



جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

دراسة في مقاومة الإطارات البيتونية المسلحة المملوءة بالبلوك المفرغ العادي والمسلح تحت تأثير القوى الجانبية

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

إعداد

المهندس لؤي أسد كسييري

إشراف

الدكتور المهندس قاسم الزحيلي

العام الدراسي

2014

جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية
قسم الهندسة الإنشائية

دراسة في مقاومة الإطارات البيتونية المسلحة المملوءة بالبلوك المفرغ العادي
والمسلح تحت تأثير القوى الجانبية

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

إعداد

المهندس لؤي أسد كسييري

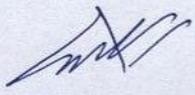
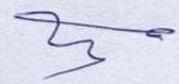
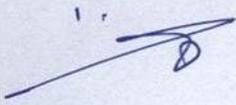
إشراف

الدكتور المهندس قاسم الزحيلي

العام الدراسي

2014

لجنة الحكم السادة الأساتذة:

	كلية الهندسة المدنية عضواً	الأستاذ في قسم الهندسة الإنشائية الاختصاص: مقاومة مواد	أ. د. رياض العيسى جامعة دمشق
	كلية الهندسة المدنية عضواً مشرفاً	الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنشائية الاختصاص: خرسانة مسلحة	د. قاسم الزحيلي جامعة دمشق
	كلية الهندسة المدنية عضواً	المدرس في قسم الهندسة الإنشائية الاختصاص: خرسانة مسلحة	د. هيثم زرزور جامعة دمشق

ملخص البحث

تعد مادة البناء (masonry) واحدة من أقدم مواد البناء التي استخدمت من قبل الإنسان، حيث تم استغلال مقاومتها على الضغط في الأبنية القديمة المنشأة منها، لكن سلسلة الزلازل التي حدثت في نهاية القرن التاسع عشر أظهرت بشكل واضح مقاومتها الضعيفة على الزلازل. نظراً للحاجة المستمرة لرفع كفاءة الأبنية الحالية المؤلفة من إطارات بيتونية مملوءة بالبلوك، يقوم هذا البحث على إمكانية استخدام جدران البلوك المسلحة، حيث أجريت عدة دراسات في هذا المجال أفادت أن لفولاذ التسليح أثر هام على سلوك جدران البلوك، حيث يحول سلوكها من هش إلى مطاوع.

في هذا البحث تم استعراض النتائج التجريبية لعدد من دراسات منشورة سابقاً لإطارات بيتونية مملوءة بجدران بلوك عادية ومسلحة، وتم نمذجة إحدى هذه الدراسات باستخدام طريقة العناصر المحدودة بواسطة برنامج ANSYS11 و إجراء تحليل عددي لاخطي لها وذلك بتطبيق أحمال دورية جانبية (cyclic load).

أظهرت هذه الدراسة زيادة مقاومة الجملة الإطارية وانخفاض انتقالها عندما تم ملؤها بجدار بلوك، وأيضاً زيادة مقاومة ومطاوعة الإطار المملوء عندما سلح جدار البلوك.

أخيراً نظراً لتقارب النتائج التحليلية والتجريبية يمكن لهذه النماذج التحليلية أن تستعمل لاحقاً لتتوقع سلوك منشآت مماثلة خاضعة لحمولات دورية جانبية.

شكر وتقدير

أوجه بالشكر إلى كافة الأساتذة الكرام في كلية الهندسة المدنية الذين كانوا خير سند لي في إنجاز هذا البحث

وأنخص منهم بالذكر

الدكتور المهندس قاسم الزحيلي

والدكتور المهندس مصطفى بطيخنة

على ما بذلوا من جهد للإخلاء هذا البحث

كما أشكر الجزيل لجميع أفراد عائلتي وتجميعهم ودعمهم المستمر لي

وأهدي هذه الرسالة لروح والدي الغالي الذي كان مثالا لي في حروب العلم والتفكير

فهرس المحتويات

I.....	فهرس المحتويات
V.....	فهرس الأشكال
IX.....	الرموز المستخدمة
XIII.....	قائمة المختصرات
1.....	الفصل الأول
1.....	مقدمة
1.....	1-1 مقدمة عامة
1.....	2-1 جدران البلوك المسلحة وطرق تصنيفها
4.....	3-1 المشكلة العلمية في مشروع البحث
4.....	4-1 مبررات مشروع البحث
5.....	5-1 هدف البحث
5.....	6-1 محتويات الأطروحة
6.....	الفصل الثاني
6.....	الدراسة النظرية
6.....	1-2 مقدمة
6.....	2-2 لمحة تاريخية عن استخدام البلوك المسلح
8.....	3-2 أنماط انهيار جدران البلوك المسلحة
8.....	1-3-2 الانهيار بالانعطاف
8.....	2-3-2 الانهيار بالانزلاق
8.....	3-3-2 الانهيار بالقص
9.....	4-2 العوامل المؤثرة على سلوك جدران البلوك المسلحة

9	1-4-2 نسبة التسليح وتوضعه
9	2-4-2 الضغط المحوري
10	3-4-2 نسبة الطول إلى العرض (H/L)
11	4-4-2 خواص المواد
11	5-2 آليات المقاومة لجدران البلوك المسلحة
11	1-5-2 مقاومة الانعطاف
13	2-5-2 مقاومة القص
14	1-2-5-2 جدران البلوك غير المسلحة
15	2-2-5-2 جدران البلوك المسلحة
18	6-2 حساب مقاومة القص لجدران البلوك المسلحة
18	1-6-2 حسب بعض الدراسات البحثية
21	2-6-2 حسب بعض الكودات العالمية

26..... الفصل الثالث

26..... الدراسة المرجعية

26	1-3 مقدمة
26	2-3 سلوك جدران البلوك ذات الوحدات المتعددة الفجوات تحت تأثير التحميل الزلزالي
30	3-3 الأداء الزلزالي للإطارات البيتونية المملوءة بجدران بلوك مسلحة بنسبة قليلة
34	4-3 تأثير أنماط التسليح على سلوك جدران البلوك ضمن الإطارات البيتونية المسلحة
37	5-3 التصميم الزلزالي لجدران البلوك الإسمنتية
41	6-3 سلوك جدران البلوك ضمن الإطارات البيتونية المسلحة الخاضعة لتحميل بمستويها وخارجها

46..... الفصل الرابع

46..... دراسة الباحث Edgardo M. Vélez Vélez

46	1-4 مقدمة
46	2-4 نماذج الاختبار
48	1-2-4 النموذج الأول (Bare Frame) Control Model

51.....	2-2-4 النموذج الثاني (Unreinforced Masonry Infilled Frame)
54.....	3-2-4 النموذج الثالث (Reinforced Masonry Infilled Frame)
57.....	3-4 إعداد الاختبارات
59.....	4-4 أنماط التحميل
59.....	5-4 نتائج الاختبارات
60.....	1-5-4 نتائج اختبار النموذج الأول
63.....	2-5-4 نتائج اختبار النموذج الثاني
66.....	3-5-4 نتائج اختبار النموذج الثالث
69.....	6-4 تفسيرات الباحث Vélez لنتائج الاختبار
69.....	1-6-4 تفاصيل البناء للإطارات البيتونية المسلحة جدار- بلاطة
69.....	2-6-4 جدران المأ
69.....	3-6-4 أنماط فولاذ التسليح وتفاصيل الاتصال لجدران المأ
71.....	الفصل الخامس
71.....	النمذجة الحاسوبية لنماذج تجريبية باستخدام برنامج ANSYS
71.....	1-5 مقدمة
71.....	2-5 نمذجة جدران البلوك
72.....	3-5 نمذجة فولاذ التسليح
73.....	4-5 أنواع العناصر المستخدمة في النمذجة
73.....	1-4-5 العنصر solid65
74.....	2-4-5 العنصر LINK8
74.....	3-4-5 عناصر الاحتكاك
74.....	1-3-4-5 العنصر CONTA174
75.....	2-3-4-5 العنصر TARGE170
75.....	5-5 خواص المواد
75.....	1-5-5 مادة البيتون

78.....	2-5-5 مادة جدار البلوك (masonry)
79.....	3-5-5 مادة فولاذ التسليح
80.....	4-5-5 السطح البيني بين الإطار البيتوني وجدران البلوك
80.....	6-5 نمذجة اختبارات الباحث Edgardo M. Vélez Vélez
80.....	1-6-5 النموذج الأول الحاسوبي
87.....	2-6-5 النموذج الثاني الحاسوبي
94.....	3-6-5 النموذج الثالث الحاسوبي
102.....	الفصل السادس
102.....	النتائج والتوصيات
102.....	1-6 النتائج
102.....	2-6 التوصيات
103.....	المراجع

فهرس الأشكال

الشكل	الصفحة
الشكل (1-1) : تفاصيل التسليح لجران البلوك المسلحة حسب الكود (2005) MSJC	2
الشكل (2-1) : أنواع جدران البلوك المسلحة	3
الشكل (3-1) : نماذج للتسليح الأفقي والشاقولي	4
الشكل (1-2) : اختبار قديم لعنصر من القرميد المسلح	7
الشكل (2-2) : أنماط انهيار جدران البلوك المسلحة	8
الشكل (3-2) : القوى الشاقولية والأفقية المؤثرة على جدار البلوك المسلح	10
الشكل (4-2) : اتجاه الشقوق القطرية في جدران البلوك القاصة	10
الشكل (5-2) : توزيع الاجهادات والتشوهات على طول جدار البلوك المسلح	13
الشكل (6-2) : أنواع انهيار القص	14
الشكل (7-2) : معيار الانهيار لجران البلوك غير المسلحة	14
الشكل (8-2) : دور التسليح في مقاومة انهيار جدران البلوك	15
الشكل (9-2) : انتقال القص بواسطة الفعل الوتدي للتسليح	16
الشكل (10-2) : التشابك الحصري على طول سطح الشق	17
الشكل (11-2) : الاجهادات الرئيسية المؤثرة في جدار البلوك (masonry)	17
الشكل (12-2) : العلاقة بين المطاوعة وميكانيكية مقاومة القص لجدار البلوك	20
الشكل (13-2) : مساهمة القوة المحورية لمقاومة القص للجدار	20
الشكل (14-2) : الفعالية المخفضة للتسليح الأفقي في جدار البلوك	21
الشكل (15-2) : المساحات الفعالة للقص (NZS 4230:1990)	22
الشكل (16-2) : الحمل المحوري في جدران البلوك - مصمته ب- متقبة	24
الشكل (1-3) : مواصفات النماذج المختبرة في المكسيك	28
الشكل (2-3) : كيفية توزيع الشقوق والحلقات الهستيرية للنماذج الأربعة المختبرة	29
الشكل (3-3) : تفاصيل موقع قضبان التسليح والشبكات الخارجية	31
الشكل (4-3) : أبعاد وتفاصيل التسليح للإطارات المستخدمة في التجارب	32
الشكل (5-3) : منحنى الانتقال - قوة لنموذج الإطار البيتوني المملوء بجدار بلوك غير مسلح	33
الشكل (6-3) : منحنى الانتقال - قوة لنموذج الإطار البيتوني المملوء بجدار بلوك مسلح بتسليح أفقي من نوع re-bars بقطر 6 mm	33
الشكل (7-3) : حالة الضرر للنموذجين عند نسب انزياح مختلفة	34

- الشكل (8-3) : تفاصيل النماذج الأربعة المختبرة.....35
- الشكل (9-3) : تأثير التسليح الأفقي على قدرة تحمل الجملة الإطارية المملوءة للأحمال الشاقولية.....35
- الشكل (10-3) : تأثير التسليح الأفقي على قدرة تحمل الجملة الإطارية المملوءة للأحمال الأفقية.....36
- الشكل (11-3) : تأثير التسليح الشاقولي على قدرة تحمل الجملة الإطارية المملوءة للأحمال الشاقولية.....36
- الشكل (12-3) : تأثير التسليح الشاقولي على قدرة تحمل الجملة الإطارية المملوءة للأحمال الأفقية.....37
- الشكل (13-3) : تأثير كمية وتوزيع التسليح الأفقي على مقاومة القص لجدران البلوك.....39
- الشكل (14-3) : تأثير الإجهاد المحوري الضاغط على مقاومة القص لجدران البلوك.....39
- الشكل (15-3) : تأثير الملامط على إجهادات القص لجدران البلوك.....40
- الشكل (16-3) : تأثير النسبة الباعية he/Lw على مقاومة القص لجدران البلوك.....41
- الشكل (17-3) : المواصفات الهندسية للنموذج الأول والثاني.....42
- الشكل (18-3) : تراكب التسليح الأفقي مع الوصلات الفولاذية ضمن طبقة المونة الإسمنتية الأفقية.....42
- الشكل (19-3) : تفاصيل التسليح المستخدمة في الإطار البيتوني.....43
- الشكل (20-3) : منحنى الانتقال - قوة ومغلف الحلقات الهستيرية للنموذج الأول.....44
- الشكل (21-3) : منحنى الانتقال - قوة ومغلف الحلقات الهستيرية للنموذج الثاني.....45
- الشكل (22-3) : المقارنة بين مغلفي المنحنيين الهستيريين للنموذجين الأول والثاني.....45
- الشكل (1-4) : مخطط لبناء سكني نمونجي من طابق واحد منشأ في بورتوريكو.....47
- الشكل (2-4) : تفاصيل الأبعاد والتسليح والتأسيس للنموذج الأول.....49
- الشكل (3-4) : تسلسل مراحل بناء النماذج بالحجم الطبيعي.....50
- الشكل (4-4) : تفاصيل الأبعاد والتسليح والتأسيس للنموذج الثاني.....52
- الشكل (5-4) : تفاصيل الإنشاء للنموذج الثاني.....53
- الشكل (6-4) : تفاصيل الأبعاد والتسليح والتأسيس للنموذج الثالث.....55
- الشكل (7-4) : تفاصيل الإنشاء للنموذج الثالث.....56
- الشكل (8-4) : الإعداد المستخدم لتنفيذ اختبارات الحمل الدوري.....58
- الشكل (9-4) : الحمل الجانبي الدوري المطبق للنموذج الأول.....59
- الشكل (10-4) : منحنى الانتقال - قوة للنموذج الأول.....61
- الشكل (11-4) : الحمل الجانبي بالنسبة للوزن الفعال W_{eff} للنموذج الأول.....61
- الشكل (12-4) : أنماط الانهيار للنموذج الأول.....62
- الشكل (13-4) : منحنى الانتقال - قوة للنموذج الثاني.....64
- الشكل (14-4) : الحمل الجانبي بالنسبة للوزن الفعال W_{eff} للنموذج الثاني.....64
- الشكل (15-4) : أنماط الانهيار للنموذج الثاني.....65

- الشكل (4-16) : منحنى الانتقال - قوة للنموذج الثالث.....67
- الشكل (4-17) : الحمل الجانبي بالنسبة للوزن الفعال W_{eff} للنموذج الثالث.....67
- الشكل (4-18) : أنماط الانهيار للنموذج الثالث.....68
- الشكل (4-19) : مغلفات المنحنيات الهستيرية للنماذج الستة.....70
- الشكل (5-1) : طرق النمذجة المختلفة لجدران البلوك.....72
- الشكل (5-2) : نماذج التسليح في البيتون والبلوك المسلح.....73
- الشكل (5-3) : العنصر solid65.....74
- الشكل (5-4) : العنصر LINK8.....74
- الشكل (5-5) : العنصر CONTA174.....75
- الشكل (5-6) : العنصر TARGE170.....75
- الشكل (5-7) : منحنى الإجهاد - التشوه المبسط في حالة الضغط للبيتون.....76
- الشكل (5-8) : سطح الانهيار willam - warnke في فضاء الاجهادات الرئيسية.....77
- الشكل (5-9) : منحنى الإجهاد - التشوه في حالة الشد للبيتون.....78
- الشكل (5-10) : سطح السيالان drucker-prager.....78
- الشكل (5-11) : منحنى الإجهاد - التشوه لفولاذ التسليح المستخدم في التجارب في حالة الشد.....79
- الشكل (5-12) : منحنى الإجهاد - التشوه لفولاذ التسليح.....79
- الشكل (5-13) : منحنى الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لقاعدة النموذج الأول.....81
- الشكل (5-14) : منحنى الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لجدران النموذج الأول.....82
- الشكل (5-15) : منحنى الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لسقف النموذج الأول.....83
- الشكل (5-16) : النموذج الأول الحاسوبي.....83
- الشكل (5-17) : عناصر فولاذ التسليح للنموذج الأول الحاسوبي.....84
- الشكل (5-18) : مخطط انتقال سقف النموذج الأول الحاسوبي مع الزمن.....84
- الشكل (5-19) : الإجهادات الرئيسية باتجاه المحور Z عند الانتقال المطبق بقيمة +4.25 inch.....85
- الشكل (5-20) : المقارنة بين مغلفي المنحنيين الهستيريين التجريبي والتحليلي للنموذج الأول.....86
- الشكل (5-21) : تشكل وانتشار التشققات في الجدران البيتونية للنموذج الأول.....86
- الشكل (5-22) : منحنى الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لقاعدة النموذج الثاني.....87
- الشكل (5-23) : منحنى الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لجدران النموذج الثاني.....88
- الشكل (5-24) : منحنى الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لسقف النموذج الثاني.....89
- الشكل (5-25) : النموذج الثاني الحاسوبي.....90
- الشكل (5-26) : عناصر فولاذ التسليح للنموذج الثاني الحاسوبي.....90

- الشكل (27-5) : مخطط انتقال سقف النموذج الثاني الحاسوبي مع الزمن.....91
- الشكل (28-5) : الإجهادات الرئيسية باتجاه المحور Z عند الانتقال المطبق بقيمة +1.25 inch.....91
- الشكل (29-5) : المقارنة بين مغلفي المنحنيين الهستيريين التجريبي والتحليلي للنموذج الثاني.....93
- الشكل (30-5) : تشكل وانتشار التشققات في الجدران البيتونية للنموذج الثاني.....93
- الشكل (31-5) : منحنى الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لقاعدة النموذج الثالث.....94
- الشكل (32-5) : منحنى الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لجدران النموذج الثالث.....95
- الشكل (33-5) : منحنى الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لسقف النموذج الثالث.....96
- الشكل (34-5) : النموذج الثالث الحاسوبي.....97
- الشكل (35-5) : عناصر فولاذ التسليح للنموذج الثالث الحاسوبي.....97
- الشكل (36-5) : مخطط انتقال سقف النموذج الثالث الحاسوبي مع الزمن.....98
- الشكل (37-5) : الإجهادات الرئيسية باتجاه المحور Z عند الانتقال المطبق بقيمة +1.2 inch.....98
- الشكل (38-5) : المقارنة بين مغلفي المنحنيين الهستيريين التجريبي والتحليلي للنموذج الثالث.....100
- الشكل (39-5) : تشكل وانتشار التشققات في الجدران البيتونية وجدار البلوك للنموذج الثالث.....100
- الشكل (40-5) : المقارنة بين مغلفي المنحنيين الهستيريين التحليليين للنموذجين التحليليين الأول والثاني.....101
- الشكل (41-5) : المقارنة بين مغلفي المنحنيين الهستيريين التحليليين للنموذجين التحليليين الثاني والثالث.....101

الرموز المستخدمة

H : ارتفاع جدار البلوك

L : طول جدار البلوك

a : عمق البلوك المضغوط

c : عمق المحور المحايد

ϵ_u : التشوه الأعظمي المسموح في الليف الطرفي المضغوط لجدار البلوك

M_n : مقدرة الانعطاف الاسمية لمقطع جدار بلوك مع تسليح شاقولي موزع

F_n : مقدرة القص الاسمية لمقطع جدار بلوك مع تسليح شاقولي موزع

H_e : الطول الفعال لجدار البلوك

$\sum_i^n T_i$: قوة الشد للتسليح الشاقولي لجدار البلوك

$\sum_i^n C_{si}$: قوة الضغط للتسليح الشاقولي لجدار البلوك

C_m : قوة الضغط ضمن جدار البلوك

W_t : الحمل الخارجي المطبق على جدار البلوك

E_{si} : معامل مرونة التسليح الشاقولي لجدار البلوك

ϵ_{si} : تشوه التسليح الشاقولي لجدار البلوك

A_{si} : مساحة التسليح الشاقولي لجدار البلوك

d_i : تباعد موقع التسليح الشاقولي عن الليف الطرفي المضغوط لجدار البلوك

b : عرض جدار البلوك

ζ_m : القص الوسطي لجدار البلوك

σ_n : الإجهاد الشاقولي المطبق على جدار البلوك

ζ_o : مقاومة التماسك على القص

μ_f : معامل الاحتكاك الداخلي

N : القوة المحورية الضاغطة

V_n : مقاومة القص الاسمية لجدار البلوك المسلح

V_m : مساهمة البلوك (masonry) لمقاومة القص

V_s : مساهمة التسليح لمقاومة القص

V_p : مساهمة الحمل المحوري الضاغط المطبق لمقاومة القص

P_t : الإجهادات الرئيسية الشادة لجدار البلوك

P_c : الإجهادات الرئيسية الضاغطة لجدار البلوك

f_m' : مقاومة الضغط لجدار البلوك

ρ_h : نسبة التسليح الأفقي لجدار البلوك

ρ_v : نسبة التسليح الشاقولي لجدار البلوك

f_{yh} : إجهاد السيلاّن للتسليح الأفقي لجدار البلوك

f_{yv} : إجهاد السيلاّن للتسليح الشاقولي لجدار البلوك

ρ_{ve} : نسبة التسليح الشاقولي في آخر فجوة لجدار البلوك

t : سماكة جدار البلوك

d : العمق الفعال لجدار البلوك

d' : المسافة بين قضيب التسليح المضغوط الأكثر بعداً وحافة جدار البلوك

L_w : طول جدار البلوك

A_n : المساحة الصافية لمقطع جدار البلوك

S_h : التباعدات الشاقولية بين التسليح الأفقي لجدار البلوك

A_h : مساحة التسليح الأفقي لجدار البلوك

k : معامل المطاوعة يأخذ بعين الاعتبار التراجع في مقاومة القص عندما يخضع الجدار لتحميل دوري في المجال اللدن

C_{ap} : معامل نوع البلوك المستخدم

C_d : معامل يحدد بالاعتماد على النسبة الباعية h_e/L_w

A_e : المساحة الفعالة لمقطع جدار البلوك

A_g : المساحة الكلية لمقطع جدار البلوك

γ_g : معامل يحدد بالاعتماد على نسبة ملاء جدار البلوك بالملاط

M_f : العزم المطبق على جدار البلوك

V_f : قوة القص المطبقة على جدار البلوك

L_{dh} : تمثل الطول المعدل للتسليح الافقي الذي يملك عكفة بـ 90°

d_b : قطر قضيب التسليح الأفقي

V : الحمل الجانبي المطبق بواسطة محرك هيدروليكي

W_{eff} : الوزن الذاتي الفعال أي الوزن المثار بالتحاليل الديناميكية

V_u : الحمل الأقصى

E_c : معامل مرونة البتون المسلح

ν : معامل بواسون

f_c : مقاومة الضغط الحدية للبتون

ϵ_o : التشوه عند مقاومة الضغط الحدية f_c'

ϵ_{cu} : تشوه الضغط الحدي

ϵ_t : التشوه الموافق لقيمة الإجهاد المساوية إلى $0.3 f_c$

f_t : مقاومة الشد الحدية للبتون

T_c : المعامل المضروب في القساوة لحالة الشد المتصدع (قيمة افتراضية تساوي 0.6)

B_t : معامل نقل القص في حالة الشق المفتوح

B_c : معامل نقل القص في حالة الشق المغلق

Φ : زاوية الاحتكاك لمعيار drucker-prager

C : التماسك الداخلي لمعيار drucker-prager

η : زاوية التوسع (dilatancy) لمعيار drucker-prager

E_t : معامل التقسية التشوهية أو (tangent modulus) لفولاذ التسليح

ρ : الوزن الحجمي

قائمة المختصرات

Reinforced Masonry	RM
UnReinforced Masonry	URM
Wide Spaced Reinforced Masonry	WSRM
Grouted Masonry	GM
Partially Grouted Masonry	PGM
Finite Element Method	FEM
principle stress in the third direction	S3
Degree of Freedom	DOF

الفصل الأول

مقدمة

1-1 مقدمة عامة:

تبنى جدران البلوك في الأبنية بشكل أساسي لغرض التقسيم والتغطية، حيث تكون هذه الجدران إما قواطع داخلية أو خارجية. وعادة ما يتم إهمال أثر هذه الجدران من قبل المهندسين المصممين واعتبار الوظيفة المعمارية لها فقط مع أخذ أوزانها كأحمال مبنية على الجملة الإنشائية على الرغم من كونها تمنح إطارات البناء مقاومة وصلابة يمكن أخذها بعين الاعتبار لمقاومة الأحمال. والسبب في هذا الإهمال يعود للارتياح في تحديد خواص مقاومة هذه الجدران ومقاومة الشد المنخفضة والسلوك الهش لها والمقاومة المنخفضة للانقلاب خارج مستويها. ونظراً للحاجة المستمرة لرفع كفاءة الأبنية القائمة لمقاومة الزلازل واستثمار الإمكانيات المتوفرة فيها، يقوم هذا البحث على إمكانية استخدام جدران البلوك المسلحة وغير المسلحة. حيث بيّنت الدراسات أن هذه الجدران تبدأ بالانهيار تحت تأثير الحمولات الجانبية قبل الإطار المحيط بها [31].

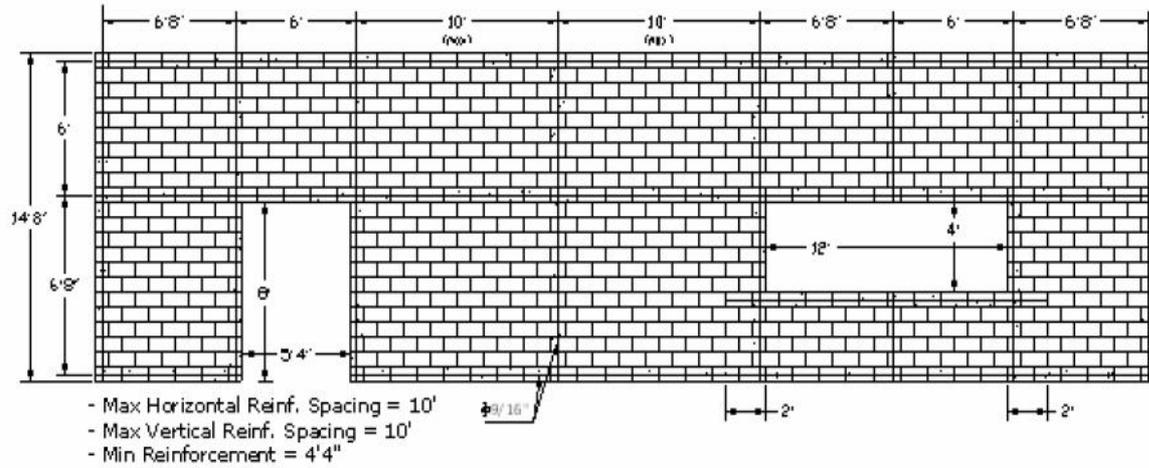
تستعرض هذه الدراسة تأثير الأشكال المختلفة لتسليح الجدران، سواء أكان التسليح أفقياً أو رأسياً على سلوكها ونمط انهيارها ومقدار انزياحها وقساوتها النهائية تحت تأثير الحمولات الجانبية. فمثلاً أفعال كالانعطاف تحدث في جدران البلوك إجهادات شادة التي حتماً تتطلب الجدران لتسلح، حيث وجدت جدران البلوك المسلحة لتكون تطبيق عملي لعدة سنوات خصوصاً في المناطق المعرضة للزلازل، بسبب إضافتها مقاومة للشد للمواد المعرفة بالهشة وزيادة للمطاوعة والقدرة على تبديد الطاقة.

1-2 جدران البلوك المسلحة وطرق تصنيفها:

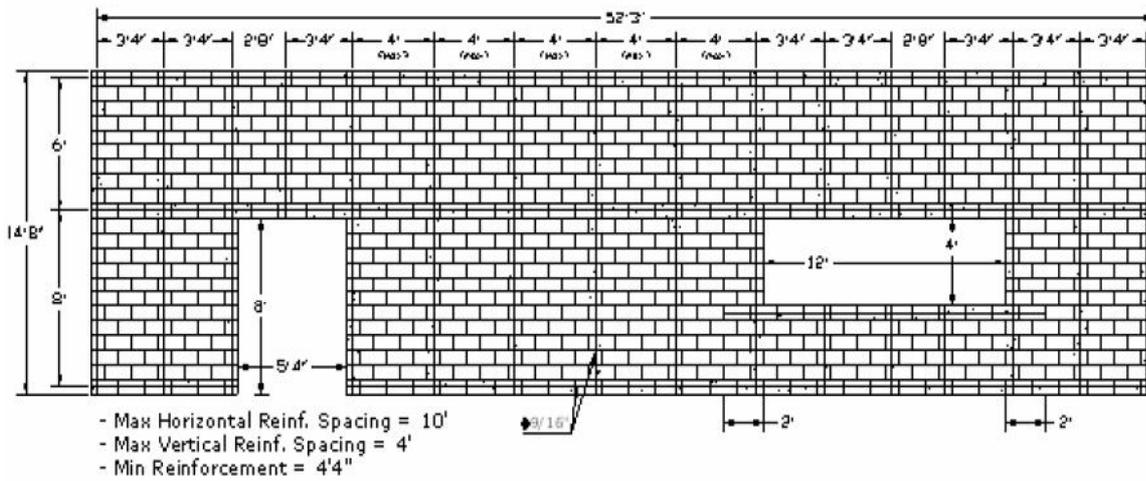
تعرف جدران البلوك المسلحة بأنها نظام إنشاء يتم فيه وضع فولاذ التسليح إما بشكل أفقي مضمّن وممتد على طول طبقة المونة الإسمنتية الأفقية الرابطة بين وحدات البلوك، أو بشكل شاقولي متوضع ضمن ثقوب أو فجوات وحدات البلوك حيث تملأ بالبيتون أو بالمونة الأسمنتية، أو يتم الجمع بين الشكلين الشاقولي والأفقي.

بالاعتماد على توزيع فولاذ التسليح الأفقي والشاقولي (التوضع والتباعد) يصنف الكود الأمريكي (MSJC(2005) جدران البلوك المسلحة إلى الفئات الثلاث التالية (الشكل 1-1) [1]:

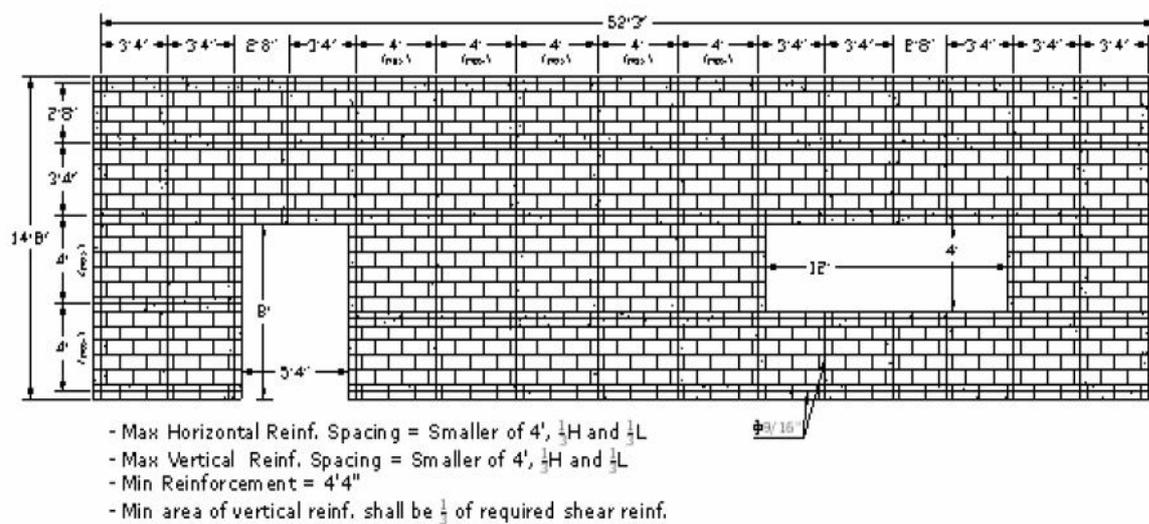
- 1- جدران القص من البلوك المسلح العادية
- 2- جدران القص من البلوك المسلح المتوسطة
- 3- جدران القص من البلوك المسلح الخاصة



(a) Ordinary Reinforced Masonry Wall



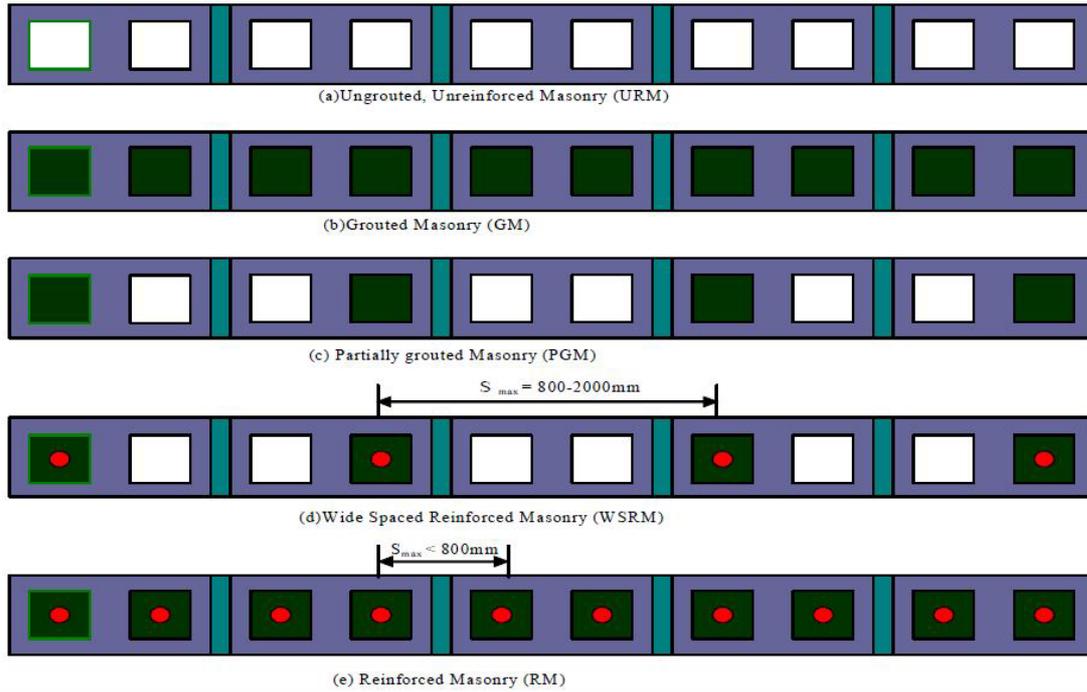
(b) Intermediate Reinforced Masonry Wall



(c) Special Reinforced Masonry Wall

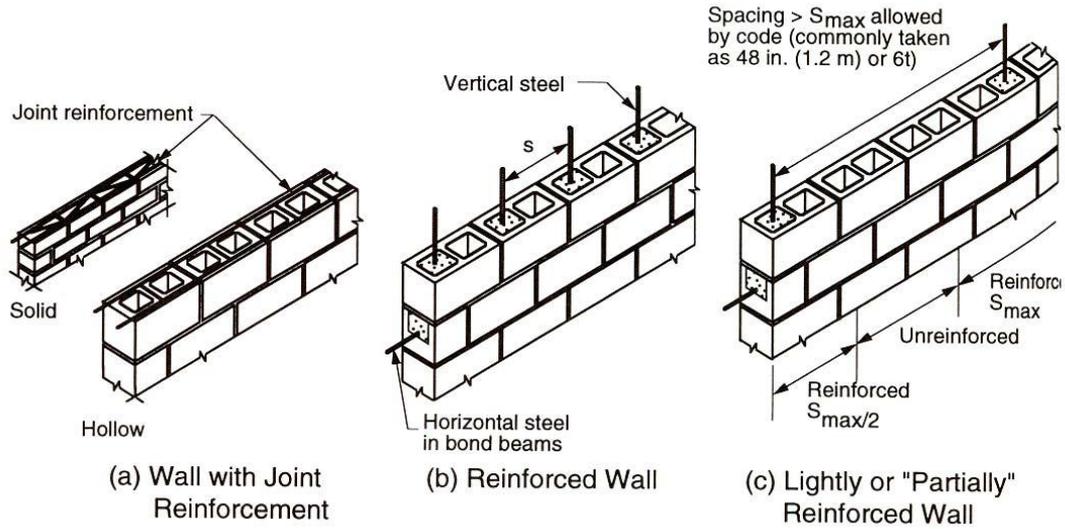
الشكل (1-1) : تفاصيل التسليح لجدران البلوك المسلحة حسب الكود (MSJC(2005) [1]

بالإضافة إلى طريقة تصنيف الكود MSJC هناك طريقة عامة أخرى لتصنيف جدران البلوك المسلحة، فالجدران التي تحتوي على تسليح بتباعدات كبيرة يشار إليها بـ جزئياً، قليلاً أو أسمياً جدران بلوك مسلحة، بينما الجدران التي تحتوي على تسليح بتباعدات قليلة تعرف تماماً بجدران البلوك المسلحة. كما في الكود الاسترالي (2001) AS3700 [7]. فعندما تكون التباعدات أقل من 800 ملم تسمى بجدران البلوك المسلحة (Reinforced masonry walls) وعندما تكون التباعدات بين 800 إلى 2000 ملم تسمى بـ (WSRM) (Wide spaced Reinforced masonry walls) (الشكل 2-1).



الشكل (2-1) : أنواع جدران البلوك المسلحة [27]

بالإضافة إلى توزيع فولاذ التسليح يمكن أن يميز جدران البلوك المسلحة بالاعتماد على وجود ملاط الملاء (GROUT) بضمنها، فجدران البلوك المملوءة بالملاط جزئياً (Partially grouted masonry walls) هي الجدران التي تحتوي على ملاط فقط في الفجوات التي يوجد فيها قضبان التسليح الشاقولي. بينما جدران البلوك المملوءة بالملاط كلياً (Fully grouted masonry walls) هي التي تحتوي على ملاط في كل فجوة من فجوات وحدات البلوك (الشكل 2-1). من وجهة نظر الإنشاء جدران البلوك المملوءة جزئياً بالملاط أكثر فعالية من المملوءة كلياً، كمثال على ذلك تمكن من سهولة التركيب للخدمات (في الفجوات الفارغة)، إنشاء أسرع، مواد أقل، وزن مخفض (منتجة أحمال زلزالية أقل). من ناحية أخرى من وجهة نظر السلوك جدران البلوك المملوءة كلياً أفضل، كون الملاط (GROUT) يخفض التغيير المتأصل في جدران البلوك ويحسن مقاومة القص والشد. كما يوضح الشكل (3-1) نماذج أخرى للتسليح الأفقي والشاقولي.



الشكل (3-1) : نماذج للتسليح الأفقي والشافولي [11]

3-1 المشكلة العلمية في مشروع البحث:

تصمم الإطارات البيتونية المسلحة حالياً (حسب الكودات الحديثة على سبيل المثال UBC97) لتسلك سلوك مطواع أثناء الهزات الزلزالية (عمود قوي وجائر ضعيف)، وذلك حتى تتشكل المفاصل اللدنة ضمن الجوائز وتجنب تشكلها في الأعمدة وبالتالي انهيار كامل للبناء. حيث يتم هذا التصميم عادةً بإهمال تأثير جدران البلوك التي من الممكن أن تغير في الواقع السلوك المفترض مسبقاً لهذه الإطارات. حيث تسلك هذه الجدران سلوكاً هشاً تحت تأثير الزلازل نظراً لكونها مشكلة من عدة عناصر مختلفة في خصائصها، وبالتالي قد تنهار انهياراً مفاجئاً يعرض الحياة للخطر، كما يؤدي إلى عدم الاستفادة القصوى من طاقة هذه الجدران نتيجة انهيار أجزاء منها، وبالتالي عدم إمكانية استمرار انتقال الأحمال فيما بينها.

كما أن المحاولات لفصل هذه الجدران عن الإطارات المحيطة بها، كي لا يحدث أي تفاعل مشترك بينهما بغرض عدم إدخال اثر هذه الجدران في الدراسة أثناء التصميم واعتبارها عناصر غير إنشائية فقط، يعرضها لخطر الانقلاب خارج مستويها، وبالتالي تعريض الحياة للخطر وأيضاً عدم الاستفادة نهائياً من مقاومة هذه الجدران في مقاومة الحمولات الجانبية.

4-1 مبررات مشروع البحث:

بما أن الإطارات البيتونية المسلحة من أكثر الجمل الإنشائية استخداماً في المنشآت السكنية والعامة، وغالباً ما تكون مملوءة بجدران بلوك، لذلك أصبح من المهم مؤخراً دراسة سلوكها تحت تأثير الحمولات الجانبية. وبما انه تبين لنا أن لكل أسلوب متبع في معاملة جدران البلوك (عزلها أو مشاركتها للإطارات) فوائد وعيوب.

يقوم هذا البحث على فكرة تسليح جدران البلوك للتغلب على النقص والعيوب الموجودة في الطرائق السابقة. حيث أجريت عدة دراسات في هذا المجال في مختلف أنحاء العالم أفادت أن لفولاذ التسليح أثر هام على سلوك جدران

البلوك، حيث يحول سلوكها من هش إلى مطاوع وبالتالي استفادة أكبر من قدرتها على تبديد الطاقة واستغلال أكبر لمادة هذه الجدران، بالإضافة إلى زيادة مقاومتها للانقلاب خارج مستويها. حيث تعتبر جدران البلوك المسلحة من أحد الأنظمة الإنشائية الفعالة المقاومة للزلازل المنتشرة في العديد من دول العالم وبالتالي يمكن اعتمادها إلى جانب الأنظمة الإنشائية الأخرى.

5-1 هدف البحث:

دراسة تأثير جدران البلوك العادي والمسلح ضمن الإطارات على سلوك الإطارات نفسها تحت تأثير الأحمال الزلزالية.

6-1 محتويات الأطروحة:

تتألف هذه الأطروحة من ستة فصول كالتالي:

الفصل الأول: يحتوي مقدمة عامة عن العناصر الأساسية في هذا البحث، والتعريف بجدران البلوك المسلحة وطرق تصنيفها، وتم التحدث عن المشكلة العلمية ومبررات مشروع البحث والهدف منه ومحتويات البحث.

الفصل الثاني: تم فيه استعراض لمحة تاريخية عن استخدام البلوك المسلح، وأنماط انهيار جدران البلوك المسلحة والعوامل المؤثرة على سلوكها وآليات المقاومة لها، واستعراض بعض المعادلات الرياضية التي تقيم مقاومة القص لجدران البلوك المسلحة.

الفصل الثالث: تم عرض عدد من الدراسات المرجعية السابقة المتعلقة بموضوع البحث ونتائجها.

الفصل الرابع: تم عرض دراسة الباحث Edgardo M. Vélez Vélez والتوسع بها من حيث النماذج المختبرة وإعدادها وأنماط التحميل المستخدمة ونتائج هذه الاختبارات وتفسيراتها من قبل الباحث نفسه.

الفصل الخامس: يتضمن الدراسة التحليلية التي تمت في هذا البحث، حيث تم توصيف النماذج المعتمدة في التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEM) وبرنامج (ANSYS,VER 11) من حيث توصيف المواد الداخلة في النماذج وشروط الاستناد والأحمال المطبقة وبما يحقق هدف البحث، كما تم عرض المقارنات بين المنحنيات التحليلية والتجريبية للنماذج الثلاثة المدروسة (إطار بفتحتين، إطار بإحدها مملوءة بجدار بلوك، إطار بفتحتين بإحدها مملوءة بجدار بلوك مسلح) وأخيراً تم التحقق من مدى فعالية جدران البلوك وتسليحها في زيادة مقاومة الجمل الإطارية المملوءة.

الفصل السادس: تم وضع النتائج التي تم التوصل إليها في هذا البحث، بالإضافة إلى تقديم توصيات من أجل الأعمال المستقبلية.

الفصل الثاني

الدراسة النظرية

1-2 مقدمة:

يستعرض هذا الفصل لمحة تاريخية عن استخدام البلوك المسلح، وأنماط انهيار جدران البلوك المسلحة والعوامل المؤثرة على سلوكها وآليات المقاومة لها، واستعراض بعض المعادلات الرياضية التي تقيم مقاومة القص لجدران البلوك المسلحة.

2-2 لمحة تاريخية عن استخدام البلوك المسلح: [5] ، [25]

تعد مادة البناء (MASONRY) واحدة من أقدم مواد البناء التي استخدمت من قبل الإنسان، كما هو واضح من البقايا الأثرية للمصريين واليونانيين. حيث كان البناء عبارة عن كومة من الأحجار الخام الطبيعية المختارة مع ملاط طيني يربط بينها. هذا النوع من مادة البناء الضخمة والثقيلة يمكنها أن تقاوم قوى ضغط كبيرة وأن تبقى متينة جداً على الرغم من مقاومتها الضعيفة للشد، حيث استغلت أبنية هذه المواد التقليدية وزن الطوابق والجدران الهائلة لمعادلة الإجهاد الشاد الذي يظهر بسبب الأحمال العمودية والجانبية غير المركزية، ونظراً لقابلية إنشائها (CONSTRUCTABILITY) ومثانتها الكبيرة فإن الإنشاء الذي يستخدم هذا النوع من البناء (كما هو معروف بالبناء غير المسلح) (Unreinforced masonry) كان واسع الانتشار خلال القرن التاسع عشر في الولايات المتحدة. على أية حال فإن سلسلة الزلازل حول نهاية ذلك القرن من ضمنها تشارليستون (1886 Charleston) وسان فرانسيسكو (1906 San Francisco) وسانتا باربرا (1925 Santa Barbara) وزلزال (1933 Long Beach) أظهرت بشكل واضح الضعف الزلزالي لمنشآت البناء غير المسلحة (URM structures). دفعت هذه الأحداث في عام 1933 ولاية كاليفورنيا لإقرار قانون يحظر استخدام البناء غير المسلح في الأبنية العامة. قاد هذا التقييد المهندسين والبناء للبحث عن شكل أكثر مطاوعة ومقاومة زلزالية لهذا النوع من الإنشاء للمناطق الزلزالية الخطرة. أدى هذا الحافز بالإضافة للاهتمامات الاقتصادية إلى تطوير البناء المسلح (Reinforced masonry) الذي يجمع بشكل نموذجي وحدات بناء قرميدية أو بيتونية مصنفة عالية المقاومة مع الملاط وفولاذ التسليح لتقاوم بشكل أكثر فعالية الإجهادات الشادة، وتزود نظام مطاوع وفعال أكثر.

كانت بدايات استعمال القرميد المسلح في عام 1813 من قبل Marc Isambard Brunel كوسائل تقوية لمدرخنة قيد الإنشاء قرب لندن، كما أجرى في عام 1836 تجارب ليحدد المقاومة الإضافية الممنوحة للبناء (masonry) من التسليح. كان القرميد المسلح مستخدم عن طريق العديد من البنائين خلال ذلك القرن. على أية حال كان هؤلاء البنائين مستقلين وأحرار في هذه الحرفة، حيث كانوا يبنون منشآتهم بالاعتماد على خبرتهم وذلك أكثر كفن ومهارة من كونه تصميم عقلاني. على أية حال فإن أداء العناصر المركبة على الانعطاف من بلوك وفولاذ تسليح لم تفهم بشكل واضح

في ذلك الوقت، ونسب العديد من المحققين قوة البناء بشكل أولي للخواص اللاصقة لمادة الربط. حيث أغلب الاختبارات المبكرة صممت لتثبت المقاومة الزائدة المحصول عليها من خلال استعمال اسمنت بورتلاندي جديد في الملاط بدلاً من الكلس الطبيعي المستعمل سابقاً.

أوقف التطوير في البلوك المسلح بعد العام 1867، عندما قدّم الفرنسي Joseph Monier فكرة البيتون المسلح، حيث وضع استخدام البلوك المسلح جانباً حتى نهاية الحرب العالمية الأولى. في عام 1923 نشر قسم الأشغال العامة لحكومة الهند الورقة التقنية #38، وهي عبارة عن تقرير شامل للاختبارات المجرات على المنشآت من القرميد المسلح التي تمتد على فترة حوالي السنتين. بدت هذه الاختبارات البحث المنظم الأول على البناء من القرميد المسلح الذي يعتبر كعلامة المرحلة الأولى للتطوير الحديث للبناء من القرميد المسلح.

استمر البحث في الولايات المتحدة وتوضح الأداء الشاذ غير المنتظم لبعض النماذج المختبرة سابقاً من القرميد المسلح، وميزت الواحدة بعد الأخرى المتغيرات الرئيسية المؤثرة على مقاومة البناء من القرميد المسلح. حيث نشرت جمعية المنتجين الأمريكية للأجر عام 1933 كتاباً بعنوان (Reinforced Brick Masonry) Vol. 111.

يبين الشكل (1-2) اختبار أجري عام 1936 يوضح المقدرة الإنشائية للعناصر من القرميد المسلح. التغيير الهام في استعمال القرميد المسلح تبع زلزال 1933 Long Beach، حيث أدرك أن المنشآت غير المسلحة كانت معرضة للضرر الرئيسي من الزلازل وأن البناء من القرميد المسلح يمكن أن يستخدم لإنقاذ الحياة، حيث طورت الكودات التي روجت لاستخدام المنشآت المسلحة. منذ ذلك الوقت آلاف مثل هذه المنشآت بنيت واعتمدت تقنية البناء بالقرميد المسلح كممارسة معيارية لأنواع مختلفة من المنشآت في العديد من المناطق.

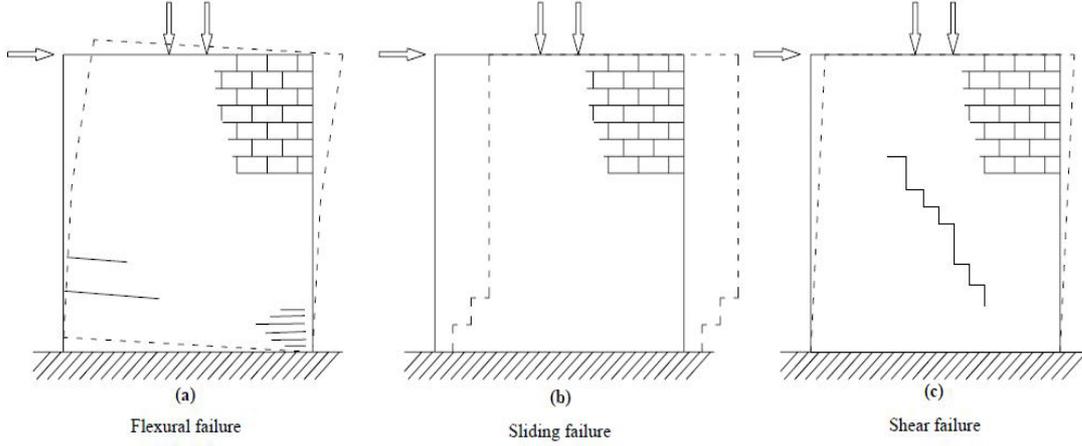
استمر البحث في البناء بالقرميد المسلح ففي عام 1984 شكلت لجنة التنسيق التقنية لبحث البناء (Masonry) (The Technical Coordinating Committee for Masonry Research) (TCCMAR) بغرض تعريف وإجراء بحوث تحليلية وتجريبية وإجراء التطويرات الضرورية لتحسين تقنية البناء الهيكلية. أدى الاهتمام في الاستغلال الأفضل لمقاومة الضغط العالية نسبياً للبناء من القرميد إلى البحث حالياً في البناء المسبق الإجهاد (Prestressed brick masonry).



الشكل (1-2) : اختبار قديم لعنصر من القرميد المسلح [25]

3-2 أنماط انهيار جدران البلوك المسلحة: [14]

باستثناء انهيار التماسك أو وصلات التراكب للتسليح، جدران البلوك الخاضعة لأحمال أفقية ممكن أن تنهار في إحدى الطرق الثلاثة التالية: بالانزلاق أفقياً، بالانحناء أو بالقص القطري. يتأثر نمط الانهيار بالعديد من العوامل مثل نسبة الطول إلى عرض الجدار، مستوى إجهادات الضغط المحورية، نسبة وتوزيع فولاذ التسليح وخصائص المقاومة للمواد المستعملة في بناء الجدار.



الشكل (2-2) : أنماط انهيار جدران البلوك المسلحة [14]

1-3-2 الانهيار بالانحناء:

يحدث هذا النمط (الشكل a-2-2) من الانهيار بسبب السيلان لفولاذ التسليح الشاقولي بالقرب من كعب الجدار أو بسبب التحطم للبلوك عند قدم الجدار الذي يترافق في بعض الحالات بتحنيب التسليح المضغوط وذلك عندما يتصرف الجدار كظفر شاقولي. عموماً فإن هذا النمط هو المفضل كانهيار مطاوع ومبدد للطاقة بشكل فعال بسبب سيلان الفولاذ الشاقولي المثبت بالقاعدة.

2-3-2 الانهيار بالانزلاق:

القص المنزلق (الشكل b-2-2) هو حركة كامل أجزاء الجدار على طبقة ملاط القاعدة أو أية طبقة ملاط أخرى حيث تقاوم هذه الحركة بالفعل الوتدي لقضبان التسليح الشاقولية المثبتة بالقاعدة وبالاحتكاك الناتج على طبقة الملاط. هذا النوع من الانهيار قد يصبح هاماً في أية حالة يكون فيها معامل الاحتكاك منخفض مثلاً عند استخدام فاصل احتكاك أو غشاء كتيم للماء أو عندما يتموضع الجدار على بلاطة منفذة مصقولة وناعمة. هذا النمط من الانهيار قد يخلق مشكلة خصوصاً في جدران البلوك غير المسلحة.

3-3-2 الانهيار بالقص:

يتميز هذا النوع من الانهيار (الشكل c-2-2) بابتداء الشقوق القطرية المرئية على طول جدار القص وذلك عندما تتجاوز الاجهادات الشادة الرئيسية مقاومة الشد لجدار البلوك تحت الانزياحات الجانبية المفروضة المتزايدة. اعتماداً على كمية وإرساء فولاذ التسليح الأفقي هناك احتمال لنوعان من انهيار القص: انهيار قص مطاوع وانهيار قص هش.

فحينما يكون هناك تسليح أفقي كافي مرسى بشكل صحيح إعادة توزيع الإجهاد عبر جدار القص ستتجز بعد ابتداء الشقوق القطرية. لذا الشقوق القطرية الأولية لا تتوسع تحت الأحمال الأفقية المتزايدة. لكن بدلا من ذلك تتشكل مجموعات جديدة من الشقوق القطرية وتنتشر بشكل تدريجي في كافة أنحاء جدار البلوك ويؤدي ذلك إلى سلوك مطاوع يقود إلى بعض من تبديد للطاقة. يحدث الانهيار بشكل تدريجي في هذه الحالة كتدهور لمقاومة جدار البلوك تحت التحميل الجانبي الدوري. يقود السحق المحلي الجزئي في الأجزاء المتصدعة جدا لأقطار الجدار بالنهاية إلى الخسارة الكاملة للمقاومة. هذا النوع من الانهيار يوصف بانهيار القص المطاوع. من الناحية الأخرى انهيار القص الهش يحدث عندما تكون الكمية أو إرساء التسليح الأفقي ليسا كافيين لنقل الإجهادات الشادة عبر المجموعة الأولى للشقوق القطرية حيث تواصل هذه الشقوق التوسع على نطاق واسع على هيئة شكل X مؤدية إلى انهيار مفاجئ وتدميري نسبياً. لاحظ أن هذه الشقوق القطرية قد تنتشر إما خلال وحدات البلوك أو على طول طبقات الملاط.

2-4-4 العوامل المؤثرة على سلوك جدران البلوك المسلحة: [27]

1-4-2 نسبة التسليح وتوضعه:

تلعب النسبة المئوية وموقع فولاذ التسليح دور مهم في سلوك جدران البلوك المسلحة. وجد (Alcocer and Meli (1995) أن كمية التسليح الأفقي لا تؤثر على القساوة البدائية للجدار على الرغم من أن الجدران المسلحة تقاوم قوى أكبر من الجدران غير المسلحة. لاحظ عدة باحثون (Ingham et al. (2001), Khattab and Drysdale (1993), Hamid (1991) بأن قدرة الحمل الجانبية للجدران المسلحة لا تزداد بشكل ملحوظ لكن المطاوعة تزداد بزيادة كمية التسليح. ذكر Fattal (1993) بأن التشوهات المتصدعة بالإضافة إلى المقطرة النهائية للجدران المسلحة تزداد بزيادة نسبة التسليح الأفقي حتى نسبة 0.2%. وجد (Benli and Houqin (1991) أن التسليح الأفقي يزيد مقطرة القص لجدران القرميد حتى نسبة 30% بالمقارنة مع الجدران غير المسلحة. وجد (Priestley (1977) بأن التوزيع الجيد للتسليح على طول الجدار يزود سيطرة أفضل على الشقوق ويحسن المقاومة القصية الوتدية عبر مستويات الانزلاق المحتملة. في أغلب الدراسات المذكورة أعلاه كانت النسبة المئوية للتسليح عالية والتباعدات بين قضبان التسليح أقل من 800 ملم.

2-4-2 الضغط المحوري:

يؤثر الإجهاد المحوري الضاغط على سلوك جدران البلوك المسلحة بشكل ملحوظ حيث لاحظ عدة باحثون (Bernardini et al. (1997), Alcocer and Meli (1995), Fattal (1993) إن زيادة صغيرة في الحمل الشاقولي يزود الجدار بمقاومة ومطاوعة أكبر ربما يعود ذلك إلى تحسين آليات مقاومة التماسك بين المونة الإسمنتية ووحدات البلوك. لكن أي زيادة كبيرة للإجهاد المحوري تغير نمط الانهيار للجدار من الانعطاف إلى القص. أيضاً وجد من قبل عدة باحثين (Alcocer and Meli (1995), Davidson and Brammer (1996), Assa and Dhanasekar, (2000) بأن الزيادة الكبيرة للإجهاد المحوري يخفض المطاوعة المتاحة للمنشأ. وجد (Ghanem et al. (1993) بأنه لتفادي الانهيار الهش لجدار البلوك يجب على الإجهاد المحوري أن لا يزيد عن 5% من مقاومة الضغط لجدار البلوك.

في الجدران الطويلة يحدث شق بزواوية 45° في الجزء السفلي من الجدار مظهراً انهياراً على الانعطاف (الشكل 2-4-2a). من أجل الجدران بنسبة طول إلى العرض قريبة من الواحد (الشكل 2-4-2b) يقسم شق قطري رئيسي القاعدة في منطقة الضغط حيث ينتقل جزء من الحمل الشاقولي مباشرة من الجدار إلى القاعدة في منطقة القدم المضغوط وينتقل الجزء الباقي للقوة العمودية عبر الشق القطري الذي يؤدي إلى قوى التشابك الحسوي. من أجل الجدران بنسبة $H/L < 1$ (الشكل 2-4-2c) ينشأ شق قطري في الزاوية العليا للجدار ويقابل القاعدة خارج منطقة تجمع الإجهادات حيث تصبح كامل المنطقة المحاطة بإجهادات ضاغطة فعالة في تزويد مقاومة القص في منطقة القدم المضغوطة.

2-4-4 خواص المواد:

وجد من قبل عدة باحثون (1988) Scrivener and Baker، (1979) Drysdale and Hamid بأن لمقاومة المونة الاسمنتية (mortar) وملاط المأل (grout) تأثير محدود على مقاومة الجدار. لاحظ (1994) Riddington and Naom بأن زيادة مقاومة الشد للقرميد تؤدي إلى زيادة المقدرة النهائية للضغط للجدران. ذكر (1995) Zhuge بأن لمقاومة جدار البلوك (masonry) على الشد تأثير هام على التشقق وبالتالي على قدرة التحمل النهائية لجدران البلوك غير المسلحة وذلك فقط عندما يكون الحمل الشاقولي الضاغط منخفض نسبياً ويصبح هذا التأثير غير هام عندما تكون الاجهادات الشاقولية الضاغطة كبيرة. ذكر (1994) Riddington and Naom، (1979) Drysdale and Hamid بأن الزيادة في سماكة طبقة المونة تنقص مقاومة الضغط الحدية لجدار البلوك (masonry).

2-5 آليات المقاومة لجدران البلوك المسلحة: [14]

تحتوي منشآت البلوك المسلح على جدران التي من الممكن أن تخضع لحمولات مترامنة أفقية وشاقولية مسببة عزوم قابلة أثناء الاهتزاز الزلزالي. لذلك مطلوب من آليات المقاومة لمثل هذه الجدران الهيكلية أن تملك مقاومة كافية لتحمل هذه الأحمال. تصف الأقسام التالية باختصار النوعان من آليات المقاومة لجدران البلوك المسلحة.

2-5-1 مقاومة الانعطاف:

تحسب عادة مقاومة الانعطاف لجدران البلوك المسلحة شاقولياً بواسطة نظرية بيرنولي مستندة على الفرضية بأن المقاطع المستوية تبقى مستوية بعد الانعطاف. يتحقق من مقاومة الانعطاف الاسمية لجدران البلوك بشكل تقريبي باستخدام توزيع إجهاد ضاغط مستطيل بمعدل 0.85 fm وعمق "a"، التشوه الأعظمي المسموح ϵ_u بالكود النيوزيلندي (NZS 4230:2004) في الليف الطرفي المضغوط هو 0.003 . هذه الفرضيات موضحة بالشكل (2-5). بالاستناد على هذه الفرضيات يمكن أن تقدر مقدرة الانعطاف الاسمية لمقطع الجدار مع تسليح شاقولي موزع كالتالي: [14]

$$M_n = C_m \left(c - \frac{a}{2} \right) + \sum_i^n C_{si} (c - d_i) + \sum_i^n T_i (d_i - c) + W_t \left(\frac{L_w}{2} - c \right) \quad (1-2)$$

حيث:

يشيران إلى مقاومة الشد والضغط للتسليح الشاقولي وتحسب كما يلي: $\sum_i^n C_{si}$ $\sum_i^n T_i$

$$\sum_i^n C_{si} = \sum_i^n A_{si} E_{si} \varepsilon_{si} \quad (2-2)$$

$$\sum_i^n T_i = \sum_i^n A_{si} E_{si} \varepsilon_{si} \quad (3-2)$$

حيث: $E_{si} \varepsilon_{si} \leq f_y$

قوة الضغط C_m ضمن جدار البلوك (masonry) تحسب كما يلي:

$$C_m = W_t + \sum_i^n T_i - \sum_i^n C_{si} \quad (4-2)$$

عمق البلوك المضغوط يحسب كما يلي:

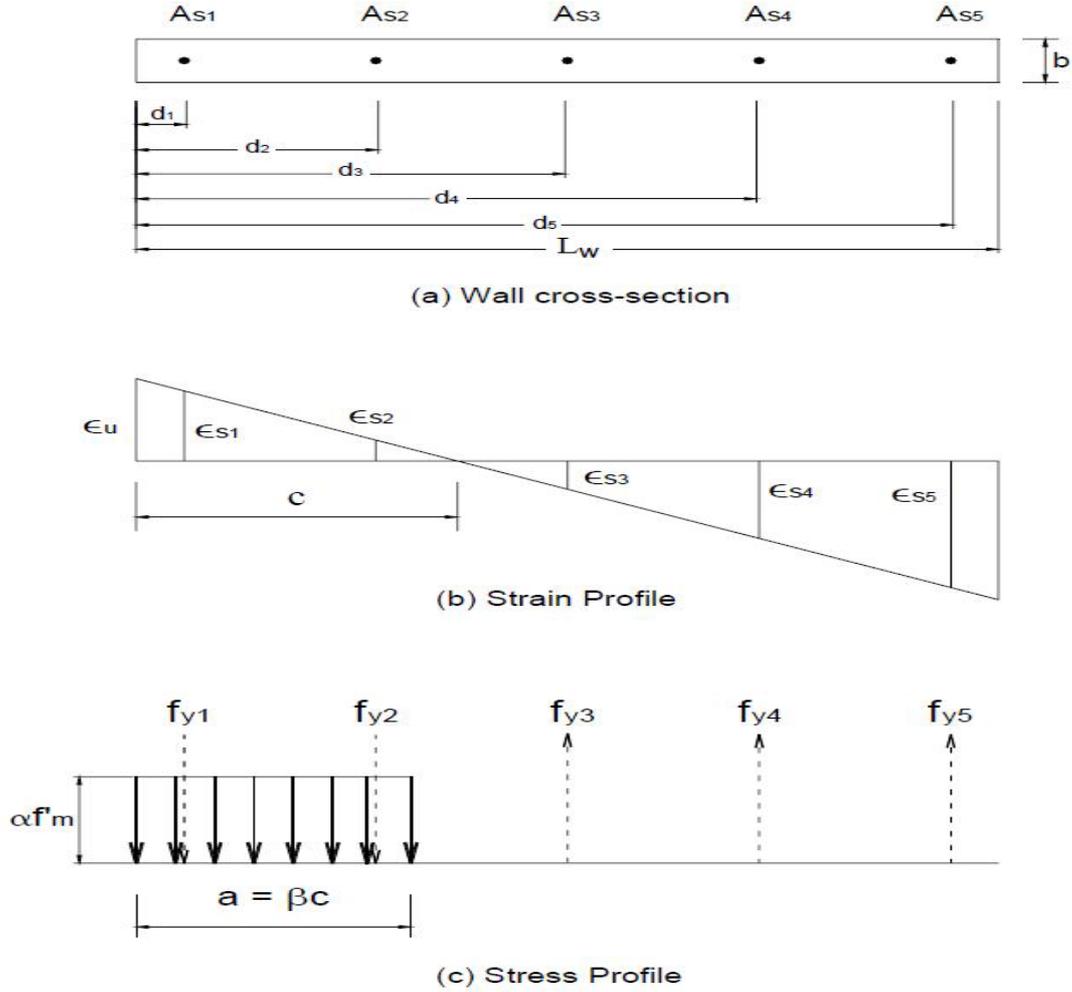
$$a = \frac{C_m}{0.85f'_m b} \quad (5-2)$$

عمق المحور المحايد يحسب كما يلي:

$$c = \frac{C_m}{0.7225f'_m b} \quad (6-2)$$

لذلك المقاومة الاسمية F_n لجدار القص بطول فعال H_e تحسب كما يلي:

$$F_n = \frac{M_n}{H_e} \quad (7-2)$$



الشكل (5-2): توزيع الاجهادات والتشوهات على طول جدار البلوك المسلح [14]

2-5-2 مقاومة القص:

تتصرف جدران البلوك غير المسلحة أثناء انهيار القص كعناصر هيكلية هشة مع مقدرة محدودة لتبديد الطاقة خصوصاً عندما تكون معرضة لإجهادات ضاغطة عالية (Sucuoglu and McNiven, Page (1989), Tomažević (1999), Shing et al (1989), (1991) لذلك تزود جدران البلوك ببولاذ التسليح أفقياً وشاقولياً من أجل تحسين مقاومتها الجانبية ومطاوعتها.

إذا سلح جدار البلوك أفقياً يمنع هذا التسليح الأجزاء المتصدعة من الانفصال عند انهيار القص. لذلك تتحسن مقاومة القص ومقدرة تبديد الطاقة للجدار عندما يخضع لحمولات دورية. في حالة جدران البلوك غير المسلحة يسبب شق رئيسي وحيد تدهور حاد في المقاومة وانهيار هش لاحق (الشكل 2-6-2-a).

على أية حال إذا سلح الجدار أفقياً بشكل كافي ستتوزع العديد من الشقوق الصغيرة بانتظام على كامل سطح الجدار (الشكل 2-6-2-b).



الشكل (6-2) : أنواع انهيار القص [14]

1-2-5-2 جدران البلوك غير المسلحة:

ميز باحثون مثل (Page 1989), Mann and Muller (1982), Yokel and Fattal (1976) خلال العقود الماضية شكلان مختلفان لسلوك جدران البلوك غير المسلحة. من أجل إجهادات محورية ضاغطة منخفضة يستند التعبير الرياضي للشكل الأساسي لمقاومة القص على التعبير الرياضي للاحتكاك القصي (Mohr Coulomb) كما هو موضح في المعادلة التالية:

$$\zeta_m = \zeta_o + \mu_f \sigma_n \quad (8-2)$$

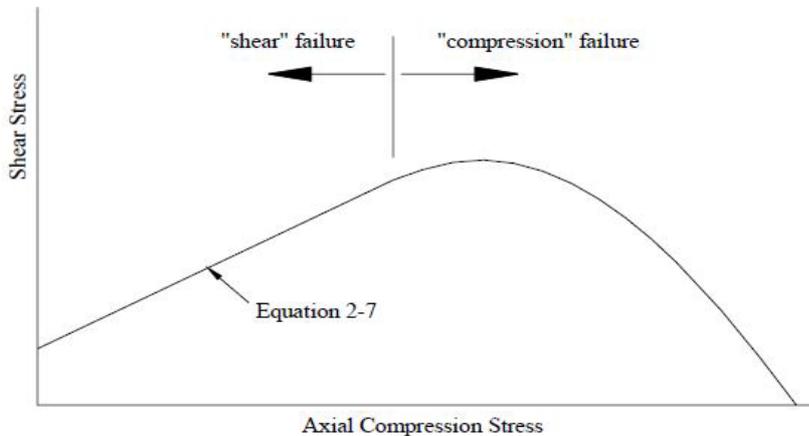
حيث ζ_m و σ_n يعبران عن القص الوسطي والإجهاد الشاقولي المطبق، ζ_o مقاومة التماسك على القص، μ_f معامل الاحتكاك الداخلي. يمكن التعبير عن المعادلة السابقة بشكل بارامتري كما يلي:

$$V_n = f_n (f_m', N) \quad (9-2)$$

حيث تمثل V_n مقاومة القص الاسمية لجدار البلوك و N القوة المحورية الضاغطة.

كما هو واضح من الدراسات التجريبية تتغير قيم الثوابت ζ_o و μ_f بشكل كبير حيث تتأثر بطريقة الاختبار ونوع جدار البلوك (masonry). أوصى (Paulay and Priestley 1992) بمدى نموذجي للقيم كما يلي:

$$0.1 \leq \zeta_o \leq 1.5 \quad \text{و} \quad 0.3 \leq \mu_f \leq 1.2$$



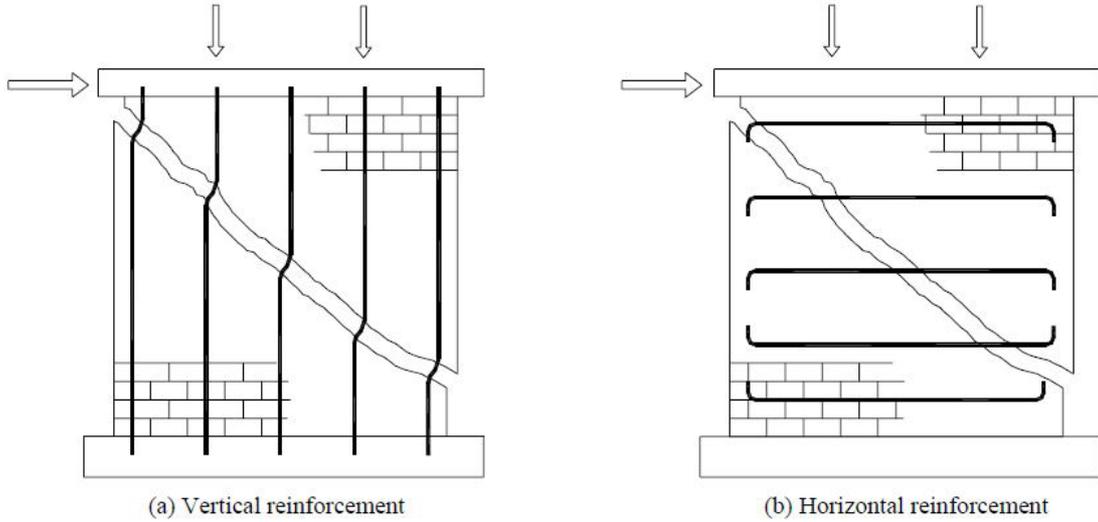
الشكل (7-2) : معيار الانهيار لجدران البلوك غير المسلحة [14]

عندما تقترب قوة الضغط المحورية من إجهاد كبير بما فيه الكفاية يصل الجدار إلى ذروة قوته ويتغير سلوكه وذلك مع نمط انهيار متضمن الجمع بين القص والتحطم لجدار البلوك. ومن أجل إجهادات ضغط أكبر تنقص مقاومة القص ويسيطر انهيار الضغط للجدار على الرد للأحمال. لذلك لا تطبق المعادلة السابقة في هذه الحالات، يقابل انهيار الضغط هذا الجزء الثاني للمنحني المعروف في الشكل (7-2).

2-2-5-2 جدران البلوك المسلحة:

في الحالة التي تكون فيها جدران البلوك مسلحة أفقياً وشفافياً الآليات الأساسية لعمل التسليح عند انهيار القص موضحة بالأشكال التالية (a-8-2) و (b-8-2).

استنتج الباحثون مثل (Tomazevic (1999), Shing et al (1988), Brunner and Shing (1996) بأن مقاومة القص لجدران البلوك المسلحة تأتي من عدة آليات وميكانيزمات مثل الشد للتسليح الأفقي، الفعل الوندي للتسليح الشاقولي، بالإضافة إلى قوة الضغط المحورية التي تحسن التشابك الحصى بين أجزاء الجدار التي فصلت بالشقوق القطرية.



الشكل (8-2): دور التسليح في مقاومة انهيار جدران البلوك [14]

بسبب تعقيد هذه الآليات لم تقترح بعد نماذج نظرية فعالة لتوقع مقاومة القص لجدران البلوك المسلحة. لذلك حساب عملي لمقاومة القص الاسمية V_n لجدران البلوك المسلحة قدر كمجموع المساهمات من البلوك (masonry)، التسليح، والأحمال المحورية الضاغطة المطبقة.

تتحد آليات مقاومة القص الثلاثة في معادلة بالشكل التالي:

$$V_n = V_m + V_s + V_p \quad (10-2)$$

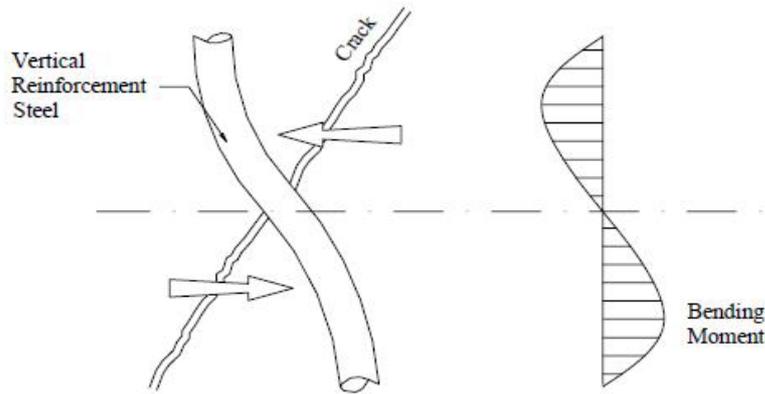
بحيث: V_m مساهمة البلوك (masonry) لمقاومة القص

V_s مساهمة التسليح لمقاومة القص

V_p مساهمة الحمل المحوري الضاغط المطبق لمقاومة القص

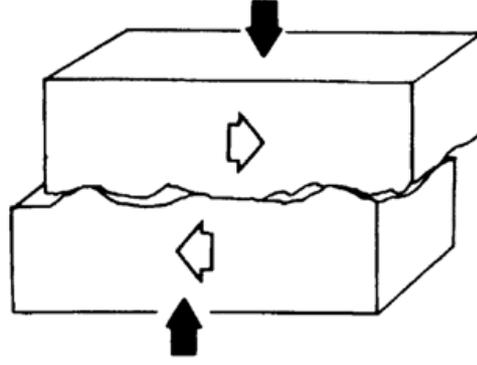
كما أشير إليه بالنتائج التجريبية (Shing et al 1988) , Sveinsson et al (1985) , Matsumura (1987) تعتمد مقاومة القص V_n بقوة على مقاومة الضغط لجدار البلوك f_m' حيث هناك دليل قوي بأن V_n تزداد بزيادة f_m' على أية حال العلاقة ليست خطية حيث أن الزيادة في V_n تتناقص بزيادة f_m' لذلك فإنه مقبول بأن V_n تزداد بشكل تقريبي بالتناسب مع $\sqrt{f_m'}$.

أيضاً في الحالة التي تكون فيها الجدران مزودة بتسليح شاقولي ينسب جزء من مقدرة المقاومة القصية للفعل الوتدي للتسليح الشاقولي (الشكل 9-2). حيث يمكن أن تنتقل قوى قصية على طول سطح محدد (شق قطري) عن طريق أفعال القص، الانعطاف والالتواء المنشطة محلياً في قضبان التسليح نظراً لإزاحتهم النسبية على طول الشق. بالإضافة لذلك يضيف التسليح الأفقي القوة V_s ، حيث قبل أن يحدث الشق القطري يحمل التسليح الأفقي قوة قليلة ولكن حالما تحدث الشقوق القطرية يعاد توزيع مقاومة القص بين قضبان التسليح الأفقية. عندما يزود تسليح قص كافي الشقوق القطرية لا تفتح بشكل كبير بل تتوزع بانتظام عبر الجدار.



الشكل (9-2) : انتقال القص بواسطة الفعل الوتدي للتسليح [14]

يوقف الحمل المحوري الضاغط تشكل الشقوق في جدار البلوك وعندما تزداد الإجهادات الشادة المنتجة بواسطة الأحمال الجانبية عن الإجهادات الضاغطة المولدة بواسطة الحمل المحوري الضاغط تبدأ الشقوق القطرية السابقة بالظهور. بالإضافة لذلك يساهم الحمل المحوري الضاغط في مقاومة القص بتحسين آلية التشابك الحصوي. عندما يتطور الشق في كتلة البلوك يكون سطحه عادة خشن وغير منتظم (الشكل 10-2). تبقى أغلبية الجزيئات الحصوية الخشنة مضمنة في أحد وجهي الشق. عندما يتشكل هذا الشق على طول المستوي المستمر تصبح إزاحة متوازية محتملة في هذا المستوي وتصبح الجزيئات الناتئة من احد وجهي الشق على احتكاك مع ما يقابلها من جزيئات الوجه الآخر. تقيد الحركات الإضافية بإسناد واحتكاك الجزيئات الحصوية على سطح الشق. يفيد هذا التقيد المزود بمنع زيادات كبيرة في عرض الشق ويمكن أن تنتقل قوى قصية هامة عبر السطح البيني للشق.

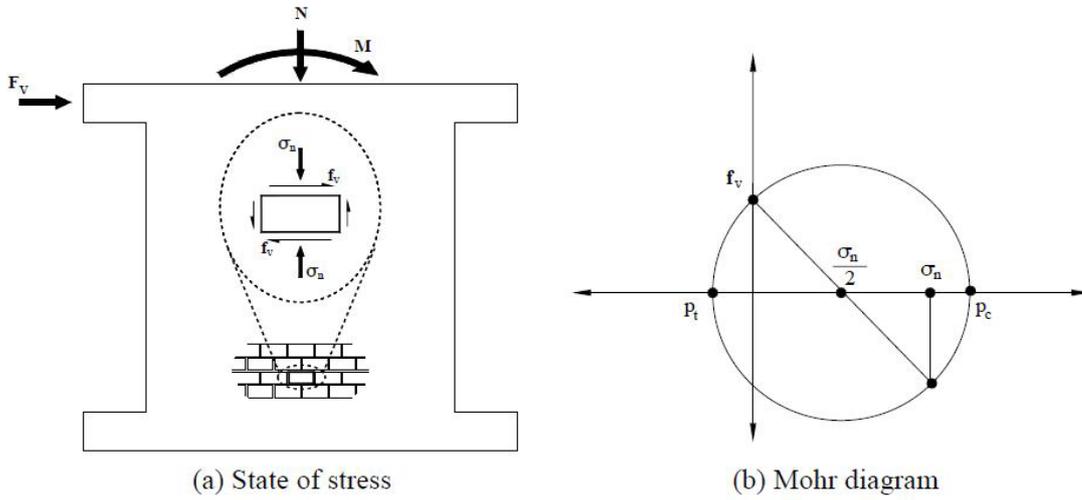


الشكل (10-2) : التشابك الحصري على طول سطح الشق [14]

تعتبر مقاومة الشد لجدار البلوك (masonry) معامل هام في سلوك عناصر البلوك الهيكلية كجدران القص حيث يمكن أن تنتج القوى الأفقية اجهادات شادة أو قصية أو كليهما. حيث يمكن أن تتشكل شقوق قطرية في وحدات بلوك الجدار عندما تزداد الاجهادات الرئيسية p_t على مقاومة الشد لجدار البلوك.

دائرة مور (Mohr) الموضحة في الشكل (b-11-2) تستخدم لتقدير p_t و p_c (الاجهادات الرئيسية الضاغطة)، تحت تأثير التحميل الخارجي الموضح في الشكل (a-11-2). الإجهاد الرئيسي الشاد p_t يمكن أن يقدر بحسب المعادلة التالية:

$$p_t = \frac{\sigma_n}{2} - \sqrt{(f_v)^2 + \left(\frac{\sigma_n}{2}\right)^2} \quad (11-2)$$



الشكل (11-2) : الإجهادات الرئيسية المؤثرة في جدار البلوك (masonry) [14]

يلاحظ بأن فرضيات الأنهييار للمواد المتجانسة لا يمكن أن تطبق بشكل غير مقيد لجدران البلوك وذلك بسبب أن منشآت البلوك تتألف من عناصر عديدة أي وحدات البلوك، الملاط المالى، طبقات المونة التي جميعها يمكن أن تنهار بشكل مستقل. لذلك ليس من المحتمل نسب الانهييار العام إلى سبب وحيد، على سبيل المثال التدهور الذي يحصل في طبقات المونة.

2-6 حساب مقاومة القص لجدران البلوك المسلحة:

يمكن حساب مقاومة القص لجدران البلوك المسلحة من خلال المعادلات الرياضية التالية لعدد من الباحثين والكودات العالمية التي تتطرق إلى هذا الموضوع.

2-6-1 حسب بعض الدراسات البحثية:

❖ **Matsumura (1988): [17]**

يحدد الباحث معادلة تجريبية كما يلي:

(12-2):

$$V_n = \left[k_u k_p \left(\frac{0.76}{(h/d) + 0.7} + 0.012 \right) \sqrt{f'_m} + 0.2 \sigma_n + 0.18 \gamma \delta \sqrt{\rho_h f_{yh} f'_m} \right] (0.875 t d)$$

f'_m مقاومة جدار البلوك على الضغط (MPa)

t سماكة جدار البلوك

h ارتفاع جدار البلوك

d العمق الفعال للجدار (mm)

σ_n الإجهاد الشاقولي المطبق على جدار البلوك (MPa)

ρ_h نسبة التسليح الأفقي

f_{yh} حد السيلاّن للتسليح الأفقي (MPa)

$K_u = 1.0$ من أجل جدران البلوك المملوءة كلياً بالملاط

$= 0.64$ من أجل جدران البلوك المملوءة جزئياً بالملاط

$K_p = 1.16 (\rho_{ve})^{0.3}$

ρ_{ve} نسبة التسليح الشاقولي في آخر فجوة لجدار البلوك

$\gamma = 1.0$ من أجل جدران البلوك المملوءة كلياً بالملاط

$= 0.6$ من أجل جدران البلوك المملوءة جزئياً بالملاط

$\delta = 1.0$ من أجل تحميل يؤدي إلى نقطة انقلاب في منتصف ارتفاع الجدار (انعطاف مزدوج)

$= 0.6$ من أجل تحميل لحالة جدار ظفري (انعطاف مفرد)

❖ **Shing et al (1990): [23]**

يحدد الباحث ورفاقه معادلة تجريبية كما يلي:

(13-2):

$$V_n = (0.166 + 0.0217 \rho_v f_{yv}) \sqrt{f'_m} A_n + (0.0217 \sigma_n A_n) \sqrt{f'_m} + \left(\frac{L_w - 2d'}{s_h} - 1 \right) A_h f_{yh}$$

f'_m مقاومة جدار البلوك على الضغط (MPa)

ρ_v نسبة التسليح الشاقولي

d' المسافة بين قضيب التسليح المضغوط الأكثر بعداً وحافة جدار البلوك (mm)

L_w طول جدار البلوك (mm)

f_{yh} حد السيالان للتسليح الأفقي (MPa)

f_{yv} حد السيالان للتسليح الشاقولي (MPa)

s_h التباعدات الشاقولية بين التسليح الأفقي (mm)

A_n مساحة جدار البلوك الصافية (mm^2)

A_h مساحة التسليح الأفقي (mm^2)

❖ **Anderson and Priestley (1992): [3]**

يحدد الباحثان معادلة تجريبية كما يلي:

$$V_n = C_{ap} A_n k \sqrt{f'_m} + 0.25 \sigma_n A_n + 0.5 A_h f_{yh} d/s_h \quad (14-2)$$

هذه المعادلة تأخذ بعين الاعتبار التراجع في مقاومة القصر عندما يخضع الجدار لتحميل دوري في المجال اللدن ممثلاً ذلك بمعامل المطاوعة k . اقترح الباحثان بأنه ضمن منطقة المفصل اللدن المعامل k يجب أن يساوي 1 عندما يكون معامل مطاوعة الانعطاف 2 وينقص بشكل خطي إلى الصفر عندما يساوي معامل المطاوعة 4. يعبر المصطلح C_{ap} عن نوع البلوك المستخدم حيث يساوي 0.24 للبيتون و 0.12 للقرميد. كما أن هذه المعادلة لا تتضمن المقاومة القصية العائدة للفعل الوتدي للتسليح الشاقولي.

❖ **Kok Choon Voon (2007): [14]**

يحدد الباحث معادلة تجريبية كما يلي:

$$V_n = 0.8k(C_a + C_b)A_n \sqrt{f'_m} + 0.9N^* \tan \alpha + A_h f_{yh} \frac{D_{eff}}{s_h} \leq 0.33A_n \sqrt{f'_m} \quad (15-2)$$

$$C_a = 0.022\rho_v f_{yv} \quad \text{and} \quad C_b = 0.083 \left[4 - 1.75 \frac{h_e}{L_w} \right], \quad \text{and} \quad 0.25 \leq \frac{h_e}{L_w} \leq 1.0 \quad (16-2) \quad (17-2)$$

$$D_{eff} = L_w - (d' + c) - \ell_{dh} \quad (18-2)$$

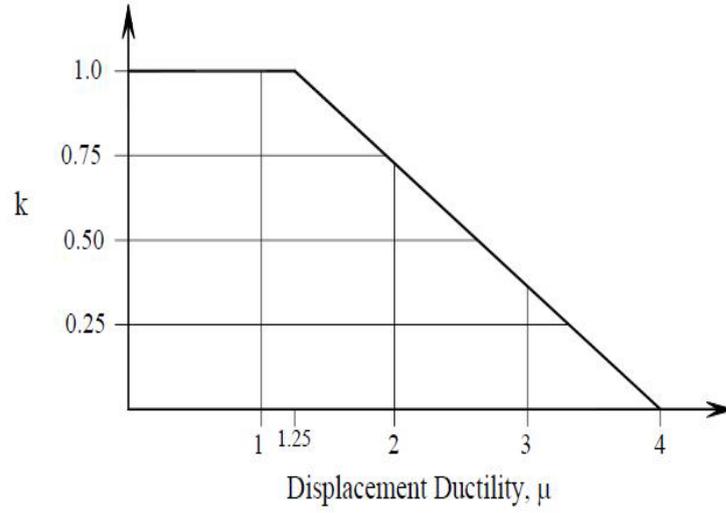
C تمثل عمق المحور المحايد حيث التسليح في المنطقة المضغوطة يعتبر غير فعال ليستخدم كإرساء.

L_{dh} تمثل الطول المعدل للتسليح الأفقي الذي يملك عكفة بـ 90° (الشكل 14-2). ويجب أن يساوي 20db للتسليح

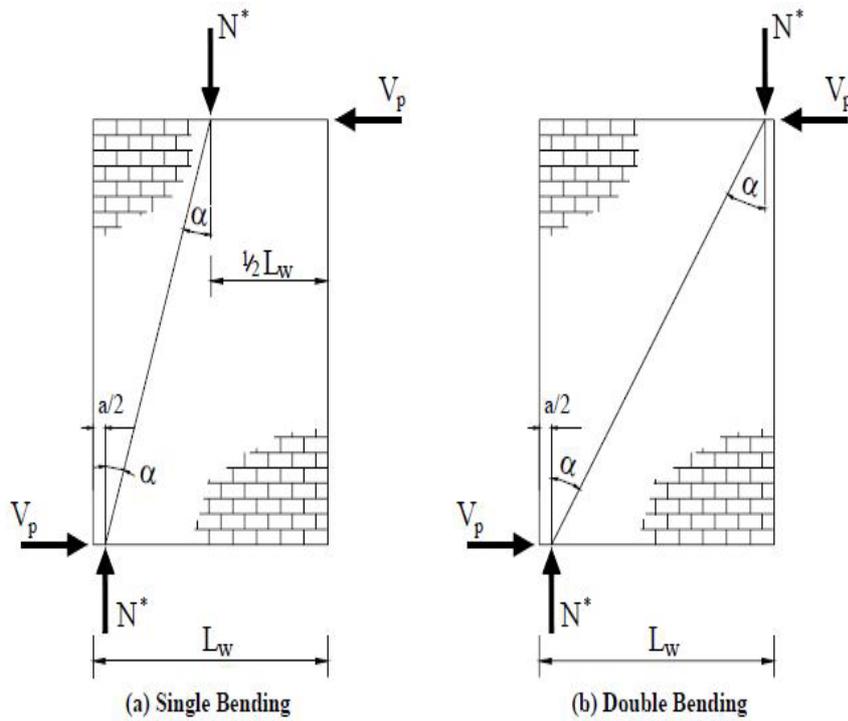
بدرجة سيالان $300 \text{ MPa} = f_y$ و 35db بدرجة سيالان $500 \text{ MPa} = f_y$.

حيث يبين الشكل (12-2) كيفية حساب المعامل k بالاعتماد على مطاوعة الانتقال، كما يبين الشكل (13-2) مساهمة

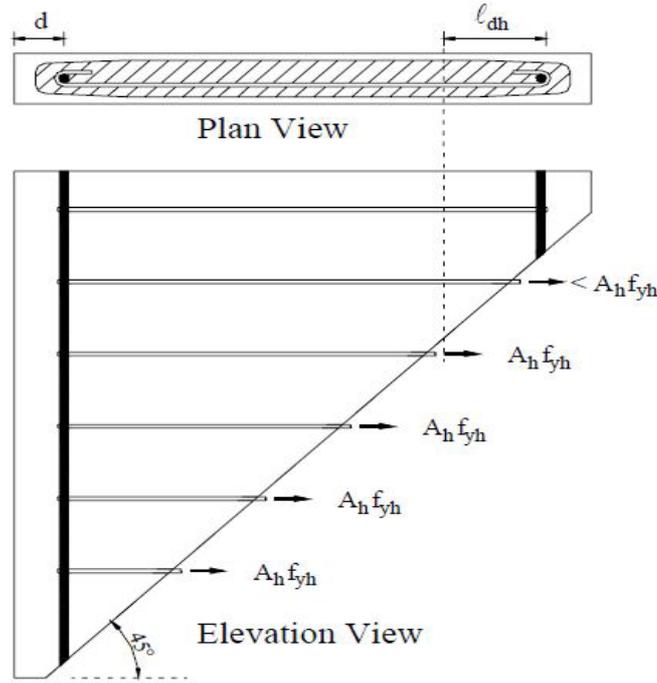
القوة المحورية في مقاومة القصر لجدار البلوك وذلك في حال كانت مطبقة بمنصف الجدار أو بنهايته.



الشكل (12-2) : العلاقة بين المطاوعة وميكانيكية مقاومة القص لجدار البلك [14]



الشكل (13-2) : مساهمة القوة المحورية لمقاومة القص للجدار [14]



الشكل (14-2) : الفعالية المخفضة للتسليح الأفقي في جدار البلوك [14]

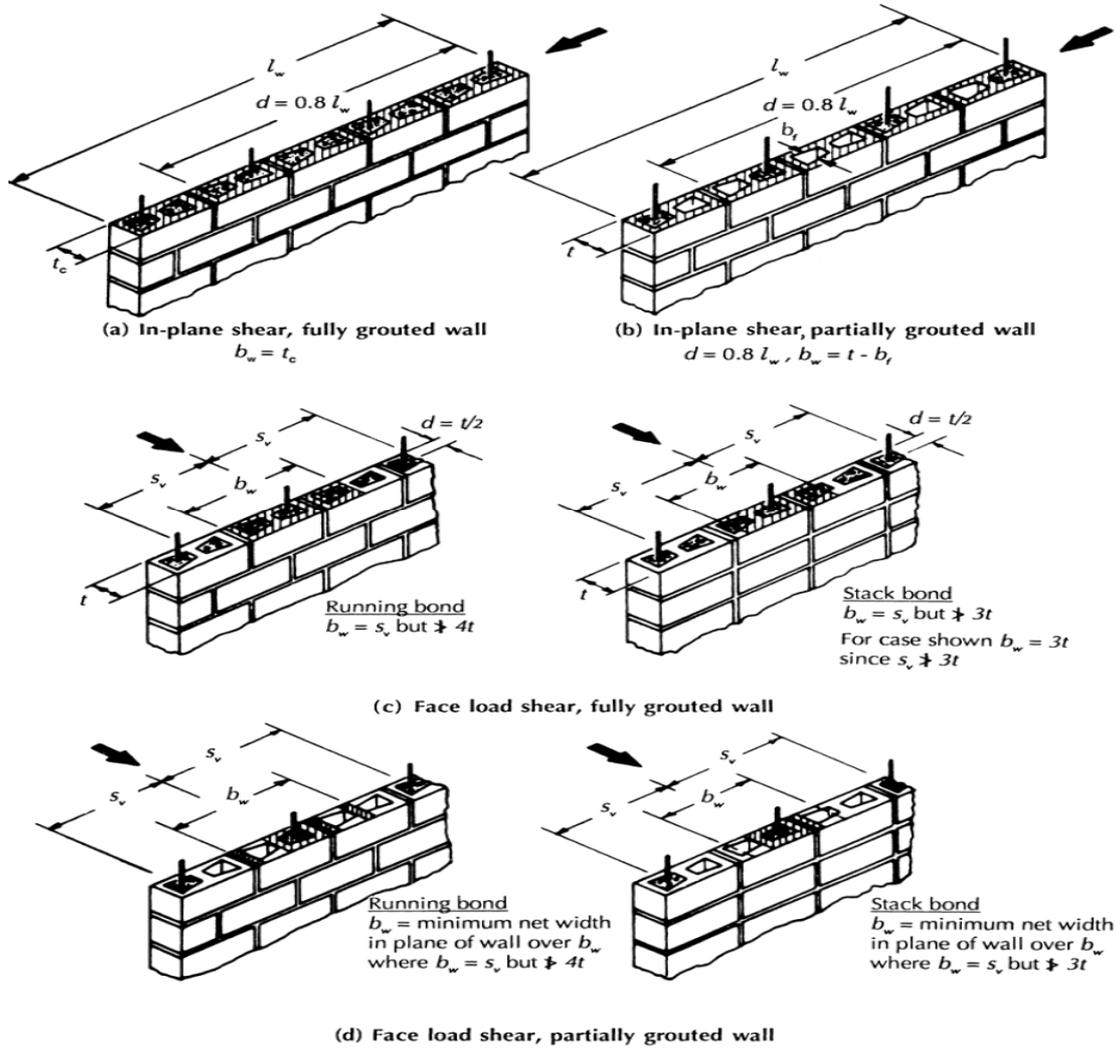
2-6-2 حسب بعض الكودات العالمية:

❖ [20] : (1990) NZS 4230

يحدد الكود النيوزيلندي معادلة تجريبية كما يلي:

$$V_n = v_m b_w d + A_h f_{yh} \frac{d}{s_h} \quad (19-2)$$

حيث v_m تساوي الأكبر من 0.30 MPa أو $0.3(0.1f_m' + \sigma_n)$ كما أن $0.3(0.1f_m' + \sigma_n)$ يجب أن لا تزيد عن 2.4 MPa و f_m' يجب أن لا تكون أكبر من 16 MPa كما أن d العمق الفعال للجدار يجب أن يساوي $0.8L_w$ في حالة التحميل بمستوي الجدار كما هو موضح في الشكل (15-2).



الشكل (15-2): المساحات الفعالة للقص [20] (NZS 4230:1990)

[19]: (1997) NEHRP ❖

تبنى البرنامج الوطني لتخفيض المخاطر الزلزالية (NEHRP) والوكالة الاتحادية لإدارة الطوارئ (FEMA) معادلة قص مشابهة للمعادلة المقترحة بواسطة الباحثان Anderson and Priestley (1992)، لكن التابع v_m في المعادلة التالية عدل ليتضمن البارمتر h_e/L وذلك لإدخال تأثير النسبة الباعية للجدار في مقاومة القص.

$$V_n = 0.083 \left[4.0 - 1.75 \frac{h_e}{L_w} \right] A_n \sqrt{f'_m} + 0.25 \sigma_n A_n + 0.5 A_h f_{yh} L_w / s \quad (20-2)$$

بالاعتماد على النسبة h_e/L_w تحدد مقاومة القص العظمى $V_{n(max)}$ كما يلي:

$$V_{n(max)} = 0.5 A_n \sqrt{f'_m} \quad \text{for } \frac{h_e}{L_w} \leq 0.25 \text{ or}$$

$$V_{n(max)} = 0.33 A_n \sqrt{f'_m} \quad \text{for } \frac{h_e}{L_w} \geq 1.00$$

❖ **(1997) Uniform Building Code** : [26]

يحدد كود البناء الموحد الأمريكي معادلة تجريبية كما يلي:

$$V_n = 0.083C_d A_n \sqrt{f'_m} + A_h f_{yh} \frac{L_w}{s_h} \leq 0.33A_n \sqrt{f'_m} \quad (21-2)$$

بالاعتماد على النسبة h_e/L_w يحدد المعامل C_d كما يلي:

$$\text{for } \frac{h_e}{L_w} < 0.25, C_d = 2.4;$$

$$\text{for } 0.25 \leq \frac{h_e}{L_w} \leq 1.0, C_d = 2.8 - 1.6 \frac{h_e}{L_w};$$

$$\text{for } \frac{h_e}{L_w} > 1.0, C_d = 1.2.$$

❖ **(1998) AS 3700** : [6]

يحدد الكود الاسترالي معادلة تجريبية كما يلي:

$$V_n = f_{vr} A_n + 0.8f_{yh} A_s \quad (22-2)$$

حيث:

$$f_{vr} = \left(1.50 - 0.5 \frac{h_e}{L_w} \right) \text{ MPa}; \quad (23-2)$$

A_s = مساحة مقطع التسليح

$$(i) \quad \text{If } \frac{h_e}{L_w} > 1.0;$$

A_s = مساحة التسليح الأفقي

$$(ii) \quad \text{If } \frac{h_e}{L_w} \leq 1.0;$$

A_s = مساحة التسليح الأفقي أو الشاقولي أيهما أقل

يعين الكود الاسترالي المتطلبات الأساسية التالية عند استخدام المعادلة السابقة:

- 1- يجب أن يتوضع التسليح بشكل متناظر في المقطع العرضي.
 - 2- يجب أن لا تزيد التباعدات بين مراكز التسليح الشاقولي عن $0.75h$ و 2000 mm أفقياً.
 - 3- يجب أن لا تزيد التباعدات بين مراكز التسليح الأفقي عن $0.75L_w$ و 3000 mm شاقولياً.
 - 4- مساحة التسليح الشاقولي يجب أن تكون $A_s \geq 0.0013A_n$ والتسليح الأفقي $A_s \geq 0.0013A_n$.
- إذا لم يحقق التسليح المتطلبات هذه عندها يجب أن يصمم الجدار كأنه غير مسلح (unreinforced masonry).

يحدد الكود الكندي معادلة تجريبية كما يلي:

$$V_r = V_m + V_s \quad (24-2)$$

حيث V_m هي مساهمة جدار البلوك (masonry) في مقاومة القص وتحسب كما يلي:

$$V_m = \phi_m (v_m b_w d_v + 0.25P_d) \gamma_g \quad (25-2)$$

$$\phi_m = 0.6 \quad b_w = t \text{ (السماعة الكلية لجدار البلوك)}$$

$$d_v \geq 0.8 L_w$$

$$P_d = 0.9P_{DL} \text{ (للجدران المصمتة) (الشكل a-16-2)}$$

$$P_d = 0.9P_{DL} \pm N \text{ (للجدران المثقبة) (الشكل b-16-2)}$$

P_{DL} = الحمل الميت N = العزم الانعطاف المطبق

$$\gamma_g = 1 \text{ (جدران بلوك مملوءة كلياً بالملاط)}$$

$$\gamma_g \leq 0.5 \text{ (جدران بلوك مملوءة جزئياً بالملاط)} \quad \gamma_g = A_e / A_g$$

$$v_m = 0.16 \left(2 - \frac{M_f}{V_f d_v} \right) \sqrt{f'_m} \quad (26-2)$$

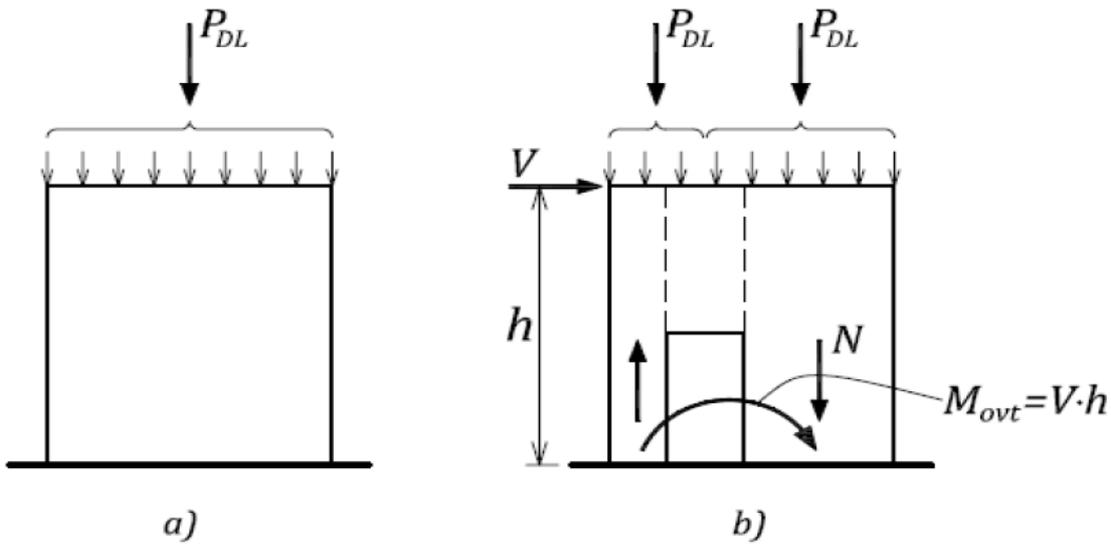
$$0.25 \leq \frac{M_f}{V_f d_v} \leq 1.0$$

حيث V_s هي مساهمة فولاذ التسليح في مقاومة القص وتحسب كما يلي:

$$V_s = 0.6 \phi_s A_v f_y d_v / s \quad (27-2)$$

$$\phi_s = 0.85$$

A_v = مساحة التسليح الأفقي



الشكل (16-2): الحمل المحوري في جدران البلوك أ- مصمتة ب- مثقبة [8]

❖ MSJC (2008): [16]

يحدد الكود الأمريكي معادلة تجريبية كما يلي:

$$V_{n1} = 0.083 \left[4.0 - 1.75 \left(\frac{M}{Vd_v} \right) \right] A_n \sqrt{f'_m} + 0.25 \sigma_n A_n + 0.5 A_h f_{yh} d_v / s_h \quad (28-2)$$

A_n المساحة الصافية لجدار البلوك (mm^2)

d_v العمق الفعال لجدار البلوك باتجاه القص (mm)

σ_n الإجهاد المحوري المطبق (MPa)

f'_m مقاومة جدار البلوك على الضغط (MPa)

f_{yh} حد السييلان للتسليح الأفقي (MPa)

s_h التباعدات الشاقولية للتسليح الأفقي (mm)

A_h مساحة التسليح الأفقي (mm^2)

M العزم الخارجي المطبق (N.mm)

V قوة القص الخارجية المطبقة (N)

نلاحظ أن جميع المعادلات الرياضية السابقة خفضت تأثير التسليح الأفقي على المقاومة وذلك بسبب عدم وصول جميع قضبان التسليح الأفقي الموزعة على ارتفاع جدار البلوك إلى مرحلة السييلان. كما لم يتم إدخال تأثير التسليح الشاقولي والنسبة الباعية للجدار (H/L) في جميع هذه المعادلات.

يمكن الاستفادة من هذه المعادلات لحساب مقاومة القص لجدران البلوك المسلحة الموجودة ضمن الإطارات البيتونية بالإضافة لحسابها من آلية الانعطاف وذلك من المعادلة (7-2) الواردة سابقاً، والمقارنة بين المقاومتين المحسوبتين وبالتالي التنبؤ بنمط الانهيار الحاصل ذو المقاومة الأصغر.

الفصل الثالث

الدراسة المرجعية

1-3 مقدمة:

تعددت الدراسات التي تناولت سلوك الإطارات المملوءة بجدران البلوك العادية أو المسلحة أو الجدران بمفردها تحت تأثير الحمولات الأفقية، وتتوعد بين أعمال تجريبية وأخرى تحليلية ورياضية لمثل هذه النماذج، وقد تم التوصل إلى العديد من النتائج القيمة في هذا المجال. نعرض هنا بعضاً من هذه الدراسات وملخصاً لها ولنتائجها.

2-3 سلوك جدران البلوك ذات الوحدات المتعددة الفجوات تحت تأثير التحميل الزلزالي: [22]

قام المركز الوطني لمكافحة الكوارث CENAPRED بإجراء بحث حول الجدوى التقنية من استخدام الآجر الغضاري المتقنب الصناعي في مقاومة الزلازل، وذلك بهدف تحسين تصميم وإنشاء الأبنية منخفضة الكلفة في المكسيك. حيث استخدم لتقييم السلوك الزلزالي لجدران البلوك أربع عينات من القياس الكبير تم بناؤها واختبارها تحت تأثير حمولات شاقولية ثابتة وحمولات جانبية دورية (الشكل 3-1). تم تطبيق إجهاد شاقولي بقيمة 0.39 Mpa، كما تم تطبيق دورتي انتقال جانبي عند كل نسبة انتقال مفروضة (R)، حيث تمثل النسبة بين الانتقال المفروض في قمة جدار البلوك إلى ارتفاعه.

وصف العينات المختبرة:

العينة الأولى N1: عبارة عن جدار بلوك غير مسلح منفذ من الآجر المتقنب ومقيد من الجوانب بجوائز وأعمدة. الأعمدة تم إنشاؤها عن طريق صب البيتون ضمن البلوك الآجري المفرغ وأطلق عليها اسم الأعمدة الداخلية. العينة الثانية N2: مثل العينة N1 إضافة إلى استخدام نسبة دنيا من التسليح الأفقي تحدد قيمتها حسب كود البناء المستخدم في المكسيك (MCBC).

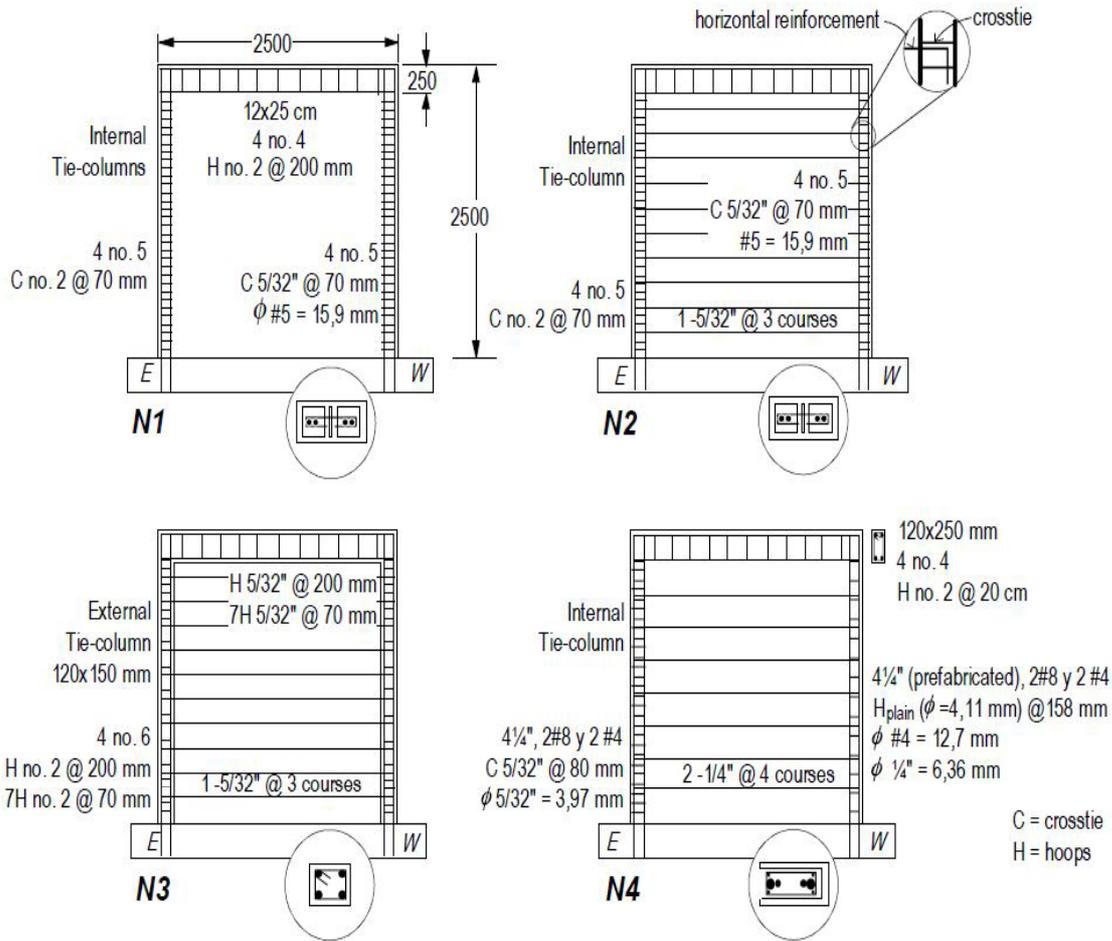
العينة الثالثة N3: مثل العينة N2 إلا أن الأعمدة فيها خارجية أي أنها مصبوبة حول البلوك وليس ضمنه.

العينة الرابعة N4: مثل العينة N2 إلا أنه تم فيها استخدام نسبة تسليح أفقي مساوية لأربعة أضعاف القيمة الدنيا. مع ملاحظة أن الأعمدة الداخلية تم بناؤها باستخدام قطع مفرغة مصنعة خصيصاً لتحقيق غرض الحصول على مقطع كبير للعمود.

درس في هذا البحث أثر التسليح الأفقي على المقاومة، حيث لوحظ أنه في العينات التي استخدم فيها التسليح الأفقي حدث توزع أكثر انتظاماً للشقوق، كما تبين أنه كلما زادت نسبة التسليح توزعت الشقوق بشكل أكثر انتظاماً، وأن عرض الشقوق تنقص مع زيادة نسبة التسليح، ولوحظ أن الجدران التي تحوي على أعمدة خارجية تبدي قساوة أكبر، تبديد للطاقة، مقدرة للتشوه وسلوك أكثر استقراراً.

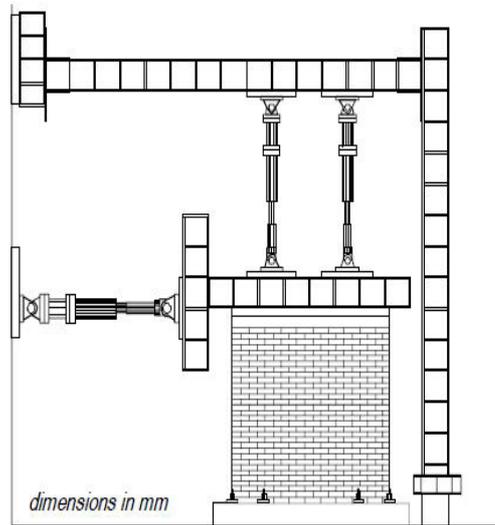
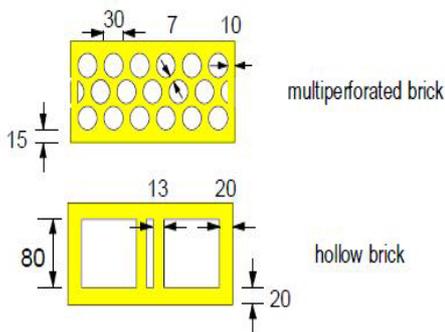
حيث يبين الشكل (2-3) كيفية توزع الشقوق ضمن جدران البلوك، والحلقات الهستيرية للنماذج الأربعة. يلاحظ من الشكل أن المقاومة المدخرة بعد أول شق يحصل تختلف لكل نموذج وتعتمد على قيمة $\rho_h f_y$ ونوع الأعمدة. حيث تعرف المقاومة المدخرة بأنها النسبة بين إجهاد القص الأعظمي إلى إجهاد القص التابع لأول شق يحصل، حيث كانت بنسبة 13% للنموذج N1 و44% للنموذج N2 و50% للنموذج N3 و104% للنموذج N4. كما أنه بغض النظر عن قيمة $\rho_h f_y$ ونوع وتفاصيل الأعمدة فإن الشق الأول يحدث عند نسبة انتقال بمقدار 0.1%.

نلاحظ في هذا البحث أن الزيادة في المقاومة الجانبية عندما تم تسليح جدار البلوك كانت بنسبة 37.1% للنموذج N2، و47.5% للنموذج N3، بينما كانت بنسبة 76.1% للنموذج N4. أي أن الزيادة في المقاومة غير متناسبة خطياً مع الزيادة في نسبة التسليح، وذلك لأن التسليح الأفقي بقي في الحالة المرنة عندما تم زيادة نسبته ضمن جدار البلوك، كما هو ملاحظ في النموذج N4.

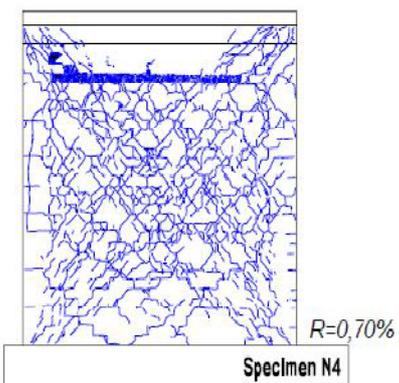
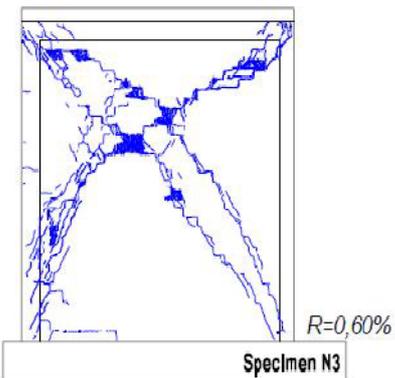
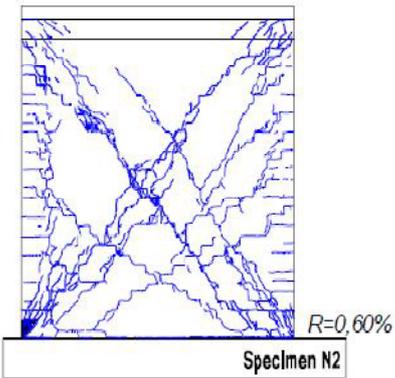
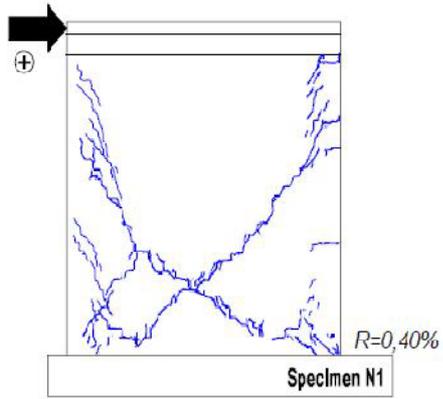


Specimen	Mortar ^a (MPa)	v_m [MPa]	p_n [%]	$p_n f_y$ [MPa]
N1	1:0:3 (26,0)	1,08	—	—
N2	1:1/4:3 (19,1)	1,05	0,05	0,29
N3	1:1/4:3 (19,2)	0,79	0,05	0,29
N4	1:1/4:3 (29,1)	0,49	0,19	1,12

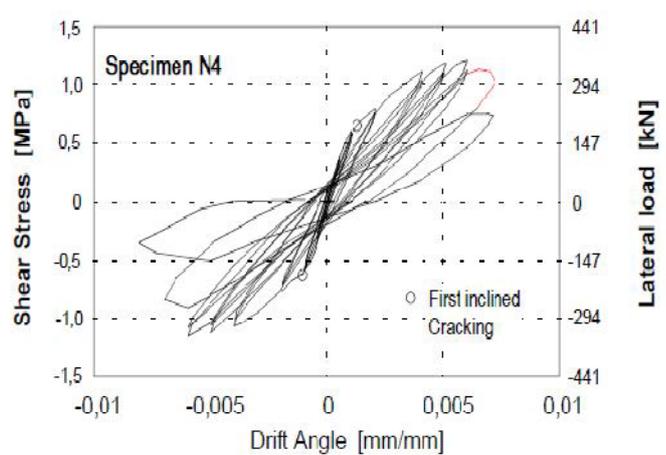
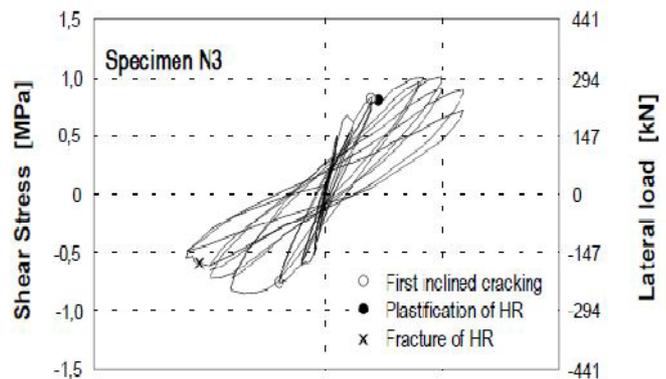
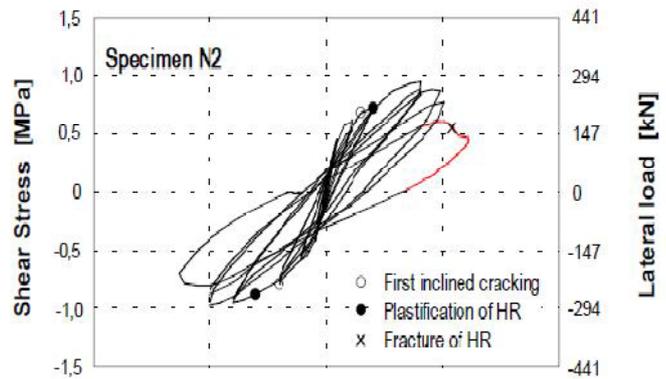
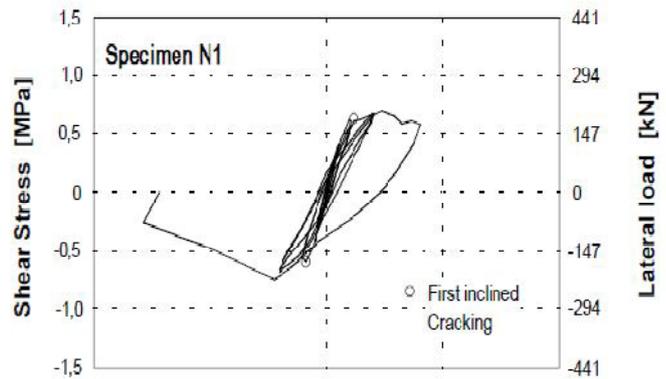
^a cement : lime : sand ratio (by volume)



الشكل (1-3) : مواصفات النماذج المختبرة في المكسيك [22]



HR: Horizontal Reinforcement



الشكل (2-3) : كيفية توزع الشقوق والحلقات الهستيرية للنماذج الأربعة المختبرة [22]

3-3 الأداء الزلزالي للإطارات البيتونية المملوءة بجدران بلوك مسلحة بنسبة قليلة: [12]

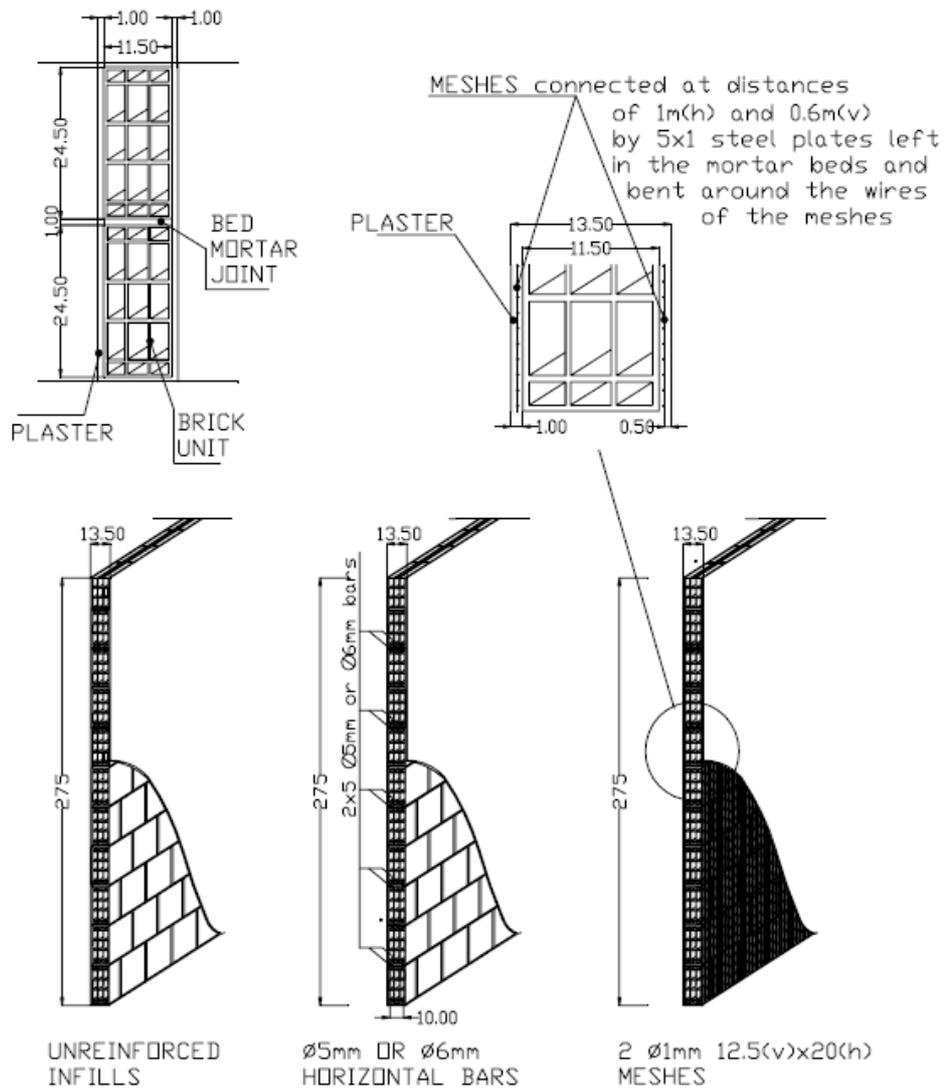
حيث تم في هذا البحث اختبار إطارات من البيتون المسلح بحالات متعددة: خالية من البلوك، مملوءة بالبلوك العادي أو المسلح بتسليح أفقي عادي أو شبكي ضمن طبقة الملاط أو بشبكة تسليح خارجية (الشكل 3-3)، (الشكل 4-3). مواصفات المواد المستخدمة:

مقاومة البيتون المسلح للأعمدة 29.32 Mpa وللجوائز 34.56 Mpa وفولاذ التسليح 500 Mpa، البلوك المستخدم أبعاده (height) mm $245 \times 115 \times 245$ ، الوزن 34.8 N، نسبة الفجوات 60% ومقاومة جدار البلوك على الضغط 1.1 Mpa.

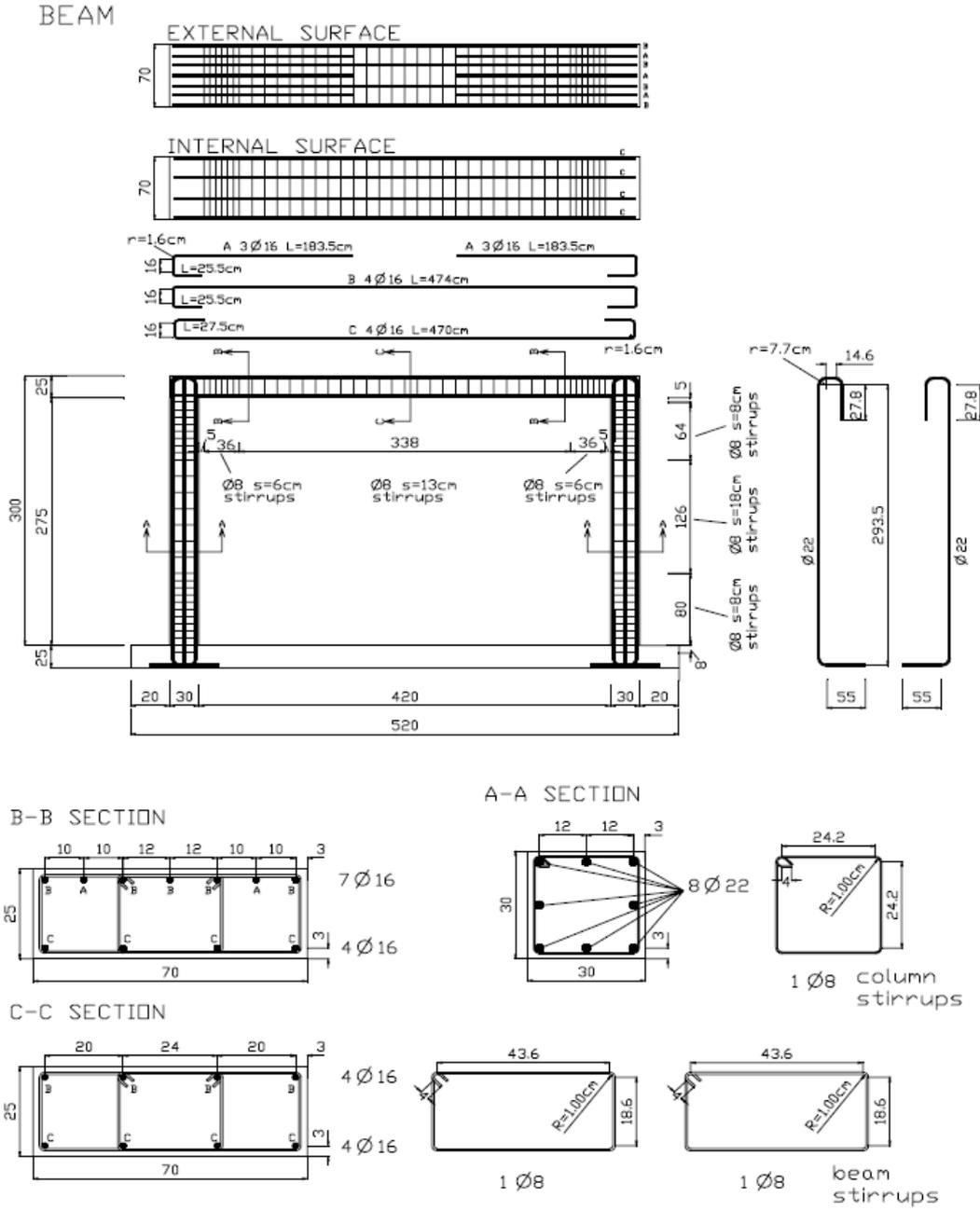
التسليح الأفقي المستخدم ضمن طبقة الملاط إما عادي re-bars قضبان بقطر 6 mm وحد سيلان 578 MPa أو شبكي welded truss بقطر 5 mm وحد سيلان 630 MPa، حيث التباعد الشاقولي للتسليح الأفقي 500 mm. التسليح الخارجي على الوجهين عبارة عن شبكة من الفولاذ بقطر 1 mm وتباعد 12.5 mm x 20 mm. حيث تمت الاختبارات بفرض انتقالات جانبية محددة دورية، كما أنجزت الاختبارات خارج المستوى out-of-plane عند مستويات مختلفة للضرر في المستوى in-plane.

حيث توصل الباحثون إلى النتائج التالية:

- القساوة الأولية للإطارات المملوءة أكبر بكثير من الإطارات الخالية وذلك بدون تأثير هام لوجود التسليح.
- كل أنواع التسليح كانت فعالة في تجنب أو تخفيض تدهور المقاومة لجدران البلوك.
- وجود التسليح بقطر 6 mm أو 5 mm بالشكل العادي أو الشبكي (ضمن البلوك) لا يؤثر كثيراً على النتائج.
- تحسن شبكات التسليح الخارجية الاستجابة بشكل كبير فيما يخص المقاومة والقساوة ومقدرة تبديد الطاقة.
- كما لاحظوا أن خروج جدران البلوك خارج المستوى (expulsion) يشكل خطراً على حياة الإنسان، لذلك فهو أقرب لحالة حد الانهيار (collapse limit state) حتى إذا الإطار الخرساني أبعد ما يكون عن قرب الانهيار.

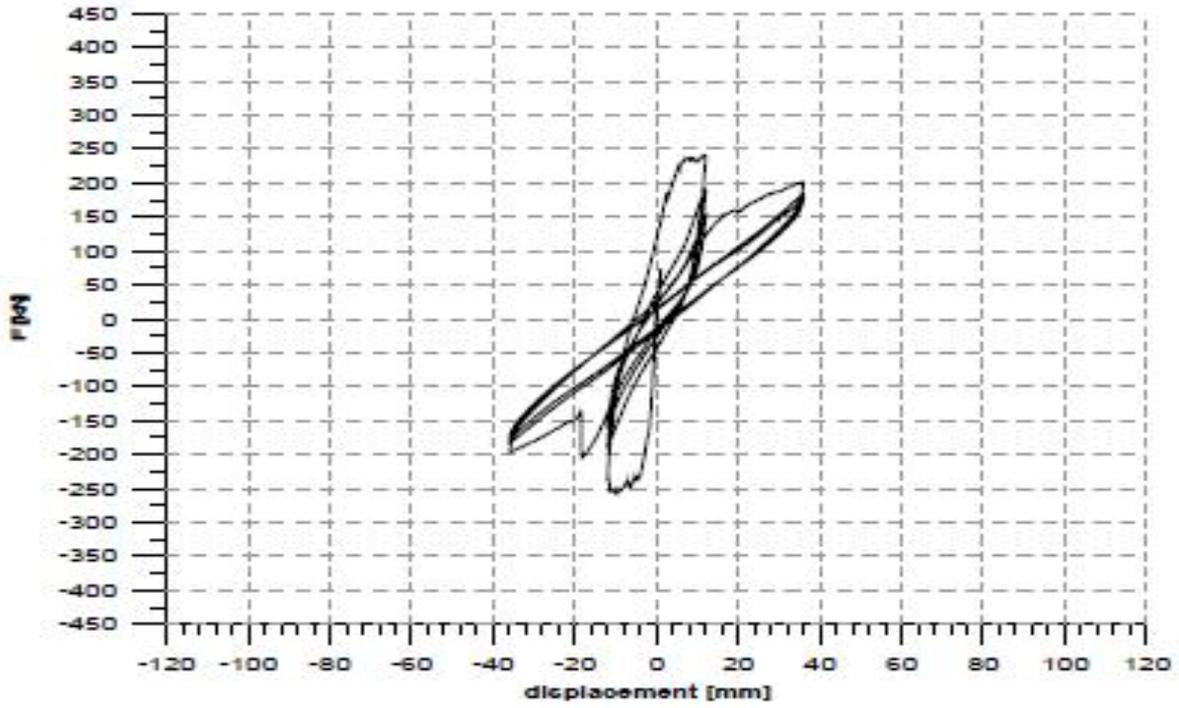


الشكل (3-3) : تفاصيل موقع قضبان التسليح والشبكات الخارجية [12]

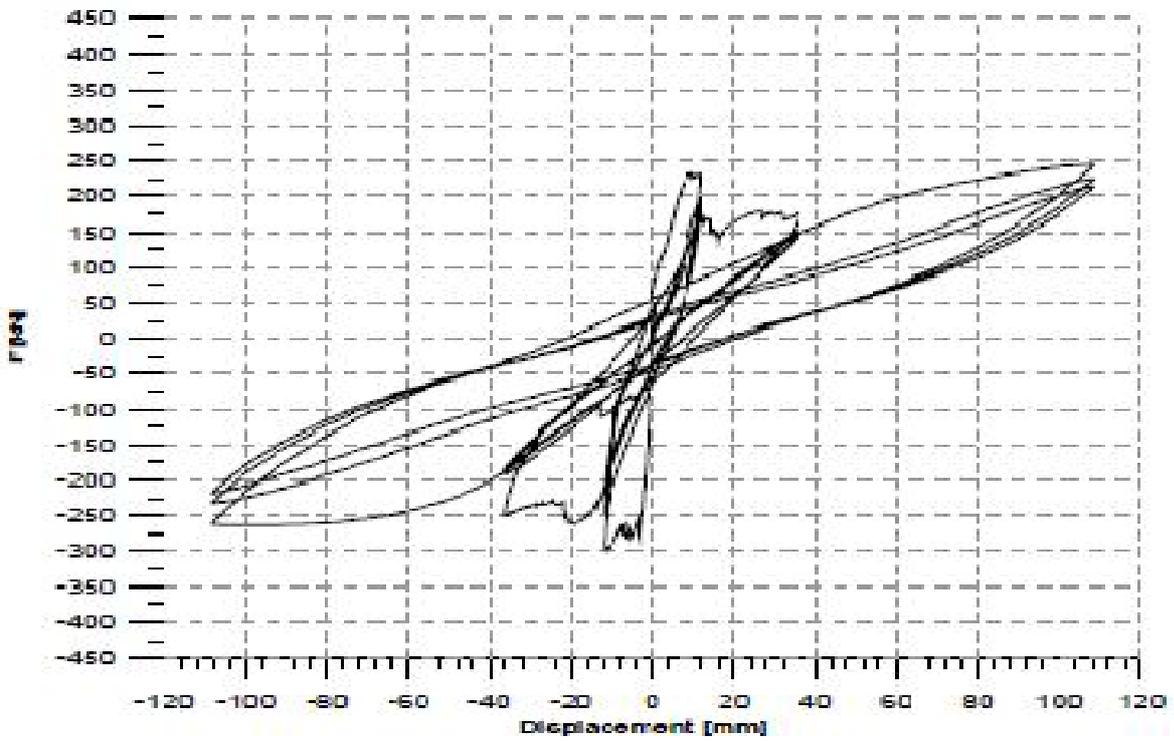


الشكل (4-3): أبعاد وتفاصيل التسليح للإطارات المستخدمة في التجارب [12]

يبين الشكل (5-3) والشكل (6-3) منحنى الانتقال - قوة لحالة إطار بيتوني مملوء بجدار بلوك غير مسلح وحالة إطار بيتوني مملوء بجدار بلوك مسلح أفقياً على التوالي. كما يبين الشكل (7-3) حالة الضرر للنموذجين عند نسب مختلفة للانزياح.

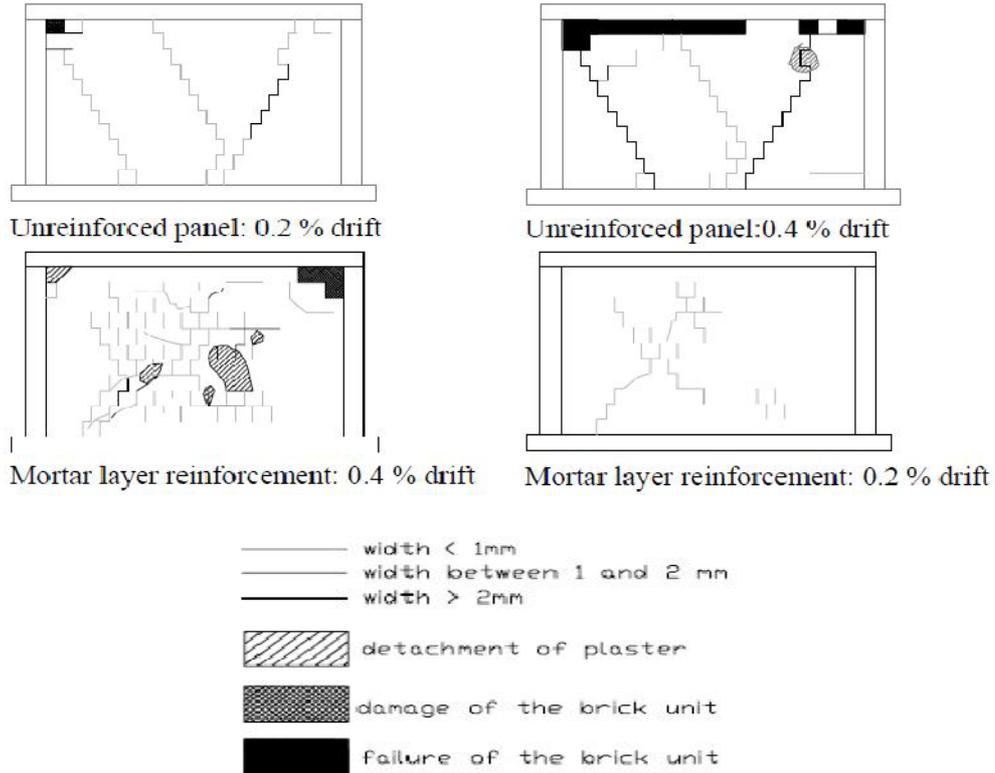


الشكل (5-3) : منحني الانتقال - قوة لنموذج الإطار البيتوني المملوء بجدار بلوك غير مسلح [12]



الشكل (6-3) : منحني الانتقال - قوة لنموذج الإطار البيتوني المملوء بجدار بلوك مسلح بتسليح أفقي

من نوع re-bars بقطر 6 mm [12]



الشكل (7-3) : حالة الضرر للنموذجين عند نسب انزياح مختلفة [12]

نلاحظ أن فعالية تسليح جدار البلوك في زيادة مقاومة الجملة الإطارية في هذا البحث كانت بنسبة 20%، كما نلاحظ ازدياد مطاوعة الجملة الإطارية عندما تم تسليح جدار البلوك بسبب توزع الشقوق بشكل منتظم ضمنه وبالتالي تجنب نمط الانهيار الهش له.

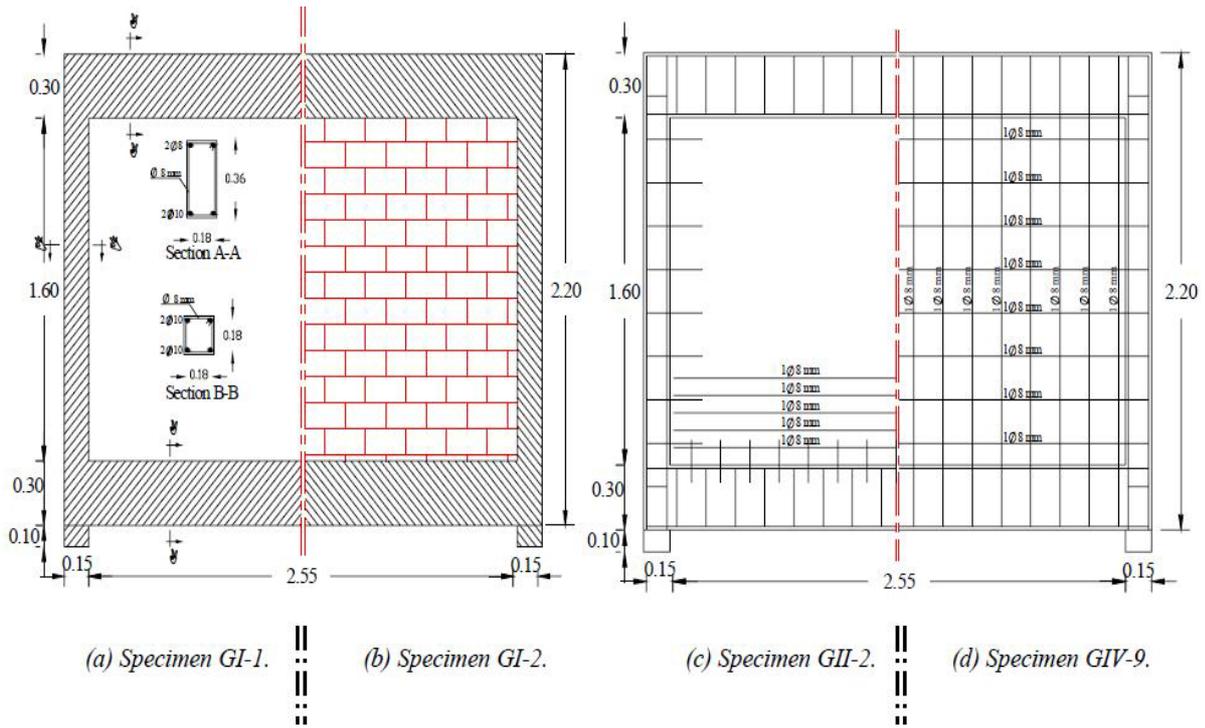
3-4 تأثير أنماط التسليح على سلوك جدران البلوك ضمن الإطارات البيتونية المسلحة: [2]

قام الباحث في جامعة طنطا بمصر بدراسة تحليلية (حاسوبية) لواحد وثلاثين نموذج من الإطارات المملوءة بالبلوك، حيث قام بإجراء تجارب مخبرية على أربع نماذج فقط. تم استخدام حالات مختلفة للتسليح بشكل أفقي أو شاقولي أو شبكة خارجية، حيث أخضعت النماذج التجريبية فقط لتحميل شاقولي بينما أخضعت النماذج التحليلية إما لحمولات شاقولية أو أفقية أو كليهما. يبين الشكل (8-3) تفاصيل النماذج الأربعة المختبرة.

النموذج GI-1 عبارة عن إطار بيتوني جوائز وأعمدة، والنموذج GI-2 عبارة عن نفس الإطار البيتوني لكن مملوء بجدار بلوك، أما النموذج GII-2 فهو مشابه للسابق لكن تم تسليح ثلث ارتفاع جدار البلوك أفقياً بقضيب تسليح قطر 8 ملم لكل صف بلوك، والنموذج GIV-9 نفس الثاني لكن تم تسليحه بشبكة خارجية قطر 8 ملم.

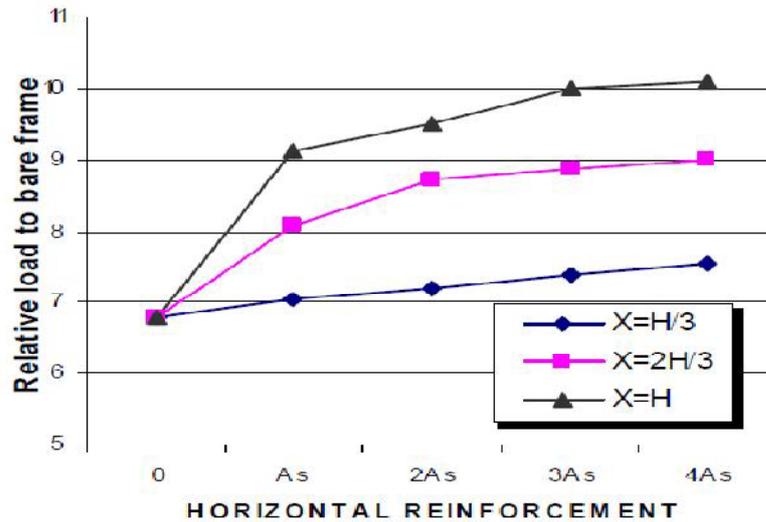
مواصفات المواد المستخدمة:

مقاومة البيتون على الضغط 70 Mpa وحد سيلان فولاذ التسليح الطولي 360 Mpa والعرضي 240 Mpa ومقاومة جدار البلوك على الضغط 10 Mpa.



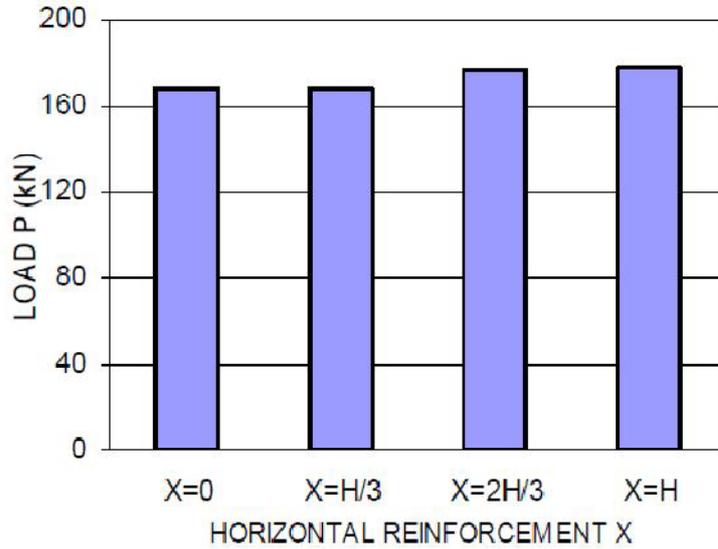
الشكل (8-3) : تفاصيل النماذج الأربعة المختبرة [2]

يظهر الشكل (9-3) الزيادة في المقدرة الحديدية تحت تأثير الأحمال الشاقولية بالنسبة للإطار الفارغ، وذلك عند مساحات تسليح مختلفة وتوزع مختلف للتسليح الأفقي لجدار البلوك. حيث A_s مساحة التسليح الأفقي لجدار البلوك للنموذج .GII-2



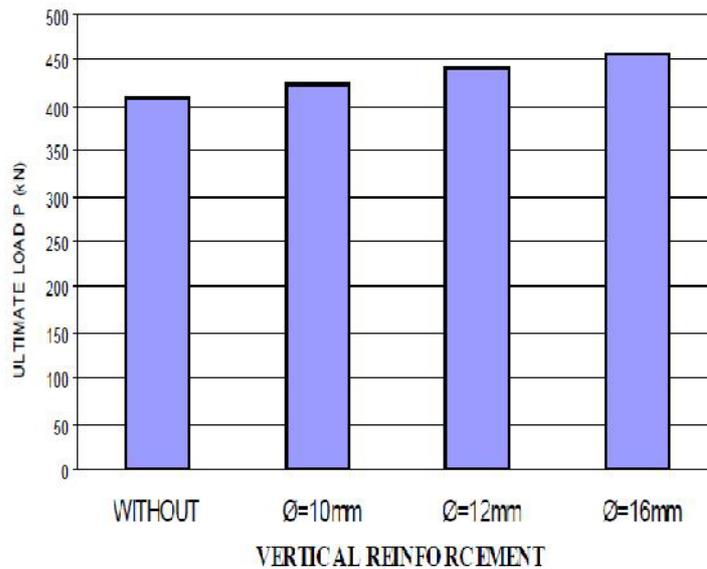
الشكل (9-3) : تأثير التسليح الأفقي على قدرة تحمل الجملة الإطارية المملوءة للأحمال الشاقولية [2]

ويبين الشكل (10-3) الزيادة القليلة في المقدرة الجانبية للجملة الإطارية المملوءة تحت تأثير الأحمال الأفقية الجانبية وذلك عند زيادة توزع التسليح الأفقي ضمن جدار البلوك، وسبب هذه الزيادة القليلة لأن التشوهات تتركز في زاوية جدار البلوك من جهة الحمل المطبق مؤدية إلى تحطمها وذلك بغض النظر عن كيفية توزع التسليح الأفقي.



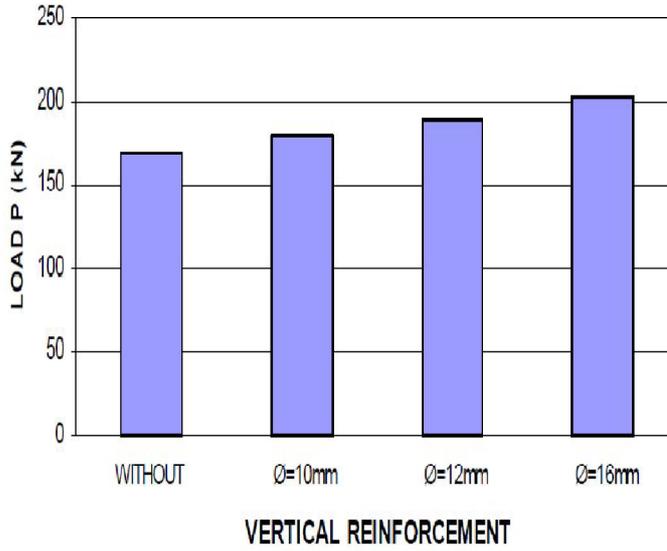
الشكل (10-3) : تأثير التسليح الأفقي على قدرة تحمل الجملة الإطارية المملوءة للأحمال الأفقية [2]

كما يظهر الشكل (11-3) الزيادة في المقدرة الحدية للجملة الإطارية المملوءة تحت تأثير الأحمال الشاقولية وذلك بازدياد قطر قضبان التسليح الشاقولي.



الشكل (11-3) : تأثير التسليح الشاقولي على قدرة تحمل الجملة الإطارية المملوءة للأحمال الشاقولية [2]

وأخيراً يبين الشكل (12-3) الزيادة في المقدرة الحدية للجملة الإطارية المملوءة تحت تأثير الأحمال الأفقية وذلك بازدياد قطر قضبان التسليح الشاقولي.



الشكل (12-3): تأثير التسليح الشاقولي على قدرة تحمل الجملة الإطارية المملوءة للأحمال الأفقية [2]

استنتج الباحث مايلي:

- استخدام تسليح أفقي موزع على مسافة أكثر من ثلثي ارتفاع جدار البلوك يزيد بشكل كبير المقدرة الكلية للنظام تحت تأثير الأحمال الشاقولية، حيث سبب تموضع التسليح انتقال الانهيار إلى فوق المنطقة المسلحة.
- تأثير التسليح الأفقي على المقدرة النهائية للنظام تحت الأحمال الجانبية قليل الأهمية، وتأثير التسليح الشاقولي على المقدرة النهائية للنظام تحت الأحمال الشاقولية كان صغيراً.
- ازدادت المقدرة النهائية للنظام بتحسين التسليح الشاقولي تحت الأحمال الجانبية، حيث تصرف النظام في هذه الحالة كظفر شاقولي تحت الأحمال الجانبية مع شد بالقرب من كعب الجدار وضغط في منطقة القدم، حيث يعرف هذا الانهيار بانهيار الانعطاف.
- نلاحظ في هذا البحث عدم وضوح تأثير التسليح الأفقي على المقاومة الجانبية للجملة الإطارية المملوءة، وذلك بسبب أن الببتون المستعمل في الإطارات ذو مقاومة عالية جداً (70 Mpa) مما يؤدي إلى انهيار هش لجدار البلوك وبالتالي عدم الاستفادة كثيراً من التسليح الأفقي.

3-5 التصميم الزلزالي لجدران البلوك الإسمنتية: [14]

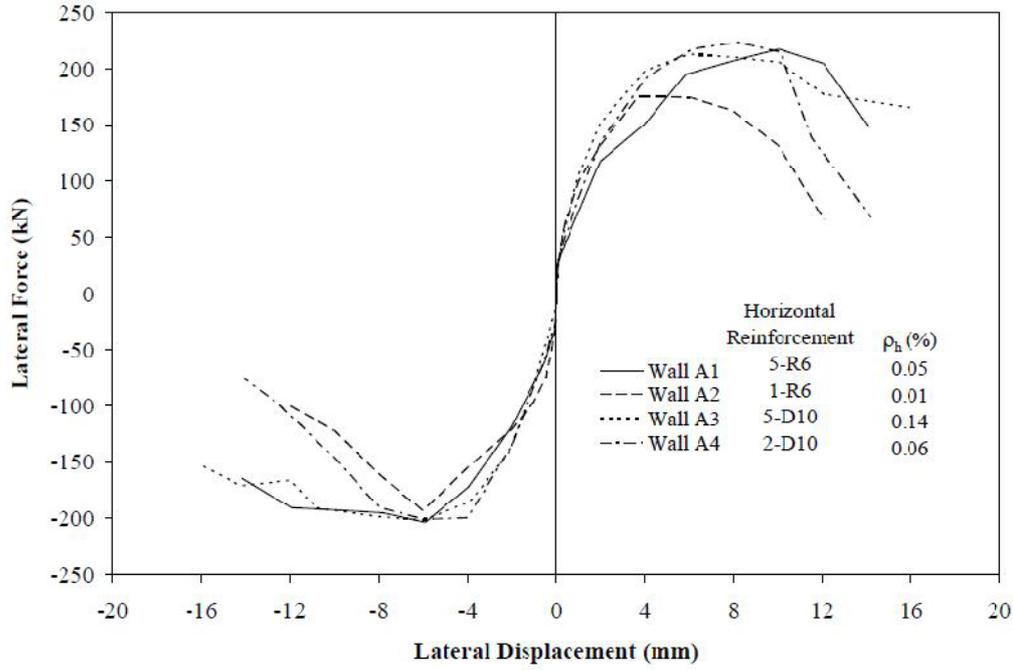
- قام الباحث باختبار عشرة جدران بلوك في جامعة أوكلايد بنيوزيلندا، الهدف الرئيسي من هذا البحث التجريبي هو للتحقق من مقاومة القص لجدران البلوك المشكلة من مواد متوفرة محلياً في نيوزيلندا، ولتقييم العلاقات الرياضية التي تنتجاً بمقاومة القص لجدران البلوك المسلحة.
- المتغيرات الرئيسية في التجارب كانت كالتالي:
- كمية وتوزيع التسليح الأفقي.

- مستوى الإجهادات المحورية الضاغطة المطبقة.
 - توزيع ملاط الملاء.
 - نسبة الطول إلى عرض الجدار.
- حيث يبين الجدول (1-3) مواصفات جدران البلوك المختبرة.

الجدول (1-3) : الأبعاد الهندسية وتفصيل التسليح والإجهاد المحوري المطبق لجدران البلوك المختبرة [14]

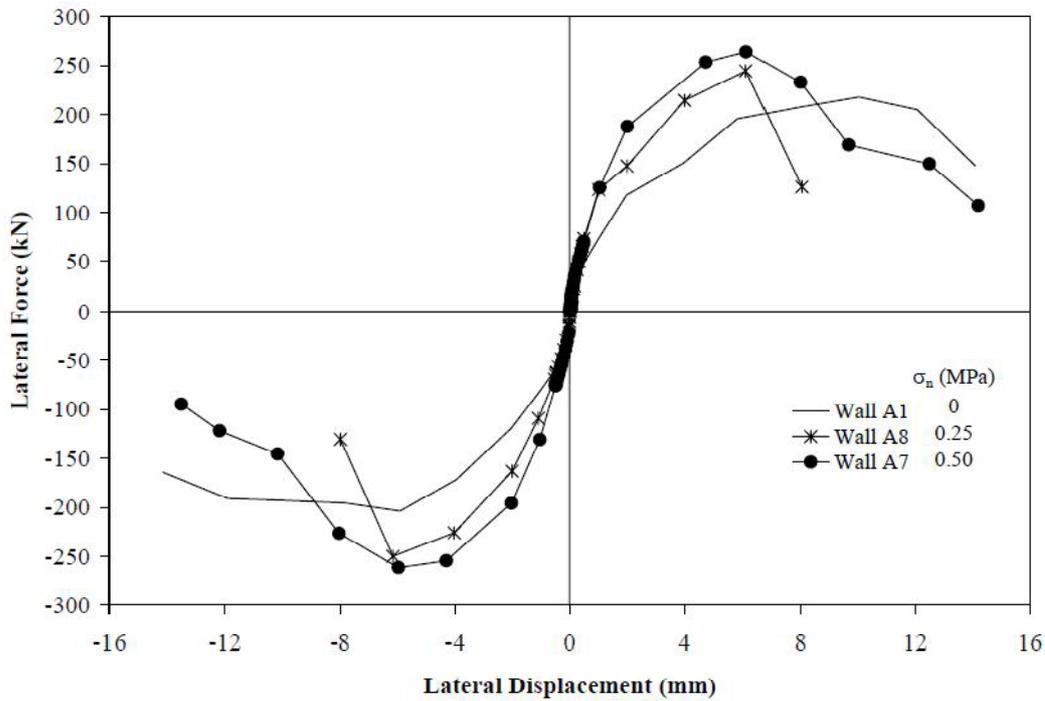
Wall	H	L _w	Effective width	h _e	h _e /L _w	Reinforcement		ρ _a	Grouting	Axial stress
						Vertical	Horizontal			
A1	1800	1800	140	1800	1.0	5-D20	5xR6	0.05	Full	---
A2	1800	1800	140	1800	1.0	5-D20	1-R6	0.01	Full	---
A3	1800	1800	140	1800	1.0	5-D20	5-D10	0.14	Full	---
A4	1800	1800	140	1800	1.0	5-D20	2-D10	0.06	Full	---
A5	1800	1800	60	1800	1.0	5-D20	---	---	Partial	---
A6	1800	1800	60	1800	1.0	3-D20	---	---	Partial	---
A7	1800	1800	140	1800	1.0	5-D20	5-R6	0.05	Full	0.50
A8	1800	1800	140	1800	1.0	5-D20	5-R6	0.05	Full	0.25
A9	3600	1800	140	3600	2.0	5-DH25	9-R6	0.05	Full	0.25
A10	1800	3000	140	1800	0.6	8-D20	5-R6	0.05	Full	0.25
Units	mm	mm	mm	mm	---	---	---	%	---	MPa

يبين الشكل (3-13) تأثير كمية وتوزيع التسليح الأفقي على مقاومة القص لجدران البلوك، حيث يظهر بوضوح زيادة المقاومة بزيادة كمية التسليح. أما فائدة توزيع التسليح الأفقي ضمن ارتفاع جدار البلوك فتظهر بوضوح عند مقارنة مغلف الانتقال- قوة للجدار A1 و A4، حيث تضمن كلا الجدران على نفس مساحة مقطع التسليح الأفقي تقريباً، لكن بتوزيع مختلف. فقد أبدى الجدار A4 انحطاط في المقاومة بشكل مفاجئ بعد الوصول إلى المقاومة القصوى، بينما أبدى الجدار A1 انحطاط في المقاومة بشكل أكثر تدرج مشير إلى نمط انهيار مطاوع.



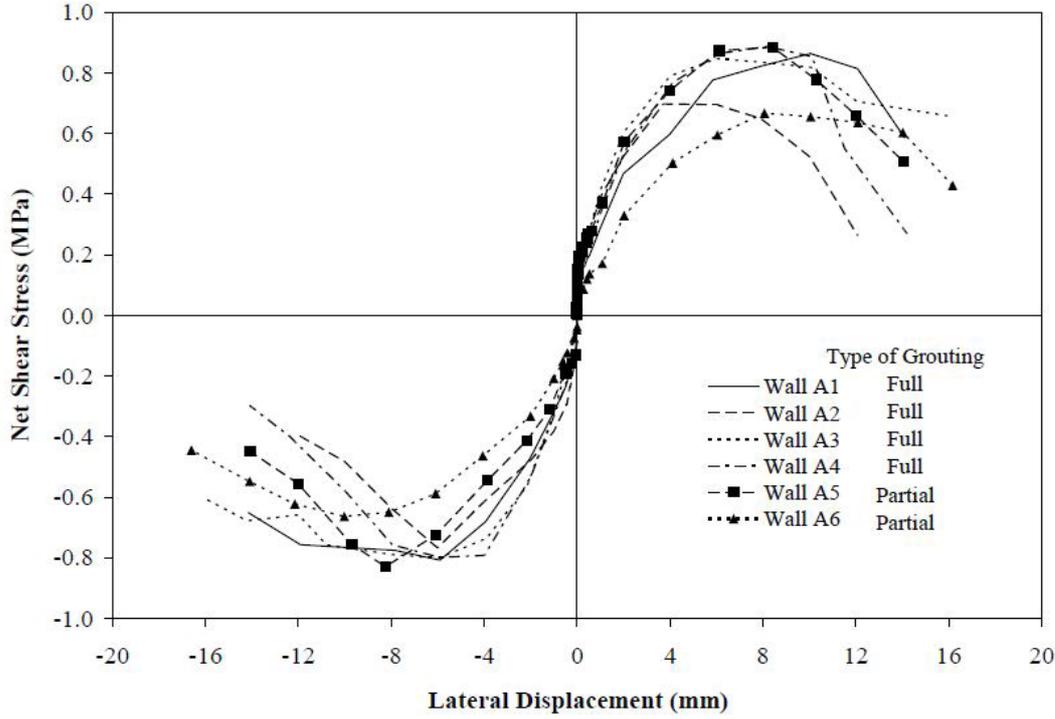
الشكل (13-3): تأثير كمية وتوزيع التسليح الأفقي على مقاومة القص لجدران البلوك [14]

ويبين الشكل (14-3) تأثير الإجهاد المحوري الضاغط على مقاومة القص لجدران البلوك، حيث يظهر السلوك لثلاثة جدران بلوك لها نفس الأبعاد وتفاصيل التسليح لكن معرضة لمستويات مختلفة من الإجهاد المحوري الضاغط. حيث ازدادت المقاومة من 215 kN للجدار A1 إلى 244 kN للجدار A8 و 263 kN للجدار A7.



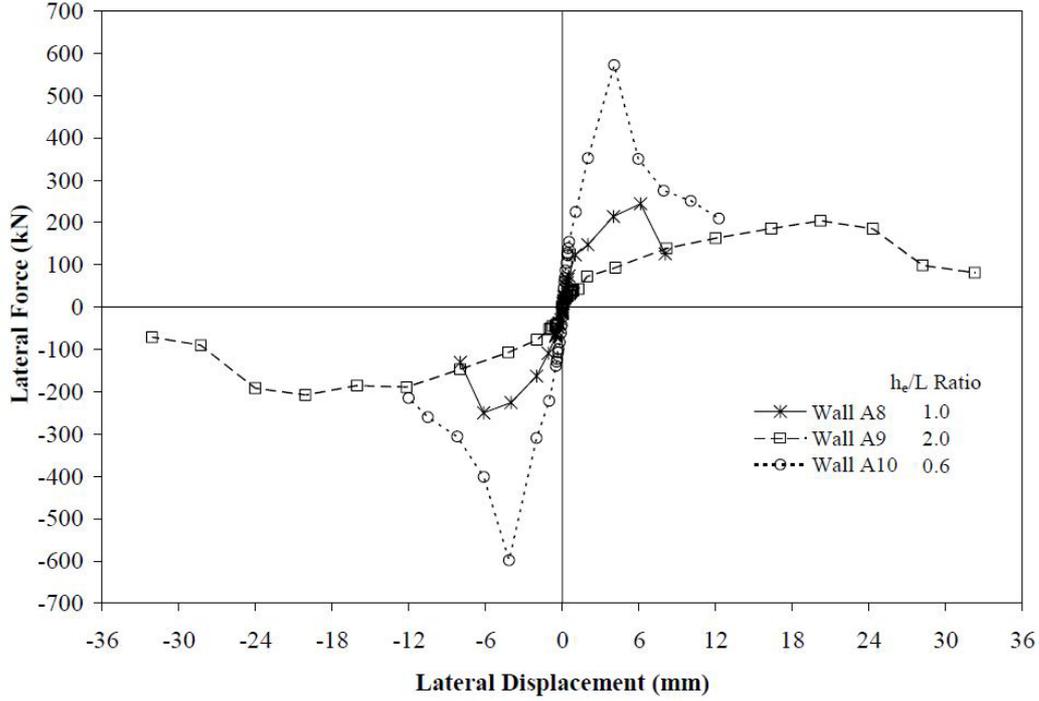
الشكل (14-3): تأثير الإجهاد المحوري الضاغط على مقاومة القص لجدران البلوك [14]

أما بالنسبة لتأثير ملاط الملاء فقد كانت مقاومة القص لجدار البلوك A6 93 kN، بينما للجدار A5 143 kN أي زيادة بالمقاومة بنسبة 50%. من ناحية ثانية يصبح تأثير طريقة توزع الملاط ضمن جدار البلوك أقل أهمية عندما يحسب إجهاد القص الصافي بالأخذ بعين الاعتبار مساحة المقطع العرضي لكلا وحدات البلوك والفجوات المملوءة بالملاط. حيث يظهر الشكل (15-3) أن الجدار A5 إجهاد قص صافي مماثل للجدران المملوءة كلياً بالملاط وذلك بسبب أن المساحة الفعالة للقص له أصغر.



الشكل (15-3): تأثير الملاط على إجهادات القص لجدران البلوك [14]

ويبين الشكل (16-3) مغلفات الانتقال - قوة للجدران A8 ، A9 ، A10. حيث طبق عليها نفس الإجهاد المحوري الضاغط كما لها نفس تفاصيل التسليح الأفقي لكن بنسب h_e/L_w مختلفة. حيث كانت مقاومة القص للجدار A8 ($h_e/L_w = 1.0$) مساوية إلى 250 kN ، بينما نقصت المقاومة إلى 207 kN للجدار A9 ($h_e/L_w = 2.0$) أي بنسبة انخفاض 17%. أما بالنسبة للجدار A10 ($h_e/L_w = 0.6$) زادت المقاومة إلى 598 kN أي بنسبة زيادة 139%. كما يظهر أيضاً أن الجدار ذو النسبة الباعية الأدنى له قساوة أكبر ويصل إلى مقاومته العظمى عند أصغر الانتقالات. لكن انحطاط المقاومة يحدث بشكل مفاجئ مباشرة بعد الوصول إلى المقاومة الأعظمية.



الشكل (16-3): تأثير النسبة الباعية h_e/L_w على مقاومة القص لجدران البلوك [14]

توصل الباحث إلى النتائج التالية:

- تزداد مقاومة القص بزيادة كمية التسليح الأفقي.
 - التوزيع المناسب للتسليح الأفقي يمكن من تشكل شقوق جديدة عبر الجدار، وبالتالي تبديد للطاقة وسلوك مطاوع أكثر.
 - تزداد مقاومة القص بزيادة الإجهاد المحوري الضاغط، بينما تنقص مقدرة التشوه ما بعد التصدع بزيادة هذا الإجهاد.
 - تنقص مقاومة القص عندما تكون الجدران مملوءة جزئياً بالملاط.
 - تزداد مقاومة القص بنقصان نسبة الطول إلى عرض الجدار.
- نلاحظ من هذا البحث أنه عندما تزداد مقاومة القص لجدران البلوك المسلحة عن طريق تغيير بعض البارمترات، يتم خسارة السلوك المطاوع للجدران على حساب هذه الزيادة في المقاومة.

6-3 سلوك جدران البلوك ضمن الإطارات البيتونية المسلحة الخاضعة لتحميل بمستوياتها

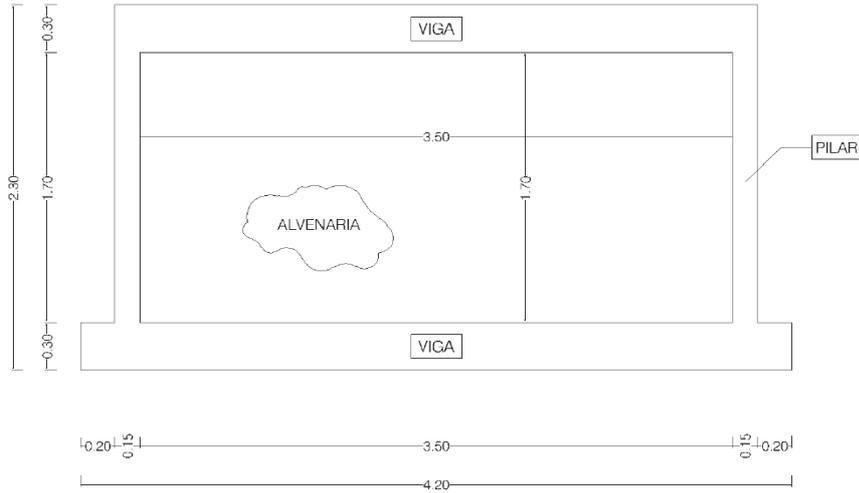
وخارجه: [18]

كان الهدف من البحث القيام بتجارب مخبرية واستخلاص النتائج من تطبيق حمولات تكرارية خارج مستوي إطارات مملوءة متضررة وذلك بتطبيق حمولات تكرارية أولاً في مستوي الإطارات المملوءة.

حيث النموذج الأول عبارة عن إطار من البيتون المسلح جوائز وأعمدة من طابق واحد وبفتحة واحدة مملوءة بجدار بلوك عادي (الشكل 3-17) (الشكل 3-19)، حيث تم وضع مونة إسمنتية على السطوح الأفقية والشاقولية لوحدة البلوك أثناء بناء الجدار. أما النموذج الثاني فتم بنائه بشكل مشابه للنموذج الأول باختلاف أن جدار البلوك تم تسليحه أفقياً، حيث يتألف التسليح الأفقي من نموذج شبكي Bekaert Murfor RND 4/100 ($d=4mm$) بتباعد شاقولي مساو

إلى صفا بلوك. حيث تم وصل جدار البلوك مع الأعمدة بواسطة وصلات فولاذية قطر 6 ملم تم ربطها مع التسليح الشاقولي للأعمدة، حيث تم وضع هذه الوصلات كل صفا بلوك عند مستوي التسليح الأفقي (الشكل 3-18).
مواصفات المواد المستخدمة:

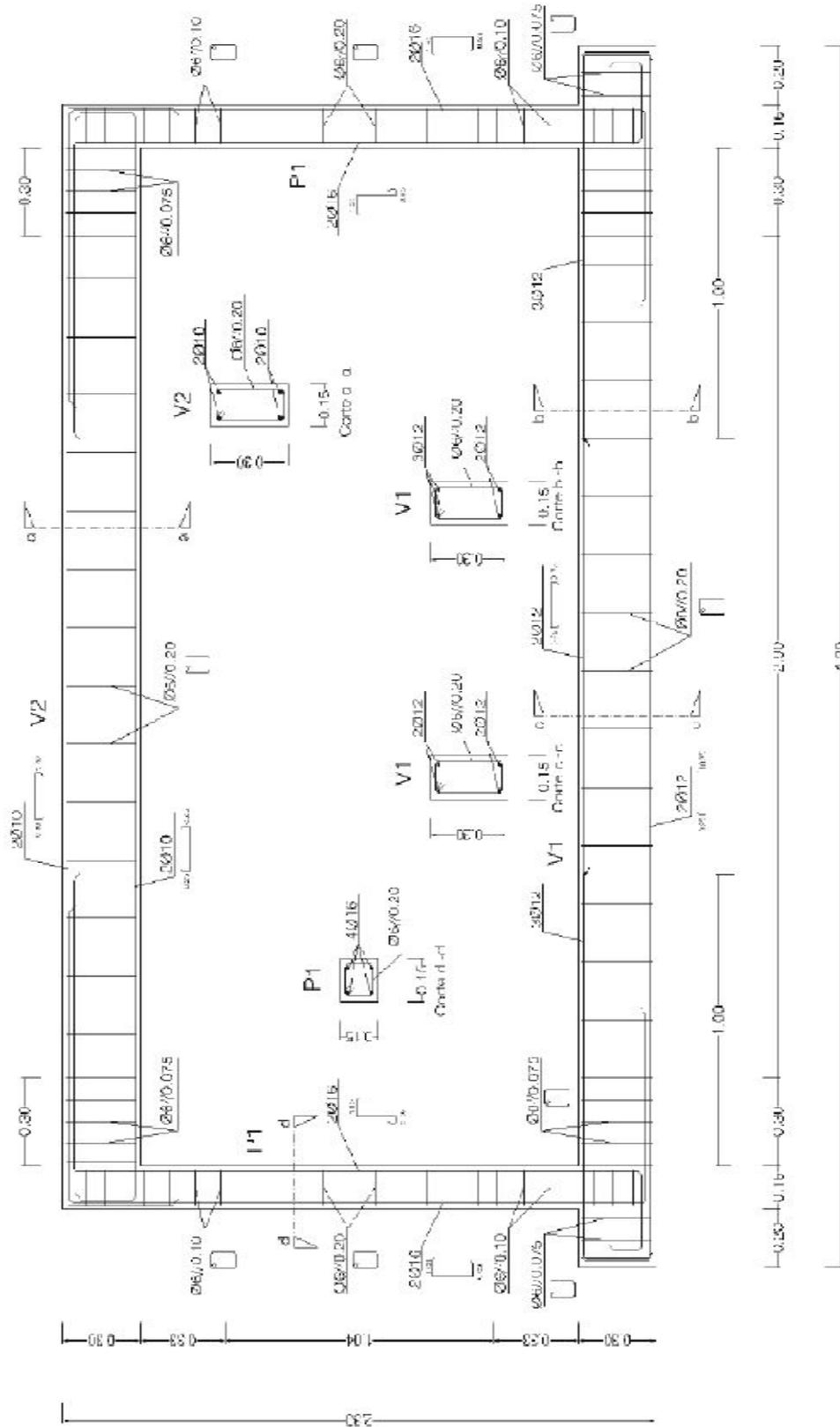
مقاومة البيتون على الضغط 30 Mpa وحد سيلان فولاذ التسليح 500 Mpa ومقاومة جدار البلوك على الضغط 1.1 Mpa.



الشكل (3-17) : المواصفات الهندسية للنموذج الأول والثاني [18]



الشكل (3-18) : تراكب التسليح الأفقي مع الوصلات الفولاذية ضمن طبقة المونة الإسمننتية الأفقية [18]



الشكل (19-3) : تفاصيل التسليح المستخدمة في الإطار البيتوني [18]

حيث طبق الحمل الجانبي بواسطة محرك هيدروليكي. كما تم استخدام مكبسان هيدروليكيان فوق كل عمود ليحاكي انتقال الأحمال من أعمدة الطوابق العليا.

أنجز الاختبار بتطبيق انتقالات دورية أفقية، حيث تم تطبيق ثلاث دورات عند كل انتقال محدد. كما تم تطبيق حمولة شاقولية ثابتة فوق كل عمود.

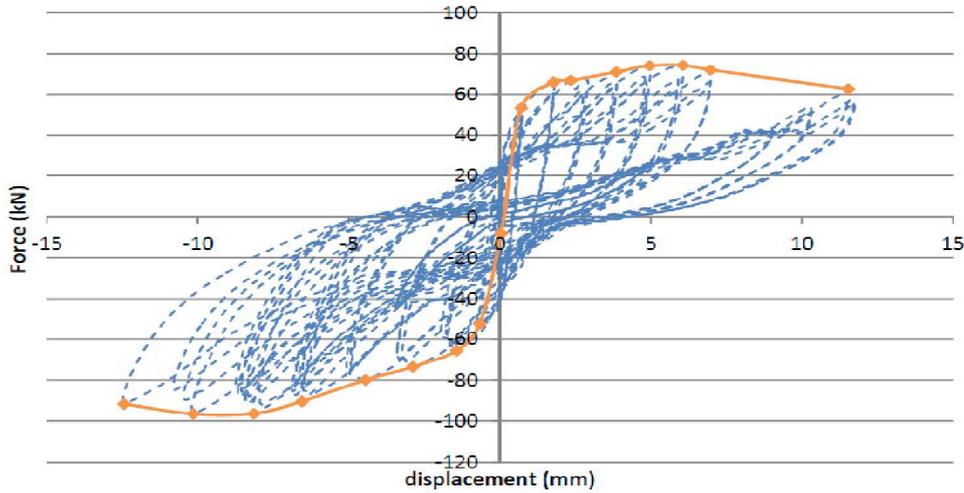
يمكن أن يوصف سلوك جدار البلوك في النموذج الأول كما يلي:

في المرحلة الأولى، كل عناصر الجدار تعمل معاً (بالحالة المرنة). المرحلة اللاخطية تبدأ في كلا الاتجاهين عند الانزياحات النسبية التالية (drift) 0.025% - 0.02% وذلك للأسباب التالية:

- 1- انزلاق بالقص في الوصلات العمودية بين قمم الأعمدة والجدار.
- 2- الانفصال المسبب بالإجهادات الشادة بين قمم الأعمدة والجدار.
- 3- انزلاق الوصلة العلوية بين الجائز العلوي والجدار.
- 4- بداية التحطم في الزوايا العلوية بين الجائز العلوي والجدار.
- 5- بداية ظهور الشقوق.

6- تطور شق قطري في ملتقى الجائز العلوي والعمود، في عقدة تطبيق الحمل.

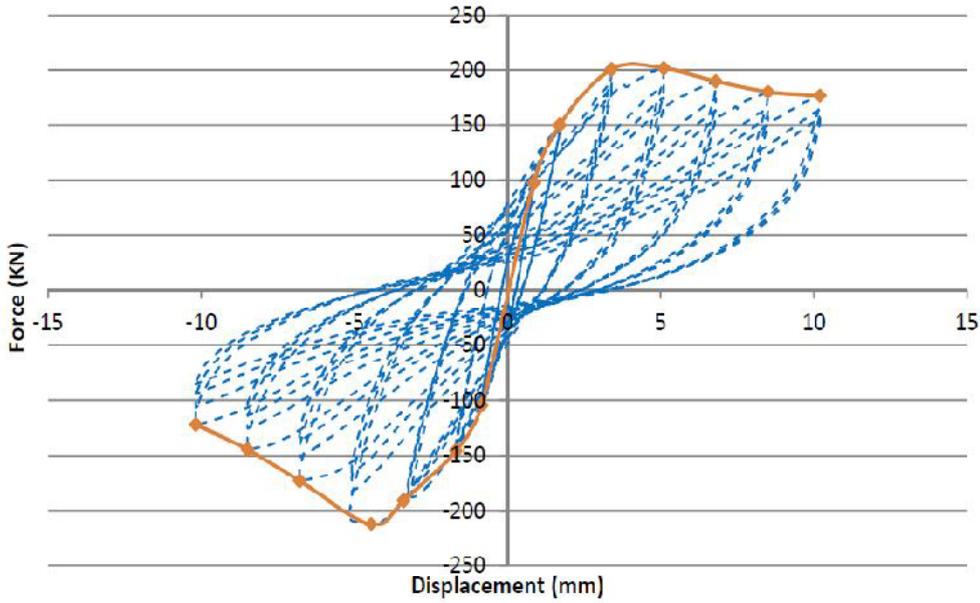
المقاومة القصوى كانت 96.1 KN والحد الأدنى 73.9 KN من أجل الانزياحات النسبية التالية 0.467%، 0.189% على التوالي (الشكل 3-20). الاتجاه الذي له أقل مقاومة متعلق ذلك بعملية البناء وإتمام إغلاق جدار البلوك.



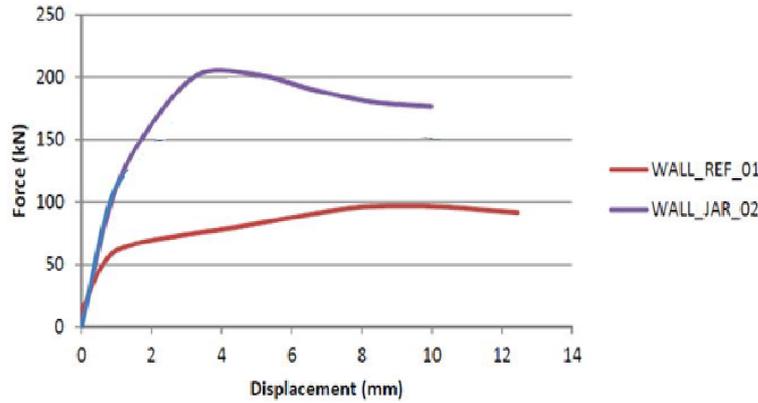
الشكل (3-20) : منحنى الانتقال - قوة ومغلف الحلقات الهستيريرية للنموذج الأول [18]

أما سلوك النموذج الثاني، في المرحلة الأولى العناصر التي تشكل الجدار تعمل معاً حتى الانتقال النسبي 0.043%، بعدها هناك خسارة في القساوة لذلك يدخل الجدار في المرحلة اللاخطية عند الانتقال النسبي 0.085%.

هذه الخسارة في القساوة مرتبطة بانقطاع الوصلات الفولاذية بين الجدار والأعمدة أو بالانزلاق والقص المسبب بالشد أو التحطم. المقاومة القصوى وصلت إلى 201 KN عند انتقال نسبي 0.18% في الاتجاه الموجب للاختبار و -212 KN عند انتقال نسبي 0.22% في الاتجاه السالب للاختبار (الشكل 3-21). في النهاية تمت المقارنة بين مغلفي المنحنيين الهستيريين للنموذجين، حيث يظهر واضحاً زيادة مقاومة الإطار البيتوني عندما تم تسليح جدار البلوك (الشكل 3-22).



الشكل (3-21) : منحنى الانتقال - قوة ومغلف الحلقات الهستيرية للنموذج الثاني [18]



الشكل (3-22) : المقارنة بين مغلفي المنحنيين الهستيريين للنموذجين الأول والثاني [18]

نلاحظ أن فعالية تسليح جدار البلوك في زيادة مقاومة الجملة الإطارية في هذا البحث كانت بنسبة 120%، بينما كانت في الدراسة المرجعية السابقة (Calvi, Bolognini, Penna (2004) [12] بنسبة 20%، حيث النماذج التجريبية في البحثين لهما نفس مقاومة البيتون والبلوك. ويعود هذا الاختلاف بين هاتين النسبتين بسبب أنه لم يتم وصل التسليح الأفقي لجدار البلوك مع تسليح الإطار البيتوني كما تم في هذا البحث.

الفصل الرابع

دراسة الباحث Edgardo M. Vélez Vélez

(السلوك الدوري التجريبي لجدران المنازل البيتونية المسلحة بالاتجاه الضعيف لها)

1-4 مقدمة: [10]

كان الهدف من البحث التحقق تجريبياً من المقدرة الجانبية في الاتجاه الضعيف للأبنية السكنية النموذجية المنشأة في بورتوريكو، وعلى وجه الخصوص الأهداف التالية:

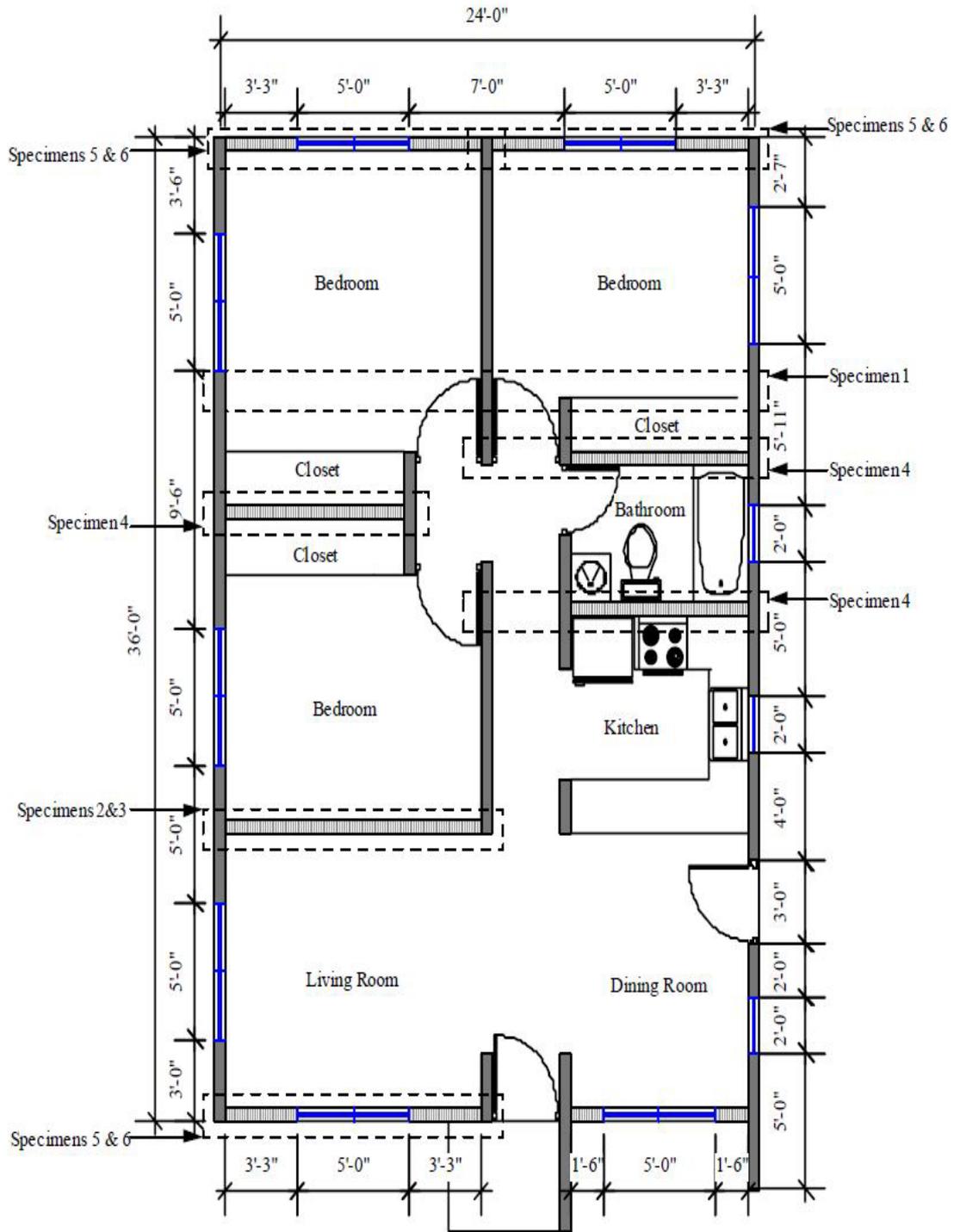
1- تحديد تفاصيل البناء المثالية للأبنية السكنية من طابق واحد من مسح رسوم البناء الفعلية وزيارات مواقع البناء.

2- الدراسة التجريبية لسلوك شرائح بالحجم الطبيعي من الأبنية السكنية في الاتجاه الضعيف لها عندما تتعرض لحمل جانبي دوري، الدراسة التجريبية ستتضمن دراسة سلوك جدران البلوك متضمنة أشكال مختلفة من الفتحات بالإضافة إلى تسليح فولاذي أفقي وشاقولي.

3- استخدام النتائج التجريبية لتحديد ميكانيزمات الانهيار وتطوير ومعايرة نموذج تحليلي بسيط للنموذج بالمقياس الطبيعي الذي سوف يستخدم لاحقاً لانجاز تنبؤات تحليلية للمقدرة الجانبية للأبنية السكنية في الاتجاه الضعيف لها عندما تخضع لحركات زلزالية.

2-4 نماذج الاختبار:

يبين الشكل (1-4) مخطط لمنزل بيتوني نموذجي مشيراً إلى مواقع النماذج المختلفة المدروسة. تفاصيل الإنشاء المستخدمة في النماذج معتمدة على نتائج المسح الميداني لمواقع البناء. خلال المسح الميداني تم أخذ عناية خاصة بمواقع الاتصال بين الأساس والسطح مع جدران البيتون المسلح أو مع جدران البلوك، كما تم الأخذ بعين الاعتبار كمية التسليح الأفقي والشاقولي للبيتون والبلوك.



LEGEND

-  Concrete Block Wall
-  Reinforced Concrete Wall

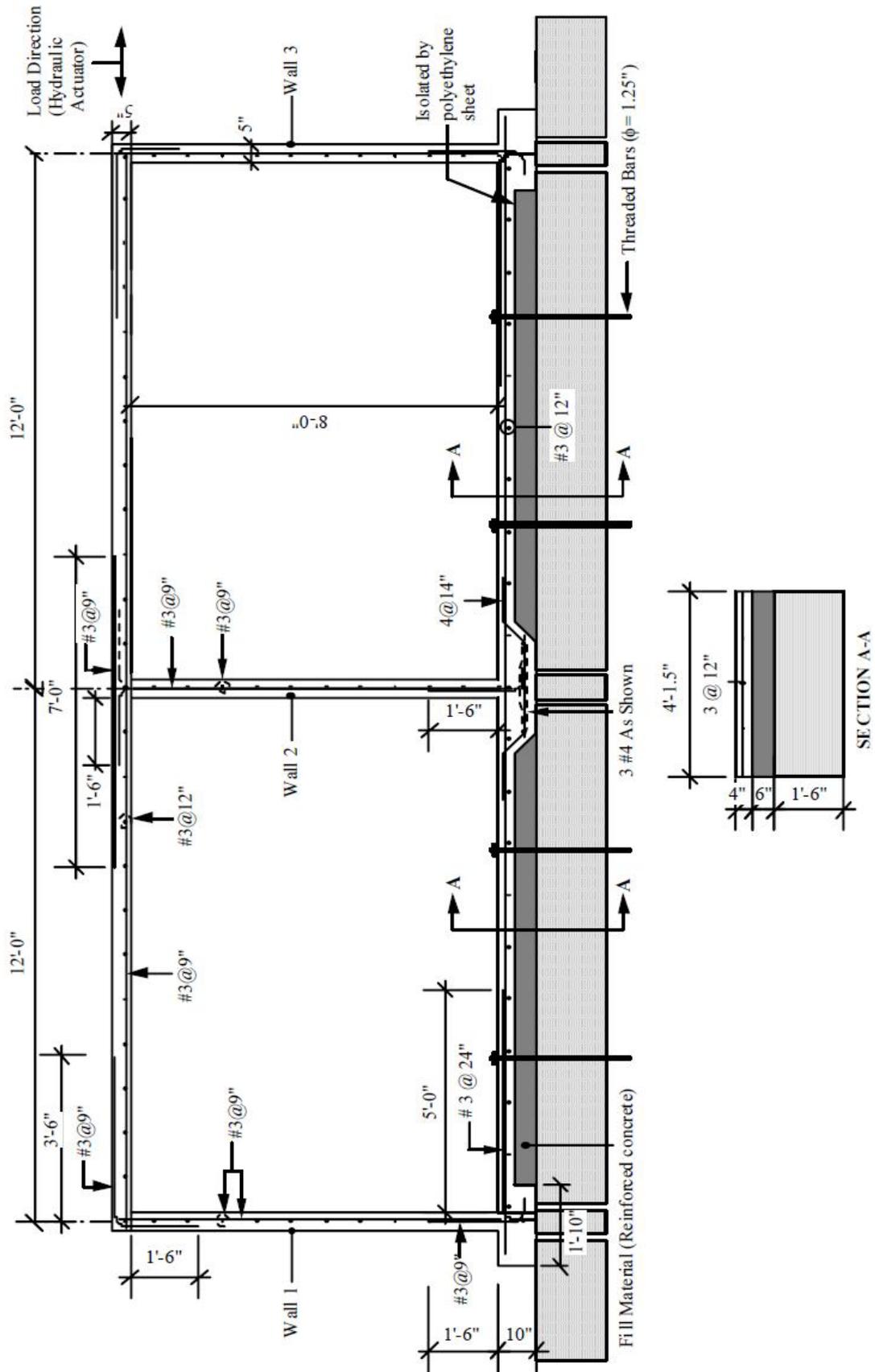
الشكل (1-4) : مخطط لبناء سكني نموذجي من طابق واحد منشأ في بورتوريكو [10]

1-2-4 النموذج الأول (Bare Frame) Control Model:

النموذج الأول عبارة عن إطار بلاطة وجدران من طابق واحد وبفتحتين. عين هذا النموذج كنموذج تحكم للحصول على معلومات حول المقدرة الجانبية الكلية من تفاعل الجدار - البلاطة. أبعاد العناصر الإنشائية ونماذج التسليح وتفصيل الاتصال بين الأساس والسطح مع جدران البيتون المسلح لهذا النموذج موضحة بالشكل (2-4).

عرض هذا النموذج 4 أقدام و1.5 أنش وارتفاع صافي 8 أقدام وطول 24 قدم من مراكز الجدران الخارجية. سماكة بلاطة الأرضية 4 إنشات بينما سماكة الجدران وبلاطة السقف 5 إنشات. تسلسل بناء النموذج الأول موضح بالشكل (3-4).

حيث قلدت التربة عن طريق وضع مادة مالئة تحت بلاطة الأرضية. تتألف هذه المادة من بيتون مسلح بأقطار قياس No.3 (d=0.95 cm) وبتباعد 10 أنش بالاتجاهين. بعد صب المادة المالئة تم وضع تسليح بلاطة الأرضية وتشاريك جدران البيتون المسلح. تم عزل بلاطة الأرضية عن المادة المالئة بوضع طبقة من البولي إيثيلين بينهما. تم بناء بلاطة السقف بعد إنهاء تنفيذ جدران البيتون المسلح.



الشكل (2-4) : تفاصيل الأبعاد والتسليح والتأسيس للنموذج الأول [10]



(ب) مادة المأ بعد صب البيتون



(أ) كوفراج مادة المأ قبل صب البيتون



(د) تفاصيل تسليح الجدران البيتونية



(ج) تفاصيل تسليح بلاطة الأرضية



(و) الإطارات البيتونية المنجزة



(هـ) الجدران بعد صب البيتون

الشكل (3-4) : تسلسل مراحل بناء النماذج بالحجم الطبيعي [10]

2-2-4 النموذج الثاني (Unreinforced Masonry Infilled Frame):

تم بناء النموذج الثاني بنفس طريقة بناء النموذج الأول مع الاختلافات التالية حيث عرض الشريحة 6 أقدام و 1.5 أنش وفتحة واحدة مملوءة بجدار بلوك غير مسلح.

تفاصيل الأبعاد والتسليح والتأسيس موضحة بالشكل (4-4).

تفاصيل الإنشاء لجدار البلوك موجودة بالشكل (5-4).

حيث تم بناء جدار البلوك بواسطة عامل ماهر وذلك بعد صب عناصر الإطار البيتوني. تفاصيل البناء بين جدران البيتون وجدار البلوك تسمح بميكانيزم انتقال الحمل فقط بين هذه العناصر عن طريق التصاق المونة الإسمنتية ومقاومة وحدات البلوك.

أبعاد وحدات البلوك 6 انش x 8 أنش x 16 أنش.

حيث تم رصف البلوك بطريقة (running bond) (أي حافة طرف البلوكة في الصف الأعلى تقع في منتصف البلوكة في الصف الأسفل) كما هو واضح بالشكل (4-5-د).

كما تم وضع المونة الإسمنتية على الوجه السطحي للبلوك فقط كما بالشكل (4-5-ب)، بينما تم صب الملاط (grout) في كل الفتحات الثلاثة للبلوكة، الشكل (4-5-ج).

سماكة المونة الإسمنتية 8/3 أنش.

بعد أن تم بناء جدار البلوك تم لصق طبقة من المونة الإسمنتية على الوجه الخارجي لجدار البلوك بسماكة 4/1 أنش حيث تسمح هذه الطبقة في اكتشاف الشقوق في جدار البلوك.



(ب) طبقة المونة الإسمنتية فوق وحدات البلوك



(أ) طبقة المونة الإسمنتية بين بلاطة الأرضية ووحدات البلوك



(د) طريقة صف وحدات البلوك ضمن الجدار



(ج) فجوات وحدات البلوك المملوءة بالملاط



(هـ) جدار البلوك غير المسلح المنجز

الشكل (5-4) : تفاصيل الإنشاء للنموذج الثاني [10]

3-2-4 النموذج الثالث (Reinforced Masonry Infilled Frame):

تفاصيل الأبعاد والتسليح والتأسيس موضحة بالشكل (6-4)، بينما عملية البناء موضحة بالشكل (7-4). حيث تم بناء هذا النموذج بشكل مشابه للنموذج الثاني باختلاف أن جدار البلوك تم وصله مع العناصر المحيطة وسلح شاقولياً وأفقياً. في الاتجاه الشاقولي سلح جدار البلوك بأقطار No.3 (d=0.95 cm) بتباعد 16 أنش، التشاريك الشاقولية (No. 3 @ 16.0 inches) أرسدت في بلاطة الأرضية والسقف حيث تم مد قضبان التسليح على طول جدار البلوك مع تحقيق طول تثبيت بين القضبان مساو إلى 16 أنش أو صفا بلوك. بسبب التشاريك الموضوع في بلاطة السقف فإنها تعقد عملية بناء جدار البلوك لذلك فمن الضروري تغيير طريقة رصف البلوك من (running bond) إلى (stack pattern) وذلك في الصفيين الأخيرين لجدار البلوك كما هو واضح بالشكل (7-4-و).

في الاتجاه الأفقي يتألف التسليح من نموذج شبكي dur-o-wal truss من نوع No.9 (d=3.7 mm) بتباعد شاقولي مساو إلى صفا بلوك، حيث تم وصل جدار البلوك مع جدران البيتون المسلح بواسطة ربطات معدنية (dove tails)، حيث تم وضع هذه الربطات كل صفا بلوك عند مستوي التسليح الأفقي (الشكل 7-4-ب). في هذا النموذج تسمح تفاصيل الإنشاء هذه ميكانيزم انتقال الحمل أن يتوزع بين التصاق المونة الإسمنتية، مقاومة وحدات البلوك، التسليح الأفقي، الربطات المعدنية والتسليح الشاقولي.



ب) التسليح الأفقي والربطة المعدنية



أ) تفاصيل التشاريك عند منسوب بلاطة الأرضية



د) التسليح الشاقولي لجدار البلوك



ج) فجوات وحدات البلوك المملوءة بالملاط



و) جدار البلوك المسلح المنجز



هـ) تفاصيل تراكب التسليح الشاقولي مع التشاريك عند منسوب بلاطة السقف

الشكل (7-4): تفاصيل الإنشاء للنموذج الثالث [10]

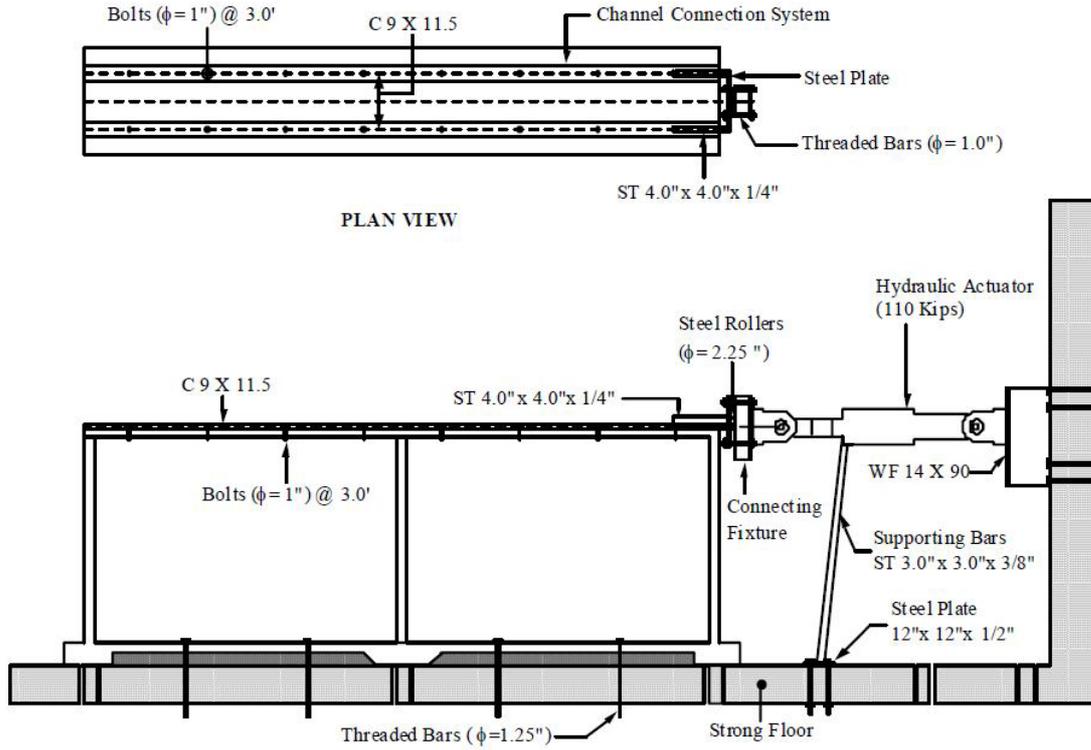
3-4 إعداد الاختبارات:

الإعداد المستخدم لانجاز التحميل الدوري للنماذج موضح بالشكل (4-8). الحمل الجانبي (V) طبق عند بلاطة السقف بواسطة محرك هيدروليكي ذو استطاعة 110 kips وشوط 6.0 inches + . تم استخدام مجرايتان C9.5 x 11 لنقل القوة الجانبية المطبقة بواسطة المحرك الهيدروليكي إلى بلاطة السقف. من أجل تجنب أي تركيز للقوى في وصلات الإطار تم وصل المجرايتان لبلاطة السقف بواسطة 16 برغياً A 325 بقطر 1 أنش بتباعد 3 أقدام. كما صمم الاتصال بين نظام المجرايتان والمحرك بحيث يسمح بارتفاع النموذج المختبر .

في اتجاه الدفع، الحمل الجانبي نقل إلى المجرايتان بواسطة بكرتان فولاذيتان كما هو موضح بالشكل (4-8-ج)، حيث تسمح هذه البكرات بالحركة الشاقولية للنموذج.

في الاتجاه الآخر، النموذج سحب بواسطة أربع قضبان محلزنة بقطر 1 أنش مثبتة على الواجهة الرأسية للمحرك وموصولة بنظام المجرايتان.

تم استخدام ثمانية قضبان محلزنة بقطر 1.25 أنش لنتثبيت بلاطة الأرضية للنموذج مع بلاطة المختبر السميكة. حيث لم يتم استخدام عزقات لها وذلك لتقييد الحركة الجانبية والسماح بارتفاع القاعدة.



(أ) منظر عام لإعداد الاختبار



(ج) طريقة وصل المحرك الهيدروليكي مع النموذج المختبر

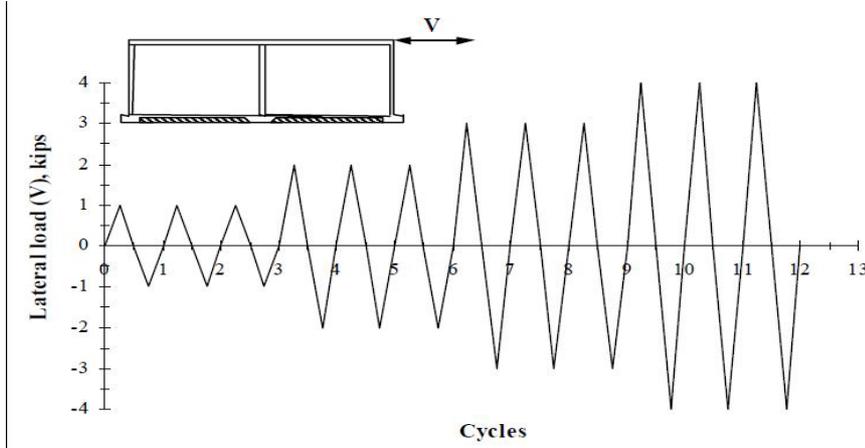


(ب) طريقة وصل المجرايتان مع بلاطة السقف

الشكل (8-4): الإعداد المستخدم لتنفيذ اختبارات الحمل الدوري [10]

4-4 أنماط التحميل:

طبق نمط الحمل النموذجي للنموذج الأول تحت تحكم الحمل (load control) كما هو موضح بالشكل (9-4). حيث طبق الحمل الجانبي الدوري بزيادة 1.0 kip بعد تطبيق ثلاث دورات تحميل. بعد الوصول إلى الحمل الأقصى تم الاستمرار باختبار النموذج بتطبيق حمل جانبي تحت تحكم الانتقالات (displacement control). للنماذج 3-2 تم تطبيق الحمل الجانبي الدوري تحت طريقة تحكم ثنائية، مراقبة الحمل المطبق والانتقال وتحقيق تسويات ضرورية خلال الاختبارات. حيث تم زيادة الحمل بمقدار 2.5 kip بينما زيادة الانتقال كانت 1/8 inch وذلك من أجل انزياح جانبي يتراوح + 1.0 inch - وزيادة 1/4 inch من أجل انزياح جانبي أكبر من 1 أنش. طبقت ثلاث دورات انتقال/قوة كاملة ومعكوسة من أجل تحديد تأثير الحمل المكرر على القساوة وتردي المقاومة.



الشكل (9-4) : الحمل الجانبي الدوري المطبق للنموذج الأول [10]

5-4 نتائج الاختبارات:

تم اصطلاح إشارة موجبة للانتقال الجانبي والحمل الجانبي عندما يتم سحب النموذج، من ناحية أخرى إشارة سالبة باتجاه دفع النموذج.

أنشأ لكل نموذج المنحنيان التاليان:

1- المنحني الهستيريري انتقال- قوة.

2- المقدرة الجانبية للنموذج من ناحية الوزن الذاتي الفعال (المشار إليه بـ W_{eff} أي الوزن المثار بالتحاليل الديناميكية).

يظهر المنحني الهستيريري معلومات عن المقاومة القصوى في كلا الاتجاهين وانخفاض القساوة والمقاومة، والمقدرة المتبقية بعد الوصول إلى الحمل الجانبي الأقصى. علاقة الانتقال الجانبي - الحمل الجانبي لكل نموذج من ناحية الوزن الفعال يمكن أن تعطي فكرة حول قدرة كل نموذج من ناحية الأحمال العطالية حيث الأحداث الزلزالية مولدة.

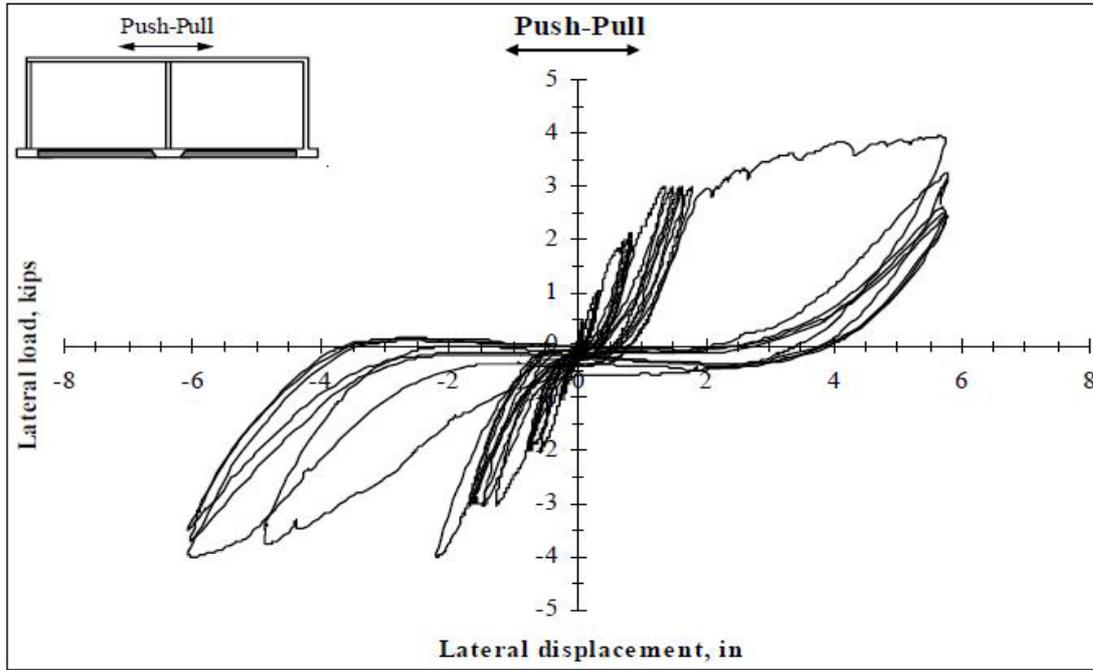
1-5-4 نتائج اختبار النموذج الأول:

كشفت النتائج التجريبية لهذا النموذج معلومات عن المقدرة الجانبية العامة لتفاعل الجدار - البلاطة. حيث يظهر الشكل (10-4) المنحني المتناظر للانتقال - الحمل مع انضغاط شديد في المنحني بسبب انفتاح وانغلاق الشقوق في الجدران البيتونية.

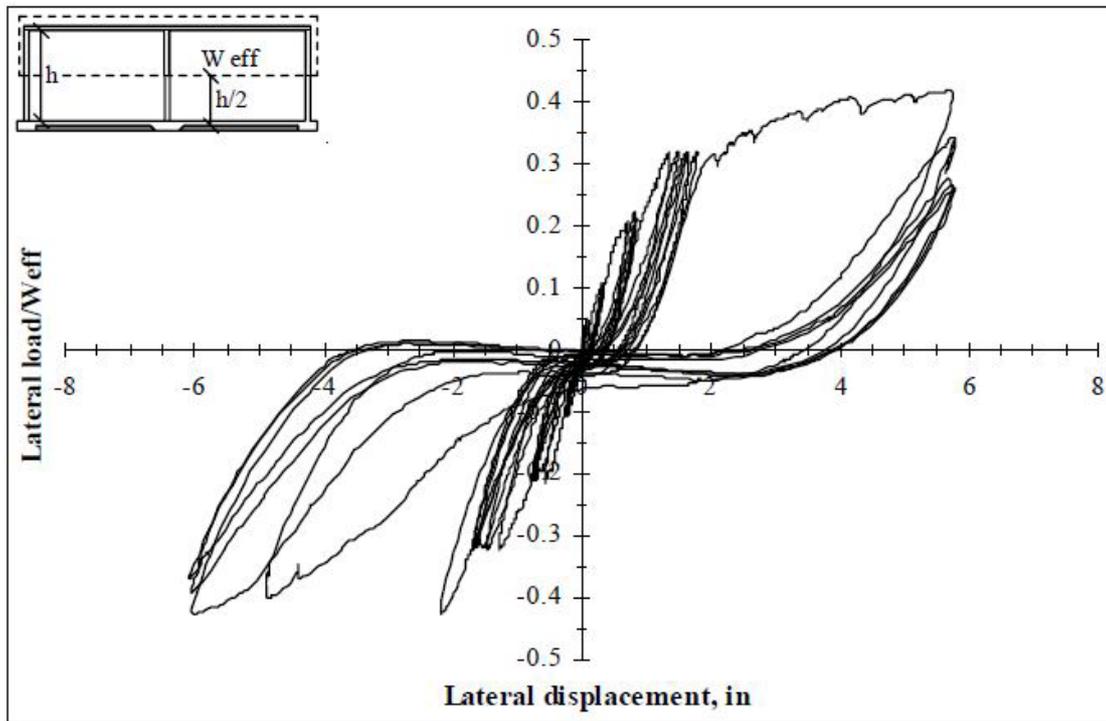
بدأ النموذج بإظهار تردّي المقاومة عند الحمل الجانبي 2.0 kips نظراً للشقوق الإنعطافية بين الجدار البيتوني الداخلي وبلاطة الأرضية. أما الحمل الجانبي الأقصى الذي وصل إليه النموذج هو 4.0 kips في كلا الاتجاهين.

يظهر الشكل (11-4) النسبة بين الحمل الجانبي المطبق على النموذج ووزنه الفعال (W_{eff}). حيث حسب الوزن الفعال للنموذج بالأخذ بعين الاعتبار وزن بلاطة السقف مضافاً إليه الوزن العائد للجزء العلوي للجدران البيتونية الثلاثة. بدأ النموذج بإظهار تردّي بالمقاومة والقساوة من أجل حمل جانبي أكبر من 20 بالمائة من W_{eff} . حيث كانت قدرة مقاومة النموذج للحمل الجانبي بمقدار 43% من وزنه الفعال.

الشكل المشوه ونمط الانهيار للنموذج الأول كالشقوق الإنعطافية بين الجدار - الأرضية أو وصلات بلاطة السقف وشقوق الشد للجدران موضحة بالشكل (12-4).



الشكل (10-4) : منحني الانتقال - قوة للنموذج الأول [10]



الشكل (11-4) : الحمل الجانبي بالنسبة للوزن الفعال W_{eff} للنموذج الأول [10]



(أ) الشكل المشوه للنموذج الأول



(ج) أنماط الشقوق في وصلة الجدار- السقف
عند الحمل الجانبي 3.0 kips



(ب) أنماط الشقوق في وصلة الجدار- البلاطة
عند الحمل الجانبي 2.0 kips



(هـ) أنماط الشقوق في الجدار الداخلي
عند الحمل الجانبي 4.0 kips



(د) أنماط الشقوق في الجدار الخارجي
عند الحمل الجانبي 4.0 kips

الشكل (4-12): أنماط الانهيار للنموذج الأول [10]

2-5-4 نتائج اختبار النموذج الثاني:

يظهر الشكل (4-13) منحنى الانتقال - القوة غير المتناظر للنموذج الثاني. السلوك غير المتناظر كان بشكل رئيسي بسبب تأثير الوزن الذاتي للنموذج.

عندما تتجاوز المركبة الشاقولية للدعامة القطرية المتشكلة في جدار البلوك الوزن الذاتي التابع للنموذج الفاعل في الجدران الداخلية والخارجية فإن النموذج يبدأ بالارتفاع. بدأ الارتفاع في قاعدة الجدار الثالث (الخارجي) عند الحمل الجانبي 12.50 kips - في اتجاه الدفع. بينما لوحظ الرفع في قاعدة الجدار الثاني (الداخلي) عند الحمل 20.0 kip باتجاه السحب. بدأ فقدان البيتون المحيط بالقضبان الشاقولية في قمة الجدار الثالث عند الحمل 20.0 kips - وانتقال جانبي

0.18 inches - في الاتجاه الآخر لوحظ انحطاط المقاومة والقساوة عند الحمل 22.0 kips وانتقال 0.10.

حكمت المقدرة العامة للنموذج بانهييار القص المتقرب للجدران الداخلية والخارجية وتحطم الزوايا لجدار البلوك.

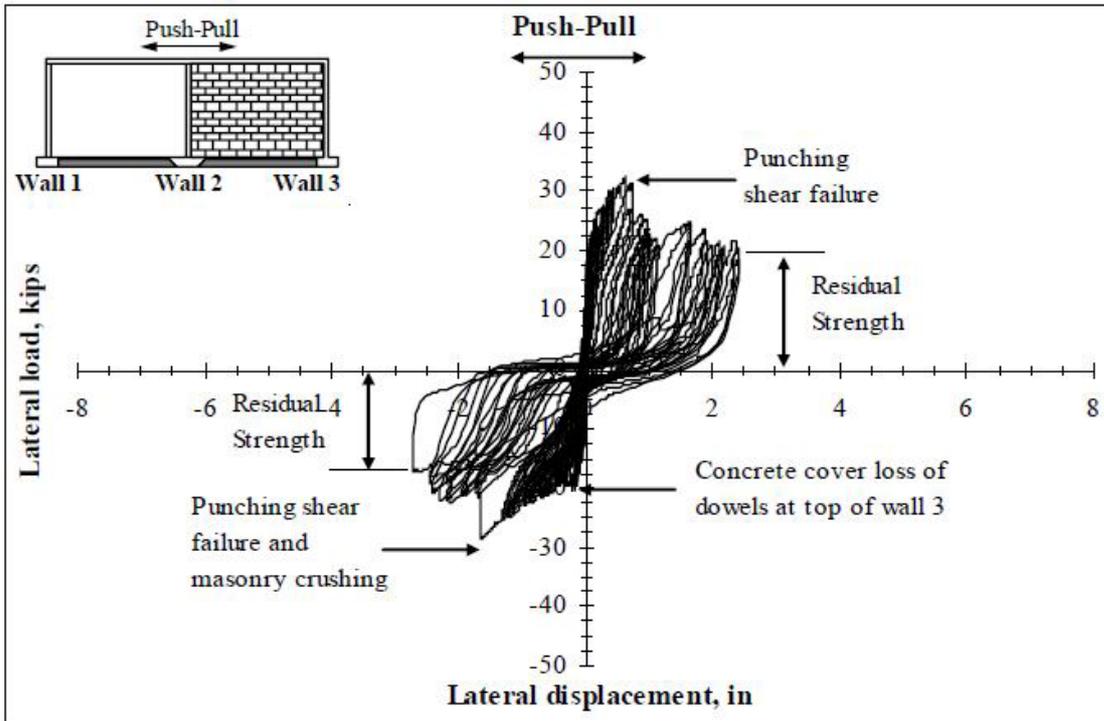
اكتشف انهيار القص للجدار الداخلي عند الحمل 32.50 kips وانتقال 0.62 inches. بينما تحطم الزوايا لجدار البلوك وانهيار القص للجدار الثالث حدث عند الحمل 28.52 kips - وانتقال 1.64 inches -.

بعد الوصول إلى مقدرة الحمل القصوى بكلا الاتجاهين، يظهر النموذج مقدرة متبقية على الأقل 56% من الحمل الأقصى ($V_u=28.52$ kips) المحصول عليه باتجاه الدفع.

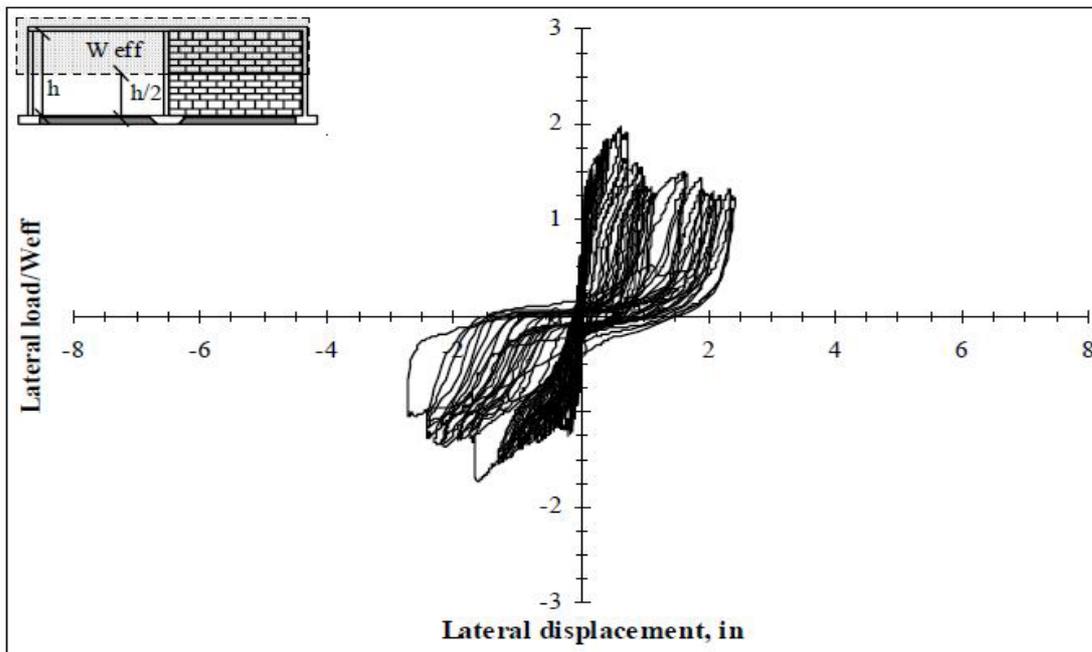
يوضح الشكل (4-14) منحنى الانتقال - القوة بالنسبة للوزن الفعال للنموذج الثاني. يتضمن الوزن الفعال لهذا النموذج وزن بلاطة السقف زائد الوزن التابع للأجزاء العلوية لجدران البيتون المسلح الثلاثة وجدار البلوك.

يظهر النموذج سلوك خطي من أجل حمل جانبي أقل من $0.66W_{eff}$ ، بينما كانت المقدرة الجانبية العظمى $1.73W_{eff}$ في الاتجاه السالب و $1.93W_{eff}$ في الاتجاه الموجب.

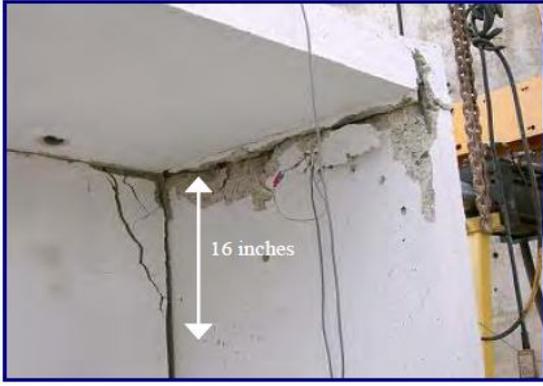
أنماط الانهيار للنموذج الثاني معروضة في الشكل (4-15). في نهاية الاختبار لوحظ طول احتكاك من 36 inches بين الجدار الداخلي وجدار البلوك، بينما كانت منطقة الاحتكاك للجدار الخارجي بطول 16 inches.



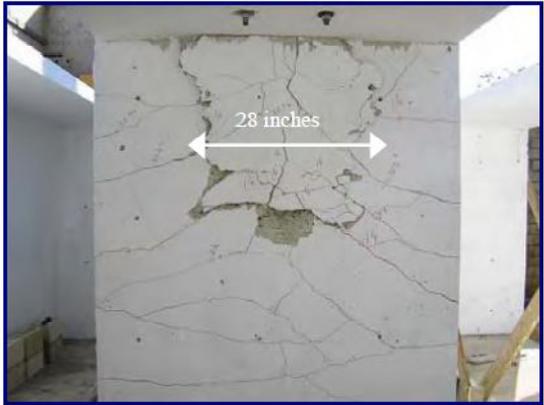
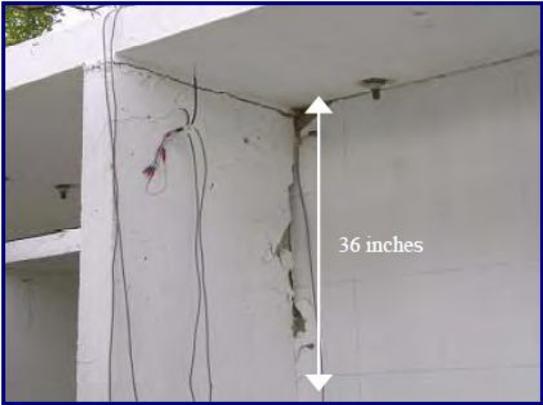
الشكل (13-4) : منحنى الانتقال - قوة للنموذج الثاني [10]



الشكل (14-4) : الحمل الجانبي بالنسبة للوزن الفعال W_{eff} للنموذج الثاني [10]



أ) انهيار القص المتقب في الجدار الداخلي



ب) تحطم زاوية جدار البلوك وانهيار القص المتقب في الجدار الخارجي



ج) منظر النموذج في نهاية الاختبار

الشكل (4-15): أنماط الانهيار للنموذج الثاني [10]

4-5-3 نتائج اختبار النموذج الثالث:

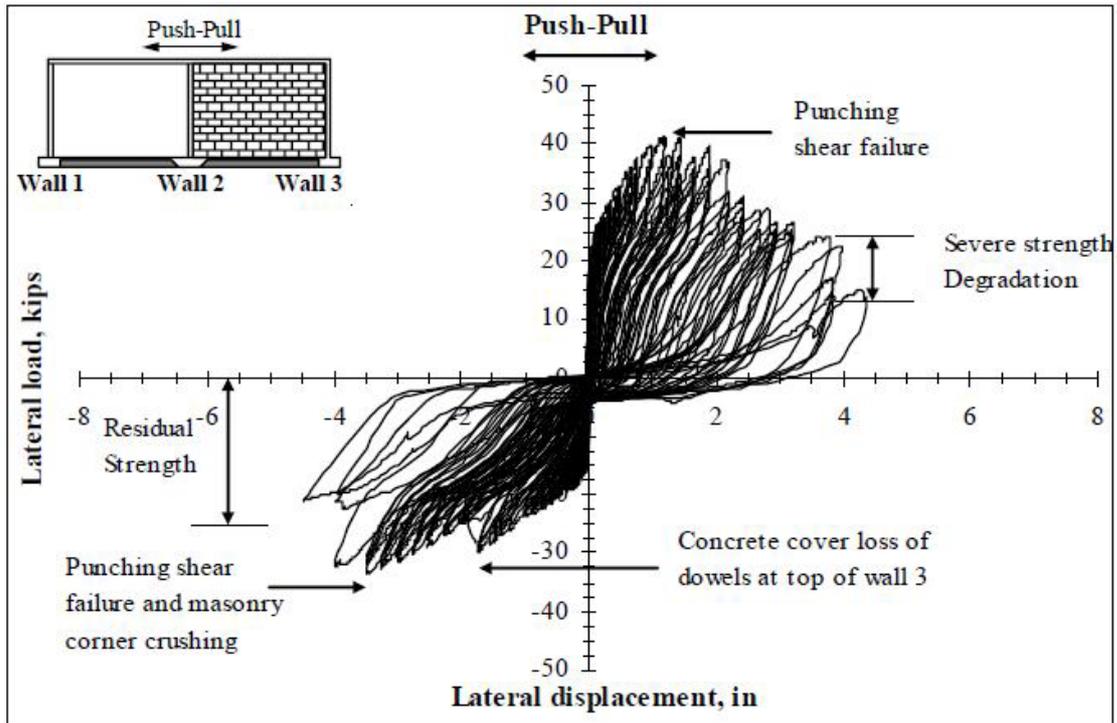
يوضح الشكل (4-16) المنحني الهستيري للنموذج الثالث. بشكل مشابه للنموذج الثاني السلوك غير المتناظر يعود للوزن الذاتي للنموذج، وبما أن الوزن الذاتي للنموذج الثاني والثالث هو نفسه فإن ارتفاع الأساس يحدث عند نفس منسوب الحمل الجانبي.

اكتشف فقدان الهام في المقذرة الجانبية عندما ظهرت بضعة شقوق عمودية (كل 9 inches، نفس التباعدات بين التسليح الشاقولي) في قمة الجدار الثالث. هذا يحدث عند الحمل الجانبي 30.0 kips والانتقال 1.74 inches- في اتجاه الدفع. في نفس الاتجاه، المقذرة الجانبية القصوى أدت بحصول بضعة شقوق قطرية في قمة الجدار الثالث وتحطم الزوايا لجدار البلوك وذلك عند الحمل الحدي 33.57 kips- وانتقال 3.47 inches-. بينما في الاتجاه الآخر، بدأ انحطاط المقاومة والقساوة عند الحمل 30.0 kips وانتقال 0.35 inches وذلك بسبب تزايد شقوق قطرية في قمة الجدار الداخلي متبوعة بتحطم الزوايا وانتشار شقوق أفقية كبيرة بين بلاطة السقف والصف الأخير من البلوك.

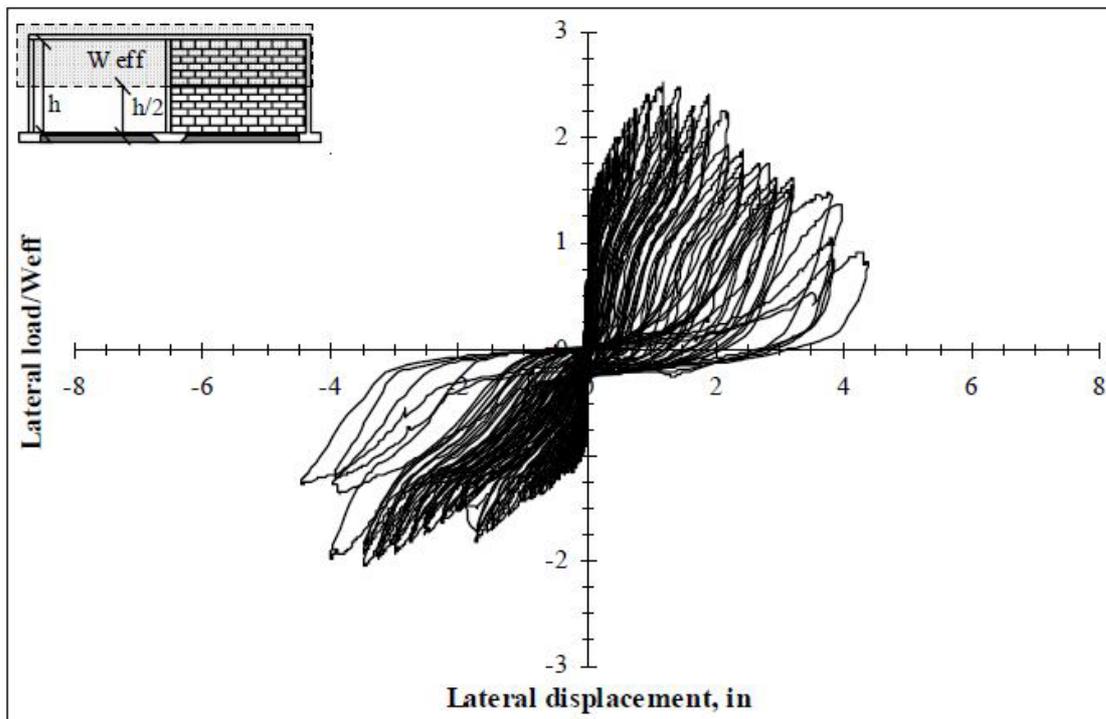
حددت المقاومة القصوى بانتهيار القص المثقب للجدار الداخلي مصحوب بالانتهيار للصف الأخير من البلوك وذلك عند الحمل 41.40 kips وانتقال 1.20 inches. بدأت بلاطة السقف بالتحرك نسبياً لجدار البلوك مضغفة وحدات البلوك وذلك حالما حصل انتهيار القص للجدار الداخلي. حيث انهارت وحدات البلوك المجاورة للجدار البيتوني الثالث بنمط التحطم، بينما انهارت وحدات البلوك الأخرى نظراً للاتصال بين بلاطة السقف وجدار البلوك الذي شكل بواسطة قضبان التشاريك ذات القطر No.3. بعد الوصول إلى مقذرة الحمل الأقصى لوحظ انحطاط حاد في القساوة والمقاومة في دورات التحميل التالية.

يوضح الشكل (4-17) المقذرة الجانبية العامة من ناحية W_{eff} للنموذج الثالث. من أجل حمل جانبي أقل من W_{eff} يظهر النظام حلقات هستيرية مستقرة بدون انحطاط المقاومة والقساوة. قاوم النموذج أحمال جانبية بمقدار $2.45W_{eff}$ و $2.04W_{eff}$ - في اتجاه السحب والدفع على التوالي.

يظهر الشكل (4-18) نمط الشقوق للنموذج الملاحظة خلال الاختبار. في نهاية الاختبار لوحظ منطقة اتصال بطول 27 inches بين الجدار الداخلي وجدار البلوك بينما كان طول الاتصال للجدار الخارجي 14 inches.



الشكل (4-16) : منحنى الانتقال - قوة للنموذج الثالث [10]



الشكل (4-17) : الحمل الجانبي بالنسبة للوزن الفعال Weff للنموذج الثالث [10]



أ) انهيار القص المتقرب في الجدار الداخلي



ب) تحطم زاوية جدار البلوك والشقوق القطرية في الجدار الخارجي



ج) منظر النموذج في نهاية الاختبار

الشكل (18-4): أنماط الانهيار للنموذج الثالث [10]

6-4 تفسيرات الباحث Vélez لنتائج الاختبار:

النماذج الثلاثة المبينة أخذت في الحسبان بارمترات مختلفة للأصول المتبعة بالبناء في بورتوريكو بينهم:
(1) تفاصيل البناء للإطارات جدار - بلاطة، (2) تضمين الإملاء ضمن هذه الإطارات، (3) التسليح الفولاذي وتفاصيل الاتصال لجدران الملاء.

حيث كشفت النتائج التجريبية المقدمة في الفصول الفرعية السابقة معلومات قيمة حول هذه البارمترات، التي لخصت في الأقسام التالية.

يصور الشكل (4-19) مغلقات المنحنيات الهستيرية للنماذج الستة المختبرة.

حيث حسبت القساوة كميل للخط الواصل للنقاط المتطرفة لدورة الانتقال ذات السعة الصغيرة حيث الحمل عند هذه الدورة مساوي إلى 35 بالمائة من المقاومة الجانبية القصوى.

لعمل مقارنة مباشرة بين النماذج، فإنه من الضروري أولاً استيفاء النتائج التجريبية المحصول عليها للنموذج الأول (الذي عرضه 49.5 inches) إلى نموذج مكافئ بعرض 73.50 inches (عرض النماذج 2 و 3). على افتراض أن هذه النتائج نسبية إلى العرض، القساوة الجانبية المكافئة والمقاومة هي:

$$5.68 \text{ kips/in} = (73.5/49.5 \times 3.82 \text{ kips/in}) \text{ و } 5.94 \text{ kips} = (73.5/49.5 \times 4.0 \text{ kips}) \text{ على التوالي.}$$

1-6-4 تفاصيل البناء للإطارات البيتونية المسلحة جدار - بلاطة:

بينت تفاصيل البناء المستعملة في بورتوريكو بأن تفاصيل التسليح المستخدمة في الوصلات بين بلاطة السقف والجدران البيتونية المسلحة الخارجية لا تسمح بتطور عزم متغير الاتجاه الذي يحصل عندما يخضع النموذج لحمل دوري معكوس، كما هو مبين من الاختبار للنموذج الأول. حيث سمح التسليح الموضوع في منتصف الجدران البيتونية بنمو الشقوق عند نهايات الجدار، منتجة حلقات هستيرية مع انضغاط حاد فيها.

2-6-4 جدران الملاء:

زادت القساوة والمقاومة الجانبية لجملة الإطار جدار - بلاطة بشكل ملحوظ عندما تم تضمينها بجدران ملاء. الزيادة الهامة في القساوة والمقاومة حققت عندما تم تسليح جدار البلوك ووصله مع العناصر المحيطة كحالة النموذج الثالث، حيث كانت الزيادة بالنسبة للإطار المكافئ بمقدار 177 مرة و 7 مرات على التوالي.

3-6-4 أنماط فولاذ التسليح وتفاصيل الاتصال لجدران الملاء:

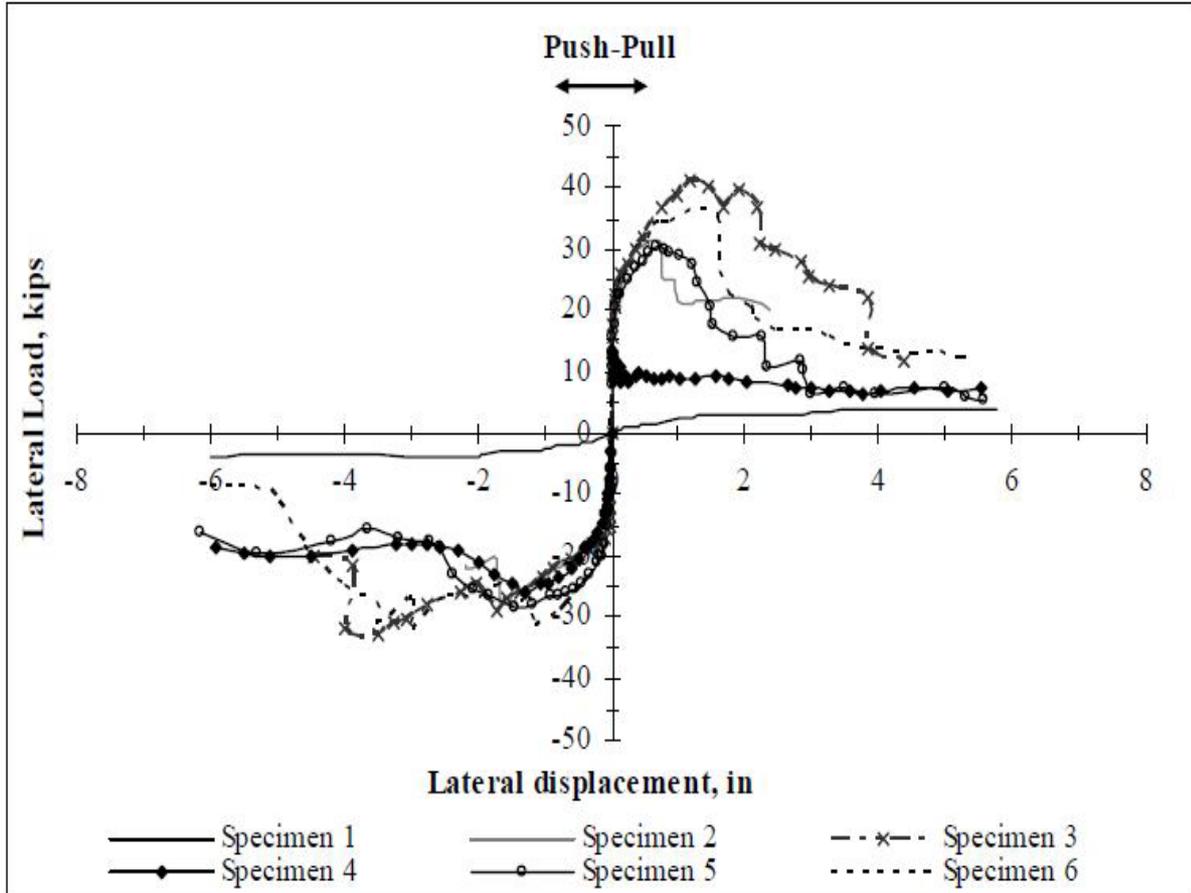
أظهرت النتائج التجريبية للنموذج الثالث بأن فولاذ التسليح وتفاصيل الاتصال من قضبان التشاريك والربطات المعدنية كان عندهما تأثير بسيط على القساوة الأولية، على أية حال هذه التفاصيل كان عندهما تأثير كبير في قدرة الحمل الجانبية القصوى ومطاوعة الانتقال.

القساوة الأولية للنموذج الثالث كانت 11 بالمائة أعلى من القساوة الأولية للنموذج الثاني، بينما المقدره الجانبية القصوى ومطاوعة الانتقال للنموذج الثالث كانت أعلى بمقدار 25 بالمائة، 93 بالمائة على التوالي من النموذج الثاني.

تفاصيل الاتصال لجدران الملاء مع العناصر المحيطة المستخدمة في بورتوريكو أظهرت التالي:

(1) قضبان التشاريك المستخدمة لربط بلاطة السقف مع جدار البلوك المسلح كحالة النموذج الثالث، كانت قادرة على نقل الحمل من السقف إلى جدار البلوك مخفضة بذلك التشوه (بسبب الحمل الخارجي) في الجدران البيتونية المسلحة. أنتجت قضبان التشاريك هذه الانهيار في وحدات البلوك للصف الأخير من جدار البلوك المسلح للنموذج الثالث.

(2) لوحظ في النموذج الثالث بأن انفصال الرابطة المعدنية تم من الجدران البيتونية وليس من وحدات البلوك.



الشكل (19-4): مغلفات المنحنيات الهستيرية للنماذج الستة [10]

نلاحظ أن فعالية تسليح جدار البلوك في زيادة مقاومة الجملة الإطارية في هذا البحث كانت بنسبة 25%، وتعود هذه النسبة القليلة في الزيادة بسبب أن جدار البلوك المسلح في النموذج الثالث مملوء جزئياً بالملاط، حيث تم ملأ فجوات وحدات البلوك فقط التي تحوي على تسليح شاقولي، بينما جدار البلوك في النموذج الثاني مملوء كلياً بالملاط حيث تم ملأ جميع فجوات وحدات بالبلوك. كما نلاحظ من هذا البحث أن وصل جدار البلوك مع العناصر المحيطة له دور فعال في تخفيض التشوهات في الجملة الإطارية.

الفصل الخامس

النمذجة الحاسوبية لنماذج تجريبية باستخدام برنامج ANSYS

1-5 مقدمة:

الأهداف الرئيسية من انجاز اختبارات تجريبية على نماذج بالمقياس الطبيعي ليس فقط للحصول على ميكانيزمات الانهيار لهذه الأنواع من المنشآت الخاضعة لتحميل دوري جانبي. لكن أيضا لاستعمال النتائج لاقتراح وإقرار نماذج تحليلية حاسوبية التي تحاكي السلوك التجريبي الملاحظ. حيث يمكن لهذه النماذج التحليلية أن تستعمل لاحقاً لتتوقع سلوك منشآت مماثلة خاضعة لحمولات دورية جانبية. يبدأ هذا الفصل بتقديم خلفية نظرية حول النمذجة التحليلية للإطارات المملوءة حيث تم استعمال البرنامج (ANSYS 11) بالاقتران مع النماذج التحليلية لمحاكاة النتائج التجريبية.

2-5 نمذجة جدران البلوك:

أحد القضايا الحرجة في نمذجة مادة جدار البلوك (masonry) تنشأ عن الخصائص للسطح البيني بين البلوك والمونة الإسمنتية والسطح البيني بين جدار البلوك والإطار البيتوني.

قد تعتبر ثلاثة طرق مختلفة للنماذج التحليلية لجدران البلوك كما هو موضح بالشكل (1-5).

أ- جدار البلوك كمادة متجانسة مستمرة في كافة الاتجاهات (macro modeling).

ب- وحدات موسعة، المونة الإسمنتية ووصلاتها جمعت كسطح بيني (simplified micro modeling).

ج- وحدات البلوك والمونة الإسمنتية نمذجت بشكل منفصل مع عناصر سطح بيني بينهما

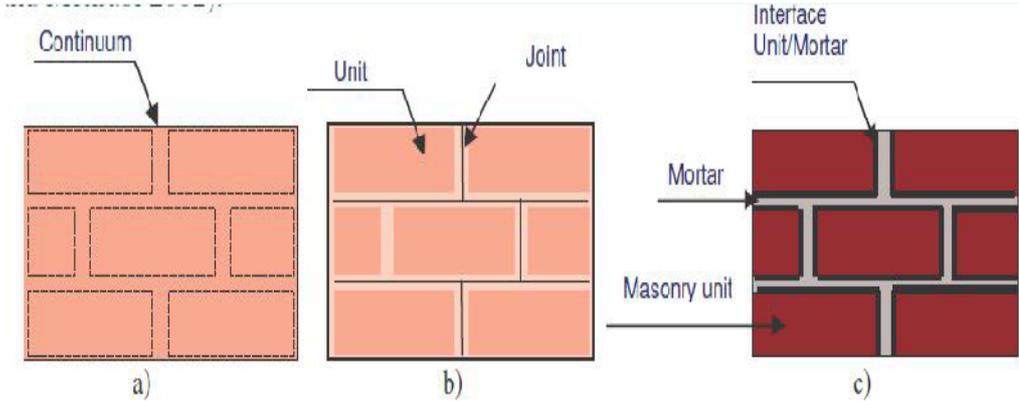
(detailed micro modeling).

الأسلوب الأول في نمذجة جدران البلوك هو اعتبارها كمادة متجانسة. السطوح البينية في الحقيقة هي الوصلات الأضعف في تجمع وحدات البلوك ولا يمكن نمذجتها بأنماط الشقوق المبعثرة. حيث في هذه الحالة قد تسيطر بعض الشقوق الفردية على سلوك كامل جدران المأل.

تستعمل الطريقة الثانية مجموعتين من العناصر، حيث تم إتباع أسلوب الوصلة المجمعة. تحاكي المجموعة الأولى للعناصر سلوك وحدات البلوك والثانية تحاكي سلوك المونة الإسمنتية والسطح البيني بين المونة ووحدات البلوك. حيث يمثل عنصر السطح البيني التأثيرات التجميعية لتوسع القص، تصلب السطح البيني تحت الضغط والانكماش الطبيعي للوصلة تحت قوة القص. في حالة الإطار المملوء تتطلب مجموعة أخرى من عناصر الوصلة لنمذجة سلوك السطح البيني بين الإطار وجدار البلوك.

يعتبر النموذج الأكثر تفصيلاً ثلاثة عناصر مختلفة التي تمثل الوحدات، المونة الإسمنتية والسطح البيني بينهما. مثل هذا النموذج المفصل يمكن أن يمثل بشكل أفضل الانقطاع والانزلاق والتباعد الذي يحدث بين البلوك والمونة الإسمنتية.

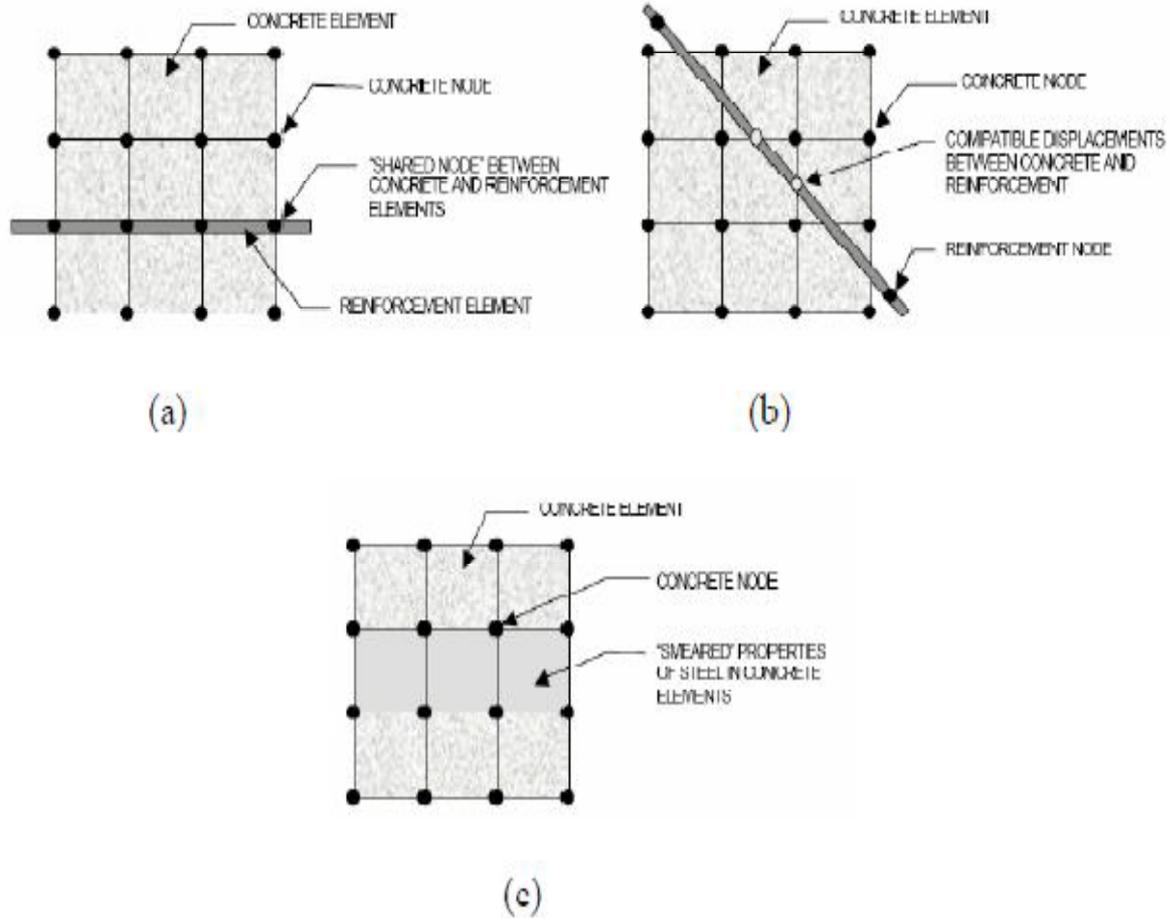
حيث تم استعمال أسلوب النموذج العام (macro - model) لنمذجة جدران البلوك في الدراسة الحالية، وذلك لقلّة المعلومات التفصيلية الموجودة في البحث التجريبي الذي تم الاعتماد عليه في النمذجة الحاسوبية والمطلوبة للوصف الدقيق لسلوك وحدات البلوك والمونة الإسمنتية والسطح البيئي لهما، وأيضاً لطول زمن التحليل الحاسوبي المستغرق لإعطاء النتائج، حيث تم نمذجة التجارب بالحجم الطبيعي لها وبشكل ثلاثي الأبعاد.



الشكل (1-5) : طرق النمذجة المختلفة لجدران البلوك [15]

3-5 نمذجة فولاذ التسليح:

ناقش (2001) Tavarez, F.A [23] ثلاث طرق موجودة لنمذجة فولاذ التسليح في نماذج العناصر المحدودة للبيتون المسلح (الشكل 2-5) وهي النموذج المنفصل، النموذج المضمن والنموذج المبعثر. يستعمل التسليح في النموذج المنفصل (discrete model) (الشكل a-2-5). عناصر شبكية أو جانزية التي توصل إلى عقد الشبكة الخرسانية، لذا شبكة التسليح والبيتون تشترك بالعقد نفسها ويحتل البيتون نفس المناطق المحتملة من قبل التسليح. العائق في هذا النموذج هو أن الشبكة الخرسانية مقيدة بموقع التسليح وحجم قضبان التسليح لا يحسم من حجم البيتون. أما النموذج المضمن (embedded model) (الشكل b-2-5) يتغلب على تقييدات شبكة البيتون لأن القساوة لفولاذ التسليح مقيمة بشكل منفصل عن عناصر البيتون. النموذج يبني بطريقة تبقى انتقالات فولاذ التسليح متوافقة مع العناصر البيتونية المحيطة. عندما يكون التسليح معقد هذا النموذج مفيد جداً. على أية حال، يزيد هذا النموذج عدد العقد ودرجات الحرية في النموذج، لذا يزيد وقت التحليل والعمليات الحسابية. النموذج المبعثر (smeared model) (الشكل c-2-5) يفترض بأن التسليح منتشر بشكل منتظم في كافة أنحاء العناصر الخرسانية في المنطقة المعرفة من شبكة العناصر المحدودة. يستخدم هذا الأسلوب في النماذج ذات الحجم الكبير حيث التسليح لا يساهم بشكل ملحوظ في السلوك العام للمنشأ. حيث تم استعمال أسلوب النموذج المنفصل (discrete - model) لنمذجة فولاذ التسليح في الدراسة الحالية.

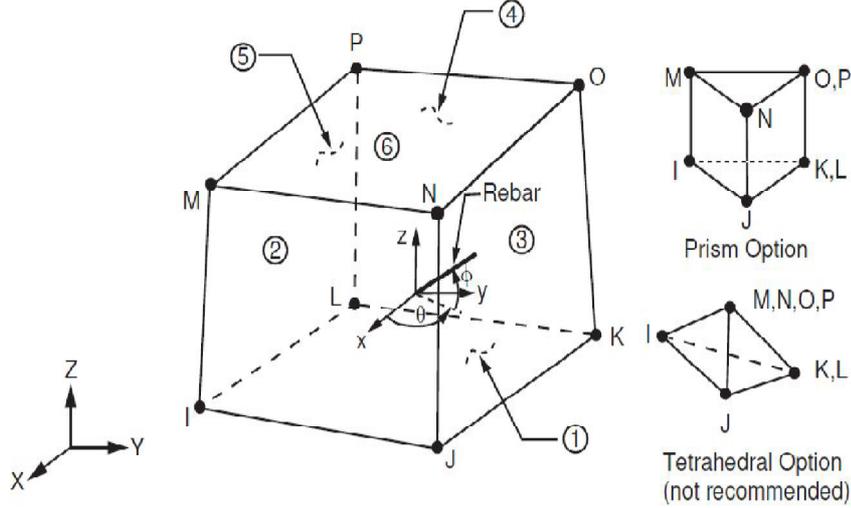


الشكل (2-5): نماذج التسليح في البيتون والبلوك المسلح [24]

4-5 أنواع العناصر المستخدمة في النمذجة:

1-4-5 العنصر solid65:

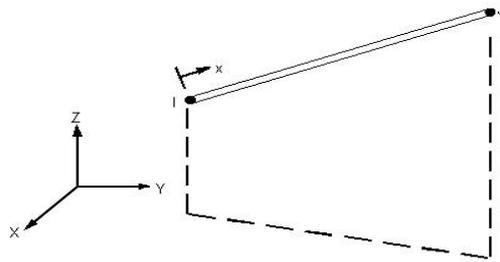
يستخدم هذا العنصر للنمذجة الثلاثية الأبعاد للمواد الصلبة مع أو بدون قضبان تسليح. هذا العنصر قادر على التشقق في الشد والتحطم في الضغط والتشوه اللدن والزحف (الشكل 3-5). العنصر معرف بثمانية عقد تمتلك كل عقدة ثلاث درجات حرية هي الانتقالات في الاتجاه Z, Y, X . كما يمكن نمذجة التسليح ضمن هذا العنصر بالاتجاهات الثلاثة وذلك بطريقة النمذجة المبعثرة (smearred model). تم استخدام العنصر solid65 لنمذجة البيتون المسلح وجدران البلوك العادية والمسلحة.



الشكل (3-5) : العنصر solid65 [4]

2-4-5 العنصر LINK8:

هو عنصر وتدي ثلاثي الأبعاد وله عقدتان تمتلك كل منها ثلاث درجات حرية هي الانتقالات في الاتجاه Z, Y, X (الشكل 4-5). يحتمل هذا العنصر الضغط والشد الأحادي المحور وكذلك التشوهات اللدنة لكنه غير قابل للانعطاف. تم استخدام العنصر LINK8 لنمذجة فولاذ التسليح للبيتون وكذلك التسليح الأفقي والشاقولي لجدران البلوك.

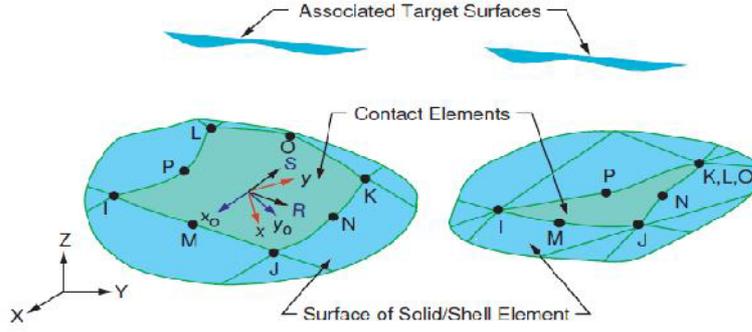


الشكل (4-5) : العنصر LINK8 [4]

3-4-5 عناصر الاحتكاك:

1-3-4-5 العنصر CONTA174:

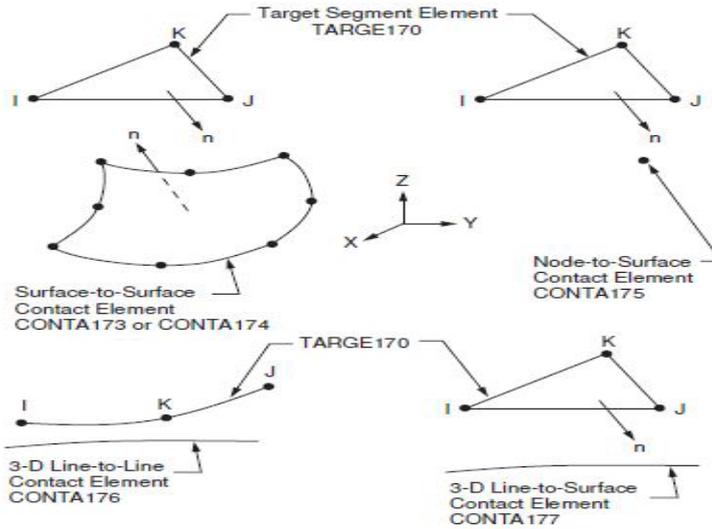
يستعمل هذا العنصر لتمثيل الاتصال والانزلاق بين سطوح الأهداف الثلاثية الأبعاد (TARGE170) والسطوح المنشوهة المعرفة بهذا العنصر. يتوضع هذا العنصر على السطوح الصلبة الثلاثية الأبعاد حيث يمتلك الخصائص الهندسية نفسها التي لسطح العنصر الصلب المرتبط به (الشكل 5-5). يحدث الاحتكاك عندما يخترق سطح العنصر أحد أقسام عناصر الهدف، كما يمتلك هذا العنصر ثمان عقد. يسمح هذا العنصر بتحمل إجهادات القص واحتكاك كولومب، كما يسمح بفصل السطوح المحتكة المتلاصقة ليحاكي تصدع الطبقات السطحية للسطوح البينية.



الشكل (5-5) : العنصر CONTACT174 [4]

2-3-4-5 العنصر TARGET170:

يستعمل هذا العنصر لتمثيل السطوح المقابلة لعناصر الاتصال المرتبطة بها (الشكل 5-6). حيث تم استخدام العنصر CONTACT174 والعنصر TARGET170 لتمثيل الاحتكاك والسطح البيني بين الإطار البيتوني وجدران البلوك، أي بين سطوح الجدران البيتونية وجدار البلوك وأيضاً بين سطوح بلاطة السقف والأرضية وجدار البلوك.



الشكل (5-6) : العنصر TARGET170 [4]

5-5 خواص المواد:

1-5-5 مادة البيتون:

تتطلب هذه المادة خصائص خطية وغير خطية متجانسة في كافة الاتجاهات وذلك لتمثيل البيتون بشكل صحيح. تستعمل المادة المتعددة الخطية (multilinear isotropic) معيار انهيار فون ميسيس بالإضافة إلى معيار (willam and warnke 1974) لتعريف الانهيار في البيتون. أما الخصائص الخطية فأدخلت عن طريق البارامترين ν و E معامل المرونة ونسبة بواسون على التوالي. علاقة الإجهاد - التشوه للبيتون تم الحصول عليها باستخدام المعادلات التالية لحساب منحنى الإجهاد - التشوه للبيتون (Desayi and Krishnan 1964) [21].

$$f_c = \varepsilon E_c \quad \text{for } 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_1 \quad (1-5)$$

$$f_c = \frac{\varepsilon E_c}{1 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^2} \quad \text{for } \varepsilon_1 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_0 \quad (2-5)$$

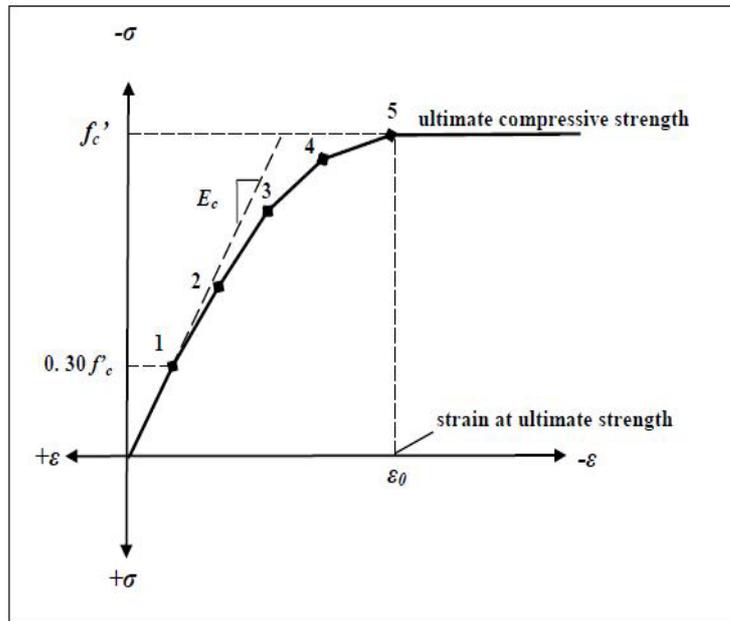
$$f_c = f'_c \quad \text{for } \varepsilon_0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{cu} \quad (3-5)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{2 f'_c}{E_c} \quad (4-5)$$

حيث f_c الإجهاد عند أي قيمة للتشوه
 ε التشوه عند مقاومة الضغط الحدية f'_c
 ε_{cu} تشوه الضغط الحدي

ε_1 التشوه الموافق لقيمة الإجهاد المساوية إلى $0.3 f'_c$

حيث تعرف النقطة الأولى من المنحني بحيث تخضع لقانون هوك $E = \sigma/\varepsilon$. في هذه الدراسة تم افتراض سلوك لدن كامل بعد النقطة 5. يوضح الشكل (7-5) منحني الإجهاد - التشوه المبسط المستخدم في هذه الدراسة.



الشكل (7-5) : منحني الإجهاد - التشوه المبسط في حالة الضغط للبيتون [21]

يتطلب تطبيق معيار انهيار البيتون (willam and warnke 1974) في برنامج ANSYS (الشكل 8-5) تعريف المعاملات التالية:

1- معامل نقل القص في حالة الشق المفتوح.

2- معامل نقل القص في حالة الشق المغلق.

3- مقاومة الإجهاد الحدية في حالة الشد أحادي المحور.

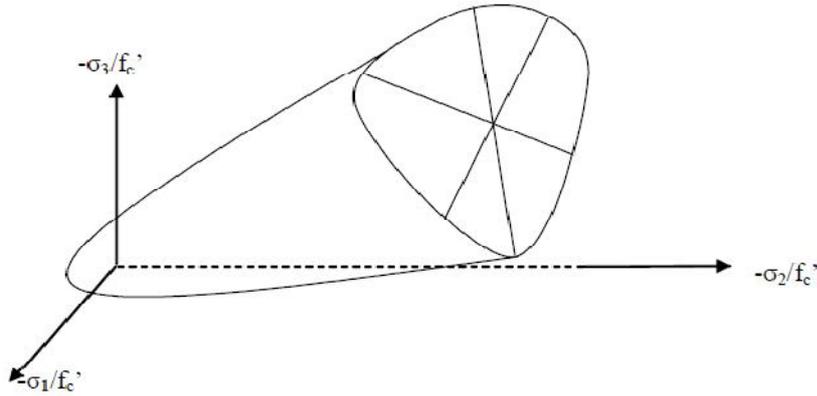
4- مقاومة الإجهاد الحدية في حالة الضغط أحادي المحور.

تتراوح معاملات نقل القص المثالية من 0 إلى 1. حيث تمثل القيمة 0 حالة شق ناعم (خسارة كاملة من نقل القص) وتمثل القيمة 1 حالة شق خشن (لا خسارة في نقل القص). تحدث مشاكل التقارب في الحل عندما قيمة معامل نقل القص في حالة الشق المفتوح أقل من 0.2. حيث تم اعتماد قيمة 0.25 لمعامل نقل القص في حالة الشق المفتوح وقيمة 0.85 لمعامل نقل القص في حالة الشق المغلق لمادة البيتون، كما هو وارد في معظم الدراسات البحثية السابقة.

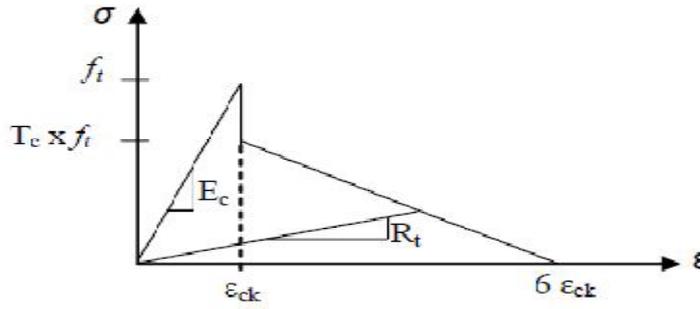
تم اعتماد قيمة مقاومة الشد للبيتون حسب الكود العربي السوري مساوية إلى: [30]

$$f_t = 0.44 \sqrt{f_c} \quad , \quad f_c \text{ (Mpa)} \quad (5-5)$$

يبين الشكل (9-5) منحنى الإجهاد - التشوه في حالة الشد للبيتون المستخدم في برنامج ANSYS، حيث T_c معامل مضروب بالقساوة عند بدء ظهور الشقوق (قيمة افتراضية 0.6) [4] وذلك لتحسين التقارب أثناء التحليل. تم إدخال قيمة لمقاومة التحطم مساوية إلى 1- وذلك لإيقاف قابلية التحطم لعنصر البيتون كما هو مقترح من قبل الباحثين السابقين (2001) Kachlakev, et al. [13]، حيث تكررت مشاكل التقارب عندما تم تشغيل قابلية التحطم للبيتون، وأيضاً عند استخدام التابع (willam and warnke) مع التابع (multilinear isotropic) لتمثيل سلوك مادة البيتون.



الشكل (8-5) : سطح الانهيار willam - warnke في فضاء الاجهادات الرئيسية [28]



الشكل (9-5) : منحنى الإجهاد - التشوه في حالة الشد للبيتون [4]

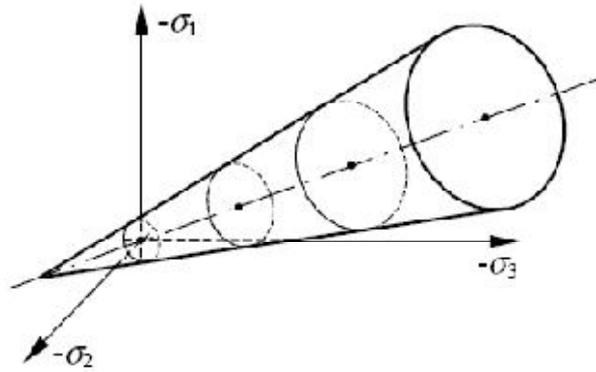
2-5-5 مادة جدار البلوك (masonry):

الخصائص الخطية للمادة أدخلت عن طريق البارمترين v, E . كما تم استخدام معيار willam and warnke (1974) نفسه المستخدم للبيتون، حيث اعتمد قيمة 0.25 لمعامل نقل القص في حالة الشق المفتوح وقيمة 0.75 لمعامل نقل القص في حالة الشق المغلق.

كما تم اعتماد قيمة لمقاومة الشد لجدار البلوك حسب الدارس مساوية إلى: [10]

$$f_t = 2.5\sqrt{f_m} \quad , \quad f_m \text{ (Psi)} \quad (6-5)$$

أما بالنسبة لتمثيل السلوك اللدن لمادة جدار البلوك تم تطبيق معيار السيالن drucker-prager حيث لا يملك هذا المعيار حالة تصلب تشوهية (hardening rule) (مشيراً إلى سلوك مرن - لدن بالكامل) فمعيار drucker-prager هو تعديل لمعيار السيالن von- mises (الشكل 10-5).



الشكل (10-5) : سطح السيالن drucker-prager [9]

يتطلب هذا المعيار حسب برنامج ANSYS تعريف ثلاث بارمترات هي:

1- Φ زاوية الاحتكاك حيث تم افتراض هذه القيمة بالاعتماد على المقالات العلمية وحسب مقاومة الضغط لجدار البلوك.

2- C التماسك الداخلي. وفقاً لـ [29] Zucchini and Lourenco (2007) يمكن تحديد التماسك الداخلي من خلال

إجهاد الضغط وزاوية الاحتكاك كما يلي:

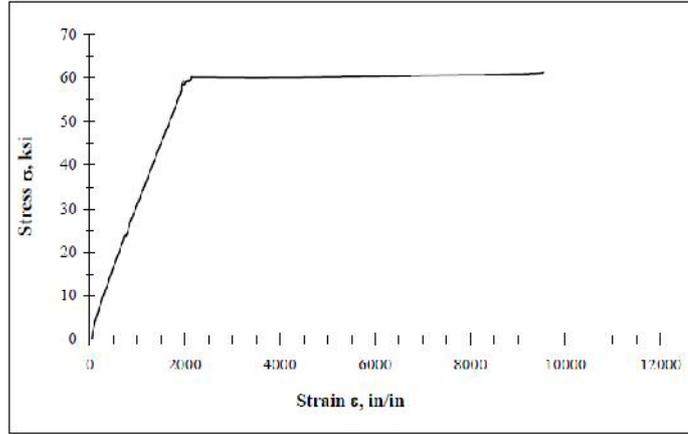
$$c = \frac{1 - \sin \phi_f}{2 \cos \phi_f} \sigma_c \quad (7-5)$$

3- η زاوية التوسع (dilatancy). تقيس هذه الزاوية ارتفاع البلوكة على أخرى عند القص، وهي تنقص للصفير بزيادة انزلاق القص وضغط التقييد، بشكل عام وصلات البناء لها زاوية صغيرة جداً واعتبارها صفراً يؤثر بشكل هامشي على النتائج. تم افتراض قيمة $\eta = 10^\circ$ حيث $\sigma = 0$ إجهاد الضغط الخارجي المطبق على الإطار البيتوني.

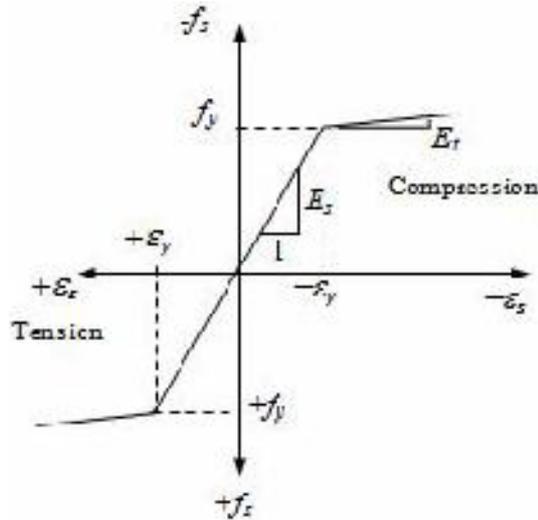
3-5-5 مادة فولاذ التسليح:

تم افتراضها لتكون ثنائية الخطية متجانسة في كافة الاتجاهات (bilinear isotropic) وهذه المادة أيضاً مستندة على معيار انهيار فون ميسيس. الخصائص الخطية للمادة أدخلت عن طريق البارمترين $v \cdot E$. أما الخصائص غير الخطية فقد تم إدخالها عن طريق البارمترين E_t ، f_y (الشكل 5-12).

حيث يمثل f_y إجهاد السيلان للفولاذ، أما E_t فتتمثل معامل التقسية التشوهية أو (tangent modulus). يبين الشكل (5-11) منحنى الإجهاد - التشوه لفولاذ التسليح المستخدم في التجارب التي تم نمذجتها حاسوبياً، وهو نفسه يدخل في برنامج ANSYS بحالتي الشد والضغط وذلك عن طريق تعريف البارمترات السابقة الذكر.



الشكل (5-11) : منحنى الإجهاد - التشوه لفولاذ التسليح المستخدم في التجارب في حالة الشد [10]



الشكل (5-12) : منحنى الإجهاد - التشوه لفولاذ التسليح [4]

4-5-5 السطح البيئي بين الإطار البيتوني وجدران البلوك:

تمت نمذجة هذا السطح بواسطة زوج احتكاك سطح - إلى - سطح. حيث من المفروض أن تطبق الخصائص الميكانيكية للمونة الإسمنتية لعنصر الاحتكاك هذا الذي يملك سلوك Mohr - columb الاحتكاكي.

يتطلب هذا المعيار حسب برنامج ANSYS تعريف بارامترين هما:

1- معامل الاحتكاك

2- إجهاد التماسك

حيث تم تحديدهما بالاعتماد على المقالات العلمية والدراسات البحثية السابقة وذلك بالاعتماد على مقاومة المونة الإسمنتية الموجودة في التجارب.

6-5 نمذجة اختبارات الباحث Edgardo M. Vélez Vélez:

1-6-5 النموذج الأول الحاسوبي:

تم بناء هذا النموذج بالاعتماد على العناصر الواردة سابقاً، حيث يبين الشكل (5-16) شكل النموذج وتقسيمات الشبكة التي تم اعتمادها، كما يبين الشكل (5-17) عناصر تسليح الإطار البيتوني. تم تثبيت عقد السطح السفلي للقاعدة وذلك بإعطائهم انتقالات صفرية في الاتجاهات الثلاثة Z،Y،X. وتطبيق انتقالات دورية جانبية متزايدة في عقد بلاطة السقف للإطار المبينة بالشكل (5-18) حيث تم تحديدها بالاعتماد على قيم الانتقال من ذروات الحلقات الهستيرية الناتجة من التجارب المخبرية.

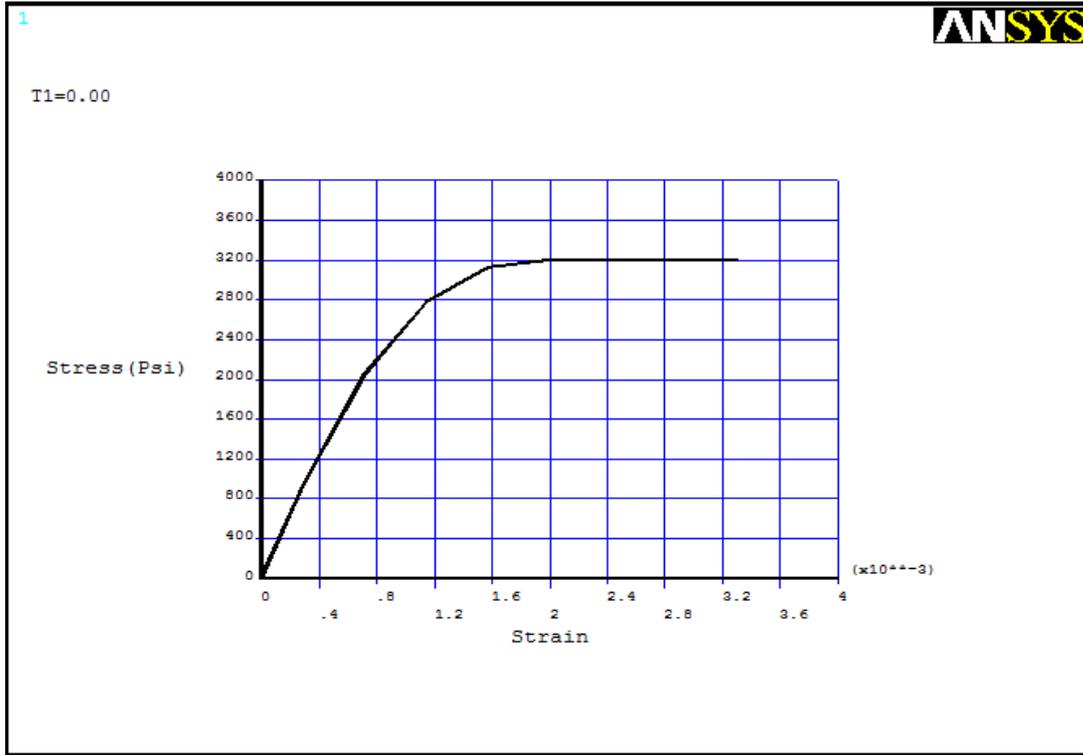
نوع التحليل المستخدم في الدراسة التحليلية هو تحليل ستاتيكي لا خطي، حيث في نهاية التحليل تم الحصول على النتائج التالية من مخططات ومنحنيات.

مواصفات المواد المدخلة في برنامج ANSYS للنموذج الأول:

❖ البيتون:

• القاعدة (مادة 1):

تم إدخال معامل المرونة بقيمة 3228434.9 (Psi) (Mpa 22259.2) ومعامل بواسون بقيمة 0.2 والوزن الحجمي للبيتون بقيمة 0.09033 (p/in³) (Kg/m³ 2500). أما مقاومة البيتون على الضغط فقيمتها 3208 (Psi) (Mpa 22.1) وتدخل في البرنامج بقيمة (-1) عند استخدام التابع (willam and warnke) مع التابع (multilinear isotropic). بينما مقاومة البيتون على الشد فأدخلت بقيمة 300.13 (Psi) (Mpa 2.1). أما معامل نقل القص في حالة الشق المفتوح فأدخل بقيمة 0.25، بينما تم اعتماد قيمة لمعامل نقل القص في حالة الشق المغلق مساوية إلى 0.85. أما منحنى الإجهاد - التشوه فتم إدخاله من خلال التابع (multilinear isotropic) كما يبين الشكل (5-13).

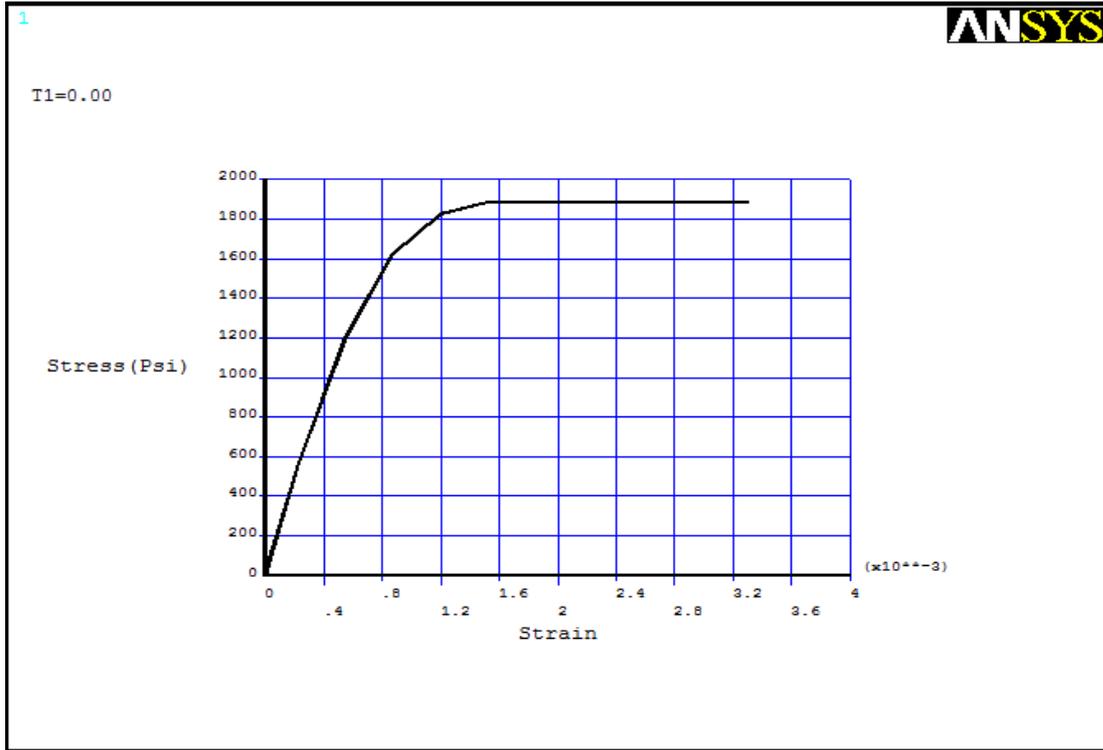


الشكل (13-5) : منحنى الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لقاعدة النموذج الأول

• الجدران (مادة 2):

تم إدخال معامل المرونة بقيمة 2474088.9 (Psi) (Mpa 17058.2) أما معامل المرونة المتشقق بقيمته 5.2 % من قيمة معامل المرونة الابتدائي ومعامل بواسون بقيمة 0.2 والوزن الحجمي للبيتون بقيمة 0.09033 (p/in³) 2500 (Kg/m³).

أما مقاومة البيتون على الضغط بقيمتها 1884 (Psi) (Mpa 13) وتدخل في البرنامج بقيمة (-1)، بينما مقاومة البيتون على الشد فأدخلت بقيمة 230 (Psi) (Mpa 1.6). أما معامل نقل القص في حالة الشق المفتوح فأدخل بقيمة 0.25، بينما تم اعتماد قيمة لمعامل نقل القص في حالة الشق المغلق مساوية إلى 0.85. أما منحنى الإجهاد - التشوه فتم إدخاله من خلال التابع (multilinear isotropic) كما يبين الشكل (14-5).

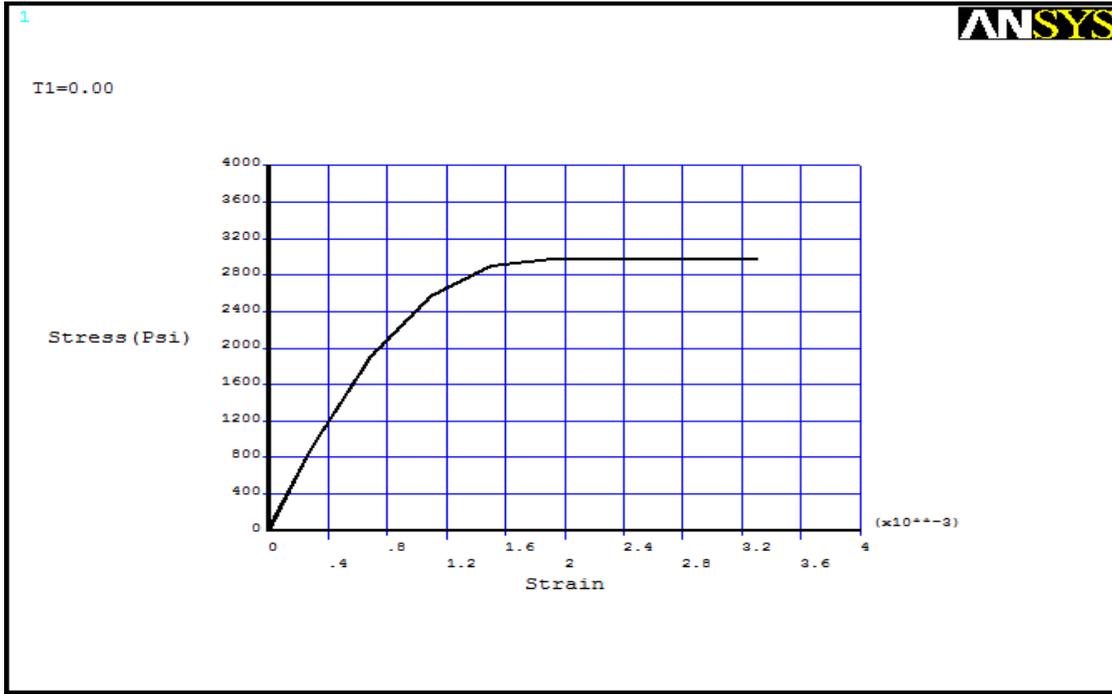


الشكل (14-5) : منحنى الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لجدران النموذج الأول

• السقف (مادة 3):

تم إدخال معامل المرونة بقيمة 3111072.3 (Psi) (Mpa 21450) ومعامل بواسون بقيمة 0.2 والوزن الحجمي للبيتون بقيمة 0.09033 (p/in³) (Kg/m³ 2500). أما مقاومة البيتون على الضغط فقيمته 2979 (Psi) (Mpa 20.5) وتدخل في البرنامج بقيمة (-1)، بينما مقاومة البيتون على الشد فأدخلت بقيمة 289.22 (Psi) (Mpa 2). أما معامل نقل القص في حالة الشق المفتوح فأدخل بقيمة 0.25، بينما تم اعتماد قيمة لمعامل نقل القص في حالة الشق المغلق مساوية إلى 0.85.

أما منحنى الإجهاد - التشوه فتم إدخاله من خلال التابع (multilinear isotropic) كما يبين الشكل (15-5).

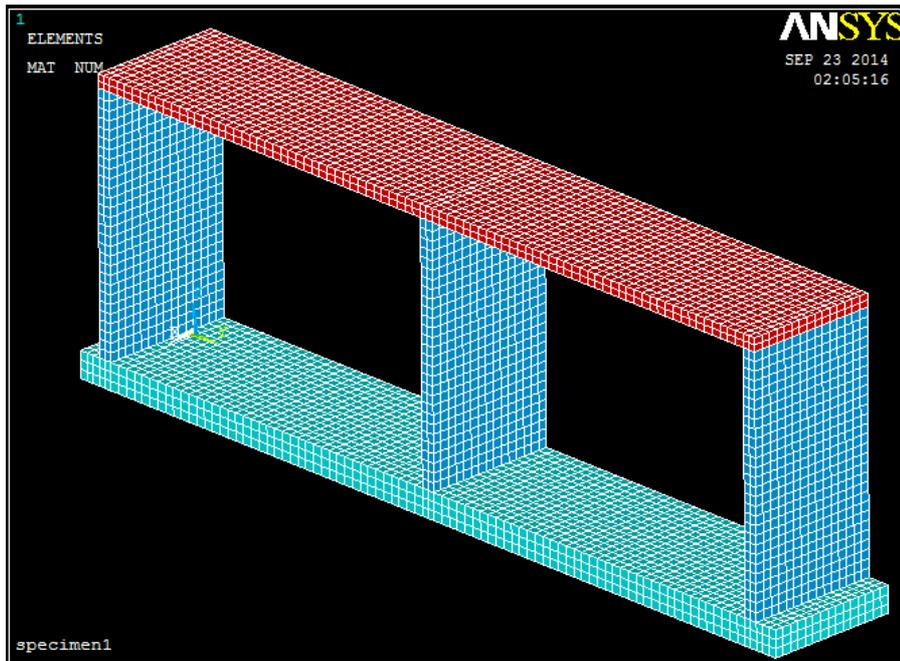


الشكل (5-15) : منحنى الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لسقف النموذج الأول

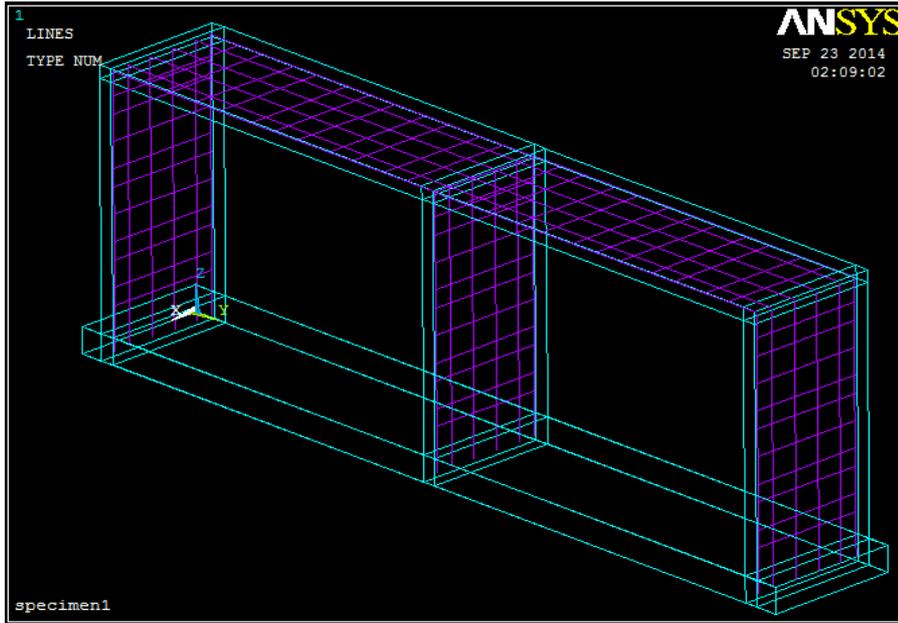
❖ الفولاذ (مادة 4):

تم إدخال معامل المرونة بقيمة 27573529.41 (Psi) 190112.4 (Mpa) ومعامل بواسون بقيمة 0.3 والوزن الحجمي للفولاذ بقيمة 0.28184 (p/in³) (7800 Kg/m³). أما معامل التقسية التشوهية فأدخل بقيمة 206874.659 (Psi) 1426.3 (Mpa) وحد السيلا للفولاذ أدخل بقيمة 60000 (Psi) 413.7 (Mpa).

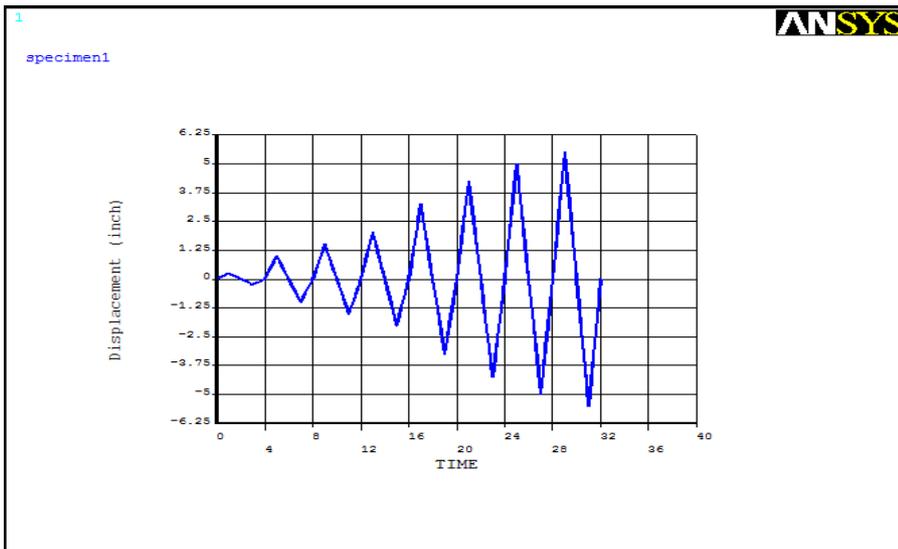
ملاحظة : 1 Mpa = 145.038 Psi



الشكل (5-16) : النموذج الأول الحاسوبي

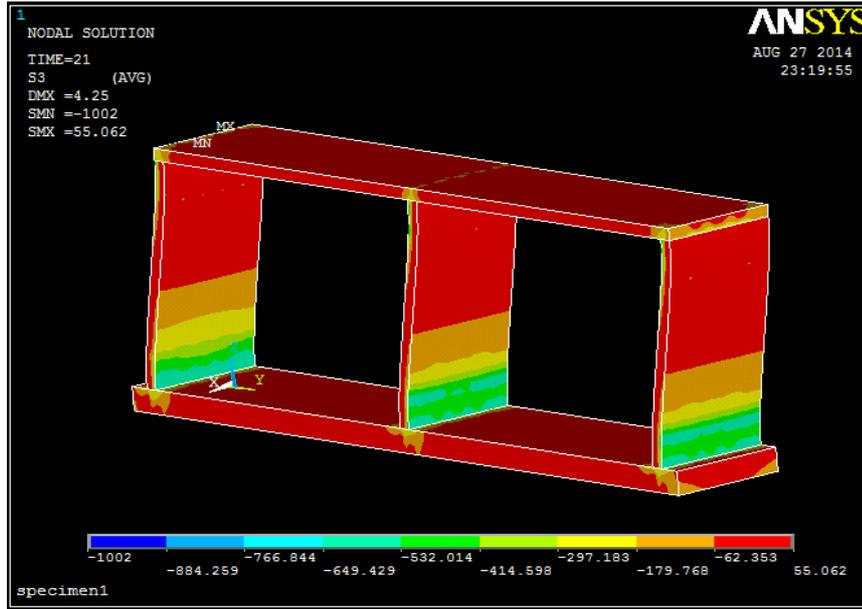


الشكل (17-5) : عناصر فولاذ التسليح للنموذج الأول الحاسوبي



الشكل (18-5) : مخطط انتقال سقف النموذج الأول الحاسوبي مع الزمن

يبين الشكل (19-5) الإجهادات الرئيسية باتجاه المحور Z، وذلك عند الانتقال المطبق بقيمة +4.25 inch حيث تركزت الإجهادات في أماكن اتصال الجدران مع القاعدة والسقف بشكل مشابه لأماكن المفاصل اللدنة المتشكلة في النموذج التجريبي.

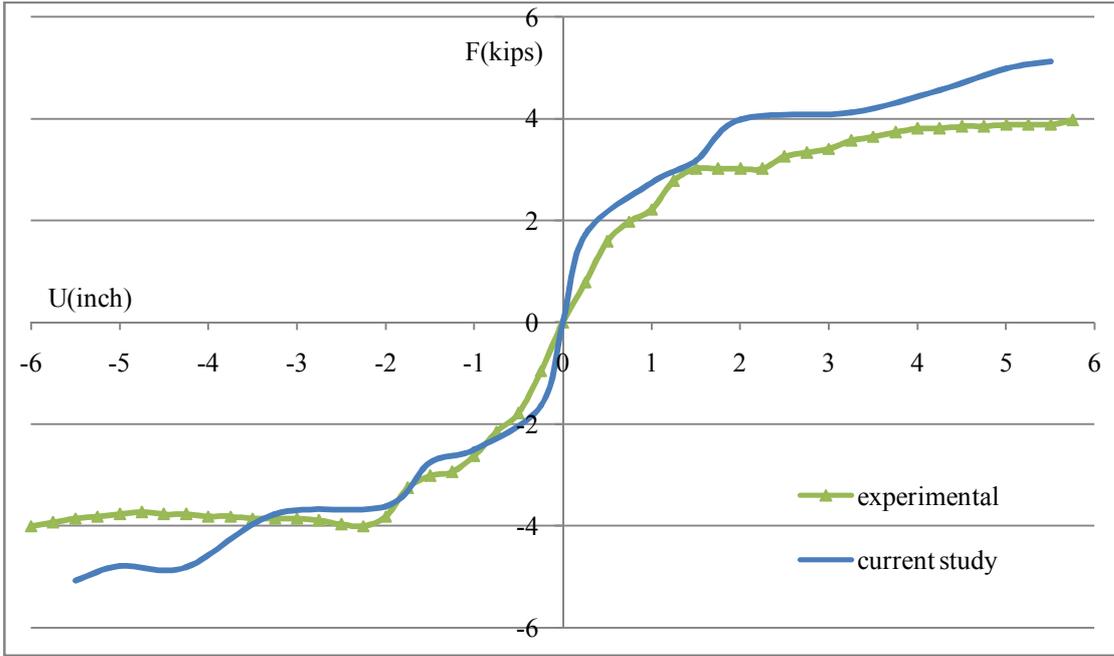


الشكل (5-19) : الإجهادات الرئيسية باتجاه المحور Z عند الانتقال المطبق بقيمة +4.25 inch

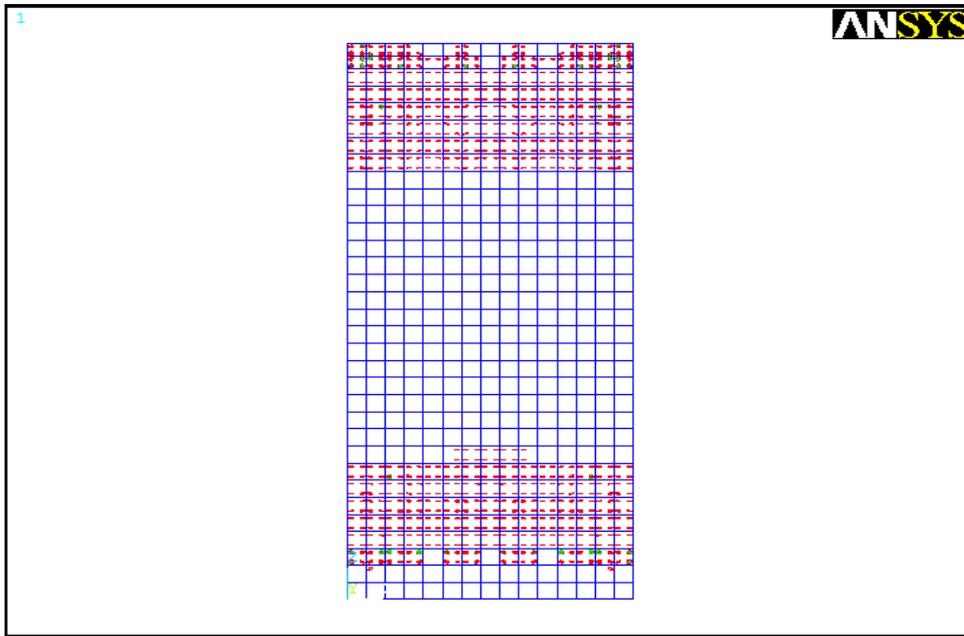
يبين الشكل (5-20) علاقة الانتقال (المحور الأفقي) - القص القاعدي (المحور الشاقولي) لكل من الدراسة التجريبية (experimental) والدراسة التحليلية الحالية باستخدام برنامج ANSYS.

يظهر من الشكل أن النموذج التحليلي أبدى في بداية التحليل قساوة أكبر من النموذج التجريبي، وهذا طبيعي نتيجة التشققات المكروية التي تنشأ في البيتون في أعمارها الأولى والتي لا يلحظها النموذج التحليلي. حيث تم في هذه المرحلة وضع معامل المرونة الابتدائي للجدران البيتونية، كما يبين المنحني التحليلي أن القساوة ثابتة حتى الوصول إلى انتقال 0.25 inch وقوة مقابلة 1.726 Kips، وبعد هذه النقطة لمقاربة النتائج التحليلية مع التجريبية تم وضع معامل المرونة المتشقق للجدران البيتونية، ولحسابه تم إهمال مساحة مقطع البيتون المتشقق ضمن مقطع الجدار البيتوني الخاضع للانعطاف. حيث بلغت القوة الأعظمية بحالة التجربة 4 Kips [10]، بينما نتيجة التحليل بلغت 5.131 Kips أي بفارق 28.3%. ويعود هذا الفرق الكبير إلى أنه لم يتم نمذجة الاحتكاك الحاصل بين عناصر فولاذ التسليح والبيتون المحيط بها واعتبارهما في حالة التصاق تام.

ويبين الشكل (5-21) واجهة في الجدار البيتوني الخارجي اليميني للنموذج الأول والشقوق المنتشرة ضمنه، حيث تبدأ الشقوق الأولى بالظهور عند مناطق اتصال الجدار مع بلاطة الأرضية وبلاطة السقف، حيث تكون عزوم الانعطاف في هذه المناطق أكبر من غيرها، ثم في دورات التحميل الأكبر اللاحقة تبدأ الشقوق بالظهور في مناطق أكثر مما يؤدي إلى انخفاض القساوة.



الشكل (20-5) : المقارنة بين مغلفي المنحنين الهستيريين التجريبي والتحليلي للنموذج الأول



الشكل (21-5) : تشكل وانتشار التشققات في الجدران البيتونية للنموذج الأول

2-6-5 النموذج الثاني الحاسوبي:

تم بناء هذا النموذج بالاعتماد على العناصر الواردة سابقاً، حيث يبين الشكل (25-5) شكل النموذج وتقسيمات الشبكة التي تم اعتمادها، كما يبين الشكل (26-5) عناصر تسليح الإطار البيتوني. تم تثبيت عقد السطح السفلي للقاعدة وذلك بإعطائهم انتقالات صفرية في الاتجاهات الثلاثة Z، Y، X. وتطبيق انتقالات دورية جانبية متزايدة في عقد بلاطة السقف للإطار المبينة بالشكل (27-5).

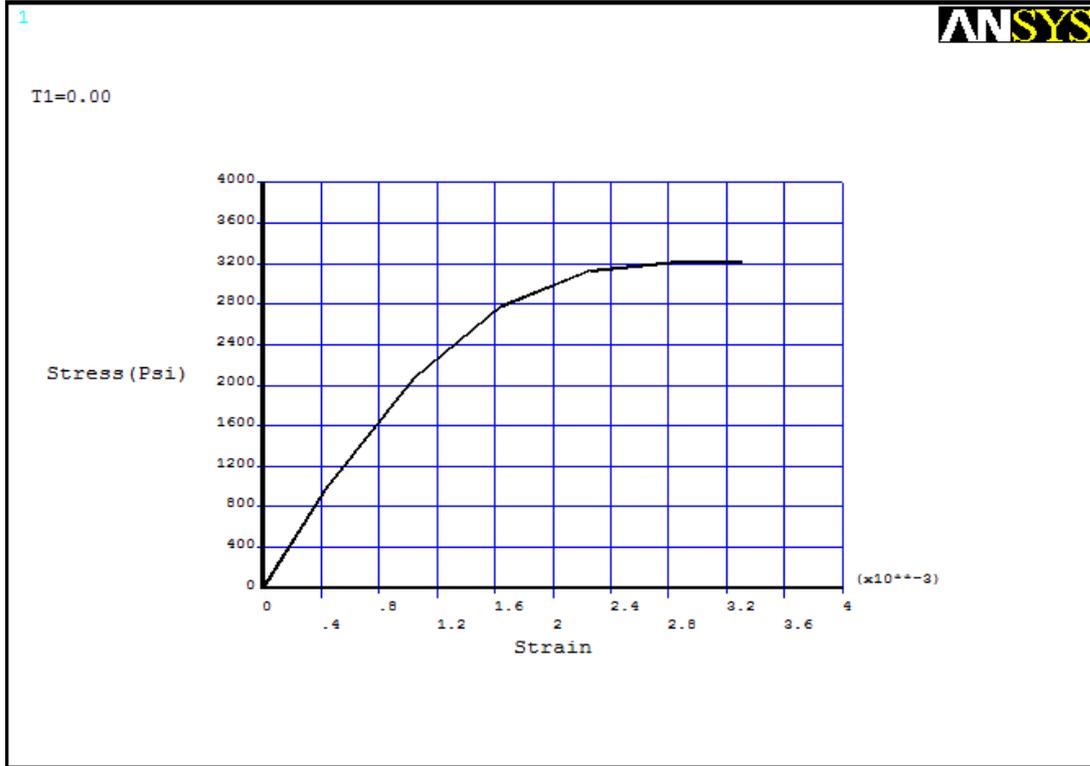
مواصفات المواد المدخلة في برنامج ANSYS للنموذج الثاني:

❖ البيتون:

• القاعدة (مادة 1):

تم إدخال معامل المرونة بقيمة (Psi) 3236475.86 (Mpa 22314.7) ومعامل بواسون بقيمة 0.2 والوزن الحجمي للبيتون بقيمة (p/in³) 0.09033 (Kg/m³ 2500). أما مقاومة البيتون على الضغط فقيمتها (Psi) 3224 (Mpa 22.2) وتدخل في البرنامج بقيمة (-1)، بينما مقاومة البيتون على الشد فأدخلت بقيمة (Psi) 300.88 (Mpa 2.1). أما معامل نقل القص في حالة الشق المفتوح فأدخل بقيمة 0.25، بينما تم اعتماد قيمة لمعامل نقل القص في حالة الشق المغلق مساوية إلى 0.85.

أما منحنى الإجهاد - التشوه فتم إدخاله من خلال التابع (multilinear isotropic) كما يبين الشكل (22-5).

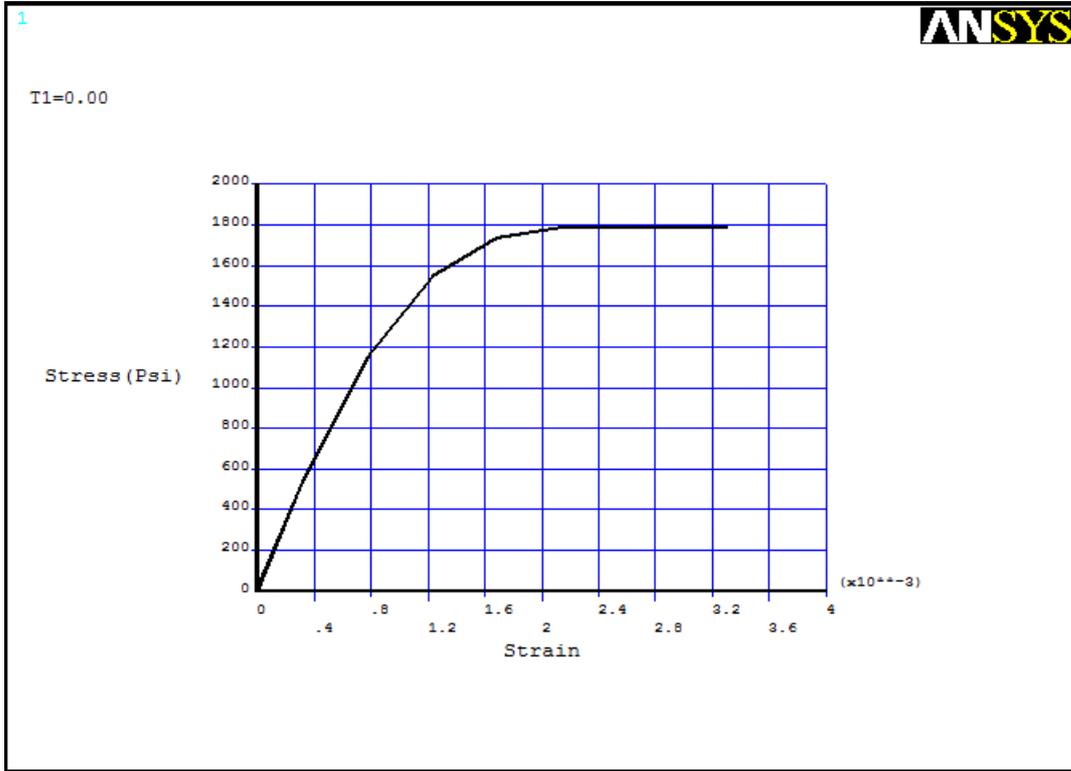


الشكل (22-5) : منحنى الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لقاعدة النموذج الثاني

• الجدران (مادة 2):

تم إدخال معامل المرونة بقيمة 2410904.6 (Psi) (Mpa 16622.6) أما معامل المرونة المتشقق بقيمته 5.2 % من قيمة معامل المرونة الابتدائي ومعامل بواسون بقيمة 0.2 والوزن الحجمي للبيتون بقيمة 0.09033 (p/in³) (Kg/m³ 2500).

أما مقاومة البيتون على الضغط فقيمتها 1789 (Psi) (Mpa 12.3) وتدخّل في البرنامج بقيمة (-1)، بينما مقاومة البيتون على الشد فأدخلت بقيمة 224.13 (Psi) (Mpa 1.5). أما معامل نقل القص في حالة الشق المفتوح فأدخل بقيمة 0.25، بينما تم اعتماد قيمة لمعامل نقل القص في حالة الشق المغلق مساوية إلى 0.85. أما منحنى الإجهاد - التشوه فتم إدخاله من خلال التابع (multilinear isotropic) كما يبين الشكل (5-23).

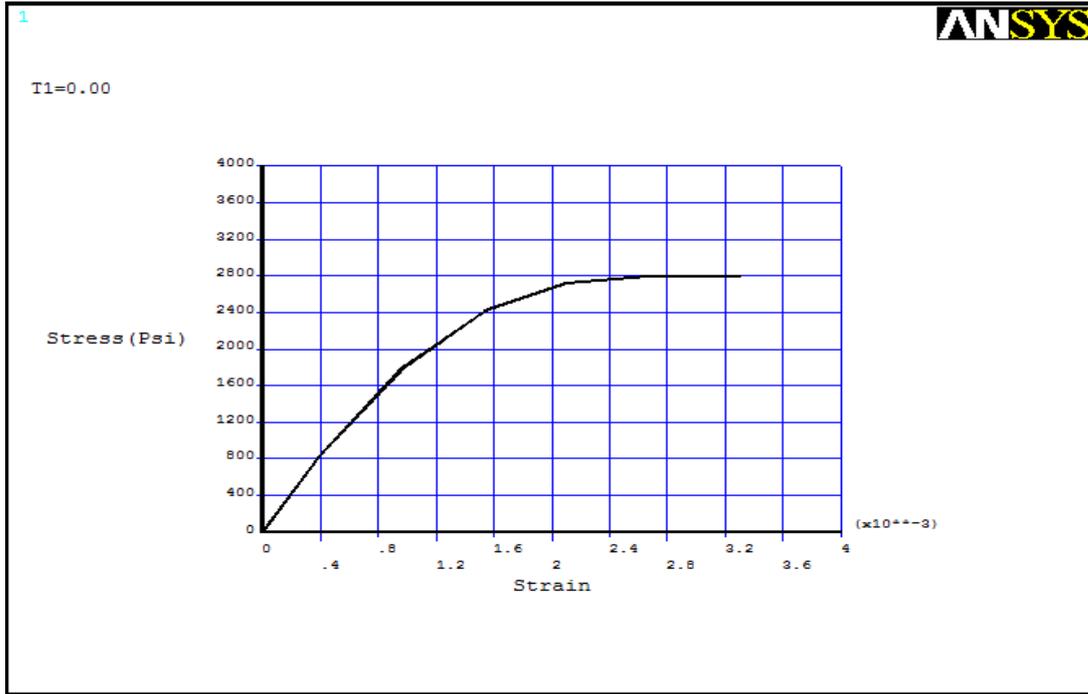


الشكل (5-23) : منحنى الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لجدران النموذج الثاني

• السقف (مادة 3):

تم إدخال معامل المرونة بقيمة 3012923.165 (Psi) (Mpa 20773.3) ومعامل بواسون بقيمة 0.2 والوزن الحجمي للبيتون بقيمة 0.09033 (p/in³) (Kg/m³ 2500). أما مقاومة البيتون على الضغط فقيمتها 2794 (Psi) (Mpa 19.3) وتدخّل في البرنامج بقيمة (-1)، بينما مقاومة البيتون على الشد فأدخلت بقيمة 280.1 (Psi) (Mpa 1.9) أما معامل نقل القص في حالة الشق المفتوح فأدخل بقيمة 0.25، بينما تم اعتماد قيمة لمعامل نقل القص في حالة الشق المغلق مساوية إلى 0.85.

أما منحنى الإجهاد - التشوه فتم إدخاله من خلال التابع (multilinear isotropic) كما يبين الشكل (5-24).



الشكل (24-5) : منحني الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لسقف النموذج الثان

❖ الفولاذ (مادة 4):

تم إدخال معامل المرونة بقيمة (Psi) 27573529.41 (Mpa 190112.4) ومعامل بواسون بقيمة 0.3 والوزن الحجمي للفولاذ بقيمة (p/in³) 0.28184 (Kg/m³ 7800). أما معامل التقسية التشوهية فأدخل بقيمة 206874.659 (Psi) 60000 للفولاذ أدخل بقيمة (Psi) 1426.3 (Mpa 413.7).

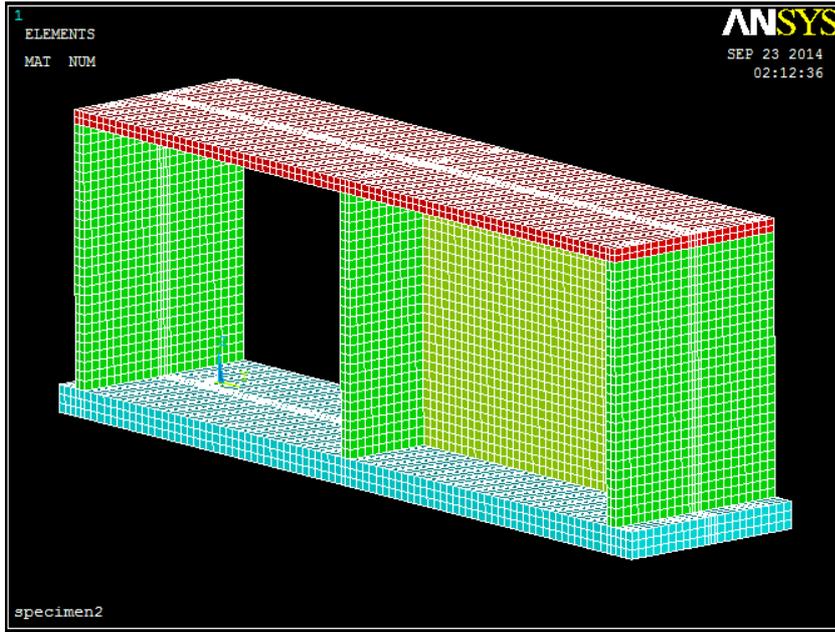
❖ البلوك (مادة 5):

تم إدخال معامل المرونة بقيمة (Psi) 1530000 (Mpa 10549) ومعامل بواسون بقيمة 0.25 والوزن الحجمي للبلوك بقيمة (p/in³) 0.0785 (Kg/m³ 2172.5). السماكة المكافئة لجدار البلوك المنمذج (inch) 5.76 (cm 14.6) حيث حسبت باعتبار أن الفجوات الثلاثة لوحدة البلوك مملوءة جميعها بالملاط. أما مقاومة البلوك على الضغط فأدخلت بقيمة (Psi) 1502 (Mpa 10.4)، بينما مقاومة البلوك على الشد فأدخلت بقيمة (Psi) 96.89 (Mpa 0.7). أما معامل نقل القص في حالة الشق المفتوح فأدخل بقيمة 0.25، بينما تم اعتماد قيمة لمعامل نقل القص في حالة الشق المغلق مساوية إلى 0.75.

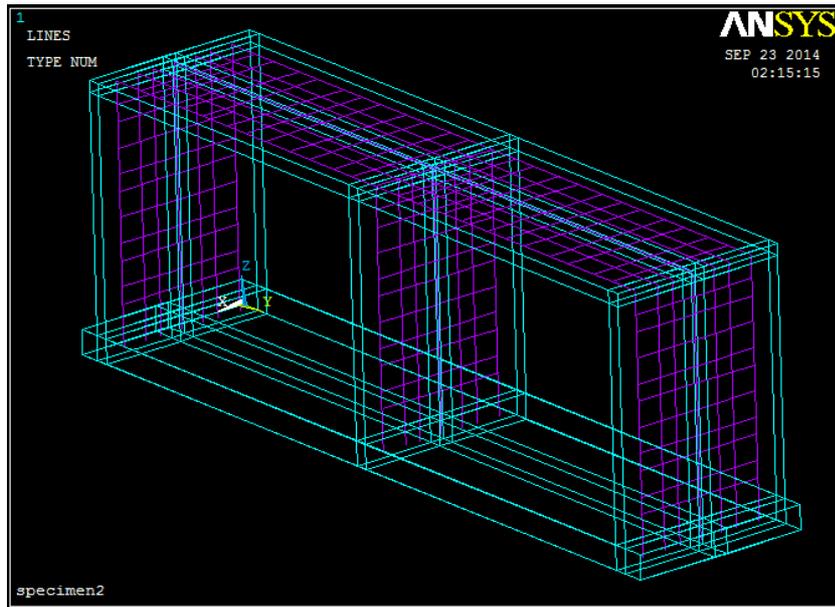
بالنسبة لمعيار drucker-prager فتم تعريفه من خلال إدخال زاوية الاحتكاك الداخلي بقيمة 44° وزاوية التوسع (dilatancy) بقيمة 10° والتماسك الداخلي بقيمة (Psi) 318.78 (Mpa 2.2).

❖ العنصر الاحتكاكي:

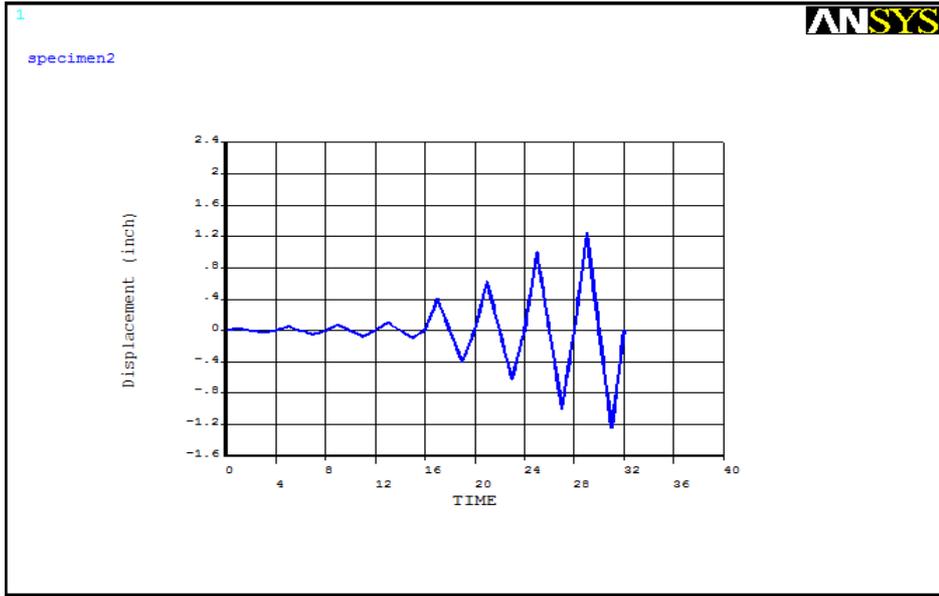
تم تعريفه من خلال إدخال معامل الاحتكاك بقيمة 0.8، وإجهاد التماسك بقيمة (Psi) 50.76 (Mpa 0.35).



الشكل (25-5) : النموذج الثاني الحاسوبي

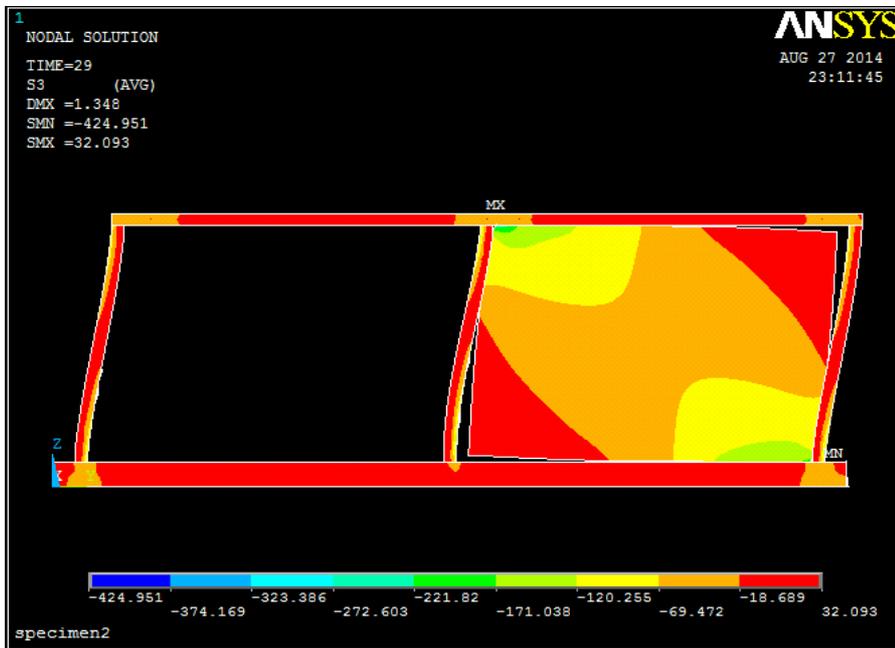


الشكل (26-5) : عناصر فولاذ التسليح للنموذج الثاني الحاسوبي



الشكل (27-5) : مخطط انتقال سقف النموذج الثاني الحاسوبي مع الزمن

يبين الشكل (28-5) الإجهادات الرئيسية باتجاه المحور Z، وذلك عند الانتقال المطبق بقيمة +1.25 inch حيث يظهر تشكّل عنصر ضغط قطري في جدار البلوك للنموذج الثاني التحليلي وتركز الإجهادات عند أركان الجدار بشكل مشابه لنمط انهيار النموذج التجريبي حيث تم تحطم زوايا الجدار.



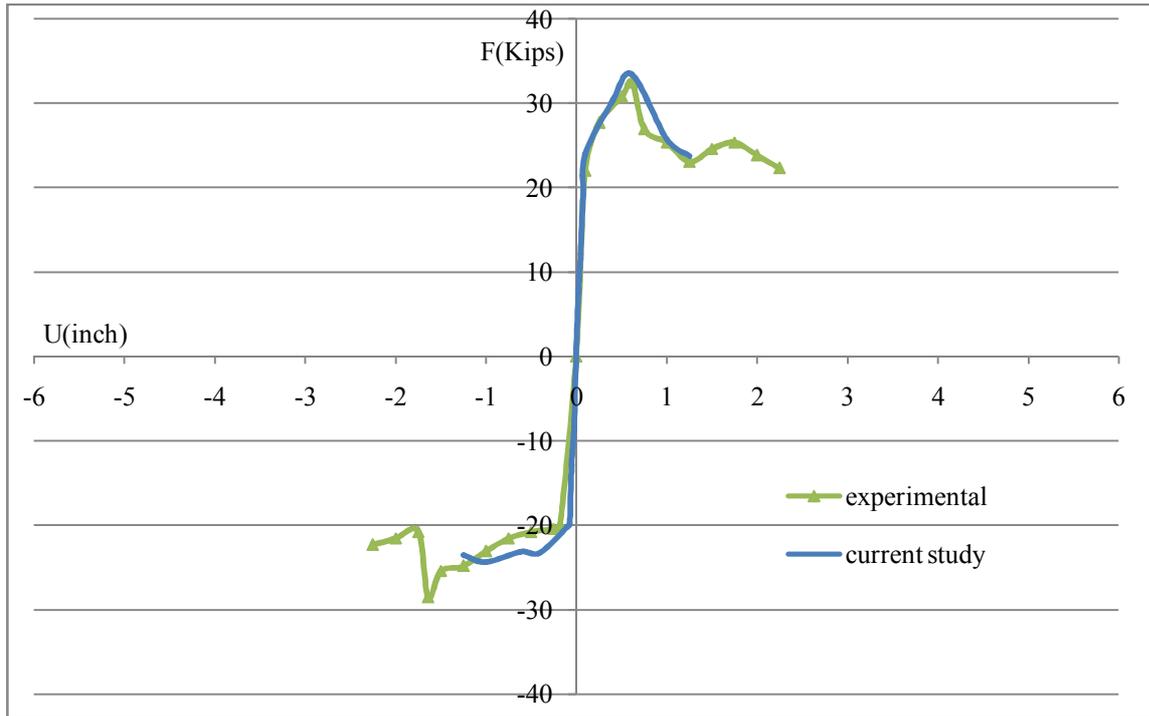
الشكل (28-5) : الإجهادات الرئيسية باتجاه المحور Z عند الانتقال المطبق بقيمة +1.25 inch

يبين الشكل (5-29) علاقة الانتقال (المحور الأفقي) - القص القاعدي (المحور الشاقولي) لكل من الدراسة التجريبية (experimental) والدراسة التحليلية الحالية باستخدام برنامج ANSYS.

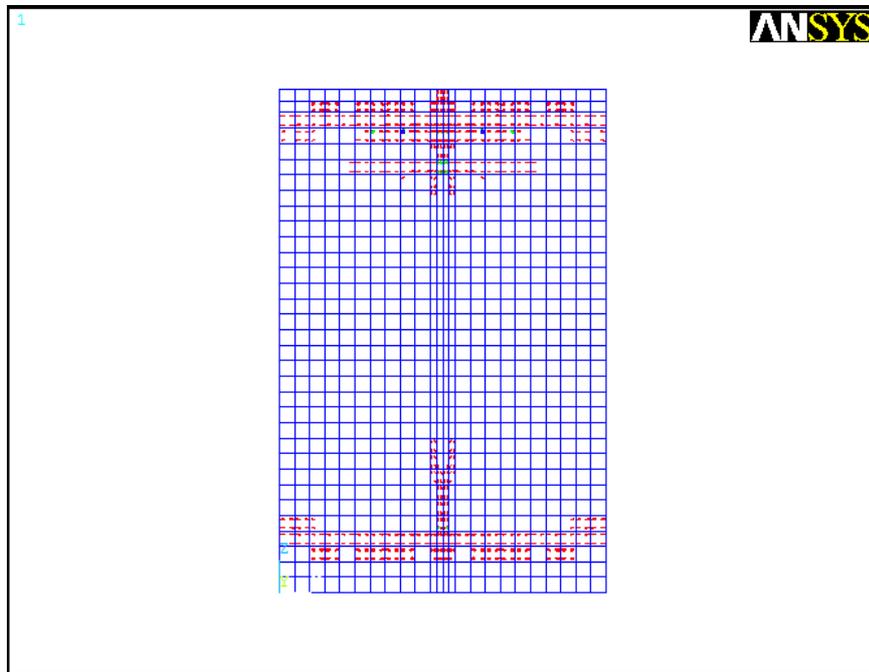
نلاحظ التطابق بين المنحنيين التجريبي والتحليلي في المرحلة المرنة، حيث تم في هذه المرحلة وضع معامل المرونة الابتدائي للجدران البيتونية وجدار البلوك، كما يبين المنحني التحليلي أن القساوة ثابتة حتى الوصول إلى انتقال 0.1 inch وقوة مقابلة 23.993 Kips، وبعد هذه النقطة لمقاربة النتائج التحليلية مع التجريبية تم وضع معامل المرونة المشتق للجدران البيتونية وتخفيض معامل المرونة لجدار البلوك بنسب معينة.

حيث بلغت القوة الأعظمية باتجاه السحب بحالة التجربة 32.5 Kips [21]، بينما نتيجة التحليل بلغت 33.405 Kips أي بفارق 2.8%. كما بلغت القوة الأعظمية باتجاه الدفع بحالة التجربة 28.52 Kips [10]، بينما نتيجة التحليل بلغت 24.369 Kips أي بفارق 16.9%. يعود هذا الفرق الكبير باتجاه الدفع بسبب أن تقريب النتائج التحليلية مع التجريبية ابتدأ من جهة السحب، وذلك بتخفيض معامل مرونة جدار البلوك، وعند تطبيق الحمل باتجاه الدفع وجد أنه لتقريب النتائج التحليلية مع التجريبية يجب زيادة قيمة معامل مرونة جدار البلوك عن قيمته السابقة المخفضة اللازمة لدورة التحميل باتجاه السحب، وهذا غير منطقي حيث أن المادة بشكل عام تتدهور عند دورات التحميل المعكوسة المتتالية. لذلك تم وضع قيمة معامل مرونة جدار البلوك نفسه المدخل في دورة التحميل السابقة أي باتجاه السحب، وذلك لتقليل الفروق أكثر ما يمكن بين المنحني التحليلي والتجريبي باتجاه الدفع. يعود هذا الاختلاف أساساً بسبب السلوك الحقيقي الشاذ أو غير المتجانس لجدار البلوك، وعدم نمذجته بشكل مفصل أي وحدات البلوك لوحدها والمونة الإسمنتية.

ويبين الشكل (5-30) واجهة في الجدار البيتوني الخارجي اليميني للنموذج الثاني والشقوق المنتشرة ضمنه، حيث نلاحظ انخفاض نسبة انتشارها بالمقارنة مع النموذج الأول وتركزها ضمن مناطق اتصال جدار البلوك مع الجدران البيتونية، مشيرة إلى انهيار القص المتقرب الملاحظ في النموذج التجريبي.



الشكل (29-5) : المقارنة بين مغلفي المنحنين الهستريين التجريبي والتحليلي للنموذج الثاني



الشكل (30-5) : تشكل وانتشار التشققات في الجدران البيتونية للنموذج الثاني

3-6-5 النموذج الثالث الحاسوبي:

تم بناء هذا النموذج بالاعتماد على العناصر الواردة سابقاً، حيث يبين الشكل (34-5) شكل النموذج وتقسيمات الشبكة التي تم اعتمادها، كما يبين الشكل (35-5) عناصر تسليح الإطار البيتوني وجدار البلوك. تم تثبيت عقد السطح السفلي للقاعدة وذلك بإعطائهم انتقالات صفرية في الاتجاهات الثلاثة Z،Y،X. وتطبيق انتقالات دورية جانبية متزايدة في عقد بلاطة السقف للإطار المبينة بالشكل (36-5).

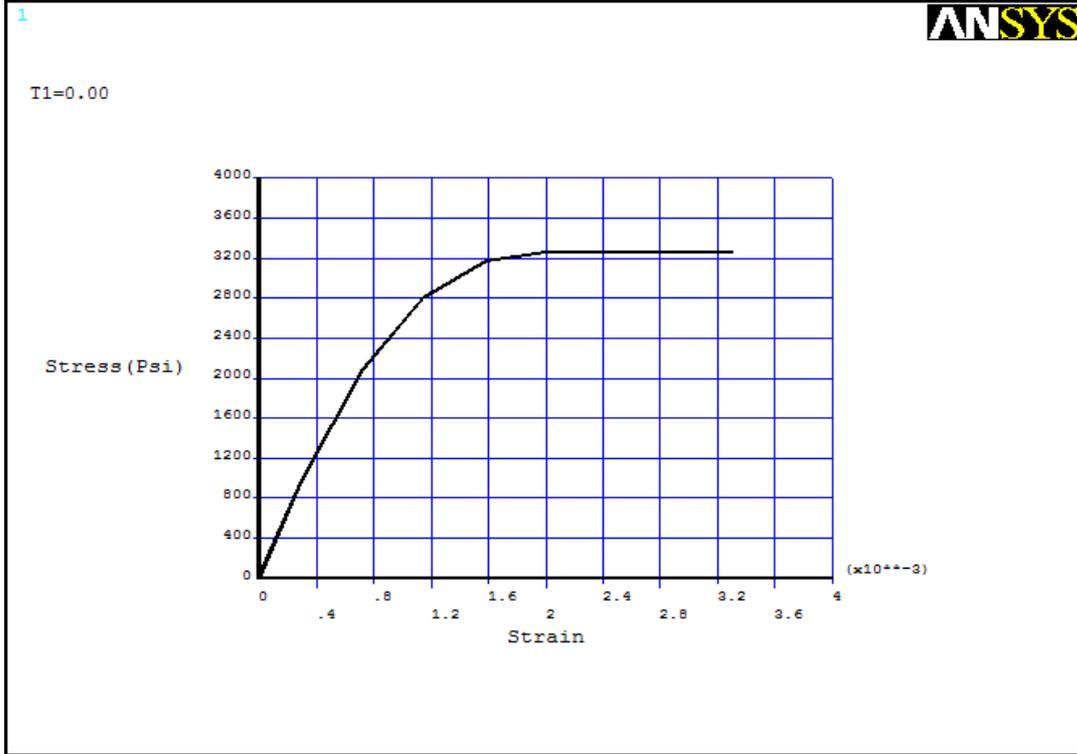
مواصفات المواد المدخلة في برنامج ANSYS للنموذج الثالث:

❖ البيتون:

• القاعدة (مادة 1):

تم إدخال معامل المرونة بقيمة 3253996.159 (Psi) (Mpa 22435.5) ومعامل بواسون بقيمة 0.2 والوزن الحجمي للبيتون بقيمة 0.09033 (p/in³) (Kg/m³ 2500). أما مقاومة البيتون على الضغط فقيمتها 3259 (Psi) (Mpa 22.5) وتدخّل في البرنامج بقيمة (-1)، بينما مقاومة البيتون على الشد فأدخلت بقيمة 302.51 (Psi) (Mpa 2.1). أما معامل نقل القص في حالة الشق المفتوح فأدخل بقيمة 0.25، بينما تم اعتماد قيمة لمعامل نقل القص في حالة الشق المغلق مساوية إلى 0.85.

أما منحنى الإجهاد - التشوه فتم إدخاله من خلال التابع (multilinear isotropic) كما يبين الشكل (31-5).



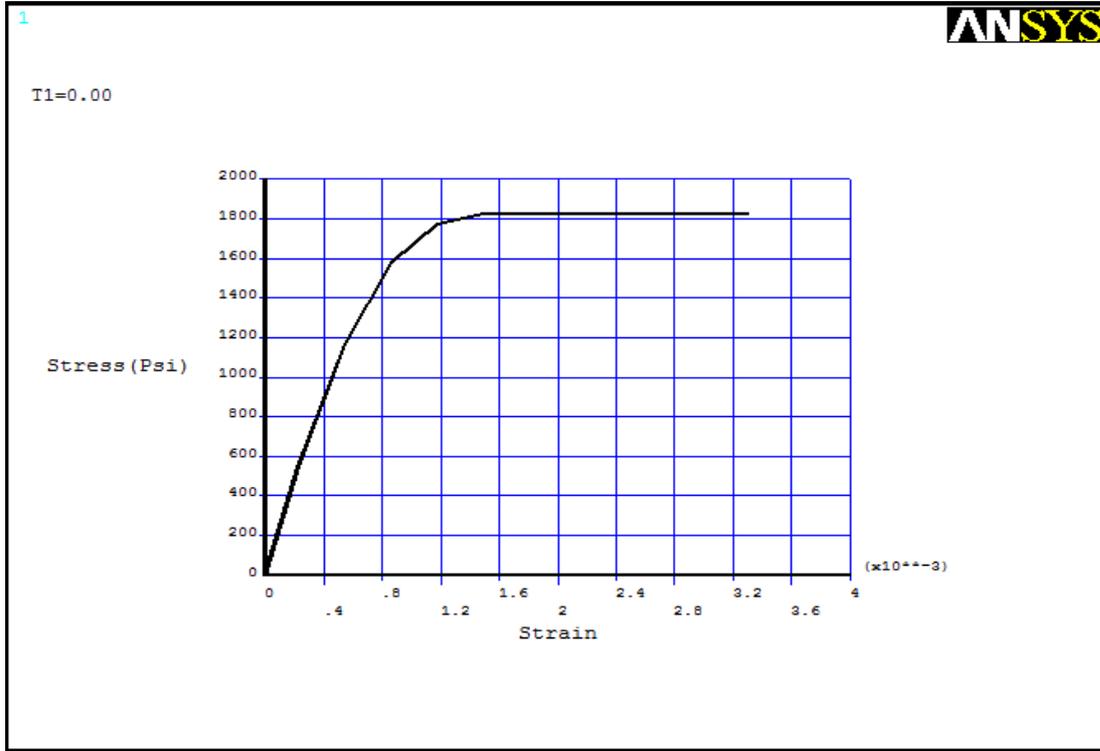
الشكل (31-5) : منحنى الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لقاعدة النموذج الثالث

• الجدران (مادة 2):

تم إدخال معامل المرونة بقيمة (Psi) 2434373.841 (Mpa 16784.4) أما معامل المرونة المتشقق فقيمته 5.2 % من قيمة معامل المرونة الابتدائي ومعامل بواسون بقيمة 0.2 والوزن الحجمي للبيتون بقيمة $0.09033 \text{ (p/in}^3\text{)}$ $2500 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$.

أما مقاومة البيتون على الضغط فقيمها (Psi) 1824 (Mpa 12.6) وتدخّل في البرنامج بقيمة (-1)، بينما مقاومة البيتون على الشد فأدخلت بقيمة (Psi) 226.31 (Mpa 1.6). أما معامل نقل القص في حالة الشق المفتوح فأدخل بقيمة 0.25، بينما تم اعتماد قيمة لمعامل نقل القص في حالة الشق المغلق مساوية إلى 0.85.

أما منحنى الإجهاد - التشوه فتم إدخاله من خلال التابع (multilinear isotropic) كما يبين الشكل (32-5).



الشكل (32-5) : منحنى الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لجدران النموذج الثالث

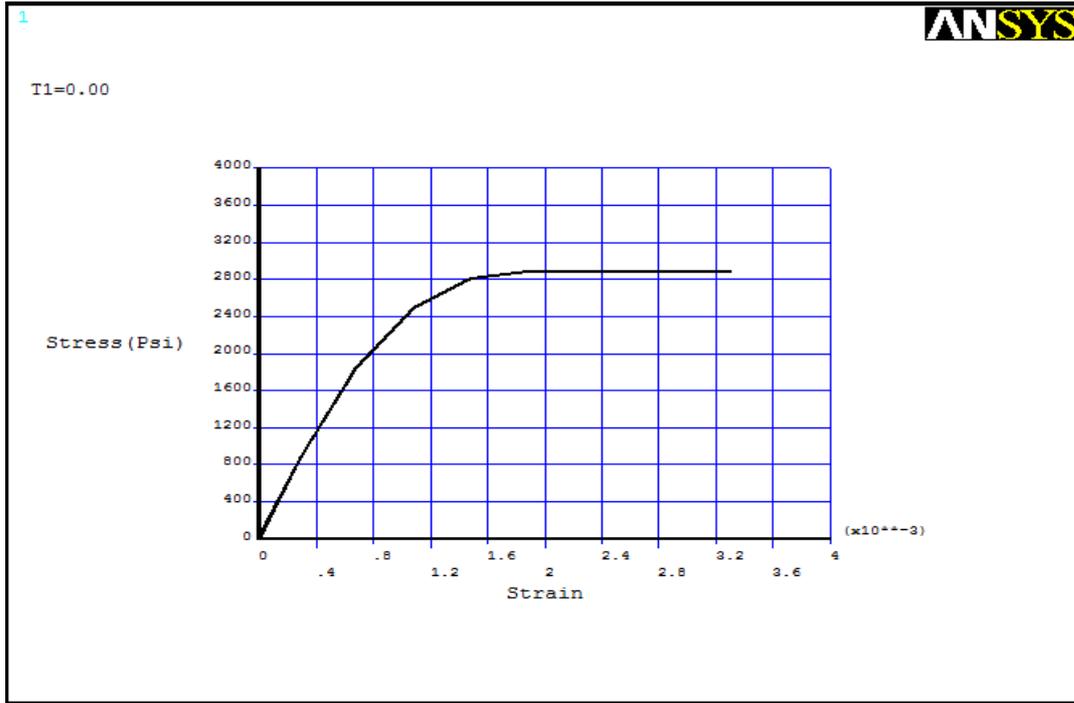
• السقف (مادة 3):

تم إدخال معامل المرونة بقيمة (Psi) 3062125.732 (Mpa 21112.6) ومعامل بواسون بقيمة 0.2 والوزن الحجمي للبيتون بقيمة $0.09033 \text{ (p/in}^3\text{)}$ $2500 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$. أما مقاومة البيتون على الضغط فقيمها (Psi) 2886

(Mpa 19.9) وتدخّل في البرنامج بقيمة (-1)، بينما مقاومة البيتون على الشد فأدخلت بقيمة (Psi) 284.67

(Mpa 2). أما معامل نقل القص في حالة الشق المفتوح فأدخل بقيمة 0.25، بينما تم اعتماد قيمة لمعامل نقل القص في حالة الشق المغلق مساوية إلى 0.85.

أما منحنى الإجهاد - التشوه فتم إدخاله من خلال التابع (multilinear isotropic) كما يبين الشكل (33-5).



الشكل (5-33) : منحنى الإجهاد - التشوه لمادة البيتون لسقف النموذج الثالث

❖ الفولاذ (مادة 4):

تم إدخال معامل المرونة بقيمة $27573529.41 \text{ (Psi)}$ (190112.4 (Mpa)) ومعامل بواسون بقيمة 0.3 والوزن الحجمي للفولاذ بقيمة $0.28184 \text{ (p/in}^3\text{)}$ ($7800 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$). أما معامل التقسية التشوهية فأدخل بقيمة 206874.659 .
 (Psi) 1426.3 (Mpa) وحد السيلاان للفولاذ أدخل بقيمة 60000 (Psi) (413.7 (Mpa)).

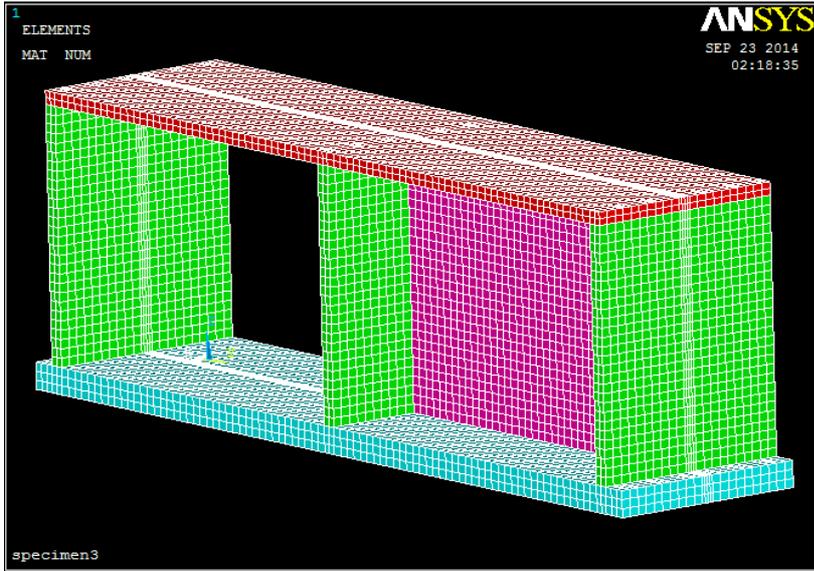
❖ البلوك (مادة 5):

تم إدخال معامل المرونة بقيمة 1530000 (Psi) (10549 (Mpa)) ومعامل بواسون بقيمة 0.25 والوزن الحجمي للبلوك بقيمة $0.0777 \text{ (p/in}^3\text{)}$ ($2150.4 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$). السماكة المكافئة لجدار البلوك المنمذج 4.4 (inch) (11.2 (cm)) حيث حسبت باعتبار أن الفجوات المملوءة بالملاط فقط هي التي تحوي على التسليح الشاقولي لجدار البلوك. أما مقاومة البلوك على الضغط فأدخلت بقيمة 1579 (Psi) (10.9 (Mpa))، بينما مقاومة البلوك على الشد فأدخلت بقيمة 99.34 (Psi) (0.7 (Mpa)). أما معامل نقل القص في حالة الشق المفتوح فأدخل بقيمة 0.25 ، بينما تم اعتماد قيمة لمعامل نقل القص في حالة الشق المغلق مساوية إلى 0.75 .

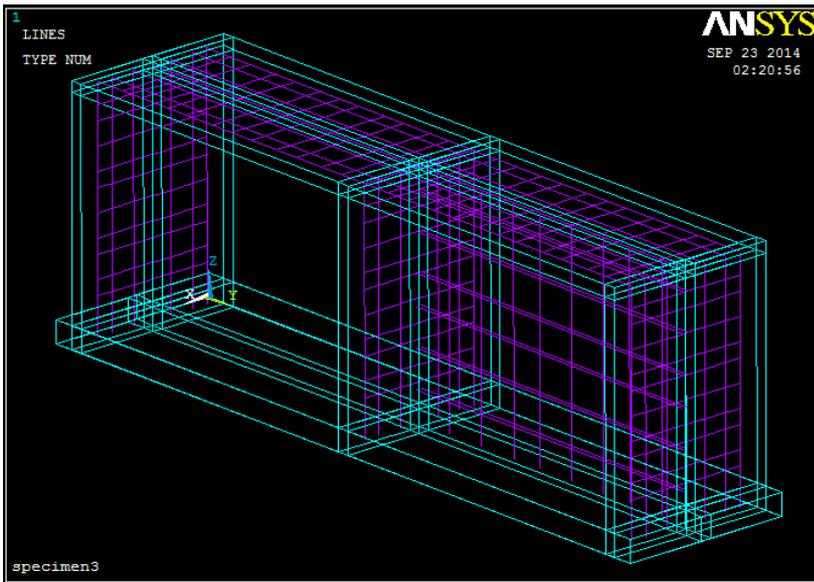
بالنسبة لمعيار drucker-prager فتم تعريفه من خلال إدخال زاوية الاحتكاك الداخلي بقيمة 43.3° وزاوية التوسع (dilatancy) بقيمة 10° والتماسك الداخلي بقيمة 340.83 (Psi) (2.35 (Mpa)).

❖ العنصر الاحتكاكي:

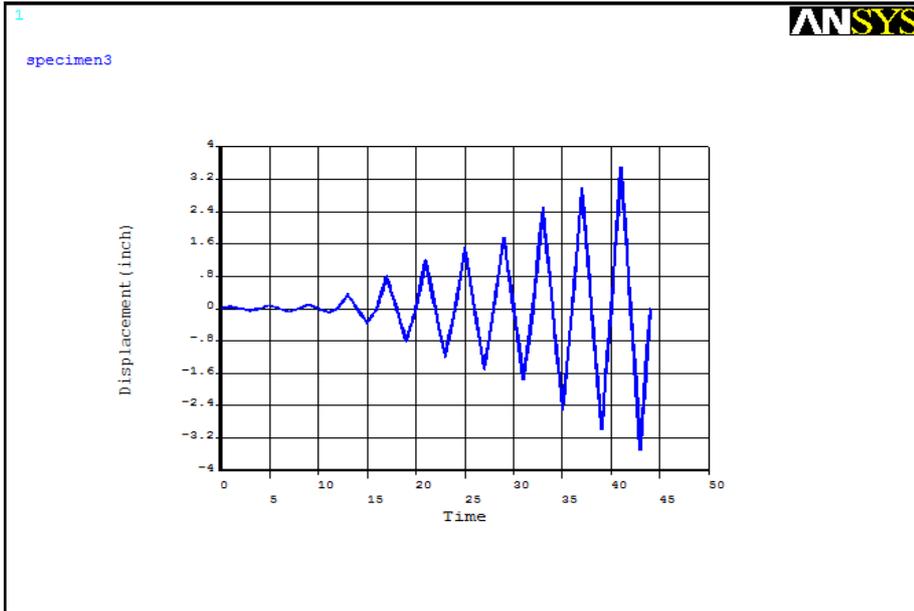
تم تعريفه من خلال إدخال معامل الاحتكاك بقيمة 0.8 ، وإجهاد التماسك بقيمة 50.76 (Psi) (0.35 (Mpa)).



الشكل (34-5) : النموذج الثالث الحاسوبي

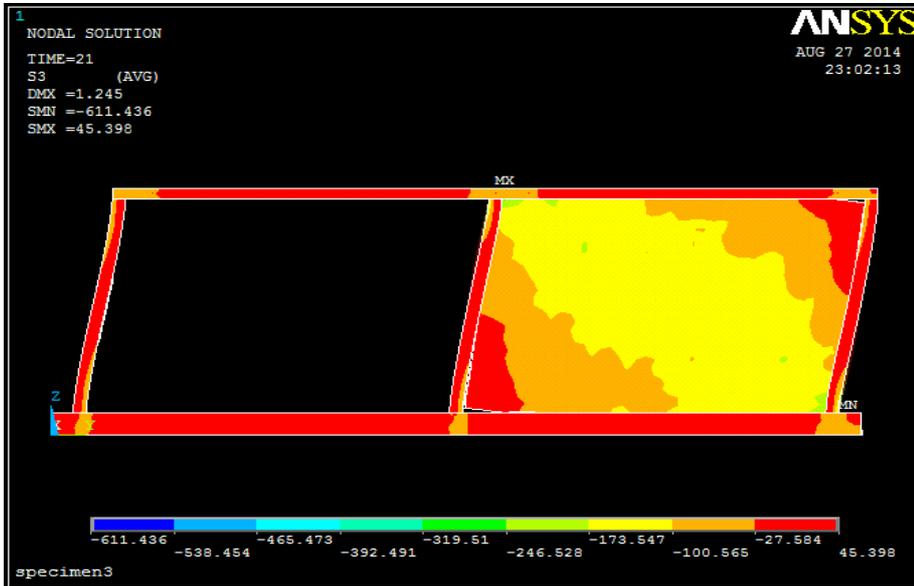


الشكل (35-5) : عناصر فولاذ التسليح للنموذج الثالث الحاسوبي



الشكل (36-5) : مخطط انتقال سقف النموذج الثالث الحاسوبي مع الزمن

يبين الشكل (37-5) الإجهادات الرئيسية باتجاه المحور Z ، وذلك عند الانتقال المطبق بقيمة $+1.2$ inch حيث يظهر تشكل عنصر ضغط قطري في جدار البلوك للنموذج الثالث التحليلي وتوزع الإجهادات ضمن جدار البلوك المسلح وازدياد عرض عنصر الضغط القطري.



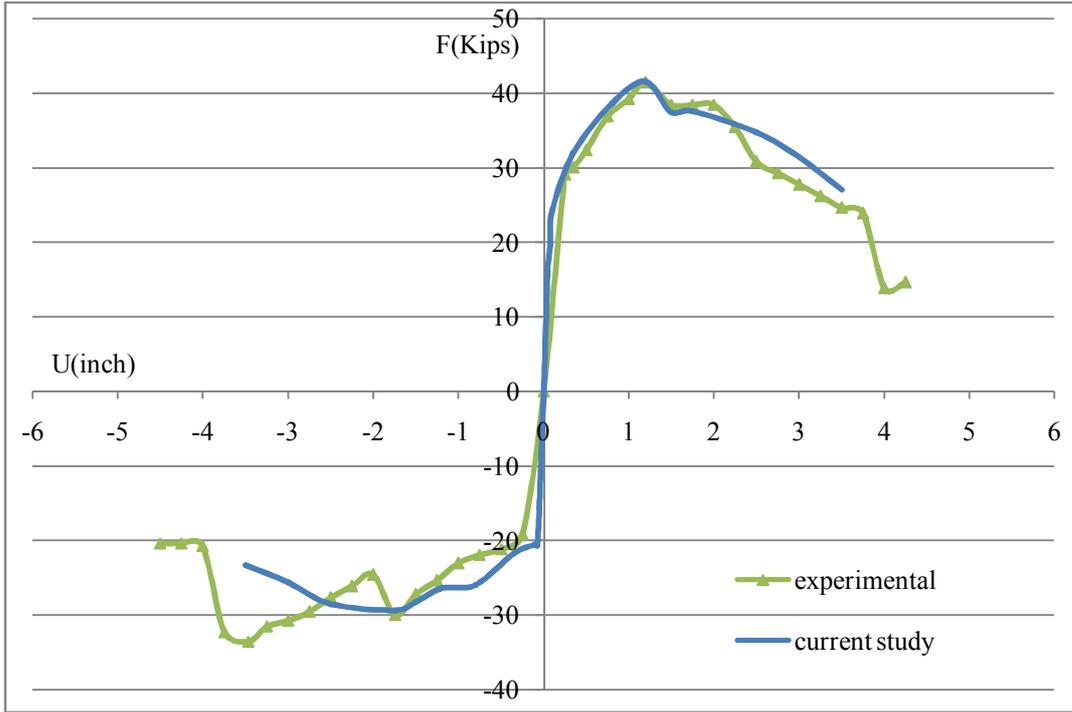
الشكل (37-5) : الإجهادات الرئيسية باتجاه المحور Z عند الانتقال المطبق بقيمة $+1.2$ inch

يبين الشكل (5-38) علاقة الانتقال (المحور الأفقي) - القص القاعدي (المحور الشاقولي) لكل من الدراسة التجريبية (experimental) والدراسة التحليلية الحالية باستخدام برنامج ANSYS.

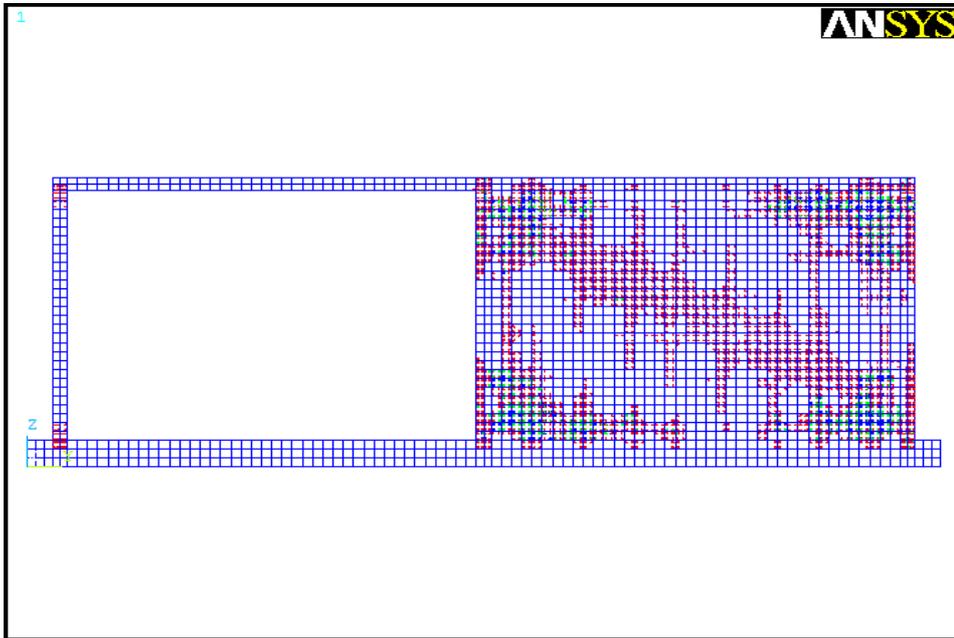
نلاحظ التقارب الكبير بين المنحنيين التجريبي والتحليلي في المرحلة المرنة، حيث تم في هذه المرحلة وضع معامل المرونة الابتدائي للجدران البيتونية وجدار البلوك. كما يبين المنحني التحليلي أن القساوة ثابتة حتى الوصول إلى انتقال 0.1 inch وقوة مقابلة 24.172 Kips، وبعد هذه النقطة لمقاربة النتائج التحليلية مع التجريبية تم وضع معامل المرونة المشتق للجدران البيتونية وتخفيض معامل المرونة لجدار البلوك بنسب معينة.

حيث بلغت القوة الأعظمية باتجاه السحب بحالة التجربة 41.4 Kips [21]، بينما نتيجة التحليل بلغت 41.536 Kips أي بفارق 0.33%. كما بلغت القوة الأعظمية باتجاه الدفع بحالة التجربة 33.57 Kips [10]، بينما نتيجة التحليل بلغت 29.39 Kips أي بفارق 14.22%. يعود هذا الفرق الكبير باتجاه الدفع لنفس الأسباب المذكورة سابقاً في النموذج الثاني.

ويبين الشكل (5-39) تشكل وانتشار التشققات في الجدران البيتونية وجدار البلوك للنموذج الثالث، حيث نلاحظ تركزها ضمن زوايا جدار البلوك بشكل مشابه لنمط انهيار النموذج التجريبي حيث تم تحطم زوايا الجدار، وأيضاً نلاحظ دور فولاذ التسليح في توزيع الشقوق بشكل أكبر ضمن جدار البلوك.

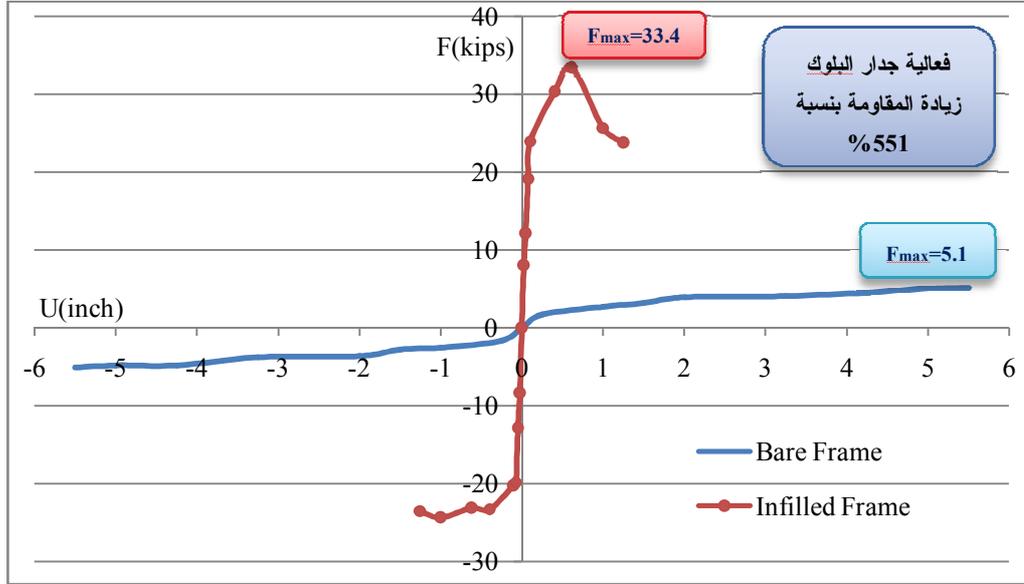


الشكل (5-38) : المقارنة بين مغلفي المنحنين الهستريين التجريبي والتحليلي للنموذج الثالث

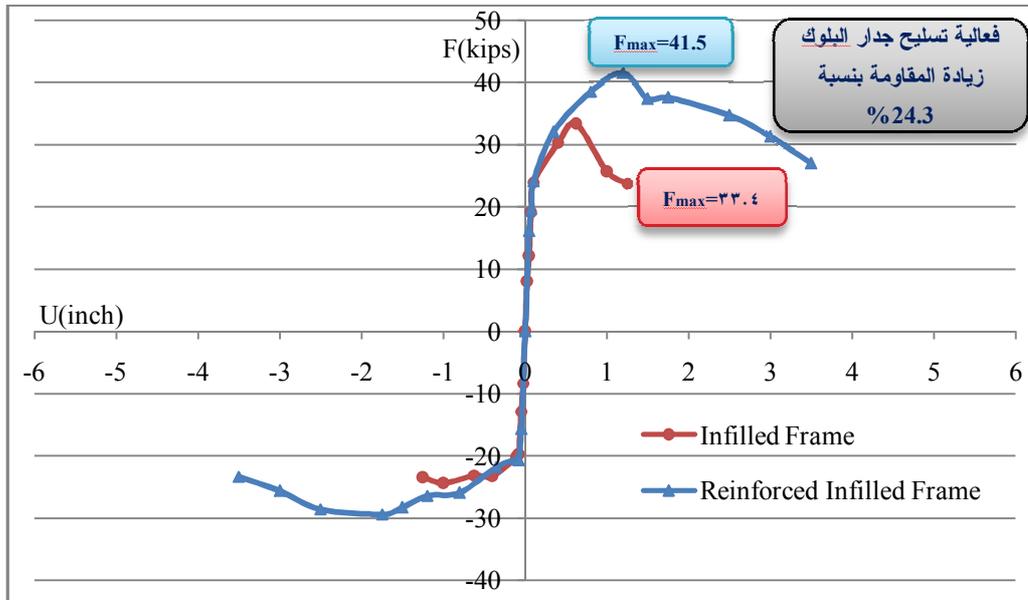


الشكل (5-39) : تشكل وانتشار التشققات في الجدران البيتونية وجدار البوك للنموذج الثالث

يبين الشكل (40-5) المقارنة بين مغلفي المنحنيين الهستيريين التحليليين للنموذجين التحليليين الأول والثاني، حيث يظهر ازدياد المقاومة والقساوة عندما تم ملأ الإطار البيتوني بجدار بلوك، وأيضاً تخفيض الانتقال الجانبي. كما يبين الشكل (41-5) المقارنة بين مغلفي المنحنيين الهستيريين التحليليين للنموذجين التحليليين الثاني والثالث، ويظهر زيادة المقاومة ومطاوعة الانتقال عندما تم تسليح جدار البلوك.



الشكل (40-5) : المقارنة بين مغلفي المنحنيين الهستيريين التحليليين للنموذجين التحليليين الأول والثاني



الشكل (41-5) : المقارنة بين مغلفي المنحنيين الهستيريين التحليليين للنموذجين التحليليين الثاني والثالث

الفصل السادس

النتائج والتوصيات

1-6 النتائج:

1. تساهم جدران الملاء في زيادة المقاومة والقساوة الجانبية للإطارات بشكل ملحوظ، حيث أدت إلى ارتفاع المقاومة بنسبة وصلت إلى 551% في هذا البحث.
2. أدى وضع فولاذ التسليح ضمن الجدار إلى زيادة في مقاومة الجملة الإطارية المملوءة بجدار بنسبة وصلت إلى 24.3% في هذا البحث.
3. أدى وجود الفولاذ ضمن جدار البلوك إلى زيادة عرض عنصر الضغط القطري، الأمر الذي يدل على زيادة المساهمة لجدار البلوك في مقاومة الأحمال الجانبية.
4. بين هذا البحث زيادة مطاوعة الانتقال للإطارات المملوءة بجدار بلوك عندما تم تسليح الجدار بنسبة وصلت إلى 80.9%.

2-6 التوصيات:

1. إعادة الدراسة الحالية باستخدام سجل زلزالي حقيقي وتحليل ديناميكي.
2. دراسة أثر هذه الجدران على مباني متعددة الطوابق.

المراجع

- 1- ACI 530/ASCE 5/TMS 402 (2005), “**Building Code Requirements for Masonry Structures**”, Masonry Standard Joint Committee, (MSJC).
- 2- Ahmad M. R. Moubarak (2009), “**EFFECT OF REINFORCING PATTERNS ON THE BEHAVIOR OF MASONRY WALLS IN R.C. FRAMES**”, The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 34, Number 1B, pp. 37-56
- 3- Anderson, D. L., and Priestley, M. J. N. (1992), “**In Plane Shear Strength of Masonry Walls**”, Proceedings of the 6th Canadian Masonry Symposium, Saskatoon, Saskatchewan, pp. 223-234.
- 4- **ANSYS User’s Manual, Theory, Commands, Analysis and Element**, Release 11.0 Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2007.
- 5- Applied Technology Council (ATC) (1997) “**NEHRP COMMENTARY ON THE GUIDELINES FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS**” Publication No.274, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C. (FEMA-274).
- 6- AS 3700-1998, “**Masonry Structures**”, Standards Association of Australia, Homebush, NSW, Australia.
- 7- AS 3700-2001, “**Masonry structures**”, The Australian engineering Standard for masonry structures.
- 8- Canadian Standard Association (CSA 2004) “**Design of Masonry Structures**”, CSA S304.1-04, Ontario, Canada.
- 9- Drucker DC, Gibson RE, Henkel Dj,. "**Soil Mechanics and Work Hardening Theories of Plasticity**", In:Proceeding of The American Society Of Civil Engineers, Vol. 122, 1957, p. 338-46.
- 10- Edgardo M. Vélez Vélez (2007), “**Experimental cyclic behavior of reinforced concrete wall house loaded in their weak direction**”, *Ph.D. Thesis*, University of Puerto Rico, MAYAGÜEZ CAMPUS.
- 11- Ehsan Minaie (2009), “**Behavior and Vulnerability of Reinforced Masonry Shear Walls**”, *Ph.D. Thesis*, University of Drexel.
- 12- G. Michele CALVI, Davide BOLOGNINI , Andrea PENNA (2004), “**SEISMIC PERFORMANCE OF MASONRY-INFILLED R.C. FRAMES: BENEFITS OF SLIGHT REINFORCEMENTS**”, SÍSMICA 2004 - 6^o Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica .

- 13- Kachlakev, D.I.; Miller, T.; Yim, S.; Chansawat, K.; Potisuk, T. (2001), “**Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Structures Strengthened With FRP Laminates**”, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA and Oregon State University, Corvallis, OR for Oregon Department of Transportation, May.
- 14- Kok Choon Voon (2007), “**In-plane Seismic Design of Concrete Masonry Structures**”, *Ph.D. Thesis*, Department of Civil and Resource Engineering, University of Auckland, New Zealand.
- 15- Lourenco, P. B. (1996), “**Computational strategies for masonry structures**”, *Ph.D. Thesis*, Delft University, Netherlands.
- 16- Masonry Standards Joint Committee (MSJC) (2008) “**Building code requirements for masonry structures**”, ACI 530/ASCE 5, TMS 402, American Concrete Institute, American Society of Civil Engineers, and The Masonry Society, Detroit, New York, Boulder.
- 17- Matsumura, A. (1988), “**Shear Strength of Reinforced Masonry Walls**”, Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 7, Tokyo, Japan, pp. 121-126.
- 18- M.F.Paulo Pereira ,M.F.Neto Pereira, J.E.Dias Ferreira ,P.B.Lourenco (2011), “**Behavior of masonry infill panels in RC frames subjected to in plane and out of plane loads**”, 7th International Conference, amcm, Kraków, Poland.
- 19- NEHRP. (1997), “**Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Part-1 Provisions**”, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C., U.S.A.
- 20- NZS 4230:1990, “**Code of Practice for the Design of Masonry Structures**”, Standards Association of New Zealand, Wellington.
- 21- P. Desayi and S. Krishnan (1964), “**Equation for the stress-strain curve of concrete**”. Journal of the American Concrete Institute, 61, pp 345-350.
- 22- Sergio M. Alcocer and José A. Zepeda (1996) , “**BEHAVIOR OF MULTI-PERFORATED CLAY BRICK WALLS UNDER EARTHQUAKE-TYPE LOADING**”, the National Center for Disaster Prevention, CENAPRED.
- 23- Shing, P. B., Schuller, M., and Hoskere, V. S. (1990), “**Strength and Ductility of Reinforced Masonry Shear Walls**”, Proceedings of the 5th North America Masonry Conference, University of Illinois, Urbana-Champaign, pp. 309-320.
- 24- Tavarez, F.A., (2001), “**Simulation of Behavior of Composite Grid Reinforced Concrete Beams Using Explicit Finite Element Methods**”, *Master Thesis*, University of Wisconsin-Madison, Madison, Wisconsin.
- 25- The Brick Institute of America. “**Technical Notes on Brick Construction, No. 17.**” (BIA, 1988).
- 26- Uniform Building Code. (1997), “**International Conference of Building Officials**”, Volume 2, Whittier, California, April 1997, 492p.

27- Waheed Haider (2007), **"INPLANE RESPONSE OF WIDE SPACED REINFORCED MASONRY SHEAR WALLS"**, *Ph.D. Thesis*, University of Queensland, Australia.

28- Willam, K.J. and Warnke, E.P. (1974), **"Constitutive Model for Triaxial Behaviour of Concrete"**, Seminar on Concrete Structures Subjected to Triaxial Stresses, International Association of Bridge and Structural Engineering Conference, Bergamo, Italy, p.174.

29- Zucchini, A. and P. Lourenco (2007), **"Mechanics of masonry in compression: Results from a homogenisation approach."** *Computers & Structures* 85(3-4): 193-204.

30- الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة (2004)، الطبعة الثالثة، دمشق.

31- عمر علي قرا (2008)، "مساهمة جدران البلوك في مقاومة أبنية ومنشآت الساحل السوري المعرضة للزلازل"، رسالة ماجستير، قسم الهندسة الإنشائية، جامعة تشرين، سوريا.

Abstract

Masonry is one of the oldest building materials that have been used by human, where its compressive strength was exploited in old buildings constructed with it, but a series of earthquakes had occurred about the end of nineteenth century revealed clearly its seismic vulnerability. Due to continuous necessity for raising current buildings efficiency that composed of infilled RC frames, this research is based on possibility of using reinforced masonry walls, where several studies have been conducted in this field and reported that reinforcement steel has significant effect on block walls behavior converting it from brittle to ductile. In this research some of experimental results of previous published studies for reinforced and unreinforced masonry infilled RC frames have reviewed, and one of these studies was modeled using finite element method by ANSYS program and nonlinear numerical analysis was done by applying cyclic lateral loads.

This study has showed an increasing in RC frame resistance and reducing in its displacement when was filled with masonry wall, and also increasing in infilled frame resistance and ductility when masonry wall was reinforced. Finally, due to convergence of experimental and analytical results these analytical models can be used later to expect similar specimens behavior which subjected to cyclic lateral loads.

Damascus University
Faculty of Civil Engineering
Department of Structural Engineering

**A study on the resistance of Reinforced and Unreinforced
Masonry Infilled RC Frames under lateral loads**

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

By

Luay Asad Ksairy

Supervisor

Dr Kassem Alzouhayli

Damascus 2014