Journal of Alasmarya University: Basic and Applied Sciences
Vol. 6, No. 5, December 2021, Special Issue for Forth Conference on Engineering Science and Technology (CEST-2021)
مجلة الجامعة الأسمرية: العلوم الأساسية والتطبيقية
المجلد 6 ،العدد 5، ديسمبر 2021، عدد خاص بالمؤتمر الرابع للعلوم الهندسية والتقنية (CEST-2021)

استخدام خبث أفران القوس الكهربائي بمجمع الحديد والصلب كبديل للركام في الخرسانة الأسمنتية (خرسانة الرصف الصلب)

عطية محسن الضلعة[1،*]، محمود الزعيليك[2]، علي الزين[3]

[1] قسم الهندسة المدنية والمعمارية، كلية العلوم التقنية، مصراتة، ليبيا، *ateiam@yahoo.com*

[2] قسم الهندسة المدنية والمعمارية، كلية العلوم التقنية، مصراتة، ليبيا، *losd.2030@gmail.com*

[3] قسم الهندسة المدنية والمعمارية، كلية العلوم التقنية، مصراتة، ليبيا، *atia@lfsd.org.ly*

الملخص

يتناول هذا البحث دراسة تأثير استخدام خبث أفران القوس الكهربائي بمصنع الحديد والصلب بمصراته على خواص الخرسانة الأسمنتية (خرسانة الرصف الصلب)، وذلك باستخدام الخبث كبديل للركام الخشن والناعم الطبيعي المستخدم في الخرسانة و بنسبة 100% من الخبث بدلاً من الركام الطبيعي، ومن أهم أسباب دراستنا للموضوع هو محاولة الاستفادة من الكميات الكبيرة من الخبث الناتج من صناعة الحديد والصلب بمصنع مصراتة، ونحاول في هذه الدراسة توفير بديل للركام الطبيعي مما يوقف استنزاف الموارد الطبيعية والحفاظ عليها للأجيال القادمة وهو اسمي أهداف التنمية المستدامة. ونحاول في هذه الدراسة أيضا إيجاد حلول لأكوام الخبث التي تشغل مساحات شاسعة من الأرض، وبالنسبة لمنهجية البحث أولاً جمعنا عينات الخبث من مقر المصنع ثم أجرينا عملية التكسير والتدرج بالمناخل ومن ثم أجرينا الاختبارات الميكانيكية والفيزيائية، ثم قمنا بتجهيز الخلطات الاسمنتية حسب التصاميم المعتمدة لدى شركة الأشغال العامة وحسب المواصفات الليبية وبرتب مختلفة: (C15, C25, C30, C35, C40, C45) والتي كان الخبث بديلا للركام الخشن والناعم حيث ثم عمل عدد ستة مكعبات خرسانية لكل رتبة من الرتب ، ثم أجريت عليه الاختبارات بعد (7 أيام و28 يوم) بعد غمر العينات في الماء ومقارنة نتائج اختبار الخواص الأساسية للخرسانة، في الحالة اللدنة والحالة المتصلدة، لمعرفة مدى إمكانية الاستفادة من الخبث في الخرسانة الاسمنتية المستخدمة في الرصف الصلب، وقد خلصنا في هذه الدراسة لعديد النتائج أهمها النسبة العالية للامتصاص وكذلك أن مقاومة الخبث للبري أعلي من مقاومة الركام الطبيعي وكذلك لاحظنا ازدياد مقاومة الضغط عن الرتبة المصممة لها وخاصة في الرتب الصغيرة، كما لاحظنا ان الوزن النوعي للخبث أكبر من الوزن النوعي للركام الطبيعي وقد يرجع ذلك لوجود عنصر الحديد في الخبث مما يكسبه وزنا أثقل ومن خلال هذه النتائج وغيرها نوصي باستخدام الخبث في الرصف الصلب بسبب مقاومته الجيدة للبري والصدم والتهشيم.

*البريد الالكتروني للمرسل: *ateiam@yahoo.com*

1. المقدمة

مع التقدم العلمي والصناعي في العالم، والزيادة المستمرة في عدد السكان، وكذلك الزيادة في الطلب علي بناء المساكن وشق الطرق وفتح المسارات وغيرها من المتطلبات، وهذه الزيادة في ظل تزايد

ISSN: 2706-9524 (Print) ISSN: 2706-9532 (Online)

الاحتياجات، وارتفاع مستوى الرفاهية بكل أنواعها، أدي ذلك الي استنزاف الموارد الطبيعية بمختلف أنواعها، مما يحثم علي الباحثين البحث عن مصادر مستدامة للموارد بما يضمن الحفاظ علي الموارد الطبيعية الحالية والحصول علي بدائل كافية وتفي بالاحتياجات، وبالرجوع الي بيانات الشركة العامة للحديد والصلب، تبين لنا وجود كميات كبيرة من خبث الحديد، وهي تتزايد يوما بعد يوم، وهذا الخبث ينتج من صناعة الحديد والصلب، بطريقة أفران القوس الكهربائي، علماً بأن مخزون الشركة من الخبث يصل الي 2,900,000 طن تقريبا، وكل سنة يتزايد هذا المخزون بحوالي 100,000 طن، وقد سعينا في هذا البحث الي دراسة امكانية استخدام خبث أفران القوس الكهربائي بمجمع الحديد والصلب كبديل للركام في الخرسانة الأسمنتية (خرسانة الرصف الصلب)، بما يضمن افراغ المساحات الشاسعة من الأرض التي يشغلها الخبث، وكذلك وقف الاستنزاف في موارد الركام الطيعي وهو ما يتناغم مع أهداف التنمية المستدامة. وحسب الدراسات السابقة فان الخبث الناتج من افران القوس الكهربائي في أغلبه يتكون بشكل أساسي من الجير الحي والسليكا [3]، كما أن الوزن النوعي لركام الخبث أكبر من الوزن النوعي للركام الطبيعي، كما تقل نسبة امتصاص الماء للخرسانة عند استخدام ركام الخبث، كما ان ركام الخبث يكون أكثر صلادة من الركام الطبيعي، وان استخدام الخبث يعطي مقاومة ضغط كبيرة مقارنة بالخرسانة ذات الركام الطبيعي[4]، كما ان معامل التهشيم ومقاومة البري للخبث أقوى من ركام الحجر الجيري، كما تقل نسبة الامتصاص للخرسانة بزيادة نسبة الخبث في الخلطة[5]، ومن خلال مراجعتنا للدراسات السابقة لاحظنا انه لا يوجد أي بحث منشور لدراسة استخدام الخبث كبديل كامل للركام الخشن والناعم في الخرسانة الاسمنتية (خرسانة الرصف الصلب). وهذا ما يزيد من أهمية بحثنا هذا، ويمكن تلخيص المشكلة التي يعالجها هذا البحث في إمكانية الاستفادة من المخلفات الناتجة من أفران القوس الكهربائي بمصنع الحديد والصلب مصراتة، وكذلك معالجة الهدر المفرط في الموارد الطبيعية من الركام الطبيعي الخشن والناعم، أما اهداف البحث فتتلخص في تقليل أضرار خبث الحديد على البيئة من خلال شغله لمساحات كبيرة. إضافة الي تعويض النقص الذي تعاني منه منطقة مصراته، في توفير ركام ذو خواص جيدة. وكذلك الاستفادة من الخبث في تحسين خواص الخرسانة. بدون اهمال المساهمة للبحث في تحقيق أهداف التنمية المستدامة من خلال مساهمته حفظ الموارد الطبيعية وعدم استنزفها. وكل ما سبق يبرز الأهمية العلمية للبحث، إضافة الي قلة الأبحاث المنشورة عن خبث مصنع الحديد والصلب مصراتة وعدم وجود أي دراسة لإمكانية استخدام الخبث كبديل كامل للركام الخشن والناعم في خرسانة الرصف المرن وخرسانة الرصف الصلب. إضافة الي النتائج التي التي توصلنا اليها والتي من أهمها أن مقاومة الضغط و الانكماش للخرسانة المصنعة من ركام الخبث كانت متفوقة على الخرسانة المصنعة من الركام الطبيعي.

2. المواد والطرق

يعتبر خبث الحديد منتج ثانوي لعملية تصنيع الحديد والصلب، وهو عبارة عن الشوائب الناتجة من عملية إنتاج الصلب، أو من الأكاسيد، مثل: أكسيد الكالسيوم، الألومنيوم، والماغنيسيوم ..... إلخ، والمتكونة نتيجة صهر المواد الأولية: (الخردة - الحديد الاسفنجي - الإضافات)، حيث تعتمد صناعة الحديد والصلب بمصنع الحديد والصلب بمصراتة، على تقنية الافران الكهربائية، ويتم بالإضافة إلى المادة الخام، إضافة بعض المواد الأخرى، لغرض حماية بطانة الفرن من التلف، وفصل الشوائب عن الحديد عند درجة الانصهار، وهذه المواد هي الحجر الجيري، أو الحجر الجيري (الدولوميتي) التي تضاف إلي الفرن عند وجود مكورات الحديد. وتكون درجة الحرارة التي يتكون عندها ما يسمى بالخبث (Slag) حوالي: 1400-1600 درجة مئوية [1].

ولإجراء هذه الدراسة تم أخذ العينات من خبث أفران القوس الكهربائي لمجمع الحديد والصلب، وقد تم إجراء عدد من الاختبارات الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية على الخبث وهي (التدرج الحبيبي _ الوزن النوعي ونسبة الامتصاص _ لوس أنجلس _التهشيم _ الصدم) وثم مقارنة هذه النتائج، مع الحدود

المسموح بها بالمواصفات القياسية المستخدمة والمعتمدة من شركة الاشغال العامة، ومقارنتها مع الركام الطبيعي المستخدم من الشركة العامة للطرق والجسور، ، لمعرفة مستوي جودة خواص الركام الناتج من الخبث، وتأثيره علي خواص الخرسانة، كما تم عمل ستة خلطات اسمنتية من نوع مقاومة الضغط C15، C25، C30، C35، C40، C45، ولعدد ستة مكعبات من كل خلطة، وثم استبدال الركام الطبيعي الخشن والناعم بركام خشن وناعم من الخبث الناتج من صناعة أفران القوس الكهربائي،وبنسبة 100% وثم اعداد الخلطات الخرسانية وثم إجراء اختبار الهبوط على الخلطات ووضعها في قوالب عددها 36 قالب بحجم (15*15*15 سم) لاختبار الضغط بواقع 6 مكعبات لمقاومة الضغط لكل خلطة، واجرينا الاختبار الميكانيكي للضغط بعد (7 أيام و28 يوم) بعد غمر العينات في الماء.ومقارنة نتائج اختبار الخواص الأساسية للخرسانة، في الحالة اللدنة والحالة المتصلدة، لمعرفة مدى إمكانية الاستفادة من الخبث في خرسانة الرصف الصلب.

تم تنفيذ هذا المشروع في عدة أماكن بمدينة مصراتة وهي كالتالي:

- كلية العلوم التقنية.
- شركة الطرق والجسور.
- شركة الرباط للاستشارات والاعمال الهندسية.
- شركة المنتهى للأعمال الهندسية.
- شركة الموقع للاستشارات والخدمات الهندسية.

مصادر المواد الخام:

1. مادة الخبث (الخشن والناعم) من مصنع الحديد والصلب.
2. الإسمنت من مصنع الإتحاد العربي بمدينة زليتن.
3. مياه حلوة من مصنع الفرات.
4. Sika Arstep extra 120 من شركة إعمار الأماكن.

كميات المواد المستخدمة لكل خلطة:

جدول 1. يبين كميات المواد المستخدمة لكل خلطة

اسم الخلطة	الاسمنت (كجم)	الركام الخشن مادة الخبث (كجم)	الركام الناعم مادة الخبث (كجم)	الماء (باللتر)	السيكا (بالجرام)
C15	5.9	27.37	15.82	4.13	-
C25	7.9	25.98	15.02	4.37	0.038
C30	8.2	26.17	15.13	4.13	0.041
C35	8.7	26.14	15.11	4.25	0.043
C40	8.9	26.01	15.03	4.02	0.047
C45	9.2	25.69	14.85	4.13	0.047

الرصف الصلب:

الرصف الصلب أو الرصف الخرساني، يتكون من بلاطة خرسانية يتراوح سمكها ما بين (15-30) سم، وقد يصل في بعض الأحيان الي (35) سم، وهذه البلاطة تتألف من طبقة واحدة مصبوبة على تربة أو على أساس من التربة المثبتة (أساس حبيبي) أو طبقة من الخرسانة الإسمنتية الضعيفة.كما يفصلها عن بعضها فواصل تمدد وانكماش طولية وعرضية، وذلك لتفادي حدوث أي انكماش في طبقة الرصف الخرساني، وذلك لتفادي حدوث الالتواء الذي يحدث نتيجة تغيرات في درجات الحرارة، والتي تملأ بمواد خاصة لمنع نزول ماء المطر الي تربة الأساس، كما تملأ بمواد مرنة في أسفلها يعلوها مواد ذات ليونة، وذلك لمنع الأحجار الصغيرة وغيرها من النزول في الفواصل والتسبب في كسر الحواف العليا للفاصل. ويشترط في الرصف الصلب، ان لا تكون البلاطة الخرسانية ملاصقة للسطح الترابي، وان لا تهبط بهبوطه، كما يحدث في الرصف المرن، أي أن جسم التبليط هو أساس السطح في وقت واحد.وان الغرض من انشاء الطرق الخرسانية، هو نفس الغرض الذي أُنشئ من أجله أي طريق من مادة أخري، وهو توزيع الأحمال، بحيث لا يزيد الجهد الناتج من الأحمال عن جهد التأسيس، وبسبب القوة والصلابة التي تتميز بها الخرسانة وجساءتها العالية، فإن الاحمال تتوزع على مساحة واسعة نسبيا.

أنواع الرصف الصلب:

1. خالي من مواد التسليح
2. النوع بسيط التسليح
3. النوع المستمر التسليح
4. التبليط الصلب مسبق الاجهاد

3. النظريات والحسابات

في هذه الدراسة تم اعتماد البروتوكول المعتمد بالمواصفات الفنية العامة لأنشاء ورصف الطرق (المستند الأول والثاني والثالث والرابع للشركة العامة للطرق والجسور) حيث اجريث الاختبارات وحساباتها وفقا لذلك.

أولا: التحليل الكيميائي للخبث:

أجري التحليل الكيميائي للخبث، في مختبر مصنع الحديد والصلب بمصراتة، لمعرفة المركبات الكيميائية للخبث، وتم إجراء التحاليل باستخدام جهاز الامتصاص الذرى ATOMIC ABSORPTION الموجود بالمصنع، والجدول التالي: يبين نسب المركبات الكيميائية لخبث مصنع الحديد والصلب بمصراتة [2].

جدول 2. يبين المركبات الكيميائية للخبث

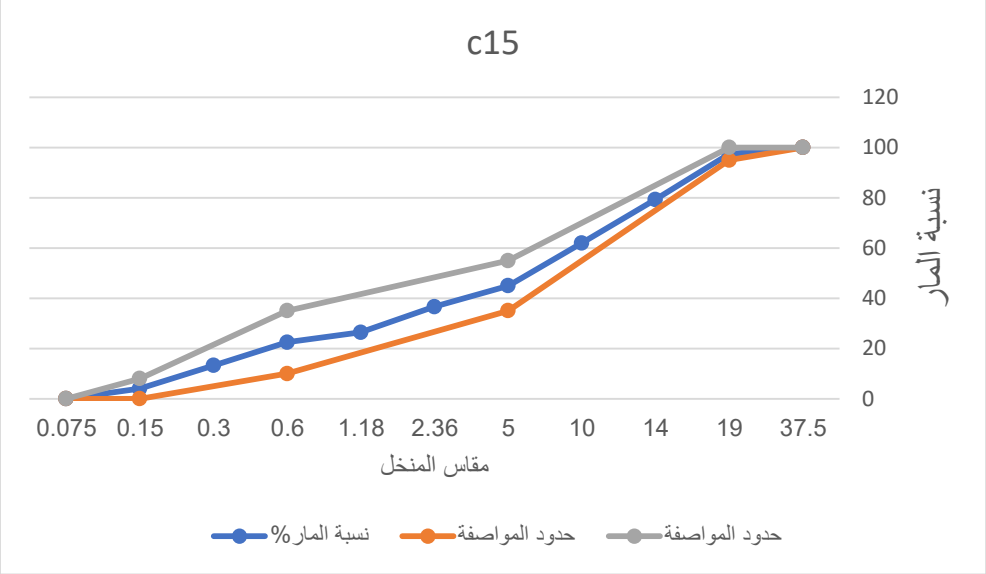
رقم العينة المركب	19/017	20/017	21/017
SiO2%	18.29	19.56	23.85
CaO%	36.71	35.96	28.36
T.Fe%	33.51	39.09	27.92

1.03	3.81	3.42	MnO%
4.62	6.08	6.23	AL2O3%
5.50	7.10	6.14	MgO%
0.18	0.13	0.15	P%

ثانيا:اختبار التحليل المنخلي لركام الخبث:

جدول 3. يبين نتائج اختبار التحليل المنخلي لخلطة C15

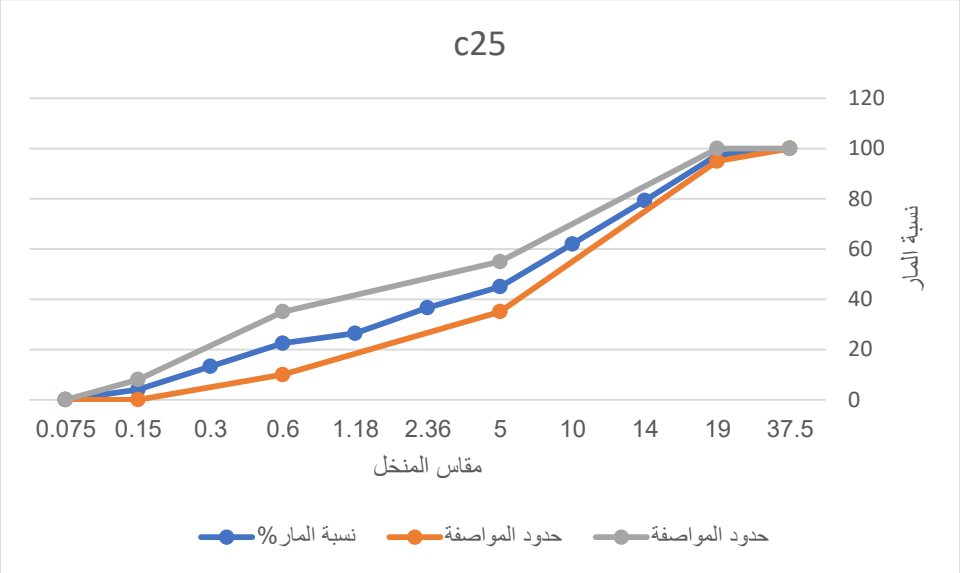
رقم المنخل (مم)	وزن المحجوز (جم)	وزن المحجوز التراكمي (جم)	نسبة المحجوز التراكمي %	نسبة المار %	حدود المواصفات الليبية رقم (2002-251)
37.5	0	0	0	100	100
19	1079.6	1079.7	2.5	97.5	100-95
14	7859.9	8939.6	20.7	79.3	-
10	7471.3	16411	38	62	-
5	7341.7	23753	55	45	55-35
2.36	3614.7	27367	63.37	36.63	-
1.18	4417.9	31785	73.6	26.4	-
0.6	1684.3	33470	77.5	22.5	35-10
0.3	3994.8	37464	86.75	13.25	-
0.15	3994.8	41459	96	4	8-0
0.075	1727.5	43187	100	0	-



شكل 1 يوضح منحني التدرج الحبيبي لعينة الركام C15

جدول 4. يبين نتائج اختبار التحليل المنخلي لخلطة C25

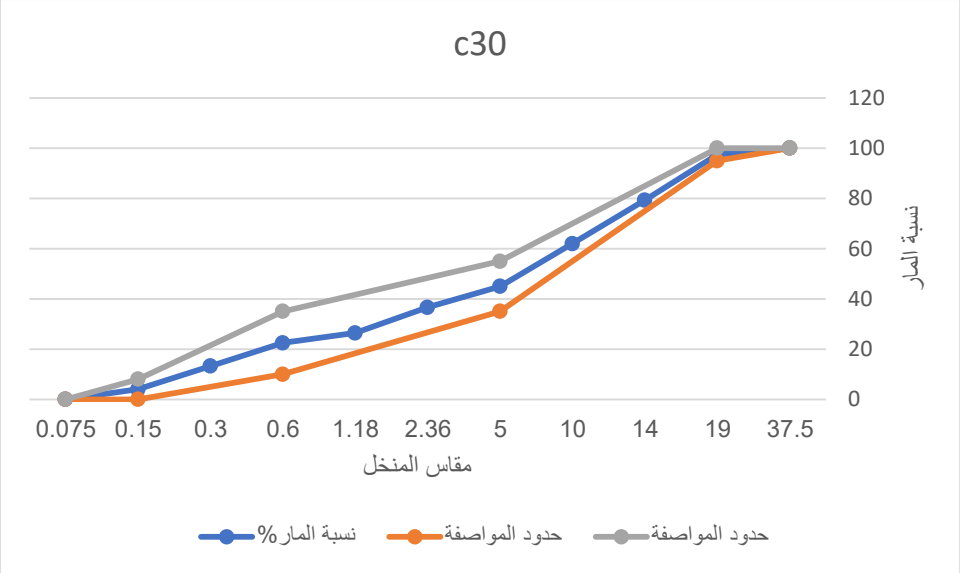
رقم المنخل (مم)	وزن المحجوز (جم)	وزن المحجوز التراكمي (جم)	نسبة المحجوز التراكمي %	نسبة المار %	حدود المواصفات الليبية رقم (251-2002)
37.5	0	0	0	100	100
19	1025	1025	2.5	97.5	100-95
14	7462.3	8487.3	20.7	79.3	-
10	7093.3	15581	38	62	-
5	6970.3	22551	55	45	55-35
2.36	3431.8	25983	63.37	36.63	-
1.18	4194.5	30177	73.6	26.4	-
0.6	1599.1	31776	77.5	22.5	35-10
0.3	3792.6	35569	86.75	13.25	-
0.15	3792.6	39362	96	4	8-0
0.075	1640.1	41002	100	0	-



شكل 2 يوضح منحني التدرج الحبيبي لعينة الركام C25

جدول 5. يبين نتائج اختبار التحليل المنخلي لخلطة C30

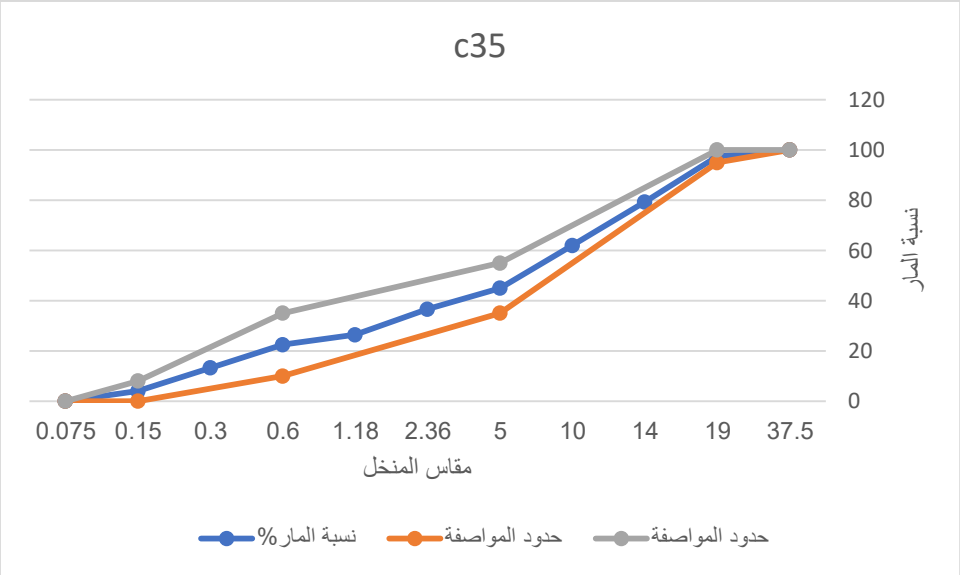
رقم المنخل (مم)	وزن المحجوز (جم)	وزن المحجوز التراكمي (جم)	نسبة المحجوز التراكمي %	نسبة المار %	حدود المواصفات الليبية رقم (2002-251)
37.5	0	0	0	100	100
19	1032.4	1032.4	2.5	97.5	100-95
14	7515.9	8548.4	20.7	79.3	-
10	7144.3	15693	38	62	-
5	7020.4	22713	55	45	55-35
2.36	3456.5	26170	63.37	36.63	-
1.18	4224.6	30394	73.6	26.4	-
0.6	1610.6	32005	77.5	22.5	35-10
0.3	3819.9	35825	86.75	13.25	-
0.15	3819.9	39645	96	4	8-0
0.075	1651.8	41297	100	0	-



شكل 3 يوضح منحني التدرج الحبيبي لعينة الركام C30

جدول 6. يبين نتائج اختبار التحليل المنخلي لخلطة C35

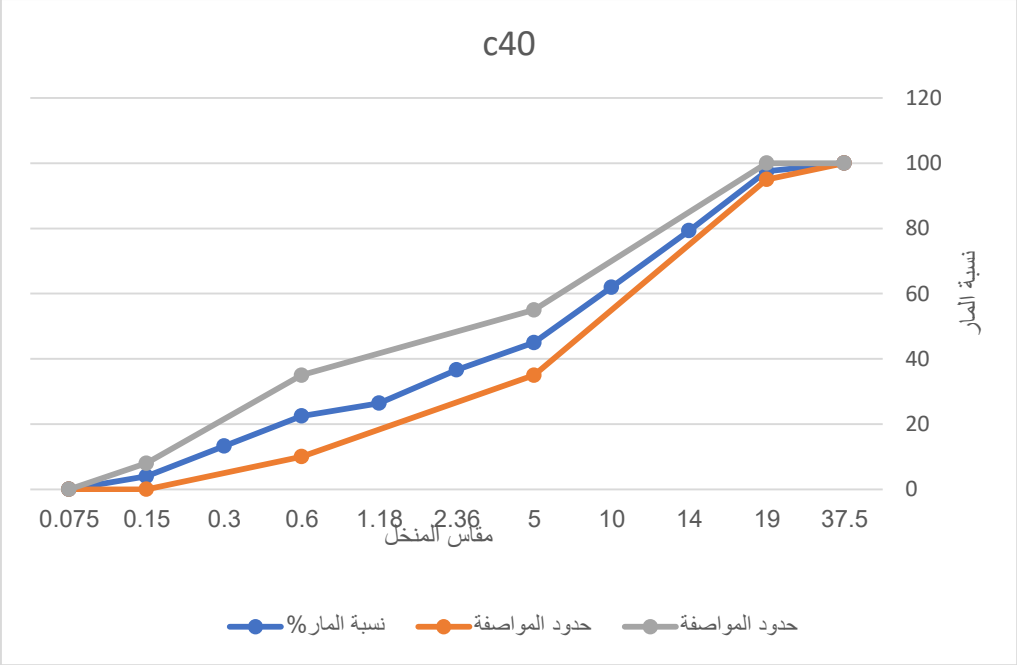
رقم المنخل (مم)	وزن المحجوز (جم)	وزن المحجوز التراكمي (جم)	نسبة المحجوز التراكمي %	نسبة المار %	حدود المواصفات الليبية رقم (2002-251)
37.5	0	0	0	100	100
19	1031.2	10312	2.5	97.5	100-95
14	7507.4	85386	20.7	79.3	-
10	7136.1	15675	38	62	-
5	7012.4	22687	55	45	55-35
2.36	3452.6	26140	63.37	36.63	-
1.18	4219.8	30359	73.6	26.4	-
0.6	1608.7	31968	77.5	22.5	35-10
0.3	3815.6	35784	86.75	13.25	-
0.15	3815.6	39599	96	4	8-0
0.075	1649.9	41249	100	0	-



شكل 4 يوضح منحني التدرج الحبيبي لعينة الركام C35

جدول 7. يبين نتائج اختبار التحليل المنخلي لخلطة C40

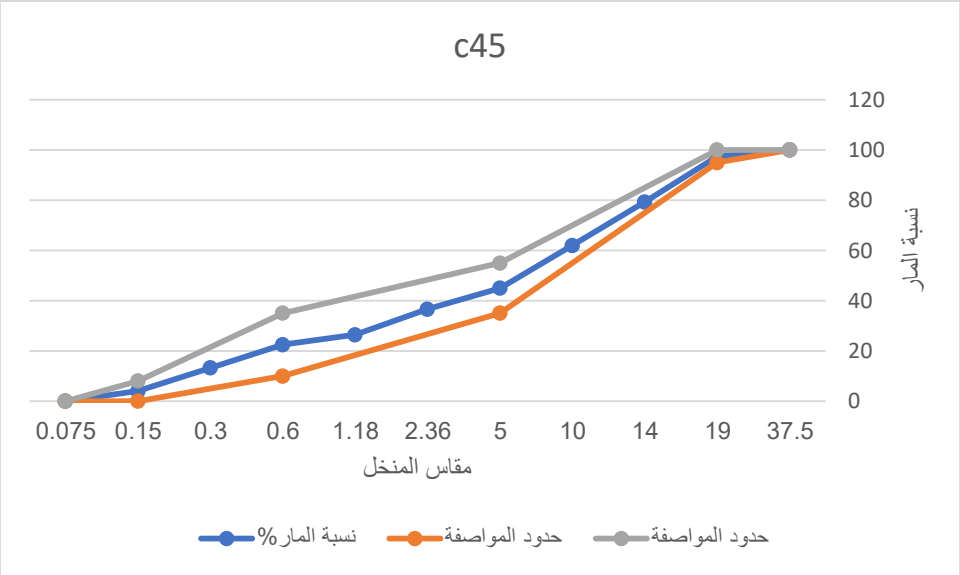
رقم المنخل (مم)	وزن المحجوز (جم)	وزن المحجوز التراكمي (جم)	نسبة المحجوز التراكمي %	نسبة المار %	حدود المواصفات الليبية رقم (251-2002)
37.5	0	0	0	100	100
19	1025.9	1025.9	2.5	97.5	100-95
14	7468.6	8494.6	20.7	79.3	-
10	7099.3	15594	38	62	-
5	6976.2	22570	55	45	55-35
2.36	3434.7	26005	63.37	36.63	-
1.18	4198.1	30203	73.6	26.4	-
0.6	1600.4	31803	77.5	22.5	35-10
0.3	3795.9	35599	86.75	13.25	-
0.15	3795.9	39395	96	4	8-0
0.075	1641.5	41037	100	0	-



شكل 5 يوضح منحني التدرج الحبيبي لعينة الركام C40

جدول 8. يبين نتائج اختبار التحليل المنخلي لخلطة C45

رقم المنخل (مم)	وزن المحجوز (جم)	وزن المحجوز التراكمي (جم)	نسبة المحجوز التراكمي %	نسبة المار %	حدود المواصفات الليبية رقم (2002-251)
37.5	0	0	0	100	100
19	1013.5	1013.5	2.5	97.5	100-95
14	7378.4	8391.9	20.7	79.3	-
10	7013.5	15405	38	62	-
5	6891.9	22297	55	45	55-35
2.36	3393.2	25691	63.37	36.63	-
1.18	4147.3	29838	73.6	26.4	-
0.6	1581.1	31419	77.5	22.5	35-10
0.3	3749.9	35169	86.75	13.25	-
0.15	3749.9	38919	96	4	8-0
0.075	1621.6	40541	100	0	-



شكل 6 يوضح منحني التدرج الحبيبي لعينة الركام C45

ثالثا: اختبار الوزن النوعي ونسبة الامتصاص لركام الخبث:

جدول 9. يبين نتائج الوزن النوعي ونسبة الامتصاص لركام الخبث

مقاس الركام: (10-20) مم

No		1	2	
وزن العينة جافة (g)	a	655.5	1812.5	
وزن العينة مشبعة جافة السطح (g)	b	678.5	1859.5	
وزن العينة مغمورة في الماء (g)	c	450	1244.5	AV
الوزن النوعي (جاف السطح)	sd=a/(b-c)	2.869	2.9472	2.908
الوزن النوعي (مشبع جاف السطح)	ss=b/(b-c)	2.969	3.0236	2.996
الوزن النوعي الظاهري	sa=a/(a-c)	3.19	3.191	3.19
نسبة الامتصاص	a=((b-a)/a)*100%	3.509	2.5931	3.051

جدول 10. يبين نتائج الوزن النوعي ونسبة الامتصاص لركام الخبث

مقاس الركام: (3-10) مم

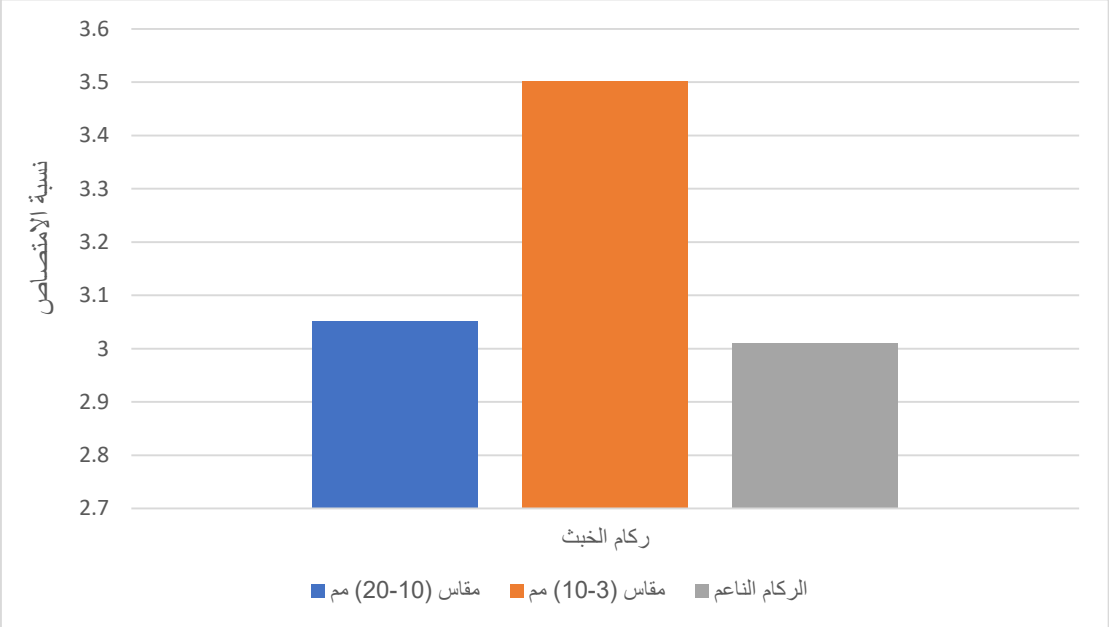
No		1	2	
وزن العينة جافة (g)	a	1257	981	
وزن العينة مشبعة جافة السطح (g)	b	1297	1018.5	
وزن العينة مغمورة في الماء (g)	c	863.5	674.5	AV
الوزن النوعي (جاف السطح)	sd=a/(b-c)	2.9	2.8517	2.876
الوزن النوعي (مشبع جاف السطح)	ss=b/(b-c)	2.992	2.9608	2.976
الوزن النوعي الظاهري	sa=a/(a-c)	3.194	3.2007	3.198
نسبة الامتصاص	a=((b-a)/a)*100%	3.182	3.8226	3.502

رابعا: اختبار الوزن النوعي ونسبة الامتصاص لركام الخبث الناعم:

جدول 11. يبين نتائج الوزن النوعي ونسبة الامتصاص لركام الخبث الناعم

مقاس (0.6 – 0.15 – 0.075) مم

No		1	2	3	
وزن العينة جافة (a)	(g)	190.9	191.5	191	
وزن العينة مشبعة جافة السطح (b)	(g)	196.6	197.2	197	
وزن العينة مغمورة في الماء (c)	(g)	459.8	463.8	435	
وزن البنكوميتر + العينة + مملوء بالماء(d)	(g)	585.4	589.2	560	A.V
الوزن النوعي (جاف السطح)	sd=a/(b+c-d)	2.691	2.668	2.67	2.675
الوزن النوعي (مشبع جاف السطح)	ss=b/(b+c-d)	2.77	2.748	2.75	2.756
الوزن النوعي الظاهري	sa=a/(c+a-d)	2.924	2.899	2.9	2.909
نسبة الامتصاص	a=((b-a)/a)*100%	2.96	2.992	3.07	3.007



شكل 7 يوضح نسبة الامتصاص لعينات ركام الخبث

خامسا: اختبار التهشيم للخبث:

جدول 12. يبين نتائج اختبار التهشيم لركام الخبث

(10-14) mm	(10-14) mm	مقاس الركام	
400kn	400kn		الحمل المسلط
3880g	3440g	A	وزن العينة
3220g	3000g	B	وزن المحجوز على المنخل 8
660g	440g	C=A-B	وزن العابر خلال المنخل 8
17.01	12.7907	D=C/A*100	نسبة العابر خلال المنخل 8
%14.9			المتوسط %

سادسا: اختبار الصدم لركام الخبث:

جدول 13. يبين نتائج اختبار الصدم

(10-14) mm	**(10-14) mm**	**مقاس الركام**	
542.83	600	A	وزن العينة
503.34	549.8	B	وزن المحجوز على المنخل 8
39.49	50.2	C=A-B	وزن العابر خلال المنخل 8
7.27	8.37		نسبة الفاقد %
7.82			المتوسط %

سابعا: اختبار لوس أنجلس للركام الخشن:

جدول 14. يبين التدرج المستخدم في اختبار لوس انجلس

sieve size مقاس المنخل (mm)	Grading and weight of sample			
	A	B	C	D
37.5-25	1250	-	-	-
25-19	1250	-	-	-
19-12.5	1250	2500	-	-
12.5-9.5	1250	2500	-	-
9.5-6.3	-	-	2500	-
6.3-4.75	-	-	2500	-
4.75-2.36	-	-	-	5000
TOTAL وزن العينة	5000g	5000g	5000g	5000g
NO OF BALLS عدد الكرات	12	11	8	6
TOTAL REVOLUTION عدد لفات الجهاز	500	500	500	500

جادول 15. يبين نتائج اختبار لوس انجلس

GRADING NO نوع التدرج	B
وزن العينة الجافة	5000
وزن المتبقي على منخل رقم 12	4085.5
وزن المار من منخل رقم 12	914.5
نسبة التآكل %	18.29
المتوسط %	18.29

ثامنا: اختبار الهبوط:

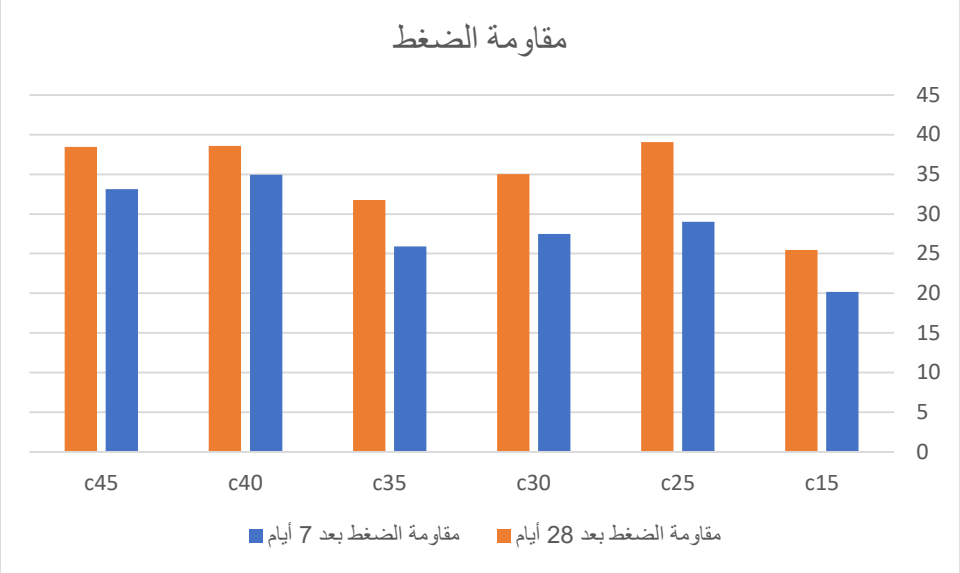
جدول 16. يبين نتائج اختبار الهبوط

نوع الخلطة	قيمة الهبوط (مم)	قوام الخرسانة بالمواصفات
C15	70	قوام الخرسانة يكون جافا إذا كان الهبوط من صفر - 20 ملم، قوام الخرسانة يكون صلبا إذا كان الهبوط من 10 - 40 ملم، قوام الخرسانة يكون لدن إذا كان الهبوط من 30- 120 ملم، قوام الخرسانة يكون مبللة إذا كان الهبوط 100- 200 ملم، قوام الخرسانة يكون رخوة إذا كان الهبوط 180 - 220 ملم.
C25	80	
C30	80	
C35	100	
C40	90	
C45	80	

تاسعا: مقاومة الضغط بعد 7 أيام و28 يوم:

جدول 17. يبين نتائج مقاومة الضغط

اسم الخلطة	مقاومة الضغط بعد 7 أيام (Mpa)				مقاومة الضغط بعد 28 أيام (Mpa)				النسبة المئوية للمقاومة بعد 28 يوم
	مكعب رقم (1)	مكعب رقم (2)	مكعب رقم (3)	المتوسط	مكعب رقم (1)	مكعب رقم (2)	مكعب رقم (3)	المتوسط	
C15	20	22.2	18.3	20.2	26.3	25.6	24.6	25.5	%170
C25	28.5	29.5	29	29	39.2	40.5	37.5	39.1	%156
C30	27.6	27.7	27.2	27.5	33.1	36.2	35.7	35	%116
C35	25.3	24.8	27.6	25.9	31.6	31.8	31.9	31.8	%90
C40	36	33.2	35.6	34.9	38.2	42	35.6	38.6	%96
C45	33.6	33.1	32.7	33.1	39.1	37.7	38.6	38.5	%85



شكل 8 يوضح مقاومة الضغط بعد 7ايام و28 يوم

خلاصة الاختبارات الفيزيائية الخبث:

جدول 19. يبين خلاصة نتائج الأختبارات

نوع الاختبار	النتيجة للخبث %	حدود المواصفة للركام %	المواصفات	نتائج دراسات سابقة		
				ركام طبيعي مصراتة السويح [8]	خبث مصنع مصراتة % [9]	خبث مصنع مصراتة % [10]
الوزن النوعي الظاهري مقاس الركام: (10-20) مم	3.19	3.10- 2.23	المواصفات الفنية العامة لإنشاء ورصف الطرق المستند الرابع	2.648	3.56	3.13
نسبة الامتصاص مقاس الركام: (10-20) مم	3.051	2.5		3.021	1.03	1.7
الوزن النوعي الظاهري مقاس الركام: (3-10) مم	3.198	3.10- 2.23		2.667	-	3.08
نسبة الامتصاص مقاس الركام: (3-10) مم	3.502	2.5		3.31	-	2.5
الوزن النوعي الظاهري مقاس الركام: (0.6 – 0.15 – 0.075) مم	2.909	3.10- 2.23		-	-	-
نسبة الامتصاص مقاس الركام: (0.6 – 0.15 – 0.075) مم	3.007	2.5		-	-	-
اختبار لوس انجلس	18.29	40		25.47	11.2	16
اختبار التهشيم	14.9	25	المواصفات القياسية البريطانية	16.31	-	20
اختبار الصدم	7.82	30		28.78	10.86	11.85

4. المناقشة والاستنتاجات

من خلال نتائج هذا البحث فان الخبث الناتج من صناعة الحديد بمصنع مصراتة يتكون أغلبه من ثلاث مكونات أساسية وهي : ثاني أكسيد الكالسيوم (بيروكسيد الكالسيوم) و أكاسيد الحديد و ثنائي أكسيد السيليكون (السليكا)،

وأكسيد المغنيسيوم بالأضافة الي أربعة مكونات ثانوية وهي وهي أكسيد المنغنيز و أكسيد الالمونيوم والفوسفور، وهو ما يتطابق مع الدراسات السابقة [9]، [10].

أما بالنسبة للاختبارات الفيزيائية للخبث فقد أوضحت الدراسة عديد النتائج الجديرة بالمتابعة وزيادة التعمق والتقصي حولها وحول أسبابها وقد توصلنا من خلال هذه الدراسة أن نسبة الامتصاص لركام الخبث تتجاوز معدل 3% وهي نتائج فريدة من نوعها كونها اختلفت عن دراسات سابقة والتي لم تصل الي هذا الرقم وهو ما يلزم علي الباحثين التوسع في دراسة الامتصاص وأسباب الاختلاف في هذه النتائج، كما االتضح أن مقاومة البري لركام الخبث جيدة وهي أعلي من مقاومة البري للركام الطبيعي، كما استنتجنا أن ركام الخبث مقاومته عالية للصدم والتهشيم، كما استنتجنا أن الوزن النوعي للخبث أكبر من الوزن النوعي للركام الطبيعي وقد يرجع ذلك لوجود عنصر الحديد في الخبث مما يكسبه وزنا أثقل.

أما بخصوص التدرج الحبيبي للخبث الناعم والخشن فقد كان في الخلطات مثاليا ومطابقا للمواصفات حيث ثم فصل الخبث وفقا للحجم ومن ثم اخدت الكميات من كل حجم بعناية وفقا للمواصفات وهو ما يفسر التطابق الدقيق في التدرج الحبيبي وفقا للمواصفات، وهو ما ينطبق علي كمية المياه والاسمنت.

أما بالنسبة لاختبار الهبوط لتحديد قوام الخلطات الخرسانية المنفدة فقد كان نوع الهبوط مثالي متناسق وتراوحت قيمته لنختلف الخلطات بين ال70 ملم وبين ال 100 ملم وهو ما يعني ان الخرسانة لدنة ومحتواها المائي مناسب.

اما بخصوص مقاومة الخرسانة للضغط فقد توصلنا الي نتائج مميزة حيث استنتجنا أن استخدام الخبث يقلل كمية الاسمنت الازمة لنفس الرتبة فقد وجدنا أن استخدام الخبث في الخرسانة الاسمنتية كبديل للركام في خلطات قياسية مصممة مسبقا للركام الطبيعي يعطي نتائج تفوق الخلطات التصميمية مما قد يعني أن استخدام الخبث كبديل للركام يخفض من كمية الاسمنت في الخلطة الاسمنتية مما يعني أنه ممتاز من الناحية الاقتصادية ويخفض التكلفة وهنا نوصي الباحثين بدراسة هذا الجانب، كما استنتجنا أن مقاومة الضغط للخلطة الخرسانية تزداد كلما كان التصميم لمقاومة ضغط اقل وبالعكس تقل كلما كان التصميم لمقاومة ضغط أعلي.

ومن كل ما سبق نستنتج أن الخبث بديل مناسب للركام الطبيعي لاستخدامه في خرسانة الرصف الصلب.

التوصيات:

من خلال نتائج البحث والاطلاع نوصي بما يلي:

1. الاهتمام باستخدام الخبث وزيادة الدراسة في هذا المجال والتشجيع على استخدامه.
2. يوصي باستخدام الخبث في الرصف الصلب بسبب مقاومته الجيدة للبري والصدم والتهشيم.

3. توسيع الدراسة لتشمل التأثير الكيميائي لركام الخبث على مكونات خرسانة الرصف الصلب.
4. عمل دراسة مستقبلية تخص الناحية الاقتصادية عند استعمال خبث أفران القوس الكهربائي في خرسانة الرصف الصلب.
5. نوصي الباحثون على دراسة نسبة الامتصاص للخبث بشكل أكبر وأوسع ومحاولة الوقوف على أسباب الاختلاف للامتصاص في الخبث.
6. نوصي بدراسة العلاقة بين استخدام الخبث وكمية الاسمنت الازمة للخلطات الخرسانية دات الرتب المحددة.
7. نوصي بدراسة الجانب الاقتصادي لاستخدام الخبث في الخلطات الاسمنتية.

الشكر والتقدير

نشكر كل من ساعدنا على إتمام هذا المشروع وقدم لنا العون ومد لنا يد المساعدة وزودنا بالمعلومات اللازمة لإتمام هذا المشروع ونخص بالذكر:

د. أبوبكر الغنيمي - رئيس إدارة البحث والتطوير بمجمع الحديد والصلب

م. عبد السلام البهلول - مشرف معمل التحليل بمجمع الحديد والصلب

أ. أحمد عامر- مدير الشركة العامة للطرق والجسور بمصراته

م. رمضان أبودبوس – مشرف معمل الشركة العامة للطرق والجسور

م. عبد السلام أبو سته و م. عبد الهادي بن غريبة - شركة الرباط

م. عبد العاطي سليم - شركة المنتهى

العاملين بشركة الموقع للاختبارات الهندسية

المراجع

[1] المواصفات الفنية العامة لأنشاء ورصف الطرق (المستند الأول والثاني والثالث والرابع للشركة العامة للطرق والجسور).

[2] منشور مختبر المراقبة والجودة – الشركة الليبية للحديد والصلب/مصراتة.

]3[Mahmoud Ameri, Saeid Hesami, Hadi, Golia, Laboratory evaluation of warm mix asphalt mixtures containing electric arc furnace (EAF) steel slag, (Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology (IUST), Narmak, Tehran, Iran, 2013).

[4] محمد محمد الغويل وآخرون، دراسة تأثير مادتي الغبار والخبث الناتج من مصنع الحديد والصلب بمدينة مصراتة على الخرسانة، كلية العلوم التقنية، مصراتة، 2017.

[5] محمد إبراهيم فكرون وآخرون، دراسة تأثير استخدام خبث أفران القوس الكهربائي بمجمع الحديد والصلب بمصراتة كركام خشن في الخرسانة، كلية الهندسة، جامعة مصراتة، 2015.

[6] الجمعية الامريكية لاختبارات المواد .American Society For Testing and Materials((ASTM))

[7]المواصفات القياسية البريطانية .British Standards BS 812 part 110-1990

[8] أ.سعيد عبدالعالي جابر وأخرون، دراسة بعض خصائص الركام في المنطقة الغربية والوسطي ومقارنتها بالمواصفات الليبية، المعهد العالي للمهن الشاملة، مصراتة ،2013.

[9] أ.م.عطية محسن الضلعة وأخرون، دراسة بعض الخواص الفيزيائية للخبث الناتج من صناعة الحديد والصلب من مصنع مصراتة، كلية العلوم التقنية، مصراتة ،2018.

[10] أ.م.عطية محسن الضلعة وأخرون، دراسة استخدام الخبث الناتج من صناعة الحديد والصلب ولفترات زمنية مختلفة كبديل كامل لركام في الخلطة الإسفلتية، كلية العلوم الثقنية، مصراتة ،2019.

[11] Atia Eldulaa, Road Rehabilitation and Maintenance Cost Analysis Caused by Overload of Benghazi Street in Misurata City, (Sebelas Maret University) (UNS), SOLO, INDONESIA, 2015).

Study of the Use of Electric Arc Furnace Slag in Iron and Steel Complex as an Alternative to Aggregates in Cement Concrete (Paving Concrete)

Atia Eldulaa[1,*], Mahmoud Alzailek[2], Ali Dauka[3]

[1]*College of Technical Sciences, Misurata University, ateiam@yahoo.com*

[2]*College of Technical Sciences, Misurata University, losd.2030@gmail.com*

[2]*College of Technical Sciences, Misurata University, atia@lfsd.org.ly*

ABSTRACT

The study examined the effect of using electric arc furnace slag in the Iron and Steel Factory in Misurata on the properties of cement concrete (paving concrete), using slag as a complete substitute for the coarse and fine natural aggregates used in concrete. and 100% slag instead of natural aggregate, the main reasons for our study To take advantage of the large quantities of slag produced from the iron and steel industry in the Misurata, at 2.9 million tons, with an increase rate of approximately 2.9 million tons. 100,000 tons per year, we are trying to provide an alternative to natural aggregates that stops the depletion of natural resources (SDGs). As for the research methodology, we first collected slag samples, then carried out crushing and grading with sieves, then carried out mechanical and physical tests, and then prepared cement mixtures of different grades:(C15, C25, C30, C35, C40, C45). In this study, we reached several results, the most important of which are, The slag is highly absorbent and the corrosion resistance of the slag is high. We also observed an increase in pressure resistance compared to the designed grade, especially in the smaller grades. We also noted that the specific weight of slag is greater than the specific weight of natural aggregates, and this may be due to the presence of iron in the slag, which increases its weight. Through these and other results, we recommend the use of slag in solid paving.

***Keywords**:*

Hard paving.

Slag.

Cement mix.

Infrastructure.

Civil Engineering.

Sustainable development.

**Corresponding Author Email: ateiam@yahoo.com*