



جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية
قسم الهندسة الإنشائية

دراسة تحليلية لاجهادات التماسك بين الفولاذ و الخرسانة باستخدام نظرية الاحتمالات

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية

إشراف

الدكتور المهندس: زهير عامر

إعداد

المهندسة: أمية محمد طليعة

لجنة الحكم

الدكتور المهندس: قاسم زحيلي

الدكتور المهندس: هيثم زرزور

الدكتور المهندس: زهير عامر

كلمة شكر و تقدير

يسرّني أن أتقدم بخالص الشكر ووافر الامتنان إلى أستاذي

الدكتور المهندس زهير عامر

الذي تقصر كل كلمات الشكر وعبارات الثناء عن الوفاء بحقه، له جزيل الشكر على ما منحني إياه من الوقت والجهد والإهتمام والصبر و كل ما من شأنه تعزيزي لإخراج هذا العمل في أفضل صورة ممكنة، فكان نعم المشرف ونعم المعلم المعطاء الذي تتجسد في عطائه كل معاني الكرم والمروءة ، فلينهي أبدأ وأضع بصمة الشكر والتقدير له.

فجزاه الله عني كل خير

ملخص البحث

يقدم هذا البحث دراسة تحليلية لإجهادات التماسك وعلاقتها بلانزلاقات النسبية بين الفولاذ و الخرسانة استناداً لنظرية العناصر المحدودة، باستخدام برنامج ABAQUS6.5 ذو المقدرة العالية بتحليل سلوك الخرسانة المسلحة وفق طريقة العناصر المحدودة، و يقدم أيضاً دراسة احتمالية باستخدام نظرية الإحصاء على البيانات إجهاد التماسك-الانزلاق الناتجة من الدراسة التحليلية للحصول على منحنيات العلاقة إجهاد التماسك-الانزلاق المعللة احتمالياً و التي تمثل قانون التماسك.

لقد تم إجراء تحليل لخطي في هذا البحث لنماذج التماسك، و هي عبارة عن نماذج انسحاب، حيث أنجزت الدراسة للنماذج وفق معايير مختلفة تتضمن تأثير مقاومة الخرسانة المسلحة، بالإضافة إلى طول الإرساء و قطر قضيب التسليح، و كذلك تأثير أبعاد الأسطوانة الخرسانية (القطر - الارتفاع). كما يعرض هذا البحث تقييماً لنتائج دراسة تجريبية سابقة للتماسك في جامعة واشنطن عام 2006، و إجراء دراسة احتمالية عليها أيضاً وصولاً لمنحنيات العلاقة إجهاد تماسك - انزلاق، و من ثم مقارنة هذه المنحنيات مع منحنيات نتائج الدراسة التحليلية الاحتمالية المنجزة، و قد أظهرت المقارنة تقارباً جيداً في النتائج.

و بعد استنتاج العلاقات إجهاد التماسك-الانزلاق المعللة احتمالياً من الدراستين التحليلية و التجريبية، تم استخدام هذه العلاقات لتفسير مراحل ظاهرة التشقق بشكل دقيق في المنشآت الخرسانية المسلحة وصولاً للعلاقات اللازمة لحساب عرض الشقوق و التباعد فيما بينها في كل مرحلة من مراحل التشقق، وذلك من خلال حل المعادلة التفاضلية للتماسك استناداً إلى إحدى النظريات المستخدمة في أبحاث علمية سابقة لنفس الهدف.

في النهاية خلصنا إلى بعض النتائج و التوصيات التي نتمنى أن تكون مفيدة للباحثين في هذا الموضوع و أن تكون مقدمة لأبحاث علمية جديدة تساهم في إغناء البحث العلمي في الهندسة المدنية.

الكلمات المفتاحية:

إجهاد التماسك، الانزلاق، علاقة إجهاد تماسك-انزلاق، نظرية الاحتمالات، عرض التشققات

الفصل الأول

مقدمة و دراسة مرجعية حول إجهادات التماسك و علاقتها بالانزلاقات النسبية بين الفلّاذ و الخرسانة

Introduction and referential study about bond stress and its relationship with relative slip between steel and concrete

1 1 المقدمة: Introduction

تعدّ الخرسانة المسلّحة من المواد الإنشائية الأكثر استخداماً في الهندسة المدنية ، وهذه المادة مكونة من الخرسانة و فولاذ التسليح حيث أنّ الخرسانة هي مادة جيّدة التحمّل على الضغط لكنها تعمل بشكل ضعيف على الشدّ بينما الفولاذ جيد التحمّل و مطاوع على الشدّ ، لذلك فإنّ عمل الخرسانة المسلّحة يعتمد على العمل المشترك بين المادتين الذي يتطلّب نقلاً فعالاً للإجهادات من مادة لأخرى و تلاحم المادتين بعضهما مع البعض الآخر ، يتمّ تأمين هذا العمل من خلال التماسك بين الخرسانة و فولاذ التسليح لذا وجب تصميم المقطع و القضبان بطريقة تؤمن تلاحم هاتين المادتين المتواصل و عدم إفلات أو انفصال الواحدة عن الأخرى، في أي مكان تحت وطأة الإجهادات المرتقبة، و حتى بلوغ العنصر حالات الحدود المصمم عليها، ومن هنا تأتي أهمية التماسك بأنّه الخاصيّة المميّزة لتأمين تناقل الإجهادات و الحمولات ما بين مادتي الخرسانة و فولاذ التسليح تلقائياً [1]، وبالتالي تأمين التماسك اللازم بين الفولاذ و الخرسانة تحت تأثير الحمولات المطبّقة و التحكّم بظاهرة التشقّق في المنشآت الخرسانية المسلّحة، لذلك لابد من إيجاد علاقة ما بين الخرسانة و الفولاذ لتفسير سلوك التماسك بين هاتين المادتين بغية استخدام هذه العلاقة لتفسير العديد من الظواهر المتعلقة بالخرسانة المسلّحة و في مقدمتها ظاهرة التشقّق.

2 1 مبررات البحث: Reasons of research

إنّ التماسك ما بين الفولاذ و الخرسانة هو العامل المميّز لتناقل الإجهادات بين الفولاذ و الخرسانة و يؤثّر بشكل كبير على ميكانيكيّة التشقّق في العناصر الخرسانية المسلّحة، حيث أنّ قوة التماسك التي تنشأ بين فولاذ التسليح و الخرسانة المحيطة لها تأثير كبير على توليد و تطوّر التشقّقات، كما أنّ التماسك يتحكّم بقساوة المقطع الخرساني المسلّح.

وبما أنّ علاقة إجهاد تماسك-انزلاق هي المقياس لنوعيّة التماسك بين الفولاذ و الخرسانة، كان لابد من البحث و التعمّق في دراسة علاقة التماسك بشكل رياضي و تحليلي و محاولة البحث عن علاقات رياضيّة معلّلة احتماليّاً، و من ثمّ التأكد من هذه العلاقة باستعمال نتائج تجريبية سابقة.

3 1 هدف البحث: Objective of research

يهدف البحث إلى دراسة إجهادات التماسك في الخرسانة المسلحة و علاقتها بالانزلاقات النسبية بين الفولاذ و الخرسانة بشكل تحليلي و رياضي ، وإيجاد علاقة رياضية تمثل قانوناً للتماسك و تطبيق نظرية الاحتمالات على هذه العلاقة باستخدام برامج حاسوبية و مقارنة النتائج التحليلية مع نتائج تجريبية سابقة.

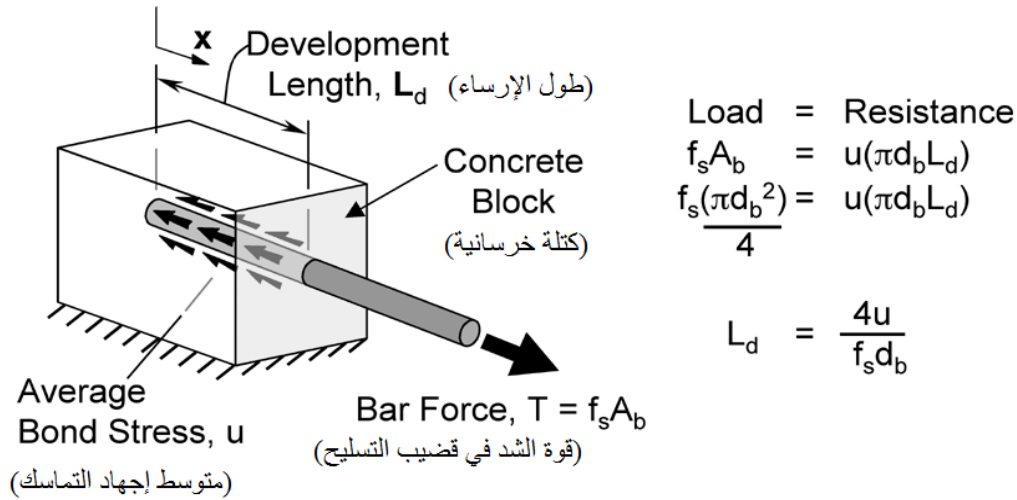
حيث ستتم الدراسة للتماسك بحالة الشد المباشر من خلال البارامترات المذكورة بالبحث تبعاً لسلاسل النماذج المستخدمة، و سوف يتم تسليط الضوء بشكل أساسي على المقاومة الخرسانية بهدف ربطها مع علاقة إجهاد التماسك-الانزلاق.

4 1 ميكانيكية التماسك [2]:

التماسك هو عبارة عن المركب الثالث للخرسانة المسلحة بعد الخرسانة و التسليح و هو الذي يؤمن انتقال الحملات من الخرسانة الى التسليح و بالعكس.

و بتعريف آخر هو الخاصة المميزة التي تؤمن تناقل الإجهادات بين مادتي الخرسانة و الفولاذ تلقائياً، لذا وجب تصميم المقطع و قضبان التسليح بطريقة تؤمن تلاحم هاتين المادتين المتواصل و عدم إفلات أو انفصال الواحدة عن الأخرى في أي مكان تحت وطأة الإجهادات المرتقبة و حتى بلوغ العنصر حالات الحدود المصمم عليه.

يظهر الشكل (1-4-1) آلية عمل قضيب تسليح معرض للشد متوضع ضمن كتلة خرسانية [2].



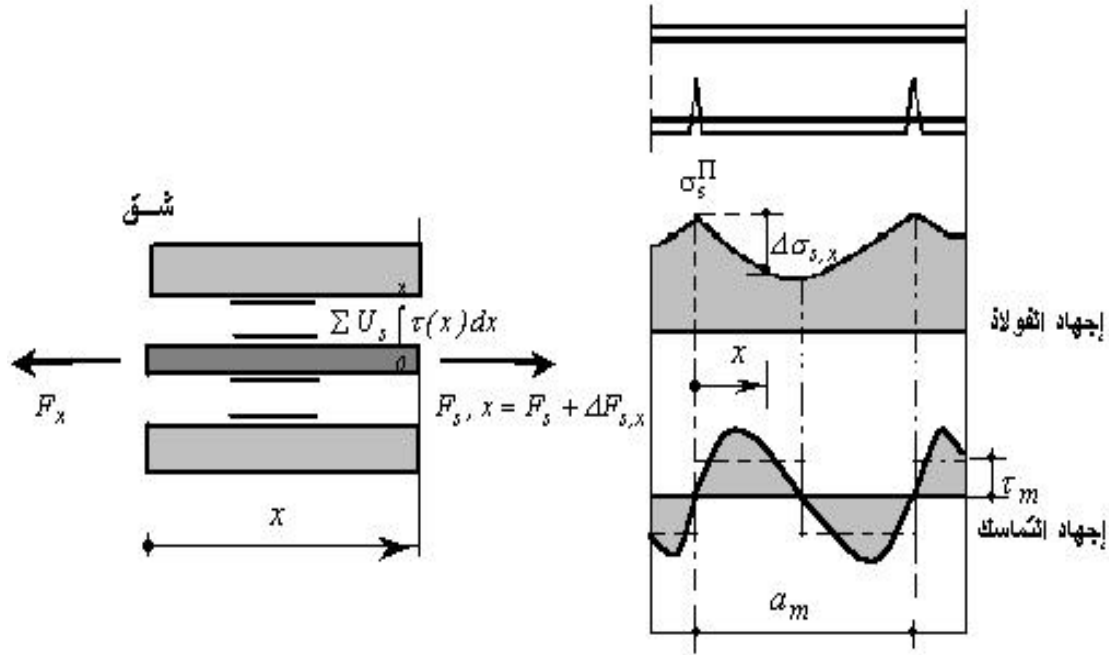
الشكل (1-4-1) آلية عمل قضيب تسليح معرض للشد متوضع ضمن كتلة خرسانية. [2]

عندما تتعرض الخرسانة المسلحة للشد يظهر الشق الأول عند تجاوز اجهادات الشد في الخرسانة قيمة مقاومة الخرسانة على الشد، و يتحمل فولاذ التسليح وحده كامل قوة الشد في منطقة الشق، و تحصل انزلاقات نسبية بين الفولاذ و الخرسانة و تنشأ اجهادات تماسك بجوار منطقة الشق ، و يتم انتقال الاجهادات من الفولاذ عبر الخرسانة بواسطة اجهادات التماسك إلى منطقة مجاورة كما هو موضح بالشكل (2-4-1).

تتشكل شقوق جديدة عندما تتجاوز ثانية اجهادات الشد في الخرسانة قيمة مقاومة الخرسانة على الشد مع تزايد الحملات و تساهم الخرسانة بين الشقوق في تحمل قوى الشد.

في منطقة الشق يكون تشوه البيتون مساوياً للصفر و تشوه الفولاذ أعظمية، و بين التشققات يكون تشوه الفولاذ أصغرياً و تشوه البيتون أعظمياً.

و يبين الشكل (2-4-1) ميكانيكية التشقق عند الشق الأول [4].

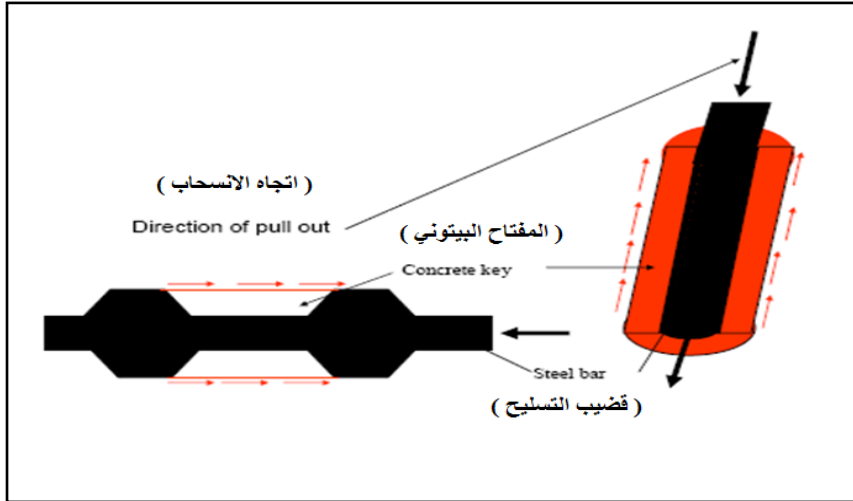


الشكل (2-4-1) ميكانيكية التشقق عند الشق الأول [4].

1 5 أنواع الانهيارات التي تحدث في نموذج الانسحاب (نموذج التماسك) [2]:

عند تعرّض قضيب تسليح متوضع ضمن كتلة خرسانية للشدّ يمكننا تمييز ثلاثة أنواع للانهيار:

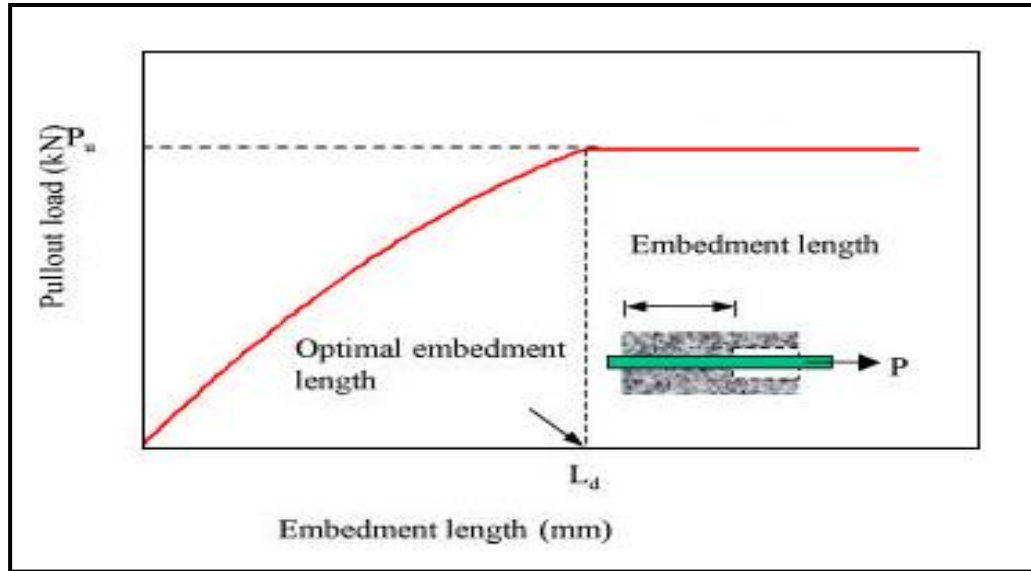
- 1 - انهيار بانسحاب قضيب التسليح (Pull out failure): عندما تتجاوز إجهادات التماسك الطولية مقاومة القص لتداخلات الخرسانة بين نتوءات فولاذ التسليح يمكن لقضيب التسليح أن ينزلق ، و بالتالي ينهار التماسك بين الفولاذ و الخرسانة و يحدث هذا الانهيار عادة عندما تكون الخرسانة بين نتوءات قضيب التسليح (مفتاح الخرسانة) ضعيفة و الخرسانة المحيطة قوية، و بالتالي قدرة قضيب التسليح على تحمل قوة الشدّ أكبر من قوة التماسك و في هذه الحالة يكون طول التماسك غير كافي لتأمين تماسك جيد بين قضيب التسليح و الخرسانة المحيطة به. و يظهر الشّكل (1-5-1) شكل انهيار الانسحاب.



الشّكل (1-5-1) شكل انهيار الانسحاب. [7]

- 2 - انهيار بانقطاع قضيب التسليح: يحدث عندما تكون قوة التماسك أكبر من قدرة قضيب التسليح على تحمل قوة الشدّ ، في هذه الحالة فإنّ قضيب التسليح يصل لمرحلة السيالان و يحدث الانهيار بانقطاع قضيب التسليح، و في هذا النوع من الانهيار يكون طول التماسك أكبر من طول التماسك المطلوب.
- 3 - انهيار بالانفلاق: حيث يحدث إما انفلاق للعينة مع صوت و هذا ما يحدث غالباً في الخرسانة عالية المقاومة، أو يحدث شق طولي على سطح العينة و تنقسم إلى جزأين و يحدث غالباً في الخرسانة عادية المقاومة.

لذلك و من خلال أنواع الانهيارات السابقة تم تحديد طول مثالي للتماسك في الكودات العالمية ، يتم من خلاله تأمين الإرساء الكافي للتسليح ضمن العناصر الخرسانية المسلحة بالشكل الأمثل و الاقتصادي كما هو موضح بالشكل (2-5-1).

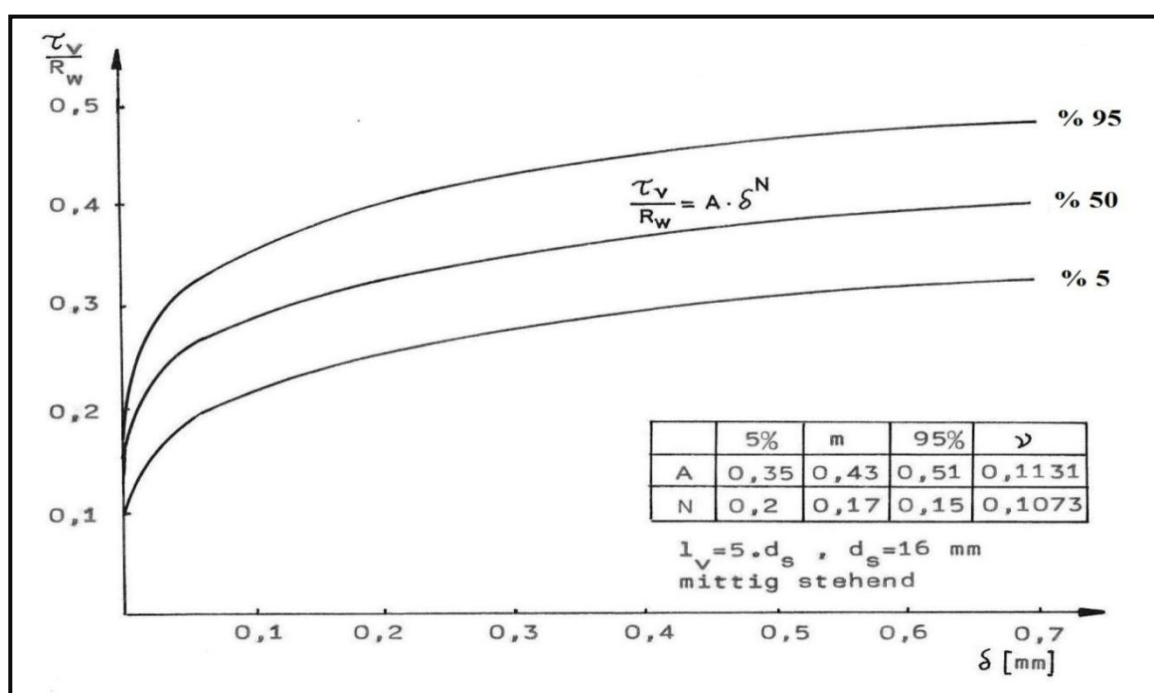


الشكل (2-5-1) طول الارساء المثالي. [8]

6 1 دراسة مرجعية: Background

قام العديد من الباحثين من جامعات مختلفة بإجراء دراسات و أبحاث متنوعة على إجهادات التماسك في الخرسانة المسلحة و مدى علاقتها بالانزلاقات النسبية التي تحدث بين الفولاذ و الخرسانة عند حدوث التشققات، و قد اقتصر بعض من هذه الأبحاث على الدراسة التجريبية فقط للتماسك، بينما تطرقت أبحاث أخرى للدراسة التحليلية إلى جانب الدراسة التجريبية و من ثم المقارنة بين الدراستين.

حيث قام الباحث Amer, Z. [4] عام 1989 بإجراء تقييم لدراسة تجريبية على التماسك، تم فيها استخدام عينات خرسانية اتجاه صب الخلطة فيها هو باتجاه قضبان التسليح المتوضعة بمنتصف العينة، حيث استطاع الحصول على بيانات احصائية لقيم إجهادات التماسك و الانزلاق النسبي الموافق لها، و قام بإجراء دراسة احتمالية على هذه البيانات استطاع من خلالها الوصول لعلاقة معلة احتمالية تربط بين إجهاد التماسك و الانزلاق النسبي بين الفولاذ و الخرسانة ، تمثل هذه العلاقة المعلة احتمالية (إجهاد التماسك-الانزلاق) قانوناً للتماسك كما هو موضح بالشكل (1-6-1)، [4]:



الشكل (1-6-1) علاقة إجهاد التماسك مع الانزلاق النسبي بين الفولاذ و الخرسانة بشكل علاقة معلة احتمالية [4]

حيث:

τ_v : إجهاد التماسك بين الفولاذ و الخرسانة ، δ : الانزلاق النسبي بين الفولاذ و الخرسانة.

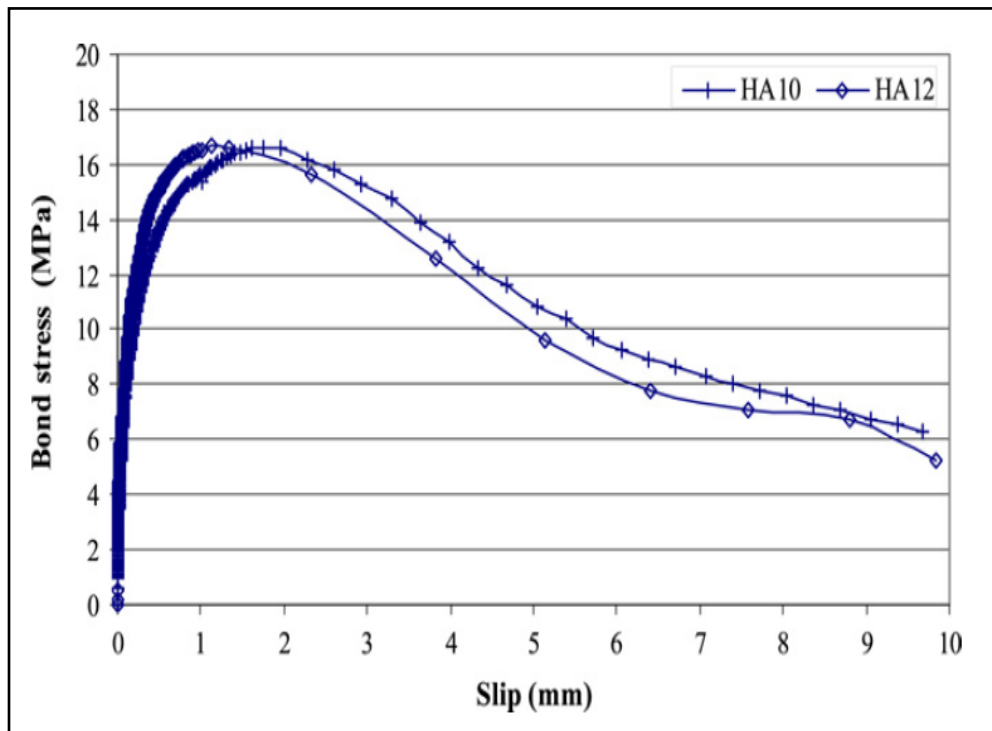
R_w : المقاومة المكعبية للخرسانة.

N, A : ثوابت تتعلّق بالمنحني حسب قيمته الإحصائية: (مقارب سفلي 5% - وسطي m - مقارب علوي 95%)
 V : الانحراف المعياري النسبي.

l_v : طول الإرساء في العينات المستخدمة. d_s : قطر قضيب التسليح.

كما قام كل من الباحثين:

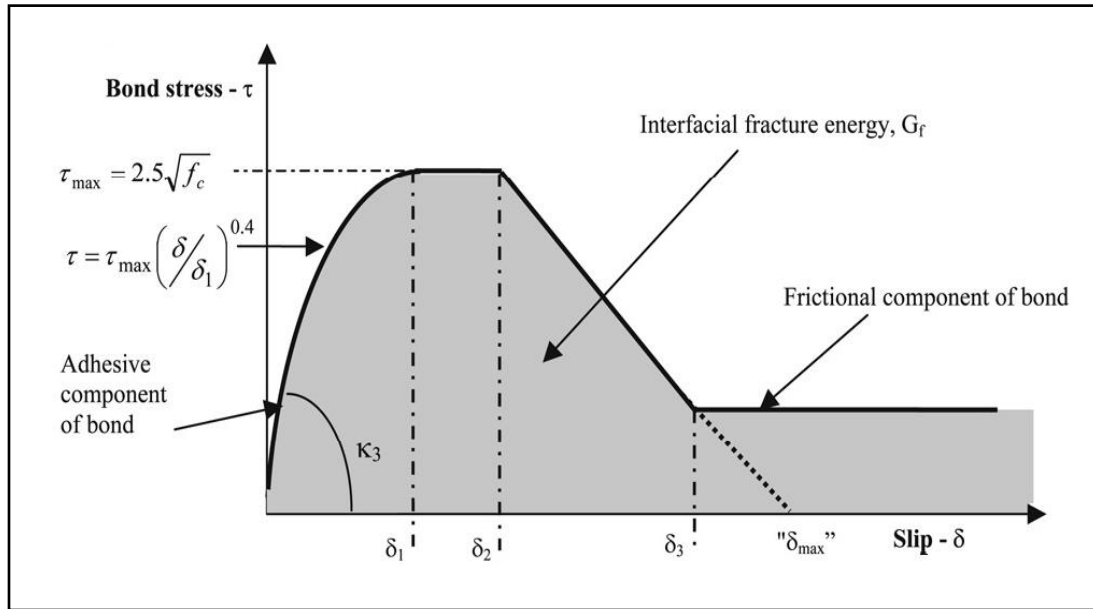
Dahou Z., Mehdi Sbartaï Z., Castel A., Ghomari F., [9] بإجراء دراسة تجريبية عام 2009، تمّ فيها استخدام البيانات التجريبية لـ 112 نموذج انسحاب مؤلف من التسليح المحلزن و خرسانة مختلفة الموصفات للتنبؤ بحمولة الانسحاب القصوى المطبقة و استنتاج منحنيات (إجهاد التماسك-الانزلاق).
 و الشكل (2-6-1) يبيّن نموذجاً عن المنحنيات التي تمّ استنتاجها:



الشكل (2-6-1) العلاقة إجهاد التماسك-الانزلاق و ذلك لقضبان بقطر 10 مم و 12 مم. [9]

. London . CEB.1992. CEB-FIB Model Code 90 [15] يقترح الكود CEB شكلاً للعلاقة بين إجهاد

التماسك والانزلاق النسبي و ذلك من أجل شروط تماسك جيّدة كما هو موضّح بالشكل (1-6-3):

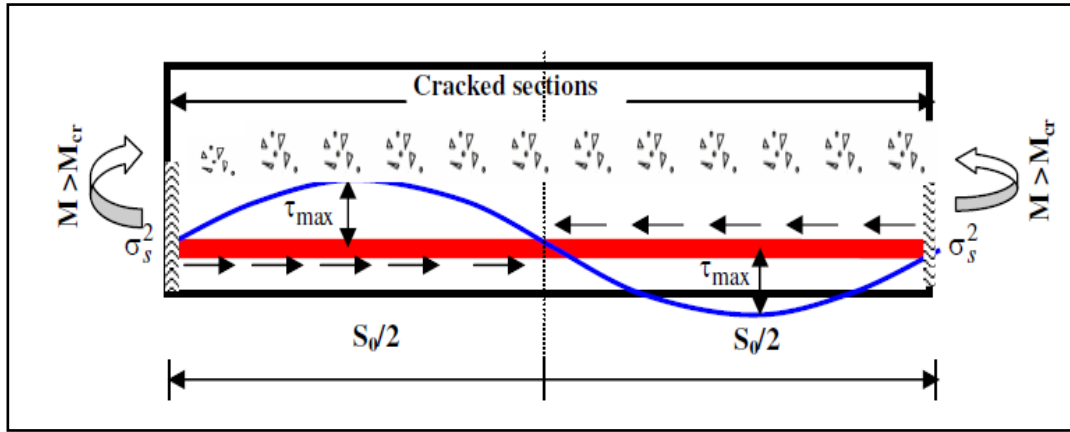


الشكل (1-6-3) علاقة إجهاد التماسك-الانزلاق حسب (CEB . 1992) [15]

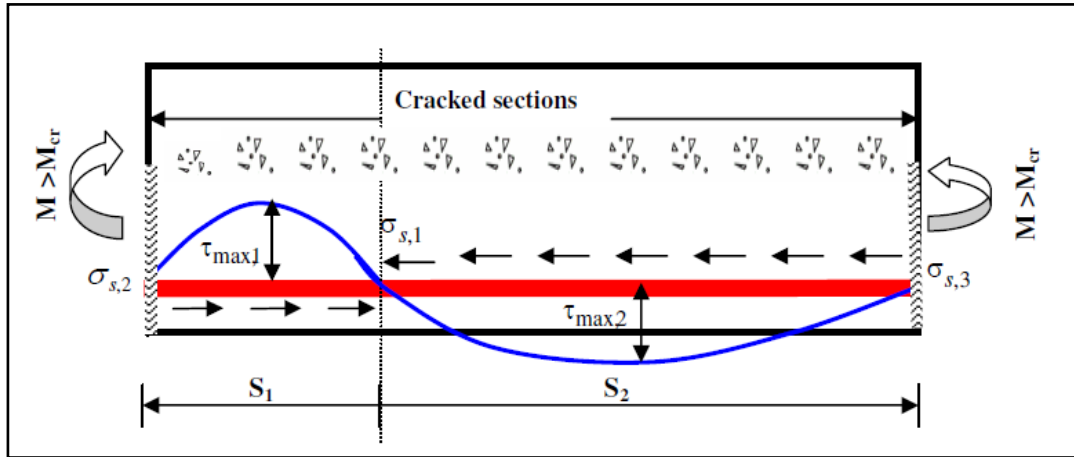
بينما قدم كل من الباحثين Haskett M., Oehlers D.G and Mohamed Ali M.S. [14] في عام 2008، دراسة تجريبية لخصائص التماسك باستخدام نماذج انسحاب بأطوال ارساء مختلفة، أيضاً قام الباحثون بتحليل نتائج تجارب لأبحاث سابقة لاستنتاج علاقة إجهاد تماسك-انزلاق من خلال تحليل بيانات قوة-انتقال، كما قاموا بإجراء تحليل عددي للتماسك و إعطاء شكلاً نظرياً لعلاقة إجهاد تماسك-انزلاق إنطلاقاً من العلاقة المقترحة في الكود CEB.1992.

قام الباحث Khalfallah S. [6] في عام 2008 بإجراء عمل تحليلي بطريقة العناصر المحدودة باستخدام برنامج تحليل لاخطي، استعرض من خلاله تأثير علاقة إجهاد التماسك-الانزلاق في المنشآت الخرسانية المسلحة المتشققة الخاضعة للانبعطاف، مع التأكيد بشكل خاص على تمثيل التفاعل بين الخرسانة و التسليح.

العنصر المستخدم في دراسته كان الجوائز الخرسانية المسلحة المعرضة لعزم الانعطاف كما تظهر الأشكال (1-6-4) و (1-6-5).

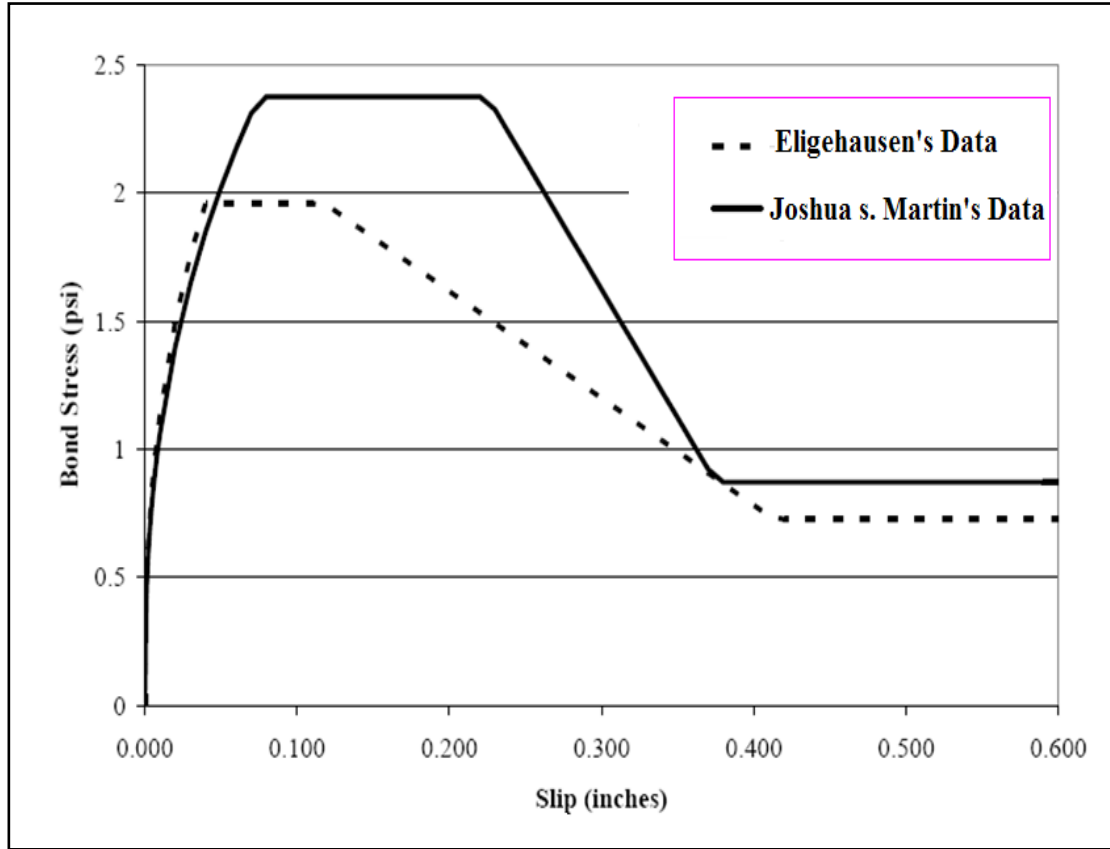


الشكل (1-6-4) إجهادات التماسك بين مقاطع الشقوق المتجاورة في حالة العزم الثابت على طول الجانز. [6]



الشكل (1-6-5) إجهادات التماسك بين مقاطع الشقوق المتجاورة في حالة العزم المتغير على طول الجانز. [6]

و من خلال دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الانشائية في جامعة واشنطن عام 2006 بعنوان (التحقيق التجريبي للتماسك في البيتون المسلح) ، قام الباحث J.S. martin [3] بإجراء برنامج تجريبي مؤلف من نماذج انسحاب ببارامترات مختلفة حيث تم إجراء اختبارات الانسحاب عليها لمعرفة تأثير البارامترات على سلوك التماسك، و تم تمثيل النتائج بشكل منحنيات تمثل العلاقة بين الحمولة المطبقة و الانتقال الحاصل ل، واستخلص شكلاً مبسطاً لمنحني علاقة إجهاد تماسك-انزلاق و قارنه مع منحني Eligehausen كما هو مبين في الشكل (1-6-6):



الشكل (6-6-1) مقارنة بين Eligehausen و Martin J.S. لعلاقة إجهاد التماسك- انزلاق. [3]

نلاحظ الفروقات بين المنحنيين في الشكل (6-6-1) و ذلك لأن Martin J.S. أجرى دراسته التجريبية على حالات محدودة من نماذج الانسحاب بينما كانت دراسة Eligehausen دراسة تجريبية عامة.

7-1 الخلاصة: conclusion

تم في هذا الفصل إلقاء نظرة عامة تمهيدية على إجهادات التماسك بين الفولاذ و الخرسانة و الانزلاقات النسبية الحاصلة بين المادتين في حالة التشققات، اضافة لاستعراض بعض الدراسات و الأبحاث السابقة حول موضوع التماسك و علاقة إجهاد تماسك-انزلاق في العناصر الخرسانية المسلحة.

الفصل الثاني

تقييم الدراسة التجريبية لبحث Martin J.S. الذي تمت المقارنة معه

Evaluation of experimental study of Martin J.S. Comparative with it

2 1 المقدمة: Introduction

أجريت العديد من الدراسات التجريبية على التماسك في العناصر الخرسانية المسلحة خلال السنوات السابقة في الكثير من جامعات العالم نظراً لأهمية عامل التماسك، و كان الباحث **Martin J.S. [3]** أبرز الباحثين في هذا المجال في جامعة واشنطن عام 2006.

و ضمن هذا الفصل سيتم تقييم نتائج الدراسة التجريبية لهذا الباحث، حيث تم إجراء دراسة رياضية على نتائج التجارب التي أجراها الباحث **Martin J.S.** و التي عرضها بشكل منحنيات قوة-انفعال، و بنتيجة هذه الدراسة الرياضية تم الحصول على البيانات لإجهاد تماسك-انزلاق.

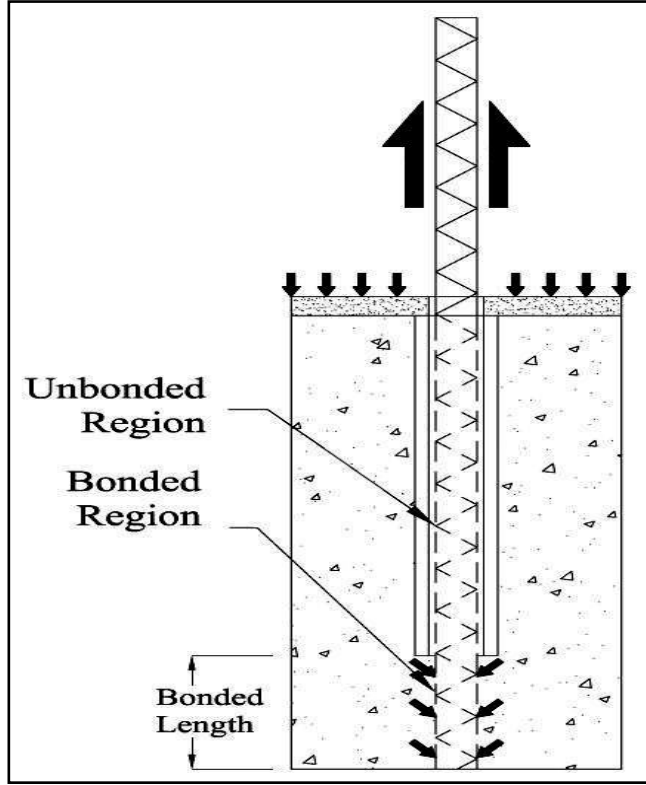
كذلك تضمن التقييم أيضاً إجراء دراسة احتمالية باستخدام نظرية الاحصاء على البيانات الناتجة من الدراسة الرياضية و تم استنتاج منحنيات التناثر الاحتمالي لعلاقة إجهاد التماسك-الانزلاق التي تمثل قانوناً للتماسك.

2 2 النموذج التجريبي الذي استخدمه Martin J. S. [3]:

النموذج التجريبي الذي استخدمه الباحث عبارة عن نموذج انسحاب (Pull-out specimen) بمتغيرات متعددة م عرضة لاحقاً في هذا الفصل، نموذج الانسحاب هو عينة خرسانية اسطوانية الشكل مغروس فيها قضيب تسليح متمركز في وسطها و بارز من جهة واحدة فقط.

حيث قام الباحث بتطبيق قوة الشد التي تمثل قوة الانسحاب (Pull-out load) على الجزء البارز من قضيب التسليح حتى الانهيار بأحد الأشكال التي تم استعراضها في الفصل الأول في الفقرة (1-5)، لقد كان اتجاه صب الخرسانة في النماذج التجريبية باتجاه توضع قضبان التسليح.

و يوضح الشكل (1-2-2) نموذج الانسحاب الذي استخدمه الباحث [3]



الشكل (1-2-2) نموذج الانسحاب الذي استخدمه **Martin J.S.** [3]

3 2 المتغيرات و النماذج المستخدمة في دراسته التجريبية:

استخدم الباحث **Martin J.S.** [3] في برنامجه التجريبي أربع سلاسل من النماذج الخرسانية و المسماة بالرموز (SA , SC , SD , SF)، تختلف كل سلسلة عن الأخرى بالمقاومة الخرسانية الأسطوانية أي أنّ جميع النماذج الموجودة ضمن السلسلة الواحدة لها نفس مقاومة الخرسانة ، و تختلف النماذج ضمن السلسلة الواحدة بعضها عن البعض الآخر بأبعاد العينة الأسطوانية و قطر قضيب التسليح و طول الإرساء، إذا متغيرات البحث هي التالية:

- أبعاد العينة الخرسانية الأسطوانية من حيث القطر و الارتفاع.
- قطر قضيب التسليح.
- طول الإرساء.
- مقاومة الخرسانة.

كانت أسماء النماذج على الشكل التالي:

رمز السلسلة، قطر العينة الأسطوانية، ارتفاع العينة الأسطوانية، قطر قضيب التسليح، طول الإرساء .

أي حسب التسلسل التالي:

- الجزء الأول من اسم النموذج هو رمز السلسلة مثال: (SA)
 - الجزء الثاني من اسم النموذج هو قطر العيّنة و يرمز له: D_c (مثال: 06 inch)
 - الجزء الثالث من اسم النموذج هو ارتفاع العيّنة و يرمز له: H_c (مثال: 12 inch)
 - الجزء الرابع من اسم النموذج هو قطر قضيب التسليح و يرمز له: d_s (مثال: 0.75 inch)
 - الجزء الخامس من اسم النموذج هو طول الارساء (الجزء المغروس من قضيب التسليح ضمن الخرسانة) و يرمز له: l_b (مثال: 06 inch)
 - l_u : طول الجزء الغير متماسك من قضيب التسليح و لا يدخل بتسمية النموذج.
- يصبح اسم النموذج كاملاً حسب ما ورد أعلاه بالصيغة التالية:

SA-0612-0.75-06

F_k : المقاومة المكعبية للخرسانة و لا تدخل في تسمية النموذج و تأخذ القيمة: $F_k = f'_c / 0.83$

ملاحظة: الواحدات الدولية المستخدمة من قبل **Martin J.S.** هي:

(inch) للأبعاد و (Kips) للقوة، لذلك كانت تسمية النموذج من قبل الباحث حسب أبعاده بالواحدات المستخدمة، و الجدول (1-3-2) يوضّح تفاصيل النماذج المستخدمة في بحث **Martin J.S.** حسب الصيغة التي ورد تفصيلها أعلاه.

الجدول (1-3-2) تفاصيل متغيرات نماذج التماسك في دراسة Martin J.S.

F_K (MPa)	l_u (inch)	l_b (inch)	d_s (inch)	H_c (inch)	D_c (inch)	النموذج
25	6	6	0.75	12	6	SA-0612-0.75-06
	9	3	0.75	12	6	SA-0612-0.75-03
	6	6	0.75	12	6	SA-0612-0.75-06
	9	3	0.75	12	6	SA-0612-0.75-03
	0	12	0.75	12	6	SA-0612-0.75-12
	0	16	1	16	8	SA-0816-1-16
	0	14	1.128	14	10	SA-1014-1.128-14
53	9	3	0.75	12	6	SC-0612-0.75-03
	6	6	0.75	12	6	SC-0612-0.75-06
	9	3	1	12	6	SC-0612-1-03
	6	6	1	12	6	SC-0612-1-06
	13	3	0.75	16	8	SC-0816-0.75-03
	10	6	0.75	16	8	SC-0816-0.75-06
	13	3	1	16	8	SC-0816-1-03
	10	6	1	16	8	SC-0816-1-06
	17	3	0.75	20	10	SC-1020-0.75-03
	17	3	0.75	20	10	SC-1020-0.75-03
	17	3	1	20	10	SC-1020-1-03
59.4	9	3	1	12	6	SD-0612-1-03
	9	3	1	12	6	SD-0612-1-03
	9	3	1	12	6	SD-0612-1-03
	9	3	1	12	6	SD-0612-1-03
	7	1	0.75	8	4	SD-0408-0.75-01
	6	2	0.75	8	4	SD-0408-0.75-02
	5	3	0.75	8	4	SD-0408-0.75-03
	11	1	0.75	12	6	SD-0612-0.75-01
	10	2	0.75	12	6	SD-0612-0.75-02
	9	3	0.75	12	6	SD-0612-0.75-03

تابع الجدول (1-3-2) تفاصيل متغيرات نماذج التماسك في دراسة Martin J.S.

F_K (MPa)	l_u (inch)	l_b (inch)	d_s (inch)	H_c (inch)	D_c (inch)	النموذج
59.4	15	1	0.75	16	8	SD-0816-0.75-01
	14	2	0.75	16	8	SD-0816-0.75-02
	13	3	0.75	16	8	SD-0816-0.75-03
	7	1	0.5	8	4	SD-0408-0.5-01
	6	2	0.5	8	4	SD-0408-0.5-02
	5	3	0.5	8	4	SD-0408-0.5-03
	15	1	1	16	8	SD-0816-1-01
	14	2	1	16	8	SD-0816-1-02
	13	3	1	16	8	SD-0816-1-03
48.6	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
	11	1	1	12	6	SF-0612-1-01
	11	1	1	12	6	SF-0612-1-01
	11	1	1	12	6	SF-0612-1-01
	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03

2 4 مراحل تقييم الدراسة التجريبية ل Martin J.S.:

2-4-1 الدراسة الرياضية للبيانات (قوة-انتقال) وصولاً للعلاقة (إجهاد تماسك-انزلاق):

إنّ نتائج التجارب التي حصل عليها الباحث Martin J.S. هي عبارة عن البيانات قوة-انتقال، أي أنّه قام بتطبيق قوة سحب على الجزء البارز من قضيب التسليح في نماذج تمّ قام بتسجيل الانتقال الناتج في كل مرحلة وصولاً لمرحلة القوة الحدية (Ultimate load).

لقد أجرينا في هذه المرحلة من البحث عملية تحليل رياضي على هذه البيانات (قوة - انتقال)، حيث قمنا بتحويلها إلى الشكل (إجهاد تماسك-انزلاق) حسب العلاقات الرياضية الواردة في الأبحاث العالمية لقانون التماسك، و من أجل الدقة الممكنة استخدمنا نفس العلاقات الواردة في بحث الباحث Martin J.S. [3].

تمّت عملية التحليل الرياضي هذه باستخدام برنامج Microsoft Office Excel وفق العلاقات الرياضية التالية [3]:

$$\tau_v = P/(\pi * d_s * l_b) \dots \dots \dots (1)$$

$$\delta = u - l_u * (P / E_s * A_s) \dots \dots \dots (2)$$

τ_v : إجهاد التماسك (تمّ حساب القيمة بالوحدة MPa).

P: القوة المطبقة على الجزء البارز من قضيب التسليح.

l_b : الطول المتماسك لقضيب التسليح.

d_s : قطر قضيب التسليح.

δ : الانزلاق النسبي الحاصل بين الفولاذ و الخرسانة (تم حساب القيمة بالوحدة mm).

u: الانتقال الناتج في قضيب التسليح.

l_u : الطول البارز (الغير متماسك) من قضيب التسليح.

A_s : مساحة مقطع قضيب التسليح. E_s : معامل مرونة الفولاذ.

ملاحظة: تمّ أخذ قيمة الانزلاق النسبي للخرسانة في الحسبان، حيث تمّ طرح قيمته أيضاً من قيمة الانتقال الناتج في قضيب التسليح، و ذلك حسب القيم المعتبرة في الدراسات التجريبية للتماسك [3] و يأخذ الرمز ϵ_c في الجداول الناتجة من التحليل الرياضي.

تم ترتيب النتائج التي حصلنا عليها من الدراسة الرياضية ضمن الجداول التالية:

الجدول (2-4-1-1) نتائج الدراسة الرياضية للسلسلة SA ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 25 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ξ_c inch	u inch	P kips	A_s inch ²	l_u inch	l_b inch	d_s inch	H_c inch	D_c inch	النموذج
9.762	0.110	25	0.015	0.026	10	0.442	9	3	0.75	12	6	SA-0612-0.75-03
14.642	0.279	25	0.015	0.036	15	0.442	9	3	0.75	12	6	
19.523	0.549	25	0.015	0.05	20	0.442	9	3	0.75	12	6	
24.404	0.972	25	0.015	0.07	25	0.442	9	3	0.75	12	6	
25.868	1.328	25	0.015	0.085	27	0.442	9	3	0.75	12	6	
4.881	0.014	25	0.015	0.02	10	0.442	6	6	0.75	12	6	SA-0612-0.75-06
7.321	0.160	25	0.015	0.028	15	0.442	6	6	0.75	12	6	
9.762	0.307	25	0.015	0.036	20	0.442	6	6	0.75	12	6	
12.202	0.479	25	0.015	0.045	25	0.442	6	6	0.75	12	6	
13.178	0.583	25	0.015	0.05	27	0.442	6	6	0.75	12	6	
13.666	0.877	25	0.015	0.062	28	0.442	6	6	0.75	12	6	
14.642	0.177	25	0.015	0.032	15	0.442	9	3	0.75	12	6	SA-0612-0.75-03
19.523	0.346	25	0.015	0.042	20	0.442	9	3	0.75	12	6	
24.404	0.566	25	0.015	0.054	25	0.442	9	3	0.75	12	6	
27.332	0.744	25	0.015	0.063	28	0.442	9	3	0.75	12	6	
4.118	0.127	25	0.015	0.02	30	0.786	0	16	1	16	8	SA-0816-1-16
5.491	0.381	25	0.015	0.03	40	0.786	0	16	1	16	8	
6.520	0.635	25	0.015	0.04	48	0.786	0	16	1	16	8	
4.172	0.025	25	0.015	0.016	30	1.000	0	14	1.128	14	10	SA-1014-1.128-14
5.563	0.127	25	0.015	0.02	40	1.000	0	14	1.128	14	10	
6.954	0.254	25	0.015	0.025	50	1.000	0	14	1.128	14	10	
8.345	0.381	25	0.015	0.03	60	1.000	0	14	1.128	14	10	
9.736	0.584	25	0.015	0.038	70	1.000	0	14	1.128	14	10	
11.126	0.762	25	0.015	0.045	80	1.000	0	14	1.128	14	10	
12.100	1.143	25	0.015	0.06	87	1.000	0	14	1.128	14	10	

الجدول (2-1-4-2) نتائج الدراسة الرياضية للسلسلة SC ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 53 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ϵ_c inch	u inch	P kips	A_s inch ²	l_u inch	l_b inch	d_s inch	H_c inch	D_c inch	النموذج
14.642	0.050	53	0.013	0.025	15	0.442	9	3	0.75	12	6	SC-0612-0.75-03
19.523	0.143	53	0.013	0.032	20	0.442	9	3	0.75	12	6	
24.404	0.287	53	0.013	0.041	25	0.442	9	3	0.75	12	6	
29.285	0.430	53	0.013	0.05	30	0.442	9	3	0.75	12	6	
33.092	0.681	53	0.013	0.062	34	0.442	9	3	0.75	12	6	
7.321	0.059	53	0.013	0.022	15	0.442	6	6	0.75	12	6	SC-0612-0.75-06
9.762	0.129	53	0.013	0.027	20	0.442	6	6	0.75	12	6	
12.202	0.199	53	0.013	0.032	25	0.442	6	6	0.75	12	6	
14.642	0.295	53	0.013	0.038	30	0.442	6	6	0.75	12	6	
16.253	0.385	53	0.013	0.043	33	0.442	6	6	0.75	12	6	
10.982	0.009	53	0.013	0.019	15	0.786	9	3	1	12	6	SC-0612-1-03
14.642	0.114	53	0.013	0.025	20	0.786	9	3	1	12	6	
18.303	0.142	53	0.013	0.028	25	0.786	9	3	1	12	6	
21.964	0.247	53	0.013	0.034	30	0.786	9	3	1	12	6	
25.624	0.377	53	0.013	0.041	35	0.786	9	3	1	12	6	
29.285	0.481	53	0.013	0.047	40	0.786	9	3	1	12	6	
32.945	0.510	53	0.013	0.05	45	0.786	9	3	1	12	6	
41.438	0.475	53	0.013	0.053	57	0.786	9	3	1	12	6	
9.151	0.069	53	0.013	0.022	25	0.786	6	6	1	12	6	SC-0612-1-06
10.982	0.165	53	0.013	0.027	30	0.786	6	6	1	12	6	
12.812	0.209	53	0.013	0.03	35	0.786	6	6	1	12	6	
14.642	0.304	53	0.013	0.035	40	0.786	6	6	1	12	6	

تابع الجدول (2-1-4-2) نتائج الدراسة الرياضية للسلسلة SC ذات المقاومة المكببة للخرسانة 53 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ξ_c inch	u inch	P kips	A_s inch ²	l_u inch	l_b inch	d_s inch	H_c inch	D_c inch	النموذج
14.642	0.242	53	0.013	0.037	15	0.442	13	3	0.75	16	8	SC-0816-0.75-03
19.523	0.373	53	0.013	0.047	20	0.442	13	3	0.75	16	8	
24.404	0.530	53	0.013	0.058	25	0.442	13	3	0.75	16	8	
29.285	0.813	53	0.013	0.074	30	0.442	13	3	0.75	16	8	
34.166	1.605	53	0.013	0.11	35	0.442	13	3	0.75	16	8	
7.321	0.098	53	0.013	0.028	15	0.442	10	6	0.75	16	8	SC-0816-0.75-06
9.762	0.232	53	0.013	0.037	20	0.442	10	6	0.75	16	8	
12.202	0.392	53	0.013	0.047	25	0.442	10	6	0.75	16	8	
14.642	0.450	53	0.013	0.053	30	0.442	10	6	0.75	16	8	
15.619	0.653	53	0.013	0.0625	32	0.442	10	6	0.75	16	8	
14.642	0.181	53	0.013	0.031	20	0.786	13	3	1	16	8	SC-0816-1-03
21.964	0.373	53	0.013	0.044	30	0.786	13	3	1	16	8	
29.285	0.693	53	0.013	0.062	40	0.786	13	3	1	16	8	
36.606	1.037	53	0.013	0.081	50	0.786	13	3	1	16	8	
7.321	0.016	53	0.013	0.022	20	0.786	10	6	1	16	8	SC-0816-1-06
10.982	0.164	53	0.013	0.032	30	0.786	10	6	1	16	8	
14.642	0.363	53	0.013	0.044	40	0.786	10	6	1	16	8	
18.303	0.511	53	0.013	0.054	50	0.786	10	6	1	16	8	
21.964	0.709	53	0.013	0.066	60	0.786	10	6	1	16	8	
23.062	0.779	53	0.013	0.07	63	0.786	10	6	1	16	8	
9.762	0.060	53	0.013	0.028	10	0.442	17	3	0.75	20	10	SC-1020-0.75-03
14.642	0.154	53	0.013	0.038	15	0.442	17	3	0.75	20	10	
19.523	0.349	53	0.013	0.052	20	0.442	17	3	0.75	20	10	
24.404	0.519	53	0.013	0.065	25	0.442	17	3	0.75	20	10	
29.285	0.638	53	0.013	0.076	30	0.442	17	3	0.75	20	10	
30.915	0.838	53	0.013	0.086	32	0.442	17	3	0.75	20	10	
14.642	0.249	53	0.013	0.037	20	0.786	17	3	1	20	10	SC-1020-1-03
21.964	0.551	53	0.013	0.056	30	0.786	17	3	1	20	10	
29.285	0.853	53	0.013	0.075	40	0.786	17	3	1	20	10	
36.606	1.307	53	0.013	0.1	50	0.786	17	3	1	20	10	
40.852	2.320	53	0.013	0.144	56	0.786	17	3	1	20	10	

الجدول (3-1-4-2) نتائج الدراسة الرياضية للسلسلة SD ذات المقاومة المكسبة للخرسانة 59.4 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ϵ_c inch	u inch	P kips	A_s inch ²	l_u inch	l_b inch	d_s inch	H_c inch	D_c inch	النموذج
10.982	0.161	59.4	0.008	0.02	15	0.786	9	3	1	12	6	SD-0612-1-03
14.642	0.317	59.4	0.008	0.028	20	0.786	9	3	1	12	6	
18.303	0.472	59.4	0.008	0.036	25	0.786	9	3	1	12	6	
21.964	0.501	59.4	0.008	0.039	30	0.786	9	3	1	12	6	
7.321	0.019	59.4	0.008	0.0125	10	0.786	9	3	1	12	6	SD-0612-1-03
10.982	0.136	59.4	0.008	0.019	15	0.786	9	3	1	12	6	
14.642	0.241	59.4	0.008	0.025	20	0.786	9	3	1	12	6	
18.303	0.345	59.4	0.008	0.031	25	0.786	9	3	1	12	6	
21.964	0.450	59.4	0.008	0.037	30	0.786	9	3	1	12	6	
25.624	0.580	59.4	0.008	0.044	35	0.786	9	3	1	12	6	
10.982	0.060	59.4	0.011	0.019	15	0.786	9	3	1	12	6	SD-0612-1-03
14.642	0.165	59.4	0.011	0.025	20	0.786	9	3	1	12	6	
18.303	0.269	59.4	0.011	0.031	25	0.786	9	3	1	12	6	
21.964	0.298	59.4	0.011	0.034	30	0.786	9	3	1	12	6	
25.624	0.326	59.4	0.011	0.037	35	0.786	9	3	1	12	6	
29.285	0.456	59.4	0.011	0.044	40	0.786	9	3	1	12	6	
32.945	0.561	59.4	0.011	0.05	45	0.786	9	3	1	12	6	
7.321	0.031	59.4	0.008	0.013	10	0.786	9	3	1	12	6	SD-0612-1-03
10.982	0.187	59.4	0.008	0.021	15	0.786	9	3	1	12	6	
14.642	0.114	59.4	0.008	0.02	20	0.786	9	3	1	12	6	
18.303	0.396	59.4	0.008	0.033	25	0.786	9	3	1	12	6	
21.964	0.450	59.4	0.008	0.037	30	0.786	9	3	1	12	6	
25.624	0.605	59.4	0.008	0.045	35	0.786	9	3	1	12	6	
27.674	0.706	59.4	0.008	0.05	38	0.786	9	3	1	12	6	
11.714	0.074	59.4	0.004	0.009	4	0.442	7	1	0.75	8	4	SD-0408-0.75-01
17.571	0.137	59.4	0.004	0.0125	6	0.442	7	1	0.75	8	4	
23.428	0.148	59.4	0.004	0.014	8	0.442	7	1	0.75	8	4	
29.285	0.249	59.4	0.004	0.019	10	0.442	7	1	0.75	8	4	
35.142	0.248	59.4	0.004	0.02	12	0.442	7	1	0.75	8	4	
40.999	0.425	59.4	0.004	0.028	14	0.442	7	1	0.75	8	4	
46.856	0.551	59.4	0.004	0.034	16	0.442	7	1	0.75	8	4	
48.320	0.646	59.4	0.004	0.038	17	0.442	7	1	0.75	8	4	SD-0408-0.75-02
7.321	0.096	59.4	0.008	0.014	5	0.442	6	2	0.75	8	4	
14.642	0.217	59.4	0.008	0.021	10	0.442	6	2	0.75	8	4	
21.964	0.262	59.4	0.008	0.025	15	0.442	6	2	0.75	8	4	
29.285	0.383	59.4	0.008	0.032	20	0.442	6	2	0.75	8	4	
34.556	0.520	59.4	0.008	0.039	24	0.442	6	2	0.75	8	4	

تابع الجدول (3-1-4-2) نتائج الدراسة الرياضية للسلسلة SD ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 59.4 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ξ_c inch	u inch	P kips	A_s inch ²	l_u inch	l_b inch	d_s inch	H_c inch	D_c inch	النموذج
9.762	0.109	59.4	0.011	0.019	10	0.442	5	3	0.75	8	4	SD-0408-0.75-03
14.642	0.214	59.4	0.011	0.025	15	0.442	5	3	0.75	8	4	
19.523	0.319	59.4	0.011	0.031	20	0.442	5	3	0.75	8	4	
24.404	0.450	59.4	0.011	0.038	25	0.442	5	3	0.75	8	4	
26.844	0.579	59.4	0.011	0.044	28	0.442	5	3	0.75	8	4	
5.857	0.035	59.4	0.004	0.007	2	0.442	11	1	0.75	12	6	SD-0612-0.75-01
11.714	0.171	59.4	0.004	0.014	4	0.442	11	1	0.75	12	6	
17.571	0.231	59.4	0.004	0.018	6	0.442	11	1	0.75	12	6	
23.428	0.367	59.4	0.004	0.025	8	0.442	11	1	0.75	12	6	
29.285	0.504	59.4	0.004	0.032	10	0.442	11	1	0.75	12	6	
35.142	0.640	59.4	0.004	0.039	12	0.442	11	1	0.75	12	6	
40.999	0.878	59.4	0.004	0.05	14	0.442	11	1	0.75	12	6	
43.927	1.035	59.4	0.004	0.057	15	0.442	11	1	0.75	12	6	
7.321	0.083	59.4	0.007	0.014	5	0.442	10	2	0.75	12	6	SD-0612-0.75-02
14.642	0.167	59.4	0.007	0.021	10	0.442	10	2	0.75	12	6	
21.964	0.453	59.4	0.007	0.036	15	0.442	10	2	0.75	12	6	
29.285	0.715	59.4	0.007	0.05	20	0.442	10	2	0.75	12	6	
33.970	1.188	59.4	0.007	0.071	23	0.442	10	2	0.75	12	6	
4.881	0.067	59.4	0.005	0.011	5	0.442	9	3	0.75	12	6	SD-0612-0.75-03
9.762	0.237	59.4	0.005	0.021	10	0.442	9	3	0.75	12	6	
14.642	0.431	59.4	0.005	0.032	15	0.442	9	3	0.75	12	6	
19.523	0.531	59.4	0.005	0.0393	20	0.442	9	3	0.75	12	6	
24.404	0.718	59.4	0.005	0.05	25	0.442	9	3	0.75	12	6	
28.797	1.005	59.4	0.005	0.0643	30	0.442	9	3	0.75	12	6	
29.285	1.903	59.4	0.005	0.1	30	0.442	9	3	0.75	12	6	
0.000	0.130	59.4	0.004	0.0091	0	0.442	15	1	0.75	16	8	SD-0816-0.75-01
5.857	0.073	59.4	0.004	0.0091	2	0.442	15	1	0.75	16	8	
11.714	0.016	59.4	0.004	0.0091	4	0.442	15	1	0.75	16	8	
17.571	0.191	59.4	0.004	0.0182	6	0.442	15	1	0.75	16	8	
23.428	0.365	59.4	0.004	0.0273	8	0.442	15	1	0.75	16	8	
29.285	0.423	59.4	0.004	0.0318	10	0.442	15	1	0.75	16	8	
35.142	0.598	59.4	0.004	0.0409	12	0.442	15	1	0.75	16	8	
40.999	0.744	59.4	0.004	0.0489	14	0.442	15	1	0.75	16	8	
46.856	1.292	59.4	0.004	0.0727	16	0.442	15	1	0.75	16	8	

تابع الجدول (3-1-4-2) نتائج الدراسة الرياضية للسلسلة SD ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 59.4 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ξ_c inch	u inch	P kips	A_s inch ²	l_u inch	l_b inch	d_s inch	H_c inch	D_c inch	النموذج
7.321	0.084	59.4	0.004	0.0125	5	0.442	14	2	0.75	16	8	SD-0816-0.75-02
14.642	0.269	59.4	0.004	0.025	10	0.442	14	2	0.75	16	8	
21.964	0.335	59.4	0.004	0.0328	15	0.442	14	2	0.75	16	8	
29.285	0.480	59.4	0.004	0.0437	20	0.442	14	2	0.75	16	8	
36.606	0.665	59.4	0.004	0.0562	25	0.442	14	2	0.75	16	8	
43.927	1.168	59.4	0.004	0.0812	30	0.442	14	2	0.75	16	8	
45.391	1.619	59.4	0.004	0.1	31	0.442	14	2	0.75	16	8	
4.881	0.093	59.4	0.004	0.0125	5	0.442	13	3	0.75	16	8	SD-0816-0.75-03
9.762	0.288	59.4	0.004	0.025	10	0.442	13	3	0.75	16	8	
14.642	0.363	59.4	0.004	0.0328	15	0.442	13	3	0.75	16	8	
19.523	0.518	59.4	0.004	0.0437	20	0.442	13	3	0.75	16	8	
24.404	0.712	59.4	0.004	0.0562	25	0.442	13	3	0.75	16	8	
29.285	0.907	59.4	0.004	0.0687	30	0.442	13	3	0.75	16	8	
31.725	1.006	59.4	0.004	0.075	33	0.442	13	3	0.75	16	8	
0.000	0.076	59.4	0.004	0.007	0	0.196	7	1	0.5	8	4	SD-0408-0.5-01
8.785	0.202	59.4	0.004	0.0143	2	0.196	7	1	0.5	8	4	
17.571	0.232	59.4	0.004	0.0178	4	0.196	7	1	0.5	8	4	
26.356	0.355	59.4	0.004	0.025	6	0.196	7	1	0.5	8	4	
35.142	0.476	59.4	0.004	0.0321	8	0.196	7	1	0.5	8	4	
43.927	0.780	59.4	0.004	0.0464	10	0.196	7	1	0.5	8	4	
46.123	1.128	59.4	0.004	0.0607	11	0.196	7	1	0.5	8	4	
4.393	0.048	59.4	0.004	0.0079	2	0.196	6	2	0.5	8	4	SD-0408-0.5-02
8.785	0.198	59.4	0.004	0.0158	4	0.196	6	2	0.5	8	4	
13.178	0.279	59.4	0.004	0.021	6	0.196	6	2	0.5	8	4	
17.571	0.363	59.4	0.004	0.0263	8	0.196	6	2	0.5	8	4	
21.964	0.446	59.4	0.004	0.0316	10	0.196	6	2	0.5	8	4	
26.356	0.527	59.4	0.004	0.0368	12	0.196	6	2	0.5	8	4	
30.749	0.611	59.4	0.004	0.0421	14	0.196	6	2	0.5	8	4	
35.142	0.827	59.4	0.004	0.0526	16	0.196	6	2	0.5	8	4	
7.321	0.191	59.4	0.004	0.0157	5	0.196	5	3	0.5	8	4	SD-0408-0.5-03
14.642	0.374	59.4	0.004	0.0271	10	0.196	5	3	0.5	8	4	
21.964	0.596	59.4	0.004	0.04	15	0.196	5	3	0.5	8	4	
27.088	1.030	59.4	0.004	0.06	19	0.196	5	3	0.5	8	4	
29.285	1.178	59.4	0.004	0.0671	20	0.196	5	3	0.5	8	4	

تابع الجدول (3-1-4-2) نتائج الدراسة الرياضية للسلسلة SD ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 59.4 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ξ_c inch	u inch	P kips	A_s inch ²	l_u inch	l_b inch	d_s inch	H_c inch	D_c inch	النموذج
10.982	0.101	59.4	0.004	0.0111	5	0.786	15	1	1	16	8	SD-0816-1-01
21.964	0.303	59.4	0.004	0.0222	10	0.786	15	1	1	16	8	
32.945	0.498	59.4	0.004	0.033	15	0.786	15	1	1	16	8	
43.927	0.850	59.4	0.004	0.05	20	0.786	15	1	1	16	8	
49.418	1.234	59.4	0.004	0.0667	23	0.786	15	1	1	16	8	
7.321	0.124	59.4	0.004	0.0143	10	0.786	13	3	1	16	8	SD-0816-1-03
14.642	0.257	59.4	0.004	0.025	20	0.786	13	3	1	16	8	
21.964	0.571	59.4	0.004	0.0428	30	0.786	13	3	1	16	8	
29.285	0.708	59.4	0.004	0.0536	40	0.786	13	3	1	16	8	
36.606	1.022	59.4	0.004	0.0714	50	0.786	13	3	1	16	8	
43.195	1.352	59.4	0.004	0.0893	59	0.786	13	3	1	16	8	

الجدول (4-1-4-2) نتائج الدراسة الرياضية للسلسلة SF ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 48.6 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ξ_c inch	u inch	P kips	A_s inch ²	l_u inch	l_b inch	d_s inch	H_c inch	D_c inch	النموذج
7.321	0.085	48.6	0.007	0.0141	10	0.786	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
10.982	0.154	48.6	0.007	0.0187	15	0.786	9	3	1	12	6	
14.642	0.266	48.6	0.007	0.025	20	0.786	9	3	1	12	6	
18.303	0.457	48.6	0.007	0.0344	25	0.786	9	3	1	12	6	
21.964	0.806	48.6	0.007	0.05	30	0.786	9	3	1	12	6	
7.321	0.176	48.6	0.008	0.0187	10	0.786	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
10.982	0.288	48.6	0.008	0.025	15	0.786	9	3	1	12	6	
14.642	0.558	48.6	0.008	0.0375	20	0.786	9	3	1	12	6	
18.303	0.668	48.6	0.008	0.0437	25	0.786	9	3	1	12	6	
21.964	0.938	48.6	0.008	0.0562	30	0.786	9	3	1	12	6	
23.062	1.124	48.6	0.008	0.0641	32	0.786	9	3	1	12	6	
10.982	0.103	48.6	0.009	0.0187	15	0.786	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
14.642	0.215	48.6	0.009	0.025	20	0.786	9	3	1	12	6	
18.303	0.325	48.6	0.009	0.0312	25	0.786	9	3	1	12	6	
21.964	0.437	48.6	0.009	0.0375	30	0.786	9	3	1	12	6	
25.258	0.554	48.6	0.009	0.0438	35	0.786	9	3	1	12	6	

تابع الجدول (4-1-4-2) نتائج الدراسة الرياضية للسلسلة SF ذات المقاومة المكيبة للخرسانة 48.6 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ξ_c inch	u inch	P kips	A_s inch ²	l_u inch	l_b inch	d_s inch	H_c inch	D_c inch	النموذج
3.661	0.305	48.6	0.008	0.0219	5	0.786	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
7.321	0.575	48.6	0.008	0.0344	10	0.786	9	3	1	12	6	
10.982	0.763	48.6	0.008	0.0437	15	0.786	9	3	1	12	6	
14.642	0.876	48.6	0.008	0.05	20	0.786	9	3	1	12	6	
18.303	1.067	48.6	0.008	0.0594	25	0.786	9	3	1	12	6	
21.964	1.176	48.6	0.008	0.0656	30	0.786	9	3	1	12	6	
22.696	1.246	48.6	0.008	0.0687	31	0.786	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
7.321	0.037	48.6	0.008	0.0132	10	0.786	9	3	1	12	6	
10.982	0.189	48.6	0.008	0.0211	15	0.786	9	3	1	12	6	
14.642	0.274	48.6	0.008	0.0263	20	0.786	9	3	1	12	6	
18.303	0.361	48.6	0.008	0.0316	25	0.786	9	3	1	12	6	
21.964	0.445	48.6	0.008	0.0368	30	0.786	9	3	1	12	6	
22.696	0.435	48.6	0.008	0.0368	31	0.786	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
7.321	0.044	48.6	0.007	0.0125	10	0.786	9	3	1	12	6	
10.982	0.154	48.6	0.007	0.0187	15	0.786	9	3	1	12	6	
14.642	0.266	48.6	0.007	0.025	20	0.786	9	3	1	12	6	
18.303	0.378	48.6	0.007	0.0313	25	0.786	9	3	1	12	6	
19.526	0.362	48.6	0.007	0.0313	27	0.786	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
3.661	0.016	48.6	0.008	0.0105	5	0.786	9	3	1	12	6	
7.321	0.103	48.6	0.008	0.0158	10	0.786	9	3	1	12	6	
10.982	0.321	48.6	0.008	0.0263	15	0.786	9	3	1	12	6	
14.642	0.408	48.6	0.008	0.0316	20	0.786	9	3	1	12	6	
18.303	0.493	48.6	0.008	0.0368	25	0.786	9	3	1	12	6	
21.964	0.579	48.6	0.008	0.0421	30	0.786	9	3	1	12	6	
23.186	0.597	48.6	0.008	0.0434	32	0.786	9	3	1	12	6	SF-0612-1-01
4.393	0.180	48.6	0.003	0.011	2	0.786	11	1	1	12	6	
8.785	0.240	48.6	0.003	0.0143	4	0.786	11	1	1	12	6	
13.178	0.489	48.6	0.003	0.025	6	0.786	11	1	1	12	6	
17.571	0.646	48.6	0.003	0.0321	8	0.786	11	1	1	12	6	
21.964	0.805	48.6	0.003	0.0393	10	0.786	11	1	1	12	6	
26.356	1.054	48.6	0.003	0.05	12	0.786	11	1	1	12	6	
28.553	1.314	48.6	0.003	0.0607	13	0.786	11	1	1	12	6	

تابع الجدول (4-1-4-2) نتائج الدراسة الرياضية للسلسلة SF ذات المقاومة المكمبة للخرسانة 48.6 MPa

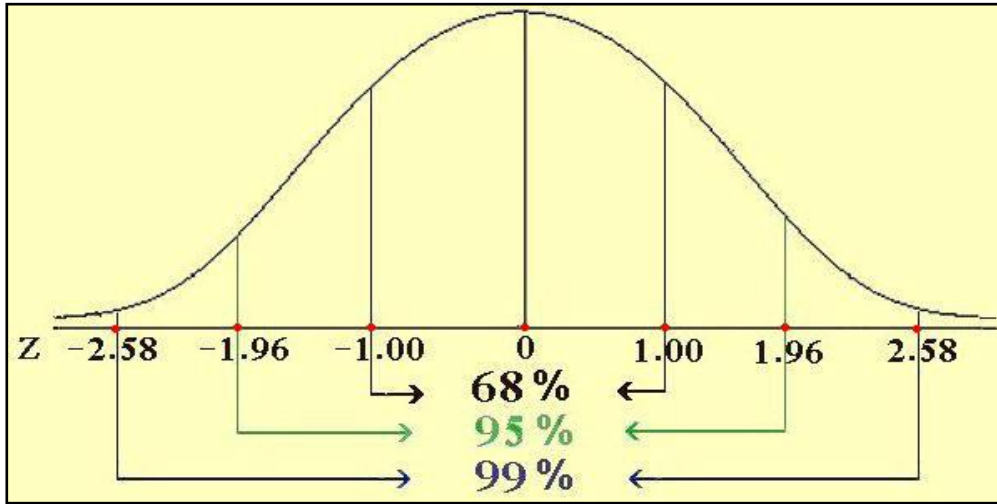
τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ξ_c inch	u inch	P kips	A_s inch ²	l_u inch	l_b inch	d_s inch	H_c inch	D_c inch	النموذج
4.393	0.058	48.6	0.003	0.0062	2	0.786	11	1	1	12	6	SF-0612-1-01
8.785	0.195	48.6	0.003	0.0125	4	0.786	11	1	1	12	6	
13.178	0.329	48.6	0.003	0.0187	6	0.786	11	1	1	12	6	
17.571	0.465	48.6	0.003	0.025	8	0.786	11	1	1	12	6	
21.964	0.599	48.6	0.003	0.0312	10	0.786	11	1	1	12	6	
26.356	1.054	48.6	0.003	0.05	12	0.786	11	1	1	12	6	
28.553	1.359	48.6	0.003	0.0625	13	0.786	11	1	1	12	6	
4.393	0.127	48.6	0.002	0.0079	2	0.786	11	1	1	12	6	SF-0612-1-01
8.785	0.238	48.6	0.002	0.0132	4	0.786	11	1	1	12	6	
13.178	0.346	48.6	0.002	0.0184	6	0.786	11	1	1	12	6	
17.571	0.458	48.6	0.002	0.0237	8	0.786	11	1	1	12	6	
21.964	0.533	48.6	0.002	0.0276	10	0.786	11	1	1	12	6	
26.356	0.779	48.6	0.002	0.0382	12	0.786	11	1	1	12	6	
30.749	0.990	48.6	0.002	0.0474	14	0.786	11	1	1	12	6	
34.702	1.134	48.6	0.002	0.0539	16	0.786	11	1	1	12	6	
3.661	0.117	48.6	0.006	0.0125	5	0.786	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
7.321	0.387	48.6	0.006	0.025	10	0.786	9	3	1	12	6	
10.982	0.497	48.6	0.006	0.0312	15	0.786	9	3	1	12	6	
14.642	0.766	48.6	0.006	0.0437	20	0.786	9	3	1	12	6	
18.303	0.957	48.6	0.006	0.0531	25	0.786	9	3	1	12	6	
19.035	0.948	48.6	0.006	0.0531	26	0.786	9	3	1	12	6	
7.321	0.176	48.6	0.008	0.0187	10	0.786	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
10.982	0.288	48.6	0.008	0.025	15	0.786	9	3	1	12	6	
14.642	0.398	48.6	0.008	0.0312	20	0.786	9	3	1	12	6	
18.303	0.510	48.6	0.008	0.0375	25	0.786	9	3	1	12	6	
21.964	0.620	48.6	0.008	0.0437	30	0.786	9	3	1	12	6	
23.428	0.601	48.6	0.008	0.0437	32	0.786	9	3	1	12	6	
7.321	0.097	48.6	0.008	0.0156	10	0.786	9	3	1	12	6	SF-0612-1-03
10.982	0.130	48.6	0.008	0.0188	15	0.786	9	3	1	12	6	
14.642	0.241	48.6	0.008	0.025	20	0.786	9	3	1	12	6	
18.303	0.350	48.6	0.008	0.0312	25	0.786	9	3	1	12	6	
21.964	0.463	48.6	0.008	0.0375	30	0.786	9	3	1	12	6	
23.794	0.596	48.6	0.008	0.0437	33	0.786	9	3	1	12	6	

2-4-2 الدراسة الاحتمالية للبيانات (إجهاد تماسك-انزلاق):

أجرينا دراسة احتمالية على البيانات إجهاد التماسك-الانزلاق التي استنتجت وفق الفقرة 1-4-2، حيث تمّت معالجة هذه البيانات باستعمال برنامج خاص برسم المنحنيات Graph4.3، أدخلت بيانات كل سلسلة من النماذج لوحدها لمعرفة تأثير المقاومة الخرسانية على العلاقة إجهاد التماسك-الانزلاق.

قمنا بتطبيق نظرية الإحصاء على هذه البيانات واستنتجنا منحنيات التناثر الإحصائي التي تربط فيما بينها، و تمّ تمثيل هذه المنحنيات بشكل مقارب لمنحني غاوس (Gauss) الذي يمثل منحني التوزيع الطبيعي في علم الإحصاء، أي تمّ حصر البيانات بين منحنيين يمثلان القيم الاحتمالية العليا و القيم الاحتمالية الدنيا و مثّلت القيم الوسطية بمنحني وسطي يتوضع بين المنحنيين السابقين.

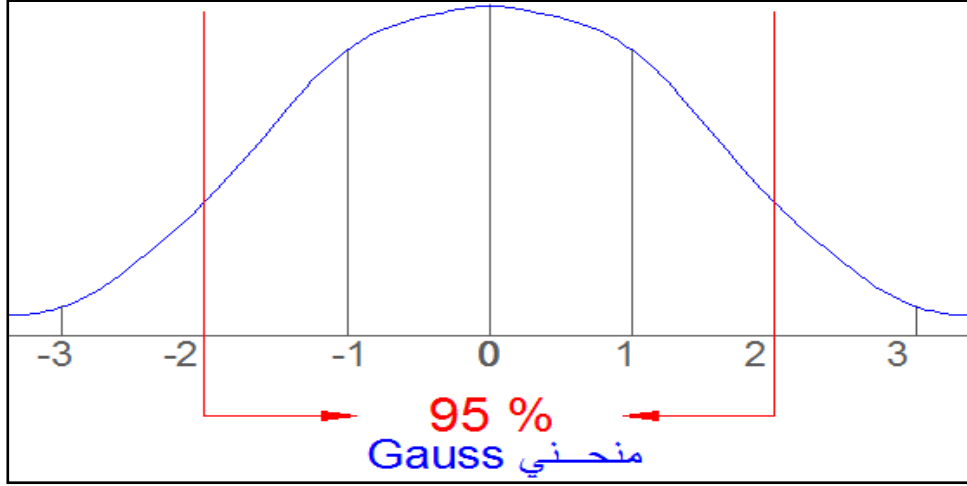
إن منحني Gauss (منحني التوزيع الطبيعي) يأخذ القيم الاحتمالية الثلاث التالية المبينة بين الأسهم كما يظهر بالشكل (1-2-4-2):



الشكل (1-2-4-2) منحني غاوس (Gauss)

نلاحظ من الشكل (1-2-4-2) أنّ القيم الاحتمالية التي يمثلها منحني Gauss للبيانات الاحصائية في علم الاحصاء هي القيم 68% ، 95% ، 99% و تكون القيم الشاذة المقابلة لها هي 32% ، 5% ، 1% على الترتيب، حيث أنّ القيمة الاحتمالية 95% على سبيل المثال تدلّ على أنّ نسبة البيانات الاحصائية المدروسة الواقعة بين السهمين الموجودين على المخطط هو 95%، و تكون نسبة القيم المتطرفة (الشاذة) الواقعة خارج السهمين في هذه الحالة هي بنسبة 5%.

إنّ القيم الاحتماليّة المتوافقة مع بيانات بحثنا و التي تعبر عن دقة و مدى الإرتباط بين هذه البيانات بشكل جيد كانت القيم الاحتماليّة 95% ، 5% كقيمة احتماليّة عليا و قيمة احتماليّة دنيا على الترتيب، و تمّ تمثيل منحنيات التناثر الإحتمالي الناتجة في هذا البحث حسب هذه القيم بشكل مقارب لمنحني Gauss الموضّح بالشكل (2-2-4-2):



الشكل (2-2-4-2) منحني غاوس (Gauss) لبيانات هذا البحث

كذلك تمّ استنتاج معادلة كل منحني لعلاقة إجهاد التماسك-الانزلاق كل على حدا في هذه المرحلة من مراحل تقييم الدراسة التجريبيّة، و الأشكال التوضيحية المستعرضة تبينّ منحنيات التناثر الإحتمالي لعلاقة إجهاد التماسك-الانزلاق الناتجة من هذه المرحلة، حيث تمّ توضيح اتجاه الصبّ للعينات الخرسانيّة على الأشكال التوضيحية و هو باتجاه توضع قضبان التسليح المتمركزة في منتصف العينة الخرسانيّة الأسطوانية، كذلك تمّت كتابة الشكل العام للعلاقة إجهاد التماسك-الانزلاق المعلّلة احتماليّاً على كلّ شكل من هذه الأشكال، كما يبيّن الجدول الموجود على كلّ شكل ثوابت هذه العلاقة (A,N) لكلّ منحني من المنحنيات حسب القيمة الاحتماليّة المتوافقة معه، كذلك تمّ توضيح منحني Gauss على كلّ شكل أيضاً.

القيم الاحتماليّة التي تمثّل المنحنيات المستعرضة كما ذكرنا هي التالية:

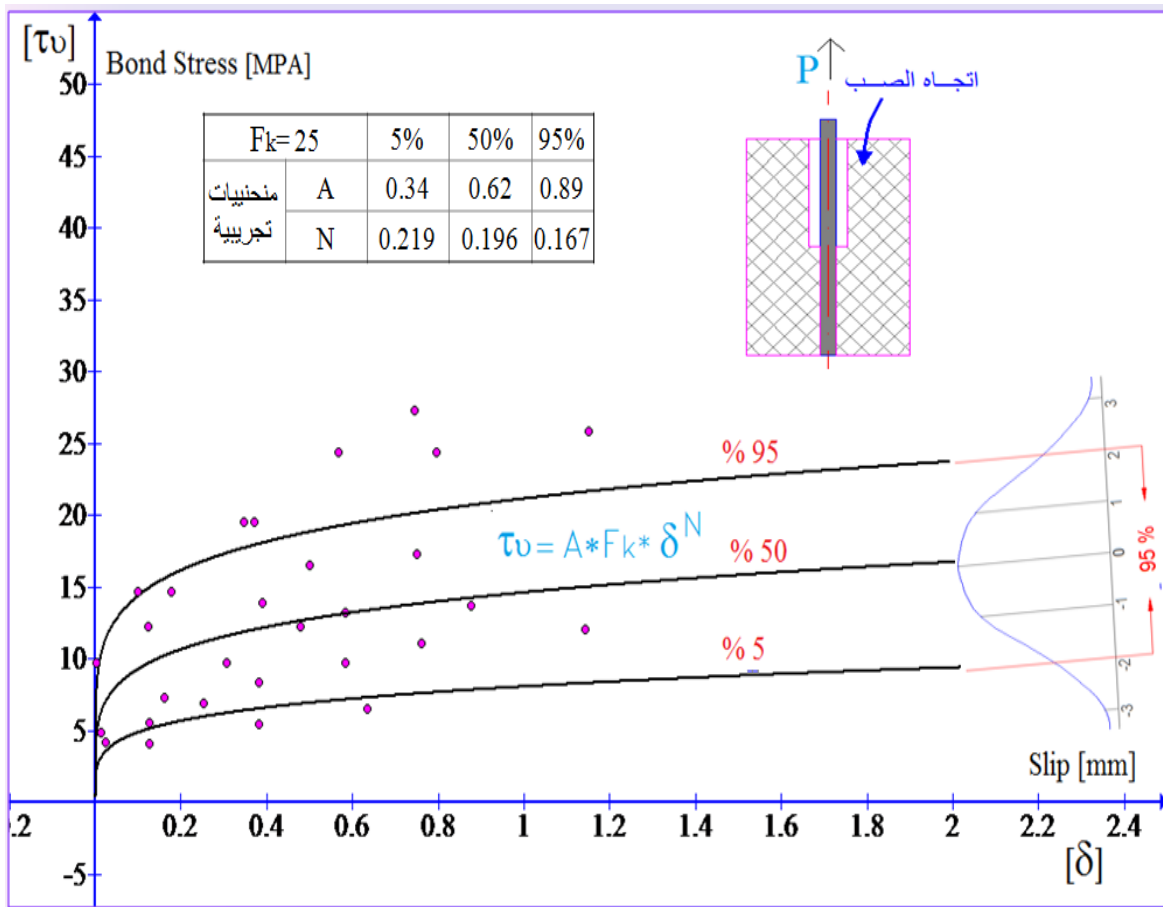
◆ القيمة الاحتماليّة 95% للمنحني المقارب العلوي.

◆ القيمة الاحتماليّة 50% للمنحني الوسطي.

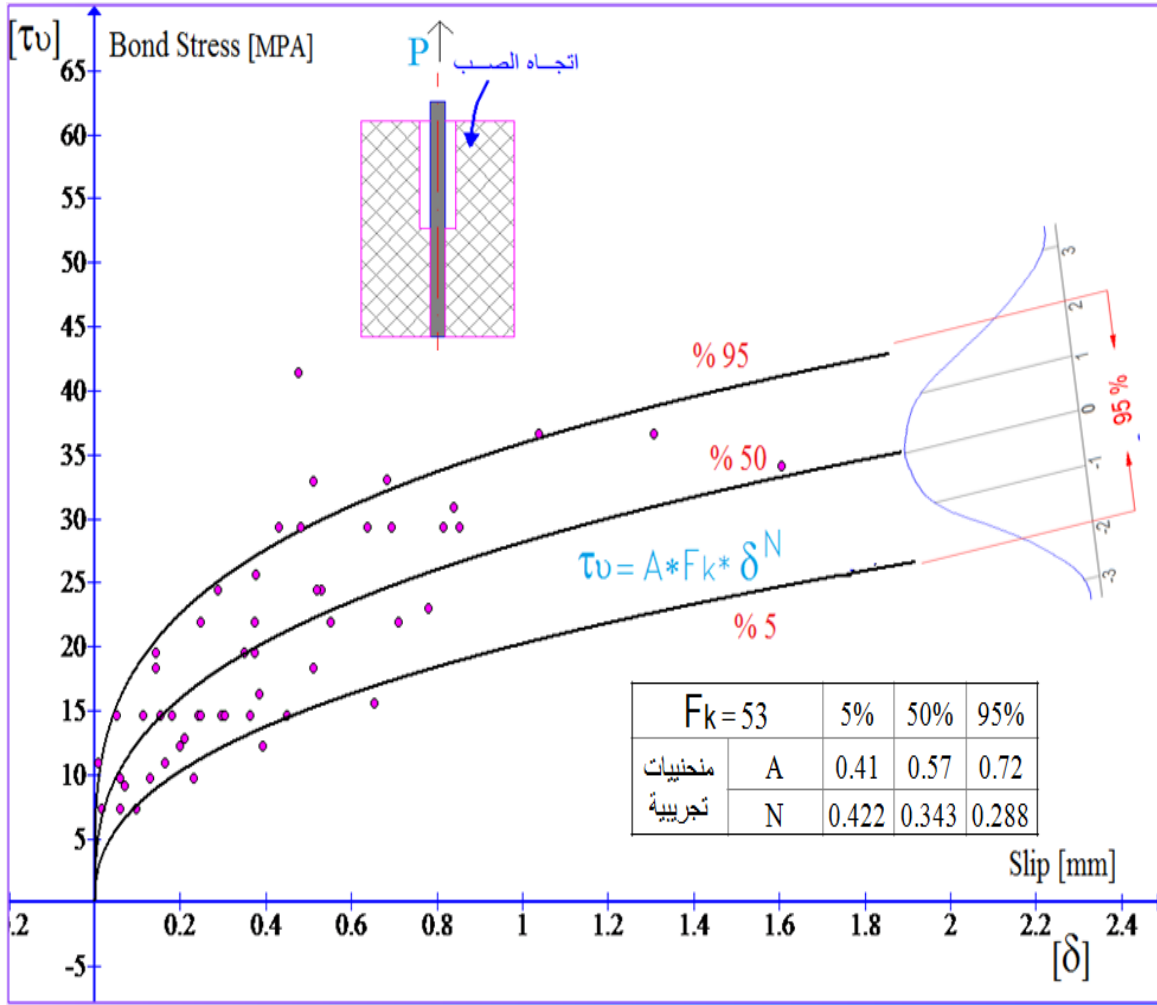
◆ القيمة الاحتماليّة 5% للمنحني المقارب السفلي.

إنَّ النقاط الظاهرة على هذه الأشكال التوضيحية تمثِّل البيانات إجهاد التماسك-الانزلاق الناتجة من الدراسة الرياضيّة، حيث أنَّ لكل نقطة من هذه البيانات فاصلة و ترتيب، و يمثِّل ترتيب كلِّ نقطة منها قيمة إجهاد التماسك، و تمثِّل فاصلتها قيمة الانزلاق النسبي الموافق لإجهاد التماسك.

و الأشكال التوضيحية التالية المبينة أدناه تظهر هذه المنحنيات و ثابِت العلاقة العامّة التي تمثِّل كلَّ منها.

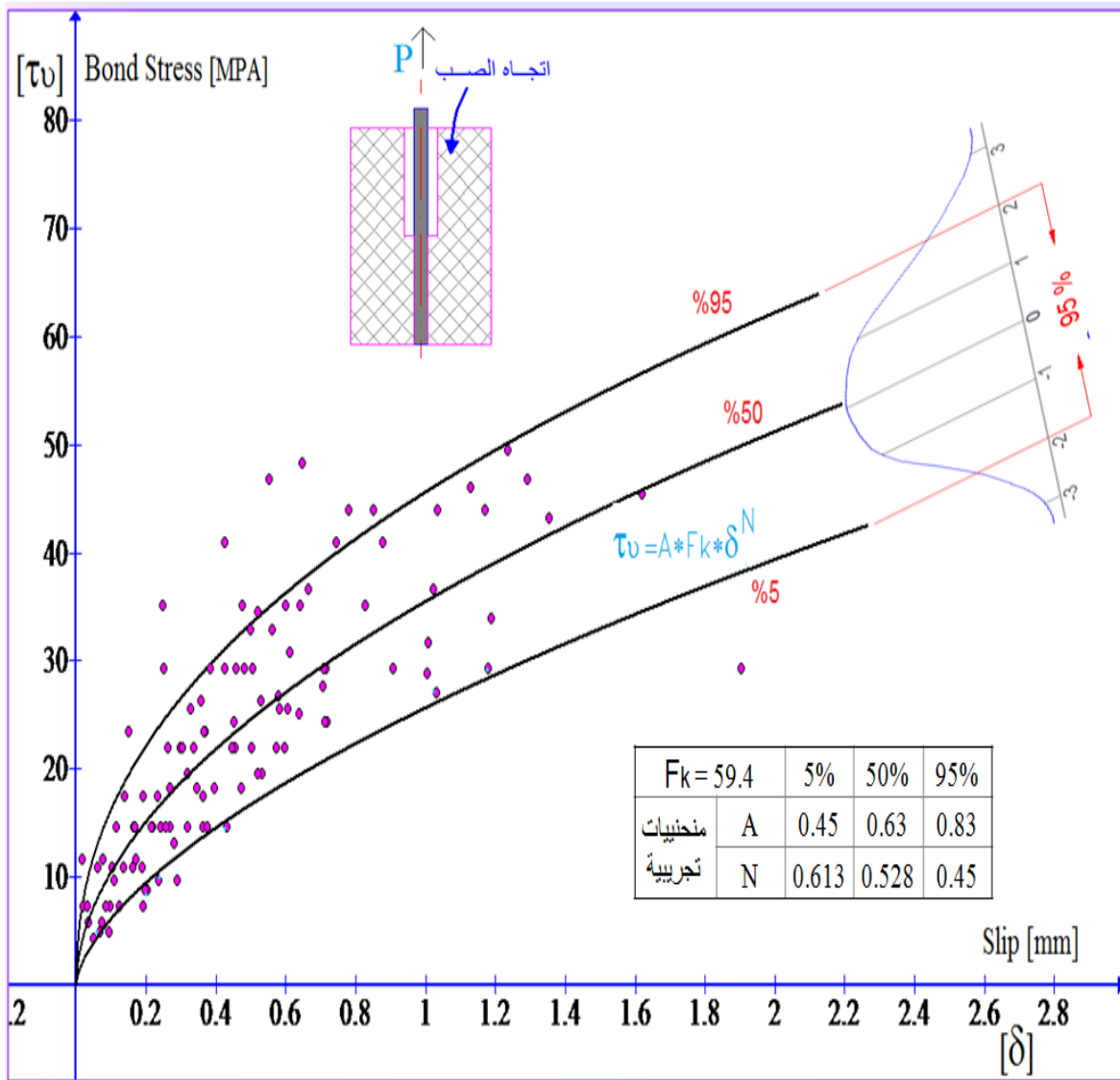


الشكل (3-2-4-2) العلاقة التجريبية المعلّلة احتماليّاً لإجهاد التماسك-الانزلاق للسلسلة SA حيث المقاومة المعبّية للخرسانة = 25 MPa

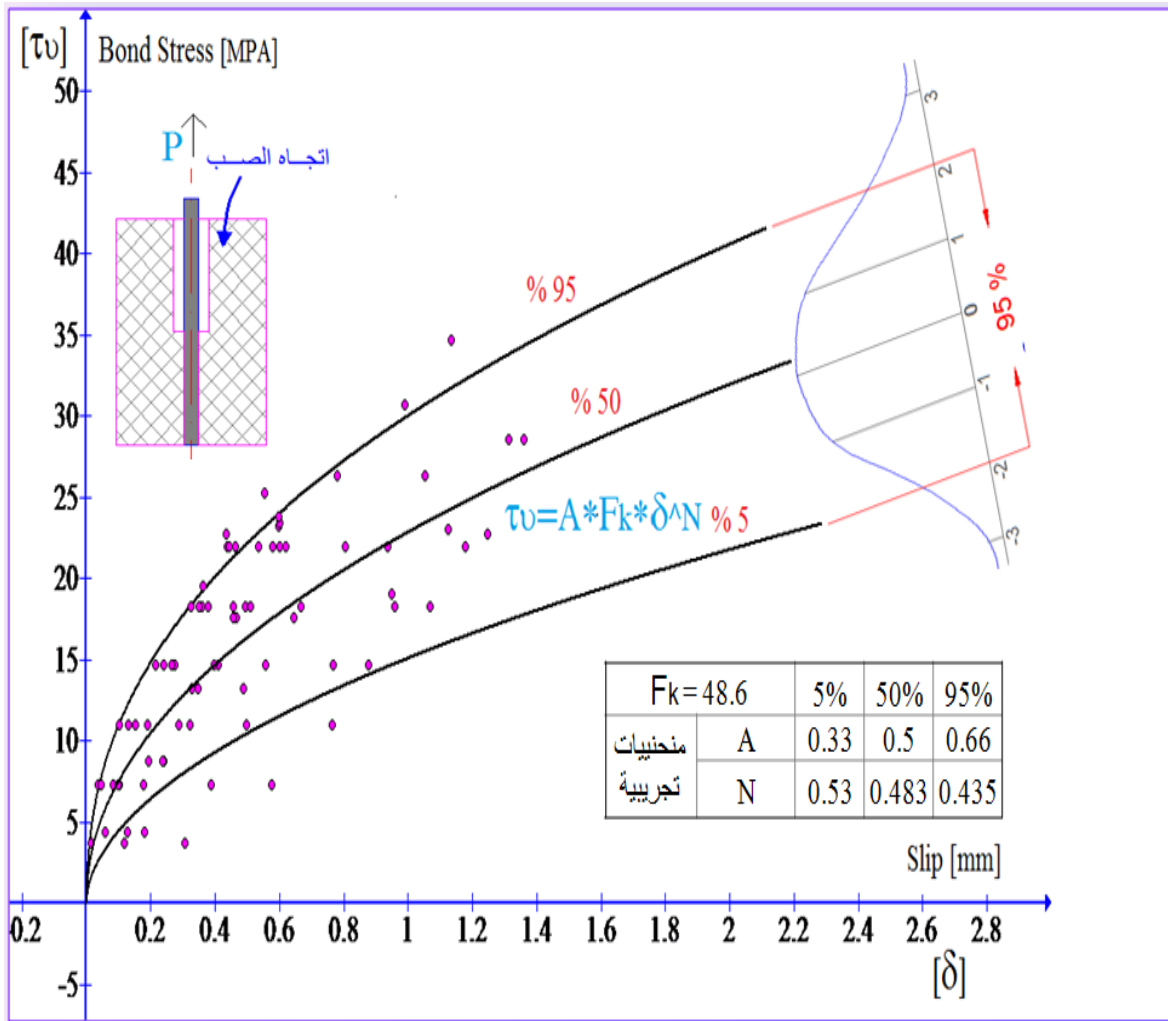


الشكل (4-2-4-2) العلاقة التجريبية المعطلة احتماليًا لإجهاد التماسك-الانزلاق للسلسلة SC حيث المقاومة المعكبية للخرسانة = 53 MPa

نلاحظ من الشكلين السابقين أنه تم حصر البيانات بين منحنين يمثلان القيم الاحتمالية العليا و القيم الاحتمالية الدنيا لإجهادات التماسك و مثلت القيم الوسطية بمنحني وسطي يتوسط بين المنحنيين السابقين بينما تتواجد النقاط الشاذة خارج المنطقة المحصورة بالبيانات.



الشكل (5-2-4-2) العلاقة التجريبية المعتمدة احتماليًا لإجهاد التماسك-الانزلاق للسلسلة SD حيث المقاومة المعيارية للخرسانة = 59.4 MPa



الشكل (6-2-4-2) العلاقة التجريبية المعطلة احتماليًا لإجهاد التماسك-الانزلاق للسلسلة SF حيث المقاومة المعطية للخرسانة = 48.6 MPa

5-2 الشّكل العام لعلاقة إجهاد التماسك-الانزلاق المعلّلة احتمالياً المستنتجة من تقييم دراسة

Martin J.S. التجريبية:

من خلال المنحنيات الناتجة من الدراسة الاحتمالية نلاحظ أن العلاقة بين إجهاد التماسك ما بين الفولاذ و الخرسانة τ_v ، و بين الانزلاق النسبي الحاصل بين المادتين δ والتي تمثل قانون التماسك هي علاقة أسية بشكل تابع للمقاومة المكعبية للخرسانة، و تأخذ الشّكل العام الموضّح على الأشكال التوضيحية السابقة و هو بالشّكل التالي:

$$\tau_v = A * F_k * \delta^N$$

حيث:

τ_v : إجهاد التماسك بين الفولاذ و الخرسانة.

A: ثابت يتعلّق بالمنحني حسب قيمته الاحتمالية

F_k : المقاومة المكعبية للخرسانة المسلّحة و تأخذ القيمة التالية:

$$F_k = f'_c / 0.83$$

حيث f'_c : المقاومة الأسطوانية للخرسانة المسلّحة.

δ : الانزلاق النسبي الحاصل بين الفولاذ و الخرسانة.

N: ثابت يتعلّق بالمنحني حسب قيمته الاحتمالي

تمثّل العلاقة السابقة المعادلة العامّة لجميع منحنيات التناثر الاحتمالي للعلاق إجهاد التماسك-الانزلاق.

تختلف ثوابت المعادلة من منحنى لآخر حسب القيمة الاحتمالية لكل منحنى سواء كانت 5% ، 50% أو 95% ، هذه

الثوابت مرتبة في الجداول المتوضّعة على الأشكال التوضيحية التي تمّ عرضها.

6 2 الخلاصة: Conclusion

تضمن هذا الفصل تقييماً للنتائج التجريبية لبحث Martin J.S. [3]، حيث تم الحصول على البيانات إجهاد التماسك-الانزلاق من البيانات قوة-انتقال التجريبية من خلال إجراء دراسة رياضية عليها، و من ثم إجراء دراسة احتمالية على البيانات إجهاد التماسك-الانزلاق باستخدام نظرية الاحصاء، وتم استنتاج و رسم منحنيات التناثر الاحتمالي للعلاقة إجهاد التماسك-الانزلاق من تلك البيانات التجريبية السابقة باستخدام برنامج خاص برسم المنحنيات Graph4.3، حيث تم الوصول الى الشكل العام للعلاقة إجهاد التماسك-الانزلاق بشكل علاقة معقدة احتمالياً و التي تمثل قانوناً للتماسك.

و سيتم في الفصل القادم تقديم دراسة تحليلية بطريقة العناصر المحدودة لنفس النماذج التجريبية المستعرضة في هذا الفصل و بنفس المتغيرات، و استنتاج المعادلات و منحنيات التناثر الاحتمالي من البيانات الناتجة بنفس الطريقة و سوف نقارنها مع نتائج تقييم الدراسة التجريبية التي تم عرضها في هذا الفصل.

الفصل الثالث

الدراسة التحليلية لإجهادات التماسك باستخدام طريقة العناصر المحدودة

Analytical Study of Bond Stress Using Finite Element Method

1 3 المقدمة : Introduction

سيتمّ ضمن هذا الفصل إجراء نمذجة لآلية التماسك بين الفولاذ و الخرسانة باستخدام طريقة العناصر المحدودة باستعمال برنامج ABAQUS 6.5، حيث سيتمّ إنشاء نموذج انسحاب تحليلي للتماسك مكافئ لنموذج الانسحاب التجريبي المدروس في الفصل الثاني، أي أنّ النماذج المنجزة في الدراسة التحليلية باستخدام برنامج ABAQUS 6.5 هي ذات النماذج التجريبية المستعرضة في الفصل الثاني، حيث تمّ اعتماد متغيرات الدراسة التجريبية نفسها في الدراسة التحليلية من أجل دقة المقارنة بين نتائج الدراستين.

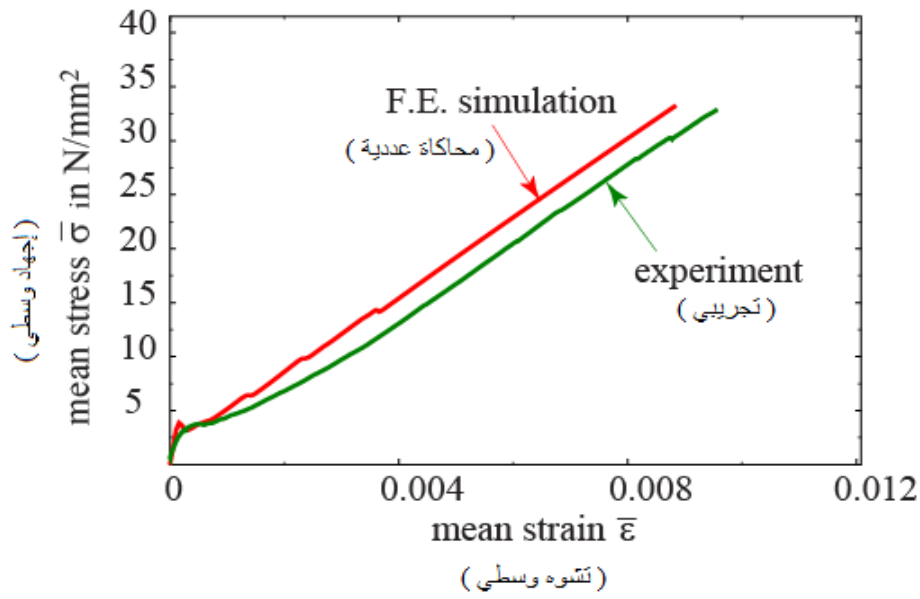
و يعرض هذا الفصل النتائج الرئيسية من النمذجة المنجزة و التي هي علاقة القوة – انتقال، و سيتمّ بعد ذلك إجراء دراسة رياضية احتمالية على البيانات قوة – انتقال وصولاً لمنحنيات التناثر الإحصائي لعلاقة إجهاد تماسك – انزلاق التي تمثل قانون التماسك على غرار الدراسة الرياضية الإحصائية في البيانات التجريبية المأخوذة من جامعة واشنطن.

2 3 لمحة عامة عن النمذجة باستخدام برنامج ABAQUS:

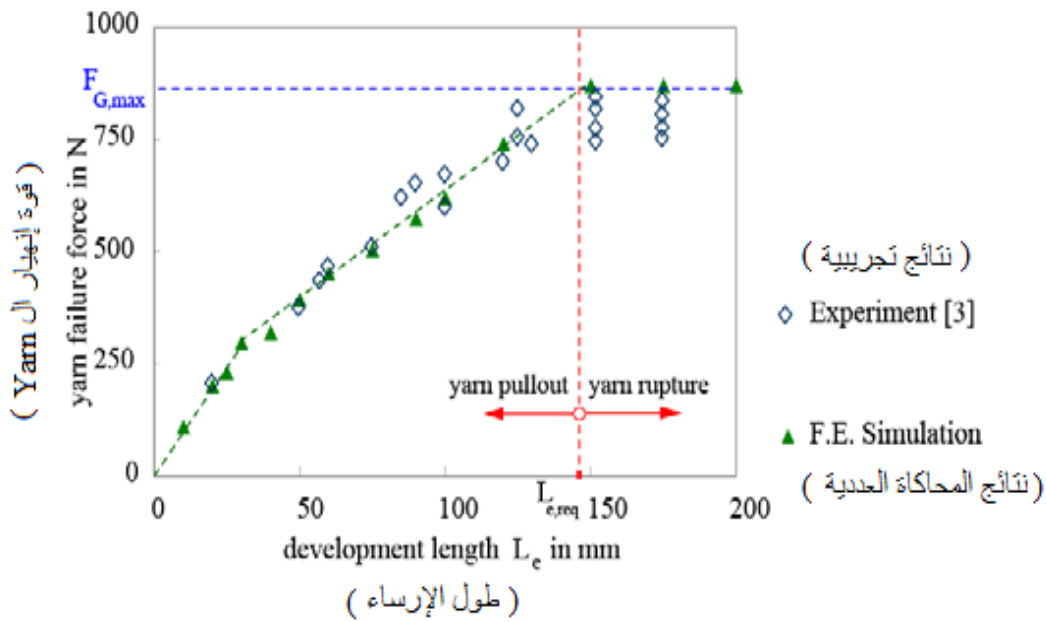
يعدّ برنامج ABAQUS من أحد البرامج الحاسوبية الهامة و المتطورة الذي تتمّ فيه النمذجة استناداً لنظرية العناصر المحدودة، و قد أجريت العديد من الدراسات و الأبحاث العلمية في عدّة جامعات عالمية باستخدام برنامج ABAQUS، و منها موضوع التماسك في المنشآت الخرسانية المسلحة.

حيث قدّم كل من الباحثين Azzam A. و Richter M. [5] في جامعة TU Dresden في ألمانيا عام 2011 دراسة حول ميكانيكية التماسك و آلية انتقال الإجهادات بين التسليح و الخرسانة و تأثير أطوال الإرساء في الخرسانة المسلحة بالألياف (Textile Reinforced Concrete, TRC) و ذلك وفق نظرية العناصر المحدودة باستخدام برنامج ABAQUS، تمّ خلالها إجراء محاكاة عددية لإختبار الانسحاب (Pull out test) من خلال إنشاء نماذج انسحاب فراغية الشكل (Yarns and concrete matrix).

تمّ من خلال هذه المحاكاة العددية التحقق من آلية التماسك و انتقال الإجهادات بين الألياف و الخرسانة و تأثيرها على السلوك العام للخرسانة المسلحة بالألياف (TRC)، و توصّل الباحثين من خلال هذه الدراسة للعلاقة إجهاد وسطي-تنشؤ وسطي و العلاقة ما بين طول الإرساء المطوب و القوة الحدية المقابلة له و مقارنتها مع العلاقات التجريبية كما هو موضّح في الشكلين (1-2-3) و (2-2-3).



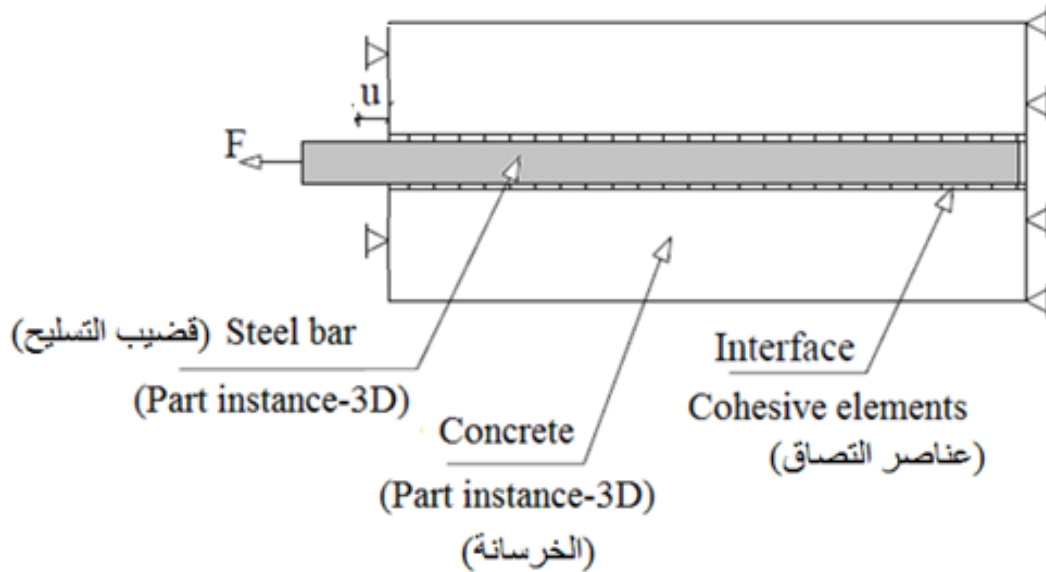
الشكل (1-2-3) علاقة إجهاد وسطي-تشنوه وسطي لنموذج الشد المتشقق طبقاً للتحقق التجريبي و المحاكاة العددية. [5]



الشكل (2-2-3) علاقة قوة الإنهيار - طول الإرساء المطلوب و ذلك تجريبياً و عددياً. [5]

3 3 النموذج الحسابي المستخدم في الدراسة التحليلية: Numerical simulation Model

النموذج الحسابي المستخدم في دراستنا التحليلية هو نموذج انسحاب (Pull-out specimen) مكافئ للنموذج التجريبي المستخدم من قبل Martin J.S. [3]، حيث تم إدخال هذا النموذج الحسابي على برنامج ABAQUS 6.5 باستخدام نفس متغيرات الدراسة التجريبية من أجل دقة النتائج عند المقارنة بين الدراستين التحليلية و التجريبية. يتألف نموذج الانسحاب التحليلي من أسطوانة خرسانية و قضيب تسليح متوضع في منتصفها و بارز من جهة واحدة فقط و معرض لحمولة سحب (Pull-out load) مطبقة على الجزء البارز منه بشكل حمولة انتقال (U). تم تعريف التماسك بين عناصر قضيب التسليح و الخرسانة المحيطة به في النموذج التحليلي من خلال طبقة عناصر الالتصاق (Cohesive elements). يتغير طول الإرساء في النماذج المدروسة حسب طول طبقة عناصر الالتصاق المستمرة على كامل الجزء المغروس من قضيب التسليح ضمن الخرسانة. و يظهر الشكل (1-3-3) نموذج الانسحاب التحليلي المكافئ للنموذج التجريبي.



الشكل (1-3-3) النموذج التحليلي المكافئ للنموذج التجريبي

4 3 متغيرات الدراسة التحليلية: Analytical Parameters

تتضمن هذه الفقرة عرض للمتغيرات التي تمت دراستها في بحثنا، حيث استخدمنا أربع سلاسل من النماذج الخرسانية كانت لها الرموز (SA , SC , SD , SF)، وهي نفسها كما ذكرنا السلاسل المستخدمة في الدراسة التجريبية مع إضافة بعض النماذج، تختلف كل سلسلة عن الأخرى بالمقاومة الخرسانية أي جميع النماذج الموجودة ضمن السلسلة الواحدة لها نفس مقاومة الخرسانة ، و تختلف النماذج ضمن السلسلة الواحدة بعضها عن البعض الآخر بأبعاد العينة الأسطوانية و قطر قضيب التسليح و طول الإرساء.

نتلخص متغيرات الدراسة التحليلية في الآتي:

- أبعاد العينة الخرسانية الأسطوانية من حيث القطر و الارتفاع.
- قطر قضيب التسليح.
- طول الإرساء.
- مقاومة الخرسانة.

سُميت النماذج على الشكل التالي:

رمز السلسلة، قطر الأسطوانة، ارتفاع الأسطوانة، قطر قضيب التسليح، طول الإرساء.
أي حسب التسلسل المذكور لتسمية النماذج التجريبية في الفقرة (2-3)، مع التنويه إلى أن الجزء الخامس من اسم النموذج التحليلي و هو طول الإرساء يمثل (طول طبقة عناصر الالتصاق المستمرة على كامل الجزء المغروس من قضيب التسليح ضمن الخرسانة) و يأخذ الرمز I_b

ملاحظة :

في دراستنا التحليلية بطريقة العناصر المحدودة تم تحويل الوحدات الدولية للمتغيرات المستخدمة من قبل Martin J.S. وهي: (inch) للأبعاد و (Kips) للقوة، إلى الوحدات الدولية (mm) للأبعاد و (N) للقوة من أجل سهولة إدخال المعطيات لبرنامج ABAQUS 6.5، و الجدول (3-4-1) يوضح تفاصيل النماذج المستخدمة في هذه الدراسة التحليلية حسب الصيغة التي ورد تفصيلها أعلاه.

الجدول (1-4-3) تفاصيل متغيرات نماذج التماسك التحليلية

F_K (MPa)	l_u (mm)	l_b (mm)	d_s (mm)	H_c (mm)	D_c (mm)	النموذج
25	150	150	20	300	150	SA-150-300-20-150
	200	100	20	300	150	SA-150-300-20-100
	225	75	20	300	150	SA-150-300-20-75
	225	75	20	300	150	SA-150-300-20-75
	100	200	20	300	150	SA-150-300-20-200
	150	150	20	300	150	SA-150-300-20-150
	225	75	20	300	150	SA-150-300-20-75
	0	300	20	300	150	SA-150-300-20-300
	0	400	25	400	200	SA-200-400-25-400
	100	300	25	400	200	SA-200-400-25-300
	200	200	25	400	200	SA-200-400-25-200
	0	350	28	350	250	SA-250-350-28-350
	175	175	28	350	250	SA-250-350-28-175
	250	50	20	300	150	SC-150-300-20-50
53	225	75	20	300	150	SC-150-300-20-75
	200	100	20	300	150	SC-150-300-20-100
	175	125	20	300	150	SC-150-300-20-125
	150	150	20	300	150	SC-150-300-20-150
	250	50	25	300	150	SC-150-300-25-50
	225	75	25	300	150	SC-150-300-25-75
	200	100	25	300	150	SC-150-300-25-100
	150	150	25	300	150	SC-150-300-25-150
	200	100	28	300	150	SC-150-300-28-100
	325	75	20	400	200	SC-200-400-20-75
	300	100	20	400	200	SC-200-400-20-100
	250	150	20	400	200	SC-200-400-20-150
	325	75	25	400	200	SC-200-400-25-75
	350	50	25	400	200	SC-200-400-25-50
	250	150	25	400	200	SC-200-400-25-150
	300	100	28	400	200	SC-200-400-28-100
	350	50	28	400	200	SC-200-400-28-50
	425	75	20	500	250	SC-250-500-20-75
	425	75	25	500	250	SC-250-500-25-75
	450	50	25	500	250	SC-250-500-25-50

تابع الجدول (1-4-3) تفاصيل متغيرات نماذج التماسك التحليلية

F_K (MPa)	l_u (mm)	l_b (mm)	d_s (mm)	H_c (mm)	D_c (mm)	النموذج
59.4	275	25	25	300	150	SD-150-300-25-25
	250	50	25	300	150	SD-150-300-25-50
	225	75	25	300	150	SD-150-300-25-75
	200	100	20	300	150	SD-150-300-20-100
	175	125	20	300	150	SD-150-300-20-125
	200	100	25	300	150	SD-150-300-25-100
	175	25	20	200	100	SD-100-200-20-25
	150	50	20	200	100	SD-100-200-20-50
	125	75	20	200	100	SD-100-200-20-75
	275	25	20	300	150	SD-150-300-20-25
	250	50	20	300	150	SD-150-300-20-50
	225	75	20	300	150	SD-150-300-20-75
	375	25	20	400	200	SD-200-400-20-25
	350	50	20	400	200	SD-200-400-20-50
	325	75	20	400	200	SD-200-400-20-75
	250	150	20	400	200	SD-200-400-20-150
	175	25	12	200	100	SD-100-200-12-25
	150	50	12	200	100	SD-100-200-12-50
	125	75	12	200	100	SD-100-200-12-75
	375	25	25	400	200	SD-200-400-25-25
	350	50	25	400	200	SD-200-400-25-50
	325	75	25	400	200	SD-200-400-25-75
48.6	200	100	20	300	150	SF-150-300-20-100
	250	50	20	300	150	SF-150-300-20-50
	0	300	25	300	150	SF-150-300-25-300
	150	150	25	300	150	SF-150-300-25-150
	225	75	25	300	150	SF-150-300-25-75
	225	75	25	300	150	SF-150-300-25-75
	225	75	25	300	150	SF-150-300-25-75
	275	25	25	300	150	SF-150-300-25-25
	275	25	25	300	150	SF-150-300-25-25
	200	100	25	300	150	SF-150-300-25-100
	350	50	20	400	200	SF-200-400-20-50
	325	75	20	400	200	SF-200-400-20-75
	150	150	20	300	150	SF-150-300-20-150

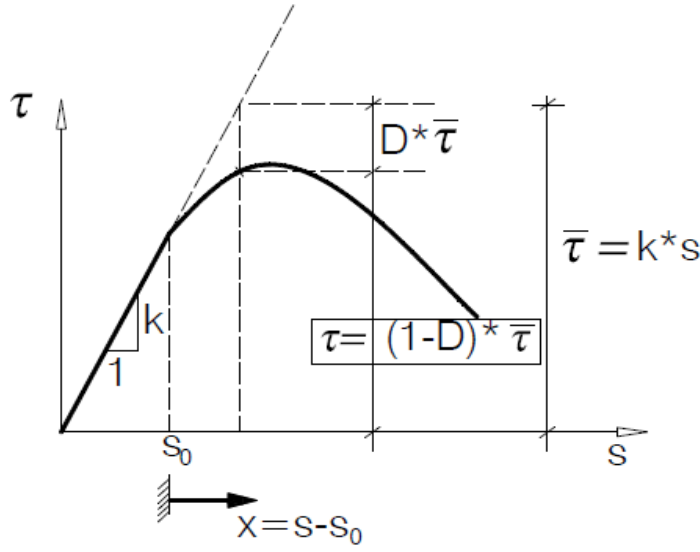
5 3 مراحل إجراء الدراسة التحليلية: Finite-Element simulation

5 3 1 نمذجة الشكل الهندسي للنموذج التحليلي: Geometric modeling

لقد أنجزنا النمذجة بشكل فراغي 3D ، حيث تم إنشاء Part عام يضم كافة الأجزاء و هي (الخرسانة، قضيب فولاذ التسليح، طبقة عناصر الإلتصاق و التي تعبر عن التماسك بين الفولاذ و الخرسانة)، حيث تمت نمذجة قضيب فولاذ التسليح بشكل منفصل عن الخرسانة المحيطة به باستخدام عناصر من نفس النوع، تم تأمين التماسك بين مادتي الفولاذ و الخرسانة من خلال الربط بين عناصر الخرسانة و عناصر قضيب التسليح بطبقة عناصر الالتصاق (Cohesive Elements)، بحيث كانت كل العقد مشتركة عند الفواصل بين الأجزاء المختلفة في هذه الحالة و فيمايلي شرح كافة تفاصيل أجزاء النموذج التحليلي:

- **نمذجة الخرسانة:** العنصر المستخدم في نمذجة عناصر الخرسانة من النوع (C3D8) أي أنه عنصر فراغي بثمان عقد.
الخواص الميكانيكية لمادة الخرسانة هي: معامل المرونة $E_c = \sqrt{f'_c}$ ، معامل بواسون $\nu = 0.2$.
- **نمذجة قضيب فولاذ التسليح:** العنصر المستخدم في نمذجة عناصر الفولاذ من النوع (C3D8) أي أنه عنصر فراغي بثمان عقد.
الخواص الميكانيكية لمادة فولاذ التسليح هي: معامل المرونة للفولاذ $E_s = 2.1E^5$ ، و تم إدخال أثر اللدونة بإدخال قيم إجهاد-تشوه لدن متبقي من خلال تعريف منحنى إجهاد-تشوه للفولاذ.
- **نمذجة طبقة عناصر الإلتصاق (Cohesive Elements):** تمت نمذجة طبقة عناصر الإلتصاق التي تؤمن آلية التماسك بين الفولاذ و الخرسانة بحيث تكون مستمرة على كامل الجزء المغموس فقط من قضيب التسليح ضمن العينة الخرسانية، أي أنه تم نمذجة الجزء الغير ملتصق في النموذج التحليلي. عناصر الالتصاق المستخدمة من النوع (COH3D8) أي عناصر فراغية بثمان عقد.
الخواص الميكانيكية لمادة عناصر الإلتصاق هي: تم تعريف مادة عناصر الالتصاق من خلال تعريف قانون التماسك (علاقة إجهاد التماسك-الانزلاق) بطريقة (Traction-Separation Low) و ذلك بإختيار عناصر الالتصاق وفقاً للسلوك (Traction-Separation Behavior).
و الشكل (3-1-5-1) يوضح منحنى قانون التماسك الذي تم تعريف مادة طبقة عناصر الالتصاق وفقاً

له:



الشكل (1-1-5-3) منحنى قانون التماسك المستخدم لتعريف مادة طبقة عناصر الإلتصاق

من خلال الشكل (1-1-5-3) تتضمن خواص عناصر الإلتصاق لمرحلتين و هي كالتالي:

خطية: و هي ميل الجزء الخطي في قانون التماسك (علاقة إجهاد التماسك-الانزلاق)، حيث الانزلاق = الانتقال النسبي بين التسليح والخرسانة، في هذه المرحلة تم إدخال قيم المتحولات (knn, kss, ktt) و هي العناصر القطرية لمصفوفة القساوة لعناصر الإلتصاق و قد تم إدخال نفس القيمة لها كلها (knn=kss=ktt=1) .

لاخطية: هي الجزء اللاخطي في قانون التماسك، لتوصيف هذه المرحلة من خلال تعريف قيم الاجهاد الموافق لبدء الضرر (Maxs Damage)، و توصيف طريقة تطور تابع الضرر في طبقة عناصر الإلتصاق حيث تم تعريفه وفقاً للنوع (linear damage evolution) و هو عملياً الجزء الأهم من قانون التماسك.

تم إدخال تابع الضرر بشكل جدول D(x) من خلال حساب تابع الضرر D حسب منحنى قانون التماسك حيث قمنا باستخدام قانون التماسك الذي توصل له Martin, J.S في دراسته التجريبية و يأخذ الصيغة التالية:

$$\tau_0 = 2.1257 * \sqrt{f_c} * \delta^{0.4}$$

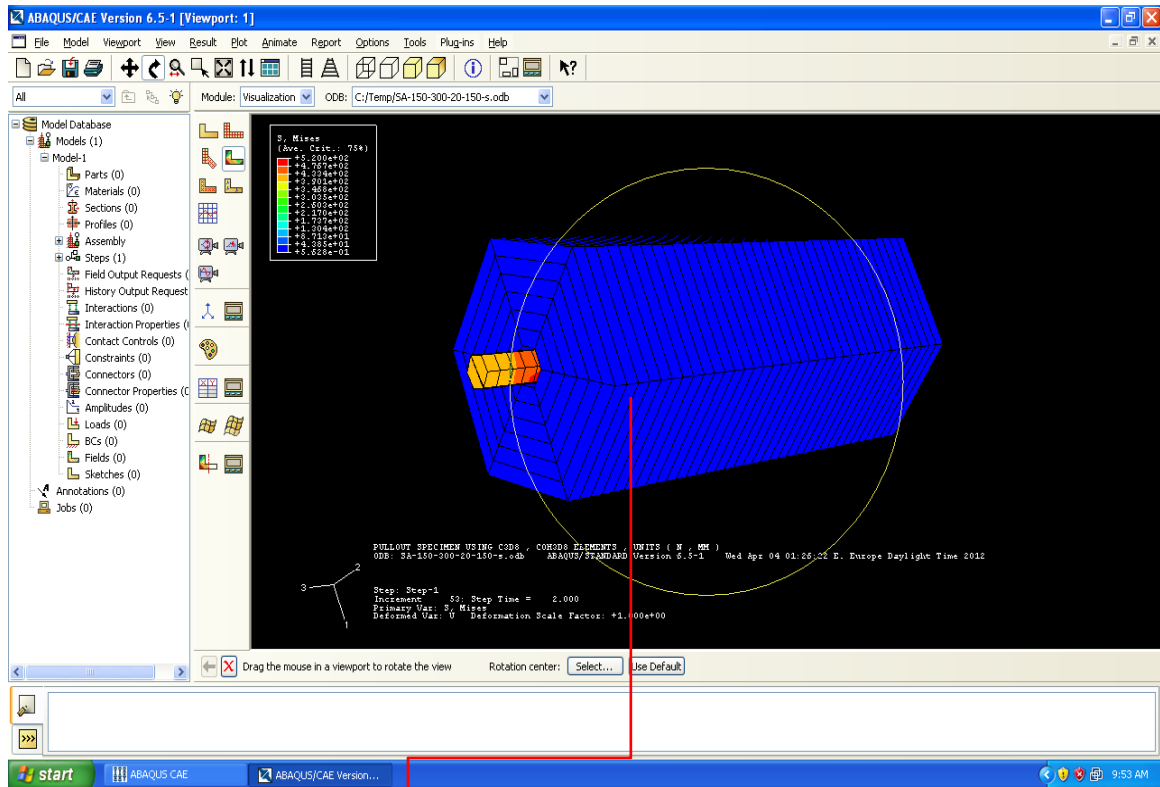
لقد قمنا برسم المنحنى الممثل لقانون التماسك هذا في برنامج Excel ثم حساب تابع الضرر D وفق العلاقة

$$D(x) = \frac{\bar{\tau} - \tau}{\bar{\tau}}$$

و المأخوذة من الشكل (1-1-5-3)

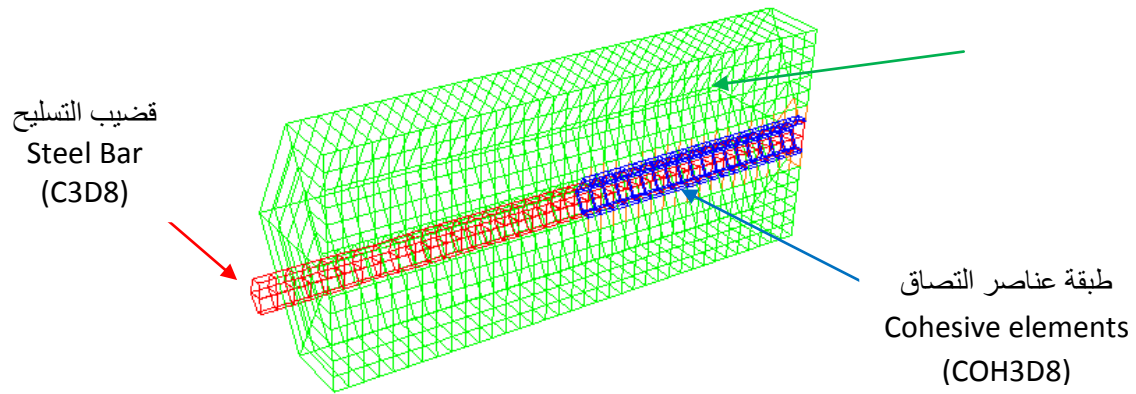
قمنا بتطبيق الأحمال بشكل انتقالات وليس أحمال قوى حيث قمنا بسند الوجه العلوي للخرسانة (قيد انتقال شاقولي)
وتم تطبيق انتقال شاقولي على الوجه العلوي للتسليح ، الانتقال يطبق بشكل متزايد خطيا مع الزمن (Ramp)
والذي يساوي زمن التحليل أي ال Step تم تعريفه Amplitude للحمولة

و الشكل (2-1-5-3) يوضّح الشكل الهندسي للنموذج التحليلي.



مقطع يبين التفاصيل الهندسيّة للنموذج

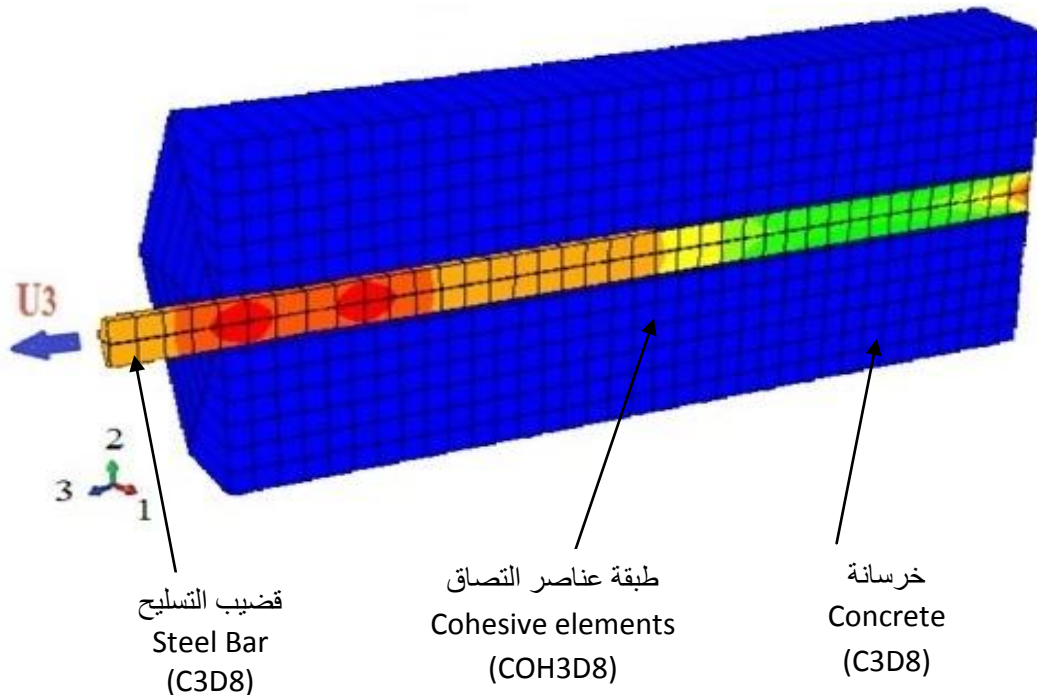
خرسانة
Concrete
(C3D8)



الشكل (2-1-5-3) الشكل الهندسي لنموذج التماسك بطريقة العناصر المحدودة (Finite-Element specimen)

2-5-3 تحليل النموذج على ABAQUS CAE:

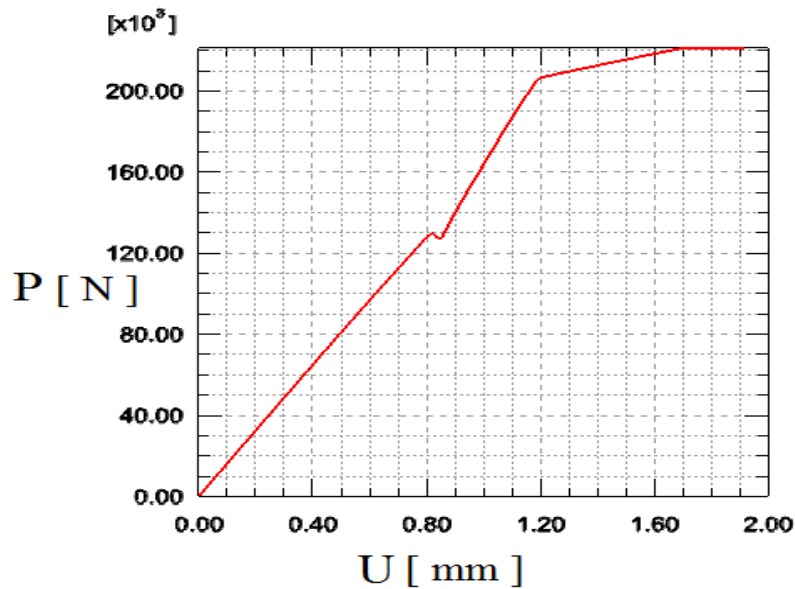
- قمنا بإجراء تحليل لاخطي لكافة النماذج المستعرضة تحت تأثير أحمال الانسحاب المطبقة على قضيب التسليح، حيث تم تطبيق الأحمال بشكل انتقال على الوجه العلوي لقضيب التسليح، تم تطبيق الانتقال بشكل متزايد خطياً مع الزمن و الذي يساوي زمن التحليل، و الشكل (1-3-5-3) يبين مقطع لنموذج التماسك بطريقة العناصر المحدودة تحت تأثير حمولة الانسحاب.



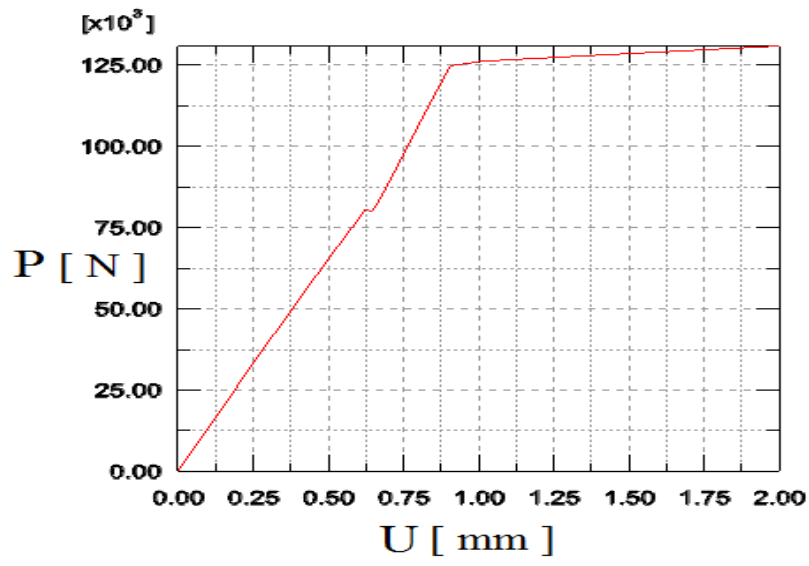
الشكل (3-5-3-1) تحليل نموذج التماسك بطريقة العناصر المحدودة تحت تأثير حمولة الانسحاب
(Finite-Element specimen)

6 3 نتائج الدراسة التحليلية باستخدام ABAQUS CAE:

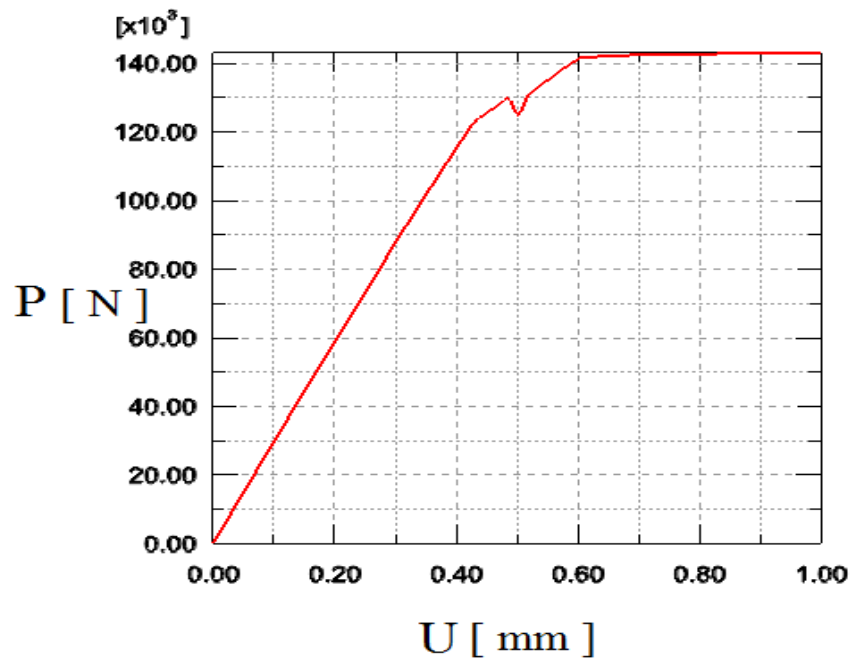
تم تمثيل النتائج التي حصلنا عليها من عملية التحليل اللاخطي لنموذج التماسك بشكل منحنيات قوة-انتقال، و يمثل كل منحنٍ منها العلاقة بين حمولة الانتقال U المطبقة على الوجه العلوي للجزء البارز من قضيب التسليح و بين القوة P الناتجة في قضيب التسليح نتيجة هذا الانتقال، و تظهر الأشكال التالية بعض نماذج المنحنيات التي حصلنا عليها من التحليل.



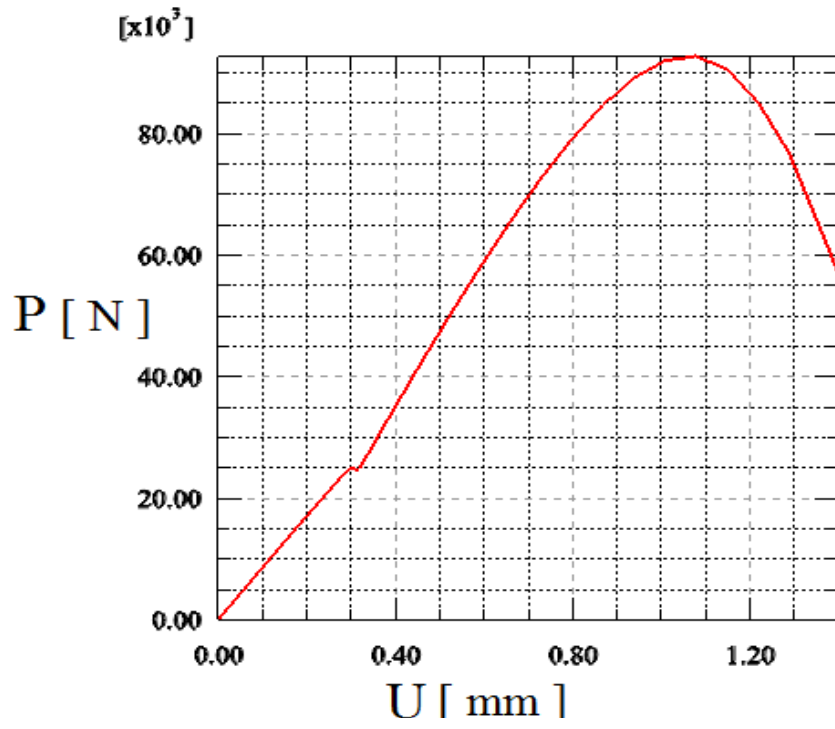
الشكل (3-6-1) منحنى القوة - انتقال للنموذج SA-200-400-25-200



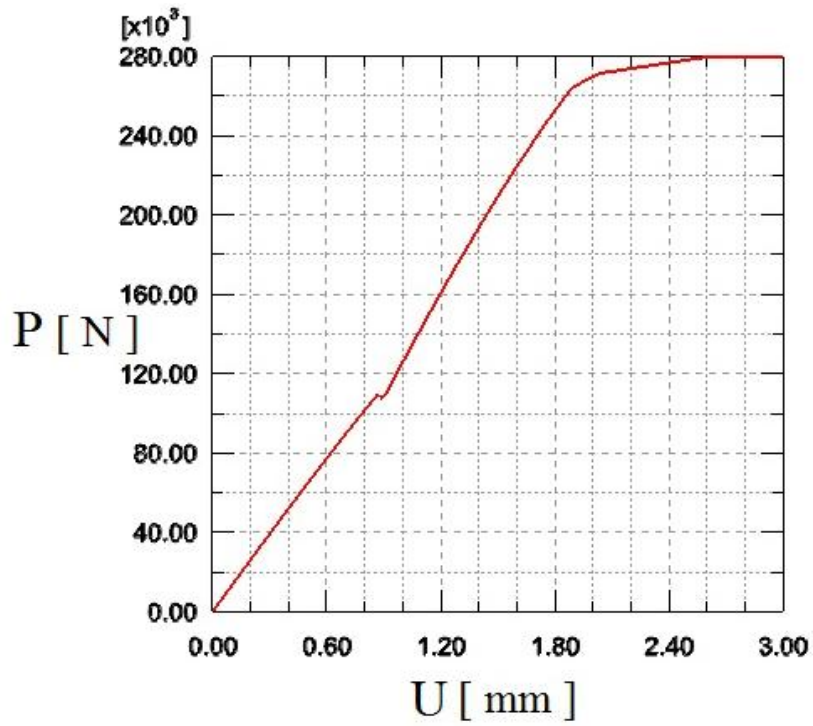
الشكل (2-6-3) منحنى القوة - انتقال للنموذج SA-150-300-20-150



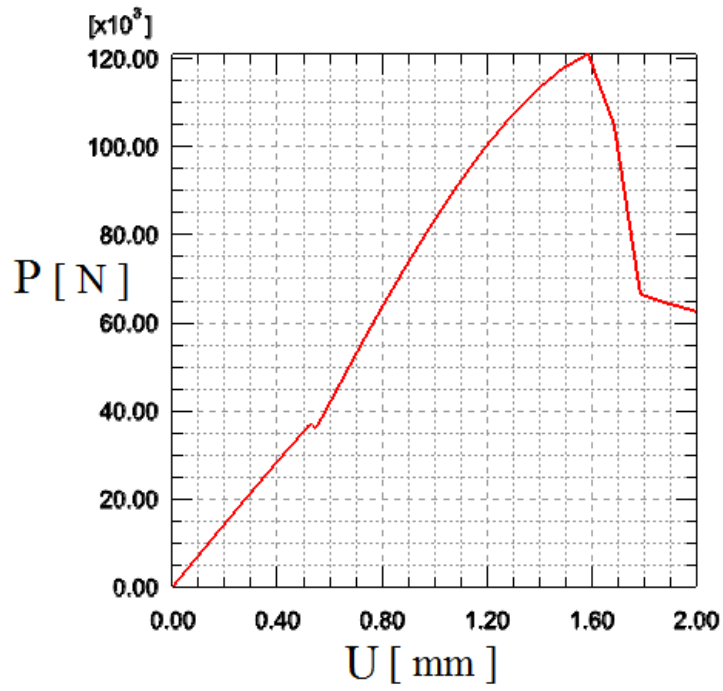
الشكل (3-6-3) منحنى القوة - انتقال للنموذج SA-150-300-20-300



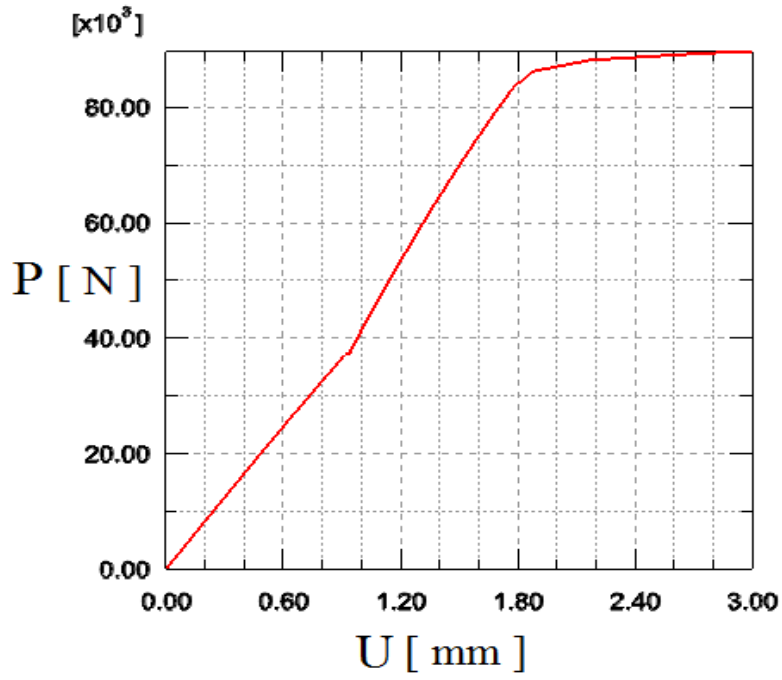
الشكل (3-6-4) منحنى القوة - انتقال للنموذج SC-150-300-20-50



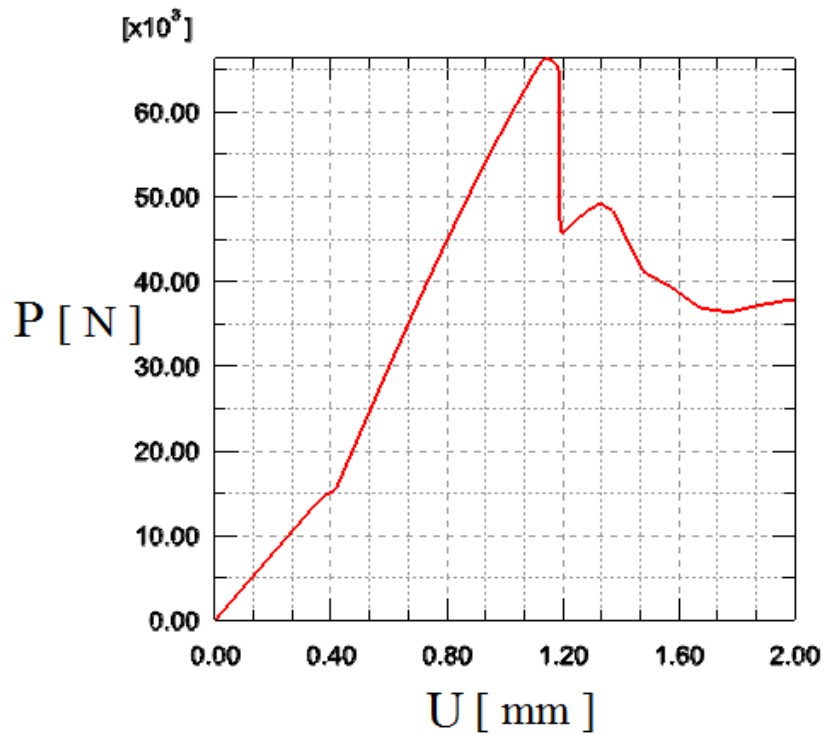
الشكل (5-6-3) منحنى القوة - انتقال للنموذج SC-200-400-25-150



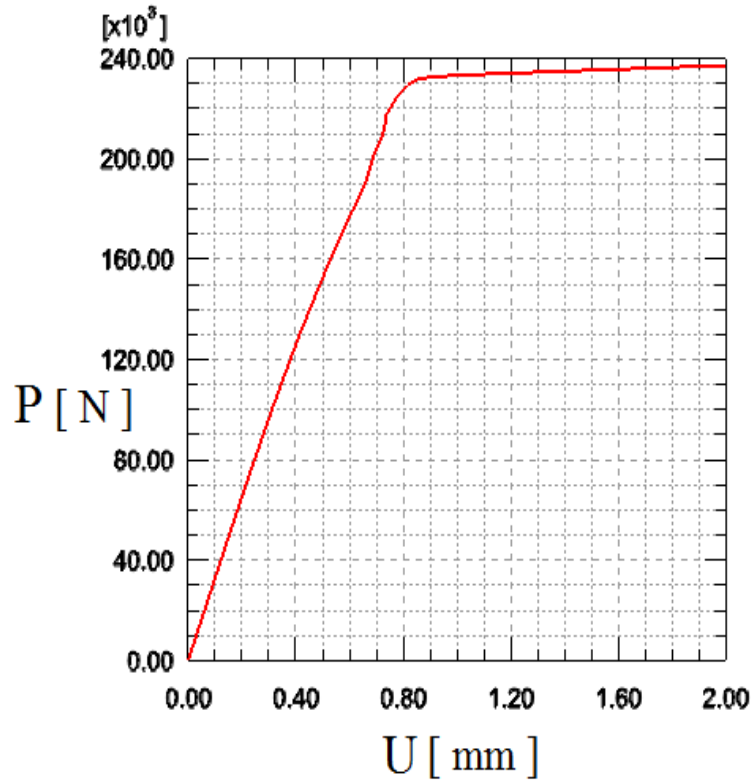
الشكل (6-6-3) منحنى القوة - انتقال للنموذج SD-150-300-20-50



الشكل (3-6-7) منحنى القوة - انتقال للنموذج SD-100-200-12-75



الشكل (3-6-8) منحنى القوة - انتقال للنموذج SF-200-400-20-50



الشكل (3-6-9) منحنى القوة - انتقال للنموذج SF-150-300-25-300

من خلال أشكال المنحنيات القوة-انتقال المختلفة نلاحظ أنّ انهيار النماذج تمّ بأحد الأشكال التالية:

- الانهيار بانسحاب قضيب التسليح (Pull out failure): في هذه الحالة لم يصل قضيب التسليح لمرحلة السيلان و حدث الانهيار بالانسحاب، حيث كانت قدرة قضيب التسليح على تحمل قوة الشدّ أكبر من قوة التماسك و في هذه الحالة يكون طول التماسك غير كافى لتأمين تماسك جيد بين قضيب التسليح و الخرسانة المحيطة به و يبين لنا منحنى القوة-انتقال في الشكل (3-6-8) مثلاً على شكل انهيار النموذج بالانسحاب.
 - الانهيار بانقطاع قضيب التسليح: في هذه الحالة فإنّ قضيب التسليح وصل لمرحلة السيلان و حدث الانهيار بانقطاع التسليح، حيث كانت قوة التماسك أكبر من قدرة قضيب التسليح على تحمل قوة الشدّ ، و في هذا النوع من الانهيار يكون طول التماسك أكبر من طول التماسك المطلوب ، و يبين لنا منحنى القوة-انتقال في الشكل (3-6-9) مثلاً على شكل انهيار النموذج بانقطاع قضيب التسليح.
- و هذا ما يفسر لنا سبب اختلاف أشكال المنحنيات القوة-انتقال بعضها عن البعض الآخر حيث أنّ شكل كل منحن منها يتعلق بشكل انهيار النموذج بأحد أشكال الإهيار السابقة.

7 3 تقييم نتائج الدراسة التحليلية:

أُجريت عملية تحليل رياضي على البيانات التحليلية (القوة-انتقال) المأخوذة من برنامج ABAQUS، حيث قمنا بتحويلها إلى الشكل (إجهاد تماسك-انزلاق) من خلال تكرار العمل الذي أجريناه لتحليل البيانات التجريبية حسب العلاقات الرياضية (1) و (2) لقانون التماسك الواردة في الفصل الثاني.

عملية التحليل الرياضي هذه تمّت باستخدام برنامج Microsoft Office Excel وفق العلاقات الرياضية التالية [3]:

$$\tau_v = P/(\pi \cdot d_s \cdot l_b) \dots \dots \dots (1)$$

$$\delta = u - l_u \cdot (P/ E_s \cdot A_s) \dots \dots \dots (2)$$

τ_v : إجهاد التماسك (تم حساب القيمة بالوحدة MPA).

P : القوة الناتجة في قضيب التسليح نتيجة التحليل اللاخطي للنماذج.

l_b : الطول المتماسك لقضيب التسليح (طول طبقة عناصر الإلتصاق).

d_s : قطر قضيب التسليح.

δ : الانزلاق النسبي الحاصل بين الفولاذ و الخرسانة (تم حساب القيمة بالوحدة mm).

u : الانتقال المطبق على الجزء البارز من قضيب التسليح في مرحلة التحليل اللاخطي.

l_u : الطول البارز (الغير متماسك) من قضيب التسليح.

A_s : مساحة مقطع قضيب التسليح. E_s : معامل مرونة الفولاذ.

ملاحظة: تم أخذ قيمة الانزلاق النسبي للخرسانة في الحساب ، حيث تم طرح قيمته أيضاً من قيمة انتقال قضيب التسليح، و ذلك حسب القيم المعتبرة في الدراسات التجريبية للتماسك [3] و يأخذ الرمز ϵ_c في الجداول الناتجة من عملية التحليل الرياضي.

و تم تمثيل نتائج هذه المرحلة من الدراسة في الجداول التالية:

الجدول (3-7-1) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SA ذات المقاومة المكببة للخرسانة 25 MPa

النموذج	D_c mm	H_c mm	d_s mm	l_b mm	l_u mm	A_s mm ²	P N	u mm	ϵ_c mm	F_K MPa	δ mm	τ_v MPa
SA-150-300-20-150	150	300	20	150	150	314.29	57000	0.4	0.01	25	0.0165	6.0510
	150	300	20	150	150	314.29	65000	0.45	0.01	25	0.0483	6.9002
	150	300	20	150	150	314.29	70000	0.5	0.01	25	0.0869	7.4310
	150	300	20	150	150	314.29	80000	0.6	0.01	25	0.1642	8.4926
	150	300	20	150	150	314.29	90000	0.65	0.01	25	0.1915	9.5541
	150	300	20	150	150	314.29	100000	0.7	0.01	25	0.2187	10.6157
	150	300	20	150	150	314.29	110000	0.75	0.01	25	0.2460	11.6773
	150	300	20	150	150	314.29	120000	0.8	0.01	25	0.2733	12.7389
SA-150-300-20-100	150	300	20	100	200	314.29	45000	0.4	0.01	25	0.0096	7.1656
	150	300	20	100	200	314.29	50000	0.48	0.01	25	0.0745	7.9618
	150	300	20	100	200	314.29	55000	0.51	0.01	25	0.0893	8.7580
	150	300	20	100	200	314.29	58000	0.54	0.01	25	0.1102	9.2357
	150	300	20	100	200	314.29	63000	0.57	0.01	25	0.1251	10.0318

11.1465	0.1339	25	0.01	0.6	70000	314.29	200	100	20	300	150	
13.5350	0.1884	25	0.01	0.7	85000	314.29	200	100	20	300	150	
14.6497	0.2172	25	0.01	0.75	92000	314.29	200	100	20	300	150	
15.1274	0.2581	25	0.01	0.8	95000	314.29	200	100	20	300	150	
15.2866	0.3051	25	0.01	0.85	96000	314.29	200	100	20	300	150	
15.4459	0.3521	25	0.01	0.9	97000	314.29	200	100	20	300	150	
15.5255	0.4005	25	0.01	0.95	97500	314.29	200	100	20	300	150	
15.9236	0.4430	25	0.01	1	100000	314.29	200	100	20	300	150	
11.6773	0.0585	25	0.01	0.5	55000	314.286	225	75	20	300	150	SA-150-300-20-75
15.9236	0.1903	25	0.01	0.7	75000	314.286	225	75	20	300	150	
17.6221	0.2130	25	0.01	0.75	83000	314.286	225	75	20	300	150	
19.1083	0.2392	25	0.01	0.8	90000	314.286	225	75	20	300	150	
20.1699	0.3221	25	0.01	0.9	95000	314.286	225	75	20	300	150	
20.3822	0.4187	25	0.01	1	96000	314.286	225	75	20	300	150	
20.8068	0.5119	25	0.01	1.1	98000	314.286	225	75	20	300	150	

تابع الجدول (3-7-1) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SA ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 25 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ϵ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	l_u mm	l_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
7.6433	0.0233	25	0.01	0.4	36000	314.28	225	75	20	300	150	SA-150-300-20-75
9.5541	0.0926	25	0.01	0.5	45000	314.28	225	75	20	300	150	
11.6773	0.1585	25	0.01	0.6	55000	314.28	225	75	20	300	150	
13.1635	0.2346	25	0.01	0.7	62000	314.28	225	75	20	300	150	
15.9236	0.2903	25	0.01	0.8	75000	314.28	225	75	20	300	150	
16.7728	0.3267	25	0.01	0.85	79000	314.28	225	75	20	300	150	
18.0467	0.3562	25	0.01	0.9	85000	314.28	225	75	20	300	150	
19.1083	0.3892	25	0.01	0.95	90000	314.28	225	75	20	300	150	
20.1699	0.4221	25	0.01	1	95000	314.28	225	75	20	300	150	
6.3694	0.0748	25	0.01	0.45	80000	314.28	100	200	20	300	150	SA-150-300-20-200
6.7675	0.1172	25	0.01	0.5	85000	314.28	100	200	20	300	150	
7.8025	0.1975	25	0.01	0.6	98000	314.28	100	200	20	300	150	
7.9618	0.2445	25	0.01	0.65	100000	314.28	100	200	20	300	150	

8.3599	0.2869	25	0.01	0.7	105000	314.28	100	200	20	300	150	SA-150-300-20-150
8.7580	0.3793	25	0.01	0.8	110000	314.28	100	200	20	300	150	
5.4140	0.0301	25	0.01	0.4	51000	314.28	150	150	20	300	150	
6.9002	0.0983	25	0.01	0.5	65000	314.28	150	150	20	300	150	
7.6433	0.1324	25	0.01	0.55	72000	314.28	150	150	20	300	150	
8.4926	0.1642	25	0.01	0.6	80000	314.28	150	150	20	300	150	
9.5541	0.2415	25	0.01	0.7	90000	314.286	150	150	20	300	150	
11.6773	0.296	25	0.01	0.8	110000	314.28	150	150	20	300	150	
12.2081	0.3346	25	0.01	0.85	115000	314.28	150	150	20	300	150	
13.2696	0.3619	25	0.01	0.9	125000	314.28	150	150	20	300	150	
13.3758	0.4596	25	0.01	1	126000	314.28	150	150	20	300	150	SA-150-300-20-75
7.6433	0.0033	25	0.01	0.38	36000	314.28	225	75	20	300	150	
9.3418	0.026	25	0.01	0.43	44000	314.28	225	75	20	300	150	
10.6157	0.0755	25	0.01	0.5	50000	314.28	225	75	20	300	150	
12.7389	0.1215	25	0.01	0.58	60000	314.28	225	75	20	300	150	
18.0467	0.1962	25	0.01	0.74	85000	314.28	225	75	20	300	150	
19.9575	0.2255	25	0.01	0.8	94000	314.28	225	75	20	300	150	
21.2314	0.2351	25	0.01	0.83	100000	314.28	225	75	20	300	150	SA-150-300-20-300
23.3546	0.271	25	0.01	0.9	110000	314.28	225	75	20	300	150	
4.7771	0.046	25	0.01	0.3	90000	314.28	0	300	20	300	150	
6.1040	0.146	25	0.01	0.4	115000	314.28	0	300	20	300	150	
6.9002	0.246	25	0.01	0.5	130000	314.28	0	300	20	300	150	SA-150-300-20-300
7.4310	0.346	25	0.01	0.6	140000	314.28	0	300	20	300	150	

تابع الجدول (3-7-1) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SA ذات المقاومة المعيارية للخرسانة 25 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ξ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	l_u mm	l_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
3.1847	0.046	25	0.01	0.3	100000	491.071	0	400	25	400	200	SA-200-400-25-400
4.1401	0.146	25	0.01	0.4	130000	491.071	0	400	25	400	200	
5.0955	0.246	25	0.01	0.5	160000	491.071	0	400	25	400	200	
6.2102	0.346	25	0.01	0.6	195000	491.071	0	400	25	400	200	
6.6879	0.446	25	0.01	0.7	210000	491.071	0	400	25	400	200	
7.0064	0.546	25	0.01	0.8	220000	491.071	0	400	25	400	200	
7.0382	0.646	25	0.01	0.9	221000	491.071	0	400	25	400	200	
3.8217	0.0587	25	0.01	0.4	90000	491.071	100	300	25	400	200	SA-200-400-25-300
4.6709	0.1393	25	0.01	0.5	110000	491.071	100	300	25	400	200	
5.7325	0.2151	25	0.01	0.6	135000	491.071	100	300	25	400	200	
6.7941	0.2908	25	0.01	0.7	160000	491.071	100	300	25	400	200	
7.6433	0.3715	25	0.01	0.8	180000	491.071	100	300	25	400	200	

8.4926	0.4521	25	0.01	0.9	200000	491.071	100	300	25	400	200	SA-200-400-25-200
8.9172	0.5424	25	0.01	1	210000	491.071	100	300	25	400	200	
8.9597	0.6414	25	0.01	1.1	211000	491.071	100	300	25	400	200	
9.1720	0.7365	25	0.01	1.2	216000	491.071	100	300	25	400	200	
4.140	0.020	25	0.01	0.4	65000	491.071	200	200	25	400	200	
5.096	0.091	25	0.01	0.5	80000	491.071	200	200	25	400	200	
6.242	0.156	25	0.01	0.6	98000	491.071	200	200	25	400	200	
7.006	0.233	25	0.01	0.7	110000	491.071	200	200	25	400	200	
7.643	0.263	25	0.01	0.75	120000	491.071	200	200	25	400	200	
8.280	0.294	25	0.01	0.8	130000	491.071	200	200	25	400	200	
8.280	0.344	25	0.01	0.85	130000	491.071	200	200	25	400	200	
8.917	0.374	25	0.01	0.9	140000	491.071	200	200	25	400	200	
9.554	0.405	25	0.01	0.95	150000	491.071	200	200	25	400	200	
10.191	0.436	25	0.01	1	160000	491.071	200	200	25	400	200	
10.828	0.466	25	0.01	1.05	170000	491.071	200	200	25	400	200	
11.465	0.497	25	0.01	1.1	180000	491.071	200	200	25	400	200	
12.611	0.532	25	0.01	1.17	198000	491.071	200	200	25	400	200	
13.248	0.543	25	0.01	1.2	208000	491.071	200	200	25	400	200	
3.505	0.046	25	0.01	0.3	107855	616.000	0	350	28	350	250	SA-250-350-28-350
4.461	0.146	25	0.01	0.4	137270	616.000	0	350	28	350	250	
5.417	0.246	25	0.01	0.5	166685	616.000	0	350	28	350	250	
6.054	0.346	25	0.01	0.6	186295	616.000	0	350	28	350	250	
6.691	0.446	25	0.01	0.7	205905	616.000	0	350	28	350	250	
7.329	0.546	25	0.01	0.8	225514	616.000	0	350	28	350	250	
7.647	0.646	25	0.01	0.9	235319	616.000	0	350	28	350	250	

تابع الجدول (3-7-1) نتائج الدراسة الرياضية لتحليلية للسلسلة SA ذات المقاومة المكببة للخرسانة 25 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ϵ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	l_u mm	l_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
6.499	0.011	25	0.01	0.4	100000	616.0	175	175	28	350	250	SA-250-350-28-175
7.799	0.084	25	0.01	0.5	120000	616.0	175	175	28	350	250	
8.774	0.113	25	0.01	0.55	135000	616.0	175	175	28	350	250	
9.749	0.143	25	0.01	0.6	150000	616.0	175	175	28	350	250	
10.724	0.173	25	0.01	0.65	165000	616.0	175	175	28	350	250	
11.699	0.202	25	0.01	0.7	180000	616.0	175	175	28	350	250	
13.779	0.259	25	0.01	0.8	212000	616.0	175	175	28	350	250	
14.949	0.285	25	0.01	0.85	230000	616.0	175	175	28	350	250	
15.599	0.321	25	0.01	0.9	240000	616.0	175	175	28	350	250	
16.249	0.358	25	0.01	0.95	250000	616.0	175	175	28	350	250	
17.223	0.388	25	0.01	1	265000	616.0	175	175	28	350	250	
18.133	0.469	25	0.01	1.1	279000	616.0	175	175	28	350	250	

18.198	0.567	25	0.01	1.2	280000	616.0	175	175	28	350	250	
--------	-------	----	------	-----	--------	-------	-----	-----	----	-----	-----	--

الجدول (2-7-3) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SC ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 53 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ϵ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	l_u mm	l_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
15.287	0.039	53	0.011	0.5	48000	314.286	250	50	20	300	150	SC-150-300-20-50
19.108	0.093	53	0.011	0.6	60000	314.286	250	50	20	300	150	
22.293	0.155	53	0.011	0.7	70000	314.286	250	50	20	300	150	
25.478	0.218	53	0.011	0.8	80000	314.286	250	50	20	300	150	
28.025	0.287	53	0.011	0.9	88000	314.286	250	50	20	300	150	
29.299	0.372	53	0.011	1	92000	314.286	250	50	20	300	150	
30.255	0.461	53	0.011	1.1	95000	314.286	250	50	20	300	150	
13.270	0.007	53	0.013	0.55	62500	314.286	225	75	20	300	150	30

14.862	0.031	53	0.013	0.6	70000	314.286	225	75	20	300	150	
16.985	0.047	53	0.013	0.65	80000	314.286	225	75	20	300	150	
19.904	0.100	53	0.013	0.75	93750	314.286	225	75	20	300	150	
21.231	0.129	53	0.013	0.8	100000	314.286	225	75	20	300	150	
22.505	0.169	53	0.013	0.86	106000	314.286	225	75	20	300	150	
23.885	0.196	53	0.013	0.91	112500	314.286	225	75	20	300	150	
24.416	0.228	53	0.013	0.95	115000	314.286	225	75	20	300	150	
25.053	0.248	53	0.013	0.98	118000	314.286	225	75	20	300	150	
25.690	0.258	53	0.013	1	121000	314.286	225	75	20	300	150	
26.539	0.294	53	0.013	1.05	125000	314.286	225	75	20	300	150	
27.866	0.323	53	0.013	1.1	131250	314.286	225	75	20	300	150	
29.299	0.450	53	0.013	1.25	138000	314.286	225	75	20	300	150	
11.146	0.008	53	0.013	0.55	70000	314.286	200	100	20	300	150	SC-150-300-20-100
11.943	0.043	53	0.013	0.6	75000	314.286	200	100	20	300	150	
14.809	0.088	53	0.013	0.7	93000	314.286	200	100	20	300	150	
16.720	0.152	53	0.013	0.8	105000	314.286	200	100	20	300	150	
19.108	0.206	53	0.013	0.9	120000	314.286	200	100	20	300	150	
20.701	0.276	53	0.013	1	130000	314.286	200	100	20	300	150	
22.771	0.337	53	0.013	1.1	143000	314.286	200	100	20	300	150	
23.885	0.365	53	0.013	1.15	150000	314.286	200	100	20	300	150	
25.159	0.391	53	0.013	1.2	158000	314.286	200	100	20	300	150	
25.478	0.585	53	0.013	1.4	160000	314.286	200	100	20	300	150	
25.955	0.776	53	0.013	1.6	163000	314.286	200	100	20	300	150	
26.115	0.873	53	0.013	1.7	164000	314.286	200	100	20	300	150	
26.274	1.07	53	0.013	1.9	165000	314.286	200	100	20	300	150	
26.433	1.167	53	0.013	2	166000	314.286	200	100	20	300	150	

تابع الجدول (2-7-3) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SC ذات المقاومة المعيّنة للخرسانة 53 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ϵ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	l_u mm	l_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
10.191	0.058	53	0.013	0.6	80000	314.286	175	125	20	300	150	SC-150-300-20-125
15.287	0.152	53	0.013	0.8	120000	314.286	175	125	20	300	150	
16.561	0.225	53	0.013	0.9	130000	314.286	175	125	20	300	150	
18.471	0.286	53	0.013	1	145000	314.286	175	125	20	300	150	
20.382	0.446	53	0.013	1.2	160000	314.286	175	125	20	300	150	
20.637	0.640	53	0.013	1.4	162000	314.286	175	125	20	300	150	
20.892	1.035	53	0.013	1.8	164000	314.286	175	125	20	300	150	
10.085	0.054	53	0.013	0.6	95000	314.286	150	150	20	300	150	150-300-20-100
12.208	0.108	53	0.013	0.7	115000	314.286	150	150	20	300	150	
13.800	0.174	53	0.013	0.8	130000	314.286	150	150	20	300	150	

14.862	0.182	53	0.013	0.83	140000	314.286	150	150	20	300	150	SC-150-300-25-50
15.711	0.233	53	0.013	0.9	148000	314.286	150	150	20	300	150	
16.561	0.265	53	0.013	0.95	156000	314.286	150	150	20	300	150	
16.773	0.311	53	0.013	1	158000	314.286	150	150	20	300	150	
7.134	0.053	53	0.011	0.4	28000	491.071	250	50	25	300	150	
8.153	0.143	53	0.011	0.5	32000	491.071	250	50	25	300	150	
9.682	0.228	53	0.011	0.6	38000	491.071	250	50	25	300	150	
12.484	0.302	53	0.011	0.7	49000	491.071	250	50	25	300	150	
15.287	0.375	53	0.011	0.8	60000	491.071	250	50	25	300	150	
17.834	0.451	53	0.011	0.9	70000	491.071	250	50	25	300	150	
19.873	0.532	53	0.011	1	78000	491.071	250	50	25	300	150	
22.420	0.607	53	0.011	1.1	88000	491.071	250	50	25	300	150	
24.204	0.690	53	0.011	1.2	95000	491.071	250	50	25	300	150	
26.752	0.766	53	0.011	1.3	105000	491.071	250	50	25	300	150	
27.516	0.859	53	0.011	1.4	108000	491.071	250	50	25	300	150	
28.535	0.949	53	0.011	1.5	112000	491.071	250	50	25	300	150	
29.299	1.042	53	0.011	1.6	115000	491.071	250	50	25	300	150	
30.318	1.232	53	0.011	1.8	119000	491.071	250	50	25	300	150	

تابع الجدول (2-7-3) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SC ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 53 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ξ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	l_u mm	l_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
8.493	0.141	53	0.013	0.58	50000	491.071	225	75	25	300	150	SC-150-300-25-75
12.739	0.306	53	0.013	0.8	75000	491.071	225	75	25	300	150	
15.287	0.374	53	0.013	0.9	90000	491.071	225	75	25	300	150	
18.684	0.51	53	0.013	1.08	110000	491.071	225	75	25	300	150	
19.533	0.509	53	0.013	1.09	115000	491.071	225	75	25	300	150	
20.382	0.558	53	0.013	1.15	120000	491.071	225	75	25	300	150	
22.081	0.636	53	0.013	1.25	130000	491.071	225	75	25	300	150	
23.439	0.689	53	0.013	1.32	138000	491.071	225	75	25	300	150	
24.628	0.754	53	0.013	1.4	145000	491.071	225	75	25	300	150	

25.478	0.823	53	0.013	1.48	150000	491.071	225	75	25	300	150	
26.327	0.852	53	0.013	1.52	155000	491.071	225	75	25	300	150	
27.176	0.921	53	0.013	1.6	160000	491.071	225	75	25	300	150	
28.025	1.01	53	0.013	1.7	165000	491.071	225	75	25	300	150	
28.535	1.103	53	0.013	1.8	168000	491.071	225	75	25	300	150	
29.045	1.147	53	0.013	1.85	171000	491.071	225	75	25	300	150	
8.280	0.144	53	0.013	0.6	65000	491.071	200	100	25	300	150	SC-150-300-25-100
11.465	0.295	53	0.013	0.8	90000	491.071	200	100	25	300	150	
15.669	0.431	53	0.013	1	123000	491.071	200	100	25	300	150	
19.108	0.579	53	0.013	1.2	150000	491.071	200	100	25	300	150	
22.930	0.721	53	0.013	1.4	180000	491.071	200	100	25	300	150	
25.478	0.882	53	0.013	1.6	200000	491.071	200	100	25	300	150	
27.389	1.053	53	0.013	1.8	215000	491.071	200	100	25	300	150	SC-150-300-25-150
6.794	0.103	53	0.013	0.55	80000	491.071	150	150	25	300	150	
8.493	0.224	53	0.013	0.7	100000	491.071	150	150	25	300	150	
10.191	0.395	53	0.013	0.9	120000	491.071	150	150	25	300	150	
11.890	0.466	53	0.013	1	140000	491.071	150	150	25	300	150	
13.588	0.537	53	0.013	1.1	160000	491.071	150	150	25	300	150	
15.287	0.608	53	0.013	1.2	180000	491.071	150	150	25	300	150	
16.985	0.679	53	0.013	1.3	200000	491.071	150	150	25	300	150	
18.684	0.800	53	0.013	1.45	220000	491.071	150	150	25	300	150	
20.382	0.901	53	0.013	1.58	240000	491.071	150	150	25	300	150	
20.807	0.923	53	0.013	1.61	245000	491.071	150	150	25	300	150	

تابع الجدول (2-7-3) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SC ذات المقاومة المعيارية للخرسانة 53 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ξ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	I_u mm	I_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
7.962	0.062	53	0.013	0.5	70000	616.000	200	100	28	300	150	SC-150-300-28-100
9.099	0.146	53	0.013	0.6	80000	616.000	200	100	28	300	150	
11.374	0.215	53	0.013	0.7	100000	616.000	200	100	28	300	150	
13.649	0.284	53	0.013	0.8	120000	616.000	200	100	28	300	150	
15.924	0.353	53	0.013	0.9	140000	616.000	200	100	28	300	150	
18.198	0.422	53	0.013	1	160000	616.000	200	100	28	300	150	
20.473	0.492	53	0.013	1.1	180000	616.000	200	100	28	300	150	
22.748	0.561	53	0.013	1.2	200000	616.000	200	100	28	300	150	

23.885	0.645	53	0.013	1.3	210000	616.000	200	100	28	300	150	
27.070	0.802	53	0.013	1.5	238000	616.000	200	100	28	300	150	
27.866	0.891	53	0.013	1.6	245000	616.000	200	100	28	300	150	
28.435	0.983	53	0.013	1.7	250000	616.000	200	100	28	300	150	
9.554	0.148	53	0.013	0.7	45000	314.286	325	75	20	400	200	SC-200-400-20-75
13.800	0.250	53	0.013	0.9	65000	314.286	325	75	20	400	200	
17.622	0.361	53	0.013	1.1	83000	314.286	325	75	20	400	200	
21.019	0.4823	53	0.013	1.3	99000	314.286	325	75	20	400	200	
23.355	0.608	53	0.013	1.48	110000	314.286	325	75	20	400	200	
25.478	0.679	53	0.013	1.6	120000	314.286	325	75	20	400	200	
26.115	0.714	53	0.013	1.65	123000	314.286	325	75	20	400	200	
26.752	0.849	53	0.013	1.8	126000	314.286	325	75	20	400	200	
27.176	0.939	53	0.013	1.9	128000	314.286	325	75	20	400	200	
27.601	1.130	53	0.013	2.1	130000	314.286	325	75	20	400	200	
28.662	1.305	53	0.013	2.3	135000	314.286	325	75	20	400	200	
7.962	0.043	53	0.013	0.6	50000	314.286	300	100	20	400	200	SC-200-400-20-100
10.191	0.179	53	0.013	0.8	64000	314.286	300	100	20	400	200	
13.535	0.283	53	0.013	1	85000	314.286	300	100	20	400	200	
16.720	0.393	53	0.013	1.2	105000	314.286	300	100	20	400	200	
20.382	0.488	53	0.013	1.4	128000	314.286	300	100	20	400	200	
21.497	0.556	53	0.013	1.5	135000	314.286	300	100	20	400	200	
22.293	0.633	53	0.013	1.6	140000	314.286	300	100	20	400	200	
22.611	0.724	53	0.013	1.7	142000	314.286	300	100	20	400	200	
22.930	0.815	53	0.013	1.8	144000	314.286	300	100	20	400	200	
23.248	0.906	53	0.013	1.9	146000	314.286	300	100	20	400	200	
23.726	0.993	53	0.013	2	149000	314.286	300	100	20	400	200	

تابع الجدول (2-7-3) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SC ذات المقاومة المكببة للخرسانة 53 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ϵ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	l_u mm	l_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
7.219	0.072	53	0.013	0.66	68000	314.286	250	150	20	400	200	SC-200-400-20-150
9.342	0.286	53	0.013	0.95	88000	314.286	250	150	20	400	200	
11.677	0.253	53	0.013	1	110000	314.286	250	150	20	400	200	
12.739	0.315	53	0.013	1.1	120000	314.286	250	150	20	400	200	
14.331	0.758	53	0.013	1.6	135000	314.286	250	150	20	400	200	
14.862	0.939	53	0.013	1.8	140000	314.286	250	150	20	400	200	
6.115	0.156	53	0.013	0.6	36000	491.071	325	75	25	400	200	200-400-20-75
8.323	0.315	53	0.013	0.8	49000	491.071	325	75	25	400	200	
12.229	0.443	53	0.013	1	72000	491.071	325	75	25	400	200	

14.947	0.592	53	0.013	1.2	88000	491.071	325	75	25	400	200	
16.985	0.755	53	0.013	1.4	100000	491.071	325	75	25	400	200	
18.684	0.923	53	0.013	1.6	110000	491.071	325	75	25	400	200	
19.533	1.107	53	0.013	1.8	115000	491.071	325	75	25	400	200	
19.703	1.204	53	0.013	1.9	116000	491.071	325	75	25	400	200	
7.643	0.068	53	0.013	0.5	30000	491.071	350	50	25	400	200	SC-200-400-25-50
8.917	0.151	53	0.013	0.6	35000	491.071	350	50	25	400	200	
11.465	0.217	53	0.013	0.7	45000	491.071	350	50	25	400	200	
14.268	0.280	53	0.013	0.8	56000	491.071	350	50	25	400	200	
16.561	0.349	53	0.013	0.9	65000	491.071	350	50	25	400	200	
19.108	0.415	53	0.013	1	75000	491.071	350	50	25	400	200	
21.656	0.481	53	0.013	1.1	85000	491.071	350	50	25	400	200	
22.420	0.521	53	0.013	1.15	88000	491.071	350	50	25	400	200	
23.439	0.558	53	0.013	1.2	92000	491.071	350	50	25	400	200	
24.204	0.597	53	0.013	1.25	95000	491.071	350	50	25	400	200	
25.478	0.630	53	0.013	1.3	100000	491.071	350	50	25	400	200	
26.752	0.713	53	0.013	1.4	105000	491.071	350	50	25	400	200	
5.520	0.012	53	0.013	0.5	65000	491.071	250	150	25	400	200	SC-200-400-25-150
6.794	0.076	53	0.013	0.6	80000	491.071	250	150	25	400	200	
7.643	0.152	53	0.013	0.7	90000	491.071	250	150	25	400	200	
8.493	0.227	53	0.013	0.8	100000	491.071	250	150	25	400	200	
9.342	0.303	53	0.013	0.9	110000	491.071	250	150	25	400	200	
10.870	0.359	53	0.013	1	128000	491.071	250	150	25	400	200	
13.673	0.479	53	0.013	1.2	161000	491.071	250	150	25	400	200	
16.391	0.602	53	0.013	1.4	193000	491.071	250	150	25	400	200	
19.193	0.722	53	0.013	1.6	226000	491.071	250	150	25	400	200	
21.571	0.854	53	0.013	1.8	254000	491.071	250	150	25	400	200	
22.930	1.015	53	0.013	2	270000	491.071	250	150	25	400	200	
22.930	1.115	53	0.013	2.1	270000	491.071	250	150	25	400	200	

تابع الجدول (3-7-2) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SC ذات المقاومة المكببة للخرسانة 53 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ξ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	l_u mm	l_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
7.962	0.107	53	0.013	0.6	70000	616.000	300	100	28	400	200	SC-200-400-28-100
12.511	0.215	53	0.013	0.8	110000	616.000	300	100	28	400	200	
17.061	0.322	53	0.013	1	150000	616.000	300	100	28	400	200	
20.473	0.452	53	0.013	1.2	180000	616.000	300	100	28	400	200	
24.113	0.578	53	0.013	1.4	212000	616.000	300	100	28	400	200	
25.591	0.648	53	0.013	1.5	225000	616.000	300	100	28	400	200	
27.298	0.713	53	0.013	1.6	240000	616.000	300	100	28	400	200	
8.189	0.072	53	0.013	0.5	36000	616.000	350	50	28	400	200	4 0 9

11.374	0.135	53	0.013	0.6	50000	616.000	350	50	28	400	200	
14.331	0.199	53	0.013	0.7	63000	616.000	350	50	28	400	200	
17.061	0.267	53	0.013	0.8	75000	616.000	350	50	28	400	200	
19.791	0.334	53	0.013	0.9	87000	616.000	350	50	28	400	200	
21.611	0.363	53	0.013	0.95	95000	616.000	350	50	28	400	200	
22.293	0.405	53	0.013	1	98000	616.000	350	50	28	400	200	
23.658	0.769	53	0.013	1.05	104000	616.000	350	50	28	400	200	
24.568	0.478	53	0.013	1.1	108000	616.000	350	50	28	400	200	
25.023	0.522	53	0.013	1.15	110000	616.000	350	50	28	400	200	
26.843	0.551	53	0.013	1.2	118000	616.000	350	50	28	400	200	
4.671	0.078	53	0.013	0.55	22000	314.286	425	75	20	500	250	SC-250-500-20-75
6.369	0.227	53	0.013	0.75	30000	314.286	425	75	20	500	250	
7.431	0.344	53	0.013	0.9	35000	314.286	425	75	20	500	250	
12.739	0.438	53	0.013	1.34	60000	314.286	425	75	20	500	250	
14.862	0.769	53	0.013	1.55	70000	314.286	425	75	20	500	250	
16.985	0.955	53	0.013	1.8	80000	314.286	425	75	20	500	250	
19.108	1.290	53	0.013	2.2	90000	314.286	425	75	20	500	250	
7.473	0.088	53	0.013	0.6	44000	491.071	425	75	25	500	250	SC-250-500-25-75
10.191	0.243	53	0.013	0.82	60000	491.071	425	75	25	500	250	
14.437	0.319	53	0.013	1	85000	491.071	425	75	25	500	250	
16.985	0.458	53	0.013	1.2	100000	491.071	425	75	25	500	250	
20.382	0.585	53	0.013	1.41	120000	491.071	425	75	25	500	250	
23.779	0.743	53	0.013	1.65	140000	491.071	425	75	25	500	250	
26.327	0.931	53	0.013	1.9	155000	491.071	425	75	25	500	250	
28.875	1.269	53	0.013	2.3	170000	491.071	425	75	25	500	250	

تابع الجدول (3-7-2) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SC ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 53 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ϵ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	I_u mm	I_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
7.643	0.039	53	0.013	0.5	30000	491.071	450	50	25	500	250	SC-250-500-25-50
10.955	0.182	53	0.013	0.7	43000	491.071	450	50	25	500	250	
15.287	0.308	53	0.013	0.9	60000	491.071	450	50	25	500	250	
17.834	0.364	53	0.013	1	70000	491.071	450	50	25	500	250	
20.382	0.421	53	0.013	1.1	80000	491.071	450	50	25	500	250	
24.204	0.555	53	0.013	1.3	95000	491.071	450	50	25	500	250	

25.987	0.625	53	0.013	1.4	102000	491.071	450	50	25	500	250	
27.516	0.699	53	0.013	1.5	108000	491.071	450	50	25	500	250	
28.025	0.740	53	0.013	1.55	110000	491.071	450	50	25	500	250	
29.045	0.772	53	0.013	1.6	114000	491.071	450	50	25	500	250	
29.809	0.859	53	0.013	1.7	117000	491.071	450	50	25	500	250	
30.573	0.946	53	0.013	1.8	120000	491.071	450	50	25	500	250	
31.083	1.037	53	0.013	1.9	122000	491.071	450	50	25	500	250	
31.592	1.129	53	0.013	2	124000	491.071	450	50	25	500	250	

الجدول (3-7-3) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SD ذات المقاومة المكيبة للخرسانة 59.4 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ϵ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	l_u mm	l_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
11.720	0.085	59.4	0.01	0.4	23000	491.071	275	25	25	300	150	SD-150-300-25- 25
15.287	0.166	59.4	0.01	0.5	30000	491.071	275	25	25	300	150	
16.815	0.258	59.4	0.01	0.6	33000	491.071	275	25	25	300	150	
22.420	0.329	59.4	0.01	0.7	44000	491.071	275	25	25	300	150	
27.006	0.405	59.4	0.01	0.8	53000	491.071	275	25	25	300	150	
33.121	0.473	59.4	0.01	0.9	65000	491.071	275	25	25	300	150	

36.178	0.557	59.4	0.01	1	71000	491.071	275	25	25	300	150	SD-150-300-25-50
40.764	0.633	59.4	0.01	1.1	80000	491.071	275	25	25	300	150	
43.312	0.719	59.4	0.01	1.2	85000	491.071	275	25	25	300	150	
10.191	0.049	59.4	0.01	0.4	40000	491.071	250	50	25	300	150	
12.739	0.125	59.4	0.01	0.5	50000	491.071	250	50	25	300	150	
15.287	0.251	59.4	0.01	0.65	60000	491.071	250	50	25	300	150	
17.834	0.276	59.4	0.01	0.7	70000	491.071	250	50	25	300	150	
20.382	0.342	59.4	0.01	0.79	80000	491.071	250	50	25	300	150	
22.930	0.378	59.4	0.01	0.85	90000	491.071	250	50	25	300	150	
25.478	0.404	59.4	0.01	0.9	100000	491.071	250	50	25	300	150	
28.025	0.469	59.4	0.01	0.99	110000	491.071	250	50	25	300	150	
30.573	0.505	59.4	0.01	1.05	120000	491.071	250	50	25	300	150	
33.121	0.531	59.4	0.01	1.1	130000	491.071	250	50	25	300	150	
35.669	0.607	59.4	0.01	1.2	140000	491.071	250	50	25	300	150	
38.217	0.632	59.4	0.01	1.25	150000	491.071	250	50	25	300	150	
40.764	0.708	59.4	0.01	1.35	160000	491.071	250	50	25	300	150	
8.493	0.012	59.4	0.011	0.4	50000	491.071	225	75	25	300	150	SD-150-300-25-75
11.040	0.079	59.4	0.011	0.5	65000	491.071	225	75	25	300	150	
13.588	0.146	59.4	0.011	0.6	80000	491.071	225	75	25	300	150	
13.758	0.194	59.4	0.011	0.65	81000	491.071	225	75	25	300	150	
14.437	0.235	59.4	0.011	0.7	85000	491.071	225	75	25	300	150	
15.626	0.270	59.4	0.011	0.75	92000	491.071	225	75	25	300	150	
17.834	0.292	59.4	0.011	0.8	105000	491.071	225	75	25	300	150	
19.533	0.320	59.4	0.011	0.85	115000	491.071	225	75	25	300	150	
18.684	0.381	59.4	0.011	0.9	110000	491.071	225	75	25	300	150	
22.930	0.376	59.4	0.011	0.95	135000	491.071	225	75	25	300	150	
24.628	0.404	59.4	0.011	1	145000	491.071	225	75	25	300	150	
27.176	0.472	59.4	0.011	1.1	160000	491.071	225	75	25	300	150	
30.573	0.528	59.4	0.011	1.2	180000	491.071	225	75	25	300	150	
33.970	0.584	59.4	0.011	1.3	200000	491.071	225	75	25	300	150	
36.518	0.652	59.4	0.011	1.4	215000	491.071	225	75	25	300	150	
41.614	0.786	59.4	0.011	1.6	245000	491.071	225	75	25	300	150	

تابع الجدول (3-7-3) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SD ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 59.4 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ξ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	l_u mm	l_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
7.166	0.060	59.4	0.008	0.4	45000	314.286	200	100	20	300	150	SD-150-300-20-100
8.917	0.127	59.4	0.008	0.5	56000	314.286	200	100	20	300	150	
10.828	0.191	59.4	0.008	0.6	68000	314.286	200	100	20	300	150	
11.943	0.270	59.4	0.008	0.7	75000	314.286	200	100	20	300	150	
14.331	0.324	59.4	0.008	0.8	90000	314.286	200	100	20	300	150	

17.197	0.370	59.4	0.008	0.9	108000	314.286	200	100	20	300	150	
19.108	0.433	59.4	0.008	1	120000	314.286	200	100	20	300	150	
21.497	0.488	59.4	0.008	1.1	135000	314.286	200	100	20	300	150	
23.885	0.542	59.4	0.008	1.2	150000	314.286	200	100	20	300	150	
5.096	0.042	59.4	0.006	0.3	40000	314.286	175	125	20	300	150	SD-150-300-20-125
6.369	0.115	59.4	0.006	0.4	50000	314.286	175	125	20	300	150	
7.643	0.159	59.4	0.006	0.47	60000	314.286	175	125	20	300	150	
8.917	0.212	59.4	0.006	0.55	70000	314.286	175	125	20	300	150	
10.191	0.275	59.4	0.006	0.64	80000	314.286	175	125	20	300	150	
11.465	0.309	59.4	0.006	0.7	90000	314.286	175	125	20	300	150	
12.739	0.332	59.4	0.006	0.75	100000	314.286	175	125	20	300	150	
14.013	0.356	59.4	0.006	0.8	110000	314.286	175	125	20	300	150	
15.287	0.409	59.4	0.006	0.88	120000	314.286	175	125	20	300	150	
16.561	0.433	59.4	0.006	0.93	130000	314.286	175	125	20	300	150	
17.834	0.476	59.4	0.006	1	140000	314.286	175	125	20	300	150	
19.108	0.500	59.4	0.006	1.05	150000	314.286	175	125	20	300	150	
20.382	0.573	59.4	0.006	1.15	160000	314.286	175	125	20	300	150	
8.280	0.020	59.4	0.01	0.4	65000	491.071	200	100	25	300	150	SD-150-300-25-100
10.191	0.091	59.4	0.01	0.5	80000	491.071	200	100	25	300	150	
12.739	0.152	59.4	0.01	0.6	100000	491.071	200	100	25	300	150	
13.631	0.238	59.4	0.01	0.7	107000	491.071	200	100	25	300	150	
16.561	0.294	59.4	0.01	0.8	130000	491.071	200	100	25	300	150	
19.108	0.355	59.4	0.01	0.9	150000	491.071	200	100	25	300	150	
22.293	0.407	59.4	0.01	1	175000	491.071	200	100	25	300	150	
24.841	0.468	59.4	0.01	1.1	195000	491.071	200	100	25	300	150	
27.771	0.523	59.4	0.01	1.2	218000	491.071	200	100	25	300	150	
30.573	0.581	59.4	0.01	1.3	240000	491.071	200	100	25	300	150	
33.121	0.642	59.4	0.01	1.4	260000	491.071	200	100	25	300	150	
34.395	0.722	59.4	0.01	1.5	270000	491.071	200	100	25	300	150	

تابع الجدول (3-7-3) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SD ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 59.4 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ξ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	I_u mm	I_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
7.006	0.069	59.4	0.004	0.2	11000	314.286	175	25	20	200	100	200
11.465	0.151	59.4	0.004	0.3	18000	314.286	175	25	20	200	100	

14.013	0.240	59.4	0.004	0.4	22000	314.286	175	25	20	200	100	
19.108	0.319	59.4	0.004	0.5	30000	314.286	175	25	20	200	100	
25.478	0.392	59.4	0.004	0.6	40000	314.286	175	25	20	200	100	
28.662	0.429	59.4	0.004	0.65	45000	314.286	175	25	20	200	100	
31.847	0.466	59.4	0.004	0.7	50000	314.286	175	25	20	200	100	
33.758	0.508	59.4	0.004	0.75	53000	314.286	175	25	20	200	100	
36.943	0.545	59.4	0.004	0.8	58000	314.286	175	25	20	200	100	
39.490	0.584	59.4	0.004	0.85	62000	314.286	175	25	20	200	100	
42.038	0.623	59.4	0.004	0.9	66000	314.286	175	25	20	200	100	
46.497	0.705	59.4	0.004	1	73000	314.286	175	25	20	200	100	
8.917	0.033	59.4	0.008	0.3	28000	314.286	150	50	20	200	100	SD-100-200-20-50
11.146	0.117	59.4	0.008	0.4	35000	314.286	150	50	20	200	100	
14.331	0.195	59.4	0.008	0.5	45000	314.286	150	50	20	200	100	
17.516	0.222	59.4	0.008	0.55	55000	314.286	150	50	20	200	100	
19.108	0.260	59.4	0.008	0.6	60000	314.286	150	50	20	200	100	
23.885	0.326	59.4	0.008	0.7	75000	314.286	150	50	20	200	100	
28.662	0.392	59.4	0.008	0.8	90000	314.286	150	50	20	200	100	
31.847	0.470	59.4	0.008	0.9	100000	314.286	150	50	20	200	100	
35.669	0.542	59.4	0.008	1	112000	314.286	150	50	20	200	100	
8.493	0.035	59.4	0.011	0.39	40000	314.286	125	75	20	200	100	SD-100-200-20-75
10.616	0.126	59.4	0.011	0.5	50000	314.286	125	75	20	200	100	
12.739	0.157	59.4	0.011	0.55	60000	314.286	125	75	20	200	100	
14.862	0.188	59.4	0.011	0.6	70000	314.286	125	75	20	200	100	
16.985	0.229	59.4	0.011	0.66	80000	314.286	125	75	20	200	100	
19.108	0.270	59.4	0.011	0.72	90000	314.286	125	75	20	200	100	
21.231	0.321	59.4	0.011	0.79	100000	314.286	125	75	20	200	100	
25.478	0.393	59.4	0.011	0.9	120000	314.286	125	75	20	200	100	
27.601	0.474	59.4	0.011	1	130000	314.286	125	75	20	200	100	
29.724	0.505	59.4	0.011	1.05	140000	314.286	125	75	20	200	100	
32.909	0.557	59.4	0.011	1.13	155000	314.286	125	75	20	200	100	

تابع الجدول (3-7-3) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SD ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 59.4 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ϵ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	I_u mm	I_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
5.096	0.065	59.4	0.004	0.2	8000	314.286	275	25	20	300	150	SD-150-300-20-25
8.280	0.144	59.4	0.004	0.3	13000	314.286	275	25	20	300	150	
10.828	0.228	59.4	0.004	0.4	17000	314.286	275	25	20	300	150	
12.739	0.315	59.4	0.004	0.5	20000	314.286	275	25	20	300	150	

17.834	0.382	59.4	0.004	0.6	28000	314.286	275	25	20	300	150	
22.293	0.453	59.4	0.004	0.7	35000	314.286	275	25	20	300	150	
26.752	0.523	59.4	0.004	0.8	42000	314.286	275	25	20	300	150	
29.936	0.603	59.4	0.004	0.9	47000	314.286	275	25	20	300	150	
33.758	0.678	59.4	0.004	1	53000	314.286	275	25	20	300	150	
35.032	0.769	59.4	0.004	1.1	55000	314.286	275	25	20	300	150	
36.943	0.857	59.4	0.004	1.2	58000	314.286	275	25	20	300	150	
38.854	0.944	59.4	0.004	1.3	61000	314.286	275	25	20	300	150	
39.490	1.040	59.4	0.004	1.4	62000	314.286	275	25	20	300	150	
9.554	0.109	59.4	0.007	0.4	30000	314.286	250	50	20	300	150	SD-150-300-20-50
12.102	0.178	59.4	0.007	0.5	38000	314.286	250	50	20	300	150	
13.376	0.263	59.4	0.007	0.6	42000	314.286	250	50	20	300	150	
17.516	0.314	59.4	0.007	0.7	55000	314.286	250	50	20	300	150	
20.701	0.376	59.4	0.007	0.8	65000	314.286	250	50	20	300	150	
23.885	0.438	59.4	0.007	0.9	75000	314.286	250	50	20	300	150	
27.070	0.500	59.4	0.007	1	85000	314.286	250	50	20	300	150	
31.847	0.643	59.4	0.007	1.2	100000	314.286	250	50	20	300	150	
36.624	0.787	59.4	0.007	1.4	115000	314.286	250	50	20	300	150	
38.217	0.868	59.4	0.007	1.5	120000	314.286	250	50	20	300	150	SD-150-300-20-75
4.246	0.005	59.4	0.005	0.2	20000	314.286	225	75	20	300	150	
6.369	0.071	59.4	0.005	0.3	30000	314.286	225	75	20	300	150	
8.493	0.137	59.4	0.005	0.4	40000	314.286	225	75	20	300	150	
10.191	0.209	59.4	0.005	0.5	48000	314.286	225	75	20	300	150	
12.314	0.275	59.4	0.005	0.6	58000	314.286	225	75	20	300	150	
13.800	0.351	59.4	0.005	0.7	65000	314.286	225	75	20	300	150	
16.561	0.407	59.4	0.005	0.8	78000	314.286	225	75	20	300	150	
19.108	0.466	59.4	0.005	0.9	90000	314.286	225	75	20	300	150	
21.231	0.532	59.4	0.005	1	100000	314.286	225	75	20	300	150	
24.416	0.581	59.4	0.005	1.1	115000	314.286	225	75	20	300	150	
26.539	0.647	59.4	0.005	1.2	125000	314.286	225	75	20	300	150	
29.724	0.696	59.4	0.005	1.3	140000	314.286	225	75	20	300	150	
31.847	0.762	59.4	0.005	1.4	150000	314.286	225	75	20	300	150	

تابع الجدول (3-7-3) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SD ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 59.4 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ξ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	l_u mm	l_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
6.369	0.092	59.4	0.004	0.25	10000	314.286	375	25	20	400	200	SD-200-400-20-25
12.739	0.335	59.4	0.004	0.55	20000	314.286	375	25	20	400	200	
14.013	0.3534	59.4	0.004	0.58	22000	314.286	375	25	20	400	200	
15.287	0.362	59.4	0.004	0.6	24000	314.286	375	25	20	400	200	

16.561	0.371	59.4	0.004	0.62	26000	314.286	375	25	20	400	200	
17.834	0.389	59.4	0.004	0.65	28000	314.286	375	25	20	400	200	
19.108	0.428	59.4	0.004	0.7	30000	314.286	375	25	20	400	200	
20.382	0.447	59.4	0.004	0.73	32000	314.286	375	25	20	400	200	
21.656	0.465	59.4	0.004	0.76	34000	314.286	375	25	20	400	200	
22.930	0.494	59.4	0.004	0.8	36000	314.286	375	25	20	400	200	
24.204	0.512	59.4	0.004	0.83	38000	314.286	375	25	20	400	200	
25.478	0.561	59.4	0.004	0.89	40000	314.286	375	25	20	400	200	
26.752	0.560	59.4	0.004	0.9	42000	314.286	375	25	20	400	200	
28.025	0.598	59.4	0.004	0.95	44000	314.286	375	25	20	400	200	
29.299	0.637	59.4	0.004	1	46000	314.286	375	25	20	400	200	
31.847	0.694	59.4	0.004	1.08	50000	314.286	375	25	20	400	200	
34.395	0.772	59.4	0.004	1.18	54000	314.286	375	25	20	400	200	
35.669	0.780	59.4	0.004	1.2	56000	314.286	375	25	20	400	200	
36.943	0.849	59.4	0.004	1.28	58000	314.286	375	25	20	400	200	
38.217	0.857	59.4	0.004	1.3	60000	314.286	375	25	20	400	200	
39.490	0.946	59.4	0.004	1.4	62000	314.286	375	25	20	400	200	
43.312	1.112	59.4	0.004	1.6	68000	314.286	375	25	20	400	200	
44.586	1.201	59.4	0.004	1.7	70000	314.286	375	25	20	400	200	
45.860	1.389	59.4	0.004	1.9	72000	314.286	375	25	20	400	200	

تابع الجدول (3-7-3) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SD ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 59.4 MPa

(τ_v) MPa	(δ) mm	F_K MPa	ϵ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	I_u mm	I_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
5.732	0.103	59.4	0.004	0.3	18000	314.286	350	50	20	400	200	SD-200- 400-20-50
7.006	0.182	59.4	0.004	0.4	22000	314.286	350	50	20	400	200	
8.917	0.200	59.4	0.004	0.45	28000	314.286	350	50	20	400	200	
11.146	0.333	59.4	0.004	0.62	35000	314.286	350	50	20	400	200	

12.739	0.356	59.4	0.004	0.67	40000	314.286	350	50	20	400	200	
14.331	0.380	59.4	0.004	0.72	45000	314.286	350	50	20	400	200	
15.924	0.413	59.4	0.004	0.78	50000	314.286	350	50	20	400	200	
17.516	0.427	59.4	0.004	0.82	55000	314.286	350	50	20	400	200	
19.108	0.480	59.4	0.004	0.9	60000	314.286	350	50	20	400	200	
20.701	0.504	59.4	0.004	0.95	65000	314.286	350	50	20	400	200	
22.293	0.527	59.4	0.004	1	70000	314.286	350	50	20	400	200	
23.885	0.551	59.4	0.004	1.05	75000	314.286	350	50	20	400	200	
25.478	0.574	59.4	0.004	1.1	80000	314.286	350	50	20	400	200	
27.070	0.598	59.4	0.004	1.15	85000	314.286	350	50	20	400	200	
28.662	0.621	59.4	0.004	1.2	90000	314.286	350	50	20	400	200	
30.255	0.645	59.4	0.004	1.25	95000	314.286	350	50	20	400	200	
31.847	0.668	59.4	0.004	1.3	100000	314.286	350	50	20	400	200	
35.032	0.765	59.4	0.004	1.45	110000	314.286	350	50	20	400	200	
36.624	0.789	59.4	0.004	1.5	115000	314.286	350	50	20	400	200	
38.217	0.862	59.4	0.004	1.6	120000	314.286	350	50	20	400	200	
43.949	0.967	59.4	0.004	1.8	138000	314.286	350	50	20	400	200	
44.586	1.156	59.4	0.004	2	140000	314.286	350	50	20	400	200	
3.397	0.020	59.4	0.004	0.2	16000	314.286	325	75	20	400	200	SD-200-400-20-75
6.369	0.151	59.4	0.004	0.4	30000	314.286	325	75	20	400	200	
8.493	0.301	59.4	0.004	0.6	40000	314.286	325	75	20	400	200	
12.739	0.403	59.4	0.004	0.8	60000	314.286	325	75	20	400	200	
18.047	0.480	59.4	0.004	1	85000	314.286	325	75	20	400	200	
23.355	0.557	59.4	0.004	1.2	110000	314.286	325	75	20	400	200	
27.176	0.668	59.4	0.004	1.4	128000	314.286	325	75	20	400	200	
30.786	0.784	59.4	0.004	1.6	145000	314.286	325	75	20	400	200	
33.546	0.920	59.4	0.004	1.8	158000	314.286	325	75	20	400	200	
33.970	1.111	59.4	0.004	2	160000	314.286	325	75	20	400	200	

تابع الجدول (3-7-3) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SD ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 59.4 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ξ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	l_u mm	l_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
2.123	0.023	59.4	0.004	0.2	20000	314.286	250	150	20	400	200	SD-200-400-20-150
5.308	0.109	59.4	0.004	0.4	50000	314.286	250	150	20	400	200	
5.839	0.190	59.4	0.004	0.5	55000	314.286	250	150	20	400	200	

7.431	0.233	59.4	0.004	0.6	70000	314.286	250	150	20	400	200	
8.493	0.295	59.4	0.004	0.7	80000	314.286	250	150	20	400	200	
9.554	0.357	59.4	0.004	0.8	90000	314.286	250	150	20	400	200	
11.677	0.382	59.4	0.004	0.9	110000	314.286	250	150	20	400	200	
13.800	0.406	59.4	0.004	1	130000	314.286	250	150	20	400	200	
15.393	0.449	59.4	0.004	1.1	145000	314.286	250	150	20	400	200	
16.985	0.492	59.4	0.004	1.2	160000	314.286	250	150	20	400	200	
18.577	0.736	59.4	0.004	1.5	175000	314.286	250	150	20	400	200	
8.493	0.239	59.4	0.004	0.4	8000	113.143	175	25	12	200	100	
10.616	0.325	59.4	0.004	0.5	10000	113.143	175	25	12	200	100	
12.739	0.410	59.4	0.004	0.6	12000	113.143	175	25	12	200	100	
14.862	0.495	59.4	0.004	0.7	14000	113.143	175	25	12	200	100	
18.047	0.573	59.4	0.004	0.8	17000	113.143	175	25	12	200	100	
22.293	0.644	59.4	0.004	0.9	21000	113.143	175	25	12	200	100	
25.478	0.722	59.4	0.004	1	24000	113.143	175	25	12	200	100	
27.601	0.807	59.4	0.004	1.1	26000	113.143	175	25	12	200	100	
30.786	0.885	59.4	0.004	1.2	29000	113.143	175	25	12	200	100	
36.093	1.048	59.4	0.004	1.4	34000	113.143	175	25	12	200	100	
40.340	1.219	59.4	0.004	1.6	38000	113.143	175	25	12	200	100	
44.586	1.389	59.4	0.004	1.8	42000	113.143	175	25	12	200	100	
46.709	1.574	59.4	0.004	2	44000	113.143	175	25	12	200	100	
3.715	0.054	59.4	0.004	0.2	7000	113.143	150	50	12	200	100	SD-100-200-12-50
6.900	0.216	59.4	0.004	0.4	13000	113.143	150	50	12	200	100	
10.085	0.378	59.4	0.004	0.6	19000	113.143	150	50	12	200	100	
13.270	0.541	59.4	0.004	0.8	25000	113.143	150	50	12	200	100	
15.924	0.709	59.4	0.004	1	30000	113.143	150	50	12	200	100	
18.577	0.777	59.4	0.004	1.1	35000	113.143	150	50	12	200	100	
21.231	0.846	59.4	0.004	1.2	40000	113.143	150	50	12	200	100	
23.885	0.914	59.4	0.004	1.3	45000	113.143	150	50	12	200	100	
25.478	0.995	59.4	0.004	1.4	48000	113.143	150	50	12	200	100	
27.070	1.076	59.4	0.004	1.5	51000	113.143	150	50	12	200	100	
29.193	1.151	59.4	0.004	1.6	55000	113.143	150	50	12	200	100	
32.909	1.307	59.4	0.004	1.8	62000	113.143	150	50	12	200	100	
35.563	1.475	59.4	0.004	2	67000	113.143	150	50	12	200	100	
37.686	1.650	59.4	0.004	2.2	71000	113.143	150	50	12	200	100	

تابع الجدول (3-7-3) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SD ذات المقاومة المكببة للخرسانة 59.4 MPa

(τ_v) MPa	(δ) mm	F_K MPa	ϵ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	l_u mm	l_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
4.600	0.130	59.4	0.004	0.3	13000	113.143	125	75	12	200	100	SD-100-200-12-50

7.077	0.293	59.4	0.004	0.5	20000	113.143	125	75	12	200	100	
10.616	0.441	59.4	0.004	0.7	30000	113.143	125	75	12	200	100	
13.447	0.598	59.4	0.004	0.9	38000	113.143	125	75	12	200	100	
14.862	0.677	59.4	0.004	1	42000	113.143	125	75	12	200	100	
19.108	0.814	59.4	0.004	1.2	54000	113.143	125	75	12	200	100	
21.231	0.883	59.4	0.004	1.3	60000	113.143	125	75	12	200	100	
23.001	0.956	59.4	0.004	1.4	65000	113.143	125	75	12	200	100	
24.770	1.030	59.4	0.004	1.5	70000	113.143	125	75	12	200	100	
26.539	1.104	59.4	0.004	1.6	75000	113.143	125	75	12	200	100	
28.309	1.178	59.4	0.004	1.7	80000	113.143	125	75	12	200	100	
30.432	1.346	59.4	0.004	1.9	86000	113.143	125	75	12	200	100	
31.139	1.535	59.4	0.004	2.1	88000	113.143	125	75	12	200	100	
4.076	0.069	59.4	0.004	0.2	8000	491.071	375	25	25	400	200	SD-200-400-25-25
7.643	0.244	59.4	0.004	0.4	15000	491.071	375	25	25	400	200	
11.210	0.418	59.4	0.004	0.6	22000	491.071	375	25	25	400	200	
15.287	0.589	59.4	0.004	0.8	30000	491.071	375	25	25	400	200	
20.382	0.753	59.4	0.004	1	40000	491.071	375	25	25	400	200	
22.930	0.835	59.4	0.004	1.1	45000	491.071	375	25	25	400	200	
25.478	0.917	59.4	0.004	1.2	50000	491.071	375	25	25	400	200	
28.025	0.998	59.4	0.004	1.3	55000	491.071	375	25	25	400	200	
30.573	1.080	59.4	0.004	1.4	60000	491.071	375	25	25	400	200	
33.121	1.162	59.4	0.004	1.5	65000	491.071	375	25	25	400	200	
34.650	1.251	59.4	0.004	1.6	68000	491.071	375	25	25	400	200	
35.669	1.344	59.4	0.004	1.7	70000	491.071	375	25	25	400	200	
38.217	1.426	59.4	0.004	1.8	75000	491.071	375	25	25	400	200	

تابع الجدول (3-7-3) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SD ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 59.4 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ϵ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	I_u mm	I_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
2.548	0.064	59.4	0.004	0.2	10000	491.071	350	50	25	400	200	40

5.860	0.220	59.4	0.004	0.4	23000	491.071	350	50	25	400	200	
8.408	0.386	59.4	0.004	0.6	33000	491.071	350	50	25	400	200	
10.191	0.513	59.4	0.004	0.75	40000	491.071	350	50	25	400	200	
10.955	0.552	59.4	0.004	0.8	43000	491.071	350	50	25	400	200	
12.484	0.632	59.4	0.004	0.9	49000	491.071	350	50	25	400	200	
12.739	0.729	59.4	0.004	1	50000	491.071	350	50	25	400	200	
15.287	0.795	59.4	0.004	1.1	60000	491.071	350	50	25	400	200	
17.325	0.868	59.4	0.004	1.2	68000	491.071	350	50	25	400	200	
19.108	0.944	59.4	0.004	1.3	75000	491.071	350	50	25	400	200	
20.382	1.027	59.4	0.004	1.4	80000	491.071	350	50	25	400	200	
22.420	1.100	59.4	0.004	1.5	88000	491.071	350	50	25	400	200	
23.694	1.183	59.4	0.004	1.6	93000	491.071	350	50	25	400	200	
25.478	1.259	59.4	0.004	1.7	100000	491.071	350	50	25	400	200	
26.752	1.342	59.4	0.004	1.8	105000	491.071	350	50	25	400	200	
27.516	1.432	59.4	0.004	1.9	108000	491.071	350	50	25	400	200	
28.025	1.525	59.4	0.004	2	110000	491.071	350	50	25	400	200	
3.057	0.042	59.4	0.004	0.2	18000	491.071	325	75	25	400	200	SD-200-400-25-75
5.096	0.204	59.4	0.004	0.4	30000	491.071	325	75	25	400	200	
8.493	0.341	59.4	0.004	0.6	50000	491.071	325	75	25	400	200	
11.040	0.494	59.4	0.004	0.8	65000	491.071	325	75	25	400	200	
12.739	0.662	59.4	0.004	1	75000	491.071	325	75	25	400	200	
16.985	0.783	59.4	0.004	1.2	100000	491.071	325	75	25	400	200	
21.741	0.895	59.4	0.004	1.4	128000	491.071	325	75	25	400	200	
25.478	1.026	59.4	0.004	1.6	150000	491.071	325	75	25	400	200	
28.875	1.163	59.4	0.004	1.8	170000	491.071	325	75	25	400	200	
30.573	1.331	59.4	0.004	2	180000	491.071	325	75	25	400	200	
32.272	1.500	59.4	0.004	2.2	190000	491.071	325	75	25	400	200	

الجدول (3-7-4) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SF ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 48.6 MPa

τ_v MPa	δ mm	F_K MPa	ξ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	l_u mm	l_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
6.369	0.001	48.6	0.007	0.3	40000	314.286	200	100	20	300	150	300
7.962	0.071	48.6	0.007	0.4	50000	314.286	200	100	20	300	150	

10.350	0.125	48.6	0.007	0.5	65000	314.286	200	100	20	300	150	
11.943	0.195	48.6	0.007	0.6	75000	314.286	200	100	20	300	150	
14.331	0.249	48.6	0.007	0.7	90000	314.286	200	100	20	300	150	
15.924	0.319	48.6	0.007	0.8	100000	314.286	200	100	20	300	150	
18.312	0.374	48.6	0.007	0.9	115000	314.286	200	100	20	300	150	
20.382	0.434	48.6	0.007	1	128000	314.286	200	100	20	300	150	
23.248	0.480	48.6	0.007	1.1	146000	314.286	200	100	20	300	150	
24.841	0.549	48.6	0.007	1.2	156000	314.286	200	100	20	300	150	
7.325	0.010	48.6	0.008	0.3	23000	314.286	250	50	20	300	150	SF-150-300-20-50
10.828	0.068	48.6	0.008	0.4	34000	314.286	250	50	20	300	150	
13.057	0.141	48.6	0.008	0.5	41000	314.286	250	50	20	300	150	
15.287	0.215	48.6	0.008	0.6	48000	314.286	250	50	20	300	150	
17.197	0.292	48.6	0.008	0.7	54000	314.286	250	50	20	300	150	
20.701	0.351	48.6	0.008	0.8	65000	314.286	250	50	20	300	150	
25.159	0.398	48.6	0.008	0.9	79000	314.286	250	50	20	300	150	
3.397	0.071	48.6	0.009	0.3	80000	491.071	0	300	25	300	150	SF-150-300-25-300
3.822	0.091	48.6	0.009	0.32	90000	491.071	0	300	25	300	150	
4.246	0.131	48.6	0.009	0.36	100000	491.071	0	300	25	300	150	
5.096	0.221	48.6	0.009	0.45	120000	491.071	0	300	25	300	150	
5.945	0.271	48.6	0.009	0.5	140000	491.071	0	300	25	300	150	
6.794	0.371	48.6	0.009	0.6	160000	491.071	0	300	25	300	150	
7.643	0.471	48.6	0.009	0.7	180000	491.071	0	300	25	300	150	
8.493	0.521	48.6	0.009	0.75	200000	491.071	0	300	25	300	150	
9.342	0.571	48.6	0.009	0.8	220000	491.071	0	300	25	300	150	
9.766	0.671	48.6	0.009	0.9	230000	491.071	0	300	25	300	150	SF-150-300-25-150
3.397	0.039	48.6	0.008	0.3	40000	491.071	150	150	25	300	150	
4.926	0.112	48.6	0.008	0.4	58000	491.071	150	150	25	300	150	
5.945	0.195	48.6	0.008	0.5	70000	491.071	150	150	25	300	150	
6.794	0.280	48.6	0.008	0.6	80000	491.071	150	150	25	300	150	
8.493	0.351	48.6	0.008	0.7	100000	491.071	150	150	25	300	150	
10.191	0.422	48.6	0.008	0.8	120000	491.071	150	150	25	300	150	
11.890	0.493	48.6	0.008	0.9	140000	491.071	150	150	25	300	150	
13.588	0.564	48.6	0.008	1	160000	491.071	150	150	25	300	150	
15.287	0.635	48.6	0.008	1.1	180000	491.071	150	150	25	300	150	
16.985	0.706	48.6	0.008	1.2	200000	491.071	150	150	25	300	150	
17.834	0.741	48.6	0.008	1.25	210000	491.071	150	150	25	300	150	

تابع الجدول (3-7-4) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SF ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 48.6 MPa

(τ_v) MPa	(δ) mm	F_K MPa	ϵ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	I_u mm	I_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
3.397	0.029	48.6	0.007	0.25	20000	491.071	225	75	25	300	150	300

5.096	0.137	48.6	0.007	0.38	30000	491.071	225	75	25	300	150	
6.794	0.235	48.6	0.007	0.5	40000	491.071	225	75	25	300	150	
8.493	0.313	48.6	0.007	0.6	50000	491.071	225	75	25	300	150	
10.191	0.421	48.6	0.007	0.73	60000	491.071	225	75	25	300	150	
11.890	0.469	48.6	0.007	0.8	70000	491.071	225	75	25	300	150	
13.588	0.548	48.6	0.007	0.9	80000	491.071	225	75	25	300	150	
15.287	0.606	48.6	0.007	0.98	90000	491.071	225	75	25	300	150	
16.985	0.704	48.6	0.007	1.1	100000	491.071	225	75	25	300	150	
18.684	0.772	48.6	0.007	1.19	110000	491.071	225	75	25	300	150	
20.382	0.860	48.6	0.007	1.3	120000	491.071	225	75	25	300	150	
23.779	1.117	48.6	0.007	1.6	140000	491.071	225	75	25	300	150	SF-150-300-25-75
5.096	0.057	48.6	0.007	0.3	30000	491.071	225	75	25	300	150	
8.662	0.261	48.6	0.007	0.55	51000	491.071	225	75	25	300	150	
8.832	0.309	48.6	0.007	0.6	52000	491.071	225	75	25	300	150	
11.890	0.369	48.6	0.007	0.7	70000	491.071	225	75	25	300	150	
14.607	0.435	48.6	0.007	0.8	86000	491.071	225	75	25	300	150	
16.985	0.504	48.6	0.007	0.9	100000	491.071	225	75	25	300	150	
19.023	0.578	48.6	0.007	1	112000	491.071	225	75	25	300	150	SF-150-300-25-75
3.397	0.004	48.6	0.006	0.2	20000	491.071	225	75	25	300	150	
5.096	0.082	48.6	0.006	0.3	30000	491.071	225	75	25	300	150	
6.794	0.160	48.6	0.006	0.4	40000	491.071	225	75	25	300	150	
8.493	0.239	48.6	0.006	0.5	50000	491.071	225	75	25	300	150	
9.342	0.328	48.6	0.006	0.6	55000	491.071	225	75	25	300	150	
11.890	0.395	48.6	0.006	0.7	70000	491.071	225	75	25	300	150	
14.947	0.456	48.6	0.006	0.8	88000	491.071	225	75	25	300	150	
16.985	0.529	48.6	0.006	0.9	100000	491.071	225	75	25	300	150	
19.533	0.597	48.6	0.006	1	115000	491.071	225	75	25	300	150	
23.949	0.740	48.6	0.006	1.2	141000	491.071	225	75	25	300	150	SF-150-300-25-25
27.176	0.899	48.6	0.006	1.4	160000	491.071	225	75	25	300	150	
5.096	0.097	48.6	0.003	0.2	10000	491.071	275	25	25	300	150	
9.172	0.276	48.6	0.003	0.4	18000	491.071	275	25	25	300	150	
10.191	0.320	48.6	0.003	0.45	20000	491.071	275	25	25	300	150	
15.287	0.444	48.6	0.003	0.6	30000	491.071	275	25	25	300	150	
20.382	0.517	48.6	0.003	0.7	40000	491.071	275	25	25	300	150	
24.459	0.596	48.6	0.003	0.8	48000	491.071	275	25	25	300	150	
30.573	0.764	48.6	0.003	1	60000	491.071	275	25	25	300	150	SF-150-300-25-25
35.669	0.937	48.6	0.003	1.2	70000	491.071	275	25	25	300	150	

تابع الجدول (3-7-4) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SF ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 48.6 MPa

τ_v	δ	F_K	ξ_c	u	P	A_s	I_u	I_b	d_s	H_c	D_c	النموذج
MPa	mm	MPa	mm	mm	N	mm ²	mm	mm	mm	mm	mm	

4.076	0.102	48.6	0.003	0.2	8000	491.071	275	25	25	300	150	SF-150-300-25-25
7.643	0.284	48.6	0.003	0.4	15000	491.071	275	25	25	300	150	
11.210	0.365	48.6	0.003	0.5	22000	491.071	275	25	25	300	150	
11.720	0.462	48.6	0.003	0.6	23000	491.071	275	25	25	300	150	
15.287	0.544	48.6	0.003	0.7	30000	491.071	275	25	25	300	150	
18.344	0.628	48.6	0.003	0.8	36000	491.071	275	25	25	300	150	
23.949	0.798	48.6	0.003	1	47000	491.071	275	25	25	300	150	
28.535	0.974	48.6	0.003	1.2	56000	491.071	275	25	25	300	150	
31.083	1.161	48.6	0.003	1.4	61000	491.071	275	25	25	300	150	
33.121	1.350	48.6	0.003	1.6	65000	491.071	275	25	25	300	150	
2.548	0.110	48.6	0.002	0.2	20000	491.071	200	100	25	300	150	SF-150-300-25-100
3.822	0.191	48.6	0.002	0.3	30000	491.071	200	100	25	300	150	
5.096	0.272	48.6	0.002	0.4	40000	491.071	200	100	25	300	150	
7.006	0.393	48.6	0.002	0.55	55000	491.071	200	100	25	300	150	
8.280	0.453	48.6	0.002	0.63	65000	491.071	200	100	25	300	150	
9.554	0.504	48.6	0.002	0.7	75000	491.071	200	100	25	300	150	
10.828	0.544	48.6	0.002	0.76	85000	491.071	200	100	25	300	150	
12.102	0.585	48.6	0.002	0.82	95000	491.071	200	100	25	300	150	
13.376	0.636	48.6	0.002	0.89	105000	491.071	200	100	25	300	150	
15.287	0.696	48.6	0.002	0.98	120000	491.071	200	100	25	300	150	
17.197	0.757	48.6	0.002	1.07	135000	491.071	200	100	25	300	150	
18.471	0.818	48.6	0.002	1.15	145000	491.071	200	100	25	300	150	
19.745	0.879	48.6	0.002	1.23	155000	491.071	200	100	25	300	150	
21.656	0.970	48.6	0.002	1.35	170000	491.071	200	100	25	300	150	
22.930	1.050	48.6	0.002	1.45	180000	491.071	200	100	25	300	150	
24.204	1.131	48.6	0.002	1.55	190000	491.071	200	100	25	300	150	
3.185	0.045	48.6	0.006	0.25	10000	314.286	350	50	20	400	200	SF-200-400-20-50
6.369	0.232	48.6	0.006	0.49	20000	314.286	350	50	20	400	200	
9.554	0.289	48.6	0.006	0.6	30000	314.286	350	50	20	400	200	
12.739	0.355	48.6	0.006	0.72	40000	314.286	350	50	20	400	200	
15.924	0.462	48.6	0.006	0.88	50000	314.286	350	50	20	400	200	
19.108	0.529	48.6	0.006	1	60000	314.286	350	50	20	400	200	
21.656	0.637	48.6	0.006	1.15	68000	314.286	350	50	20	400	200	

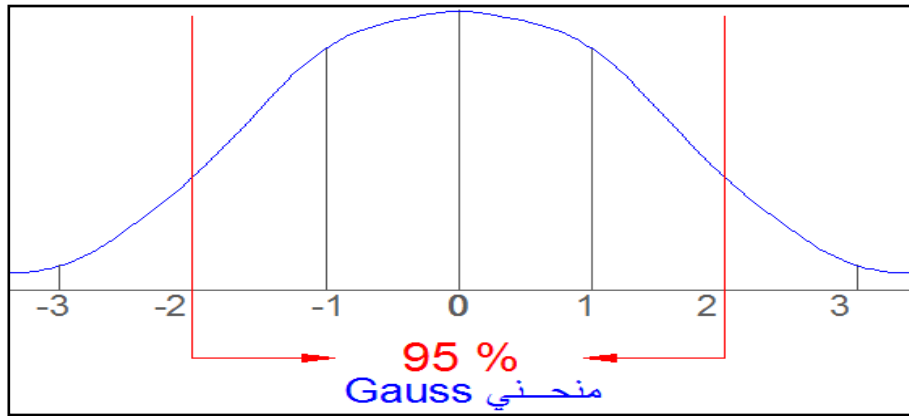
تابع الجدول (3-7-4) نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SF ذات المقاومة المكعبية للخرسانة 48.6 MPa

(τ_v) MPa	(δ) mm	F_K MPa	ϵ_c mm	u mm	P N	A_s mm ²	l_u mm	l_b mm	d_s mm	H_c mm	D_c mm	النموذج
4.246	0.049	48.6	0.006	0.3	20000	314.286	325	75	20	400	200	SF-200-400-20-75
6.369	0.170	48.6	0.006	0.47	30000	314.286	325	75	20	400	200	
8.493	0.201	48.6	0.006	0.55	40000	314.286	325	75	20	400	200	
10.616	0.241	48.6	0.006	0.64	50000	314.286	325	75	20	400	200	
12.739	0.272	48.6	0.006	0.72	60000	314.286	325	75	20	400	200	
14.862	0.353	48.6	0.006	0.85	70000	314.286	325	75	20	400	200	
16.985	0.394	48.6	0.006	0.94	80000	314.286	325	75	20	400	200	
19.108	0.454	48.6	0.006	1.05	90000	314.286	325	75	20	400	200	
21.231	0.505	48.6	0.006	1.15	100000	314.286	325	75	20	400	200	
23.355	0.556	48.6	0.006	1.25	110000	314.286	325	75	20	400	200	
25.478	0.607	48.6	0.006	1.35	120000	314.286	325	75	20	400	200	
6.369	0.050	48.6	0.008	0.39	60000	314.286	150	150	20	300	150	SF-150-300-20-150
7.431	0.058	48.6	0.008	0.42	70000	314.286	150	150	20	300	150	
8.493	0.115	48.6	0.008	0.5	80000	314.286	150	150	20	300	150	
9.554	0.142	48.6	0.008	0.55	90000	314.286	150	150	20	300	150	
10.616	0.170	48.6	0.008	0.6	100000	314.286	150	150	20	300	150	
11.677	0.247	48.6	0.008	0.7	110000	314.286	150	150	20	300	150	
12.739	0.274	48.6	0.008	0.75	120000	314.286	150	150	20	300	150	
13.800	0.301	48.6	0.008	0.8	130000	314.286	150	150	20	300	150	
14.862	0.329	48.6	0.008	0.85	140000	314.286	150	150	20	300	150	
15.924	0.356	48.6	0.008	0.9	150000	314.286	150	150	20	300	150	

8 3 الدراسة الاحتمالية على نتائج الدراسة التحليلية:

تمّ في هذه المرحلة تكرار للعمل الذي قمنا به في الفقرة 2-4-2 حيث أجرينا دراسة احتمالية على البيانات إجهاد التماسك-الانزلاق التي استنتجت من الفقرة 3-7، حيث تمّ إدخال هذه البيانات على البرنامج الخاص برسم المنحنيات Graph4.3 و لكل سلسلة من النماذج لوحدها لمعرفة تأثير المقاومة الخرسانية على علاقة إجهاد التماسك-الانزلاق.

حيث قمنا بتطبيق نظرية الإحصاء على هذه البيانات واستنتجنا منحنيات التناثر الإحصائي التي تربط فيما بينها، و تمّ تمثيل هذه المنحنيات بشكل مقارب لمنحنى غاوس (Gauss) الذي يمثل منحنى التوزيع الطبيعي في علم الإحصاء. أيضاً كانت القيم الاحتمالية المتوافقة مع البيانات التحليلية و التي تعبر عن دقة و مدى الارتباط بين هذه البيانات بشكل جيد هي القيم الاحتمالية 95% ، 5% كقيمة احتمالية عليا و قيمة احتمالية دنيا على الترتيب، و تمّ تمثيل المنحنيات الناتجة في هذا البحث حسب قيمها الاحتمالية بشكل مقارب لمنحنى Gauss الموضح بالشكل (3-8-1):



الشكل (3-8-1) منحنى غاوس (Gauss) للبيانات التحليلية

كذلك تمّ استنتاج معادلة كل منحنى من منحنيات التناثر الإحصائي ل لعلاقة إجهاد التماسك-الانزلاق التحليلية، و الأشكال التوضيحية التالية تبين هذه المنحنيات، و الجداول الموجودة على الأشكال التوضيحية تبين الثابت (A , N) للشكل العام لعلاقة إجهاد التماسك-الانزلاق المعطاة إحصائياً لكل منحنى حسب القيمة الاحتمالية المتوافقة معه.

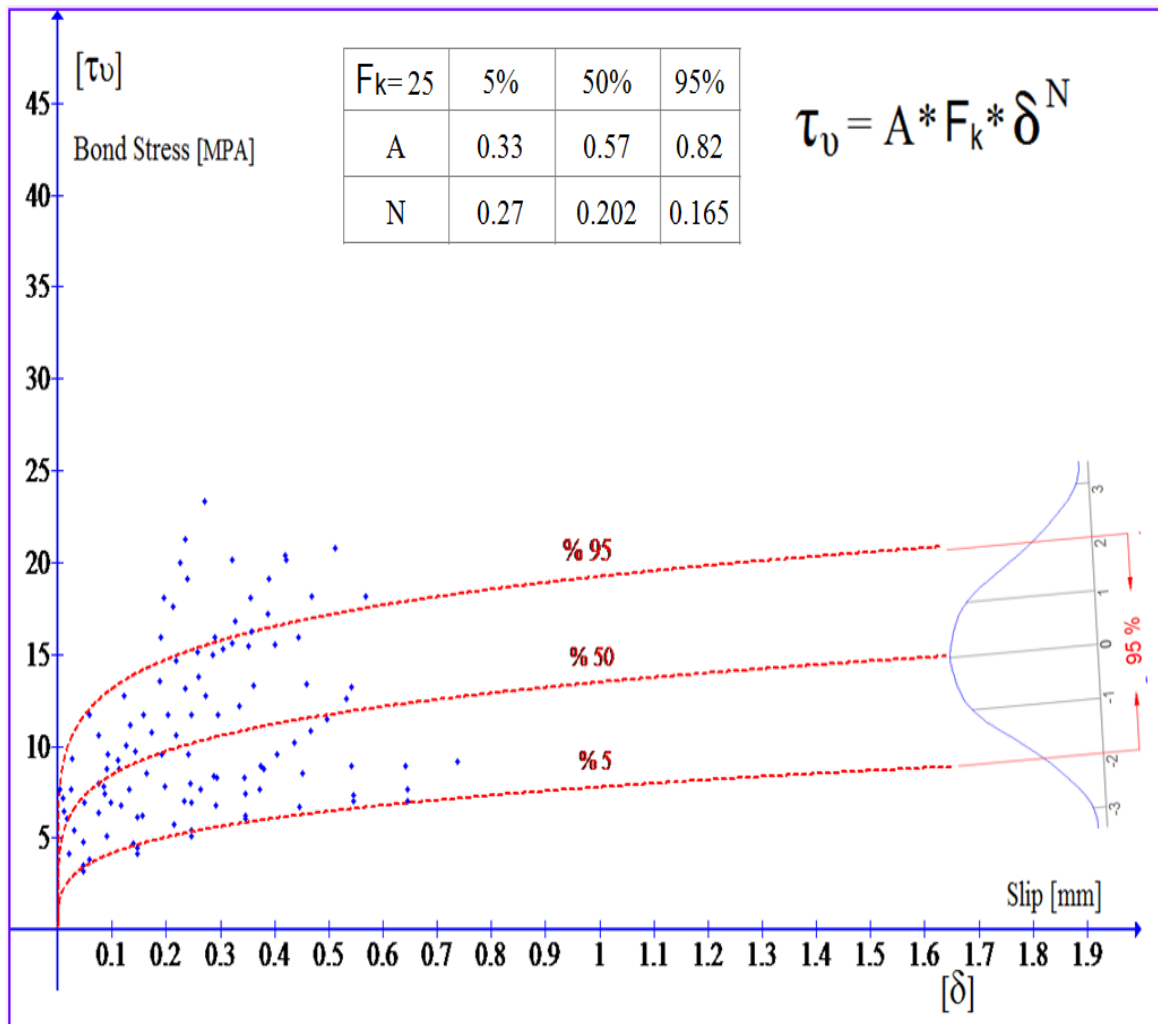
القيم الاحتمالية التي تمثل منحنيات التناثر الإحصائي التحليلية كما ذكرنا هي التالية:

◆ القيمة الاحتمالية 95% للمنحنى المقارب العلوي.

◆ القيمة الاحتمالية 50% للمنحنى الوسطي.

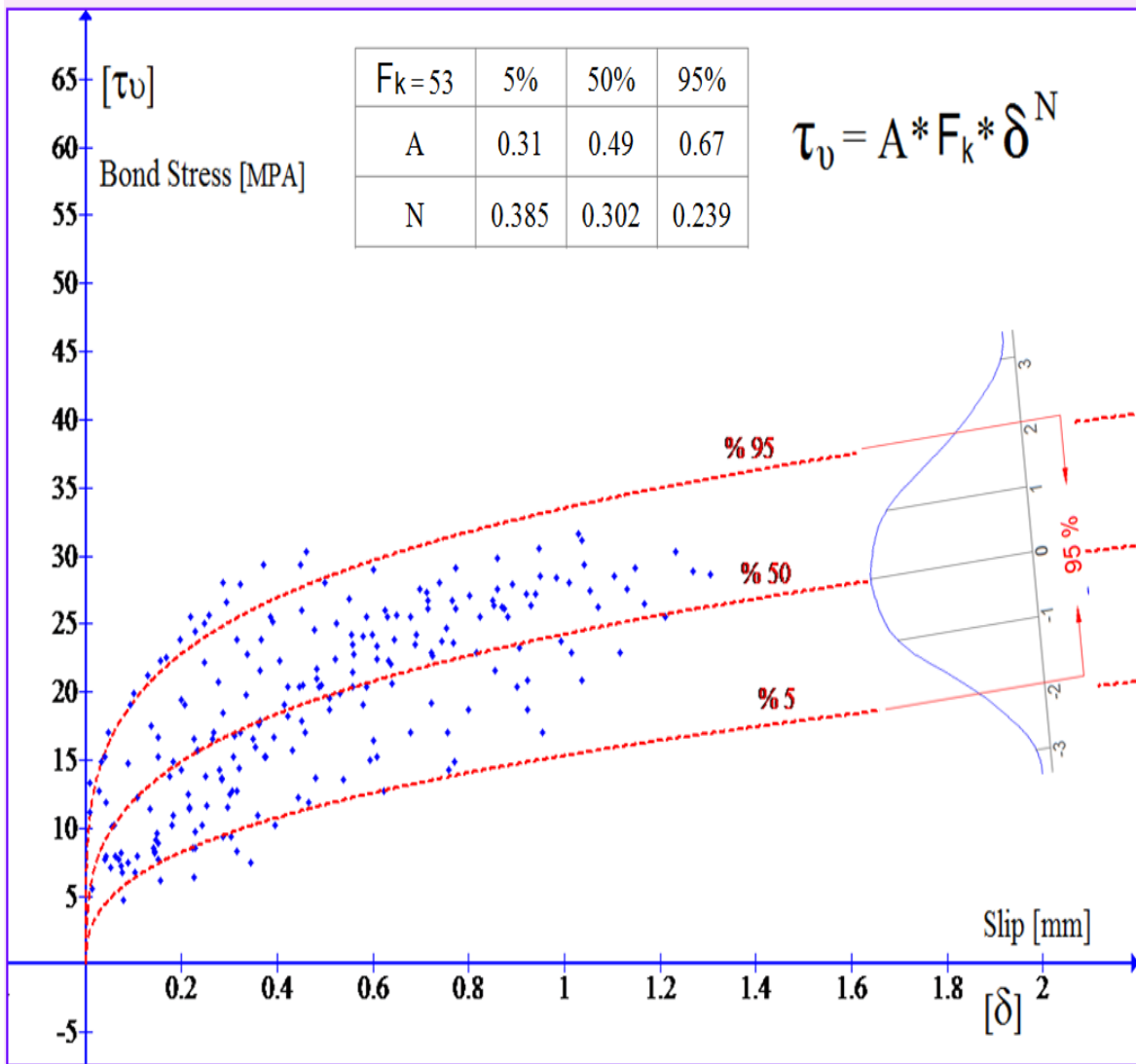
◆ القيمة الاحتمالية 5% للمنحنى المقارب السفلي.

الأشكال التوضيحية لمنحنيات علاقة إجهاد التماسك-الانزلاق المعلقة إحصائياً الناتجة من الدراسة التحليلية

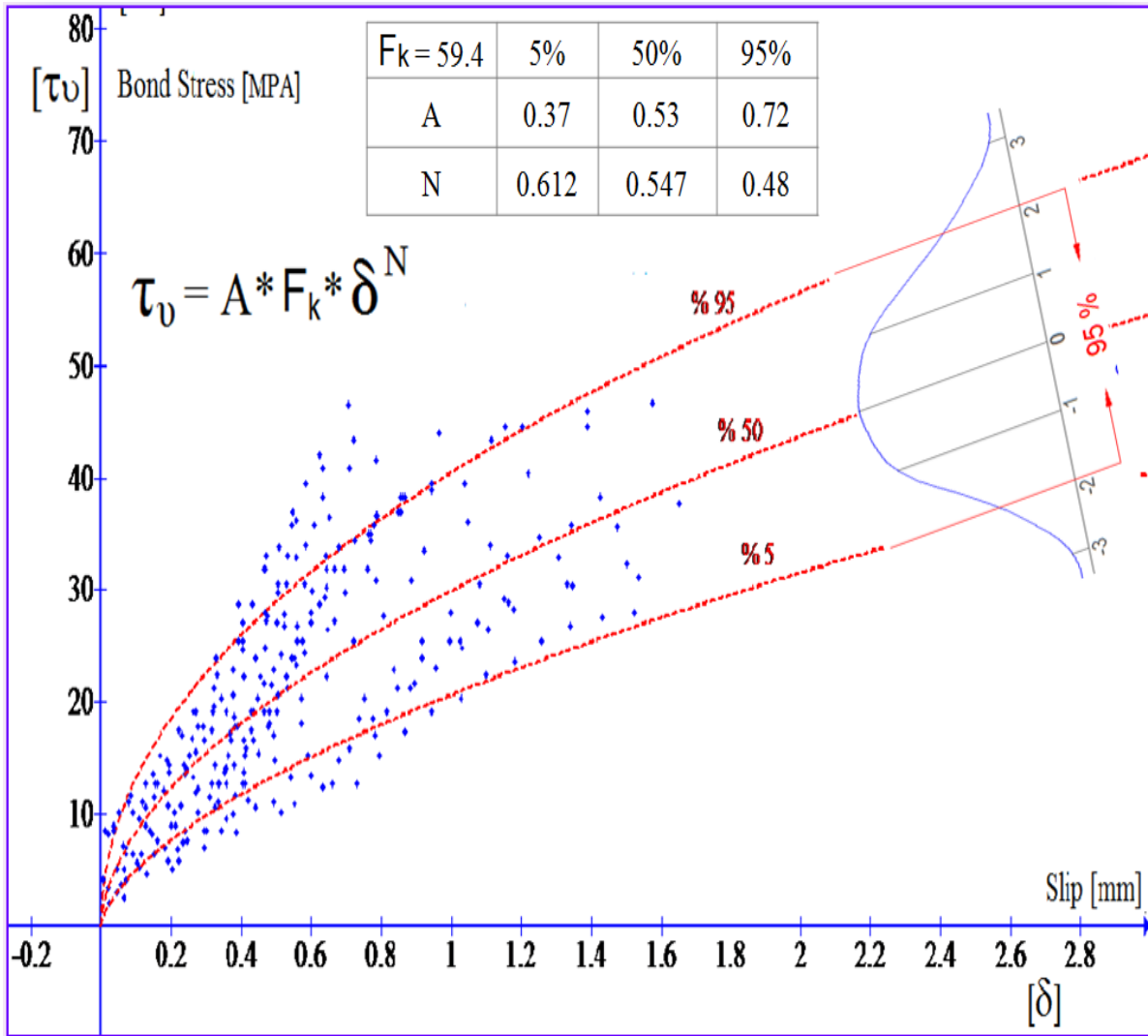


الشكل (2-8-3) العلاقة التحليلية المعلقة إحصائياً لإجهاد التماسك-الانزلاق للسلسلة SA حيث المقاومة المكعبية للخرسانة = 25 MPa

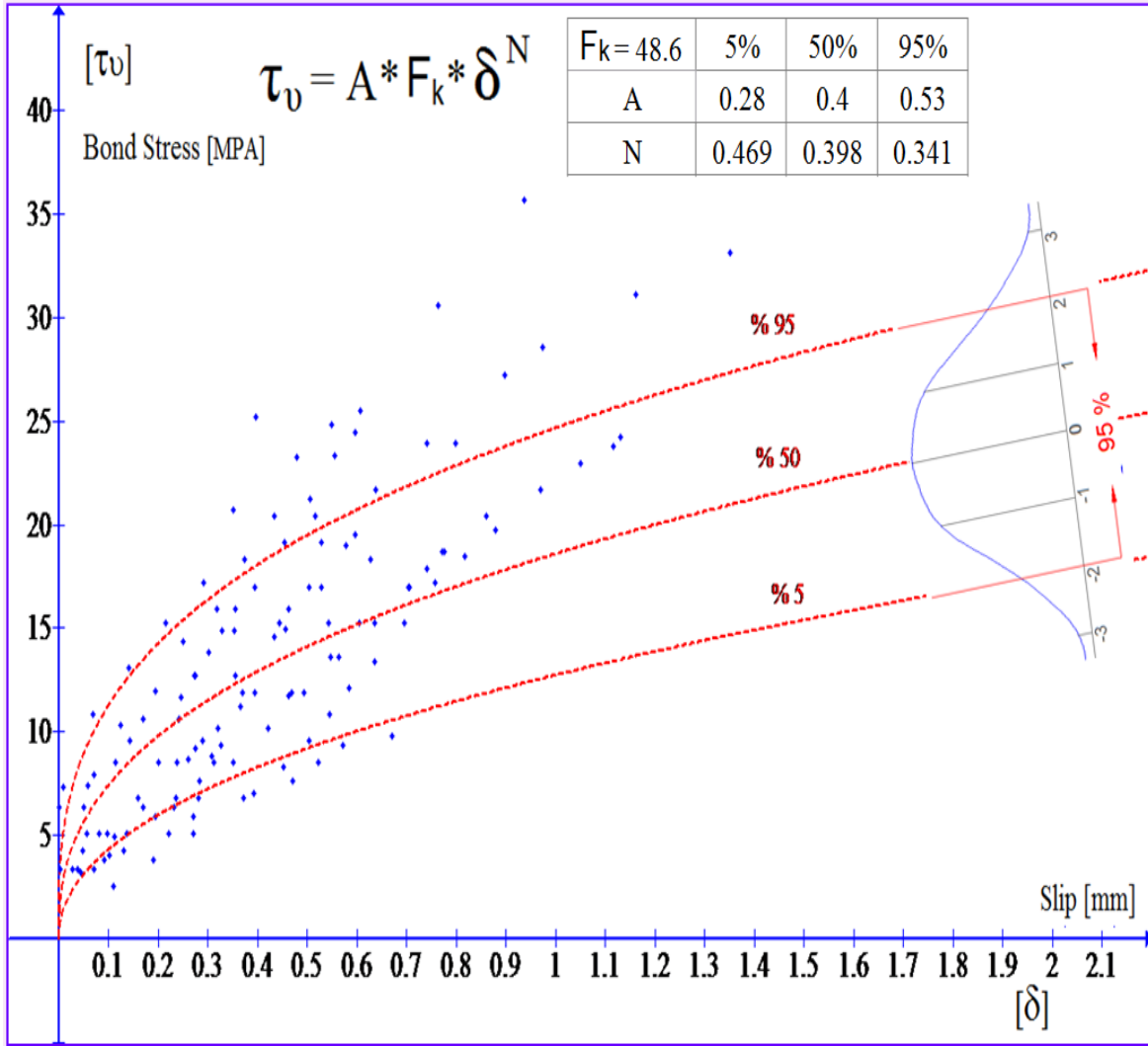
تجدر الإشارة أن قانون التماسك المستنبط من الدراسة التحليلية يتناسب بشكل جيد في مجال الإنزلاقات النسبية الواقعة ما بين 0.1 - 0.7 mm.



الشكل (3-8-3) العلاقة التحليلية المعطلة احتمالياً لإجهاد الهماسك-الانزلاق للسلسلة SC حيث المقاومة المكببة للخرسانة = 53 MPa



الشكل (4-8-3) العلاقة التحليلية المعتمدة احتمالياً لإجهاد اليماسك-الانزلاق للسلسلة SD حيث المقاومة المكعبية للخرسانة = 59.4 MPa



الشكل (3-8-5) العلاقة التحليلية المعلقة احتمالياً لإجهاد التماسك-الانزلاق للسلسلة SF حيث المقاومة المعكبية للخرسانة = 48.6 MPa

تجدر الإشارة أن قانون التماسك المستنبط من الدراسة التحليلية يتناسب بشكل جيد في مجال الإنزلاقات النسبية الواقعة ما بين 0.1 - 0.7 mm.

9 3 الشّكل العام لعلاقة إجهاد التماسك-الانزلاق الناتجة من الدراسة التحليلية:

من خلال المنحنيات الناتجة من الدراسة الاحتمالية نجد أنّ الشّكل العام للعلاقة التحليلية إجهاد التماسك-الانزلاق والتي تمثل قانون التماسك متطابق مع الشّكل العام التجريبي للعلاقة و التي هي علاقة أسية بشكل تابع للمقاومة الخرسانية، و تأخذ الشّكل العام التالي الموضّح على الأشكال السابقة:

$$\tau_v = A * F_k * \delta^N$$

حيث:

τ_v : إجهاد التماسك بين الفولاذ و الخرسانة.

A: ثابت يتعلّق بالمنحني حسب قيمته الاحتمالية

F_k : المقاومة المكعبية للخرسانة المسلّحة و تأخذ القيمة التالية:

$$F_k = f'_c / 0.83$$

حيث f'_c : المقاومة الأسطوانية للخرسانة المسلّحة.

δ : الانزلاق النسبي الحاصل بين الفولاذ و الخرسانة.

N: ثابت يتعلّق بالمنحني حسب قيمته الاحتمالي.

10 3 الخلاصة: Conclusion

تمّ في هذا الفصل نمذجة آلية التماسك بين الفولاذ و الخرسانة وفق طريقة العناصر المحدودة باستعمال برنامج ABAQUS 6.5 (Finite-Element simulation)، أنجزت الدراسة لعدد من نماذج الإنسحاب بمتغيّرات مختلفة و بأربع مقاومات خرسانية.

كانت النتائج الرئيسية للنمذجة المنجزة هي علاقة القوة – انتقال، و بعد ذلك تمّ إجراء دراسة رياضية احتمالية على هذه النتائج وصولاً لمنحنيات التناثر الإحتمالي لعلاقة إجهاد تماسك – انزلاق و التي تمثل قانون التماسك على غرار الدراسة الرياضية الإحتمالية في البيانات التجريبية المأخوذة من جامعة واشنطن. و في النتيجة توصلنا للعلاقة إجهاد التماسك-الانزلاق بشكل علاقة معلّلة إحتمالياً لأربع مقاومات خرسانية.

الفصل الرابع

مقارنة بين النتائج التجريبية و النتائج التحليلية لعلاقة إجهاد تماسك – انزلاق المعلّلة إحتمالياً

Comparing between analytical and experimental results of bond stress-slip relationship

1-4 المقدمة: Introduction

سيتمّ ضمن هذا الفصل مقارنة نتائج الدراسة التحليلية باستخدام برنامج ABAQUS6.5 المستعرضة في الفصل الثالث مع نتائج الدراسة التجريبية المستعرضة في الفصل الثاني، من خلال إجراء مقارنة بين منحنيات التناثر الإحتمالي الناتجة من كل دراسة و مقارنة الشّكل العام و ثوابت العلاقات التي تمثّل كل من هذه المنحنيات.

2-4 نتائج المقارنة: Results of comparing

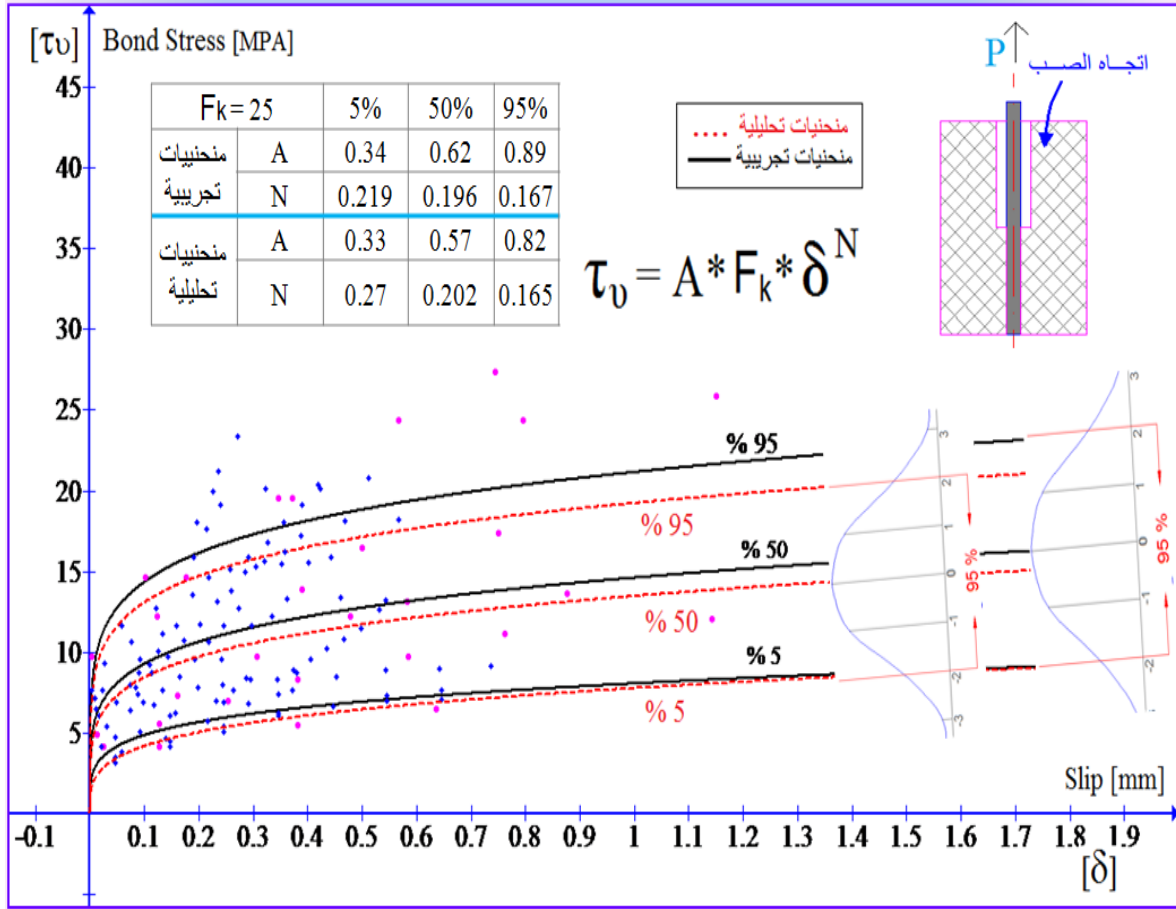
إنّ الأشكال (1-2-4)، (2-2-4)، (3-2-4) و (4-2-4) توضّح نتائج المقارنة المجراة ، حيث تمّ توضيح اتّجاه صبّ العينات في الدراسة التجريبية السابقة على كلّ شكل من أشكال المقارنة.

من خلال أشكال المقارنة التالية بين الدراسة التجريبية و الدراسة التحليلية لعلاقة إجهاد تماسك – انزلاق في العناصر الخرسانية المسلّحة، نلاحظ مدى التطابق بين نتائج الدراستين، و هذا يعطي مؤشر جيّد على صحة نموذج الانسحاب المنجز وفق طريقة العناصر المحدودة، حيث أنّ المنحنيات التحليلية التي تمثّل البيانات المستخرجة من برنامج ABAQUS 6.5 متقاربة بشكل جيّد مع المنحنيات التجريبية التي تمثّل البيانات المأخوذة من دراسة تجريبية سابقة للتماسك في جامعة واشنطن [3].

كما نلاحظ من خلال الجداول الموجودة على الأشكال أنّ الثوابت (A, N) لعلاقة إجهاد تماسك – انزلاق لكلّ منحنى حسب درجته الإحتمالية تختلف بشكل بسيط عن بعضها البعض في الدراستين التحليلية و التجريبية.

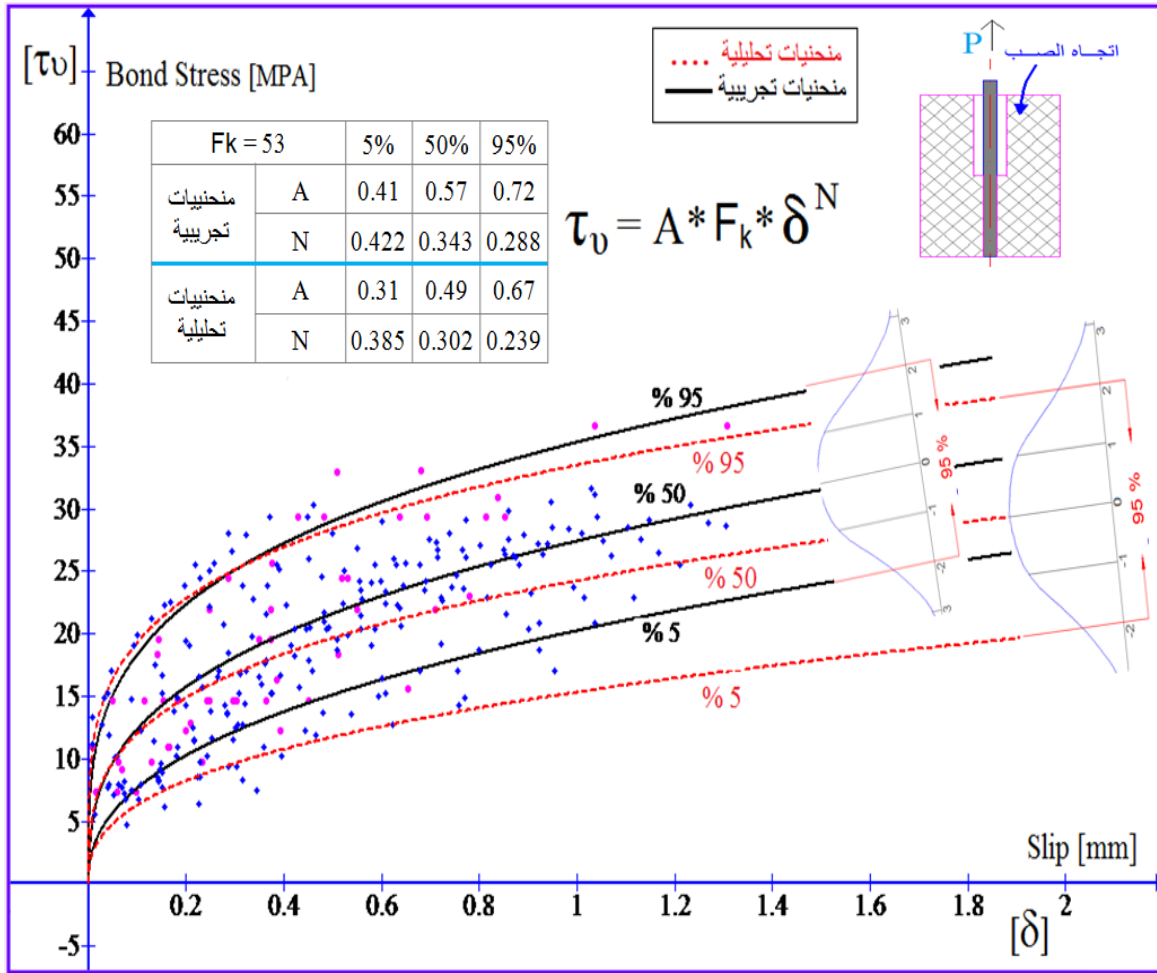
إنّ هذا التقارب الجيّد بين نتائج الدراستين التجريبية و التحليلية للنماذج المدروسة في هذا البحث، يؤكّد لنا صحة نمذجة آلية التماسك التي قمنا بها في بحثنا، ممّا يجعل الدراسة التحليلية لإجهادات التماسك بين الفولاذ و الخرسانة باستخدام طريقة العناصر المحدودة عن طريق البرامج الحاسوبية المتوفرة متطابقة بشكل جيّد مع الدراسة التجريبية، و ذلك للحالات المحدودة التي تمّت دراستها تحليلياً في هذا البحث، حيث أنّ النموذج التحليلي أبدى تطابقاً علمياً جيّداً مع النموذج التجريبي.

الأشكال التالية توضّح نتائج المقارنة بين الدراستين التجريبية و التحليلية.



الشكل (1-2-4) مقارنة النتائج التحليلية مع النتائج التجريبية لعلاقة إجهاد تماسك-انزلاق المعطلة احتمالياً للسلسلة SA حيث المقاومة المكعبية للخرسانة = MPa 25

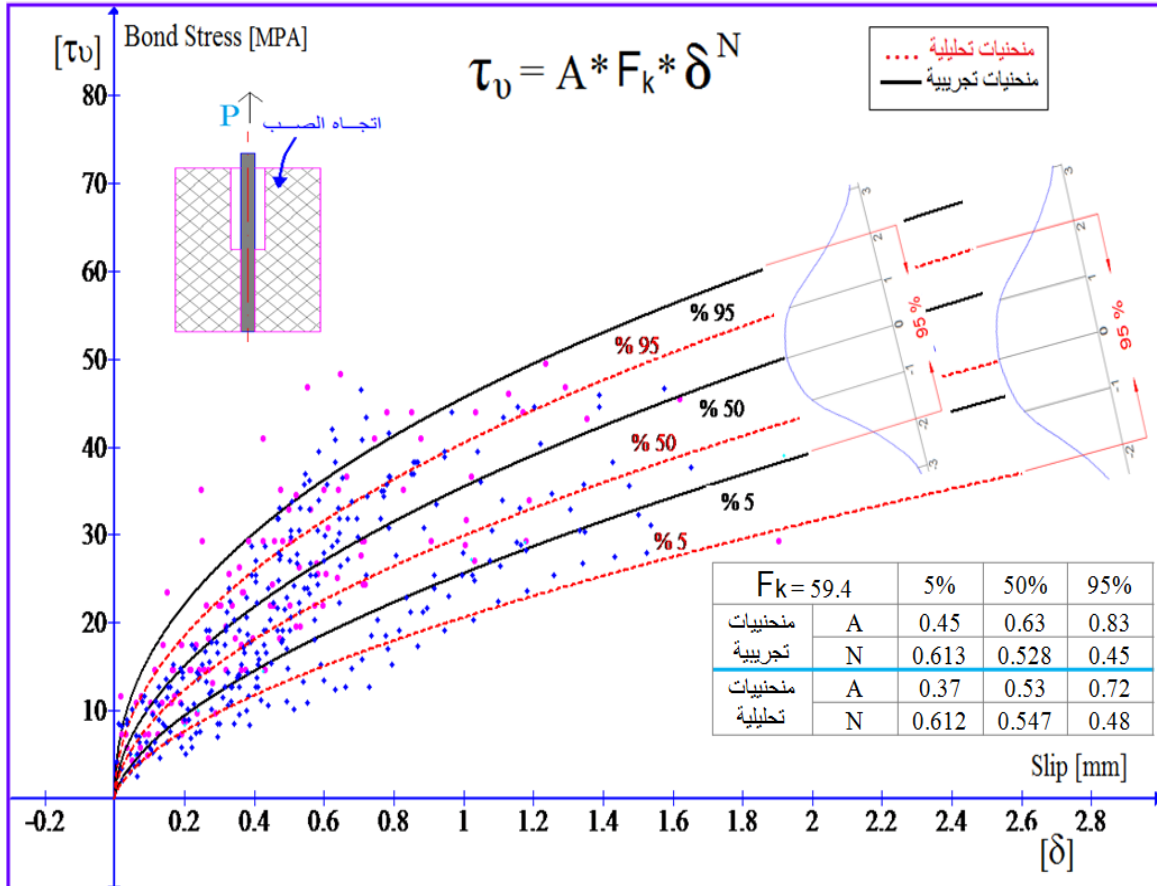
نلاحظ من خلال الشكل (1-2-4) مدى التقارب بين المنحنيات التحليلية و المنحنيات التجريبية لعينات السلسلة SA ذات المقاومة المكعبية للخرسانية MPa 25، كما تبين الجداول الموجودة أنّ الثوابت (A,N) للعلاقة إجهاد تماسك – انزلاق لكل منحنى حسب درجته الإحصائية تختلف بشكل بسيط عن بعضها البعض في الدراستين التحليلية و التجريبية أي أنّ التطابق بين الدراستين كان جيّداً.



الشكل (2-2-4) مقارنة النتائج التحليلية مع النتائج التجريبية لعلاقة إجهاد تماسك-انزلاق المعلقة احتمالياً للسلسلة SC

حيث المقاومة المكعبة للخرسانة = 53 MPa

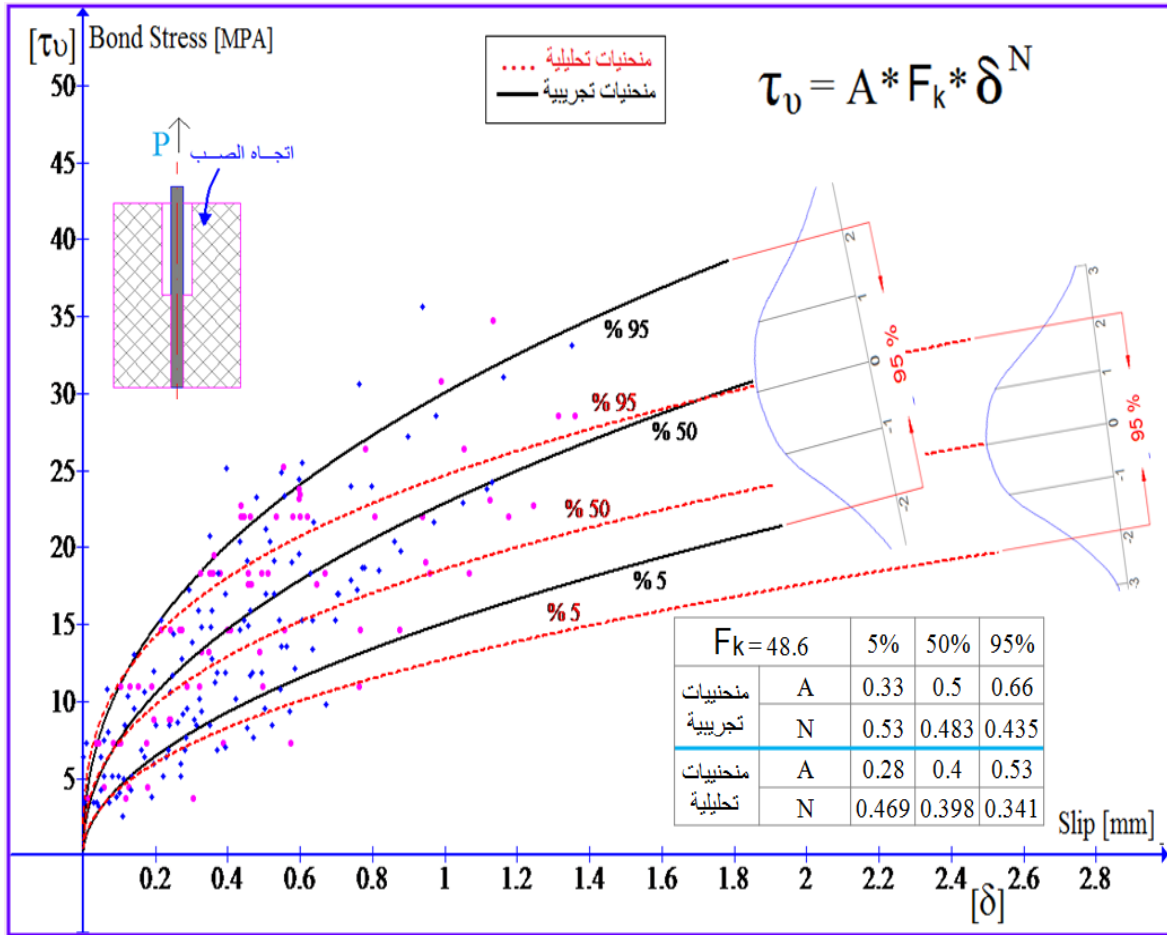
نلاحظ من الشكل (2-2-4) ازدياد قيمة إجهاد التماسك بازدياد المقاومة المكعبة للخرسانة المسلحة، كما نلاحظ أيضاً مدى التقارب بين المنحنيات التحليلية و المنحنيات التجريبية لعينات السلسلة SC ذات المقاومة المكعبة للخرسانية 53 MPa ، كما تبين الجداول الموجودة أن الثوابت (A,N) لعلاقة إجهاد تماسك – انزلاق لكل منحنى حسب درجته الإحتمالية تختلف بشكل بسيط عن بعضها البعض في الدراستين التحليلية و التجريبية أي أن نتيجة المقارنة لعينات هذه السلسلة أعطت تطابقاً جيداً أيضاً.



الشكل (3-2-4) مقارنة النتائج التحليلية مع النتائج التجريبية لعلاقة إجهاد تماسك-انزلاق المعلقة احتمالياً للسلسلة SD

حيث المقاومة المكببة للخرسانة = 59.4 MPa

يظهر الشكل (3-2-4) نتيجة المقارنة للسلسلة SD ذات المقاومة المكببة للخرسانة 59.4 MPa لذلك نلاحظ من الشكل ازدياد قيمة إجهاد التماسك بسبب ازدياد المقاومة المكببة للخرسانة المسلحة، كما نلاحظ أيضاً مدى التقارب بين المنحنيات التحليلية و التجريبية لعينات هذه السلسلة، كما تبين الجداول الموجودة الاختلاف بين الثوابت (A,N) لعلاقة إجهاد تماسك – انزلاق لكل منحنى حسب درجته الإحصائية في الدراستين التحليلية و التجريبية أي أنّ التطابق بين الدراستين لهذه السلسلة كان جيداً لكن بشكل أقل من السلسلتين SC , SA.



الشكل (4-2-4) مقارنة النتائج التحليلية مع النتائج التجريبية لعلاقة إجهاد تماسك-انزلاق المعللة احتمالياً للسلسلة SF

حيث المقاومة المكعبة للخرسانة = 48.6 MPa

يظهر الشكل (4-2-4) نتيجة المقارنة للسلسلة SF ذات المقاومة المكعبة للخرسانة 48.6 MPa لذلك نلاحظ من

الشكل أن قيمة إجهاد التماسك قد تناقصت بسبب نقصان قيمة المقاومة الخرسانية المسلحة.

يظهر من الشكل أن نتيجة المقارنة بين بيانات هذه السلسلة أبدت تطابقاً أقل بين النتائج التجريبية و النتائج التحليلية

عن باقي السلاسل الأخرى SD , SC , SA لكن نتيجة المقارنة مقبولة.

نلاحظ من مقارنة المنحنيات التحليلية و التجريبية أن الدراسة التحليلية بطريقة العناصر المحدودة باستخدام برنامج

ABAQUS على النماذج المستعرضة سابقاً، أعطت منحنيات و علاقات إجهاد التماسك-الانزلاق معللة احتمالياً و

مقاربة بشكل جيد مع المنحنيات و العلاقات الناتجة من تقييم الدراسة التجريبية لبحث Martin J.S. ، مما يؤكد

إمكانية و صحة دراسة سلوك التماسك في المنشآت الخرسانية المسلحة بالطرق التحليلية كونها أعطت نتائج مقاربة مع

الطرق التجريبية، و ذلك ضمن مجال الانزلاق النسبي من 0.1 حتى 0.7 mm.

علماً أنّ المقارنة بين نتائج الدراسة التجريبية و التحليلية تمت على أساس مقارنة القيمة الوسطية و منحني التناثر الاحتمالي، و كما تظهر الأشكال فإن نسبة التداخل بين منحنيات التناثر الاحتمالي ضمن المجال المذكور سابقاً كبيرة و تتجاوز 70%.

3 4 الخلاصة: Conclusion

تمّ في هذا الفصل تقديم نتائج المقارنة بين النتائج التجريبية و النتائج التحليلية لدراسة إجهادات التماسك في الخرسانة المسلحة و علاقتها بالانزلاقات النسبية بين الفولاذ و الخرسانة باستخدام نظرية الإحتمالات وصولاً لعلاقة إجهاد تماسك - انزلاق المعللة احتمالياً التي تمثل قانوناً للتماسك.

من خلال هذا الفصل و بملاحظة أنّ منحنيات التناثر الإحتمالي التحليلية و التجريبية كانت متقاربة مع بعضها بشكل جيد، كانت القيم الإحتمالية لمنحني غاوس نفسها في الدراستين التجريبية و التحليلية، و بالتالي أجريت المقارنة بين النتائج تبعاً لهذه القيم الإحتمالية.

لقد تمت المقارنة على أساس مقارنة القيمة الوسطية لإجهاد التماسك و منحنيات التناثر الإحتمالي التجريبية لعلاقة إجهاد تماسك - انزلاق المستنتجة من نتائج تجارب **Martin J.S. [3]**، مع نظيرتها بالمقاومة الخرسانية و القيمة الإحتمالية لكل منحني من منحنيات التناثر الإحتمالي التحليلية المستنتجة من نتائج النمذجة وفق طريقة العناصر المحدودة باستخدام برنامج ABAQUS6.5، و كانت نسبة التداخل بين منحنيات التناثر الاحتمالي كبيرة و تتجاوز 70% و ذلك ضمن مجال الانزلاق النسبي $0.1 - 0.7$ mm، مما يعطي مؤشر جيّد بأن نموذج الإنسحاب التحليلي المنجز بطريقة العناصر المحدودة يكافئ و يحاكي بشكل جيّد نموذج الإنسحاب التجريبي الذي استخدمه **Martin J.S. [3]** في دراسته التجريبية التي تمت المقارنة معها.

كما تمّ إجراء مقارنة لثوابت العلاقات إجهاد تماسك - انزلاق التجريبية مع نظيرتها التحليلية لكل سلسلة عينات من السلاسل الأربع التي تمثل كل منها مقاومة خرسانية مختلفة، و كانت قيم الثوابت متقاربة مع بعضها بشكل جيّد أيضاً.

الفصل الخامس

النتائج التطبيقية للبحث

Applicative results of the search

5 1 المقدمة: Introduction

إنَّ تحديد عرض التشقّقات و التباعد فيما بينها هو أحد العوامل الهامّة لتصميم المنشآت الخرسانيّة المسلّحة، بالشّكل الذي يضمن الأداء الجيّد لهذه المنشآت تحت تأثير الأحمال المطبّقة عليها، و قد أجريت العديد من الدراسات و الأبحاث العلمية لاعتماد صيغة محدّدة لقيمة عرض الشقّ و التباعد بين الشقوق المتجاورة من خلال دراسة سلوك التماسك في العناصر الخرسانيّة المسلّحة.

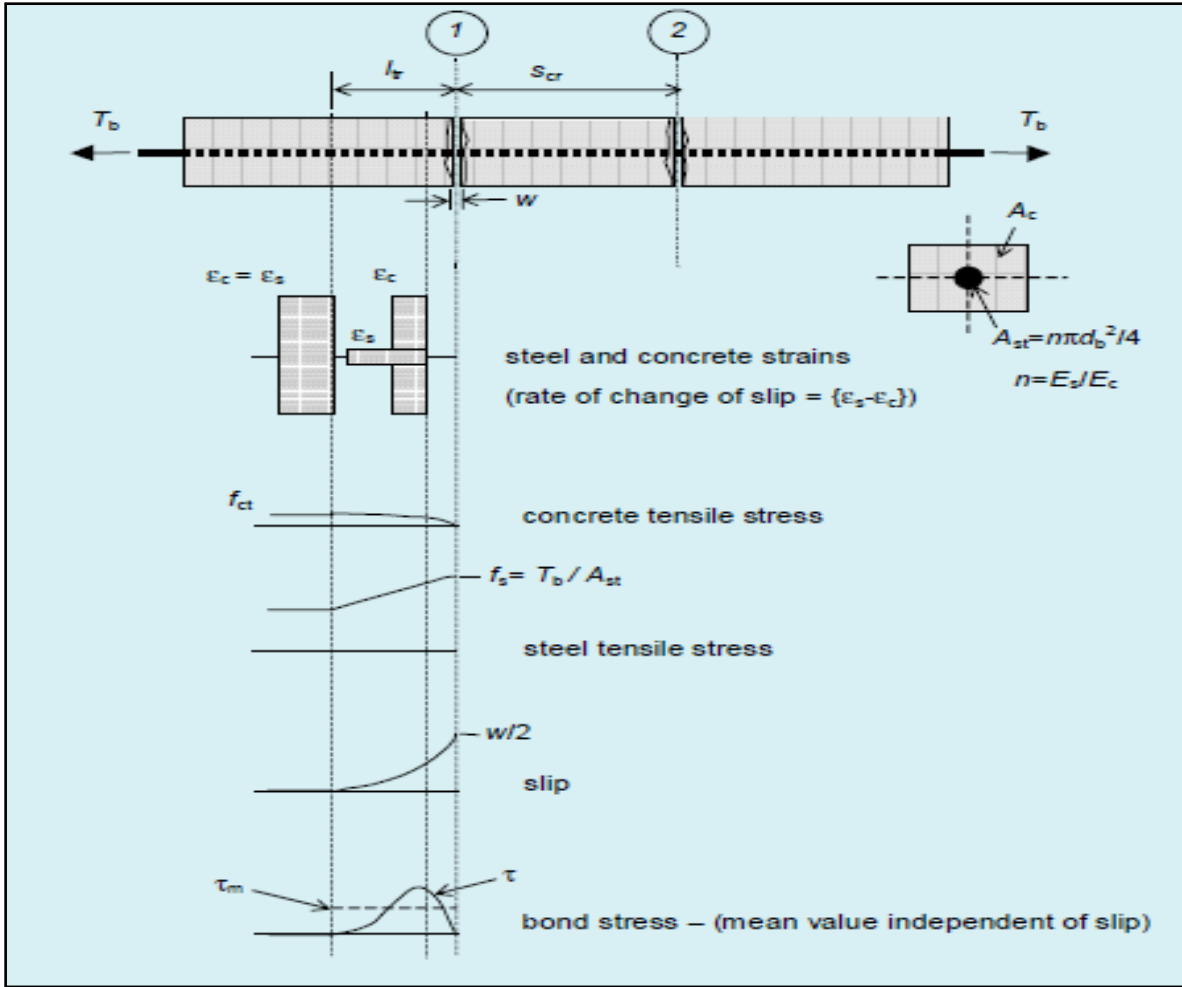
إنَّ علاقة إجهاد التماسك-الانزلاق ما بين الفولاذ و الخرسانة و التي تمثّل قانون التماسك، هي العامل المهيمن للتحكّم بعرض الشقوق و التباعد فيما بينها، حيث يؤدي التفسير الصحيح لهذه العلاقة إلى تحديد قيمة عرض الشقّ و التباعد بين الشقوق من خلال تحليل التماسك، الذي يتمّ من خلال إجراء توازن للقوى المحورية بين الفولاذ و الخرسانة ومن خلال شروط التوافق بين المادتين.

و ضمن هذا الفصل سيتمّ استعراض إحدى النتائج التطبيقية لهذا البحث، و التي هي تفسير مراحل ظاهرة التشقّق في العناصر الخرسانيّة المسلّحة بشكل دقيق، حيث سيتمّ تحديد عرض الشقّ و التباعد بين الشقوق لكل مرحلة باستخدام العلاقة العامة لإجهاد التماسك-الانزلاق المعلّلة إحصائياً التي تمّ التوصل لها في هذا البحث.

5 2 مراجعة بحثية حول نظرية التشقّقات: Background of cracking theory

لقد عرضت العديد من المراجع و الأبحاث العلميّة مراحل ظاهرة التشقّق و أنواع التشقّقات التي تحدث في العناصر الخرسانيّة المسلّحة، كما اقترحت علاقات لتحديد عرض الشقوق و التباعد فيما بينها. حيث أجريت دراسة في جامعة Sungkyunkwan عام 2008 [10]، عرض من خلالها الباحثون بعض العلاقات لتحديد عرض تشقّقات الانعطاف الأعظميّة ، و التباعد فيما بينها في العناصر الخرسانيّة المسلّحة من خلال علاقة إجهاد التماسك-الانزلاق المستنتجة تجريبياً. كما أجريت دراسة عام 2008 في جامعة Tsukuba [11]، تمّ فيها إجراء خوارزمية لتحليل التماسك للتنبؤ بعرض التشقّقات و التباعد فيما بينها باستخدام العلاقة لإجهاد التماسك-الانزلاق.

أيضاً أعطى الكود الأسترالي AS 3600 [13] ملخصاً للنظرية الكلاسيكية لتفسير ظاهرة التشقق و التحكم بالتشققات في العناصر الخرسانية المعرضة للانعطاف، و اقترح علاقات لحساب عرض الشق المميز الذي يتعلّق بالمسافة التي يحدث ضمنها الانزلاق النسبي، و بالفرق بين تشوّه الفولاذ و الخرسانة في مناطق الانزلاق على جانبي الشق والشكل (1-2-5) يبيّن تشقق عنصر خرساني تحت تأثير قوى الشد:



الشكل (1-2-5) تشقق عنصر خرساني تحت تأثير حمولة الشد

كما قام كلّ من Theiner Y. و Hofstetter G. [12] في عام 2009، بإجراء تحليل عددي باستخدام نظرية العناصر المحدودة، من أجل التنبؤ بتشكّل التشققات و مراحل تطورها ابتداءً من المراحل المبكرة للتشقق حيث تتشكّل الشقوق الدقيقة الموزعة وصولاً لمرحلة تشكّل الشقوق الكبيرة لاحقاً في العناصر الخرسانية المسلحة، إضافة إلى استنتاج علاقات لتحديد عرض الشقوق، و قاما بالمقارنة بين النتائج العددية المحسوبة و النتائج التجريبية.

و قد قدّم Amer, Z. [4] عام 1989 شرحاً مفصلاً لمراحل ظاهرة التشقق و تفسيراً دقيقاً لكلّ مرحلة منها، و استنتج علاقات حساب عرض الشقوق و التباعد فيما بينها و تأثير البارامترات عليها في كل مرحلة من مراحل التشقق، و ذلك من خلال الحلّ العام للمعادلات التفاضليّة للتماسك باستخدام قانون التماسك المعلن احصائياً الذي توصّل له في بحثه، حيث أعتد في دراسته لحلّ المسألة المطروحة على طريقة Noakowski و لكن بعد أن أدخل تطويراً مناسباً عليها. من خلال المراجعة البحثيّة السابقة و بالمقارنة بين المراجع المتوفرة [4] ، [10] ، [11] ، [12] ، [13]، وجدنا أنّ جميع هذه المراجع تقترح نفس العلاقات لحساب عرض الشقوق و التباعد فيما بينها، و أنّ دراستنا متقاربة بشكل كبير مع دراسة Amer, Z. [4] عام 1989، حيث أنّ الصيغة العامّة للعلاقات إجهاد التماسك-الانزلاق المعلنّة احصائياً التي تمّ استنتاجها في بحثنا تماثل الصيغة العامّة لقانون التماسك المعلن احصائياً الذي توصّل له Amer, Z. و هذا التقارب بالدراسة و التشابه بالصيغة العامّة للعلاقات المستنتجة يسمح لنا بإعتداد نفس الطريقة المطوّرة من قبل Amer, Z. التي أجراها في دراسته، لتفسير مراحل ظاهرة التشقق للتوصّل الى علاقات حساب عرض الشقوق و التباعد فيما بينها في كلّ مرحلة من مراحل التشقق.

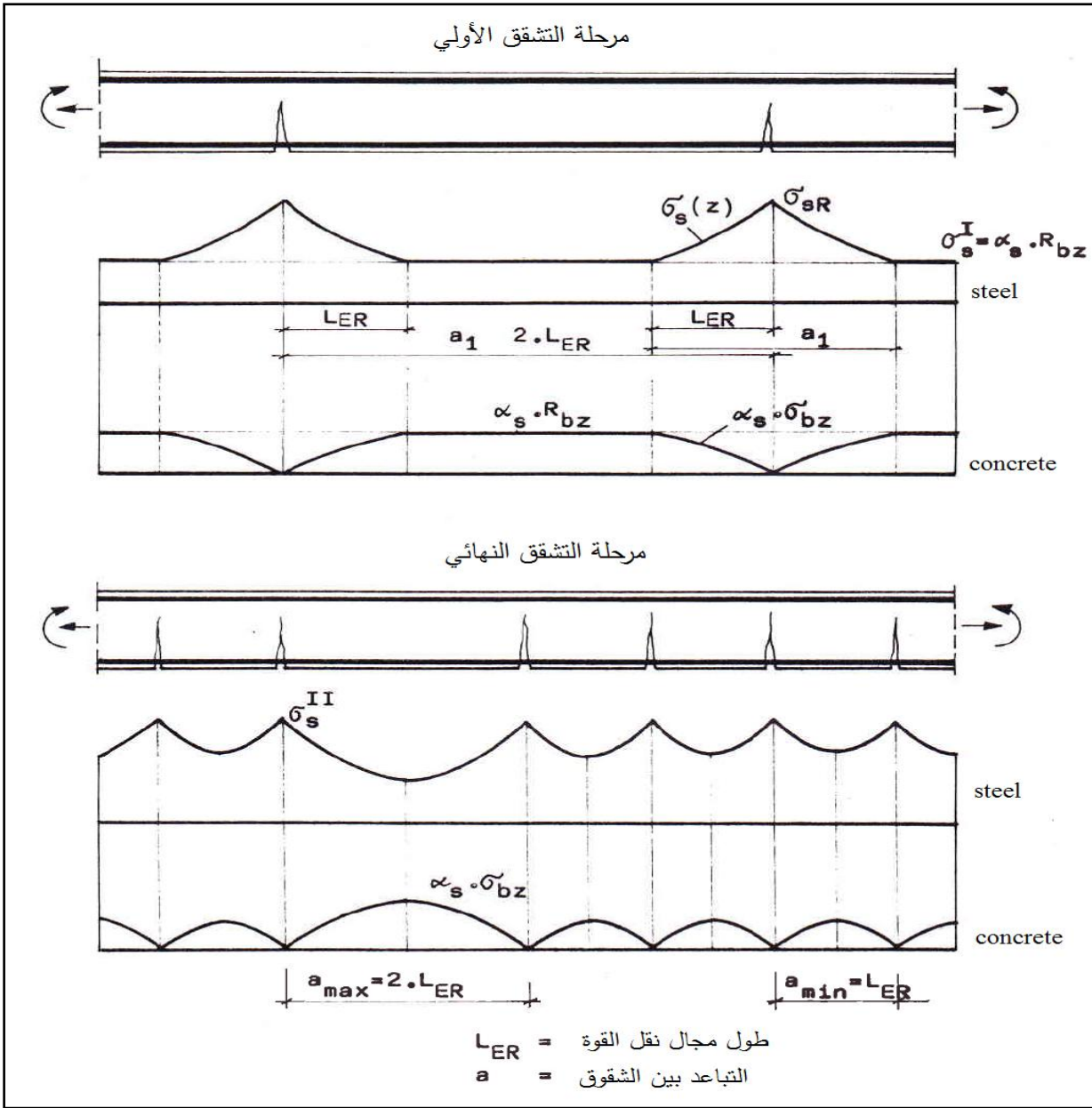
5 3 مراحل التشقق:

- 1 - **مرحلة التشقق الأولي**: ينشأ الشق الأول في مرحلة المرونة في المقطع الأضعف عندما تتزايد الأحمال المطبقة و تتجاوز إجهادات الشدّ في الخرسانة قيمة مقاومة الخرسانة على الشدّ، و عندئذ تزداد القوة في فولاذ التسليح حتى يتحمل الفولاذ كامل القوة المطبقة عند منطقة الشق ، و تكون الخرسانة عند وجهي الشق غير مجهدة. نتيجة ذلك يحصل انزلاق نسبي بين الفولاذ و الخرسانة ، و يسبب هذا الانزلاق انتقال بعض القوى من الفولاذ الى الخرسانة بواسطة إجهادات مماسيّة على محيط قضيب التسليح هي إجهادات التماسك ، تتطوّر إجهادات التماسك على كامل طول الانتقال L_{ER} على جانبي الشق، و تساهم الخرسانة بين التشققات في نقل قوى الشدّ. تتشكّل شقوق جديدة عندما تتجاوز مرة ثانية إجهادات الشدّ في الخرسانة قيمة مقاومة الخرسانة على الشدّ مع تزايد الحملات، تنتهي مرحلة التشقق الأولي عندما تبدأ مجالات التماسك بالتقاطع و التداخل و عندها نكون قد وصلنا إلى حالة التشقق الأولي المنتهي.
- 2 - **مرحلة التشقق الإنتقالي**: يزداد عدد الشقوق الوحيدة (الشقوق الأوليّة) على طول العنصر المدروس، و تبدأ مجالات التماسك بالتداخل مع بعضها البعض، و بذلك يتمّ الانتقال من مرحلة التشقق الأولي إلى مرحلة التشقق النهائي.
- 3 - **مرحلة التشقق النهائي**: تتشكّل التشققات المتوسطة في المرحلة الحديّة باعتبار أنّه قد تشكّل أكثر من شق في مرحلة المرونة، في حال تزايدت الحمولة و وصل تشوّه الخرسانة للتشوّه الحديّ، تبدأ التشققات المتوسطة

بالظهور، حيث يتشكّل شقّ وسطي بين كلّ شقّين متجاورين وعند استمرار الحملات تتداخل مجالات التماسك باستمرار مع بعضها البعض حتى تتكوّن حالة التشقّق المنتهي.

اعتباراً من هذه الحالة تتوسّع عرض الشقوق مع تزايد الحملات دون تشكّل شقوق جديدة.

يكون تشوّه البيتون صفراً و تشوّه الفولاذ أعظمية في منطقة الشق، و بين التشقّقات يكون تشوّه الفولاذ أصغرياً و تشوّه البيتون أعظمي، و الشكّل (1-3-5) يبيّن لنا إجهادات الفولاذ و الخرسانة في مرحلة التشقّق الأولي و مرحلة التشقّق النهائي في جائز خرساني مسلح.

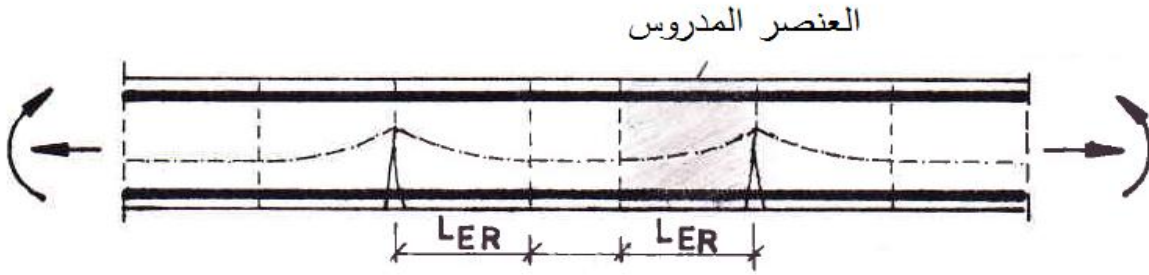


الشكّل (1-3-5) الإجهادات في الفولاذ و الخرسانة في مراحل التشقّق [4]

5 4 حساب التباعد بين الشقوق [4]:

1-4-5 مرحلة تشقق الشقوق الأولية:

تتصف مرحلة التشقق الأولية بعدم وجود تداخل في مجالات التماسك L_{ER} كما هو موضح في الشكل (1-1-4-5):



الشكل (1-1-4-5) مجالات التماسك L_{ER} في مرحلة التشقق الأولي [4]

حسب [4] و من خلال إجراء تفاضل للمعادلة التفاضلية للتماسك و تعويض الصيغة العامة للعلاقات إجهاد التماسك- الانزلاق المعللة احصائياً حسب الشكل التالي:

$$\tau_v = A * F_k * \delta^N$$

ينتج حل المعادلة التفاضلية للتماسك و يعطى مسار إجهادات التماسك على طول مجال نقل القوة بالعلاقة التالية:

$$\tau_v(z) = \left[\frac{(1-N)^2}{1+N} \cdot \frac{2(1+\alpha_s \mu_s)}{E_s \cdot d_s} \cdot (F_k \cdot A)^{\frac{1}{N}} \right]^{\frac{N}{1-N}} \cdot z^{\frac{2N}{1-N}} \quad \dots\dots(1-5)$$

كما يعطى طول مجال نقل القوة L_{ER} بالعلاقة التالية:

$$\Rightarrow L_{ER} = \frac{2}{1-N} \cdot \left[\Delta\sigma_{sR}^{(1-N)} \cdot \frac{1+N}{F_k \cdot A} \cdot \frac{d_s}{8} \cdot \left(\frac{E_s}{1+\alpha_s \mu_s} \right)^N \right]^{\frac{1}{1+N}} \quad \dots\dots (2-5)$$

إن التباعد بين الشقوق في مرحلة التشقق الأولي $a1$ يعطى بالعلاقة التالية:

$$a1 \geq 2 L_{ER}$$

$$\Rightarrow a1 = \frac{4}{1-N} \cdot \left[\Delta\sigma_{sR}^{(1-N)} \cdot \frac{1+N}{F_k \cdot A} \cdot \frac{d_s}{8} \cdot \left(\frac{E_s}{1+\alpha_s \mu_s} \right)^N \right]^{\frac{1}{1+N}} \quad \dots\dots (3-5)$$

حيث:

μ_s : نسبة التسلح ، Z : المقطع المدروس ، $\Delta\sigma_{sR}$: قيمة القفزة في إجهادات الفولاذ في منطقة الشق.

5 4 2 مرحلة تشكّل الشقوق النهائية:

حسب [4] ، [10] ، [13] فإن القيم الدنيا و القيم العظمى للتباعد بين التشققات بعد الإنتهاء من عملية التشقق تكون بالشكل التالي:

$$a_{min} = L_{ER} , a_{max} = 2 L_{ER}$$

أي أن التباعد الوسطي بين الشقوق يقع ضمن المجال $[a_{min} , a_{max}]$

من ذلك ينتج أن التباعد الوسطي a_m بين الشقوق في مرحلة التشقق النهائي يعطى بالعلاقة:

$$a_m = \frac{a_{max} + a_{min}}{2} = \frac{2 L_{ER} + L_{ER}}{2} = 1.5 L_{ER} \quad \dots\dots(4-5)$$

و باعتبار أن $a_1 = 2 L_{ER} \Leftarrow a_{max} = a_1$ ، $a_{min} = \frac{a_1}{2}$

$$\Rightarrow a_m = 1.5 L_{ER} = 0.75 a_1 \quad \dots\dots(5-5)$$

5 4 3 مرحلة تشكّل الشقوق الانتقالية:

إن قيمة التباعد بين الشقوق في مرحلة التشقق الانتقالي محصورة بين القيمتين a_1 ، a_m

5 5 حساب عرض الشقوق:

حسب المراجع [10] ، [13] يتم حساب عرض الشقوق حسب العلاقة التالية:

نلاحظ من هذه العلاقة أنه يتم تخفيض قيمة تمدد الفولاذ ϵ_{sm} من خلال أخذ القيمة ϵ_{cm} بالحسبان و التي هي مساهمة الخرسانة بين الشقوق في تحمل قوى الشدّ.

5 5 1 مرحلة التشقق الأولي [4]:

بعد أن تمّ حساب التباعد بين الشقوق لكل مرحلة من مراحل التشقق فإنه بإمكاننا حسب [4] حساب عرض الشقوق في نهاية مرحلة التشقق الأولي وفق العلاقة (5-6):

$$w_1 = a_1 \cdot \epsilon_{s1} \quad \dots\dots (6-5)$$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{SR} - \Delta\varepsilon_{s1}$$

ε_{s1} : التمدد الوسطي لفولاذ التسليح مع مشاركة الخرسانة في مرحلة التشقق الأولي.

ε_{SR} : تمدد فولاذ التسليح دون مشاركة الخرسانة.

$\Delta\varepsilon_{s1}$: مشاركة الخرسانة بين الشقوق في تحمل قوى الشدّ و تعطى قيمة هذا الحد بالعلاقة:

$$\Delta\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{SR} \cdot \frac{1}{1+\alpha_{s,\mu s}} \left(\frac{1+N}{2} \right) \dots\dots\dots (7-5)$$

$$\Rightarrow \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{SR} \cdot \left[1 - \frac{1}{1+\alpha_{s,\mu s}} \left(\frac{1+N}{2} \right) \right] \dots\dots\dots (8-5)$$

2 5 5 مرحلة التشقق الإنتقالي [4]:

حسب [4] يحدّد عرض الشقوق في مرحلة التشقق الإنتقالي وفق العلاقة (9-5):

$$w_{IF} = a_{IF} \cdot \varepsilon_{s,IF} \dots\dots\dots (9-5)$$

حيث أنّ:

ε_{sm} : التمدد الوسطي لفولاذ التسليح مع مشاركة الخرسانة في مرحلة التشقق النهائي و يعطى بالعلاقة:

$$\varepsilon_{sm} = \varepsilon_{SR} - \Delta\varepsilon_s \dots\dots\dots (10-5)$$

$\Delta\varepsilon_s$: مشاركة الخرسانة بين الشقوق في تحمل قوى الشدّ و تعطى قيمة هذا الحد بالعلاقة:

$$\Delta\varepsilon_s = 0.75\Delta\varepsilon_{s1}$$

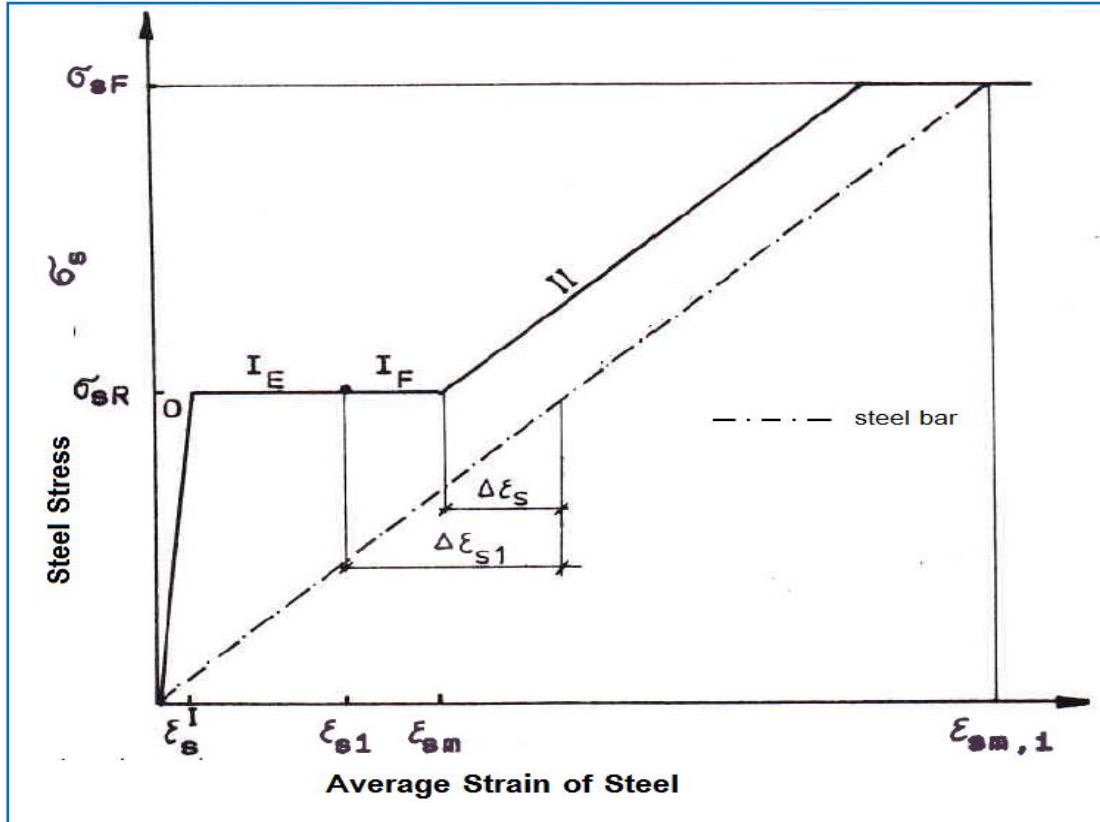
3 5 5 مرحلة التشقق النهائي [4]:

في هذه المرحلة يكون التباعد الوسطي بين الشقوق ثابتاً، و يزداد عرض الشق بشكل خطّي مع تزايد التشوّه الوسطي لفولاذ التسليح و يعطى عرض الشق بالعلاقة التالية:

$$w_m = a_m \cdot \varepsilon_{sm} \dots\dots\dots (11-5)$$

6-5 التمثيل البياني لمراحل ظاهرة التشقق [4]:

يمكننا من خلال ما سبق توضيح مراحل ظاهرة التشقق و مشاركة الخرسانة بين الشقوق في تحمل قوى الشدّ و ذلك بالتخطيط البياني الموضّح بالشكل (1-6-5) و التي تعرض سلوك (إجهاد-تشوّه وسطي) للتسليح تحت تأثير أحمال الشدّ بمشاركة الخرسانة بين الشقوق في تحمل قوى الشدّ لكل مرحلة من مراحل التشقق.



الشكل (1-6-5) سلوك (إجهاد-تشوّه وسطي) لفولاذ التسليح بمشاركة الخرسانة بين الشقوق في تحمل قوى الشدّ في منطقة الشدّ [4]

من الشكل (1-6-5) نلاحظ أنّ التشقق في العناصر الخرسانيّة المسلّحة يتمّ حسب المراحل التالية:

المرحلة I: المقطع غير متشقق.

المرحلة I_E: مرحلة التشقق الأولي و مساهمة الخرسانة بين الشقوق تعطى بالحدّ $\Delta\epsilon_{s1}$.

المرحلة I_F: مرحلة التشقق الإنتقالي من مرحلة التشقق الأولي إلى مرحلة التشقق النهائي.

المرحلة II: مرحلة التشقق النهائي و مساهمة الخرسانة بين الشقوق تعطى بالحدّ $\Delta\epsilon_s = 0.75\Delta\epsilon_{s1}$.

7-5 مراعاة المتحولات الاحتمالية المؤثرة على سلوك تشوه و تشقق عناصر الخرسانة المسلحة [4]:

كما ذكرنا سابقاً بما أنّ الصيغة العامة للعلاقات إجهاد التماسك-الانزلاق المعّلة احتمالياً التي توصلنا لها في بحثنا، تماثل قانون التماسك المعّلة إحصائياً الذي توصل له Amer, Z. [4] في بحثه عام 1989، لذلك لإجراء هذه المرحلة من الدراسة يمكن العودة إلى الفصل الخامس من المرجع [4] و اتباع خطوات طريقة Amer, Z. في هذه الدراسة، حيث قام بدراسة تأثير المتحولات الاحتمالية على سلوك تشوه و تشقق عناصر الخرسانة المسلحة بالإستناد إلى نظرية الأمان من المرتبة الأولى باستخدام برنامج حاسوبي، يمكن من خلاله إجراء حسابات نظرية الأمان مع وجود متحولات أساسية غير مرتبطة احتمالياً بعضها مع البعض الآخر.

يتلخص المبدأ الأساسي لنظرية الأمان من المرتبة الأولى [4]، بتحويل جميع المتحولات الأساسية الخاضعة للإحتمالات X_i إلى قيم احتمالية ذات توزع طبيعي نظامي Y_i .

القيم الاحتمالية التي تمثل منحنيات التناثر الإحتمالي في بحثنا هي القيم 5% ، 50% ، 95% ، و هي نفس القيم الإحتمالية التي استخدمها Amer, Z. في بحثه من أجل التوزع الإحتمالي الطبيعي في إجراء حسابات نظرية الأمان.

حسب [4] و من نتائج حسابات نظرية الأمان تمّ التوصل إلى نتيجة مهمة، و هي أنّ التناثر الإحتمالي لعوامل التماسك A ، N لا يملك تأثيراً جوهرياً على تمدد الفولاذ الوسطي في مرحلة التشقق الأولي و النهائي.

8-5 الخلاصة: Conclusion

لقد تمّ في هذا الفصل عرض النتائج التطبيقية المتوقعة لهذا البحث، حيث تمّ إعتداداً على المرجع [4] إعطاء العلاقات اللازمة لحساب عرض الشقوق و التباعد فيما بينها لكل مرحلة من مراحل ظاهرة التشقق كل على حدا، من خلال حل المعادلة التفاضلية للتماسك المنزلق باستخدام العلاقات إجهاد التماسك-الانزلاق المعّلة احتمالياً التي توصلنا لها في دراستنا، و بالتالي تمّ تفسير مراحل ظاهرة التشقق في العناصر الخرسانية المسلحة ببياناً، و إعطاء العلاقة التي تمكّن من حساب قيمة الحد $\Delta\epsilon_s$ ، $\Delta\epsilon_{s1}$ و الذي يعبر عن مشاركة الخرسانة بين الشقوق في تحمّل قوى الشدّ في مرحلة التشقق الأولي و النهائي.

الفصل السادس

نتائج و توصيات

1-6 النتائج

أهمُ النتائج من الدراستين التحليلية و التجريبية و المقارنة بينهما في هذا البحث كانت التالية:

- ◆ إن الصيغة العامة لل علاقات إجهاد التماسك-الانزلاق المعلّلة احتمالياً و التي تمثل قانوناً للتماسك و المستنتجة من الدراسة التحليلية الاحتمالية متطابقة مع الصيغة العامة لل علاقات إجهاد التماسك-الانزلاق الناتجة من تقييم الدراسة التجريبية و ال مقابلة لها بالمقاومة الخرسانية، كما أظهرت نتيجة المقارنة بين ثوابت العلاقات التحليلية و التجريبية فروقات بسيطة بين هذه الثوابت.
- ◆ أظهرت عملية المقارنة بين النتائج التجريبية و التحليلية تطابقاً جيداً، لذلك من الممكن اعتماد الدراسة التحليلية بطريقة العناصر المحدودة بالبرامج الحاسوبية للتوصّل لقانون التماسك الذي يحاكي بشكل جيد سلوك التماسك.
- ◆ إن قانون التماسك المستنبط من الدراسة التحليلية معرّف من خلال القيمة الوسطية و منحني التناثر الاحتمالي و هذا يمهد لاستخدامه في تطبيقات نظريات الأمان على العديد من المسائل الهندسية مثل (التوصيف الدقيق لمسار إجهادات التماسك في مجال نقل القوة بين التشقّقات و تحديد عرض الشقوق و تحديد سعتها)، حيث اعتمدت الدراسات السابقة في هذا المجال على قيمة وسطية ثابتة لإجهادات التماسك ضمن مجال التماسك.
- ◆ أعطت منحنيات و علاقات التماسك المستنتجة في هذا البحث تفسيراً لمراحل ظاهرة التشقّق بشكل دقيق في العناصر الخرسانية المسلحة، و تمّ من خلالها تحديد عرض التشقّقات و التباعد فيما بينها في كلّ مرحلة باعتماد إحدى النظريات المستخدمة في أبحاث علمية سابقة لنفس الهدف.
- ◆ يمكن من خلال علاقات إجهاد التماسك-الانزلاق المستنتجة في هذا البحث رسم المسار الفعلي لقيم إجهادات التماسك بجوار منطقة الشقّ بشكلها الحقيقي، دون اللجوء لاعتماد القيمة الوسطية الثابتة لإجهادات التماسك كما جرى في الأبحاث العلمية السابقة.

2-6 التوصيات

- نماذج الانسحاب المستخدمة في هذا البحث لنمذجة آلية التماسك بين الفولاذ و الخرسانة باستخدام طريقة العناصر المحدودة ببرنامج ABAQUS6.5 هي نماذج عيّنات أسطوانية الشكل، يمكن متابعة البحث بإجراء النمذجة لعيّنات مكعبية الشكل بمتغيرات عدة.
- إنّ موقع قضيب التسليح في النموذج المنجز هو في منتصف العيّنة، يمكن متابعة بناء نماذج تحليلية أخرى بحيث يتم فيها تغيير موقع قضيب التسليح في النموذج.
- المقاومات الخرسانية الأسطوانية التي تمّ اعتمادها في البحث هي أربع مقاومات و ذلك تماشياً مع المقاومات الخرسانية المعتمدة في الدراسة التجريبية السابقة من قبل الباحث **Martin J.S. [3]** في جامعة واشنطن الذي تمّت المقارنة مع نتائجه، يمكن إجراء نمذجة لعيّنات ذات مقاومة مختلفة عن المقاومات التي تمّ اعتمادها و مقارنة النتائج مع بعضها.
- إنّ اتجاه صب الخرسانة في عيّنات التجارب التي تمّت مقارنة النتائج التحليلية معها هو باتجاه توضع القضبان، يمكن إجراء مقارنة مماثلة للنتائج التحليلية مع نتائج تجارب أخرى بحيث يكون فيها اتجاه صب الخرسانة بشكل متعامد مع اتجاه التسليح المتوضع ضمن العيّنة.

المصطلحات

Stress	إجهاد
Bond stress	إجهاد التماسك
Probability	الإحتمالات
Pull-out	الانسحاب
Failure	انهيار
Embedment	الإرساء
Slip	انزلاق
Ultimate	الحدية
Cohesive	التصاق
Analytical	تحليلي
Experimental	تجريبي
Load	حمولة
Concrete	خرسانة
Mathematical	رياضية
Crack	شق
Method	طريقة
Length	طول
Numerical	عددي
Element	عنصر
Un bonded	غير متماسك
Finite-Element	عنصر محدود
Steel	فولاذ
Bar	قضيب
Simulation	محاكاة
Comparative	مقارنة
Bonded	متماسك
Region	منطقة
Theory	نظرية
Specimen	نموذج
Modeling	نمذجة
Result	نتيجة

الفهرس

ملخص البحث باللغة العربية

الفصل الأول: مقدّمة و دراسة مرجعية حول إجهادات التماسك و علاقتها بالانزلاقات النسبية بين الفولاذ و الخرسانة

2	1	1	مقدمة البحث
2	1	2	مبررات البحث
3	1	3	هدف البحث
3	1	4	ميكانيكية التماسك
5	1	5	أنواع الانهيارات التي تحدث في نموذج الانسحاب (نموذج التماسك)
7	1	6	دراسة مرجعية
11	1	7	الخلاصة

الفصل الثاني: تقييم الدراسة التجريبية لبحث Martin J.S. الذي نُقمت المقارنة معه

12	2	1	المقدمة
12	2	2	النموذج التجريبي الذي استخدمه Martin J. S.
13	2	3	المتغيرات و النماذج المستخدمة في دراسته التجريبية
17	2	4	مراحل تقييم الدراسة التجريبية ل Martin J.S.
17	2	4	1 ± الدراسة الرياضية للبيانات (قوة-انتقال) وصولاً للعلاقة (إجهاد تماسك-انزلاق)
27	2	4	2 ± الدراسة الاحتمالية للبيانات (إجهاد تماسك-انزلاق)
33	2	5	الشكل العام لعلاقة إجهاد التماسك-الانزلاق المعللة احتمالياً المستنتجة من تقييم دراسة Martin J.S. التجريبية
34	2	6	الخلاصة

الفصل الثالث: الدراسة التحليلية لإجهادات التماسك باستخدام طريقة العناصر المحدودة

35	3	1	المقدمة
35	3	2	لمحة عامة عن النمذجة باستخدام برنامج ABAQUS
37	3	3	النموذج الحسابي المستخدم في الدراسة التحليلية
38	3	4	متغيرات الدراسة التحليلية

41	5 3	مراحل إجراء الدراسة التحليلية
41	1 5 3	نمذجة الشكل الهندسي للنموذج التحليلي
45	2 5 3	تحليل النموذج على ABAQUS CAE
43	6 3	نتائج تحليل النماذج باستخدام ABAQUS CAE
48	7 3	تقييم نتائج الدراسة التحليلية
73	8 3	الدراسة الاحتمالية على نتائج الدراسة التحليلية
78	9 3	الشكل العام لعلاقة إجهاد التماسك-الانزلاق الناتجة من الدراسة التحليلية
78	10 3	الخلاصة

الفصل الرابع: مقارنة بين النتائج التجريبية و النتائج التحليلية لعلاقة إجهاد تماسك – انزلاق المعطلة إحتمالياً

79	1 4	المقدمة
79	2 4	نتائج المقارنة
84	3 4	الخلاصة

الفصل الخامس: النتائج التطبيقية للبحث

85	1 5	المقدمة
85	2 5	مراجعة بحثية حول نظرية التشققات
87	3 5	مراحل التشقق
89	4 5	حساب التباعد بين الشقوق
89	1 4 5	مرحلة تشكل الشقوق الأولية
90	2 4 5	مرحلة تشكل الشقوق النهائية
90	3 4 5	مرحلة تشكل الشقوق الإنتقالية
90	5 5	حساب عرض الشقوق
90	1 5 5	مرحلة التشقق الأولي
91	2 5 5	مرحلة التشقق الإنتقالي
91	3 5 5	مرحلة التشقق النهائي
92	6 5	التمثيل البياني لمراحل ظاهرة التشقق
93	7 5	مراعاة المتحولات الاحتمالية المؤثرة على سلوك تشوه و تشقق عناصر الخرسانة المسلحة
93	8 5	الخلاصة

الفصل السادس: النتائج و التوصيات

94	6 ± النتائج
95	2-6 التوصيات
96	المصطلحات
	المراجع المستخدمة في البحث
	المواقع الإلكترونية
	جدول الأشكال
	قائمة الجداول
	ملخص البحث باللغة الإنكليزية

المراجع References

1	الكود العربي السوري لتصميم و تنفيذ المنشآت بللخرسانة المسلّحة (2004) نقابة المهندسين
2	م.الهدلة- دراسة التماسك في البيتون المسلح عالي المقاومة- دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير، جامعة دمشق، كلية الهندسة المدنية (2010)
3	Martin J.S. “ An Experimental Investigation of Bond in Reinforced Concrete ”. MSCE Thesis, University of Washington, Seattle, WA, (2006).
4	Amer , z. “ Nachweiß und Begrenzung der Rißbreiten unter Zwangsbeanspruchungen ”. 6.Informationstagung – Dresden. (1989).
5	Azzam A. , Richter M. " Investigation of Stress Transfer Behavior in Textile Reinforced Concrete with Application to Reinforcement Overlapping and Development Lengths “ Institut für Mechanik und Flächenträgerwerke, Technische Universität Dresden, (2011).
6	Khalfallah S., “ Tension Stiffening Bond Modelling of Cracked Flexural reinforced Concrete Beams ”. Journal of Civil Engineering and Management, 14(2): (2008) 131-137.
7	Ahmed K., Siddiqi Z.A. and Yousaf M. “ Slippage of Steel in High and Normal Strength Concrete ”. university of Engineering & Technology, Lahore, Pakistan, (2007).
8	Benmokrane B. , Zhang B. , Brahim K. L. , Tighiouart and Lord I. , “ Mechanical And Bond Properties of New Generation of Isorod CFRP Reinforcing Bars for Concrete Structures ”. Dept of civil Engineering, University of Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada J1K 2R1. (2001)
9	Dahou Z., Mehdi Sbartaï Z., Castel A., Ghomari F., “ Artificial Neural Network Model For Steel Concrete Bond Prediction ”. <i>Engineering Structures</i> , 31 (2009) 1724-1733.
10	Nam H.S. , Bong H.K. , Wan K.T. , Seok B.K. , Kyu P.S. and Jun K.W. “ Estimation Of Flexural Crack Width In Reinforced Concrete Members ”. Sungkyunkwan University of Civil and Environmental Engineering, Korea, (2008).
11	Yamato,N. , Nakai H. and Kanakubo T. , Dr. E. “ Prediction Method of Crack Width and Spacing in Reinforced Concrete Based on Bond Analysis ”. The 14 th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, China, 12-17 October, (2008).
12	Theiner Y. , Hofstetter G. , " Numerical prediction of crack propagation and crack widths in concrete structures ", <i>Engineering Structures</i> , 31 (2009) 1832-1840.
13	"Reinforced Concrete Buildings: Chapter1- Beams" , "Crack control of beams (Part1: Australian Standard AS 3600 Design)" (2000)
14	Haskett M., Oehlers D.G and Mohamed Ali M.S. “ Local and Global Bond Characteristics of Steel Reinforcing Bars ”. <i>Engineering Structures</i> , 30 (2008) 376-383.
15	CEB.1992. CEB-FIB Model Code 90 .London

المواقع الإلكترونية:

www.alhandasa.net

www.sciencedirect.com

www.tu-dresden.de/biw/index.htm

البرامج الحاسوبية المستخدمة:

ABAQUS6.5

للمنمجة بطريقة العناصر المحدود

Graph4.3

لرسم المنحنيات و استنتاج العلاقات

جدول الأشكال		
3	آلية عمل قضيب تسليح معرض للشد متوضع ضمن كتلة خرسانية	الشكل (1-4-1)
4	ميكانيكية التشقق عند الشق الاول	الشكل (2-4-1)
5	شكل انهيار الانسحاب	الشكل (1-5-1)
6	طول الارساء المثالي	الشكل (2-5-1)
7	علاقة إجهاد التماسك مع الانزلاق النسبي بين الفولاذ و الخرسانة بشكل علاقة معقدة احتمالياً	الشكل (1-6-1)
8	العلاقة إجهاد تماسك- انزلاق و ذلك لقضبان بقطر 10 مم و 12 مم	الشكل (2-6-1)
9	علاقة إجهاد تماسك - انزلاق حسب (. CEB . 1992)	الشكل (3-6-1)
10	إجهادات التماسك بين مقاطع الشقوق المتجاورة في حالة العزم الثابت على طول الجائز	الشكل (4-6-1)
10	إجهادات التماسك بين مقاطع الشقوق المتجاورة في حالة العزم المتغير على طول الجائز	الشكل (5-6-1)
11	لعلاقة إجهاد التماسك- انزلاق Martin J.S. و Eligehausen مقارنة بين	الشكل (6-6-1)
13	نموذج الانسحاب الذي استخدمه Martin J.S.	الشكل (1-2-2)
27	منحني غاوس (Gauss)	الشكل (1-2-4-2)
28	ليانات هذا البحث (Gauss) منحني غاوس	الشكل (2-2-4-2)
29	العلاقة التجريبية المعقدة احتمالياً لإجهاد التماسك- الانزلاق للسلسلة SA حيث المقاومة المكعبية للخرسانة = MPA 25	الشكل (3-2-4-2)
30	العلاقة التجريبية المعقدة احتمالياً لإجهاد التماسك- الانزلاق للسلسلة SC حيث المقاومة المكعبية للخرسانة = MPA 53	الشكل (4-2-4-2)
31	العلاقة التجريبية المعقدة احتمالياً لإجهاد التماسك- الانزلاق للسلسلة SD حيث المقاومة المكعبية للخرسانة = MPA 59.4	الشكل (5-2-4-2)
32	العلاقة التجريبية المعقدة احتمالياً لإجهاد التماسك- الانزلاق للسلسلة SF حيث المقاومة المكعبية للخرسانة = MPA 48.6	الشكل (6-2-4-2)
36	علاقة إجهاد وسطي- تشوه وسطي لنموذج الشد المتشقق طبقاً للتحقق التجريبي و المحاكاة العددية	الشكل (1-2-3)
36	علاقة قوة الإنهيار- طول الإرساء المطلوب و ذلك تجريبياً و عددياً	الشكل (2-2-3)
37	النموذج التحليلي المكافئ للنموذج التجريبي	الشكل (1-3-3)
42	منحني قانون التماسك المستخدم لتعريف مادة طبقة عناصر الإنصاق	الشكل (1-1-5-3)
44	الشكل الهندسي لنموذج التماسك بطريقة العناصر المحدودة	الشكل (2-1-5-3)
42	تحليل نموذج التماسك بطريقة العناصر المحدودة تحت تأثير حمولة الانسحاب	الشكل (1-3-5-3)
43	منحني القوة - انتقال للنموذج SA-200-400-25-200	الشكل (1-6-3)
43	منحني القوة - انتقال للنموذج SA-150-300-20-150	الشكل (2-6-3)
44	منحني القوة - انتقال للنموذج SA-150-300-20-300	الشكل (3-6-3)
44	منحني القوة - انتقال للنموذج SC-150-300-20-50	الشكل (4-6-3)
45	منحني القوة - انتقال للنموذج SC-200-400-25-150	الشكل (5-6-3)
45	منحني القوة - انتقال للنموذج SD-150-300-20-50	الشكل (6-6-3)
46	منحني القوة - انتقال للنموذج SD-100-200-12-75	الشكل (7-6-3)

46	منحني القوة - انتقال للنموذج SF-200-400-20-50	الشكل (8-6-3)
47	منحني القوة - انتقال للنموذج SF-150-300-25-300	الشكل (9-6-3)
73	منحني غاوس (Gauss) للبيانات التحليلية	الشكل (1-8-3)
74	العلاقة التحليلية المعقدة احتمالياً لإجهاد التماسك-الانزلاق للسلسلة SA حيث المقاومة المكعبية للخرسانة = 25 MPa	الشكل (2-8-3)
75	العلاقة التحليلية المعقدة احتمالياً لإجهاد التماسك-الانزلاق للسلسلة SC حيث المقاومة المكعبية للخرسانة = 53 MPa	الشكل (3-8-3)
76	العلاقة التحليلية المعقدة احتمالياً لإجهاد التماسك-الانزلاق للسلسلة SD حيث المقاومة المكعبية للخرسانة = 59.4 MPa	الشكل (4-8-3)
77	العلاقة التحليلية المعقدة احتمالياً لإجهاد التماسك-الانزلاق للسلسلة SF حيث المقاومة المكعبية للخرسانة = 48.6 MPa	الشكل (5-8-3)
80	مقارنة النتائج التحليلية مع النتائج التجريبية لعلاقة إجهاد تماسك-انزلاق المعقدة احتمالياً للسلسلة SA حيث المقاومة المكعبية للخرسانة = 25 MPa	الشكل (1-2-4)
81	مقارنة النتائج التحليلية مع النتائج التجريبية لعلاقة إجهاد تماسك-انزلاق المعقدة احتمالياً للسلسلة SC حيث المقاومة المكعبية للخرسانة = 53 MPa	الشكل (2-2-4)
82	مقارنة النتائج التحليلية مع النتائج التجريبية لعلاقة إجهاد تماسك-انزلاق المعقدة احتمالياً للسلسلة SD حيث المقاومة المكعبية للخرسانة = 59.4 MPa	الشكل (3-2-4)
83	مقارنة النتائج التحليلية مع النتائج التجريبية لعلاقة إجهاد تماسك-انزلاق المعقدة احتمالياً للسلسلة SF حيث المقاومة المكعبية للخرسانة = 48.6 MPa	الشكل (4-2-4)
86	تشقق عنصر خرساني تحت تأثير حمولة الشد	الشكل (1-2-5)
90	الإجهادات في الفولاذ و الخرسانة في مراحل التشقق	الشكل (1-3-5)
91	مجالات التماسك L _{ER} في مرحلة التشقق الأولي	الشكل (1-1-4-5)
97	سلوك (إجهاد-تشوه وسطي) لفولاذ التسليح بمشاركة الخرسانة بين الشقوق في تحمل قوى الشد في منطقة الشد	الشكل (1-6-5)

69	نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SF ذات المقاومة المكعبية الخرسانة MPa 48.6	الجدول (4-7-3)
70	نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SF ذات المقاومة المكعبية الخرسانة MPa 48.6	تابع الجدول (4-7-3)
71	نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SF ذات المقاومة المكعبية الخرسانة MPa 48.6	تابع الجدول (4-7-3)
72	نتائج الدراسة الرياضية التحليلية للسلسلة SF ذات المقاومة المكعبية الخرسانة MPa 48.6	تابع الجدول (4-7-3)

Abstract

This paper presents analytical study of Bond stress and its relationship with relative slip between the concrete and steel according to finite element method by using an ABAQUS 6.5 PROGRAM.

Moreover, it presents a probabilistic study by using statistics theory on the data as a result from analytical study to get bond stress-slip relationship which represents the bond equation.

In this research, it has been made non linear analytical for the pull-out specimens according to various parameters which includes concrete strength effect .In additional to development length ,bar diameter and concrete cylinder dimensions.

Also, this paper provides an evaluation for previously developed experimental study for bond in Washington University since 2006 and making a probabilistic study on it to get the Bond stress-slip relationship curves to comparing it with the results analytical study curves.

Bond stress-slip relationships were used to explain the phenomenon of cracking stages accurately in reinforced concrete structures down to the relationships needed to calculate the crack width and the spacing between them in each stage of cracking.

Noticeable results and recommendation for further research are concluded.

Keywords:

Bond stress, slip, bond stress-slip relationship, probabilities theory, Crack width

**Damascus University
Faculty of Civil Engineering
Department of structural engineering**

**Αναλυτική Στιδί οφ Τηε Βονδ Στρεσσ Βετωεεν
Στεελ ανδ Χονχρετε Υσινγ τηε Προβαβιλιτψ Τηε
ορψ**

**This study was prepared to obtain master degree in structural
engineering**

**Supervised by:
Dr.Eng.Zuhair Amer**

**Studied by:
Eng.Omayah Mohammad Taliaa**

Damascus 2013

