

Improving the Properties of Concrete Using Iron Industry Waste

Ali Alajail ^{1*}, Mohamed Ahmed ², Abdulmuttaleb Abdullah, ³ Abdullah Ali ⁴

^{1,2,3,4} Department of Civil, Faculty of Engineering, Misurata University, Misurata, Libya

تحسين خواص الخرسانة باستخدام مخلفات صناعة الحديد

علي محمد العجبل ^{1*}، محمد أحمد النعيري ²، عبداللطاب عبدالله بن سليم ³ ، عبدالله علي شفتر ⁴

^{4,3,2,1} قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا

*Corresponding author: ali.alajail@eng.misuratau.edu.ly

Received: August 11, 2025

Accepted: October 14, 2025

Published: October 21, 2025

Abstract:

This study was conducted to investigate the effect of incorporating iron filings on the strength of concrete produced using coarse aggregate from the Majer area in Zliten, fine sand from the Al-Mangoush area in Misrata, and cement supplied by the Arab Union General Contracting Company. comprising cubes with dimensions of $15 \times 15 \times 15$ cm and cylinders measuring 15 cm in diameter and 30 cm in height. The specimens were categorized into three mix design grades (C35, C30, C25). For each grade, 6 control specimens were prepared, along with six specimens for each percentage of iron filings addition (1%, 3%, and 5% by weight of cement). Three specimens from each group were tested at 7 days and the remaining three at 28 days, in addition to the reference specimens. The results indicated that adding iron filings as an admixture adversely affects the compressive strength of concrete. However, the study found that a 3% iron filings addition can enhance the splitting tensile strength. Furthermore, incorporating iron filings led to a reduction in concrete density and slump, which strongly suggests that the addition decreases the workability of fresh concrete.

ach group were tested at 7 days and the remaining three at 28 days, in addition to the reference specimens. The results indicated that adding iron filings as an admixture adversely affects the compressive strength of concrete. However, the study found that a 3% iron filings addition can enhance the splitting tensile strength. Furthermore, incorporating iron filings led to a reduction in concrete density and slump, which strongly suggests that the addition decreases the workability of fresh concrete.

Keywords: iron filling, Admixture, concrete density, compressive strength, Tensile strength.

الملخص

أجري هذا البحث لدراسة تأثير إضافة برادة الحديد على مقاومة الخرسانة المنتجة من ركام من منطقة ماجر بمدينة زليتن ورمل ناعم من منطقة المنقوش بمدينة مصراتة وأسمنت شركة الاتحاد العربي للمقاولات العامة، تمت هذه الدراسة على عينات خرسانية على شكل مكعب بأبعاد $15 \times 15 \times 15$ سم، وعينات اسطوانية بأبعاد $15\text{cm} \times 30\text{cm}$ ، قسمت العينات على ثلاثة أنواع من الخلطات (C35, C30, C25)، من كل مقاومة أخذت 6 عينات قياسية بالإضافة إلى 6 عينات لكل نسبة من نسب إضافة برادة الحديد (5,3,1) %، اختبرت ثلاثة عينات على عمر 7 أيام وتلائمة عينات على عمر 28 يوم من كل نسبة إضافة بالإضافة إلى العينات القياسية، توصلت الدراسة إلى أن إضافة برادة الحديد تؤثر سلباً على مقاومة الخرسانة في حالة استخدامها كإضافة للخرسانة، بينما أوضحت الدراسة أن برادة الحديد يمكن أن تحسن من مقاومة الشد غير المباشر للخرسانة عند نسبة 3%， في حين أن إضافة برادة الحديد للخرسانة يؤدي إلى تقليل كثافة الخرسانة، بالإضافة إلى تقليل الهبوط للخرسانة والذي يعتبر مؤشر قوي إلى أن إضافة برادة الحديد للخرسانة تقلل من تشغيلية الخرسانة.

الكلمات المفتاحية: برادة الحديد، مقاومة الخرسانة، كثافة الخرسانة، مقاومة الضغط، مقاومة الشد.

1. مقدمة

يشهد قطاع البناء تحديات بيئية متزايدة نتيجة الاستهلاك الكبير للموارد الطبيعية والانبعاثات المصاحبة لإنتاج مواد البناء، وعلى رأسها الخرسانة التي تعد من أكثر المواد استخداماً عالمياً. الأمر الذي دفع الباحث ومنتجي الخرسانة إلى البحث عن حلول تكنولوجية مستدامة تساهم في تقليل الأثر البيئي وتعزيز كفاءة الأداء الإنساني للمنشآت، من بين هذه الحلول بُرز توجه استخدام المخلفات الصناعية مثل برادة الحديد كمنتج ثانوي ناتج من عمليات تشغيل المعادن والذي أوضحت بعض الدراسات أنه بالإمكان استخدامها في الخلطات الخرسانية كبديل جزئي للركام.

تعد برادة الحديد من النفايات الصناعية التي يصعب التخلص منها بطرق بسيطة وآمنة وغير ضارة بالبيئة، وفي هذا الموضوع قام العديد من الباحثين بالدراسات التي تناولت برادة الحديد وكيفية الاستفادة منها في الخلطات الخرسانية، حيث قام الباحث [1] A. Al-Mutairi (2023) بدراسة بعنوان "دراسة تأثير إضافة برادة الحديد كبديل جزئي عن الركام الناعم على بعض الخواص الميكانيكية للخرسانة عالية المقاومة"، وتوصل إلى أن استخدام برادة الحديد بنسبة تصل إلى 20% كبديل جزئي للركام الناعم في الخرسانة عالية المقاومة أدى إلى تحسن ملحوظ في مقاومة الضغط والشد والكتافة، مع انخفاض طفيف في قيمة الهيوبوت. كما بيّنت دراسة [2] M. Al-Khafaji and S. Al-Mahdi (2020) بعنوان "تأثير إضافة ألياف الحديد على سلوك الانحناء في الكرمات الخرسانية المسلحة" أن إدخال ألياف الحديد في الخلطات الخرسانية عزز من مقاومة الانحناء في الكرمات المسلحة، وساهم في تقليل التشquesات وزيادة متانة الكسر، ما يعكس الدور الإيجابي لهذا النوع من النفايات الصناعية في تحسين الأداء الميكانيكي للخرسانة.

وفي سياق الاستدامة، أوضحت دراسة [3] H. Al-Saadi (2022) على أهمية استخدام المواد المعاد تدويرها في الخلطات الخرسانية، رغم ما يكتفي ذلك من تحديات تقنية وهندسية. كما أكدت دراسة [4] M. El-Mahrouqi (2024) أن إعادة تدوير مخلفات البناء يساهم بفاعلية في تقليل حجم النفايات والحد من استنزاف الموارد الطبيعية، مما يجعل إدماج برادة الحديد في الخرسانة خطوة مهمة نحو تحقيق التنمية المستدامة.

بناءً على ما سبق، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم استخدام برادة الحديد كإضافة بحسب وزنها من الإسمنت على بعض الخواص الميكانيكية للخرسانة، مع التركيز على مقاومة الضغط، وذلك من أجل استكشاف مدى إمكانية استثمار هذه المادة الصناعية في تعزيز أداء الخرسانة وتخفيف أثرها البيئي وتخفيف تكاليف إنتاج الخرسانة مستقبلاً.

2. منهجة الدراسة

تعتمد هذه الدراسة على منهج تجاري تحليلي قائم على تصميم خلطات خرسانية بنسـب محددة من برادة الحديد، بهدف استكشاف أثر هذه المادة الصناعية على الخواص الميكانيكية للخرسانة في حالة استخدامها كإضافة، وبالخصوص مقاومة الضغط. وقد جرى التخطيط لهذه الدراسة بحيث تحقق الدقة العلمية والمصداقية في النتائج، من خلال هيكلة واضحة تشمل مراحل الإعداد والتقطيع والاختبار والتحليل.

3. فحص واختبار المواد الأولية:

قبل تصميم الخلطة الخرسانية، تم إجراء مجموعة من الاختبارات الفنية على المواد الخام لتحديد خصائصها الفيزيائية بدقة.

أ- الإسمنت: استُخدم الإسمنت البورتلاندي العادي من النوع الأول (Type I)، منتج محلي من مصنع شركة الاتحاد العربي للمقاولات العامة مطابق للمواصفات القياسية الليبية رقم 340 لسنة 2009 [5].

ب- الركام الخشن: تم احضار الركام الخشن من مصدر محلي واقع في نطاق بلدية زليتن بمقاييس اعتباري أكبر 20 مم، وهذا المصدر شائع الاستخدام لدى عدد من خلطات إنتاج الخرسانة التي تعمل داخل نطاق بلدية مصراتة.

أجري اختبار التحليل المنخلي للركام الخشن وفقاً للمواصفة الأمريكية [6] ASTM C136، والشكل (1) يبيّن منحنى التدرج للركام الخشن المستخدم في الدراسة.

كذلك الكثافة النوعية ونسبة الامتصاص وفقاً للمواصفات الأمريكية [7] ASTM C127، في حين بلغت الكثافة المدموعة للركام حوالي 1475 كجم/م³.



شكل (1) منحنى التدرج الحبيبي للركام الخشن

ج- الركام الناعم (الرمل): تم استخدام رمل طبيعي من منطقة المنقوش بمدينة مصراتة وذلك لمحكمات ظروف الاستخدام المحلية في مدينة مصراتة، والشكل (2) يبيّن الفحص البصري للرمل المستخدم في الدراسة للتأكد من نظافته وخلوه من المواد العضوية.



شكل (2) الفحص البصري للرمل المستخدم في الخلطات الخرسانية.

د- برادة الحديد: جُمعت من مصنع سحب الأسلاك العاملة على الطريق الساحلي بمنطقة اقزير بمدينة مصراته، وتم التأكيد من خلوها من الزبيوت والشحوم بواسطة الفحص البصري واستخدام المغناطيس للتأكد من ذلك. استُخدمت البرادة ضمن الخلطة الخرسانية كمادة مضافة من وزن الاسمنت، بثلاثة نسب مختلفة من وزن الاسمنت المستخدم في الخلطة، والشكل (3) يبيّن عينة من برادة الحديد المستخدمة في الخلطات الخرسانية.



شكل (3) عينة من برادة الحديد المستخدمة.

4. تصميم الخلطات الخرسانية
اعتمد التصميم على طريقة [8] ACI 211.1 لضبط نسب المكونات، مع التأكيد من أن جميع الخلطات قابلة للمقارنة من حيث التجانس والظروف البيئية والمواد الدالة.
الخلطات الخرسانية جهزت بثلاث مقاومات مميزة، والجدار (3،2،1) يوضح ذلك:

جدول (1) مكونات الخلطة الخرسانية C25.

كمية البرادة (Kg/m ³)	كمية ماء الخلط (Liter/m ³)	كمية الرمل (Kg/m ³)	كمية الركام cm1.5 (Kg/m ³)	كمية الركام cm1.0 (Kg/m ³)	كمية الاسمنت (Kg/m ³)	W/C	نسبة الاضافة
0	180	680	450	600	300	0.6	%0
3	180	680	450	600	300	0.6	%1
9	180	680	450	600	300	0.6	%3
15	180	680	450	600	300	0.6	%5

جدول (2) مكونات الخلطة الخرسانية C30.

كمية البرادة (Kg/m ³)	كمية ماء الخلط (Liter/m ³)	كمية الرمل (Kg/m ³)	كمية الركام cm1.5 (Kg/m ³)	كمية الركام cm1.0 (Kg/m ³)	كمية الاسمنت (Kg/m ³)	W/C	نسبة الاضافة
000	180	680	450	600	330	0.54	%0
3.3	180	680	450	600	330	0.54	%1
9.9	180	680	450	600	330	0.54	%3
16.5	180	680	450	600	330	0.54	%5

جدول (3) مكونات الخلطة الخرسانية C35.

كمية البرادة (Kg/m ³)	كمية ماء الخلط (Liter/m ³)	كمية الرمل (Kg/m ³)	كمية الركام cm1.5 (Kg/m ³)	كمية الركام cm1.0 (Kg/m ³)	كمية الاسمنت (Kg/m ³)	W/C	نسبة الاضافة
000	185	680	450	600	360	0.51	%0
3.6	185	680	450	600	360	0.51	%1
10.8	185	680	450	600	360	0.51	%3
18	185	680	450	600	360	0.51	%5

5. تحضير النماذج الخرسانية:

تم حساب كميات الخلطة الخرسانية لكل مقاومة على حدا بحيث تم الأخذ في عين الاعتبار السعة التشغيلية للخلاطة (0.035)m³. والشكل (4) يوضح عملية تجهيز الأوزان. والشكل (6) يوضح مرحلة الخلط الجاف للمكونات والتي استمرت لمدة دقيقتين، والتي اتضحت من خلالها تجانس مكونات الخرسانة بواسطة الفحص البصري، ومن ثم إضافة الماء تدريجياً والخلط لمدة خمس دقائق إلى أن أصبحت الخلطة متجانسة.



شكل (4) عملية تجهيز الأوزان.



شكل (5) إضافة الماء بشكل تدريجي للخليط الجاف.

6. الاختبارات المعملية

أجريت جميع الاختبار في هذا البحث في معامل كلية الهندسة بجامعة مصراتة. حيث تم تجهيز لكل خلطة خرسانية نوعين من نماذج العينات، **النموذج الأول** مكعبات خرسانية بأبعاد 150 مم × 150 مم × 150 مم لتحديد مقاومة الضغط، والنموذج **الثاني** اسطوانات خرسانية بأبعاد 150 مم × 300 مم وذلك لتحديد مقاومة الشد غير المباشر للخلطات الخرسانية المختبرة.

أ- اختبار الهبوط للخرسانة

تم قياس قيمة الهبوط (Slump) لكل خلطة خرسانية وفقاً للمواصفات البريطانية [9] (BS 1881: Part 102:1983). يوضح الشكل (6) إجراء اختبار الهبوط للخلطات الخرسانية. والجدول (4) يوضح قيم الهبوط بـ (مم) والتي تم قياسها لكل الخلطات الخرسانية.



شكل (6) إجراء اختبار الهبوط للخلطات الخرسانية.

جدول (4) قيم الهبوط للخرسانة (مم) نظير كل نسبة إضافة ونوع خلطة.

نسبة إضافة برادة الحديد في الخلطات الخرسانية				تصنيف الخلطة
%5	%3	%1	%0	
79	81	87	94	C25
78	79	83	90	C30
65	70	75	80	C35

ومن ثم صب الخلطة من كل صنف الخلطة في القوالب مع القيام بالدمك اليدوي على ثلاث طبقات، لكل طبقة 25 ضربة باستخدام قضيب فولاذي القياسي، ثم تركت القوالب العينات في درجة حرارة الغرفة لمدة 24 ساعة، ومن ثم إخراج الخرسانة من القوالب ووضعت في أحواض معالجة مائية بدرجة حرارة ثابتة $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ حتى موعد الاختبار، والشكل (7) يوضح جزء من العينات الخرسانية المجهزة في المعمل الخرسانة.



شكل (7) تجهيز العينات الخرسانية في المعمل .

الشكل (8) يوضح عملية فك قوالب العينات بعد مرور 24 ساعة من الصب وغمرها في أحواض المعالجة بالماء عند درجة حرارة الغرفة.



شكل (8) عملية فك القوالب وغمرها في الماء للمعالجة.

بـ. اختبار مقاومة الضغط

أجري اختبار مقاومة الضغط على العينات وفقاً للمواصفة البريطانية [10] 1881-116-1983 BS عند عمر 7 و 28 يوماً باستخدام آلة اختبار هيدروليكيه رقبيه ذات دقة عالية ذات المكعبات، في حين أن العينات الاسطوانية أجري الاختبار عليها بعمر 28 يوم لاختبار قيمة الشد غير المباشر للخرسانة وفقاً للمواصفة البريطانية [11] 1983 BS Part 117: 1881:، والشكل (9) يوضح بعض العينات قبل وأثناء وبعد الاختبار.



شكل (9) احدى العينات قبل وأثناء وبعد إجراء الاختبار.

وبعد القيام بإجراء الاختبار على جميع العينات مجال الدراسة بعمر 7 أيام وتدوين النتائج المتحصل عليها أدرجت النتائج في الجدول (5).

جدول (5) مقاومة الضغط لجميع الخلطات المدروسة بالإضافة إلى الخلطات المرجعية بعمر 7 أيام.

تصنيف الخلطة	نسبة الإضافة (%)	الوزن (كجم)	الكتافة (كجم³)	القوة (كن)	الضغط (نام²)	المتوسط
C35	0	8005	2372	840	37.3	36.1
		7840	2323	768	34.1	33.8
		7905	2342	828	36.8	
	1	7865	2330	760	33.8	33.4
		7925	2348	800	35.6	
		7800	2311	720	32.0	
	3	7765	2301	746	33.2	32.4
		7855	2327	748	33.2	
		7895	2339	760	33.8	
C30	5	7840	2323	740	32.9	32.4
		7820	2317	744	33.1	
		7865	2330	700	31.1	
	0	7810	2314	764.4	34.0	34.7
		7780	2305	787.4	35.0	
		7690	2279	788	35.0	
C25	1	7685	2277	734	32.6	31.7
		7645	2265	717.8	31.9	
		7625	2259	691	30.7	
	3	7910	2344	718	31.9	31.6
		7795	2310	705	31.3	
		7640	2264	711	31.6	
	5	7725	2289	665	29.6	28.8
		7810	2314	648	28.8	
		7780	2305	632	28.1	
C25	0	7865	2330	765	34.0	32.1
		7790	2308	741	32.9	
		7775	2304	659	29.3	
	1	7475	2215	723	32.1	30.7
		7585	2247	682	30.3	
		7655	2268	667	29.6	
	3	7775	2304	665	29.6	30.7
		7675	2274	716	31.8	
		7750	2296	694	30.8	
C25	5	7490	2219	515	22.9	23.3
		7630	2261	523	23.2	
		7620	2258	538	23.9	

بينما باقي العينات تركت في حوض المعالجة لمدة 28 يوم ومن ثم القيام بإجراء الاختبار عليها بنفس الطريقة التي تم الاختبار بها في حالة العمر 7 أيام، حيث أدرجت نتائج الاختبار في الجدول (6)

جدول (6) مقاومة الضغط لجميع الخلطات المدروسة بالإضافة إلى الخلطات المرجعية بعمر 28 يوم

نوع الخلطة	نسبة الإضافة (%)	الوزن (كجم) ^٣	الكتافة (كجم) ^٣	القوة (كن)	الضغط (كن ^٢)	المتوسط
C35	0	7940	2353	1092	48.5	46.8
		7845	2324	1013	45.0	43.7
	1	7820	2317	972	43.2	
		7875	2333	995	44.2	42.5
	3	7900	2341	954	42.4	
		7920	2347	960	42.7	41.4
	5	7870	2332	940	41.8	
		7955	2357	923	41.0	
	0	7820	2317	960	42.7	40.0
	1	7925	2348	935	41.6	
	3	7920	2347	905	40.2	
		7895	2339	893	39.7	38.4
	5	7935	2351	900	40.0	
		7830	2320	888	39.5	
	0	7820	2317	867	38.5	
		7835	2321	859	38.2	
C30	0	7935	2351	864	38.4	37.9
		7840	2323	840	37.3	
	1	7820	2317	800	35.6	34.8
		7640	2264	767	34.1	
	3	7705	2283	780	34.7	34.6
		7609	2255	777	34.5	
	5	7815	2316	702	31.2	31.6
		7885	2336	721	32.0	
	0					
	1					
	3					

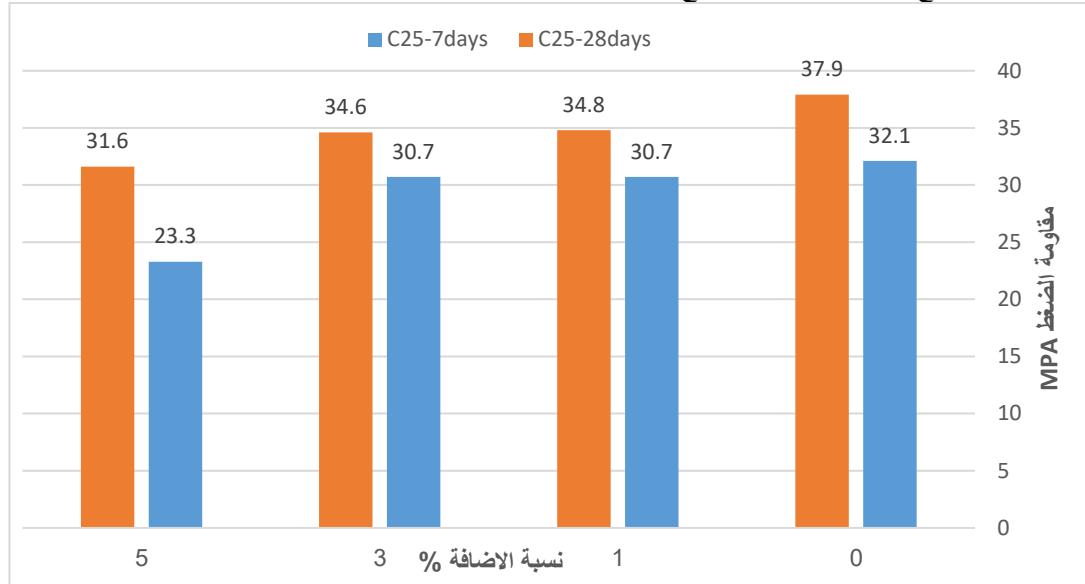
في حين أن الجدول (7) يبين القيم والنتائج التي تم الحصول عليها من إجراء اختبار الشد غير المباشر على العينات الاسطوانية بعمر 28 يوم من تاريخ صب العينات.

جدول (7) متوسط قيم مقاومة الشد غير المباشر لجميع الخلطات المدروسة بعمر 28 يوم

نوع الخلطة	% نسبة الإضافة	متوسط قيمة الحمل المسبب للانهيار (KN)	متوسط قيمة الحمل المسبب للانهيار (KN)	متوسط قيمة مقاومة الشد غير المباشر MPA
C35	0	226.8	1.6	1.6
	1	198.9	1.41	1.41
	3	245.4	1.74	1.74
	5	209.3	1.48	1.48
C30	0	200.2	1.42	1.42
	1	159.1	1.13	1.13
	3	206.9	1.46	1.46
	5	200.7	1.42	1.42
C25	0	177.6	1.26	1.26
	1	159.8	1.13	1.13
	3	190.5	1.35	1.35
	5	115.6	0.82	0.82

7. تحليل النتائج:

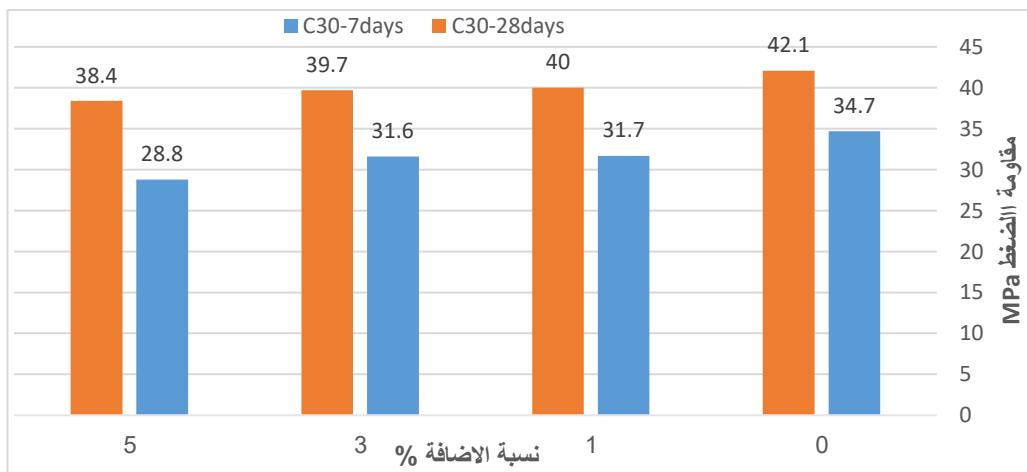
ومن خلال النتائج المتحصل عليها من الاختبارات المعملية للخلطات الخرسانية رسمت مجموعة من العلاقات البيانية التي توضح طبيعة هذه النتائج والأشكال التالية توضح ذلك:



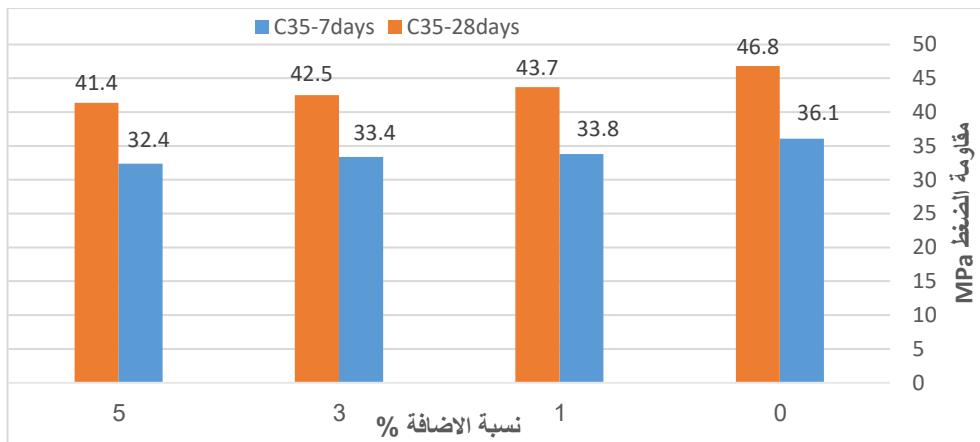
شكل (10) العلاقة بين مقاومة الضغط ونسبة إضافة برادة الحديد للخلطة المرجعية C25.

من خلال الشكل (10) اتضح أنه كلما زادت نسبة برادة الحديد في الخلطة الخرسانية C25 للعمر المبكر والمتاخر كانت العلاقة عكssية أنه حدث انخفاض في مقاومة الضغط للخرسانة بزيادة براد الحديد وهذا الأمر يرجع إلى أن برادة الحديد أضيفت على كميات الخلطة المصممة مما سبب في زيادة المواد الناعمة في الخلطة والذي بدوره أدى إلى زيادة المساحة السطحية لمكونات الخلطة دون زيادة كمية الإسمنت مما ساهم في تقليل قوة الترابط بين مكونات الخلطة بسب عدم زيادة كمية الإسمنت الازمة وفقاً لتصميم الخلطة.

كما وصلت الخلطات C30 و C35 لنفس النتيجة التي وصلت إليها الخلطة C25 والأشكال (11) و (12) توضح ذلك:

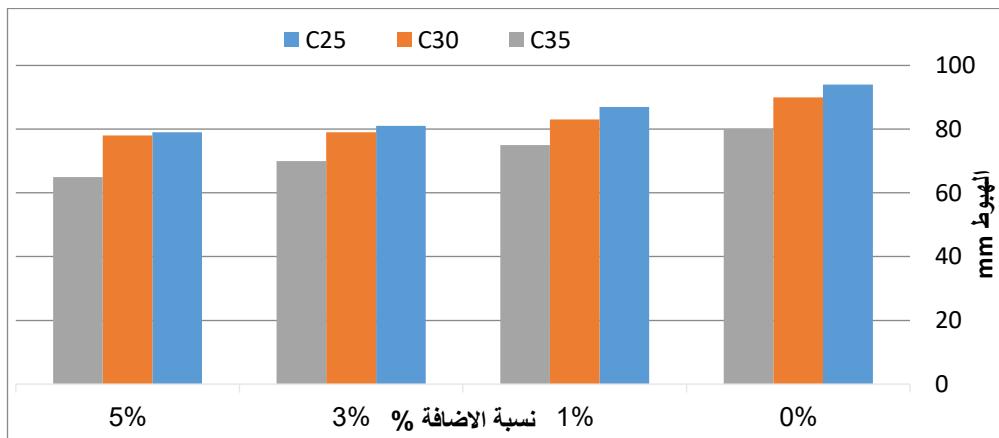


شكل (11) العلاقة بين مقاومة الضغط ونسبة إضافة برادة الحديد للخلطة المرجعية C30.



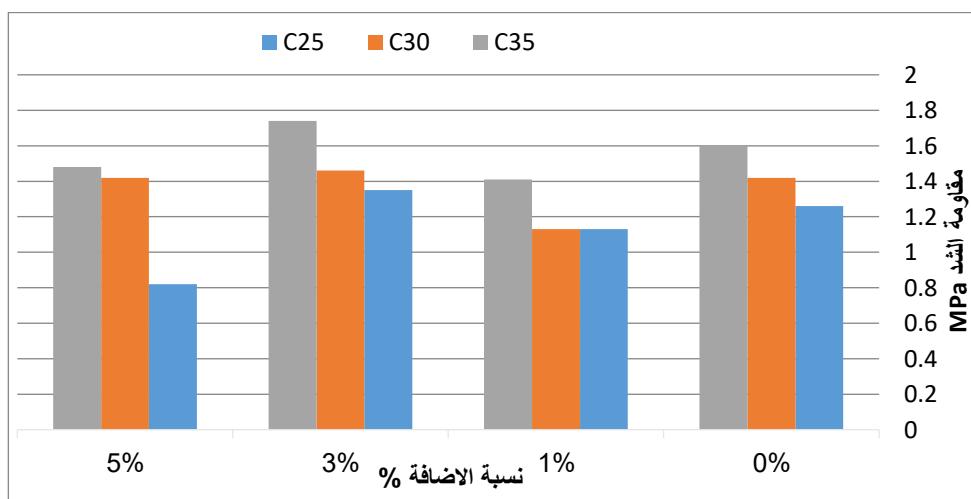
شكل (12) العلاقة بين مقاومة الضغط ونسبة إضافة برادة الحديد للخليطة المرجعية C35.

ومن خلال النتائج المتحصل عليها أيضاً لقيم الهبوط للخلطات المدروسة رسم الشكل 16 والذي يبين العلاقة بين قيم الهبوط للخرسانة ونسبة إضافة برادة الحديد للخلطات المدروسة:



شكل (13) العلاقة بين نسبة إضافة برادة الحديد وقيم الهبوط.

حيث يبين الشكل (13) أنه وبزادة مقاومة الخرسانة تقل قيمة الهبوط والذي يؤثر بدوره على تشغيلية الخرسانة وهذا راجع إلى زيادة المواد الناعمة الناتجة من إضافة برادة الحديد للخلطات.
كما وأنه من خلال النتائج المتحصل عليها من تحديد مقاومة الشد غير المباشر للخرسانة رسم الشكل (14):



شكل (14) العلاقة بين نسبة برادة الحديد في الخرسانة ومقاومة الشد غير المباشر.

من خلال تحليل الشكل (14) نلاحظ أن نسبة الإضافة 3% حققت أعلى قيمة لمقاومة الشد غير المباشر لجميع الخلطات المدرستة، وهذه النتيجة تعطينا دافع قوي للبحث عن القيمة المثالية لإضافة برادة الحديد للخرسانة لتحسين مقاومة الشد للخرسانة والتي قد تجعلها مناسبة لبعض التطبيقات غير الإنسانية للحصول على مواصفات مقبولة بإضافة نوع المخلفات الصناعية مثل برادة الحديد.

8. المناقشة:

توضح النتائج التي توصل إليها البحث أن استخدام برادة الحديد كمكون إضافي محسوب من وزن الإسمنت بنس比 (1، 3، 5) % سبب في انخفاض مقاومة الضغط للخرسانة تبعاً لزيادة نسبة برادة الحديد في الخلطات المدرستة ويرجع السبب في ذلك إلى أن استخدام برادة الحديد كمادة مضافة من وزن الإسمنت يزيد من المساحة السطحية للحبيبات الناعمة، مما يتطلب زيادة في كمية الإسمنت وضبط كمية الماء للحفاظ على قوة الترابط الموجودة في الخلطات الخرسانية قبل إضافة برادة الحديد بالنسبة المحددة في هذه الدراسة، في حين أن الزيادة في إضافة برادة الحديد للخلطات الخرسانية ساهم في تخفيف قيمة الهبوط للخرسانة (Slump) الأمر يمكن تحليله بزيادة المواد الناعمة بزيادة برادة الحديد وزيادة المساحة السطحية للخلط بالكامل دون زيادة كمية الماء في الخلطات الخرسانية، بينما لوحظ تحسن طفيف في مقاومة الخرسانة للشد لجميع الخلطات الخرسانية عند نسبة إضافة 3% وهذا ما يفتح الباب أمام الباحث والأكاديميين على التعمق في دراسة تأثير إضافة برادة الحديد في الخرسانة وتحديد النسبة المثلثة لتحقيق أفضل الخصائص للخرسانة، بينما ساهمت إضافة برادة في حالة استخدامها كمادة مضافة من وزن الإسمنت على تقليل كثافة الخرسانة وهذا يعزى إلى الزيادة في المساحة السطحية التي يترتب عليها زيادة في كمية الفراغات بين مكونات الخلطات الخرسانية نتيجة الزيادة في إضافة برادة الحديد.

9. الاستنتاجات:

1. تتحفظ مقاومة الخرسانة بزيادة نسبة إضافة برادة الحديد للخلطة وذلك بسبب زيادة المواد الناعمة الناتجة من إضافة برادة الحديد للخرسانة.
2. قلت كثافة الخرسانة بزيادة نسبة برادة الحديد في الخلطة الخرسانية.
3. نقل تشغيلية الخرسانة بزيادة نسبة برادة الحديد في الخلطة الخرسانية.
4. أظهرت النتائج أن إضافة برادة الحديد للخلطة الخرسانية بنسبة (3%) يمكن أن يسهم في تحسين مقاومة الشد للخرسانة.
5. استخدام برادة الحديد في الخرسانة يسهم في تقليل استنزاف الموارد الطبيعية الخام.

10. التوصيات:

1. يوصى مستقبلاً باستخدام برادة الحديد كبديل جزئي للركام الناعم وليس كإضافة مباشرة.
2. مع إعادة تصميم الخلطات الخرسانية وضبط نسبة الماء والمواد المضافة وكذلك إجراء اختبارات على برادة الحديد نفسها لضمان تجانس الخلطة وتقليل الفراغات وتحقيق أفضل تشغيلية وكثافة، كما ينصح بإضافة الاختبارات الكيميائية لنقييم آثارها على الخرسانة المتصلة.

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

11. المراجع:

- [1] A. Al-Mutairi, "تأثير إضافة برادة الحديد كبديل جزئي عن الركام الناعم على بعض الخواص الميكانيكية للخرسانة عالية," Scientific and Technical Journal, vol. 12, no. 3, pp. 45–52, 2023. [Online]. Available: <https://stcrs.com.ly/istj/en/article-details.php?id=821>
- [2] M. Al-Khafaji and S. Al-Mahdi, "تأثير إضافة ألياف الحديد على سلوك الانحناء في الكرمات الخرسانية المسلحة," Academia.edu, 2020. [Online]. Available: <https://www.academia.edu/42203426>
- [3] H. Al-Saadi, "استخدام المواد العاد تدويرها في الخلطة الخرسانية: أهمية وتحفيزات," University of Mustansiriyah, 2022. [Online]. Available: <https://uomus.edu.iq/NewDep.aspx?depid=5&newid=61201>.
- [4] M. El-Mahrouqi, "إعادة تدوير مخلفات البناء.. بين التحديات وتحقيق الاستدامة," Attaqa.net, Oct. 6, 2024. [Online]. Available: <https://attaqa.net/2024/10/06>.
- [5] Libyan National Center for Standardization and Metrology, Libyan Standard No. 340: Ordinary Portland Cement – Specifications, 2009.

- [6] ASTM International. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. ASTM C136/C136M-19. West Conshohocken, PA: ASTM International; 2019.
- [7] ASTM International, ASTM C127-15: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2015.
- [8] American Concrete Institute, "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete," ACI 211.1-91, Detroit, MI, USA, 2010
- [9] British Standards Institution (BSI). Testing concrete – Part 102: Method for determination of slump. BS 1881: Part 102: 1983. London: BSI; 1983.
- [10] British Standards Institution (BSI). Testing concrete – Part 116: Method for determination of compressive strength of concrete cubes. BS 1881: Part 116: 1983. London: BSI; 1983.
- [11] British Standards Institution (BSI). Testing concrete – Method for determination of tensile splitting strength. BS 1881: Part 117: 1983. London: BSI; 1983.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **AJAPAS** and/or the editor(s). **AJAPAS** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.