



جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

## سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة والحاوية على فتحات

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

**إعداد:**

المهندس أسامة طالب

**إشراف:**

الأستاذ الدكتور المهندس رياض العيسى

العام الدراسي

2016

جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة والحاوية على فتحات  
دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية- قسم الهندسة الإنشائية

إعداد:

المهندس أسامة طالب

إشراف:

الأستاذ الدكتور المهندس رياض العيسى

العام الدراسي

٢٠١٦

لجنة الحكم السادة الأساتذة:

كلية الهندسة المدنية

الأستاذ في قسم الهندسة الإنشائية

د. رياض العيسى

عضواً مشرفاً

الاختصاص: مقاومة المواد

جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنشائية

د. محمد درويش

عضواً

الاختصاص: الإنشاءات المعدنية

جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

المدرس في قسم الهندسة الإنشائية

د. هيثم زرزور

عضواً

الاختصاص: الخرسانة المسلحة

جامعة دمشق

## ملخص البحث

### Overview

تعتبر الجوائز العميقة من العناصر الإنشائية الهامة والتي ازداد استخدامها مؤخرا في الأبنية البيتونية المسلحة. تتصرف الجوائز العميقة المستمرة بشكل مختلف عن الجوائز العميقة البسيطة وعن الجوائز العادية المستمرة، وتجاهل هذه الاختلافات أثناء التصميم يؤدي إلى عدم توقع دقيق لقدرة تحمل الجوائز وإلى نشوء أنماط تشققات غير متوقعة. إن التحليل الدقيق للجوائز الخرسانية المسلحة العميقة والحاوية على فتحات يزيد المشكة تعقيدا.

أُجريت في هذا البحث دراسة تحليلية - عن طريق استعمال طريقة العناصر المحدودة والتحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لاختطية المادة- لجوائز خرسانية مسلحة عميقة مستمرة وحاوية على فتحات اختبرت تجريبيا في بحث لـ ( Ashour and Rishi, 2000 ) وقورنت النتائج التجريبية والتحليلية. كما أُجريت دراسة بارامترية بهدف دراسة تغيير سلوك هذه الجوائز بتغيير بعض العوامل الهامة كموقع وحجم الفتحات و نسبة مجاز القص إلى العمق وسماكة المقطع العرضي وكمية التسليح الطولي الرئيسي.

كما تم أيضا استعراض القواعد الأساسية لطريقة نموذج الضاغظ والشداد (STM) والموصى بها من قبل الكود الأمريكي (ACI 318) لتصميم الجوائز العميقة، بالإضافة إلى حل مثال عملي بالاستناد على هذه الطريقة.

بين هذا البحث أثر تغيير موقع وحجم الفتحات على قدرة تحمل ونمط انهيار الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة، حيث وصلت نسبة انخفاض قدرة تحمل الجوائز الحاوي على فتحات كبيرة في مجاز القص الداخلي إلى (57.6%)، فيما كان التأثير الأقل في حالة الفتحات الصغيرة في مجاز القص الخارجي (19.7%)، كما تبين تأثير تقليل نسبة مجاز القص إلى العمق من (1.1) إلى (0.74) في رفع قدرة تحمل الجوائز الحاوي على فتحة صغيرة في مجاز القص الخارجي بنسبة (22.8%) ولكن رافق هذه الزيادة نقصان في المطاوعة، فيما لم يؤد هذا التقليل إلى تغيير في نمط الانهيار، وأدت زيادة سماكة المقطع العرضي بنسبة (33%) إلى رفع قدرة التحمل بنسبة (24.5%) دون تغيير في نمط الانهيار، فيما لم يؤد تقليل مساحة التسليح الطولي المستخدم بنسبة (33%) إلا إلى نقصان بسيط في قدرة التحمل وبلغ (3%).

## شكر وتقدير

---

لا يسعني في هذه اللحظات إلا ان أعبر عن جزيل الشكر والعرفان لكل من ساعدني في إنجاز هذا العمل، وأخص بالشكر أستاذي المشرف الدكتور رياض العيسى، والذي وجهني طيلة هذا العمل، وتابعني متابعةً دقيقةً، وكان شديد الحرص على تدقيق هذا العمل وتنبيهي على أخطاءي للوصول إلى إنجاز هذا البحث بدقة وأمانة.

كما أتوجه بالشكر الجزيل لكل من علّمتنا وساعدنا على الوصول لهذه المرحلة من أساتذة ومشرفين في كلية الهندسة المدنية، وأخصّ بالشكر الدكتور مصطفى بطيخة والدكتور أمجد الحلواني، والذين قدّما لنا الكثير بكل صدق وإخلاص.

وتعجز الكلمات والأحرف عن وصف امتناني وحبّي لمن لولا دعمهم ودعاهم لي لما وصلت إلى هذا اليوم، والذي العزيز وأمي الغالية، عسى أن أستطيع في يوم من الأيام ردّ جزءٍ من عظيم فضلهم عليّ، كما أوجه كلمات الحب والتقدير لأخي الأكبر حسام وباقي إخوتي وأصدقائي.

## فهرس المحتويات

### Contents

I.....	فهرس المحتويات
V.....	فهرس الأشكال
IX.....	فهرس الجداول
X.....	الرموز المستخدمة
XIV.....	قائمة المختصرات

#### • الفصل الأول .....

1.....	<b>المقدمة Introduction</b>
1.....	1.1 مقدمة عن الجوائز البيتونية المسلحة
1.....	2.1 تعريف الجوائز العميقة
2.....	3.1 استخدامات الجوائز البيتونية المسلحة
3.....	4.1 سلوك الجوائز العميقة وغير العميقة (العادية)
5.....	5.1 وجود الفتحات في الجوائز العميقة
6.....	6.1 مشكلة البحث وأهميته
6.....	7.1 هدف البحث
6.....	8.1 طرائق البحث
7.....	9.1 محتويات الأطروحة

..... الفصل الثاني

**8.....Literature Review** الدراسات المرجعية

8..... 1.2 مقدمة

8..... 2.2 مادة البيتون المسلح

8..... 1.2.2 مقاومة البيتون على الضغط

10..... 2.2.2 مقاومة البيتون على الشد

11..... 3.2.2 حديد التسليح

12..... 3.2 سلوك الجوائز البيتونية المسلحة وفقا للعمق

14..... 4.2 سلوك الجوائز البيتونية المسلحة العميقة المستمرة

16..... 5.2 تأثير وجود الفتحات في جسد الجوائز العميقة

17..... 6.2 تأثير تسليح الجسد على سلوك الجوائز العميقة الحاوية على فتحات

17..... 7.2 دراسات مرجعية

36..... 8.2 نتيجة الفصل الثاني

..... الفصل الثالث

**37.....Strut and Tie Method (STM)** طريقة نموذج الضاغط والشداد

37..... 1.3 مقدمة

37..... 2.3 تعاريف

39..... 3.3 تاريخ طريقة ال (STM) وأهميتها

39..... 4.3 إجراءات تصميم نموذج ال (STM)

41..... 5.3 تحديد شكل نموذج ال (STM)

42..... 6.3 حل جائز (Ashour and Rishi, 2000) بطريقة ال (STM)

47..... 7.3 نتيجة الفصل الثالث.....

48..... • الفصل الرابع

التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

## Structural Analysis Using Finite Element Method (FEM)

48..... 1.4 مقدمة.....

48..... 2.4 توصيف النماذج.....

49..... 3.4 العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج (Abaqus 6.12)

50..... 4.4 الشروط المحيطية للنموذج المدروس.....

51..... 5.4 الأحمال المطبقة على النموذج.....

51..... 6.4 التماسك بين البيتون المسلح والفولاذ.....

51..... 7.4 نوع التحليل المستخدم في النموذج.....

51..... 8.4 توصيف المواد المستخدمة في النمذجة.....

51..... البيتون.....

55..... فولاذ التسليح.....

56..... 9.4 دراسة أثر تقارب الشبكة.....

56..... النموذج AES.....

57..... النموذج CIL.....

58..... 10.4 التحقق من النماذج ومقارنة النتائج التحليلية.....

58..... النموذج AES.....

61..... النموذج CIL.....

11.4 نتيجة الفصل الرابع.....62

63..... **الفصل الخامس** •

### الدراسة البارامترية Parametric Study

1.5 مقدمة.....63

2.5 دراسة تأثير تغيير موقع الفتحة وحجمها على سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة.....63

1.2.5 دراسة النموذج الأول (AES) ذو الفتحات الصغيرة في مجاز القص الخارجي.....63

2.2.5 دراسة النموذج الثاني (AIS) ذو الفتحات الصغيرة في مجاز القص الداخلي.....66

3.2.5 دراسة النموذج الثالث (AEL) ذو الفتحات الكبيرة في مجاز القص الخارجي.....68

4.2.5 دراسة النموذج الرابع (AIL) ذو الفتحات الكبيرة في مجاز القص الداخلي.....70

5.2.5 المقارنة بين نتائج الحالات الأربعة المدروسة.....72

3.5 دراسة تأثير نسبة مجاز القص إلى العمق.....74

2.3.5 دراسة أثر تقارب الشبكة للنموذج (AES-L1).....76

3.3.5 دراسة سلوك النموذج (AES-L1).....77

4.5 دراسة تأثير تغيير كمية تسليح الشد الطولي.....79

5.5 دراسة تأثير تغيير سماكة المقطع العرضي.....81

6.5 نتيجة الفصل الخامس.....83

84..... **الفصل السادس** •

### النتائج والتوصيات Results and Recommendation

1.6 النتائج.....84

2.6 التوصيات للأعمال المستقبلية.....85

المراجع.....86

## فهرس الأشكال Figures List

- الشكل (1-1): أشكال الحمولات المطبقة على الجوائز..... ١
- الشكل (2-1): أشكال مقاطع الجوائز..... ١
- الشكل (3-1): استخدامات الجوائز العميقة..... 3
- الشكل (4-1): فرضية المقاطع المستوية وفق برنولي..... 4
- الشكل (5-1): توزع الإجهادات بشكل خطي على ارتفاع مقطع الجائز..... ٤
- الشكل (6-1): توزع الإجهادات على ارتفاع مقطع الجائز العميق..... ٥
- الشكل (7-1): أمثلة توضح الجوائز العميقة ذات الفتحات..... ٥
- الشكل (1-2): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الضغط..... ٩
- الشكل (2-2): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون لحديد التسليح..... ١٢
- الشكل (3-2): توضيح قيمة مجاز القص في جائز معرض لحمولتين مركزيتين..... ١٢
- الشكل (4-2): تغير المقاومة العزمية بالانحناء والمقاومة القصية حسب عمق الجائز..... ١٤
- الشكل (5-2): سلوك جائز مستمر عميق تحت تأثير الأحمال المطبقة..... ١٥
- الشكل (6-2): مقارنة بين سلوك جائز مستمر عميق وآخر غير عميق..... ١٦
- الشكل (7-2): نمط التشققات عند انهيار جائز عميق حاوي على فتحة مستطيلة..... ١٧
- الشكل (8-2): الأبعاد الكلية للعينات المختبرة، (Wu and Li, 2009)..... ١٨
- الشكل (9-2): اتجاهات الإجهادات الرئيسية في العينات (A+B) بعد تطبيق تحليل (FEA)، (Wu and Li, 2009)..... ١٩
- الشكل (10-2): نموذج الـ (STM) التصميمي للعينات (A+B)، (Wu and Li, 2009)..... ١٩
- الشكل (11-2): تفاصيل التسليح للعينات (A+B)، (Wu and Li, 2009)..... ٢٠
- الشكل (12-2): الانتقالات وسط المجاز مقابل الحمولات المطبقة، (Wu and Li, 2009)..... ٢١
- الشكل (13-2): أنماط التشققات في العينتين (A+B) عند حمولة الاستثمار والحمولة الحدية، (Wu and Li, 2009)..... ٢٢
- الشكل (14-2): تفاصيل العينات وترتيب التسليح، (Yang and Ashour, 2007)..... ٢٣
- الشكل (15-2): أنماط التشققات والانهيار للجوائز المختبرة، (Yang and Ashour, 2007)..... ٢٦
- الشكل (16-2): السهم وسط المجاز مقابل الحمولة الكلية المطبقة، (Yang and Ashour, 2007)..... ٢٧
- الشكل (17-2): العلاقة بين  $\lambda_n$  و  $\rho_{OA}$ ، (Yang and Ashour, 2007)..... ٢٨

- الشكل (٢-١٨): تفاصيل التسليح في العينة DB#2، (Lee et al., 2008) ..... ٢٩
- الشكل (2-19): أنماط الانهيار في العينات المختبرة، (Lee et al., 2008) ..... ٣١
- الشكل (٢-٢٠): العلاقة بين القوة المطبقة والانتقال وسط المجاز ، (Lee et al., 2008) ..... ٣١
- الشكل (٢-٢١): تفاصيل وأبعاد العينات المختبرة -كافة الأبعاد بال- mm ، (Ashour and Rishi, 2000) ..... ٣٢
- الشكل (2-22): أماكن توضع مقاييس التشوهات، (Ashour and Rishi, 2000) ..... ٣٤
- الشكل (٢-٢٣): أشكال التشققات في مراحل مختلفة من التحميل ، (Ashour and Rishi, 2000) ..... ٣٥
- الشكل (2-24): العلاقة بين الانتقال وسط المجاز والحمولة الكلية المطبقة، (Ashour and Rishi, 2000) ..... ٣٦
- الشكل (3-1): تعريف مناطق الـ (D-Region) ..... ٣٧
- الشكل (3-٢): تصنيف العقد في نموذج الـ (STM)، ..... ٣٨
- الشكل (3-٣): وصف نموذج الـ (STM) ..... ٣٨
- الشكل (4-3): الأبعاد الهندسية للعقدة في نموذج الـ (STM) ..... ٣٩
- الشكل (3-5): النوع (I) لنموذج الـ (STM) في الجوائز المستمرة العميقة  $\frac{a}{d} \leq 2$  ..... ٤٢
- الشكل (3-6): النوع (II) لنموذج الـ (STM) في الجوائز المستمرة العميقة  $2 < \frac{a}{d} \leq 2.75$  ..... ٤٢
- الشكل (3-7): المقطع الطولي للجائز المستمر العميق المدروس، (Ashour, 1997) ..... ٤٣
- الشكل (٣-٨): المقطع العرضي للجائز المستمر العميق المدروس، (Ashour, 1997) ..... ٤٣
- الشكل (٣-٩): شكل نموذج الـ (STM) وأبعاده للجائز المستمر العميق المدروس ..... ٤٤
- الشكل (4-1): تفاصيل وأبعاد العينات المختبرة ، (Ashour and Rishi, 2000) ..... ٤٨
- الشكل (4-2): مكان مجازي القص الداخلي والخارجي في الجوائز المدروسة ..... ٥٠
- الشكل (4-3): تمثيل العنصر الفراغي C3D8، (ABAQUS 6.12 Documentation, 2012) ..... ٥٠
- الشكل (4-4): تمثيل العنصر الفراغي T3D2، (ABAQUS 6.12 Documentation, 2012) ..... ٥٠
- الشكل (٤-٥): تمثيل العنصر المساحي S4، (ABAQUS 6.12 Documentation, 2012) ..... ٥١
- الشكل (٤-٦): أشكال المساند ونقاط تطبيق القوى، [Abaqus. Ver 6.12] ..... ٥٢
- الشكل (4-7): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الضغط، ABAQUS 6.12 Documentation, 2012 ..... ٥٣
- الشكل (٤-٨): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الشد، (ABAQUS 6.12 Documentation, 2012) ..... ٥٤

- الشكل (٩-٤): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الضغط (Eurocode2 , 2004)..... ٥٥
- الشكل (١٠-٤): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي المكافئ للبيتون على الشد..... ٥٥
- الشكل (١١-٤): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي المفترض للتسلح الطولي للجائز..... ٥٦
- الشكل (١٢-٤): دراسة أثر تقارب الشبكة للنموذج المدروس (AES)، [Abaqus. Ver 6.12]..... ٥٧
- الشكل (١٣-٤): شكل تقسيمات النموذج المعتمد (AES)، [Abaqus. Ver 6.12]..... ٥٧
- الشكل (١٤-٤): شكل التسلح الشاقولي و بعض الأساور في العينة (AES)، [Abaqus. Ver 6.12]..... ٥٨
- الشكل (١٥-٤): دراسة أثر تقارب الشبكة للنموذج المدروس (CIL)..... ٥٨
- الشكل (١٦-٤): شكل تقسيمات النموذج المعتمد (CIL)..... ٥٩
- الشكل (١٧-٤): مقارنة منحنى قوة-انتقال بين الدراسة المرجعية والنموذج التحليلي (AES)..... ٦٠
- الشكل (١٨-٤): نتائج المتغير (PE, Max. Principal) للعينة (AES)..... ٦٠
- الشكل (١٩-٤): مقارنة شكل التشققات بين النموذج التحليلي والتجريبي للعينة (AES)..... ٦١
- الشكل (٢٠-٤): مقارنة منحنى قوة-انتقال بين الدراسة المرجعية والنموذج التحليلي (AES)..... ٦١
- الشكل (1-5): شكل العينة (AES) وفق برنامج [Abaqus, Ver 6.12]..... ٦٤
- الشكل (2-5): منحنى قوة-انتقال وسط المجاز للنموذج التحليلي (AES)..... ٦٤
- الشكل (3-5): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (١) من العينة (AES)،..... ٦٥
- الشكل (4-5): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (٢) من العينة (AES)..... ٦٥
- الشكل (5-5): تطور تشكل التشققات في العينة (AES) تجريبياً ، (Ashour and Rishi, 2000)..... ٦٦
- الشكل (٦-٥): شكل النموذج (AIS) وفق برنامج [Abaqus, Ver 6.12]..... ٦٦
- الشكل (٧-٥): منحنى قوة-انتقال وسط المجاز للنموذج التحليلي (AIS)..... ٦٧
- الشكل (٨-٥): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (١) من العينة (AIS)، [Abaqus, Ver 6.12]..... ٦٧
- الشكل (٩-٥): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (٢) من العينة (AIS)..... ٦٨
- الشكل (١٠-٥): تطور تشكل التشققات في العينة (AIS)..... ٦٨
- الشكل (١١-٥): شكل النموذج (AEL) وفق برنامج [Abaqus, Ver 6.12]..... ٦٩
- الشكل (١٢-٥): منحنى قوة-انتقال وسط المجاز للنموذج التحليلي (AEL)..... ٦٩

- الشكل (13-5): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (١) من العينة (AEL) ..... ٦٩
- الشكل (14-5): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (٢) من العينة (AEL) ..... ٧٠
- الشكل (١٥-٥): شكل النموذج (AIL) وفق برنامج [Abaqus, Ver 6.12] ..... ٧٠
- الشكل (١٦-٥): منحنى قوة-انتقال وسط المجاز للنموذج التحليلي (AIL) ..... ٧١
- الشكل (١٧-٥): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (١) من العينة (AIL) ..... ٧١
- الشكل (١٨-٥): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (2) من العينة (AIL) ..... ٧٢
- الشكل (١٩-٥): مقارنة المنحنيات الأربعة للنماذج المدروسة، [Abaqus, Ver 6.12] ..... ٧٢
- الشكل (20-5): مقطع طولي يبين أبعاد العينة (AES-L1) ..... ٧٥
- الشكل (21-5): نموذج العينة (AES-L1) وفق برنامج [Abaqus, Ver 6.12] ..... ٧٦
- الشكل (22-5): دراسة أثر تقارب الشبكة للنموذج المدروس (AES-L1) ..... ٧٦
- الشكل (23-5): شكل التقسيمات المعتمد في النموذج (AES-L1) في برنامج [Abaqus, Ver 6.12] ..... ٧٧
- الشكل (24-5): منحنى قوة-انتقال وسط المجاز للنموذج التحليلي (AEL-L1) ..... ٧٧
- الشكل (25-5): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (١) من العينة (AES-L1) ..... ٧٨
- الشكل (26-5): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (٢) من العينة (AES-L1) ..... ٧٨
- الشكل (27-5): منحنى قوة-انتقال وسط المجاز للنموذج التجريبي و (AES) و (AES-S1) ..... ٨٠
- الشكل (28-5): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند بداية التلدن للعينة (AES- S1) ..... ٨١
- الشكل (29-5): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند حمولة الانهيار للعينة (AES- S1) ..... ٨١
- الشكل (30-5): شكل العينة (AES- t2) ذات السماكة الجديدة (16cm) في برنامج [Abaqus, Ver 6.12] ..... ٨٢
- الشكل (٣١-٥): منحنى قوة-انتقال وسط المجاز للنموذج التجريبي (AES) و (AES-t2) ..... ٨٢
- الشكل (32-5): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند بداية التلدن للعينة (AES- t2) ..... ٨٣
- الشكل (33-5): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند الانهيار في العينة (AES- t2) ..... ٨٣

## فهرس الجداول Tables List

---

- الجدول (١-٢): جدول لتصنيفات البيتون يبين مقاومة البيتون وتشوّهاته المميزة (Eurocode2 , 2004).....١٠
- الجدول (٢-٢): تفاصيل عينات الاختبار -كافة الأبعاد بالـ mm - ، (Yang and Ashour, 2007).....٢٤
- الجدول (3-2): مواصفات الخرسانة والتسليح المستخدم في التجربة، (Lee et al., 2008).....٢٩
- الجدول (4-2): قيم حمولات التشقق والانهيّار للجوائز المختبرة، (Lee et al., 2008) ..... ٣٠
- الجدول (٥-٢): تفاصيل التسليح في العينات المختبرة، (Ashour and Rishi, 2000) ..... ٣٣
- الجدول (6-2): مواصفات الخرسانة في الجوائز المختبرة، (Ashour and Rishi, 2000) ..... ٣٤

## الرموز المستخدمة

### Symbols

الرموز المستخدمة في البحث:

مجاز القص للجائز ( Shear Span )	$a_v$
The cross-sectional area at ) مساحة المقطع العرضي عند نهاية العنصر المضغوط (one end of the strut)	$A_{cs}$
مساحة المنطقة العقدية (The nodal zone area)	$A_{nz}$
Minimum area of flexural ) مساحة التسليح الطولي الرئيسي الأصغري (reinforcement)	$A_{smin}$
Maximum area of flexural ) مساحة التسليح الطولي الرئيسي الأعظمي (reinforcement)	$A_{s,max}$
مساحة التسليح مسبق الإجهاد (Area of prestressing steel in a tie)	$A_{tp}$
مساحة التسليح المستخدم (Area of reinforcement used)	$A_{ts}$
عرض الجائز (Beam Width)	$b$
عرض العنصر المضغوط (Width of strut)	$b_s$
مسافة التغطية الصافية للخرسانة (Clear cover of reinforcement)	$c$
عمق الجائز الفعال (Effective Beam Width)	$d$
معامل انخفاض القساوة على الضغط (Uniaxial compression damage variable)	$d_c$
معامل انخفاض القساوة على الشد (Uniaxial tension damage variable)	$d_t$
معامل المرونة الابتدائي (Initial Modules of elasticity)	$E_o$
معامل المرونة للبيتون (Modules of elasticity of concrete)	$E_c$
معامل المرونة الثاني للبيتون (Second modules of elasticity of concrete)	$E_{cm}$
معامل المرونة لحديد التسليح (Modules of elasticity of reinforcement)	$E_s$

المقاومة المميزة للبيتون على الضغط (The compressive strength of concrete)	$f_c$
المقاومة المميزة الاسطوانية للبيتون على الضغط (Characteristic compressive )	$f_{ck}$
(cylinder strength of concrete)	
المقاومة المتوسطة الاسطوانية للبيتون على الضغط (Mean value of concrete )	$f_{cm}$
(compressive cylinder strength of concrete)	
المقاومة المتوسطة للبيتون على الشد في المنحى الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الشد (Mean value of tensile strength of concrete)	$f_{ctm}$
مقاومة الشد للبيتون على الفلق نتيجة التجربة (Splitting Tensile Strength of )	$f_{ct,sp}$
(concrete)	
إجهاد الخضوع لفلواذ التسليح (Yield stress of reinforcement)	$f_y$
ارتفاع الجائز (Beam Height)	$h$
إجهاد الإنهيار الحقيقي للفلواذ	$Kf_{yk}$
المجاز الصافي للجائز (Clear Span)	$l_n$
عدد طبقات التسليح (Number of reinforcement layers)	$n$
معامل يعتمد على نوع الإسمنت (Coefficient depends on type of cement )	$S$
المسافة الصافية بين طبقات التسليح (Clear distance between reinforcement )	$s$
(layers)	
حمولة الاختبار الحديدية (Experimental ultimate load)	$P_{ult}$
الحمولة التصميمية (Designed Load)	$P_{des}$
حمولة تشكل الشقوق حول الفتحات (Load of cracking around openings)	$P_{co}$
حمولة تشكل أول شق شد (Initial cracking load at tension extreme)	$P_{cr}$
حمولة تشكل شقوق القص (Shear cracking load)	$P_{sc}$
الحمولة الأعظمية للعينة (Maximum load of specimen)	$P_{st}$

الحمولة الأعظمية (Maximum load)	$P_{max}$
مقاومة القص في الجوائز العميقة (Shear strength in deep beams)	$V_n$
التشوه النسبي الطولي (Axial Strain)	$\varepsilon$
تشوه الضغط اللدن المتبقي (Compressive Equivalent Plastic Strain)	$\varepsilon_c^{pl}$
تشوه الضغط غير المرن (Compressive Inelastic Strain)	$\varepsilon_c^{in}$
تشوه الضغط الكلي للبيتون عند نقطة معينة (Compressive total Strain)	$\varepsilon_c$
تشوه الضغط المرن (Compressive Elastic Strain)	$\varepsilon_{oc}^{el}$
تشوه الشد اللدن المتبقي (Tensile Equivalent Plastic Strain)	$\varepsilon_t^{pl}$
تشوه التشقق (Cracking Strain)	$\varepsilon_t^{ck}$
تشوه الشد الكلي عند نقطة معينة (Tensile total Strain)	$\varepsilon_t$
تشوه الشد المرن (Tensile Elastic Strain)	$\varepsilon_{ot}^{el}$
التشوه النسبي للبيتون على الضغط المقابل لذروة الإجهاد (Compressive strain in the concrete at the peak stress)	$\varepsilon_{c1}$
التشوه النسبي الحدي للبيتون على الضغط (Ultimate compressive strain in the concrete)	$\varepsilon_{cu1}$
التشوه النسبي الابتدائي للبيتون على الشد عند ذروة الإجهاد في المنحني الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد التشوه- النسبي للبيتون على الشد	$\varepsilon_{t0}$
التشوه الحدي للبيتون على الشد في المنحني الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد التشوه النسبي للبيتون على الشد	$\varepsilon_{total}$
التشوه النسبي للحديد عند الخضوع (Relative strain yielding in the steel)	$\varepsilon_y$
قطر الأسوارة (Diameter of Stirrup)	$\phi_{str}$

نسبة التسليح ( Longitudinal reinforcement ratio )	$\rho'_s$
نسبة مساحة الفتحة إلى مساحة مجاز القص ( the ration of opening area to the )	$\rho_{OA}$ (shear span area)
قيمة الإجهاد الابتدائي للبيتون على الضغط ( Initial compressive Stress of )	$\sigma_{co}$ ( concrete)

قائمة المختصرات  
Abbreviation List

Finite Element Method	<b>FEM</b>
Degree of Freedom	<b>DOF</b>
Strut and Tie Model	<b>STM</b>
Materially Non-Linear Analysis	<b>MNA</b>
Reinforced Concrete	<b>RC</b>

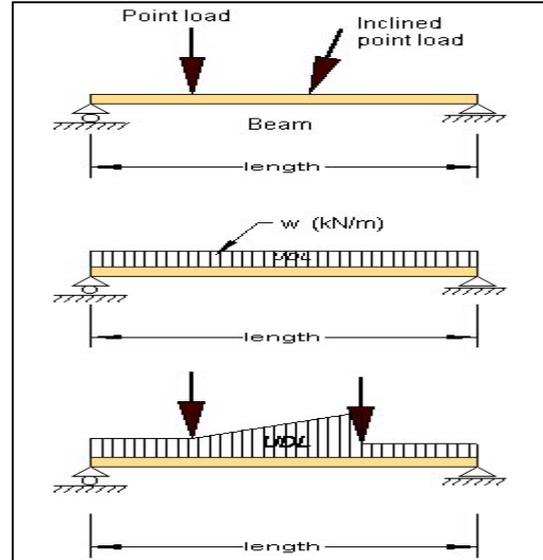
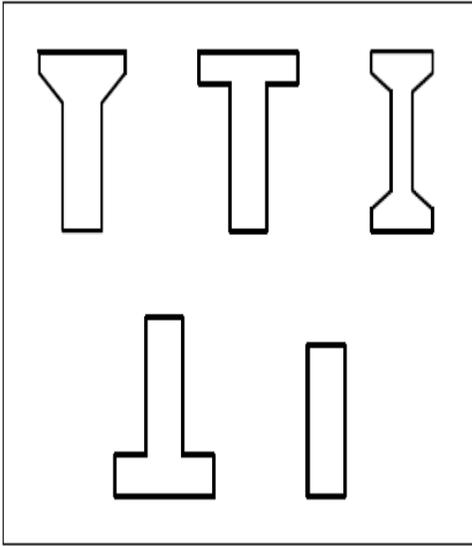
## الفصل الأول:

## المقدمة Introduction

## ١.١ مقدمة عن الجوائز البيتونية المسلحة

## :(Introduction to Reinforced Concrete Beams)

تعتبر الجوائز من العناصر الأساسية المكونة لأي بناء خرساني، وهي عناصر أفقية طويلة تقوم بنقل الحمولات من البلاطات إلى الأعمدة، وحسب ما يكون موقع الجائز في السقف فإن هذا الجائز قد يكون بسيطاً (بفتحة واحدة) أو مستمراً (بعده فتحات)، ويتعرض الجائز في المنشأ إلى الحمولات الشاقولية (الميتة والحية) بالإضافة إلى حصة من الحمولات الأفقية في بعض الحالات، ويبين الشكل (١-١) الحمولات الشاقولية المركزة والموزعة على الجوائز، وتأخذ مقاطع الجوائز عادة الأشكال المبينة في الشكل (٢-١). (عابدين، ٢٠١٣)



الشكل (١-١): أشكال الحمولات المطبقة على الجوائز، (Metwally, 2014) الشكل (٢-١): أشكال مقاطع الجوائز (عابدين، ٢٠١٣)

## ٢.١ تعريف الجوائز العميقة (Definition of Deep Beams)

وفقاً للكوود الأمريكي (ACI-2011) فإن الجوائز العميقة هي عناصر محملة على طرف ومستندة على الطرف الآخر، بحيث تتشكل دعائم الضغط بين نقاط التحميل والمساند، و إما أن يكون:

- المجاز الصافي فيها ( $l_n$ ) يساوي أو أقل أربع مرات العمق الكلي للجائز ( $D$ ):

$$\frac{l_n}{D} \leq 4$$

أو

- المناطق المطبق عليها قوى مركزة على بعد من نقطة الاستناد يساوي ضعفي عمق الجائز على الأكثر

(ACI Committee 318, 2011)

بينما وفقاً للكود العربي السوري لتصميم المنشآت الخرسانية المسلحة (2012)، فيتم اعتبار الجائز عميقاً في حساب العزم إذا كانت:

$$- \left(\frac{L}{h} < 2\right) \text{ للجوائز ذات المجاز الواحد.}$$

$$- \left(\frac{L}{h} < 2.5\right) \text{ للجوائز المستمرة.}$$

أما في حساب القص، فتطبق الشروط الخاصة بالجوائز العميقة، إذا لم تزد نسبة طول المجاز إلى الارتفاع (5)

حيث : (L) مجاز الجائز: وهو المسافة بين محوري الركيزتين المتجاورتين، على أن لا يزيد على (1.05) من طول المجاز الصافي. (h) ارتفاع الجائز الكلي.

ويعود الاختلاف في التعريف بين الكودين السوري والأمريكي إلى ما ذكر في الكود الأمريكي (ACI-2011) وهو أن نسبة مجاز القص إلى العمق المستخدمة في تعريف الجوائز العميقة في النسخ (1999 وما قبلها) كانت بالاعتماد على أوراق منشورة في 1946 و1953، أما التعريف الحالي والمعتمد في نسخ (2002 وما بعد) يعتمد على سلوك مناطق D-Region وفقاً للملحق A في الكود الأمريكي.

وتجدر الإشارة إلى أنه لا يوجد تعريف عالمي محدد للجوائز العميقة، حيث عموماً في بعض الكودات الأوروبية يبلغ عمق الجائز العميق ضعفي العمق المذكور في كودات دول أمريكا الشمالية (Kong, 2003)

### ٣.١ استخدامات الجوائز العميقة (Usages of Deep Beams):

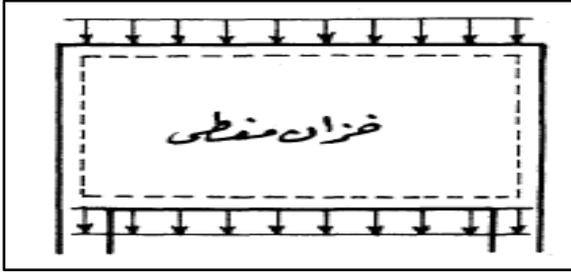
تعتبر الجوائز العميقة من العناصر الإنشائية الهامة، وقد ازداد استخدامها مؤخراً في الأبنية البيتونية المسلحة، و فيما يلي بعض الاستخدامات:

أ- الجوائز القصيرة المحملة من الأعلى. (الشكل ٣-١-أ)

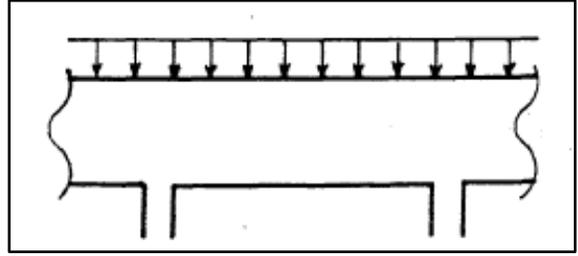
ب- جدران الخزانات المتوازية المستطيلات والمحمولة على أعمدة. (الشكل ٣-١-ب)

ج- بعض جوائز حوائط الأساسات المحملة من الأسفل. (الشكل ٣-١-ج)

د- في الطوابق السفلية من الأبنية العالية. (الشكل ٣-١-د)



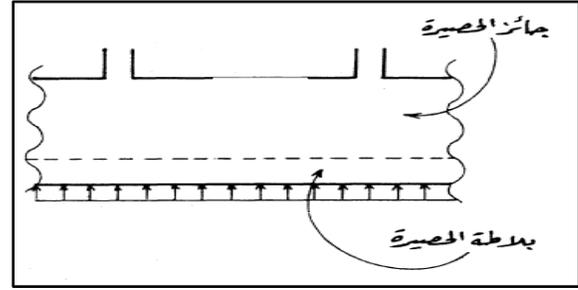
(b)



(a)



(d)



(c)

الشكل (٣-١) a-d: استخدامات الجوائز العميقة، (بدورة وزين الدين. د.ت.))، (Peer, 2011)

## ٤.١ سلوك الجوائز العميقة وغير العميقة (العادية)

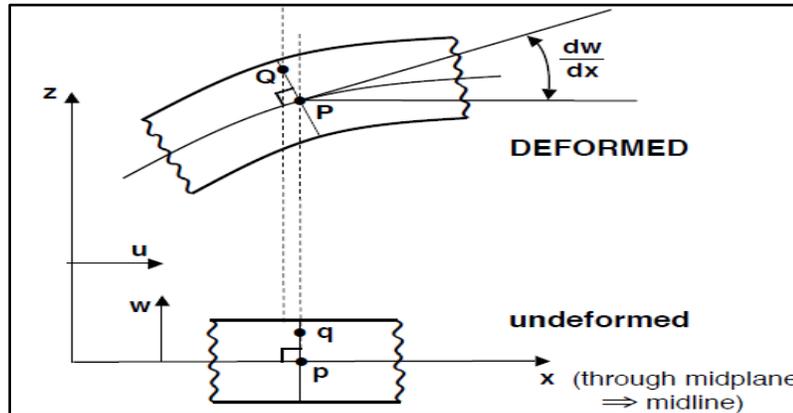
### :(The Behavior of Deep&Usual Beams)

سيتم أولاً الحديث عن النظرية الجائزية والتي تُدرس الجوائز العادية وفقاً لها، ثم بيان وجه الاختلاف في سلوك الجوائز العميقة.

#### ١.٤.١ الجوائز العادية و النظرية الجائزية (The Beam Theory):

في حالة الجوائز التي تملك أبعاداً لا تتوافق مع الأبعاد الوارد ذكرها في الفقرة (٢.١)، فإن سلوكها في المرحلة المرنة يعتمد على النظرية الجائزية و مبدأ برنوللي (Bernouilli) والذي ينص على أن:

« المقاطع العرضية التي كانت مستوية قبل التشوهات، تبقى مستوية بعد التشوهات ». (Kong, 2003)



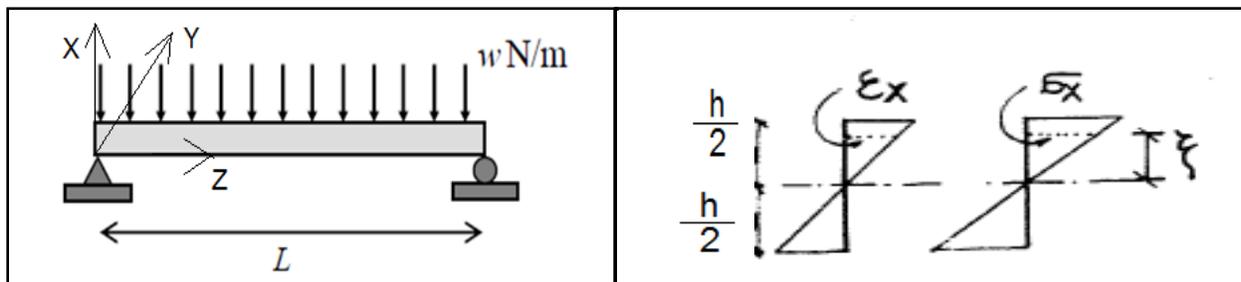
الشكل (٤-١): فرضية المقاطع المستوية وفق برنولي، (Kong, 2003)

وبالتالي فإن التشوه عند أي نقطة من مقطع ما يتناسب طردياً مع بعد النقطة عن المحور السليم للمقطع وبما أن علاقة الإجهادات خطية مع التشوهات وفق قانون هوك (Hooke's law)، فإن توزع الإجهادات على ارتفاع المقطع يكون خطياً أيضاً.

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (١-١)$$

حيث: E: معامل مرونة المادة (Young 's Module)

ε: التشوه النسبي الطولي (Axial Strain)

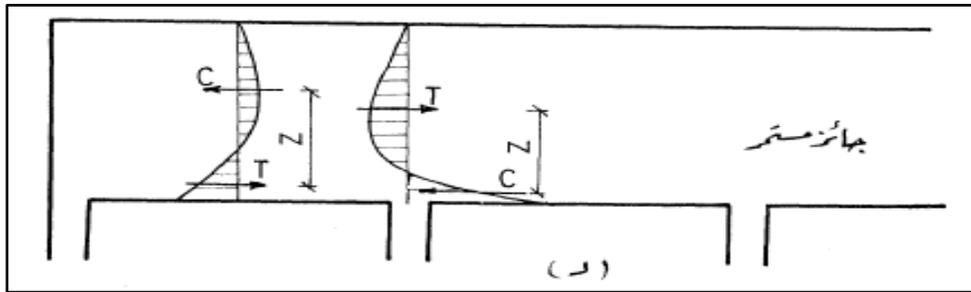


الشكل (٥-١): توزع الإجهادات بشكل خطي على ارتفاع مقطع الجائز. (Kong, 2003)

ووفق ما يوضح الكود الأمريكي (ACI-2011) فإنه في حال كانت النسبة  $(\frac{L}{h} < 4)$  يكون توزع الإجهادات غير خطي، ويتم تحليل هذه العناصر وفق طرق أخرى غير الطريقة التقليدية، وكمثال عليها طريقة (Strut and Tie Model) والمبينة في ملحق الكود (ACI-2011)، والموضحة في الفصل (٣).

### ٢.٤.١ سلوك الجوائز العميقة (The Behavior of Deep Beams):

في حالة العناصر والتي تملك أبعاداً متوافقة مع الأبعاد الواردة في الفقرة (2.1) فإن هذه العناصر تتصرف وفقاً لأبعادها ببعدين وتخضع لمركبتي إجهاد وبالتالي فإن المقاطع المستوية قبل التشوه لا تبقى مستوية بعد التشوه، وبسبب تأثير تشوهات القص فإن توزع التشوه والإجهاد لا يمكن أن يعتبر خطي على ارتفاع المقطع.



الشكل (٦-١): توزيع الإجهادات على ارتفاع مقطع الجائز العميق، (بدورة وزين الدين. د.ت.))

ونظراً لاختلاف سلوك الجوائز العميقة عن الجوائز العادية حيث لا تعد النظرية الجائزية (The Beam Theory) صالحة للاستخدام في الجوائز العميقة، فإنه من الأهمية دراسة هذه العناصر لتحديد الطريقة الأمثل لتصميمها وفهم سلوكها ونمط انهيارها تحت تأثير الحمولات المختلفة. (El-Zoughiby, 2014)

## ٥.١ وجود الفتحات في الجوائز العميقة

### :(The Presence of Openings in Deep Beams)

تتوضع الفتحات في جسد الجوائز الخرسانية العميقة لتوفير إمكانية تنفيذ التمديدات الأساسية، كتمديدات الهواء وأنابيب المياه أو الصرف الصحي أو حتى للحركة من غرفة إلى أخرى (Yang and Ashour, 2007). ويبين الشكل (٧-١) بعض صور الجوائز العميقة الحاوية على فتحات.



الشكل (٧-١): أمثلة توضح الجوائز العميقة ذات الفتحات، (Peer, 2011)

## ٦.١ مشكلة البحث وأهميته (Research Significance):

تتواجد الفتحات في الجوائز العميقة المستمرة عند الحاجة لتنفيذها للوصول إلى أفتنية المرافق كأفتنية الهواء والكهرباء وبدون زيادة ارتفاع أسقف الغرف.

أجري العديد من الدراسات التجريبية على الجوائز العميقة البسيطة الاستناد والحاوية على فتحات، مقارنة مع الدراسات حول الجوائز العميقة المستمرة الحاوية على فتحات. (Khalaf, 2007)

بالإضافة إلى ذلك، يوجد عدد قليل من الدراسات حول سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة المستمرة العميقة والحاوية على فتحات و تسليح في الجسد وتملك نسبة مجاز قص إلى العمق أقل من الواحد، و رغم تأثير سماكة المقطع العرضي وكمية التسليح الرئيسي الطولي على سلوك وقدرة تحمل الجوائز المستمرة العميقة الحاوية على فتحات وتسليح جسد ( Kong, 2003)، لم نجد فيما توفر لنا من أبحاث عدد كافي من الدراسات تتناول تأثير هذه العوامل.

أيضاً، يوصي الكود الأمريكي (ACI-2011) بطريقة نموذج الضاغط والشداد (STM) لتصميم الجوائز العميقة بدون فتحات، فيما لا يزال الكود العربي السوري يعتمد في تصميم الجوائز العميقة على طريقة تستند على عوامل تجريبية مأخوذة من النسخ القديمة للكود الأمريكي (قبل ال ٢٠٠٢).

## ٧.١ هدف البحث (Research 's objective):

يهدف هذا البحث إلى دراسة سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة والحاوية على فتحات و تأثير بعض العوامل على سلوكها.

## ٨.١ طرق البحث (Methods of the Research):

تم في هذا البحث استعراض قواعد طريقة الضاغط والشداد (STM)، ثم حل مثال عملي لأحد الجوائز العميقة المستمرة وفقاً لها.

ثم تم القيام بدراسة تحليلية عددية باستخدام برنامج (ABAQUS 6.12) والذي يعمل وفق طريقة العناصر المحدودة ( Finite Element Method, FEM)، وإجراء التحليل اللاخطي والذي يأخذ بعين الاعتبار لاختطية المادة (Materially Non-Linear Analysis, MNA).

## ٩.١ محتويات الأطروحة (Contents of the Thesis):

تتألف هذه الأطروحة من خمسة فصول كالتالي:

**الفصل الأول:** يحتوي مقدمة عامة عن العناصر الأساسية في هذا البحث، حيث يبدأ بمقدمة عن الجوائز البيتونية المسلحة، ثم تعريف الجوائز العميقة واستخداماتها، بالإضافة إلى مقدمة بسيطة عن اختلاف سلوك الجوائز العميقة والغير العميقة وعن وجود الفتحات في جسد الجوائز العميقة، كما تم التحدث عن مشكلة البحث وأهميته، وهدف البحث، وأخيراً تم استعراض طرائق البحث ومحتويات الأطروحة.

**الفصل الثاني:** تم فيه أولاً استعراض بعض المعلومات الأساسية المتعلقة بموضوع البحث، ثم تم إيراد مجموعة من الدراسات المرجعية السابقة والتي تناولت سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة والحاوية على فتحات، وبعض العوامل الهامة المؤثرة على قدرة تحملها ونمط انهيارها.

**الفصل الثالث:** يحتوي هذا الفصل على عرض موجز لبعض التعاريف الأساسية المتعلقة بطريقة نموذج الضاغط والشداد (STM) في تصميم الجوائز العميقة، ثم يستعرض إجراءات التصميم، ويتناول أخيراً حل مثال عملي بالاستناد على قواعد هذه الطريقة.

**الفصل الرابع:** يتضمن الدراسة التحليلية التي تمت في هذا البحث، حيث تم توصيف النموذج المستخدم في التحليل الإنشائي بطريقة العناصر المحدودة (FEM)، من حيث العناصر المستخدمة وتوصيف المواد الداخلة في النموذج وشروط الاستناد والأحمال المطبقة، ومن ثم تم إجراء دراسة مقارنة بين النموذج العددي الحالي ونماذج تجريبية لدراسات مرجعية سابقة تم الاعتماد عليها لتحديد مدى صحة النمذجة.

**الفصل الخامس:** تم فيه إجراء دراسة بارامترية على النموذج الذي تم التحقق من صحته في الفصل الرابع، وذلك لدراسة أثر موقع الفتحات وحجمها، ونسبة مجاز القص إلى العمق وسماكة المقطع العرضي وكمية التسليح الطولي الرئيسي على قدرة تحمل ونمط انهيار الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة والحاوية على فتحات.

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

## الفصل الثاني:

## Literature Review الدراسة المرجعية

## ١.٢ مقدمة (Introduction):

يستعرض هذا الفصل خصائص مادة البيتون المسلح و حديد التسليح، ومن ثم التطرق إلى سلوك الجوائز البيتونية المسلحة وفقاً للعمق، وشرح سلوك الجوائز المستمرة العميقة منذ لحظة تحميلها وحتى الانهيار. ثم يورد شرحاً موجزاً لتأثير وجود الفتحات في جسد الجوائز العميقة مع ذكر تأثير تسليح الجسد على سلوك الجوائز العميقة الحاوية على فتحات.

ومن ثم سيتم التطرق إلى مجموعة من الدراسات التجريبية والتي قامت باختبار عينات مختلفة من الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة والحوية على فتحات تحت تأثير شروط وعوامل مؤثرة مختلفة.

## ٢.٢ مادة البيتون المسلح (Reinforced Concrete):

يعد البيتون من أهم وأكثر المواد استخداماً في البناء نظراً لمقاومته العالية على الضغط وسهولة تشكيله في قوالب مختلفة وانتشاره بشكل كبير، ونظراً لانخفاض مقاومة البيتون على الشد (حوالي ١٠% من قدرة تحمل الضغط) يستخدم حديد التسليح لزيادة مقاومة الشد للبيتون المسلح. (Choi, 2002)

## ١.٢.٢ مقاومة البيتون على الضغط:

يتم التعبير عن مقاومة البيتون على الضغط من خلال ما يعرف بالمقاومة الإسطوانية المميزة ( $f_{ck}$ ) أو المقاومة المكعبية المميزة ( $f_{ck,cube}$ )، وتتم تحديد قيم هذه المعاملات من خلال معادلات موجودة في الكودات العالمية، فيعطي الكود الأوروبي على سبيل المثال المعادلات (1-2) و (2-2) لتحديد مقاومة البيتون في زمن ما بالاعتماد على مقاومة البيتون في عمر (28) يوم كما يلي:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) * f_{cm} \quad (1-2)$$

$$\beta_{cc}(t) = e^{\left(s \left(1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{\frac{1}{2}}\right)\right)} \quad (2-2)$$

حيث:

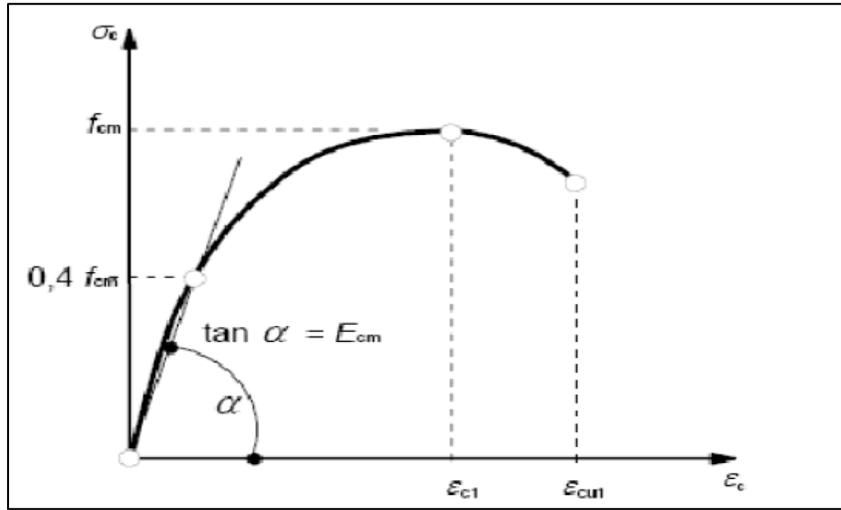
$f_{cm}(t)$ : مقاومة الضغط المتوسطة للبيتون في عمر (t) يوم.

$f_{cm}$ : مقاومة الضغط المتوسطة للبيتون في عمر (28) يوم حسب الجدول (1-2)

$\beta_{cc}(t)$ : معامل يعتمد على عمر الببتون (t يوم)

S: معامل يعتمد على نوع الإسمنت والمقاومة التي تعطىها.

يبين الشكل (١-٢) علاقة (الإجهاد-التشوه النسبي) لمادة الببتون في حالة الضغط حسب الكود الأوروبي (Eurocode2;2004)، حيث يكون سلوك الببتون في البداية مرناً خطياً (Elastic) حتى وصوله إلى قيمة إجهاد مقداره  $(0.4f_{cm})$  حيث تبدأ بعدها المرحلة اللامرنة (Inelastic Behavior) وصولاً إلى مقاومة الضغط العظمى وهي مقاومة الضغط المتوسطة للببتون  $(f_{cm})$ ، ثم يبدأ انهيار المادة بعد هذه المرحلة.



الشكل (١.٢): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي للببتون على الضغط (Eurocode2 , 2004)

$\sigma_c$ : إجهاد الببتون على الضغط.

$f_{cm}$ : مقاومة الضغط المتوسطة للببتون في عمر (٢٨) يوم حسب الجدول (1-2).

$\epsilon_c$ : التشوه النسبي للببتون على الضغط.

$\epsilon_{c1}$ : التشوه النسبي المقابل لمقاومة الضغط المتوسطة للببتون حسب الجدول (1-2).

$\epsilon_{cu1}$ : التشوه النسبي المقابل لمقاومة الضغط للببتون عند الانهيار حسب الجدول (1-2).

$E_{cm}$ : معامل المرونة اللحظي التقريبي للببتون حيث إجهادات الضغط بين  $(0 - 0.4 f_{cm})$  حسب الجدول (1-2).

الجدول (١-٢): جدول لتصنيفات الببتون بيبين مقاومة الببتون وتشوهات الممييزة (Eurocode2 , 2004)

Strength classes for concrete														Analytical relation / Explanation	
$f_d$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,0.05}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	2.8
$f_{cm}$ (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
$f_{ctm}$ (MPa)	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{0.67} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2.12 \ln(1 + (f_{ck}/10))$ > C50/60
$f_{ct,0.05}$ (MPa)	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	2.9	3.0	3.1	3.2	3.4	3.5	$f_{ct,0.05} = 0.7 \cdot f_{ctm}$ 5% fractile
$f_{ct,0.95}$ (MPa)	2.0	2.5	2.9	3.3	3.8	4.2	4.6	4.9	5.3	5.5	5.7	6.0	6.3	6.6	$f_{ct,0.95} = 1.3 \cdot f_{ctm}$ 95% fractile
$E_{cm}$ (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22 \cdot (f_{cm}/10)^{1.5}$ ( $f_{cm}$ in MPa)
$\epsilon_{ci}$ (‰)	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.25	2.3	2.4	2.45	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	see Figure 3.2 $\epsilon_{ci}(\text{‰}) = 0.7 \cdot f_{cm}^{0.21} \leq 2.8$ MPa
$\epsilon_{cu1}$ (‰)	3.5									3.2	3.0	2.8	2.8	2.8	see Figure 3.2 for $f_d \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu1}(\text{‰}) = 2.8 + 27 \cdot (98 - f_d) / 100^2$
$\epsilon_{cu2}$ (‰)	2.0									2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	see Figure 3.3 for $f_d \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu2}(\text{‰}) = 2.0 + 0.085 \cdot (f_d - 50)^{1.5}$
$\epsilon_{cu3}$ (‰)	3.5									3.1	2.9	2.7	2.6	2.6	see Figure 3.3 for $f_d \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu3}(\text{‰}) = 2.6 + 35 \cdot (90 - f_d) / 100^2$
$n$	2.0									1.75	1.6	1.45	1.4	1.4	for $f_d \geq 50$ Mpa $n = 1.4 + 23.4 \cdot (90 - f_d) / 100^2$
$\epsilon_{cu4}$ (‰)	1.75									1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	see Figure 3.4 for $f_d \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu4}(\text{‰}) = 1.75 + 0.55 \cdot (f_d - 50) / 40$
$\epsilon_{cu5}$ (‰)	3.5									3.1	2.9	2.7	2.6	2.6	see Figure 3.4 for $f_d \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu5}(\text{‰}) = 2.6 + 35 \cdot (90 - f_d) / 100^2$

## ٢.٢.٢ مقاومة البيتون على الشد:

يمكن حساب مقاومة البيتون على الشد المحوري من خلال العلاقة (3-2) المعطية في الكود الأوروبي (Eurocode2;2004)

$$f_{ct} = 0.9 * f_{ct,sp} \quad (3-2)$$

حيث:

$f_{ct}$ : القيمة التقريبية لمقاومة البيتون على الشد المحوري.

$f_{ct,sp}$ : مقاومة الشد للبيتون على الفلق نتيجة التجربة (Splitting Tensile Strength)

تتغير مقاومة البيتون للشد حسب عمره وبالتالي لحسابها يمكن استخدام العلاقة (٢-٤) المأخوذة من الكود الأوروبي (Eurocode2;2004)

$$f_{cm}(t) = (\beta_{cc}(t))^a * f_{ctm} \quad (4-2)$$

حيث:

$f_{ctm}(t)$ : مقاومة الشد للبيتون في عمر (t) يوم.

$f_{ctm}$ : مقاومة الشد المتوسطة للبيتون ويمكن الحصول على قيمتها من الجدول (1-2)

a: معامل تعطي قيمته حسب عمر البيتون  $(t < 28 \rightarrow a = 1, t \geq 28 \rightarrow a = 2/3)$

$\beta_{cc}(t)$ : معامل تعطي قيمته بالعلاقة (2-2)

## ٣.٢.٢ حديد التسليح:

يبين الشكل (٢-٢) علاقة (الإجهاد- التشوه النسبي) لفولاذ التسليح حسب الكود الأوروبي (Eurocode2;2004) حيث يمثل الفرع A التصرف النظري للحديد بتشوه نسبي أعظمي  $\epsilon_{ud}$  وإجهاد أعظمي  $Kf_{yk}$  عند تشوه نسبي أعظمي  $\epsilon_{uk}$ ، أما الفرعان B فهما يمثلان التصرف اللدن لحديد التسليح حيث يمثل الفرع الأفقي التصرف اللدن الكامل للحديد بدون حدود التشوهات، بينما الفرع B المائل فهو تخفيض للفرع A بمقدار عامل أمان  $\gamma_s$

حيث:

$f_{yk}$ : إجهاد الخضوع الحقيقي للفولاذ.

$f_{yd}$ : إجهاد الخضوع التصميمي للفولاذ.

$Kf_{yk}$ : إجهاد الإنهيار الحقيقي للفولاذ.

$f_t$ : مقاومة الشد للفلولاذ.

$f_t$ : إجهاد الخضوع للفلولاذ.

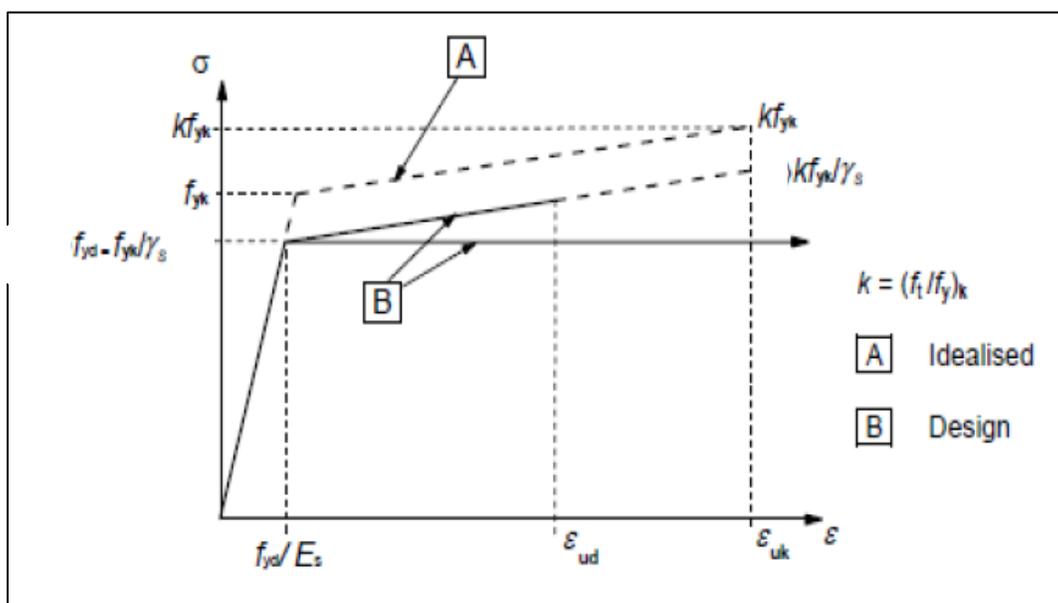
$K$ : نسبة إجهاد الانقطاع إلى إجهاد السيلان.

$\epsilon_{ud}$ : التشوه النسبي الأعظمي التصميمي للفلولاذ.

$\epsilon_{uk}$ : التشوه النسبي الموافق لإجهاد الانهيار الحقيقي للفلولاذ.

$\gamma_s$ : معامل أمان تصميمي جزئي لحديد التسليح.

$E_s$ : معامل مرنة حديد التسليح.

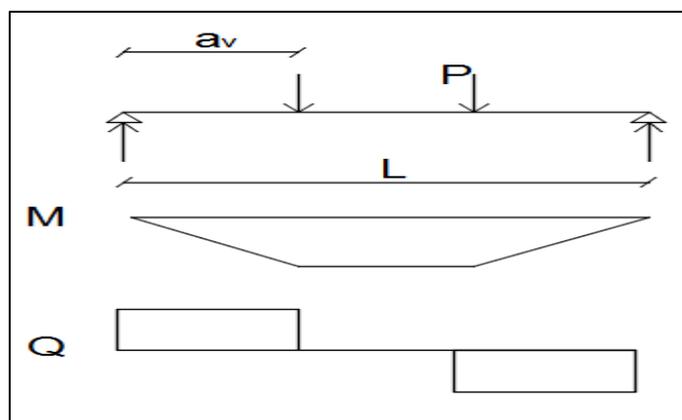


الشكل (2.2): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون لحديد التسليح (Eurocode2 , 2004) [6]

### ٣.٢ سلوك الجوائز البيتونية المسلحة وفقاً للعمق

#### :(Behavior of Reinforced Concrete Beams according to Depth)

يمكن تصنيف الجوائز الخرسانية المسلحة ( ذات التسليح العادي) وفقاً للنسبة  $(R = \frac{a_v}{d})$  كما يلي، (محمود، ٢٠١٣). حيث :  
 $d$ : عمق الجائز الفعال.  $a_v$ : مجاز القص: وهي المسافة من طول الجائز و التي يكون فيها القص ثابتاً (الشكل 2-3)، أما في حالة الجائز المعرض لقوى موزعة فستكون قيمة القص متغيرة في كل نقطة وبالتالي يوجد عند كل نقطة قيمة مختلفة لمجاز القص



الشكل (3-2): توضيح قيمة مجاز القص في جوائز معرض لعمولتين مركزيين، (محمود، ٢٠١٣)

$$(١) \text{ جوائز عميقة ( قصيرة جداً) Deep beams ، حيث } R = \frac{a_v}{d} < 0.5 - 1$$

تكون مقاومة القص أكبر من قدرة التحمل لمقاومة تشكل التشققات المائلة، حيث تسيطر هنا إجهادات القص، و تكون مقاومة القص أكبر من مقاومة الخرسانة على الشد المائل المسبب لتشقق المائلة، وفي هذه الحالة تتشكل تشققات الانحناء في منطقة أسفل ووسط الجوائز بعمق محدود، بالإضافة إلى تشققات مائلة، ويسعى الجوائز في هذه الحالة للتصرف كجملته تشبه إلى حد ما القوس المشدود Tied-arch، حيث تتم مقاومة القوى المطبقة بالخرسانة المضغوطة التي يمثلها القوس المتشكل والتسليح المشدود الذي يمثل الشداد أسفل القوس، وتحفظ الجملة القوسية المنوه عنها أعلاه بقدرة تحمل احتياطية معتبرة.

يحدث الانهيار في هذه الحالة بأشكال متعددة أهمها:

- انهيار الإرساء Anchorage failure، أي انسحاب التسليح المشدود من المساند بسبب الشد الزائد وانهيار التماسك نتيجة القص الطولي Longitudinal shear.
- انهيار الخرسانة بالسحق بسبب رد الفعل المركز الكبير.
- انهيار على العزم من خلال: سحق الخرسانة المضغوطة أعلى القوس أو سيلان التسليح المشدود في الأسفل.
- انكسار ضلع القوس نتيجة الدفع اللامركزي Eccentric thrust حيث يمكن أن يتشكل شق نتيجة الشد فوق المسند أو تنسحق الخرسانة بالضغط على جانب ضلع القوس.

$$(٢) \text{ جوائز قصيرة Short beams ، حيث } 1 \leq \frac{a_v}{d} < 2.5$$

تكون مقاومة القص هنا أيضاً أكبر من قدرة التحمل لمقاومة تشكل التشققات المائلة، فبعد تشكل الشق المائل بسبب القص والعزم معاً Shear-flexure crack، يزداد عمق هذا الشق في منطقة الضغط مع زيادة الحمولة المطبقة ليحصل الانهيار بسبب تفتت الخرسانة المضغوطة، ويمكن أن يمتد شق طولي ثانوي فوق التسليح في المسند مسبباً انهيار أي أن الانهيار يحدث بطريقتين:

- انهيار إرساء التسليح بسبب القص الطولي Shear-tension failure.
- سحق الخرسانة في الضغط قرب الحافة المضغوطة Shear-compression failure.

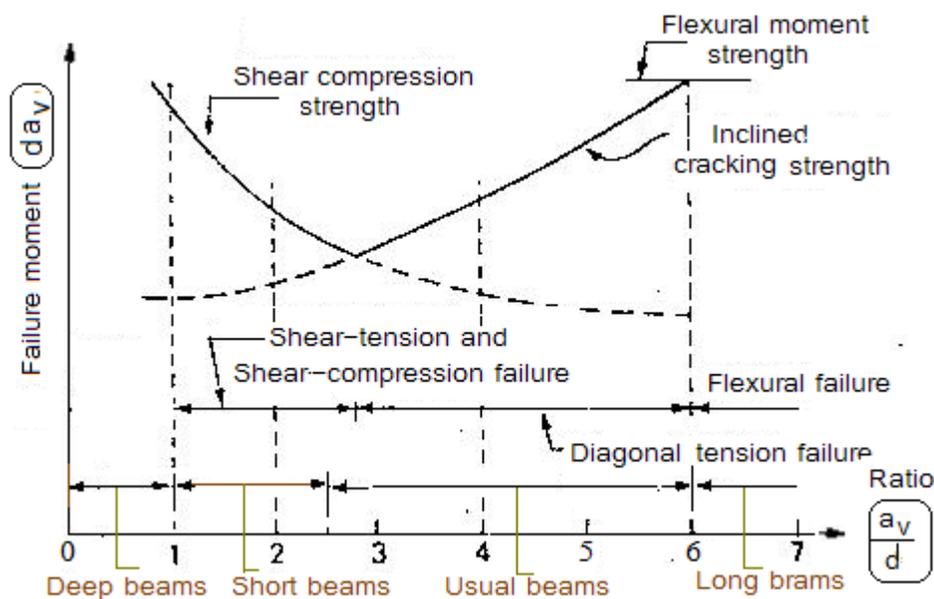
(٣) جوائز عادية (متوسطة العمق)، حيث  $2.5 \leq \frac{a_v}{d} < 6$ :

تكون مقاومة القص قريبة من قدرة التحمل لمقاومة تشكل التشققات المائلة، حيث تكون مقاومة القص والانحناء متقاربة، وتتشكل تشققات متعددة نتيجة الانحناء يتكون منها ما يشبه أسنان المشط الخرساني Comb-like concrete teeth، لا تلبث أن تنهار جذورها مع ازدياد عددها، ومع تشكل التشققات المائلة فجأة، يصبح من المتعذر إعادة توزيع العزوم ويحصل الانهيار.

(٤) جوائز طويلة (قليلة العمق)، حيث  $\frac{a_v}{d} > 6$ :

تكون مقاومة الانحناء هنا أكبر من مقاومة القص في هذه الحالة، ويحصل الانهيار إما بسبب سيلان التسليح أو تفتت الخرسانة في منطقة الضغط ويتعلق ذلك بشكل أساسي بنسبة التسليح المستعملة.

و يبين الشكل (٤-٢) كيفية تغير مقاومة عزم الانحناء ومقاومة القص مع تغير عمق الجائز المدروس (النسبة  $\frac{a_v}{d}$ )



الشكل (4-2): تغير المقاومة العزمية بالانحناء والمقاومة القصية حسب عمق الجائز، (محمود، ٢٠١٣)

## ٤.٢ سلوك الجوائز البيتونية المسلحة العميقة المستمرة

### :(Behavior of Continuous Deep Reinforced Concrete Beams)

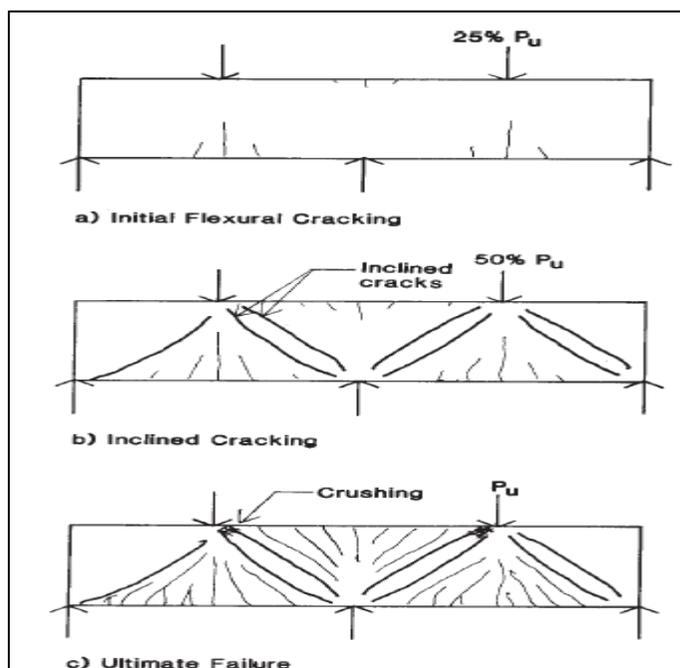
إن تصرف الجوائز العميقة المستمرة يختلف عن الجوائز العميقة البسيطة وعن الجوائز العادية المستمرة، وتجاهل هذه الاختلافات أثناء التصميم يؤدي إلى عدم توقع دقيق لقدرة تحمل الجوائز وإلى نشوء أنماط تشققات غير متوقعة.

يتوافق موقع العزم السالب الأعظمي و القص الأعظمي في الجوائز المستمرة، و تكون نقطة الانحناء الأعظمي قريبة من المقطع الحرج على القص، بينما تتوافق منطقة القص الأعظمي مع عزم انعطاف أصغري في الجوائز البسيطة. (العيسى، ٢٠٠٣)

يبين الشكل (٥-٢) المراحل الأساسية لعمل الجوائز العميقة المستمر عند تحميله وحتى الانهيار و يمكن ملاحظة ما يلي:  
تتشكل بدايةً تشققات مرنة في منتصف المجاز قبل أن تتشكل تشققات أخرى فوق المسند الوسطي، ثم تتطور وبشكل مفاجئ شقوق قطرية مائلة (شقوق القص)، حيث تحدد هذه الشقوق ما يشبه الجوائز شبكي (truss) أو ما يعرف بسلوك العمل القوسي (tied-arch)، وتحدث هذه التشققات تقريباً عند قيمة ٥٠% من الحمولة الكلية.

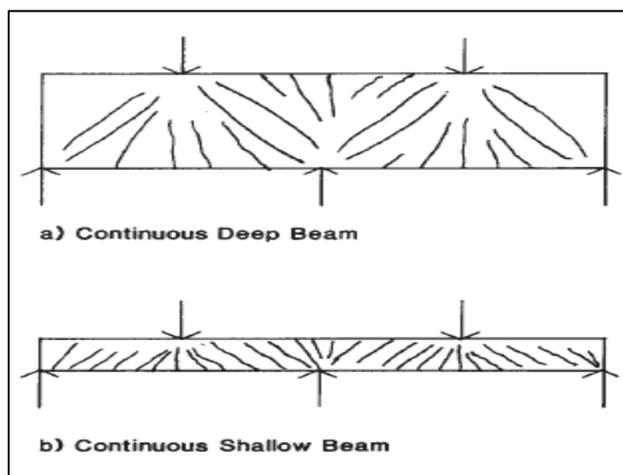
مع تزايد الحمولة تتشكل تشققات إضافية، ويبدأ التسليح الرئيسي بالسيلان مؤدياً إلى سهوم واضحة تترافق مع دورانات في عقد الجوائز الشبكي المفترض مسبباً انهيار الخرسانة على الضغط.

في حال تم زيادة كمية التسليح الرئيسي الطولي المستخدم، تنهار الخرسانة بشكل مفاجئ قبل أن يصل حديد التسليح للسيلان (كما في حالة الجوائز العادية)، وبالتالي يُفضل الابتعاد عن هذه الحالة والاستفادة من المطاوعة التي يوفرها سيلان حديد التسليح. (Kong, 2003)



الشكل (5-2): سلوك جوائز مستمر عميق تحت تأثير الأحمال المطبقة، (Kong, 2003)

- عند المقارنة بين الجوائز المستمرة العميقة والعادية فإنه من الممكن ملاحظة ما يلي:
- عند تحميل الجوائز المستمرة العميقة يكون سلوك الجائز وفق العمل القوسي (tied arch) أو الجائز الشبكي (truss)، بينما لا تُظهر الجوائز العادية مثل هذا السلوك، حيث تنتقل قوى القص بشكل قطري وفق حقل ضغط بسيط في الجوائز غير العميقة، أما قوى القص في الجائز العميقة فتنتقل من نقاط التحميل إلى المساند مباشرةً عبر حقل ضغط واضح ومميز (struts) كما يبين الشكل (6-2).
  - بعد تشكل الشق القطري المائل في الجوائز العميقة تزداد مساهمة الخرسانة في مقاومة قوى القص وذلك بسبب تشكل الجائز الشبكي (truss)، فيما لا توجد مثل هذه الزيادة في الجوائز العادية.
  - نتيجة تشكل الجائز الشبكي المفترض في الجوائز العميقة تتشكل إجهادات شد كبيرة في التسليح السفلي والعلوي وبالتالي يجب الانتباه إلى اشتراطات التسليح وإلى تنفيذ أطوال الإرساء مناسبة.
  - إن استخدام كميات محدودة من تسليح الجسد الشاقولي لا يزيد من قدرة تحمل القص بشكل كبير، ولكن عند زيادة كمية تسليح الجسد الشاقولي بحيث تُؤخر تشكل العنصر الخرساني المضغوط (struts) فإن ذلك سيزيد من مقاومة الجائز بشكل ملحوظ وسيزيد من مطاوعة الجائز.
  - تُظهر الجوائز العميقة حساسية أكبر لحركة المساند، حيث تؤدي هذه الحركة إلى إعادة توزيع كبيرة للعزوم وهو ما يجب أخذه بعين الاعتبار عند التصميم. (Kong, 2003)
- ويتغير سلوك الجائز العميقة عند تغير نسبة مجاز القص إلى العمق، حيث يتغير شكل الجائز الشبكي المتشكل المفترض وذلك بحسب ما سيرد في الفصل (3).



الشكل (6-2): مقارنة بين سلوك جائز مستمر عميق وآخر غير عميق، (Kong, 2003)

## ٥.٢ تأثير وجود الفتحات في جسد الجوائز العميقة (Effect of Web Openings):

- عند وجود تغير مفاجئ في مقطع الجائز كوجود الفتحات مثلاً، يتغير سلوك الجائز وتتعرض زوايا الفتحات لتركيز إجهادات عالية قد يؤدي لشقوق غير مقبولة من وجهة نظر الديمومة ومن الناحية الجمالية أيضاً.
- إن انخفاض القساوة نتيجة وجود الفتحات، قد تؤدي إلى ارتفاع كبير في قيمة السهم وخاصة تحت تأثير الحمولات الحية مما يؤدي إلى إعادة توزيع للقوى الداخلية والعزوم. (Campione, 2012)



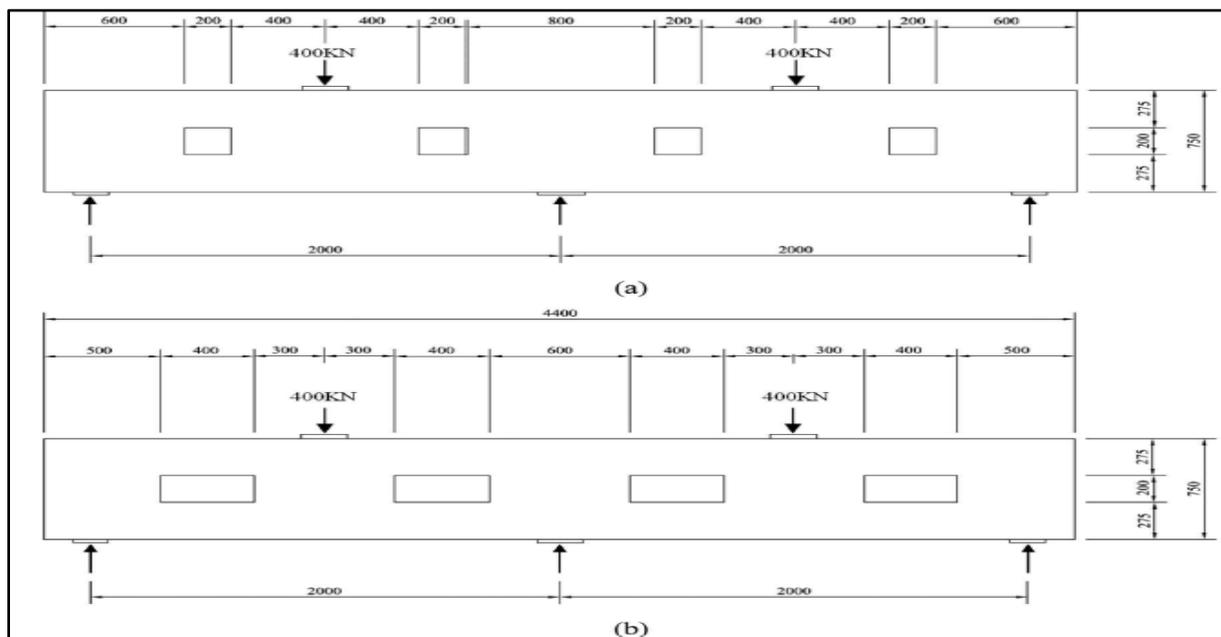
## ٧.٢ دراسات مرجعية:

قام العديد من الباحثين بإجراء التجارب والدراسات حول موضوع الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة وما يتعلق بها، نذكر منها:

## 1.7.2 (Wu and Li, 2009):

تحقق هذه الدراسة في تطبيق واعتمادية طريقة نموذج الضاغط والشداد (Strut and Tie Model) -والموصى بها من قبل الكود الأمريكي في تصميم المنشآت الخرسانية (ACI 318-2011)- لتصميم الجوائز الخرسانية العميقة، حيث قدم الباحثان عملية التصميم والنتائج التجريبية لجائزين خرسانيين عميقين مستمرين بمقياس كامل مع فتحات متغيرة الحجم. تملك العينتان أبعاد كلية متطابقة ولكن مواقع وأحجام مختلفة للفتحات، حيث يبلغ طول العينة الكلي (4400 mm) وعمقها (750mm) و سماكتها (180mm). المجاز الصافي لكلتا العينتين (2000mm). يحوي الجائز على أربع فتحات محاورها تقع في  $\frac{1}{4}$  و  $\frac{3}{4}$  المجاز، وأبعاد الفتحات (200\*200 mm) في العينة A و (400\*400 mm) في العينة B. ويبين الشكل (8-2) الجوائز مع أبعادها كافة والقوى المطبقة عليها.

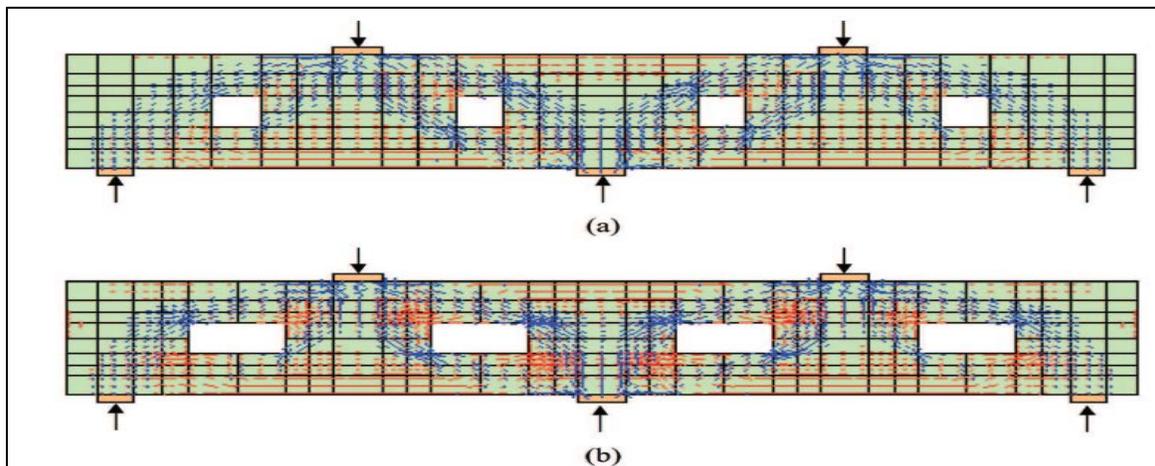
تم استخدام خرسانة من صنف (G30)، حيث بلغت مقاومة الضغط لها  $f'_c$  (26.4 Mpa) و (27.7 Mpa) للعينتين A و B على التوالي، كما تم استخدام قضبان تسليح عالية المقاومة (T10,T13,T20) ذات إجهاد سيلان (460 Mpa)، وقضبان متوسطة المقاومة R10 ذات إجهاد سيلان (250 Mpa).



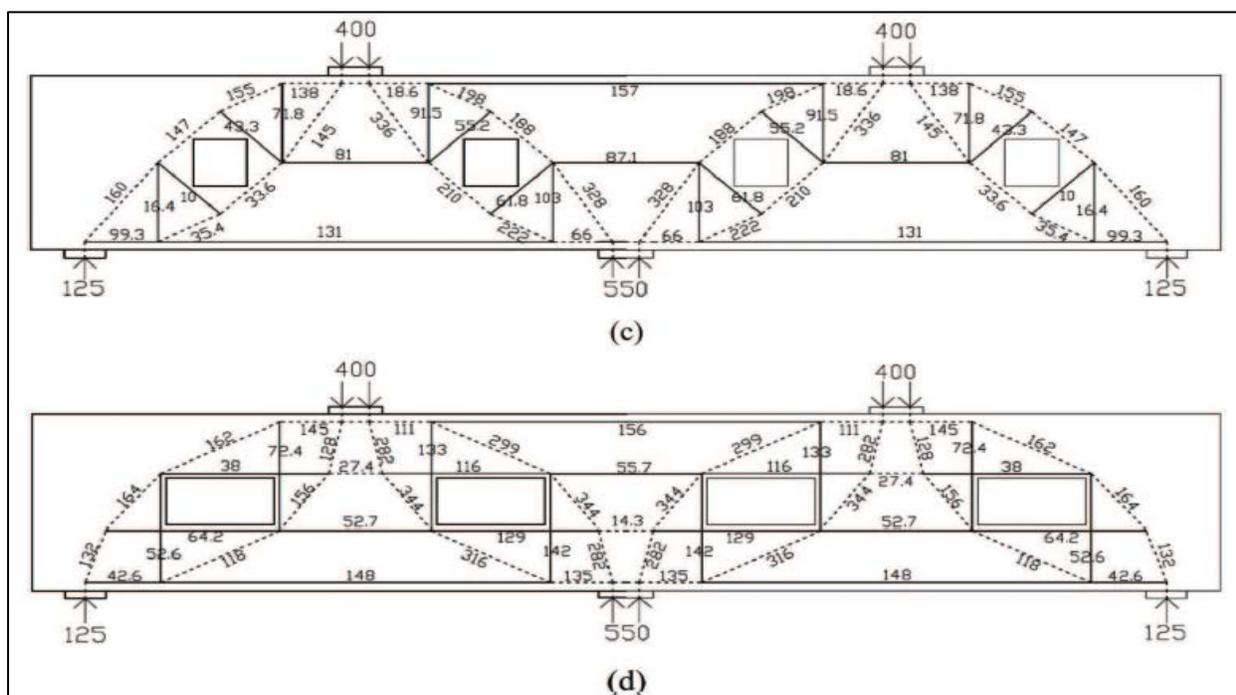
الشكل (8-2): الأبعاد الكلية للعينات المختبرة -mm- ، (Wu and Li, 2009)

تم أولاً تحديد نموذج الـ (STM) عن طريق تطبيق تحليل ثنائي البعد وفق طريقة العناصر المحددة (FEA) على كلا العينتين لتعريف حقل الإجهادات والذي يساعد في تحديد المخطط الدقيق لنموذج الـ (STM) للعينات، حيث تم استخدام حزمة برمجيات (UC-win /WCOMD 1997) والتي تم تطويرها في جامعة طوكيو، وتوضح الأشكال (2-9:a,b) نتيجة التحليل

المطبق، حيث تمثل الأسهم الزرقاء اتجاهات إجهادات الضغط الرئيسية بينما تظهر الأسهم الحمراء اتجاهات إجهادات الشد الرئيسية، و بناءً على معالم توزيع الإجهادات، فإنه يمكن تحديد المخططات الهندسية لنماذج الـ (STM) كما هو موضح في الشكل (2-10)



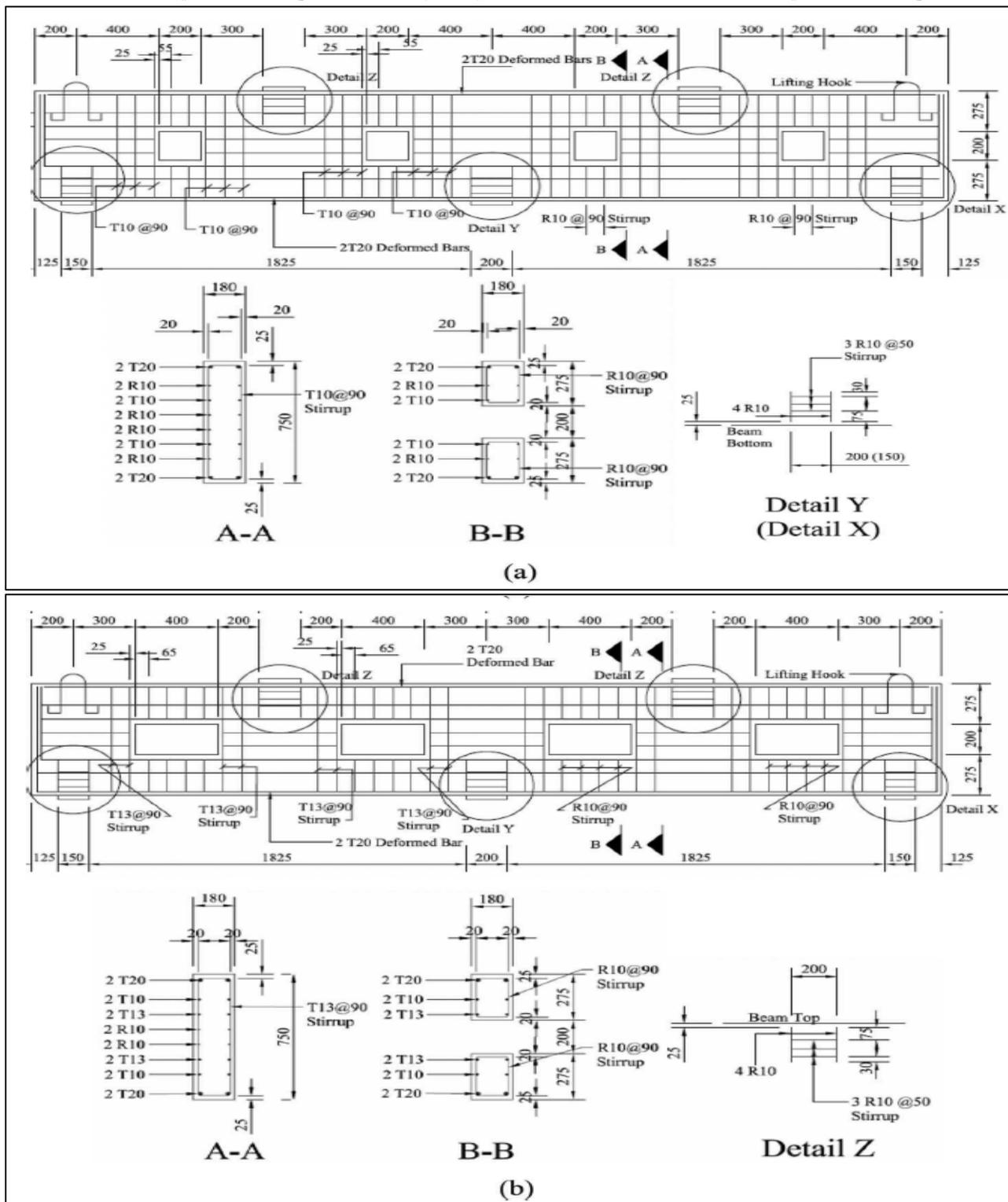
الشكل (2-9): اتجاهات الإجهادات الرئيسية في العينات (A+B) بعد تطبيق تحليل (FEA)، (Wu and Li, 2009)



الشكل (2-10): نموذج الـ (STM) التصميمي للعينات (A+B)، (Wu and Li, 2009)

و بعد الحصول على القوى في النماذج من الممكن تصميم تفاصيل التسليح وفقاً لذلك. حيث بشكل عام تُظهر مواقع واتجاهات عناصر الشد في النماذج الأماكن المطلوبة لتوضع التسليح، حيث يتم حساب مساحة التسليح المطلوبة في كل عنصر شد بتقسيم القوة في العنصر على حاصل ضرب إجهاد السيلان للتسليح ( $f_y$ ) بمعامل تخفيض المقاومة ( $\phi=0.85$ ). تشير

إجهادات الضغط إلى مواقع العناصر المضغوطة والتي تظهر كخطوط منقطعة في الشكل (10-2)، بينما تشير إجهادات الشد إلى مواقع الشدادات والتي تظهر كخطوط مستمرة، يُظهر الشكل (١١-٢) تفاصيل التسليح المستخدمة في كلتا العينتين:

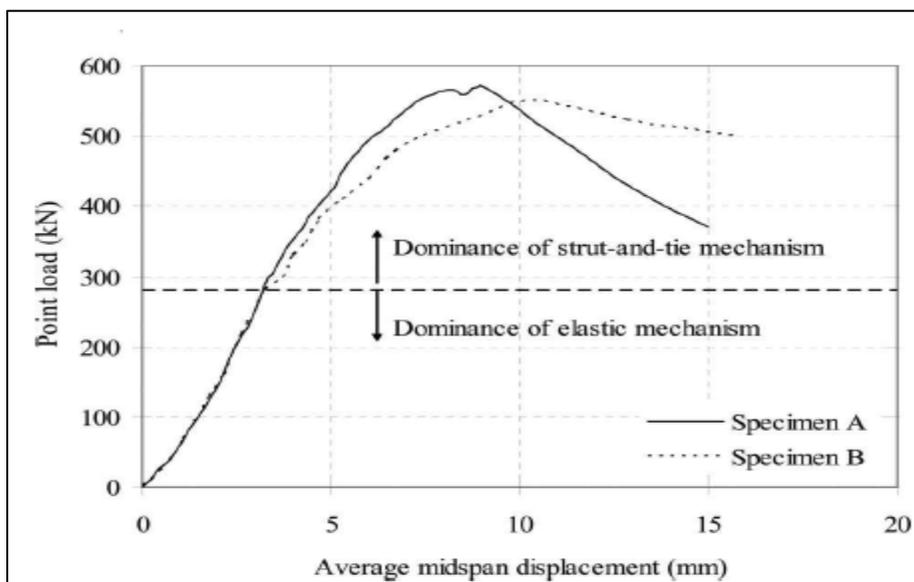


الشكل (١١-٢): تفاصيل التسليح للعينات (A+B) ، (Wu and Li, 2009)

## نتائج الدراسة والمناقشة:

## A- الانتقالات وسط المجاز مقابل الحمولة المطبقة:

يُظهر الشكل (٢-١٢) نقطة التحميل في مجاز واحد مقابل الانتقالات وسط المجاز في العينات، حيث يمثل المحور الأفقي الانتقال وسط المجاز (mm) فيما يمثل المحور الشاقولي الحمولة المطبقة (Kn).



الشكل (٢-١٢): الانتقالات وسط المجاز مقابل الحمولات المطبقة، (Wu and Li, 2009)

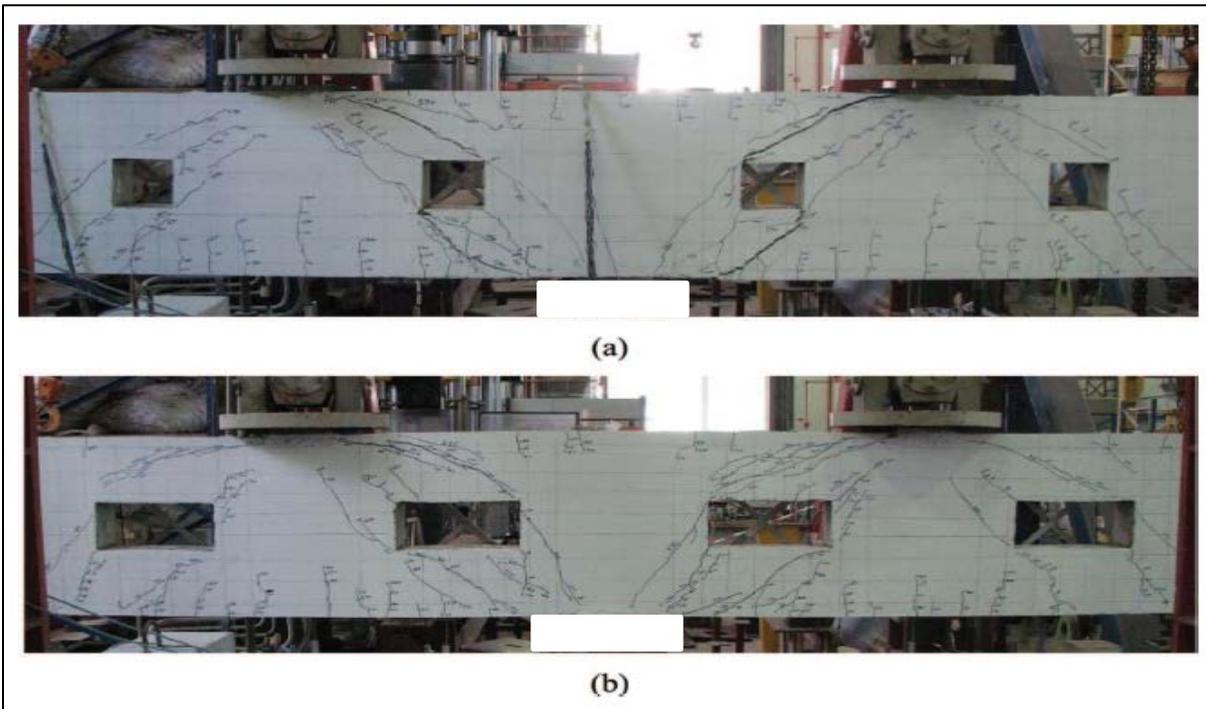
يُظهر المنحني أن الجزء الأولي من المنحنيات خطي تقريباً، حيث تكون التشققات في حدها الأصغري والسلوك مرن في كلا العينتين، كما يُظهر أن سلوك (الحمل-الانتقالات) متطابق في كلا العينتين بالنسبة للجزء الأولي من المنحنيات، ثم يتعد المنحنيان بشكل تدريجي عن الجزء الأولي مع زيادة الحمولة المطبقة.

## B- تولد الشقوق وأنماط الانهيار:

تمت أيضاً دراسة الشقوق وأنماط الانهيارات حيث تظهر الأشكال (2-13, 2-14) أنماط التشققات لكلتا العينتين عند حمولة الاستئثار والحمولة الحدية خلال التجربة، ويُلاحظ أن أنماط التشققات في كلا العينتين تتطابق بشكل جيد مع نماذج الـ (STM) الموضحة في الشكل (٢-١١).



a: عند حمولة الاستثمار



b: عند حمولة الاختبار الحدية

الشكل (2-13): أنماط التشققات في العينتين (A+B) عند حمولة الاستثمار والحمولة الحدية، (Wu and Li, 2009)

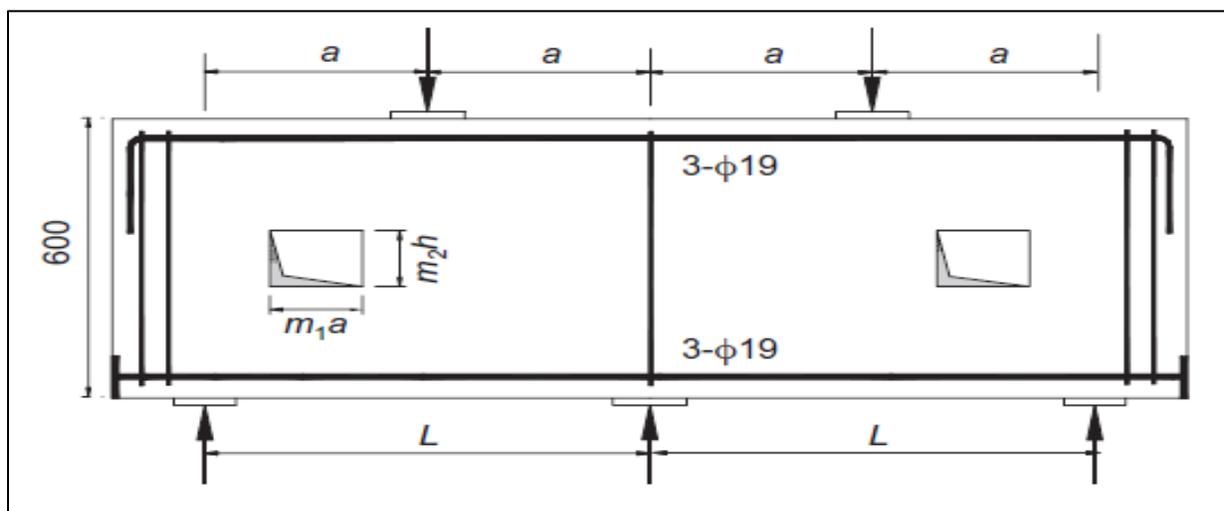
و بالتالي يمكن استخلاص النتائج التالية:

- كلتا العينتين تحملت حمل أعلى من الحمل التصميمي (400kn) ، حيث كانت نسبة حمولة الاختبار الحدية ( $P_{ult}$ ) إلى الحمولة التصميمية ( $P_{des}$ ) ١.٤١، ١.٣٩ للعينتين A و B، أي أن كلا العينتين يملك (40%) أكثر من المقاومة المطلوبة لتحمل الحمل التصميمي، مما يبين موثوقية نموذج الـ (STM) في توقع مقدرة تحمل الجوائز العميقة مع وجود عامل أمان.
  - أظهرت التجارب أن نماذج الـ (STM) تطابق أنماط التشققات، توزيع الإجهادات، وأنماط الانهيار في كلتا العينتين لدرجة مقبولة من الدقة.
  - إجهادات الشد في تسليح القص أو الجسد أظهرت تطابق جيد مع القيم التحليلية، وهو ما يوضح موثوقية نماذج الـ (STM) لتصميم الجوائز العميقة المستمرة بفتحات
- وعليه فإن نموذج الـ STM يقدم حل تصميمي موثوق للجوائز المستمرة مع فتحات، مع ملاحظة أن هذه الطريقة في حالة وجود الفتحات في الجوائز، فلا بد بالاستعانة معها بطريقة العناصر المحدودة لتعريف حقل الإجهادات والذي يساعد في تحديد المخطط الدقيق لنموذج الـ (STM) للعينات.

### 2.7.2 (Yang and Ashour, 2007):

قام الباحثان بإجراء اختبارات تحميل حتى الانهيار على ١٠ جوائز خرسانية مسلحة عميقة مستمرة بفتحات.

تم تسليح الجوائز بتسليح رئيسي سفلي وعلوي وبدون استخدام تسليح شاقولي في الجسد وكانت المتغيرات الرئيسية في الدراسة هي حجم وموقع الفتحات (خارج وداخل مجاز القص) و نسبة العمق الكلي إلى مجاز القص، حيث تم تنفيذ التجربة على جوائز بنسبة (٠.٦ و ١). يبين الشكل (2-14) أبعاد الجوائز وتوضع التسليح في العينات المختبرة:



الشكل (٢-١٤): تفاصيل العينات وترتيب التسليح - كافة الأبعاد بالـ mm ، - (Yang and Ashour, 2007)

الجدول (٢-٢): تفاصيل عينات الاختبار - كافة الأبعاد بالـ mm ، (Yang and Ashour, 2007)

Specimen	$f'_c$ : MPa	$a/h$	$a$ : mm	$L$ : mm	Opening details					
					Location	Width		Depth		$\rho_{oA}$
						$m_1$	$m_1 a$ : mm	$m_2$	$m_2 h$ : mm	
6N	60.7	0.6	360	720	Solid	—	—	—	—	—
6ET1	68.2	0.6	360	720	Exterior shear	0.25	90	0.1	60	0.025
6EF2	68.2	0.6	360	720	spans	0.50	180	0.2	120	0.100
6IT1	68.2	0.6	360	720	Interior shear	0.25	90	0.1	60	0.025
6IF2	68.2	0.6	360	720	spans	0.50	180	0.2	120	0.100
10N	48.1	1.0	600	1200	Solid	—	—	—	—	—
10ET1	60.7	1.0	600	1200	Exterior shear	0.25	150	0.1	60	0.025
10EF2	68.2	1.0	600	1200	spans	0.50	300	0.2	120	0.100
10IT1	68.2	1.0	600	1200	Interior shear	0.25	150	0.1	60	0.025
10IF2	68.2	1.0	600	1200	spans	0.50	300	0.2	120	0.100

تملك جميع الجوائز المختبرة نفس المقطع العرضي بعرض (160mm)، وارتفاع كلي (600mm).

تم استخدام ثلاث قضبان قطر (19mm) وإجهاد سيلان (560Mpa) لكل من التسليح العلوي والسفلي، أي كانت نسبة التسليح

$$\rho'_s = \frac{A'_s}{b_w d} = 1\%$$

تم مد التسليح الرئيسي السفلي على كامل طول الجائز وتم تثبيتهم في نهاية الجائز عن طريق اللحام على صفائح معدنية أبعادها (160\*100\*10 mm)، كما تم مد التسليح العلوي على طول الجائز وتنفيذ عكفة بزواوية ٩٠ وفقاً لمتطلبات الكود الأمريكي (ACI 318-05)، كما هو موضح في الشكل (2-14).

بلغت المقاومة التصميمية للخرسانة (60 Mpa)، و تم تصميم المساند الخارجية بحيث تسمح بالانتقال الأفقي والدوران فيما يمنع المسند الوسطي الحركة الأفقية والشاقولية ويسمح بالدوران، كما تم استخدام صفائح فولاذية بأبعاد (100 و ١٥٠ و ٢٠٠ mm) في نقاط المساند وعند نقاط تطبيق الحمولة. تم قياس الانتقالات الشاقولية في منتصف المجاز عن طريق استخدام مقاييس (LVDTs)، كما تم استخدام مقاييس (PI-type) لقياس عرض الشقوق.

## 2.7.2 نتائج الدراسة والمناقشة:

### A. تولد الشقوق وأنماط الانهيار:

أظهر الاختبار أنه وحتى قبل حمل الانهيار كانت أنماط التشققات فوق وتحت الفتحات متشابهة تقريباً، كما لوحظ نمط تشققات متناظر في كلا المجازين قبل الانهيار، حيث حدث الشق الأول في جميع الجوائز المختبرة (باستثناء العينات المصمتة) في زوايا الفتحات بقرب نقاط التحميل وتوالت الشقوق باتجاه نقاط التحميل مع ازدياد الحمولة. (الشكل ٢-١٥)

بالنسبة للجوائز الحاوية على فتحات في مجازات القص الخارجية، حدثت الشقوق المرنة في مناطق الشد والضغط أسفل وأعلى الجائز بشكل متزامن تقريباً مع شق قطري داخل مجاز القص بعد حدوث الشقوق القطرية حول الفتحات الخارجية.

في الجوائز الحاوية على فتحات في مجازات القص الداخلية تتركز معظم التشققات في زوايا الفتحات و لا تظهر شقوق قطرية في مجازات القص الخارجية للجوائز ذات النسبة  $(a/h=1)$ .

نمط الانهيار في الجوائز الحاوية على فتحات في مجازات القص الخارجية تأثر بشكل كبير بحجم الفتحة بغض النظر عن نسبة العمق الكلي إلى مجاز القص.

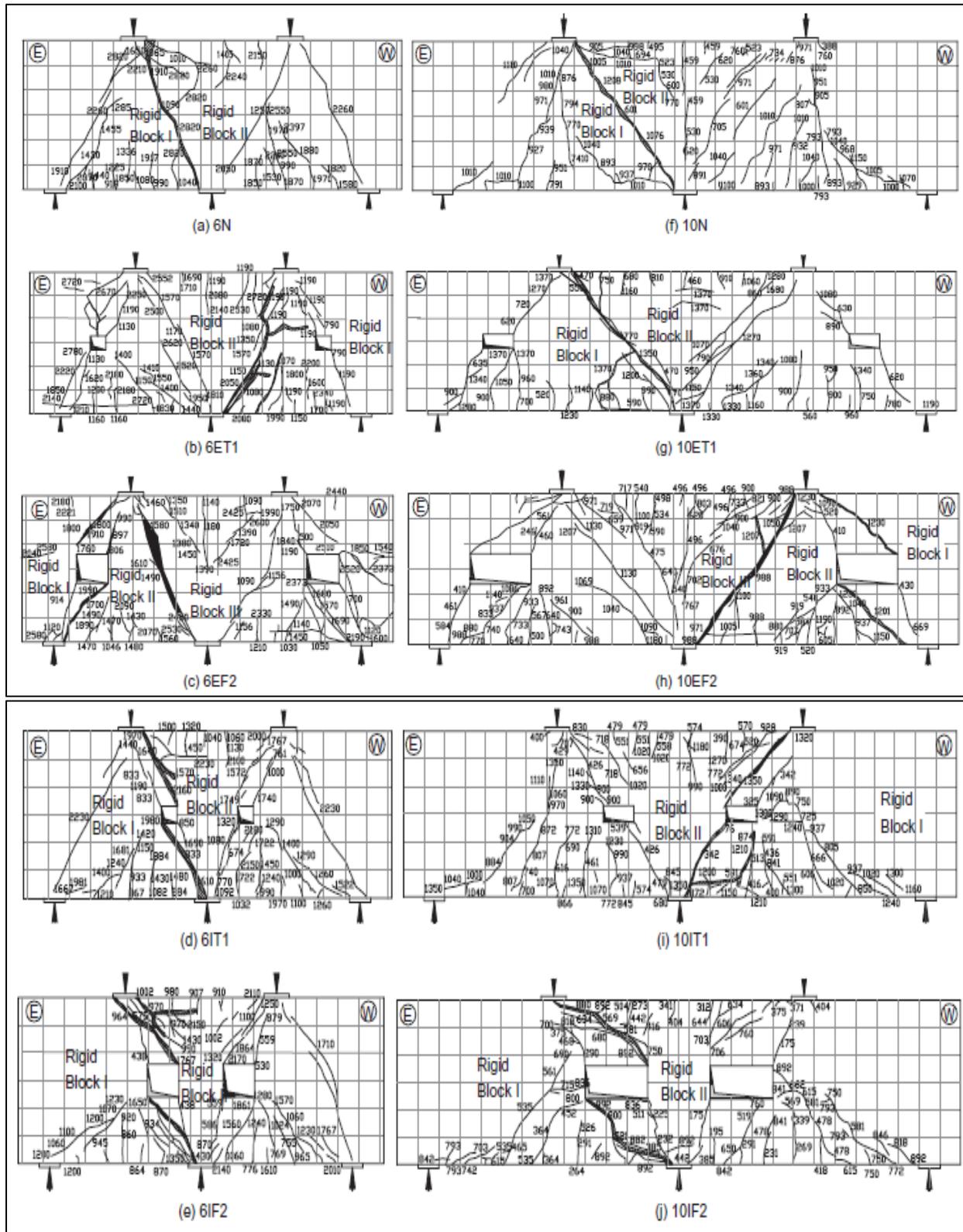
في الجوائز الحاوية على فتحات صغيرة في مجازات القص الخارجية تشكلت مستويات الانهيار بشكل قطري في منطقة الضغط الداخلية وحتى نقاط الحمولة والمسند الوسطي بشكل مشابه للجوائز المصمتة، فيما حدث انهيار الجوائز الحاوية على فتحات كبيرة في مجازات القص الخارجية في كلا مجازي القص الداخلي والخارجي.

بينما مستويات الانهيار للجوائز الحاوية على فتحات في مجازات القص الداخلية تشكلت بشكل قطري في منطقة ضغط الخرسانة وحتى نقاط التحميل وزوايا الفتحات بغض النظر عن حجم الفتحة ونسبة مجاز القص إلى العمق.

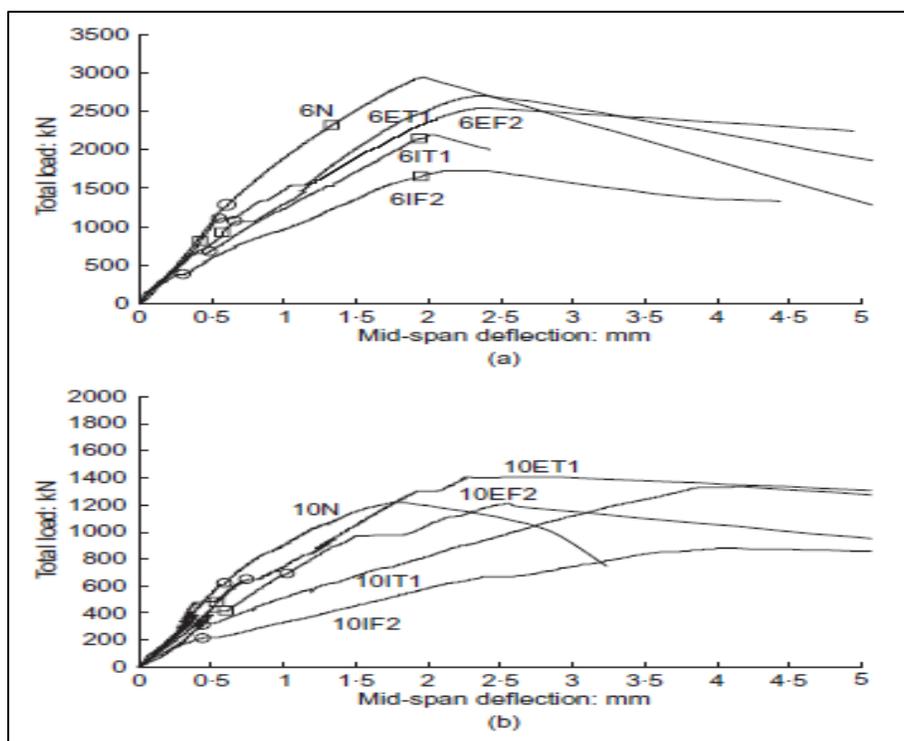
## B. الانتقالات وسط المجاز مقابل الحمولة المطبقة:

يوضح الشكل (٢-١٦) العلاقة بين الانتقال في وسط المجاز على المحور الأفقي مقابل الحمولة الكلية المطبقة على المحور الشاقولي، ويُلاحظ أن القساوة الأولية للجوائز الحاوية على فتحات متساوية تقريباً مع قساوة الجوائز المصمتة بغض النظر عن حجم وموقع الفتحات، حيث يزداد سهم الجوائز بشكل كبير بعد تشكل الشق القطري الأول في زوايا الفتحات، ويكون معدل الزيادة أكثر وضوحاً مع زيادة حجم الفتحات ونسبة مجاز القص إلى العمق.

يسبب وجود الفتحات في مجازات القص الداخلية انخفاضاً في القساوة أعلى من حالة الفتحات الموجودة في مجازات القص الداخلية.



الشكل (2-15): أنماط التشققات والانهيال للجوائز المختبرة، (Yang and Ashour, 2007)



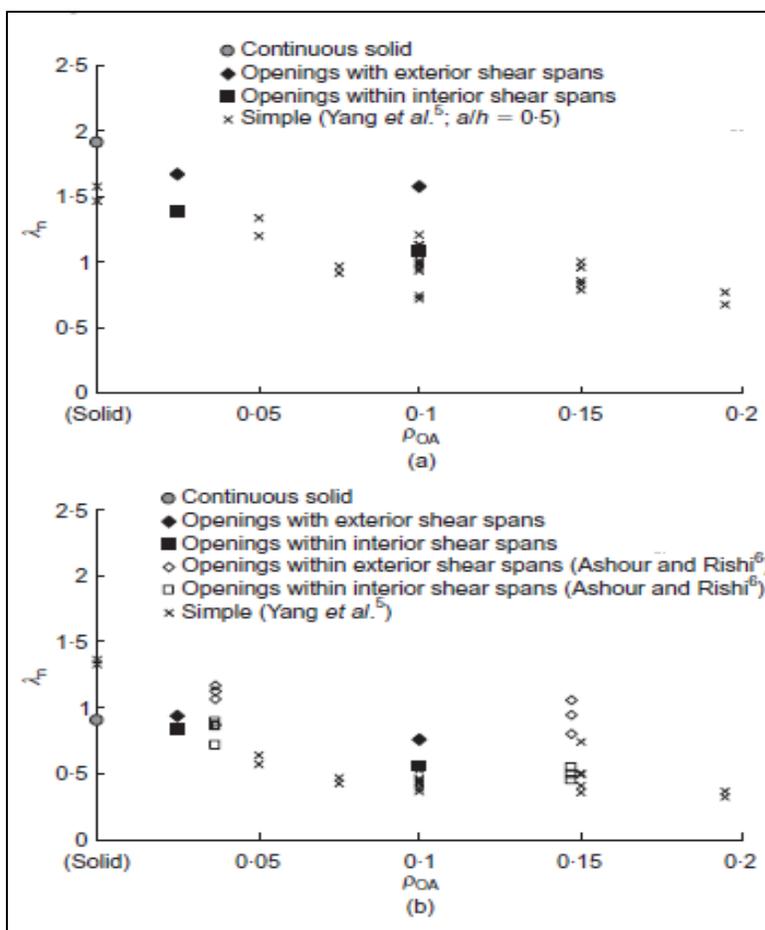
الشكل (٢-١٦): السهم وسط المجاز مقابل الحمولة الكلية المطبقة

a، نسبة مجاز قص إلى العمق الكلي (0.6)b.(١) (Yang and Ashour, 2007)

### C. قدرة تحمل الجوائز:

يظهر الشكل (٢-١٧) أثر نسبة مساحة الفتحة إلى مساحة مجاز القص ( $\rho_{OA}$ ) على مقدرة القص الاسمية ( $\lambda_n = P_n/b_w *$ ) في مجاز القص للعينات المختبرة، حيث ( $P_n$ ) الحمولة الكلية المطبقة.

يُظهر الشكل أن مقدرة التحمل الاسمية في الجوائز ذات نسبة مجاز القص إلى العمق الكلي (٠.٦) أعلى من مثيلاتها في الجوائز ذات النسبة (١) بالنسبة لكل من الجوائز المصممة والجوائز بفتحات، كما يحوي الشكل على نقاط تمثل اختبارات قام بها الباحثان مسبقاً على جوائز بسيطة مماثلة لجوائز الاختبار و يُلاحظ أن مقدرة التحمل الاسمية للجوائز التي تملك فتحات في مجازات القص الخارجية كانت أعلى من الجوائز التي تملك فتحات في مجازات القص الداخلية وأعلى منها حتى الجوائز البسيطة وذلك بغض النظر عن نسبة مجاز القص إلى العمق الكلي.



الشكل (٢-١٧): العلاقة بين  $\rho_{OA}$  و  $\lambda_n$

a، نسبة مجاز القص إلى العمق الكلي (0.6). b (١)، (Yang and Ashour, 2007)

و في نهاية التجربة تم استخلاص النتائج التالية:

- تمت ملاحظة نمطي انهيار يتأثران بحجم وموقع فتحات الجسد، بغض النظر عن نسبة مجاز القص إلى العمق الكلي، حيث أن تغير نمط الانهيار للجوائز التي تملك فتحات في مجازات القص الخارجية كان يعتمد بشكل كبير على نسبة مساحة الفتحة إلى مساحة مجاز القص.
- ظهرت شقوق قطرية أكبر في الجوائز التي تملك فتحات في مجازات القص الداخلية من تلك التي تملك فتحات في مجازات القص الخارجية والتي أظهرت عرض شقوق قطرية مشابه للجوائز المصممة.
- مقدرة التحمل الاسمية للجوائز التي تملك فتحات في مجازات القص الخارجية كانت أعلى من الجوائز التي تملك فتحات في مجازات القص الداخلية وأعلى منها حتى الجوائز البسيطة ذات الفتحات عند مقارنة القيم مع الدراسات السابقة، وذلك بغض النظر عن نسبة مجاز القص إلى العمق.
- مقدرة القص الاسمية للجوائز المستمرة بفتحات كانت أعلى بقليل من مثيلاتها في الجوائز البسيطة ذات نفس مساحة الجسد، وكان الاختلاف بارزاً بشكل أكبر في حالة نسبة مجاز القص إلى العمق (٠.٦) مع المقارنة مع عندما كانت النسبة (١).

3.7.2 (Lee et al., 2008):

قام الباحثون باختبار جوائز خرسانية مسلحة عميقة مستمرة لتقدير مقاومة القص مع المكان المتغير لفتحات الجسد، حيث تم إجراء تجارب مخبرية على خمس عينات بفتحات دائرية تحت تأثير حملين مركزيين.

تملك الجوائز نسبة مجاز قص إلى العمق مساوية للواحد و كل العينات مستندة بالوسط بعرض (40cm) وعلى الأطراف بعرض (30cm) ويوجد نقطتي تحميل بعرض (30cm) في مركزي المجازين.

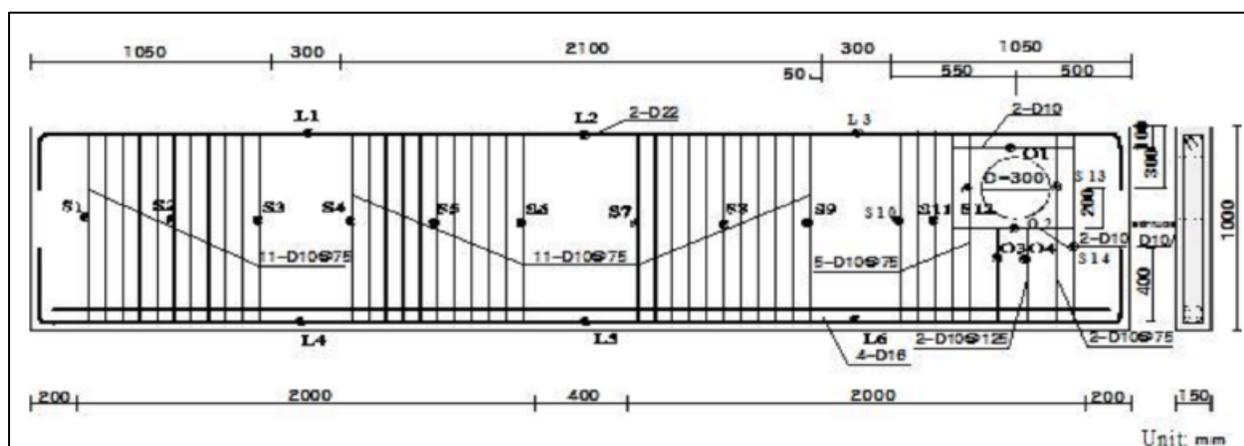
العينة (DB#1) عينة أساسية بدون فتحات، فيما الجوائز الأخرى لها فتحات دائرية قطرها (30cm).

المتغير الرئيسي في التجربة هو موقع الفتحات.

تم تسليح الجوائز العميقة بأساور شاقولية بقطر (D10) في مجاز القص فقط. كما تم استخدام (٤) قضبان بقطر (16mm) متوضعة على طبقتين كتسليح الشد الرئيسي، يُظهر الجدولين (3-2) نتائج اختبار الخرسانة والتسليح المستخدم في العينات، فيما يبين الشكل (18-2) تفاصيل التسليح في العينة (DB#2):

الجدول (3-2): مواصفات الخرسانة والتسليح المستخدم في التجربة، (Lee et al., 2008)

Table 2.3 Tensile test of steel bar (kgf/cm <sup>2</sup> )				Table 2.2 Compressive test of concrete (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	Yield stress	Tensile stress	Elastic modulus	Concrete (28days)	
D10	3577.2	4705.5	1.82E+06	Design stress	210.0
D16	4431.5	6618.1	2.06E+06	Test compressive stress	242.2
D22	3880.0	5984.3	1.83E+06	Test tensile stress	19.4
				Elastic modulus	2.33E+05



الشكل (18-2): تفاصيل التسليح في العينة DB#2، (Lee et al., 2008)

تم استخدام جهاز تحميل بحمولة كلية (200ton) في نقطتي تحميل، كما تم وضع مقاييس (LDTVs) تحت الجزء السفلي في كلا المجازين لإيجاد العلاقة بين الحمولة المطبقة والانتقال العظمي، كما تم تثبيت عدة مقاييس تشوهات في مواقع مختلفة من العينة.

## 3.7.2 نتائج الدراسة والمناقشة:

## A. الحمولة الأعظمية:

يظهر الجدول (4-2) قيم حمولة الشقوق الأولية وقيم الحمولة الأعظمية لكل من العينات.

الجدول (4-2): قيم حمولات التشقق والانهيال للجوائز المختبرة، (Lee et al., 2008)

Specimen	$P_{cr}$	$P_{oc}$	$P_{sc}$	$P_{max}$	$P_{cr}/P_{st}^*$	$P_{oc}/P_{st}$	$P_{sc}/P_{st}$	$P_{max}/P_{st}$
DB#1	65	-	75	183	0.355	-	0.410	1.000
DB#2	47	52	65	159	0.257	0.284	0.355	0.869
DB#3	57	62	74	168	0.311	0.399	0.404	0.918
DB#4	40	50	68	168	0.219	0.273	0.372	0.918
DB#5	49	56	74	169	0.268	0.306	0.404	0.923

حيث:

$P_{cr}$ : حمولة تشكل أول شق شد.  $P_{st}$ : الحمولة الأعظمية للينة المصمتة (DB#1)  $183 \text{ t.f}$ .

$P_{sc}$ : حمولة تشكل شقوق القص.  $P_{co}$ : حمولة الشقوق حول الفتحات.

$P_{max}$ : الحمولة الأعظمية.

يُلاحظ أن الحمولة الأعظمية للجوائز بفتحات تساوي تقريباً (٩٠%) من حمولة العينة (DB#1) والتي لا تحوي على فتحات.

## B. تشكل الشقوق والانهيال:

يُلاحظ من الجدول (٢-٤) أن أكبر حمولة قبل تشكل التشققات كانت في العينة المصمتة (DB#1)، فيما كانت أصغر حمولة في العينة (DB#4).

في البداية تظهر شقوق الشد الأولية، ثم تظهر الشقوق القطرية حول الفتحات وتستمر بالظهور والانتشار مع ازدياد الحمولة المطبقة تستمر الشقوق بالتوالد حتى حدوث الانهيار.

وتبين الأشكال التالية الشقوق وأنماط الانهيار في الجوائز المدروسة بعد إجراء التجربة:

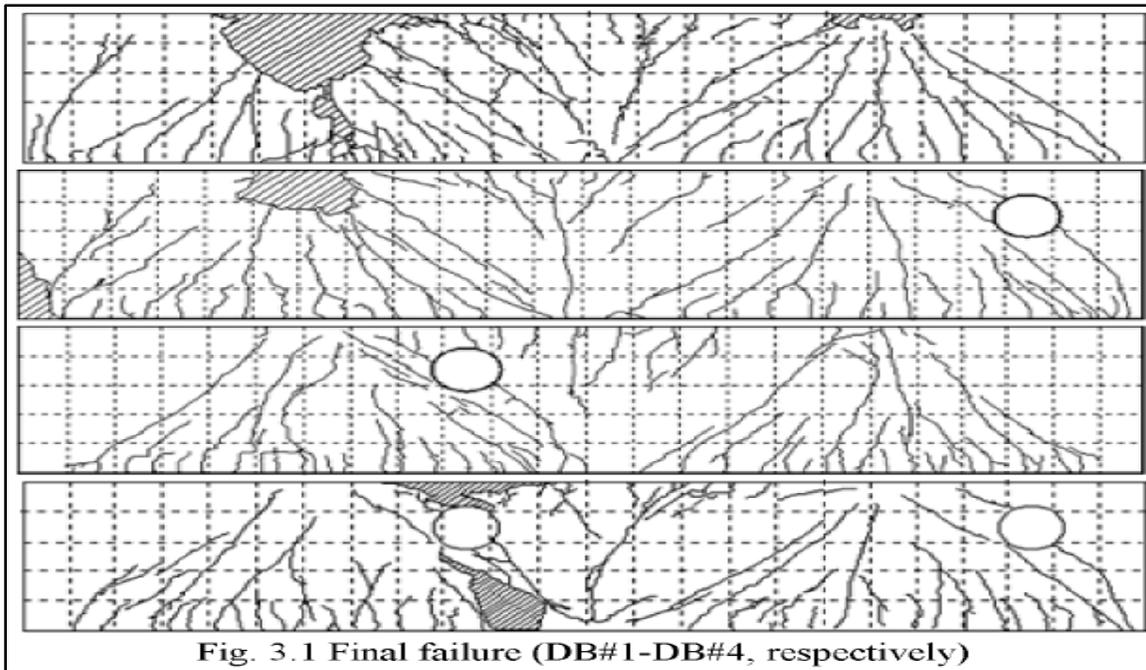
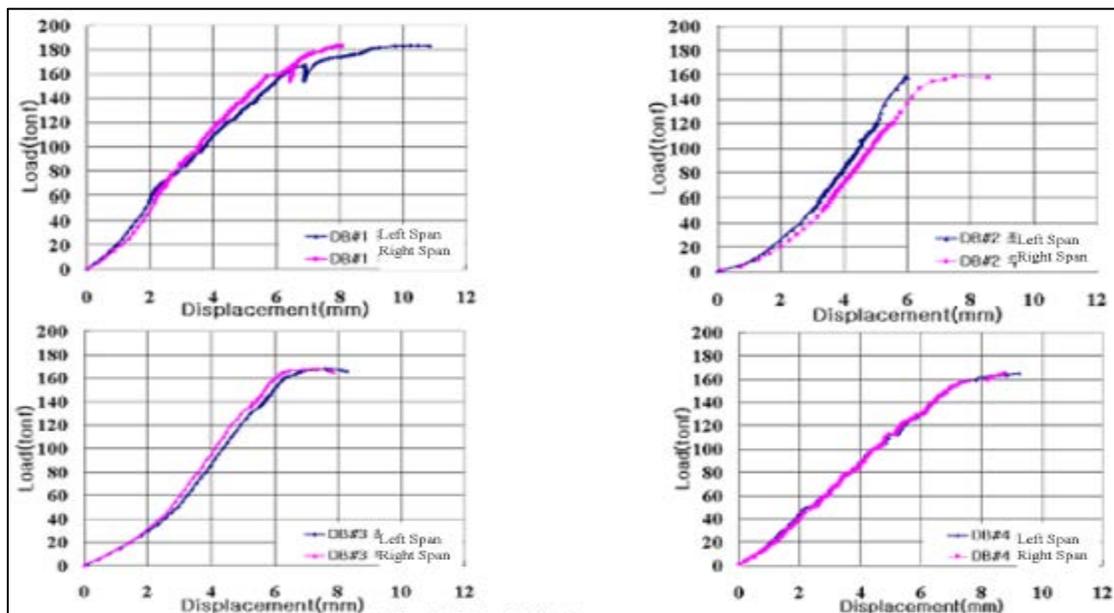


Fig. 3.1 Final failure (DB#1-DB#4, respectively)

الشكل (٢-١٩): أنماط الانهيار في العينات المختبرة، (Lee et al., 2008)

C. الانتقالات وسط المجاز مقابل الحمولة المطبقة:

يبين الشكل (٢-٢٠) العلاقة بين الانتقال في وسط المجاز على المحور الأفقي مقابل الحمولة الكلية المطبقة على المحور الشاقولي.



الشكل (٢-٢٠): العلاقة بين القوة المطبقة والانتقال وسط المجاز، (Lee et al., 2008)

يُلاحظ أولاً أن قيمة الحمولة المسببة للسهم الأعظمي في العينة المصممة أكبر منها في العينات ذو الفتحات. كما يُلاحظ أن قيمة السهم في المجاز الحاوي على فتحة أكبر منها في المجاز غير الحاوي على فتحة بالنسبة للعينة الواحدة. و في نهاية التجربة تم استخلاص النتائج التالية:

- مقاومة القص في الجوائز العميقة بدون فتحات والمحسوبة من المعادلة

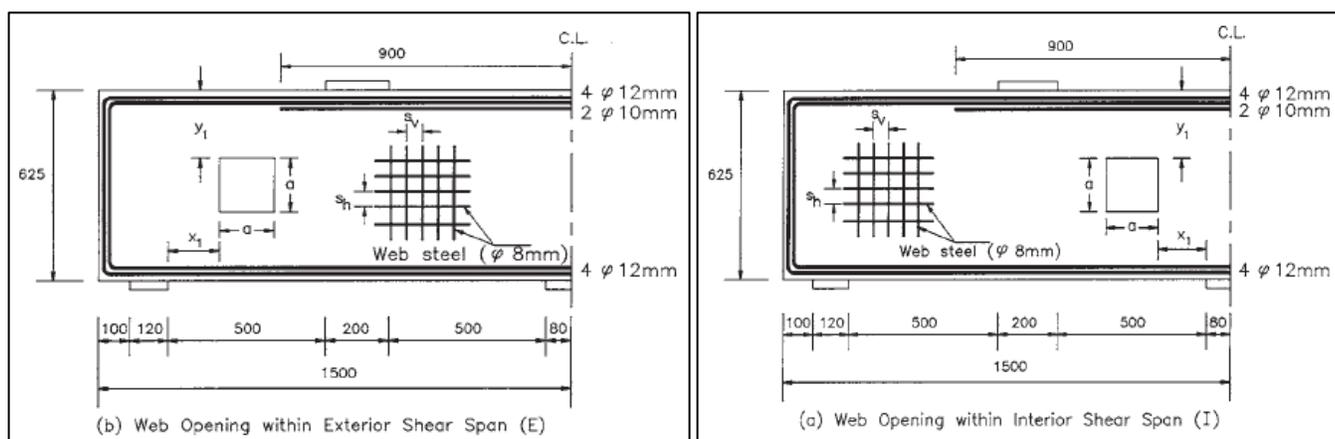
$$V_n = 0.18 \left(10 + \frac{l_n}{d}\right) \sqrt{f_{ck}} * b_w * d$$

النتائج التجريبية.

- تبلغ مقاومة القص في الجوائز العميقة ذات الفتحات بقطر مساوٍ ٠.٣ من عمق الجائز ما يقارب (87-92%) من قيمة مقاومة القص للجوائز المشابهة ولكن بدون فتحات في الجسد.
- عموماً، يكون ميل منحنى (الحمولة-انتقال) أكثر انحداراً في المجاز بفتحات منه في حالة المجاز بدون فتحات.
- إذا توضع الفتحة في منطقة الشد، فمن الضروري تسليح الجائز بشكل كافي حول الفتحة لمنع تزايد الشقوق المتولدة.

## 4.7.2 (Ashour and Rishi, 2000)

قام الباحثان بإجراء اختبارات على (١٦) جائز عميق مستمر ويحوي على فتحات في الجسد. كل العينات لها نفس الأبعاد والتسليح الطولي والسفلي، والمتغيرات الرئيسية هي حجم وموقع فتحات الجسد وترتيب تسليح الجسد. تملك العينات ارتفاع مقطع يبلغ (625mm) وعرض (120mm) وطول كلي يبلغ (3000mm) كما هو موضح في الشكل (2-22).



b: فتحات الجسد في مجازات القص الداخلية

a: فتحات الجسد في مجازات القص الخارجية.

الشكل (2-21): تفاصيل وأبعاد العينات المختبرة -كافة الأبعاد بال mm ، (Ashour and Rishi, 2000)

موقع مراكز الحمولات والمساند واحد في جميع العينات. تم استخدام حجمين من الفتحات: صغير-S- (125\*125mm)، وكبير-L- (250\*250mm)، وتم اختيار مواقع الفتحات بحيث تقطع مسار الحمولة بين نقطة تطبيق القوة والمساند، كما تم استخدام تسليح رئيسي علوي وسفلي بمساحة واحدة في جميع الجوائز، حيث يتألف التسليح الرئيسي السفلي من أربع قضبان بقطر (12mm) ممتدة على كامل طول الجائز لتأمين أطوال تثبيت كافية، أما التسليح العلوي فهو عبارة عن أربع قضبان بقطر (12mm)، وقضيبين بقطر (10mm).

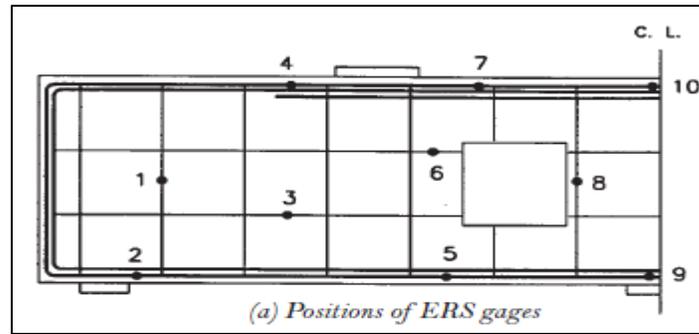
تم تقسيم الجوائز إلى أربع مجموعات وفقاً لترتيب تسليح الجسد، حيث تملك المجموعة الأولى (A) قيماً كبيرة لكل من التسليح الرئيسي وتسليح الجسد الشاقولي والتسليح الأفقي، فيما تملك المجموعة الثانية (B) كمية أقل من التسليح الرئيسي وتسليح الجسد الشاقولي والتسليح الأفقي. المجموعة (C) تملك تسليح أفقي فقط بدون تسليح شاقولي، بينما تحوي المجموعة الرابعة على تسليح شاقولي فقط.

كما قام الباحثون بمقارنة النتائج مع نتائج الاختبارات للعينات المصممة (CDB1, CDB2, CDB3, CDB4) والمختبرة سابقاً من قبل الباحثان، حيث تملك هذه العينات نفس ترتيب تسليح المجموعات (A, B, C, D) على التوالي والمختبرة في البحث الحالي. تسليح الجسد الشاقولي عبارة عن أساور مغلقة، والتسليح الأفقي عبارة عن قضبان متوضعة على وجهي الجائز، ويبين الجدول (٥-٢) تفاصيل التسليح في العينات المختبرة:

الجدول (٥-٢): تفاصيل التسليح في العينات المختبرة، (Ashour and Rishi, 2000)

Group No.	Main Longitudinal Reinforcement						Web Reinforcement							
	Bottom			Top			Horizontal				Vertical			
	No.	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	No.	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	No.*	$S_v^{***}$ (mm)	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	No.**	$S_v^{****}$ (mm)	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_s$ (N/mm <sup>2</sup> )
Group A (A-E-S, A-I-S, A-E-L, A-I-L)	4φ12mm	510	2.01E05	4φ12mm + 2φ10mm	510 + 590	2.01E05 + 1.94E05	8φ8mm	100	400	1.95E05	29φ8mm	100	400	1.95E05
Group B (B-E-S, B-I-S, B-E-L, B-I-L)	4φ12mm	510	2.01E05	4φ12mm + 2φ10mm	510 + 590	2.01E05 + 1.94E05	4φ8mm	200	400	1.95E05	15φ8mm	100	400	1.95E05
Group C (C-E-S, C-I-S, C-E-L, C-I-L)	4φ12mm	510	2.01E05	4φ12mm + 2φ10mm	510 + 590	2.01E05 + 1.94E05	4φ8mm	200	400	1.95E05	-	-	-	-
Group D (D-E-S, D-I-S, D-E-L, D-I-L)	4φ12mm	510	2.01E05	4φ12mm + 2φ10mm	510 + 590	2.01E05 + 1.94E05	-	-	-	-	15φ8mm	100	400	1.95E05

يبين الجدول (٦-٢) خصائص الخرسانة المستخدمة في الجوائز المختبرة، ويبين الشكل (٢-٢٢) مكان توضع مقاييس التشوهات في أحد الجوائز المختبرة.



الشكل (2-22): أماكن توضع مقاييس التشوهات، (Ashour and Rishi, 2000)

الجدول (2-6): مواصفات الخرسانة في الجوائز المختبرة، (Ashour and Rishi, 2000)

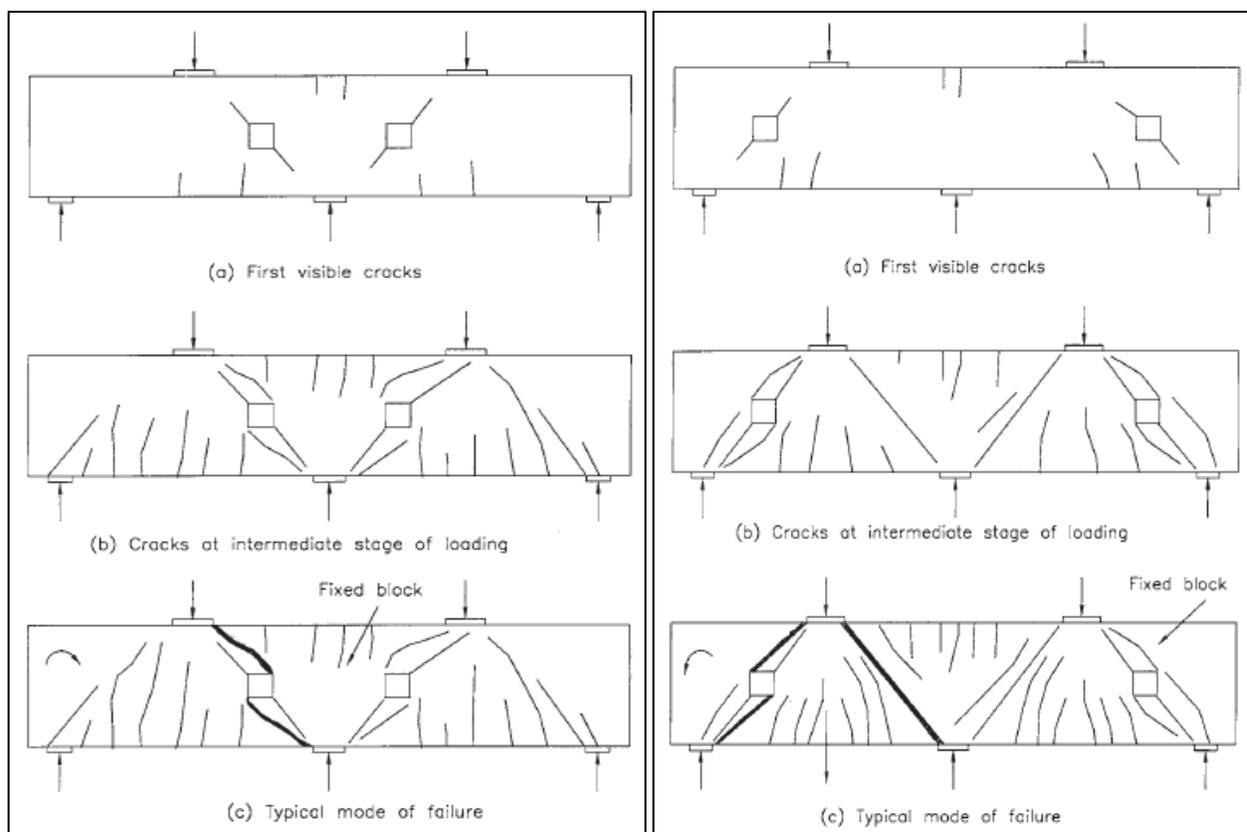
Beam no.	$f_{cu}$ , N/mm <sup>2</sup>	$f'_c$ , N/mm <sup>2</sup>	$f_r$ , N/mm <sup>2</sup>
A-E-S	33.1	26.5	3.4
A-I-S	26.0	20.8	3.5
A-E-L	37.3	29.8	3.6
A-I-L	31.1	26.1	4.8
B-E-S	33.0	26.4	3.8
B-I-S	32.2	26.1	4.3
B-E-L	31.4	26.9	3.4
B-I-L	31.6	25.3	3.7
C-E-S	28.5	24.7	3.5
C-I-S	26.9	22.9	3.6
C-E-L	29.4	25.0	3.4
C-I-L	29.9	23.9	3.5
D-E-S	29.0	24.7	3.9
D-I-S	28.4	25.5	3.7
D-E-L	35.1	28.1	3.4
D-I-L	30.9	26.2	3.7

## 4.7.2 نتائج الدراسة والمناقشة:

### A. تولد الشقوق وأنماط الانهيار:

تظهر أول شقوق قطرية مرئية في الزوايا العلوية والسفلية للفتحات باتجاه نقاط التحميل والمساند. كما يُظهر الشكل (2-23)

عند ازدياد الحمولة تبدأ الشقوق المرنة بالظهور في منتصف المجازات وفوق المساند الداخلية، ومع ازدياد الحمولة يُلاحظ حدوث شقوق قطرية مرنة جديدة فيما يتزايد عرض وطول الشقوق الأولية مباشرة قبل الانهيار يُلاحظ أن جانبي العينة يملكان تقريباً نفس شكل التشققات.



b: الجوائز التي تملك فتحات في مجازات القص الداخلية

a: الجوائز التي تملك فتحات في مجازات القص الخارجية

### الشكل (23-2): أشكال التشققات في مراحل مختلفة من التحميل ، (Ashour and Rishi, 2000)

تظهر نتائج الاختبارات أن جميع العينات انهارت بسبب التشققات القطرية، ويمكن من الشكل ملاحظة وجود نمطين واضحين من الانهيار، حيث يعتمد نمط الانهيار بشكل رئيسي على موقع فتحات الجسد.

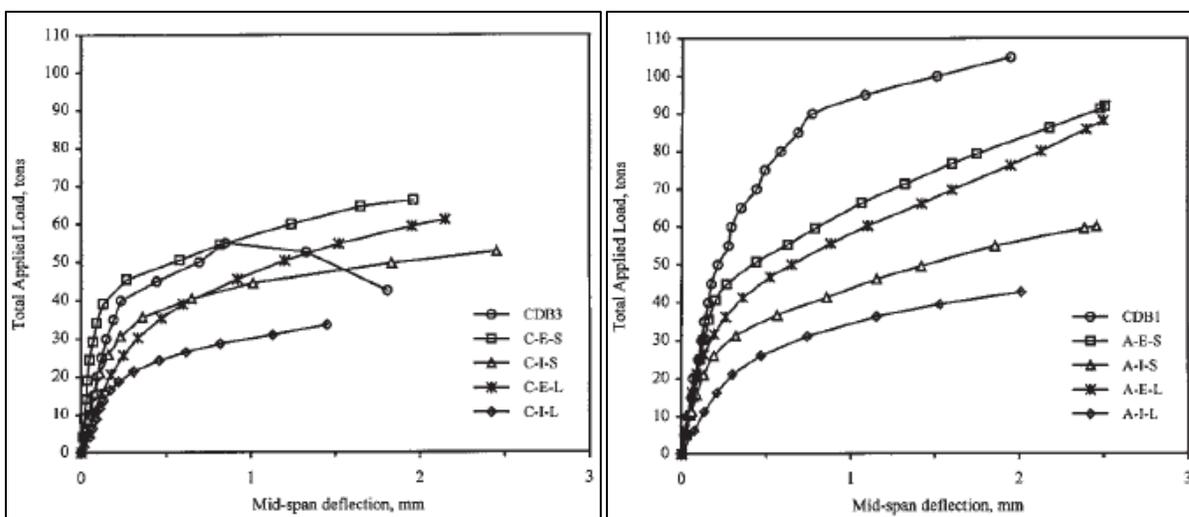
يؤثر ترتيب تسليح الجسد بشكل واضح على حمولة الانهيار، ولكن لا يؤثر على نمط الانهيار

في الجوائز الحاوية على فتحات في مجازات القص الخارجية تظهر الشقوق في زوايا الفتحات وتتوالد بالاتجاهين نحو نقاط التحميل والمسند، في نفس الوقت تظهر شقوق قطرية أخرى بين طرف الحمولة والمسند الوسطي.

في الجوائز الحاوية على فتحات في مجازات القص الداخلية تتشكل الشقوق في زوايا الفتحات وتمتد باتجاه نقاط التحميل والمسند.

### B. الانتقالات وسط المجاز مقابل الحمولة المطبقة:

يظهر الشكل (24-2) العلاقة بين الانتقال في وسط المجاز على المحور الأفقي مقابل الحمولة الكلية المطبقة على المحور الشاقولي، وذلك للجوائز المختبرة حالياً وللجوائز المصممة المختبرة سابقاً.



الشكل (24-2): العلاقة بين الانتقال وسط المجاز والحمولة الكلية المطبقة، (Ashour and Rishi, 2000)

كل المنحنيات في الشكل (٢٤-٢) سُجلت للمجاز المنهار أولاً.

يظهر من الشكل أن السهوم في المرحلة الأولى من التحميل في الجوائز المختبرة في كل مجموعة كانت مستقلة عن حجم وموقع الفتحات.

في مستويات أعلى من التحميل، أظهرت الجوائز الحاوية على فتحات كبيرة في مجازات القص الداخلية أكبر قيم للسهوم ضمن المجموعة الواحدة.

أظهرت الجوائز الحاوية على فتحات صغيرة في مجازات القص الخارجية منحى قريب لحد كبير من حالة منحنيات الجوائز المصمتة.

## ٨.٢ خلاصة الفصل الثاني Conclusion of the second chapter

تم من خلال هذا الفصل إجراء مراجعة بحثية لمواضيع تتعلق بهذا البحث، وقد تم التعرف على خصائص مادة البيتون المسلح ومقاومتها على الضغط والشد، وكذلك خصائص حديد التسليح، ثم تم ذكر تصنيف الجوائز البيتونية المسلحة وفقاً للعمق، مع التركيز على سلوك الجوائز البيتونية المسلحة العميقة المستمرة. ثم تم شرح تأثير وجود الفتحات في جسد الجوائز العميقة بشكلها المستطيل، بالإضافة إلى ذلك تمت الإشارة إلى تأثير تسليح الجسد على سلوك الجوائز العميقة الحاوية على فتحات.

كما تم استعراض مجموعة من الدراسات المرجعية والأبحاث التي تناولت دراسة سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة والحوية على فتحات واختلاف سلوكها بتغيير بعض العوامل المؤثرة.

## الفصل الثالث: طريقة نموذج الضاغط والشداد Strut and Tie Method (STM)

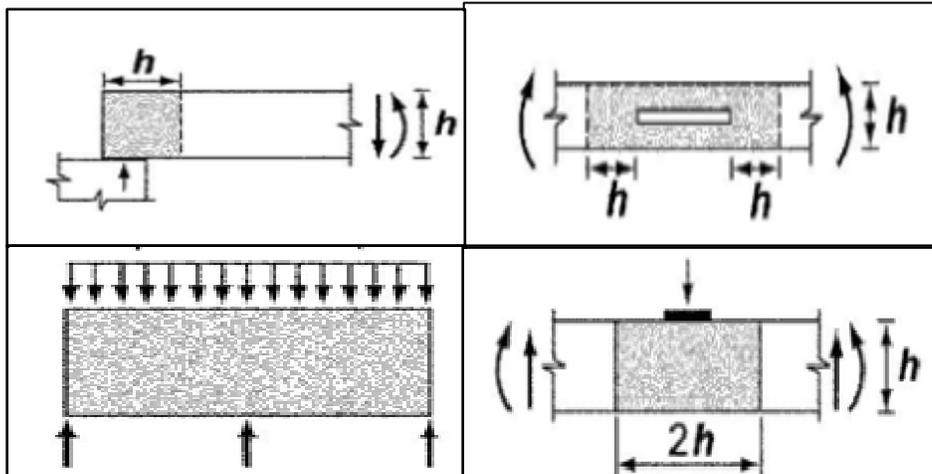
### ١.٣ مقدمة (Introduction):

يتناول هذا الفصل طريقة الضاغط والشداد (STM) في تصميم العناصر التي لا تخضع لفرضية برنولي للمقاطع المستوية (كالجوائز العميقة)، نظراً لأهميتها واعتمادها في الكود الأمريكي (ACI 318, 2011) في النسخ (2002) وما بعد. حيث يستعرض هذا الفصل أولاً بعض التعاريف الأساسية المتعلقة بهذه الطريقة ومن ثم يشير إلى أهميتها وتاريخها. بالإضافة إلى إجراءات تصميم نموذج الـ (STM)، وكيفية تحديد شكل النموذج. ومن ثم حل مثال عملي بالاستناد على قواعد هذه الطريقة وهو جوائز عميق تمت دراسته من قبل (Ashour and Rishi, 2000).

### ٢.٣ تعريف (Definitions):

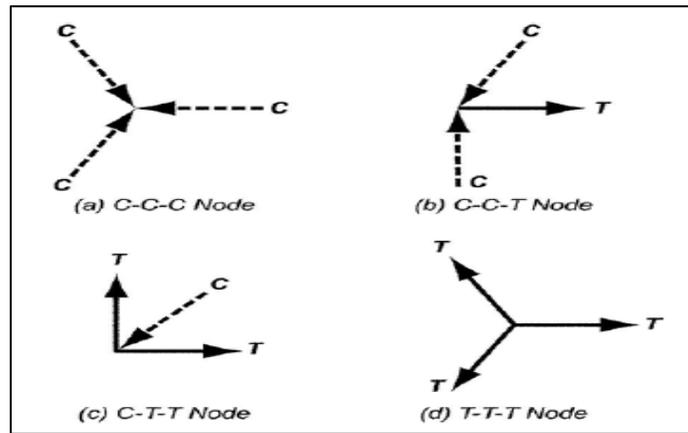
يقدم الكود الأمريكي (ACI 318-11) شرح لكل من الشدادات والعناصر المضغوطة والعقد وأشكالها، حيث تم ذكر تصنيفاتها وتفصيلها، بالإضافة إلى الإجهادات المسموحة في العناصر والعقد ومساحات المقاطع المكافئة للعناصر والعقد.

- **B-Region**: هي الجزء من العنصر حيث يمكن عنده تطبيق فرضية المقاطع المستوية برنولي (Bernoulli).
- **D-Region**: هي الجزء من العنصر على امتداد مسافة تساوي ارتفاع العنصر ( $h$ ) من الانقطاع في القوة أو في أبعاد العنصر، حيث يحصل تغير في توزيع الإجهادات في هذه المنطقة بحيث لا تتوزع بشكل خطي على ارتفاع العنصر كما هو الحال في مناطق (Bernoulli)، ومن الممكن القول أنه عموماً أي جزء من العنصر خارج الـ (D-Region) يُعد (B-Region)، ويبين الشكل (١-٣) مناطق (B-Region D-Region) في بعض العناصر الإنشائية، تشير المناطق المظلمة إلى مناطق الـ (D-Region).



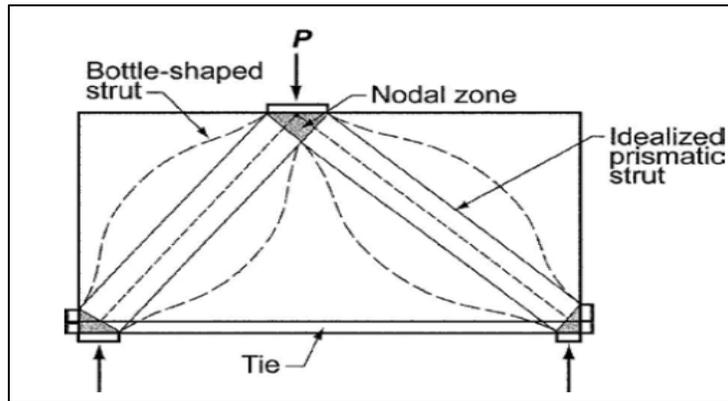
الشكل (1-3): توضيح مناطق الـ (D-Region) ، (ACI Committee 318, 2011)

- **العنصر المضغوط (Strut):** هو عنصر مضغوط في نموذج ال (STM) ويمثل محصلة حقل الضغط في المنطقة المجاورة، كما هو موضح بالشكل (٢-٣).
  - **الشداد (Tie):** هو عنصر مشدود في نموذج ال (STM)، ويتألف من التسليح بالإضافة إلى الخرسانة المحيطة والتي ينطبق مركزها على محور الشداد. في التصميم، لا تدخل الخرسانة في حسابات قوى تحمل الشد في الشداد.
  - **المنطقة العقدية (Nodal Zone):** هو الحجم من الخرسانة حول العقدة التي تنتقل من خلالها قوى نموذج ال (STM).
  - **العقدة (Node):** هي النقطة في عقدة في نموذج ال (STM) والتي تتقاطع عندها محاور الشدادات والعناصر المضغوطة والقوى المطبقة. (الشكل ٢-٣)
- ويمكن أن تُصنف العقد وفقاً لإشارات القوى، حيث مثلاً العقدة (C-C-T) تقاوم قوتي ضغط وقوة شد واحدة وهكذا.



الشكل (٢-٣): تصنيف العقد في نموذج ال (STM)، (ACI Committee 318, 2011)

- **نموذج ال STM (Strut and Tie Model):** هو نموذج جائز شبكي من عناصر إنشائية أو مناطق (D-Region) في عنصر ما، يتكون من شدادات وعناصر مضغوطة تتصل في عقد وقادر على نقل الأحمال المطبقة إلى المساند أو إلى مناطق ال (B-Region). (الشكل ٣-٣)



الشكل (٣-٣): وصف نموذج ال (STM)، (ACI Committee 318, 2011)

### ٣.٣ تاريخ طريقة الـ (STM) وأهميتها:

تم تقديم مبدأ النمذجة وفق الـ (STM) لأول مرة من قبل الباحثان (Ritter, 1899) و (Morsch, 1909) وتمت إعادة صياغته والتوسع فيه بشكل أكبر من قبل (Schlaich et al. 1987) و (Schlaich and Schafer, 1991).

و خلال العقد الماضي، تم إدخال طريقة النمذجة بالـ (STM) إلى عدة كودات عالمية بما فيها الملحق (A) من كود الأبنية الأمريكي (ACI 318-2002) والنسخ اللاحقة و (the Canadian Standards Association 1994)، حيث تمثل شروط هذه الكودات دليلاً مساعداً لاستخدام النمذجة بالـ (STM) لتصميم المنشآت الخرسانية المسلحة بالإضافة للقواعد المتعلقة بأبعاد وحدود إجهادات الشدادات والعناصر المضغوطة والعقد في الجائز الشبكي المفترض (Wu and Li, 2009).

تعتبر طريقة التصميم باستخدام طريقة الـ (STM) أداة مفيدة في تصميم العناصر الإنشائية حيث تقدم لمهندسي التصميم خيار أكثر مرونة، حيث يتم تقريب توزع الإجهادات المعقد في المنشآت الخرسانية المتشققة بعناصر شبكية بسيطة من الممكن أن يتم تحليلها وتصميمها باستخدام أساسيات التحليل الإنشائي. (Shurim, 2012)

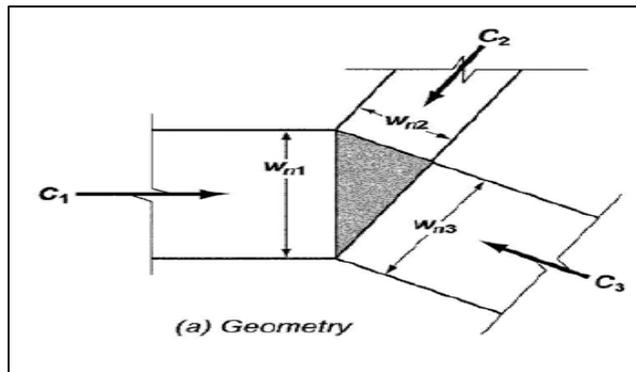
### ٤.٣ إجراءات تصميم نموذج الـ (STM):

١- يتم أولاً إنشاء نموذج الجائز الشبكي الممثل للعناصر أو المناطق المراد تصميمها حيث تمثل مناطق الضغط بالعناصر المضغوطة (Struts) والمناطق المشدودة بالشدادات (Ties) بالإضافة لوجود العقد التي تتقاطع فيها كلاً من محاور الشدادات والعناصر المضغوطة وبحيث يكون النموذج قادراً على نقل الأحمال من نقاط التطبيق إلى المساند.

٢- حساب القوى في عناصر الجائز الشبكي عن طريق تطبيق ميكانيكيات التحليل الإنشائي المعروفة وبحيث تكون القوى في عناصر النموذج متوازنة مع القوى الخارجية المطبقة ومع ردود الأفعال.

٣- حساب أبعاد العناصر المضغوطة والشدادات والعقد. (الشكل ٣-٤)

حيث يتم تحديد العرض الفعال للعناصر المشدودة والمضغوطة والمناطق العقدية مع الأخذ بعين الاعتبار القوى المحسوبة في الخطوة (٢)، ومقاومة الخرسانة الفعالة والتسليح المختار بالاعتماد على ما سيأتي لاحقاً في (٤ و٥)



الشكل (4-3): الأبعاد الهندسية للعقدة في نموذج الـ (STM)، (ACI Committee 318, 2011)

٤- حساب مقاومات عناصر الجائز الشبكي وفق ما يلي:

أ- مقاومة العناصر المضغوطة (Struts):

تؤخذ مقاومة الضغط الاسمية للعنصر المضغوط بدون تسليح طولي ( $F_{ns}$ )، بحيث تكون القيمة الأصغر من بين النهايتين، وتكون عند كل نهاية:

$$F_{ns} = f_{ce} * A_{cs} \quad (1-3)$$

حيث:

$A_{cs}$ : مساحة المقطع العرضي عند نهاية العنصر المضغوط.

في المنشآت ذات البعدين - كما في الجوائز العميقة- من الممكن أن تؤخذ سماكة العنصر المضغوط مساوية لعرض الجائز.

$f_{ce}$ : تؤخذ الأصغر بين ما يلي :

- مقاومة الضغط الفعالة للخرسانة في العنصر المضغوط، حيث:

$$f_{ce} = 0.85 * \beta'_s * f'_c \quad (2-3)$$

حيث:

$f'_c$ : مقاومة الضغط الاسطوانية للخرسانة.

$\beta'_s$ : معامل تؤخذ قيمته كما يلي:

في حالة العناصر المضغوطة ذات المقطع المنتظم على كامل طولها ( $\beta'_s = 1$ )، و في حالة العناصر المشدودة ( $\beta'_s = 0.4$ )

- مقاومة الضغط الفعالة للخرسانة في المنطقة العقدية كما في (٤-ج).

ب- مقاومة الشدادات (Ties):

المقاومة الاسمية للشداد ( $F_{nt}$ ) تؤخذ:

$$F_{nt} = A_{ts} * F_y + A_{tp}(f_{se} + \Delta_{fp}) \quad (3-3)$$

حيث:

$A_{tp}$ : مساحة التسليح مسبق الإجهاد ، أي أن الحد الثاني يساوي الصفر في حالة التسليح العادي.

$A_{ts}$ : مساحة التسليح المستخدم.

$F_y$ : إجهاد السيلاّن للتسليح المستخدم.

العرض الفعال للشداد ( $W_t$ ) والمفترض في التصميم من الممكن أن يختلف بين الحدود التالية:

- في حال كانت قضبان تسليح الشداد على طبقة واحدة يؤخذ العرض الفعال مساوياً لقطر القضبان بالإضافة إلى ضعف مسافة التغطية.
- من الممكن اعتماد قيمة عملية عظمى لعرض الشداد مطابقة لعرض المنقطة العقدية والمحسوبة كما يلي:

$$w_{t,max} = F_{nt} / f_{ce} * b_s \quad (٤-٣)$$

حيث:

$b_s$ : عرض العنصر المضغوط.

$f_{ce}$ : تؤخذ كما في بند المقاومة العقدية في (٤-ج).

محاور التسليح في الشداد يجب أن تتطابق مع محاور الشداد في نموذج الـ (STM)، ويجب أخذ أطوال إرساء التسليح والعكفات بعين الاعتبار كما ورد في ملحق الكود (A.4.3)

ج- مقاومة المناطق العقدية (Nodal Zones):

مقاومة الضغط الاسمية للمنقطة العقدية  $F_{nn}$  تؤخذ كما يلي:

$$F_{nn} = f_{ce} * A_{nz} \quad (٤-٣)$$

حيث:

$f_{ce}$ : مقاومة الضغط الفعالة للخرسانة وتساوي:

$$f_{ce} = 0.85 * \beta_n * f'_c \quad (٦-٣)$$

وتؤخذ قيمة  $\beta_n$  كما يلي :

- في المناطق العقدية المحاطة بالشدادات بشكل كامل:  $\beta_n = 1$
  - في المناطق العقدية الحاوية على شداد واحد:  $\beta_n = 0.8$
  - في المناطق العقدية الحاوية على شدادين أو أكثر:  $\beta_n = 0.6$
- $A_{nz}$ : مساحة المنطقة العقدية.

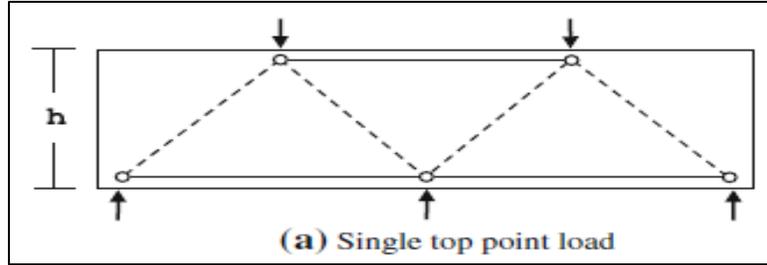
### ٥.٣ تحديد شكل نموذج الـ (STM):

من الممكن الحصول على أكثر من نموذج (STM) لمنشأة محددة. النموذج الأكثر موثوقية يجب أن يمثل انعكاس واقعي لنمط تدفق الإجهادات مع المحافظة على التوازن عند كل عقدة في النموذج.

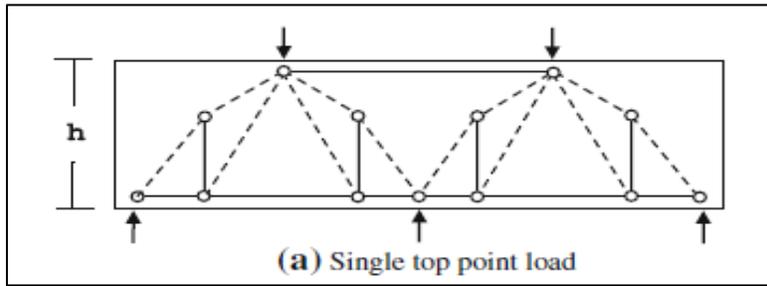
على الرغم من أن اتجاهات الإجهادات الرئيسية قد تتغير بشكل كبير بعد تشقق الخرسانة، إلا أن توزيع الإجهادات المرن يقدم تصوراً جيداً حول مواقع القوى في منشأة ما. (Wu and Li, 2009)

بناءً على دراسات سابقة وعلى نتائج حل (١٦٠) من الجوائز العادية والعميقة بسيطة الاستناد والمستمرة و معرضة لحالات تحميل وشروط استناد مختلفة بالاعتماد على كل من طريقة الـ (STM) وطريقة العناصر المحددة، تم تمييز عدة أشكال من نماذج الـ (STM) وفقاً لنسبة مجاز القص إلى العمق، ويبين الشكل التالي أشكال النماذج في حالة الجوائز المعرضة لحمولة مركزة واحدة في كل مجاز. (El-Zoughiby et al., 2014)

حيث ينتقل الحمل في النوع الأول (الشكل ٣-٥) من نقطة التحميل إلى المساند مباشرة عن طريق تشكل حقل ضغط واحد، فيما تنتقل الحمولة في النوع الثاني (الشكل ٣-٦) إلى المساند عن طريق تشكل عدة حقول ضغط ثانوية ورئيسية، تنقل الحمولة فيما بينها وصولاً إلى المساند.



الشكل (5-3): النوع (I) لنموذج الـ (STM) في الجوائز المستمرة العميقة  $\frac{a}{d} \leq 2$  ، (El-Zoughiby et al., 2014)

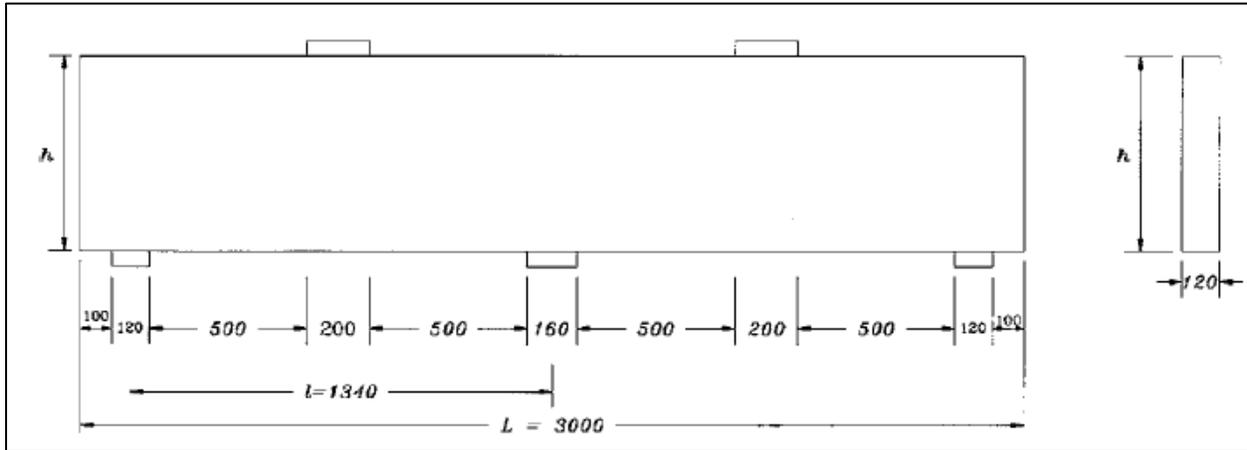


الشكل (6-3): النوع (II) لنموذج الـ (STM) في الجوائز المستمرة العميقة  $2 < \frac{a}{d} \leq 2.75$  ، (El-Zoughiby et al., 2014)

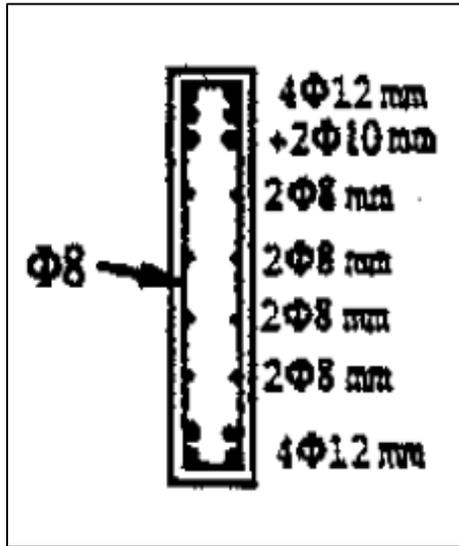
### ٦.٣ حل جوائز (Ashour and Rishi, 2000) بطريقة الـ (STM):

بناءً على التصنيف المقترح لنموذج الـ (STM) في الجوائز المستمرة العميقة في (El-Zoughiby et al., 2014)، وبناءً على مجموعة القوانين التي استعرضها الباحثون، سيتم في هذه الفقرة استعراض خطوات طريقة الـ (STM) في دراسة أحد الجوائز العميقة المختبرة تجريبياً من قبل (Ashour, 1997)

معطيات المسألة:



الشكل (7-3): المقطع الطولي للجائز المستمر العميق المدروس ، (Ashour, 1997)



الشكل (8-3): المقطع العرضي للجائز المستمر العميق المدروس ، (Ashour, 1997)

القيم:

$h=625 \text{ mm}, d=585 \text{ mm}, b=120 \text{ mm}, b_1=120\text{mm}, b_2=160\text{mm}, b_3=200\text{mm}, L_1=a=670\text{mm},$

$$\left( \text{موضحة في الشكل 9-3} \right) \frac{a}{d} = \frac{670}{585} = 1.15$$

خواص المواد:

$$f_{y1} = f_{y2} = 510 \text{ Mpa}, f_c' = 30.6 \text{ Mpa}$$

$$A_{s2} = 4\phi 12 + 2\phi 10, A_{s1} = 4\phi 12$$

الذراع بين التسليح العلوي والسفلي ( $L_d$ ):

نحسب أولاً المسافة بين كل من مركز التسليح العلوي والسفلي وأبعد ليف عن التسليح ( $a_i$ ) من العلاقة التالية:

$$a_i = 2(c + \phi_{str}) + n \phi_{bars} + (n - 1)s \quad (٧-٣)$$

حيث:

$c$ : مسافة التغطية الصافية للخرسانة.

$\phi_{str}$ : قطر الأسوار.

$\phi_{str}$ : قطر التسليح الرئيسي.

$n$ : عدد طبقات التسليح.

$s$ : المسافة الصافية بين طبقات التسليح.

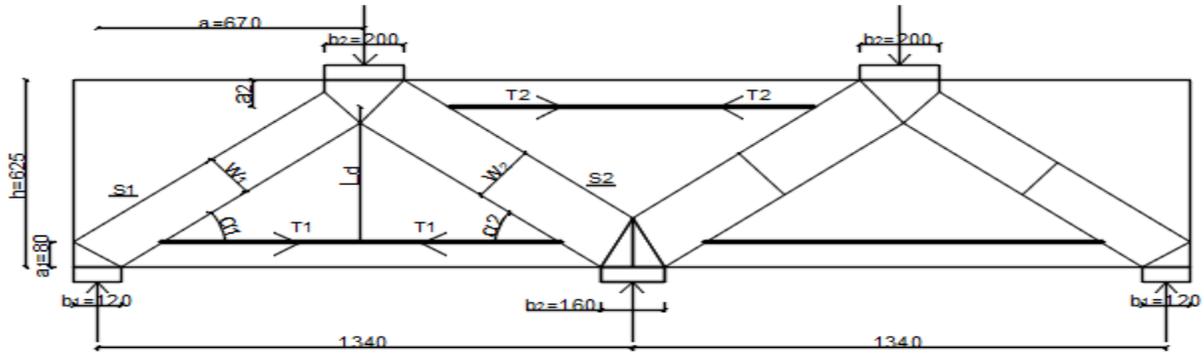
$$a_1 = 2(15 + 8) + 2 * 12 + 1 * 10 = 80 \text{ mm}$$

$$a_2 = 2(10 + 8) + (2 * 12 + 1 * 10) + 2 * 10 = 90 \text{ mm}$$

فيكون:

$$L_d = h - 0.5(a_1 + a_2) \quad (٨-٣)$$

$$L_d = 625 - 0.5 * (80 + 90) = 540 \text{ mm}$$



الشكل (٩-٣): شكل نموذج ال(STM) وأبعاده للجائز المستمر العميق المدروس

ميل الضواغط  $S_1, S_2$ :

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \tan^{-1} \frac{L_d}{a} \quad (٩-٣)$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \tan^{-1} \frac{540}{670} = 38.9$$

عرض الضواغط  $S_1, S_2$ :

$$\omega_1 = a_1 \cos \alpha_1 + b_1 \sin \alpha_1 \quad (10-3)$$

$$\omega_1 = 80 * \cos 39.2 + 120 * \sin 39.2 = 138 \text{ mm}$$

من خلال ملاحظة الشكل (3-9)، نجد تحليلياً أن:

$$\omega_2 = 179 \text{ mm}$$

قوى الشد:

$$T_{1n} = A_{st1} * f_{y1} \quad (11-3)$$

$$T_{1n} = 4 * \frac{\pi * 12^2}{4} * 510 = 230.7 \text{ Kn}$$

$$T_{2n} = A_{st2} * f_{y2} \quad (12-3)$$

$$T_{2n} = \left( 4 * \frac{\pi * 12^2}{4} + 2 * \frac{\pi * 10^2}{4} \right) * 510 = 310.8 \text{ Kn}$$

قوى الضغط:

$$S_{1n} = \frac{T_{1n}}{\cos \alpha_1} \quad (13-3)$$

$$S_{1n} = \frac{230.7}{\cos 38.9} = 296.4 \text{ mm}$$

$$S_{2n} = \frac{T_{1n} + T_{2n}}{\cos \alpha_2} \quad (14-3)$$

$$S_{2n} = \frac{230.7 + 310.8}{\cos 38.9} = 695.8 \text{ mm}$$

التحقق من حدود الإجهادات كما ورد في العلاقات (3.5، 3.7، 3.9):

$$f_{ce}^{s1} = 0.85 * f_c' * \beta_{s1} = 0.85 * 30.6 * 1 = 26.01 \text{ Mpa}$$

$$f_{ce}^{s2} = 0.85 * f_c' * \beta_{s2} = 0.85 * 30.6 * 1 = 26.01 \text{ Mpa}$$

$$f_{ce}^{n1} = 0.85 * f_c' * \beta_{n1} = 0.85 * 30.6 * 0.8 = 20.8 \text{ Mpa}$$

$$f_{ce}^{n2} = 0.85 * f_c' * \beta_{n2} = 0.85 * 30.6 * 0.8 = 20.8 \text{ Mpa}$$

$$f_{ce}^{n3} = 0.85 * f_c' * \beta_{n3} = 0.85 * 30.6 * 0.8 = 20.8 \text{ Mpa}$$

فتكون القوة في الضواغط وفق العلاقة (3-1):

$$S_{1n,max} = f_{ce} * A_{cs} = 26.01 * 137 * 120 = 427.6 Kn$$

$$S_{1n,max} = f_{ce} * A_{cs} = 20.8 * 137 * 120 = 341.9 Kn$$

نعمد القيمة الأصغر، أي:

$$S_{1n,max} = 341.9 Kn$$

$$S_{2n,max} = f_{ce} * A_{cs} = 26.01 * 179 * 160 = 744.9 Kn$$

$$S_{2n,max} = f_{ce} * A_{cs} = 20.8 * 179 * 160 = 595.7 Kn$$

نعمد القيمة الأصغر، أي:

$$S_{2n,max} = 595.7 Kn$$

يلاحظ أن  $(S_{2n} > S_{2n,max})$  و  $(S_{1n} < S_{1n,max})$ ، فيكون:

$$S_2 = 594.7 Kn$$

وبالتالي نعيد تصحيح القيم التالية:

$$S_2 = \frac{T_{1n} + T_{2n}}{\cos \alpha_2} = 594.7$$

$$T_{1n} + T_{2n} = 462.82 Kn \quad (1)$$

$$\frac{T_{1n}}{T_{2n}} = \frac{A_{st1}}{A_{st2}} = 0.74 \quad (2)$$

$$1 + 2 \rightarrow T_{1n} = 147.98 Kn, T_{2n} = 314.84 Kn, \quad S_1 = \frac{147.98}{\cos 38.9} = 190.2 Kn$$

فتكون قوة تحمل الجائر لقوى القص:

$$P_{STM} = 2 * P_n = 2(S_{1n} \sin \alpha_1 + S_{2n} \sin \alpha_2) \quad (10-3)$$

$$P_{STM} = 2 * (190.2 * \sin 38.9 + 594.7 * \sin 38.9) = 985.8 Kn$$

ننسب القوة التي حصلنا عليها حسابياً على القوة الناتجة من التجربة:

$$\frac{P_{STM}}{P_{EXP}} = \frac{985.8}{1100} = 0.89$$

يُلاحظ تقارب قوة تحمل الجائز الناتجة من طريقة الـSTM (985.8 ton) مع القوة الناتجة من التجربة (1100 ton)، حيث لم يتجاوز الفرق بين الحملتين (١٠%)، وبالتالي موثوقية هذه الطريقة عند تصميم الجوائز المستمرة العميقة.

### ٧.٣ خلاصة الفصل الثالث Conclusion of the third chapter

تم في هذا الفصل تسليط الضوء على طريقة نموذج الضاغط والشداد (STM) لتصميم الجوائز العميقة واشتراطاتها و الاعتماد عليها في تبيان طريقة التصميم. حيث تم أولاً ذكر بعض التعاريف الأساسية المتعلقة بهذه الطريقة، ثم تم ذكر تاريخها وأهميتها، كما استعرض هذا الفصل إجراءات تصميم نموذج الـ (STM) وكيفية تحديد شكل النموذج.

أخيراً تم حل مثال عملي وهو جائز عميق مستمر مدروس تجريبياً من قبل (Ashour and Rishi, 2000)، وتبين موثوقية هذه الطريقة عند تصميم الجوائز المستمرة العميقة.

## الفصل الرابع

## التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

## Structural Analysis Using Finite Element Method (FEM)

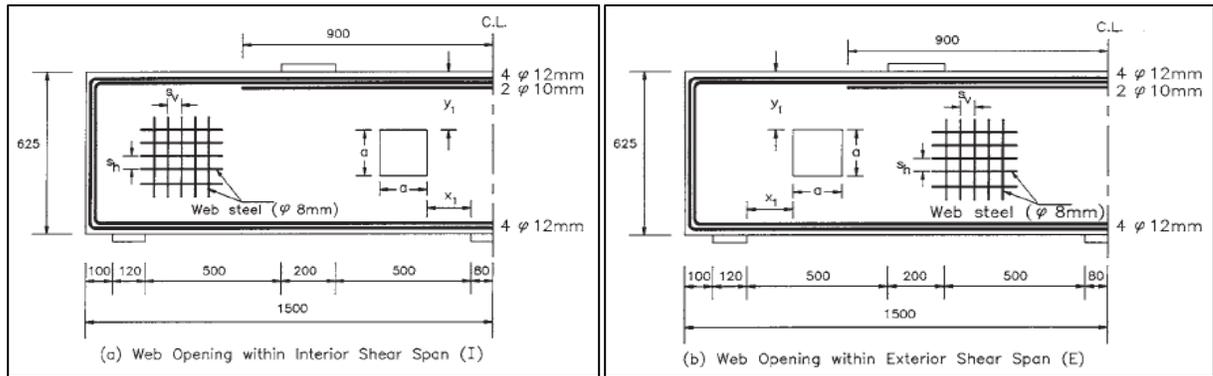
## ١.٤ مقدمة (Introduction):

نظراً لأن التحليل الدقيق للجوائز الخرسانية المسلحة العميقة والحاوية على فتحات يُظهر مشاكل كبيرة، فيما تقدم طريقة العناصر المحدودة حلول واقعية ومرضية للسلوك اللاخطي للمنتشات الخرسانية المسلحة، فسيتم في هذا الفصل شرح خطوات بناء نموذج عددي يحاكي الدراسة التجريبية التي قام بها (Ashour and Rishi, 2000)، والتي أُجريت على مجموعة من الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة والحاوية على فتحات.

يتضمن هذا الفصل توصيفاً للنموذج المعتمد في التحليل باستخدام طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method, FEM)، حيث يستعرض أولاً العناصر المستخدمة في النمذجة، ومن ثم توصيف المواد بشكل لاخطي (Materially Non-Linear Analysis, MNA)، بالإضافة إلى دراسة أثر تقارب الشبكة، ومن ثم التحقق من النموذج التحليلي التي تم بناؤه من خلال المقارنة مع الدراسة التجريبية.

## ٢.٤ توصيف النماذج (Model Description):

تم تحليل النماذج المدروسة تجريبياً في دراسة (Ashour and Rishi, 2000)، حيث أجرى الباحثون اختبارات على (١٦) جوائز عميق مستمر ويحوي على فتحات في الجسد. كل العينات لها نفس الأبعاد والتسليح الطولي والسفلي. تملك العينات ارتفاع مقطع يبلغ (625mm) وعرض (120mm) وطول كلي يبلغ (3000mm) كما هو موضح في الشكل (١-٤).

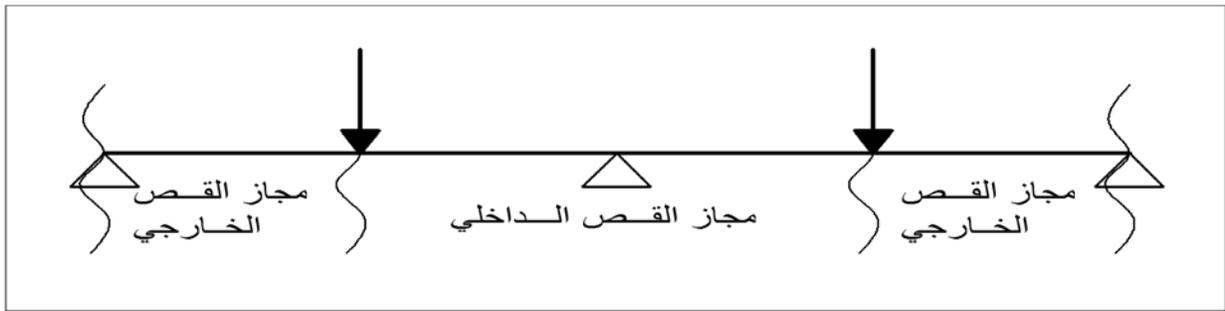


b: فتحات الجسد في مجازات القص الداخلية

a: فتحات الجسد في مجازات القص الخارجية.

الشكل (1-4): تفاصيل وأبعاد العينات المختبرة -كافة الأبعاد بالـ mm- ، (Ashour and Rishi, 2000)

ويبين الشكل (2-4) توضيح مكان لمجازي القص الداخلي والخارجي المعتمدين في الجوائز المستمر



الشكل (2-4): مكان مجازي القص الداخلي والخارجي في الجوائز المدروسة

تم استخدام حجمين من الفتحات: صغير -S- (125\*125mm)، وكبير -L- (250\*250mm)، كما تم استخدام تسليح رئيسي علوي وسفلي بمساحة واحدة في جميع الجوائز، حيث يتألف التسليح الرئيسي السفلي من أربع قضبان بقطر (12mm) ممتدة على كامل طول الجوائز لتأمين أطوال تثبيت كافية، أما التسليح العلوي فهو عبارة عن أربع قضبان بقطر (12mm)، وقضيبين بقطر (10mm).

تم تقسيم الجوائز إلى أربع مجموعات وفقاً لترتيب تسليح الجسد، حيث تملك المجموعة الأولى (A) قيمة كبيرة لكل من التسليح الرئيسي وتسليح الجسد الشاقولي والتسليح الأفقي، فيما تملك المجموعة الثانية (B) كمية أقل من التسليح الرئيسي وتسليح الجسد الشاقولي والتسليح الأفقي. المجموعة (C) تملك تسليح أفقي فقط بدون تسليح شاقولي، بينما تحوي المجموعة الرابعة على تسليح شاقولي فقط. ويبين الجدول (٢-٥) تفاصيل التسليح في العينات المختبرة

سيتم نمذجة جوائز المجموعة الأولى والتي تحوي على تسليح شاقولي وأفقي في الجسد، حيث أثبتت عديد من الدراسات المرجعية السابقة أهمية وجود تسليح الجسد كما ورد في الفقرة (٢-٦) من هذه الأطروحة، وسيتم أيضاً نمذجة الجوائز (CIL) من المجموعة الرابعة والذي لا يحتوي على تسليح في الجسد للتأكد من صحة النموذج بكامل مكوناته (مع وبدون تسليح)، ثم سيتم متابعة الدراسة البارامترية على جوائز المجموعة الأولى الحاوية على تسليح في الجسد.

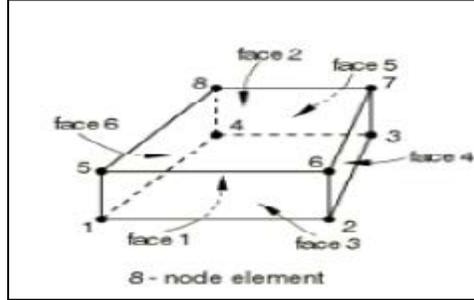
الجدول (٢-٥)-مكرر:- تفاصيل التسليح في العينات المختبرة، (Ashour and Rishi, 2000)

Group No.	Main Longitudinal Reinforcement						Web Reinforcement							
	Bottom			Top			Horizontal				Vertical			
	No.	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	No.	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	No.*	$S_w^{***}$ (mm)	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	No.**	$S_w^{****}$ (mm)	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_s$ (N/mm <sup>2</sup> )
Group A (A-E-S, A-I-S, A-E-L, A-I-L)	4φ12mm	510	2.01E05	4φ12mm + 2φ10mm	510 + 590	2.01E05 + 1.94E05	8φ8mm	100	400	1.95E05	29φ8mm	100	400	1.95E05
Group B (B-E-S, B-I-S, B-E-L, B-I-L)	4φ12mm	510	2.01E05	4φ12mm + 2φ10mm	510 + 590	2.01E05 + 1.94E05	4φ8mm	200	400	1.95E05	15φ8mm	100	400	1.95E05
Group C (C-E-S, C-I-S, C-E-L, C-I-L)	4φ12mm	510	2.01E05	4φ12mm + 2φ10mm	510 + 590	2.01E05 + 1.94E05	4φ8mm	200	400	1.95E05	-	-	-	-
Group D (D-E-S, D-I-S, D-E-L, D-I-L)	4φ12mm	510	2.01E05	4φ12mm + 2φ10mm	510 + 590	2.01E05 + 1.94E05	-	-	-	-	15φ8mm	100	400	1.95E05

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

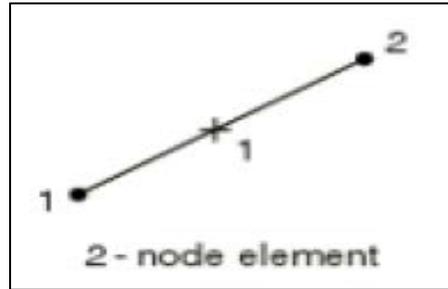
#### Elements Used in the Model using ABAQUS (6.12):

- تم استخدام العنصر (C3D8) لنمذجة مادة البيتون المسلح، حيث (C3D8) هو عنصر فراغي من نوع (Solid Section) مؤلف من ثماني عقد وكل عقدة تحوي ثلاث درجات حرية. (الشكل ٣-٤)



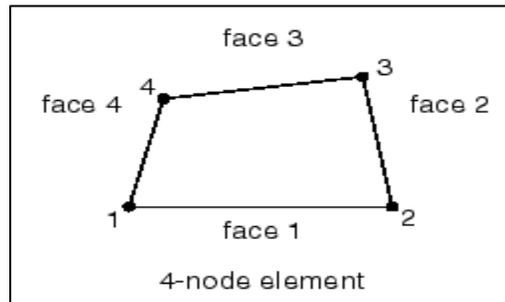
الشكل (3-4): تمثيل العنصر الفراغي C3D8. (ABAQUS 6.12 Documentation, 2012)

- تم استخدام العنصر (T3D2) لنمذجة حديد التسليح الطولي والعرضي في الجوائز، وهو عبارة عن عنصر شبكي فراغي (Truss Element) مؤلف من عقدتين وكل عقدة تحوي ثلاث درجات حرية (٣ انتقالات). (الشكل ٤-٤)



الشكل (4-4): تمثيل العنصر الفراغي T3D2. (ABAQUS 6.12 Documentation, 2012)

- تم استخدام العنصر (S4) لنمذجة الصفائح الفولاذية المتوضعة عند المساند وفي نقاط تطبيق القوى المركزة في الجوائز، وهو عبارة عن عنصر مساحي مؤلف من أربع عقد لكل منها ست درجات حرية (ثلاث انتقالات وثلاث دورانات). (الشكل ٥-٤)



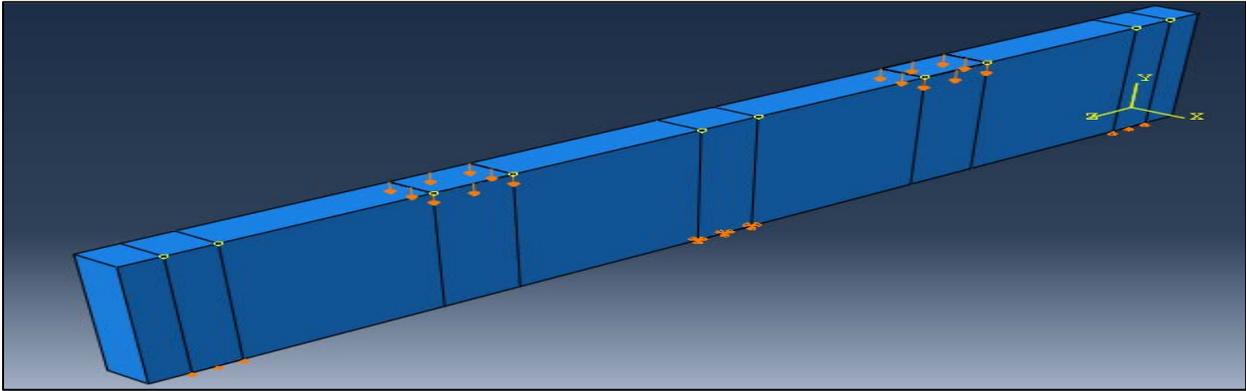
الشكل (5-4): تمثيل العنصر المساحي S4. (ABAQUS 6.12 Documentation, 2012)

#### ٤.٤ الشروط المحيطية للنموذج المدروس Model 's Boundary Conditions

تم اعتماد شروط الاستناد في النموذج المدروس كما ورد في الدراسة المرجعية، حيث أن المساند الطرفية عبارة عن صفائح فولاذية مقبدة لمنع الانتقال الشاقولي فقط (مسند متدرج)، فيما تم تقييد صفيحة المسند الوسطي لمنع الانتقال الشاقولي والأفقي (مسند ثابت)، كما هو مبين في الشكل (٦-٤).

#### ٤.٥ الأحمال المطبقة على النموذج Applied Loads to the Model

تم تطبيق حملتين مركزتين عن طريق تطبيق انتقال شاقولي تدريجي في نقاط تطبيق القوى، و يبين الشكل (٦-٤) نقاط تطبيق الحمولة والمساند في نموذج الجائر المدروس قبل إنشاء الفتحات وقبل إجراء التقسيم.



الشكل (٦-٤): أشكال المساند ونقاط تطبيق القوى، [Abaqus. Ver 6.12]

#### ٦.٤ التماسك بين البيتون المسلح والفولاذ

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

تم افتراض التماسك تام بين البيتون المسلح والفولاذ (Embedded Region).

#### ٧.٤ نوع التحليل المستخدم في النموذج Type of used analysis

تم اعتماد تحليل لاخطي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة (Materially Non-Linear Analysis, MNA)

#### ٨.٤ توصيف المواد المستخدمة في النمذجة Materials Used in Modeling

##### • البيتون (Concrete)

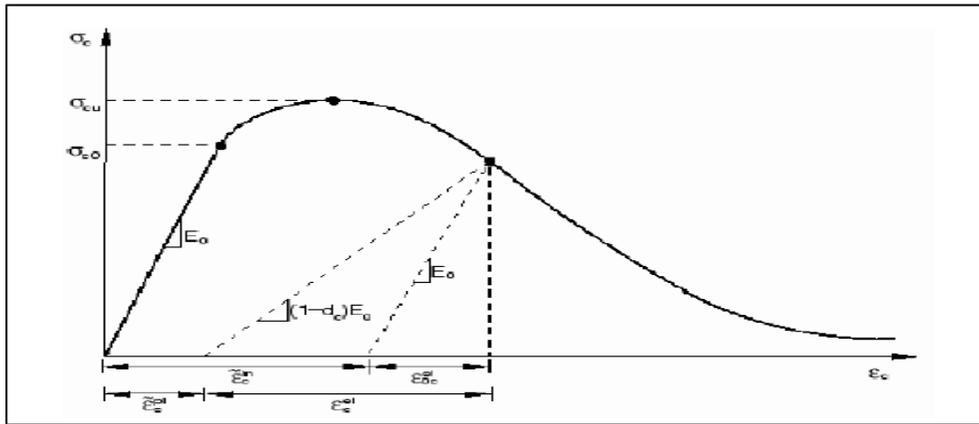
لنمذجة البيتون سيتم استخدام طريقة (Concrete Damage Plasticity) حيث أظهرت هذه الطريقة نتائج أداء مرضية في التطبيقات المماثلة، حيث تستخدم لتمثيل السلوك اللامر للبيتون وتعتبر طريقة متعددة الاستعمالات وقادرة على التنبؤ بسلوك المنشآت الخرسانية الخاضعة للحمولات المتزايدة بانتظام نسبيا (monotonic loading) أو الحمولات الدورية (Cyclic)

(Loading) أو الحمولات الديناميكية (Dynamic Loading) (Metwally, 2014)، وتم استخدام هذه الطريقة في توصيف المواد في حالتها الضغطة والشدة

### ○ حالة الضغط:

يعبر الشكل (٧-٤) عن منحنى الإجهاد التشوه على الضغط المحوري لطريقة (CDP)، حيث يمثل المحور الأفقي التشوه النسبي للبيتون على الضغط ( $\epsilon_c$ )، بينما يمثل المحور الشاقولي إجهاد الضغط في البيتون ( $\sigma_c$ ) حيث يكون سلوك البيتون على الضغط في البداية خطياً حتى الوصول إلى الخضوع الابتدائي (Initial Yield) عند قيمة الإجهاد الابتدائي  $\sigma_{co}$  (Initial Stress)، يبدأ بعدها السلوك اللاخطي للمادة حيث توصف المرحلة الثانية بمرحلة التقسية الإجهادية (Stress Hardening) وفيها تستمر الإجهادات والتشوهات بالازدياد بشكل لاخطي حتى الوصول إلى القيمة الحدية لإجهاد البيتون على الضغط  $\sigma_{cu}$

(Ultimate Stress)، بعدها تبدأ الإجهادات بالانخفاض مع استمرار تزايد التشوهات، وتسمى هذه المرحلة بـ (Strain Softening) حيث تضعف مقاومة المادة بعد ظهور أول شق بسبب تزايد التشققات وفقدان الترابط في المادة. (العطري، ٢٠١٤)



الشكل (٧-٤): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الضغط، (ABAQUS 6.12 Documentation, 2012)

- يعبر المعامل  $d_c$  (Uniaxial compression damage variable) عن انخفاض القساوة عندما تتناقص قساوة المادة في الجزء الهابط من المنحنى، ويأخذ قيمته ابتداءً من الصفر للتعبير عن المادة غير المتشققة إلى الواحد عندما تفقد المادة كامل مقاومتها. ويعطى بالعلاقة:

$$d_c = \frac{\sigma_{cu} - \sigma_c}{\sigma_{cu}} \quad (١-٤)$$

- يعبر  $\epsilon_c^{pl}$  (Compressive Equivalent Plastic Strain) عن تشوهات الضغط اللدنة المتبقية في المادة ويعطى بالعلاقة:

$$\epsilon_c^{pl} = \epsilon_c^{in} - \frac{d_c}{1-d_c} \cdot \frac{\sigma_c}{E_0} \quad (٢-٤)$$

حيث:

$\epsilon_c^{in}$  هو التشوه غير المرن (Inelastic Strain)

وهو الفرق بين التشوه الكلي الحاصل عند نقطة معينة من منحنى الإجهاد- التشوه على الضغط  $\epsilon_c$  والتشوه المرن عند هذه النقطة  $\epsilon_{oc}^{el}$ .

$$\epsilon_c^{in} = \epsilon_c - \epsilon_{oc}^{el} \quad (3-4)$$

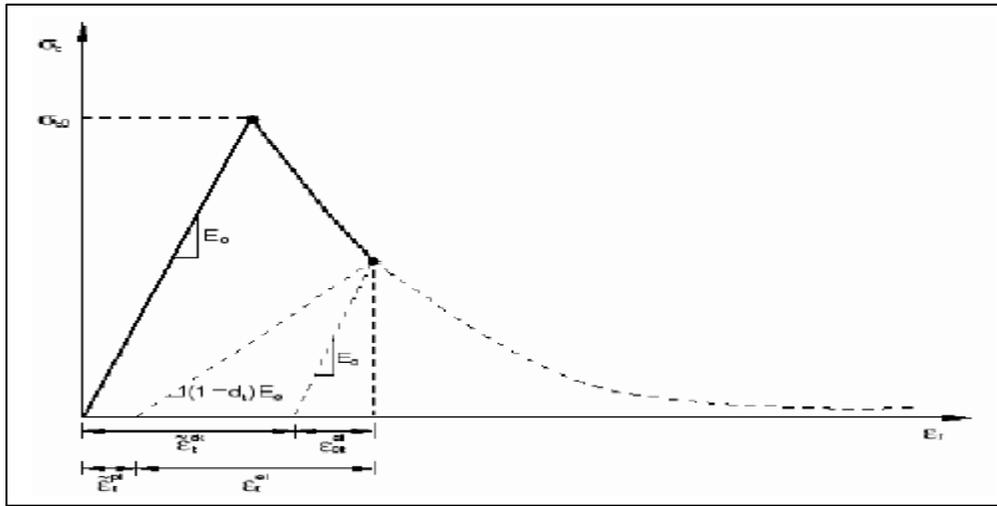
وحيث:

$$\epsilon_{oc}^{el} = \frac{\sigma_c}{E_o} \quad (4-4)$$

$E_o$ : معامل المرونة الابتدائي.

### ○ حالة الشد:

يكون تصرف البيتون تحت تأثير الشد المحوري خطياً حتى الوصول إلى قيمة الإجهاد الحدي للبيتون على الشد  $\sigma_{t0}$  كما هو موضح بالشكل (8-4) والذي يترافق مع ظهور أول شق في مادة البيتون، وبعد الوصول إلى الإجهاد الحدي تسلك المادة سلوكاً لاخطياً حيث تبدأ التشققات بالظهور ويصبح بالإمكان رؤيتها بالعين المجردة وتبدأ الإجهادات في هذه المرحلة بالانخفاض مع استمرار التشوهات بالتزايد حيث تعرف هذه المرحلة بـ (Strain Softening) وتصبح المادة ضعيفة بسبب ازدياد الشقوق واتساعها.



الشكل (8-4): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الشد، (ABAQUS 6.12 Documentation, 2012)

- يعبر المعامل  $d_t$  (Uniaxial tension damage variable) عن انخفاض القساوة عندما تتناقص قساوة المادة في الجزء الهابط من المنحنى، ويأخذ قيمته ابتداءً من الصفر للتعبير عن المادة غير المتشققة إلى الواحد عندما تفقد المادة كامل مقاومتها. ويعطى بالعلاقة:

$$d_t = \frac{\sigma_{t0} - \sigma_t}{\sigma_t} \quad (5-4)$$

- يعبر  $\epsilon_t^{pl}$  (Tension Equivalent Plastic Strain) عن تشوهات الشد اللدنة المتبقية في المادة ويعطى بالعلاقة:

$$\epsilon_t^{pl} = \epsilon_t^{ck} - \frac{d_t}{1-d_t} \cdot \frac{\sigma_t}{E_o} \quad (٦-٤)$$

حيث:

$\epsilon_t^{ck}$  هو تشوه التشقق (Cracking Strain)

وهو الفرق بين التشوه الكلي الحاصل عند نقطة معينة من منحنى الإجهاد-التشوه على الشد  $\epsilon_t$  والتشوه المرن عند هذه النقطة  $\epsilon_{ot}^{el}$ .

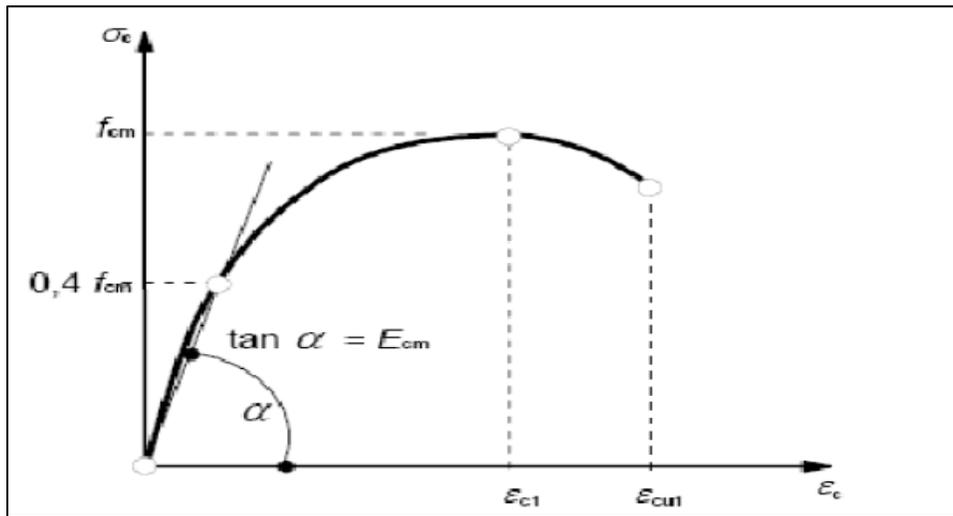
$$\epsilon_t^{ck} = \epsilon_t - \epsilon_{ot}^{el} \quad (٧-٤)$$

وحيث:

$$\epsilon_{ot}^{el} = \frac{\sigma_t}{E_o} \quad (٨-٤)$$

$E_o$ : معامل المرونة الابتدائي.

تم في الدراسة الحالية اعتماد مخطط الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الضغط وفق الكود الأوروبي (Eurocode2,2004) كما هو موضح في الشكل (٩-٤)



الشكل (٩-٤): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الضغط (Eurocode2 , 2004)

ومن أجل تحديد قيم إجهادات الضغط لنقاط منحنى الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون عند قيم متتالية للتشوهات ابتداءً من الصفر وصولاً لقيمة التشوه الحدي للبيتون  $\epsilon_{cu1}$ ، تم استخدام العلاقة التالية التي تربط إجهاد الضغط مع التشوه النسبي في البيتون وفق الكود الأوروبي (Kmiecik and Kaminski, 2011):

$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{K\eta - \eta^2}{1 + (K-2)\eta} \quad (٩-٤)$$

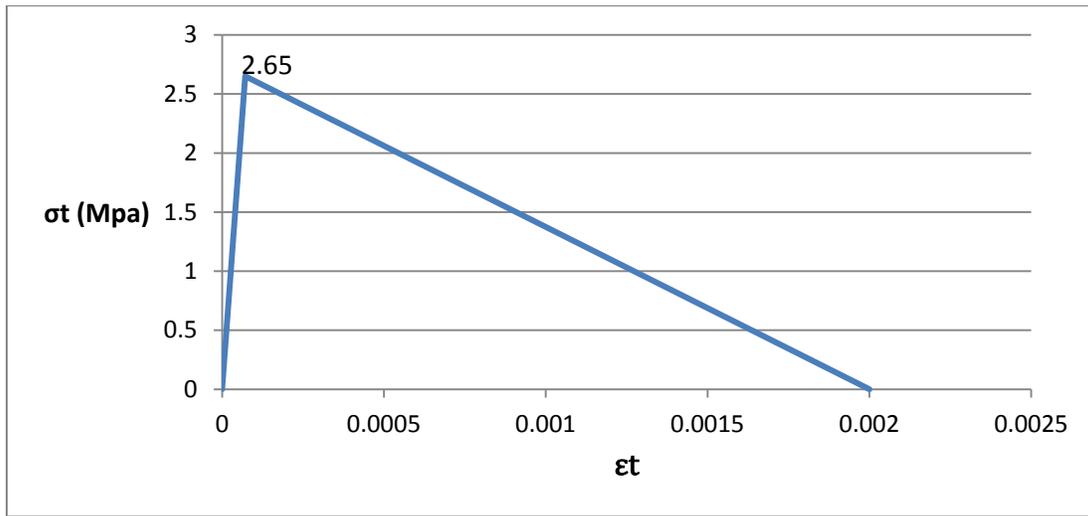
$$\eta = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}} \quad (١٠-٤)$$

حيث:  $\varepsilon_c$  التشوه النسبي للبيتون على الضغط عند النقطة المدروسة، وحيث  $K$ :

$$K = \frac{1.05 \cdot E_{cm} \cdot |\varepsilon_{c1}|}{f_{cm}} \quad (١١-٤)$$

ويمكن استخدام هذه المعادلة لحساب إجهادات الضغط لنقاط منحنى الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون عندما تكون قيم التشوهات ضمن المجال  $0 < |\varepsilon_c| < |\varepsilon_{cu1}|$ .

ولنمذجة سلوك البيتون على الشد، فقد تم اعتماد مخطط (إجهاد-تشوه نسبي) مبسط كما هو موضح في الشكل (١٠-٤)

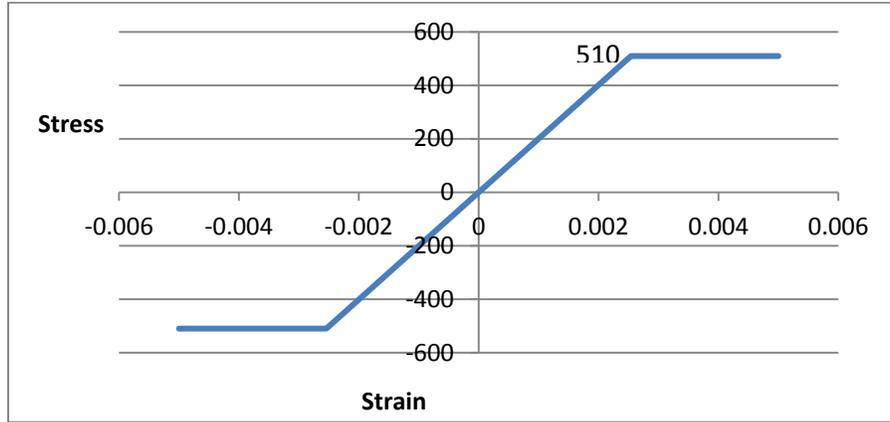


الشكل (١٠-٤): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي المكافئ للبيتون على الشد

### • فولاذ التسليح: Steel Reinforcement

تم أخذ إجهاد الخضوع للتسليح الطولي ذو القطر 12mm ( $f_y = 510 \text{ MPa}$ )، ومعامل المرونة ( $E_s = 201 \text{ GPa}$ )، فيما تم أخذ إجهاد الخضوع للتسليح الطولي ذو القطر 10mm ( $f_y = 590 \text{ MPa}$ )، ومعامل المرونة ( $E_s = 194 \text{ GPa}$ ). كما تم أخذ إجهاد الخضوع للتسليح الشاقولي ( $f_y = 400 \text{ MPa}$ )، ومعامل المرونة ( $E_s = 1950 \text{ GPa}$ ).

وتم افتراض منحنى (إجهاد-تشوه نسبي) مرن-لدن لدونة تامة لجميع أنواع الفولاذ، كما يبين الشكل (١١-٤) الخاص بحديد التسليح  $f_y = 510 \text{ MPa}$ .



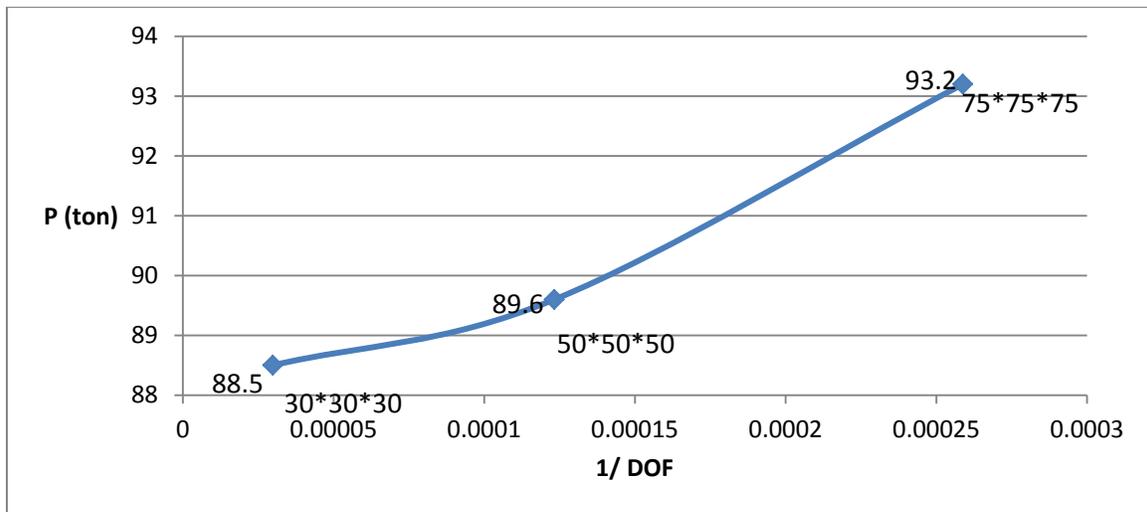
الشكل (١١-٤): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي المفترض للتسليح الطولي للجائز

#### ٩.٤ دراسة أثر تقارب الشبكة: Mesh Convergence

سيتم إجراء هذه الدراسة للجائزين اللذين سيتم نمذجتهما، وهما الجائزين (AES-CIL) والموضحة مواصفاتهم في الفقرة (2.4)، حيث تمت دراسة ثلاثة نماذج لكلٍ منهما بأبعاد مختلفة للشبكة: (75\*75\*75)، (50\*50\*50) و (30\*30\*30) واستخراج النتائج لكلٍ منها.

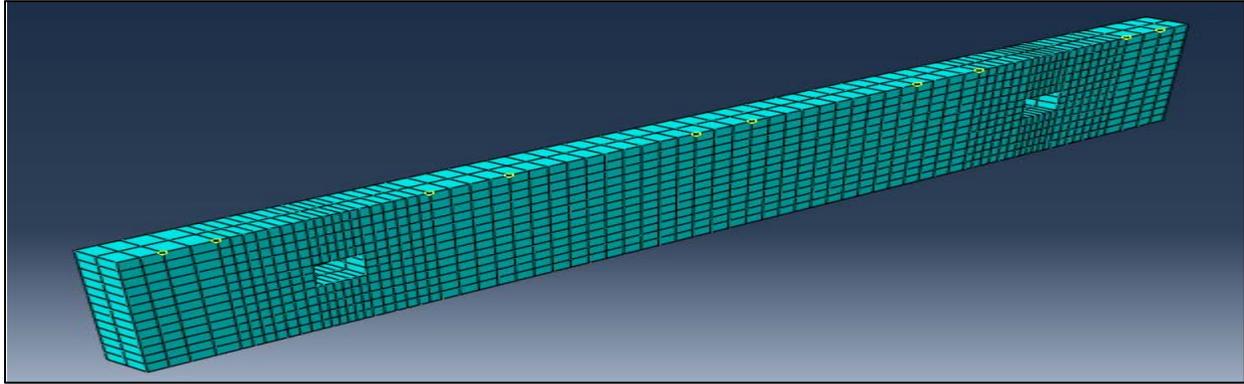
#### ❖ AES:

يبين الشكل (١٢-٤) والذي يمثل المحور الأفقي فيه مقلوب عدد درجات الحرية (Degree of Freedom) في النموذج، بينما يمثل المحور الشاقولي تغير قيمة قوة الانهيار للجائز ( $P_u$ ) وذلك من أجل تقسيمات الشبكة المذكورة سابقاً، يُلاحظ أن استخدام العنصر الفراغي C3D8 بأبعاد (50\*50\*50) أعطى نتائج متقاربة جداً (٩٩%) بالمقارنة مع استخدام نفس العنصر لكن بأبعاد (30\*30\*30)، فيما أعطى تقارباً أقل بلغ (96%) مع استخدام نفس العنصر لكن بأبعاد (75\*75\*75) وبالتالي فإن اعتماد العنصر الفراغي بأبعاد (50\*50\*50) كافٍ للحصول على حل دقيق مع اقتصادية في زمن التحليل.

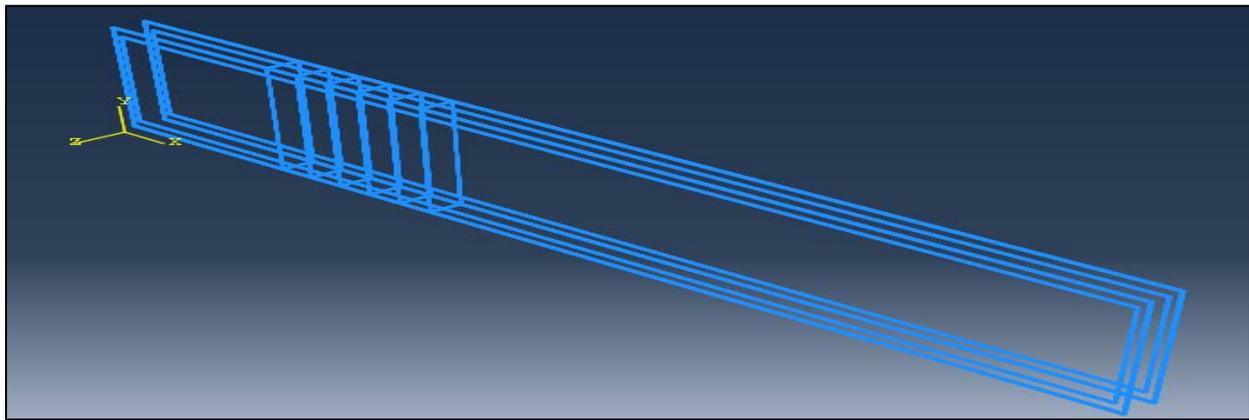


الشكل (١٢-٤): دراسة أثر تقارب الشبكة للنموذج المدروس (AES)، [Abacus. Ver 6.12]

وبما أنه ينصح في طريقة العناصر المحدودة بزيادة التقسيمات في مناطق الإجهادات المرتفعة كالمناطق بجانب الفتحات في الجانز المدروس، فسيتم استخدام عناصر بأبعاد أصغر عند الفتحات ثم تتدرج في الزيادة حتى الوصول للعنصر (٥٠\*٥٠\*٥٠) في باقي أقسام الجانز، و يوضح الشكل (٤-١٣) التقسيمات المعتمدة للنموذج المدروس (AES)، فيما يبين الشكل (٤-١٤) طبقتي التسليح الرئيسي العلوية والسفلية بالإضافة إلى إظهار بعض الأساور الشاقولية المغلقة والتي تمثل التسليح الشاقولي.



الشكل (٤-١٣): تقسيمات النموذج المعتمد (AES)، [Abaqus. Ver 6.12]

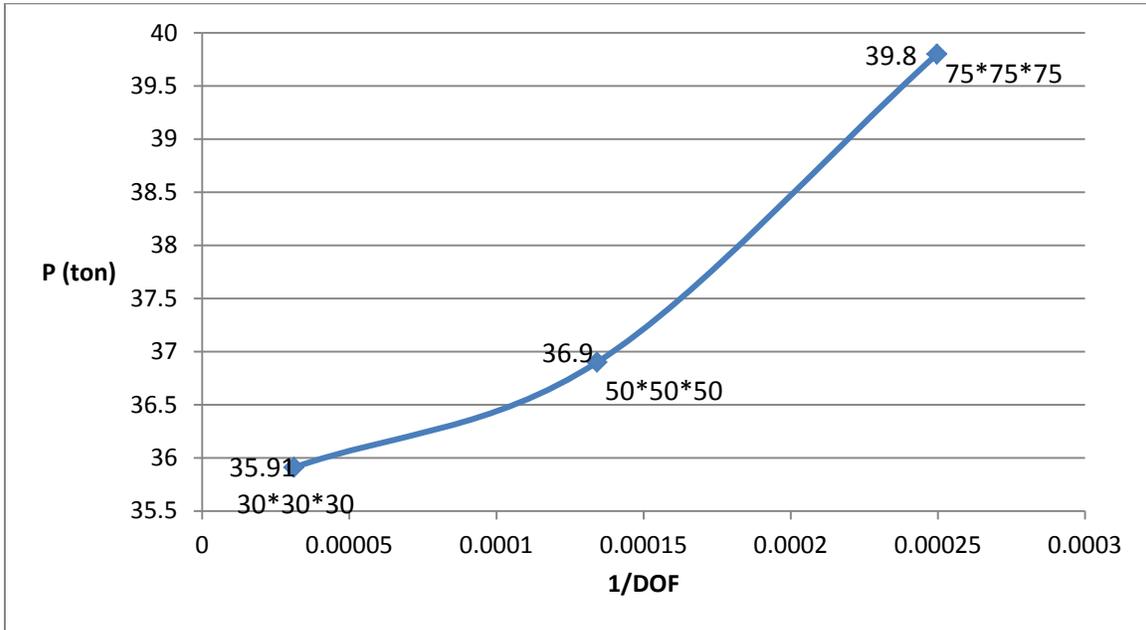


الشكل (٤-١٤): التسليح الشاقولي و بعض الأساور في العينة (AES)، [Abaqus. Ver 6.12]

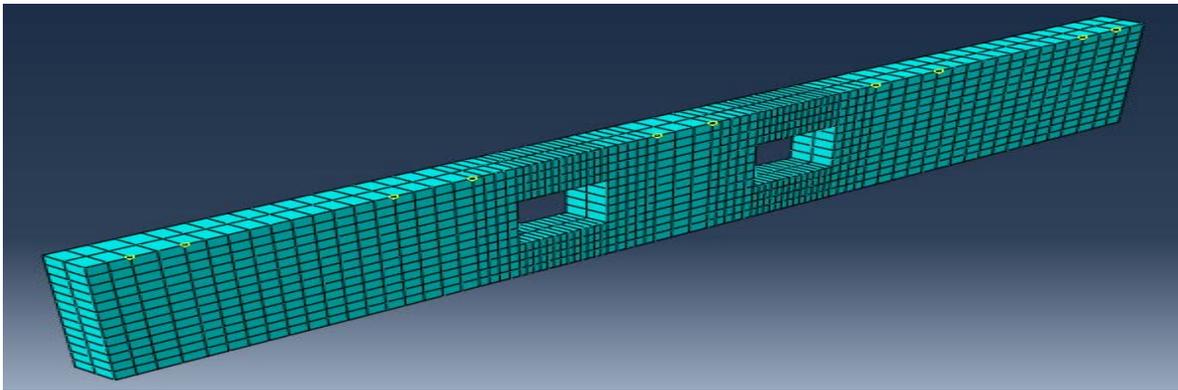
#### ❖ CIL :

يبين الشكل (٤-١٥) والذي يمثل المحور الأفقي فيه مقلوب عدد درجات الحرية (Degree of Freedom) في النموذج، بينما يمثل المحور الشاقولي تغير قيمة قوة الانهيار للجائز ( $P_u$ ) وذلك من أجل تقسيمات الشبكة المذكورة سابقاً، أن استخدام العنصر الفراغي C3D8 بأبعاد (50\*50\*50) أعطى نتائج متقاربة جداً (97%) بالمقارنة مع استخدام نفس العنصر لكن بأبعاد (30\*30\*30)، فيما أعطى تقارباً أقل بلغ (93%) مع استخدام نفس العنصر لكن بأبعاد (75\*75\*75)، وبالتالي فإن اعتماد العنصر الفراغي بأبعاد (50\*50\*50) كافٍ للحصول على حل دقيق مع اقتصادية في زمن التحليل.

تم أيضاً في هذا النموذج زيادة التقسيمات عند مناطق الفتحات وبالتالي استخدام عناصر بأبعاد أصغر عند الفتحات ثم تتدرج في الزيادة حتى الوصول للعنصر (٥٠\*٥٠\*٥٠) في باقي أقسام الجانز، و يوضح الشكل (٤-١٦) التقسيمات المعتمدة للنموذج المدروس (CIL).



الشكل (٤-١٥): دراسة أثر تقارب الشبكة للنموذج المدروس (CIL)، [Abaqus. Ver 6.12]

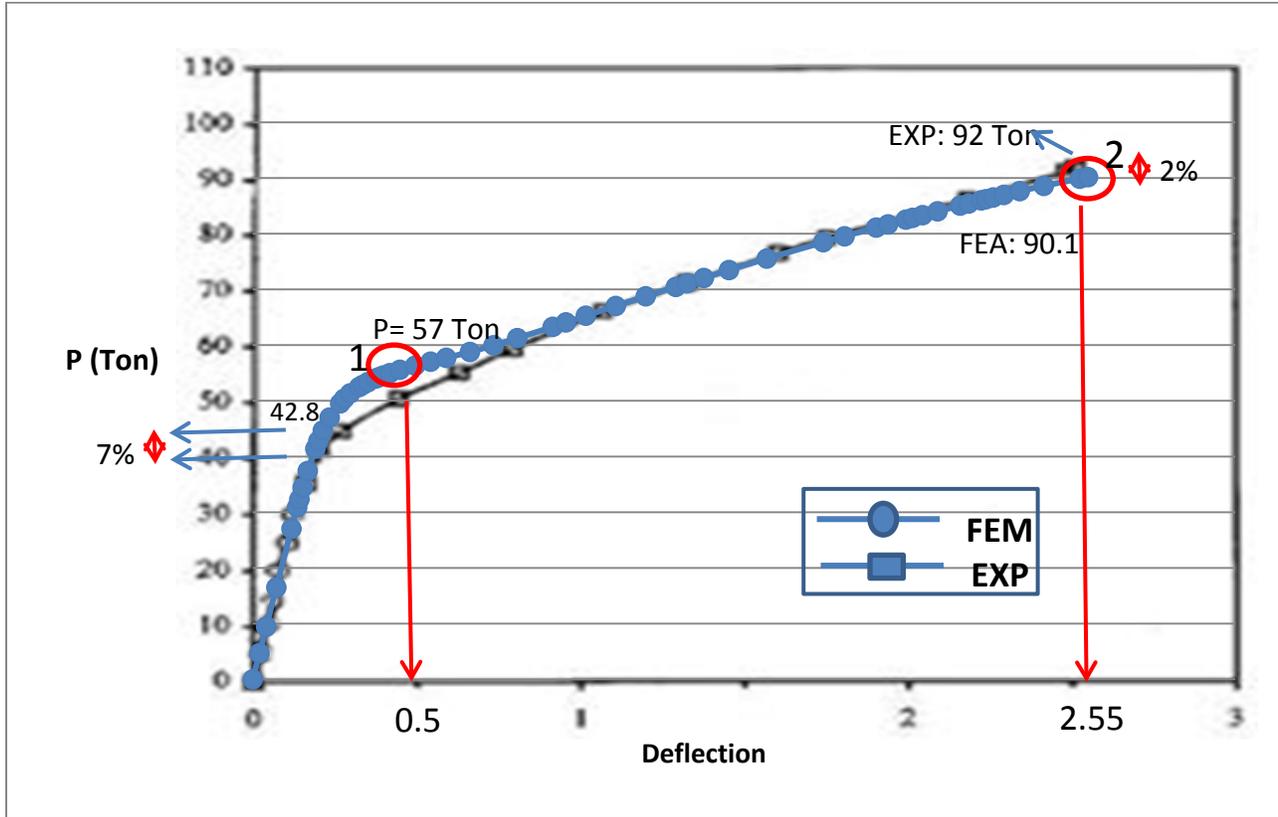


الشكل (٤-١٦): شكل تقسيمات النموذج المعتمد (CIL)، [Abaqus. Ver 6.12]

#### ٤.١٠ التحقق من النماذج ومقارنة النتائج التحليلية:

##### ❖ AES:

من أجل التحقق من النموذج، تمت المقارنة بين الدراسة التحليلية والدراسة التجريبية المعتمدة وتبيان النتائج في الشكل (٤-١٧)، حيث يعبر المحور الشاقولي في الشكل عن القوة المركزة المطبقة على الجانز، فيما يمثل المحور الأفقي الانتقال وسط المجاز، وتم استعراض النتائج التجريبية و النتائج المستخرجة من برنامج (Abaqus. Ver6.12) على نفس الشكل.



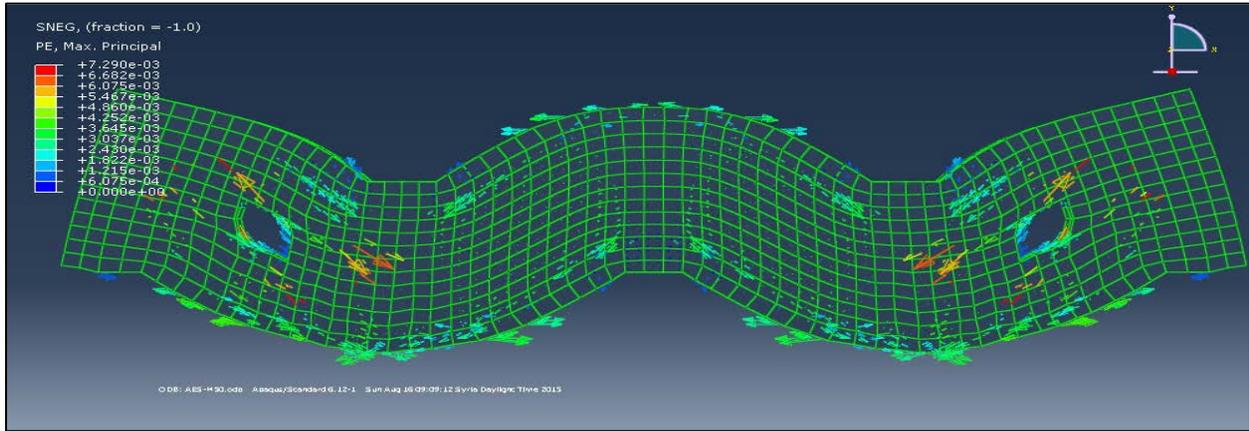
الشكل (١٧-٤): مقارنة منحنى قوة-انفعال بين الدراسة المرجعية والنموذج التحليلي (AES)، (Abaqus. Ver 6.12)

يلاحظ من الشكل بدايةً تطابق ميل المنحنيين تقريباً في المرحلة المرنة، مع ملاحظة أن النموذج التحليلي أعطى قيمة أكبر لقيمة الحمولة عند انتهاء المرحلة المرنة وبلغت (42.8 ton) أي أعلى بنسبة (7%) من قيمة الحمولة التجريبية البالغة (40 ton) ويعود ذلك إلى أن الدراسة التحليلية استخدمت منحنيات نموذجية لسلوك المواد من الكودات وهي مختلفة عن السلوك التجريبي ولا سيما لمادة البيتون والذي يعتبر مادة غير متجانسة.

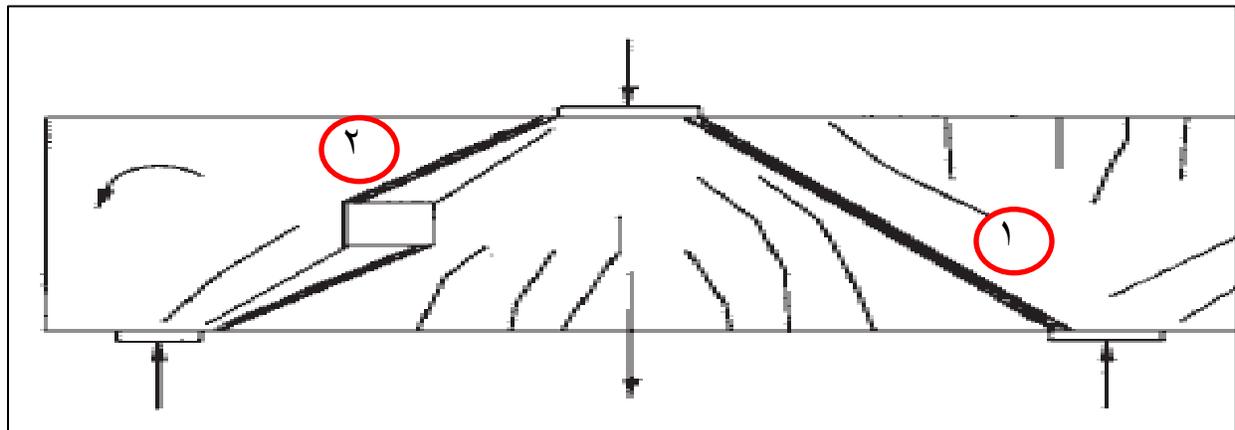
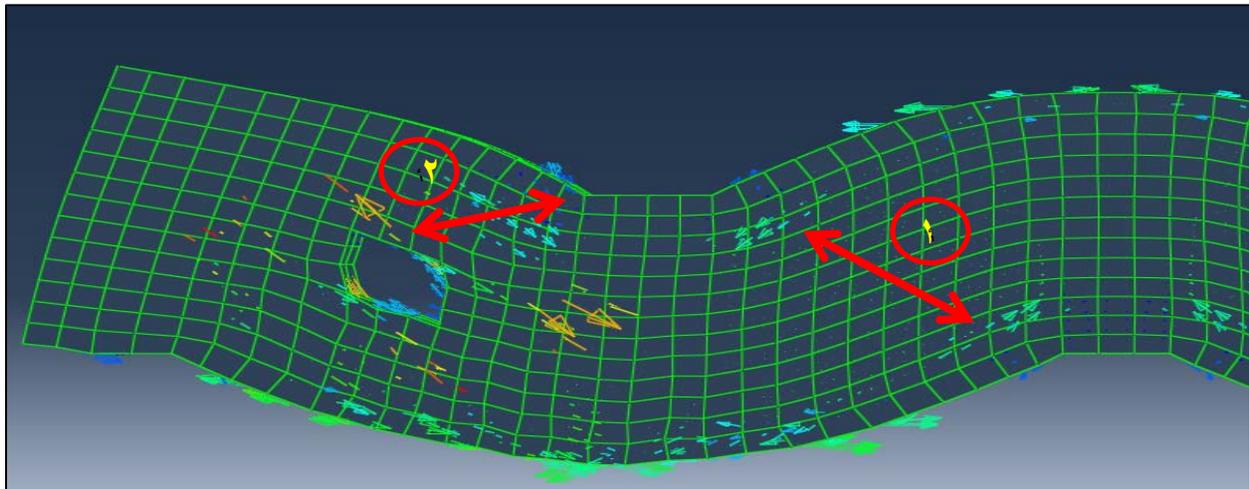
ثم بعد ذلك، يتقارب المنحنيين بشكل كبير حتى وصول المنحنى التحليلي إلى قيمة للانهياب بلغت (87.13 ton) فيما انهيار المنحنى التجريبي على قيمة حمولة بلغت (92 ton).

بالإضافة إلى ذلك تمت المقارنة بين شكل التشققات المعطى في التجربة وبين الشكل الناتج من النموذج التحليلي، حيث يذكر (Abaqus Analysis User's Manual) في الفقرة (23.6.3) أن طريقة (CDP) لا تملك إمكانية إظهار الشقوق بشكل دقيق، ولكنها من الممكن أن تقدم فكرة عن اتجاه الشقوق الفعال للحصول على تصوير لنمط التشققات في المنشآت الخرسانية، ويتم ذلك باستعراض (PE, Max. Principal Plot → Symbols) بعد تحليل الجانز.

يُظهر الشكل (18-4) نتائج المتغير (PE, Max. Principal) للعينة (AES)، حيث يكون اتجاه التشققات بشكل معامد للأسهم الظاهرة في الشكل.



الشكل (٤-١٨): نتائج المتغير (PE, Max. Principal) للعينة (AES)، [Abaqus. Ver 6.12]



الشكل (٤-١٩): مقارنة شكل التشققات بين النموذج التحليلي والتجريبي للعينة (AES)، [Abaqus. Ver 6.12]

من خلال المقارنات السابقة يتبين بأن نتائج النموذج التحليلي متقاربة لحد كبير مع النموذج التجريبي وبالتالي موثوقية النموذج وإمكانية إجراء الدراسة البارامترية عليه.

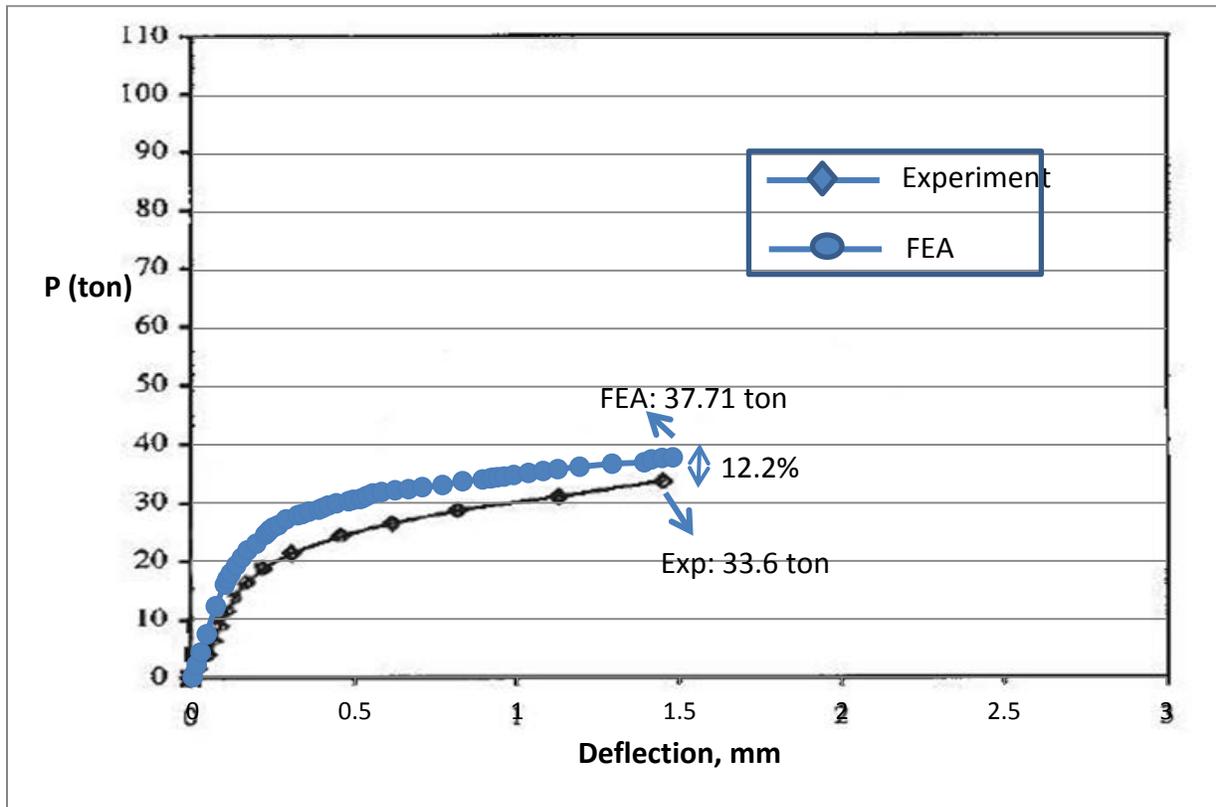
## ❖ CIL :

يعبر المحور الشاقولي في الشكل (٤-٢٠) عن القوة المركزة المطبقة على الجانز، فيما يمثل المحور الأفقي الانتقال وسط المجاز، وتم استعراض النتائج التجريبية و النتائج المستخرجة من برنامج (Abaqus. Ver6.12) على نفس الشكل.

يلاحظ من الشكل بدايةً تقارب ميل المنحنيين في الجزء المرن مع قساوة أكبر بقليل للمنحني التحليلي مع قيمة حمولة لانتهاؤ المرحلة المرنة بلغت (12.17 ton) وهي أكبر من قيمة حمولة نهاية المرحلة المرنة التجريبية (9.04 ton)، ويعود ذلك إلى أن الدراسة التحليلية استخدمت منحنيات نموذجية لسلوك المواد من الكودات وهي مختلفة عن السلوك التجريبي ولا سيما لمادة البيتون والذي يعتبر مادة غير متجانسة، بالإضافة إلى أننا اعتبرنا في الدراسة التحليلية أن التماسك تام بين البيتون والتسليح وهو ما يخالف الواقع حيث توجد إجهادات قص في سطح التماس بين البيتون والتسليح.

ثم بعد ذلك، يتقارب المنحنيين حتى وصول المنحني التحليلي إلى قيمة للانهيال بلغت (37.71 ton) فيما أعطى الجانز التجريبي حمولة انهيال بلغت (33.6 ton) أي بفارق (12%)

أي أن نتائج النموذج التحليلي متقاربة لحد كبير مع النموذج التجريبي مما يعني موثوقية النموذج وإمكانية إجراء الدراسة البارامترية عليه.



الشكل (٤-٢٠): مقارنة منحنى قوة-انتقال بين الدراسة المرجعية والنموذج التحليلي (AES)، (Abaqus. Ver 6.12)

#### ١١.٤ خلاصة الفصل الرابع Conclusion of the forth chapter

تم في هذا الفصل استعراض كيفية بناء النموذج العددي باستخدام طريقة العناصر المحدودة، حيث تمت الاستعانة ببرنامج (ABAQUS ver6.12) وشرح مواصفات العناصر التي تم استخدامها لنمذجة كلاً من البيتون وحديد التسليح والصفائح الفولاذية، ثم اختيار الشروط المحيطة ونوع التحليل المناسبين، ثم تم اختيار الأبعاد المناسبة لتقسيمات العناصر المحدودة في النماذج، وأخيراً تم التحقق من نتائج النموذج التحليلي من خلال مقارنتها مع نتائج الدراسة التجريبية المعتمدة، وقد تبين أن نتائج النموذج التحليلي متطابقة لحد كبير مع النموذج التجريبي مما يعني موثوقية النموذج وإمكانية إجراء الدراسة البارامترية عليه والتي سترد في الفصل الخامس.

## الفصل الخامس

## الدراسة البارامترية Parametric Study

### ١.٥ مقدمة (Introduction):

يهدف هذا الفصل إلى استعراض الدراسة التحليلية باستخدام برنامج (ABAQUS ver6.12) على مجموعة من الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة الحاوية على فتحات بعد تغيير بعض العوامل الرئيسية المؤثرة على سلوكها. تم في هذا الفصل إجراء التحليل العددي باستخدام طريقة العناصر المحدودة عبر النموذج الذي تمّ بناءه كما سُرح سابقاً في الفصل الرابع.

يحتوي هذا الفصل نتائج الدراسة التحليلية لتأثير موقع الفتحات وحجمها على قدرة تحمل ونمط انهيار الجوائز الخرسانية المسلحة المستمرة العميقة والحواوية على فتحات و ذات مواصفات موافقة للجوائز الذي تتم نمذجته، بالإضافة إلى تأثير كلاً من نسبة مجاز القص إلى العمق و كمية تسليح الشد الطولي وسماكة المقطع العرضي على جوائز بمواصفات مطابقة للحالة المدروسة في هذا البحث.

### ٢.٥ دراسة تأثير تغيير موقع الفتحة وحجمها على سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة:

قام الباحثون في الدراسة المرجعية المعتمدة بإجراء تجارب التحميل على الجوائز التالية (الواردة مواصفاتها في الفقرة 2.4) بقيم مختلفة لمقاومة الخرسانة، حيث كانت المقومات كما يلي:

$$AES: 26.5 \text{ N/mm}^2, AIS: 20.8 \text{ N/mm}^2, AEL: 29.8 \text{ N/mm}^2, AIL: 26.1 \text{ N/mm}^2$$

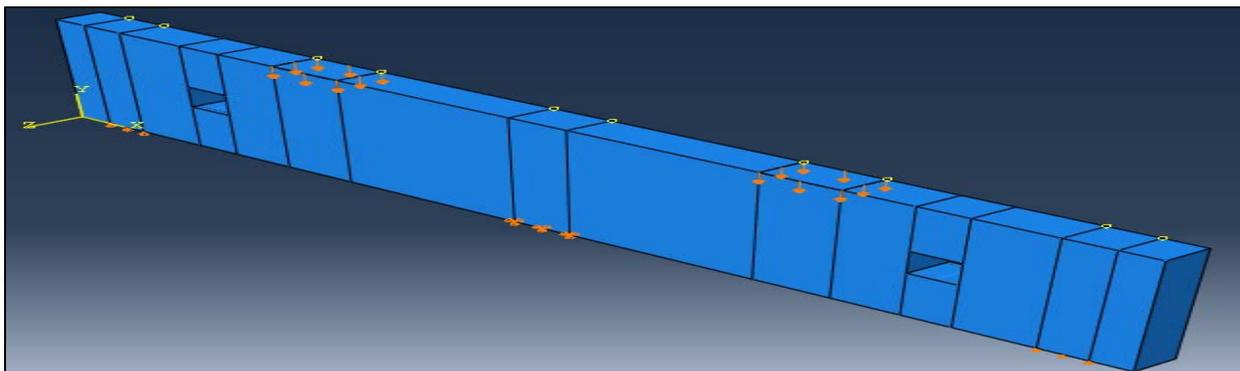
حيث: ( E : ترمز لوجود الفتحة في مجاز القص الخارجي، I : ترمز لوجود الفتحة في مجاز القص الداخلي، S : ترمز إلى أن حجم الفتحة صغيرة، L : ترمز إلى أن حجم الفتحة كبيرة)

يُلاحظ أن قيمة مقاومة الخرسانة تختلف بشكل كبير بين العينات (بنسبة تصل لـ ٣٠%)، لذلك و للتركيز على أثر موقع وحجم الفتحات على سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة، وبعد أن تم التأكد من صحة النموذج سيتم تثبيت قيمة مقاومة الخرسانة في العينات الأربعة ( $f'_c = 25.8 \text{ N/mm}^2$ ) وهي القيمة الوسطية للقيم السابقة، ثم دراسة النموذج الجديدة.

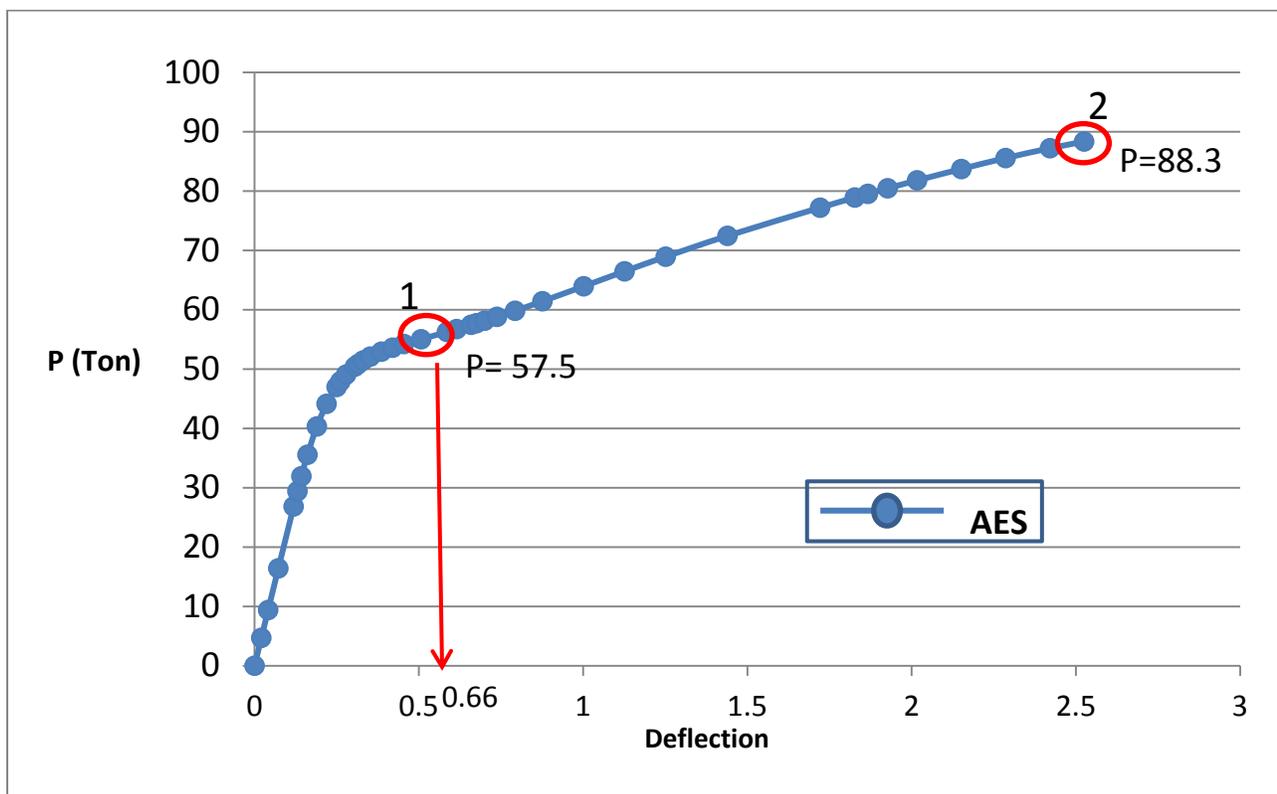
تشير الفتحات الصغيرة إلى أن نسبة مساحتها إلى مساحة مجاز القص تبلغ (0.04)، فيما تبلغ نسبة مساحة الفتحات الكبيرة إلى مساحة مجاز القص (0.15)، وسيتم دراسة الجوائز الأربعة كما هو مبين في الفقرات التالية:

## ١.٢.٥ دراسة النموذج الأول (AES) ذو الفتحات الصغيرة في مجاز القص الخارجي:

يبين الشكل (١-٥) نموذج العينة (AES) والحاوية على فتحات صغيرة في مجاز القص الخارجي و ذات المواصفات المبينة في الفقرة (4.2)، فيما الشكل (٢-٥) العلاقة بين القوة المركزة المطبقة على الجائز (المحور الشاقولي) و الانتقال وسط المجاز (المحور الأفقي) للنموذج (AES) في برنامج (Abaqus, Ver6.12).



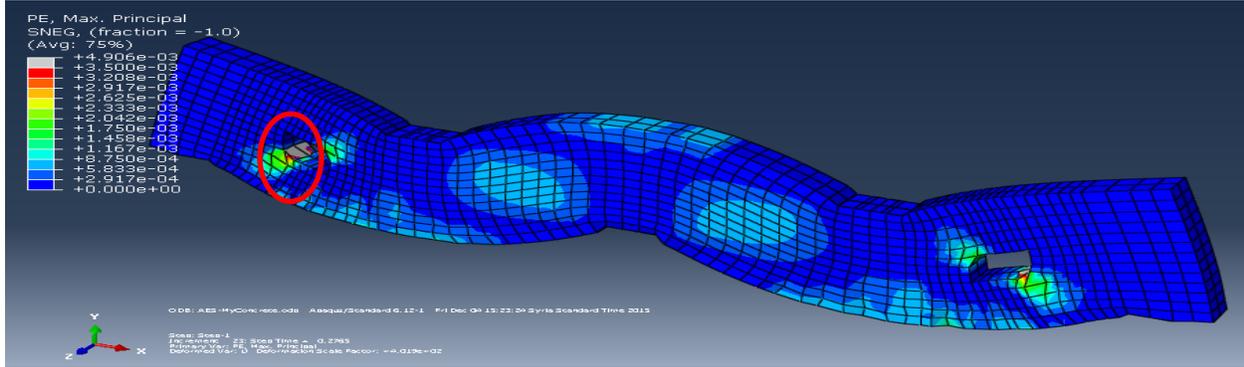
الشكل (1-5): شكل العينة (AES) وفق برنامج [Abaqus, Ver 6.12]



الشكل (2-5): منحنى قوة-انتقال وسط المجاز للنموذج التحليلي (AES)، [Abaqus, Ver 6.12]

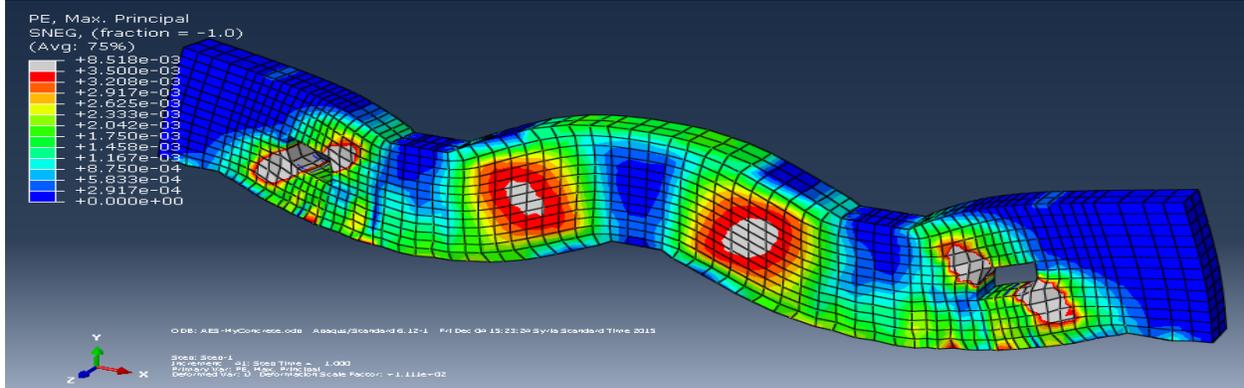
يبين الشكل (٢-٥) انتهاء المرحلة المرنة عند قيمة حمولة (43.2 ton) ولكن لا يمكن مشاهدة المنطقة المتلدنة بشكل واضح عند هذه الحمولة، لذلك سيتم استعراض التشوهات النسبية الرئيسية عند تشكل أول منطقة لدنة مرئية بوضوح وذلك عند قيمة

حمولة (57.5 ton) وانتقال (0.66 mm) -النقطة ١-، ويُبين الشكل (3-5) مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (1) للعينة (AES)، ويلاحظ من الشكل أن أول من يصل للانهييار هي زوايا الفتحات السفلية اليسارية في المجاز اليساري من الجائز والسفلية اليمينية في المجاز اليميني من الجائز - أي الواقعة في مسار انتقال الحمولة إلى المسند الطرفي- (اللون الرمادي حيث تجاوزت التشوهات النسبية للبيتون 0.0035)، مع تراقف أعظم التشوهات في زوايا الفتحات العليا ومناطق العزم الموجب والعزم السالب الأعظمي، مما يشير إلى أن وجود الفتحات في الجائز هي التي حفزت دخول الجائز في الدونة، نتيجة تطور تشققات القص القطرية المائلة الناتجة عن إجهادات الشد الرئيسية.



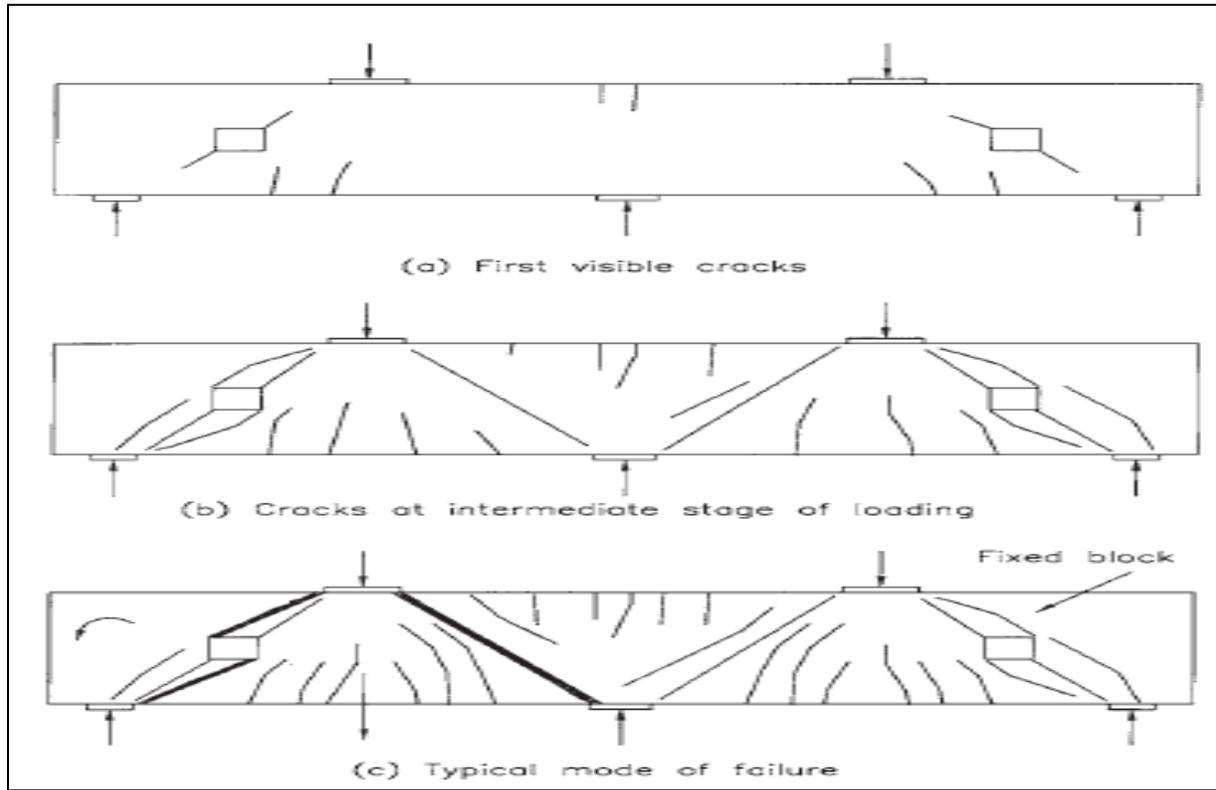
الشكل (3-5): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (١) من العينة (AES)، [Abaqus. Ver 6.12]

يبين الشكل (4-5) مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (٢) من الشكل (2-5) وحمولة الانهييار للعينة والتي بلغت (88.3 ton)



الشكل (4-5): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (٢) من العينة (AES)، [Abaqus, Ver 6.12]

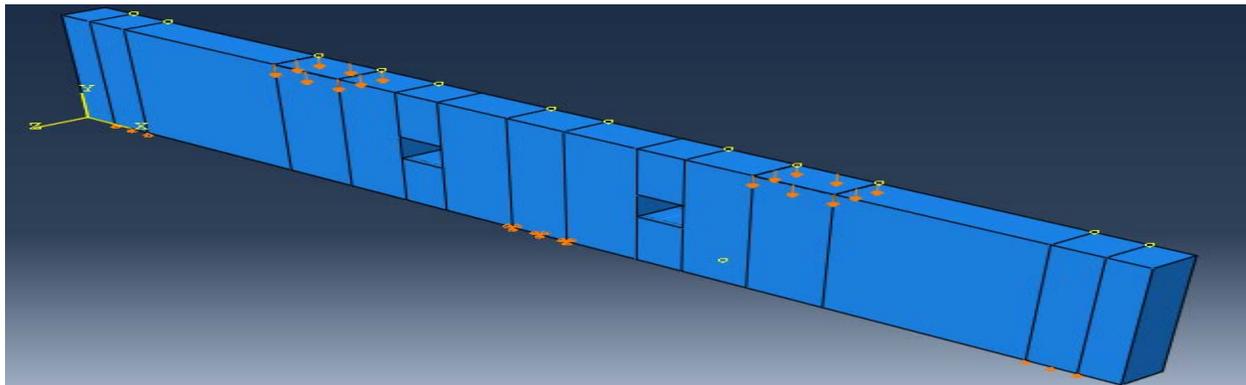
يبين الشكل (٥-٥) تطور تشكل التشققات حتى الانهييار في العينة (AES) تجريبياً وفق قيمة مقاومة الخرسانة على الضغط المستخدمة في الدراسة التجريبية، ولكن من الممكن مقارنة هذا الشكل مع الشكل الناتج بعد تغيير مقاومة الخرسانة في النموذج التحليلي المدروس، حيث يُلاحظ من الشكلين (4-5) و (5-5) توافق نمط الانهييار نتيجة التشققات القطرية، حيث تتشكل بداية تشققات القص القطرية المائلة في زوايا الفتحات ثم تتزايد بالاتجاهين وصولاً إلى حافة المساند الطرفية ونقاط تطبيق القوى، يترافق ذلك مع حدوث تشققات قطرية رئيسية أخرى بين أطراف نقاط تطبيق القوى والمساند الوسطية أي في مناطق العناصر المضغوطة (struts)، مما يؤدي لانهييارها بالتراقف مع انهيار مناطق الفتحات مشكلةً نمط الانهييار لهذه العينة.



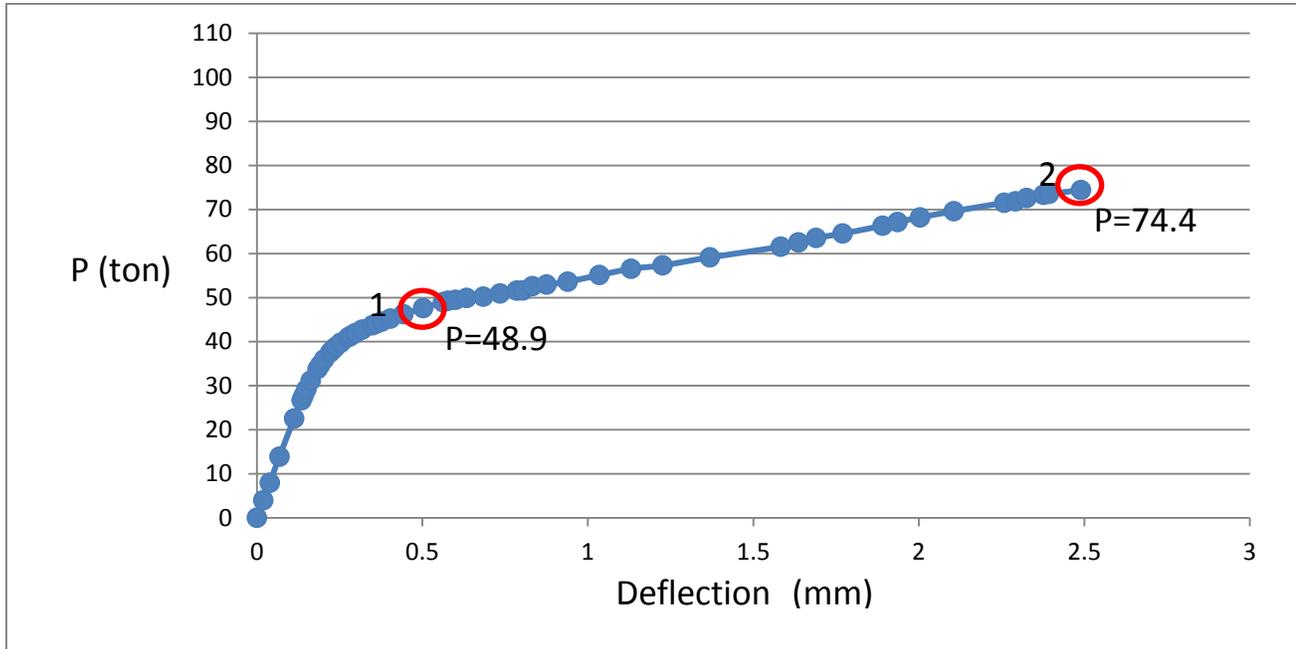
الشكل (5-5): تطور تشكّل التشققات في العينة (AES) تجريبياً ، (Ashour and Rishi, 2000)

## ٢.٢.٥ دراسة النموذج الثاني (AIS) ذو الفتحات الصغيرة في مجاز القص الداخلي:

يبين الشكل (٦-٥) نموذج العينة (AIS) والحاوية على فتحات صغيرة في مجاز القص الداخلي و ذات المواصفات المبينة في الفقرة (4.2)، أما الشكل (٧-٥) فيبين العلاقة بين القوة المركزة المطبقة على الجائز (المحور الشاقولي) و الانتقال وسط المجاز (المحور الأفقي) للنموذج (AIS) وفق برنامج (Abaqus, Ver6.12) .



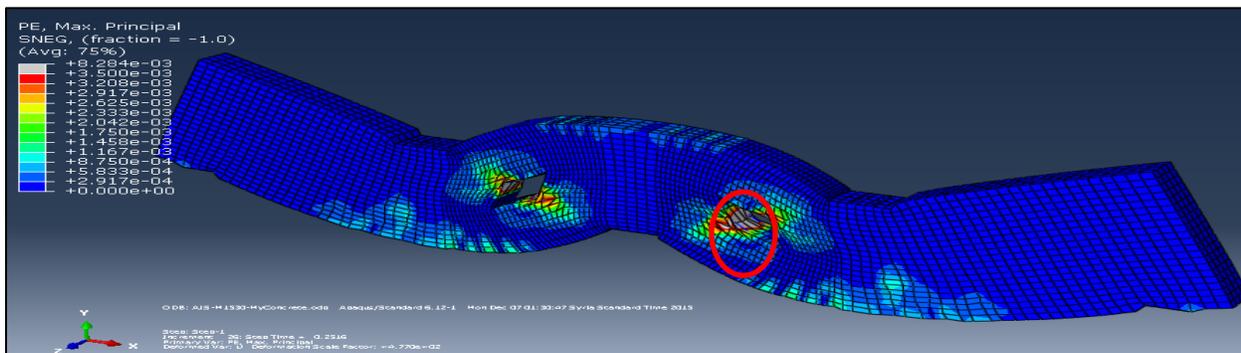
الشكل (٦-٥): شكل النموذج (AIS) وفق برنامج [Abaqus, Ver 6.12]



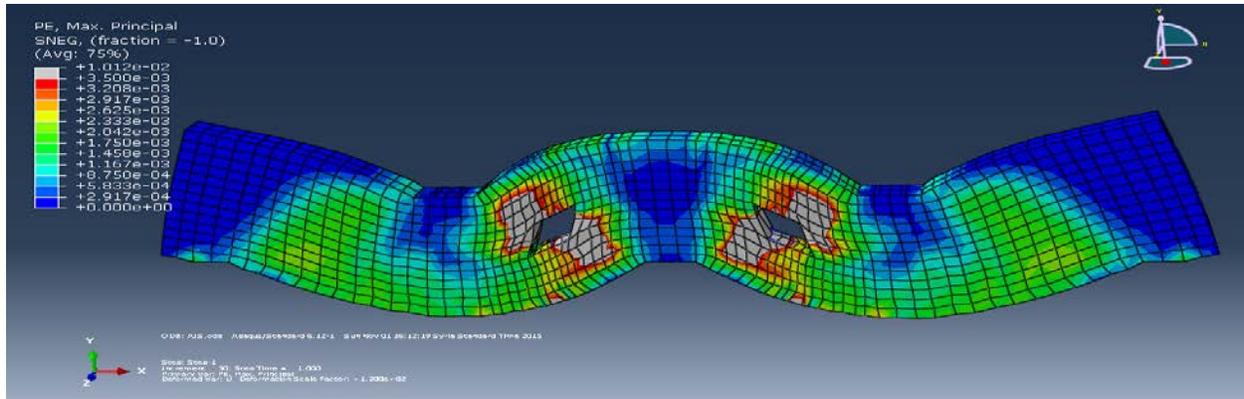
الشكل (٧-٥): منحنى قوة-انفعال وسط المجاز للنموذج التحليلي (AIS)، [Abaqus, Ver 6.12]

تمثل النقطة (١) بدء تشكل أول منطقة لدنة مرئية بوضوح عند قيمة حمولة (48.9 ton) وانتقال (0.56 mm)، ويُبين الشكل (٨-٥) مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (1) للعينه (AIS)، ويلاحظ من الشكل أن أول من يصل للانهيّار هي زوايا الفتحات السفلية اليسارية في المجاز اليميني والسفلية اليمينة في المجاز اليساري- أي الواقعة في مسار انتقال الحمولة إلى المسند الوسطي- (اللون الرمادي حيث تجاوزت التشوهات النسبية للبيتون 0.0035)، مع ترافق أعظم التشوهات في زوايا الفتحات العليا ومناطق العزم الموجب والعزم السالب الأعظمي، وهو ما يوافق الشكل (5-10-a) الناتج من التجربة والذي يشير إلى تشكل الشقوق أولاً في زوايا الفتحات وبالتالي تكون هي أول المناطق المنهارة فيما بعد.

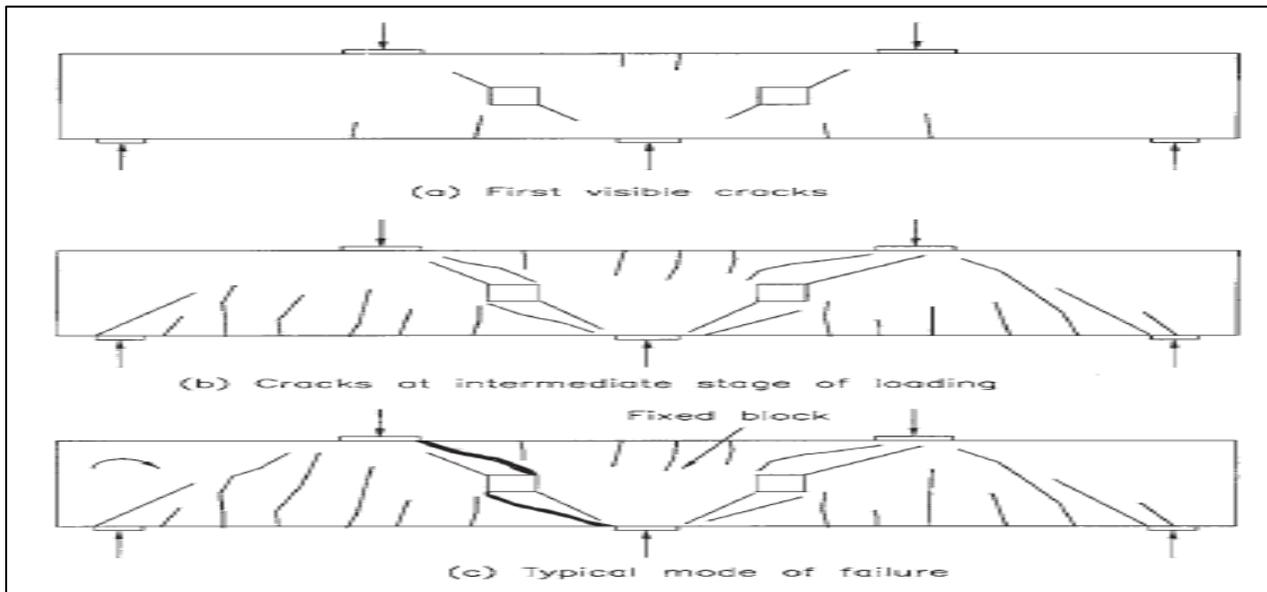
فيما يبين الشكل (٩-٥) مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (2) من المنحنى، وهي نقطة انهيار الجائز والبالغة (74.4 ton) مع انتقال موافق (2.5 mm)، حيث يلاحظ أنه في حال الجوائز الحاوية على فتحات صغيرة في مجاز القص الداخلي، فإنه بعد تشكل الشقوق القطرية الأولية في زوايا الفتحات تمتد بالاتجاهين نحو أطراف المسند الداخلي ونقاط تطبيق القوى المركزة لتكون هذه المنطقة هي ما ينهار أولاً في الجائز مشكلةً نمط الانهيار الموضح في الشكل (5-10-c).



الشكل (٨-٥): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (١) من العينه (AIS)، [Abaqus, Ver 6.12]



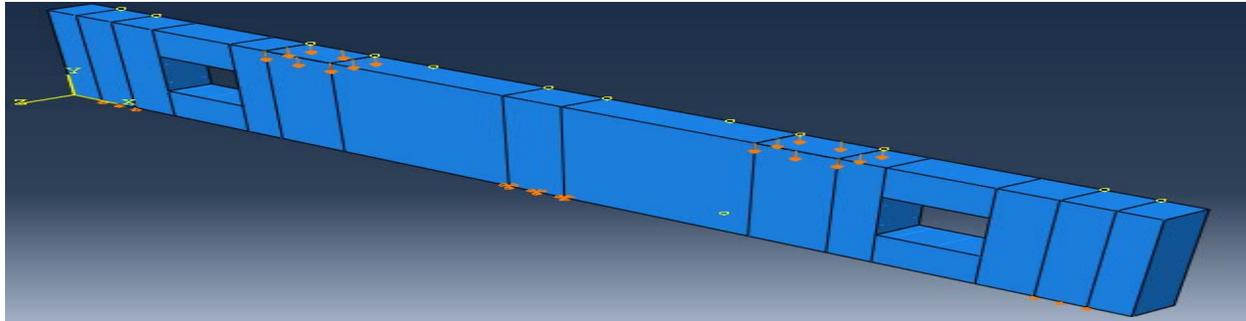
الشكل (٩-٥): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (٢) من العينة (AIS)، [Abaqus, Ver 6.12]



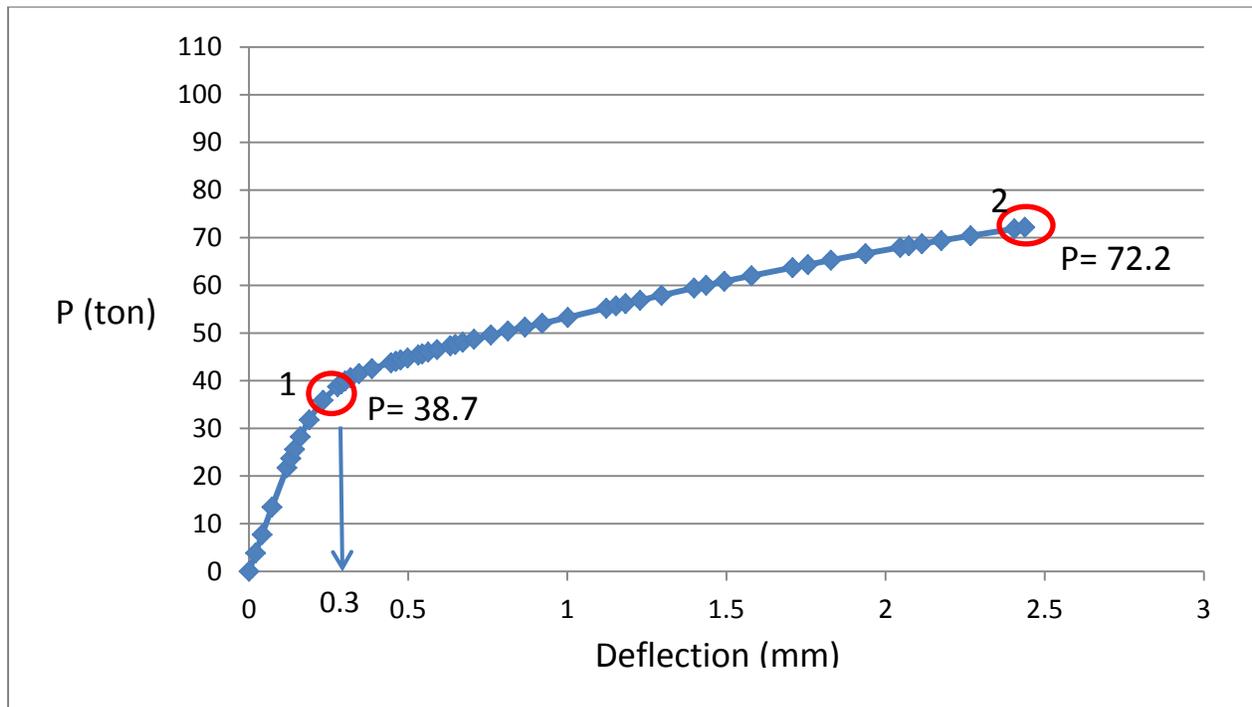
الشكل (١٠-٥): تطور تشكل التشققات في العينة (AIS)، (Ashour and Rishi, 2000)

### ٣.٢.٥ دراسة النموذج الثالث (AEL) ذو الفتحات الكبيرة في مجاز القص الخارجي:

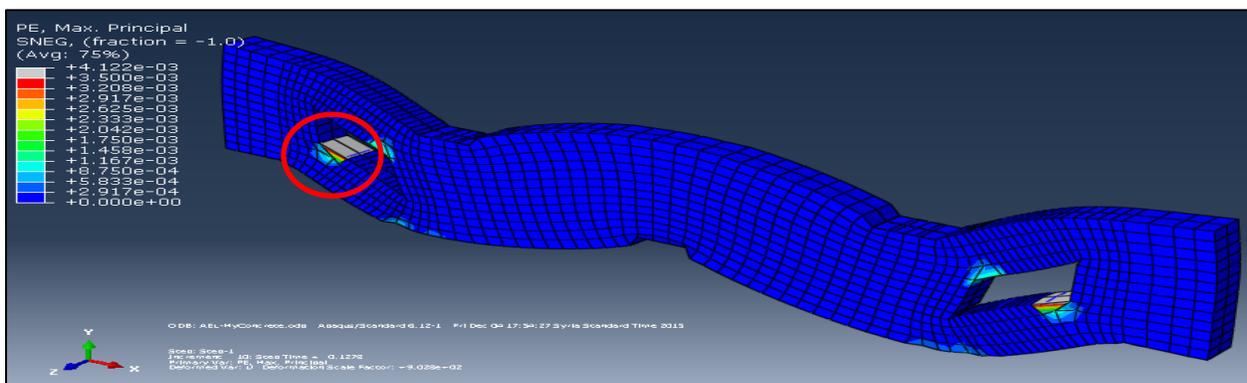
يبين الشكل (١١-٥) نموذج العينة (AEL) والحاوية على فتحات كبيرة في مجاز القص الخارجي و ذات المواصفات المبينة في الفقرة (2-3)، فيما يبين الشكل (١٢-٥) العلاقة بين القوة المركزة المطبقة على الجائز (المحور الشاقولي) و الانتقال وسط المجاز (المحور الأفقي) للنموذج (AEL) في برنامج (Abaqus, Ver6.12).



الشكل (١١-٥): شكل النموذج (AEL) وفق برنامج [Abaqus, Ver 6.12]

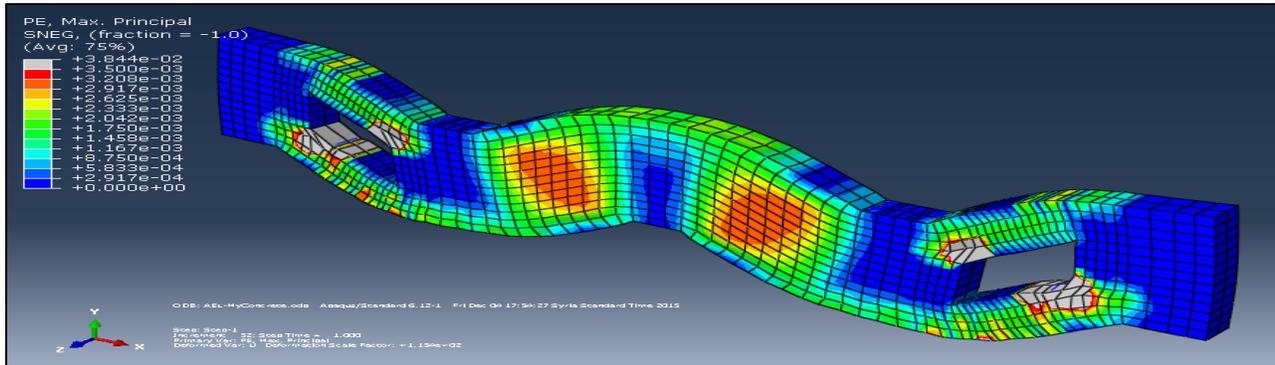


الشكل (١٢-٥): منحنى قوة-انفعال وسط المجاز للنموذج التحليلي (AEL)، [Abaqus, Ver 6.12]



الشكل (5-13): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (١) من العينة (AEL)، [Abaqus, Ver 6.12]

يبين الشكل (5-13) مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (1) من النموذج التحليلي حيث بدأت أول منطقة لدنة بالظهور بشكل واضح عند قيمة حمولة (38.7ton) وانتقال (0.3 mm)، في زوايا الفتحات السفلية اليمينية من المجاز اليميني والسفلية اليسارية من المجاز اليساري- أي الواقعة في مسار انتقال الحمولة إلى المسند الطرفي-، ولكن يُلاحظ أنه بسبب حجم الفتحات الكبير لم تصل التشوهات في مناطق العزم الموجب والسالب الأعظمي إلى قيم كبيرة بعد كما حدث في تشوهات العينة (AES)، ويبين الشكل (5-14) مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (٢) من المنحني، وهي نقطة انهيار الجانز والبالغة (72.2 ton)

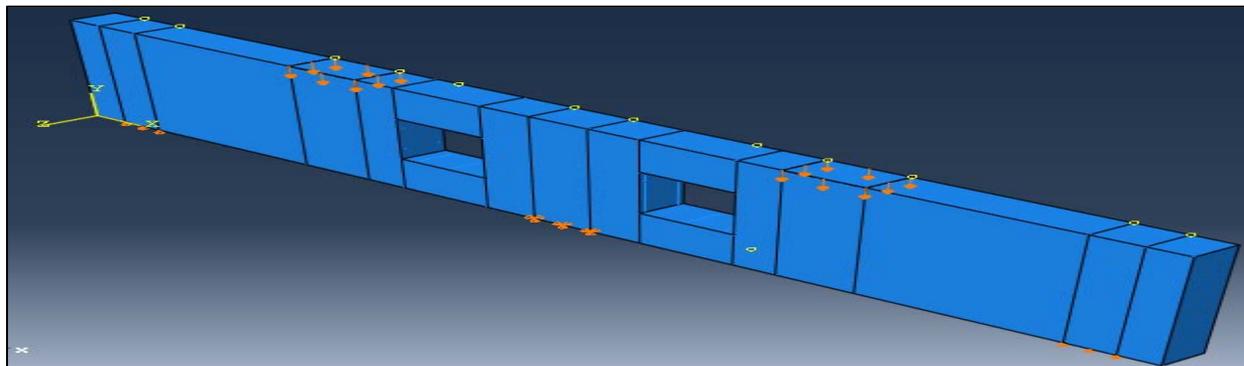


الشكل (5-14): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (٢) من العينة (AEL)، [Abaqus, Ver 6.12]

حيث يُلاحظ من الشكل أن الانهيار يحدث في زوايا الفتحات نتيجة تطور شقوق القص القطرية المائلة، ويتزامن ذلك مع حدوث تشوهات نسبية كبيرة في المنطقة بين القوة المركزة المطبقة والمسند الداخلي وهي منطقة تشكل العنصر المضغوط (strut)، ولكن يُلاحظ عدم دخول هذه المنطقة باللدونة، بالمقارنة مع الشكل (5-4) والخاص بالعينة الحاوية على فتحات صغيرة في مجاز القص الخارجي -AES- والتي وصلت فيها المنطقة الوسطى للدونة، مما يشير إلى أثر حجم الفتحات في الجانز العميق المستمر حيث أن الفتحة الكبيرة أدت إلى تشكل حقل لدن كبير وكافي لانهيار الجانز قبل وصول المناطق الأخرى من الجانز إلى اللدونة.

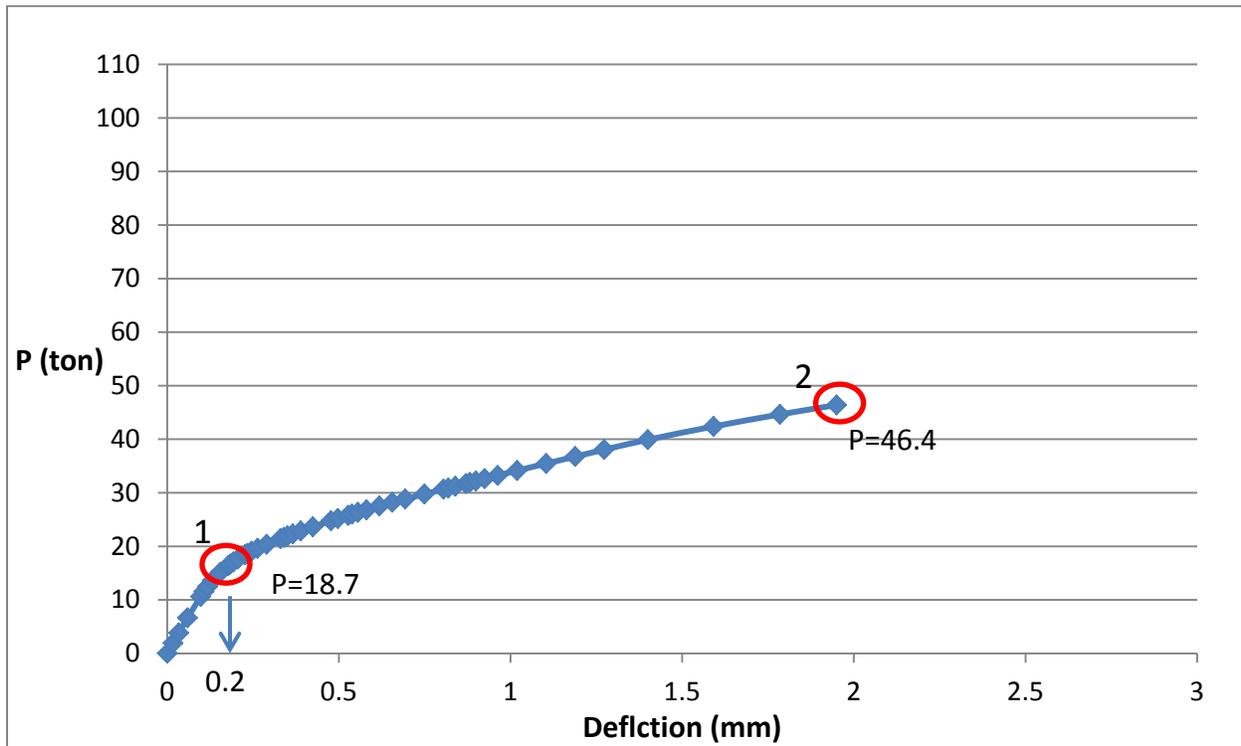
## ٤.٢.٥ دراسة النموذج الرابع (AIL) ذو الفتحات الكبيرة في مجاز القص الداخلي:

يبين الشكل (30) نموذج العينة (AIL) والحاوية على فتحات كبيرة في مجاز القص الداخلي و ذات المواصفات المبينة في الفقرة (٢.٥).

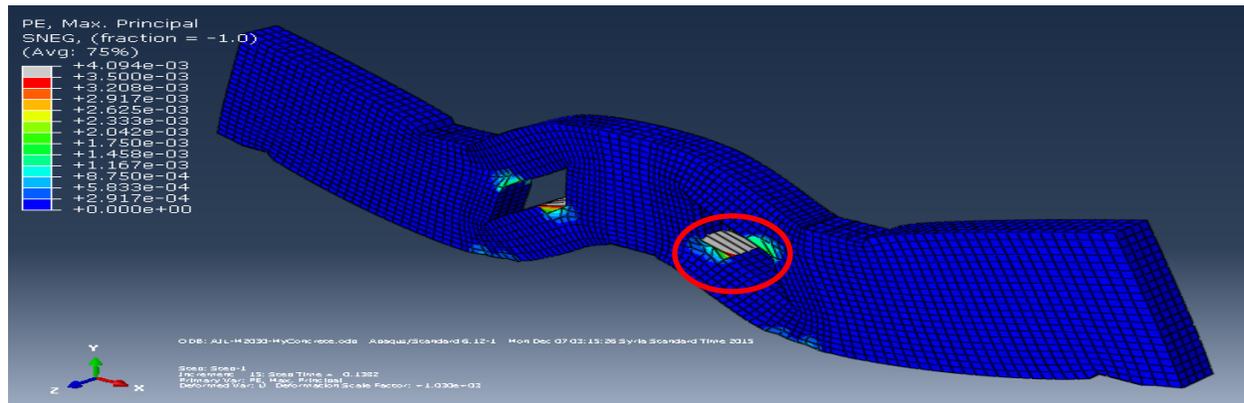


الشكل (٥-١٥): شكل النموذج (AIL) وفق برنامج [Abaqus, Ver 6.12]

يبين الشكل (١٦-٥) العلاقة بين القوة المركزة المطبقة على الجائز (المحور الشاقولي) و الانتقال وسط المجاز (المحور الأفقي) للنموذج (AIL) في برنامج (Abaqus, Ver6.12) .



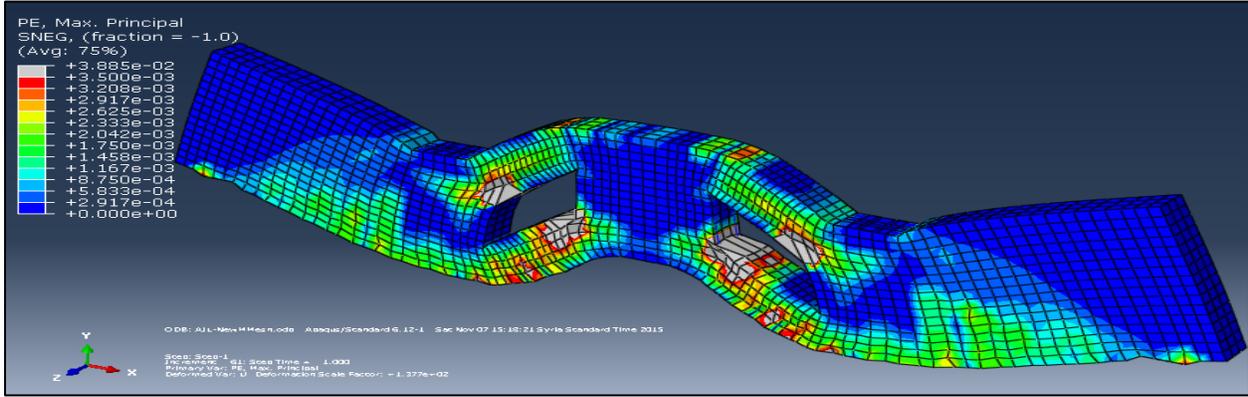
الشكل (١٦-٥): منحنى قوة-انتقال وسط المجاز للنموذج التحليلي (AIL)، [Abaqus, Ver 6.12]



الشكل (١٧-٥): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (١) من العينة (AIL)، [Abaqus, Ver 6.12]

يبين الشكل (١٧-٥) مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (١) من النموذج التحليلي، حيث بدأت ظهور أول منطقة لدنة في الجائز بوضوح عند قيمة حمولة (18.7 ton) وانتقال (0.2 mm) في زوايا الفتحات السفلية اليسارية في المجاز اليميني والسفلية اليمينية في المجاز اليساري، أي الواقعة في مسار انتقال الحمولة إلى المسند الوسطي، ولكن يُلاحظ أنه بسبب حجم الفتحات الكبير لم تصل التشوهات في مناطق العزم الموجب والسالب الأعظمي إلى قيم كبيرة بعد كما حدث في تشوهات العينة (AIS). يبين الشكل (١٨-٥) مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (٢) من المنحنى، وهي

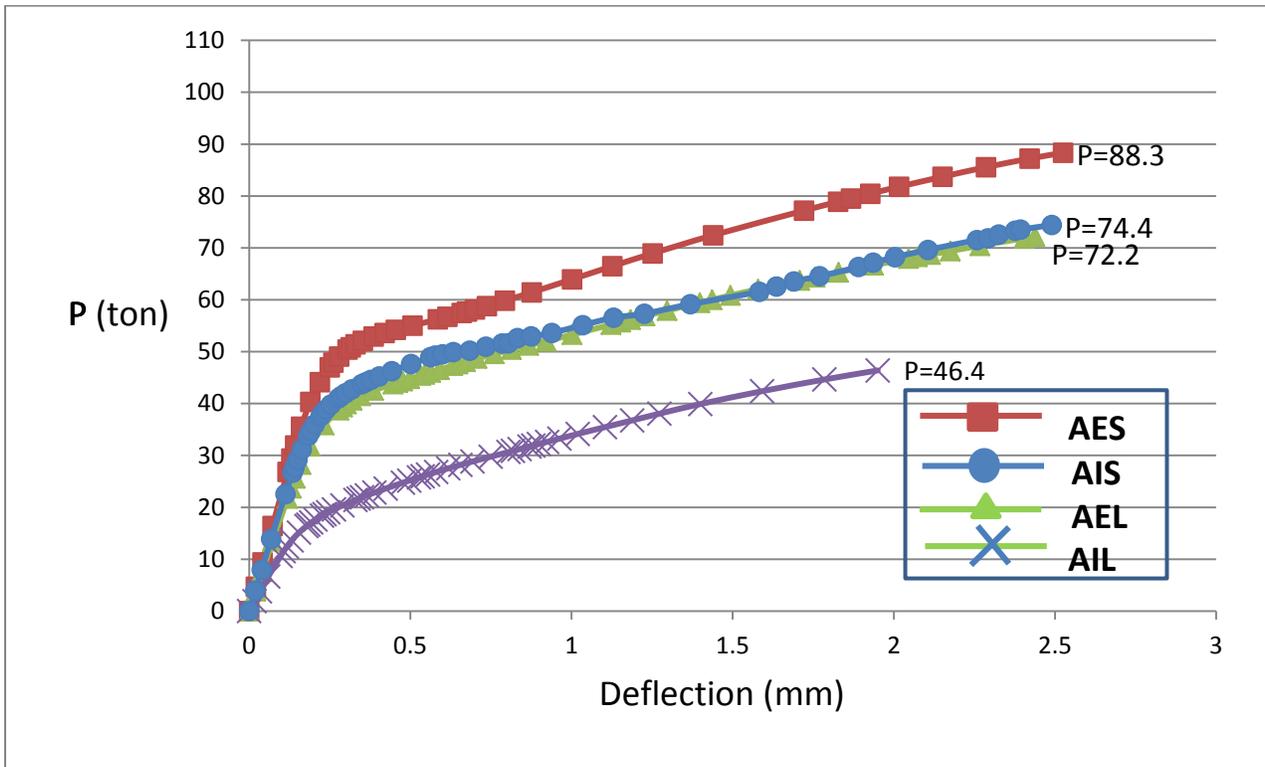
نقطة انهيار الجانز والبالغة (46.4 ton)، حيث يلاحظ من الشكل أن الانهيار يحدث في زوايا الفتحات نتيجة تطور شقوق القص القطرية المائلة، بالإضافة إلى حدوث تشوهات نسبية كبيرة في مناطق العزم الموجب تحت الفتحات ومنطقة العزم السالب.



الشكل (٥-١٨): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (2) من العينة (AIL)، [Abaqus, Ver 6.12]

### ٥.٢.٥ المقارنة بين نتائج الحالات الأربعة المدروسة:

يبين الشكل (٥-١٩) العلاقة بين القوة المركزة المطبقة على الجانز (المحور الشاقولي) و الانتقال وسط المجاز (المحور الأفقي) للنماذج السابقة (AES, AIS, AEL, AIL) في برنامج (Abaqus, Ver6.12).



الشكل (٥-١٩): مقارنة المنحنيات الأربعة للنماذج المدروسة، [Abaqus, Ver 6.12]

يُلاحظ أولاً تقارب القساوة الأولية للعينات الأربعة باستثناء العينة (AEL) والحاوية على فتحات كبيرة في مجاز القص الخارجي، حيث أبدت انخفاضاً واضحاً عن قساوة باقي العينات.

#### :AES

وهي العينة الحاوية على فتحات صغيرة في مجاز القص الخارجي، حيث ظهرت أول منطقة لدنة بوضوح عند قيمة ( 57.5 ton) كما تم تبيانه في الشكل (٣-٥)، ثم انهارت العينة (AES) عند قيمة حمولة (88.3 ton) أي أقل بنسبة (19.7%) من قيمة انهيار العينة المصمتة والمختبرة تجريبياً من قبل الباحثين والبالغة (110 ton).

بالنسبة لنمط الانهيار، فقد لوحظ من الشكل (٤-٥) أن انهيار العينة (AES) حدث بانهاير مناطق الفتحات بالإضافة للمناطق القطرية بجوار المسند الوسطي -مناطق ال (struts)-

#### :AIS

و هي العينة الحاوية على فتحات صغيرة في مجاز القص الداخلي، حيث ظهرت أول منطقة لدنة بوضوح عند قيمة (48.9ton)، فيما انهارت العينة (AIS) عند قيمة حمولة (74.4 ton) أي بانخفاض بنسبة (32.4%) عن قدرة تحمل الجائز المصمت.

بالنسبة لنمط الانهيار، فقد لوحظ من الشكل (٩-٥) انهيار مناطق ال (struts) -والحاوية على فتحات- قبل انهيار أي منطقة أخرى من الجائز، أي أن موقع الفتحة في حال الفتحات الصغيرة له تأثير واضح على نمط الانهيار.

#### :AEL

و هي العينة الحاوية على فتحات كبيرة في مجاز القص الخارجي، حيث ظهرت أول منطقة لدنة مرئية بوضوح عند قيمة حمولة (38.7 ton)، ثم انهارت العينة (AEL) عند قيمة حمولة (72.2 ton) أي أقل بنسبة (34.4%) من قيمة انهيار العينة المصمتة والمختبرة تجريبياً من قبل الباحثين والبالغة (110 ton)

بالنسبة لنمط الانهيار، فإنه يُلاحظ من الشكل (١٤-٥)، أن نمط الانهيار يتمثل بانهاير مناطق الفتحات أولاً قبل وصول مناطق أخرى من الجائز للانهيار.

#### :AIL

و هي العينة الحاوية على فتحات كبيرة في مجاز القص الخارجي، حيث ظهرت أول منطقة لدنة مرئية بوضوح عند قيمة حمولة (18.7 ton)، فيما انهارت العينة (AIL) عند قيمة حمولة (46.6 ton)، أي بانخفاض بنسبة (57.6%) عن قدرة تحمل الجائز المصمت

بالنسبة لنمط الانهيار، فإنه يُلاحظ من الشكل (18-5)، أن نمط الانهيار يتمثل بانهاير مناطق الفتحات أولاً قبل وصول مناطق أخرى من الجائز للانهيار، وبالتالي فإن موقع الفتحة لن يؤثر في حال كانت الفتحة كبيرة على نمط الانهيار وستنهار مناطق الفتحات أولاً في الحالتين.

كما يتبين عند مقارنة أنماط الانهيار أن حجم الفتحة يؤثر على نمط الانهيار في حالة وقوعها في مجاز القص الخارجي، ولا يؤثر في حالة وقوعها في مجاز القص الداخلي حيث تنهار مناطق الفتحات في الحالتين.

### ٣.٥ دراسة تأثير نسبة مجاز القص إلى العمق:

تعد نسبة مجاز القص إلى العمق من العوامل الهامة المؤثرة على سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة (Kong, 2003)، وقد تم إجراء الدراسة التجريبية المعتمدة في النمذجة على جوائز بنسبة مجاز قص إلى العمق تساوي (1.1)، كما كانت هذه النسبة في الدراسات المرجعية المستعرضة في هذا البحث مساوية أو أكثر من الواحد، حيث لم نجد فيما توفر لنا من مقالات دراسات على جوائز خرسانية مسلحة عميقة ومستمرة حاوية على فتحات ومع استخدام تسليح شاقولي في الجسد وبنسبة مجاز قص إلى العمق أقل من الواحد، لذلك سيتم إجراء الدراسة البارامترية على أحد النماذج المعتمدة (AES) بعد تغيير نسبة مجاز القص إلى العمق فيها لتصبح أقل من الواحد، ودراسة أثر هذا التغيير على سلوك الجوائز.

### ١.٣.٥ توصيف النموذج (AES-L1) بنسبة مجاز إلى العمق (0.7):

سيتم تعديل أبعاد النموذج (AES) ذو الفتحات الصغيرة في مجاز القص الخارجي والذي تم تبيان مواصفاته ودراسته في الفقرة (1.3.5) والتأكد من صحته، بحيث تصبح نسبة مجاز القص إلى العمق فيه (0.74)، وهي القيمة الوسطية تقريباً بين النسبة الأساسية في الدراسة التجريبية (1.06) والقيمة (0.5)، ولم يتم اختيار قيمة أقل من النصف لأن تقليل هذه القيمة إلى أقل من النصف في الجوائز العميقة يؤدي إلى تغيير كبير في سلوكها، وتصبح خارج نطاق التصنيف المدروس في هذا البحث. تم ذلك بتغيير الأبعاد الداخلية لكل من مجازيه ليصبح (800 mm) بدلاً من (1200 mm)، وللتركيز على تأثير تغيير نسبة مجاز القص إلى العمق فقط تم تعديل أبعاد الصفيحة العلوية الناقلة للحمولة المركزة بالإضافة إلى أبعاد الفتحات لكي توافق نسبتهم النسبة المعتمدة في نموذج ال (AES) كما يلي:

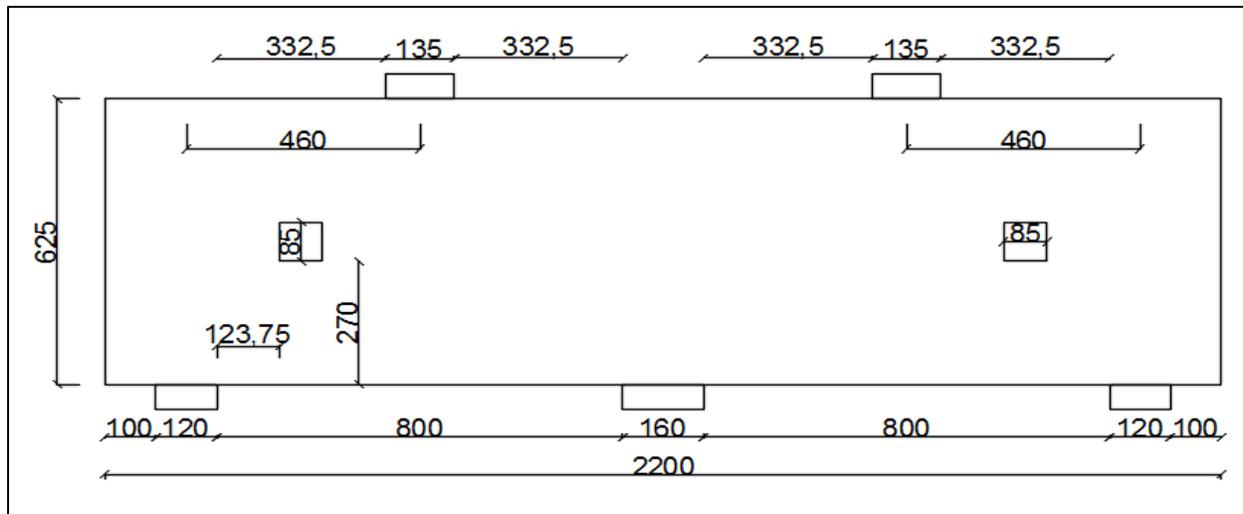
$$\frac{200}{1200} = 0.17 \text{ : (AES) أبعاد الصفيحة الناقلة للحمولة المركزة في النموذج}$$

$$\frac{135}{800} = 0.17 \leftarrow (135 \text{ mm}) \text{ لتصبح: (AES-L1) أبعاد الصفيحة الناقلة للحمولة المركزة في النموذج}$$

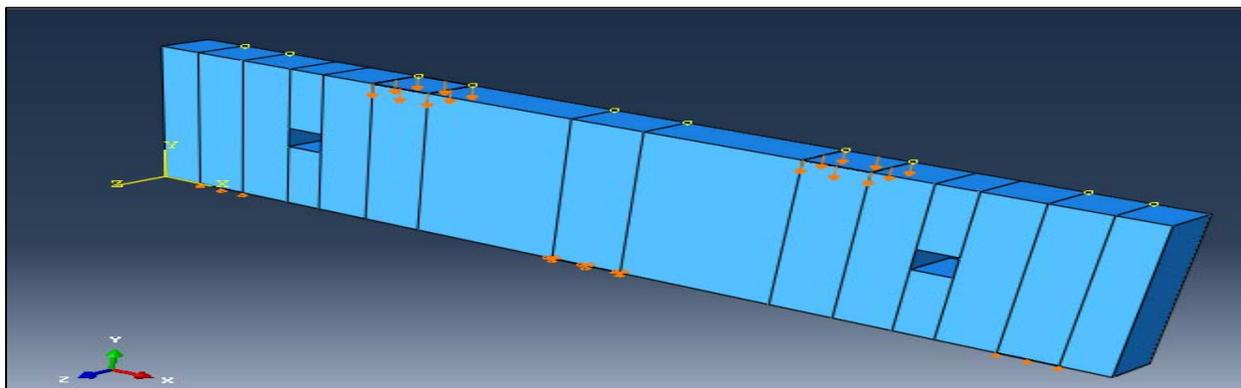
$$\frac{125}{500} = 0.25 \text{ : (AES) نسبة بعد الفتحة الصغيرة إلى المجاز الحاوي على الفتحة في النموذج}$$

$$\frac{85}{332.5} = 0.256 \leftarrow (85 \text{ mm}) \text{ لتصبح: (AES-L1) أبعاد الفتحة الصغيرة في النموذج}$$

ويبين الشكل (20-5) كامل أبعاد النموذج (AES-L1)، ويبين الشكل (21-5) شكل النموذج (AES-L1) وفق برنامج (Abaqus)



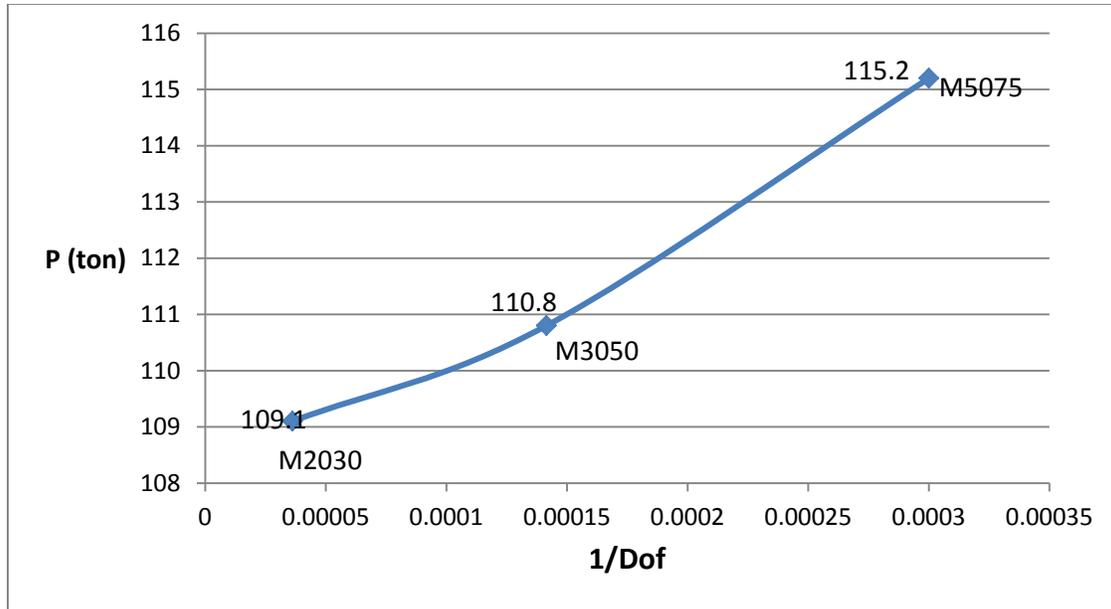
الشكل (20-5): مقطع طولي يبين أبعاد العينة (AES-L1)



الشكل (21-5): نموذج العينة (AES-L1) وفق برنامج [Abaqus, Ver 6.12]

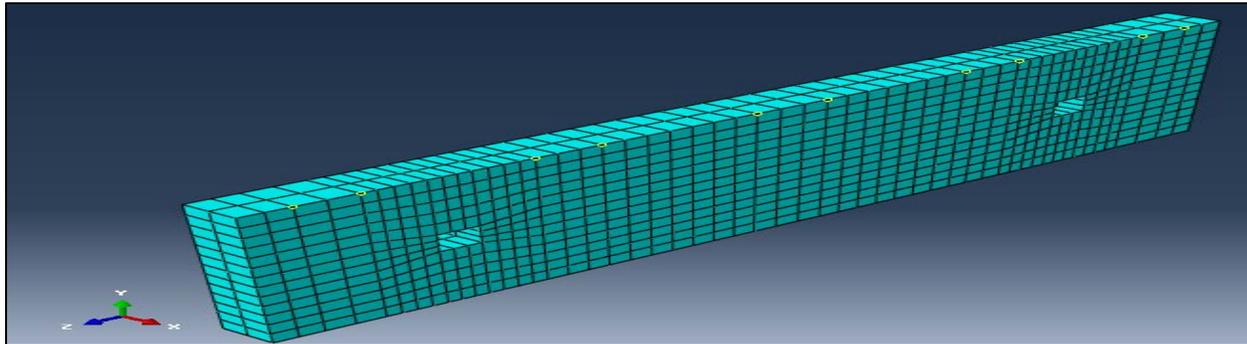
### ٢.٣.٥ دراسة أثر تقارب الشبكة للنموذج (AES-L1):

بما أن أبعاد النموذج (AES-L1) تغيرت عن أبعاد النموذج (AES) سيتم إعادة دراسة أثر تقارب الشبكة لتحديد أبعاد العناصر المثالية للنموذج، حيث تم اعتماد طريقة زيادة التقسيمات عند مناطق الفتحات نتيجة تركيز الإجهادات، وقد تمت دراسة ثلاثة أبعاد من العنصر الفراغي (C3D8) المستخدم لنمذجة مادة البيتون (M2030, M3050, M5075)، حيث يشير الرقم الأول إلى أبعاد العنصر عند الفتحات والرقم الثاني إلى أبعاد العناصر في المناطق الأخرى من الجائز، ويبين الشكل (22-5) دراسة أثر التقارب.



الشكل (22-5): دراسة أثر تقارب الشبكة للنموذج المدروس (AES-L1)، [Abacus, Ver 6.12]

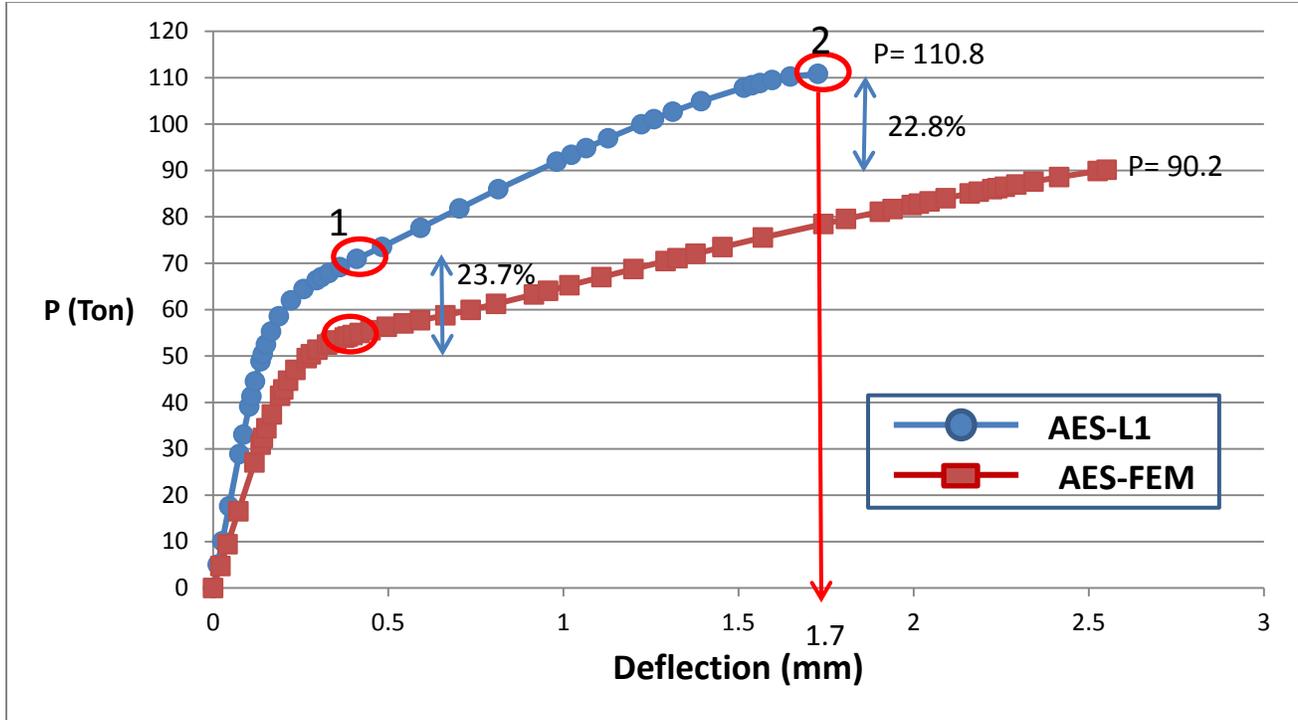
يبين الشكل (22-5) والذي يمثل المحور الأفقي فيه مقلوب عدد درجات الحرية (Degree of Freedom) في النموذج، بينما يمثل المحور الشاقولي تغير قيمة قوة الانهيار للجائز ( $P_u$ ) أن استخدام العنصر الفراغي C3D8 بأبعاد (M3050) أعطى نتائج متقاربة جداً بنسبة (98.5%) بالمقارنة مع استخدام نفس العنصر لكن بأبعاد (M2030)، فيما أعطى تقارباً أقل بلغ (96%) عند استخدام نفس العنصر لكن بأبعاد (M5075)، وبالتالي فإن اعتماد العنصر الفراغي بأبعاد (M3050) كافٍ للحصول على حل دقيق مع اقتصادية في زمن التحليل، ويبين الشكل (23-5) شكل التقسيمات في النموذج المعتمد (AES-L1):



الشكل (23-5): شكل التقسيمات المعتمد في النموذج (AES-L1) في برنامج [Abaqus, Ver 6.12]

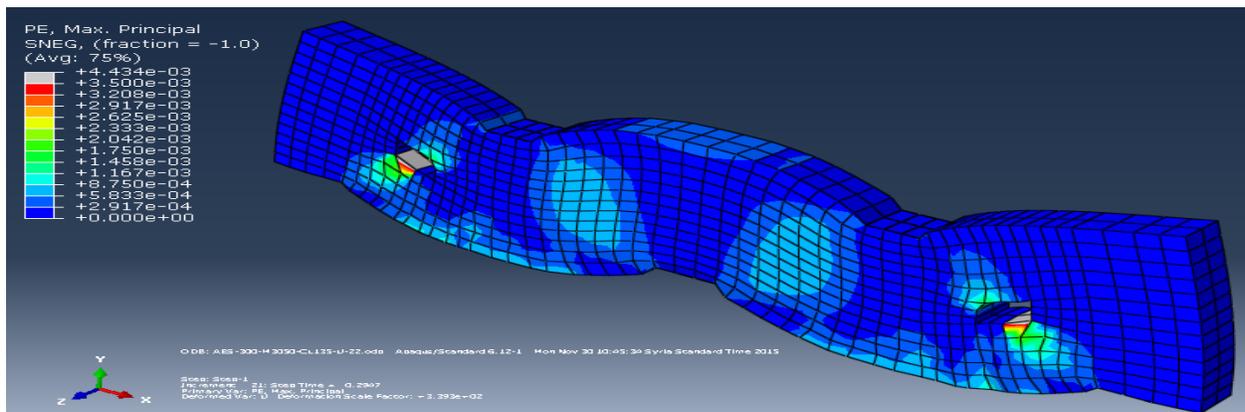
### ٣.٣.٥ دراسة سلوك النموذج (AES-L1):

يبين الشكل (24-5) العلاقة بين القوة المركزة المطبقة مبينةً على المحور الشاقولي، مع الانتقال وسط المجاز مبيناً على المحور الأفقي، وقد تم استعراض النتائج التجريبية للعينة (AES)، بالإضافة لنتائج النموذجين (AES, AES-L1)..



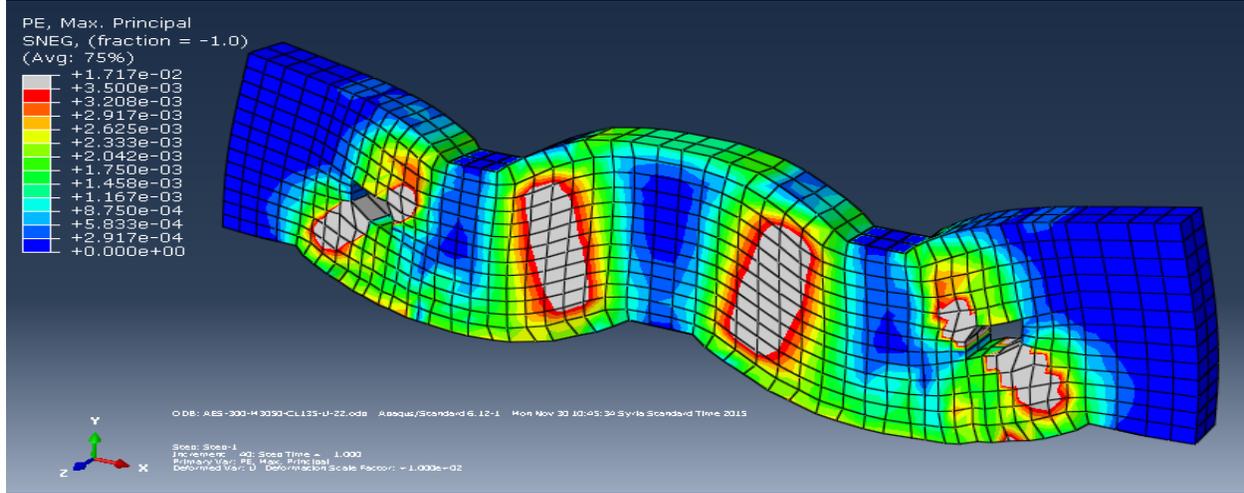
الشكل (24-5): منحنى قوة-انتقال وسط المجاز للنموذج التحليلي (AES-L1)، (Abaqus, Ver 6.12)

يتبين من الشكل (24-5) أن قساوة النموذج (AES-L1) ذو نسبة مجاز القص إلى العمق (0.7) أعلى من قساوة النموذج (AES) ذو النسبة (1.1)، ثم يلاحظ انتهاء المرحلة المرنة عند حمولة (55.2 ton)، ويبيّن الشكل (25-5) كونتور التشوهات الأساسية عند النقطة (1) عندما تتشكل أول منطقة لدنة بوضوح في العينة عند قيمة حمولة (70.9 ton) بالمقارنة مع قيمة حمولة (57.3 ton) للنموذج (AES) مما يعني أن تقليل نسبة مجاز العمق أدى إلى زيادة قيمة حمولة هذه الحمولة بنسبة (23.7%)، ويلاحظ تشكل هذه المنطقة اللدنة عند زوايا الفتحات السفلية بالتزامن مع ظهور أكبر قيم للتشوهات الرئيسية النسبية في مناطق العزوم الأعظمية ومنطقة مسار الحمولة الضاغطة (strut) وهو شكل مشابه لتوزيع التشوهات في النموذج (AES) في الشكل (3-5)



الشكل (25-5): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (1) من العينة (AES-L1)، (Abaqus, Ver 6.12)

بعد ذلك يكون منحى المنحني في تصاعد بعد دخول الجائز في مرحلة اللدونة حتى بلوغه قيمة انهيار (110.8 ton) فيما كان انهيار النموذج (AES) عند قيمة (90.1 ton)، أي أن قدرة التحمل زادت بنسبة (22.8%)، مع ملاحظة أن قيمة الانتقال الأعظمي في النموذج (AES-L1) عند الانهيار كانت (1.7 mm)، وهي قيمة أقل من قيمة الانتقال عند انهيار النموذج (AES) حيث بلغت (2.5 mm)، ويبين الشكل (26-5) مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (2) من المنحني، وهي نقطة انهيار الجائز (AES-L1)،



الشكل (26-5): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند النقطة (٢) من العينة (AES-L1)، [Abaqus, Ver 6.12]

ويلاحظ أيضاً أن نمط الانهيار مشابه لنمط انهيار النموذج (AES) والمبين في الشكل (4-5)، حيث يحصل الانهيار بتلدن مناطق الفتحات ثم مناطق ال (struts)، أي أن تقليل نسبة مجاز القص إلى العمق لم يؤدي إلى تغيير في نمط الانهيار.

## ٥.٤ دراسة تأثير تغيير كمية تسليح الشد الطولي:

يستخدم التسليح الطولي في الجائز العميق لمقاومة إجهادات الشد الطولية المتولدة في منتصف المجازات وفوق المساند نتيجة عزم الانعطاف، ووفقاً للكود الأمريكي والكود السوري [2] و [17]، فإن مساحات التسليح العظمى والدنيا في الجوائز العميقة تؤخذ كما يلي:

$$A_{smin} = \frac{0.9}{f_y} * b * d \quad (1-5)$$

$$A_{s,max} = 0.5 A_{sb} = 0.5 * \frac{455}{630+f_y} * \frac{f'_c}{f_y} * b * d \quad (2-5)$$

حيث كان التسليح المستخدم في التجربة كما يلي:

$$4T12, f_y = 510 \text{ Mpa} \rightarrow A_{s,used} = 4.52 \text{ cm}^2 \text{ التسليح السفلي}$$

$$4T12, f_y = 510 \text{ Mpa} + 2T10, f_y = 590 \text{ Mpa} \rightarrow A_{s,used} = 6.09 \text{ cm}^2 \text{ التسليح العلوي}$$

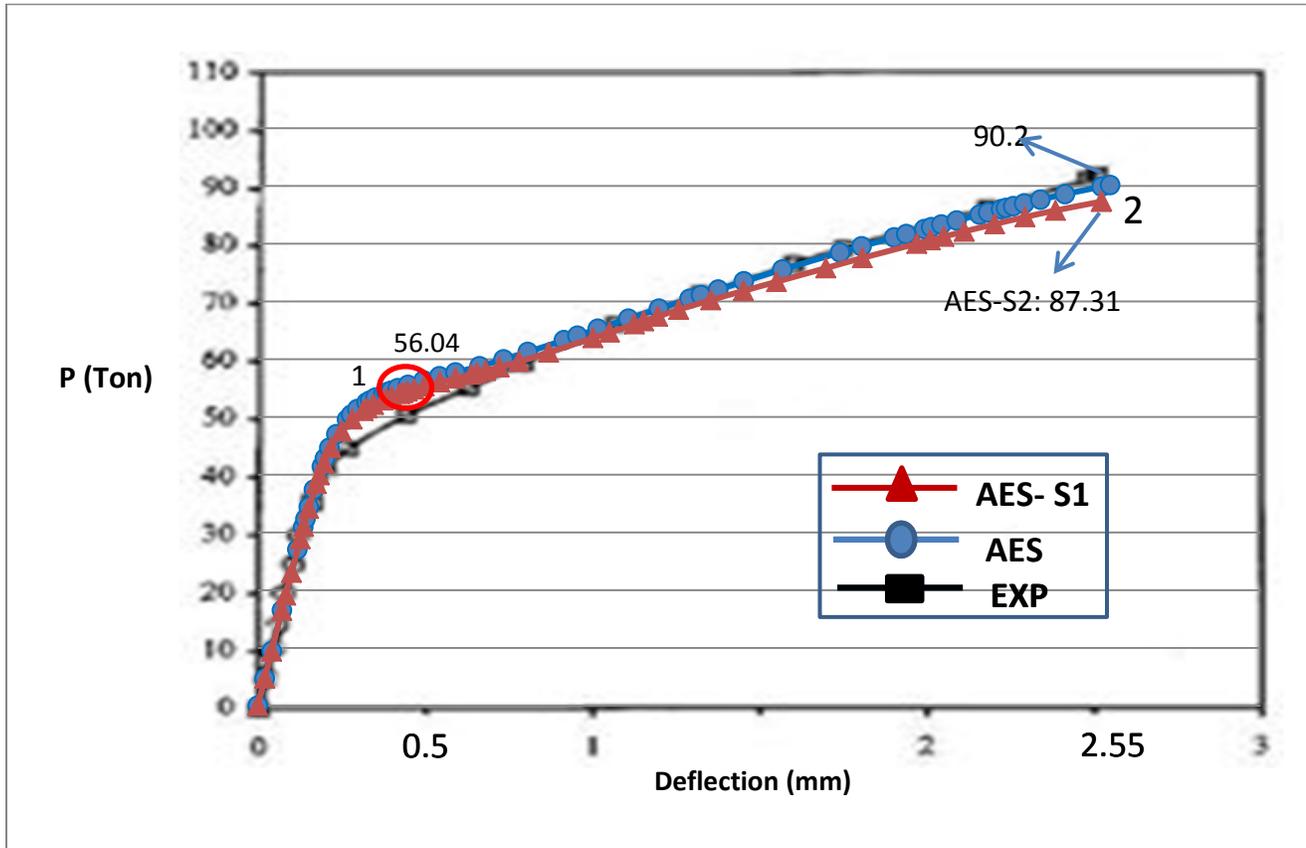
وبتطبيق العلاقات (2-5,1-5) نجد:

$$A_{smin} = \frac{0.9}{510} * 160 * 585 = 1.24 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max} = 0.5 * \frac{455}{630 + 510} * \frac{26.5}{510} * 120 * 585 = 7.28 \text{ cm}^2$$

بما أن مساحة التسليح المستخدمة في التجربة قريبة من الأعظمية، فسيتم دراسة أثر تقليل مساحة التسليح المستخدمة ودراسة أثر هذا التغيير على حمولة ونمط الانهيار، وستتم هذه الدراسة على العينة (AES) والحاوية على فتحات صغيرة في مجاز القص الخارجي والمبينة مواصفاتها في الفقرة (5.2)، بعد أن تم التأكد من صحة نموذج العينة في الفصل الرابع، حيث سيتم استخدام تسليح سفلي ( 4T10,  $A_s=3.14 \text{ cm}^2$  ) أي بمساحة أقل بنسبة (31%) من التسليح المستخدم في التجربة ، وتسليح علوي ( 6T10,  $A_s= 4.71 \text{ cm}^2$  ) أي بمساحة أقل بنسبة (35%) من التسليح المستخدم في التجربة وفق نفس ترتيب التسليح سيتم الترميز لنموذج العينة المطابقة لمواصفات الجائز التجريبي (AES)، فيما سيتم الترميز لنموذج الجائز المعدل بعد إضافة التسليح الجديد (AES- S1)

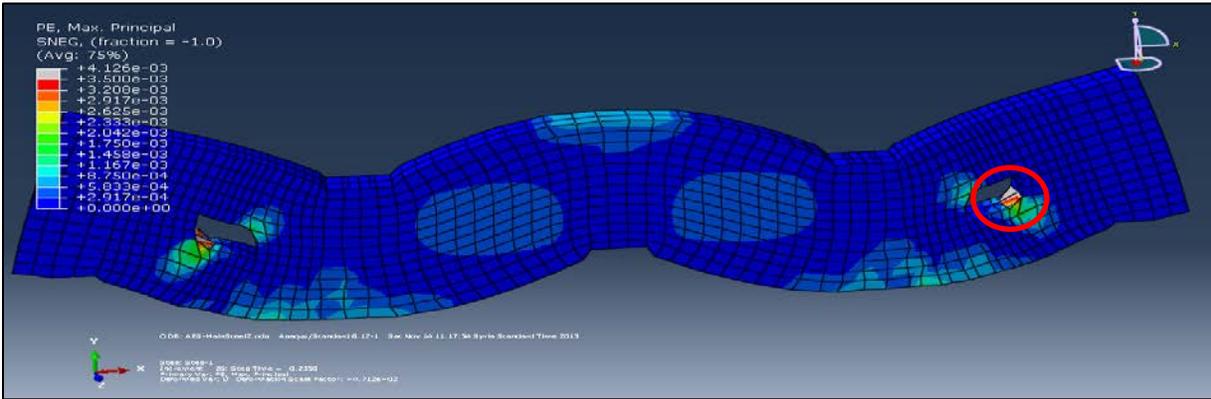
يبين الشكل (27-5) العلاقة بين القوة المركزة المطبقة على الجائز مبيئةً على المحور الشاقولي، مع الانتقال وسط المجاز مبيئاً على المحور الأفقي ، و قد تم استعراض النتائج التجريبية و النتائج المستخرجة من برنامج (Abaqus, Ver6.12) للنموذجين (AES, AES- S1).



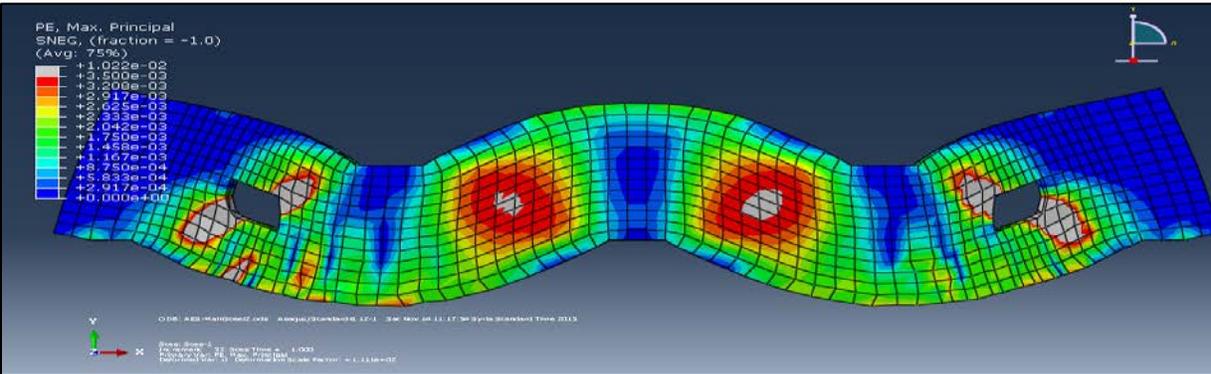
الشكل (27-5): منحنى قوة-انتقال وسط المجاز للنموذج التجريبي و (AES) و (AES-S1)، [Abaqus, Ver 6.12]

يُلاحظ أولاً أن ميل المنحني لم يتغير في المرحلة الأولى وبالتالي عدم تغير قساوة الجائز بعد تقليل مساحة التسليح المستخدمة ، فيما أعطى الجائز الجديد قيمة حمولة أقل بقليل للنقطة التي يبدأ فيها تلدن الجائز بشكل واضح (56.04 ton) الشكل (43) ، فيما كانت حمولة بدء تلدن الجائز في النموذج AES (57.03 ton)، ويبين الشكل (5-28) تشكل هذه المنطقة اللدنة عند زوايا الفتحات السفلية، بالتزامن مع ظهور أكبر قيم للتشوهات الرئيسية النسبية في مناطق العزوم الأعظمية ومنطقة مسار الحمولة الضاغطة (strut) وهو شكل مشابه لتوزيع التشوهات في النموذج (AES) في الشكل (5-3)، ثم يستمر سلوك الجائز بمقاومة أقل بقليل ولكن بنفس منحى الجائز (AES) ، حتى الوصول لحمولة انهيار بلغت (87.31 ton) في النموذج (AES-S1) ، فيما كانت الحمولة (90.2 ton) في النموذج (AES) أي أن تقليل مساحة التسليح السفلي والعلوي بنسبة (33%) تقريباً سببت نقصان في حمولة الانهيار بنسبة (3.1%).

فيما يلاحظ من الشكل (5-29) والذي يبين كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند حمولة الانهيار للعينة (AES-S1) ، نقصان المساحة المتلدنة من الجائز في المنطقة الواصلة بين الحمولة المطبقة والمسند الوسطي (Strut) بالمقارنة مع الشكل الناتج عند استخدام تسليح كما ورد في التجربة، بالإضافة لظهور تشوهات نسبية أكبر في مناطق تواجد التسليح الرئيسي.



الشكل (5-28): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند بداية التلدن للعينة (AES- S1)، [Abaqus, Ver 6.12]



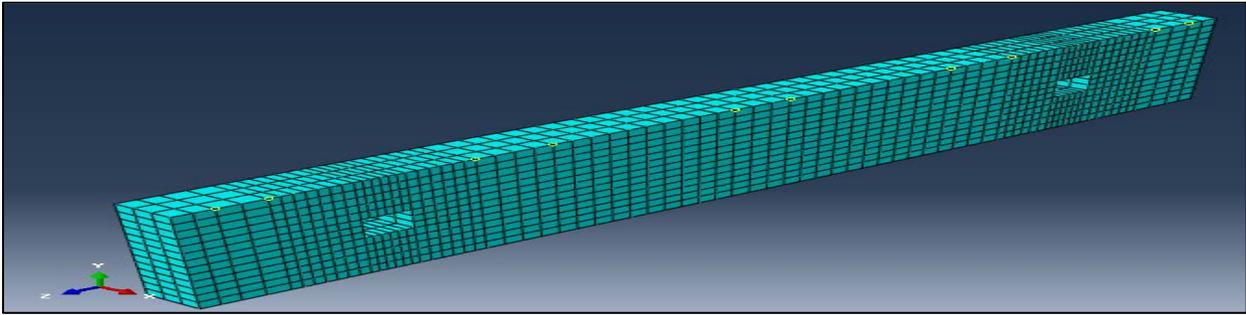
الشكل (5-29): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند حمولة الانهيار للعينة (AES- S1)، [Abaqus, Ver 6.12]

## ٥.٥ دراسة تأثير تغيير سماكة المقطع العرضي:

إن خصائص المقطع العرضي تؤثر على السلوك الإنشائي للجوائز الخرسانية العميقة المستمرة (Kong, 2003)، ولذلك سيتم دراسة أثر تغيير سماكة المقطع العرضي على تصرف هذه الجوائز.

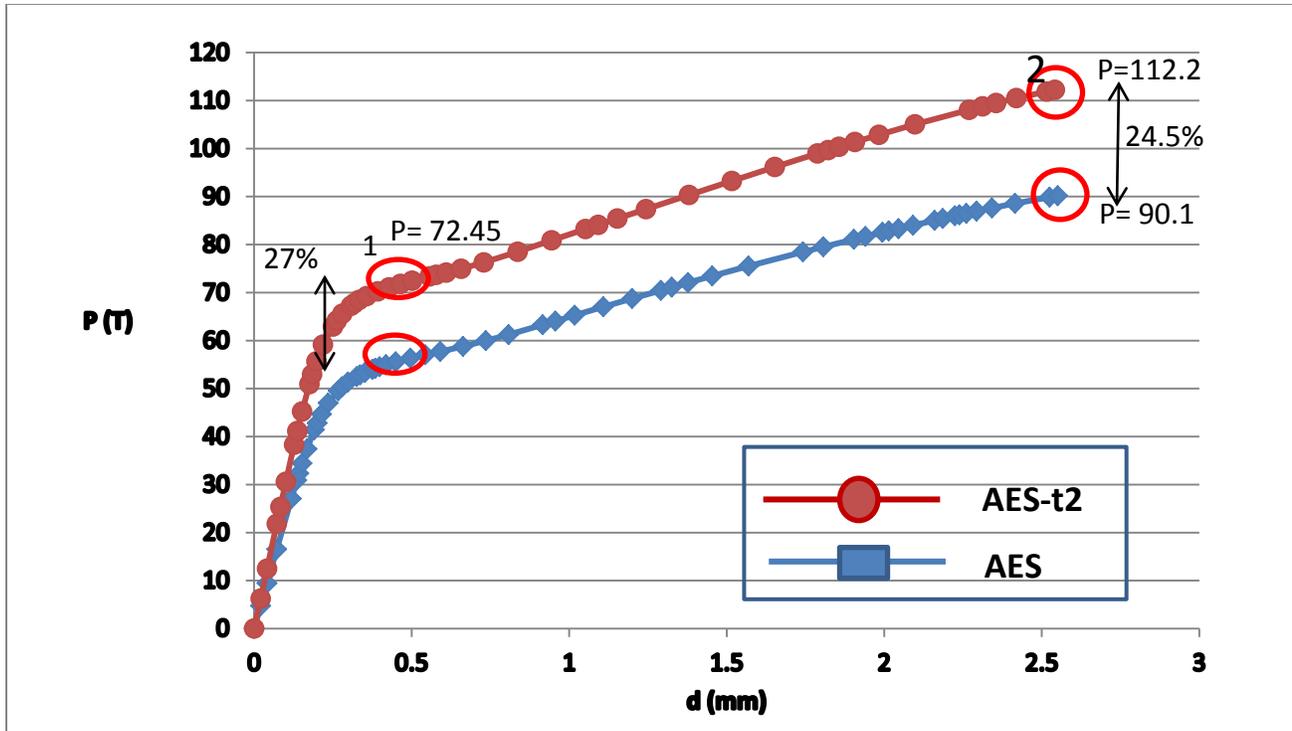
تم استخدام مقطع عرضي بسماكة (12 cm) في التجربة من قبل الباحثين، وسيتم بناء نموذج جانز عميق (AES) الحاوي على فتحة صغيرة في مجاز القص الخارجي بسماكة جديدة تبلغ (16 cm) أي بزيادة قدرها (33.3 %) عن سماكة المقطع الأصلي ويُرمز لهذا الجانز (AES- t2) ودراسة أثر هذا التغيير، ويبين الشكل (5-30) النموذج (AES- t2)

يبين الشكل (5-31) العلاقة بين القوة المركزة المطبقة على الجانز مبينةً على المحور الشاقولي، مع الانتقال وسط المجاز مبيناً على المحور الأفقي، و قد تم استعراض النتائج التجريبية و النتائج المستخرجة من برنامج (Abaqus, Ver6.12) للنموذجين (AES, AES- t2)،

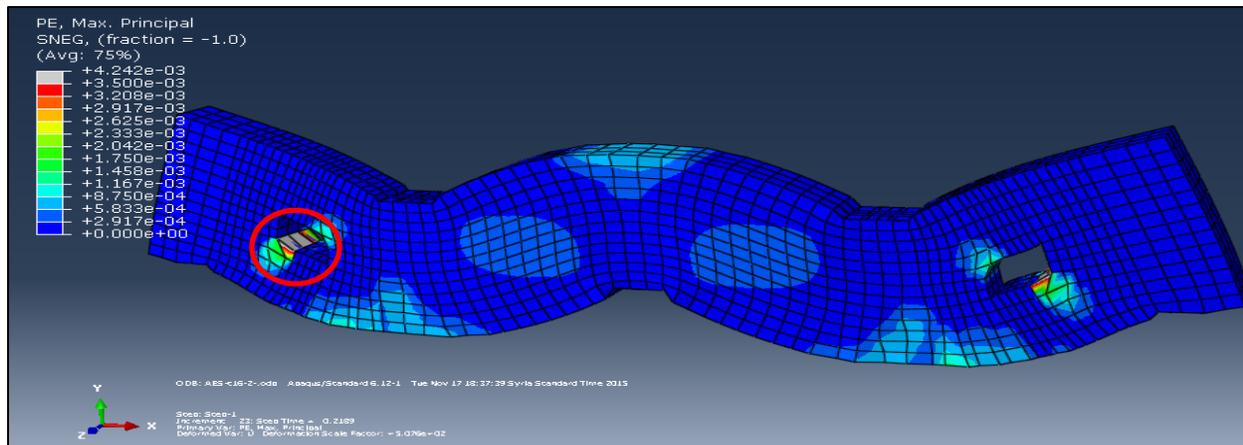


الشكل (5-30): شكل العينة (AES- t2) ذات السماكة الجديدة (16cm) في برنامج [Abaqus, Ver 6.12]

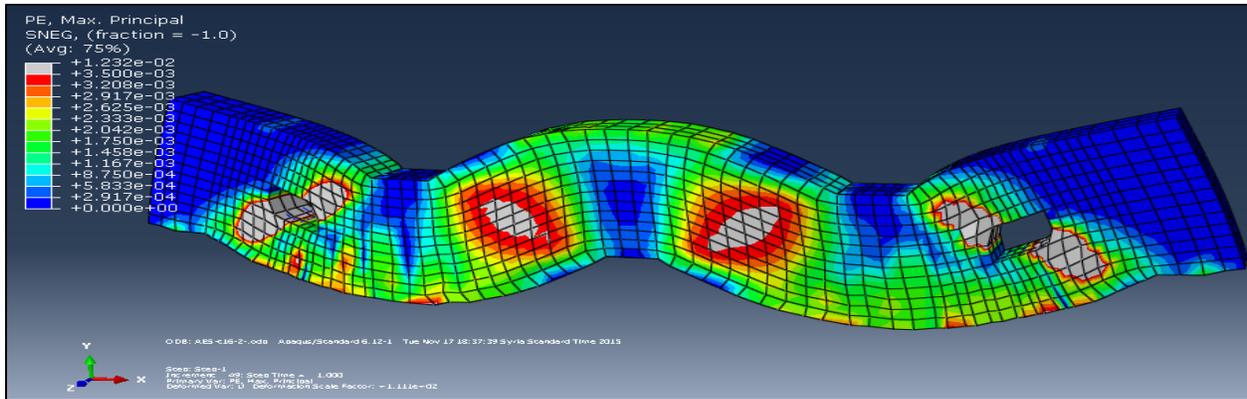
حيث يُلاحظ بدايةً تطابق ميل منحنى النموذج (AES- t2) مع منحنى النموذج (AES) التجريبي في المرحلة المرنة و حتى قيمة حمولة (26 ton) تقريباً، ثم يُلاحظ أن قساوة النموذج (AES- t2) ذو السماكة الجديدة تكون أعلى من قساوة النموذج (AES) وذلك حتى الوصول إلى قيمة حمولة (72.45 ton) وهي القيمة التي تدخل عندها أول منطقة من الجانز في اللدونة كما يبين الشكل (٤٧) مع ملاحظة أن زوايا الفتحات السفلية هي أول المناطق الداخلة في اللدونة، فيما كانت قيمة هذه الحمولة في العينة (AES) 57.03 ton، أي إن زيادة سماكة المقطع زادت من قيمة هذه الحمولة بنسبة (27%)، ثم يكون منحنى المنحنى للجانز (AES- t2) بعد هذه الحمولة مشابهاً لمنحنى الجانز (AES) مع زيادة ملاحظة في قدرة تحمل الجانز حيث ينهار الجانز (AES-t2) عند قيمة حمولة (112.22 ton) أي بزيادة بلغت نسبتها (24.5 %) عن قيمة حمولة انهيار العينة (AES) والبالغة (90.1 ton)، وتعود هذه الزيادة الملحوظة في المقاومة لزيادة منطقة الخرسانة المضغوطة، ويبين الشكل (٥-٣١) مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند هذه الحمولة، حيث يُلاحظ أن نمط الانهيار في النموذج (AES- t2) مشابه لنمط انهيار النموذج (AES) حيث يتشكل هذا النمط من انهيار زوايا الفتحات بالإضافة إلى مناطق ال (Struts)



الشكل (٥-٣١): منحنى قوة-انتقال وسط المجاز للنموذج التجريبي (AES) و (AES-t2)، [Abaqus, Ver 6.12]



الشكل (5-32): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند بداية التلدن للعينة (AES-t2)، [Abaqus, Ver 6.12]



الشكل (5-33): مخطط كونتور التشوهات الرئيسية النسبية عند الانهيار في العينة (AES- t2)، [Abaqus, Ver 6.12]

## ٦.٥ خلاصة الفصل الخامس Conclusion of the fifth chapter

بين هذا الفصل أثر تغيير موقع وحجم الفتحات على قدرة تحمل ونمط انهيار الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة، حيث وصلت نسبة انخفاض قدرة تحمل الجائز الحاوي على فتحات كبيرة في مجاز القص الداخلي إلى (57.6%)، فيما كان التأثير الأقل في حالة الفتحات الصغيرة في مجاز القص الخارجي (19.7%)، كما تبين تأثير تقليل نسبة مجاز القص إلى العمق من (1.1) إلى (0.7) في رفع قدرة تحمل الجائز الحاوي على فتحة صغيرة في مجاز القص الخارجي بنسبة (17%)، وأدت زيادة سماكة المقطع العرضي بنسبة (33%) إلى رفع قدرة التحمل بنسبة (18.02%)، فيما لم يؤدي تقليل مساحة التسليح الطولي المستخدم بنسبة (33%) إلا إلى نقصان بسيط في قدرة التحمل وبلغ (3%).

## الفصل السادس

## النتائج والتوصيات

### Results and Recommendation

#### ١.٦ النتائج (Results):

تم في هذا البحث دراسة تصرف الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة والحاوية على فتحات، تمت الدراسة باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEM)، واستخدام التحليل اللاخطي والذي يأخذ بالحسبان لاختطية المادة (Materially Non-Linear Analysis).

تمت دراسة أثر تغيير حجم الفتحة وموقعها، وذلك لحجمين وموقعين محددين كما ورد في الدراسة البارامترية، بالإضافة إلى تأثير كل من نسبة مجاز القص إلى العمق وسماكة المقطع العرضي ومساحة التسليح الطولي الرئيسي على قدرة التحمل ونمط الانهيار، وذلك لحالة خاصة من الجوائز العميقة وهي الحاوية على فتحات صغيرة في مجاز القص الخارجي وذات تسليح جسد ومواصفات مطابقة لما ورد في الدراسة البارامترية.

لحالة الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة والحاوية على فتحات بأحجام ومواقع موافقة لما ورد في النموذج التحليلي في هذه الدراسة، تم التوصل إلى النتائج التالية:

(١) يؤثر حجم الفتحة على قدرة تحمل الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة بشكل كبير، فيما يؤثر حجم الفتحة على نمط الانهيار في حالة وقوعها في مجاز القص الخارجي فقط، فعند المقارنة بين العينتين (AEL) و (AES) والحاويتين على فتحات كبيرة وصغيرة على التوالي في مجاز القص الخارجي، أظهرت العينة (AEL) انخفاض عن قدرة تحمل الجوائز المصمتة بنسبة (34.4%)، فيما كان الانخفاض للعينة (AES) (19.7%). وهي نفس النتيجة بالنسبة لمجاز القص الداخلي، فعند المقارنة بين العينتين (AIL) و (AIS) والحاويتين على فتحات كبيرة وصغيرة على التوالي في مجاز القص الداخلي تبين أن العينة (AIL) تنهار عند قيمة حمولة أقل بنسبة (57.8%) من قيمة انهيار العينة المصمتة، فيما كان الانخفاض للعينة (AIS) (32.4%).

(٢) يؤثر موقع الفتحة سواء كانت كبيرة أو صغيرة بشكل كبير على قيمة انهيار الجوائز، حيث يكون التأثير أكبر في حالة وقوع الفتحة في مجاز القص الداخلي، أما بالنسبة لنمط الانهيار فيتأثر بموقع الفتحة في حال كانت الفتحة صغيرة، بينما لا يتأثر بموقع الفتحة في حال كانت الفتحة كبيرة، حيث أنه عند المقارنة بين العينتين (AEL) و (AIL) والحاويتين على فتحات كبيرة في مجاز القص الخارجي والداخلي على التوالي، أظهرت العينة (AEL) انخفاض عن قدرة تحمل الجوائز المصمتة بنسبة (34.4%)، فيما كان الانخفاض للعينة (AIL) (57.8%). وهي نفس النتيجة بالنسبة لحالة الفتحات الصغيرة، فعند المقارنة بين العينتين (AES) و (AIS) والحاويتين على فتحات صغيرة في مجاز القص الخارجي و الداخلي على التوالي، انهارت العينة (AES) عند حمولة أقل بنسبة (19.7%) من قيمة انهيار العينة المصمتة، فيما كان الانخفاض للعينة (AIS) (32.4%).

٣) تزيد قدرة تحمل الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة والحاوية على فتحات صغيرة في مجاز القص الخارجي عند تقليل نسبة مجاز القص إلى العمق فيها من (1.1) إلى (0.74) بنسبة (22.8%)، فيما لا يؤدي هذا التغيير إلى أي اختلاف في نمط الانهيار.

٤) لا تؤثر مساحة التسليح الطولي الرئيسي المستخدم في الجائز العميق المستمر والحاوي على فتحات صغيرة في مجاز القص الخارجي بشكل كبير على قدرة تحمله، حيث أنه عند تقليل مساحة التسليح المستخدمة بنسبة (33%) تقريباً لم تنخفض قدرة تحمل الجائز بأكثر من (3.1%)، فيما أدى هذا التقليل إلى زيادة الإجهادات في منطقة العزم الموجب ونقصان المساحة المتلدنة في منطقة الخرسانة المضغوطة.

٥) تزيد قدرة تحمل الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة والحاوية على فتحات صغيرة في مجاز القص الخارجي عند زيادة سماكة المقطع العرضي بنسبة (24.5%)، فيما لا يؤدي هذا التغيير إلى اختلاف في نمط انهيار الجائز.

## ٢.٦ التوصيات للأعمال المستقبلية (Recommendations for Future Work)

- ١) دراسة تأثير قيم مختلفة لكل من نسبة مجاز القص إلى العمق وسماكة المقطع العرضي وكمية التسليح الطولي الرئيسي للجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة الحاوية على فتحات بأحجام ومواقع متعددة، بحيث يتم التوصل إلى نتائج عامة حول تأثير هذه العوامل.
- ٢) دراسة سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة الحاوية على أكثر من فتحة ضمن المجاز الواحد.
- ٣) دراسة سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة المستمرة الحاوية على فتحات مع أخذ أثر التماسك بين البيتون المسلح وحديد التسليح.

## المراجع

### References

*ABAQUS, Version 6.12, (2012), “ ABAQUS/Standard User's Manual “ ABAQUS Inc., USA.*

*ACI Committee 318 (2011). “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 48331.*

AHMAD S., A. SHAN., N. ZAMMAN and K.SALIMULLAH. (2011).” **Design and evaluation of the shear strength of deep beams by strut and tie model (STM)**”.IJST, Transaction of Civil and Environmental Engineering , Vol.35,No. C1, pp1-13.

Ashour F. Ashraf . (1997).” **Tests of Reinforced Concrete Continuous Deep Beams**”. ACI Structural Journal, Jan-Feb 1997.

Ashour F. Ashraf and G. Rishi. (2000).” **Tests of Reinforced Concrete Continuous Deep Beams with Web Openings**”. ACI Structural Journal, V.97, No.3, May-June 2000

BS EN 1992-1 (2004), Eurocode2, “**Design of Concrete Structures**”, Part 1-1: General rules and rules for buildings.

Campione Giuseppe and Minafo Giovanni. (2012). “**Behavior of Concrete Deep Beams with Openings and Low Shear Span-to-Depth Ratio**”. Journal of Engineering Structures 41 (2012) 294–306.

Choi Kang-Kyu. (2002). “**Reinforced Concrete Structure Design Assistant Tool For Beginners**”. Faculty Of the School Of Architecture University of Southern California.

El-Zoughiby E.Mohamed. El-Metwally E.Salah , Ahmed T.Al-shora and Essam

E.Agieb. (2014).” **Strength Prediction of Continuous R/C Deep Beams Using the Strut-and-Tie Method**”. Arab J Sci Eng 39:1685-16699.

Khalaf Ibrahim Mohammad. (2007). “**Prediction Of Behaviour Of Reinforced Concrete Deep Beams With Web Openings Using Finite Elements**”. Al-Rafidain Engineering, Vol.15, No.4.

Kong. F.K (2003). “**Reinforced Concrete Deep Beams**”, Van Nostrand Reinhold, New York.

Lee J.K., Li C.G and Lee. Y.T. (2008). "Experimental Study On Shear Strength of Reinforced Concrete Continuous Deep Beams with Web Opening". World Conference on Earthquake Engineering, October 17-12 , Beijin, China.

Metwally M. Ibrahim . (2014). " Nonlinear Analysis of Concrete Deep Beam Reinforced with GFRP Bars Using Finite Element Method". Malaysian Journal of Civil Engineering. 26(2):224-250 (2014).

(PEER)Center,University of California,Berkely,(2011).,  
<http://www.nisee.berkeley.edu/elibrary/>.

Shurim B. Ahmad. (2012). " Behavior and shear design provisions of reinforced concrete D-region beams". Journal of King Saud University-Engineering Sciences (2013)25, 65-74.

Wu.T and Li.B . (2009). "Experimental Verification of Continuous Deep Beams with Openings Designed Using Strut-and-Tie Modeling". *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*. Vol. 2, No. 4, November 2009, 282–295.

Yang K.-H and Ashour A.F. (2007). "Structural behaviour of reinforced-concrete continuous deep beams with web openings". Magazine of Concrete Research , 2007,59,No.10,699-711.

العطري، تسنيم. (٢٠١٤). " دراسة مقارنة لنموذج مقاوم للقص لجوائز بيتونية مسلحة بالألياف الفولاذية". رسالة ماجستير، جامعة دمشق، سوريا.

العيسى، رياض. (2003). " السلوك اللاخطي للجوائز البيتونية المسلحة العميقة ". مجلة باسل الأسد للعلوم الهندسية، العدد ١٨.

" الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة". الطبعة الرابعة، دمشق (٢٠١٢)، منشورات نقابة المهندسين- سوريا.

بدورة، كرامة، و زين الدين، وهيب. " مسائل هامة في تصميم منشآت البيتون المسلح". الطبعة الأولى، دمشق، ١٩٩١.

عابدين، محمد فريز، مالك، عصام، وعامر، زهير. (٢٠١٣). " الخرسانة المسلحة ٢". منشورات جامعة دمشق.

محمود، غسان. (٢٠١٣). " الخرسانة المسلحة من التصميم إلى التدعيم". (د. ن)

## Abstract

Deep Beams are important structural elements which have been used lately in reinforced concrete buildings. Continuous deep beams behave differently from either simply supported deep beams or continuous shallow beams. By ignoring these differences during design, one gives up potential available strength and may get significant unexpected cracking. The exact analysis of reinforced concrete deep beams with web openings will only make matters worse.

Using Finite Element Method (FEM), Materially Non-linear Analysis (MNA) is performed to a series of continuous deep reinforced concrete beams with web openings which have been tested by (Ashour and Rishi, 2000), experimental and analytical results have been compared. Also, a parametric study has been carried out to study the difference in behavior of these beams when changing some important parameters.

This work shows the importance of the right place for openings. The largest decrease in the beam capacity was found in case of the large opening in the external span (57.6%), while the least effect in case of the small opening in the internal span.

Moreover, when increasing the section's thickness of a deep reinforced concrete beam which has a small opening in the exterior shear span by (33%), this led to a rise in the beam capacity of (24.5%), while it didn't cause a changing in mode of failure. Also, when the beam's shear span to depth ratio, which was 1.1, was decreased to 0.74, this led to a rise in the beam capacity of (22.8%) along with a decline of the beam ductility.

Damascus University  
Faculty of Civil Engineering  
Department of Structural Engineering

**Behavior of Continuous Deep Reinforced Concrete  
Beams with Web Openings**

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

By

**Eng. Osama Taleb**

Supervisor

**Prof. RIAD AL-ISSA**

Year

2016