



بسم الله الرحمن الرحيم



إنتاج خرسانة عالية المقاومة باستخدام الإضافات

Production of High-Strength Concrete Using Admixtures

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس مرتبة الشرف في الهندسة المدنية

إعداد :

حامد محمد سليمان الصافي

عبدالعزیز حسن عبدالعزیز الصافي

محمد عبدالوهاب العقيد محمد

وعد مبارك عبدالقادر فضل

المشرف

أ. زينب مصطفى

كلية الهندسة

جامعة الشيخ عبدالله البدری

أبريل 2026

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ ﴾

(المجادلة: 11)

﴿ فِي بَضْعِ سِنِينَ ۖ لِلَّهِ الْأَمْرُ مِنْ قَبْلُ وَمِنْ بَعْدُ ۚ وَيَوْمَئِذٍ يَفْرَحُ الْمُؤْمِنُونَ ﴾

(الروم : 4)

الإهداء

إلى أولئك الذين لم يروا الطريق، لكنهم آمنوا أنني سأصل.
إلى الأرواح التي مشيت معي بخطاها أو بدعائها،
إلى من احتملوا غيابي، وانكساراتي، وصممتي الطويل في مواسم الانشغال.
إلى أُمي، التي كانت الحلم حين تلاشى الأمل،
وأبي، الذي كان يقف في ظلي كي لا أتعث،
إلى كل من شكّلت كلماته أو سكوته فارقاً، ولو صغيراً، في أن أكمل الطريق.
إلى معلمي الكرام، من منحوني من نور علمهم، ومن وسّعت صدورهم أخطائي
قبل إنجازاتي،
إلى روح الشيخ عبد الله البدري مؤسس الجامعة
إلى كل أستاذ وضع لبنة في هذا البناء،
وإلى جامعة الشيخ عبد الله البدري، هذا الصرح الذي احتواني، وشكّلني، وكان
بيئة لنضجي الفكري والإنساني.
إلى الوجد الذي صقلني، والفشل الذي أعادني لنفسِي،
إلى كل لحظة ظننت أنني لن أتجاوزها... وها أنا أحتفل بها.
أهدي هذا التخرج لمن شاركني الرحلة، وإن لم يصل معي إلى المحطة.
هذا الإنجاز ليس نهاية... بل بداية لمجال أرحب من الحلم

الشكر والعرفان

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، وبعونه وتوفيقه أنجزنا هذا العمل العلمي المتواضع، الذي كان ثمرة جهد ممتد، ومحصلة دعم ومساندة من قلوب آمنت بنا ووقفت إلى جانبنا.

أتقدّم بخالص الشكر والتقدير إلى مشرف/ مشرفي هذا البحث، الذين لم يخلوا علينا بعلمهم، ووقتهم، وتوجيهاتهم القيمة التي كان لها عظيم الأثر في إنجاز هذا العمل..

كما أعبر عن بالغ امتناني لكل أعضاء هيئة التدريس في جامعة الشيخ عبد الله البدري، الذين نهلنا من علمهم، وتعلمنا منهم معنى الجدية والبحث والدقة.

ولا يسعني إلا أن أخص بالشكر عائلتي العزيزة، التي كانت دوماً السند والدافع الأول، بتشجيعهم، وصبرهم، ودعائهم، الذي رافقني في كل خطوة

كما أشكر زملائي وزميلاتي الذين كانوا عوناً في تبادل المعرفة والتجارب، فكانوا جزءاً لا يتجزأ من هذه الرحلة.

هذا الجهد – وإن بدا فردياً في شكله – إلا أنه نتاج جماعي من الحب والدعم والعلم والتوجيه. فلكل من كان له يدٌ، أو كلمة، أو دعاء... لكم كل الشكر والعرفان.

فهرس المحتويات

الترقيم	العنوان	رقم الصفحة
	الآية	I
	الإهداء	II
	الشكر و العرفان	III
	فهرس المحتويات	IV
	فهرس المخططات	V
	فهرس الجداول	VI
	المستخلص	VII
	Abstract	VIII
الباب الاول : المقدمة		
1-1	المقدمة	1
2-1	مشكلة البحث	2
3-1	أهداف البحث	2
4-1	أهمية البحث	3
5-1	حدود البحث	3
6-1	منهجية البحث	4
7-1	هيكل البحث	4
الباب الثاني : الإطار النظري للتقرير		
1-2	مقدمة	6
2-2	تعريف الخرسانة و مكوناتها	6
3-2	تفاعل الإماهة	7
4-2	انواع الخرسانة	7

فهرس المحتويات

8	الخرسانة عالية المقاومة	5-2
8	خصائص الخرسانة عالية المقاومة	6-2
9	مكونات الخرسانة عالية المقاومة	7-2
9	العوامل المؤثرة في الخرسانة عالية المقاومة	8-2
10	مميزات الخرسانة عالية المقاومة	9-2
10	عيوب الخرسانة عالية المقاومة	10-2
11	إستخدامات الخرسانة عالية المقاومة	11-2
11	الفرق بين الخرسانة العادية و الخرسانة عالية المقاومة	12-2
12	دور الخرسانة عالية المقاومة في التطور الهندسي	13-2
12	نسبة الماء الى الاسمنت	14-2
12	المواد المضافة	15-2
13	الركام و خصائصه	16-2
14	التدرج الحبيبي	17-2
14	نسبة الطين و الطمي	18-2
14	الإمتصاص	19-2
15	تصميم الخلطة الخرسانية	20-2
15	الإختبارات المعملية	21-2
16	الدراسات السابقة	22-2

الباب الثالث : الخطة التحليلية وآلية حل مشكلة المشروع

18	مقدمة	1-3
18	المواد المستخدمة	2-3

فهرس المحتويات

19	الاختبارات على المواد	3-3
20	تصميم الخلطات الخرسانية	4-3
21	خطوات اعداد الخلطة الخرسانية	5-3
21	المضاف الكيميائي (PMM PLAST SP50)	6-3
23	المضاف الكيميائي (ADECRETE B2)	7-3
25	برادة الحديد	8-3
27	صب العينات	9-3
28	المعالجة	10-3
28	الخلطات التجريبية	11-3
31	آلية تحليل النتائج	12-3
الباب الرابع : النتائج		
33	مقدمة	1-4
33	مرحلة اختبارات المواد (الركام الناعم)	2-4
40	مرحلة اختبارات الركام الخشن	3-4
41	مرحلة اختبارات الخرسانة الطازجة	4-4
43	مخرجات مرحلة اختبار مقاومة الضغط	5-4
الباب الخامس : تحليل النتائج و التوصيات		
58	نتائج الدراسة	1-5
59	التوصيات	2-5
60	المراجع	
61	الملاحق	

فهرس المخططات

الترقيم	العنوان	رقم الصفحة
1-4	مخطط التدرج الحبيبي للركام الناعم العينة الاولى	34
2-4	مخطط التدرج الحبيبي للركام الناعم العينة الثانية	36
3-4	مخطط التدرج الحبيبي للركام الناعم العينة الثالثة	38
4-4	مخطط التدرج الحبيبي للركام الخشن	41
5-4	مقارنة مقاومة الضغط ل 7 ايام بالمضاف SP50	52
6-4	مقارنة مقاومة الضغط ل 28 ايام بالمضاف SP50	53
7-4	تطور مقاومة الضغط للخلطتين M6,M7 عند 7 و 28 يوم	54
8-4	العلاقة التناسبية بين نسبة الماء و الاسمنت و المقاومة	56

فهرس الجداول

الترقيم	عنوان الجدول	الصفحة
1-3	نسب الخلطة للعينه المرجعية بدون اضافات	28
2-3	نسب الخلطات مع المضاف PMM PLAST SP50	29
3-3	نسب الخلطات مع المضاف ADECRETE B2	30
1-4	التحليل المنخلي للركام الناعم العينه الاولى	33
2-4	التحليل المنخلي للركام الناعم العينه الثانية	35
3-4	التحليل المنخلي للركام الناعم العينه الثالثة	37
4-4	نسبة الطين و الطمي للعينه الاولى	38
5-4	نسبة الطين و الطمي للعينه الثانية	39
6-4	نسبة الطين و الطمي للعينه الثالثة	39
7-4	التحليل المنخلي للركام الخشن	40
8-4	مرحلة اختبار الهبوط	42
9-4	مقاومة الضغط للخلطة M0 ل 7 ايام	44
10-4	مقاومة الضغط للخلطة M0 ل 28 ايام	44
11-4	مقاومة الضغط للخلطة M1 ل 7 ايام	45
12-4	مقاومة الضغط للخلطة M1 ل 28 ايام	45
13-4	مقاومة الضغط للخلطة M2 ل 7 ايام	46
14-4	مقاومة الضغط للخلطة M2 ل 28 ايام	46

47	مقاومة الضغط للخلطة M3 ل 7 ايام	15-4
47	مقاومة الضغط للخلطة M3 ل 28 ايام	16-4
48	مقاومة الضغط للخلطة M4 ل 7 ايام	17-4
48	مقاومة الضغط للخلطة M4 ل 28 ايام	18-4
49	مقاومة الضغط للخلطة M5 ل 7 ايام	19-4
49	مقاومة الضغط للخلطة M5 ل 28 ايام	20-4
50	مقاومة الضغط للخلطة M6 ل 7 ايام	21-4
50	مقاومة الضغط للخلطة M6 ل 28 ايام	22-4
51	مقاومة الضغط للخلطة M7 ل 7 ايام	23-4
51	مقاومة الضغط للخلطة M7 ل 28 ايام	24-4
55	العلاقة التناسبية بين نسبة الماء و الاسمنت و مقاومة الضغط في 28 يوم	25-4

المستخلص :-

تُعد الخرسانة عالية المقاومة (High Strength Concrete - HSC) ركيزة أساسية في تطوير المنشآت الهندسية الحديثة التي تتطلب كفاءة إنشائية فائقة. يهدف هذا البحث إلى دراسة إنتاج خرسانة عالية المقاومة باستخدام الموارد المحلية المتوفرة، مع التركيز على دور المضافات الكيميائية الحديثة وإدماج المخلفات الصناعية لتحقيق مبدأ الاستدامة الهندسي. تكمن مشكلة البحث في ندرة الاعتماد على الخرسانة عالية المقاومة في المشاريع المحلية رغم توفر الركام الجيد، وذلك بسبب نقص الدراسات حول التوليفات المثالية للمواد المضافة.

اعتمدت منهجية البحث على الجانب المختبري التحليلي، حيث تم تصميم ونمذجة الخلطات التجريبية M0 إلى M7 بهدف الوصول إلى مقاومة ضغط مستهدفة قدرها 45 N/mm^2 شملت الدراسة استخدام نوعين من الملدنات الفائقة (Superplasticizers) هما PMM PLAST SP50 و Adicrete B2، مع خفض نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) لتصل إلى مستويات دنيا بلغت (0.33). كما تم ابتكار خلطة هجينة بإضافة برادة الحديد بنسبة 10% كبديل ميكانيكي لتدعيم المصفوفة الإسمنتية وتقليل المسامية.

أظهرت النتائج المختبرية عند عمر (28) يوماً نجاحاً استثنائياً؛ حيث تجاوزت المقاومة المحققة السقف التصميمي المستهدف بشكل ملحوظ. وقد سجلت الخلطة M7 المعتمدة على Adicrete B2 أعلى مقاومة ضغط في البحث بوصولها إلى 47.33 N/mm^2 ، متبوعة بالخلطة M5 التي أثبتت فيها برادة الحديد كفاءة عالية في رفع المقاومة لتصل إلى 42.22 N/mm^2 أثبتت الدراسة وجود علاقة عكسية وطيدة بين نسبة الماء والقدرة التحميلية، حيث ساهمت الملدنات الفائقة في تحويل البنية الإسمنتية من مادة مسامية إلى كتلة صلبة عالية الكثافة دون التأثير على قابلية التشغيل (Slump).

يخلص البحث إلى أن استخدام المضافات الكيميائية المتطورة وإعادة تدوير برادة الحديد لا يحسن الخصائص الميكانيكية للخرسانة فحسب، بل يساهم أيضاً في إنتاج خرسانة صديقة للبيئة واقتصادية عبر تقليل أبعاد القطاعات الإنشائية. وبناءً على النتائج، يوصي الباحثون بضرورة اعتماد استخدام الملدنات الفائقة في المشاريع الإنشائية المحلية، والتوسع في دراسة أثر برادة الحديد على ديمومة المنشآت ضد العوامل البيئية القاسية.

Abstract :-

High-Strength Concrete (HSC) represents a fundamental pillar in the development of modern engineering structures that require superior structural efficiency. This research aims to investigate the production of HSC using locally available resources, focusing on the role of advanced chemical admixtures and the integration of industrial waste to achieve engineering sustainability. The research problem lies in the limited adoption of HSC in local projects despite the availability of high-quality aggregates, due to a lack of studies on optimal mix designs and additive combinations.

The research methodology followed a laboratory-analytical approach, where experimental mixes (M0 to M7) were modeled and designed to achieve a target compressive strength of 45 N/mm². The study utilized two types of superplasticizers: PMM PLAST SP50 and Adicrete B2, while reducing the water-to-cement (W/C) ratio to minimum levels of (0.33). Furthermore, a hybrid mix was developed by adding iron filings at a rate of 10% as a mechanical reinforcement to consolidate the cement matrix and reduce porosity.

The experimental results at 28 days showed exceptional success, as the actual achieved strength significantly exceeded the initial design target. The M7 mix (based on Adicrete B2) recorded the highest compressive strength in the research, reaching 47.33N/mm², followed by the M5 mix, where iron filings demonstrated high efficiency in increasing strength to 42.22 N/mm². The study confirmed a strong inverse relationship between the water ratio and load-bearing capacity, as superplasticizers helped transform the cementitious structure from a porous material into a high-density solid mass without affecting workability (Slump).

The research concludes that the use of advanced chemical admixtures and the recycling of iron filings not only improves the mechanical properties of concrete but also contributes to producing environmentally friendly and economical concrete by reducing the dimensions of structural sections. Based on these findings, the researchers recommend adopting the use of superplasticizers in local construction projects and expanding studies on the effect of iron filings on the long-term durability of structures against harsh environmental condition

الباب الاول

المقدمة

INTRODUCTIO

1-1 المقدمة :-

تُعد الخرسانة من أهم مواد البناء المستخدمة في العصر الحديث، حيث تشكل العنصر الأساسي في معظم المنشآت الهندسية مثل المباني والجسور والطرق والسدود، وذلك لما تتمتع به من خصائص ميكانيكية متميزة أبرزها مقاومتها العالية للضغط وسهولة تشكيلها وتوفر مكوناتها. ومع التطور المستمر في مجال الهندسة المدنية وازدياد الحاجة إلى إنشاء منشآت ذات ارتفاعات كبيرة وأحمال عالية، أصبح من الضروري تطوير خصائص الخرسانة التقليدية للوصول إلى أداء أفضل يلبي هذه المتطلبات.

كأحد أهم (High Strength Concrete - HSC) ومن هنا ظهرت الخرسانة عالية المقاومة التطورات في تكنولوجيا الخرسانة، حيث تتميز بقدرتها العالية على تحمل الأحمال، ومتانتها الكبيرة، وانخفاض نفاديتها، مما يساهم في زيادة العمر الافتراضي للمنشآت وتقليل تكاليف الصيانة. ويعتمد إنتاج هذا النوع من الخرسانة بشكل أساسي على تقليل نسبة الماء إلى الإسمنت، واستخدام مواد مضافة كيميائية ومعدنية مثل الملدنات الفائقة، التي تعمل على تحسين قابلية التشغيل وزيادة الكثافة والمقاومة.

وعلى الرغم من المزايا الكبيرة التي توفرها الخرسانة عالية المقاومة، إلا أن هناك العديد من التحديات المرتبطة بإنتاجها، مثل صعوبة التشغيل، وارتفاع التكلفة، والحاجة إلى دقة عالية في اختيار المواد ونسب الخلط، بالإضافة إلى نقص الدراسات المحلية التي تتناول استخدام المواد المتوفرة في البيئة المحلية.

بناءً على ذلك، يهدف هذا البحث إلى دراسة إمكانية إنتاج خرسانة عالية المقاومة باستخدام مواد محلية مع إضافة بعض المواد المحسنة، وتحليل تأثير هذه الإضافات على الخواص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة، وذلك من خلال إجراء مجموعة من التجارب المعملية وفق منهجية علمية دقيقة، بهدف الوصول إلى خلطات خرسانية تحقق مقاومة عالية وتكون مناسبة للاستخدام في المشاريع الإنشائية المختلفة.

2-1 مشكلة البحث (Problem Statement) :-

على الرغم من الاستخدام الواسع للخرسانة التقليدية، إلا أنها تواجه عدة مشكلات، مثل محدودية مقاومتها للأحمال العالية، وزيادة احتمالية التشققات، وتأثرها بالعوامل البيئية المختلفة. كما أن إنتاج الخرسانة عالية المقاومة يواجه تحديات، منها ارتفاع التكلفة، وصعوبة التحكم في جودة الخلط، والحاجة إلى مواد مضافة قد لا تكون متوفرة بسهولة في البيئة المحلية. بناءً على ذلك، تتمثل مشكلة البحث في محاولة إيجاد طريقة فعالة لإنتاج خرسانة عالية المقاومة باستخدام مواد متاحة محلياً، مع تحسين خصائصها الميكانيكية والفيزيائية، وبأقل تكلفة ممكنة.

3-1 أهداف البحث (Objectives) :-

الهدف الرئيسي:

- إنتاج خرسانة عالية المقاومة باستخدام مواد محلية وإضافات محسنة .

الأهداف الفرعية:

- دراسة تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت على مقاومة الخرسانة .
- تحليل دور الملدنات الفائقة في تحسين قابلية التشغيل .
- مقارنة بين الخرسانة التقليدية والخرسانة عالية المقاومة .
- تقييم الخواص الميكانيكية مثل مقاومة الضغط .
- الوصول إلى أفضل خلطة خرسانية تحقق أعلى مقاومة ممكنة .

4-1 أهمية البحث (Significance of the Study) :-

تكمن أهمية هذا البحث في الجوانب التالية:

- **الأهمية العلمية:**
يساهم في إثراء المعرفة في مجال تكنولوجيا الخرسانة، خاصة فيما يتعلق بالخرسانة عالية المقاومة .
- **الأهمية العملية:**
يساعد المهندسين في تصميم خلطات خرسانية ذات مقاومة عالية باستخدام مواد متوفرة محليًا .
- **الأهمية الاقتصادية:**
يساهم في تقليل تكاليف الصيانة وزيادة عمر المنشآت .

5-1 حدود البحث (Scope and Limitations) :-

نطاق البحث:

- يركز البحث على إنتاج خرسانة عالية المقاومة باستخدام مواد محلية .
- دراسة تأثير بعض الإضافات الكيميائية مثل الملدنات الفائقة .
- إجراء اختبارات معملية لتحديد الخواص الميكانيكية .

حدود البحث :-

- يقتصر على أنواع محددة من المواد المتوفرة .
- يعتمد على عدد معين من الخلطات التجريبية .
- لا يشمل جميع أنواع الإضافات أو الظروف البيئية .

6-1 منهجية البحث (Research Methodology) :-

يعتمد هذا البحث على المنهج التجريبي، حيث يتم تنفيذ مجموعة من التجارب المعملية لدراسة خصائص الخرسانة عالية المقاومة.

وتشمل خطوات البحث ما يلي:

1. جمع المعلومات النظرية من الكتب والأبحاث السابقة .
2. اختيار المواد المستخدمة في الخلطات الخرسانية .
3. تصميم خلطات مختلفة بنسب محددة .
4. تحضير العينات الخرسانية وصبها في القوالب .
5. إجراء المعالجة (Curing) للعينات .
6. تنفيذ الاختبارات المعملية مثل اختبار مقاومة الضغط .
7. تحليل النتائج ومقارنتها للوصول إلى أفضل أداء .

7-1 هيكل البحث (Organization of the Study) :-

يتكون هذا البحث من خمسة فصول رئيسية، وهي:

- الفصل الأول: المقدمة، ويتناول الخلفية العامة، مشكلة البحث، الأهداف، والأهمية .
- الفصل الثاني: الاطار النظري والدراسات السابقة .
- الفصل الثالث: الخطة التحليلية و آلية حل مشكلة المشروع (التصميم) .
- الفصل الرابع: التنفيذ و النمذجة و الاختبار.
- الفصل الخامس: تحليل النتائج و التوصيات
- المراجع و الملاحق .

الباب الثاني

الاطار النظري للتقرير

(The Theoretical Framework)

1-2 مقدمة :-

يهدف هذا الفصل إلى تقديم الأسس النظرية المتعلقة بالخرسانة، مع التركيز على الخرسانة عالية المقاومة، ومكوناتها، والعوامل المؤثرة على خصائصها، بالإضافة إلى استعراض المواد المضافة ودورها في تحسين الأداء. كما يتناول الفصل أهم المفاهيم المرتبطة بتصميم الخلطات الخرسانية والاختبارات المعملية.

2-2 تعريف الخرسانة ومكوناتها :-

الخرسانة هي مادة إنشائية مركبة تتكون من خليط متجانس من الإسمنت، والركام (الناعم والخشن)، والماء، بالإضافة إلى المواد المضافة. وعند خلط هذه المكونات بنسب محددة، يحدث تفاعل كيميائي بين الماء والإسمنت يُعرف بالإمالة، مما يؤدي إلى تصلب الخرسانة واكتسابها المقاومة.

مكونات الخرسانة:

1 - الإسمنت :

يُعتبر الإسمنت المادة الرابطة الأساسية، وأكثر الأنواع استخدامًا هو الإسمنت البورتلاندي العادي، الذي يتميز بقدرته على التفاعل مع الماء وتكوين مادة صلبة.

2 - الركام :

يمثل الركام الجزء الأكبر من الخرسانة، وينقسم إلى:

• ركام ناعم (الرمال)

• ركام خشن (الزلط)

3 - الماء :

يلعب دورًا أساسيًا في تفاعل الإمالة، كما يؤثر على قابلية التشغيل.

4 - المواد المضافة :

تُعد من المكونات الأساسية في الخرسانة الحديثة، حيث تُستخدم لتحسين الخصائص المختلفة.

3-2 تفاعل الإماهة (Hydration) :-

تفاعل الإماهة هو التفاعل الكيميائي الذي يحدث بين الماء والإسمنت، وينتج عنه مواد تساعد على تماسك الخرسانة واكتسابها القوة.

ومن أهم نواتج هذا التفاعل:

• جل سيليكات الكالسيوم (C-S-H)

• هيدروكسيد الكالسيوم

ويعتبر هذا التفاعل مسؤولاً بشكل رئيسي عن تطور مقاومة الخرسانة مع الزمن.

4-2 أنواع الخرسانة :-

تنقسم الخرسانة إلى عدة أنواع، منها:

• الخرسانة العادية

• الخرسانة المسلحة

• الخرسانة عالية المقاومة

• الخرسانة خفيفة الوزن

• الخرسانة ذاتية الدمك

5-2 الخرسانة عالية المقاومة (HSC) :-

التعريف :-

تُعرّف الخرسانة عالية المقاومة بأنها الخرسانة التي تمتلك مقاومة ضغط أعلى من الخرسانة التقليدية، وغالبًا ما تتجاوز مقاومتها 40 ميغاباسكال عند عمر 28 يومًا. ويتم إنتاج هذا النوع من الخرسانة باستخدام مواد عالية الجودة وتقنيات متقدمة في تصميم الخلطات.

6-2 خصائص الخرسانة عالية المقاومة :-

تتميز الخرسانة عالية المقاومة بعدة خصائص تجعلها مناسبة للاستخدام في المنشآت المتقدمة، ومن أهم هذه الخصائص :-

- مقاومة ضغط عالية:
- تُعتبر الخاصية الأساسية، حيث تتحمل أحمالًا كبيرة مقارنة بالخرسانة العادية .
- متانة عالية (Durability):
- تتميز بقدرتها على مقاومة العوامل البيئية مثل الرطوبة والمواد الكيميائية .
- انخفاض النفاذية:
- بسبب الكثافة العالية، مما يقلل من تسرب الماء والمواد الضارة .
- مقاومة أفضل للتآكل:
- خصوصًا في البيئات القاسية مثل المناطق الساحلية .
- مقاومة عالية للتشقق:
- نتيجة لتحسين البنية الداخلية للخرسانة .

7-2 مكونات الخرسانة عالية المقاومة :-

تعتمد الخرسانة عالية المقاومة على نفس مكونات الخرسانة التقليدية، ولكن مع تحسين الجودة واستخدام نسب دقيقة، وتشمل:

- إسمنت عالي الجودة
 - ركام ذو تدرج جيد ونظيف
 - ماء بنقاوة عالية
 - مواد مضافة (كيميائية ومعدنية)
- وتُعتبر المواد المضافة عنصرًا أساسيًا في تحقيق الخصائص المطلوبة.

8-2 العوامل المؤثرة في الخرسانة عالية المقاومة :-

1 - نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C Ratio) :

تُعد العامل الأهم، حيث يؤدي تقليل هذه النسبة إلى زيادة المقاومة، بشرط الحفاظ على قابلية التشغيل باستخدام الملدنات.

2 - نوعية المواد :

جودة الإسمنت والركام تؤثر بشكل مباشر على مقاومة الخرسانة.

3 - المواد المضافة :

تلعب دورًا رئيسيًا في تحسين الأداء، مثل:

- الملدنات الفائقة
- السيليكا فيوم

4 - التدرج الحبيبي :

يساعد التدرج الجيد في تقليل الفراغات وزيادة الكثافة.

5 - المعالجة (Curing) :

تُعتبر المعالجة الجيدة ضرورية لتحقيق المقاومة المطلوبة.

9-2 مميزات الخرسانة عالية المقاومة :-

- تقليل حجم العناصر الإنشائية
- زيادة كفاءة التصميم
- تقليل تكلفة الصيانة
- زيادة العمر الافتراضي للمنشآت

10-2 عيوب الخرسانة عالية المقاومة :-

رغم مزاياها، إلا أن لها بعض التحديات:

- ارتفاع التكلفة مقارنة بالخرسانة العادية
- الحاجة إلى دقة عالية في التنفيذ
- قابلية تشغيل أقل بدون استخدام المضافات
- احتمال حدوث تشققات إذا لم تتم المعالجة بشكل جيد

11-2 استخدامات الخرسانة عالية المقاومة :

تُستخدم في العديد من التطبيقات الهندسية، منها:

- الأبراج وناطحات السحاب
- الجسور
- المنشآت الصناعية
- المنشآت ذات الأحمال العالية

12-2 الفرق بين الخرسانة العادية وعالية المقاومة :-

جدول (1-2)

العنصر	الخرسانة عالية المقاومة	الخرسانة العادية
مقاومة الضغط	عالية جدًا	منخفضة إلى متوسطة
نسبة الماء/الإسمنت	منخفضة	مرتفعة نسبيًا
المتانة	عالية	متوسطة
النفاذية	منخفضة	أعلى
التكلفة	أعلى	أقل

13-2 دور الخرسانة عالية المقاومة في التطور الهندسي :-

ساهمت الخرسانة عالية المقاومة بشكل كبير في تطور الهندسة المدنية، حيث أتاحت إمكانية تصميم منشآت أكثر ارتفاعاً وأكثر قدرة على تحمل الأحمال، كما ساعدت في تحسين كفاءة استخدام المواد وتقليل الأبعاد الإنشائية.

14-2 نسبة الماء إلى الإسمنت (Water/Cement Ratio) :-

تُعتبر من أهم العوامل المؤثرة في مقاومة الخرسانة، حيث:

• كلما قلت النسبة — زادت المقاومة

• كلما زادت النسبة — قلت المقاومة

كما تؤثر على:

• النفاذية

• المتانة

• قابلية التشغيل

15-2 المواد المضافة (Admixtures) :-

أصبحت المواد المضافة عنصراً أساسياً في تصميم الخلطات الخرسانية الحديثة.

أنواعها:

أولاً: إضافات كيميائية :

• ملدنات

• ملدنات فائقة

- مسرعات
- مبطئات
- ثانيًا: إضافات معدنية :
- سيليكات فيوم
- رماد متطاير
- خبث الأفران
- أهميتها:

- تحسين المقاومة
- تقليل الماء
- زيادة المتانة

2-16 الركام وخصائصه :-

يؤثر الركام بشكل كبير على خصائص الخرسانة.

خصائص مهمة:

- التدرج الحبيبي
- الشكل
- الامتصاص
- النظافة

17-2 التدرج الحبيبي (Grading) :-

يُعتبر التدرج الحبيبي من أهم العوامل التي تؤثر على:

- الكثافة
- مقاومة الخرسانة
- تقليل الفراغات

18-2 نسبة الطين والطيني :-

وجود الطين والطيني في الرمل يؤدي إلى:

- تقليل التماسك
- ضعف المقاومة
- زيادة استهلاك الماء

لذلك يجب أن تكون ضمن الحدود المسموح بها.

19-2 الامتصاص (Water Absorption) :-

يمثل الامتصاص قدرة الركام على امتصاص الماء، ويؤثر على:

- كمية الماء في الخلطة
- دقة التصميم
- مقاومة الخرسانة

20-2 تصميم الخلطة الخرسانية (Mix Design) :-

هو عملية تحديد نسب المكونات للحصول على خصائص معينة.

العوامل المؤثرة:

- نسبة الماء للإسمنت

- نوع الركام

- المضافات

21-2 الاختبارات المعملية :-

تشمل:

الاختبارات المعملية للخرسانة :-

- اختبار الهبوط (Slump Test)

لقياس قابلية التشغيل.

- اختبار الكثافة (Density Test)

لتحديد كثافة الخرسانة.

- اختبار مقاومة الضغط (Compressive Strength Test)

تم إجراء الاختبار بعد 7 و 28 يومًا.

22-2 الدراسات السابقة (Previous Studies) :-

اهتم العديد من الباحثين بدراسة الخرسانة عالية المقاومة وطرق تحسين خصائصها، خاصة من خلال تقليل نسبة الماء إلى الإسمنت واستخدام المواد المضافة.

أشارت دراسة أجراها Mehta and Monteiro إلى أن تقليل نسبة الماء إلى الإسمنت يُعد العامل الأساسي في زيادة مقاومة الخرسانة، حيث يؤدي إلى تقليل المسامية وزيادة الكثافة، مما يحسن من الخواص الميكانيكية.

كما أوضحت دراسة Neville أن استخدام الملدنات الفائقة (Superplasticizers) يساهم بشكل كبير في تحسين قابلية التشغيل دون الحاجة إلى زيادة محتوى الماء، مما يؤدي إلى إنتاج خرسانة ذات مقاومة عالية.

وفي دراسة أخرى، وجد Aitcin أن إضافة السيليكا فيوم (Silica Fume) تعمل على تحسين البنية المجهرية للخرسانة، وتقليل الفراغات، وبالتالي زيادة المقاومة والمتانة.

أما على المستوى المحلي، فقد بينت بعض الدراسات أن استخدام المواد المتوفرة محليًا يمكن أن يحقق نتائج جيدة في إنتاج خرسانة عالية المقاومة، ولكن ذلك يتطلب دقة في تصميم الخلطات واختيار النسب المناسبة للمواد والإضافات.

الباب الثالث

الخطة التحليلية و آلية حل مشكلة المشروع

(Design)

1-3 مقدمة :-

يتناول هذا الفصل المواد المستخدمة في إعداد الخلطات الخرسانية، بالإضافة إلى الطرق والإجراءات العملية التي تم اتباعها في تنفيذ التجارب المعملية. كما يشمل وصف الاختبارات التي أُجريت على المواد (الرمل والركام) قبل استخدامها، وذلك لضمان جودتها وصلاحياتها للاستخدام في الخرسانة عالية المقاومة.

2-3 المواد المستخدمة (Materials) :-

تم استخدام مجموعة من المواد الأساسية في إعداد الخلطات الخرسانية، وهي:

• الإسمنت (Cement) :-

تم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي (Ordinary Portland Cement - OPC).

• الركام (Aggregates) :-

○ الركام الناعم (Fine Aggregate):

تم استخدام ثلاث عينات مختلفة من الرمل، وذلك لدراسة تأثير خواص الرمل على أداء الخرسانة.

○ الخشن (Coarse Aggregate):

تم استخدام الحصى (الحجر المكسور) بمقاسات مناسبة ومتدرجة.

• الماء (Water) :-

تم استخدام ماء نظيف وصالح للخلط.

. المواد المضافة (Admixtures) :-

تم استخدام ملدن فائق (Superplasticizer) لتحسين قابلية التشغيل وتقليل نسبة الماء إلى الإسمنت.

3-3 الاختبارات على المواد (Material Testing) :-

قبل استخدام المواد في الخلطات الخرسانية، تم إجراء مجموعة من الاختبارات للتأكد من جودتها:

أولاً: اختبارات الركام الناعم (الرمل) :-

1- اختبار التدرج الحبيبي للرمل (Sieve Analysis for Sand) :-

تم إجراء اختبار التدرج الحبيبي لثلاث عينات مختلفة من الرمل باستخدام مجموعة من المناخل القياسية، وذلك لتحديد توزيع أحجام الحبيبات والتأكد من مطابقتها للمواصفات.

2- اختبار نسبة الطين والطيني (Silt and Clay Content Test) :-

تم إجراء اختبار نسبة الطين والطيني لكل من العينات الثلاثة من الرمل، وذلك لتحديد نسبة المواد الدقيقة التي قد تؤثر سلباً على تماسك الخرسانة ومقاومتها.

ثانياً: اختبارات الركام الخشن

اختبار التدرج الحبيبي للركام (Sieve Analysis for Coarse Aggregate)

تم إجراء اختبار التدرج الحبيبي للركام الخشن باستخدام المناخل القياسية، بهدف التأكد من التدرج المناسب الذي يحقق كثافة جيدة ويقلل الفراغات في الخرسانة.

4-3 تصميم الخلطات الخرسانية (Mix Design) :-

تم تصميم الخلطات الخرسانية باستخدام نسب محددة، مع مراعاة استخدام أنواع الرمل المختلفة لدراسة تأثيرها، بالإضافة إلى استخدام الملدن الفائق PMM PLAST SP50 و ADECRETE B2 .

تم تصميم الخلطة وفق الكود البريطاني (BS) و تم تحديد نسب مكونات الخرسانة عالية المقاومة باتباع خطوات الكود البريطاني المختصرة:

1. المقاومة المستهدفة: حساب المقاومة المطلوبة مع إضافة هامش أمان (Margin) لضمان الجودة.
2. نسبة الماء للإسمنت: (W/C) اختيار أقل نسبة ممكنة لتقليل الفراغات وزيادة القوة.
3. محتوى الماء: تحديد كمية الماء بناءً على "الهبوط" المطلوب، مع خصم نسبة مئوية نتيجة استخدام المحسنات الكيميائية.
4. محتوى الإسمنت: قسمة كمية الماء على نسبة (W/C) ، مع التأكد من الالتزام بالحد الأدنى للمتانة.
5. تحديد الركام: حساب الوزن الكلي للركام (الناعم والخشن) بناءً على الكثافة الكلية للخلطة بعد استبعاد حجم الماء والإسمنت.

وشملت الخلطات:-

- خلطات باستخدام كل نوع من أنواع الرمل
- مقارنة الأداء بين العينات

5-3 خطوات إعداد الخلطة الخرسانية :-

تم تنفيذ الخلط وفق الخطوات التالية:

1. قياس المواد بدقة .
2. خلط الركام والإسمنت .
3. إضافة الماء تدريجيًا .
4. إضافة الملدن الفائق .
5. خلط المكونات حتى التجانس .

6-3 المضاف الكيميائي PMM PLAST SP50 :-

هو مضاف ملدن فائق (High Range Water Reducer – Superplasticizer) من نوع

Polycarboxylate، يهدف إلى:

- أ - تحسين قابلية التشغيل
- ب - تقليل نسبة الماء
- ج - زيادة الكثافة والمقاومة
- د - إنتاج خرسانة عالية الجودة

نسب الإضافة المقترحة 1.5% – 0.5% من وزن الأسمنت.

3-6-1 الوصف:

بي ام ام بلاست اس بي 50 مجهز من بوليمريات مختارة مخصصة لجعل المحتوى المائي للخلطة الخرسانية يعمل بفعالية اكبر, هذه الفعالية تستخدم لتحسين قابلية التشغيل او زيادة المقاومة القصوى.

3-6-2 التطبيقات الاستخدامية:

- أ - نقل الخلطات الخرسانية إلى الأماكن البعيدة.
- ب- إنتاج خرسانة ذات قابلية تشغيل عالية.
- ج - تنفيذ الأعمال الخرسانية في الأجواء الحارة.
- د - الحالات التي تتطلب المحافظة على قابلية التشغيل وتأخير أزمدة الشك.
- هـ - إنتاج خرسانة بكفاءة عالية وديمومة أطول بتقليل النفاذية للماء.
- و- تحسين ترابط وتماسك الخلطات الخرسانية.

3-6-3 المميزات الفنية:

- أ- تحسين قابلية التشغيل مما يقلل من مشاكل الصب وهز الخلطة الخرسانية.
- ب-مقاومة عالية للإجهادات بنفس المحتوى الإسمنتي.
- ج-التوفير بكمية الإسمنت بدون التأثير على مقاومة الخرسانة للإجهادات.
- د- إطالة عمر الخرسانة نتيجة لتقليل النفاذية ونسبة الماء إلى الإسمنت.

3-6-4 إرشادات الجرعة والاستعمال:

- أ-طريقة الإضافة :يجب أن يضاف المنتج مع ماء الخلط للحصول على الأداء المطلوب.
- ب- الدقة :يجب أن تضاف الكمية المحددة بدقة عالية.
- ج-الجرعة الإرشادية :تتراوح بين (0.5-2.5) نسبة مئوية من وزن الإسمنت.

د-التجارب المعملية: يجب إجراء تجارب لتحديد الجرعة المناسبة وفقاً للمواد والظروف المحيطة الواقعية.

هـ-التنظيف: يغسل المنتج بالماء البارد.

و- التوافق: يستخدم مع جميع أنواع الإسمنت البورتلاندي.

5-3-6 تأثير الجرعة المفرطة وأزمة الشك:

عند استخدام جرعة مفرطة:

- يؤدي إلى زيادة ملحوظة في زمن شك الخلطة الخرسانية.
- يؤدي إلى زيادة عالية في قابلية التشغيل للخرسانة.
- لا تتأثر المقاومة القصوى للإجهاد سلبياً، بل تزداد عادةً بشرط المعالجة الصحيحة.

7-3 المضاف الكيميائي ADECRETE B2 :-

إضافة للخرسانة لزيادة سرعة الشك توفى اشتراطات المواصفات القياسية الامريكية والمواصفات الاوروبية والمواصفات القياسية المصرية,

مجال الاستعمال مصانع وحدات الخرسانة الجاهزة وأيضاً مصانع الطوب.

الخواص الفنية: (عند ٢٥°م)

نسبة الهواء المحبوس: أقل من ١٪

التوافق مع الاسمنت: يتوافق مع جميع انواع الاسمنت

معدل الاستهلاك العادى حوالى ١ Kg لكل ٥٠ Kg أسمنت

تسبب الزيادة فى الجرعات المضافة زيادة طفيفة فى مقاومة الخرسانة المبكرة ولا تؤثر هذه الزيادة على المقاومة النهائية للخرسانة

طريقة الاستعمال - يضاف الاديكريت بى ٢ مباشرة أثناء عملية الخلط ويستحسن إضافة هذه الكمية فى نفس وقت إضافة مياه الخلط.

1-7-3 الوصف والتعريف :-

أديكريت B2 هو إضافة كيميائية سائلة للخرسانة، مصممة خصيصاً لزيادة سرعة زمن الشك (Setting Accelerator). تعمل المادة على تعجيل التفاعلات الكيميائية للإسمنت، مما يسمح بفك الفرغ في وقت قياسي وزيادة إنتاجية المصانع.

2-7-3 مجالات الاستعمال:-

- يستخدم المنتج بشكل أساسي في القطاعات التي تتطلب سرعة في التنفيذ وتدوير القوالب:
- مصانع الوحدات الخرسانية الجاهزة (Precast) لسرعة فك القوالب ونقل الوحدات.
- مصانع الطوب الإسمنتي والبردورات: لزيادة معدلات الإنتاج اليومية.
- الأعمال الخرسانية في الأجواء الباردة: للتغلب على بطء شك الإسمنت الناتجة عن انخفاض الحرارة.

3-7-3 تعليمات الاستعمال والجرعة:-

- معدل الاستهلاك العادي: حوالي 1 Kg لكل 50 Kg من الإسمنت (أي بنسبة 2% تقريباً من وزن الإسمنت).
- طريقة الإضافة: يُضاف أديكريت B2 مباشرة إلى خلاطة الخرسانة أثناء عملية الخلط.
- توصية: يُفضل إضافة المادة في نفس وقت إضافة مياه الخلط لضمان التوزيع المتجانس داخل الخلطة.

3-7-4 المميزات والفوائد:-

- السرعة: تقليل زمن الشك الابتدائي والنهائي للخرسانة.
- المقاومة المبكرة: يعطي دفعة قوية للمقاومة في الساعات الأولى، مما يسهل عمليات المناولة.
- الجودة: لا يؤثر سلباً على المقاومة النهائية للخرسانة عند الالتزام بالجرعات.

3-8 برادة الحديد:-

مادة مضافة لتحسين الكثافة والمقاومة الميكانيكية للخرسانة.

3-8-1 الوصف والتعريف:-

برادة الحديد هي عبارة عن مخلفات ناتجة عن عمليات تصنيع وخرائطه المعادن. تُستخدم في التكنولوجيا الخرسانية الحديثة كبديل جزئي للركام الناعم (الرمل) أو كإضافة لتحسين خواص معينة مثل الوزن النوعي، الصلابة، والتوصيل الحراري.

3-8-2 مجالات الاستعمال:-

تُستخدم الخلطات المحتوية على برادة الحديد في تطبيقات خاصة تشمل:

- الخرسانة عالية الكثافة: (Heavyweight Concrete) المستخدمة في قواعد المحركات الكبيرة لامتصاص الاهتزازات.
- التدريع الإشعاعي: في غرف الأشعة والمفاعلات لزيادة قدرة الخرسانة على حجب الإشعاع.
- الأرضيات الصناعية: لزيادة مقاومة السطح للتآكل والبري. (Abrasion Resistance)
- الخرسانة ذات التوصيل الحراري: في أنظمة التدفئة الأرضية أو لتبديد الحرارة في المنشآت الصناعية.

3-8-3 الخواص الفنية المتوقعة (عند دمجها في الخلطة):-

تتغير الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة عند إضافة برادة الحديد بنسب مدروسة (غالباً ما تكون كبديل للرمل بنسبة 5% إلى 20%)، وتكون النتائج الفنية كالتالي:

أ-الكثافة والوزن النوعي(Density)

- الأثر: زيادة ملحوظة في وزن المتر المكعب من الخرسانة.
- التفصيل: بما أن الوزن النوعي للحديد (حوالي 7.8) أعلى بكثير من الرمل (حوالي 2.6)، فإن الكثافة الكلية للخرسانة تزداد، مما يجعلها مثالية لكتل الثقل الموازنة والقواعد التي تحتاج لثبات عالٍ ضد الاهتزاز.

ب- المقاومة الميكانيكية(Mechanical Strength)

- المقاومة للضغط: (Compressive Strength) ترتفع المقاومة بنسبة تتراوح بين 10% إلى 25 % عند نسب الإضافة المثالية، لأن حبيبات الحديد تعمل كمواد مألئة صلبة تدعم الهيكل الخرساني.
- المقاومة للشد والانحناء: (Flexural Strength) تتحسن قدرة الخرسانة على مقاومة التشقق بسبب طبيعة الحديد القوية في تحمل إجهادات الشد مقارنة بالرمل.

ج- المقاومة للبري والاحتكاك(Abrasion Resistance)

- الأثر: زيادة كبيرة في صلادة السطح.
- التفصيل: تصبح الخرسانة أكثر صموداً أمام الاحتكاك الميكانيكي، وهو ما يجعلها الخيار الأول لأرضيات المصانع، والورش، والممرات التي تسير عليها آلات ثقيلة.

د- الخواص الحرارية(Thermal Properties)

- التوصيل الحراري: تزداد قدرة الخرسانة على نقل الحرارة.
- الأثر الفني: تقليل خطر "التدرج الحراري" في الخرسانة الكتلية، كما أنها مفيدة جداً في أنظمة التدفئة تحت الأرضيات.(Underfloor Heating)

هـ- النفاذية والامتصاص (Permeability)

- الأثر: تقليل نفاذية الماء.
- التفصيل: برادة الحديد الناعمة تعمل كمادة مألئة للفراغات البينية (Micro-filler) ، مما يسد المسام الدقيقة ويقلل من امتصاص الخرسانة للسوائل، بشرط الخلط الجيد لمنع التعشيش.

3-8-4 طريقة الاستعمال والجرعة:-

- نسبة الاستبدال: يُنصح عادةً باستبدال 5% إلى 20% من وزن الرمل ببرادة الحديد (حسب الغرض من الاستخدام).
- الخلط: يفضل خلط برادة الحديد مع الرمل والركام "على الجاف" أولاً لضمان توزيعها بانتظام ومنع تكتلها قبل إضافة الماء والإسمنت.
- ملاحظة التنفيذ: الخلطة تصبح أثقل وأقل "تشغيلية" (Workability) ، لذا قد تحتاج لاستخدام ملدن (مثل PMM Plast SP50 الذي ذكرناه سابقاً) للحفاظ على القوام.

3-8-5 المميزات:-

- اقتصادية: استغلال مخلفات المصانع وتقليل تكلفة المواد الخام.
- الصلابة: تعطي سطحاً خرسانياً شديداً الصلابة ومقاوماً للصدمات.
- الثبات: تزيد من ثبات المنشآت المعرضة لقوى دفع أو اهتزاز.

3-9 صب العينات (Casting) :-

تم صب الخرسانة في قوالب مكعبة (150×150×150 مم)، مع استخدام الدمك لإزالة الفراغات.

10-3 المعالجة (Curing) :-

تمت المعالجة بالماء بعد 24 ساعة من الصب، واستمرت لمدة 7 و 28 يوماً.

11-3 الخلطات التجريبية (Trial Batches) :-

بعد الحسابات الورقية، لا بد من عمل خلطة تجريبية في المختبر وكسر مكعبات عند عمر 7 و 28 يوماً للتأكد من أن الحسابات النظرية حققت المقاومة المطلوبة فعلياً.

جدول (1-3): نسب الخلطات للعيينة المرجعية بدون اضافات:

المواد المكونة	نسبة المضاف	الأسمنت (Kg)	الماء (Kg)	الرمل (Kg)	الركام (Kg)
M0		400	207	775	1065

3-11-1 الخلطات باستخدام المضاف (PMM PLAST SP 50) :-

تم إعداد خمسة خلطات بنسب مختلفة من المضاف كما يلي:

جدول (3-2): نسب الخلطات مع المضاف PMM PLAST SP 50 للـ (m³):

المواد المكونة	نسبة المضاف PMM PLAST SP 50	الأسمنت (Kg)	الماء (Kg)	الرمل (Kg)	الركام (Kg)
M1	%1	400	190	775	1065

المواد المكونة	نسبة المضاف PMM PLAST SP 50	الأسمنت (Kg)	الماء (Kg)	الرمل (Kg)	الركام (Kg)
M2	%1	400	190	775	1065

المواد المكونة	نسبة المضاف PMM PLAST SP 50	الأسمنت (Kg)	الماء (Kg)	الرمل (Kg)	الركام (Kg)
M3	%1	400	190	775	1065

المواد المكونة	نسبة المضاف PMM PLAST SP 50	الأسمنت (Kg)	الماء (Kg)	الرمل (Kg)	الركام (Kg)
M4	%1	420	170	775	1065

المواد المكونة	نسبة المضاف		الأسمنت (Kg)	الماء (Kg)	الرمل (Kg)	الركام (Kg)
	SP 50	برادة الحديد				
M5	%1	%10	450	150	775	1065

جدول (3-3):نسب الخلطات مع المضاف أديكريت B2 لل (m³):

المواد المكونة	نسبة المضاف	الأسمنت (Kg)	الماء (Kg)	الرمل (Kg)	الركام (Kg)
M6	%1.2	450	150	775	1065

المواد المكونة	نسبة المضاف	الأسمنت (Kg)	الماء (Kg)	الرمل (Kg)	الركام (Kg)
M7	%1.5	450	150	775	1065

12-3 تحليل النتائج :-

تم تحليل النتائج من خلال:

- مقارنة تأثير أنواع الرمل المختلفة
- دراسة تأثير التدرج الحبيبي
- تقييم تأثير نسبة الطين والطيني
- تحديد أفضل خلطة خرسانية

ملاحظة :- بالنسبة للركام :- تم استخدام ركام مقاس 20 و ركام مقاس 23 مخلوط مع بعضها البعض , في العينات كالآتي :-

للعيينة M1 : بنسبة (2-1) حيث 1 مقاس 20 و 2 مقاس 23

للعيينة M2 : بنسبة (1-2) حيث 1 مقاس 20 و 2 مقاس 23

للعيينة M3 : بنسبة (1-1)

للعيينة M4 : بنسبة (2-1) حيث 1 مقاس 23 و 2 مقاس 20

للعينات M7,M6,M5: تم استخدام ركام مقاس 20

- بالنسبة للرمل :-

العينات M3,M2,M1 تم استخدام العينة (1) من الرمل

العينات M6,M5,M4 تم استخدام العينة (2) من الرمل

العيينة M7 تم استخدام العينة (3) من الرمل

الباب الرابع

التنفيذ و النمذجة و الاختبار

(Execution & Modeling & Testing)

1-4 مقدمة :-

يستعرض هذا الفصل مرحلة الاختبارات المعملية على المواد الأولية (الرمل والركام) وعينات الخرسانة المتصلدة، مع تحليل أثر الإضافات الكيميائية في الوصول لمقاومة عالية.

و لابد من توضيح انه تمت ترجمة مرحلة النمذجة والتنفيذ و الاختبار إلى أرقام ملموسة من خلال إخضاع المواد الأولية وعينات الخرسانة المتصلدة للاختبارات المعملية ، وذلك للوقوف على مدى كفاءة الإضافات الكيميائية وبرادة الحديد في رفع قدرة التحمل

2-4 مرحلة اختبارات المواد (الركام الناعم) :-

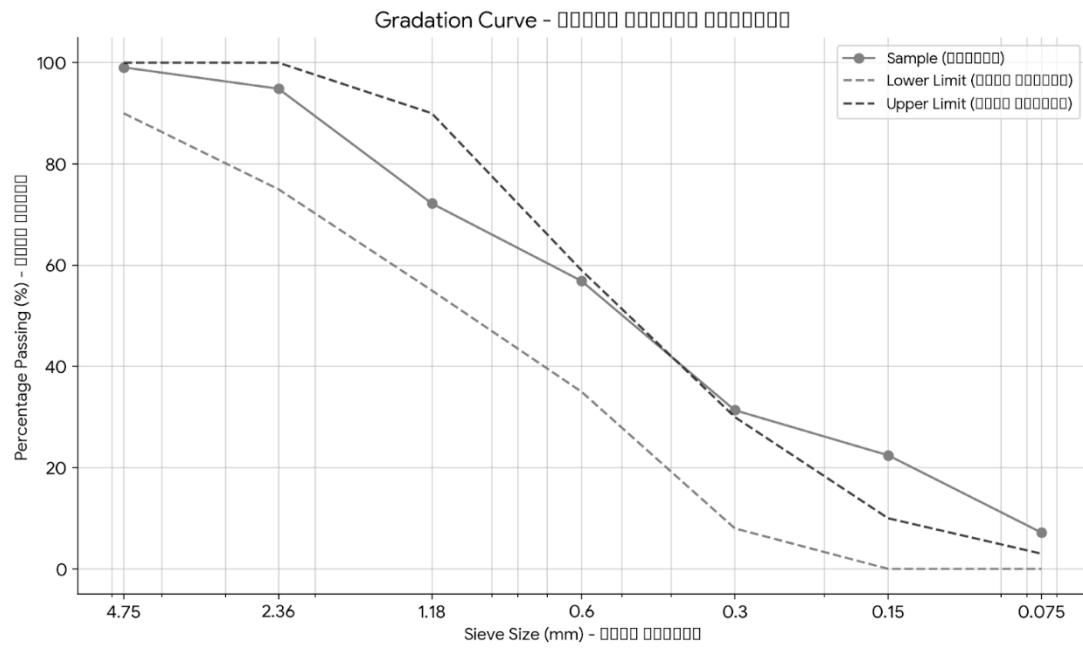
1-2-4 التدرج الحبيبي للرمل :- تم استخدام ثلاث عينات رمل مختلفة

جدول (1-4): التحليل المنخلي للركام الناعم عينة (1)

وزن العينة-----1000 جرام

المنخل(mm)	المتبقي	الوزن المار	النسبة %	المواصفات القياسية (PS)
4.75	9.26	989.15	99.07%	100-90
2.36	41.98	947.17	94.86%	100-75
1.18	226.36	720.81	72.19%	90-55
0.60	152.77	568.04	56.89%	59-35
0.30	255	313.04	31.35%	30-8
0.15	88.9	224.14	22.44%	10-0
0.075	152.64	71.5	7.16%	3-0
PAN	71.5	0	0 %	-
TOTAL	998.41			

يلاحظ ان الرمل المستخدم : ZONE 2



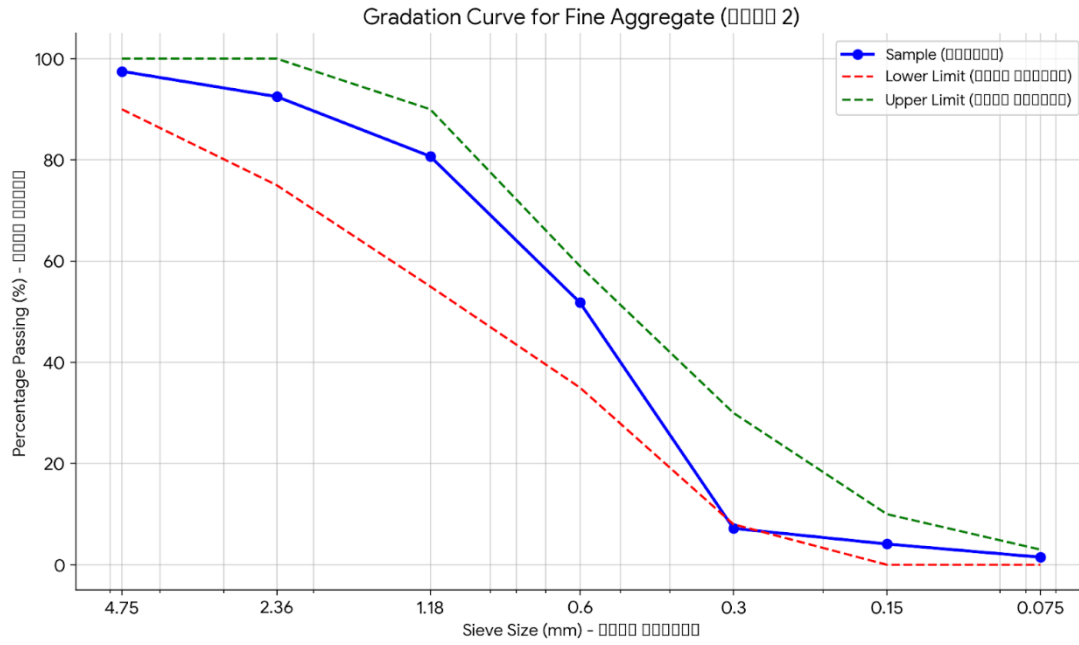
مخطط التدرج الحبيبي للركام الناعم العينة الاولى (1-4)

جدول (2-4): التحليل المنخلي للركام الناعم عينة (2)

وزن العينة-----1000 جرام

المواصفات القياسية PS	النسبة %	الوزن المار	المتبقي	المنخل (مم)
100-90	97.5%	975	25	4.75
100-75	92.5%	925	50	2.36
90-55	80.7%	907	118	1.18
59-35	51.8%	518	289	0.60
30-8	7.2%	72	446	0.30
10-0	4.1%	41	31	0.15
3-0	1.5%	15	26	0.075
-	0%	0	15	PAN
			1000	TOTAL

يلاحظ ان الرمل المستخدم : ZONE 2



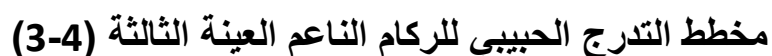
مخطط التدرج الحبيبي للركام الناعم العينة الثانية (2-4)

جدول (3-4): التحليل المنخلي للركام الناعم عينة (3)

وزن العينة-----1000 جرام

المواصفات القياسية PS	النسبة %	الوزن المار	المتبقي	المنخل (مم)
100-90	96.9%	969	31	4.75
100-85	92.2%	922	47	2.36
100-75	81.2%	812	110	1.18
75-60	60.2%	602	210	0.60
40-12	7.8%	78	524	0.30
10-0	5.2%	52	26	0.15
3-0	1.8%	18	34	0.075
-	0%	0	18	PAN
			1000	TOTAL

ZONE 3: يلاحظ ان الرمل المستخدم



جدول (4-4): نسبة الطين و الطمي للينة (1) :

الرمل في هذه العينة غير مطابقة للمواصفات البريطانية لانها تعدت ال 3%

جدول (4-5): نسبة الطين و الطمي للينة (2) :

500 g	وزن الينة W1
485 g	وزن الينة بعد التجفيف W2
3%	نسبة الطين والتمي: <div> $\text{Percentage of Silt and Clay} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$ </div>

جدول (4-6): نسبة الطين و الطمي للينة (3) :

500 g	وزن الينة W1
485 g	وزن الينة بعد التجفيف W2
3%	نسبة الطين والتمي: <div> $\text{Percentage of Silt and Clay} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$ </div>

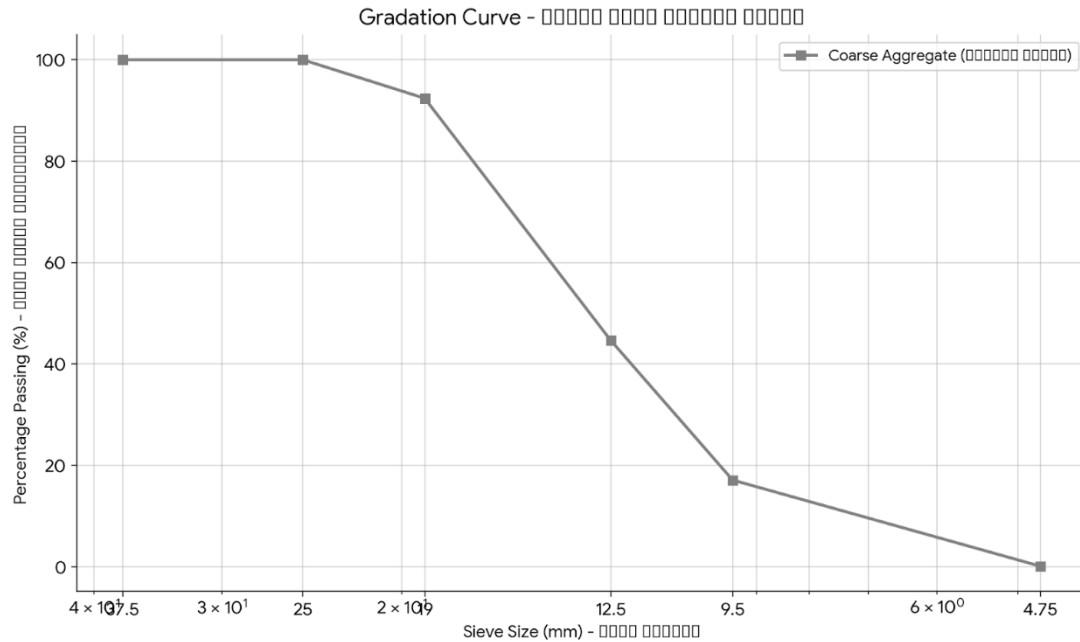
3-4 مرحلة اختبارات الركام الخشن :-

جدول (4-7): التحليل المنخلي للركام الخشن المكسر

وزن العينة 2000 جرام

الوزن المار %	الوزن المار	المتبقي	المنخل (مم)
100%	2000	0	37.5
100%	2000	0	25
92.4%	1848	152	19
44.6%	893	955	12.5
17.1%	342	551	9.5
17.1%	2	340	4.75
0%	0	2	PAN

المقاس الاعتباري للركام الكبير (الحصى) هو 20mm



مخطط التدرج الحبيبي للركام الخشن (4-4)

4-4 مرحلة اختبارات الخرسانة الطازجة :-

• اختبار الهبوط (Slump Test) أظهرت الخلطات التي تحتوي على الإضافات مثل Adicrete

B2 قابلية تشغيل (Workability) ممتازة رغم انخفاض كمية الماء، مما يثبت فعالية الملدنات

الفائقة.

• جدول (8-4) مرحلة اختبار الهبوط :

الخلطة	W/C	نوع المضاف	نسبة المضاف	قيمة الهبوط
M0	0.5	-	-	13.5 cm
M1	0.47	PMM PLAST SP50	1%	20 cm
M2	0.47	PMM PLAST SP50	1%	5 cm
M3	0.47	PMM PLAST SP50	1%	15 cm
M4	0.4	PMM PLAST SP50	1%	12 cm
M5	0.33	PMM PLAST SP50	1%	16 cm
M6	0.33	ADICRETE B2	1.2%	7 cm
M7	0.33	ADICRETE B2	1.5%	14 cm

5-4 مخرجات مرحلة اختبار مقاومة الضغط (Compressive Strength):-

تم اختبار مقاومة الضغط عند أعمار مختلفة (7 و 28 يوماً) وفق الكود البريطاني PS
و تمت ترجمة مرحلة اختبار مقاومة الضغط إلى أرقام ملموسة من خلال إخضاع المكعبات الخرسانية
لاختبارات مقاومة الضغط ، وذلك للوقوف على مدى كفاءة المضافات الكيميائية وبرادة الحديد في رفع قدرة
التحمل

جدول (9-4) مقاومة الضغط للخلطة المرجعية لمدة 7 ايام (M0)

الخلطة	الوزن kg	الحمل KN	المقاومة N/mm ²	تاريخ الصب	تاريخ الكسر	كثافة الخلطة Kg/m ³
1	8580	568.861	25.283	4/3/2026	11/3/2026	2430
2	8790	561.639	24.962	4/3/2026	11/3/2026	2430
3	8615	531.045	23.602	4/3/2026	11/3/2026	2430

متوسط مقاومة الضغط : 24.615 N/mm²

جدول (10.4) مقاومة الضغط للخلطات المختلفة لمدة 28 ايام (M0)

الخلطة	الوزن kg	الحمل KN	المقاومة N/mm ²	تاريخ الصب	تاريخ الكسر	كثافة الخلطة Kg/m ³
1	8.765	643.750	28.611	4/3/2026	31/3/2026	2430
2	8.930	722.530	32.112	4/3/2026	31/3/2026	2430
3	8.755	651.710	28.965	4/3/2026	31/3/2026	2430

متوسط مقاومة الضغط : 29.896 N/mm²

جدول (4-11) مقاومة الضغط للخلطات المختلفة لمدة 7 أيام (M1)

الخلطة	الوزن kg	الحمل KN	المقاومة N/mm ²	تاريخ الصب	تاريخ الكسر	كثافة الخلطة Kg/m ³
1	8.655	750.551	33.358	29/9/2025	6/10/2025	2430
2	8.665	630.509	28.023	29/9/2025	6/10/2025	2430
3	8.705	736.721	32.743	29/9/2025	6/10/2025	2430

متوسط مقاومة الضغط : 31.374 N/mm²

جدول (4-12) مقاومة الضغط للخلطات المختلفة لمدة 28 ايام (M1)

الخلطة	الوزن kg	الحمل KN	المقاومة N/mm ²	تاريخ الصب	تاريخ الكسر	كثافة الخلطة Kg/m ³
1	8.908	830.579	36.915	29/9/2025	27/10/2025	2430
2	8.885	817.028	38.712	29/9/2025	27/10/2025	2430
3	8.566	829.813	36.881	29/9/2025	27/10/2025	2430

متوسط مقاومة الضغط : 37.502 N/mm²

جدول (13-4) مقاومة الضغط للخلطات المختلفة لمدة 7 ايام (M2)

الخلطة	الوزن kg	الحمل KN	المقاومة N/mm ²	تاريخ الصب	تاريخ الكسر	كثافة الخلطة Kg/m ³
1	8.780	703.381	31.261	24/11/2025	1/12/2025	2430
2	8.755	695.954	30.931	24/11/2025	1/12/2025	2430
3	8.720	708.359	31.483	24/11/2025	1/12/2025	2430

متوسط مقاومة الضغط : 31.225 N/mm²

جدول (14.4) مقاومة الضغط للخلطات المختلفة لمدة 28 ايام (M2)

الخلطة	الوزن kg	الحمل KN	المقاومة N/mm ²	تاريخ الصب	تاريخ الكسر	كثافة الخلطة Kg/m ³
1	8.970	837.439	37.220	24/11/2025	22/12/2025	2430
2	8.805	772.872	34.350	24/11/2025	22/12/2025	2430
3	8.650	886.206	39.387	24/11/2025	22/12/2025	2430

متوسط مقاومة الضغط : 36.985 N/mm²

جدول (15.4) مقاومة الضغط للخلطات المختلفة لمدة 7 ايام (M3)

الخلطة	الوزن kg	الحمل KN	المقاومة N/mm ²	تاريخ الصب	تاريخ الكسر	كثافة الخلطة Kg/m ³
1	8.795	634.281	28.214	25/11/2025	2/12/2025	2430
2	8.870	702.660	31.229	25/11/2025	2/12/2025	2430
3	8.725	612.367	27.216	25/11/2025	2/12/2025	2430

متوسط مقاومة الضغط : 28.886 N/mm²

جدول (16.4) مقاومة الضغط للخلطات المختلفة لمدة 28 ايام (M3)

الخلطة	الوزن kg	الحمل KN	المقاومة N/mm ²	تاريخ الصب	تاريخ الكسر	كثافة الخلطة Kg/m ³
1	8.700	800.280	35.568	25/11/2025	23/12/2025	2430
2	8.660	876.729	38.966	25/11/2025	23/12/2025	2430
3	8.740	838.467	37.265	25/11/2025	23/12/2025	2430

متوسط مقاومة الضغط : 37.266 N/mm²

جدول (17.4) مقاومة الضغط للخلطات المختلفة لمدة 7 ايام (M4)

الخلطة	الوزن kg	الحمل KN	المقاومة N/mm ²	تاريخ الصب	تاريخ الكسر	كثافة الخلطة Kg/m ³
1	8.875	639.476	31.974	12/1/2026	19/1/2026	2430
2	8.670	661.284	33.064	12/1/2026	19/1/2026	2430
3	8.660	650.836	32.542	12/1/2026	19/1/2026	2430

متوسط مقاومة الضغط : 32.525 N/mm²

جدول (18.4) مقاومة الضغط للخلطات المختلفة لمدة 28 ايام (M4)

الخلطة	الوزن kg	الحمل KN	المقاومة N/mm ²	تاريخ الصب	تاريخ الكسر	كثافة الخلطة Kg/m ³
1	8.675	899.701	39.987	12/1/2026	8/2/2026	2430
2	8.830	893.720	39.721	12/1/2026	8/2/2026	2430
3	8.695	817.271	36.323	12/1/2026	8/2/2026	2430

متوسط مقاومة الضغط : 38.677 N/mm²

جدول (19.4) مقاومة الضغط للخلطات المختلفة لمدة 7 ايام (M5)

الخلطة	الوزن kg	الحمل KN	المقاومة N/mm ²	تاريخ الصب	تاريخ الكسر	كثافة الخلطة Kg/m ³
1	8.800	707.884	31.461	27/1/2026	3/2/2026	2430
2	8.755	797.701	35.453	27/1/2026	3/2/2026	2430
3	8.740	781.858	34.749	27/1/2026	3/2/2026	2430

متوسط مقاومة الضغط : 33.887 N/mm²

جدول (20.4) مقاومة الضغط للخلطات المختلفة لمدة 28 ايام (M5)

الخلطة	الوزن kg	الحمل KN	المقاومة N/mm ²	تاريخ الصب	تاريخ الكسر	كثافة الخلطة Kg/m ³
1	8.790	998.243	44.366	27/1/2026	24/2/2026	2430
2	8.825	892.878	39.683	27/1/2026	24/2/2026	2430
3	8.965	958.860	42.616	27/1/2026	24/2/2026	2430

متوسط مقاومة الضغط : 42.221 N/mm²

جدول (21.4) مقاومة الضغط للخلطات المختلفة لمدة 7 ايام (M6)

الخلطة	الوزن kg	الحمل KN	المقاومة N/mm ²	تاريخ الصب	تاريخ الكسر	كثافة الخلطة Kg/m ³
1	9.105	797.853	35.460	3/2/2026	10/2/2026	2430
2	8.755	834.430	37.086	3/2/2026	10/2/2026	2430
3	8.705	815.271	36.234	3/2/2026	10/2/2026	2430

متوسط مقاومة الضغط : 36.260 N/mm²

جدول (22.4) مقاومة الضغط للخلطات المختلفة لمدة 28 ايام (M6)

الخلطة	الوزن kg	الحمل KN	المقاومة N/mm ²	تاريخ الصب	تاريخ الكسر	كثافة الخلطة Kg/m ³
1	8.675	1022.635	45.450	3/2/2026	3/3/2026	2430
2	8.815	843.215	37.476	3/2/2026	3/3/2026	2430
3	8.655	1002.803	44.569	3/2/2026	3/3/2026	2430

متوسط مقاومة الضغط : 42.498 N/mm²

جدول (23.4) مقاومة الضغط للخلطات المختلفة لمدة 7 ايام (M7)

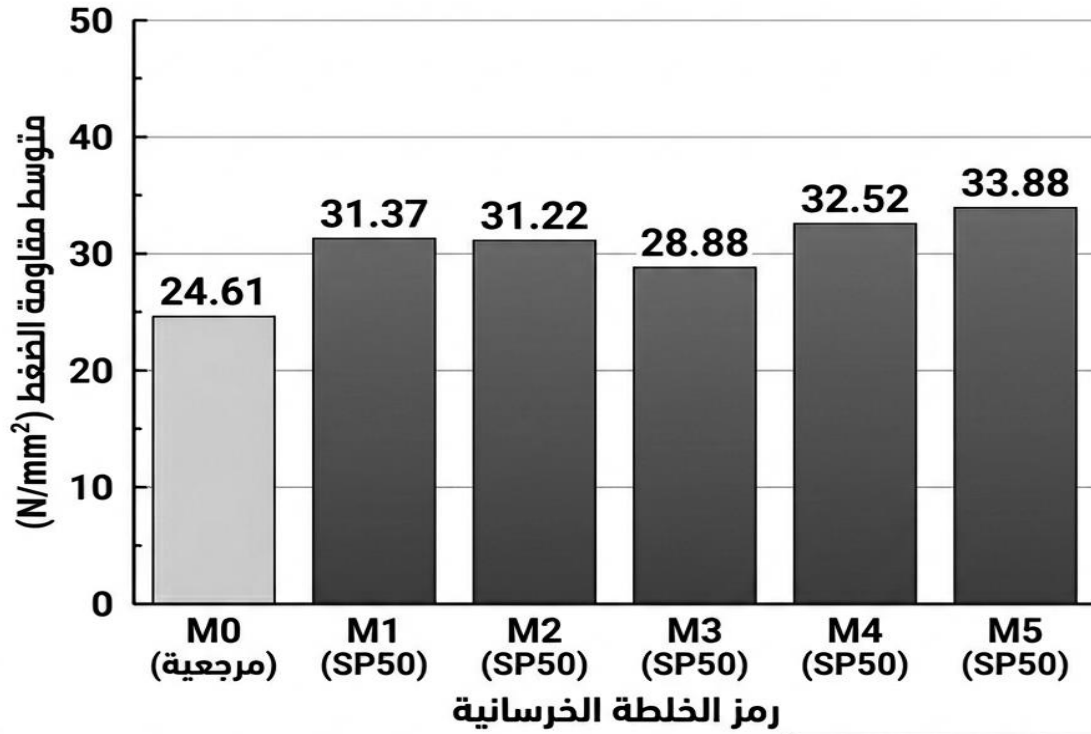
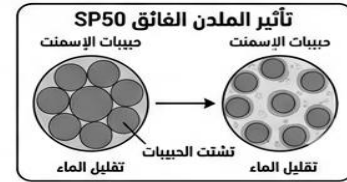
الخلطة	الوزن kg	الحمل KN	المقاومة N/mm ²	تاريخ الصب	تاريخ الكسر	كثافة الخلطة Kg/m ³
1	9.015	1000.417	44.463	11/2/2026	18/2/2026	2430
2	8.790	984.916	43.774	11/2/2026	18/2/2026	2430
3	8.685	999.383	44.417	11/2/2026	18/2/2026	2430

متوسط مقاومة الضغط : 44.218 N/mm²

جدول (24.4) مقاومة الضغط للخلطات المختلفة لمدة 28 ايام (M7)

الخلطة	الوزن kg	الحمل KN	المقاومة N/mm ²	تاريخ الصب	تاريخ الكسر	كثافة الخلطة Kg/m ³
1	8.875	1155.204	51.342	11/2/2026	11/3/2026	2430
2	8.750	991.645	44.073	11/2/2026	11/3/2026	2430
3	8.865	1047.637	46.562	11/2/2026	11/3/2026	2430

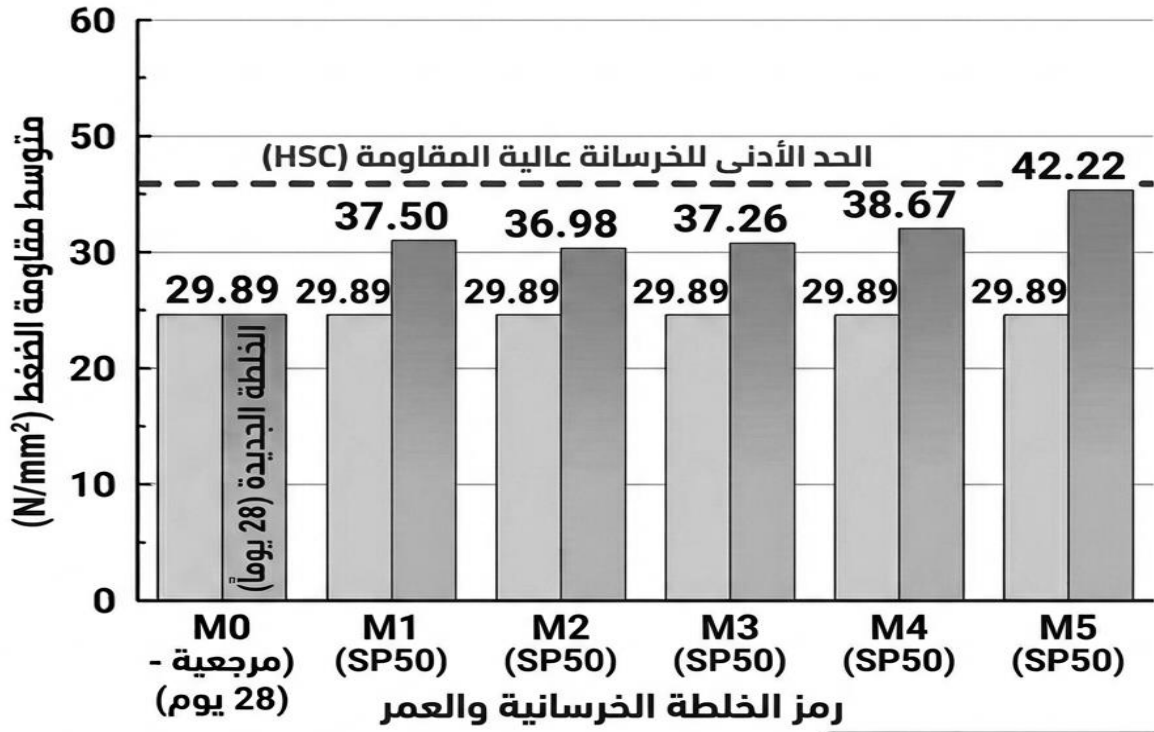
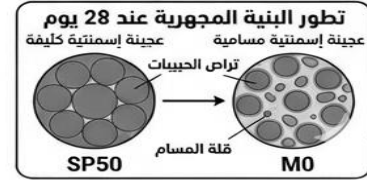
متوسط مقاومة الضغط : 47.325 N/mm²



مخطط (5-4) مقارنة متوسط مقاومة الضغط عند عمر 7 أيام للخلطة المرجعية والخلطات

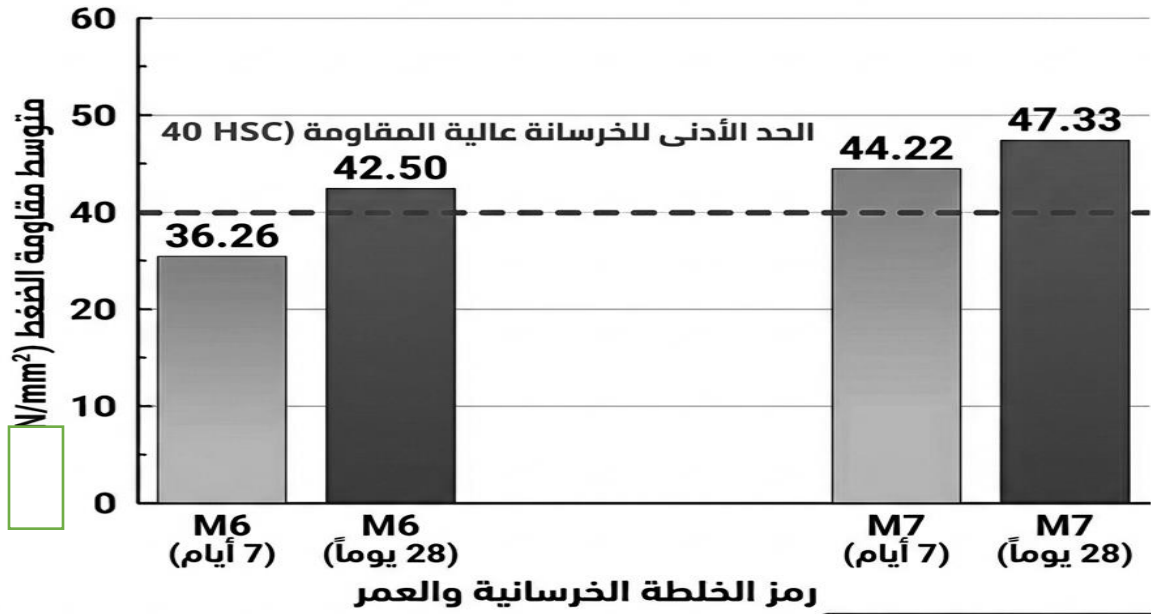
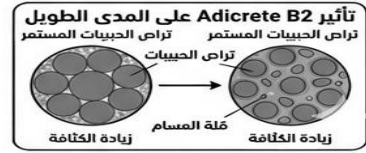
المستخدم فيها الملدن الفائق. PMM PLAST SP50

يلاحظ من خلال المخطط البياني الموضح أعلاه وجود فارق جوهري وملحوظ في قيم مقاومة الضغط المبكرة (عند عمر 7 أيام) بين الخلطة المرجعية M0 والخلطات المطورة M1 الى M5 حيث سجلت جميع الخلطات التي احتوت على المضاف الكيميائي PMM PLAST SP50 تفوقاً واضحاً، وبرزت الخلطة M5 كأعلى مقاومة في هذه المجموعة بقيمة بلغت 33.88 MPa مقارنة بـ 24.61 MPa للخلطة المرجعية، بنسبة تحسن بلغت حوالي 37.6%.



مخطط (4-6) متوسط مقاومة الضغط عند عمر 28 يوماً للخلطات المختلفة، ويوضح الظفرة في مقاومة الخلطة (M5) المدعمة ببرادة الحديد بنسبة 10%

بعد إتمام مرحلة التنفيذ والمعالجة أظهرت النمذجة البيانية للاختبارات وصول الخلطة M5 إلى أعلى مقاومة ضغط بقيمة 42.22 MPa، متفوقة بنسبة 41% على الخلطة المرجعية (29.89 MPa). يعود هذا التفوق النوعي إلى استخدام برادة الحديد بنسبة 10%، والتي عملت كمالي ميكانيكي (Filler) سدّ الفراغات الدقيقة وزاد من كثافة الكتلة الخرسانية، مدعومةً بتأثير الملدن الفائق PMM PLAST SP50 الذي خفّض نسبة الماء لأدنى مستوياتها. هذا التناغم أدى إلى تقوية البنية المجهرية للخرسانة ورفع قدرتها على تحمل الأحمال العالية، مما يجعلها خياراً مثالياً للمنشآت عالية المقاومة.



مخطط (4-7) تطور مقاومة الضغط للخلطتين (M6) و (M7) عند 7 و 28 يوماً

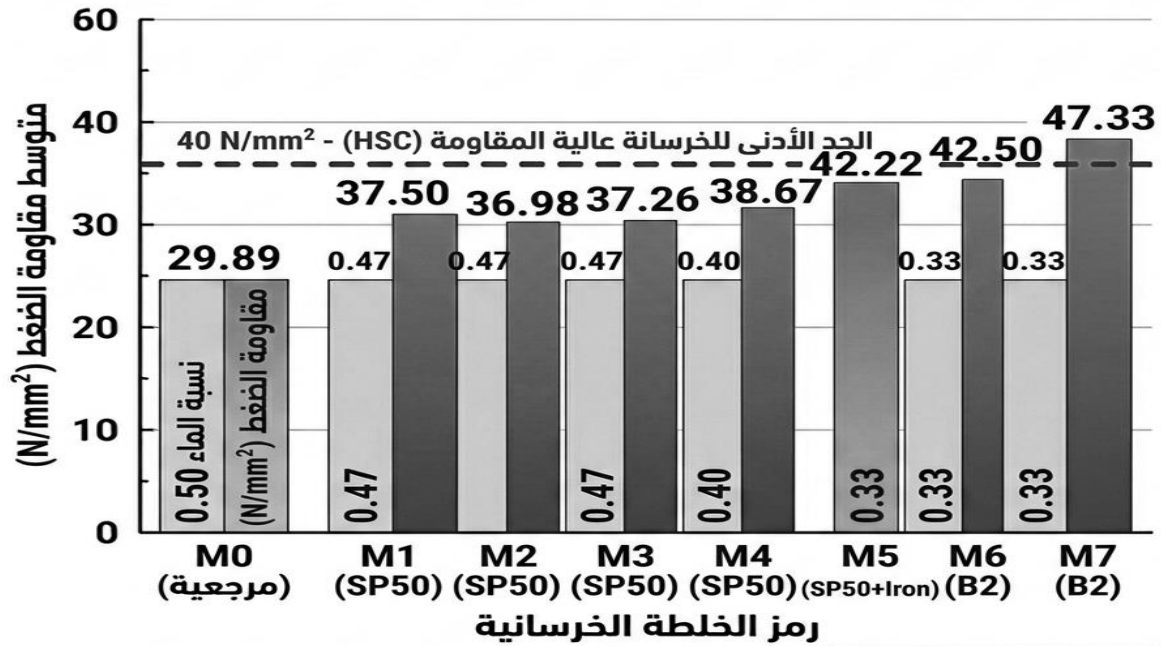
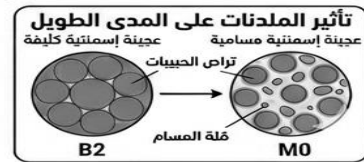
بعد إتمام مرحلة التنفيذ والمعالجة أظهرت النمذجة البيانية للاختبارات اظهر المخطط البياني تفوقاً استثنائياً للخلطة M7، حيث حققت أعلى مقاومة ضغط في البحث بوصولها إلى 47.33 MPa عند عمر 28 يوماً.

يعزى هذا الأداء الفائق إلى الفعالية العالية للملدن الفائق Adicrete B2 في تحسين البنية المجهرية للخرسانة، وتقليل نسبة الماء لدرجات دنيا مع الحفاظ على كثافة عالية بلغت 2430 Kg/m³. كما يلاحظ أن الخلطة M7 عند عمر 7 أيام فقط (44.22 MPa) تجاوزت مقاومة الخلطة M6 عند عمر 28 يوماً، مما يثبت نجاح النسب التصميمية لخلطة M7 في تسريع اكتساب المقاومة وتحقيق خرسانة عالية المقاومة (HSC) تفي بالمتطلبات الإنشائية المتقدمة.

كم لاحظنا انه عند زيادة المضاف Adicrete B2 و تقليل نسبة الماء تزيد مقاومة الضغط .

- جدول رقم (25-4): العلاقة التناسبية بين نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C Ratio) ومقاومة الضغط المحققة عند عمر 28 يوماً للخلطات التجريبية :

الخلطة	W/C	نوع المضاف	نسبة المضاف	متوسط مقاومة الضغط N/mm^2
M0	0.5	-	-	29.896
M1	0.47	PMM PLAST SP50	1%	37.502
M2	0.47	PMM PLAST SP50	1%	36.985
M3	0.47	PMM PLAST SP50	1%	37.266
M4	0.4	PMM PLAST SP50	1%	38.677
M5	0.33	PMM PLAST SP50	1%	42.221
M6	0.33	ADICRETE B2	1.2%	42.498
M7	0.33	ADICRETE B2	1.5%	47.325



مخطط رقم (4-8) العلاقة التناسبية بين نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C Ratio) ومقاومة الضغط المحققة

الباب الخامس

تحليل النتائج و التوصيات

(Analysis & Recommendations)

1-5 نتائج الدراسة (Research Results) :-

بناءً على النمذجة والاختبارات التي أجريت في الباب الرابع، تم استخلاص النتائج الجوهرية التالية:

- كفاءة المضافات الكيميائية: أثبتت الاختبارات أن المضافات الكيميائية B2 Adicrete و PMM PLAST SP50 رفعت مقاومة الضغط بنسب تتراوح بين 25% إلى 45 % مقارنة بالخلطة التقليدية (M0) .
- تحقيق مقاومة فائقة: (HSC) نجح البحث في الوصول إلى خرسانة عالية المقاومة تجاوزت حاجز الـ 40 N/mm^2 ، حيث سجلت الخلطة M7 أعلى قيمة وهي 47.33 N/mm^2 .
- تأثير برادة الحديد: أثبتت النتائج أن إضافة برادة الحديد بنسبة 10% في الخلطة M5 أدت إلى زيادة الكثافة والمقاومة (42.22 N/mm^2) بفضل قدرتها على ملء المسامات المجهرية (Filler Effect) .
- معدل اكتساب المقاومة: أظهرت الخلطات المدعمة بالملدنات نمواً سريعاً في المقاومة عند عمر 7 أيام، حيث حققت بعضها أكثر من 80% من المقاومة التصميمية المستهدفة في وقت قياسي.
- تحسين الخواص الفيزيائية: لوحظ تحسن كبير في تماسك الخلطة وتقليل ظاهرة الانفصال الحبيبي (Segregation) رغم خفض كمية مياه الخلط لدرجات دنيا.

2-5 التوصيات (Recommendations) :-

بناءً على النتائج التي تم التوصل إليها من خلال النمذجة والاختبارات المختبرية، يوصي الباحثون بالآتي:

1. **جودة وتدرج المواد الركامية:** يوصى بشدة بضرورة إجراء تحليل منخلي (Sieve Analysis) دقيق للركام قبل البدء في الخلط، لضمان الحصول على تدرج حبيبي (Gradation) مثالي يقلل من الفراغات البينية، وهو ما يعد عاملاً حاسماً في الوصول لمقاومة تتجاوز الـ 45 N/mm^2 .

2. الاعتماد على الخلطات التجريبية: (Trial Mixes)

- توصي الدراسة بعدم اعتماد خلطة خرسانية عالية المقاومة في الموقع دون المرور بمرحلة "الخلطات التجريبية" المختبرية أولاً.

3. اختيار الإضافات ونسب الخلط:

- يجب اختيار الملدنات الفائقة (Superplasticizers) بعناية فائقة، ويوصى باستخدام نوعيات متطورة مثل **Adicrete B2** و **SP50** التي أثبتت كفاءتها في هذا البحث، مع ضرورة الالتزام بالنسب المحددة من قبل الشركة المصنعة لضمان عدم حدوث انفصال حبيبي.

- نوصي بالالتزام بنسبة ماء إلى إسمنت (W/C) منخفضة جداً (في حدود 0.33) لضمان كثافة البنية المجهرية للخرسانة.

4. دقة التنفيذ والمعالجة:

- يوصى باستخدام الهزاز الميكانيكي (Mechanical Vibrator) لضمان خروج الفقاعات الهوائية، حيث أن الخرسانة عالية المقاومة تكون ذات لزوجة أعلى من التقليدية.
- التأكد من المعالجة المائية المبكرة (Curing) والمستمرة، حيث أن التفاعلات الكيميائية للملدنات مع الإسمنت تحتاج لوسط مائي مستقر لضمان نمو المقاومة فوق المستويات المستهدفة.

المراجع (References)

أولاً: المراجع العربية

1. كود البناء السوداني، "المواصفات الفنية لأعمال الخرسانة"، وزارة التخطيط والتعمير، الخرطوم.

2. أبو بكر، عبد الماجد، (2018)، "تكنولوجيا الخرسانة المتقدمة"، دار النشر الجامعية، القاهرة.

ثانياً: المراجع الأجنبية (International Standards)

3. ASTM C494 / C494M, "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA.

4. Neville, A. M., (2011), "Properties of Concrete," 5th Edition, Pearson Education Limited, UK.

5. British Standards Institution, (2013), "BS EN 206: Concrete - Specification, performance, production and conformity," London, UK.

6. Technical Data Sheets, "PMM PLAST SP50 & Adicrete B2," Product Specifications from Manufacturer (Construction Chemical Brands).

الملاحق :-

Table 1 Concrete mix design form

Job title

Stage	Item	Reference or calculation	Values				
1	1.1 Characteristic strength	Specified	4.5 N/mm ² at 28 days				
		Proportion defective	5 %				
	1.2 Standard deviation	Fig 3	1.64 N/mm ² or 10 data 8 N/mm ²				
	1.3 Margin	C1 or Specified	(k = 1.64) 1.64 × 8 = 13.12 N/mm ²				
			13.12 N/mm ²				
	1.4 Target mean strength	C2	4.5 + 13.12 = 17.62 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	Use the lower value					
1.8 Maximum free water/cement ratio	Specified	0.46					
2	2.1 Slump or Vebe time	Specified	Slump 60-180 mm or Vebe time 45 s				
	2.2 Maximum aggregate size	Specified	190 mm				
	2.3 Free-water content	Table 3	190 kg/m ³				
3	3.1 Cement content	C3	190 + 0.46 × 413 = 383 kg/m ³				
	3.2 Maximum cement content	Specified	kg/m ³				
	3.3 Minimum cement content	Specified	kg/m ³				
		use 3.1 if ≤ 3.2 use 3.3 if > 3.2	kg/m ³				
	3.4 Modified free water/cement ratio						
4	4.1 Relative density of aggregate (SSD)		2.7 known/assumed				
	4.2 Concrete density	Fig 5	2430 kg/m ³				
	4.3 Total aggregate content	C4	2430 - 190 - 383 = 1827 kg/m ³				
5	5.1 Grading of fine aggregate	Percentage passing 600 µm sieve	60 %				
	5.2 Proportion of fine aggregate	Fig 6	30 %				
	5.3 Fine aggregate content	C5	30% × 1827 = 548.1 kg/m ³				
	5.4 Coarse aggregate content		1827 - 548.1 = 1278.9 kg/m ³				
Quantities		Cement (kg)	Water (kg or litres)	Fine aggregate (kg)	Coarse aggregate (kg)		
					10 mm	20 mm	40 mm
per m ³ (to nearest 5 kg)		413	190	548.1	1278.9		
per trial mix of 0.03 m ³		12.39	5.7	16.443	38.367		

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.

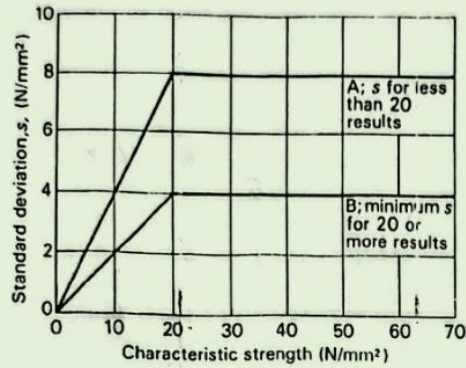


Figure 3
Relationship between standard deviation and characteristic strength

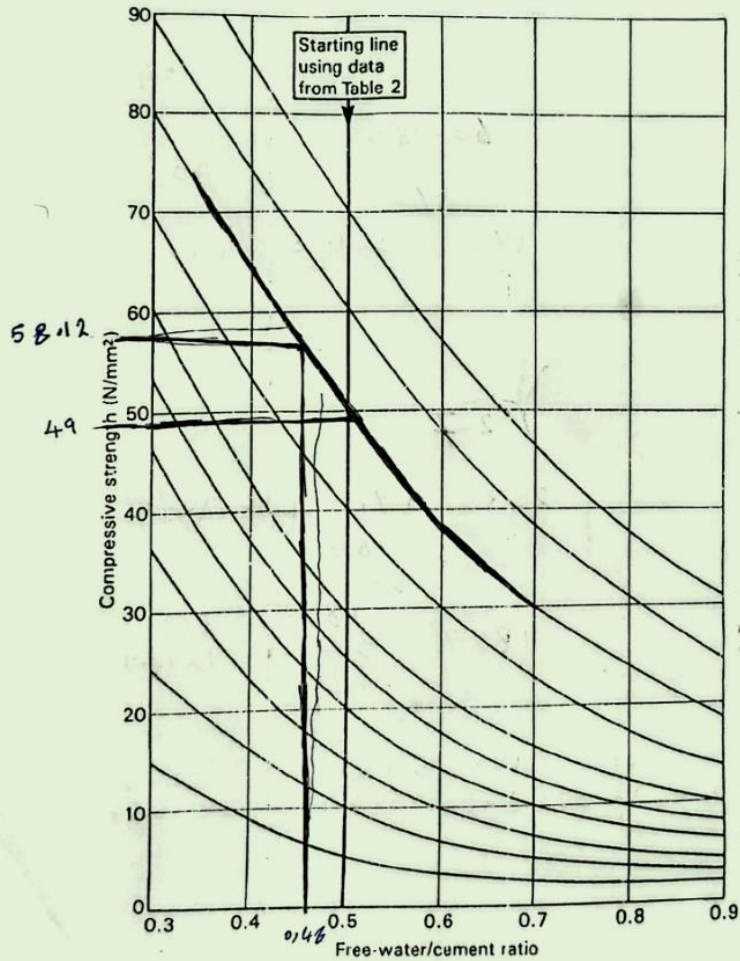


Figure 4
Relationship between compressive strength and free-water/cement ratio

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 Strengths (N/mm ²)			
		Age (days)			
		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

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)					
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	195	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:

$$\text{Total aggregate content} = D - C - W \quad \dots C4$$

(saturated and surface-dry)

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.

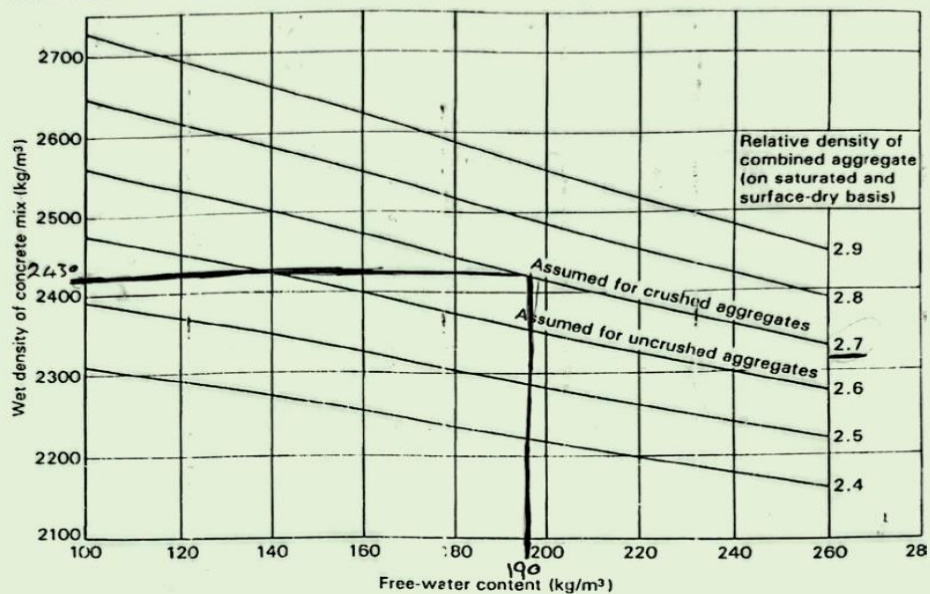


Figure 5 Estimated wet density of fully compacted concrete

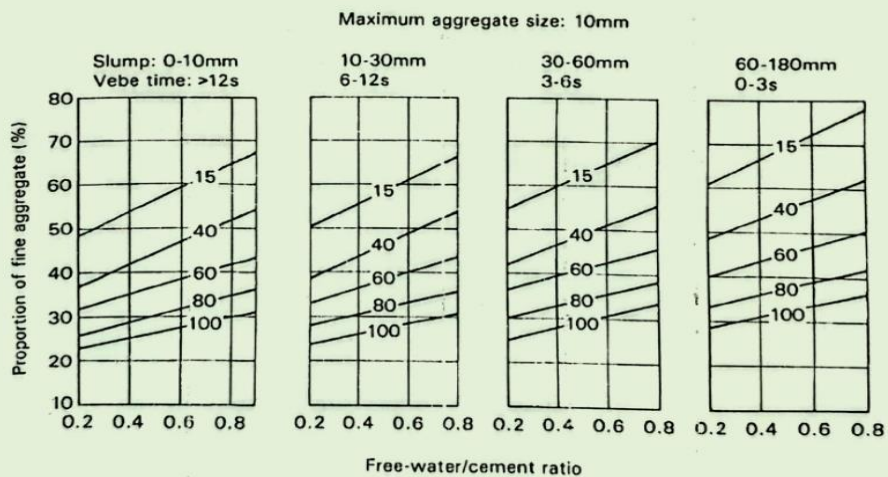


Figure 6 Recommended proportions of fine aggregate according to percentage passing a 600 µm sieve

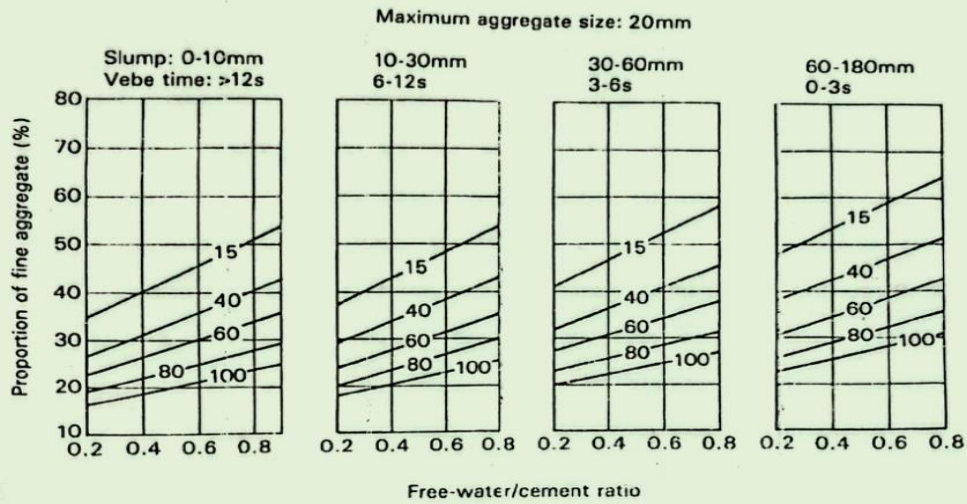


Figure 6 (continued)

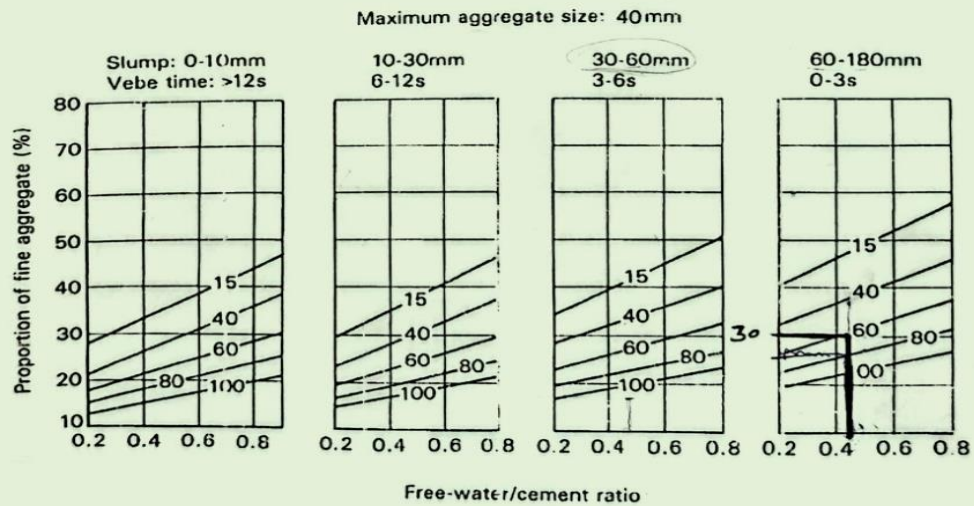


Figure 6 (continued)







