

الفصل الثاني

الدراسات السابقة

١-٢- مقدمة

في هذا الفصل يتم عرض الدراسات العملية والنظرية التي أجريت في السابق على الأعضاء الخرسانية الحاوية على المفصل الإنشائي. والدراسات السابقة حول سلوك العتبات الخرسانية تحت تأثير الحمل الصدمي.

٢-٢- الدراسات السابقة عن المفصل الإنشائي

(T.Waters) [٣٧] عام ١٩٥٤ قام بدراسة على مقاومة الشد للخرسانة الحاوية على المفاصل الإنشائية. أظهرت النتائج بأن قوة التلاصق بين الخرسانة الجديدة والقديمة كانت تزداد عندما تكون الخرسانة القديمة قد جفت قبل صب الخرسانة الجديدة. وأعطى فرضيتين لشرح النتائج :

١. أمتصاص الماء من قبل الخرسانة القديمة يقلل نسبة الماء/الأسمنت ومن ثم يزيد مقاومة المواد الجديدة المجاورة للمفصل.

٢. بما أن الماء يمتص إلى داخل الخرسانة القديمة، دقائق الأسمنت في الخرسانة الجديدة يمتص إلى داخل الفجوات البينية، وهذا يؤدي إلى زيادة التداخل بين الخرسانتين.

(Paulay وآخرون) [٣٣] عام ١٩٧٤ أجروا دراسة عملية على أداء المفصل الإنشائي الأفقي في الخرسانة المسلحة المصبوبة موقعياً. ووجد بأن :

١. المفاصل الإنشائية الأفقية المسلحة تسليحاً كافياً مع سطح نظيف وخشن (الذي بإمكان الخرسانة الطرية المصبوبة ان تتلاصق معه) يمكن ان يطور مقاومة قص بينية مساوياً أو أكبر من قابلية الشد القطري للمنشأ .
٢. فقدان التلاصق مع الخرسانة القديمة في العينة يسبب في حدوث أنزلاق ابتدائي بمقدار ضعف أو أكثر منها في حالة المفاصل الإنشائية بوجود التلاصق.

٣. السطوح المملوكة قليلة الخشونة تتسبب في الفشل المبكر بعد تطور التشققات، بسبب نقصان التلاصق بين الأسطح.

٤- المقاومة التصميمية بدون مساهمة الفعل الوتدي، بناءً على معامل الاحتكاك " $\mu = 1$ " يمكن أن يتطور بسهولة في كل السطوح الخشنة بعد حدوث إنزلاق بمقدار "٠.١٢ ملم" تقريباً.

٥- في المفاصل الإنشائية المصممة جيداً ، من المفضل جعل مستوى فشل القص الأنزلاقي تحت مستوى المفصل في الخرسانة السفلية. حيث إن هذه الطبقة تتشكل في أعلى "الصب" كنتيجة لتراكم الحبيبات ذات الوزن النوعي الواطئ، كسب الماء وبالتالي زيادة في نسبة الماء / الأسمنت، وبشكل خاص، أنحصار الهواء تحت الركام الخشن.

A. Mattock [٣٠] عام ١٩٨١ درس كيفية انتقال القص الدوري لأنواع السطوح البينية، بتعبير آخر كيفية انتقال القص بين التشققات في الخرسانة المتواحدة (monolithic) أو في السطح البيني لخرسانة مصبوبة بأوقات مختلفة. الغرض الأساسي من الدراسة كان حول كيفية تعديل معادلات انتقال قوة القص المبنية على تجارب الأحمال المتحركة بحيث يتم استخدامها في تصميم الروابط (connections) المتعرضة إلى أحمال الزلازل. أجريت تجارب القص لـ (١١) زوجاً من النماذج. المتغيرات المدروسة (بالإضافة إلى نوع الحمل) تضمن: (١) نوع النموذج فيما إذا كان متواحداً أو مركباً (composite) مع وجود السطح البيني في مستوى القص (shear plane). (٢) نوعية الخرسانة (خرسانة أعتيادية أو خفيفة الوزن). (٣) حالة السطح البيني في النماذج المركبة. (٤) كمية وقوة التسليح المار عبر مستوى القص. يبين الشكل (١.٢) تفاصيل النموذج المستخدم من قبل Mattock.

تم تصميم النماذج بحيث يكون مستوى القص متعرضاً إلى القص فقط من غير عزم. أقترح (Mattock) المعادلات الآتية المقترحة سابقاً لحساب انتقال القص:

* للخرسانة الأعتيادية

$$V_u = (0.8 \rho f_y + 2.76) A_c \leq (0.3f'_c \cdot A_c) \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

*للخرسانة الخفيفة الوزن

$$V_u = (0.8 \rho f_y + 1.38) A_c \leq (0.2 f'_c \cdot A_c) \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

حيث أن :

$$\rho = \frac{A_{vf}}{A_c} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

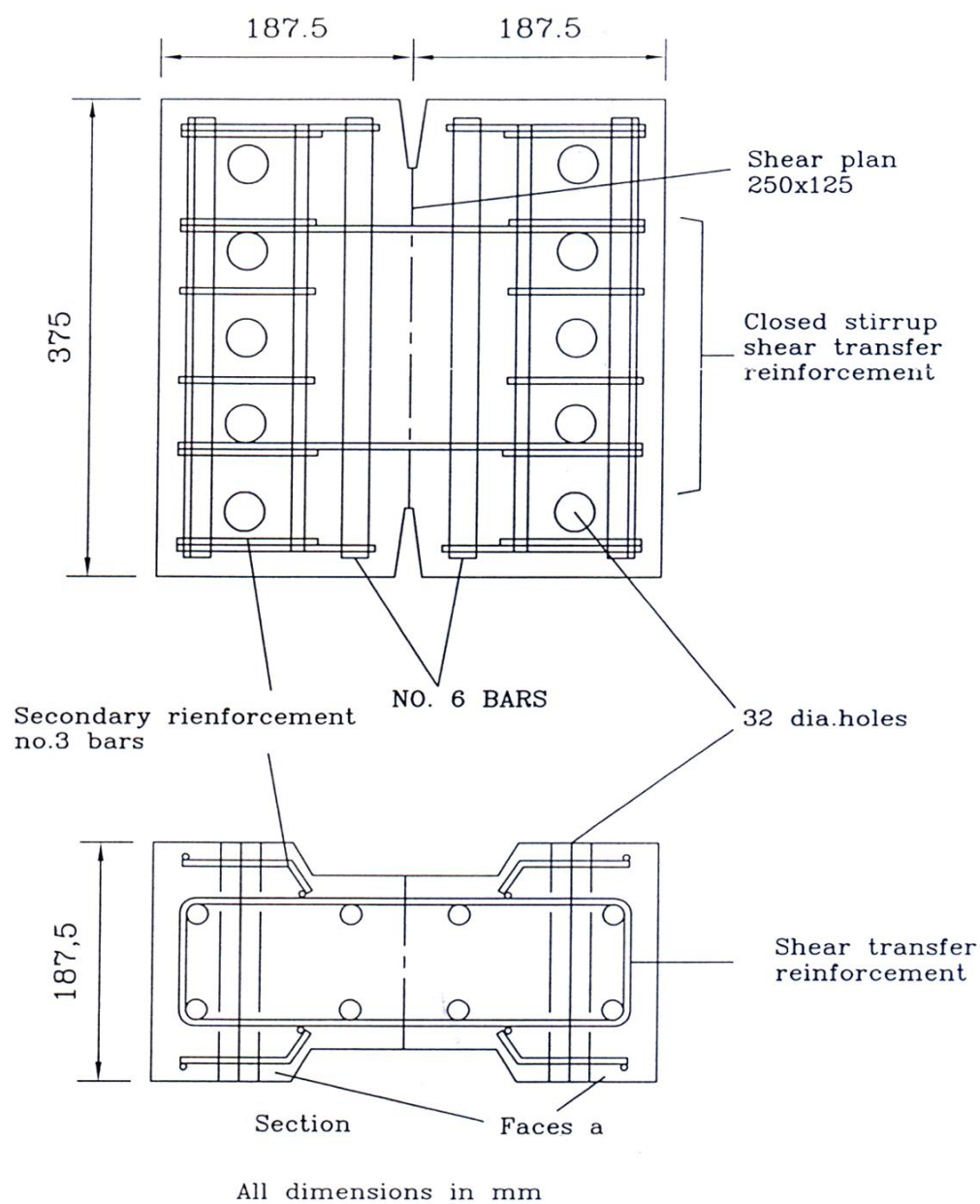
وحيث أن :

A_{vf} = المساحة الكلية للتسليح المار عبر مستوي القص (ملم)

A_c = مساحة مستوي القص (ملم)

f_y = إجهاد الخضوع لحديد التسليح المار عبر مستوي القص (كيلوباسكال)

وبين (Mattock) من خلال المقارنة بين نتائج أننتقال قوة القص المستحصلة من التجارب المحسوبة باستخدام المعادلة (١.٢) ، لوحظ بأن المعادلة (١.٢) تعطي تخميناً معتدلاً لقوة القص القصوى المنتقلة في تجارب الأحمال المتحركة.



شكل (١-٢) تفاصيل النموذج المستخدم من قبل Mattock

(L.Clark) و (B.Gill)[١٨] عام ١٩٨٥ قاموا بفحص مواشير خرسانية ذات مقاومة أنضغاط للمكعب تتراوح بين (24Mpa و 66Mpa) لأجل دراسة قوة القص للمفاصل الإنشائية الغير مسلحة والمسلّاء. نماذج الفحص تكون من مواشير خرسانية بأبعاد (١٠.٦×١٠.٦×٥.٠٨) ملم مع مفصل إنشائي يقع عند منتصف الارتفاع ومائلة بزاوية تغيرت من ١٣.٩° إلى ٧٥.١° كما موضح في الشكل (٢-٢).

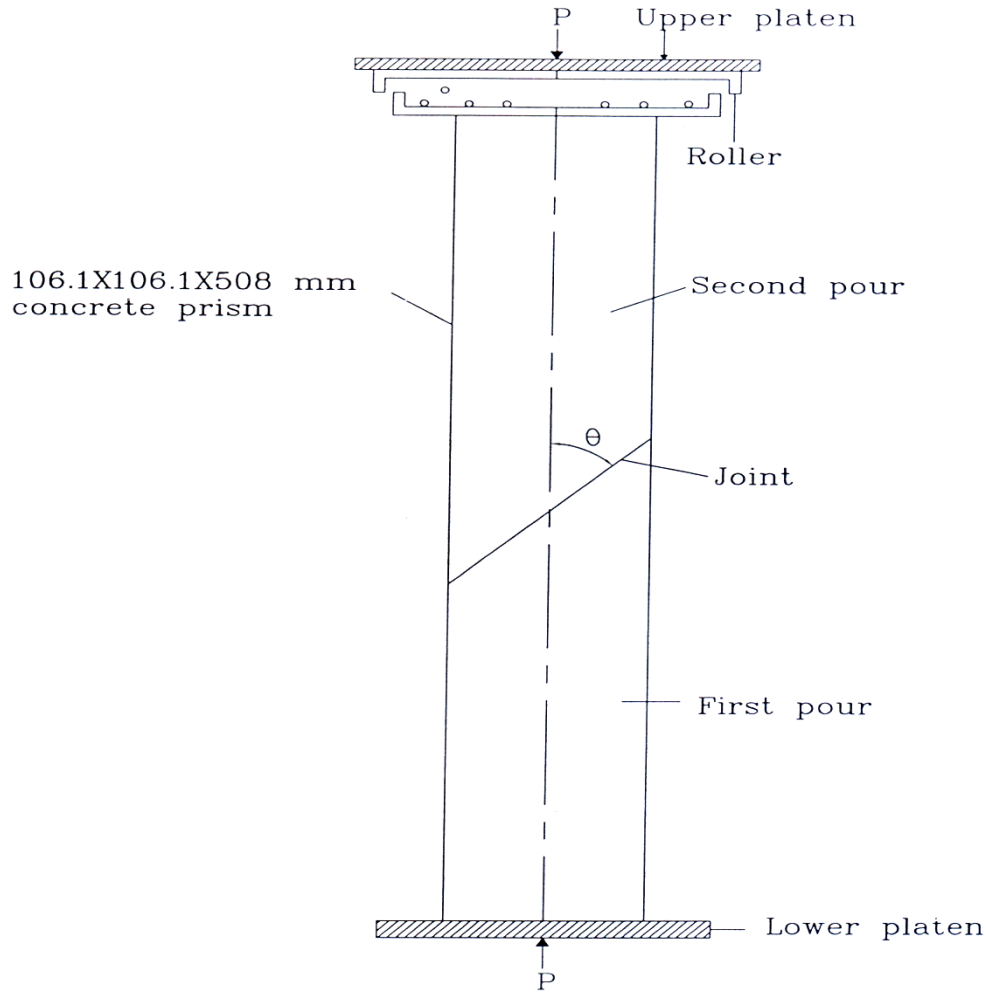
أظهرت النتائج بأن القص ينتقل عن طريق التماسك والأحتكاك ولا يجب أن يؤخذ اعتماد المقاومة على العمر بنظر الاعتبار في التصميم. كذلك أقرحت علاقة لمقاومة القص للمفصل الإنشائي الغير المسلح الأملس كدالة لمقاومة المكعب الخرساني والإجهاد العمودي المباشر عند المفصل . أستخدم معيار الفشل لكولومب مع إعتبار مقاومة الشد صفراً لأقتراح تصميم مقاومة القص. الصيغ الآتية أقرحت لحساب مقاومة القص :

$$\tau = 0.07 f_{cu} + 0.7 \sigma \quad (2.4) \dots\dots\dots$$

$$\tau = 2.5 \sigma \quad \text{for } \sigma / f_{cu} \leq 0.04 \quad (2.5) \dots\dots\dots$$

لأجل منع فشل السحق الكلي للنموذج ، أعطي حد أعلى لتحمل القص وفق المعادلة (١.٢) بحيث أن :

$$\tau \leq 0.267 f_{cu} \quad (2.6) \dots\dots\dots$$



شكل (٢-٢) نموذج وعلية الفحص أستخدم من قبل (Clark and Gill)

E. Vintzeleou و H. Tassios [٣٥] عام ١٩٨٧ درسوا آلية أنقزال الحمل عبر السطح البيني للخرسانة الغير المسلحة بواسطة "أحتكاك الخرسانة مع الخرسانة" (concrete-to-concrete friction) كما مبين في الشكل (٢-٣). تم تحري سلوك السطوح البينية للخرسانة العادية، الملساء والخشنة تحت تأثير الحمل الحركي المفروض وإزاحة القص الدوري عملياً. تم اقتراح النماذج التقليدية للسطوح البينية الملساء والخشنة تحت الأحمال الحركية والدورية، الذي يجب استخدامه للنموذج التحليلي لتصرف القص – الانزلاق. تم دراسة المتغيرات التالية :

١- خشونة السطح البيني .

٢- مقاومة الأنضغاط للخرسانة (١٦ ، ٣٠ ، و ٤٠ نيوتن / ملم^٢) .

٣- إجهاد الضغط العمودي على السطح البيني ($\sigma = 0.5, 1.0, 2.0$ نيوتن / ملم^٢) .

٣- نوع التحميل (الحركي والدوري).

لوحظ بأن، الحد الأعلى لمقاومة الاحتكاك ($\tau_{fr,u}$) يبدو أقل اعتماداً على إجهاد الأنضغاط العمودي الممثل على السطح البيني (σ) ، لكنه يساوي تقريباً إجهاد الشد للخرسانة ()
 $\tau_{fr,u} \approx f_t \approx 0.12 f'_c$ لذلك، تم اقتراح الصيغة التالية، لتخمين المقاومة الاحتكاكية ::

$$\text{Max. } \tau_{fr,u} = \left[0.3 \sqrt{10 + 9 \left(\sigma \frac{1}{f_t} \right) - \left(\frac{\sigma}{f_t} \right)^2} \right] \times f_t \dots\dots\dots (2.7)$$

تمدد الخطوط أعطي تقريباً بالتعبير التجريبي التالي :

$$\dots\dots\dots (2.8) w_n = w_1 \left(1 - \frac{1}{12} \sqrt{n-1} \right)$$

حيث :

$w = n$ = عرض الشق المحلي (تمدد) عند الدورة (n) .

$w = 1$ = عرض الشق الأول المحلي .

n = عدد الدورات .

قام (R. Bass) وآخرون [١٦] عام ١٩٨٩ بإجراء تجربة عملية لدراسة أنتقال القص بين طبقتي الخرسانة الحديثة والقديمة، لدراسة سعة القص بين الخرسانة الحديثة والقديمة. تم تصميم وفحص (٣٣) نموذجاً من (push off) وتضمنت متغيرات الفحص إعدادات السطح، كمية والعمق المغمور للتسليح في السطح البيني، تفاصيل التسليح في الخرسانتين القديمة والحديثة ومقاومة الأنضغاط لكلا الخرسانتين القديمة والحديثة. تضمن الفحص تسليط دورات حمل مكررة لإحداث إجهاد قص على طول مستوى السطح البيني للخرسانة. أظهرت النتائج بأن الزيادة في كمية التسليح المار خلال السطح البيني ينتج عنها تحمل أكبر للقص عند المستويات العالية للأنزلاق. والغرس الأعرق (deeper embedment) للتسليح يزيد من تطور التسليح وبالتالي تحمل قص أكبر عند الأنزلاقات الكبيرة. وأن أية زيادة في عمق الغرس لحديد التسليح البيني يزيد في قابلية أنتقال القص في السطح البيني للخرسانة.

قام كل من (loov) و (patnaik) [٢٧] عام ١٩٩٤ بفحص ١٦ جسراً مركباً من خرسانتين مصبوبيتين بأوقات مختلفة ودرسوا تأثير عدة متغيرات شملت ، عرض السطح البيني ، وطول الشفة (flange) ، ومساحة التسليح الطولي ، والعمق الفعال ، والمسافة بين الأطواق ، ومقاومة الخضوع للتسليح الطولي والأطواق . في كل حالة درسوا العلاقة بين الأنزلاق في المفصل وإجهاد القص المتولد في المفصل . ترك سطح الخرسانة المسبقة الصب كما هو تاركاً الركاب الخشن بارزاً من السطح من غير إبداء جهود خاصة لإنتاج سطحاً خشناً . أظهرت النتائج بأن الأطواق كانت غير مجهدة إلا بعد أن يتجاوز إجهاد القص الأفقي ١.٥ إلى ٢ ميكباسكال .

أنس حكمت اليوسفاني [٣٨] في عام (٢٠٠٤) استعمل طريقة العناصر المحددة ثلاثية الأبعاد لاختبار لتقصي سلوك العتبات الخرسانية المسلحة و الحاوية على المفاصل الإنشائية (أفقية أو عمودية). بالاستفادة من برنامج **ANSYS** (إحداث 5.4). تم استخدام عناصر طابوقية ثلاثية الأبعاد ذات ثمانية عقد لتمثيل الخرسانة . تم تمثيل حديد التسليح فقط كعناصر محورية مطمورة داخل العناصر الطابوقية مع افتراض وجود ترابط تام بين الخرسانة و حديد التسليح . اما المفاصل الإنشائية فقد تم تمثيلها باستخدام عناصر بينية و التي تتكون من عناصر أحادية البعد بعقدتين ترتبط مع العناصر الطابوقية في منطقة المفصل الإنشائي . كما وان حديد التسليح المار خلال المفصل الإنشائي فقد تم تمثيله باستعمال عناصر محورية التي ترتبط مع العناصر الطابوقية على طرفي المفصل بشكل عمودي على سطح المفصل . و

لإدخال تأثير مقاومة القص لحديد التسليح الذي يمر خلال المفصل و الذي يشارك في مقاومة قوى القص المتولدة في المفصل الإنشائي فقد تم استعمال عناصر نابضة لاختية السلوك و التي يتم ربطها أيضا مع العناصر الطابوقية في منطقة المفصل الإنشائي و لكن باتجاه موازي لسطح المفصل.

و قد تم تحليل أنواع مختلفة من العتبات الخرسانية المسلحة ذات نتائج عملية متوفرة لتقويم النماذج و الطريقة المستخدمة في الدراسة أعطت المقارنة توافق جيد للنتائج المستحصلة من العناصر المحددة و من التجارب . اكثر فرق في التحمل الأقصى للعتبات جاءت ٨% . تمت دراسة تأثير وجود المفاصل الإنشائية في العتبات الخرسانية المسلحة على السلوك و الحمل الأقصى لهذه العتبات ، كما و تمت دراسة تأثيرات خواص المادة المهمة و بعض العوامل المستخدمة في التحليل على كل من السلوك و التحليل اللاخطي لتلك العتبات. تضمنت دراسة نوع المفصل الإنشائي (عمودي و أفقي) ، موقع المفصل الإنشائي، معامل احتكاك السطح البيني للمفصل ، تأثير كمية الحديد الذي يمر خلال المفصل ، و عوامل أخرى.

و لدراسة تأثير حالات المفاصل الإنشائية على العتبات الخرسانية المسلحة، تم تحليل مثالين من العتبات بوجود مفصل إنشائي عمودي او أفقي و بمواقع مختلفة للمفصل. لقد أظهرت نتائج التحليل ان المفاصل العمودية يكون تأثيرها قليل على التصرف الكلي و كذلك على التحمل الأقصى للعتبات (نسبة الانخفاض جاءت بين صفر%-١٠ %) . أما المفاصل الإنشائية الأفقية فان تأثيرها اكبر على التصرف الكلي و على التحمل الأقصى للعتبات (نسبة الانخفاض جاءت بين ٦%-٢٠ %) .

علي خليل إسماعيل [٢٢] في عام (٢٠٠٥) قام بصب وفحص (١٠) جسور بسيطة الإسناد وذو مقطع عرضي مستطيل لحد الفشل تحت تأثير حملين نقطيين. ثمانية من الجسور صمم لكي يحتوي على مفصل إنشائي أفقي بأعداد ومواقع مختلفة بالنسبة للجسر اما الجسران الآخران فلم يحتويان على مفصل إنشائي وأعتبرا الجسران المرجعيان لأجل المقارنة بين النتائج. جميع الجسور صممت لكي تفشل بالأنثناء ولها نفس الكمية والنوعية من حديد التسليح الطولي والعرضي ونفس الخواص للخرسانة. نتائج الفحوصات أظهرت بأن وجود المفصل الإنشائي الأفقي في الخرسانة المسلحة يؤدي إلى نقصان في حمل التشقق والحمل الأقصى ويزيد الهطول الأقصى بينما لم يلاحظ تغيير في الهطول عند أول تشقق . قيم حمل التشقق المسجلة تراوحت بين ٨٢% إلى ٩٨% من قيمتها في الجسور المرجعية بينما قيم الحمل

الأقصى المسجلة تراوحت بين ٨٣% إلى ٩٨% من قيمتها في الجسور المرجعية. الهطول الأقصى تراوحت بين ١٠٢ إلى ١٣٣% من قيمتها في الجسور المرجعية.

في عام (٢٠٠٨) قام حبيب جعفر محراث [٣١] بفحص (٢٣) جسراً بأبعاد (٢٥٠×٢٥٠×٢٠٠) ملم منها ثلاثة جسور مصبوبة بشكل كامل وسميت بالجسور المرجعية أما العشرين الباقية فتم صبها على مرحلتين حيث كانت تحتوي على مفصل إنشائي عرضي . قسمت الجسور الحاوية على المفصل الإنشائي إلى مجموعتين رئيسيين ، حيث تضمنت المجموعة الأولى الجسور الحاوية على المفصل الإنشائي في منتصف الفضاء والمجموعة الثانية تضمنت الجسور الحاوية على المفصل الإنشائي في ثلثي طول الفضاء وقسمت كل مجموعة رئيسية بدورها إلى مجموعتين اعتماداً على وجود أو عدم وجود الطوق الإضافي في المفصل وكل جسر في المجموعة الثانوية يختلف عن الأخرى في شكل المفصل الإنشائي حيث استخدم خمسة أنواع من المفاصل وهي المفصل العمودي والمفصل المائل بزاوية ٦٠ أو ٤٥ أو على شكل حرف (L) أو قفل ومفتاح. جميع الجسور عرضت إلى حمل ساكن متكون من حملين مركزين في ثلثي الفضاء وبفضاء صاف طوله (١٨٠٠) ملم للجسر لأجل دراسة تصرف الجسر الأثنائية حيث تم تسجيل الأود في منتصف الفضاء مقابل كل زيادة في الحمل بمقدار (١٠) كيلونيوتن وحتى الفشل . لقد وُجد أن إحتواء العتبة الخرسانية المسلحة على مفصل إنشائي عرضي يخلق منطقة ضعف داخل هذه العتبة ويسمح بانتشار التشققات بسهولة خلال هذه المنطقة مما يؤدي الى نقصان في مقاومة الانحناء للعتبة خصوصاً في مراحل التشققات المتقدمة . إن قيمة النقصان في حمل التشقق (P_{cr}) والحمل الأقصى (P_u) كانت ٢١% و ٢٧% على التوالي مقارنة مع العتبات المرجعية التي لا تحتوي على مفاصل إنشائية عرضي. إن هذه القيم تمثل المفصل الإنشائي العرضي المائل بزاوية ٤٥° والواقع في ثلثي فضاء العتبة والذي لا يحتوي على طوق اضافي وهي بذلك تمثل أسوأ حالة من خلال المتغيرات التي درست في هذا البحث.

٣-٢- الدراسات السابقة عن الحمل الصدمي

(Gareth hughes) [٢٢] عام ١٩٨٣ قدم صيغة جديدة للأختراق والتقشر والتهشم لأجل استخدامه في تصميم الأحواض الخرسانية المسلحة لتحمل الحمل الصدمي الناتج

من طلاقات حادة. تم ذلك باستخدام التحليل البعدي مع النظريات الفيزيائية لمختلف الأحمال الصدمية. أدى ذلك إلى تكوين صيغة للحمل الصدمي ذات معاملات مجهولة القيم التي وجدت فيما بعد بواسطة تحليل البيانات العملية المتوفرة. الصيغة الجديدة المشتقة كانت سهلة وبسبب الاعتماد على عوامل في اشتقاقها لها سعة في التطبيق وسهلة الإيجاد بدلالة عوامل الحمل الصدمي . اعتماداً على نتائجه أصبح بالإمكان تصميم سمك الأحواض لمنع التقشر عندما يكون السمك أكبر من سمك التقشر (hs) ومنع التهشم عندما يكون السمك أكبر من سمك التهشم (hp).

(Bentur وآخرون) [١٧] عام ١٩٨٦ درسوا سلوك العتبات تحت تأثير الحمل الصدمي باستخدام جهاز الثقل الساقط قادر على إسقاط كتلة ٣٤٥ كغم من ارتفاع ٣ أمتار. تم فحص كلاً من الجسور الخرسانية العادية والمسلحة وبأبعاد ١٢٥×١٠٠×١٤٠٠ ملم وعلى فضاء بطول ٩٦٠ ملم بتسليط حمل صدمي في منتصف الفضاء . كالمعتاد الجهاز المستخدم مع الماكينة الصدمية كان يتكون من الأجزاء التالية : سلسلة من الثقوب المتباعدة عن بعضها البعض بدقة ومحفورة في شريط معدني على طول جانب الماكينة لقياس تعجيل مطرقة الصدمة، استخدام معدل ٨ مقاييس أنفعال كهربائية المقاومة منصبة في مقدمة ماكينة الصدمة لقياس الحمل، استخدام مقياسي تعجيل مربوطين بالسطح العلوي للجسر لقياس تعجيل الجسر نفسه. تم الحصول على العلاقة بين الحمل والزمن والتعجيل مع الزمن. أظهرت النتائج أنه حتى في حالة السرعة القليلة للصدمة حوالي (٣متر/ثانية) الحمل الأقصى في النموذج حدث بعد ١ مايكروثانية بعد التماس وأن استخدام مقاييس التعجيل المنصوبة على الجسر يمكن الاستفادة منه في تخمين أحمال القصور الذاتي .

Banthia [١٥] وآخرون عام ١٩٨٧ استخدموا ماكينة تسليط الحمل الصدمي لتطبيق الفحوصات الصدمية على الجسور الخرسانية بأبعاد ١٤٠٠×١٢٥×١٠٠ ملم ، الجسور البسيطة الإسناد ضربت في المنتصف بمطرقة وزن ٣٤٥ كغم سقطت من ارتفاعات مختلفة . الجهاز تضمن مقاييس الأنفعال المنصبة في نهاية المطرقة التي تضرب الجسر ، مقاييس الأنفعال نصب على سندانة المسند ، وضع ثلاثة مقاييس تعجيل (accelerometers) على أماكن مختلفة من الجسر . تم تطبيق الفحوصات على الخرسانة الأعتيادية المقاومة ، والخرسانة عالية المقاومة ، والخرسانة المسلحة بالألياف . تم إنتاج الخرسانة العالية المقاومة التي وصلت مقاومتها إلى حوالي ٨٢ ميكاباسكال بإضافة ١٦% من غبار السليكا (silica fume) (كنسبة من وزن الأسمنت) إلى الخلطة . أستنتج بأن ، خواص الخرسانة تحت الإجهادات العالية السرعة فيما تخص الأحمال الصدمية لا يمكن التنبأ بها عن طريق الفحوصات الساكنة التقليدية . بالرغم من

أن الخرسانة العالية المقاومة لها مقاومة أكثر للحمل الصدمي من الخرسانة الأعتيادية المقاومة إلا أن الخرسانة العالية المقاومة تبدو أكثر هشاشة من الخرسانة الأعتيادية المقاومة .

الأعظمي [٦] عام ٢٠٠٤ أجرى دراسة نظرية على تصرف العتبات المركبة مع الترابط الجزئي تحت تأثير الحمل الصدمي، مربوطة سوية برباطات القص أو المادة الصمغية. فرض سلوكاً خطياً ومرناً لجميع المواد وأستخدم طريقة الفروقات المحددة لحل المعادلات. البرنامج الحاسوبي كتب بلغة (visual basic)، قام بدراسة ثلاثة حالات من العتبات المركبة الأولى كانت تتكون من طبقتين من الخرسانة، والثانية كانت جسر مقوى (صفحة حديدية فوق السقف الخرساني)، والثالثة كانت مركبة من الجسر الحديدي والسقف الخرساني . لكل حالة قام بدراسة بعض المتغيرات تضمن، زمن تأثير الحمل (مدة التحميل)، صلادة القص (shear stiffness) للرابط، وأبعاد المقطع. في كل حالة تم رسم منحنيات العلاقة بين المسافة على طول الجسر والهطول، والعلاقة بين المسافة على طول الجسر والأنزلاق ، والعلاقة بين المسافة على طول الجسر والدوران، والعلاقة بين المسافة على طول الجسر وسرعة الهطول أو الأنزلاق. أستنتج بأن زيادة مدة التحميل يزيد جميع الإزاحات وأن المواد المركبة لها القابلية على نقل وعكس الموجات عندما يسلط الحمل الصدمي على الطبقات المتكونة من نفس المادة .

أستخدم (عزيز إبراهيم عبدالله) [٣] في عام ٢٠٠٧ طريقة العناصر المحددة للتحليل الحركي اللاخطي لمنظومة مركبة من الجسر والسقف الخرساني مع أخذ تأثير المفصل الإنشائي بين الوتر (web) والشفة (flange) الناتج عن الصب بأوقات مختلفة. تم أخذ عدة أنواع من الحمل الحركي. أستخدم البرنامج الحاسوبي المعدل (DARC3) في التحليل. تم استخدام العنصر الطابوقي موحد المتغيرات (isoparametric) ذي العشرين عقدة لتمثيل الخرسانة أما الحديد فقد تم تمثيله بواسطة العنصر ذات البعد الواحد مع أفترض الترابط التام بين الحديد والخرسانة. تم تحليل عدة أنواع من المنشآت متضمناً منظومة مركبة من السقف والجسر، والجسور المتكونة من خرسانتين مصبوبتين بأوقات مختلفة، لأجل تحري تأثير المفصل الإنشائي وتأثير حديد التسليح المار عبر المفصل على سلوك المنشأ. أظهرت النتائج بأن المفصل الإنشائي يقلل من صلادة المنشأ لكنه يعمل كمخمد (damper) حيث يقلل سعة التذبذب (oscillation).

Kazunori Fujikake [٢٥] عام ٢٠٠٩ فحصوا الأستجابة الصدمية للجسور الخرسانية المسلحة من خلال دراسة عملية وقاموا بتطوير نموذج تحليلي للتنبأ بالحمل الصدمي الأقصى والهطول الأقصى في منتصف الفضاء ، الذي يستفاد منه كمؤشر أدائي لتقييم مستويات الضرر في الجسور الخرسانية المسلحة المتعرضة إلى الأحمال الصدمية. الدراسة العملية تضمنت فحص الصدمة للمطرقة الساقطة وتحري دور حديد التسليح في أستجابة الجسور الخرسانية المسلحة . الجسور الخرسانية المسلحة المستخدمة في هذه الدراسة تكونت من مقاطع خرسانية ناقصة التسليح (under reinforced) مزودة بكمية كافية من التسليح العرضي للسماح بحدوث فشل الأنثناء كلي. تم محاكاة الأستجابة الصدمية العملية للجسور الخرسانية المسلحة مع نموذج منظومة الكتلة – النابض – المخمد ذات درجتين من درجات الحرية ، فيها تم أخذ تأثير معدل التحميل بنظر الاعتبار. النتائج التحليلية كانت متوافقة بشكل جيد مع النتائج العملية للجسور الخرسانية المسلحة التي تبدي فشلاً أنثنائياً كلياً.