الاستجابة من صيغة الإحداثيات النظامية (Sa طيف التسارع – T دور) الأكثر شيوعا في كودات البناء، إلى صيغة ADRS، بتحديد قيمة طيف الانتقال Sd_i لكل نقطة من المنحني (Sa_i , T_i) كما في الشكل (1-12) وذلك بالعلاقة:

$$Sd_i = \frac{T_i^2}{4\pi^2} Sa_i . g \qquad (42-1)$$



شكل(1-12) طيف الاستجابة بصيغة ADRS والصيغة النظامية**[5]**

2- توليد طيف الاستطاعة من منحني الاستطاعة ويتم بتحويل كل نقطة من نقاطه ($\delta_i - V_i$) إلى إحداثيات طيفية بالصيغة (Sa_i , Sd_i) أو (a_i , d_i) وفق الجملة الخطية المكافئة للنمط الأول وذلك بالعلاقات:

$$Sa_i = \frac{V_i/W}{\alpha_i} \quad , \quad Sd_i = \frac{\delta_1}{PF_1 \times \emptyset_{1,roof}} \qquad (43-1)$$

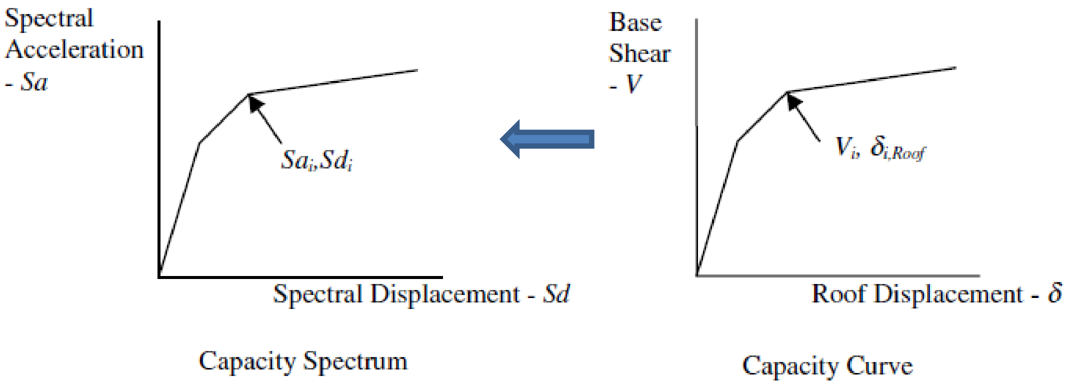
α_1 : عامل مساهمة الكتلة للنمط الأول

PF_1 : عامل المساهمة النمطي للنمط الأول

$\emptyset_{1,roof}$: مطال النمط الأول عند مستوى السطح

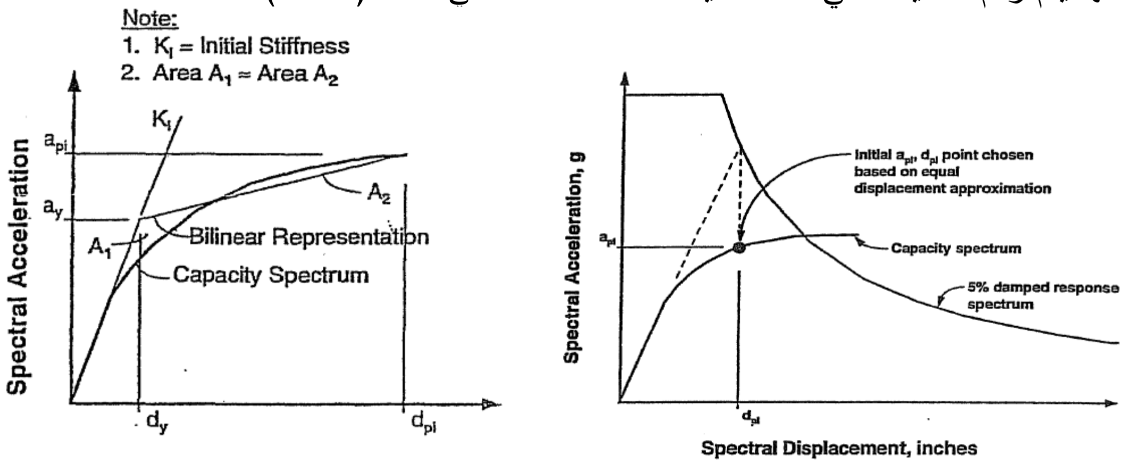
$$\mathrm{PF_1} = \frac{\sum_{i=1}^{N}[(W_i\emptyset_{i1})/g]}{\sum_{i=1}^{N}[(W_i\emptyset_{i1}^2)/g]} \qquad (44-1)$$

$$\alpha_1 = \frac{\{\sum_{i=1}^{N}[(W_i\emptyset_{i1})/g]\}^2}{\left[\sum_{i=1}^{N}\frac{W_i}{g}\right]\sum_{i=1}^{N}[(W_i\emptyset_{i1}^2)/g]} \qquad (45-1)$$



الشكل (1−13): تحويل منحني الاستطاعة إلى طيف استطاعة **[5]**

3− تحويل طيف الاستطاعة إلى طيف ثنائي الخطية Bilinear من أجل تخفيض طيف الطلب المرن (طيف الاستجابة) بعد الحصول على التخامد الفعال β_{eff} اللازم لذلك. حيث تقدر نقطة أداء تجريبية مبدئية(d_{pi} ,a_{pi})على طيف الاستطاعة، باستخدام مبدأ الانتقال المتساوي في أغلب الأحيان وانطلاقا منها يتم رسم التمثيل ثنائي الخط لطيف الاستطاعة كما في الشكل(1−14).



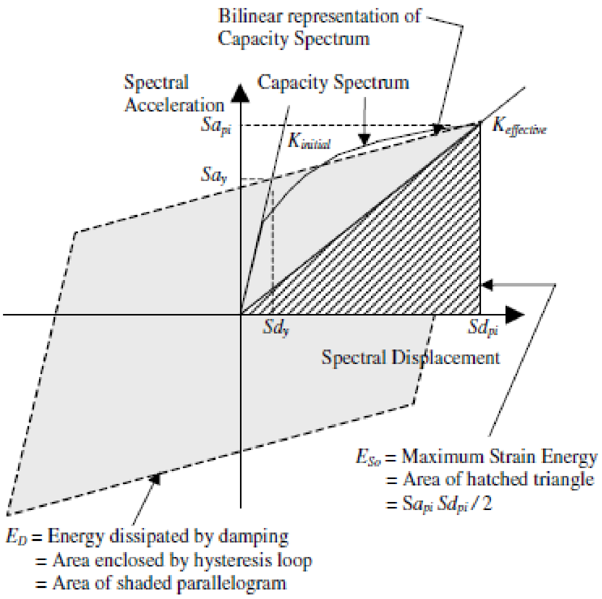
الشكل (1−14): نقطة الأداء المبدئية بحسب مبدأ الانتقال المتساوي

يعتبر التخامد الفعال الحاصل في المنشأ عند تحليله في الطور اللدن كتركيب بين التخامد اللزج و التخامد الهستيري للمنشأ. ويفترض قيمة تخامد لزج للمنشآت البيتونية بمقدار 5% .

$$\beta_{eff} = \kappa\beta_0 + 5 = \frac{63.7\kappa\,(a_y\,d_{pi} - d_y\,a_{pi})}{a_{pi}\,d_{pi}} + 5 \qquad (46-1)$$

β_0 : التخامد الهستيري المحسوب من الطاقة المبددة حسب الشكل (1−15) بالعلاقة $\beta_0 = \frac{1}{4\pi}\frac{E_D}{E_{sa}}$

κ: عامل تعديل التخامد يأخذ بالاعتبار اختلاف الحلقة الهيستيرية عن السلوك الفعلي



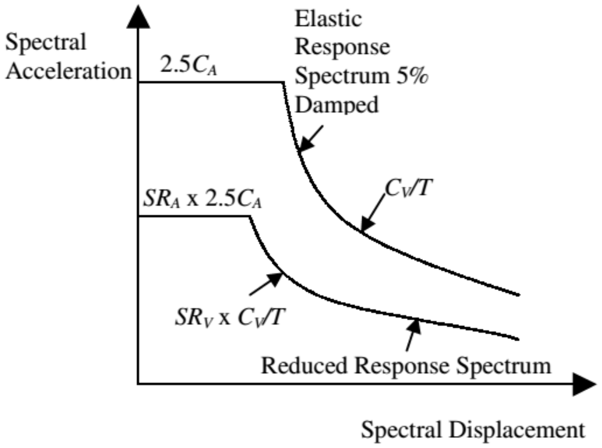
الشكل (1−15):إيجاد التخامد الهستيري من الطاقة المبددة **[1]**

تحسب عوامل التخفيض من العلاقتين:

$$SR_A = \frac{1}{B_S} = \frac{3.21 - 0.681\ln(\beta_{eff})}{2.12} \qquad (47-1)$$

$$SR_V = \frac{1}{B_L} = \frac{2.31 - 0.41\ln(\beta_{eff})}{1.65}$$

ويستخدم هذين العاملين لتخفيض طيف الطلب المرن(طيف الاستجابة) بحسب C_A ,C_V الخاصة بالطيف والمأخوذة من الكود المعتمد .كما في الشكل (1−16)



الشكل (1−16):تخفيض طيف الطلب الزلزالي**[5]**

على ألا تقل قيمها عن قيم الجدول (1−4) بحسب تصنيف السلوك الانشائي في الجدول (1−5)

جدول (1−4): القيم الدينا لعوامل تخفيض طيف الاستجابة

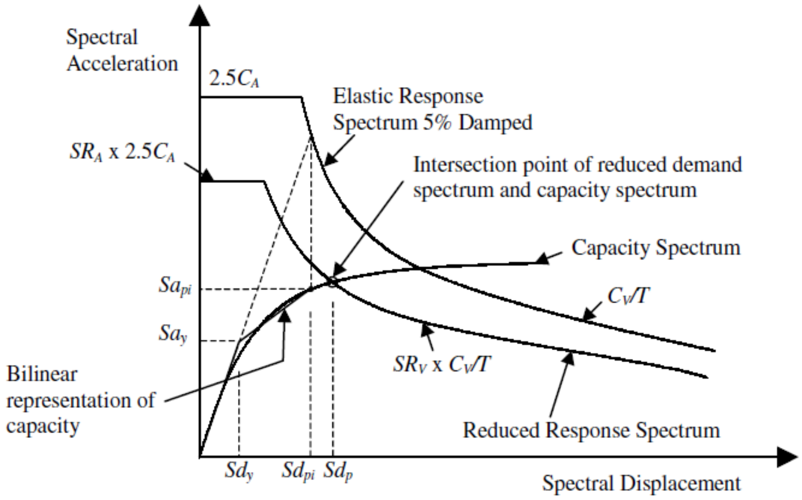
SR_V	SR_A	نوع السلوك الانشائي
0.5	0.33	نوع A
0.56	0.44	نوع B
0.67	0.56	نوع C

جدول (1-5) : تصنيف السلوك الانشائي للمباني

فترة الهزة	بناءجديد	بناء موجود عادي	بناء موجود ضعيف
قصيرة	نوعA	نوع B	نوع C
طويلة	نوع B	نوع C	نوع C

4- تحديد نقطة الأداء التي تمثل نقطة تقاطع طيف الطلب المخفض وطيف الاستطاعة ،وذلك باستخدام أحد الاجراءات الثلاثة: الإجراء A، الإجراء B، والإجراء C.

<u>الإجراء A</u> :ينص على أن نقطة الاداء هي نقطة تقاطع طيف الاستطاعة مع طيف الطلب الزلزالي المخفض إذا تقاطعا عند النقطة المبدئية $(a_{pi}\,, d_{pi})$ أو بالقرب من d_{pi} بنسبة خطأ لاتتجاوز 5% ، وإذا لم يتحقق ذلك يعاد التمثيل الثنائي باعتبار النقطة الناتجة من التقاطع السابق نقطة مبدئية لتقريب ثاني. ويبين الشكل(1-17) تحديد نقطة الأداء وفق هذا الإجراء.



الشكل (1-17): طريقة طيف الاستطاعة الإجراء A **[1]**

<u>الإجراء B</u>: وهو الأسهل من حيث البرمجة (والمستخدم في SAP2000 , ETABS) والتسهيل هو فرض أن النقطة (d_y , a_y) وميل ما بعد الخضوع يبقيان ثابتين إضافة إلى ميل ما قبل الخضوع وهذا الإجراء يتطلب عادة رسم أطياف استجابة متعددة بقيم مختلفة للتخامد الفعال كما في الشكل (1-18) ، ولكن مع توفر إمكانية برمجة كافة الخطوات الرسومية لم يعد من الضروري رسم منحنيات متعددة للطلب. يتبع هذا الإجراء الخطوات التالية:

1. رسم الطيف المرن ذو التخامد 5% مع طيف الاستطاعة على نفس المخطط.
2. إنشاء تمثيل ثنائي الخط لطيف الاستطاعة بالاعتماد على مبدأ الانتقال المتساوي.
3. اختيار قيم ل d_{pi} وإيجاد a'_{pi} و منها قيمة B_{eff}

$$a_{pi'} = \frac{(a^* - a_y)\,(d_{pi} - d_y)}{d^* - d_y} + a_y \qquad (1-48)$$

$$\beta_{eff} = \frac{63.7\kappa\,\left(a_y\, d_{pi} - d_y\, a_{pi'}\right)}{a_{pi'}\, d_{pi}} + 5 \qquad (1-49)$$

حيث(a^*, d^*) هي نقطة تقاطع ميل ما بعد الخضوع مع طيف الاستطاعة بحسب مبدأ الانتقال المتساوي.

4. حساب T_s الدور الذي يتغير عنده الطيف المتخامد من مجال التسارع الثابت إلى مجال السرعة الثابتة من العلاقة: (1−50) $T_s=C_V/2.5C_A$

5. تحسب قيمة T من أجل كل قيمة ل d_p الموافقة من العلاقة $T = 2\pi(d_{pi}/a_{pi'})^{1/2}$ ثم طيف التسارع الموافق من الطيف ذو التخامد 5%

$$S_{a5\%} = 2.5C_A \; if \; T \leq \text{Ts} \qquad S_{a5\%} = CV/T \; if \; T > \text{Ts} \quad (51-1)$$

6. يحسب طيف الانتقال الموافق S_d 5% من أجل كل قيمة لطيف التسارع

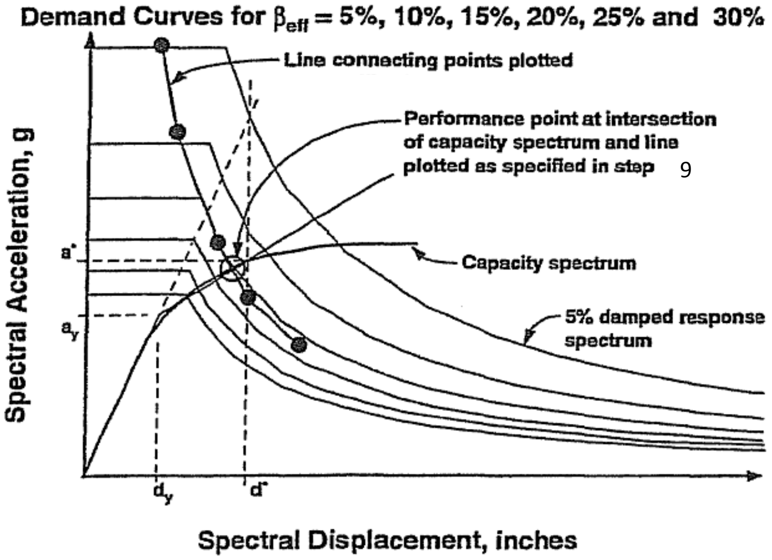
$$S_{d5\%} = S_{a5\%}\,(T/2\pi)^2 \qquad (52-1)$$

7. من أجل كل قيمة ل (T أو d_{pi}): إذا كان $T \leq T_s$ تحسب قيمة عامل التخفيض SR_A باستخدام a'_{pi} وإذا كان $T \geq T_s$ تحسب قيمة عامل التخفيض SR_V باستخدام a'_{pi} من العلاقات (1−47).

8. من أجل كل قيمة ل (T أو d_{pi})، ترسم النقطة حيث $S_a = SR_X\, S_{a5\%}$ $Sd = SR_x\, S_{d5\%}$

حيث $SR_x = SR_A \; if \; T \leq T_s \quad and \quad SR_x = SR_V \; if \; T > T_s$

9. يرسم خط يصل بين النقط المرسومة في الخطوة السابقة. وتكون نقطة تقاطع هذا الخط مع طيف الاستطاعة هي نقطة الأداء الموافقة لطلب الانتقال كما في الشكل(1−18).



الشكل (1−18): نقطة الأداء بطريقة طيف الاستطاعة الإجراء B **[1]**

الإجراء C: وهو إجراء رسومي بياني ملائم أكثر للحل اليدوي.

أجريت على طريقة طيف الاستطاعة عدة تعديلات خلال السنوات اللاحقة شملت العلاقات المستخدمة في تحديد الدور والتخامد المكافئين لكن مع المحافظة على مبدأ الطريقة الأساسي، أهم الطرائق المحدثة هي طريقة طيف الاستطاعة المطورة Improved CSM التي تبناها فريق **[4]** FEMA 440.

1−2−4−2 طريقة عوامل الانتقال Displacement Coefficient Method [1] [3] :

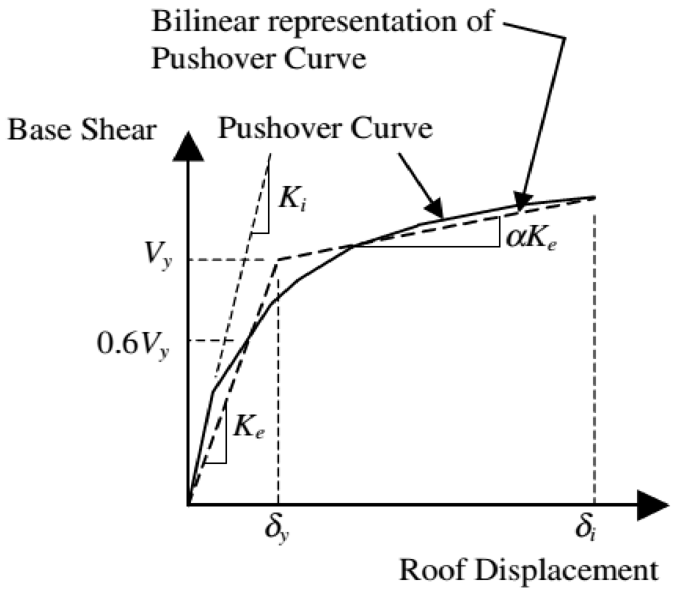
تعتمد طريقة عوامل الانتقال على استخدام مجموعة من عوامل التعديل للحصول على انتقال الجملة اللاخطية MDOF من الانتقال الخطي المرن للجملة المكافئة SDOF. وردت هذه الطريقة في كل من FEMA 273, FEMA 356, ATC−40 بشكل مفصل وهي تنص على تحويل منحني الاستطاعة(القص القاعدي− الانتقال) إلى منحني ثنائي الخط من أجل إيجاد القص القاعدي المسبب للخضوع V_y والصلابة الجانبية الفعالة K_e والدور الأساسي الفعال T_e في الاتجاه المدروس :

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \qquad (53-1)$$

T_i : الدور الأساسي للجملة المكافئة الخطية بالثواني

K_i : الصلابة الأولية للجملة في مرحلة المرونة بالاتجاه المدروس، وتقدر قيمة K_e من ميل المماس المحسوب عند قيمة 60% من V_y للمبنى .

يتم تحويل المنحني إلى منحني ثنائي الخطية وتحديد قيمة V_y باستخدام طريقة رسومية تجريبية تعتمد على تساوي المساحتين المحصورتين أعلى وأسفل المنحني الأساسي وتقريب متتالي لقيمة V_y، ويحدد ميل الخط ما بعد الخضوع بحيث يتقاطع مع المنحني الأصلي عند قيمة الانتقال الهدف δ_t. الشكل (1−19).



الشكل (1–19): حساب الصلابة الفعالة K_e **[5]**

وتستخدم في حساب الانتقال الهدف العلاقة الأساسية التالية :

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \qquad (54\text{–}1)$$

C_0: عامل تعديل يربط طيف انتقال الجملة المكافئة SDOF مع انتقال الذروة المتوقع للجملة MDOF يمكن أن يؤخذ من القيم التقريبية في الجدول (1–6)

جدول (1–6) :قيم عامل التعديلC_0

Number of Stories	Modification Factor[1]
1	1.0
2	1.2
3	1.3
5	1.4
10+	1.5

1. Linear interpolation should be used to calculate intermediate values

C_1 : عامل تعديل يربط الانتقالات الأعظمية في حالة الاستجابة اللامرنة مع انتقالات الاستجابة المرنة الخطية وقيمه :

$$C_1 = 1 \qquad \text{for} \quad T_e \geq T_0$$

$$C_1 = \frac{\left[1 + (R-1)\, {}^{T_0}\!/_{T_e}\right]}{R} \qquad for \quad T_e < T_0 \qquad (55\text{–}1)$$

T_0: الدور المميز لطيف الاستجابة

R: نسبة المقاومة المعطاة في العلاقة :

$$R = \frac{S_a}{{}^{V_y}\!/_{W}} \frac{1}{C_0} \qquad (56\text{–}1)$$

S_a : طيف التسارع عند الدور الأساسي الفعال ونسبة التخامد المدروسة للمبنى في الاتجاه المدروس

W: الوزن الزلزالي الفعال (مجموع الحمولة الميتة والحمولة الحية الفعالة).

C_2:عامل تعديل يمثل أثر السلوك الهيستيري (hysteresis) وتراجع المقاومة والصلابة على الانتقال الأعظمي وتتراوح قيمته بين 1 و 1.5 حسب نوع الجمل ومستويات الأداء المدروسة ويسمح باستخدام قيمة مساوي للواحد في طريق التحليل اللاخطي.

C_3:عامل تعديل يمثل تأثيرات P–delta الديناميكية على زيادة الانتقال، ومن أجل المباني ذات الصلابة الموجبة (متزايدة) بعد الخضوع يمكن اعتبار قيمة هذا العامل مساوية للواحد 1. أما للمباني ذات الصلابة السالبة(متناقصة) بعد الخضوع تعطى قيمته بالعلاقة

$$C_3 = 1 + \frac{|\alpha|(R-1)^{\frac{3}{2}}}{T_e} \qquad (57-1)$$

α : نسبة صلابة ما بعد الخضوع إلى الصلابة الفعالة

5-2-1 التحقق من الأداء Performance Check:

بعد إيجاد نقطة الأداء والانتقال الهدف δ_t والقص القاعديV_p المرافقين لها، يتم التحقق من موافقة المنشأ عند هذه النقطة لمستوى الأداء المراد له وذلك على صعيدي الأداء العام للمنشأ والأداء المحلي للعناصر . حيث يمكن الحصول على مقادير الاستجابات الهامة لعناصر المبنى عند نقطة الأداء مثل الإزاحات الطابقية والإزاحات النسبية ودورانات المفاصل اللدنة ومقارنتها بالحدود المسموحة لمستوى الأداء المدروس. يعرض ATC- 40 مجموعة من الخطوات للتحقق من أداء المنشآت بشكل عام كما يلي:

1. من أجل الاستجابة الكلية يجب التأكد من : ــ أن مقاومة المنشأ للقوى الجانبية لم تتراجع أكثر من 20% من المقاومة العظمى ــ أن الانزياحات النسبية العظمى لم تتجاوز القيم الحدية المسموحة لمستوى الأداء والواردة في الجدول التالي(1−7):

جدول (1−7) : الانزياحات النسبية المسموحة عند مستويات الأداء**[5]**

	Performance Limit			
Interstory Drift Limit	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Maximum Total Drift	0.01	0.01 – 0.002	0.02	0.03 V_i/P_i
Maximum inelastic Drift	0.005	0.005 – 0.015	No Limit	No Limit

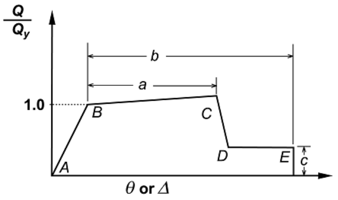
2. من أجل استجابات العناصر :

- يجب تعريف العناصر الأساسية والثانوية في مقاومة القوى الجانبية وتصنيفها وفق انواعها المختلفة (إطارات جائز عمود، جدران مصمتة، أساسات...)
- تعريف القوى الحدية لكل نوع من العناصر
- التحقق من موافقتها لمستوى الأداء المطلوب بحيث يكون طلب القوة والتشوه عند نقطة الأداء أقل من أو مساوي للاستطاعات المحددة عند مستوى الأداء المطلوب. تبين الجداول (1-8) و(1-9) هذه المستويات لمفاصل الأعمدة والجيزان من البيتون المسلح.
- التحقق من العناصر غير الانشائية لمطابقتها مستوى الأداء المطلوب .

وفي كل الأحوال يجب ألا يفقد المنشأ قدرته على تحمل الحمولات الشاقولية المطبقة عليه عند أي مستوى من مستويات الأداء. وأن يكون قادرا على إعادة توزيع هذه الحمولات عند خروج أحد العناصر عن العمل بما يضمن بقاء المنشأ وعدم انهياره.

جدول (1−8) : بارامترات النمذجة ومعيار القبول للجيزان من البيتون المسلح في التحليل اللاخطي [3]

Table 6-7 Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures— Reinforced Concrete Beams

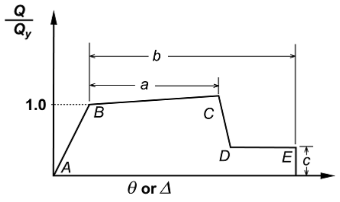


Conditions			Modeling Parameters[3]			Acceptance Criteria[3]				
			Plastic Rotation Angle, radians		Residual Strength Ratio	Plastic Rotation Angle, radians — Performance Level				
							Component Type			
							Primary		Secondary	
			a	b	c	IO	LS	CP	LS	CP
i. Beams controlled by flexure[1]										
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{bal}}$	Trans. Reinf.[2]	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$								
≤ 0.0	C	≤ 3	0.025	0.05	0.2	0.010	0.02	0.025	0.02	0.05
≤ 0.0	C	≥ 6	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
≥ 0.5	C	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≥ 0.5	C	≥ 6	0.015	0.02	0.2	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
≤ 0.0	NC	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≤ 0.0	NC	≥ 6	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.005	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≤ 3	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≥ 6	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.005	0.005	0.01
ii. Beams controlled by shear[1]										
Stirrup spacing ≤ d/2			0.0030	0.02	0.2	0.0015	0.0020	0.0030	0.01	0.02
Stirrup spacing > d/2			0.0030	0.01	0.2	0.0015	0.0020	0.0030	0.005	0.01
iii. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span[1]										
Stirrup spacing ≤ d/2			0.0030	0.02	0.0	0.0015	0.0020	0.0030	0.01	0.02
Stirrup spacing > d/2			0.0030	0.01	0.0	0.0015	0.0020	0.0030	0.005	0.01
iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint[1]										
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.01	0.015	0.02	0.03

1. When more than one of the conditions i, ii, iii, and iv occurs for a given component, use the minimum appropriate numerical value from the table.
2. Under the heading "Transverse Reinforcement," "C" and "NC" are abbreviations for conforming and nonconforming details, respectively. A component is conforming if, within the flexural plastic region, closed stirrups are spaced at ≤ $d/3$, and if, for components of moderate and high ductility demand, the strength provided by the stirrups (V_s) is at least three-fourths of the design shear. Otherwise, the component is considered nonconforming.
3. Linear interpolation between values listed in the table is permitted.

جدول (1−9) : بارامترات النمذجة ومعيار القبول للأعمدة من البيتون المسلح في التحليل اللاخطي[3]

Table 6-8 Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures— Reinforced Concrete Columns



Conditions			Modeling Parameters[4]			Acceptance Criteria[4]				
						Plastic Rotation Angle, radians				
						Performance Level				
							Component Type			
			Plastic Rotation Angle, radians		Residual Strength Ratio		Primary		Secondary	
			a	b	c	IO	LS	CP	LS	CP
i. Columns controlled by flexure[1]										
$\frac{P}{A_g f'_c}$	Trans. Reinf.[2]	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$								
≤ 0.1	C	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.015	0.02	0.02	0.03
≤ 0.1	C	≥ 6	0.016	0.024	0.2	0.005	0.012	0.016	0.016	0.024
≥ 0.4	C	≤ 3	0.015	0.025	0.2	0.003	0.012	0.015	0.018	0.025
≥ 0.4	C	≥ 6	0.012	0.02	0.2	0.003	0.01	0.012	0.013	0.02
≤ 0.1	NC	≤ 3	0.006	0.015	0.2	0.005	0.005	0.006	0.01	0.015
≤ 0.1	NC	≥ 6	0.005	0.012	0.2	0.005	0.004	0.005	0.008	0.012
≥ 0.4	NC	≤ 3	0.003	0.01	0.2	0.002	0.002	0.003	0.006	0.01
≥ 0.4	NC	≥ 6	0.002	0.008	0.2	0.002	0.002	0.002	0.005	0.008
ii. Columns controlled by shear[1, 3]										
All cases[5]			—	—	—	—	—	—	.0030	.0040
iii. Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height[1,3]										
Hoop spacing ≤ d/2			0.01	0.02	0.4	0.005	0.005	0.01	0.01	0.02
Hoop spacing > d/2			0.0	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01
iv. Columns with axial loads exceeding $0.70P_o$[1, 3]										
Conforming hoops over the entire length			0.015	0.025	0.02	0.0	0.005	0.01	0.01	0.02
All other cases			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

1. When more than one of the conditions i, ii, iii, and iv occurs for a given component, use the minimum appropriate numerical value from the table.
2. Under the heading "Transverse Reinforcement," "C" and "NC" are abbreviations for conforming and nonconforming details, respectively. A component is conforming if, within the flexural plastic hinge region, closed hoops are spaced at ≤ $d/3$, and if, for components of moderate and high ductility demand, the strength provided by the stirrups (V_s) is at least three-fourths of the design shear. Otherwise, the component is considered nonconforming.
3. To qualify, hoops must not be lap spliced in the cover concrete, and hoops must have hooks embedded in the core or other details to ensure that hoops will be adequately anchored following spalling of cover concrete.
4. Linear interpolation between values listed in the table is permitted.

الفصل الثاني

طرائق التحليل الدفعي النمطي

(دراسة مرجعية)

1-2 مراجعة عامة لتطور التحليل الستاتيكي اللاخطي الدفعي :

بدأ استخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي في الهندسة الزلزالية منذ عام (1974) من قبل Gulkan and Sozen وغيرهم وكان يعتمد في مبدئه الأولي كما ذكرنا على تمثيل الجملة MDOF بجملة مكافئة SDOF وأختبر على إطار بسيط من فتحة واحدة **[6]**. وأجريت خلال تلك الفترة مجموعة من الاختبارات الأخرى لتقييم هذا التحليل ومدى إمكانية استخدامه لتقييم الأنواع المختلفة من المباني والجمل الانشائية، ووضع Freeman, Nicoletti (1975) **[7]** في بحثهم المبادئ الأساسية لطريقة طيف الاستطاعة CSM والتي خضعت للتطوير من قبل Freeman, S. A. (1998) **[8]** وصولاً إلى شكلها الموجود في ATC-40 **[1]** والطريقة المطورة منها في FEMA 440 **[4]**.

استخدم Saiidi ,Sozen (1981) **[9]** الطريقة التقليدية في التحليل الستاتيكي اللاخطي لتقييم سلوك مجموعة متنوعة من المباني من البيتون المسلح باستخدام نماذجSDOF، والمقارنة مع الاستجابات التجريبية المسجلة وكانت النتائج متقاربة ومقبولة في معظم الحالات. قدم Fischinger, Fajfar **[10]**طريقة N2 في التحليل الستاتيكي اللاخطي والتي تعتمد على مبدأ الجملة ESDOF المكافئة مع اختلاف عن طريقة CSM باستخدام طيف استجابة لامرن اعتماداً على عامل المطاوعة μ. وخضعت أيضا هذه الطريقة للتطوير وفق عدة مراحل لاحقة من قبل واضعيها **[11]**.

في عام (1995) أجرى Krawinkler **[12]** دراسة واسعة لمجموعة مباني متفاوتة الارتفاع بواسطة طريقة التحليل الدفعي التقليدية وخرج بنتيجة مهمة مفادها عدم قدرة التحليل الدفعي بشكله المعروف آنذاك على تمثيل السلوك والأداء الفعلي للمنشآت عند مشاركة الأنماط العليا في الاهتزاز وعند تغير الخواص الديناميكية أثناء السلوك اللاخطي. وقدم Faella عام (1996) **[13]** دراسة ل 3 إطارات من البيتون المسلح(3-6-9) طوابق باستخدام التحليل الدفعي التقليدي وشدات متفاوتة لهزات أرضية ولاحظ نتائج مقبولة لسلوك الانهيار و للإزا حات الطابقية مقارنة مع التحليل الديناميكي إلا في حالة الإطار 9 طوابق عند الشدات الزلزالية العالية وذلك نتيجة مساهمة الأنماط العليا في الاستجابة.

قام Tso , Moghadam عام (1998) **[14]** بعرض موسع لمبادئ التحليل الستاتيكي اللاخطي الدفعي ومناقشة العوامل الرئيسية المؤثرة في نتائج التحليل وهي: 1- نمذجة المنشأ والسلوك اللاخطي 2- طريقة تحديد الانتقال الهدف 3- شكل توزع الحمولة الجانبية المستخدمة في التحليل، ومن الأشكال المختلفة التي يمكن استخدامها :

a- أشكال الحمولات الثابتة بما فيها القوة المركزة في الذروة، الحمولة الموزعة بانتظام، الحمولة المثلثية، الحمولة المتناسبة مع شكل النمط الأول، والحمولة المحسوبة من تحليل طيف الاستجابة (SRSS).

b- أشكال الحمولات المتغيرة بما فيها: حمولة ذات توزع متناسب مع النمط الأول عند بداية التحليل حتى الوصول إلى الخضوع ثم يتغير عند كل خطوة تبعا لشكل التشوه الحاصل في المجال اللدن بالتناسب مع

انتقالات الطوابق وكتلها، حمولة ذات توزع يعتمد على أشكال الأنماط المحسوبة من الصلابة المماسية عند كل خطوة، وحمولة ذات توزع متناسب مع القص القاعدي في الطوابق عند كل خطوة. إضافة إلى أن الفرض الأساسي الذي يعتمد عليه التحليل الدفعي وهو استجابة المنشآت وفق نمط وحيد، يجعل هذه الطريقة مناسبة للمباني المنتظمة التي يسيطر على سلوكها نمط واحد، أما المباني غير المنتظمة التي يشترك في استجابتها أكثر من نمط فإن الطريقة تحتاج إلى دراسة أكثر وتدقيق أكبر للنتائج. ودعم الباحثان استنتاجاتهم من خلال تقييم سلوك إطارين من البيتون المسلح من 7 طوابق أحدهما متناظر (S) والآخر غير متناظر(A) من حيث توزع الكتلة في الطابق الواحد، وذلك بإجراء تحليل دفعي لكل منهما باستخدام شكل الحمولة المثلثية للمبنى (S) وشكل الحمولة المجمعة(SRSS) للمبنى (A). بمقارنة بارامترات الاستجابة مع نتائج تحليل NTHA أعطى التحليل الدفعي نتائج جيدة للمبنى (S) ونتائج مقبولة للمبنى (A).

أجرى Mwafy, Elnashai (2001) **[15]** دراسة لتقييم صلاحية وفعالية التحليل الدفعي التقليدي بمقارنته مع التحليل الديناميكي ل 12 بناء من البيتون المسلح مكونة من جمل إطارية منتظمة وغير منتظمة وجمل مختلطة معرضة لمجموعة كبيرة من تسجيلات لهزات أرضية وقد استخدم في التحليل الدفعي 3 أشكال للحمولات الجانبية: الحمولة الموزعة بانتظام لتعبر عن توزع الكتلة الشاقولي في الطوابق، والحمولة الكودية المثلثية لتعبر عن شكل نمط الاهتزاز المسيطر عادة في المجال المرن، والحمولة المجمعة SRSS للأنماط الثلاثة الأولى وذلك للأخذ بالاعتبار تأثير الأنماط العليا. من النتائج المهمة التي وصل إليها البحث أن التحليل الدفعي التقليدي مناسب أكثر للمباني القليلة والمتوسطة الارتفاع أكثر من المباني عالية وأن أشكال الحمولات الثابتة المستخدمة للتعبير عن مشاركة الأنماط العليا SRSSغير كافية في المجال اللدن. وأوصى البحث لتجاوز هذه المشكلة، بضرورة استخدام أكثر من شكل واحد للحمولة الجانبية في التحليل لضمان الإحاطة بالاستجابات الحاصلة بشكل مقبول.

أجريت مجموعة من الدراسات التي تناولت إيجابيات وسلبيات طرائق التحليل الستاتيكي اللاخطي منها دراسة Krawinkler ,Seneviratna (1998)**[16]** التي أشارت إلى تأثر نتائج التحليل الدفعي بشكل كبير بعاملين أساسيين هما طريقة تحديد نقطة الأداء (الانتقال الهدف) و شكل الحمولة الجانبية المستخدم في التحليل، مع التأكيد على تأثير العامل الثاني بشكل أكبر من العامل الأول و قصور الطرائق التقليدية عند استخدامها في المباني عالية لأنها لا تأخذ بالاعتبار مساهمة الأنماط العليا للاهتزاز في استجابة هذه المباني.

شكلت هذه المشكلة محوراً لأبحاث عديدة إضافية وصلت جميعها إلى نفس النتيجة وأوصت بضرورة أخذ تأثير مشاركة أنماط الاهتزاز العالية في التحليل الستاتيكي اللاخطي الدفعي خاصة في المباني العالية ذات أدوار الاهتزاز الطويلة والمعرضة لشدات زلزالية قوية نوعاً ما والواقعة في المناطق القريبة من فالق زلزالي (Near fault motions)، حيث تكون مشاركة الأنماط العليا في الاستجابة واضحة ومؤثرة في

سلوك المنشأ وميكانيزم انهياره. اهتم الباحثون بتطوير هذا الجانب في التحليل الستاتيكي اللاخطي لجعله أكثر موثوقية وإمكانية استخدامه في تصميم وتقييم المباني العالية اعتمادا على الأداء فبدأت تظهر طرائق للتحليل الدفعي لا تكتفي بالنمط الأساسي للاهتزاز في حساب الحمولة الجانبية بل تأخذ بالاعتبار مشاركة عدة أنماط في التحميل الجانبي.

يمكن تصنيف هذه الطرائق في ثلاث مجموعات أساسية بحسب شكل الحمولة الجانبية المستخدم **[28]** :

1– التحليل الدفعي التقليدي Conventional Pushover: يستخدم شعاع حمولة جانبية ذو شكل ثابت ومتزايد بخطوة ثابتة أثناء التحليل. ويشمل عادة أشكال الحمولات الجانبية الكودية.

2– التحليل الدفعي النمطي Modal Pushover: يستخدم شعاع حمولة ذو شكل ثابت ومتزايد بخطوة ثابتة أثناء التحليل، لكن يأخذ بالاعتبار مشاركة أنماط الاهتزاز المتعددة. يسمى في بعض المراجع بالتحليل الدفعي متعدد الأنماط Multimode Pushover

3–التحليل الدفعي المتكيف Adaptive Pushover : يستخدم شعاع حمولة متغير الشكل (متكيف) أثناء خطوات التحليل بحسب تغير الخواص الديناميكية للمنشأ.

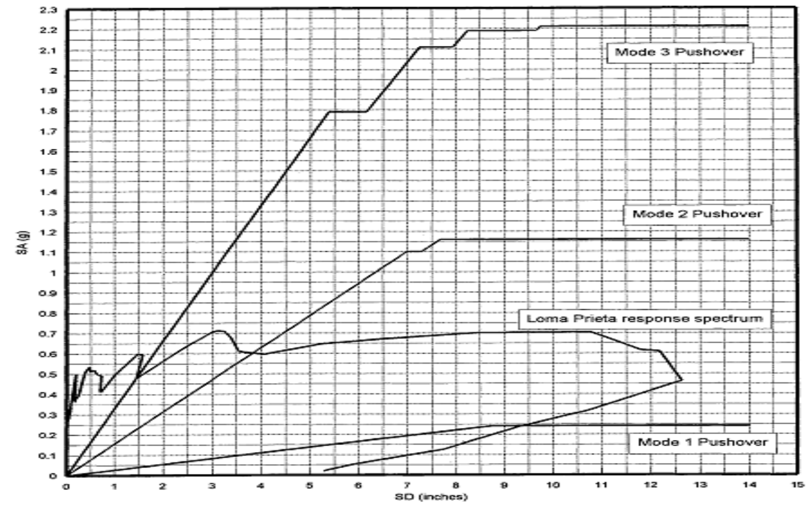
سنهتم في بحثنا هذا بالتحليل الدفعي النمطي و أهم طرائقه نظرا لارتباطه الأساسي بموضوع البحث.

2–2 طرائق التحليل الدفعي النمطي Modal Pushover Analysis:

1–2–2 التحليل الدفعي متعدد الأنماط MMP (Multi-Mode Pushover) [17] :

تعتبر طريقة MMP الموضوعة من قبل Sasaki, *et al* من أوائل طرائق التحليل الدفعي النمطي وهي طريقة بسيطة تعطي فكرة عن اختلاف الاستجابة الزلزالية باختلاف نمط الاهتزاز المدروس. و تتضمن إجراء عدة تحليلات دفعية تحت تأثير أشعة الحمولة الجانبية لكل نمط من الأنماط المتوقع أن تشارك في الاستجابة ورسم منحنيات الاستطاعة لكل تحليل بصيغة ADRS مع طيف الاستجابة المدروس فيظهر لدينا المنحني المسبب للضرر الأكبر في المجال اللاخطي كما هو موضح في الشكل(2–1) .

بالرغم من أن التقييم في هذه الطريقة حدسي إلا انها أظهرت قصور التحليل الدفعي التقليدي Conventional المعتمد على نمط واحد في الحمولة الجانبية. فعند تطبيقها على إطارين 2D من الفولاذ 12 و17 طابق معرضين لزلزال Northridge 1994، أظهرت مقارنة أضرار اللحام الحاصلة ومواقعها مع نتائج NTHA أن حمولة النمط الأول لم تستطع لوحدها تحديد أماكن الضرر بل اشتركت استجابة النمط الأول والثاني في ذلك.



الشكل (2–1): منحنيات Pushover للأنماط1,2,3 للإطار المدروس حسب طريقة MMP [17]

2–2–2 طريقة MPA للتحليل الدفعي (Modal Pushover Analysis)[19] [18] :

أكد الباحثان Chopra , Goel بأن أي من أشكال توزع الحمولات الجانبية الثابت لا تستطيع أن تمثل مشاركة الأنماط الأعلى من النمط الأول في الاستجابة، أو أن تمثل إعادة توزع قوى العطالة الناتجة عن خضوع المنشأ والتغيرات المرافقة في خصائص اهتزاز المنشأ ويمكن تجاوز هاتين المشكلتين باستخدام أشكال حمولات متكيفة تتغير مع تغيير توزع قوى العطالة أثناء التحليل، لكن هذا النوع من التحليل سيكون معقد ويتطلب وقتا كبيرا لا يناسب الاستخدام المهني. لذلك اقترح الباحثان عام 2001 طريقة MPA انطلاقا من مبادئ التحليلي الديناميكي، مع المحافظة على بساطة المبدأ وسهولة البرمجة للطرائق الدفعية ذات توزيع القوى الثابت. وتتضمن إجراء تحليل ستاتيكي لاخطي مستقل للجملة المدروسة من أجل كل نمط باستخدام شعاع للحمولة الجانبية وفق هذا النمط ومن ثم تجميع الاستجابات الكلية للأنماط المراد دراستها وفق الطريقة الاحصائية SRSS.

تنطلق الطريقة من تحليل تاريخ الاستجابات النمطية **MRHA** (Modal Response History Analysis) التي تنطلق بدورها من المعادلة التفاضلية لاستجابة الجملة المرنة متعددة درجات الحرية MDOF المعرضة للتسارع الأرضي $\ddot{u}_g(t)$ (Chopra,1995):

$$\boldsymbol{m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\,\iota\,\ddot{u}_g(t)} \qquad (1\text{-}2)$$

u شعاع الانتقالات الطابقية التي عددها N بالنسبة لمستوى الأساسات.

m مصفوفة الكتلة .

C مصفوفة التخامد للجملة.

k مصفوفة الصلابة الجانبية.

$\boldsymbol{\iota}$ شعاع تأثير واحدي.

الطرف الأيمن لهذه المعادلة يمثل القوة الفعالة للهزة الأرضية كما ذكرنا سابقا الذي تتكون بدورها من جداء التوزع الفضائي الجانبي المستقل عن الزمن $\boldsymbol{s} = \boldsymbol{m\iota}$ والتسارع الأرضي $\ddot{\boldsymbol{u}}_g(\boldsymbol{t})$. يكتب التوزع الفضائي $\mathbf{s}$ كمجموع لقوى العطالة النمطية(Modal inertia forces) :

$$\mathbf{m\iota} = \sum_{n=1}^{N} s_n = \sum_{n=1}^{N} \Gamma_n \,\mathbf{m}\Phi_n \tag{2-2}$$

$$\mathbf{P}_{\text{eff}}(t) = \sum_{n=1}^{N} \mathbf{P}_{\text{eff,n}}(t) = \sum_{n=1}^{N} -\mathbf{s}_n \ddot{u}_g(t) \tag{3-2}$$

$$\mathbf{P}_{\text{eff,n}}(t) = -\mathbf{s}_n \ddot{u}_g(t) \tag{4-2}$$

إذا اعتبرنا أن استجابة الجملة MDF للقوة الفعالة $\mathbf{P}_{\text{eff,n}}$ هي كلياً وفق النمط n تكون انتقالات الطوابق

$$\mathbf{u}_n(\boldsymbol{t}) = \Phi_n q_n(t) \tag{5-2}$$

حيث يعطى المتحول النمطي $q_n(t)$ من العلاقة $(30-1)$ وهو مرتبط مع المتحول $D_n(t)$ بالعلاقة

$$q_n(t) = \Gamma_n D_n(t) \tag{6-2}$$

$D_n(t)$ هو انتقال الجملة الخطية المكافئة للنمط n للجملة المدروسة n-SDF وتحسب من العلاقة

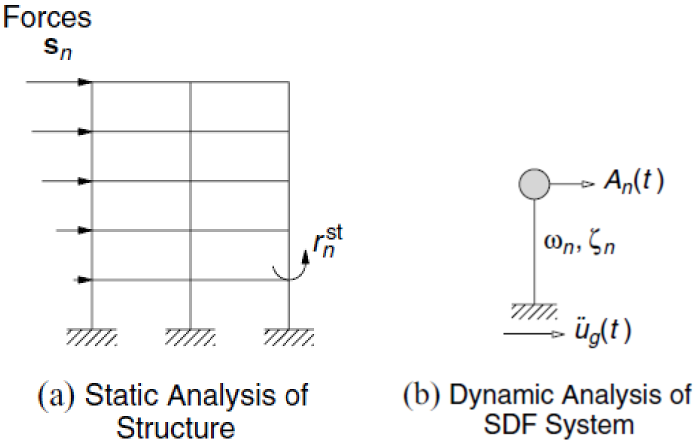
$$\ddot{D}_n + 2\zeta_n\omega_n\dot{D}_n + \omega_n D_n = -\ddot{u}_g(t) \tag{7-2}$$

وبتعويض المعادلات (2-6) في(2-5) يصبح الانتقال الكلي

$$\mathbf{u}_n(\boldsymbol{t}) = \Gamma_n\Phi_n D_n(t) \tag{8-2}$$

وأصبح من الممكن حساب أي استجابة r_n من جداء الاستجابة الناتجة عن تحليل ستاتيكي نمطي تحت تأثير الحمولة الجانبية s_n ، والتسارع المكافئ $A_n(t)$ للجملة الخطية n-SDF .

$$r_n(t) = r_n^{st} A_n(t) \qquad A_n(t) = \omega_n^2 D_n(t) \tag{9-2}$$



الشكل (2−2): رسم توضيحي لمبدأ تحليل MRHA [18]

ويكون الانتقال الكلي و الاستجابة الكلية للقوة الفعالة الكلية $\mathbf{P}_{eff}$ عند اللحظة (t)

$$\boldsymbol{u}(\boldsymbol{t})=\sum^{N}\boldsymbol{u_n}\,(\boldsymbol{t})=\sum^{N}\Gamma_n\Phi_nD_n(t) \qquad (10\text{–}2)$$

$$\mathrm{r}(t)=\sum_{n=1}^{N}r_n\,(t)=\sum_{n=1}^{N}r_n^{st}A_n(t) \qquad (11\text{–}2)$$

أما في الجمل اللاخطية اللدنة فإن العلاقة بين القوى الجانبية المطبقة $\mathbf{f_s}$ والانتقالات الجانبية $\mathbf{u}$ لم تعد خطية لذلك تصبح العلاقات الحاكمة لحركة الجمل اللاخطية من الشكل :

$$\boldsymbol{m\ddot{u}}+\boldsymbol{c\dot{u}}+\boldsymbol{f_s}(\boldsymbol{u},\mathrm{sign}\;\boldsymbol{\dot{u}})=-\boldsymbol{s_n}\,\boldsymbol{\ddot{u}_g}(\boldsymbol{t}) \qquad (12\text{–}2)$$

$$\ddot{q_n}+2\,\zeta_n\,\omega_n\,\dot{q}_n+\frac{F_{sn}}{M_n}=-\Gamma_n\ddot{u}_g(t),\quad n=1,2,\ldots,N \qquad (13\text{–}2)$$

يمكن حل هذه المعادلة بطريقة تحليل تاريخ الاستجابات النمطية المستقلة(اللامقترنة) UMRHA (Uncoupled modal response history anlysis) بالاعتماد على الفرضيتين التاليتين: › إهمال الاقتران بين المعادلات N التي تمثلها المعادلة السابقة، › وإهمال مساهمة الانماط المغايرة للنمط n في استجابة الجملة اللاخطية الموافقة للنمط n واعتباره النمط المسيطر عند التعرض للقوى $\mathbf{P}_{eff,n}$ كما هي الحال في الجمل الخطية المرنة، فتصبح المعادلة الحاكمة للجملة n اللامرنة :

$$\ddot{D}_n+2\zeta_n\omega_n\dot{D}_n+\frac{F_{sn}}{L_n}=-\ddot{u}_g(t) \qquad (14\text{–}2)$$

$$F_{sn}=F_{sn}\big(D_n,\mathrm{sign}\;\dot{D}_n\big)=\Phi_n^T\mathrm{f}_s(\,D_{n,}\mathrm{sign}\;\dot{D}_n\,) \qquad (15\text{–}2)$$

إن حل هذه المعادلة يتطلب تحديد العلاقة بين القوى والانتقالات ($\frac{F_{sn}}{L_n}-D_n$) ويمكن ذلك بإجراء تحليل ستاتيكي لاخطي للجملة تحت تأثير حمولة جانبية ذات التوزع $s_n^*=m\,\Phi_n$ ثم تحويل منحني الاستطاعة الناتج (V_{bn}-u_{rn}) إلى منحني يربط $\frac{F_{sn}}{L_n}-D_n$ من خلال العلاقتين التاليتين:

$$F_{sn}=\frac{V_{bn}}{\Gamma_n}\;,\qquad D_n=\frac{u_{rn}}{\Gamma_n\,\Phi_{rn}} \qquad (16\text{–}2)$$

وتحسب بواسطتهما القيم الموافقة لحد الخضوع $\frac{F_{sny}}{L_n}$ D_{ny} :

$$\frac{F_{sny}}{L_n}=\frac{V_{bny}}{M_n^*}\qquad,\qquad D_{ny}=\frac{u_{rny}}{\Gamma_n\,\Phi_{rn}} \qquad (17\text{–}2)$$

$$\Gamma_n=\frac{L_n}{M_n},\qquad L_n=\emptyset_n^T\mathbf{m}\iota\qquad M_n^*=\emptyset_n^T\mathrm{m}\,\emptyset_n \qquad (18\text{–}2)$$

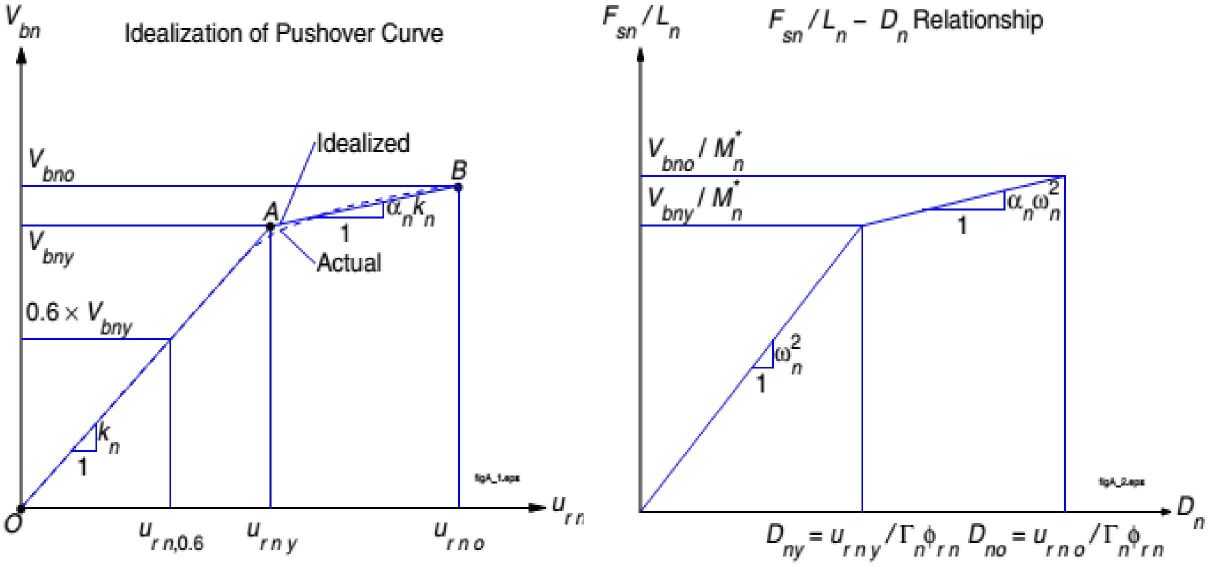
وهما مرتبطان ببعضهما بالعلاقة :

$$\frac{F_{sny}}{L_n} = \omega_n{}^2 D_{ny} \qquad (19-2)$$

أي أن الميل الأولي للمنحني الثنائي الخطية هو $\omega_n{}^2$ ، وبالتالي يمكن حساب الدور المرن T_n للجملة اللامرنة n-SDF لاستخدامه في حل العلاقة (68-1) :

$$T_n = 2\pi \left(\frac{L_n D_{ny}}{F_{sny}}\right)^{1/2} \qquad (20-2)$$

وبذلك أصبح بالإمكان إيجاد $D_n(t)$ من المعادلة (14-2) ومنها التسارع المكافئ $A_n(t)$ ثم حساب الاستجابات الكلية كما في الجمل المرنة .



الشكل (3-2): خصائص الجملة اللامرنة n- SDF من منحني Pushover [18]

وضع الباحثان مبادئ MPA اعتمادا على طريقة *UMRHA* المعروضة أعلاه. وتلخص خطواتها وفق المراحل التالية :

1-إيجاد الخواص الديناميكية (التردد الطبيعي ω_n وأنماط الاهتزاز Φ_n) من الاهتزاز الحر المرن للجملة المدروسة(تحليل القيم الذاتية).

2-إجراء تحليل دفعي للجملة من أجل النمط n باستخدام توزع الحمولة الجانبية $s_n^* = m\,\Phi_n$ وإنشاء منحني الاستطاعة $(V_{bn} - u_{rn})$.

3-تسوية منحني الاستطاعة إلى منحني ثنائي الخطية كما في الفصل 1-4-4-2

4-تحويل منحني الاستطاعة إلى الشكل $\frac{F_{sn}}{L_n} - D_n$ بحسب العلاقات (16-2) (17-2) :

5-إيجاد قيمة D_n الأعظمية للجملة اللامرنة n-SDF من تحليل ديناميكي لاخطي أو من طيف استجابة تصميمي أو طيف لامرن.

6-حساب انتقال القمة السطح الأعظمي للجملة اللامرنة n- SDF من العلاقة :

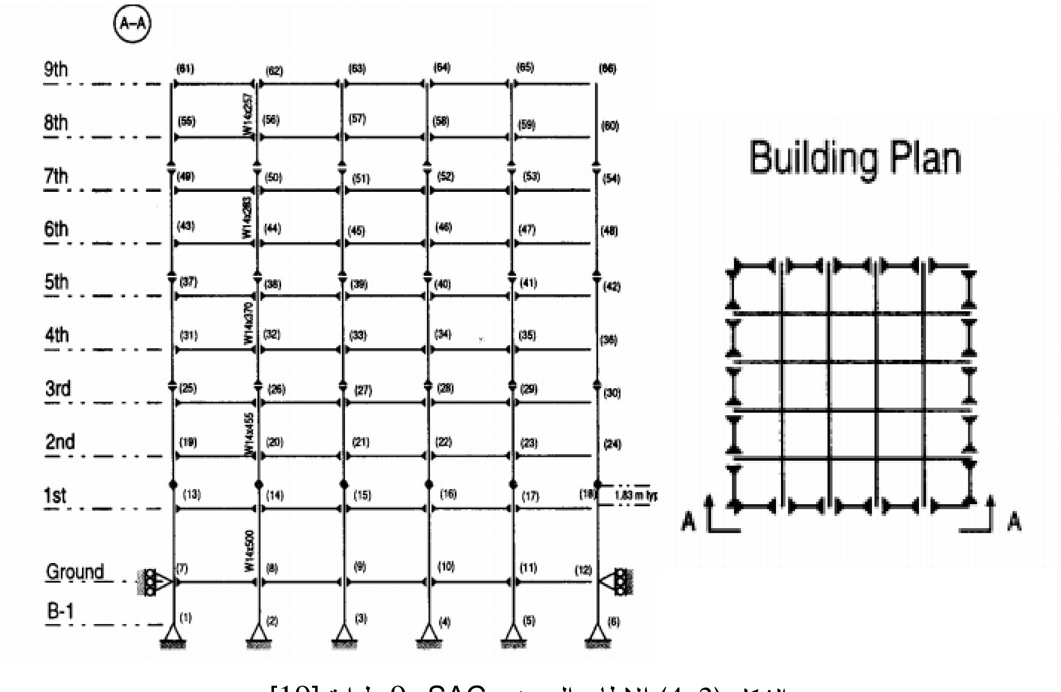
$$u_{rno} = \Gamma_n \emptyset_{rn} D_n \qquad (21-2)$$

7-إيجاد قيم الاستجابات المطلوبة من نتائج التحليل الدفعي عند قيمة الانتقال العظمى u_{rno}.

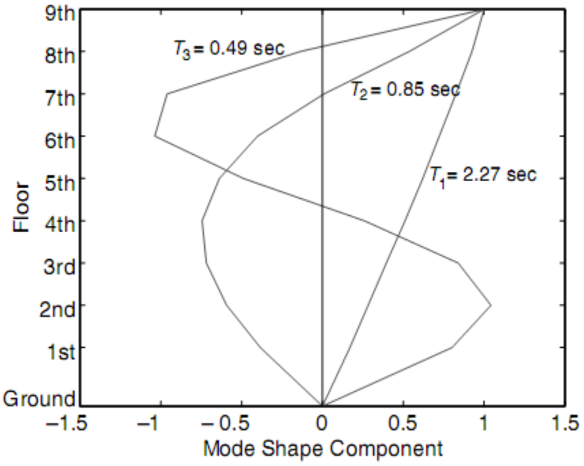
8-إعادة إجراء الخطوات من 2-7 من أجل كل الأنماط المراد إدخال تأثيرها في الاستجابة الكلية. وأوصى الباحث بإمكانية الاكتفاء بالأنماط الثلاثة الأولى لدقة مقبولة.

9- تحديد الاستجابة الكلية من خلال تجميع الاستجابات العظمى للأنماط المدروسة بإحدى الطرائق الاحصائية وهنا تستخدم طريقة *SRSS*.

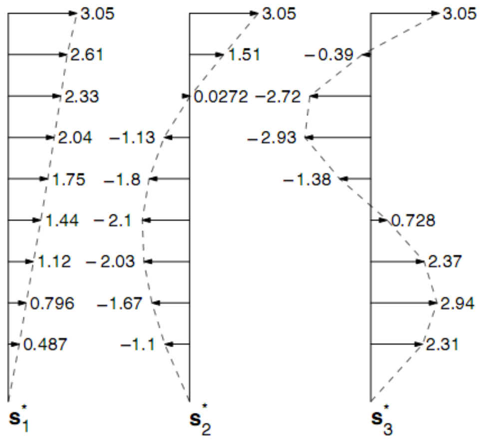
تم تطبيق الطريقة في البداية على منشآت ضمن المجال المرن الخطي فكانت الطريقة مكافئة تماما لطريقة تحليل طيف الاستجابة. ثم تم تطبيق الطريقة ضمن المجال اللامرن على أحد إطارات مشروع SAC [California] بواسطة برنامج DRAIN -2Dx وهو إطار معدني من9 طوابق مصمم حسب الكود الأمريكي UBC 94 الشكل(2-4)،وإيجاد الاستجابات الزلزالية له باستخدام MPA بأخذ أنماط الاهتزاز الثلاث الأولى، و تم إجراء التحليل الدفعي التقليدي باستخدام أشعة الحمولة الجانبية التالية(بحسب FEMA): حمولة منتظمة uniform، الحمولة الكودية المكافئة ELF، والحمولة المجمعة بطريقة SRSSمن القص الطابقي. وأخيرا قورنت كل النتائج بتحليل NRHA للإطار الخاضع لزلزال السينترو المعروف .



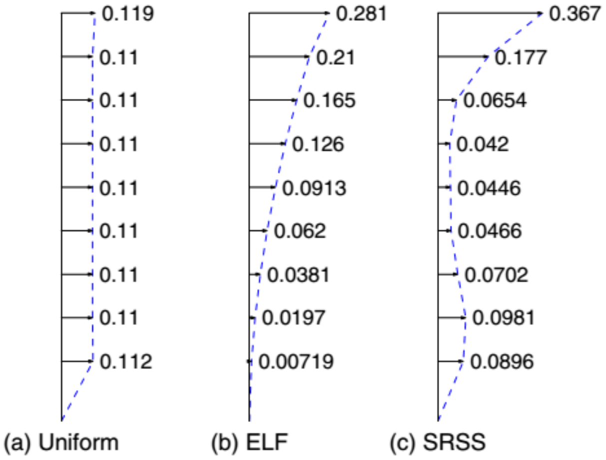
الشكل (2-4):الإطار المعدني SAC 9 طوابق[19]



الشكل (2−5): أنماط الاهتزاز الثلاث الأولى للإطار المعدني 9 طوابق[19]

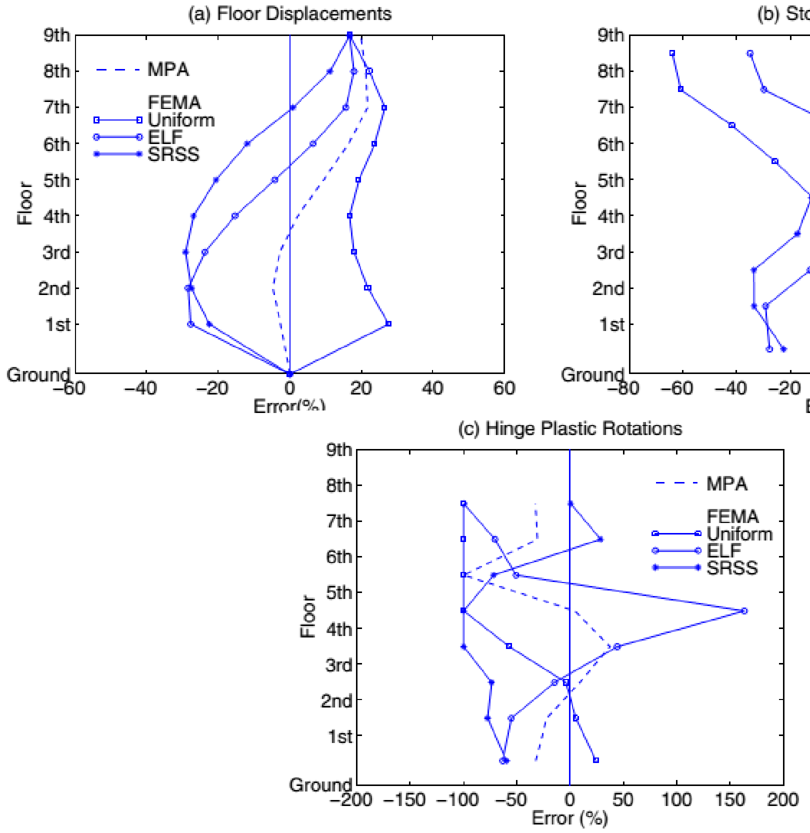


الشكل (2−6): الحمولة الجانبية للانماط الثلاثة الأولى $s_n=m\ \Phi_n$ [19]



الشكل (2−7): الحمولات الجانبية المستخدمة بحسب FEMA [19]

أعطت طرائق التحليل الدفعي التقليدي تقديرات منخفضة لانتقالات الطوابق و الانزياحات النسبية الطابقية. في حين أظهرت طريقة MPA تأثير مشاركة النمط الثاني والثالث إذ أعطت تقديرات أكثر دقة لهذه الاستجابات، واستطاعت تحديد أماكن تشكل المفاصل اللدنة بدقة مقبولة، لكن الخطأ في تقدير دورانات المفاصل اللدنة كان كبير جدا الشكل(2−8).



الشكل (2-8): الخطأ المرتكب في تقديرات انتقالات الطوابق والإزاحات

النسبية الطابقية ودورانات المفاصل اللدنة في الإطار المدروس [18]

وقد تناولت أبحاث عديدة تطبيق MPA على جمل متنوعة من البيتون المسلح لمناقشة عيوب هذه الطريقة وتجاوزها كما ما سيرد في فقرات لاحقة.

2-2-3 طريقة MMPA (Modified Modal Pushover Analysis) [21]:

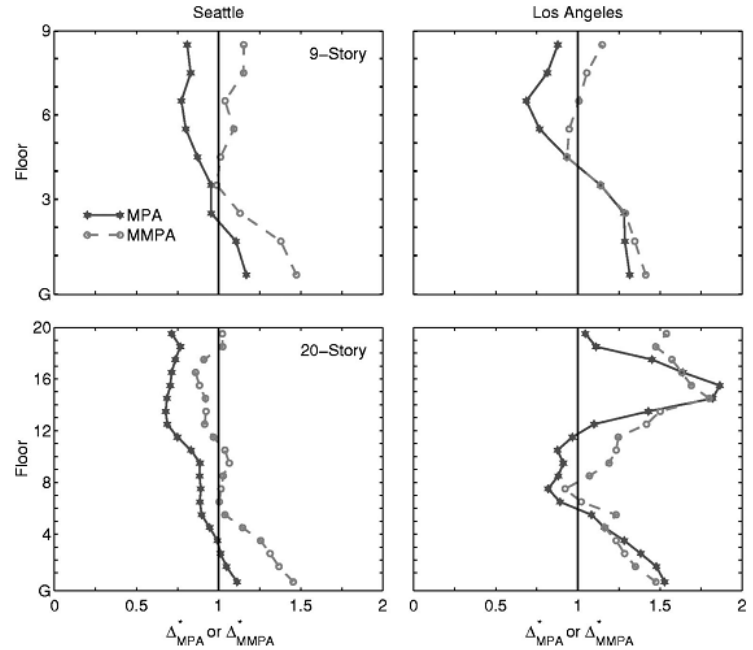
هي تطوير لطريقة MPA بهدف تسهيل طريقة الحل وتقليل الزمن اللازم للتحليل. الاختلاف الوحيد في المبدأ بين الطريقتين هو إدخال مساهمة الأنماط العليا للاهتزاز باعتبار أن الجملة تبقى في المجال المرن الخطي، وبذلك فإن تطبيق MMPA يتطلب إجراء تحليل ستاتيكي لا خطي دفعي للنمط الأول فقط ولا حاجة لذلك من أجل الأنماط المغايرة للنمط الأول، بل يتم إيجاد مقادير الاستجابات بواسطة تحليل نمطي كلاسيكي للجمل المرنة بالاستعانة بطيف استجابة مرن، ويتم في النهاية تجميع الاستجابات من الأنماط المدروسة كما في MPA.

اقترح Chopra,*et al* هذه الطريقة عام 2004 **[21]**، انطلاقا من ملاحظة منحنيات التحليل الدفعي لمباني مشروع SAC المعدنية المعرضة ل 20 هزة أرضية متفاوتة الشدة في مدن بوسطن وسياتل ولوس

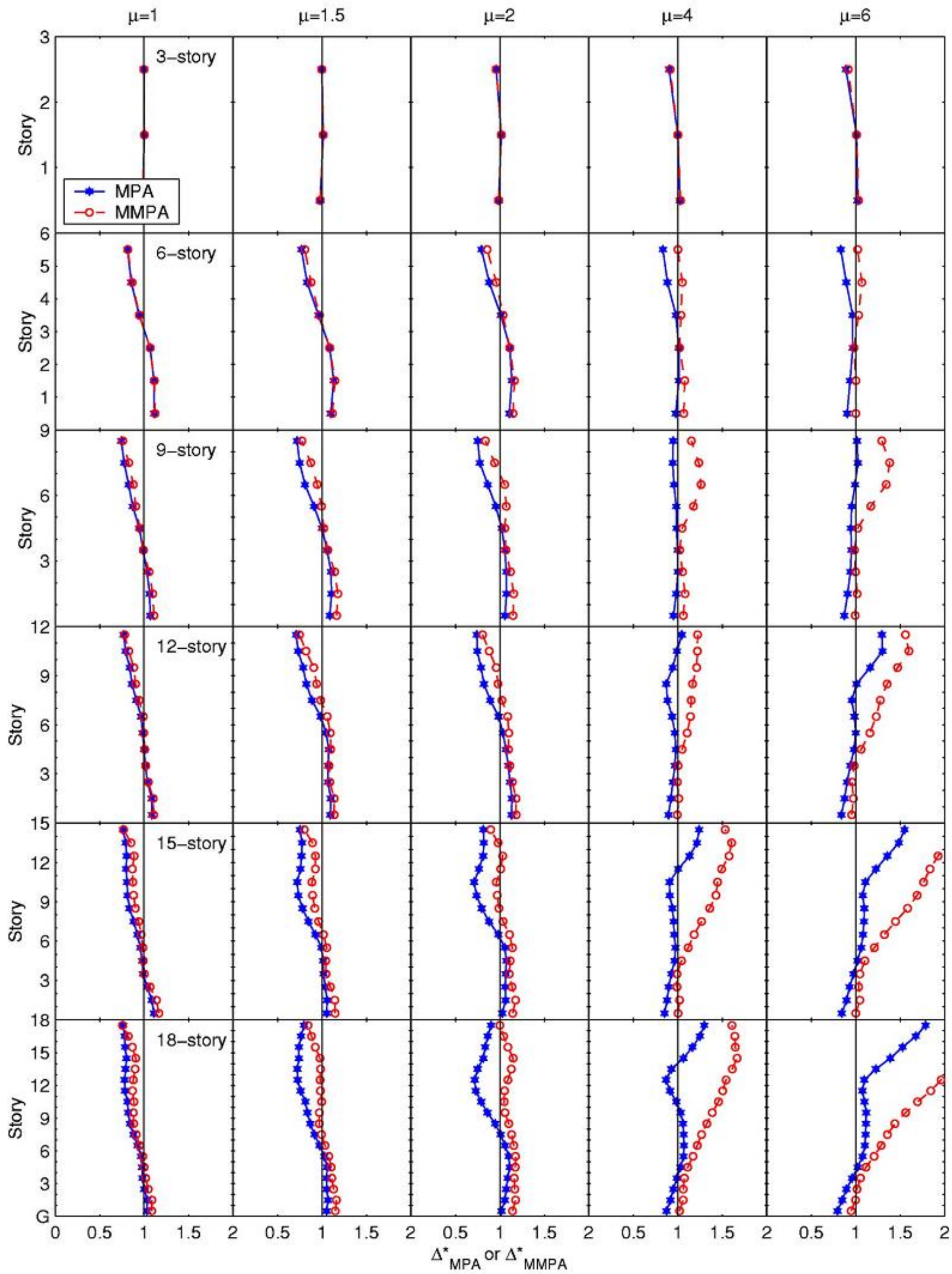
انجلوس الأمريكية ، فقد وجد الباحثون أن القيمة الوسطية للانتقال الهدف في منحني النمط الأول تتجاوز حد المرونة في كل الحالات بينما في الأنماط الثاني والثالث فهي لا تتجاوزها أو تتجاوزها بمقدار صغير. لذلك تم أخذ السلوك اللاخطي في استجابة النمط الأول في حين أعتبر ذلك أقل أهمية للأنماط الأعلى.

تم اختبار الطريقة على مجموعة شاملة من 108 إطارات مصممة بعوامل مطاوعة مختلفة و 4 إطارات من مشروعSAC من 9 و20 طابق ومقارنة الازاحات الطابقية النسبية (Δ) المحسوبة بواسطة كل من MMPA و MPA و الطريقة المرجعية الدقيقة NRHA بمساعدة معيار نسبة الإزاحة لطريقة MPA $\Delta^*_{MPA}=\frac{\Delta_{MPA}}{\Delta_{NRHA}}$ ، ومعيار الازاحة لطريقة MMPA $\Delta^*_{MMPA}=\frac{\Delta_{MMPA}}{\Delta_{NRHA}}$.

وصل الباحثون إلى أن الافتراض الذي تعتمد عليه الطريقة سبّب زيادة في تقديرات الاستجابة للإطارات المدروسة، هذه الزيادة مقبولة في الجمل ذات التخامد 5 % لكنها كبيرة جدا وغير مقبولة في الجمل ذات التخامد الضعيف. لكن هذه النتيجة لا تعني أن MMPA أكثر دقة من MPA لأنها سببت انحرافا أكبر لمقادير الاستجابة في الاطارات التي أعطت فيها MPA تقديرات أكبر .



الشكل (2–9): متوسط نسبة الإزاحة Δ^*_{MPA} ، Δ^*_{MMPA} لإطارات مشروع SAC، 9 و20 طابق[21]



الشكل (2−10): متوسط نسبة الإزاحة Δ^*_{MPA} , Δ^*_{MMPA} ل 6 إطارات من ,3,6,9,12,15,18 طابق [21]

- إن الافتراضات المستخدمة في كل من طريقتي MPA و MMPA تعتبر نقاط ضعف لكل منهما وخاصة فرض أن لا أنماط أخرى سوى النمط n يدخل في استجابة الجملة اللامرنة لمركبة القوة الزلزالية n، وإجراء التحليل الدفعي لكل نمط بتجاهل مشاركة باقي الأنماط ،إضافة إلى طريقة التجميع الاحصائية المستخدمة في حساب الاستجابات الكلية للجملة. كما أن هاتين الطريقتين بشكلها هذا لايمكن اعتبارها طريقة ستاتيكية لأنها تتطلب تكرار عدة عمليات للتحليل للجملة المدروسة من أجل كل حركة أرضية مدروسة.

بدأ الباحثون بالتوجه نحو إجراءات للتحليل الدفعي النمطي تستخدم شعاع وحيد وثابت للحمولة الجانبية ومجمع من مساهمات نمطية متعددة وبالتالي الاستغناء عن الحاجة للتجميع الاحصائي للاستجابة النهائية، وفيما يلي بعض من هذه الطرائق.

2-2-4 طريقةالحد الأعلى(المغلف) في التحليل الدفعي UBPA(Upper Bound)[22]:

تعتمد طريقة **UBPA** على إدخال تأثير أنماط مغايرة للنمط الأول في الاستجابة من خلال تجميع القيم المطلقة للمساهمات النمطية بعد نسبها إلى مساهمة النمط الأول في الحمولة الجانبية. وتنطلق الطريقة أيضا من مبادئ التحليل الديناميكي، فكما وجدنا في معادلات MRHA، يعطى شعاع الانتقال الكلي بالعلاقة:

$$\mathbf{u}(\boldsymbol{t}) = \sum_{n=1}^{N} \emptyset_n q_n(t) \qquad (22-2)$$

وتكون القوة الستاتيكية المكافئة التي تسبب هذا الانتقال $\mathbf{u}(t)$ هي

$$f_s(\mathrm{t}) = \mathbf{k}\,\mathbf{u}(t) = \sum_{n=1}^{N} \mathbf{k}\,\emptyset_n q_n(t) \qquad (23-2)$$

$$f_s(\mathrm{t}) = \sum_{n=1}^{N} \omega_n^2\,\mathbf{m}\,\emptyset_n q_n(t) \qquad (24-2)$$

ويكون انتقال القمة (السطح) في شعاع الانتقال هذا:

$$\mathrm{u}_{\boldsymbol{r}}(t) = \sum_{n=1}^{N} \emptyset_{r,n} q_n(t) = \mathrm{u}_{\mathrm{r},1}(t)\left(1 + \sum_{n=2}^{N} \frac{\emptyset_{r,n} q_n(t)}{\emptyset_{r,1} q_1(t)}\right) \qquad (25-2)$$

حيث$\mathrm{u}_{\mathrm{r},1}(t) = \emptyset_{r,1} q_1(t)$ هو انتقال (السطح)القمة الناتج عن النمط الأول وفي حال تسوية أشعة الأنماط بحيث تكون $\varphi_{r,n} = 1$ تصبح العلاقة من الشكل:

$$\mathrm{u}_{\boldsymbol{r}}(t) = \mathrm{u}_{\mathrm{r},1}(t)\left(1 + \sum_{n=2}^{N} \frac{q_n(t)}{q_1(t)}\right) \qquad (26-2)$$

حيث:

$$\sum_{n=2}^{N}\frac{q_n(t)}{q_1(t)}=\sum_{n=2}^{N}\frac{\Gamma_n\,D_n(t)}{\Gamma_1\,D_1(t)} \qquad (27-2)$$

يمثل هذا الحد مجموع نسب مساهمة الانماط العليا بالنسبة للنمط الأول في استجابة الانتقال

يتم الحصول عادة على استجابات الانتقال العظمى لأغراض التصميم من تحليل طيف الاستجابة حيث $D_n = D(T_n, \xi_n)$ وإذا تم تحديد الاستجابات العظمى باستخدام طريقة تجميع القيم المطلقة ABSSUM تصبح العلاقات السابقة بالشكل:

$$\sum_{n=2}^{N}\frac{q_n}{q_1}=\sum_{n=2}^{N}\left|\frac{\Gamma_n\,D_n}{\Gamma_1\,D_1}\right| \qquad (28-2)$$

$$\mathrm{u}_r=\mathrm{u}_{\mathrm{r},1}\left(1+\sum_{n=2}^{N}\frac{q_n}{q_1}\right) \qquad (29-2)$$

تصبح القوة الستاتيكية المكافئة المسببة للاستجابة العظمى

$$F_s=\omega_1^2\,\mathrm{m}\,\Phi_1+\sum_{n=2}^{N}\omega_n^2\,\mathrm{m}\,\Phi_n\,\frac{q_n}{q_1} \qquad (30-2)$$

اتخذ Jan, *et al* (2004) **[22]** من النسبة $\frac{q_n}{q_1}$ مقياساً لتحديد مساهمة أنماط الاهتزاز في الاستجابة الكلية وقاموا بدراسة 5 إطارات معدنية مقاومة للعزوم (2-5-10-20-30) طابق مصممة وفق الكود التايواني تحت تأثير 13 حركة زلزالية متفاوتة الشدة من زلزال تشي تشي في تايوان باستخدام تحليل الاستجابة الزمنية المرن فوجدوا من خلال النسبة ($\frac{q_{i,0}}{q_{1,0}}$) الموافقة للانتقال الأعظمي المرن للقمة، أن مساهمة النمط الثاني هي الأكثر تأثيرا في الاستجابة بعد تأثير نمط الاهتزاز الأول. وبناء على هذه الملاحظة اقترح الباحثون طريقة UBPA (Upper Bound Pushover Analysis) تدخل مساهمة النمط الثاني ويعبر عنها كنسبة من مساهمة النمط الأول، وتلخص الطريقة وفق المراحل التالية:

1- إيجاد الخواص النمطية والترددات الطبيعية للمنشأ .

2- إيجاد الحد الأعلى لنسبة مساهمة النمط الثاني

$$\left(\frac{q_2}{q_1}\right)_{UB}=\left|\frac{\Gamma_2\,D_2}{\Gamma_1\,D_1}\right| \qquad (31-2)$$

حيث Γ : عامل المساهمة النمط

D: الانتقال الطيفي يؤخذ من طيف الاستجابة المرن الخاص بالحركة الأرضية المدروسة

3- تحديد شعاع الحمولة الجانبية المستخدم في التحليل الدفعي والموزع على ارتفاع المنشأ :

$$F_s = \omega_1^2 \, \mathrm{m} \, \Phi_1 + \omega_2^2 \, \mathrm{m} \, \Phi_2 \left(\frac{q_2}{q_1}\right)_{UB} \qquad (33-2)$$

4- تحديد الانتقال الهدف من العلاقة :

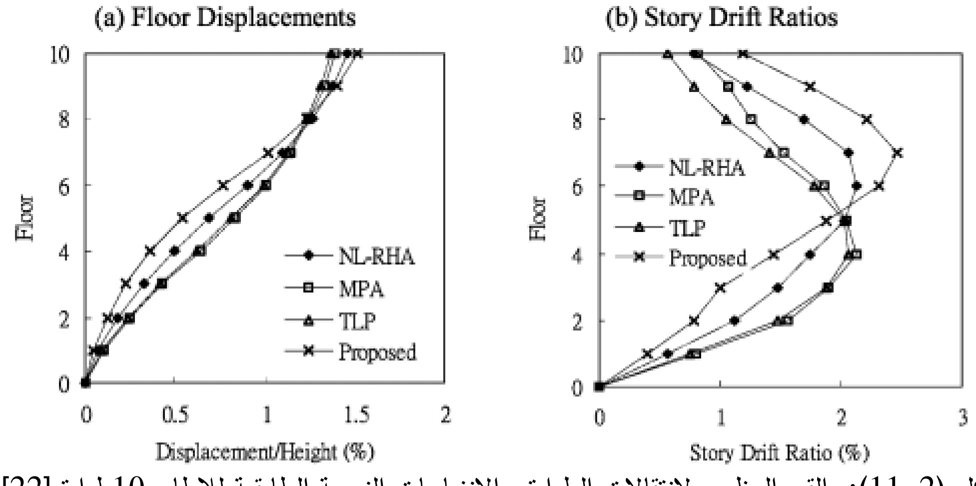
$$u_{r,UB} = u_{r,TLP} \left[1 + \left(\frac{q_2}{q_1}\right)_{UB}\right] \qquad (34-2)$$

$u_{r,UB}$: انتقال الهدف للسطح في حالة مشاركة النمطين الأول والثاني

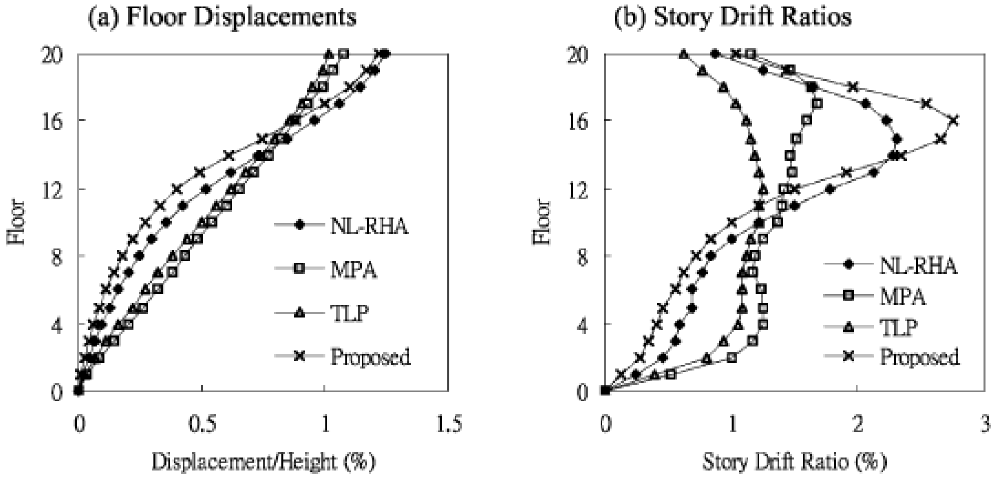
$u_{r,TLP}$: انتقال الهدف لسطح الجملة متعددة درجات الحرية عند استخدام شعاع الحمولة الجانبية المثلثي

5- إجراء تحليل ستاتيكي لاخطي للمنشأ باستخدام شعاع الحمولة F_s ودفعه جانبيا حتى بلوغ القمة $u_{r,UB}$. ثم إيجاد قيم الاستجابات المطلوبةعند هذا الانتقال.

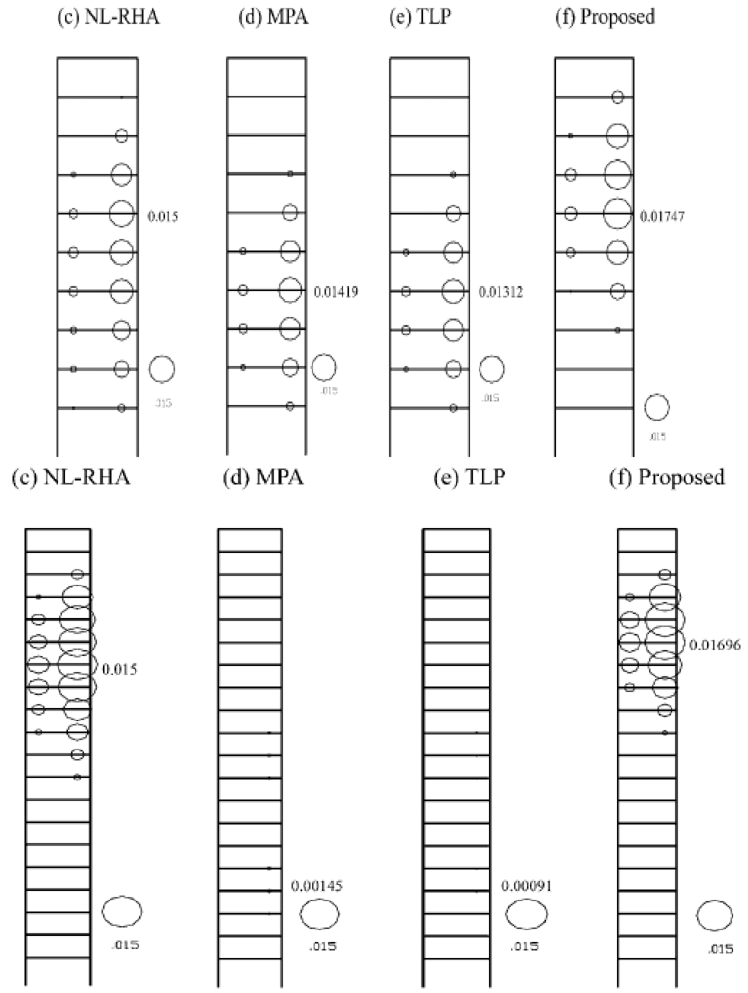
تم تقييم هذه الطريقة بتطبيقها على المباني المذكورة ومقارنة نتائجها مع نتائج تحليل MPA والتحليل الدفعي التقليدي بشعاع حمولة مثلثي TLP وأخيرا مع النتائج المرجعية لطريقة NTHA. وتبين أنه من أجل المباني متوسطة الارتفاع 10 طوابق أعطت طريقة UBPA تقديرا مبالغ فيه للاستجابات اللاخطية (انتقالات الطوابق و الازاحات الطابقية النسبية ودورانات المفاصل) في الطوابق العليا وتقديرا منخفضا للطوابق السفلية وذلك على عكس MPA وTLP كما في الشكل(2-11)، أي لم تظهر فعالية الطريقة في مشاركة النمط الثاني في هذا الارتفاع من المباني. أما في المباني العالية (20-30) فقد ظهر تأثير مشاركة النمط الثاني بوضوح أكبر وكانت الطريقة هي الأفضل في تقدير الاستجابات وخاصة في تقدير دورانات المفاصل اللدنة حيث لم تتمكنMPA, TLP من ذلك الشكل (2-12). ونظراً لأهمية هذه النتائج أوصى الباحثون بتوسيع تطبيق الطريقة وإلى الجمل البيتونية المسلحة. وهذا ما قام به Kalkan, Kunnath **[31]** في دراستهم المقارنة لـ4 طرائق للتحليل الدفعي على مجموعة من المباني فقرة (2-3-2).



الشكل (2-11): القيم العظمى لانتقالات الطوابق والانزياحات النسبية الطابقية للإطار 10طوابق[22]



الشكل (2−12): القيم العظمى لانتقالات الطوابق والانزياحات النسبية الطابقية للإطار 20 طابق [22]



الشكل (2−13): القيم العظمى لدورانات المفاصل اللدنة للإطار10طوابق و 20 طابق [22]

2−2−5−طريقة التجميع النمطي MMC (Method of Modal Combination) [23] :

تعتمد هذه الطريقة على استخدام شكل ثابت للحمولة الجانبية مجمع من المساهمات النمطية المستقلة للأنماط المختلفة ضمن مجال السلوك المرن للمنشأة عند إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي.

أوضح Kunnath عام (2004) **[23]** من خلال دراسة تجريبية للسلوك الزلزالي لمجموعة من المباني القائمة ضرورة أن يعكس التحليل الستاتيكي اللاخطي بعضا من خصائص الاستجابة الديناميكية ، وذلك يتطلب أخذ الاعتبارين الأساسيين التاليين في تشكيل الحمولة الجانبية: 1 –الأخذ بالاعتبار مساهمة عدة أنماط في نموذج الحمولة. 2– الأخذ بالاعتبار خصائص الهزة الأرضية المدروسة في هذا النموذج. والأهم من ذلك هو عدم أخذ مساهمات الأنماط بشكل مستقل بل تجميعها بشكل مناسب يعكس مساهماتها في الاستجابة اللامرنة النهائية. ينطلق تشكيل نموذج الحمولة الجانبية في طريقة MMC التي اقترحها الباحث من معادلة الحركة الأساسية(2–1) في طريقة RHA، ومن مبدأ الفصل في تابع القوى الفعالة $\mathbf{P}_{eff}$ بين التوزع الفضائي للحمولة الجانبية وتابع المطال المتغير مع الزمن كما في المعادلات(2–2) (2–3) (2–4). وبما أن طريقة التحليل الدفعي المقترحة هي طريقة ستاتيكية فقد رأى الباحث انه يمكن استخدام القوى الستاتيكية المكافئة كما في تحليل طيف الاستجابة والمساوية للقيم العظمى للمساهمات النمطية وتكون القوة الستاتيكية f_n الممثلة لمساهمة النمط n:

$$f_n = \Gamma_n \mathrm{m}\, \Phi_n\, S_a\,(\xi_n . \mathrm{T}_n) \qquad (35\text{–}2)$$

S_a: طيف التسارع للحركة الأرضية المدروسة عند الدور T ونسبة التخامد ζ_n الموافقين للنمط n .

واعتمد الباحث للحصول على الاستجابات النهائية على الفرضية المستخدمة في MPA والتي تنص على إمكانية الحصول على الاستجابة اللامرنة من خلال تراكب الأنماط باعتبار النمط n مسيطراً في الاستجابة الموافقة له في الجمل اللامرنة كماهي الحال في الجمل المرنة. يسمح تبني هذه الفرضية أيضا باستخدام طيف استجابة لامرن للحصول على S_a لكل نمط. وبذلك يمكن إيجاد توزع القوى الجانبية المجمعة من مساهمات الأنماط من الصيغة :

$$F_j = \sum_{n=1}^{N} \alpha_n \Gamma_n \mathrm{m}\, \Phi_n\, S_a\,(\xi_n . \mathrm{T}_n) \qquad (36\text{–}2)$$

F_j : القوة الجانبية المطبقة في مستوى الطابق j .

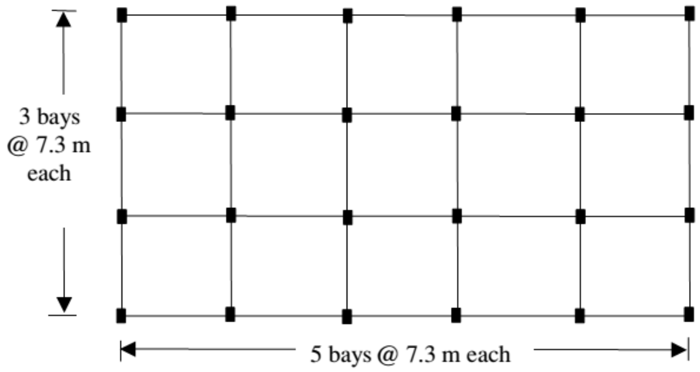
m :كتلة الطابق j

α_n :عامل تعديل يساوي الواحد بإشارة موجبة او سالبة . ويمكن استخدامه للأخذ بالاعتبار التأثير النسبي لكل نمط في هذا التجميع .

يؤخذ في صيغة الحمولة الجانبية المقترحة عدد كاف من الأنماط ذات المساهمة الهامة في الاستجابة بحسب الارتفاع ومساهمة الكتلة لكل نمط والمواصفات الديناميكية للمنشأة وعند أخذ الأنماط الثلاثة الأولى تكون الحمولة المجمعة من الشكل:

$$F = \alpha_1 \Gamma_1 m\, \Phi_1\, S_a\,(\xi_1.\mathrm{T}_1) \pm \alpha_2 \Gamma_2 m\, \Phi_2\, S_a\,(\xi_2.\mathrm{T}_2) \pm \alpha_3 \Gamma_3 m\, \Phi_3\, S_a\,(\xi_3.\mathrm{T}_3) \qquad (37-2)$$

لذلك فإنه من أجل أغراض التصميم تتطلب هذه الطريقة إجراء تحليل دفعي عدة مرات ، وفي كل مرة يطبق تجميع مختلف لنموذج الحمولة الجانبية يتضمن تجميع مشاركة نمطين أو أكثر وتحديد الاستجابات العظمى ثم إيجاد المغلف لهذه الاستجابات. قام الباحث باختبار الطريقة على مبنيين إطاريين من البيتون المسلح(8 و16 طابق). قيم أدوار الاهتزاز وعامل مساهمة الكتلة لكل منهما موضحة في الجدول (2−1). وقد تم تحليل النموذجين أيضا بطريقة NTHA باستخدام إحدى تسجيلات زلزال نورثريدج المصنفة بأنها ذات احتمالية تجاوز 10% خلال 50 عاما.



الشكل (2−14): مسقط أفقي للمبنى النموذجي 8 و16 طابق [23]

الجدول (2− 1): الخواص الديناميكية للمبنى النموذجي 8 و16 طابق

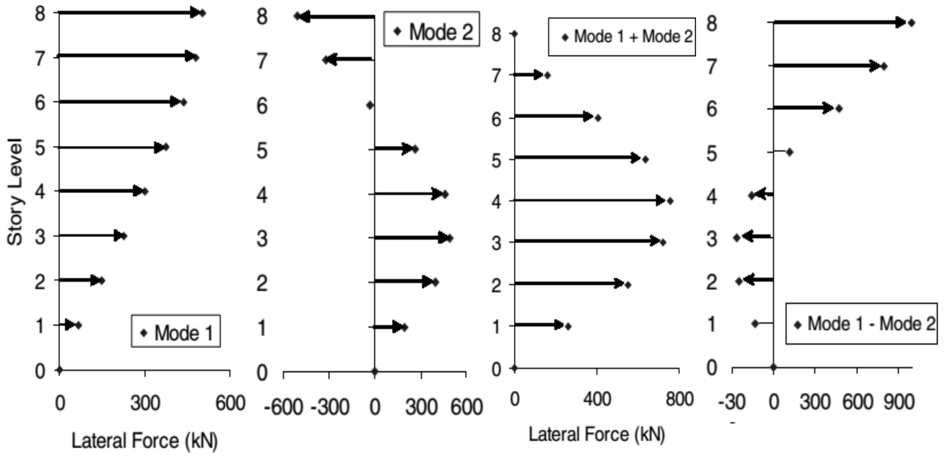
Dynamic properties of buildings								
	Mode 1		*Mode 2*		*Mode 3*		*Mode 4*	
Building	T_1	*% mass*	T_2	*% mass*	T_3	*% mass*	T_4	*% mass*
8-story	1.75	81.8	0.60	10.6	0.34	3.5	0.23	2.0
16-story	2.82	77.9	1.01	10.7	0.58	4.0	0.40	2.2

Note: Building periods, T_i (seconds).

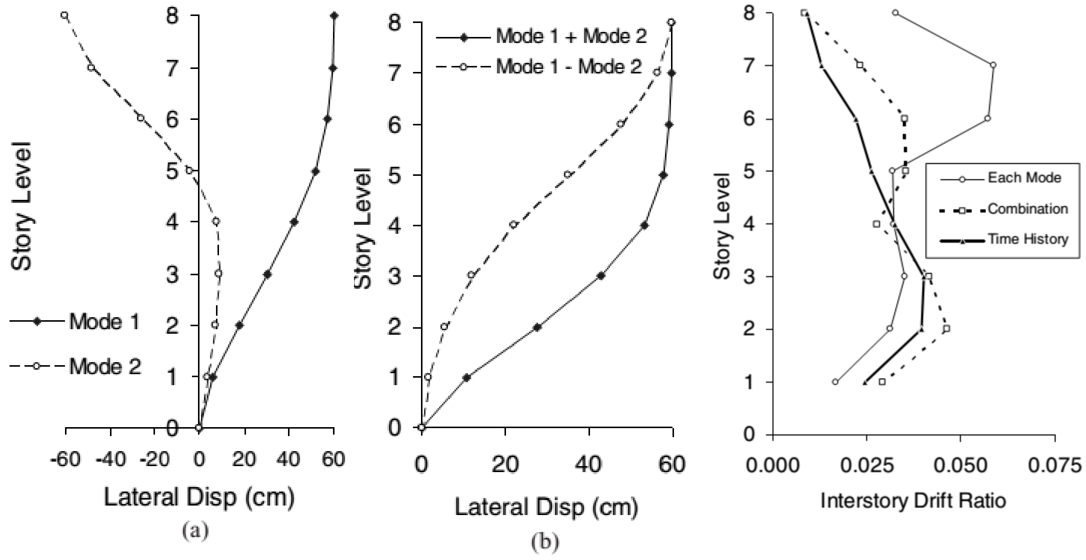
تم تطبيق التحليل الدفعي للمبنى 8 طوابق بتجميع مشاركة النمطين الأول والثاني فقط في الحمولة الجانبية (mode1+mode2) و(mode1−mode2) باعتبار أن مجموع مساهمة الكتلة لكل منهما تتجاوز 90 % والحمولة المستخدمة في كل تحليل مبينة في الشكل (2−15) وهي:

$$F = \alpha_1 \Gamma_1 \mathrm{m}\, \Phi_1\, S_a\, (\xi_1 . \mathrm{T}_1) \pm \alpha_2 \Gamma_2 \mathrm{m}\, \Phi_2\, S_a\, (\xi_2 . \mathrm{T}_2) \qquad (38\text{–}2)$$

وتم دفع الإطار المدروس جانبياً حتى الوصول إلى قيمة الانتقال الأعظمية المحسوبة بطريقة NTHA

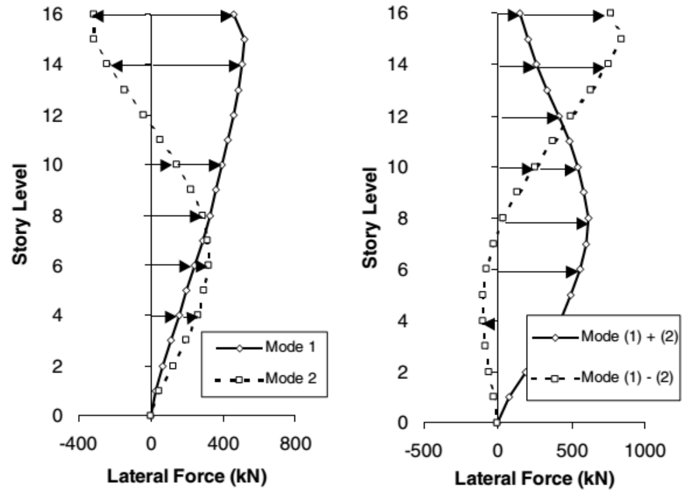


الشكل (2–15): توزع القوى الجانبية للأنماط 1و2 مستقلة ومجمعة للإطار 8 طوابق[23]

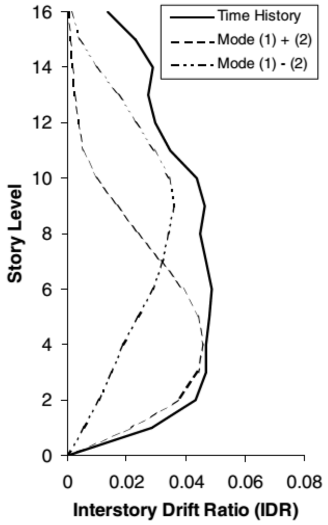


الشكل (2–16):انتقالات الطوابق والازاحات النسبية الطابقية الناتجة عن تحليل الأنماط 1و2 المستقلة والمجمعة للإطار 8 طوابق[23]

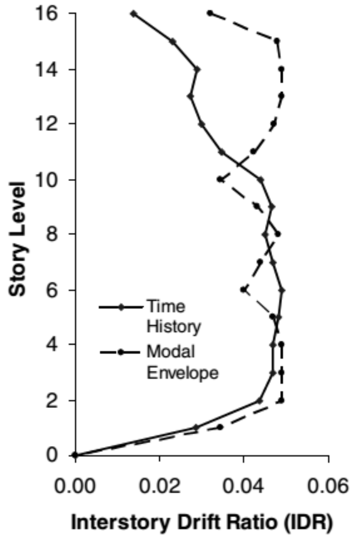
وبمقارنة مغلف الإزاحات الطابقية النسبية الناتج عن التجميعين النمطيين مع مغلف نتائج تحليل كل نمط بشكل مستقل الشكل (2–16) وجد أن الأول أقرب لتقدير هذه النسبة في كل الطوابق مقارنة مع نتائج NTHA. تم إجراء نفس مراحل التحليل السابقة للمبنى 16 طابق وتبين أن مغلف الإنزياحات النسبية الطابقية يعطي تقديرات منخفضة و بعيدة عن تقديرات NTHA خاصة في الطوابق العلوية مما دل على تأثر انزياحات هذه الطوابق بأنماط أخرى وعلى ضرورة إضافة نمط آخر في صيغة التجميع المقترحة الشكل(2–18).



الشكل (2−17): توزع القوى الجانبية للأنماط 1و2 مستقلة ومجمعة للإطار16 طابق



الشكل (2−18): الازاحات النسبية الطابقية الناتجة عن تحليل الأنماط 1و2 للإطار 16 طابق [23]



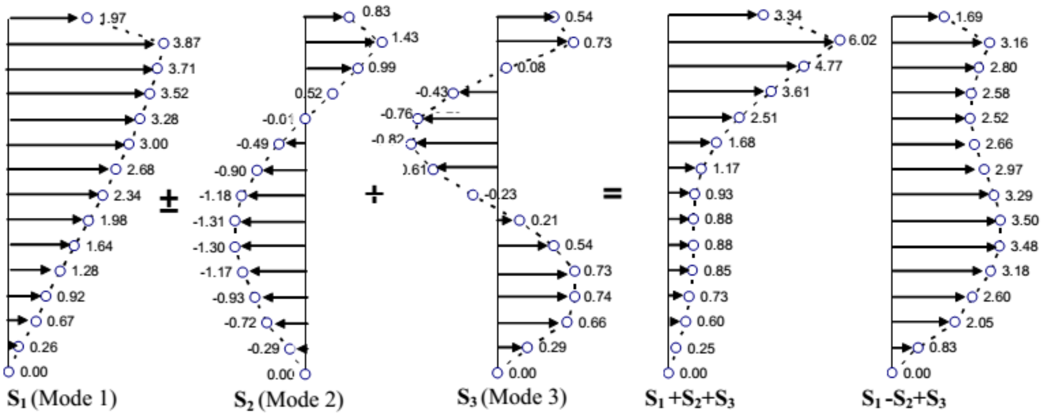
الشكل (2−19): مغلف الانزياحات النسبية الطابقية الناتجة عن تحليل الأنماط 1و2و3 للإطار 16 طابق[23]

لذلك تم إجراء التحليل بمشاركة الأنماط الثلاث الأولى باستخدام شعاع الحمولة من العلاقة (2−37) ويبين الشكل (2−19) مغلف الانزياح الطابقي الذي يقارب الإنزاحات المحسوبة ب NTHA بدقة مقبولة. ونلاحظ أنه مع زيادة ارتفاع المبنى ظهر تأثير مساهمة النمط الثالث في الاستجابة.

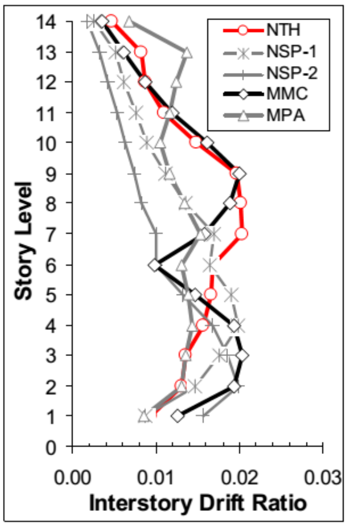
دلت هذه الاختبارات على نجاح طريقة MMC في إدخال مساهمة أنماط الاهتزاز في شعاع الحمولة الجانبية المستخدم في التحليل اللاخطي بطريقة سهلة وعملية دون الحاجة إلى إجراءات طريقة MPA ما يمكن استخدامها في معظم البرامج التجارية المتوافرة حاليا .

❖ قام Kalkan and Kunnath (2004)**[24]** بتقييم هذه الطريقة وأفضليتها على طريقة MPA وطرائق التحليل الدفعي التقليدية في (FEMA) ذات الحمولة المثلثية والحمولة الموزعة بانتظام من خلال دراسة 3 مبان إطارية فولاذية من (4 و6 و13) طابق باستخدام تجميع النمطين الأول والثاني بالإضافة إلى تجميع الأنماط الثلاثة الأولى للإطار 13 طابق. أعطى مغلف الإزاحات الطابقية النسبية للإطارين

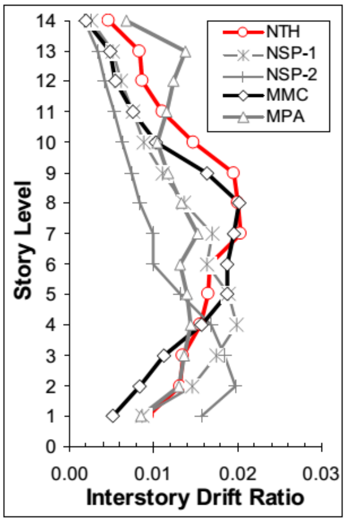
(4,6) طوابق تقديرات أفضل من طرائق FEMA وMPA بالمقارنة مع نتائج NTHA مع بعض المبالغة في الطابق الأول، وأما في الإطار 13 فقد أعطى مغلف تجميع النمطين الأولين تقديرات مقبولة لكنها ليست أفضل من تقديرات MPA الشكل (2−21)، وبإدخال النمط الثالث في التجميع فقد أصبحت التقديرات قريبة جدا من NTHA وبقيت الطرائق الأخرى المدروسة بعيدة عنها الشكل(2−22). كما اعطت MMC تقديرات جيدة لدورانات المفاصل اللدنة.



الشكل (2−20):توزع للحمولات الجانبية $S_n = \Gamma_n m\, \Phi_n$ للأنماط 1و 2و 3 في الإطار 13 طابق[24]



الشكل (2−21): مقارنة الإنزياحات النسبية الطابقية للإطار 13 طابق (MMC بإدخال الأنماط 1و2)[24]



الشكل (2−22): مقارنة الإنزياحات النسبية الطابقية للإطار 13 طابق (MMC بإدخال الأنماط 1و2و3)[24]

حمولاتFEMA:

NSP−1: حمولة مكافئة $F_x = \dfrac{W_x\, h_x^k}{\sum_{i=1}^{N} W_i h_i^k} V$

NSP−2: حمولة موزعة بانتظام

لاحظ الباحثون أن طريقة MMC تعتمد تشكيل الحمولات الجانبية من تجميع المساهمات النمطية في مجال السلوك المرن. مع دخول المنشأ في مجال السلوك اللدن تتغير الخواص الطيفية وتصبح الانماط العليا مساهمة في الاستجابة بشكل مؤثر أكثر ومختلف عما هو عليه في مجال السلوك المرن ويمكن

التعبير عن هذا الأمر في طريقة MMC باستخدام قيم لعوامل التعديل α تأخذ بالاعتبار التغير في المساهمات بين الانماط في مجال السلوك اللدن وهذا يتطلب دراسة إضافية في هذا المجال.

6-2-2 طريقة التجميع الأمثل للأنماط الموزونة في التحليل الدفعي (OWM) (Optimum Weighted mode combination) [25]:

تهدف هذه الطريقة إلى إيجاد طريقة أفضل لتجميع الاستجابات النمطية الناتج عن التحاليل المستقلة للأنماط المختلفة كون مبدأ تراكب الانماط المتبع في معظم طرائق التجميع النمطي هو افتراض تقريبي لا يصح في مجال السلوك اللدن .إن العيب الأساسي في تجميع SRSS المتبع في طرائق MPA, AMC وغيرها ، أنه يلغي تأثير الاشارات المتعاكسة في الاستجابات النمطية عند تجميعها، وهذا دفع Shakeri عام (2013) **[25]** إلى اقتراح طريقة تسمح بالجمع الجبري المباشر للاستجابات النمطية الموزونة بعامل الوزن الأمثل الذي يمثل مساهمة النمط في الاستجابة، ويتم الحصول على هذا العامل بواسطة خوارزمية جينية، بحيث يكون منحني الازاحات النسبية الطابقية $\bar{\Delta}$ بأقل خطأ ممكن مقارنة مع إزاحات NTHA وقد اعتمد على الإزاحات النسبية الطابقية لأنها معيار جيد لتشوهو وتضرر المباني.

خطوات تطبيق الطريقة مماثلة تماما لكل خطوات MPA ما عدا الخطوة الأخيرة المتعلقة بتجميع SRSS. حيث يتم تعريف تابع خطأ هو الفرق بين استجابات NTHA ومجموع الاستجابات النمطية المستقلة و المضروبة بعامل الوزن. تحسب الاستجابة الكلية في هذه الطريقة من العلاقة :

$$R = aR_1 + bR_2 + cR_3 \qquad (39\text{–}2)$$

R: الاستجابة الكلية

R_1, R_2, R_3 : الاستجابات المستقلة للأنماط 1,2,3 على الترتيب

a, b, c : عوامل الوزن للأنماط 1,2,3 على الترتيب

ويتم تشكيل شعاع الخطأ المرتكب من العلاقة التالية :

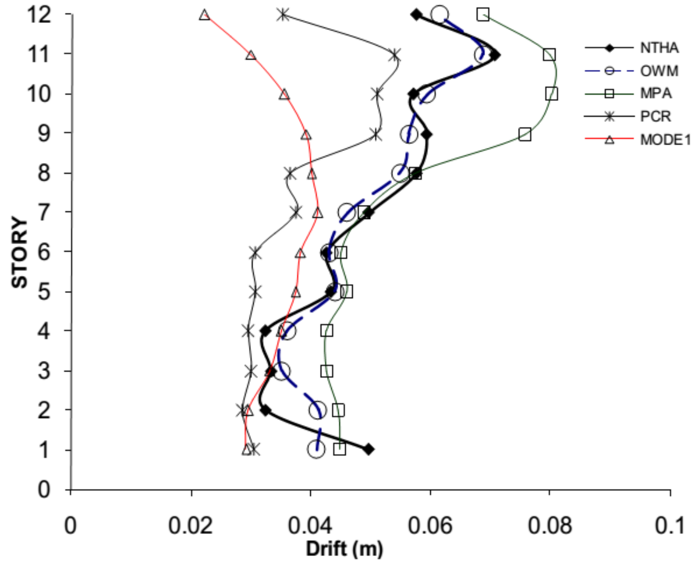
$$\bar{\Delta}_{error} = \bar{\Delta}_{NTHA} - (a\bar{\Delta}_1 + b\bar{\Delta}_2 + c\bar{\Delta}_3) \qquad (40\text{–}2)$$

لتقليل هذا الخطأ فإن جميع مكوناته ومجموعها يجب أن تكون بالحد الأدنى وبالتالي يشكل شعاع الهدف بالعلاقة :

$$norm(\overline{\Delta_{error}}) = \sqrt{d_{error1}^2 + d_{error2}^2 + d_{error3}^2} \qquad (41\text{–}2)$$

$d_{error\ i}$: هو المكون i في الخطأ المرتكب في شعاع الانزياحات النسبية الطابقية

وتستخدم الخوارزمية الجينية GA (Genetic Algorithm) في تقليل قيمة هذا التابع والحصول على الأوزان المثلى a,b,c. تم اختبار الطريقة على إطار فولاذي 12 طابق وكانت الاستجابات المجمعة جبرياً للأنماط الأربعة الأولى باستخدام الوزن الأمثل أفضل من نتائج تحليل النمط الأول mode1 وطريقة MPA، وأقرب إلى نتائج NTHA كما هو مبين في الشكل(2-23) .



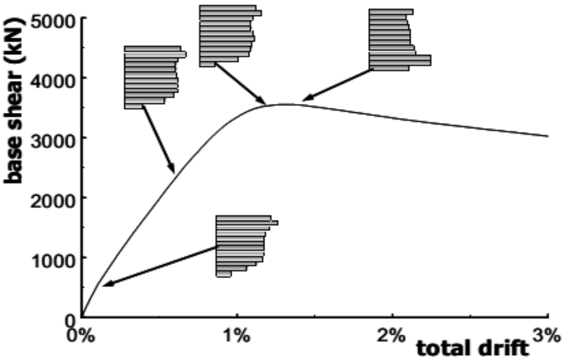
الشكل (2-23): الانزياحات النسبية الطابقية في الاطار 12 طابق المحسوبة بالطرائق المدروسة [25]

كل الدراسات الواردة في الفقرات السابقة تؤكد من خلال التجارب التحليلية على مساهمة الأنماط العليا في تقديرات الاستجابة الزلزالية وتأثيرها الواضح على نتائج التحليل الدفعي وذلك بنسب متفاوتة تبعا لارتفاع المبنى وشدة الهزة الأرضية، إضافة إلى الطريقة التي يتم فيها أخذ مساهمة الأنماط بالاعتبار سواء في التجميع المباشر في شعاع الحمولة او من تجميع الاستجابات النهائية من التحليلات النمطية المستقلة وهناك مجموعة من الطرائق النمطية الأخرى لامجال لذكرها جميعها في هذا البحث.

2-3 طرائق التحليل المتكيف(Adaptive Pushover Method):

ذكرنا سابقا أنه من المهم جدا أن تمثل نماذج الحمولات الجانبية المستخدمة في التحليل الدفعي قوى العطالة الناشئة في المنشأة بأقرب ما يمكن لكي تكون الاستجابات المقدرة بواسطة هذا التحليل مماثلة للواقع عند تعرضها لهزة أرضية معينة. ومن المعروف انه أثناء تعرض المباني لهزات أرضية قوية تبدأ بالاستجابة ضمن السلوك المرن ثم تنتقل إلى السلوك اللامرن بسبب وصول بعض العناصر المقاومة للأحمال الجانبية إلى حد الخضوع تباعا وتغير مواصفات مصفوفة الصلابة الكلية للمنشأ وما يرافق ذلك من تغيير في الخواص الديناميكية للمنشأ أي تردداته الطبيعة وأدوار الاهتزاز مما يؤدي إلى تغيير مستمر في توزع قوى العطالة أثناء فترة الاستجابة اللدنة. ومن الواضح أن طرائق التحليل الدفعي التي تعتمد على الحمولات الجانبية ذات الشكل الثابت طيلة فترة التحليل لا تستطيع أن تعبر عن هذا التغيير بشكل مقبول وإنما يتطلب ذلك حمولة جانبية متغيرة الشكل مع تغير خواص المنشأة ومساهمات الانماط الشكل (2-

24)**[26]**. وقد تم معالجة هذا الجانب بشكل رئيسي في طرائق التحليل الدفعي المتكيف Adaptive Pushover ونعرض بعضا منها فيما يلي:



الشكل (2-24) : مثال على شعاع الحمولة الجانبية لمتكيف أثناء كل خطوة من خطوات التحليل [26]

2-3-1- التحليل المتكيف المعتمد على الأطياف (Adaptive Spectra-based Pushover) [26]

أوضح Gupta,Kunnath (2000) **[26]** تغير قوى العطالة على ارتفاع المنشأ أثناء الاستجابة من خلال دراسة الاستجابة الزلزالية لمجموعة من المباني القائمة في الولايات المتحدة ذات جمل متنوعة بين إطارية وجدران قص تصل حتى 20طابق، ومزودة بأجهزة قياس الاستجابات في الطوابق أثناء تعرضها لزلزال نورثريدج 1994 وتسارعات أرضية تتجاوز (0.25 g)، وكان التغيير واضحاً وكبيراً كلما زاد ارتفاع المبنى أثناء التعرض للزلزال. مع التأكيد أن الحمولة الجانبية ذات الشكل الثابت طيلة فترة التحليل لا تستطيع أن تعبر عن هذا التغيير في التحليل الدفعي. لذلك سعى الباحثان إلى وضع طريقة يمكن من خلالها التحكم بشكل الحمولة الجانبية المتزايدة خلال خطوات إجراء التحليل الدفعي وبعبارة أخرى يستمر شكل الحمولة الجانبية في التغيير أثناء خطوات التحليل اعتمادا على الخواص الديناميكية اللحظية للمنشأة المدروسة. سميت هذه الطريقة بالتحليل الدفعي المتكيف المعتمد على الأطياف وتتميز هذه الطريقة عن الطرائق التقليدية بما يلي :

1-تستخدم أطياف استجابة خاصة بالموقع المدروس في تشكيل الحمولة الجانبية .

2- تستخدم حمولة جانبية ذات شكل متغير باستمرار تبعا لتغير الخواص الديناميكة اللحظية.

3- تسمح بأخذ تأثير أنماط متعددة في الاستجابة النهائية من خلال التجميع الاحصائي.

تتلخص مراحل الطريقة بالخطوات التالية:

1-إنشاء النموذج الرياضي وتحديد علاقة السلوك اللاخطي (قوة-تشوه) لمختلف العناصر.

2-إيجاد طيف الاستجابة المرن الخاص بالموقع المدروس بتخامد مكافئ 5%.

3- إجراء تحليل القيم الذاتية للنموذج باستخدام صلابته الحالية والتي هي الصلابة البدائية في الخطوة الأولى هي (مصفوفة الصلابة تأخذ بالاعتبار فقط درجات حرية الانتقال الجانبي للطوابق)، وإيجاد الخواص الديناميكية من أدوار وأنماط اهتزاز وعوامل مساهمة الانماط.

4-حساب القوى عند كل طابق (i) من أجل كل نمط اهتزاز مراد ادخاله في الاستجابة (j) من العلاقة

$$f_{ij} = \Gamma_j m \, \Phi_{ij} \, S_a(j) \qquad (42-2)$$

5-حساب القص القاعدي V_j للنمط j ثم تجميع القص القاعدي للمبنى V بطريقة SRSS.

$$V = \sqrt{\sum_{j=1}^{N} {V_j}^2} \qquad V_j = \sum_{i=1}^{N} f_{ij} \qquad (43-2)$$

6- تقييس قوى الطوابق باستخدام عامل التقييس S_n.

$$S_n = \frac{V_B}{N_s V} \qquad \bar{V}_j = S_n V_j \qquad (44-2)$$

V_B: القص القاعدي الكلي المحسوب للمبنى

N_s: عدد خطوات التزايد المنتظم للقوى المطبقة

7- إجراء التحليل الستاتيكي باستخدام قوى الطوابق المقييسة من الخطوة السابقة بتزايد تدريجي وذلك من أجل كل نمط مستقل.

8-تجميع الاستجابات الناتجة كل نمط من قوى عناصر وإزاحات طابقية، بطريقة SRSS من ثم إضافتها إلى القيم المحسوبة في الخطوة السابقة.

9- مقارنة قوى العناصر المحسوبة تراكمياً في نهاية كل خطوة مع حد الخضوع لكل منها، وإعادة حساب مصفوفة الصلابة بأخذ العناصر التي بلغت حد الخضوع بالاعتبار، وإعادة التحليل بدءا من الخطوة 3.

تستمر عملية التحليل حتى الوصول إلى قيمة أعظمية للقص القاعدي أو للإزاحة الجانبية.

إن حساب قوى الطوابق عند كل خطوة مطابق تماما لطريقة تحليل طيف الاستجابة المعروفة

قام الباحثان بتقييم الطريقة من خلال دراسة مجموعة من المباني التجارية ذات جمل إطارية من البيتون المسلح وارتفاعات متفاوتة (4 و8 و12و16و20) طابق مصممة وفق UBC(1988) خواصها الديناميكة في الجدول (2-2)

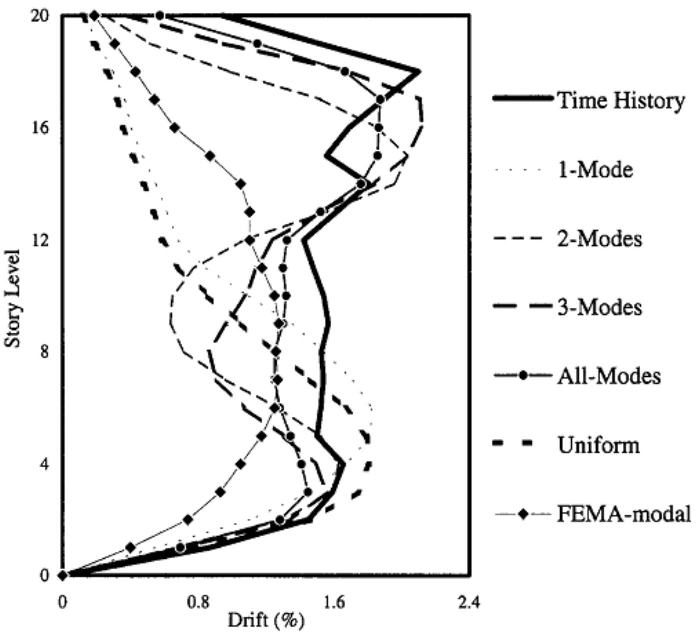
جدول (2-2):الخواص الديناميكية للجمل المدروسة للأدوار الخمسة الأولى[26]

. Dynamic properties of office buildings (MRFs)						
Mode	Parameter	4-Story	8-Story	12-Story	16-Story	20-Story
1	T_1 (seconds)	0.90	1.75	2.21	2.82	3.31
	% Mass	85.7	81.8	78.9	77.9	76.7
2	T_1/T_2	3.2	2.9	2.9	2.8	2.9
	% Mass	10.1	10.6	10.5	10.7	11.0
3	T_1/T_3	6.0	5.1	4.9	4.9	4.9
	% Mass	3.3	3.5	4.2	4.0	4.3
4	T_1/T_4	9.0	7.6	7.4	7.1	6.9
	% Mass	0.9	2.0	2.0	2.2	2.3
5	T_1/T_5	-	10.3	10.0	9.4	9.2
	% Mass	-	1.0	1.4	1.2	1.4

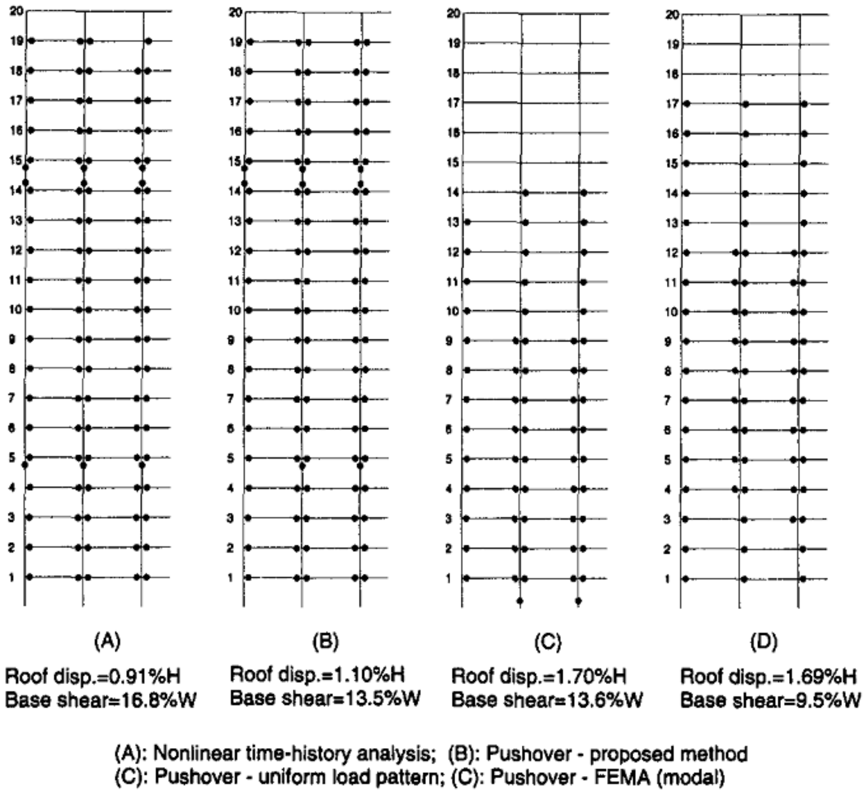
أجري التحليل الدفعي التقليدي باستخدام حمولات (FEMA) الموزعة بانتظام والحمولة المثلثية الكودية بهدف المقارنة مع الطريقة المقترحة وإظهار مساهمة الأنماط العليا ،إضافة إلى تحليل NTHA للنتائج المرجعية باستخدام 15 تسجيل لحركة أرضية مصنفة باحتمالية تجاوز 10% و20% كل 50 سنة.

بمقارنة منحنيات الاستطاعة للتحاليل المجراة، تبين أن منحنيات حمولات (FEMA) تشكل الحد الأعلى والأدنى للاستطاعة أي مغلفاً لها. أما بالنسبة للإنزياحات النسبية الطابقية عند انتقال السطح الأعظمي المحسوب بتحليل NTHA فقد تبين تأثرها بمساهمات الأنماط العليا، وبدأ تأثير هذه الأنماط بالظهور مع زيادة ارتفاع المباني وأدوارها الأساسية حيث زادت الأخطاء في تقديرات حمولات (FEMA) في الطوابق العليا في حين أعطت الطريقة المقترحة تقديرات مقبولة كما أنها أظهرت الاختلاف في مشاركة الأنماط باختلاف الحركات الأرضية بشكل واضح، ويظهر من الشكل (2-25) أن منحني الازاحات الناتجة عن الطريقة المقترحة بأخذ النمط الأول فقط مماثلة لتلك الناتجة عن الحمولة الموزعة بانتظام ومع زيادة عدد الأنماط الداخلة في الطريقة المقترحة يقترب منحني الازاحات من منحني NTHA. ومن نتائج البحث أن طرائق (FEMA) لم تعط تقديرات جيدة لميكانيزمات الانهيار وأماكن تشكلها في الطوابق المتوسطة والعلوية بشكل خاص. بينما استطاعت الطريقة المقترحة تحديد معظم مواقع المفاصل اللدنة على كامل ارتفاع النموذج كما في NTHA الشكل (2-26).

أشار البحث في النهاية إلى أنه لايمكن لأي من طرائق التحليل الدفعي أن تعطي تسلسل تشكل المفاصل اللدنة بشكل دقيق كما في طريقة NTHA بسبب طبيعة التحميل الدوري للهزة الأرضية، ولكن يمكن أن تعطينا معلومات مفيدة حول أماكن تشكلها ومقدار التلدن الحاصل فيها مما يساعد في تقييم الأداء.



الشكل (2–25): الانزياحات النسبية الطابقية باستخدام الطريقة المقترحة بالمقارنة مع الطرائق المدروسة[26]



الشكل (2–26):أماكن تشكل المفاصل اللدنة باستخدام الطريقة المقترحة والمقارنة مع الطرائق المدروسة [26]

2-3-2 طريقة التجميع النمطي المتكيف AMC (Adaptive Modal Combination)[27] :

اقترح Kalkan وKunnath (2006) **[27]** طريقة تجميع نمطي لتقدير الاستجابات الزلزالية تدمج بين مبدأ طريقة CSM ومميزات التحليل المتكيف ومبدأ التجميع النمطي لطريقة MPA. سميت الطريقة AMC وهي تأخذ تأثيرات الأنماط العالية من خلال تجميع الاستجابات لكل نمط مستقل، وهذه تحسب

باستخدام حمولة جانبية محدثة باستمرار بحسب تغييرات الخواص الديناميكية للأنماط أثناء خطوات التحليل. كما تتضمن هذ الطريقة ميزة جديدة هي أن قيمة الانتقال الهدف تتغير ايضا أثناء خطوات التحليل بشكل ديناميكي باستخدام منحنيات الاستطاعة المعتمدة على الطاقة، وأطياف استجابة ذات مستويات متعددة للمطاوعة. قيم الباحثون هذه الطريقة بتطبيقها على اطارين فولاذيين6, 13 طابق ومقارنة الاستجابات مع تحليل MMPA وتحليل حمولة FEMA المثلثية ،إضافة إلى الطريقة المرجعية NTHA باستخدام مجموعة من تسجيلات لحركات أرضية قريبة وبعيدة عن الفالق. أعطت طريقة AMC بأخذ عدد كاف من الأنماط (الأنماط الثلاثة الأولى) تقديرات ممتازة للانزياحات النسبية الطابقية مقارنة مع MMPA بالرغم من تراجع الدقة في بعض حالات الهزات القوية .

قدم Elnashai (2001) **[29]** طريقة تحليل دفعي متكيف تعتمد على القوى (Forced- FAP Based Adaptive Pushover Algorithm) ذات نتائج مشابهة لما كان قد توصل إليه Kunnath **[26]**، وقد وجد Antoniou وPinho عام(2004) أن التحليل المتكيف المعتمد على الانتقالات(Displacement-based Adaptive Pushover) قد يكون أكثر فعالية وقرب من استجابة المباني للهزات الارضية حيث تتغير انتقالات الطوابق النسبية بالنسبة لبعضها البعض بشكل مستمر أثناء مرحلة السلوك اللدن ويمكن الاطلاع على طريقتهم (DAP) في المرجع**[30]**.

من الواضح أن طرائق التحليل المتكيف تحتاج جهد وصعوبة في التطبيق العملي مقارنة مع طرائق التحليل الدفع النمطي الأخرى لذلك لم يتم التطرق إليها في الدراسة التطبيقية لهذا البحث .

- ❖ قدم Kalkan , Kunnath (2007) **[31]** دراسة جديرة بالاهتمام تتضمن تقييم 4 طرائق مختلفة للتحليل الدفعي وهي:

1-التحليل الدفعي التقليدي بحسب FEMA باستخدام شكل الحمولة المتناسبة مع النمط الأول وشكل الحمولة المنتظمة المتناسبة مع كتلة الطوابق (أعطيت النتائج كمغلف للتحليلين).

2- طريقة MMPA (فقرة 2-2-3)
3- طريقة UBPA (فقرة 2-2-4).
(2 و 3: والطريقتين من طرائق التحليل النمطي)

4- طريقة AMC وهي من طرائق التحليل المتكيف (فقرة 2-3-2)

أجريت الدراسة على مباني إطارية من الفولاذ 6,13 طابق ومن البيتون المسلح 7و20 طابق كما تم تحليل هذه الإطارات تحت تأثير مجموعة كبيرة من الحركات اللأرضية المتفاوتة بطريقة NTHA، ومقارنة بارامترات الاستجابة المحددة (الانتقالات الطابقية ، والانزياحات النسبية الطابقية ودورانات المفاصل اللدنة) بين الطرائق الستاتيكية والتحليل الديناميكي الشكل (2-27)، فتوصل الباحثان إلى النتائج التالية:

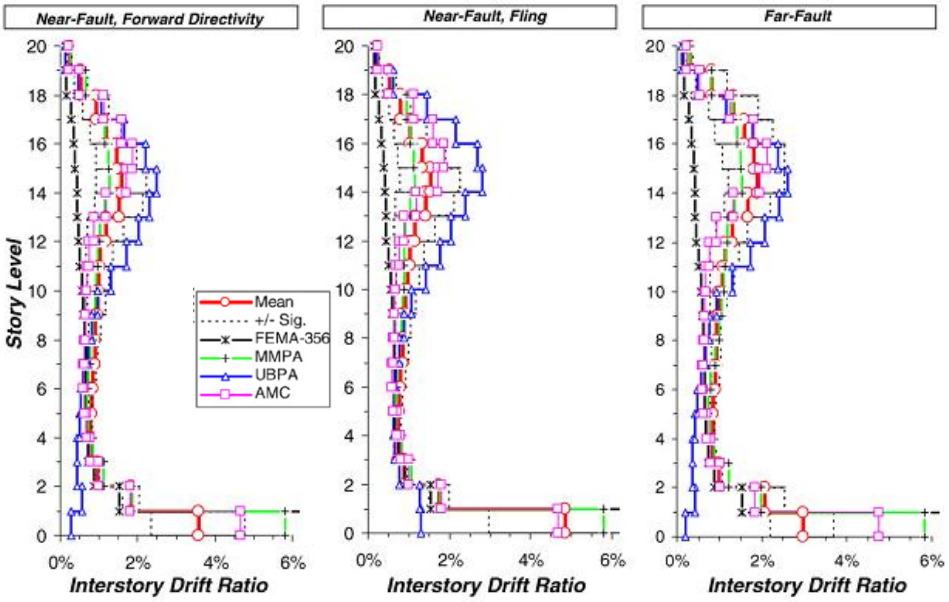
1-أعطى التحليل الدفعي بحسب FEMA تقديرات غير مقبولة لانتقالات الطوابق العظمى ودورانات المفاصل اللدنة في الطوابق العليا بسبب مشاركة الأنماط العليا في الاستجابة بشكل واضح.

2-أعطت طريقة UBPA نتائج أقل دقة من باقي الطرائق وخاصة تقديرات قليلة للانزياحات النسبية بين الطوابق ودورانات المفاصل اللدنة في الطوابق السفلى.

3-أعطت طريقة MMPA تقديرات جيدة للإزاحات النسبية الطابقية مقارنة مع FEMA وUBPA، ولكنها لم تستطع تقدير دورانات المفاصل اللدنة بشكل مقبول في الطوابق العليا، وهذا متوقع كون الطريقة تهمل المساهمات اللدنة للأنماط العليا.

4-تبين أن جميع طرائق التحليل الدفعي التي تعتمد على شعاع تحميل ثابت طيلة التحليل لا تستطيع التعبير عن تغير الخواص الديناميكية خلال السلوك اللدن وتغير توزع قوى العطالة الناتج عن تشوهات الطوابق.

5-أعطت طريقة AMC ذات شعاع الحمولة المتكيف أكثر النتائج دقة مقارنة مع NTHA وتمكنت من التعبير عن مساهمة الأنماط في الاستجابة خلال مراحل الاستجابة المرنة واللدنة بشكل مقبول.



الشكل (2–27): مقارنة القيم العظمى الانزياحات النسبية الطابقية للإطار البيتوني20 طابق بين الطرائق المدروسة [31]

2–4– التحليل الدفعي ثلاثي الأبعاد 3D pushover Analysis:

إن طرائق التحليل الدفعي النمطي التي تم عرضها في الفقرات السابقة تسمح بتقييم الاستجابات الزلزالية الناتجة عن تعرضها لحركة أرضية وفق أحد محاورها الأفقية الرئيسية فقط، وهذا ما يسهل الحل إذ يمكن ان نكافئ المباني ذات الجمل الإطارية المقاومة للأحمال الجانبية بإطار مفرد ثنائي أبعاد 2D يجرى عليه التحليل وفق اتجاه وحيد. إن هذا التقريب قد يكون مقبولا وكافيا لتقييم سلوك المباني المنتظمة شاقولياً وذات المسقط الأفقي المتناظر، أما في المباني غير المنتظمة والمتناظرة فهو غير مقبول لتقييم السلوك والاستجابات الزلزالية حيث يكون سلوك الجمل المقاومة للأحمال الجانبية مختلفا في الاتجاهين بحسب صلابة ومواصفات الجملة مما ينشأ عنه سلوك فتلي ، إضافة إلى أن الهزة الأرضية في الواقع تسبب تسارعا أرضيا مختلفا في كل اتجاه. لذلك أوصى الباحثون بدراسة هذا النوع من المباني كجمل ثلاثية الأبعاد، وعملوا على تطوير طرائق تحليل دفعي تأخذ بالاعتبار تأثير مكونين للحركة الأرضية وهي بالضرورة طرائق نمطية تدخل تأثير نمطين على الأقل في الاستجابات المحسوبة. نورد فيما يلي بعض هذه الطرائق:

2–4–1: طريقة التحليل الدفعي النمطي ثلاثية الأبعاد (3D MPA)[32]:

تم تطوير طريقة MPA المعروفة من أجل التحليل ثلاثي الأبعاد للمباني المتناظرة وغير المتناظرة تحت تأثير مركبتين أفقيتين للحركة الأرضية في وقت واحد من قبل Reyes, Chopra (2011) انطلاقا من معادلة الحركة لمبنى مكون من N طابقاً(باعتبار الطوابق ديافرامات صلبة في مستويها) وخاضع لمركبتين أفقيتين للحركة الأرضية $\ddot{u}_{gy}(t), \ddot{u}_{gx}(t)$ تؤثران معا:

$$\boldsymbol{M}\ddot{u} + \boldsymbol{c}\dot{u} + \mathbf{f}_s(u) = -\boldsymbol{M}\,\iota_x\,\ddot{u}_{gx}(t) - \boldsymbol{M}\,\iota_y\,\ddot{u}_{gy}(t) \qquad (45\text{–}2)$$

M: مصفوفة الكتلة القطرية من المرتبة 3N وتتكون من 3 مصفوفات جزئية هي m , m المرافقتين للانتقالات الجانبية وفق x و y، والمصفوفة I_0 المرافقة لدرجة الحرية الفتلية.

$\mathbf{f}_s$: شعاع القوى المقاومة

$\boldsymbol{\iota}_x , \boldsymbol{\iota}_y$ أشعة التأثير الموافقة لحركة الارض بالاتجاهين x,y

$$\boldsymbol{\iota}_x = \begin{bmatrix} \mathbf{1} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{\iota}_y = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{1} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \tag{46-2}$$

حيث **1** و**0** هي أشعة من الدرجة N .

وبالتالي يمكن كتابة القوة الفعالة للهزة الأرضية:

$$\mathbf{P}_{\text{eff}}(t) = -\mathbf{s}_x \ddot{u}_{gx}(t) - \mathbf{s}_y \ddot{u}_{gy}(t) = -\begin{bmatrix} \boldsymbol{m1} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \ddot{u}_{gx}(t) - \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \boldsymbol{m1} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \ddot{u}_{gy}(t) \tag{47-2}$$

تحدد التغيرات بحسب الزمن بالتسارع الأرضي $\ddot{u}_g(t) = \ddot{u}_{gx}(t)\ or\ \ddot{u}_{gy}(t)$ ويحدد التوزع الفضائي لهذه القوى على ارتفاع المبنى بالأشعة $\mathbf{s}_y, \mathbf{s}_x$ وهذا التوزع يمكن أن يحلل إلى مجموع قوى العطالة النمطية $\mathbf{s}_n$ (modal inertia forces):

$$\mathbf{s}_x = \sum_{n=1}^{3N} \mathbf{s}_{nx} = \sum_{n=1}^{3N} \Gamma_{nx} \boldsymbol{M}\, \emptyset_n \tag{48-2}$$

$$\mathbf{s}_y = \sum_{n=1}^{3N} \mathbf{s}_{ny} = \sum_{n=1}^{3N} \Gamma_{ny} \boldsymbol{M}\, \emptyset_n \tag{49-2}$$

حيث:

$$\Gamma_n = \frac{L_n}{M_n},\ M_n = \emptyset_n^T \mathrm{M}\, \emptyset_n\ ,\ L_n = \begin{cases} \emptyset_{xn}^T M \boldsymbol{\iota}_x & \text{for } \ddot{u}_{gx}(t) \\ \emptyset_{yn}^T M \boldsymbol{\iota}_y & \text{for } \ddot{u}_{gy}(t) \end{cases} ,\ \boldsymbol{\emptyset_n} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\emptyset_{xn}} \\ \boldsymbol{\emptyset_{yn}} \\ \boldsymbol{\emptyset_{\theta n}} \end{bmatrix} \tag{50-2}$$

وبذلك يكون المكون النمطي n للقوى الفعالة للهزة الأرضية

$$\mathbf{P}_{\text{eff,n}}(t) = -\mathbf{s}_{nx} \ddot{u}_{gx}(t) - \mathbf{s}_{ny} \ddot{u}_{gy}(t) \tag{51-2}$$

تحسب الاستجابة العظمى للمبنى بالاتجاه x مثلاً نتيجة القوة الفعالة $\mathbf{P}_{\text{eff,n}}(t) = -\mathbf{s}_{nx} \ddot{u}_{gx}(t)$، ولتكن r_{nx}، بواسطة تحليل دفعي باستخدام حمولة جانبية وقوى فتل معرفة بالتوزع $\boldsymbol{s}_n^*$، وهي مرافقة لقيمة الانتقال الأعظمي للسطح $u_{r\,nx}$ للجملة اللامرنة n-SDF:

$$\boldsymbol{s}_n^* = sign(\Gamma_n) \begin{bmatrix} \boldsymbol{m}\emptyset_{xn} \\ \boldsymbol{m}\emptyset_{yn} \\ \boldsymbol{I_0}\emptyset_{\theta n} \end{bmatrix} \tag{52-2}$$

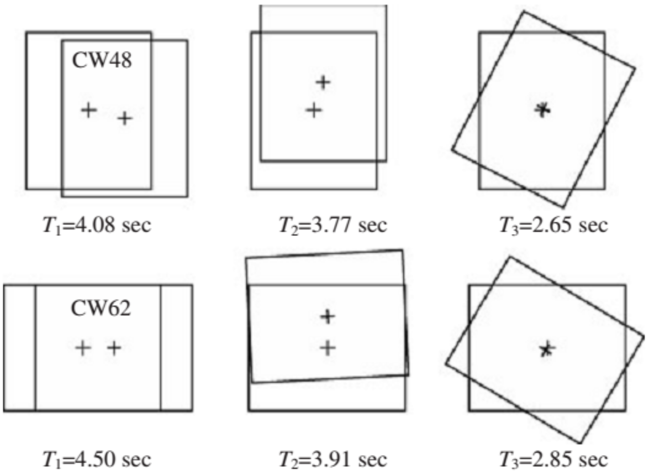
مع الانتباه إلى أن اتجاه تطبيق القوى s_n^* يجب أن يكون هو الاتجاه المسيطر للنمط المدروس n. تستخدم صيغة CQC لتجميع الاستجابات النمطية r_{nx} من الأنماط المرغوبة للحصول على الاستجابة الكلية r_x باتجاه x وتستخدم الاشارة الجبرية لعامل مساهمة النمط لأنها مؤثرة في هذه الصيغة.

تجرى تحليلات مماثلة للاتجاه y من أجل المكون الثاني للهزة الأرضية للحصول على الاستجابة الكلية r_y، وبذلك نكون حصلنا على الاستجابة وفق الاتجاهين x,y بشكل مستقل. يتم جمعهما إحصائيا بطريقة SRSS باعتبار التسارعات الأرضية مطبقة وفق الاتجاهين الرئيسين للمبنى المدروس ونحصل على الاستجابة الكلية:

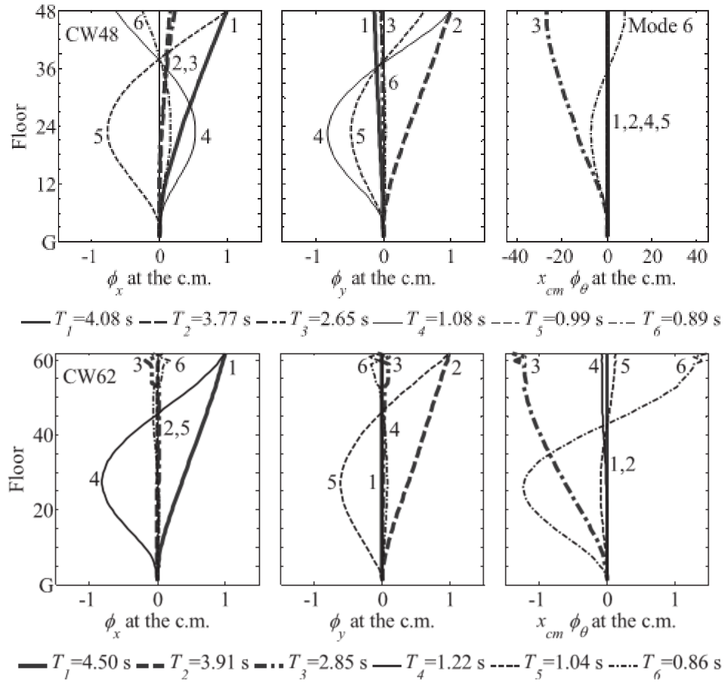
$$r = \sqrt{r_x^2 + r_y^2} \qquad (53\text{-}2)$$

اقترح الباحثون تسهيل عملي لتطبيق MPA وسميت الطريقة المقترحة PMPA تتضمن التقريبين التاليين:1- اعتبار المبنى يسلك سلوكا خطيا مرنا عند حساب مساهمات الأنماط العالية. 2-يتم تحديد التشوه الوسطي للجملة اللامرنة n-SDF مباشرة من طيف تصميمي بالاعتماد على نسبة التشوه اللامرن دون الحاجة إلى تحليل NTHA.

تم تقييم MPA وPMPA بتطبيقهما على مبنيين شاهقي الارتفاع 48 طابق (CW48) و62 طابق(CW62) ضمن مشروع مركز PEER للأبحاث في كاليفورنيا ، تتكون جملتهما المقاومة للأحمال الجانبية من نواة بيتونية. كما أجري تحليل NTRH المرجعي باستخدام 30 زوجا من الحركات الأرضية وفق الاتجاهين الرئيسين وذلك باستخدام برنامج (PERFORM 3D).يبين الشكل (2-28) انتقال السطح المرافق للأنماط الثلاثة الأولى في المبنيين المدروسين.

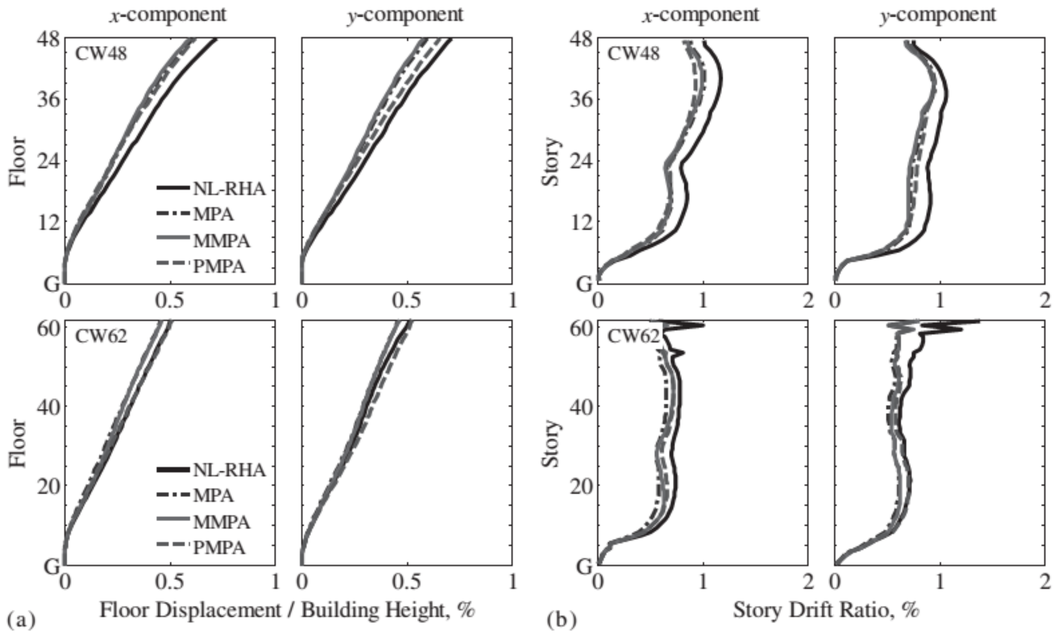


الشكل (2-28): انتقال السطح المرافق للأنماط الثلاثة الأولى في (CW48) و(CW62) [32]



الشكل (2−30): الأدوار الطبيعية وأنماط الاهتزاز في (CW48) و(CW62) وفق الانتقالات x,y والانتقال الفتلي[32]

لاحظ الباحثون أن الزوج الأول من الأنماط (1+2) كان غير كافياً لتقدير انتقالات الطوابق كما هو متوقع الشكل(2−31−a)، بينما لم يكن كذلك عند تقدير الازاحات النسبية الطابقية، وأنه مع إضافة الزوج الثاني من الأنماط(4+5)تحسنت التقديرات بشكل ملحوظ مقارنة مع NRHA مع اختلاف بمقدار 15% للمبنى CW48 و 18% للمبنى CW62 الشكل(2−31−b). وخلص الباحثون إلى أن التقريبات المستخدمة في PMPA صالحة لاعتبارها طريقة موثوقة لتقدير الاستجابات الزلزالية في الاستخدام العملي لأنها أعطت في الجمل اللامرنة نتائج قريبة جداً من RSA للجمل المرنة في المبنيين المدروسين حتى من أجل الحركات الزلزالية الشديدة.



الشكل (2−31): انتقال الطوابق والانتقالات النسبية الطابقية عند مركز الكتلة في (CW48) و(CW62)

2-4-2 التحليل الدفعي باستخدام منحنيات الاستطاعة المعممة (Generalized Pushover Curves) [33] :

إن منحني الاستطاعة المستخدم في معظم طرائق التحليل الدفعي كما هو معروف هو منحني يربط بين القص القاعدي V_{bn} والانتقال الجانبي للسطح أو أي نقطة مرجعية اخرى u_{rn} ، وهو ذو أهمية كبرى في إعطاء معلومات عن استطاعة القص القاعدي للمبنى المدروس. أما في المباني التي يشارك في استجابتها انماط فتلية حول المحور الشاقولي مترافقة مع قص قاعدي صغير او معدوم فإن منحني الاستطاعة بشكله هذا ليس له معنى كما هي الحال عند دراسة المباني غير المتناظرة والخاضعة لحركات أرضية من الاتجاهين.

لذلك تم اقتراح تعريف أشمل لمنحني الاستطاعة دعي منحني الاستطاعة المعمم الذي يعتبر منحني (V_{bn} , u_{rn}) كحالة خاصة منه. ويتم إنشاؤه وفق خطوات شبيهة بطريقة MPA، حيث يتم إجراء التحاليل الدفعية النمطية n باستخدام الحمولة الجانبية المتزايد بشكل ثابت وفق عامل تزايد الحمولة β_n :

$$\mathbf{f}_s = \beta_n m \, \emptyset_n \qquad (54\text{-}2)$$

حيث يسمى المنحني الذي يربط بين (u_{rn} -β_n) بمنحني الاستطاعة المعمم ويتم تحويله إلى الشكل $\frac{F_{sn}}{L_n} - D_n$ الخاص بسلوك الجملة اللامرنةn-SDF بالعلاقات:

$$\frac{F_{sn}}{L_n} = \frac{\emptyset_n^T \mathbf{f}_s}{L_n} = \frac{\beta_n \, \emptyset_n^T m \, \emptyset_n}{L_n} = \frac{\beta_n}{\Gamma_n} \quad , \quad D_n = \frac{u_{rn}}{\Gamma_n \, \Phi_{rn}} \qquad (55\text{-}2)$$

ويمكن من أجل الأنماط الفتلية رسم منحني الاستطاعة يربط بين الفتل القاعدي T_{bn} ودوران النقطة المرجعية θ_{rn} الذي يحول إلى الشكل $\frac{F_{sn}}{L_n} - D_n$ بالعلاقات:

$$\frac{F_{sn}}{L_n} = \frac{\mathbf{T}_{bn}}{I_{on}^*} \quad , \quad D_n = \frac{\theta_{rn}}{\Gamma_n \, \Phi_{rn}} \qquad (56\text{-}2)$$

I_{on}^*: عزم العطالة الدوراني للكتلة الفعالة $I_{on}^* = \Gamma_n \, 1^T I_0 \Phi_{\theta n}$

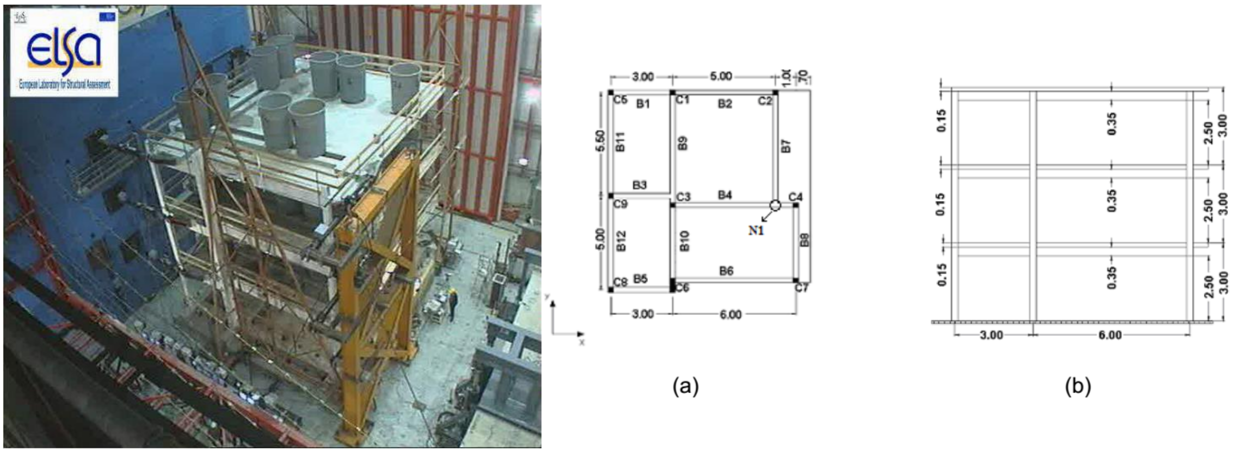
I_0: مصفوفة عزم عطالة الكتلة

$\Phi_{\theta n}$ الدورانات في شعاع النمط

وتبين أن منحني الاستطاعة من الشكل (u_{rn} -β_n) قد يكون أكثر فعالية من الشكل(u_{rn} , V_{bn}) لأنه يصلح لجميع أنماط الاهتزاز بما فيها الأنماط الفتلية التي يكون في فيها القص القاعدي شبه معدوم طالما أن β_n دوما مغايرة للصفر.

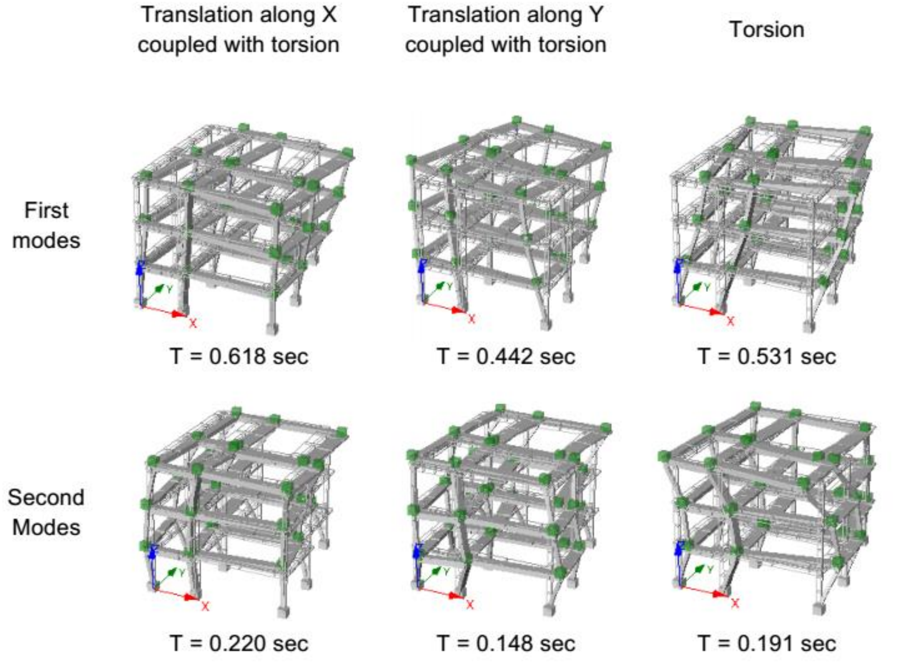
قام Bento , Bhatt (2012) **[33]** بإجراء دراسة تقييمية لمنحنيات الاستطاعة المعممة من خلال مبنى SPEAR وهو نموذج إطاري غير منتظم من البيتون المسلح من 3 طوابق تمت دراسته تجريبيا

بأبعاده الحقيقية في مشروع المختبر الأوروبي للدراسات الزلزالية ELSA الشكل (2-32)، وتم تسجيل استجاباته الزلزالية لمجموعة من الهزات الاصطناعية المسجلة من زلزال مونتينيغرو عام (1979).



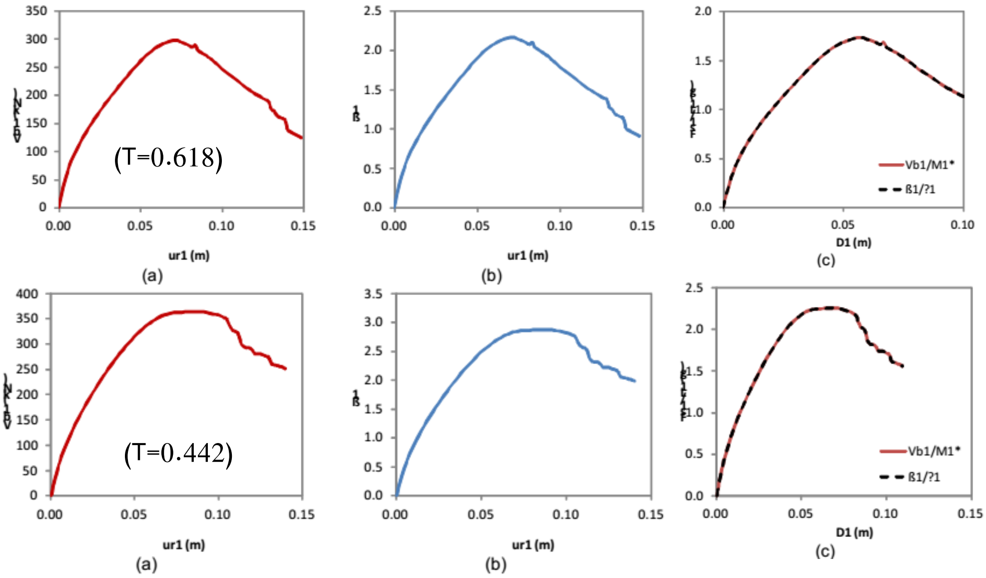
الشكل (2-32): المسقط الأفقي والواجهة والنموذج التجريبي لمبنى SPEAR [33]

قان الباحثون بإعداد النموذج التحليلي باستخدام بيتون σ_c=25Mpa وفولاذ التسليح f_y =360 Mpa آخذين في الاعتبار السلوك اللدن للمواد وتأثير اللاخطية الهندسية. هذا المبنى يعاني لامركزية بانزياح مركز الصلابة عن مركز الكتلة بمقدار 1.3m باتجاه x و 1m باتجاه y ، وتم تعريف ديافرامات صلبة في الطوابق مما خفض عدد درجات الحرية في كل طابق إلى انتقالين أفقيين ودوران حول المحور الشاقولي، وتم تركيز الكتل في العقد وحسبت الحمولات الشاقولية بحسب EC8(2004) باستخدام (SeismoSoft2006). يبين الشكل (2-33) أنماط الاهتزاز الرئيسية والثانوية للمبنى بالاتجاهين x,y .

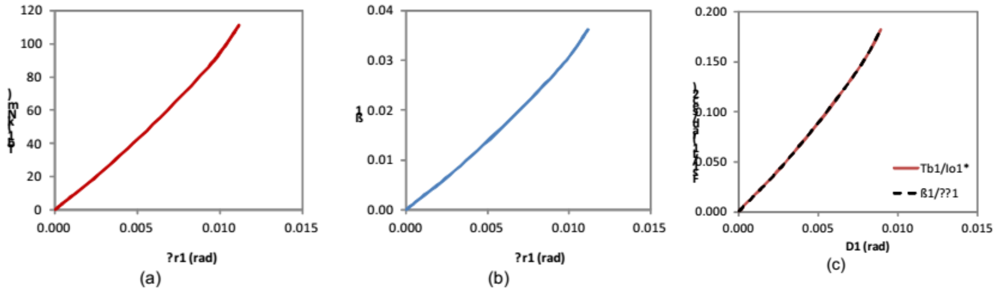


الشكل (2-33): أنماط الاهتزاز الرئيسية والثانوية بالاتجاهين x,y لمبنى SPEAR [33]

تم إجراء التحليل الدفعي للأنماط الثلاثة الأولى بكل اتجاه ، ولاحظ الباحثون من المنحنيات المرسومة للنمطين الأولين في كل من الاتجاهين x,y الشكل (2–34) أن منحني الاستطاعة (V_{bn} u_{rn}) ومنحني الاستطاعة المعمم (β_n- u_{rn}) يعطيان نفس العلاقة لمنحني ($\frac{F_{sn}}{L_n} - D_n$) بعد تحويلهما بالعلاقات (2–56). وأيضاً من أجل الأنماط المترافقة مع الفتل فقد أعطى منحني (T_n- θ_{rn}) ومنحني (β_n- θ_{rn}) نفس العلاقة لمنحني ($\frac{F_{sn}}{L_n} - D_n$) الشكل (2–35). مما أظهر شمولية منحنيات الاستطاعة المعممة ويوثق أساسها النظري مع النتائج التجريبية وفائدتها في تقييم سلوك الأنماط الفتلية.



الشكل (2–34): منحنيات الاستطاعة للنمط الأول من كل اتجاه (T=0.618,T=0.442)بأشكالها ($\frac{F_{sn}}{L_n} - D_n$) ,(β_n- u_{rn}) ,(V_{bn} u_{rn})



الشكل (2–35): منحنيات الاستطاعة للنمط الأول باتجاه x (T=0.618,) بأشكالها ($\frac{F_{sn}}{L_n} - D_n$) ,(β_n- θ_{rn}) ,(T_n- θ_{rn})

خلاصة:

بعد العرض السابق لمجموعة من طرائق التحليل الدفعي النمطي نلاحظ مدى تأثير أشكال الحمولات الجانبية المستخدمة في التحليل الستاتيكي اللاخطي وأهمية إدخال مساهمة أنماط الاهتزاز في هذه الحمولات للحصول على تقدير أفضل لسلوك المباني. ومن دراسة الطرائق المتعددة يمكن القول أن استخدام نموذج (شعاع) وحيد وثابت الشكل للحمولة الجانبية ومجمع من مساهمات أنماط متعددة في التحليل الدفعي النمطي هو الأكثر ملائمة للاستخدام العملي في دراستنا التطبيقية لتقييم مساهمات الأنماط، لأن ذلك لا يتطلب تكرار عملية التحليل لكل نمط بل يطبق نموذج الحمولة الجانبية المجمع من مساهمة الأنماط المؤثرة بالاتجاه المدروس وبالتالي نحصل مباشرة على الاستجابة الكلية، وبذلك أيضاً نستغني عن الحاجة إلى التجميع الإحصائي لاستجابات الأنماط المتعددة.

الفصل الثالث

النمذجة والتحليل

مقدمة :

تؤثر متحولات النمذجة والتحليل بشكل كبير في نتائج التحليل الستاتيكي اللاخطي، لذلك يجب على المهندس توخي الدقة عند تشكيل النموذج الرياضي للمنشأ المدروس من ناحية الخواص والأبعاد الهندسية للعناصر ومقاطعها وتعريف خواص المواد وسلوكها الانشائي وخاصة السلوك اللاخطي، إضافة إلى إسناد الأحمال المطبقة على النموذج بالشكل الأقرب إلى الواقع. أدى التطور الكبير في مجال المعالجات والبرمجيات الهندسية إلى جعل التحليل الستاتيكي اللاخطي متاحاً للمهندس الإنشائي ليس فقط في المجالات البحثية بل أيضا للممارسة العملية من خلال عدد كبير من برمجيات التحليل اللاخطي. اعتمدنا في بحثنا على التحليل العددي بواسطة برنامج SAP2000 أحد برامج مجموعة CSI وهو يعتمد على طريقة العناصر المنتهية ويسمح بإجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي وفق مجموعة من المتحولات والاشتراطات اعتمادا على ATC-40 وFEMA.

3-1-التحليل الستاتيكي اللاخطي باستخدام SAP2000 [34]:

يسمح برنامج SAP2000 بإدخال التأثير اللاخطي في تحليل النموذج من خلال لاخطية المادة أو اللاخطية الهندسية. وتعرف لاخطية المادة في التحليل الستاتيكي اللاخطي في العناصر الإطارية (frame elements) من خلال مفاصل لدنة (plastic hinges)، وتعرف اللاخطية الهندسية من خلال تأثيرات (P-Delta) أو الانتقالات الكبيرة، وقد اخترنا عدم إدخال اللاخطية الهندسية في الدراسة التطبيقية في هذا البحث لتجنب تأثيرها على التحليل والتركيز فقط على مساهمة أنماط الاهتزاز.

تتبع في العموم في إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي الخطوات التالية:

1- إنشاء النموذج الرياضي للمبنى المدروس.

2-تصميم العناصر الانشائية بحسب الحمولات واشتراطات الكود وتعريف المقاطع بأبعادها ونسب التسليح النهائية والتحقق منها في البرنامج.

3- تعريف خواص المفاصل اللدنة وإسنادها في العناصر.

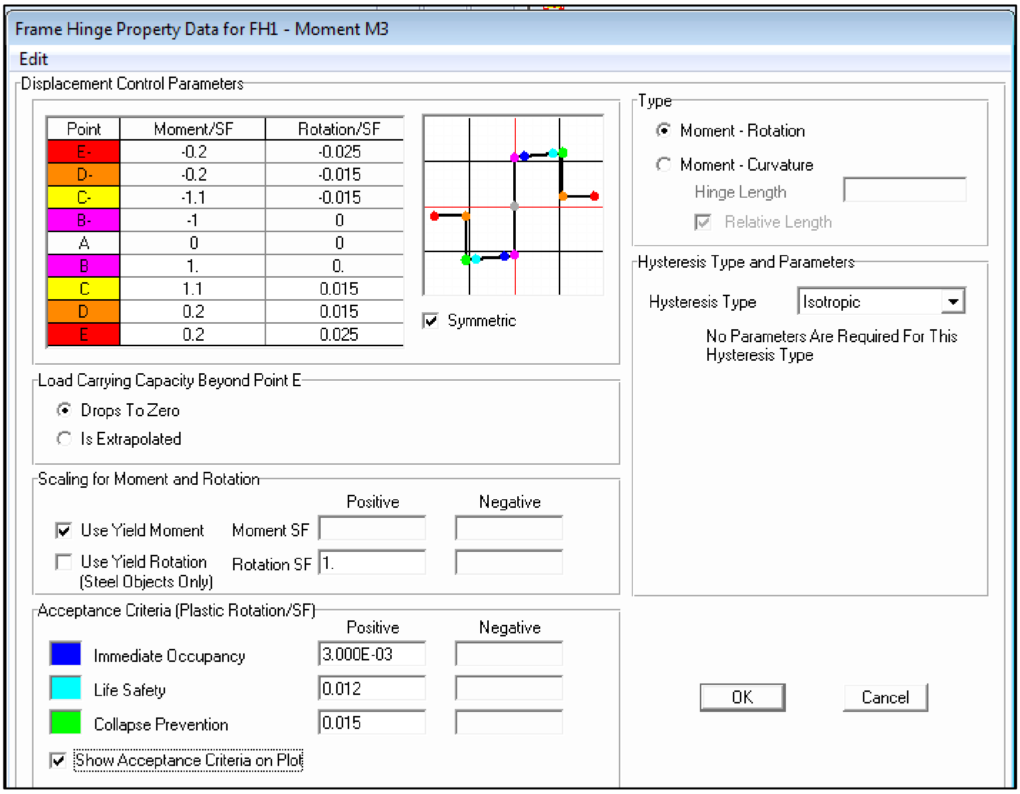
4- تعريف حالات التحميل المتضمنة في التحليل اللاخطي وبارمترات التحكم بالتحليل

5-إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي والحصول على نتائج التحليل بشكل منحني الاستطاعة ونقطة الأداء، والشكل المتشوه للمبنى وأماكن المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها، إضافة إلى مخططات القوى والعزوم.

وفيما يلي أهم البارامترات التي يجب تعريفها قبل إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي الدفعي

3-2- خصائص المفصل اللدن:

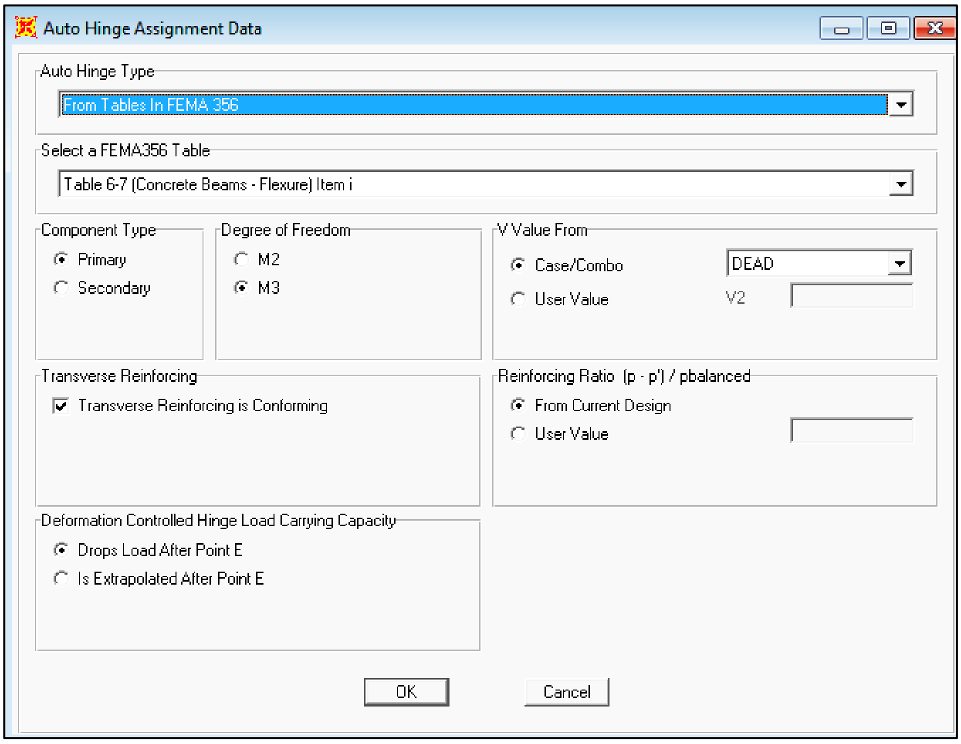
يعرف المفصل اللدن بعلاقة (قوة–انتقال) أو (عزم– دوران) معبراً عن السلوك ما بعد حد الخضوع من أجل كل درجة حرية، وذلك من خلال منحني التشوه اللدن الشكل (1–4) في الفصل الأول، الذي تحدد عليه قيم الخضوع والتشوهات اللدنة الحاصلة بعد الخضوع ويتميز بالنقاط الخمسة الرئيسية:
تشكل النقطة A مبدأ المنحني و تمثل النقطة B حد الخضوع حيث لايحدث قبلها أي تشوه لدن أي كل التشوهات الحاصلة قبلها هي في العنصر وليس في المفصل، أما النقطة C فتمثل الاستطاعة الحدية للمفصل ويؤخذ عادة ميل الخط BC 10%، وتمثل النقطة D المقاومة المتبقية في المفصل، يصل المفصل إلى حد الانهيار عند النقطة E ولا يستطيع المفصل بعد هذه النقطة أن يتحمل أي حمولة. وتحدد أيضا على هذا المنحني حدود الأداء مما يساعد على تحديد الأداء في نهاية التحليل. يمكن تحديد إحداثيات النقاط يدويا من قبل المستخدم في user- defined Hinge أو اختيار الخواص الاوتوماتيكية للمفصل اللدن Auto hinges التي يحددها البرنامج حسب FEMA 356 للمفاصل البيتونية والفولاذية، وعندها يقوم البرنامج بتسوية قيم هذا المنحني وفق عزم الخضوع أو انتقال الخضوع بعد أن يقوم بحسابها اعتماداً على أبعاد مقطع العنصر وإجهاد الخضوع لمادة الإنشاء الشكل (3–1).



شكل(3–1) : تعريف خواص المفصل اللدن M3 فيSAP2000

يتيح SAP2000 استخدام أحد أنواع المفاصل التالية:

مفصل القوة محورية P، القص V، العزم M ، الفتل T، أو مفصل ترابط القوة المحورية والعزوم PMM و PM. ويمكن إسناد أكثر من نوع للمفصل في نفس الموقع بدون أن تكون مترابطة في ما بينها. تستخدم مفاصل PMM في نهايات الأعمدة، ومفاصل العزم والقص مستقلة عن بعضها في الجيزان. يمكن اسناد المفصل في أي مكان على طول العنصر الإطاري، في الأماكن(المقاطع) التي يتوقع أنها ستتلدن أولاً وهي غالبا في نهايات العناصر. ويعرف طول منطقة التلدن أو طول المفصل عادة كنسبة من الطول الكلي للعنصر ويؤخذ في المفاصل الدورانية بطول يقارب عمق المقطع.



شكل(3-2) : تعريف المفصل اللدن أوتوماتيكيا في الجائز حسب FEMA 356 فيSAP2000

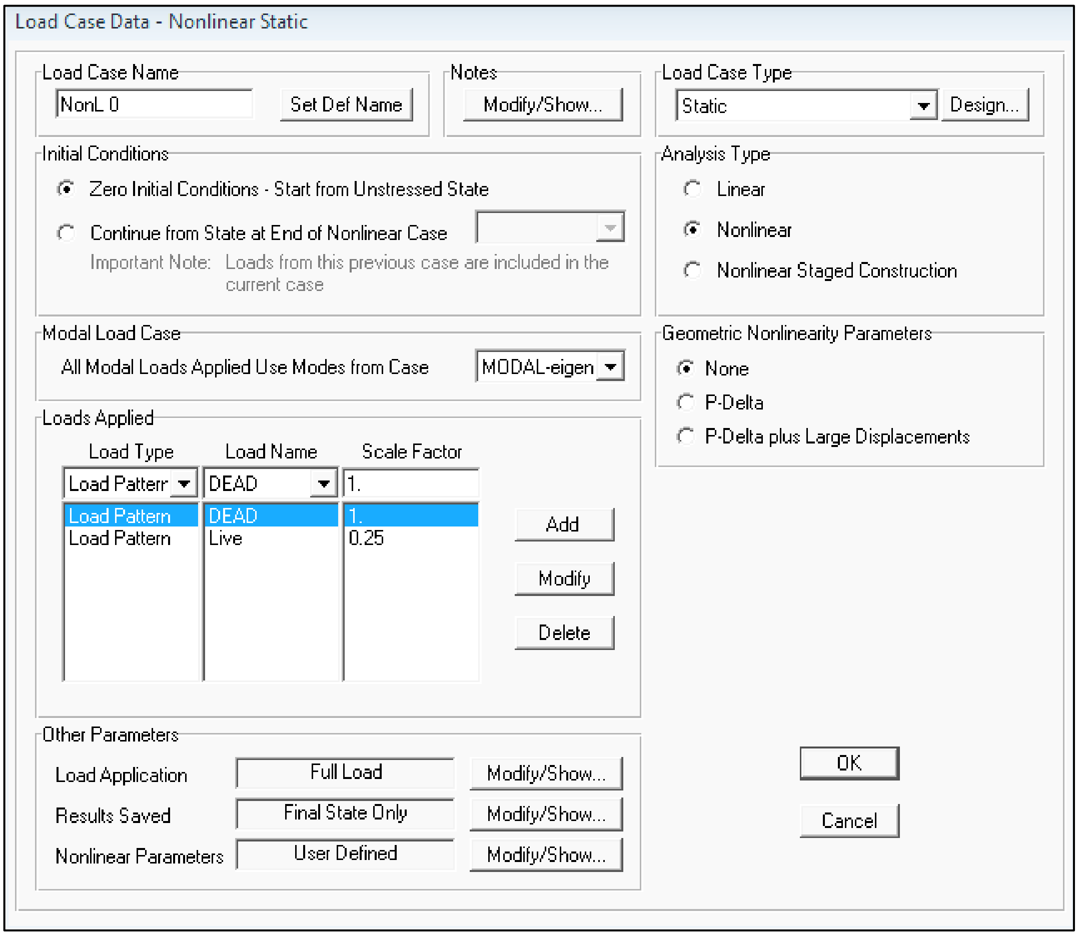
قمنا في دراستنا بتعريف مفاصل M في نهايات الجيزان كما في الشكل(3-2) و PMM في نهايات الأعمدة وتعريف خصائص هذه المفاصل أوتوماتيكياً حسب FEMA 356 .

3-3- حالات التحميل:

يتضمن التحليل الستاتيكي اللاخطي الدفعي عدة حالات تحميل ويتطلب إجراؤه تعريف مجموعتين من حالات التحميل :

- حالات التحميل للحمولات الشاقولية التي تؤثر على المبنى بحالته البدائية قبل تطبيق أي دفع جانبي، تستخدم فيها عادة الحمولات الميتة ونسبة 25% من الحمولات الحية كما في دراستنا.

– حالات التحميل للحمولات الجانبية التي تطبق على المبنى ابتداء من الحالة النهائية لحالات التحميل الشاقولي أو أي حالة أخرى، ويمكن دفع المبنى باختيار نموذج أو أكثر للحمولة الجانبية حسب الفقرة (3–4). يبين الشكل (3–3) نافذة تعريف حالات التحميل في التحليل اللاخطي.



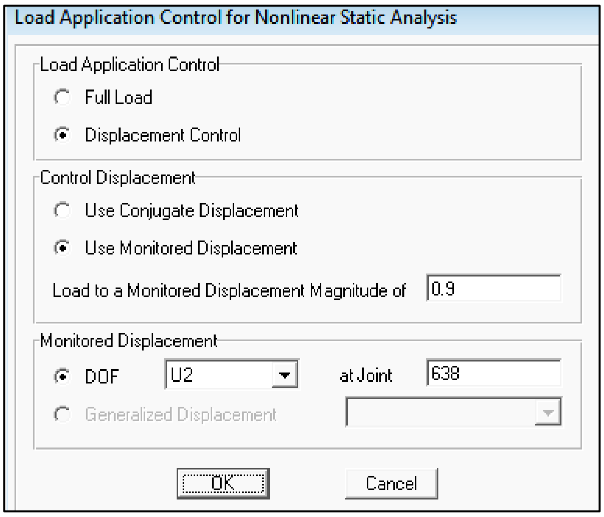
شكل(3–3) : نافذة تعريف حالات التحميل الستاتيكي اللاخطي

يوفر برنامج SAP 2000 خيارين للتحكم بتطبيق الحمولات Load Application الشكل(3–4):

1– التحكم بالحمولة (Full Load) : يتم وفقه تطبيق الحمولة بالتدريج بدءا من الصفر حتى الوصول إلى مقدارها المعرف كاملا، وهذا الخيار مناسب للتحكم بالحمولات عندما يكون مقدارها معروفا ومن المتوقع ان يقاوم المبنى هذ الحمولات، كما هي الحال في حالات تحميل الحمولات الشاقولية.

2– التحكم بالانتقال (Displacement Control): يتم استخدام هذا التحكم عندما يكون المقدار المرغوب لانتقال للمبنى معلوما لدينا لكن مقدار الحمولة اللازمة لذلك غير معروف، حيث يتم تعريف مقدار انتقال يسعى البرنامج للوصول إليه أثناء تطبيق الحمولة وقد يتزايد أو يتناقص مقدار الحمولة خلال التحليل. لاستخدام التحكم بالانتقال يجب تعريف مكون لرصد انتقالة هذا المكون قد يكون درجة حرية عند أحد العقد أو انتقال معمم تم تعريفه مسبقا، مع الانتباه إلى ضرورة اختيار انتقال متزايد منعا لحدوث مشاكل في التقارب خلال التحليل أو يمكن تقسيم التحليل إلى أكثر من مرحلة مع تغيير الانتقال المرصود في كل مرحلة، هذا الخيار مناسب للمنشآت التي يتوقع أن تفقد استطاعتها على تحمل الاحمال

وتصبح غير مستقرة أثناء التحليل كما في حالات التحميل الجانبي في التحليل الستاتيكي اللاخطي الدفعي Pushover. يحدد البرنامج قيمة افتراضية لهذا الانتقال بمقدار 4 % من ارتفاع المبنى وهي قيمة كبيرة نسبيا لا يصل إليها المنشأ قبل أن ينهار كليا.



شكل(3-4) : نافذة تعريف التحكم بالحمولة

3-4-نماذج الحمولات الجانبية:

عند تعريف حالات التحميل يمكن اختيار نموذج الحمولة الجانبية من الخيارات التالية:

1-حمولة تسارع منتظمة(accel) تطبق أوتوماتيكيا في كل عقدة وقيمتها متناسبة مع الكتلة المركزة فيها

2-حمولة جانبية نمطية (mode) تطبق أوتوماتيكيا في كل عقدة وقيمتها متناسبة مع شكل نمط معين Φ مضروبا بمربع التردد ω^2 لهذا النمط والكتلة المركزة في هذه العقدة .

3-حمولة ستاتيكية كيفية(Load pattern) معرفة ومطبقة على النموذج من قبل المستخدم.

يمكن تجميع أي من الحمولات السابقة وتطبيقها في حالة تحميل واحدة.

❖تمكنا من خلال خيار الحمولة الكيفية من استخدام مجموعة متنوعة من نماذج الحمولات الجانبية التي تم حسابها خارج البرنامج وفق طرائق التحليل النمطي المعتمدة في الدراسة واستيرادها كحمولة خارجية تطبق قوة مركزة في كل عقدة من النموذج المدروس وإجراء التحليل باستخدامها.

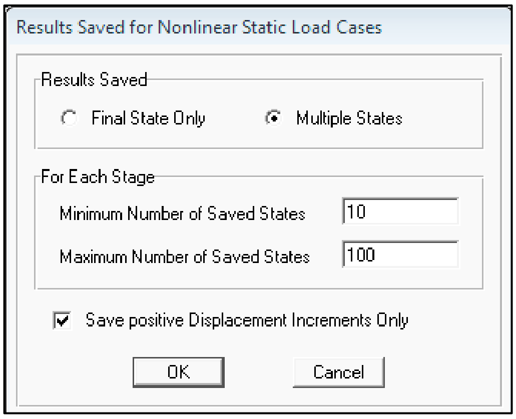
3-5-بارامترات هامة للتحكم بالتحليل :

يتبع برنامج SAP2000 استراتيجية خطوة -خطوة (Step by Step) في إجراء التحليل الدفعي حيث تطبق الحمولات الجانبية بشكل متزايد وفق عدد معين من الخطوات محافظا على التوازن العام للنموذج، ويتم حل المعادلات اللاخطية بالتقريب المتتالي(iteration)عند كل خطوة تحميل وهذا يتطلب إعادة تشكيل وحل مصفوفة الصلابة وتكرار الحل حتى الوصول إلى التقارب المطلوب(Convergence) .

وفيما يلي بعض البارامترات الهامة التي تتحكم بمراحل التحليل ويمكن ضبطها من قبل المستخدم الشكل(3-7):

العدد الأصغري والأعظمي للحالات المحفوظة(Minimum and Maximum number of Saved states):

يمكن هذا الخيار من إظهار نتائج التحليل عند كل خطوة والتحكم بالعدد الأصغري Minimum والأعظمي Maximum للخطوات المحفوظة حيث يتم حفظ الخطوات التي تسبب تغييرا ظاهرا في شكل منحني الاستطاعة فقط. ويقوم البرنامج بحساب طول الخطوة الأعظمي المستخدم في التحليل بقسمة الانتقال المستهدف أو الحمولة المستهدفة على العدد الأصغري للخطوات المحفوظة ويبدأ بالتحليل باستخدام هذا الطول. يجب الانتباه انه عند حدوث مشاكل في التقارب قد لا يكفي أن نعدل بارامترات التحكم بالتحليل بل قد يتطلب الأمر تعديلات في النموذج الإنشائي بحد ذاته وإعادة الحل. ينصح فريق CSI باستخدام القيم default الموضوعة لهذه البارامترات في البداية ومن ثم تعديلها إذا تطلب الأمر ذلك. يتم التحكم بهذا البارامتر من خلال النافذة المبينة في الشكل(3-5)



شكل(3-5) : نافذة التحكم بالخطوات المحفوظة

عدد الخطوات الكلية الأعظمي (Maximum Total steps):

يحدد هذا الخيار عدد الخطوات الأعظمي المسموح ويشمل الخطوات المحفوظة والجزئية غير المحفوظة، ويمكن من خلاله التحكم بالمدة الزمنية التي سيستغرقها التحليل.

عدد الخطوات الصفرية الأعظمي (Maximum null steps):

تظهر الخطوات الصفرية أثناء التحليل عند رفع التحميل عن مفصل ما، أو صعوبة في التقارب وتصغير للخطوة أو حدوث انهيار مفاجئ، وإذا أردنا عدم توقف التحليل بسبب الخطوات الصفرية يجب وضع عددها مساو لعدد الخطوات الكلية الأعظمية.

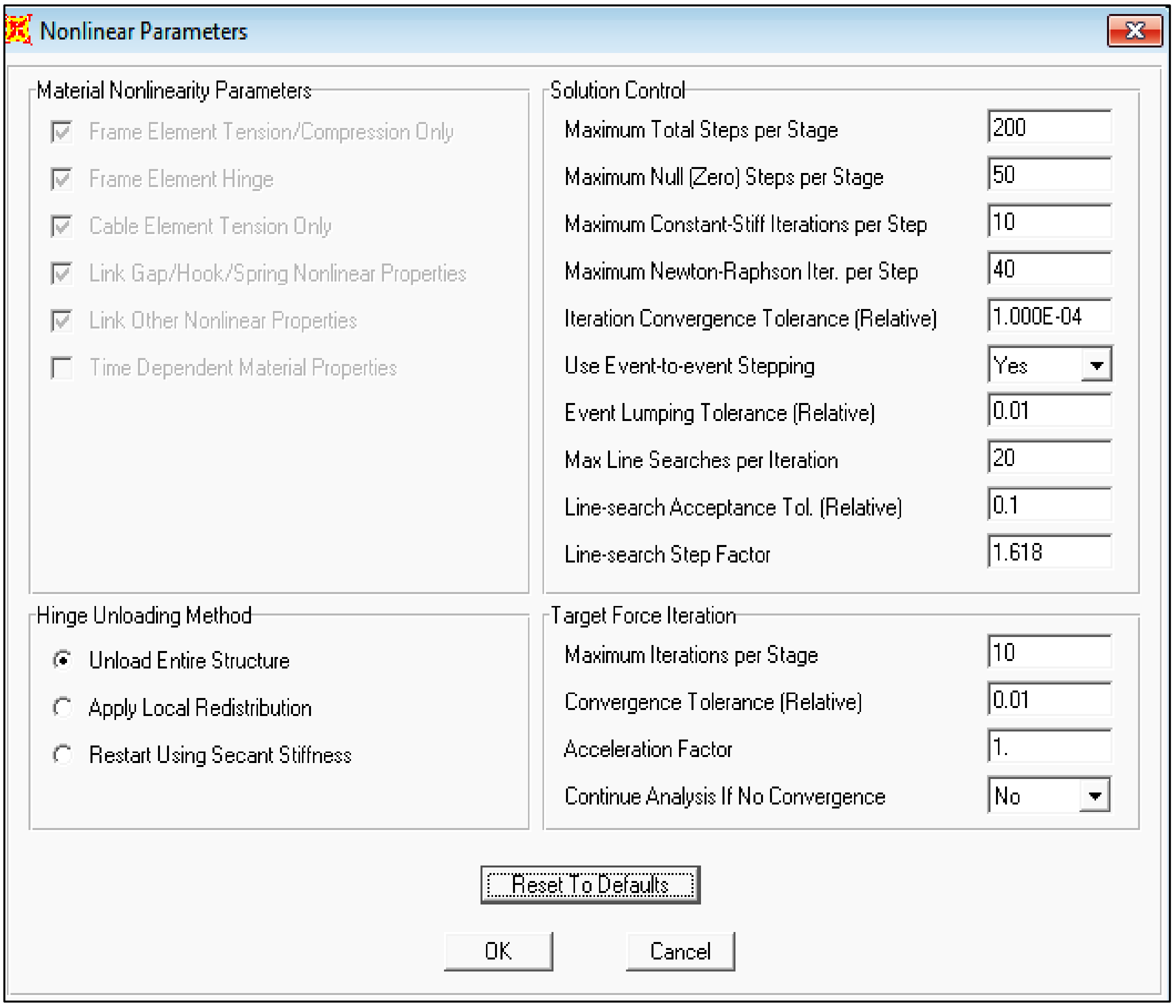
عدد التكرارات الأعظمي في كل خطوة (Maximum Iterations per step) :

يقوم البرنامج بإجراء تكرار حسابي مستخدما طريقة الصلابة الثابتة (Constant Stiff) لتحقيق التوازن عند كل خطوة وفي حال لم تنجح ينتقل إلى طريقة الصلابة المماسية (Newton raphson). ويحدد هذا الخيار عدد التكرارات في كل طريقة.

مقدار التسامح في التقارب(Iteration Convergence Tolerance):

هو قيمة نسبية تستخدم لمقارنة مقدار الخطأ في القوة مع مقدار القوة المطبقة على المنشأ عند كل تكرار.

<u>الخطو من حدث إلى حدث (Event to event stepping)</u>: يستخدم هذا الخيار لتجميع عدة احداث متقاربة الحدوث واعتبارها تحدث في نفس التقريب(حدث واحد) ضمن مجال تسامح معين -event lumping tolerance أي يمكن اعتبار بعض الأحداث لعدة عقد كحدث واحد. وهذا الخيار فعال جدا في تقليل عدد التكرارات ومدة التحليل.



شكل(3–6) : نافذة التحكم ببارامترات التحليل اللاخطي

<u>رفع التحميل عن المفصل (Hinge Unlaoding)</u>:

عندما يصل المفصل اللدن إلى الانهيار ويفقد القدرة على تحمل الحمولة ، يبدأ البرنامج بالبحث عن طريقة لرفع التحميل عنه وإعادة توزيعه ، ويظهر هذا الانهيار على منحني سلوك المفصل(الاجهاد – تشوه) عند الوصول إلى المجال بين النقاط C و D. إن رفع التحميل وفق ميل سالب يسبب عدم استقرار ستاتيكي إلا أن هذا الأمر غير واقعي في الحقيقة حيث توفر قوى العطالة هذا الاستقرار. يقدم البرنامج 3 طرائق لرفع التحميل :

1- رفع التحميل عن كامل المنشأ Unload entire Structure:

يقوم البرنامج برفع الحمولة بالتدريج عن كامل المنشأ عند وصول التشوه في المفصل إلى مجال سالب ويستمر في ذلك حتى يتم رفع التحميل بشكل كامل عن المفصل وعودته إلى المجال السابق للمجال السالب، بعدها يعود البرنامج إلى زيادة الحمولات المطبقة على المنشأ من جديد وبذلك تصبح الحمولة المرفوعة عن المفصل محمولة من قبل الاجزاء الاخرى من المنشأ.

2-إعادة توزيع محلي Apply local redistribution :

هذه الطريقة مشابهة للطريقة السابقة إلا أنه يتم فيها رفع الحمولة فقط عن العنصر الحاوي للمفصل المتلدن، وتوزع الحمولة المرفوعة عن المفصل على العناصر المجاورة في المنشأة وهي تمثل بشكل أكثر واقعية إعادة تويع قوى العطالة وحفظ التوازن، لكنها تتطلب خطوات صغيرة جدا وعدد أكبرمن الخطوات.

3-إعادة الحل باستخدام الصلابة المماسية Restart Using Secant Stiffness :

تختلف هذه الطريقة عن الطريقتين السابقتين بأنه عند وصول أي مفصل إلى مجال ميل سالب في منحني السلوك، يتم إعادة حساب خواص المفاصل التي بدأت بالتلدن باستخدام الصلابة المماسية، وإعادة الحل من جديد.

استخدمنا في هذه الدراسة الطريقة الأولى في رفع التحميل فهي الأكثر فعالية واستخداماً ولا تتطلب عدد كبير من الخطوات الصفرية.

6-3 تحديد نقطة الأداء:

بعد إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي ورسم منحني الاستطاعة ، يسمح برنامج SAP2000 بالحصول على نقطة الأداء حسب الطلب الزالزالي المعرف. ويتوفر في البرنامج إمكانية رسم منحني الاستطاعة و تحديد نقطة الأداء والانتقال الهدف بطرائق FEMA ,ATC التالية الشكل (3-8):

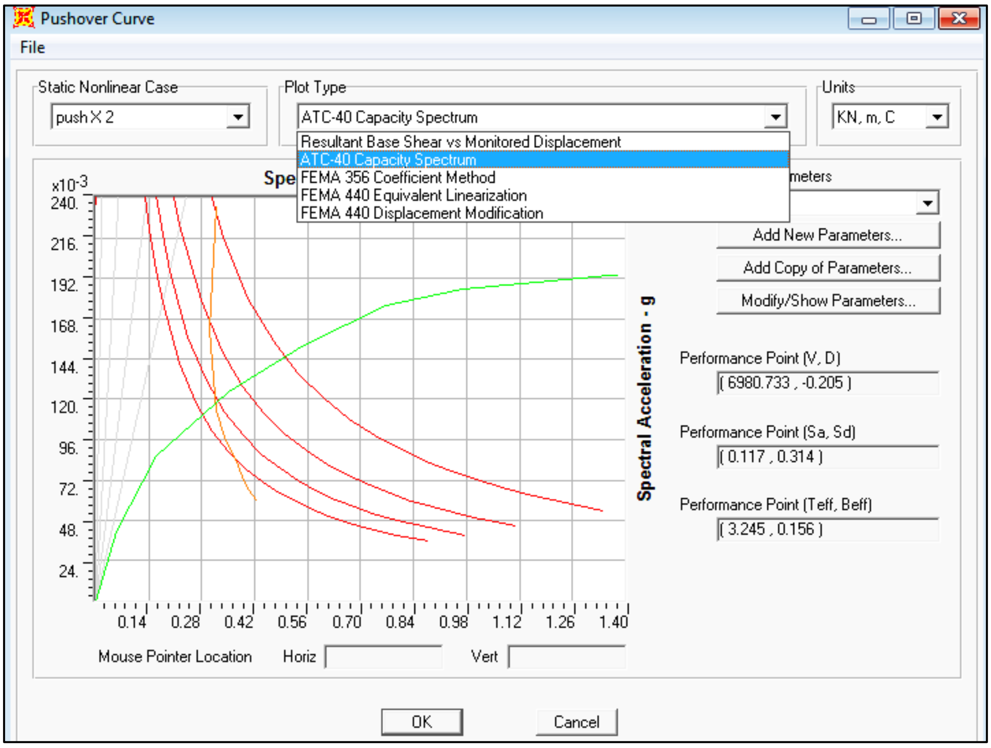
1-طريقة طيف الاستطاعة حسب ATC-40 **[1]**

2-طريقة عوامل الانتقال حسب FEMA 356 **[3]**

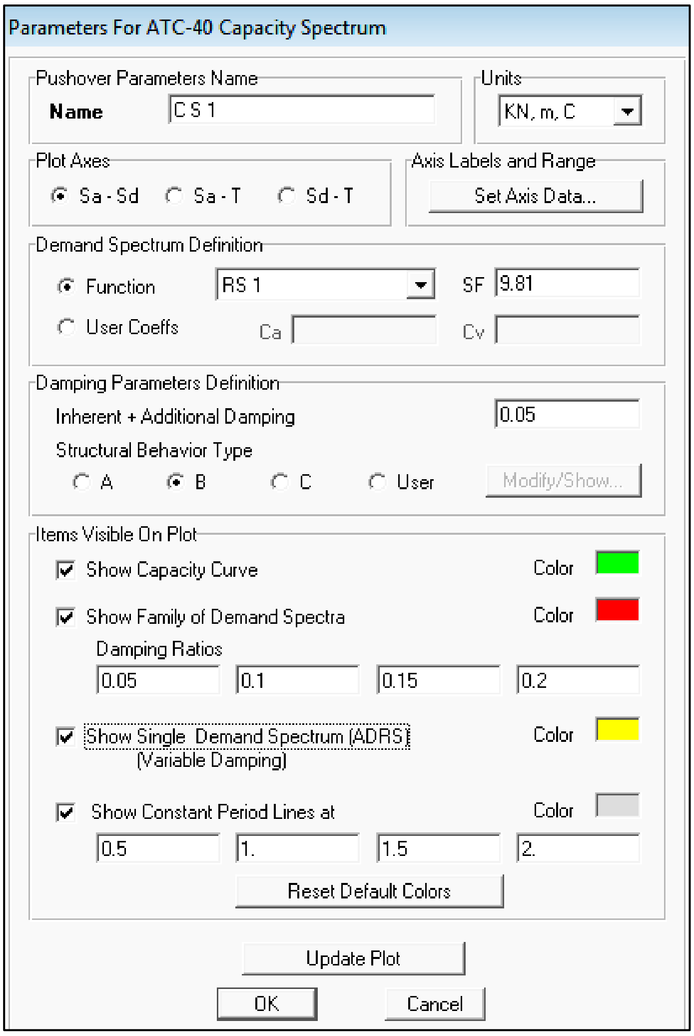
3-طريقة التمثيل الخطوطي المكافئة حسب FEMA 440 **[4]**

4- طريقة تعديل الانتقال حسب FEMA 440 **[4]**

اعتمد في هذا البحث على طريقة طيف الاستطاعة الواردة في الفقرة (1-2-4-1) لتحديد نقطة الأداء، وتم تعريف العوامل اللازمة كما في الشكل (3-9).



شكل(3–8): خيارات تحديد نقطة الأداء



شكل(3–9) : البارامترات اللازمة لطريقة طيف الاستطاعة

الفصل الرابع

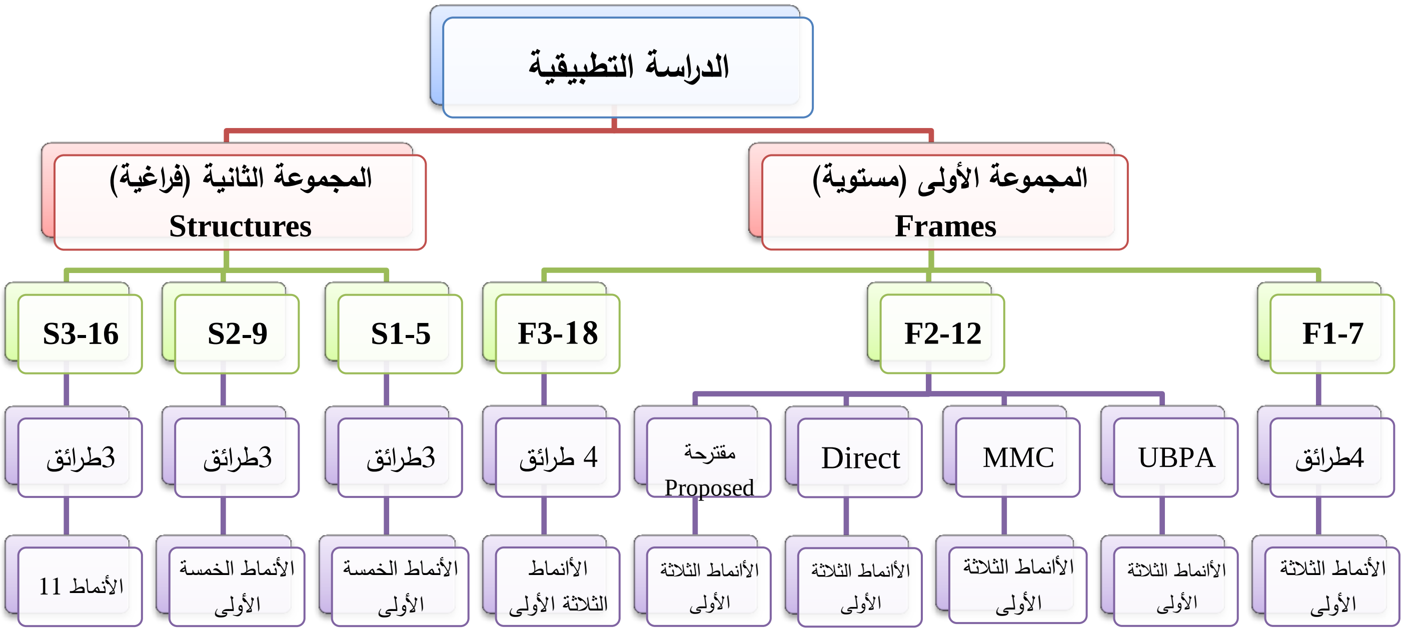
دراسة تطبيقية لنماذج وفق طرائق التحليل اللاخطي الدفعي النمطي المعتمدة

مقدمة:

تم في هذا البحث اعتماد المنهج التحليلي العددي، وأجريت الدراسة التطبيقية وفق الخطوات التالية:

- اختيار طرائق التحليل الدفعي النمطي للدراسة التطبيقية إضافة إلى اقتراح صيغة للحمولة الجانبية تحت مسمى الطريقة المقترحة فقرة(4−1).
- اختيار النماذج الانشائية المدروسة ضمن مجموعتين من الإطارات (مستوية وفراغية) وإعداد النماذج التحليلية لها فقرة(4−3).
- إجراء تحليل الاهتزاز الحر وتحديد الخصائص الديناميكية للنماذج المدروسة (أدوار الاهتزاز وعوامل مساهمة الأنماط والكتلة..) وتحديد أنماط الاهتزاز الداخلة في التجميع في كل اتجاه.
- حساب الحمولات الجانبية المجمعة وفق الطرائق المعتمدة باستخدام برنامج Excel.
- إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي لكل نموذج وفق النمط الأساسي أولا ثم وفق الحمولات الجانبية المحسوبة بالطرائق المعتمدة.
- تحديد معايير الاستجابة التي تتم وفقها المقارنة بين الطرائق المدروسة لكل نموذج فقرة(4−2).
- من خلال مقارنة معايير الاستجابة لحالات تجميع الأنماط تم اختيار حالة التجميع الأخطر المسببة لأكبر تخفيض(تدهور) في الاستطاعة في كل طريقة وتوصيف شكل الحمولة المرافق لها.
- تقييم الطرائق فيما بينها بالنسبة لتحليل النمط الأساسي .

يبين المخطط التالي ملخص عن منهجية العمل و النماذج المدروسة وطرائق التحليل المعتمدة في دراستها.



4-1 طرائق التحليل المعتمدة:

اعتمدنا في بحثنا على 3 طرائق أساسية للتحليل النمطي إضافة لطريقة مقترحة، تتضمن كل منها إدخال مساهمة أنماط الاهتزاز في شعاع الحمولة الجانبية مباشرة وفق صيغة معينة وذلك وفق حالات مختلفة لتجميع أنماط الاهتزاز بما يضمن مساهمة للكتلة الفعالة تتجاوز 90% في الاتجاه المدروس، ثم تطبيق الحمولات كقوى جانبية موزعة على جميع العقد في النماذج المدروسة. هذه الطرائق هي:

4-1-1 <u>طريقة (UBPA)</u>: الموضحة في الفقرة (2-2-4). وتم التوسع في استخدامها، فبدلاً من الاكتفاء بمشاركة النمطين الأول والثاني بكل اتجاه مدروس، تم إدخال عدد من الأنماط N بما يضمن مساهمة للكتلة الفعالة للنموذج تتجاوز90%، كما استخدمت أيضا في المباني الفراغية. و شعاع الحمولة الجانبية المستخدم في هذه الطريقة والمطبق في كل عقدة من عقد النموذج في الاتجاه المدروس هو:

$$F = \omega_1^2 \, \mathrm{m} \, \Phi_1 + \sum_{n=2}^{N} \omega_n^2 \, \mathrm{m} \, \Phi_n \, \frac{q_n}{q_1}$$

4-1-2 <u>طريقة (MMC)</u>: الموضحة في الفقرة (2-2-5) .استخدمت في المباني الفراغية. وشعاع الحمولة الجانبية المستخدم في هذه الطريقة مجمع من N نمط والمطبق في كل عقدة من عقد النموذج في الاتجاه المدروس باعتبار α=±1 هو:

$$F = \sum_{n=1}^{N} \alpha_n \Gamma_n \mathrm{m} \, \Phi_n \, S_a \, (\xi_n . \mathrm{T}_n)$$

4-1-3 <u>طريقة التجميع المباشر(direct)</u> : تعتمد هذه الطريقة على الحمولة الجانبية النمطية المتناسبة مع شكل النمط مضروبا بمربع تواتره وبالكتلة المركزة في كل عقدة، هذه الحمولة متوفرة في خيارات برنامج SAP2000 فقرة (3-4) والصيغة من الشكل:

$$\mathbf{F}_n = \mathrm{m} \;\; \Phi_n \, \omega_n^2$$

تم في طريقة التجميع المباشر إدخال عامل المساهمة النمطي Γ_n في هذه الصيغة ثم تجميعها مباشرة من أجل N نمط بالاتجاه المدروس وإجراء التحليل باستخدام الحمولة الجانبية المجمعة التي من الشكل:

$$\mathbf{F} = \sum_{n=1}^{N} \Gamma_n \, \mathrm{m} \, \Phi_n \;\; \omega_n^2$$

4-1-4 <u>الطريقة المقترحة (Proposed)</u>: انطلاقاً من المبدأ النظري للتحليل الديناميكي اقترحنا استخدام شعاع للحمولة الجانبية يتكون من مجموع قوى العطالة النمطية المتشكلة في المبنى التي تعبر عن التوزع الفضائي للقوة الفعالة للهزة الأرضية $\boldsymbol{P_{eff}}$ العلاقات (2-2) (2-48) (2-49)، إذ تشكل الحمولة الجانبية المجمعة من مشاركة N نمط في الاتجاه المدروس ويتم إجراء التحليل الدفعي وفقها:

$$\mathbf{F} = \sum_{n=1}^{N} \Gamma_n \, \mathrm{m} \, \Phi_n$$

4-2 معايير الاستجابة :

تمت المقارنة بين استجابات المباني المدروسة بطرائق التحليل الدفعي النمطي من جهة والتحليل وفق النمط الأساسي من جهة ثانية من خلال معايير الاستجابة التالية:

1-منحني الاستطاعة: يعطي منحني الاستطاعة فكرة عن سلوك المنشأ اللاخطي أثناء تعرضه للحمولات الجانبية لذلك يعتبر مؤشر هام في تقييم السلوك الزلزالي للمنشآت.

2-نقطة الأداء والقص القاعدي والانتقال الموافقين لها: تنتج نقطة الأداء من تقاطع منحني التحريض الزلزالي مع منحني الاستطاعة للمنشأة، وهي تعبر عن مقدار القص القاعدي والانتقال الجانبي الذي يسببه هذا التحريض للمنشأة في مجال سلوكه اللاخطي وعند اتباع التصميم أو التقييم المعتمد على الأداء يجب اعتماد الحالة الأخطر بين الطرائق المختلفة للتحليل الموافقة للقيم الأصغر للقص القاعدي ضمن مستوى الأداء المطلوب.

3-الإنزياحات النسبية الطابقية عند نقطة الأداء: والذي يعتبر مؤشر هام في تقييم مشاركة أنماط الاهتزاز حيث تزاداد قيم هذه الانزياحات في الطوابق العليا من المباني كلما زادت مشاركة الأنماط العليا في الاهتزاز.

4- تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي تصل إليها عند نقطة الأداء: وبالتالي مستوى الأداء العام للمنشأة، وميكانيزمات الانهيار في حال حدوثها، وبالتالي تحديد الأماكن التي تتعرض للضرر أولاً، وما لذلك من أهمية كبيرة في عمليات تقييم المنشآت وإعادة تأهيلها.

4-3- النماذج الإنشائية المدروسة:

تم اختيار مجموعتين من النماذج الإطارية من البيتون المسلح، وقد تم حصر الدراسة في الجمل الإطارية لتجنب تأثيرات نمذجة السلوك اللاخطي لجدران القص على نتائج التحليل والتركيز فقط على تأثير مساهمة الأنماط. المجموعة الأولى هي إطارات مستوية ومنتظمة من البيتون المسلح، ساعد اختيار هذه المجموعة على دراسة تأثير مشاركة أنماط الاهتزاز في نتائج التحليل بشكل مباشر بعيداً عن تأثيرات عدم الانتظام في الارتفاع وتأثير أنماط الفتل التي تظهر في المنشآت الفراغية. المجموعة الثانية مكونة من مباني ذات جمل إطارية فراغية من البيتون المسلح تساعد في تقييم تأثير الأنماط في منشآت واقعية.

تتكون كل مجموعة من ثلاث منشآت مصنفة بحسب الارتفاع والدور الأساسي كما يلي:

1-منشأة قليلة الارتفاع (5-7) طوابق يصل دورها الأساسي إلى 1 ثانية.

2-منشآة متوسطة الارتفاع (8-12) طابق لا يتجاوز دورها الأساسية 2 ثانية.

3-منشأة عالية تتجاوز 12 طابق دورها الأساسي يتجاوز 2 ثانية.

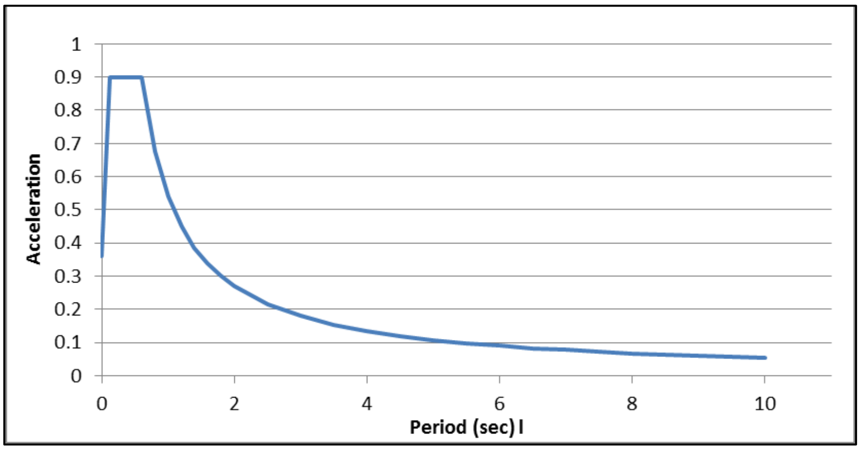
4-3-1 المجموعة الأولى- النماذج الإطارية المستوية:

تمت دراسة 3 إطارات نموذجية مستوية و منتظمة من البيتون المسلح من أربع فتحات بمجاز ثابت 7m وطابق متكرر ثابت الارتفاع 3.5 m، تتكون من 7 و12 و18 طابق مواصفاتها في الجدول (4-1).

جدول(4-1) :إطارات المجموعة الأولى

	اسم النموذج	عدد الطوابق	الارتفاع الكلي m	الوزن ton	الدور الأساسيsec
1	F1-7	7	24.5	895.3	0.81
2	F2-12	12	42	1628.1	1.32
3	F3-18	18	63	2995.4	2.12

تم تصميم العناصر وتسليحها حسب الحمولات وفق متطلبات الكود العربي السوري. وتمت نمذجة الإطارات باعتبارها موثوقة عند قواعد الأعمدة عند المنسوب +0. وتم تعريف ديافرام صلب عند مستوي كل طابق بحيث يكون لجميع العقد في الطابق الواحد نفس الانتقال. الأعمدة مربعة المقطع ومقطع الجيزان يحقق نظرية الجائز الضعيف والعمود القوي وجميعها مصممة وفق طيف استجابة تصميمي مرن موافق للمنطقة الزلزالية ذات التصنيف z=0.3 التي تقع مدينة اللاذقية ضمنها حسب الكود السوري ونوع التربة S_D والعوامل الزلزالية $C_V= 0.54$, $C_A= 0.36$ وقد اصطلحنا على تسميته RS1 الشكل (4-1)، وهو نفس الطيف المستخدم في تقدير استجابة النماذج بالطرائق المعتمدة.



شكل(4-1) :طيف الاستجابة التصميمي المرنRS1

• مواصفات المواد المستخدمة:

البيتون : المقاومة الاسطوانية المميزة بعد 28 يوماً للبيتون المستخدم: $f'_c = 28$ Mpa

فولاذ التسليح : إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح الرئيسي : $f_y = 350$ Mpa

4-3-1-1 الإطار (F1-7):

الإطار مكون من 7 طوابق والارتفاع الكلي 24.5 m .

النموذج التحليلي مبين في الشكل (4-2) وأبعاد العناصر وتسليحها موضح في الجدول(4-2)

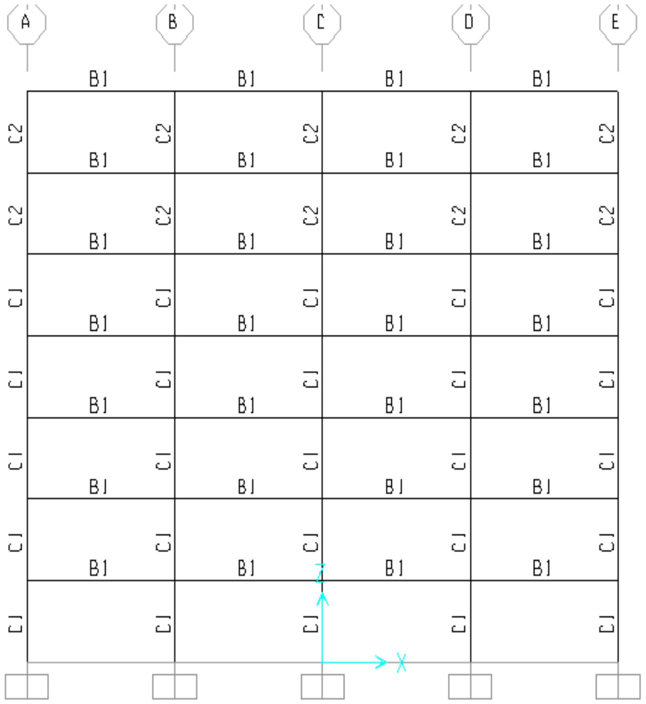
جدول(4-2) : أبعاد وتسليح عناصر الإطار (F1-7)

جدول الأعمدة

العمود	الطابق	أبعاد العمود cm		التسليح الطولي	التسليح العرضي
		B	H		
C1	1،2،3،4،5	70	70	20 T20	5T10/(15-25)cm
C2	6،7	60	60	16 T 22	3T10/(15-25)cm

جدول تسليح الجوائز

الجائز	الطابق	أبعاد المقطع		الموقع	مسند	مجاز	تسليح التقلص	التسليح العرضي
		b cm	h cm					
B1	**1 >7**	50	70	تسليح علوي	5T25	5T20	4T14	3T10/10-20cm
				تسليح سفلي	5T20	5T20		



شكل(4-2) :الإطار النموذجي F1-7

2-1-3-4 الإطار (F2-12):

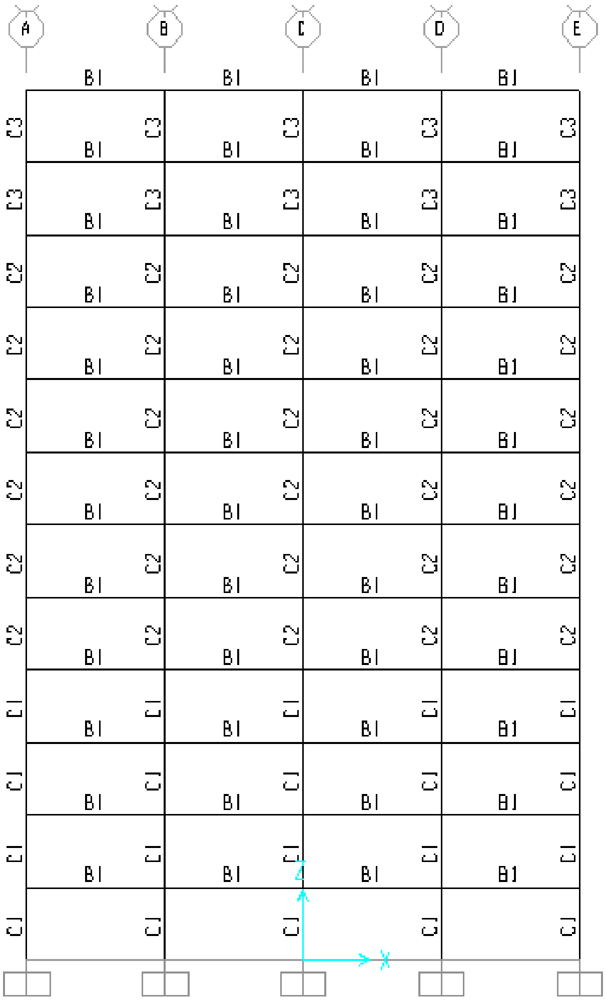
الإطار مكون من 12 طابق والارتفاع الكلي 42 m .

النموذج التحليلي مبين في الشكل (4-3)أبعاد العناصر وتسليحها موضح في الجدول(4-3)

جدول(4-3) : أبعاد وتسليح عناصر الإطار F2-12

جدول الأعمدة					
العمود	الطابق	أبعاد العمود cm		التسليح الطولي	التسليح العرضي
		B	H		
C1	1،2،3،4	90	90	28 T25	5T10/(15-25)cm
C2	5،6،7،8،9،10	75	75	20 T25	3T10/(15-25)cm
C3	11،12	60	60	20 T 20	3T10/(15-25)cm

جدول تسليح الجوائز								
الجائز	الطابق	أبعاد المقطع		الموقع	مسند	مجاز	تسليح التقلص	التسليح العرضي
		b cm	h cm					
B1	**1--12**	50	70	تسليح علوي	5T25	5T20	4T14	3T10/10-20cm
				تسليح سفلي	5T20	5T20		



شكل(4-3) :الإطار النموذجي F2-12

4-3-1-3 الإطار (F3-18):

الإطار مكون من 18 طابق والارتفاع الكلي 63 m .

النموذج التحليلي مبين في الشكل (4-4)أبعاد العناصر وتسليحها موضح في الجدول(4-4)

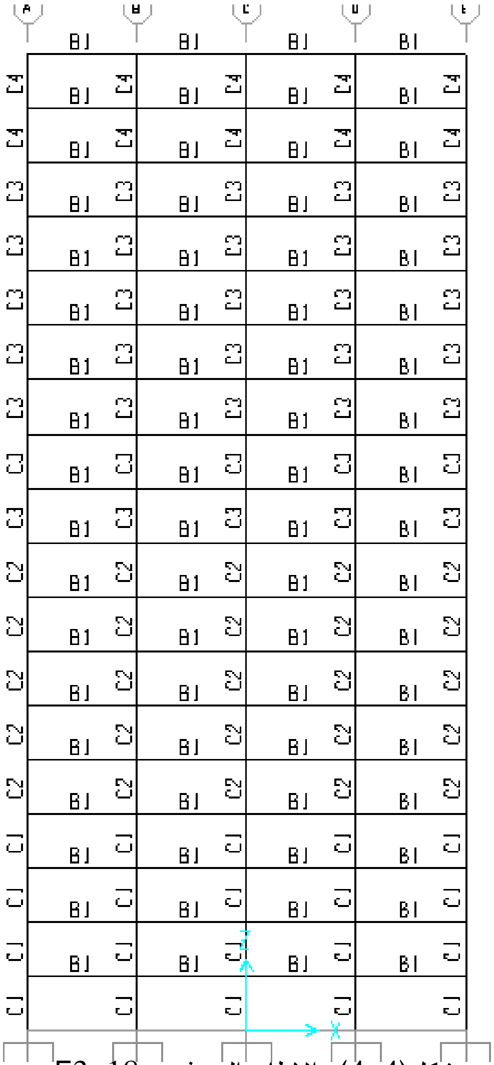
جدول(4-4) : أبعاد وتسليح عناصر الإطار F3-18

جدول الأعمدة

العمود	الطابق	أبعاد العمود cm		التسليح الطولي	التسليح العرضي
		B	H		
C1	1،2،3،4	110	110	32 T28	5T10/(15-25)cm
C2	5،6،7،8،9	90	90	28 T25	5T10/(15-25)cm
C3	10 --16	80	80	24 T20	3T10/(15-25)cm
C4	17،18	60	60	20 T 20	3T10/(15-25)cm

جدول تسليح الجوائز

الجائز	الطابق	أبعاد المقطع		الموقع	مسند	مجاز	تسليح التقلص	التسليح العرضي
		b cm	h cm					
B1	**1--18**	50	70	تسليح علوي	5T25	5T20	4T14	3T10/10-20cm
				تسليح سفلي	5T20	5T20		



شكل(4-4) :الإطار النموذجي F3-18

4-3-2 المجموعة الثانية – النماذج الإطارية الفراغية :

تم اختيار ثلاث مبانٍ من البيتون المسلح ذات جمل إنشائية من الإطارات الفراغية ، عدد الطوابق والدور الأساسي لكل منها موضح في الجدول(4-5)، تمت نمذجتها كإطارات فراغية تأخذ بالاعتبار التوزيع الحقيقي للكتل. تم تأمين الصلابات الجانبية للكتل الحسابية بواسطة الإطارات ذات العقد الصلبة و تمت نمذجة الصلابات الأفقية من خلال –ديافرامات– عند المناسيب المختلفة للطوابق. جميع النماذج موثوقة عند مستوى قاعدة الأعمدة.

جدول(4-5) : مباني المجموعة الثانية

	اسم النموذج	الوظيفة	عدد الطوابق	الارتفاع الكلي m	الوزن ton	الدور الأساسيsec
1	S1-5	مبنى تدريسي جامعي	أرضي +4 متكرر	22.48	3646.2	1
2	S2-9	مبنى تدريسي جامعي	أرضي +5 متكرر+ 3 رواجع	38.8	5823.2	1.54
3	S3-16	فندق سياحي	أرضي +2 متكرر + 13 متكرر	61.45	14809.3	2.47

4-3-2-1 المبنى (S1-5)

- هو إحدى كتل مباني توسع الهندسات في جامعة تشرين. تقع الكتلة في الناحية الشمالية من مبنى توسع الهندسات وهي مكونة من جملة إطارية من 5 طوابق ومساحة طابقية $450m^2$
- تباعد الاطارات 7.5m بالاتجاهين. الطابق الأرضي يحوي كافتريا لها منسوبين وبالتالي ارتفاعين للطابق هما 6.12m و5.16 . والطوابق المتكررة تحوي قاعات تدريسية بارتفاع 4.08 m.
- الحمولات الميتة والحية بحسب الكود العربي السوري وتم تطبيق الحمولات المنقولة من البلاطة إلى الاطارات في النموذج مباشرة .
- مواصفات المواد المستخدمة:

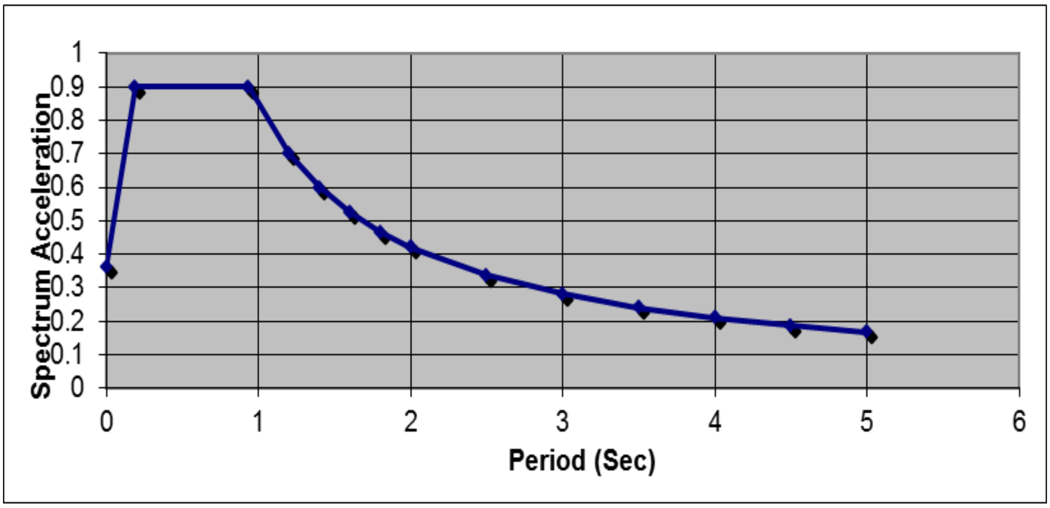
البيتون : المقاومة الاسطوانية المميزة بعد 28 يوماً للبيتون المستخدم: f'_c= 25 Mpa

فولاذ التسليح : إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح الرئيسي f_y = 400 Mpa من أجل أقطار $\Phi \geq 8$ mm

لغير ذلك f_y = 240 Mpa

طيف الاستجابة: تم تصميم طيف استجابة خاص بالموقع من قبل الجهة الدارسة لمباني توسع الهندسات اعتماداً على موقع المبنى z=0.3 ومقطع التربة S_E والمعاملات الزلزالية , C_A=0.36 C_V=0.84بحسب اشتراطات الكود UBC97 وذلك بالاتجاهات الرئيسية للمبنى الشكل (4-5)، وصممت

العناصر وفق تراكبات الأحمال المعروفة في الكود السوري وقمنا باستخدام هذا الطيف في التحليل اللاخطي لتحديد نقطة الأداء في جميع طرائق التحليل النمطي المعتمدة.



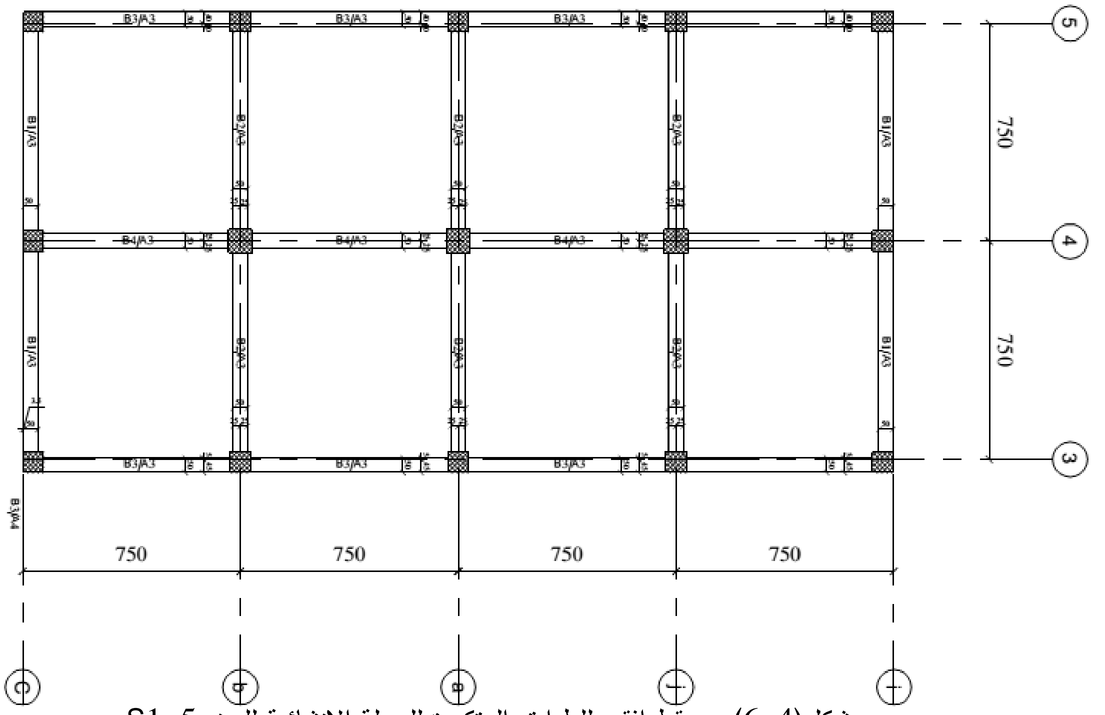
شكل(4-5) :طيف الاستجابة الخاص بالموقع للمبنىS1-5

أبعاد العناصر وتسليحها موضحة في الجدول(4-6) والمسقط الأفقي والنموذج التحليلي موضحين في الشكلين(4-6) و(4-7)

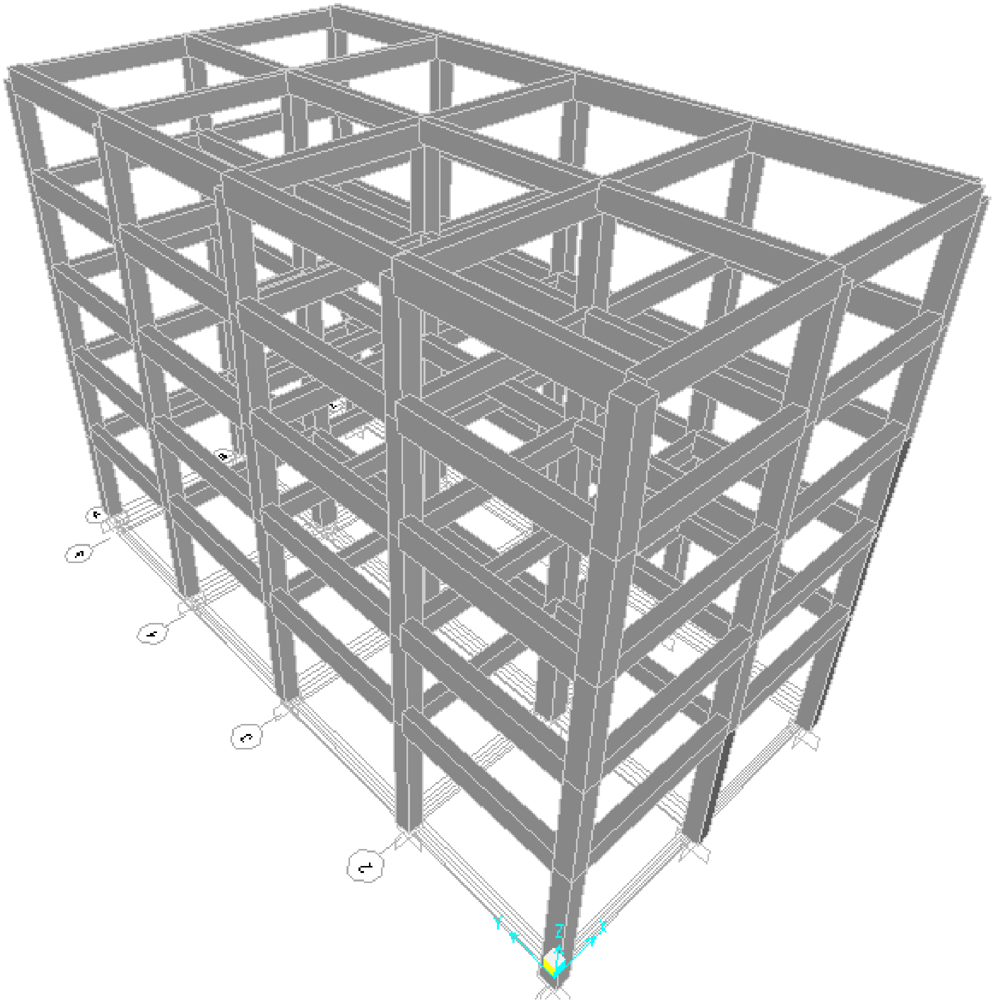
جدول(4-6) : أبعاد وتسليح عناصر المبنى S1-5

جدول الأعمدة					
العمود	الطابق	أبعاد العمود cm		التسليح الطولي	التسليح العرضي
		B	H		
C1(ركني ،طرفي)	أرضي،1،2،3،4	70	70	24 T 25	3T10/10cm
C2(وسطي)	3،4	70	70	24 T 25	3T10/15cm
C2(وسطي)	1،2	80	80	24 T 25	3T10/15cm
C2(وسطي)	أرضي	90	90	24 T 25	3T10/15cm

الجائز	الطابق	أبعاد المقطع		الموقع	مسند	مجاز	تسليح التقلص	التسليح العرضي
جدول تسليح الجوائز								
		b cm	h cm					
B1	0،1	50	80	تسليح علوي	9T20	2T20+3T12	4T16	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	5T20	5T20		
B2	0،1	50	80	تسليح علوي	8T25	2T25+3T16	4T16	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	5T25	5T25+2T20		
B3	0،1	50	100	تسليح علوي	8T20	2T20+3T12	4T12	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	5T20	5T20		
B4	0،1	50	100	تسليح علوي	9T20	2T20+3T12	4T12	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	9T20	9T20		
B1	2،3	50	80	تسليح علوي	8T20	2T20+3T12	4T16	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	5T20	5T20		
B2	2،3	50	80	تسليح علوي	T25+2T2	2T25+3T16	4T16	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	T25+2T2	5T25+2T20		
B3	2،3	50	100	تسليح علوي	7T20	2T20+3T12	4T12	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	5T20	5T20		
B4	2،3	50	100	تسليح علوي	7T20	2T20+3T12	4T12	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	9T20	9T20		
B1	الاخير	50	80	تسليح علوي	7T16	5T16	4T16	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	7T16	7T16		
B2	الاخير	50	80	تسليح علوي	5T20	2T20+3T12	4T16	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	5T20	5T20+2T16		
B3	الاخير	50	100	تسليح علوي	7T16	5T16	4T12	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	7T16	7T16		
B4	الاخير	50	100	تسليح علوي	5T20	2T20+3T12	4T12	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	5T20	5T20+2T16		



شكل(4-6) :مسقط افقي للطوابق المتكررة للجملة الانشائية للمبنىS1-5



شكل(4-7) :النموذج التحليلي للمبنىS1-5

4-3-2-2 المبنى (S2-9)

- هذا المبنى مشابه للمبنى (S1-5) من ناحية جملة المحاور الأفقية والمسقط الأفقي مع 4 طوابق إضافية تتضمن تراجع بالاتجاهين الرئيسيين للمبنى. تم تطبيق الحمولات على المبنى وتصميم عناصره وفق اشتراطات الكود. أما مواصفات المواد فهي كما في المبنى(S1-5) وطيف الاستجابة المستخدم في التحليل الدفعي النمطي هو RS الشكل (4-1). تبين الأشكال (4-8) إلى (4-12) المساقط الأفقية والنموذج التحليلي لهذا المبنى.
- أبعاد العناصر وتسليحها كما في الجدول (4-7) :

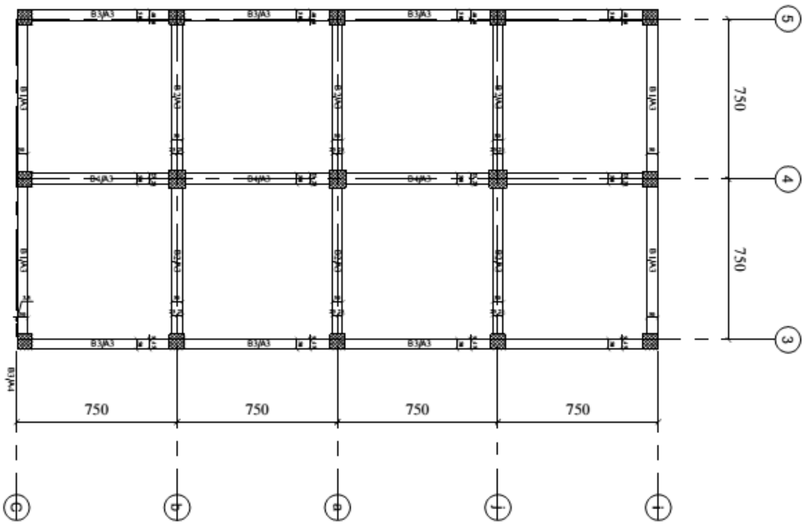
جدول(4-7) : أبعاد وتسليح عناصر المبنى S2-9

جدول الأعمدة

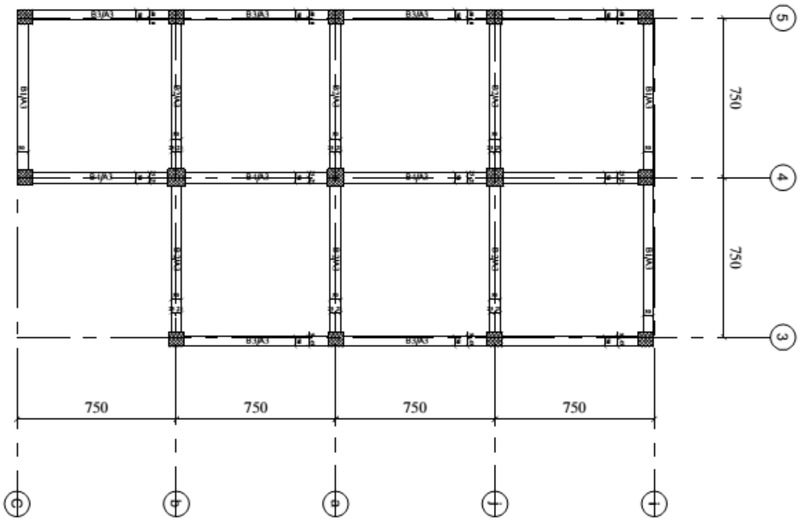
العمود	الطابق	أبعاد العمود cm		التسليح الطولي	التسليح العرضي
		B	H		
C1(ركني)	1،2،3،4،5،6،7،8	70	70	24 T 25	3T10/10cm
C1(ركني)	0	80	80	24 T 25	3T10/15cm
C2(طرفي)	2،3،4،5،6،7،8	70	70	24 T 25	3T10/15cm
C2(طرفي)	0،1	80	80	24 T 25	3T10/15cm
C3(وسطي)	4،5،6،7،8	70	70	24 T 25	3T10/15cm
C3(وسطي)	2،3	80	80	24 T 25	3T10/15cm
C3(وسطي)	1	90	90	24 T 25	3T10/15cm
C3(وسطي)	0	100	100	32 T 28	5T10/15cm
C4(طرفي)	2،3،4،5،6،7،8	70	70	24 T 25	3T10/15cm
C4(طرفي)	1	80	80	24 T 25	3T10/15cm
C4(طرفي)	0	100	100	32 T 28	5T10/15cm

جدول تسليح الجوائز

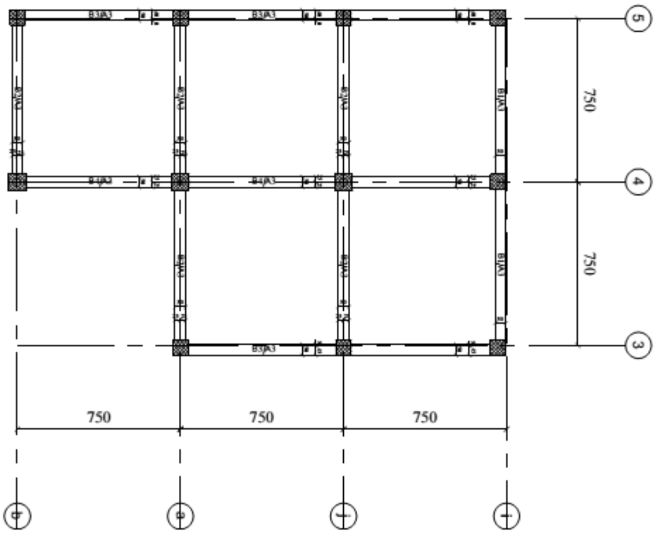
الجائز	الطابق	أبعاد المقطع		الموقع	مسند	مجاز	تسليح التقلص	التسليح العرضي
		b cm	h cm					
B1	0،1	50	80	تسليح علوي	9T20	2T20+3T12	4T16	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	5T20	5T20		
B2	0،1	50	80	تسليح علوي	8T25	2T25+3T16	4T16	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	5T25	5T25+2T20		
B3	0،1	50	100	تسليح علوي	8T20	2T20+3T12	4T12	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	5T20	5T20		
B4	0،1	50	100	تسليح علوي	9T20	2T20+3T12	4T12	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	9T20	9T20		
B1	2،3،4،5	50	80	تسليح علوي	8T20	2T20+3T12	4T16	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	5T20	5T20		
B2	2،3،4،5	50	80	تسليح علوي	T25+2T2	2T25+3T16	4T16	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	T25+2T2	5T25+2T20		
B3	2،3،4،5	50	100	تسليح علوي	7T20	2T20+3T12	4T12	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	5T20	5T20		
B4	2،3،4،5	50	100	تسليح علوي	7T20	2T20+3T12	4T12	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	9T20	9T20		
B1	6،7،8	50	80	تسليح علوي	7T16	5T16	4T16	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	7T16	7T16		
B2	6،7،8	50	80	تسليح علوي	5T20	2T20+3T12	4T16	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	5T20	5T20+2T16		
B3	6،7،8	50	100	تسليح علوي	7T16	5T16	4T12	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	7T16	7T16		
B4	6،7،8	50	100	تسليح علوي	5T20	2T20+3T12	4T12	2Φ8/10-20cm
				تسليح سفلي	5T20	5T20+2T16		



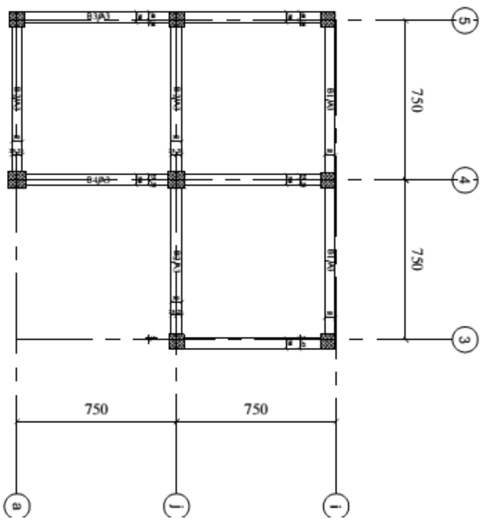
شكل(4−8) :مسقط افقي للطوابق من الارضي إلى الخامس للجملة الانشائية للمبنى9−S2



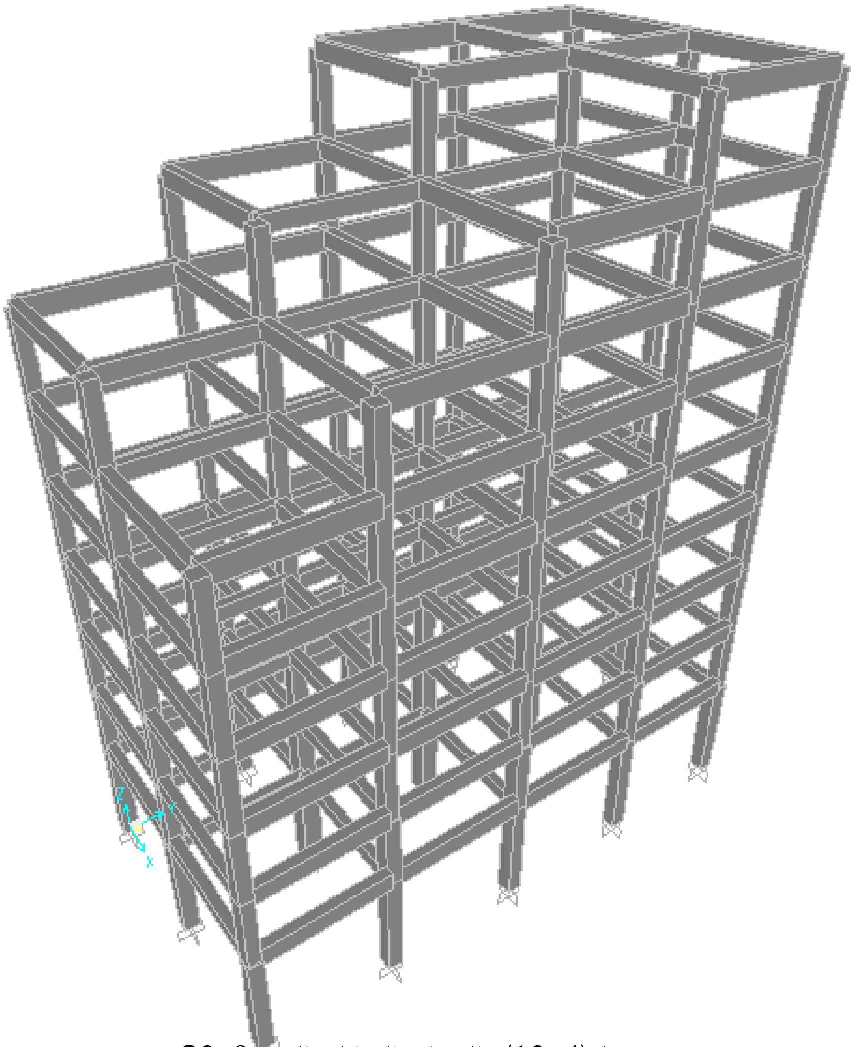
شكل(4−9) :مسقط افقي للطابق 6 للجملة الانشائية للمبنى9−S2



شكل(4−10) :مسقط افقي للطابق 7 للمبنى9−S2



شكل(4−11) :مسقط افقي للطابق 8 للمبنى9−S2



شكل(4-12) :النموذج التحليلي للمبنى9-S2

4-3-2-3 المبنى (S3-16)

- المبنى هو فندق سياحي قيد الانشاء في المنطقة الساحلية يتكون من 16 طابق.

يضم صالة الاستقبال وكافيتريا في الطابق الأرضي و مطعمين وصالة متعددة الأغراض في الطابق الأول والمطعم الرئيسي في الطابق الثاني إضافة إلى مكاتب الادارة التي تشغل الطابق الثالث وغرف وأجنحة النزلاء في الطوابق من4 حتى 12 ومطعم بانورامي في الطابق13 ونادي صحي ورياضي في الطابق 14 مع تراس صيفي في الطابق 15.

- المساحة طابقية :الأرضي+ الأول $813\ m^2$ ، الطوابق المتكررة $545\ m^2$
- ارتفاع الطوابق: الأرضي $4.4\ m$، الأول $4\ m$، الطوابق المتكررة $3.5\ m$
- الحمولات الميتة والحية بحسب الكود العربي السوري محملة على البلاطات مباشرة
- مواصفات المواد المستخدمة:

المقاومة الاسطوانية المميزة بعد 28 يوماً للبيتون المستخدم: $f'_c = 34$ Mpa.

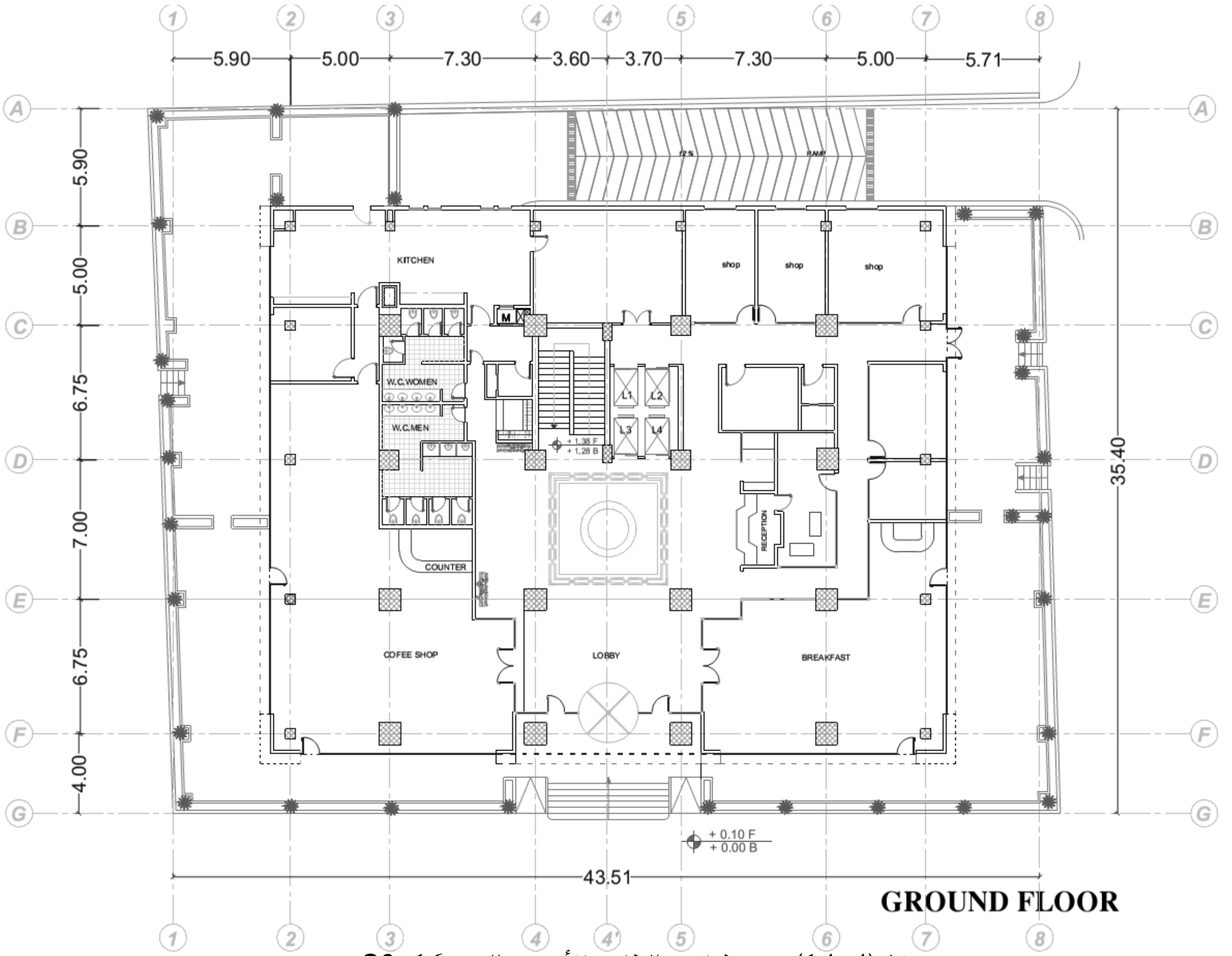
إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح الرئيسي: f_y = 350 Mpa

- طيف الاستجابة التصميمي : المبنى مصمم باستخدام الطيف التصميمي RS1 الشكل (4−1) وتم تقييم سلوك المنشأ وتحديد نقطة الأداء اعتماداً على هذا الطيف في كل من الاتجاهين الرئيسيين للمبنى. تبين الأشكال (4−14) إلى (4−23) المساقط الأفقية والنموذج التحليلي لهذا المبنى.
- تسليح المقاطع بحسب الكود العربي السوري كما في الجدول(4−8)

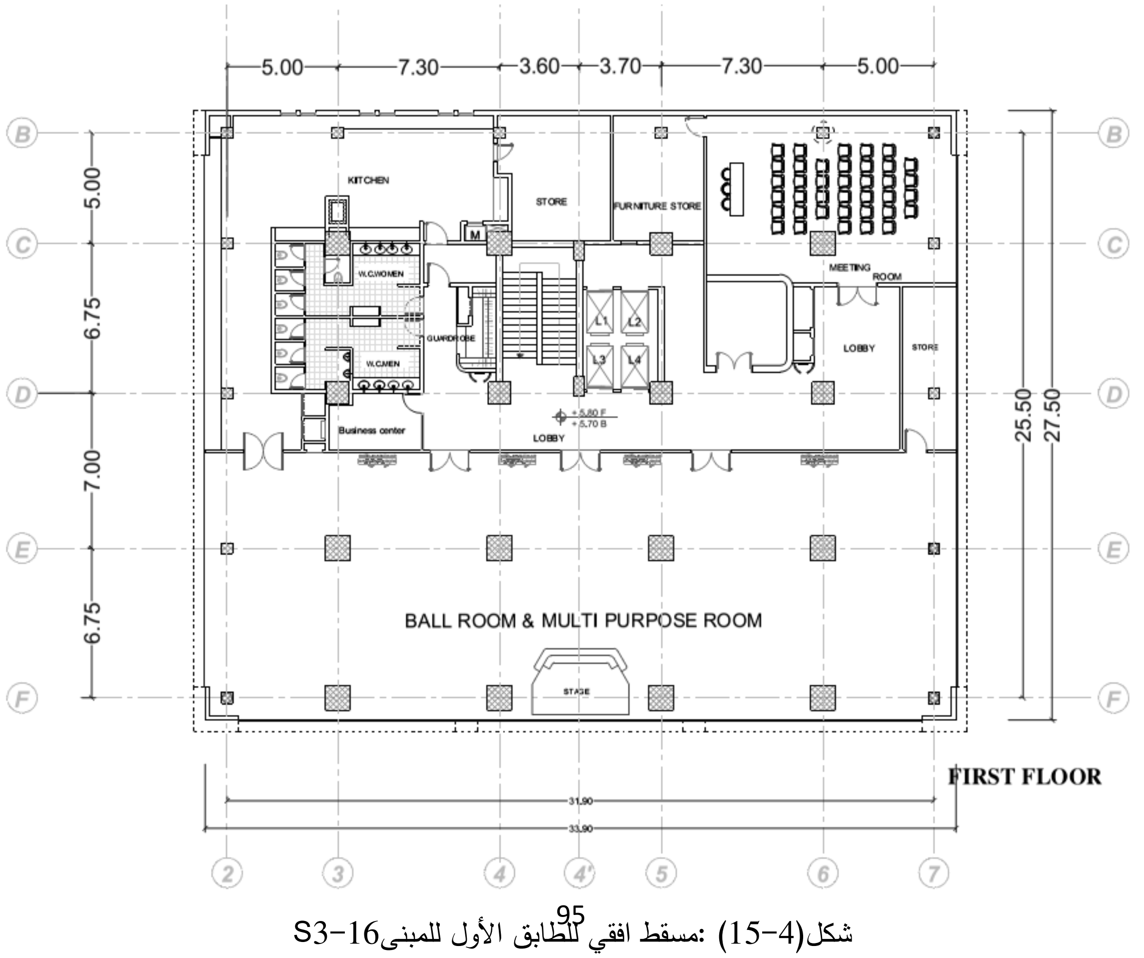
جدول(4−8) : أبعاد وتسليح عناصر المبنى S3−16

جدول الأعمدة						
العمود	الطابق	أبعاد العمود cm		التسليح الطولي		التسليح العرضي
		B	H	مساحة التسليح المطلوبة cm² (Sap)	التسليح المستخدم	
C1	0،1	110	110	120	24 T 25	3T10/(15-25)cm
C2	2	100	100	100	28 T 22	5T10/(15-25)cm
C3	3،4 (أعمدة وسطية)	85	85	150	24 T 28	3T10/(15-25)cm
C4	3،4،5،6	85	85	70	24 T 20	3T10/(15-25)cm
C5	7--13	70	70	50	16 T 20	3T10/(15-25)cm
C6	14،15	60	60	40	16 T 18	3T10/(15-25)cm
C7	16	60	60	60	24 T18	3T10/(15-25)cm
C8	0،1،2	45	90	130	24 T 28	3T10/(15-25)cm
C9	3--16	45	90	50	16T20	3T10/(15-25)cm

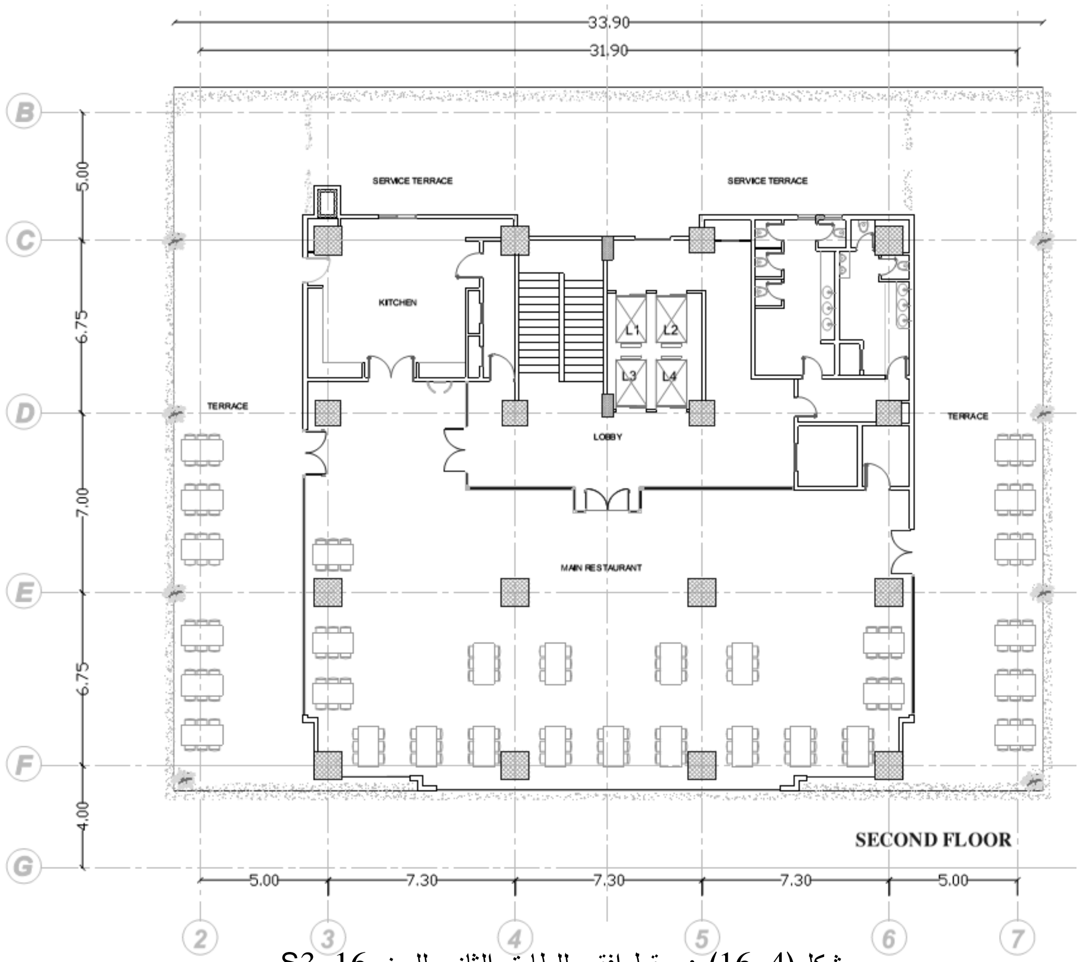
جدول تسليح الجوائز								
الجائز	الطابق	أبعاد المقطع		الموقع	مسند	مجاز	تسليح التقلص	التسليح العرضي
		b cm	h cm					
B1	**0،1**	40	70	تسليح علوي	6T25	5T20	4T14	3T10/10-20cm
				تسليح سفلي	5T20	5T20		
B2	**0،1**	40	70	تسليح علوي	5T16	3T16	4T14	3T10/10-20cm
				تسليح سفلي	4T14	6T14		
B3	**2**	40	70	تسليح علوي	8T25	4T25	4T10	4T10/10-20cm
				تسليح سفلي	4T25	4T25		
B4	**3،4،5،6**	50	70	تسليح سفلي	8T28	4T28	4T10	4T12/10-20cm
				تسليح علوي	8T25	8T25		
B5	**7--14**	40	70	تسليح سفلي	7T20	4T20	4T10	4T8/10-20cm
				تسليح علوي	4T20	4T20		
B6	**15،16**	40	70	تسليح علوي	10T20	4T20	4T10	4T8/10-20cm
				تسليح سفلي	7T20	4T20		
B7	**الظفر**	40	70	تسليح علوي	4T18	4T18	4T10	4T10/10-20cm
				تسليح سفلي	4T12	4T12		



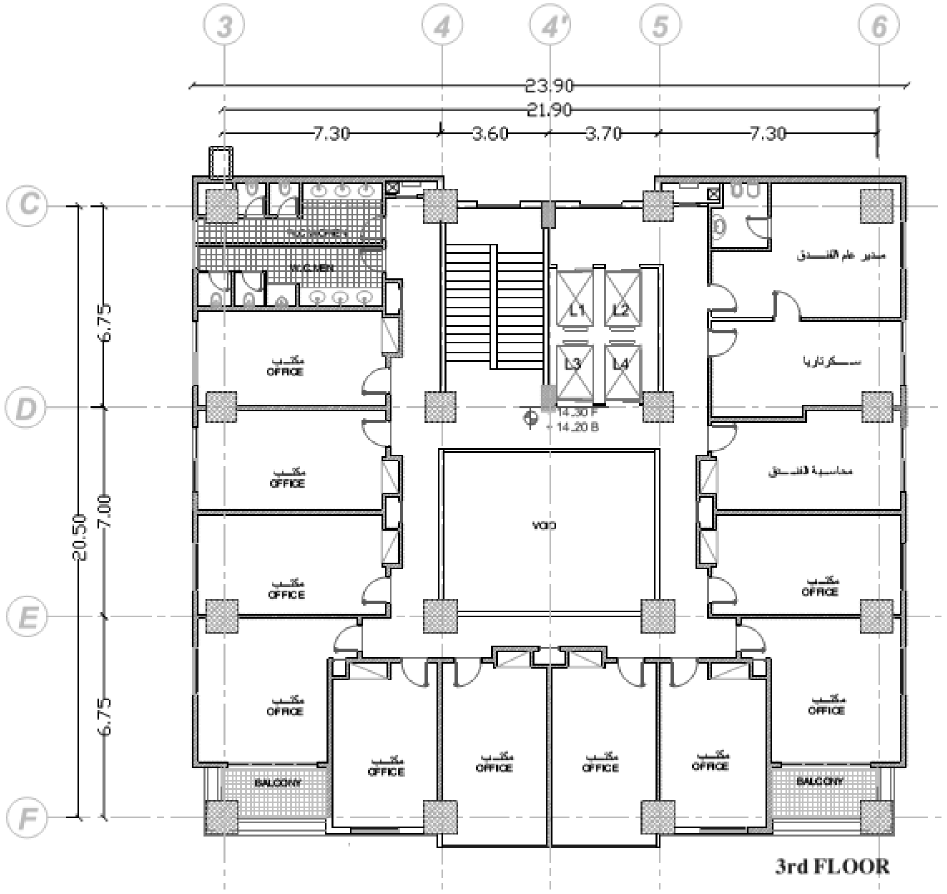
شكل(4-14) :مسقط افقي للطابق الأرضي للمبنىS3-16



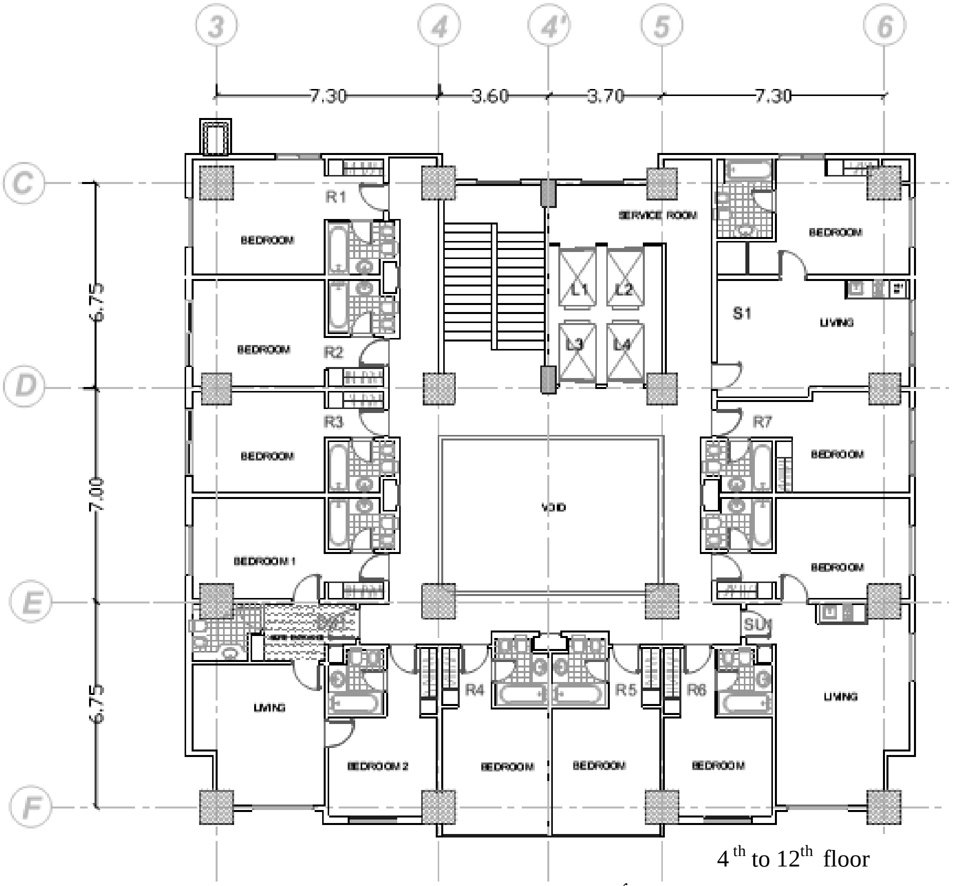
شكل(4-15) :مسقط افقي للطابق الأول للمبنىS3-16



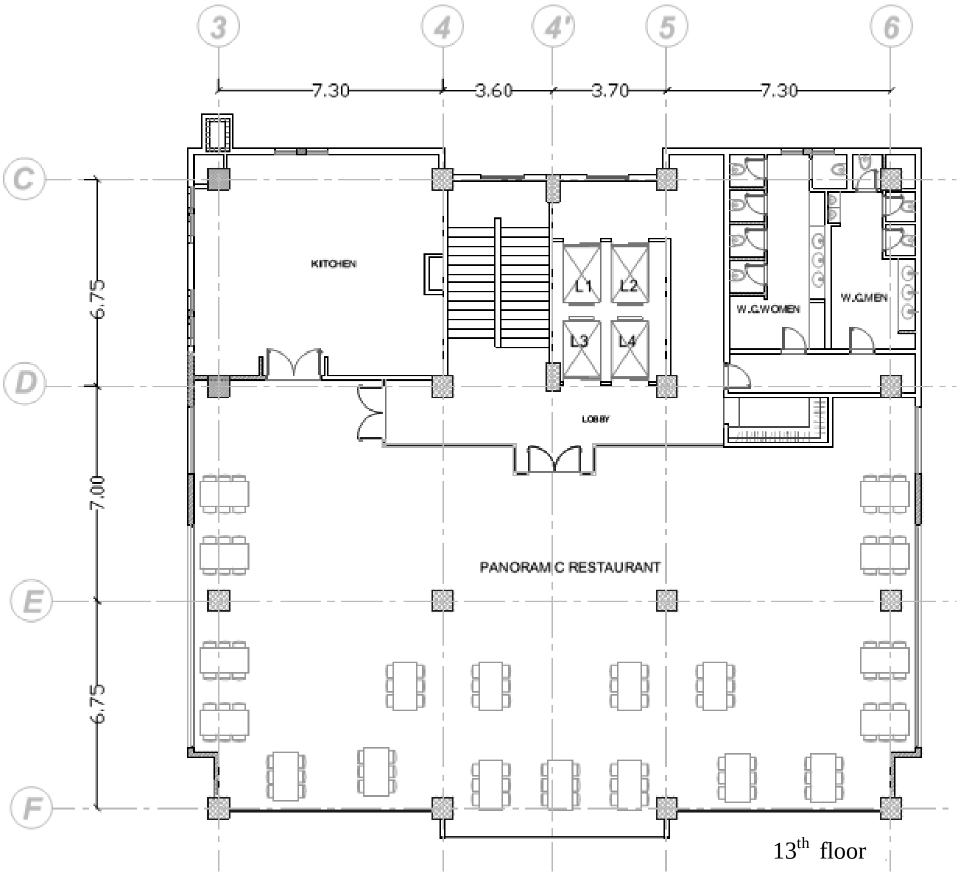
شكل(4−16) :مسقط افقي للطابق الثاني للمبنىS3−16



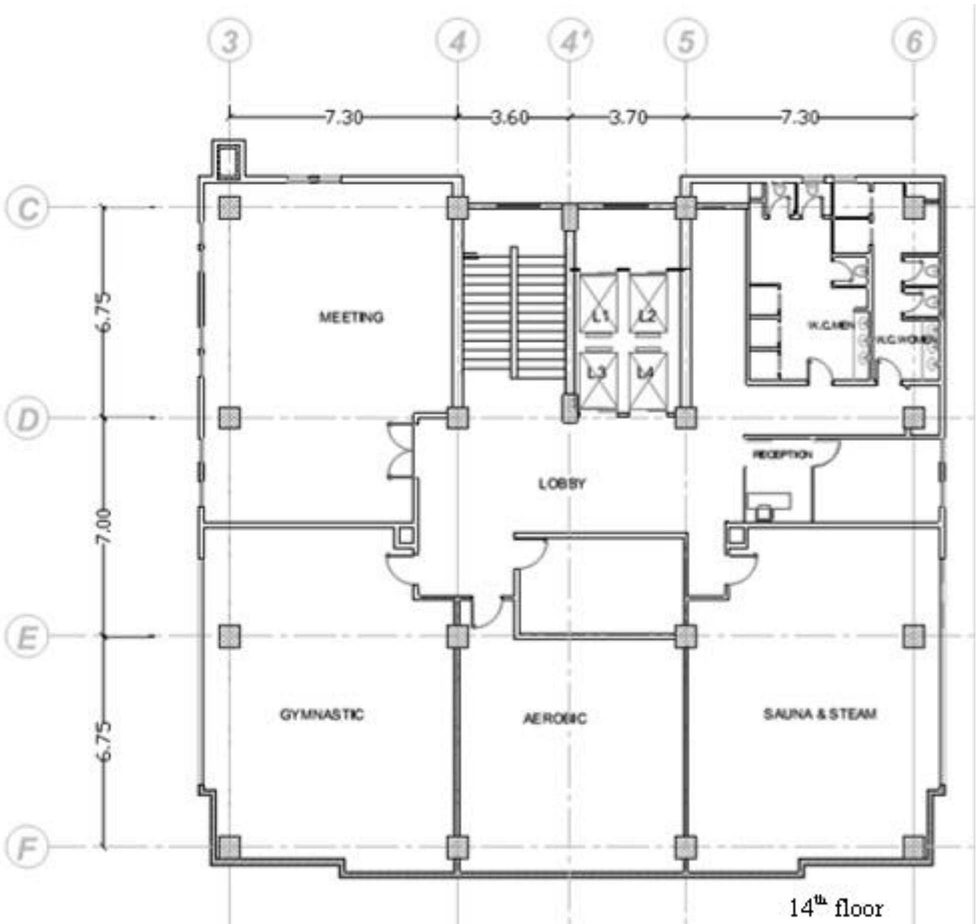
شكل(4−17) :مسقط افقي للطابق الثالث للمبنىS3−16



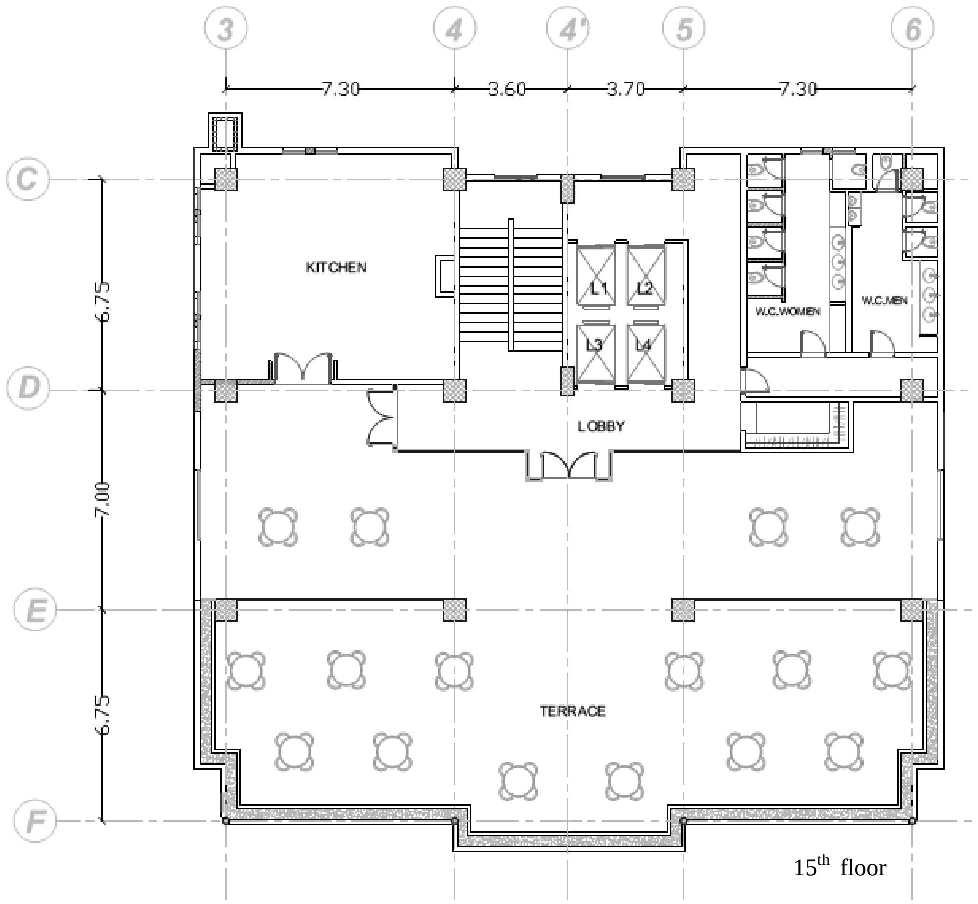
شكل(4-18) :مسقط أفقي للطوابق من4 إلى12 للمبنىS3-16



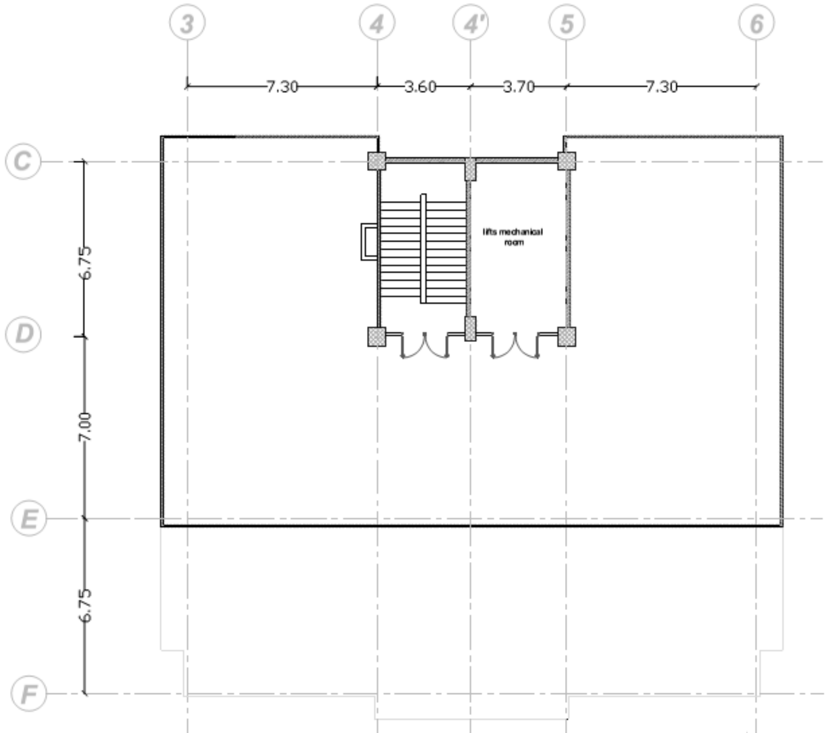
شكل(4-19) :مسقط افقي للطابق13 للمبنىS3-16



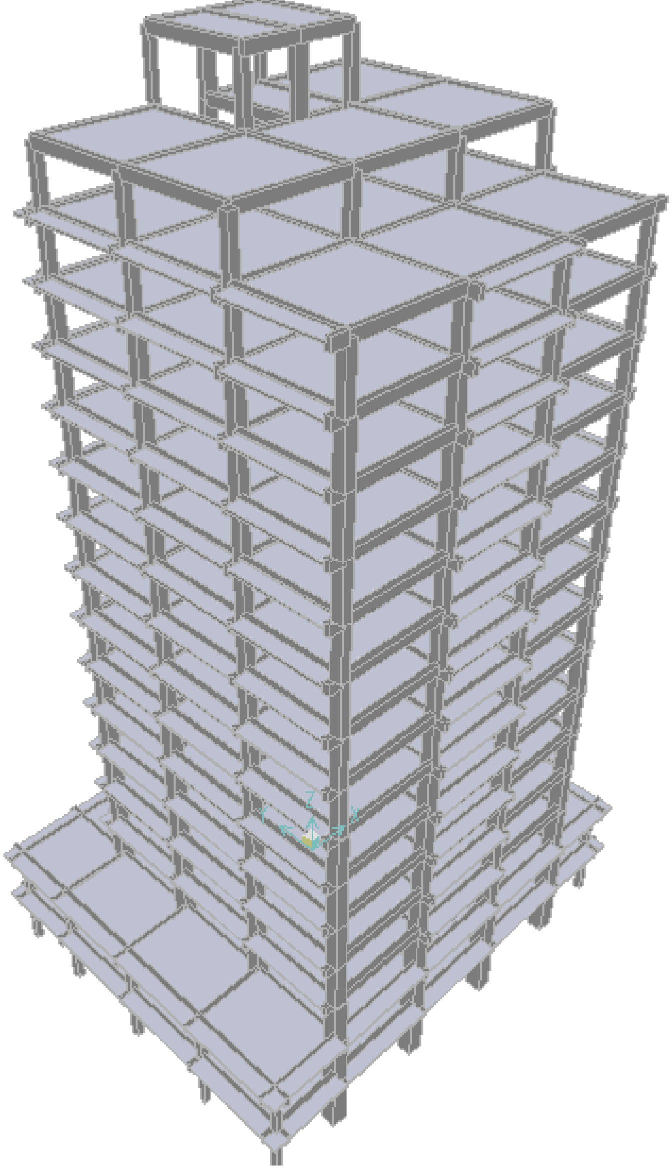
شكل(4−20) :مسقط أفقي للطابق 14 للمبنى S3-16



شكل(4−21) :مسقط أفقي للطابق15 للمبنى S3-16



شكل(4-22) :مسقط أفقي للطابق الأخير للمبنىS3-16



شكل(4-23) :النموذج التحليلي للمبنىS3-16

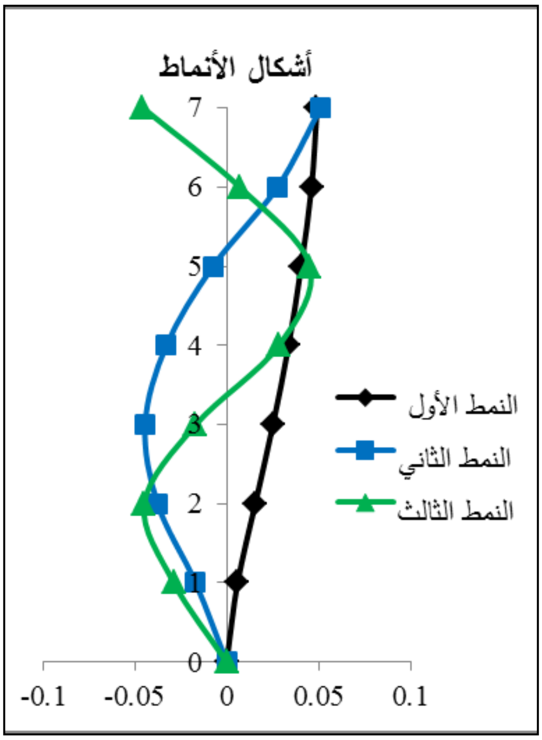
4-4- نتائج تحليل المجموعة الأولى:

4-4-1-نتائج الإطار (F1-7):

- <u>نتائج تحليل الاهتزاز الحر</u>: تم تحديد الخصائص الديناميكية للإطار وهي مبينة في الجدول(4-9)

جدول(4-9) :الخصائص الديناميكية للإطار (F1-7)

النمط	الدور T (sec)	القيم الذاتية ω^2	عامل مساهمة الكتلة %	مجموع مساهمة الكتلة %	عامل المساهمة النمطي(Γ)
1	0.811	60.08	81	81	26.70
2	0.269	545.49	10	91	9.50
3	0.152	1718.00	4	95	6.18



شكل(4-24) :أشكال أنماط الاهتزاز للإطار F1-7

تم تجميع أنماط الاهتزاز الثلاثة الأولى في الحمولات الجانبية وفق الطرائق المعتمدة وإجراء التحليل الدفعي لحالات التجميع والحصول على النتائج كما يلي:

1-طريقة(UBPA):

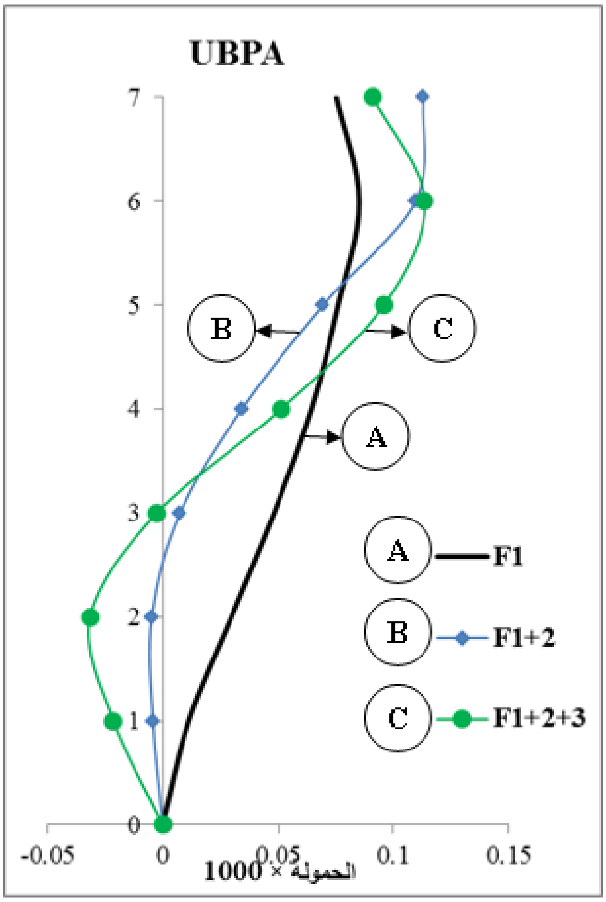
- الحمولات المجمعة: حسب الفقرة (4-1-1) تم حساب الحمولات بتجميع النمط الثاني مع الأول ثم النمطين الثاني والثالث مع الأول ويبين الجدول(4-10) حساب العوامل المستخدمة في الحمولات الجانبية المجمعة بصيغة UBPA، ويبين الشكل(4-25) أشكال هذه الحمولات.

جدول(4-10): العوامل المستخدمة في تشكيل الحمولة الجانبية بطريقة UBPA

النمط	ω^2	A_n	Γ_n	D_n	$\lvert\Gamma .D_n\rvert$
1	60.08	0.668	26.704	0.011	0.297
2	545.49	0.900	9.503	0.002	0.016
3	1718.00	0.900	6.178	0.001	0.003

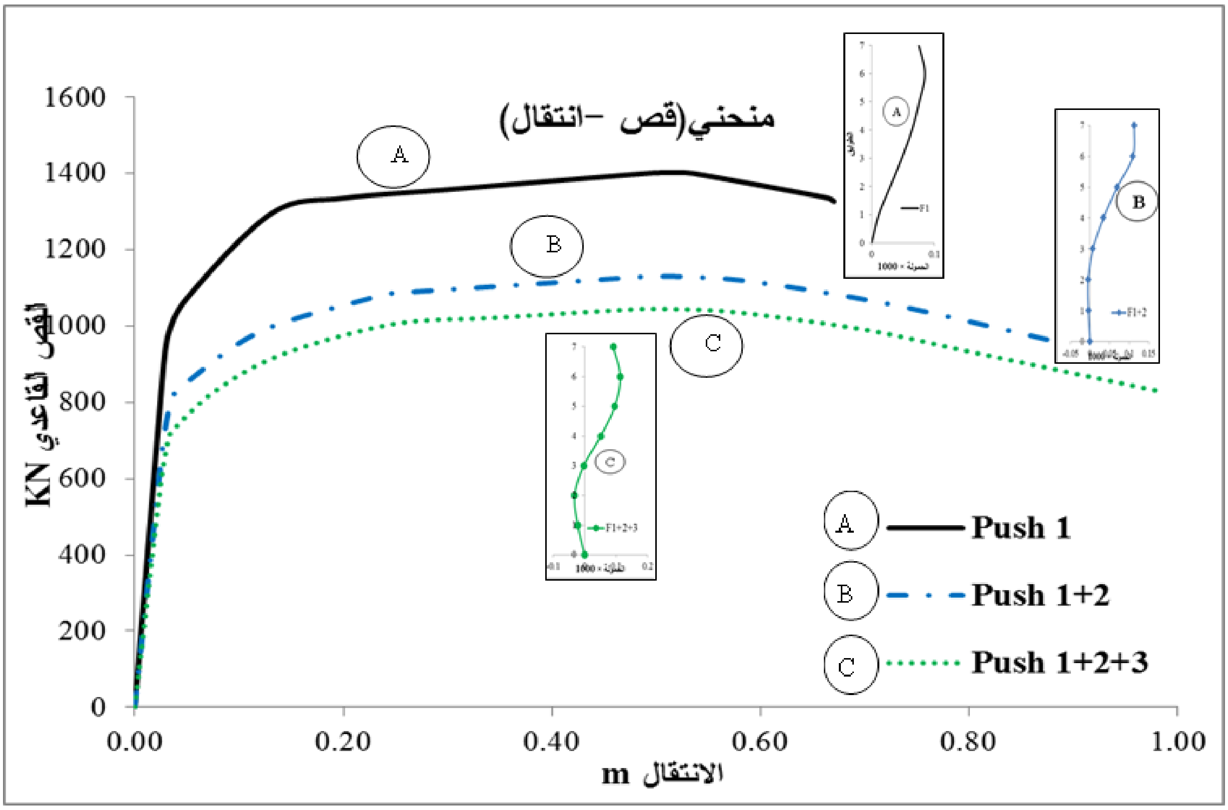
$$\left(\frac{q_2}{q_1}\right)_{UB} = \left|\frac{\Gamma_2 D_2}{\Gamma_1 D_1}\right| = 0.053$$

$$\left(\frac{q_3}{q_1}\right)_{UB} = \left|\frac{\Gamma_3 D_3}{\Gamma_1 D_1}\right| = 0.011$$



شكل(4-25): الحمولات الجانبية على الإطار (F1-7) بطريقة (UBPA)

• منحنيات الاستطاعة: أعطى التحليل باستخدام كل من حمولة النمط الأول A والحمولات المجمعة B,C منحنيات الاستطاعة المبينة بالشكل(4-26).



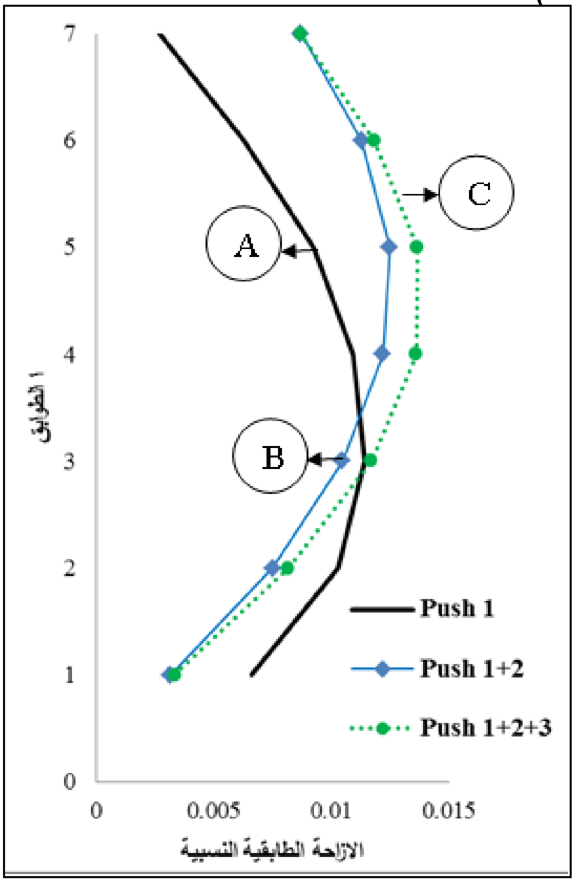
شكل(4-26) :منحنيات الاستطاعة للإطار (F1-7) بطريقة (UBPA)

• نقطة الأداء و المفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء في الجدول (4-11):

جدول(4-11) : نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء بطريقةUBPA

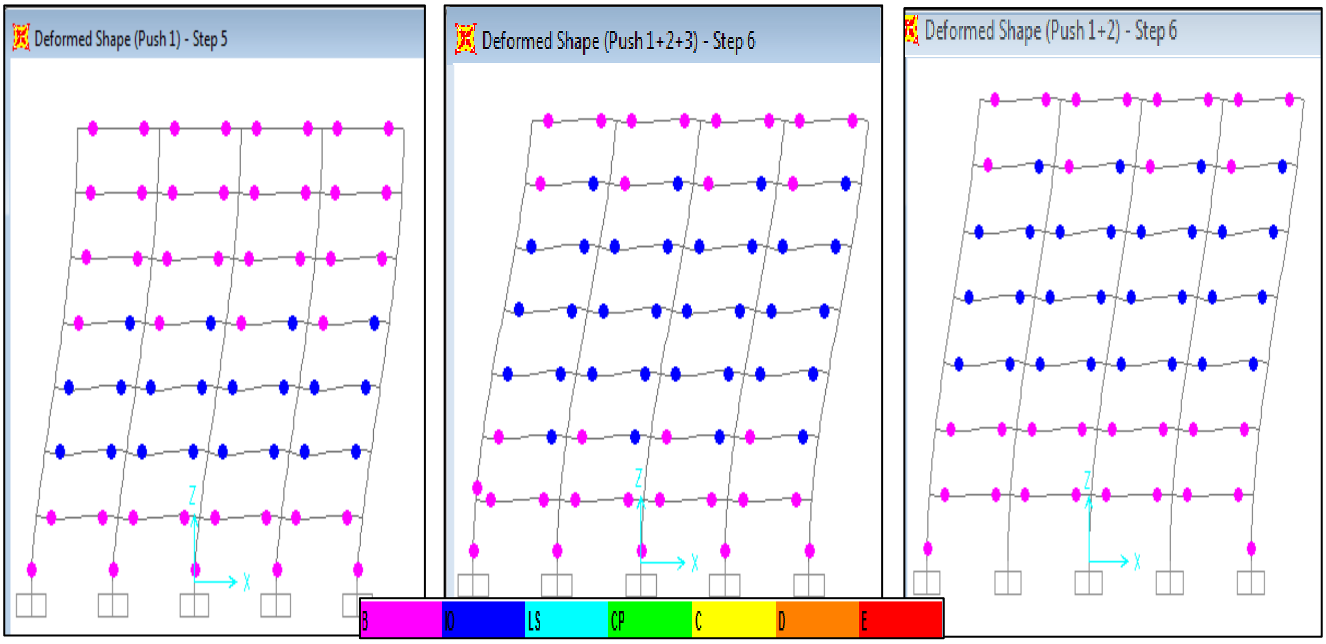
الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				دد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الأداء					
		V (KN)	%1st	δ (m)	%1st	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
push 1st mode	A	1314.4		0.16		65	41	20	0	0	0
push 1+2+3	C	977.7	-26%	0.21	29%	64	30	32	0	0	0
push 1+2	B	1049.9	-20%	0.2	21%	68	30	28	0	0	0

• الإزاحة النسبية الطابقية: تم تحديد الإزاحات النسبية بين الطوابق عند وصول الإطار إلى نقطة الأداء وهي مبينة في الشكل(4−27):



شكل(4−27) :الازاحة النسبية الطابقية للإطار (F1−7) بطريقة (UBPA)

• أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في حالات التجميع وحالة النمط الأساسي مبينة في الشكل(4−28).

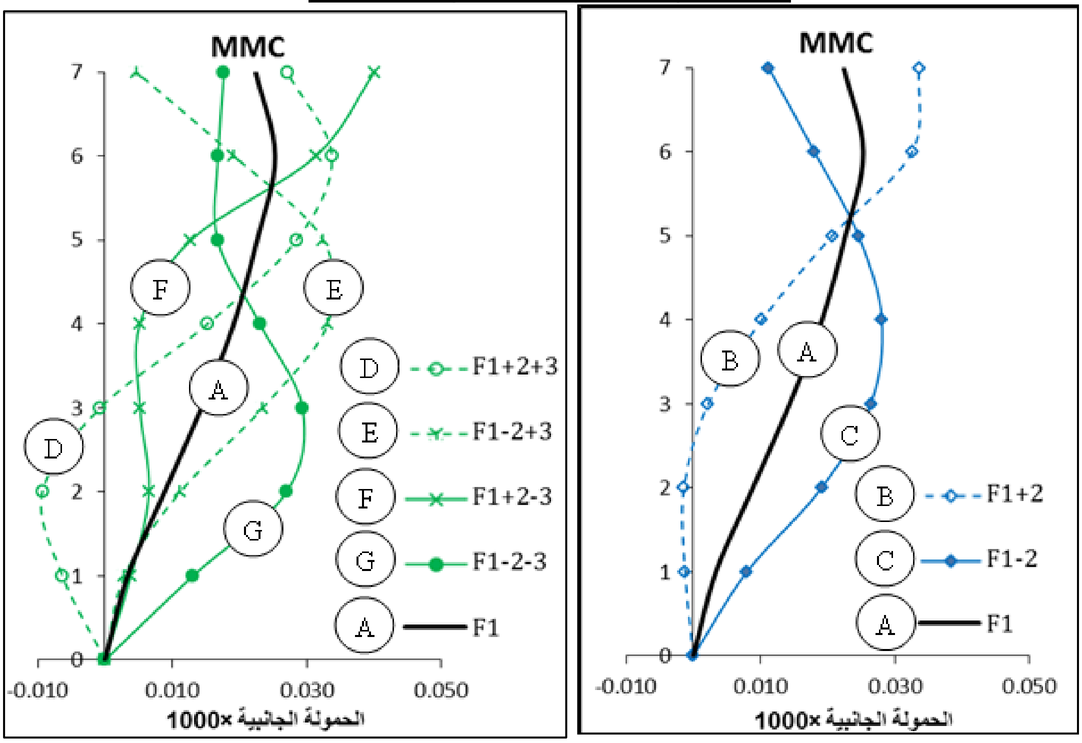


شكل(4−28) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F1−7) بطريقة (UBPA)

2–طريقة (MMC):

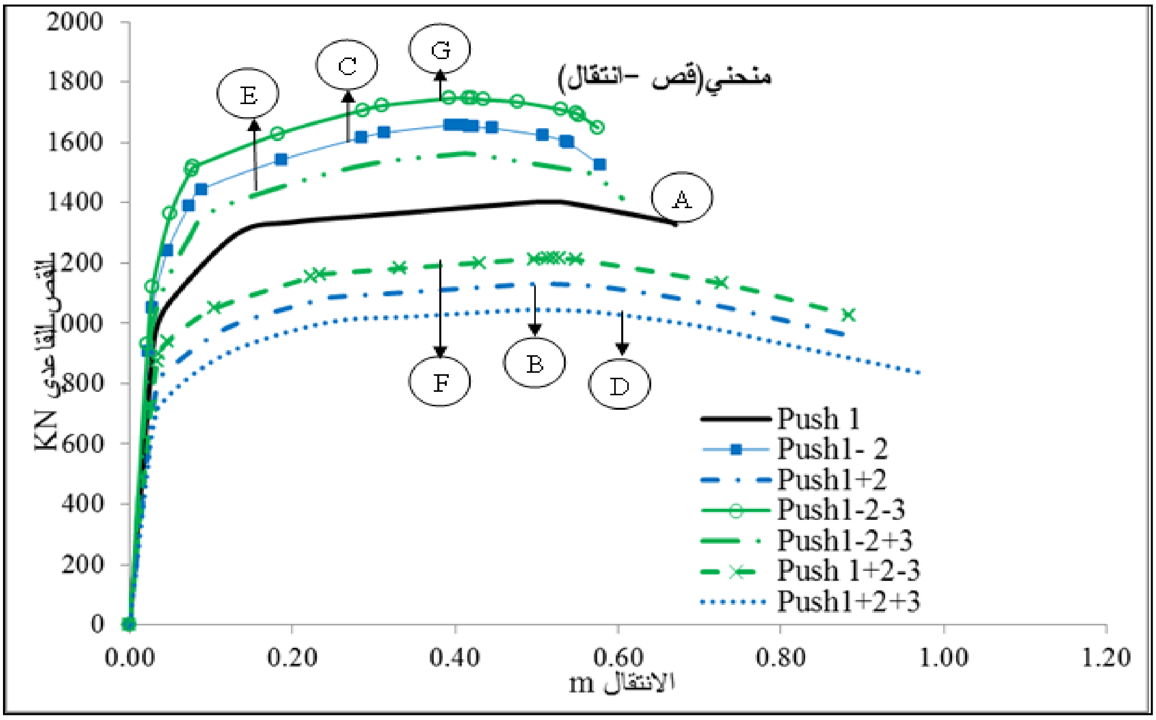
- الحمولات المجمعة: حسب الفقرة (4–1–2) والتسارع الطيفي المستخدم في صيغة الحمولة الجانبية للأنماط الثلاثة الأولى هو:

النمط	1	2	3
Sa	0.668	0.9	0.9



شكل(4–29): الحمولات الجانبية على الإطار (F1–7) بطريقة (MMC)

- منحنيات الاستطاعة: مبينة في الشكل (4–30)



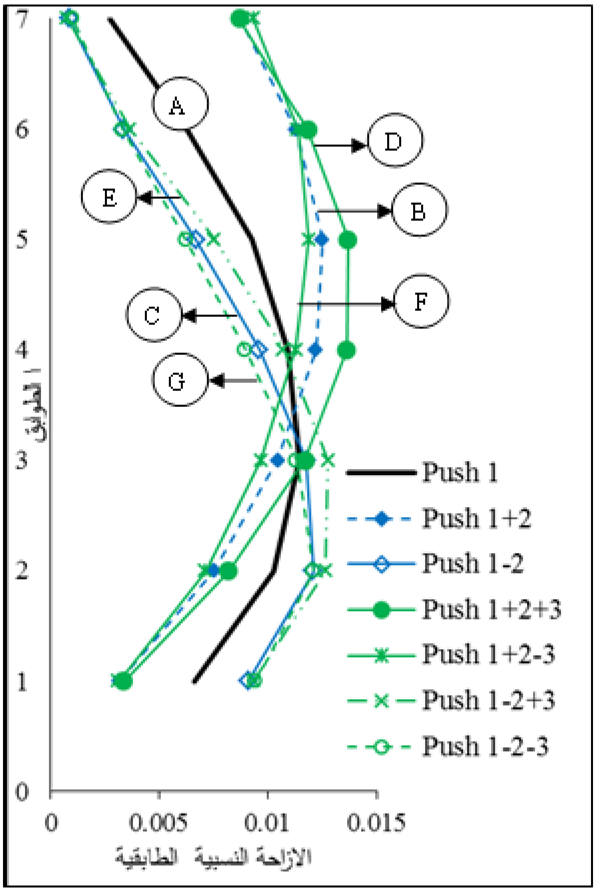
شكل(4–30): منحنيات الاستطاعة للإطار (F1–7) بطريقة (MMC)

• نقطة الأداء وعدد المفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء: مبينة في الجدول(4−12)

جدول(4−12) : نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء بطريقة MMC

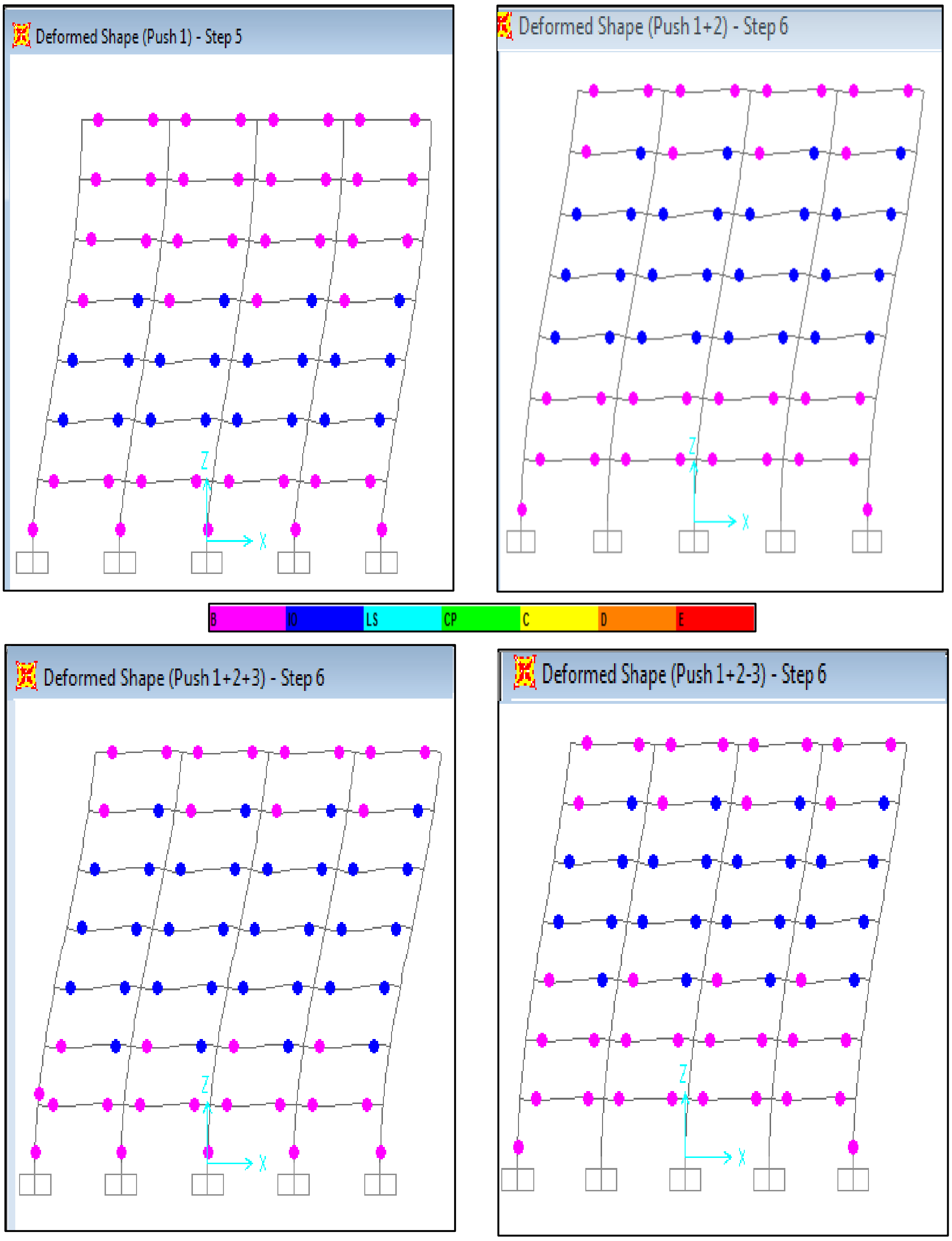
الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الأداء					
		V (KN)	%1st	δ (m)	%1st	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
push 1st mode	**A**	**1314.4**	-	**0.16**	-	65	41	20	0	0	0
push 1+2+3	**D**	**977.7**	*-26%*	**0.21**	*29%*	64	30	32	0	0	0
push 1+2	**B**	**1049.9**	*-20%*	**0.2**	*21%*	68	30	28	0	0	0
push 1+2-3	**F**	**1120.9**	*-15%*	**0.19**	*14%*	68	34	24	0	0	0
push 1-2+3	**E**	**1415.1**	*8%*	**0.15**	*-9%*	76	21	29	0	0	0
push 1-2	**C**	**1497.4**	*14%*	**0.14**	*-13%*	76	22	28	0	0	0
push 1-2-3	**G**	**1579.1**	*20%*	**0.14**	*-17%*	75	26	25	0	0	0

• الإزاحات النسبية الطابقية: مبينة في الشكل (4−31)



شكل(4−31) :الازاحة النسبية الطابقية للإطار (F1−7) بطريقة (MMC)

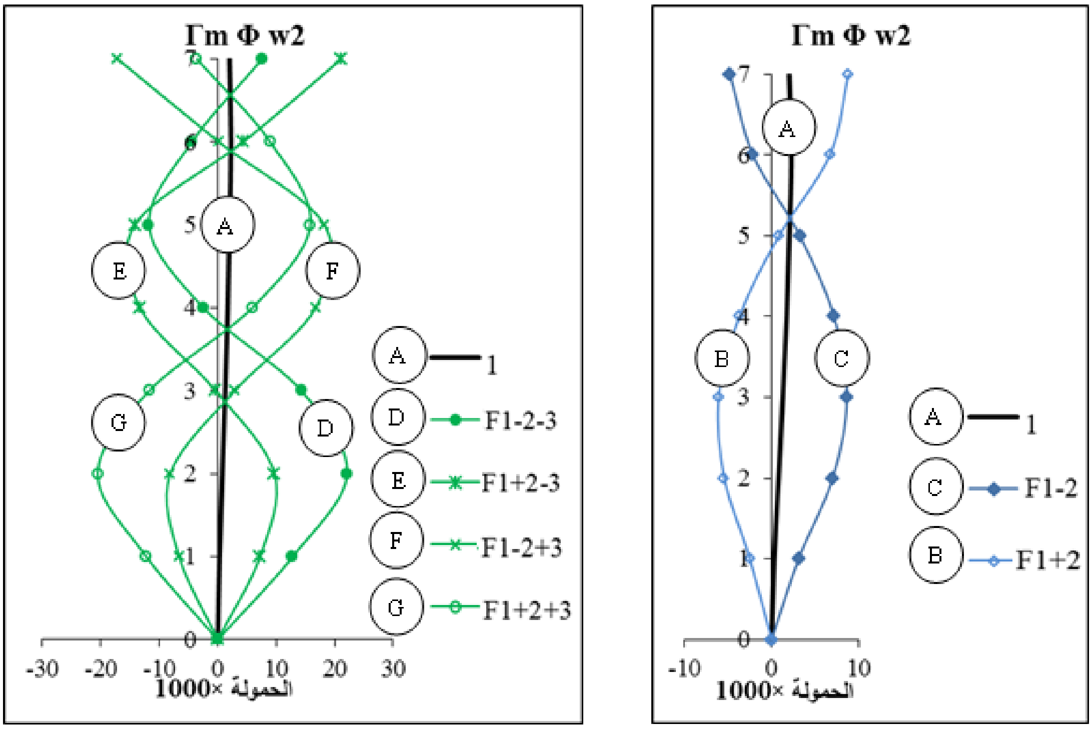
• أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في حالات التجميع الأخطر وحالة النمط الأساسي مبينة في الشكل(4–32):



شكل(4–32) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F1–7) بطريقة (MMC)

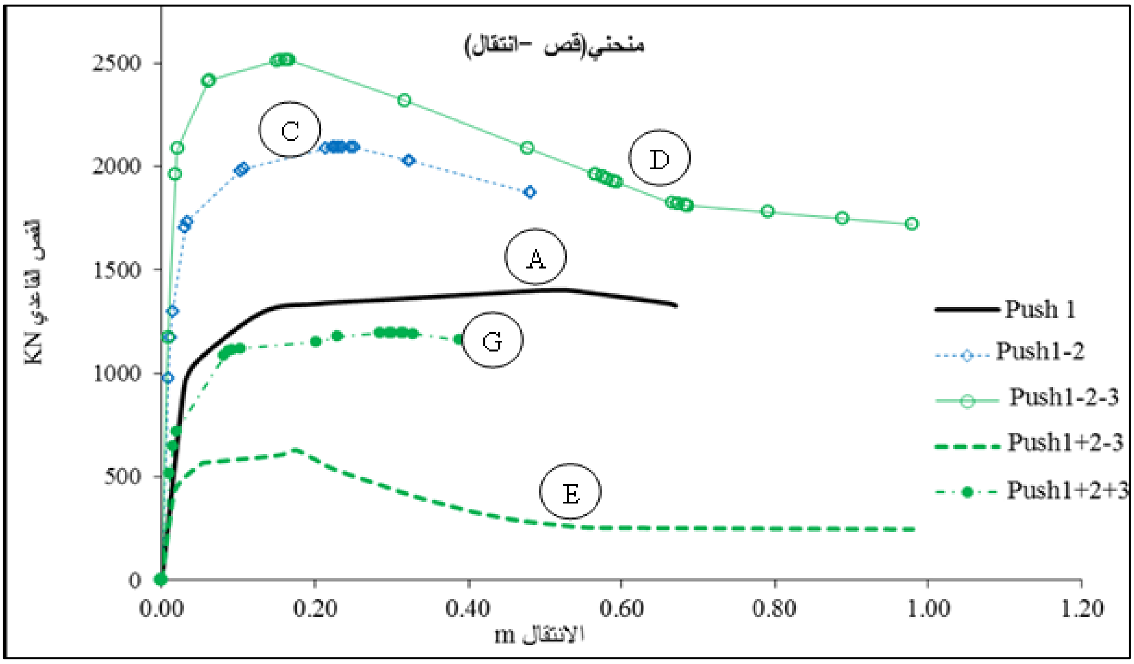
3-طريقة التجميع المباشر(direct)

- الحمولات المجمعة: حسب الفقرة (4-1-3) وهي مبينة في الشكل(4-33)



شكل(4-33) :الحمولات الجانبية على الإطار (F1-7) بطريقة (direct)

- منحنيات الاستطاعة :مبينة في الشكل(4-34)



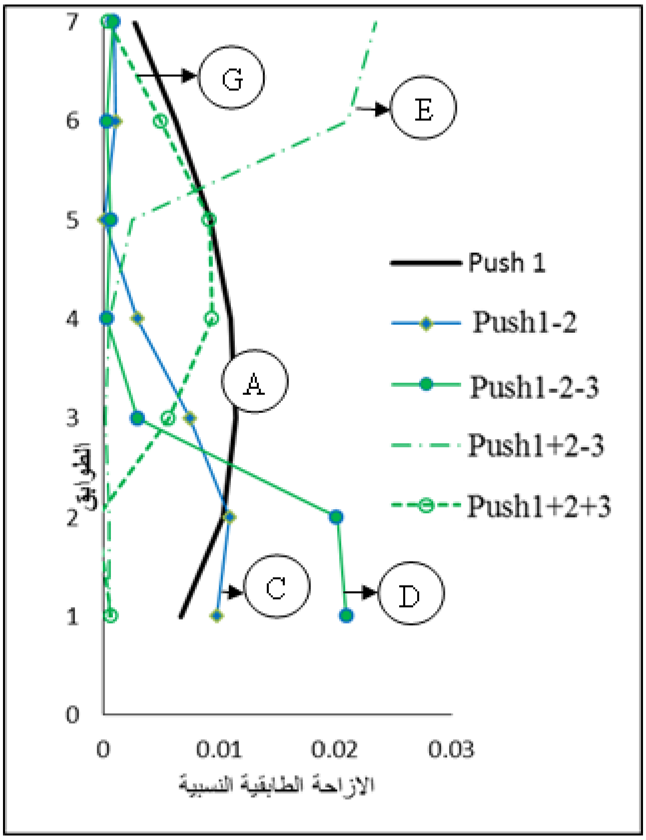
شكل(4-34) :منحنيات الاستطاعة للإطار (F1-7) بطريقة (direct)

- نقطة الأداء وعدد المفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء :

جدول(4-13): نقطة الأداء وعدد المفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء بطريقة (direct)

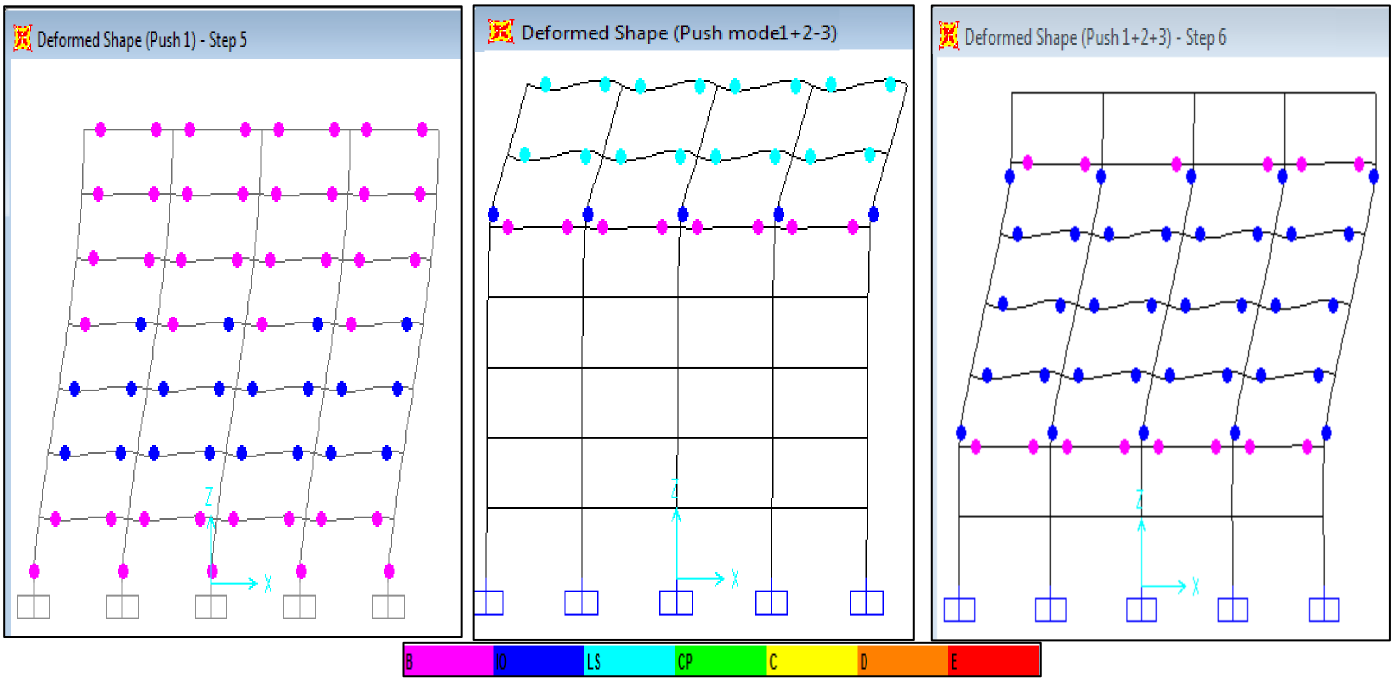
الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الأداء					
		V (KN)	%1st	δ (m)	%1st	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
push 1st mode	**A**	**1314.4**	**-**	**0.16**	**-**	65	41	20	0	0	0
push 1+2-3	**E**	**618.06**	*-53%*	**0.16**	*0%*	97	8	5	16	0	0
push 1+2+3	**G**	**1127.7**	*-14%*	**0.12**	*-24%*	76	16	30	4	0	0
push 1-2	**C**	**1976.4**	*50%*	**0.1**	*-37%*	92	21	13	0	0	0
push 1-2-3	**D**	**2440.2**	*86%*	**0.08**	*-48%*	98	10	5	11	0	2

- الإزاحات الطابقية النسبية: مبينة في الشكل(4-35)



شكل(4-35): الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F1-7) بطريقة (direct)

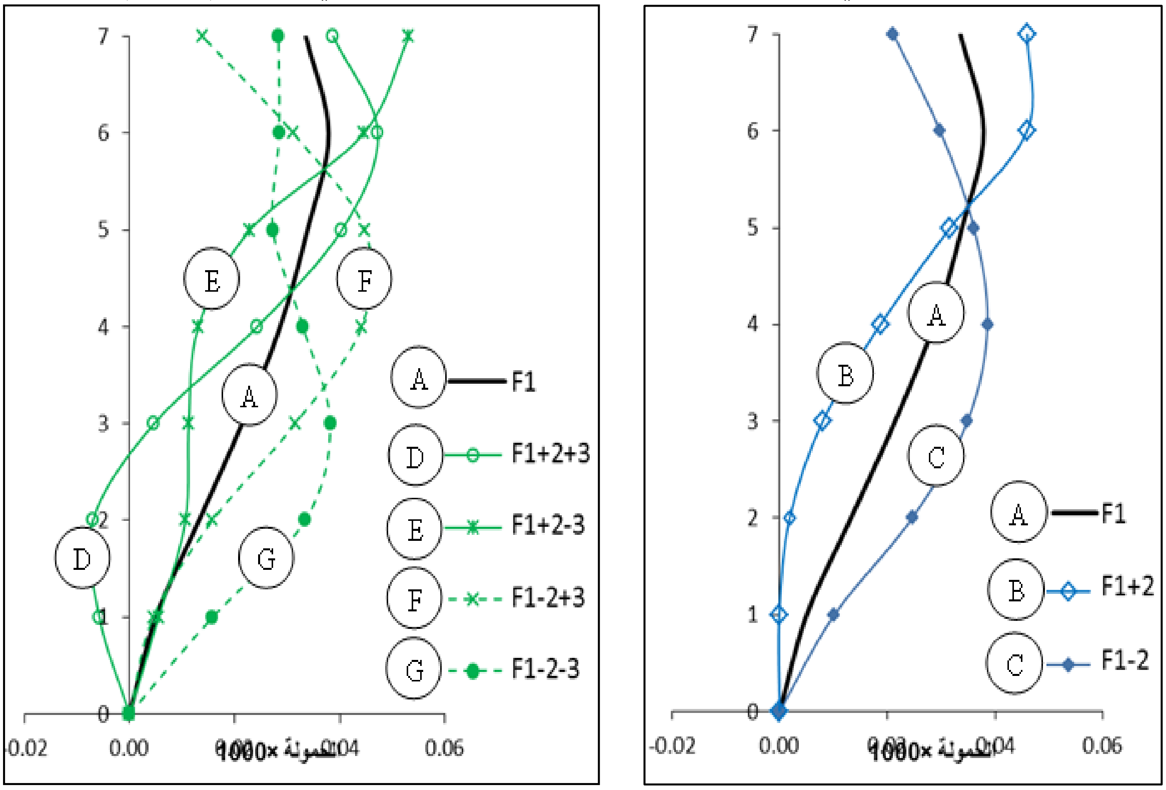
• أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في حالات التجميع الأخطر مبينة في الشكل (4−36):



شكل(4−36) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F1−7) بطريقة (direct)

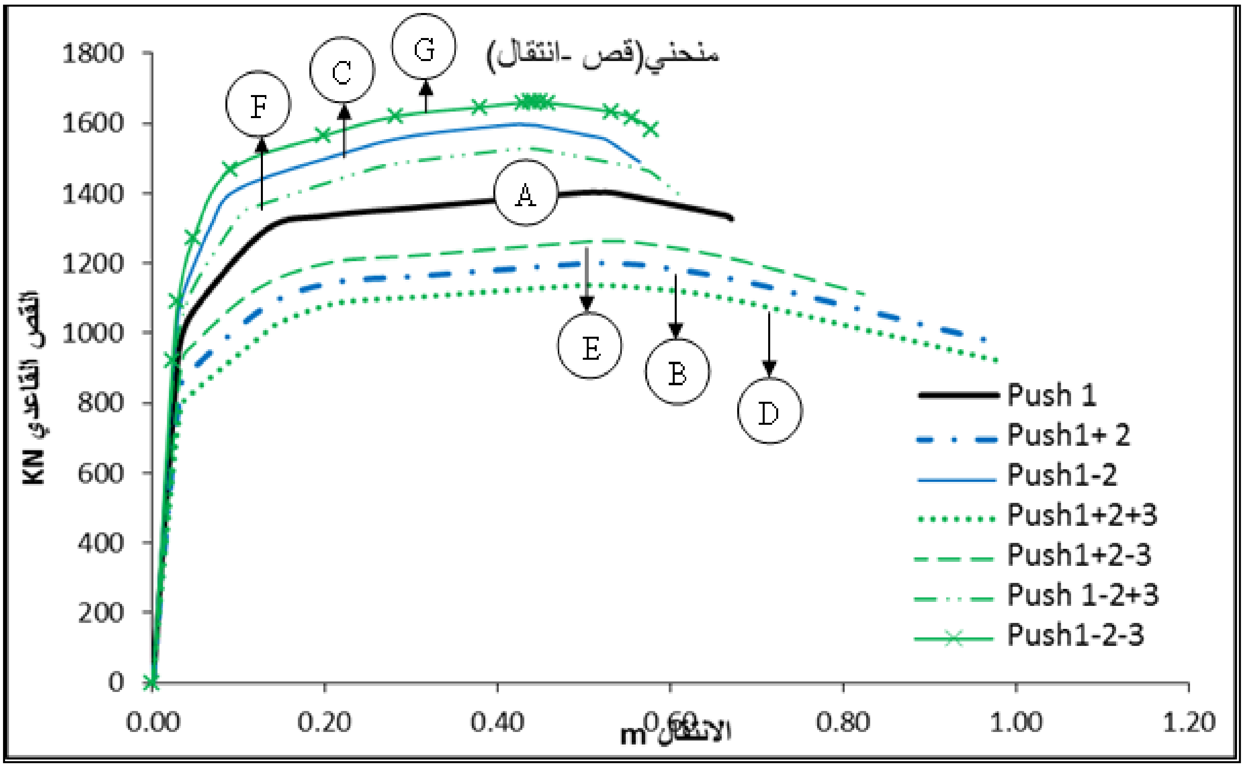
4−الطريقة المقترحة (proposed):

• الحمولات المجمعة: حسب الفقرة (4−1−4) تم حساب الحمولات الجانبية المجمعة من الأنماط الثلاثة الأولى وفق الجداول الموجودة في الملحق A . أشكال هذه الحمولات مبينة في الشكل (4−37).



شكل(4−37): الحمولات الجانبية على الإطار (F1−7) بالطريقة المقترحة (proposed)

- منحنيات الاستطاعة :مبينة في الشكل(4-38)



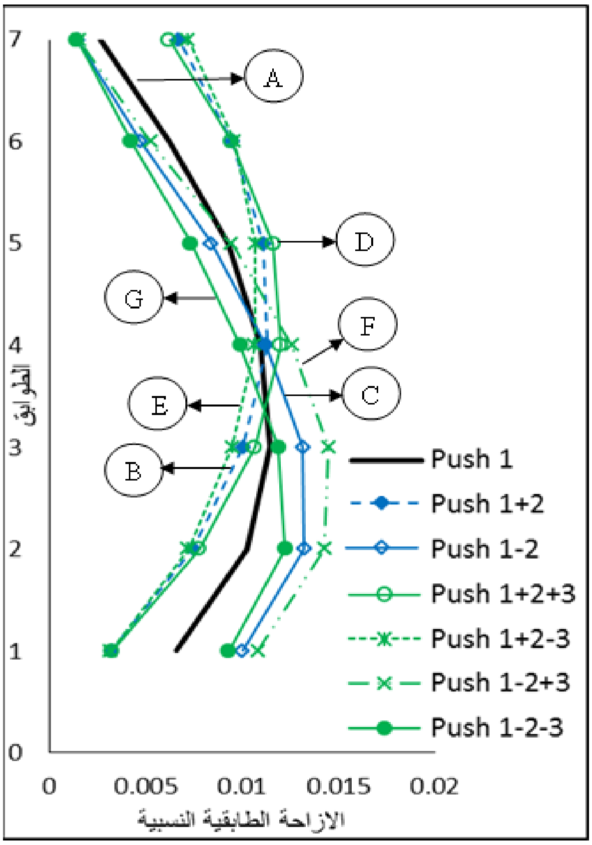
شكل(4-38) :منحنيات الاستطاعة للإطار (F1-7) بالطريقة المقترحة (proposed)

- نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء:

جدول(4-14) : نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء بالطريقة المقترحة (proposed)

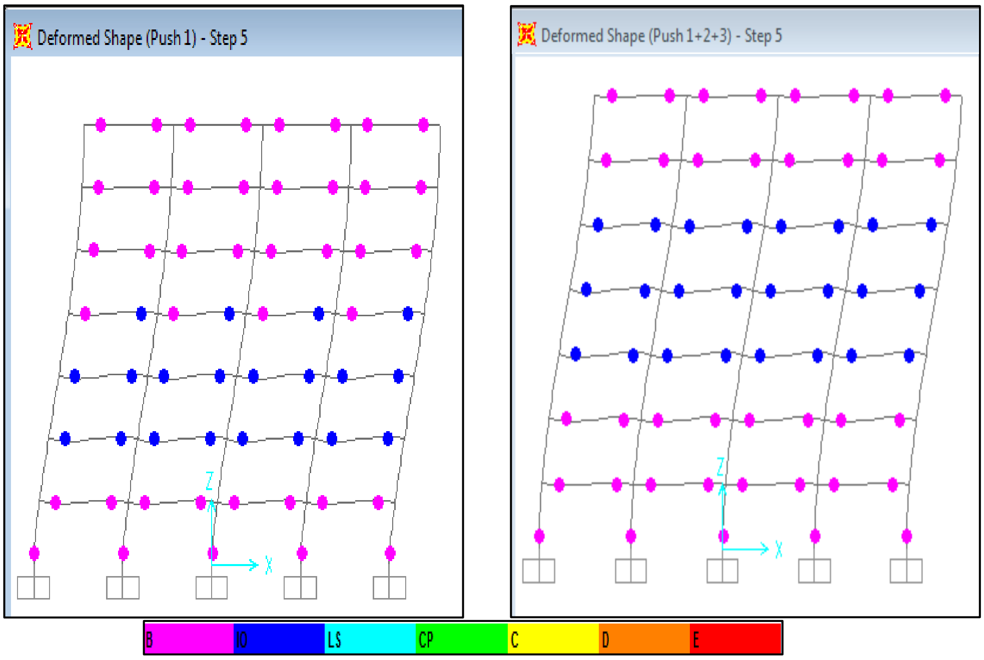
الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الأداء					
		V (KN)	%1st	δ (m)	%1st	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
push 1st mode	**A**	**1314.4**	-	**0.16**	-	65	41	20	0	0	0
push 1+2+3	**D**	**1073.7**	*-18%*	**0.2**	*21%*	65	37	24	0	0	0
push 1+2	**B**	**1127.7**	*-14%*	**0.19**	*16%*	65	39	22	0	0	0
push 1+2-3	**E**	**1181.5**	*-10%*	**0.18**	*12%*	65	45	16	0	0	0
push 1-2+3	**F**	**1388.6**	*6%*	**0.15**	*-7%*	72	17	37	0	0	0
push 1-2	**C**	**1451.2**	*10%*	**0.15**	*-10%*	72	21	33	0	0	0
push 1-2-3	**G**	**1513.5**	*15%*	**0.14**	*-13%*	72	25	29	0	0	0

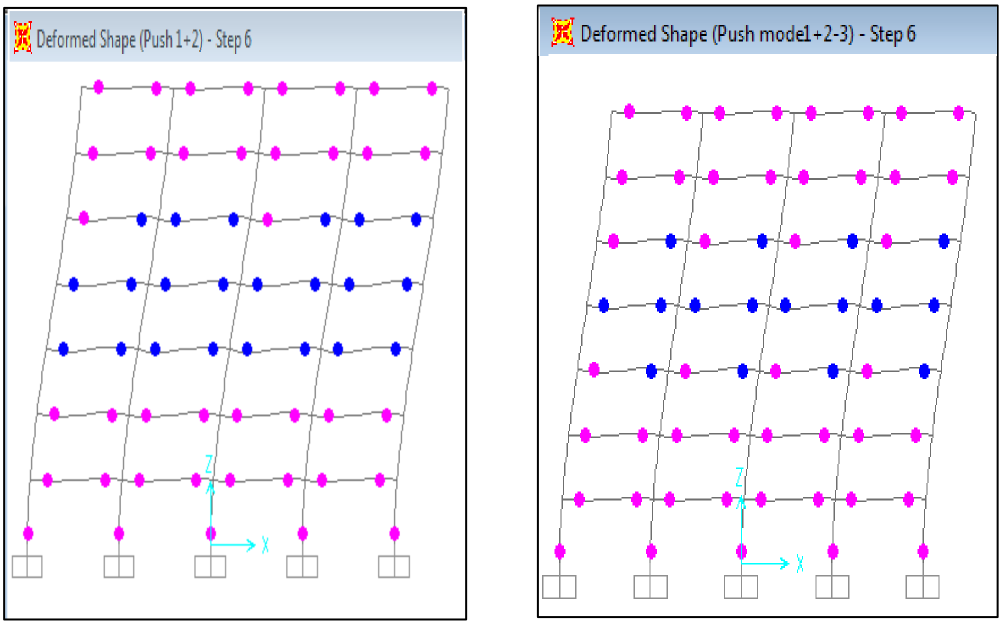
• الإزاحات النسبية الطابقية: مبينة في الشكل(4-39)



شكل(4-39) :الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F1-7) بالطريقة المقترحة (proposed)

• أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في حالات التجميع مبينة في الشكل(4-40):





شكل(4-40) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F1-7) بالطريقة المقترحة (Proposed)

4-4-2 مقارنة نتائج الإطار F1-7:

تم اختيار حالة التجميع المسببة لأكبر تخفيض في الاستطاعة في كل طريقة باعتبارها حالة التجميع الأخطر، ثم مقارنتها مع تحليل النمط الأساسي.

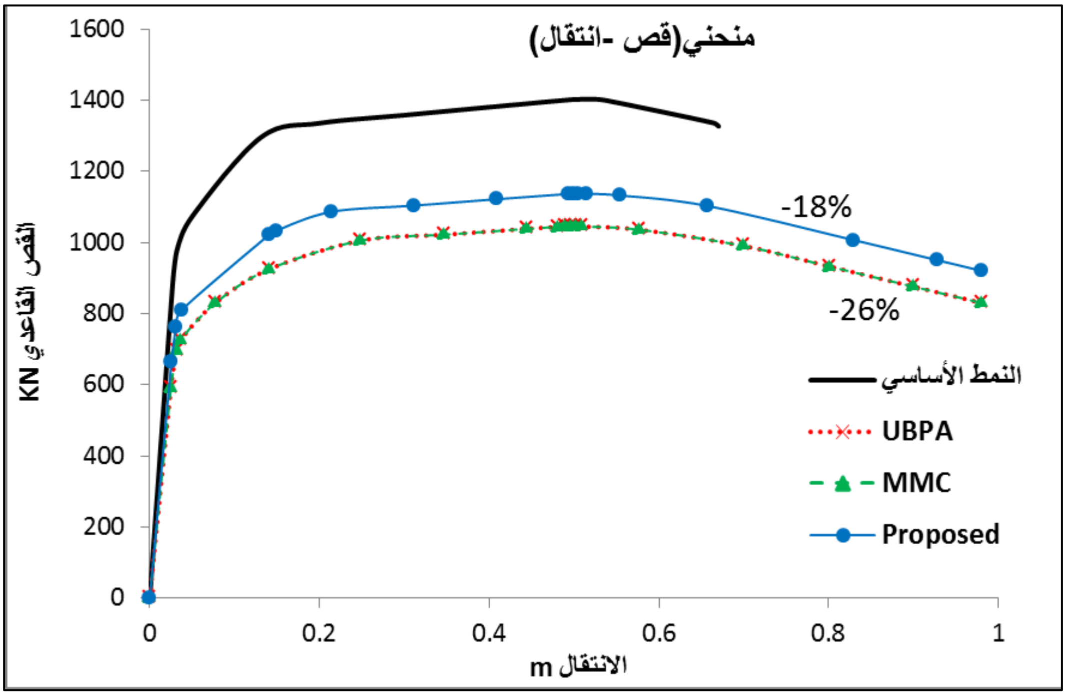
بالنسبة لطريقة التجميع المباشر Direct نلاحظ من الشكل (4-33) سيطرة شكل النمط الثاني في الحمولات B, C وشكل النمط الثالث في الحمولات D,E,F,G بشكل كبير عند، وقد سببت الحمولة E تخفيضا كبيرا في استطاعة الإطار ومضاعفة الانزياحات النسبية في الطابقين الاخيرين حوالي 3 أضعاف الجدول(4-13)، أما الحمولة D فقد سببت زيادة الاستطاعة بنسبة كبيرة وضاعفت الإنزياحات النسبية بين الطابقين الأولين. نستنتج أن هذه الصيغة بالغت كثيرا في إدخال تأثير الأنماط 2و3 مع النمط الأول ويعود ذلك إلى وجود القيمة الذاتية ω_n^2 (مربع التواتر) في حدود علاقة الحمولة الجانبية المجمعة وهذه القيمة تزداد مع زيادة مرتبة النمط بنسبة أكبر بكثير من انخفاض عامل مساهمة النمط مع زيادة مرتبته كما هو مبين في الجدول (4-9). لذلك استثنينا هذه الطريقة من مقارنة نتائج النماذج المدروسة في هذه المجموعة والمجموعة الثانية أيضاً.

- الحمولات الجانبية:

من الأشكال(4-25) و(4-29) و(4-37) نلاحظ أن تجميع النمط 2 مع 1 بإشارة متماثلة في طريقة proposed أعطى حمولة جانبية تطبق قوى دفع باتجاه واحد ولكن بشكل مختلف عن حمولة النمط الأساسي، حيث تتميز بموجتين متعاكستين مع قيم دنيا في طوابق النصف السفلي وقوى دفع

أعظمية في النصف العلوي من الاطار، أما في طريقتي UBPA و MMC فقد أدى إلى حمولة جانبية تطبق قوى دفع متعاكسة الاتجاه بين القسم العلوي والسفلي على ارتفاع المنشأ، حيث تكون قوى الدفع العظمى في الطوابق العليا. ظهر هذا الشكل بشكل أوضح في حالة تجميع الأنماط 1+2+3 بالطرائق الثلاث وهي الحمولة C بطريقة UBPA و D بطريقتي MMC والطريقة المقترحة Proposed. أما تجميع الأنماط بإشارات متعاكسة فقد أعطى حمولات جانبية ذات قوى دفع باتجاه واحد ولكنها مختلفة عن النمط الأساسي بكون القوى العظمى مركزة في مستويات مغايرة عن الطوابق العليا وهي الحمولات C وG و E بطريقتي MMC و Proposed.

- منحنيات الاستطاعة : يبين الشكل (4−41) منحنيات الاستطاعة لحالة التجميع الأخطر بكل طريقة.



شكل(4−41) :مقارنة منحنيات الاستطاعة لحالات التجميع الأخطر للإطار (F1−7) بالطرائق المعتمدة

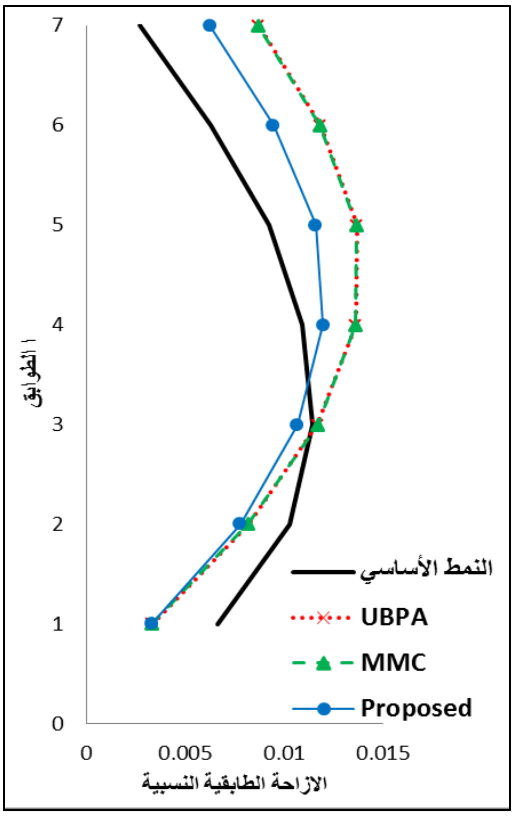
- نقطة الأداء :

جدول(4−15) :مقارنة نقطة الأداء ومستويات المفاصل اللدنة لحالات التجميع الأخطر للإطار (F1−7) بالطرائق المعتمدة

الطريقة	الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الأداء					
			V (KN)	%1st	δ (m)	%1st	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
النمط الأساسي	**1st**	**A**	**1314.4**		0.163		65	41	20	0	0	0
UBPA	**1+2+3**	**C**	**977.7**	*-26%*	**0.21**	*29%*	64	30	32	0	0	0
MMC	**1+2+3**	**D**	**977.7**	*-26%*	**0.21**	*29%*	64	30	32	0	0	0
Proposed	**1+2+3**	**D**	**1073.7**	*-18%*	**0.2**	*21%*	65	37	24	0	0	0

نلاحظ أن تجميع النمط الثاني مع الأول في الحمولة الجانبية سبب انخفاضا في الاستطاعة وفي قيمة القص القاعدي بنسبة بلغت 20% في MMC,UBPA و14 % بطريقة Proposed، وسبب زيادة في الانتقال الجانبي بنسبة21% في MMC,UBPA و16% بطريقة Proposed. أما تجميع النمط الثالث مع الأول والثاني أدى إلى انخفاض أكبر في الاستطاعة وفي قيمة القص القاعدي بنسبة بلغت 26% في MMC,UBPA و18 % بطريقة Proposed، وإلى زيادة في الانتقال الجانبي بنسبة29% في MMC,UBPA و21% بطريقة Proposed ويمكن اعتبار هذه الحالة من التجميع هي الأخطر في الطرائق الثلاث وهي متعلقة بشكل الحمولة الجانبية المرافق والموصوف أعلاه. أما الحمولات الناتجة عن التجميع بإشارات متعاكسة فقد سببت زيادة استطاعة الإطار وانخفاض قابليته للانتقال الجانبي وأدت إلى تقسية سلوكه اللاخطي، لذلك فإن هذا الشكل من الحمولات لا يؤخذ في الاعتبار عند التصميم والتقييم المعتمد على الأداء.

- <u>الإزاحة النسبية الطابقية:</u>



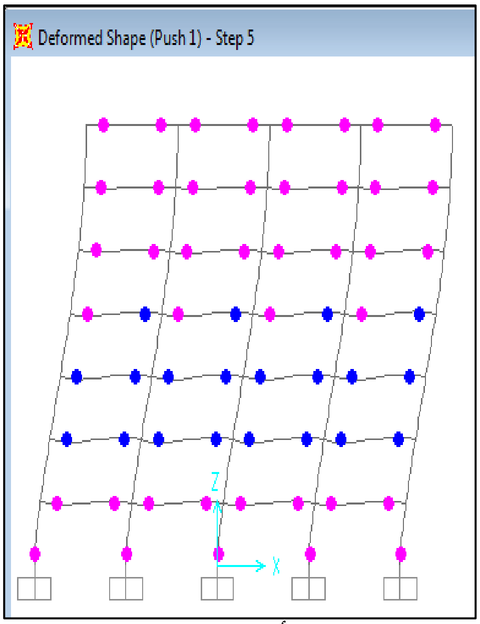
شكل(4-42) :الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F1-7) للحالات الأخطر

ترافق انخفاض استطاعة الإطار مع زيادة الإزاحات النسبية بين طوابق القسم العلوي منه، كما ترافقت تقسية سلوك الاطار بانخفاض عام في الإزاحات النسبية الطابقية خاصة بين طوابق النصف العلوية.

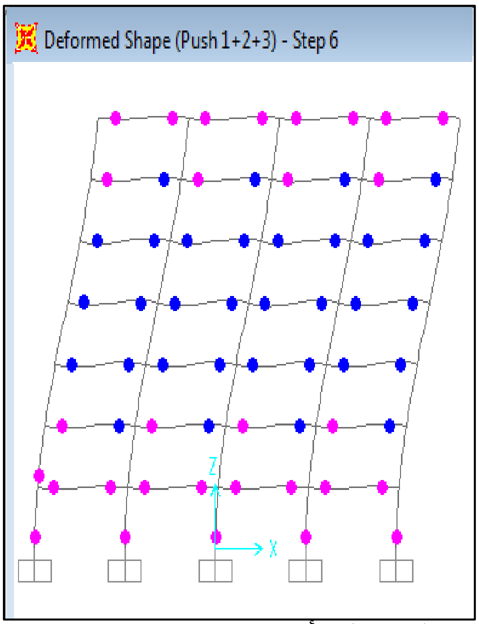
الشكل(4-42) يبين أن الحالات الاخطر من حيث الاستطاعة سببت زيادة الإزاحات النسبية بين طوابق القسم العلوي ونقصانها في القسم السفلي، وذلك نتيجة مشاركة الأنماط 2 و3 مع1 في الاستجابة.

- <u>أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها</u> :

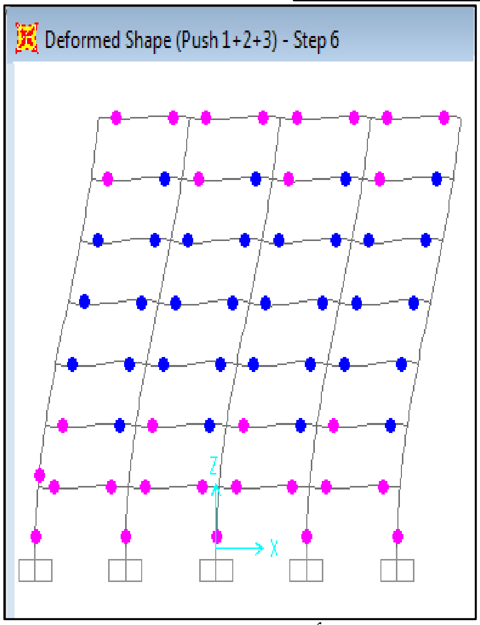
من الجدول (4-15) نجد أن الحمولات الأخطر أدت إلى وصول عدد أكبر من المفاصل اللدنة إلى مستوى أمان الحياة LS وبلغت الزيادة 12 مفصل في طريقتي UBPA و MMC. من الأشكال (4-43) إلى(4-46) نجد أن هذه المفاصل شملت جيزان الطابق الأول. إلا أن الإطار بشكل عام لم يتجاوز مستوى الأداء الذي وصل اليه في حالة النمط الأساسي ولم يبلغ مستوىLS.



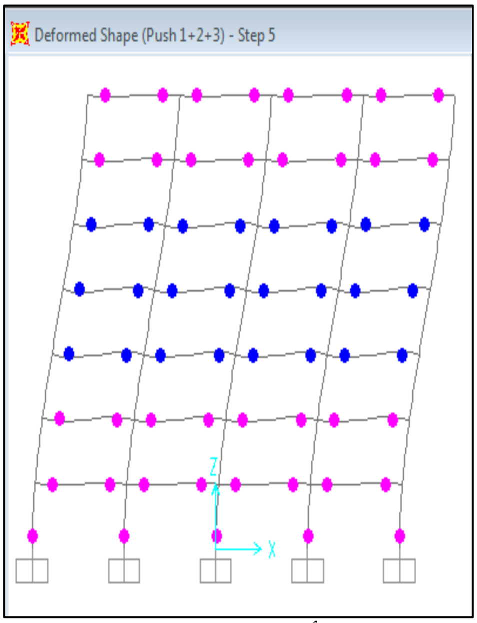
شكل(4-43) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار بطريقة (F1-7)حسب النمط الأساسي



شكل(4-44) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F1-7) بطريقة (UBPA) بالحالة الأخطر



شكل(4-45) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F1-7)بطريقة MMC بالحالة الأخطر



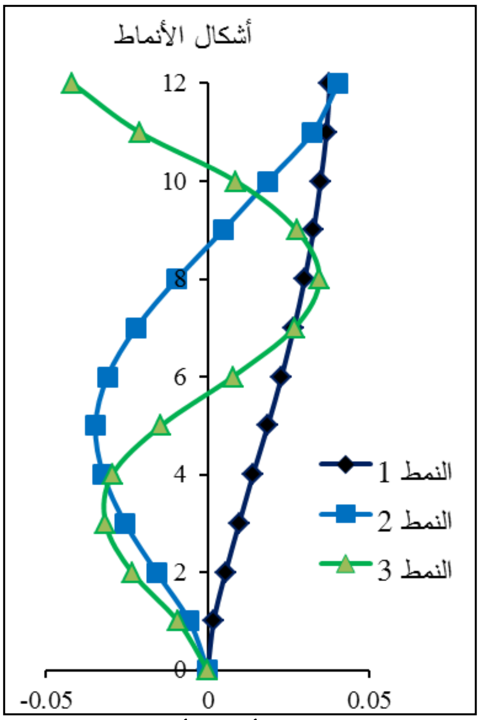
شكل(4-46) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F1-7)بطريقةProposed بالحالة الأخطر

4-4- 3 نتائج الإطار (F2-12):

- نتائج تحليل الاهتزاز الحر:

جدول(4-16) :الخصائص الديناميكية للإطار (F2-12)

النمط	الدور T (sec)	القيم الذاتية ω^2	عامل مساهمة الكتلة %	مجموع مساهمة الكتلة %	عامل المساهمة النمطي(Γ)
1	1.31	22.714	76.7	76.7	35.143
2	0.44	202.5	10.7	87.4	13.129
3	0.25	596.55	4.2	91.6	8.235



شكل(4-47) :أشكال أنماط الاهتزاز

1-طريقة(UBPA):

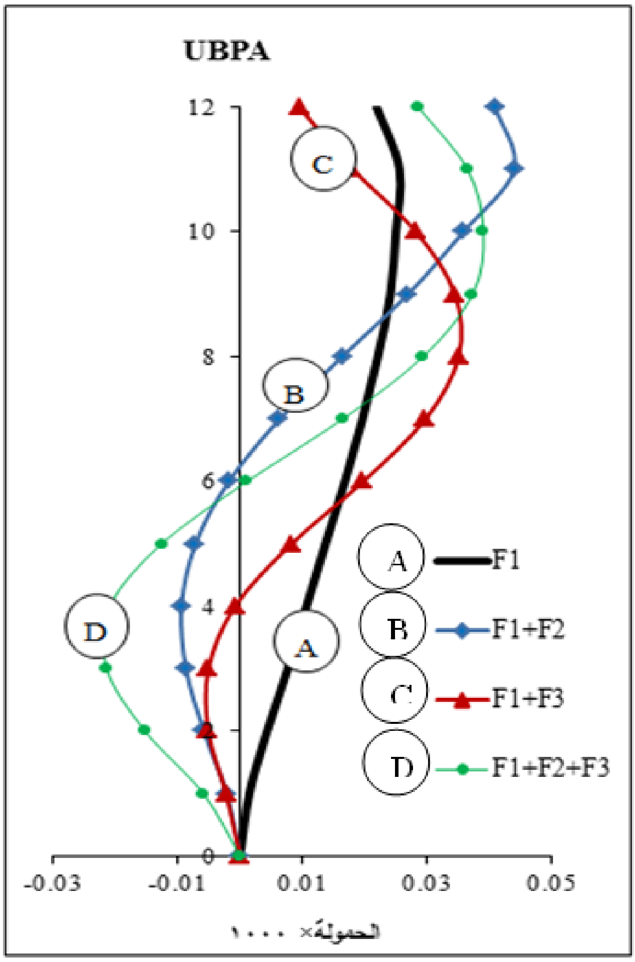
- الحمولات المجمعة: حسب الفقرة (4-1-1)

جدول(4-17) :العوامل المستخدمة في تشكيل الحمولة الجانبية بطريقة UBPA

النمط	ω^2	A n	Γn	Dn	|Γ .Dn|
1	22.714	0.412	35.143	0.018	0.637
2	202.500	0.900	13.129	0.004	0.058
3	596.550	0.900	8.238	0.002	0.012

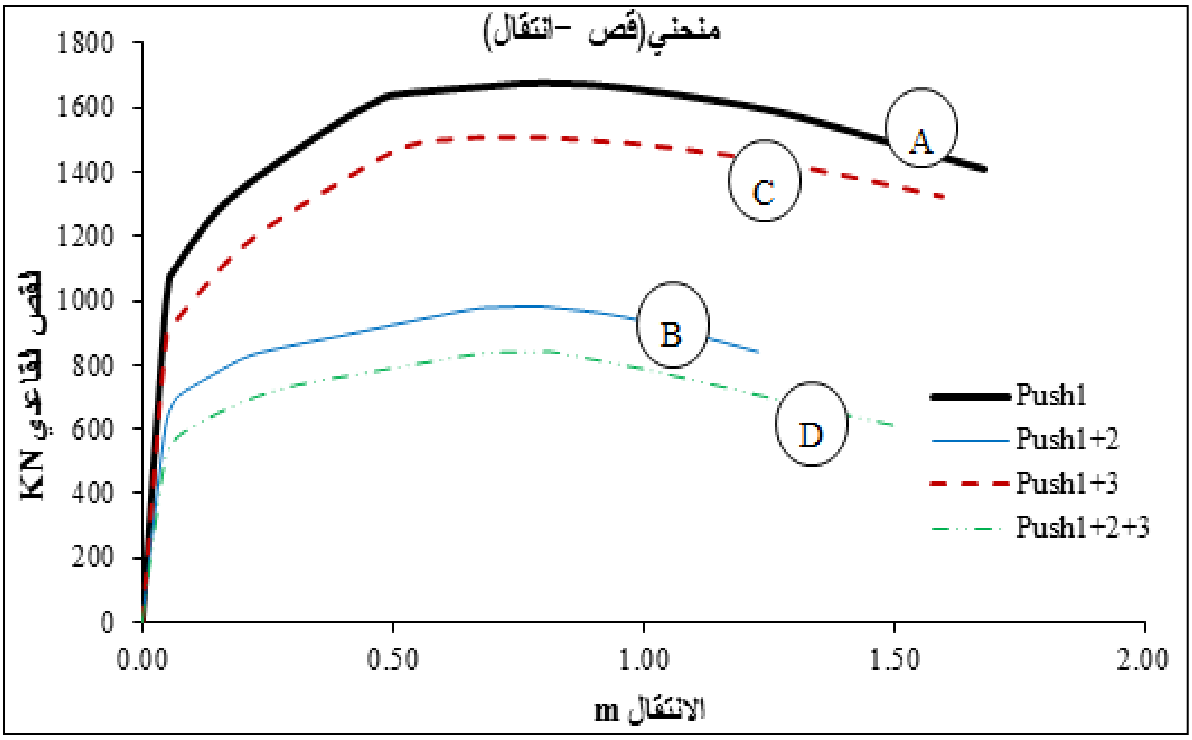
$$(\frac{q_2}{q_1})_{UB} = \left|\frac{\Gamma_2 D_2}{\Gamma_1 D_1}\right| = 0.092$$

$$\left(\frac{q_3}{q_1}\right)_{UB} = \left|\frac{\Gamma_3 D_3}{\Gamma_1 D_1}\right| = 0.02$$



شكل(4-48) :الحمولات الجانبية على الإطار (F2-12) بطريقة (UBPA)

- منحنيات الاستطاعة:



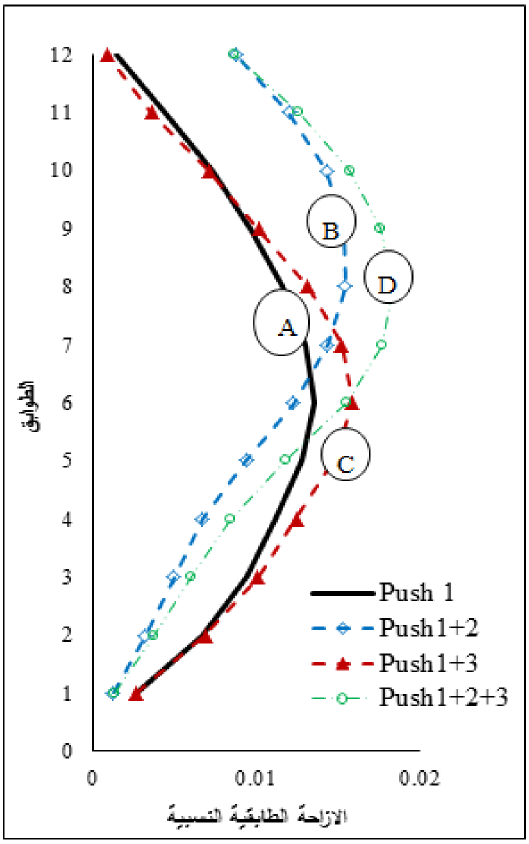
شكل(4-49) :منحنيات الاستطاعة للإطار (F2-12) بطريقة (UBPA)

- نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء:

جدول(4−18) : نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء بطريقة UBPA

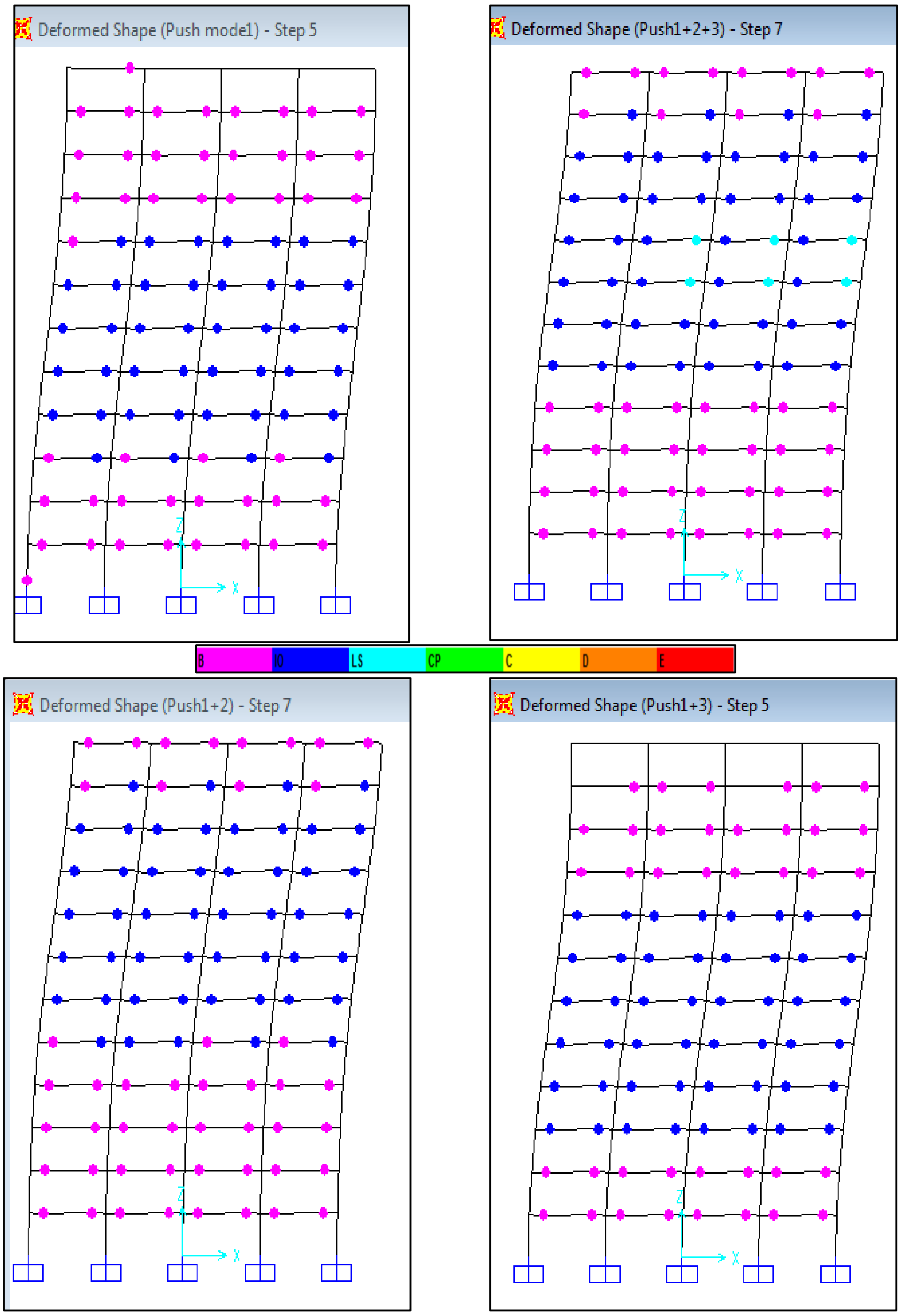
الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				دد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الأداء					
		V (KN)	%1st	δ (m)	%1st	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
push 1st mode	**A**	**1411.4**	-	**0.26**	-	126	47	43	0	0	0
push 1+2+3	**D**	**769.17**	*-46%*	**0.43**	*63%*	120	44	46	6	0	
push 1+2	**B**	**883.02**	*-37%*	**0.37**	*43%*	120	47	49	0	0	0
push 1+3	**C**	**1258**	*-11%*	**0.29**	*10%*	130	38	48	0	0	0

- الإزاحة النسبية الطابقية:



شكل(4−50) :الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F2−12) بطريقة (UBPA)

• أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في حالات التجميع الأخطر، وحالة النمط الأساسي مبينة في الشكل(4–51):

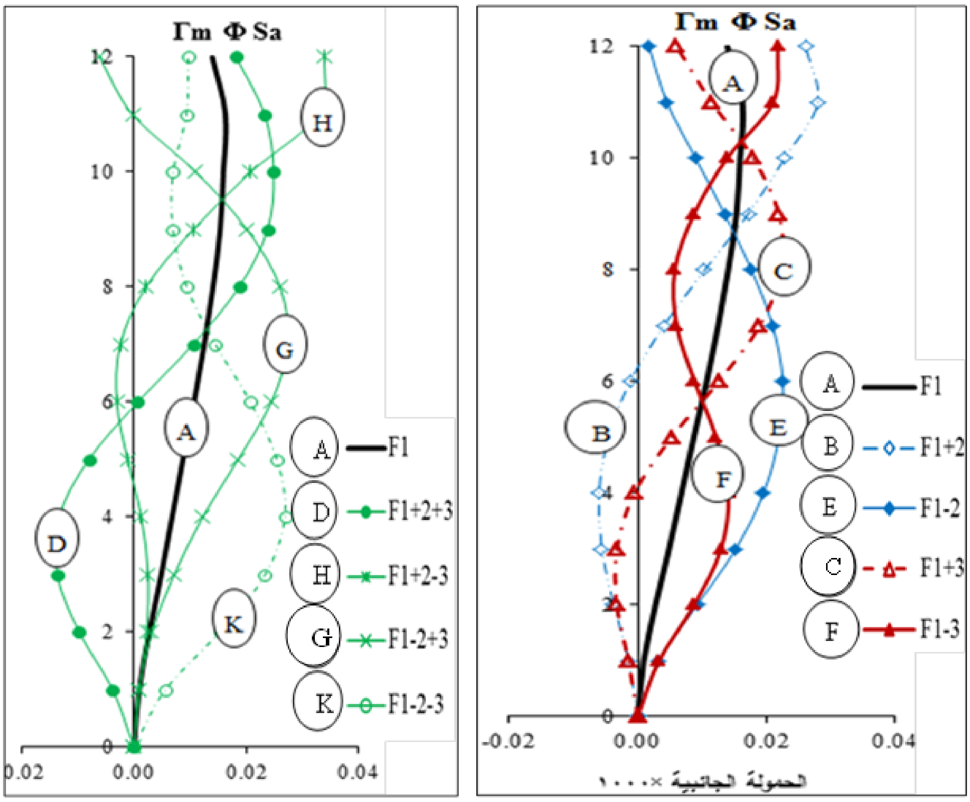


شكل(4–51) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2-12)بطريقة (UBPA)

2–طريقة (MMC):

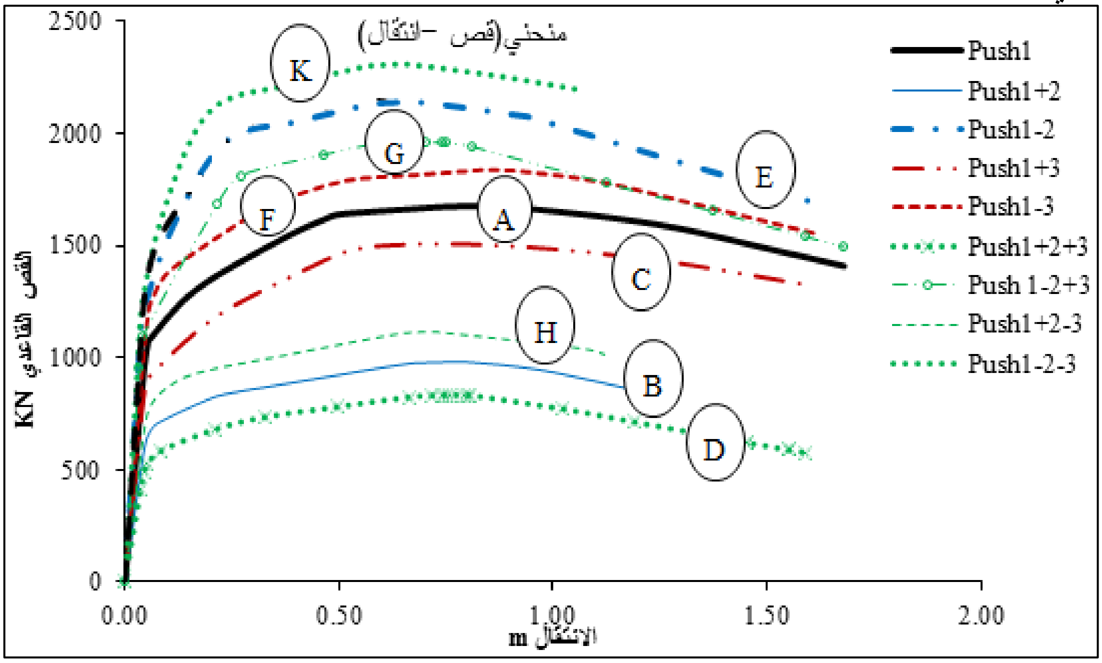
- الحمولات المجمعة: حسب الفقرة (4–1–2) والتسارع الطيفي المستخدم في صيغة الحمولة الجانبية للأنماط الثلاثة الأولى.

النمط	1	2	3
Sa	0.412	0.900	0.900



شكل(4–52): الحمولات الجانبية على الإطار (F2–12) بطريقة (MMC)

- منحنيات الاستطاعة:



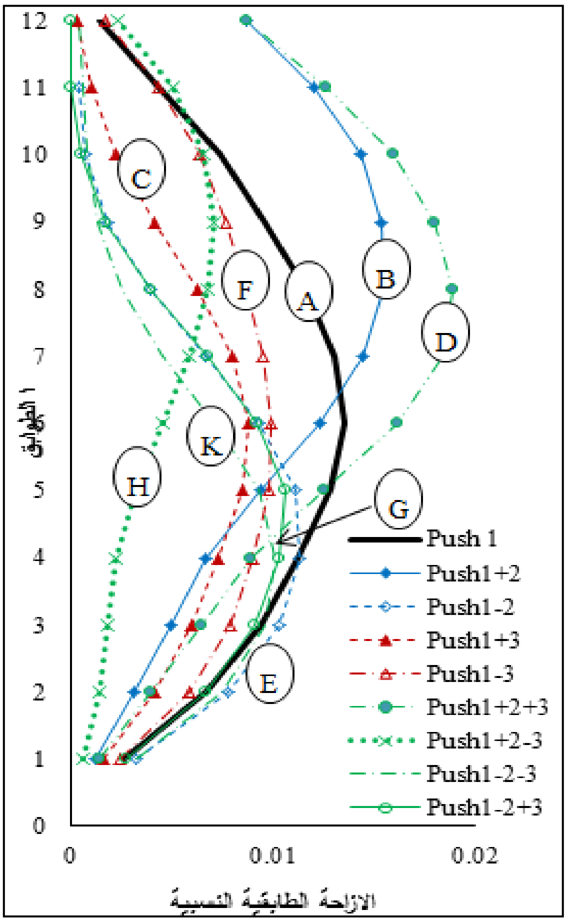
شكل(4–53): منحنيات الاستطاعة للإطار (F2–12)بطريقة (MMC)

- نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء :

جدول(4−19) : نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء بطريقة MMC

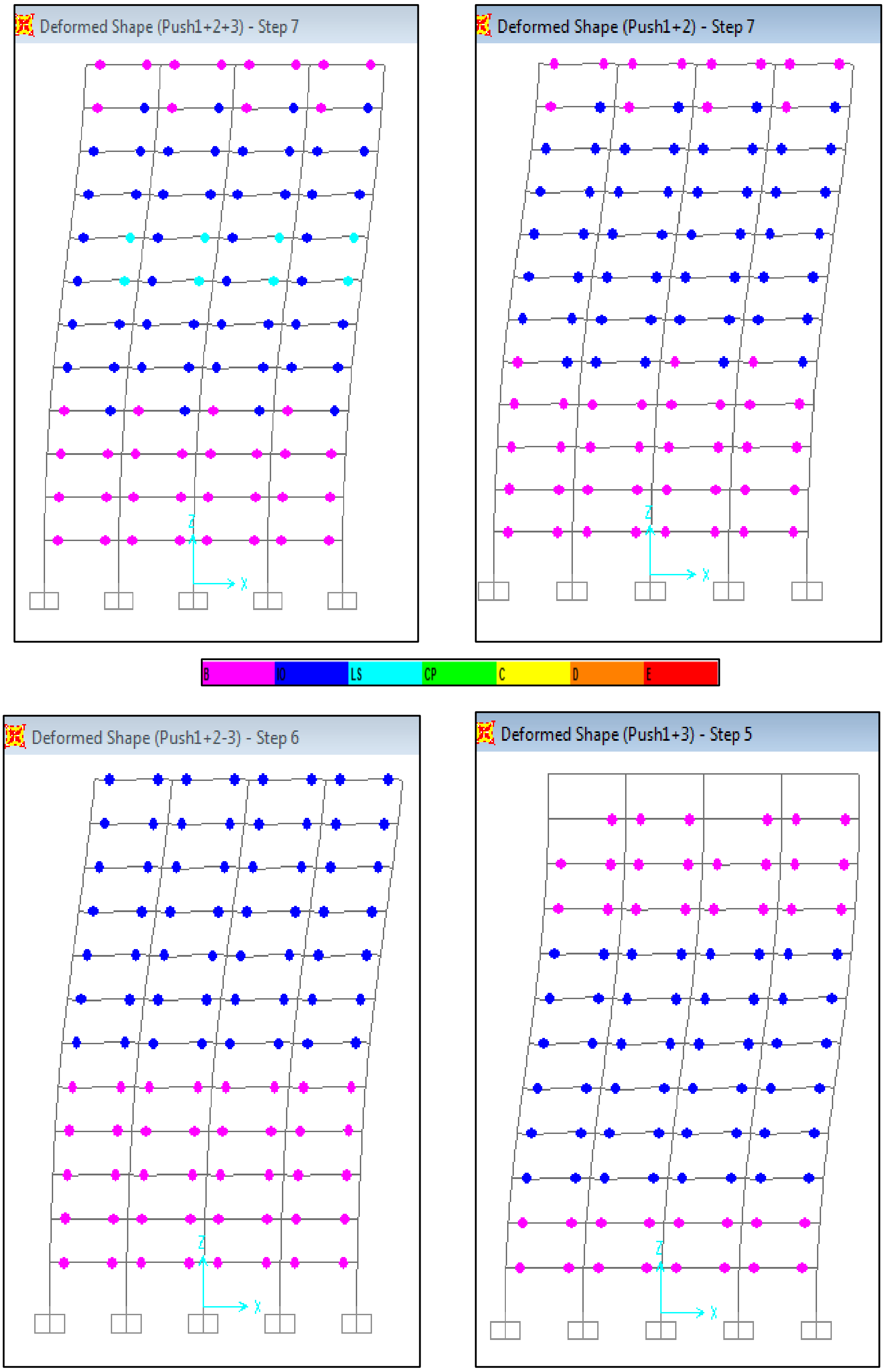
الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الأداء					
		V (KN)	%1st	δ (m)	%1st	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
push 1st mode	**A**	**1411.4**	-	**0.26**	-	126	47	43	0	0	0
push 1+2+3	**D**	**763.59**	*-46%*	**0.43**	*64%*	120	40	48	8	0	0
push 1+2	**B**	**883.02**	*-37%*	**0.37**	*43%*	120	47	49	0	0	0
push 1+2-3	**H**	**994.48**	*-30%*	**0.33**	*27%*	120	40	56	0	0	0
push 1+3	**C**	**1258**	*-11%*	**0.29**	*10%*	130	38	48	0	0	0
push 1-3	**F**	**1573.5**	*11%*	**0.25**	*-6%*	126	86	4	0	0	0
push 1-2+3	**G**	**1724.2**	*22%*	**0.23**	*-11%*	151	54	11	0	0	0
push 1-2	**E**	**1895.5**	*34%*	**0.21**	*-19%*	145	51	20	0	0	0
push 1-2-3	**K**	**2102.8**	*49%*	**0.2**	*-23%*	148	61	7	0	0	0

- الإزاحة النسبية الطابقية:



شكل(4−54) :الازاحة النسبية الطابقية للإطار (F2−12) بطريقة (MMC)

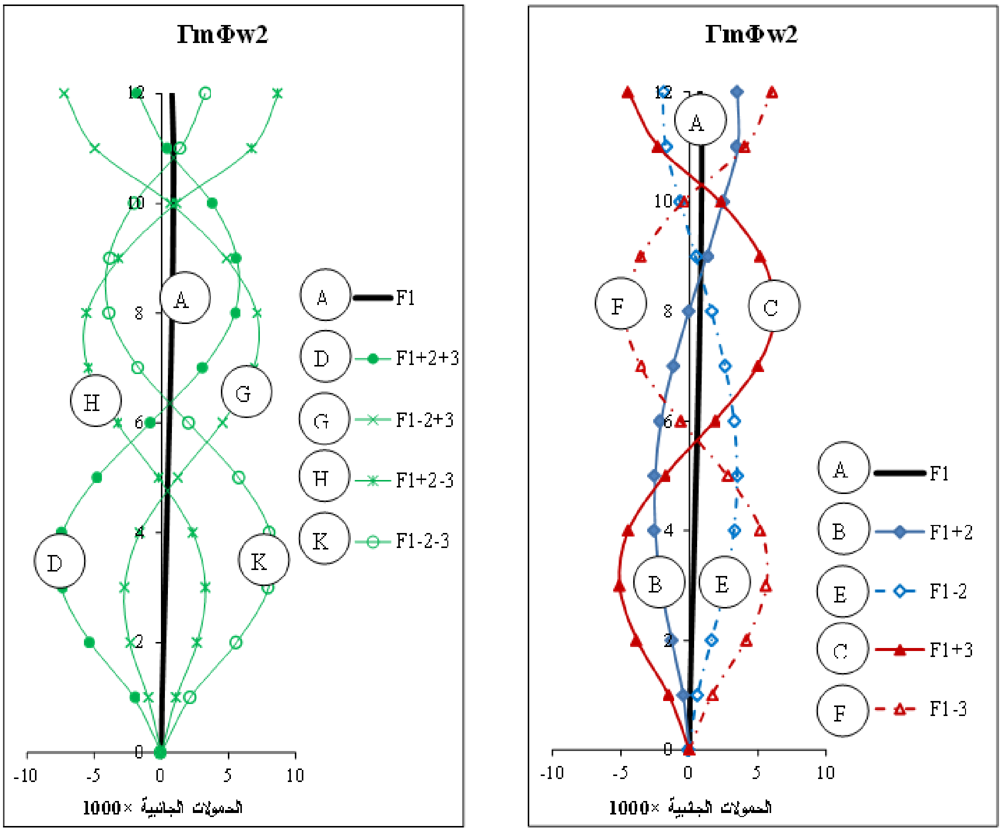
• أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في حالات التجميع الأخطر مبينة في الشكل(4−55):



شكل(4−55) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2−12) بطريقة (MMC)

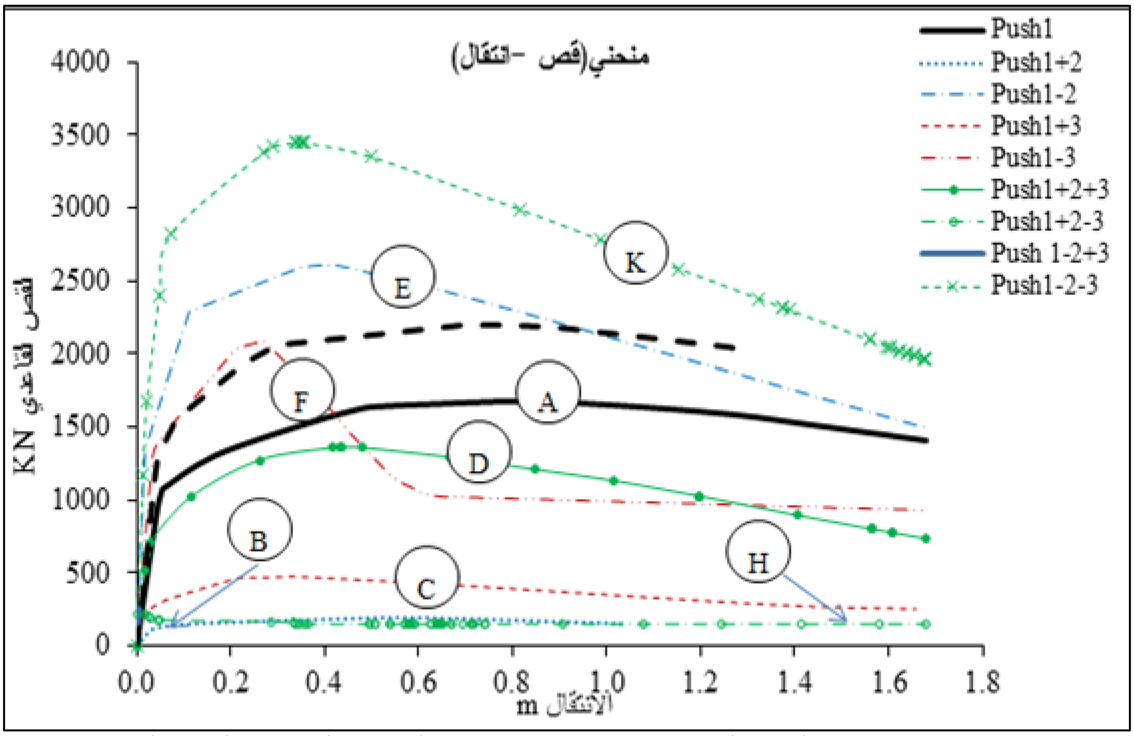
3-طريقة التجميع المباشر(direct):

- الحمولات المجمعة: حسب الفقرة (4-1-3).



شكل(4-56): الحمولات الجانبية على الإطار (F2-12) بطريقة (direct)

- منحنيات الاستطاعة :



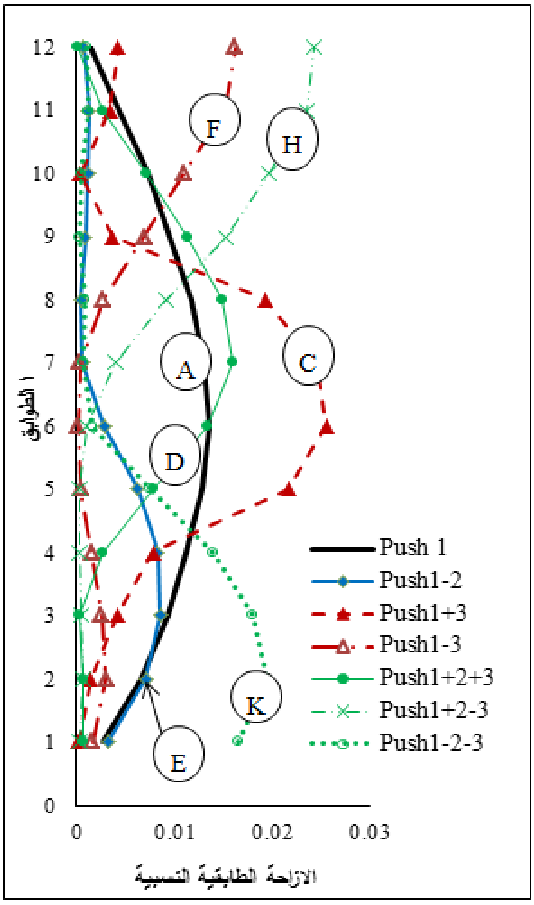
شكل(4-57): منحنيات الاستطاعة للإطار (F1-7) بطريقة (direct)

- نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء :

جدول(4–20) : نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء بطريقة (direct)

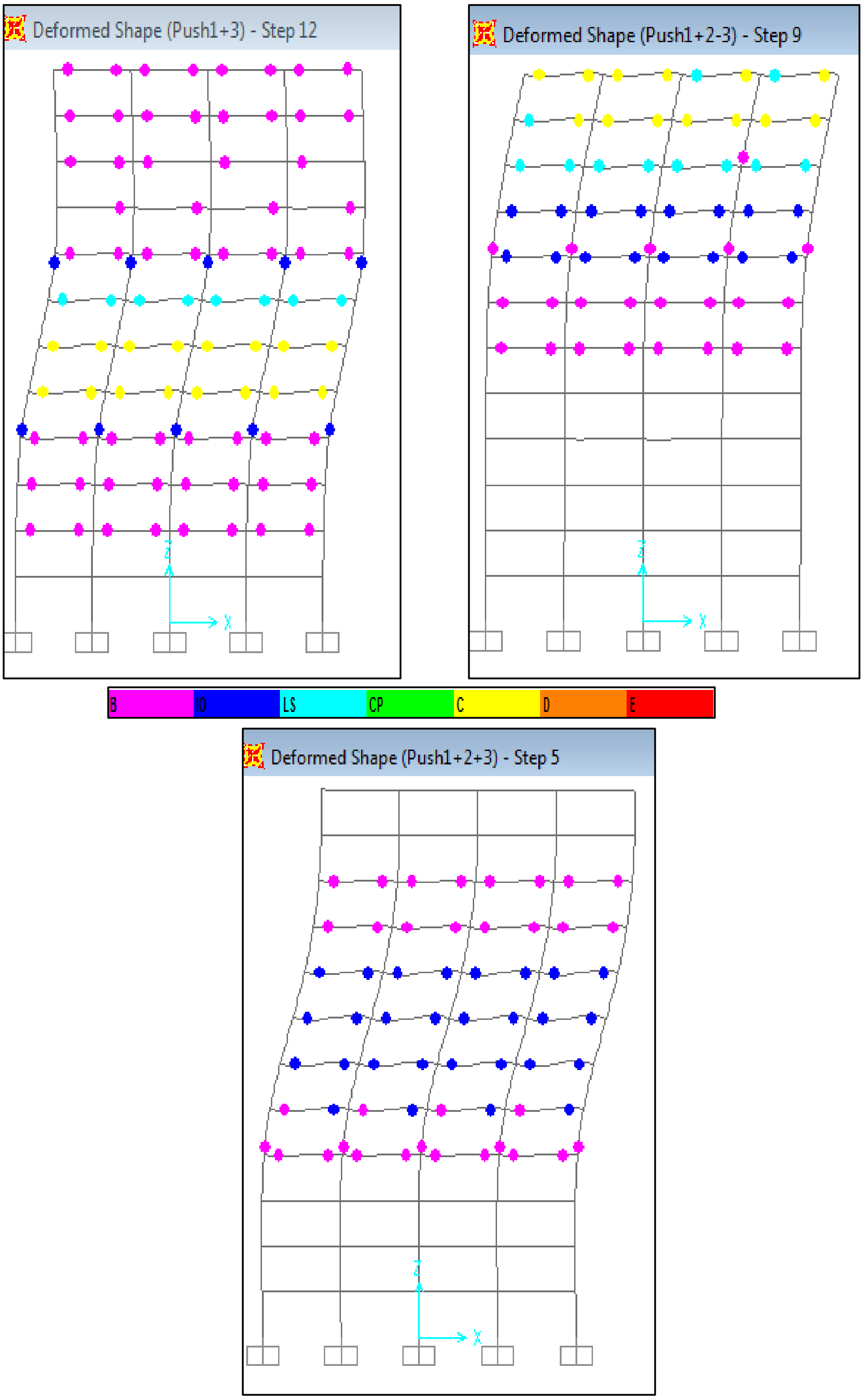
الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء					
		V (KN)	%1st	δ (m)	%1st	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
push 1st mode	**A**	**1411.4**	-	**0.26**	-	126	47	43	0	0	0
push 1+3	**C**	**439.5**	*-69%*	**0.55**	*112%*	125	57	10	8	0	16
push 1+2-3	**H**	**658.25**	*-53%*	**0.35**	*34%*	154	22	16	11	0	13
push 1+2+3	**D**	**1165.3**	*-17%*	**0.2**	*-24%*	155	33	28	0	0	0
push 1-3	**F**	**2069.2**	*47%*	**0.25**	*-5%*	147	45	24	0	0	
push 1-2	**E**	**2350.3**	*67%*	**0.16**	*-39%*	159	57	0	0	0	0
push 1-2-3	**K**	**2987.7**	*112%*	**0.13**	*-49%*	164	15	29	8	0	0

- الازاحة الطابقية النسبية:



شكل(4–58) :الازاحة النسبية الطابقية للإطار (F2–12)بطريقة (direct)

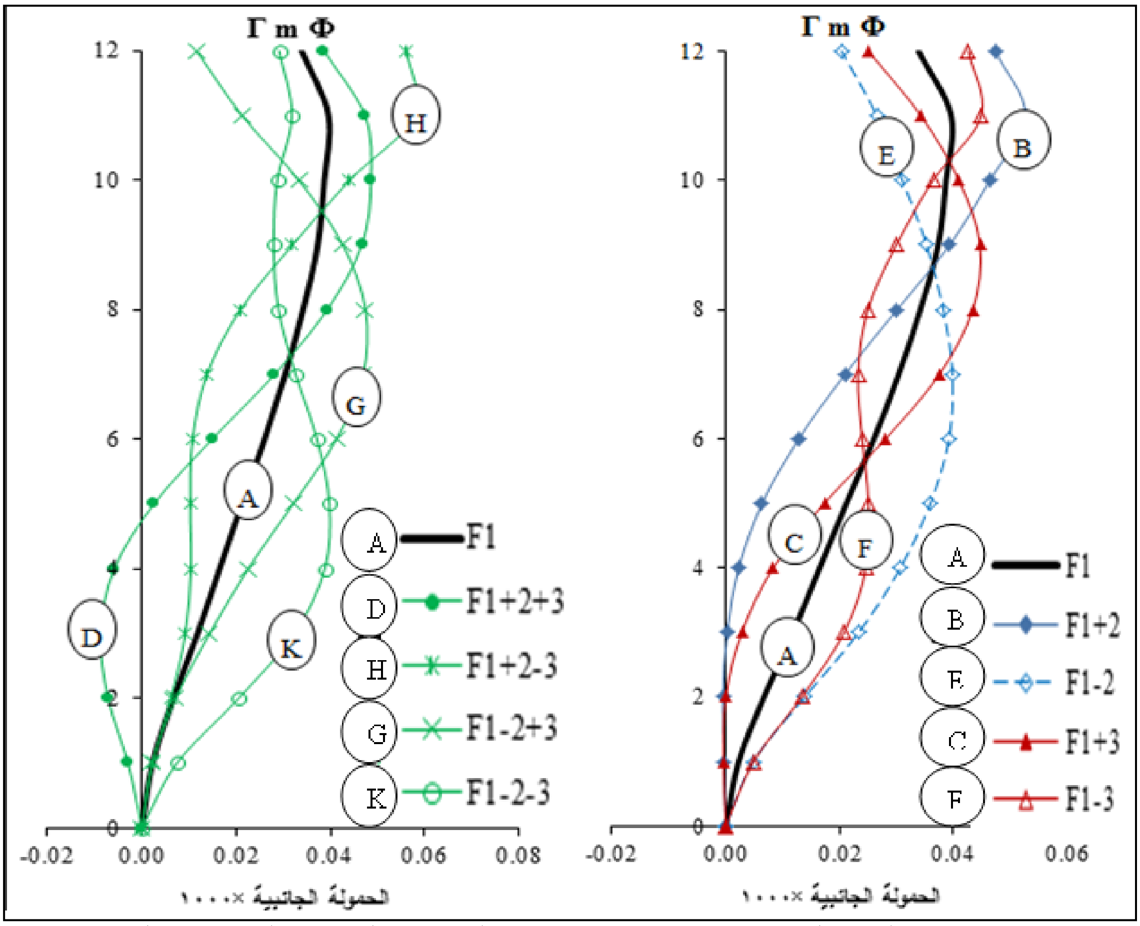
• أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في حالات التجميع الأخطر مبينة في الشكل(4−59):



شكل(4−59) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2−12) بطريقة (direct)

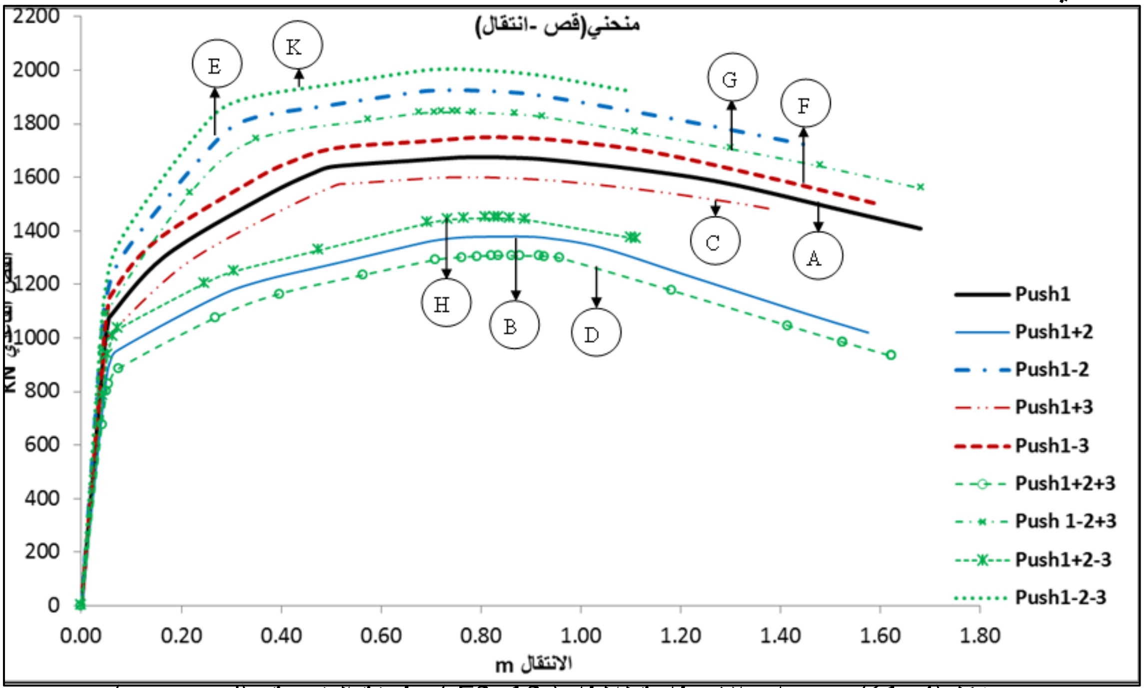
4-الطريقة المقترحة (proposed):

- الحمولات المجمعة: حسب الفقرة (4-1-4)



شكل(4-60): الحمولات الجانبية على الإطار (F2-12) بطريقة (proposed)

- منحنيات الاستطاعة :



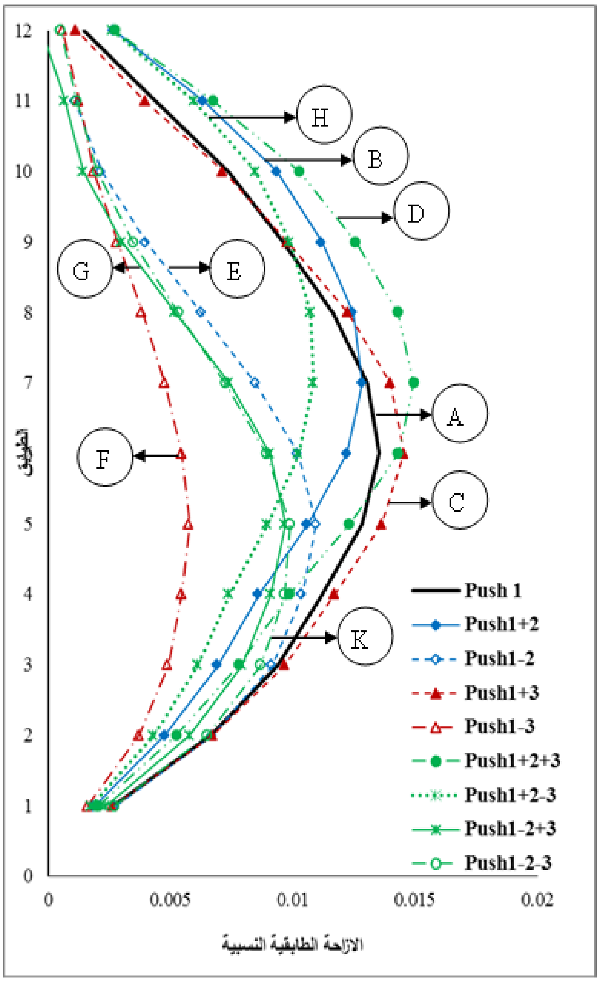
شكل(4-61): منحنيات الاستطاعة للإطار (F2-12) بطريقة المقترحة (proposed)

- نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء :

جدول(4−21) : نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء بالطريقة المقترحة (proposed)

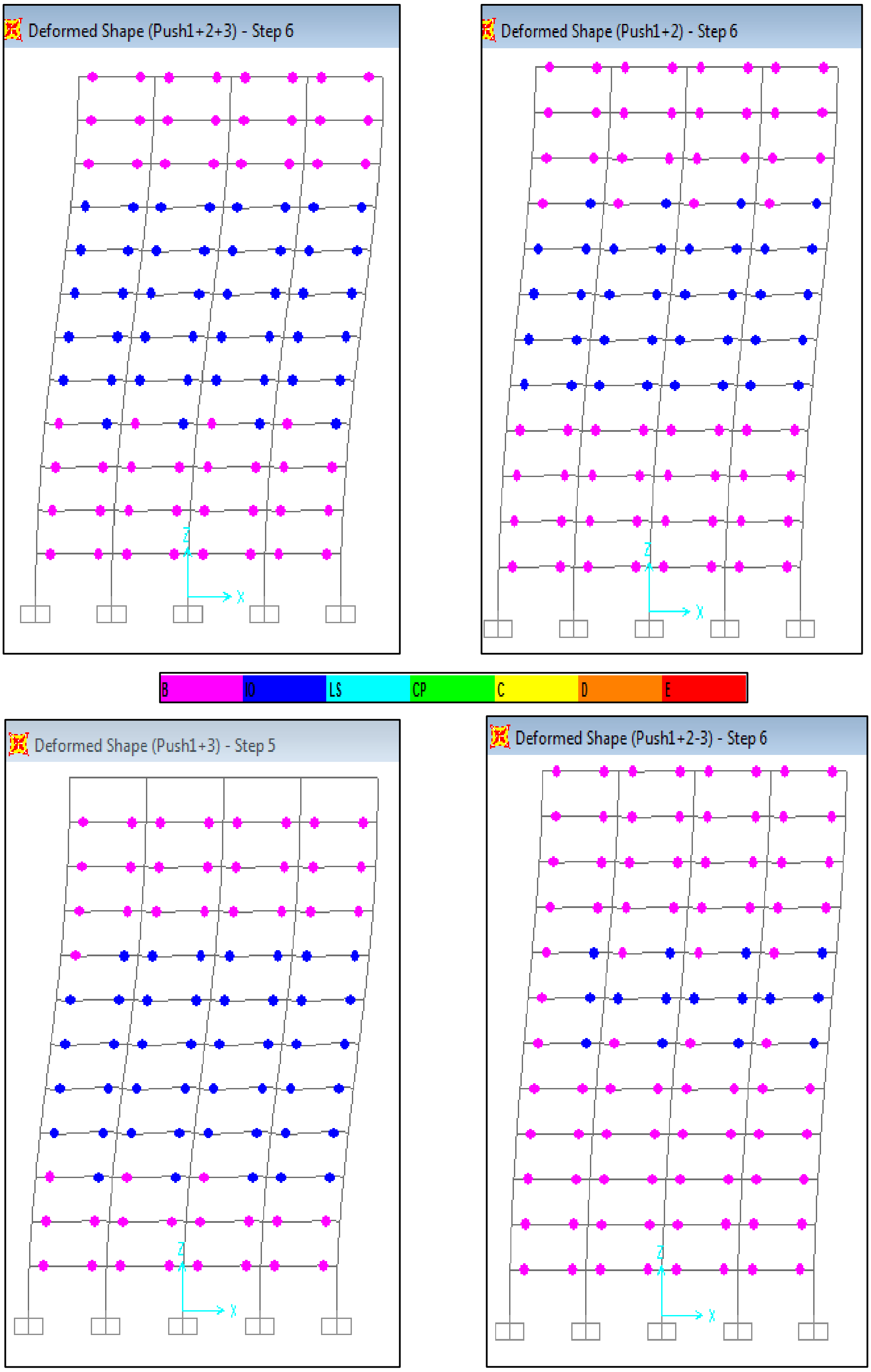
الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء					
		V (KN)	%1st	δ (m)	%1st	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
push 1	A	1411.37	-	0.26	-	126	47	43	0	0	0
push 1+2+3	D	1110.1	-21%	0.32	21%	120	52	44	0	0	0
push 1+2	B	1174.7	-17%	0.3	16%	120	60	36	0	0	0
push 1+2-3	H	1238.7	-12%	0.29	12%	120	81	15	0	0	0
push 1+3	C	1344	-5%	0.27	5%	128	44	44	0	0	0
push 1-3	F	1482.9	5%	0.25	-3%	138	78	0	0	0	0
push 1-2+3	G	1583.5	12%	0.25	-6%	142	74	0	0	0	0
push 1-2	E	1661.1	18%	0.24	-10%	136	68	12	0	0	0
push 1-2-3	K	1756.7	24%	0.23	-12%	137	76	3	0	0	0

- الإزاحة النسبية الطابقية:



شكل(4−62) :الازاحة النسبية الطابقية للإطار (F2−12) بطريقة المقترحة (proposed)

- أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في حالات التجميع مبينة في الشكل(4–63):



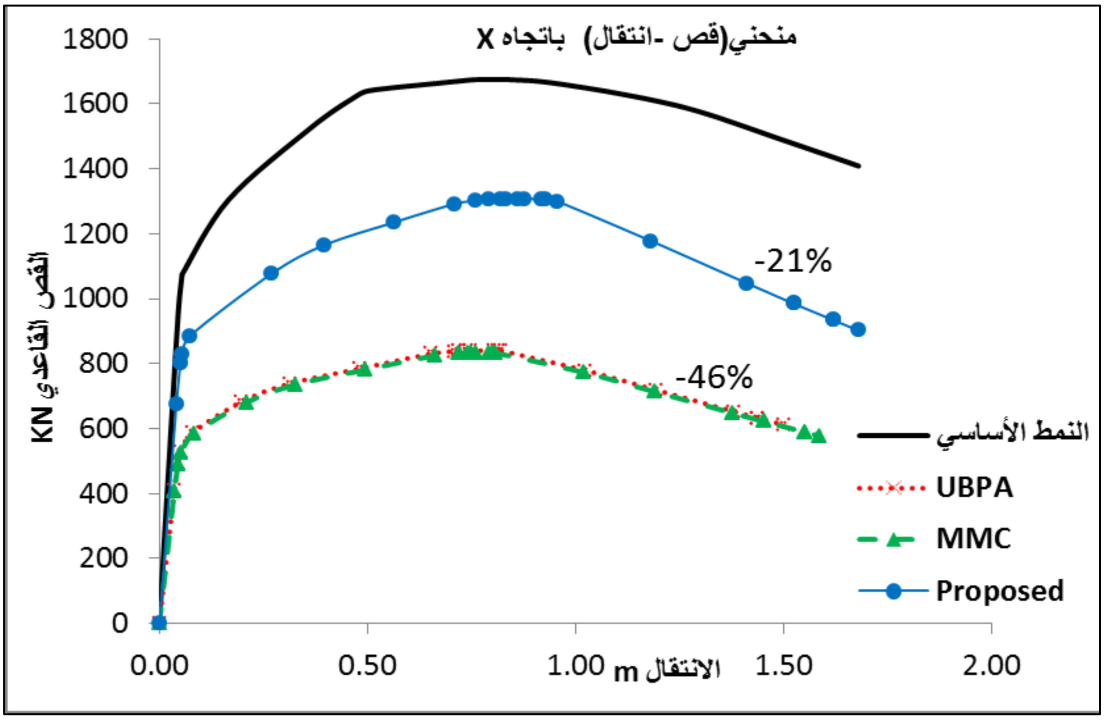
شكل(4–63) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2–12) بطريقة المقترحة(proposed)

4-4-4 مقارنة نتائج الإطار F2-12:

- الحمولات الجانبية:

نلاحظ من الأشكل(4-48)و(4-52)و(4-60) أن تجميع النمطين الأولين وتجميع الأنماط الثلاث الأولى أعطى أشكال حمولات مشابهة للحمولات في النموذج السابق مع زيادة في تأثير شكل النمطين 2 و3 خاصة في الشكل D الموافق لحالة التجميع 1+2+3 في الطرائق الثلاث.

- منحنى الاستطاعة:



شكل(4-64) :مقارنة منحنيات الاستطاعة لحالات التجميع الأخطر للإطار(F2-12) بالطرائق المعتمدة

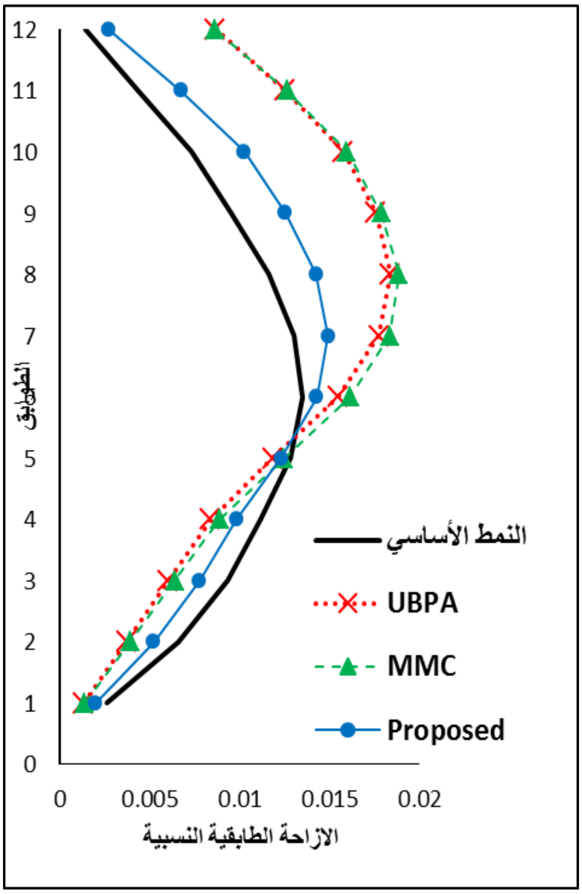
- نقطة الأداء :

جدول(4-22) :مقارنة نقطة الأداء ومستويات المفاصل اللدنة لحالات التجميع الأخطر للإطار(F2-12) بالطرائق المعتمدة

الطريقة	الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الأداء					
			V (KN)	%1st	δ (m)	%1st	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
النمط الأساسي	1st	A	1411.4	-	0.26	-	126	47	43	0	0	0
UBPA	1+2+3	D	769.17	-46%	0.43	63%	120	44	46	6	0	0
MMC	1+2+3	D	763.59	-46%	0.43	64%	120	40	48	8	0	0
Proposed	1+2+3	D	1110.1	-21%	0.32	21%	120	52	44	0	0	0

نلاحظ من الشكل(4-64) والجدول(4-22) أن تجميع النمط الثاني مع الأول في الحمولة الجانبية سبب انخفاضا في الاستطاعة وفي قيمة القص القاعدي بنسبة بلغت 37% في MMC,UBPA و17 % بالطريقة المقترحة Proposed وسبب زيادة في الانتقال الجانبي بنسبة43% في MMC,UBPA و16% بطريقة المقترحة Proposed، أما تجميع الأنماط الثلاثة الأولى أدى إلى انخفاض أكبر في الاستطاعة وفي قيمة القص القاعدي بنسبة بلغت 46% في MMC,UBPA و21% بالطريقة المقترحة Proposed، وإلى زيادة في الانتقال الجانبي بنسبة63% في MMC,UBPA و21% بالطريقة المقترحة Proposed وهذا التجميع هو الأخطر في الطرائق الثلاث وهو موافق لشكل الحمولة D .

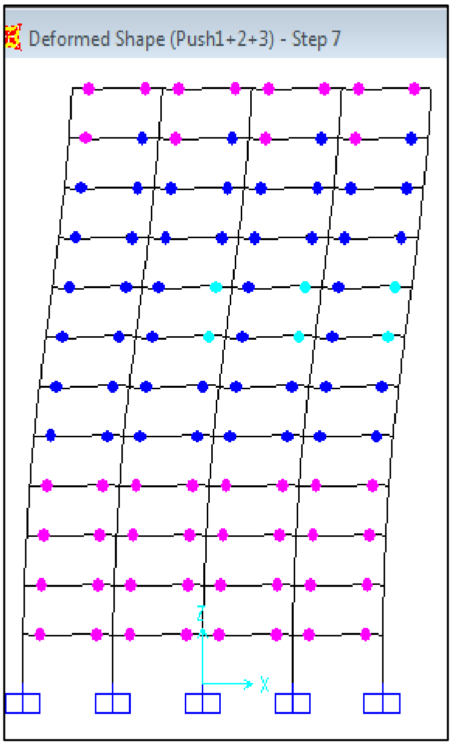
- الإزاحة النسبية الطابقية:



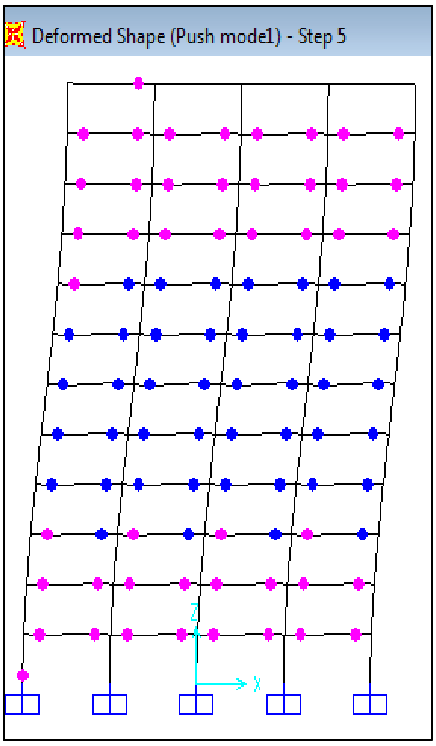
شكل(4-65) :الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F2-12)للحالات الأخطر

ترافق انخفاض استطاعة الإطار مع زيادة الإزاحات النسبية بين طوابق القسم العلوي منه. الشكل (4-65) يبين أن الحالات الاخطر من حيث الاستطاعة سببت زيادة الإزاحات النسبية بين طوابق القسم العلوي ونقصانها في القسم السفلي، وبلغت أقصاها بطريقتي MMC, UBPA، وهذا الأمر نتيجة مشاركة الأنماط 2 و3 مع النمط 1 في الاستجابة.

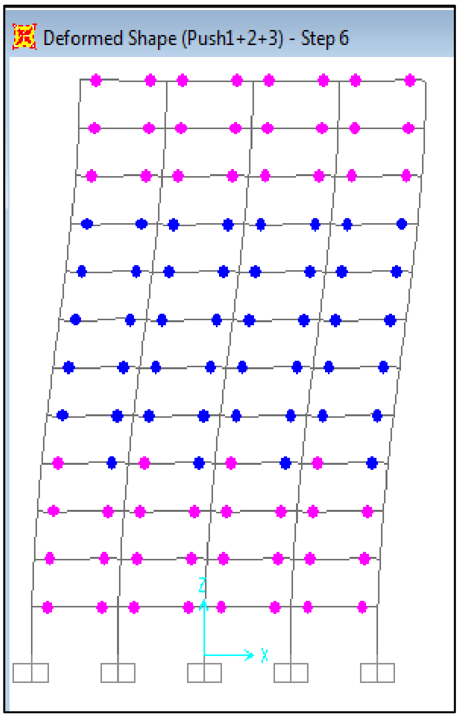
• أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها :



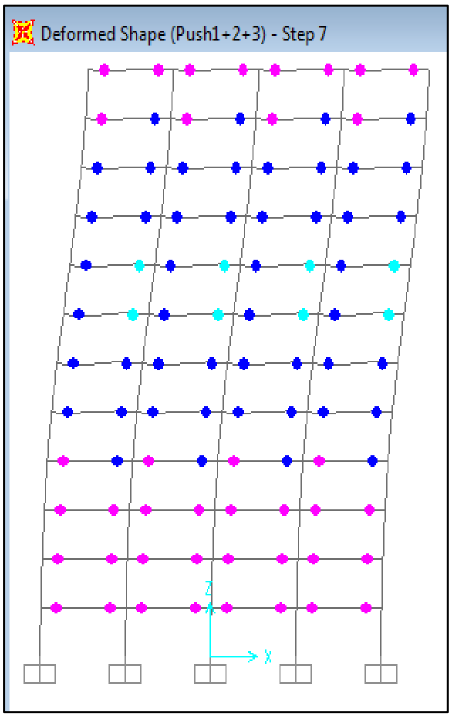
شكل(4-67) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2-12)بطريقة (UBPA) بالحالة الأخطر



شكل(4-66) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2-12)حسب النمط الأساسي



شكل(4-69) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2-12) بطريقة Proposed بالحالة الأخطر



شكل(4-68) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2-12)بطريقة MMC بالحالة الأخطر

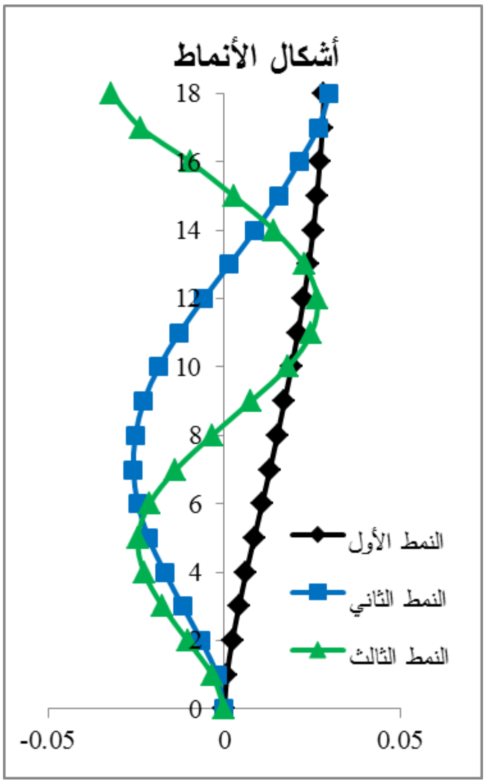
من الجدول (4- 22) والأشكال(4-66) إلى (4-69) نجد أن الحمولات الأخطر في طريقتي UBPA وMMC أدت إلى تجاوز عدد من المفاصل اللدنة لمستوى أمان الحياة LS في جيزان الطابقين السابع والثامن، في حين لم يتجاوز أي مفصل هذا المستوى في الطريقة المقترحة Proposed كما هي الحال في تحليل النمط الأساسي.

4-4-5 نتائج الإطار (F3-18):

- <u>نتائج تحليل الاهتزاز الحر</u>:

جدول(4-23) :الخصائص الديناميكية للإطار (F3-18)

النمط	الدور T (sec)	القيم الذاتية ω^2	عامل مساهمة الكتلة %	مجموع مساهمة الكتلة %	عامل المساهمة النمطي (Γ)
1	2.117	8.808	74.9	74.9	47.168
2	0.714	77.459	10.8	85.8	17.919
3	0.413	231.730	4.2	90	11.020



شكل(4-70) :أشكال أنماط الاهتزاز للإطار (F3-18)

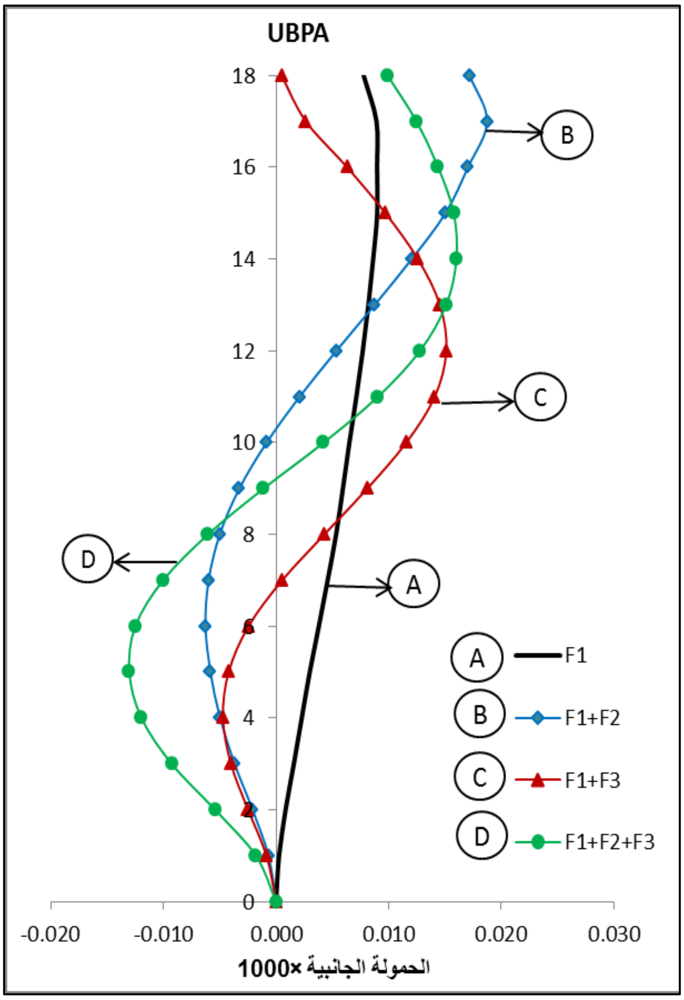
1-طريقة(UBPA):

- الحمولات المجمعة: حسب الفقرة (4-1-1)

جدول(4-24) :العوامل المستخدمة في تشكيل الحمولة الجانبية بطريقة UBPA

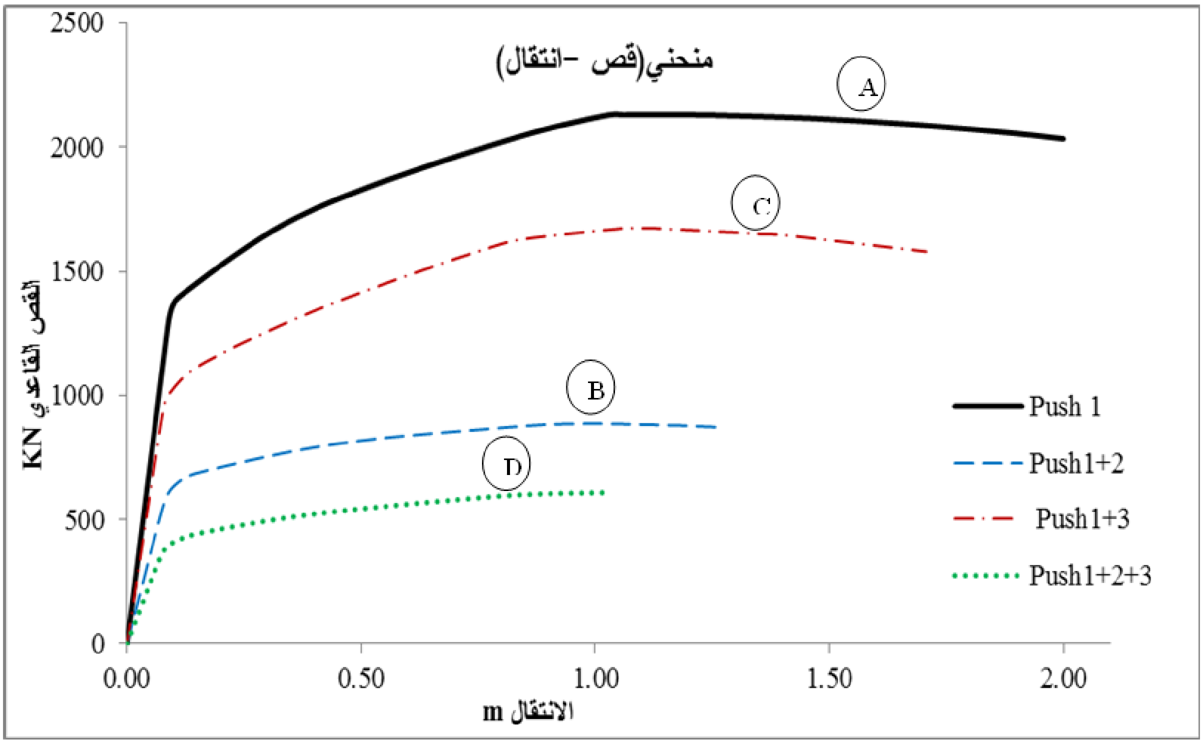
النمط	w_n^2	Sa n	Γnx	Dn	|ΓxDn|
1	8.808	0.255	47.168	0.029	1.366
2	77.459	0.773	17.919	0.010	0.179
3	231.730	0.900	11.020	0.004	0.043

$$\left(\frac{q_2}{q_1}\right)_{UB} = \left|\frac{\Gamma_2\, D_2}{\Gamma_1\, D_1}\right| = 0.131 \qquad \left(\frac{q_3}{q_1}\right)_{UB} = \left|\frac{\Gamma_3\, D_3}{\Gamma_1\, D_1}\right| = 0.031$$



شكل(4-71) :الحمولات الجانبية على الإطار(F3-18) بطريقة (UBPA)

• منحنيات الاستطاعة:



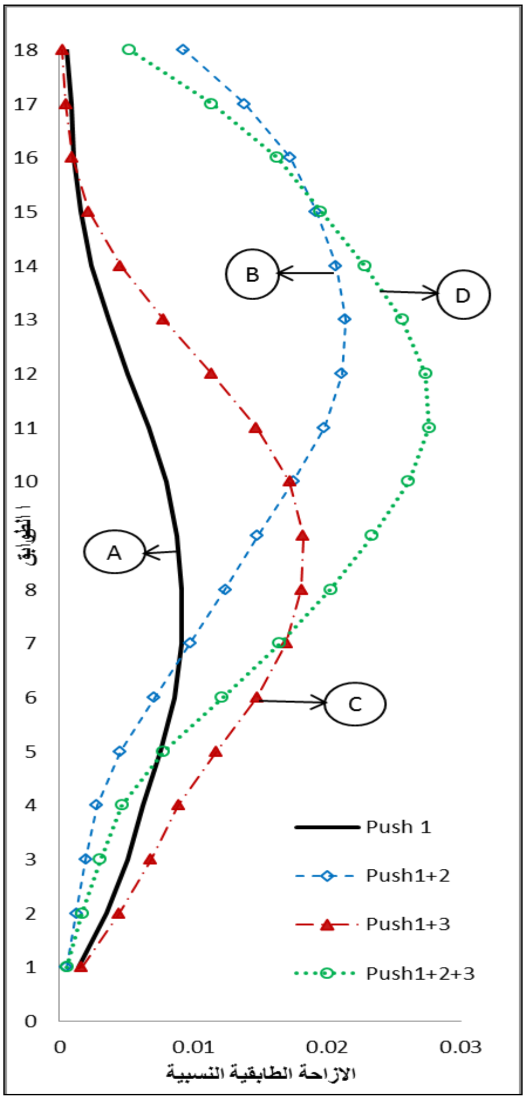
شكل(4–72) :منحنيات الاستطاعة للإطار (F3-18) بطريقة UBPA

• نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء :

جدول(4–25) : نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء بطريقة UBPA

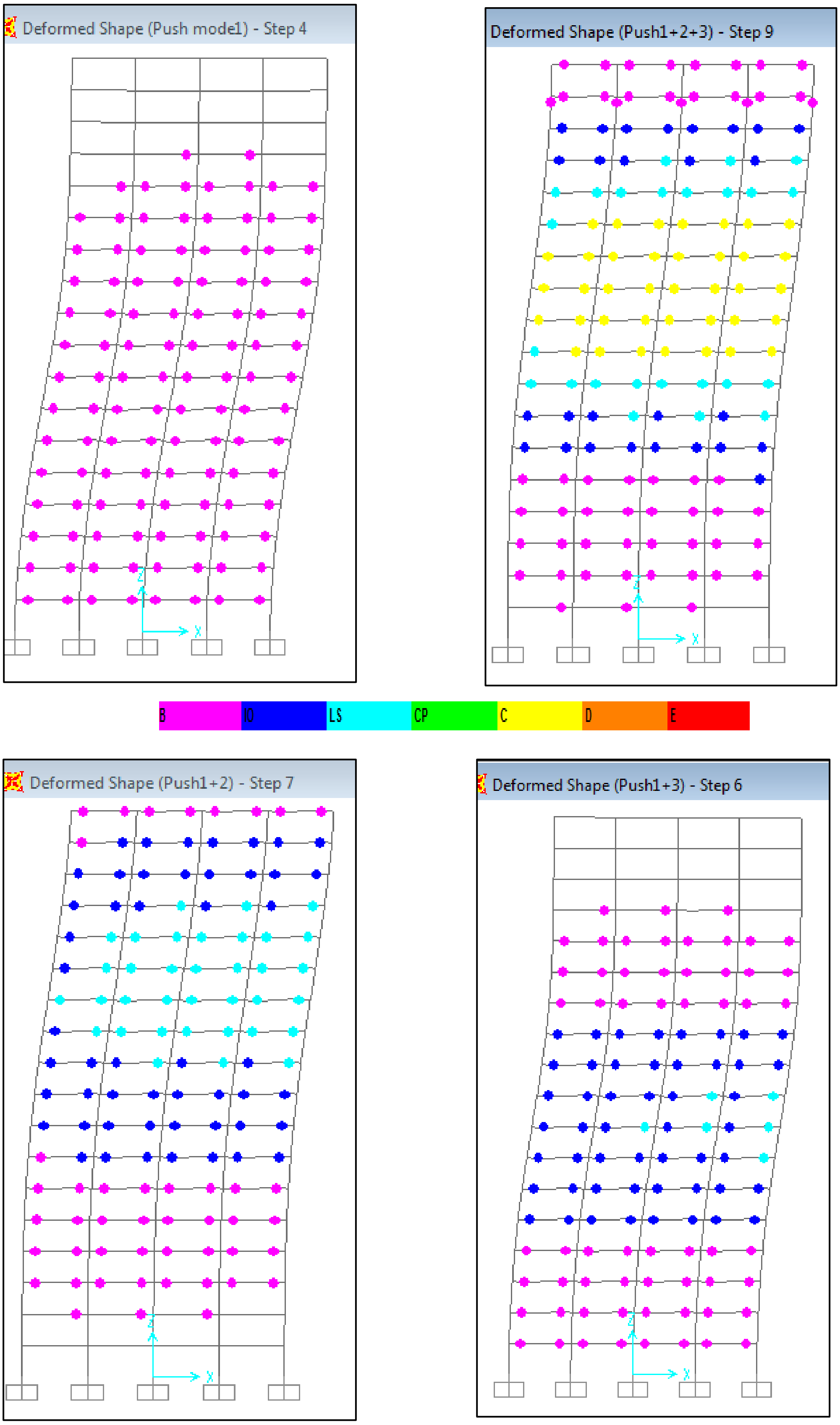
الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء					
		V (KN)	%1st	δ (m)	%1st	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
push 1st mode	A	1727.3	-	0.39	-	211	113	0	0	0	0
push 1+2+3	D	603.62	-65%	0.91	135%	180	55	27	24	0	38
push 1+2	B	844.44	-51%	0.65	68%	193	45	51	35	0	0
push 1+3	C	1374.5	-20%	0.45	17%	209	59	50	6	0	0

- الإزاحة النسبية الطابقية:



شكل(4-73) :الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F3-18) بطريقة (UBPA)

- أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في حالات التجميع مبينة في الشكل(4-74):

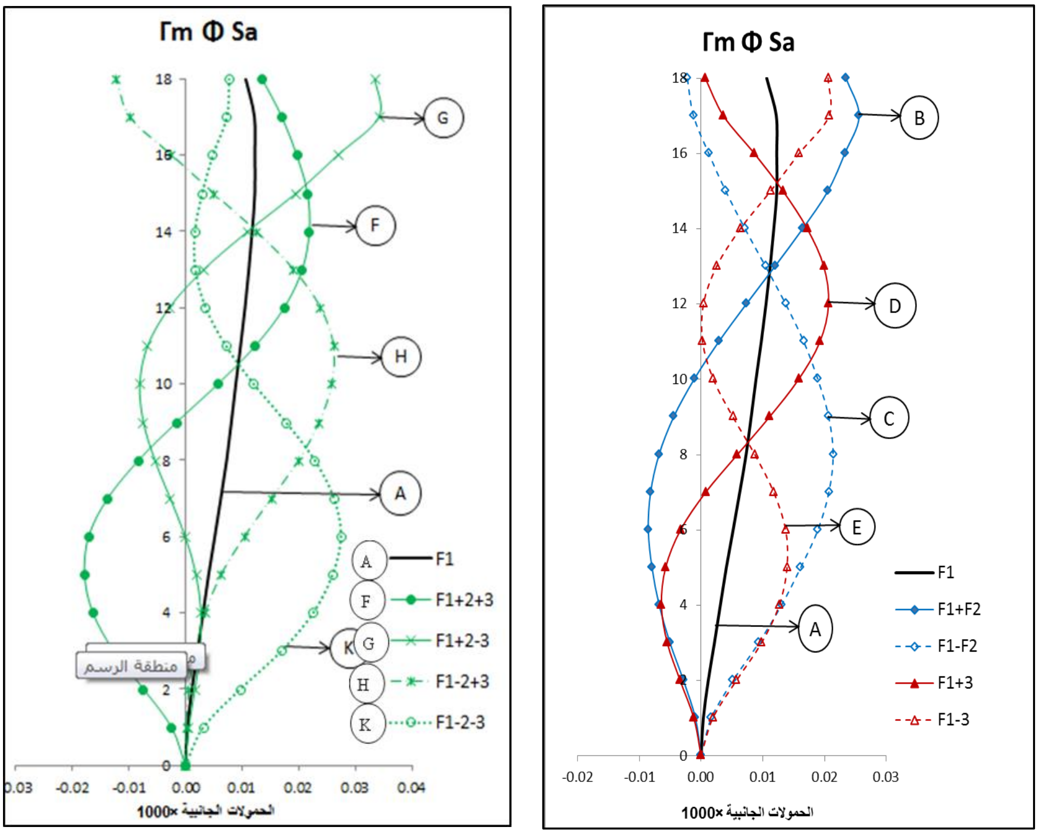


شكل(4-74) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2-12) بطريقة (UBPA)

2–طريقة (MMC):

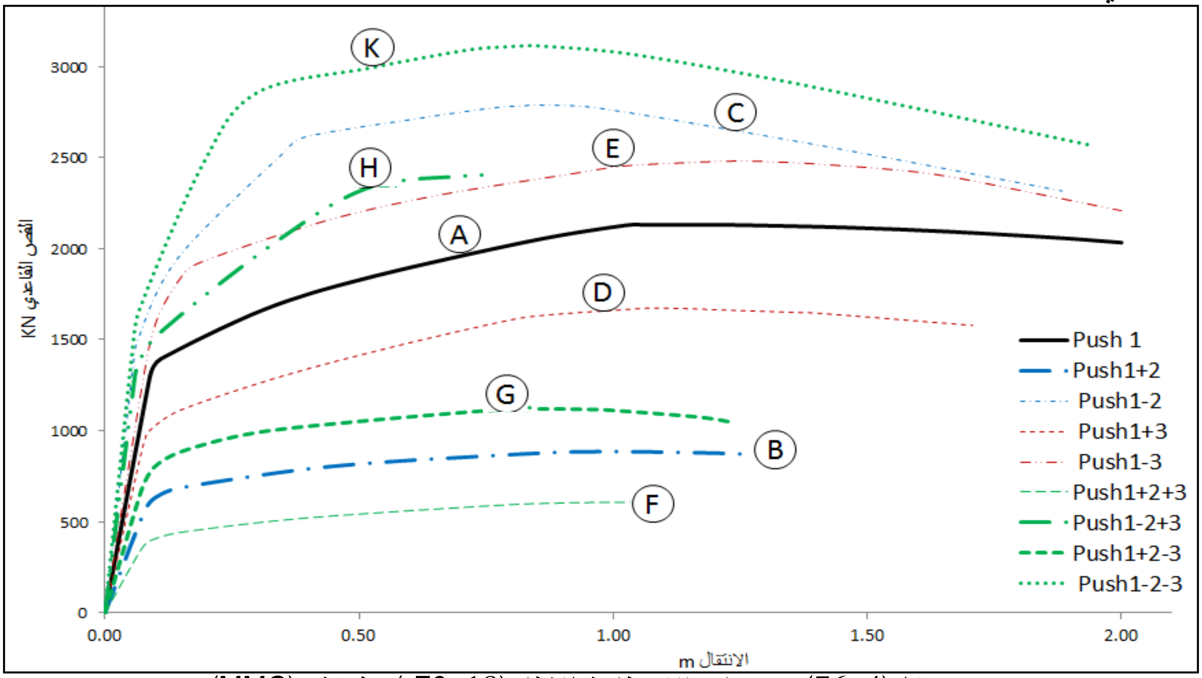
- الحمولات المجمعة: الفقرة (4–1–2) طيف التسارع المستخدم في صيغة الحمولة الجانبية للأنماط الثلاثة الأولى.

النمط	1	2	3
Sa	0.255	0.772	0.900



شكل(4–75) :الحمولات الجانبية على الإطار (F3–18) بطريقة (MMC)

- منحنيات الاستطاعة:



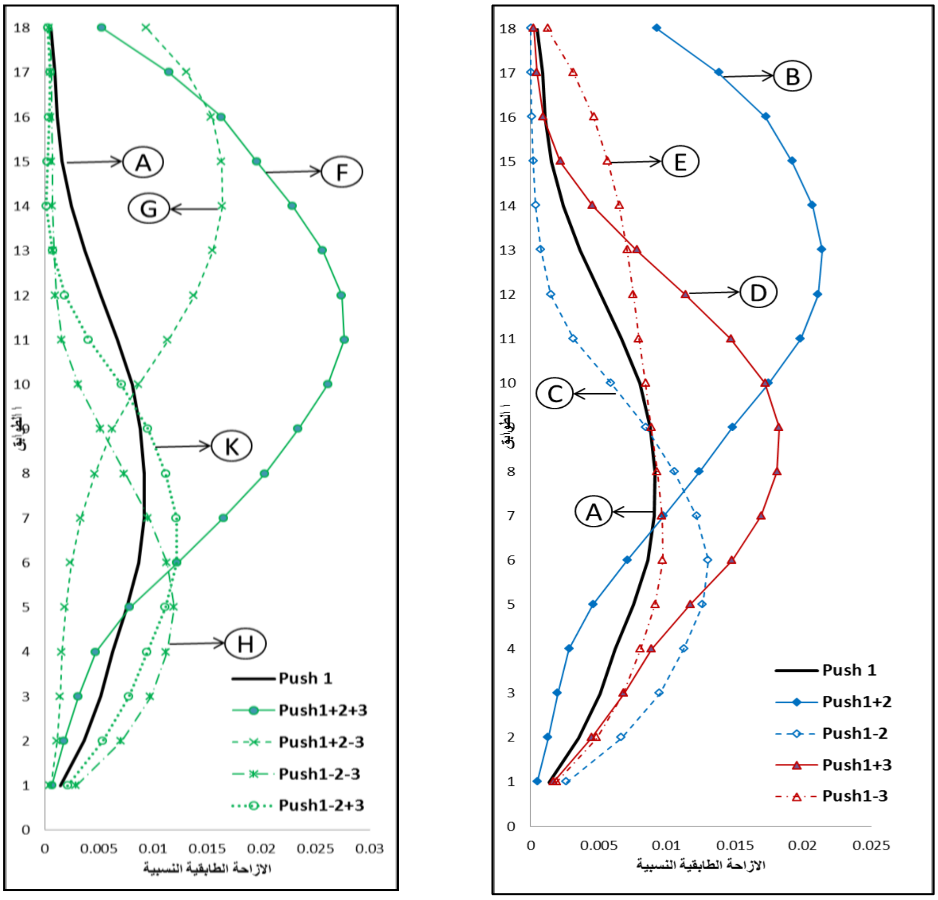
شكل(4–76): منحنيات الاستطاعة للإطار(F3–18) بطريقة (MMC)

• نقطة الأداء وعدد المفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء :

جدول(4−26) : نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء بطريقة MMC

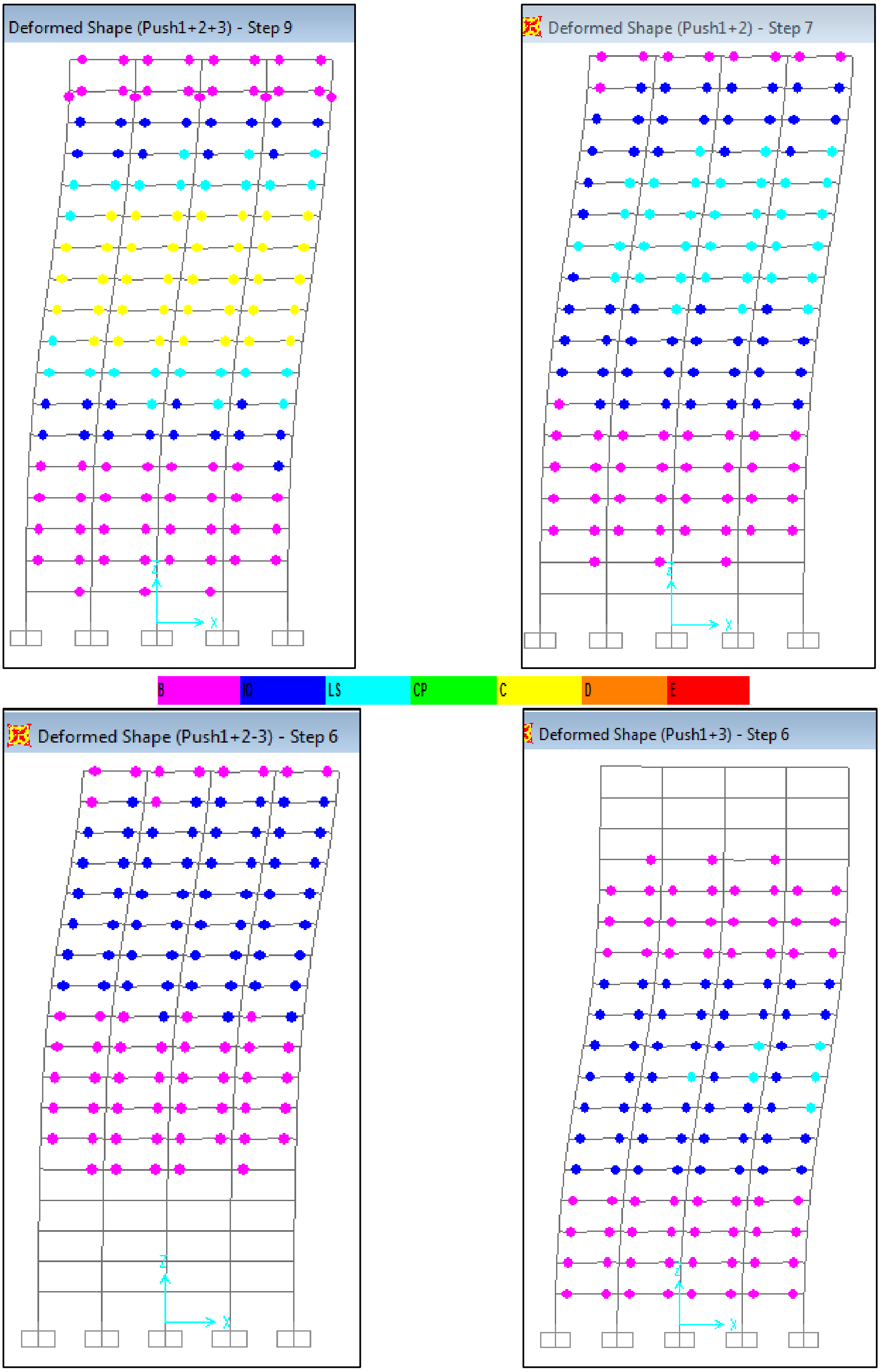
الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الاداء							
		V (KN)	%1st	δ (m)	%1st	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	CtoD	DtoE
push 1st mode	**A**	**1727**		**0.39**		211	113	0	0	0	0	0	0
push 1+2+3	**F**	**603.6**	*-65%*	**0.91**	*135%*	180	55	27	24	0	38	0	0
push 1+2	**B**	**844.4**	*-51%*	**0.65**	*68%*	193	45	51	35	0	0	0	0
push 1+2-3	**G**	**1058**	*-39%*	**0.53**	*37%*	215	52	57	0	0	0	0	0
push 1+3	**D**	**1374**	*-20%*	**0.45**	*17%*	209	59	50	6	0	0	0	0
push 1-2+3	**H**	**2036**	*18%*	**0.34**	*-12%*	236	57	31	0	0	0	0	0
push 1-3	**E**	**2084**	*21%*	**0.36**	*-7%*	191	133	0	0	0	0	0	0
push 1-2	**C**	**2396**	*39%*	**0.3**	*-21%*	236	52	36	0	0	0	0	0
push 1-2-3	**K**	**2804**	*62%*	**0.29**	*-26%*	240	60	24	0	0	0	0	0

• الإزاحة النسبية الطابقية:



شكل(4−77): الازاحة النسبية الطابقية للإطار (F3−18) بطريقة (MMC)

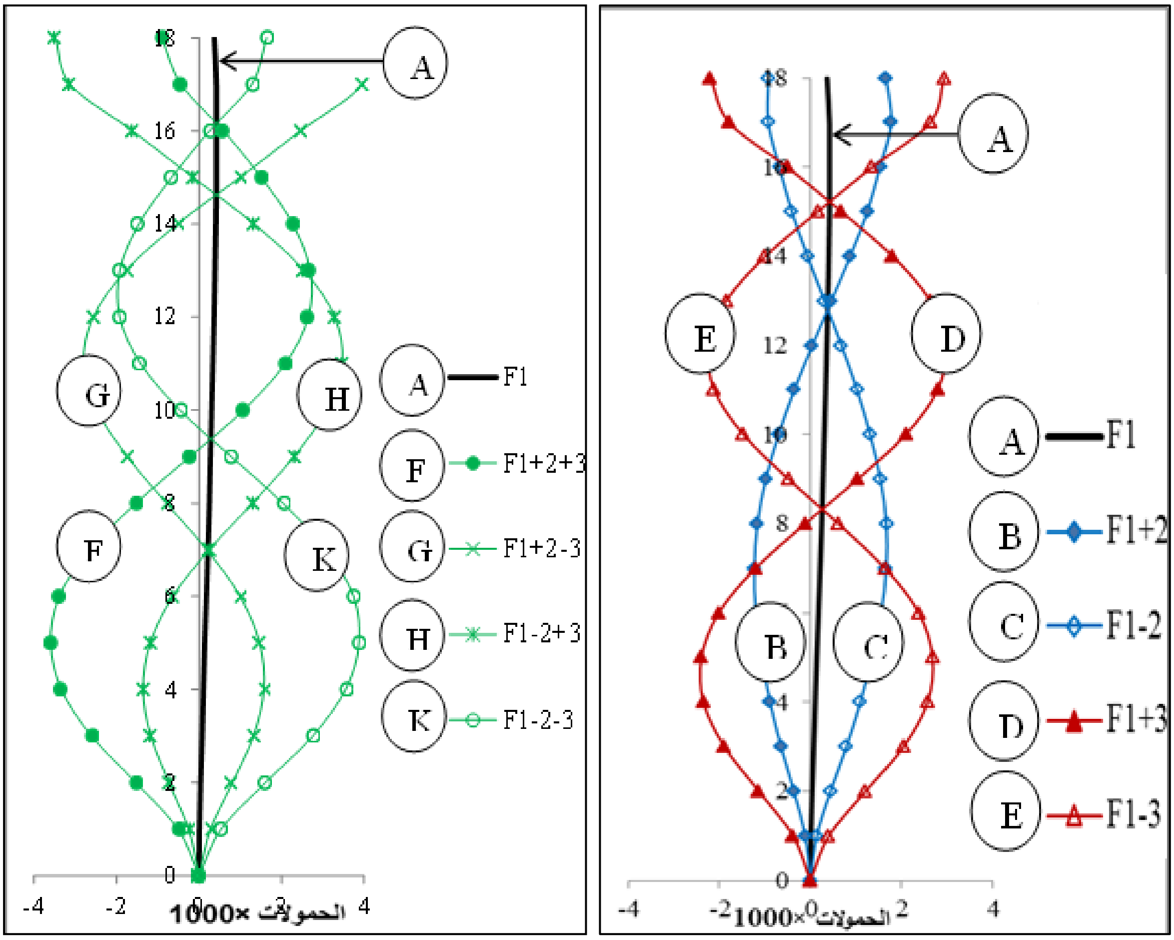
- أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في حالات التجميع الأخطر مبينة في الشكل(4-78):



شكل(4-78): أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F3-18) بطريقة (MMC)

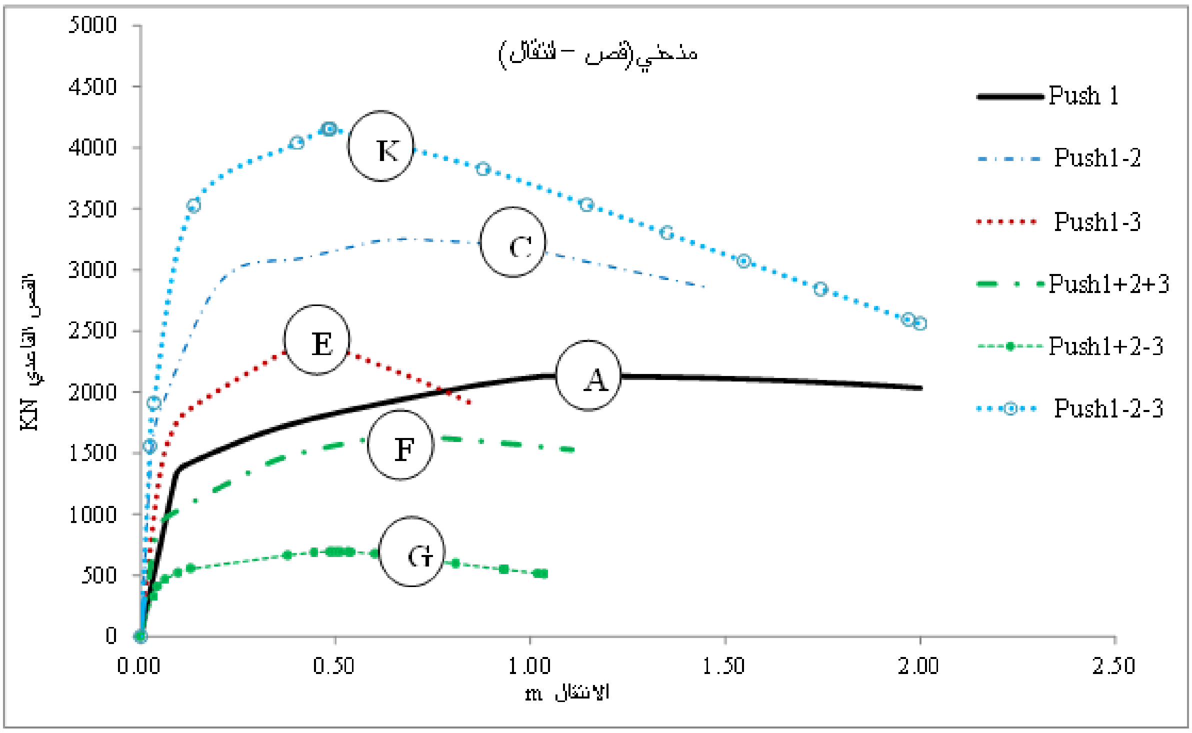
3–طريقة التجميع المباشر(direct):

- الحمولات المجمعة:



شكل(4–79) :الحمولات الجانبية على الإطار (F1–7) بطريقة (direct)

• منحنيات الاستطاعة :



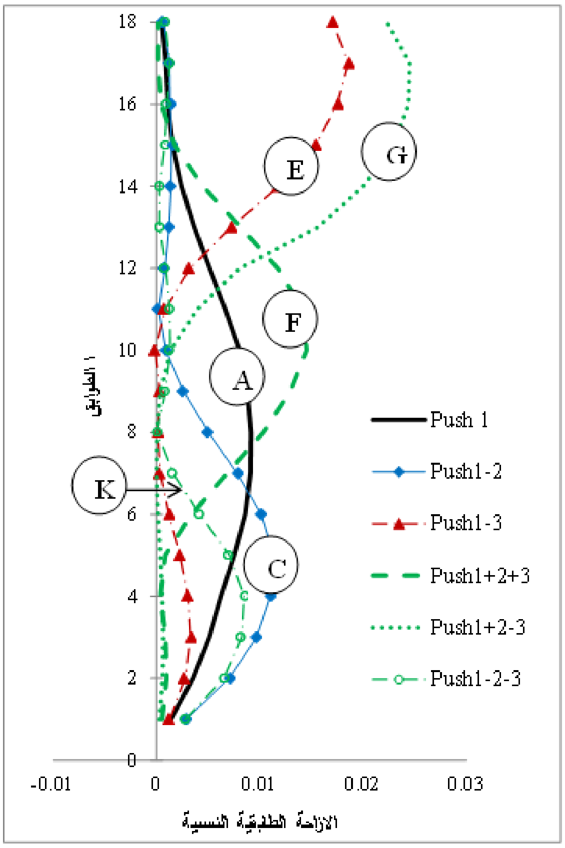
شكل(4−80): منحنيات الاستطاعة للإطار (F2−18) بطريقة (direct)

• نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء :

جدول(4−27) : نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء بطريقة (direct)

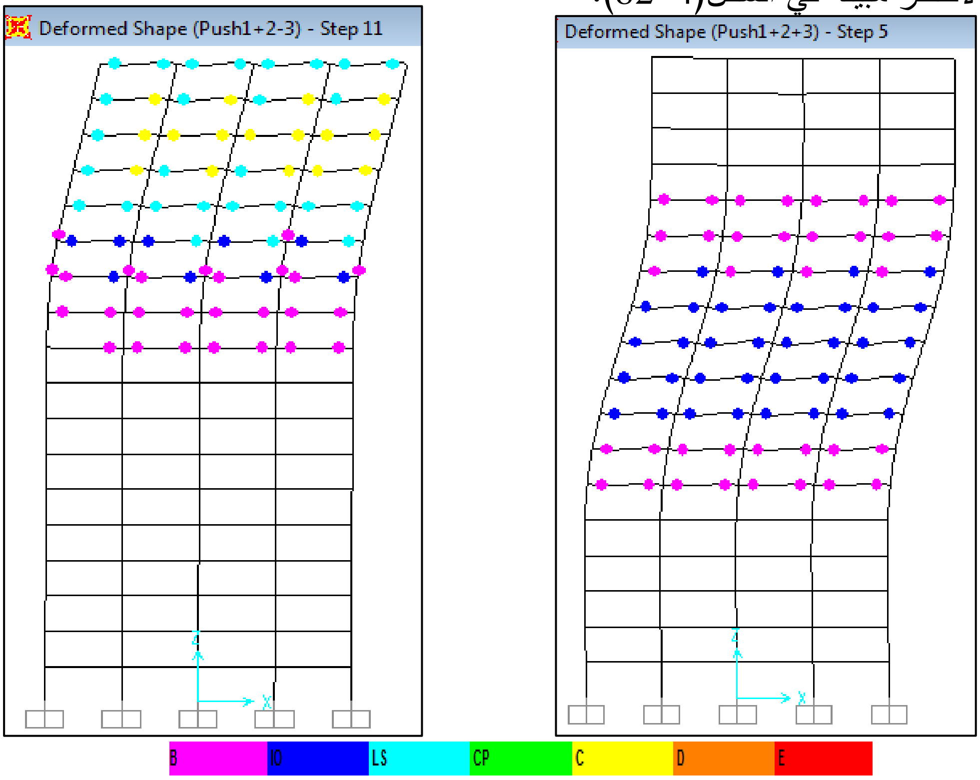
الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الاداء							
		V (KN)	%1st	δ (m)	%1st	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	CtoD	DtoE
push 1st mode	A	1727	-	0.39	-	211	113	0	0	0	0	0	0
push 1+2-3	G	692.2	-60%	0.52	35%	246	26	9	27	0	16	0	0
push 1+2+3	F	1371	-21%	0.3	-23%	252	36	36	0	0	0	0	0
push 1-3	E	2324	35%	0.37	-3%	229	55	34	6	0	0	0	0
push 1-2	C	2950	71%	0.24	-38%	238	69	17	0	0	0	0	0
push 1-2-3	K	3674	113%	0.21	-45%	268	56	0	0	0	0	0	0

• الازاحات الطابقية النسبية:



شكل(4−81): الازاحة النسبية الطابقية للإطار (F3−18) (direct)

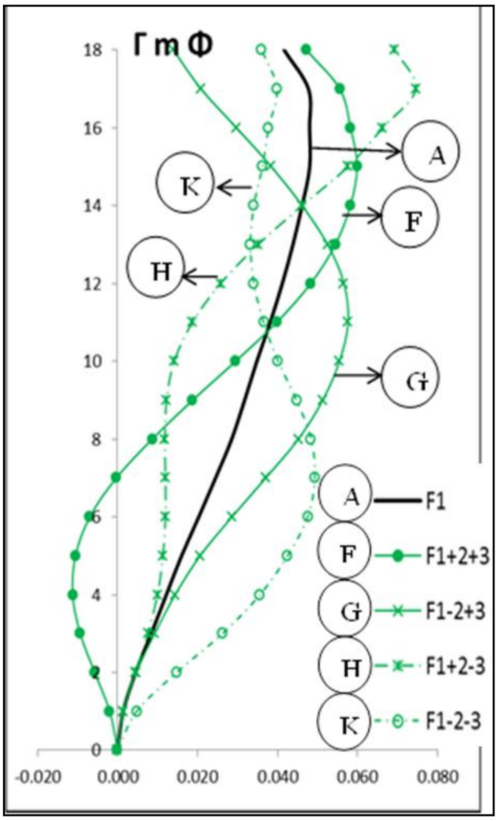
• أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في حالات التجميع الأخطر مبينة في الشكل(4−82):

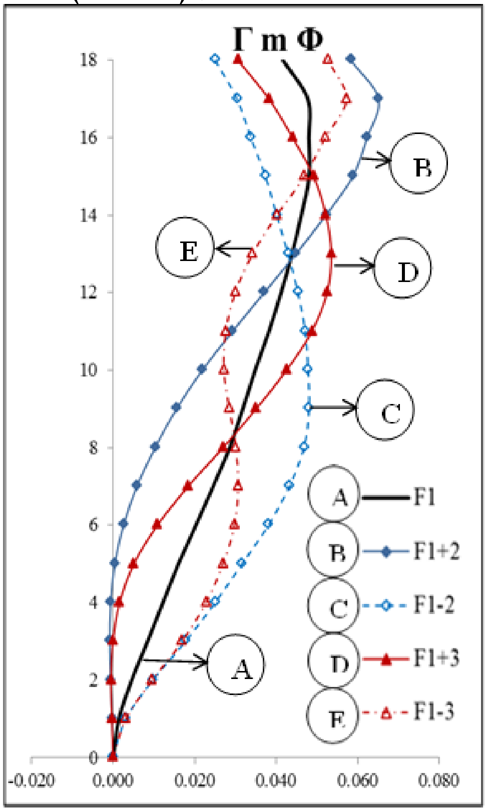


شكل(4−82) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F3−18) بطريقة (direct)

4-الطريقة المقترحة (proposed):

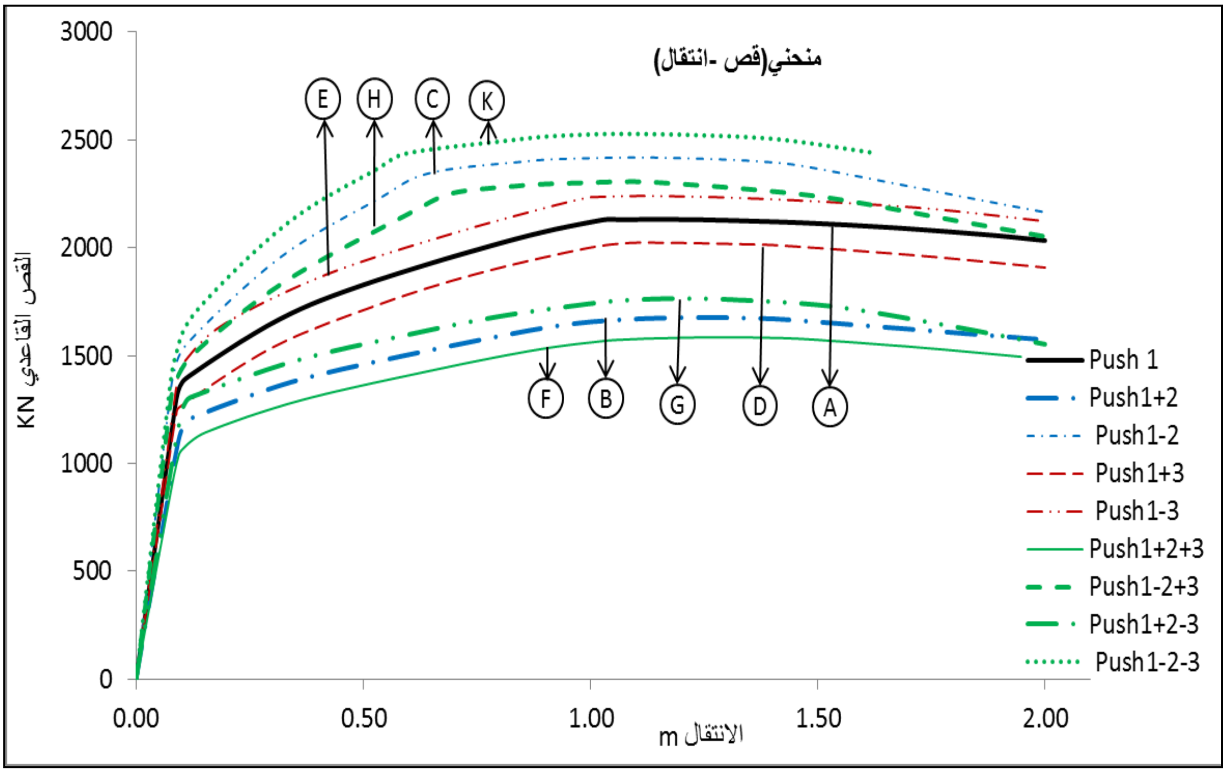
- الحمولات المجمعة: حسب الفقرة(4-1-4)





شكل(4-83) :الحمولات الجانبية على الإطار(F3-18) بالطريقة المقترحة (proposed)

- منحنيات الاستطاعة :



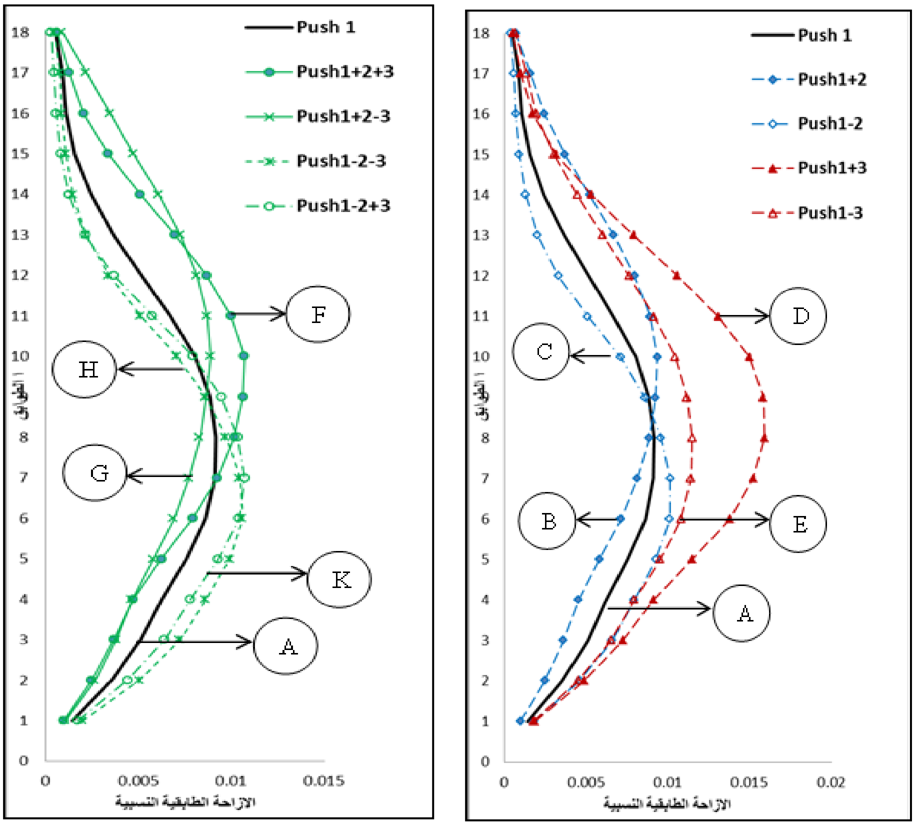
شكل(4-84) :منحنيات الاستطاعة للإطار(F3-18) بالطريقة المقترحة (proposed)

• نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء :

جدول(4−28) : نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء بالطريقة المقترحة (proposed)

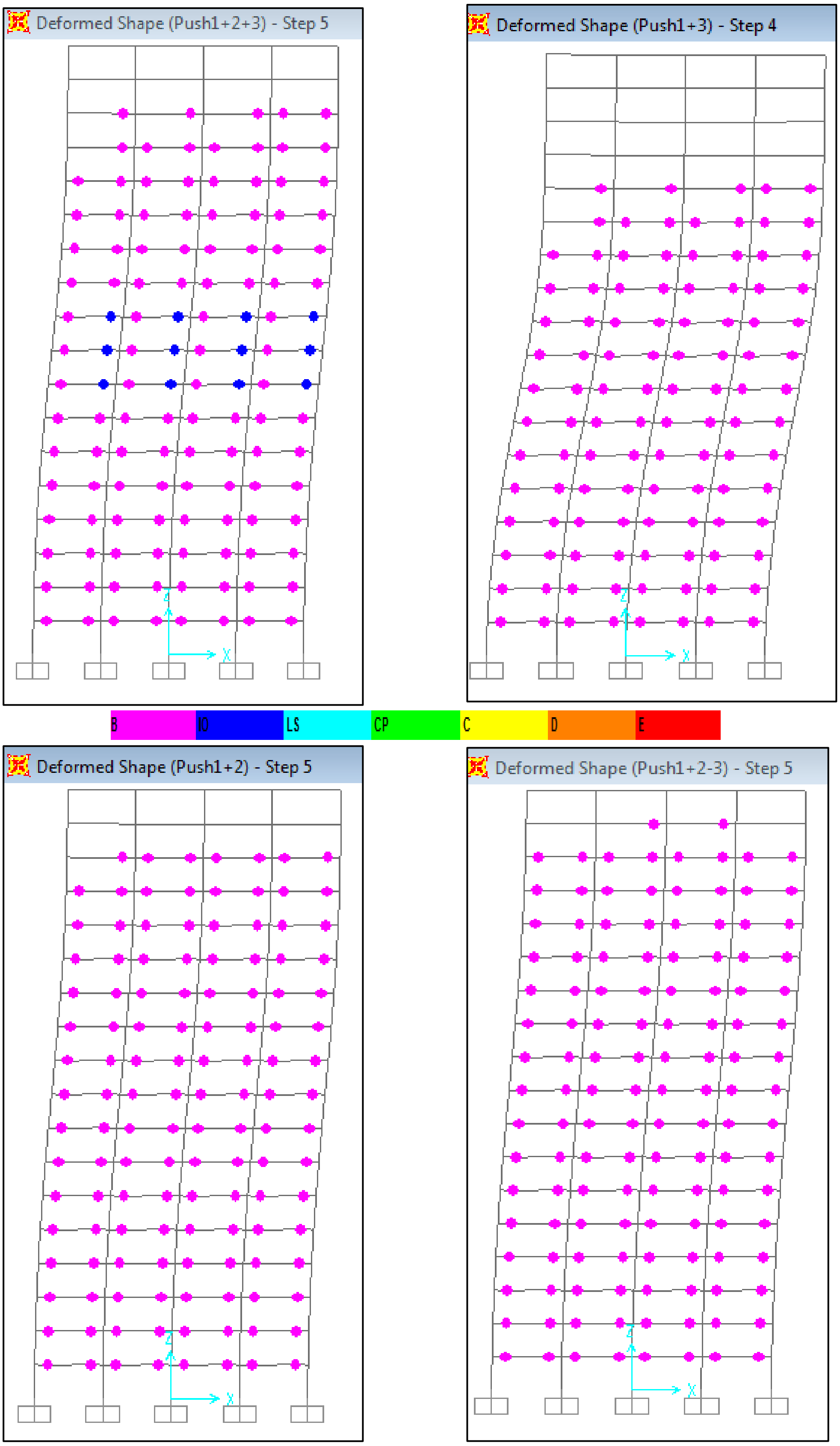
الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الاداء							
		V (KN)	%1st	δ (m)	%1st	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	CtoD	DtoE
push 1st mode	**A**	**1727**		**0.39**		211	113	0	0	0	0	0	0
push 1+2+3	**F**	**1338**	*-23%*	**0.46**	*19%*	200	112	12	0	0	0	0	0
push 1+2	**B**	**1426**	*-17%*	**0.44**	*14%*	197	127	0	0	0	0	0	0
push 1+2-3	**G**	**1513**	*-12%*	**0.43**	*11%*	194	130	0	0	0	0	0	0
push 1+3	**D**	**1623**	*-6%*	**0.4**	*4%*	216	108	0	0	0	0	0	0
push 1-3	**E**	**1829**	*6%*	**0.37**	*-3%*	200	92	32	0	0	0	0	0
push 1-2+3	**H**	**1881**	*9%*	**0.36**	*-6%*	226	88	10	0	0	0	0	0
push 1-2	**C**	**1995**	*16%*	**0.35**	*-9%*	226	94	4	0	0	0	0	0
push 1-2-3	**K**	**2121**	*23%*	**0.34**	*-12%*	225	88	11	0	0	0	0	0

• الإزاحة النسبية الطابقية:



شكل(4−85): الازاحة النسبية الطابقية للإطار(F3−18) بالطريقة المقترحة (proposed)

• أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في حالات التجميع مبينة في الشكل(4-86):



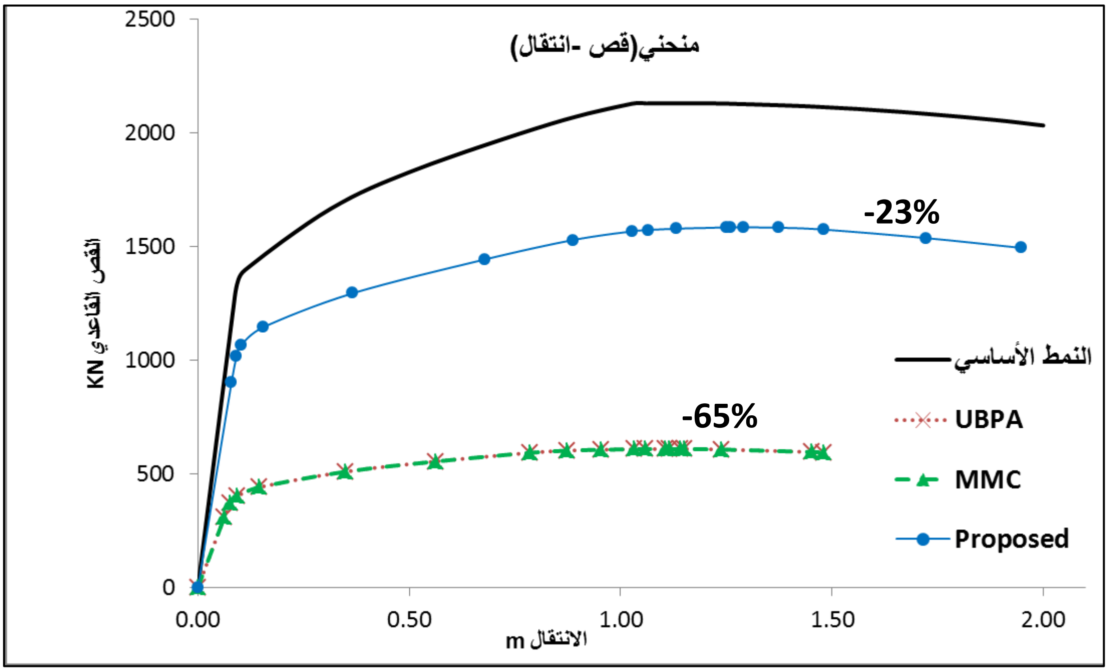
شكل(4-86) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F3-18) بالطريقة المقترحة (proposed)

6-4-4 مقارنة نتائج الإطار F3-18:

- <u>الحمولات الجانبية:</u>

نلاحظ من الأشكال(4-71) و(4-75) و(4-83) أن تجميع النمطين الأولين وتجميع الأنماط الثلاث الأولى أعطى أشكالا للحمولات مشابهة لحالات التجميع في النموذجين السابقين مع زيادة في تأثير شكل النمطين 2 و3 وذلك بالطرائق الثلاث خاصة في الحمولة D في طريقة UBPA و F في طرقتي MMC والطريقة المقترحة Proposed.

- <u>منحنيات الاستطاعة :</u>



شكل(4-87) : منحنيات الاستطاعة للإطار(F3-18)لحالات التجميع الاخطر بالطرائق المدروسة

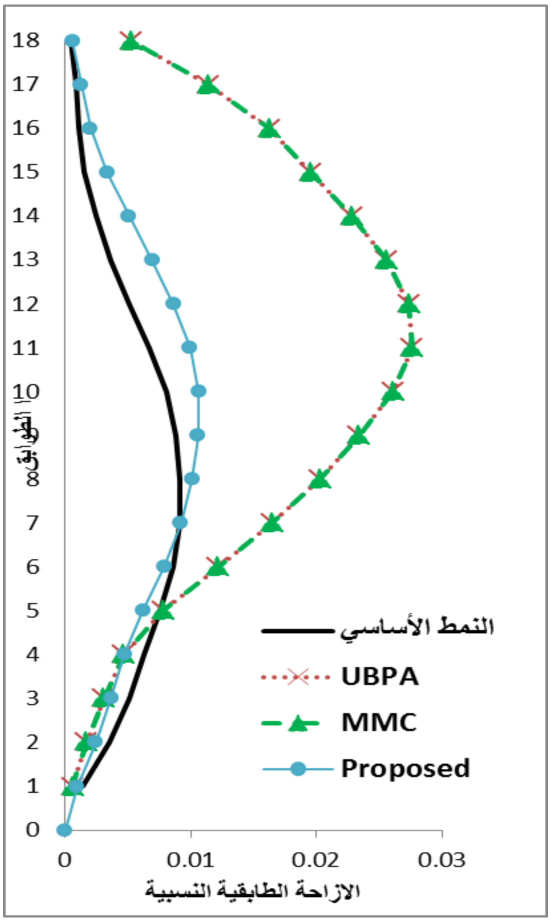
- <u>نقطة الأداء :</u>

جدول(4-29): مقارنة نقطة الأداء ومستويات المفاصل اللدنة لحالات التجميع الأخطر للإطار(F3-18) بالطرائق المعتمدة

الطريقة	الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء					
			V (KN)	%1st	δ (m)	%1st	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
النمط الأساسي	1	A	1727.3	-	0.39	-	211	113	0	0	0	0
UBPA	1+2+3	D	603.62	-65%	0.91	135%	180	55	27	24	0	38
MMC	1+2+3	F	603.62	-65%	0.91	135%	180	55	27	24	0	38
Proposed	1+2+3	F	1338.1	-23%	0.46	19%	200	112	12	0	0	0

نلاحظ من الشكل(4-87) والجدول (4-29) أن تجميع النمط الثاني مع الأول في الحمولة الجانبية سبب انخفاضاً في الاستطاعة وفي قيمة القص القاعدي بنسبة بلغت 51% في MMC,UBPA و17 % بالطريقة المقترحة Proposed، وسبب زيادة في الانتقال الجانبي بنسبة 68% في UBPA وMMC و16% بالطريقة المقترحة Proposed. أما تجميع الأنماط الثلاثة الأولى أدى إلى انخفاض أكبر في الاستطاعة وفي قيمة القص القاعدي بنسبة بلغت 65% في UBPA وMMC و23 % بالطريقة المقترحة Proposed ، وإلى زيادة في الانتقال الجانبي بنسبة 135% في UBPA وMMC و19% بالطريقة المقترحة Proposed وشكل الحمولة في هذه الحالة متوافق مع الشكل الخطر في النموذجين السابقين.

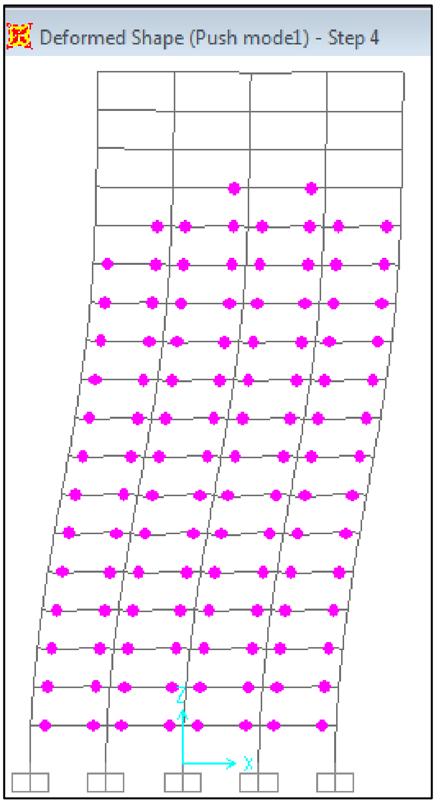
- <u>الإزاحة النسبية الطابقية</u> :



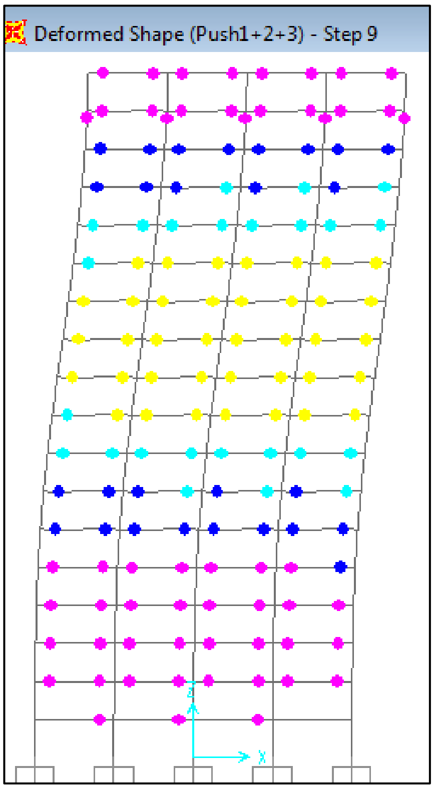
شكل(4-88) : الإزاحة النسبية الطابقية للإطار (F3-18) لحالات التجميع الأخطر بالطرائق المدروسة

كما في النموذجين السابقين ترافق انخفاض استطاعة الإطار مع زيادة الإزاحات النسبية بين طوابق القسم العلوي منه . الشكل (4-88) يبين أن الحالات الاخطر من حيث الاستطاعة سببت زيادة الإزاحات النسبية بين طوابق القسم العلوي ونقصانها في القسم السفلي وبلغت أقصاها بطريقتي MMC, UBPA .

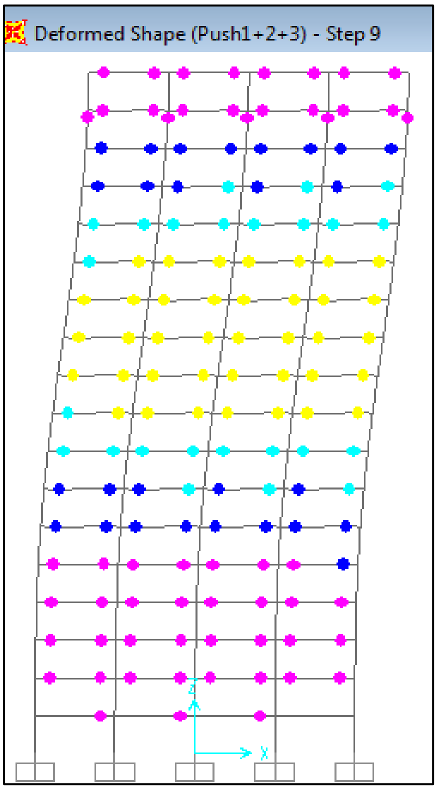
- أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها:



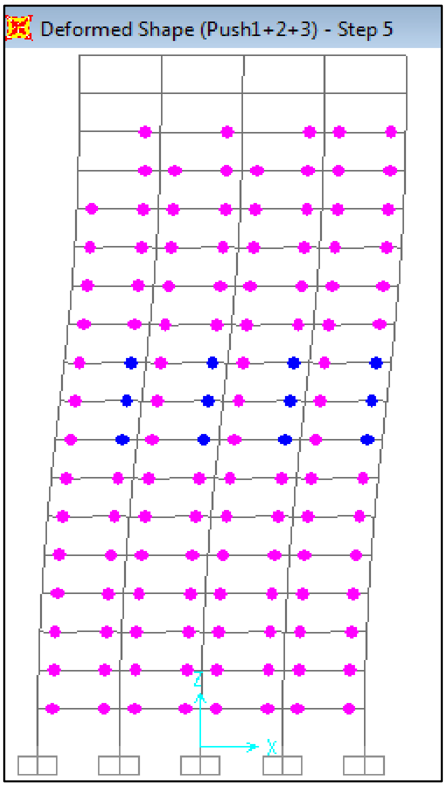
شكل(4–89) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F3–18) حسب النمط الأساسي



شكل(4–90) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2–18)بطريقة (UBPA) بالحالة الأخطر



شكل(4–91) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2–18)بطريقة MMC بالحالة الأخطر



شكل(4–92) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للإطار (F2–18)بطريقة Proposed بالحالة الأخطر

من الجدول (4- 29) والأشكال (4-98)حتى(4-92) نجد أن الحمولات الأخطر في طريقتي UBPA وMMC أدت إلى تجاوز عدد من المفاصل اللدنة لمستوى أمان الحياة LS، كما وصل 28 مفصل إلى استطاعته الحدية في جيزان الطوابق من 9 حتى13. أما الحمولة الأخطر بالطريقة المقترحة Proposedسببت فقط وصول بعض المفاصل في جيزان الطوابق 8 و9 و10 إلى مستوى الإشغال الفوري IO.

4-4-7 خلاصة المجموعة الأولى:

لاحظنا من مقارنة معايير الاستجابة لإطارات المجموعة الأولى ما يلي :

1- يؤثر شكل الحمولة الجانبية المستخدم في التحليل الستاتيكي اللاخطي في استجابة الإطارات المدروسة ونتائج التحليل. ويختلف هذا الشكل بحسب أنماط الاهتزاز الداخلة في التجميع.

2- نتج عن تجميع الأنماط 1+2 و1+3 و1+2+3 شكل للحمولة الجانبية مسبب لقوى دفع أفقية متعاكسة الاتجاه بين القسمين السفلي والعلوي على ارتفاع المنشأة، مع قوى دفع أعظمية في الطوابق العليا، هذا الشكل أدى إلى تخفيض الاستطاعة الجانبية وقيمة القص القاعدي الموافقة لنقطة الأداء وزيادة في قابلية الانزياح الجانبي بنسب معينة بلغت أقصاها في حالة تجميع 1+2+3 في كل إطار بالطرائق الثلاث، وبذلك يمكن اعتبار هذه الحالة من التجميع هي الأخطر.

3-ظهر التأثير الأكبر للنمطين 2 و3 في الإطار F3-18 ذو الدور الأساسي 2.1 ثانية، إذ وصل انخفاض الاستطاعة إلى 65% وزيادة قابلية الانزياح الجانبي إلى 135 %. أما التأثير الأقل فكان في الاطار F1-7 ذو الدور الأساسي الذي لا يتجاوز 1 ثانية.

4 - أدى شكل الحمولة الأخطر إلى انخفاض الإزاحات النسبية بين الطوابق السفلية للمنشآت المدروسة وزيادة واضحة بين الطوابق العلوية وذلك نتيجة مساهمة الأنماط العليا في الاستجابة .

5- أظهر توزع المفاصل اللدنة في حالات الحمولة الأخطر تجاوز عدد من المفاصل لمستوى الاداء الذي وصلت إليه في حالة النمط الاساسي مع وصول بعض المفاصل إلى الاستطاعة الحدية في جيزان الاطار F3-18 .

6- بالغت طريقة التجميع المباشر Direct في إدخال تأثير الأنماط 2 و3 مع النمط الأول بشكل غير واقعي، ويعود ذلك إلى وجود القيمة الذاتية ω_n^2 في صيغة التجميع والتي تزداد مع زيادة مرتبة النمط بنسبة أكبر بكثير من انخفاض عامل مساهمة النمط مع زيادة مرتبته. لذلك تستثنى من مقارنة الطرائق في النماذج المدروسة، ولا ننصح باستخدامها في دراسة مساهمة أنماط الاهتزاز في التحليل الستاتيكي اللاخطي.

7- أعطت طريقة MMC في حالات التجميع بإشارات موجبة نتائج مشابهة لطريقة UBPA وذلك بسبب اعتماد الطريقتين على طيف الاستجابة في إيجاد العوامل الداخلة في صيغة التجميع.

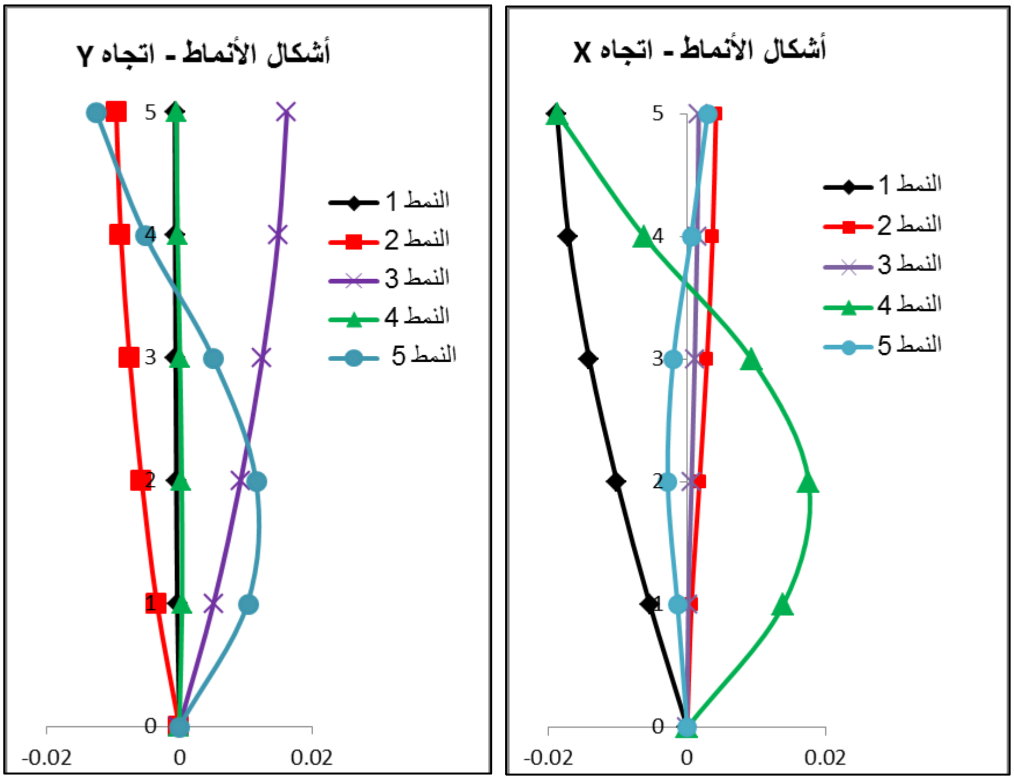
4-5 نتائج المجموعة الثانية:

4-5-1- نتائج المبنى (S1-5):

نتائج تحليل الاهتزاز الحر: تم الحصول على الخصائص الديناميكية للمبنى الجدول (4-30) وتحديد أشكال أنماط الاهتزاز الخمسة الأولى بالنسبة لمركز الكتلة في كل طابق الشكل (4-93):

جدول(4-30) :الخصائص الديناميكية للمبنى (S1-5)

النمط	الاتجاه المسيطر	الدور (T) sec	القيم الذاتية (ω2)	عامل مساهمة الكتلة %		مجموع مساهمة الكتلة %		عامل المساهمة النمطي (Γ)	
				X	Y	X	Y	X	Y
1	X	1.00	39.17	83.3	0.1	83.3	0.1	65.28	2.66
2	X, Y	0.88	50.87	3.2	24.2	86.6	24.4	12.85	35.19
3	Y	0.85	55.18	0.5	64.9	87.0	89.3	4.88	57.63
4	X	0.32	386.16	9.1	0.0	96.1	89.3	21.56	0.38
5	Y	0.28	495.32	0.2	3.5	96.4	92.8	3.55	13.43



شكل(4-93) :أشكال أنماط الاهتزاز للمبنى S1-5

تنتقل عقد المبنى وفق نمطي الاهتزاز 1و4 باتجاه المحور X بشكل رئيسي فيما تسبب أنماط الاهتزاز 3 و5 انتقالا باتجاه المحور Y بشكل رئيسي ويسبب النمط 2 انتقالات وفق Y , X بتأثير أكبر على اتجاه Y مسببا فتلا للمبنى في المستوى الافقي لطوابقه، وعند تشكيل الحمولات الجانبية بالطرائق المعتمدة

تم تجميع الأنماط 1 و4 في الاتجاه X مع إضافة تأثير النمط 2 بما يضمن تجاوز عامل مساهمة الكتلة نسبة 90% في هذا الاتجاه. وأيضا تم تجميع الأنماط 3 و5 في الاتجاه Y مع إضافة تأثير النمط 2 بما يضمن تجاوز عامل مساهمة الكتلة نسبة 90% في هذا الاتجاه. ويعتبر النمط 1 هو النمط الأساسي والمرجعي في الاتجاه X والنمط 3 هو النمط الأساسي والمرجعي في الاتجاه Y.

1–طريقة(UBPA):

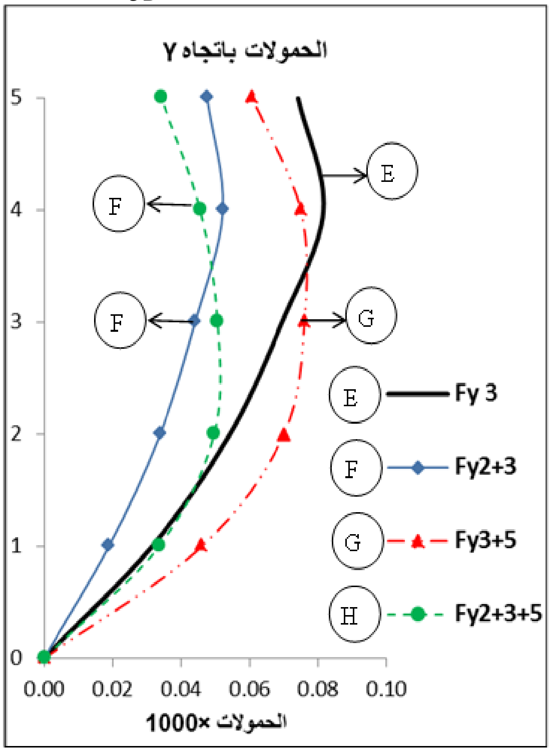
- الحمولات المجمعة: حسب الفقرة (4–1–1)

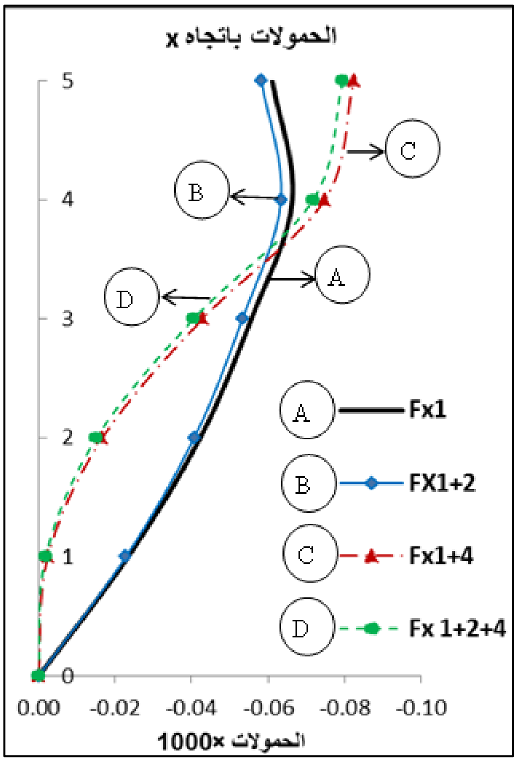
جدول(4–31): العوامل المستخدمة في تشكيل الحمولة الجانبية بطريقة UBPA

النمط	wn²	Sa n	Γnx	Γny	Dn	|ΓxDn|	|ΓyDn|
1	39.17	0.849	65.28	2.66	0.022	1.414	0.058
2	50.87	0.9	12.85	35.19	0.018	0.227	0.623
3	55.18	0.9	4.88	57.63	0.016	0.080	0.940
4	386.16	0.9	21.56	0.38	0.002	0.050	0.001
5	495.32	0.9	3.55	13.43	0.002	0.006	0.024

اتجاه X: $\left(\frac{q_4}{q_1}\right)_{UB} = \left|\frac{\Gamma_4 D_4}{\Gamma_1 D_1}\right| = 0.036$ $\left(\frac{q_2}{q_1}\right)_{UB} = \left|\frac{\Gamma_2 D_2}{\Gamma_1 D_1}\right| = 0.161$

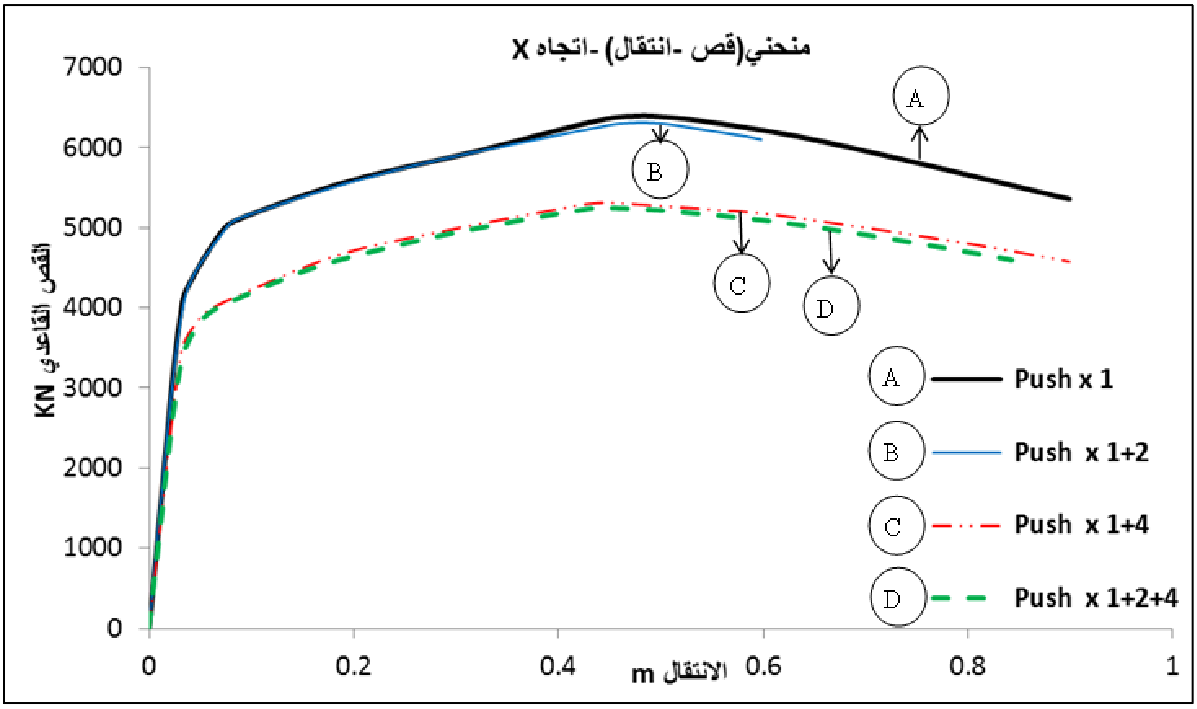
اتجاه Y: $\left(\frac{q_2}{q_3}\right)_{UB} = \left|\frac{\Gamma_2 D_2}{\Gamma_3 D_3}\right| = 0.662$ $\left(\frac{q_5}{q_3}\right)_{UB} = \left|\frac{\Gamma_5 D_5}{\Gamma_3 D_3}\right| = 0.026$

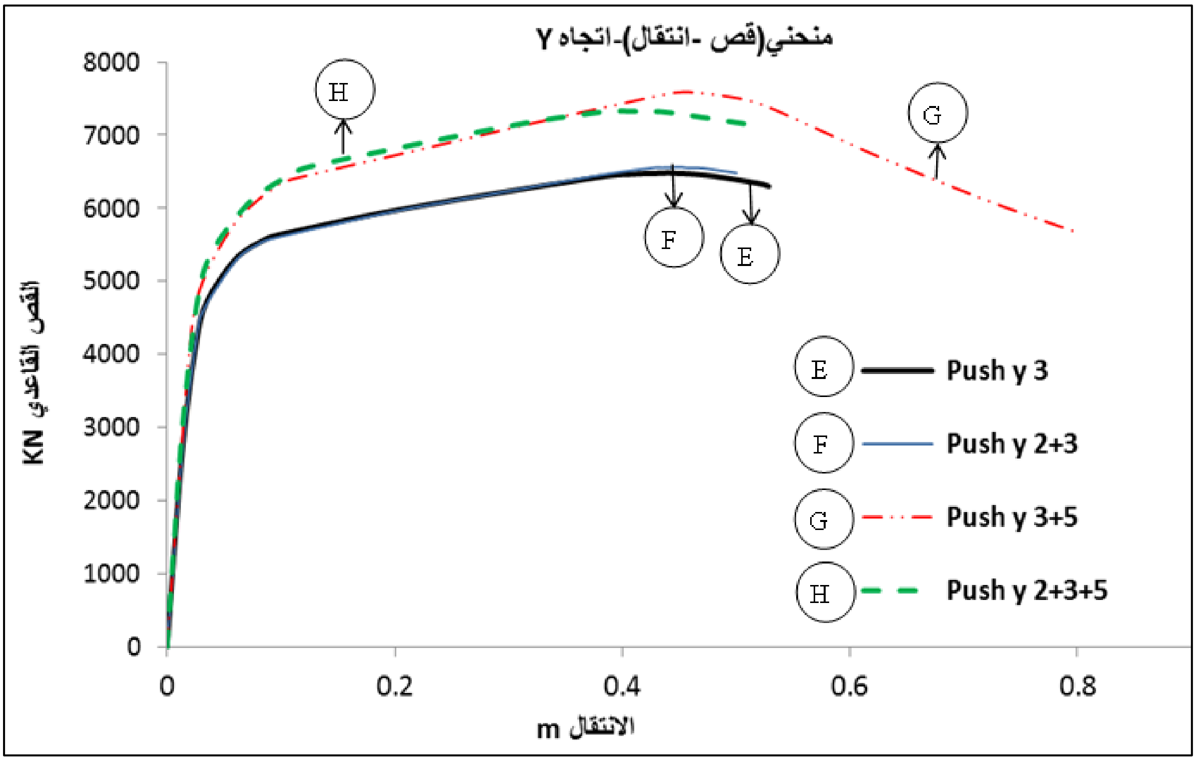




شكل(4–94): الحمولات الجانبية على المبنى(S1–5)بطريقة (UBPA) بالاتجاهين

- منحنيات الاستطاعة: مبينة في الشكل(4-95)





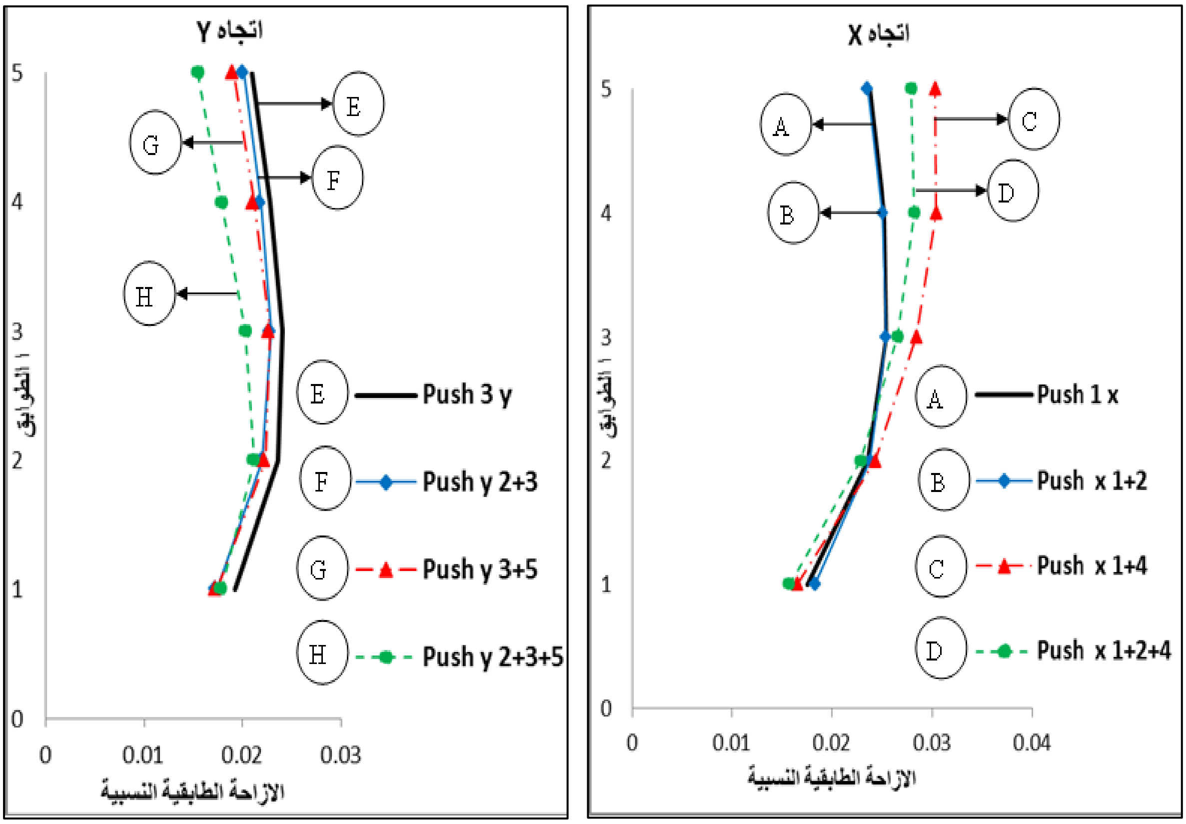
شكل(4-95): منحنيات الاستطاعة المبنى(S1-5)بطريقة (UBPA) بالاتجاهين X,Y

- نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء :

جدول(4−32) : نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى (S1−5) بطريقة UBPA

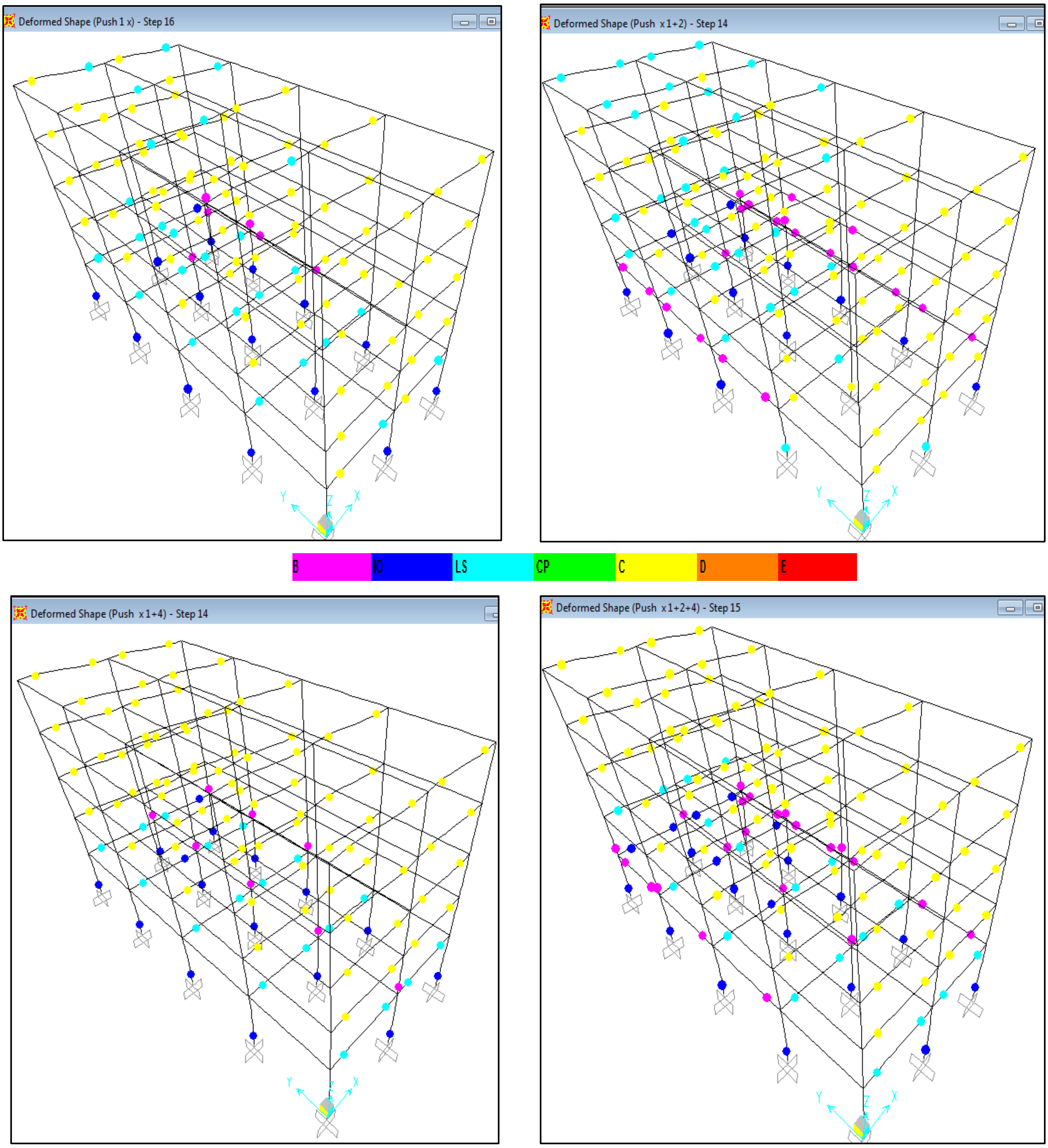
الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء					
		V (KN)	%	δ (m)	%	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
push X 1	**A**	**6371.43**		**0.51**		249	6	16	26	0	73
push X 1+2t+4	**D**	**5150.52**	*-19%*	**0.555**	*9%*	234	22	21	18	0	75
push X 1+4	**C**	**5219.48**	*-18%*	**0.558**	*9%*	247	8	17	18	0	80
push X 1+2t	**B**	**6305.46**	*-1%*	**0.494**	*-3%*	247	8	17	18	0	80
push Y 3	**E**	**6431.05**	-	**0.482**	-	171	63	15	69	0	52
push Y 2t+3	**F**	**6558.98**	*2%*	**0.446**	*-13%*	188	47	18	88	0	29
push Y 2t+3+5	**H**	**7329.32**	*14%*	**0.4**	*-22%*	181	54	80	38	0	17
push Y 3+5	**G**	**7549.25**	*17%*	**0.435**	*-15%*	235	0	21	106	0	8

- الإزاحة الطابقية النسبية: مبينة في الشكل(4−96)



شكل(4−96): الازاحة النسبية الطابقية للمبنى (S1−5)بطريقة (UBPA) بالاتجاهين X,Y

• أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها بالاتجاه X:



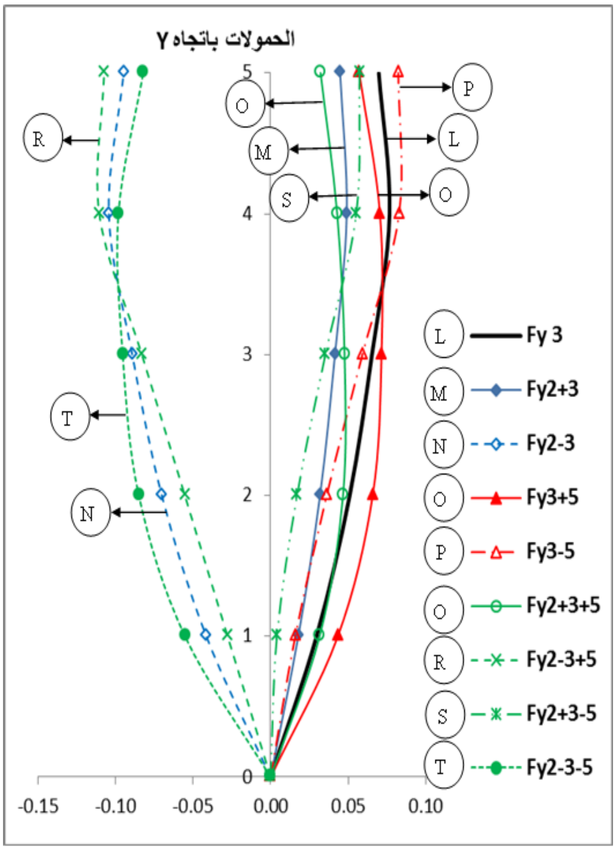
شكل(4-97) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S1-5) بطريقة (UBPA) بالاتجاه X,

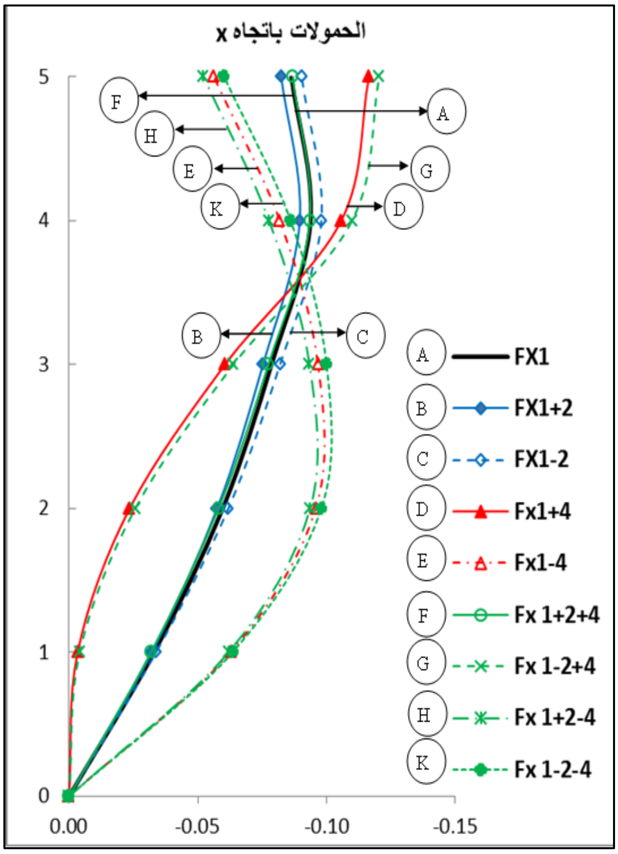
ولاحظنا أن تأثير النمط 2على شعاع الحمولة المجمع بالاتجاه X يكاد يكون مهملا وذلك بسبب عامل مساهمة الكتلة القليل (3.2%)، لذلك استثنيناه من التجميع في الطريقتين اللاحقتين.

2–طريقة(MMC):

- الحمولات المجمعة: حسب الفقرة (4–1–2)، والتسارع الطيفي المستخدم في صيغة الحمولة الجانبية للأنماط الخمسة الأولى:

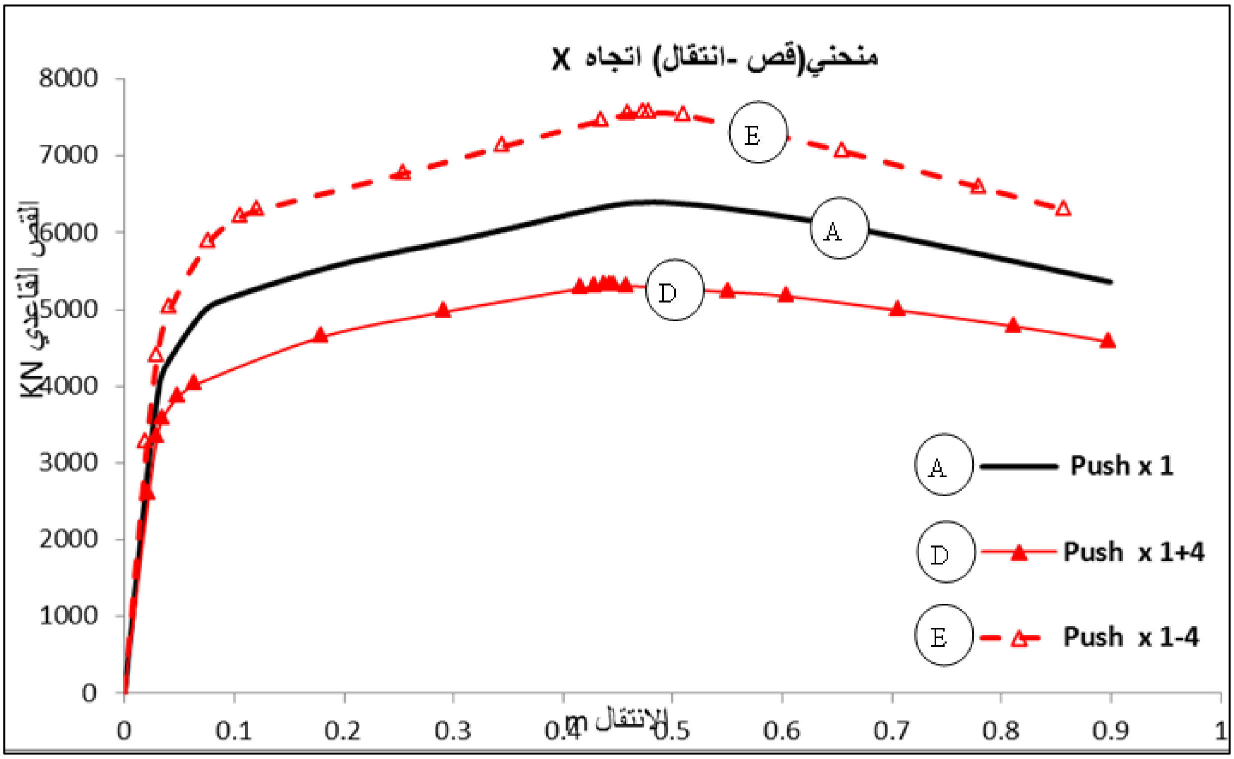
النمط	1	2	3	4	5
Sa n	0.85	0.9	0.9	0.9	0.9

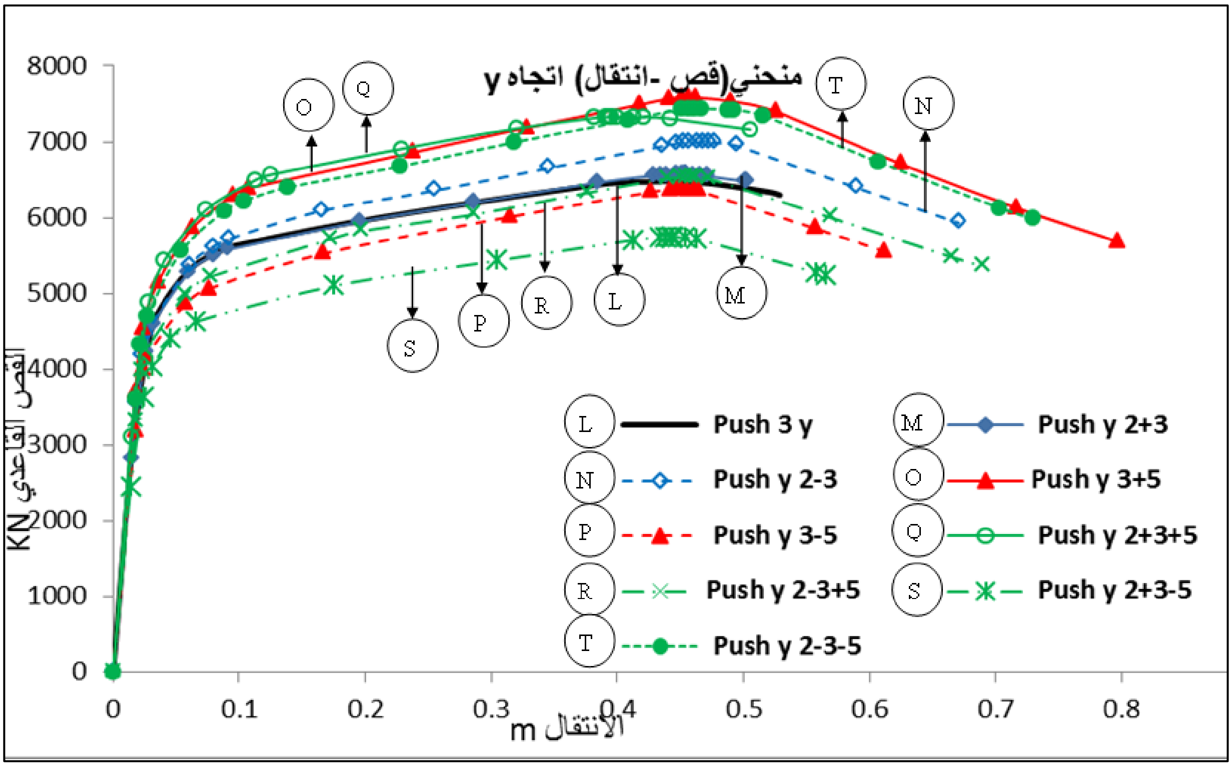




شكل(4–98): الحمولات الجانبية على المبنى(S1–5)بطريقة (MMC) بالاتجاهين X,Y

- منحنيات الاستطاعة:





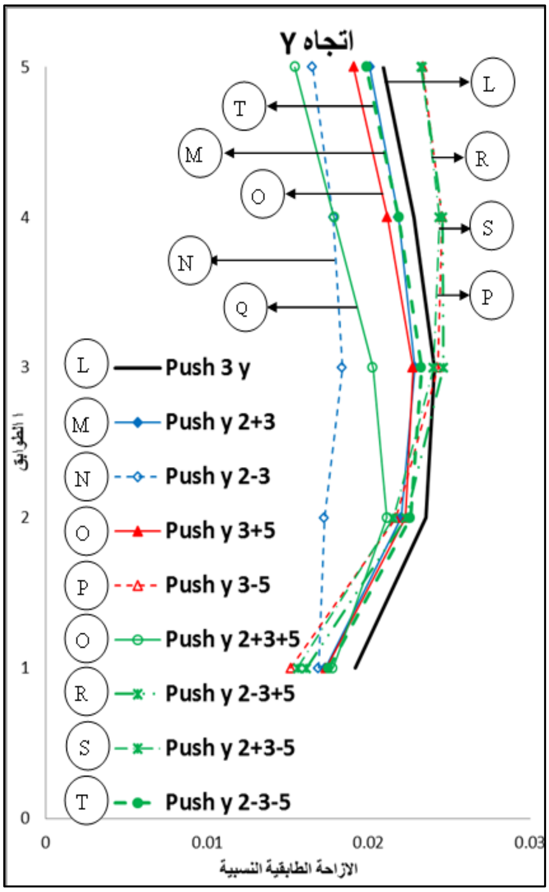
شكل(4-99) :منحنيات الاستطاعة المبنى(S1-5)بطريقة (MMC) بالاتجاهين X,Y

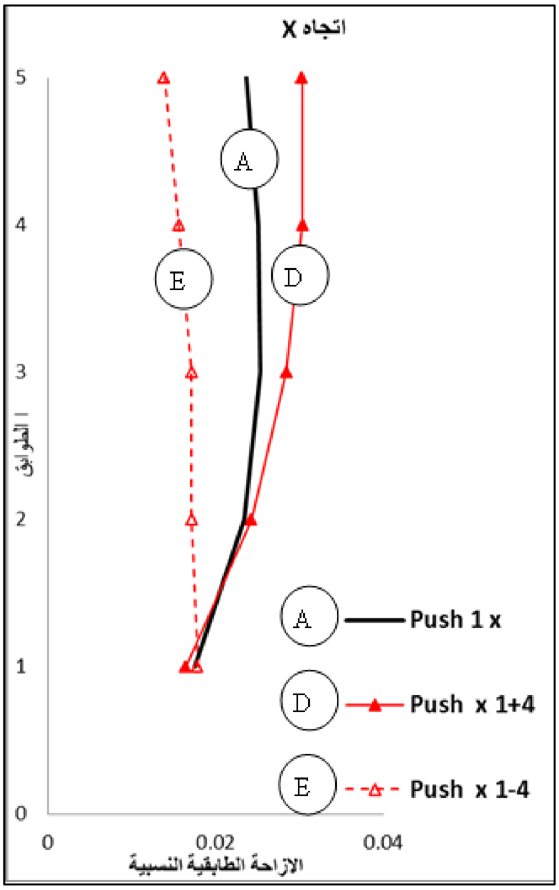
- نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء:

جدول(4−33) : نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى (S1−5) بطريقة MMC

الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الأداء					
		V (KN)	%	δ (m)	%	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
push X 1	A	6371.43	-	0.51	-	249	6	16	26	0	73
push X 1+4	D	5219.48	-18%	0.558	9%	247	8	17	18	0	80
push X 1-4	E	7498.67	18%	0.447	-12%	255	0	39	71	0	5
push Y 3	L	6431.05	-	0.482	-	171	63	15	69	0	52
push Y 2t+3-5	S	5625.73	-13%	0.483	0%	235	0	15	102	0	18
push Y 3-5	P	6230.57	-3%	0.487	1%	227	8	24	34	0	77
push Y 2t+3	M	6558.98	2%	0.446	-7%	188	47	18	88	0	29
push Y 2t-3	N	6991.48	9%	0.462	-4%	233	2	13	79	0	43
push Y 3+5	O	7549.25	17%	0.453	-6%	235	0	21	106	0	8
push Y 2t+3+5	Q	7329.3	14%	0.4	-17%	231	4	16	39	0	80
push Y 2t-3+5	R	6474.13	1%	0.48	0%	194	42	23	38	0	73
push Y 2t-3-5	T	7420.82	15%	0.446	-7%	181	54	80	38	0	17

- الإزاحة الطابقية النسبية:

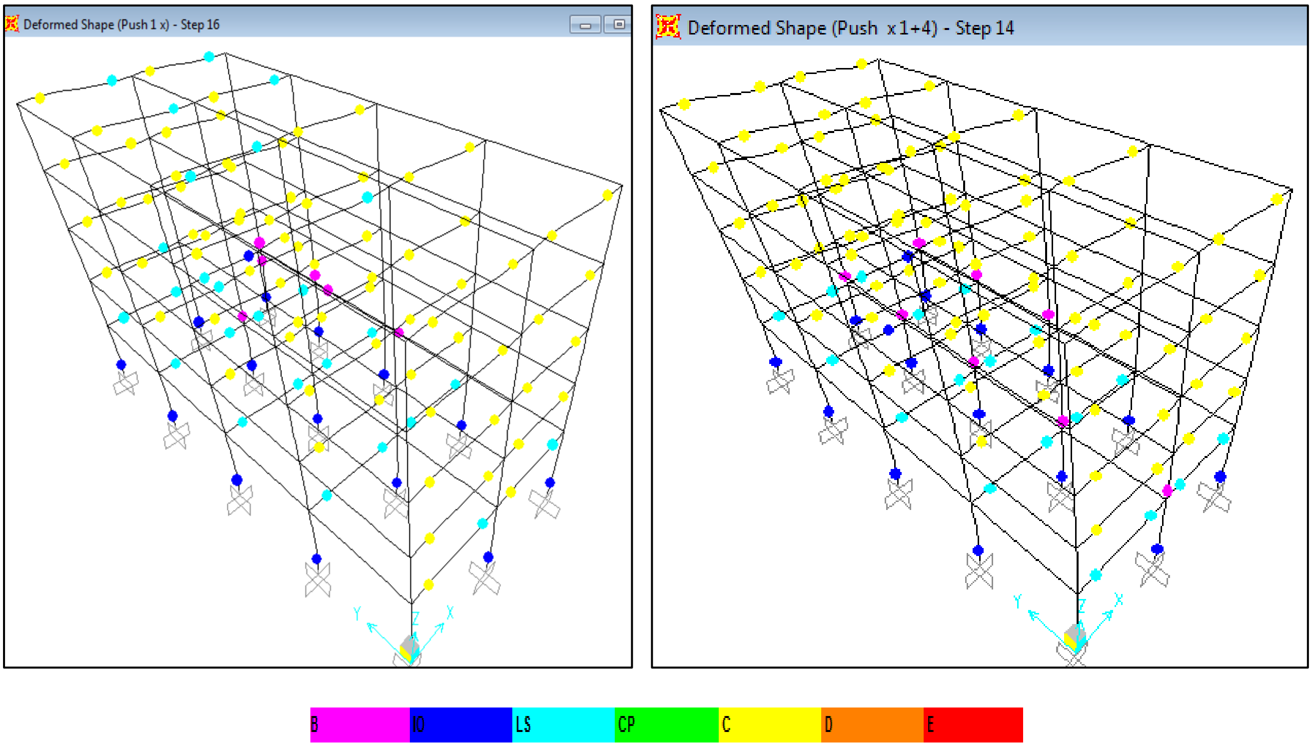




شكل(4−100) :الازاحات النسبية الطابقية للمبنى (S1−5)بطريقة (MMC) بالاتجاهين X,Y

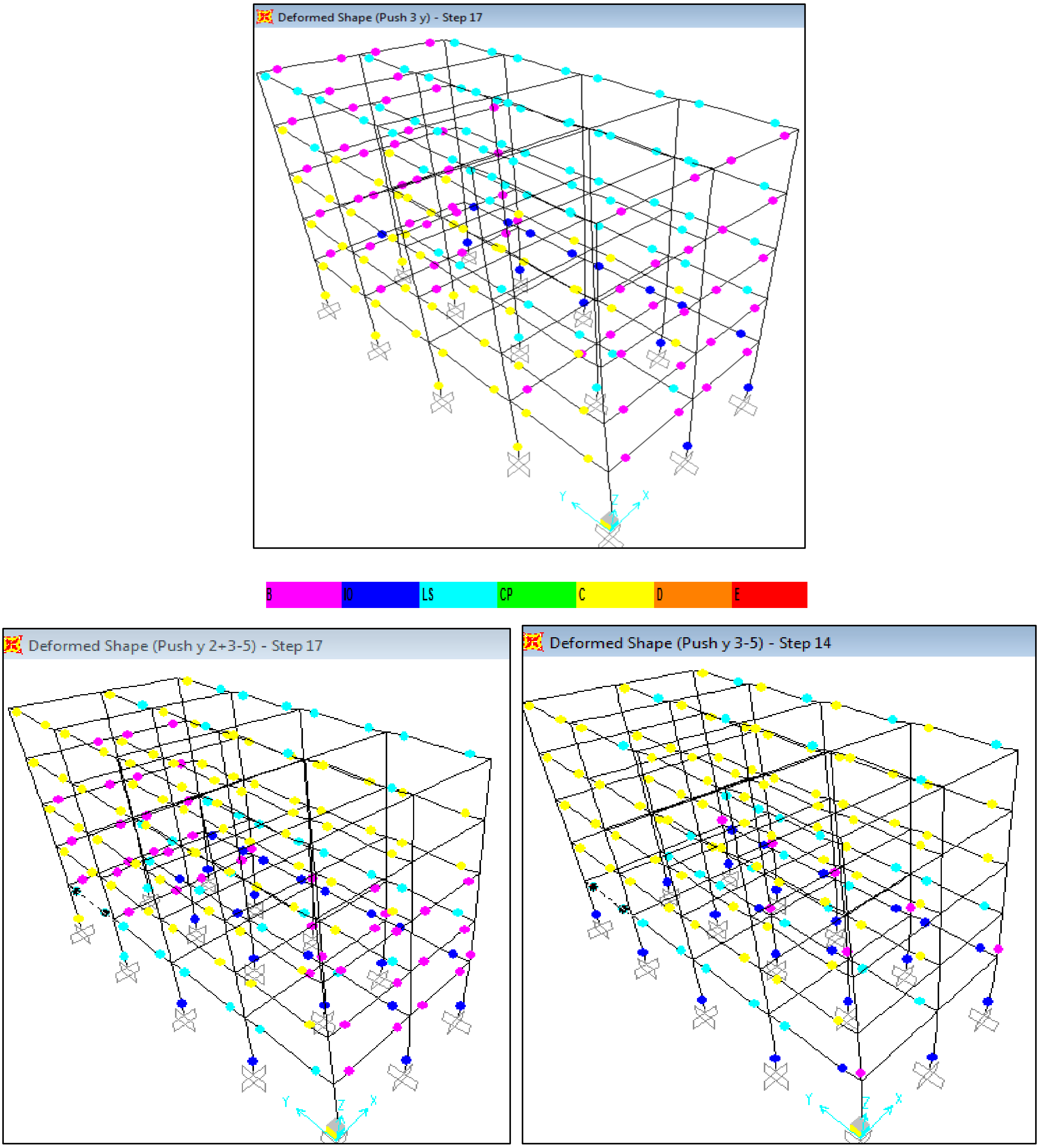
- أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها:

الاتجاه :X:



شكل(4–101) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S1–5)بطريقة (MMC) بالاتجاه X,

الاتجاه Y:



شكل(4-102) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S1-5)بطريقة (MMC) بالاتجاه Y,

3-الطريقة المقترحة (proposed): حسب الفقرة (4-1-4).

هذه الطريقة أعطت حمولات مقاربة لحمولات MMC ومنحنيات الاستطاعة ونقطة أداء وإزاحات نسبية طابقية أيضا مقاربة جدا لـMMC في كل اتجاه لكل حالة من حالات تجميع الأنماط وذلك لأن قيمة طيف التسارع المستخدمة في MMC قريبة من 1 بالنسبة للدور الأول وتساوي 0.9 لباقي الأدوار التي تقع في منطقة التسارع الثابت في طيف الاستجابة المدروس وإزالة هذه القيم في علاقات Proposed لم يغير تراكيب الحمولات بشكل ملحوظ. اختصرنا عرض كل نتائج هذه الطريقة تجنبا للإطالة:

جدول(4-34) : نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى (S1-5) بطريقة المقترحة proposed

الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الأداء					
		V (KN)	%	δ (m)	%	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
push X 1	A	6371.4		0.51		249	6	16	26	0	73
push X 1+4	D	5287.7	-17%	0.55	9%	247	8	16	19	0	80
push X 1-4	E	7431.1	17%	0.45	-12%	255	0	29	78	0	8
push Y 3	L	6431.1	-	0.48	-	171	63	15	69	0	52
push Y 2t+3-5	S	5625.7	-13%	0.48	0%	235	0	15	102	0	18
push Y 3-5	P	6230.6	-3%	0.49	1%	227	8	24	34	0	77
push Y 2t-3+5	R	6474.1	1%	0.48	0%	194	42	23	38	0	73
push Y 2t+3	M	6559	2%	0.45	-7%	188	47	18	88	0	29
push Y 2t-3	N	6991.5	9%	0.46	-4%	233	2	13	79	0	43
push Y 2t+3+5	Q	7329.3	14%	0.4	-17%	231	4	16	39	0	80
push Y 2t-3-5	T	7420.8	15%	0.45	-7%	181	54	80	38	0	17
push Y 3+5	O	7549.3	17%	0.45	-6%	235	0	21	106	0	8

4-5-2-مقارنة نتائج المبنى (S1-5):

- الحمولات المجمعة :

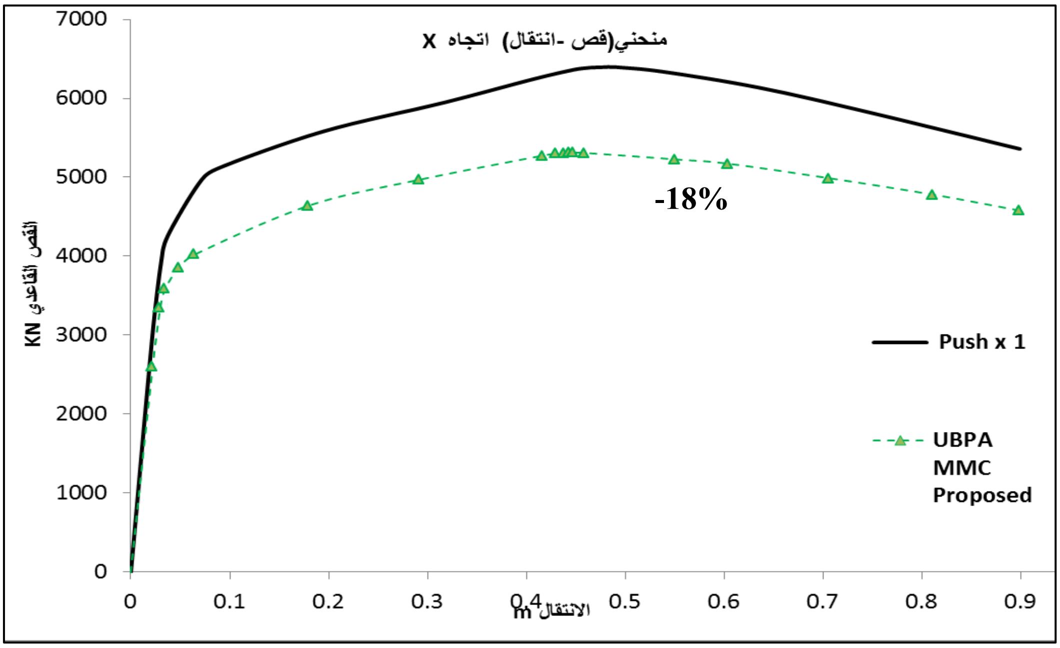
نلاحظ من أشكال الحمولات (4-94)إلى (4- 98) ما يلي:

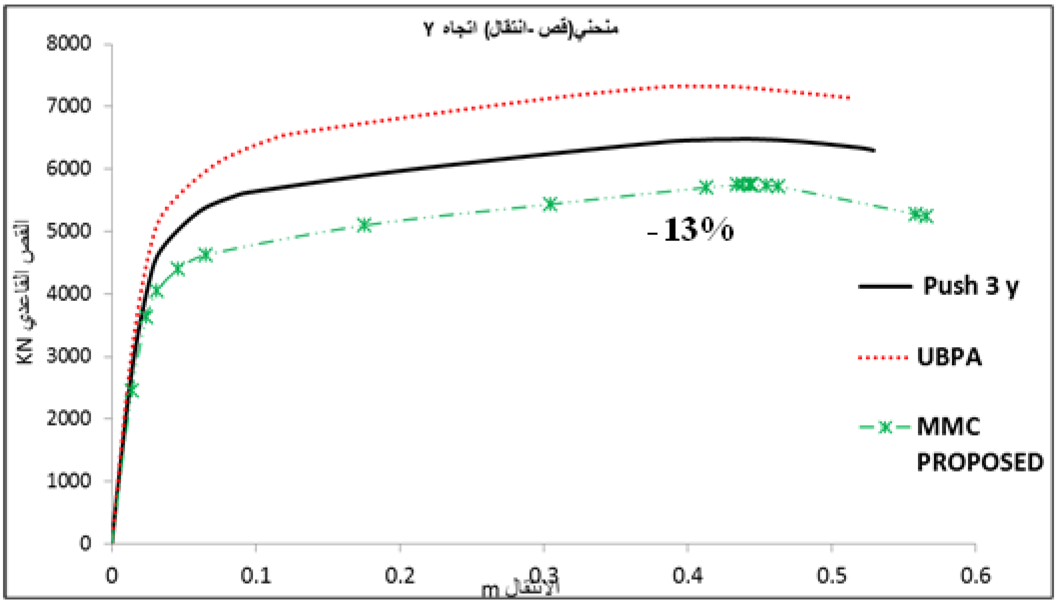
الاتجاه X : إن تأثير النمط 2 على شكل الحمولة المجمع يكاد يكون مهملا بسبب عامل مساهمة الكتلة القليل (3.2%) وقد أعطى تجميع الأنماط 1+4 بالاتجاه X حمولة جانبية تطبق قوى دفع باتجاه واحد

ولكن بشكل مختلف عن حمولة النمط الأساسي حيث تتميز بموجتين مع قيم دنيا في طوابق النصف السفلي وقوى دفع أعظمية في النصف العلوي من الاطار هذه الحمولة هي C في UBPA و D في MMC والطريقة المقترح Proposed. أما تجميع النمطين 1 و 4 بإشارة متعاكسة فقد أعطى حمولات جانبية ذات قوى دفع باتجاه واحد ولكن القوى العظمى مركزة في مستوى الطابق 2 و 3.

الاتجاه Y: أعطى تجميع الأنماط 3-5 و 2+3-5 حمولة ذات قوى دفع عظمى من الأعلى أما باقي التجميعات أعطت أشكالا مماثلة للنمط 3 أو ذات قوى دفع عظمى في مستوى الطوابق الوسطى.

- منحنيات الاستطاعة:





شكل(4-103): منحنيات الاستطاعة المبنى(S1-5) للحالات الأخطر بالاتجاهين X,Y

- نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء:

جدول(4-35) : مقارنة نقطة الأداء والمفاصل اللدنة لحالات التجميع الأخطر للمبنى(S1-5) بالطرائق المعتمدة

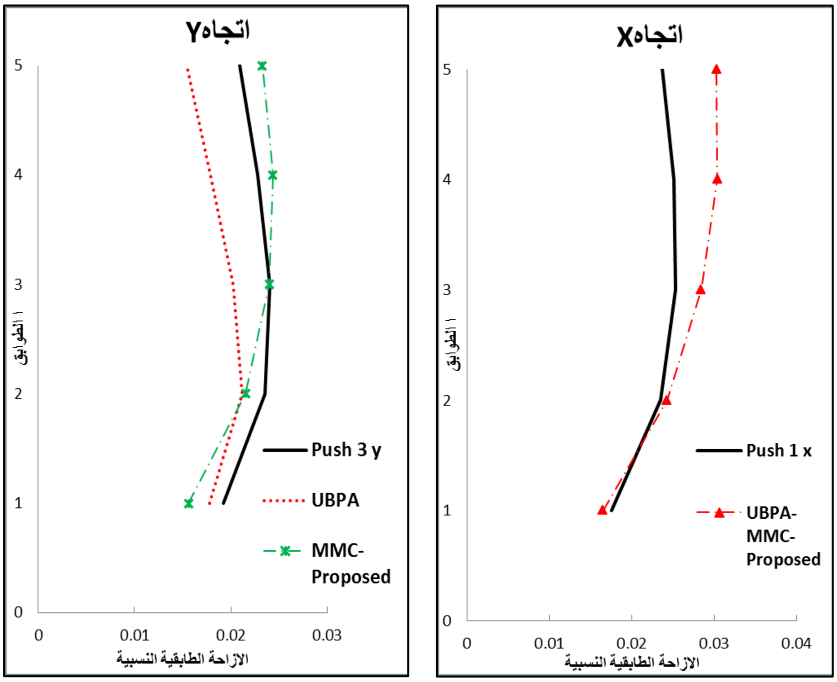
الاتجاه	الطريقة	الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء					
				V (KN)	%	δ (m)	%	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
X	النمط الأساسي	X 1	A	6371.4		0.51		249	6	16	26	0	73
	UBPA	X 1+4	C	5219.48	-18%	0.558	9%	247	8	17	18	0	80
	MMC	X 1+4	D	5219.5	-18%	0.56	9%	247	8	17	18	0	80
	Proposed	X 1+4	D	5287.7	-17%	0.55	9%	247	8	16	19	0	80
Y	النمط الأساسي	Y 3	E	6431.1	-	0.48	-	171	63	15	69	0	52
	UBPA	-											
	MMC	Y 2t+3-5	S	5625.7	-13%	0.48	0%	235	0	15	102	0	18
	Proposed	Y 2t+3-5	S	5625.7	-13%	0.48	0%	235	0	15	102	0	18

من الشكل (4-103) والجدول (4-35) نجد ما يلي :

الاتجاه X: أدى تجميع الأنماط (1+4) إلى انخفاض في استطاعة المبنى وزيادة قابليته على الانتقال الجانبي اللاخطي بنسب متماثلة في الطرائق الثلاث، حيث انخفض القص القاعدي المرافق لنقطة الأداء بنسبة 18% وزاد الانتقال الجانبي للنقطة المرجعية في سطح المبنى 9% وبذلك فهو التجميع الاخطر في الاتجاه X وهو متعلق بشكل الحمولة المرافق. بينما أدى تجميع 1-4 إلى تقسية سلوك المبنى وانخفاض قابليته على الانتقال الجانبي.

الاتجاه Y : أعطى التجميع (2+3-5) أكبر نسبة تخفيض للاستطاعة بلغت 13% مع المحافظة على قابلية الانزياح الجانبي. بينما أدت باقي حالات التجميع للأنماط الثلاثة إلى تقسية السلوك اللاخطي للمبنى.

- الازاحات النسبية الطابقية:



شكل(4-104) :الازاحات النسبية الطابقية للمبنى (S1-5)للحالات الأخطر بالاتجاهين X,Y

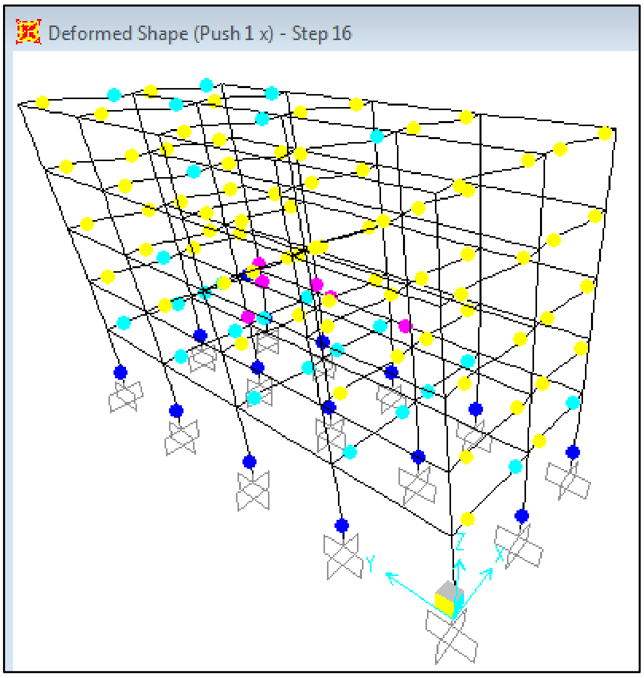
ترافق انخفاض استطاعة الإطار في الاتجاهين X و Y مع زيادة الإزاحات النسبية بين طوابق القسم العلوي منه، كما ترافقت تقسية الاطار بانخفاض عام في الإزاحات النسبية الطابقية خاصة بين طوابق النصف العلوي. الشكل (4-104) يبين أن تجميع 1+4 باتجاه X سبب زيادة الإزاحات النسبية بين طوابق القسم العلوي بنسب متماثلة في الطرائق الثلاث ونقصانها في القسم السفلي، وهذا الأمر نتيجة مشاركة النمط 4 مع النمط 1 في الاستجابة. والأمر ينطبق على حالة التجميع 2+3-5 بالاتجاه Y.

- <u>أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها:</u>

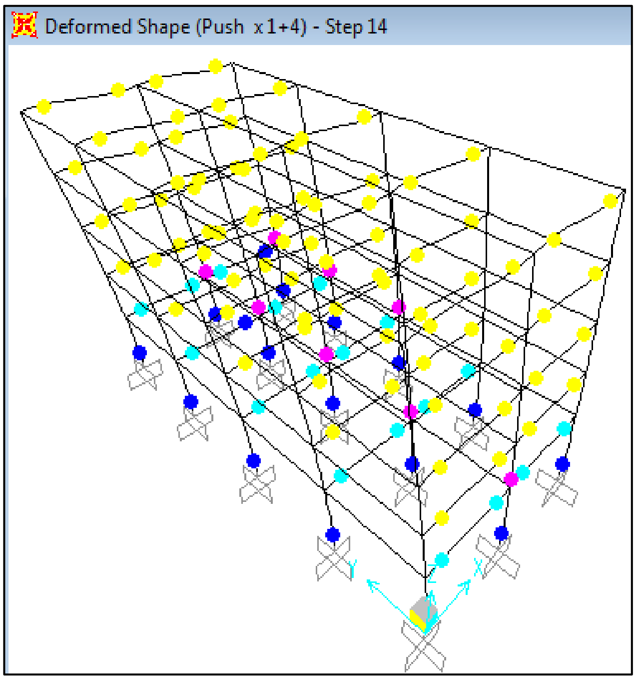
نلاحظ من الجدول (4-35) والشكل(4-105)و(4-106) أن انخفاض الاستطاعة باتجاه X ترافق مع زيادة في عدد المفاصل اللدنة التي وصلت إلى الاستطاعة الحدية في جيزان الطابق العلوي. أما في الاتجاه y الأشكال(4-107) و(4-108) فقد انخفض عدد المفاصل التي وصلت إلى الاستطاعة الحدية وزاد عدد المفاصل التي تجاوزت مستوى LS وبقيت ضمن حدود ما قبل الانهيار CP.

من مقارنة نتائج المبنىS1-5 نجد ان إدخال تأثير الانماط العليا مع النمط الأساسي في كل من الاتجاهين كان له تأثير ضعيف في استجابة المبنى لم يتجاوز 18 % وهذا بسبب الدور الأساسي القصير وعدد الطوابق الذي لا يتجاوز 5 طوابق.

الاتجاه X:

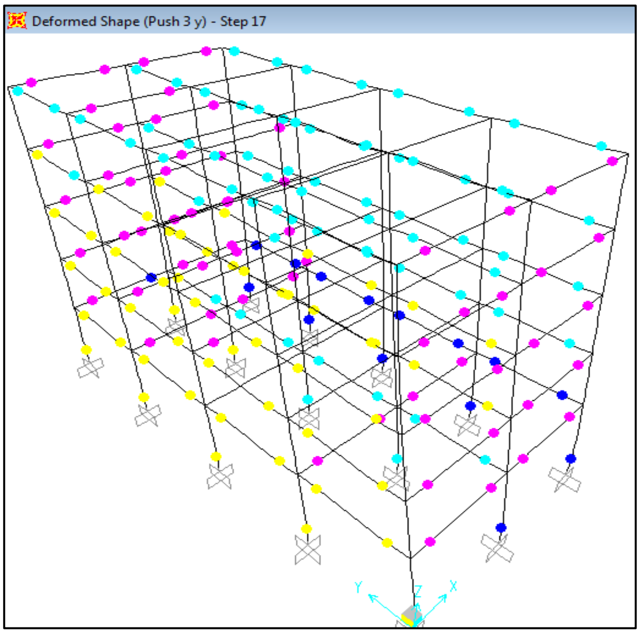


شكل(4-105) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S1-5)حسب النمط الأساسي اتجاه x

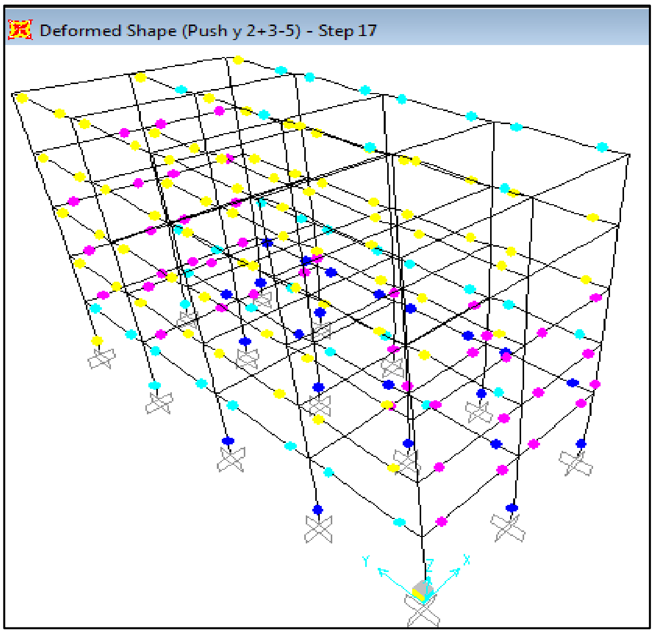


شكل(4-106) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S1-5)بالطرائق الثلاث بالحالة الأخطر

الاتجاه Y:



شكل(4-107) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S1-5)حسب النمط الأساسي اتجاه Y



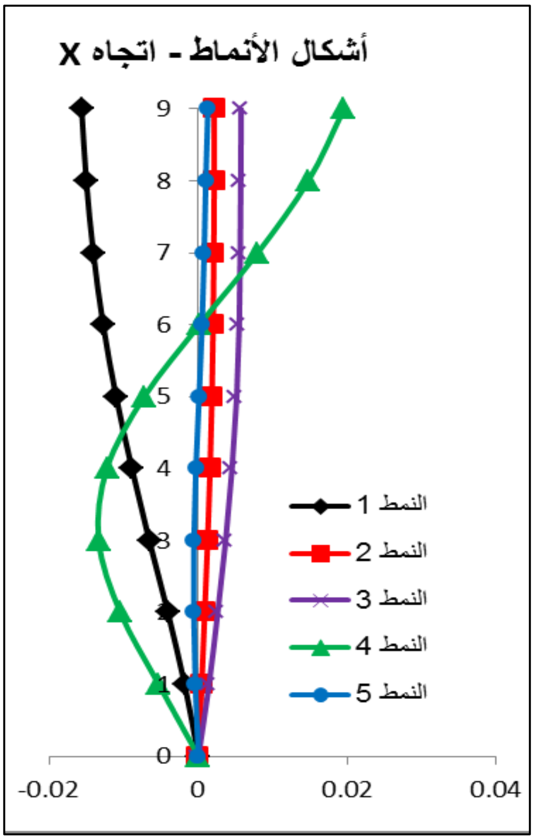
شكل(4-108) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S1-5)بطريقة MMC, Proposed بالحالة الأخطر

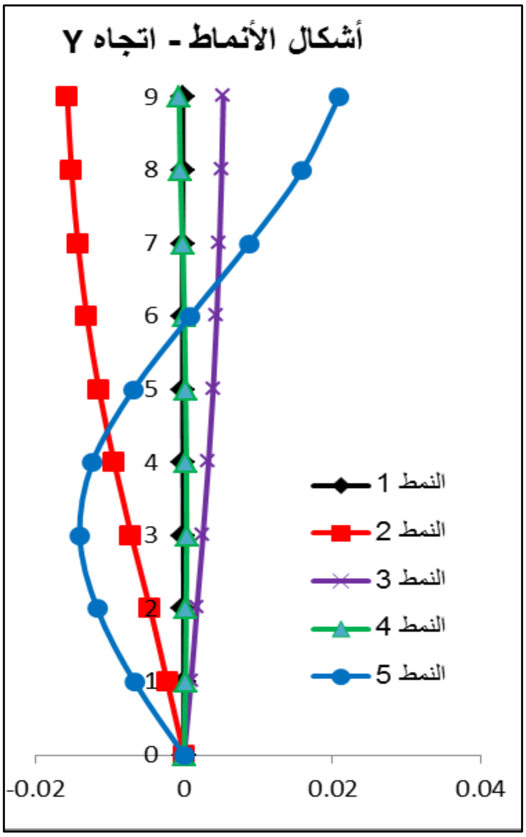
4-5-3 نتائج المبنى (S2-9):

نتائج تحليل الاهتزاز الحر:

جدول(4-36) :الخصائص الديناميكية للمبنى (S2-9).

النمط	الاتجاه المسيطر		الدور (T) sec	القيم الذاتية (ω2)	عامل مساهمة الكتلة %		مجموع مساهمة الكتلة %		عامل المساهمة النمطي(Γ)	
					X	Y	X	Y	X	Y
1	X		1.54	16.55	73.4	0.0	73.4	0.0	77.86	1.56
2	Y		1.25	25.24	0.9	74.3	74.4	74.3	8.73	78.29
3	فتل	X, Y	1.22	26.74	6.5	7.5	80.8	81.8	23.10	24.94
4	X		0.52	148.50	9.9	0.0	90.7	81.8	28.56	0.81
5	Y		0.44	208.02	0.0	10.6	90.7	92.4	1.12	29.59



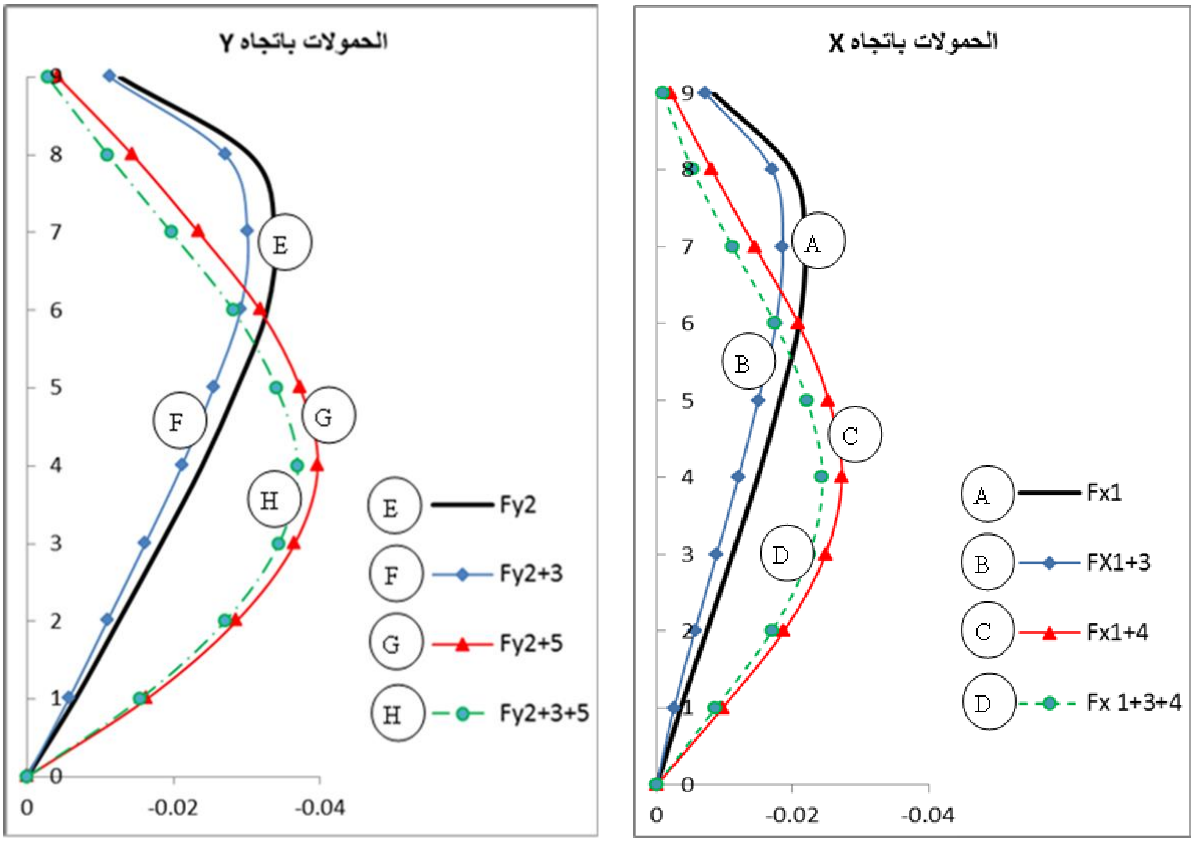


شكل(4-109) :أشكال أنماط الاهتزاز للمبنى (S2-9)

تنتقل عقد المبنى وفق نمطي الاهتزاز 1 و 4 باتجاه المحور X بشكل رئيسي فيما تسبب أنماط الاهتزاز 2و 5 انتقالا باتجاه المحور Y بشكل رئيسي، ويسبب النمط 3 انتقالات وفق X , Y ناتجة عن الفتل في المستوى الافقي لطوابقه، وعند تشكيل الحمولات الجانبية بالطرق المعتمدة تم تجميع الأنماط 1و 4 في الاتجاه X مع إضافة تأثير النمط 3 بما يضمن تجاوز عامل مساهمة الكتلة نسبة 90% في هذا الاتجاه وأيضا تجميع الأنماط 2 و 5 في الاتجاه Y مع إضافة تأثير النمط 3 بما يضمن تجاوز عامل مساهمة الكتلة نسبة 90% في هذا الاتجاه. ويعتبر النمط 1 هو النمط الأساسي والمرجعي في الاتجاه X والنمط 2 هو النمط الأساسي والمرجعي في الاتجاه Y.

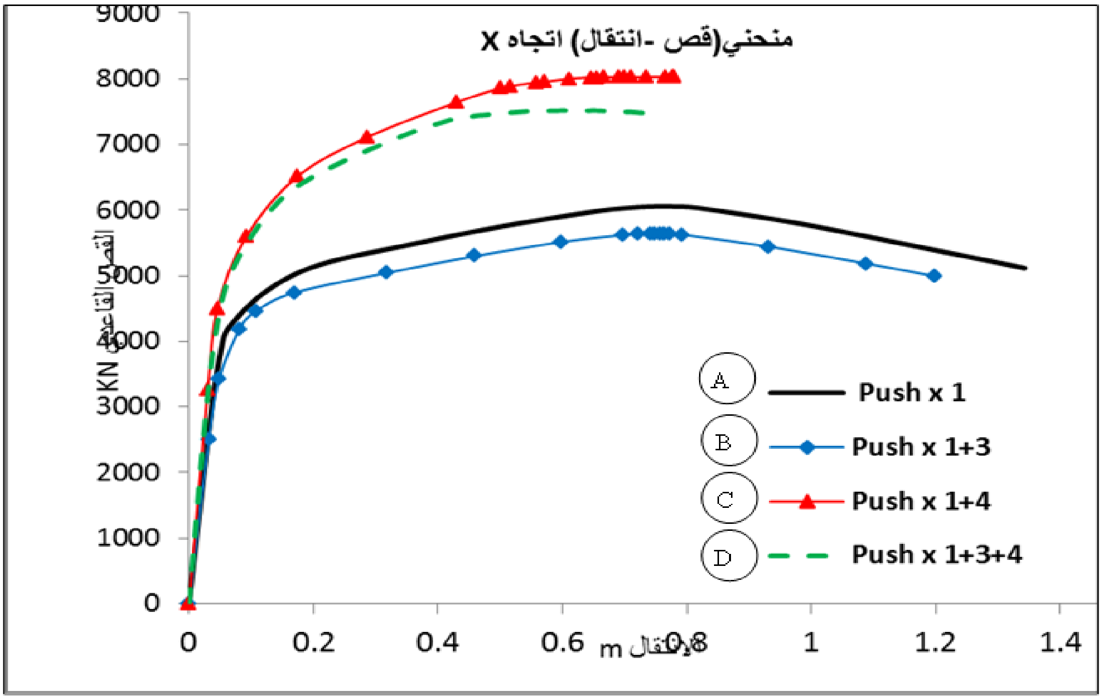
1-طريقة(UBPA):

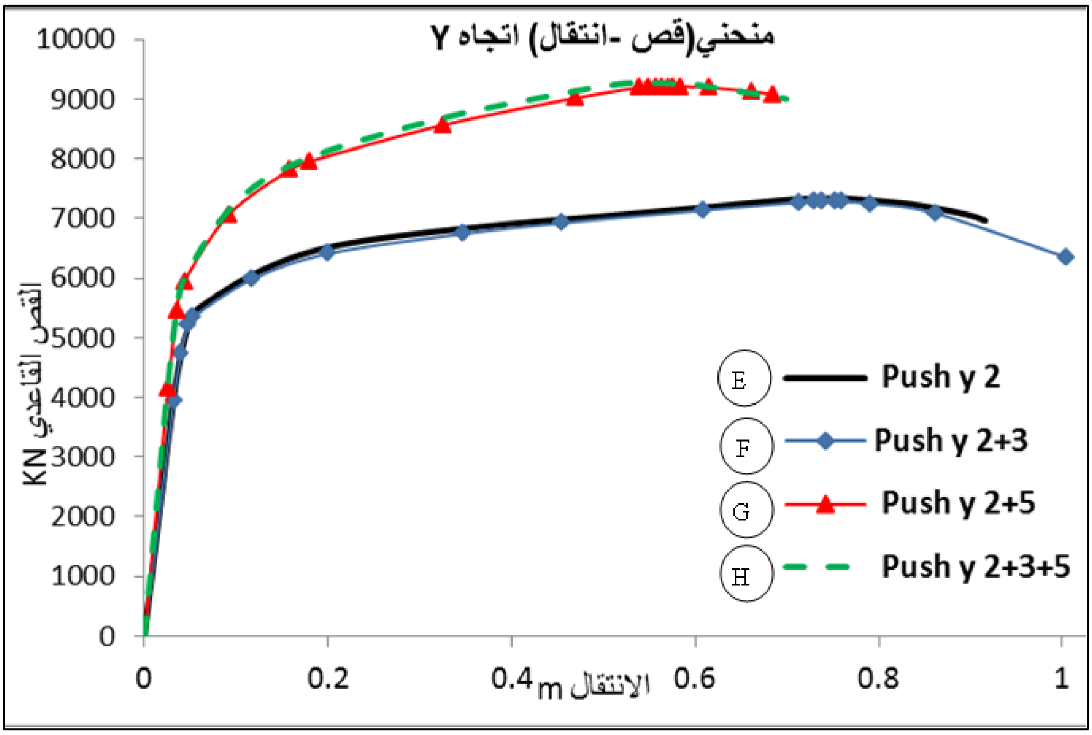
- الحمولات المجمعة: حسب الفقرة (4-1-1).



شكل(4-110): الحمولات الجانبية على المبنى(S2-9) بطريقة UBPA بالاتجاهين X,Y

- منحنيات الاستطاعة:





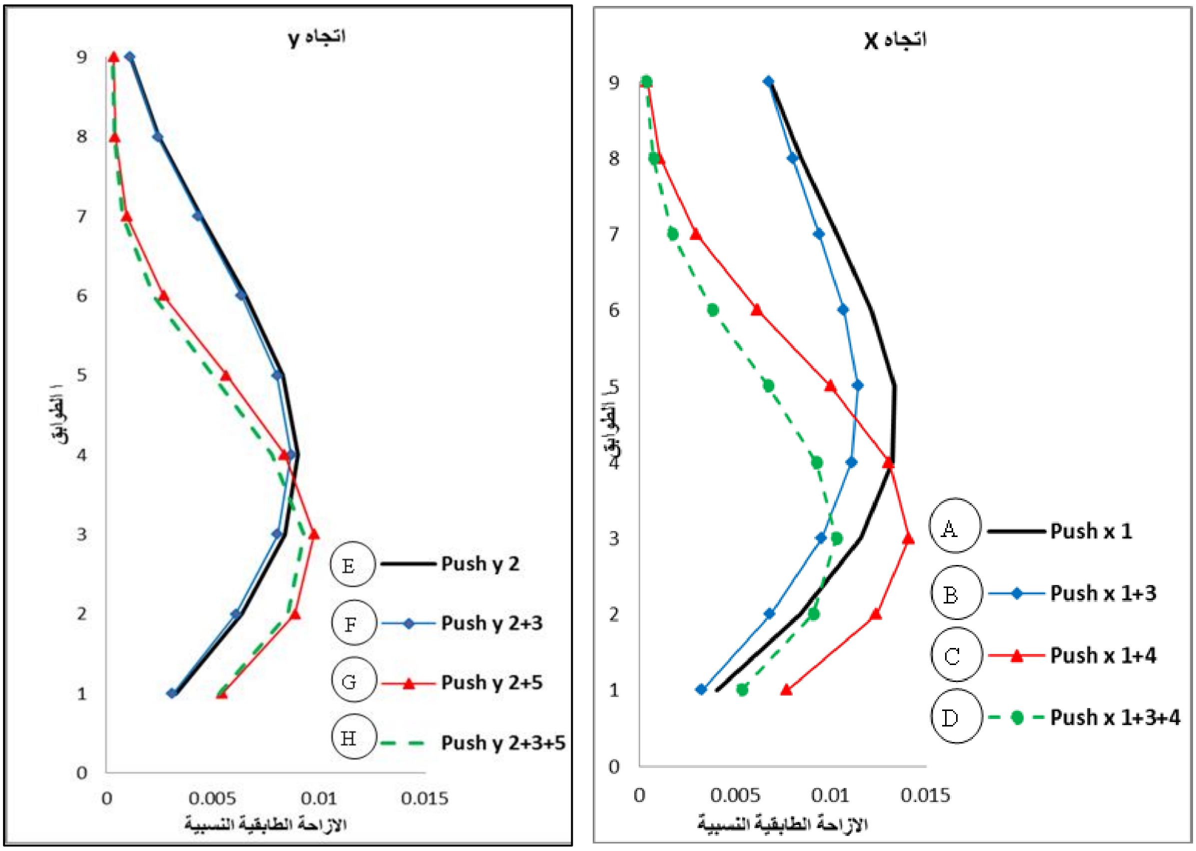
شكل(4-111): منحنيات الاستطاعة المبنى(S2-9)بطريقة (UBPA) بالاتجاهين X,Y

- نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء:

جدول(4−37) : نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى S2−9 بطريقة UBPA

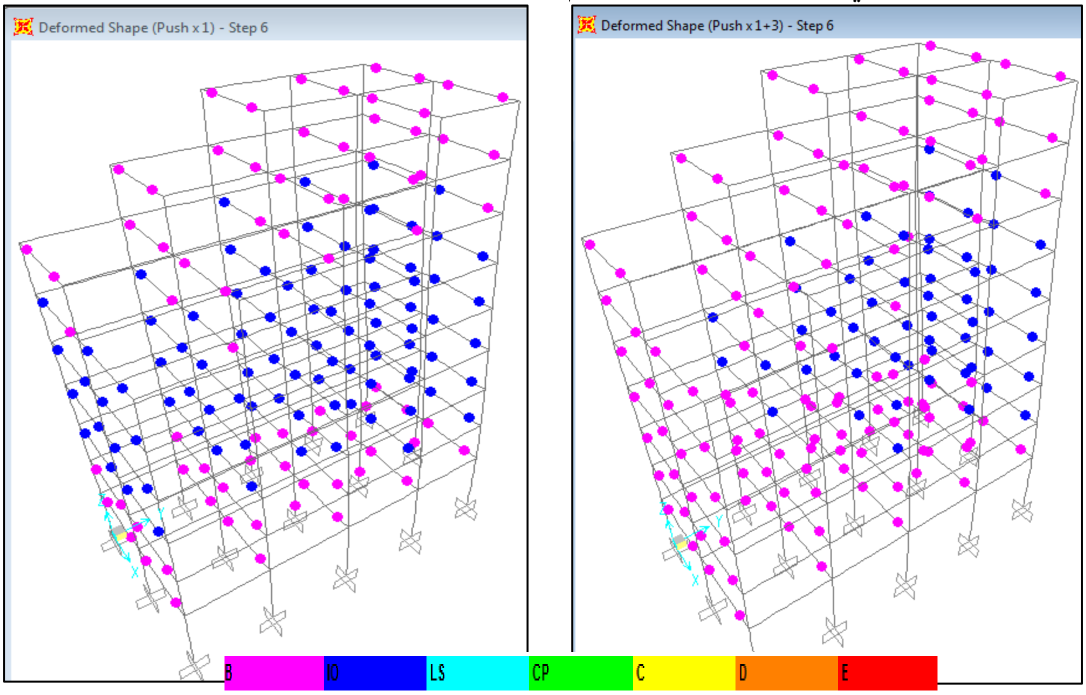
الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الأداء					
		V (KN)	%	δ (m)	%	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
push X 1	A	5507.88		0.373		432	76	92	0	0	0
push X 1+3	B	5119.6	-7%	0.36	-3%	420	125	55	0	0	0
push X 1+4	C	7080.64	29%	0.28	-25%	447	75	78	0	0	0
push X 1+3+4	D	6737.75	22%	0.151	-56%	422	144	34	0	0	0
push Y 2	E	6659.21		0.264		380	116	104	0	0	0
push Y 2+3	F	6675.25	0%	0.317	20%	398	103	99	0	0	0
push Y 2+5	G	8215.59	23%	0.241	-9%	441	155	4	0	0	0
push Y 2+3+5	H	8290.46	24%	0.239	-9%	454	146	0	0	0	0

- الإزاحة النسبية الطابقية:



شكل(4−112) الازاحة النسبية الطابقية المبنى(S2−9)بطريقة (UBPA) بالاتجاهين X,Y

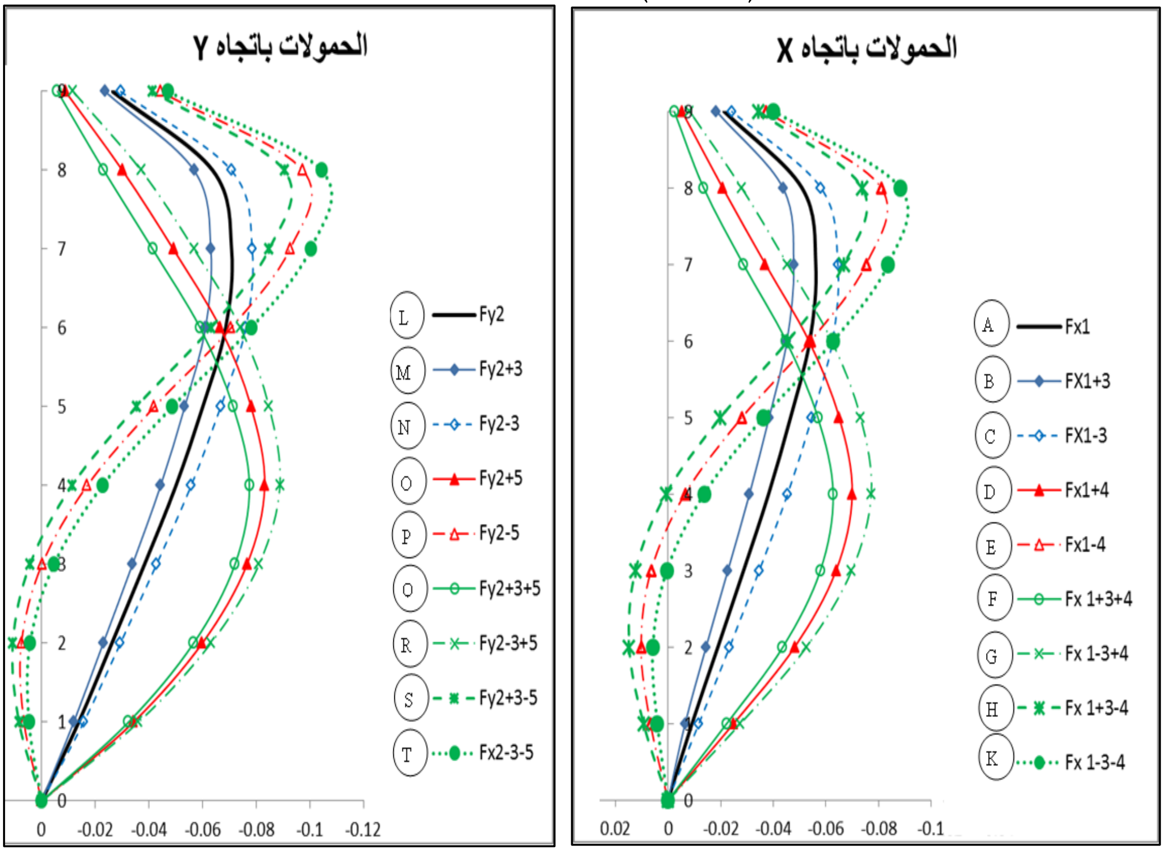
- أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في حالة التجميع الأخطر والنمط الأساسي بالاتجاه x فقط حيث لم يحدث تخفيض بالاتجاه Y:



شكل(4-113) تشكل المفاصل اللدنة في المبنى(S2-9)بطريقة (UBPA) بالاتجاه X,

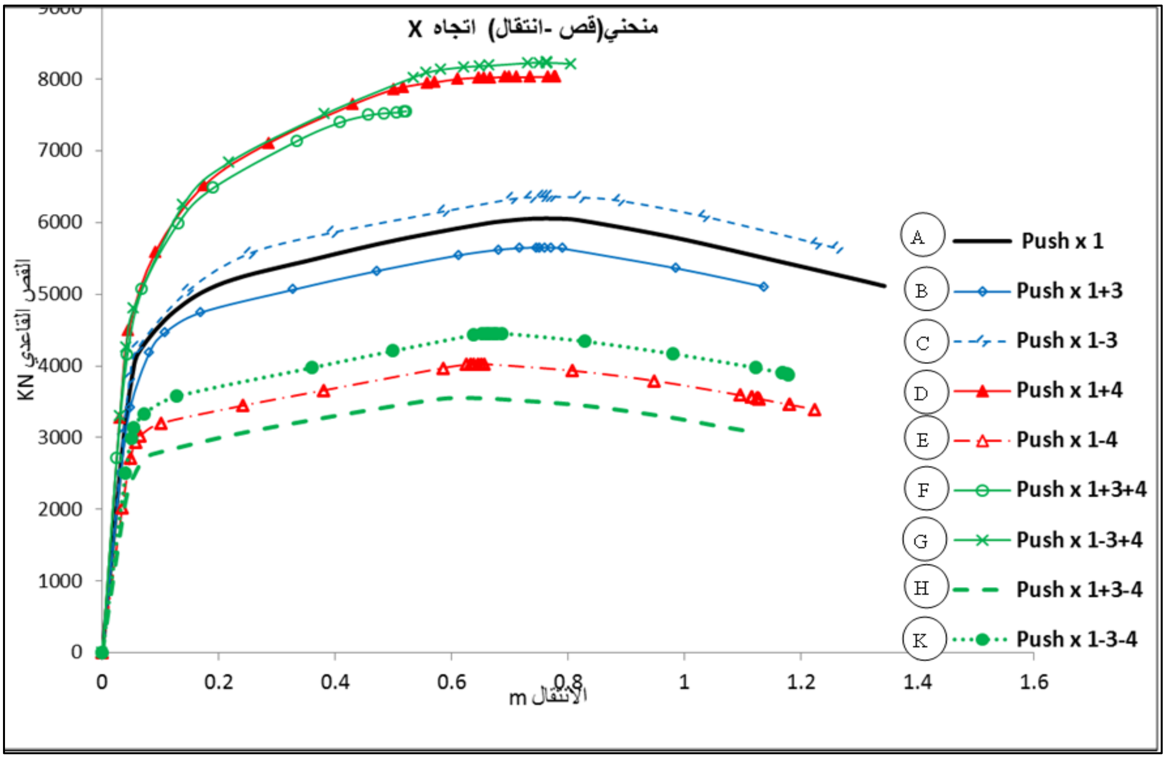
2-طريقة(MMC):

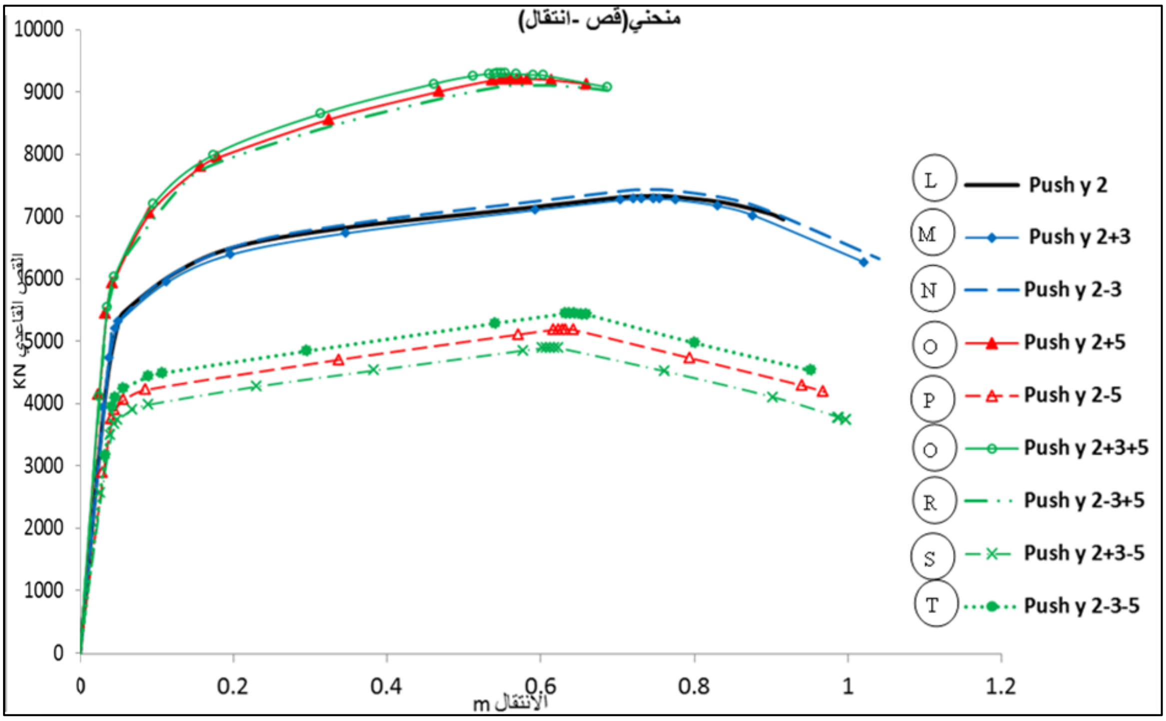
- الحمولات المجمعة: حسب الفقرة (4-1-2).



شكل(4-114) :الحمولات الجانبية على المبنى(S2-9) بطريقة MMC بالاتجاهين X,Y

• منحنيات الاستطاعة:





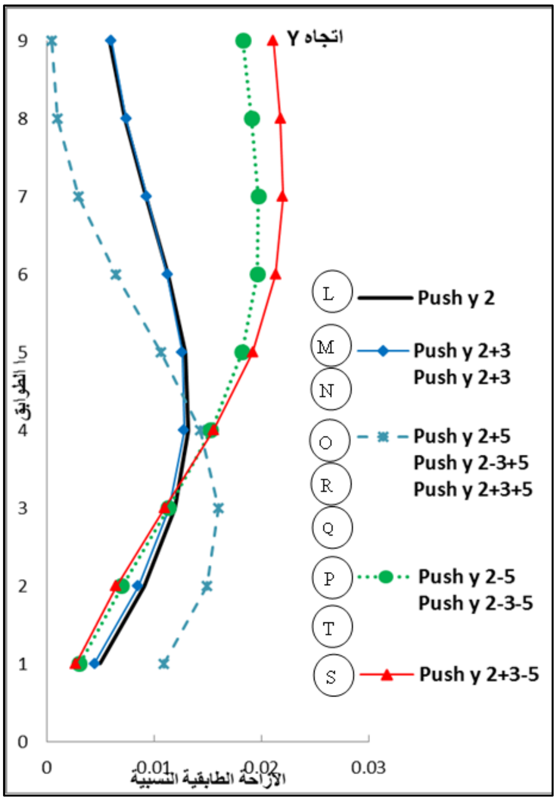
شكل(4–115): منحنيات الاستطاعة المبنى(S2–9)بطريقة (MMC) بالاتجاهين X,Y

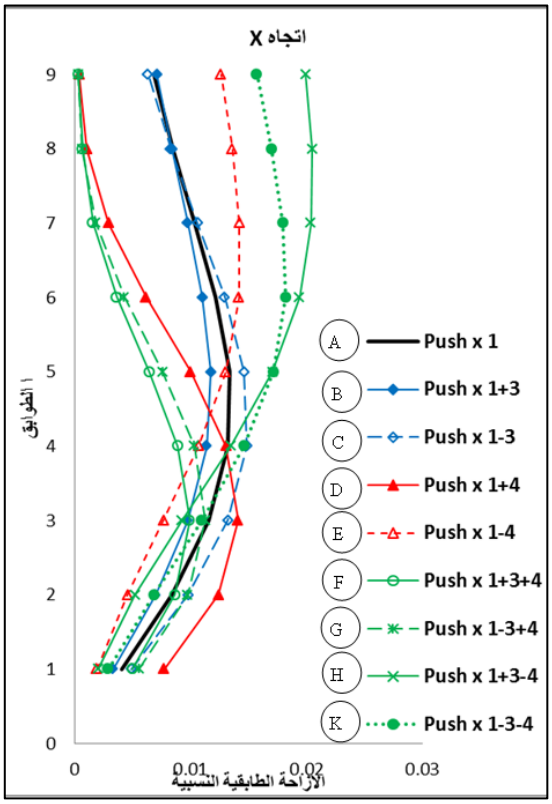
- نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء:

جدول(4-38) : نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى (S2-9) بطريقة MMC.

الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الأداء						
		V (KN)	%	δ (m)	%	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE
push X 1	**A**	**5507.88**		**0.373**		432	76	92	0	0	0	0
push X 1+3-4	**H**	**3436.46**	*-38%*	**0.498**	*34%*	408	76	50	66	0	0	0
push X 1-4	**E**	**3828.11**	*-30%*	**0.491**	*32%*	438	57	105	0	0	0	0
push X 1-3-4	**K**	**4190**	*-24%*	**0.488**	*31%*	427	47	56	67	0	3	
push X 1+3	**B**	**5125.04**	*-7%*	**0.362**	*-3%*	419	118	63	0	0	0	0
push X 1-3	**C**	**5809.74**	*5%*	**0.371**	*-1%*	426	68	106	0	0	0	0
push X 1+3+4	**F**	**6762.87**	*23%*	**0.252**	*-32%*	436	140	24	0	0	0	0
push X 1+4	**D**	**7080.63**	*29%*	**0.281**	*-25%*	447	75	78	0	0	0	0
push X 1-3+4	**G**	**7129.01**	*29%*	**0.289**	*-23%*	462	98	40	0	0	0	
push Y 2	**L**	**6659.21**		**0.264**		380	116	104	0			
push Y 2+3t-5	**S**	**4598.28**	*-31%*	**0.417**	*58%*	405	51	45	99	0	0	0
push Y 2-5	**P**	**4834.12**	*-27%*	**0.406**	*54%*	405	51	45	99	0	0	0
push Y 2-3t-5	**T**	**5021.89**	*-25%*	**0.388**	*47%*	405	51	74	70		0	0
push Y 2+3t	**M**	**6675.11**	*0%*	**0.317**	*20%*	398	103	99	0	0	0	0
push Y 2-3t	**N**	**6780.47**	*2%*	**0.306**	*16%*	398	83	119	0	0	0	0
push Y 2-3t+5	**R**	**8125.65**	*22%*	**0.243**	*-8%*	417	72	111	0		0	0
push Y 2+5	**O**	**8215.57**	*23%*	**0.241**	*-9%*	418	71	111	0	0	0	0
push Y 2+3t+5	**Q**	**8309.39**	*25%*	**0.239**	*-9%*	448	149	3	0	0	0	0

- الإزاحة النسبية الطابقية :

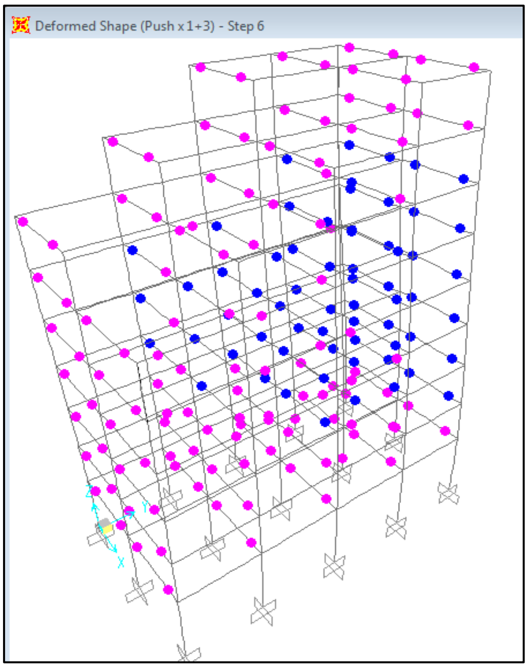


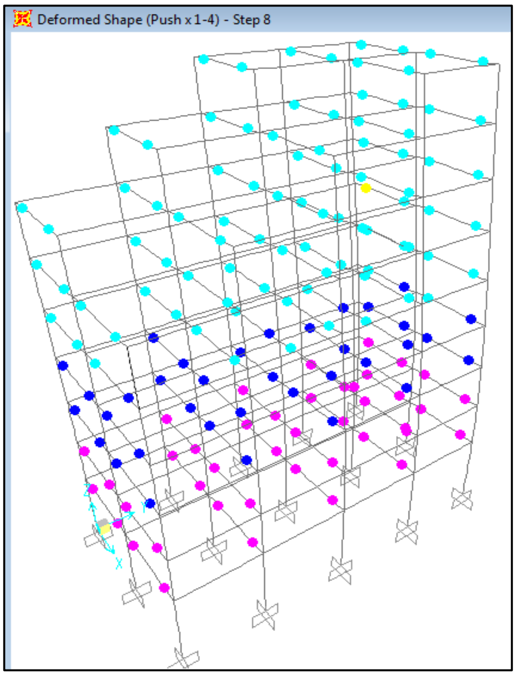


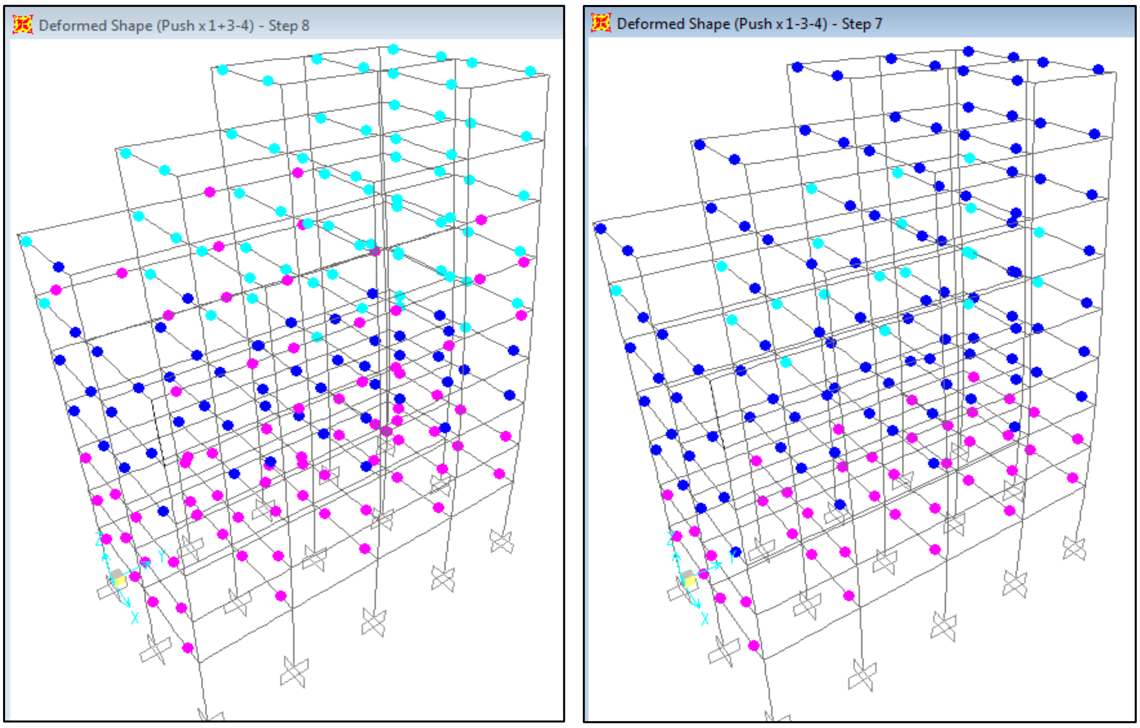
شكل(4−116) :الازاحات النسبية الطابقية للمبنى (S2−9) بطريقة (MMC) بالاتجاهين X,Y

- أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في حالات التجميع

اتجاه X:

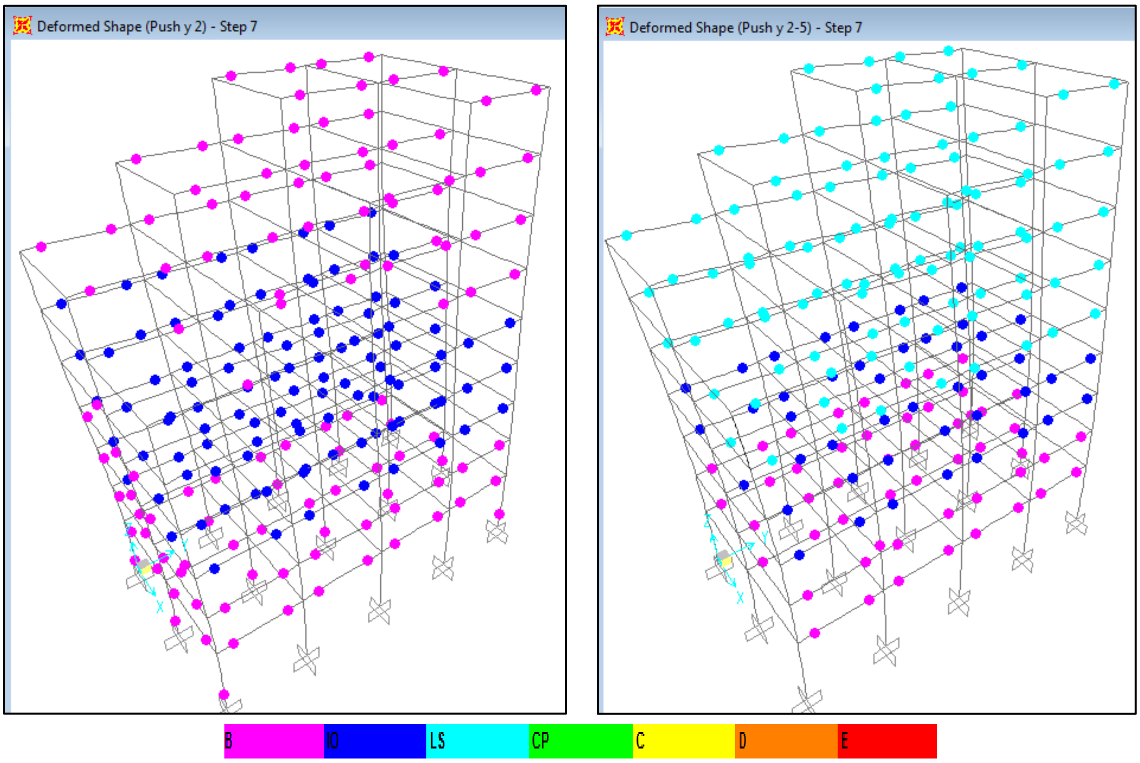


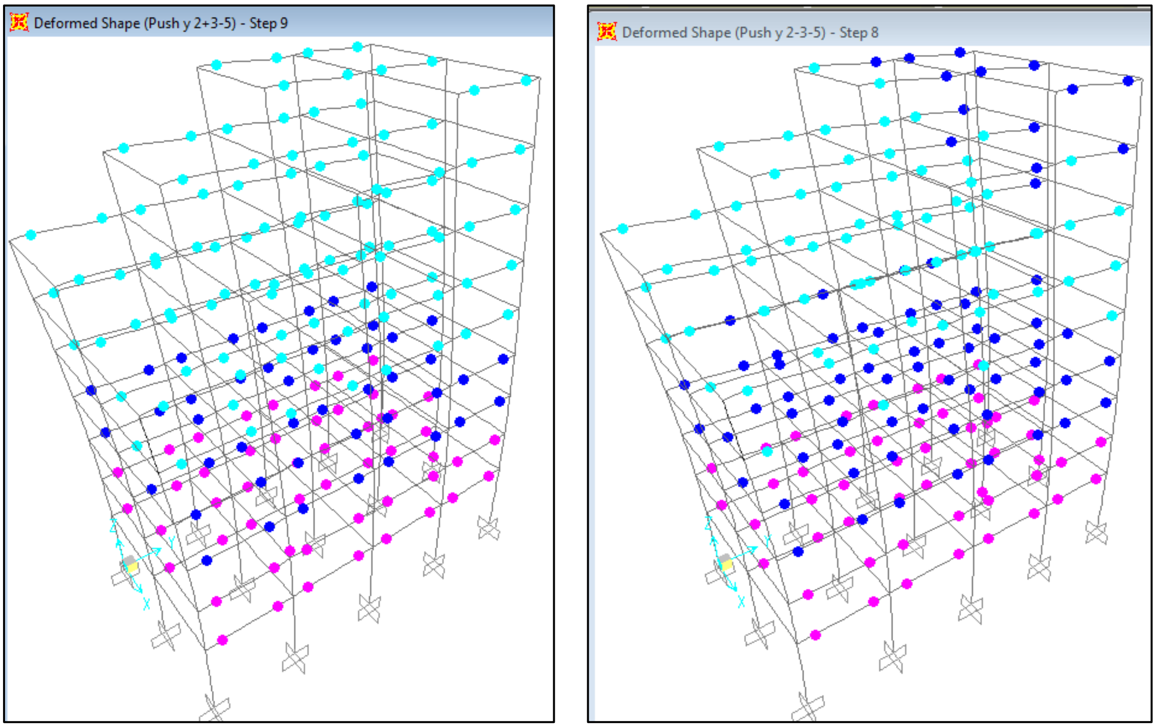




شكل(4-117) تشكل المفاصل اللدنة في المبنى(S2-9)بطريقة (MMC) بالاتجاه X,

اتجاه y:

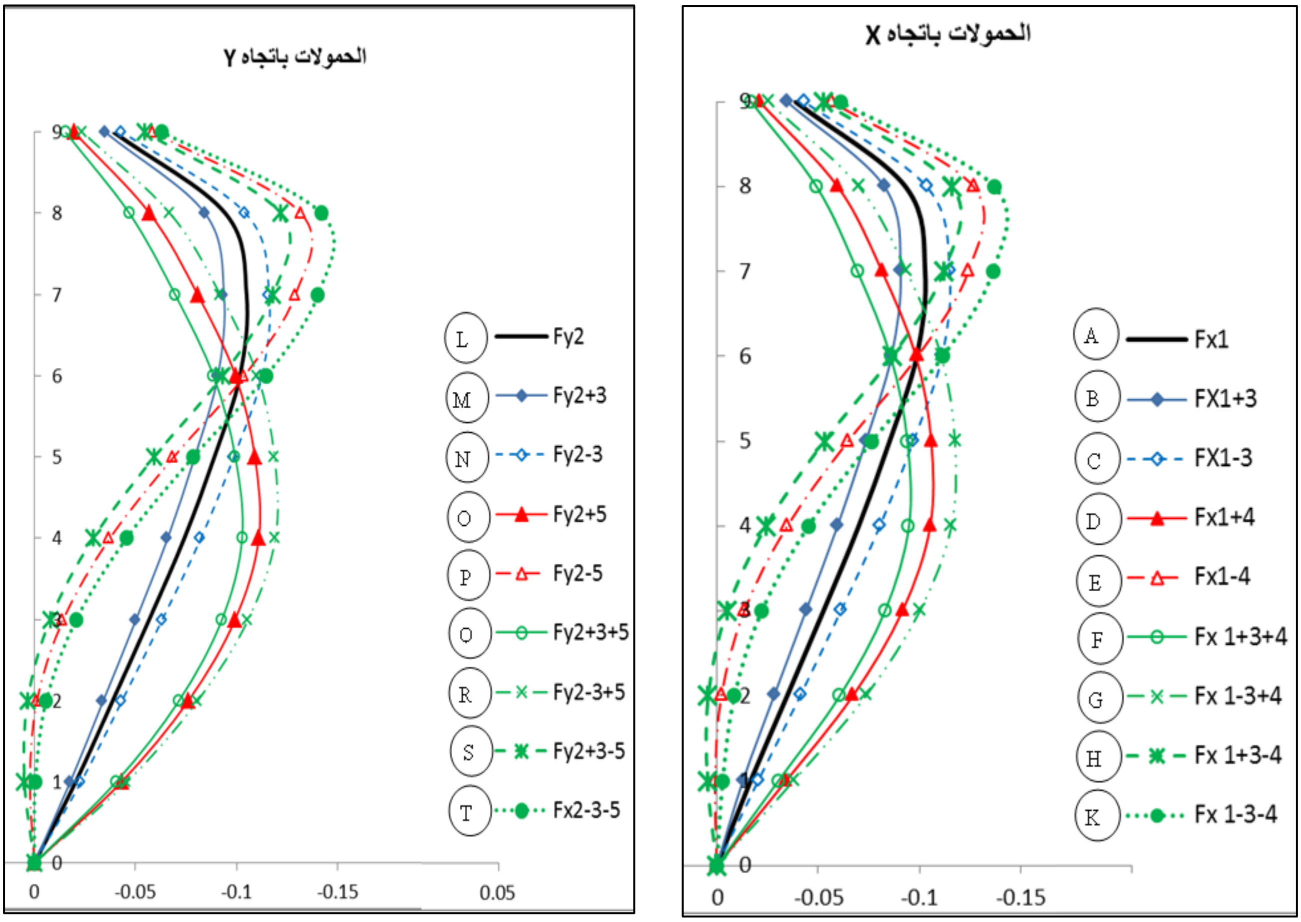




شكل(4-118) تشكل المفاصل اللدنة في المبنى(S2-9)بطريقة (MMC) بالاتجاه ,Y

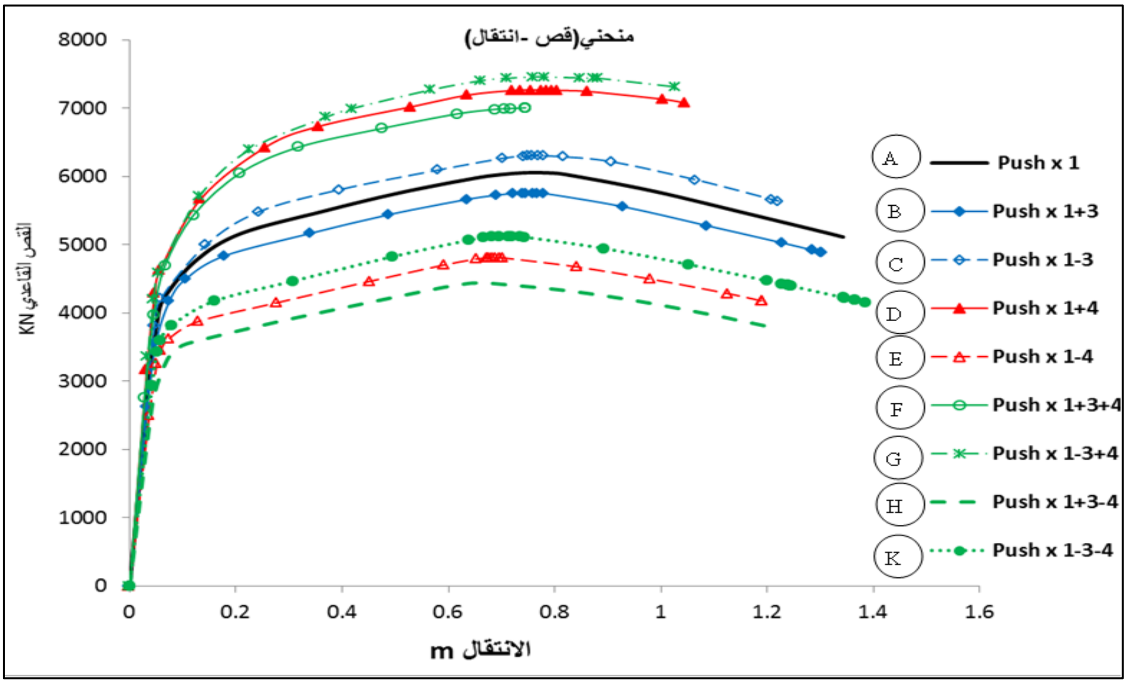
3-الطريقة المقترحة (Proposed):

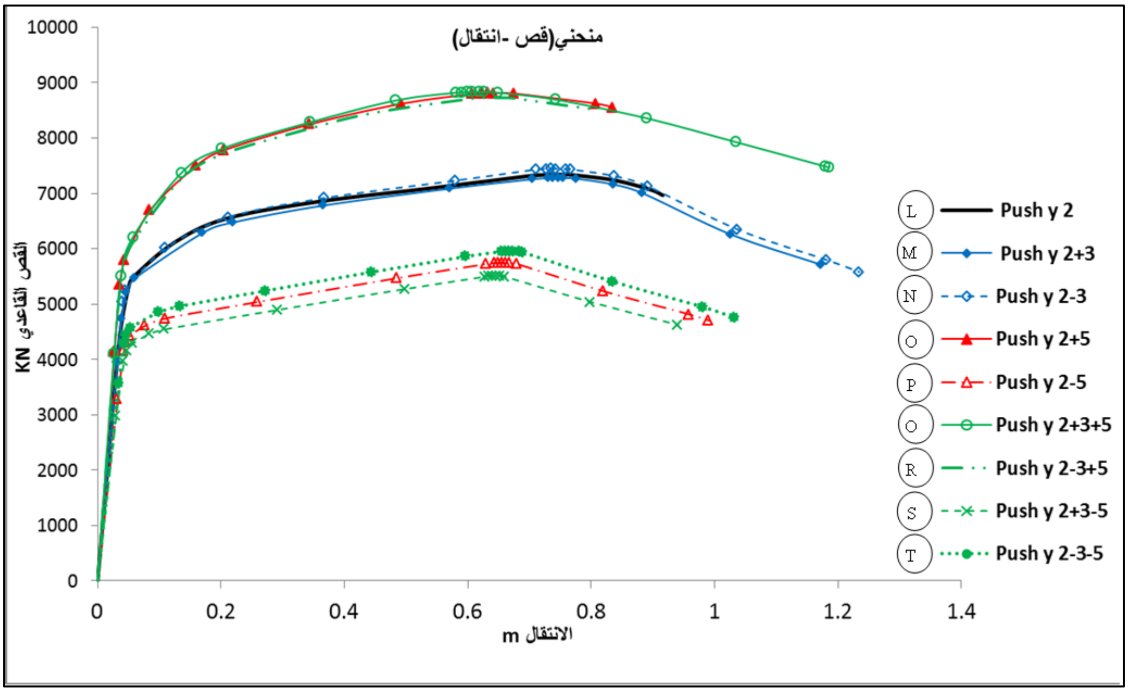
- الحمولات المجمعة: حسب الفقرة (4-1-4).



شكل(4-119) :الحمولات الجانبية على المبنى(S2-9) بالطريقة المقترحة (proposed)

- منحنيات الاستطاعة:





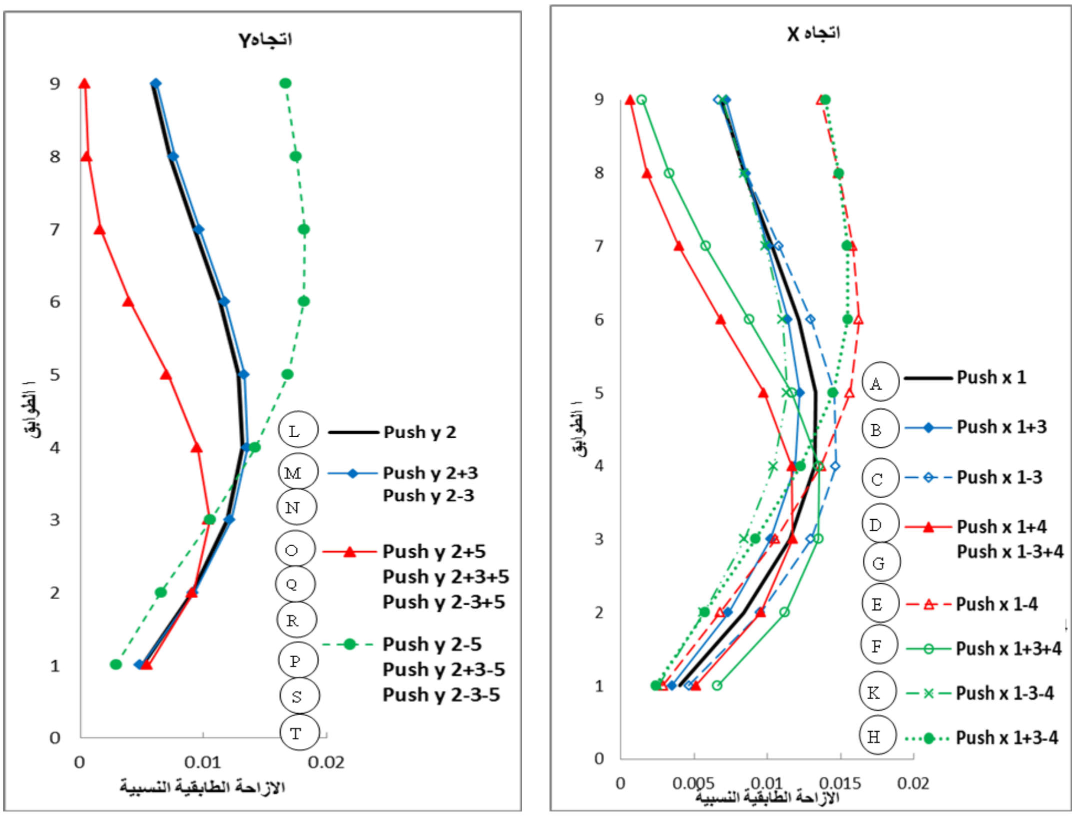
شكل(4-120) :منحنيات الاستطاعة المبنى(S2-9) بالطريقة المقترحة (proposed)

- نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء:

جدول(4–39): نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى (S2–9) بالطريقة المقترحة proposed

الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الأداء						
		V (KN)	%	δ (m)	%	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE
push X 1	**A**	**5507.88**		**0.373**		432	76	92	0	0	0	0
push X 1+3-4	**H**	**4138.74**	*-25%*	**0.441**	*18%*	431	53	116	0	0	0	0
push X 1-4	**E**	**4451.48**	*-19%*	**0.445**	*19%*	436	42	122	0	0	0	0
push X 1-3-4	**K**	**4723.38**	*-14%*	**0.441**	*18%*	435	35	123	7	0	0	0
push X 1+3	**B**	**5215.39**	*-5%*	**0.366**	*-2%*	432	91	77	0	0	0	0
push X 1-3	**C**	**5759.61**	*5%*	**0.373**	*0%*	427	63	110	0	0	0	0
push X 1+3+4	**F**	**6334.25**	*15%*	**0.29**	*-22%*	404	117	79	0	0	0	0
push X 1+4	**D**	**6576.98**	*19%*	**0.304**	*-18%*	442	109	49	0		0	0
push X 1-3+4	**G**	**6672.07**	*21%*	**0.31**	*-17%*	449	114	37	0	0	0	0
push Y 2	**L**	**6659.21**		**0.264**		380	116	104	0	0	0	0
push Y 2+3-5	**S**	**5073.55**	*-24%*	**0.39**	*48%*	406	50	125	19	0	0	0
push Y 2-5	**P**	**5264.5**	*-21%*	**0.37**	*40%*	405	51	140	4	0	0	0
push Y 2-3-5	**T**	**5433.68**	*-18%*	**0.371**	*41%*	405	51	144	0	0	0	0
push Y 2+3	**M**	**6676.39**	*0%*	**0.316**	*20%*	397	93	110	0	0	0	0
push Y 2-3	**N**	**6779.08**	*2%*	**0.306**	*16%*	398	83	119	0	0	0	0
push Y 2-3+5	**R**	**7866.2**	*18%*	**0.252**	*-5%*	433	160	7	0	0	0	0
push Y 2+5	**O**	**7936.46**	*19%*	**0.25**	*-5%*	429	152	19	0	0	0	0
push Y 2+3+5	**Q**	**7969.66**	*20%*	**0.25**	*-5%*	432	148	20	0	0	0	0

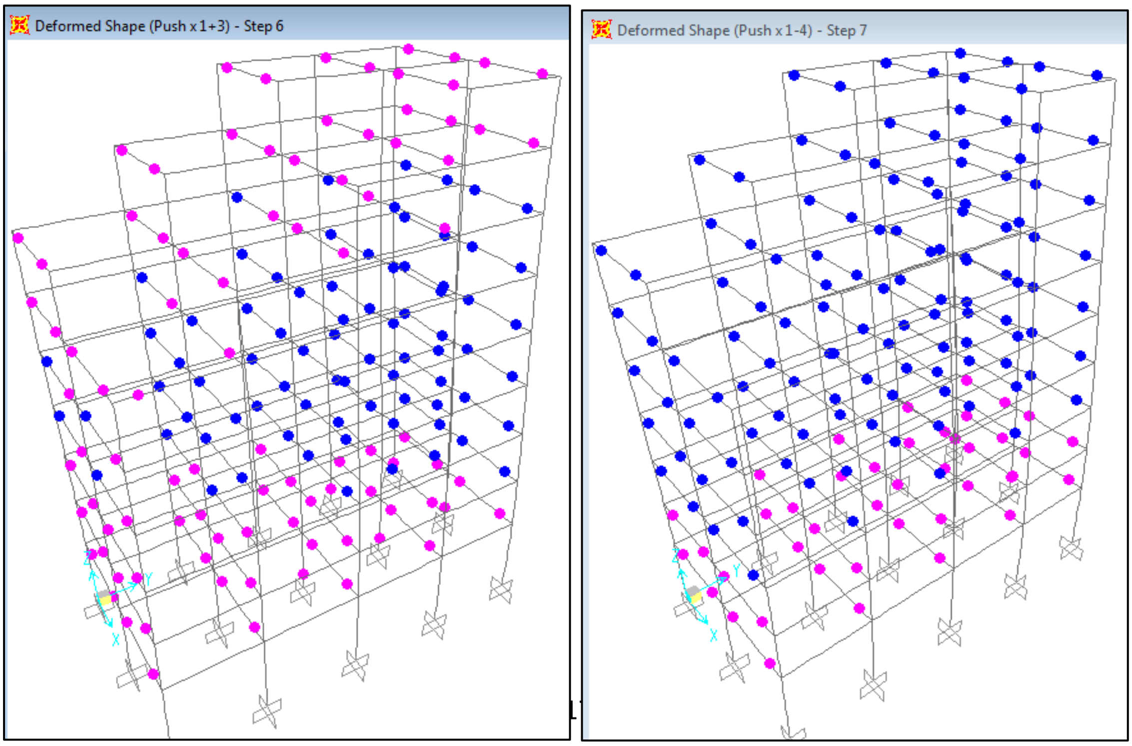
- الإزاحة النسبية الطابقية:

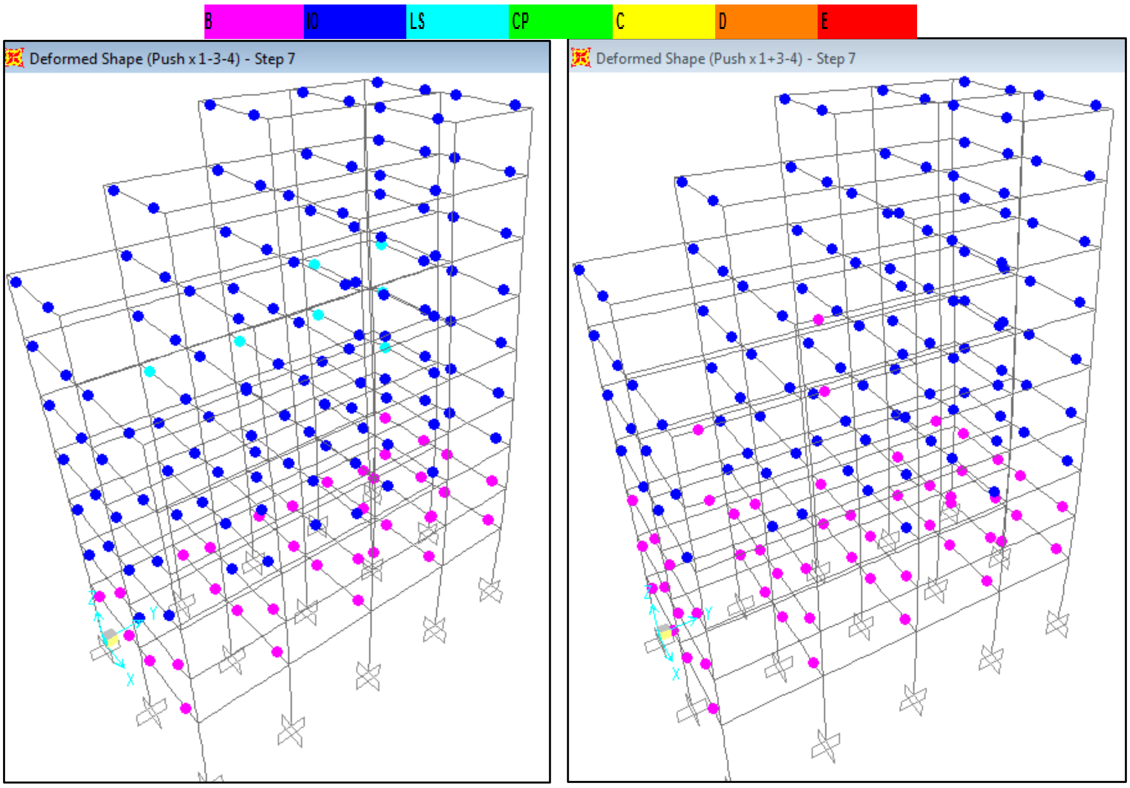


شكل(4−121) :الازاحات النسبية الطابقية للمبنى (S2−9) بطريقة (proposed)بالاتجاهين X,Y

- تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في حالات التجميع الأخطر.

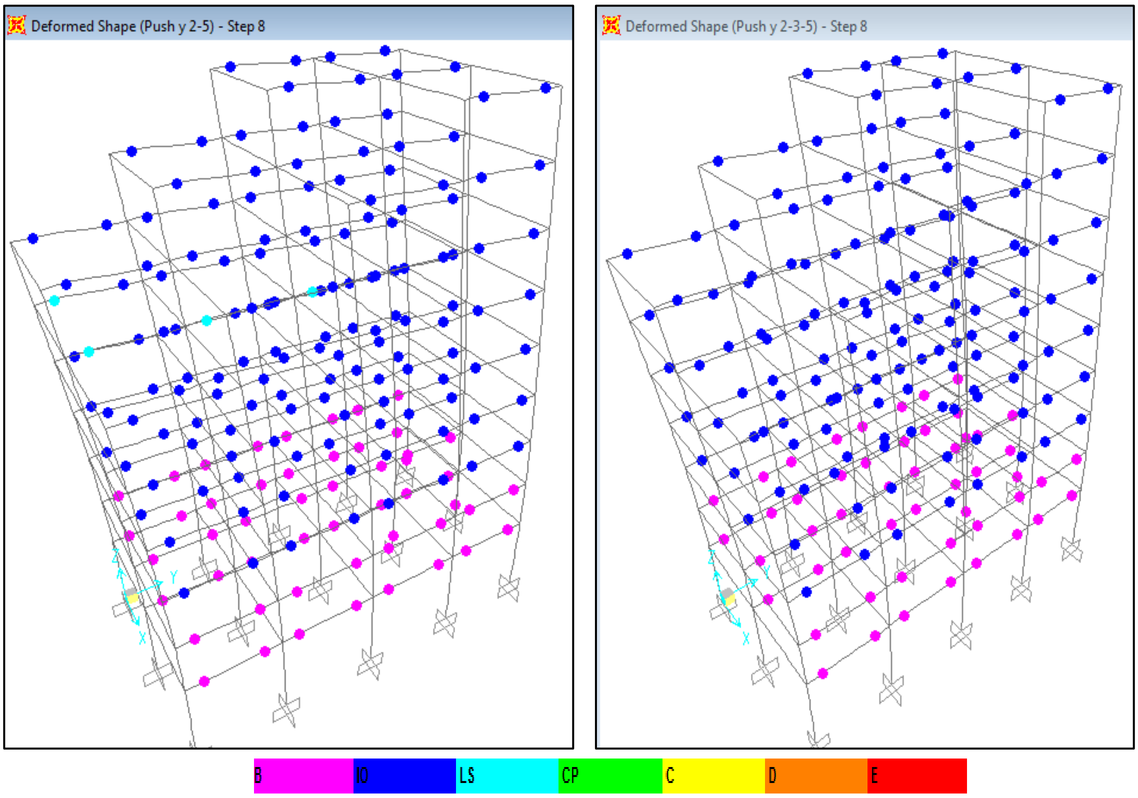
اتجاهX:

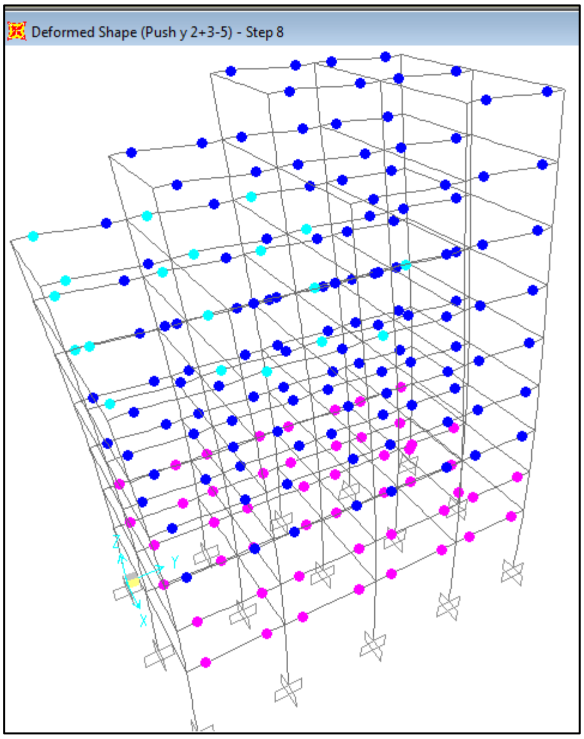




شكل(4−122): تتشكل المفاصل اللدنة في للمبنى (S2−9) بالطريقة المقترحة (proposed) بالاتجاه X,

اتجاه Y:





شكل(4-123) :تشكل المفاصل اللدنة في للمبنى (S2-9) بالطريقة المقترحة (proposed) بالاتجاه Y

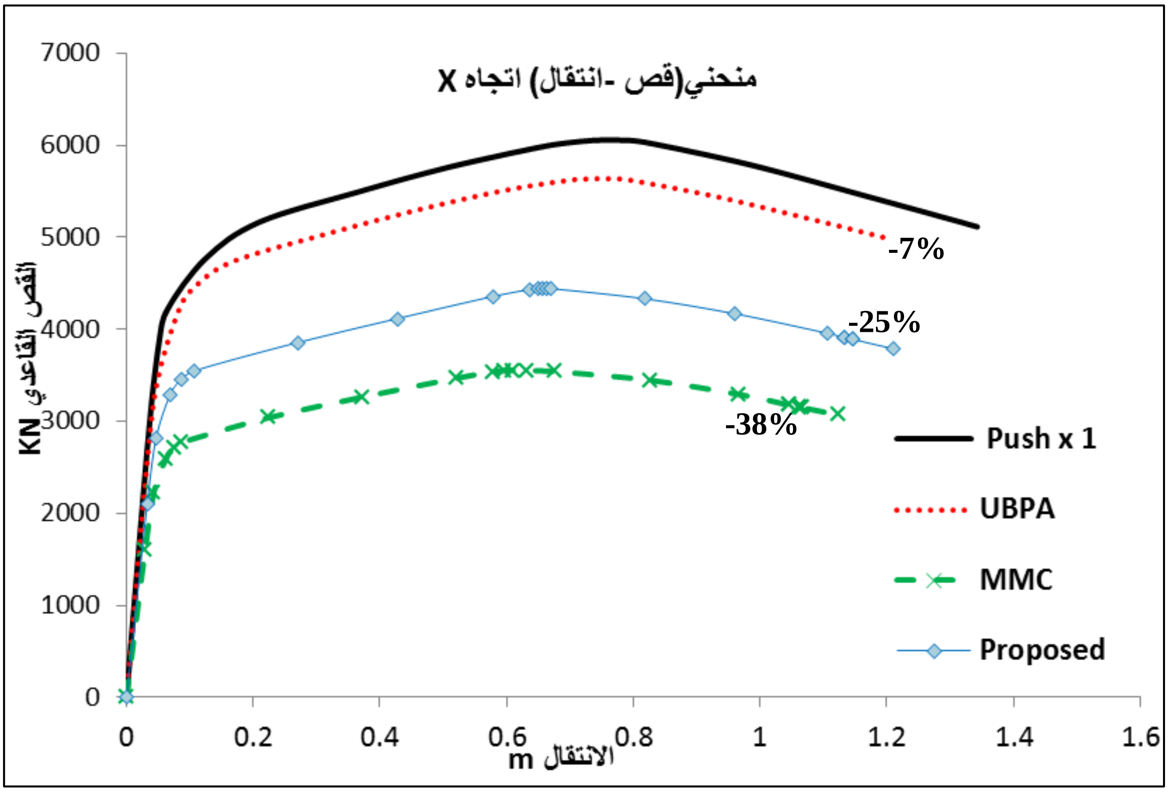
4-5-4-مقارنة نتائج المبنى (S2-9):

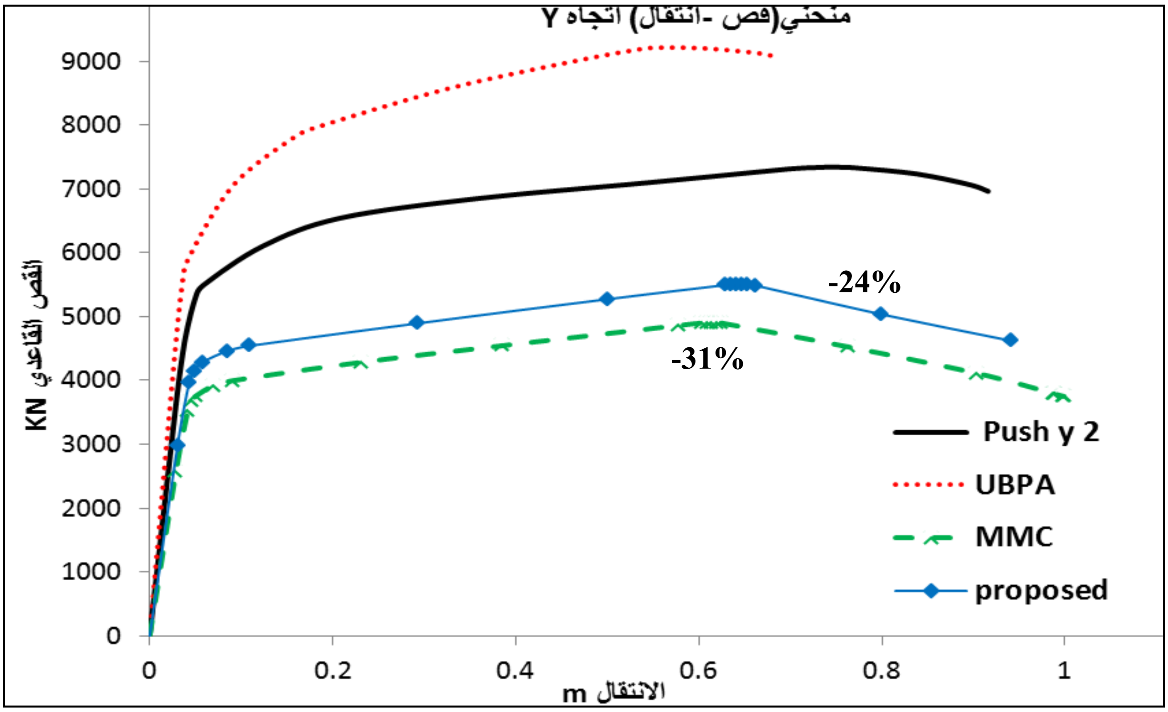
- الحمولات المجمعة : نلاحظ من أشكال الحمولات (4-110) (4- 114) (4-119) ما يلي:

الاتجاه X : أعطى تجميع الأنماط 1 مع 3 حمولات جانبية ذات شكل شبيه بالنمط الاساسي، وأعطت حالات التجميع 4-1و4-3+1 و4-3-1 حمولات جانبية متعاكسة الاتجاه أو بموجتين متعاكستين مع قوى دفع أعظمية في النصف العلوي من الاطار وهي الحمولات E,H,K في طريقتي MMC والطريقة المقترحة Proposed. أما باقي حالات التجميع فقد أعطت حمولات جانبية ذات قوى دفع باتجاه واحد مع قوى دفع عظمى مركزة في مستوى الطوابق الوسطى.

الاتجاه Y: أعطى تجميع الأنماط 2 مع 3 حمولات جانبية ذات شكل شبيه بالنمط الاساسي، وأعطت حالات التجميع 5-2و 5+3-2 و5-3-2 حمولات جانبية متعاكسة الاتجاه أو بموجتين مع قوى دفع أعظمية في النصف العلوي من الاطار وهي الحمولات T,S,F في طريقتي MMC وProposed. أما باقي حالات التجميع فقد عطت حمولات جانبية ذات قوى دفع باتجاه واحد مع قوى دفع عظمى مركزة في مستوى الطوابق الوسطى.

- <u>منحنيات الاستطاعة:</u>





شكل(4−124) :منحنيات الاستطاعة المبنى(S2−9) للحالات الأخطر بالاتجاهين X,Y

- <u>نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء :</u>

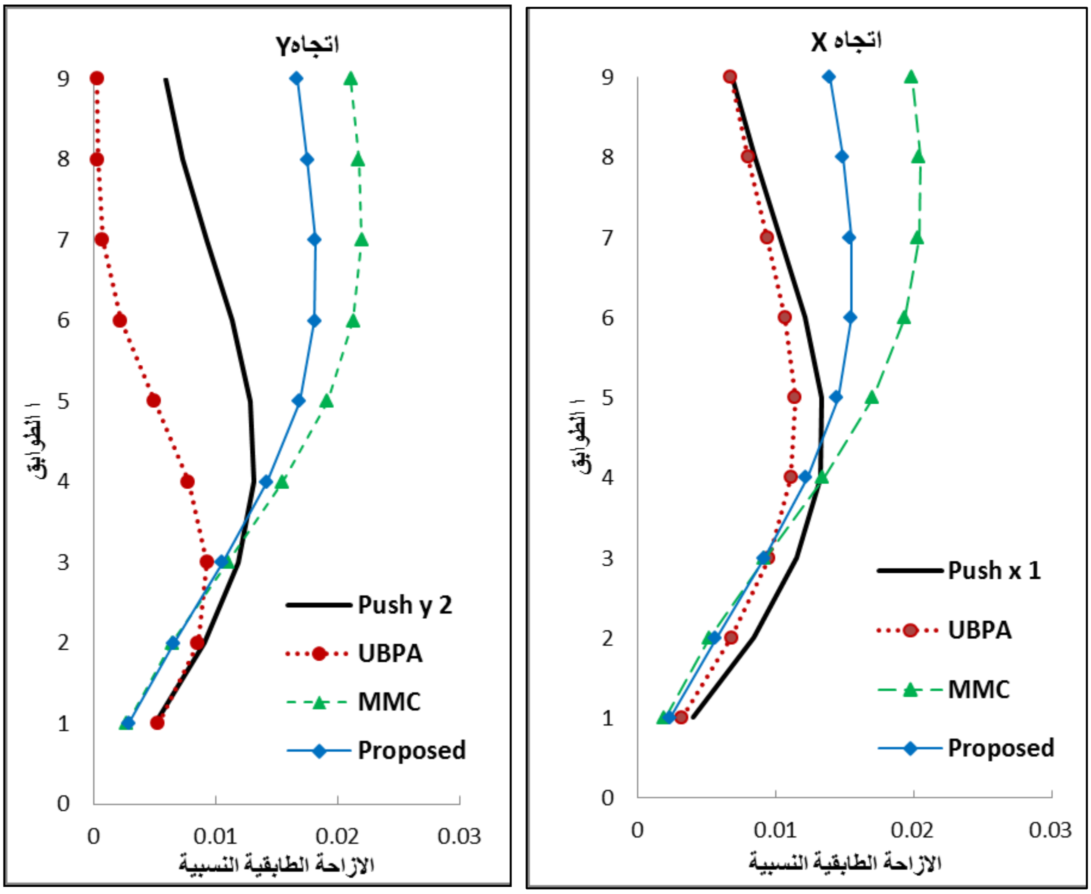
جدول(4-40) : نقطة الأداء والمفاصل اللدنة لحالات التجميع الأخطر للمبنى(9-S2) بالطرائق المعتمدة

الاتجاه	الطريقة	الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء					
				V (KN)	%	δ (m)	%	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
X	النمط الأساسي	X 1	A	5507.9		0.37		432	76	92	0	0	0
	UBPA	X 1+3	B	5119.6	-7%	0.36	-3%	420	125	55	0	0	0
	MMC	X 1+3-4	H	3436.5	-38%	0.5	34%	408	76	50	66	0	0
	Proposed	X 1+3-4	H	4138.7	-25%	0.44	18%	431	53	116	0	0	0
Y	النمط الأساسي	Y 2	L	6659.2		0.26		380	116	104	0	0	0
	UBPA	-											
	MMC	Y 2+3-5	S	4598.3	-31%	0.42	58%	405	51	45	99	0	0
	Proposed	Y 2+3-5	S	5073.6	-24%	0.39	48%	406	50	125	19	0	0

<u>الاتجاه X</u>: من الشكل (4-124) أدت حالات التجميع المرافقة للحمولات E وH وK إلى انخفاض في استطاعة المبنى وزيادة قابليته على الانتقال الجانبي اللاخطي، حيث انخفض القص القاعدي المرافق لنقطة الأداء بنسبة وصلت إلى 38% في حالة التجميع 4-3+1 بطريقة MMC وزاد الانتقال الجانبي للنقطة المرجعية في سطح المبنى بنسبة 34% وبذلك فهو التجميع الاخطر في الاتجاه X ومتعلق بشكل الحمولة المرافق. بينما أدت باقي الحالات التجميع إلى تقسية سلوك المبنى اللاخطي وانخفاض قابليته على الانتقال الجانبي.

<u>الاتجاه Y :</u> من الشكل (4-124) أدت حالات التجميع المرافقة للحمولات T,S,F إلى انخفاض في استطاعة المبنى وزيادة قابليته على الانتقال الجانبي اللاخطي، حيث انخفض القص القاعدي المرافق لنقطة الأداء بنسبة وصلت إلى 31% في حالة التجميع 5-3+2 بطريقة MMC وزاد الانتقال الجانبي للنقطة المرجعية في سطح المبنى بنسبة 58% وبذلك فهو التجميع الاخطر في الاتجاه Y ومتعلق بشكل الحمولة المرافق. بينما أدت باقي الحالات التجميع إلى تقسية سلوك المبنى وانخفاض قابليته على الانتقال الجانبي.

- <u>الإزاحات النسبية الطابقية:</u>

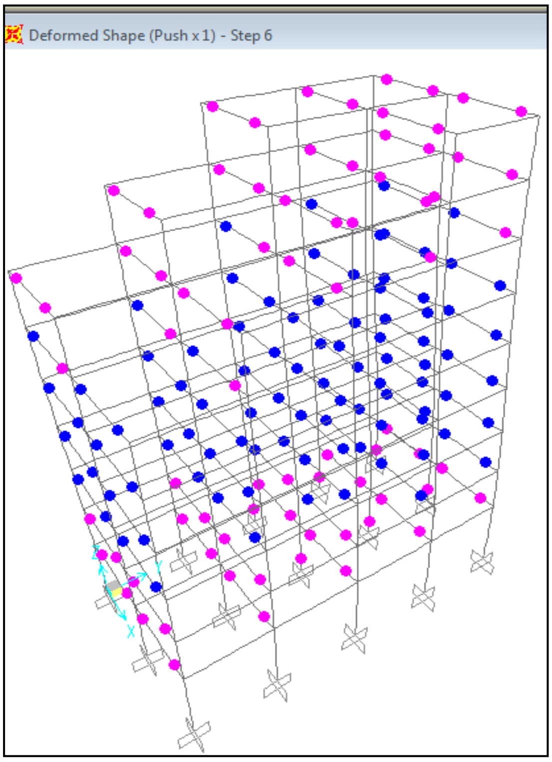


شكل(4−125) :الازاحات النسبية الطابقية للمبنى(9−S2) للحالات الأخطر بالاتجاهين X,Y

ترافق انخفاض استطاعة الإطار في الاتجاهين Xو Y مع زيادة الإزاحات النسبية بين طوابق القسم العلوي منه، كما ترافقت تقسية الاطار بانخفاض عام في الإزاحات النسبية الطابقية خاصة بين طوابق النصف العلوية. يبين الشكل (4−139) أن تجميع 4−3+1 باتجاه X سبب أكبر زيادة في الإزاحات النسبية بين طوابق القسم العلوي بطريقة MMC، وهذا الأمر نتيجة مشاركة الأنماط 3و4 مع النمط 1 في الاستجابة. والأمر ينطبق على حالة التجميع 5−3+2 بالاتجاه Y.

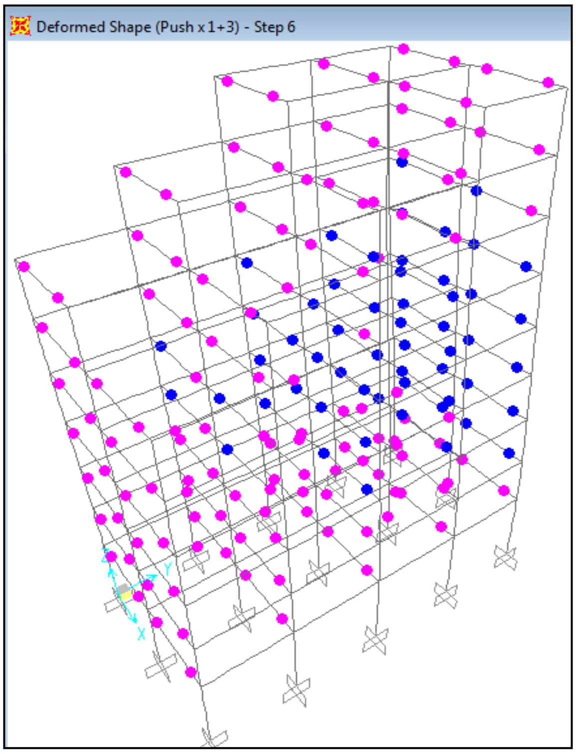
- <u>أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليهاعند نقطة الأداء في الحالات الأخطر</u>

الاتجاه X:



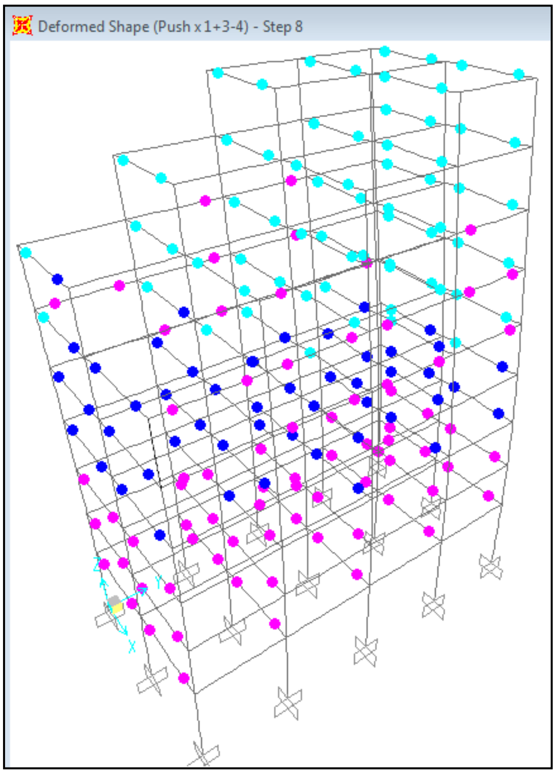
شكل(4−126) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة

للمبنى (S2−9)حسب النمط الأساسي بالاتجاه x



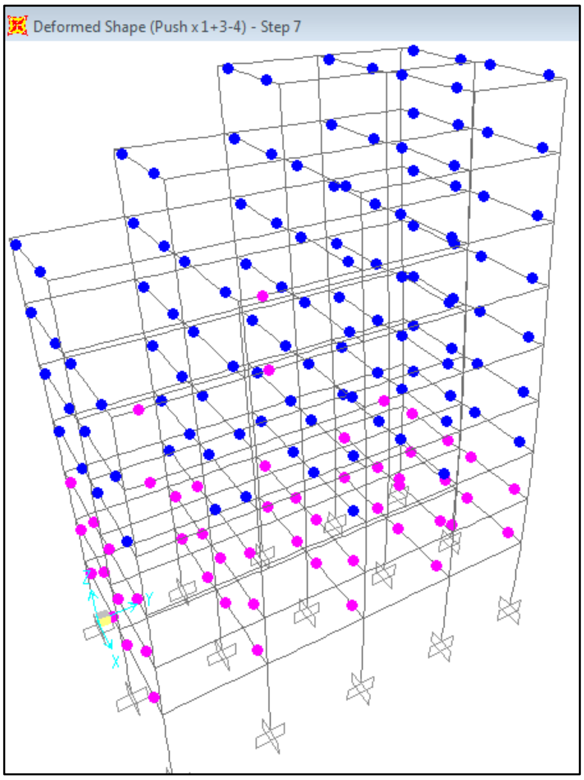
شكل(4−127) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى

(S2−9)بطريقة (UBPA) بالحالة الأخطر



شكل(4−128) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى

(S2−9)بطريقة MMC بالحالة الأخطر

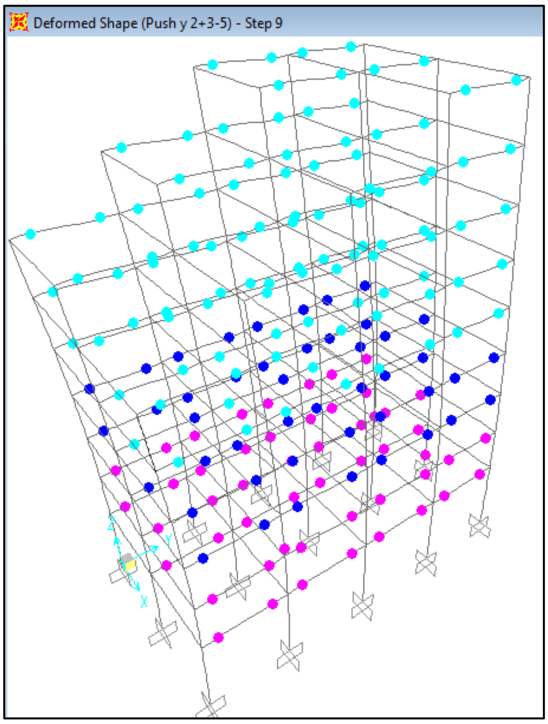


شكل(4−129) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى

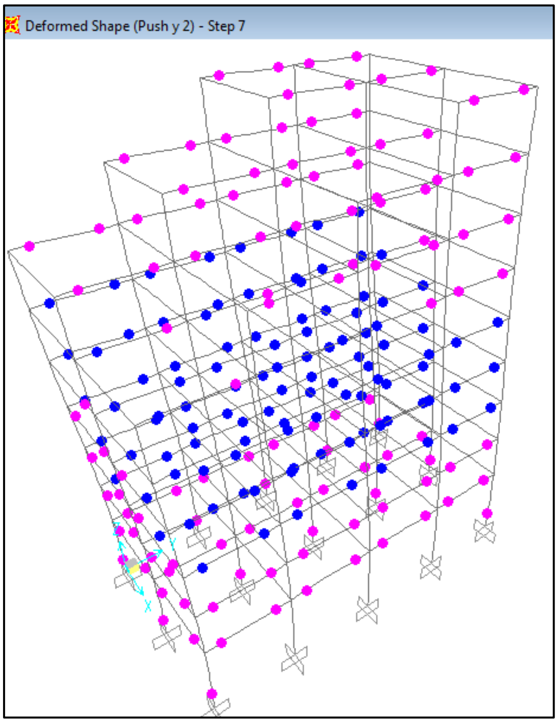
(S2−9)بطريقة المقترحة بالحالة الأخطر

أدت حالة التجميع الأخطر بطريقة MMC إلى تجاوز ما يزيد عن 60 مفصل لدن لمستوى امان الحياة في الطوابق من 5 إلى 9 ، كما سبب ظهور بعض المفاصل في جيزان الطوابق 5و6و7 بالاتجاه Y.

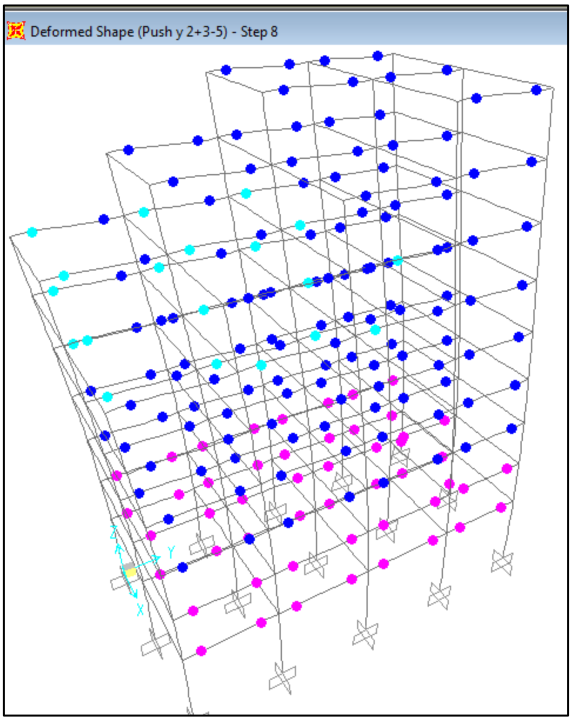
الاتجاهY :



شكل(4-131) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S2-9)بطريقة MMC بالحالة الأخطر



شكل(4-130) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S2-9)حسب النمط الأساسي بالاتجاه Y



شكل(4-132) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S2-9)بالطريقة المقترحة بالحالة الأخطر

أدت حالة التجميع الأخطر بطريقة MMC إلى تجاوز 99 مفصل لمستوى ما قبل الانهيار CP في جيزان الطوابق الخمسة الأخيرة، و19 مفصل بالطريقة المقترحة Proposed في الطابقين 7 و8.

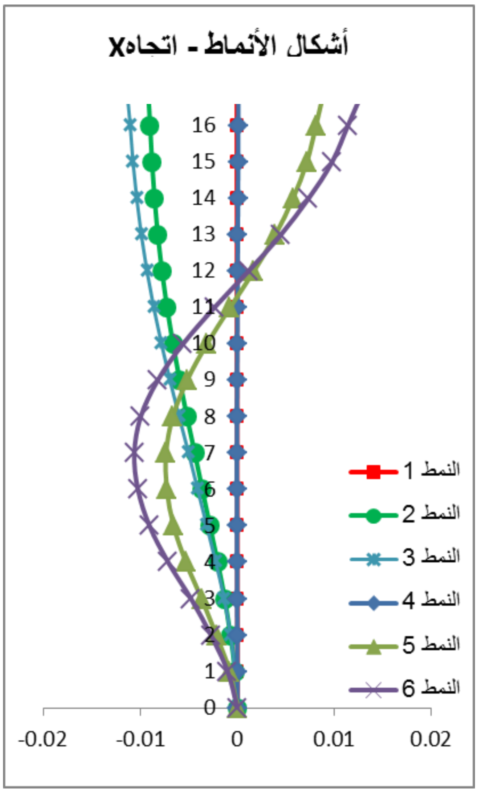
5-5-4 نتائج المبنى (S3-16)

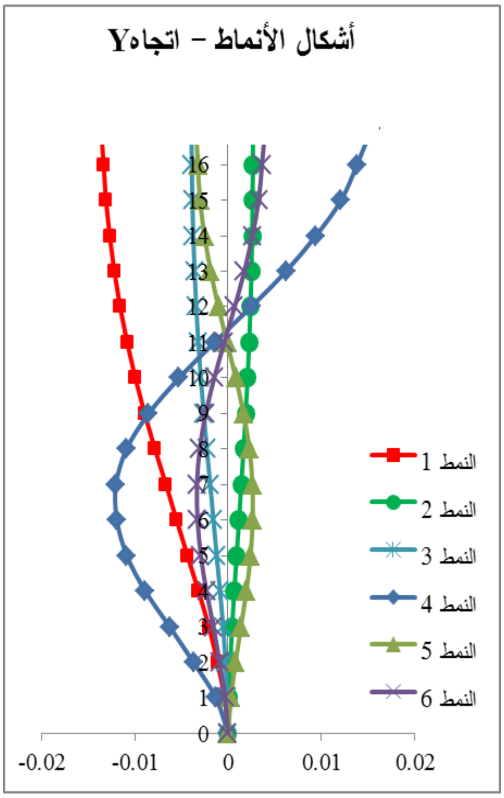
نتائج تحليل الاهتزاز الحر:

جدول(4-41) :الخصائص الديناميكية للمبنى (S3-16)

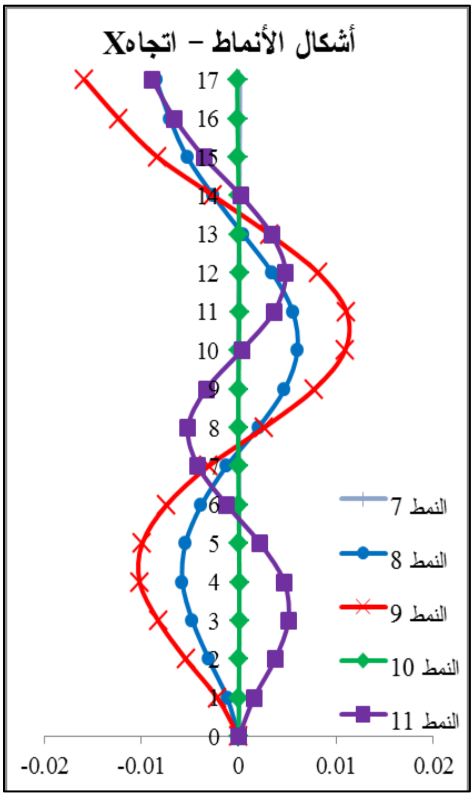
النمط	الاتجاه المسيطر	الدور (T) sec	القيم الذاتية (ω2)	عامل مساهمة الكتلة %		مجموع مساهمة الكتلة		عامل المساهمة النمطي(Γ)	
				X	Y	X	Y	X	Y
1	Y	2.47	6.43	0	69	0	69	0.62	100.91
2	X	2.34	7.16	47	0.01	48	69	83.79	0.99
3	فتل	2.019	9.68	**20**	0.01	68	69	54.51	0.37
4	Y	0.83	56.32	0	12	68	81	0.28	41.98
5	X	0.79	62.29	7	0	75	81	32.87	0.40
6	فتل	0.68	84.49	**5.06**	0	81	81	-27.26	-0.06
7	Y	0.49	165.75	0	5.52	81	87	-0.19	-28.46
8	X	0.47	181.85	2.6	0	83	87	-19.52	0.30
9	فتل	0.40	247.18	**3.67**	0	87	87	23.20	0.01
10	Y	0.34	339.84	0	3.7	87	91	0.03	-23.29
11	X	0.28	487.97	5.34	0	92	91	27.99	0.85

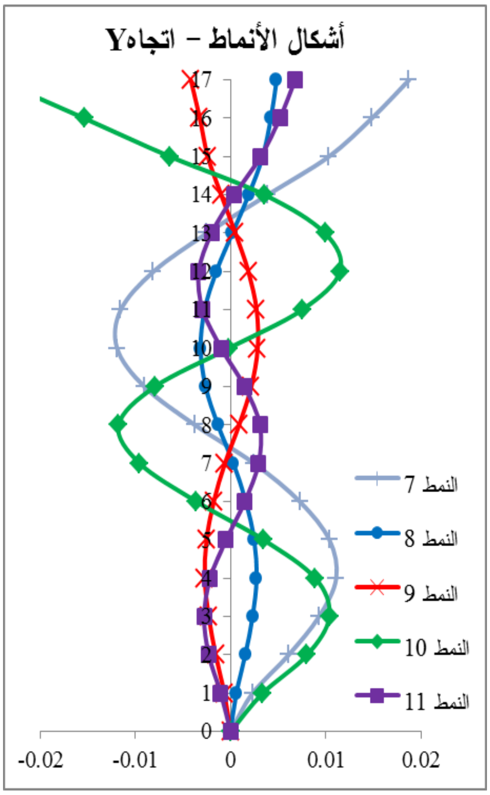
أشكال أنماط الاهتزاز :





شكل(4-133) :أشكال أنماط الاهتزاز من 1 إلى6 للمبنى S3-16





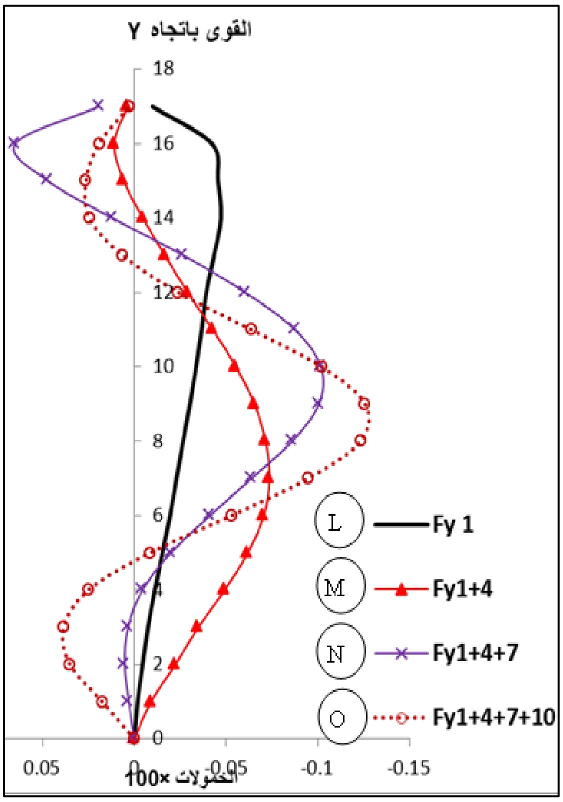
شكل(4-134) :أشكال أنماط الاهتزاز من 7 إلى11 للمبنى S3-16

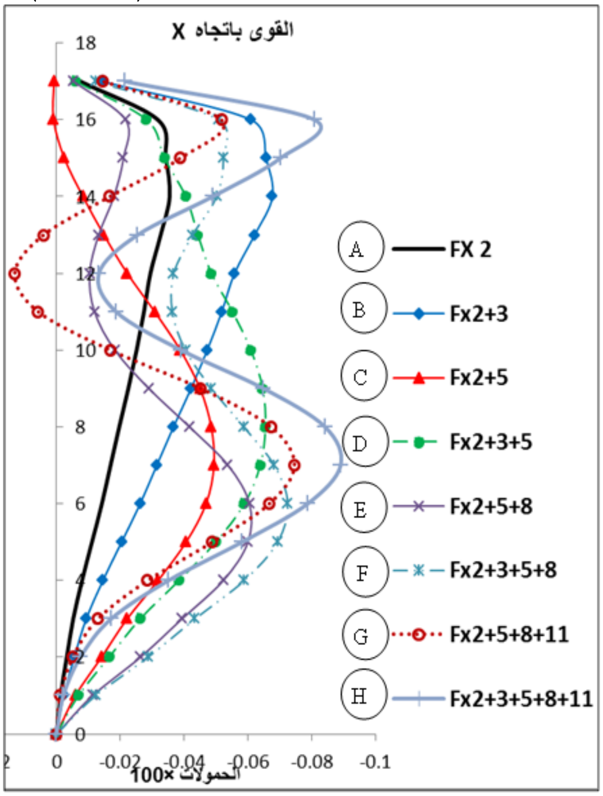
تنتقل عقد المبنى وفق أنماط الاهتزاز 2 و5 و8 و11 باتجاه المحور X بشكل رئيسي فيما تسبب أنماط الاهتزاز 1 و4 و7 و10 انتقالا باتجاه المحور Y بشكل رئيسي وتسبب الأنماط 3 و6 و9 انتقالات وفق Y , X بتأثير أكبر على اتجاه x، وعند تشكيل الحمولات الجانبية بالطرق المعتمدة تم تجميع الأنماط في كل اتجاه بما يضمن تجاوز عامل مساهمة الكتلة نسبة 90%. ويعتبر النمط 2 هو النمط الأساسي والمرجعي في الاتجاه X والنمط 1 هو النمط الأساسي والمرجعي في الاتجاه Y.

بناء على خلاصة دراسة المجموعة الأولى والمباني S2-9, S1-5 يمكن تحديد الشكل الاخطر للحمولة الجانية المسبب لانخفاض استطاعة المباني وهو الشكل ذو موجتين متعاكستين على ارتفاع المنشأ مع قوى دفع أعظمية في قمة المنشأ. لذلك سنكتفي بعرض نتائج حالات التجميع التي تعطي هذا الشكل من الحمولة في كل طريقة من الطرائق الثلاث.

1-طريقة (UBPA):

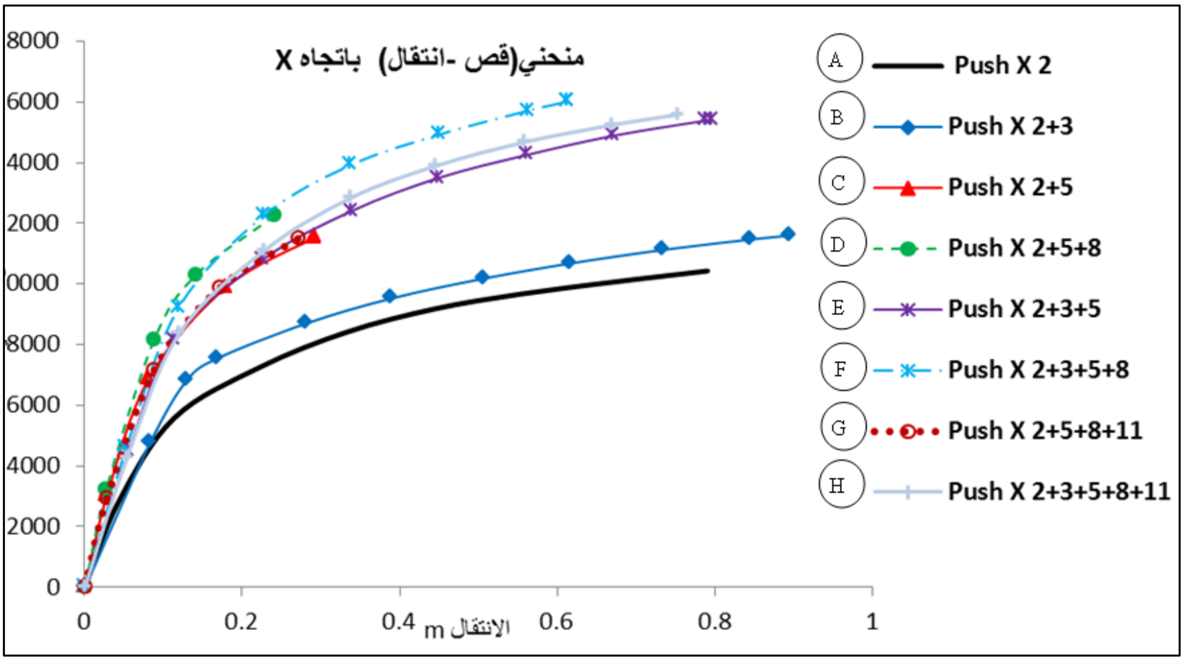
- الحمولات المجمعة: حسب الفقرة (4-1-1)

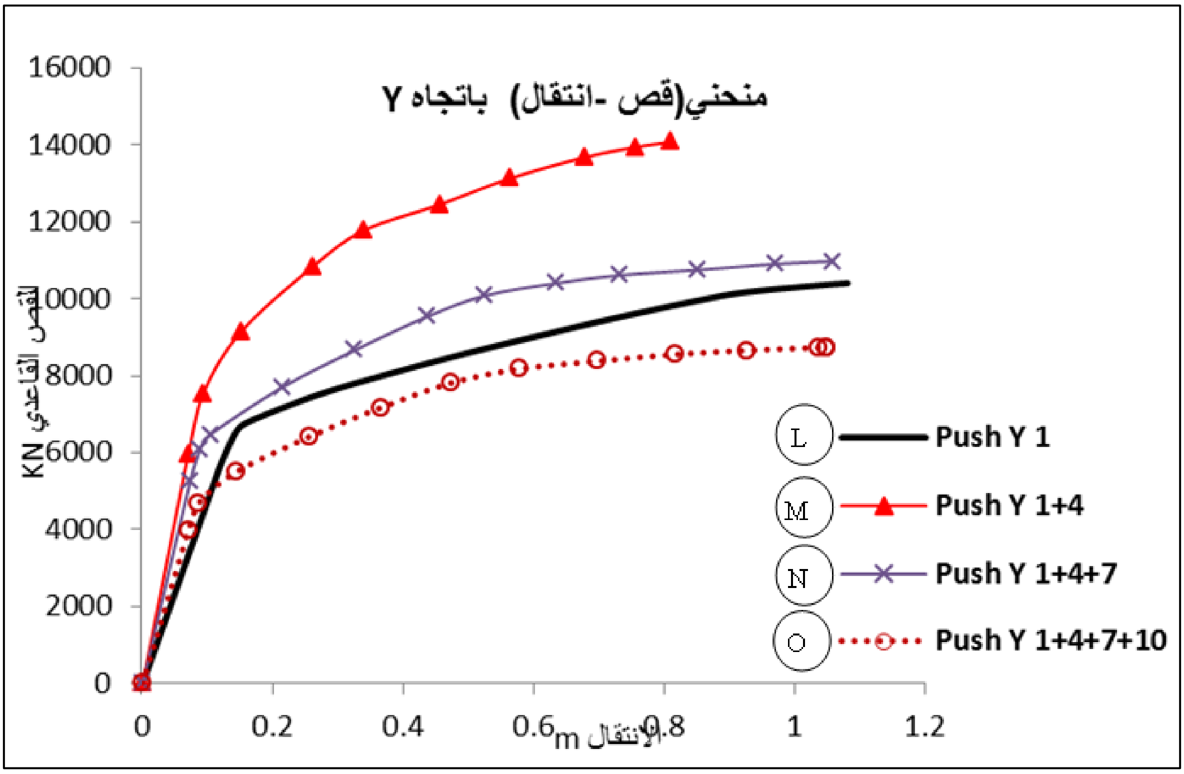




شكل(4-135): الحمولات الجانبية على المبنى(S3-16) بطريقة UBPA بالاتجاهين X,Y

- منحنيات الاستطاعة:





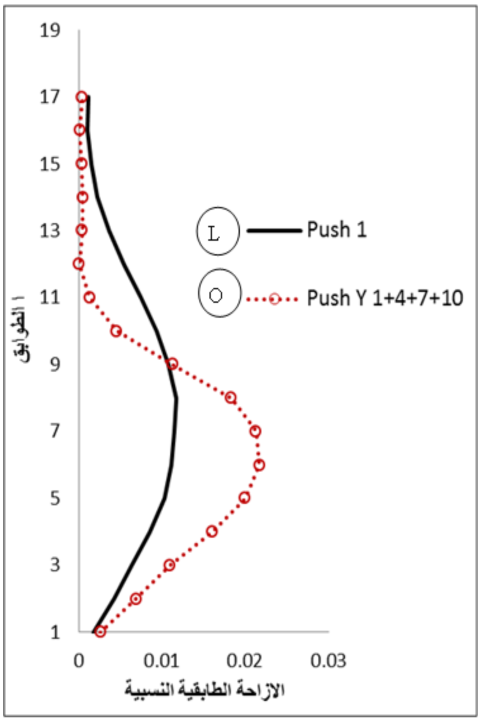
شكل(4-136): منحنيات الاستطاعة للمبنى(S3-16) بطريقة UBPA بالاتجاهين X,Y

- نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء:

جدول(4-42) : نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى S3-16 بطريقة UBPA

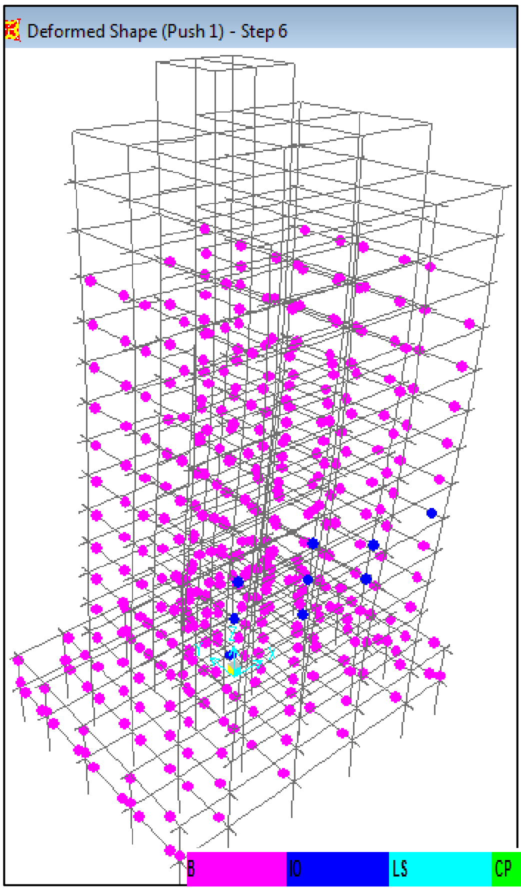
الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الأداء						
		V (KN)	%	δ (m)	%	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE
push X 2	A	6980.73	-	0.205	-	1355	400	43	0	0	0	0
push X 2+3	B	9289.28	33%	0.359	75%	1360	365	73	0	0	0	0
push X 2+5	C	9276.06	33%	0.159	-22%	1443	305	50	0	0	0	0
push X 2+3+5	D	11964.8	71%	0.308	50%	1426	290	82	0	0	0	0
push X 2+5+8	E	10441.5	50%	0.148	-28%	1488	290	20	0	0	0	0
push X 2+3+5+8	F	13224.2	89%	0.292	42%	1379	342	77	0	0	0	0
push X 2+5+8+11	G	9546.39	37%	0.162	-21%	1450	304	44	0	0	0	0
push X 2+3+5+8+11	H	12412	78%	0.311	52%	1411	309	78	0	0	0	0
push Y 1	L	8223.36	-	0.417	-	1403	386	9	0	0	0	0
push Y 1+4+7+10	O	7554.33	-8%	0.431	3%	1445	195	111	47	0	0	0
push Y 1+4+7	N	8981.29	9%	0.367	-12%	1499	195	104	0	0	0	0
push Y 1+4	M	11574.7	41%	0.323	-23%	1478	206	114	0	0	0	0

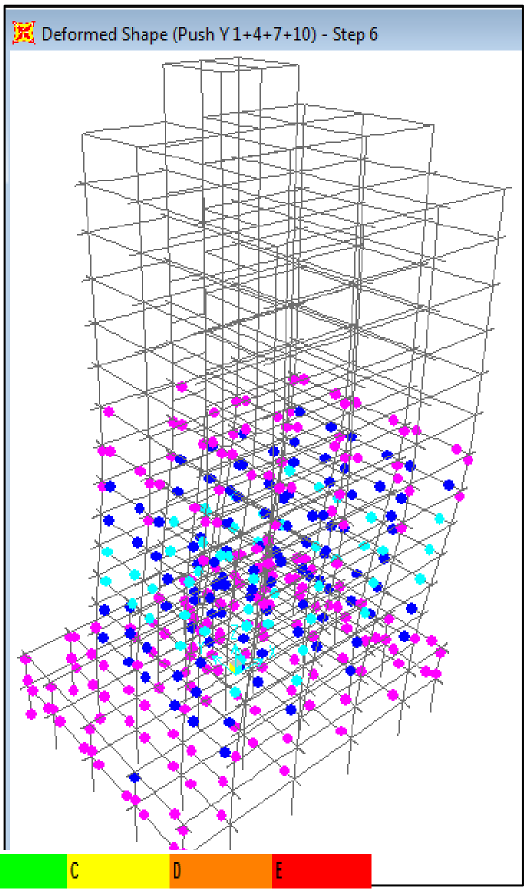
- الإزاحات النسبية الطابقية: الحالة الأخطر بالاتجاه Y فقط:



شكل(4-137) :الازاحات النسبية الطابقية في المبنى(S3-16) بطريقة UBPA بالاتجاه Y

- تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في الحالة الأخطر بالاتجاه Y:

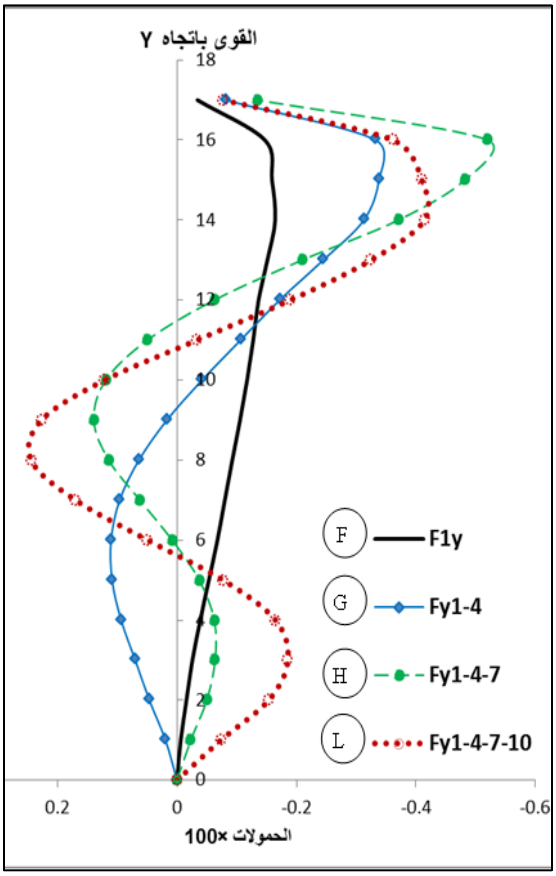


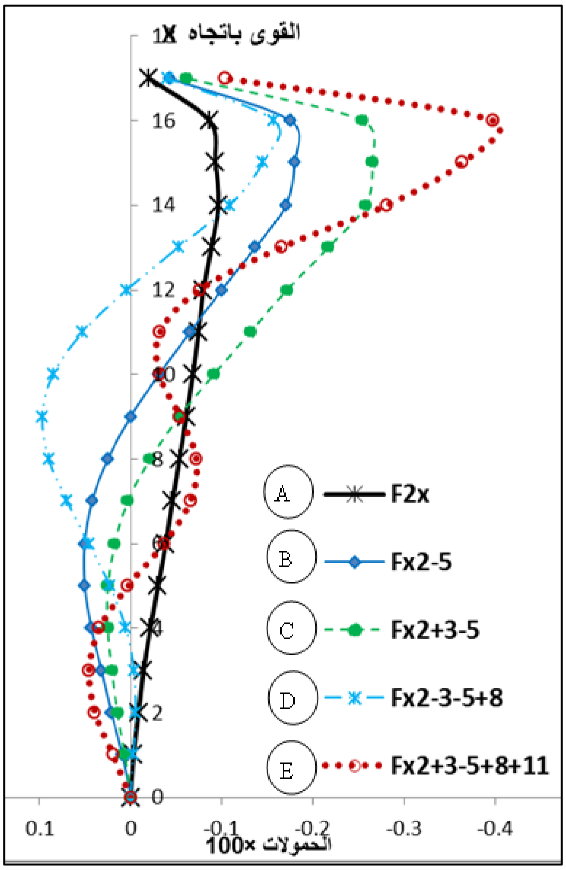


شكل(4-138) :تشكل المفاصل اللدنة في المبنى(S3-16) بطريقة UBPA بالاتجاه Y

2- طريقة MMC:

- الحمولات المجمعة: حسب الفقرة (4-1-2).

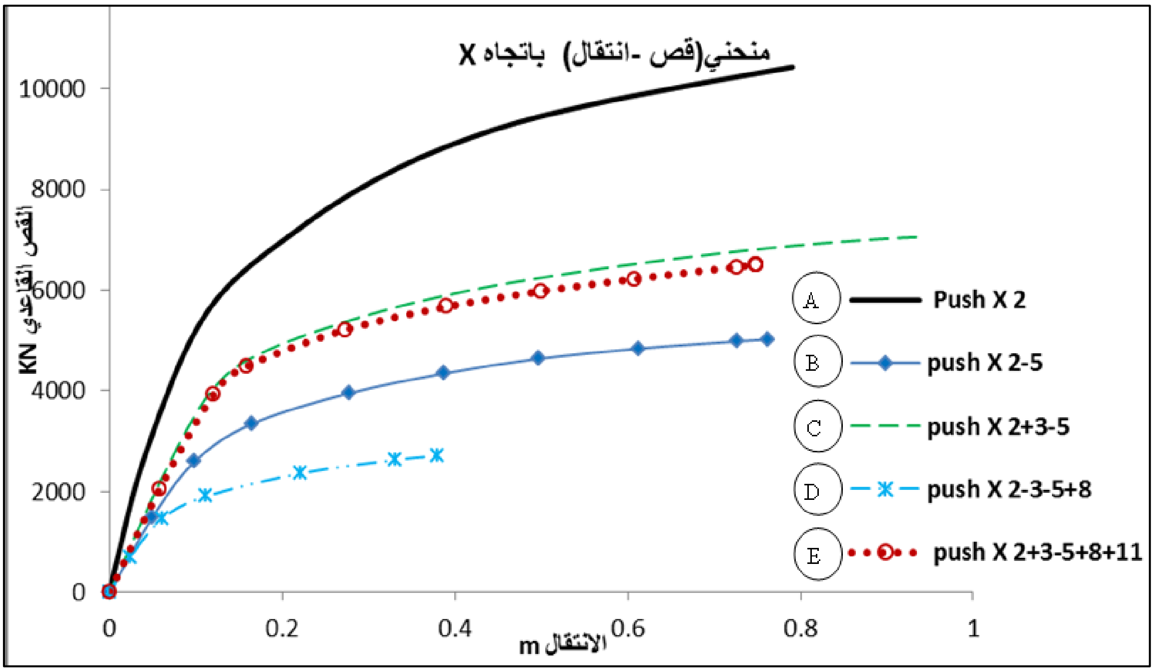


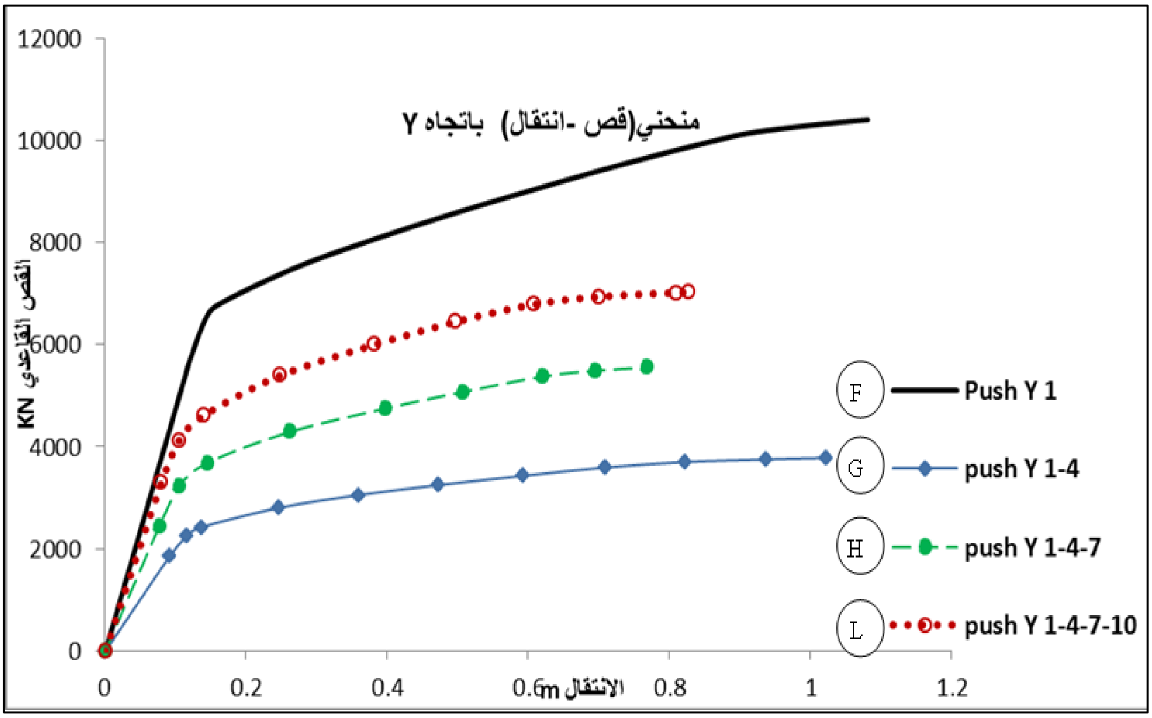


191

شكل(4-139) :الحمولات الجانبية على المبنى(S3-16) بطريقة MMC بالاتجاهين X,Y

- منحنيات الاستطاعة:





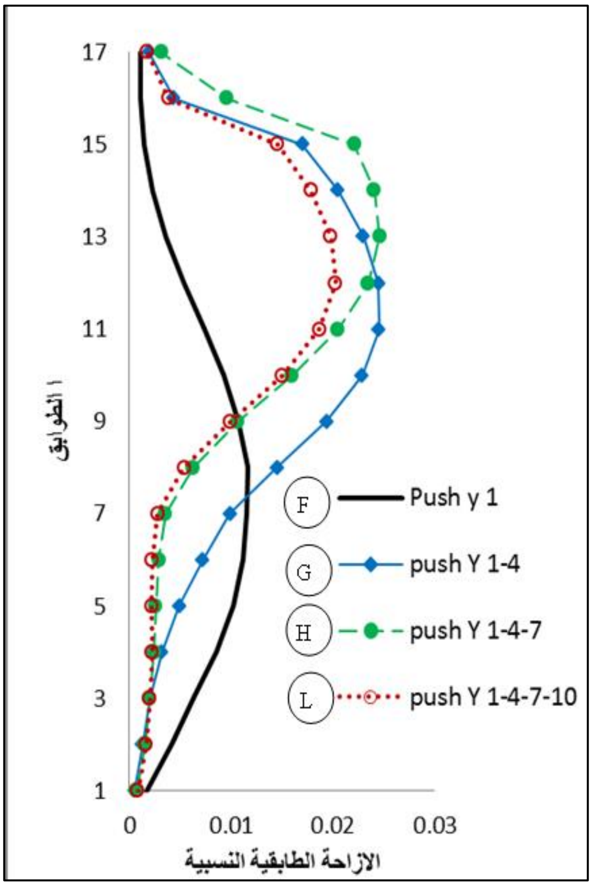
شكل(4−140) :منحنيات الاستطاعة للمبنى(S3−16) بطريقة MMC بالاتجاهين X,Y

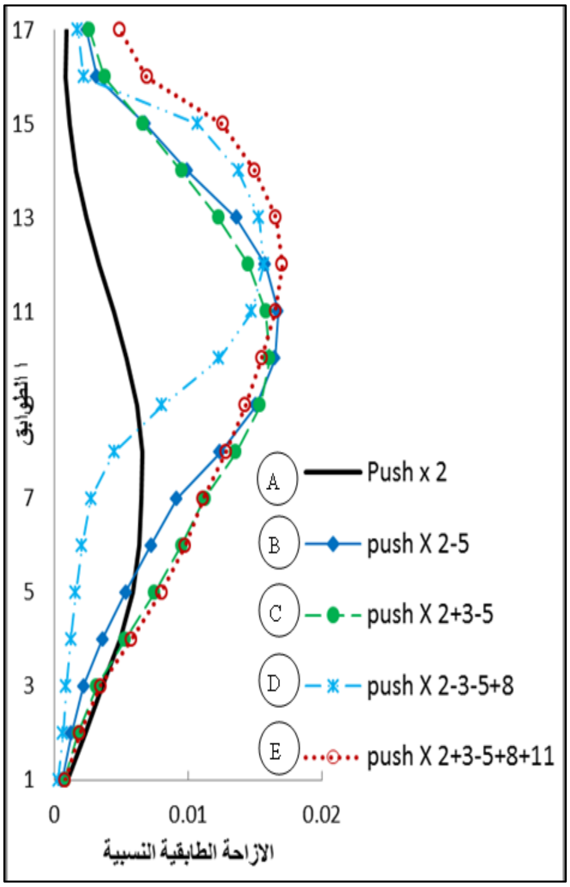
- نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء:

جدول(4-43) : نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى S3-16 بطريقة MMC

الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الأداء						
		V (KN)	%	δ (m)	%	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE
push X 2	**A**	**6980.73**		**0.205**		1355	400	43	0	0	0	0
push X 2-3-5+8	**D**	**2435.68**	*-65%*	**0.254**	*24%*	1268	342	126	29	0	33	0
push X 2-5	**B**	**4522.07**	*-35%*	**0.455**	*122%*	1232	403	111	31	0	21	
push X 2+3-5+8+11	**E**	**6025.45**	*-14%*	**0.523**	*155%*	1268	305	206	19	0	0	0
push X 2+3-5	**C**	**6157.67**	*-12%*	**0.483**	*136%*	1331	284	180	3	0	0	0
push Y 1	**F**	**8223.36**		**0.417**		1403	386	9	0	0	0	0
push Y 1-4	**G**	**3618.91**	*-56%*	**0.735**	*76%*	1427	168	75	120	0	8	0
push Y 1-4-7	**H**	**5260.9**	*-36%*	**0.578**	*39%*	1489	126	73	96	0	14	0
push Y 1-4-7-10	**L**	**6397.09**	*-22%*	**0.485**	*16%*	1467	137	48	8	0	138	0

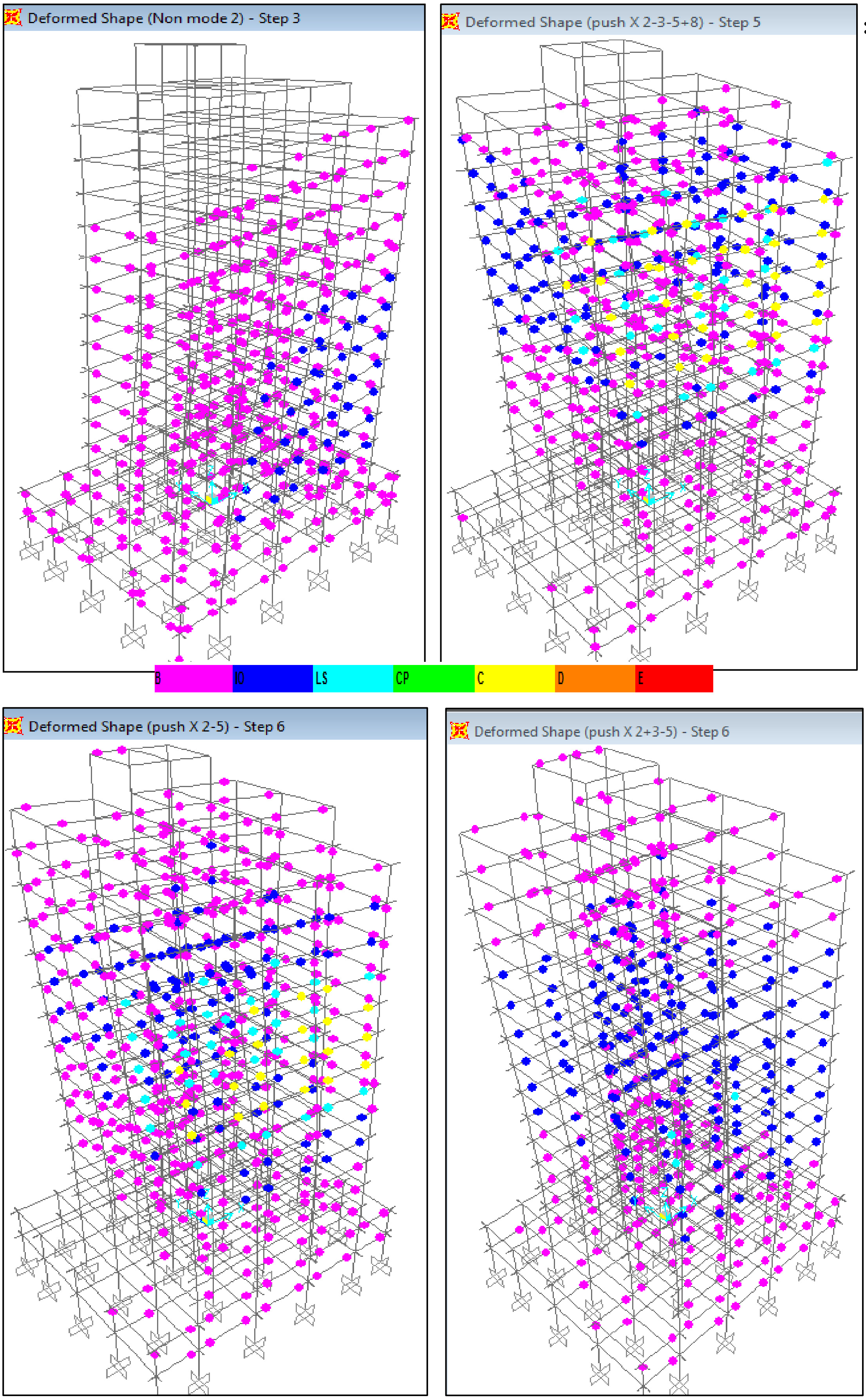
- الإزاحات النسبية الطابقية:





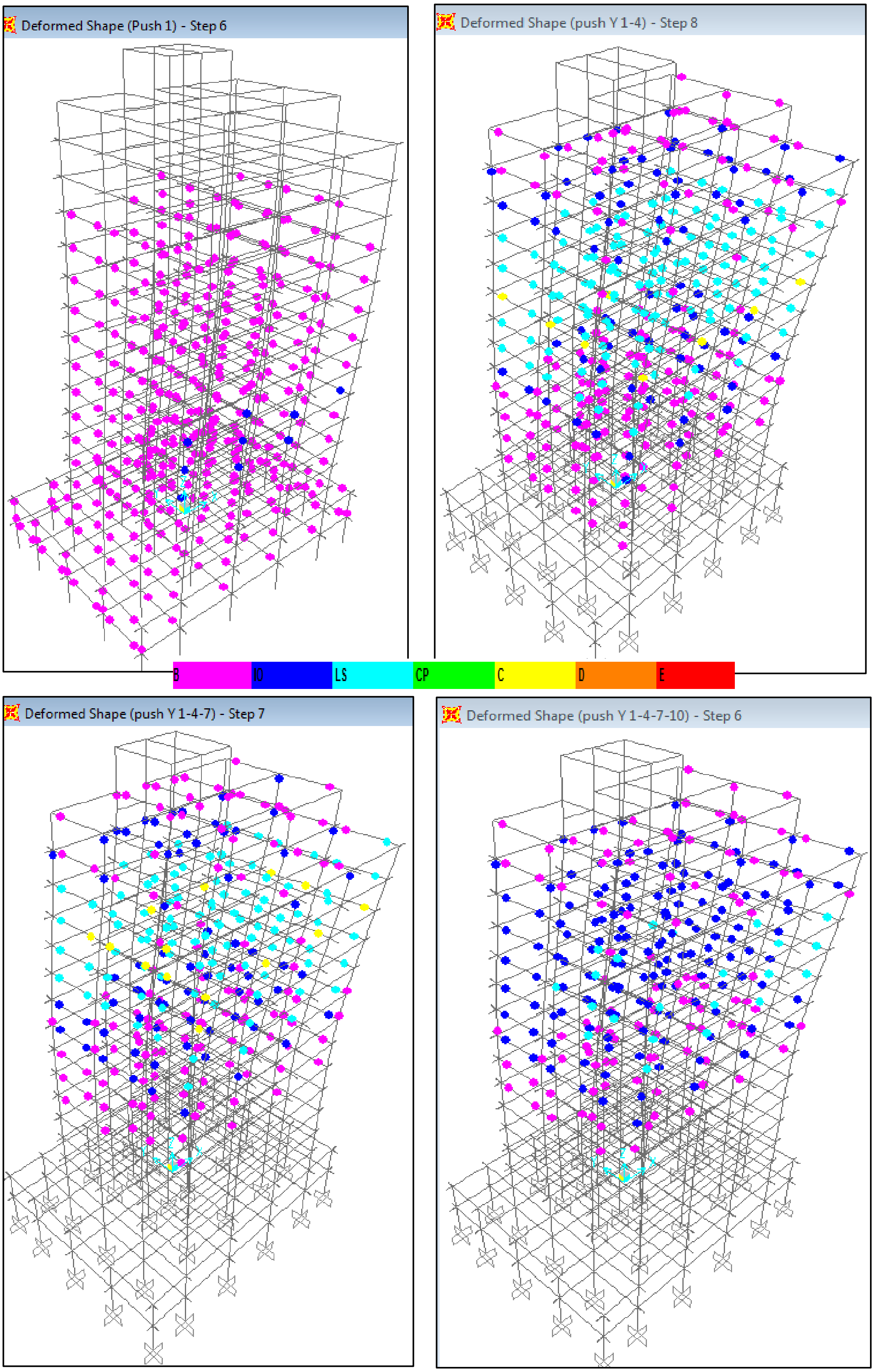
شكل(4-141) :الازاحات النسبية الطابقية المبنى(S3-16) بطريقة MMC بالاتجاهين X,Y

• تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في حالات التجميع الأخطر اتجاه x:



شكل(4−142): تشكل المفاصل اللدنة في المبنى(S3−16) بطريقة MMC بالاتجاه X,

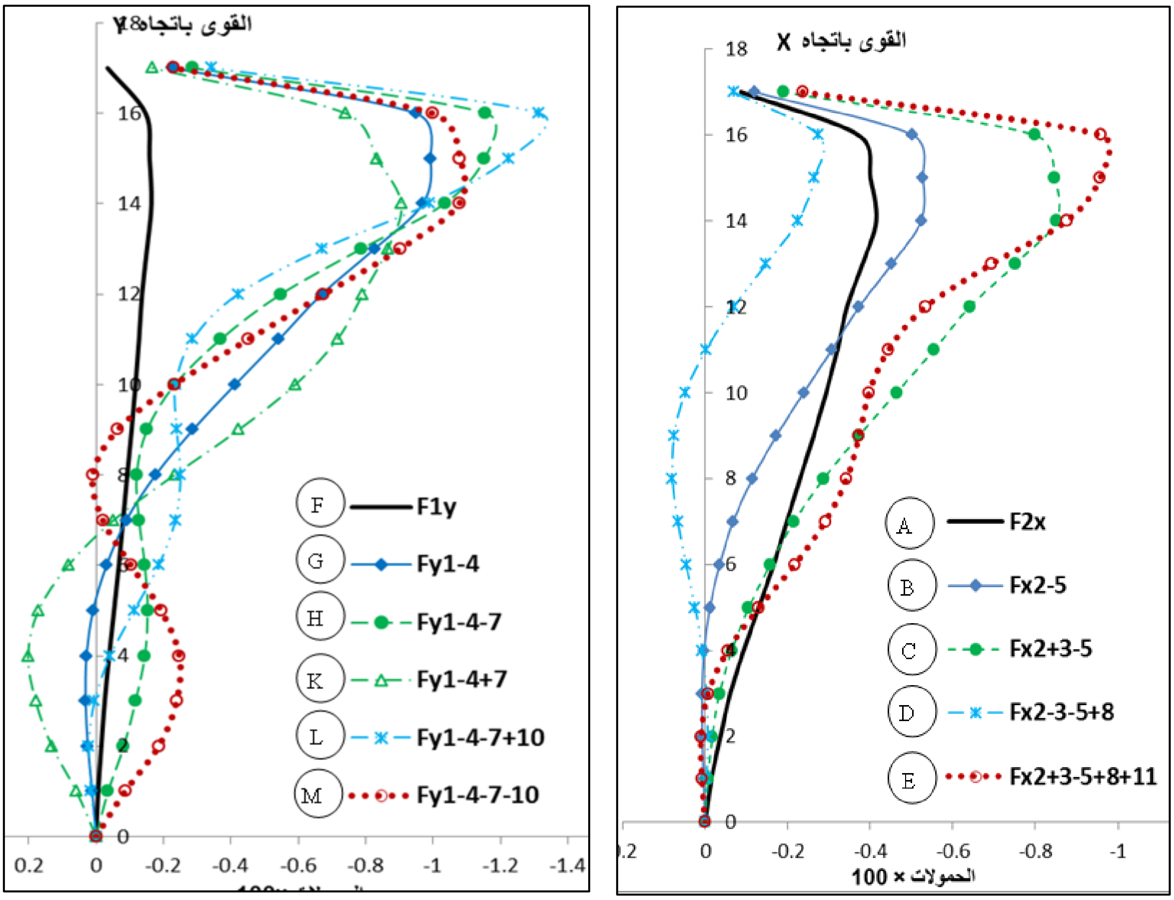
اتجاه Y:



شكل(4−143): تشكل المفاصل اللدنة في المبنى(S3−16) بطريقة MMC بالاتجاه Y

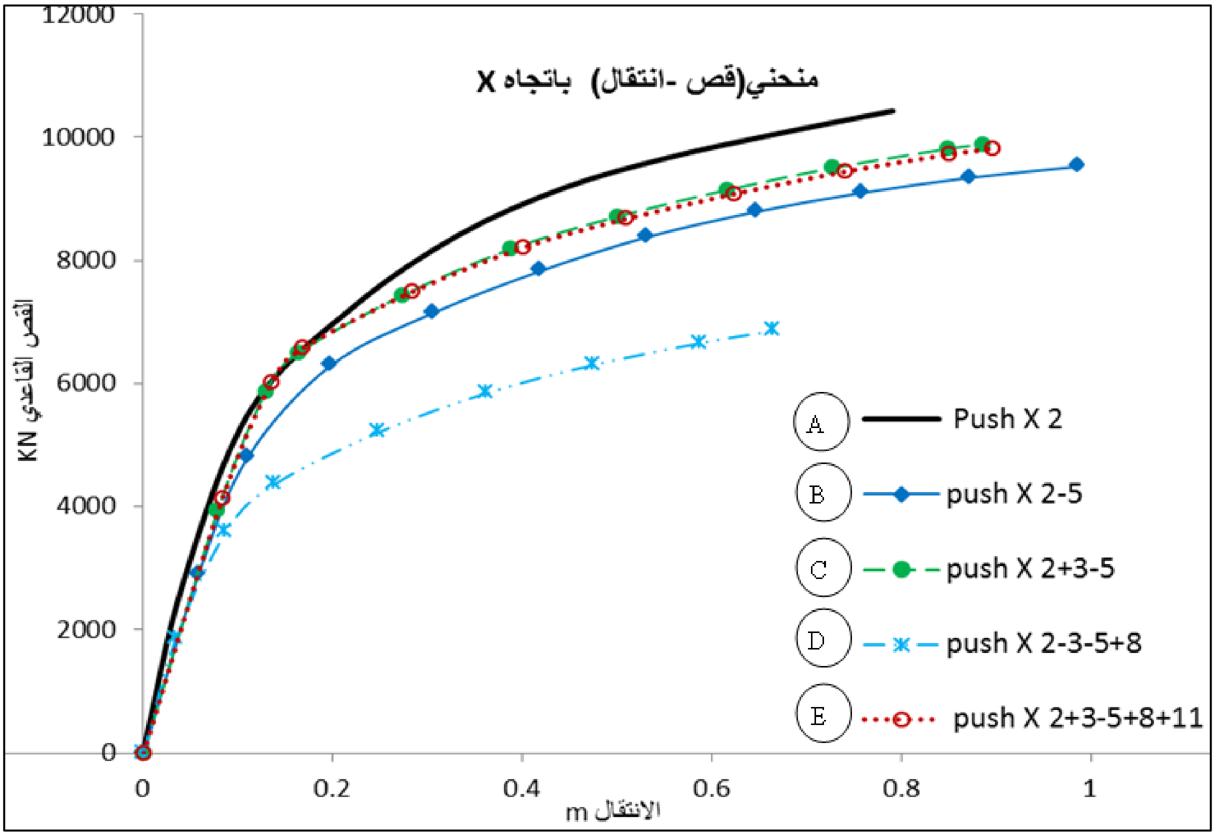
3- الطريقة المقترحة (Proposed):

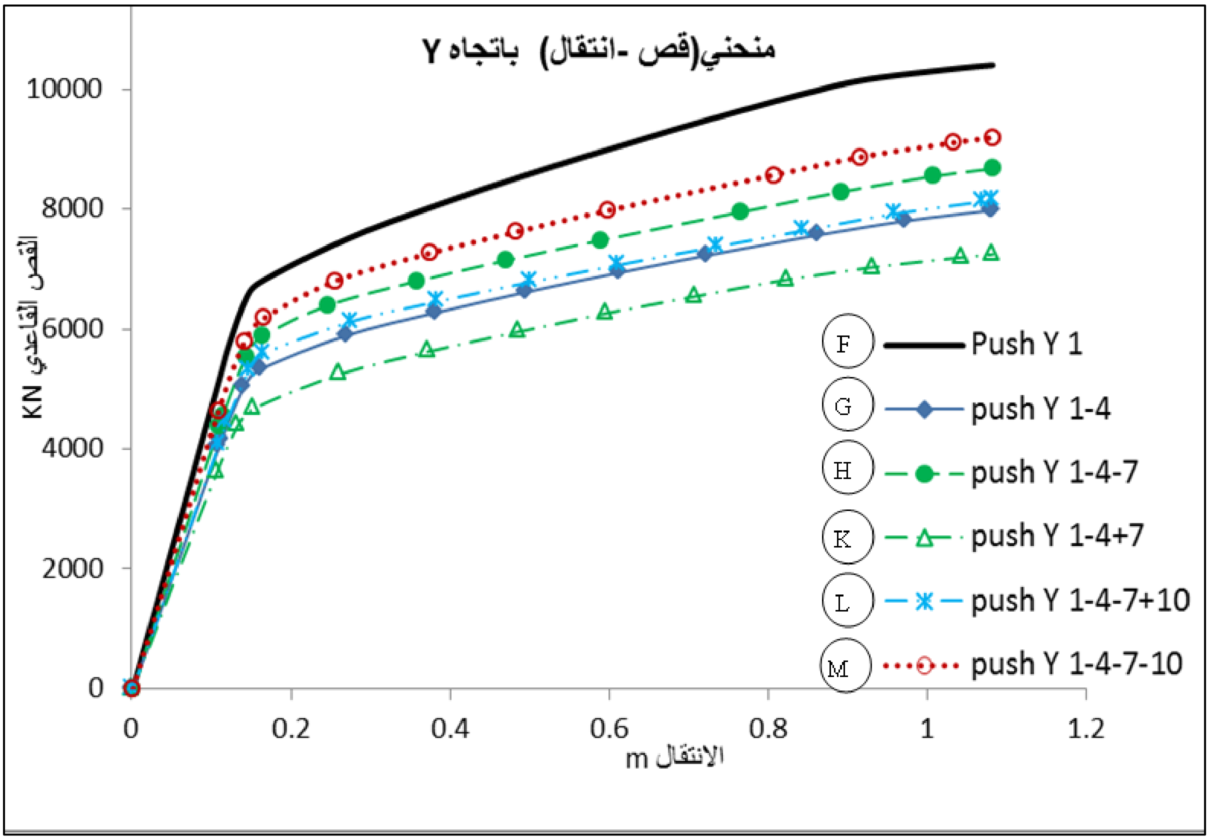
- الحمولات المجمعة: حسب الفقرة (4-1-4).



شكل(4-144) :الحمولات الجانبية على المبنى(S3-16) بالطريقة المقترحة Proposed بالاتجاهين X,Y

• منحنيات الاستطاعة:





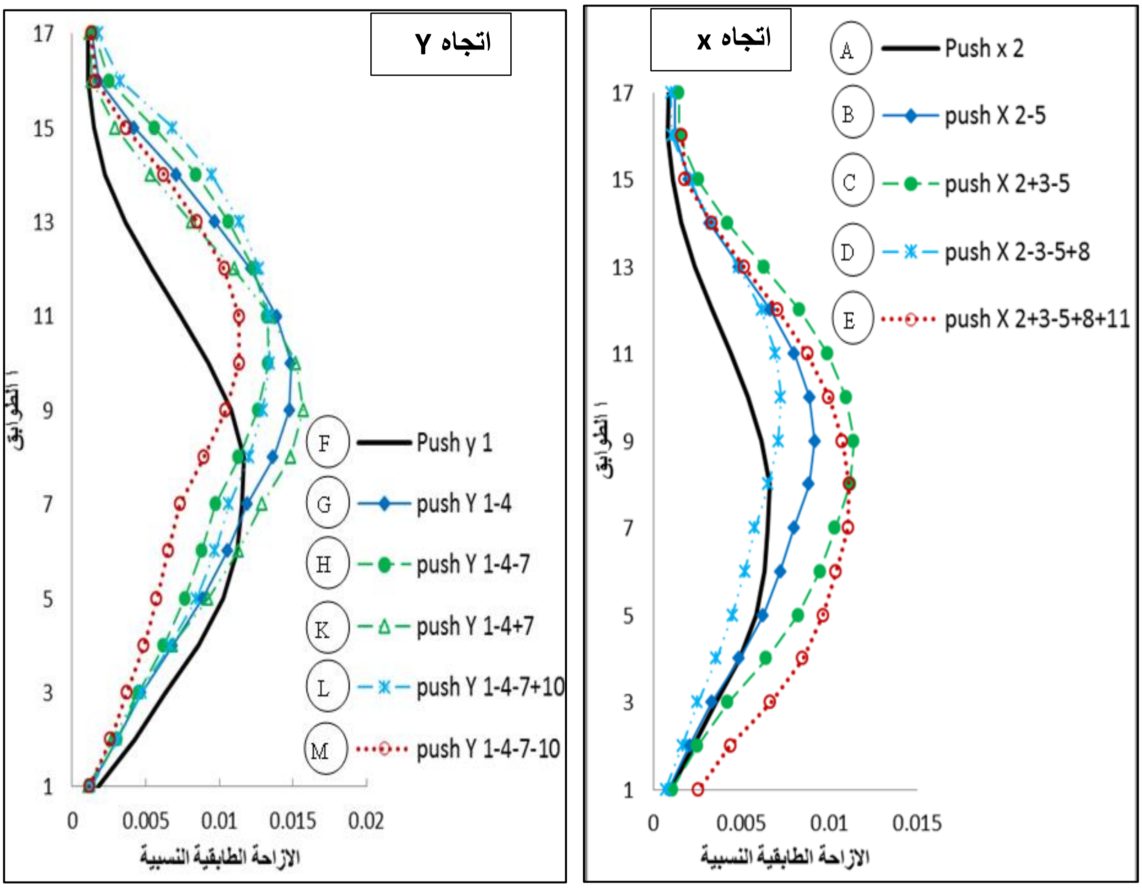
شكل(4-145): منحنيات الاستطاعة المبنى(S3-16) بالطريقة المقترحة Proposed بالاتجاهين X,Y

• نقطة الأداء وعدد للمفاصل اللدنة المتشكلة عندها حسب مستويات الأداء:

جدول(4−44) : نقطة الأداء والمفاصل اللدنة حسب مستويات الأداء في المبنى S3−16 بالطريقة المقترحة proposed

الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء عند نقطة الأداء						
		V (KN)	%	δ (m)	%	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE
push X 2	**A**	**6980.73**		**0.205**		1355	400	43	0	0	0	0
push X 2-3-5+8	**D**	**4699.68**	*-33%*	**0.182**	*-11%*	1257	456	79	6	0	0	0
push X 2-5	**B**	**7296.56**	*5%*	**0.33**	*61%*	1345	402	51	0	0	0	0
push X 2+3-5+8+11	**E**	**8182**	*17%*	**0.396**	*93%*	1355	371	72	0	0	0	0
push X 2+3-5	**C**	**8188.48**	*17%*	**0.388**	*89%*	1368	360	70	0	0	0	0
push Y 1	**F**	**8223.36**		**0.417**		1403	386	9	0	0	0	0
push Y 1-4+7	**K**	**6021.81**	*-27%*	**0.509**	*22%*	1395	259	144	0	0	0	0
push Y 1-4-7+10	**L**	**6759.67**	*-18%*	**0.491**	*18%*	1339	330	129	0	0	0	0
push Y 1-4	**G**	**6582.34**	*-20%*	**0.483**	*16%*	1360	303	135	0	0	0	0
push Y 1-4-7	**H**	**7123.05**	*-13%*	**0.463**	*11%*	1351	340	107	0	0	0	0
push Y 1-4-7-10	**M**	**7491.16**	*-9%*	**0.442**	*6%*	1374	409	15	0	0	0	0

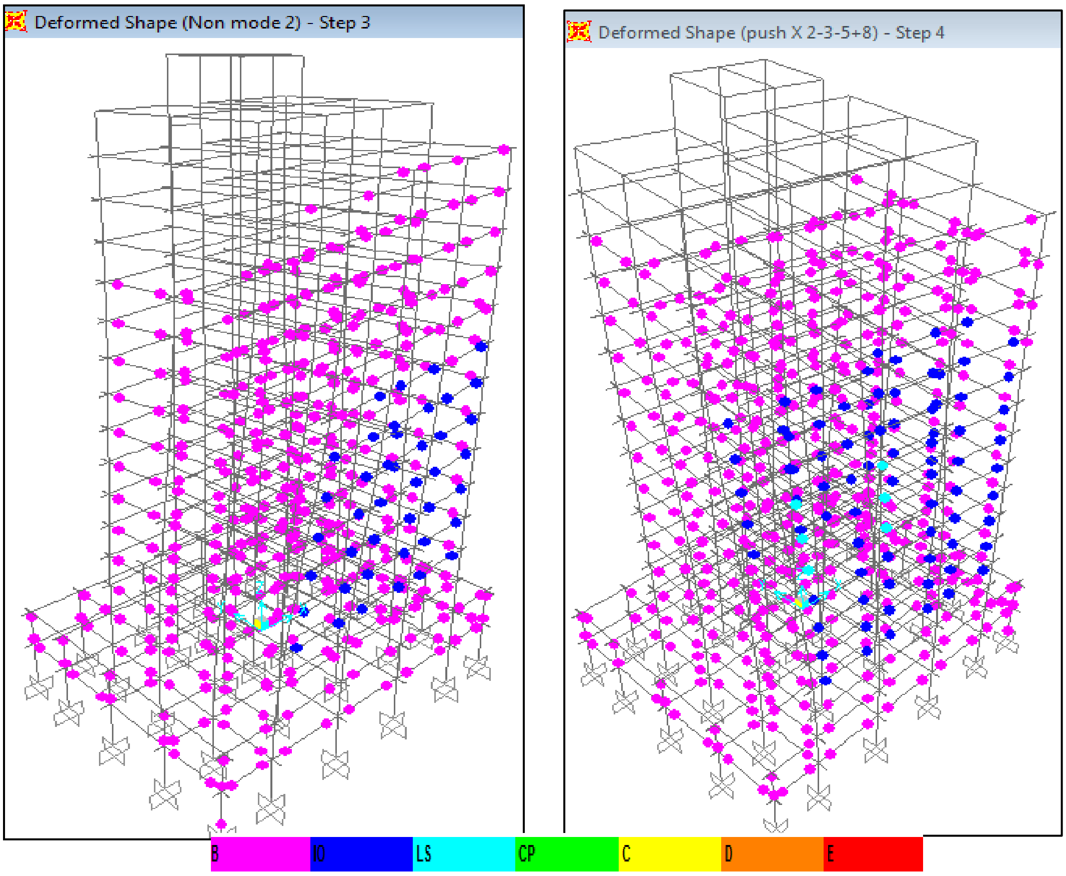
• الإزاحات النسبية الطابقية:



شكل(4−146): الإزاحات النسبية الطابقية المبنى(S3−16) بالطريقة المقترحة Proposed بالاتجاهين X,Y

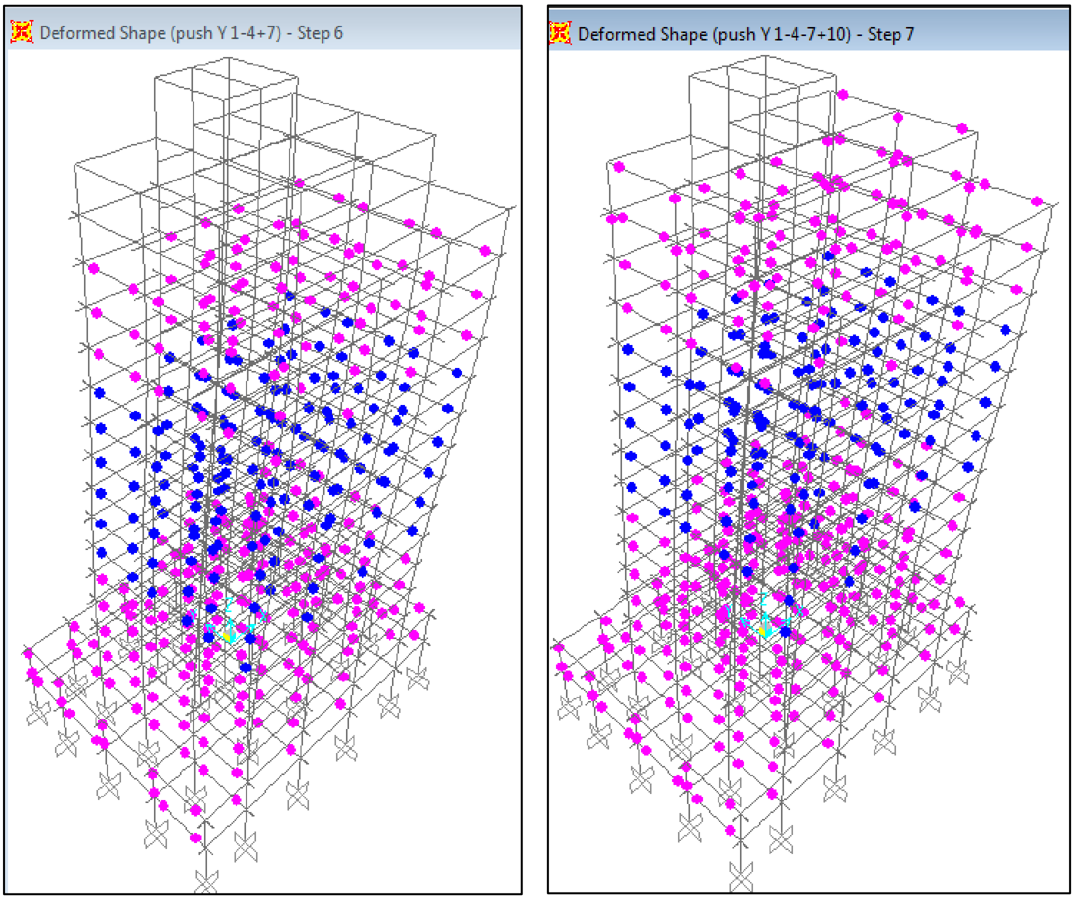
- تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في الحالة الأخطر

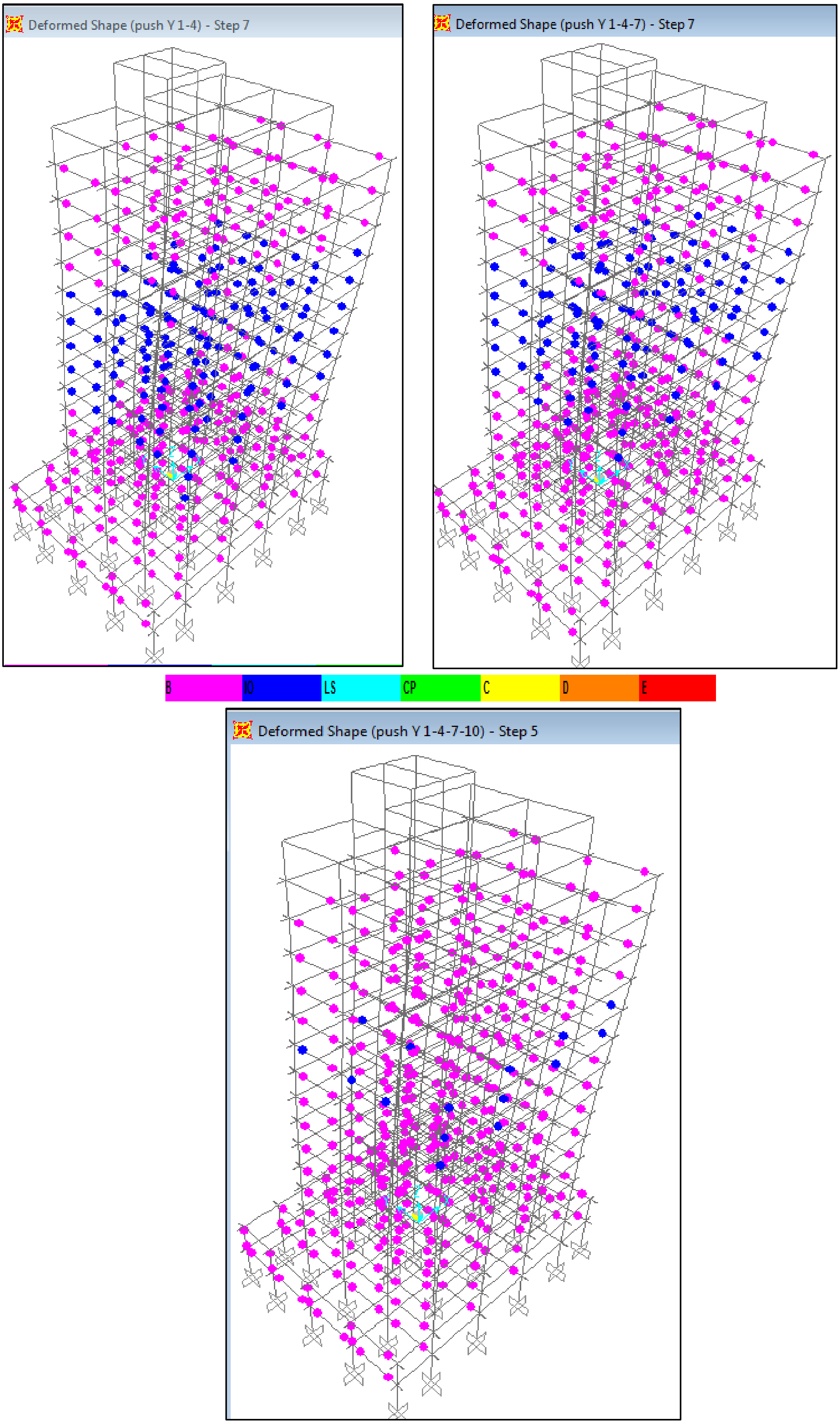
اتجاه X:



شكل(4-147): تشكل المفاصل اللدنة في المبنى(S3-16) بالطريقة المقترحة Proposed بالاتجاه X,

اتجاه Y:

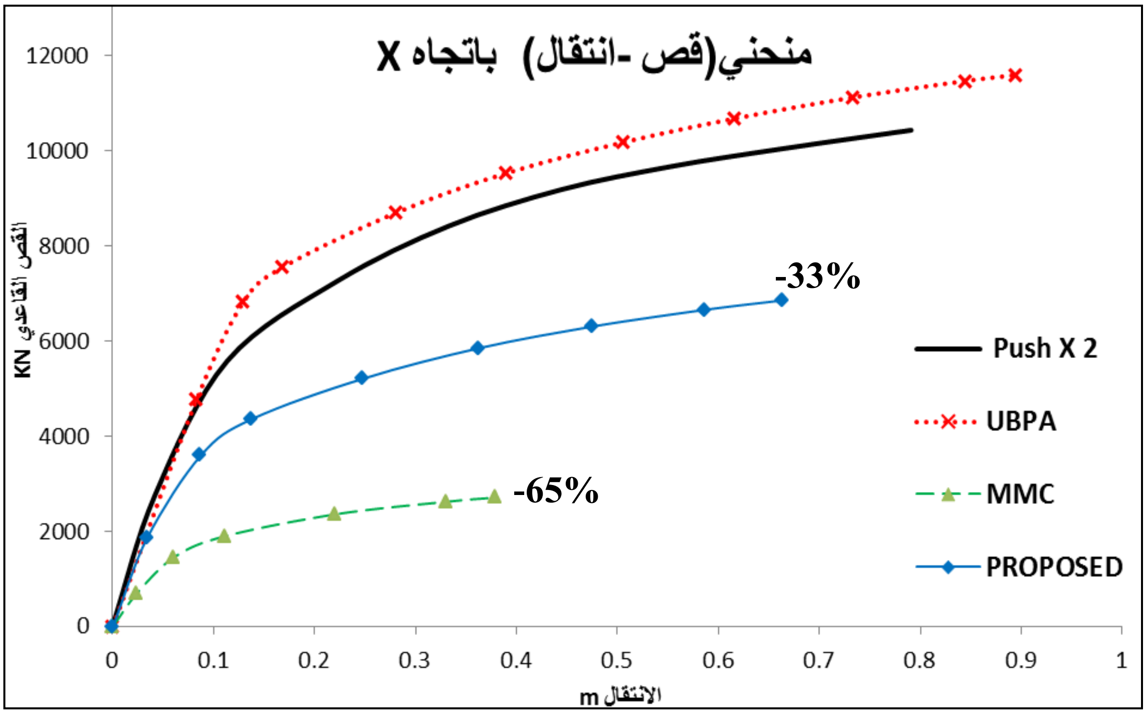


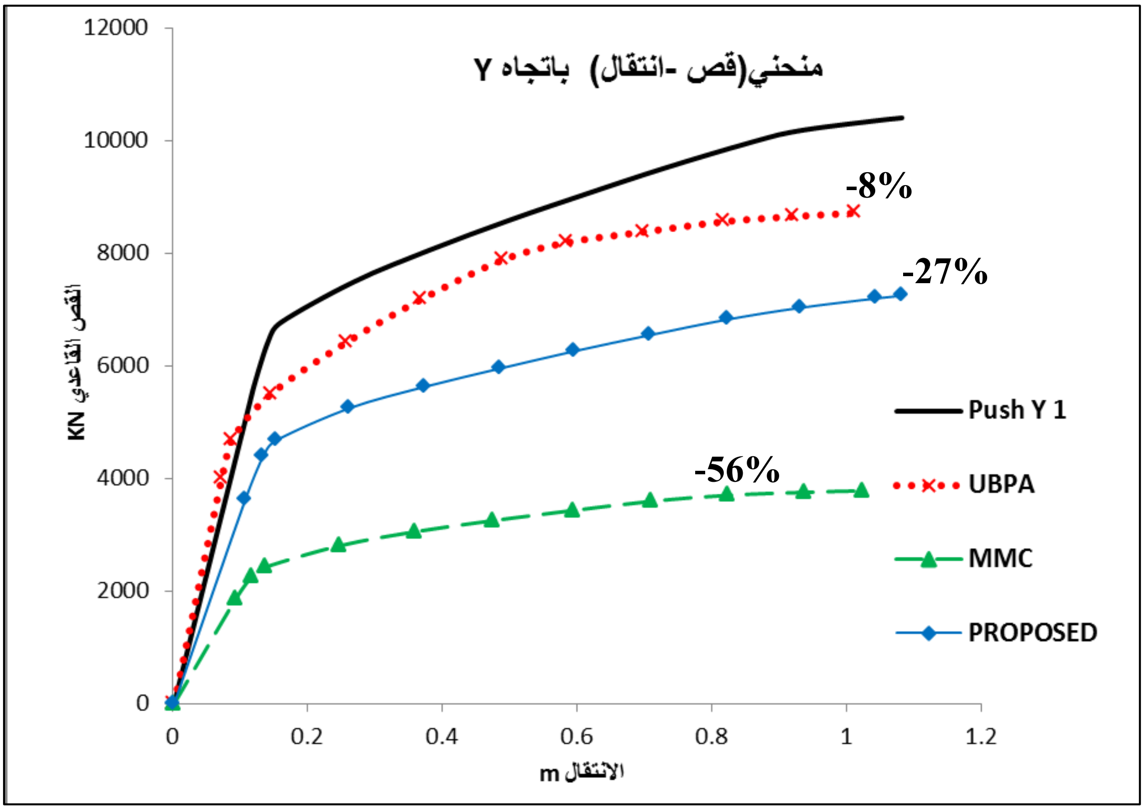


شكل(4−148): تشكل المفاصل اللدنة في المبنى(S3−16) بطريقة المقترحة Proposed بالاتجاه Y

4-5-6 مقارنة نتائج المبنى (S3-16):

- <u>منحنيات الاستطاعة:</u>





شكل(4-149) :منحنيات الاستطاعة المبنى(S3-16) للحالات الأخطر بالاتجاهين X,Y

• <u>نقطة الأداء:</u>

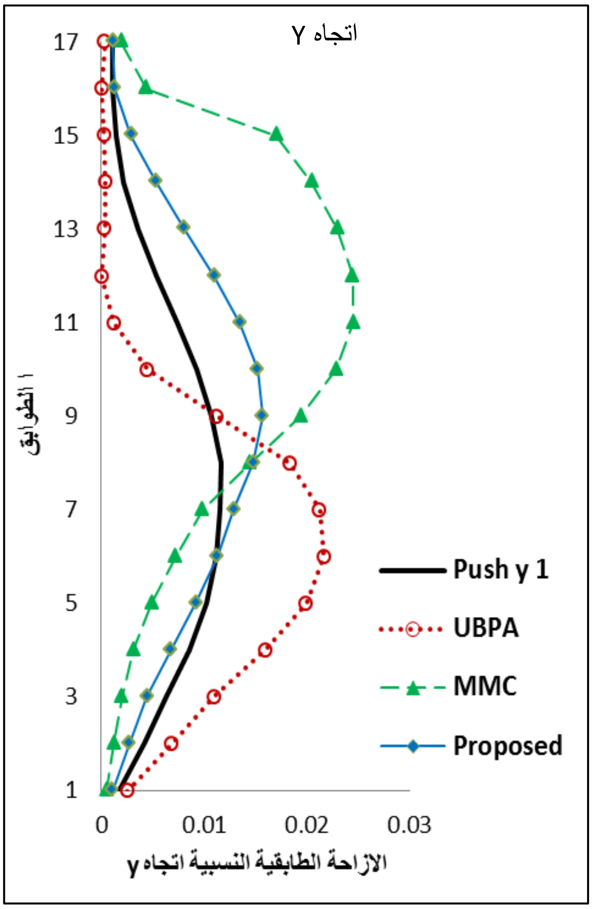
جدول(4-45) : نقطة الأداء والمفاصل اللدنة لحالات التجميع الأخطر للمبنى(S3-16) بالطرائق المعتمدة

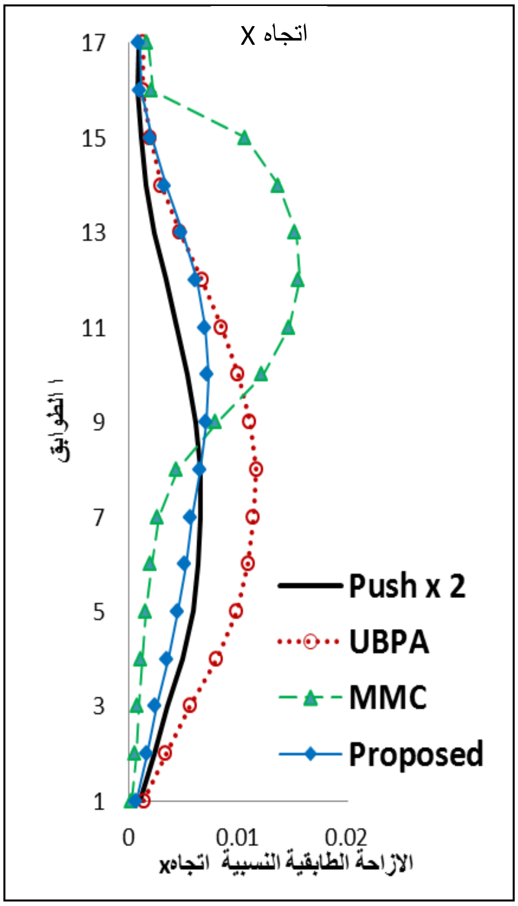
الاتجاه	الطريقة	الأنماط المجمعة	شكل الحمولة	نقطة الأداء				عدد المفاصل اللدنة عند مستويات الأداء					
				V (KN)	%	δ (m)	%	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
X	النمط الأساسي	X 2	A	6980.73	-	0.205	-	1355	400	43	0	0	0
	UBPA	-											
	MMC	X 2-3-5+8	D	2435.68	-65%	0.254	24%	1268	342	126	29	0	33
	Proposed	X 2-3-5+8	D	4699.68	-33%	0.182	-11%	1257	456	79	6	0	0
Y	النمط الأساسي	Y 1	L	8223.36		0.417		1403	386	9	0	0	0
	UBPA	Y 1+4+7+10	O	7548.68	-8%	0.431	3%	1443	194	91	70	0	0
	MMC	Y 1-4	G	3618.91	-56%	0.735	76%	1427	168	75	120	0	8
	Proposed	Y 1-4+7	K	6021.81	-27%	0.509	22%	1395	259	144	0	0	0

<u>الاتجاه X:</u> أدى تجميع الأنماط 3و5و8 مع النمط 2 وفق شكل الحمولات الخطر إلى تخفيض استطاعة المبنى، وسببت حالة التجميع8+5-3-2 في طريقتي MMC والطريقة المقترحة Proposed أقصى تخفيض في استطاعة المبنى وأكبر زيادة في قابليته على الانتقال الجانبي اللاخطي، حيث انخفض القص القاعدي المرافق لنقطة الأداء بنسبة وصلت إلى 65% بطريقة MMC وزاد الانتقال الجانبي للنقطة المرجعية في سطح المبنى بنسبة 24% وبذلك فهو التجميع الاخطر في الاتجاه X. في حين لم تسبب أي من حمولات UBPA انخفاضا في الاستطاعة وذلك متعلق بشكل هذه الحمولات.

<u>الاتجاهY:</u> أدت حالة التجميع 1+4+7+10 بطريقة UBPA إلى انخفاض بسيط في استطاعة المبنى وزيادة قابليته على الانتقال الجانبي اللاخطي، وأدت حالة التجميع 1-4 بطريقة MMC إلى أقصى تخفيض في الاستطاعة بلغ النسبة 56% مع زيادة في قابلية الانزياح الجانبي بنسبة 76%. أما بالطريقة المقترحة Proposed فقد أدى تجميع 7+4-1 إلى أقصى تخفيض في الاستطاعة بلغ النسبة 27% مع زيادة في قابلية الانزياح الجانبي بنسبة 22%.

- <u>الازاحات الطابقية النسبية:</u>



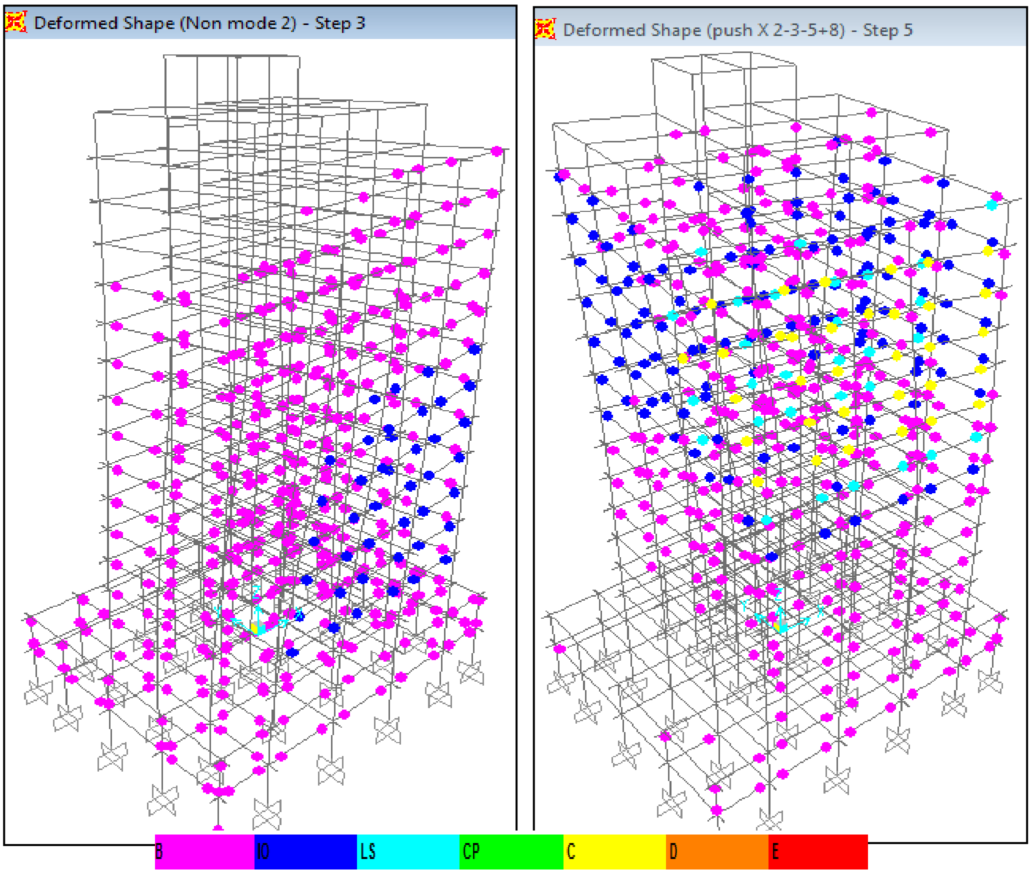


شكل(4−150) :الازاحات النسبية الطابقية للمبنى(S3−16) للحالات الأخطر بالاتجاهين X,Y

ترافق انخفاض استطاعة الإطار في الاتجاهين Xو Y مع زيادة الإزاحات النسبية بين طوابق القسم العلوي منه. يبين الشكل (4−162) أن تجميع 8+5−3−2 باتجاه X سبب أكبر زيادة في الإزاحات النسبية بين طوابق القسم العلوي بطريقة MMC، وهذا الأمر نتيجة مشاركة الأنماط العليا مع النمط 2 في الاستجابة. والأمر ينطبق على حالة التجميع 1−4 بالاتجاه Y.

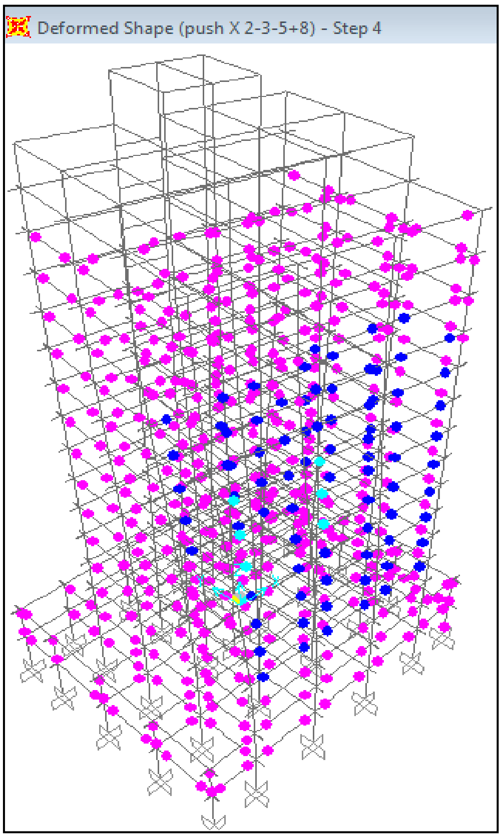
- <u>أماكن تشكل المفاصل اللدنة ومستويات الأداء التي وصلت إليها عند نقطة الأداء في الحالات الأخطر:</u>

الاتجاه X:



شكل(4-151) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S3-16)حسب النمط الأساسي بالاتجاه X

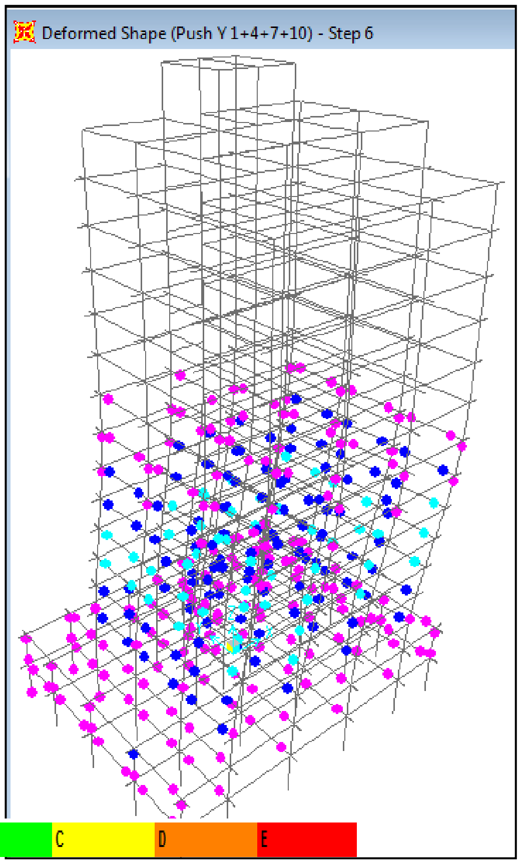
شكل(4-152) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S3-16)بطريقة MMC بالحالة الأخطر



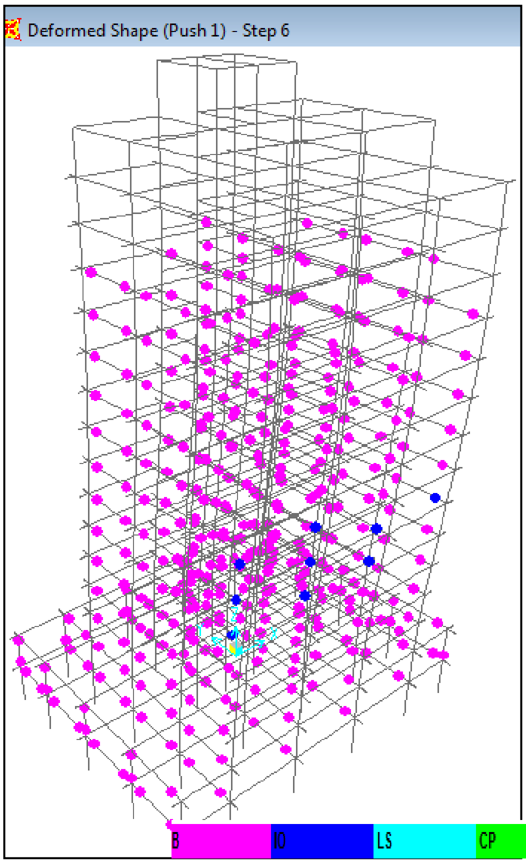
شكل(4-153) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى

(S3-16)بطريقةProposed , بالحالة الأخطر

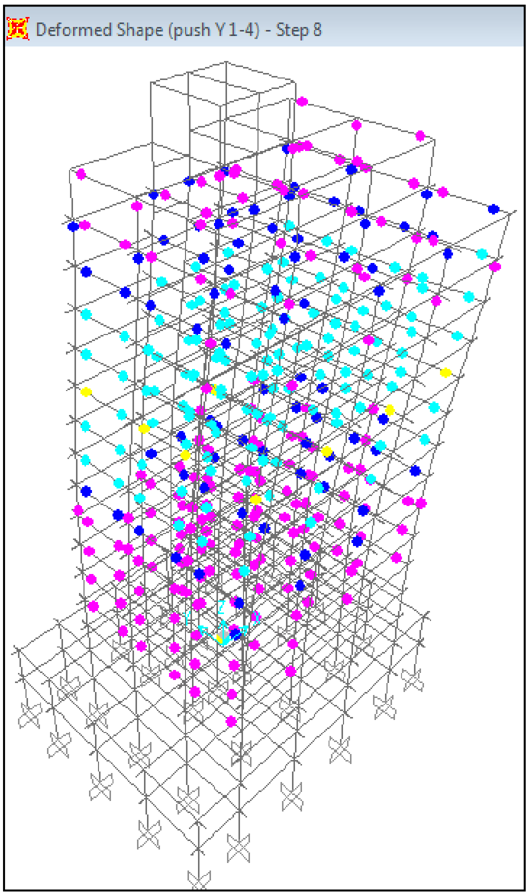
الاتجاهY:



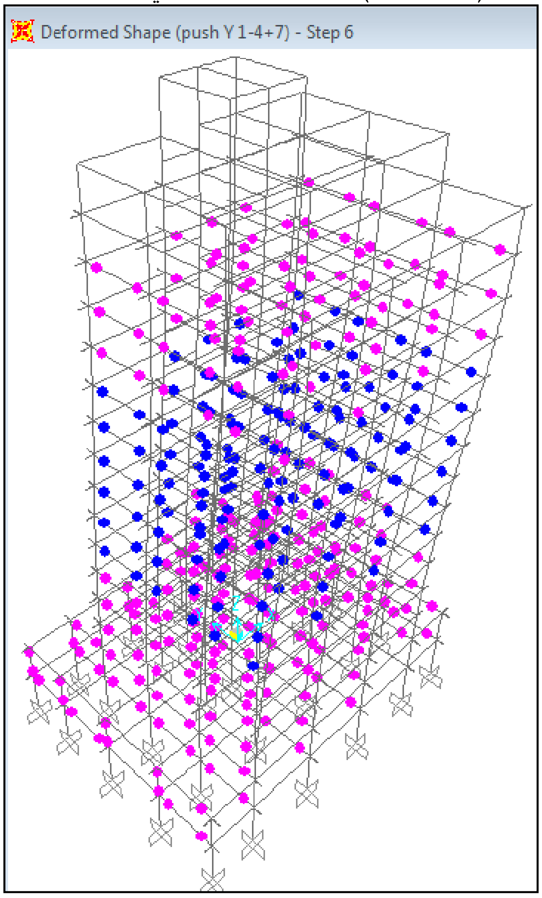
شكل(4-155) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S3-16)بطريقة UBPA بالحالة الأخطر



شكل(4-154) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S3-16)حسب النمط الأساسي بالاتجاه Y



شكل(4-157) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S3-16)بطريقة MMC بالحالة الأخطر



شكل(4-156) : أماكن تشكل المفاصل اللدنة للمبنى (S3-16)بالطريقة المقترحة Proposed بالحالة الأخطر

نلاحظ من الجدول (4–45) والأشكال(4–154)إلى (4–157) أنه أدى التجميع الأخطر بطريقة UBPA إلى زيادة عدد المفاصل التي تجاوزت مستوى الإشغال الفوري IO وظهور 70 مفصلا تجاوز مستوى أمان الحياه LS وهي موزعة في جيزان الطوابق من 6 حتى 8. أما التجميع الأخطر بطريقة MMC فقد أدى إلى تشكل 120 مفصلا تجاوز مستوى أمان الحياة في جيزان الطوابق من 9 حتى 14 ووصول 8 مفاصل إلى الاستطاعة الحدية في بعض جيزان الطابق 11. ولم يؤدي التجميع الأخطر بطريقة Proposed إلى تجاوز أي مفصل لمستوى أمان الحياة ولكن سبب وصول 135 مفصل إضافي لمستوى الإشغال الفوري.

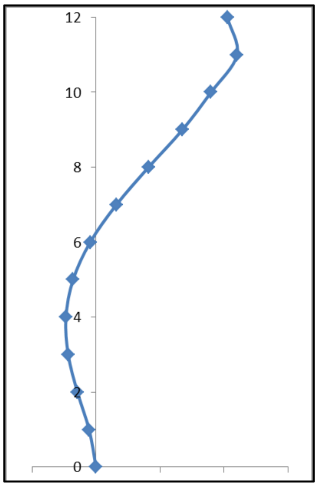
الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات:

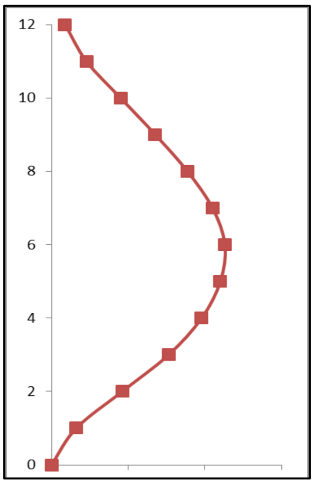
1- تبين من دراسة نماذج المجموعتين المستوية والفراغية أن شكل الحمولة الجانبية المستخدم في التحليل الستاتيكي اللاخطي يؤثر في استجابة المنشآت ونتائج التحليل الستاتيكي اللاخطي بشكل واضح. ويختلف هذا الشكل بحسب أنماط الاهتزاز الداخلة في تشكيلها وطرائق تجميعها.

2-نلاحظ أنه في المباني ذات الدور الأساسي القصير الذي لا يتجاوز 1 ثانية يمكن الاكتفاء بالتحليل الستاتيكي اللاخطي الدفعي وفق النمط الأساسي. إذ تبين من النماذج F1-7 و S1-5 أن مساهمة الأنماط الأعلى لم تسبب تراجعا كبيراً في الاستطاعة ومستوى الأداء إذ لم يتجاوز تراجع المقاومة الجانبية أكثر من 26 % و18 % على الترتيب.

3- أدى تجميع مساهمة عدد من أنماط الاهتزاز في الحمولة الجانبية للمنشآت المدروسة إلى أشكال مختلفة لهذه الحمولة حسب الطريقة المستخدمة في التجميع. إذ يعتبر شكل الحمولة الجانبية المسبب لقوى دفع أفقية متعاكسة الاتجاه بين القسمين السفلي والعلوي على ارتفاع المنشأة مع قوى دفع أعظمية في الطوابق العليا هو الشكل الأكثر خطورة من ناحية تخفيض الاستطاعة مقارنة مع تحليل النمط الأساسي شكل (A). بينما يعتبر الشكل المسبب لقوى دفع باتجاه واحد تتركز فيها القوى العظمى في الطوابق الوسطية على ارتفاع المنشأة هو الشكل الأقل خطورة شكل (B) .



شكل A



شكل B

4-يؤدي شكل الحمولة الأخطر إلى تخفيض الاستطاعة الجانبية للمنشآت المدروسة وقيمة القص القاعدي الموافقة لنقطة الأداء بنسبة وصلت إلى 65% في المجموعتين الأولى والثانية، كما سببت هذه الحمولة زيادة في قابلية الانزياح الجانبي وطراوة المنشأ بنسبة وصلت إلى 135 % في المجموعة الأولى

و76% في المجموعة الثانية. مما يظهر جلياً تأثير مساهمة الأنماط العليا على السلوك اللاخطي للجمل الاطارية ذات الارتفاعات العالية.

5 –يؤدي شكل الحمولة الأخطر إلى انخفاض الإزاحات النسبية بين الطوابق السفلية للمنشآت المدروسة وزيادة واضحة بين الطوابق العلوية، وذلك نتيجة مساهمة الأنماط العليا في الاستجابة وشكل التشوه الناتج عن الدفع الجانبي.

6- يظهر توزع تشكل المفاصل اللدنة في حالات التحليل باستخدام الحمولة الأخطر تجاوز عدد من المفاصل اللدنة مستوى الأداء الذي وصلت إليه في حالة النمط الاساسي مع تجاوز بعض المفاصل في الجيزان لاستطاعتها الحدية. أي أن مساهمة الأنماط سببت انخفاض مستوى أداء المنشآت في بعض حالات التجميع .

7- يختلف تأثير مساهمة الأنماط بالطرائق المعتمدة على شكل الحمولة الجانبية باختلاف الإشارة الجبرية المستخدمة في التجميع. إذ يجب الانتباه إلى اختيار الاشارة الجبرية في تجميع الأنماط بما يضمن الحصول على الشكل الأخطر للحمولة كما ورد أعلاه، وذلك يتعلق باتجاه اهتزاز كل نمط حسب نتائج تحليل الاهتزاز الحر للمنشأة المدروسة.

8- بالغت طريقة التجميع المباشر Direct في إدخال تأثير الأنماط العليا مع النمط الأول بشكل غير واقعي، ويعود ذلك إلى وجود القيمة الذاتية ω_n^2 في صيغة التجميع والتي تزداد مع زيادة مرتبة النمط بنسبة أكبر بكثير من انخفاض عامل مساهمة النمط مع زيادة مرتبته. لذلك لا ننصح باستخدامها في دراسة مساهمة أنماط الاهتزاز في التحليل الستاتيكي اللاخطي.

9- بالرغم من أن الطريقة المقترحة proposed لم تسبب أكبر تخفيض للاستطاعة بين الطرائق المدروسة، إلا أنها تعتبر أكثر واقعية في تشكيل الحمولات الجانبية كونها تمثل مجموع قوى العطالة النمطية دون التأثير المباشر لنتائج طيف الاستجابة كما في حمولات طريقتي UBPA وMMC، وبعيداً عن تأثير ω^2 في الحدود العليا كما في طريقة التجميع المباشر (direct).

في النهاية نؤكد أنه عند دراسة وتصميم المباني التي يتجاوز دورها الأساسي 1 ثانية اعتماداً على الأداء أو تقييم أدائها بوضعها الراهن باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي، لابد من أخذ تأثير الأنماط العليا في التحليل بسبب تأثير ذلك على الاستطاعة الجانبية وأماكن الضعف الممكنة وحدوث الانهيار، وزيادة هذا التأثير مع زيادة ارتفاع المنشأة المدروسة.

التوصيات:

1-لابد من اللجوء إلى التحليل الديناميكي اللاخطي الذي يعطي أقرب صورة لسلوك المنشآت عند تعرضها للزلازل، وذلك لتوثيق نتائج التحليل الستاتيكي اللاخطي وطرائقه النمطية خاصة المقترحة.

2-دراسة تأثير الأنماط في منشآت من البيتون المسلح ذات جمل إنشائية متنوعة(جمل جدران قص – جمل مختلطة) بارتفاعات مختلفة ومقارنتها ومحاولة تعميم النتائج على الجمل الإنشائية المختلفة.

3-دراسة تأثير الأنماط على التحليل الستاتيكي اللاخطي مع الأخذ في الاعتبار عوامل أخرى مؤثرة في التحليل مثل التأثير المتبادل بين التربة والأساسات SSI، وتأثيرات اللاخطية الهندسية، ونمذجة جدران البلوك، والخصائص المختلفة للهزة الأرضية وغيرها من العوامل.

References-المراجع

[1]. Applied Technology Council, ATC-40, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1-2, Redwood City, California.

[2]. Federal Emergency Management Agency (FEMA), 1997, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-273.

[3].Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2000, Prestandard and Commentary for the Rehabilitation of Buildings, FEMA-356.

[4]. Federal Emergency Management Agency, 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, FEMA-440.

[5]. Naeim F., Bhatia H., Lobo R. M., 2001 , Performance Based Seismic Engineering. The Seismic Design Handbook, Springer US: 757-792.

[6].Gulkan P. and Sozen M. A., 1974, Inelastic response of reinforced concrete Structures to Earthquakes motions, American Concrete Institute Jornal, December. 1974.

[7].Freeman, S.A., J.P. Nicoletti, and J.V. Tyrell, 1975, Evaluations of Existing Buildings for Seismic Risk – A Case Study of Puget Sound Naval Shipyard, Bremerton, Washington, Proceedings of the U.S. National Conference on Earthquake Engineers, EERI, pp 113-122, Berkeley

[8].Freeman, S. A., 1998, Development and use of capacity spectrum method, Proceedings of the 6th U.S National Conference on Earthquake Engineering, Seattle, EERI, Oakland.

[9].Saiidi, M., and Sozen, M. A. 1981, Simple Nonlinear Seismic Analysis of R/C Structures. Journal of the Structural Division, 107(5), 937–953.

[10].Fajfar P. and Fishinger M., 1989, N2-A method for non-linear seismic analysis of regular buildings", Proc.9th World Conf. Earthquake Engineering, Vol. V,111-116

[11].Fajfar P., 2000, A nonlinear analysis method for performance-based seismic design, Earthquake spectra, 16(3), 573-592.

[12].Krawinkler H., 1995 , New trends in seismic design methodology Proceedings 10th ECEE, The Netherlands, Rotterdam, pp. 821–830.

[13].Faella, G. ,1996, Evaluation of RC structures seismic response by means of nonlinear static pushover analyses, 11th World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, Paper no. 1146, 8 pp.

[14].Tso W.K., Moghadam A.S. ,1998, Pushover procedure for seismic analysis of buildings, Progress in Structural Engineering and Materials, Vol. 1, No.3, pp.337-344

[15].Mwafy, A.M. and Elnashai, A.S. ,2001, Static Pushover versus Dynamic Collapse Analysis of RC Buildings, Journal of Engineering Structures, 23, pp. 407-424, 2001.

[16]. Krawinkler H, Seneviratna GDPK. Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation. Engng Struct 1998;20(4-6):452–64

[17].Sasaki, K. K., Freeman, S. A., and Paret, T. F., 1998, Multimode pushover procedure (MMP)—A method to identify the effects of higher modes in a pushover analysis, Proceedings of 6th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Seattle, WA

[18].Chopra, A.K. (1995) Dynamics of Structures; Theory an applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey 1995.

[19].Chopra, A.K., and Goel, R.K. 2001. A Modal Pushover Analysis Procedure to Estimate Seismic Demands for Buildings: Theory and Preliminary Evaluation ,PEER Report 2001/03,Pacific Earthquake Engineering Research Center ,College of Engineering, University of California -Berkeley.

[20].Chopra, A.K., and Goel, R.K. 2002. “A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings.” Earthquake Eng. Struct. Dyn., 313, 561–582

[21].Chopra AK, Goel RK, Chintanapakdee C., 2004, Evaluation of a modified MPA procedure assuming higher modes as elastic to estimate seismic demands.Earthquake Spectra 2004;20(3):757– 78.

[22].Jan TS, Liu MW, Kao YC ,2004, An upper-bound pushover analysis procedure for estimating seismic demands of high-rise buildings. Engineering Structures 2004;26:117–28.

[23].Kunnath, S.K., 2004, “Identification of modal combinations for nonlinear static analysis of building structures.” Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering.19: 282-295.

[24].Kalkan E., Kunnath S.K., 2004, Method of modal combinations for pushover analysis of buildings. In: Proc. of the 13th world conference on earthquake engineering, Paper no. 2713. 2004

[25].Shakeri, K., 2013, Optimum Weighted mode combination for nonlinear static analysis of structures , Int. J. Optim. Civil Eng., 2013; 3(2): 259-270.

[26].Gupta, B., and Kunnath, S. K. 2000. “Adaptive spectra-based pushoverprocedure for seismic evaluation of structures.” Earthquake Spectra,162, 367–391.

[27].Kalkan E., Kunnath SK., 2006 , Adaptive modal combination procedure for nonlinear static analysis of building structures, ASCE Journal of Structural Engineering .

[28].Kalkan, E., 2006, Prediction of Seismic Demands in Building Structures, PhD dissertation in Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis.

[29].Elnashai, A. S. ,2001, “Advanced inelastic static (pushover) analysis for earthquake applications,” Structural Engineering and Mechanics 12(1), 51–69

[30].Antonio, S., and Pinho, R., 2004. “Development and verification of a displacement-based adaptive pushover procedure.” J. Earthquake Eng., 85, 643–661.

[31] Kalkan E., Kunnath SK., 2007. "Assessment of current nonlinear static procedures for seismic evaluation of buildings" Engineering Structures 29 (2007) 305–316

[32].Ryes J., Chopra A.K., 2011, Three-dimensional modal pushover analysis of buildings subjected to two components of ground motion, including its evaluation for tall buildings, Earthquake Engng Struct. Dyn. 2011; 40:789–806.

[33].Bhatt C., Bento R., 2012 , Generalized Pushover Curves for Nonlinear Static Analysis of Three-Dimensional Structures, ICIST Report no.6, 3DISP Project, Technical University of Lisbon, Lisbon, Portugal.

[34].CSI Analysis Reference Manual For SAP2000 2013,Computers and Structures, Inc. University Avenue,Berkeley, California.

[35]. الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة والملحق الثاني، الطبعة الثالثة، دمشق **2004**/ الطبعة الرابعة، دمشق،**2012**.

ملحق A

الحمولات الجانبية المركزة في عقد الإطار F1-7 بالطريقة المقترحة (Proposed)

Γ1= 26.704

حمولة النمط الأول

Joint	m	Φ1	F1=Γ1mΦ1
1	2.14	0.000	0.000
2	18.05	0.006	2.853
3	18.05	0.016	7.502
4	18.05	0.025	12.147
5	18.05	0.034	16.237
6	17.48	0.041	18.928
7	16.92	0.046	20.861
8	13.56	0.049	17.797
9	2.14	0.000	0.000
10	31.82	0.006	5.030
11	31.82	0.016	13.228
12	31.82	0.025	21.415
13	31.82	0.034	28.630
14	31.25	0.041	33.829
15	30.68	0.046	37.834
16	25.54	0.049	33.517
17	2.14	0.000	0.000
18	31.82	0.006	5.030
19	31.82	0.016	13.230
20	31.82	0.025	21.416
21	31.82	0.034	28.631
22	31.25	0.041	33.826
23	30.68	0.046	37.838
24	25.54	0.049	33.514
25	2.14	0.000	0.000
26	31.82	0.006	5.030
27	31.82	0.016	13.228
28	31.82	0.025	21.415
29	31.82	0.034	28.630
30	31.25	0.041	33.829
31	30.68	0.046	37.834
32	25.54	0.049	33.517
33	2.14	0.000	0.000
34	18.05	0.006	2.853
35	18.05	0.016	7.502
36	18.05	0.025	12.147
37	18.05	0.034	16.237
38	17.48	0.041	18.928
39	16.92	0.046	20.861
40	13.56	0.049	17.797

Γ2= 9.503

حمولة النمط الثاني

Joint	m	Φ2	F2=Γ2mΦ2
1	2.14	0.000	0.000
2	18.05	0.017	2.902
3	18.05	0.038	6.448
4	18.05	0.044	7.611
5	18.05	0.033	5.634
6	17.48	0.007	1.220
7	16.92	-0.028	-4.427
8	13.56	-0.051	-6.594
9	2.14	0.000	0.000
10	31.82	0.017	5.117
11	31.82	0.038	11.373
12	31.82	0.044	13.423
13	31.82	0.033	9.929
14	31.25	0.007	2.200
15	30.68	-0.028	-8.052
16	25.54	-0.051	-12.418
17	2.14	0.000	0.000
18	31.82	0.017	5.117
19	31.82	0.038	11.376
20	31.82	0.044	13.426
21	31.82	0.033	9.929
22	31.25	0.007	2.206
23	30.68	-0.028	-8.060
24	25.54	-0.051	-12.418
25	2.14	0.000	0.000
26	31.82	0.017	5.117
27	31.82	0.038	11.373
28	31.82	0.044	13.423
29	31.82	0.033	9.929
30	31.25	0.007	2.200
31	30.68	-0.028	-8.052
32	25.54	-0.051	-12.418
33	2.14	0.000	0.000
34	18.05	0.017	2.902
35	18.05	0.038	6.448
36	18.05	0.044	7.611
37	18.05	0.033	5.634
38	17.48	0.007	1.220
39	16.92	-0.028	-4.427
40	13.56	-0.051	-6.594

Γ3= 6.178

حمولة النمط الثالث

Joint	m	Φ3	F3=Γ3mΦ3
1	2.14	0.000	0.000
2	18.05	0.029	3.205
3	18.05	0.045	4.976
4	18.05	0.017	1.866
5	18.05	-0.028	-3.153
6	17.48	-0.045	-4.858
7	16.92	-0.007	-0.746
8	13.56	0.046	3.815
9	2.14	0.000	0.000
10	31.82	0.029	5.651
11	31.82	0.045	8.803
12	31.82	0.017	3.303
13	31.82	-0.028	-5.580
14	31.25	-0.045	-8.723
15	30.68	-0.007	-1.337
16	25.54	0.046	7.201
17	2.14	0.000	0.000
18	31.82	0.029	5.651
19	31.82	0.045	8.815
20	31.82	0.017	3.309
21	31.82	-0.028	-5.588
22	31.25	-0.045	-8.738
23	30.68	-0.007	-1.334
24	25.54	0.046	7.209
25	2.14	0.000	0.000
26	31.82	0.029	5.651
27	31.82	0.045	8.803
28	31.82	0.017	3.303
29	31.82	-0.028	-5.580
30	31.25	-0.045	-8.723
31	30.68	-0.007	-1.337
32	25.54	0.046	7.201
33	2.14	0.000	0.000
34	18.05	0.029	3.205
35	18.05	0.045	4.976
36	18.05	0.017	1.866
37	18.05	-0.028	-3.153
38	17.48	-0.045	-4.858
39	16.92	-0.007	-0.746
40	13.56	0.046	3.815

ملحق A

الحمولات الجانبية المركزة في عقد الإطار F1-7 بالطريقة المقترحة (Proposed)

الحمولات المجمعة من الأنماط الثلاثة الأولى

Joint	F1+2	F1-2	F1+2+3	F1-2+3	F1+2-3	F1-2-3
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	5.756	-0.049	8.961	3.156	2.550	-3.254
3	13.951	1.054	18.927	6.030	8.975	-3.922
4	19.757	4.536	21.624	6.402	17.891	2.670
5	21.872	10.603	18.719	7.450	25.025	13.756
6	20.148	17.708	15.290	12.850	25.006	22.567
7	16.434	25.288	15.688	24.542	17.180	26.034
8	11.203	24.391	15.018	28.207	7.388	20.576
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	10.147	-0.086	15.798	5.564	4.496	-5.737
11	24.601	1.855	33.404	10.658	15.799	-6.947
12	34.838	7.991	38.141	11.294	31.535	4.688
13	38.558	18.701	32.979	13.121	44.138	24.281
14	36.029	31.629	27.305	22.906	44.752	40.353
15	29.782	45.886	28.446	44.549	31.119	47.223
16	21.098	45.935	28.299	53.136	13.897	38.734
17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18	10.147	-0.086	15.798	5.564	4.496	-5.737
19	24.606	1.854	33.421	10.670	15.790	-6.961
20	34.842	7.989	38.150	11.298	31.533	4.681
21	38.560	18.703	32.972	13.115	44.148	24.291
22	36.032	31.621	27.294	22.882	44.771	40.359
23	29.778	45.898	28.444	44.564	31.111	47.231
24	21.096	45.933	28.305	53.141	13.888	38.724
25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26	10.147	-0.086	15.798	5.564	4.496	-5.737
27	24.601	1.855	33.404	10.658	15.799	-6.947
28	34.838	7.991	38.141	11.294	31.535	4.688
29	38.558	18.701	32.979	13.121	44.138	24.281
30	36.029	31.629	27.305	22.906	44.752	40.353
31	29.782	45.886	28.446	44.549	31.119	47.223
32	21.098	45.935	28.299	53.136	13.897	38.734
33	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34	5.756	-0.049	8.961	3.156	2.550	-3.254
35	13.951	1.054	18.927	6.030	8.975	-3.922
36	19.757	4.536	21.624	6.402	17.891	2.670
37	21.872	10.603	18.719	7.450	25.025	13.756
38	20.148	17.708	15.290	12.850	25.006	22.567
39	16.434	25.288	15.688	24.542	17.180	26.034
40	11.203	24.391	15.018	28.207	7.388	20.576

Abstract

The nonlinear static procedures (NSP) have become a favorite tool for performance- based design and assessment , and a very good alternative for the more complicated non-linear Dynamic analysis in practical applications .

Conventional NSPs using lateral load patterns recommended in codes do not represent the effects of higher modes adequately in the response specially for building with fundamental period higher than 1 second.

This research deals with studying and evaluating the effect of vibration modes on the shape of lateral loads used in simplified nonlinear static analysis, and the effect of these shapes on the results of analysis**.**

Two groups of RC frames were studied, the first one is consist of 3 plan frames and the second is of 3 buildings with space frame system. SAP2000 were used to perform 3 methods of modal pushover analysis in addition to a proposed one.

The parameters of nonlinear response were capacity curve , performance point, interstory drift ratio and plastic hinges and its performance levels . According to these parameters , the methods were compared with the fundamental mode analysis and evaluated. Results of this study indicate that modal combination states cause degradation in capacity and the overall performance level, which shows obviously the contribution of vibration modes in seismic response, and its effects on NSPs especially for high-rise buildings.

Syrian Arab Republic
Ministry of Higher Education
Tishreen University
Civil Engineering Faculty
Department of Structural Engineering

Contribution to studying Effects of modes of vibration on simplified nonlinear static analysis of reinforced concrete high buildings.

A Thesis submitted for the degree of Master in Structural Engineering at the Faculty of Civil Engineering

Submitted by

Zena Abou Assalie

Under Supervision of

Dr.Nabil Debbaneh **Dr. Nazih Mansour**

2016-2015