



جامعة دمشق

المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية

قسم الهندسة الإنشائية

## تأثير جدران البلوك غير المسلحة في السلوك الزلزالي لإطارات البيتون المسلح

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

**إعداد :**

المهندسة شيرين حسين عبدو

**إشراف :**

الدكتور المهندس مصطفى بطيخة

العام الدراسي

٢٠١٣

جامعة دمشق

المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية

قسم الهندسة الإنشائية

## تأثير جدران البلوك غير المسلحة في السلوك الزلزالي لإطارات البيتون المسلح

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

إعداد :

المهندسة شيرين حسين عبدو

إشراف :

الدكتور المهندس مصطفى بطيخة

العام الدراسي

٢٠١٣

لجنة الحكم السادة الأساتذة:

د. مصطفى بطيخة المدرس في قسم الهندسة الإنشائية كلية الهندسة المدنية

جامعة دمشق الاختصاص: انشاءات معدنية عضواً مشرفاً

د. هالة حسن المدرس في قسم الهندسة الإنشائية المعهد العالي للدراسات و البحوث الزلزالية

جامعة دمشق الاختصاص: ديناميك المنشآت عضواً

د. ربيع الصفدي المدرس في قسم الهندسة الإنشائية كلية الهندسة المدنية

جامعة دمشق الاختصاص: ميكانيك الإنشاءات عضواً

## ملخص البحث

### Overview

تعتبر مادة الحجر ( Stone ) من أقدم مواد البناء المستخدمة عبر التاريخ فقد تم استعمالها كعناصر إنشائية حاملة في الأبنية الحجرية القديمة هذا ويتم استخدام جدران البلوك في أنظمة البناء الحديثة .

يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة تحليلية للتحقق من فعالية جدران البلوك البيتونية غير المسلحة (URCM) المألثة للإطارات البيتونية في رفع مقاومة هذه الإطارات على الأحمال الجانبية في مستوياتها حيث أكدت العديد من الدراسات السابقة مساهمة جدران البلوك في تحمل جزء من الأحمال الجانبية و رفع مقاومة الإطارات البيتونية المسلحة نتيجة تشكل حقل ضغط قطري في جدار البلوك يجعله يسلك سلوك عنصر تربيط يعمل على الضغط.

تم في البحث إجراء التحليل العددي باستخدام طريقة العناصر المحدودة ( Finite Element Method ) و استخدم التحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة ( Materially Non- Linear Analysis , MNA ) بالإضافة إلى أخذ أثر التماسك بين فولاذ التسليح و البيتون بعين الاعتبار ، كما تناولت هذه الدراسة أثر إضافة جدار البلوك على الإطار من البيتون المسلح تحت تأثير أحمال دورية ( Cyclic Load ) ، و من ثم تم تطبيق هزات أرضية بشدات مختلفة.

بينت هذه الدراسة أهمية مشاركة جدران البلوك غير المسلحة المألثة لإطارات البيتون المسلح و مساهمتها في تحمل الأحمال الجانبية و زيادة مقاومة الإطارات البيتونية و تخفيض انتقالاتها .

## شكر و تقدير

في نهاية هذا العمل ، أتوجه بالشكر الجزيل للدكتور المهندس مصطفى بطيخة على جهوده الكبيرة التي بذلها لانجاز هذا العمل و متابعته الدائمة و تشجيعه على البحث العلمي بالاضافة الى ساعات التمرين الطويلة التي كانت تسبق كل عرض حرصاً منه على أدائي المميز و قراءته الدقيقة لهذه الأطروحة ، له مني فائق الاحترام و التقدير على جهوده المكثفة .  
كما أتقدم بالشكر الجزيل لجميع أفراد عائلتي و أصدقائي على تشجيعهم و دعمهم المستمر لي ، و فائق الاحترام لأسرة المعهد العالي للزلازل على اهتمامهم بنجاحنا الدائم .

## فهرس المحتويات

### Contents

I .....	فهرس المحتويات
IV .....	فهرس الأشكال
XII .....	فهرس الجداول
XIII .....	الرموز المستخدمة
XIX.....	قائمة المختصرات
1 .....	الفصل الأول
1 .....	<b>Introduction</b> مقدمة
1	١.١ مقدمة عن الجمل الإنشائية المقاومة للزلازل
4	٢.١ مقدمة عن جمل الإطارات الخرسانية المقاومة للعزوم
5	٣.١ مقدمة عن جدران البلوك غير المسلحة
7	٤.١ مشكلة البحث
7	٥.١ الهدف من البحث وأهميته
7	٦.١ طرائق البحث
8	٧.١ محتويات الأطروحة

9 ..... الفصل الثاني

9 ..... Literature Review ..... الدراسة المرجعية

9 ..... 1.2 ..... مقدمة

9 ..... 2.2 ..... السلوك الزلزالي لإطارات البيتون المسلح

9 ..... 1.2.2 ..... الانهيار المفاجئ والسلوك المطوع للإطارات

10 ..... 2.2.2 ..... ميكانيكيات الانهيار

14 ..... 3.2 ..... الخصائص الميكانيكية لجدران البلوك غير المسلحة

14 ..... 1.3.2 ..... المقاومة المميزة على الضغط لجدران البلوك (URM)

18 ..... 2.3.2 ..... علاقة الإجهاد – التشوه النسبي لجدران البلوك غير المسلحة (URM) على الضغط

20 ..... 4.2 ..... السلوك الزلزالي لجدران البلوك

20 ..... 1.4.2 ..... التحميل الشاقولي

21 ..... 2.4.2 ..... التحميل الأفقي

25 ..... 5.2 ..... السلوك الزلزالي لإطارات البيتون المسلح المملوءة بجدران البلوك البيتونية غير المسلحة

33 ..... 6.2 ..... دراسات مرجعية

47 ..... الفصل الثالث

47 ..... التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

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

47 ..... 1.3 ..... مقدمة

47 ..... 2.3 ..... توصيف النموذج

50 ..... 3.3 ..... التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

50 ..... 1.3.3 ..... العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج (ABAQUS (6.12)

51 ..... 2.3.3 ..... الشروط المحيطية للنموذج المدروس

51 ..... 3.3.3 ..... الأحمال المطبقة على النموذج

51	نوع التحليل المستخدم في النموذج	٤.٣.٣
52	توصيف المواد المستخدمة في النمذجة	٥.٣.٣
64	التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح	٦.٣.٣
68	توصيف نمذجة سطوح التماس بين جدار البلوك و الإطار البيتوني المسلح	٧.٣.٣
70	دراسة أثر تقارب الشبكة	٨.٣.٣
71	شكل النموذج المدروس في برنامج ABAQUS	٩.٣.٣
72	مقارنة النتائج التحليلية لحالة التحميل الدوري (Cyclic Load)	١٠.٣.٣
77	التحليل الانشائي باستخدام سجل زلزالي زمني	١١.٣.٣
89	.....	الفصل الرابع
89	..... Results and Recommendations	النتائج و التوصيات
89		١.٤ النتائج
90		٢.٤ التوصيات لأعمال مستقبلية
91	..... References	المراجع

## فهرس الأشكال

## Figures List

- 2 الشكل (1-1): تنفيذ و أشكال جدران القص
- 2 الشكل (2-1): مبنى إطاري من 8 طوابق
- 3 الشكل (3-1): التفاعل بين الإطار و جدار القص في الجملة الثنائية
- 3 الشكل (4-1): نماذج جمل مختلطة
- 5 الشكل (5-1): تفاصيل التسليح الأدنى في أعمدة الجمل الإطارية
- 6 الشكل (6-1): أشكال البلوك المختلفة
- 10 الشكل (1-2): الانهيار المفاجئ و الأداء المطوع للأبنية
- 11 الشكل (2-2): تشكل مفصل لدن عند التقاء الجانز بالعمدة على يمين و يسار العمدة
- 11 الشكل (3-2): تشكل مفصل لدن في العمود أعلى و أسفل العمدة
- 12 الشكل (4-2): الأداء الأفضل للجملة الإطارية (عمود قوي – جانز ضعيف)
- 12 الشكل (5-2): حالات تشكل المفاصل اللدنة
- 13 الشكل (6-2): أنماط انهيار عقد الإطارات البيتونية المسلحة على الأحمال الزلزالية
- 18 الشكل (7-2): مخطط الإجهاد- التشوه النسبي لجدران البلوك غير المسلحة (URM) على الضغط
- 20 الشكل (8-2): انهيار جدار البلوك على الضغط تحت تأثير الحمولات الشاقولية



- 21 الشكل (9-2): توزع الأحمال الجانبية في جدار البلوك عند تطبيقها بشكل متعامد مع مستويه
- 21 الشكل (10-2): أنماط انهيار جدران البلوك عند التحميل خارج مستويها
- 22 الشكل (11-2): الفرق بين الانعطاف الأفقي و الشاقولي
- 22 الشكل (12-2): جدار بلوك معرض لأحمال جانبية في مستويه
- 23 الشكل (13-2): ميكانيكية انهيار جدار البلوك (URM) على القص عند التحميل الجانبي في مستويه
- 24 الشكل (14-2): ميكانيكيات الانهيار الأساسية لجدار البلوك (URM) عند تطبيق أحمال جانبية في مستويه
- 25 الشكل (15-2): مقارنة بين فعالية طرق التدعيم المختلفة لإطارات البيتون المسلح
- 26 الشكل (16-2): مخططات القوى الداخلية لإطار بيتوني غير مملوء بجدار بلوك تحت تأثير حمل جانبي في مستويه
- 26 الشكل (17-2): مخططات القوى الداخلية لإطار بيتوني مملوء بجدار بلوك تحت تأثير حمل جانبي في مستويه
- 27 الشكل (18-2): تغير ميكانيكية نقل الحمولة الجانبية بسبب وجود جدران البلوك
- 28 الشكل (19-2): السلوك الشبكي لجدار البلوك المالى لإطار بيتوني مسلح تحت تأثير حمولة جانبية
- 29 الشكل (20-2): عرض حقل الضغط القطري المتشكل في جدار البلوك تحت تأثير حمولة جانبية في مستويه
- 30 الشكل (21-2): انهيار جدار البلوك على القص
- 30 الشكل (22-2): انهيار جدار البلوك على القص تحت تأثير حمولات زلزالية
- 31 الشكل (23-2): انهيار جدار البلوك على الشد القطري
- 31 الشكل (24-2): آلية تشكل شقوق الشد القطرية في جدار البلوك
- 32 الشكل (25-2): انهيار جدار البلوك على الضغط القطري
- 32 الشكل (26-2): تكسر الزوايا على طرفي حقل الضغط في جدار البلوك

- الشكل (27-2): تكسر الزوايا على طرفي حقل الضغط في جدار البلوك نتيجة زلزال مانجيل راودبار 32
- الشكل (28-2): نماذج الأبنية المدروسة في الدراسة المرجعية (Mulgund and Kulkarni , 2011) 34
- الشكل (29-2): منحنيات الانتقال في أعلى البناء- قوة القص القاعدي للنموذج (Model I) عند مستويات الأداء في الدراسة المرجعية (Mulgund and Kulkarni , 2011) 36
- الشكل (30-2): منحنيات الانتقال في أعلى البناء- قوة القص القاعدي للنموذج (Model II) عند مستويات الأداء في الدراسة المرجعية (Mulgund and Kulkarni , 2011) 37
- الشكل (31-2): منحنيات الانتقال في أعلى البناء- قوة القص القاعدي للنموذج (Model III) عند مستويات الأداء في الدراسة المرجعية (Mulgund and Kulkarni , 2011) 37
- الشكل (32-2): منحنيات الانتقال في أعلى البناء- قوة القص القاعدي للنموذج (Model V) عند مستويات الأداء في الدراسة المرجعية (Mulgund and Kulkarni , 2011) 38
- الشكل (33-2): منحنيات الانتقال في أعلى البناء- قوة القص القاعدي للنموذج (Model IV) عند مستويات الأداء في الدراسة المرجعية (Mulgund and Kulkarni , 2011) 38
- الشكل (34-2): أبعاد نموذج الإطار المدروس و الحمولات المطبقة عليه في الدراسة المرجعية (Braz-César et al , 2008) 39
- الشكل (35-2): تسليح عناصر نموذج الإطار المدروس في الدراسة المرجعية (Braz-César et al , 2008) 39
- الشكل (36-2): منحنى الحمولة الدورية- الانتقال المرافق (Cyclic Load - Displacement History) في الدراسة المرجعية (Braz-César et al , 2008) 40
- الشكل (37-2): منحنى الانتقال – قوة القص للإطار البيتوني بدون جدار بلوك في الدراسة المرجعية (Braz-César et al , 2008) 40
- الشكل (38-2): منحنى الانتقال – قوة القص للإطار البيتوني مع جدار بلوك في الدراسة المرجعية (Braz-César et al , 2008) 41

- الشكل (2-39): مقارنة بين مغلقات القوة-الانتقال لحالتي الإطار البيتوني المسلح مع و بدون جدار بلوك في الدراسة المرجعية (Braz-César et al , 2008)
- 41
- الشكل (2-40): المسقط الأفقي للبناء المدروس في الدراسة المرجعية (Singh and Das , 2006)
- 42
- الشكل (2-41): تشكل المفاصل اللدنة في أعمدة الطابق الأرضي في إطارات الاتجاه الطويل في الدراسة المرجعية (Singh and Das , 2006)
- 43
- الشكل (2-42): تشكل المفاصل اللدنة في أعمدة الطابق الأرضي في إطارات الاتجاه القصير في الدراسة المرجعية (Singh and Das , 2006)
- 43
- الشكل (2-43): منحنى الانتقال- قوة القص لحالتي الإطار مع و بدون جدار بلوك لمبنى من 4 طوابق بالاتجاه الطويل (Singh and Das , 2006)
- 44
- الشكل (2-44): منحنى الانتقال- قوة القص لحالتي الإطار مع و بدون جدار بلوك لمبنى من 8 طوابق بالاتجاه الطويل (Singh and Das , 2006)
- 45
- الشكل (2-45): منحنى الانتقال- قوة القص لحالتي الإطار مع و بدون جدار بلوك لمبنى من 16 طابقاً بالاتجاه الطويل (Singh and Das , 2006)
- 45
- الشكل (2-46): منحنى الانتقال- قوة القص لحالتي الإطار مع و بدون جدار بلوك لمبنى من 4 طوابق بالاتجاه القصير (Singh and Das , 2006)
- 45
- الشكل (2-47): منحنى الانتقال- قوة القص لحالتي الإطار مع و بدون جدار بلوك لمبنى من 8 طوابق بالاتجاه القصير (Singh and Das , 2006)
- 46
- الشكل (2-48): منحنى الانتقال- قوة القص لحالتي الإطار مع و بدون جدار بلوك لمبنى من 16 طابق بالاتجاه القصير (Singh and Das , 2006)
- 46
- الشكل (3-1): الأبعاد الإنشائية للنموذج المدروس في تجربة (Almusallam and Alsalloum,2007)
- 48
- الشكل (3-2): الأبعاد الإنشائية لأساس النموذج المدروس في تجربة (Almusallam and Alsalloum,2007)
- 49

- الشكل(3-3): تسليح عناصر الإطار البيتوني المسلح للنموذج المدروس في تجربة ( Almusallam and )  
 49 (Alsalloum,2007)
- الشكل (4-3): تمثيل العنصر المساحي ذو أربع عقد المستخدم في برنامج ABAQUS  
 50
- الشكل (5-3): تمثيل العنصر الشبكي ذو عقدتين المستخدم في برنامج ABAQUS  
 50
- الشكل(3-6): منحنى الزمن- الانتقال المطبق Displacement Time History في تجربة ( Almusallam and )  
 51 (Alsalloum,2007)
- الشكل (3-7): مخطط الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الضغط وفقاً لـ ( , ABAQUS Ver6.12 Documentation )  
 53 (2012)
- الشكل (3-8): مخطط الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الشد وفقاً لـ , ( ABAQUS Ver6.12) Documentation  
 55 (2012)
- الشكل (3-9): التحميل الدوري اللاخطي (شد - ضغط - شد) مع أخذ القيم الافتراضية لمعاملات استرداد القساوة ( wt=0  
 57 (wc=1 , وفقاً لـ ( ABAQUS Ver6.12 Documentation , 2012 )
- الشكل(3-10): مخطط الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الضغط وفقاً لـ ( Eurocode2 , 2004 )  
 58
- الشكل(3-11): مخطط الإجهاد - التشوه النسبي الفعلي لمادة البلوك على الضغط وفقاً لـ ( Eurocode6 , 2005 )  
 60
- الشكل (3-12): مخطط الإجهاد - التشوه النسبي المبسط للبيتون على الشد المعتمد في النمذجة  
 62
- الشكل (3-13): مخطط الإجهاد - التشوه النسبي المبسط للبلوك على الشد المعتمد في النمذجة  
 63
- الشكل (3-14): مخطط الإجهاد - التشوه النسبي لفولاذ التسليح المعتمد في النمذجة  
 63
- الشكل (3-15): أشكال مختلفة من النواض المستخدمة لتمثيل ظاهرة التماسك  
 64
- الشكل (3-16): منحنى علاقة الانزلاق - إجهاد التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح  
 65
- الشكل (3-17): شكل النابض المستخدم في النمذجة من نوع ( Spring2 )  
 67

- الشكل (3-18): منحنى علاقة الانزلاق – إجهاد التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح المعتمد في النمذجة ( Slip )  
67 (Bond- Relationship)
- الشكل (3-19): أشكال توضح بعض سطوح التماس في برنامج ABAQUS  
68
- الشكل (3-20): علاقة ضغط الترابط – فراغ الاتصال بين سطحين متلامسين ( Contact pressure-Contact )  
69 (clearance Relationship)
- الشكل (3-21): سلوك الاحتكاك لسطحين متلامسين وفق ( ABAQUS Documentation Ver6.12 , 2012 )  
70
- الشكل (3-22): دراسة أثر تقارب تقسيم الشبكة للنموذج المدروس  
71
- الشكل (3-23): شكل نموذج الإطار المدروس بدون جدار بلوك موضحاً عليه شبكة التسليح باستخدام برنامج  
71 (ABAQUS Ver6.12)
- الشكل (3-24): شكل نموذج الإطار المدروس مع جدار بلوك باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12)  
72
- الشكل (3-25): مغلف الانتقال- قوة القص لحالة إطار بدون جدار بلوك باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12)  
73
- الشكل (3-26): مغلف الانتقال- قوة القص لحالة إطار مع جدار بلوك باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12)  
73
- الشكل (3-27): مقارنة النتائج لمخطط الانتقال – قوة القص للنموذج المدروس  
74
- الشكل (3-28): مقارنة بين مساهمة الإطار البيتوني و مساهمة جدار البلوك في تحمل قوى القص و المقاومة الجانبية  
75 لجملة الإطار البيتوني المملوء بجدار بلوك
- الشكل (3-29): شكل انهيار جدار البلوك النهائي (ABAQUS Ver6.12)  
75
- الشكل (3-30): شكل انهيار جدار البلوك النهائي التجريبي (Almusallam and Alsalloum , 2007)  
76
- الشكل (3-31): مقارنة العرض الفعال لحقل الضغط المتشكل في جدار البلوك في النموذج المدروس مع الدراسة التجريبية  
76 (Penelis and Kappos,1997)
- الشكل (3-32): تجميع الطاقة المبذودة (ABAQUS Ver6.12)  
77

- الشكل (3-33): منحنى التسارع – الزمن لزلزال Elcentro 1940 في كاليفورنيا  
78
- الشكل (3-34): مقارنة بين منحنىي الزمن – القص القاعدي لحالة الإطار البيتوني مع و بدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع ( 0.3189g )  
79
- الشكل (3-35): مقارنة بين منحنىي الزمن – الانتقال لحالة الإطار البيتوني مع و بدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع ( 0.3189g )  
80
- الشكل (3-36): مقارنة بين منحنىي الزمن – القص القاعدي لحالة الإطار البيتوني مع و بدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع ( 0.4g )  
80
- الشكل (3-37): مقارنة بين منحنىي الزمن – الانتقال لحالة الإطار البيتوني مع و بدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع ( 0.4g )  
81
- الشكل (3-38): مقارنة بين منحنىي الزمن – القص القاعدي لحالة الإطار البيتوني مع و بدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع ( 0.5g )  
82
- الشكل (3-39): مقارنة بين منحنىي الزمن – الانتقال لحالة الإطار البيتوني مع و بدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع ( 0.5g )  
82
- الشكل (3-40): مقارنة بين منحنىي الزمن – القص القاعدي لحالة الإطار البيتوني مع و بدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع ( 0.6g )  
83
- الشكل (3-41): مقارنة بين منحنىي الزمن – الانتقال النسبي لحالة الإطار البيتوني مع و بدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع ( 0.6g )  
84
- الشكل (3-42): مقارنة بين منحنىي الزمن – القص القاعدي لحالة الإطار البيتوني مع و بدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع ( 0.7g )  
84
- الشكل (3-43): مقارنة بين منحنىي الزمن – الانتقال لحالة الإطار البيتوني مع و بدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع ( 0.7g )  
85

الشكل (3-44): مقارنة بين منحنيات التسارعات المستخدمة – القص القاعدي الأعظمي لحالة إطار مع و بدون جدار

85

بلوك

الشكل (3-45): منحنى التسارعات المستخدمة – نسبة قوى القص القاعدي الأعظمي لحالة إطار مع جدار بلوك إلى

86

قوى القص القاعدي الأعظمي لحالة إطار بدون جدار بلوك

الشكل (3-46): مقارنة بين منحنيات التسارعات المستخدمة – الانتقالات الأعظمية لحالة إطار مع و بدون جدار بلوك

87

الشكل (3-47): منحنى التسارعات المستخدمة – نسبة الانتقالات الأعظمية لحالة إطار مع جدار بلوك إلى الانتقالات

88

الأعظمية لحالة إطار بدون جدار بلوك

## فهرس الجداول

### Tables List

- الجدول (1-2): جدول تصنيف وحدات البلوك ضمن مجموعات 15
- الجدول (2-2): جدول لتحديد قيم المعامل  $k$  17
- الجدول (3-2): جدول لتحديد قيم المعامل  $\gamma_m$  19
- الجدول (4-2): علاقات متعددة لتحديد العرض الفعال للقطر المضغوط المتشكل في جدار البلوك 29
- الجدول (5-2): الدور الطبيعي الأساسي (Fundamental Natural Time Period) للنماذج المدروسة في الدراسة المرجعية (Mulgund and Kulkarni , 2011) 35
- الجدول (3-1): المقاومات و التشوهات النسبية للبيتون في ( Eurocode2 , 2004 ) 59
- الجدول (3-2): قيم بارامترات منحنى علاقة الانزلاق- إجهاد التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح 66



## الرموز المستخدمة

### Symbols

الرموز المستخدمة في البحث :

$A_e$  المساحة الفعالة لحقل الضغط المتشكل في جدار البلوك (Strut Area)

$A_{\text{contact}}$  مساحة سطح الاتصال (Surface Contact) للنافض بين البيتون و الحديد

$d$  قطر قضيب التسليح ( Bar Reinforcement Diameter )

$d$  طول قطر جدار البلوك ( Diameter of Masonry wall )

$d_c$  معامل انخفاض القساوة على الضغط (Uniaxial compression damage variable)

$d_t$  معامل انخفاض القساوة على الشد (Uniaxial Tension Damage Variable)

$E_0$  معامل المرونة الابتدائي ( Initial modulus of elasticity )

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

$E_{cm}$  معامل المرونة الثاني للبيتون (Secant modulus of elasticity of concrete)

$E_m$  معامل المرونة لمادة جدار البلوك (Modulus of elasticity of Masonry)

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

$F$  قوة التماسك في النابض (Bond Force at Spring)

$f$  مقاومة جدران البلوك المتوسطة على الضغط (Mean value of Compressive strength of masonry)

$f_b$  مقاومة وحدات البلوك على الضغط في اتجاه تأثير الفعل المطبق ( The Normalised mean compressive strength )  
(strength of the units)

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

$f_{ck}$  المقاومة المميزة الاسطوانية للبيتون على الضغط ( Characteristic compressive cylinder strength of )  
(concrete at 28 days)

$f_{cm}$  المقاومة المتوسطة الاسطوانية للبيتون على الضغط ( Mean value of concrete Compressive strength )  
( cylinder)

$f_{ctm}$  المقاومة المتوسطة للبيتون على الشد في المنحني الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الشد ( Mean value of tensile strength of concrete )

$f_{ctmI}$  المقاومة المتوسطة للبلوك على الشد في المنحني الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد - التشوه النسبي للبلوك على الشد ( Mean value of tensile strength of masonry )

$f_d$  مقاومة جدران البلوك التصميمية على الضغط ( Design compressive strength of masonry )

$f_k$  المقاومة المميزة على الضغط لجدار البلوك ( The Characteristic compressive strength of masonry )

$f_m$  مقاومة المونة على الضغط ( The compressive strength of the Mortar )

$f_m$  المقاومة المميزة للبلوك ( Characteristic strength of masonry )

$f_y$  إجهاد الخضوع لحديد التسليح ( Yield stress of reinforcement )

$G_m$  معامل القص لجدار البلوك ( Shear modulus of masonry )

H ارتفاع الإطار البيتوني ( Frame Height )

$h_m$  ارتفاع جدار البلوك ( Masonry wall height )

$I_c$	عزم عطالة العمود (Moment of Inertia of column)
$I_b$	عزم عطالة الجائز (Moment of Inertia of beam)
$k$	ثابت يستخدم في حساب المقاومة المميزة على الضغط لجدار البلوك
$K$	معامل يستخدم في حساب إجهاد الضغط في البيتون عند نقطة معينة
$Ke$	ثابت يستخدم في حساب معامل المرونة لجدار البلوك
$L$	مجاز الإطار البيتوني بين محاور الأعمدة
$L$	طول تقسيمة العنصر (The length of finite element)
$l$	طول جدار البلوك (Masonry wall length)
$Mc_1, Mc_2$	طاقات تحمل العزوم للأعمدة عند أوجه العقدة آخذين بالحسبان القوى المحورية التي تقابل أقل قيم للعزوم
$Mb_1, Mb_2$	طاقات تحمل العزوم للجوائز عند أوجه العقدة
$n$	عدد النوايض المحيطة بقضيب التسليح
$P$	ضغط الاتصال بين السطحين و العمودي على السطح
$S$	قيمة انزلاق قضبان التسليح (Slip of reinforcement bar)
$S_1$	قيمة انزلاق قضبان التسليح عند وصول إجهاد التماسك بين البيتون و حديد التسليح إلى القيمة الأعظمية $\tau_{max}$
$S_2$	قيمة انزلاق قضبان التسليح عند بدء انخفاض قيمة إجهاد التماسك عن القيمة الأعظمية $\tau_{max}$
$S_3$	قيمة انزلاق قضبان التسليح عند وصول إجهاد التماسك بين البيتون و حديد التسليح إلى القيمة الأصغرية $\tau_f$
$S_4$	قيمة انزلاق قضبان التسليح عند انعدام إجهاد التماسك بين البيتون و حديد التسليح
$S_y$	انزلاق حديد التسليح عند وصوله للسيلان

$t$	سماكة جدار البلوك (Masonry wall thickness)
$w$	العرض الفعال لحقل الضغط القطري المتشكل في جدار البلوك عند التحميل الجانبي في مستويه (Effective Width)
$w_c$	معامل استرداد القساوة على الضغط (Recovery Modulus of the compressive stiffness)
$w_t$	معامل استرداد القساوة على الشد (Recovery Modulus of the tensile stiffness)
$\alpha$	ثابت يستخدم في حساب المقاومة المميزة على الضغط لجدار البلوك
$\alpha$	معامل يستخدم لحساب إجهاد التماسك بين البيتون و حديد التسليح
$\alpha_l, \alpha_h$	أطوال الاتصال بين الجدار و العمود و الجائز على الترتيب عند بدء انهيار الجدار
$\beta$	ثابت يستخدم في حساب المقاومة المميزة على الضغط لجدار البلوك
$\gamma$	قيمة انزلاق سطحين متلامسين على بعض (Slip)
$\gamma_m$	معامل أمان يستخدم في حساب المقاومة التصميمية على الضغط لجدار البلوك
$\gamma_c$	الوزن الحجمي للبيتون (Unit weight of the concrete)
$\gamma_m$	الوزن الحجمي للبلوك (Unit weight of the masonry)
$\epsilon_c^{pl}$	تشوه الضغط اللدن المتبقي (Compressive Equivalent Plastic Strain)
$\epsilon_c^{in}$	تشوه الضغط غير المرن (Compressive Inelastic Strain)
$\epsilon_c$	تشوه الضغط الكلي للبيتون عند نقطة معينة (Compressive total Strain)
$\epsilon_{m1}$	التشوه النسبي للبلوك على الضغط المقابل لذروة الإجهاد $f$ (Compressive strain in the masonry at the )
	( peak stress $f$ )
$\epsilon_{mu}$	التشوه النسبي الحدي للبلوك على الضغط (Ultimate compressive strain in the masonry)

$\varepsilon_{0c}^{el}$	تشوه الضغط المرن (Compressive Elastic Strain)
$\varepsilon_t^{pl}$	تشوه الشد اللدن المتبقي (Tensile Equivalent Plastic Strain)
$\varepsilon_t^{ck}$	تشوه التشقق (Cracking Strain)
$\varepsilon_t$	تشوه الشد الكلي عند نقطة معينة (Tensile total Strain)
$\varepsilon_{0t}^{el}$	تشوه الشد المرن (Tensile Elastic Strain)
$\varepsilon_{c1}$	التشوه النسبي للبيتون على الضغط المقابل لذروة الإجهاد $f_{cm}$ (Compressive strain in the concrete at the peak stress $f_{cm}$ )
$\varepsilon_{cu1}$	التشوه النسبي الحدي للبيتون على الضغط (Ultimate compressive strain in the concrete)
$\varepsilon_{t0}$	التشوه النسبي الابتدائي للبيتون على الشد عند ذروة الإجهاد $f_{ctm}$ في المنحني الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الشد
$\varepsilon_{total}$	التشوه الحدي للبيتون على الشد في المنحني الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الشد
$\varepsilon_{tmo}$	التشوه النسبي الابتدائي للبلوك على الشد عند ذروة الإجهاد $f_{ctm1}$ في المنحني الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد - التشوه النسبي للبلوك على الشد
$\varepsilon_{tm}$	التشوه الحدي للبلوك على الشد في المنحني الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد - التشوه النسبي للبلوك على الشد
$\varepsilon_y$	التشوه النسبي للحديد عند الخضوع (Relative strain yielding in the steel)
$\tau$	قيمة إجهاد التماسك بين البيتون و حديد التسليح (Bond Stress)
$\tau$	إجهاد القص بين سطحين متلامسين (Shear Stress)

$\tau_{max}$	قيمة إجهاد التماسك الأعظمي بين البيتون و حديد التسليح (Ultimate Bond Stress)
$\tau_f$	قيمة إجهاد التماسك الأصغري بين البيتون و حديد التسليح (Minimum Bond Stress)
$\tau_y$	إجهاد التماسك عند وصول حديد التسليح إلى الخضوع (Yielding Bond Stress)
$\tau_{crit}$	إجهاد القص الحرج (Critical Shear Stress)
$\eta$	معامل يستخدم في حساب إجهاد الضغط في البيتون عند نقطة معينة
$\Theta$	زاوية ميل قطر جدار البلوك عن الأفق (The slope of infill diagonal to the horizontal)
$\mu$	معامل الاحتكاك (Friction coefficient)
$\nu_c$	معامل بواسون للبيتون (Poisson's ratio of concrete)
$\nu_m$	معامل بواسون للبلوك (Poisson's ratio of masonry)
$\nu_s$	معامل بواسون للحديد (Poisson's ratio of steel)
$\rho_d$	الكثافة الجافة للمونة (Dry Density)
$\sigma_{co}$	قيمة الإجهاد الابتدائي للبيتون على الضغط (Initial compressive Stress of concrete)
$\sigma_{cu}$	القيمة الحدية لإجهاد البيتون على الضغط (Ultimate compressive Stress of concrete)
$\sigma_c$	قيمة إجهاد الضغط في البيتون (compressive stress of concrete)
$\sigma_{to}$	قيمة الإجهاد الحدي للبيتون على الشد (Ultimate tensile stress of concrete)

## قائمة المختصرات

### Abbreviation List

UnReinforced Concrete Masonry	<b>URCM</b>
Finite Element Method	<b>FEM</b>
Materially Non-Linear Analysis	<b>MNA</b>
Ordinary Moment Resisting Frame	<b>OMRF</b>
Intermediate Moment Resisting Frame	<b>IMRF</b>
Special Moment Resisting Frame	<b>SMRF</b>
Immediate Occupancy	<b>IO</b>
Life Safety	<b>LS</b>
Collapse Prevention	<b>CP</b>
Degree of Freedom	<b>DOF</b>
Concrete Damage Plasticity	<b>CDP</b>

## الفصل الأول

### مقدمة

## Introduction

### ١.١ مقدمة عن الجمل الإنشائية المقاومة للزلازل

#### Introduction to Structural Seismic Resisting Systems

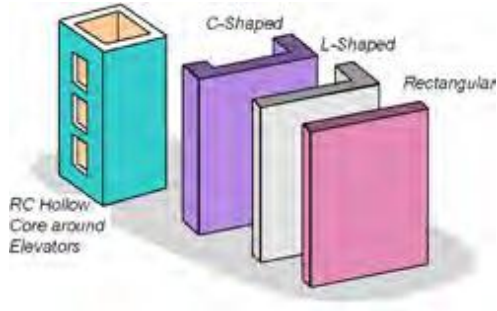
يهدف التصميم الزلزالي إلى الحفاظ على سلامة المنشأ من الانهيار للحفاظ على الأرواح البشرية (Life Safety) كهدف أساس ، و بقاء بعض المنشآت ضمن مجال الاستخدام (Immediate Occupancy) ، من هنا فإن الجمل الإنشائية يجب أن تمتلك قدرة كافية على مقاومة القوى الجانبية (Lateral Loads) و مطاوعة (Ductility) كافية أيضاً تتمثل في قدرتها على إعادة توزيع الإجهادات و السماح بتشكيل المفاصل اللدنة في الجوائز قبل الأعمدة منعاً للانهيار المفاجئ في العناصر الإنشائية.

تم تصنيف الجمل الإنشائية الخرسانية المقاومة للزلازل إلى ثلاثة أنواع ( ملحق الكود العربي السوري ، ٢٠٠٥ ) :

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

و هي جمل تقوم جدران قص فيها فقط بمقاومة الأحمال الجانبية بمفردها ، و لها اشتراطات تسليح و أبعاد محددة (الكود العربي السوري ، ٢٠٠٤) . يتمتع هذا النوع من الجمل بصلابة عالية مقارنة مع الجمل الأخرى إلا أن أحد سلبياتها انخفاض المطاوعة ( Ductility ) ( UBC 97 ) ، 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 و تخفض كثيراً من التأثيرات النفسية على سكان الطوابق العليا في الأبنية العالية التي تسببها الانتقالات الناتجة عن الزلازل ( سمارة ، ٢٠٠٦ ) ، يوضح الشكل (1-1a) تنفيذ جدران القص بينما يظهر في الشكل (1-1b) بعض أشكال جدران القص .





(b) بعض أشكال جدران القص (Murty 2005)

(a) تنفيذ جدران القص

الشكل (1-1): تنفيذ و أشكال جدران القص

## B – الجمل الإطارية ( Frame Systems ) :

و هي 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 و ذلك عن طريق مقاومة الانحناء ( Bending Resistance) التي تتمتع بها عناصر الإطار و يجب أن تتمتع الإطارات بصفة المطاوعة لتضمن حدوث تشوهات كبيرة قبل الانهيار لتبديد أكبر كمية من طاقة الزلازل ، إلا أن أحد مساوئه هو السماح بحدوث انتقالات كبيرة للمبنى .



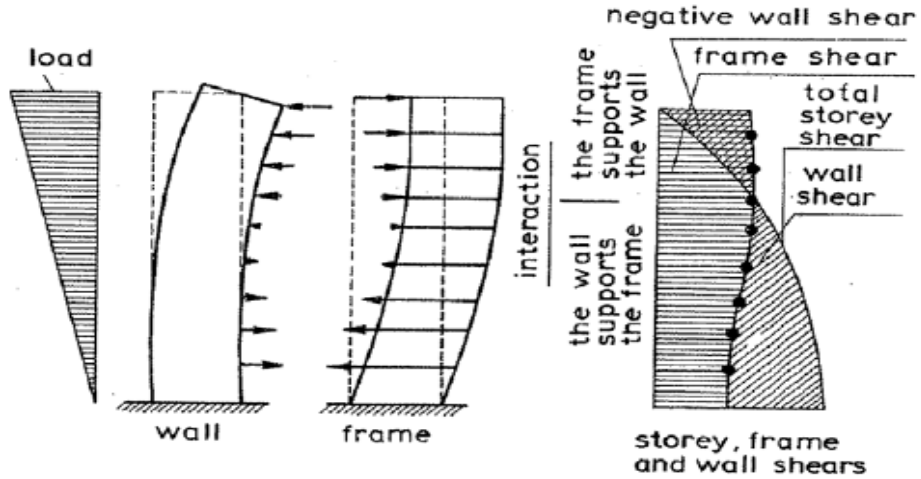
الشكل (2-1): مبنى إطاري من 8 طوابق

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

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

تتألف هذه الجمل من إطارات بيتونية مسلحة كما ورد في (الفقرة B) و جدران قص الواردة في (الفقرة A)، و يجب أن تصمم الإطارات المقاومة للعزوم لتتحمل 25% على الأقل من قوة القص القاعدية التصميمية حتى لو كانت نسبة مساهمتها أقل من ذلك (ملحق الكود العربي السوري رقم (٢) ، ٢٠٠٥ ) ، 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 ٢٠٠٤، حيث يوضح الشكل (3-1) التفاعل بين الإطار وجدار القص في الجملة الثنائية (Penelis and Kappos , 1997).

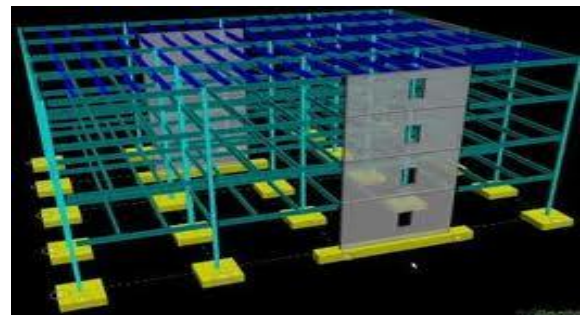


الشكل (3-1): التفاعل بين الإطار و جدار القص في الجملة الثنائية (Penelis and Kappos , 1997)

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



(b) أبراج مركز الملك عبد الله المالي 2012



(a) نموذج جملة مختلفة

الشكل (4-1): نماذج جمال مختلفة

## ٢.١ مقدمة عن جمل الإطارات الخرسانية المقاومة للعزوم

### Introduction to Concrete Moment Resisting Frame Systems

يعرف الإطار 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 عند الأعمدة الطرفية للإطار كحد أدنى حيث تم تصنيفه تبعاً لتفاصيل التسليح و درجة المطاوعة ( Ductility ) إلى ثلاثة أنواع حسب (ملحق الكود العربي السوري رقم (٢) ، ٢٠٠٥ ) وهي :

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

هو إطار مقاوم للعزوم لكنه لا يحقق التفاصيل الخاصة بمتطلبات سلوك المطاوعة ( Ductility ) و لا يسمح باستخدامه في المنطقتين الزلزالتين (3) و (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 و الإطار الخاص المقاوم للعزوم ، و فيه تصمم العناصر لمقاومة قوة قص تحسب من المقامات الاسمية للعناصر عند العقد، و لا يسمح 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 قص حسابية تحدد من قيم طاقات العزوم عند العقد، بعد تصعيدها بمعامل تصعيد يساوي 1.25 و هو ناتج عن المقاومة الإضافية للمادة في مرحلة ما بعد الخضوع و ما قبل الانهيار .

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

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 الأدنى في أعمدة الجمل الإطارية (Han and Jee, 2005)

### ٣.١ مقدمة عن جدران البلوك غير المسلحة

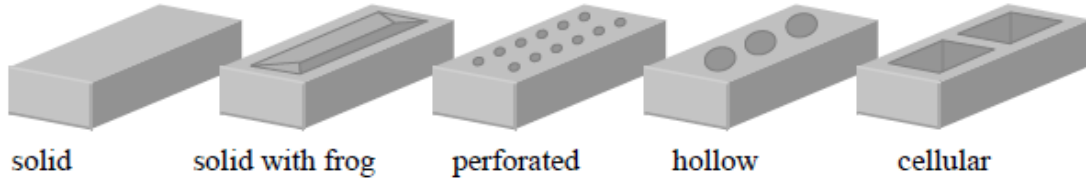
## Introduction to UnReinforced Masonry Walls (URM)

استخدمت مادة الحجر منذ القدم في عمليات البناء حيث اعتبرت مادة أساسية في إنشاء المباني القديمة فكانت تستخدم كجدران إنشائية حاملة ثم تتابعت إضافة المواد الأخرى عليها في البناء حتى حلت الأبنية البيتونية و المعدنية مكان الأبنية الحجرية و اقتصر استخدامها حالياً كقواطع معمارية أو مألئة للإطارات البيتونية المسلحة باستثناء المناطق الريفية التي مازال الحجر فيها يستخدم كمادة أساسية في البناء .

تصنف جدران البلوك كعناصر إنشائية غير متجانسة، تتألف من وحدات بلوك ( Units ) تربط بينها فواصل من المونة ( Mortar ) ، و تكون وحدات البلوك مصنوعة عادة من البيتون، الحجر، السيلت الكلسي أو الغضار، أما المونة فتصنع من

خلطة من الكلس، الرمل، الاسمنت مع الماء بنسب متفاوتة تختلف معها المقاومة على الضغط لمادة المونة كذلك هناك أشكال مختلفة لقطع البلوك منها المفرغة، المصمتة، المثقبة، المسامية... تم في هذا البحث استخدام البلوك المصنوع من مادة البيتون.

يوضح الشكل (6-1) بعض أشكال البلوك المستخدمة.



الشكل (6-1): أشكال البلوك المختلفة (Mckenzie,2001)

تحدد مقاومة جدران البلوك غير المسلحة ( URM ) بناءً على مقاومة وحدات البلوك و صنف المونة التي تربطها ، حيث يصنف الكود الأوروبي ( Eurocode6, 2005 ) مقاومة جدران البلوك إلى :

- مقاومة على الضغط (Compressive Strength)
- مقاومة على القص ( Shear Strength )
- مقاومة على الانعطاف ( Flexural Strength )
- تهمل مقاومتها على الشد ( Tensile Strength )

تتعرض جدران البلوك إلى أحمال شاقولية ناتجة عن الأوزان الذاتية و أوزان البلاطات التي تعلوها، كما تتعرض إلى أحمال جانبية ناتجة عن الزلازل أو أحمال الرياح، و قد يكون التحميل في مستوى جدار البلوك ( In-Plane Lateral Load ) أو تحميل خارج مستويه ( Out-of-Plane Lateral Load )، حيث ستقتصر دراستنا في هذا البحث على التحميل الجانبي في مستوى جدار البلوك الناتج عن القوى الزلزالية .

أثبتت العديد من الدراسات مساهمة جدران البلوك غير المسلحة المائلة للإطارات في رفع مقاومة هذه الإطارات على الزلازل حيث يمكن أن تصل فعالية جدران البلوك إلى حوالي 300% (Binici and Ozcebe, 2006) .

## مشكلة البحث ٤.١ Problem of This Research

تكمن مشكلة البحث في عدم أخذ تأثير جدران البلوك غير المسلحة المألنة للإطارات البيتونية المسلحة في التصميم الزلزالي مما لا يعكس تصرف الجملة الإنشائية الحقيقي كما أنه يؤدي إلى عدم اقتصادية في التصميم لأنه لا يأخذ تأثيرها على زيادة مقاومة الإطارات بعين الاعتبار.

## الهدف من البحث و أهميته ٥.١

### Importance and Objective of this Research

يهدف البحث إلى دراسة تأثير ملئ الإطار البيتوني بجدار بلوك، حيث أن الدراسات المرجعية السابقة تدل على أن وجود الجدار يؤدي إلى زيادة المقاومة و تخفيض الانتقالات للجملة الإنشائية المقاومة للأحمال الزلزالية. إن أهمية هذا البحث تكمن في دراسة الحالة الأكثر شيوعاً في المباني من حقيقة وجود القواطع المعمارية المألنة للإطارات.

## طرائق البحث ٦.١ Methods of This Research

تم في هذا البحث القيام بدراسة تحليلية باستخدام برنامج (ABAQUS 6.12-1) لسلوك جملة إطار بيتوني مسلح مملوء بجدار من البلوك البيتوني غير المسلح و التحقق من فعالية جدران البلوك في زيادة قساوة الإطار و بالتالي تخفيف الانتقالات الجانبية له و زيادة مقاومته عند تعرضه لحمولة جانبية في مستوي جدار البلوك ( In-Plane Lateral Loading).

حيث تم إجراء التحليل العددي باستخدام طريقة العناصر المحدودة ( FEM ) و استخدم التحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لاختية المادة ( MNA ) كما تم تطبيق حمولة دورية (Cyclic Load) و هزات زلزالية (Seismic Load) باستخدام السجل الزمني ذات شدات مختلفة لدراسة تأثير الشدة الزلزالية على مقاومة الإطار المملوء بجدار بلوك .

## Contents of Thesis

## محتويات الأطروحة ٧.١

تتألف هذه الأطروحة من أربعة فصول كالتالي :

**الفصل الأول :** يحتوي مقدمة عامة عن العناصر الأساسية في هذا البحث، حيث يبدأ بمقدمة عن الجمل الإنشائية المقاومة للزلازل و أنواعها المستخدمة، ثم أنواع الإطارات البيتونية المسلحة و استخداماتها، بالإضافة إلى مقدمة عن جدران البلوك غير المسلحة و مكوناتها و أخيراً تم التحدث عن الهدف من البحث و محتويات البحث.

**الفصل الثاني :** تم فيه استعراض الدراسات المرجعية السابقة لمكونات البحث، حيث تم التركيز على السلوك الزلزالي لإطارات البيتون المسلح و ميكانيكيات انهيارها تحت تأثير الأحمال الجانبية، كما تم إعطاء لمحة عن الخواص الميكانيكية لجدران البلوك و توضيح سلوكها الزلزالي عند تعرضها لحمولات جانبية و أنماط انهيارها المعروفة، ثم تم تسليط الضوء على السلوك الزلزالي لإطارات البيتون المسلح المملوءة بجدران بلوك و الذي هو موضوع البحث .

**الفصل الثالث :** يتضمن الدراسة التحليلية التي تمت في هذا البحث ، حيث تم توصيف النموذج المعتمد في التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEM) و برنامج (ABAQUS ,Ver 6.12) من حيث توصيف المواد الداخلة في النموذج و شروط الاستناد و الأحمال المطبقة و بما يحقق هدف البحث .

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

## الفصل الثاني

### الدراسة المرجعية

#### Literature Review

#### 1.2 مقدمة Introduction

يستعرض هذا الفصل السلوك الزلزالي للإطارات البيتونية المسلحة و أنماط انهيارها، و من ثم تم تحديد الخواص الميكانيكية لجدران البلوك و ميكانيكيات انهيارها المختلفة تحت تأثير الأحمال الجانبية في مستوي جدار البلوك ( In – Plane Lateral load ) و خارج مستوي الجدار ( Out of Plane Lateral Load ) .  
بعدها تم التركيز على جملة إطار بيتوني مسلح مملوء بجدار بلوك و أنماط انهيارها عند تطبيق حمولة زلزالية في مستوي جدار البلوك و الذي هو هدف هذا البحث، و أخيراً تم التطرق إلى بعض الدراسات المرجعية التي تتناول المقارنة بين جمل الإطارات البيتونية غير المملوءة بجدار بلوك ( Bare Frame ) و جمل الإطارات البيتونية المملوءة بجدار بلوك ( Infilled Frame ) تحت تأثير الأحمال الجانبية في مستوي الجدار .

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

#### 1.2.2 الانهيار المفاجئ والسلوك المطاوع للإطارات البيتونية المسلحة Brittle and Ductile

#### Performance of RC Frames

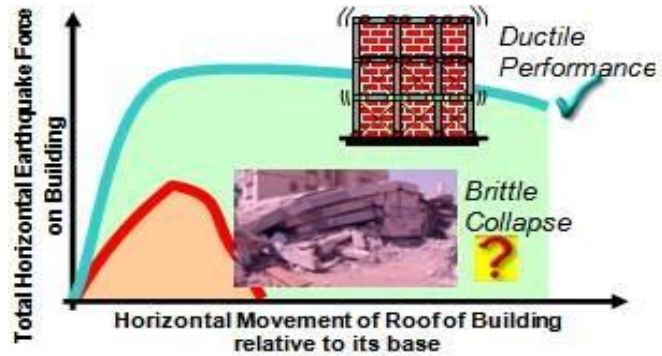
يحدث الانهيار في العناصر الإنشائية وفق نمطي انهيار (سمارة، ٢٠٠٦) :

✓ **الانهيار المفاجئ (Brittle Collapse):** هو الانهيار الهش و هو نمط انهيار غير مرغوب به في التصميم الزلزالي .

✓ **الأداء المطاوع (Ductile Performance):** حيث يحصل الانهيار بعد تبديد كبير للطاقة الزلزالية عن طريق حصول تشوهات كبيرة بعد انتهاء المرحلة المرنة حيث يؤدي إلى انهيار آمن نوعاً ما ، و هو نمط الانهيار المطلوب .



تعتبر المطاوعة أحد أهم العوامل في الأداء الزلزالي للبناء لذلك يسعى التصميم الزلزالي لتحديد مواقع الضرر المتوقعة مسبقاً و من ثم تزويد هذه المناطق بتفاصيل تسليح جيدة للتأكد من السلوك المطاوع للبناء ، حيث يبين الشكل ( 1-2a) الفرق بين الانهيار المفاجئ و الأداء المطاوع للأبنية الموضح من خلال تمثيل علاقة قوة القص – الانتقال الطابقي النسبي ، و يوضح الشكل أن الانتقالات في الأداء المطاوع كبيرة بعد انتهاء مرحلة الأداء المرن للمنشأ مقارنة مع تلك التي تحدث للمنشآت ذات الانهيار المفاجئ ، كما يوضح الشكل ( 1-2b) الانهيار المفاجئ لمبنى نتيجة زلزال تركيا ١٩٩٩ .



(b) الانهيار المفاجئ لمبنى نتيجة زلزال تركيا ١٩٩٩  
(Gulkan et al , 2002)

(a) مقارنة الانهيار المفاجئ والأداء المطاوع  
(Murty, 2005)

الشكل (1-2): الانهيار المفاجئ و الأداء المطاوع للأبنية

## ٢.٢.٢ ميكانيكيات الانهيار Mechanisms of Failure

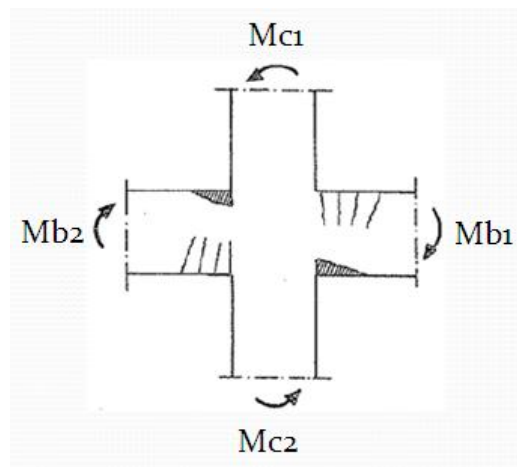
تقسم ميكانيكيات انهيار الإطارات البيتونية المسلحة إلى :

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

حيث أن قساوة الجوائز أقل من قساوة الأعمدة، الأمر الذي يؤدي إلى تشكل المفاصل اللدنة في الجوائز أولاً كما هو مبين في الشكل (2-2) و بالنتيجة فإن الانهيار يكون مطاوعاً، و من أجل رفع مطاوعة المنشأة الإطارية عند تعرضها للزلازل في حالة الحد الأقصى و من أجل تشكل المفاصل اللدنة في الجوائز أولاً ينصح ( الكود العربي السوري ، ٢٠٠٤) باختيار الأبعاد النسبية لأعمدة و جوائز كل عقدة و تسليحها بتحقيق الشرط التالي :

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

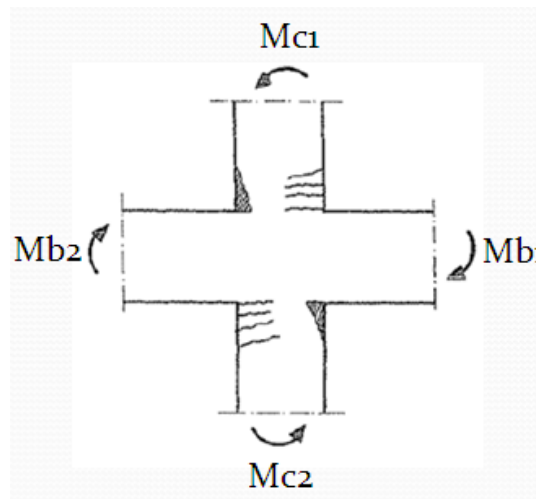
حيث  $M_{c1}$  و  $M_{c2}$  هي طاقات تحمل العزوم للأعمدة عند أوجه العقدة، آخذين بالحسبان القوى المحورية التي تقابل أقل قيم للعزوم، بينما تعبر  $M_{b1}$  و  $M_{b2}$  عن طاقات تحمل العزوم للجوائز عند أوجه العقدة .



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

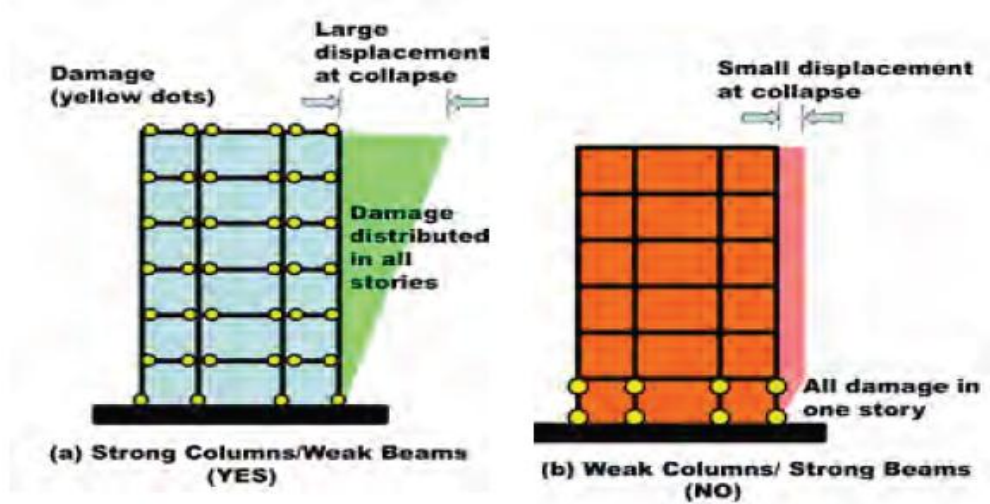
### b. جملة جانز قوي عمود ضعيف Strong beam – weak column

حيث قساوة الأعمدة أقل من قساوة الجوائز، الأمر الذي يؤدي إلى تشكل المفاصل اللدنة في الأعمدة أولاً كما هو مبين في الشكل (3-2) و بالتالي حدوث انهيار مفاجئ للمبنى .



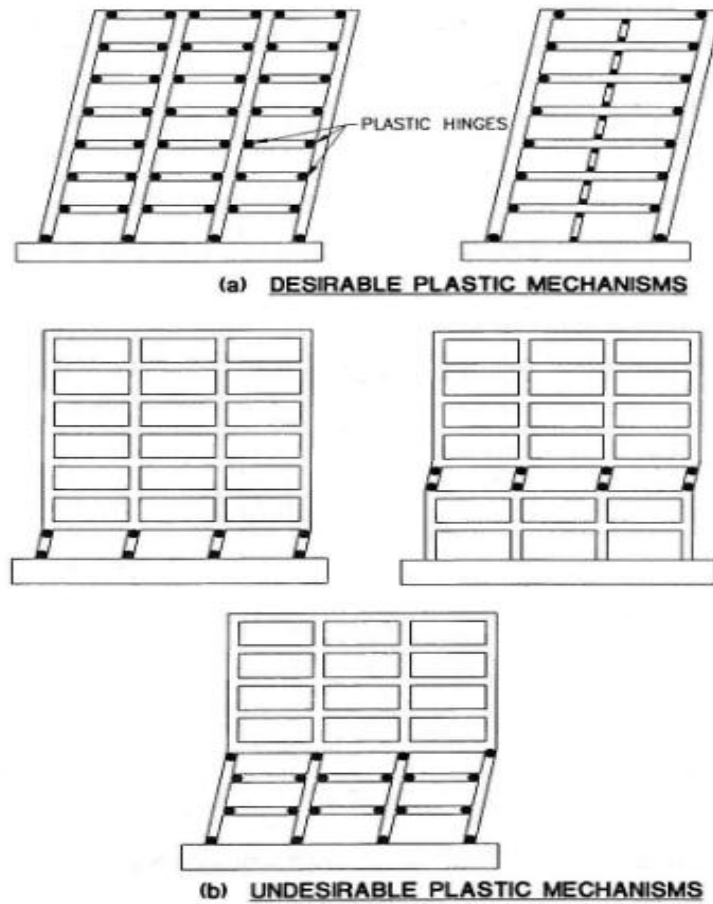
الشكل (3-2) : تشكل مفصل لدن في العمود أعلى و أسفل العقدة ( Penelis and Kappos , 1997 )

و يبين الشكل (4-2a) آلية تشكل مفاصل لدنة في الجوائز و السماح بحصول انتقالات كبيرة قبل الانهيار أما الشكل (4-2b) فيوضح آلية تشكل مفاصل لدنة في أعمدة الطابق الأرضي و انهيار المبنى عند انتقالات صغيرة بالرغم من بقاء أعمدة الطوابق العليا سليمة.



الشكل (4-2) : الأداء الأفضل للجملة الإطارية (عمود قوي - جوائز ضعيف) (Murty , 2005)

يوضح الشكل (5-2a) ميكانيزمات تشكل مفاصل لدنة في الجوائز و حصول انتقالات كبيرة بينما يظهر في الشكل (5-2b) أشكال انهيار غير مرغوبة ناتجة عن تشكل مفاصل لدنة في الأعمدة في طوابق معينة .

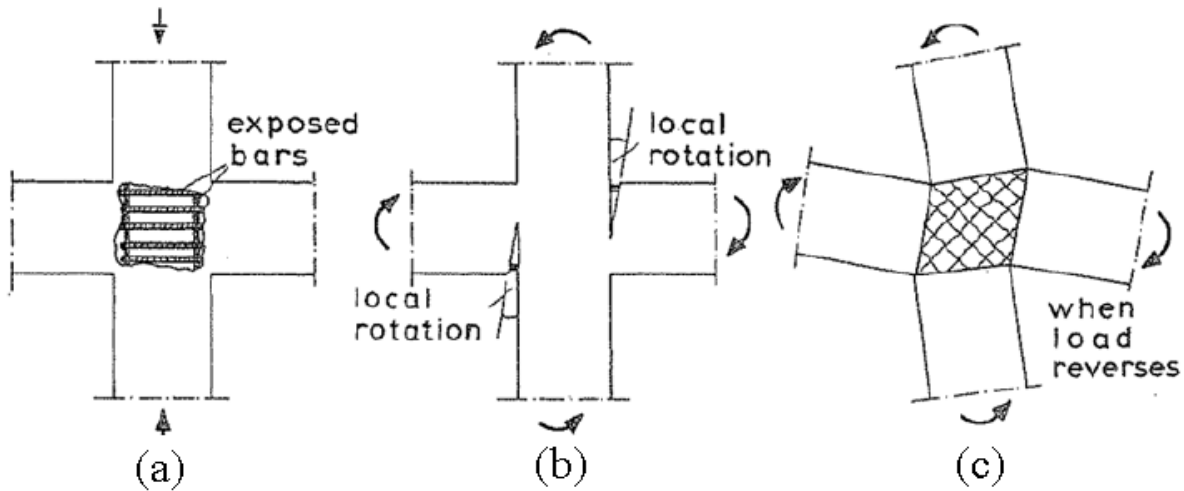


الشكل (5-2) : حالات تشكل المفاصل اللدنة (Seac blue book , 1999)

## c. انهيار العقد Nodes Failure

يعرف بأنه انهيار قلب عقدة جوائز عمود ، حيث تم تصنيف أنماط انهيار العقد إلى ثلاثة أنماط ( Penelis and Kappos,1997 ) :

- تكسر طبقة الغطاء البيتوني لوجهي العقدة (الشكل 6-2a) و يجب تجنبه لأنه يؤدي إلى إضعاف قدرة تحمل العمود .
- انهيار إرساء قضبان الجوائز داخل العقدة (الشكل 6-2b) و يجب 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 6-2c) وهو ناتج عن القص الدوري و يجب تجنبه لأنه يؤدي إلى هبوط شديد في المقاومة و في الصلابة .



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

## ٣.٢ الخصائص الميكانيكية لجدران البلوك غير المسلحة

### Mechanical Properties of UnReinforced Masonry wall (URM)

يهتم هذا البحث بحالة التحميل الجانبي في مستوي جدار البلوك لذلك سيتم التركيز على المقاومة المميزة على الضغط لجدار البلوك كما عرفها الكود الأوروبي (Eurocode 6, 2005) دون التطرق إلى المقاومة على الانعطاف .

### ١.٣.٢ المقاومة المميزة على الضغط لجدران البلوك (URM)

#### Compressive Strength of UnReinforced Masonry Wall

يعتمد الكود الأوروبي (Eurocode 6, 2005) وحدات البلوك (Units) المصنوعة من المواد التالية :

- ✓ الغضار (Clay).
- ✓ السيلت الكلسي (Calcium Silicate).
- ✓ البيتون الحصى (Aggregate Concrete) حيث تكون الحصىات كثيفة و خفيفة.
- ✓ Autoclaved Aerated Concrete (a.a.c)
- ✓ الحجر الصناعي (Manufactured Stone).
- ✓ الحجر الطبيعي (Dimensioned Natural Stone)

و تصنف وحدات البلوك (Units) ضمن أربع مجموعات (Group 1,2,3,4) وذلك حسب نسبة حجم الفراغات في وحدة البلوك إلى الحجم الكلي، بالإضافة إلى اتجاه الفراغات في وحدة البلوك أفقية كانت أم شاقولية، حيث تعتبر وحدات البلوك المصنعة من الحجر الصناعي والحجر الطبيعي ضمن (Group 1) ، بينما تصنف وحدات البلوك المصنعة من الغضار و السيلت الكلسي و البيتون ضمن المجموعات الثلاث الأخرى بالإضافة إلى المجموعة الأولى وذلك اعتماداً على النسبة الحجمية للفراغات في وحدات البلوك و اتجاه فراغات قطعة البلوك كما هو مبين في الجدول (1-2):

الجدول (1-2) : جدول تصنيف وحدات البلوك ضمن مجموعات (Eurocode 6 , 2005)

**Table 3.1 — Geometrical requirements for Grouping of Masonry Units**

	Materials and limits for Masonry Units							
	Group 1 (all materials)	Units	Group 2		Group 3		Group 4	
			Vertical holes				Horizontal holes	
Volume of all holes (% of the gross volume)	≤ 25	clay	> 25; ≤ 55		≥ 25; ≤ 70		> 25; ≤ 70	
		calcium silicate	> 25; ≤ 55		not used		not used	
		concrete <sup>b</sup>	> 25; ≤ 60		> 25; ≤ 70		> 25; ≤ 50	
Volume of any hole (% of the gross volume)	≤ 12,5	clay	each of multiple holes ≤ 2 gripholes up to a total of 12,5		each of multiple holes ≤ 2 gripholes up to a total of 12,5		each of multiple holes ≤ 30	
		calcium silicate	each of multiple holes ≤ 15 gripholes up to a total of 30		not used		not used	
		concrete <sup>b</sup>	each of multiple holes ≤ 30 gripholes up to a total of 30		each of multiple holes ≤ 30 gripholes up to a total of 30		each of multiple holes ≤ 25	
Declared values of thickness of webs and shells (mm)	No requirement		web	shell	web	shell	web	shell
		clay	≥ 5	≥ 8	≥ 3	≥ 6	≥ 5	≥ 6
		calcium silicate	≥ 5	≥ 10	not used		not used	
		concrete <sup>b</sup>	≥ 15	≥ 18	≥ 15	≥ 15	≥ 20	≥ 20
Declared value of combined thickness <sup>a</sup> of webs and shells (% of the overall width)	No requirement	clay	≥ 16		≥ 12		≥ 12	
		calcium silicate	≥ 20		not used		not used	
		concrete <sup>b</sup>	≥ 18		≥ 15		≥ 45	

<sup>a</sup> The combined thickness is the thickness of the webs and shells, measured horizontally in the relevant direction. The check is to be seen as a qualification test and need only be repeated in the case of principal changes to the design dimensions of units.

<sup>b</sup> In the case of conical holes, or cellular holes, use the mean value of the thickness of the webs and the shells.

بينما تصنف المونة (Mortar) حسب مكوناتها إلى نوعين:

▪ مونة ذات سماكة قليلة (Thin Layer Mortar)

▪ مونة ذات وزن خفيف (Lightweight Mortar)

و يمكن أن تكون المونة جاهزة من المصنع ، أو نصف مصنعة ، أو تخلط في الموقع كما تصنف المونة تبعاً لمقاومتها على الضغط و تبعاً لنسب مكوناتها إلى الحجم الكلي .

تحسب المقاومة المميزة  $f_k$  على الضغط لجدران البلوك (compressive strength of URM) وفق الكود الأوروبي (Eurocode 6, 2005) من العلاقة (2-2):

$$f_k = k \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta \quad (2 - 2)$$

حيث:  $f_k$  المقاومة المميزة على الضغط لجدار البلوك مقدرة بـ  $N/mm^2$

$k$  ثابت يتم تحديد قيمته من الجدول (2-2)، وفقاً لنوع المونة المستخدمة، سماكة فواصل المونة بين صفوف البلوك، نوع مادة وحدات البلوك و صنفها .

$\alpha, \beta$  ثوابت تحدد بحسب نوع المونة المستخدمة و سماكة فواصل المونة بين صفوف البلوك، نوع مادة وحدات البلوك و المجموعة المصنفة وحدات البلوك ضمنها حيث تؤخذ قيم  $\alpha, \beta$  كما يلي :

$\alpha = 0.7, \beta = 0.3$  من أجل جدران البلوك المستخدم فيها المونة المعدة لأغراض عامة ( General purpose )

(Mortar) و المونة الخفيفة (Lightweight Mortar)، أما من أجل جدران البلوك ذات فواصل المونة قليلة السماكة

(Thin Layer Mortar) ( من 0.5 إلى 3 مم ) ، ووحدات البلوك من المجموعة (1) و (4) لجميع أنواع مادة

وحدات البلوك فتصبح القيم  $\alpha = 0.85, \beta = 0$  ، و تؤخذ  $\alpha = 0.7, \beta = 0$  لحالة جدران البلوك ذات فواصل

المونة قليلة السماكة (Thin Layer Mortar) ( من 0.5 إلى 3 مم ) ووحدات البلوك من المجموعة (2) و (3) و

لمادة الغضار فقط .

$f_b$  مقاومة وحدات البلوك على الضغط في اتجاه تأثير الفعل المطبق مقدرة بـ  $N/mm^2$

( The compressive strength of the units )

$f_m$  مقاومة المونة على الضغط مقدرة بـ  $N/mm^2$  ( The compressive strength of the Mortar )



كما ذكر الكود الأوروبي (Eurocode6 , 2005) أن  $f_b$  مقاومة وحدات البلوك على الضغط يجب ألا تعتبر أكبر من  $75\text{N/mm}^2$  في حال استخدام مونة معدة لأغراض عامة و ألا تتجاوز  $50\text{N/mm}^2$  في حال استخدام المونة قليلة السماكة، بينما تؤخذ  $f_m$  مقاومة المونة على الضغط بحيث لا تتجاوز  $20\text{N/mm}^2$  , و  $2f_b$  في حال استخدام مونة معدة لأغراض عامة و ألا تتجاوز  $10\text{N/mm}^2$  في حال استخدام المونة الخفيفة.

الجدول (2-2) : جدول لتحديد قيم المعامل K (Eurocode 6 , 2005)

Masonry Unit		General purpose mortar	Thin layer mortar (bed joint $\geq 0,5\text{ mm}$ and $\leq 3\text{ mm}$ )	Lightweight mortar of density	
				$600 \leq \rho_d \leq 800\text{ kg/m}^3$	$800 < \rho_d \leq 1300\text{kg/m}^3$
Clay	Group 1	0,55	0,75	0,30	0,40
	Group 2	0,45	0,70	0,25	0,30
	Group 3	0,35	0,50	0,20	0,25
	Group 4	0,35	0,35	0,20	0,25
Calcium Silicate	Group 1	0,55	0,80	‡	‡
	Group 2	0,45	0,65	‡	‡
Aggregate Concrete	Group 1	0,55	0,80	0,45	0,45
	Group 2	0,45	0,65	0,45	0,45
	Group 3	0,40	0,50	‡	‡
	Group 4	0,35	‡	‡	‡
Autoclaved Aerated Concrete	Group 1	0,55	0,80	0,45	0,45
Manufactured Stone	Group 1	0,45	0,75	‡	‡
Dimensioned Natural Stone	Group 1	0,45	‡	‡	‡

‡ Combination of mortar/unit not normally used, so no value given.

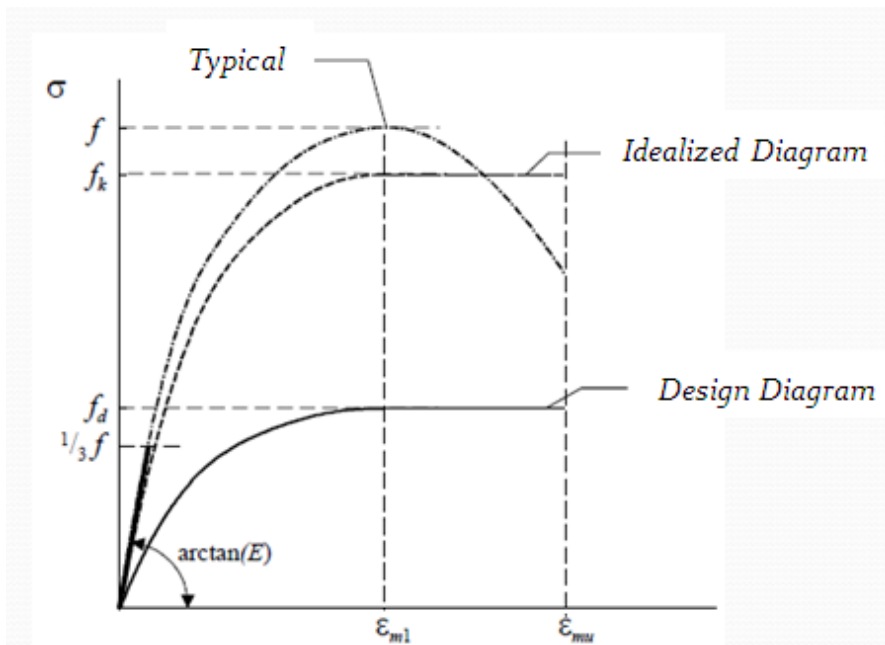
حيث  $\rho_d$  هي الكثافة الجافة للمونة (Dry Density of Mortar)



٢.٣.٢ علاقة الإجهاد – التشوه النسبي لجدران البلوك غير المسلحة (URM) على الضغط:

**Stress – Strain relationship for (URM) in compression**

يعرف الكود الأوروبي (Eurocode6 , 2005) ثلاثة مخططات لعلاقة الإجهاد- التشوه النسبي لجدران البلوك غير المسلحة (URM) على الضغط كما هو واضح في الشكل (7-2)، فالمخطط الأول (Typical Diagram) يعبر عن الواقع الفعلي لعلاقة الإجهاد- التشوه النسبي لجدران البلوك و تمثل بقطع مكافئ (Parabolic) ذروته المقاومة الوسطية  $f$  . يبين الشكل أن المادة تتصرف بشكل خطي مرن حتى الوصول إلى الإجهاد  $1/3 f$ ، و من ثم تدخل المادة مرحلة التصرف اللاخطي حتى الوصول إلى المقاومة الوسطية  $f$  المقابلة للتشوه النسبي  $\epsilon_{m1}$ ، حيث تنخفض بعد ذلك المقاومة وصولاً إلى الانهيار عند التشوه النسبي الأعظمي على الضغط  $\epsilon_{mu}$ ، أما المخطط الثاني (Idealized Diagram) فيمثل علاقة الإجهاد – التشوه النسبي لجدران البلوك بشكل لاخطي (Parabolic –Rectangular)، حيث يكون المخطط بشكل قطع مكافئ (Parabolic) حتى الوصول إلى المقاومة المميزة على الضغط  $f_k$  المقابلة للتشوه النسبي  $\epsilon_{m1}$  ثم يتابع بشكل تلدن مثالي (Perfectly Plastic) حتى الوصول إلى التشوه النسبي الأعظمي على الضغط  $\epsilon_{mu}$ ، أما المخطط الثالث ( Design Diagram) الذي يستخدم لأغراض التصميم حيث يكون بشكل قطع مكافئ (Parabolic) حتى الوصول إلى المقاومة التصميمية  $f_d$  ثم يتابع بشكل لدن مثالي حتى الوصول إلى التشوه النسبي العظمي على الضغط  $\epsilon_{mu}$ .



الشكل (7-2) : مخطط الإجهاد – التشوه النسبي لجدران البلوك غير المسلحة (URM) على الضغط (Eurocode6 , 2005)

حيث  $f$  : مقاومة جدران البلوك غير المسلحة (URM) المتوسطة على الضغط

$f_k$  مقاومة جدران البلوك غير المسلحة (URM) المميزة على الضغط

$f_d$  مقاومة جدران البلوك (URM) التصميمية على الضغط المحددة بالعلاقة (3-2)

$\epsilon_{m1}$  التشوه النسبي لجدران البلوك على الضغط عند وصول قيمة الإجهاد إلى القيمة الأعظمية و يقدر بـ 0.0028

(Hendry et al. , 2004)

$\epsilon_{mu}$  التشوه النسبي الحدي لجدران البلوك على الضغط و يقدر بـ 0.0035 (Eurocode 6 , 2005)

تحدد  $f_d$  من العلاقة التالية :

$$f_d = f_k / \gamma_M \quad (3 - 2)$$

حيث  $\gamma_M$  معامل أمان يؤخذ من الجدول (3-2)

الجدول (3-2) : جدول لتحديد قيم المعامل  $\gamma_m$  (Eurocode 6 , 2005)

Material		$\gamma_M$				
		Class				
		1	2	3	4	5
A	Masonry made with:					
	Units of Category I, designed mortar <sup>a</sup>	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5
	Units of Category I, prescribed mortar <sup>b</sup>	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
C	Units of Category II, any mortar <sup>a, b, e</sup>	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0
D	Anchorage of reinforcing steel	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
E	Reinforcing steel and prestressing steel	1,15				
F	Ancillary components <sup>c, d</sup>	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
G	Lintels according to EN 845-2	1,5 to 2,5				

<sup>a</sup> Requirements for designed mortars are given in EN 998-2 and EN 1996-2.  
<sup>b</sup> Requirements for prescribed mortars are given in EN 998-2 and EN 1996-2.  
<sup>c</sup> Declared values are mean values.  
<sup>d</sup> Damp proof courses are assumed to be covered by masonry  $\gamma_M$ .  
<sup>e</sup> When the coefficient of variation for Category II units is not greater than 25 %.

$E_m$  معامل المرونة لمادة جدار البلوك مقدرة بـ  $N/mm^2$  و يعطى في الكود الأوروبي (Eurocode 6, 2005) بالعلاقة التالية:

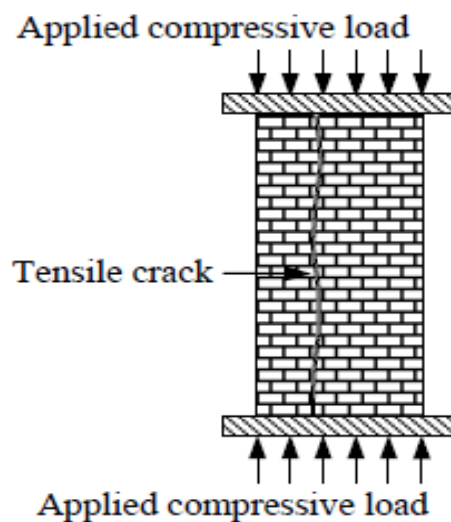
$$E_m = k_e \cdot f_k \quad (4 - 2)$$

$K_e$  معامل يؤخذ من الكود الخاص بكل بلد ويوصي الكود الأوروبي (Eurocode 6, 2005) بأخذ قيمته مساوية لـ 1000 أما معامل القص  $G_m$  لجدار البلوك فيؤخذ 40% من قيمة معامل المرونة له (Eurocode 6, 2005)

## ٤.٢ السلوك الزلزالي لجدران البلوك The Seismic Behavior of Masonry Wall

### ١.٤.٢ التحميل الشاقولي Vertical Loading

تتعرض جدران البلوك الحاملة لأحمال شاقولية ناتجة عن (الأوزان الذاتية أو أحمال الطوابق العليا....) تسبب هذه الأحمال انهيار الجدران على الضغط الذي ينشأ عادةً عن حدوث تشققات الشد بين المونة و قطع البلوك باتجاه تطبيق القوة أي بالاتجاه الشاقولي كما هو واضح في الشكل (8-2) (Mckenzie, 2001)



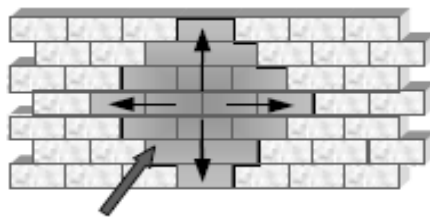
الشكل (8-2) : انهيار جدار البلوك على الضغط تحت تأثير الحملات الشاقولية (Mckenzie , 2001)

## ٢.٤.٢ التحميل الأفقي Lateral Loading

تتعرض جدران البلوك لأحمال أفقية ناتجة عن الزلازل أو الرياح قد تكون هذه الأحمال مطبقة في مستوى جدران البلوك أو خارج مستويها .

### ١.٢.٤.٢ التحميل خارج مستوي جدار البلوك Out of Plan Loading

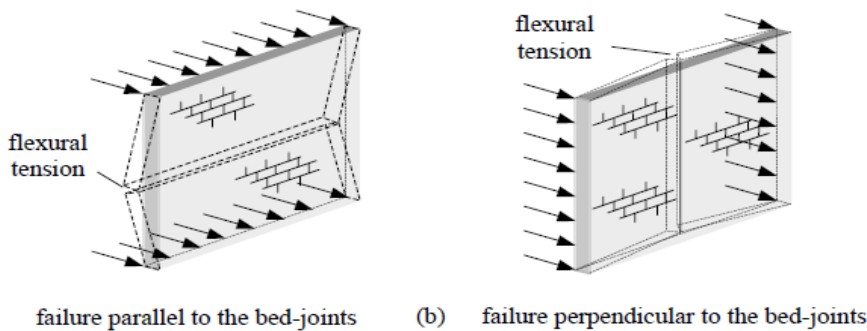
يؤدي التحميل خارج مستوي جدار البلوك الناتج عن الحمولات الزلزالية أو حمولات الرياح إلى انهيار الجدار على الانعطاف حيث يوضح الشكل (9-2) توزيع الأحمال الجانبية في جدار البلوك عند تطبيقها بشكل متعامد مع مستويه .



الشكل (9-2) : توزيع الأحمال الجانبية في جدار البلوك عند تطبيقها بشكل متعامد مع مستويه (Mckenzie, 2001)

إن طبيعة جدران البلوك غير المتجانسة تؤدي إلى نمطين رئيسيين من أنماط الانهيار على الانعطاف الناتجة عن التحميل خارج مستوي جدار البلوك وهي (Mckenzie , 2001):

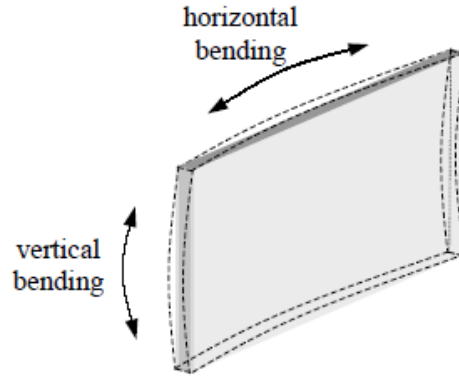
- a. انهيار متوازي مع فواصل المونة (Failure parallel to the bed joints of mortar) كما في الشكل (10-2a) حيث يكون الانعطاف الناتج هو انعطاف شاقولي (Vertical Bending).
- b. انهيار متعامد مع فواصل المونة (Failure perpendicular to the bed-joints of mortar) كما في الشكل (10-2b) في هذه الحالة يكون الانعطاف أفقي (Horizontal Bending).



(a) failure parallel to the bed-joints (b) failure perpendicular to the bed-joints

الشكل (10-2) : أنماط انهيار جدران البلوك عند التحميل خارج مستويها (Mckenzie , 2001)

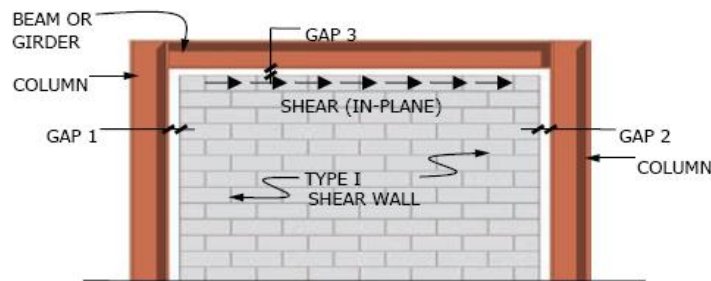
حيث تتحكم الأبعاد الهندسية للجدار و شروط الاستناد في تحديد طبيعة الانعطاف شاقولي كان أم أفقي حيث يوضح الشكل(11-2) الفرق بين نوعي الانعطاف الحاصل .



الشكل (11-2) : الفرق بين الانعطاف الأفقي و الشاقولي (Mckenzie , 2001)

#### ٢.٢.٤.٢ التحميل في مستوي جدار البلوك In-Plane Loading

وهو موضوع هذا البحث حيث يبين الشكل (12-2) جدار بلوك مالى لإطار R.C معرض لأحمال أفقية في مستويه و شكل توزع قوى القص الناتجة عن التحميل الأفقي .



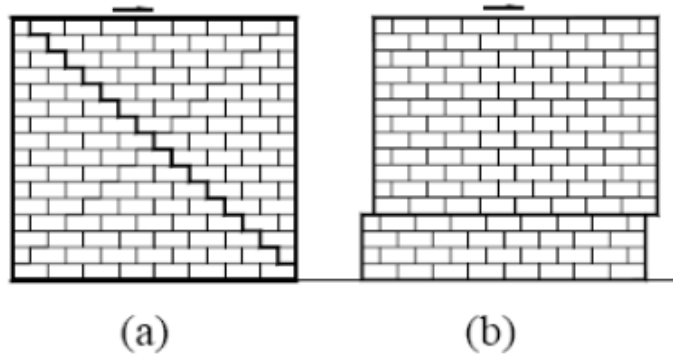
الشكل (12-2) : جدار بلوك معرض لأحمال جانبية في مستويه (Technology brief Team ,2010)

تصنف أنماط انهيار جدران البلوك غير المسلحة (URM) تحت تأثير الأحمال الزلزالية في مستوياتها إلى :

### ١. انهيار القص ( Shear Failure ) وله شكلان :

**a. انهيار القص بشكل متدرج (Stair Steps Cracks):** يظهر هذا الشكل من الانهيار عندما تتجاوز إجهادات الشد الرئيسية الناتجة عن تراكب عمل الأحمال الشاقولية و الأحمال الأفقية مقاومة جدار البلوك غير المسلح (URM) على الشد، حيث تظهر على جدار البلوك شقوق قطرية على شكل درج، فإذا كانت مقاومة المونة (Mortar) أكبر من مقاومة وحدات البلوك (Units) تمر الشقوق عبر وحدات البلوك، وإذا كان العكس تمر الشقوق عبر فواصل المونة (الشكل 13-2a) (Elgwady et al. , 2005) .

**b. انهيار القص الانزلاقي (Sliding Shear Failure):** يظهر هذا النمط من الانهيار عندما تكون الأحمال الشاقولية صغيرة بالمقارنة مع الأحمال الجانبية أو عندما يكون معامل الاحتكاك صغير بسبب سوء نوع المونة المستخدمة حيث يظهر على جدار البلوك شقوق أفقية في فواصل المونة لتشكل هذه الشقوق مستوي انزلاق على كامل طول جدار البلوك كما هو مبين في الشكل (13-2b) (Elgwady et al. , 2005) .



الشكل (13-2) : ميكانيكية انهيار جدار البلوك (URM) على القص عند التحميل الجانبي في مستوياته (Elgwady et al. , 2005)

a. انهيار القص بشكل درجي b. انهيار القص الانزلاقي

## ٢. انهيار على الانقلاب (Overturning Failure):

يظهر هذا النمط من الانهيار عندما تكون الأحمال الشاقولية صغيرة جداً مقارنةً مع الأحمال الجانبية و يكون معامل الاحتكاك كبير بفضل جودة المونة المستخدمة و بالتالي تبقى فواصل المونة متماسكة مع وحدات البلوك و ينقلب الجدار ككتلة واحدة كما يوضح الشكل (14-2a) (Roca and Araiza , 2010) .

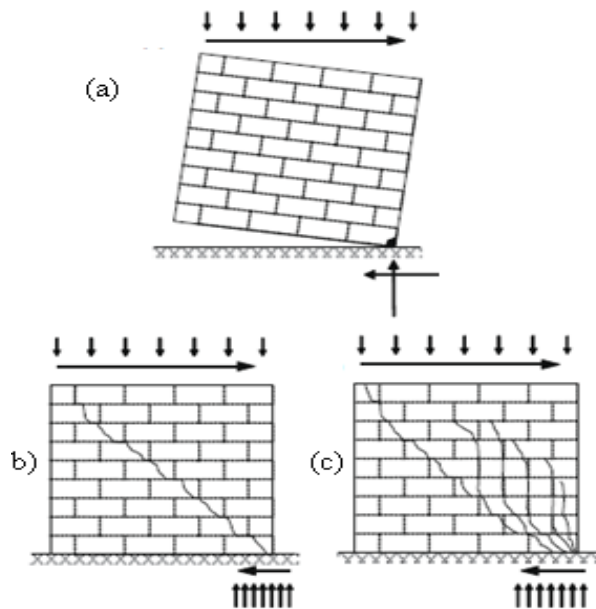
## ٣. انهيار على الشد القطري (Diagonal Tension Failure):

في هذا النمط من الانهيار تسبب اجهادات الشد في القطر المشدود في جدار البلوك غير المسلح (URM) ظهور شقوق قطرية على طول الحقل المضغوط المتعامد معه (الشكل 14-2b) .

## ٤. انهيار على الشد القطري مع تهشم الزوايا على الضغط :

### (Diagonal Tension Failure with crushing in compression)

هو نمط انهيار مشابه لنمط الانهيار السابق لكن مع حصول تهشم لزوايا الجدار نتيجة تركيز اجهادات الضغط في طرفي الحقل المضغوط بالإضافة إلى وجود تشققات قطرية ناتجة عن الشد القطري (الشكل 14-2c) .



الشكل (14-2): ميكانيكيات الانهيار الأساسية لجدار (URM) عند تطبيق أحمال جانبية في مستويه (Roca and Araiza , 2010)

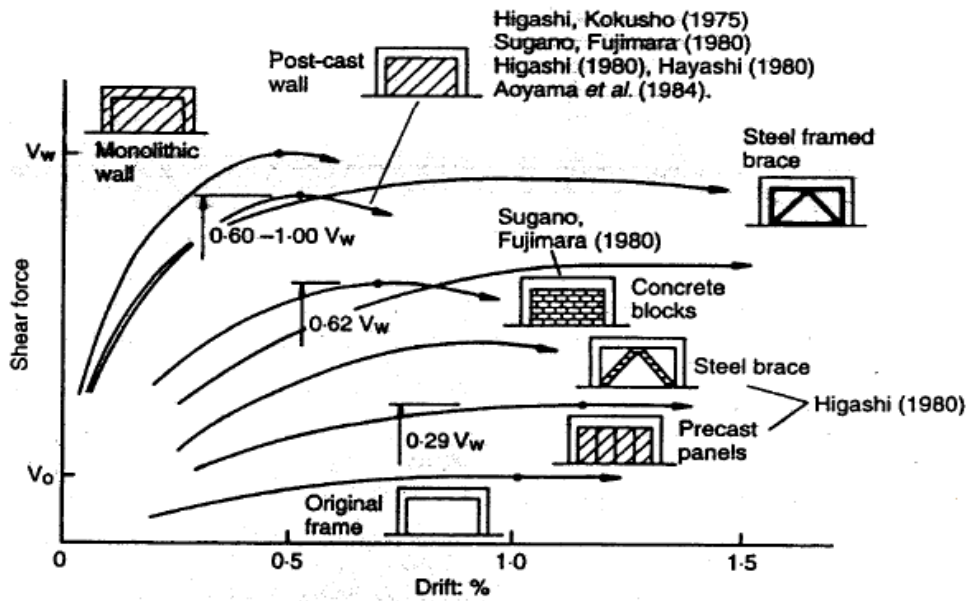
a. انهيار على الانقلاب b. انهيار على الشد القطري c. انهيار على الشد القطري مع تهشم الزوايا على الضغط

## ٢.٥ السلوك الزلزالي لإطارات البيتون المسلح المملوءة بجدران البلوك البيتونية غير المسلحة

### The Seismic Behavior of RC Frames with URM infills

تزيد جدران البلوك غير المسلحة (URM) المألثة لإطارات البيتون المسلح من مقاومة و قساوة هذه الإطارات عند تعرضها للتحميل الزلزالي في مستوياتها، حيث تعتمد مساهمتها في زيادة قساوة الإطارات البيتونية على سماكة جدران البلوك و على عدد الإطارات البيتونية المملوءة بجدران البلوك في المنشأ .

يبين الشكل (15-2) علاقة الانزياح الطابقي النسبي- قوة القص لطرق تقوية متعددة للإطارات مقارنة مع الإطار بدون تقوية ((Original Frame)، حيث يظهر من الشكل أن الإطار البيتوني المملوء بجدار بلوك (Concrete Blocks) أدى إلى رفع المقاومة الجانبية للإطار البيتوني بنسبة 400% وهي أعلى من المقاومة الجانبية للإطار البيتوني المقوى بعناصر فولاذية (Steel Brace) (Rai , 2009) .

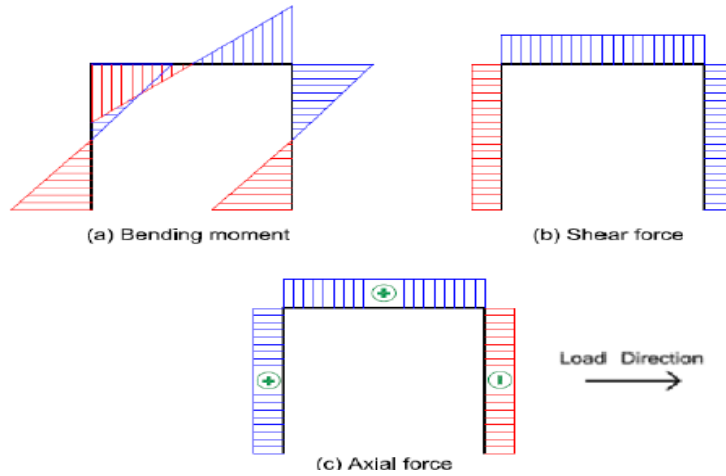


الشكل (15-2) : مقارنة بين فعالية طرق التدعيم المختلفة لإطارات البيتون المسلح (Rai,2009)

تساهم جدران البلوك في رفع مقاومة و قساوة الجملة الإنشائية على الأحمال الزلزالية في مستوياتها من جهة ، و من جهة أخرى يساهم العمل المشترك للإطار البيتوني مع جدار البلوك في تغيير مقدار ، و شكل التشوه في عناصر الإطار و يمكن أن يخفف وجود الجدران من تشوه و انعطاف عناصر الإطار حيث تكون المقاطع الحرجة في الإطار البيتوني المملوء بجدار البلوك (Infilled Frame) مختلفة عنها في الإطار البيتوني غير المملوء (Bare Frame) حيث يوضح الشكل(16-2)

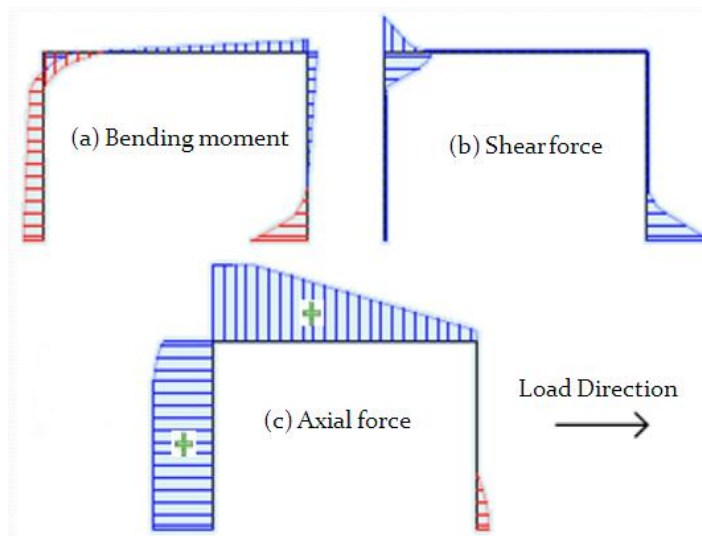


مخططات القوى الداخلية (قوى القص-عزوم الانعطاف-القوى المحورية) لإطار بيتوني غير مملوء بجدار بلوك ( Bare Frame) عند تعرضه لحمولة جانبية في مستويته حيث نلاحظ أن المقاطع الحرجة تتشكل في عقد الإطار و عند الوثاقات.



الشكل (16-2) : مخططات القوى الداخلية لإطار بيتوني غير مملوء بجدار بلوك تحت تأثير حمل جانبي في مستويته (Crisafull,2010)

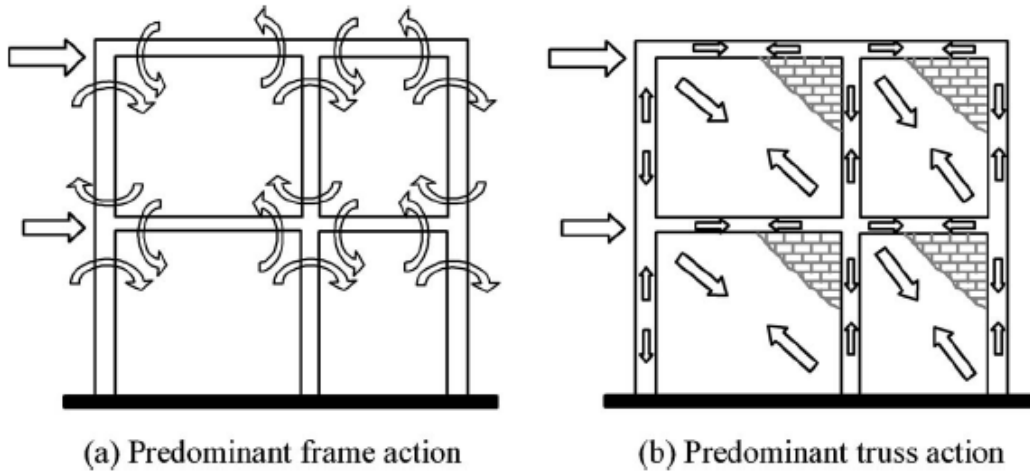
بينما يبين الشكل (17-2) مخططات القوى الداخلية لإطار بيتوني مملوء بجدار من البلوك (Infilled Frame) .



الشكل (17-2) : مخططات القوى الداخلية لإطار بيتوني مملوء بجدار بلوك تحت تأثير حمل جانبي في مستويته (Crisafull,2010)

حيث نلاحظ من الشكل (17-2) لحالة إطار بيتوني مملوء بجدار بلوك انخفاض عزم الانعطاف في العناصر الإطارية و زيادة قوى الشد المحورية وذلك بسبب حقل الضغط القطري المتشكل في جدار البلوك .

أيضاً يوضح الشكل (18-2) مقارنة بين حالة مبنى من طابقين جملته الإنشائية مؤلفة من إطارات بيتونية غير مملوءة بجدران بلوك (Bare Frame) مع مبنى مشابه مؤلف من إطارات بيتونية مملوءة بجدران من البلوك (Infilled Frame) حيث نلاحظ في المبنى الأول تشكل عزوم انعطاف في الأعمدة و الجوائز بالقرب من العقد عند تعرضه لحمولة زلزالية في مستوييه بينما تنعدم هذه العزوم عند ملئ الإطارات بجدران البلوك و تنشأ قوى محورية في عناصر الإطارات مع تشكل حقول ضغط في الجدران المائلة وهذا ما يوضح ميكانيكية عمل جملة إطار بيتوني مع جدار بلوك حيث تخفف جدران البلوك من عزوم الانعطاف و تزيد من القوى المحورية في عناصر الإطارات حيث تتحول ميكانيكية نقل الحمولة الجانبية في المنشأة من السلوك الإطاري إلى السلوك الشبكي (Kaushik et al. , 2006).



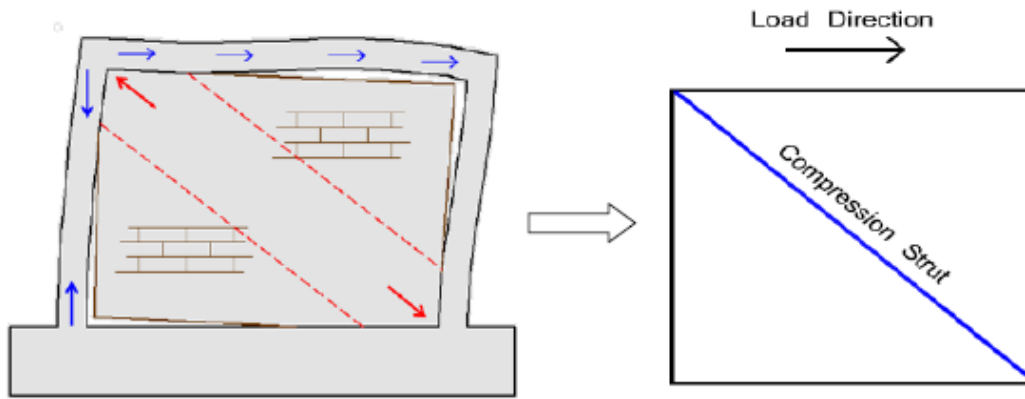
الشكل (18-2): تغير ميكانيكية نقل الحمولة الجانبية بسبب وجود جدران البلوك (Murty and Jain , 2000)

كنتيجة مما سبق نجد أن إهمال تأثير جدران البلوك غير المسلحة المائلة لإطارات البيتون المسلح في التصميم الزلزالي لا يعكس تصرف الجملة الإنشائية الحقيقي كما أنه يؤدي إلى عدم اقتصادية في التصميم لأنه لا يأخذ بعين الاعتبار تأثيرها في زيادة المقاومة للإطارات و بالرغم من قيام العديد من الدراسات و الأبحاث التجريبية و التحليلية على مر خمسة عقود إلا أنه لم يتم الإجماع على منهج موحد لتصميم جملة ( إطار بيتوني + جدار بلوك) و ذلك للسببين التاليين ( El-Dakhkhni et al , 2004):

- ✓ عدم توفر المعلومات الكافية عن سلوك المواد الهشة مثل مادة البلوك غير المسلح (URM).
- ✓ يوجد الكثير من أنماط الانهيار لجدران البلوك (URM) على الأحمال الجانبية و التي يتم توصيفها و تحديد النمط المسيطر بناءً على فرضيات.

بشكل عام حددت العديد من الدراسات التجريبية و التحليلية سلوك (جدار بلوك + إطار بيتوني) تحت تأثير الأحمال الجانبية في مستويه كما يلي :

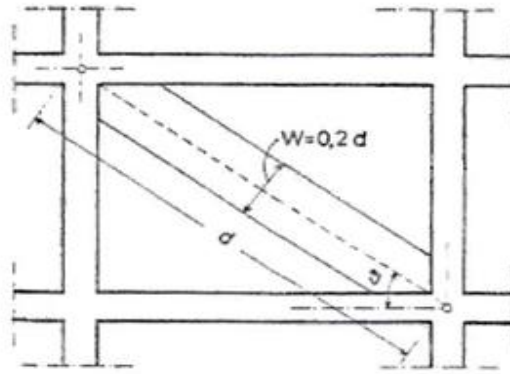
عندما يتعرض الإطار البيتوني المسلح و المملوء مجازه بجدار بلوك غير مسلح (URM) إلى حمولة جانبية في مستويه ينشأ في جدار البلوك حقل ضغط قطري و حقل شد قطري متعامد معه، عندها تتفكك الروابط بين الإطار البيتوني و جدار البلوك في أماكن الشد بسبب ضعف هذه الروابط و بعد تفككها تسلك جملة (إطار بيتوني + جدار بلوك) سلوك جائر شبكي (Truss) حيث يعبر جدار البلوك عن عنصر تربيط مضغوط ( Compression Strut ) و يهمل العنصر المشدود كما هو مبين في الشكل(19-2) (Crisafull,2010;Binici and Ozcebe , 2006) .



الشكل (19-2) : السلوك الشبكي لجدار البلوك المالى لإطار بيتوني مسلح تحت تأثير حمولة جانبية (Crisafull,2010)

وقد أثبتت الدراسات المختلفة أن هذا السلوك الشبكي يؤدي بدوره إلى زيادة المقاومة و القساوة الكلية للإطار و من ثم تخفيف دوره الطبيعي الذي يؤثر على توزيع و شدة الحمولة الذاتية المتولدة أثناء الزلزال ( Asteris and Cotsovovs , 2012) .

قامت العديد من الدراسات بتقدير العرض الفعال لحقل الضغط القطري المتشكل في جدار البلوك (w) عند التحميل الجانبي في مستويه و قدرته بعض الدراسات بـ (0.2d) حيث d طول قطر جدار البلوك كما هو مبين في الشكل (20-2) ( Penelis ) (and Kappos,1997) .



الشكل (20-2): عرض حقل الضغط القطري المتشكل في جدار البلوك تحت تأثير حمولة جانبية في مستويه (Penelis and Kappos ,1997)

ويوضح الجدول (4-2) بعض العلاقات التي اقترحتها دراسات مختلفة لتحديد العرض الفعال لحقل الضغط المتشكل في جدار البلوك ضمن فتحة الإطار البيتوني عند تعرضه لحمولة زلزالية في مستويه (Pradhan , 2012) .

Researchers	Strut width (w)	Remark
Holmes 1961	0.333 $d_m$	$d_m$ is the length of diagonal
Mainstone 1971	$0.175 D (\lambda_1 H)^{-0.4}$	$\lambda_1 H = H[E_m t \sin 2\theta / 4 E_c I_c h_m]^{1/4}$
Liauw and Kwan 1984	$0.95 h_m \cos \theta / \sqrt{(\lambda h_m)}$	$\lambda = E_m t \sin 2\theta / 4 E_c I_c h_m]^{1/4}$
Paulay and Priestley 1992	0.25 $d_m$	$d_m$ is the length of diagonal
Hendry	$0.5[\alpha_h + \alpha_L]^{1/2}$	$\alpha_h = \pi/2[E_c I_c h_m / 2 E_m t \sin 2\theta]^{1/4}$ and $\alpha_L = \pi[E_c I_b L / 2 E_m t \sin 2\theta]^{1/4}$

الجدول (4-2) : علاقات متعددة لتحديد العرض الفعال لحقل الضغط المتشكل في جدار البلوك (Pradhan ,2012)

و تحدد المساحة الفعالة لحقل الضغط (Strut Area) بالعلاقة التالية : (Mulgund and Kulkarni ,2011)

$$A_e = w . t \quad (5 - 2)$$

حيث  $A_e$  هي المساحة الفعالة لحقل الضغط (Strut Area) و  $w$  هو العرض الفعال لحقل الضغط (Effective Width)

$d$  يعبر عن طول قطر جدار البلوك ،  $H$  هو ارتفاع الإطار ،  $h_m$  ارتفاع جدار البلوك و  $t$  سماكة جدار البلوك

$\theta$  هي زاوية ميل قطر جدار البلوك عن الأفق كما هو واضح في الشكل (20-2)

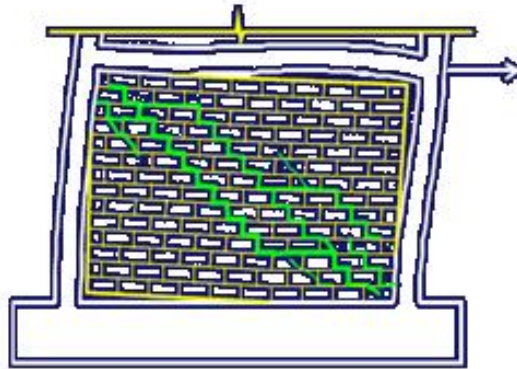
$E_c$  معامل المرونة لبيتون العمود بينما  $E_m$  معامل المرونة لمادة البلوك ،  $I_c$  هو عزم عطالة العمود و  $I_b$  عزم عطالة الجائز

$\alpha_1$  ,  $\alpha_h$  تمثل أطوال الاتصال بين الجدار و العمود و الجائز على الترتيب عند بدء انهيار الجدار .

تم تصنيف أنماط انهيار جملة إطار بيتوني مدعم بجدار بلوك عند التحميل في مستوي الجدار كما يلي (Crisafull,2010):

### 1. انهيار على القص (Shear Friction Failure) :

يكون انهيار القص في جملة إطار بيتوني مملوء بجدار بلوك بشكل متدرج (Stair Steps Cracks) حيث يظهر هذا الشكل من الانهيار عندما تتجاوز إجهادات الشد الرئيسية الناتجة عن تراكب عمل الأحمال الشاقولية و الأحمال الأفقية مقاومة جدار البلوك (URM) على الشد، حيث تظهر على جدار البلوك شقوق قطرية على شكل درج مارة إما عبر فواصل المونة أو عبر وحدات البلوك تبعاً لمقاومة كل منهما (Elgwady et al.,2003) كما هو مبين في الشكل (21-2) كما يوضح الشكل (22-2) انهيار جدار بلوك مائي لإطار بيتوني على القص ضمن مبنى نتيجة زلزال ليوليو 1985.



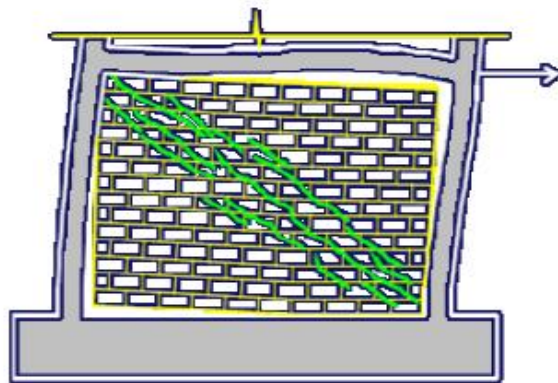
الشكل (21-2): انهيار جدار البلوك على القص (Crisafull,2010)



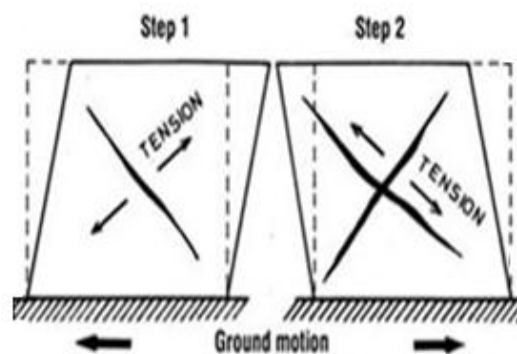
الشكل (22-2): انهيار جدار البلوك على القص تحت تأثير حمولات زلزالية

## ٢. انهيار على الشد القطري (Diagonal Tension Failure) :

تسبب إجهادات الشد في القطر المشدود في جدار البلوك (URM) نتيجة التحميل الجانبي في مستويه إلى ظهور شقوق قطرية على طول الحقل المضغوط المتعامد معه (Crisafull,2010 ; Mebarki et al.,2009) كما هو واضح في الشكلين (23-2) و (24-2).



الشكل (23-2): انهيار جدار البلوك على الشد القطري (Crisafull,2010)

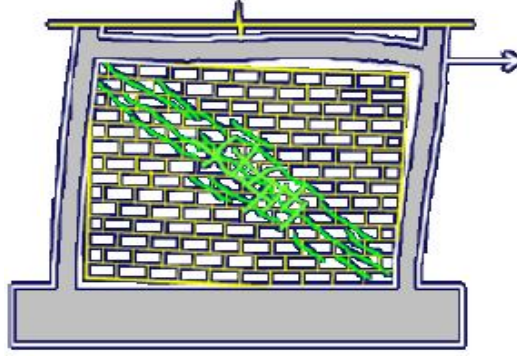


الشكل (24-2): آلية تشكل شقوق الشد القطرية في جدار البلوك

## ٣. انهيار على الضغط (Compression Failure) :

### a. انهيار على الضغط القطري (Compression Strut Failure):

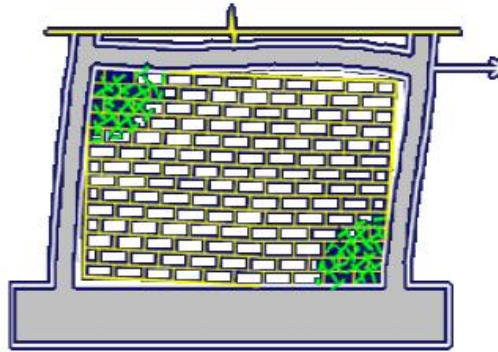
يظهر هذا النمط من الانهيار عندما تتجاوز إجهادات الضغط في القطر المضغوط لجدار البلوك عند التحميل الجانبي في مستويه مقاومة جدار البلوك على الضغط، عندها تظهر شقوق متعامدة مع الشقوق الناتجة عن نمط انهيار الشد القطري (الشكل 25-2) (Crisafull , 2010) .



الشكل (25-2): انهيار جدار البلوك على الضغط القطري (Crisafull,2010)

**b. تكسر الزوايا المضغوطة (Crushing of the compressed corners):**

تتعرض زاويتي حقل الضغط القطري المتشكل في جدار البلوك عند التحميل الجانبي في مستويه إلى التهشم نتيجة تركيز إجهادات الضغط العالية في هاتين الزاويتين كما يتضح في الشكل(26-2) (Crisafull,2010) و يوضح الشكل(27-2) تكسر زوايا جدران البلوك المضغوطة نتيجة زلزال مانجيل راودبار (Memari et al .,199)



الشكل (26-2): تكسر الزوايا على طرفي حقل الضغط في جدار البلوك (Crisafull,2010)



الشكل (27-2): تكسر الزوايا على طرفي حقل الضغط في جدار البلوك نتيجة زلزال مانجيل راودبار ( Memari et al.,1999 )



## ٦.٢ دراسات مرجعية Literature Review

قامت العديد من الدراسات التجريبية و التحليلية بدراسة تأثير جدران البلوك (URM) المألثة لإطارات البيتون المسلح على زيادة مقاومة و قساوة هذه الإطارات عند تعرضها لحمولات جانبية في مستويها سنستعرض منها الدراسات التالية :

### a. (Mulgund and Kulkarni , 2011)

حيث تم في هذا البحث التحليلي دراسة خمسة مبان إيطارية من البيتون المسلح مع جدران بلوك (URM) مألثة لمجازات الإطارات بتوزيعات مختلفة حيث كان الهدف الأساس لهذا البحث هو تحديد سلوك المباني متعددة الطوابق ذات الإطارات متعددة الفتحات المملوءة بجدران البلوك و خاصةً في حالة وجود طابق ضعيف (Soft Story) و ذلك لتقييم مستويات الأداء تحت تأثير الحمولات الزلزالية و تحديد تأثير جدران البلوك المألثة لإطارات البيتون المسلح على السلوك الزلزالي .

أخذت خمسة مباني من ثمانية طوابق متماثلة ، الإطارات فيها ذات 4 فتحات بالاتجاه X و 4 فتحات بالاتجاه Y بأبعاد مسقط 20mx16m و بارتفاع طابقي 3m .

كان الوزن الحجمي للبيتون المستخدم (  $\gamma_c = 25 \text{KN/m}^3$  ) و الوزن الحجمي للبلوك (  $\gamma_m = 20 \text{KN/m}^3$  ) و معامل المرونة لحديد التسليح (  $E_s = 2 \times 10^8 \text{ KN/m}^2$  ) و معامل المرونة للبيتون (  $E_c = 22.36 \times 10^6 \text{ KN/m}^2$  ) و المقاومة المميزة للبيتون على الضغط (  $f_c = 20 \text{ N/mm}^2$  ) و إجهاد الخضوع لحديد التسليح (  $f_y = 415 \text{ N/mm}^2$  ) و الحمولة الحية المطبقة (  $3.5 \text{KN/m}^2$  ) و يؤخذ معامل المرونة لجدار البلوك  $E_m$  بالعلاقة التالية (FEMA(306,1998)Recommendations i.e):

$$E_m = 550. f_m = 2035 \text{ N/mm}^2 \quad (6 - 2)$$

حيث  $f_m$  : المقاومة المميزة للبلوك

نماذج الأبنية الخمسة كانت كالتالي: (الشكل 2-28)

النموذج الأول ( Model I ) : هو بناء إيطاري بدون جدران بلوك (Bare Frame) .

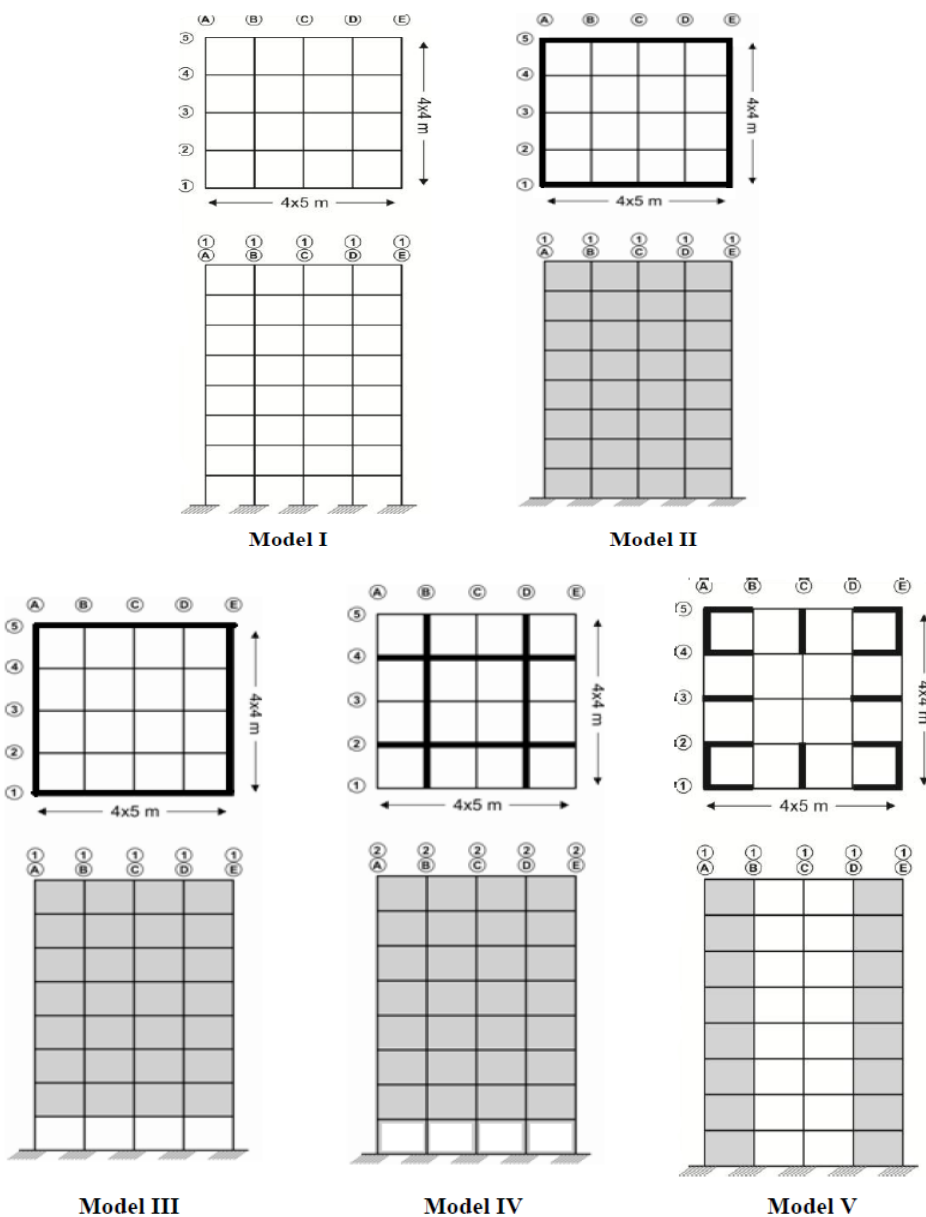
النموذج الثاني ( Model II ) : هو بناء إيطاري مع جدران بلوك موزعة على محيط المبنى .



النموذج الثالث (Model III) : هو بناء إطارى مع جدران بلوك موزعة على محيط المبنى مع وجود طابق ضعيف خالي من الجدران في الطابق الأرضي (Soft Story) .

النموذج الرابع ( Model IV ) : هو بناء إطارى مع جدران بلوك موزعة ضمن النواة الداخلية للمبنى مع وجود طابق ضعيف خالي من الجدران في الطابق الأرضي (Soft Story) .

النموذج الخامس ( Model V ) : هو بناء إطارى مع جدران بلوك موزعة في المبنى مع تفريغ النواة من الجدران مع وجود طابق أرضي ضعيف (Soft Story).



الشكل (28-2): نماذج الأبنية المدروسة (Mulgund and Kulkarni , 2011)

تم استخدام تحليل سنايكي لاخطي بتطبيق حمولات زلزالية متزايدة تدريجياً (Nonlinear static pushover analysis) على النماذج لتحديد الاستجابة الزلزالية باستخدام برنامج (ETABS 9.5).

حيث استخدمت قوتين جانبيتين ثابتتين لتحديد التوزيع المحتمل لقوى العطالة المتشكلة في المبنى أثناء الزلزال وهي :

- القوة الجانبية المرنة الناتجة عن النمط الأول للاهتزاز (Elastic First mode Lateral Load Pattern)
- القوة الجانبية النظامية (Codal Lateral Load Pattern) وهي القوة الجانبية المحسوبة وفقاً للكود .

بالإضافة إلى هذه القوى الجانبية طبقت على المبنى أحمال مبيتة و حية، أما طريقة مراقبة الانتقال للتحليل استخدمت بأخذ الانتقال الهدف مساوياً 4% من ارتفاع المبنى ككل وفق ATC 40, 1996 .

تم استخدام مستويات الأداء التالية :

✓ الاشغال الفوري (Immediate Occupancy IO)

✓ الحفاظ على الحياة (Life Safety LS)

✓ منع الانهيار (Collapse Prevention CP)

يوضح الجدول (5-2) الدور الأساسي للنماذج وفق (IS 1893,2002) ووفق نتائج تحليل برنامج (ETABS 9.5)

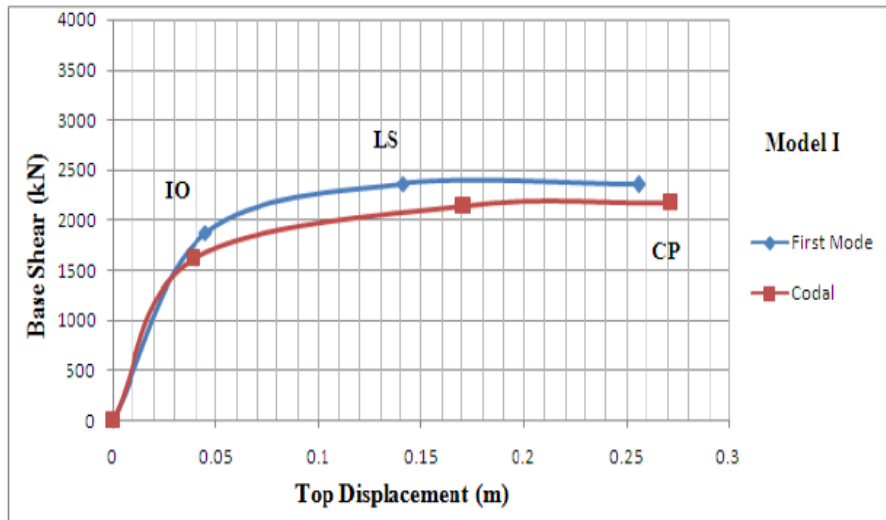
Systems	Model I	Model II	Model III	Model IV	Model V
As per IS 1893:2002	0.8130	0.4830	0.4830	0.4830	0.4830
As per Etabs analysis	1.0941	0.8673	0.8958	0.8954	0.9006

الجدول (5-2) : الدور الطبيعي الأساسي (Fundamental Natural Time Period) للنماذج المدروسة

(Mulgund and Kulkarni , 2011)

نلاحظ من الجدول السابق أن قيم الدور الطبيعي التحليلي التي تم الحصول عليها من برنامج Etabs لم تتطابق مع القيم الناتجة للدور من تطبيق علاقات الكود (IS 1893,2002) ولاسيما في المباني التي حوت على جدران بلوك، أيضاً بدا واضحاً أن جدران البلوك المائلة لإطارات البيتون المسلح قد خفضت من الدور الطبيعي للجملة الانشائية بنسبة 23% إذا ما تمت المقارنة مع النموذج بدون جدران بلوك (Model I).

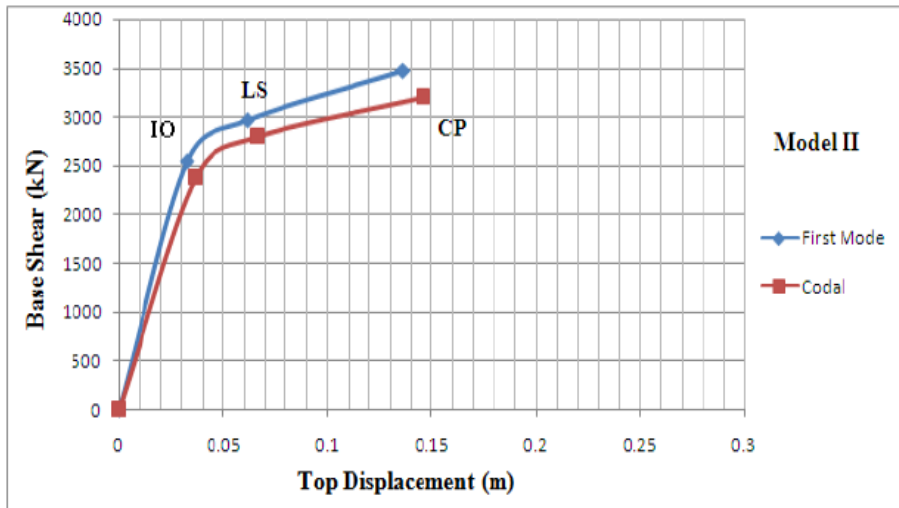
تمت المقارنة بين منحنيات قوة القص- الانتقال في أعلى المبنى لكافة النماذج المدروسة و مقارنتها مع المبنى الإطارى بدون جدران بلوك ( Model I ) حيث توضح الأشكال (من ٢-٢٩ حتى ٢-٣٣) منحنيات الانتقال في أعلى المبنى Top Displacement (المحور الأفقي) – قوة القص القاعدي Base Shear (المحور الشاقولي)، حيث يوضح المنحني السفلي منحنى الانتقال- قوة القص الناتج عن القوة الجانبية النظامية ( Codal Lateral Load Pattern ) عند مستويات الأداء المختلفة بينما يمثل المنحني العلوي منحنى الانتقال- قوة القص الناتج عن القوة الجانبية المرنة الناتجة عن النمط الأول للاهتزاز Lateral Load Pattern (Elastic First mode) عند مستويات الأداء لكافة النماذج المدروسة، نلاحظ بدايةً أن القوة الجانبية المرنة الناتجة عن النمط الأول للاهتزاز هي القوة المسيطرة و بالتالي سنكتفي بها في المقارنة، حيث نلاحظ من المخططات أن إضافة جدران البلوك المألفة للإطارات أدى إلى تخفيض الانتقالات الجانبية للمبنى بشكل كبير، حيث انخفضت الانتقالات في جميع النماذج التي تحوي جدران بلوك بمقدار (48-50%) عن قيمة الانتقالات في حالة المبنى الإطارى بدون جدران بلوك (Model I)، أيضاً نلاحظ أن إضافة جدران البلوك في كافة النماذج زادت من قوة القص القاعدي التي يتحملها المنشأ بمقدار (40- 48%) عند مختلف مستويات الأداء .



(a) Model I

الشكل (29-2): منحنيات الانتقال في أعلى البناء – قوة القص القاعدي للنموذج (Model I) عند مستويات الأداء

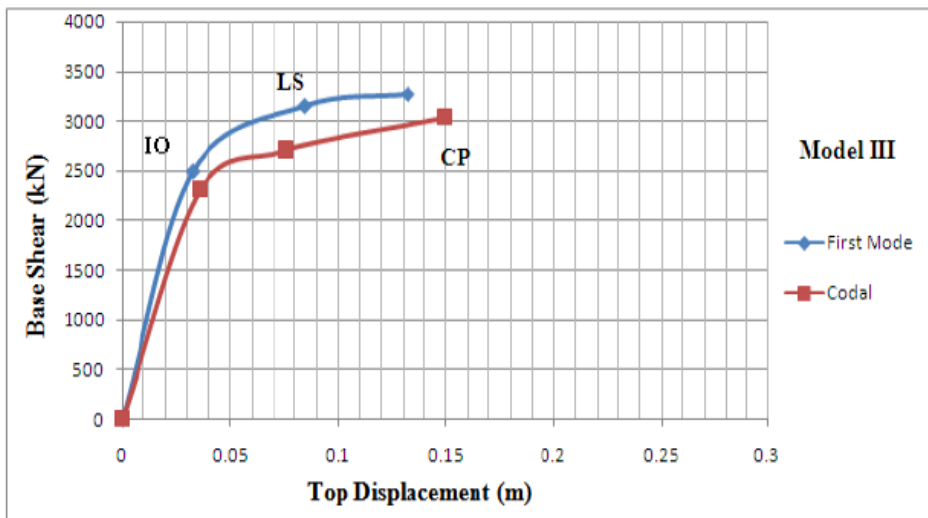
(Mulgund and Kulkarni , 2011)



**(b) Model II**

الشكل (30-2): منحنيات الانتقال في أعلى البناء – قوة القص القاعدي للنموذج (Model II) عند مستويات الأداء

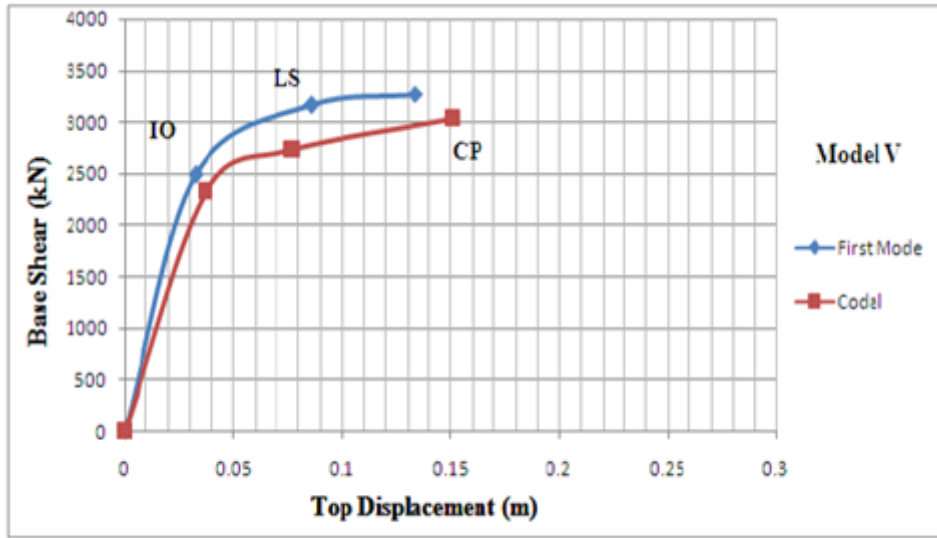
(Mulgund and Kulkarni , 2011)



**(c) Model III**

الشكل (31-2): منحنيات الانتقال في أعلى البناء – قوة القص القاعدي للنموذج (Model III) عند مستويات الأداء

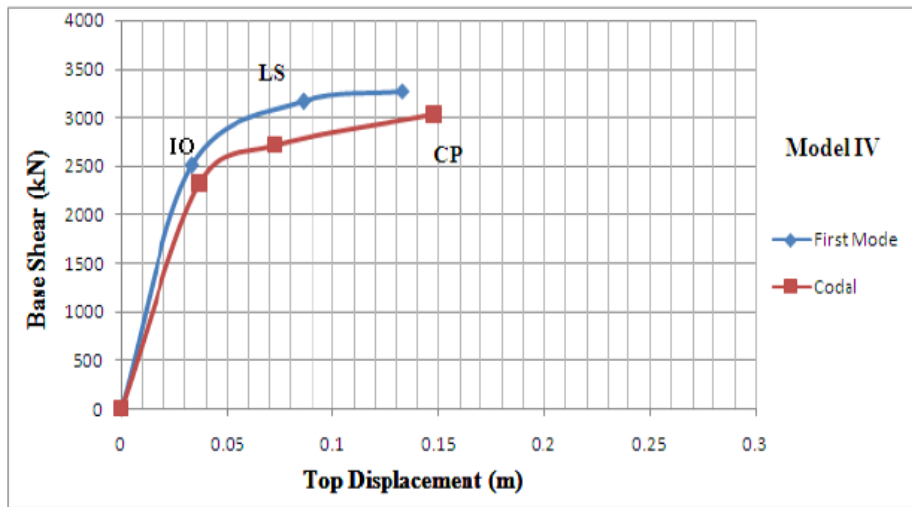
(Mulgund and Kulkarni , 2011)



(e) Model V

الشكل (32-2): منحنيات الانتقال في أعلى البناء – قوة القص القاعدي للنموذج (Model V) عند مستويات الأداء

(Mulgund and Kulkarni , 2011)



(d) Model IV

الشكل (33-2): منحنيات الانتقال في أعلى البناء – قوة القص القاعدي للنموذج (Model IV) عند مستويات الأداء

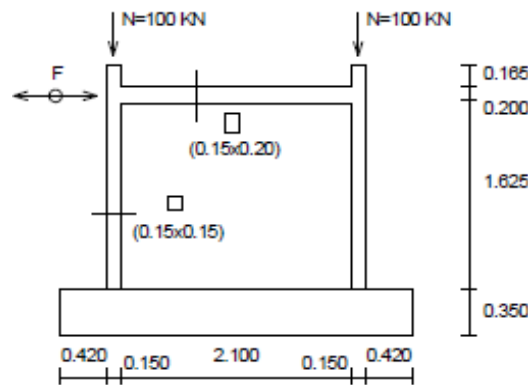
(Mulgund and Kulkarni , 2011)

**(Braz-César et al , 2008) .b**

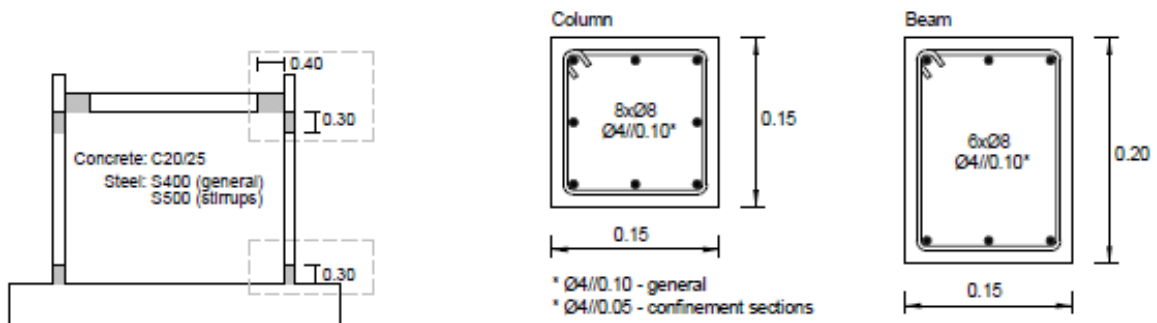
قام (Braz-César et al , 2008) في هذه الدراسة بمقارنة الاستجابة العددية لإطار بيتوني مع و بدون جدار بلوك تحت تأثير التحميل الدوري في مستوى جدار البلوك باستخدام تحليل لاخطي (Nonlinear Analysis) بطريقة العناصر المحدودة (FEM) كما تم تمثيل النموذج بشكل تجريبي في مختبر خاص لمقارنة النتائج الرقمية الناتجة من التحليل اللاخطي مع النتائج التجريبية .

النموذج المستخدم هو عبارة عن إطار بيتوني وحيد الفتحة من طابق واحد كما هو واضح في الشكل (2-34) ، حيث ارتفاع الإطار البيتوني هو (H=182.5 cm) و مجازه بين محاور الأعمدة (L=225cm) ، أبعاد المقطع العرضي للعمود (15X15 cm) ، أما أبعاد المقطع العرضي للجائز فهي (15X20 cm) ، تسليح عناصر الإطار البيتوني للنموذج المدروس موضح في الشكل (2-35) .

البيتون المستخدم من نوع (C20/25) ، حديد التسليح الطولي من نوع (S400) و حديد التسليح العرضي من نوع (S500) .

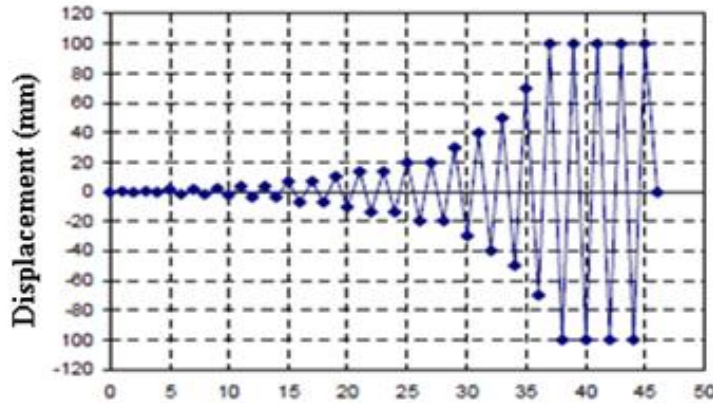


الشكل (2-34): أبعاد نموذج الإطار المدروس و الحمولات المطبقة عليه (Braz-César et al , 2008)



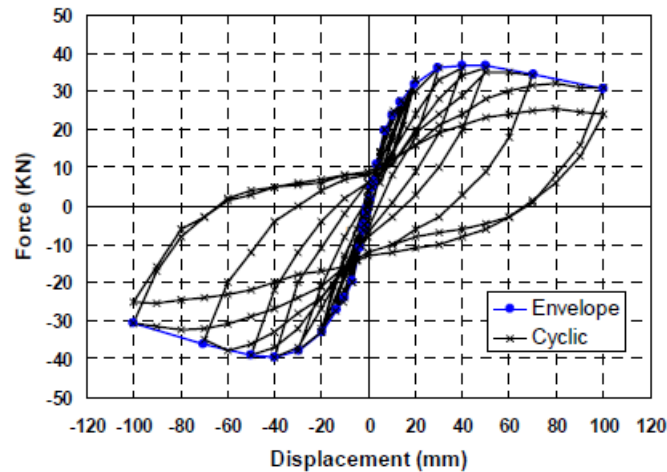
الشكل (2-35): تسليح عناصر نموذج الإطار المدروس (Braz-César et al , 2008)

تم ملئ الإطار بجدار من البلوك البيتوني غير المسلح (URCM) ارتفاعه ( $h_m=162.5\text{cm}$ ) و طوله ( $l=210\text{ cm}$ ) ، وحدات البلوك المستخدمة بيتونية مفرغة بأبعاد ( $30\times 20\times 15\text{ cm}$ ) (طول ، ارتفاع و سماكة) على الترتيب كما طبقت على كل من الأعمدة حمولة شاقولية مركزة قيمتها  $100\text{KN}$  ، بينما طبق على الإطار في منتصف ارتفاع الجائز حمولة جانبية دورية متزايدة (Cyclic Load) مع انتقالات مرافقة عن طريق تطبيق السجل المبين في الشكل (36-2) .



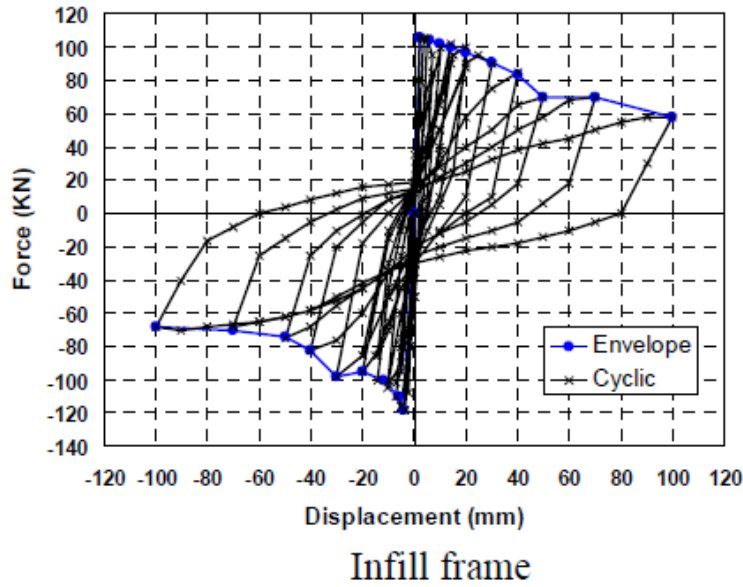
الشكل (36-2): منحنى التحميل الدوري (Braz-César et al , 2008)

يوضح الشكل (37-2) منحنى الانتقال – قوة القص للإطار البيتوني بدون جدار بلوك (Bare Frame) بينما يوضح الشكل (38-3) منحنى الانتقال – قوة القص للإطار البيتوني مع جدار بلوك (Infilled Frame) .



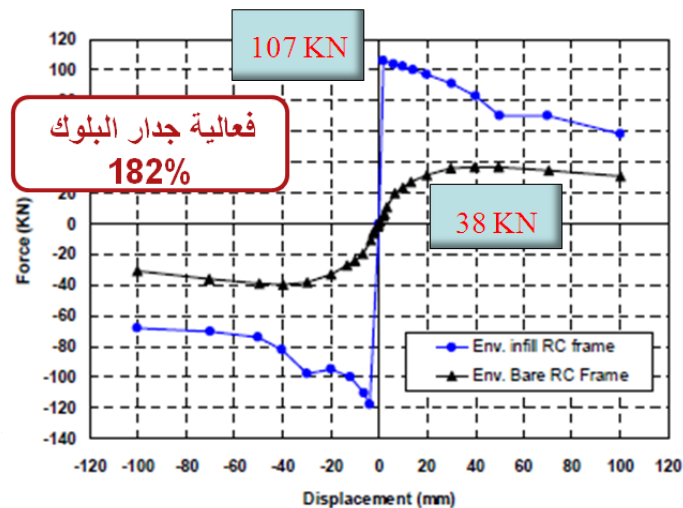
Bare frame

الشكل (37-2): منحنى الانتقال – قوة القص للإطار البيتوني بدون جدار بلوك (Braz-César et al , 2008)



الشكل (38-2): منحنى الانتقال – قوة القص للإطار البيتوني مع جدار بلوك (Braz-César et al , 2008)

بالمقارنة بين الحالتين السابقتين أخذت مغلفات منحنيات الانتقال – قوة القص ، حيث يمثل الشكل (39-2) مغلف الحلقات الهستيرية لجملة إطار بيتوني مسلح بدون جدار بلوك مع مغلف الحلقات الهستيرية لجملة إطار بيتوني مسلح مع جدار بلوك، حيث نلاحظ أن قوة القص العظمى التي تتحملها جملة الإطار بدون جدار بلوك هي 38KN بينما أعطت جملة إطار مع جدار قوة قص أكبر حيث كانت قيمتها 107KN ، بالتالي نلاحظ أن فعالية جدار البلوك كانت حوالي 182% من حيث رفع مقاومة الجملة و لكن يمكن ملاحظة أن مطاوعة الجملة مع جدار البلوك قد انخفضت .

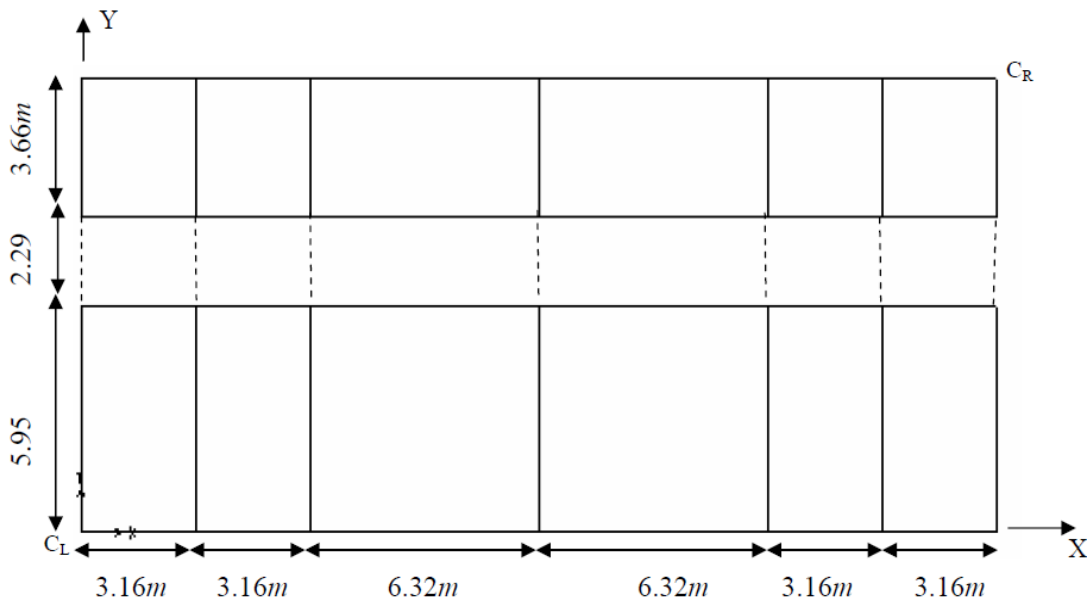


الشكل (39-2): مقارنة بين مغلفات القوة- الانتقال لحالتي الإطار البيتوني المسلح مع و بدون جدار بلوك (Braz-César et al , 2008)



## c. (Singh and Das , 2006)

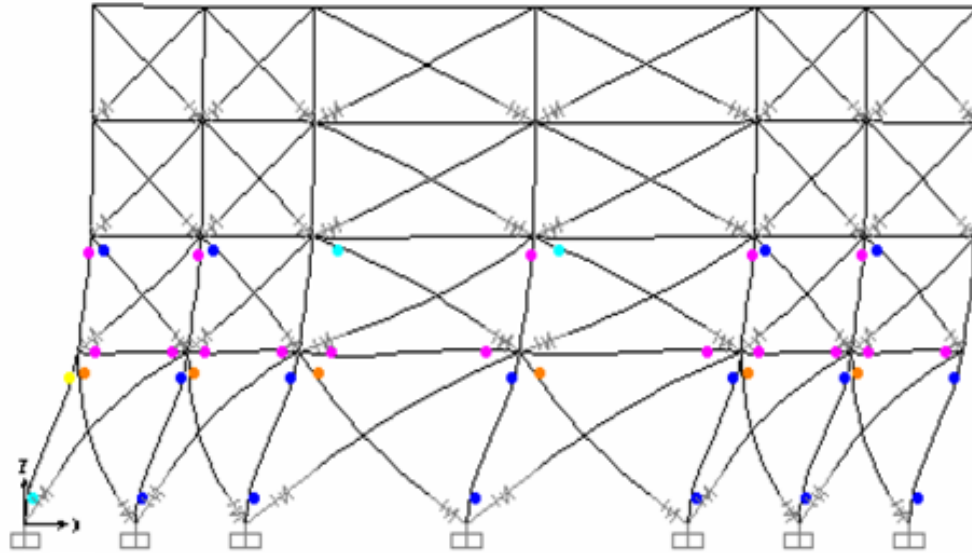
قام (Singh and Das , 2006) بدراسة أثر جدران البلوك المائلة لإطارات البيتون المسلحة على السلوك الزلزالي لها من خلال دراسة 3 أبنية متعددة الطوابق أحدهما مؤلف من 4 طوابق و الثاني من 8 طوابق و الثالث من 16 طابق جميعها متماثلة المسقط بأبعاد (25.28 X 11.90m) من مراكز الأعمدة حيث كان الهدف من اختيار أبعاد المسقط بالاتجاهين دراسة أثر التغير الكبير في نسبة الارتفاع إلى عرض الإطارات ( aspect ratio = H/B ) على السلوك الزلزالي للإطارات المملوءة بجدران البلوك، أما ارتفاع الطابق الأرضي فهو 4.5m و ارتفاع الطابق المتكرر 3m، البلاطات المستخدمة مصممة بسماكة 150mm، الحمولة الحية المطبقة 4 KN/m<sup>2</sup> على الطوابق المتكررة و 2 KN/m<sup>2</sup> على السقف حيث كانت سماكة جدران البلوك الخارجية المستخدمة 230mm و سماكة جدران البلوك الداخلية 150mm و تم تخفيض 30% من وزن الجدران لأخذ الفتحات بعين الاعتبار، استخدم تحليل لا خطي متزايد تدريجياً ( Non -Linear Push-Over Analysis ) باستخدام برنامج (Sap 2000)، يوضح الشكل (40-2) مسقط الأبنية المدروسة .



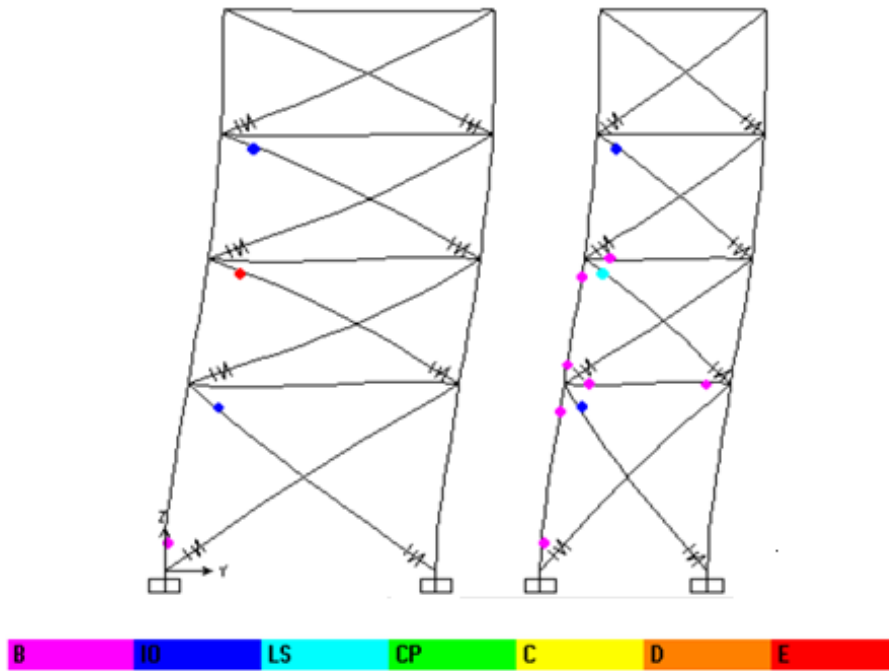
الشكل (40-2): المسقط الأفقي للبناء المدروس (Singh and Das , 2006)

تبين الدراسة أن آلية انتقال الحمولة تتحول من الفعل الإطاري (Frame Action) إلى الفعل الشبكي (Truss Action) بسبب وجود الجدران و بالتالي تنخفض عزوم الانعطاف في الأعمدة و تزداد القوى المحورية فيها . عند مستوي الانهيار (CP) تتشكل المفاصل اللدنة في أعمدة الطابق الأرضي و تبدو ظاهرة الطابق الضعيف واضحة و لكن هذه الظاهرة تلاحظ في الإطارات التي تكون نسبة ارتفاعها إلى عرضها منخفضة (Aspect Ratio=H/B) حيث لوحظت فقط في النموذج ذي الأربعة طوابق و لم تلاحظ في الأبنية العالية كما ظهرت في الاتجاه الطويل للبناء ذي الأربعة الطوابق

أكثر من ظهورها في إطارات الاتجاه القصير بسبب كون النسبة (H/B) في إطارات الاتجاه الطويل أصغر حيث يبين الشكل (41-2) تشكل المفاصل اللدنة في أعمدة الطابق الأرضي في إطارات الاتجاه الطويل بينما يمثل الشكل (42-2) تشكل المفاصل اللدنة في أعمدة الطابق الأرضي في إطارات الاتجاه القصير.



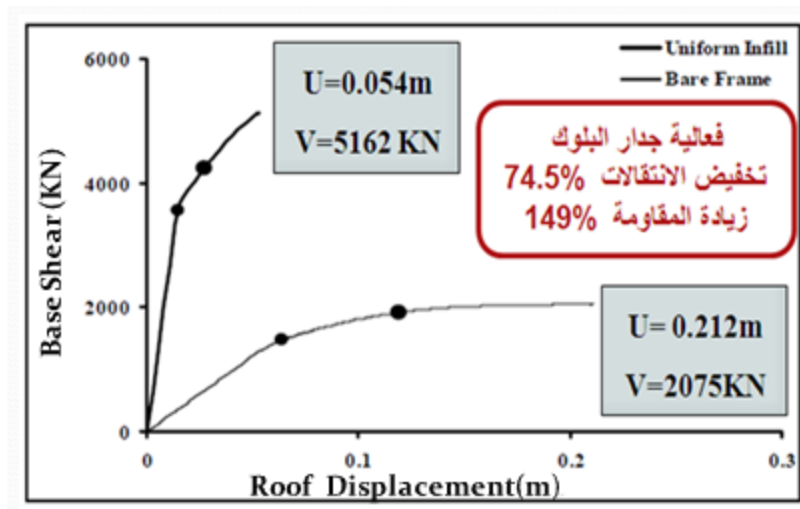
الشكل (41-2): تشكل المفاصل اللدنة في أعمدة الطابق الأرضي في إطارات الاتجاه الطويل (Singh and Das , 2006)



الشكل (42-2): تشكل المفاصل اللدنة في أعمدة الطابق الأرضي في إطارات الاتجاه القصير (Singh and Das , 2006)

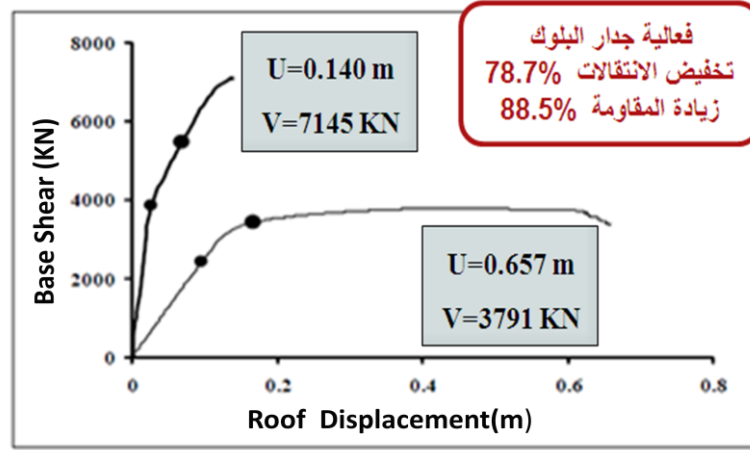
تمت ملاحظة انخفاض الإزاحات الطابقية بسبب تفاعل جدران البلوك مع الإطارات ، كما تبين أن جدران البلوك تنهار قبل باقي العناصر و بفعل السلوك الشبكي لجدران البلوك تتولد قوى محورية كبيرة في الأعمدة و بالتالي فان الأعمدة تنهار بشكل مبكر عن حالة الإطارات بدون جدران بلوك .

تمت المقارنة بين منحنيات الانتقال في أعلى المبنى- قوة القص القاعدي لكافة النماذج المدروسة، حيث نلاحظ أن المقاومة و القساوة ازدادت في المباني الإطارية ذات جدران البلوك بالمقارنة مع المباني الإطارية بدون جدران بلوك، بينما نقصت المطاوعة في المباني الإطارية ذات جدران البلوك، لكننا نلاحظ أن المطاوعة تزداد في الأبنية ذات جدران البلوك بازدياد نسبة ارتفاع الإطار إلى عرضه ( $aspect\ Ratio = H/B$ ) و بالتالي تزداد المطاوعة بازدياد عدد الطوابق و بنقصان العرض الكلي للإطار (بنقصان عدد فتحات الإطار إذا كان متعدد الفتحات) ، لذلك أعطت المباني ذات الطوابق 8, 16 طابق و الإطارات بالاتجاه القصير للمبنى المكونة من فتحة واحدة مطاوعة أعلى للمبنى حيث توضح الأشكال (من ٢-٤٣ حتى ٢-٤٨) منحنيات الانتقال- قوة القص لإطارات الاتجاه الطويل و القصير .



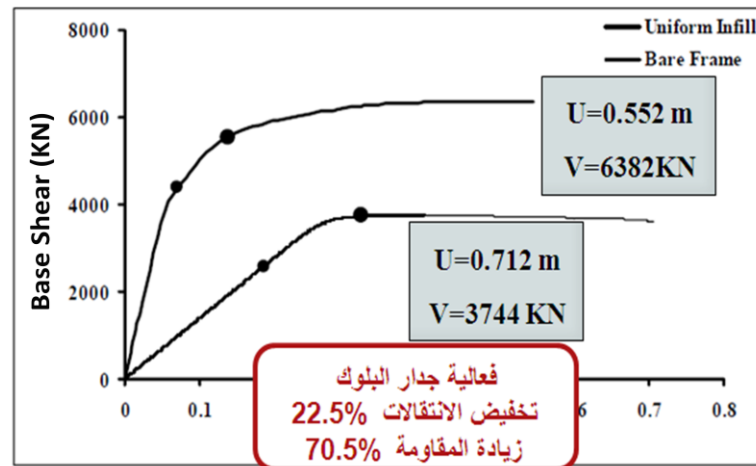
الشكل (2-43): منحنى الانتقال- قوة القص لحالتي الإطار مع و بدون جدار بلوك لمبنى من 4 طوابق بالاتجاه الطويل

(Singh and Das , 2006)



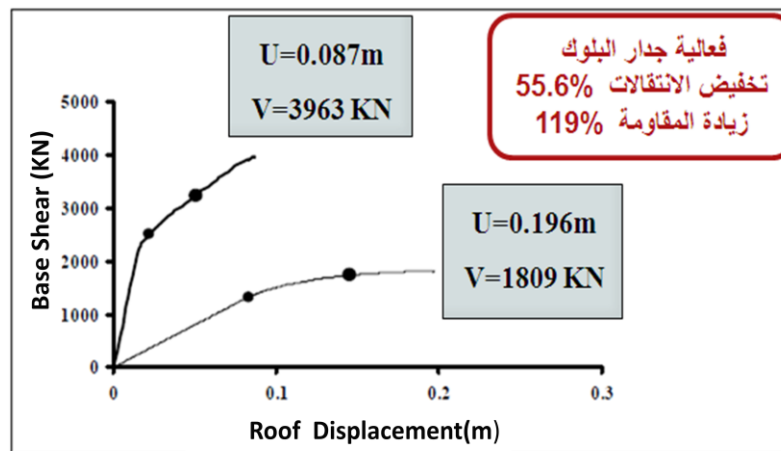
الشكل (44-2): منحنى الانتقال- قوة القص لحالتي الإطار مع و بدون جدار بلوك لمبنى من 8 طوابق بالاتجاه الطويل

(Singh and Das , 2006)



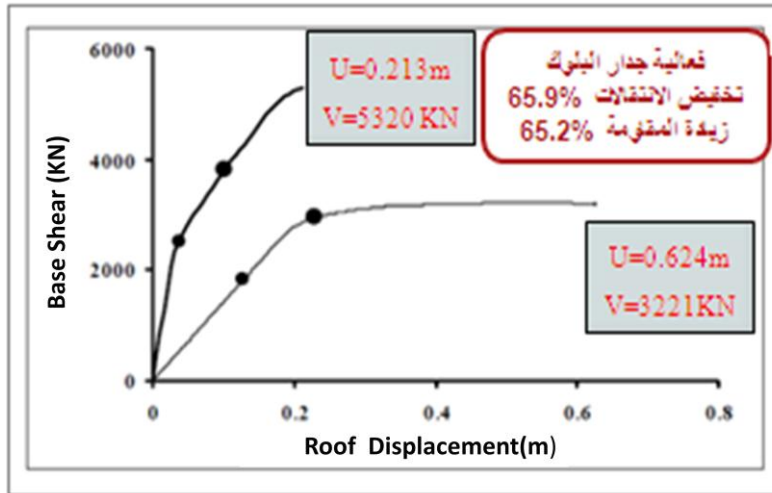
الشكل (45-2): منحنى الانتقال- قوة القص لحالتي الإطار مع و بدون جدار بلوك لمبنى من 16 طابقاً بالاتجاه الطويل

(Singh and Das , 2006)



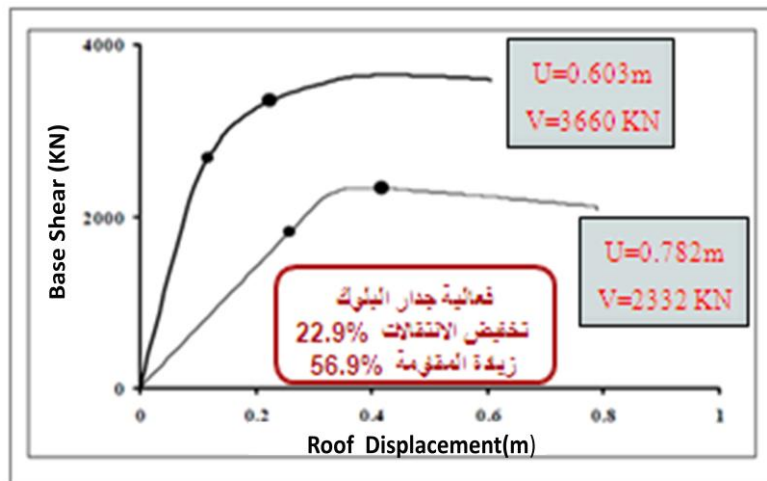
الشكل (46-2): منحنى الانتقال- قوة القص لحالتي الإطار مع و بدون جدار بلوك لمبنى من 4 طوابق بالاتجاه القصير

(Singh and Das , 2006)



الشكل (47-2): منحنى الانتقال- قوة القص لحالتي الإطار مع و بدون جدار بلوك لمبنى من 8 طوابق بالاتجاه القصير

(Singh and Das , 2006)



الشكل (48-2): منحنى الانتقال- قوة القص لحالتي الإطار مع و بدون جدار بلوك لمبنى من 16 طابقاً بالاتجاه القصير

(Singh and Das , 2006)

## الفصل الثالث

### التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

## Structural Analysis Using Finite Element Method (FEM)

### ١.٣ مقدمة Introduction

يهدف هذا الفصل إلى استعراض الدراسة التحليلية باستخدام برنامج (ABAQUS 6.12-1) لسلوك جملة إطار بيتوني مسلح مملوء بجدار من البلوك (RC frame with Masonry infill) و التأكد من فعالية جدران البلوك في زيادة قساوة الإطار و بالتالي تخفيف الانتقالات الجانبية له و زيادة مقاومته عند تعرضه لحمولة جانبية في مستوي جدار البلوك ( In-Plane Lateral Loading).

تم في هذا الفصل إجراء التحليل العددي باستخدام طريقة العناصر المحدودة ( FEM ) و استخدم التحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لاختية المادة ( MNA ) ، كما تم تطبيق حمولة دورية (Cyclic Load) و هزات زلزالية ( Seismic Load) ذات شدات مختلفة للحصول على مقاومة الإطار المملوء بجدار بلوك .

يحتوي هذا الفصل توصيفاً للنموذج المعتمد في التحليل، ثم خطوات التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة ، و أخيراً نتائج الدراسة التحليلية في تحديد فعالية ملئ مجاز الإطار البيتوني (RC Frame) بجدار من البلوك غير المسلح (URM) من حيث تأثيره على زيادة مقاومة و قساوة الجملة الإطارية .

### ٢.٣ توصيف النموذج Model Description

تم تحليل النموذج المدروس تجريبياً في مقالة (Almusallam and Alsalloum , 2007) والمبين في الشكل(1-3) وهو عبارة عن إطار بيتوني وحيد الفتحة من طابق واحد، ارتفاع الإطار البيتوني (H=195 cm) و مجازه بين محاور الأعمدة (L=250cm)، أبعاد المقطع العرضي للعمود (40X20 cm)، تسليح عناصر الإطار البيتوني للنموذج المدروس موضح في الشكل (3-3) حيث التسليح الطولي للعمود 8T16 و التسليح العرضي '10Ø8/m'، أما أبعاد المقطع العرضي للجائز

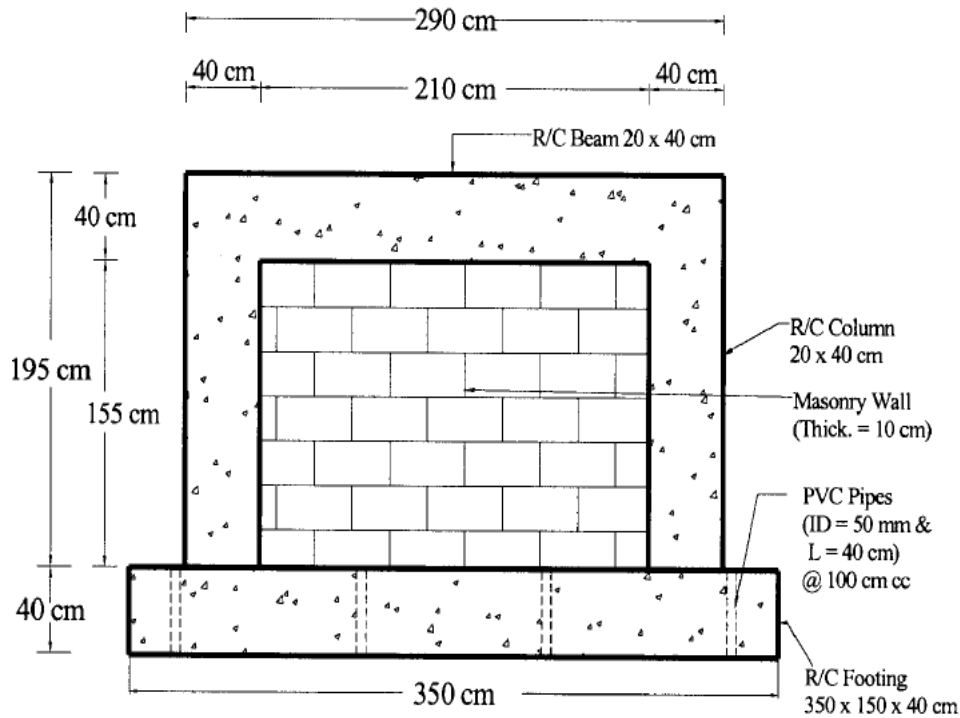
فهي (40X20 cm) وكل من التسليح الطولي العلوي و السفلي للجائز 3T16 أما تسليحه العرضي فهو '10Ø8/m'.

المقاومة المميزة الاسطوانية للبيتون  $f_{ck}$  تساوي 40 MPa ، إجهاد الخضوع لحديد التسليح  $f_y$  يساوي 420 MPa .

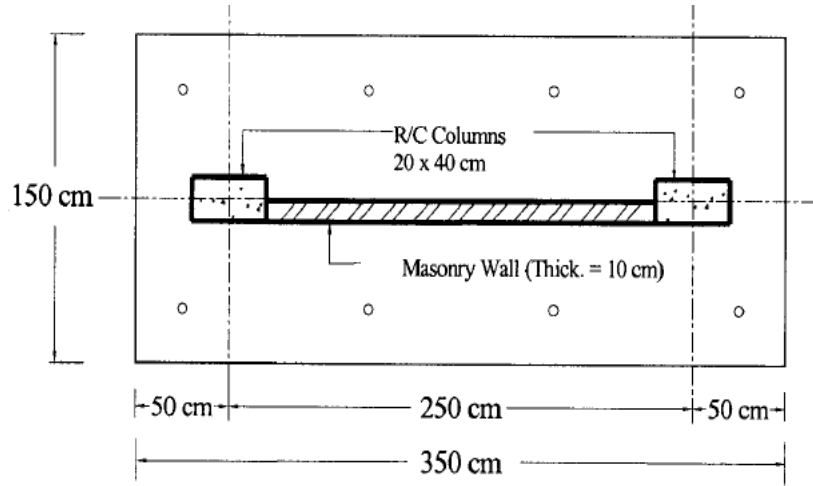
تم ملء مجاز الإطار البيتوني بجدار من البلوك البيتوني غير المسلح (URCM) ارتفاعه (h=155cm) و طوله ( l=210 cm)، وحدات البلوك المستخدمة بيتونية مفرغة بأبعاد (10x20x40 cm) (طول ، ارتفاع و سماكة) على الترتيب حيث

المقاومة المميزة لجدار البلوك على الضغط  $f_k$  تساوي 7.1 MPa .

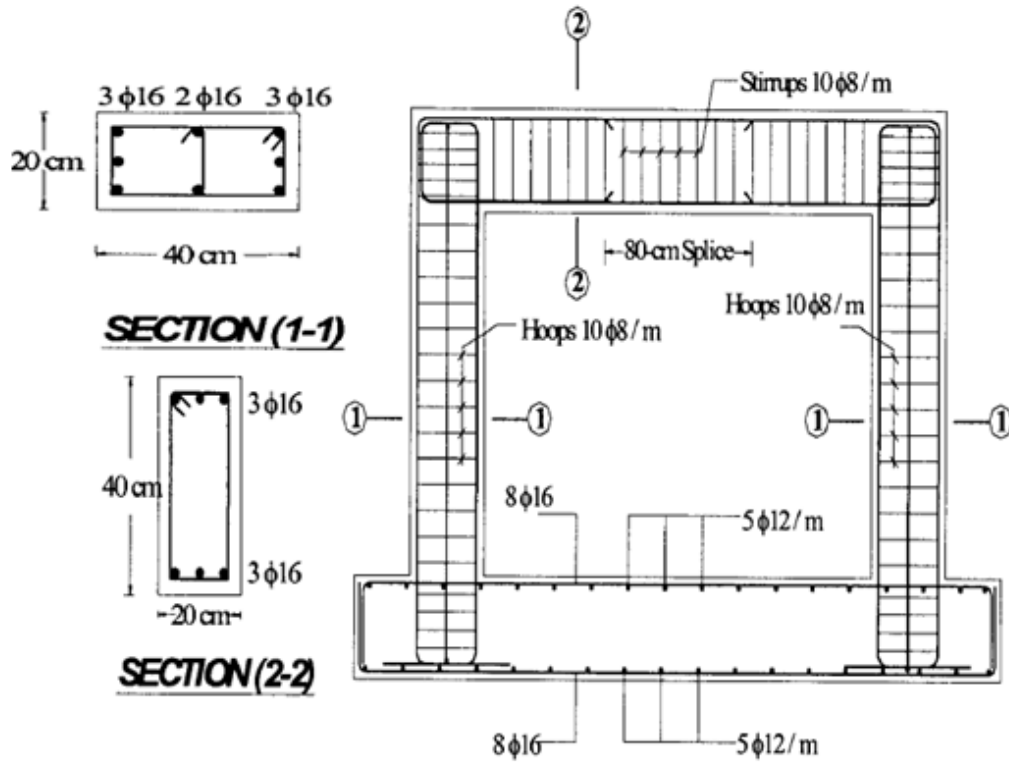
الإطار البيتوني و جدار البلوك موثوقين من الأسفل بأساس بيتوني أبعاده مبينة بالشكل (2-3) و تسليحه مبين بالشكل (3-3) .



الشكل (1-3): الأبعاد الإنشائية للنموذج المدروس (Almusallam and Alsalloum, 2007)



الشكل (2-3): الأبعاد الإنشائية لأساس النموذج المدروس (Almusallam and Alsalloum , 2007)



الشكل (3-3): تسليح عناصر الإطار البيتوني المسلح للنموذج المدروس (Almusallam and Alsalloum , 2007)



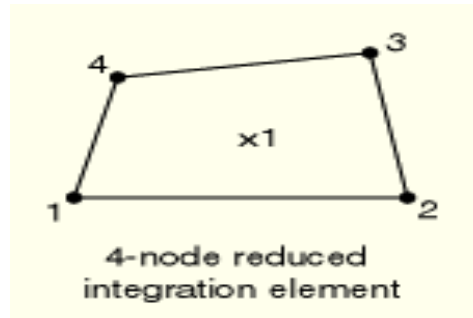
### ٣.٣ التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

## Structural Analysis Using Finite Elements Method (FEM)

### ١.٣.٣ العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج ABAQUS(6.12)

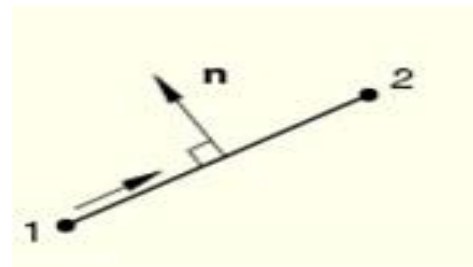
#### Elements Used in the Model using ABAQUS (6.12)

تم استخدام العنصر CPS4R لنمذجة الإطار البيتوني و جدار البلوك و حديد التسليح الطولي ، حيث CPS4R هو عنصر مساحي مؤلف من أربع عقد لكل عقدة درجتين حرة (انتقالين في المستوي)، وهو عنصر من نوع (Plane Stress) و الرمز R للدلالة على أنه تم تخفيض عدد نقاط غاوس إلى نقطة واحدة حيث يبين الشكل (4-3) العنصر المساحي المستخدم . (ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)



الشكل (4-3): تمثيل العنصر المساحي ذو أربع عقد (ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)

أيضاً تم استخدام العنصر T2D2 لنمذجة حديد التسليح العرضي في عناصر الإطار وهو عبارة عن عنصر شبكي (Truss Element) مؤلف من عقدتين و كل عقدة تحتوي درجتين حرة (انتقالين فقط)، يوضح الشكل (5-3) العنصر الشبكي . (ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)



الشكل (5-3): تمثيل العنصر الشبكي ذو عقدتين (ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)

### ٢.٣.٣ الشروط المحيطة للنموذج المدروس Model's Boundary Conditions

تم اعتماد شروط الاستناد في النموذج المدروس كما اعتمدت في التجربة (Almusallam and Alsalloum, 2007)

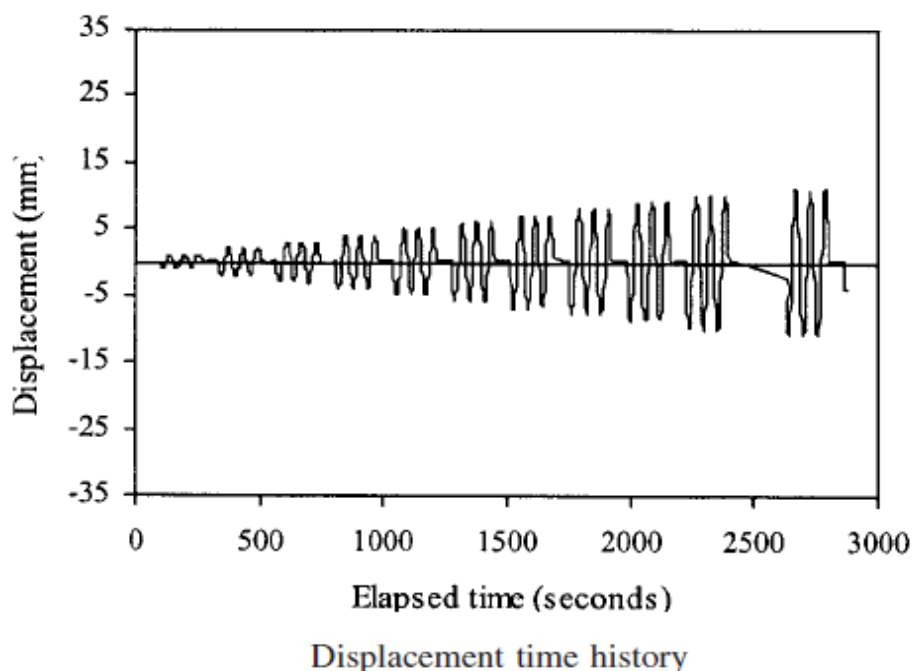
و هي عبارة عن وثاقة تامة لجميع العقد عند نقاط استناد أعمدة الإطار البيتوني و جدار البلوك مع القاعدة .

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

تم تطبيق حمولة دورية (Cyclic Load) عن طريق تطبيق انتقال جانبي مع الزمن (Displacement Time

History) على النقاط الداخلية لجانز الإطار كما هو في التجربة (Almusallam and Alsalloum , 2007) حيث يبدو

السجل الزمني المستخدم واضحاً بالشكل (6-3) .



الشكل (6-3): منحنى الزمن- الانتقال المطبق Displacement Time History (Almusallam and Alsalloum , 2007)

### ٤.٣.٣ نوع التحليل المستخدم في النموذج Type of Used Analysis

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

## ٥.٣.٣ توصيف المواد المستخدمة في النمذجة

**Materials Used in Modeling**

تحتوي قاعدة بيانات برنامج (ABAQUS 6.12) ثلاثة طرق مختلفة لنمذجة البيتون وهي ( ABAQUS 6.12 Documentation,2012):

## ١. Concrete Smeared Cracking Model

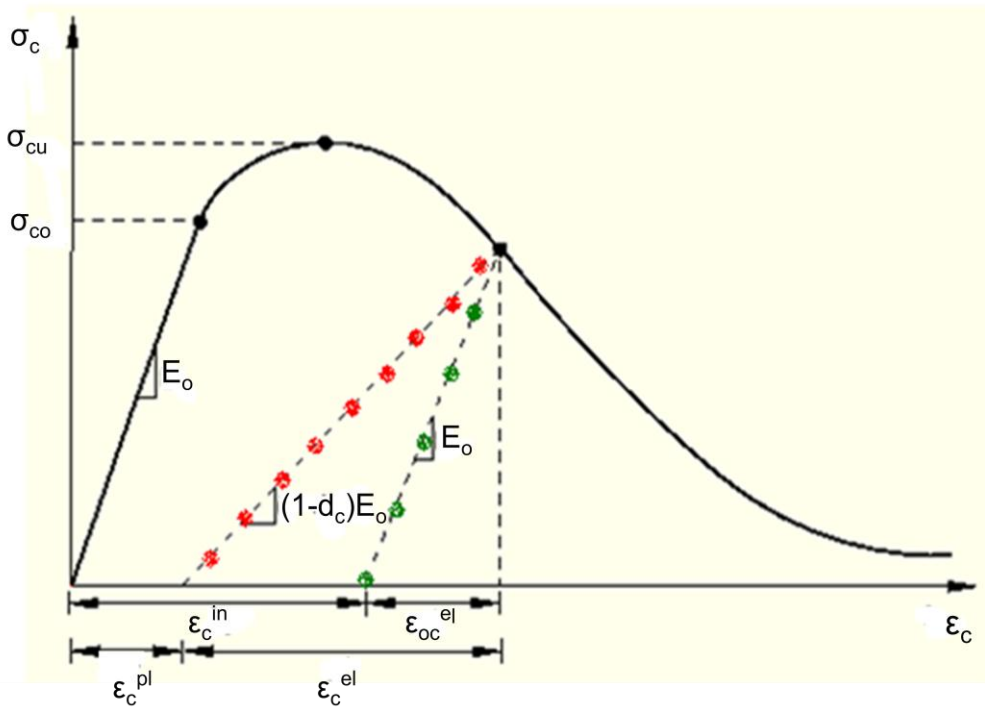
## ٢. Cracking Model for Concrete (Brittle Cracking Model)

## ٣. Concrete Damage Plasticity

كل طريقة من هذه الطرق معدة من أجل إمكانية نمذجة البيتون (Plain Concrete) و البيتون المسلح ( Reinforced Concrete)، بالإضافة إلى المواد شبه الهشة (Quasi –Brittle Materials) مثل مادة البلوك (Masonry)، وذلك لجميع أنواع العناصر الإنشائية كالإطارات (Frames)، العناصر الشبكية (Truss Elements)، العناصر المساحية المستوية (Shells) و العناصر المستوية الفراغية (Solids).

تستخدم الطريقة الأولى في نمذجة البيتون (Concrete Smeared Cracking Model) عندما يسبب تحميل البيتون بشكل أساسي حصول تشوهات متزايدة (Monotonic Straining) لذلك لا يمكن استخدامها إلا عند تطبيق حمولات متزايدة (Pushover Loading) و لا تصلح عند تطبيق التحميل الدوري (Cyclic Loading)، و انهيار البيتون 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 البيتون على الضغط و الشد غير مهم حيث يعتبر سلوك البيتون على الضغط سلوكاً مرناً (Elastic Behavior) . أما الطريقة الثالثة (Concrete Damage Plasticity CDP) 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 (Recovery of the Elastic Stiffness) تحت تأثير التحميل الدوري (Cyclic Loading) عند انعكاس الحمولة من الشد إلى الضغط، و بالتالي بناءً على ما سبق نلاحظ أن طريقة (CDP) في نمذجة البيتون هي الطريقة الأفضل .

يعبر الشكل (7-3) عن منحنى الإجهاد - التشوه على الضغط المحوري لطريقة CDP حيث يمثل المحور الأفقي التشوه النسبي للبيتون على الضغط  $\epsilon_c$  بينما يمثل المحور الشاقولي إجهاد الضغط في البيتون  $\sigma_c$  حيث يكون سلوك البيتون على الضغط في البداية سلوكاً خطياً خاطئاً حتى الوصول إلى الخضوع الابتدائي (Initial Yield) عند قيمة الإجهاد الابتدائي  $\sigma_{co}$  (Initial Stress)، يبدأ بعدها السلوك اللاخطي للمادة، حيث توصف المرحلة التالية بمرحلة التقسية الاجهادية (Stress Hardening) حيث تستمر الاجهادات و التشوهات بالازدياد بشكل لاخطي حتى الوصول إلى القيمة الحدية لإجهاد البيتون على الضغط  $\sigma_{cu}$  (Ultimate Stress)، بعدها تبدأ الاجهادات بالانخفاض مع استمرار تزايد التشوهات تسمى هذه المرحلة ب (Strain Softening) حيث بعد ظهور أول شق تضعف مقاومة المادة بسبب ازدياد التشققات و اتصالها فيما بينها .



الشكل (7-3): مخطط الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الضغط ( ABAQUS Ver6.12 Documentation , 2012 )

عند إزالة الحمولة عند أي نقطة من المرحلة (Strain Softening) من منحنى الإجهاد - التشوه على الضغط تتناقص قساوة المادة حيث يتم التعبير عن انخفاض القساوة بالمعامل  $d_c$  الذي يسمى معامل تخفيض القساوة على الضغط (Uniaxial compression damage variable) حيث يأخذ قيمة ابتداءً من الصفر للتعبير عن المادة غير المتشققة إلى الواحد عندما تفقد المادة كامل مقاومتها حيث يعبر الخط المنقط ذي الميل  $(1-d_c)E_0$  في الشكل (7-3) عن حالة إزالة الحمولة حيث يسلك البيتون سلوكاً لدناً و بالمقارنة مع الخط المنقط ذي 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 الأول إلى  $(1-d_c)E_0$  بمقدار  $d_c$  وهذا ناتج عن انخفاض قساوة المادة عند إزالة الحمولة بسبب ظهور تشوهات الضغط اللدنة لمتبقية في المادة  $\varepsilon_c^{pl}$  (Compressive Equivalent Plastic Strain) التي تعطى بالعلاقة (1-3):

$$\varepsilon_c^{pl} = \varepsilon_c^{in} - \frac{d_c}{(1-d_c)} \frac{\sigma_c}{E_0} \quad (1-3)$$

حيث  $\varepsilon_c^{in}$  هو التشوه غير المرنة (Inelastic Strain) و يحدد بالعلاقة (2-3) وهو الفرق بين التشوه الكلي الحاصل عند نقطة معينة  $\varepsilon_c$  من منحنى الإجهاد- التشوه على الضغط غير المحوري و التشوه المرنة عند هذه النقطة  $\varepsilon_{0c}^{el}$  (Elastic Strain) الذي ينتج من تقسيم إجهاد الضغط الناتج عند النقطة المذكورة  $\sigma_c$  على معامل المرونة الابتدائي  $E_0$ .

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

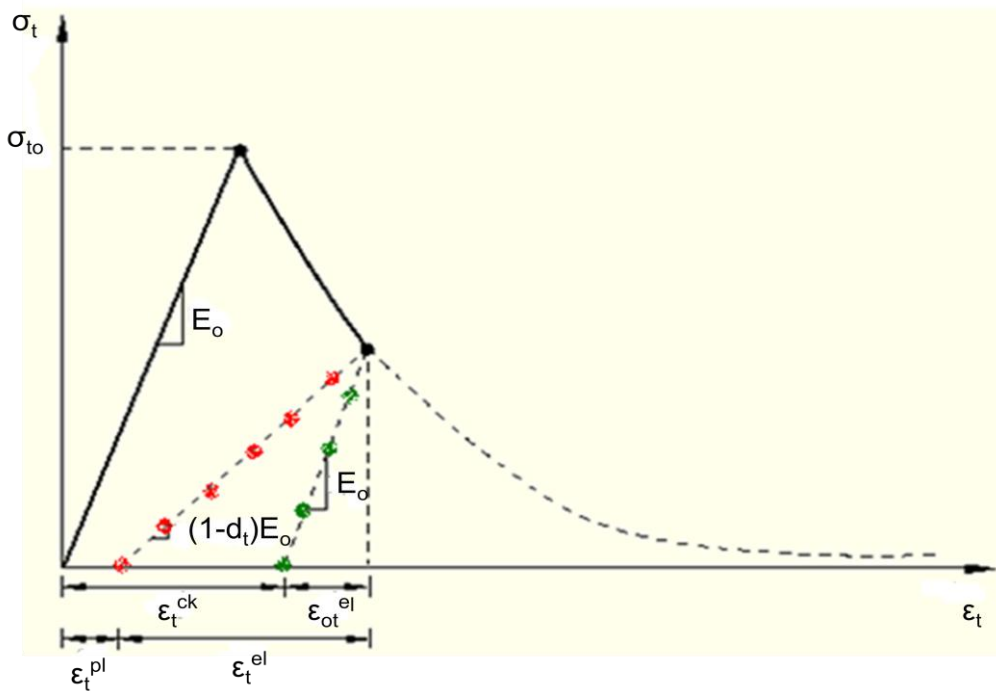
$$\varepsilon_{0c}^{el} = \frac{\sigma_c}{E_0} \quad (3-3)$$

حيث  $d_c$  هو معامل تخفيض القساوة على الضغط (Uniaxial Compressive Damage Variable)

و يعطى بالعلاقة التالية ( Jankowiak and Lodygowski , 2005 ) :

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

يكون تصرف البيتون تحت تأثير الشد المحوري خطي حتى الوصول إلى قيمة الإجهاد الحدي للبيتون على الشد  $\sigma_{t0}$  (الشكل 8-3) الذي يترافق مع ظهور أول شق في مادة البيتون ، و بعد الوصول إلى الإجهاد الحدي تسلك المادة سلوكاً لاخطياً حيث تبدأ التشققات بالظهور و يصبح بالإمكان رؤيتها بالعين المجردة و تبدأ الاجهادات في هذه المرحلة بالانخفاض مع استمرار التشوهات بالتزايد حيث تسمى هذه المرحلة ب (Strain Softening) و تصحح المادة ضعيفة بسبب ازدياد الشقوق و اتساعها .



الشكل (3-8): مخطط الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الشد ( ABAQUS Ver6.12 Documentation , 2012 )

و كما في حالة الضغط عند إزالة الحمولة عند أي نقطة من المرحلة (Strain Softening) من منحنى الإجهاد - التشوه على الشد تتناقص قساوة المادة حيث يتم التعبير عن انخفاض القساوة بالمعامل  $d_t$  الذي يسمى معامل تخفيض القساوة على الشد (Uniaxial Tension Damage Variable) حيث يأخذ قيمة ابتداءً من الصفر للتعبير عن المادة غير المتشقة إلى الواحد عندما تفقد المادة كامل مقاومتها ، حيث يعبر الخط المنقط ذو الميل  $(1-d_t)E_0$  في الشكل(8-3) 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  $(1-d_t)E_0$  بمقدار  $d_t$  وهذا ناتج عن انخفاض قساوة المادة عند إزالة الحمولة بسبب ظهور تشوهات الشد اللدنة المتبقية في المادة  $\varepsilon_t^{pl}$  (Tensile Equivalent Plastic Strain) التي تعطى بالعلاقة التالية :

$$\varepsilon_t^{pl} = \varepsilon_t^{ck} - \frac{d_t}{(1-d_t)} \frac{\sigma_t}{E_0} \quad (5-3)$$

حيث  $\varepsilon_t^{ck}$  هو تشوه التشقق (Cracking Strain) و يحدد بالعلاقة (6-3) وهو الفرق بين التشوه الكلي الحاصل عند نقطة معينة  $\varepsilon_t$  من منحنى الإجهاد- التشوه على الشد غير المحوري و التشوه المرن عند هذه النقطة  $\varepsilon_{0t}^{el}$  (Elastic Strain) الذي ينتج من تقسيم إجهاد الشد الناتج عند النقطة المذكورة  $\sigma_t$  على معامل المرونة الابتدائي  $E_0$ .

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

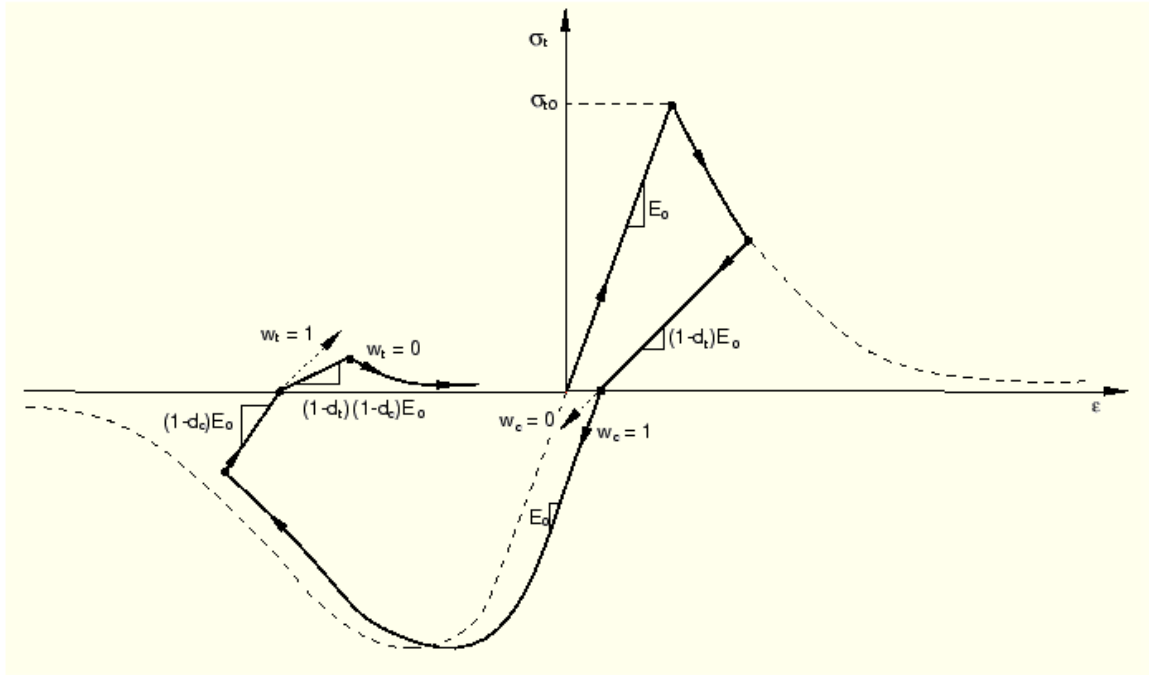
$$\varepsilon_{0t}^{el} = \frac{\sigma_t}{E_0} \quad (7-3)$$

حيث  $d_t$  هو معامل تخفيض القساوة على الشد (Uniaxial Tension Damage Variable)

و يعطى بالعلاقة التالية (Jankowiak and Lodygowski , 2005) :

$$d_t = \frac{\sigma_{to} - \sigma_t}{\sigma_{to}} \quad (8-3)$$

تحت تأثير التحميل الدوري المحوري (Cyclic Load) يكون سلوك الببتون معقداً نوعاً ما متضمناً انغلاق و انفتاح الشقوق نتيجة انعكاس جهة الحمولة، حيث لوحظ تجريبياً أنه يحصل استرداد لبعض القساوة المرنة (Recovery of the Elastic Stiffness) عند انعكاس جهة الحمولة أثناء التحميل الدوري من الشد إلى الضغط بسبب انغلاق شقوق الشد التي تؤدي إلى استرداد القساوة على الضغط ، حيث يوضح الشكل(9-3) التحميل الدوري اللاخطي (شد- ضغط- شد) مع أخذ القيم الافتراضية لمعاملات استرداد القساوة ( $w_t=0$  ,  $w_c=1$ ) .



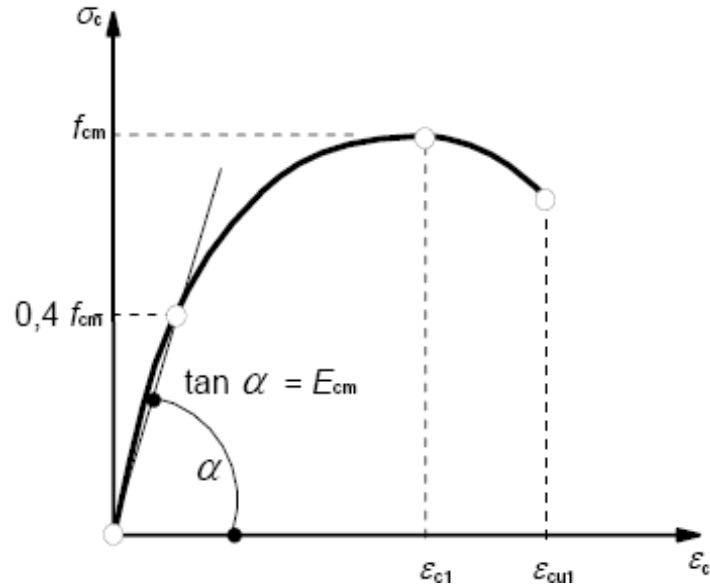
الشكل (3-9): التحميل الدوري اللاخطي (شد - ضغط - شد) مع أخذ القيم الافتراضية لمعاملات استرداد القساوة ( $w_t=0$  ,  $w_c=1$ )

(ABAQUS Ver6.12 Documentation , 2012)

تم في الدراسة الحالية اعتماد مخطط الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الضغط وفق الكود الأوروبي (Eurocode2, 2004) كما هو واضح في الشكل (3-10). حيث تكون علاقة الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الضغط حتى وصول قيمة الإجهاد إلى  $0.4 f_{cm}$ ، حيث  $f_{cm}$  هي المقاومة المتوسطة الاسطوانية للبيتون على الضغط (Mean value of concrete cylinder Compressive strength)، و من ثم يتحول سلوك المادة إلى سلوك لاخطي (Inelastic behavior) حتى الوصول إلى المقاومة  $f_{cm}$  والتي يقابلها التشوه النسبي  $\epsilon_{c1}$  (Compressive strain in the concrete at the peak stress  $f_{cm}$ )، تنخفض بعدها المقاومة وصولاً إلى الانهيار عند التشوه النسبي الحدي للبيتون  $\epsilon_{cu1}$  (Ultimate compressive strain in the concrete).

حيث  $E_{cm}$  هو معامل المرونة الأولي للبيتون (Initial modulus of elasticity of concrete)





الشكل (3-10): مخطط الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الضغط (Eurocode2 , 2004)

تحدد قيمة كل من  $f_{cm}$  ،  $E_{cm}$  ،  $\epsilon_{c1}$  ،  $\epsilon_{cu1}$  من الجدول (1-3) (Eurocode2 , 2004) اعتماداً على قيمة

المقاومة المميزة الاسطوانية للبيتون على الضغط  $f_{ck}$  (Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days) المستخدمة في التجربة و المساوية 40MPa.

بالعودة إلى الجدول (1-3) نجد أن :

$f_{cm}$  المقاومة المتوسطة الاسطوانية للبيتون على الضغط 48MPa

$E_{cm}$  معامل المرونة الثاني للبيتون 35000MPa

$\epsilon_{c1}$  التشوه النسبي للبيتون على الضغط المقابل لذروة الإجهاد  $f_{cm}$  تؤخذ قيمته 0.23%

$\epsilon_{cu1}$  التشوه النسبي الحدي للبيتون على الضغط تعتمد قيمته في النمذجة 0.35%

$v_c$  معامل بواسون للبيتون تم افتراض قيمته 0.2 وفق الكود الأوروبي (Eurocode2 , 2004)

الجدول (3-1): المقارمات و التشوهات النسبية للبيتون (Eurocode2 , 2004)

Strength classes for concrete													Analytical relation / Explanation		
$f_{ck}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck, cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	2.8
$f_{cm}$ (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
$f_{ctm}$ (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{(2/3)}$ $\leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1 + (f_{cm}/10))$ $> C50/60$
$f_{ctk, 0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk, 0.05} = 0,7 \times f_{ctm}$ 5% fractile
$f_{ctk, 0.95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk, 0.95} = 1,3 \times f_{ctm}$ 95% fractile
$E_{cm}$ (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22[f_{cm}/10]^{0.3}$ ( $f_{cm}$ in MPa)
$\epsilon_{ct1}$ (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	see Figure 3.2 $\frac{f_{ct1}^{(1/100)}}{f_{ct1}^{(0/100)}} = 0,7 f_{cm}^{-0,31} \leq 2,8 \frac{f_{ct1}^{(1/100)}}{f_{ct1}^{(0/100)}}$
$\epsilon_{cu1}$ (‰)					3,5					3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	see Figure 3.2 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu1}^{(1/100)} = 2,8 + 27[(98 - f_{cm})/100]^4$
$\epsilon_{c2}$ (‰)					2,0					2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	see Figure 3.3 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{c2}^{(1/100)} = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,55}$
$\epsilon_{cu2}$ (‰)					3,5					3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	see Figure 3.3 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu2}^{(1/100)} = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$
$n$					2,0					1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $n = 1,4 + 23,4[(90 - f_{ck})/100]^4$
$\epsilon_{c3}$ (‰)					1,75					1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	see Figure 3.4 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{c3}^{(1/100)} = 1,75 + 0,55[(f_{ck} - 50)/40]$
$\epsilon_{cu3}$ (‰)					3,5					3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	see Figure 3.4 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu3}^{(1/100)} = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$

و من أجل تحديد قيم اجهادات الضغط لنقاط منحنى الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون عند قيم متتالية للتشوهات ابتداءً من

الصفراً وصولاً لقيمة التشوه الحدي للبيتون  $\epsilon_{cu1}$ ، تم استخدام العلاقة التالية التي تربط إجهاد الضغط مع التشوه النسبي في

البيتون وفق الكود الأوروبي (Kmiecik and Kaminski , 2011):

$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{K\eta - \eta^2}{1 + (K - 2)\eta} \quad (9 - 3)$$

$$\eta = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \quad (10 - 3)$$

حيث:  $\epsilon_c$  التشوه النسبي للبيتون على الضغط عند النقطة المدروسة،  $K$  معامل يعطى بالعلاقة (11-3):

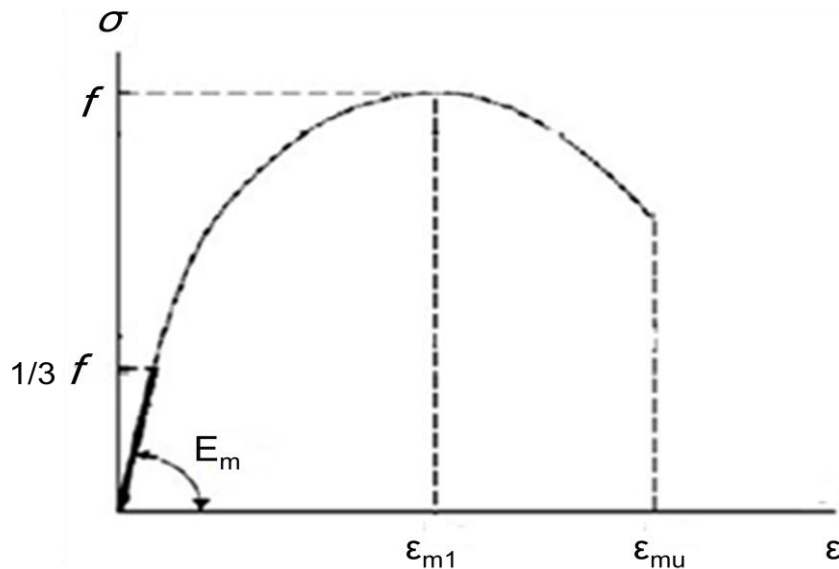
$$K = \frac{1.05 E_{cm} |\epsilon_{c1}|}{f_{cm}} \quad (11 - 3)$$

يمكن استخدام المعادلة (11-3) لحساب اجهادات الضغط لنقاط منحنى الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون عندما تكون قيم

التشوهات ضمن المجال  $0 < |\epsilon_c| < |\epsilon_{cu1}|$ .

أما بالنسبة لسلوك جدار البلوك على الضغط فقد تم في النمذجة الاعتماد على مخطط الإجهاد- التشوه النسبي الفعلي

(Typical Diagram) لمادة البلوك وفق الكود الأوروبي (Eurocode 6 , 2005) الذي يوضحه الشكل (11-3).



الشكل (11-3): مخطط الاجهاد - التشوه النسبي الفعلي لمادة البلوك على الضغط (Eurocode6 , 2005)

أيضاً تحدد قيمة كل من  $f$  ،  $E_m$  ،  $\epsilon_{m1}$  ،  $\epsilon_{mu}$  اعتماداً على قيمة المقاومة المميزة للبلوك على الضغط  $f_k$

(Characteristic compressive strength of masonry) المستخدمة في التجربة و المساوية 7.1MPa .

حيث نجد أن :

$f$  المقاومة المتوسطة للبلوك على الضغط و تعتمد قيمتها في النمذجة 9MPa .

$E_m$  معامل المرونة للبلوك و يحسب من العلاقة (4-2) و تعتمد قيمته في النمذجة 7100MPa .

$\epsilon_{m1}$  التشوه النسبي للبلوك على الضغط المقابل لذروة الإجهاد  $f$  تؤخذ قيمته 0.28% استناداً إلى الفقرة (٢.٣.٢).

$\epsilon_{mu}$  التشوه النسبي الحدي للبلوك على الضغط تعتمد قيمته في النمذجة 0.35% استناداً إلى الفقرة (٢.٣.٢).

$v_m$  معامل بواسون للبلوك تم افتراض قيمته 0.2 وفق الكود الأوروبي (Eurocode2 , 2004).

أما في حالة الشد فتم في النمذجة اعتماد منحنى خطي مبسط لعلاقة الإجهاد – التشوه النسبي للبيتون على الشد كما هو

واضح في الشكل (12-3) . حيث يصل البيتون لمقاومته العظمى على الشد  $f_{ctm}$  التي تعطى بالعلاقة (12-3) (2011)

(Kmieciek & Kaminski)، و تعطى قيمة التشوه النسبي الابتدائي للبيتون على الشد المرافق لذروة الإجهاد  $\epsilon_{to}$

(Initial tensile strain in the concrete) بالعلاقة (13-3)، ثم تبدأ المقاومة بعدها بالانخفاض بشكل خطي حتى

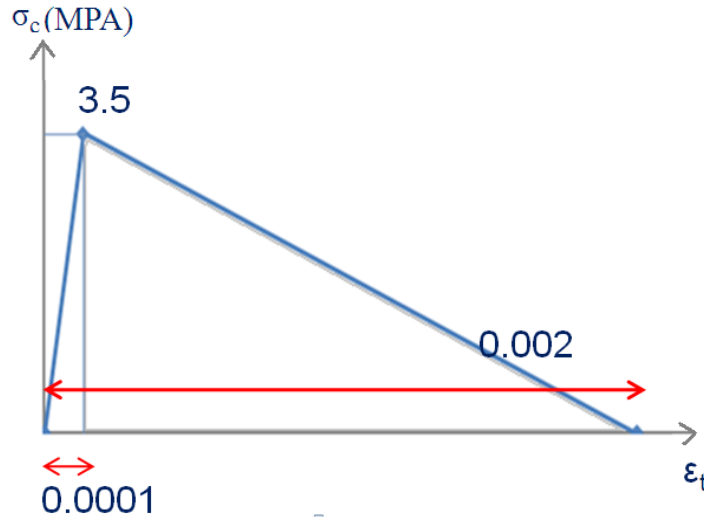
انعدامها عند قيمة التشوه النسبي الحدي للبيتون على الشد  $\epsilon_{total}$  (Ultimate tensile strain in the concrete) التي تعطى

بالعلاقة (14-3) حيث تم الاعتبار أن البيتون يخرج عن العمل على الشد عند وصول فولاذ التسليح للسيلان .

$$f_{ctm} = 0.30f_{ck}^{(2/3)} \quad (12 - 3)$$

$$\epsilon_{to} = \frac{f_{ctm}}{E_0} \quad (13 - 3)$$

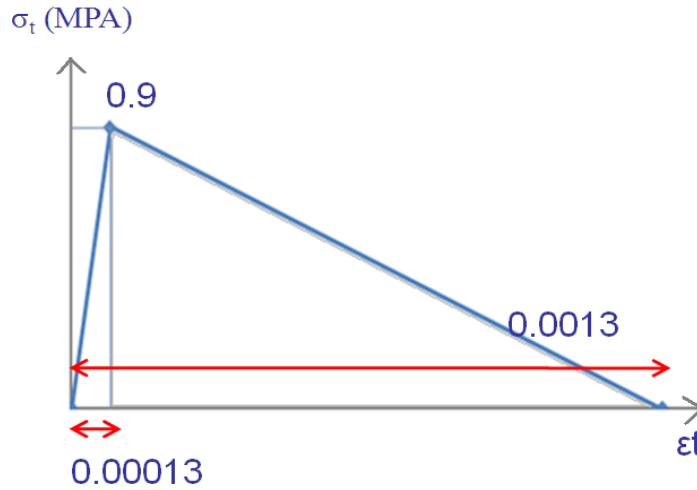
$$\epsilon_{total} = \frac{f_y}{E_s} \quad (14 - 3)$$



الشكل (3-12): مخطط الاجهاد - التشوه النسبي المبسط للبيتون على الشد المعتمد في النمذجة

أما بالنسبة لسلوك البلوك على الشد فتم أخذ منحني خطي مبسط مماثل من أجل تمثيل علاقة الإجهاد - التشوه النسبي للبلوك على الشد كما هو واضح في الشكل (3-13). حيث يصل البلوك لمقاومته العظمى على الشد  $f_{ctm1}$  التي تم اعتبارها 10% من المقاومة المتوسطة للبلوك على الضغط  $f$  و المساوية 9MPa، و تعطى قيمة التشوه النسبي الابتدائي للبلوك على الشد المرافق لذروة الإجهاد  $\epsilon_{tmo}$  (Initial tensile strain in the masonry) بالعلاقة (3-15)، ثم تبدأ المقاومة بعدها بالانخفاض بشكل خطي حتى انعدامها عند قيمة التشوه الحدي للبلوك على الشد  $\epsilon_{tm}$  (Ultimate tensile strain in the masonry) التي تؤخذ بالاعتماد على (Abaqus Ver 6.12 Documentation , 2012) مساوية لعشر أضعاف التشوه النسبي الابتدائي للبلوك على الشد  $\epsilon_{tmo}$ .

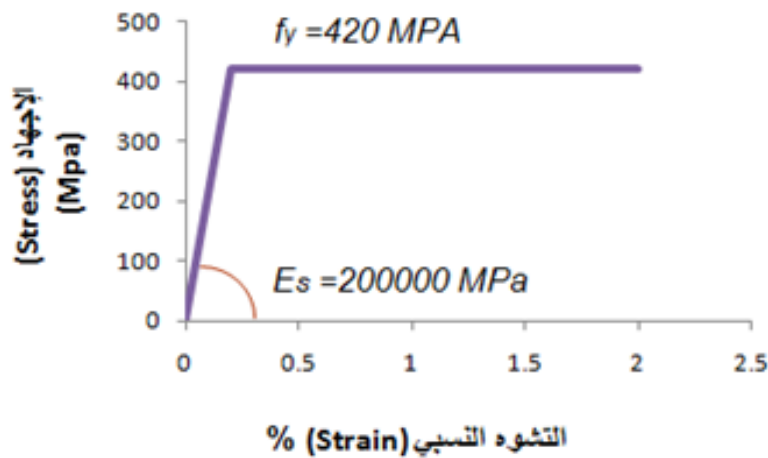
$$\epsilon_{tmo} = \frac{f_{ctm1}}{E_m} \quad (15 - 3)$$



الشكل (3- 13): مخطط الاجهاد - التشوه النسبي المبسط للبلوك على الشد المعتمد في النمذجة

يوضح الشكل (3-14) علاقة الإجهاد- التشوه النسبي لفولاذ التسليح ، يبدأ سلوك الحديد مرناً خطياً حيث تزداد التشوهات النسبية مع ازدياد الاجهادات حتى الوصول إلى إجهاد الخضوع  $f_y$  الذي يرافقه التشوه النسبي عند الخضوع  $\epsilon_y$  و يحسب من العلاقة (3-16) 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 (3- 14): مخطط الاجهاد - التشوه النسبي لفولاذ التسليح المعتمد في النمذجة

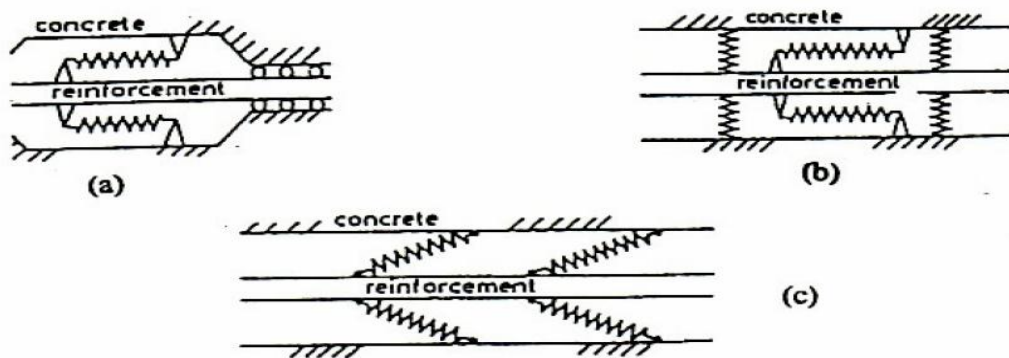
## ٦.٣.٣ التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح

**Bond-Slip Relationship between Concrete and Reinforcement**

يعتبر سلوك التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح في الإطارات البيتونية ظاهرة مهمة تسمح للقوى الطولية بالانتقال من فولاذ التسليح إلى البيتون المحيط به، حيث يعد توصيف سلوك التماسك ذو أهمية كبيرة عند دراسة البيتون المتشقق، فعند ظهور أول شق تتحرر الإجهادات في البيتون بالقرب من الشق الحاصل لكن إجهادات الشد في الحديد تتزايد بشكل كبير، عندها تنتقل إجهادات الشد الكبيرة المتشكلة في الفولاذ عند الشق إلى البيتون المحيط من خلال سطوح التماسك (Interface Bond)، و بالتالي فان وجود التماسك يعتبر الشرط الأساسي لمادتي البيتون و الفولاذ لكي يعملتا سوياً كنوع من أنواع المواد المركبة (Composite Material)، حيث أنه بدون التماسك يصبح فولاذ التسليح غير قادر على مقاومة أي قوى خارجية و يتصرف الجانز البيتوني كعنصر من البيتون فقط (Li,2007) (Plain Concrete member) .

بالنتيجة فإن التشوه الوسطي و التشوه الكلي الناتج في قضبان الفولاذ أصغر من ذلك التشوه الناتج تحت تأثير نفس الحمولة فيما لو كان قضيب الفولاذ موجود بمفرده بدون بيتون، هذه الآلية التي تسمى التماسك تقلل من عرض التشققات المتشكلة و تزيد من قساوة العنصر الإنشائي، و بسبب أهمية التماسك فان علاقة التماسك – الانزلاق (Bond-Slip Relationship) تعتبر من أكثر الأمور التي يتم الاهتمام بها في التحليل .

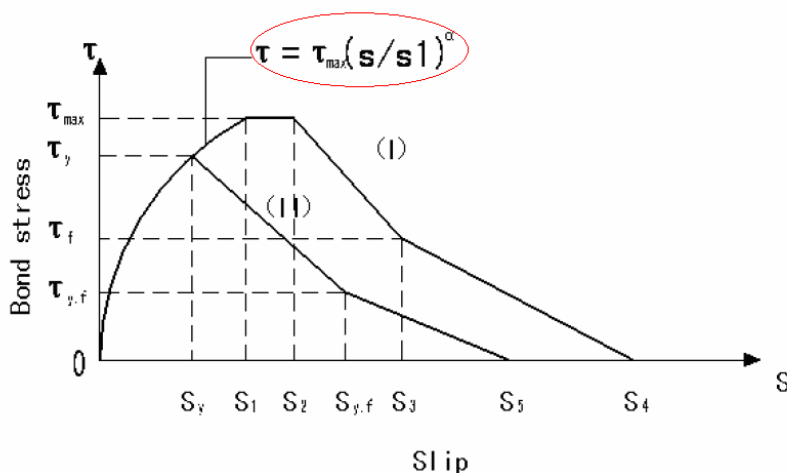
أعطت الأبحاث دراسات متعددة لتوصيف مكونات علاقة إجهاد التماسك- الانزلاق، كما استخدمت عدة طرق لتمثيل طبيعة هذه العلاقة في مجال التحليل باستخدام طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Analysis) حيث استخدمت النواض بأشكال مختلفة ويوضح الشكل (3-15) أشكال متعددة للنواض المستخدمة لتمثيل ظاهرة التماسك.



الشكل (3-15): أشكال مختلفة من النواض المستخدمة لتمثيل ظاهرة التماسك (CEB-FIP,2000)

و لتمثيل علاقة إجهاد التماسك – الانزلاق (Bond-Slip Relationship) يعطي (CEB-FIP,2000) المنحني I الموضح بالشكل (16-3) حيث يمثل المحور الأفقي الانزلاق (Slip) في قضبان فولاذ التسليح بينما يمثل المحور الشاقولي إجهاد التماسك (Bond Stress) بين البيتون و الفولاذ .

حيث تبدأ اجهادات التماسك و انزلاق قضبان التسليح بالتزايد بشكل لاخطي حتى الوصول إلى قيمة إجهاد التماسك الأعظمي  $\tau_{max}$  و تكون قيمة الانزلاق عنده مساوية لـ  $S_1$ ، ثم تليها مرحلة تثبت فيها قيمة إجهاد التماسك الأعظمي مع استمرار تزايد قيمة الانزلاق حتى الوصول إلى قيمة انزلاق مساوية لـ  $S_2$ ، بعدها تبدأ اجهادات التماسك بالانخفاض عن القيمة الأعظمية مع ازدياد الانزلاق حتى وصوله إلى قيمة  $S_3$  عند قيمة إجهاد تماسك أصغري  $\tau_f$ ، ثم تنعدم بعدها قيمة إجهاد التماسك عند قيمة انزلاق لقضبان التسليح مساوية  $S_4$  .



الشكل (3-16): منحنى علاقة الانزلاق – إجهاد التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح (Bond- Slip Relationship)

(CEB-FIP,2000)

قام الباحث Engstrom بتعديل منحنى علاقة الانزلاق – إجهاد التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح ليأخذ بعين الاعتبار تأثير وصول فولاذ التسليح إلى السيلان (CEB-FIP, 2000)، حيث وجد أن إجهادات التماسك عندما تتجاوز التشوهات في قضبان التسليح تشوه السيلان (Yield Strain) تتناقص بشكل أكبر عند مقارنته مع حالة كون قضبان التسليح مازال في مرحلة المرونة ، يوضح الشكل (16-3) الفرق بين الحالتين في علاقة الانزلاق- إجهاد التماسك، حيث يعبر المنحني I عن حالة القضبان في المرحلة المرنة، أما المنحني II فيعبر عن حالة بلوغ قضبان التسليح مرحلة السيلان حيث نلاحظ في هذا المنحني انخفاض اجهادات التماسك فوراً بعد وصول التسليح للسيلان حيث  $\tau_y$  إجهاد التماسك عند وصول فولاذ



التسليح إلى الخضوع و  $S_y$  هو انزلاق فولاذ التسليح عند وصوله للسيلان بينما نلاحظ عدم وجود مرحلة ثبات الاجهادات الأعظمية كما في حالة قضبان التسليح في المرحلة المرنة (المنحني I).

تعطى قيمة إجهاد التماسك في المرحلة اللاخطية حتى الوصول لإجهاد التماسك الأعظمي بالعلاقة التالية :

$$\tau = \tau_{max} (S/S_1)^\alpha \quad (17 - 3)$$

حيث :  $\tau$  قيمة إجهاد التماسك عند النقطة المدروسة

$\tau_{max}$  قيمة إجهاد التماسك الأعظمي

$S$  قيمة انزلاق قضبان التسليح عند النقطة المدروسة

$S_1$  قيمة الانزلاق عند وصول الإجهاد إلى القيمة الأعظمية و تعطى من الجدول (2-3)

$\alpha$  تعطى قيمتها في الجدول (2-3)

حيث يعطي الجدول (2-3) قيم الانزلاقات  $S_1$  ،  $S_2$  ،  $S_3$  ،  $S_4$  ، قيم إجهاد التماسك الأعظمي  $\tau_{max}$  ، قيم إجهاد التماسك

الأصغري  $\tau_f$  و قيم المعامل  $\alpha$  في حال كان البيتون ذا مقاومة عادية (Normal Strength Concrete) أو ذا مقاومة

عالية (High Strength Concrete) .

	S1	S2	S3	S4	$\tau_{max}$	$\tau_f$	$\alpha$
Normal strength concrete	1.0mm	3.0mm	Clear rib spacing	3*S3	0.45 $f_{cm}$	0.4 $\tau_{max}$	0.4
High strength concrete	0.5mm	1.5mm	Clear rib spacing	3*S3	0.45 $f_{cm}$	0.4 $\tau_{max}$	0.3

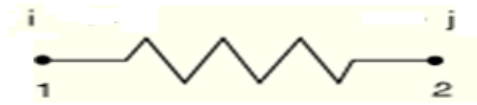
الجدول (3 - 2): قيم بارامترات منحنى علاقة الانزلاق- إجهاد التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح (CEB-FIP,2000)

حيث:  $f_{cm}$  هي المقاومة المتوسطة للبيتون على الضغط MPa

Clear rib spacing هو التباعد بين الحلزنة و الأخرى في قضيب فولاذ التسليح.

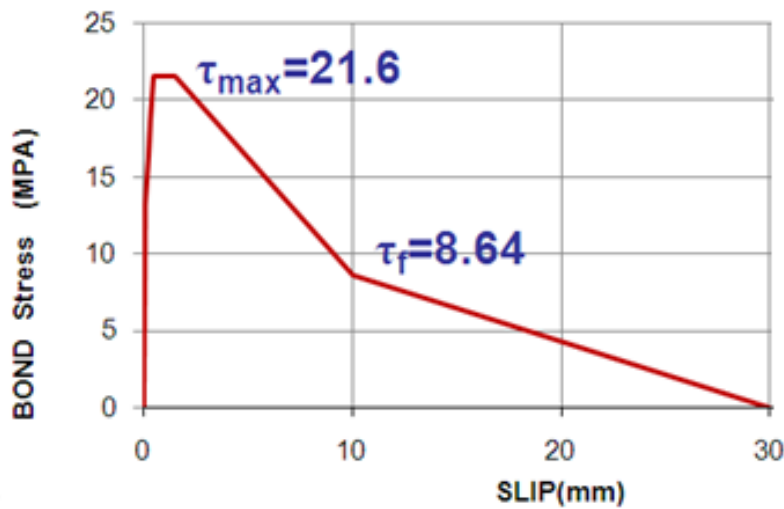
تم في هذه الدراسة الاعتماد على المنحني الموضح بالشكل (3-16) للتعبير عن منحنى علاقة الانزلاق- إجهاد التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح و الجدول (3-2) باعتبار أن البيتون المستخدم في التجربة ( , Almusallam and Alsalloum , 2007) هو بيتون عالي المقاومة حيث المقاومة المتوسطة للبيتون المستخدم على الضغط  $f_{cm} = 48 \text{MPa}$ .

و للتعبير عن ظاهرة التماسك في النمذجة تم استخدام عناصر اتصال عبارة عن نوابض من نوع (Spring 2) وهو نابض يصل بين عقدتين كما هو واضح بالشكل(3-17) :



الشكل (3-17): شكل النابض المستخدم في النمذجة من نوع (Spring2) ( ABAQUS Ver6.12 Documentation , 2012)

و باستخدام المعادلة (3-17) و القيم و العلاقات الموجودة في الجدول (3-2) ينتج منحنى علاقة الانزلاق- إجهاد التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح المستخدم في النمذجة و الموضح بالشكل(3-18) .



الشكل (3-18): منحنى علاقة الانزلاق – إجهاد التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح المعتمد في النمذجة

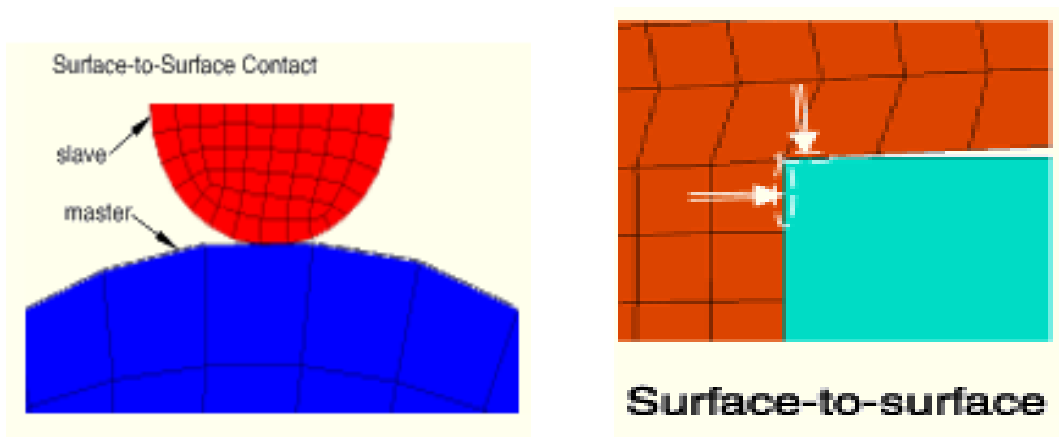
(Bond- Slip Relationship)

## ٧.٣.٣ توصيف نمذجة سطوح التماس بين جدار البلوك و الإطار البيتوني المسلح

**Modeling of Contact Pair between Masonry Wall and Reinforced Concrete Frame**

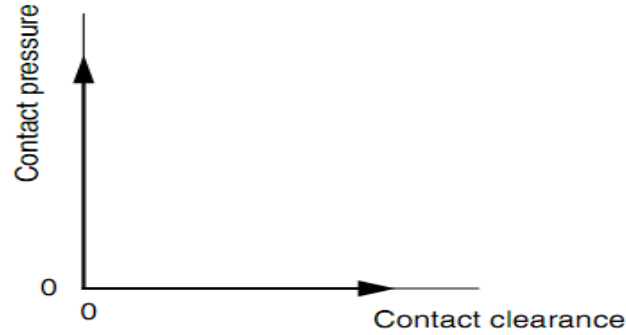
تم ربط محيط جدار البلوك بالإطار البيتوني المسلح المحيط به بمونة لكنها مادة ضعيفة لا تلبث أن تتعرض للتفكك عند تعرض جملة جدار بلوك – إطار بيتوني مسلح للتحميل الدوري، حيث تم التعبير عن مادة المونة هذه في النمذجة بسطح تماس بين جدار البلوك و الإطار البيتوني .

تم استخدام عنصر من نوع ( **Contact Pair** ) وهو عبارة عن خيار لربط زوجين من السطوح بسطح تلامس، و تم اعتبار سطح التماس على أنه سطح احتكاك حيث أخذت قيمة معامل الاحتكاك  $\mu=0.4$ ، يوضح الشكل (3-19) بعض أشكال سطوح التماس المستخدمة في برنامج ABAQUS (ABAQUS Ver6.12 Documentation, 2012) .



الشكل (3-19): أشكال توضح بعض سطوح التماس (ABAQUS Ver6.12 Documentation , 2012)

كما يوضح الشكل (3-20) علاقة ضغط الترابط – فراغ الاتصال بين سطحين ( **Contact pressure-Contact clearance Relationship** ) المعتمد في برنامج ABAQUS، حيث نلاحظ أنه عندما يكون الفراغ بين السطحين ( **Contact Clearance** ) معدوم (أي أن السطحين متلاصقين أثناء التحميل الجانبي) تزداد قيمة ضغط الترابط ( **Contact Pressure** )، بينما تنعدم قيمة ضغط الترابط عندما يتباعد السطحين عن بعض و تصبح قيمة الفراغ بين السطحين أكبر من الصفر كما هو الحال عند التحميل الجانبي لجملة جدار بلوك – إطار بيتوني حيث القطر المضغوط من الجدار تكون أطرافه متلاصقة مع الإطار البيتوني بينما القطر المشدود من الجدار تكون أطرافه مفصولة عن الإطار كما هو واضح في الشكل (3-19).



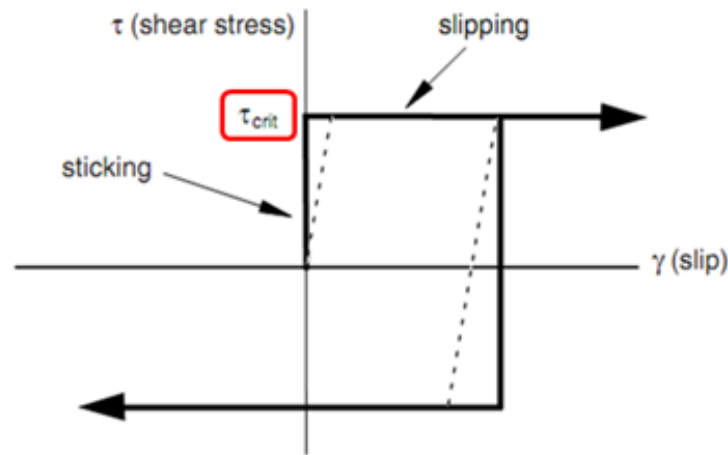
الشكل (3-20): علاقة ضغط الترابط – فراغ الاتصال بين سطحين متلامسين ( Contact pressure-Contact clearance )

( Relationship ) ( ABAQUS Ver6.12 Documentation , 2012 )

كما يوضح الشكل (3-21) سلوك الاحتكاك لسطحين متلامسين المعتمد في برنامج ABAQUS حيث يمثل المحور الأفقي انزلاق السطحين المتلامسين على بعض  $\gamma$  (Slip) بينما يمثل المحور الشاقولي إجهاد القص  $\tau$  (Shear Stress). يظهر من المنحني أنه عند تعرض السطحين للتحميل الدوري يكون السطحين متلاصقين في البداية و لا يوجد أي انزلاق بينهما فتزداد اجهادات القص حتى الوصول إلى إجهاد القص الحرج  $\tau_{crit}$  عندها ينزلق السطحين على بعض و تستمر قيمة الانزلاق بالتزايد مع ثبات قيمة إجهاد القص الحرج حتى البدء بإزالة الحمولة عندها تتناقص قيمة اجهادات القص عن الإجهاد الحرج مع ثبات قيمة الانزلاق حتى ينعدم إجهاد القص عند إزالة الحمولة بالكامل و عند التحميل بالاتجاه المعاكس تعود اجهادات القص بالازدياد من جديد حتى تصل إلى إجهاد القص الحرج عندها يعود السطحين للانزلاق على بعض من جديد، تعطى قيمة  $\tau_{crit}$  بالعلاقة (3-18) :

$$\tau_{crit} = \mu . P \quad (18 - 3)$$

حيث : P ضغط الاتصال بين السطحين و العمودي على السطح

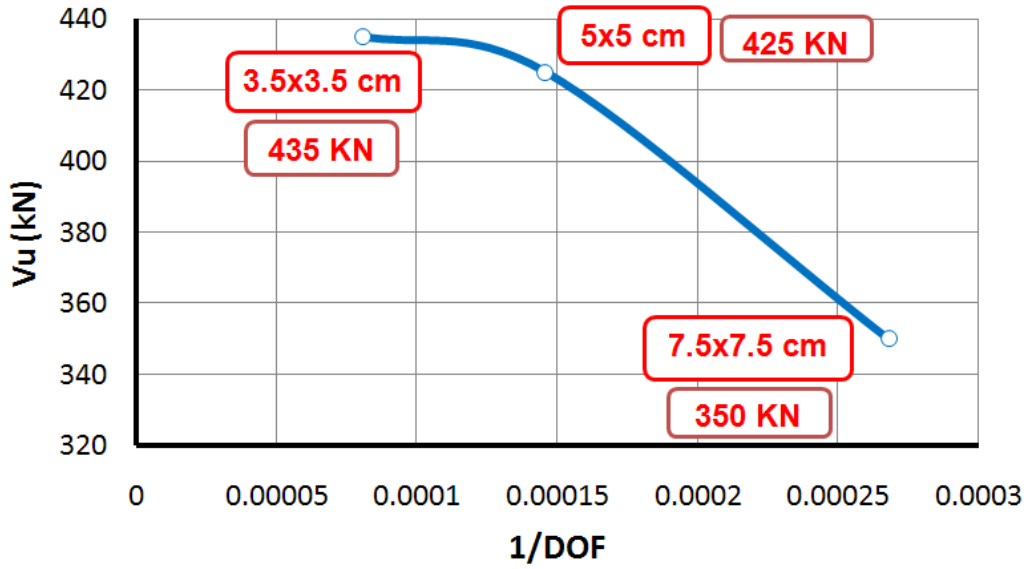


الشكل (3-21): سلوك الاحتكاك لسطحين متلامسين وفق (ABAQUS Ver6.12 Documentation , 2012)

### ٨.٣.٣ دراسة أثر تقارب الشبكة Mesh Convergence

بما أن طريقة العناصر المحدودة هي طريقة عددية، و بالتالي لا بد من تحديد الأبعاد المناسبة لتقسيمات العناصر المحدودة المستخدمة من أجل الوصول إلى التقسيم الأمثل للشبكة التي تكون أكثر اقتصادية في زمن الحل مع دقة في النتائج، تمت دراسة أثر تقارب الشبكة (Mesh Convergence) للنموذج المدروس كما هو واضح في الشكل (3-22)، حيث يمثل المحور الأفقي مقلوب عدد درجات الحرية (Degree of Freedom , DOF) في النموذج بينما يمثل المحور الشاقولي تغير قيمة قوة الانهيار  $V_u$  لجملة إطار بيتوني + جدار بلوك تحت تأثير حمل جانبي في مستوي الجدار و ذلك من أجل تقسيمات شبكة (Mesh) مختلفة.

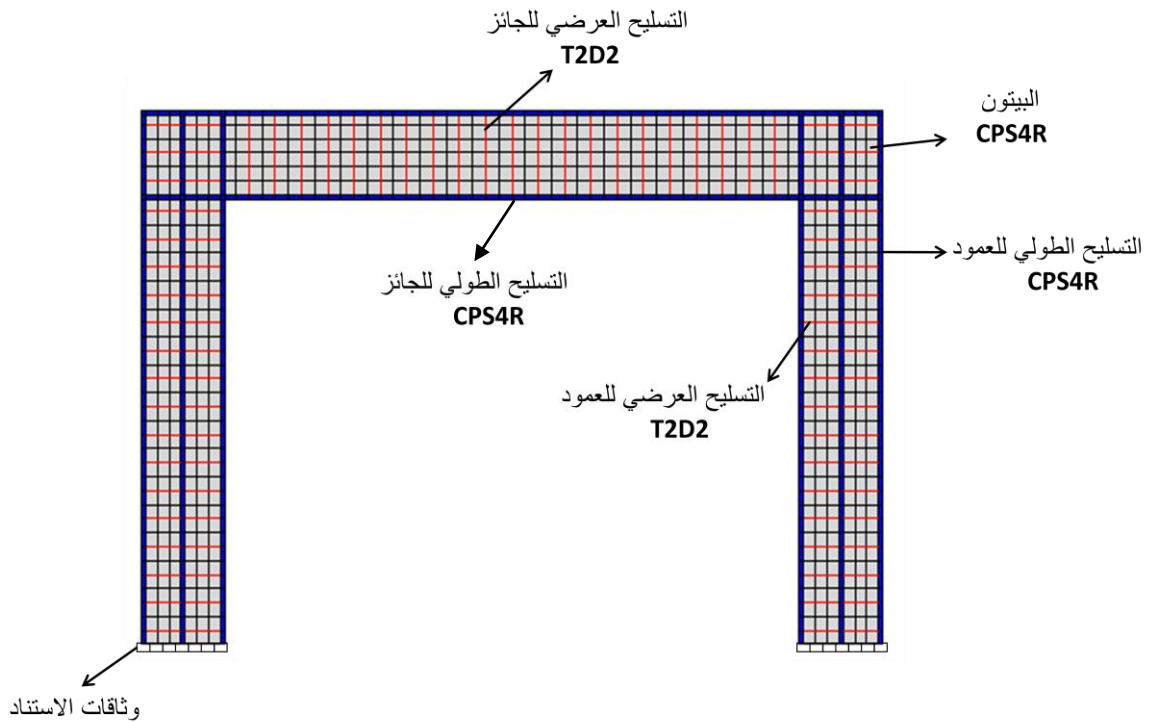
نلاحظ من الشكل عند استخدام العنصر المساحي CPS4R بأبعاد (5X5 cm) أن قوة الانهيار مساوية (425 KN) و بالتالي أعطى نتائج مقاربة عند استخدام نفس العنصر لكن بأبعاد (3.5X3.5 cm) حيث كانت قوة الانهيار (435 KN)، و بالتالي اعتماد العنصر المساحي بأبعاد (5X5 cm) كافٍ للحصول على حل دقيق، فاعتماد أبعاد أكبر للعنصر المساحي CPS4R عند النمذجة (7.5X7.5 cm) أعطى حلاً غير دقيق حيث كانت قوة الانهيار (350 KN) ، في حين يؤدي استخدام العنصر المساحي ذو الأبعاد الأصغر (3.5X3.5 cm) إلى عدم اقتصادية في زمن الحل .



الشكل (3-22): دراسة أثر تقارب تقسيم الشبكة للنموذج المدروس

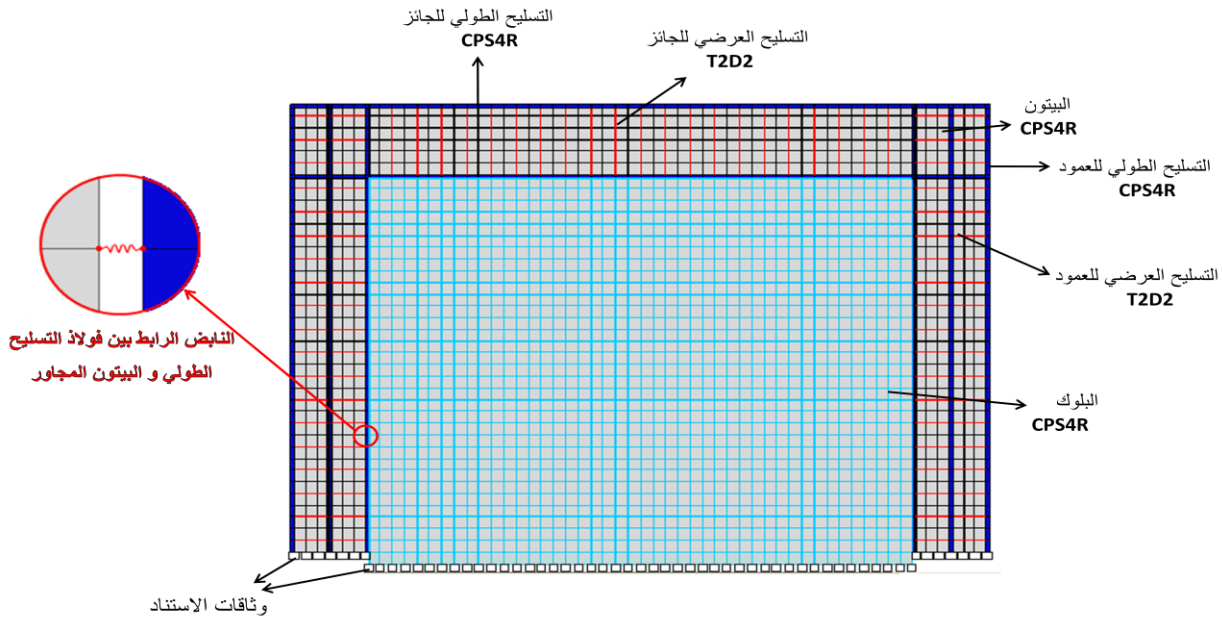
### 9.3.3 شكل النموذج المدروس في برنامج ABAQUS

يبين الشكل (3-23) النموذج النهائي المدروس وفق برنامج ABAQUS (Ver 6.12) ، حيث يظهر في الشكل الإطار البيتوني ، التسليح الطولي و العرضي بدون جدار البلوك .



الشكل (3-23): شكل نموذج الإطار المدروس بدون جدار بلوك موضحاً عليه شبكة التسليح باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12)

ويبين الشكل (24-3) النموذج النهائي المدروس وفق برنامج ABAQUS (Ver 6.12) للإطار البيتوني مع جدار بلوك .



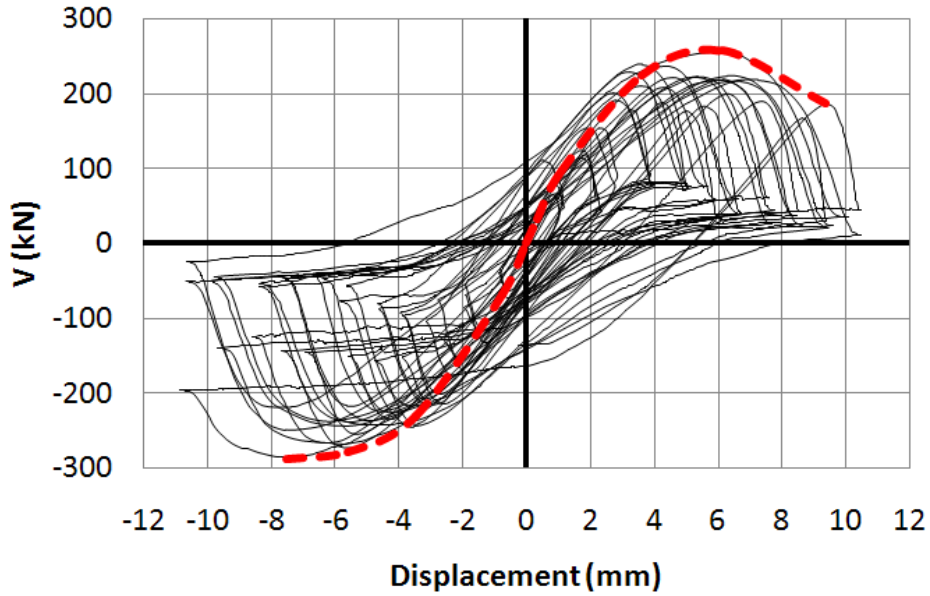
الشكل (3-24): شكل نموذج الإطار المدروس مع جدار بلوك باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12)

### ١٠.٣.٣ مقارنة النتائج التحليلية لحالة التحميل الدوري (Cyclic Load)

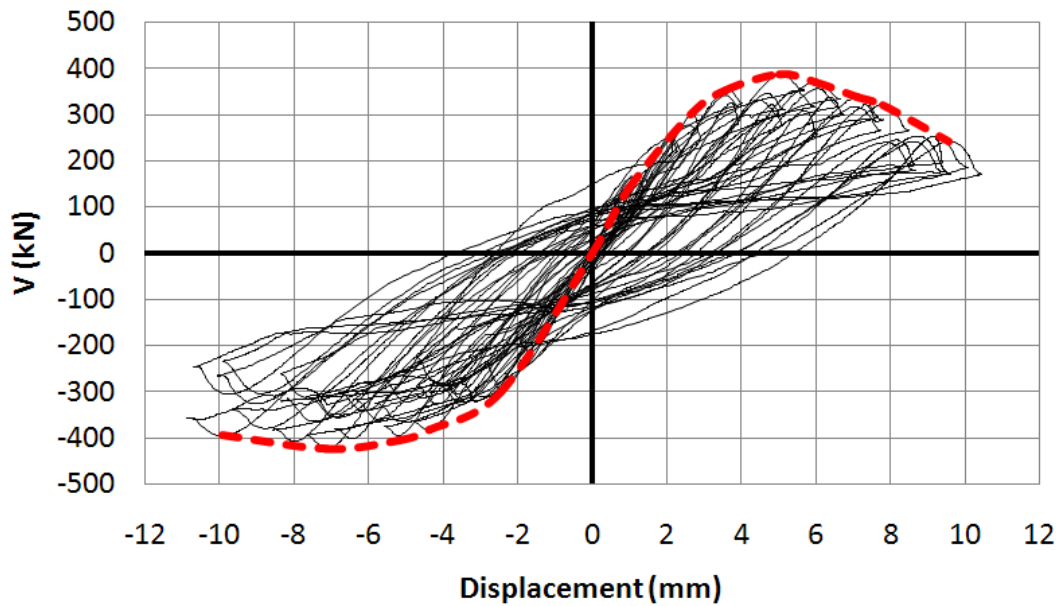
يوضح الشكل (3-25) الحلقة الهستيرية (منحنيات الانتقال - قوة القص) لنموذج الإطار البيتوني بدون جدار بلوك (Bare Frame) مع مغلف الحلقات الهستيرية، حيث بلغت قوة القص القاعدي العظمى (285kN)، بينما يوضح الشكل (3-26) منحنيات الانتقال- قوة القص لحالة الإطار البيتوني مع جدار بلوك (Infilled Frame)، حيث بلغت قوة القص القاعدي العظمى (425kN)، أي أن إضافة جدران البلوك للإطار البيتوني المسلح زادت المقاومة الجانبية للجملة الإنشائية بنسبة 49%. إن هذه النسبة صغيرة مقارنة مع دراسات سابقة (Braz-César et al , 2008) حيث وصلت نسبة الزيادة إلى 182% (الشكل 2-39)، ويعود ذلك إلى أن الإطار المدروس في الدراسة الحالية هو إطار خاص كما تبين المقاطع وترتيبات التسليح (الشكل 3-3) كما أن مقاومة البيتون المتوسطة للإطار مرتفعة (48MPa) مقارنة مع مقاومة البيتون لتجربة Braz-César et al (2008) (20MPa). إن هذا يدل على أن أثر جدار البلوك على رفع المقاومة يتعلق بمواصفات الإطار البيتوني قبل ملئه بجدار البلوك، حيث تزداد هذه النسبة بانخفاض قساوة الإطار.

أيضاً يبين الشكل (3-27) مغلفات الحلقات الهستيرية (Hysteretic Loops) للنموذج المدروس مقارنة مع التجربة، حيث أن الفرق بين قوة الانهيار التحليلية للإطار المدروس مع جدار البلوك والتي تبلغ (425 KN) وقوة الانهيار التجريبية في (Almusallam and Alsalloum , 2007) والتي تبلغ (417 KN) لا تتجاوز 2% وبالتالي فالنتائج التحليلية مقبولة، أما بالنسبة لمقارنة نتائج الانتقالات فنلاحظ أن أكبر انتقال تم الحصول عليه تحليلياً هو (10.9 mm) وهو موافق للانتقال

التجريبي في تجربة (Almusallam and Alsalloum , 2007)، إلا أن قساوة النموذج التحليلي في هذه الدراسة للإطار المملوء بجدار بلوك أكبر من تلك التي أعطتها التجربة ، كما أنها أكبر من قساوة الإطار بدون جدار بلوك. إن سبب الحصول على القساوة المرتفعة يعود إلى نمذجة المادة الحجرية كمادة واحدة أي دون أخذ خصائص التماسك بين المونة و القطع الحجرية الأمر الذي سيجعل النمذجة و التحليل أمر معقد، إضافة إلى عدم أخذ تأثير سيلان فولاذ التسليح على التماسك كما يبين الشكل (3-16).

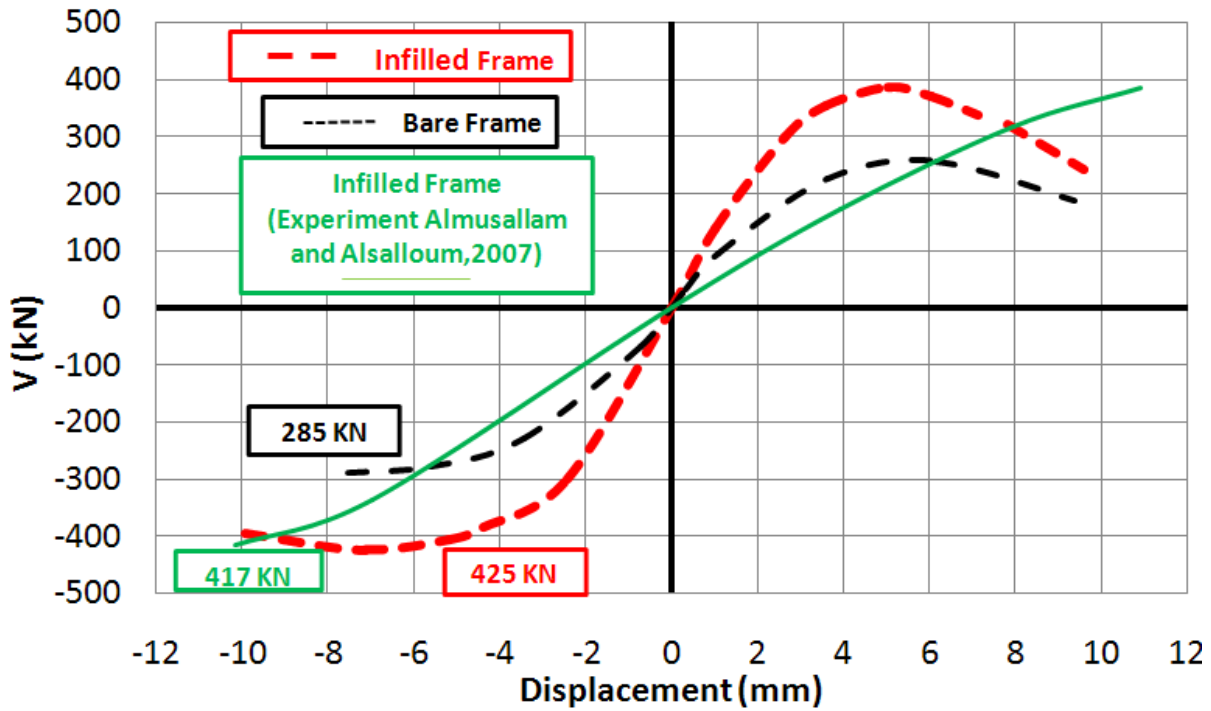


الشكل (3-25): مغلف الانتقال- قوة القص لحالة إطار بدون جدار بلوك باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12)



الشكل (3-26): مغلف الانتقال- قوة القص لحالة إطار مع جدار بلوك باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12)



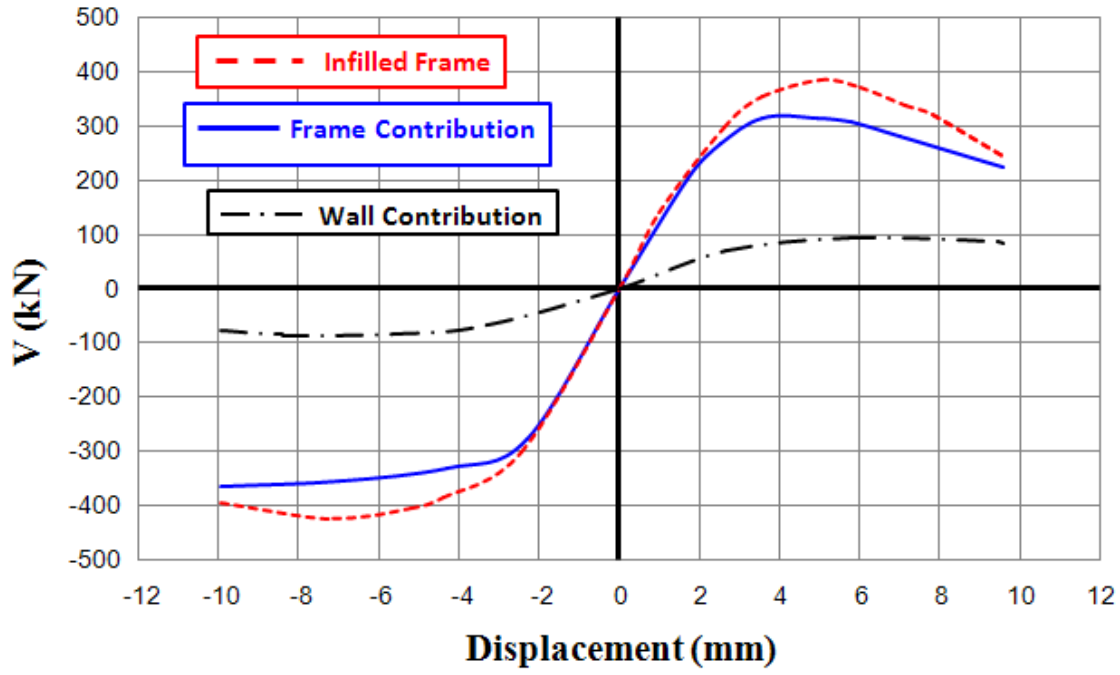


الشكل (3- 27): مقارنة النتائج لمخطط الانتقال – قوة القص للنموذج المدروس

يوضح الشكل (3-28) مقارنة بين نسبة مساهمة كل من الإطار البيتوني و جدار البلوك في تحمل قوى القص في نموذج الإطار البيتوني المملوء بجدار بلوك (Infilled Frame) و المقاومة الجانبية لجملة الإطار البيتوني مع جدار البلوك ككل، حيث بلغت مشاركة الإطار (339kN)، ومشاركة جدار البلوك (86kN)، أي أن الإطار شارك في قوة القص القاعدية بنسبة 80% بينما شارك الجدار بنسبة 20%.

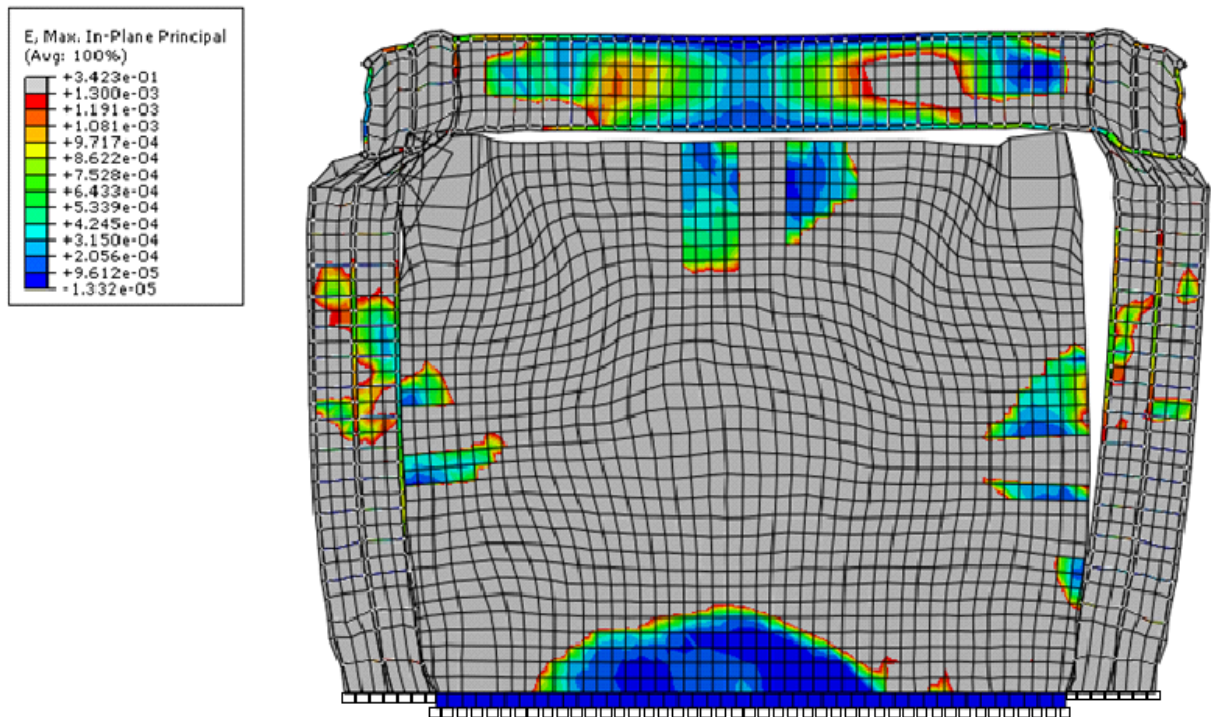
يمكن تفسير مشاركة الجدار الضئيلة بالنسبة إلى الإطار إلى ثبات الإجهاد المماسي عند سطحي الاتصال (الشكل 3-21) وعدم زيادة قوة القص عند حدوث الانزلاق بين الجدار والإطار البيتوني، إلا أن الجدار أدى إلى رفع مقاومة الإطار على الأحمال الجانبية عما هو الحال فيما لو كان الإطار غير مملوء بجدار بلوك كما هو موضح في الشكل (3-27) وبنسبة 19% وذلك بسبب السند الجانبي الذي يؤمنه الجدار البيتوني وبالتالي فإن ارتفاع العمود يصبح أقصر الأمر الذي يمنح الإطار قساوة أكبر لمقاومة القوة الجانبية.

يبين الشكل (3-29) شكل انهيار جدار البلوك النهائي تحت تأثير التحميل الدوري في مستوييه حيث نلاحظ تشكل تشققات قطرية على شكل حرف X في الجدار نتيجة التحميل المتكرر بالاتجاهين و انفصال المونة بين الجدار و الإطار البيتوني و هو مماثل لشكل انهيار جدار البلوك التجريبي في (Almusallam and Alsalloum , 2007) كما هو واضح في الشكل (3-30) .

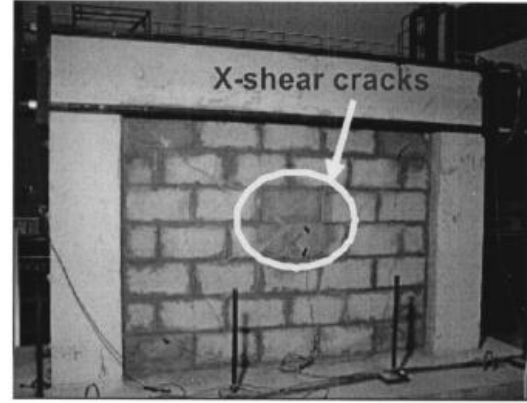
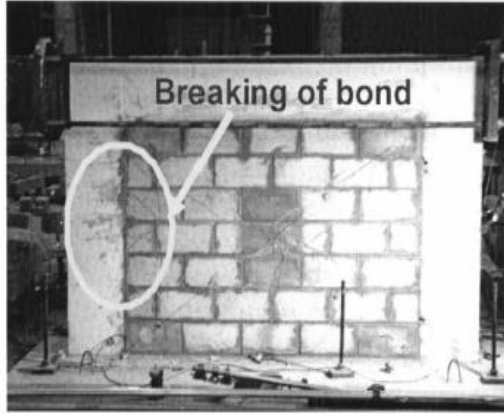


الشكل (3-28): مقارنة بين مساهمة الإطار البيتوني و مساهمة جدار البلوك في تحمل قوى القص و المقاومة الجانبية لجملة الإطار البيتوني

المملوء بجدار بلوك

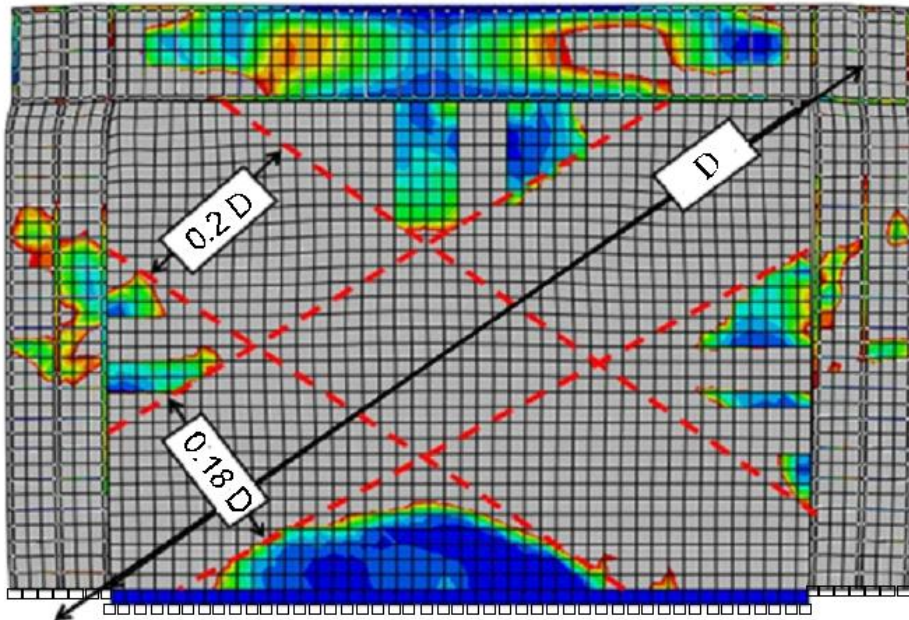


الشكل (3-29): شكل انهيار جدار البلوك النهائي (ABAQUS Ver6.12)



الشكل (30-3): شكل انهيار جدار الب্লوك النهائي التجريبي (Almusallam and Alsalloum , 2007)

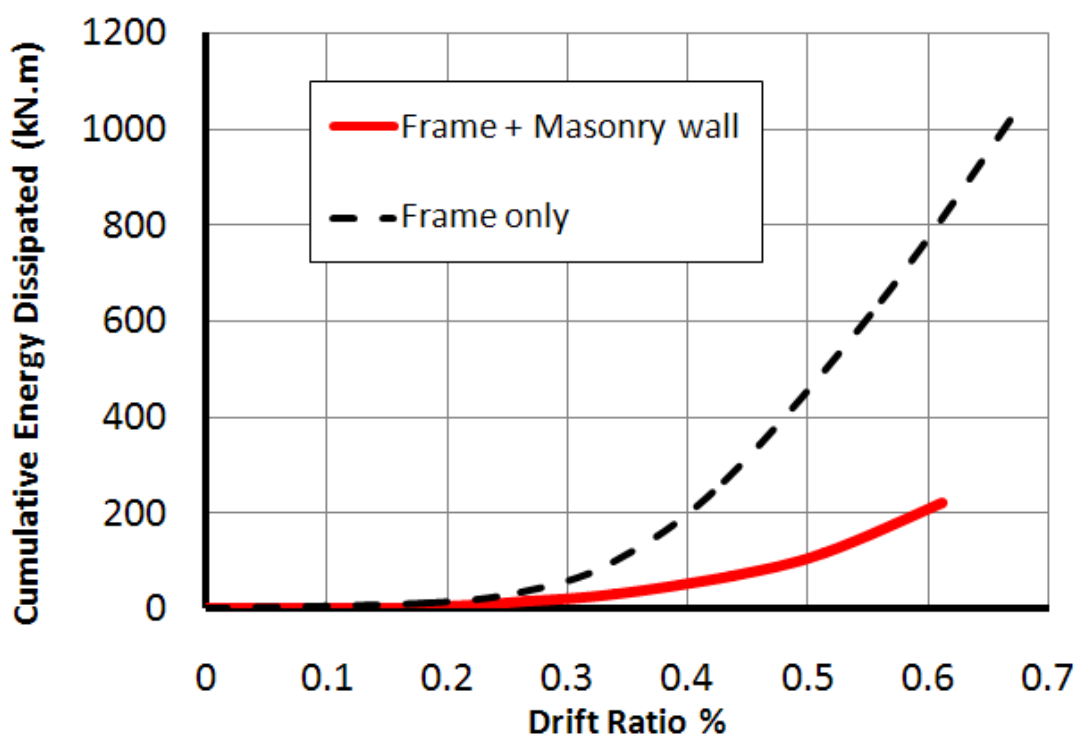
بقياس العرض الفعال لحقل الضغط القطري المتشكل في جدار الب্লوك ( $w$ ) عند التحميل الجانبي في مستويه وجد أنه مساوي ( $0.18 D$ ) للقطر الأيمن و ( $0.2 D$ ) للقطر الأيسر حيث  $D$  هو قطر جدار الب্লوك كما هو واضح في الشكل (30-3)، و بالمقارنة مع الدراسات السابقة و التي قدرت العرض الفعال لحقل الضغط القطري المتشكل في جدار الب্লوك بـ ( $0.2D$ ) (Penelis and Kappos,1997) كما هو مبين في الشكل (20-2) نجد أن النتائج التحليلية للنموذج المدروس قد أعطت عرضاً لحقل الضغط مماثل للدراسات السابقة، إلا أن هذا العرض يتعلق بمواصفات الإطار والجدار معاً كما يبين الجدول (4-2).



(31-3): مقارنة العرض الفعال لحقل الضغط المتشكل في جدار الب্লوك في النموذج المدروس مع الدراسة التجريبية ( Penelis )

(and Kappos,1997)

لدراسة أثر جدار البلوك على تبديد الطاقة، تم رسم علاقة الانتقال النسبي (Drift%) و تجميع الطاقة المبددة (Cumulative Energy Dissipated) لحالة الإطار بدون جدار بلوك والإطار المملوء بجدار بلوك (الشكل 3-32).



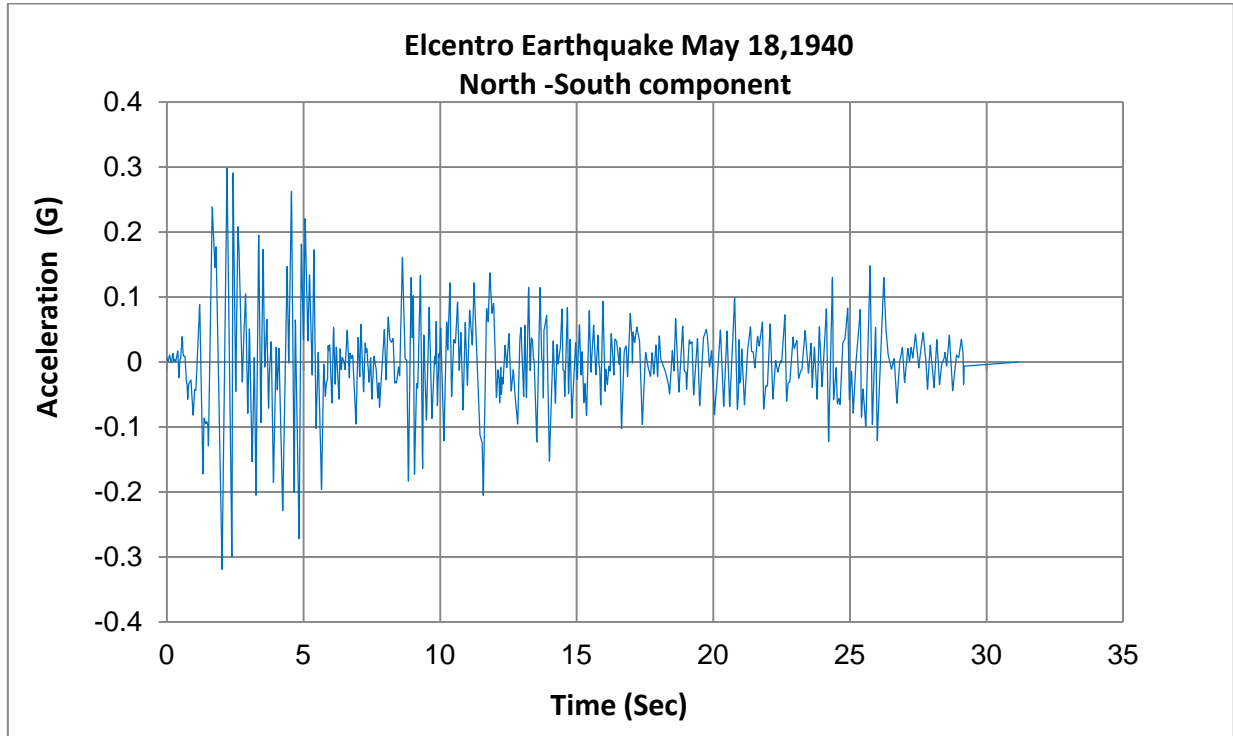
(32- 3): تجميع الطاقة المبددة (ABAQUS Ver6.12)

يبين الشكل (32-3) أن جدار البلوك قد أدى إلى خفض الطاقة المبددة وبنسبة كبيرة تصل إلى 35% الأمر الذي يؤثر على مطاوعة (Ductility) الجملة الإنشائية. إن هذه النتيجة تتفق مع الدراسات المرجعية السابقة (Braz-César et al , 2008 ; Mulgund & Kulkarni , 2011) و الموضحة في الفقرة (٦.٢).

### ١١.٣.٣ التحليل الإنشائي باستخدام سجل زلزالي زمني:

#### Structural Analysis using Seismic Record

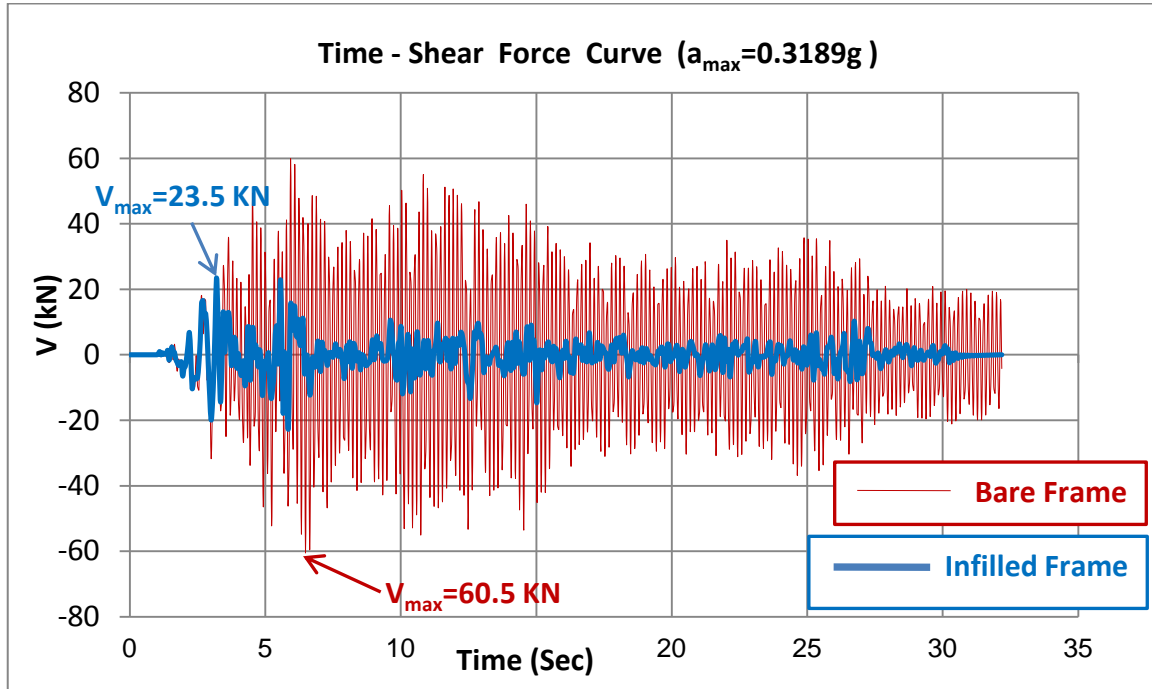
تم تطبيق تحليل ديناميكي باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12) على نموذج الإطار البيتوني مع جدار بلوك و بدون جدار حيث تم استخدام السجل الزمني لزلزال (Elcentro earthquake , 1940) في كاليفورنيا و الموضح بالشكل (33-3) حيث كان زمن الهزة الكلية المستخدمة (31.18 sec) و التسارع الأعظمي (0.3189g) . تم فرض وجود كتلة أعلى الجائز وبما يكافئ وزناً مقداره 40kN/m.



الشكل (3-33): منحنى التسارع - الزمن لزلزال Elcentro 1940 في كاليفورنيا

بعد ذلك تم تطبيق نفس السجل الزمني لكن بشدات زلزالية مختلفة على نموذج الإطار البيتوني مع جدار بلوك و بدون جدار حيث كانت الشدات المستخدمة هي على التوالي ( 0.4g , 0.5g , 0.6g , 0.7g ) و تمت مقارنة النتائج .

يوضح الشكل (3-34) مقارنة بين منحنى الزمن - القص القاعدي لنموذج الإطار البيتوني بدون جدار بلوك و مع جدار عند تطبيق زلزال ( Elcentro ) بتسارع أعظمي (  $a_{max}=0.3189g$  ) ، حيث يعبر المحور الأفقي عن الزمن بينما يمثل المحور الشاقولي قوة القص القاعدي في أسفل الإطار نتيجة الحمولة الزلزالية، نلاحظ من المنحنى أن إضافة جدار البلوك إلى الإطار قد خفض القص القاعدي الأعظمي بنسبة 61% حيث كان القص القاعدي الأعظمي لحالة إطار بيتوني بدون جدار بلوك (  $V_{max}= 60.53 KN$  ) بينما انخفضت قيمة القص القاعدي الأعظمي في حالة إطار بيتوني مع جدار بلوك إلى (  $V_{max}= 23.471 KN$  ) .



الشكل (3-34): مقارنة بين منحنى الزمن - القص القاعدي لحالة الإطار البيتوني مع وبدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال

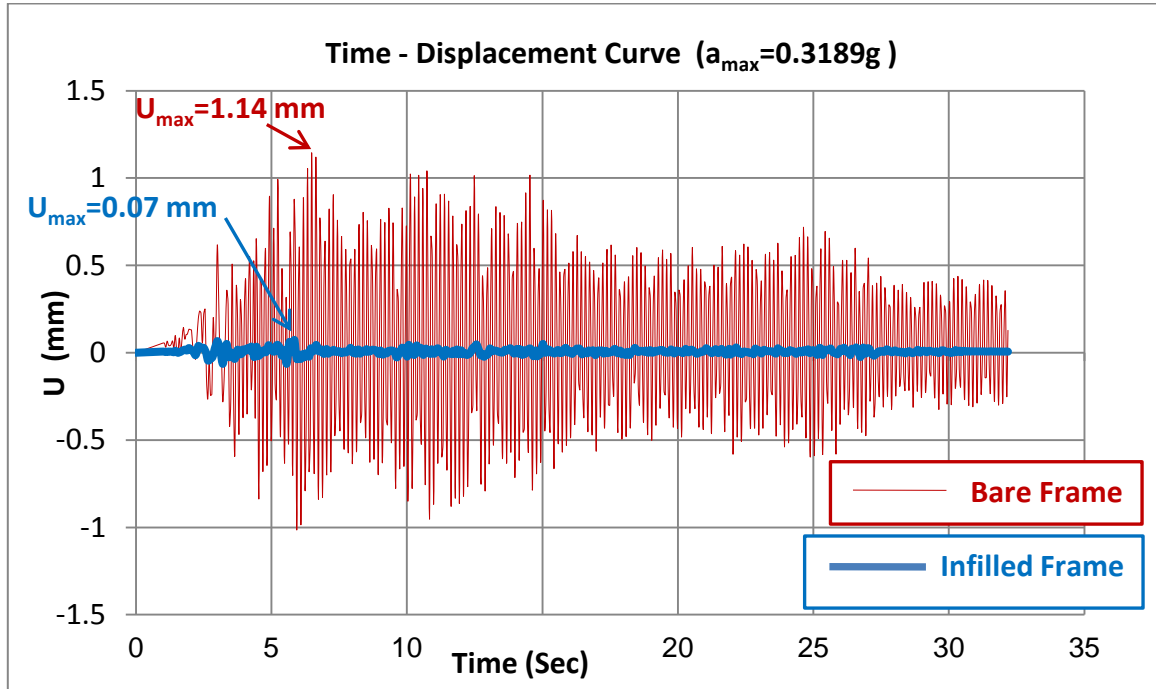
(Elcentro) بتسارع (0.3189g)

بينما يبين الشكل (3-35) مقارنة بين منحنى الزمن - الانتقال لنموذج الإطار البيتوني بدون جدار بلوك و مع جدار عند تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع أعظمي (  $a_{max}=0.3189g$  ) ، حيث يمثل المحور الأفقي الزمن بينما يمثل المحور الشاقولي انتقال أعلى الإطار نلاحظ من المنحنى أن إضافة جدار البلوك إلى الإطار قد خفض الانتقال الأعظمي بمقدار 1490% ، حيث كان الانتقال الأعظمي لحالة إطار بيتوني بدون جدار بلوك (  $U_{max}= 1.1451$  mm) بينما انخفض الانتقال الأعظمي لحالة إطار بيتوني مع جدار بلوك إلى (  $U_{max}= 0.072$  mm) .

كما يوضح الشكل (3-36) مقارنة بين منحنى الزمن - القص القاعدي للنموذج المدروس بدون و مع جدار بلوك عند تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع أعظمي (  $a_{max}=0.4g$  ) ، يبدو واضحاً من المنحنى أن إضافة جدار البلوك إلى الإطار قد خفض قوة القص القاعدي الأعظمي حوالي 59% حيث تظهر القيم الأعظمية لقوى القص القاعدي على المنحنى .

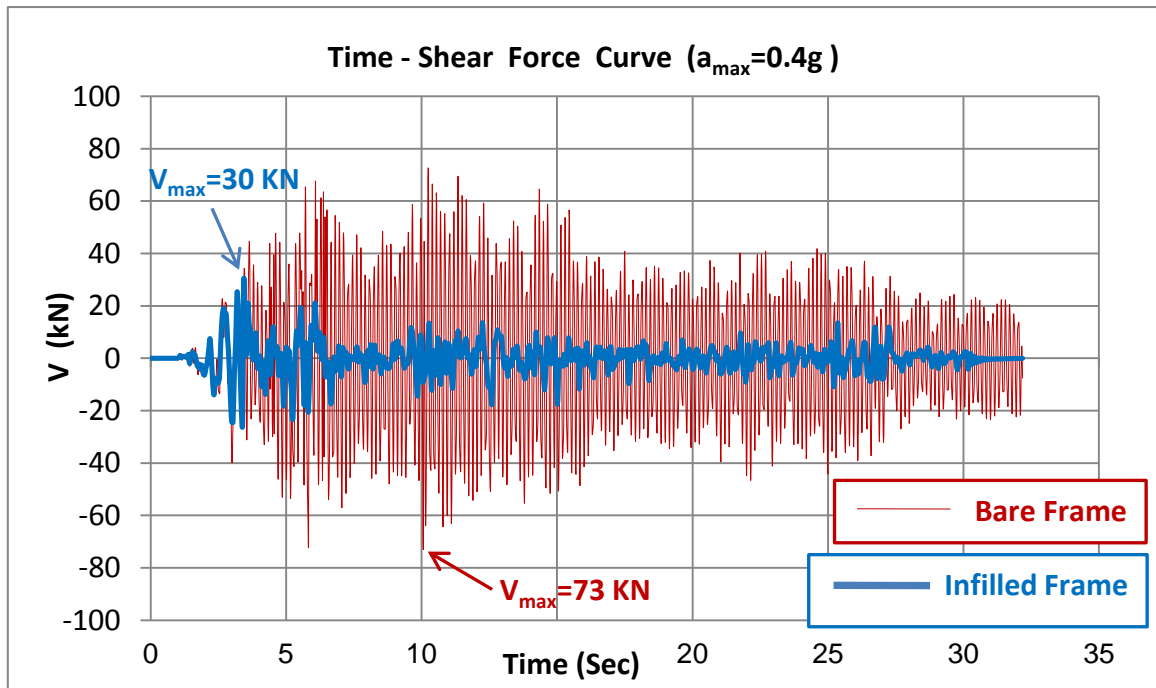
بينما يبين الشكل (3-37) مقارنة بين منحنى الزمن - الانتقال للنموذج المدروس بدون و مع جدار بلوك عند تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع أعظمي (  $a_{max}=0.4g$  ) ، حيث نلاحظ من المنحنى أن إضافة جدار البلوك إلى الإطار قد خفض الانتقال الأعظمي حوالي 1455% حيث تظهر القيم الأعظمية للانتقالات على المنحنى .





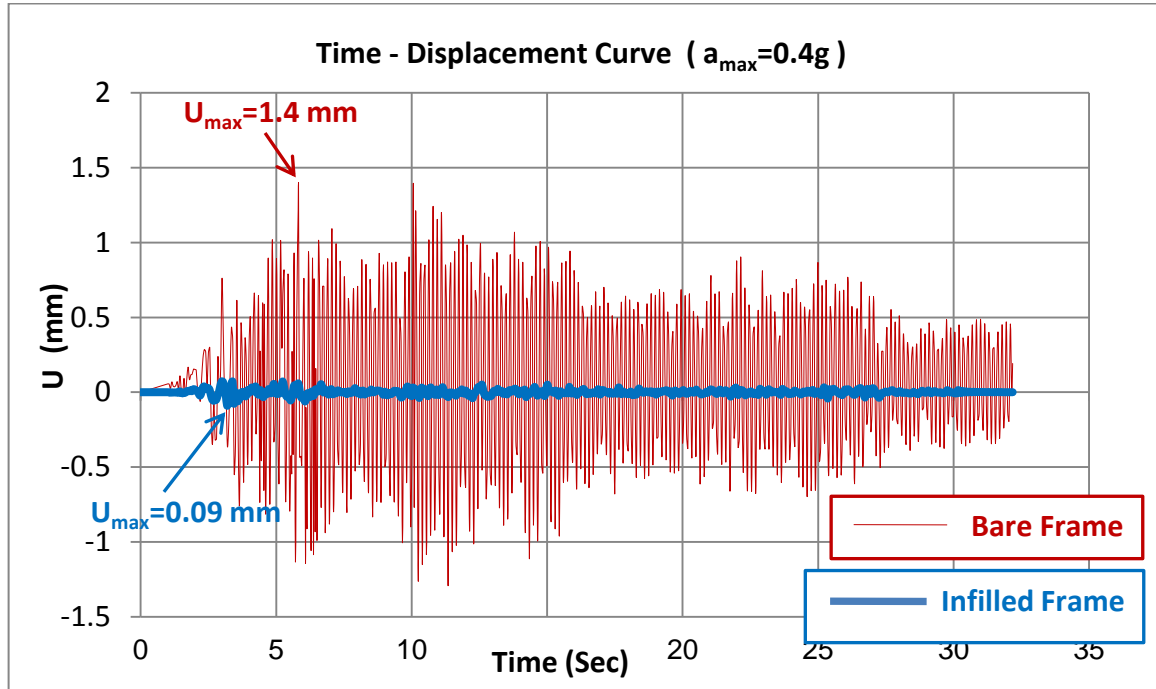
الشكل (3- 35): مقارنة بين منحنيي الزمن – الانتقال لحالة الإطار البيتوني مع وبدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال

(Elcentro) بتسارع ( 0.3189g )



الشكل (3- 36): مقارنة بين منحنيي الزمن – القص القاعدي لحالة الإطار البيتوني مع وبدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال

(Elcentro) بتسارع ( 0.4g )



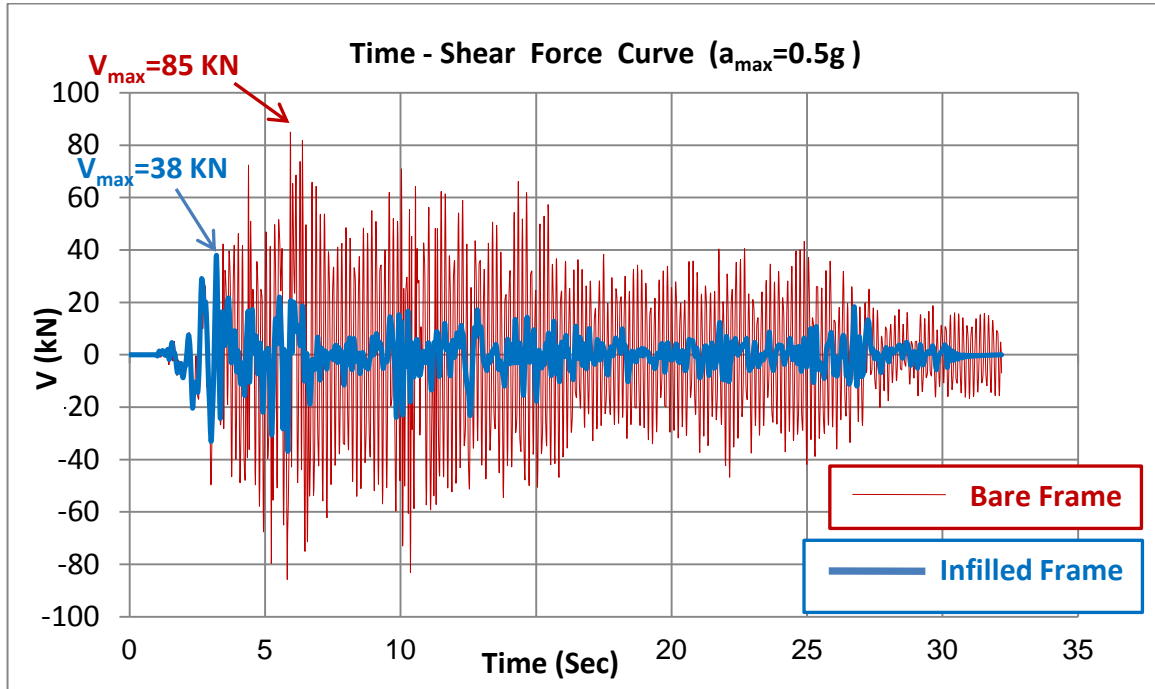
الشكل (3-37): مقارنة بين منحنى الزمن – الانتقال لحالة الإطار البيتوني مع و بدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع (  $0.4g$  )

أيضاً يوضح الشكل (38-3) مقارنة بين منحنى الزمن – القص القاعدي لنموذج الإطار البيتوني بدون و مع جدار بلوك عند تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع أعظمي (  $a_{max}=0.5g$  ) ، يتضح من المنحنى في هذه الحالة أن إضافة جدار البلوك إلى الإطار قد خفض قوة القص القاعدي الأعظمي حوالي % 55.3 .

بينما يبين الشكل (39-3) مقارنة بين منحنى الزمن – الانتقال لنموذج الإطار البيتوني بدون و مع جدار بلوك عند تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع أعظمي (  $a_{max}=0.5g$  ) ، حيث نلاحظ من المنحنى أن إضافة جدار البلوك إلى الإطار قد خفض الانتقال الأعظمي بحوالي % 1352 .

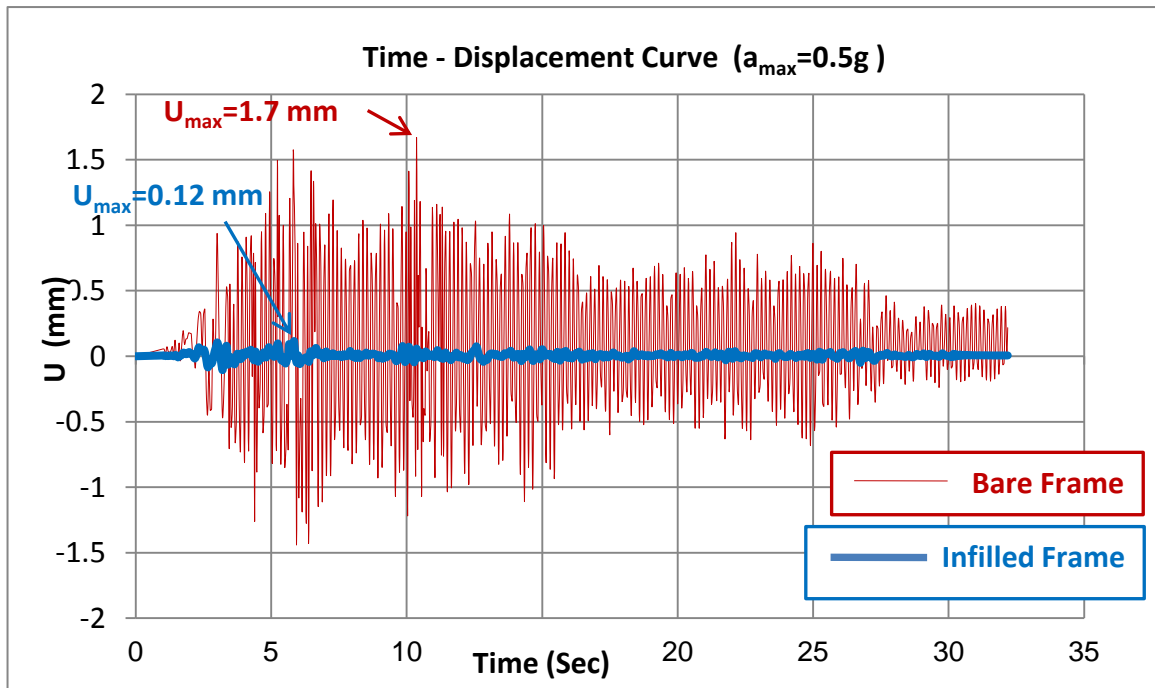
كذلك يوضح الشكل (40-3) مقارنة بين منحنى الزمن – القص القاعدي للنموذج المدروس بدون و مع جدار بلوك عند تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع أعظمي (  $a_{max}=0.6g$  ) ، يبدو واضحاً من المنحنى في هذه الحالة أن إضافة جدار البلوك إلى الإطار قد خفض قوة القص القاعدي الأعظمي حوالي % 54.8 .





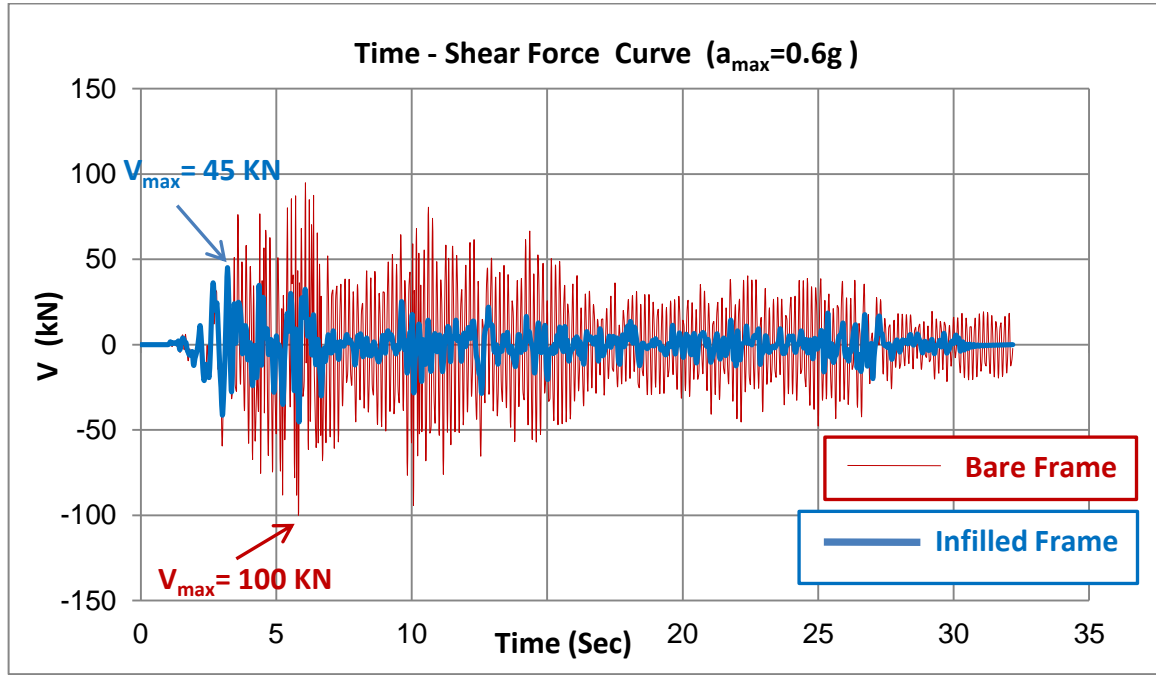
الشكل (3- 38): مقارنة بين منحنبي الزمن – القص القاعدي لحالة الإطار البيتوني مع و بدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال

(Elcentro) بتسارع ( 0.5g )



الشكل (3- 39): مقارنة بين منحنبي الزمن – الانتقال لحالة الإطار البيتوني مع و بدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال

(Elcentro) بتسارع ( 0.5g )



الشكل (3-40): مقارنة بين منحنىي الزمن – القص القاعدي لحالة الإطار البيتوني مع و بدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال

(Elcentro) بتسارع ( 0.6g )

بينما يبين الشكل (3-41) مقارنة بين منحنىي الزمن – الانتقال للنموذج المدروس بدون و مع جدار بلوك عند تطبيق زلزال

( Elcentro ) بتسارع أعظمي (  $a_{max}=0.6g$  )، حيث نلاحظ أيضاً أن إضافة جدار البلوك إلى الإطار قد خفض الانتقال

الأعظمي حوالي 1267% .

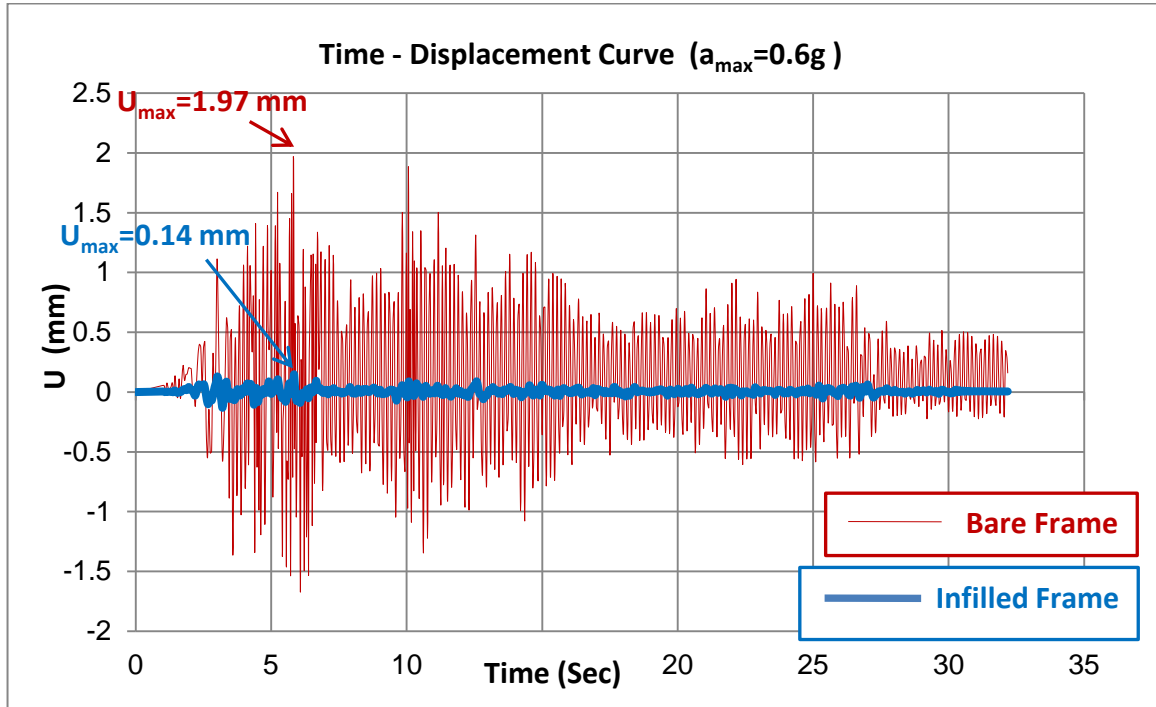
و أخيراً يوضح الشكل (3-42) منحنىي الزمن – القص القاعدي للنموذج المدروس عند تطبيق زلزال ( Elcentro ) بتسارع

أعظمي (  $a_{max}=0.7g$  )، هنا أدت إضافة جدار البلوك للإطار إلى تخفيض رد الفعل الأفقي الأعظمي حوالي 54.8% .

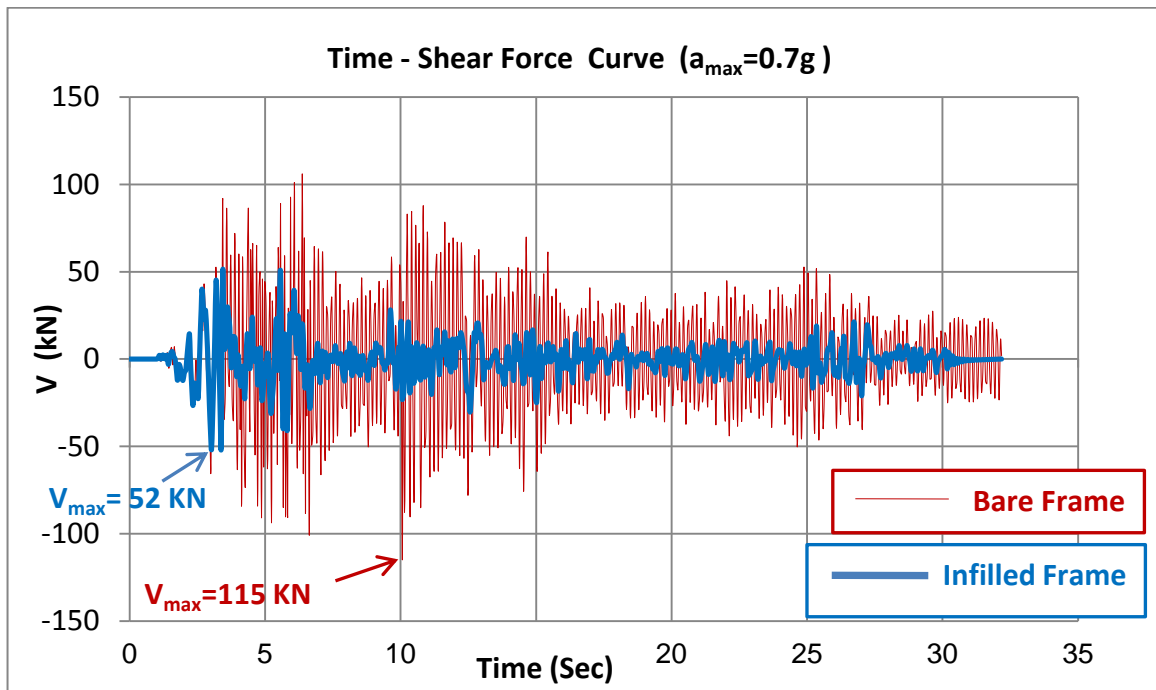
بينما يبين الشكل (3-43) منحنىي الزمن – الانتقال للنموذج المدروس عند تطبيق زلزال ( Elcentro ) بتسارع

أعظمي (  $a_{max}=0.7g$  )، حيث نلاحظ من المنحنى أن إضافة جدار البلوك إلى الإطار قد خفض الانتقال الأعظمي

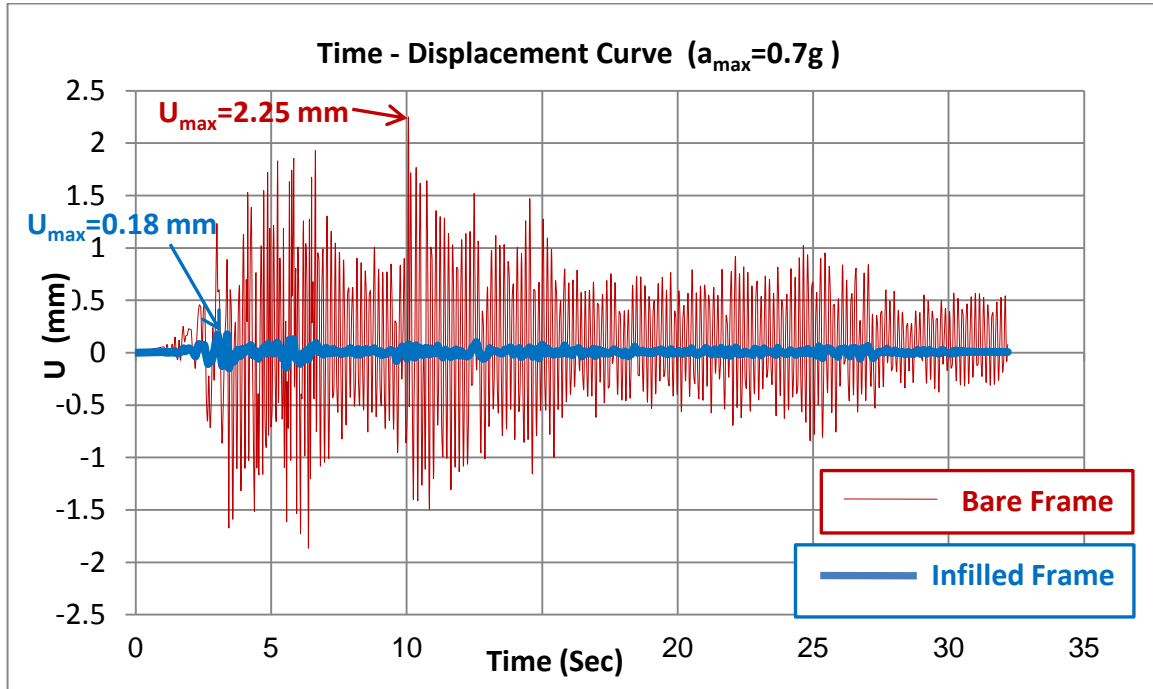
بحوالي 1171% .



الشكل (3-41): مقارنة بين منحنىي الزمن – الانتقال النسبي لحالة الإطار البيتوني مع و بدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع ( 0.6g )

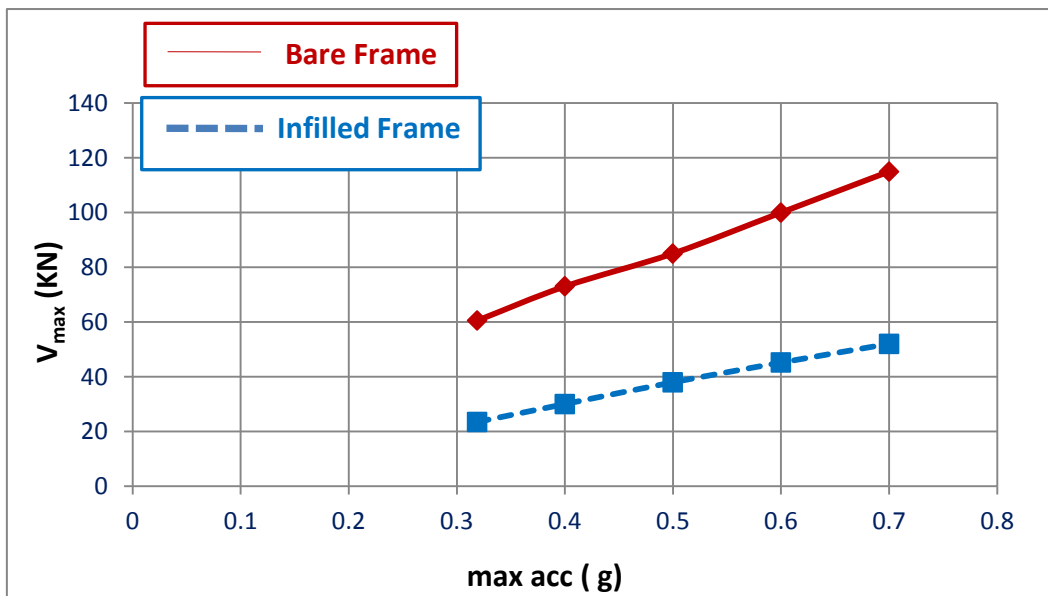


الشكل (3-42): مقارنة بين منحنىي الزمن – القص القاعدي لحالة الإطار البيتوني مع و بدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع ( 0.7g )



الشكل (3- 43): مقارنة بين منحنىي الزمن – الانتقال لحالة الإطار البيتوني مع وبدون جدار بلوك نتيجة تطبيق زلزال (Elcentro) بتسارع (0.7g)

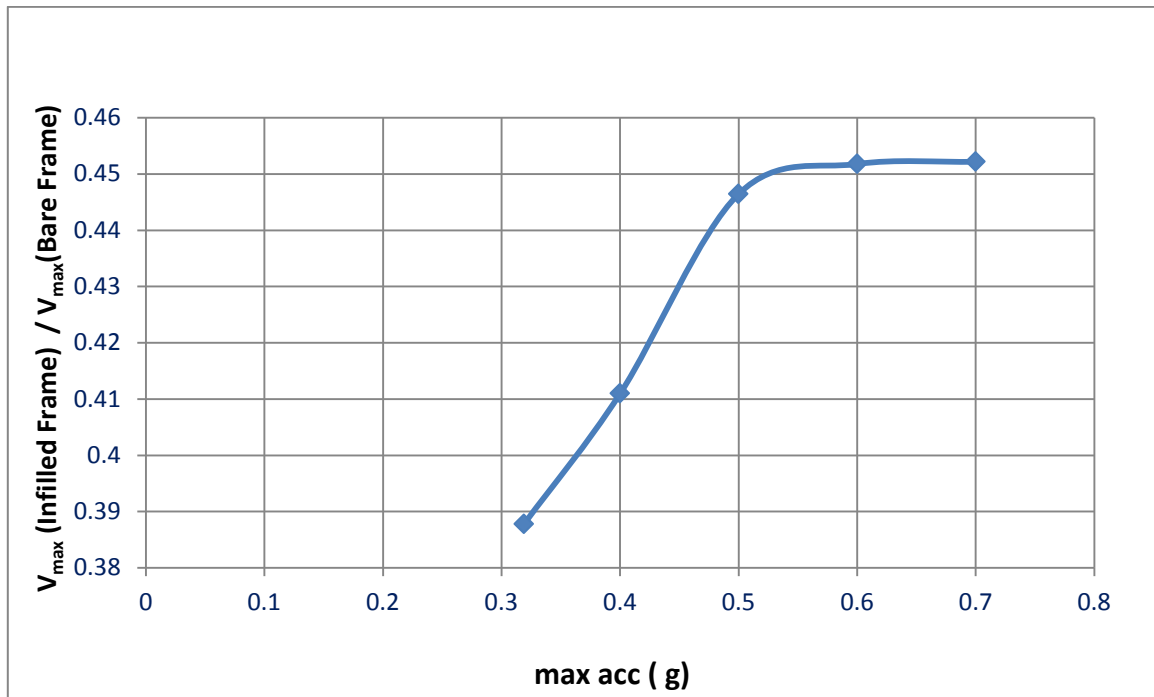
يلخص الشكل (3-44) النتائج السابقة حيث يمثل المحور الأفقي التسارعات المستخدمة بدءاً من 0.3189g وحتى 0.7g بينما يمثل المحور الشاقولي القص القاعدي الأعظمي . حيث يظهر منحنى التسارع – القص القاعدي الأعظمي لحالة الإطار مع جدار بلوك (Infilled Frame) مقارنة مع منحنى التسارع – القص القاعدي الأعظمي لحالة الإطار بدون جدار بلوك (Bare Frame) .



الشكل (3- 44): مقارنة بين منحنىات التسارعات المستخدمة – القص القاعدي الأعظمي لحالة إطار مع وبدون جدار بلوك

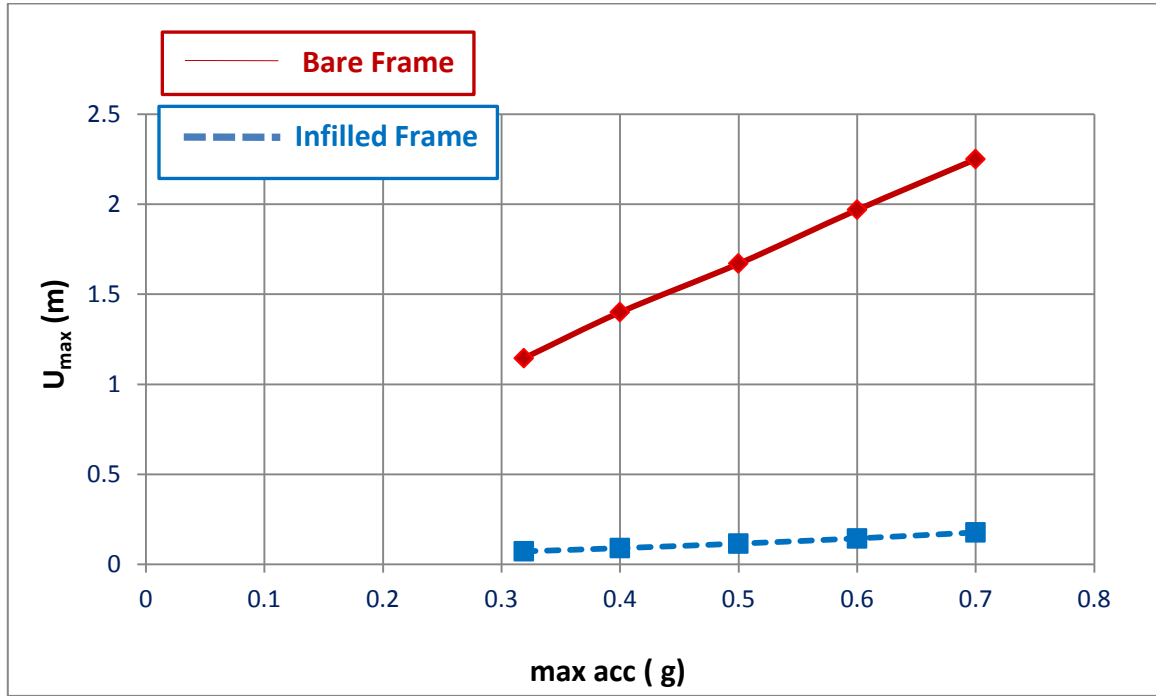
نلاحظ من الشكل السابق أنه بازيدياد تسارع الشدة الزلزالية المطبقة على النموذج المدروس يزداد القص القاعدي الأعظمي بشكل خطي، كما يبدو واضحاً انخفاض قوة القص القاعدية عند إضافة جدار بلوك للإطار البييتوني.

يبين الشكل (3-45) علاقة التسارع الأعظمي للشدة الزلزالية المطبقة على النموذج المدروس و التي يمثلها المحور الأفقي و نسبة القص القاعدي الأعظمي في الإطار البييتوني المملوء بجدار بلوك إلى القص القاعدي الأعظمي في الإطار البييتوني بدون جدار بلوك التي يمثلها المحور الشاقولي، حيث نلاحظ أنه بازيدياد التسارع الأعظمي للشدة الزلزالية المطبقة على الجملة الإنشائية تزداد النسبة المذكورة أي أن فعالية جدران البلوك في تخفيض رد الفعل الأفقي في جملة الإطار البييتوني مع جدار بلوك تتناقص مع ازدياد الشدة الزلزالية المطبقة حتى تثبت هذه النسبة في التخفيض عند التسارعات (0.6g , 0.7g)، والأمر يعود إلى أن ازدياد الشدة الزلزالية تؤدي إلى بدء تحطم جدار البلوك بشكل مبكر عما هو الحال عند الشدات الصغيرة.



الشكل (3-45): منحنى التسارعات المستخدمة - نسبة قوى القص القاعدي الأعظمي لحالة إطار مع جدار بلوك إلى قوى القص القاعدي الأعظمي لحالة إطار بدون جدار بلوك

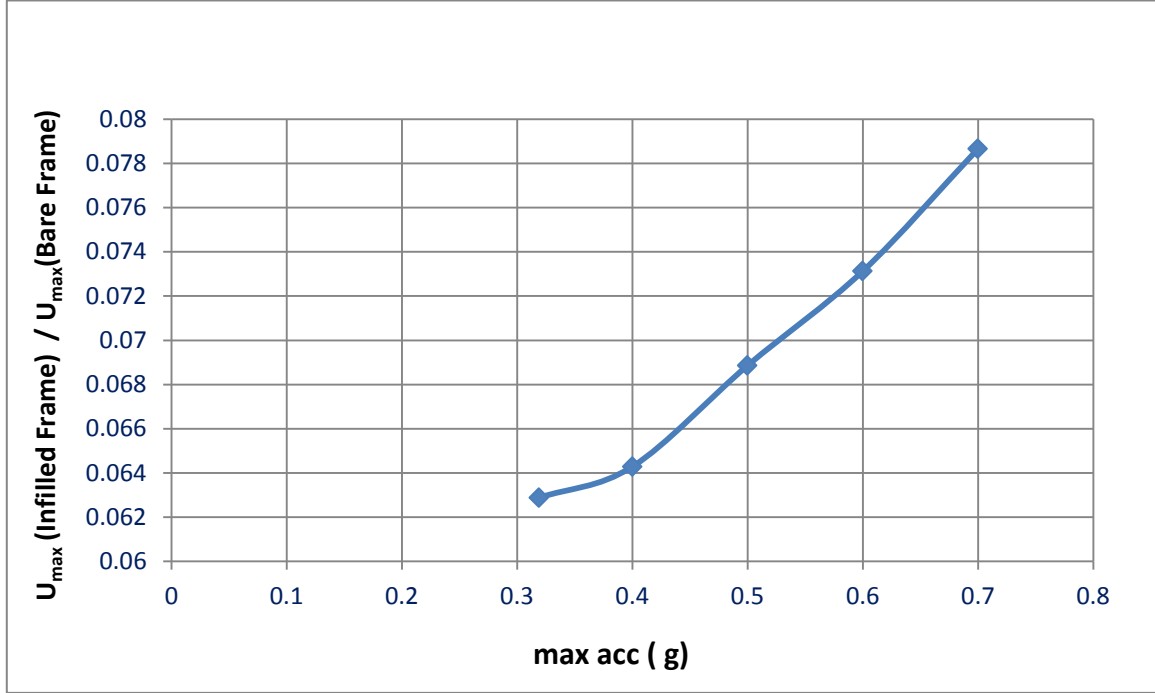
كما يلخص الشكل (3-46) نتائج الانتقالات الأعظمية لحالة الإطار مع جدار بلوك (Infilled Frame) مقارنة مع الإطار بدون جدار بلوك (Bare Frame)، حيث يمثل المحور الأفقي التسارعات المستخدمة بينما يمثل المحور الشاقولي الانتقالات الأعظمية.



الشكل (3-46): مقارنة بين منحنيات التسارعات المستخدمة – الانتقالات الأعظمية لحالة إطار مع و بدون جدار بلوك

يبدو جلياً من الشكل (3-46) أنه بزيادة التسارع الأعظمي للشدة الزلزالية المطبقة على النموذج المدروس تزداد الانتقالات الأعظمية بشكل خطي، كما يبدو واضحاً انخفاض الانتقالات الأعظمية عند إضافة جدار البلوك للإطار البيتوني .

كما يوضح الشكل (3-47) علاقة التسارعات المطبقة على النموذج المدروس و التي يمثلها المحور الأفقي و نسبة الانتقالات الأعظمية في الإطار البيتوني المملوء بجدار بلوك إلى الانتقالات الأعظمية في الإطار البيتوني بدون جدار بلوك التي يمثلها المحور الشاقولي، حيث نلاحظ أنه بزيادة التسارع الأعظمي للشدة الزلزالية المطبقة على الجملة الإنشائية تزداد النسبة المذكورة أي أن فعالية جدران البلوك في تخفيض الانتقال الأعظمي في جملة الإطار البيتوني مع جدار بلوك تتناقص مع ازدياد الشدة الزلزالية المطبقة .



الشكل (3-47): منحنى التسارعات المستخدمة - نسبة الانتقالات الأعظمية لحالة إطار مع جدار بلوك إلى الانتقالات الأعظمية لحالة إطار بدون جدار بلوك

## الفصل الرابع

### النتائج و التوصيات

## Conclusions and Recommendations

### ١.٤ النتائج:

تم في هذا البحث دراسة تأثير جدران البلوك المائلة للإطارات البيتونية المسلحة على السلوك الزلزالي لهذه الإطارات عند التحميل الجانبي في مستوي جدار البلوك (In-Plane Lateral Loading) و التأكد من فعالية جدران البلوك في زيادة قساوة الإطار و بالتالي تخفيف الانتقالات الجانبية له و زيادة مقاومته على الحمولات الجانبية .

حيث تم في هذه الدراسة إجراء التحليل العددي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEM) و استخدم التحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لاختية المادة ( MNA ) مع أخذ خاصية التماسك بين مادة البيتون و فولاذ التسليح بعين الاعتبار. تمت الدراسة بتطبيق تحميل دوري (Cyclic Load) و من ثم تم استخدام التحليل الديناميكي ( Dynamic Analysis ) و تطبيق هزات أرضية بتسارعات أعظمية مختلفة، تم في نهاية هذا البحث التوصل إلى النتائج التالية :

١. إن إضافة جدران البلوك المائلة للإطارات البيتونية المسلحة يؤدي إلى زيادة مقاومة الجملة الإنشائية بشكل واضح وبنسبة وصلت في هذا البحث إلى 50% ، وإن هذه النسبة ترتبط بمواصفات الإطار من البيتون المسلح قبل ملئه بجدار البلوك حيث تزداد كلما كانت قساوة الإطار منخفضة. كما يؤدي وجود جدران البلوك إلى زيادة قساوة الجملة الإنشائية. من جهة أخرى فإن إضافة جدران البلوك تؤدي إلى انخفاض تبديد الطاقة وبالتالي المطاوعة.

٢. عند إضافة جدران البلوك تشارك أعمدة الإطار في تحمل الجزء الأكبر من قوة القص القاعدية بمقدار يصل إلى 80% بينما يساهم الجدار في تحمل الجزء المتبقي. كما أن وجود جدار البلوك يؤدي إلى زيادة قدرة تحمل الإطار البيتوني بنسبة تصل إلى 20% بسبب عملية السند الجانبي التي يؤمنها جدار البلوك وبالتالي ارتفاع للعمود أقل.

٣. يحدث انهيار للجدار بشكل قطري مما يؤكد عمله كعنصر شبكي مضغوط، ويختلف عرض هذا العنصر باختلاف مواصفات الإطار وجدار البلوك.

٤. عند استخدام التحليل الديناميكي باستخدام السجل الزمني نلاحظ أن إضافة جدار البلوك إلى الإطار البيتوني قد خفض القص القاعدي الأعظمي لنسبة وصلت إلى 60% كما خفض الانتقال الأعظمي حوالي 1200%.



٥. إن ازدياد الشدة الأعظمية للهزة الزلزالية يخفض من فعالية جدران البلوك في تخفيض القص القاعدي و ذلك بسبب الانهيار المبكر للجدار نتيجة الشدة العالية .

## ٢.٤ التوصيات لأعمال مستقبلية Recommendations for Future Work

١. دراسة تأثير تغير المواصفات الميكانيكية لجدار البلوك على مدى فعاليته في تحسين السلوك الزلزالي لجملة إطار بيتوني مع جدار بلوك .
٢. أخذ أثر التماسك بين قطع البلوك و فواصل المونة بعين الاعتبار عند النمذجة لدراسة تأثيره على الانتقال بشكل أكثر دقة .
٣. تغيير الأبعاد الهندسية لعناصر الإطار البيتوني من أجل تحديد فعالية جدران البلوك في تحسين الأداء الزلزالي عند أنماط الانهيار المختلفة للإطار (حالة جائز قوي- عمود ضعيف ، حالة جائز ضعيف – عمود قوي ، حالة انهيار العقدة) .
٤. دراسة إمكانية استبدال الجدار بعنصر شبكي مضغوط وتحديد العرض الحقيقي لهذا العنصر بما يتناسب ومواصفات الإطار وجدار البلوك.
٥. دراسة تأثير جدران البلوك المائلة للإطارات البيتونية المسلحة على تخفيض الدور الطبيعي للإطارات الذي يؤثر على توزيع و شدة الحمولة الذاتية المتولدة أثناء الزلازل .
٦. استخدام أكثر من سجل زلزالي عند اجراء التحليل الديناميكي للحصول على نتائج أكثر دقة .
٧. دراسة مبنى متعدد الطوابق من أجل تحديد فعالية جدران البلوك المائلة لإطارات البيتون المسلح في المباني متعددة الطوابق .

## المراجع

## References

- ABAQUS, Version 6.12 , (2012) , " **ABAQUS/Standard User's Manual** " ABAQUS Inc., USA
- Almusallam T. and Al-Salloum Y (2007) . " **Behavior of FRP Strengthened Infill Walls under In-Plane Seismic Loading** ", Journal of composites for Construction, 11(3),308-318.
- Asteris P.G. and Cotsovos D.M. (2012) . " **Numerical Investigation of the Effect of Infill Wall on the Structural Response of RC Frames** ", The Open Construction and Building Technology Journal , 6 , 164-181.
- ATC-40 (1996) , " **Seismic evaluation and Retrofit of Concrete Building** ", Applied Technology Council , Redwood City.
- BS EN 1992-1 (2004) , Eurocode2 , " **Design of Concrete Structures** " , Part 1-1: General rules and rules for buildings.
- BS EN 1996-1-1 (2005) , Eurocode6 , " **Design of Masonry Structures** " , Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures , Brussels:CEN.
- Braz-César M .T., Oliveira D. and Barros R .C. (2008) . " **Comparison of Cyclic Response of Concrete Infilled Frames With Experimental Results** ", proc .of the 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering , Beijing , China , 12-17 October .

- Binici B. and Ozcebe G. (2006) . **"Seismic Evaluation of In filled Reinforced Concrete Frame Strengthened with FRPS "** , Proc .of the 8<sup>th</sup> U.S.National Conference on Earthquake Engineering , San Francisco, California ,USA , 18-22 April, paper no.1717.
- CEB-FIP. (2000) , **" State-of-the-Art Report on Bond of Reinforcement in Concrete"**. State-of- Art Report Prepared by Task Group Bond Models (former CEB Task Group 2.5) FIB - Féd. Int. du Béton: 1-97.
- Crisafulli F. (2010) . **"Analysis of In-filled Frame Structure"**, Universidad National de Cuyo, Argentina . Available at: <http://ar.scribd.com/doc/143760315/Crisafulli-F-J-%E2%80%93PPT-Analysis-of-infill-frame-structures> (Accessed: 28-September-2013).
- Dincel B.( 2009) , **"The Roles of Masonry Infill Walls in an Earthquake "**, Available at : <http://flyashbricksinfo.com/construction/the-roles-of-masonry-infill-walls-in-an-earthquake.html> (Accessed: 28-September-2013).
- El-Dakhkhni W. , Hamid A. and Elgaaly M. (2004) . **"Seismic Retrofit of Concrete Masonry –Infilled Steel Frames with Glass Fiber –Reinforced Polymer Laminates"**.Journal of Structure Engineering ,130(9), 1343-1352.
- Elgwady M .A , Lestuzzi P. and Badoux M . (2002). **"Dynamic in- Plane Behavior of URM Wall Upgraded with Composites "** , Proc .of the 3<sup>rd</sup> international Conference on Composites in infrastructure , San Francisco , CA , USA, 10-12 June .
- " Earthquakes and Structures"** , Auroville Earth Institute , Available at : [http://www.earth-auroville.com/earthquakes\\_and\\_structures\\_en.php/](http://www.earth-auroville.com/earthquakes_and_structures_en.php/) (Accessed: 28-September-2013).
- FEMA 306 (1998) , **"Evaluation of Earthquake Damaged concrete and Masonry Building ".Federal Emergency Management Agency"**, Washington D.C.

- Gulkan P., Ascheim M. and Spence R. (2002). "**Reinforced concrete frame building with masonry infills**", WHE Report 64, World Housing Encyclopedia, Turkey, Available at <http://www.world-housing.net/category/europe/turkey> (Accessed: 28-September-2013).
- 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.
- Hendry A.W., Sinha B.P. and Davies S.R. (2004). "**Design of Masonry Structures**", E&FN Spon, London.
- 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.
- Kaushik H.B., Rai D.C., Eeri M. and Jain S.K. (2006). "**Code Approaches to Seismic Design of Masonry –Infilled Reinforced Concrete Frames : A State -of- the Art Review**", Earthquake Spectra, 22(4), 961-983.
- Kmiecik P. and Kaminski M. (2011). "**Modeling of Reinforced Concrete Structures and composite structures with concrete strength degradation taken into consideration**", Archives of Civil and Mechanical Engineering, XI(3), 624-636.
- Li X. (2007). "**Finite Element Modeling of Skewed Reinforced Concrete Bridge and the Bond Slip Relationship Between Concrete and Reinforcement**", PhD thesis, Auburn university, Auburn, Alabama.
- McKenzie W.M.C. (2001). "**Design of structural Masonry**", Palgrave, New York, USA.
- Murty, C.V.R. (2005), "**Earthquake Tips – Learning Earthquake Design and Construction**", National Information Center of Earthquake Engineering, IIT Kanpur, India.

- Murty,C.V.R. and Jain S.K. ( 2000)." **Beneficial influence of Masonry infills on seismic performance of RC frame buildings**", Proc. of the 12<sup>th</sup> World conference on Earthquake Engineering , Auckland , New Zealand , Jan-Feb, paper no.1790.
- Mebarki A. , Bui Q.H. , Ami S.R. , Delmotte P.and Sanchez T.S. (2009)."**A Simplified Mechanical Model to Assess The Bearing Capacity of Masonry Walls :Theory and Experimental Validation "** , Journal of Construction and Building Materials ,23,1109-1117.
- Memari A.M. , Aghakouchak A.A. , Ashtiany M.G. and Tiv M . (1999)." **Full-scale dynamic testing of a steel frame building during construction**", Engineering Structures , 21(12), 1115-1127.
- Mulgund G.V. and Kulkarni A.B. ( 2011) . "**Seismic Assessment of RC Frame Buildings with Brick Masonry Infills "**, (IJAEST) International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies , 2( 2), 140 - 147 .
- Moroni O. , Gomez C. and Astroza M . (2002) , " **Reinforced Clay/Concrete Block Masonry Building**" , WHE Report 5 , World Housing Encyclopedia , CHILE, Available at : <http://www.world-housing.net/?s=ID%3D100018>(Accessed: 28-September-2013).
- Penelis G.G. and Kappos A.J. (1997). "**Earthquake Resistant Concrete Structures**", E & FN Spon, London, UK.
- Pradhan P.M. (2012),"**Equivalent Strut Width for Partial Infilled Frames**" , Journal of Civil Engineering Research , 2(5) , 42-48.
- Uniform Building Code UBC (1997) , "**Structural Engineering Design international conference of building officials**" .USA Provisions .

Roca P. and Araiza G. (2010). "**Shear response of brick masonry small assemblages strengthened with bonded FRP laminates for in-plane reinforcement**", Journal of Construction and Building Materials, 24(8), 1372-1384.

Rai D. C. (2009) , "**Seismic Rehabilitation of Structures**", Department of Earthquake Engineering University of Roorkee.

Seacoc Blue Book (1999) , "**Lateral force requirements and commentary**",The structural Engineers association of California .

Singh Y. And Das D. (2006) . "**Effect of URM Infills on Seismic Performance of RC Frame Buildings** " , proc.of the 4<sup>th</sup> International Conference on Earthquake Engineering Taipei, Taiwan , 12-13 October, paper no.064.

Technology Brief Team (2010), "**HYBRID Masonry Construction**", the National Concrete Masonry Association, Sec. 02.13.02.

الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة (٢٠٠٤) ، الطبعة الثالثة ، دمشق.

الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة (الملحق رقم ٢): تصميم و تحقيق المباني و المنشآت لمقاومة الزلازل (٢٠٠٥). منشورات نقابة المهندسين، سوريا.

السمارة، محمد (٢٠٠٦). "أساسيات ديناميك المنشآت و الهندسة الزلزالية " . دمشق ، سوريا .

## **Abstract**

Masonry is a very old construction material. These days, the masonry is used as non-structural members especially in seismic area.

This research aims to explore the effect of using UnReinforced Concrete Masonry (URCM) on the behavior of URCM-infilled frame structures against in plane lateral loads.

Finite Element Method (FEM) and Materially Non-Linear Analysis (MNA) are performed in this research. The bond between steel reinforcement and concrete is undertaken in this study.

On the other hand, cyclic loads and seismic data records are used in analysis.

This work shows that the contribution of masonry walls can effectively enhance the resistance of reinforced concrete frames under seismic loads.

Damascus University

Higher Institute of Earthquake Studies and Research

Department of Structural Engineering

**The effect of Unreinforced Masonry walls on the seismic behavior of  
Reinforced Concrete Frames**

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

By

**Shereen Hussain Abdo**

Supervisor

**Dr Mustafa Batikha**

**Damascus 2013**