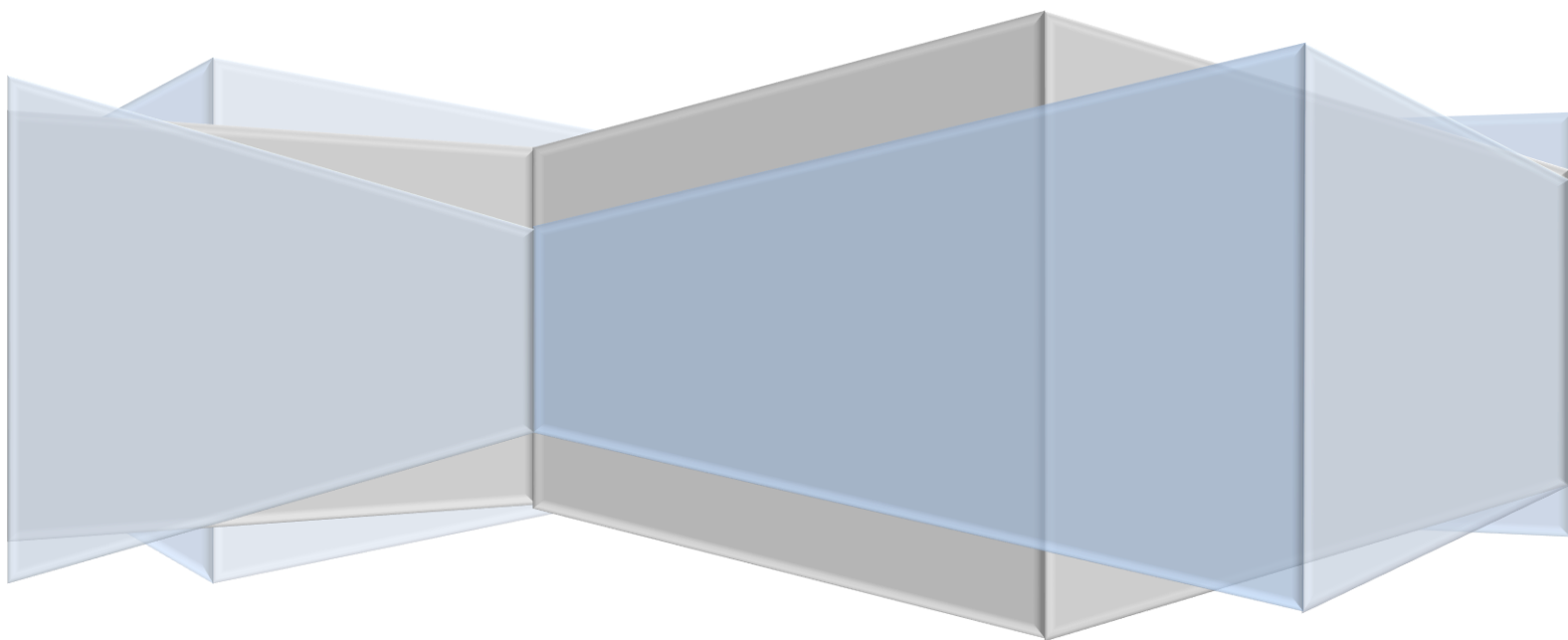


الفصل الثالث

البرنامج العملي



الفصل الثالث

البرنامج العملي

عام ١,٣ General

للتحري بصورة فعّالة عن سلوك الخرسانة الليفية (FRC) هناك العديد من الإجراءات المتخذة ، منها فحوصات المواد وإيجاد نسب الخلط وغيرها وهذه الإجراءات يجب أن تُجرى بعناية قبل فحص الخرسانة الليفية الطرية و المتصلبة .

ولغرض إنتاج الخرسانة الليفية فقد تم في هذه الدراسة إستخدام الياف البولي بروبيلين (PPF) وألياف الفولاذ (SF) كجزء أساسي في الخلطة الخرسانية إضافة للمكونات المعروفة للخرسانة وهي الركام الخشن والناعم (Coarse and Fine aggregate)، والمادة الرابطة (Binder) وهي (السمنت وغبار السليكا) ، المضافات المدنة الفائقة (Superplasticizer Admixtures) إضافة للماء . أعتمدت نسب حجمية مختلفة من الألياف في هذه الدراسة لمعرفة تأثير الألياف على خصائص وأداء الخرسانة .

في هذا الفصل سيتم تناول مكونات الخلطة المعتمدة في الدراسة ، البرنامج العملي ، فحص المواد ، توضيح تأثير المضافات وعدد النماذج المعتمدة للحصول على نتائج هذه الدراسة ، ولغرض دراسة تأثير الألياف على الخرسانة تحت الإنضغاط (Compression) ، الإنثناء (Flexure) والشد (Tensile) تم صب (٣٠ مكعب) ، (٣٩ عتبة) و(٣٠ اسطوانة) لكل حالة على التوالي .

كذلك سيتم في هذا الفصل عرض التقنيات المستخدمة لتحضير ، صب وفحص الخرسانة الطرية والمتصلبة مع/أو بدون وجود الألياف ، المخطط الإنسيابي التالي يوضح البرنامج العملي لهذه الدراسة .



شكل (3 - 1) المخطط الإنسيابي للبرنامج العملي المتبع في هذه الدراسة

٢, ٣ المواد المستخدمة

Materials

سيتم عرض المواد المكونة للخرسانة الليفية والفحوصات التي تم إجراؤها لغرض التأكد من مطابقة هذه المواد للمواصفات.

Coarse Aggregate

١, ٢, ٣ الركام الخشن

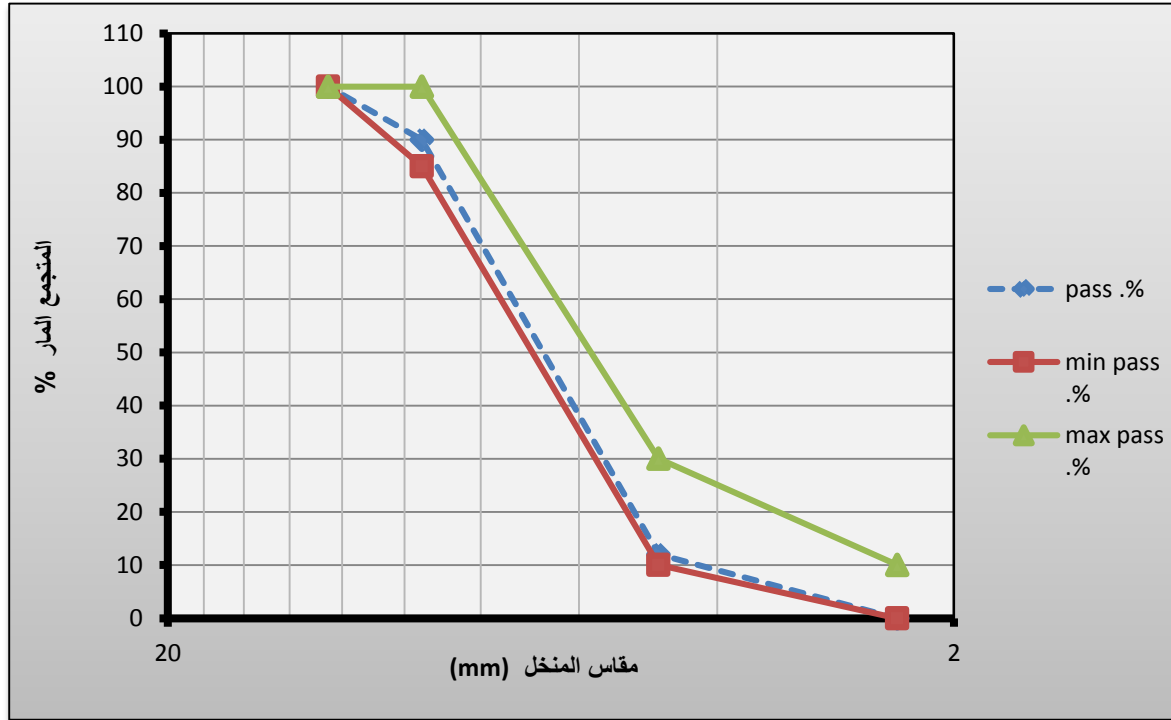
تم استخدام ركام خشن إعتيادي (حصى نهري) من منطقة تكريت وبمقاس أقصى ($M.A.S = 12,5mm$) ، وقبل استخدامه في الخرسانة يتم غسله بالماء للتخلص من المواد الطينية العالقة بالحبيبات . بالنسبة للخصائص الكيميائية والفيزيائية تم فحصها في مختبر الأبحاث التابع لقسم الهندسة الكيميائية/جامعة تكريت والنتائج مبينة في الجدول (٣ - ١) . وقد تم فحص تدرج الركام في مختبر فحوصات الخرسانة التابع لقسم الهندسة المدنية/جامعة تكريت و كانت النتيجة مطابقة للمواصفات الأمريكية ($ASTM C33-01$) ^(٦٦) وهي موضحة في الجدول (٣ - ٢) والشكل (٣ - ٢).

جدول (٣ - ١) الخصائص الفيزيائية والكيميائية للركام الخشن

الخصائص	المواصفات	نتائج الفحص	حدود المواصفات
الوزن النوعي	$ASTM C 128.01^{(٦٦)}$	٢,٧	
الإمتصاص	$ASTM C 128.01^{(٦٦)}$	٢,٤	
الكثافة الجافة الرخوة	$ASTM C 29/C 29M/97^{(٦٨)}$	١٦٠٠	
محتوى السلفات (SO_2) %	(I.O.S.) No. ٤٥-٨٤ ^(٦٩)	٠,٠٨	٠,٥ كحد أقصى

جدول (٣ - ٢) نتيجة فحص التدرج للركام الخشن

مقاس المنخل (mm)	المتجمع المار	حدود المواصفة $ASTM C 33-01$
١٢,٥	١٠٠	١٠٠-٩٠
٩,٥	٩٠	١٠٠-٨٥
٤,٧٥	١٥	٣٠-١٠
٢,٣٦	٠	١٠٠-٠



شكل (3 - 2): مقارنة نتيجة فحص التدرج للركام الخشن مع المواصفات

Fine

٢, ٢, ٣ الركام الناعم

Aggregate

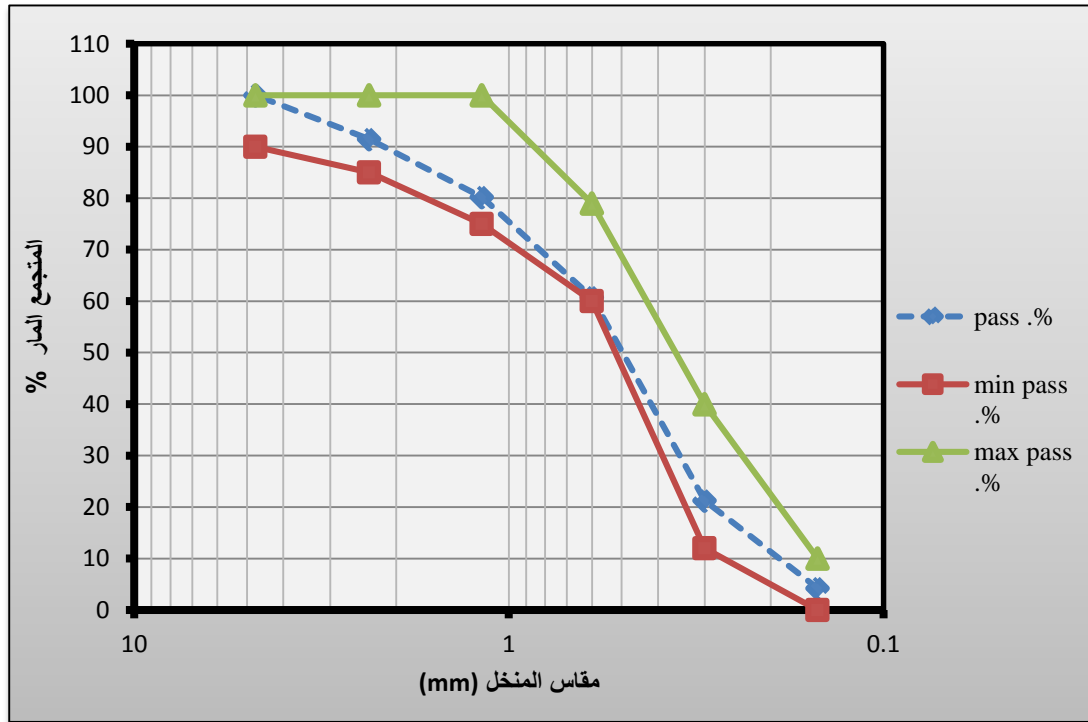
الركام الناعم (الرمل) المستخدم لإجراء الفحوصات العملية على الخرسانة هو رمل نهري من منطقة الطوز ، وقد تمت غربلته على منخل مقاس (٤,٧٥mm) ، أُجريت فحوصات الخصائص الفيزيائية والكيميائية في المختبرات المذكورة سلفاً والنتائج مبينة في الجدول (٣ - ٣) ، كذلك تم إجراء فحص التدرج وكان مطابق للمواصفات العراقية [zone No. (٣) - ٤٥/١٩٨٤ IQS No. (٦٩)] والنتائج موضحة في الجدول (٣ - ٤) والشكل (٣ - ٣) .

جدول (3 - 3) الخصائص الفيزيائية والكيميائية للركام الناعم

الخصائص	المواصفة	نتائج الفحص	حدود المواصفة
الوزن النوعي	ASTM C١٢٨-٠١ (٦٧)	٢,٦٠	
الإمتصاص %	ASTM C١٢٨-٠١ (٦٧)	٢,٢	
الكثافة الجافة الرخوة	ASTM C٢٩/C٢٩M/٩٧ (٦٩)	١٥٩٠	
محتوى السلفات (SO٣) %	(I.O.S.) No. ٤٥-٨٤ (٦٩)	٠,٠٨	٠,٥ كحد أقصى
المواد الناعمة أنعم من منخل (٠,٠٧٥mm) %	(I.O.S.) No. ٤٥-٨٤ (٦٩)	١,٣	٥ كحد أقصى

جدول (3 - 4) نتيجة فحص التدرج للركام الناعم

مقاس المنخل	المتجمع المتبقي %	المتجمع المار %	حدود المواصفة IQS No. ٤٥/١٩٨٤- zone No.(٣)
٤,٧٥mm (No.٤)	٠	١٠٠	٩٠-١٠٠
٢,٣٦mm (No.٨)	٨,٥	٩١,٥	٨٥-١٠٠
١,١٨mm (No.١٦)	١٩,٧٥	٨٠,٢٥	٧٥-١٠٠
٦٠٠µm (No.٣٠)	٣٩,٢٥	٦٠,٧٥	٦٠-٧٩
٣٠٠µm (No.٥٠)	٧٨,٧٥	٢١,٢٥	١٢-٤٠
١٥٠µm (No.١٠٠)	٩٥,٧٥	٤,٢٥	٠-١٠
معامل النعومة ٢,٤٢			



شكل (3 - 3): مقارنة نتيجة فحص التدرج للركام الناعم مع المواصفات

Cement

٣, ٢, ٣ السمنت

تم استخدام سمنت بورتلاندي إعتيادي (*Ordinary Portland Cement*) عراقي المنشأ نوع كرسته (*CEM II/A-L ٤٢,٥ R*) في جميع خلطات هذه الدراسة ، تم أيضا فحص الخصائص الفيزيائية والكيميائية للسمنت وهذه النتائج مبينة في الجدول (٣ – ٥) حيث أظهرت النتائج أن هذا النوع مطابق للمواصفات العراقية القياسية (*IQS No. ٥*)^(٧٠)، وقد أُجريت هذه الفحوصات في المختبرات المذكورة سلفاً .

جدول (3 – 5) الخصائص الفيزيائية والكيميائية للإسمنت

تركيب الأكاسيد	المحتوى	حدود المواصفة العراقية No. ٥/١٩٨٤
الألومينا	٣,٠٦%	حد أقصى ٨%
السيليكا	١٤,٢%	حد أقصى ٢١%
السولفات	٣,٢٥%	حد أقصى ٢,٨%
الفقدان بالحرارة	٠,٩٣%	حد أقصى ٤%
المواد غير الذائبة	٠,٨٩%	حد أقصى ١,٥%
الخصائص الفيزيائية	نتائج الفحص	حدود المواصفة العراقية No. ٥/١٩٨٤
المساحة السطحية النوعية Kg/m^2	٣٠١,٥	الحد الأدنى ٣٠١,٥
وقت التجمد (جهاز فيكات) التجمد الابتدائي (ساعة) التجمد النهائي (ساعة)	٠:٥٥ ٨:٠٠	لا يقل عن ٤٥ دقيقة لا يزيد عن ١٠ ساعات
مقاومة الإنضغاط (<i>MPa</i>) بعمر ٣ أيام	٢٨,٧	الحد الأدنى (<i>1٥ MPa</i>)

Water**٤, ٢, ٣ الماء**

تم استخدام ماء الشرب الإعتيادي (*Tap Water*) في إعداد خلطات (*Mixes*) هذه الدراسة ، كذلك تم استخدام الماء نفسه في معالجة النماذج .

Admixture**٥, ٢, ٣ المضافات****Superplasticizer****١, ٥, ٢, ٣ الملدن الفائق**

بدأ استخدام الملدن (*Superplasticizer*) في الخرسانة في عام ١٩٦٠ وأصبحت هذه المادة معروفة الاستخدام في التطبيقات الخرسانية وفي مجال الإنشاءات .^(٧١)

إن هذه المادة تُصنف بطريقة صحيحة كمادة مُضافة مقللة للماء لدرجة فائقة (*High-Range Water Reducing Admixture HRWRA*) - إذا طبقت متطلبات (*ASTM C ٤٩٤ Type F or G*) ، أو (*ASTM C ١٠١٧ Type I or II*)^(٧٢)، ولكي تُصنف كمادة مضافة مقللة للماء لدرجة فائقة (*HRWRA*) حسب متطلبات (*ASTM C ٤٩٤*) يجب أن تكون قادرة على تقليل الماء كحد أدنى (١٢%)^(٧٣).

إن إضافة المواد المقللة للماء لدرجة فائقة (*HRWRA*) يضيف تأثيرات إيجابية على الخرسانة الطرية مثل زيادة الهبوط (*Slump*) دون الحاجة إلى كمية ماء إضافية ، تقليل نسبة الماء إلى المادة الرابطة (*w/cm*) لقيمة هبوط ثابتة ، تحسن قابلية التشغيل وتُسهل عملية الضخ (*Pumping*) للخرسانة.^(٧٣)

وكما هو معلوم ان الملدن الفائق (*Superplasticizer*) يزيد من قابلية التشغيل للخليط بصورة عالية ، ولكن هذه الزيادة لا تستمر لأكثر من (٣٠-٦٠ دقيقة) وهناك طرق مختلفة (إضافة الملدن عند وضع الخرسانة أو كجرعة خلال الخلط) لزيادة مدة بقاء الخرسانة قابلة للتشغيل (*workable*) ، كذلك فإن لنوع الملدن تأثيراً على الهبوط .^(٧٤،٧٥)

وعلى الرغم من كون الملدن لا يؤثر كيميائياً على نواتج عملية الإماهة (*Hydrated Product*) إلا إنه يؤثر على البنية المجهرية لجل السمنت والخرسانة ، يُقلل المسامية (*Porosity*) و النضح (*Bleeding*) بصورة ملحوظة ، وبدرجة أقل تقل التشوهات (*Deformation*) ، الزحف (*Creep*) والانكماش (*Shrinkage*) . حيث إن ما وراء زيادة المقاومة هناك زيادة في ديمومة الخرسانة عند إضافة الملدن .^(٧٦،٧٧)

الملدن المستخدم في الدراسة المعروف بإسم (*Structuro ٣٣٥*) ذي الخصائص المبينة في الجدول (٣ - ٦) يعتبر ملدن عالي الأداء (*High Performance*) ويستخدم حيث يُراد زيادة مقاومة الانضغاط في الأعمار المبكرة والمتأخرة ويُستخدم في التطبيقات الآتية (ملحق أ) :-

- ◆ الخرسانة ذاتية الرص (*Self-Compacting Concrete*)
 - ◆ ضخ الخرسانة (*Concrete Pumping*)
 - ◆ في الخرسانة التي تتطلب الاحتفاظ بقابلية التشغيل (*Workability*) لمدة طويلة .
 - ◆ خرسانة عالية الأداء (*High Performance Concrete*) .
 - ◆ خرسانة مسبقة الصب (*Pre-Cast Concrete*) .
- أما محاسن إستخدامه فهي كالتالي :- (ملحق أ)
- ◆ زيادة مقاومة الإنضغاط بأعمار المبكرة والمتأخرة .
 - ◆ زيادة مقاومة الإنثناء (*Flexural Strength*) .
 - ◆ زيادة معامل المرونة (*Elastic Modulus*) .
 - ◆ زيادة قوة التلاصق (*Adhesion*) مع حديد التسليح الإعتيادي ومسبق الجهد .
 - ◆ تحسين مقاومة الكربنة (*Carbonation*) .
 - ◆ نفاذية (*Permeability*) أقل .
 - ◆ تحسين مقاومة الظروف الجوية .
 - ◆ تقليل الإنكماش (*Shrinkage*) والزحف (*Creep*) .
 - ◆ زيادة الديمومة .

جدول (٣-٦): وصف خصائص الملدن الفائق المستخدم (ملحق أ)

الفعالية	خصائص الملدن المستخدم
المظهر	سائل أصفر خفيف مائل للحمرة
الكتلة الحجمية في درجة حرارة 20°C	$1,10 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$
قيمة الـ PH	٦,٥
محتوى الكلوريدات	$> 0.1 \%$
مكافئ أوكسيد الصوديوم Na_2O (gm/l)	أقل من ١,٥



شكل (3 - 4): الملدن الفائق المستخدم في الدراسة *structuro 330*

الملدن (Structuro 330) يجمع خصائص تقليل الماء والحفاظ على قابلية التشغيل ، يُستخدم لإنتاج الخرسانة عالية الأداء و/أو خرسانة قابلة للتشغيل بدرجة عالية ، وهو ملدن فعال بوضوح يسمح بإنتاج خرسانة متماسكة بالإعتماد على كمية الجرعة المستخدمة .

Silica Fume

٢,٥,٢,٣ غبار السيليكا

في السنوات الأخيرة هناك إهتمام واضح باستخدام غبار السيليكا البوزولاني (*Pozzolan Silica Fume*) كمادة مُحسنة لخصائص الخرسانة أو مادة تعوض عن جزء من السمنت البورتلاندي أو الإثنتين ، وقد يُشار إليها بعدة أسماء مثل غبار السيليكا (*Silica Fume*) أو غبار السيليكا المكثف (*Condensed Silica Fume*) أو السيليكا الدقيقة (*Micro Silica*) وغيرها .

حديثاً توفر المواد المُقللة للماء بدرجة عالية (*HRWRA*) فتح إمكانيات جديدة لإستخدام غبار السيليكا كجزء من المواد الرابطة (*Cementing Materials*) في الخرسانة لإنتاج خرسانة ذات مقاومة عالية أو ديمومة عالية أو الإثنتين معاً .^(٧٨)

وُجد بأن خرسانة غُبار السيليكا والسمنت كمادة رابطة (*Silica Fume Cement Concrete*) تكون قوية جداً ، غير نفاذة (*Impermeable*) ، لها ديمومة (*Durability*) عالية ضد تعاقب الإنجماد والذوبان وهجوم الماء العسر (*Salt Water*) ولها مقاومة عالية للحك والكشط (*Abrasion*).^(٧٩)

أما المميزات التي جعلت من هذه المادة واسعة الإستخدام لتحسين خصائص الخرسانة هي :-^(٨٠)

- ◆ مسحوق ناعم جداً وأقطار جسيماته أنعم بحوالي (١٠٠) مرة مقارنةً بالسمنت البورتلاندي .
- ◆ شكلها الكروي يزيد من تأثير الإنزلاق على السمنت .

- ◆ جزيئاته الزجاجية تُحسن من فعالية المادة مع السمّنت .
- ◆ المحتوى العالي للسيليكا غير المتبلورة فيها يجعل منها مادة بوزولانية فائقة .

غبار السيليكا المُستخدم في الدراسة هو (*Elkem Micro Silica* أو *MEYCO® MS ٦١٠*) وهو من نوع السيليكا الدقيقة (*Micro Silica*) وقد تم فحص هذه المادة في المركز القومي لفحوصات المواد الإنشائية والمبيّنة خصائصها في الجدول (٣ - ٧) .

جدول (3 - 7) خصائص غُبار السيليكا المُستخدم في الدراسة الحالية (الملحق ب)

الخصائص	النتيجة
الفقدان بالحرق <i>L.O.I</i>	٣,٨٩ %
الفعالية البوزولانية	١٢١,٥ %
<i>SiO_٢</i>	٩١,٠٣ %
<i>Al_٢O_٣</i>	٤,٠٢ %
<i>Fe_٢O_٣</i>	٠,٣٢ %
<i>SO_٢</i>	٠,٧٣ %

٦, ٢, ٣ ألياف البولي بروبيلين *Polypropylene Fibers*

النوع المُستخدم لهذه الألياف هو (*Murat Erbas*) بطول $٦mm$ ، كما في الشكل (٣-٥) هذه الألياف مقاومة للبيئة القلوية للخلطة الاسمنتية، غير ممغنطة، مقاومة للصدأ، خاملة كيميائياً، ولا تمتص الماء، وتنتشر بانتظام في الخلطة، وتلتصق بشكل تام مع عجينة الاسمنت .

ألياف البولي بروبيلين (*Polypropylene multifilament fibers*) صنعت مطابقة للمواصفة الأمريكية (*ASTM C١١١٦ ١٩٩٧ Type III*) ^(٨١) .

إضافة الألياف البولي بروبيلين تقلل قابلية التشغيل في الخرسانة الطازجة وفي الوقت نفسه تعمل على تحسين خواص الخرسانة. حيث تزيد مقاومة الشد للخلطة الخرسانية اللدنة، مما يؤدي الى منع حدوث تشققات الانكماش. كما تزيد مقاومة الانحناء عن طريق السيطرة على نشوء التشققات

الدقيقة (*micro cracks*)، مما يؤدي الى زيادة مقاومة الشد في الانحناء لمزيج الخلطة الخرسانية ككل (الملحق ج) ، هذا النوع المُستخدم مبينة خصائصه في الجدول (٣ - ٨) .

جدول (3 - 8) خصائص الياف البولي بروبيلين المستخدمة في الدراسة الحالية (الملحق ج)

المواصفات	الخصائص
بولي بروبيلين ١٠٠٪	التركيب
ASTM C ١١١٦ ١٩٩٧ Type III ^(٨١)	المواصفة القياسية
٦ mm	طول الليف
مدور	المقطع العرضي
٧٠٠ N/mm ^٢	مقاومة الشد
٥٣٠٠ N/mm ^٢	معامل المرونة
١٥٪ حد اعلى	الاستطالة
٠,٩١ gram/cm ^٣	الكثافة النسبية



شكل (3 - 5): ألياف البولي بروبيلين المستخدمة في الدراسة الحالية

Steel Fibers

١, ٢, ٣ ألياف الحديد

ألياف الحديد المستخدمة هي من صناعة (Bekaert - Dramix® ZP ٣٠٥) شكل (٣ - ٦) وبطول (٣٠ mm) وبقطر (٠,٥٥) أي بنسبة باعية (Aspect Ratio) مقدارها (٥٥) وهذه الألياف معقوفة النهايات وعلى شكل حُزم ملتصقة ببعضها بواسطة مادة غروية تذوب عند خلطها بوجود الماء وتنتشر خلال الخرسانة المخلوطة ، ولها مقاومة شد مقدارها (١١٠٠ MPa) ومواصفات هذا النوع مبينة في الجدول (٣ - ٩) .



شكل (٣ - ٦): ألياف الحديد المستخدمة في الدراسة الحالية

جدول (٣ - ٩) مواصفات ألياف الحديد المستخدمة في الدراسة (الملحق د)

المواصفات	الخصائص	الهيئة	الإسم التجاري
٧٨٦٠ kg/m ^٣	الكثافة		Dramix® ZP ٣٠٥
١٣٤٥ MPa	المقاومة القصوى		
٢١٠x١٠٣ MPa	معامل المرونة		
٦,٤ x ١٠ ^{-٣}	الإنفعال عند حد التناسب		
٠,٢٨	نسبة بواسون		
٣٠ mm	معدل الطول		
٠,٥٥ mm	القطر الإسمي		
٥٥	النسبة الباعية		

Reinforcing**٨, ٢, ٣ حديد التسليح****Steel**

قضبان حديد التسليح المستخدمة في هذا البحث هي قضبان محرّفة (Deformed Bars) أوكرانية المنشأ بقطر (mm⁸) و (mm⁶). وللتسليح بالإتجاه الطولي تم استخدام حديد تسليح بقطر (mm⁸) في الجزء الاسفل من المقطع المعرّض لإجهادات الشد الناتجة من عزم الانحناء ، واستخدمت قضبان التسليح بقطر (mm⁶) لتشكيل الأطواق (stirrup) لمنع حدوث تشققات أو فشل القص . وكذلك استخدمت قضبان التسليح بقطر (mm⁶) في الاتجاه الطولي في الجزء الاعلى من المقطع المعرّض لإجهادات الإنضغاط للمساعدة في تشكيل القفص الحديدي المطلوب. ثلاثة نماذج لكل قطر فحصت مختبريا لإيجاد معدل إجهاد الخضوع (Yield Stress) (f_y) ومعدل الاجهاد الاقصى (Ultimate Stress) (f_u) والجدول (٣ - ١٠) يوضح نتائج فحص الشد لكافة النماذج والتي تم إجراء فحصها في مختبر المقاومة التابع لقسم الهندسة الميكانيكية/كلية الهندسة/جامعة تكريت وكانت هذه النتائج متطابقة مع المواصفة الأمريكية (ASTM A ٦١٥/A ٦١٥M - ٠٩) ^(٨٢).

جدول (3 - 10) نتائج فحص حديد التسليح

حديد تسليح بقطر (mm)	إجهاد الخضوع MPa	إجهاد الفشل MPa	الإستطالة %
٦	٦٢٦	٧٣٦	٧,٥
٨	٦٧٢	٧١٧	٦,٥

Concrete Mix**٣, ٣ الخلطة الخرسانية**

الخرسانة تتكون بالأساس من الركام ،السمنت البورتلاندي (Portland Cement) و الماء وقد تحتوي على مواد رابطة أخرى (Cementitious Materials) و/أو مضافات كيميائية (Admixtures) ، أيضا قد تحوي الخرسانة عمدا على هواء مقصود ناتج عن مواد مُضافة أو نتيجة إستخدام سمنت الهواء المقصود (Air-Entraining Cement) ^(٨٣) . وغالبا ما تُستخدم مضافات كيميائية لغرض التعجيل، التأخير ، تحسين قابلية التشغيل ، تقليل إحتياجات الماء ، زيادة المقاومة أو تعديل خصائص أخرى للخرسانة . ^(٨٤)

الخلطات الخرسانية في الدراسة الحالية صُممت وفقاً لـ (ACI ٢١١,٤R-٠٨) ^(٨٥) للحصول على مقاومة إنضغاط للمكعبات مقدارها (٦٥ MPa) بعمر ٢٨ يوم . إن هذه الطريقة تضع خطوات عامة لإختيار نسب المزج للخرسانة عالية المقاومة الحاوية على سمّنت بورتلاندي والرماد المتطاير أو غبار السيليكا وهذه الطريقة تحتوي على عدة جداول تساعد على إختيار نسب المزج والجدول (٣ - ١١) يُبين أوزان المواد المستخدمة في الخرسانة المرجعية للدراسة الحالية .

جدول (3 - 11) مكونات الخلطة الخرسانية المرجعية بدون وجود الألياف

المكون	الركام الخشن	الركام الناعم	السمّنت	الماء	الملدن الفائق	غبار السيليكا
الكمية (kg/m ³)	٩٨٠	٨٥٠	٣٦٠	١٥٢	١٢	٤٠

ومن الجدير بالذكر خلال البرنامج العملي تم الإعتماد على نسب ثابتة لغبار السيليكا والمادة الملدنة وهي (١٠% و ٣%) من المادة الرابطة ومن السمّنت على التوالي ^(٨٧,٨٦) ، التخمين الاولي لكمية ماء الخلطة في الخرسانة المرجعية تم بموجب مدونة معهد الخرسانة الاميريكي (ACI ٢١١,٤R-٠٨) . ثم اجريت عدة خلطات تجريبية في المختبر بتغيير محتوى كمية الماء للحصول على هطول بمقدار (١٠٠mm±٥) لكي تكون الخلطة ذات قابلية تشغيل جيدة حيث اوصى العديد من الباحثين باستخدام هذا الهطول لأنه يعطي قابلية تشغيل جيدة للخلطة عند اضافة الالياف ^(٣١,٩) . وتم الحفاظ على نسبة الماء الى المادة الرابطة ثابتة (w/CM) لجميع الخلطات للحفاظ على المقاومة من النقصان وفي الخلطات ذات التشغيلية الوائنة نتيجةً لإضافة الألياف تتم إضافة كمية إضافية من المادة الملدنة للحفاظ (Superplasticizers) على قيمة الهبوط (Slump) بمقدار يتراوح بين (٥٠-١٠٠mm) (قيمة الهبوط المحددة للخرسانة الحاوية على مواد ملدنة ^(٨٥)) وتختلف الكمية المُضافة حسب حاجة الخلطة ، وتم إعادة خلط الخلطة مع إضافة كمية من المادة الملدنة في الخلطات التي لا يتوفر فيها مقدار الهبوط ضمن المدى المحدد .

٤,٣ خلط الخرسانة Concrete Mixing

إنّ عملية خلط الخرسانة تؤثر على نوعية الخرسانة في المرحلة المتصلبة ، والواجب أن تتوزع مواد الخلطة بانتظام وتتأغم خلال الخرسانة لتجنب نقاط الضعف في نماذج الخرسانة ، بالإضافة إلى أن قوة التماسك بين أجزاء الخرسانة وتغطية السمّنت لأجزاء الركام بصورة كاملة يعتمد على عملية الخلط الصحيحة ^(٨٨) .

خطوات عملية الخلط مهمة للحصول على التشغيلية المطلوبة وتجانس الخلطة بالنسبة للخرسانة المرجعية وضمان توزيع الألياف بالنسبة لبقية الخلطات ، وقد أُنجزت الخلطات باستخدام خبابة (Mixer) ذات حوض أفقي سعة ($0.07m^3$) ولضمان تجانس الخلط وجودة الخرسانة تم اعتماد حجم الخلطة ($0.045m^3$) الكافية لصب عتبة واحدة بأبعاد ($1000 \times 200 \times 150$ mm) ومكعب واحد بأبعاد ($150 \times 150 \times 150$ mm) وأسطوانة واحدة بأبعاد (300×150 mm) أي لإتمام مجموعة واحدة (3 مكعبات ، 3 أسطوانات وثلاث عتبات) تتم العملية على ثلاث مراحل .

كميات المواد المستخدمة من الركام يتم وزنها وتعبئتها مسبقاً حفاظاً على محتوى الرطوبة لحين وقت الخلط ، كما تم أخذ عينات من الركام لقياس رطوبتها وذلك لتعديل كمية الماء نظراً لاعتماد طريقة تصميم الخلطة ($ACI 211.4R-01$)^(٨٥) على كون الركام جاف بالفرن (Oven Dry) .

تم الحصول على الخرسانة في الدراسة الحالية بإتباع خطوات الخلط التالية :-

١. تُضاف نصف كمية الركام الخشن (الحصى) ونسبة قليلة من الماء الى وعاء الخبابة اولاً .
٢. تُضاف الالياف بنوعيتها (الياف البولي بروبيلين ، الالياف الحديدية أو النوعان معاً) الى داخل وعاء الخبابة وهي تدور وتتم عملية اضافة الالياف بالتدريج وبصورة بطيئة لتجنب تكورها وتجمعها بعدها تستمر عملية الخلط لمدة دقيقة واحدة على الأقل .
٣. تضاف نصف كمية الركام الناعم ونصف كمية المواد الاسمنتية (يخلط الاسمنت وغبار السليكا قبل بدء عملية الخلط) وتستمر عملية الخلط لمدة دقيقة واحدة .
٤. نصف كمية الماء وكل كمية الملدن الفائض تضاف الى الخبابة ويستمر الخلط لمدة دقيقتين .
٥. تضاف المواد المتبقية (نصف الركام الخشن والركام الناعم ونصف المواد الاسمنتية) ثم تضاف كمية الماء المتبقية وتستمر عملية الخلط لمدة ثلاث دقائق اخرى .
٦. في كافة الخلطات الخرسانية قابلية التشغيل فحصت باستخدام فحص الهطول (Slump Test) حيث أجري فحص الهطول على الخرسانة الطازجة (Fresh Concrete) بعد إخراجها من الخبابة كما في الشكل (٣ - ٧) .

في الخلطات الخرسانية الحاوية على نسبة حجمية (V_f) عالية من الالياف إذا كانت قيمة الهطول اقل من (50 mm)^(٨٩) أعيدت عملية الخلط بعد زيادة كمية الملدن الفائض (الملحق ج) . وكان استخدام الألياف بالنسب المحددة في الجدول (٣ - ١٢) أما بالنسبة لتفاصيل الخلطات ونسب المواد المضافة إليها ونتائج فحص الهبوط ، وهي مبينة بالجدول (٣ - ١٣) .



شكل (3 - 7): نماذج ناجحة وفاشلة في فحص الهبوط

جدول (3 - 12) النسب المستخدمة من الألياف

النسبة الحجمية للألياف % V_f	خلطة الخرسانة الليفية
١,٢٥ و ٠,٧٥ و ٠,٢٥ %	ألياف البولي بروبيلين (PPF)
١,٢٥ و ٠,٧٥ و ٠,٢٥ %	ألياف الفولاذ (SF)
١,٢٥ و ٠,٧٥ و ٠,٢٥ %	ألياف البولي بروبيلين + ألياف الفولاذ

أما بالنسبة لنسب المزج للألياف الهجينة (بولي بروبيلين+فولاذ) فكانت كالآتي (٠-١٠٠) ، (٥٠-٥٠) و (٠-١٠٠) على التوالي .

أما كيفية حساب أوزان الياف البولي بروبيلين والالياف الحديدية نسبة الى وزن مكونات الخلطة الخرسانية احتسبت باستخدام المعادلة الآتية^(٩٠).

$$W_f = \frac{V_f D_f}{V_m D_m} \times 100 \quad (١ - ٣)$$

W_f : نسبة وزن الألياف الى وزن مكونات الخلطة الخرسانية .

V_f : نسبة حجم الالياف الى الحجم الكلي للمزيج .

D_f : كثافة الالياف (Kg/m^3) .

V_m : نسبة حجم مكونات الخلطة الخرسانية ($V_m = 1 - V_f$) .

D_m : كثافة الخليط الخرساني (Kg/m^3) .

جدول (3 - 13) تفاصيل الخلطات المعتمدة بالدراسة الحالية

الخلطة رقم	الرمز	نسبة الألياف %	الياف البولي بروبيلين %	ألياف الفولاذ %	w/c	غبار السيليكا %	الملدن الفائق %	الهبطول (mm)
المرجعية	R	٠	٠	٠	٠,٣٨	١٠	٣	١٠٠
١	P ١	٠,٢٥	١٠٠	٠	٠,٣٨	١٠	٣	٧٥
٢	P ٢	٠,٧٥	١٠٠	٠	٠,٣٨	١٠	٣	٦٠
٣	P ٣	١,٢٥	١٠٠	٠	٠,٣٨	١٠	٣,٣٠٨	٥٥
٤	S ١	٠,٢٥	٠	١٠٠	٠,٣٨	١٠	٣,٠٧٧	٨٥
٥	S ٢	٠,٧٥	٠	١٠٠	٠,٣٨	١٠	٣,٢٣١	٥٥
٦	S ٣	١,٢٥	٠	١٠٠	٠,٣٨	١٠	٣,٣٠٨	٥٠
٧	P+S ١	٠,٢٥	٥٠	٥٠	٠,٣٨	١٠	٣	٥٠
٨	P+S ٢	٠,٧٥	٥٠	٥٠	٠,٣٨	١٠	٣,١٥٤	٦٥
٩	P+S ٣	١,٢٥	٥٠	٥٠	٠,٣٨	١٠	٣,٢٣١	٥٥

وبعد إتمام جميع الخلطات المحددة وفحصها تم إختيار ثلاث نسب مُثلى للألياف (نسبة واحدة لكل نوع من الألياف) إعتدماً على الخصائص الميكانيكية ، ليتم بعد ذلك صب الخرسانة بطبقتين ، طبقة الخرسانة اللبيفية في منطقة الشد (Tension Zone) ، وطبقة الخرسانة المرجعية في منطقة الإنضغاط (Compression Zone) ، و الجدول (٣ - ١٤) يوضح الخلطات المعتمدة لصب العتبات بطبقتين.

جدول (3 - 14) النسب المعتمدة لصب العتبات بطبقتين

نوع الألياف	النسبة المُثلى	الخلطات المعتمدة
الياف البولي بروبيلين	% ١,٢٥	P ٣+R
ألياف الفولاذ	% ١,٢٥	S ٣+R
ألياف البولي بروبيلين+الفولاذ	% ١,٢٥	(P+S ٣)+R

أما عن كيفية حساب موقع محور الحيود (Neutral Axis) للعتبات المفحوصة لمعرفة عمق منطقتي الإنضغاط والشد فكانت وفق الخطوات التالية :-

$$\begin{aligned}
 ١. \quad f'_c &= f_{cu} / ١.٢ \quad (٩١) & (٣ - ٢) \\
 ٢. \quad E_c &= ٤٧٠٠ \sqrt{f'_c} \quad (٩٢) & (٣ - ٣)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ٣. \quad n &= E_s/E_c \quad (٩٣) & (٣ - ٤) \\ ٤. \quad A_T \cdot Y_T &= \sum a_i \cdot y_i & (٣ - ٥) \end{aligned}$$

Casting & Curing

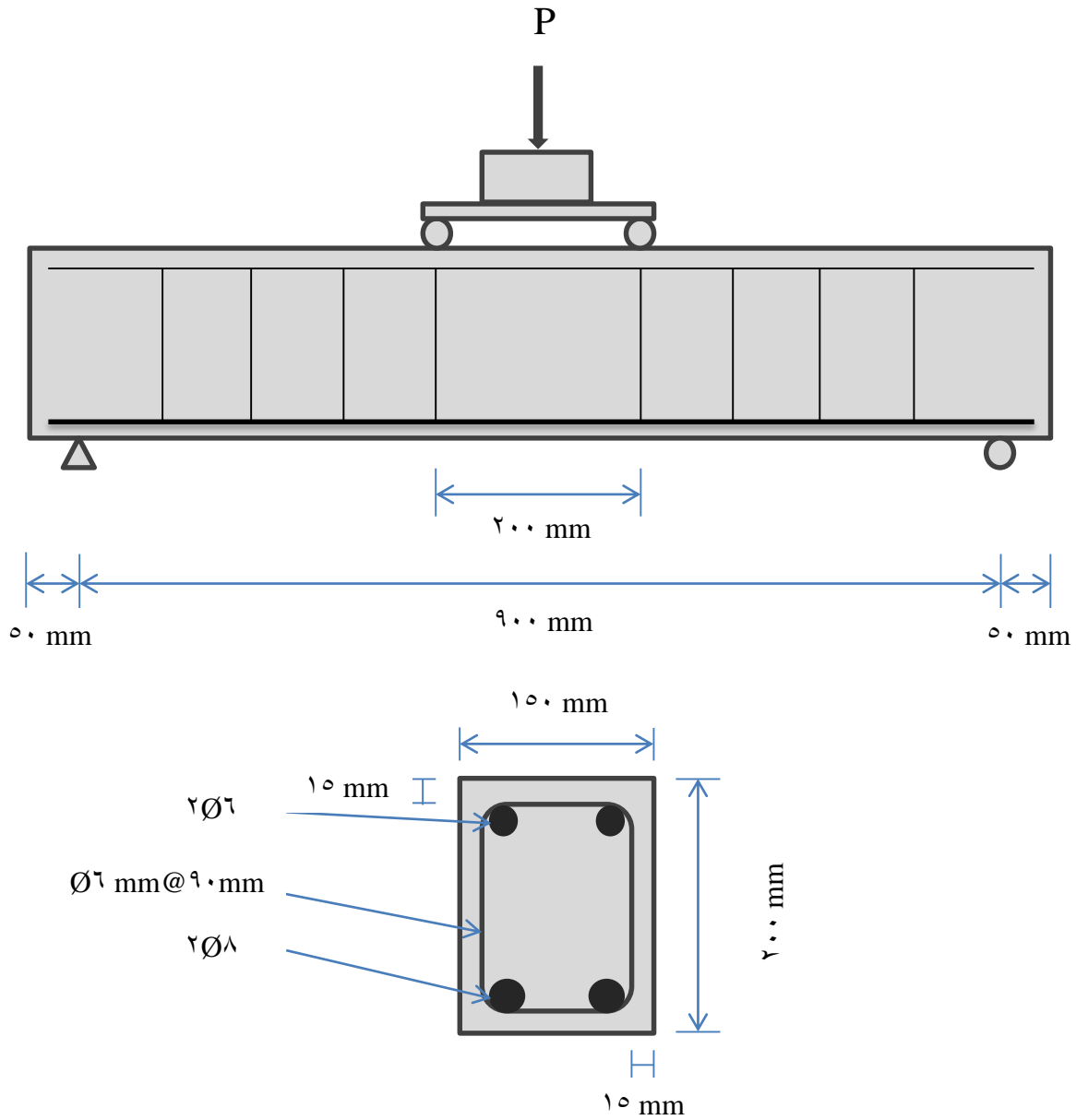
٥,٣ الصب والمعالجة

تم صب النماذج باستعمال القوالب الحديدية التي خصصت لهذا الغرض وكالاتي :

تنظف القوالب جيدا وتدهن بطبقة خفيفة من الزيت قبل الصب لتجنب تلاحق الخرسانة المتصلبة مع السطح الداخلي للقوالب . تملئ كافة القوالب بثلاث طبقات وكل طبقة ترص باستخدام قضيب معدني (Rod) بقطر (٢٢mm) . (المواصفة البريطانية ٣:١٩٨٣ Part ١:٨٨١ Bs) نصت على ان القوالب يجب ان تملئ على طبقات سمك الطبقة الواحدة (٥٠mm) ^(٩٤) . بعدها يتم تسوية النماذج وتغطي القوالب بطبقة من النايلون لمدة ٢٤ ساعة لمنع تبخر الماء لتجنب تشققات الانكماش اللدن (Plastic shrinkage cracks) . بعدها تفتح القوالب وتوضع النماذج لمدة ٢٨ يوم في الماء في احواض المعالجة وكانت درجة حرارة الماء (١٥ C°-١٠ C°) طوال مدة البحث في فصل الشتاء.



شكل (3 - 8) : صب ومعالجة النماذج



شكل (3 - 9) : مخطط تفصيلي للعتبة ونقاط التحميل

Tests

٦, ٣ الفحوصات

Compressive Strength

١, ٦, ٣ فحص مقاومة الانضغاط

تم فحص مقاومة الانضغاط للمكعبات حسب المواصفة البريطانية (BS ١٨٨١: part ١) وبأبعاد (١٥٠ × ١٥٠ × ١٥٠ mm)، إذ تم تحميلها باتجاه احادي المحور باستخدام ماكينة فحص كهربائية نوع (wekob) ذات السعة (٢٥٠٠ kN) و بسرعة تحميل (٢ kN) في الثانية كما

في الشكل (٣ - ١٠)، بحيث يكون الحمل مسلطاً على وجهين متقابلين للمكعب والتي تكون عمودية على إتجاه صب النموذج.

تم اعتماد مقاومة الانضغاط بعمر ٢٨ يوم محسوبة من لحظة اضافة ماء الخلط الى مكونات الخرسانية وبعده ثلاثه مكعبات لكل نوع من انواع الخرسانة ويؤخذ لها المعدل مع الاخذ بنظر الاعتبار اهمال كل نتيجة فحص تقل عن (٩٠%) من قيمة المعدل لثلاثة مكعبات ^(٩٥) و لكل مجموعة ، مقاومة الانضغاط تُحسب باستخدام المعادلة التالية:

$$f_{cu} = \frac{P}{A} \quad (٣-٦)$$

f_{cu} : مقاومة الانضغاط للمكعب (MPa)

P : اعلى حمل مسلط (N)

A : مساحة مقطع النموذج (mm^٢)

$$f'_c = \frac{f_{cu}}{1.2} \quad (٣-٧)$$

f'_c : مقاومة الانضغاط للأسطوانة

Split Tensile Test

٢, ٦, ٣ فحص شد الانشطار

تم فحص مقاومة شد الانشطار حسب المواصفة الامريكية (ASTM C ٤٩٦-٩٦) ^(٩٦). استعملت في هذا الفحص نماذج خرسانية اسطوانية الشكل بعمر ٢٨ يوم ذات ابعاد قياسية (١٥٠×٣٠٠ mm) كما في الشكل (٣ - ٩). باستخدام ماكينة الفحص الكهريائية نوع (wekob) وضعت الاسطوانة تحت تأثير قوة انضغاط باتجاهين متعاكسين وقطريين ومؤثرين من خلال شريحة تحميل متكونة من خشب رقائقي على طول خطين محوريين وكما موضح في الشكل (٣ - ١٠) حيث يقوم مسند الخشب الرقائقي بتوزيع قوة الانضغاط على عرض قليل ويكفي لتجنب اي تركيز غير مقبول للإجهاد وكذلك يعوض عن اي عدم انتظام في السطح وينتج عن قوة الانضغاط هذه اجهاد عرضي والذي يكون بصورة عملية ثابت على طول القطر العمودي وبالتالي يكون الفشل في الشد على طول القطر العمودي للمقطع العرضي وتحسب مقاومة شد الانشطار باستخدام المعادلة التالية.

$$f_t = \frac{2p}{\pi dl} \quad (٣-٨)$$

f_t : مقاومة شد الانشطار (MPa)

p : اعلى حمل مسلط (N)

l : طول الاسطوانة (mm)

d : قطر الاسطوانة (mm)

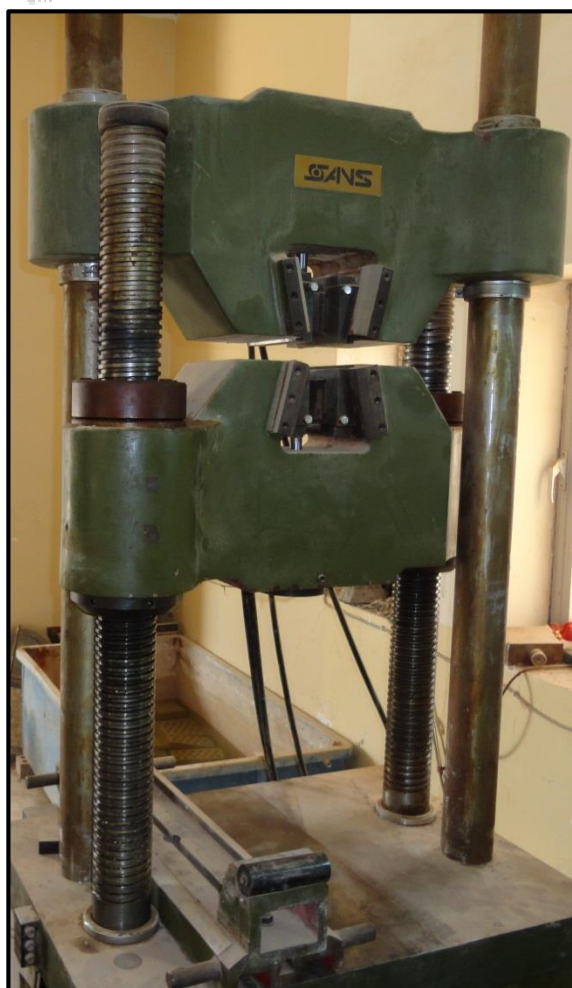


شكل (3 - 10): جهاز قياس مقاومة الإنضغاط وشد الإنشطار

Flexural Strength Test

٣, ٦, ٣ فحص مقاومة الإنشاء

تم فحص مقاومة الإنشاء بالاعتماد على العتبات ذات المقطع المستطيل وبأبعاد (mm 1000 × 200 × 150) و باستخدام جهاز (SANS) ذي السعة (5000 kN) وبمعدل تحميل (3 MPa/min) ، مقدار الحمل المسلط تم قياسه باستخدام خلية تحميل (Load Cell) وقياس الأود (Deflection) الذي يقابله باستخدام عداد رقمي (Digital Dial Gauge) يقيس مقدار الأود إلى حد (15 mm) وبدقة (0.01 mm) حيث يُثبت هذا العداد في منتصف طول العتبة الخرسانية وتحت خلية التحميل ، أما الفضاء الصافي بين نقطتي الإسناد كان (900 mm) والحمل يُسلط بنقطتين بينهما مسافة مقدارها (200 mm) . الشكل (3 - 11) يوضح الجهاز المستخدم وطريقة الفحص .



شكل (3 - 11): جهاز فحص الإنشاء وطريقة الفحص