

الجمهورية العربية السورية، دمشق

جامعة دمشق، كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الانشائية

السلوك الزلزالي للإطارات البيتونية المسلحة المقاومة بعناصر

تربيط معدنية - دراسة لا خطية

اطروحة اعدت كجزء من متطلبات الحصول على درجة الماجستير

في الهندسة الانشائية

في كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق

إعداد

غيث الصوص

الدكتور المشرف

د. م. ربيع الصفدي

كلية الهندسة المدنية

دمشق 2015

الجمهورية العربية السورية، دمشق

جامعة دمشق، كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الانشائية

السلوك الزلزالي للإطارات البيتونية المسلحة المقواة بعناصر تربيط

معدنية – دراسة لا خطية

اطروحة اعدت كجزء من متطلبات الحصول على درجة الماجستير

في الهندسة الانشائية

في كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق

إعداد

غيث الصوص

يعتمد من لجنة الممتحنين:

عضواً رئيساً

الدكتور المهندس / محمد أحمد السمارة

استاذ في قسم الهندسة الانشائية/ كلية الهندسة المدنية/جامعة دمشق

عضواً

الدكتور المهندس / قاسم الزحيلي

أستاذ في قسم الهندسة الانشائية/ كلية الهندسة المدنية / جامعة دمشق

عضواً مشرفاً

الدكتور المهندس / ربيع الصفدي

مدرس في قسم الهندسة الانشائية / في كلية الهندسة المدنية / جامعة دمشق

الملخص:

يعتبر عنصر التثبيت المعدني من العناصر المستخدمة في الابنية المصنوعة من البيتون المسلح وذلك لتحقيق غايتين:

الأولى وهي تقوية وتدعيم المنشآت القائمة (المشيده من فترات قديمة) وزيادة قدرة تحملها على الحمولات الجانبية. **الثانية** وهي اعتبارها كعنصر قص يتحمل حمولات زلزالية في التصميم الزلزالي للأبنية الحديثة. يهدف هذا البحث الى إجراء دراسة تحليلية للتحقق من فعالية إضافة عناصر التثبيت القابلة للتحنيب على الاطارات البيتونية المسلحة ، حيث دلت العديد من الدراسات السابقة على أثر التثبيت في رفع قدرة تحمل الاطارات على الحمولات الجانبية ، إضافة الى تقليل من قيم الانزحاحات الجانبية الناتجة عن تلك الحمولات الجانبية ، وذلك يعود لمساهمة التثبيت في رفع كلا من قساوة الاطارة ومقدرة الاطار على تبديد الطاقة بشكل اساسي.

حيث تم في هذه الدراسة إجراء تحليل عددي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEM) واستخدام التحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة (MNA) ولاخطية الشوهات الكبيرة (Neglon). في البداية تم المقارنة بين الاطارين دون ومع تثبيت معدني ثم بعد ذلك تم زيادة قطر التثبيت وبيان أثر هذه الزيادة على السلوك الزلزالي للاطار المدروس.

بينت هذه الدراسة الفائدة الكبيرة المحققة من إضافة عنصر الربيط الى الاطارات البيتونية المسلحة وذلك من خلال مقارنة ثلاثة برامترات بين الاطارت العادية والاطارات المزودة بالتثبيت وهي :

القساوة والطاقة المبددة والمطاوعة وبين اثر التثبيت في كل منها.

ثم تم توضيح أن زيادة مقطع التثبيت المضاف ليس له اثر كبير في تحسين السلوك الزلزالي لمنشأ وتم توضيح ذلك بمقارنة البرامترات الثلاثة السابقة بين اطارين مزودين بالتثبيت الاول صغير المقطع والآخر كبير.

الفهرس:

I.....	الملخص:	
V.....	لائحة الجداول:	
VI.....	لائحة الأشكال:	
XI.....	لائحة الرموز والمصطلحات:	
2.....	الفصل الأول المقدمة Introduction	
	1—1. مقدمة عن الجمل الإنشائية المقاومة للزلازل Introduction about Structural Seismic	
2.....	Resisting Systems	
	1—2. أنواع الإطارات الخرسانية المقاومة للعزوم Types of Concrete Moment Resisting	
5.....	Frame Systems	
	1—3. لمحة عن الطرق المستخدمة في تقوية الإطارات البيتونية Techniques of Strengthening RC	
6.....	Frames	
8.....	4.1. مقدمة عن التبريط المعدني Introduction of steel bracing systems	
9.....	5.1. مشكلة البحث Problem of Research	
9.....	6.1. الهدف من البحث وأهميته Importance and Objective Of Research	
10.....	7.1. طرائق البحث Methods Of Research	
10.....	8.1. الخطوط العامة للرسالة Thesis Outlines	
	الفصل الثاني مراجعة الأبحاث والتقنيات السابقة	
	Review of previous researche and techniques	
	13	
13.....	12. مقدمة : Introduction	

13.....	(Seismic behavior of RC Frame) السلوك الزلزالي لإطارات البيتون المسلح
14.....	1.1.2 مفهوم المطاوعة: (Ductility Concept)
17.....	2.2 الانهيار الهش والسلوك المطاوع للإطارات Brittle and Ductile Performance
18.....	3-2 ميكانيكيات الانهيار في الإطارات البيتونية المسلحة Mechanisms of Failure of RC frames
19.....	1.3.2 جملة عمود قوي – جائز ضعيف : Strong column – Weak beam
20.....	2.3.2 جملة جائز قوي – عامود ضعيف Strong beam – Weak column
22.....	4.2 انهيار العقد Nodes Failure
22.....	5-2 ميكانيكيات الانهيار لعناصر التثبيت المعدنية تحت تأثير الحمولات الزلزالية Mechanisms of
22.....	Failure of SBS under earthquake loading
24.....	6-2 سلوك التثبيت المعدني المستخدم في تقوية الإطارات البيتونية المسلحة Behavior of the
24.....	Bracing System in strengthening RC Frames
25.....	1-6-2 تصنيف التثبيت حسب موقعه بالنسبة للمنشأ Grouping according to the location of
30.....	bracing according to the system of connecting of bracing members
33.....	7.2 الدراسات المرجعية Literature survey
44.....	الفصل الثالث التحليل الإنشائي باستخدام نظرية العناصر المحدودة Structural Analysis Using
44.....	Finite Element Method (FEM)
44.....	1.3 مقدمة : Introduction :
45.....	2.3 توصيف النموذج Model Description

3—3	التحليل الإنشائي بطريقة العناصر المحدودة	Structural Analysis Using Finite Elements
46	Method (FEM)	
1.3.3	العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج	Elements Used in the Model using
46	ABAQUS (6.12)	
2.3.3	الشروط المحيطة للنموذج (Boundary Conditions Model's):	
48		
3.3.3	نوع التحليل المستخدم في النموذج	Type of Used Analysis
48		
4.3.3	توصيف المواد المستخدمة في النمذجة	Materials Used in Modeling
48		
5.3.3	شكل النموذج المدروس في برنامج Abaqus6.12 :	
61		
6.3.3	مقارنة النتائج التحليلية :	
62		
3—3—7	دراسة أثر زيادة قطر التثبيت على السلوك الزلزالي للإطار :	Study the effect of
67	increasing the diameter of the Bracing System	
73	الفصل الرابع: النتائج والتوصيات	
73	1.4 ملخص النتائج:	
74	2.4 التوصيات والأعمال مستقبلية: Recommendations for Future Works	
76	المراجع:	
79	Abstract:	

لائحة الجداول:

- الجدول (1-2): يوضح مواصفات المواد المستخدمة في النموذج (Viswanath K.G, 2010) 34
- الجدول (2-2): القيم العظمى للانتقالات الجانبية مقدره بـ مم في الاتجاه X (Viswanath K.G , 2010) 36
- الجدول (3-2): القيم العظمى للقوة المحورية في الأعمدة Kn للنموذج المدروس (Viswanath K.G, 2010) 36
- الجدول (4-2): القيم العظمى للقوة القص في الأعمدة مقدره Kn للنموذج المدروس (Viswanath K.G, 2010) 37
- الجدول (5-2): القيم العظمى للعزوم في الأعمدة مقدره Kn.m للنموذج المدروس (Viswanath K.G, 2010) 37
- الجدول (6-2): القيم العظمى للانتقالات الجانبية مقدره بـ مم في الاتجاه X (Viswanath K.G , 2010) 37
- الجدول (1-3): يبين قيم المطاوعة للإطارين بدون ومع تربيط 67
- الجدول (2-3): يوضح قيم المطاوعة للإطارين مع التربيط الكبير والصغير 71

لائحة الأشكال:

- الشكل (1-1) : تنفيذ وأشكال جدران القص 3
- الشكل (2-1) : مبنى إطاري من 8 طوابق 3
- الشكل (3-1) : التفاعل بين الإطار و جدار القص في الجملة الثنائية (Penelis and Kappos ,1997) 4
- الشكل (4-1) : نماذج جمل مختلطة 4
- الشكل (5-1) : تفاصيل التسليح الإدنى في أعمدة الجمل الإطارية (Han and Jee, 2005) 6
- الشكل (6-1) : طرق تقليدية في تدعيم عقد الإطارات بقمصان بيتونية أو فولاذية (Murty, 2006) 7
- الشكل (7-1) : مقارنة بين فعالية طرق التدعيم المختلفة للإطارات البيتونية المسلحة (Rai,2009) 8
- الشكل (8-1) : يبين أحد أنواع التريبط المستخدم في المباني البيتونية 9
- الشكل (1-2) : المطاوعة كما عرفها الكود الأوروبي (Eurocode 8-2, 2005) 15
- الشكل (2-2) : حدود المطاوعة كما عرفها الكود الأوروبي (Eurocode 8-2, 2005) 16
- الشكل (3-2) : الأداء الأفضل للجمل الإطارية بسلوك عمود قوي - جائر ضعيف (Murty , 2006) 16
- الشكل (4-2) : أنواع الانهيارات التي تتعرض لها الأبنية والجمل الإطارية 18
- الشكل (5-2) : النمط العام لميكانيكيات الانهيار في الإطارات (Ghobardhand Biddah , 1999) 19
- الشكل (6-2) : تشكل مفصل لدن عند التقاء الجائر بالعقدة على يمين ويسار العقدة (Penelis and Kappos,) 19
- 19..... (1997) 19
- الشكل (7-2) : شرط تحقيق السلوك المطاوع للإطار (ACI 318- 2008) 20
- الشكل (8-2) : تشكل مفصل لدن في العامود أعلى وأسفل العقدة (Penelis and Kappos , 1997) 21
- الشكل (9-2) : حالات تشكل المفاصل اللدنة المرغوب وغير المرغوب بها (Seaoc blue book , 1997) 21
- الشكل (10-2) : أنماط انهيار عقد الإطارات البيتونية المسلحة على الأحمال الزلزالية (Penelis and) 22
- 22..... (Kappos , 1997) 22

- الشكل (11-2) : نموذج الإطار المعدني المربط المعرض إلى حمولة جانبية (*Tremblay R, 2002*) 23
- الشكل (12-2) : القوى المتشكلة في عناصر التثبيت عند تحميل الإطار (*Tremblay R, 2002*) 23
- الشكل (13-2) : انخفاض قوة الضغط في العنصر المتحنب ووصل قوة الشد إلى حد السيلان (*Tremblay R, 2002*) 24
- الشكل (14-2) : انخفاض قوة الضغط في العنصر المتحنب ووصل قوة الشد إلى حد السيلان (*Tremblay R, 2002*) 24
- الشكل (15-2) : يبين عينة الإطار المدروس الغير مرتبط حيث (a) مسقط الإطار و (b) واجهة الإطار (*Buch etal , 1991*) 25
- الشكل (16-2) : يوضح عينة الإطار المزود بتثبيت خارجي (*Buch etal , 1991*) 26
- الشكل (17-2) : يوضح عينة الإطار الغير مرتبط المستخدم في التجربة (*Maheri and Sahebi, 1997*) 28
- الشكل (18-2) : يوضح آلية الإتصال بين عناصر التثبيت والإطار البيتوني وعناصر التثبيت نفسها (*Maheri and Sahebi, 1997*) 28
- الشكل (19-2) : يوضح أنواع التثبيت المعدني المستخدم في الإختبار (a) تثبيت مركزي (b&c) تثبيت لامركزي (*Ghobarah A. And Abou Elfath , 2001*) 31
- الشكل (20-2) : يبين المبنى الإطاري الأصلي وثلاث حالات تدعيم للمبنى باستخدام تثبيت لامركزي (*Korkmaz K., 2007*) 32
- الشكل (21-2) : يوضح مسقط وواجهة النموذج المدروس (*Viswanath K.G , 2010*) 35
- الشكل (22-2) : يوضح أيضاً تطبيق التثبيت على النموذج ، حيث يلاحظ توضع التثبيت على الإطارات الخارجية للمبنى فقط (*Viswanath K G , 2010*) 35
- الشكل (23-2) : يوضح المبنى الأصلي الذي أخذت منه عينتي الإختبار الاطار العادي والاطار المزود بتثبيت (*Youssef etal, 2007*) 38

- الشكل (2-24) : يوضح عينتي الاختبار الاطار العادي والاطار المزود بتربيط (Youssef et al,2007) 39
- الشكل (2-25) : يوضح مواصفات المقاطع (اعمدة- جوائز) للنموذجين العادي والمزود بتربيط (Youssef et al,2007) 40
- الشكل (2-26) : يوضح عينة الإختبار و الحمولة المعرض لها (Youssef et al,2007) 40
- الشكل (2-27) : يوضح التشققات الحاصلة في الإطار الغير مرتبط (Youssef et al,2007) 41
- الشكل (2-28) : يوضح التشققات الحاصلة في الإطار مرتبط (Youssef et al,2007) 42
- الشكل (2-29) : يوضح مخطط (قوة جانبية- انتقالات) (Youssef et al,2007) 42
- الشكل (3-1) : يوضح عينتي الاختبار الاطار العادي والاطار المزود بتربيط (Youssef et al,2007) 45
- الشكل (3-2) : يوضح مواصفات المقاطع (اعمدة- جوائز) للنموذجين العادي والمزود بتربيط (Youssef et al,2007) 46
- الشكل (3-3) : يبين تمثيل العنصر المساحي نو أربع عقد (ABAQUS 6.12 Documentation ، 2012) 47
- الشكل (3-4) : يبين تمثيل العنصر الشبكي نو العقدتين (ABAQUS 6.12 Documentation ، 2012) 47
- الشكل (3-5) : يبين تمثيل العنصر الجائزي نو العقدتين (ABAQUS 6.12 Documentation ، 2012) 48
- الشكل (3-6) : يبين مخطط الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الضغط (ABAQUS 6.12 Documentation ، 2012) 50
- الشكل (3-7) : يبين مخطط الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الشد (ABAQUS 6.12 Documentation ، 2012) 52
- الشكل (3-8) : يبين التحميل اللاخطي (شد- ضغط- شد) مع أخذ القيم الافتراضية لمعاملات استرداد القساوة (Wc=،Wt=0) (ABAQUS 6.12 Documentation ، 2012) 54

الشكل (9-3) : يبين تصرف البيتون على الضغط حسب نظرية (CDP) وذلك وفق الكود الأوروبي Eurocode	2
55.....	
الشكل (10-3) : يبين منحنى التشوه النسبي- الاجهادات يبين تصرف البيتون على الضغط المعتمد بالنمذجة	
56.....	
الشكل (11-3) : يبين منحنى التشوه النسبي الاجهادات يبين تصرف البيتون على الشد المعتمد بالنمذجة.....	
57.....	
الشكل (12-3) : مخطط الإجهاد - التشوه النسبي لحديد جوائز التريبط المعتمد في النمذجة.....	
57.....	
الشكل (13-3) : منحنى التشوه النسبي- الاجهاد لحديد التسليح في نظرية (Menegotto-Pinto,2001)..	
58..	
الشكل (14-3) : منحنى (التشوه النسبي- الاجهاد) لحديد التسليح في نظرية (Menegotto-Pinto,2001) مع	
قيم مختلفة لعامل الصلابة (b)	
59.....	
الشكل (15-3) : منحنى (التشوه النسبي- الاجهاد) لحديد التسليح المعتمد في النموذج.....	
60.....	
الشكل (16-3) : شكل توضيحي لالية نقل الحمولة عن طريق الوصلة (Abaqus6.12 Documentation)	
60.....	
الشكل (17-3) : شكل نموذج الاطار المدروس بدون التريبط موضح عليه التسليح وشروط الاستناد وفق برنامج	
Abaqus6.12	
61.....	
الشكل (18-3) : شكل الاطار المدروس مع التريبط موضح عليه التسليح وشروط الاستناد وفق برنامج	
Abaqus6.12	
61.....	
الشكل (19-3) : شكل العقدة في الاطار المدروس مع التريبط موضح عليه التسليح وشروط الاستناد وفق	
برنامج Abaqus6.12	
62.....	
الشكل (20-3) : شكل مغلف نسبة الانتقال - القص القاعدي لحالة الاطار بدون جوائز التريبط وفق	
برنامج (Abaqus6.12)	
63.....	
الشكل (21-3) : شكل مغلف نسبة الانتقال الجانبي - القص القاعدي لحالة الاطار مع جوائز التريبط وفق	
برنامج (Abaqus6.12)	
63.....	
الشكل (22-3) : شكل الاطار مع التريبط عند الانهيار وتشكل المفاصل اللدنة وفق برنامج (Abaqus6.12)	
64.....	

- الشكل (3-23) : شكل مقارنة النتائج (الانتقال- القص القاعدي) للنموذج المدروس.....64
- الشكل (3-24) : شكل مقارنة النتائج (نسبة الانتقال الجانبي- الصلابة الجانبية) للنموذجين بدون ومع تربيط.65
- الشكل (3-25) : شكل مقارنة النتائج (الانتقال- الطاقة المبددة) للنموذجين بدون ومع تربيط66
- الشكل (3-26) : شكل مقارنة النتائج (نسبة الانتقال الجانبي- القص القاعدي) للنموذجي الاطارين مع التربيط
كبير وصغير المساحة68
- الشكل (3-27) : شكل مقارنة النتائج (نسبة الانتقال الجانبي- الصلابة الجانبية) للنموذجي الاطارين مع التربيط
كبير وصغير المساحة69
- الشكل (3-28) : شكل مقارنة النتائج (الانتقال- الطاقة المبددة) للنموذجي الاطارين مع التربيط كبير وصغير
المساحة70

لائحة الرموز والمصطلحات:

الرمز	التعريف
μ_s	مطاوعة المادة
ϵ_u	التشوهات القصوى عند الإنهيار
ϵ_y	التشوهات عند بدء الخضوع
μ_ϕ	مطاوعة المقطع
ϕ_u	الانحناء الأعظمي المتوقع على الإنهيار
ϕ_y	الانحناء عند بدء الخضوع للتسليح
μ_d	مطاوعة الجملة
du	الانتقال الحدي عند الإنهيار
dy	الانتقال عند بدء الخضوع للتسليح
M_{nc2} , M_{nc1}	طاقات تحمل العزوم للأعمدة عند أوجه العقدة
M_{nb2} , M_{nb1}	طاقات تحمل العزوم للجوائز عند أوجه العقدة
C_u	القوة المسببة لتحنيب عنصر التثبيت على الضغط
T_y	القوة المسببة للسيلان للسيلان عنصر التثبيت على الشد
P_y	حد السيلان عنصر التثبيت
Z	معامل المنطقة
I	معامل الأهمية
R	معامل تخفيض الاستجابة
DL	الحمولة الميتة
LL	الحمولة الحية

حد الخضوع لحديد التريبط المستخدم في تجربة (Youssef et al,2007)	f_{yb}
حد الخضوع لحديد الأساور المستخدم في تجربة (Youssef et al,2007)	f_{yt}
حد الخضوع لحديد التسليح الطولي المستخدم في تجربة (Youssef et al,2007)	f_y
المقاومة المميزة للبيتون على الضغط في تجربة (Youssef et al,2007)	$f'c$
العنصر المساحي المستخدم لنمذجة البيتون في الأباكوس	CPS4R
العنصر الشبكي المستخدم لنمذجة حديد التسليح في الأباكوس	T2D2
عنصر جازي المستخدم لنمذجة التريبط المعدني	B23
هي نظرية (Concrete Damage Plasticity) المستخدمة لنمذجة البيتون	CDP
الإجهاد الابتدائي لبيتون عند بدأ التحميل	σ_{c0}
القيمة الحدية لإجهاد البيتون على الضغط	σ_{cu}
معامل تخفيض القساوة على الضغط	dc
معامل المرونة الابتدائي للبيتون	E0
تشوهات الضغط اللدنة المتبقية في البيتون	ϵ_c^{pl}
هو التشوه غير المرن	ϵ_c^{in}
التشوه المرن عند هذه نقطة معينة من منحنى البيتون على الضغط	ϵ_{0c}^{el}
إجهاد الحدي للبيتون على الشد	σ_{to}
معامل تخفيض القساوة على الشد	dt
تشوهات الشد اللدنة المتبقية في البيتون	ϵ_t^{pl}
تشوه التشقق في البيتون	ϵ_t^{ck}
التشوه المرن عند هذه نقطة معينة من منحنى البيتون على الشد	ϵ_{0t}^{el}
معاملات استرداد القساوة لنموذج البيتون	Wc, Wt

حد المرونة الخطية لنموذج البيون	elim
قيم التشوه للبيتون النسبي المقابل للقيمة العظيمة لإجهاد البيتون على الضغط	ϵ_{c1}
التشوه النسبي للبيتون المقابل لقيمة إجهاد بيتون لحظة انقطاعه وتوقفه عن العمل	ϵ_{cu}
القيمة العظيمة لإجهاد البيتون على الضغط	fcm
إجهاد بيتون لحظة انقطاعه وتوقفه عن العمل	f _{cu}
قيمة التشوه النسبي الابتدائي للبيتون على الشد المرافق لذروة الإجهاد	ϵ_{to}
قيمة التشوه الحدي للبيتون على الشد	ϵ_{total}
المقاومة العظيمة للبيتون على الشد	f _{ct}
المقاومة المميزة للبيتون	f _{ck}
معامل مرونة حديد التريبط	E _s
قيمة الاجهاد وفق طريقة (Menegotto-Pinto,2001)	σ_s^*
التشوه النسبي وذلك عند النقطة التي يبدأ فيها حديد لتسليح بالتقسية	ϵ_0
الاجهاد النسبي وذلك عند النقطة التي يبدأ فيها حديد لتسليح بالتقسية	σ_0
معامل التقسية	b
معامل مرونة حديد التسليح في مرحلة المرونة	E ₀

الفصل الأول

المقدمة

Introduction

الفصل الأول

المقدمة

Introduction

1-1. مقدمة عن الجمل الإنشائية المقاومة للزلازل

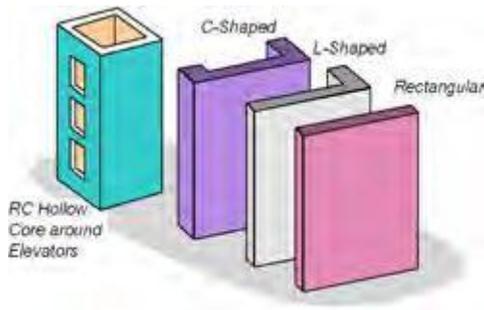
Introduction about Structural Seismic Resisting Systems

يهدف التصميم الزلزالي بشكل أساسي إلى الحفاظ على سلامة المنشأ من الإنهيار للحفاظ على الأرواح البشرية (Life Safety) كهدف أساس ، وبقاء بعض المنشآت ضمن مجال الاستخدام (Immediate Occupancy) ، من هنا فإن الجمل الإنشائية يجب أن تمتلك قدرة كافية على مقاومة القوى الجانبية (Lateral Loads) ومطاوعة (Ductility) كافية أيضاً لتمثل في قدرتها على إعادة توزيع الإجهادات والسماح بتشكيل المفاصل في الجوائز قبل الأعمدة منعاً للإنهيار المفاجئ في العناصر الإنشائية.

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

A- جمل جدران القص (Shear Wall Systems)

تعرف بأنها جمل تقوم جدران القص فيها بمقاومة الأحمال الجانبية بمفردها ، ولها اشتراطات تسليح وأبعاد محددة (الكود العربي السوري ، 2004) . يتمتع هذا النوع من الجمل بصلابة عالية مقارنة مع الجمل الأخرى إلا أن أحد سلبياتها انخفاض المطاوعة (Ductility) (UBC97) ، بينما تتمثل أهم ايجابياتها بزيادة صلابة البناء التي تفيد في انخفاض التأثيرات من الدرجة الثانية ($P-\Delta$) مما يزيد الأمان ضد الانهيار ، كما تخفف هذه الصلابة من الضرر في العناصر غير الإنشائية وتخفف كثيراً من التأثيرات النفسية على سكان الطوابق العليا في الأبنية العالية في الأبنية العالية التي تسببها الانتقالات الناتجة عن الزلازل ، يوضح الشكل (a1-1) تنفيذ جدران القص بينما يظهر الشكل (b1-1) بعض أشكال جدران القص



(Murty 2006) بعض أشكال جدران القص (b)



(a) تنفيذ جدران القص

الشكل (1-1) : تنفيذ وأشكال جدران القص

B- الجمل الإطارية (Frames Systems)

تعرف بأنها جمل مؤلفة من إطارات فقط وهي عبارة عن جوائز وأعمدة تربط بينها عقد (الشكل 1-2) ، حيث تؤمن هذه الإطارات بشكل رئيس نقل الأحمال الرأسية كما تؤمن مقاومة القوى الزلزالية وذلك عن طريق مقاومة الانحناء (Bending Resistance) التي تتمتع بها عناصر الإطار ويجب أن تتمتع بصفة المطاوعة لتضمن حدوث تشوهات كبيرة قبل الانهيار لتبديد أكبر كمية من طاقة الزلازل ، إلا أن أحد مساوئه هو السماح بحدوث انتقالات كبيرة في المبنى.

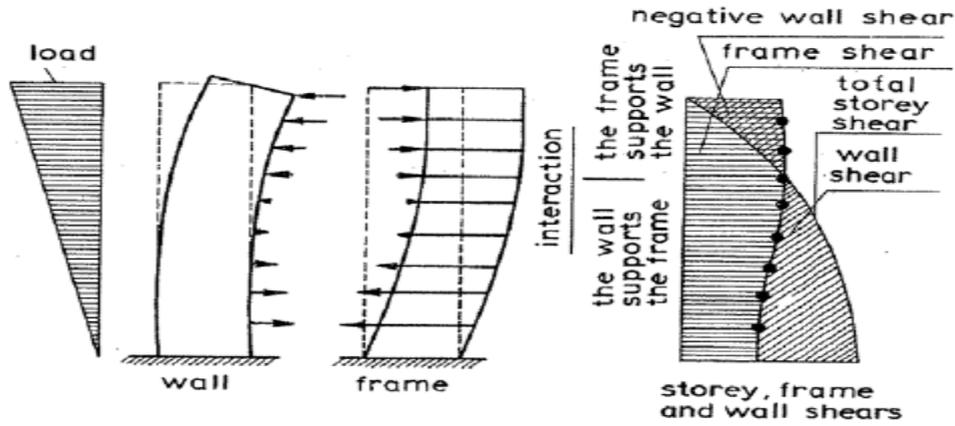


الشكل (2-1) : مبنى إطارية من 8 طوابق

C- الجمل الثانية من الإطارات الخرسانية المقاومة للعزوم وجدران القص

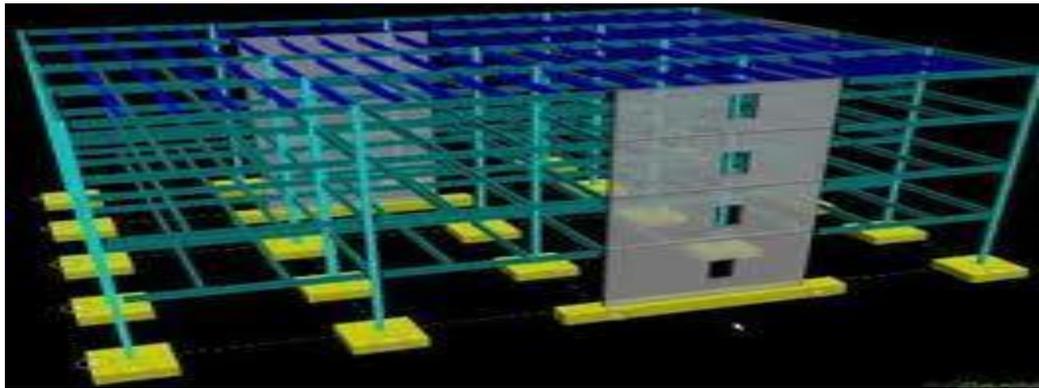
(Dual Systems of Concrete Moment Resisting Frames and Shear Walls)

تتألف هذه الجمل من إطارات بيتونية مسلحة كما ورد في (الفقرة B) و جدران قص الواردة في (الفقرة A)، و يجب أن تصمم الإطارات المقاومة للعزوم لتتحمل على الأقل 25% من قوة القص التصميمية حتى لو كانت نسبة مساهمتها أقل من ذلك (ملحق الكود العربي السوري رقم (2) ، 2005) ، إن آلية عمل هذه الجملة تكمن في كون الإطار يعمل بشكل فعال في الجزء العلوي من المنشأ بينما يقاوم جدار القص القوى الأفقية في الجزء السفلي من المنشأ (الكود العربي السوري ، 2004) حيث يوضح الشكل (3-1) التفاعل بين الإطار وجدار القص في الجملة الثنائية (*Penelis and Kappos*) (1997).



الشكل (3-1) : التفاعل بين الإطار و جدار القص في الجملة الثنائية (*Penelis and Kappos*, 1997).

تؤمن هذه الجملة خاصية المطاوعة من خلال مساهمة الإطارات إضافة إلى تخفيف انتقالات المبنى من خلال جدران القص، حيث تبين الأشكال (1-4) نماذج الجمل مختلطة.



الشكل (4-1) : نماذج جمل مختلطة

2-1. أنواع الإطارات الخرسانية المقاومة للعزوم

Types of Concrete Moment Resisting Frame Systems

يعرف الإطار البيتوني المقاوم للعزوم على أنه الإطار الذي تكون عناصره ووصلاته قادرة على مقاومة القوى و عزوم الانحناء المؤثرة بشكل رئيسي من أحمال الزلازل ، مع الأخذ بالحسبان القوى و عزوم الانحناء الناتجة من الأحمال الشاقولية ، حيث تم تصنيفه تبعاً لدرجة المطاوعة (Ductility) وطاقة تحمل إلى ثلاث أنواع حسب (ملحق الكود العربي السوري رقم (2) ، 2005) وهي :

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

هو إطار مقاوم للعزوم لكنه لا يحقق التفصيلات الخاصة بمتطلبات سلوك المطاوعة (Ductility) و لا يسمح باستخدامه في المنطقتين الزلزليتين (3) و المنطقة (4) .

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

هو إطار مقاوم للعزوم مفصل بشكل خاص لتأمين سلوك المطاوعة بدرجة تتوسط ما بين الإطار العادي المقاوم للعزوم والإطار الخاص المقاوم للعزوم ، و فيه تصمم العناصر لمقاومة قوة القص تحسب من المقاومات الإسمية للعناصر عند العقد ، ولايسمح باستخدامه في المنطقة الزلزالية (4) .

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

هو إطار مقاوم للعزوم يفصل تسليحه بشكل خاص لتأمين سلوك المطاوعة (Ductility) ، و يختلف عن الإطار المقاوم للعزوم العادي بأن قطاعاته مصممة لمقاومة قوى القص حسابية تحدد من قيم طاقات العزم عند العقد ، بعد تصعيدها بمعامل تصعيد يساوي 1.25 وهو ناتج عن المقومة الإضافية لحديد التسليح في مرحلة مابعد الخضوع وما قبل الإنهيار .

ولتأمين تشكل المفاصل اللدنة ضمن الجوائز يجب أن تمتلك الأعمدة طاقة تحمل إنعطاف أكبر من طاقة تحمل الجواز وأن يكون لكل العناصر مقاومة قص وإرساء تسليح كافيان بحيث يمكن لمقاطع الجوائز الوصول إلى طاقة تحملها اللدنة (سمارة، 2006).

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

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

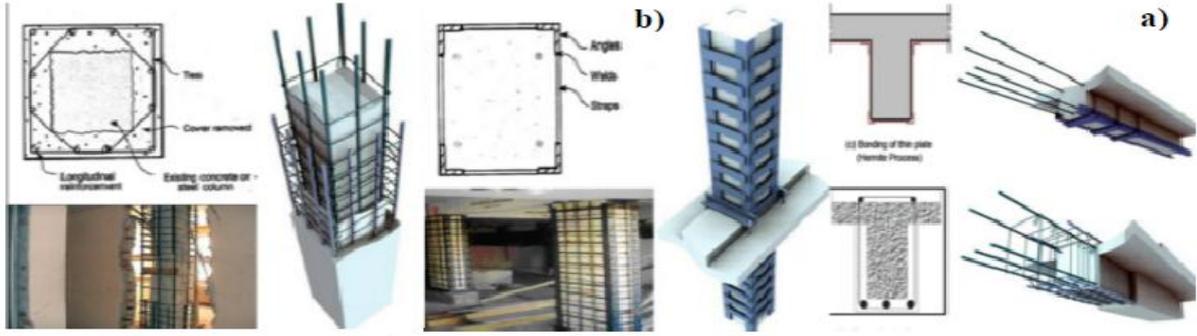
الشكل (5-1) : تفاصيل التسليح الإنشائي في أعمدة الجمل الإطارية (Han and Jee, 2005).

3.1. لمحة عن الطرق المستخدمة في تقوية الإطارات البيتونية

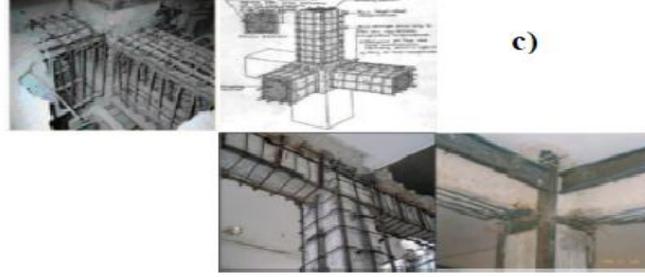
Techniques of Strengthening RC Frames

استخدمت الكثير من طرق تدعيم الجمل الإطارية بغية زيادة مقاومتها أو مطاوعتها أو تحويل مسار الانهيار إلى شكل أكثر تبديداً للطاقة، على اعتبار أن المطاوعة أساس عمل تلك الجمل في مقاومة الأحمال الجانبية. ومن الطرائق التقليدية المستخدمة في التدعيم (Murty, 2006) :

- استبدال الجزء التالف في حالة وجود نقاط ضعف في البيتون.
 - تدعيم الأعمدة بزوايا معدنية أو بقمصان فولاذية.
 - القميص البيتوني، حيث يغلف العنصر الإنشائي بطبقة جديدة من البيتون المسلح.
- يلاحظ في جميع الطرائق السابقة أن مقاطع العناصر سوف تزداد بشكل ملحوظ مما يؤدي إلى زيادة عتالة المقطع وبالتالي مقاومته. تبين الأشكال (6-1) عدة طرق لتدعيم عناصر الإطار :



(a) تدعيم الجوائز بقمصان فولاذية أو بيتونية. (b) تدعيم الأعمدة بقمصان فولاذية أو بيتونية.

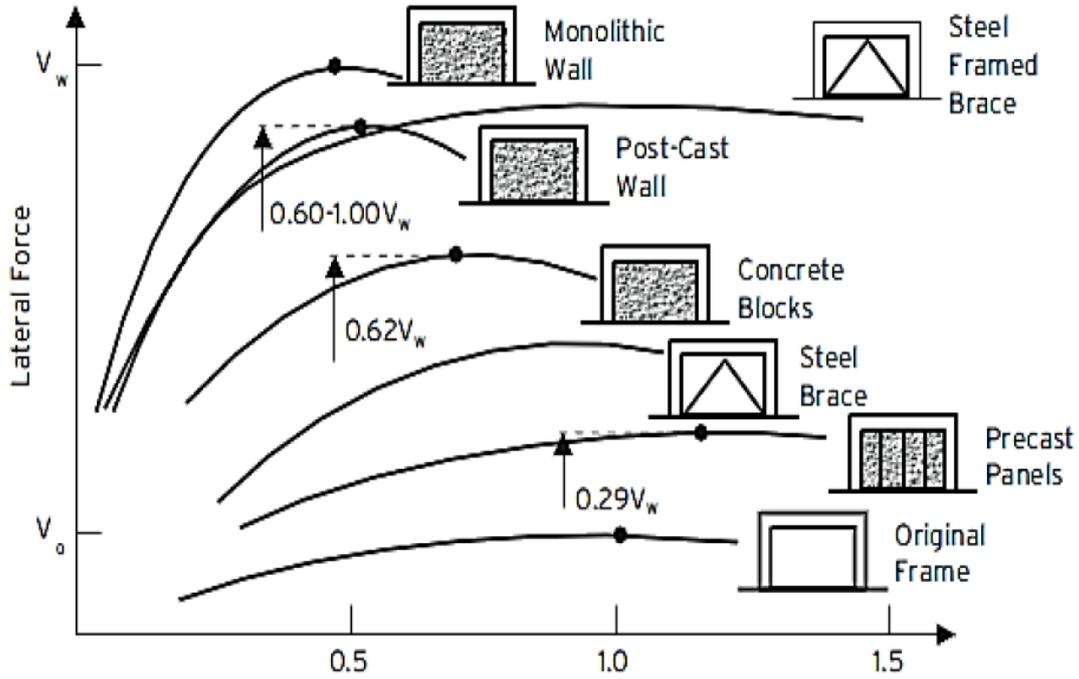


(c) تدعيم عقد الإطارات بقمصان فولاذية أو بيتونية.

الشكل (6-1) : طرق تقليدية في تدعيم عقد الإطارات بقمصان بيتونية أو فولاذية (Murty, 2006)

كما يبين الشكل (7-1) أثر إدخال عناصر إنشائية إضافية لتقوية الإطارات البيتونية على الأحمال الأفقية ، حيث يمثل المحور الأفقي الانزياح الطابقي النسبي (Drift ratio) و المحور الشاقولي يمثل القص القاعدي .

يلاحظ تدعيم الإطار الأساس (Bare Frame) باستخدام ألواح مسبقة الصنع (Precast Panels) يزيد من مقاومة الإطار على القص بمقدار 37% عن الإطار العادي بدون تدعيم، ويعطي تدعيم الإطار بوضع عناصر تريبط فولاذية (SBS) مقاومة أعلى من الإطار العادي بدون تدعيم تصل إلى 52% ، أما وضع عناصر تريبط فولاذي وإطار فولاذي فيعطي مقاومة أعلى بحدود 90% من الإطار العادي بدون تدعيم، وعلى الرغم من الحصول على نفس المقاومة بحالة وضع جدار قص مائل للإطار (Post - cast wall)، ولكنه يعطي مطاوعة أقل من التدعيم بإطار فولاذي مع عناصر تريبط فولاذية، و يتم التوصل إلى أعلى مقاومة بحالة تحويل الإطار إلى جدار قص مع انخفاض واضح للمطاوعة.



الشكل (7-1) : مقارنة بين فعالية طرق التدعيم المختلفة للاطارات البيتونية المسلحة (Rai,2009)

4-1. مقدمة عن التبريط المعدني

Introduction of steel bracing systems

يستخدم التبريط المعدني بشكل واسع لرفع قدرة التحمل الزلزالية للمباني المكونة من الاطارات البيتونية. وفي الوقت الحاضر يستخدم التبريط المعدني لزيادة كفاءة الابنية المشيدة (ليست حديثة) على مقاومة الحمولات الجانبية وتخفيف قيم الانتقالات فيها. ولتبريط لمعدني مزايا عديدة عند استخدامه في تقوية وتدعيم أبنية البيتون المسلح نذكر منها:

1. خفة الوزن الذي سوف يضيفه على المنشأ ككل.
2. السرعة في التنفيذ حيث عملية التركيب قصيرة مقارنة مع صب جدران قص جديدة ضمن المبنى.
3. الكلفة المنخفضة إذا ما قورنت الأعمال المعدنية مع أعمال صب البيتون.

يوجد أنواع عديد من التبريط المستخدم في عملية التقوية وتدعيم المنشآت البيتونية والشكل رقم (8-1)

يوضح أحد أشكال التبريط ذات الاستخدام الواسع.



الشكل (8-1) : يبين أحد أنواع التبريط المستخدم في المباني البيتونية

الهدف الاساسي من استخدام التبريط المعدني يبقى لتحمل (أو زيادة تحمل) المنشأ على الحمولات الجانبية وهي الحمولات الاساسية التي يقاومها التبريط. وقد يتعرض التبريط لحمولات ضمن مستوي التبريط (In-Plan Lateral Load).

حيث التبريط يعمل تحت تأثير التحميل الجانبي وفق الالية التالية :

عند تطبيق الحمل الجانبي فأن أحد عنصر التبريط سوف ينضغط والعنصر الاخر سوف ينشد ومع استمرار عملية التحميل يحنب العنصر المضغوط ويخرج عن العمل ويستمر العنصر المشدود بالتحمل حتى وصوله الى قيمته الحدية.

5.1. مشكلة البحث

Problem of Research

تكمن مشكلة هذا البحث في التحري بعدم أخذ تأثير التبريط المعدني المستخدم في الاطارات البيتونية المسلحة في المرحلة اللدنة وذلك عند التصميم الزلزالي على برامج التصميم المعتمدة، مما يغفل التصرف الانشائي الحقيقي للجملة الاطارية ويؤدي أيضاً الى إهمال مساهم التبريط في تلك المرحلة في تحمل المزيد من الحمولات.

6.1. الهدف من البحث وأهميته

Importance and Objective Of Research

يهدف البحث الى القيام بدراسة تحليلية لمعرفة تأثير إضافة عناصر التبريط المعدنية على سلوك المنشأ الزلزالي للإطارات البيتونية. دلت الدراسات السابقة على ان التبريط يعمل على رفع قدرة التحمل للإطارات على الحمولات الزلزالية ويقلل من قيمة الإنزياحات الجانبية لجملة الإنشائية المقاومة للأحمال الزلزالية.

كما ويهدف البحث الى دراسة فعالية زيادة قطر التبريط على السلوك الزلزالي للإطارات البيتونية المسلحة.

7.1. طرائق البحث Methods Of Research

تم في هذا البحث القيام دراسة عددية باستخدام برنامج (ABAQUS 6.12-1) لسلوك جملة إطارييتوني مسلح مزود بتبريط معدني ودراسة مدى تأثير التبريط على زيادة قساوة الإطار وتخفيف الإنتقالات الجانبية له وزيادة مقاومته عند تعرضه لحمولة جانبية في مستوي التبريط (In-Plane Lateral Loading).

حيث تم اجراء تحليل عددي باستخدام نظرية العناصر المحدودة (FEM) واستخدام التحليل اللاخطي الذي يأخذ لاختية المادة بعين الاعتبار (MNA) ولاختية التشوهات الكبيرة وذلك لتحديد مقاومة الإطار البيتونى المرطب بعناصر تبريط معدنية. كما تم تحري ثلاث بارامترات تتغير تبعاً لعملية إضافة التبريط وهي الصلابة ومقدار الطاقة المبددة والمطاوعة. ثم بعد ذلك عمل على زيادة مقطع التبريط المعدني ودرست البرامترات الثلاثة السابقة لمعرفة مدى جدوى وفعالية زيادة المقطع على السوك الزلزالي للإطارات البيتونية.

8.1. الخطوط العامة للرسالة Thesis Outlines

يتم عرض البحث في هذه الرسالة من خلال أربعة فصول كما يلي:

الفصل الاول (المقدمة): يحتوي مقدمة عن العناصر الأساسية في هذا البحث ، حيث يبدأ بمقدمة عن الجمل الإنشائية المقاومة للزلازل وأنواها المستخدمة ، ثم أنواع الإطارات البيتونية المسلحة واستخدامها ، بالإضافة إلى مقدمة عن نظام التبريط المعدني وأخيراً تم التحدث عن هدف البحث ومحتويات البحث.

الفصل الثاني (مراجعة الأبحاث والتقنيات السابقة): تم فيه استعراض الدراسات المرجعية السابقة مكونات البحث، حيث تم التركيز على السلوك الزلزالي للإطارات البيتونية المسلحة وميكانيكات انهيارها تحت تأثير الأحمال الجانبية، وتم إعطاء لمحة عن السلوك الزلزالي للتبريط المعدني لحمولا الجانبية وأنماط إنهارها المعروفة، ثم تم تسيط الضوء على السلوك الزلزالي للإطارات البيتونية المسلحة المزودة بعناصر تبريط معدنية قابلة للتحنيب.

الفصل الثالث (التحليل الإنشائي بطريقة العناصر المحدودة): يتضمن الدراسة التحليلية التي تمت في

هذا البحث ، حيث تم توصيف النموذج المعتمد في التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEM)

وبرنامج (ABAQUS، Ver 6.12) من حيث توصيف المواد الداخلة في النموذج وشروط الأستناد والأحمال

المطبقة وبما يحقق هدف البحث.

الفصل الرابع (ملخص النتائج والتوصيات): يلخص النتائج التي تم التوصل إليها في الفصول السابقة بالإضافة

إلى وضع توصيات من أجل الأعمال المستقبلية.

الفصل الثاني

مراجعة الأبحاث والتقنيات السابقة

Review of previous researches and techniques

الفصل الثاني

مراجعة الأبحاث والتقنيات السابقة

Review of previous researche and techniques

1.2. مقدمة : Introduction

يستعرض هذا الفصل السلوك الزلزالي (Seismic behavior) للإطارات البيتونية المسلحة من ناحية الصلابة الإنشائية (Structural stiffness) ، والمطاوعة (Ductility) . كما سيرد في هذا الفصل ميكانيكيات انهيار الإطارات البيتونية وتحديد الميكانيكية التي تؤمن كل من المقاومة والمطاوعة في آن واحد ، واستخدام نظام التريبط المعدني (SBS) في تقليل قيم الانزياحات في الاطارات البيتونية ورفع قدرة التحمل لها والذي هو هدف البحث وذلك من خلال استعراض بعض الدراسات المرجعية في هذا المجال.

السلوك الزلزالي لإطارات البيتون المسلح (Seismic behavior of RC Frame)

يعتبر تأمين حدوث تشوهات انعطاف غير مرنة (مفاصل لدنة ، Plastic Hinges) ، مع تأمين مقاومة جيدة على القص أكبر من المقاومة على الإنعطاف هدف عند التصميم على الأحمال الزلزالية ، لتجنب أنماط الإنهيار المفاجئة الناجمة عن القص (Brittle Collapse) ، ولقد بات معلوماً التعامل مع الزلازل في الطور المرن غير اقتصادي ، وغالباً ليس ضرورياً حيث أن الكلفة الناتجة عن تأمين المقاومة المطلوبة لمثل هذه القوى باهظاً.

يتم تصميم الجمل الإطارية لمقاومة القوى الجانبية باتخاذ الاعتبارات أفضل أداء على الزلازل في أن تمتلك تلك الجمل مستوى محدد من المطاوعة يعمل على تخفيض القوى الزلزالية بسبب تبديد الطاقة أثناء تشكل التشوهات الغير مرنة .

1.1.2. مفهوم المطاوعة: (Ductility Concept)

يعبر عن مفهوم المطاوعة وفق مايلي (Eurocode 8-2,2005) :

- مطاوعة المادة (التشوهات) : إن قابلية المواد المكونة للعناصر الإنشائية البيتونية المسلحة لإبداء

تشوهات كبيرة دون خسارة هامة في مقاومتها تمثل المصدر الأساس للمطاوعة (تشكل المفاصل

اللينة) ، و تعطي مطاوعة المادة من خلال العلاقة :

$$\mu_s = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_y}$$

حيث ϵ_u : التشوهات القصوى عند الانهيار.

ϵ_y : التشوهات عند بدء الخضوع.

من التعريف السابق للمطاوعة يبين أن الفولاذ هو مادة مطاوعة مع معامل مساوي لـ 20 أو أكثر ،

أما للبيتون فإن التشوهات على الضغط محدودة جداً ولكن يمكن زيادتها عن طريق التطويق الفعال وكذلك

باستخدام الألياف الفولاذية بنسب محددة .

- مطاوعة المقطع (الإنحناء) : أي قابلية المقطع للدوران (المفاصل اللينة) ، وهي تمثل المصدر

الأساس والهام للتشوهات ، وتعطي مطاوعة الإنحناء من خلال العلاقة :

$$\mu_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y}$$

حيث ϕ_u : الانحناء الأعظمي المتوقع على الإنهيار.

ϕ_y : الانحناء عند بدء الخضوع للتسليح.

تزداد مطاوعة الانحناء بزيادة التشوهات الأعظمية على الضغط عن طريق التطويق أو بتخفيض نسبة

التسليح.

- مطاوعة الجملة (الانتقال) : تعتبر مطاوعة الجملة من أكثر المعايير استعمالاً في تقدير

الاستجابة الإنشائية ويعبر عنها كما يلي الشكل (2-1) كما عرفها الكود الأوروبي :

$$\mu_d = \frac{du}{dy}$$

حيث du : الإنتقال الحدي عند الإنهيار.

dy : الإنتقال عند بدء الخضوع للتسليح.

F_{Rd} : القوة التصميمية المقاومة للزلازل.

حيث A المنحني التصميمي (Design)، و B المنحني التقريبي (Elastoplastic).

أشار الكود الأوروبي إلى تعريف الانتقال الأقصى الذي يحقق مطاوعة العنصر بحيث يسمح للمنشأ

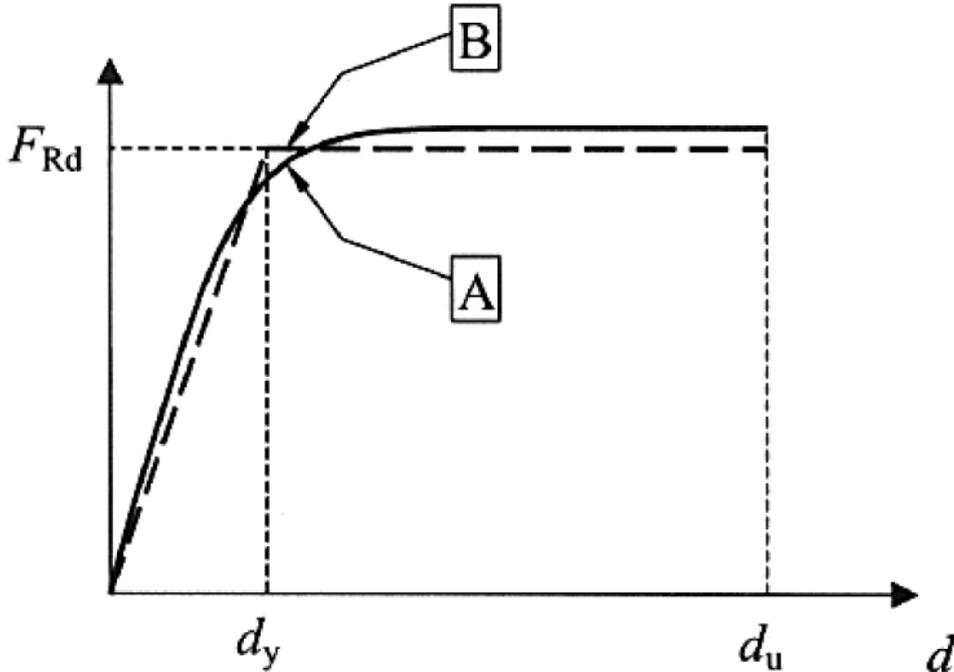
بالانتقال خمس مرات كاملة أثناء حدوث الزلزال كحد أدنى بحيث يتحقق:

- دون انهيار أي من العناصر البيتونية المسلحة والمطوقة.

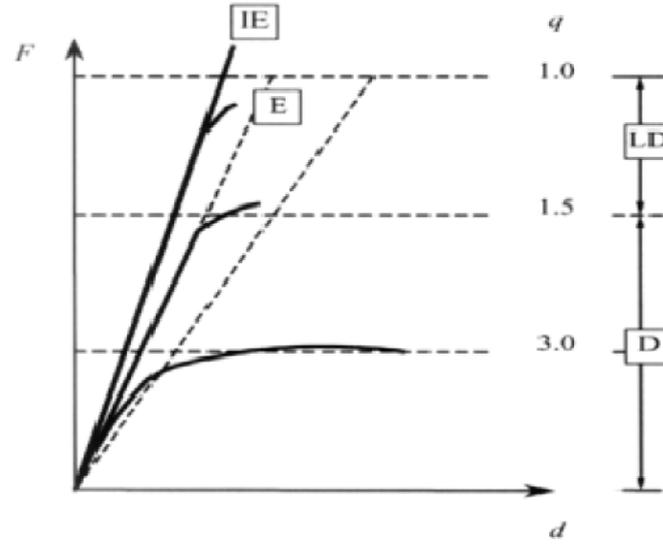
- دون انخفاض مقاومة العناصر البيتونية المسلحة لأكثر من 20%.

كما يبين الشكل (2-2) حدود المطاوعة حيث يعتبر المنشأ ذي مطاوعة مرتفعة عندما تحقق النسبة

$$\mu_d < 3.$$



الشكل (1-2): المطاوعة كما عرفها الكود الأوروبي (Eurocode 8-2, 2005)



الشكل (2-2) : حدود المطاوعة كما عرفها الكود الأوروبي (Eurocode 8-2, 2005)

بناءً على ما سبق يمكن تصنيف الحالة التصميمية للجمل إلى نوعين :

جمل ذات مطاوعة محدودة (LD, Limited Ductile) : وهي الجمل التي تتعرض إلى انهيارات

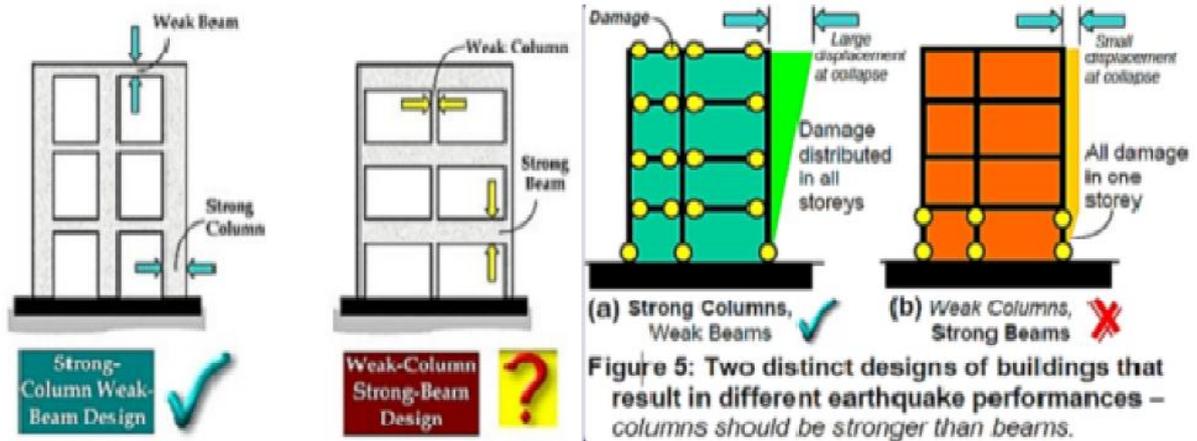
مفاجئة (Brittle Collapse) حيث أن مقاومتها الأفقية تكون كافية ولكنها تترافق مع آلية انهيار غير مرغوبة عند تعرضها للزلازل.

جمل مطاوعة (D, Ductile) : مع تفصيلات تسليح خاصة تؤمن أداءً مطاوعاً (Ductile

performance) بما يحققه سلوك جانز ضعيف - عمود قوي (Strong column - Weak beam) الذي

يتلخص كما يبين الشكل (2-3) بتشكيل مفاصل لدنة في الجوائز وهو التصميم الأفضل لإعطاء أكبر انتقالات

ممكنة قبل الإنهيار (Murty , 2006).



الشكل (2-3) : الأداء الأفضل للجمل الإطارية بسلوك عمود قوي - جانز ضعيف (Murty , 2006)

2-2. الانهيار الهش والسلوك المطاوع للإطارات

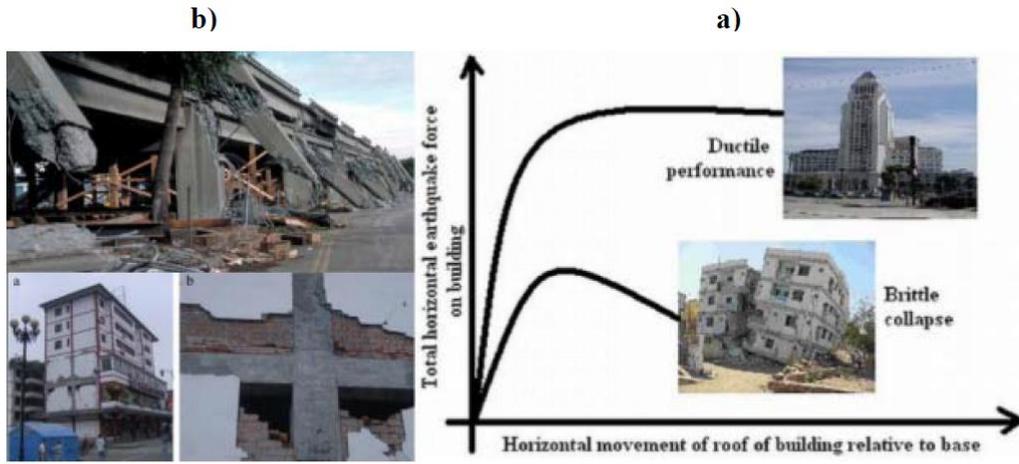
Brittle and Ductile Performance

يحدث الإنهيار في العناصر الإنشائية وفق نمطي انهيار:

- الانهيار الهش (Brittle Collapse): هو الانهيار الذي يحدث بشكل أساسي على القص وهو نمط انهيار غير مرغوب به في التصميم الزلزالي.
- الأداء المطاوع (Ductile Performance): حيث يحصل الإنهيار بعد تبديد كبير للطاقة الزلزالية عن طريق حصول تشوهات كبيرة بعد انتهاء المرحلة المرنة حيث يؤدي إلى انهيار آمن نوعاً ما وهو نمط الانهيار المطلوب.

تعتبر المطاوعة أحد أهم العوامل في الأداء الزلزالي للبناء لذلك يسعى التصميم الزلزالي لتحديد مواقع الضرر المتوقعة مسبقاً ومن ثم تزويد هذه المناطق بتفاصيل تسليح جيدة للتأكد من السلوك المطاوع للبناء، حيث يبين الشكل (a-4-2) الفرق بين الانهيار المفاجئ والأداء المطاوع للأبنية الموضح من خلال تمثيل علاقة (قوة قص - الانتقال) في الطابق الأخير حيث يوضح الشكل أن الانتقالات في الأداء المطاوع كبيرة بعد انتهاء مرحلة الأداء المرن للمنشأ مع تلك التي تحدث للمنشآت ذات الانهيار المفاجئ، كما يوضح الشكل (a-4-2) الانهيار المفاجئ لجملة إطارية الحاصل في العقد أثناء زلزال أوكلاند 1989، بينما يبين الشكل (c-4-2) الانهيار المطاوع على الاتعطف في طرف الجائر أثناء زلزال في الصين 2008 (Architect in

(earthquake engineering, 2010)



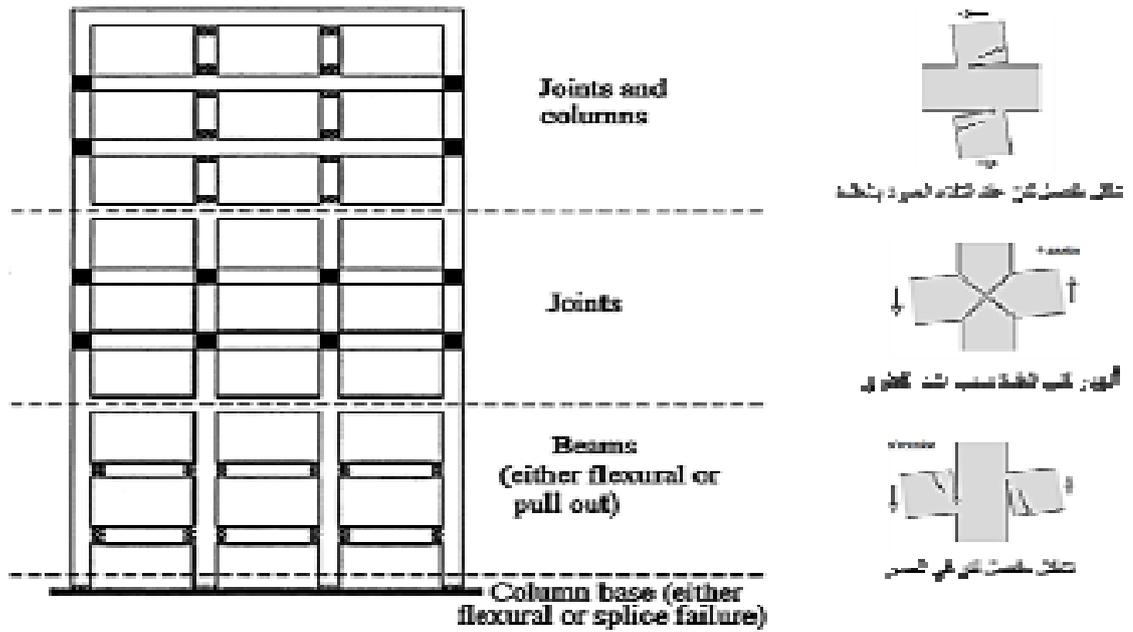
c. (a) الانهيار الهش و الأداء المطاوع للأبنية. (b) الانهيار الهش في الأعمدة و العقد أثناء زلزال فيأوكلاند 1989 (c) الأداء المطاوع للإطار أثناء زلزال في الصين 2008.

الشكل (4-2) : أنواع الانهيارات التي تتعرض لها الأبنية والجمل الإطارية

3-2. ميكانيكيات الانهيار في الإطارات البيتونية المسلحة

Mechanisms of Failure of RC frames

تتركز الإجهادات العظمى، ولاسيما إجهادات عزوم الإنحناء ، في الجوائز والأعمدة الناتجة عن الأحمال الأفقية في مناطق العقد مما يجعلها أكثر المناطق في الإطار البيتوني المسلح خطورة ، وأي خلل في سلوك تلك العقد ينعكس مباشرةً على سلوك الإطار البيتوني بالكامل فيتترجم هذا الانعكاس عن طريق نشوء تشققات وبالتالي أنماط انهيار ، والتي تعتبر مؤشر لكفاءة الجملة في إبداء مطاوعة ممكنة ، يوضح الشكل (2-5) أشكال الإنهيار الممكنة في جملة الإطارات البيتونية المسلحة بأنواعها العادية والمتوسطة والخاصة (*Ghobarhand*) (*Biddah , 1999*). وسوف نقوم الآن بتقسيم ميكانيكيات انهيار الإطارات البيتونية المسلحة .



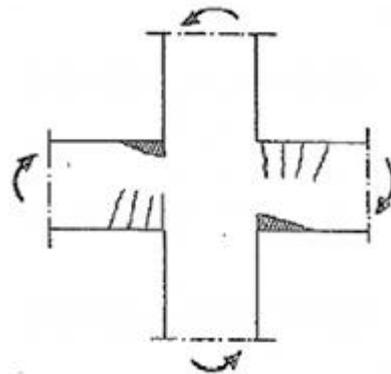
الشكل (5-2) : النمط العام لميكانيكيات الانهيار في الإطارات (Ghobardhand Biddah , 1999)

13.2. جملة عمود قوي – جوائز ضعيف :

Strong column – Weak beam

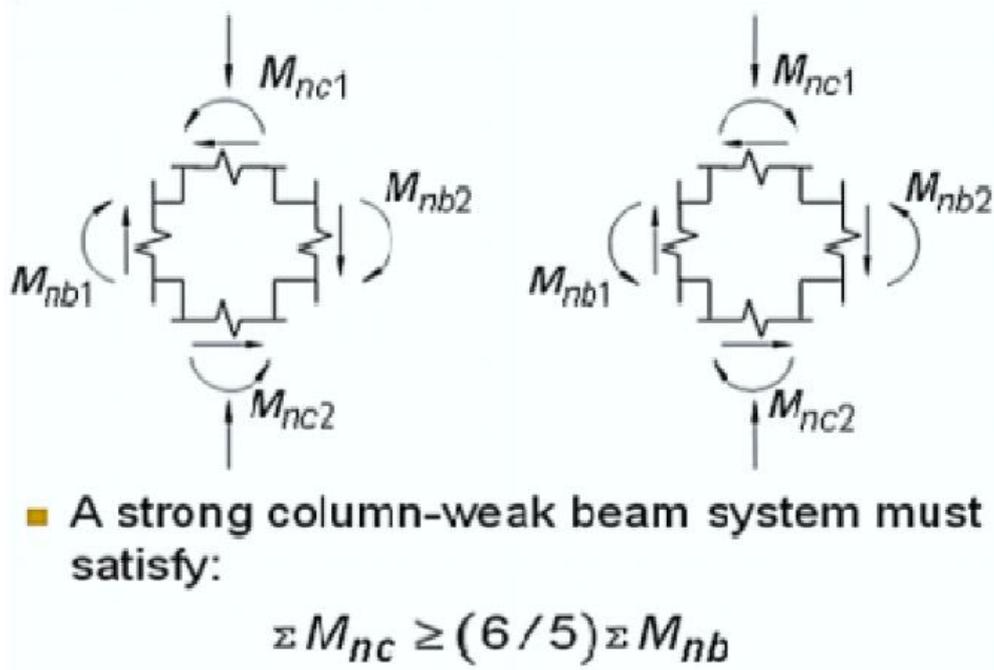
حيث أن قساوة الجوائز أقل من قساوة الأعمدة ، الأمر الذي يؤدي إلى تشكل المفاصل اللدنة في الجوائز

أولاً كما هو موضح بالشكل (6-2) وبالنتيجة الانهيار يكون مطووعاً .



الشكل (6-2) : تشكل مفصل لدن عند التقاء الجوائز بالعمدة على يمين ويسار العمدة (Penelis and Kappos, 1997)

من أجل رفع مطاوعة المنشآت الإطارية عند تعرضها للزلازل في حالة الحد الأقصى ومن أجل تشكل المفاصل اللدنة في الجوائز أولاً ، أشار الكود الأمريكي (ACI - 318) باختيار الأبعاد النسبية لأعمدة وجوائز كل عقدة وتسليحها بتحقيق الشرط التالي الموضح بالشكل (7-2) :



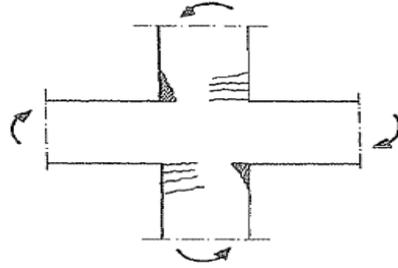
الشكل (7-2) : شرط تحقيق السلوك المطاوع للإطار (ACI 318- 2008)

حيث M_{nc1} و M_{nc2} هي طاقات تحمل العزوم للأعمدة عند أوجه العقدة ، أخذين بالحسبان القوى المحورية التي تقابل أقل قيم للعزوم ، بينما تعبر M_{nb1} و M_{nb2} عن طاقات تحمل العزوم للجوائز عند أوجه العقدة .

2.3.2. جملة جوائز قوي - عامود ضعيف Strong beam – Weak column

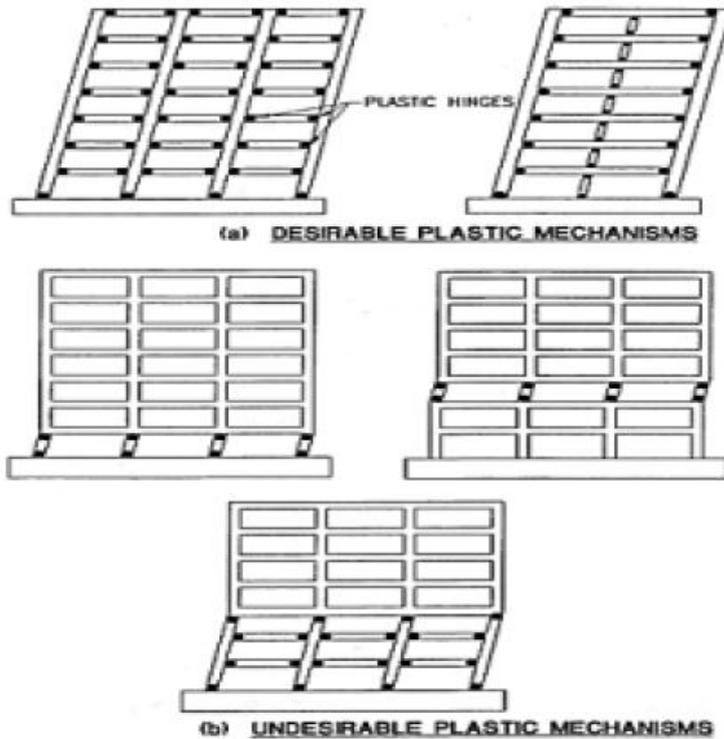
تكون هنا قساوة الأعمدة أقل من قساوة الجوائز، الأمر الذي يؤدي إلى تشكل المفاصل اللدنة في الأعمدة

أولاً الشكل (8-2) وبالتالي حدوث انهيار مفاجئ للمبنى .



الشكل (8-2) : تشكل مفصل لدن في العمود أعلى وأسفل العقدة (Penelis and Kappos , 1997)

إن وجود القوة المحورية إلى جانب عزم الانعطاف المبطن على العمود، يساعد على إغلاق شقوق الإنعطاف والقص ولاسيما في المناطق ذات عزوم الانعطاف الصغيرة نسبياً . كما تؤدي زيادة القوة المحورية إلى زيادة قساوة العمود مما يؤدي إلى جعل الحلقة الهستيرية (Hysteresis Loops) أعرض عما هي الحال في الجوائز، حيث القوة المحورية مهمة مقارنة مع أثر عزم الإنعطاف (Penelis and Kappos , 1997). يبين الشكل (a-9-2) أشكال الانهيار التي تعطي مطاوعة للجملة ناتجة عن تشكل مفاصل لدنة في الجوائز وحصول انتقالات كبيرة بينما يظهر في الشكل (b-9-2) أنماط انهيار مفاجئة ناتجة عن تشكل مفاصل لدنة في الأعمدة في طوابق معينة .



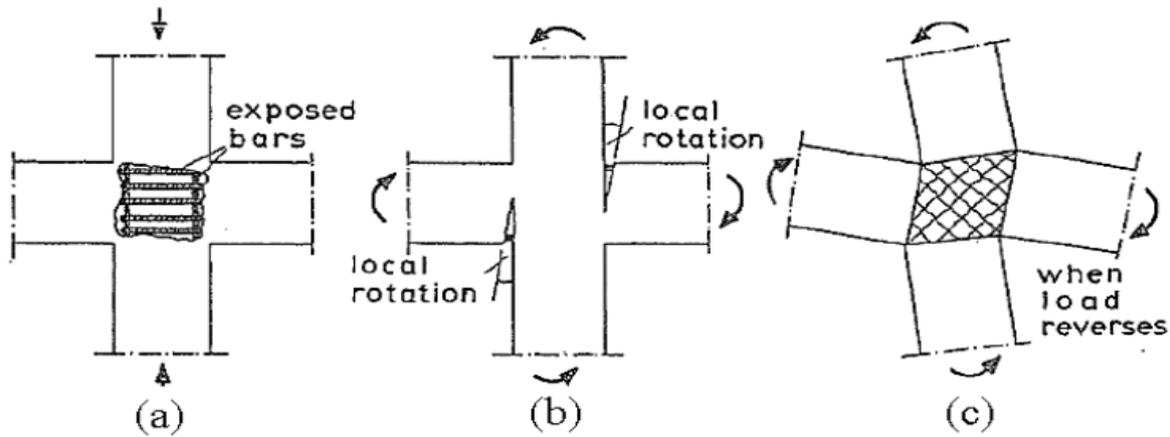
الشكل (9-2) : حالات تشكل المفاصل اللدنة المرغوب وغير المرغوب بها (Seaoc blue book , 1997)

4-2. انهيار العقد Nodes Failure

يعرف بأنه انهيار قلب العقدة جائز عامود حيث تم تصنيف أنماط انهيار العقد إلى ثلاث أنماط

(Penelis and Kappos, 1997) :

- تكسر طبقة الغطاء البيتوني لوجهي العقدة الشكل (a -10-2) ويجب تجنبه لأنه يؤدي إلى إضعاف قدرة تحمل العمود.
- انهيار إرساء قضبان الجائز داخل العقدة الشكل (b -10-2) ويجب تجنبه لأنه يؤدي إلى هبوط في المقاومة وحصول تشوهات كبيرة و دائمة و بالتالي يؤدي إلى حصول هبوط خطير في صلابة العقدة .
- انهيار قلب العقدة بسبب الشد القطري الشكل (c -10-2) وهو ناتج عن القص و يجب تجنبه لأنه يؤدي إلى هبوط شديد في المقاومة و في الصلابة .



الشكل (10-2) : أنماط انهيار عقد الإطارات البيتونية المسلحة على الأحمال الزلزالية (Penelis and Kappos , 1997)

5-2. ميكانيكيات الانهيار لعناصر التبريط المعدنية تحت تأثير الحمولات الزلزالية

Mechanisms of Failure of SBS under earthquake loading

أجريت عدت دراسات لفهم استجابة عناصر التبريط المعدني للأحمال الدورية ووجد أن البارمترات الرئيسية التي

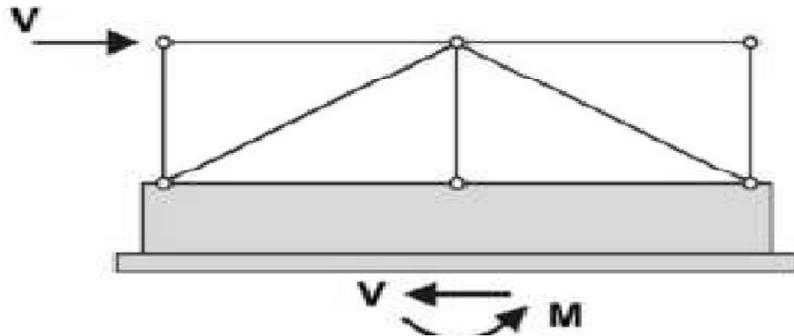
تؤثر على سلوك عناصر التبريط (Michel B, 2000) هي :

- 1- نسبة نحافة عنصر التبريط .
- 2- المقطع العرضي لعنصر التبريط .

والتصرف المنشود في الإطارات البيتونية المقواة بعنصر التثبيت المعدني أن تتعرض عناصر التثبيت إلى سيلان شد وتحنيب ضغط وتقوم بنقل الحمولة بصورة انسيابية إلى الجوائز والأعمدة التي يجب أن تتحمل إضافة إلى حمولات الجاذبية لها، القوى المحورية التي سوف تنتقل لها من عناصر التثبيت (Youssef et al,2007).

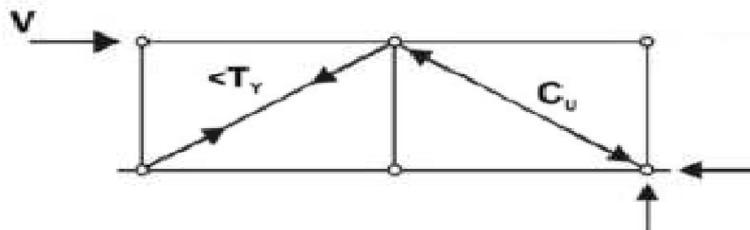
ولفهم أكثر وضوحاً لتصرف التثبيت على الحمولات الدورية قام (Tremblay R,2002) بإجراء عدد من الدراسات التجريبية على عدد كبير من نماذج التثبيت المعدني، وذلك بأخذ نسب نحافة مختلفة لفحص سمتين أساسيتين للاستجابة اللدنة لعناصر التثبيت الفولاذية وهما : التشوه الجانبي لعناصر التثبيت وتشكل الشقوق في عناصر التثبيت في منتصف طوله عند تحنيبه.

يبين الشكل (11-2) إطاراً معدنياً مربوطاً يتعرض إلى حمولة جانبية ، وعناصر التثبيت في النموذج تحقق متطلبات الكود الأمريكي (AISC-2005) ، وذلك لنسبة نحافة عنصر التثبيت ونسبة عرض المقطع العرضي لعنصر التثبيت إلى سماكته.



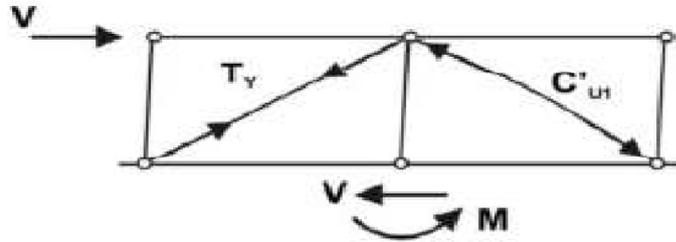
الشكل (11-2) : نموذج الإطار المعدني المرتبط المعرض إلى حمولة جانبية (Tremblay R,2002)

❖ عند تعرض الإطار إلى حمل زلزالي فإن الاستجابة اللاخطية تبدأ عندما تصل القوة الضاغطة في أحد عناصر التثبيت إلى القوة المسببة لتحنيب عنصر التثبيت على الضغط C_u فيحني ذلك العنصر بينما يحدث شد في عنصر التثبيت الأخر ولكن بقوة أقل من قوة الشد المسببة للسيلان T_y الشكل (12-2) .



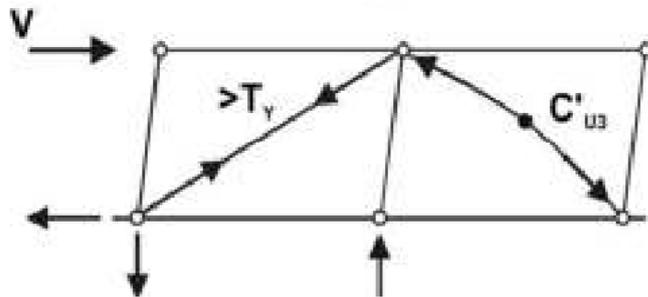
الشكل (12-2) : القوى المتشكلة في عناصر التثبيت عند تحميل الإطار (Tremblay R,2002)

❖ تتخفض القوة الضاغطة في عنصر التثبيت بسرعة كبيرة بعد التحنّب إلى C'_{u1} ويصل التثبيت المشدود إلى حد السيّان أي $(T=T_y= P_y)$ الشكل (13-2) .



الشكل (13-2) : انخفاض قوة الضغط في العنصر المتحنّب ووصول قوة الشد إلى حد السيّان (Tremblay R,2002)

❖ تحدث تشوهات لدنة كبيرة في عناصر التثبيت المشدودة، حيث تتطور التقسية التشوهية مؤدية إلى قوى كبيرة تنتقل إلى العمود، وإن قدرة ما بعد التحنّب لعناصر التثبيت المضغوطة تنقص بشكل ملحوظ إلى C'_{u3} ، ويتبعها تشكل مفصل لدن في منتصف عنصر التثبيت المضغوط .



الشكل (14-2) : انخفاض قوة الضغط في العنصر المتحنّب ووصول قوة الشد إلى حد السيّان (Tremblay R,2002)

6.2. سلوك التثبيت المعدني المستخدم في تقوية الإطارات البيتونية المسلحة

Behavior of the Bracing System in strengthening RC Frames

التثبيت المعدني يمكن تصنيفه حسب موقعه بالنسبة للإطارات البيتونية المسلحة إلى تثبيت معدني داخلي (Internal Bracing System) أو خارجي (External Bracing System) ، كما ويمكن تصنيفه حسب نظام اتصال عناصر التثبيت نفسها إلى تثبيت مركزي (Concentric Bracing) و تثبيت لامركزي (Eccentric Bracing) .

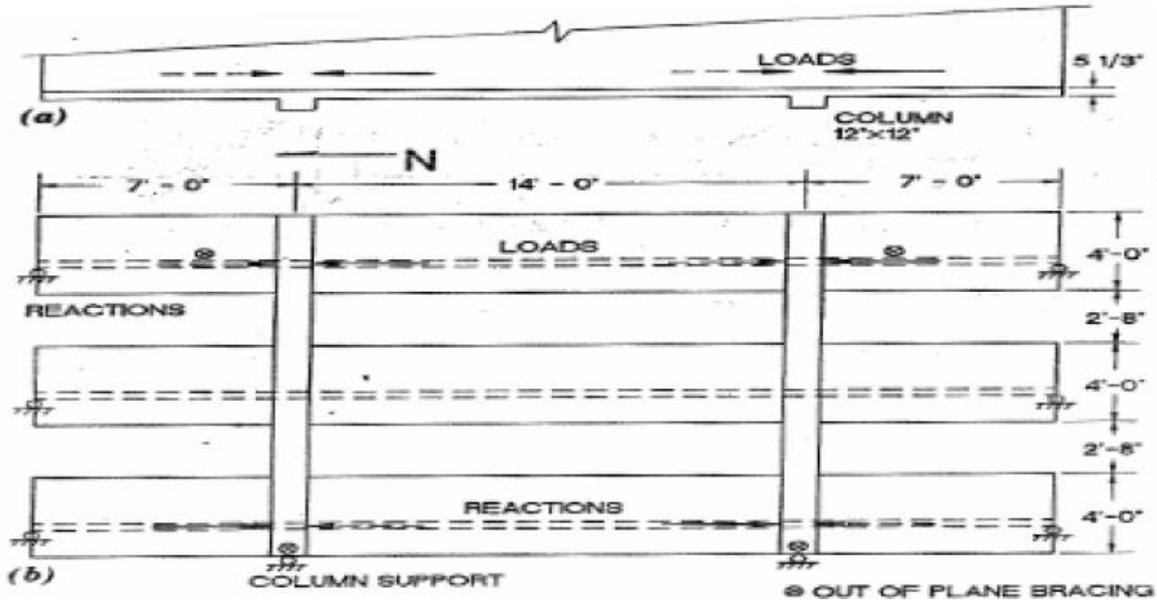
1.6.2. تصنيف التثبيت حسب موقعه بالنسبة للمنشأ

Grouping according to the location of bracing

1-1-6-2. نظام التثبيت الخارجية (external Bracing System):

تضاف عناصر التثبيت المعدنية ، في نظام التثبيت الخارجي ، إلى الإطارات الخارجية من المبنى، حيث أجرى العديد من الأبحاث على هذه الطريقة في التقوية ونذكر منها (*Bush et al,1991*) وهي دراسة تجريبية على إطار بيتوني مسلح . الإطار مكون من مجازين وثلاث طوابق وأخذ من مبنى حقيقي وذلك بعد تصغير الأبعاد بنسبة قدرها 2/3 . تم تعريض الإطار إلى حمولة دورية (Cyclic Loading) وذلك قبل وبعد تقوية الإطار بعناصر التثبيت . الإطار مؤلف من جوائز عميقة وذات قساوة عالية (stiff beams,deep) و الأعمدة قصيرة ومطاوعة (Ductilite,short) ، وذلك كله لجعل الإنهيار على القص (Shear Failure) في الأعمدة تحت تأثير الحمولات الجانبية.

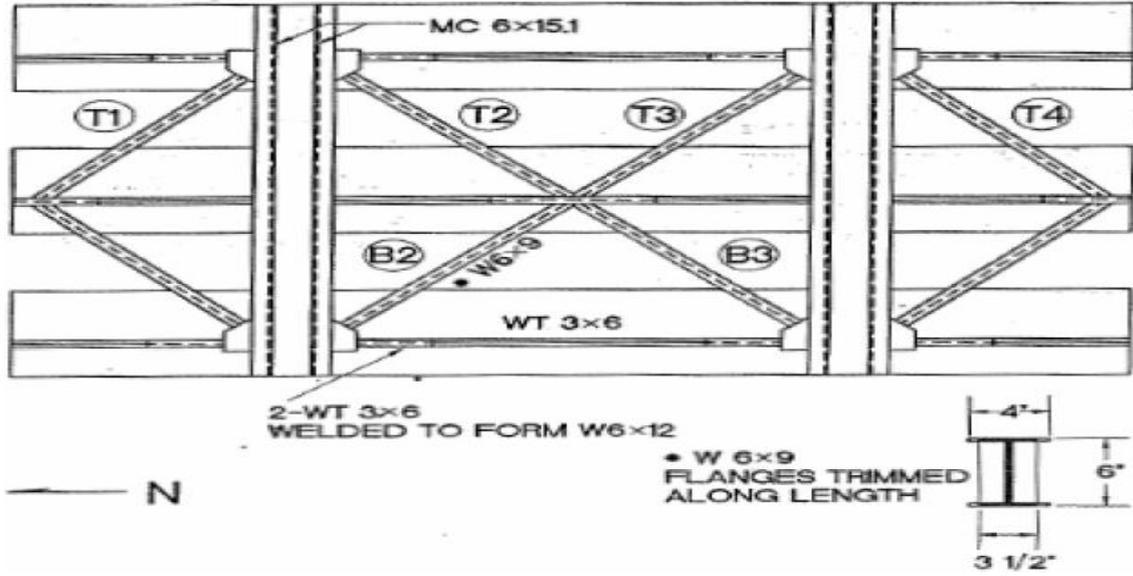
العينة المدروسة موضحة بالشكل (2-15)، حيث تم وصل التثبيت إلى الجهة الخارجية من الإطار وذلك باستخدام تشاريك مزروعة بلايبوكسي (Epoxy-grouted dowels) .



الشكل (2-15) : يبين عينة الإطار المدروس الغير مرتبط حيث (a) مسقط الإطار و (b) واجهة الإطار (*Buch et al , 1991*)

في الشكل رقم (2-16) تم توضيح عينة الإطار المزود بالتثبيت الخارجي، حيث يوضح الشكل أن

التثبيت بشكل حرف X (X-Bracing) مستمر على ارتفاع طابقين.



الشكل (16-2) : يوضح عينة الإطار المزود بتربيط خارجي (Buch et al , 1991)

الحمولة المطبقة على الجائز الرئيسي المقوى كانت أصغر من القيمة الحسابية التي سوف ينهار عندها والتي حسبت بالإعتماد على إنهيار القص للكلا عامودي الإطار، كانت قيمة القساوة الأولية للإطار المقوى أكبر بـ 1.5 مرة من تلك للإطار الغير مقوى والغير متشقق، وبعد تحميل الإطار لوحظ إرتفاع واضح وملحوظ في كلاً من القساوة الجانبية والمقاومة، وكانت الحمولة العظمى للإطار مع تربيط أكبر بـ 6 مرات من تلك الحمولة المتوقع انهيار الإطار العادي عندها، وتلك الحمول كانت أيضاً أكبر بـ 2.24 مرة من الحمولة التي توقع عندها انهيار الإطار مع التربيط وذلك حسابياً. وأيضاً عملية إضافة التربيط المعدني على الوجه الجانبي لكلا العامودين أدى وبصورة واضحة إلى رفع قدرة تحمل الأعمدة، قدرة التحمل الجانبية للإطار المقوى تم ضبطها حتى حدوث التحنيب في التربيط المعدني، ومن ثم انهيار العقدة وانهيار الأعمدة على القص على التوالي (Shear Failure). وكنتيجة لهذه الدراسة أوصى البحث أنه على المصممين الانتباه ومراعاة ميكانيكية الانهيار للجائز الغير المرابط في مرحلة التصميم وذلك نتيجة للانتقالات الجانبية، حيث أن التربيط المعدني يمكن أن يحسن القساوة والمقاومة، ولكنه لا يحسن آلية الانهيار، والانهيار الحاصل في هذا البحث يدخل ضمن قائمة الآليات الغير مرغوب بها ويجب تحويله إلى انهيار عامود قوي - جائز ضعيف (Strong column - Weak beam) وذلك باتباع أحد الحلين :

4. تقوية العامود وهو حل عملي وفعال ولكنه مكلف.

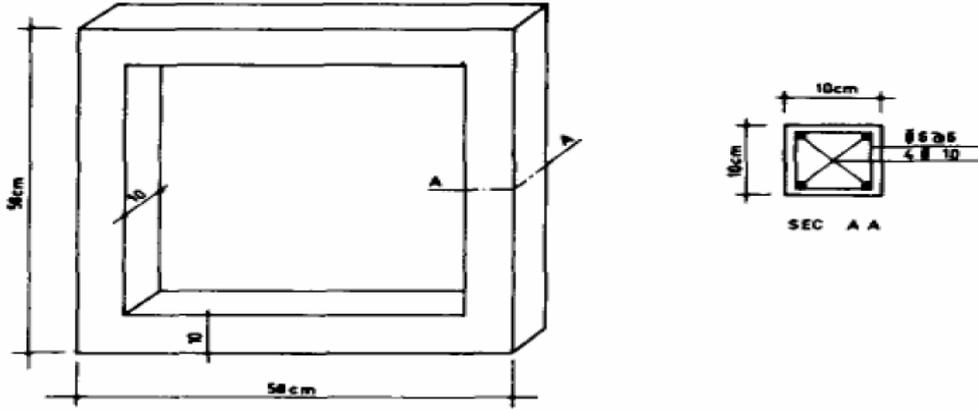
5. اضعاف الجائز وهو حل مرغوب به نظراً لبساطة تنفيذه ، حيث الهدف من الإضعاف هو تقليل من مطاوعة الجائز وبالتالي تقليل قدرة تحمله بصورة تضمن تشكل المفصل اللدن ضمن الجوائز وقبل حدوث الإنهيار في الأعمدة. ويتم تحقيق ذلك في العينة الموجودة بالحفر أو القص بعض الأجزاء من الجائز، والسلوك اللدن انتقل من الأعمدة إلى الجوائز كنتيجة لذلك ، وبالتالي تمنع الأعمدة من التشوه وتزداد الطاقة المبذولة من الإطار.

وكننتيجة مهمة أيضاً توصلت إليها الأبحاث ضمن التريبط الخارجي كوسيلة للتدعيم ، هي أن للتريبط الخارجي فوائد مهمة لأن سلوكه على مقاومة الفتل أثناء تعرض المنشأ لحمولة الزلزالية واضح. حيث زيادة عدد التريبط الخارجي يؤدي إلى زيادة التناظر في المنشأ وزيادة المقاومة على الفتل بصورة كبيرة . ولكن يجب الانتباه أنه إذا تم تقوية المباني البيتونية المسلحة بالتريبط الخارجي فقط ، لابد من أن تكون البلاطات في المنشأ قوية كفاية لتقدر على نقل الحمولات الجانبية الإضافية للإطارات الخارجية المقواة بالتريبط.

2-1-6-2. نظام التريبط الداخلي Internal Bracing System

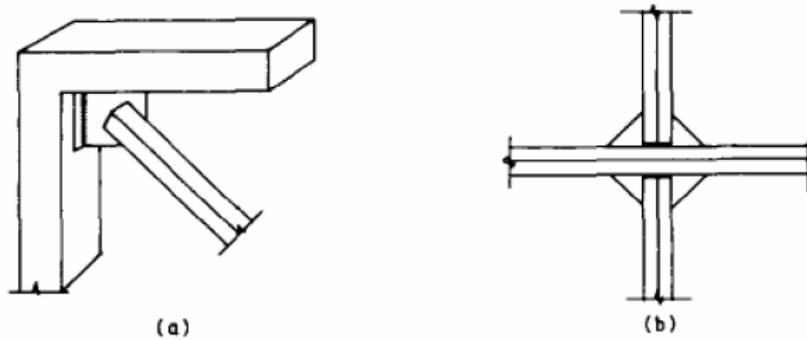
تضاف عناصر التريبط المعدنية ، في نظام التريبط الداخلي ، إلى المجازات الفارغة والتي تكون محاطة بأعمدة وجوائز مسلحة، وقد خضعت فعالية استخدام نظام التريبط الداخلي (Internal Bracing System) في تقوية وتدعيم الإطارات البيتونية المسلحة الموجودة منذو فترات قديمة ، إلى العديد من الدراسات والأبحاث. وقد برهنت تلك الأبحاث على أن هذه الطريقة بالتدعيم تسهم بزيادة المقدرة الزلزالية للعناصر المشيدة .

قام الباحثان (Maheri and Sahebi,1997) بتوصية استخدام عناصر التريبط الداخلية على استخدام عناصر معدنية شبكية داخلية (Internal steel trusses)، حيث قام الباحثان بسلسلة من الإختبارات على مجموعة من نماذج الإطارات، حيث أن الإطار الرئيسي موضح مواصفاته بالشكل (2-17).



الشكل (17-2) : يوضح عينة الإطار الغير مربط المستخدم في التجربة (Maheri and Sahebi,1997)

هدفت الدراسة التي قام بها (Maheri and Sahebi,1997) إلى التحقق من درجة فعالية عدد من أنواع عناصر التثبيت المعدني المضافة إلى الإطار الأصلي بهدف رفع قدرة تحمله الجانبية، ومراقبة السلوك المرافق لعناصر التثبيت على الشد والضغط. في هذه الدراسة نظام التثبيت المعروف (X-bracing) تم استخدامه ، حيث تم مقارنة الإطار العادي الغير مربط مع إطار مربط بعنصر تثبيت قطري يعمل على الشد، وإطار مربط بعنصر تثبيت قطري يعمل على الضغط ، وأخيراً ، إطار مربط بعنصر التثبيت القطري (X-bracing). ولكي نقلل من ظاهرة التحنيب التي يسلكها التثبيت المضغوط في نظام التثبيت (X-bracing)، تم وصل عنصري التثبيت إلى بعضهما البعض عند نقطة تقاطعهما وعند منتصف مجاز كل منهما وذلك موضح بالشكلين (a-18-2) و (b-18-2) .



الشكل (18-2) : يوضح آلية الإتصال بين عناصر التثبيت والإطار البيوتوني وعناصر التثبيت نفسها (Maheri and Sahebi,1997)

إجهادات العزوم في الإطار البيتوني المسلح هي الإجهادات المسيطرة والإنهيار متوقع أن يكون انهياراً على العزم (Bending Failure). ولتحقق من مقاومة القص القاعدي، حمولة دورية طبقت بالاتجاه الأفقي على الإطار.

نتيجة الاختبارات التجريبية كانت الحمولات العظيمة للإطارات الأربعة المختبرة هي : 4.0 ton و 9.0 و 10.0 ton و 12.5 ton . وملاحظة هامة عن هذه الدراسة نرى أن الإطار المربط بعنصر X-(bracing)، النسبة التي بدأ عندها كلا عنصري التثبيت باخذ الحمولات عن الإطار لم تكن متساوية. السلوك المسيطر للتثبيت المشدود لوحظ إذا ما قورن مع التثبيت المضغوط وذلك خلال لحظات التحميل الأولى، حيث أن التثبيت المشدود حمل حمولات أكبر من تلك للتثبيت المضغوط.

ورغم ذلك وعند الوصول إلى حمولات عالية فإن الجملة الإنشائية تظهر تصرفاً لامرنًا ، ومنها أيضاً السلوك المسيطر للتثبيت المشدود يبدأ بالتناقص. الإنهيار في التثبيت المشدود يحدث وذلك عند صحيفة الوصل بين عنصري التثبيت ، ونتيجة لذلك تزداد الحمولات على عنصر التثبيت المضغوط مما يؤدي إلى تحنبيه. إذا مارقنا سلوك الإطار المزود بتثبيت قطري مضغوط يلاحظ أنه طالما بقي التثبيت في مرحلة المرونة فإن الحمولات سوف تنتقل مباشرة إلى الإطار البيتوني ، ومساهمة التثبيت هنا في التحمل تقترب من الصفر. فقط عند الحمولات العالية وذلك عندما يدخل سوك الإطار البيتوني إلى المرحلة اللدنة ، التثبيت المضغوط يبدأ بالمشاركة في التحمل.

بالنهاية كانت نسبة زيادة قدرة التحمل نتيجة إضافة عنصر تثبيت واحد ، مضغوط أو مشدود ، 2.5 مرة من قدرة تحمل الإطار الأصلي. في حين أن نسبة الزيادة نتيجة إضافة التثبيت (X-bracing) كانت 4 مرات من الإطار الغير مربط.

2.6.2. تصنيف التثبيت حسب نظام اتصال عناصر التثبيت بعضها البعض

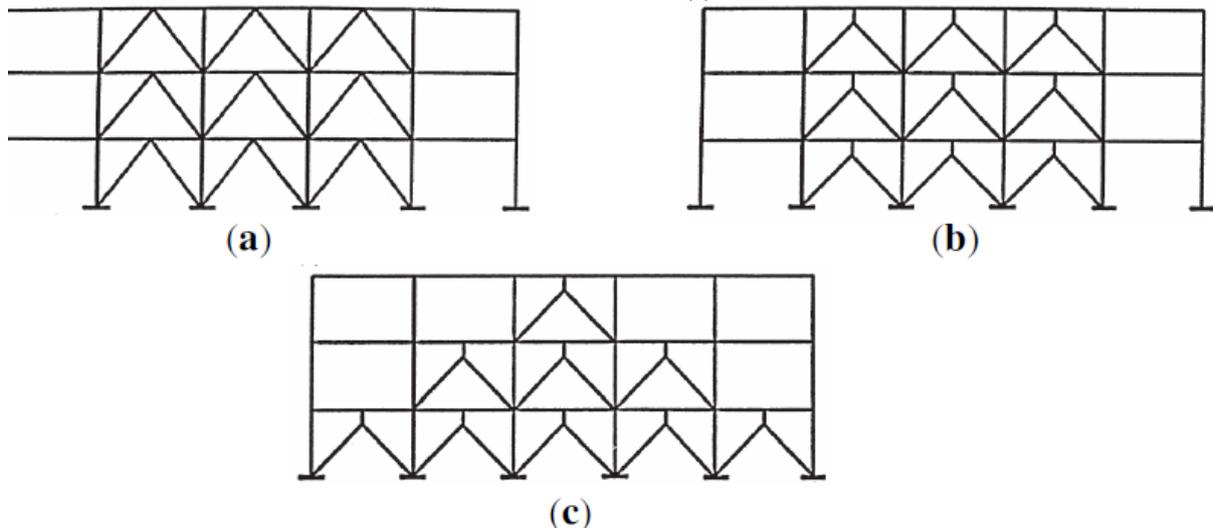
specification according to the system of connecting of bracing members

يمكن تصنيف نظام التثبيت المعدني (Steel bracing system) إلى لامركزي (Eccentric) ومركزي (concentric)، ولكل من النظامين إيجابيات وسلبيات. الفائدة الأهم من التثبيت اللامركزي تتجلى في المطاوعة التي يزود بها الجملة المدعمة على الحمولات ككل ، الأفعال تنتقل إلى التثبيت بشكل عزوم وقوة قص بواسطة عناصر اتصال فعالة. هذه العناصر تمنع التثبيت المعدني من التحنيب، حيث تعتبر عناصر الإتصال تلك واحدة من أهم عناصر نظام التثبيت ككل، وهذه الروابط تصمم لتبقى مرنة ضمن مستويات التحميل المنخفضة، وتستجيب استجابة لدنة عند حالات التحميل العالية. وبالتالي فإن الجملة الإنشائية سوف تبدد كمية كبيرة من الطاقة.

في حالة التثبيت المركزي، يعمل التثبيت على رفع وتحسين قدرة تحمل الإطار المدعم وزيادة قيمة المساواة له. ولكن عملية تبديد الطاقة والسلوك اللدن تبقى فقيرة الأداء بسبب التحنيب الحاصل في العناصر التثبيت القطرية .

سوف نتناول واحدة من الدراسات العديدة التي أجريت في هذا المجال (*Ghobarah A. and Abou*)

(*Elfath , 2001*) ، حيث اختبر السلوك الزلزالي لمبنى قليل الإرتفاع وغير مطاوع من البيتون المسلح ، تمت عملية تدعيمه باستخدام تثبيت لامركزي. الهدف من الدراس كان التحقق من فعالية إعادة التأهيل باستخدام التثبيت المعدني من جهتي المساواة والطاقة المبددة . في الجملة الإنشائية المقواة بالتثبيت اللامركزي، القوة تنتقل إلى التثبيت عن طريق عناصر الاتصال المرن بشكل قوة قص وعزوم انعطاف. استخدم أشكال عديدة من التثبيت هنا موضحة بالشكل (2-19) حيث استخدم نوعين من التثبيت اللامركزي ونوع من التثبيت المركزي. حيث درس فعالية توزيع التثبيت ضمن حالة التثبيت اللامركزي، حيث تم تغيير عدد التثبيت مع الإرتفاع ودراسة الجدوى من ذلك.



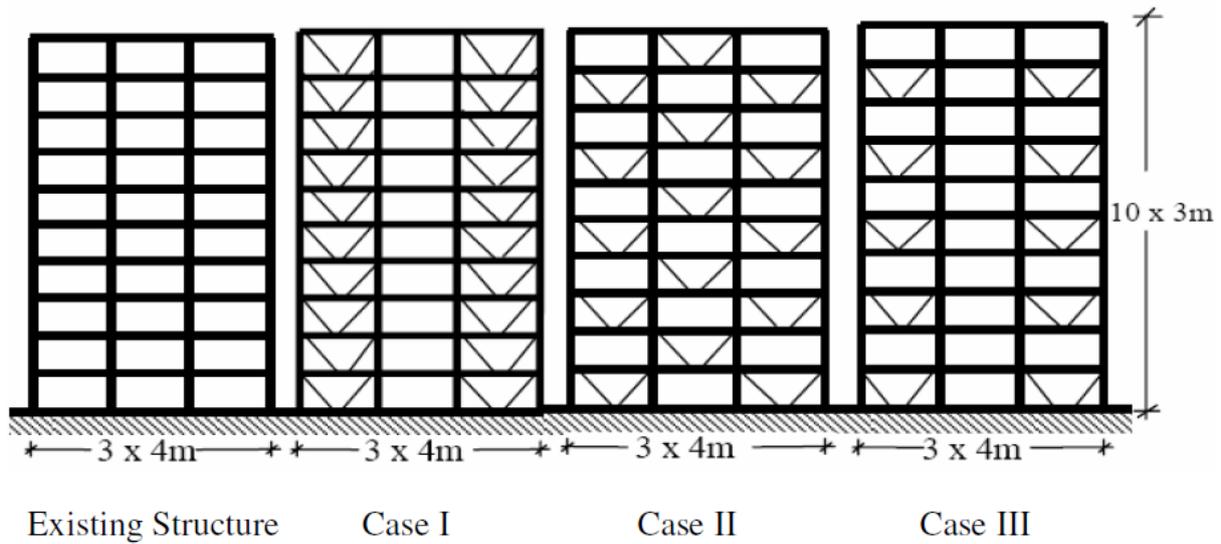
الشكل (19-2) : يوضح أنواع التريبط المعدني المستخدم في الإختبار (a) تريبط مركزي (b&c) تريبط لامركزي
(Ghobarah A. And Abou Elfath , 2001)

مقدار قدرة التحمل على الحمولات الجانبية كانت للجملة مع تريبط مركزي مساوية لـ 1.7 مرة منها للعينه دون تريبط ، و للجملة مع تريبط لامركزي على كامل الطوابق الثلاث (العينه b) مساوية لـ 1.6 مرة منها للعينه دون تريبط، وللجملة مع تريبط مركزي موزع بشكل متناقص على الطوابق الثلاثة (العينه c) مساوية لـ 2 مرة منها للعينه دون تريبط.

على الرغم من استخدام نفس العدد من التريبط اللامركزي في العينتين (b & C) ، إلا أن التوزيع الهرم للتريبط اللامركز أعطى نتائج أفضل من جهة زيادة قيمة الحمولة الجانبية العظمى.

أيضاً مقدار التشوهات والأضرار الحاصه في الجملة ذات التريبط اللامركزي العينتين (b & C) كانت أقل منها للتريبط المركزي العينه (a). أعلى قيمة للقساوة تم الحصول عليها في العينه (C) ، وهذا يعطينا مؤشر على أن توزيع التريبط المعدني على طول ارتفاع المبنى يعطي نتائج جيدة على سلوك الإنشائي للجملة المقواة بالتريبط. وهذا بدوره يقود إلى تغيرات مهمة في خواص ومواصفات ميكانيكيات التصرف اللدن للجملة ككل . وبالتالي وللوصول إلى توزيع منتظم للانتقالات ، أقترح الباحثون إمكانية وضع عناصر تريبط مختلفة قدرة التحمل على كامل ارتفاع المبنى المدعم وأن تكون عملية التوزيع تلك منتظمة للوصول إلى أفضل النتائج.

أما في حالات المباني العالية ، فإن عملية توزيع التثبيت لها العديد من الفوائد والإيجابيات في المباني الإطارية المسلحة ، حيث قام الباحث (Korkmaz K., 2007) بدراسة السلوك الزلزالي لمبنى مكون من إطارات بيتونية مسلحة مقوية بعناصر تثبيت معدنية لامركزية، حيث المبنى مؤلف من عشر طوابق وأبعاد العناصر الإنشائية الحاملة حددت مع مراعات كودات الزلازل التركبية (TS500). نموذج المبنى المشيد منذو فترة موضح ، وإلى جانبه النماذج المدعمة الثلاث الشكل (20-2).



الشكل (20-2) : يبين المبنى الإطاري الأصلي وثلاث حالات تدعيم للمبنى باستخدام تثبيت لامركزي (Korkmaz K., 2007)

نتيجة تطبيق حمل جانبي (Push-over)، فإن مقدار تحمل المبنى الإطاري البيتوني المسلح المزود بالتثبيت زادت بحوالي 200% عنها للإطار الأصلي العادي، وإذا أردنا تحديد أي عملية تدعيم أعطت أكبر قيمة للقدرة التحمل الجانبية ، فقد كانت الحالة رقم 2 (Case II)، أما الحالة رقم 1 (Case I) فقد أعطت أقل قيم للانزياحات الجانبية الحاصلة تحت تأثير الدفع الجانبي . وإذا راعينا الحالة الإقتصادية والتي تتضمن استخدام أقل عدد ممكن من التثبيت المعدني مع إعطاء نتائج ممتازة، تكون حالة التدعيم رقم 2 (Case II) هي الحالة الأفضل.

أيضاً لابد من الإشارة إلى أنه ومن وجهة النظر الإنشائية ، إن تربيط أكبر عدد ممكن من الفتحات ضمن المنشأ يعتبر أمر مقبول ، حيث ينتج عنه زيادة ملحوظة في المقاومة على الأحمال الجانبية والقساوة للمنشأ وبصورة منتظمة غير عشوائية، على الرغم من أن الناحية الإقتصادية وقابلية الاستخدام سوف تؤثر لاحقاً على عملية إضافة التربيط المعدني.

وكنتيجة مهمة أيضاً توصلت إليها الأبحاث، هي أن للتربيط الخارجي فوائد مهمة لأن سلوكه على مقاومة الفتل أثناء تعرض المنشأ لحمولة الزلزالية واضح. حيث زيادة عدد التربيط الخارجي يؤدي إلى زيادة التناظر في المنشأ وزيادة المقاومة على الفتل بصورة أساسية. ولكن يجب الانتباه أنه إذا تم تقوية المباني البيتونية المسلحة بالتربيط الخارجي فقط ، لابد من أن تكون البلاطات في المنشأ قوية كفاية لتقدر على نقل الحملات الجانبية الإضافية للإطارات الخارجية المقواة بالتربيط.

7-2. الدراسات المرجعية

Literature survey

قامت العديد من الدراسات التجريبية والتحليلية بدراسة أثر التربيط المعدني (SBS) على السلوك الزلزالي للإطارات البيتونية المسلحة ، من حيث زيادة المقاومة هذه الإطارات ورفع قيمة القساوة وتقليل قيم الانزيمات الجانبية ، سنستعرض بعض هذه الأبحاث فيما يلي :

(Viswanath K.G etal , 2010) -a

حيث تم في هذا البحث التحليلي دراسة مبنى إطاري من البيتون المسلح مكون من أربعة طوابق ومزود بعناصر تربيط مختلفة ولكن لها نفس التوزيع (المكان) في الأبيئة الأربعة المقواة بتربيط. حيث كان تم دراسة السلوك الزلزالي لهذه المباني الموجودة في المنطقة الزلزالية الرابعة. وكان هدف البحث هو تحديد مدى فعالية كل نظام تربيط باستخدام تحليل لاخطي عبر برنامج STAAD Pro . أداء المبنى قيم من خلال الاستجابة الكلية كجملة إنشائية واحدة ، ودرست فعالية التربيط في

تخفيض قيم الانتقالات الجانبية للمبنى وزيادة قدرة تحمل الأعمدة على حمولة الضغط لتي سوف تنتقل لها من التريبك المتصل بها. وأيضاً فعالية التريبط في تخفيض الحمولة (قص و عزوم انعطاف) على الأعمدة المتصلة بالتريبط. أي عملياً دورة التريبط في تحويل الحمولات الجانبية المطبقة على المبنى إلى حمولة محورية تنقلها إلى الأعمدة المجاورة للتريبط وهو المجال الذي تعمل فيه الأعمدة بأفضل صورة ممكنة. المبنى مؤلف من العناصر البيتونية (أعمدة + جوائز) وجدران من البلوك .

الجدول (1-2): يوضح مواصفات المواد المستخدمة في النموذج (Viswanath K.G, 2010)

Structure	OMRF
No. of stories	G + 4
Storey height	3.00 m
Type of building use	Residential
Foundation type	Isolated footing
Seismic zone	IV
Material Properties	
Young's modulus of M ₂₀ concrete, E	22.36 x 10 ⁶ kN/m ²
Grade of concrete	M ₂₀
Grade of steel	Fe 415
Density of reinforced concrete	25 kN/m ³
Modulus of elasticity of brick masonry	3.50 x 10 ⁶ kN/m ²
Density of brick masonry	19.20 kN/m ³
Member Properties	
Thickness of slab	0.125 m.
Beam size	0.23 x 0.30 m.
Column size	0.23 x 0.60 m.
Thickness of wall	0.23 m.

Dead Load Intensities	
Floor finishes	1.0 kN/m ²
Live Load Intensities	
Roof and Floor	3.0 kN/m ²
Earthquake LL on slab as per Cl. 7.3.1 and 7.3.2 of IS 1893(part 1)-2002	
Roof	0 kN/m ²
Floor	0.25 x 3.0 = 0.75kN/m ²

تم أخذ تأثير التريبط على تخفيض الإنتقالات بالاتجاه X واعتبار الإطارات متصلة بشكل وثيقة تامة

(Fixed) في نهايتها والتفاعل والاحتكاك مع التربة مهمل.

تم التحليل على ثلاث مراحل وهي :

1. مبنى مؤلف من أربعة طوابق معرض للحمولات الشاقولية (gravity loads).

2. مبنى مؤلف من أربعة طوابق معرض لحمولة زلزالية (Seismic loads).

3. مبنى مؤلف من أربعة طوابق مزود بأربعة أنواع من التريبط المعدني. ومعرض للحمولات السابقة.

4. مواصفات المواد المستخدمة في نموذج البحث التحليلي موضحة بالشكل (21-2).

المنطقة الزلزالية الرابعة

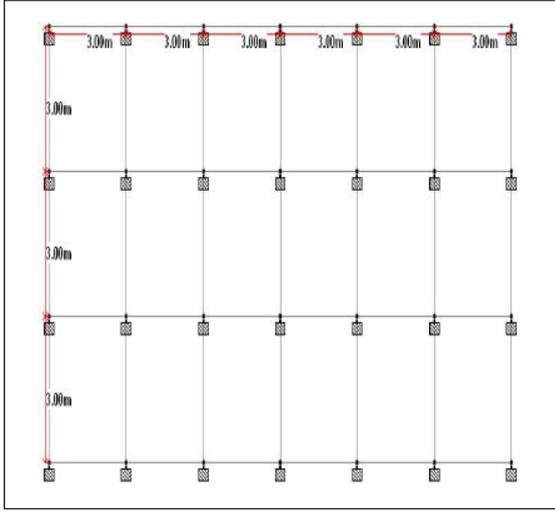
معامل المنطقة ($Z=0.24$, Zone factor)

معامل الأهمية ($I=1.00$, Importance factor)

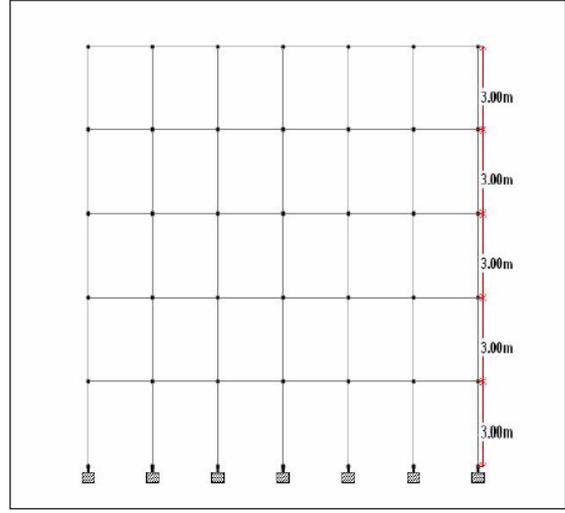
معامل تخفيض الاستجابة ($R=3.00$, Response reduction factor).

وحالات التحميل أخذت بالرجوع للكود الهندي للزلازل (IS 1893-2002).

وفي يلي مساقط وواجهة النموذج كما هي في الاختبار (Viswanath K.G, 2010) الشكل (22-2).

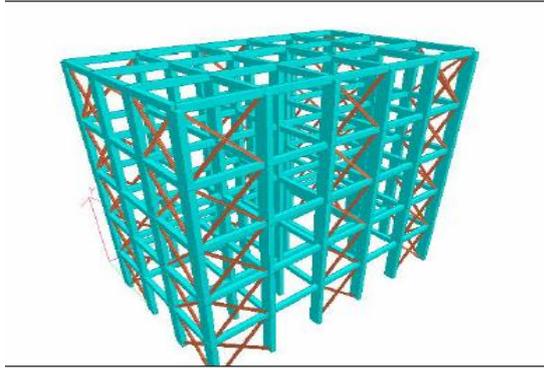


Plan of the building

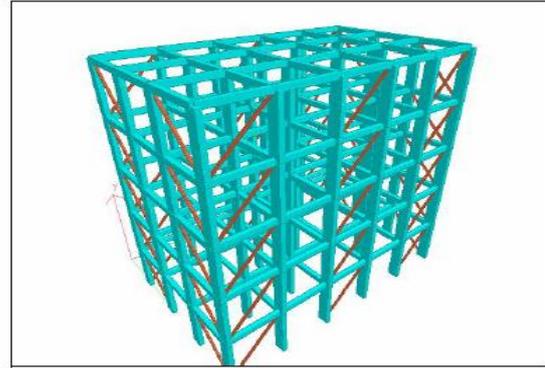


Elevation of the building

الشكل (21-2) : يوضح مسقط وواجهة النموذج المدروس (Viswanath K.G , 2010)



Building with X bracings



Building with diagonal bracing

الشكل (22-2) : يوضح أيضاً تطبيق التثبيت على النموذج ، حيث يلاحظ توضع التثبيت على الإطارات الخارجية للمبنى فقط

(Viswanath K.G , 2010).

وقد بينت النتائج التحليلية انخفاض كبير في الانتقالات الجانبية للمبنى بعد إضافة التثبيت وذلك حالتي

الحمولات الشاقولية (gravity loads) وحالة الحمولة الزلزالية كما هو موضح بالجدول (1-2)

الجدول (2-2): القيم العظمى للانتقالات الجانبية مقتررة بـ مم في الاتجاه X (Viswanath K.G , 2010)

Floor level	DL+LL	Seismic load				
		Without bracing	Diagonal bracing	X intersected bracing	K bracing	X bracing
4th floor	0.06	70.10	23.71	18.01	20.45	18.02
3rd floor	0.00	64.04	21.87	16.64	19.00	16.64
2nd floor	0.00	50.90	16.98	12.65	14.66	12.65
1st floor	0.00	33.13	10.71	7.71	9.12	7.71
Ground floor	0.02	13.82	4.37	3.10	3.69	3.10

بالانتقال إلى قيم القوة العظيمة وعزوم الانعطاف المتشكلة في الأعمدة المرتبطة بالترتيب، حيث لوحظ زيادة كبيرة في قيم القوة المحورية للأعمدة المتصلة بالترتيب وذلك في الأبنية المدعمة على حساب الأبنية الغير مدعمة بالترتيب الجدول (2-3) والجدول (2-4) والجدول (2-5). حيث الترتيب يخفض عزوم الانعطاف وقوة القص وفي نفس الوقت يزيد من قيمة القوة المحورية في الأعمدة المتل بها. حيث نعلم أن الأعمدة جيدة جداً في الضغط. أيضاً لوحظ أن الترتيب بشكل (X-bracing) لديه أقل قيم قص وعزوم إنعطاف وأكبر قيم قوة محورية وهذا يعزز من فعالية استخدام هذا النوع من الترتيب على حساب بقية الأنواع في التجربة بشرط أن وضعه لن يسبب مشاكل وظيفية على المباني المدعمة.

الجدول (3-2): القيم العظمى للقوة المحورية في الأعمدة Kn للنموذج المدروس (Viswanath K.G, 2010)

Floor level	DL+LL	Seismic load				
		Without bracing	Diagonal bracing	X intersected bracing	K bracing	X bracing
4th floor	71.62	91.58	92.50	82.37	78.55	82.38
3rd floor	223.89	243.60	233.76	235.12	204.93	235.24
2nd floor	376.10	418.78	399.78	447.64	375.92	447.80
1st floor	528.13	606.89	631.38	695.75	603.10	696.10
Ground floor	679.57	793.89	886.45	949.19	856.79	949.24

الجدول (4-2): القيم العظمى للقوة القص في الأعمدة مقدره Kn للنموذج المدروس (Viswanath K.G,2010)

Floor level	DL+LL	Seismic load				
		Without bracing	Diagonal bracing	X intersected bracing	K bracing	X bracing
4th floor	1.78	23.15	11.50	11.45	14.32	11.49
3rd floor	1.10	39.80	15.92	11.88	18.76	11.88
2nd floor	0.97	51.87	18.71	12.84	21.17	12.85
1st floor	0.46	56.15	17.97	10.65	21.61	10.62
Ground floor	0.26	51.90	35.83	21.19	29.02	21.18

20

الجدول (5-2): القيم العظمى للعزوم في الأعمدة مقدره Kn.m للنموذج المدروس (Viswanath K.G,2010)

Floor level	DL+LL	Seismic load				
		Without bracing	Diagonal bracing	X intersected bracing	K bracing	X bracing
4th floor	3.30	58.45	26.35	23.20	29.33	23.40
3rd floor	1.58	81.29	29.65	20.25	33.32	20.25
2nd floor	1.52	86.10	30.46	19.62	33.03	19.66
1st floor	0.85	103.00	28.54	18.45	35.66	18.30
Ground floor	0.47	151.15	87.50	52.14	70.27	32.15

وفي نهاية البحث قام الباحثون وبعد أن تحقق من كون التريبط (X-bracing) هو أفضل أنواع التريبط المستخدم بين الأنواع السابقة من حيث تخفيض قيم الإنتقالات الجانبية وعزوم الانعطاف في الجملة الإنشائية ككل. لذلك تم إعتقاد هذا النوع من التريبط لتدعيم المباني متعددة الطوابق. تم تجريب هذا التريبط على مباني مشابهة للمبنى المذكور أعلاه ، مع إعتقاد عدد طوابق مختلفة ، 8 و 12 و 16 طابق على التوالي. وتم حساب مقدار النقص الحاصل بالانتقالات الجانبية لهذه المباني قبل وبعد تقوية الجملة بالتريبط المعدني. تم التحقق من فعالية التريبط في خفض الانتقالات وعرض النتائج في الجدول (6-2).

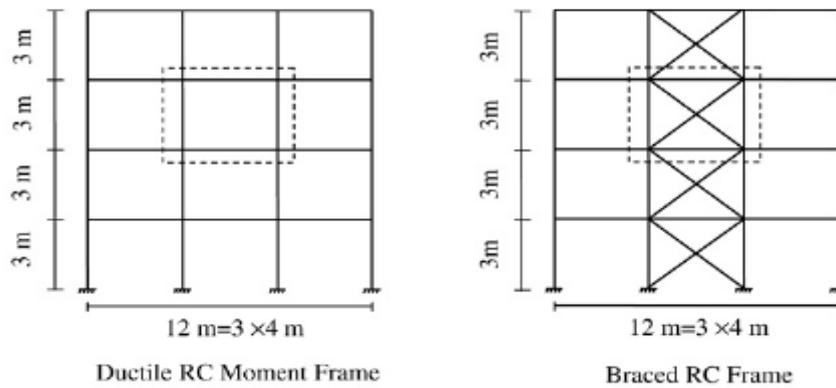
الجدول (6-2): القيم العظمى للانتقالات الجانبية مقدره ب مم في الاتجاه X (Viswanath K.G , 2010)

No. of stories	Seismic loads		% Reduction
	Without bracing	X bracing	
4 stories	70.10	18.01	74.31
8 stories	126.32	33.04	73.86
12 stories	188.44	63.39	66.36
16 stories	279.13	105.72	62.12

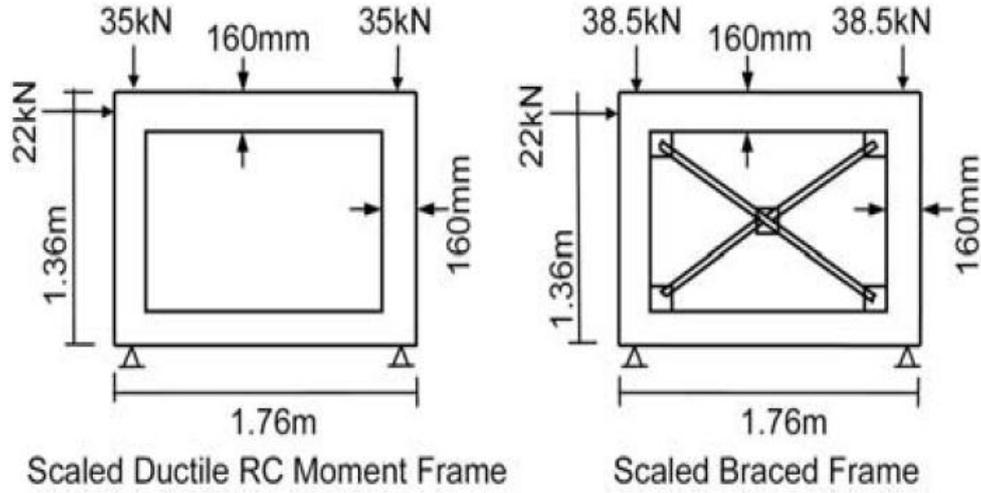
(Youssef et al, 2007) -b

قام (Youssef et al, 2007) بدراسة تجريبية لمراقبة وتحليل السلوك الزلزالي للإطارات البيتونية المسلحة والمدعمة بجوائز تربيط معدنية ، وذلك لزيادة سعة تحمل الحملات الجانبية وتقليل قيم الانزياحات وذلك في المباني التي هي قيد الإنشاء.

عمل الباحث (Youssef et al, 2007) على دراسة مبنى متعدد الطوابق (أربعة طوابق) بإرتفاع طبقي وقدره 4m ، ويحتوي على ثلاث مجازات بعد المجاز الواحد 3m ، الشكل (3-1) بين المبنى المروس. إعتبرت الجملة الإنشائية المقاومة في المبنى هي جملة إطارات بيتونية في حالتها الإطارية مع وبدون تربيط. تم تعريض المبنى المتعدد الطوابق إلى حمولة زلزالية مع اعتبار منطقة المنشأ هي منطقة زلزالية (C) حسب النظام العالمي للبناء. ثم تم عزل الحالة الحرجة من هذا المبنى وهي حالة الإطار الوسطي من الطابق الثالث واعتباره الحالة المدروسة لتنفيذ التجربة عليه. لتنفيذ عينة الإختبار تم تخفيض أبعاد الإطار المدروس بمعامل تصغير بلغ (5/2) وبالتالي أصبح العينة بأبعاد (L=1.6 m) (H=1.2 m) . ونظراً لضرورة محاكاة الإطار الأصلي تم نقل الحملات المطبقة على الإطار إلى العينة مع إعتداد معامل تصغير للحملات وقدره ((5/2)2). وبالتالي تم تطبيق حملين شاقولين على كلاً من الإطار العادي والإطار المزود بالتربيط وهما 35 KN و 38.5 KN على التوالي. وأيضاً حمل أفقي مطبق في الجهة العلوية لكل من الإطارين مع وبدون تربيط وقدره 22 KN. وتم اعتماد مسندين ثابتين في الجهة السفلية للإطارين وذلك لتأمين محاكاة العمودين الموجودين في الإطار الأصلي المنمذج.



الشكل (2-23) : يوضح المبنى الأصلي الذي أخذت منه عينتي الإختبار الاطار العادي والاطار المزود بتربيط (Youssef et al,2007)



الشكل (24-2) : يوضح عيني الاختيار الاطار العادي والاطار المزود بتبريط (Youssef et al,2007)

تم المقارنة في هذه الدراسة بين إطارين الأول مقاوم للعزوم والثاني إطار بيتوني مزود بتبريط معدني وفق النموذجين بارةالموضحين بالشكل (24-2) مع الحمولات وشروط الاستناد. حيث عرض كل من الإطارين لحمولة دورية (cyclic load).

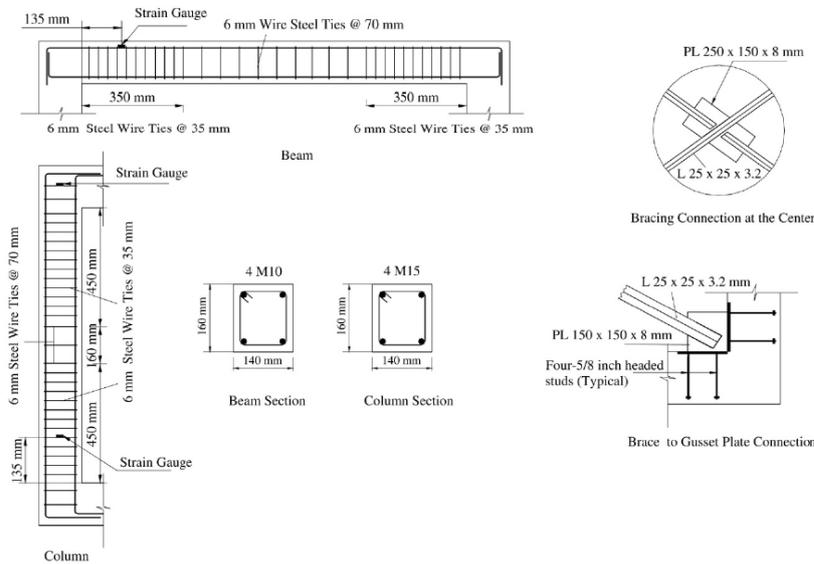
تم اعتبار كل من الإطارين وكونه مأخوذ من أحد طوابق مبنى في المنطقة الزلزالية السابقة مكون من جائزين علوي وسفلي، وعامودين يميني و يساري. تم تصميم الإطار وفق الكود ACI 318-02 واعتبار المنطقة الزلزالية هي (C) منطقة شديدة التأثير الزلزالي (highly seismic area) وذلك حسب الكود العالم للمباني (IBC).

أبعاد الإطار العادي والمربط هي (160x140mm) . الجائزين في الإطار مسلحين بتسليح (2M10) حيث. (M10=11.3mm) العامودين مسلحين بتسليح مقداره (4M15) حيث (M15=16 mm). تسليح الأساور م اعتباره عبارة عن أساور 6mm . يلاحظ من خلال قيم تسليح الأعمدة والجوائز ، أن مراعاة تشكل المفصل اللدن في الجائز واضح من خلال تشكل مبدأ (عامود قوي- جائز ضعيف). تم تطبيق حمولات ستاتيكية على الإطارين وذلك لمحاكات الحمولات الشاقولية في المبنى الأصلي.

جوائز التثبيت المعدني ووصلاته وعملية لحام التثبيت الى صفيحة الربط تم تصميمها وفق معايير الكود (AISC-LRFD,2002) إضافة إلى وضع صفيحة اتصال (gusset plate) وذلك بين الإطار البيتوني والتثبيت المعدني، وتم وصل التثبيت مع الصفيحة باللحام ، في حين أن كل الصفيحة تثبتت على الإطار بواسطة مرساتان ادخلتا داخل العמוד والجائز بمسافة تحقق اشتراطات الكودات.

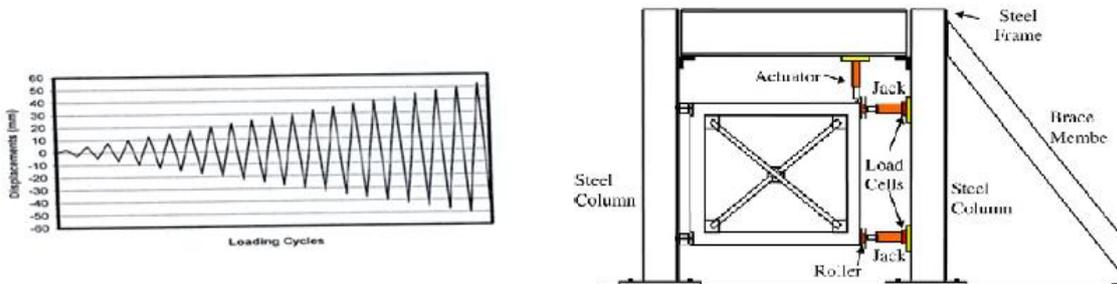
مواصفات المواد هي:

$$f_{yb}=300\text{Mpa} , f_{yt}=240\text{MPa} , f_y=400\text{MPa} , f'c=55\text{ MPa}$$



الشكل (25-2) : يوضح مواصفات المقاطع (اعمدة- جوائز) للنموذجين العادي والمزود بتثبيت (Youssef et al,2007)

عرضت العينتين لحمولات دورية وفق النموذج الموضح بالشكل (26-2):



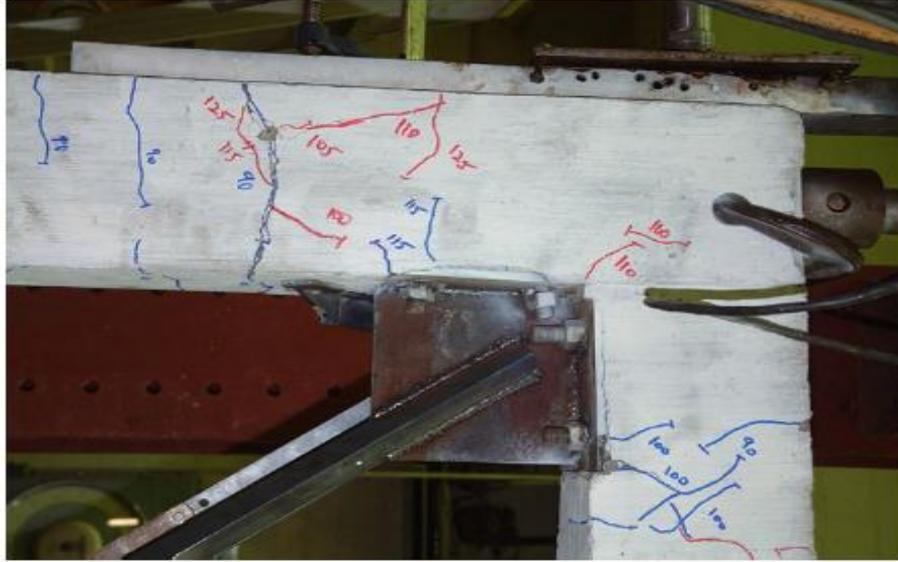
الشكل (26-2) : يوضح عينة الإختبار و الحمولة المعرض لها (Youssef et al,2007)

تصرف الإطار اختلف بصورة كبيرة بعد وضع التريبط، حيث أول تشقق ظهر في الإطار البيتوني المقاوم للعزوم (الغير مربط) عند حمولة مقدارها 30.0 KN وكان ذلك في الجائز السفلي عند وجه العامود، مع رفع الحمولة ازدادت التشققات عدداً وعرضاً. ولم يلاحظ أبداً تشققات على القص في هذا الإطار. عند الحمولة 37.5 KN حدث السيلان في قضبان التسليح السفلية للجائز السفلي. وحدث الإنهيار بتشكيل مفاصل لدنة عند نهايتي الجائزين العلوي والسفلي وعند حمولة وقدرها 55 KN .

الإطار المربط ، تم ملاحظت تشكل التشققات عند قيمة تحميل 90 KN ، وكانت هذه التشققات أقل بالعدد والعرض إذا ما قورنت مع الإطار الغير مربط، حدوث السيلان بدأ في التريبط المعدني عند الحمولة 105 KN. في حين أن الإنهيار حدث نتيجة تحنيب التريبط العامل على الضغط والذي أعقبه مباشرة تشكل مفصل لدن في الجائز وذلك عند حمولة وقدرها 140 KN. يبين الشكالان (27-2) و (28-2) التشققات في كل من الإطارين.



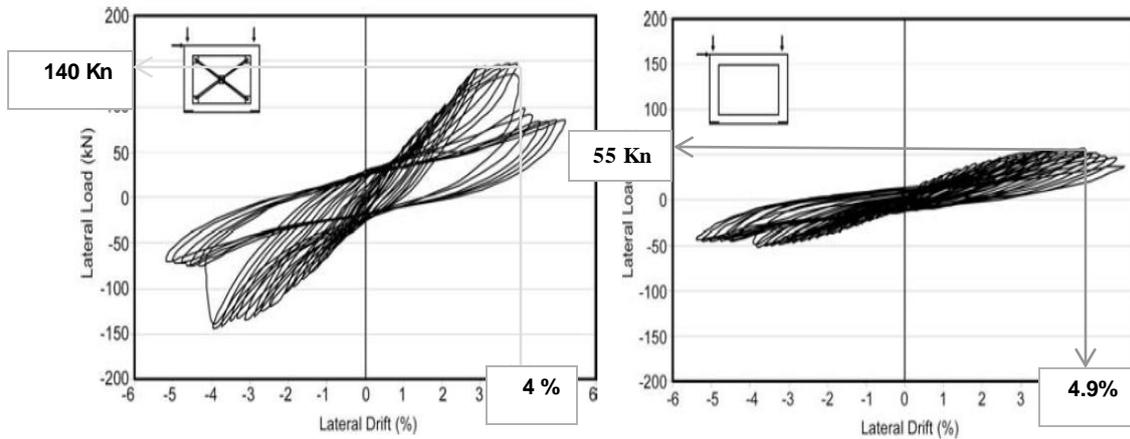
الشكل (27-2) : يوضح التشققات الحاصلة في الإطار الغير مربط (Youssef et al,2007)



الشكل (28-2) : يوضح التشققات الحاصلة في الإطار مربوط (Youssef et al,2007)

قورنت منحنيات الهستيرية (الحمولات جانبية- نسبة الانتقالات الجانبية) لكل من العينتين كما هو موضح

بالشكل (29-2).



الشكل (29-2) : يوضح مخطط (قوة جانبية- انتقالات) (Youssef et al,2007)

وكنتيجه لإضافة التريبط المعدني تم رفع قيمة قوة الانهيار من 55 KN الى 140 KN وخفض نسبة

الانزياح الجانبي من 4.9% الى 4.00% عند الانهيار.

الفصل الثالث

التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

Structural Analysis Using Finite Element Method

(FEM)

الفصل الثالث

التحليل الإنشائي باستخدام نظرية العناصر المحدودة

Structural Analysis Using Finite Element Method (FEM)

1-3. مقدمة :

:Introduction

يهدف هذا البحث إلى استعراض الدراسة العددية باستخدام برنامج (ABAQUS 6.12-1) لسلوك جملة إطار بيتوني مسلح مزود بتربيط معدني (Braced RC Frame) ودراسة السلوك الزلزالي لهذا الإطار ومقدار التحسين الذي أدخله التربيط على تصرف الجملة من ناحية زيادة القص القاعدي وخفض الانتقالات الجانبية وتحسين تبديد الطاقة وزيادة القساوة للجملة المدروسة وذلك عند تعريض الإطار إلى حمولات جانبية (In-Plane Lateral Loading).

تم في هذا البحث إجراء تحليل عددي باستخدام نظرية العناصر المحدودة (FEM) واستخدام التحليل اللاخطي الذي يأخذ لا خطية المادة بعين الاعتبار (MNA) ولاخطية التشوهات الكبيرة وذلك لتحديد مقاومة الاطار البيتوني المرابط بجوائز تربيط معدنية.

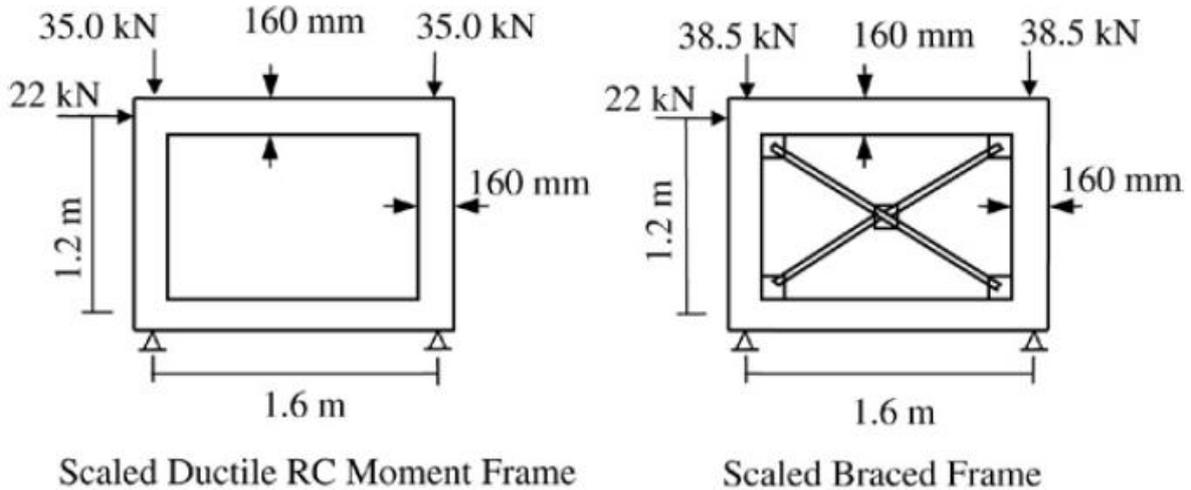
سيتم في هذا القسم عرض نتائج الدراسة العددية في تحديد مدى فاعلية اضافة التربيط المعدني على الاطارات البيتونية لمسلحة ومراقبة ثلاث بارامترات تتغير تبعا لهذه الاضافة وهي الصلابة ومقدار الطاقة المبددة والمطووعة.

يحتوي هذا الفصل توصيفاً للنموذج المعتمد في التحليل، ثم خطوات التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة ، وأخيراً نتائج الدراسة التحليلية في تحديد فاعلية إضافة التربيط المعدني على الإطار البيتوني المسلح (RC Frame) من خلال دراسة البرامترات الثلاثة التي تم ذكرها أعلاه.

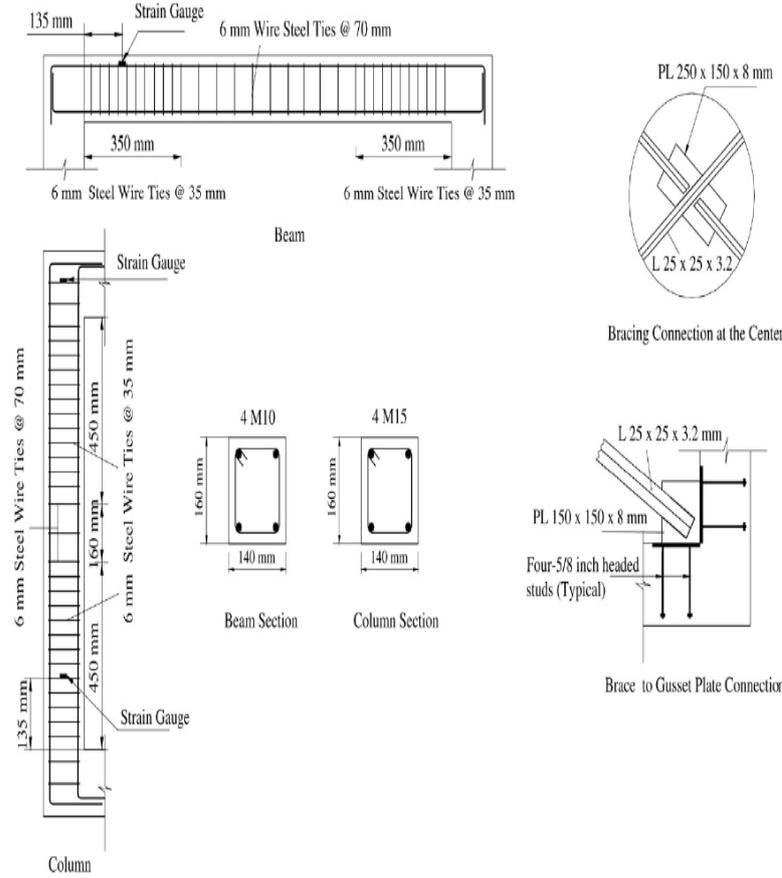
2-3. توصيف النموذج Model Description

تم تحليل النموذج المدروس تجريبياً في مقالة (Youssef et al, 2007) والمبين بالشكل (1-3) وهو عبارة عن إطار بيتوني وحيد الفتحة من طابق واحد، ارتفاع الإطار البيتوني ($H=120\text{ cm}$) ومجازه بين محاور الأعمدة ($L=160\text{ cm}$)، أبعاد المقطع العرضي للعمود والجوائز نفسه ($14 \times 16\text{ cm}$) مسلحة بتسليح (4M10) حيث (بقطر $M10=11.3\text{ mm}$) ، الأعمدة مسلحة بتسليح (4M15) حيث (بقطر $M15=16.0\text{ mm}$)، تسليح عناصر الإطار البيتوني للنموذج المدروس موضح في الشكل (2-3). المقاومة المميزة للبيتون $f'_c = 55\text{ MPa}$ ، إجهاد الخضوع لحديد التسليح $f_y = 400\text{ MPa}$. في حين أن تسليح الأساور كان $10\phi 6/70\text{ mm}$ ، وقيمة إجهاد الخضوع للأساور $f_{yt} = 240\text{ MPa}$.

تم تقوية الإطار البيتوني بعناصر تريبط معدنية متقاطعة مركزياً ، عبارة عن مقطعين بشكل حرف L ملحومين إلى بعضهما البعض، وبالتالي يكون مقطع التريبط هو ($2L\ 25 \times 25 \times 3.2\text{ mm}$)، عنصري التريبط مثبتان إلى بعضهما البعض من المنتصف. إجهاد الخضوع للتريبط المستخدم هو $f_{yb} = 300\text{ MPa}$.



الشكل (1-3) : يوضح عيني الاختبار الاطار العادي والاطار المزود بتريبط (Youssef et al, 2007)



الشكل (2-3) : يوضح مواصفات المقاطع (اعمدة- جوائز) للنموذجين العادي والمزود بتثبيت (Youssef et al,2007)

3-3 التحليل الإنشائي بطريقة العناصر المحدودة

Structural Analysis Using Finite Elements Method (FEM)

1.3.3 العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج

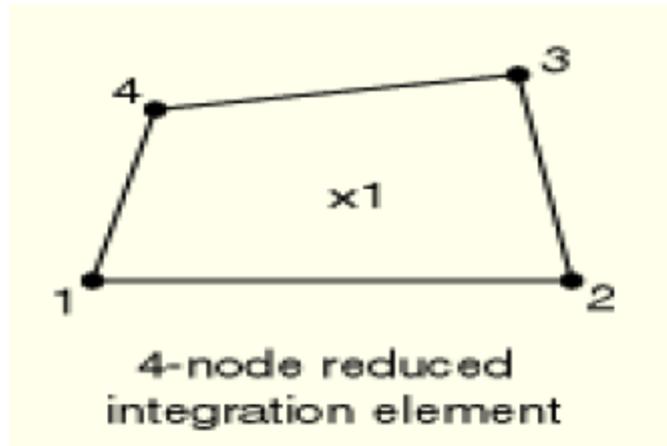
Elements Used in the Model using ABAQUS (6.12)

تم استخدام العنصر CPS4R لنمذجة الإطار البيتوني ، حيث يعتبر CPS4R هو عنصر مساحي

مؤلف من أربع عقد ولكل عقدة درجتين حرة (انتقالين في المستوي)، وهو عنصر من نوع (Plane Stress).

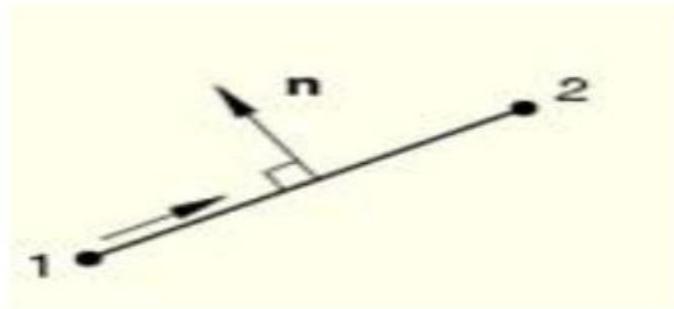
والرمز R هو للدلالة على أنه تم تخفيض عدد نقاط غاوس إلى نقطة واحدة حيث يبين الشكل (3-3) العنصر

المساحي المستخدم (ABAQUS 6.12 Documentation , 2012).



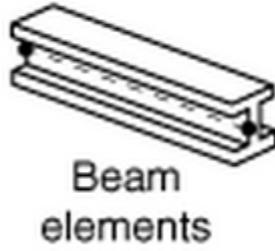
الشكل (3-3) : يبين تمثيل العنصر المساحي ذو أربع عقد (ABAQUS 6.12 Documentation ، 2012)

أيضاً تم استخدام العنصر T2D2 لنمذجة حديد التسليح الطولي والعرضي في عناصر الإطار وهو عبارة عن عنصر شبكي (Truss Element) وهو عنصر مؤلف من عقدتين وكل عقدة تحتوي درجتي حرية فقط (انتقالين فقط)، يوضح الشكل (4-3) العنصر الشبكي (ABAQUS 6.12 Documentation ، 2012).



الشكل (4-3) : يبين تمثيل العنصر الشبكي ذو العقدتين (ABAQUS 6.12 Documentation ، 2012)

العنصر B23 وهو عنصر جائزي استخدم لنمذجة التثبيت المعدني، وهو يأخذ قوة محورية وصلابة إنعطافية. وهو أيضاً عنصر من عقدتين فقط ولكن كل عقدة تحتوي على ثلاث درجات حرية (انتقالين ودوران). يوضح الشكل (5-3) عنصر الجائز المستخدم (ABAQUS 6.12 Documentation ، 2012).



الشكل (5-3) : يبين تمثيل العنصر الجائزي ذو العقدتين (ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)

2.3.3 الشروط المحيطة للنموذج (Boundary Conditions Model's):

تم إعتقاد شروط الإستناد في النموذج المدروس كما اعتمدت في تجربة (Youssef et al, 2007) ، تم اعتبار الاطار مستند بمساند ثابتة. وهذه المساند تم وضعها في العقدتين الصلدتين السفليتين للاطار. حيث ونظراً للصلاية العالية للعقد والمفصل اللدن سوف يتشكل عند نهاية العامود او الجائز وليس بالعقدة تم اعتبار العقد الاربع للاطار عقد صلدة.

3.3.3 نوع التحليل المستخدم في النموذج Type of Used Analysis

أخذ التحليل اللاخطي الذي يأخذ لا خطية المادة (MNA) ولاخطية التشوهات الكبيرة (Nlgeom). لأخذ التحنيب بعين الاعتبار في التريط المعدني أخذ التحليل من النوع (Static, Riks).

4.3.3 توصيف المواد المستخدمة في النمذجة

Materials Used in Modeling

A. تحتوي قاعدة بيانات برنامج (ABAQUS 6.12) ثلاث طرق مختلفة لنمذجة البيتون وهي كمايلي

: (ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)

B. Concrete Smearred Cracking Model

C. Cracking Model for Concrete (Brittle Cracking Model)

D. Concrete Damage Plasticity

كل طريقة من الطرق السابقة معدة لنمذجة الببتون العادي (Plain Concrete) والببتون المسلح (Reinforced Concrete)، بالإضافة إلى المواد شبه الهشة (Quasi- Brittle Materials) مثل مادة البلك (Masonry)، وذلك لجميع أنواع العناصر الإنشائية كالإطارات (Frames)، العناصر المساحية المستوية (Shells) و العناصر المستوية الفراغية (Solids) .

تستخدم الطريقة الأولى في نمذجة الببتون (Concrete Smeared Cracking Model) عندما يسبب تحميل الببتون بشكل أساسي حصول تشوهات متزايدة (Monotonic Straining)، انهيار الببتون فيها إما أن يكون بسبب التشقق على الشد (Tensile Cracking) أو التحطم على الضغط (Compressive Crushing) ، أما الطريقة الثانية (Brittle Cracking Model) تستخدم في حالات التحليل التي يكون فيها سلوك انهيار الببتون على الضغط والشد غير مهم ، حيث يعتبر سلوك الببتون على الضغط سلوكاً مرناً (Elastic Behavior).

أما الطريقة الثالثة (Concrete Damage Plasticity) تستخدم في حالات التحميل العشوائي (Arbitrary Loading) حيث يأخذ بعين الاعتبار تأثير إزالة القوة و التناقص التدريجي في الصلابة المرنة (Elastic Stiffness) في حالتي الشد و الضغط بسبب التشوهات اللدنة أيضاً يأخذ بالاعتبار آثار استرداد القساوة المرنة عند انعكاس الحمولة من الشد إلى الضغط .

وبالتالي تم اعتماد ، بناءً على ماسبق، طريقة (CDP) في نمذجة الببتون هي الطريقة الأفضل .

عند إزالة الحمولة عند أي نقطة من مرحلة (Strain Softening) من منحنى الإجهاد- التشوه على الضغط تتناقص قساوة المادة حيث يتم التعبير عن انخفاض القساوة بالمعامل dc الذي يسمى معامل تخفيض القساوة على الضغط (Uniaxial compression damage variable) حيث يأخذ قيمة ابتداءً من الصفر للتعبير عن المادة الغير متشققة إلى الواحد عندما تفقد المادة كامل مقاومتها حيث يعبر الخط المنقط ذي الميل -1 (E0 dc) في الشكل (3-6) عن حالة إزالة الحمولة حيث يسلك البيتون سلوكاً لئناً وبالمقارنة مع الخط المنقط ذي الميل E0 الذي يعبر عن سلوك المادة المرنة عند إزالة الحمولة حيث E0 (معامل المرونة الابتدائي Initial modulus of elasticity) نلاحظ انخفاض ميل الخط المنقط الأول إلى E0 (1- dc) بمقدار dc وهذا ناتج عن انخفاض قساوة المادة عند إزالة الحمولة بسبب ظهور تشوهات الضغط اللدنة المتبقية في المادة ϵ_c^{pl} (Compressive Equivalent Plastic Strain) التي تعطى بالعلاقة (3-1):

$$\epsilon_c^{pl} = \epsilon_c^{in} - \frac{dc}{(1 - dc)} \frac{\sigma_c}{E0} \quad (1-3)$$

حيث ϵ_c^{in} هو التشوه غير المرنة (Inelastic Strain) ويحدد من العلاقة (3-2) وهو الفرق بين التشوه الكلي الحاصل عند نقطة معينة ϵ_c من منحنى الإجهاد التشوه على الضغط غير المحوري والتشوه المرنة عند هذه النقطة ϵ_{0c}^{el} (elastic Strain) الذي ينتج من تقسيم الضغط الناتج عند النقطة المذكورة σ_c على معامل المرونة الابتدائي E0 .

$$\epsilon_c^{in} = \epsilon_c - \epsilon_{0c}^{el} \quad (2-3)$$

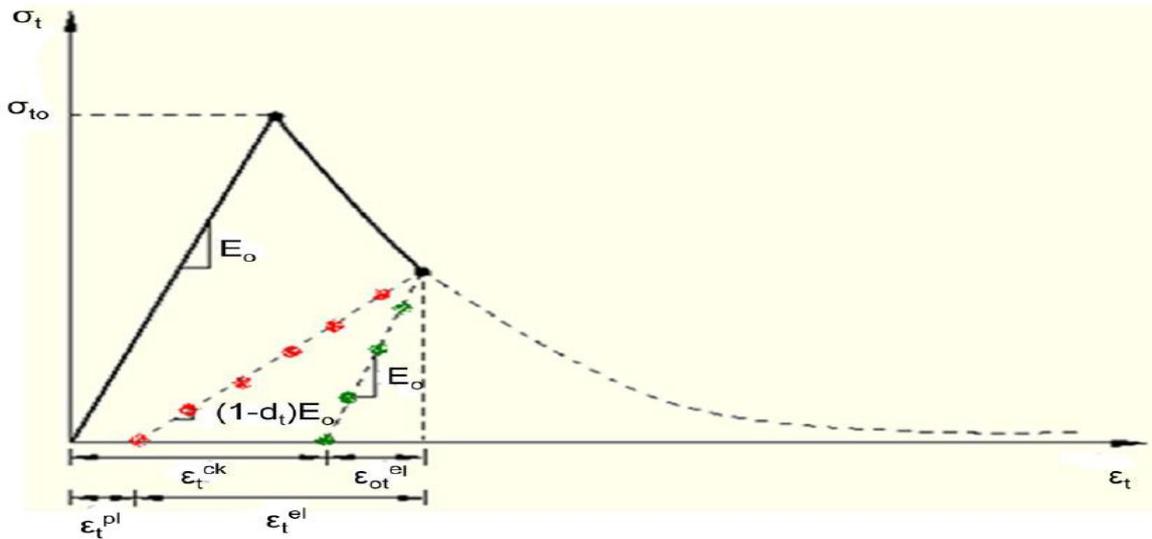
$$\epsilon_{0c}^{el} = \frac{\sigma_c}{E0} \quad (3-3)$$

حيث dc هو معامل تخفيض القساوة على الضغط (Uniaxial compression damage variable).

ويعطى بالعلاقة التالية (Jankowiak and Lodygowski 2005) :

$$dc = \frac{\sigma_{cu} - \sigma_c}{\sigma_{cu}} \quad (4-3)$$

يكون تصرف البيتون تحت تأثير الشد المحوري خطي حتى الوصول إلى قيمة الإجهاد الحدي للبيتون على الشد σ_{t0} الشكل (7-3) الذي يترافق مع ظهور أول شق في البيتون، و بعد الوصول إلى الإجهاد الحدي تسلك المادة سلوكاً لاخطياً حيث تبدأ التشققات بالظهور ويصبح بالإمكان رؤيتها بالعين المجردة و تبدأ الاجهادات في هذه المرحلة بالانخفاض مع استمرار التشوهات بالتزايد حيث تسمى هذه المرحلة بـ (Strain Softening) و تصبح المادة ضعيفة بسبب ازدياد الشقوق و اتساعها.



الشكل (7-3) : يبين مخطط الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الشد (ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)

وكما في حالة الضغط فإن إزالة الحمولة عند أي نقطة من مرحلة (Strain Softening) من منحنى الإجهاد- التشوه على الشد تتناقص قساوة المادة حيث يتم التعبير عن الإنخفاض القساوة dt الذي يسمى معامل تخفيض القساوة على الشد (Uniaxial Tension Damage Variable) حيث يأخذ قيمة ابتداءً من الصفر للتعبير عن المادة غير المتشققة إلى الواحد عندما تفقد المادة كامل مقاومتها ، حيث يعبر الخط المنقط ذو الميل $(1 - dt)$ E_0 في الشكل (7-3) عن حالة إزالة الحمولة حيث يسلك البيتون سلوكاً لدناً و بالمقارنة مع الخط المنقط ذو الميل E_0 الذي يعبر عن سلوك المادة المرنة عند إزالة الحمولة حيث E_0 (معامل المرونة الابتدائي Initial modulus of elasticity) نلاحظ انخفاض ميل الخط المنقط إلى $E_0 (1 - dt)$ بمقدار dt وهذا ناتج انخفاض قساوة المادة عند إزالة الحمولة بسبب ظهور تشوهات الشد اللدنة المتبقية في المادة $(\epsilon_t^{pl} \text{ Tensile})$ Equivalent Plastic Strain التي تعطى بالعلاقة التالية :

$$\varepsilon_t^{pl} = \varepsilon_t^{ck} - \frac{dt}{(1 - dt)} \frac{\sigma t}{E0} \quad (5-3)$$

حيث ε_t^{ck} هو تشوه التشقق (Cracking Strain) ويحدد بالعلاقة (3-6) وهو الفرق بين التشوه الكلي الحاصل عند نقطة معينة ε_t من منحنى الإجهاد - التشوه على الشد غير المحوري والتشوه المرن عند هذه النقطة ε_{0t}^{el} (Elastic Strain) الذي ينتج من تقسيم إجهاد الشد الناتج عند النقطة المذكورة σt على معامل المرونة الابتدائي $E0$.

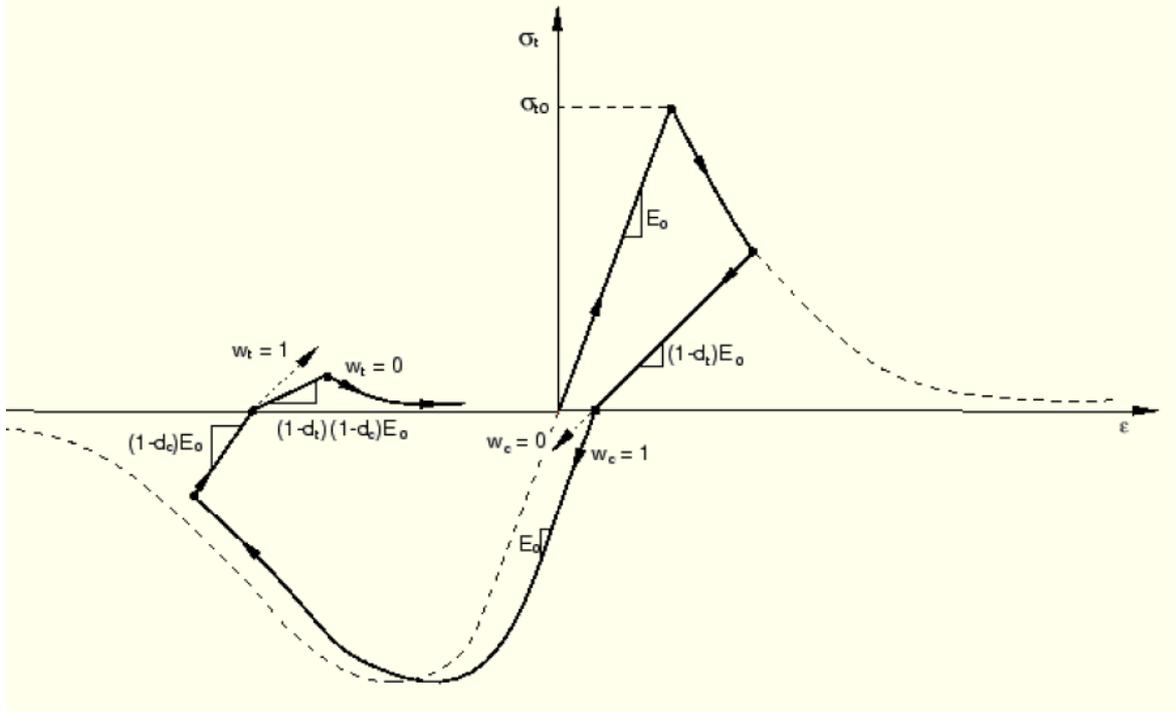
$$\varepsilon_t^{ck} = \varepsilon_t - \varepsilon_{0t}^{el} \quad (6-3)$$

$$\varepsilon_{0t}^{el} = \frac{\sigma t}{E0} \quad (7-3)$$

حيث dt هو معامل تخفيض القساوة على الشد (Uniaxial Tension Damage Variable) ويعطى بالعلاقة التالية (Jankowiak and Lodygowski , 2005) :

$$dt = \frac{\sigma t_0 - \sigma t}{\sigma t_0} \quad (8-3)$$

تحت تأثير الحمولات الزلزالية (Seismic Loading) يكون سلوك البيتون معقداً نوعاً ما متضمناً انغلاق و انفتاح الشقوق نتيجة انعكاس جهة الحمولة ، حيث لوحظاً تجريبياً أنه يحصل استرداد لبعض القساوة المرنة (Recovery of the Elastic Stiffness) عند انعكاس جهة الحمولة أثناء التحميل من الشد إلى الضغط بسبب انغلاق شقوق الشد التي تؤدي إلى استرداد القساوة على الضغط ، حيث يوضح الشكل (3-8) التحميل اللاخطي (شد- ضغط- شد) مع أخذ القيم الافتراضية لمعاملات استرداد القساوة ($Wc=1, Wt=0$) .



الشكل (8-3) : يبين التحميل اللاخطي (شد- ضغط- شد) مع أخذ القيم الافتراضية لمعاملات استرداد القساوة ($W_c=, W_t=0$)
(ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)

افترض (Jankowiak and Lodygowski 2005) أنه يمكن إهمال المرحلة الأولى في تصرف البيتون على الضغط (المرحلة الخطية) حتى الوصول إلى قيمة ($0.4f'_c$) وذلك دون حدوث أي مشاكل ضمن التصرف الرقمي للببتون تحت تأثير الحمولة الزلزالية ، وافترض أن قيمة حد المرونة الخطية سوف يزداد اعتباراً من القيمة السابقة بمقدار نسبة من المقاومة المميزة للببتون f'_c وتعطى هذه القيمة في المعادلة التالية :

$$\text{elim} = 1 - \exp\left(\frac{-f'_c}{80}\right) \quad (9-3)$$

بعد وصول الببتون إلى قيمة ($0.4f'_c$) يبدأ التصرف اللاخطي للببتون ، ولمتابعة رسم المنحني المعبر عن تصرف الببتون على الضغط نحتاج لتحديد معامل مرونة الببتون E_{cm} ، وتم تحديده وفق (Jankowiak and Lodygowski، 2005) اعتماداً على قيمة المقاومة المميزة للببتون f'_c وفق المعادلة (10-3):

$$E_{cm} = 22(0.1f'c)^{0.3} \quad (10-3)$$

في المعادلة (10-3) يتم إدخال قيم $f'c$ بـ MPa وتعطى قيمة E_{cm} بـ GPa .

لمتابعة رسم المنحني المعبر عن تصرف البيتون على الضغط حسب (Jankowiak and Lodygowski ، 2005) يجب تحديد قيم التشوه للبيتون النسبي المقابل للقيمة العظمة لإجهاد البيتون على الضغط $f'c$ وتعطى بالرمز ϵ_{c1} ، وقيمة التشوه النسبي للبيتون المقابل لقيمة إجهاد بيتون لحظة انقطاعه وتوقفه عن العمل ϵ_{cu} . أعطى (Jankowiak and Lodygowski ، 2005) معادلات تجريبية لتحديد القيمتين ϵ_{c1} و ϵ_{cu} على التوالي وفق المعادلات (11-3) و (12-3) التي تعتمد على قيمة $f'c$ بشكل أساسي لحساب المتغيرين وهما :

$$\epsilon_{c1} = 0.0014[2 - \exp(-0.024f'c) - \exp(-0.140f'c)] \quad (11-3)$$

$$\epsilon_{cu} = 0.004 - 0.0011[1 - \exp(-0.0215f'c)] \quad (12-3)$$

وفي تجربة (Youssef et al, 2007) كانت قيمة $f'c = 55$ MPa وعليه أصبحت القيم المتغيرات كالتالي:

$$E_{cm} = 36688 \text{ MPa}$$

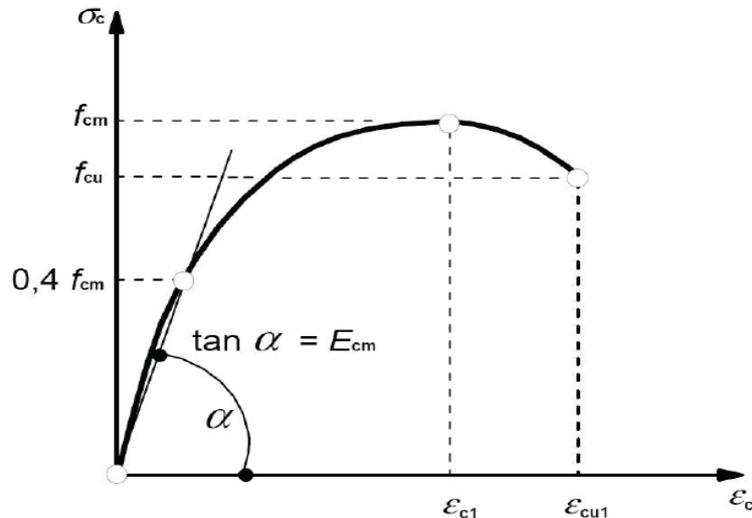
$$0.4f'c = 22 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{c1} = 0.00059651$$

$$\epsilon_{cu} = 0.0035$$

ولتوضيح القيم المذكور أعلاه أعطى الكود الأوروبي منحنيًا مرجعيًا لتوصيف البيتون وفق نظرية (CDP) وفق

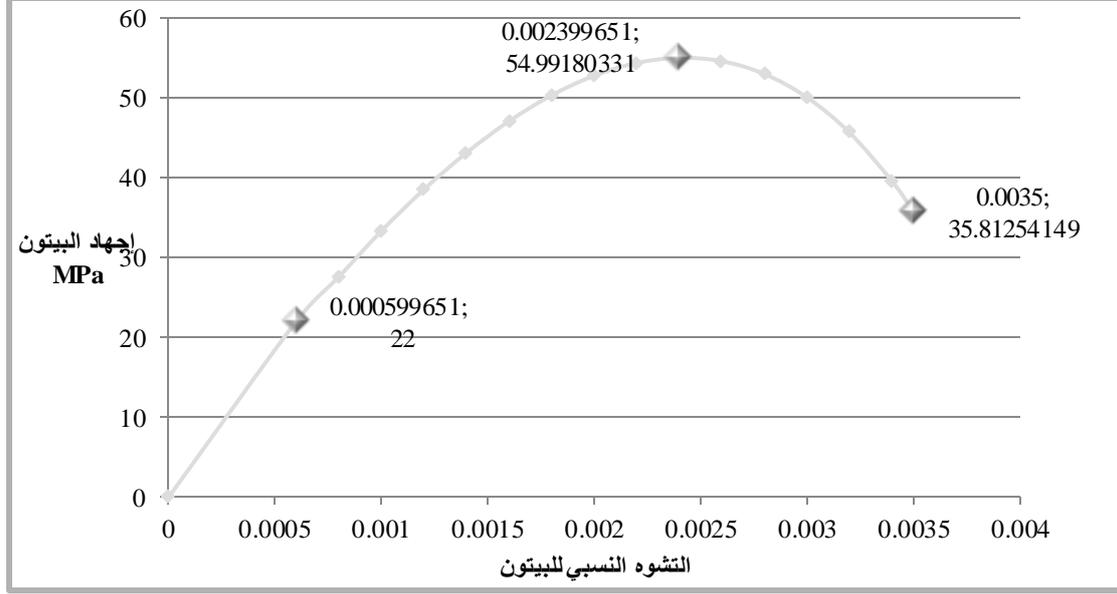
الشكل (9-3):



الشكل (9-3) : يبين تصرف البيتون على الضغط حسب نظرية (CDP) وذلك وفق الكود الأوروبي Eurocode 2

بالرجوع الى نموذج البيتون في دراستنا فقد تم الحصول على المنحني المعبر عن تصرف البيتون على الضغط

وفق القيم التي تم الحصول عليها أعلاه ، وتم رسمه وفق الشكل (10-3):



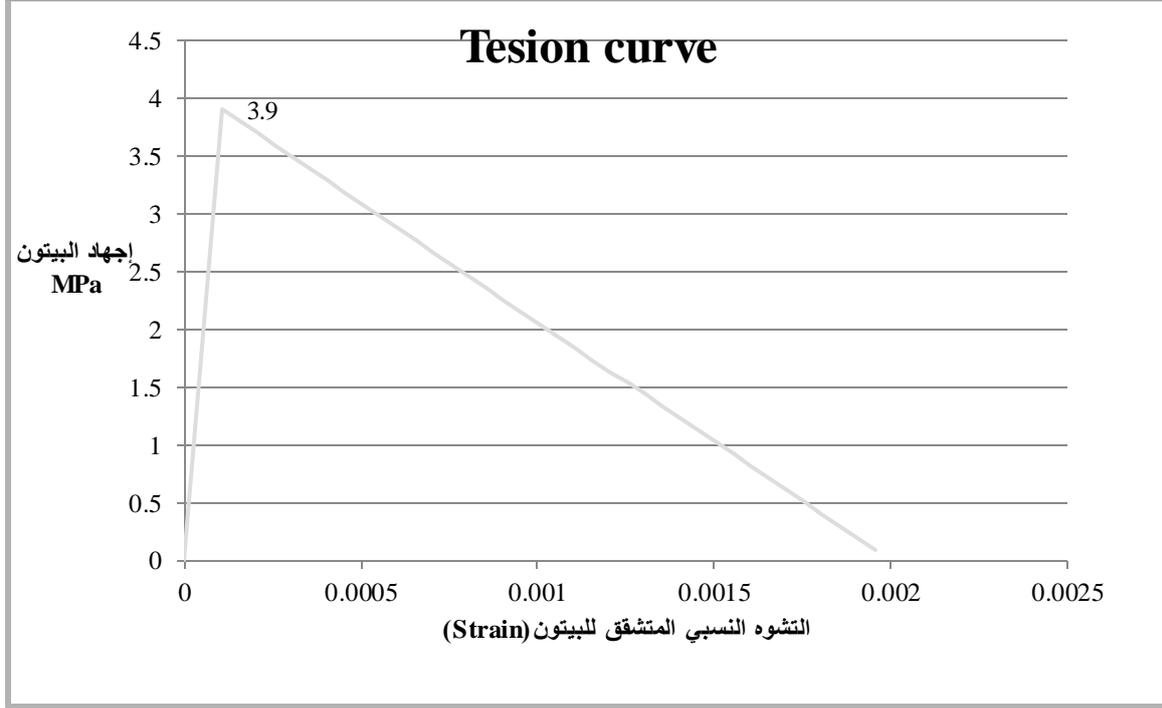
الشكل (10-3) : يبين منحني التشوه النسبي- الاجهادات يبين تصرف البيتون على الضغط المعتمد بالنمذجة

أما في حالة الشد فتم في النمذجة اعتماد منحني خطي مبسط الإجهاد- التشوه النسبي للبيتون على الشد كما هو واضح في الشكل (10-3) حيث يصل البيتون لمقاومته العظمى على الشد f_{cm} التي تعطى بالعلاقة (3-3) (13) (Kmiecik & Kaminski,2011) ، وتعطى قيمة التشوه النسبي الابتدائي للبيتون على الشد المرافق لذروة الإجهاد ϵ_{to} (Initial tensile strain in the concrete) بالعلاقة (3-14) ، ثم تبدأ المقاومة بعدها بالانخفاض بشكل خطي حتى انعدامها عند قيمة التشوه الحدي للبيتون على الشد ϵ_{total} (Ultimate tensile strain in the concrete) التي تعطى بالعلاقة (3-15) حيث تم الاعتبار أن البيتون يخرج عن العمل على الشد عند وصول فولاذ التسليح للسيلان.

$$f_{cm} = 0.30f_{ck}^{(2/3)} \quad (13-3)$$

$$\epsilon_{to} = \frac{f_{cm}}{E0} \quad (14-3)$$

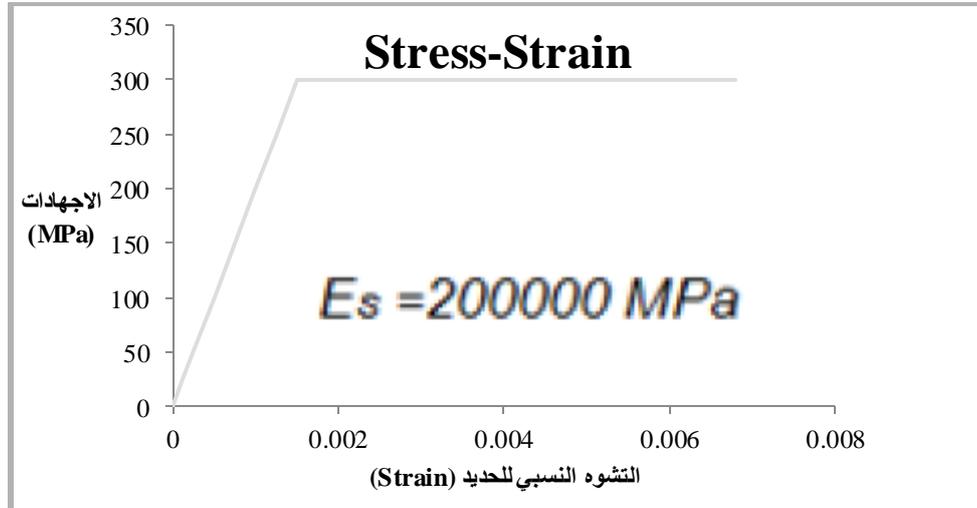
$$\epsilon_{total} = \frac{f_y}{Es} \quad (15-3)$$



الشكل (11-3) : يبين منحنى التشوه النسبي الاجهادات بين تصرف البيتون على الشد المعتمد بالنمذجة

يوضح الشكل (12-3) علاقة الإجهاد - التشوه النسبي جوائز التريبط المعدني، حيث يبدأ سلوك الحديد مرناً خطياً حيث تزداد التشوهات النسبية مع ازدياد الإجهادات حتى الوصول إلى إجهاد الخضوع f_y الذي يرافقه التشوه النسبي عند الخضوع ϵ_y ويحسب من العلاقة (12-3) حيث E_s معامل مرونة الحديد ، بعدها تم فرض سلوك فولاذ التسليح لدناً مثالياً (Perfectly Plastic) .

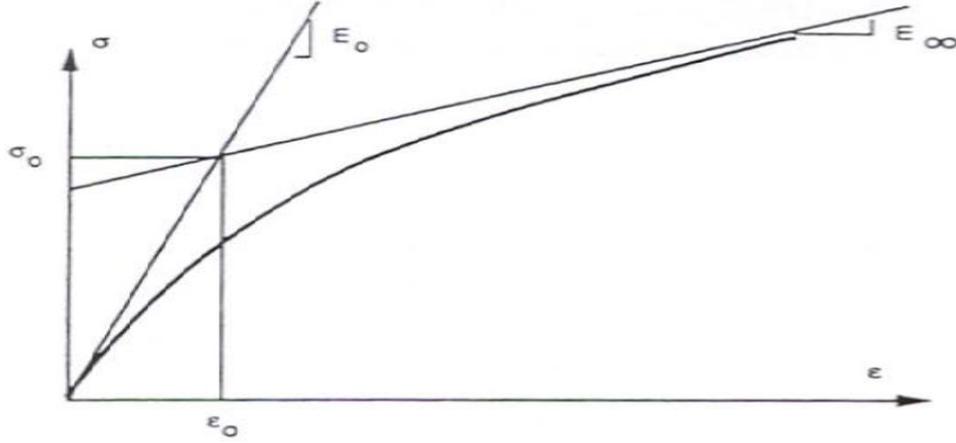
$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad (16-3)$$



الشكل (12-3) : مخطط الإجهاد - التشوه النسبي لحديد جوائز التريبط المعتمد في النمذجة

- توصيف فولاذ التسليح والتماسك مع البيتون :

تم اعتماد نظرية (Menegotto-Pinto, 2001) في توصيف حديد التسليح ، وهي إحدا الطرق المستخدمة لنمذجة حديد التسليح المستخدم في البيتون المسلح . حيث يعطى السلوك بصورة عامة وفق الشكل (3-13) .



الشكل (3-13) : منحني التشوه النسبي- الاجهاد لحديد التسليح في نظرية (Menegotto-Pinto, 2001)

وتعطى قيمة الاجهاد وفق هذه الطريقة بالعلاقة (3-17):

$$\sigma_s^* = b \varepsilon_s^* + \frac{(1-b)\varepsilon_s^*}{(1 + \varepsilon_s^{*R})^{1/R}} \quad (17-3)$$

حيث لدنيا من المعادلة :

$$\varepsilon_s^* = \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{sr}}{\varepsilon_0 - \varepsilon_{sr}} \quad (18-3)$$

$$\sigma_s^* = \frac{\sigma_s - \sigma_{sr}}{\sigma_0 - \sigma_{sr}} \quad (19-3)$$

σ_0, ε_0 : هما الاجهاد والتشوه النسبي على التوالي وذلك عند النقطة التي يبدأ فيها حديد لتسليح بالنقسية .

$\sigma_{sr}, \varepsilon_{sr}$: هما الاجهاد والتشوه النسبي على التوالي.

ويتم حساب معامل التقسية (b) وفق (Menegotto-Pinto, 2001) وفق العلاقة (3-20):

$$b = \frac{E_\infty}{E_0} = \text{hardening ratio} \quad (20-3)$$

$$E_0 = \frac{\sigma_0 - \sigma_{sr}}{\epsilon_0 - \epsilon_{sr}} \quad (21-3)$$

حيث لدينا من المعادلات أعلاه:

E_0 = معامل مرونة حديد التسليح في مرحلة المرونة.

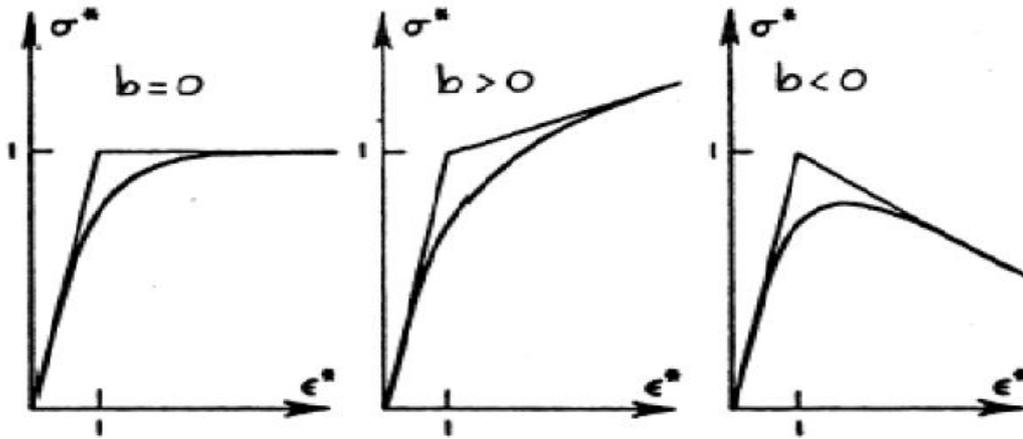
R = بارامتر يؤثر على مقدار انحناء المنحى (الاجهاد - تشوهات نسبية).

b = معامل التقسية حيث وبناءً على قيمة هذا الحد لدينا ثلاث حالات لمنحى (الاجهاد-تشوهات نسبية).

حيث وتبعاً لمعامل b (hardening ratio) ، يختلف شكل المنحى المعبر عن تصرف حديد تسليح البيتون

المسلح وذلك حسب الشكل (3-14). حيث يؤخذ معامل التقسية قيم موجبة أو سالبة أو مساوية للصفر، حيث

يعود المنحى لحالة العادية (مرونة - لدونة مثالية) عندما تكون b مساوية للصفر .



الشكل (3-14) : منحى (التشوه النسبي - الاجهاد) لحديد التسليح في نظرية (Menegotto-Pinto, 2001) مع قيم مختلفة لعامل الصلابة (b)

في النموذج المدروس في تجربة (Youssef et al, 2007) أخذت القيم التالية لحديد التسليح :

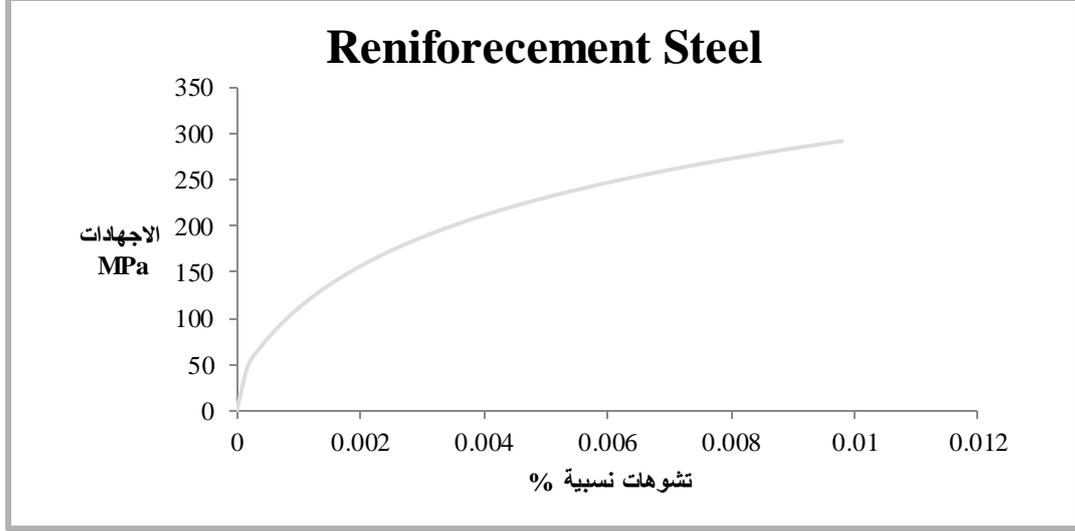
- في النموذج المدروس أخذت القيم التالية:

$$f_y = 400 \text{ Mpa} , E_0 = 200000 \text{ MPa}$$

وتم اعتماد القيم التالية لـ (R, b)

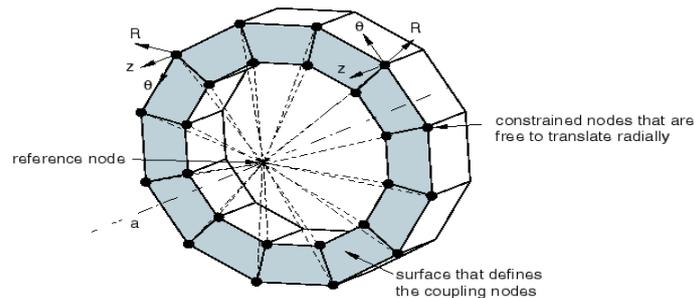
$$R = 0.7 \quad b = 1/60$$

اعطت نموذج لحديد التسليح وفق الشكل (3-15)، وكان تصرف الحديد مع النموذج البيتون قريب من تصرف البيتون الحقيقي في التجربة ، وكانت النتائج قريبة مع نتائج التجربة .



الشكل (3-15) : منحنى (التشوه النسبي- الاجهاد) لحديد التسليح المعتمد في النموذج

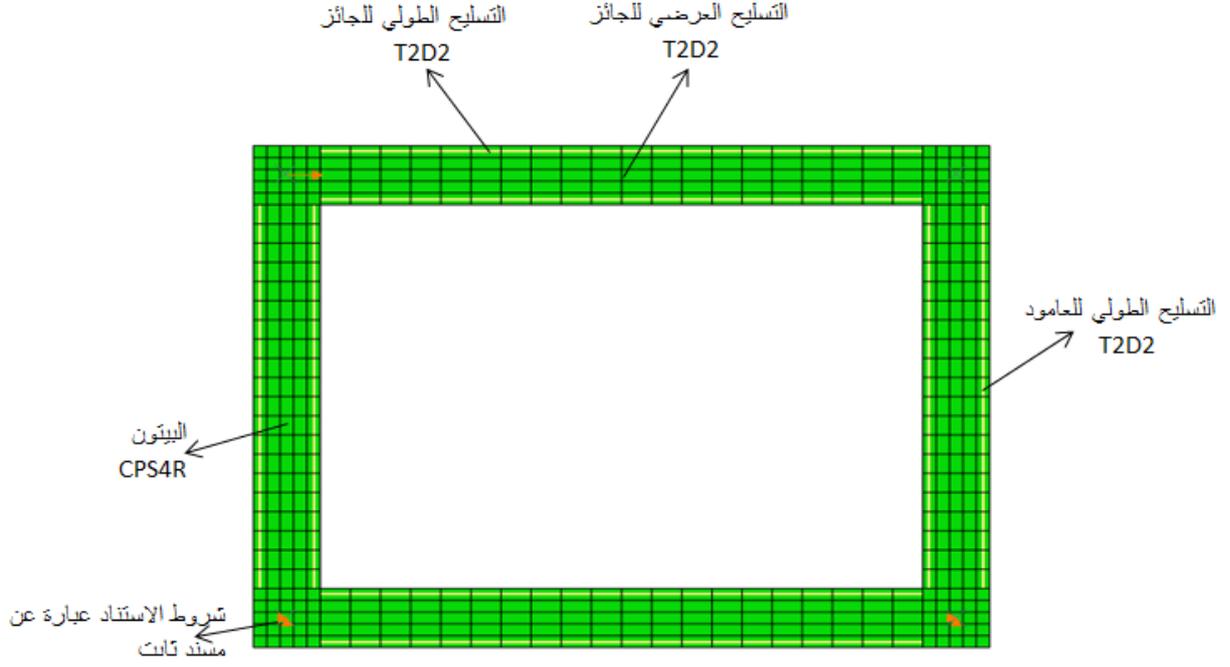
- وتم اكمال الترابط بين البيتون وحديد التسليح بعمل شرط تماس من النوع Embedded Region واعتباره ترابط كامل بين العنصرين مع امكانية حركة حديد التسليح ضمن البيتون. تم اعتماد وصلة من نوع coupling لتأمين عملية نقل الحمولة من الإطار البيتوني إلى التريبط المعدني بالصورة المثلة حيث نوضح بالشكل التقريبي (3-16) الذي يبين آلية نقل الحمولات عن طريق الوصلة المقترحة . حيث تعتبر الوصلة واحدة من أهم عناصر الإطارات المقواة بالتريبط ، ومرونة هذا الوصلة وفعاليتها سوف تنعكس على تصرف الإطار واستجابته للحمولة ككل. حيث تعمل الوصلة على انسجام توزيع الاحمال ونقلها بصورة منتظمة من الإطار للتريبط المعدني وبالتالي زيادة قدرة الإطار على تحمل الحمولات المطبقة ، وتطيل عملية وصول الإطار إلى طاقته العظمة وإنهياره كنيجة زيادة التحمل .



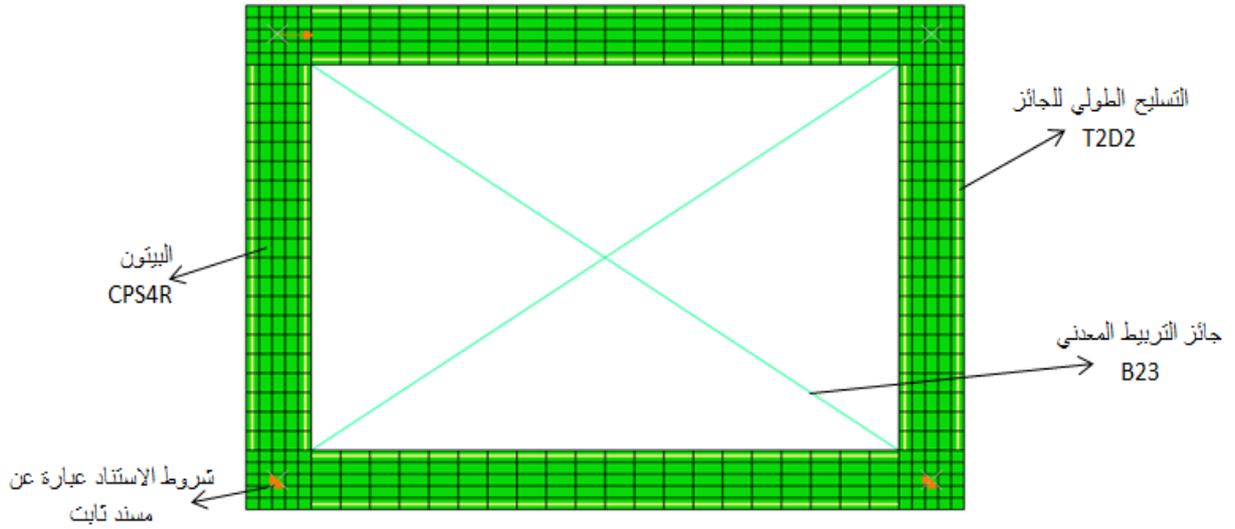
الشكل (3-16) : شكل توضيحي لآلية نقل الحمولة عن طريق الوصلة (Abaqus6.12 Documentation)

5.3.3. شكل النموذج المدروس في برنامج Abaqus6.12 :

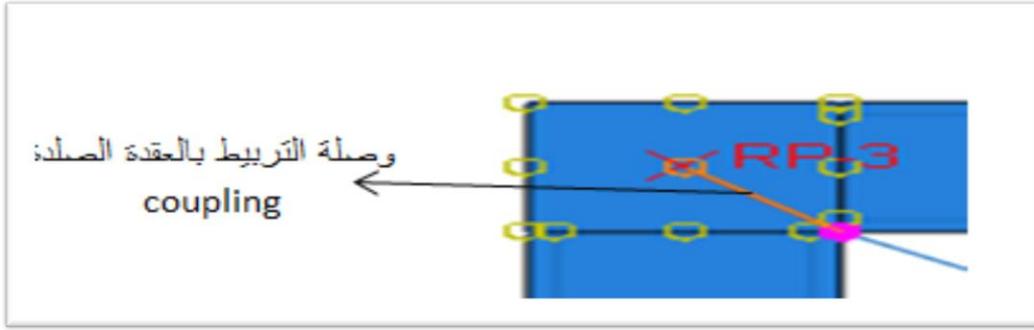
يبين الشكل (3-17) والشكل (3-18) النموذج النهائي المدروس وفق برنامج (ABAQUS 6.12) ، حيث يظهر في الشكل الإطار البيتوني ، التسليح الطولي والعرضي بدون التريبط المعدني. والشكل (3-18) يبين شكل الوصلة المعتمدة في برنامج الأباكوس.



الشكل (3-17) : شكل نموذج الاطار المدروس بدون التريبط موضح عليه التسليح وشروط الاستناد وفق برنامج Abaqus6.12



الشكل (3-18) : شكل الاطار المدروس مع التريبط موضح عليه التسليح وشروط الاستناد وفق برنامج Abaqus6.12



الشكل (3-19) : شكل العقدة في الاطار المدروس مع التثبيت موضح عليه التسليح وشروط الاستناد وفق برنامج Abaqus6.12

6.33. مقارنة النتائج التحليلية :

- تم تعريف الاطارين المدروسين الى حمولة دفع جانبي ولوحظ ان الحمولة العظمى التي يصل اليها الاطار العادي (Bare Frame) الحمولة 52 KN ، في حين أن قيمة الحمولة العظمى في حالة الإطار مع التثبيت (Brace Frame) بلغت 158 KN ، أي أن التثبيت رفع قدرة تحمل الاطار بنسبة بلغة 200%. وهذه النسبة تختلف باختلاف مواصفات الإطار البيتوني المسلح (مواصفات تسليح ، ومقاومة بيتون) وذلك قبل إضافة التثبيت المعدني . وبينت التجارب أن هذه النسبة ترتفع مع انخفاض صلابة الإطار العادي (الغير مربوط)، حيث يعتبر الإطار المدروس مع مقاومة مميزة للبيتون مقدرة بـ 55 MPa إطار عالي القساوة (Youssef etal,2007).

- في الشكل (3-20) تم مقارنة عينة التجربة مع النموذج على برنامج أباكوس وذلك للإطار بدون تثبيت (Bare Frame) حيث بلغت قيمة الحمولة القصوى للتجربة (Youssef etal,2007) 55 Kn ، في حين أن النموذج أعطى حمولة انهيار مقدارها 52 Kn . أي نسبة الفرق بين القيمين لا تتجاوز 2%. ومنه الدراسة التحليلية مقبولة.

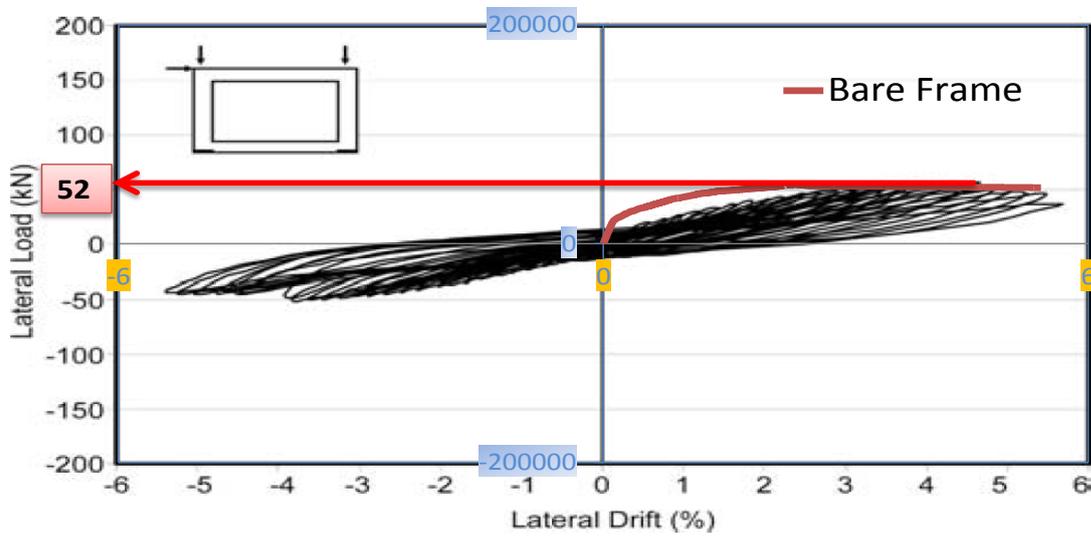
- في الشكل (3-21) تم مقارنة عينة التجربة المربطة (التي تحتوي على التثبيت المعدني) مع الاطار البيتوني المنمذج على برنامج أباكوس (Brace Frame) حيث بلغت قيمة العظمى في التجربة (Youssef etal,2007) 140 Kn . في حين ان القيمة في النموذج بلغت 156 Kn اي نسبة الفرق كانت 9% وهي ايضاً مؤشر على قبول النتائج التحليلية.

- رغم التقارب الحاصل في قيم حمولات الانهيار بين التجربة والنموذج الا أنه ومن الواضح ان قساوة الاطار في الواقع اقل بكثير من قساوة النموذج في الاباكوس وهذا يعود الى :

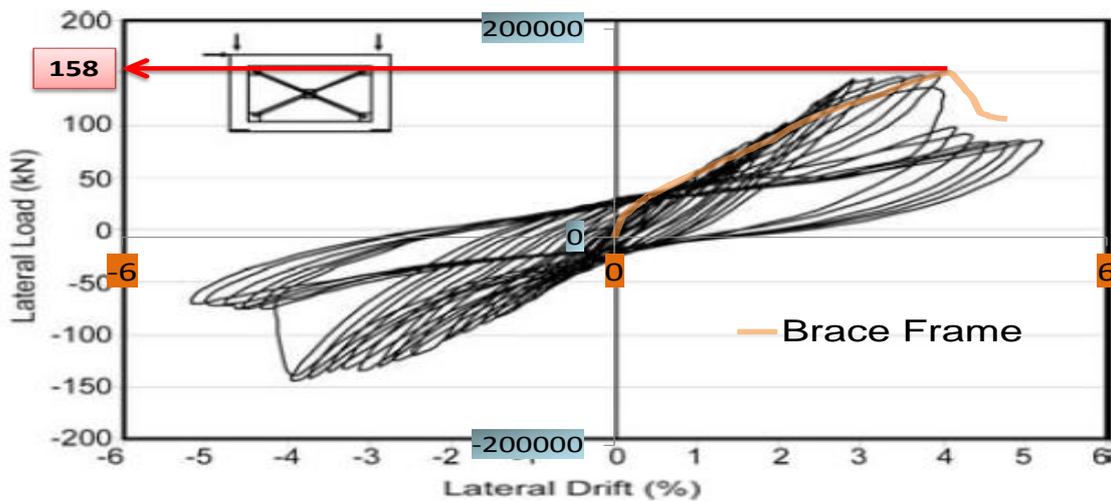
التوصيف النموذجي للمواد في التجربة وبشكل خاص (البيتون) والتشققات الحاصلة ضمنه والتي يتعذر مطابقتها مع الواقع.

التماسك المثالي بين البيتون وحديد التسليح من خلال نمذجة السطح (Embedded Region)

ولكن ومع تقدم التحميل الانسجام في السلوك واضح .



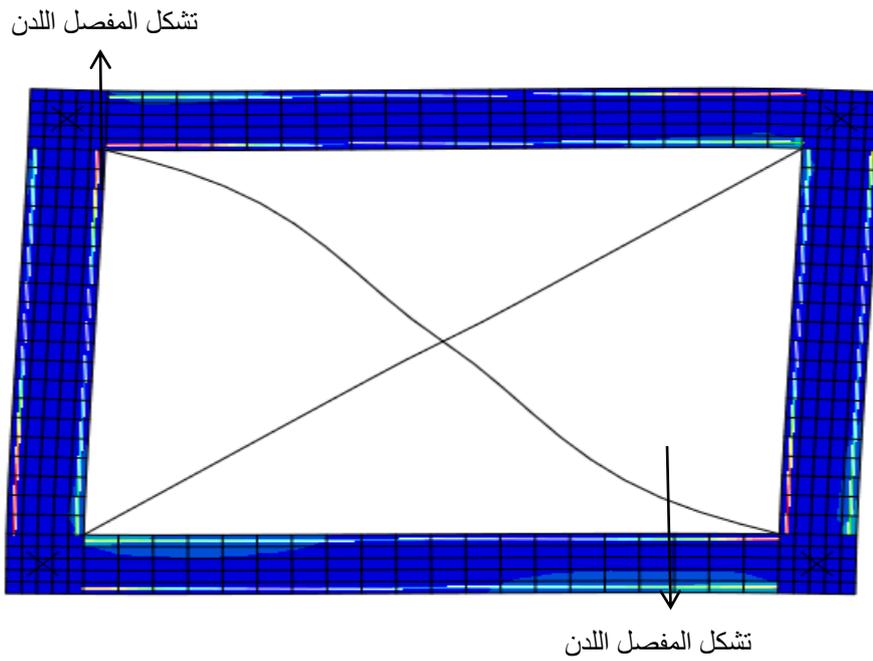
الشكل (20-3) : شكل مغلف نسبة الانتقال - القص القاعدي لحالة الاطار بدون جوائز التثبيت وفق برنامج (Abaqus6.12)



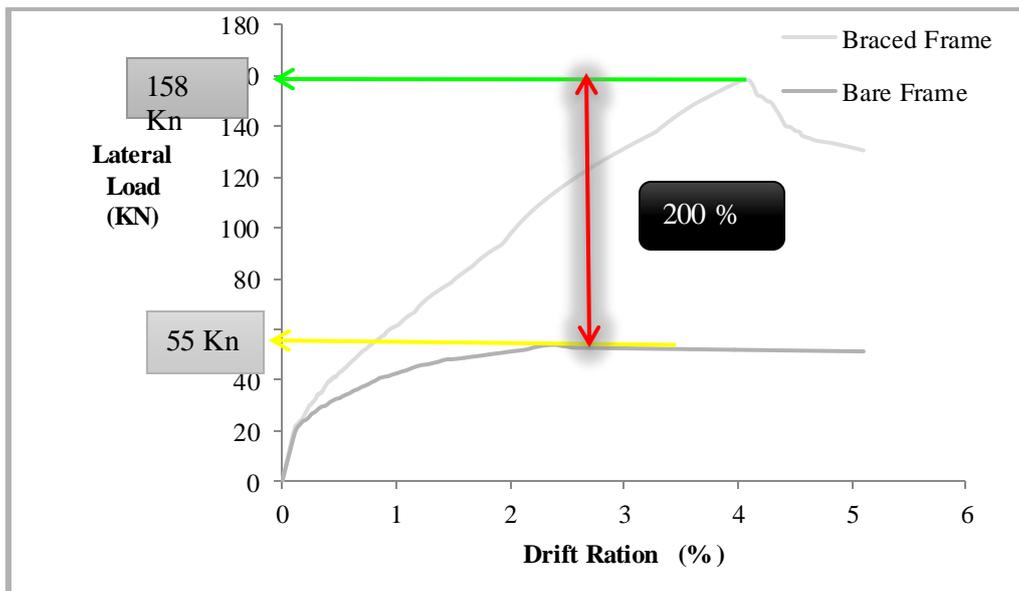
الشكل (21-3) : شكل مغلف نسبة الانتقال الجانبي - القص القاعدي لحالة الاطار مع جوائز التثبيت وفق برنامج (Abaqus6.12)

- نوضح بالشكل (21-3) شكل الاطار عند حدوث الانهيار وفق النموذج المدروس ونلاحظ من خلاله تشكل المفصل اللدن في الجوائز (المفصل حدث في الجائز) حيث كانت الإجهادات عند اخر قيم الانتقال اكبر من الحد المسوح.

وهذا ايضا متوافق مع سلوك التجربة بصورة كبيرة حيث نبين في الاشكال التالية التشققات الحاصلة في الجوائز لحظة تشكل مفصل لدن وحدث الانهيار.



الشكل (22-3) : شكل الاطار مع التثبيت عند الانهيار وتشكل المفاصل اللدنة وفق برنامج (Abaqus6.12)



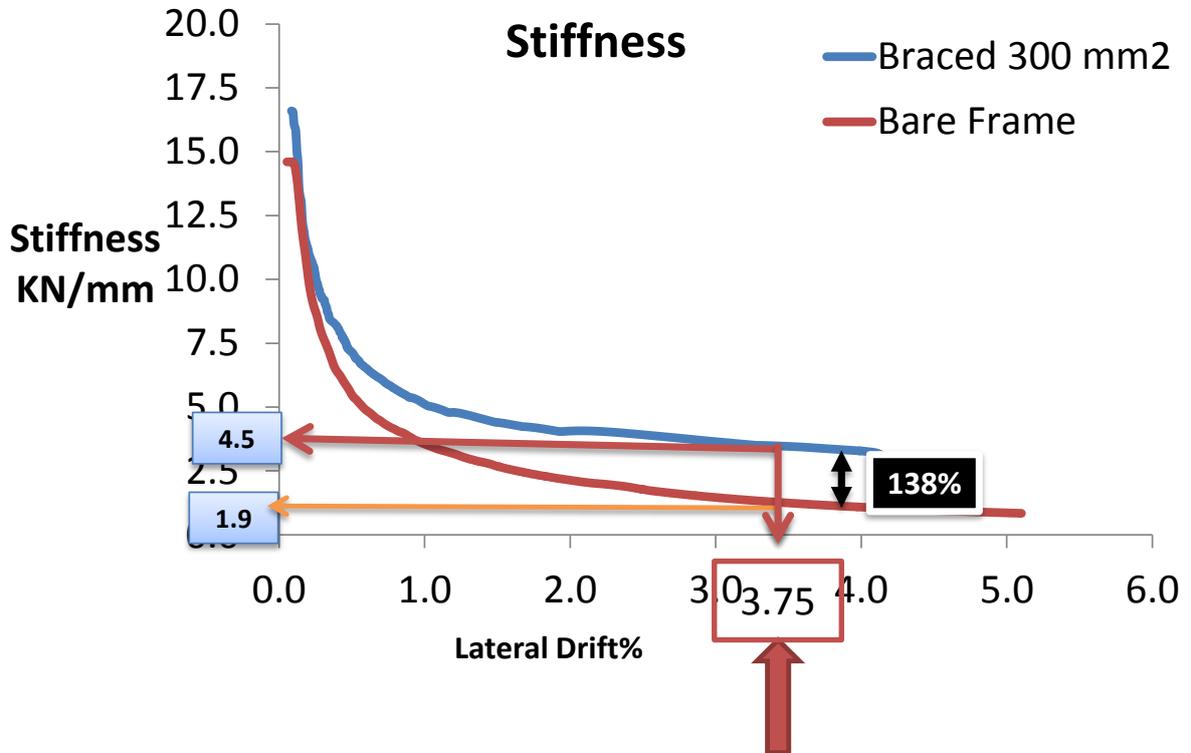
الشكل (23-3) : شكل مقارنة النتائج (الانتقال- القص القاعدي) للنموذج المدروس

بعد لحظ أثر التثبيت في زيادة قدرة الإطار على الحمولات الجانبية ، سنقوم الان بتحري مجموعة من البرامترات للتأكد من فعالية إضافة التثبيت على الإطارات البيتونية المسلحة وذلك قبل وبعد إضافة التثبيت :

3-3-6-1. مقارنة منحنى انحدار الصلابة الجانبية:

Comparative curve of Lateral Stiffness

إن للتثبيت أثر واضح في زيادة القساوة الجانبية للإطار البيتونية المسلحة ، حيث يبين الشكل (3-24) الفرق في قيم الصلابة قبل وبعد إضافة التثبيت ، إذا أخذت قيمة نسبة الانتقال الجانبي الذي حصل عندها التحنيب في التثبيت المعدني والتي بلغت (3.75%) فكانت عندها قيمة الصلابة الجانبية في الإطار بدون تثبيت 1.9 Kn/mm في حين أنها بلغت في الإطار مع تثبيت 4.9 Kn/mm . وبالتالي عملية إضافة التثبيت رفعت قيمة القساوة بنسبة بلغت 137% وهي نسبة ممتازة وتساهم بصورة كبيرة في رفع قيمة القص الجانبي للإطار . -حدوث التحنيب أدى الى انخفاض قيمة الصلابة في النموذج مع التثبيت وانحداره باتجاه قيمة القساوة للإطار بدون تثبيت وذلك لخروج التثبيت العامل على الضغط عن العمل واصبح التثبيت العامل هو تثبيت الشد.



الشكل (3-24) : شكل مقارنة النتائج (نسبة الانتقال الجانبي- الصلابة الجانبية) للنموذجين بدون ومع تثبيت

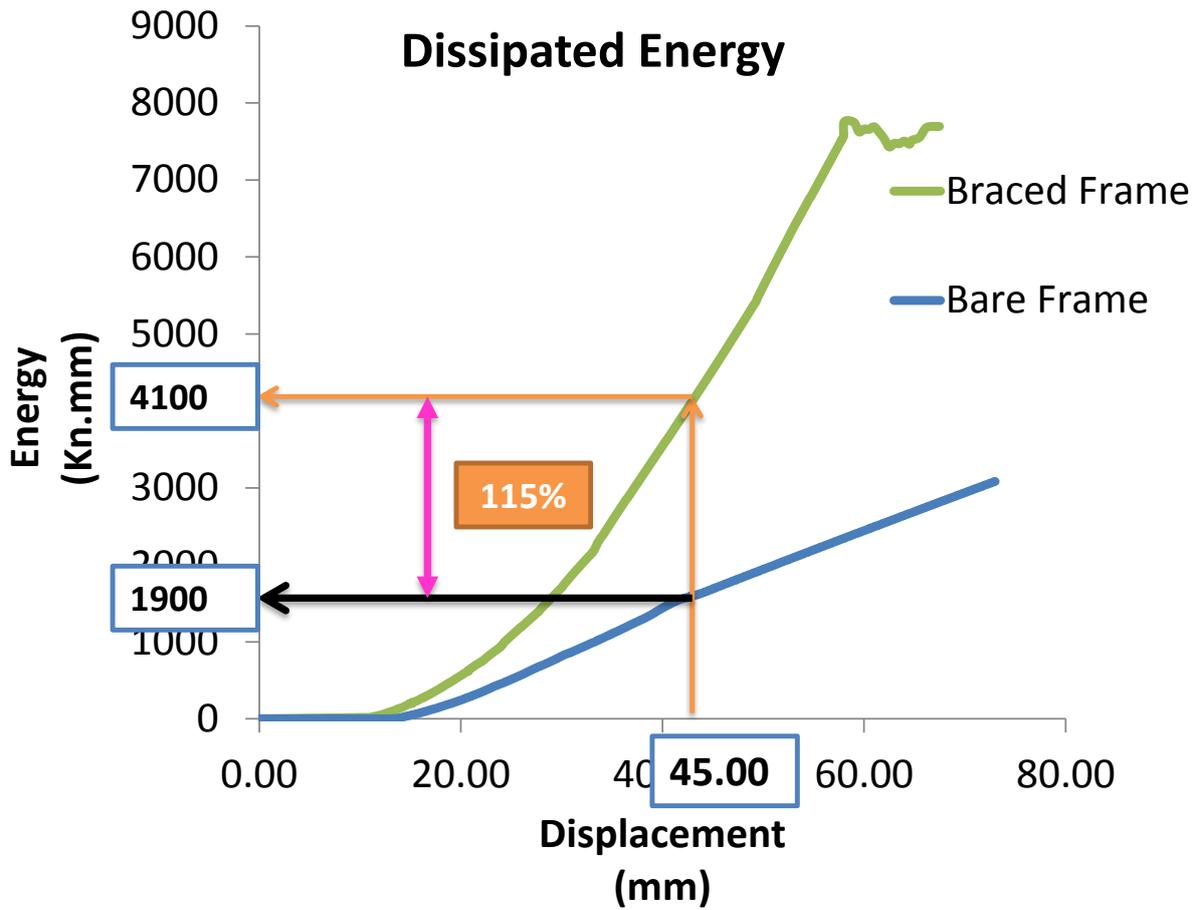
2-6-3-3. مقارنة منحني الطاقة المبذولة:

Comparative curve of dissipated energy

تعتبر قيمة الطاقة المبذولة من العوامل الهامة المحددة للسلوك الزلزالي للمنشأ.

- في الشكل (3-25) نبين منحنى الطاقة المبذولة للنموذجين مع وبدون تريبط . حيث عند قيم الانتقال الاولى تكون قيم الطاقة المبذولة متقاربة بين الاطارين ولكن مع تقدم التحميل قيم الطاقة المبذولة للاطار المربط اعلى بكثير من قيم الطاقة المبذولة للاطار العادي الغير مربط.

- بالمقارنة بين الاطارين مع التريبط وبدون نلاحظ الفرق بالقيمة الكبيرة بين النموذجين، حيث اذا أخذنا عند قيمة انتقال التي حدث عندها التحنيب بالتريبط المعدني 45 mm . كانت قيمة الطاقة المبذولة للاطار ذو التريبط 4100 Kn.mm . في حين ان القيمة بلغت عند نفس قيمة الانتقال للاطار بدون تريبط 1900 Kn.mm ، والفرق بين القيمتين هو % 115.



الشكل (3-25) : شكل مقارنة النتائج (الانتقال - الطاقة المبذولة) للنموذجين بدون ومع تريبط

3-3-6-3. مقارنة المطاوعة :

Comparability of Ductility

المطاوعة هي النسبة بين الانتقال عند حدوث السيلا في حديد التسليح والانتقال الاعظمي للمنشأ بصورة عامة. وهو عامل مهم جداً عند دراسة السلوك الزلزالي للمنشآت.

- من الواضح انه عند اضافة التريبط على الاطار حدث انخفاض في قيمة المطاوعة لتصرف الاطار. ولكن هذا الانخفاض ليسا بالشكل الكبير وهذا واضح من خلال لتصرف على تبديد الطاقة كم مر في الشكل السابق. وكحل لهذه المشكلة تبين ان تغير شكل التريبط له التأثير الكبير على قيمة المطاوعة (Youssef et al,2007)

الجدول (1-3): يبين قيم المطاوعة للإطارين بدون ومع تريبط

Frame	Yield Displacement (mm)	Displacement at Ultimate Strength (mm)	Ductility
Bare Frame	20.3	57.00	<u>2.81</u>
Braced Frame	26.4	48.59	<u>1.84</u>

52%

ومن الواضح انخفاض المطاوعة بعد إضافة التريبط على المنشأ ونسبة الانخفاض حسبت وكانت 52%.

7.3.3. دراسة أثر زيادة قطر التريبط على السلوك الزلزالي للإطار:

Study the effect of increasing the diameter of the Bracing System

في هذه المرحلة تم زيادة مقطع التريبط من 300 mm² الى 500 mm² وتم تعريض الاطارين لنفس

الحمولة ومراقبة ثلاث برامترات وهي :

A. القساوة

B. الطاقة المبددة

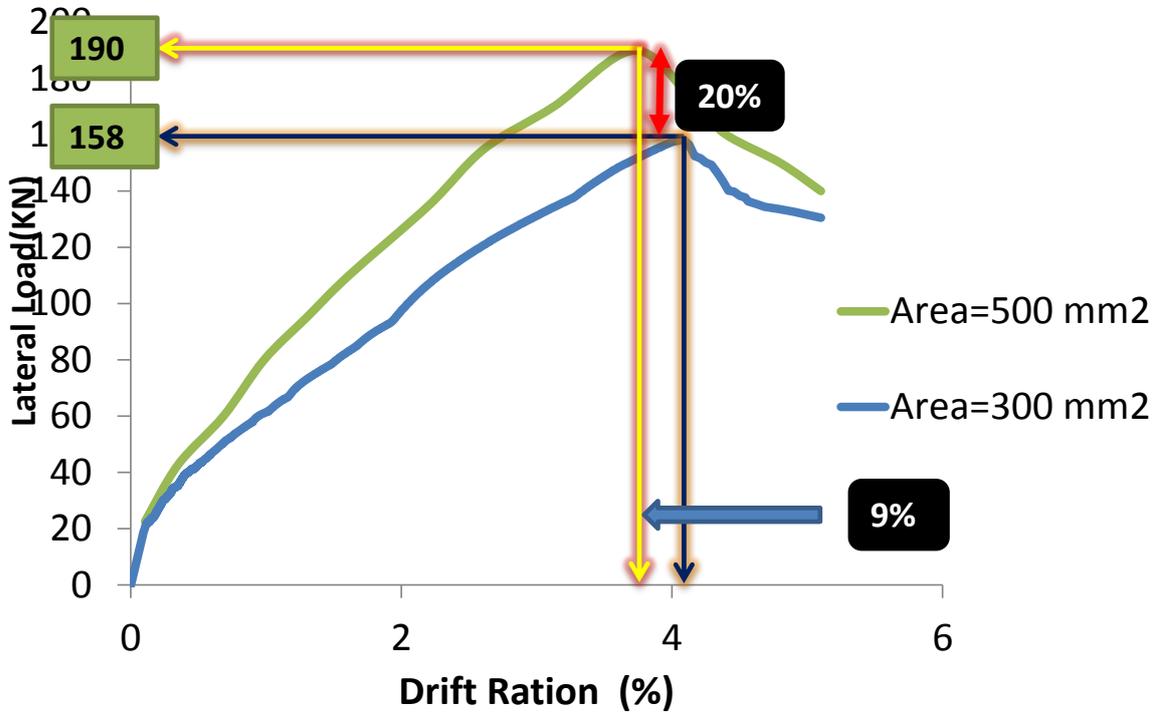
C. المطاوعة

ودراسة مدى فعالية هذه ازيادة على التصرف الزلزالي للمنشأ.

1-7-3-3. مقارنة النتائج التحليلية بعد زيادة مساحة التبريط:

تم زيادة مقطع التبريط الى 500 mm² اي بما يعادل (75%) من مساحة التبريط القديم مع المحافظ على نفس نوعية حديد وقيمة الاجهاد وتعريض الاطار لنفس حالة التحميل القديمة. الشكل (3-26) يبين أثر زيادة قطر التبريط ، حيث كانت الزيادة في قيمة الحمولة القصوى كانت من 158KN الى 190 KN اي بما يعادل زيادة بمقدار 20% من قيمة الحمولة القديمة.

التحنيب حدث عند قيمة لنسبة الانتقال الجانبي (3.75%) في حين ان القطر الجديد اعطى قيمة لنسبة الانتقال الجانبي عند التحنيب (3.375 %) والفرق يقدر بـ (9%) وهو فرق بسيط بين القيمتين.



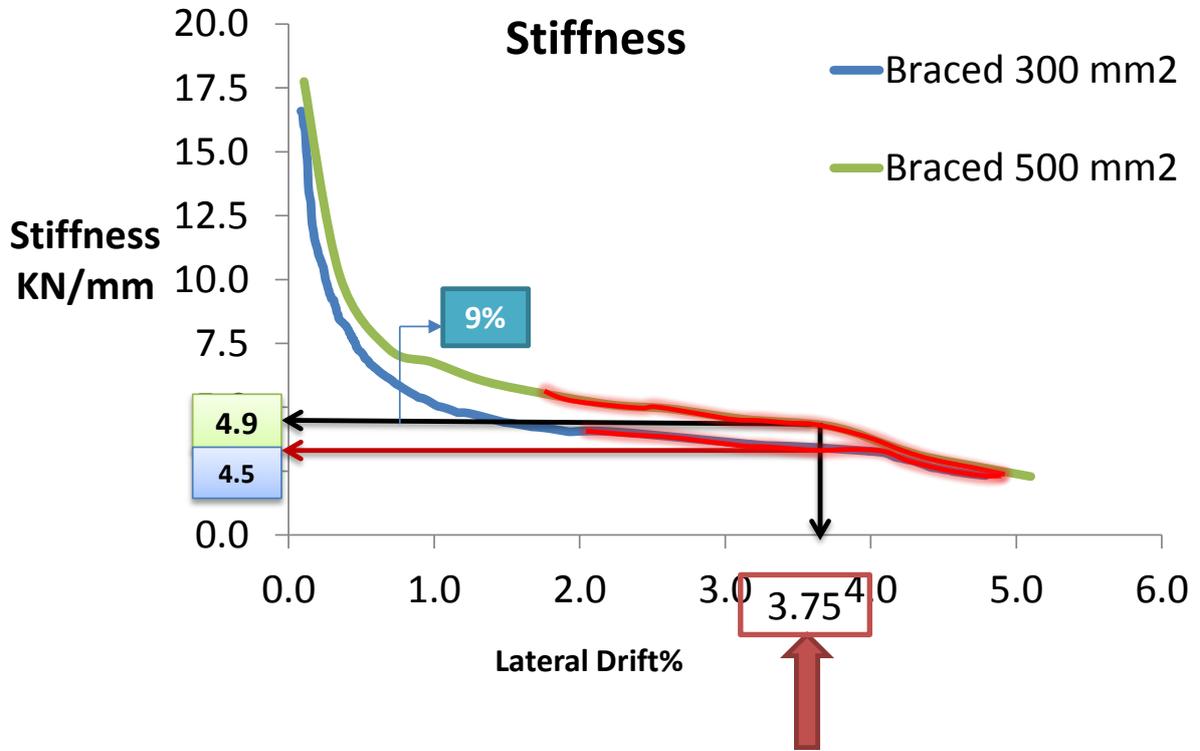
الشكل (26-3) : شكل مقارنة النتائج (نسبة الانتقال الجانبي- القص القاعدي) للنموذجي الاطارين مع التبريط كبير وصغير المساحة

2-7-3-3. مقارنة منحنى انحدار الصلابة الجانبية:

Comparative curve of Lateral Stiffness

زيادة مقطع التبريط لم تؤدي الى زيادة كبيرة في قيمة القساوة . حيث يوضح الشكل (3-27) التقارب بين قيم القساوة للنموذجين. وهذا التقارب زاد بصورة كبيرة بعد حدوث التحنيب في كل من نموذجي الاطار مع التبريط.

- عند قيمة نسبة انتقال جانبي (3.75%) وهي قيمة حدوث التحنيب في الاطار صغير المساحة كان قيمة القساوة للاطار ذو التريبط صغير المساحة كانت 4.5 Kn/mm في حين ان القيمة في الاطار ذو التريبط كبير المساحة 4.9 Kn/mm.
- زيادة مقطع التريبط زاد القساوة ولكن ضمن نطاق محدود 9%.
- عند حدوث التحنيب اقتربت القساوة للاطارين من بعضهما بصورة كبيرة وتابعة الاقتراب حتى نهاية التحميل.



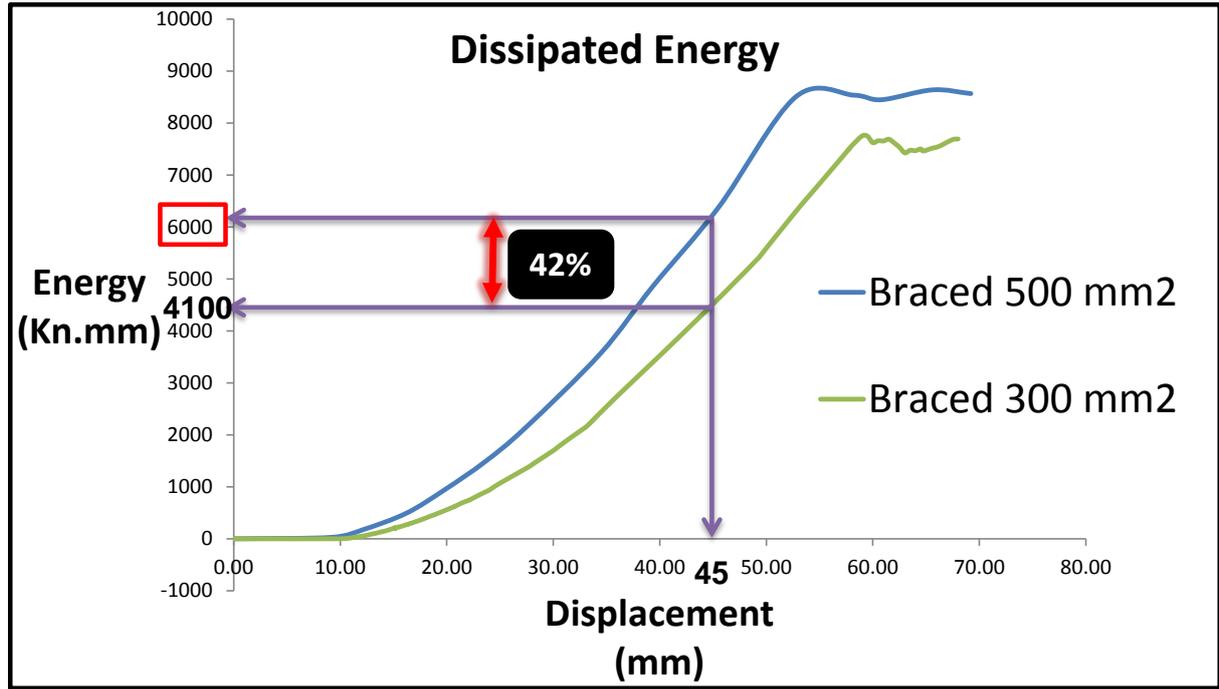
الشكل (27-3) : شكل مقارنة النتائج (نسبة الانتقال الجانبي- الصلابة الجانبية) للنموذجي الاطارين مع التريبط كبير وصغير المساحة

3-7-3-3. مقارنة منحنى الطاقة المبددة:

Comparative curve of dissipated energy

- عند قيم الانتقالات الاولى تكون قيم الطاقة المبددة متقاربة بين الاطارين ولكن مع تقدم التحميل قيم الطاقة المبددة للاطار المرابط اعلى بكثير من قيم الطاقة المبددة للاطار العادي الغير مرابط الشكل (3-28).

- بالمقارنة بين الاطارين مع التبريط نلاحظ الفرق ليس بالقيمة الكبيرة بين النموذجين، عند قيمة انتقال 45 mm كانت قيمة الطاقة المبذولة للاطار العادي بدون تبريط 4100 kn.mm. في حين ان القيمة بلغت عند نفس قيمة الانتقال للاطار المزود بتبريط كبير المساحة 6000 Kn.mm، والفرق بين القيمتين هو 42%.
- زيادة قيمة التبريط زادت قيمة الطاقة المبذولة ولكن بصورة جيدة.



الشكل (28-3) : شكل مقارنة النتائج (الانتقال- الطاقة المبذولة) للنموذجي الاطارين مع التبريط كبير وصغير المساحة

4-7-3-3. مقارنة المطاوعة :

Comparability of Ductility

نلاحظ من الجدول أن زيادة مقطع التبريط أدى الى مزيد من الانخفاض في قيمة لمطاوعة ولكن بصورة منخفضة حيث بلغت نسبة الانخفاض مع المقطع الاصغر 26%. وهي قيمة منخفضة اذا ما قورنت مع مقدار زيادة مقطع التبريط (75%) الجدول (2-3) يبين القيم التي تم الحصول عليها من التحليل باستخدام برنامج الأباكوس. وقد تبين من خلال الابحاث أن تغير شكل التبريط يلعب دوراً هاماً في تحسين مطاوعة الاطارات البيتونية المسلحة،

حيث وضع التثبيت بشكل X (X-bracing) له أثر سلبي على المطاوعة ، في حين أن التثبيت بشكل

حرف K (Knee bracing) يعطي الإطار مطاوعة أفضل على الأحمال الزلزالية (Youssef et al, 2007).

الجدول (2-3): يوضح قيم المطاوعة للإطارين مع التثبيت الكبير والصغير

Frame	Yield Displacement (mm)	Displacement at Ultimate Strength (mm)	Ductility
Braced 300 mm ²	26.4	48.59	<u>1.84</u>
Braced 500 mm ²	31.36	44.76	<u>1.43</u>

% 26

الفصل الرابع

النتائج والتوصيات

Conclusions and Recommendations

الفصل الرابع: النتائج والتوصيات

1.4. ملخص النتائج:

تم في هذا البحث دراسة تأثير إضافة التثبيت المعدني (SPS) في الاطارات البيتونية المسلحة عى السوك الزلزالي لهذه الاطارات عند التحميل الجانبي في مستوي التثبيت (In-Plane Lateral Loading) والتأكد من فعالية إضافة التثبيت المعدني على زيادة قساوة الاطارات البيتونية وزيادة قدرتها على تبديد الطاقة وتقليل قيم الانتقالات الجانبية لها.

حيث تم في هذه الدراسة إجراء تحليل عددي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEM) واستخدام التحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة (MNA) ولاخطية الشوهات الكبيرة (Neglon). في البداية تم المقارنة بين لاطارين دون ومع تثبيت معدني ثم بعد ذلك تم زيادة قطر التثبيت وبيان أثر هذه الزيادة على السلوك الزلزالي للاطار المدروس.

بينت هذه الدراسة الفائدة الكبيرة المحققة من إضافة عنصر الربيط الى الاطارات البيتونية المسلحة وذلك من خلال مقارنة ثلاثة برامترات بين الاطارت العادية والاطارات المزودة بالتثبيت وهي :
القساوة والطاقة المبددة والمطاوعة وبين اثر لتثبيت في كل منها.

ثم تم توضيح أن زيادة مقطع التثبيت المضاف ليس له اثر كبير في تحسين السلوك الزلزالي لمنشأ وذلك وضح بمقارنة البرامترات الثلاثة السابقة بين اطارين مزودين بالتثبيت الاول صغير المقطع والآخر كبير. ويمكن تلخيص نتائج البحث في النقاط التالية :

- إن إضافة التثبيت المعدني على الاطارات البيتونية المسلحة سيؤدي إلى رفع قيمة الحمولات الجانبية للاطارات (قيمة القص القاعدي) وذلك بنسبة تصل الى 200% كما في حالة الاطار المدروس في هذا البحث وذلك يختلف تبعاً لمواصفات الاطارات البيتونية.
- إن إضافة التثبيت أدت زيادة واضحة في قساوة الاطار البيتوني المسلح ووصلت نسبة الزيادة 138% من قساوة الاطار قبل اضافة التثبيت وتختلف هذه انسبة تبعاً لخواص الاطار البيتوني قبل الاضافة.

ولكن حدوث التحنيب في التريبط المعدني أدى الى انخفاض طارئ على المساواة واقتربها الحاد من مساواة الاطار العادي الغير مربط.

■ كما لوحظ الزيادة الواضحة في قيمة الطاقة المبددة نتيجة اضافة التريبط على الاطار البيتوني المسلح ومن الجهة القابلة كان للتريبط اثر سلبي على تخفيض قيمة المطاوعة للاطار بنسبة وصلت الى 50% في هذا البحث.

■ زيادة قطر التريبط لم تعطي ارتفاع كبير في قيمة القص القاعدي للاطار البيتوني المسلح وكانت مقدار قدرة التحمل التي زادها التريبط على الاطار بعد زيادة مقطع التريبط لا تتعدى 20% وهي نسبة ليست اقتصادية اذا ما قورنت بنسبة زيادة المقطع في هذا البحث وهي 75% من مساحة المقطع القديم.

■ إن زيادة مقطع التريبط أيضاً لم تعطي زيادة كبيرة على مساواة الاطار البيتوني المسلح بين حالة التريبط صغير وكبير المساحة ووصلت نسبة الزيادة في هذا البحث الى 9% فقط بعد رفع القطر بنسبة 75% وذلك عندما قورنت عند الانتقال الذي حدث عنده التحنيب في كل من التريطين. في حين أن لطاقة المبددة ارتفعت عند قيمة الانتقال الذي حدث عنده التحنيب بنسبة بلغت 42% وهي نسبة جيدة ولكن أيضاً منخفضة اذا ما قورنت مع مقدار زيادة القطر. وأخيراً بالنسبة للمطاوعة فإن عملية الزيادة بمقطع التريبط خفضت المطاوعة بمقدار منخفض وصل لحد 20% وهي قيمة صغيرة ومقبولة نتيجة الزيادة الكبيرة في مساحة التريبط.

■ زيادة مقطع التريبط لم تكن له نتائج جيدة تبرر استخدام مقاطع تريبط مرتفعة وذلك من الناحية الاقتصادية عند تقوية الإطارات البيتونية المسلحة..

2-4. التوصيات والأعمال مستقبلية:

Recommendations for Future Works

1- ضرورة استمرار العمل حتى الحصول على نموذج أكثر دقة لتوصيف البيتون وسلوكه ضمن برنامج

الاباكوس، والتركيز على موضوع التماسك بين البيتون وحديد التسليح وتطوير هذه النقطة .

2- إجراء دراسة مقارنة بين أنواع التثبيت المعدني المختلفة ، وماهي إجابيات وسلبيات كل نوع من أنواع التثبيت المستخدم.

3- إجراء دراسة على مبنى متعدد الطوابق مع تغيير توزيع التثبيت ضمن المبنى ، وذلك بهدف تحديد أفضل الأماكن لوضع التثبيت مع تحديد العدد الإقتصادي لذلك .

4- العمل على تطوير البحث الحالي من خلال تغيير في قيم تسليح الجوائز والأعمدة ، وذلك لبيان إمكانية الوصول درجة جيدة من المطاوعة مع قص قاعدي عالي ، ويبحث يكون أداء الإطار بدون تثبيت أفضل من أداء الإطار بعد وضع التثبيت.

المراجع:

المراجع الأجنبية:

- ABAQUS, Version 6.12, (2012), "ABAQUS/Standard User's Manual" ABAQUS Inc., USA.
- ANSI/AISC 360-05: **An American National Standard. Specification for Structural Steel Building.** March 9, 2005.
- AISC: **Seismic provisions for structural steel buildings.** Chicago (IL), American Institute of Steel Construction; 2002.
- Bush TD, Jones EA, Jirsa JO. (1991). "**Behavior of RC frame strengthened using Structural-steel bracing**", *Journal Structures Eng-ASCE*; 117(4):1115–26.
- "**Earthquakes and Structures**", Auroville Earth Institute, Available at: http://www.earth-auroville.com/earthquakes_and_structures_en.php/ (Accessed: 28-September-2013).
- Eurocode 8-2: **Design of structures for earthquake resistance.** European Committee for Standardization 2005. *PrEN 1998-1-1/2/3*.
- Han S.W., Jee N.Y. (2005). "**Seismic Behaviors of columns in ordinary and intermediate moment resisting concrete frames**", *Engineering Structures*, 27(6), 951-962.
- Ghobarah A. and Biddah A. (199). "**Dynamic analysis of reinforced concrete frames including joint shear deformation**", *Engineering Structures*, 21, 971-.987

- Ghobarah A. and Abou Elfath. (2001). "**Rehabilitation of a reinforced concrete frame using eccentric steel bracing**", *Engineering Structures*, 23, 745–55.
- Jankowiak T. and odygowski T. (2005). "**Identification of parameters of concrete damage plasticity constitutive model**", *Foundation of Civil and Environmental Engineering, House of Ponznan University of Technology*, (6), 53-69.
- Maheri MR, Sahebi A. (1997). "**Use of steel bracing in reinforced concrete frames**", *Engineering Structures*; 19(12):1018–24.
- Michel B. , 2000 . "**Seismic Design of Steel Structures**", *University of New York at Buffalo*.
- Murty, C.V.R. (2005). "**Earthquake Tips – Learning Earthquake Design and Construction**", *National Information Center of Earthquake Engineering*, IIT Kanpur, India.
- MENEGOTTO, M ."**Method of analysis for cyclically loaded RC plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior of elements under combined normal force and bending. in Proc**". *of IABSE symposium on resistance and ultimate deformability of structures* .2001
- Penelis G.G. and Kappos A.J. (1997). "**Earthquake Resistant Concrete Structures**", *London, UK*.
- Rai D. C. (2009). "**Seismic Rehabilitation of Structures**", *Department of Earthquake Engineering University of Roorkee*.
- Tremblay R. "**Inelastic seismic response of steel bracing members**", *Journal of Constructional Steel Research* 2002; 58:665–701.

- Seaoc Blue Book (1999). "**Lateral force requirements and commentary**"، *the structural Engineers association of California*.
- Viswanath K.G، Prakash K.B، Anant Desai. (2010). "**Seismic Analysis of Steel Braced Reinforced Concrete Frames**" *International Journal of Civil and Structural Engineering، Volume 1، No 1، 114-122*.
- Youssefa MA، Ghaffarzadehb H، Nehdia M. (2007). "**Seismic performance of RC frames with concentric internal steel bracing**" *Engineering Structures، 29، 1561-8*.

المراجع العربية:

- الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة (2004)، الطبعة الثالثة، دمشق.
- الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة (الملحق رقم (2): تصميم وتحقيق المباني والمنشآت لمقاومة الزلازل) (2005). منشورات نقابة المهندسين، سوريا.
- السمارة، محمد (2006). " أساسيات ديناميك المنشآت والهندسة الزلزالية " . دمشق، سوريا.

Abstract:

Steel bracing has proven to be one of the most effective systems in resisting lateral loads. It uses to upgrade the lateral load capacity of existing Reinforced Concrete (RC) frames.

In this paper, the efficiency of using braced RC frames is numerical evaluated by using FEM in which we include the nonlinear of the materials, beside the nonlinear effects of the large displacement (Neglon).

We compare in this research bare RC frame with braced RC frame, Test results confirm the ability of the bracing system to

Enhance the strength capacity of the RC frame by comparing three parameters: Stiffness, dissipated energy, ductility. Whereas the bracing system makes remarkable results to improve the behavior of the frame to seismic loading.

Then we did comparing study between small diameters of the bracing with bigger diameter to check the affecting of increase the section of the bracing which lead us to confirm the useless of using bigger section to improve the seismic behavior of the RC frame by view the three previous parameters when we use the small and bigger section

KEY WORDS: Steel bracing, RC frame, FEM, seismic loading.

Damascus University
Civil Engineering
Dept. of Structural Engineering
2015

Seismic Behavior of RC Frames strengthen with steel Bracing – Nonlinear study

Thesis submitted to the
Civil Engineering, Damascus University

MASTER

In
Structural Engineering

By

Ghaith Al Sous

Approved by the Examining Committee:

Prof. Dr. Eng. Mohammad Al_Samara

Head of Committee

Dr. Eng. Kasem Zohaile

member

Dr. Eng. Rabee Al_Safadi

Main Advisor

Damascus University
Civil Engineering
Dept. of Structural Engineering

Seismic Behavior of RC Frames strengthen with steel Bracing – Nonlinear study

A thesis submitted as a partial fulfillment
for the Master degree in Structural engineering

By

Ghaith Al Sous

Under the Supervision of

Dr. Eng. Rabee Al_Safadi

Doctor of Structural Engineering

Civil Engineering

Dept. of Structural Engineering

Damascus, 2015