

دراسة تأثير إضافة برادة الحديد على خواص الخرسانة

إعداد الطلاب :-

(2031052981)	أمل خالد ابراهيم خالد
(2011120223)	أيمن عصام بدري عبد الجواد
(2032001241)	فاطمة كمال محمد سيد احمد
(2031043452)	محمد آدم بشير مبشر

إشراف:-

أ/ زينب مصطفى

بحث تكميلي لنيل درجة بكالوريوس مرتبة الشرف في الهندسة المدنية



كلية الهندسة
جامعة الشيخ عبد الله البدري

أبريل 2026



المستخلص :

يتناول هذا البحث دراسة تأثير استخدام برادة الحديد في الخلطات الخرسانية، كإضافة بنسبة من وزن الإسمنت أو كبديل جزئي للركام الناعم (الرمل)، وذلك بهدف تحسين الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة وتحقيق الاستفادة المثلى من المخلفات الصناعية. تم إعداد مجموعة من الخلطات الخرسانية بنسب مختلفة من برادة الحديد (10%، 20%، 30%)، بالإضافة إلى إحلال جزئي للرمل بنسبة تصل إلى 50%، ومقارنتها بخلطة مرجعية باستخدام اختبارات قياسية شملت مقاومة الضغط، الهبوط، الكثافة، ونسبة الامتصاص عند أعمار 7 و 14 و 28 يوماً.

أظهرت النتائج تحسناً ملحوظاً في قابلية التشغيل وزيادة في كثافة الخرسانة عند استخدام نسبة (10%-20%) من براده الحديد، إلى جانب انخفاض في نسبة الامتصاص، مما يعكس تحسناً في البنية الداخلية وتقليل المسامية. كما سُجلت زيادة في مقاومة الضغط في الأعمار المبكرة، الأمر الذي يعزز من كفاءة الأداء الإنشائي للخرسانة. في المقابل، أدت زيادة نسبة برادة الحديد إلى 30% أو الاعتماد على إحلال كبير للرمل إلى تراجع بعض الخصائص نتيجة زيادة الفراغات وضعف تجانس الخلطة، مما يؤثر سلباً على الأداء العام.

خلصت الدراسة إلى أن النسبة المثلى لاستخدام برادة الحديد تتراوح بين 10% و 20% من وزن الإسمنت عند استخدامها كإضافة، حيث تحقق توازناً فعالاً بين مقاومة الضغط والخواص الفيزيائية دون التأثير سلباً على جودة الخرسانة. وعليه، توصي الدراسة باعتماد هذه النسب في التطبيقات العملية، مع التأكيد على أهمية إجراء مزيد من الدراسات المستقبلية لتقييم الأداء طويل المدى، خاصة فيما يتعلق بالمتانة ومقاومة التآكل. كما تبرز الدراسة الدور المهم لاستخدام برادة الحديد كمادة معاد تدويرها في تقليل التكاليف وتعزيز الاستدامة البيئية في قطاع التشييد.

Abstract :

This study investigates the effect of using iron shavings in concrete as an additive by weight of cement or as a partial replacement of sand, with the aim of improving concrete properties and utilizing industrial waste. Concrete mixes were prepared with different percentages of iron shavings (10%, 20%, and 30%), in addition to sand replacement up to 50%, and compared with a reference mix through standard tests, including compressive strength, slump, density, and water absorption at 7, 14, and 28 days.

The results showed that adding iron shavings at moderate levels (10%–20%) improves workability, increases density, and reduces water absorption, indicating a better and more compact internal structure. It also enhances early-age compressive strength. However, higher percentages (30% or high sand replacement) reduce performance due to increased voids and poor uniformity of the mix.

The study concludes that the optimum percentage of iron shavings is between 10% and 20% by weight of cement, as it provides a good balance between strength and physical properties. It is recommended to use these percentages in practical applications, while further studies are needed to evaluate long-term performance, especially durability and corrosion resistance. The use of iron shavings also supports sustainable construction by recycling industrial waste and reducing costs.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قال تعالى:

{ إِنَّمَا يَخْشَى اللَّهَ مِنْ عِبَادِهِ الْعُلَمَاءُ إِنَّ اللَّهَ عَزِيزٌ غَفُورٌ }

[فاطر: 28]

قال تعالى:

{هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسُ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ
السِّنِينَ وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ
لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ}

[يونس : 5]

الإهداء

إلي من علمتني معنى الحب الصادق ومن غرست في قلبي بذور العطاء، وضأت لي دروب الحياة بحنانها ودعواتها الصادقة تلك المرأة التي لو تحدثت عنها لن أوفيتها حقها ما حييت إلى أمي الحبيبة، نور عيني الذي أراه في كل نجاح أحققه .

إلي من كان سندي وقوتي، من وضع في كتفي الأمان وزرع في قلبي الطموح والإرادة، ملهمي الأول ومصدر فخري إلي أبي الغالي، رمز الحكمة والتضحية، الذي لم يبخل يوما عن دعمي معنويا وماديا لتحقيق احلامي .

إلي اخوتي الأعزاء، شركاء الأفراح وأعمدة حياتي، الذين طالما كانوا سندا لي في الأوقات الصعبة، الأصدقاء الأفياء والداعمون في كل موقف، الذين جعلوا هذه الرحلة مليئة بالمحبة والابتسامة .
إلي أصدقائي الذين جعلوا رحلتي التعليمية أجمل بصدقهم ومواقفهم النبيلة، الذين شاركوني لحظات الفرح والكفاح، وأسهموا في رسم معالم هذه المرحلة من حياتي إلى.

إلي أساتذتي الذين غرسوا في عقلي مبادئ العلم والمعرفة، ولم يبخلوا بعلمهم وإرشاداتهم، والذين كانت لتوجيهاتهم القيمة أثر بالغ في إنجاز هذا المشروع، بفضل الله ثم بفضلهم تمكنا من الوصول إلي هذا الإنجاز.

إلي كل من كان له أثر جميل في حياتي، ولو بكلمة طيبة أو ابتسامة عابرة، وكل من كان له بصمة إيجابية في حياتي، أهديكم هذا العمل المتواضع فهو ثمرة جهد سنوات طويلة ملأها الدعم، الحب، والتشجيع .

إليكم جميعا أهدي هذا المشروع بكل فخر وامتنان، نسأل الله أن يكون نافعا وأن يجعل كل جهد بذلناه خالصا لوجه الكريم وأن يكون خطوة متقدمة في مسيرة العلم والمعرفة .

الشكر والعرفان

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات ، وبتوفيقه ، أنجزنا هذا المشروع الذي يعد ثمرة جهد استمر علي مدى فترة دراستنا الجامعية .

أتقدم بجزيل الشكر والعرفان إلي مشرف المشروع الأستاذ / زينب مصطفى، علي توجهاتها السديدة ودعمها المتواصل ، وصبرها علي تساؤلاتنا وملاحظاتها البناءة التي كان لها الأثر الأكبر في تحسين جودة هذا العمل .

كما لا يفوتني أن أعبر عن خالص امتناني لكل الأساتذة الكرام الذين لم يبخلوا علينا بعلمهم ، وكانوا لنا عوناً خلال مسيرتنا الأكاديمية . وكل الشكر إلي زملائي في الفريق علي روح التعاون والعمل الجماعي التي جعلت من هذا المشروع تجربة ممتعة ومفيدة .

ولا أنسى أن أخص بالشكر عائلتي الكريمة ، الذين كانوا دائماً السند والدافع الأكبر لي ، بدعائهم وتشجيعهم المستمر في كل خطوة من هذه الرحلة .

ختاماً، أسأل الله أن يبارك هذا الجهد ، وأن يجعله نافعا لنا ولمجتمعنا ، وأن يكون بداية لما هو أفضل في مستقبلنا المهني والعلمي .

فهرس المحتويات

الترقيم	المحتوي	رقم الصفحة
	المستخلص	I
	Abstract	II
	الآية	IV
	الإهداء	V
	الشكر والعرفان	VI
	فهرس المحتويات	VII
	فهرس الأشكال	X
	فهرس الجداول	X
	الباب الأول (المقدمة)	
1-1	المقدمة	1
2-1	أهمية البحث	2
3-1	مشكلة البحث	3
4-1	أهداف البحث	3
5-1	منهجية البحث	4
6-1	هيكلية البحث	5
	الباب الثاني (الإطار النظري للتقرير)	
1-2	مقدمه عن الخرسانة	6
2-2	نشأت الخرسانة وتطورها عبر العصور	7
3-2	تركيب الخرسانة	8
4-2	مادة البرادة	9
1-4-2	أنواع برادة الحديد	10
2-4-2	استخدامات برادة الحديد	11
3-4-2	الشكل والمظهر	11
4-4-2	مزايا الخرسانة المحتوية على برادة الحديد	12
5-4-2	عيوب الخرسانة المحتوية على برادة الحديد	12
6-4-2	تطبيقات الخرسانة المحتوية على برادة الحديد	13
5-2	الدراسات السابقة	14
1-5-2	دراسة (Alajail et al. (2025)	14
2-5-2	دراسة (Al-Hashimi et al. (2018)	14
3-5-2	دراسة (Taher & Jadooe (2022)	14
4-5-2	دراسة (Ekop et al. (2022)	15
5-5-2	دراسة (Olawale et al. (2020)	15
6-5-2	خلاصة الدراسات السابقة	15

	الباب الثالث (الخطوة التحليلية وآلية حل مشكلة المشروع)	
17	مقدمة	1-3
17	اختبار التدرج الحبيبي للركام	2-3
19	اختبار امتصاص الماء بالنسبة للركام	3-3
21	اختبار زمن الشك الابتدائي والنهائي	4-3
22	اختبار القوام القياسي	5-3
24	التدرج الحبيبي للبرادة	6-3
26	الخطوة الخرسانية	7-3
26	الطريقة المستخدمة	1-7-3
26	الخلطات باستخدام برادة الحديد	2-7-3
27	نسب مكونات تصميم الخلطة الخرسانية في المتر المكعب	3-7-3
27	المضاف المستخدم (SP901)	4-7-3
28	إجراءات الصب وتحضير العينات	5-7-3
29	اختبار الهبوط	8-3
30	اختبار الكثافة للخرسانة	9-3
31	اختبار مقاومة الضغط	10-3
33	اختبار الامتصاص بالنسبة للخرسانة المتصلبة	11-3
	الباب الرابع (التنفيذ والنمذجة والاختبار)	
35	التجارب المعملية للمواد	1-4
35	نتائج اختبار التدرج الحبيبي	1-1-4
37	نتائج اختبار امتصاص الركام	2-1-4
38	نتائج اختبار زمن الشك الابتدائي والنهائي والقوام القياسي	3-1-4
38	نتائج اختبار التدرج الحبيبي للبرادة	4-1-4
39	الخطوة المرجعية للإضافة	2-4
39	نتائج اختبار الهبوط	1-2-4
40	نتائج اختبار الكثافة	2-2-4
40	نتائج اختبار مقاومة الضغط	3-2-4
41	نتائج اختبار الامتصاص	4-2-4
41	نسبة البرادة المضافة (10%)	3-4
41	نتائج اختبار الهبوط	1-3-4
41	نتائج اختبار الكثافة	2-3-4
41	نتائج اختبار مقاومة الضغط	3-3-4
42	نتائج اختبار الامتصاص	4-3-4
43	نسبة البرادة المضافة (20%)	4-4
43	نتائج اختبار الهبوط	1-4-4
43	نتائج اختبار الكثافة	2-4-4
43	نتائج اختبار مقاومة الضغط	3-4-4
44	نتائج اختبار الامتصاص	4-4-4

44	نسبة البرادة المضافة (30%)	5-4
46	نتائج اختبار الهبوط	1-5-4
46	نتائج اختبار الكثافة	2-5-4
46	نتائج اختبار مقاومة الضغط	3-5-4
47	نتائج اختبار الامتصاص	4-5-4
47	الخلطة المرجعية للإحلال	6-4
47	نتائج اختبار الهبوط	1-6-4
47	نتائج اختبار الكثافة	2-6-4
48	نتائج اختبار مقاومة الضغط	3-6-4
48	نتائج اختبار الامتصاص	4-6-4
49	نسبة إحلال البرادة بدلا عن الرمل بنسبة (50%)	7-4
49	نتائج اختبار الهبوط	1-7-4
49	نتائج اختبار الكثافة	2-7-4
49	نتائج اختبار مقاومة الضغط	3-7-4
49	نتائج اختبار الامتصاص	4-7-4
49	مقارنة بين نتائج الخلطات	8-4
49	خلطات الإضافة	1-8-4
49	خلطات الإحلال	2-8-4
55	مناقشة نتائج التجارب المعملية	9-4
55	مناقشة نتائج تأثير برادة الحديد علي الخلطة الخرسانية كإضافة (نسبة من وزن الاسمنت)	1-9-4
55	مناقشة نتائج تأثير برادة الحديد علي الخلطة الخرسانية كإحلال (بدلا من الرمل)	2-9-4
	الباب الخامس (تحليل النتائج والتوصيات)	
59	تحليل النتائج	1-5
59	تحليل تأثير برادة الحديد كإضافة (نسبة من وزن الأسمنت)	1-1-5
59	تحليل تأثير برادة الحديد كإحلال (بدلا من الرمل)	2-1-5
62	التوصيات	2-5
62	المراجع	3-5
64	الملحقات	4-5

فهرس الاشكال

الترقيم	الاشكال	رقم الصفحة
1-4	يوضح منحني التدرج الحبيبي للركام الخشن	36
2-4	يوضح منحني التدرج الحبيبي للركام الخشن	37
3-4	يوضح منحني التدرج الحبيبي للبرادة	39
4-4	يوضح مقاومات الضغط للخلطات الخرسانية للاضافة باعمار (7 و 14 و 28) أيام	49
5-4	يوضح مقدار الهبوط في الخلطات الخرسانية للاضافة	50
6-4	يوضح الكثافة في للخلطات الخرسانية للاضافة	51
7-4	يوضح نسبة الامتصاص في للخلطات الخرسانية للاضافة	52
8-4	يوضح مقاومات الضغط في للخلطات الخرسانية للاحلال	53
9-4	يوضح مقدار الهبوط في الخلطات الخرسانية للاحلال	53
10-4	يوضح الكثافة في للخلطات الخرسانية للاحلال	54
11-4	يوضح نسبة الامتصاص في للخلطات الخرسانية للاحلال	55

فهرس الجداول

الترقيم	الجدول	رقم الصفحة
	الباب الثالث (التجارب المعملية)	
1-3	التدرج الحبيبي لمناخل الركام الخشن	19
2-3	التدرج الحبيبي لمناخل الركام الناعم	19
3-3	لتدرج الحبيبي للركام الناعم (البرادة)	25
4-3	يوضح نسب مكونات الخلطات كاضافة	26
5-3	يوضح نسب مكونات الخلطات كاضافة	26
6-3	يوضح نسب مكونات الخلطة في المتر المكعب للاضافة	27
7-3	يوضح نسب مكونات الخلطة في المتر المكعب للإحلال	27
	الباب الرابع (نتائج التجارب ومناقشة النتائج)	
1-4	يوضح التدرج الحبيبي للركام الخشن	35
2-4	يوضح التدرج الحبيبي للركام الناعم	36
3-4	يوضح نسبة امتصاص الركام	37
4-4	يوضح زمن التجمد والقوام القياسي للاسمنت	38
5-4	يوضح التدرج الحبيبي للبرادة	38
6-4	يوضح قيمة الهبوط للخلطة المرجعية	39
7-4	يوضح الكثافة للخلطة المرجعية	40

40	يوضح مقاومة الضغط للخلطة المرجعية (خالي برادة) بعمر (7)ايام	8-4
40	يوضح مقاومة الضغط للخلطة المرجعية (خالي برادة) بعمر (14)يوم	9-4
40	يوضح مقاومة الضغط للخلطة المرجعية (خالي برادة) بعمر (28)يوم	10-4
41	يوضح نسب الامتصاص في الخرسانة المتصلدة للخلطة المرجعية (خالي برادة)	11-4
41	يوضح قيمة الهبوط عند النسبة (10%)	12-4
41	يوضح الكثافة عند النسبة (10%)	13-4
41	يوضح مقاومة الضغط عند النسبة (10%) بعمر (7)ايام	14-4
42	يوضح مقاومة الضغط عند النسبة (10%) بعمر (14)يوم	15-4
42	يوضح مقاومة الضغط عند النسبة (10%) بعمر (28)يوم	16-4
42	يوضح نسب الامتصاص في الخرسانة المتصلدة عن نسبة (10%)	17-4
42	يوضح قيمة الهبوط عن نسبة (20%)	18-4
43	يوضح متوسط الكثافة عن نسبة (20%)	19-4
43	يوضح مقاومة الضغط عن نسبة (20%) بعمر (7)ايام	20-4
43	يوضح مقاومة الضغط عن نسبة (20%) بعمر (14)يوم	21-4
43	يوضح مقاومة الضغط عن نسبة (20%) بعمر (28)يوم	22-4
41	يوضح نسب الامتصاص في الخرسانة المتصلدة عند نسبة (20%)	23-4
41	يوضح قيمة الهبوط عند النسبة (30%)	24-4
41	يوضح الكثافة عند النسبة (30%)	25-4
41	يوضح مقاومة الضغط عند النسبة (30%) بعمر (7)ايام	26-4
44	يوضح مقاومة الضغط عن نسبة (30%) بعمر (14)يوم	27-4
44	يوضح مقاومة الضغط عن نسبة (30%) بعمر (28)يوم	28-4
44	يوضح نسب الامتصاص في الخرسانة المتصلدة عند نسبة (30%)	29-4
44	يوضح الهبوط عن احلال (0%)	30-4
45	يوضح الكثافة عن نسبة احلال (0%)	31-4
45	يوضح مقاومة الضغط عند نسبة احلال (0%) بعمر (7)ايام	32-4
45	يوضح مقاومة الضغط عن نسبة احلال (0%) بعمر (14)يوم	33-4
45	يوضح مقاومة الضغط عن نسبة (0%) بعمر (28)يوم	34-4
45	يوضح نسب الامتصاص في الخرسانة المتصلدة عند نسبة (0%)	35-4
46	يوضح الهبوط عن نسبة احلال (50%)	36-4
46	يوضح الكثافة عن نسبة احلال (50%)	37-4

46	يوضح مقاومة الضغط عند نسبة احلال(50%)بعمر (7)ايام	38-4
46	يوضح مقاومة الضغط عن نسبة احلال(50%)بعمر(14)يوم	39-4
47	يوضح مقاومة الضغط عن نسبة احلال(50%)بعمر (28)يوم	40-4
47	يوضح نسب الامتصاص في الخرسانة المتصلدة عند نسبة احلال(50%)	41-4
47	يوضح مقومات الضغط للخلطات الخرسانية للإضافة بأعمار(7-14-28) أيام وبعد اختبار الامتصاص لخلطات الإضافة	42-4
47	يوضح مقدار الهبوط في الخلطات الخرسانية للإضافة	43-4
48	يوضح الكثافة الخلطات الخرسانية للإضافة	44-4
48	يوضح نسبة الامتصاص في الخلطات الخرسانية للإضافة	45-4
48	يوضح نسبة مقارنة بين نتائج خلطات الاضافة	46-4
48	يوضح مقومات الضغط للخلطات الخرسانية للإحلال بأعمار(7-14-28) أيام وبعد اختبار الامتصاص لخلطات الإحلال	47-4
49	يوضح مقدار الهبوط في الخلطات الخرسانية للإحلال	48-4
50	يوضح الكثافة الخلطات الخرسانية للإحلال	49-4
50	يوضح نسبة الامتصاص في الخلطات الخرسانية للإحلال	50-4
51	يوضح نسبة مقارنة بين نتائج خلطات الاحلال	51-4

الباب الأول

المقدمة

1.1 المقدمة:

الخرسانة الصديقة للبيئة تشير الى نوع من الخرسانة الذي يهدف الي تقليل التأثير البيئي السلبي لصناعة الخرسانة التقليدية ، تتبع هذه الخرسانة مبادئ الاستدامة وتسعى لتحقيق الاداء البيئي الجيد والتخلص من المخلفات الصناعية دون التخلي عن الخصائص الفنية المهمة للخرسانة .

تعد الخرسانة من أهم المواد الإنشائية المستخدمة في مختلف أنواع المباني والمنشآت الهندسية ، وذلك بسبب قوتها العالية وسهولة تشكيلها وصبها في القوالب المختلفة.

ومع ذلك تواجه الخرسانة التقليدية بعض القيود ، مثل انخفاض المتانة علي المدى الطويل ، وظهور التشققات مع مرور الوقت ، الأمر الذي دفع الباحثين إلي دراسة تأثير الإضافات المختلفة لتحسين خصائصها .

تعتبر برادة الحديد من الإضافات المعدنية الواعدة التي يمكن ان تؤثر إيجابياً علي خصائص الخرسانة ، حيث تساهم في زيادة مقاومة الضغط ، وتحسين المتانة ، كما أن استخدامها يمثل فرصة للاستفادة من المخلفات المعدنية، مما يقلل من الهدر ويعزز الاستدامة البيئية .

يهدف هذا البحث إلي دراسة تأثير إضافة نسب مختلفة من برادة الحديد علي خواص الخرسانة الفيزيائية ، والميكانيكية ، مع تقييم التغيرات التي تطرأ علي خصائص التشغيلية للخرسانة مثل اللدونة والانسيابية وسهولة الصب .

كما يسعى البحث لتقديم توصيات عملية حول النسب المثلى لإضافة البرادة ، بما يضمن تحقيق أفضل أداء للخرسانة دون التأثير السلبي علي جودتها .

من خلال هذا البحث ، يتوقع أن يتمكن المهندسون والباحثون من تطوير خرسانة محسنة الأداء ومستدامة ، بما يخدم أهداف البناء الحديث ويزيد من عمر المنشآت وكفاءتها .

2-1 أهمية البحث:

1.تحسين خصائص الخرسانة:

يساهم البحث في فهم كيف يمكن لبرادة الحديد تحسين مقاومة الضغط، والمتانة العامة للخرسانة ، مما يجعلها أكثر ملاءمة للاستخدام في المباني والمنشآت الثقيلة .

2. الاستفادة من النفايات المعدنية:

استخدام برادة الحديد كإضافة للخرسانة يقلل من الهدر البيئي ويعزز استدامة الموارد ، ما يجعله خياراً صديقاً للبيئة.

3. تطوير أساليب البناء :

نتائج البحث تساعد المهندسين على اختيار نسب البرادة المناسبة لتحسين خصائص الخرسانة دون التأثير على زمن الشك أو قابلية التشغيل ، وبالتالي تحسين جودة البناء وكفاءته .

4. تقديم بيانات علمية دقيقة :

البحث يزود المجتمع العلمي والمهندسين بالبيانات التجريبية اللازمة لفهم تأثير الإضافات المعدنية على الخرسانة ، ما يساهم في تطوير موصفات واشتراطات جديدة للبناء.

5. خفض التكلفة وزيادة الاستدامة :

استبدال جزء من المواد التقليدية بالبرادة يمكن أن يقلل من تكلفة الخرسانة ويزيد من عمرها الافتراضي ، مع تحقيق أداء مشابه أو أفضل للخرسانة التقليدية .

3-1 مشكلة البحث :

1. انخفاض خصائص الخرسانة التقليدية :

الخرسانة العادية قد تواجه مشاكل في القوة والمتانة على المدى الطويل ، وخاصة في الاستخدامات التي تتطلب مقاومة عالية للأحمال أو الظروف البيئية القاسية .

2. نقص المعرفة حول تأثير برادة الحديد:

هناك نقص في الدراسات التفصيلية حول كيفية تأثير إضافة برادة الحديد على خواص الخرسانة المختلفة مثل مقاومة الضغط، الامتصاص .

3. التفاعل بين البرادة والخرسانة :

عدم وضوح التأثير الكيميائي والفيزيائي للبرادة على الخرسانة ، وما إذا كانت تزيد من قابلية التشغيل أو تؤثر سلباً على زمن الشك والتصلب .

4. التأثير على البيئة والمناخ الداخلي للخرسانة :

إضافة البرادة قد تؤثر على التفاعل مع الماء أو المواد المضافة الأخرى ، ما قد يؤدي الي مشاكل في صب الخرسانة أو مقاومة الكسر على المدى الطويل .

4-1 أهداف البحث

1. دراسة تأثير إضافة نسب مختلفة من برادة الحديد على مقاومة الخرسانة للضغط.

2. تقييم تأثير البرادة على خصائص التشغيل للخرسانة مثل : الانسيابية ، وسهولة الصب .

3. معرفة تأثير البرادة على خصائص الخرسانة الفيزيائية مثل:- الامتصاص .

4. تقديم توصيات حول النسب المثلى لإضافة برادة الحديد للحصول على خرسانة محسنة الأداء

دون التأثير سلباً على الجودة والمتانة .

5. المساهمة في تطوير المواد الخرسانية المستدامة باستخدام مخلفات الحديد ، بما يقلل الهدر

ويزيد الاستفادة من الموارد .

5-1 منهجية البحث:

تتبع هذه الدراسة منهجاً تجريبياً وتحليلياً لتقييم تأثير إضافة برادة الحديد على خصائص الخرسانة ،

وذلك من خلال الخطوات التالية :

1. جمع المعلومات والدراسات السابقة :

مراجعة الأوراق العلمية والدراسات السابقة المتعلقة بالخرسانة والإضافات المعدنية ، وخاصة

برادة الحديد ، لتحديد الفجوات البحثية والأساليب المستخدمة سابقا .

2. تصميم الخلطة الخرسانية :

- تحديد نسب المكونات الأساسية للخرسانة (الأسمنت، الرمل، الحصى، الماء).
- تحديد نسب مختلفة لإضافة برادة الحديد مثل (0% ، 10% ، 20% ، 30%) من وزن الأسمنت أو الرمل حسب الدراسة .

3. تحضير العينات :

- صب وتجهيز عينات الخرسانة بأبعاد قياسية للاختبارات (مكعبات ، أسطوانات أو ألواح).
- التأكد من تجانس الخلطة وسلامة عملية الصب .

4. الفحوصات والاختبارات المعملية :

- اختبار مقاومة الضغط بعد فترات مختلفة (7ايام -14 يوماً- 28 يوماً).
- اختبار الامتصاص .
- تقييم خصائص التشغيلية مثل الانسيابية وسهولة الصب .

5. تحليل البيانات :

- مقارنة نتائج العينات المحتوية على برادة الحديد مع الخرسانة التقليدية .
- استخدام الأساليب الإحصائية لتحديد تأثير النسب المختلفة على الخصائص الميكانيكية والفيزيائية .

6. استخلاص النتائج والتوصيات :

- تقديم الاستنتاجات حول تأثير إضافة برادة الحديد على الخرسانة .
- تحديد النسب المثلى للاستخدام العلمي .
- اقتراح توصيات لتطوير الخرسانة وتحسين الأداء في تطبيقات الإنشائية .

6-1 هيكلية البحث :

الباب الأول : المقدمة .

الباب الثاني :الاطار النظري للتقرير .

الباب الثالث :الخطوة التحليلية والية حل مشكلة المشروع (التصميم) .

الباب الرابع :التنفيذ والنمذجة والاختبار .

الباب الخامس : تحليل النتائج والتوصيات .

الباب الثاني

الإطار النظري للتقرير

الباب الثاني

الاطار النظري للتقرير

1-2 مقدمة عن الخرسانة (Concrete) :-

الخرسانة هي بنية Structure يتركب من عدة مواد Materials والجزء الأكبر في هذا البنية هو الركام الذي يتماسك مع بعضه في صورة شبيهة بالكتلة الحجرية وذلك بفعل العجينة الأسمنتية المغلفة للركام والتي تتصلب نتيجة التفاعل الكيميائي بين الأسمنت والماء .

- نسب توزيع المواد المختلفة المكونة للخرسانة (بالحجم) في أغلب الأحوال هي:

ركام (كبير - صغير)	عجينة الأسمنت	فراغات
60 - 70 %	30 - 40 %	1 - 2 %

ويتضح من ذلك أن الركام هو المكون الأساسي لجسم الخرسانة حيث يحتل حوالي من 2\3 الى 3\4 من حجم الخرسانة . والركام يعتبر مادة رخيصة نسبياً بالإضافة إلى أنه يعمل على تقليل التغير الحجمي للخرسانة الناتج من عمليتي الشك والتصلد ومن تغير الرطوبة في عجينة الاسمنت أما عجينة الأسمنت فتقوم بوظيفة فعالة وذلك بإيجاد التماسك بين الركام وإعطاء الخرسانة المقاومة المطلوبة وملء الفراغات بين حبيبات الركام وتسهيل انزلاق الركام أثناء الصب.

2-2 نشأت الخرسانة وتطورها عبر العصور:

1-العصور القديمة:

(a) القدماء (حوالي 3000 ق . م)استخدموا خلطات من الجير والجبس والماء لربط الأحجار في الأهرامات والمعابد .

(b) الإغريق طوروا استخدام الجير في البناء .

2-العصر الروماني (حوالي 300 ق . م – 400 م):

(a) الرومان أحدثوا نقله نوعية باستعمال البوزولانا (رماد بركاني)+الجير + الركام + الماء لتكوين مادة قريبة جداً من الخرسانة الحالية .

(b) بفضل الخلطة شيّدوا مباني عملاقة مثل البانثيون و المدرجات الرومانية التي صمدت لآلاف السنين

3-القرون الوسطى

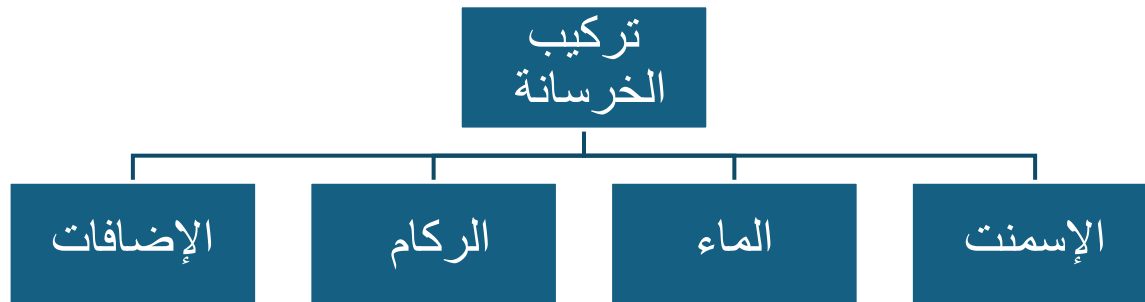
تراجع استخدام الخرسانة واختصر البناء غالباً علي الحجر والطوب .

4-العصر الحديث

(a) عام 1824 م سجل الإنجليزي جوزيف أسبن براءة اختراع الإسمنت البورتلاندي وهو المكون الأساسي للخرسانة الحديثة

(b) بفضل ذلك ظهرت الخرسانة المسلحة (في منتصف القرن التاسع عشر) وأصبحت المادة الأكثر استخداماً في البناء عالمياً .

2-3 تركيب الخرسانة :



الخرسانة هي خليط من مواد رابط + مواد مالئة + ماء وعناصرها الرئيسية :

1- الإسمنت (Cement)

- المادة الرابطة الأساسية عادة الأسمنت البورتلاندي .
- يتفاعل مع الماء (إماهة) ليكون عجينة تربط باقي المكونات .

2- الماء (Water)

- ضروري لحدوث التفاعل الكيميائي مع الإسمنت .
- يجب أن يكون صالحاً للشرب تقريباً (خالٍ من الأملاح والمواد الضارة) .
- نسبة الإسمنت (Water \Cement ratio) من أهم العوامل المؤثرة في مقاومة الخرسانة .

3- الركام (Aggregates)

- يشكل حوالي 60-70 % من حجم الخرسانة .
- ينقسم الى نوعان :
- 1) الركام الناعم (Fine aggregate) : مثل الرمل .
- 2) الركام الخشن (Coarse aggregate) : مثل الزلط أو الحصى أو كسر الحجر .
- أهميته : إعطاء حجم وقوة واستقرار للخليط .

4- الإضافات (Admixtures) - اختيارية

- مواد كيميائية أو معدنية تضاف بكميات صغيرة لتحسين خصائص الخرسانة .
- أمثلة :

- 1) مضافات تقليل الماء .
- 2) مسرعات أو مبطئات الشك .
- 3) إضافات معدنية مثل الرماد المتطاير، السليكا فيوم ، الخبث لزيادة المتانة .

2-4 مادة البرادة :

❖ برادة الحديد هي جسيمات دقيقة ناتجة عن عمليات التشغيل أو القطع أو التجليخ لمواد الحديد .تختلف في الشكل والحجم باختلاف طريقة إنتاجها وتتراوح أبعادها غالباً بين 5, ملم الي 5 ملم ، وقد تكون ذات أشكال غير منتظمة أو ناعمة أو مموجة مما يمنحها خصائص مختلفة عند إضافتها للخرسانة . وتعتبر مادة ناتجة من إعادة التدوير ما يجعل استخدامها في الخلطات الخرسانية خياراً اقتصادياً وصديقاً للبيئة .

تتدرج برادة الحديد ضمن المواد المعدنية التي يمكن استخدامها لتحسين بعض خصائص الخرسانة، خاصة في ظل الاتجاه نحو الاستفادة من المخلفات الصناعية بطرق مستدامة .

1-4-2 أنواع برادة الحديد :

هناك عدة أنواع تلبي مختلف احتياجات الخرسانة بعضها :

1- برادة الحديد العادية :

- تستخدم في الخلطات العامة والتطبيقية بين الحديد والخرسانة .
- ملائمة للمشاريع التي تتطلب مقاومة عالية للشد.

2- برادة الحديد الملساء:

- تناسب التطبيقات التي تحتاج سطح نهائي أملس .
- تقلل من تشكيل الصدأ .

3- برادة الحديد المموجة :

- ❖ تعزيز التماسك بين الخرسانة والحديد .
- التحكم في التشوهات و الانكماشات .

4- برادة الحديد ذات مقاطع خاصة (مستطيلة _مربعة):

تستخدم في تطبيقات معينة وتصاميم خاصة .

2-4-2 استخدامات برادة الحديد :

1- تحسين المتانة:

تقوم بتحسين قوة الخرسانة ومقاومتها للتشقق .

2- تحسين الأداء الحراري :

مقاومة التغيرات الحرارية للخرسانة .

3- مقاومة التآكل :

تعزيز مقاومة التآكل للخرسانة الناتجة من الظروف البيئية .

4- تحسين قوة الشد :

تساهم في زيادة قوة الشد .

2-4-3 الشكل والمظهر :

تتميز برادة الحديد بما يلي :

1- اللون :

رمادي داكن الى اسود .

2- الشكل :

جسيمات غير منتظمة قد تكون حادة الحواف .

3- الحجم :

يتراوح من أجزاء المليمتر الي أقل حسب طريقة الإنتاج .

2-4-4 مزايا الخرسانة المحتوية علي برادة الحديد :

1- زيادة مقاومه الضغط :

حيث تعمل علي ملئ الفراغات مما يزيد من تماسك المزيج الخرساني .

2- زيادة الكثافة :

برادة الحديد ذات كثافة عالية مما يجعلها مناسبة للاستخدام في الخرسانات الثقيلة .

3- تحسين مقاومة التآكل :

وجود الحديد في المزيج يجعل الخرسانة أكثر صلابة ومقاومة للتآكل الناتجة عن الاحتكاك .

4- إعادة تدوير المخلفات الصناعية :

يسهم في تقليل المخلفات الصناعية ويحسن من الاستدامة البيئية.

5- تحسين مقاومة الإشعاع :

الخرسانة الثقيلة المحتوية علي برادة الحديد فعالة في امتصاص الأشعة السينية (X-ray) واشعة

غاما (Gamma rays) ، مما يجعلها مناسبة للمستشفيات (غرفة الأشعة) والمنشآت النووية .

6- خصائص مغناطيسية خاصة (في بعض التطبيقات) :

الخرسانة المحتوية علي الحديد قد تكسب قدرة علي الحماية من المجالات

المغناطيسية او الكهرومغناطيسية وهو مفيد في بعض المنشآت التكنولوجية والعسكرية.

2-4-5 عيوب الخرسانة المحتوية علي برادة الحديد:

1- زيادة الوزن الذاتي للخرسانة.

2- الصدأ والتآكل الداخلي

- برادة الحديد ذات مساحة سطحية كبيرة وسريعة الأكسدة .
- عند تعرض الخرسانة للرطوبة يصدأ الحديد داخلها ينتج عنه تمدد حجمي يؤدي الي تشقق الخرسانة وتفتتها بمرور الوقت .

3- ضعف المتانة طويلة الأمد

- رغم ان الكثافة تزداد ، إلا أن الخرسانة قد تفقد جزءاً من قوتها علي المد البعيد بسبب التفاعلات الكيميائية للحديد مع الماء والأملاح .

4- مشاكل في التشغيلية

- وجود برادة الحديد يجعل الخلطة لزجة وصعبة الدمك اذا لم يتحكم جيداً في نسبة الماء والاضافات .

5- أثر بيئي وصحي

- غبار برادة الحديد أثناء الخلط قد يسبب أضراراً للعاملين ، كما أن التخلص من النفايات صعب بيئياً.

6- زيادة استهلاك الماء لضعف قابلية التشغيل .

2-4-6 تطبيقات الخرسانة المحتوية علي برادة الحديد :

1- المنشآت الصناعية الثقيلة .

2- تنفيذ أرضيات الطرق الصناعية .

3- المنشآت الواقية من الإشعاع.

2-5 الدراسات السابقة:

Alajail et al. (2025) دراسة 1-5-2

في دراسة بعنوان Improving the Properties of Concrete Using Iron Industry Waste قام الباحثون بتحضير خلطات خرسانية بإضافة نسب متفاوتة من برادة الحديد كإضافة دون إحلال أي مكونات أخرى. وقد هدفت الدراسة إلى تقييم تأثير برادة الحديد على مقاومة الانضغاط، الهبوط، الكثافة، ونسبة الامتصاص. أظهرت النتائج أن إضافة برادة الحديد أدت إلى تحسين قابلية التشغيل (الهبوط) وخفض نسبة الامتصاص عند نسب معينة، بينما لوحظ انخفاض بسيط في مقاومة الانضغاط عند النسب العالية مقارنة بالخلطة المرجعية، مما يشير إلى أن هناك نسبة إضافة مثلى يمكن من خلالها الاستفادة من المخلفات المعدنية دون التأثير سلباً على القوة.

2-5-2 دراسة (Al-Hashimi et al. (2018)

ركزت هذه الدراسة على تأثير استخدام برادة الحديد كإحلال جزئي للركام الناعم (الرمل) في الخلطات الخرسانية، وذلك لتحسين الخواص الميكانيكية وتقليل استهلاك الموارد الطبيعية. تمت مقارنة خلطات إحلال بنسبة 10% و 20% و 30% من برادة الحديد ببدل جزئي للرمل مقابل الخلطة المرجعية. أشارت النتائج إلى أن نسب الإحلال المعتدلة (10-20%) أدت إلى تحسن في مقاومة الانضغاط ومقاومة الشد مقارنة بالخلطة المرجعية، بينما لوحظ انخفاض في الخواص عند إحلال 30% بسبب زيادة الفراغات داخل الخرسانة وانخفاض التماسك الداخلي.

2-5-3 دراسة (Taher & Jadooe (2022)

في الدراسة المعنونة Experimental Investigation on High Performance Green Concrete Produced with Iron Filings تم استخدام برادة الحديد كبديل جزئي للركام

الناعم في الخرسانة ذات الأداء العالي، بهدف تحسين الخواص الميكانيكية وتقليل استهلاك المواد الطبيعية. أوضحت النتائج أن استخدام برادة الحديد بنسبة إحلال تصل إلى 15% أدى إلى زيادة في مقاومة الضغط ومتانة الخرسانة مقارنة بالخلطة المرجعية، بينما انخفضت الخواص عند نسب إحلال أعلى من 15%. وخلصت الدراسة إلى أن هناك نسبة إحلال مثلى يمكن من خلالها تحسين أداء الخرسانة باستخدام مخلفات الحديد دون التأثير على المتانة العامة.

2-5-4 دراسة (Ekop et al. (2022

هدفت هذه الدراسة إلى مقارنة تأثير استخدام برادة الحديد مقابل جزيئات الزجاج المعاد تدويرها كركام ناعم في الخرسانة، وذلك لتحديد مدى فاعلية المخلفات المعدنية في تحسين الخواص الخرسانية. تم إعداد خلطات خرسانية تحتوي على نسب متفاوتة من الركام المعاد تدويره، وأظهرت النتائج أن استخدام برادة الحديد ساهم في زيادة كثافة الخرسانة وتحسين مقاومة الانضغاط عند النسب المعتدلة، بينما انخفضت الخواص عند النسب الأعلى من الإحلال بسبب زيادة الفراغات وعدم التجانس في الخلطة.

2-5-5 دراسة (Olawale et al. (2020

تناولت هذه الدراسة استخدام برادة الحديد كبديل جزئي للرمل في الخرسانة ذاتية الدمك (Concrete Self-Compacting)، مع تقييم تأثيرها على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية. أشارت النتائج إلى أن إحلال الرمل بنسبة تصل إلى 10% ببرادة الحديد أدى إلى تحسن في مقاومة الانضغاط وتقليل المسامية، بينما لوحظ تراجع في الخواص عند نسب أكبر من الإحلال. وأكدت

الدراسة على أهمية اختيار النسبة المثلى للإحلال لتحقيق أفضل أداء دون التأثير سلباً على خصائص الخرسانة.

2-5-6 خلاصة الدراسات السابقة

تشير الدراسات السابقة إلى أن استخدام برادة الحديد سواء كإضافة أو كإحلال جزئي في الخلطات الخرسانية يمكن أن يؤثر بشكل إيجابي على بعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية مثل قابلية التشغيل، مقاومة الانضغاط، الكثافة، ونسبة الامتصاص عند النسب المعتدلة. وفي المقابل، فإن استخدام نسب عالية من الإحلال أو الإضافة قد يؤدي إلى انخفاض في بعض الخواص نتيجة زيادة الفراغات وعدم التجانس داخل الخلطة.

الباب الثالث

الخطة التحليلية وآلية حل مشكلة المشروع (التصميم)

الباب الثالث

الخطة التحليلية وآلية حل مشكلة المشروع (التصميم)

1-3 مقدمة:

في هذا الفصل تم تناول اختبارات الخرسانة حسب المدونة البريطانية ضمن الحدود المسموح بها لمعرفة مدة التحسن في جودة الخرسانة ومقاومتها .

2-3 اختبار التدرج الحبيبي للركام :

ترتب مجموعة من المناخل حسب مقاس فتحتها موضوعة فوق بعضها البعض يجرى هذا الاختبار لفصل المقاسات المختلفة من الركام بعضها عن بعض في أي كمية من الركام وذلك باستخدام المناخل .

أكبرها مقاساً من أعلى وأصغرها مقاساً من أسفل ثم وزن المحجوز على كل منخل .
المنخل يعرف بمقاس فتحته أي طول ضلع الفتحة .

يتم حساب النسبة المئوية للركام المار من كل منخل وترسم بيانياً العلاقة بين مقاس فتحة المنخل والنسبة المئوية للركام المار منه ليعبر هذا الرسم عن مدى التوزيع الحجمي للركام .

الهدف من الاختبار:

1- تحديد التدرج الحبيبي للركام للتأكد من مدى مطابقة تدرج الركام لحدود المواصفات وذلك

لاستخدامه في الخلطات الخرسانية .

2- إيجاد معايير النعومة للركام .

3- إيجاد المقاس الأقصى للركام .

الاجهزة المستخدمة في الاختبار :

1- مجموعة غرابيل .

2- ميزان حساس .

3- صندوق تقسيم .

4- فرشاة .

5- هزاز .

طريقة الاختبار :

- ❖ تؤخذ عينة بطريقة التقسيم الرباعي او النصفى وتوزن هذه العينة .
- ❖ ترتب المناخل حسب مقاس فتحتها من أكبرها الى اصغرها فوق بعضها البعض.
- ❖ توضع على الهزاز لمدة 15 دقيقة .
- ❖ نسجل الوزن المحجوز على كل منخل .
- ❖ نسجل الوزن المحجوز المجمع على كل منخل .
- ❖ نستخرج النسبة المئوية للوزن المحجوز المجمع .
- ❖ نستخرج النسبة المئوية لوزن المار المجمع .
- ❖ نحسب معامل النعومة من مجموع النسب المئوية للوزن المحجوز المجمع على تسلسل مناخل الركام الناعم .

الركام الخشن مم
50
37.5
25
19
16
12.5
9.54
4.75

الركام الناعم مم
4.75
2.36
1.18
0.600
0.300
0.150
0.075

3-3 اختبار امتصاص الماء بالنسبة الركام :

هذا الاختبار عبارة عن سلسلة من عمليات الوزن لعينة الركام في الهواء وتحت الماء وبعد التجفيف. ومن خلال هذه التجربة يتم تحديد نسبة امتصاص الركام للماء وذلك بمعرفة كتلة الماء الممتص بواسطة حبيبات الركام وهو الفرق بين كتلة العينة وهي مشبعة وكتلتها وهي جافة ، ويقسم هذا الفرق على الكتلة الجافة للعينة .

الغرض من الاختبار :

تحديد نسبة امتصاص الماء للركام الخشن .

الأجهزة المستخدمة في الاختبار :

1- ميزان .

2- وعاء مانع لنفاذ الماء.

3- قطعة قماش جافة قابلة لامتصاص الماء .

4- فرن درجه حراره (100 - 110) م°.

5- منخل 5 ملم .

طريقة الاختبار :

❖ وزن عينة الركام المراد اختبارها لا يقل عن (2كجم) وتغسل جيداً على منخل 5 ملم .

❖ تغمر في الماء لمدة 24 ساعة وبدرجة حرارة (5-20) م° على أن لا يقل ارتفاع الماء عن 5

سم فوق سطح الركام .

❖ تخرج العينة من الماء ويجفف سطح الركام بقطعة القماش ويفرش لغرض التجفيف بالجو

لإزالة قطرات الماء المرئية على سطح الركام ويوزن الركام (A) .

❖ تجفيف العينة في الفرن درجة حرارته (100 - 110) م° لمدة (24- 2/1) ساعة ثم توزن

(D) .

الحسابات :

امتصاص الماء (% من الوزن الجاف) = $100 \times (A-D)/D$.

3-4 اختبار زمن الشك الابتدائي والنهائي :

يشمل هذا الاختبار تعيين زمن الشك الابتدائي وزمن الشك النهائي .

الغرض من الاختبار:

تعيين زمن الشك الابتدائي وزمن الشك النهائي للأسمنت .

الأجهزة المستخدمة في الاختبار :

1-جهاز فيكات .

2- قالب فيكات .

3- لوح زجاجي .

4- مالج تسوية .

طريقة الاختبار :

❖ يتم عمل عجينة أسمنت ذات قوام قياسي وحسب خطوات العمل في فحص القوام القياسي.

❖ يملأ قالب فيكات بصورة تامه بالعجينة ثم يسوى سطح العجينة مع حافة القالب .

❖ لإيجاد زمن الشك الابتدائي .

❖ يوضع قالب فيكات أسفل الإبرة (إبرة مدورة أو مربعة مساحة مقطعها 1 ملم²) المثبتة في

جهاز فيكات .

❖ تخفض الإبرة ببطء حتي تلامس سطح العجينة ثم تترك لتتفد في العجينة تحت تأثير الوزن

الكلي للحامل والإبرة (300)غم .

❖ تكرر نفاذ الإبرة في العجينة في مواضع مختلفة منها الى أن تتفد الإبرة الى مسافة لا تزيد عن 5 ملم من قاعدة القالب .وعندها يحسب زمن التجمد الابتدائي .

إيجاد زمن الشك النهائي :

❖ تستبدل الإبرة المستخدمة في فحص الشك الابتدائي بأخرى (إبرة مربعة مساحة مقطعها 1ملم

2^٨ مثبتة مع حلقة معدنية دائرية) وتكرر خطوات وضع القالب وتخفيض الإبرة أعلاه .

❖ تكرر نفاذ الإبرة في العجينة في مواضع مختلفة منها الى أن تترك الإبرة أثراً على العجينة

دون ظهور الأثر الدائري للحلقة المعدنية المثبتة حولها وعندها يحسب زمن الشك النهائي .

ملاحظة :

يجب أن تتراوح درجة حرارة المواد والغرفة التي يجرى بها الفحص بين 18-23 م° .

5-3 اختبار القوام القياسي :

هو اختبار يجرى لمعرفة قوام الاسمنت المناسب.

الغرض من الاختبار :

إيجاد كمية الماء اللازمة لإنتاج عجينة الاسمنت ذات القوام القياسي والتي تستعمل لتعين

زمن الشك الابتدائي والنهائي لعجينة الاسمنت .

كمية الماء اللازمة لتحضير عجينة الاسمنت ذات القوام القياسي هي الكمية التي تسمح

للطرف الاسطواني قطره (10ملم) لجهاز فيكات للنفاذ داخل العجينة إلى نقطة تبعد بمقدار

(5-7) ملم من قاع قالب فيكات (40*80)ملم عند فحص الاسمنت .

الأجهزة المستخدمة في الإختبار :

1- جهاز فيكات .

2- قالب فيكات .

3- لوح زجاجي .

4- مالج تسوية .

طريقة الاختبار:

❖ تحضر كمية من الاسمنت وتخلط مع كمية من الماء (تتراوح بين 26-33 % من وزن الاسمنت الجاف) على لوح زجاجي (أبعاده 300*300) ملم بصورة جيدة لمدة (4/1 - 4 دقيقة) وهذه المدة تقاس من لحظة إضافة الماء الى الاسمنت الجاف حتى بدء ملء قالب فيكات بعجينة الاسمنت .

❖ يملأ قالب فيكات المرتكز على لوح زجاجي غير مسامي بعجينة الاسمنت السابقة تحضيرها بصورة تامة وبدفعة واحدة ثم يسوى سطح العجينة مع حافة القالب بسرعة وباستخدام المالج .

❖ يوضع القالب المملوء بالعجينة داخل جهاز فيكات تحت عمود المروود (الغطاس قطره 10 ملم) ويخفض المروود بهدوء حتى يلامس سطح العجينة ويترك ليغطس بصورة حرة تحت تأثير وزنة , وتتم هذه العملية بعد ملء القالب مباشرة .

❖ يحدد مقدار نفاذ المروود في عجينة الاسمنت بتعيين المسافة بين قاعدته وقاعدة القالب بواسطة التدرج الموجود على الجهاز .

❖ يعاد عمل عجائن تجريبية أخرى بكميات ماء مختلفة وتكرر نفس خطوات العمل أعلاه للوصول الى كمية الماء التي تعطي عجينة الاسمنت ذات قوام قياسي (الكمية التي تسمح للطرف

الاسطوانى لجهاز فيكات بالنفاذ داخل العجينة إلى نقطة تبعد بمقدار 5-7 ملم من قاع قالب فيكات).

6-3 التدرج الحبيبي للبرادة :

ترتب مجموعة من المناخل حسب مقاس فتحتها موضوعة فوق بعضها البعض يجرى هذا الاختبار لفصل المقاسات المختلفة من البرادة بعضها عن بعض في أي كمية من البرادة وذلك باستخدام المناخل .

أكبرها مقاساً من أعلى وأصغرها مقاساً من أسفل ثم وزن المحجوز على كل منخل .

المنخل يعرف بمقاس فتحته أي طول ضلع الفتحة .

يتم حساب النسبة المئوية للبرادة المارة من كل منخل وترسم بيانياً العلاقة بين مقاس فتحة المنخل والنسبة المئوية للبرادة المارة منه ليعبر هذا الرسم عن مدى التوزيع الحجمي للبرادة.

الهدف من الاختبار:

1- تحديد التدرج الحبيبي للبرادة للتأكد من مدى مطابقة تدرج البرادة لحدود المواصفات وذلك لاستخدامه في الخلطات الخرسانية .

2- إيجاد معايير النعومة للبرادة.

3- إيجاد المقاس الأقصى للبرادة .

الاجهزة المستخدمة في الاختبار :

1- مجموعة غراييل .

2- ميزان حساس .

3- صندوق تقسيم .

4- فرشاة .

5- هزاز .

طريقة الاختبار :

- ❖ تؤخذ عينة بطريقة التقسيم الرباعي او النصفى وتوزن هذه العينة .
- ❖ ترتب المناخل حسب مقاس فتحتها من أكبرها الى اصغرها فوق بعضها البعض.
- ❖ توضع على الهزاز لمدة 15 دقيقة .
- ❖ نسجل الوزن المحجوز على كل منخل .
- ❖ نسجل الوزن المحجوز المجمع على كل منخل .
- ❖ نستخرج النسبة المئوية للوزن المحجوز المجمع .
- ❖ نستخرج النسبة المئوية لوزن المار المجمع .
- ❖ نحسب معامل النعومة من مجموع النسب المئوية للوزن المحجوز المجمع على تسلسل مناخل الركام الناعم .

الركام الناعم مم
4.75
2.36
1.18
0.600
0.300
0.150
0.075

7-3 الخلطة الخرسانية

1-7-3 الطريقة المستخدمة

لتصميم الخرسانة التي تحتوي على برادة تم اختيار نسبة ماء الى أسمنت (0.5 - 0.48) بما يتناسب مع قوة الضغط المستهدفة .

2-7-3 الخلطات باستخدام برادة الحديد

تم اعداد أربعة خلطات بنسب مختلفة من برادة الحديد كإضافة كما يلي

جدول رقم (3-4) يوضح نسب مكونات الخلطات

الخلطة الخرسانية	البرادة (Kg)	الاسمنت (Kg)	الماء (Kg)	الركام الناعم (Kg)	الركام الخشن (Kg)	المضاف (Kg)
S1	0	11	5.3	19	37	0.275
S2	1.1	11	5.3	19	37	0.275
S3	2.2	11	5.3	19	37	0.275
S4	3.3	11	5.3	19	37	0.275

تم اعداد خلطتان بنسب مختلفة من برادة الحديد كإحلال بدلا عن الرمل كما يلي

جدول رقم (3-5) يوضح نسب مكونات الخلطات

الخلطة الخرسانية	البرادة (Kg)	الاسمنت (Kg)	الماء (Kg)	الركام الناعم (Kg)	الركام الخشن (Kg)	المضاف (Kg)
C1	0	11	5.3	9.5	37	0.055
C2	9.5	11	5.3	9.5	37	0.055

3-7-3 نسب مكونات تصميم الخلطة الخرسانية في المتر المكعب

1-3-7-3 الخلطة الخرسانية المستخدمة في الإضافة

جدول رقم (3-6) يوضح نسب مكونات الخلطة في المتر المكعب

الاسمنت (Kg)	الماء (Kg)	الركام الناعم (Kg)	الركام الخشن (Kg)	المضاف (Kg)
350	175	633.33	1233.33	%2.5

2-3-7-3 الخلطة الخرسانية المستخدمة في الإحلال

جدول رقم (3-7) يوضح نسب مكونات الخلطة في المتر المكعب

الاسمنت (Kg)	الماء (Kg)	الركام الناعم (Kg)	الركام الخشن (Kg)	المضاف (Kg)
350	175	633.33	1233.33	%0.5

3-7-4 المضاف المستخدم (SP901) :

❖ هو ملدن فايق يستخدم لتحسين قابلية التشغيل للخرسانة بدون زيادة نسبة الماء إلى الأسمنت

❖ أساسه (SNF) Sulphonated Naphthalene Formaldehyde

❖ دوره في الخلطة التي تحتوي علي برادة الحديد

❖ مع وجود برادة الحديد :

❖ تتخفض التشغيلية

• يزيد احتمال الانفصال الحبيبي

❖ بالتالي يظهر دور الملدن (SP901)

• يزيد الهبوط

• يحافظ علي مقاومة الضغط

- يقلل الحاجة لزيادة الماء
- يساعد علي توزيع البرادة بشكل متجانس
- ❖ الجرعة المحددة
- (0.5% - 2.5%) من وزن الاسمنت
- ❖ الزيادة المفرطة تؤدي إلى
- تأخير الشك
- نزف (Bleeding)

3-7-5 إجراءات الصب وتحضير العينات

3-7-5-1 الخلط

يخلط ميكانيكياً باستخدام الخلاط ويتم الخلط لمدة 4 دقائق

- يخلط الأسمنت + الركام (الناعم والخشن) + برادة الحديد جاف
- يضاف 70% من الماء
- يذاب sp901 في 30% من الماء المتبقي
- يضاف تدريجياً أثناء الخلط
- مراقبة الهبوط

3-7-5-2 الصب

بعد الوصول الى قيمة الهبوط المناسبة يتم صب العينات بطريقة التالية

❖ تجهيز القوالب

- يتم تنظيف القوالب الخرسانية التي أبعادها (15 * 15 * 15سم) جيداً من الأتربة وبقايا

الصببة السابقة

- دهن القوالب بطبقة رقيقة من الزيت لتسهيل عملية الفك
- يتم التأكد من إحكام القوالب ومنع تسرب الخلطة الخرسانية اثناء الصب
- صب الخرسانة داخل القوالب علي طبقات متساوية
- يتم دمك كل طبقة جيدة بقضيب دمك لإخراج الهواء المحبوس ومنع التحشيش واستكمال الصب

حتي امتلاء القالب

- تسوية السطح العلوي للخرسانة باستخدام مسطرين معدني
- إزالة الخرسانة الزائدة للحصول علي سطح مستوي ومتجانس
- ترك العينات داخل القوالب لمدة 24 ساعة في درجة حرارة الغرفة
- بعد الفك تعالج بغمر في الماء حسب متطلبات الاختبارات

8-3 اختبار الهبوط :

الغرض من الاختبار :

لتحديد قوام الخلطة الخرسانية بتعين مدى هبوطها بعد تشكيلها علي هيئة مخروط ناقص للتأكد من نسب مكونات الخلطة الخرسانية وهومن ايسط وأفضل الوسائل لضبط الجودة للخرسانة .

الأجهزة المستخدمة في الاختبار:

1- قالب الاختبار.

2- قضيب الرص .

3- وعاء خلط معدني .

طريقة الاختبار :

- ❖ ينظف السطح الداخلي للقالب بصورة جيدة .
- ❖ يوضع القالب علي سطح املس وغير مسامي .
- ❖ يملأ القالب علي ثلاث طبقات ارتفاع كل طبقة ثلث ارتفاع القالب تقريباً وتترك كل طبقة بواسطة قضيب القص (25) مرة وموزعة علي السطح وبشرط ان لا ينفذ القضيب الي الطبقة التي تحتها .
- ❖ بعد انتهاء عملية الرص للطبقات الثلاثة يسوى سطح القالب .
- ❖ يرفع القالب بعد ملئه مباشرة وفي اتجاه راسي ويبطء وعناية .
- ❖ يقاس مقدار الهبوط بعد رفع القالب مباشرة وهو الفرق بين ارتفاع القالب وارتفاع مركز عينة الخرسانة الطرية .
- ❖ يتم وصف القوام إم جاف أو صلب أو لدن أو مبتل أو رخو وذلك حسب قيمة الهبوط .

3-9 اختبار الكثافة للخرسانة:

هو قياس كثافة الخرسانة بعد أن تجف وتتصلب تماماً.

يعتمد على معرفة حجم ووزن العينة الخرسانية .

الهدف من الاختبار:

1- تحديد مدى جودة الدمك .

2- التأكد من المسامية : الخرسانة ذات المسامية العالية تكون كثافتها أقل .

الأجهزة المستخدمة في الاختبار:

- 1- مكعبات خرسانية تم صبها واختبارها بعد التصلب.
 - 2- ميزان حساس .
 - 3- ماء أو فرن تجفيف (لإزالة الرطوبة إذا كان الاختبار في حالة جافة).
- طريقة الاختبار .

❖ وزن العينة : نقوم بوزن العينة الجافة بعد 28 يوماً بعد التصلب .

❖ حساب الحجم : يتم حساب حجم العينة بواسطة أبعاد المكعب .

الحسابات:

الكثافة = الوزن / الحجم.

3-10 اختبار مقاومة الضغط :

الغرض من الاختبار:

يجرى اختبار تحديد مقاومة الضغط للخرسانة المتصلبة عادة بعد مرور (28) يوماً على صب العينات وفي بعض الأحيان بعد (7) أيام أو بعد فترة أخرى حسب الحاجة لمعرفة مقدار القوة التي تسبب الفشل لمكعبات الخرسانة .

الأجهزة المستخدمة في الاختبار:

- 1- قوالب مكعبة طول ضلعها (15) سم .
- 2- قضيب رص معدني مربع المقطع طول ضلعة (25) ملم.
- 3- جهاز فحص الانضغاط .

طريقة الاختبار :

❖ توزن الكميات اللازمة من الأسمنت والركام الناعم والركام الخشن والماء ، ويراعى عند حساب الوزن أن تزيد كمية الخرسانة المخلوطة عن الخرسانة اللازمة لملء القوالب بحوالي 15% وذلك لتعويض أي فقد قد يحدث أثناء الاختبار .

❖ يعد قالب الاختبار وتغطى أوجه القالب الداخلية بطبقة رقيقة من الزيت الخفيف .

❖ تخطط مكونات الخرسانة إما ميكانيكياً أو يدوياً خلطاً جيداً حتي يصبح لونها متجانس

❖ بمجرد الانتهاء من الخلط تجرى اختبارات القوام (الهبوط) أو أي اختبارات أخرى.

❖ بعد اختبارات الخرسانة الطازجة يملأ القالب مباشرة بالخرسانة علي 3 طبقات وتلك كل طبقة

إما بماكينة الاهتزاز أو يدوياً حتي ترص الخرسانة رصاً تاماً دون حدوث انفصال حبيبي .

❖ تغطى القوالب بعد صبها مباشرة وتوضع في مكان درجة حرارته 15 الى 20 درجة مئوية

لفترة 24 ساعة ويلاحظ أن لا تتعرض لأي اهتزازات .

❖ تؤشر العينات الخرسانية بعد ذلك ثم تفك من القوالب وتغمر في الحال في ماء نقي درجة

حرارته حوالي 15-20 درجة مئوية وتترك حتى وقت الاختبار ويفضل ترك مسافات بين

المكعبات فوق بعضها .

❖ تختبر العينة بوضعها بجهاز الاختبار حيث يكون محورها منطبقاً مع محور رأس الجهاز وفي

حالة العينة المكعبة يلزم أن يكون وجهي العينة الملامسين لسطحي رأس الجهاز هما الوجهين

المقابلين للسطح الداخلي للقالب المعدني لضمان استوائهما وتوازيهما .

❖ لكل اختبار تختبر ثلاثة عينات وتوخذ القيمة المتوسطة للنتائج .

11-3 اختبار الامتصاص بالنسبة للخرسانة المتصلبة :

هذا الاختبار عبارة عن سلسلة من عمليات الوزن لعينة من الخرسانة المتصلبة في الهواء وتحت الماء وبعد التجفيف .

ومن خلال هذه التجربة يتم تحديد نسبة امتصاص الخرسانة المتصلبة للماء وذلك بمعرفة كتلة الماء الممتص بواسطة الخرسانة وهو الفرق بين كتلة العينة وهي مشبعة وكتلتها وهي جافة ، ويقسم هذا الفرق على الكتلة الجافة للعينة ومؤشر مباشر على الكثافة ،المسامية ،وجودة الخرسانة .

الغرض من الاختبار

1- تحديد نسبة امتصاص الماء للخرسانة المتصلبة .

2- تقييم متانة الخرسانة ومقاومتها للنفاذية .

الأجهزة المستخدمة في الاختبار :

1- ميزان .

2- احواض معالجة مانعه لنفاذ الماء .

3- قطعة قماش جافة قابلة لامتصاص الماء .

4- فرن درجة حرارته (100-110) م° .

طريقة الاختبار :

❖ تؤخذ مكعبات الخرسانة المتصلبة المراد اختبارها بعد غمرها في الماء لمدة (28) يوم

وبدرجة حرارة (5-20) على أن لا يقل ارتفاع الماء عن 5 سم فوق سطح المكعبات ومن

ثم تنظف من الشوائب والأتربة .

❖ توضع العينات في فرن درجة حرارته (105-110) م° وتترك حتى ثبات الوزن (عادة 24

ساعة) وتخرج العينات وتترك لتبرد في الهواء ويقاس الوزن وسجل على أنه (W1) .

❖ تغمر العينات بالكامل في ماء نظيف بدرجة حرارة الغرفة لمدة 24 ساعة ويجب أن يغطي

الماء العينات تماماً .

❖ تخرج العينات من الماء ويمسح السطح الخارجي بقطعة قماش لإزالة الماء السطحي فقط

ويقاس الوزن مباشرة ويسجل على أنه (W2) .

الحسابات :

نسبة امتصاص الماء % = $(w2-w1)/w1 * 100$) .

الباب الرابع

التنفيذ والنمذجة والاختبار

الباب الرابع

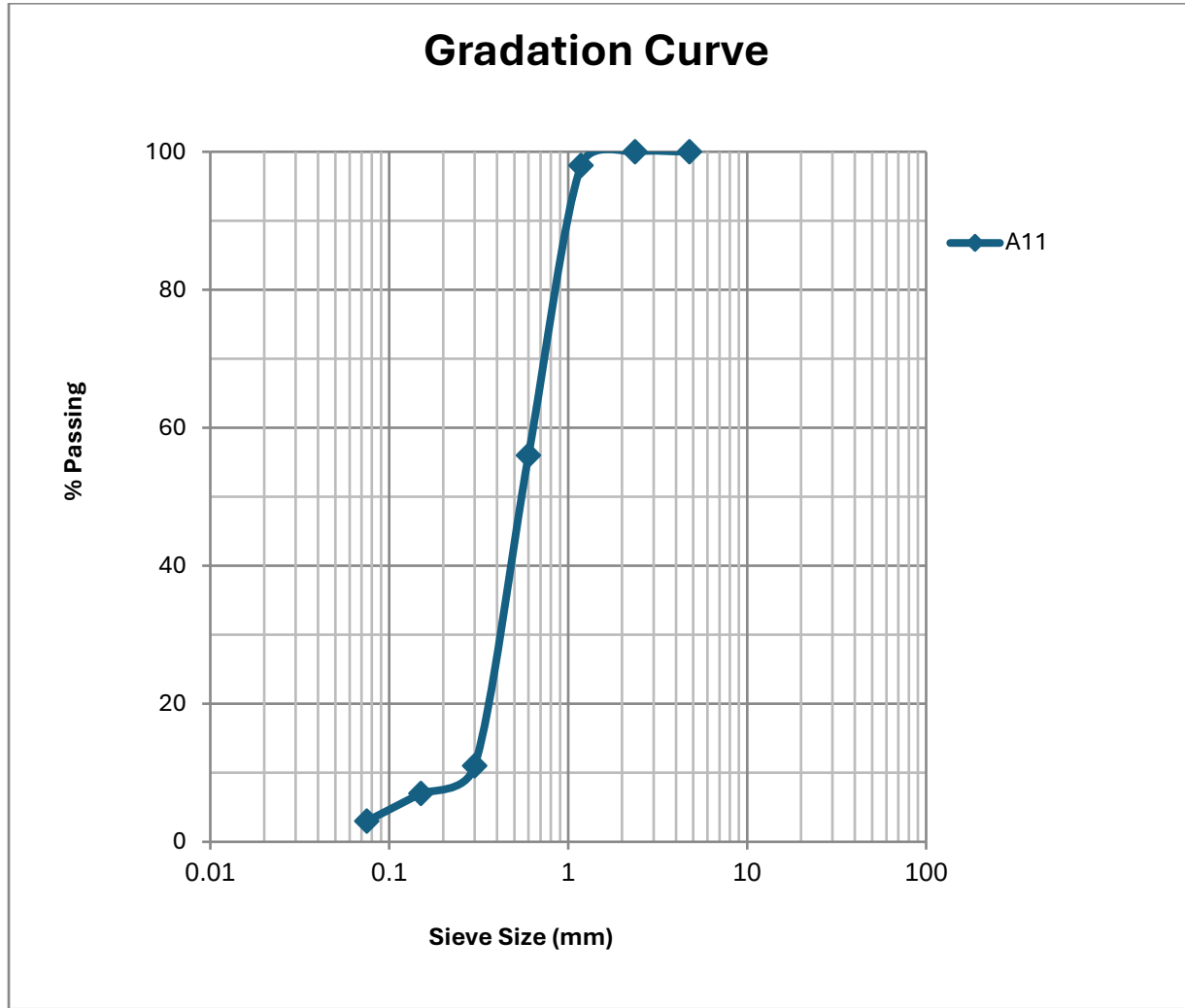
التنفيذ والنمذجة والاختبار

1-4 التجارب المعملية للمواد:

1-1-4 نتائج اختبار التدرج الحبيبي:

جدول رقم (1-4) يوضح التدرج الحبيبي للركام الخشن :

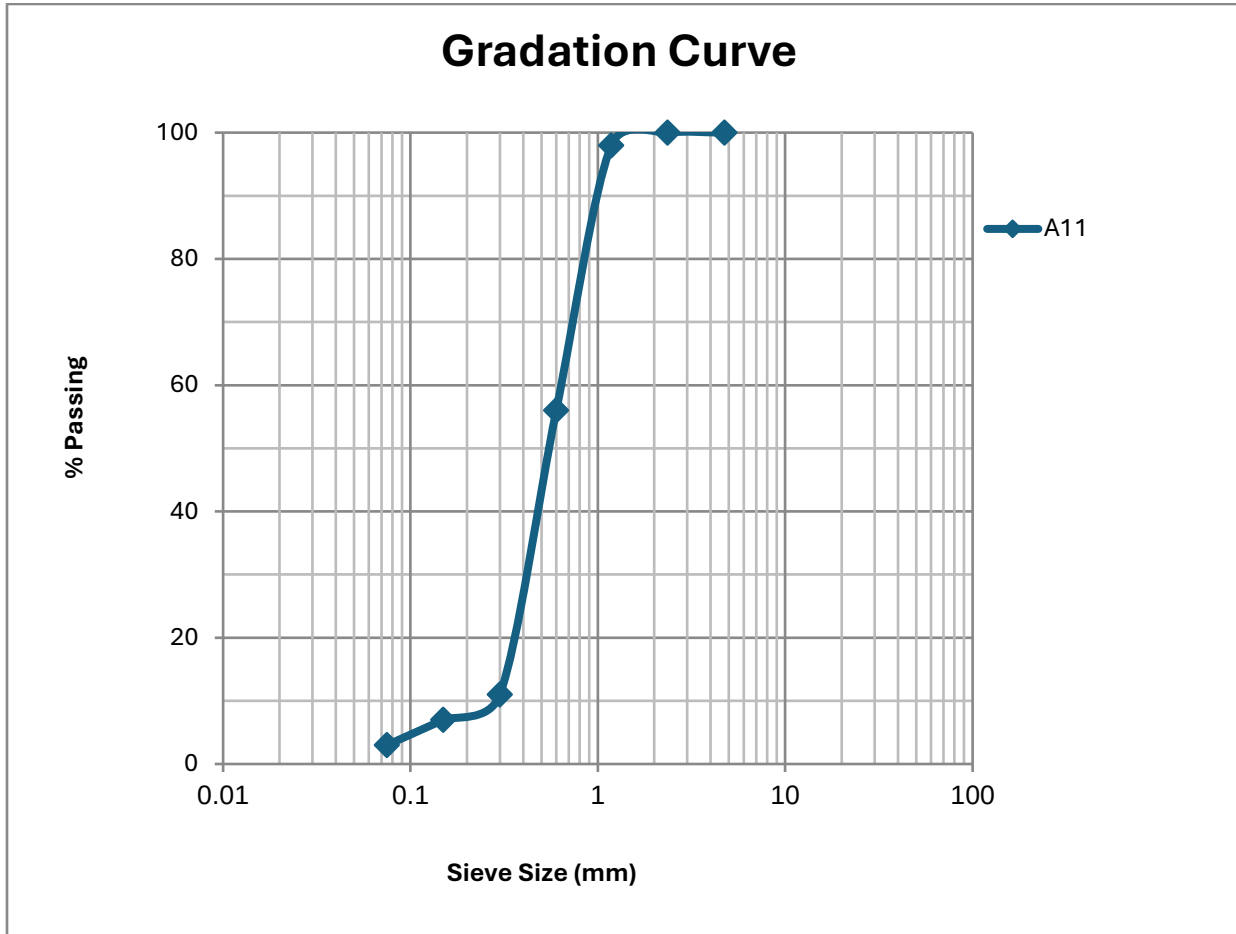
مقاس المنخل (mm)	الوزن المتبقي (g)	الوزن المتبقي المجموع (g)	نسبة المتبقي %	نسبة المار %
50	0	0	0	%100
37.5	0	0	0	%100
25	0	0	0	%100
19	580	580	%29	%71
16	189.47	769.47	%38.5	%61.5
12.5	461.03	1230.5	%61.5	%38.5
9.5	638.16	1868.66	%93.4	%6.6
4.75	124.22	1992.88	%99.6	%0.4
Pan	7.12	2000	%100	0



مخطط رقم (1-4) يوضح منحنى التدرج الحبيبي للركام الخشن

جدول رقم 2-4 يوضح التدرج الحبيبي للركام الناعم :

مقاس المنخل (mm)	الوزن المتبقي (g)	الوزن المتبقي المجموع (g)	نسبة المتبقي %	نسبة المار %
4.75	3.55	3.55	%0.355	%99.6
2.36	3.32	6.87	%0.687	%99.3
1.18	26.96	33.83	%3.383	%96.6
0.600	115.30	149.13	%14.913	%85
0.300	656.91	806.04	%80.604	%19.4
0.150	63.60	869.64	%86.964	%13.04
0.075	99.30	968.94	%96.894	%3.1
Pan	31.06	1000	%100	0



مخطط رقم (2-4) يوضح منحنى التدرج الحبيبي للركام الناعم

2-1-4 نتائج اختبار امتصاص الركام

جدول رقم (3-4) يوضح نسبة امتصاص الركام :

نسبة الامتصاص	الوزن الجاف (g)	الوزن الرطب (g)
0.01	1965	1985

4-1-3 نتائج اختبار زمن التجمد والقوام القياسي :

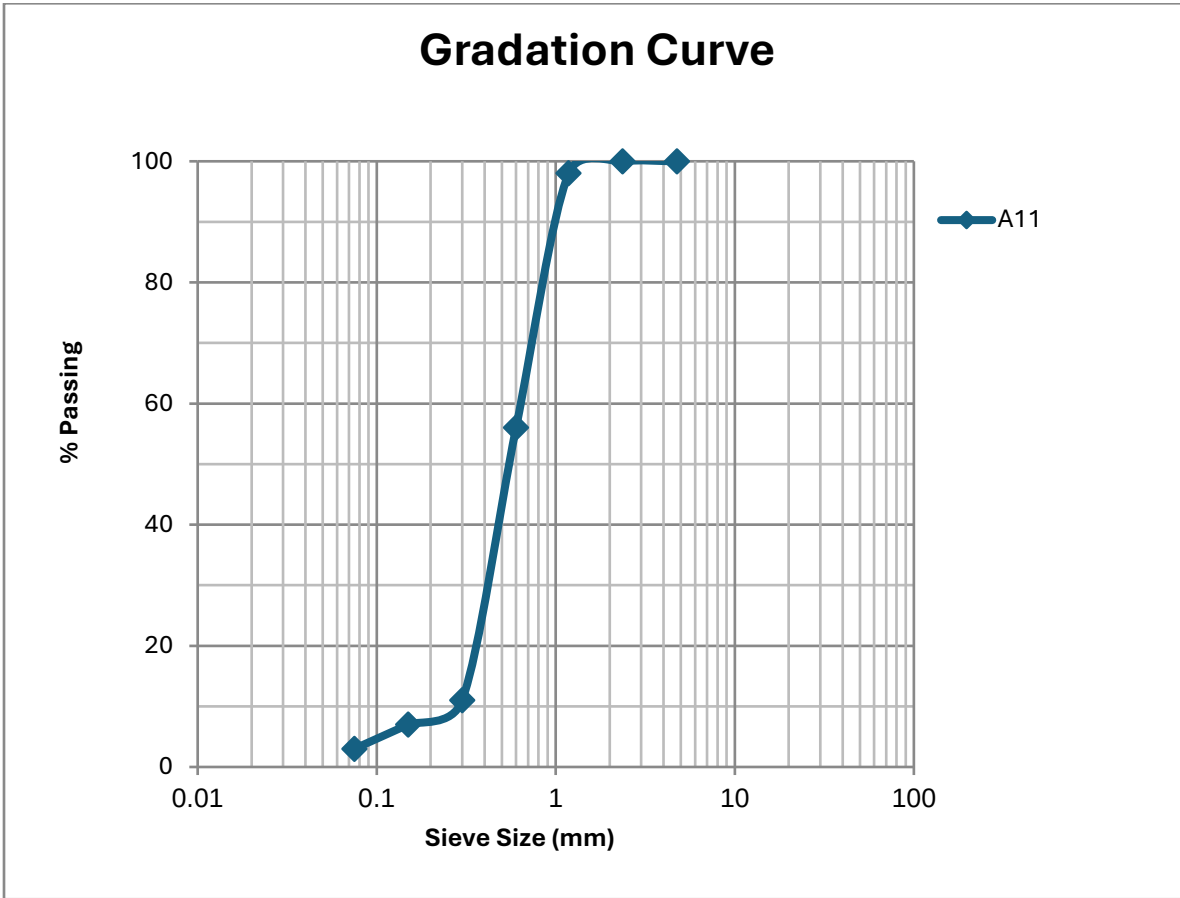
جدول 4-4 يوضح زمن الشك الابتدائي والنهائي والقوام القياسي للأسمنت :

زمن بداية التجربة	كمية الماء المضاف	نسبة الماء الى الأسمنت	كمية الأسمنت	زمن الشك الابتدائي	زمن الشك النهائي
11:20ص	127.6(g)	31.9%	400(g)	11:20ص	1:50م

4-1-4 نتائج اختبار التدرج الحبيبي للبرادة:

جدول رقم 4-5 يوضح التدرج الحبيبي للبرادة :

مقاس المنخل (mm)	الوزن المتبقي (g)	الوزن المتبقي المجموع (g)	نسبة المتبقي %	نسبة المار %
4.75	0	0	0	100%
2.36	0.09	0.09	0.009%	99.99%
1.18	22.1	22.19	2.219%	97.8%
0.600	422.8	444.99	44.499%	55.5%
0.300	447.2	892.19	89.219%	10.8%
0.150	34.1	926.29	92.629%	7.4%
0.075	39.9	966.19	96.619%	3.4%
Pan	33.81	1000	100%	0



مخطط رقم (3-4) يوضح منحنى التدرج الحبيبي للبرادة

2-4 الخلطة المرجعية للإضافة:

1-2-4 نتائج اختبار الهبوط:

جدول رقم 4-6 يوضح قيمة الهبوط للخلطة المرجعية

الهبوط (mm)	قوام الخلطة الخرسانية
80	لدن (plastic)

4-2-2 نتائج اختبار الكثافة :

جدول رقم 4-7 يوضح الكثافة للخلطة المرجعية

الكتلة (g)	الحجم (cm ³)	الكثافة (kg/m ³)	متوسط الكثافة (kg/m ³)
8035	3375	2381	2429
8350	3375	2474	
8210	3375	2432	

4-2-3 نتائج اختبار مقاومة الضغط:

جدول رقم 4-8 يوضح مقاومة الضغط للخلطة المرجعية (خالي برادة) بعمر (7) أيام

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8225	423.748	18.83	18.77
8435	448.425	19.93	
8250	394.996	17.55	

جدول 4-9 يوضح مقاومة الضغط للخلطة المرجعية (خالي برادة) بعمر (14) يوم

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8280	497.25	22.1	22.1
8295	508.51	22.6	
8273	483.75	21.5	

جدول 4-10 يوضح مقاومة الضغط للخلطة المرجعية (خالي برادة) بعمر (28) يوم

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8035	608.720	27.054	27.4
8350	623.803	27.724	
8210	615.702	27.365	

4-2-4 نتائج اختبار الامتصاص :

جدول رقم 4-11 يوضح نسبة الامتصاص في الخرسانة المتصلدة للخلطة المرجعية (خالي برادة)

وزن العينة جافة (g)(W1)	وزن العينة مشبعة (g)(W2)	نسبة الامتصاص	متوسط نسبة الامتصاص	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8085	8230	1.8	1.8	575.802	25.591	25.74
8105	8250	1.8		590.602	26.249	
8110	8255	1.8		571.058	25.380	

4-3 نسبة البرادة المضافة (10%) :

4-3-1 نتائج اختبار الهبوط

جدول رقم 4-12 يوضح قيمة الهبوط عند نسبة (10%)

الهبوط (mm)	قوام الخلطة الخرسانية
170	مبتل (wet)

4-3-2 نتائج اختبار الكثافة:

جدول رقم 4-13 يوضح الكثافة عند نسبة (10%)

الكتلة (g)	الحجم (cm ³)	الكثافة (kg/m ³)	متوسط الكثافة (kg/m ³)
8610	3375	2551	2511
8400	3375	2489	
8410	3375	2492	

4-3-3 نتائج اختبار مقاومة الضغط :

جدول رقم 4-14 يوضح مقاومة الضغط عند نسبة (10%) بعمر (7) أيام

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8535	577.978	25.688	25.976
8335	606.212	26.943	
8425	569.211	25.298	

جدول رقم 4-15 يوضح مقاومة الضغط عند نسبة (10%) بعمر (14) يوم

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8395	582.575	25.892	26.075
8185	586.299	26.057	
8275	591.215	26.276	

جدول رقم 4-16 يوضح مقاومة الضغط عند نسبة (10%) بعمر (28) يوم

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8610	641.524	28.512	28.209
8400	624.829	27.770	
8410	637.815	28.347	

4-3-4 نتائج اختبار الامتصاص :

جدول رقم 4-17 يوضح نسبة الامتصاص في الخرسانة المتصلدة عند نسبة (10%)

وزن العينة جافة (g)(W1)	وزن العينة مشبعة (g)(W2)	نسبة الامتصاص	متوسط نسبة الامتصاص	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8240	8320	1	0.93	600.380	26.684	27.538
8275	8350	0.9		632.181	28.097	
8258	8330	0.9		626.251	27.833	

4-4 نسبة البرادة المضافة (20%) :

4-4-1 نتائج اختبار الهبوط

جدول رقم 4-18 يوضح قيمة الهبوط عند نسبة (20%)

الهبوط (mm)	قوام الخلطة الخرسانية مبتل (wet)
175	

4-4-2 نتائج اختبار الكثافة:

جدول رقم 4-19 يوضح متوسط الكثافة عند نسبة (20%)

الكتلة (g)	الحجم (cm ³)	الكثافة (kg/m ³)	متوسط الكثافة (kg/m ³)
8850	3375	2622	2566
8755	3375	2594	
8375	3375	2481	

4-4-3 نتائج اختبار مقاومة الضغط :

جدول رقم 4-20 يوضح مقاومة الضغط عند نسبة (20%) بعمر (7) أيام

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8850	645.574	28.692	28.216
8755	663.089	29.470	
8375	595.963	26.487	

جدول رقم 4-21 يوضح مقاومة الضغط عند نسبة (20%) بعمر (14) يوم

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8680	665.125	29.561	29.489
8420	672.125	29.872	
8530	653.251	29.033	

جدول رقم 22-4 يوضح مقاومة الضغط عند نسبة (20%) بعمر (28) يوم

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8850	695.574	30.914	30.327
8755	663.089	29.471	
8375	688.421	30.596	

4-4-4 نتائج اختبار الامتصاص:

جدول رقم 23-4 يوضح نسبة الامتصاص في الخرسانة المتصلدة عند نسبة (20%)

وزن العينة جافة (g)(W1)	وزن العينة مشبعة (g)(W2)	نسبة الامتصاص	متوسط نسبة الامتصاص	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	مقاومة الضغط (MPa)
8840	8930	1.02	0.973	572.407	25.440	24.997
8745	8820	0.9		562.427	24.997	
8645	8730	1		552.438	24.553	

5-4 نسبة البرادة المضافة (30%):

1-5-4 نتائج اختبار الهبوط

جدول رقم 24-4 يوضح قيمة الهبوط عند نسبة (30%)

الهبوط (mm)	قوام الخلطة الخرسانية
180	مبتل (wet)

2-5-4 نتائج اختبار الكثافة

جدول رقم 25-4 يوضح الكثافة عند نسبة (30%)

الكتلة (g)	الحجم (cm ³)	الكثافة (kg/m ³)	متوسط الكثافة (kg/m ³)
8515	3375	2523	2558
8745	3375	2591	
8645	3375	2561	

4-5-3 نتائج اختبار مقاومة الضغط:

جدول رقم 26-4 يوضح مقاومة الضغط عند نسبة (30%) بعمر (7) أيام

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8455	407.128	18.095	18.683
8500	434.421	19.308	
8490	419.517	18.645	

جدول رقم 27-4 يوضح مقاومة الضغط عند نسبة (30%) بعمر (14) يوم

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8422	451.139	20.051	21.551
8131	511.211	22.720	
8158	492.356	21.882	

جدول رقم 28-4 يوضح مقاومة الضغط عند نسبة (30%) بعمر (28) يوم

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8515	499.025	22.179	23.395
8445	539.899	23.995	
8645	540.248	24.011	

4-5-4 نتائج اختبار الامتصاص :

جدول رقم 29-4 يوضح نسبة الامتصاص في الخرسانة المتصلدة عند نسبة (30%)

وزن العينة جافة (g)(W1)	وزن العينة مشبعة (g)(W2)	نسبة الامتصاص	متوسط نسبة الامتصاص	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8615	8700	1	1.1	530.914	23.596	21.478
8475	8575	1		428.449	19.042	
8540	8650	1.3		490.467	21.795	

6-4 الخلطة المرجعية للإحلال :

1-6-4 نتائج اختبار الهبوط

جدول رقم 30-4 يوضح قيمة الهبوط عند نسبة إحلال (0%)

الهبوط (mm)	قوام الخلطة الخرسانية
75	لدن (plastic)

2-6-4 نتائج اختبار الكثافة

جدول رقم 31-4 يوضح الكثافة عند نسبة إحلال (0%)

الكتلة (g)	الحجم (cm ³)	الكثافة (kg/m ³)	متوسط الكثافة (kg/m ³)
8520	3375	2524	2527
8550	3375	2533	
8515	3375	2523	

3-6-4 نتائج اختبار مقاومة الضغط :

جدول رقم 32-4 يوضح مقاومة الضغط عند نسبة إحلال (0%) بعمر (7) أيام

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8060	412.605	18.338	18.186
8140	408.666	18.163	
8220	406.303	18.058	

جدول رقم 33-4 يوضح مقاومة الضغط عند نسبة إحلال (0%) بعمر (14) يوم

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8455	539.550	23.980	23.782
8420	534.420	23.752	
8415	531.315	23.614	

جدول رقم 34-4 يوضح مقاومة الضغط عند نسبة إحلال (0%) بعمر (28) يوم

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8690	634.765	28.212	27.979
8625	628.729	27.944	
8620	652.076	27.781	

4-6-4 نتائج اختبار الامتصاص :

جدول رقم 35-4 يوضح نسبة الامتصاص في الخرسانة المتصلدة عند نسبة (0%)

وزن العينة جافة (g)(W1)	وزن العينة مشبعة (g)(W2)	نسبة الامتصاص	متوسط نسبة الامتصاص	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8185	8330	1.8	1.77	562.820	25.014	25.758
8205	8350	1.8		590.612	26.249	
8350	8490	1.7		585.236	26.010	

7-4 نسبة إحلال البرادة بدلا عن الرمل بنسبة (50%)

7-4-1 نتائج اختبار الهبوط

جدول رقم 36-4 يوضح قيمة الهبوط عند نسبة إحلال (50%)

الهبوط (mm)	قوام الخلطة الخرسانية
170	مبتل (wet)

7-4-2 نتائج اختبار الكثافة

جدول رقم 37-4 يوضح الكثافة عند نسبة إحلال (50%)

الكتلة (g)	الحجم (cm ³)	الكثافة (kg/m ³)	متوسط الكثافة (kg/m ³)
8726	3375	2585	2569
8599	3375	2548	
8686	3375	2574	

3-7-4 نتائج اختبار مقاومة الضغط :

جدول رقم 4-38 يوضح مقاومة الضغط عند نسبة إحلال (50%) بعمر (7) أيام

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8845	430.163	19.110	19.561
8825	605.889	26.928	
8834	450.254	20.011	

جدول رقم 4-39 يوضح مقاومة الضغط عند نسبة إحلال (50%) بعمر (14) يوم

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8745	554.905	24.662	24.752
8805	594.673	26.429	
8542	521.214	23.165	

جدول رقم 4-40 يوضح مقاومة الضغط عند نسبة إحلال (50%) بعمر (28) يوم

الكتلة (g)	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8726	625.333	27.792	25.878
8599	558.319	24.814	
8686	563.121	25.028	

4-7-4 نتائج اختبار الامتصاص :

جدول رقم 4-41 يوضح نسبة الامتصاص في الخرسانة المتصلدة عند نسبة إحلال (50%)

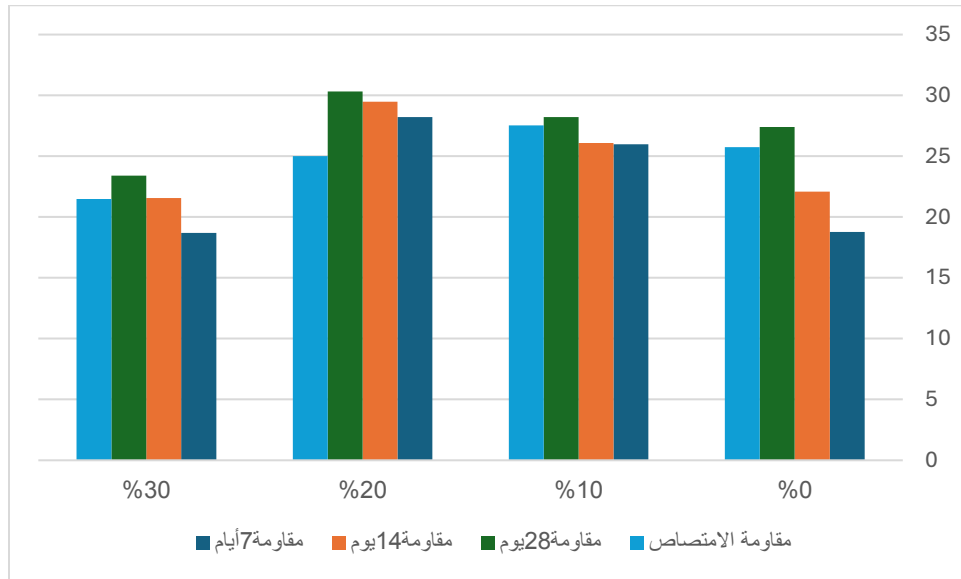
وزن العينة جافة (g)(W1)	وزن العينة مشبعة (g)(W2)	نسبة الامتصاص	متوسط نسبة الامتصاص	القوة المؤثرة (KN)	مقاومة الضغط (MPa)	متوسط مقاومة الضغط (MPa)
8925	9010	0.95	1	564.660	25.096	25.188
8750	8830	0.91		565.980	25.155	
8410	8505	1.13		569.574	25.314	

8-4 مقارنة بين نتائج الخلطات

1-8-4 خلطات الإضافة

جدول رقم (4-4) يوضح مقاومات الضغط للخلطات الخرسانية للإضافة بأعمار 7 و14 و28 أيام وبعد اختبار الامتصاص

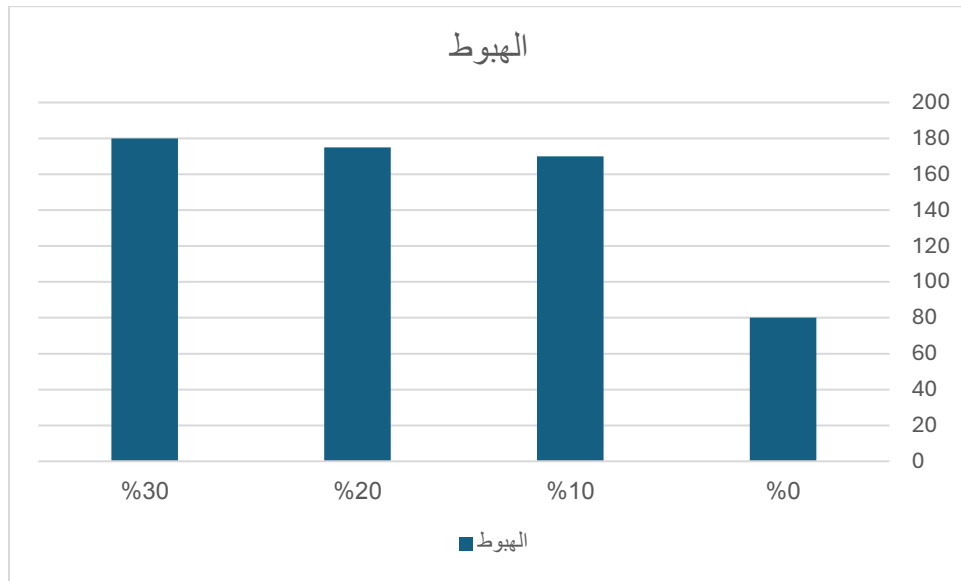
مقاومة الضغط (MPa) بعد اختبار الامتصاص	مقاومة الضغط (MPa) (28) أيام	مقاومة الضغط (MPa) (14) يوم	مقاومة الضغط (MPa) (7) أيام	نسبة البرادة في الخلطات
25.74	27.40	22.10	18.77	%0
27.538	28.209	26.075	25.976	%10
24.997	30.327	29.489	28.216	%20
21.478	23.398	21.551	18.683	%30



مخطط رقم (4-4) يوضح مقاومات الضغط للخلطات الخرسانية للإضافة بأعمار 7 و14 و28 أيام وبعد اختبار الامتصاص

جدول رقم (4-43) يوضح مقدار الهبوط في الخلطات الخرسانية للإضافة

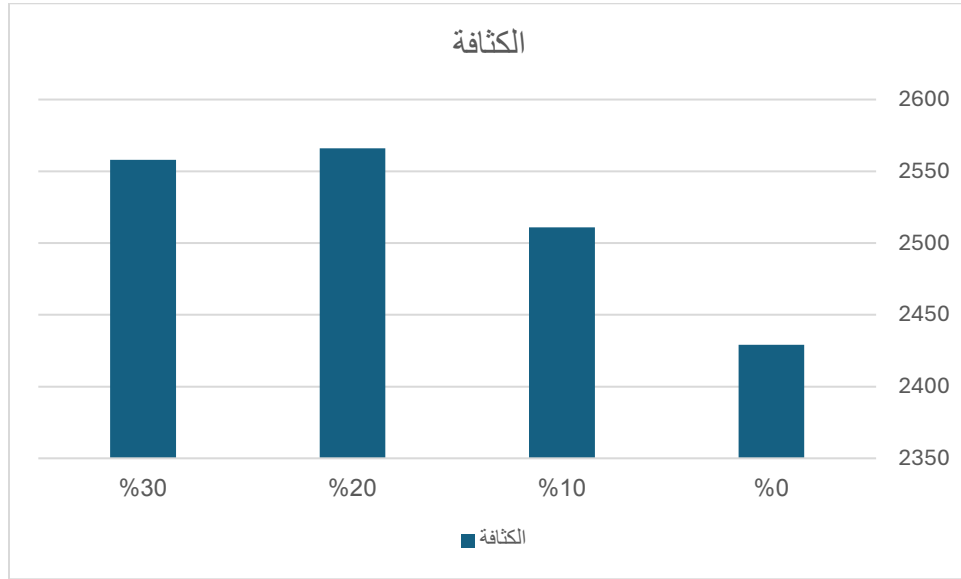
الهبوط (mm)	نسبة البرادة في الخلطات
80	%0
170	%10
175	%20
180	%30



مخطط رقم (4-5) يوضح مقدار الهبوط في الخلطات الخرسانية للإضافة

جدول رقم (4-44) يوضح الكثافة للخلطات الخرسانية للإضافة

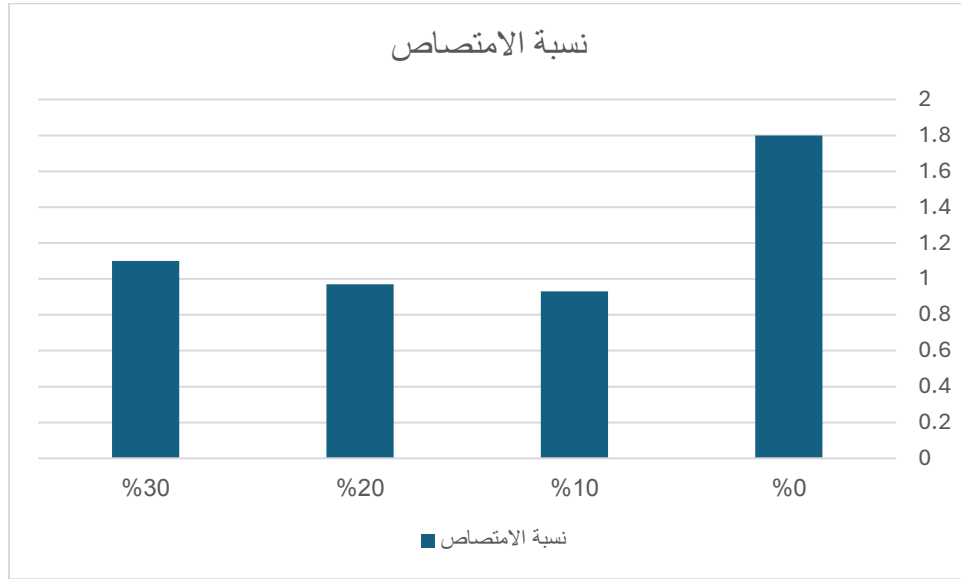
الكثافة (kg/m ³)	نسبة البرادة في الخلطات
2429	%0
2511	%10
2566	%20
2558	%30



مخطط رقم (4-6) يوضح الكثافة للخلطات الخرسانية للإضافة

جدول رقم (4-45) يوضح نسبة الامتصاص في الخلطات الخرسانية للإضافة

نسبة البرادة في الخلطات	نسبة الامتصاص
%0	1.8
%10	0.93
%20	0.97
%30	1.1



مخطط رقم (7-4) يوضح نسبة الامتصاص في الخلطات الخرسانية للإضافة

جدول رقم (46-4) يوضح نسبة مقارنة بين نتائج خلطات الإضافة

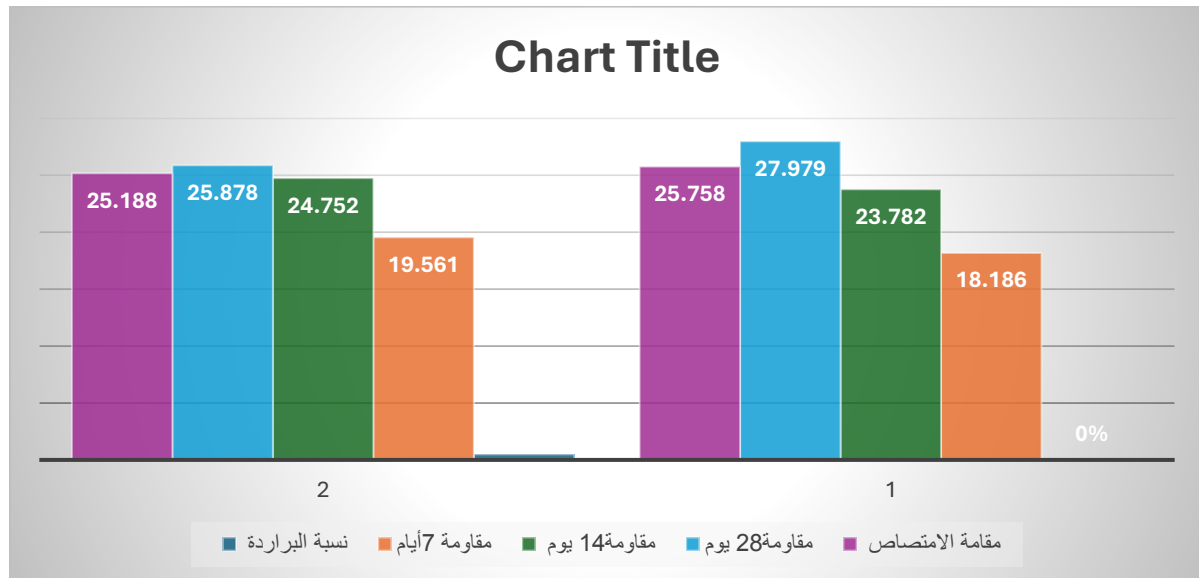
نسبة البرادة في الخلطات	مقاومة الضغط (MPa) (7 أيام)	مقاومة الضغط (MPa) (14 يوم)	مقاومة الضغط (MPa) (28 يوم)	الهبوط (mm)	الكثافة (kg/m ³)	نسبة الامتصاص	مقاومة الضغط (MPa) بعد اختبار الامتصاص
%0	18.77	22.10	27.40	80	2429	1.8	25.74
%10	25.976	26.075	28.209	170	2511	0.93	27.538
%20	28.216	29.489	30.327	175	2566	0.97	24.997
%30	18.683	21.551	23.398	180	2558	1.1	21.478

2-8-4 خلطات الإحلال

جدول رقم (47-4) يوضح مقاومات الضغط للخلطات الخرسانية للإضافة بأعمار 7 و14 و28 أيام

وبعد اختبار الامتصاص لخلطات الإحلال

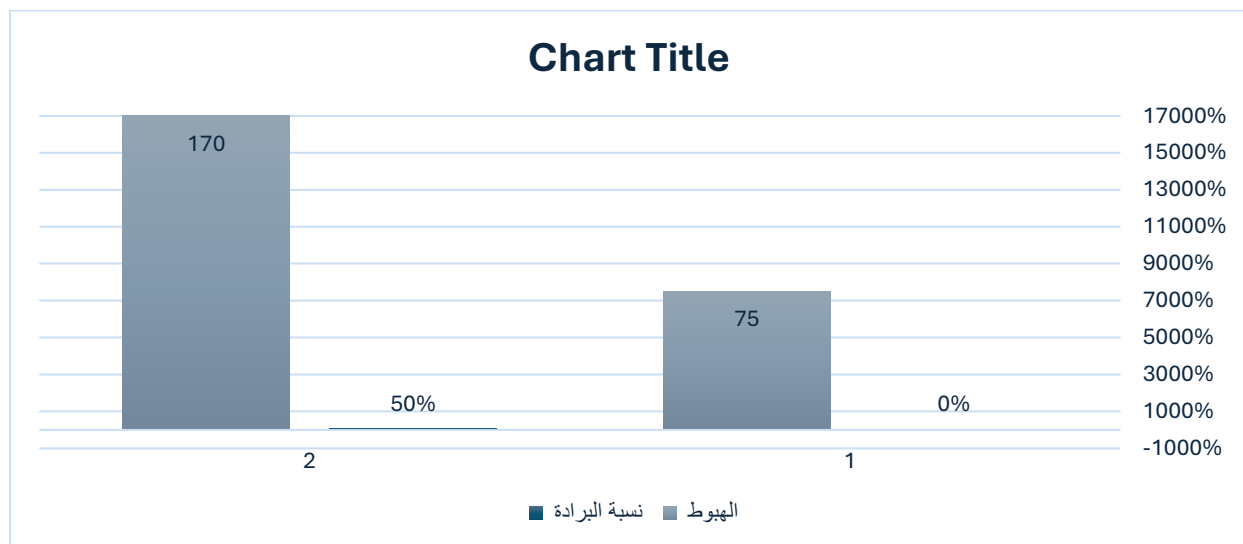
نسبة البرادة في الخلطات	مقاومة الضغط (MPa) (7 أيام)	مقاومة الضغط (MPa) (14 يوم)	مقاومة الضغط (MPa) (28 أيام)	مقاومة الضغط (MPa) بعد اختبار الامتصاص
%0	18.186	23.782	27.979	25.758
%50	19.561	24.752	25.878	25.188



مخطط رقم (4-8) يوضح مقاومات الضغط في الخلطات الخرسانية للإحلال

جدول رقم (4-48) يوضح مقدار الهبوط في الخلطات الخرسانية للإحلال

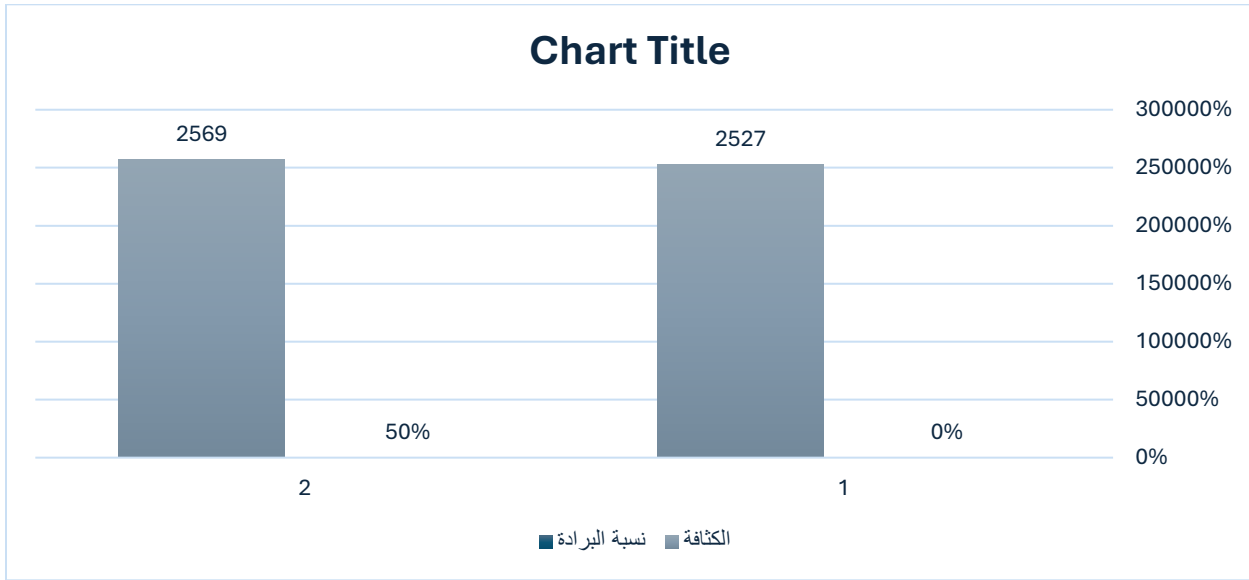
الهبوط (mm)	نسبة البرادة في الخلطات
75	%0
170	%50



مخطط رقم (4-9) يوضح مقدار الهبوط في الخلطات الخرسانية للإحلال

جدول رقم (4-49) يوضح الكثافة في الخلطات الخرسانية للإحلال

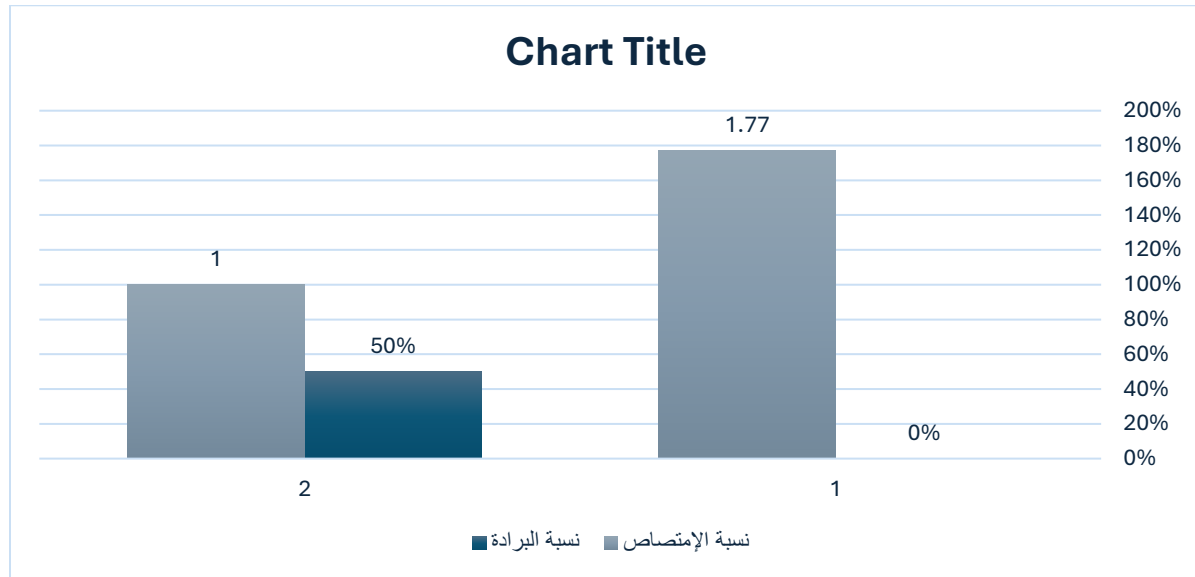
الكثافة (kg/m ³)	نسبة البرادة في الخلطات
2527	%0
2569	%50



مخطط رقم (4-10) يوضح الكثافة في الخلطات الخرسانية للإحلال

جدول رقم (4-50) يوضح نسبة الامتصاص في الخلطات الخرسانية للإحلال

نسبة البرادة في الخلطات	نسبة الامتصاص
%0	1.770
%50	1



مخطط رقم (4-11) يوضح نسبة الإمتصاص في الخلطات الخرسانية للإحلال

جدول رقم (4-51) يوضح نسبة مقارنة بين نتائج خلطات الإحلال

مقاومة الضغط (MPa) بعد اختبار الامتصاص	نسبة الامتصاص	الكثافة (kg/m ³)	الهبوط (mm)	مقاومة الضغط (MPa) (28 يوم)	مقاومة الضغط (MPa) (14 يوم)	مقاومة الضغط (MPa) (7 أيام)	نسبة البرادة في الخلطات
25.758	1.770	2527	75	27.979	23.782	18.186	%0
25.188	1	2569	170	25.878	24.752	19.561	%50

4-9 مناقشة نتائج التجارب المعملية

4-9-1 مناقشة نتائج تأثير برادة الحديد علي الخلطة الخرسانية كإضافة (نسبة من وزن الاسمنت)

أظهرت نتائج مقاومة الضغط تحسناً تدريجياً مع زيادة نسبة الإضافة حتى 20%، حيث سجلت

الخلطة عند هذه النسبة أعلى مقاومة ضغط بعد 28 يوماً (30.327 MPa) مقارنة بالخلطة

المرجعية التي بلغت 27.40 MPa، كما اتبعت مقاومة الضغط عند الأعمار المبكرة (7 و 14 يوماً)

نفس الاتجاه، إذ ارتفعت مع زيادة نسبة الإضافة حتى 20% ثم انخفضت عند 30%، ويعزى ذلك

إلى أن الإضافة تسهم في تحسين التراص وملء الفراغات بين مكونات الخرسانة عند النسب المعتدلة، بينما تؤدي الزيادة الكبيرة في النسبة إلى ضعف الترابط الداخلي وزيادة الفراغات. أما بالنسبة لمقاومة الضغط بعد اختبار الامتصاص فقد خضعت النماذج أولاً للتشبع بالماء لإجراء اختبار الامتصاص، ثم تم تجفيفها داخل الفرن قبل إجراء اختبار مقاومة الضغط. وقد أظهرت النتائج قيماً بلغت (25.74 MPa) للخلطة المرجعية، (27.538 MPa) عند نسبة إضافة 10%، و (24.997 MPa) عند 20%، (21.478 MPa) عند 30%، ويلاحظ أن مقاومة الضغط بعد هذا الاختبار كانت أقل في بعض الخلطات مقارنة بالقيم الاعتيادية، ويعزى ذلك إلى تأثير التشبع بالماء ثم التجفيف في الفرن مما قد يسبب إجهادات دقيقة داخل الخرسانة تؤثر على بنيتها الداخلية. وفيما يتعلق بقابلية التشغيل (الهبوط) فقد ازدادت تدريجياً مع زيادة نسبة الإضافة، حيث ارتفعت من 80 مم في الخلطة المرجعية إلى 170 مم و 175 مم و 180 مم عند نسب الإضافة 10% و 20% و 30% على التوالي، مما يدل على تحسن قابلية تشغيل الخرسانة مع زيادة نسبة الإضافة. كما أظهرت نتائج الكثافة زيادة ملحوظة مع زيادة نسبة الإضافة حيث بلغت 2429 كغ/م³ للخلطة المرجعية وارتفعت إلى 2511 كغ/م³ و 2566 كغ/م³ عند نسبتي 10% و 20% على التوالي، ثم انخفضت قليلاً إلى 2558 كغ/م³ عند 30%. ويشير ذلك إلى تحسن التراص وتقليل الفراغات داخل الخرسانة عند النسب المعتدلة.

أما نسبة الامتصاص فقد انخفضت من 1.8% في الخلطة المرجعية إلى 0.93% و 0.97% عند نسبتي 10% و 20%، مما يدل على تحسن البنية الداخلية وتقليل المسامية، بينما ارتفعت إلى 1.1% عند 30% نتيجة زيادة الفراغات داخل الخرسانة.

وبناءً على النتائج السابقة يمكن الاستنتاج أن أفضل أداء للخرسانة تحقق عند نسبة إضافة تقارب 20%، حيث حققت أعلى مقاومة ضغط وأعلى كثافة مع انخفاض ملحوظ في نسبة الامتصاص وتحسن قابلية التشغيل مقارنة ببقية الخلطات.

4-9-2 مناقشة نتائج تأثير برادة الحديد على الخلطة الخرسانية كإحلال (نسبة من وزن الرمل) أظهرت النتائج أن مقاومة الضغط للخلطة المرجعية (0%) بلغت (18.186 MPa) بعد 7 أيام و (23.782 MPa) بعد 14 يوماً و (27.979 MPa) بعد 28 يوماً، بينما سجلت الخلطة التي تحتوي على 50% برادة مقاومة ضغط بلغت (19.561 MPa) بعد 7 أيام و (24.752 MPa) بعد 14 يوماً و (25.878 MPa) بعد 28 يوماً، ويتضح من ذلك أن إضافة البرادة أدت إلى تحسن طفيف في مقاومة الضغط عند الأعمار المبكرة (7 و 14 يوماً)، بينما انخفضت مقاومة الضغط بعد 28 يوماً مقارنة بالخلطة المرجعية، ويعزى ذلك إلى أن زيادة نسبة البرادة قد تؤثر على الترابط بين مكونات الخرسانة عند الأعمار المتأخرة.

أما بالنسبة للهبوط فقد ارتفع من 75 مم في الخلطة المرجعية إلى 170 مم عند نسبة 50%، مما يدل على تحسن قابلية التشغيل للخرسانة مع زيادة نسبة البرادة.

وفيما يتعلق بالكثافة فقد ازدادت من 2527 كغ/م³ في الخلطة المرجعية إلى 2569 كغ/م³ عند نسبة 50%، ويشير ذلك إلى أن إضافة البرادة ساهمت في زيادة الكثافة وتحسين التراص داخل الخرسانة.

كما أظهرت النتائج أن نسبة الامتصاص انخفضت من 1.770% في الخلطة المرجعية إلى 1% عند إضافة 50% برادة، مما يدل على تحسن البنية الداخلية للخرسانة وتقليل المسامية.

أما مقاومة الضغط بعد اختبار الامتصاص فقد بلغت (25.758 MPa) للخلطة المرجعية و (25.188 MPa) عند نسبة 50%، ويلاحظ وجود انخفاض طفيف في مقاومة الضغط بعد التعرض للتشبع بالماء ثم التجفيف في الفرن، ويعزى ذلك إلى تأثير التشبع بالماء ودورات التجفيف التي قد تسبب تغيرات دقيقة في البنية الداخلية للخرسانة.

وبشكل عام تشير النتائج إلى أن إضافة البرادة بنسبة 50% حسنت بعض الخواص مثل قابلية التشغيل والكثافة وخفضت نسبة الامتصاص، إلا أنها أدت إلى انخفاض طفيف في مقاومة الضغط عند عمر 28 يوماً مقارنة بالخلطة المرجعية.

الباب الخامس

تحليل النتائج والتوصيات

الباب الخامس

تحليل النتائج والتوصيات

5-1 تحليل النتائج

5-1-1 تحليل نتائج تأثير برادة الحديد كإضافة (نسب من وزن الاسمنت)

من خلال النتائج التي تم عرضها ومناقشتها تم التوصل الي

- ان إضافة البرادة للخرسانة كإضافة يجعلها ذات تشغيلية عالية ويزيد من مقدار الهبوط
- إضافة البرادة كإضافة تزيد من كثافة الخرسانة نتيجة لتحسين التراص الداخلي لمكونات

الخلطة

- إضافة البرادة كإضافة تزيد من مقاومة الضغط عند نسب كل من (10% - 20%) وتقل عند نسبة (30%) نتيجة زيادة الفراغات وضعف الترابط بين مكونات الخرسانة
- إضافة البرادة كإضافة تقلل من امتصاص الخرسانة للماء مما يدل علي تقليل المسامية وتحسين البنية الداخلية للخرسانة
- تؤثر الحرارة سلبا في تحمل الخرسانة للضغط
- يتم الحصول علي مقاومة ضغط في الاعمار المبكرة مقاربة للمقاومة النهائية (عمر 28 يوم

(

5-1-2 تحليل نتائج تأثير برادة الحديد كإحلال (نسبة من وزن الرمل) من خلال

النتائج التي تم عرضها ومناقشتها تم التوصل الي

- ان إضافة البرادة للخرسانة كإحلال يجعلها ذات تشغيلية عالية ويزيد من مقدار الهبوط

- إضافة البرادة كإحلال تزيد من كثافة الخرسانة
 - إضافة البرادة كإحلال تقلل من مقاومة الضغط عند نسبة (50%) نسبة لارتفاع نسبة الإحلال
 - إضافة البرادة كإحلال تقلل من امتصاص الخرسانة للماء مما يدل علي تحسين التراص الداخلي وتقليل المسامية
 - تؤثر الحرارة سلبا في تحمل الخرسانة للضغط
 - يتم الحصول علي مقاومة ضغط في الاعمار المبكرة مقاربة للمقاومة النهائية (عمر 28 يوم
- (

5-2 التوصيات :

- يوصى باستخدام برادة الحديد بنسب معتدلة في الخلطات الخرسانية لما لها من دور في تحسين قابلية التشغيل وبعض الخصائص الفيزيائية للخرسانة
- استخدام إضافات أخرى مثل الياف الفولاذ للحصول علي تحسين خواص الخرسانة واختيار الأفضل او دمجهم معاً
- دراسة تأثير استخدام برادة الحديد علي خواص أخرى للخرسانة مثل مقاومة الشد والانحناء والمتانة علي المدى الطويل
- إجراء مزيد من الدراسات لتحديد النسبة المثلى من برادة الحديد التي تحقق أفضل مقاومة ضغط للخرسانة
- تشجيع استخدام برادة الحديد كمادة معاد تدويرها في صناعة الخرسانة للاستفادة من المخلفات الصناعية وتقليل الأثر البيئي .

3-5 المراجع:

- إمام، محمود. الخرسانة: الخواص والاختبارات. القاهرة: دار الهندسة الحديثة، 2016.
- إمام، محمود. تكنولوجيا الخرسانة. القاهرة: دار الكتب العلمية، 2018.
- إمام، محمود. موسوعة الخرسانة. القاهرة: دار الكتاب الهندسي، 2017.
- أحمد، خالد. اختبارات الخرسانة الطازجة والمتصلدة. القاهرة: مكتبة الهندسة الحديثة، 2019.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. Concrete Technology (2nd Edition). Pearson, 2010.
- عبد الرحمن، سامي. إضافات الخرسانة: البرادة المعدنية. القاهرة: دار الهندسة العربية، 2020.

❖ الأوراق العلمية والدراسات السابقة

- Alajail, A., Ahmed, M., Abdullah, A., & Ali, A. (2025). Improving the Properties of Concrete Using Iron Industry Waste. African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences, 4(4), 223–234
- Al-Hashimi, M. N., Najim, W. A., & Hameed, A. M. (2018). Performance of Concrete Containing Iron Fillings. Journal of University of Babylon for Engineering Sciences, 26(6), 384–392
- Taher, H. M. A., & Jadooe, A. (2022). Experimental Investigation on High Performance Green Concrete Produced with Iron Filings. Metallurgical and Materials Engineering Journal.
- Ekop, I. E., Okeke, C. J., & Inyang, E. V. (2022). Comparative Study on Recycled Iron Filings and Glass Particles as a Potential Fine

Aggregate in Concrete. Resources, Conservation and Recycling

Advances, 15, 200093

Olawale, S. O., Kareem, M. A., & Muritala, H. T. (2020). Utilization •
of Iron Filings as Partial Replacement for Sand in Self-Compacting
. Concrete. Tanzania Journal of Science, 47(3).

4-5 الملحقات:













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	1.64																				
	1.3 Margin	C1 or Specified	1.64 x 8 = 13.12 N/mm ²																				
	1.4 Target mean strength	C2	$f_{cu} + k_s = 25 + 13.12 = 38.12$ 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	0.55																				
			Use the lower value 0.54																				
2	2.1 Slump or Vebe time	Specified	Slump 60-180 mm or Vebe time 5																				
	2.2 Maximum aggregate size	Specified	25 mm																				
	2.3 Free-water content	Table 3	175 kg/m ³																				
3	3.1 Cement content	C3	175 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 > 3.1																				
	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	2380 kg/m ³																				
	4.3 Total aggregate content	C4	2380 - 175 - 350 = 1855 kg/m ³																				
5	5.1 Grading of fine aggregate	Percentage passing 600 µm sieve	60 %																				
	5.2 Proportion of fine aggregate	Fig 6	35 %																				
	5.3 Fine aggregate content	C5	35% x 1855 = 649.25 kg/m ³																				
	5.4 Coarse aggregate content		1855 - 649.25 = 1205.75 kg/m ³																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Quantities</th> <th>Cement (kg)</th> <th>Water (kg or litres)</th> <th>Fine aggregate (kg)</th> <th>Coarse aggregate (kg)</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>10 mm</td> <td>20 mm 40 mm</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>per m³ (to nearest 5 kg)</td> <td>350</td> <td>175</td> <td>649.25</td> <td>1205.75</td> </tr> <tr> <td>per trial mix of 0.03 m³</td> <td>10.6</td> <td>5.25</td> <td>19.32</td> <td>35.88</td> </tr> </tbody> </table>				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)	350	175	649.25	1205.75	per trial mix of 0.03 m ³	10.6	5.25	19.32	35.88
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)	350	175	649.25	1205.75																			
per trial mix of 0.03 m ³	10.6	5.25	19.32	35.88																			

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 (1 MPa = 10⁶ Pa = newton).

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.