



دراسة تأثير مادة الكريستالين على خصائص الخرسانة

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس مرتبة الشرف في الهندسة المدنية



إعداد الطلاب:

إبراهيم العوض عبدالعزيز الزبير 2031993689

سلمى هاشم أحمد عوض الكريم 2031039041

مجتبى صلاح الأمين عبدالله 2031813926

إشراف :

أ/ عبد الرحمن محمد عباس

كلية الهندسة

جامعة الشيخ عبدالله البدرى

أبريل-2026

بسم الله الرحمن الرحيم

الآية

قال سبحانه وتعالى :

﴿هُوَ الْحَيُّ لَا إِلَهَ إِلَّا هُوَ فَادْعُوهُ مُخْلِصِينَ لَهُ الدِّينَ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ﴾

صدق الله العظيم

سورة غافر الآية [٦٥]

الإهداء

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، ويتوفيقه تتحقق الغايات، وله الشكر على ما أنعم وأعطى، وما ستر ووفق...

إلى من كان دعاؤهم سر توفيقى، وصبرهم سنداً لي في كل مراحل حياتي...

إلى من بذلوا الغالي والنفيس في سبيل راحتي وتعليمي ...

...إلى أمي العزيزة وأبي الغالي ...

رمز العطاء ، ونبع الدعاء، ومن كانا لي بعد الله عزوة وسند...

...إلى إخوتي وأخواتي ...

كنتم دائماً الدعم والدفع والمحفز على المضي قدماً، فلكم كل الحب والتقدير...

...إلى أساتذتي الكرام في قسم الهندسة المدنية...

الذين ما بخلوا بعلمهم ونصحهم وتوجيههم

شكراً لعطائكم العلمي والتربوي، فقد كنتم مشاعل هدى ونبراس علم ومعرفة...

...إلى زملائي الأعزاء ...

رفاق السهر والإجتهد

رفقة العلم والكفاح لا تُنسى، وأثرها باقٍ في القلب والذاكرة...

أهديكم جميعاً هذا الجهد المتواضع، عرفاناً وإمتناناً لما قدمتموه لي من دعم وتشجيع...

الشكر والعرفان

الحمد لله أولاً وآخراً، الذي بنعمته تتم الصالحات، والذي وفقني لإتمام هذا العمل.

أتقدم بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى جميع أساتذتي في كلية الهندسة – قسم الهندسة المدنية، لما قدموه لنا من علم نافع وتوجيهات قيمة كان لها الأثر الكبير في إنجاح هذا المشروع.

وأخص بالشكر والتقدير المربي والأستاذ والمشرف الفاضل

لما بذله من جهد وإرشاد ومتابعة مستمرة، مما كان له بالغ الأثر في إخراج هذا العمل بهذه الصورة

أ/ عبدالرحمن محمد عباس

ولا يفوتني أن أشكر زملائي وأصدقائي على تعاونهم ودعمهم المستمر، كما أخص بالشكر كل من ساهم ولو بكلمة طيبة أو نصيحة بناءة في إنجاز هذا المشروع.

وفي الختام، نسأل الله أن يجعل هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم، وأن ينفع به.

المستخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير إضافة مادة الكريستالين على بعض الخواص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة، وذلك من خلال دراسة سلوك الخرسانة عند إضافة نسب مختلفة من هذه المادة (2%، 3%، 4%) مقارنة بالخلطة المرجعية.

تم إجراء مجموعة من الاختبارات على المواد الداخلة في الخلطة الخرسانية للتأكد من مطابقتها للمواصفات القياسية، كما تم إجراء اختبارات على الخرسانة الطازجة شملت اختبار الهبوط لتحديد قابلية التشغيل. بالإضافة إلى ذلك، تم إجراء اختبارات على الخرسانة المتصلدة، والتي تضمنت اختبار مقاومة الضغط عند أعمار مختلفة (7، 28، 90 يوم)، واختبار الامتصاص لدراسة نفاذية الخرسانة.

أظهرت النتائج أن إضافة مادة الكريستالين أدت إلى تحسين ملحوظ في مقاومة الضغط وتقليل امتصاص الماء، خاصة عند النسب (2% و 3%). كما بينت النتائج أن نسبة (3%) تعتبر النسبة المثلى، حيث أعطت أفضل أداء من حيث المقاومة والمتانة. في المقابل، أدى استخدام نسبة (4%) إلى انخفاض نسبي في بعض الخواص.

بناءً على ذلك، يمكن التوصية باستخدام مادة الكريستالين في تحسين خواص الخرسانة، خاصة في المنشآت المعرضة للبيئات الرطبة أو القاسية، مع ضرورة الالتزام بالنسب المثلى للإضافة.

Abstract

This study aims to evaluate the effect of adding crystalline material on the mechanical and physical properties of concrete by investigating the behavior of concrete with different percentages of the additive (2%, 3%, and 4%) compared to a reference mix

A series of tests were conducted on the constituent materials to ensure their compliance with standard specifications. Tests on fresh concrete included the slump test to determine workability. In addition, tests on hardened concrete were carried out, including compressive strength tests at different ages (7, 28, and 90 days) and water absorption tests to assess concrete permeability

The results showed that the addition of crystalline material significantly improved compressive strength and reduced water absorption, especially at 2% and 3% replacement levels. The 3% ratio was found to be the optimum percentage, providing the best performance in terms of strength and durability. However, the 4% addition resulted in a slight reduction in some properties

Based on these findings, the use of crystalline material is recommended to enhance concrete properties, particularly in structures exposed to moisture and aggressive environments, while maintaining the optimal dosage

فهرس المحتويات

رقم الصفحة	الموضوع	
I	الآية	
II	الإهداء	
III	الشكر والعرفان	
IV	المستخلص	
V	Abstract	
VI	فهرس المحتويات	
XI	فهرس الجداول	
XII	فهرس الأشكال	
الباب الأول : المقدمة		
2	المقدمة	1-1
3	مشكلة البحث	2-1
4	أهداف البحث	3-1
4	أهمية البحث	4-1
4	منهجية البحث	5-1
4	الدراسة النظرية	1-5-1
4	إعداد العينات	2-5-1
5	الإختبارت المعملية	3-5-1
5	التحليل والمقارنة	4-5-1
الباب الثاني : الخلفية العلمية		
7	الخرسانة	1-2
7	مقدمة	1-1-2
7	تاريخ الخرسانة	2-1-2
8	مكونات الخرسانة	3-1-2
8	الأسمنت	1-3-1-2

8	الماء	2-3-1-2
8	الركام الناعم	3-3-1-2
9	الركام الخشن	4-3-1-2
9	الإضافات	5-3-1-2
9	خصائص الخرسانة الطازجة والمتصلبة	4-1-2
9	خصائص الخرسانة الطازجة	1-4-1-2
9	خصائص الخرسانة المتصلبة	2-4-1-2
10	أنواع الخرسانة وإستخداماتها	5-1-2
10	المشاكل التي تواجه الخرسانة	6-1-2
10	طرق تحسين الخرسانة	7-1-2
11	الإضافات الخرسانية	2-2
11	مقدمة	1-2-2
11	أنواع الإضافات ووظائفها	2-2-2
11	الإضافات الكيميائية	1-2-2-2
11	الملدنات	2-2-2-2
12	الملدنات الفائقة	3-2-2-2
12	المباطئات	4-2-2-2
12	المسرعات	5-2-2-2
12	المواد المانعة لتسرب المياه	6-2-2-2
12	الإضافات المعدنية	7-2-2-2
13	الرماد المتطاير	8-2-2-2
13	السيليكا فيوم	9-2-2-2
13	خبث الأفران	10-2-2-2
13	المواد البوزولانية الطبيعية	11-2-2-2
13	أهمية إستخدام الإضافات	3-2-2
14	العلاقة بين الإضافات والخرسانة الحديثة	4-2-2
14	مادة الكريستالين	3-2

14	مقدمة	1-3-2
15	التركيب الكيميائي للكريستالين	2-3-2
15	مواد سيليكاتية تفاعلية	1-2-3-2
15	أكاسيد معدنية دقيقة	2-2-3-2
16	آلية التفاعل (على المستوى المجهرى)	3-3-2
16	الخصائص المميزة للكريستالين	4-3-2
17	التطبيقات الهندسية للكريستالين	5-3-2
17	الأساسات والقواعد	1-5-3-2
17	المنشآت المائية	2-5-3-2
17	المشاريع البحرية والساحلية	3-5-3-2
18	الأنفاق والطرق تحت الأرض	4-5-3-2
18	المباني الشاهقة	5-5-3-2
18	دراسات سابقة وتجارب عملية	6-3-2
18	التحديات والإعتبارات	7-3-2
19	دور الكريستالين في الإستدامة	8-3-2
الباب الثالث : الإطار العملي		
21	مقدمة	1-3
21	المواد المستخدمة في الخلطة الخرسانية	2-3
21	إختبارات المواد المستخدمة في الخلطات الخرسانية	3-3
21	إختبارات الركam الخشن	1-3-3
21	إختبار التحليل المنخلي	1-1-3-3
22	إختبار الوزن النوعي والإمتصاص للركam الخشن	2-1-3-3
24	إختبارات الركam الناعم	2-3-3
24	إختبار الوزن النوعي	1-2-3-3
25	إختبارات الأسمنت	3-3-3
25	إختبار القوام القياسي للأسمنت	1-3-3-3
27	إختبار تحديد زمن الشك الإبتدائي والنهائي	2-3-3-3

28	تصميم الخلطة الخرسانية	4-3
28	تصميم الخلطة المرجعية	1-4-3
29	خلطات الكريستالين	2-4-3
30	الخلطة الأولى (2%)	1-2-4-3
30	الخلطة الثانية (3%)	2-2-4-3
31	الخلطة الثالثة (4%)	3-2-4-3
31	إختبارات الخلطة الطازجة	5-3
31	إختبار الهبوط	1-5-3
33	طريقة صب المكعبات	6-3
33	طريقة معالجة المكعبات	7-3
34	إختبارات الخلطة المتصلدة	8-3
34	إختبار مقاومة الضغط	1-8-3
36	إختبار الإمتصاص للمكعبات الخرسانية	2-8-3
الباب الرابع : التحليل ومناقشة النتائج		
39	مقدمة	1-4
39	نتائج إختبارات المواد	2-4
39	نتائج إختبار التحليل المنخلي للركام الخشن	1-2-4
40	نتائج إختبار التحليل المنخلي للركام الناعم	2-2-4
41	نتائج إختبار الوزن النوعي والإمتصاص للركام الخشن	3-2-4
42	نتائج إختبار الوزن النوعي للركام الناعم	4-2-4
42	نتائج إختبارات الأسمنت	5-2-4
43	نتائج إختبارات الخرسانة	3-4
43	نتائج إختبارات الخرسانة الطازجة (إختبار الهبوط)	1-3-4
43	نتائج إختبارات الخرسانة المتصلدة (إختبار مقاومة الضغط)	2-3-4
49	نتائج إختبارات الخرسانة المتصلدة (إختبار الإمتصاص)	3-3-4
54	مناقشة النتائج	4-4
54	مناقشة نتائج إختبارات المواد	1-4-4

54	مناقشة نتائج إختبارات الخرسانة الطازجة	2-4-4
55	مناقشة نتائج إختبارات الخرسانة المتصلدة(إختبار مقاومة الضغط)	3-4-4
55	مناقشة نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 7 أيام	1-3-4-4
55	مناقشة نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 28 أيام	2-3-4-4
56	مناقشة نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 90 أيام	3-3-4-4
56	مناقشة نتائج إختبار الإمتصاص للمكعبات الخرسانية	2-3-4-4
الباب الخامس : الخلاصة والتوصيات		
59	الخلاصة	1-5
60	التوصيات	2-5
61	المراجع	
62	الملاحق	

فهرس الجداول

رقم الصفحة	الموضوع
17	الجدول(1-2) يوضح مقارنة الكريستالين بالطرق التقليدية للعزل
29	الجدول(1-3) يوضح قيم أوزان المواد بالكيلوجرام للخلطة المرجعية
30	الجدول(2-3) يوضح أوزان المواد بالكيلوجرام ونسبة الكريستالين للخلطة الأولى
30	الجدول(3-3) يوضح أوزان المواد بالكيلوجرام ونسبة الكريستالين للخلطة الثانية
31	الجدول(4-3) يوضح أوزان المواد بالكيلوجرام ونسبة الكريستالين للخلطة الثالثة
39	الجدول(1-4) يوضح نتائج إختبار التحليل المنخلي للركام الخشن
40	الجدول(2-4) يوضح نتائج إختبار التحليل المنخلي للركام الناعم
41	الجدول(3-4) يوضح نتائج إختبار الوزن النوعي والإمتصاص للركام الخشن
42	الجدول(4-4) يوضح نتائج إختبار الوزن النوعي للركام الناعم
42	الجدول(5-4) يوضح نتائج إختبارات الأسمنت
44	الجدول(6-4) يوضح نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 7 أيام
45	الجدول(7-4) يوضح نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 28 يوم
47	الجدول(8-4) يوضح نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 90 يوم
50	الجدول(9-4) يوضح نتائج إختبار الإمتصاص للخلطة المرجعية لعمر 28 يوم
51	الجدول(10-4) يوضح نتائج إختبار الإمتصاص للخلطة المضاف إليها 2% من مادة الكريستالين
52	الجدول(11-4) يوضح نتائج إختبار الإمتصاص للخلطة المضاف إليها 3% من مادة الكريستالين
53	الجدول(12-4) يوضح نتائج إختبار الإمتصاص للخلطة المضاف إليها 4% من مادة الكريستالين

فهرس الأشكال

رقم الصفحة	الموضوع
22	الشكل (1-3) يوضح الغرابيل والهزاز
25	الشكل (2-3) يوضح الدورق الزجاجي
26	الشكل (3-3) يوضح جهاز فيكات
28	الشكل (4-3) يوضح إبرة وجهاز فيكات
32	الشكل (5-3) يوضح الأدوات المستخدمة في إختبار الهبوط
33	الشكل (6-3) يوضح طريقة إختبار الهبوط
33	الشكل (7-3) يوضح طريقة صب المكعبات
34	الشكل (8-3) يوضح طريقة المعالجة في الماء
36	الشكل (9-3) يوضح جهاز ماكينة الضغط
40	الشكل (1-4) يوضح نتائج إختبار التدرج الحبيبي للركام الخشن
41	الشكل (2-4) يوضح نتائج إختبار التدرج الحبيبي للركام الناعم
44	الشكل (3-4) يوضح نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 7 أيام
46	الشكل (4-4) يوضح نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 28 يوم
48	الشكل (5-4) يوضح نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 90 يوم
50	الشكل (6-4) يوضح نتائج إختبار الإمتصاص لخلطة المرجعية
51	الشكل (7-4) يوضح نتائج إختبار الإمتصاص لخلطة 2% من مادة الكريستالين
52	الشكل (8-4) يوضح نتائج إختبار الإمتصاص لخلطة 3% من مادة الكريستالين
53	الشكل (9-4) يوضح نتائج إختبار الإمتصاص لخلطة 4% من مادة الكريستالين

الفصل الاول

المقدمة

الباب الأول

1-0 المقدمة

1-1 المقدمة :

تُعتبر الخرسانة من أكثر المواد الإنشائية استخداماً على مستوى العالم، حيث تدخل في معظم أعمال البناء مثل الجسور، السدود، الطرق، والمباني بمختلف أنواعها. هذا الانتشار الواسع يرجع إلى توفر مكوناتها الأساسية (الإسمنت، الركام، الماء)، إضافةً إلى خواصها الهندسية المقبولة مثل مقاومتها العالية للضغط، وقابليتها للتشكيل، وقدرتها على التكيف مع مختلف الاحتياجات الإنشائية.

ورغم هذه المزايا، إلا أن الخرسانة التقليدية ليست مادة مثالية، إذ تعاني من بعض العيوب الجوهرية، أبرزها النفاذية العالية للماء والمواد الكيميائية، والتي تتسبب في دخول الرطوبة والأيونات الضارة إلى داخل الكتلة الخرسانية. هذا الأمر يؤدي إلى سلسلة من المشكلات مثل تآكل حديد التسليح، حدوث تشققات، ضعف المقاومة الميكانيكية، وفي نهاية المطاف تقليل العمر الافتراضي للمنشآت.

ومع تزايد التحديات التي تواجه البنية التحتية في ظل الظروف البيئية القاسية، أصبح من الضروري تطوير الخرسانة التقليدية وإيجاد حلول مبتكرة لرفع كفاءتها ومتانتها. وهنا ظهرت أهمية استخدام المضافات الكيميائية كوسيلة لتحسين أداء الخرسانة، حيث تسهم هذه المواد في تقليل النفاذية، تحسين مقاومة الضغط، وزيادة المتانة على المدى الطويل. ومن بين هذه المواد المضافة، برزت مادة الكريستالين (Crystalline Admixture) كإحدى التقنيات الحديثة والفعّالة في معالجة مشكلات الخرسانة المرتبطة بالنفاذية والتسرب.

مادة الكريستالين هي مادة مضافة تُضاف إلى الخرسانة أثناء الخلط أو تُستخدم كمعالجة سطحية، وتعمل على التفاعل مع نواتج الإماهة للإسمنت لتكوين بلورات غير ذائبة داخل المسام والشروخ الدقيقة للخرسانة. هذه البلورات تملأ الفجوات الشعرية وتغلق المسامات، مما يقلل بشكل

كبير من نفاذية الخرسانة للماء والمواد الكيميائية. بالإضافة إلى ذلك، فإن هذه البلورات تتميز بأنها تنشط ذاتياً في حال حدوث شروخ جديدة صغيرة الحجم مستقبلاً، حيث تتفاعل مع الرطوبة وتستمر في التكوين، الأمر الذي يجعل الخرسانة "ذاتية الغلق" ضد تسرب المياه.

تتبع أهمية هذا الموضوع من حقيقة أن جزءاً كبيراً من تكاليف صيانة وترميم المنشآت الخرسانية حول العالم يعود إلى الأضرار الناتجة عن تسرب المياه والرطوبة. لذلك، فإن دراسة تأثير مادة الكريستالين على خصائص الخرسانة تمثل خطوة مهمة نحو تحسين أداء المنشآت، تقليل تكاليف الصيانة، وزيادة عمرها الافتراضي، خصوصاً في البيئات القاسية مثل المناطق الساحلية أو المناطق ذات المياه الجوفية المرتفعة.

في هذا المشروع سيتم التركيز على دراسة تأثير إضافة مادة الكريستالين على بعض الخواص الأساسية للخرسانة، وهي مقاومة الضغط، النفاذية، والامتصاص. وسيتم إعداد عينات خرسانية بإضافة المادة ومقارنتها بعينات خرسانية تقليدية من حيث النتائج. ومن خلال التحليل والمقارنة، يسعى المشروع إلى التوصل إلى استنتاجات عملية يمكن أن تسهم في دعم الاتجاه العالمي نحو استخدام حلول إنشائية أكثر استدامة وكفاءة.

1-2 مشكلة البحث :

تعاني الخرسانة التقليدية من مشكلة أساسية تتمثل في قابليتها لمقاومة الضغط وإمتصاص الماء ولنفاذية الماء والمواد الكيميائية إلى داخل بنيتها. هذه النفاذية تؤدي إلى:

1. تآكل حديد التسليح بفعل الرطوبة والأيونات الضارة.
2. ظهور تشققات دقيقة تتحول مع الزمن إلى شروخ أكبر.
3. ضعف مقاومة الخرسانة وتقليل عمرها الافتراضي.
4. زيادة تكاليف الصيانة والترميم.

3-1 أهداف البحث :

1. تقييم تأثير مادة الكريستالاين على مقاومة الخرسانة للضغط.
2. قياس تأثير الكريستالاين على امتصاص الخرسانة للرطوبة.

4-1 أهمية البحث :

1. رفع جودة الخرسانة وزيادة عمرها الافتراضي.
2. تقليل تكاليف صيانة المباني والمنشآت الخرسانية.
3. تحسين أداء الخرسانة في البيئات القاسية (الرطوبة، الأملاح، المياه الجوفية).
4. دعم توجهات الهندسة الحديثة نحو مواد بناء مستدامة وصديقة للبيئة.
5. توفير حلول عملية للمشكلات الشائعة في البنية التحتية.

5-1 منهجية البحث :

لتحقيق أهداف هذا البحث، سيتم اتباع المنهجية التالية:

1-5-1 الدراسة النظرية:

1. مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة المتعلقة بمشكلة النفاذية في الخرسانة.
2. التعرف على خصائص مادة الكريستالاين وآلية عملها داخل الخرسانة.
3. مقارنة الأداء بين الخرسانة التقليدية والخرسانة المحتوية على الكريستالاين للوصول إلى توصيات عملية.

2-5-1 إعداد العينات:

1. تصميم خلطات خرسانية وفق المواصفات القياسية.
2. إعداد مجموعتين من العينات: الأولى خرسانة تقليدية، والثانية بإضافة نسب محددة من الكريستالاين.

3-5-1 الاختبارات المعملية:

1. اختبار مقاومة الضغط للعينات بعد فترات مختلفة من المعالجة.
2. اختبار النفاذية لتحديد مدى مقاومة الخرسانة لتسرب الماء.
3. اختبار الامتصاص لقياس مدى تأثر الخرسانة بالرطوبة.

4-5-1 التحليل والمقارنة:

1. تحليل النتائج المخبرية للعينات.
2. مقارنة الأداء بين الخرسانة التقليدية والخرسانة المعدلة بالكريستالين.
3. تقديم استنتاجات وتوصيات عملية قابلة للتطبيق في مجال البناء.

الفصل الثاني

الخلفية العلمية

الباب الثاني

1-2 الخرسانة

1-1-2 مقدمة :

الخرسانة تُعد من أهم المواد الإنشائية المستخدمة في العالم، فهي المادة الأكثر شيوعًا في المباني، الجسور، الطرق، السدود والمنشآت البحرية. وتتميز الخرسانة بسهولة تصنيعها وتشكيلها في قوالب متنوعة، بالإضافة إلى قدرتها العالية على تحمل الأحمال الضغطية. كما أن متانتها ومقاومتها للظروف البيئية تجعلها الخيار الأمثل للعديد من المشاريع المدنية والهندسية.

الخرسانة ليست مجرد خليط من الرمل والحصى والماء والإسمنت، بل هي منظومة متكاملة تتفاعل عناصرها الكيميائية والفيزيائية مع بعضها البعض لتكوين مادة متماسكة قادرة على الصمود أمام العوامل المختلفة. ومن هنا تأتي أهمية دراسة خصائص الخرسانة بالتفصيل لفهم سلوكها وتحسين أدائها في مختلف البيئات.

2-1-2 تاريخ الخرسانة وتطور استخدامها:

استخدام الخرسانة يعود إلى آلاف السنين، فقد استخدم المصريون القدماء خلطات من الجير والجبس والرمل في بناء الأهرامات والمعابد، حيث كانت تعتمد على تجارب عملية أكثر من معرفة علمية دقيقة.

أما الرومان فقد أحدثوا طفرة في هذا المجال، إذ استخدموا البوزولانا، وهو نوع من الرماد البركاني، مع الجير والماء لتشكيل مادة قوية ودائمة، مكنت من إنشاء المنشآت الضخمة مثل قنوات المياه وقبة البانثيون. تميزت الخرسانة الرومانية بقدرتها على مقاومة المياه والتآكل لفترات طويلة، وهو ما جعل بعض المنشآت قائمة حتى اليوم.

مع تطور العلم في القرن التاسع عشر، اكتشف جوزيف أسبدين الإسمنت البورتلاندي عام 1824، والذي غيّر مفهوم الخرسانة بالكامل، إذ أصبح بالإمكان التحكم في معدل التصلب وقوة المادة بشكل

أفضل. أما في القرن العشرين، فقد ظهرت الخرسانة المسلحة والمسبقة الإجهاد والخرسانة عالية المقاومة، وصولاً إلى الخرسانة الخاصة مثل الخرسانة ذاتية الدمك والخرسانة المقاومة للبيئات العدوانية، والتي تعتمد على إضافات وتقنيات متقدمة لتحسين خواص الخرسانة.

2-1-3 مكونات الخرسانة:

تتكون الخرسانة من مجموعة من المكونات الأساسية التي تعمل معاً لتكوين مادة متماسكة، وهذه المكونات هي:

2-1-3-1 الأسمنت:

الأسمنت هو المادة الرابطة التي تتحول إلى مادة صلبة نتيجة تفاعلها مع الماء. ويعد الأسمنت البورتلاندي الأكثر شيوعاً في البناء الحديث. ويتميز بقدرته على تكوين مادة صلبة تربط الركام معاً، وتعطي الخرسانة مقاومتها للضغط. كما أن نوع الأسمنت وجودته يؤثر بشكل مباشر على خصائص الخرسانة، مثل سرعة التصلب، مقاومة الضغط، والقدرة على مقاومة العوامل البيئية.

2-1-3-2 الماء:

الماء ليس مجرد وسيط لتفاعل الأسمنت، بل يلعب دوراً حيوياً في التحكم في قابلية التشغيل ومدى نفاذية الخرسانة. نسبة الماء إلى الأسمنت (Water/Cement Ratio) تعد من أهم العوامل التي تحدد كثافة الخرسانة وقوتها ومتانتها. استخدام ماء نظيف وخالي من الشوائب ضروري للحصول على خرسانة عالية الجودة.

2-1-3-3 الركام الناعم:

الركام الناعم، أو الرمل، يملأ الفراغات بين الركام الخشن ويعطي التدرج الحبيبي المطلوب. جودة الرمل تؤثر على التشغيلية والصلابة، ويجب أن يكون خالياً من الطين والمواد العضوية التي قد تؤثر سلباً على قوة الخرسانة.

2-1-3-4 الركام الخشن:

الركام الخشن يشكل الهيكل العظمي للخرسانة ويحدد مقاومة المادة للأحمال. يمكن استخدام الحصى أو الحجر المكسر، ويجب أن يكون خالياً من الشوائب التي قد تؤثر على الترابط مع الأسمنت. حجم الركام ونوعه يؤثران بشكل مباشر على مقاومة الضغط والمتانة الكلية للخرسانة.

2-1-3-5 الإضافات:

الإضافات الخرسانية هي مواد تضاف لتحسين خصائص الخرسانة الطازجة أو المتصلبة، مثل الملدنات التي تزيد من قابلية التشغيل، أو المواد المعدنية مثل الرماد المتطاير والسيليكا فيوم التي تقلل من نفاذية الخرسانة وتزيد من مقاومتها للظروف البيئية.

2-1-4 خصائص الخرسانة الطازجة والمتصلبة:

2-1-4-1 خصائص الخرسانة الطازجة:

1. التشغيلية (Workability): قدرة الخرسانة على الانسياب والتوزيع داخل القالب بدون فصل المكونات.
2. زمن الشك: الفترة التي تبدأ فيها الخرسانة بالتحول من الحالة البلاستيكية إلى الحالة الصلبة.
3. النزف (Bleeding): ظهور ماء على سطح الخرسانة نتيجة فصل الماء عن المكونات الصلبة.
4. الانفصال الحبيبي: فصل الركام عن المعجون، ويؤدي إلى ضعف التماسك.

2-1-4-2 خصائص الخرسانة المتصلبة:

1. مقاومة الضغط: تعتبر أهم خصائص الخرسانة المتصلبة وتحدد قدرتها على تحمل الأحمال العمودية.
2. مقاومة الشد والانحناء: الخرسانة ضعيفة في الشد، لذا يتم استخدام الحديد المسلح لتعويض هذه النقص.

3. الانكماش والزحف: تغيرات حجم الخرسانة مع الوقت نتيجة فقد الماء أو الأحمال المستمرة.

4. المتانة: قدرة الخرسانة على مقاومة العوامل البيئية مثل المياه، الأملاح، والحرارة.

2-1-5 أنواع الخرسانة واستخداماتها:

1. الخرسانة العادية: للاستخدامات البسيطة غير المعرضة لأحمال كبيرة.
2. الخرسانة المسلحة: مزودة بالحديد لمقاومة الشد والانحناء.
3. الخرسانة عالية المقاومة: مقاومة تفوق 60 ميجا باسكال للاستخدامات الخاصة.
4. الخرسانة خفيفة الوزن: لتقليل الوزن الذاتي للمبنى.
5. الخرسانة الكتلية: للسدود والمنشآت الكبيرة الحجم.
6. الخرسانة الخاصة: مثل الخرسانة ذاتية الدمك، المقاومة للبيئات العدوانية أو النفاذة.

2-1-6 المشاكل التي تواجه الخرسانة:

1. التشققات: نتيجة الانكماش الحراري أو الأحمال.
2. ضعف مقاومة الشد: يؤدي إلى الحاجة لتسليح إضافي.
3. النفاذية العالية: تسمح بتسرب الماء والأيونات الضارة التي تؤدي لتآكل الحديد.
4. التأثير بالعوامل البيئية: مثل درجات الحرارة العالية، الكبريتات، أو الأملاح.

2-1-7 طرق تحسين الخرسانة:

1. ضبط نسبة الماء إلى الأسمنت لتقليل الفراغات.
2. استخدام إضافات معدنية مثل السيليكا فيوم لتحسين البنية المجهرية وتقليل النفاذية.
3. استخدام إضافات كيميائية لتحسين التشغيلية أو تسريع التصلب.
4. الاهتمام بالمعالجة المائية الجيدة بعد الصب للحفاظ على الرطوبة وتحقيق التصلب الكامل.
5. استخدام مواد مانعة لتسرب المياه مثل الكريستالين لتعزيز المتانة ومقاومة الظروف البيئية.

2-2 الإضافات الخرسانية:

2-2-1 مقدمة:

الإضافات الخرسانية هي مواد تُضاف إلى الخرسانة بنسب صغيرة لتحسين خصائصها الطازجة أو المتصلبة. وتلعب هذه المواد دورًا أساسيًا في رفع جودة الخرسانة، زيادة متانتها، وتحسين مقاومتها للعوامل البيئية القاسية. تتعدد الإضافات بين كيميائية، معدنية، ومواد خاصة تمنع تسرب المياه، كما هو الحال مع مادة الكريستالين التي ستكون محور الدراسة في هذا المشروع.

تاريخيًا، بدأت الإضافات بمادة طبيعية مثل الرماد البركاني المستخدم من الرومان، ثم تطور الأمر إلى مواد صناعية متقدمة اليوم تشمل الملدنات، المثبطات، المواد المانعة للتسرب، والمواد المعدنية المكررة. استخدام الإضافات أصبح معيارًا أساسيًا في الخرسانة الحديثة، لا سيما في المشاريع الكبرى أو المنشآت المعرضة لظروف بيئية صعبة، مثل المناطق الساحلية أو المناطق الصناعية.

2-2-2 أنواع الإضافات ووظائفها:

2-2-2-1 الإضافات الكيميائية:

الإضافات الكيميائية مواد تؤثر على خصائص الخرسانة الطازجة والمتصلبة من خلال تفاعلات كيميائية أو تأثير فيزيائي على تشتت المواد. من أهم هذه الإضافات:

2-2-2-2 الملدنات (Plasticizers):

الملدنات تقلل من كمية الماء المطلوبة لخلطة الخرسانة دون التأثير على العملانية، وبالتالي تسمح بالحصول على خرسانة متماسكة وقوية. استخدام الملدنات يحسن قابلية التشغيل ويقلل الفراغات الهوائية، مما يزيد من مقاومة الخرسانة للضغط.

3-2-2-2 الملدنات الفائقة (Superplasticizers):

تتميز هذه الإضافات بقدرتها على زيادة العملانية بشكل كبير دون زيادة الماء، مما يسمح بصب الخرسانة في القوالب المعقدة، وإنتاج خرسانة عالية المقاومة. كما تساهم في تحسين تماسك الخرسانة وتقليل احتمالية الانفصال الحبيبي.

4-2-2-2 المباطئات (Retarders):

تعمل على إبطاء زمن الشك للخرسانة، مما يتيح وقتاً أطول للنقل والصب، وهو مفيد في المناطق الحارة أو عند الحاجة لتأخير تصلب الخرسانة أثناء أعمال الصب الكبيرة.

5-2-2-2 المسرعات (Accelerators):

تسرع من تصلب الخرسانة، وتزيد المقاومة المبكرة للضغط، وهي مفيدة في البيئات الباردة أو عند الحاجة لتسريع تنفيذ المشروع.

6-2-2-2 المواد المانعة لتسرب المياه (Waterproofing Agents):

تقلل هذه المواد من نفاذية الخرسانة وتحميها من دخول المياه والأيونات الضارة، ما يقلل من التآكل ويزيد من عمر الخرسانة. ومن هذه المواد، الكريستالين يعتبر مثلاً بارزاً وفعالاً، حيث يملأ المسامات الشعرية ويمنع تسرب المياه على المستوى المجهرى.

7-2-2-2 الإضافات المعدنية:

الإضافات المعدنية تشمل المواد التي تعمل على تحسين خصائص الخرسانة المتصلبة من خلال التفاعلات الكيميائية أو التحسين الميكانيكي للمصفوفة. أهم هذه المواد:

8-2-2-2 الرماد المتطاير (Fly Ash):

ناتج ثانوي من محارق الفحم في محطات توليد الكهرباء، يستخدم لتحسين متانة الخرسانة وتقليل نفاذية الماء. يدخل الرماد المتطاير في تفاعلات بوزولانية مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج عن تفاعل الأسمنت، مما يزيد من تكوين مادة C-S-H ويقوي البنية المجهرية للخرسانة.

9-2-2-2 السيليكا فيوم (Silica Fume):

مادة نانوية دقيقة جدًا تزيد من كثافة الخرسانة وتقليل المسامية، كما تساهم في تحسين مقاومة الضغط والانكماش. وهي فعالة بشكل خاص في الخرسانة عالية المقاومة والخرسانة المقاومة للنفاذية.

10-2-2-2 خبث الأفران (Slag):

خبث الأفران أو الخبث المعدني هو منتج ثانوي للصناعات المعدنية، يضاف لتحسين مقاومة الخرسانة للعوامل الكيميائية مثل الكبريتات، ويساهم في زيادة المتانة وتقليل التشققات.

11-2-2-2 المواد البوزولانية الطبيعية:

مثل الرماد البركاني والطين الحي، تساعد في تحسين مقاومة الخرسانة للنفاذية والهجوم الكيميائي، وتقلل من استهلاك الأسمنت مما ينعكس إيجابياً على الاستدامة البيئية.

3-2-2 أهمية استخدام الإضافات:

إستخدام الإضافات له فوائد متعددة تشمل:

1. تحسين مقاومة الضغط والمتانة: تقليل المسامية وزيادة كثافة المصفوفة الخرسانية.
2. تحسين قابلية التشغيل: سهولة الصب والدمك، وتقليل الانفصال الحبيبي والنزف.
3. زيادة العمر الافتراضي للمنشآت: مقاومة أفضل للمياه، الأملاح، والظروف البيئية القاسية.

4. التحكم في زمن التصلب: سواء لتأخير الشك أو لتسريع المقاومة المبكرة حسب متطلبات المشروع.

5. خفض التكاليف على المدى الطويل: من خلال تقليل عمليات الصيانة والإصلاح.

2-2-4 العلاقة بين الإضافات والخرسانة الحديثة:

الخرسانة الحديثة لم تعد تعتمد فقط على مكوناتها الأساسية، بل أصبحت منظومة متكاملة تشمل الإضافات لتحسين الأداء الميكانيكي والكيميائي. على سبيل المثال، الجمع بين الملدنات والسيليكا فيوم يسمح بالحصول على خرسانة عالية المقاومة، مع قابلية تشغيل ممتازة، وخواص متانة أفضل ضد الهجوم الكيميائي.

في السياق العملي، اختيار الإضافات يعتمد على نوع المشروع والبيئة المحيطة. فمثلاً:

1. في البيئات الساحلية، يُفضل استخدام المواد المانعة لتسرب الماء مثل الكريستالين مع السيليكا فيوم لتقليل النفاذية وزيادة مقاومة الخرسانة للأملاح.

2. في المشاريع الباردة، يُستخدم المسرع لتقليل زمن التصلب والحفاظ على الجدول الزمني للبناء.

3. في المناطق الحارة، تُستخدم المباطئات لتجنب تصلب الخرسانة أثناء النقل والصب.

2-3 مادة الكريستالين:

2-3-1 مقدمة :

الكريستالين (Crystalline Waterproofing) يُعد من أهم الابتكارات في مجال إضافات الخرسانة، إذ يمثل نقلة نوعية في مفهوم "منع تسرب المياه" داخل الخرسانة. بخلاف المواد التقليدية التي تشكل طبقة سطحية مؤقتة، فإن الكريستالين يعمل على تحويل الخرسانة نفسها إلى مادة مانعة لتسرب المياه، من خلال تفاعل داخلي مستمر يُنتج بلورات غير ذائبة تملأ الفراغات الدقيقة والمسام الشعرية داخل الخرسانة.

هذا التوجه يتماشى مع متطلبات البناء الحديث الذي يركز على الاستدامة، تقليل تكاليف الصيانة، وزيادة عمر المنشآت. ومع تزايد الحاجة لمنشآت مقاومة للرطوبة والمياه مثل الأنفاق، السدود،

الخرانات، والمنشآت البحرية، أصبحت إضافات الكريستالين خيارًا أساسيًا في تصميم الخرسانة المتينة.

2-3-2 التركيب الكيميائي للكريستالين:

الكريستالين ليس مادة مفردة، بل خليط متوازن من مكونات كيميائية ومعدنية، تعمل معًا لتحقيق التأثير المطلوب:

2-3-2-1 مواد سيليكاتية تفاعلية:

1. مثل سيليكات الصوديوم أو البوتاسيوم.
2. تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الحر (Ca(OH)_2) الموجود في الخرسانة لتكوين منتجات سيليكات الكالسيوم المائية (C-S-H)، وهي نفس المادة المسؤولة عن الصلابة في الخرسانة.

2-3-2-2 أكاسيد معدنية دقيقة:

- مثل أكسيد المغنيسيوم أو أكاسيد الألمنيوم.
- تساهم في تعزيز التفاعل وتكوين بلورات أكثر كثافة.
1. تعمل مركبات محفزة للترسيب البلوري:
2. على تسريع من عملية نمو البلورات داخل المسام.
3. مواد مالئة دقيقة (Fillers):
4. تحسين توزيع المكونات داخل العجينة الأسمنتية وتساعد في بدء تكوين البلورات.
5. النتيجة النهائية: شبكة بلورية دقيقة تنمو مع مرور الوقت داخل المسام وتسدها بشكل دائم.

2-3-3 آلية التفاعل (على المستوى المجهرى):

لفهم عمل الكريستالين يجب النظر إلى البنية المجهرية للخرسانة:

- 1) الخرسانة العادية تحتوي على ملايين المسام الشعرية الناتجة عن تبخر الماء الزائد أو تفاعل الإماهة غير الكامل للأسمنت. هذه المسام تسمح بمرور الماء والأيونات (مثل الكلوريدات والكبريتات).
- 2) عند إضافة الكريستالين:
 1. المواد الفعالة تذوب جزئياً في ماء الخلطة.
 2. تبدأ بالتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم $(Ca(OH)_2)$ وهو منتج ثانوي ضعيف التماسك.
 3. التفاعل يُنتج $(C-S-H)$ بلوري وغير ذائب يترسب داخل المسام.
 4. مع وجود الرطوبة، يستمر نمو البلورات حتى تُغلق المسام الشعرية والشقوق الدقيقة (حتى 0.4 مم).
 5. في حالة تشكل شقوق جديدة دقيقة، يمكن للرطوبة أن تُعيد تنشيط التفاعل، فتعود البلورات للنمو وتغلق الشقوق تلقائياً (خاصية الشفاء الذاتي Self-healing).

2-3-4 الخصائص المميزة للكريستالين:

1. سد دائم للمسام: البلورات غير قابلة للذوبان وتبقى مستقرة داخل الخرسانة.
2. تفاعل طويل الأمد: لا يتوقف بعد التصلب بل يستمر مع وجود الرطوبة.
3. الشفاء الذاتي: قدرة الخرسانة على إصلاح الشقوق الدقيقة تلقائياً.
4. تحسين المقاومة الكيميائية: يقلل من اختراق الكبريتات والكلوريدات.
5. حماية حديد التسليح: بمنع تسرب الأيونات الضارة إلى داخل الخرسانة.
6. مقاومة ضغط إضافية: بعض الدراسات سجلت زيادة تتراوح بين 5-15% في مقاومة الضغط.

الجدول (1-2) يوضح مقارنة الكريستالين بالطرق التقليدية للعزل:

البند	الكريستالين	المواد التقليدية (بيتومين، دهانات)
مكان العمل	داخل الخرسانة (intrinsic)	سطح الخرسانة فقط (extrinsic)
العمر الافتراضي	يساوي عمر الخرسانة نفسها	محدود ويحتاج صيانة متكررة
مقاومة الضغط	يزيد المقاومة	لا يؤثر على المقاومة
سهولة التطبيق	يضاف أثناء الخلط	يحتاج طبقات ويد عاملة متخصصة

2-3-5 التطبيقات الهندسية للكريستالين:

2-3-5-1 الأساسات والقواعد:

1. حماية الخرسانة من المياه الجوفية.

2. منع التآكل المبكر لحديد التسليح.

2-3-5-2 المنشآت المائية:

1. الخزانات، المسابح، أحواض المعالجة.

2. يقلل من تسرب المياه ويحافظ على جودة المنشآت.

2-3-5-3 المشاريع البحرية والساحلية:

1. الموانئ، الأرصفة، الجدران البحرية.

2. يحمي من الأملاح والكلوريدات ويمنع تآكل التسليح.

2-3-5 4 الأنفاق والطرق تحت الأرض:

1. يمنع تسرب المياه الجوفية.
 2. يزيد من عمر الخدمة ويقلل الحاجة للصيانة.
- ### 2-3-5 5 المباني الشاهقة:

يستخدم في الطوابق السفلية ومواقف السيارات تحت الأرض.

2-3-6 دراسات سابقة وتجارب علمية:

1. دراسة كندية (2015): أظهرت أن استخدام الكريستالين قلل نفاذية الخرسانة بنسبة 70% بعد 90 يومًا من الصب.
2. بحث في جامعة ماليزية (2018): سجل زيادة في مقاومة الضغط بنسبة 12% عند عمر 28 يومًا مقارنة بعينات مرجعية.
3. مشروع في سنغافورة: استخدم الكريستالين في الأنفاق، وسجل انخفاضًا كبيرًا في تكاليف الصيانة السنوية.
4. دراسة مصرية (2020): أثبتت أن الخرسانة المحتوية على الكريستالين أبدت مقاومة أفضل ضد الكبريتات بنسبة 55%.

2-3-7 التحديات والاعتبارات:

رغم فعالية الكريستالين، هناك بعض النقاط التي يجب الانتباه لها:

1. التكلفة الأولية: أعلى من الخرسانة التقليدية، لكن اقتصادية على المدى الطويل.
2. التحكم في نسب الخلط: أي خطأ في إضافة المادة قد يقلل من فعاليتها.
3. حاجة إلى معرفة تقنية: لا بد من تدريب الفنيين على طرق الاستخدام المثلى.
4. محدودية التعامل مع الشقوق الكبيرة (> 0.5 مم): حيث يتطلب الأمر حلول إنشائية إضافية.

2-3-8 دور الكريستالين في الاستدامة:

1. يقلل الحاجة لاستخدام مواد عزل تقليدية، مما يحد من التلوث الناتج عنها.
2. يطيل عمر المنشآت، وبالتالي يقلل من استهلاك الموارد اللازمة للصيانة والإصلاح.
3. يساهم في تحقيق معايير البناء الأخضر (Green Building) مثل LEED وBREEAM.

الباب الثالث

الاطار العملي

الباب الثالث

3-1 مقدمة:

في هذا الباب تم تناول الاختبارات التي تمت على مكونات الخلطة الخرسانية ، وأيضاً تصميم الخلطة المرجعية والخلطات الأخرى بنسبها المختلفة (80،120،160) وكذلك إجراء اختبار الهبوط وقياس مقاومة الانضغاط لمكعبات بأبعاد (150*150*150مم) لـ 7 و 28 و 90 يوم.

3-2 المواد المستخدمة في الخلطة الخرسانية:

1. الحصى (الركام الخشن): تم استخدام الحجر الطبيعي (غير المكسور)
2. الرمل (الركام الناعم): تم استخدام الرمل الطبيعي
3. الأسمنت : تم استخدام بورتلاندي عادي
4. الماء : تم استخدام ماء الشرب العادي

3-3 إختبارات المواد المستخدمة في الخلطات المختلفة:

3-3-1 إختبارات الركام (الخشن):

تم استخدام الحصى الطبيعي المستخدم للخلطات الخرسانية في السودان ، ونظراً لأهمية الركام وتأثيره على مقاومة الخرسانة وحتى يتم التأكد من مطابقته للمواصفات والمقاييس أجريت عليه الإختبارات التالية.

3-3-1-1 إختبار التحليل المنخلي (Sieve Analysis):

3-3-1-1-1 الغرض من الاختبار:

1. تحديد التدرج الحبيبي: للركام الصغير (الرمل) والركام الكبير (الحصى).
 2. مطابقة المواصفات: تحديد مدى صلاحية الركام ومطابقته للمواصفات القياسية المعتمدة.
- #### 3-3-1-1-2 الأجهزة والأدوات المستخدمة:

1. المناخل القياسية: مجموعة من المناخل بفتحات مختلفة.

2. فرشاة سلك: لتنظيف المناخل من العوالق.

3. فرن تجفيف: لتجفيف العينة في حال كانت رطبة قبل البدء.

4. ميزان حساس: لوزن العينات بدقة.

5. هزاز ميكانيكي: لإجراء عملية الهز آلياً لضمان الكفاءة.

3-1-1-3-3 طريقة الاختبار:

يتم تنظيف المناخل من المواد العالقة جيداً باستخدام الفرشاة، ثم تُرتَّب المناخل فوق بعضها على الهزاز الميكانيكي كما هو موضح في الشكل (3-1)، بحيث يكون المنخل ذو الفتحة الأوسع في الأعلى ثم الذي يليه (تتازلياً). يُشغل الجهاز لمدة 5 دقائق، وبعد انتهاء الوقت يتم تسجيل الوزن المحجوز في كل منخل على حدة.



01 - Sieve Analysis Test

Bassem Shawky

الشكل (3-1) يوضح الغرابيل والهازاز

3-1-3-2 اختبار الوزن النوعي والامتصاص للركام الخشن:

3-1-3-1-2 الغرض من الاختبار:

1. تحديد الوزن النوعي (الظاهري والكلي) للركام لاستخدامه في حسابات خلطات الخرسانة.

2. تعيين نسبة الامتصاص للركام لمعرفة مدى تأثيره على كمية ماء الخلط.

3. التأكد من جودة الركام وكثافته ومطابقته للمواصفات الفنية.

3-3-1-2-2 الأجهزة والأدوات:

1. ميزان حساس: بدقة عالية ومزود بتجهيزة للوزن تحت الماء.

2. سلة سلكية: لوضع الركام الكبير بها أثناء غمره في الماء.

3. وعاء ماء: لغمر السلة والعينة بالكامل.

4. فرن تجفيف: لتجفيف العينة عند درجة حرارة 105°C.

5. قالب مخروطي وقضيب دك: (للركام الصغير) لتحديد حالة جفاف السطح المشبع.

6. مناشف قماشية: لتجفيف أسطح حبيبات الركام.

3-3-1-2-3 طريقة الاختبار:

يتم غسل العينة جيداً للتخلص من الأتربة، ثم تُجفف في الفرن لمدة 24 ساعة. تُغمر العينة بعد ذلك في الماء لمدة 24 ساعة لتصل حالة التشبع. تُخرج العينة وتُجفف بقطعة قماش حتى تصل لحالة (جفاف السطح المشبع - SSD)، حيث يُسجل وزنها في الهواء، ثم تُوضع في السلة السلكية وتُوزن وهي مغمورة تماماً في الماء. في النهاية تُجفف العينة في الفرن مرة أخرى لتحديد وزنها الجاف تماماً.

3-3-1-2-4 الحسابات:

يتم حساب الوزن النوعي الكلي (Bulk Specific Gravity) ونسبة الامتصاص (Absorption)

وفق المعادلات التالية:

الوزن النوعي الكلي:

$$Gsb = \frac{D}{A - B}$$

نسبة الامتصاص (%):

$$Asb = \frac{A - D}{D} * 100$$

حيث أن:

D: وزن العينة جافة تماماً في الفرن.

A: وزن العينة في حالة جفاف السطح المشبع (SSD).

B: وزن العينة وهي مغمورة داخل الماء.

3-3-2 إختبارات الركام (الناعم):

3-3-2-1 إختبار الوزن النوعي :

3-3-2-1-1 الغرض من الإختبار:

حساب الوزن النوعي للركام الناعم

3-3-2-1-2 الإختبار:

1. ميزان حساس.

2. دورق زجاجي.

3. ثيرمو متر.

3-3-2-1-3 طريقة الإختبار:

نقوم بإحضار العينة الجافة وبعد ذلك نوزن الدورق الزجاجي كما موضح في الشكل (3-2) وهو خالي من الماء وبعد ذلك نملأ الدورق بمقدار معلوم من العينة ثم نقوم بتسجيل الوزن وبعدها نملأ الدورق بالماء ونقوم بوزن الدورق والعينة والماء ونقيس درجة الحرارة، ونملأ الدورق بالماء فقط ونحسب الوزن ثم نعيد التجربة ونقوم بأخذ متوسط القراءات ويحسب الوزن النوعي بالعلاقة التالية :

$$GS = \frac{(M2 - M1)}{(M4 - M1) - (M3 - M2)}$$

حيث :

M1: وزن الدورق فارغ.

M2: وزن الدورق مع العينة.

M3: وزن الدورق والعينة والماء.

M4: وزن الدورق والماء.



الشكل (2-3) يوضح الدورق الزجاجي

3-3-3 إختبارات الأسمنت:

1-3-3-3 اختبار القوام القياسي للأسمنت:

1-1-3-3-3 الغرض من الاختبار :

1. تحديد كمية الماء اللازمة لعمل عجينة أسمنتية ذات قوام قياسي.
2. استخدام هذه النسبة (P) كمرجع أساسي في اختبارات زمن الشك (الابتدائي والنهائي) واختبار ثبات الحجم.

2-1-3-3-3 الأجهزة والأدوات :

1. جهاز فيكات (Vicat Apparatus): مزود بالإبرة القياسية (قطر 10 مم).

2. ميزان حساس: لوزن كمية الأسمنت والماء بدقة.
 3. وعاء الخلط (جفنة): لخلط الأسمنت مع الماء.
 4. ساعة إيقاف: لضبط زمن الخلط (Timer).
 5. قالب جهاز فيكات: مخروطي الشكل لوضع العجينة.
 6. لوح زجاجي: يوضع أسفل القالب.
- 3-3-3-1-3 طريقة الاختبار :

يتم وزن 500 جرام من الأسمنت ووضعها في وعاء الخلط، تُضاف كمية محددة من الماء (تبدأ غالباً بنسبة 26% إلى 33% من وزن الأسمنت)، يبدأ الخلط جيداً لمدة تتراوح بين 3 إلى 5 دقائق للحصول على عجينة متجانسة، يُملأ قالب جهاز فيكات بالعجينة ويسوى سطحها، ثم يوضع تحت إبرة الجهاز، تُخفض الإبرة حتى تلامس سطح العجينة، ثم تُترك لتغوص بحرية تحت تأثير وزنها، يُعتبر القوام قياسياً إذا توقفت الإبرة عند مسافة (5 إلى 7 مم) من قاعدة القالب ، إذا لم تتحقق المسافة، تُكرر التجربة بنسب مياه مختلفة حتى الوصول للنتيجة المطلوبة، الشكل (3-3) التالي يوضح جهاز فيكات.:



الشكل (3-3) يوضح جهاز فيكات

3-3-3-1-4 الحسابات والنتائج :

تُحسب نسبة الماء للقوام القياسي (P) كنسبة مئوية من وزن الأسمنت الجاف:

$$P = \frac{W_w}{W_c}$$

حيث:

Ww: وزن الماء.

Wc: وزن الأسمنت.

2-3-3-3 إختبار تحديد زمن الشك الابتدائي والنهائي :

1. زمن الشك الابتدائي هو الزمن المنقضي من لحظة إضافة أول قطرة من الماء إلى الأسمنت الجاف حتى اللحظة التي تبعد الإبرة مسافة $1 \pm$ ملم من قاع القالب.
2. زمن الشك النهائي هو الزمن الذي ينقضي من لحظة إضافة الماء للأسمنت بنسبة ماء للعجينة حتى اللحظة التي تستطيع إبرة جهاز فيكات أن تنفذ في العجينة الأسمنتية لمسافة أقل من 5 ملم بحيث تستطيع الإبرة أن تترك لها أثر على أن لا يكون هناك أثر للجزء الأسطواني المثبت حولها.

1-2-3-3-3 الغرض من التجربة :

تعيين زمن الشك الابتدائي والنهائي على أن لا يقل زمن الشك الابتدائي عن 45 دقيقة، ولا يزيد زمن الشك النهائي عن 10 ساعات حسب المواصفات البريطانية للأسمنت البورتلاندي العادي.

الأدوات المستخدمة :

1- جهاز فيكات (الشكل 3-4).

2- إبرة فيكات.

3- ساعة إيقاف.

2-2-3-3-3 طريقة التجربة :

تم ملء القالب بعجينة الأسمنت وتم تسوية سطحها ثم نقل القالب إلى الجهاز ويوضع تحت الإبرة، ثم تُنزل الإبرة ببطء حتى تماس سطح العجينة وتُترك في مكانها لمدة ثانية أو ثانيتين لتلاشي تأثير السرعة

الابتدائية، وتترك الأجزاء المتحركة لتغرز الإبرة رأسياً في العجينة. تُقرأ القراءة عندما تتوقف الإبرة ويتم تسجيل قراءة التدريج على المسافة بين قاعدة الإبرة ونهاية الإبرة.

ثم تكرر عملية غرز الإبرة على نفس العجينة في مواضع متباعدة وبعد فترات زمنية متتالية (حوالي 10 دقائق).

تم تغيير الإبرة المستخدمة في اختبار الشك الابتدائي بالإبرة الخاصة باختبار زمن الشك النهائي، وتم تسجيل زمن الشك النهائي لأقرب 15 دقيقة وهو الزمن المقاس من صفر القياس حتى نفاذ إبرة الشك النهائي.



الشكل (3-4) يوضح إبرة وجهاز فيكات

3-4 تصميم الخلطة الخرسانية:

3-4-1 تصميم الخلطة المرجعية:

تم تصميم الخلطة الخرسانية المستخدمة بالطريقة البريطانية حسب توصيات مركز بحوث البناء البريطاني (BRE)، وذلك اعتماداً على مقاومة الضغط المطلوبة، وظروف التعرض البيئي، وقابلية التشغيل المناسبة لطبيعة العناصر الإنشائية قيد الدراسة.

وقد تم تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C Ratio) بما يحقق التوازن بين المقاومة والمتانة، مع مراعاة تحقيق الهبوط (Slump) المناسب لأعمال الصب. كما تم اختيار التدرج الحبيبي للركام الناعم والخشن وفق المواصفات القياسية لضمان الحصول على خرسانة ذات كثافة عالية وفراغات أقل.

(انظر الملحقات) حيث يوضح جدول رقم (3-1) قيم أوزان المواد اللازمة لإنتاج متر مكعب واحد من الخرسانة، شاملاً وزن الأسمنت، والركام الناعم، والركام الخشن، وكمية الماء، وذلك بعد إجراء التصحيحات اللازمة للرطوبة والامتصاص.

كما تم إجراء الخلط التجريبي (Trial Mix) للتحقق من مطابقة المقاومة التصميمية المطلوبة، وتم تعديل النسب عند الحاجة لضمان تحقيق مقاومة الضغط بعد 28 يوماً وفق الكود المعتمد، حيث تم صب 9 مكعبات بالأوزان الموضحة في الجدول أدناه.

الجدول (3-1) يوضح قيم أوزان المواد بالكيلوجرام للخلطة المرجعية

البند	أسمنت Kg	ركام ناعم Kg	ركام خشن Kg	ماء Kg
الأوزان بالكيلوجرام	14	23.126	51.474	7

3-4-2 خلطات الكريستالين:

تم تحديد نسب مادة الكريستالين بطريقة النسبة والتناسب حيث يتم إضافة (3) كيلو جرام للمتر الكعب الواحد في الموقع ، ووجد أن النسبة التي تعادل ما يضاف الموقع (3%) ما يعادل 120 جرام للمكعبات في المعمل ، وتم أخذ نسبة (2%) و(4%) لتحديد أي هذه النسب أفضل للإضافة حيث تعادل (80 جرام) و(160 جرام) على التوالي .

3-4-2-1 الخلطة الأولى (2%) :

تم تصميم الخلطة هذه الخلطة بناءً على قيم أوزان الخلطة المرجعية ، حيث تم خلط المكونات مع 80 جرام من مادة الكريستالين ، وكانت الأوزان للخلطة الأولى كما موضحة في الجدول رقم (2-3)، حيث تم صب 9 مكعبات بهذه الأوزان.

الجدول (2-3) يوضح أوزان المواد بالكيلوجرام ونسبة الكريستالين للخلطة الأولى

البند	أسمنت Kg	ركام ناعم Kg	ركام خشن Kg	ماء Kg	نسبة المضاف %2
الأوزان بالكيلوجرام	14	23.126	51.474	7	0.08

3-4-2-2 الخلطة الثانية (3%) :

تم تصميم الخلطة هذه الخلطة بناءً على قيم أوزان الخلطة المرجعية ، حيث تم خلط المكونات مع 120 جرام من مادة الكريستالين، وكانت الأوزان للخلطة الثانية كما موضحة في الجدول رقم (3-3)، حيث تم صب 9 مكعبات بهذه الأوزان.

الجدول (3-3) يوضح أوزان المواد بالكيلوجرام ونسبة الكريستالين للخلطة الثانية

البند	أسمنت Kg	ركام ناعم Kg	ركام خشن Kg	ماء Kg	نسبة المضاف %3
الأوزان بالكيلوجرام	14	23.126	51.474	7	0.120

3-2-4-3 الخلطة الثالثة (4%):

تم تصميم الخلطة هذه الخلطة بناءً على قيم أوزان الخلطة المرجعية ، حيث تم خلط المكونات مع 160 جرام من مادة الكريستالين، وكانت الأوزان للخلطة الثالثة كما موضحة في الجدول رقم (3-4)، حيث تم صب 9 مكعبات بهذه الأوزان.

الجدول (3-4) يوضح أوزان المواد بالكيلوجرام ونسبة الكريستالين للخلطة الثالثة

البند	أسمنت Kg	ركام ناعم Kg	ركام خشن Kg	ماء Kg	نسبة المضاف %4
الأوزان بالكيلوجرام	14	23.126	51.474	7	0.160

3-5 إختبارات الخلطة الطازجة:

3-5-1 إختبار الهبوط:

3-5-1-1 الغرض من الإختبار:

تحديد قوام الخلطة الخرسانية بتعيين مدى هبوطها في المعمل أو في موقع التنفيذ، وذلك للتأكد من نسب مكونات الخلطة الخرسانية حيث أن التغيير في نسبة الأسمنت أو كمية الماء والركام يؤثر على قيمة الهبوط وبالتالي التأثير على تشغيلية الخرسانة. ويعتبر هذا الاختبار من أبسط وأفضل الوسائل لضبط الجودة في محطات الخلط وفي موقع التنفيذ.

3-5-1-2 الأدوات المستخدمة:

1. قالب الإختبار: وهو عبارة عن مخروط ناقص مصنوع من معدن متين بسمك (1.5 ملم) على الأقل، مفتوح من الأعلى ومن الأسفل، قطر فتحة العليا 10 سم، والسفلى 20 سم، وارتفاعه 30 سم.

2. قضيب دمك: وهو عبارة عن سيخ من الصلب بقطر 16 ملم وطول 60 سم.

3. صفيحة معدنية.

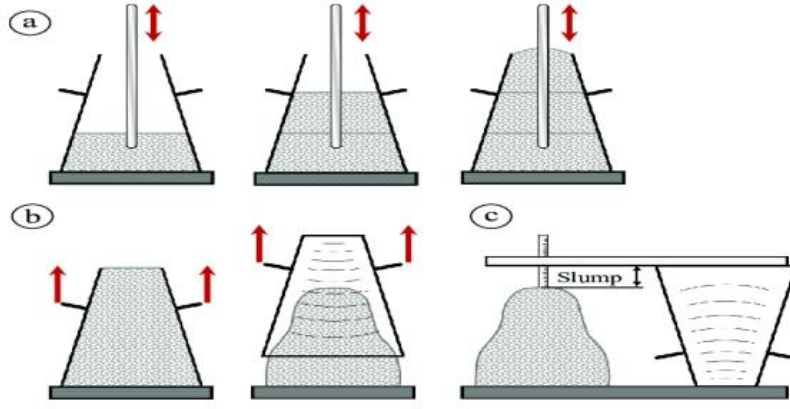
4. مسطرة قياس، كما يوضح الشكل (3-5) الأدوات المستخدمة في إختبار الهبوط.



الشكل (3-5) يوضح الأدوات المستخدمة في إختبار الهبوط

3-1-5-3 طريقة الإختبار:

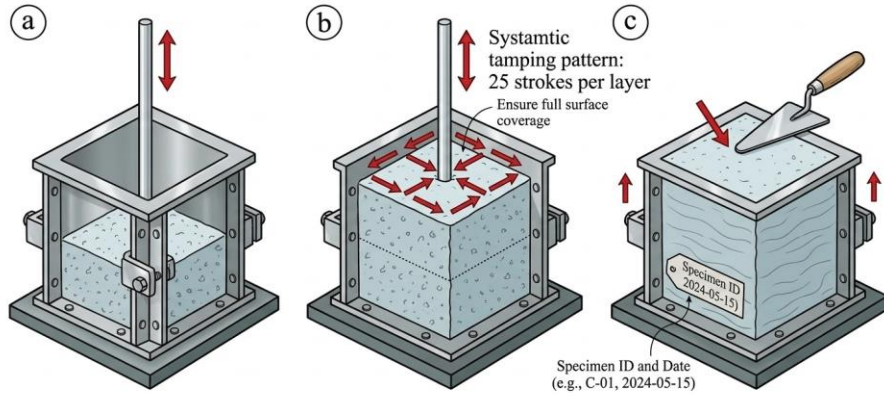
1. يتم تنظيف السطح الداخلي للقالب ووضع القالب على سطح أفقي أملس غير منفذ للماء ويتم تثبيته جيداً.
2. يتم ملء القالب على ثلاث طبقات، ارتفاع كل منها يساوي ثلث ارتفاع القالب تقريباً.
3. يتم دمج كل طبقة بواسطة قضيب الدمك 25 مرة موزعة على السطح حتى نفاذ القضيب إلى الطبقة التي تحتها.
4. بعد الإنتهاء من دمك الطبقة العليا، يتم تسوية سطحها مع حافة القالب.
5. يتم رفع القالب بعد ملئه مباشرة في اتجاه رأسي ببطء وعناية.
6. يتم قياس مقدار الهبوط بعد رفع القالب مباشرة، وهو الفرق بين ارتفاع القالب وارتفاع مركز عينة الخرسانة الطازجة، كما موضح في الشكل (3-6).



الشكل (3-6) يوضح طريقة إختبار الهبوط

3-6 طريقة صب المكعبات :

1. تم إعداد قالب الإختبار للإستعمال بتغطية سطحه بطبقة رقيقة من الزيت.
2. تم خلط المكونات يدوياً، ثم ملء القالب مباشرة بالخرسانة على ثلاثة طبقات.
3. تم دمك كل طبقة يدوياً حتى تدمك الخرسانة تماماً دون حدوث أي انفصال حبيبي.
4. تم حفظ المكعبات بعد صبها مباشرة في مكان خالي من الإهتزازات لمدة 24 ساعة ، والشكل (3-7) يوضح خطوات أو طريقة صب المكعبات الخرسانية.



الشكل (3-7) يوضح طريقة صب المكعبات

3-7 طريقة معالجة المكعبات :

1. بعد مرور 24 ساعة على صب المكعبات، يتم فك القوالب المعدنية بعناية لضمان عدم تضرر الحواف أو الزوايا.

2. يتم ترقيم المكعبات وكتابة تاريخ الصب ونوع الخلطة عليها بوضوح باستخدام قلم تعليم مضاد للماء.
3. تغمر المكعبات مباشرة في أحواض معالجة تحتوي على مياه نظيفة وصالحة للشرب، بحيث يغطي الماء سطح المكعبات تماماً.
4. يتم الحفاظ على درجة حرارة ماء المعالجة في حدود (25 ± 2) درجة مئوية لضمان التفاعل الكيميائي الأمثل للأسمنت.
5. تستمر عملية المعالجة بالماء حتى موعد إجراء اختبار مقاومة الضغط (بعد 7 أيام و 28 يوم و 90 يوم)، الشكل (3-8) يوضح طريقة المعالجة للمكعبات .



الشكل (3-8) يوضح طريقة المعالجة في الماء

3-8 إختبارات الخلطة المتصلدة:

3-8-1 إختبار مقاومة الضغط:

إن مقاومة الضغط من أهم خواص الخرسانة المتصلدة، وهي تعبر عن درجة جودتها وصلابتها وقدرتها على تحمل الأحمال المختلفة. ويُجرى اختبار تحديد مقاومة الضغط للخرسانة المتصلدة بعد مرور 28 يوماً على صب عينات مكعبة بأبعاد $(15 \times 15 \times 15)$ سم³، وفي بعض الأحيان بعد 7 أيام أو بعد فترة أخرى حسب الحاجة.

وتتعرض العينة لحمل ضغط محوري بمعدل 140 كجم/سم² في الدقيقة حتى الكسر، وتُدون النتائج.

3-1-8-1 الغرض من التجربة:

معرفة مدى تحمل الخرسانة لقوى الضغط المطبقة عليها.

3-1-8-2 الأدوات المستخدمة:

1. قالب مكعب معدني قياس (150 × 150 × 150) مم.
2. قضيب معدني بطول (50 – 60) سم وقطره (16) مم.
3. جهاز ماكينة الضغط.

3-1-8-3 طريقة الاختبار:

يتم وزن الكميات المناسبة اللازمة من الأسمنت والركام الصغير والركام الكبير والماء، ويراعى عند حساب وزن مكونات كل خلطة أن تزيد كمية الخرسانة المخلوطة عن الخرسانة اللازمة لملء القوالب بحوالي 10%.

ثم يتم إعداد قالب الاختبار للاستعمال بتغطية سطحه بطبقة رقيقة من الزيت، ثم تُخلط المكونات يدوياً. بعد انتهاء عملية الخلط مباشرة يُجرى اختبار قوام الخرسانة الطازجة بطريقة الهبوط، ثم تُصب الخرسانة مباشرة في القالب على ثلاث طبقات مع دمك كل طبقة جيداً للتأكد من تماسك الخرسانة تماماً ومنع حدوث أي انفصال حبيبي.

بعد ذلك تُحفظ المكعبات مباشرة في مكان خالٍ من الاهتزازات لمدة 24 ساعة كما هو موضح، ثم تُغمر المكعبات في الماء المعالج بواسطة كلوريد الصوديوم ، بعد انتهاء مدة المعالجة، يتم كسر المكعبات بواسطة جهاز مكينة الضغط كما هو موضح في الشكل (3-9) عند أعمار مختلفة (7، 28، 90) يوم.



الشكل (3-9) يوضح جهاز ماكينة الضغط

3-8-2 اختبار الإمتصاص للمكعبات الخرسانية:

تم إجراء اختبار الإمتصاص للمكعبات الخرسانية بهدف تحديد قدرة الخرسانة على إمتصاص الماء، والتي تعد من المؤشرات المهمة على مسامية الخرسانة وجودتها ومتانتها، حيث شملت الدراسة أربع خلطات خرسانية، وهي:

1. الخلطة المرجعية (بدون إضافات).
 2. خلطة مضاف إليها نسبة 2% من مادة الكريستالاين.
 3. خلطة مضاف إليها نسبة 3% من مادة الكريستالاين.
 4. خلطة مضاف إليها نسبة 4% من مادة الكريستالاين.
- وقد تم اجراء الاختبار لكل خلطة بإستخدام ثلاثة مكعبات خرسانية لكل نسبة، حيث تم فحص المكعبات بعد بلوغها عمر 28 يوماً، حيث تم تجفيف المكعبات الخرسانية في فرن عند درجة حرارة (105-110) درجة مئوية حتى الوصول الى وزن ثابت ، ثم تسجيل الوزن الجاف لكل مكعب

(Wd) ،بعد ذلك تم غمر المكعبات في الماء لمدة 24 ساعة ، تم إخراج المكعبات وتجفيف سطحها الخارجي بقطعة قماش ، ثم تم وزنها مرة أخرى للحصول على الوزن المشبع (Ws) ، يتم حساب نسبة الإمتصاص وفقاً للقانون التالي:

$$R = \frac{Ws - Wd}{Wd} * 100$$

حيث:

R: نسبة الإمتصاص.

Ws: وزن المكعبات الرطبة(مشبعة بالماء).

Wd: وزن المكعبات الجافة بالفرن.

الباب الرابع

التحليل ومناقشة النتائج

الباب الرابع

4-1 مقدمة:

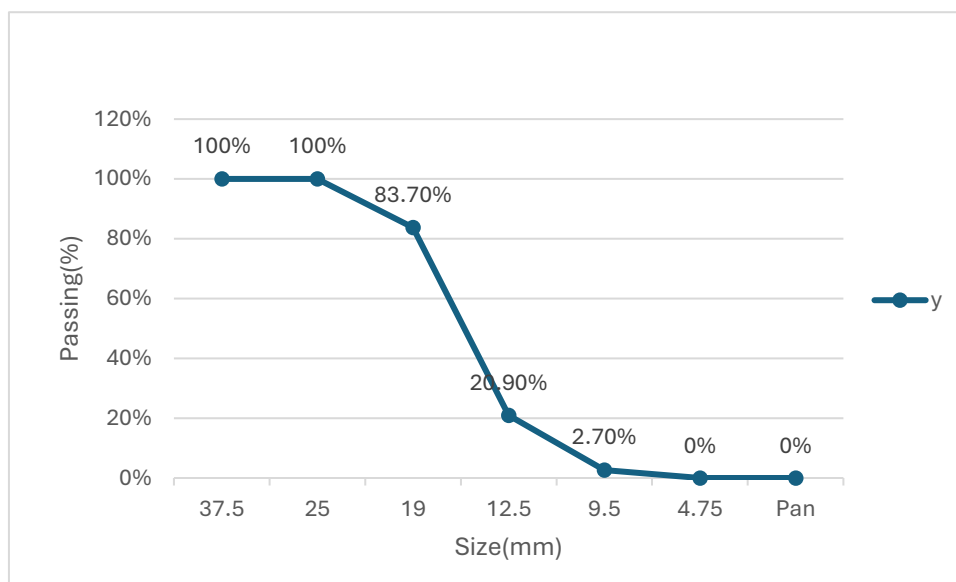
في هذا الباب سوف يتم مناقشة النتائج التي حصلنا عليها من إختبارات المواد الأساسية للخلطة الخرسانية ونتائج مقاومة الضغط للخلطات بعد إضافة مادة الكريستالاين بنسب ().

4-2 نتائج إختبارات المواد:

4-2-1 نتائج إختبار التحليل المنخلي للركام الخشن:

الجدول (4-1) يوضح نتائج إختبار التحليل المنخلي للركام الخشن

فتحة المنخل Mm	وزن المتبقي	نسبة المتبقي %	وزن المار	نسبة المار %
37.5	0	0	2000	100
25	0	0	2000	100
19	327	16.35	1673	83.7
12.5	1255	62.75	418	20.9
9.5	365	18.25	53	2.7
4.75	53	2.65	0	0
Pan	0	0	0	0

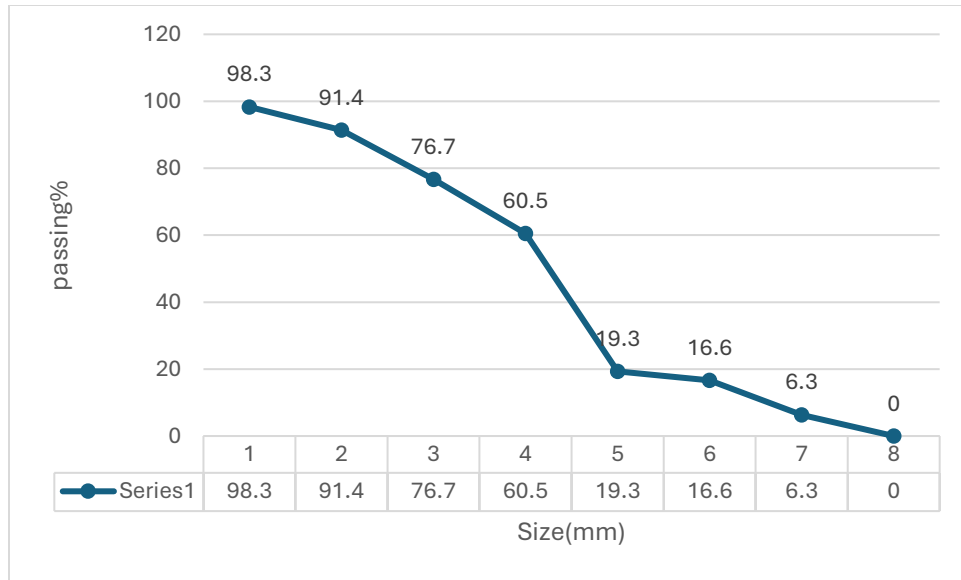


الشكل (4-1) يوضح نتائج إختبار التدرج الحبيبي للركام الخشن

2-2-4 نتائج إختبار التحليل المنخلي للركام الناعم:

الجدول (4-2) يوضح نتائج إختبار التحليل المنخلي للركام الناعم

فتحة المنخل Mm	وزن المتبقي G	نسبة المتبقي %	وزن المار G	نسبة المار %
4.75	34	1.7	1963	98.3
2.36	67	3.35	1896	91.4
1.18	364	18.23	1532	76.7
0.600	324	16.22	1208	60.5
0.300	822	41.16	386	19.3
0.150	55	2.75	331	16.6
0.075	205	10.26	126	6.3
Pan	126	6.3	0	0



الشكل (2-4) يوضح نتائج إختبار التدرج الحبيبي للركام الناعم

3-2-4 نتائج إختبار الوزن النوعي والإمتصاص للركام الخشن:

الجدول (3-4) يوضح نتائج إختبار الوزن النوعي والإمتصاص

المواصفات البريطانية	2000 g	وزن العينة (C)
–	1998 g	وزن العينة جافة السطح (A)
–	1234 g	وزن العينة المغمورة (B)
–	1990 g	وزن العينة الجافة بالفرن (D)
2.9–2.6	2.604	الوزن النوعي
لا يتجاوز 0.5%	0.4	الإمتصاص

4-2-4 الوزن النوعي للركام الناعم:

تم إجراء الإختبار على عينة:

الجدول (4-4) يوضح نتائج إختبار الوزن النوعي للركام الناعم

No	Weight (g)
M1	305
M2	365
M3	542
M4	505
Result	2.60

4-2-5 نتائج إختبارات الاسمنت:

الجدول (4-5) يوضح نتائج إختبارات الأسمنت

المواصفات البريطانية	النتيجة	الإختبار
45-120 دقيقة	50 دقيقة	الشك الابتدائي
لا يزيد عن 10 ساعات	265 دقيقة	الشك النهائي
(5-7) mm	5 mm	القوام القياسي

4-3 نتائج إختبارات الخرسانة:

4-3-1 نتائج إختبارات الخرسانة الطازجة (إختبار الهبوط):

بعد إجراء إختبار قابلية التشغيل للخلطة (الهبوط) وُجد أن قيمة الهبوط 80 ملم وهو ضمن الحدود الحدود التصميمية (60-180) ملم .

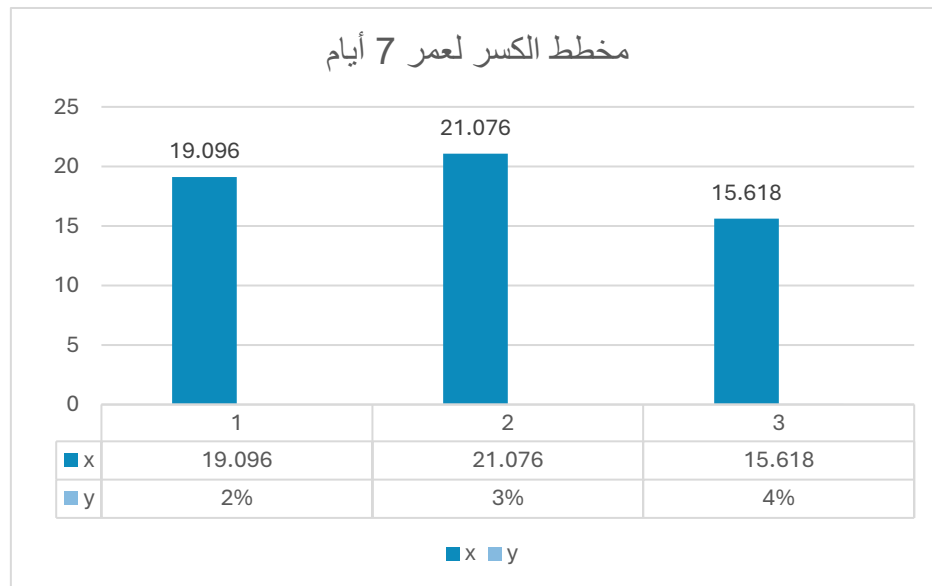
4-3-2 نتائج إختبارات الخرسانة المتصلدة (إختبار مقاومة الضغط):

يوضح جدول رقم (4-6) نتائج إختبار مقاومة الضغط للخرسانة لعمر 7 أيام وشكل رقم (4-3) نتائج إختبار مقاومة الضغط للخرسانة لعمر 7 أيام ، و جدول رقم (4-7) يوضح نتائج إختبار مقاومة الضغط للخرسانة لعمر 28 يوم وشكل رقم (4-4) يوضح نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 28 يوم، و جدول رقم (4-8) يوضح نتائج إختبار مقاومة الضغط للخرسانة لعمر 90 يوم وشكل رقم (4-5) يوضح نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 90 يوم.

الجدول (4-6) يوضح نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 7 أيام

الخطأ	رقم المكعب	الحمل (KN)	المقاومة (MPa)	متوسط المقاومة (MPa)
المرجعية	1	350.114	15.561	15.337
	2	335.745	14.922	
	3	349.375	15.528	
%2	1	390.523	17.357	19.096
	2	483.605	21.494	
	3	414.856	18.438	
%3	1	475.239	21.122	21.076
	2	516.076	22.937	
	3	431.289	19.168	
%4	1	386.391	17.173	15.618
	2	356.615	15.850	
	3	311.221	13.832	

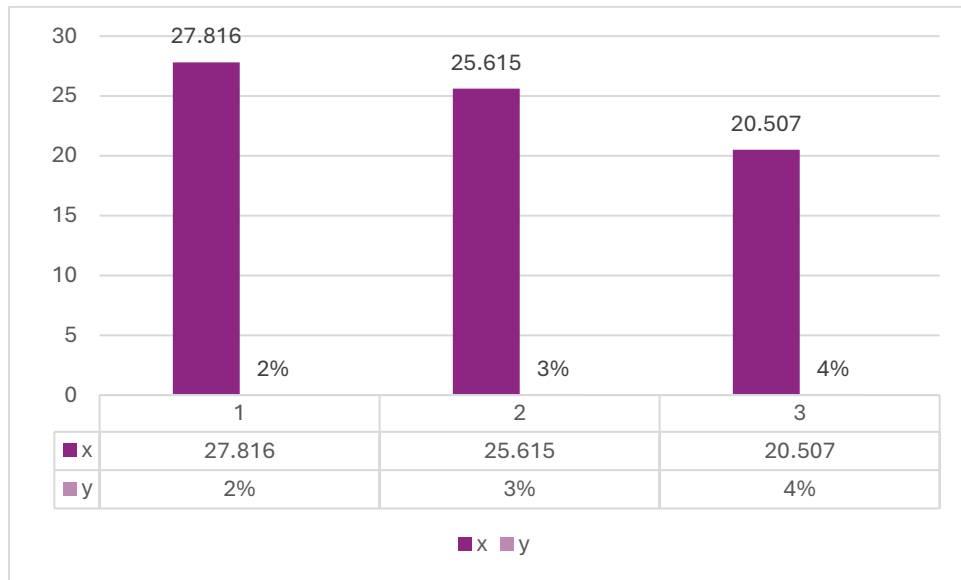
الشكل (4-3) نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 7 أيام



الجدول (7-4) يوضح نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 28 يوم

الخطأ	رقم المكعب	الحمل (KN)	المقاومة (MPa)	متوسط المقاومة (MPa)
المرجعية	1	525.549	23.358	23.746
	2	508.948	22.620	
	3	568.355	25.260	
2%	1	651.9	28.973	27.821
	2	607.998	27.022	
	3	618.218	27.470	
3%	1	570.400	25.351	25.615
	2	568.899	25.284	
	3	589.871	26.210	
4%	1	456.100	20.271	20.507
	2	458.751	20.389	
	3	469.368	20.861	

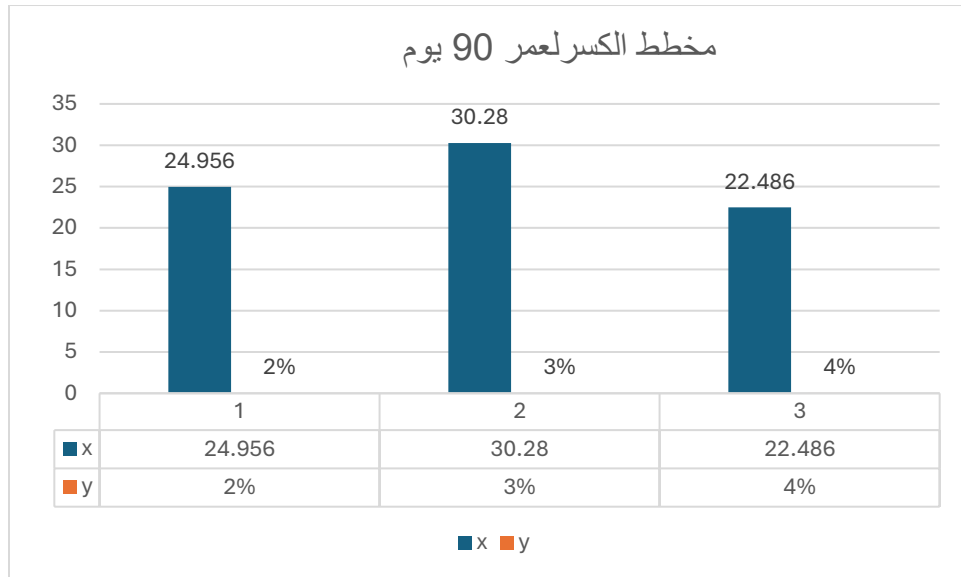
الشكل (4-4) يوضح نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 28 يوم



الجدول (8-4) يوضح نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 90 يوم

الخطأ	رقم المكعب	الحمل (KN)	المقاومة (MPa)	متوسط المقاومة (MPa)
المرجعية	1	563.872	28.194	24.993
	2	443.950	22.198	
	3	491.765	24.588	
%2	1	453.255	22.663	24.956
	2	550.028	27.501	
	3	494.110	24.705	
%3	1	542.938	27.143	30.280
	2	629.806	31.490	
	3	644.168	32.208	
%4	1	527.143	23.429	22.486
	2	496.924	22.085	
	3	493.791	21.946	

الشكل (4-5) يوضح نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 90 يوم.



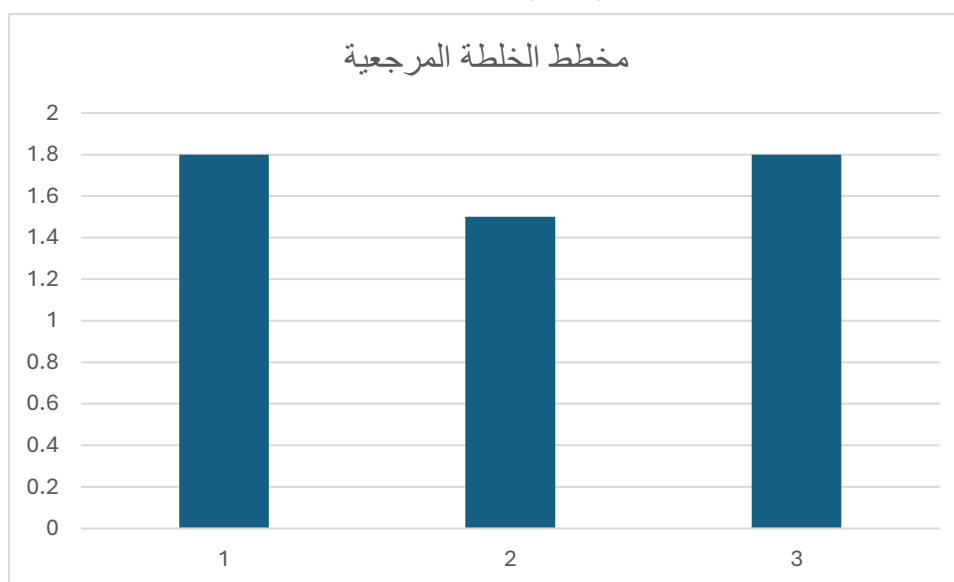
4-3-3 نتائج إختبارات الخرسانة المتصلدة (إختبار الإمتصاص):

يوضح جدول رقم (4-9) نتائج إختبار الإمتصاص للخلطة المرجعية لعمر 28 يوم كما يوضح شكل رقم (4-6) نتائج الإمتصاص للخلطة المرجعية، ويوضح جدول رقم (4-10) نتائج إختبار الإمتصاص للخلطة المضاف إليها 2% من مادة الكريستالين لعمر 28 يوم كما يوضح شكل رقم (4-7) نتائج إختبار الإمتصاص لخلطة 2% من مادة الكريستالين ، ويوضح جدول رقم (4-11) نتائج إختبار الإمتصاص للخلطة المضاف إليها 3% من مادة الكريستالين لعمر 28 يوم كما يوضح شكل رقم (4-8) نتائج إختبار الإمتصاص لخلطة 3% من مادة الكريستالين ، ويوضح جدول رقم (4-12) نتائج إختبار الإمتصاص للخلطة المضاف إليها 4% من مادة الكريستالين لعمر 28 يوم كما يوضح شكل رقم (4-9) نتائج إختبار الإمتصاص لخلطة 4% من مادة الكريستالين.

الجدول (9-4) يوضح نتائج إختبار الإمتصاص للخلطة المرجعية لعمر 28 يوم

المكعب	نسبة الإمتصاص (%)	متوسط نسبة الإمتصاص (%)
1	1.8	1.7
2	1.5	
3	1.8	

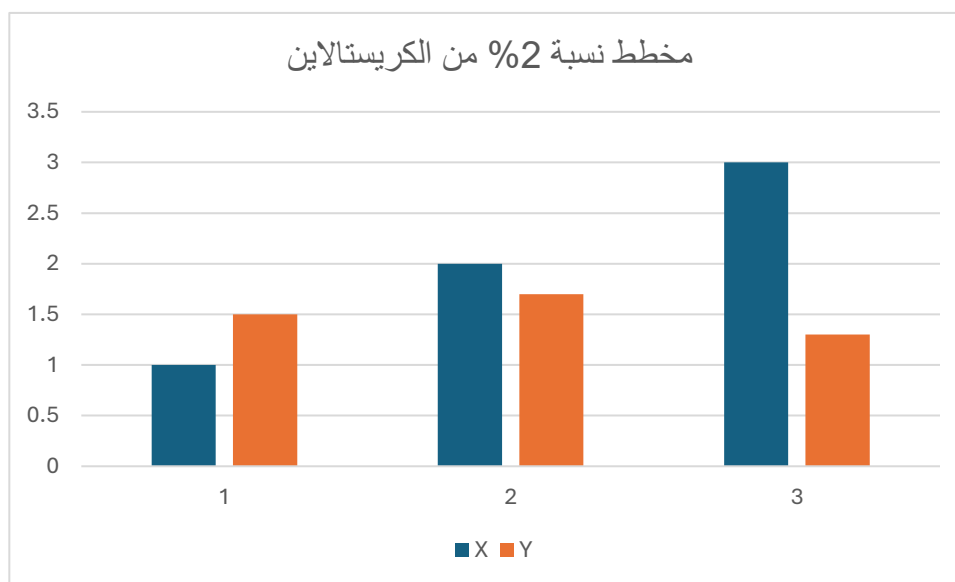
الشكل (6-4) يوضح نتائج الإمتصاص للخلطة المرجعية



الجدول (4-10) يوضح نتائج اختبار الإمتصاص للخلطة المضاف إليها 2% من مادة الكريستالين

متوسط نسبة الإمتصاص (%)	نسبة الإمتصاص (%)	المكعب
1.5	1.5	1
	1.7	2
	1.3	3

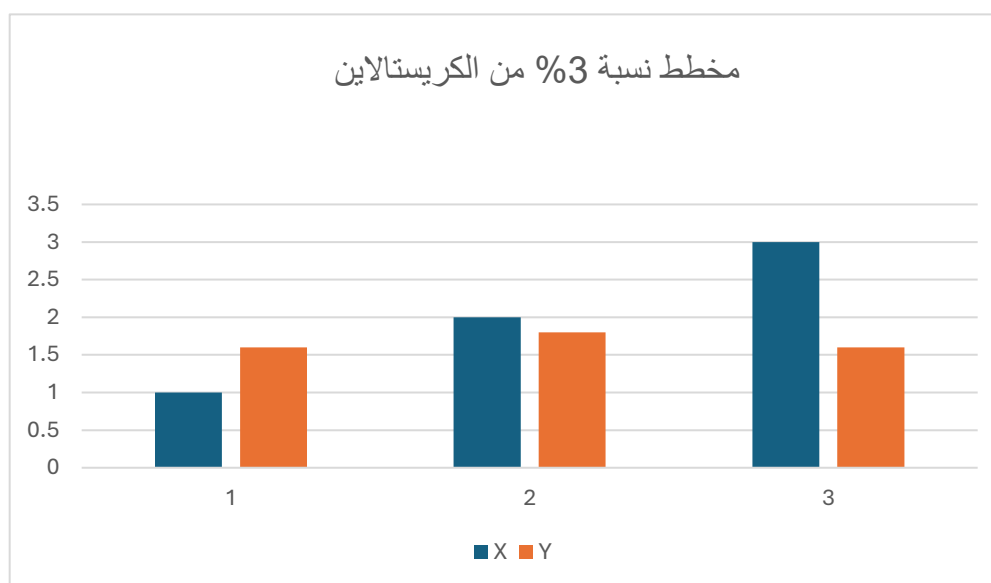
الشكل (4-7) يوضح نتائج اختبار الإمتصاص لخلطة 2% من مادة الكريستالين



الجدول (4-11) يوضح نتائج إختبار الإمتصاص للخلطة المضاف إليها 3% من مادة الكريستالين

المكعب	نسبة الإمتصاص (%)	متوسط نسبة الإمتصاص (%)
1	1.6	1.7
2	1.8	
3	1.6	

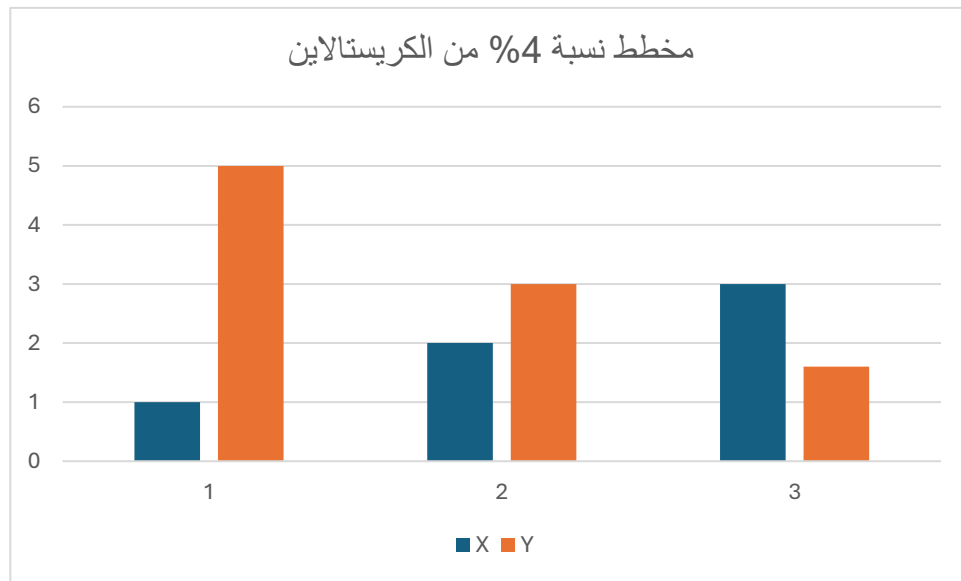
الشكل (4-8) يوضح نتائج إختبار الإمتصاص لخلطة 3% من مادة الكريستالين



الجدول (4-12) يوضح نتائج اختبار الإمتصاص للخلطة المضاف إليها 4% من مادة الكريستالين

المكعب	نسبة الإمتصاص (%)	متوسط نسبة الإمتصاص (%)
1	5	3.2
2	3	
3	1.6	

الشكل (4-9) يوضح نتائج اختبار الإمتصاص لخلطة 4% من مادة الكريستالين



4-4 مناقشة النتائج:

4-4-1 نتائج إختبارات المواد:

من خلال نتائج إختبارات المواد الأساسية المستخدمة في الخلطة الخرسانية، يمكن ملاحظة أن خصائص الركام والأسمنت تقع ضمن الحدود المقبولة حسب المواصفات القياسية، مما يدل على صلاحية هذه المواد للاستخدام في الخرسانة.

بالنسبة لنتائج التحليل المنخلي للركام الخشن والناعم، يتضح أن التدرج الحبيبي جيد ومتدرج بصورة مناسبة، حيث يساعد ذلك في تقليل الفراغات بين الحبيبات وبالتالي تحسين الكثافة وزيادة مقاومة الخرسانة. كما أن التدرج يقع ضمن الحدود المسموح بها، مما يحقق قابلية تشغيل جيدة.

أما فيما يتعلق بـ الوزن النوعي والإمتصاص للركام الخشن، فقد بلغت قيمة الوزن النوعي (2.604) وهي ضمن المجال الطبيعي، بينما كانت نسبة الإمتصاص (0.4%) وهي أقل من الحد الأقصى المسموح به (0.5%)، وهذا يدل على أن الركام قليل المسامية ولن يؤثر سلباً على نسبة الماء في الخلطة.

وبالنسبة للركام الناعم، فقد بلغ الوزن النوعي (2.60)، وهي قيمة طبيعية تشير إلى جودة الرمل المستخدم وخلوه من الشوائب الضارة.

كما أظهرت نتائج إختبارات الأسمنت أن زمن الشك الابتدائي (50 دقيقة) وزمن الشك النهائي (265 دقيقة) يقعان ضمن الحدود القياسية، بالإضافة إلى أن القوام القياسي (5 مم) مناسب، مما يدل على أن الأسمنت المستخدم ذو جودة جيدة ويؤدي الغرض المطلوب في التفاعل والإمهاء.

4-4-2 مناقشة نتائج إختبارات الخرسانة الطازجة:

من خلال نتائج إختبار الهبوط (Slump Test)، وُجد أن قيمة الهبوط بلغت (80 ملم)، وهي ضمن المجال التصميمي (60-180 ملم)، مما يدل على أن الخلطة الخرسانية تمتلك قابلية تشغيل جيدة.

كما تعكس هذه القيمة توازن مناسب بين كمية الماء والمواد الأخرى، حيث أن الهبوط لم يكن منخفضاً بشكل يؤدي إلى صعوبة التشغيل، ولا مرتفعاً بشكل يسبب انفصال حبيبي. إضافة مادة الكريستالين لم تؤثر بشكل كبير على قابلية التشغيل ضمن النسب المستخدمة، مما يدل على إمكانية استخدامها دون التأثير السلبي على خواص الخرسانة الطازجة.

3-4-4 مناقشة نتائج إختبارات الخرسانة المتصلدة:

1-3-4-4 مناقشة نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 7 أيام:

من خلال النتائج، نلاحظ أن الخلطة المرجعية أعطت مقاومة متوسطة بلغت حوالي (15.337 MPa). عند إضافة مادة الكريستالين بنسبة (2%) و (3%) حدث تحسن ملحوظ في مقاومة الضغط، حيث سجلت أعلى القيم عند نسبة (3%).

أما عند زيادة النسبة إلى (4%)، فقد لوحظ انخفاض في المقاومة مقارنة بنسبة (3%)، مما يشير إلى أن الزيادة الكبيرة في المادة المضافة قد تؤثر سلباً على ترابط مكونات الخرسانة في الأعمار المبكرة.

2-3-4-4 مناقشة نتائج إختبار مقاومة الضغط لعمر 28 يوم:

أظهرت النتائج أن مقاومة الضغط للخلطة المرجعية بلغت حوالي (23.746 MPa)، بينما سجلت الخلطات المضاف لها الكريستالين تحسناً ملحوظاً، خاصة عند نسبة (2%) حيث حققت أعلى مقاومة.

أما نسبة (3%) فقد أعطت مقاومة قريبة من المرجعية، في حين أن نسبة (4%) أدت إلى انخفاض واضح في المقاومة، مما يدل على أن النسبة المثلى للإضافة تقع بين (2% - 3%).

4-4-3-3 مناقشة نتائج اختبار مقاومة الضغط لعمر 90 يوم:

تشير نتائج عمر 90 يوم إلى استمرار تطور مقاومة الخرسانة مع الزمن نتيجة استمرار تفاعلات الإماهة. وقد سجلت الخلطة بنسبة (3%) أعلى مقاومة مقارنة ببقية الخلطات، مما يدل على أن هذه النسبة تعطي أفضل أداء على المدى الطويل.

بينما ظلت نسبة (4%) أقل في الأداء، مما يؤكد أن الزيادة المفرطة في المادة المضافة لا تعطي نتائج إيجابية.

وبشكل عام ومن خلال تحليل جميع النتائج، يمكن استنتاج أن إضافة مادة الكريستالين لها تأثير إيجابي على مقاومة الخرسانة، خاصة عند النسب الصغيرة (2% و 3%)، حيث تعمل على تحسين البنية الداخلية للخرسانة وتقليل المسامية.

كما أن أفضل نسبة إضافة من خلال هذه الدراسة هي (2% - 3%)، حيث تعطي توازن بين مقاومة الضغط وقابلية التشغيل. أما النسب العالية مثل (4%) فقد تؤدي إلى نتائج عكسية بسبب زيادة المواد الناعمة أو التأثير على التفاعل الداخلي للخرسانة.

4-4-3-4 مناقشة نتائج اختبار الإمتصاص للمكعبات الخرسانية:

تم إجراء اختبار الامتصاص على مكعبات الخرسانة بعد عمر (28 يوم) لجميع الخلطات وهي:

1. الخلطة المرجعية، وخلطات مضاف إليها مادة الكريستالين بنسب (2%، 3%، 4%)،

وذلك لدراسة تأثير الإضافة على مسامية الخرسانة وقدرتها على امتصاص الماء، من خلال النتائج المتحصل عليها، يُلاحظ أن الخلطة المرجعية سجلت أعلى قيمة امتصاص مقارنة ببقية الخلطات، مما يدل على وجود نسبة فراغات أعلى داخل التركيب الداخلي للخرسانة.

2. عند إضافة مادة الكريستالين بنسبة (2%)، لوحظ انخفاض في نسبة الامتصاص، ويعزى ذلك إلى قدرة المادة على ملء المسامات الدقيقة داخل الخرسانة، مما يؤدي إلى تقليل نفاذية الماء وتحسين الكثافة.

3. أما عند نسبة (3%)، فقد تم تسجيل أقل قيمة للامتصاص بين جميع الخلطات، مما يشير إلى أن هذه النسبة تعتبر النسبة المثلى، حيث تحقق أفضل تحسين في البنية الداخلية للخرسانة وتقلل من الفراغات بشكل فعال.

4. في المقابل، عند زيادة نسبة الكريستالين إلى (4%)، لوحظ ارتفاع طفيف في نسبة الامتصاص مقارنة بنسبة (3%)، إلا أنها لا تزال أقل من الخلطة المرجعية. ويمكن تفسير ذلك بأن الزيادة الكبيرة في المادة المضافة قد تؤدي إلى عدم تجانس الخلطة أو زيادة المحتوى الناعم، مما يؤثر على توزيع المسام داخل الخرسانة.

بشكل عام، توضح النتائج أن إضافة مادة الكريستالين تساهم بشكل ملحوظ في تقليل امتصاص الماء، وبالتالي تحسين متانة الخرسانة وزيادة مقاومتها للعوامل البيئية، خاصة عند النسب المثلى (2% - 3%).

الفصل الخامس

الخلاصة والتوصيات

الباب الخامس

1-5 الخلاصة:

من خلال الدراسة التي تم إجراؤها لتحليل سلوك الخرسانة بإضافة مادة الكريستالين بنسب مختلفة (2%، 3%، 4%)، وباعتماد على نتائج إختبارات المواد، الخرسانة الطازجة، والخرسانة المتصلدة، يمكن استخلاص النتائج التالية:

1. أظهرت نتائج إختبارات المواد الأولية (الركام والأسمنت) أنها تقع ضمن حدود المواصفات القياسية، مما يؤكد صلاحيتها للاستخدام في الخلطات الخرسانية.
2. بينت نتائج إختبار الهبوط أن جميع الخلطات تمتلك قابلية تشغيل جيدة، حيث كانت قيمة الهبوط ضمن الحدود المسموح بها، مما يدل على أن إضافة مادة الكريستالين لم تؤثر سلباً على تشغيلية الخرسانة.
3. أظهرت نتائج مقاومة الضغط تحسناً ملحوظاً عند إضافة مادة الكريستالين، خاصة عند النسب (2% و 3%)، حيث سجلت هذه الخلطات مقاومات أعلى مقارنة بالخلطة المرجعية في مختلف الأعمار.
4. حققت الخلطة بنسبة (3%) أفضل أداء من حيث مقاومة الضغط على المدى الطويل (28 و 90 يوم)، مما يشير إلى كفاءة هذه النسبة في تحسين خواص الخرسانة.
5. لوحظ أن زيادة نسبة الإضافة إلى (4%) أدت إلى انخفاض في مقاومة الضغط مقارنة بالنسب الأقل، مما يدل على أن الزيادة المفرطة في المادة المضافة تؤثر سلباً على خواص الخرسانة.
6. أظهرت نتائج إختبار الامتصاص انخفاضاً في نسبة امتصاص الماء عند إضافة مادة الكريستالين، خاصة عند نسبة (3%)، مما يدل على تحسن البنية الداخلية وتقليل المسامية.

7. بشكل عام، يمكن القول أن إضافة مادة الكريستالين تساهم في تحسين مقاومة الخرسانة وتقليل نفاذيتها، وبالتالي زيادة متانتها وعمرها الافتراضي.

5-2 التوصيات:

بناءً على النتائج التي تم التوصل إليها في هذه الدراسة، يمكن تقديم التوصيات التالية:

1. يُوصى باستخدام مادة الكريستالين في الخلطات الخرسانية لما لها من دور فعال في تحسين مقاومة الضغط وتقليل امتصاص الماء.
2. تعتبر النسبة المثلى لإضافة الكريستالين هي (2% - 3%)، حيث تعطي أفضل أداء من حيث المقاومة والمتانة.
3. يُفضل تجنب استخدام نسب عالية مثل (4%) أو أكثر، لما لها من تأثير سلبي على بعض خواص الخرسانة.
4. يُنصح بإجراء المزيد من الدراسات على تأثير مادة الكريستالين على خواص أخرى للخرسانة مثل مقاومة الشد والانكماش والنفاذية على المدى الطويل.
5. ضرورة الالتزام بنسب الخلط والتدرج الحبيبي المناسب للركام لضمان الحصول على أفضل النتائج.
6. يوصى باستخدام هذه المادة في المنشآت المعرضة للمياه أو البيئات القاسية مثل الخزانات والمنشآت البحرية.
7. الاهتمام بعمليات المعالجة الجيدة للخرسانة، لما لها من تأثير كبير في تحسين الخواص الميكانيكية والدوامية.

المراجع

1. الأستاذ الدكتور محمود إمام، الخرسانة (الخواص - الجودة - الاختبارات)، دار الكتب، القاهرة، رقم الإيداع 2002/2804م.
2. أي. إم. نيفيل، خواص الخرسانة (مواد الخرسانة وصناعتها)، ترجمة مؤسسة المعاهد الفنية، البصرة.
3. أحمد العريان، عبدالكريم عطا، تكنولوجيا الخرسانة (الخرسانة المسلحة وصناعتها)، عالم الكتب، القاهرة، الطبعة الثانية، 1995م.
4. حسين محمد جمعة، إضافات وكيميائيات الخرسانة، دار الكتب، القاهرة، 2007م.
5. ويكيبيديا، الموسوعة الحرة: www.wikipedia.com
6. محمد أحمد عبد الرحمن، تقنية الخرسانة الحديثة واختباراتها، دار النشر للجامعات، القاهرة، 2010م.
7. عبدالله حسن محمد، تصميم الخلطات الخرسانية وخواصها، دار الفكر العربي، القاهرة، 2012م.

الملاحق

5 Flow chart of procedures 11

Table 1: Concrete mix design form

Job title:

Stage	Item	Reference or calculation	Values		
1	1.1 Characteristic strength	Specified	25 N/mm ² at 28 days		
	1.2 Standard deviation	Fig 3	Proportion defective 5 %		
	1.3 Margin	C1 or Specified	8 N/mm ² or no data		
	1.4 Target mean strength	C2	(k = 1.64) 1.64 × 8 = 13.2 N/mm ²		
	1.5 Cement strength class	Specified	42.5/52.5		
	1.6 Aggregate type: coarse Aggregate type: fine		Crushed/uncrushed Crushed/uncrushed		
	1.7 Free-water/cement ratio	Table 2, Fig 4	0.54		
	1.8 Maximum free-water/cement ratio	Specified	0.6		
			Use the lower value 0.5		
2	2.1 Slump or Vebe time	Specified	Slump 30 - 60 mm or Vebe time s		
	2.2 Maximum aggregate size	Specified	mm		
	2.3 Free-water content	Table 3	17.5 kg/m ³		
3	3.1 Cement content	C3	325 kg/m ³		
	3.2 Maximum cement content	Specified	350 kg/m ³		
	3.3 Minimum cement content	Specified	290 kg/m ³		
			use 3.1 if ≤ 3.2 use 3.3 if > 3.1		
	3.4 Modified free-water/cement ratio		kg/m ³		
4	4.1 Relative density of aggregate (SSD)		2.6 known/assumed		
	4.2 Concrete density	Fig 5	2390 kg/m ³		
	4.3 Total aggregate content	C4	2390 - 17.5 - 350 = 1865 kg/m ³		
5	5.1 Grading of fine aggregate	Percentage passing 600 µm sieve	60.5 %		
	5.2 Proportion of fine aggregate	Fig 6	31 %		
	5.3 Fine aggregate content	C5	0.31 × 1865 = 578.15 kg/m ³		
	5.4 Coarse aggregate content		1865 - 578.15 = 1286.85 kg/m ³		
Quantities		Cement (kg)	Water (kg or litres)	Fine aggregate (kg)	Coarse aggregate (kg)
		14	7	23.126	51.474
per m ³ (to nearest 5 kg)					
per trial mix of 0.04 m ³					

Items in *italics* are optional limiting values that may be specified (see Section 7).

Concrete strength is expressed in the units N/mm², 1 N/mm² = 1 MPa, (N = newton, Pa = pascal).

The internationally known term 'relative density' used here is synonymous with 'specific gravity' and is the ratio of the mass of a given volume of substance to the mass of an equal volume of water.

SSD = based on the saturated surface-dry condition.

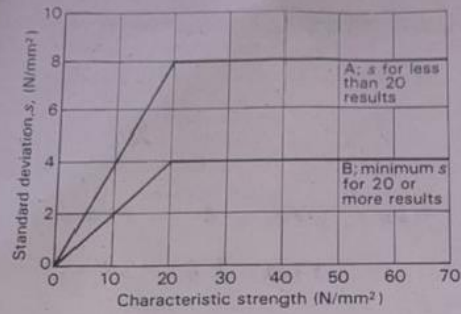


Figure 3
Relationship between standard deviation and characteristic strength

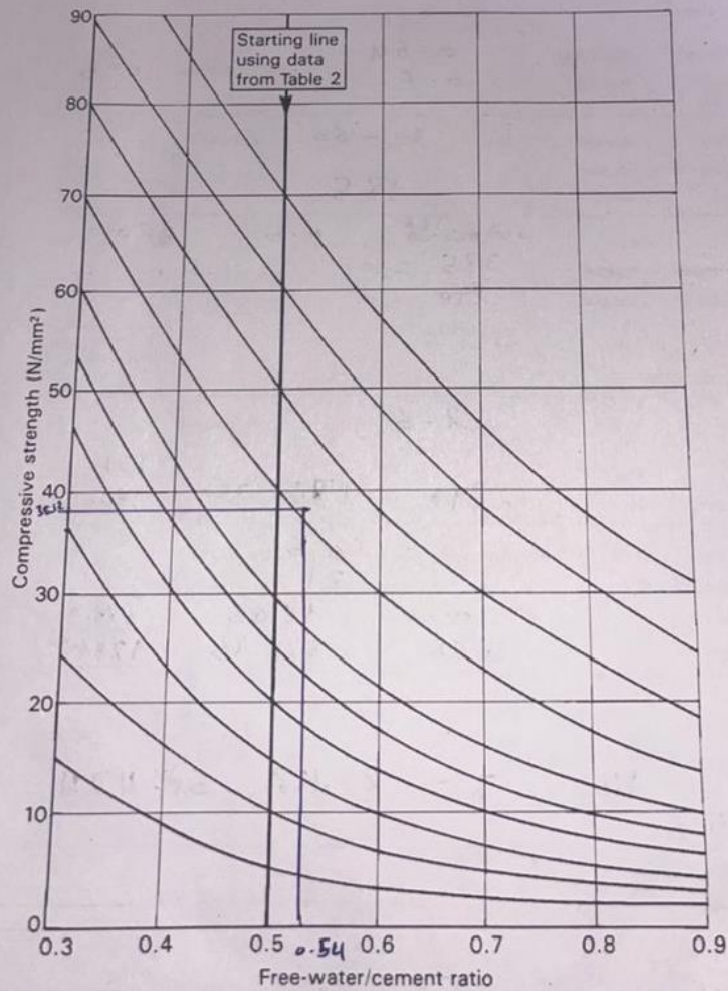


Figure 4
Relationship between compressive strength and free-water/cement ratio

Table 2: Approximate compressive strengths (N/mm²) of concrete mixes made with a free-water/cement ratio of 0.5

Cement strength class	Type of coarse aggregate	Compressive strength (N/mm ²)			
		3	7	28	91
42.5	Uncrushed	22	30	42	49
	Crushed	27	36	49	56
52.5	Uncrushed	29	37	48	54
	Crushed	34	43	55	61

Throughout this publication concrete strength is expressed in the units N/mm².
1 N/mm² = 1 MPa/m² = 1 MPa. (N = newton; Pa = Pascal.)

corresponding value for the free-water/cement ratio can then be read from the abscissa. This should be compared with any maximum free-water/cement ratio that may be specified and the lower of these two values used.

5.2 Selection of free-water content (Stage 2)

Stage 2 consists simply of determining the free-water content from Table 3 depending upon the type and maximum size of the aggregate to give a concrete of the specified slump or Vebe time.

5.3 Determination of cement content (Stage 3)

The cement content is determined from calculation C3:

$$\text{Cement content} = \frac{\text{free-water content}}{\text{free-water/cement ratio}} \quad \dots C3$$

The resulting value should be checked against any maximum or minimum value that may be specified. If the calculated cement content from C3 is below a specified minimum, this minimum value must be adopted and a modified free-water/cement ratio calculated which will be less than that determined in Stage 1. This will result in a concrete that has a mean strength somewhat higher than the target mean strength. Alternatively, the free-water/cement ratio from Stage 1 is used resulting in a

Table 3: Approximate free-water contents (kg/m³) required to give various levels of workability

to give various levels of workability					
Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Vebe time (s)		>12	6-12	3-6	0-3
Maximum size of aggregate (mm)	Type of aggregate				
10	Uncrushed	150	180	205	225
	Crushed	180	205	230	250
20	Uncrushed	135	160	180	195
	Crushed	170	190	210	225
40	Uncrushed	115	140	160	175
	Crushed	155	175	190	205

Note: When coarse and fine aggregates of different types are used, the free-water content is estimated by the expression:

$$\frac{1}{2} W_f + \frac{1}{2} W_c$$

where W_f = free-water content appropriate to type of fine aggregate
and W_c = free-water content appropriate to type of coarse aggregate.

higher free-water content and increased workability.

On the other hand, if the design method indicates a cement content that is higher than a specified maximum then it is probable that the specification cannot be met simultaneously on strength and workability requirements with the selected materials. Consideration should then be given to changing the type or strength class, or both, of cement, the type and maximum size of aggregate or the level of workability of the concrete, or to the use of a water-reducing admixture.

5.4 Determination of total aggregate content (Stage 4)

Stage 4 requires an estimate of the density of the fully compacted concrete which is obtained from Figure 5 depending upon the free-water content and the relative density* of the combined aggregate in the saturated surface-dry condition (SSD). If no information is available regarding the relative density of the aggregate, an approximation can be made by assuming a value of 2.8 for uncrushed aggregate and 2.7 for crushed aggregate. From this estimated density of the concrete the total aggregate content is determined from calculation C4:

$$\text{Total aggregate content (saturated and surface-dry)} = D - C - W \quad \dots C4$$

where D = the wet density of concrete (kg/m³)
 C = the cement content (kg/m³)
 W = the free-water content (kg/m³)

5.5 Selection of fine and coarse aggregate contents (Stage 5)

Stage 5 involves deciding how much of the total aggregate should consist of materials smaller than 5 mm, i.e. the sand or fine aggregate content. Figure 6 shows recommended values for the proportion of fine aggregate depending on the maximum size of aggregate, the workability level, the grading of the fine aggregate (defined by its percentage passing a 600 µm sieve) and the free-water/cement ratio. The best proportion of fines to use in a given mix will depend on the shape of the particular aggregate, the actual grading of shape of the particular aggregate, the actual grading of the fine aggregate and the use to which the concrete is to be put. However, adoption of a proportion obtained from Figure 6 will generally give a satisfactory concrete in the first trial mix which can then be adjusted as required for the exact conditions prevailing.

The final calculation, C5, to determine the fine and coarse aggregate contents, is made using the proportion of fine aggregate obtained from Figure 6 and the total aggregate content derived in Stage 4:

*The internationally known term 'relative density' used in this publication is synonymous with 'specific gravity' and is the ratio of the mass of a given volume of substance to the mass of an equal volume of water.

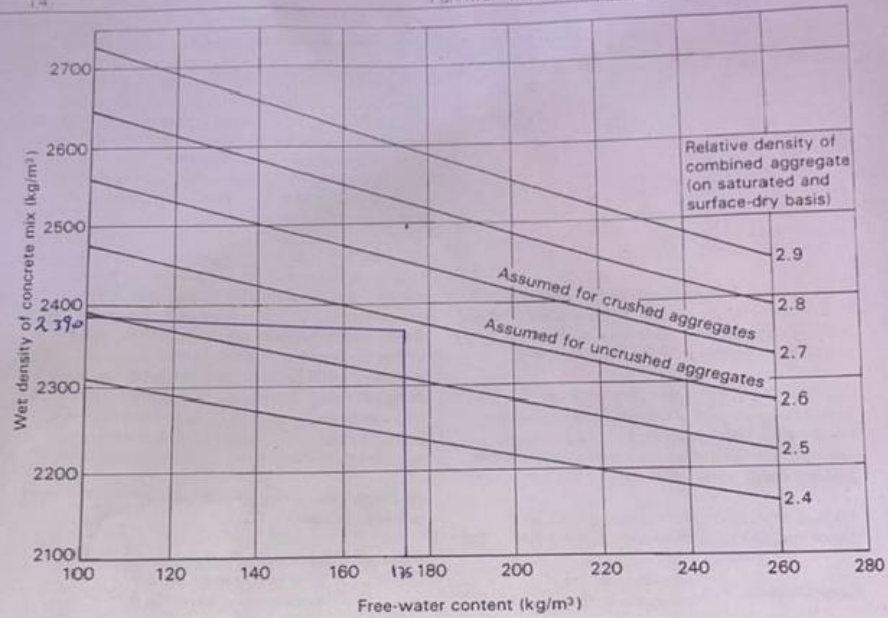
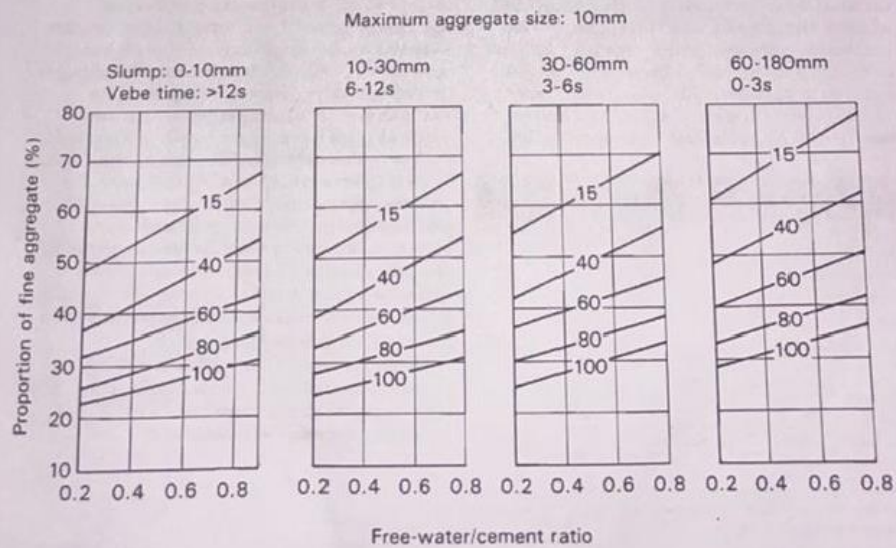


Figure 5 Estimated wet density of fully compacted concrete

Figure 6 Recommended proportions of fine aggregate according to percentage passing a 600 μm sieve

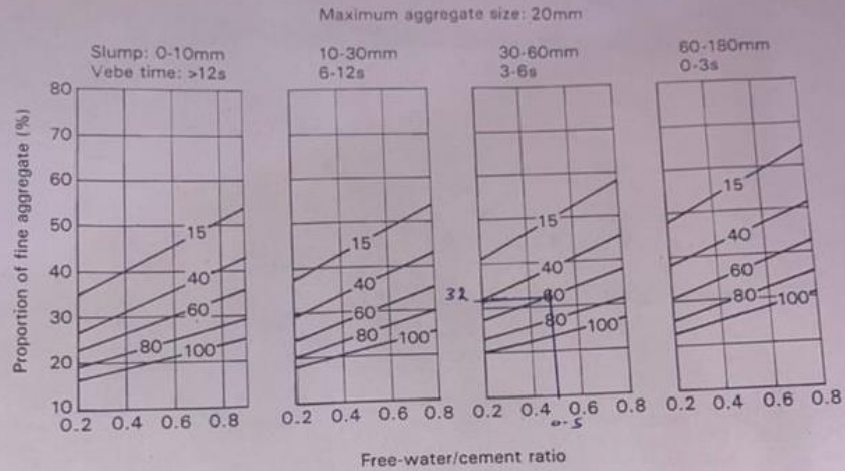


Figure 6 (continued)

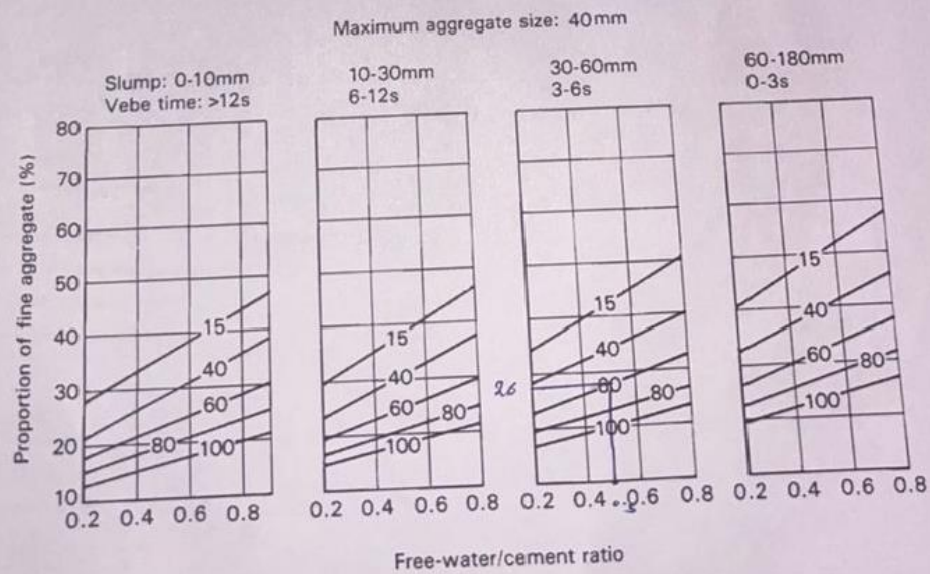


Figure 6 (continued)





