

جامعة دمشق

المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية

قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية

## الأداء الزلزالي للإطارات المعدنية المزودة بعنصر تريط مرن

من التحبيب

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية الزلزالية

إعداد

المهندس نوي خالد المنيني

إشراف

الدكتورة الهندسة هالة حسن

الدكتور المهندس أمجد الحلواني

أعضاء لجنة الحكم:

د.م. ربيع الصفدي

عضواً

د.م. هالة حسن

عضواً مشرفاً

أ.د.م. ميادة الأحمد الكوسا

عضواً



جامعة دمشق  
المعهد العالي للبحوث  
والدراسات الزلزالية  
قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية

## الأداء الزلزالي للإطارات المعدنية المزودة بعنصر تربيط ممنوع من التحنيط

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية الزلزالية

إعداد  
المهندس لؤي خالد المنيني

إشراف  
الدكتورة المهندسة هالة حسن  
الدكتور المهندس أمجد الحلواني

دمشق 2015

## المخلص

تعتبر الإطارات المعدنية عنصراً أساسياً في المنشآت الهندسية ، تمتاز بخفة وزنها بالنسبة للحمولة التي يمكنها أن تحملها فهي تحمل ثلاثة أضعاف وزنها. استخدمت عدة طرق لرفع كفاءة هذه الإطارات المعدنية زلزالياً ، ويعتبر التدعيم بعناصر تريبط جانبية ممنوعة من التحنيط (BRB) إحدى الطرق الحديثة لتحسين سلوك هذه الإطارات زلزالياً.

يهدف هذا البحث إلى القيام بدراسة تحليلية للتحري عن السلوك الزلزالي للإطارات المعدنية المزودة بعناصر تريبط ممنوعة من التحنيط BRBF .

تم استخدام طريقة العناصر المحدودة FEM بالاستعانة ببرنامج ABAQUS 6.11 ولغة البرمجة PYTHON من أجل الوصول إلى نمذجة تطابق الواقع والوصول إلى نتائج مرضية .

تم في هذا البحث دراسة الأثر الإيجابي لإضافة عنصر الـ BRB إلى الإطارات المعدنية حيث تلعب مساحة الـ BRB وشكل التريبط المعتمد الدور الأكبر في التأثير على السلوك الزلزالي للإطارات المعدنية وذلك تحت تأثير أحمال دورية (Cyclic Load) ومن ثم تطبيق هزات أرضية .

بينت هذه الدراسة أهمية التريبط الجانبي الممنوع من التحنيط في تحسين السلوك الزلزالي للإطارات المعدنية ومساهمتها في تحمل القوى الزلزالية وزيادة مقاومة الإطارات المعدنية وتخفيض انقالاتها و تخميد الطاقة والحيلولة دون تشكل مفاصل لدنة في عناصر الإطار وبالتالي حماية المنشآت المعدنية من الانهيار الكلي عند تعرضها لأحمال دورية و زلزالية .

**الكلمات المفتاحية:** X-Bracing – Hysteresis loops – Bare Frame – BRBF – BRB

Seismic Analysis – Seismic Load – تريبط جانبي ممنوع من التحنيط – تحليل لا خطي

## كلمة شكر

أتقدم بوافر الشكر والامتنان للسادة أعضاء الهيئة التدريسية في  
معهد الزلازل والسادة أعضاء لجنة الحكم على ما بذلوه من جهد.  
وأخص بالشكر :

الدكتورة المهندسة

هالة حسن

الدكتور المهندس

أمجد الحلواني

الذين لم يتوانوا عن تقديم الدعم العلمي والمعنوي لكي يرى عملي  
النور

لؤي



## الفهرس

2.....	الفهرس
5.....	فهرس الأشكال
9.....	فهرس الجداول
10 .....	قائمة الرموز العلمية
12 .....	قائمة الاختصارات والمصطلحات العلمية
14 .....	الفصل الأول: مقدمة
15 .....	1-1 مقدمة عن الإطارات المعدنية
19 .....	2-1 مقدمة عن عناصر التريبط الممنوعة من التحنيب
20.....	1-2-1 الإطارات المزودة بعناصر تريبط ممنوعة من التحنيب
21 .....	2-2-1 أشكال التريبط لعنصر التريبط للممنوع من التحنيب
21 .....	3-1 مشكلة البحث
21 .....	4-1 الهدف من البحث وأهميته
22 .....	5-1 طرائق البحث
22 .....	6-1 محتويات الأطروحة
23.....	الفصل الثاني: الدراسات النظرية والدراسة المرجعية
24 .....	1-2 الدراسات النظرية
24 .....	1-1-2 مادة الفولاذ
26 .....	2-1-2 سلوك الإطارات الفولاذية
26 .....	1-2-1-2 أنواع الأحمال على المنشآت الفولاذية
29 .....	2-2-1-2 النظم الانشائية الرئيسية للإطارات الفولاذية
31 .....	3-2-1-2 عناصر ومكونات الإطارات الفولاذية
33 .....	4-2-1-2 نظام التدعيم المقاوم للقوى الأفقية
36 .....	3-1-2 الخواص الميكانيكية للصلب الانشائي
39 .....	4-1-2 نظريات التصميم المختلفة
45 .....	5-1-2 الخواص الميكانيكية لل BRB

- 47 .....BRB.6-1-2 السلوك الزلزالي للاطارات المعدنية المزودة بال
- 49 ..... 2-2 دراسات مرجعية
- 60 ..... الفصل الثالث: دراسة تحليلية للأداء الزلزالي للاطارات المعدنية المزودة بعناصر ال BRB
- 61 ..... 1-3 مقدمة
- 61 ..... 2-3 معايرة عنصر التريط الممنوع من التحنيب BRB
- 61 ..... 1-2-3 توصيف نموذج العينة المدروس
- 62 ..... 2-2-3 التحليل الانشائي باستخدام نظرية العناصر المحدودة
- 62 ..... 1-2-2-3 العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام ABAQUS
- 63 ..... 2-2-2-3 الشروط المحيطية للنموذج المدروس
- 63 ..... 3-2-2-3 الأحمال المطبقة على النموذج
- 63 ..... 4-2-2-3 نوع التحليل المستخدم في النموذج
- 63 ..... 5-2-2-3 توصيف المواد المستخدمة في النمذجة
- 64 ..... 6-2-2-3 نتائج المعايرة
- 67 ..... 3-3 مقارنة سلوك اطارين أحدهما مزود بعنصر تريط BRBF والآخر غير مزود به
- 67 ..... 1-3-3 توصيف نموذج العينة المدروس
- 68 ..... 2-3-3 التحليل الانشائي باستخدام نظرية العناصر المحدودة
- 68 ..... 1-2-3-3 العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج ABAQUS 6.11
- 68 ..... 2-2-3-3 الشروط المحيطية للنموذج المدروس
- 68 ..... 3-2-3-3 الأحمال المطبقة على النموذج
- 69 ..... 4-2-3-3 نوع التحليل المستخدم في النموذج
- 69 ..... 5-2-3-3 توصيف المواد المستخدمة في النمذجة
- 69 ..... 3-3-3 نتائج المعايرة
- 75 ..... 4-3 دراسة أثر تغيير مساحة ال Steel Core على سلوك الاطار
- 77 ..... 1- 4-3 نتائج التحليل
- 79 ..... 5-3 تحليل منشأة معدنية مؤلفة من 16 طابق مزودة بعناصر تريط من نوع BRB
- 79 ..... 1-5-3 توصيف نموذج العينة المدروس
- 80 ..... 2-5-3 التحليل الانشائي باستخدام نظرية العناصر المحدودة
- 80 ..... 1-2-5-3 العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج ABAQUS 6.11

80	..... 2-2-5-3 الأحمال المطيقة على النموذج
80	..... 3-2-5-3 نوع التحليل المستخدم في النموذج
80	..... 4-2-5-3 توصيف المواد المستخدمة في النمذجة
83	..... 3-5-3 نتائج التحليل
90	..... 6-3 دراسة أثر تغيير التثبيت الأرضي (X-Bracing) على سلوك المنشأة المعدنية
92	..... 1-6-3 نتائج التحليل
92	..... 1-1-6-3 من خلال تخامد الطاقة التلدينية التراكمية
94	..... 2-1-6-3 من خلال الانتقال الرأسي الأصغري
96	..... 3-1-6-3 من خلال الاجهاد الأصغري
98	..... 4-1-6-3 من خلال القص الأصغري
100	..... 5-1-6-3 اختيار المساحة المثالية لعنصر التثبيت الجانبي
102	..... 2-6-3 مقارنة بين الـ BRBF ذي مساحات الـ BRB الأفضل وبين الـ Baree Frame
102	..... 1-2-6-3 نتائج تحليل الاطار غير المزود بعناصر تثبيت ممنوعة من التحنيب
103	..... 2-2-6-3 المقارنة بين نتائج تحليل الاطارين
105	..... الفصل الرابع : النتائج والتوصيات
105	..... 1-4 النتائج
106	..... 2-4 التوصيات
107	..... المراجع المستخدمة
110	..... Abstract

فهرس الأشكال

- الشكل: (1-1) منشأ هيكل (Stanley & Crawley, 1993) ..... 16
- الشكل: (2-1) وصلة عمود عن طريق براغي ..... 16
- الشكل: (3-1) وصلة عمود بجائز ..... 17
- الشكل: (4-1) منشأ قشري ..... 17
- الشكل: (5-1) عنصر التريبط الممنوع من التحنيط ..... 19
- الشكل: (6-1) مكونات عنصر التريبط الممنوع من التحنيط ..... 19
- الشكل: (7-1) منشأة معدنية مزودة بعنصر تريبط ممنوع من التحنيط ..... 20
- الشكل: (8-1) أشكال التريبط لعنصر التريبط الممنوع من التحنيط BRB ..... 21
- الشكل: (1-2) توزيع ضغط الرياح على المبنى ..... 28
- الشكل: (2-2) نموذج لاطار المقاوم للعزوم ..... 30
- الشكل: (3-2) نموذج لاطار جدران قوى القص ..... 30
- الشكل: (4-2) نموذج للإطارات المدعم ..... 31
- الشكل: (5-2) عناصر الاطار الفولاذي ..... 32
- الشكل: (6-2) نموذج تريبط أفقي ..... 34
- الشكل: (7-2) نموذج للتريبط الأفقي والرأسي ..... 34
- الشكل: (8-2) نموذج لعنصر تريبط أفقي ورأسي ..... 35
- الشكل: (9-2) نموذج لعنصر تريبط على شكل اطار حام ..... 35
- الشكل: (10-2) نموذج لعنصر تريبط على شكل عمود إضافي ..... 35
- الشكل: (11-2) أبعاد عينة الشد وفقا للمواصفات الأمريكية ..... 36
- الشكل: (12-2) منحنى الاجهاد والتشوه لبعض أنواع الحديد ..... 36
- الشكل: (13-2) المراحل التي تمر بها عينة الحديد ..... 36
- الشكل: (14-2) أعضاء معرضة لقوة الشد ..... 40
- الشكل: (15-2) وصلات مسامرية معرضة لقوة الشد ..... 41
- الشكل: (16-2) قضيب فولاذي معرض لقوة الضغط ..... 42
- الشكل: (17-2) تحنيط عنصر الضغط ..... 43
- الشكل: (18-2) مكونات عنصر التريبط ..... 45
- الشكل: (19-2) سلوك BRB, Conventional Brace تحت تأثير التحميل الدوري ..... 46
- الشكل: (20-2) مبدأ عمل الـ BRB تحت تأثير القوى المحورية ..... 46
- الشكل: (a-21-2) الاستجابة اللا مرنة لعناصر الـ BRBF ..... 47
- الشكل: (b-21-2) الاستجابة اللا مرنة لعناصر الـ BRBF ..... 47
- الشكل: (22-2) علاقة القوة- الانتقال للـ BRBF ..... 48
- الشكل: (23-2) القوى المؤثرة على الـ BRBF ..... 49

- الشكل (2-24) السلوك الزلزالي لنوعي التثبيت ..... 50
- الشكل (2-25) النموذج المخبري ..... 50
- الشكل (2-26) مسقط أفقي وطابقي للنموذج ..... 50
- الشكل (2-27) السلوك الهستيريري لل BRBF ..... 51
- الشكل (2-28) بروفايل النواة الفولاذية ..... 51
- الشكل (2-29) خوارزمية بارامترات نموذج PRESCOM ..... 52
- الشكل (2-30) سلوك نموذج PRESCOM تحت التحميل وحيد الشوط ..... 53
- الشكل (2-31) سلوك نموذج PRESCOM تحت التحميل الدوري ..... 53
- الشكل (2-32) مكونات عنصر التثبيت الممنوع من التحنيب ..... 54
- الشكل (2-33) السلوك الهستيريري لعنصر التثبيت الممنوع من التحنيب ..... 54
- الشكل (2-34) نتائج معايرة الـ BRB وتطوير نموذج PRESCOM ..... 55
- الشكل (2-35) التطورات التاريخية لدراسة الـ BRB ..... 55
- الشكل (2-36) السلوك الهستيريري للإطاري ..... 56
- الشكل (2-37) علاقة الاجهاد-التشوه لعينة الفولاذ باستخدام برنامج SAP2000 ..... 56
- الشكل (2-38) أشكال تثبيت الـ BRB ..... 56
- الشكل (2-39) النموذج التحليلي للإطارين المدروسين ..... 57
- الشكل (2-40) الانزياح الطابقي من أجل أطوال خضوع مختلفة لـ BRB ..... 58
- الشكل (2-41) الانزياح الطابقي من أجل مساحات مختلفة لـ BRB ..... 58
- الشكل (2-42) الانزياح الطابقي - مساحة End Offset ..... 58
- الشكل (3-1) العينة المخبرية لـ BRB ..... 62
- الشكل (3-2) أبعاد عنصر التثبيت BRB ..... 62
- الشكل (3-3) تمثيل للعنصر الشبكي T2D2 ..... 62
- الشكل (3-4) بروتوكول التحميل المستخدم ..... 63
- الشكل (3-5) علاقة الاجهاد-التشوه للعينة المدروسة ..... 64
- الشكل (3-6) النموذج التحليلي باستخدام برنامج ABAQUS 6.11 ..... 64
- الشكل (3-7) منحنى الانتقال - الزمن للعينة باستخدام برنامج ABAQUS 6.11 ..... 65
- الشكل (3-8) منحنى التشوه - الزمن للعينة باستخدام برنامج ABAQUS 6.11 ..... 65
- الشكل (3-9) منحنى الطاقة المخمدة - الزمن للعينة باستخدام برنامج ABAQUS 6.11 ..... 66
- الشكل (3-10) منحنى الحلقات الهستيريرية للعينة ..... 66
- الشكل (3-11) إطار مزود بعنصر تثبيت جانبي BRBF ..... 67
- الشكل (3-12) أبعاد مقاطع الجائز والأعمدة ..... 67
- الشكل (3-13) تمثيل للعنصر B21 ..... 68
- الشكل (3-14) منحنى القوة - الزمن لـ BRBF باستخدام ABAQUS 6.11 ..... 68
- الشكل (3-15) علاقة الاجهاد-التشوه لفولاذ لـ BRBF ..... 69

- الشكل (3-16) النموذج التحليلي للاطارين المدروسين باستخدام برنامج ABAQUS 6.11..... 70
- الشكل (3-17) مقارنة بين الانتقال الجانبي للنموذجين باستخدام برنامج ABAQUS 6.11..... 71
- الشكل (3-18) مقارنة بين الطاقة المخمدة للنموذجين باستخدام برنامج ABAQUS 6.11..... 71
- الشكل (3-19) مقارنة بين الاجهاد للنموذجين باستخدام برنامج ABAQUS 6.11..... 72
- الشكل (3-20) خطوط كونتور الاجهادات لل Bare Frame..... 73
- الشكل (3-21) خطوط كونتور الاجهادات لل BRBF..... 73
- الشكل (3-22) مقارنة بين التشوه النسبي للنموذجين باستخدام برنامج..... 74
- الشكل (3-23) مقارنة السلوك الهيسثيري للنموذجين باستخدام برنامج..... 75
- الشكل (3-24) النموذج التحليلي للاطار باستخدام برنامج..... 76
- الشكل (3-25) بروتوكول التحميل المستخدم..... 76
- الشكل (3-26) علاقة الاجهاد - التشوه..... 76
- الشكل (3-27) منحنى الحلقات الهيسثيرية للنماذج الخمسة..... 77
- الشكل (3-28) مقارنة الطاقة التلدنية للنموذج BRBF500 باستخدام برنامج..... 78
- الشكل (3-29) النموذج التحليلي للمنشأة المعدنية المدروسة باستخدام برنامج..... 79
- الشكل (3-30) بروتوكول التحميل المستخدم (KOBÉ1995) للنموذج المدروس..... 80
- الشكل (3-31) علاقة الاجهاد- التشوه لفلواذ المنشأة المعدنية المدروسة..... 81
- الشكل (3-32) نموذج يبين عدد حالات التحميل وقيمها..... 81
- الشكل (3-33) خوارزمية العمل اللازمة لتحليل واستخلاص النتائج للنموذج المدروس..... 82
- الشكل (3-34) نموذج من البرمجة المستخدمة باستخدام لغة البرمجة PYTHON..... 82
- الشكل (3-35) نموذج من البرمجة المستخدمة باستخدام لغة البرمجة Visual Basic..... 83
- الشكل (3-36) اتجاه القص القاعدي للنموذج المدروس..... 83
- الشكل (3-37) منحنى القص القاعدي الأعظمي بالنسبة لمساحة الBRB..... 84
- الشكل (3-38) منحنى الانتقال الجانبي الأعظمي للاطار بالنسبة لمساحة الBRB..... 85
- الشكل (3-39) منحنى يبين التشوه النسبي التلدني التراكمي بالنسبة لمساحة الBRB..... 86
- الشكل (3-40) نموذج يبين أماكن الاجهادات الأعظمية والأصغرية..... 87
- الشكل (3-41) منحنى يبين الاجهادات الناظمية الأعظمية بالنسبة لمساحة الBRB..... 88
- الشكل (3-42) نموذج يبين أماكن التشوهات الأعظمية والأصغرية..... 88
- الشكل (3-43) منحنى يبين التشوهات النسبية الأعظمية بالنسبة لمساحة الBRB..... 89
- الشكل (3-44) نموذج يبين أماكن الطاقة التلدنية التراكمية العظمى..... 89
- الشكل (3-45) منحنى يبين الطاقة التلدنية التراكمية العظمى بالنسبة لمساحة الBRB..... 90
- الشكل (3-46) علاقة الاجهاد- التشوه لفلواذ المنشأة المعدنية المدروسة..... 91
- الشكل (3-47) المنشأة المعدنية باستخدام ال X-Bracing..... 91
- الشكل (3-48) مقارنة بين النموذجين حيث انطلقا من معيار ال Max EPDDEN..... 92
- الشكل (3-49) نموذج ال X-Bracing والمساحات المقترحة انطلقا من معيار ال Max EPDDEN..... 93

- الشكل (3-50) نتائج تحليل نموذج الـ X-Bracing انطلاقا من معيار الـ Max EPDDEN ..... 94
- الشكل (3-51) مقارنة بين النموذجين انطلاقا من معيار الـ Min DISP ..... 95
- الشكل (3-52) نموذج الـ X-Bracing والمساحات المقترحة انطلاقا من معيار الـ Min Disp ..... 95
- الشكل (3-53) نتائج تحليل نموذج الـ X-Bracing انطلاقا من معيار الـ Min Disp ..... 96
- الشكل (3-54) مقارنة بين النموذجين انطلاقا من معيار الـ Min  $\delta_{xx}$  ..... 97
- الشكل (3-55) نموذج الـ X-Bracing والمساحات المقترحة انطلاقا من معيار الـ Min  $\delta_{xx}$  ..... 97
- الشكل (3-56) نتائج تحليل نموذج الـ X-Bracing انطلاقا من معيار الـ Min  $\delta_{xx}$  ..... 98
- الشكل (3-57) مقارنة بين النموذجين حيث  $\text{Brace Area} = 3600 \text{ mm}^2$  ..... 99
- الشكل (3-58) نموذج الـ X-Bracing والمساحات المقترحة انطلاقا من معيار الـ Min Base Shear ..... 99
- الشكل (3-59) نتائج تحليل نموذج الـ X-Bracing انطلاقا من معيار الـ Min Base Shear ..... 100
- الشكل (3-60) اختيار المساحة المثلى للعناصر الـ BRB باستخدام التحليل العنكبوتي ..... 101
- الشكل (3-61) منحنى الاجهادات - الزمن لنموذج الـ Bare Frame باستخدام برنامج ..... 102
- الشكل (3-62) منحنى الانتقالات - الزمن لنموذج الـ Bare Frame باستخدام برنامج ..... 102
- الشكل (3-63) منحنى القص القاعدي - الزمن لنموذج الـ Bare Frame باستخدام برنامج ..... 103
- الشكل (3-64) مقارنة نتائج تحليل الاطار من نوع BRBF مع نتائج تحليل الـ Bare Frame ..... 103

## فهرس الجداول

25	الجدول: (1-2) خواص بعض أنواع الفولاذ الفولاذ
26	الجدول: (2-2) بعض قيم الأحمال الحية
27	الجدول: (3-2) كثافة أحمال الثلج تبعا لدرجة ميل السقف
44	الجدول: (4-2) نوعية الركائز المستخدمة في نهايتي العمود
57	الجدول: (5-2) المقاطع المستخدمة لتحليل وتصميم الاطار
59	الجدول: (a-6-2) الانتقالات الجانبية والانزياحات داخل الطابق
59	الجدول: (b-6-2) الانتقالات الجانبية والانزياحات داخل الطابق
62	الجدول: (1-3) بارامترات التقسية الدورية المستخدمة
75	الجدول: (2-3) ملخص نتائج مقارنة الـ Bare Frame مع الـ BRBF
76	الجدول: (3-3) مساحات النواة الفولاذية المستخدمة في التحليل
78	الجدول: (4-3) الانتقالات الأعظمية للـ BRBF من أجل مساحات النواة الفولاذية المختلفة
78	الجدول: (5-3) نسبة مساهمة الإطارات المختلفة في تخميد الطاقة
79	الجدول: (6-3) مواصفات المقاطع المعدنية المستخدمة في المنشأة المعدنية
84	الجدول: (7-3) قيم القص القاعدي الأعظمي الوسطية من أجل المساحات المختلفة للـ BRB
85	الجدول: (8-3) قيم الانتقال الجانبي النسبي من أجل $Brace Area = 50 mm^2$
85	الجدول: (9-3) قيم الانتقال الجانبي النسبي من أجل $Brace Area = 9650 mm^2$
86	الجدول: (10-3) التشوه النسبي التلذني التراكمي لكل من عناصر الـ Frame والـ Braces
87	الجدول: (11-3) قيم الاجهادات الأعظمية والـ $Brace Area$ الموافقة
93	الجدول: (12-3) نتائج التحليل انطلاقا من معيار الـ Max EPDDEN
96	الجدول: (13-3) نتائج التحليل انطلاقا من معيار الـ Min Displacemen
98	الجدول: (14-3) نتائج التحليل انطلاقا من معيار الـ Min $\sigma_{xx}$
100	الجدول: (15-3) نتائج التحليل انطلاقا من معيار الـ Min Base Shear
101	الجدول: (16-3) المساحات المثلى للـ RBB من خلال المعايير الأربعة

## قائمة الرموز العلمية

q : ضغط الرياح مقدرا بـ (Kg/m<sup>2</sup>)

C : معامل يسمى معامل الشكل ( Shape Coefficient ) يتوقف على وحدة وزن الهواء التسارع الأرضي .

a : درجة ميل السقف

V : سرعة الريح بـ (m/s)

P<sub>w</sub> : ضغط الرياح العمودي على الأسطح

C<sub>l</sub> : زاوية ميل السقف

A<sub>req</sub> : مساحة مقطع

T : قوة الشد

f<sub>pt</sub> : إجهاد الشد المسموح به

A<sub>net</sub> : المساحة الصافية للقطاع

t : سمك اللوح

d : قطر ثقب المسمار

f<sub>pB</sub> : الاجهاد المسموح به في التحنيب

V : القص القاعدي

Z : معامل مرتبط بمنطقة الزلزال

I : معامل يتوقف على نوع المنشأ

K : معامل مرتبط بنوع هيكل المنشأ

C : خاصية الاهتزاز

S : نوع التربة الساندة

W : كتلة التربة

F : الاجهاد

P: الحمل

A: مساحة المقطع

$\varepsilon$ : التشوه

$\Delta L$ : الاستطالة

L: الطول الأصلي

E: معيار المرونة

$f_y$ : اجهاد الخضوع

$f_y B$ : اجهاد الخضوع لـ BRB

$F_u$ : الاجهاد الأقصى

$\alpha$ : عامل التمدد الحراري

$\lambda$ : نسبة النخافة

K: معامل التحنيب

$r$ : نسبة الاستطالة

$\omega$ : معامل تعديل التقسية التشوهية

$\beta$ : معامل تعديل الصلابة الناتجة عن الضغط

$P_{ySC}$ : صلابة الخضوع المحورية للنواة الفولاذية

$\nu$ : عامل بواسون

E: معامل يونغ

$\sum \varepsilon_{pl}$ : التشوه النسبي التلدي التراكمي

$\sigma_{xx}$ : الاجهاد الناظمي

$\varepsilon_{max}$ : التشوه النسبي الأعظمي

EPDDEN: الطاقة التلدية التراكمية

$K_e$ : الصلابة التقريبية لـ BRB

## قائمة الاختصارات والمصطلحات العلمية

- Buckling Restrained Brace (BRB) عنصر التثبيت الممنوع من التحنيب
- Buckling Restrained Brace Frame (BRBF) الإطارات المزودة بعنصر التثبيت الممنوعة من التحنيب
- Finite Element Method (FEM) طريقة العناصر المحدودة
- Materially Non-Linear Analysis (MNLA) التحليل اللاخطي
- Conventional Brace Frame (CBF) الإطارات المزودة بعناصر تثبيت تقليدية
- Truss Element in 2D level (T2D2) عنصر شبكي في المستوى مؤلف من عقدتين
- Boundary Conditions (BC) الشروط المحيطة
- Hysteresis Loops Curve (HLC) منحني الحلقات الهستيرية
- Input File Scripting (IFS) البرمجة باستخدام الملف النصي
- Plastic Non-Linear Behavior (PNLB) السلوك اللدن اللاخطي
- Visual Basic (VB) لغة البرمجة فيجوال بايسيك
- Equivalent Plastic Strain (PEEQ) التشوه النسبي التلدي التراكمي
- Cumulative Plastic Dissipated Energy (EPDDEN) الطاقة التلدية المخمدة التراكمية
- Parameter Refreshed and Strain Controlled combined Chaboche-model (PRESCOM)



# الفصل الأول

## مقدمة

### Introduction



## الفصل الأول

### مقدمة

## Introduction

### 1.1. مقدمة عن الإطارات المعدنية : Introduction to Steel Frames

تعتبر المنشآت المعدنية من أكثر المنشآت شيوعاً بعد الخرسانة المسلحة حيث يكثر استخدامها في المنشآت الهامة كالجسور والمباني العالية وحظائر الطائرات والصالات والأنفاق.... الخ . وتتميز المنشآت المعدنية بسرعة إنشائها ومدى تحملها للإجهادات العالية .

يمكن تقسيم المنشآت المعدنية إلى نوعين رئيسيين من المنشآت (Stanley & Crawley, 1993):

#### 1.1.1. المنشآت الهيكلية :

وهي المنشآت ذات العناصر الإنشائية المكونة من بلاطات وجوائز وأعمدة أو الشبكيات مثل المباني والأبراج وفي هذا النوع من المنشآت تقوم العناصر الإنشائية بمقاومة الأحمال ونقلها للعناصر الإنشائية الأخرى وتوجد عناصر أخرى لتغطية السقف (Stanley & Crawley, 1993).



الشكل (1-1): منشأ هيكل (Stanley & Crawley, 1993)

#### Column Splices

#### -وصلات الأعمدة :

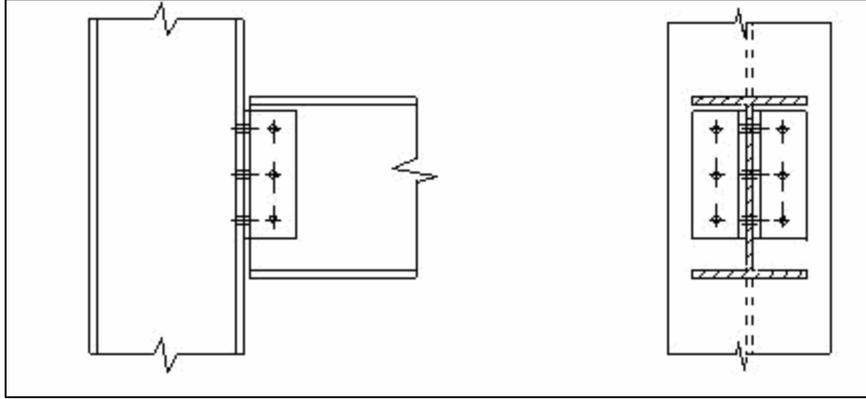
تورد الأجزاء المكونة للأعمدة إلى المواقع بأطوال تصل في بعض الأحيان إلى 20 مترا" وذلك لتسهيل عملية الإنشاء ويتم هذا التوريد وفقا" لنوع الإنتاج وظروف التنفيذ وارتفاع المبنى وغيرها. والشكل (2-1) يوضح بعض طرق عمل الوصلات للأعمدة .



الشكل (2-1): وصلة عمود عن طريق براغي Bolted Column Splice

**Beam-to- Column Connection****-وصلات الأعمدة بالجوائز :**

يختلف نوع الوصلة وطرق تثبيتها المختلفة وفقاً لحسابات الأحمال ونوعية القوى المختلفة (قص، شد، عزوم).



الشكل (3-1): وصلة عمود بجائز Beam-to- Column Connection

**2.1.1. المنشآت القشرية**

وهي المنشآت المكونة من ألواح الشكل (4-1) مثل الأسقف القشرية، القباب، الصهاريج، الصوامع، الطائرات والبواخر. وتقدم الألواح بمقاومة الأحمال بالإضافة إلى استخدامها كمادة لتغطية السقف.



الشكل (4-1) : منشأ قشري

### 3.1.1. مميزات المنشآت الفولاذية : (Vazirani & Ratwani ,1984)

#### Steel Structures Characteristics

تمتاز المنشآت الفولاذية بالموصفات التالية :

- لا تحتاج إلى كوفراجات خشبية أو إلى أي مواد تستهلك أثناء التنفيذ مما يوفر في تكلفة الإنشاء.
- الفولاذ مادة متجانسة مما يسهل التحكم في خواصها وفي تكوينها الكيميائي وهي ميزة لا تتمتع بها مواد الإنشاء الأخرى.
- الصلب ذو قدرة عالية لتحمل الإجهادات في الشد والضغط مما يوفر في المواد وبالتالي في الأوزان والتكاليف.
- السرعة في الإنشاء حيث يتم تصنيع أجزاء المنشأ في الورشة ويتم تجميعها وتركيبها في موقع الإنشاء ويمكن التصنيع في عدة ورش.
- دقة التصنيع حيث يمكن التحكم في جودة عملية التصنيع في الورش.
- يمكن فك المنشأ وإعادة تركيبه في موقع آخر.
- يمكن إجراء تعديلات في المنشآت الفولاذية أثناء الإنشاء أو بعده بسهولة ودون اللجوء إلى هدم المبنى كحالة الإنشاءات الخرسانية .
- يمكن القيام بتقوية بعض العناصر الإنشائية الفولاذية وذلك بإضافة عناصر جديدة للقطاعات بسهولة.
- الصلب له قابلية للاستطالة Ductility حيث في حدود 20% يمكن ملاحظة التشوه والتشكل قبل حدوث الانهيار.
- حد المرونة Elastic Limit للفولاذ عالي نسبياً بمقارنته بالمواد الأخرى بحيث يمكن تطبيق نظريات المرونة عليه بدون تجاوزات والتي تعرف بما يسمى قانون هوك.
- الفولاذ قابل للنقل مما يجعل طرق نقله بسيطة وغير مكلفة.

### 4.1.1. عيوب المنشآت الفولاذية : (Vazirani & Ratwani ,1984)

تتلخص عيوب استخدام الصلب فيما يلي:

- قابلية الفولاذ للصدأ في الجو الرطب أو المشبع بالأملاح أو الأحماض ويلزم لصيانته الكشف

- على الأجزاء المعرضة للجو وتنظيفها وإعادة طلائها بمادة غير قابلة للصدأ من حين إلى آخر.
- مقاومة الفولاذ للحرائق ضعيفة خصوصا" بعد 500 درجة مئوية ويميل تماما" عند درجة 1200 درجة مئوية لذا يجب تغطيته بطبقة عازلة مقاومة للحرائق كالخرسانة بسمك حوالي 3 سم لزيادة قدرة الفولاذ على مقاومة الحرائق.

## 2.1.2.1 مقدمة عن عناصر التثبيت الممنوعة من التحنيب

### Introduction to Buckling Restrained Braces

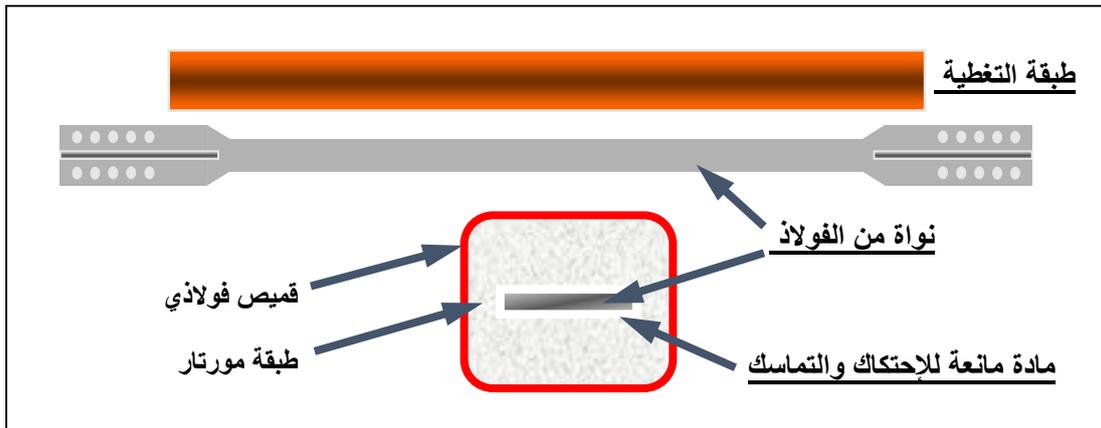
عنصر التثبيت الممنوع من التحنيب (*BRB*) هو عبارة عن مادة مركبة تتألف من العناصر التالية :

نواة فولاذية (*Steel Core*) وطبقة تغطية (*Casing*) و مادة مانعة للاحتكاك والتماسك. تتألف طبقة التغطية بدورها من قميص فولاذي وطبقة مورتار .



الشكل (5-1) : عنصر التثبيت الممنوع من التحنيب (*BRB*) (Engelhardt,2007)

تقوم النواة الفولاذية بمقاومة القوة المحورية كاملة , بينما تكون طبقة التغطية منفصلة عن النواة وتكون وظيفتها مقاومة التحنيب فقط دون مقاومة القوة المحورية. ( Engelhardt,2007 )



الشكل (6-1) : مكونات عنصر التثبيت الممنوع من التحنيب (*BRB*) (Engelhardt,2007)

## 1.2.1.1 الاطارات المزودة بعناصر تثبيت ممنوعة من التحنيب : (Uriz and Mahin,2004)

### Steel Frames Equipped with Buckling Restrained Brace

استخدم الـ *BRB* كوسيلة لرفع كفاءة المنشآت المعدنية زلزاليا" لما لها من مزايا نذكر منها

- نظام مقاوم للأحمال الجانبية.
- تحد من السلوك الغير مرن و الضرر لعناصر الاطار من خلال التزويد بعناصر ال BRB المخمدة للطاقة.
- القدرة على رفع قوة خضوع الاطار و صلابته لتحد من الانتقال الداخلي الطابقي.
- ثبات جيد و تماثل في الحلقات الهيستيرية من حيث السلوك في الشد و الضغط (تخميد طاقة منتظم ومستقر).
- مرونة أكبر من حيث التصميم على الشد.



الشكل (1-7) : منشأة معدنية مزودة بعنصر تربيط ممنوع من التحنيب (Engelhardt,2007)

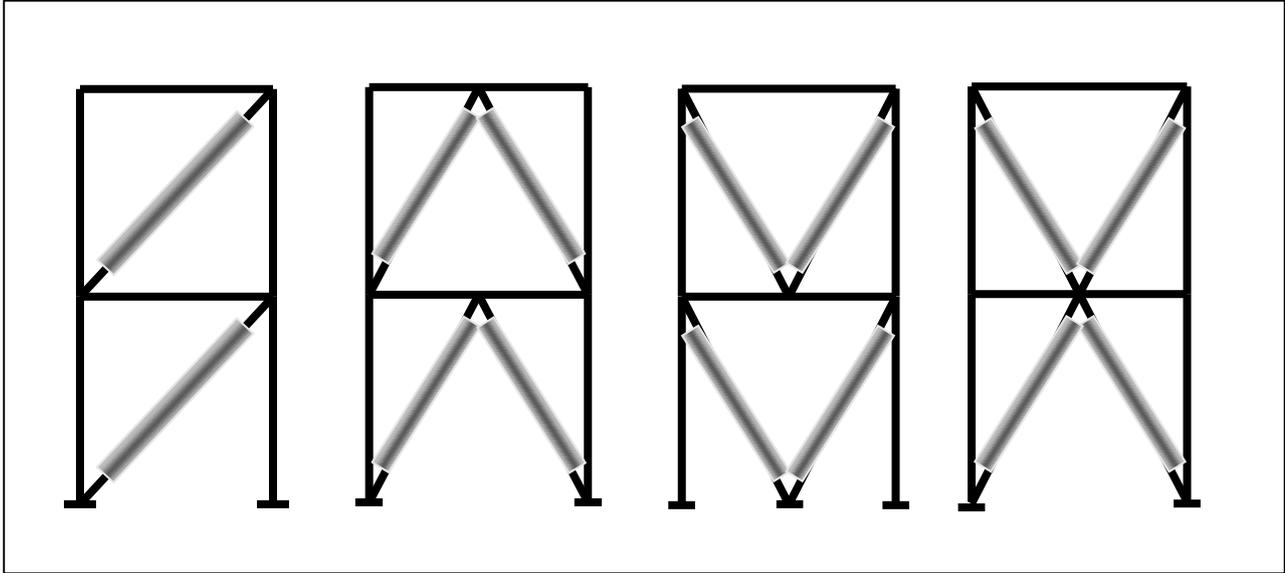
الإطارات المزودة بعناصر تربيط ممنوعة من التحنيب BRBF هي نظام إنشائي جديد لمقاومة الأحمال الزلزالية والذي استخدم لأول مرة في غرب الولايات المتحدة الأمريكية بسبب كفاءته ومستقبله الواعد في الأداء الزلزالي والذي يميز عن الإطارات العادية CBF. (Black and Aiken,2002)

### 2.2.1 أشكال التربيط لعنصر التربيط الممنوع من التحنيب: (Uriz and Mahin,2004)

#### Bracing types of Buckling Restrained Brace

يوجد عدة أشكال للتربيط للعنصر الممنوع من التحنيب وذلك تبعاً للقساوة المطلوبة وأبعاد المجازات ومواصفات المواد المستخدمة :

- 1- التربيط القطري.
- 2- التربيط على شكل حرف V.
- 3- التربيط على شكل V مقلوبة .
- 4- التربيط على شكل حرف X .



الشكل (1-8) : أشكال التثبيت لعنصر التثبيت الممنوع من التحنيب BRB

### Problem of this research

### 3.1 مشكلة البحث:

- الإطارات العادية (CBF) مطاوعتها و قدرتها على تخميد الطاقة محدودة.
- الإطارات العادية (CBF) قدرتها على تخميد الطاقة تبرز من خلال الخضوع عند الشد والتحنيب عند الضغط.
- لذلك تم اللجوء إلى العنصر الممنوع من التحنيب (BRB) لقدرته العالية على تخميد الطاقة والمطاوعة العالية تحت تأثير الأحمال الدورية.

### Importance and objective of this research

### 4.1 الهدف من البحث وأهميته:

دراسة الأداء الزلزالي للإطارات المعدنية المزودة بعناصر تثبيت ممنوعة من التحنيب وهذا يتطلب تحقيق أهداف ثانوية متمثلة بـ:

- 1- دراسة سلوك عنصر تثبيت ممنوع من التحنيب BRB تحت تأثير الأحمال الدورية تحليلياً.
- 2- دراسة سلوك الإطارات المعدنية المزودة بعناصر التثبيت BRB تحت تأثير هزات أرضية فعلية تحليلياً.
- 3- المقارنة بين سلوك هذه الإطارات مع الإطارات غير المزودة بعناصر التثبيت الممنوعة من التحنيب.
- 4- نحو تدعيم أفضل للإطارات المعدنية .

**5.1 طرائق البحث:****Method of this research**

تم في هذا البحث القيام بدراسة تحليلية باستخدام برنامج ABAQUS 6.11 حيث تم القيام في البداية بمعايرة نموذج مدروس سابقاً لعنصر تربيط ممنوع من التحنيد BRB . ثم تمت الدراسة التحليلية لإطارين معدنيين أحدهما مزود بعنصر تربيط ممنوع من التحنيد BRBF والآخر غير مزود BAREF ودراسة سلوكهما تحت تأثير الأحمال الدورية (Cyclic Load) والتحقق من أدائهما عن طريق دراسة الانتقالات الجانبية وتبيد الطاقة الزلزالية. ثم تم تحليل منشأ معدني من 16 طابق مزود بعناصر تربيط BRB بشكل قطري - رفع كفاءة المنشأ زلزالياً - (دراسة بارامترية باستخدام لغة البرمجة PYTHON)، ودراسة أثر تغيير التربيط الجانبي للطابق الأرضي (X-Bracing) على سلوك المنشأ وذلك تحت تأثير هزات أرضية (Seismic Load).

**6.1 محتويات الأطروحة:****Contents of Thesis**

تتألف هذه الأطروحة من أربعة فصول كالتالي:

**الفصل الأول:** يحتوي مقدمة عامة عن العناصر الأساسية في البحث , حيث يبدأ بمقدمة عن الإطارات المعدنية وأنواعها واستخداماتها ومميزاتها , ثم تناولت الأطروحة مقدمة عن عناصر التربيط الجانبية المنوعة من التحنيد وأخيراً تم التحدث عن الهدف من البحث ومحتويات البحث.

**الفصل الثاني:** يتضمن الدراسات المرجعية السابقة التي ترتبط بالبحث حيث يتناول في البداية مقدمة عن العناصر الفولاذية والمنشآت المعدنية وخواص مادة الفولاذ ثم تم التطرق الى الأحمال التي تتعرض لها هذه المنشآت ثم تم التعرف على عنصر التربيط الممنوع من التحنيد BRB من حيث طريقة عمله وخواصه الميكانيكية.

كما تضمن هذا الفصل مراجعة بحثية للأدبيات العلمية السابقة , تناول فيها العديد من الأبحاث التي أجريت حول موضوع عنصر التربيط الممنوع من التحنيد BRB والإطارات المزودة به وفعالية هذا العنصر في رفع قدرة تحمل الإطارات المعدنية .

**الفصل الثالث:** يتضمن الدراسة التحليلية التي تمت في هذا البحث , حيث تم توصيف النموذج المستخدم في التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEM) وبرنامج ABAQUS 6.11 من حيث توصيف المواد الداخلة في النموذج وشروط الاستناد والأحمال المطبقة ومما يحقق هدف البحث.

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

# الفصل الثاني

## الدراسات النظرية والدراسة المرجعية

### Literature Study



## الفصل الثاني

### الدراسات النظرية والدراسة المرجعية

#### Literature Study

#### 1.2 الدراسات النظرية :

##### Introduction

#### 1.1.2 مادة الفولاذ :

الفولاذ هو حديد مطاوع أو قابل للمطاوعة وهو يختلف عن الحديد المصبوب بالمكان والحديد النقي ولا سيما الكربون المحددة بـ 0.25 % - 0.2 % التي تؤثر بشكل رئيس على قابلية اللحام والمرونة . يوجد الحديد في الطبيعة على شكل فلزات خاصة ويجري تعدين الفولاذ بواسطة أفران عالية، ويكننا ذكر أهم طرق التعدين :

أ- طريقة بسمر توماس .

ب- طريقة سيمنس مارتان.

ت- طريقة التعدين الكهربائي.

وأغلب أنواع الفولاذ الموجودة في الأسواق والمستخدمه في المنشآت المعدنية معدة بإحدى الطريقتين بسمر توماس أو سيمنس مارتان.

على الرغم من أن كلا الطريقتين تقدمان أنواع فولاذ مقاومة ومطاوعة متشابهة إلا أن الفولاذ بطريقة بسمر توماس يناسب المنشآت المعدنية ذات الوصلات والبراغي بينما يناسب فولاذ سيمنس مارتان المنشآت المنفذة باللحام. تلعب سرعة التبريد للفولاذ الساخن الصادر عن فتحة أسفل الفرن دوراً رئيسياً بزيادة نسبة الكربون ونميز ثلاثة أشكال للتبريد:

1. التبريد البطيء: وتتم العملية بأفران خاصة تتناقص فيها درجات الحرارة ببطء شديد منها ونحصل على فولاذ جيد بنسبة كربون قليلة وخواص ميكانيكية جيدة وهو فولاذ مرن مطاوع .
2. التبريد المعتدل : وتتم عملية التبريد بالهواء الطلق , وهي عملية سقاية الهواء للفولاذ ونحصل بذلك على فولاذ قاس بنسبة كربون معتدلة.

3. التبريد السريع : وتتم العملية بغطس الفولاذ الساخن بالماء والزيت ويرافق ذلك نشوء حالة من الاجهادات الداخلية مع قساوة كبيرة في المعدن ونحصل بذلك على فولاذ مقسى بنسبة كربون عالية. تجرى عملية التعدين بإلقاء كمية من الفلز مع كمية من فحم الكوك من اعلى الفرن ويتم اذابة الفلز , ويفصل الحديد عن الشوائب المرافقة له ممتزجا مع مادة الكربون بنسب مختلفة ليشكل الفولاذ ذات الأصناف المختلفة . وخلال اشتعال الكوك يبيث فيه الهواء , ويضاف اليه الكلس المطفى ليتفاعل مع الخبث وينسحب معه . غير أن هناك بعض المعادن تبقى مع الحديد والكربون في خلطة الفولاذ ولكن بنسب قليلة جدا منها معادن ضارة بوجودها لمميزات الفولاذ الميكانيكية مثل الكبريت S والفوسفور P ومنها مواد مفيدة لمميزات الفولاذ الميكانيكية مثل السيليسيوم SI والفناديوم والموليبدن MO والألمنيوم AL والكالسيوم Ca . الا أن وجودها تخفض من مصطبة اللدونة في مخطط تجربة الشد .

أنواع الفولاذ الأكثر استخداما في العالم هي :

- الفولاذ S235 وهو عادي تستخدم في المجالات الانشائية والأبنية وتعتمد عليه في الحياة العملية.
- الفولاذ S355 وهو عالي المقاومة أقل استخداما من الفولاذ السابق وتعتمد عليه في المنشآت الخاصة .

الجدول التالي (1-2) يقدم بعض خواص الفولاذ ونسب المواد الإضافية فيها:

الجدول (1-2) خواص بعض أنواع الفولاذ (Stanley and Dillon , 1993)

حد المرونة N/mm <sup>2</sup>	حد الانقطاع N/mm <sup>2</sup>	تداول الانقطاع %	نسب المواد الكيميائية الإضافية الموجودة في سبيكة الفولاذ %				نوع الفولاذ
			C	P	S	N	
الأصغر	من إلى	الأصغر	التحليل الكيميائي - القيم العظمى				
t<16mm 235 N/mm <sup>2</sup> عندما 16<t<40 225 N/mm <sup>2</sup>	340 إلى 470	الطولي 26  العرضي 24	0.009 0.007 0.009 -	0.045 0.035	0.045 0.035	0.17 - 0.2 0.17	S235JR S235JRG1 S235JRG2 S235J2G3
345/355	630-490		-	0.035	0.035	0.20	S355J2G1

تمتاز العناصر المعدنية بخفة وزنها بالنسبة للحمولة التي يمكنها أن تحملها فهي تحمل ثلاثة أضعاف وزنها , و كلما زاد بعد فتحة البناء واتساعها أصبح الحل المعدني هو الأوفر حظا من الحل البيتوني والأنسب فضلا عن أن العناصر المعدنية تصلح مرات عديدة للإنشاء إذ أنها قابلة للفك والتكريب مع سرعة وسهولة التنفيذ في الظروف كلها. ونذكر من مساوئ المنشآت المعدنية أنها قابلة للصدأ وتحتاج

للصيانة باستمرار ولا تقاوم الحرارة الناتجة من الحرائق الا فترة قصيرة .

## 2.1.2 سلوك الإطارات الفولاذية : Behavior of steel frames

### 1.2.1.2 أنواع الأحمال على المنشآت الفولاذية : Lading types of steel frames

تعتبر أهم وأصعب مهمة يواجهها المهندس الانشائي هي حساب الأحمال التي تؤثر على المنشأ خلال مدة حياته . فبعد تحديد الأحمال تأتي الخطوة الثانية وهو الجمع لأسوأ الاحتمالات الممكنة لهذه الأحمال والتي بإمكانها ان تحدث في نفس الوقت وكذلك جملة من التحليل الانشائي ثم التصميم.

#### • الأحمال الميتة : Dead Load

الأحمال الميتة هي أحمال غير متحركة ثابتة في مكانها وكذلك تبقى في موضع واحد وتعتبر عن وزن المنشأ الذاتي وتتكون من وزن الجملون والأجزاء الفولاذية الأخرى كالمدادات والأرصفة وأغطية الأسقف والجدران والبلاطات ..... الخ . ولتصميم أي انشاء لابد أن الأحمال الميتة وكذلك الحية و الرياح وغيرها لمختلف الأجزاء أن تحسب قبل أي تحليل انشائي.

#### • الأحمال الحية : Live Load

الأحمال الحية هي الأحمال التي يمكن أن يتغير موضعها ومقدارها . ببساطة فان الأحمال التي ليست ميتة هي أحمال حية . الأحمال الحية التي تتحرك تحت قدرتها الذاتية تسمى الأحمال المتحركة ( Moving Loads ) وتشمل على سبيل المثال الأشخاص الأوناش ( Grains ) بينما الأحمال التي بإمكانها أن تنتقل تسمى أحمال متقلة ( Movable Loads ) كالتجهيزات , مخازن بضائع , ثلج ..... الخ . أحمال أخرى تشمل التي تحدث عن طريق الأحمال الانشائية , الرياح , الزلازل , الانفجارات , التغيرات في درجة الحرارة . والجدول التالي يبين بعض قيم الأحمال الحية .

الجدول (2-2) بعض قيم الأحمال الحية (Stanley and Dillon , 1993)

12000 N/m <sup>2</sup>	المصانع
1900 N/m <sup>2</sup>	المكاتب

#### • أحمال الثلوج : Snow Loads

في البلدان التي تتساقط فيها الثلوج بكثرة يؤخذ بعين الاعتبار الثلج في أي تصميم انشائي .

والملاحظ أن أحمال الثلوج تعتمد بالدرجة الأولى على ميل (زاوية انحدار) السقف وبدرجة أقل على طبيعة مساحة السقف حيث أن الثلج له قابلية الانزلاق على الأسقف ذات الميول . فالثلج باختصار عبارة عن حمل متغير بإمكانه تغطية سقف بأكمله أو جزء منه فقط .

والجدول (3-2) يبين قيم كثافة حمل الثلج تبعا لدرجة ميل السقف (a)

الجدول (3-2) كثافة أحمال الثلج تبعا لدرجة ميل السقف (Stanley and Dillon , 1993)

أكثر من 60	60	50	40	30	20	زاوية الميل $\alpha^{\circ}$
صفر	35	45	55	65	75	كثافة الحمل $Kg / m^2$

#### Wind Loads

#### • أحمال الرياح :

تتغير قيم أحمال الرياح حسب المواقع الجغرافية , الارتفاعات فوق سطح الأرض , أنواع التربة المحيطة بالمباني بما في ذلك المنشآت المجاورة, وعوامل أخرى . ويمكن حساب ضغط الرياح بالمعادلة التالية:

$$q = C.V^2 \dots\dots\dots (Eq 2-1)$$

حيث أن :

q - ضغط الرياح ب ( $Kg/m^2$ )

C -معامل يسمى معامل الشكل ( Shape Coefficient ) يتوقف على وحدة وزن الهواء التسارع الأرضي .

V - سرعة الرياح ب (m/s)

ضغط الرياح يتوقف على ارتفاع المبنى من سطح الأرض وحددت المواصفات قيمة q على السطح المواجه للرياح كالتالي :

- $75 Kg/m^2$  اذا كان ارتفاع المنشأ أقل من 20 مترا.
- $100 Kg/m^2$  اذا كان ارتفاع المنشأ بين 20 - 100 مترا.
- $125 Kg/m^2$  اذا كان ارتفاع المبنى أكبر من 100 مترا.

ويتوقف ضغط الرياح العمودي على الأسطح ( $P_w$ ) على سطح المنشآت على شكل المبنى و زاوية ميل السقف مع الأفقي .

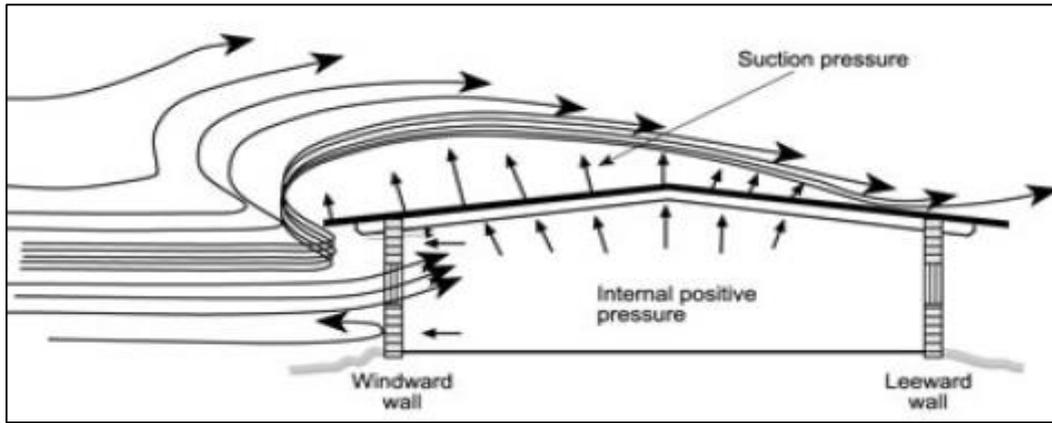
$$P_w = C_1 \cdot q \dots\dots\dots (Eq 2-2)$$

ويتوقف الثابت  $C_1$  على زاوية ميل السقف فإذا كانت زاوية السقف المواجهة للرياح هي  $a$  فان :

$$C = 1.2 \sin(a) - 0.4 \dots\dots\dots (Eq 2-3) \quad \text{للمباني}$$

$$C = 1.6 \sin(a) - 0.4 \dots\dots\dots (Eq 2-4) \quad \text{للأبراج}$$

وتدل القيمة الموجبة للمعامل  $C$  على أن القوة ضاغطة (Pressure) بينما تدل القيمة السالبة على أن القوة ماصة (Suction).



الشكل (1-2) : توزيع ضغط الرياح على المبنى (Stanley and Dillon , 1993)

### Earthquake Load

### • أحمال الزلازل :

- الزلازل تحدث حمولة المنشأ من خلال تفاعل حركة الأرض مع تجاوب خواص المنشأ فهذه الحمولة تحدث تشوها للمنشأ تحت تأثير حركة الأرض والمقاومة الجانبية. ومقدار الحمولة يتوقف على كمية ونوع تسارع الأرض وكذلك على كتلة (Mass) وصلابة المنشأ (Stiffness).
- في حالة انشاءات صغيرة يمكن تطبيق التحليل الستاتيكي في تصميم الزلازل عوض التحليل الديناميكي.

وهذه الطريقة تقرب الأحمال الديناميكية بواسطة مجموعة من القوى الستاتيكية مطبقة خارجياً وتكون جانبية (أفقية) على المنشأ وتتعلق قيمة القص القاعدي داخل الأعمدة والذي يرمز له بالرمز  $V$  بمجموعة من العوامل :

- Z معامل مرتبط بمنطقة الزلزال
- I معامل يتوقف على نوع المنشأ
- K معامل مرتبط بنوع هيكل المنشأ
- C خاصية الاهتزاز
- S نوع التربة الساندة
- W كتلة التربة

#### • أحمال الصدم :

أحمال الصدم تسببها أحمال الاهتزازات المتحركة أو المتحركة . من الواضح ان اسقاط صندوق شحن على أرضية مستودع تسبب قوى أكبر من التي كانت ستنتشأ لو الأحمال طبقت بطريقة تدريجية . أحمال الصدم هي عبارة عن الفرق بين قيمة الأحمال المتسببة في الوقت الحالي وقيمة الأحمال التي كانت سابقا أحمال ميتة .

#### 2.2.1.2 النظم الانشائية الرئيسية للإطارات الفولاذية :

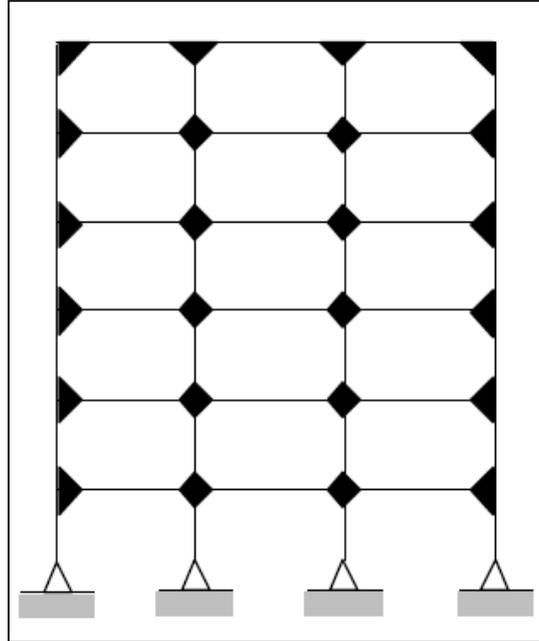
##### Basic Structural types of steel frames

يأخذ الشكل الهندسي للبناء وكذلك المواد المكونة له الدور الأساسي في تحديد مقاومة هذا البناء للدفع الأفقي الناتج عن حركة الزلازل كما أن تلك المقاومة ترتبط بشكل مباشر بالهيكل الانشائي الذي يمتص هذه الحمولات . وتتفرع عن العناصر الرئيسية للمنشأ مجموعة من النظم الانشائية , فهناك نظم الإطارات , أنظمة جدران القص , النظم المشتركة , النظم الجائزية المتناوبة , أنظمة الأنابيب الأحادي, أنظمة الأنابيب الثنائي المتداخل , أنظمة الأنابيب المتعددة و غيرها . ويجري اختيار النظام الانشائي للبناء تبعا لعوامل عدة , ونذكر منها :

- الوظيفة الاستثمارية للبناء
  - ارتفاع البناء ومسقطه المعماري
  - عدد الطوابق الاجمالية
  - شكل ومقدار الحمولات المطبقة
  - طبيعة التربة وطبيعة موقع الانشاء
- وهناك أربعة أنواع معروفة من الأنظمة الانشائية وهي :

**Moment Resisting Frames System****أ- نظام الإطار المقاوم للعزوم**

يؤمن نظام الإطار المقاوم للعزوم مقاومة الأحمال الأفقية بشكل رئيسي

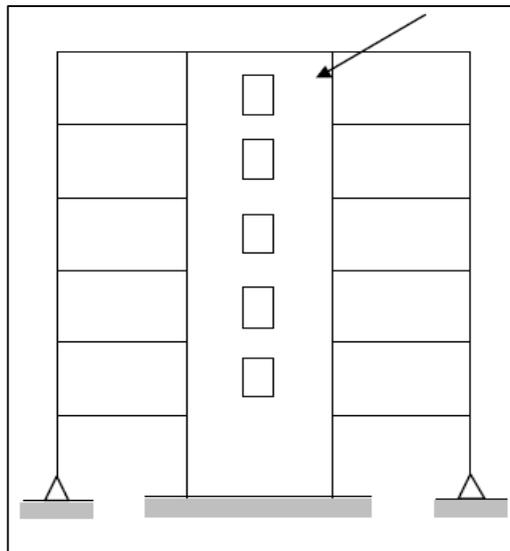


الشكل (2-2) : نموذج للإطار المقاوم للعزوم (Stanley and Dillon , 1993)

**Building Frame System****ب- نظام الإطار البنائي**

يؤمن مقاومة الأحمال الأفقية عن طريق جدران قوى القص Shear Wall Frames أو الإطارات

المسنودة Braced Frames



الشكل (2-3) : نموذج لإطار جدران قوى القص (Stanley and Dillon , 1993)

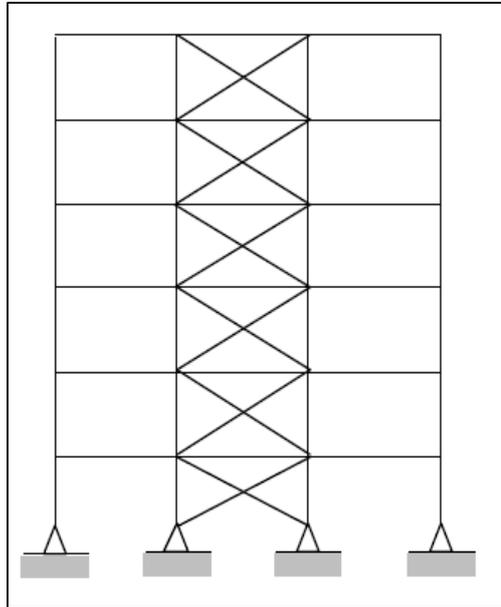
**Dual System****ث- النظام الثنائي**

يشمل النظام الثنائي على أنظمة انشائية منفصلة تدعم بشكل مستقل أحمال الأوزان من جهة والقوى الأفقية من جهة أخرى وتتميز هذه الأنظمة بما يلي :

- 1- تقاوم الأحمال الناتجة عن الأوزان بشكل رئيسي كإطار فراغي متكامل .
- 2- تقاوم الأحمال الأفقية من خلال :
  - إطار فراغي استثنائي مقاوم للعزوم فولاذي قادر على مقاومة قوة القص القاعدي Base Shear .
  - جدران القص (Shear walls) أو الإطارات المدعمة Braced Frames .
- 3- يتم تصميم النظامين المذكورين أعلاه ليقاوما مجموع القوى الجانبية حسب نسبة صلاتهما .

**Bearing Wall System****ج- نظام الجدران الحاملة**

هو نظام انشائي بدون إطار فراغي حامل للأوزان الرأسية . تقاوم الجدران الحاملة أحمال الوزن أما بالنسبة لمقاومة القوى الجانبية فتتم بواسطة جدران القص أو إطارات المدعمة كما هو مبين بالشكل (4-2)

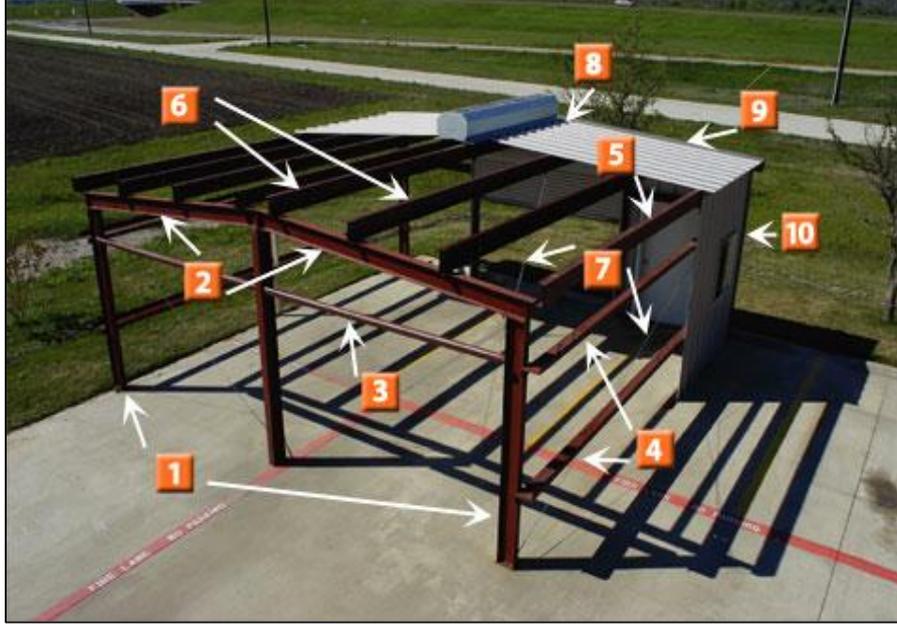


الشكل (4-2) : نموذج للإطارات المدعمة (Stanley and Dillon , 1993)

**Components of steel frames****3.2.1.2 عناصر ومكونات الإطارات الفولاذية :**

يستخدم الجملون في المباني عندما يزيد عمق الجوائز مع اتساع مجازها وتصبح غير اقتصادية لذا يفضل استخدام الجمالونات المتكونة من أعضاء تكون مثلثات وتتقابل الأعضاء في مفاصل ولا تؤثر في أعضائه

- سوى القوى المحورية وتمتاز في أنها تأخذ أي شكل يناسب الغرض من استخدام المبنى .  
يتكون الاطار الفولاذي عموما من العناصر التالية كما هو مبين في الشكل (5-2)



الشكل (5-2) : عناصر الاطار الفولاذي (Stanley and Dillon , 1993)

#### Columns

#### 1- الأعمدة الرئيسية

يوجد أنواع وأشكال مختلفة لقطاعات الأعمدة التي يمكن استعمالها وفقا لمختلف متطلبات المباني والتصميمات والانشاء .

#### Rafter

#### 2- عارضة رئيسية

هي الأعضاء الانشائية التي تتعرض لأحمال في المستوى العمودي على محاورها الطولية وتقاوم عزوم الانحناء وقوى القص وقد يحدث عزم انحناء في مستوى واحد أو مستويين على حسب وضع الأحمال .

#### Endwall Girt

#### 3- عارضة ثانوية لنهاية الجدار

توضع على امتداد نهاية الجدار وتكون مثبتة على الأعمدة الرئيسية , فائدتها تكمن في تدعيم الجدار للمبنى .

#### Sidewall Girt

#### 4- عارضة ثانوية للجدار الجانبي

لها نفس العمل كما في حالة العارضة الثانوية لنهاية الجدار وذلك لتدعيم الجهة الجانبية لجدار المبنى.

**Eave Strut****5- عارضة السقف**

توجد عارضتين على الجانب الطولي للمبنى في الاتجاهين لتغطي المساحة الكافية لوضع السقف.

**Purlins****6- المدادات**

هي الجوائز الممتدة في الاتجاه الطولي للمبنى وتحمل أغطية السقف أو الجوانب وترتكز على الجمالونات أو الإطارات الرئيسية وتحمل المدادات وزن أغطية السقف و الأحمال الحية على الأسقف سواء الثلوج أو الأحمال الاحتياطية التي تحددها المواصفات حسب زاوية ميل السقف مع الأفقي.

**Bracing Members****7- الأربطة الجانبية**

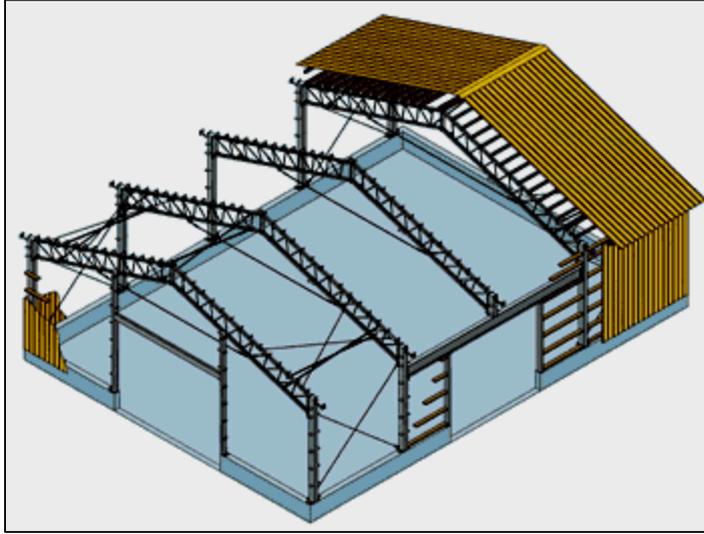
هذه الأربطة عامة تعمل على نقل القوى الأفقية وتقليل الطول الانبعاجي للأعمدة أو الأعضاء المعرضة لقوى ضغط .

هناك أربطة في أقصى السقف (8) وأخرى على الجهة الأمامية (9) والثالثة على الجهة الخلفية (10) فائدة كل واحدة هو لتسهيل تثبيت السقف على المنشأ.

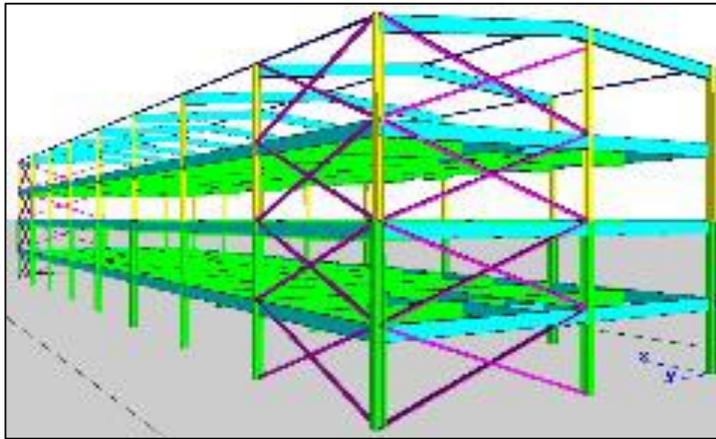
**4.2.1.2 نظام التدعيم المقاوم للقوى الأفقية : Anti Earthquake consolidation System****نظم التثبيت الجانبي للمباني الهيكلية الفولاذية - Bracing for steel framed building**

هذا النظام هو لمقاومة القوى الأفقية كما هو مبين على الشكلين (2-6) و(2-7) التي تترجم الى قوى ضغط وامتصاص . والقوى الأفقية تكون عنصرا هاما للغاية في تصميم المباني العالية بصفة خاصة. وبصفة عامة فكل مبنى يجب أن يزود بتثبيت جانبي ملائم ضد القوى الأفقية وفعلها في الاتجاهين . ونظم التثبيت الجانبي ينقسم الى نوعين رئيسيين وفقا لوضعها في المبنى وهي كالتالي:

**Horizontal Bracing System****1- نظم التثبيت الجانبي الأفقي :****Vertical Bracing System****2- نظم التثبيت الجانبي الرأسي**



الشكل (2-6) : نموذج تريبط أفقي (Stanley and Dillon , 1993)

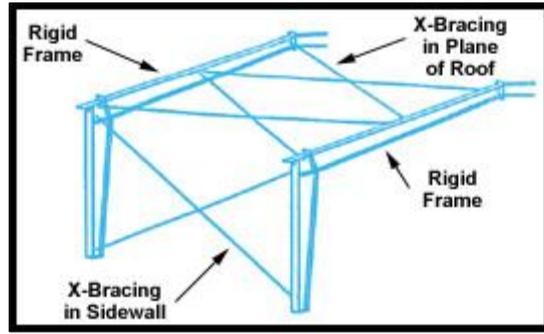


الشكل (2-7) : نموذج للتريبط الأفقي والرأسي (Stanley and Dillon , 1993)

وهناك ثلاثة أنظمة تدعيم لمقاومة القوى الأفقية :

أ- نظام التريبط الجانبي الأفقي والرأسي:

تعمل القوى الأفقية على الأوجه الخارجية للمبنى والتي بدورها تنتقل الى العناصر الداخلية سواء الأفقية منها أو الرأسية كما هو مبين في الشكل (2-8).

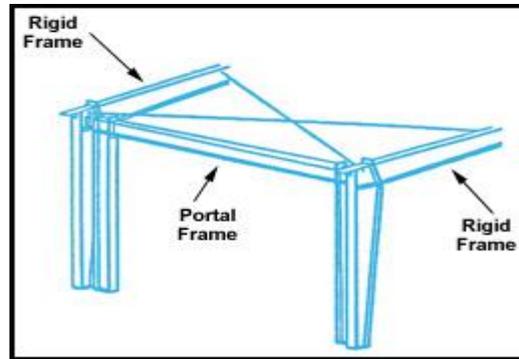


الشكل (2-8) : نموذج لعنصر تربيط أفقي ورأسي (Stanley and Dillon , 1993)

### Portal Bracing

ب- نظام التربيط الجانبي على شكل اطار حامل :

عندما يتعذر وضع أعضاء ربط رأسية بين الأعمدة بسبب وجود فتحات للأبواب كما هو مبين على الشكل (2-9) وخلافه يجب تصميم الأعمدة في الاتجاه العمودي على أساس انها اطار حامل ليقاوم الأحمال الطولية المنقولة من الربط الأفقي على قمة الأعمدة .

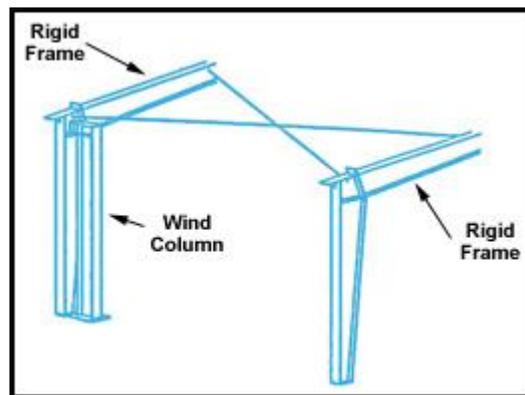


الشكل (2-9) : نموذج لعنصر تربيط على شكل اطار حامل (Stanley and Dillon , 1993)

### Wind Column Bracing

ت- تربيط جانبي على شكل إضافة عمود مقاوم للرياح :

عندما يتعذر استخدام الحالتين السابقتين يمكن انشاء أعمدة إضافية مقاومة للرياح ومدعمة للمنشأ كما هو مبين على الشكل (2-10)



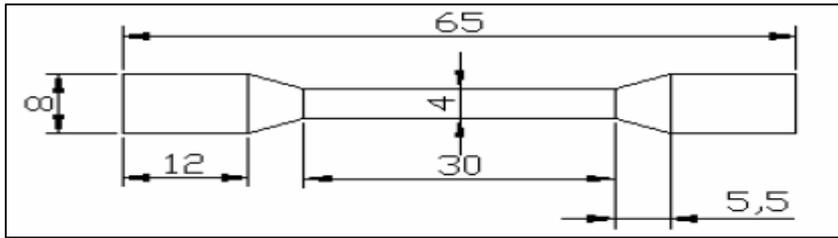
الشكل (2-10) : نموذج لعنصر تربيط على شكل عمود إضافي (Stanley and Dillon , 1993)

### - طريقة انتقال الأحمال

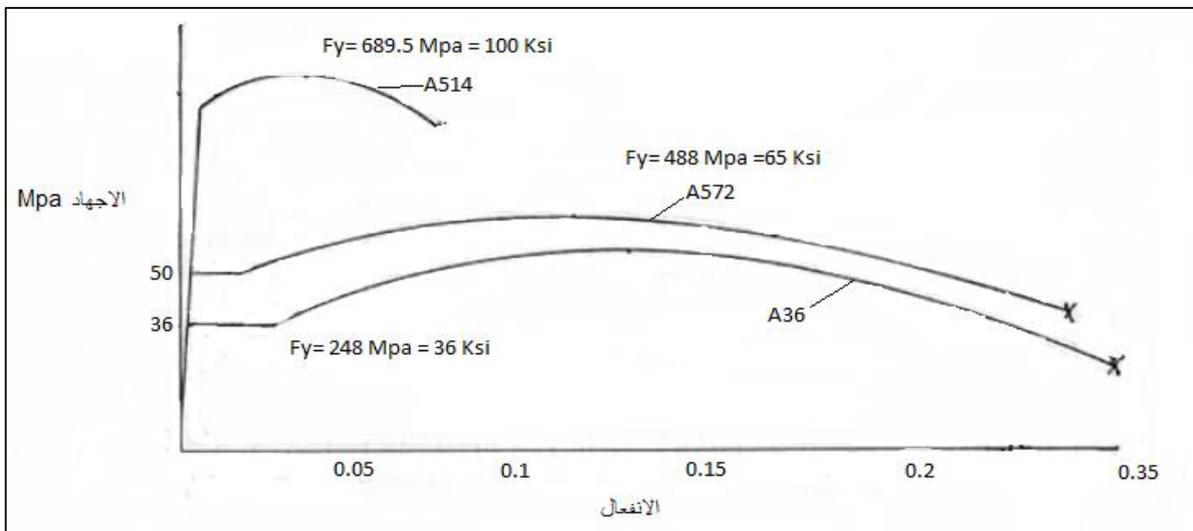
مهما كان نوع نظام التثبيت المستخدم فلا بد من فهم كيفية نقل الأحمال المؤثرة على المنشأ إلى الأساسات أو بمعنى آخر تتبع مسار الأحمال حتى وصولها إلى الأرض وفي كل خطوة يجب التأكد من تحقيق الاتزان بين الأحمال المؤثرة والعناصر الحاملة . ولإيضاح ذلك يمكن اتباع مسار الأحمال المؤثرة في الاتجاه الطولي فعندما تؤثر أحمال الرياح على الواجهة فإنها تنتقل من مادة التغطية (الواح مبانى , بلاطات , ..... الخ ) إلى الجوائز التي ترتكز عليها وتنتقل الجوائز الرئيسية الحمل المتجمع عليها إلى أسفل حيث الأساسات وإلى أعلى حيث المدادات مع ملاحظة أن هذه الأحمال تحدث قوى داخلية في الجوائز الرئيسية وتقوم المدادات بنقل القوى القادمة إليها من الجوائز الرئيسية إلى نظام الربط الطولي ومنه إلى الأرض.

### 3.1.2 الخواص الميكانيكية للصلب الإنشائي: Mechanical properties of steel

الخواص الميكانيكية للصلب الإنشائي تحدد عن طريق الاختبارات المعملية , وذلك بتجهيز عينة من الحديد لاختبار الشد كما هو مبين على الشكل (11-2) , وفقا للمواصفات الأمريكية (ASTM E8) معرفة بالأبعاد المعينة على الشكل . المنحني البياني الشكل (12-2) يبين العلاقة بين الاجهاد والتشوه لبعض أنواع الحديد حسب المواصفات الأمريكية (ASTM)



الشكل (11-2) : أبعاد عينة الشد وفقا للمواصفات الأمريكية (Stanley and Dillon , 1993)



الشكل (12-2): منحني الاجهاد والتشوه لبعض أنواع الحديد (Stanley and Dillon , 1993)

وعند التحميل على عينة الحديد يجب ملاحظة ما يلي :

#### أ- مرحلة المرونة :

تكون عند بداية التحميل على العينة ويصاحبها تغيير طفيف في الطول وتعود العينة الى وضعها الطبيعي بعد زوال الحمل المؤثر ويكون المنحني في هذه المرحلة على شكل خط مستقيم حيث خلالها يتناسب الاجهاد والتشوه .

#### ب-مرحلة الخضوع :

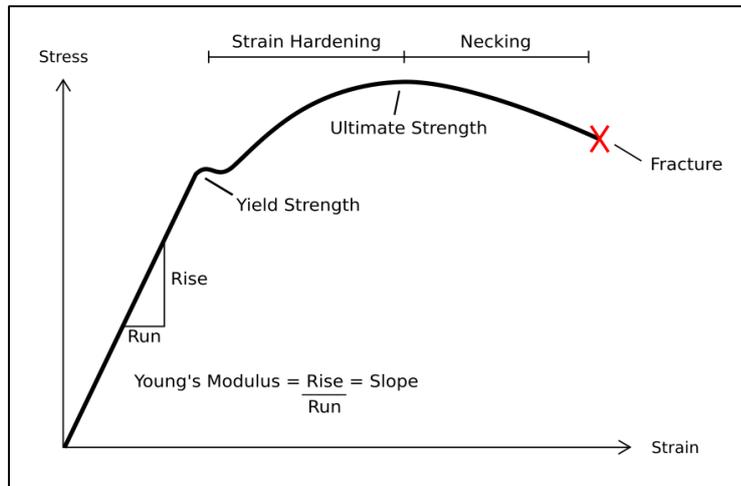
تبدأ بعد مرحلة المرونة بحيث تقل مقاومة الحديد للشد مع زيادة واضحة في طول العينة ويبقى التغير في الطول بعد زوال الحمل المؤثر ولكن بدون نقص يذكر في مقطع العينة .

#### ث-مرحلة اللدونة :

تبدأ بعد مرحلة الخضوع وتتميز بزيادة ملحوظة في مقاومة العينة للشد مع زيادة في الطول يصاحبها نقص واضح في مقطع العينة وتسمى هذه المرحلة بمرحلة الخضوع ولا تسترجع العينة المعرضة للأحمال شكلها الأصلي وإنما يبقى التشوه دائما .

#### د- مرحلة التصلد الانفعالي:

يزداد التشوه بزيادة الاجهاد حتى يصل الى أقصى قيمة وهي القيمة أو اجهاد الشد الأقصى ويبدأ بعدها الاختناق والانهيان . ويعرف الفولاذ بقيمة الاجهاد الأقصى فعلى سبيل المثال الفولاذ (37) يرمز الى أن القيمة الأدنى لأقصى الاجهاد في الشد هي 37 Kg/mm<sup>2</sup> وهو أكثر أنواع الفولاذ شيوعا واستخداما في الانشاء ويستخدم الفولاذ (44) وكذلك الفولاذ عالي المقاومة (52).



الشكل (2-13): المراحل التي تمر بها عينة الفولاذ عند التحميل

وبعد الانتهاء من الاختبار يمكن تعيين النتائج التالية :

الاجهاد = الحمل / مساحة المقطع

$$F = P / A \dots\dots\dots (Eq 2-5)$$

- حيث أن
- F – الاجهاد
- P – الحمل
- A – مساحة المقطع

التشوه = الاستطالة / الطول الأصلي

$$e = \Delta L / L \dots\dots\dots (Eq 2-6)$$

- حيث أن
- e – التشوه
- $\Delta L$  – الاستطالة
- L – الطول الأصلي
- معايير المرونة

**young's Modulus Elasticity**

معايير المرونة هو ميل الخط المستقيم من منحنى الاجهاد والتشوه والقيمة التقريبية التي تؤخذ غالبا هي 2100 t/cm<sup>2</sup> لكل أنواع الفولاذ . وفي هذه المرحلة تسترجع الأعضاء المعرضة للأحمال شكلها الأصلي اذا رفع الحمل عنها وتكون نهايتها حد المرونة . ويمكن تعريف معايير المرونة كنسبة قيمة الزيادة في الاجهاد على الزيادة المماثلة في التشوه التي تؤخذ كميل الخط المستقيم لمنحنى الاجهاد والتشوه .

$$E = f / e \dots\dots\dots (Eq 2-7)$$

- حيث :
- E – معايير المرونة
- f – الاجهاد
- e – التشوه

ومنه يمكن كتابة المعادلة التالية :

$$E = \frac{f}{e} = \frac{f}{\frac{\Delta L}{L}} = \frac{f.L}{\Delta L} \dots\dots\dots (Eq 2-8)$$

**Poisson's Ratio**

- نسبة بواسون

عندما يتعرض جسم الفولاذ الى اجهاد فانه لا يتشكل فقط في اتجاه ذلك الاجهاد وانما يتشكل كذلك في الاتجاه العمودي لذلك الاجهاد فعلى سبيل المثال في حالة اجهاد الشد فان تلك الأبعاد المستعرضة Transverse تنقص أما في حالة اجهاد الضغط فان تلك الأبعاد تزيد. وتكون النسبة بين التشوه الجانبي Lateral Strain والتشوه الطولي Longitudinal Strain وهي نسبة بواسون وتساوي نسبة 0.26 تقريبا للفولاذ .

**Designing Theories****4.1.2 نظريات التصميم المختلفة:**

أهم خصائص الفولاذ لأغراض التصميم تتمثل فيما يلي:

-اجهاد الخضوع (Yield Stress (Fy

-الاجهاد الأقصى (Ultimate Stress (Fu

-معامل المرونة (Modulus of Elasticity (E

-التشوه (Strain (ε

-عامل التمدد الحراري (Coefficient of Thermal Expansion (α

عند تصميم المنشآت لا يجوز أن تتعدى الاجهادات اجهاد الخضوع والاعرض المنشأ الى تغيير كبير

في شكل المنشأ ولذا يلزم تحديد الاجهاد المأمون بحيث يمكن تحميل المادة بأمان دون حدوث تشوه

وتؤثر العوامل الآتية على الجهد المسموح به بأمان .

هناك طريقتان لنظرية التصميم الأكثر استعمال وهما :

**1- طريقة التصميم بالإجهاد المسموح به**

**Allowable Stress Design Method (ASD)**

وتتمثل هذه الطريقة في اختيار العنصر الانشائي بحيث أن الاجهاد الأكبر الناتج عن أحمال التشغيل

لا تتعدى الاجهاد المسموح به . وتسمى هذه الطريقة بالتصميم المرن أو تصميم اجهادات التشغيل .

**معامل الأمان = اجهاد الخضوع / الاجهاد المسموح به**

$$\text{Safety Factor} = \text{Yield Stress} / \text{Allowable Stress} \dots\dots\dots (\text{Eq 2-9})$$

وحيث أن : **الاجهاد الحالي ≥ الاجهاد المسموح به**

**2- طريقة التصميم بمعامل الحمل والمقاومة :**

وتتمثل هذه الطريقة في اختيار العنصر الانشائي بحيث أن معاملات المقاومة يجب أن تكون أكبر من

معاملات الأحمال

$$\sum[(\text{Load} \times \text{L factors}) \leq (\text{Resistance} \times \text{factor})]$$

كل تأثير حمل (أحمال ميتة , أحمال حية , ..... الخ) له معامل خاص به يختلف عن معاملات الأحمال

الأخرى بحيث قيمته تعتمد على احتمالات الأحمال المؤثرة . معامل المقاومة يأخذ القيم من 0.75 الى

1.0 حسب طبيعة المقاومة (شد , انحناء , ضغط , ..... الخ )

يتضمن التصميم الانشائي النقاط التالية :

- التخطيط العام للإنشاءات General Layout of Structures
- دراسة احتمالات لنماذج أو أصناف انشائية والتي بإمكانها إعطاء عملية قابلة للتنفيذ .
- دراسة الحالات المحتملة للأحمال.
- دراسة أولية للتحاليل والتصميمات بغية الحصول على الحلول الممكنة .
- اختيار أحسن الحلول عن طريق التحليل والتصميم الانشائي النهائي والتي تحتوي على اعداد تصميمات الرسومات .

والهدف من التصميم الانشائي لهذه المنشآت هو :

- الحصول على منشآت معدنية يتوافر فيه الأمان وقلة التكلفة .
- تحقيق متطلبات المنشأ المعدني مع مراعاة العامل الجمالي له .
- قلة المنشأ المعدني الى الامتداد في المستقبل .
- اختيار العناصر المعدنية القادرة على تحمل الجهود الناتجة من تلك الأحمال.

ولهذا الغرض يجب على المصمم الانشائي ان يكون على دراية كافية بخواص المواد واختبارات المواد الهندسية ومواصفاتها وسلوك المنشآت المعدنية تحت تأثير الأحمال وبالتحليل الانشائي .

- معامل الأمان في التصميم

معامل الأمان هو نسبة اجهاد الخضوع على الاجهاد المسموح به , ويتراوح معامل الأمان في الضغط من 1.7 الى 3 للعناصر النحيفة .

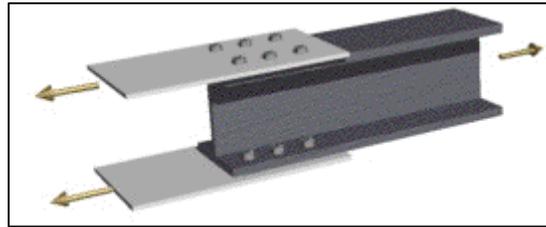
3- تصميم العناصر المعرضة الى :

❖ قوى شد محورية

تعتبر أعضاء الشد المعرضة لقوى محورية (مركزية) منتظمة أبسط العناصر الانشائية الشكل (2-14) والشكل (2-15) .



الشكل (2-14) : أعضاء معرضة لقوة الشد (Stanley and Dillon , 1993)



الشكل (15-2) : وصلات مسمارية معرضة لقوة الشد (Stanley and Dillon , 1993)

في بعض الحالات نجد ان أعضاء الشد في الجوائز متماثلة جول ألواح التجميع وتكون اجهادات الشد موزعة بالتساوي على المقطع .

ولتصميم أعضاء الشد نتبع الخطوات التالية :

أ- في حالة الوصلات عن طريق اللحام :

1- تحديد الحمل وليكن T

2- حساب مساحة المقطع :

$$A_{req} = T / f_{pt} \dots\dots\dots (Eq 2-10)$$

حيث أن :

$f_{pt}$  - اجهاد الشد المسموح به ويساوي 1.4 t/cm<sup>2</sup>

T - قوة الشد

$A_{req}$  - مساحة المقطع المطلوبة مع العلم أن نوع الحديد هو الفولاذ 37 .

3- اختيار العضو من الجدول على أساس مساحة المقطع .

4- مراجعة الاجهادات الحقيقية داخل القطاع.

$$f_{act} = \frac{T}{A} \leq f_{pt} \dots\dots\dots (Eq 2-11)$$

ب- في حالة الوصلات عن طريق المسامير :

1- تحديد حمل الشد وليكن T

2- حساب مقطع العضو ولتكن :

$$A_{gross} = \frac{T}{0.85 f_{pt}} \dots\dots\dots (Eq 2-12)$$

3- اختيار القطاع من الجدول على أساس المساحة  $A_{gross}$

4- مراجعة الاجهادات الحقيقة

$$f_{act} = \frac{T}{A_{net}} \leq f_{pt} \dots\dots\dots (Eq 2-13)$$

5- حيث أن :

$A_{net}$  - هي المساحة الصافية للقطاع أي المساحة بعد خصم المساحة المستغلة بواسطة ثقوب المسامير.

$$A_{net} = 0.85 A_{gross} \dots\dots\dots (Eq 2-14)$$

$A_{gross}$  - هي المساحة الكلية للعنصر قبل خصم ثقوب المسامير

وبالتالي يمكن كتابة المساحة الصافية على النحو التالي:

$$A_{net} = A_{gross} - A_{\phi} \dots\dots\dots (Eq 2-15)$$

$$A_{net} = A_{gross} - d \cdot t \dots\dots\dots (Eq 2-16)$$

حيث أن :

$d$  - قطر ثقب المسمار

$t$  - سمك اللوح

إذا كان :  $f_{act} \leq f_{pt}$  فالقطاع آمن

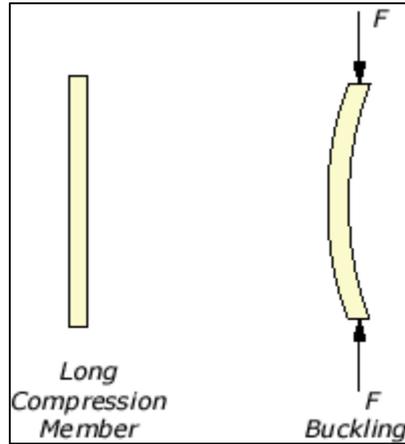
❖ قوى ضغط محورية

تعتبر عناصر الضغط المعرضة لقوى محورية من أبسط العناصر الانشائية الشكل (16-2)



الشكل (16-2) : قضيب فولاذي معرض لقوة الضغط (Stanley and Dillon , 1993)

عند تصميم العناصر المعدنية المعرضة لقوى الضغط المحوري فإنه يجب معرفة أولاً مدى مقاومة هذه الأعضاء للتحنيب (Buckling) والذي بدوره يتوقف على قيمة نسبة النحافة (Slenderness Ratio) حيث ان نسبة النحافة هي قيمة الطول الفعلي  $L$  (والذي يتوقف على نهايتي العنصر) على نصف قطر القصور (Radius of gyration)  $r$  الشكل (17-2)



الشكل (2-17) : تحنّب عنصر الضغط (Stanley and Dillon , 1993)

تتعلق مقاومة الأعمدة للضغط على سبيل المثال الى عدة عوامل وهي :

- 1- نوعية المادة المستخدمة
- 2- الطول
- 3- الخصائص الهندسية لقطاع العمود أو عزم القصور الذاتي حول محور التحنّب
- 4- حالة نهايتي طرفي العمود

الأعمدة القصيرة لها القابلية على تحمل القوى أكثر من الأعمدة الطويلة ونفس الشيء فيما يخص الحجم فكلما كانت قساوة العمود أكبر كانت له القابلية على تحمل القوى .

نوعية الركائز المستخدمة في نهايتي العمود الجدول (2-4) لها علاقة في تحديد قيمة الحمل الذي بإمكان العمود تحمله . وهناك نوعين شائعين من الركائز على نهايتي العمود وهما : ركيزة مفصلية وركيزة مثبتة . فكل ما كانت نهايتي العمود مثبتتين أكثر كل ما كانت له القابلية على التحمل أكثر .

أولى الخطوات لتصميم الأضلاع المعرضة للضغط هو تحديد نسبة النحافة Slenderness Ratio للعنصر وبحسب عن طريق المعادلة التالية :

$$\lambda = \frac{K.L}{r} = \text{نسبة النحافة} \dots\dots\dots \text{(Eq 2-17)}$$

K - معامل التحنّب , ثابت يعتمد على حالة نهايتي طرفي العنصر .

L - طول العنصر

r - نصف قطر القصور Radius of gyration

الجدول (4-2) : نوعية الركائز المستخدمة في نهايتي العمود (Stanley and Dillon , 1993)

Buckled shape of column is shown by dashed line	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End-condition code		Rotation fixed Rotation free Rotation fixed Rotation free	Rotation fixed Rotation free Rotation fixed Rotation free	Translation fixed Translation fixed Translation free Translation free	Translation fixed Translation fixed Translation free Translation free	Translation fixed Translation fixed Translation free Translation free

-اختيار القطاع :

عندما يتعرض عنصر الضغط لقوة محورية N تستخدم المعادلة التالية:

$$A_{req} = \frac{N}{f_{pB}} \dots\dots\dots (Eq 2-18)$$

N - قوة الضغط المحورية

$f_{pB}$  - الاجهاد المسموح به في التحنيد  $f_{pB} = 700 \text{ Kg / cm}^2$

$A_{req}$  - مساحة القطاع المطلوبة

ومن الأنسب فرض نسبة النحافة  $\lambda = \frac{K.L}{r} = 100$

-خطوات تصميم عناصر الضغط المحورية :

1- تحديد حمل الضغط وليكن N وحساب طول التحنيد ( $L_{bx}$  ,  $L_{by}$ )

2- تصميم أولي ويحسب  $A_{req}$  على أساس  $A_{req} = N/f_{pB}$

حيث أن  $f_{pB}$  الاجهاد المسموح به في التحنيد ويساوي  $0.7 \text{ t/cm}^2$

3- يتم اختيار العنصر من الجدول ويتم تحديد ( $A$  ,  $i_x$  ,  $i_y$ )

4- حساب الاجهادات :

أ- حساب نسبة النحافة ( $\lambda_x$  ,  $\lambda_y$ ) حيث أن :

$$\lambda_x = L_{bx} / i_x , \lambda_y = L_{by} / i_y$$

ب- نختار القيمة الأكبر من  $(\lambda_x , \lambda_y)$

ج- نقارن  $\lambda$  الى 100 حيث :

$$- \lambda < 100$$

$$f_{pB} = 1400 - 0.06 \lambda^2 \dots\dots\dots (Eq 2-19)$$

$$- \lambda > 100$$

$$f_{pB} = 7 * 10^6 / \lambda^2 \dots\dots\dots (Eq 2-20)$$

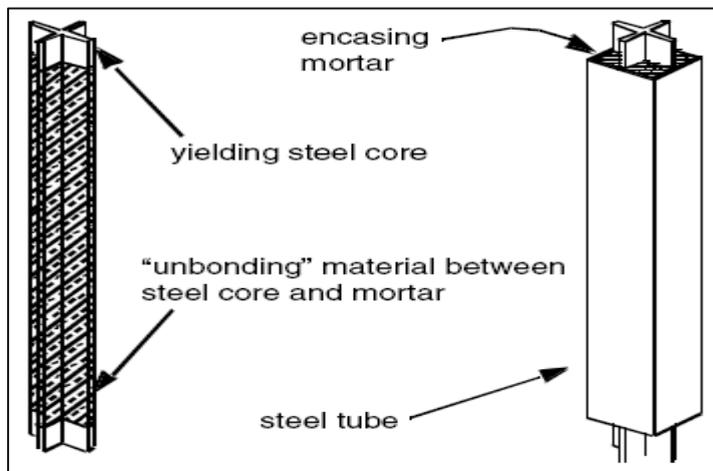
5- التحقق من الاجهادات

$$f_{act} = N/A \leq f_{pB} \dots\dots\dots (Eq 2-21)$$

$$\text{آمن } f_{act} \leq f_{pB}$$

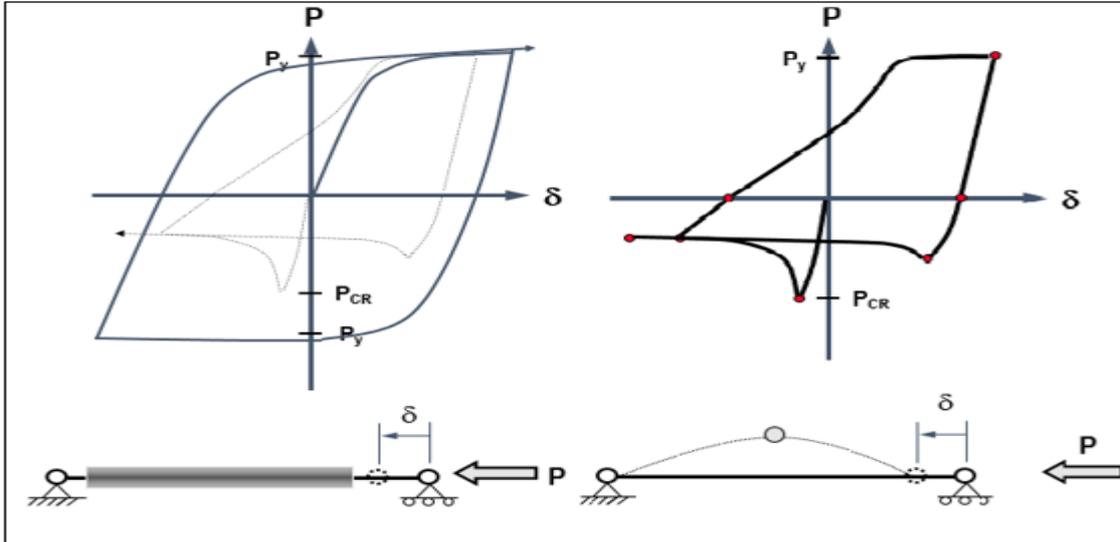
**Mechanical properties of BRB :BRB الخصائص الميكانيكية للـ**

يتكون عنصر التثبيت الممنوع من التحنيب (BRB) من نواة من الفولاذ (Steel Core) و تغطية (Casing) ومادة مانعة للاحتكاك والتماسك (Debonding Material) تتألف طبقة التغطية بدورها من قميص فولاذي وطبقة مورتار .

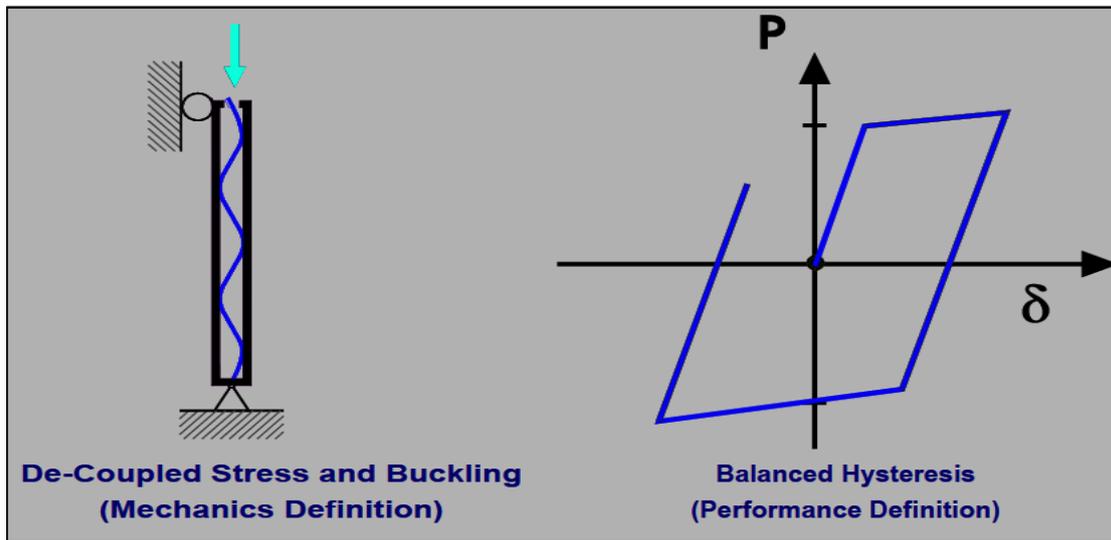


الشكل (18-2) : مكونات عنصر التثبيت (Bruneau , 2011)

عنصر التبريط الممنوع من التحنيب مطاوع عند الضغط ومطاوع عند الشد تحت تأثير التحميل الدوري المحوري وذلك على عكس التبريط التقليدي الذي يكون مطاوعا عند الشد و يتحنب عند الضغط (غير مطاوع)



الشكل (19-2) : سلوك BRB , Conventional Brace تحت تأثير التحميل الدوري (Bruneau , 2011)



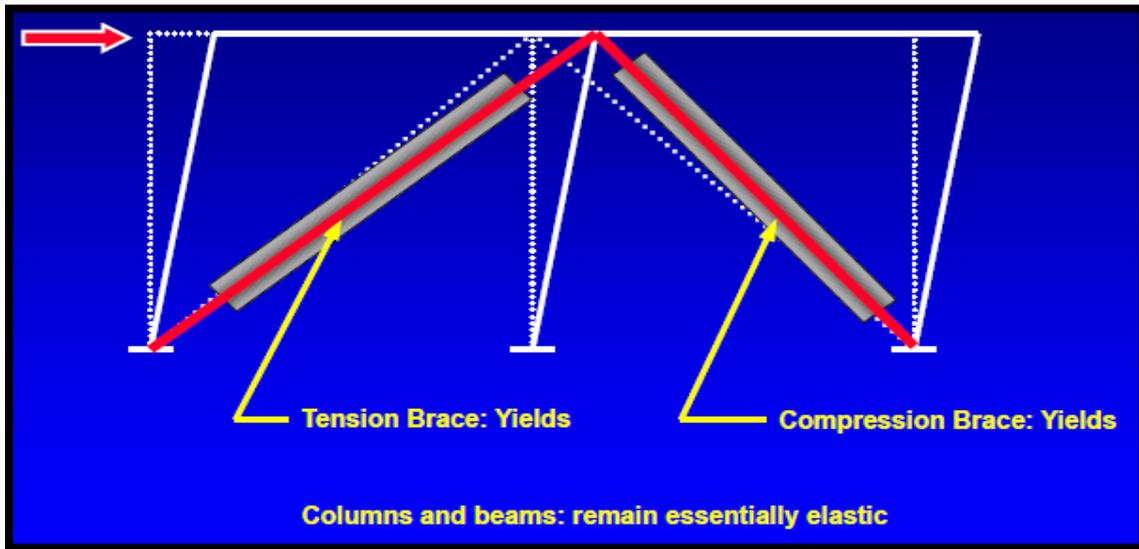
الشكل (20-2) : مبدأ عمل الـ BRB تحت تأثير القوى المحورية (Bruneau , 2011)

عندما يتعرض الـ BRB لقوى الشد والضغط فإن النواة الفولاذية هي التي تتحمل كافة القوى المحورية وأما طبقة التغطية فتكون وظيفتها مقاومة التحنيب فقط كما هو ظاهر في الشكل (20-2)

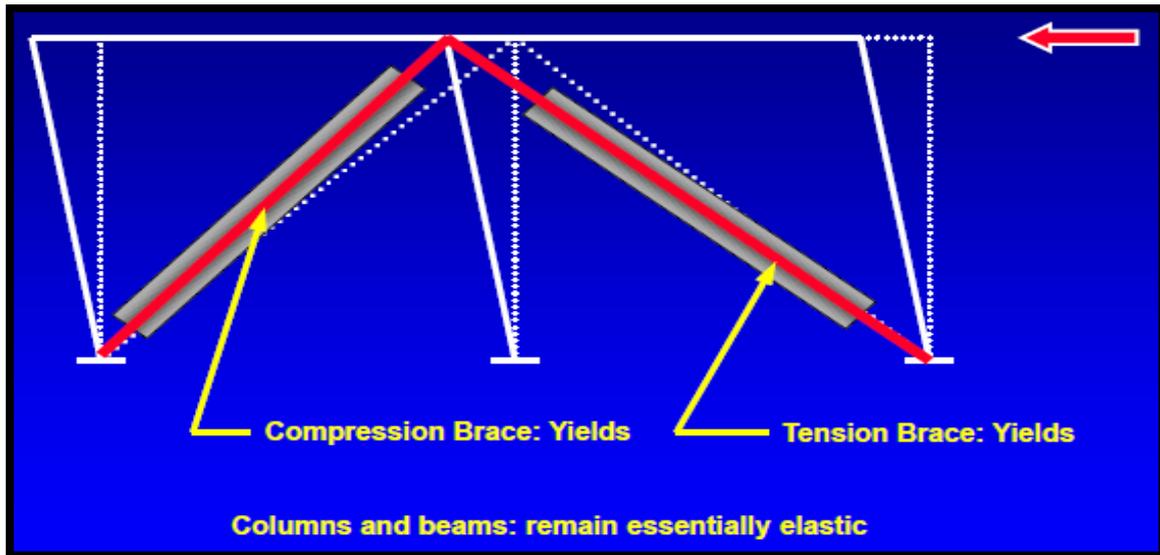
## 6.1.2 السلوك الزلزالي للإطارات المعدنية المزودة بالـ BRB:

### Seismic Performance of steel Frames Equipped with BRB

تزيد عناصر التثبيت الجانبي BRB من قساوة و صلابة الإطارات المعدنية , فعندما تتعرض هذه الإطارات المعدنية المزودة بعناصر تثبيت جانبية (BRBF) لحمولات زلزالية نلاحظ الاستجابة اللاخطية لعناصر الاطار كما في الشكل (a-21-2) والشكل (b-21-2)



الشكل (a-21-2) : تشوه عناصر الـ BRBF (Bruneau , 2011)



الشكل (b-21-2) : تشوه عناصر الـ BRBF (Bruneau , 2011)

نلاحظ أن الجوائز والأعمدة تبقى بشكل رئيسي مرنة عند تعريض الاطار للأحمال الزلزالية ونجد أن الخضوع يكون في جسم الـ BRB سواء كان في مرحلة الشد أو الضغط. الإطارات المعدنية المزودة بعناصر تثبيت جانبية ممنوعة من التحنيب (BRBF) تصمم بحيث تحقق هذا

المبدأ الأساسي ألا وهو أن تؤمن تشوه غير مرن كبير في المقام الأول من خلال خضوع الـ Brace عند الشد والضغط.

يجب أن يكون تصميم الـ Braces، واختبارها وتفصيلها بحيث تتوافق مع التشوهات المتوقعة. التشوهات المتوقعة هي التشوهات التي تقابل انزياح طابقي لا يقل عن 2٪ من الارتفاع الطابقي ، بالإضافة إلى التشوهات الناتجة عن تشوه الإطار الناتجة من حمولة الجاذبية الأرضية .

- صلابة الـ Brace:

1- على الشد :

$$\omega * R_y * P_{ysc} = \text{الصلابة} \dots\dots\dots (Eq 2-22)$$

2- على الضغط :

$$\beta * \omega * R_y * P_{ysc} = \text{الصلابة} \dots\dots\dots (Eq 2-23)$$

حيث أن :

$\omega$  - معامل تعديل التقسية التشوهية (Strain Hardening).

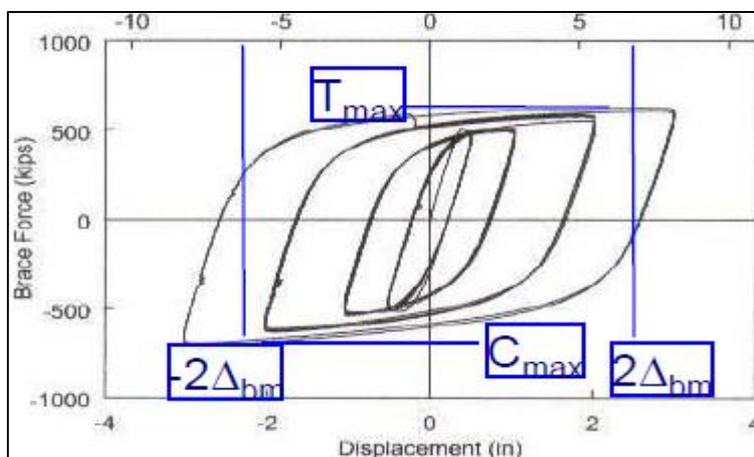
$$\omega = \frac{T_{max}}{F_{ysc} * A_{sc}} \dots\dots\dots (Eq 2-24)$$

$\beta$  - معامل تعديل الصلابة الناتجة عن الضغط (Compression Strength).

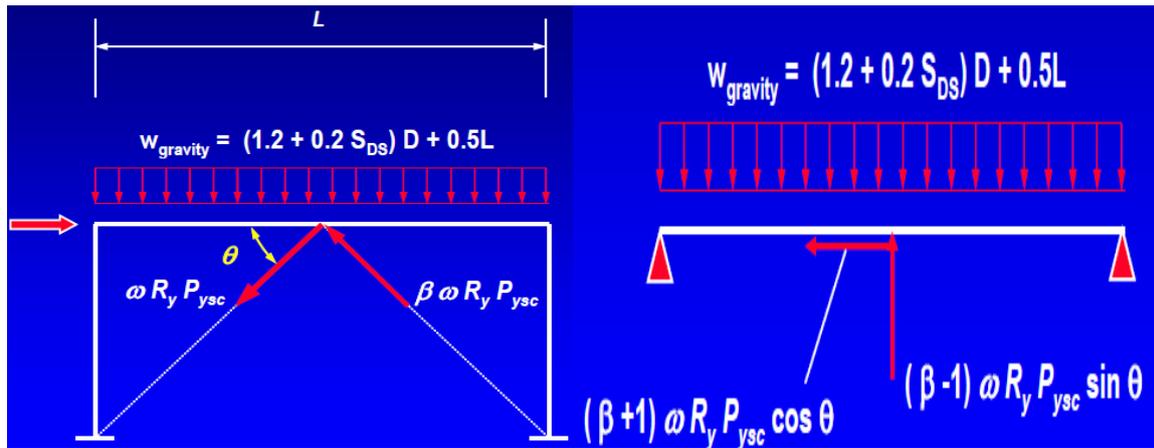
$$\beta = \frac{C_{max}}{T_{max}} \dots\dots\dots (Eq 2-25)$$

$P_{ysc}$  - صلابة الخضوع المحورية للنواة الفولاذية .

$R_y$  - معامل يأخذ مساويا الواحد .



الشكل (2-22) : علاقة القوة- الانتقال للـ BRBF (Bruneau , 2011)



الشكل (2-23): القوى المؤثرة على الـ BRBF (Bruneau , 2011)

يجب أن تصمم النواة الفولاذية لتقاوم كامل القوة المحورية في الـ Brace

- صلابة الـ Brace المحورية التصميمية  $\Phi P_{ysc}$

$$\Phi = 0.9 \quad P_{ysc} = F_{ysc} * A_{sc} \dots\dots\dots (Eq 2-26)$$

## Literature Review

## 2.2 دراسات مرجعية :

قامت العديد من الدراسات التجريبية والتحليلية بدراسة تأثير أثر الـ BRB على زيادة مقاومة وقساوة الإطارات المعدنية عند تعرضها لحمولات دورية أو زلزالية سنستعرض منها الدراسات التالية :

**Wang, Y., Chang, T. and Shi, Y. (2012). a**

تم في هذا البحث استعراض الفكرة الأساسية من استخدام العنصر الممنوع من التحنيب وتم عرض مجموعة من التطويرات الحالية لهذا العنصر في تايوان , هذه التطويرات تضمنت :

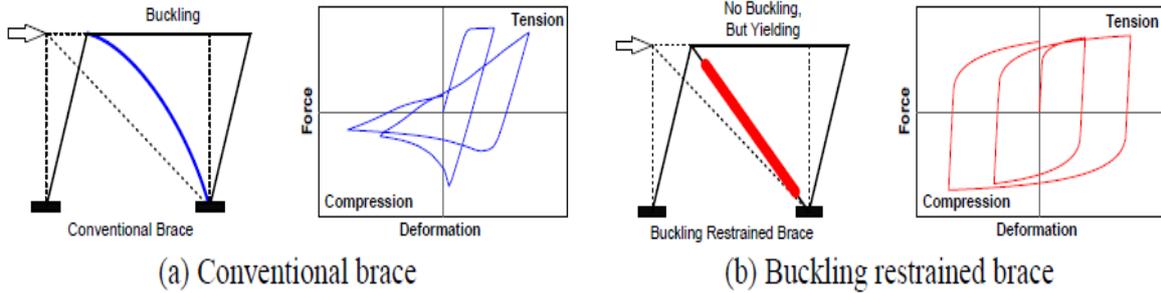
- تحريات وأبحاث عن الـ Unbonding Material .

- استخدام الـ BRR مزدوج النواة.

- نمذجة اطار مزود بهذا العنصر و ذلك بمقياس حقيقي

ان التحنيب للإطارات المزودة بعناصر تربيط تقليدية يسبب تدهور في الصلابة تحت تأثير حمولات الضغط الكبيرة كما هو مبين في الشكل (a-24-2) , لتحسين هذا القصور فان مفهوم الـ Brace الممنوع من التحنيب كما في الشكل (b-24-2) تم اقتراحه واختباره لأول مرة من قبل (Wakabayashi 1973) . نلاحظ أنه في حالة التربيط التقليدي فانه يحدث تحنيب في الـ Brace ونجد أنه لا يوجد انتظام في منحنى الحمولة - التشوه (الحلقات الهيسثيرية) الشكل (a-24-2) ونلاحظ انتظام المنحنى في حالة التربيط

الجانبى الممنوع من التحنيب BRB كما في الشكل (b-24) .



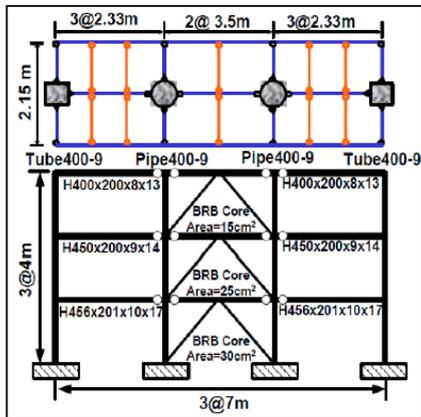
(a) Conventional brace

(b) Buckling restrained brace

الشكل (24-2): السلوك الزلزالي لنوعي التثبيت (Wang and Shi , 2012)

تم نمذجة اطار بثلاث فتحات على ارتفاع ثلاثة طوابق مكون من عناصر معدنية ومختلطة ومزود بعناصر تثبيت ممنوعة من التحنيب الجانبي BRB حيث مجاز الفتحة الواحدة 7 م والارتفاع الطابقي 4 م وتم اجراء الاختبار بمقياس حقيقي أي كل الأبعاد حقيقية . إجراءات الاختبار شبه الديناميكية المطبقة (Pseudo-Dynamic) شملت تدرج لحركة الأرض Ground motion الى مستويات مختلفة من المخاطر الزلزالية .

ان عناصر الـ BRB الموجودة ضمن الاطار يجب أن يكون لها تشوه بلاستيكي تراكمي (CPD) أقل من باقي العناصر في الاطار , وهذا ما يلعب دورا في إعطاء مجال للاطار للدوران الكبير واعطاءنا المقاربة المطلوبة. (Tsai and Hsiao 2008)



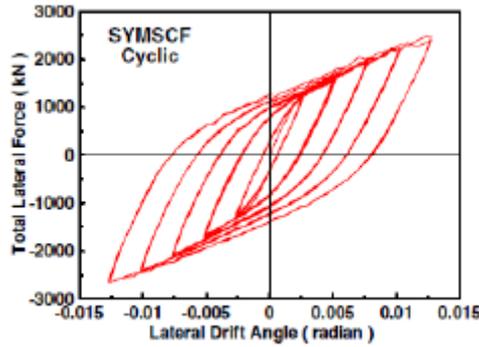
الشكل (26-2) : مسقط أفقي وطابقي للنموذج (Wang and Shi , 2012)



الشكل (25-2): النموذج المخبري (Wang and Shi , 2012)

تثبت النتائج أن العيوب المحلية لا BRB يمكن تجنبها اذا تم تصميم طبقة التغطية بشكل جيد وتم اقتراح عدة توصيات بخصوص التصميم الزلزالي (Lin et al., 2011). ان الاطار المزود بعناصر الـ BRB أعطانا سلوكا مستقرا في الحلقات الهيسترية لجميع مكونات الاطار

كما هو مبين في الشكل (27-2)

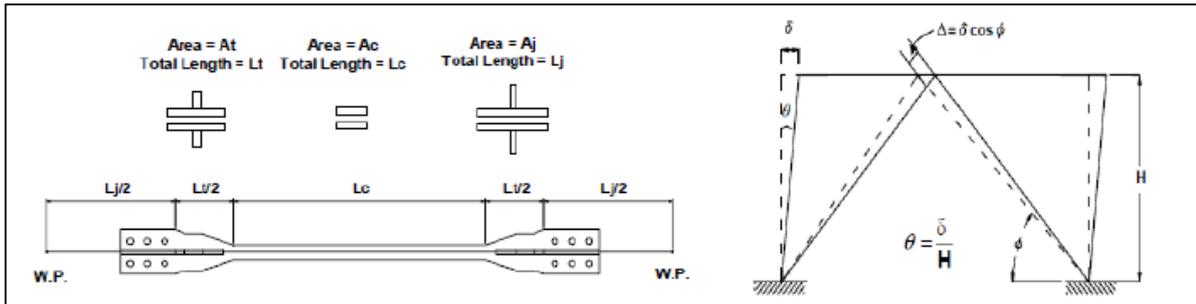


الشكل (27-2) : السلوك الهستيريري للـ BRBF (Wang and Shi , 2012)

ان بروفایل النواة الفولاذية , كما هو مبين في الشكل (28-2), تم تطويره بالاعتماد على فلسفة تصميم القدرة .

بمعنى آخر , يحاول الباحث أن يركز على التشوه اللا خطي للـ BRB ضمن مساحة جسد النواة الفولاذية  $A_c$  بينما باقي الأجزاء ( Transition region  $A_t$  , End-Joint Region  $A_j$  ) تبقى مرنة . تعطى الصلابة التقريبية للـ BRB بالعلاقة التالية :

$$K_e = \frac{A_c \cdot A_j \cdot A_t}{A_c \cdot A_j \cdot L_t + A_c \cdot A_t \cdot L_j + A_j \cdot A_t \cdot L_c} \dots\dots\dots (Eq 2-28)$$



الشكل (28-2) : بروفایل النواة الفولاذية (Wang and Shi , 2012)

يمكن أن نستنتج من هذه الورقة العلمية أن الإطارات المعدنية المزودة بعناصر تريبط جانبية ممنوعة من التحنيط BRBF والمصممة بشكل جيد يمكن أن تكون فعالة من ناحية التكلفة وتؤمن سلوك انشائي جيد حين التعرض لحمولات زلزالية .

: Viktor Budaházy (2011).b

تم التركيز على تطوير نموذج رقمي لعنصر تريبط ممنوع من التحنيط ليستخدم بشكل أساسي كعنصر قطري في اطار معدني وذلك لتدعيم سلوكه في تخميد الطاقة و في مقاومة الأحمال الجانبية.

ان الهدف من هذا البحث هو تطوير نموذج لمادة قادر على وصف جميع الظواهر الضرورية ولا يحتاج لمعادلات معقدة وسهل التكيف في التطبيقات الرقمية .

هناك نماذج مختلفة من الفولاذ تم تطويرها والتحري عنها سابقا ولكن النموذج الحالي ركز على التصرف الديناميكي للمادة وقد أطلق عليه الكاتب اسم PRESCOM

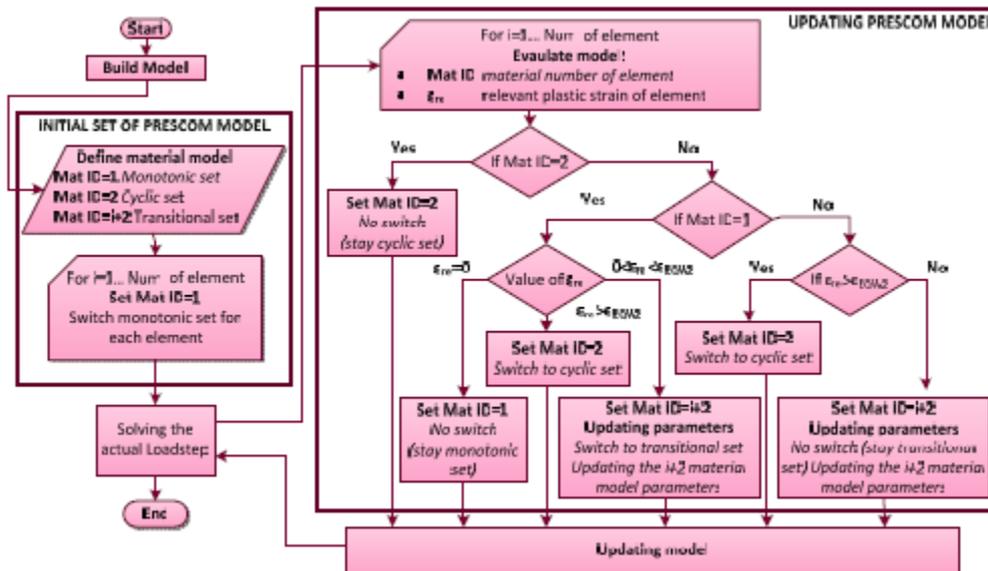
ان سلوك مادة الفولاذ يختلف كثيرا فيما اذا كان التحميل دوري أو أحادي الشوط.

ان انحناء حد الخضوع (هضبة الخضوع) Yielding Plateau تختفي تدريجيا وحجم سطح الخضوع يتناقص تناسبيا الى التشوه اللدن التراكمي Accumulated Plastic Strain.

هذا السلوك يحاكي في نموذج الـ PRESCOM من خلال ثلاث مجموعات من البارامترات :

- المجموعة الأولى (Monotonic set): تصف سلوك الفولاذ أحادي الشوط .
- المجموعة الثانية (Cyclic set) : تتوافق الى السلوك الدوري للفولاذ .
- المجموعة الثالثة (Transitional set) : تفيد في إيجاد علاقة للتغيير بين السلوك الدوري ووحيد الشوط للمادة .

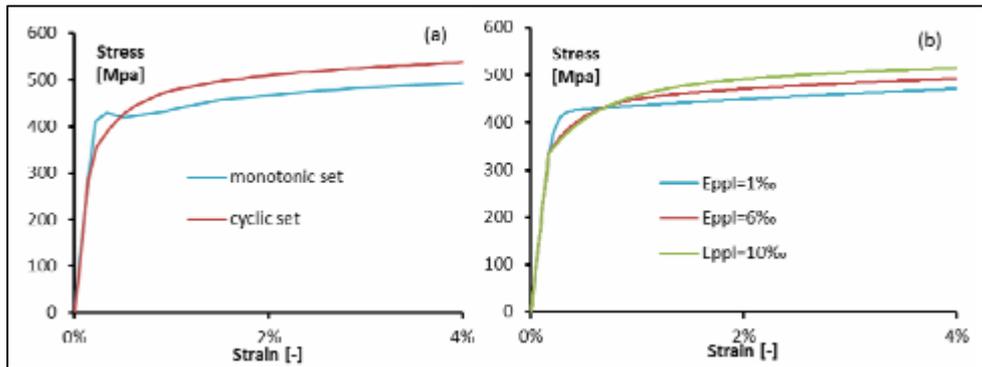
تم إيضاح خوارزمية بارامترات النموذج الديناميكي كما في الشكل (2-29). في بداية مسار التحميل فان Monotonic set تستخدم لكل عنصر فولاذي في مناطق التخمد للمنشأ . اذا كانت قيمة التشوه اللدن مساوية للصفر فإننا نكون مازلنا في الطور ووحيد الشوط أما اذا التشوه اللدن أكبر من الحدود المسموحة فإننا ندخل في طور Cyclic set أما اذا اخذ التشوه اللدن قيمة بين الصفر والحدود المسموحة فان طور الـ Transitional set يكون هو الطور الحاكم .



الشكل (2-29) : خوارزمية بارامترات نموذج PRESCOM (Budaházy , 2011)

### - معايرة بارامترات النموذج :

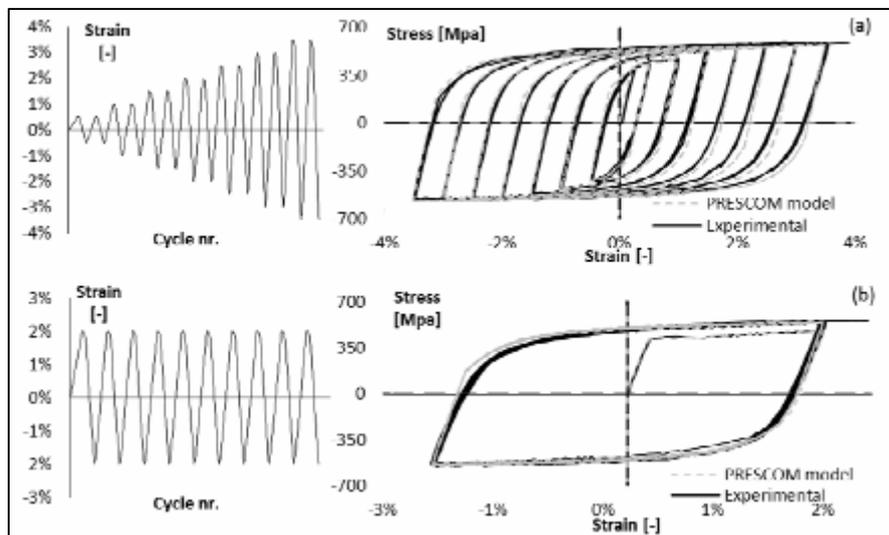
ان بارامترات النموذج يتم تحديدها من خلال نظرية التجريب والخطأ "trial and error method". تم دراسة سلسلتين من الاختبارات بما مجموعه 50 تجربة على عينات مختلفة من الفولاذ مستخدما أنواع مختلفة من بروتوكولات التحميل . ان النموذج المقترح تم مقارنته مع نتائج اختبارات سابقة , وكنتيجة لكل الإجراءات التفصيلية أعلاه فان نموذج الـ PRESCOM قادر على وصف الأداء الملحوظ . الشكل (2-30) يبين سلوك النموذج تحت تأثير التحميل وحيد الشوط والتحميل الدوري .



الشكل (2-30) : سلوك نموذج PRESCOM تحت التحميل وحيد الشوط (Budaházy , 2011)

ان التحديث الديناميكي الذي تم احداثه للبارامترات جعل من الممكن وصف الانتقال بين المرحلتين . ان بارامتر التقسية الأولية Initial Hardening للموديل الأول يتناقص بوصفه وظيفة للتحميل السابق المسبب سطح خضوع افتراضي أقل .

الشكل (2-31) يوضح سلوك النموذج تحت تأثير التحميل الدوري والستاتيكي والنتائج المرجوة دقيقة للغاية .



الشكل (2-31) : سلوك نموذج PRESCOM تحت التحميل الدوري (Budaházy , 2011)

## - وصف النموذج الرقمي :

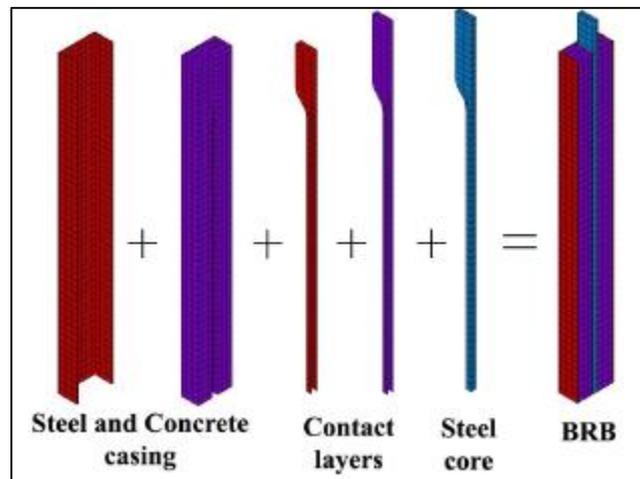
تم تطوير النموذج الرقمي باستخدام برنامج ANSYS مستخدماً عناصر صلبة Solid Element , ان تعقيد مكونات الـ BRB يستوجب استخدام أدوات نمذجة متقدمة مثل :

التقسية المشتركة Combined Hardening , اللدونة الدورية Cyclic Material Plasticity , التحنيط الناتج عن اللدونة Plastic Buckling , و مشاكل الاتصال والاحتكاك Contact Problem and Friction , ان المكونات الأربعة التي يتكون منها الـ BRB مبينة بالشكل (2-32) حيث تم استخدام :

- **Steel Hollow Section** :  $v=0.3, E=210 \text{ GPa}, 25 \text{ mm mesh}$

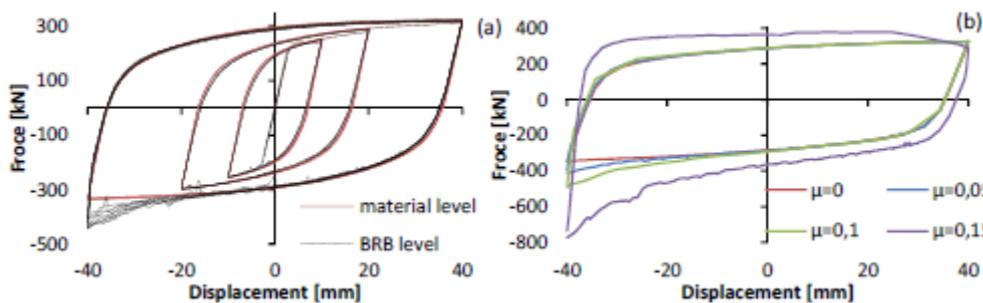
- **البيتون** :  $v=0.18, E=21 \text{ GPa}, 20 - 40 \text{ mm mesh}$

- **النواة الفولاذية** : PRESCOM Material Model  $10-40 \text{ mm mesh}$



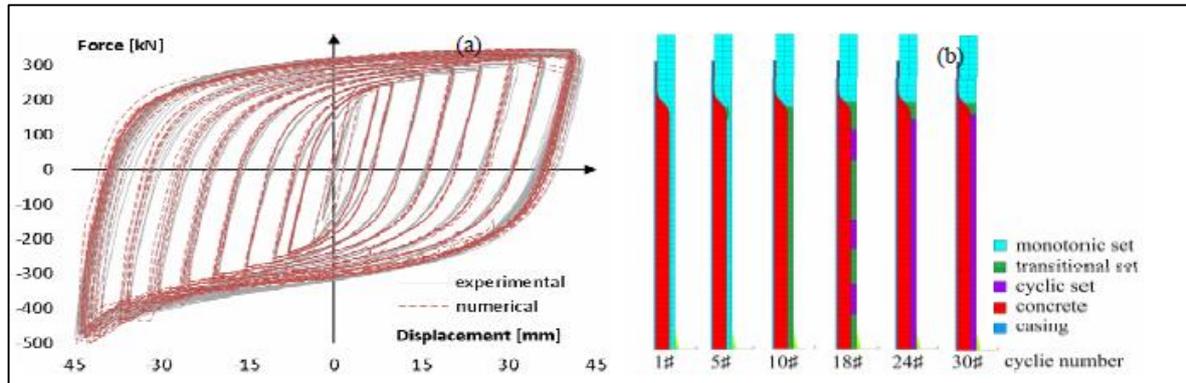
الشكل (2-32) : مكونات عنصر التبريط الممنوع من التحنيط (Budaházy , 2011)

خلال عملية معايرة الـ BRB فانه يتم فحص تأثير حجم العنصر التطبيقي و مشاكل التقارب وخواص الاتصال بين العناصر . ان استجابة الـ BRB مشابه جدا لسلوك النموذج المادي البحت في جانب الشد للحلقات الهيسيرية , ويلاحظ سلوك هام وخاص خلال الضغط كما مبين في الشكل (2-33-a) . الشكل (2-33-b) يظهر السلوك الهيسيري في الدورة الـ 25 حيث يتجلى معامل الاحتكاك جلياً.



الشكل (2-33) : السلوك الهيسيري لعنصر التبريط الممنوع من التحنيط (Budaházy , 2011)

علاوة على ذلك ، فان اختبار ست عينات قد ولد قيم للمعامل  $\beta$  من 1.15 الى 1.38 . ان تعدد القيم الواضح لهذا المعامل قد سببه حساسية شروط الاحتكاك ، وتم أيضا تحليل توزيع التشوه اللدن . ان هذه الظاهرة تسبب زيادة المقاومة لجانب الضغط من الحلقات الهيستيرية كما في الشكل (a-34-2) ان توزيع القيمة الموجبة للتشوه اللدن أيضا غير متوازن .

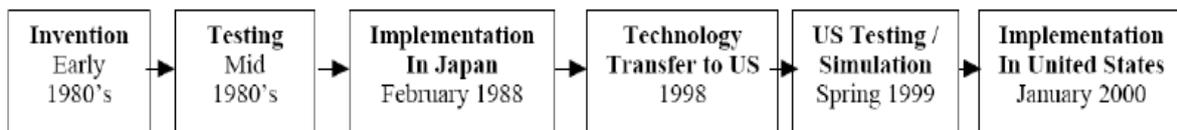


الشكل (2-34) : نتائج معايرة الـ BRB وتطوير نموذج PRESCOM (Budaházy , 2011)

يظهر الشكل (b-34-2) التحديثات الطارئة على نموذج الـ PRESCOM خلال التحميل . بعد دورة التحميل الأولى يبقى الـ Brace مرنا والطور أحادي الشوط هو المستخدم . ان أول طور للدونة يظهر عند دورة التحميل الخامسة في طور الـ Transition . مع زيادة التشوه فان اللدونة تنتشر أكثر الى كامل منطقة الخضوع عند دورة التحميل العاشرة ويتحول الى نموذج الـ PRESCOM الى حالة الـ Transition . بعد دورة التحميل الثلاثين فان كامل منطقة الخضوع تتحول الى طور Cyclic set .

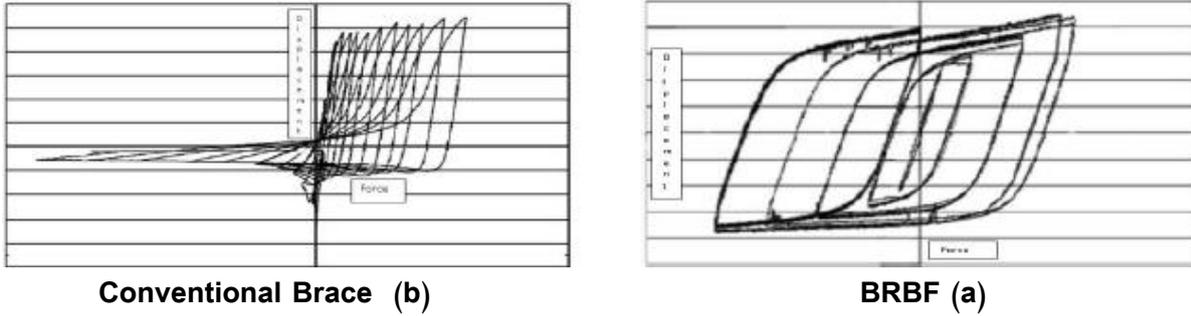
c . W. N. Deulkar, C. D. Modhera & H. S. Patil(2010) :

في هذا البحث تم دراسة العنصر الممنوع من التحنيب BRB من حيث التحليل ، التصميم ، النمذجة وتطبيقاتها في الإطارات المعدنية ، وتم تحليل اطار من خمس طوابق باستخدام برنامج الـ SAP 2000 باستخدام طريقة Time History و باستخدام معلومات زلزال El Centro . تم عرض التطورات التي طرأت على دراسة الـ BRB من عام 1980 حتى عام 2000 كما هو مبين في الشكل (2-35) .



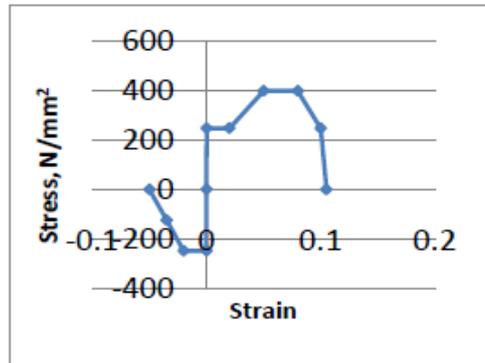
الشكل (2-35) : التطورات التاريخية لدراسة الـ BRB (Deulkar and Modhera , 2010)

ان الـ BRB يقوم بتخميد الطاقة من خلال استقرار حلقات الخضوع للشد والضغط بما يسمى الحلقات الهستيرية Hysteretic Loop كما هو مبين في الشكل (a-36-2) على عكس الإطارات التقليدية التي لا تنتظم فيها هذه الحلقات كما هو مبين في الشكل (b-36-2) .



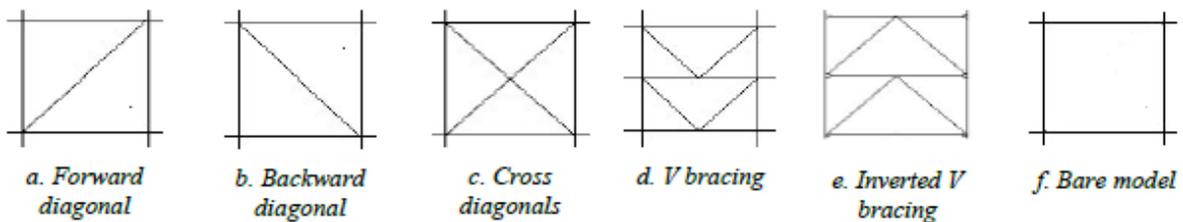
الشكل (2-36) : السلوك الهستيرتي للإطارين (Deulkar and Modhera , 2010)

ان سلوك الاجهاد - التشوه لمادة الفولاذ مبين بالشكل (2-37) حيث أن سلوك الاطار تحت تأثير الأحمال الجانبية يتم التحكم بتصميمه من خلال معيار الصلابة الجانبية , تم افتراض أن قوة الضغط أكبر بحيث تكون أكبر 10% من قوة الشد , وبالنسبة لـ BRB فان الصلابة تم حسابها بفرض أن طول الخضوع يعادل 33% من طول الـ Brace ومساحة المقطع تعادل 50% من المقطع الغير القابل للخضوع



الشكل (2-37) : علاقة الاجهاد-التشوه لعينة الفولاذ باستخدام برنامج SAP2000 (Deulkar and Modhera , 2010)

تم استخدام خمس أنواع من أشكال وتراكيب الـ BRB في هذه الدراسة كما في الشكل (2-38) .



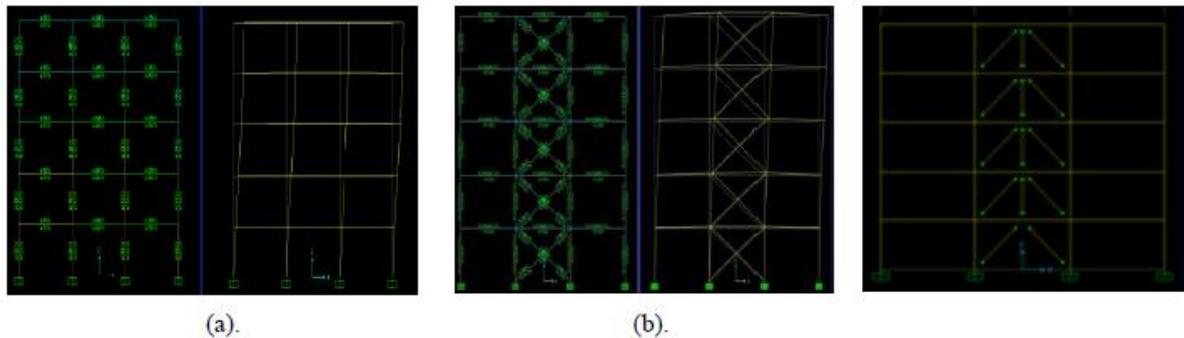
الشكل (2-38) : أشكال تريبط الـ BRB (Deulkar and Modhera , 2010)

ان نموذجي التجربة المستخدمين المزود أحدهما بعناصر تربيط جانبية مبينان بالشكل (2-39) . ان الارتفاع الطابقي لجميع الطوابق في النموذج 3.5 m , وفتحة المجاز 6m , سماكة الأسقف 100mm , الأحمال الحية  $6 \text{ kn/m}^2$  , التخمين الحرج 2% , الجدول (2-5) يظهر موجز عن المقاطع النهائية المستخدمة لتحليل وتصميم هذا الاطار .

الجدول (2-5) : المقاطع المستخدمة لتحليل وتصميم الاطار (Deulkar and Modhera , 2010)

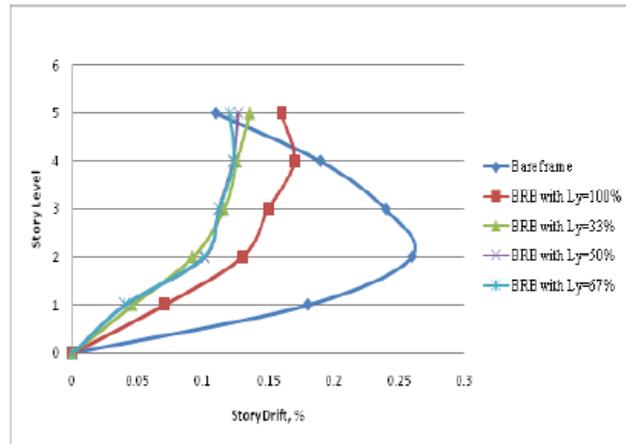
Model description	Section for	All column section	All beam section	Braces size/s at yield zone
Bare model (no Braces)	Analysis	W18x76	W18x76	--
	Design	W18x76	W18x76	--
Conventionally Braced model	Analysis	W18x76	W18x76	W18x76
	Design	W18x76	W12x65	W12x65
BRBd model	Analysis	W18x76	W18x76	W18x76
	Design	W18x35	W18x35	W18x55

ان النتائج في هذا البحث مقسمة لجزأين . الجزء الأول يعرض نتائج نمذجة الـ BRB والذي يعتمد على التحكم بالانتقالات الجانبية والانزياحات الداخلية , أما الجزء الثاني فيعرض نتائج ردة فعلي الاطار المزود بالـ BRB وغير المزود به .

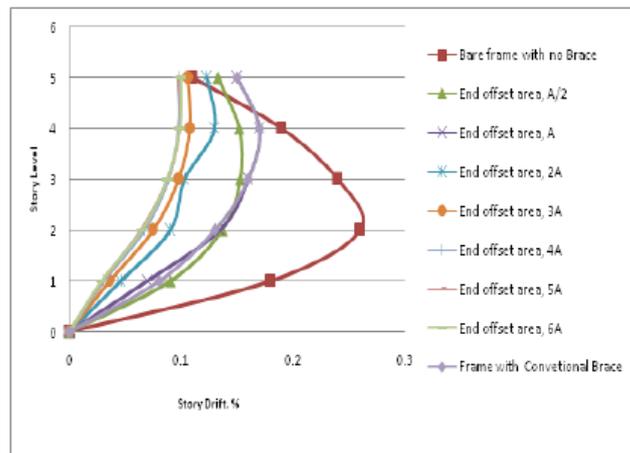


الشكل (2-39): النموذج التحليلي للإطارين المدروسين (Deulkar and Modhera , 2010)

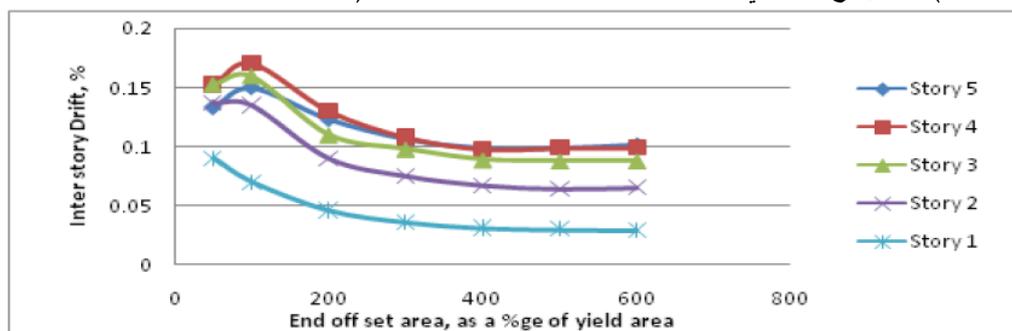
ان الشكل (2-40) يظهر العلاقة بين الـ Story level والـ Story Drift للإطار المدروس وذلك في حالة الـ cross BRB وذلك لأجل أجزاء مختلفة لأطوال الخضوع للـ BRB . خلال النمذجة فان طول الخضوع الـ BRB تغيرت قيمته من 33% الى 100% من الطول الكلي من خلال الحفاظ على مساحة الخضوع ثابتة. يظهر من الشكل (2-40) أنه عندما يكون طول الخضوع بين 67% - 33% من الطول الكلي للـ BRB فان الانزياح الطابقي يتناقص تدريجيا . الانتقال الجانبي عند أعلى البناء في حالة الـ BRBF تكون اقل من حالة الاطار المربط بشكل تقليدي.



الشكل (2-40): الانزياح الطابقي من أجل أطوال خضوع مختلفة للـ BRB (Deulkar and Modhera , 2010) الشكل (2-41) يظهر نسب الـ Story Drift مع اختلاف الـ Story Level وذلك لمساحات مختلفة ويلاحظ أن الانتقال الطابقي يتناقص بينما يبقا منتظما من أجل مساحة End Offset أكثر من ضعفي مساحة الـ Yielding Core كما يظهر في الشكل (2-42)



الشكل (2-41): الانزياح الطابقي من أجل مساحات مختلفة للـ BRB (Deulkar and Modhera , 2010)



الشكل (2-42): الانزياح الطابقي - مساحة الـ End Offset (Deulkar and Modhera , 2010)

الجدولين (a-6-2) و (b-6-2) يظهران الانتقالات الجانبية الطابقية و الانزياحات داخل الطابق للاطار العادي (Bare frame) والاطار المزود بتثبيت عادي (Conventional Braced Frame) والاطار المزود بتثبيت جانبي ممنوع من التحنيط (BRBF). الانتقال أعلى البناء والانزياح الطابقية لكل أنواع الإطارات المربطة تربيطا تقليديا تكون أقل من الاطار غير مزود بالتثبيت وتكون هذه القيم أقل في حالة الـ BRBF من القيم في حالة الاطار المزود بتثبيت تقليدي أو الإطارات غير المزودة بأب نوع من أنواع التثبيت. ويلاحظ أن الاطار المزود بتثبيت على شكل Inverted V هو الأكثر فعالية بين جميع أنواع الإطارات .

الجدول (a-6-2) : الانتقالات الجانبية والانزياحات داخل الطابق (Deulkar and Modhera , 2010)

Story Level	Bare Model	V Bracing	Inverted V Bracing	Forward Bracing	Backward Bracing	Cross Bracing	New Brace configuration
5	69.87	21.92	9	24.57	25.01	9.75	8.82
4	62.31	17.23	6.94	20.31	21.15	7.6	7.03
3	49.017	12.04	4.61	14.86	16.2	5.22	4.99
2	30.82	7.07	2.72	8.81	10.57	2.99	2.95
1	12.28	2.71	1.076	3.03	4.78	1.17	1.2

الجدول (b-6-2) : الانتقالات الجانبية والانزياحات داخل الطابق (Deulkar and Modhera , 2010)

Story Level	Bare Model	V Bracing	Inverted V Bracing	Forward Bracing	Backward Bracing	Cross Bracing	New Brace configuration
5	1.996	0.626	0.257	0.702	0.714	0.2785	0.252
4	1.780	0.492	0.198	0.580	0.604	0.217	0.200
3	1.400	0.344	0.131	0.424	0.463	0.149	0.142
2	0.880	0.202	0.077	0.251	0.302	0.085	0.084
1	0.350	0.077	0.030	0.086	0.136	0.033	0.034

## الفصل الثالث

### دراسة تحليلية للأداء الزلزالي للإطارات المعدنية المزودة بعناصر الـ BRB

### Analytical Study on Seismic Performance of Buckling Restrained Brace Frames



## الفصل الثالث

# دراسة تحليلية للأداء الزلزالي للإطارات المعدنية المزودة بعناصر الـ BRB

## Analytical Study on Seismic Performance of Buckling Restrained Brace Frames

### 1.3 مقدمة:

#### Introduction

يحتوي هذا الفصل توصيفا لعنصر التثبيت الممنوع من التحنيب المستخدم ونمذجته باستخدام طريقة العناصر المحدودة . ثم تم اجراء الدراسة التحليلية على اطارين أحدهما اطار عادي (Bare Frame) والآخر مزود بـ BRB , وتم اجراء الدراسة البارامترية على منشأ معدني من 16 طابق مزود بعناصر تثبيت BRB بشكل قطري - رفع كفاءة المنشأ زلزاليا - باستخدام لغة البرمجة PYTHON .

في هذا الفصل تم إجراء الدراسة التحليلية باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11) لسلوك عنصر تثبيت ممنوع من التحنيب BRB والتأكد من فعالية هذا العنصر ضمن إطار مزود به في تخفيف الانتقالات الجانبية له و زيادة مقاومة هذا الاطار عند تعرضه للأحمال الزلزالية .

تم دراسة دور الـ BRB وأنواعه في تخميد الطاقة لمنشأ معدني متعدد الطوابق وذلك من خلال نمذجته باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11) ولغة البرمجة Python لبرمجة الكم الهائل من المعطيات والبارامترات المتغيرة لمختلف نماذج التحليل.

تم في هذا الفصل اجراء التحليل العددي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEM) , واستخدام التحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لا خطية المادة (MNA) , كما تم تطبيق حمولة دورية (Cyclic Load) وهزة أرضية (Seismic Load) لزلزال KOBE .

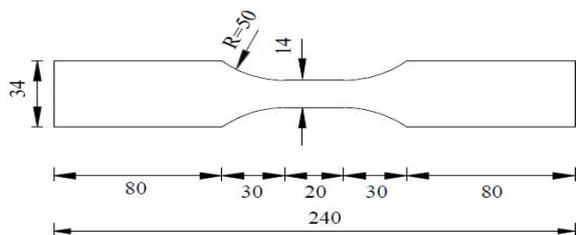
### 2.3 معايرة عنصر التثبيت الممنوع من التحنيب BRB : BRB Validation

#### Model Description

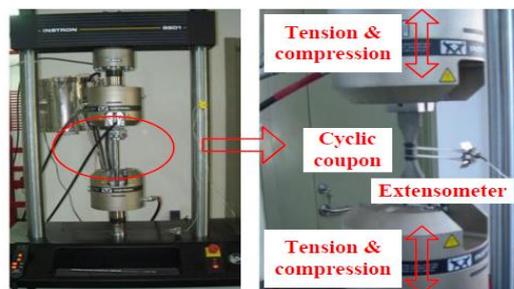
### 1.2.3 توصيف نموذج العينة المدروس :

تم تحليل النموذج المدروس تجريبيا في الورقة العلمية (Wang ,Chang ,Shi and Yuan,2007) , والمبين في الشكل (2-3) وهو عبارة عن عينة فولاذية نوع S31608 طولها 398 mm وعرض 50 mm وسماكة

6mm وباستخدام أنسترون 8801 "مكبس هيدروليكي لقياس التعب" كما هو مبين في الشكل (1-3)



الشكل (2-3) : أبعاد عنصر التبريط BRB  
(Wang and Shi , 2012)



الشكل (1-3): العينة المخبرية لـ BRB  
(Wang and Shi , 2012)

ان اجهاد الخضوع للعينة الفولاذية المستخدمة (Yield Strength) يساوي 234 Mpa وتم استخدام بارامترات التقسية الدورية التالية كمدخلات ضمن برنامج (ABAQUS)  
الجدول (1-3) : بارامترات التقسية الدورية المستخدمة (Wang and Shi , 2012)

$\sigma_0$ / MPa	$Q_\infty$ / MPa	$b_{iso}$	$C_{kin}$ / MPa	$\gamma$
234	77	10.5	56760	420

### 2.2.3 التحليل الانشائي باستخدام نظرية العناصر المحدودة :

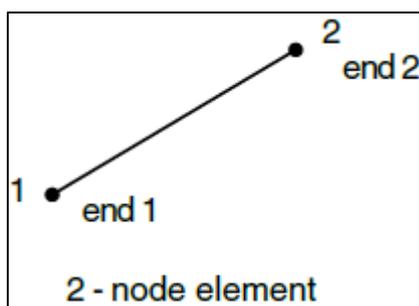
#### Structural Analysis Using Finite Element Method (FEM)

#### 1.2.2.3 العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج (6.11) ABAQUS :

#### Elements Used in the Model using ABAQUS (6.11)

تم استخدام العنصر T2D2 لنمذجة العنصر الفولاذي BRB , حيث T2D2 هو عبارة عن عنصر شبكي (Truss Element) مؤلف من عقدتين وكل عقدة لها درجتين حرة (انتقالات فقط) .

يوضح الشكل (3-3) العنصر الشبكي (ABAQUS 6.11 Documentation,2011)



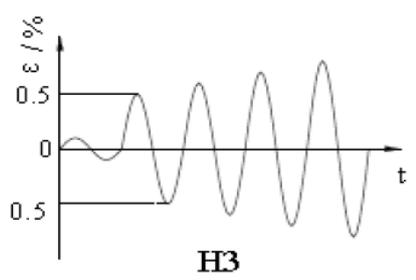
الشكل (3-3) : تمثيل للعنصر الشبكي T2D2 (ABAQUS 6.11 Documentation , 2011)

### 2.2.2.3 الشروط المحيطة للنموذج المدروس : Model's Boundary Condition

تم اعتماد شروط الاستناد في النموذج المدروس بحيث تكون موثوقة من طرف و حرة من الطرف الآخر.

### 3.2.2.3 الأحمال المطبقة على النموذج : Applied Load to The Model

تم تطبيق حمولة دورية (Cyclic Load) عن طريق تطبيق انتقال جانبي مع الزمن (Displacement Time History) على العنصر الفولاذي, حيث تم استخدام بروتوكول التحميل المبين بالشكل (3-4) كما هو في التجربة (Wang ,Chang ,Shi and Yuan,2012) حيث تم اخضاع العينة الفولاذية الى المكبس الهيدروليكي المبين سابقا وفق بروتوكول التحميل H3



الشكل (3-4): بروتوكول التحميل المستخدم (Wang and Shi , 2012)

### 4.2.2.3 نوع التحليل المستخدم في النموذج : Type of Used Analysis

تم اعتماد تحليل لا خطي يأخذ بعين الاعتبار لا خطية المادة (MNA)

### 5.2.2.3 توصيف المواد المستخدمة في النمذجة : Material Used in Modeling

تم بناء نموذج التجربة المدروس باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11) , وتمت النمذجة باستخدام الطريقة الأبسط في طريقة العناصر المحدودة ألا وهي النمذجة بشكل خطي حيث تم استخدام طريقة العقد والعناصر (Nodes and Element) حيث تم تقسيم العنصر للعديد من العناصر والعقد واعتمدت خواص الليونة كما يلي:

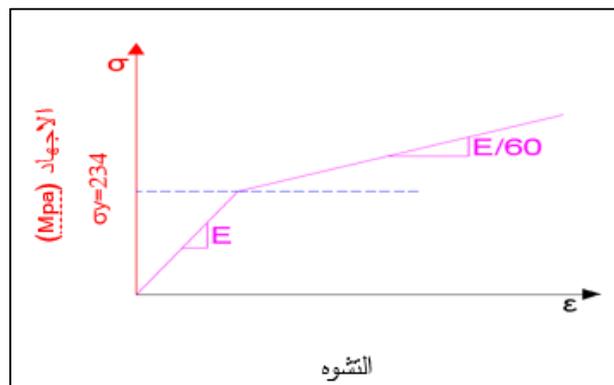
عامل بواسون (Poisson) 0.3 , معامل يونغ (Young modulus) 225000 Mpa .

وأما خواص اللدونة فقد تم ادخال البارامترات التالية في برنامج (ABAQUS):

اجهاد الخضوع  $F_y = 234 \text{ Mpa}$  , التقسية Hardening من نوع Combined وأخذت قيمة بارامتر الـ

Kinematic Hardening مساوية 56760 Mpa , وبارامتر الـ Isotropic Hardening  $Q_\infty = 77$  ,  $b = 10.5$

وتأخذ علاقة الاجهاد – التشوه الشكل التالي:



الشكل (3-5) : علاقة الاجهاد- التشوه للعيينة المدروسة (Wang and Shi , 2012)

### Calibration Results

### 6.2.2.3 نتائج المعايرة :

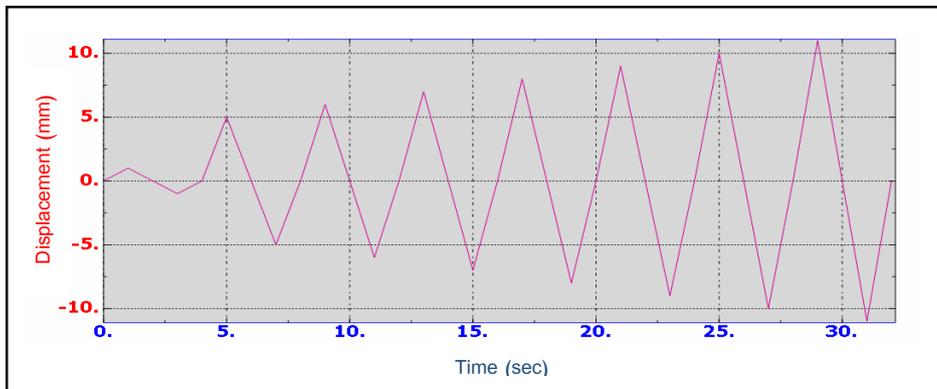
يوضح الشكل (3-6) النموذج التحليلي للعنصر المدروس وذلك باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11) وباستخدام طريقة الـ Input File Scripting حيث يظهر أن الشكل مقسم الى عقد وعناصر وكان زمن التحليل 32 sec .



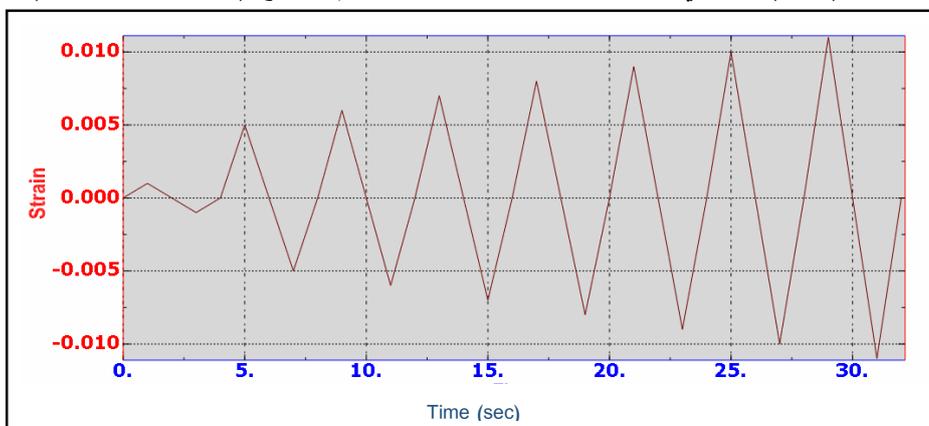
الشكل (3-6) : النموذج التحليلي باستخدام برنامج ABAQUS 6.11

يبين الشكل (3-7) منحنى الانتقالات مع الزمن (Displacement – Time Curve) للعقدة الطرفية رقم 110 حسب التسمية ضمن برنامج ABAQUS 6.11 وكما هو مبين في الشكل (3-6) حيث يمثل المحور الشاقولي محور الانتقالات خلال زمن التجربة (32 sec) وتتراوح هذه الانتقالات الجانبية من القيمة 0

عند الزمن 0 لتصل الى أقصى قيمتها عند الثانية 29 حيث بلغت 11 mm لتعود الى القيمة 0 عند نهاية التجربة أي أن التشوه الذي حدث عبارة عن تشوه مرن يعود العنصر الى طوله الأصلي عند نهاية التحميل وهذا ما يظهر في الشكل (3-8) حيث تظهر قيم التشوه الحاصلة للعنصر 110 والتي تأخذ قيمتها العظمى بالقيمة المطلقة 0.011 عند اللحظة الزمنية 29



الشكل (3-7): منحنى الانتقال - الزمن للعينة باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11)

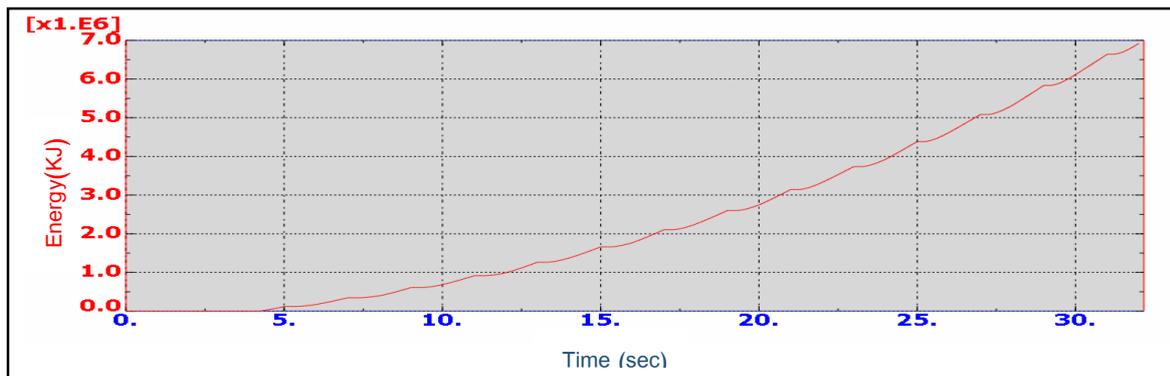


الشكل (3-8): منحنى التشوه - الزمن للعينة باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11)

ان قيم الاجهاد الحاصلة في العنصر رقم 110 تتجاوز قيمة اجهاد الخضوع للفولاذ المستخدم بدءاً من الثانية 5 أي من المراحل الأولى للتجربة وتبلغ قيمتها العظمى عند الزمن 31 sec

$$\sigma_{31} = |-432.4| > F_y = 234 \text{ Mpa}$$

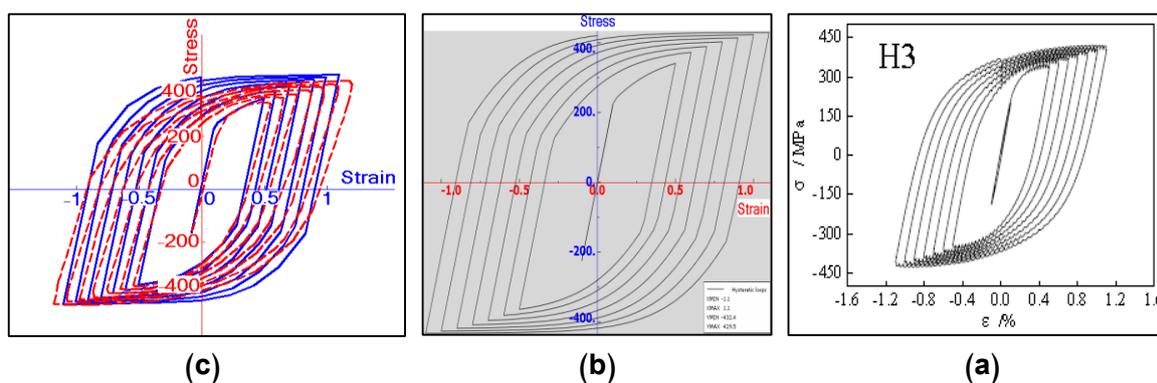
ان تخميد الطاقة ضمن الـ BRB يزداد مع الزمن ويكاد يكون معدوماً في مرحلة المرونة ويظهر هذا جلياً في الشكل (3-9) حيث أنه في الخمس ثواني الأولى تأخذ الطاقة قيمة الصفر ويبدأ تخميد الطاقة بعد ذلك وتزداد تدريجياً مع الزمن مع الدخول ضمن مرحلة اللدونة لذلك نطلق على هذه الطاقة اسم الطاقة اللدونية المخمدة وتقدر هذه الطاقة بوحدة الكيلو جول .



الشكل (3-9) : منحنى الطاقة المخددة - الزمن للعينة باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11)

ان نتائج التحميل الدوري Cyclic Loading لنموذج التجربة تظهر من خلال منحنى الاجهاد - التشوه أو ما يدعى منحنى الحلقات الهيسترية Hysteresis loop وبين الشكلين (a-10-3) و (b-10-3) منحنى الاجهاد - التشوه الناتجين من التجربة ومن التحليل عن طريق برنامج ABAQUS 6.11 حيث يظهر جليا" التطابق الى حد كبير بين المنحنيين الناتجين وهذا يظهر من خلال الشكل (c-10-3) حيث يتجلى النجاح في عملية المعايرة Calibration Procedure واضحا" حيث أن الخط المنقط يتبع للمنحنى التابع للتجربة الأصلية أما الخط المستمر فيتبع للمنحنى التابع للدراسة التحليلية الناتجة من برنامج ABAQUS 6.11 وبالتالي دقة النموذج المقترح مقبولة بأخطاء لا تتجاوز الحدود المسموحة .

يمكن الاستنتاج أن هذا العنصر الفولاذي وعند منعه من التحنيب تحت الضغط يعطي سلوكا" لاخطيا" لدينا " Plastic Non-linear Behavior ومطاوعة جيدة Good Ductility بشكل ملحوظ ومن الواضح أن سلوك العينة يؤدي الى تخميد معتبر في الطاقة كلما ازداد عدد الحلقات الهيسترية .



الشكل (3-10) : منحنى الحلقات الهيسترية للعينة :

- a- من الورقة العلمية [1,2012].
- b- باستخدام برنامج ABAQUS6.11.
- c- مقارنة بين نتيجة a ونتيجة b.

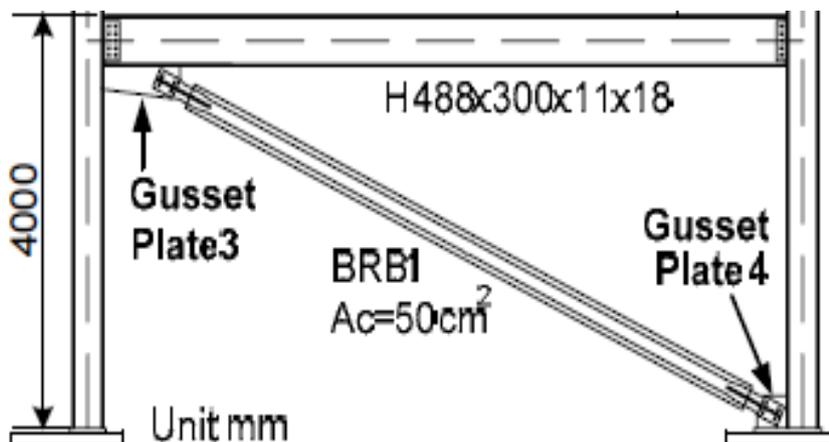
### 3.3 مقارنة سلوك اطارين أحدهما مزود بعنصر تريبط BRBF والآخر غير مزود به Bare Frame:

#### Comparison between BARE FRAME and BRBF

#### Model Description

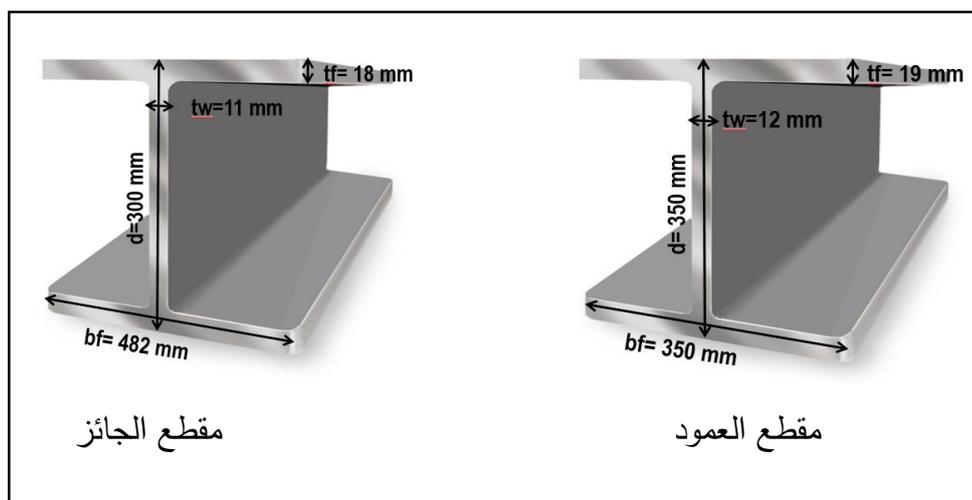
#### 1.3.3 توصيف نموذج العينة المدروس :

تم تحليل النموذج المدروس تجريبيا في الورقة العلمية (Lin ,Tsai ,Hsiao,2005) والمبين في الشكل (11-3) وهو عبارة عن اطار معدني بفتحة واحدة مجازها 8m وارتفاعها 4m مزود بعنصر تريبط جانبي ممنوع من التحنيط BRB مساحته 500 mm<sup>2</sup>.



الشكل (11-3) : إطار مزود بعنصر تريبط جانبي BRBF (Lin ,Tsai and Hsiao,2005)

سواء كان الاطار عبارة عن BARE FRAME أو مزود بعنصر تريبط ممنوع من التحنيط BRBF فان المقاطع المستخدمة للجائز والعمودين تبقى ثابتة وهي مبينة بالشكل (12-3) :



الشكل (12-3) : أبعاد مقاطع الجائز والأعمدة

### 2.3.3 التحليل الإنشائي باستخدام نظرية العناصر المحدودة :

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

### 1.2.3.3 العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج (6.11) ABAQUS :

#### Elements Used in the Model using ABAQUS (6.11)

تم استخدام العنصر T2D2 لنمذجة الـ BRB ، حيث T2D2 كما ذكرنا سابقاً هو عبارة عن عنصر شبكي (Truss Element) مؤلف من عقدتين وكل عقدة تحتوي درجتين حرة (انتقالات فقط). أما الجوائز والأعمدة فقد تم استخدام العنصر من نوع B21 في نمذجتها على برنامج ABAQUS 6.11 حيث يتم استخدام هذا النوع من العناصر عندما تكون مرونة القص مهمة و هذا العنصر يعرف أنه عبارة عن عنصر خطي مؤلف من عقدتين في نفس المستوي وذلك حسب (ABAQUS 6.11 Documentation,2012)



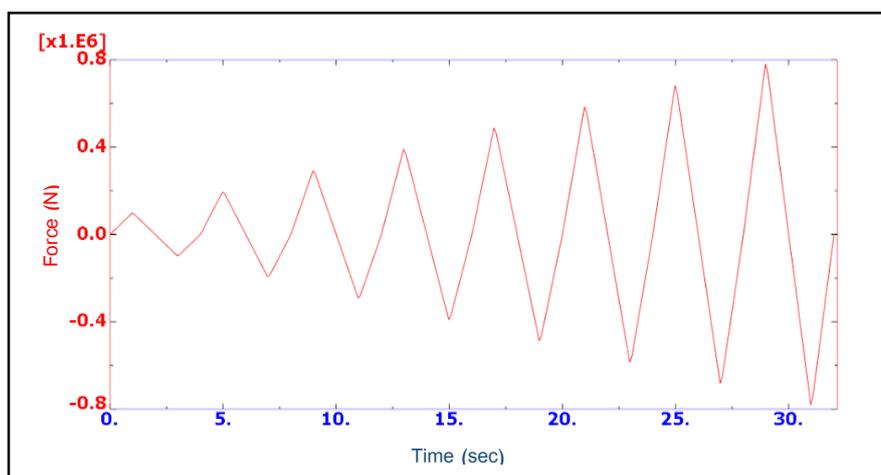
الشكل (3-13) : تمثيل للعنصر B21 (ABAQUS 6.11 Documentation , 2011)

### 2.2.3.3 الشروط المحيطية للنموذج المدروس :

تم اعتماد شروط الاستناد في النموذج المدروس بحيث يكون العمودين موثوقين وهو ما نعبر عنه ضمن برنامج ABAQUS 6.11 بالتعليمة ENCASTRE .

### 3.2.3.3 الأحمال المطبقة على النموذج :

تم تطبيق حمولة دورية (Cyclic Load) عن طريق تطبيق قوة جانبية مع الزمن (Force Time History) على العنصر الفولاذي حيث تم استخدام بروتوكول التحميل المبين بالشكل (3-14) وذلك خلال زمن تحليل . 32 sec



الشكل (3-14) : منحنى القوة - الزمن للـ BRBF باستخدام برنامج (6.11) ABAQUS

### 4.2.3.3 نوع التحليل المستخدم في النموذج : Type of Used Analysis

تم اعتماد تحليل لاخطي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة (MNA)

### 5.2.3.3 توصيف المواد المستخدمة في النمذجة : Material Used in Modeling

تمت نمذجة الإطارين المدروسين باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11) واعتمادا على طريقة الـ ABAQUS Input File حيث تم استخدام ذات المواصفات الميكانيكية للإطارين وذات مواصفات مادة الفولاذ المستخدمة ونفس الشروط المحيطة مع فارق وحيد أنه أحد الإطارين فقط مزود بعنصر تربيط جانبي ممنوع من التحنيب BRB وهذا كما هو واضح في الشكل (3-15) .

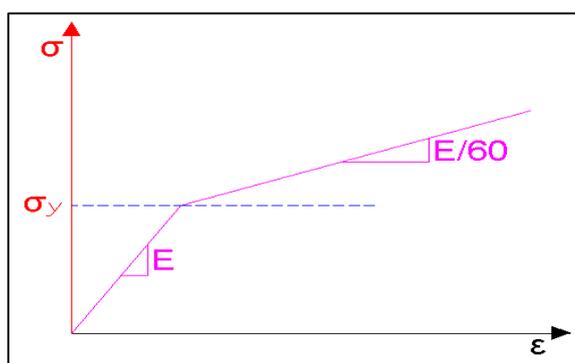
حيث استخدمنا طريقة العقد والعناصر (Nodes and Element) حيث قمنا بتقسيم العنصر للعديد من العناصر والعقد (Element and Nodes) حيث أخذنا خواص الليونة للجوائز و الأعمدة ولـ BRB كما يلي:

عامل بواسون (Poisson) 0.3 , معامل يونغ (Young modulus) 225000 Mpa .

وأما خواص اللدونة فقد تم ادخال البارامترات التالية في برنامج (ABAQUS):

اجهاد الخضوع لـ BRB  $F_{yB} = 234 \text{ Mpa}$  أما اجهاد الخضوع لفولاذ الأعمدة والجوائز  $F_{yf} = 250 \text{ Mpa}$ ,  
التقسية Hardening من نوع Combined وأخذت قيمة بارامتر الـ Kinematic Hardening مساوية 56760  
Mpa , وبارامتر الـ Isotropic Hardening  $Q_{\infty} = 77$  , و  $b = 10.5$  .

وتأخذ علاقة الاجهاد - التشوه الشكل التالي:



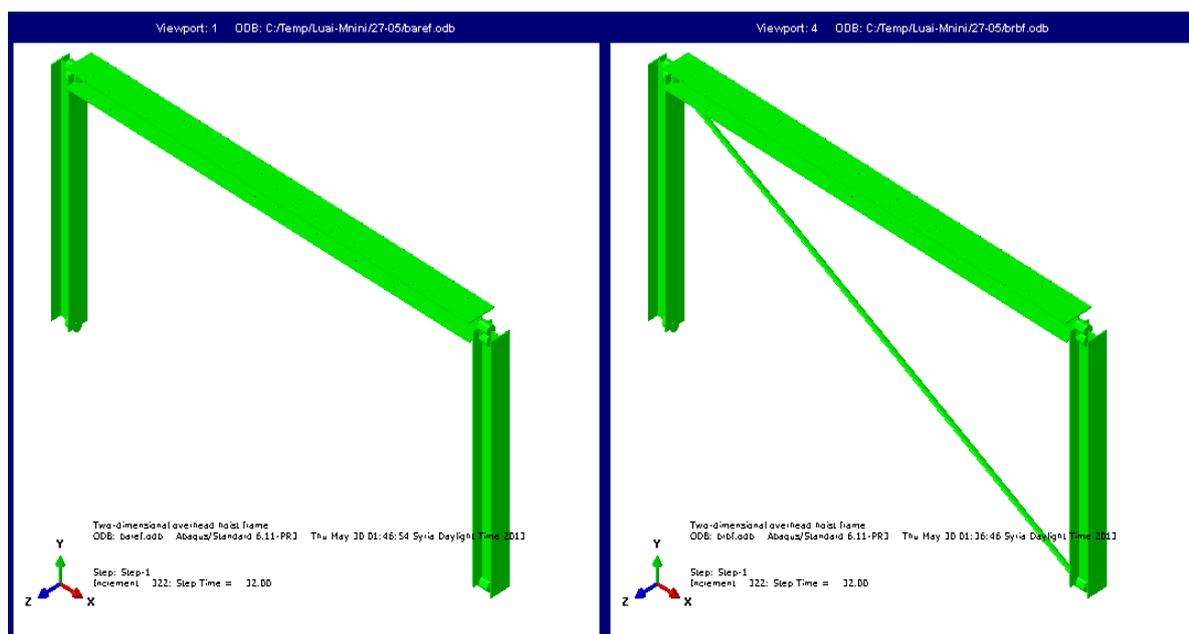
الشكل (3-15) : علاقة الاجهاد- التشوه لفولاذ لـ BRBF

### 3.3.3 نتائج المعايرة : Calibration Results

يوضح الشكل (3-16) النموذج التحليلي للعنصر المدروس وذلك باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11)

وباستخدام طريقة الـ ABAQUS Input File Scripting حيث تم دراسة كل موديل على حدا مع المحافظة على نفس المواصفات وشروط الاستناد ونفس الحمولات المطبقة وهذا يساعد على دراسة أثر إضافة عنصر الـ BRB الى الاطار التقليدي BARE Frame ودوره في تخميد الطاقة و تخفيف الانتقالات الجانبية ودراسة سلوكه تحت تأثير التحميل الدوري .

لذلك قمنا بإجراء مقارنة بين الاطارين المبيينين في الشكل التالي من عدة جوانب للوصول الى فهم عميق لدور الـ BRB الإيجابي في دراسة المنشآت المعدنية تحت تأثير التحميل الدوري ثم الزلزالي .



الشكل (3-16) : النموذج التحليلي للإطارين المدروسين باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11)

• مقارنة بين سلوك الاطارين من حيث الانتقالات الجانبية مع الزمن: Displacement –Time Curve

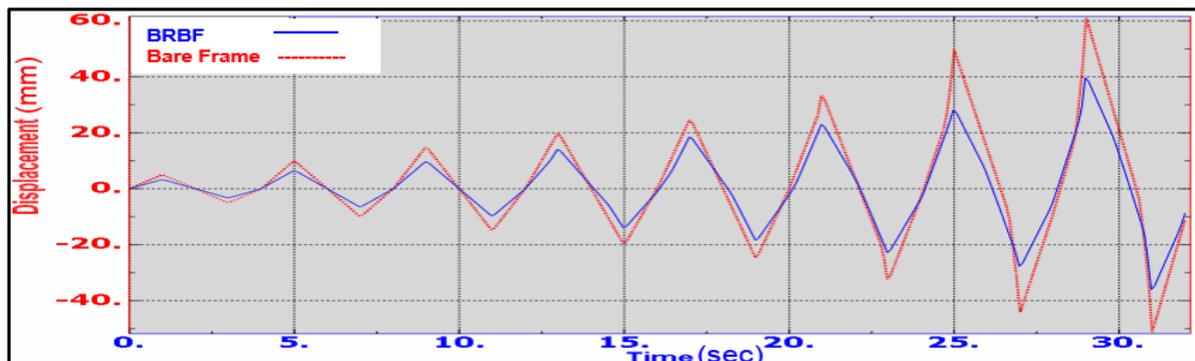
يبين الشكل (3-17) مقارنة بين الـ Bare Frame والـ BRBF من حيث الانتقال الجانبي عند أعلى الاطار الفولاذي على طول زمن التحليل (32sec) حيث يظهر من بداية التحليل لنهايته أنه في كل لحظة زمنية من التحليل يكون الانتقال الجانبي عند أعلى الاطار في الـ BRBF أقل من حالة الاطار التقليدي Bare Frame حيث أن القيمة العظمى للانتقال الجانبي في حالة الـ BRBF أخذت القيمة التالية :

$$(\text{Max Disp})_{\text{BRBF}} = 61.081 \text{ mm}$$

وأما في حالة الاطار التقليدي Bare frame :

$$(\text{Max Disp})_{\text{B-Frame}} = 39.678 \text{ mm}$$

ويظهر هذا الفرق الواضح جليا من خلال الشكل (3-17) حيث ان المنحني الأزرق تابع لمنحني الـ BRBF بينما يأخذ منحني الـ Bare Frame اللون الأحمر المنقط.



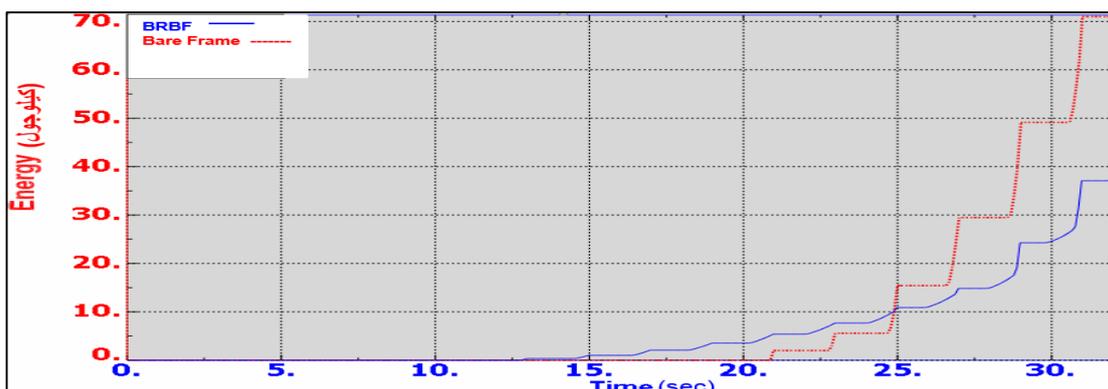
الشكل (3-17) : مقارنة بين الانتقال الجانبي للنموذجين باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11)

مما سبق نستنتج أن الـ BRB له دور في تخميد الطاقة وسوف نتطرق الى ذلك فيما بعد.

- مقارنة بين سلوك الإطارين من حيث الطاقة المخمدة مع الزمن:

#### Dissipating Energy –Time Curve

تمت المقارنة بين الاطارين المدروسين من حيث الطاقة المخمدة مع الزمن , ويمكن ملاحظة ذلك على الشكل (3-18) حيث أنه في الثواني الأولى من التحليل (مرحلة المرونة) يكون تخميد الطاقة شبه معدوم وعندما تبدأ مرحلة اللدونة تكون الطاقة المخمدة في الـ BRBF أكبر منها في الـ Bare Frame وتزداد تدريجياً الى أن تصبح الطاقة المخمدة اللدونية في الاطار التقليدي أكبر منها في الاطار المزود بعنصر تريبط ممنوع من التحنيب , وهذا منطقي لأنه في الاطار التقليدي يتم تخميد الطاقة على شكل مفاصل لدنة في الجوائز أو الأعمدة.

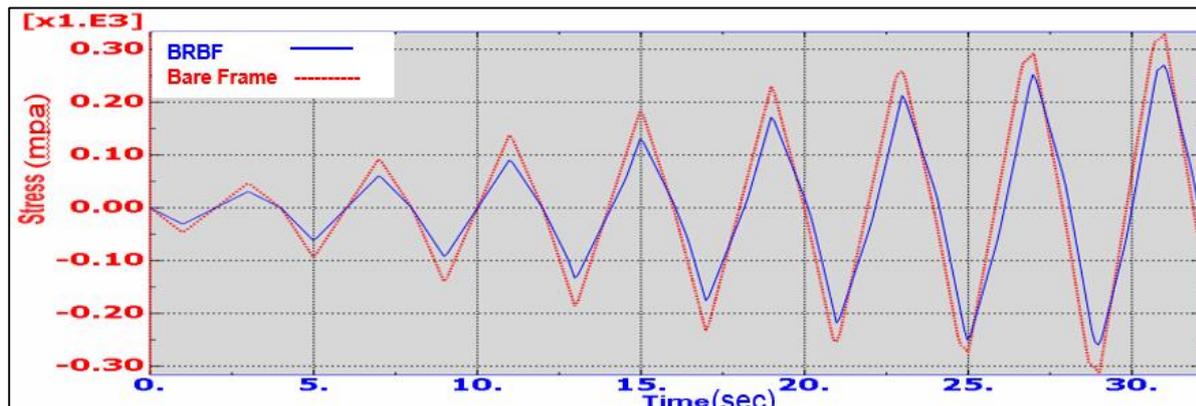


الشكل (3-18) : مقارنة بين الطاقة المخمدة للنموذجين باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11)

- مقارنة بين سلوك الإطارين من حيث الاجهادات مع الزمن:

يبين الشكل (3-19) مقارنة بين الاطارين من حيث الاجهادات الحاصلة خلال زمن التحميل حيث تأخذ الاجهادات قيماً أعظم في الاطار التقليدي منها في الاطار المزود بعنصر تريبط ممنوع من التحنيب

BRBF



الشكل (3-19) : مقارنة بين الاجهاد للنموذجين باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11)

وتبلغ الاجهادات قيمتها العظمى بالاطار التقليدي Bare Frame في أسفل العمود كما هو واضح في الشكل (3-20) حيث تبلغ قيمة الاجهاد الأعظمي في الاطار التقليدي Bare Frame :

$$(\sigma \max)_{\text{Bare Frame}} = 331 \text{ Mpa} > F_{yf} = 250 \text{ Mpa}$$

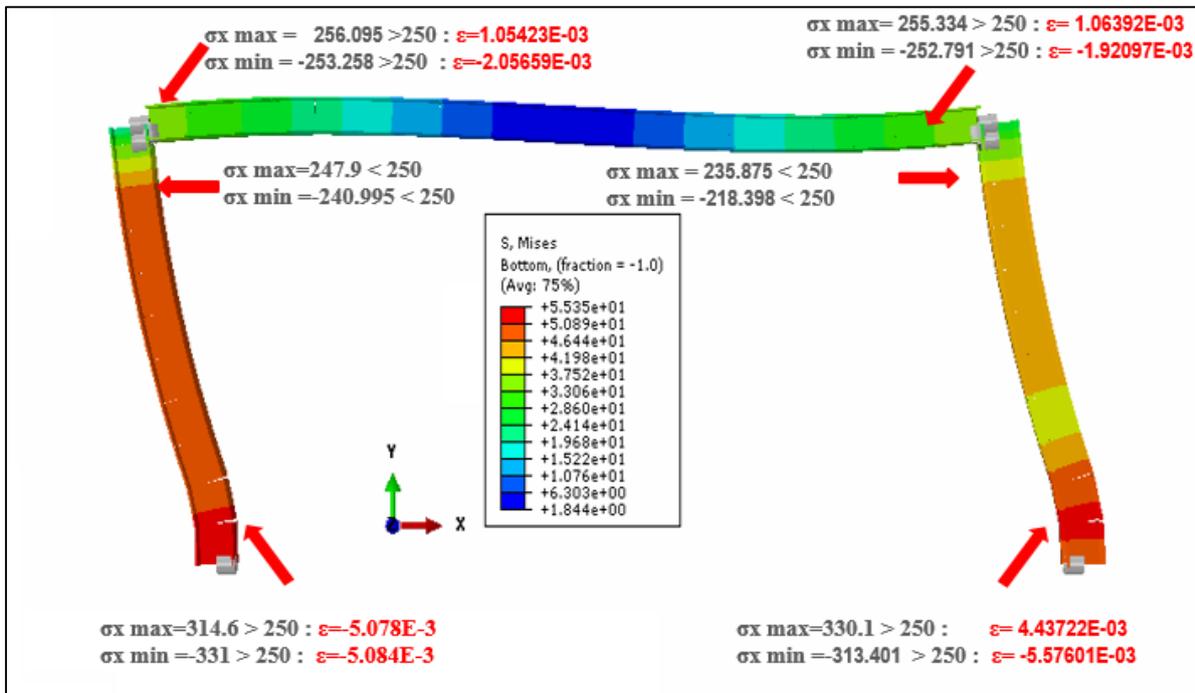
أي أن فولاذ الاطار في هذه الحالة قد تجاوز حد الخضوع ووصل لمرحلة اللدونة .

أما الاطار المزود بعنصر تربيط ممنوع من التحنيب BRBF فقد بلغت قيمة الاجهاد الأعظمي فيه :

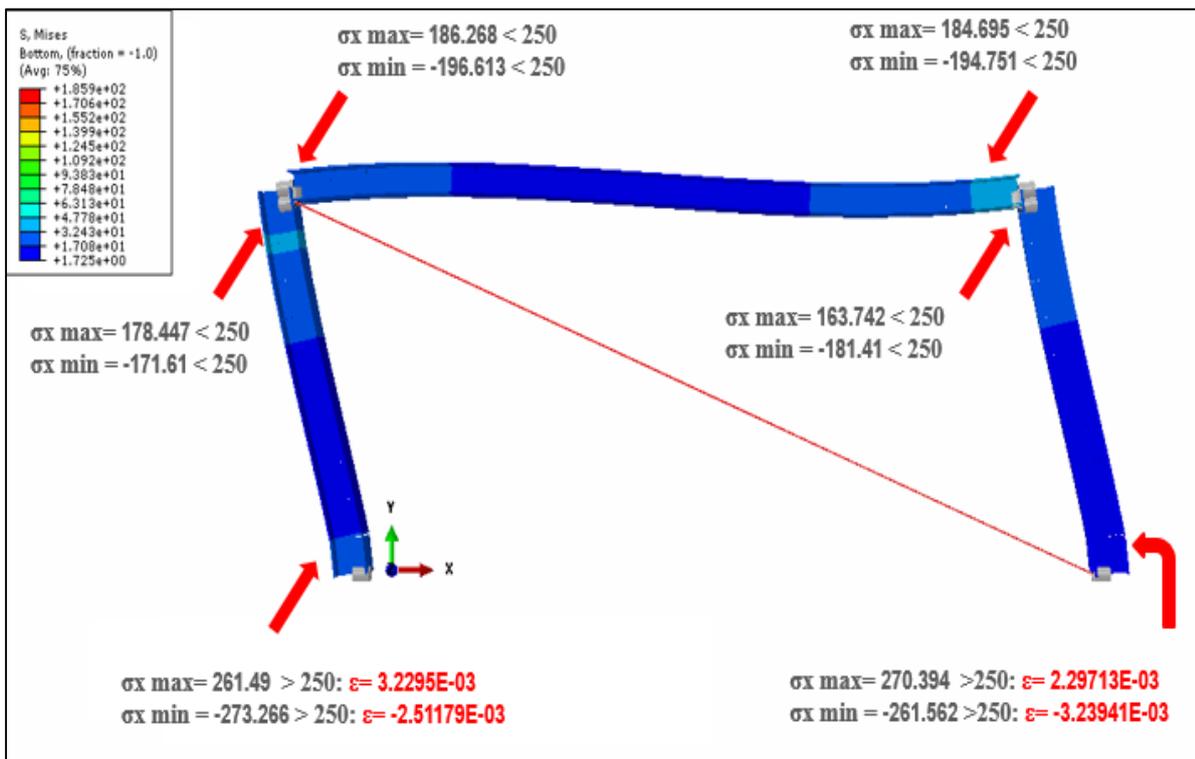
$$(\sigma \max)_{\text{BRBF}} = 270.4 \text{ Mpa} > F_{yf} = 234 \text{ Mpa}$$

ونلاحظ أنه هنا أيضا قد وصل فولاذ التجربة لحد الدونة ونلاحظ من الشكلين (3-20) , (3-21) الفرق الواضح بالاجهادات بين الاطارين وهذا ما يبرز دور الـ BRB في تخفيض قيم الاجهادات في الاطار حيث يسهم عنصر الـ BRB في امتصاص قسم من الطاقة و بالتالي تزداد الاجهادات فيه تدريجيا مع نقصانها في باقي عناصر الاطار .

يبين الشكلان (3-20) , (3-21) قيم الاجهادات في الاطارين في مناطق مختلفة مع ابراز لقيمة التشوهات عند ظهورها



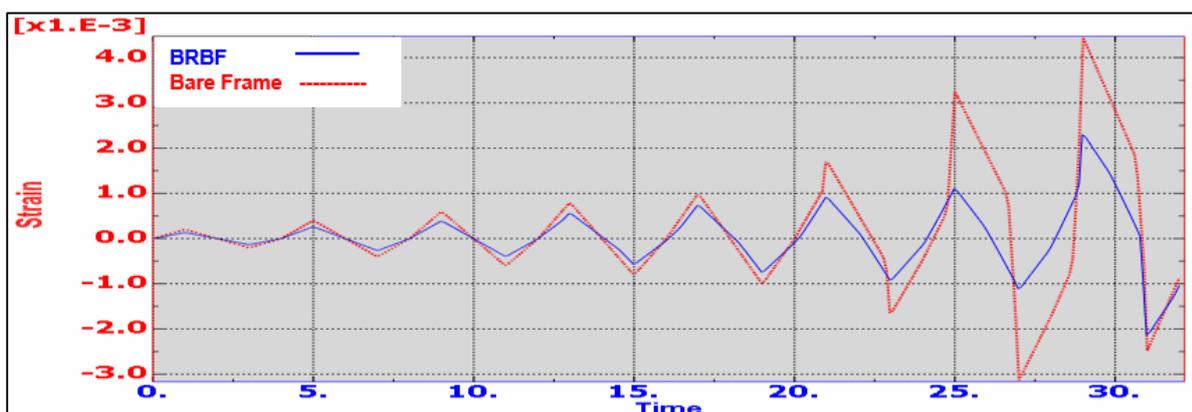
الشكل (3-20) : خطوط كونتور الاجهادات للـ Bare Frame باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11)



الشكل (3-21) : خطوط كونتور الاجهادات للـ BRBF باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11)

• مقارنة بين سلوك الإطارين من حيث التشوهات النسبية مع الزمن: **Strain –Time Curve**

عندما تزداد الاجهادات في الاطار المعدني لتتجاوز حد الخضوع كما وجدنا سابقا فان التشوهات النسبية تبدأ بالظهور وتزداد تدريجيا الى أن يتشكل المفصل اللدن Plastic Hinge ونلاحظ أن هذه التشوهات تأخذ قيما أعلى في الاطار غير المزود بعنصر تربيط جانبي ممنوع من التحنيب كما هو واضح في الشكل (22-3). وهذا ما يبرز الدور الإيجابي للـ BRB في تخفيض قيم التشوهات .



الشكل (22-3) : مقارنة بين التشوه النسبي للنموذجين باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11)

ان القيمة العظمى للتشوهات النسبية في الاطار التقليدي Bare Frame تبلغ :

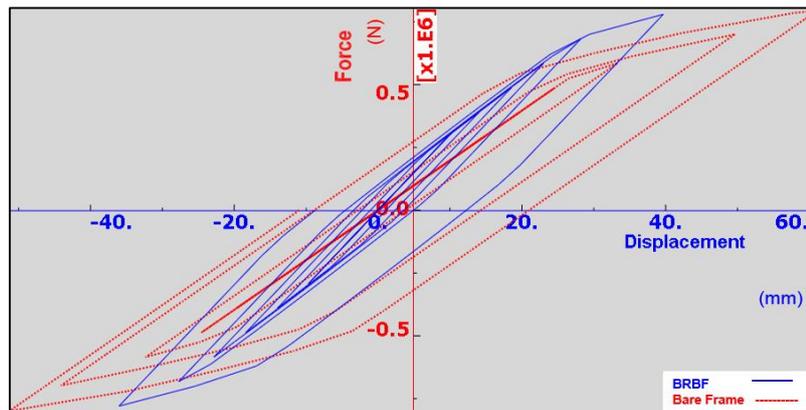
$$(\varepsilon \max)_{\text{Bare Frame}} = 0.00443$$

بينما تكون القيمة العظمى للتشوهات النسبية في الاطار المربط BRBF:

$$(\varepsilon \max)_{\text{BRBF}} = 0.002971$$

• مقارنة بين سلوك الاطارين من حيث منحنى الحلقات الهستيريرية : **Hysteresis loops Curve**

من أهم المعايير المستخدمة لتقييم السلوك الزلزالي في الهندسة الانشائية الزلزالية هو منحنى الحلقات الهستيريرية Hysteresis Loops Curve حيث نلاحظ من خلال الشكل (23-3) أن هناك فرق واضح بين المنحنيين حيث تميل هذه الحلقات في الاطار المزود بعنصر تربيط ممنوع من التحنيب BRBF - باللون الأزرق - الى تماثل أكبر من منحنى الحلقات الهستيريرية التابعة للاطار العادي Bare Frame - باللون الأحمر - وهذا مقياس عن انخفاض الانتقالات الجانبية بشكل واضح مع تطبيق نفس القوى عند تزويد الاطار المعدني بعنصر الـ BRB .



الشكل (3-23): مقارنة السلوك الهيسيري للنموذجين باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11)

يمكن تلخيص ما سبق من خلال الجدول التالي :

الجدول (3-2): ملخص نتائج مقارنة الـ Bare Frame مع الـ BRBF

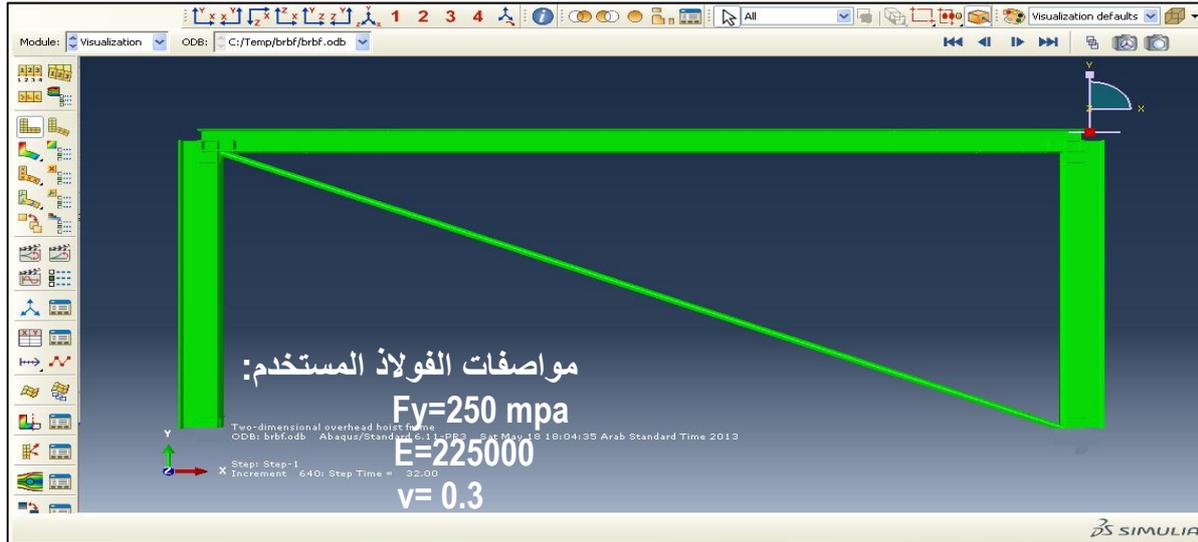
العنصر	الإطار العادي (BARE WITHOUT BRB)			الإطار المزود بـ BRB (BRBF)		
	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}$ (%)	$\epsilon_{max} / \epsilon_y$	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}$ (%)	$\epsilon_{max} / \epsilon_y$
جائز	256.095	0.001054	0.958	186.268	0.000828	0.75
عمود	331	0.00443	4.027	270.4	0.002971	2.7

نلاحظ من الجدول السابق أن الجائز والأعمدة في الأطار التقليدي وصلت لمرحلة الخضوع , أما في الأطار المزود بعنصر تربيط ممنوع من التحنيب فتجاوز العمود مرحلة الخضوع والجائز لم يتجاوز مرحلة الخضوع .

### 4.3 دراسة أثر تغيير مساحة الـ Steel Core على سلوك الأطار:

#### Changing Steel Core Parameter Influence on BRBF Behavior

تم في هذه المرحلة استخدام ذات الأطار المعدني BRBF ومع المحافظة على كافة مواصفات الفولاذ المستخدم ونفس الشروط المحيطة للأطار السابق ولكن تم تغيير بارامتر وحيد ألا وهو مساحة النواة الفولاذية Steel Core Area وهذا للوصول الى معرفة المساحة المثلى للـ BRB والتي بدورها يمكننا من تحسين السلوك الزلزالي للأطار المدروس .



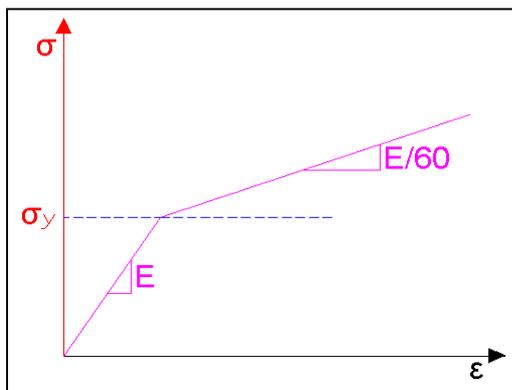
الشكل (3-24): النموذج التحليلي للإطار باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11)

تم تغيير مساحة الـ Steel Core من  $400\text{mm}^2$  الى  $600\text{mm}^2$  بتزايد  $50\text{mm}^2$  كما هو موضح بالجدول التالي :

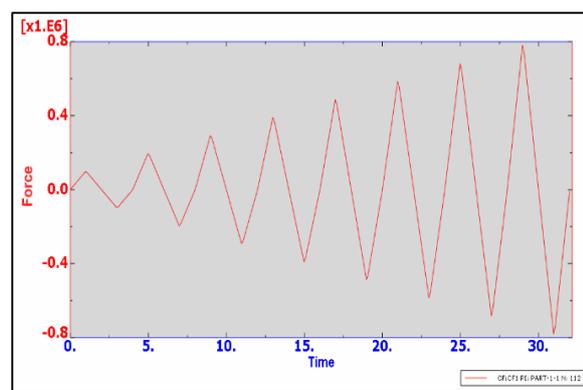
الجدول (3-3) : مساحات النواة الفولاذية المستخدمة في التحليل

النموذج	brbf400	brbf450	brbf500	brbf550	brbf600
مساحة النواة ( $\text{mm}^2$ )	400	450	500	550	600

تم إجراء التحليل باستخدام برنامج ABAQUS 6.11 باستخدام بروتوكول التحميل المبين بالشكل (3-25) مع الحفاظ على ذات علاقة الاجهاد - التشوه للأعمدة والجوائز كما هو مبين في الشكل (3-26) مع المحافظة على ذات نوع الفولاذ المستخدم من حيث اجهاد الخضوع , عامل بواسون , معامل يونغ , الخ , وتم فقط تغيير مساحة النواة الفولاذية .



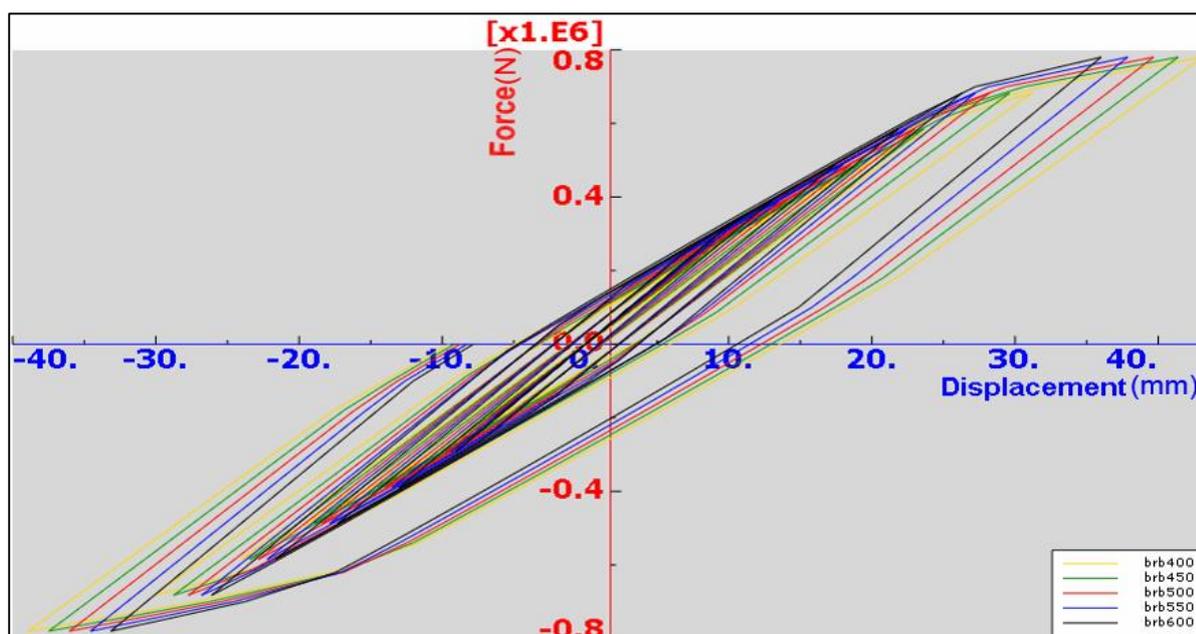
الشكل (3-26) : علاقة الاجهاد - التشوه (Wang and Shi , 2012)



الشكل (3-25): بروتوكول التحميل المستخدم (Wang and Shi , 2012)

**Analysis Results****1.4.3 نتائج التحليل :****Hysteresis Loops Curve****• منحنى الحلقات الهيسيرية :**

يبين الشكل (3-27) منحنى الحلقات الهيسيرية للمساحات الخمسة المختلفة للـ BRB حيث نلاحظ أن زيادة مساحة الـ BRB تساهم في زيادة تماثل وتقارب الحلقات الهيسيرية حيث نلاحظ أن BRB<sub>600</sub> هو الأكثر تقاربا وتأخذ هذه الحلقات بالتباعد بزيادة المساحة كما نرى في الشكل إلى أن نصل إلى الـ BRB الذي مساحة نواته الفولاذية هي الأقل ألا وهو BRB<sub>400</sub> ولكن هذه الزيادة على الرغم من دورها الإيجابي إلا أنها تكون على حساب التكلفة لذلك فإن هناك عوامل كثيرة تلعب دورا في اختيار الـ BRB الأمثل كما سنرى لاحقا .



الشكل (3-27) : منحنى الحلقات الهيسيرية للنماذج الخمسة للـ BRB مع تغيير مساحة الـ Steel Core باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11)

**Maximum Displacement****• الانتقالات الأعظمية :**

يوضح الجدول (3-4) الانتقال الأعظمي للإطار المزود بعنصر تربيط ممنوع من التحنيب BRBF وذلك من أجل المساحات الخمس المختلفة للـ BRB ويظهر جليا دور زيادة مساحة النواة الفولاذية (Steel Core) لعنصر التربيط BRB في تخفيف الانتقالات الجانبية للإطار الفولاذي .

الجدول (3-4): الانتقالات الأعظمية للـ BRBF من أجل مساحات النواة الفولاذية المختلفة

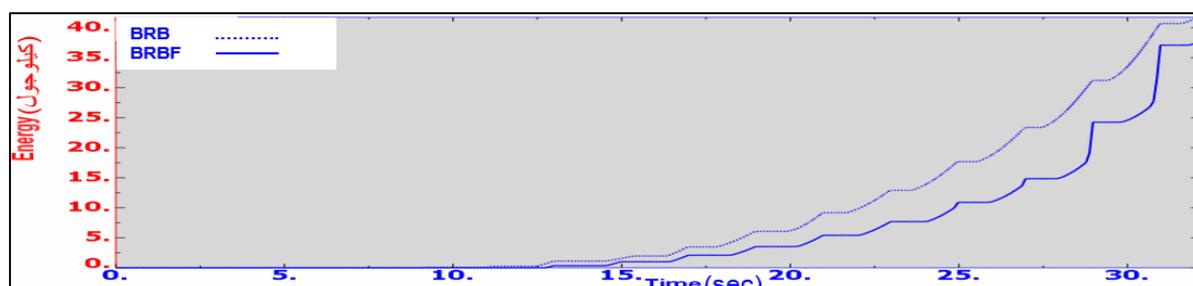
الانتقال الأعظمي					
العنصر	BRBF <sub>400</sub>	BRBF <sub>450</sub>	BRBF <sub>500</sub>	BRBF <sub>550</sub>	BRBF <sub>600</sub>
الانتقال (ملم)	43.0806	41.3909	39.6775	37.8698	36.0229

• مساهمة الـ BRB في تخميد الطاقة:

### BRB Participation in Dissipating the Energy

ان معرفة مدى مساهمة الـ BRB في تخميد الطاقة ضمن الاطار المدروس يمكننا من تكوين فكرة جيدة حول مدى فاعلية استخدام عنصر التبريط المدروس حيث من المهم معرفة أن هذا العنصر له الدور الأكبر في تخميد الطاقة ضمن الاطار الفولاذي والا فيجب استبداله بتبريط تقليدي أو دراسة إمكانية الاستغناء عنه ان لم يكن دور في مقاومة الحمولات الجانبية سواء كانت دورية أو زلزالية .

يبين الشكل (3-28) دور الـ BRBF<sub>500</sub> ضمن الاطار في تخميد الطاقة فنجد أن مساهمته القصوى تبلغ 78.5% والطاقة المتبقية يتم امتصاصها عن طريق الجوائز والأعمدة على شكل مفاصل لدنة أو تشوهات نسبية صغيرة



الشكل (3-28): مقارنة الطاقة التلندية للنموذج BRBF<sub>500</sub> باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11)

ويظهر من الجدول (3-5) أن النوع BRBF<sub>600</sub> هو الأكثر مساهمة في تخميد الطاقة وهذا ما كنا نتوقعه وتنقص نسبة مساهمة الـ BRB في تخميد الطاقة بنقصان مساحة النواة الفولاذية .

الجدول (3-5) : نسبة مساهمة الإطارات المختلفة في تخميد الطاقة

نسبة مساهمة الـ BRB في تخميد الطاقة					
العنصر	BRBF <sub>400</sub>	BRBF <sub>450</sub>	BRBF <sub>500</sub>	BRBF <sub>550</sub>	BRBF <sub>600</sub>
نسبة تخميد الـ BRB	78,5%	94,2%	111,1%	129%	149%

### 5.3 تحليل مبنى إطاري معدني 2D مؤلف من 16 طابق مزودة بعناصر تريبط من نوع BRB:

#### Analysis of 16 Stories 2D Steel Building

#### Model Description

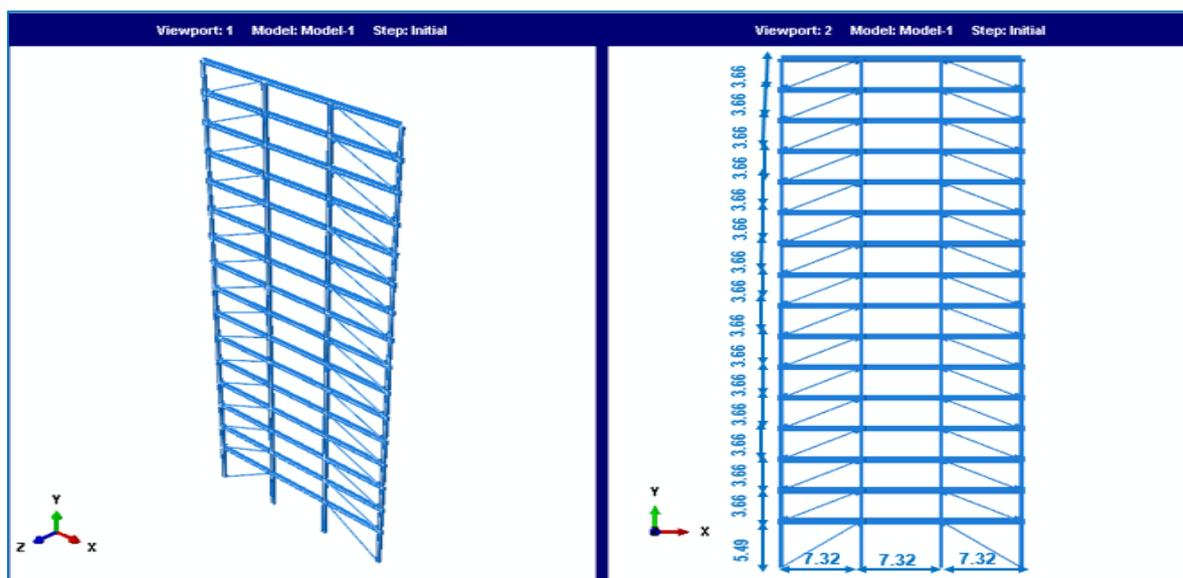
#### 1.5.3 توصيف نموذج العينة المدروس :

ان النموذج المدروس عبارة عن مبنى معدني 2D مؤلف من 16 طابق مزود بعناصر تريبط جانبية من نوع BRB بشكل متناظر كما هو مبين بالشكل (3-29). يتألف المبنى المعدني من اطار معدني بثلاث فتحات مجاز الفتحة الواحدة 7.32m , ارتفاع الطابق الأرضي 5.49m وارتفاع الطابق المتكرر 3.66m وقد كانت مواصفات المقاطع المعدنية المستخدمة مبينة في الجدول التالي:

الجدول (3-6) : مواصفات المقاطع المعدنية المستخدمة في المنشأة المعدنية

المقاطع المستخدمة			
الجوائز	الأعمدة		الطابق
	الأعمدة الداخلية	الأعمدة الخارجية	
W27x114	W14x233	W14x176	GF-1-2-3
W27x102	W14x193	W14x120	4-5-6-7
W27x94	W14x120	W14x74	9-10-11-12
W27x84	W14x109	W14x68	13-14-15-16

إن استخدام عناصر التريبط الممنوعة من التحنيط BRB اقتصر على الفتحات الطرفية من دون أن نستخدم أي نوع من أنواع التريبط للفتحة الوسطية وهذا ما يظهر من خلال الشكل التالي.



الشكل (3-29): النموذج التحليلي للمنشأة المعدنية المدروسة باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11)

### 2.5.3 التحليل الإنشائي باستخدام نظرية العناصر المحدودة :

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

### 1.2.5.3 العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج (6.11) ABAQUS :

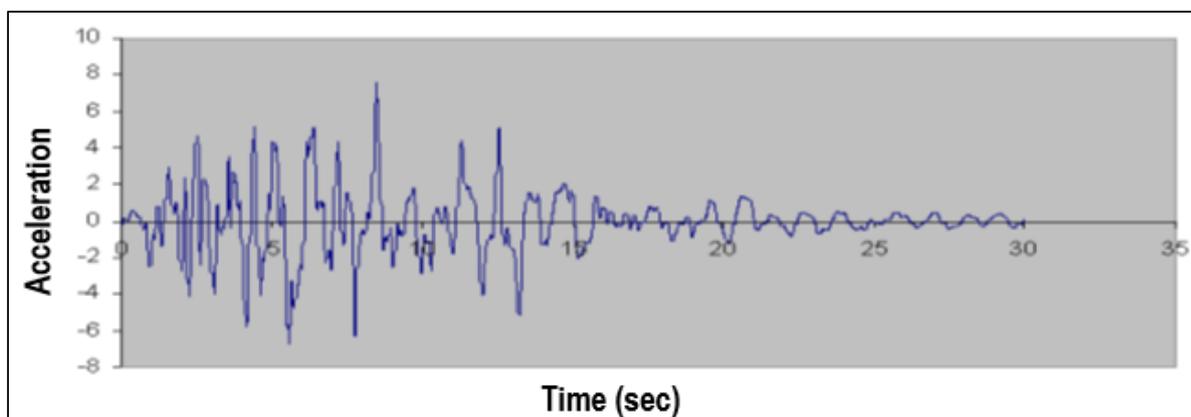
#### Elements Used in the Model using ABAQUS (6.11)

تم استخدام العنصر T2D2 لنمذجة الـ BRB, أما الجوائز والأعمدة فقد تم استخدام العنصر من نوع B21 في نمذجتها على برنامج ABAQUS 6.11

### 2.2.5.3 الأحمال المطبقة على النموذج :

#### Applied Load to The Model

تم تطبيق حمولة زلزالية (Seismic Load) عن طريق تعريض المبنى لزلزال KOBÉ1995 حيث تم استخدام بروتوكول التحميل الخاص بهذا الزلزال كما نرى في الشكل (3-30) وذلك خلال زمن تحليل 30sec



الشكل (3-30) : بروتوكول التحميل المستخدم (KOBÉ1995) للنموذج المدروس

### 3.2.5.3 نوع التحليل المستخدم في النموذج :

#### Type of Used Analysis

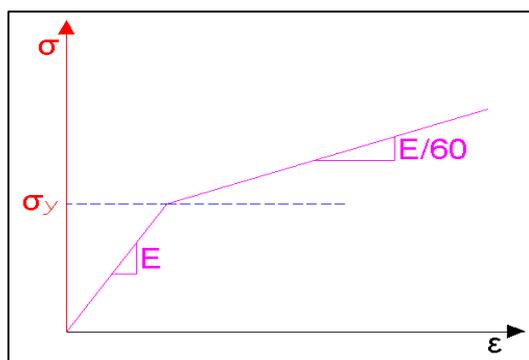
تم اعتماد تحليل لا خطي يأخذ بعين الاعتبار لا خطية المادة (MNA) وقد تم الاعتماد على لغة البرمجة Python في البرمجة والـ Scripting وذلك بسبب الحجم الهائل من المعطيات والنتائج وبسبب قيامنا بعدد كبير من التحليلات كما سنرى في فقرات قادمة .

### 4.2.5.3 توصيف المواد المستخدمة في النمذجة :

#### Material Used in Modeling

تم نمذجة المبنى المدروس باستخدام برنامج (ABAQUS 6.11) واعتمادا على لغة البرمجة PYTHON وفق الأبعاد ومواصفات المقاطع الهندسية الميينة سابقا , أما فيما يتعلق بمساحة الـ BRB المستخدم فتم تثبيت جميع المواصفات والأبعاد والشروط المحيطة كافة وتم تغيير بارامتر مساحة النواة الفولاذية Steel

Core Area , وذلك من أجل الوصول الى المساحة المثلى لمساحة الـ BRB المفروض استخدامه .  
أخذت خواص الليونة للجوائز و الأعمدة ولا BRB كما يلي:  
عامل بواسون (Poisson) 0.3 , معامل يونغ (Young Modulus) 205000 Mpa , الوزن الحجمي للحديد:  
Steel Density = 78000000 N/mm<sup>3</sup>  
وأما خواص اللدونة فقد تم ادخال البارامترات التالية في برنامج (ABAQUS 6.11):  
اجهاد الخضوع للـ BRB  $F_{yB} = 350$  Mpa أما اجهاد الخضوع لفولاذ الأعمدة والجوائز  $F_{yI} = 250$  Mpa  
وتأخذ علاقة الاجهاد - التشوه الشكل التالي:



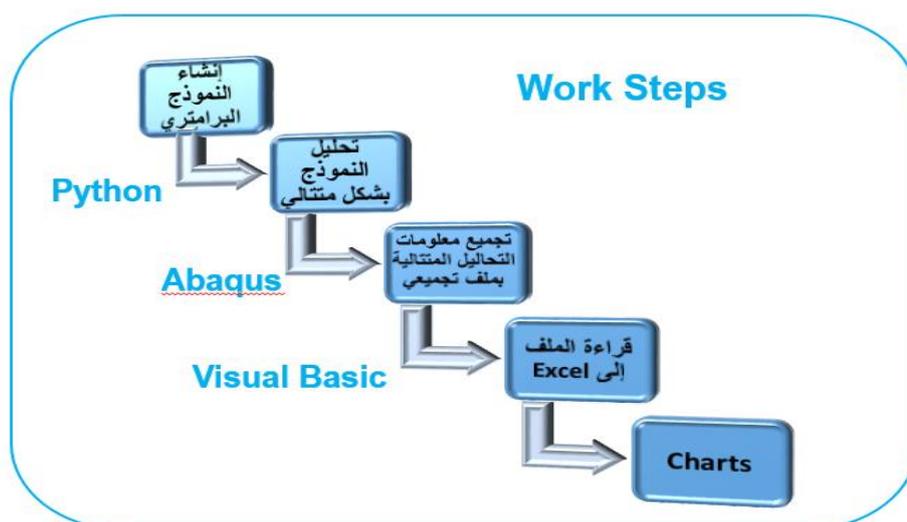
الشكل (31-3) : علاقة الاجهاد- التشوه لفولاذ المنشأة المعدنية المدروسة

باستخدام PYTHON Scripting تم تغيير مساحة الـ Steel Core من 50mm<sup>2</sup> الى 10000mm<sup>2</sup> بتزايد 50mm<sup>2</sup> للتحليل الواحد وكان الزمن اللازم ساعة للتحليل الواحد بما يعادل 200 ساعة لإنجاز 200 تحليل مطلوب وهذا ما تم ايضاحه في الشكل (32-3) .

رقم التحليل	Brace Area(mm <sup>2</sup> )	Bracing Configuration
1	50	
2	100	
3	150	
4	200	
5	250	
6	300	
7	350	
.	.	
.	.	
.	.	
.	.	
200	10000	

الشكل (32-3) : نموذج يبين عدد حالات التحميل وقيمها

وهذه واحدة من الأسباب التي دفعت الى استخدام لغة البرمجة PYTHON لأن عدد التحاليل الكبيرة التي وصلت هنا الى 200 تحليل وتم اللجوء أيضا الى لغة البرمجة Visual Basic من أجل استخلاص الكم الهائل من النتائج والمخرجات (Data Analysis) التي حصلنا عليها من التحاليل والمجمعة في ملف نصي من نوع Text Document ونقلها الى ملف Excel ويمكن تلخيص عملية الدراسة التحليلية لهذه المنشأة الفولاذية كما يلي:



الشكل (3-3) : خوارزمية العمل اللازمة لتحليل واستخلاص النتائج للنموذج المدروس

يبين الشكل (3-34) جانبا من البرمجة باستخدام PYTHON Scripting :

```

if BraceArea != 0.0:
    myAssem.Set(name='Braces-set',elements=
        Myinstance.elements[1:2]+Myinstance.elements[27:28]+Myinstance.elements[42:43]+Myinstance.elements[88:89]+\
        Myinstance.elements[106:107]+Myinstance.elements[117:118]+Myinstance.elements[166:167]+Myinstance.elements[260:261]+\
        Myinstance.elements[280:281]+Myinstance.elements[316:317]+Myinstance.elements[372:373]+Myinstance.elements[394:395]+\
        Myinstance.elements[405:406]+Myinstance.elements[460:461]+Myinstance.elements[471:472]+Myinstance.elements[511:512]+\
        Myinstance.elements[522:523]+Myinstance.elements[575:576]+Myinstance.elements[591:592]+Myinstance.elements[671:672]+\
        Myinstance.elements[759:760]+Myinstance.elements[771:772]+Myinstance.elements[836:837]+Myinstance.elements[857:858]+\
        Myinstance.elements[862:863]+Myinstance.elements[867:868]+Myinstance.elements[885:886]+Myinstance.elements[907:908]+\
        Myinstance.elements[910:911]+Myinstance.elements[931:932]+Myinstance.elements[956:957]+Myinstance.elements[961:962])
    regionDef = myAssem.sets['Braces-set']
    mdb.models['Model-1'].HistoryOutputRequest(name='HisOutput3',
        createStepName='Step-1', variables=('E11','PEEQ','EPDDEEN'), region=regionDef,
        sectionPoints=DEFAULT, rebar=EXCLUDE,frequency=1)
    #####
for i in range(2):
    mdb.models['Model-1'].sections['Brace-sec'].setValues(area=BraceArea, material='Steel')
    #####
    mdb.Job(atTime=None, contactPrint=OFF, description='', echoPrint=OFF,
        explicitPrecision=SINGLE, getMemoryFromAnalysis=True, historyPrint=OFF,
        memory=50, memoryUnits=PERCENTAGE, model='Model-1', modelPrint=OFF,
        multiprocessingMode=DEFAULT, name='Job-1', nodalOutputPrecision=SINGLE,
        numCpus=1, queue=None, scratch='', type=ANALYSIS, userSubroutine='',
        waitHours=0, waitMinutes=0)

    mdb.jobs['Job-1'].submit(consistencyChecking=OFF)
    mdb.jobs['Job-1'].waitForCompletion()
    #####
    
```

الشكل (3-34) : نموذج من البرمجة المستخدمة باستخدام لغة البرمجة PYTHON

وبين الشكل (3-35) جانب من البرمجة المتبعة لاستخلاص النتائج وتحويلها الى ملف Excel وذلك باستخدام لغة البرمجة Visual Basic.

```

Sub readfrom()
Dim myfile As String, text As String, textline As String, positi As Integer
Close #1
myfile = "C:\temp\21-3\max epdden.txt"
Open myfile For Input As #1
i = 2
Do Until EOF(1)
Line Input #1, textline
positi = InStr(textline, "BraceAreaX=")
If positi <> 0 Then
i = i + 1
Fsums11 = 0#
Fmaxs11 = 0#
Fsumpeq = 0#
Bsume11 = 0#
Fmaxe11 = 0#
BsumEPD = 0#
Bsumpeq = 0#
Cells(i, 2).Value = Mid(textline, positi + 14, 6)
End If
positi = InStr(textline, "Maximum Shear at baseR")
If positi <> 0 Then Cells(i, 3).Value = Mid(textline, positi + 25, 12)
positi = InStr(textline, "Maximum Shear at baseL")
If positi <> 0 Then Cells(i, 4).Value = Mid(textline, positi + 25, 12)
positi = InStr(textline, "H Disp. at Top,Re,Base")
If positi <> 0 Then Cells(i, 5).Value = Mid(textline, positi + 25, 12)
positi = InStr(textline, "H Disp. at 1stF Relat.")
If positi <> 0 Then Cells(i, 6).Value = Mid(textline, positi + 25, 12)
positi = InStr(textline, "H Disp. at 2ndF Relat.")
If positi <> 0 Then Cells(i, 7).Value = Mid(textline, positi + 25, 12)
positi = InStr(textline, "H Disp. at 3rdF Relat.")
If positi <> 0 Then Cells(i, 8).Value = Mid(textline, positi + 25, 12)
positi = InStr(textline, "H Disp. at 4thF Relat.")
If positi <> 0 Then Cells(i, 9).Value = Mid(textline, positi + 25, 12)
positi = InStr(textline, "H Disp. at 5thF Relat.")
If positi <> 0 Then Cells(i, 10).Value = Mid(textline, positi + 25, 12)

```

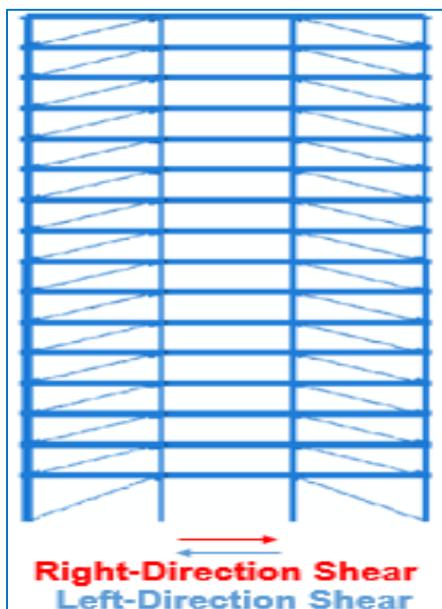
الشكل (3-35) : نموذج من البرمجة المستخدمة باستخدام لغة البرمجة Visual Basic

### Analysis Results

### 3.5.3 نتائج التحليل :

#### Maximum Shear

#### • القص القاعدي الأعظمي :



الشكل (3-36) : اتجاه القص القاعدي

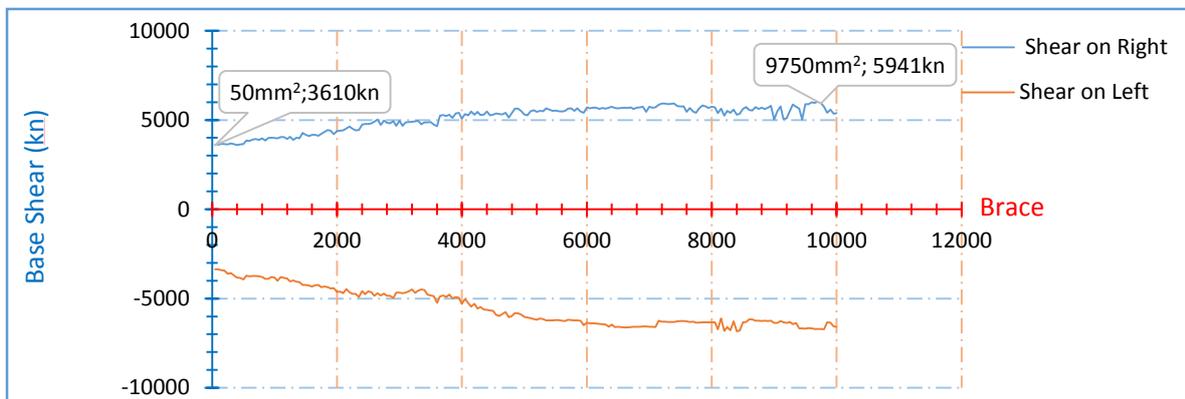
يبين الشكل (3-36) اتجاه القص القاعدي للنموذج المدروس حيث نميز بين Right-Direction Shear و Left Direction Shear وهما متعاكسان بالاتجاه ولكن ليس من الضروري أن يكونا متساويين بالقيمة كما سنرى. ولكن المهم اعتماد القيمة المطلقة بغض النظر عن اتجاهه لكي نصل الى التصميم الأمثل للـ BRB.

يبين الشكل (3-37) منحنى القص القاعدي بشقيه الأيمن والأيسر ويظهر من الشكل أن أكبر قيمة يأخذها القص القاعدي:

$$\text{MAX Shear} = 5941 \text{ Kn} : \text{Brace Area} = 9750 \text{ mm}^2$$

وأقل قيمة يأخذها القص القاعدي كانت :

$$\text{MIN Shear} = 3610 \text{ Kn} : \text{Brace Area} = 50 \text{ mm}^2$$



الشكل (3-37) : منحنى القص القاعدي الأعظمي بالنسبة لمساحة الـ BRB

يمكن من خلال المنحنى السابق استخلاص الجدول التالي الذي يعطي قيم وسطية للقص القاعدي الأعظمي بالنسبة لمساحة الـ BRB.

الجدول (3-7) : قيم القص القاعدي الأعظمي الوسطية من أجل المساحات المختلفة للـ BRB

القص القاعدي الأعظمي				
مساحة الـ BRB (mm <sup>2</sup> )	50→900	950→3600	3650→9650	9700→10000
القص الأعظمي (KN)	3755	4504	5552	5630

نلاحظ أنه كلما ازدادت مساحة النواة الفولاذية للـ BRB كلما ازدادت قيمة القص القاعدي حتى نصل لمرحلة تثبت عندها قيمة القص القاعدي تقريبا .

• طيف استجابة الانتقال الجانبي للإطار في أعلاه بدلالة مساحة النواة الفولاذية للـ BRB:

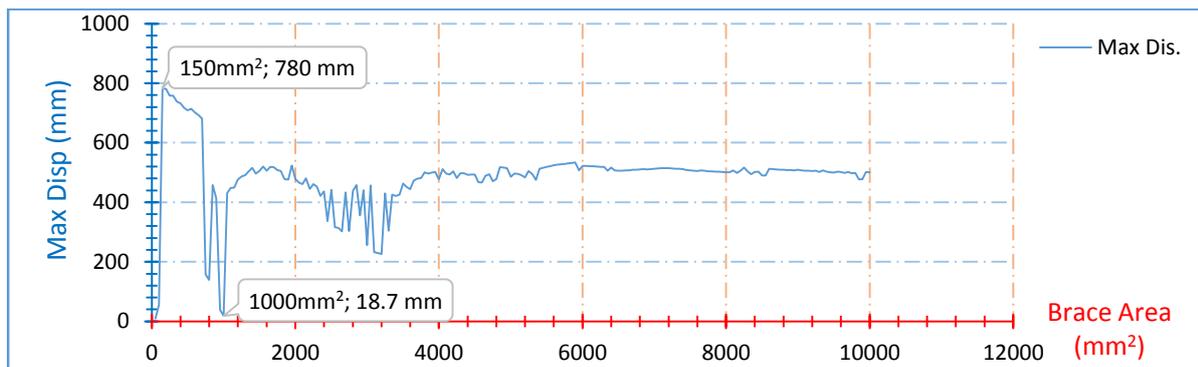
#### Displacement Response Spectrum of Steel Frame

تمثل أي نقطة من المنحنى المبين في الشكل (3-38) أعظم قيمة انتقال جانبي للإطار (حسب مساحة النواة الفولاذية) , وذلك خلال الزمن الفعال لزلزال KOBE , أي خلال 20 sec ويظهر من خلال المنحنى أن القيمة العظمى للانتقال الجانبي عند أعلى الأطار تبلغ ما يلي :

$$\text{MAX Displacement} = 780 \text{ mm} : \text{Brace Area} = 150 \text{ mm}^2$$

أما القيمة الدنيا للانتقال الجانبي فقد بلغت :

$$\text{MIN Displacement} = 18.7 \text{ mm} : \text{Brace Area} = 1000 \text{ mm}^2$$



الشكل (3-38) : منحنى الانتقال الجانبي الأعظمي للإطار في أعلاه بالنسبة لمساحة الـ BRB

**الانتقال الجانبي النسبي : Lateral Drift**

بسبب الحجم الهائل للمخرجات والبيانات التي تم الحصول عليها نتيجة 200 عملية تحليل لدايفتتصر على عرض قيم الانتقال الجانبي النسبي Lateral Drift عندما تكون مساحة النواة الفولاذية لـ BRB مساوية  $50\text{mm}^2$  و تم تلخيص قيم الانتقالات الجانبية للطوابق الستة عشر من أجل  $\text{Brace Area} = 50\text{mm}^2$  خلال الجدول التالي (3-8)

الجدول (3-8) : قيم الانتقال الجانبي النسبي من أجل  $\text{Brace Area} = 50\text{mm}^2$

الانتقال الجانبي النسبي من أجل ( $\text{Brace Area} = 50\text{mm}^2$ )																
story	1 <sup>st</sup>	2 <sup>d</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	6 <sup>th</sup>	7 <sup>th</sup>	8 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>	10 <sup>th</sup>	11 <sup>th</sup>	12 <sup>th</sup>	13 <sup>th</sup>	14 <sup>th</sup>	15 <sup>th</sup>	16 <sup>th</sup>
L.Drift [mm]	154	49	41	39.7	44	45	44.7	43.5	57.3	50.8	48	46	45.8	41.5	33	23.2

يلاحظ ظهور حادثة الطابق اللين في الطابق الأول من أجل  $\text{Brace Area} = 50\text{mm}^2$  وهذا متوقع لأن ارتفاع الطابق الأرضي أكبر من ارتفاع الطوابق المتكررة وتبدأ هذه الظاهرة بالاختفاء مع زيادة مساحة الـ BRB ويعود السبب بذلك الى زيادة الصلابة تدريجيا وهذا ما يظهر من خلال الجدول (3-9) حيث كانت مساحة النواة الفولاذية لـ BRB مساوية  $9650\text{mm}^2$

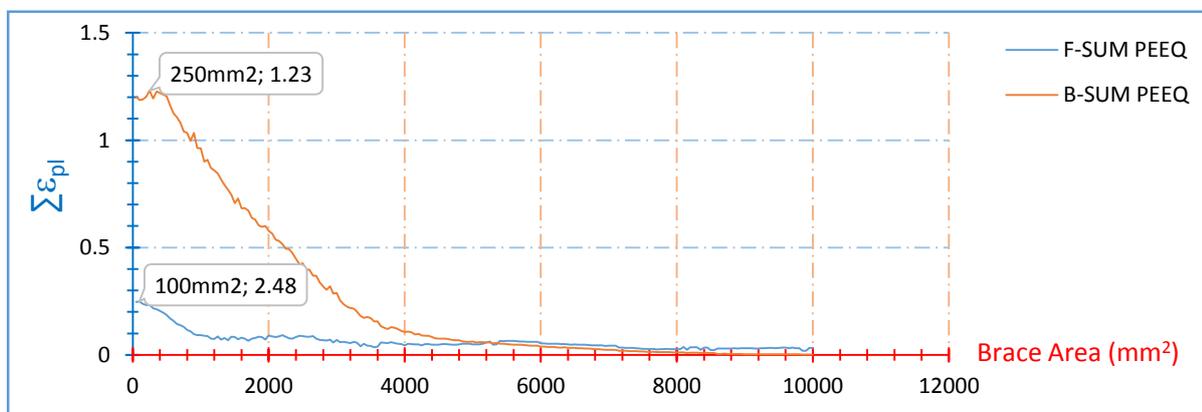
الجدول (3-9) : قيم الانتقال الجانبي النسبي من أجل  $\text{Brace Area} = 9650\text{mm}^2$

الانتقال الجانبي النسبي من أجل ( $\text{Brace Area} = 9650\text{mm}^2$ )																
story	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	6 <sup>th</sup>	7 <sup>th</sup>	8 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>	10 <sup>th</sup>	11 <sup>th</sup>	12 <sup>th</sup>	13 <sup>th</sup>	14 <sup>th</sup>	15 <sup>th</sup>	16 <sup>th</sup>
L.Drift [mm]	21.1	18.6	21.5	24	26.7	29.1	31.4	33.4	36	37.8	38.7	38.8	38.6	37	34.5	32.3

**Cumulative Plastic strain**

التشوه النسبي اللدن التراكمي ( $\sum \epsilon_{pi}$ ) :

يبين الشكل (3-39) منحنى التشوه النسبي اللدن التراكمي ( $\sum \epsilon_{pi}$ ) لكل من عناصر الاطار والتي تأخذ اللون الأزرق وعناصر الـ BRB والتي تأخذ بدورها اللون البرتقالي ويعبر عنها من خلال برنامج ABAQUS من خلال التعليلة PEEQ أو ما يطلق عليها Equivalent plastic strain



الشكل (3-39) : منحنى يبين التشوه النسبي اللدن التراكمي بالنسبة لمساحة الـ BRB

نلاحظ التباين في التشوه النسبي اللدن التراكمي بين عناصر الاطار (جوائز + أعمدة) والـ BRB حيث تكون قيمته أعلى في عنصر التريبط الممنوع من التحنيب BRB ويأخذ قيمة عظمى عند الأقطار المنخفضة للـ BRB حيث تظهر حادثة الطابق اللين وتتناقص تدريجيا .

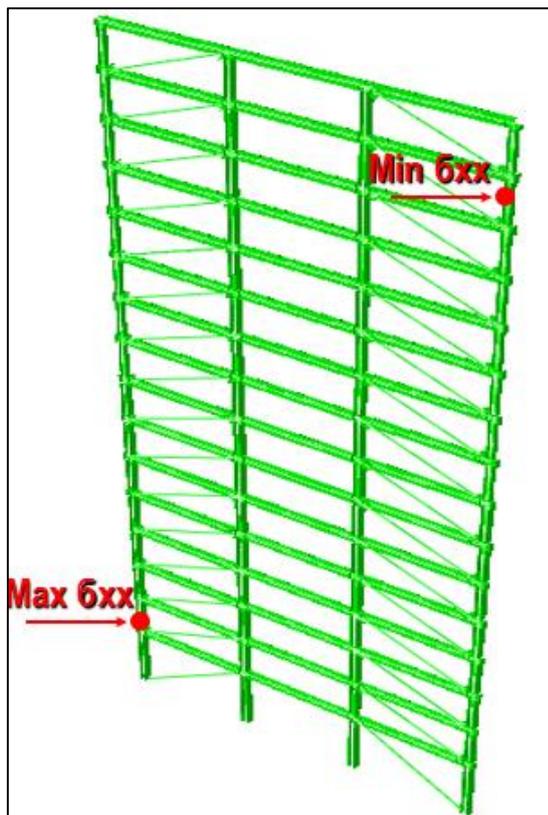
يبين الجدول (3-10) قيمة التشوه النسبي اللدن التراكمي الأعظمية لكل من عناصر الـ Frame والـ BRB كل على حدا والقيمة الموافقة ومساحة النواة الفولاذية المقابلة للـ BRB لجميع الحالات .

الجدول (3-10) : التشوه النسبي اللدن التراكمي لكل من عناصر الـ Frame والـ Braces

التشوه النسبي اللدن التراكمي ( $\sum \epsilon_{pi}$ )				
العنصر	Frame	Accompanying Brace	Brace	Accompanying Frame
MAX PEEQ	0.247987	1.18656	1.23127	0.233813
Brace Area(mm2)	100	100	250	250

• الاجهادات الناعظمية الأعظمية في عناصر الاطار ( $\text{Max } \sigma_{xx}$ ) :

Maximum Stress in Steel Frame Elements



الشكل (3-40): نموذج يبين أماكن الاجهادات الأعظمية والأصغرية

يلعب مفهوم الاجهاد الناعظمي الأعظمي دورا هاما في تحديد مساحة الـ BRB الأفضل حيث يظهر من الشكل (3-40) أن زيادة مساحة الـ BRB تسهم في تخفيض الاجهادات ولكن هذا مفهوم نسبي حيث نلاحظ أنه عندما نصل لمرحلة تكون فيها مساحة النواة الفولاذية للـ BRB مساوية  $1650\text{mm}^2$  تبدأ الاجهادات الناعظمية بالزيادة تدريجيا حتى تصل لـ

$$\text{Brace Area} = 2500\text{mm}^2$$

ثم تعود بعدها الاجهادات الناعظمية للتناقص بالتدريج .

ان القيمة العظمى للاجهاد الناعظمي التي حدثت في العنصر المشار اليه في الشكل (3-40) تأخذ القيمة التالية :

$$(\sigma_{xx})_{\text{Max}} = 414.29 \text{ Mpa} : \text{Brace Area} = 2500\text{mm}^2$$

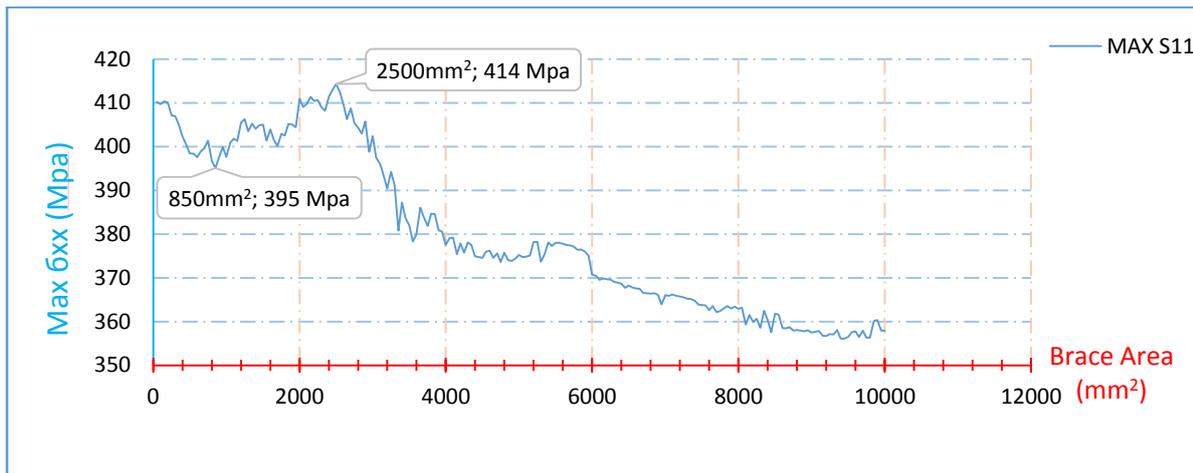
أما القيمة الدنيا للاجهاد الأعظمي والمبين مكان حدوثها في الشكل (3-40) فتأخذ قيمتها ما يلي :

$$(\sigma_{xx})_{\text{Min}} = 356.12 \text{ Mpa} : \text{Brace Area} = 9450\text{mm}^2$$

ويبين الجدول التالي قيم ذروتي الجهاد الأعظمي ومساحة النواة الفولاذية للـ BRB المقابلة :

الجدول (3-11) قيم الاجهادات الأعظمية والـ Brace Area الموافقة

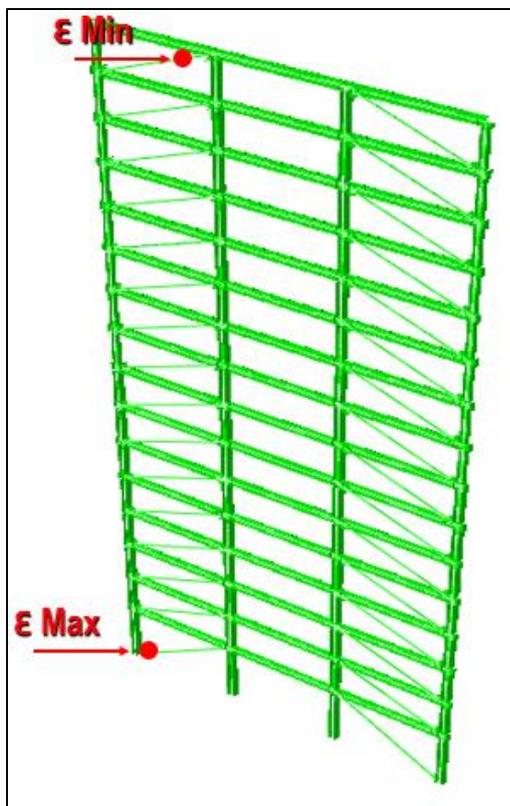
الاجهادات الناعظمية الأعظمية $\text{Max } \sigma_{xx}$	
Brace Area ( $\text{mm}^2$ )	$\text{Max } \sigma_{xx}$ (Mpa)
850	3.95090E+02
2500	4.14290E+02



الشكل (3-41) : منحنى يبين الاجهادات الناظمية الأعظمية بالنسبة لمساحة الـ BRB

### Maximum Strain in BRB

• التشوهات النسبية في عناصر الـ BRB ( $\epsilon_{max}$ ) :



الشكل (3-42) : نموذج يبين أماكن التشوهات

الأعظمية و الأصغرية

ان تحديد أماكن حدوث التشوهات النسبية العظمى هام جدا لأنه من الممكن أن تتحول هذه الأماكن الى أماكن تشكل مفاصل لدنة Hinge Plastic وتظهر أماكن تشكل التشوهات النسبية العظمى والصغرى من خلال الشكل (3-42) .

نلاحظ من خلال المنحنى الذي يربط بين التشوه النسبي الأعظمي  $\epsilon_{max}$  وبين مساحة الـ BRB والمبين بالشكل (3-43) أنه كلما زادت مساحة الـ BRB تأخذ التشوهات النسبية بالتناقص .

وتأخذ القيمة العظمى للتشوه النسبي القيمة التالية :

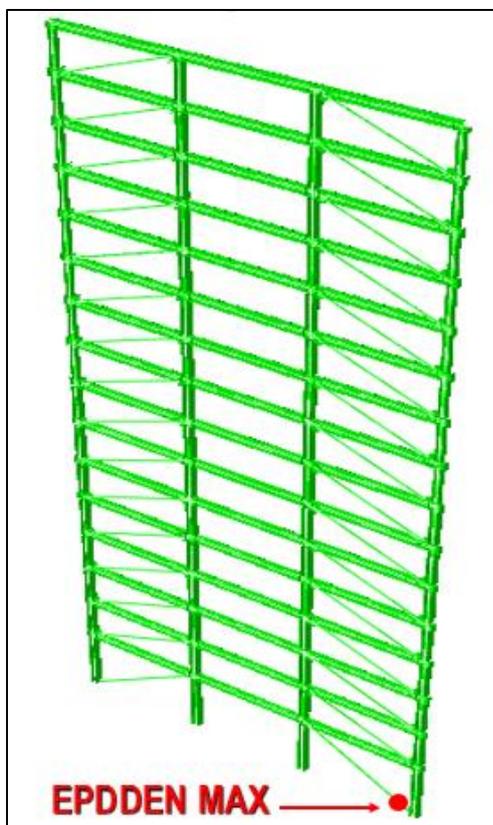
$$\epsilon_{max} = 0.01502 : \text{Brace Area} = 50 \text{ mm}^2$$



الشكل (3-43) منحنى يبين التشوهات النسبية الأعظمية بالنسبة لمساحة الـ BRB

- الطاقة التلدنية التراكمية العظمى في عناصر الـ BRB :

#### Maximum Cumulative Plastic Energy in BRB



الشكل (3-44): نموذج يبين أماكن الطاقة التلدنية التراكمية العظمى

ان زيادة مساحة الـ BRB لها دور في زيادة تخميد الطاقة وذلك بعد الوصول لحد اللدونة ثم يتناقص التخميد مع ازدياد المساحة أي أن الطاقة التلدنية تتناقص بازدياد المساحة لتزداد بدورها الطاقة المرورية .

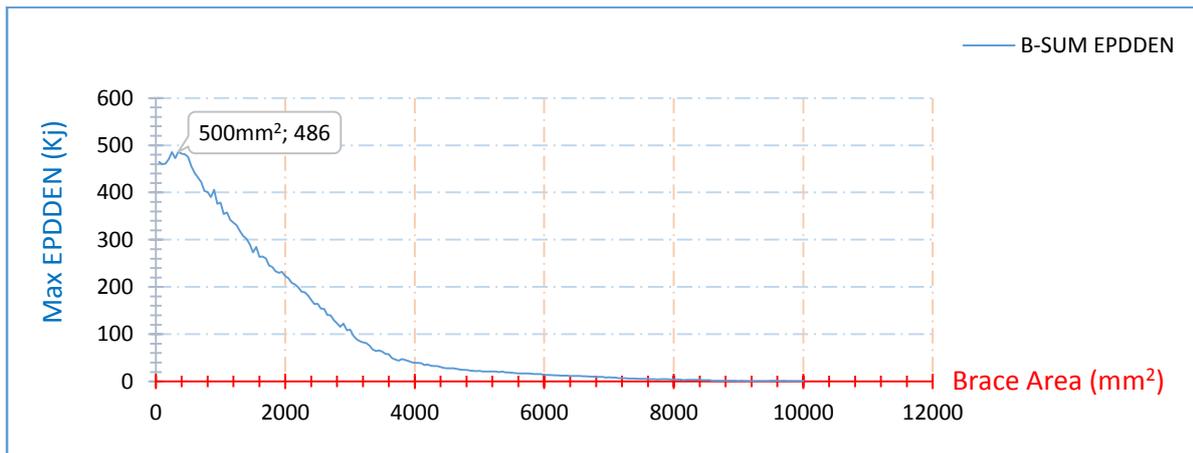
ويعبر عن هذه الطاقة ببرنامج ABAQUS خلال التعلية EPDDEN وتبلغ قيمتها العظمى في الـ BRB الموجود في الطابق الأرضي كما هو مبين بالشكل (3-44) .

وتبلغ القيمة العظمى لهذه الطاقة :

$$\text{Max EPDDEN} = 486 \text{ kj}$$

$$\text{Brace Area} = 500 \text{ mm}^2$$

يبين الشكل (3-45) منحنى الطاقة التلدنية التراكمية العظمى الحاصلة في عناصر الـ BRB وذلك من أجل المساحات المختلفة لـ BRB



الشكل (3-45) : منحنى يبين الطاقة التكدنية التراكمية العظمى بالنسبة لمساحة الـ BRB

### 6.3 دراسة أثر تغيير التثبيت الأرضي (استخدام X-Bracing) على سلوك المنشأة

#### المعدنية: Studying the Influence of X-Bracing on Steel Frame Behavior

تم في فقرات سابقة ملاحظة ظهور حادثة الطابق اللين في الطابق الأرضي ولحل هذه المشكلة نلجأ الى زيادة صلابة هذا الطابق وذلك عن طريق تغيير شكل التثبيت في الطابق الأرضي من الشكل القطري Diagonal Bracing الى الشكل X-Bracing وذلك مع المحافظة على شكل التثبيت في باقي الطوابق وهذا موضح في الشكل (3-47) .

وفي نموذج التحليل الجديد تمت المحافظة على نفس المقاطع الهندسية المستخدمة في النموذج السابق ونفس المواصفات الهندسية وعلاقة الاجهاد - التشوه للأعمدة والجوائز كما يلي:

عامل بواسون (Poisson) : 0.3 , معامل يونغ (Young Modulus) : 205000 Mpa

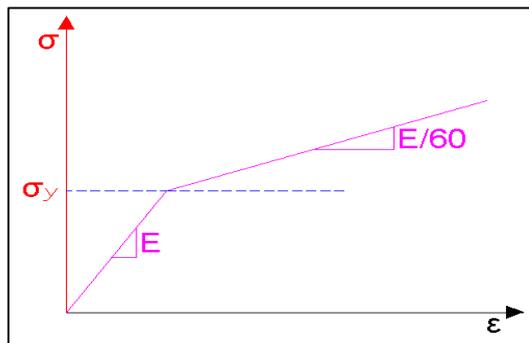
الوزن الحجمي للحديد: Steel Density = 78000000 N/mm<sup>3</sup>

وأما خواص اللدونة فقد تم ادخال البارامترات التالية في برنامج (ABAQUS 6.11):

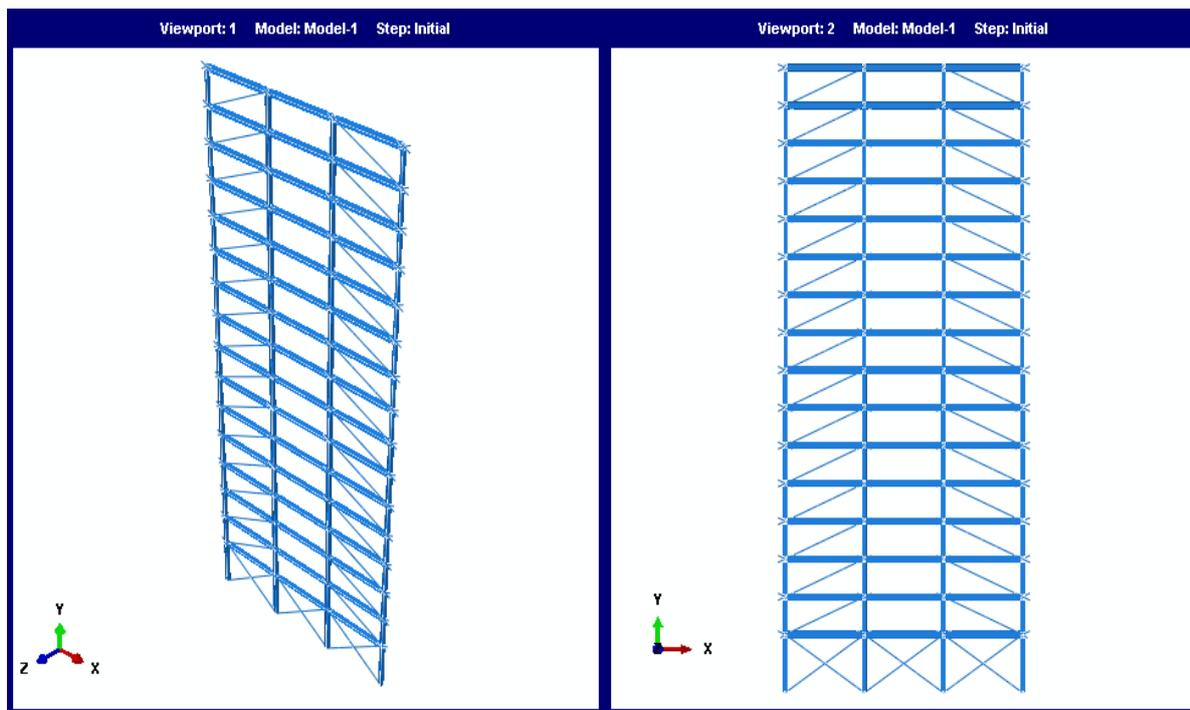
اجهاد الخضوع للـ BRB :  $F_yB = 350 \text{ Mpa}$

أما اجهاد الخضوع لفولاذ الأعمدة والجوائز  $F_yf = 250 \text{ Mpa}$

ونقوم باستخدام بروتوكول التحميل الخاص بزلزال KOBE 1995 وتأخذ علاقة الاجهاد - التشوه الشكل التالي:



الشكل (3-46) : علاقة الاجهاد- التشوه لفلوآز المنشأة المعدنية المدروسة



الشكل (3-47) : المنشأة المعدنية باستخدام الـ X-Bracing باستخدام برنامج ABAQUS 6.11

بعد أن تم تغيير التبريط في الطابق الأرضي من الشكل القطري الى التبريط على شكل حرف X تم القيام باختيار القطر الأفضل من خلال عدة معايير :

1- الطاقة التلدنية التراكمية العظمى :  $\text{Brace Area} = 500\text{mm}^2$

2- الانتقال الرأسي الأصغري :  $\text{Brace Area} = 1000\text{mm}^2$

3- القص القاعدي الأصغري :  $\text{Brace Area} = 50\text{mm}^2$

4- الإجهاد الأصغري :  $\text{Brace Area} = 3600\text{mm}^2$

من أجل كل معيار سيتم تثبيت مساحات الـ BRB في الطوابق المتكررة ويتم تغيير مساحات الـ X-Bracing في الطابق الأرضي بمعدل 10 تحاليل للمعيار الواحد وذلك للوصول الى المساحة المثلى لـ BRB في الطابق الأرضي .

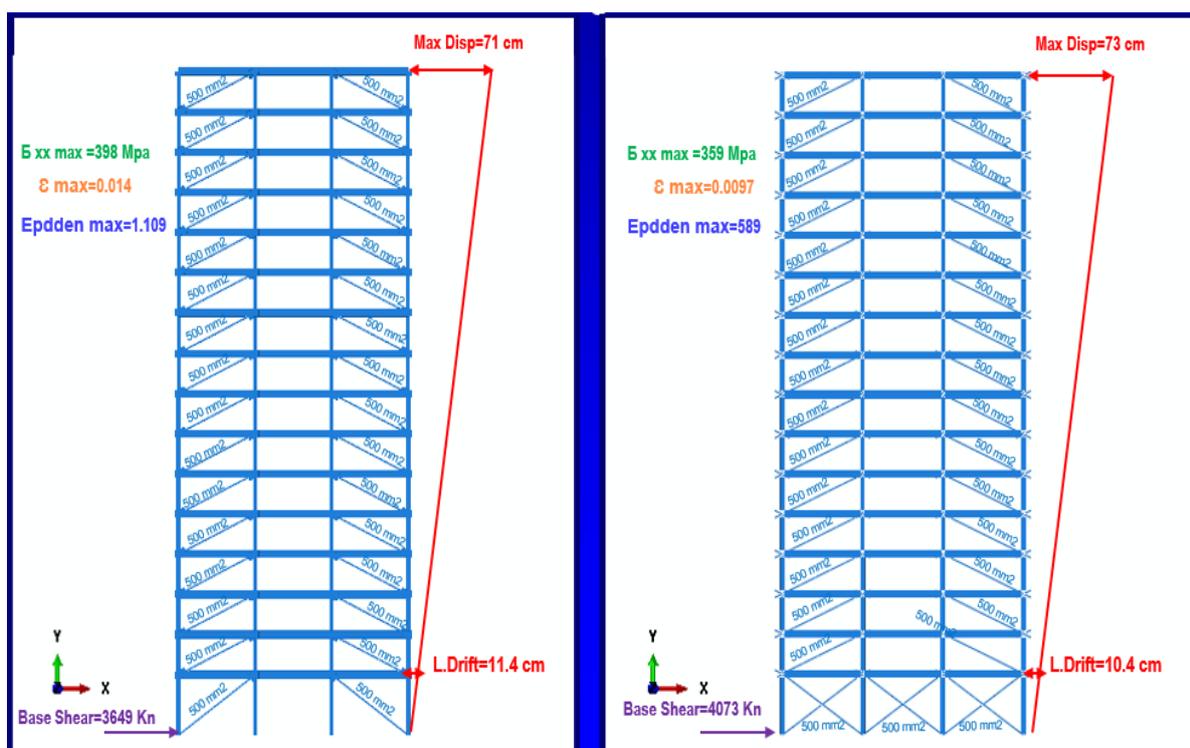
### Analysis Results

### 1.6.3 نتائج التحليل :

#### 1.1.6.3 من خلال تخادم الطاقة التلدنية التراكمية Max EPDDEN:

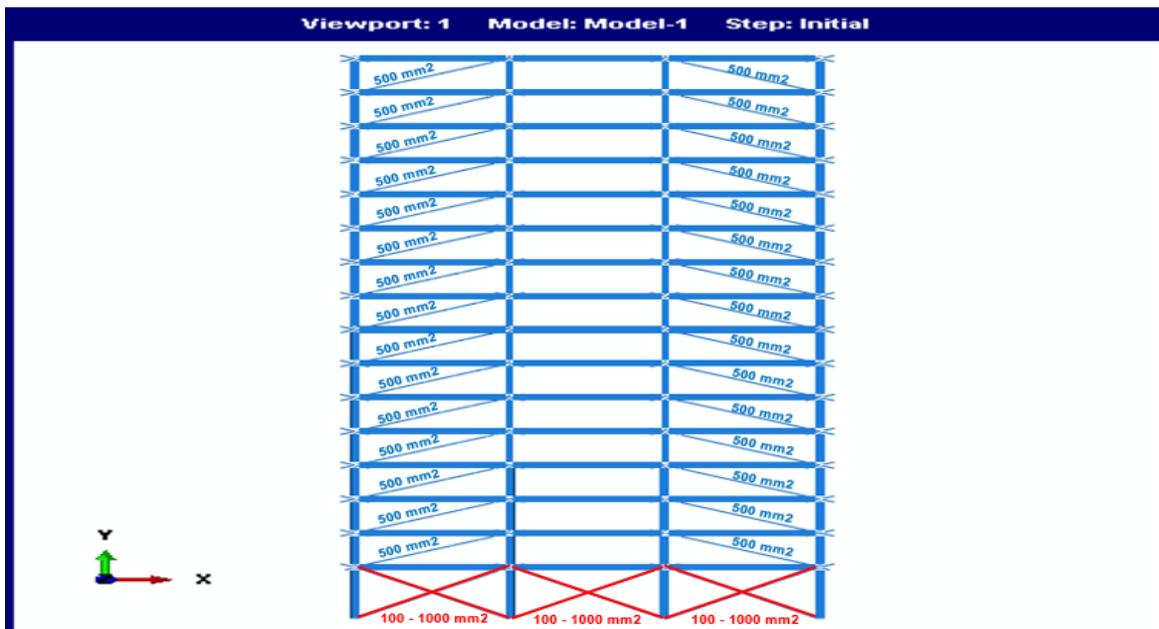
#### Maximum Cumulative Plastic Energy in BRB

تم تحليل النموذج الجديد بعد تغيير شكل التثبيت في الطابق الأرضي من الشكل القطري الى الشكل X وذلك باستخدام برنامج ABAQUS للنموذج الجديد حيث تكون مساحة الـ BRB المستخدم  $500\text{mm}^2$  لجميع الطوابق المتكررة والأرضي ونقوم بالمقارنة كما يظهر في الشكل (3-48) حيث نلاحظ أنه بتغيير نوع التثبيت نحصل على انخفاض قيمة الاجهادات العظمى والتشوهات النسبية والانزياح الجانبي النسبي للطابق الأرضي بينما تبقى قيمة الانتقال الجانبي أعلى الاطار كما هي تقريبا وتزداد قيمة القص القاعدي.



الشكل (3-48):مقارنة بين النموذجين حيث  $\text{Brace Area} = 500 \text{ mm}^2$  انطلاقا من معيار الـ Max EPDDEN

نجد أن الـ X-Bracing له دور في حل مشكلة الطابق اللين حيث نلاحظ انخفاض قيمة الانتقال الجانبي نسبيا ولكن يبقى أن نجد المساحة المثلى لهذا التثبيت في الطابق الأرضي لذلك نأخذ النموذج الجديد ونقوم بإجراء عشرة تحاليل بتزايد  $100\text{mm}^2$  بين كل تحليل والآخر وذلك لعنصر التثبيت الأرضي X-Bracing كما هو مبين بالشكل (3-49) حتى نصل لـ BRB من النوع X ذي مساحة نواة فولاذية تساوي  $10000\text{mm}^2$



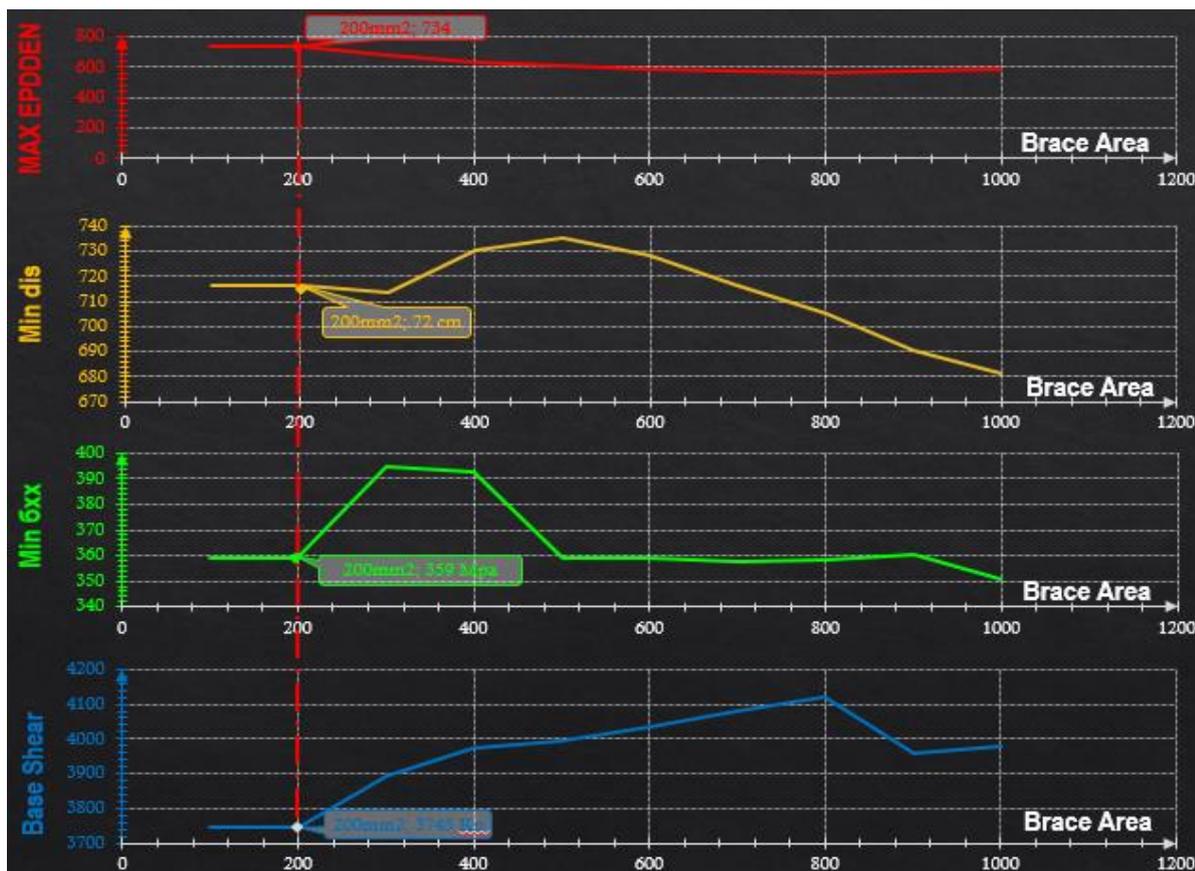
الشكل (3-49) : نموذج الـ X-Bracing والمساحات المقترحة انطلاقاً من معيار الـ Max EPDDEN

ان الطاقة التلدنية التراكمية العظمى Max EODDEN تبلغ 734 KJ وتعطينا مساحة BRB مساوية  $200\text{mm}^2$  كما هو واضح في الشكل (3-50) وبالنقاط مع المنحنيات الأخرى نحصل على المساحة المثالية للـ BRB وعلى النتائج المبينة بالجدول التالي :

الجدول (3-12): نتائج التحليل انطلاقاً من معيار الـ Max EPDDEN

معايير اختيار الـ BRB الأفضل				Brace Area= $500\text{mm}^2$	BRB
Min Base hear	$\text{Min}\sigma_{xx}$	Min Disp	Max EPDDEN		
3745 Kn	359 Mpa	72 cm	734 mj	X-Brace Area= $200\text{mm}^2$	

يبين الشكل (3-50) المنحنيات الأربع الناتجة من التحليل المعتمد على المعيار الأول والذي بنتيجته أعطانا المساحات المثالية لعناصر التثبيت المفروض استخدامها والتي سيتم مقارنتها في فقرات قادمة مع المساحات الناتجة من المعايير الأخرى لاعتماد النتيجة الأمثل .

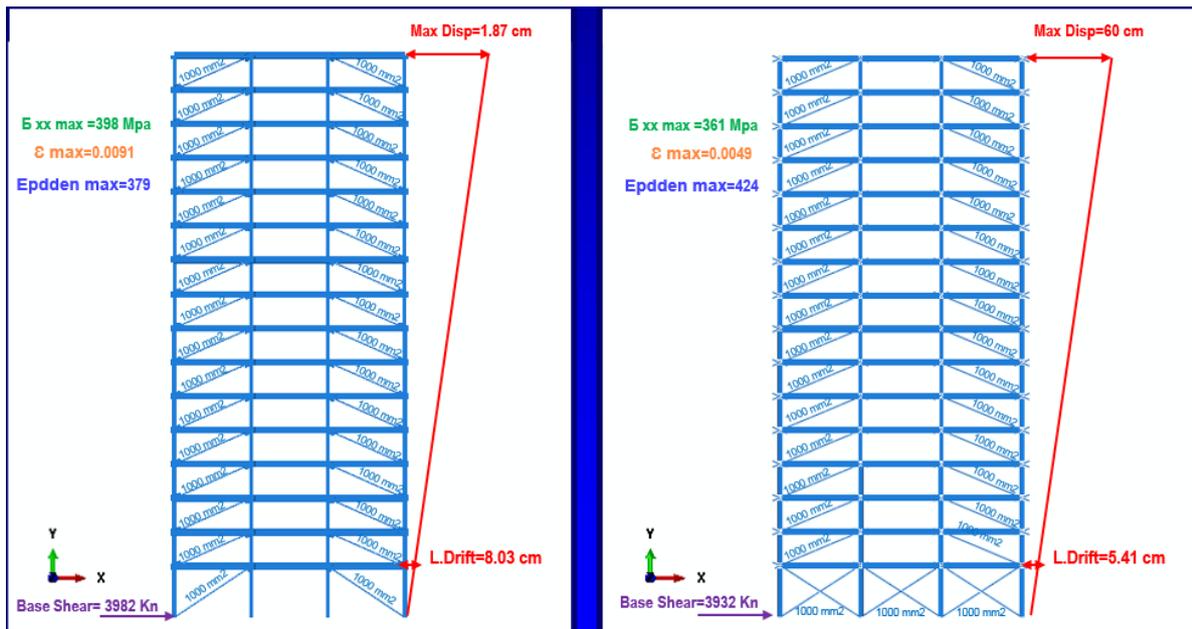


الشكل (3-50) : نتائج تحليل نموذج الـ X-Bracing انطلاقاً من معيار الـ Max EPDDEN

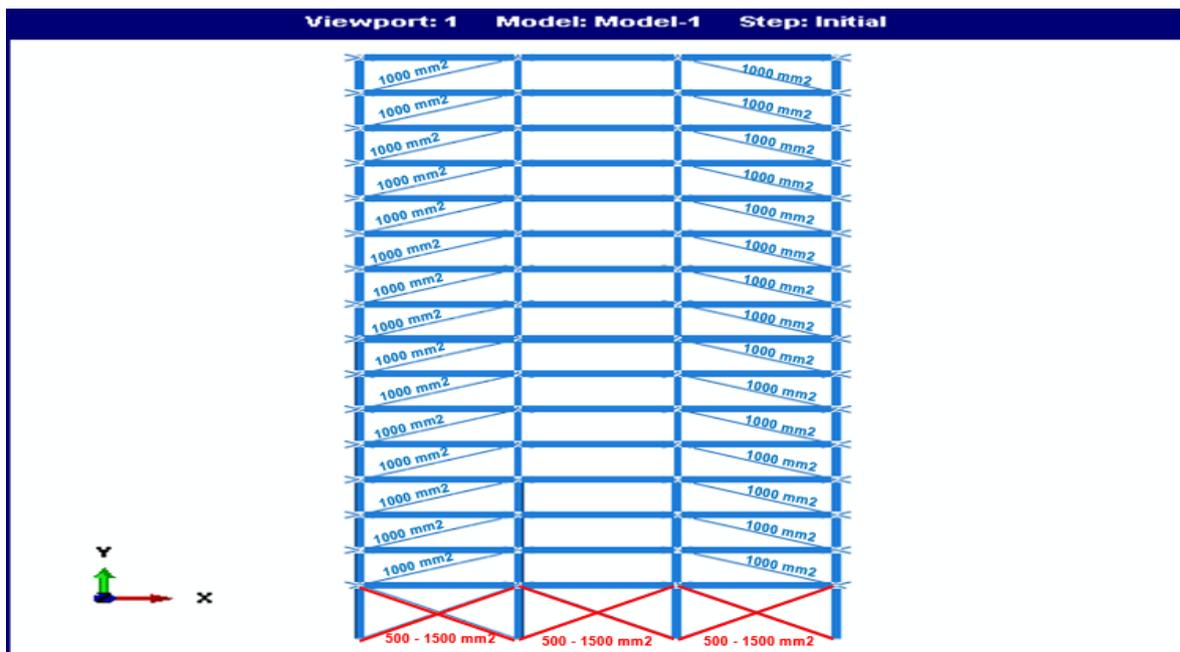
### 2.1.6.3 من خلال الانتقال الرأسي الأصغري Min Disp : Minimum Displacement

ان هذا المعيار قد أعطى سابقاً المساحة المثلى للـ BRB المفروض استخدامه وذلك على طول المبنى للطابق الأرضي وللطوابق المتكررة حيث تكون مساحة الـ BRB المستخدم  $1000\text{mm}^2$  وتتم المقارنة كما يظهر في الشكل (3-51) حيث نلاحظ أنه بتغيير نوع التثبيت نحصل على انخفاض قيمة الاجهادات العظمى والتشوهات النسبية والانزياح الجانبي النسبي للطابق الأرضي وتتنخفض قيمة القص القاعدي ويزداد تخميد الطاقة Energy Dissipating.

بينما تزيد قيمة الانتقال الجانبي أعلى الاطار وهذا ما يبرر القيام بالتحليل من جديد لاختيار المساحة الأفضل للـ X-Bracing.



الشكل (3-51) : مقارنة بين النموذجين حيث  $Brace Area = 1000 \text{ mm}^2$  انطلاقاً من معيار الـ Min DISP نقوم بالتحليل 10 مرات لاختيار المساحة الأفضل للتربيط الأرضي X-Bracing مع تثبيت مساحات الـ BRB في الطوابق المتكررة وذلك كما هو مبين بالشكل (3-52) وذلك بتزايد  $100 \text{ mm}^2$

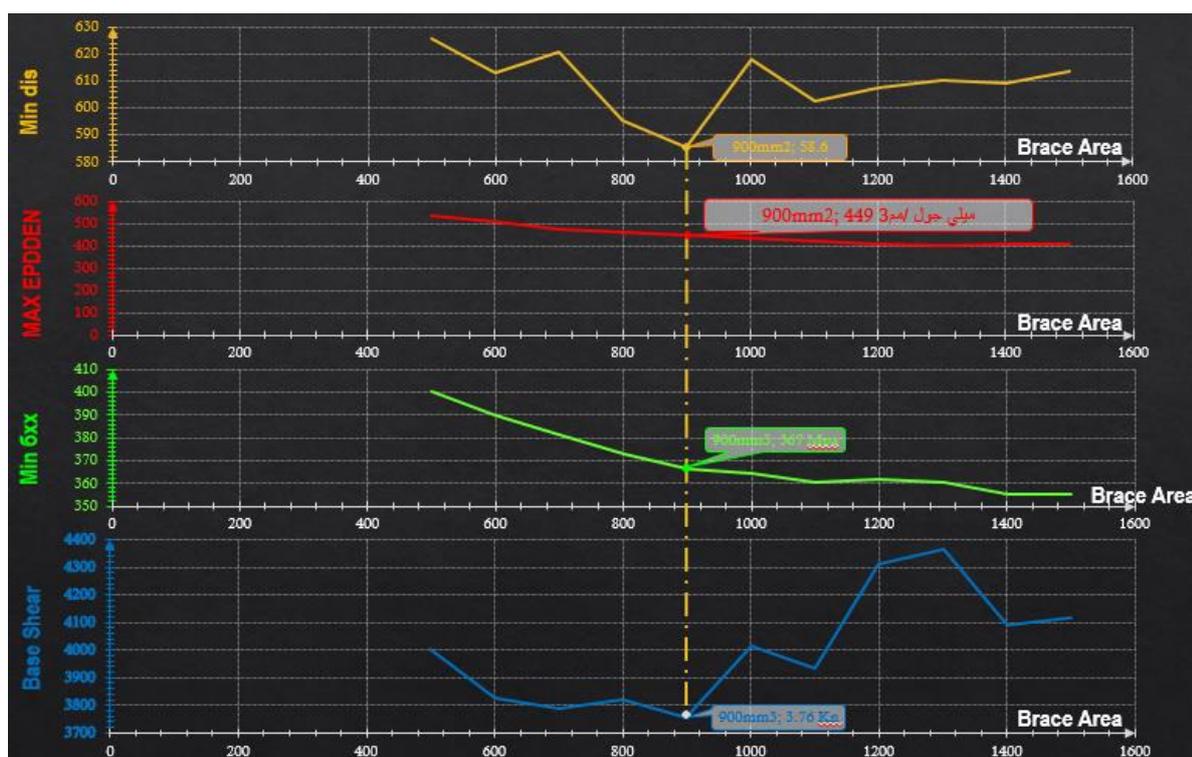


الشكل (3-52) : نموذج الـ X-Bracing والمساحات المقترحة انطلاقاً من معيار الـ Min Disp ان الانتقال الرأسي الأصغري Min Disp بلغ  $58.6 \text{ cm}$  ويعطينا مساحة BRB مساوية  $900 \text{ mm}^2$  كما هو واضح في الشكل (3-53) وبالتقاطع مع المنحنيات الأخرى نحصل على المساحة المثالية للـ BRB وعلى النتائج المبينة بالجدول التالي :

الجدول (3-13) : نتائج التحليل انطلاقاً من معيار الـ Min Displacement

معايير اختيار الـ BRB الأفضل				Brace Area=1000mm <sup>2</sup>	BRB
Min Base hear	Minσ <sub>xx</sub>	Max EPDDEN	Min Disp		
3.76 Kn	367 Mpa	449.3 mj	58.6 cm	X-Brace Area=900mm <sup>2</sup>	

يبين الشكل (3-53) المنحنيات الأربع الناتجة من التحليل المعتمد على المعيار الثاني والذي بنتيجته أعطانا المساحات المثالية لعناصر التثبيت المفروض استخدامها.



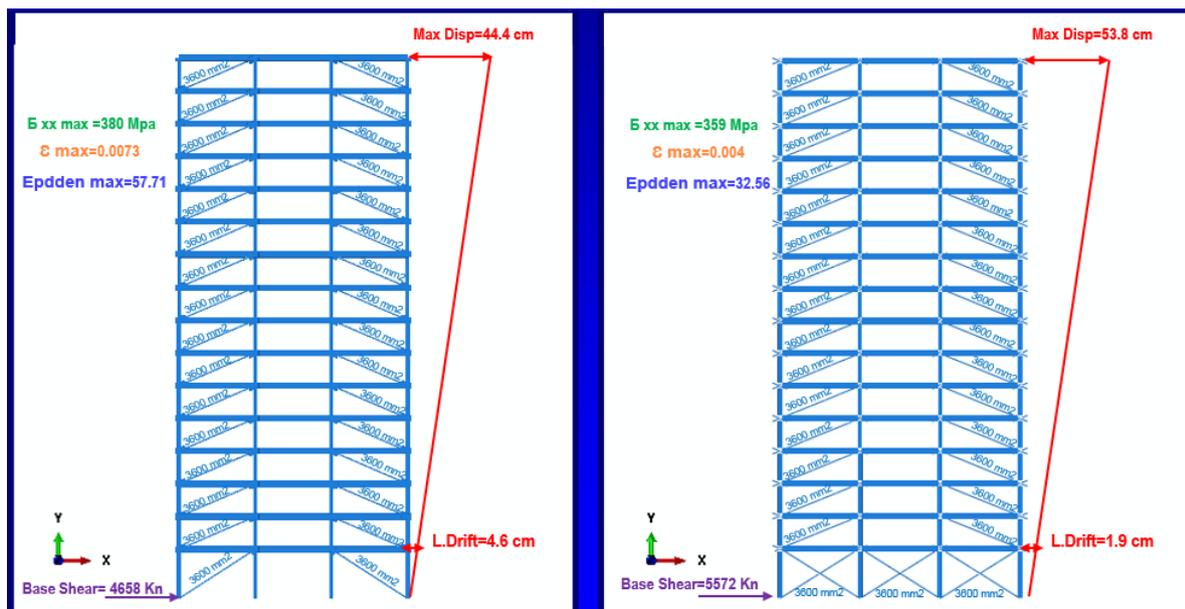
الشكل (3-53) : نتائج تحليل نموذج الـ X-Bracing انطلاقاً من معيار الـ Min Disp

### Minimum Stress

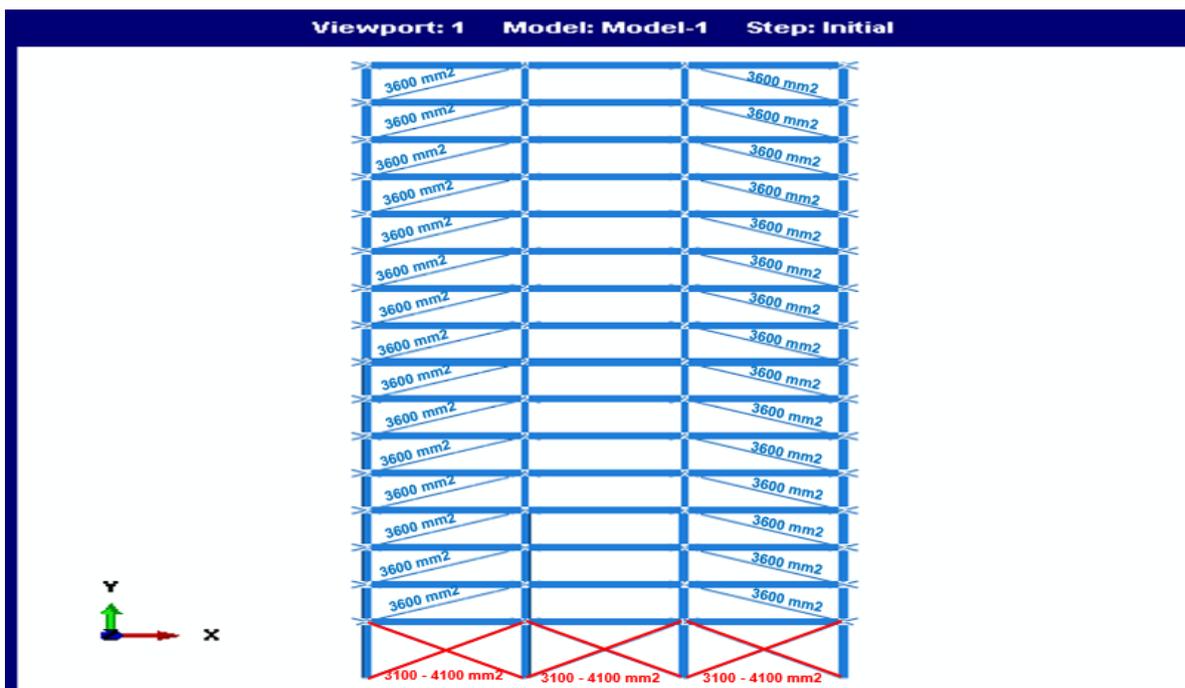
### 3.1.6.3 من خلال الاجهاد الأصغري Min σ<sub>xx</sub>:

إن المساحة المثلى لـ BRB المفروض استخدامه والناتجة عن معيار الإجهاد الأصغري قد بلغت 3600mm<sup>2</sup> نقوم بالتحليل باستخدام برنامج ABAQUS (PYTHON Scripting) واستخلاص النتائج عن طريق لغة البرمجة Visual Basic. ثم نقوم بمقارنة هذه النتائج مع النتائج التي حصلنا عليها من تحليل النموذج ذو التثبيت القطري Diagonal Bracing كما في الشكل (3-54).

نلاحظ انخفاض قيمة الاجهادات العظمى والتشوهات النسبية والانزياح الجانبي النسبي للطابق الأرضي وتزداد قيمة القص القاعدي وينقص تخميد الطاقة Energy Dissipating.



الشكل (3-54) : مقارنة بين النموذجين حيث  $Brace Area = 3600 \text{ mm}^2$  انطلاقاً من معيار الـ  $\sigma_{xx} \text{ Min}$  وكما في الفترتين السابقتين نقوم بالتحليل 10 مرات لاختيار المساحة الأفضل للتربيط الأرضي X-Bracing مع تثبيت مساحات الـ BRB في الطوابق المتكررة وذلك كما هو مبين بالشكل (3-55) وذلك بتزايد  $100 \text{ mm}^2$

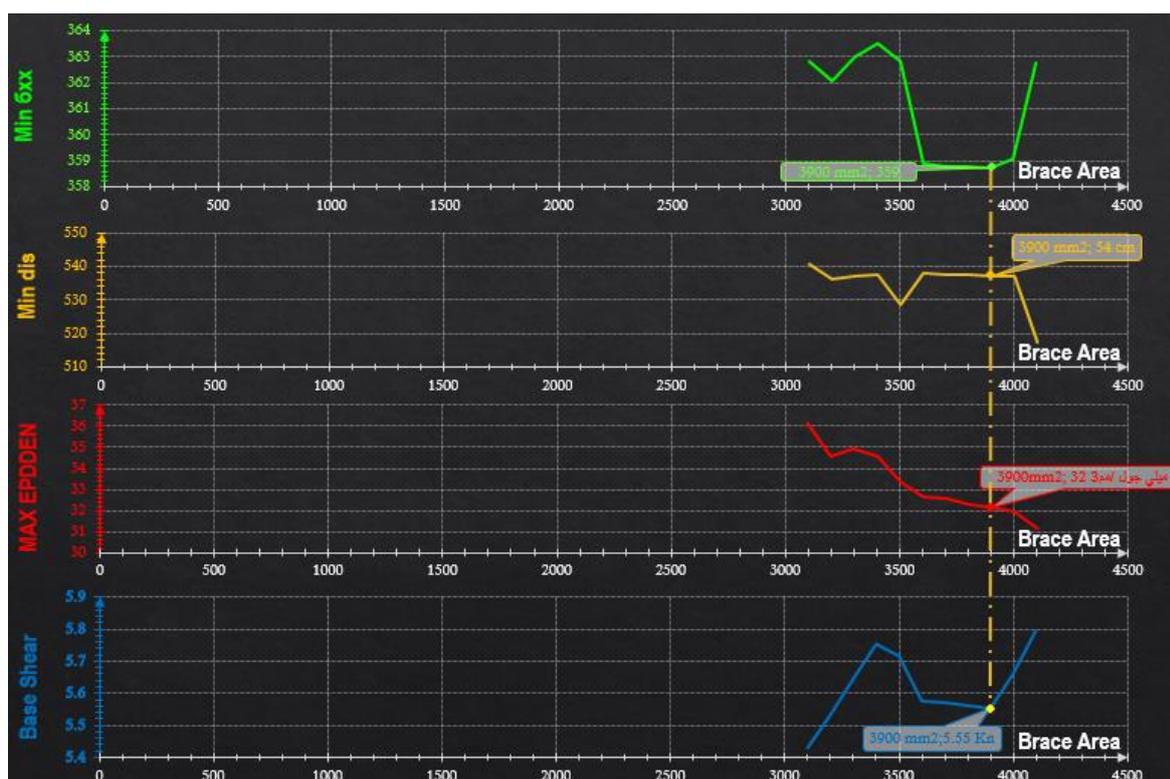


الشكل (3-55) : نموذج الـ X-Bracing والمساحات المقترحة انطلاقاً من معيار الـ  $\sigma_{xx} \text{ Min}$  ان الإجهاد الأصغري Min Stress قد بلغ  $359 \text{ Mpa}$  ويعطينا مساحة BRB مساوية  $3900 \text{ mm}^2$  كما هو واضح في الشكل (3-56) وبالنقاط مع المنحنيات الأخرى نحصل على المساحة المثالية للـ BRB وعلى النتائج المبينة بالجدول التالي :

الجدول (3-14): نتائج التحليل انطلاقاً من معيار الـ  $\text{Min } \sigma_{xx}$

معايير اختيار الـ BRB الأفضل				Brace Area=3600mm <sup>2</sup>	BRB
Min Base hear	Max EPDDEN	Min Disp	Min $\sigma_{xx}$		
5.55 Kn	32.3 mj	54 cm	359 Mpa	X-Brace Area=3900mm <sup>2</sup>	

ويمكن التعبير عن النتائج السابقة بالمنحنيات الأربعة التالية المبينة بالشكل (3-56)

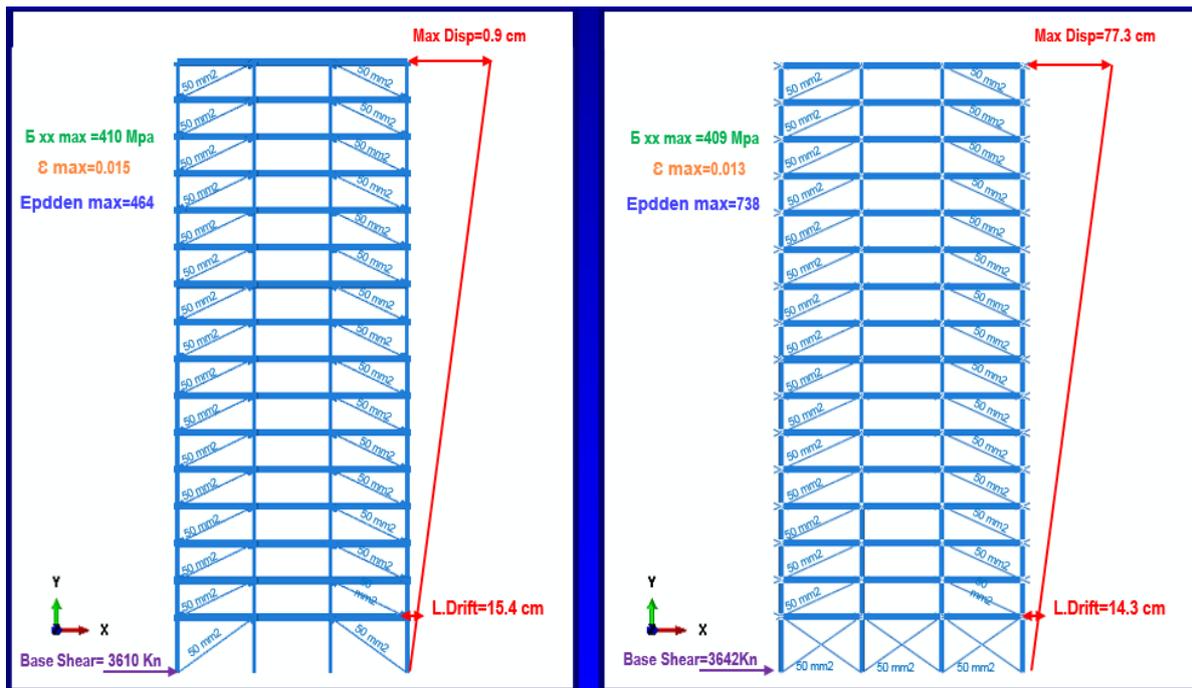


الشكل (3-56): نتائج تحليل نموذج الـ X-Bracing انطلاقاً من معيار الـ  $\text{Min } \sigma_{xx}$

### Minimum Base Shear

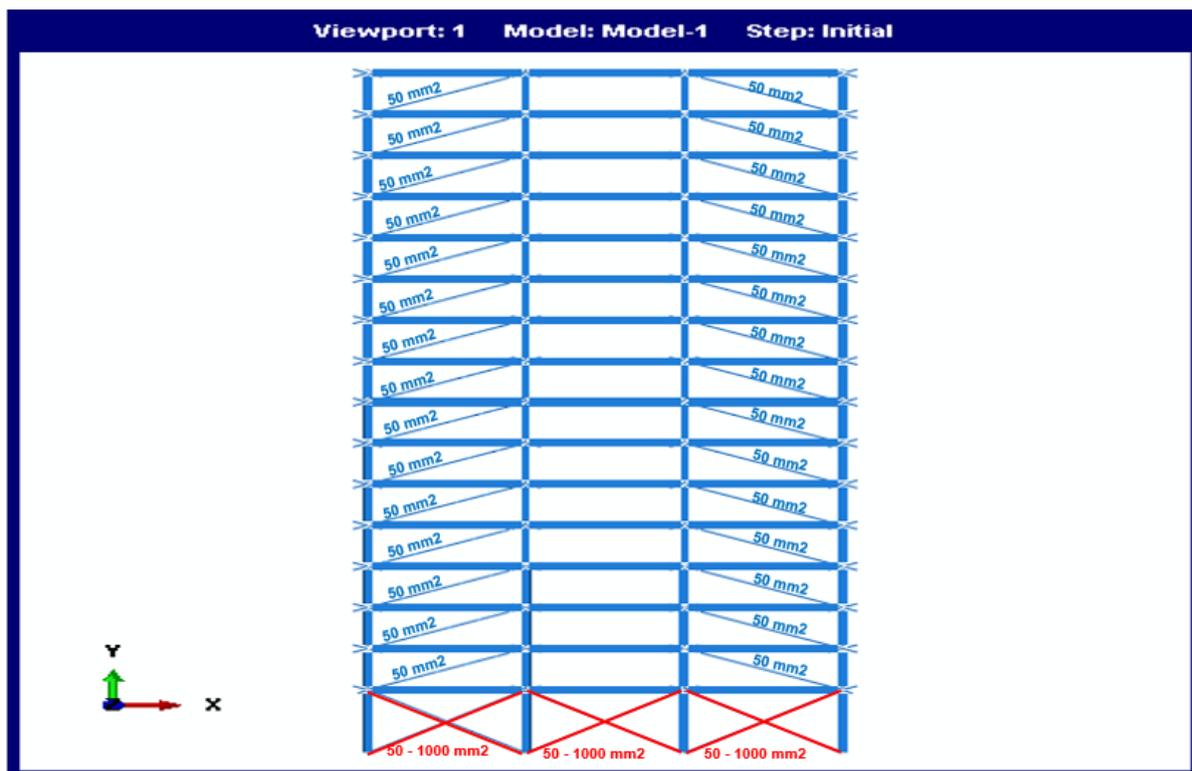
### 4.1.6.3 من خلال القص الأصغري:

إن المساحة المثلى للـ BRB المفروض استخدامه والنتيجة عن معيار القص الأصغري قد بلغت 50mm<sup>2</sup>. ثم نقوم بمقارنة هذه النتائج مع النتائج التي حصلنا عليها من تحليل النموذج ذو التزبيط القطري Diagonal Bracing كما في الشكل (3-57) حيث نلاحظ انخفاض قيمة الاجهادات العظمى والتشوهات النسبية والانزياح الجانبي النسبي للطابق الأرضي وتزداد قيمة القص القاعدي ويزداد تخميد الطاقة Energy Dissipating بينما تزداد قيمة الانتقال الجانبي أعلى الاطار .



الشكل (3-57) : مقارنة بين النموذجين حيث  $Brace Area = 3600 \text{ mm}^2$

نقوم بالتحليل 10 مرات لاختيار المساحة الأفضل للتربيط الأرضي X-Bracing مع تثبيت مساحات الـ BRB في الطوابق المتكررة كما في الشكل (3-58) وذلك بتزايد  $100 \text{ mm}^2$



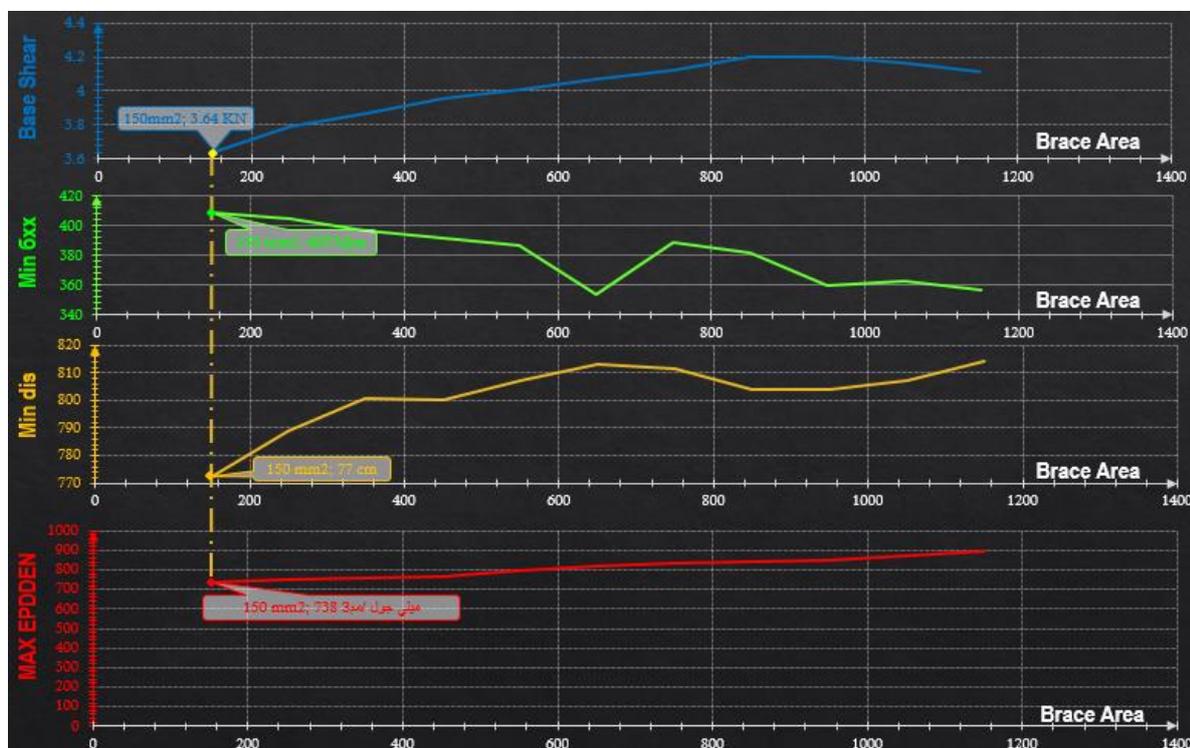
الشكل (3-58) : نموذج الـ X-Bracing والمساحات المقترحة انطلاقاً من معيار الـ Min Base Shear

ان الإجهاد الأصغري Min Base Shear قد بلغ 3642 Mpa ويعطينا مساحة BRB مساوية  $150\text{mm}^2$  كما هو واضح في الشكل (3-59) وبالتقاطع مع المنحنيات الأخرى نحصل على المساحة المثالية للـ BRB وعلى النتائج المبينة بالجدول التالي :

الجدول (3-15) : نتائج التحليل انطلاقاً من معيار الـ Min Base Shear

معايير اختيار الـ BRB الأفضل				Brace Area=50 mm <sup>2</sup>	BRB
Min $\sigma_{xx}$	Max EPDDEN	Min Disp	Min Base hear		
359 Mpa	32.3 mj	54 cm	3642Kn	X-Brace Area=150mm <sup>2</sup>	

ويمكن التعبير عن النتائج السابقة بالمنحنيات الأربعة التالية المبينة بالشكل (3-59)



الشكل (3-59) : نتائج تحليل نموذج الـ X-Bracing انطلاقاً من معيار الـ Min Base Shear

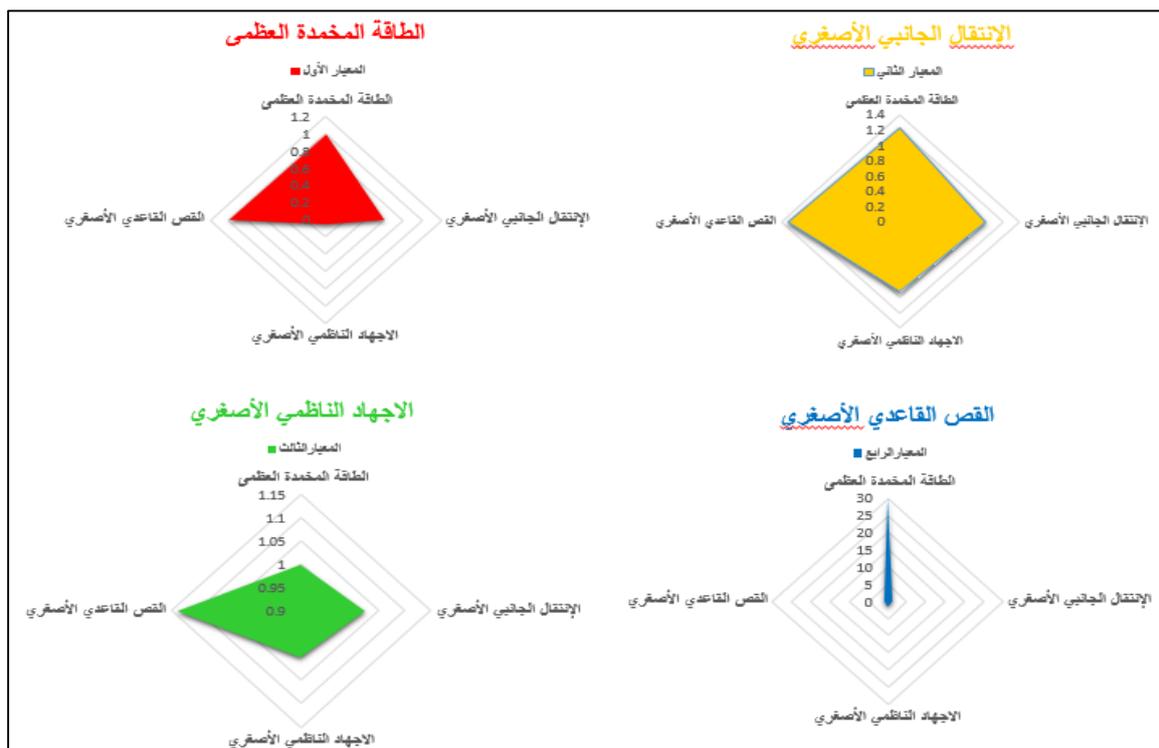
### 5.1.6.3 اختيار المساحة المثالية لعنصر التثبيت الجانبي: Choosing BRB perfect Area

إن كل معيار من المعايير الأربعة السابقة قد أعطانا مساحة BRB مختلفة ونلخص هذه المساحات الناتجة من خلال الجدول التالي :

الجدول (3-16): المساحات المثلى للـ RBB من خلال المعايير الأربعة

المساحات المثلى للـ BRB				
المعيار الأول	المعيار الثاني	المعيار الثالث	المعيار الرابع	Bracing
Max EPDDEN	Min Disp	Min $\delta_{xx}$	Min Base Shear	
500 mm <sup>2</sup>	1000 mm <sup>2</sup>	3600 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	BRB
200 mm <sup>2</sup>	900 mm <sup>2</sup>	3900 mm <sup>2</sup>	150 mm <sup>2</sup>	X-Bracing

نلاحظ من الجدول السابق أنه من الصعب اختيار الترتيب الأفضل فكل معيار يعطينا نتيجة ومساحات مختلفة لذلك نلجأ إلى المخطط العنكبوتي والذي من خلاله يمكننا الوصول إلى المساحات المثلى لعنصر الترتيب الجانبي الممنوع من التحنيب بنوعيه Diagonal BRB للطوابق المتكررة و X-Bracing للطابق الأرضي. من خلال الشكل (3-60) نجد أنه كلما كبرت مساحة المخطط العنكبوتي الذي يربط بين المعايير الأربعة كلما زادت فعالية الترتيب لأنه كبر المساحة يعني تحقيق أكبر عدد ممكن من القواسم المشتركة بين المعايير الأربعة. لذلك نجد من الشكل (3-60) أن النتائج التي حصلنا عليها من المعيار الثاني (الانتقال الجانبي الأصغري) هي الأفضل ويمكننا الاعتماد عليها ولكن من حيث الكلفة فإن المساحات الناتجة من المعيار الرابع هي الأقل تكلفة يليها المعيار الأول ثم الثاني ثم الثالث. ولكن نعتمد نتائج المعيار الثاني هي الأفضل لأنها تمثل الحالة الوسطية بين جميع المعايير.



الشكل (3-60) : اختيار المساحة المثلى للعناصر الـ BRB باستخدام التحليل العنكبوتي

### 2.6.3 مقارنة بين الـ BRBF ذي مساحات الـ BRB الأفضل وبين الـ Bare Frame :

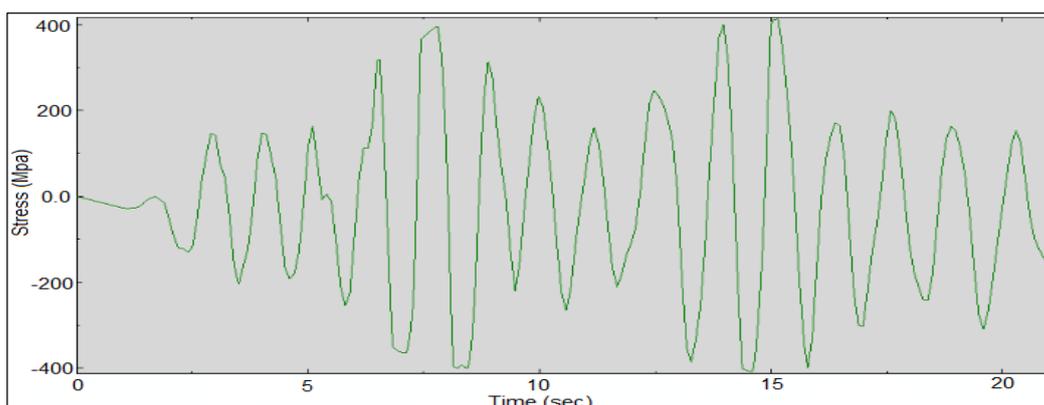
#### Comparison between BARE FRAME and BRBF with Perfect BRB areas

في البداية تم إجراء عملية تحليل للإطار غير المزود بعنصر تريبط ممنوع من التحنيط Bare Frame وذلك اعتماداً على برنامج ABAQUS 6.11 وتم استخلاص النتائج وذلك لمقارنتها مع النتائج التي حصلنا من الإطار المزود بعناصر تريبط ممنوعة من التحنيط BRBF وذلك بأخذ المساحات المثالية للنواة الفولاذية لعناصر التريبط بنوعيهـا X-Bracing و Diagonal BRB والتي حصلنا عليها في الفقرة السابقة من خلال التحليل العنكبوتي .

### 1.2.6.3 نتائج تحليل الإطار غير المزود بعناصر تريبط ممنوعة من التحنيط :

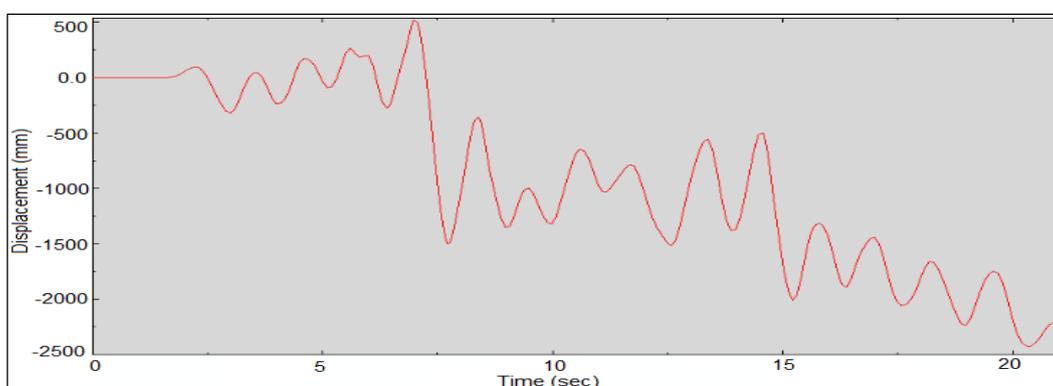
#### Bare Frame Analysis Results

- منحنى الاجهادات مع الزمن :



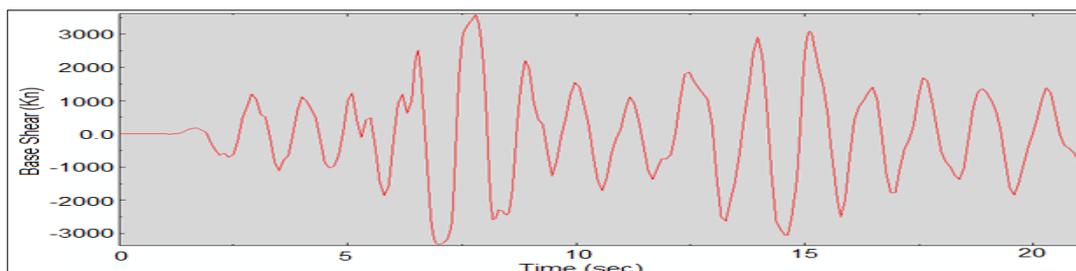
الشكل (3-61) : منحنى الاجهادات - الزمن لنموذج الـ Bare Frame باستخدام برنامج ABAQUS 6.11

- منحنى الانتقالات مع الزمن :



الشكل (3-62) : منحنى الانتقالات - الزمن لنموذج الـ Bare Frame باستخدام برنامج ABAQUS 6.11

• منحنى القص القاعدي مع الزمن :



الشكل (3-63) : منحنى القص القاعدي - الزمن لنموذج الـ Bare Frame باستخدام برنامج ABAQUS 6.11

2.2.6.3 المقارنة بين نتائج تحليل الاطارين:

Comparison between BARE FRAME and BRBF

يبين الشكل (3-64) مقارنة بين الاطارين المدروسين وذلك بعد استخلاص النتائج التي سيتم المقارنة من خلالها حيث نلاحظ أن قيمة أصغر قص قاعدي قد بلغت في الـ BRBF :

$$(\text{Min Base Shear})_{\text{BRBF}} = 3.64 \text{ Kn} < (\text{Min Base Shear})_{\text{Bare Frame}} = 332 \text{ Kn}$$

أما قيمة الاجهادات الأصغرية في الـ BRBF فقد كانت أصغر من الاجهادات الأصغرية في الـ Bare Frame وبلغت القيمة التالية :

$$(\text{Min } \sigma_{xx})_{\text{BRBF}} = 3.59 \text{ Mpa} < (\text{Min } \sigma_{xx})_{\text{Bare Frame}} = 412.4 \text{ Mpa}$$

ونرى أن الانتقالات الجانبية عند أعلى الإطارات قد نقصت بشكل ملحوظ مما يدل على كفاءة الـ BRB في تخفيض الانتقالات الجانبية وكانت قيمة الـ Min Disp قد بلغت :

$$(\text{Min Disp})_{\text{BRBF}} = 54 \text{ cm} < (\text{Min Disp})_{\text{Bare Frame}} = 91.3 \text{ cm}$$



الشكل (3-64) مقارنة بين نتائج تحليل الاطار من نوع BRBF مع نتائج تحليل الـ Bare Frame

## الفصل الرابع النتائج والتوصيات

### Conclusions and Recommendations



## الفصل الرابع

### النتائج والتوصيات

## Conclusions and Recommendations

### Conclusions

### 1.4 النتائج :

تم في هذا البحث دراسة تأثير عنصر التريبط الممنوع من التحنيب BRB على السلوك الزلزالي للإطارات المعدنية المزودة بها والتأكد من فعالية عنصر التريبط في زيادة قساوة الاطار وبالتالي تخفيف الانتقالات الجانبية له وزيادة مقاومته على الحمولات الجانبية .

حيث تم في هذه الدراسة اجراء التحليل العددي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEM) واستخدام التحليل اللا خطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لا خطية المادة (MNA) .

تمت دراسة تأثير تغيير مساحة النواة الفولاذية لـ BRB وشكل التريبط على فعالية مقاومة القوى الأفقية, وقد تمت هذه الدراسة بتطبيق تحميل دوري (Cyclic Load) ومن ثم تم تطبيق هزة أرضية حقيقية (KOBE 1995) , تم في نهاية هذا البحث التوصل إلى النتائج التالية :

1- إن إضافة عنصر التريبط الممنوع من التحنيب BRB يؤدي الى زيادة مقاومة الجملة الإنشائية بشكل واضح وينسب تختلف باختلاف مساحة النواة الفولاذية لـ BRB وشكل التريبط المستخدم .

2- عند إضافة الـ BRB فإن القسم الأكبر من الطاقة يتم امتصاصه عن طريق الـ BRB على عكس الإطار التقليدي Conventional Brace والذي يتم تخميد الطاقة فيه على شكل مفاصل لدنة في عناصر الإطار .

3- إن الإطار المزود بعنصر التريبط الممنوع من التحنيب BRBF نلاحظ انتظام الحلقات الهيسنيرية الخاصة به Hysteresis Loops مقارنة مع الاطار العادي Bare Frame وهذا يعكس قدرة التبديد للطاقة من قبل عنصر الـ BRB .

4- تظهر حادثة الطابق اللين في الطابق الأرضي من أجل مساحات معينة لـ BRB تختفي هذه الظاهرة مع استخدام التريبط على شكل حرف X بالطابق الأرضي .

5- إن استخدام التريبط من النوع X-Bracing في الطابق الأرضي مع التريبط القطري Diagonal

Bracing قد أثبتت فعالية كبيرة في زيادة تخميد الطاقة Energy Dissipating و تحمل الجزء الأكبر من قوة القص القاعدية حيث تنخفض قيمة القص القاعدي بنسبة تصل الى 98%.

6- عند استخدام التحليل الديناميكي باستخدام السجل الزمني نلاحظ أن إضافة الـ BRB الى الاطار المعدني قد خفض الانتقال الجانبي عند أعلى الاطار بنسبة تصل الى 40% كما انخفضت الاجهادات بنسبة تصل الى 14%.

7- ان مساحة الـ BRB بشكلها Diagonal , X-Bracing والنتيجة من معيار الانتقال الجانبي الأصغري Min Displacement هي المساحة المثلى للاستخدام وتعتبر جيدة من ناحية التكلفة حيث تحتل المرتبة الوسط من حيث التكلفة بين المساحات الناتجة من المعايير الأربع .

## Recommendations

## 2.4 التوصيات :

1- دراسة إمكانية حذف بعض عناصر الـ BRB والتي ليس لها دور في تحسين السلوك الزلزالي في الطوابق المرتفعة أو استبدالها بعناصر تربيط تقليدية Conventional Bracing ودور ذلك في تخفيض التكلفة .

2- دراسة أثر استخدام أنواع أخرى من التربيط ومقارنة النتائج مع النتائج التي تم الحصول عليها في هذا البحث .

3- استخدام أكثر من سجل زلزالي عند إجراء التحليل الديناميكي والمقارنة بينها .

4- تغيير الأبعاد الهندسية لعناصر الاطار المعدني من أجل تحليل فعالية عناصر التربيط الممنوعة من التحنيب BRB في تحسين الأداء الزلزالي للاطار المعدني .

## المراجع المستخدمة

## References

## المراجع المستخدمة

- أ- الملحق رقم 2/ للكوود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة - تصميم وتحقيق المنشآت لمقاومة الزلازل (2005)
- ب- محاضرات في مادة الهندسة الزلزالية في المعهد العالي للدراسات الزلزالية عام 2011-2012. د. محمد السمارة , د. هالة حسن , د. أمجد الحلواني .
- [1]. Wang,Y.,Chang,T.and Shi,Y."Experimental study on the constitutive relation of austenitic stainless steel s31608 under monotonic and cyclic loading"Huanxin Yuan,Dongfan Liao,2012.
- [2]. Lin ,S. and MacRae ,G.," Development and Implementation of Buckling Restrained Braces in Taiwan " NZSEE Conference , National Taiwan University, Taipei , Taiwan, 2012.
- [3]. Budaházy,v.," Modelling of the Hysteretic Behaviour of Buckling Restrained Braces" BME Department of Structural Engineering, Conference of Junior Researchers in Civil Engineering,2011.
- [4]. Bruneau et al (Courtesy of Seismic Isolation Engineering, Inc.) Berkeley, CA, 2011.
- [5]. Deulkar ,w., Modhera ,c. and Patil,H." BUCKLING RESTRAINED BRACES FOR VIBRATION CONTROL OF BUILDING STRUCTURE " Surat 395007, India ,2010.
- [6]. Engelhardt,M.,"Design of seismic-Resistant steel building structures"paper of the university of Texas , Austin,March 2007.
- [7]. LIN ,M., TSAI ,K., HSIAO ,P.and TSAI ,C." COMPRESSIVE BEHAVIOR OF BUCKLING-RESTRAINED BRACE GUSSET CONNECTIONS" The First International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering, Nagoya, Japan,2005
- [8]. Uriz, P. and Mahin, S., "Seismic Performance of Concentrically Braced Steel Frame Buildings," Proceedings, 13WCEE, Vancouver, Canada, Aug. 2004.
- [9]. Black, C., Makris, N. and Aiken, I., "Component Testing, Stability Analysis and Characterization of Buckling- Restrained Unbonded Braces," PEER Report No. 2002/08, University of California , Berkeley, California, September 2002.
- [10]. Sabelli, R., Mahin, S. and Chang, C., "Seismic Demands on Steel Braced Frame Buildings with Buckling- Restrained Braces," Proceedings, US-Japan Joint Seminar on Advanced Stability and Seismicity Concept for Performance-Based Design of Steel and Composite Structures, Kyoto, Japan, August, 2001.

- [11]. Ohi, K., Shimawaki, Y., Lee, S and Otsuka, H., "Pseudo dynamic tests on pseudo-elastic bracing system made from shape memory alloy," Bulletin of Earthquake Resistant Structure Research Center, No. 34, March 2001, pages 21-28.
- [12]. Aiken, I.D. and Kimura, I., "The Use of Buckling- Restrained Braces in the United States ,"Proceedings, Japan Passive Control Symposium, Tokyo Institute of Technology, Japan, **2001**.
- [13]. Brown, A.P., Aiken, I.D. and Jafarzadeh, F.J., "Seismic Retrofit of the Wallace F. Bennett Federal Building," Modern Steel Construction, American Institute of Steel Construction, August 2001.
- [14]. Kamura, H., Katayama, T., Shimokawa, H., and Okamoto, H., "Energy dissipation characteristics of hysteretic dampers with low yield strength steel," Proceedings, U.S.-Japan Joint Meeting for Advanced Steel Structures, Building Research Institute, Nov 2000.
- [15]. Stanley, Crawley. W & Robert, and M. Dillon "Steel Buildings, Analysis and Design, 4th Edition ", John Wiley & Sons, Inc. ,1993.
- [16]. Aiken, I, et al., "Comparative study of four passive energy dissipation systems," Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Sept 1992.
- [17]. Khatib, I. and Mahin, S., "Dynamic inelastic behavior of chevron braced steel frames," Fifth Canadian Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam, 1987.
- [18]. Huckelbridge, A., and Clough, R., "Seismic response of uplifting building frame," Journal of the Structural Division, ASCE. Vol. 104, no. ST8, Aug. 1978.

## Abstract

Steel frames are considered an "essential" in engineering structures, characterized by lightweight for the load that can be carried by, it carries three times the weight. Several ways have been used to raise the efficiency of these Steel frames seismically, and Buckling Restrained Brace (BRB) is considered as one of the modern methods to improve the behavior of these frames seismically.

The research aims to conduct an analytical study to verify the seismic performance of Buckling Restrained Brace Frame (BRBF).

In this study, Numerical analysis using the finite element method (FEM) has been used using ABAQUS 6.11 and PYTHON scripting leading model matches the real model producing satisfactory results.

In this research the impact area of the BRB and the form of bracing were studied based on the seismic behavior of steel frames and under the influence of Cyclic Load and then by applying the earthquakes loading.

This study showed the importance of BRB in improving the seismic behavior of steel frames and their contribution to withstand seismic forces and increase resistance to steel frames reducing their lateral displacement and to dissipate energy preventing plastic hinges in steel frame elements so entire collapse can be avoided while exposing to seismic or lateral loads.

Seismic Analysis – Seismic Loads – Inelastic Analysis – Hysteresis loops – BRB – BRBF – Bare Frame.

Damascus University  
Higher Institute of Earthquake  
Studies and Research  
Department of Seismic Structural  
Engineering



# **Seismic Performance of Steel Frames Equipped With Buckling Restrained Brace**

A Thesis Prepared to Obtain a Master Degree in Civil Engineering  
Department of Seismic Structural Engineering

Prepared by  
Eng. Luay Khaled Almnini

Supervised By  
Dr.Eng. Hala Hasan  
Dr.Eng. Amjad Al-helwani

Damascus – 2015