African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)
Online ISSN: 2957-644X
Volume 3, Issue 4, October - December 2024
Page No: 382-392
Website: https://aaasjournals.com/index.php/ajapas/index
ISI 2024: 0.877 **SJIFactor 2024: 6.752** **معامل التأثير العربي: 1.62**

دراسة استخدام خبث الحديد في صناعة الطوب الخرساني المجوف

وليد فرج النعاس [1*]، الأمين صالح سريح [2]، الحسين فرج عليوان [3]، جمال حسين المبروك [4]
[1،2،3،4] كلية الهندسة، الخمس، جامعة المرقب، ليبيا

Application of steel slag in concrete hollow block

Waled Farj Alnaas[1*], Lamen Saleh Sryh[2], Alhussin Faraj. Aliwan[3], Jamal Husen Elmapruk[4]
[1,2,3,4] Department of Civil Engineering, Elmergib University, Khoms, Libya.

[*]*Corresponding author: wfalnaas@elmergib.edu.ly*

Received: October 05, 2024	Accepted: November 22, 2024	Published: November 30, 2024

الملخص

هناك اهتمام متزايد عالميا في السنوات الأخيرة باستخدام النفايات الصلبة كخبث الحديد (Steel slag) المصاحب لإنتاج الحديد والصلب في الصناعات الإنشائية. حيث لا يساعد استخدام هذه المخلفات في تقليل التكلفة فحسب، بل يوفر أيضا العديد من الفوائد البيئية كتقليل تكلفة مدافن النفايات والمستحوذة على مساحات شاسعة، وكذلك توفير الطاقة والأهم حماية البيئة عن طريق تقليل انبعاثات ثاني اكسيد الكربون (CO_2) من مصانع الاسمنت.

تبحث هذه الدراسة في إمكانية الاستفادة من خبث الحديد الناتج من الشركة الليبية للحديد والصلب مصراته كبديل جزئي للأسمنت بنسب (0%، 10%، 20%، 30%، 40%) لإنتاج الطوب الخرساني المجوف للحوائط الغير حاملة. وكانت نتائج اختبار الضغط ونسبة الامتصاص التي تم إجراؤها على الطوب الخرساني المجوف والمحتوي على نسب إحلال مختلفة، تصل إلى استبدال 40% من الاسمنت بخبث الحديد، جميعها داخل حدود المواصفات القياسية الليبية. وخلصت النتائج إلى أن الاستبدال الجزئي للإسمنت البورتلاندي بخبث الحديد لصناعة الطوب الخرساني المجوف للحوائط الغير الحاملة له فوائد مادية مغرية بجانب فوائده البيئية.

الكلمات المفتاحية: خبث الحديد، الطوب الخرساني المجوف، مقاومة الضغط، المنشآت.

Abstract

There has been a growing interest in the utilisation of solid waste materials in concrete in recent years. Using these materials not only helps to reduce the cost of cement and concrete manufacturing, but also provides numerous ecological benefits such as reducing landfill costs, saving energy, and protecting the environment by reducing carbon dioxide (CO_2) emission from cement factories. This study investigates the beneficial utilization of the crushed waste furnace steel slag of the Libyan Iron and Steel Company as a partial replacement (0%, 10%, 20%, 30% and 40% by weight) for cement to produce concrete hollow block for non-load-bearing walls. Compressive strength test and water absorption test were carried out, and all results were found to be within the limits of the Libyan Standard Specifications. The results concluded that the partial replacement of Portland cement with steel slag in the production of hollow concrete blocks for non-load bearing walls offers economic benefit and potential great environmental advantage.

Keywords: Steel Slag, Concrete Hollow Block, Compressive Strength, Construction.

1 مقدمة

يعتبر الاسمنت البورتلاندي العادي أحد أهم المكونات الرئيسية في إنتاج الخرسانة، ولكن عملية صناعة الإسمنت ينتج عنها انبعاث كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي والذي يساهم بشكل كبير في ظاهرة الاحتباس الحراري وأيضا تستنفذ الكثير من الموارد الطبيعية المحدودة [1-3]. بالتالي فإنه لا مفر من البحث عن مادة أخرى يمكن استبدالها جزئيا مع الإسمنت، حيث يعتبر الخبث الناتج من صناعة الحديد والصلب من أهم النفايات الصناعية، ويتم التخلص منه كمخلفات في أراضي التخزين والأراضي الزراعية، ولأن كمية هذه المخلفات تزداد بشكل يومي فإن ترك هذه

المخلفات من دون معالجة أو الاستفادة منها يؤذي الى ضرر كبير بالبيئة وربما يصل أيضا إلى إعاقة عملية الإنتاج. ولكون الأكاسيد المكونة للخبث مشابهة للأكاسيد المكونة للإسمنت، قام الكثير من الباحثين بالاستفادة من هذا التشابه لاستعمال خبث الحديد كبديل جزئي للإسمنت بنسب متفاوتة في الخرسانة بشتى أنواعها [4-11].

يهدف هذا البحث إلى الاستفادة القصوى من مخلفات صناعة الحديد والصلب (خبث الحديد) في صناعة الطوب الخرساني المجوف للمحافظة على الموارد الطبيعة المحدودة للأجيال القادمة، وأيضا تقليل مساحات تخزين مخلفات الحديد والصلب والذي بدوره سيساعد في تقليل المشاكل البيئية المحتملة من التخزين [4]. كدلك يساهم هذا البحث في ترشيد استعمال مادة الاسمنت في صناعة الطوب الخرساني المجوف والذي سيساهم بشكل إيجابي في المحافظة على البيئة وتقليل الإنبعاثات الضارة الناتجة من صناعة الإسمنت وأيضا تقليل تكلفة إنتاج الطوبة الخرسانية.

في هذه الدراسة سيتم إضافة خبث الحديد على هيئة مسحوق كبديل جزئي للإسمنت بنسب وزنية (0، 10، 20، 30، 40) % في الخلطات الخرسانية المستخدمة في صناعة الطوب الخرساني المجوف. وسيتم اجراء اختبار مقاومة الانضغاط ونسبة الامتصاص لعينات الطوب الخرساني، لمعرفة مدى تأثير إضافة خبث الحديد على صناعة الطوب الخرساني المجوف.

2 البرنامج العملي

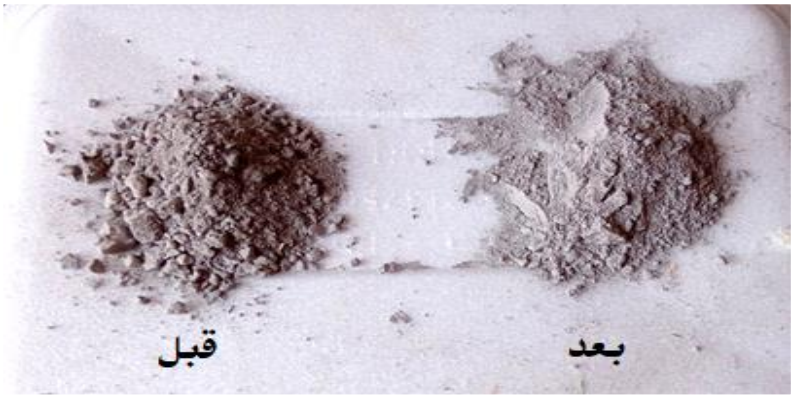
أولا تم اجراء الاختبارات الخاصة بالمواد الداخلة في تركيبة الطوب للتعرف على خواصها ومدى مطابقتها للمواصفات القياسية حيث تم اجراء الاختبارات على الركام وخبث الحديد المستخدم والاسمنت حسب الاشتراطات القياسية المتبعة وباستخدام مواد محلية لإعداد الخلطة الخرسانية الخاصة بالطوب الخرساني المجوف.

ثم تضمن البرنامج العملي لهذا البحث عملية إحلال مسحوق خبث الحديد جزئياً من وزن الاسمنت بنسب (0، 10، 20، 30، 40)% في الخلطات الخرسانية المستخدمة في صناعة الطوب الخرساني المجوف مقاس (20 X 20 X 40سم) ، وتم اجراء اختبار مقاومة الانضغاط ونسبة الامتصاص لعينات الطوب الخرساني المجوف للتأكد من مطابقته للمواصفات القياسية الليبية رقم47 لسنة 2002م [12].

2-1 المواد المستخدمة

استخدمَ في هذه الدراسة الاسمنت البورتلاندي العادي المنتج من مصنع اسمنت المرقب التابع للشركة الاهلية للإسمنت بالخمس، وخواصه الفيزيائية وتركيبه الكيميائي مطابقة للمواصفات القياسية الليبية رقم (340) لسنة 1997م [13]، كما تم استعمال ركام ناعم مورد من محاجر مدينة زليتن وهو عبارة عن رمل طبيعي خالٍ من الشوائب وذو تدرج حبيبي وخواص فيزيائية مطابقة للمواصفات البريطانية (BS 882:1992). واستخدم في هذه الدراسة ركام خشن متدرج ذو مقاس (5-10مم) والذي تم توريده من منطقة قوقاس بمدينة الخمس وهو عبارة عن حصى مكسر ناتج عن عملية التفجير وخواص فيزيائية مطابقة للمواصفات البريطانية (BS 882:1992). واستعمل أيضا ماء خلط مطابق للمواصفات القياسية الليبية رقم 294 لسنة 1988م، والمتخصصة بالمياه المستعملة في الخلطات الخرسانية [14].

وتم توريد خبث الحديد على شكل ركام مشابه للرمل من مصنع الحديد والصلب مصراته كما هو موضح بالشكل رقم 1، حيث تم طحن خبث الحديد كمسحوق للحصول على نعومة مقاربة لنعومة الاسمنت وتم التأكد من نعومة الاسمنت وذلك بعمل اختبار النعومة بحيث كانت نسبة المتبقي من المنخل رقم 170 (90 مايكرو) لا تزيد عن 10% حسب المواصفات البريطانية (BS EN 196 6 1992).



شكل 1: خبث الحديد قبل وبعد الطحن.

2-2 تجهيز الخلطات والعينات

في هذه المرحلة من الدراسة تم اختيار أحد المصانع الخاصة لصناعة الطوب الخرساني المجوف بمدينة الخمس والتي تمتاز بالمهنية وذات جودة عالية في هذه الصناعة، حيث تم في بداية الامر مراقبة سير العمل بالمصنع والتعرف على مراحل العمل خطوة بخطوة والتنسيق مع المشرف على المصنع لعمل الخلطات الخرسانية وإنتاج عينات الطوب الخاصة بالدراسة حيث تم استعمال الخلطات الموضحة بالجدول رقم 1.

جدول 1: أوزان المواد للخلطات المستخدمة في صناعة الطوب الخرساني المجوف.

نوع الخلطة	رمل كجم	ركام كجم	اسمنت كجم	ماء لتر	خبث الحديد كجم
الخلطة المرجعية (1): 0% خبث الحديد	132	372	39.2	28	0.00
خلطة (2): 10% خبث الحديد	132	372	35.28	28	3.92
خلطة (3): 20% خبث الحديد	132	372	31.36	28	7.84
خلطة (4): 30% خبث الحديد	132	372	27.44	28	11.76
خلطة (5): 40% خبث الحديد	132	372	23.52	28	15.68

بعد خلط المواد بالنسب المذكورة أعلاه في الجدول رقم 1 لكل خلطة، تم صب الخلطات الخمسة في قوالب ذات ابعاد قياسية (40X20X20سم) كما موضح بالشكل رقم 2 حسب المواصفات القياسية الليبية [12]، حيث تم انتاج 24 عينة من الطوب الخرساني المجوف لكل خلطة.

شكل 2: عملية صب الخلطة الخرسانية في القوالب.

بعد دلك تُركتْ عينات الطوب لتجف لمدة 24 ساعة، ثم تمت معالجتها بالرش بالماء ثلاث مرات في اليوم لمدة سبعة أيام، انظر شكل رقم 3.

شكل 3: عينات الطوب الخرساني المجوف.

3-2 الاختبارات المعملية

تم في هذه الدراسة اختبار مقاومة الضغط والامتصاص للطوب الخرساني المجوف وفقا للمواصفات القياسية الليبية رقم 47 لسنة 2002 [12].

1-3-2 اختبار مقاومة الضغط

حسب المواصفات الليبية رقم 47 لسنة 2002 يجب أن لا يقل سمك الطوبة المختبرة عن 75 ملم، وتحسب مقاومة الضغط لمتوسط 5 طوبات، ويكون الحد الأدنى لمقاومة الضغط للطوب الخرساني المجوف للجدران الغير حاملة للمتوسط 2.5 ميجابسكال وللطوبة الواحدة 2.1 ميجابسكال.

وتم أخذ خمس عينات من الطوب لكل خلطة وبشكل عشوائي حيث يعتبر سطحا الطوبة الافقيان عند بنائهما هما سطحا التحميل وتحسب الابعاد الافقية لكل سطح من أسطح التحميل وتؤخذ المساحة الصافية (الصغرى) لأحد السطحين عند حساب مقاومة الانضغاط للطوب الخرساني المجوف.

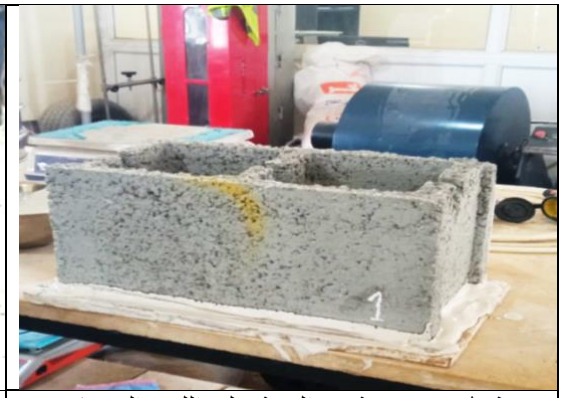
أُجري اختبار مقاومة الضغط بعمر 7 أيام على عينات الطوب الخرساني المجوف مقاس (40X20X20سم) حسب الخطوات التالية:

أ- تُأخذ عدد خمس عينات من الطوب الخرساني المجوف بشكل عشوائي من مجموعة كل خلطة.
ب- تُحسب أبعاد كل عينة ويتم وزنها وترقيمها.
ت- يتم تجهيز كمية من الجبس وتنظيف اللوح الفولاذي من الشوائب العالقة على سطحه ثم يصب الجبس بصورة شبه سائلة على سطح اللوح الفولاذي بأكمله.
ث- تُوضع العينة على الجبس على الفور وذلك بسب سرعة تصلب الجبس ويتم الضغط على العينة بشكل خفيف لتوغل الجبس في الفراغات ثم يتم تسوية العينة بواسطة الميزان لتفادي وجود الميول.
ج- يُوضع الجبس على سطح العينة العلوي ثم يوضع اللوح الفولاذي الثاني ويتم الضغط على اللوح ليتم تثبيت اللوح الفولاذي على سطح العينة
ح- تُترك العينات لمدة 24 ساعة حتى يتم التماسك بين اللوح الفولاذي وسطح العينة كما هو مبين بالشكل رقم 4.
خ- بعد ترك العينات لمدة 24 ساعة لتجف يتم وضع العينات في جهاز اختبار الضغط بحيث ينطبق محور العينة على القاعد الكروية للجهاز كما هو موضح بالشكل رقم 5.
د- يُشغل جهاز الاختبار ويتم تسليط الحمل بشكل تصاعدي على السطح الفولاذي للعينة حتى تصل الى نقطة الانهيار ويتم تسجيل قيمة الحمل (P) عند هذه النقطة، ثم تحسب مقامة الانضغاط للطوبة بقسمة الحمل (P) على المساحة الصافية للطوبة، ويأخذ متوسط مقاومة الانضغاط لخمسة طوبات. وتحسب مقاومة الصغط للطوبة الخرسانية المجوفة من العلاقة التالية:

$$\text{مقاومة الضغط (MPa)} = \frac{\text{الحمل الاقصى}}{\text{مساحة سطح الطوبة المعرض للتحميل}}$$

شكل 4- أ: وزن العينات

شكل 4- ب: وضع الجبس على اللوح الفولاذي



شكل 4- جـ: تثبيت العينة على اللوح الفولاذي

شكل 4- د: تثبيت اللوح العلوي على سطح العينة

شكل 4: خطوات تجهيز عينة الطوب الخرساني المجوف لإختبار مقاومة الضغط.

شكل 5: وضع العينة في جهاز اختبار الضغط

1-3-2 اختبار نسبة الامتصاص للطوب

تم اجراء اختبار نسبة الامتصاص بعمر 7 أيام على عينات الطوب الخرساني المجوف بمقاس (40X20X20سم) حيث تم الاختبار بوضع العينات في الفرن لمدة 24 ساعة في درجة حرارة (100-105) درجة مئوية ثم توزن وهي جافة، بعد دلك يتم غمر العينات في حوض ماء لمدة 24 ساعة، كما هو مبين في الشكل رقم 6. ثم يتم تجفيف سطحها بقطعة قماش وتوزن وهي مشبعة جافة السطح ويحسب الامتصاص بالفرق بين الوزن قبل وبعد التجفيف معبراً عنه كنسبة مئوية ويكون متوسط خمس طوبات الرقم المعبر عن النسبة المئوية للامتصاص حسب المواصفات القياسية الليبية رقم 47 لسنة 2002م. والتي تشترط أن لا تزيد نسبة امتصاص الطوب للماء عن 13% عن عند استخدام الركام طبيعي، وعن 18% عند استخدام ركام خفيف [12].

وتحسب نسبة الإمتصاص من العلاقة التالية:

$$\frac{W2 - W1}{W1} \times 100$$

حيث أن (W1) هو وزن الطوبة وهي جافة، و (2W) هو وزن الطوبة مشبعة بالماء جافة السطح.

شكل 6- أ: العينات تجفف في فرن كهربائي

شكل 6- ب: العينات مغمورة في حوض مائي

شكل 6: تحضير عينات الطوب الخرساني المجوف لحساب نسبة الإمتصاص.

3 النتائج والمناقشة

3-1 نتائج اختبار مقاومة الضغط

تم اختبار مقاومة الضغط لعدد خمس خلطات خرسانية لإنتاج الطوب الخرساني المجوف وكان عدد العينات لكل خلطة (5) عينات طبقا للمواصفات القياسية الليبية رقم 47 لسنة 2002. حيث تم إستخدام خبث الحديد كبديل جزئي للإسمنت بنسب (0، 10، 20، 30، 40) % من وزن الإسمنت كما هو موضح في الجداول من (2) الى (6)، وتم أخذ متوسط مقاومة الضغط للطوب الخرساني المجوف لكل خلطة، وعمل رسم بياني يوضح متوسط مقاومة الضغط للطوب الخرساني المجوف لكل الخلطات كما موضح في الشكل رقم 7.

جدول 2: نتائج مقاومة الضغط للطوب الخرساني المجوف بنسبة خبث الحديد (0%)

رقم العينة	الوزن (Kg)	P (N)	An (mm)	P/An (MPa)
1	15.26	$149.6X10^3$	$33.4X10^3$	4.48
2	16.015	$188.3\ X10^3$	$33.4X10^3$	5.629
3	18.414	$164.3\ X10^3$	$33.4X10^3$	4.919
4	16.015	$164.8\ X10^3$	$33.4X10^3$	4.934
5	15.375	$162.7\ X10^3$	$33.4X10^3$	4.871
			المتوسط	4.967

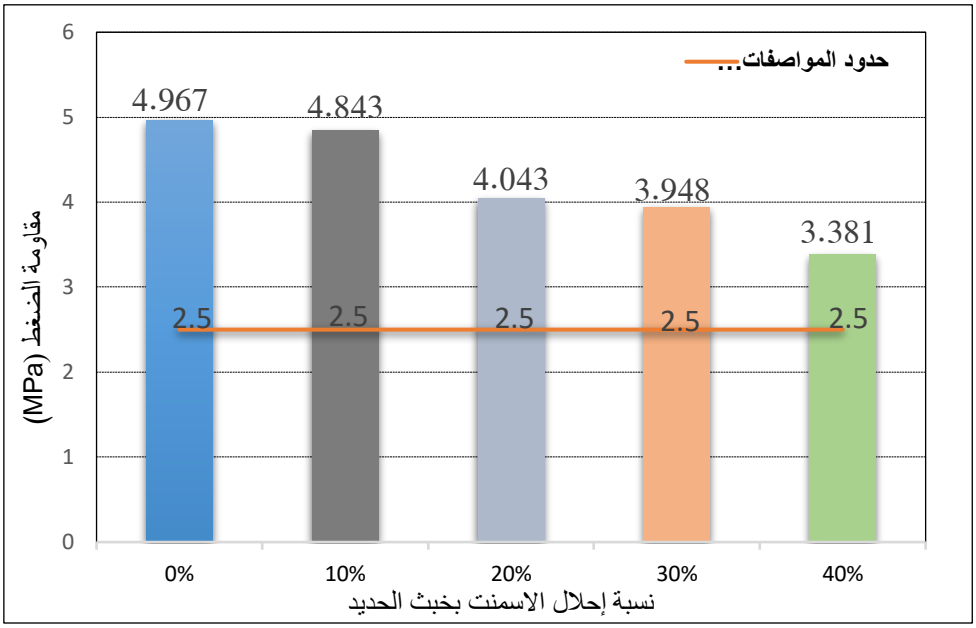
جدول 3: نتائج مقاومة الضغط للطوب الخرساني المجوف بنسبة خبث الحديد (10%)

رقم العينة	الوزن (Kg)	P (N)	An (mm)	P/An (MPa)
1	16.94	$162.6\ X10^3$	$33.4X10^3$	4.868
2	16.08	$164.7\ X10^3$	$33.4X10^3$	4.931
3	16.425	$154.8\ X10^3$	$33.4X10^3$	4.635
4	16.495	$160.7\ X10^3$	$33.4X10^3$	4.811
5	17.330	$166.0\ X10^3$	$33.4X10^3$	4.970
			المتوسط	4.843

جدول 4: نتائج مقاومة الضغط للطوب الخرساني المجوف بنسبة خبث الحديد (20%)				
رقم العينة	**الوزن (Kg)**	**P (N)**	**An (mm)**	**P/An (MPa)**
1	16.445	$145.7 X10^3$	$33.4X10^3$	4.362
2	16.555	$126.4 X10^3$	$33.4X10^3$	3.784
3	16.765	$130.1 X10^3$	$33.4X10^3$	3.895
4	16.675	$137.6 X10^3$	$33.4X10^3$	4.120
5	16.880	$135.4 X10^3$	$33.4X10^3$	4.054
		المتوسط		4.043

جدول 5: نتائج مقاومة الضغط للطوب الخرساني المجوف بنسبة خبث الحديد (30%)				
رقم العينة	**الوزن (Kg)**	**P (N)**	**An (mm)**	**P/An (MPa)**
1	17.145	$135.9 X10^3$	$33.4X10^3$	4.069
2	16.880	$116.9 X10^3$	$33.4X10^3$	3.501
3	16.350	$130.1 X10^3$	$33.4X10^3$	3.895
4	16.780	$135.7 X10^3$	$33.4X10^3$	4.063
5	16.915	$138.4 X10^3$	$33.4X10^3$	4.144
		المتوسط		3.934

جدول 6: نتائج مقاومة الضغط للطوب الخرساني المجوف بنسبة خبث الحديد (40%)				
رقم العينة	**الوزن(Kg)**	**P (N)**	**An (mm)**	**P/An (MPa)**
1	16.600	$121.4 X10^3$	$33.4X10^3$	3.635
2	16.435	$113.9 X10^3$	$33.4X10^3$	3.410
3	16.740	$103.44 X10^3$	$33.4X10^3$	3.097
4	17.115	$120.5 X10^3$	$33.4X10^3$	3.608
5	16.760	$105.3 X10^3$	$33.4X10^3$	3.153
		المتوسط		3.381



شكل 7: متوسط مقاومة الضغط للطوب الخرساني المجوف.

من خلال النتائج المتحصل عليها من الاختبارات المعملية التي تم إجراءها على الطوب الخرساني المجوف للحوائط الغير حاملة نلاحظ أن نتائج اختبار الضغط لجميع الخلطات كما هو موضح في الشكل رقم 7 داخل حدود المواصفات الليبية القياسية رقم 47 لسنة 2002م.

وبالرغم من انخفاض قيم مقاومة الضغط بشكل بسيط عند احلال نسب خبث الحديد كبديل جزئي للإسمنت في الخلطات التي تم دراستها والتي لم تتجاوز كحد أقصى 30% من أصل المقاومة المرجعية (0% خبث حديد) عندما وصلت نسبة احلال خبث الحديد إلي 40% إلا أن النتائج جميعها تعد مشجعة جدا لأنها ضمن حدود المواصفات القياسية الليبية لصناعة الطوب ويمكن التوصية باستخدام خبث الحديد كبديل جزئي للإسمنت في صناعة الطوب الخرساني المجوف للحوائط الغير حاملة حتى نسبة إحلال تصل إلى 40

2.3 نتائج اختبار الامتصاص

تم اختبار نسبة الامتصاص لعدد 25 عينة من الطوب الخرساني المجوف حيث كان عدد العينات لكل خلطة 5 عينات كما هو موضح في الجداول (7-11)، والشكل رقم 8 يبين متوسط نتائج نسبة الامتصاص لكل خلطة.

جدول 7: نسبة الامتصاص للطوب الخرساني المجوف بنسبة خبث الحديد (0%)

رقم العينة	W1 (Kg)	W2 (kg)	نسبة الامتصاص (%)
1	14.660	15.890	8.390
2	14.550	15.790	8.522
3	15.435	16.720	8.325
4	14.950	16.180	8.227
5	15.085	16.320	8.187
	المتوسط		**8.330**

جدول 8: نسبة الامتصاص للطوب الخرساني المجوف بنسبة خبث الحديد (10%)

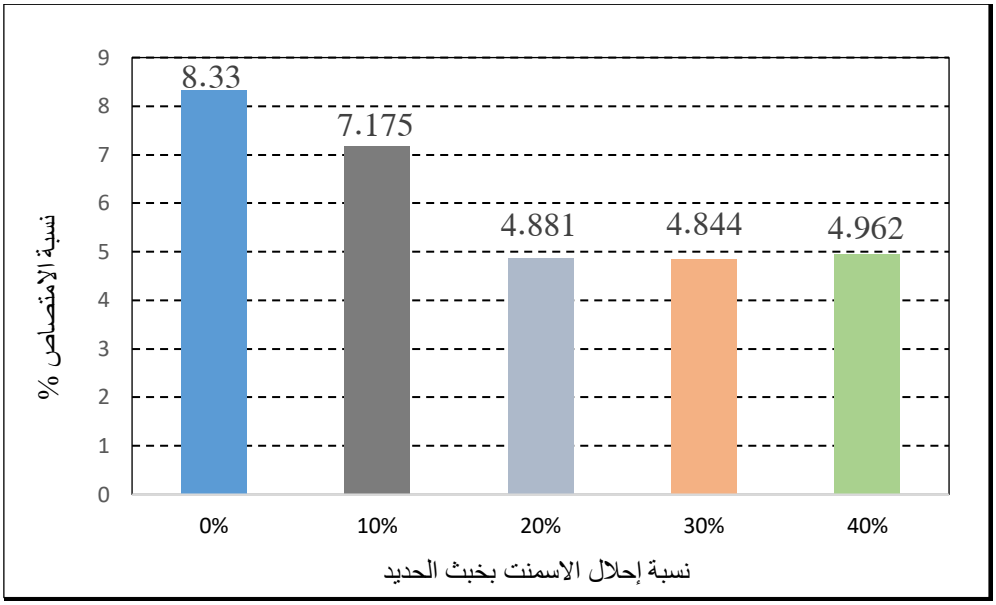
رقم العينة	W1 (Kg)	W2 (kg)	نسبة الامتصاص (%)
1	16.575	17.785	7.300
2	17.262	18.470	6.998
3	16.750	17.945	7.164
4	16.630	17.835	7.246
5	16.975	18.190	7.168
		المتوسط	**7.175**

جدول 9: نسبة الامتصاص للطوب الخرساني المجوف بنسبة خبث الحديد (20%)

رقم العينة	W1 (Kg)	W2 (kg)	نسبة الامتصاص (%)
1	16.880	17.700	4.857
2	16.440	17.235	4.835
3	16.515	17.340	4.995
4	16.425	17.220	4.840
5	16.700	17.515	4.880
		المتوسط	**4.881**

جدول 10: نسبة الامتصاص للطوب الخرساني المجوف بنسبة خبث الحديد (30%)			
رقم العينة	**W1 (Kg)**	**W2 (kg)**	**نسبة الامتصاص (%)**
1	17.320	18.190	5.032
2	16.865	17.675	4.802
3	16.485	17.240	4.579
4	16.565	17.570	4.859
5	16.270	17.075	4.947
		المتوسط	4.844

جدول 11: نسبة الامتصاص للطوب الخرساني المجوف بنسبة خبث الحديد (40%)			
رقم العينة	**W1 (Kg)**	**W2 (kg)**	**نسبة الامتصاص (%)**
1	16.260	17.075	5.012
2	16.780	17.640	5.125
3	16.825	17.700	5.2
4	16.935	17.730	4.694
5	16.425	17.210	4.779
		المتوسط	4.962



شكل 8: متوسط نسبة الامتصاص للطوب الخرساني المجوف.

كما نلاحظ من الشكل رقم 8 بأن نتائج نسبة الامتصاص لجميع عينات الطوب الخرساني المجوف داخل حدود المواصفات الليبية القياسية رقم 47 لسنة 2002م. وعند إستبدال الإسمنت بخبث الحديد بنسب 20% و 30% و 40% نلاحظ إن نسبة الامتصاص انخفضت إلى حوالى 40% مقارنتا بالعينة المرجعية (نسبة خبث الحديد 0%) وهي نتيجة مشجعة جدا لكثير من المتطلبات الهندسية عند تنفيذ العديد من المنشآت الخرسانية العادية أو ذات المتطلبات الخاصة.

الخلاصة والتوصيات

من النتائج المعملية لإختبار مقاومة الضغط ونسبة الامتصاص المتحصل عليها لعينات الطوب الخرساني المجوف للحوائط الغير حاملة، تبين ما يلي:

- عند إضافة خبث الحديد (Steel Slag) كبديل جزئي للإسمنت بنسب (10-20-30-40)% من وزن الاسمنت لإنتاج الطوب الخرساني المجوف المستخدم في الحوائط الغير خاملة كانت جميع نتائج مقاومة الضغط ونسبة الامتصاص داخل الموصفات القياسية الليبية رقم47 لسنة 2002.
- أثبت هذه الدراسة إمكانية استخدام خبث الحديد (Steel Slag) الناتج من الشركة الليبية للحديد والصلب مصراته كبديل جزئي للأسمنت بنسبة تصل إلى 40% من وزن الإسمنت لإنتاج الطوب الخرساني المجوف المستخدم في الحوائط الغير حاملة.
- إستغلال خبث الحديد في صناعة الطوب الخرساني المجوف سيساهم في تقليل مساحات تخزين مخلفات الحديد والصلب والذي بدوره سيساعد في تقليل المشاكل البيئية وأيضا ترشيد استعمال مادة الاسمنت والذي سيأثر بشكل إيجابي في المحافظة على البيئة وتقليل الإنبعاثات الضارة الناتجة من صناعة الإسمنت بالإضافة إلى تقليل تكلفة إنتاج الطوبة الخرسانية خصوصا مع الأسعار المرتفعة للإسمنت.

بناءً على النتائج المتحصل عليها في هذا البحث، نوصي بدراسة نسب إحلال لخبث الحديد أعلى من 40% وتقييم مدى تأثيرها على مقاومة الانضغاط ونسبة الامتصاص للطوب الخرساني المجوف، وكدلك دراسة إمكانية إضافة الخبث كركام خشن واستخدامه في إنتاج الطوب الخرساني المجوف.

المراجع:

[1] Althoey, F., Ansari, W.S., Sufian, M. and Deifalla, A.F., 2023. Advancements in low-carbon concrete as a construction material for the sustainable built environment. *Developments in the Built Environment*, p.100284.

[2] Lee, S., Chang, H.E. and Lee, J., 2024. Construction and demolition waste management and its impacts on the environment and human health: Moving forward sustainability enhancement. *Sustainable Cities and Society*, p.105855.

[3] Olofinnade, O., Morawo, A., Okedairo, O. & Kim, B. 2021. Solid waste management in developing countries: Reusing of steel slag aggregate in eco-friendly interlocking concrete paving blocks production. *Case Studies in Construction Materials,* 14**,** e00532.

[4] Fu, S., Kwon, E.E. and Lee, J., 2024. Upcycling steel slag into construction materials. *Construction and Building Materials*, *444*, p.137882.

[5] Sheng, G., Li, C., Jin, S. & Bai, Q., 2023. Effects of steel slag powder as a cementitious material on compressive strength of cement-based composite. *Minerals*, *13*(7), p.869.

[6] Gençel, O., Karadag, O., Oren, O. H. & Bilir, T. 2021. Steel slag and its applications in cement and concrete technology: A review. *Construction and Building Materials*, 283**,** 122783.

[7] DE Freitas, S. M. A. C., Sousa, L. N., Diniz, P., Martins, M. E. & Assis, P. S. 2018. Steel slag and iron ore tailings to produce solid brick. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20**,** 1087-1095.

[8] Wang, X., Ni, W., LI, J., Zhang, S., Hitch, M. & Pascual, R. 2019. Carbonation of steel slag and gypsum for building materials and associated reaction mechanisms. *Cement and Concrete Research*, 125**,** 105893.

[9] Yk Sabapathy, D. R., Pown krishnan B, K Sai Likitha Krishna, K Sooraj & A., J. V. 2019. A Study On Influence Of Steel Slag In Concrete Hollow Blocks.

Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 10.

[10] Hussain, I., ALI, B., Rashid, M. U., Amir, M. T., Riaz, S. & Ali, A. 2021. Engineering properties of factory manufactured paving blocks utilizing steel slag as cement replacement. *Case Studies in Construction Materials*, 15**,** e00755.

[11] Liu, J., Yu, B. & Wang, Q. 2020. Application of steel slag in cement treated aggregate base course. *Journal of Cleaner Production*, 269**,** 121733.

[12] الموصفات القياسية الليبية رقم 47 لسنة 2002 "الطوب الخرساني (الاسمنتي) للحوائط"، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية.

[13] المواصفات القياسية الليبية رقم 340 للإسمنت البورتلاندي، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية، 1997م.

[14] المواصفات القياسية الليبية رقم 294 للماء المستعمل في الخرسانة، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية، 1988م.