International Science and Technology Journal
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
Volume 38 العدد
Part 1 المجلد
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
International Science and Technology Journal
ISTJ

http://www.doi.org/10.62341/muah9925

Received	2025/12/22	تم استلام الورقة العلمية في
Accepted	2026/01/10	تم قبول الورقة العلمية في
Published	2026/01/11	تم نشر الورقة العلمية في

تقييم استخدام غبار المحاجر كبديل للرمل الطبيعي في الخلطات الخرسانية: مراجعة علمية

أ. أرحيم حسين عبدربه حسين*
a.hussain@uod.edu.ly
0009-0009-1449-7699

أ. محمد أحمد فرج خليل
muhammad.khalil@uod.edu.ly
0009-0000-0478-6125

كلية الهندسة – فرع القبة – جامعة درنة، ليبيا

الملخص

أدى الاعتماد المتزايد على الرمل الطبيعي في إنتاج الخرسانة إلى استنزاف الموارد الطبيعية، الأمر الذي دفع الباحثين إلى دراسة مواد بديلة أكثر استدامة، ومن بين هذه المواد غبار المحاجر، وهو مخلفات ناتجة أثناء تكسير الصخور لإنتاج الركام الخشن.

تستعرض هذه الدراسة عدد 12 بحث من الأبحاث التجريبية المنشورة خلال السنوات من 2007 إلى 2019، التي استخدمت خلطات خرسانية في حدود الرتب الإنشائية **C20–C45**، حيث ركزت معظم الدراسات على غبار المحاجر الناتج عن صخور الجرانيت لما له من خصائص ميكانيكية ومعدنية ملائمة للاستخدام في الخرسانة.

بناء على هذه الدراسات فإن أفضل نسبة استبدال هي **60%**، إذا أظهرت هذه النسبة تحسن في الخواص الميكانيكية للخرسانة مقارنتا بالخلطات المرجعية، حيث بلغت مقاومة الضغط بعد **28 يوم** **37.47MPa**، في حين كانت مقاومة الضغط للخلطة المحتوية على الغبار **47.24MPa** كما تحسنت مقاومة الشد غير المباشر و كانت النتائج على التوالي **4.46MPa** , **5.78MPa** للخلطة المرجعية و الخلطة المحتوية على الغبار بنفس نسبة

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/muah9925

الاستبدال، كذلك سجلت مقاومة الانحناء ارتفاعا من **9.93MPa** للعينة المرجعية إلى **10.81 MPa** للعينة المحتوية على الغبار.

على الرغم من التحسن الكبير في مقاومة الضغط والشد والانحناء، إلا أنه يؤثر سلبا على قابلية التشغيل للخرسانة، لكن يمكن التحكم فيها بتحسين التصميم للخلطات الخرسانية وإضافة الملدنات الفائقة، على الرغم من هذا فإن نتائج معظم الدراسات تشير إلى أن غبار المحاجر و خصوصا الناتج من صخور الجرانيت بديلا جيدا للرمل الطبيعي و يمثل مادة مستدامة رخيصة الثمن، ويمكنه تحقيق أداء ميكانيكي إذا استخدم ضمن شروط التصميم.

الكلمات المفتاحية: غبار المحاجر، الرمل الطبيعي، الخلطات الخرسانية، نسب الاستبدال

Evaluation of the Use of Quarry Dust as a Substitute For Natural Sand in Concrete Mixtures
(A Scientific Review)

M.Sc Arhaiem Hussain **M.Sc Muhammad A. Farag**

Faculty of Engineering - Al-Qubbah - University of Derna, Libya
a.hussain@uod.edu.ly muhammad.khalil@uod.edu.ly

Abstract

The increasing reliance on natural sand in concrete production has led to the depletion of natural resources, prompting researchers to investigate more sustainable alternative materials. One such alternative is quarry dust, a by-product generated during the crushing of rocks for the production of coarse aggregates.

This study reviews twelve experimental research papers published between 2007 and 2019 that investigated concrete mixtures within structural strength classes ranging from C20 to C45. Most of the reviewed studies focused on quarry dust derived from granite rocks due to their favorable mechanical and mineralogical properties for concrete applications.

Based on the findings of these studies, the optimal replacement ratio of natural sand with quarry dust was

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/muah9925

identified as 60%. At this replacement level, an improvement in the mechanical properties of concrete was observed compared to the control mixtures. The 28-day compressive strength increased from 37.47 MPa for the reference mix to 47.24 MPa for the quarry dust-containing mix. Similarly, the splitting tensile strength improved from 4.46 MPa to 5.78 MPa for the reference and quarry dust mixes, respectively. In addition, the flexural strength increased from 9.93 MPa for the control specimen to 10.81 MPa for the specimen incorporating quarry dust.

Despite the significant enhancement in compressive, tensile, and flexural strengths, the use of quarry dust was found to adversely affect the workability of concrete. However, this drawback can be mitigated through proper mix design optimization and the use of superplasticizers. Overall, the results of most studies indicate that quarry dust—particularly that obtained from granite rocks—represents a viable, low-cost, and sustainable alternative to natural sand, capable of achieving satisfactory mechanical performance when used under appropriate design conditions.

Keywords: Quarry dust, natural sand, concrete mixtures, replacement ratios.

المقدمة

إن الاستخدام الجائر في استهلاك الموارد الطبيعية لاسيما في ظل التزايد في البناء خاصة في الآونة الأخيرة التي شهدت تطور كبير في المعمار الذي يعتمد على استخدام الخرسانة بكثرة في الانشاءات خصوصا في ليبيا، الأمر الذي أصبح يستنزف الموارد الطبيعة من الركام الخشن والركام الناعم الذي يتم جلبه غالبا من رمال الشواطئ.

وهذا يؤدي إلى حدوث آثار بيئية سلبية، من بينها تآكل الشواطئ، وتدهور الأنظمة البيئية، ونقص مصادر الركام الطبيعي، حيث دفع الباحثين إلى البحث عن بدائل مستدامة للركام الطبيعي في الخرسانة.

من هذه البدائل حظي غبار المحاجر باهتمام واسع في السنوات الأخيرة، حيث انه يعتبر مخلفات لعمليات تكسير الصخور أثناء إنتاج الركام الخشن. وهو ذو شكل زاوي و جسيمات دقيقة وله تدرج حبيبي يختلف عن الرمل، فهذا يؤثر

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/muah9925

على أداء الخرسانة في حالتيها سواء الطازجة أو المتصلدة، وتشير بعض الدراسات إلى أن وجود الجسيمات الدقيقة يمكن أن يساعد في تحسن عملية تراص الحبيبات و بالتالي تقل الفراغات، و تساعد هذه الخواص في زيادة مقاومة الضغط و الكثافة ، في حين أن شكله الزاوي و حبيباته الناعمة يؤثران غالبا على قابلية التشغيل بالانخفاض و بالتالي زيادة في نسبة امتصاص الماء ما لم يتم إجراء تعديلات مناسبة في تصميم الخلطة أو استخدام الملدنات الكيميائية لتحسين التشغيلية [1]، [2]، [3]، [4]، [5].

وقد استخدمت العديد من الدراسات التجريبية حول العالم غبار المحاجر كبديل جزئي للركام الناعم في الخرسانة، حيث اجرت الاختبارات لمعرفة مدى تأثيره على خواص الخرسانة من مقاومة الضغط، الشد، المتانة، الكثافة وقابلية التشغيل. اشارت معظم الدراسات أن استخدام نسب مناسبة من غبار المحاجر يساعد في تحسن مقاومة الخرسانة وخصائصها الميكانيكية. وتشير أيضا أن الافراط في نسب الخلط تؤدي إلى نتائج سلبية على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة نتيجة لحبيباتها الناعمة [2]، [6]، [7]، [8]، [9]، [10]،[11]، [12].

كما تؤكد الدراسات على ان طبيعة الصخور الناتج عنها الغبار نفسها تؤثر على الأداء، نسبة نعومة المواد وتدرجها الحبيبي، وكذلك مدى توافقه مع المواصفات القياسية للركام مثل مواصفة[13] ASTM C33 .

نظرا لوجود فروقات في نتائج الدراسات السابقة والتفاوت في نسب الاستبدال وتأثيره على سلوك الخرسانة، تظهر الحاجة لضرورة اجراء دراسة مرجعية لتقييم نتائج هذه الأبحاث والمقارنة بينها، ومدى تأثير الغبار على خواص الخرسانة، وكذلك تحديد نسب الاستبدال الأمثل ودراسة الجوانب البيئية والاقتصادية لتصبح مادة مستدامة بديلة عن الرمل الطبيعي في الخلطات الخرسانية.

مشكلة الدراسة

على الرغم من وجود العديد من الدراسات التي درست إمكانية استخدام غبار المحاجر في الخلطات الخرسانية، الا انه ما تزال هناك حاجة الى إيجاد نسبة

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/muah9925

استبدال مثلى لتأثير انوع الصخور الناتج عنها الغبار على أداء الخرسانة، وكذلك تأثيره على قابلية التشغيل ونسب الامتصاص. إضافة إلى ذلك، فإن هذه الدراسات لم تغطي بشكل كامل الجمع بين الجوانب البيئية والهندسية والاقتصادية لاستخدام هذه المخلفات. وهذا يخلق فجوة معرفية تحتاج إلى معالجة من خلال مراجعة علمية منهجية شاملة.

أهمية الدراسة

تتلخص أهمية هذه الدراسة فيما يلي:

- المحافظة على الموارد الطبيعية.
- إيجاد بديل للرمل الطبيعي من مواد متوفرة رخيصة الثمن.
- الحد من التلوث الناتج عن غبار المحاجر باستخدامه في الخلاطات الخرسانية.
- جمع النتائج وتحليلها لمساعدة المهندسين والباحثين لإيجاد أفضل نسب استبدال.

أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى:

- مراجعة الدراسات السابقة التي استخدمت غبار المحاجر في الخلطات الخرسانية.
- دراسة مدى تأثير هذه المادة على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة.
- تحديد إمكانية استخدام هذه المادة كبديل مستدام من الناحيتين الاقتصادية والبيئية.
- إيجاد أفضل نسبة للاستبدال.

الخصائص الفيزيائية والكيميائية

أولا: الخصائص الفيزيائية والكيميائية للغبار

غبار المحاجر عبارة عن حبيبات ناعمة يتراوح تدرجها الحبيبي من منخل 4.75 مم إلى 75 ميكرون وهي ذات شكل زاوي وملمس خشن يساعد

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/muah9925

فـي التجـانس بـين مكونـات الخلطـات الخرسـانية ولكـن هـذه النعومـة يمكـن أن تـؤثر سلبا على قابلية التشغيل وزيادة نسبة الماء.

الجـدول 1: يوضـح: الخصـائص الفيزيائيـة والكيميائيـة للغبـار المسـتخدم فـي الاستبدال لدراسات المراجعة.

جدول1: خصائص غبار المحاجر ونوع الصخور والمقارنة بالمواصفات العالمية

المقارنة بالمواصفات (الأمريكية/البريطانية)	الخصائص الفيزيائية والكيميائية	نوع الصخر	الدراسة (الباحثون)
(Zone-II)حسب الكود الهندي، فحوصات التآكل وفق ASTM C1202 ASTM-C876	الوزن النوعي 2.68 معاير النعومة 2.70	الجرانيت الطبيعي	M. Devi & K. Kannan
واعتمدت الدراسة في مراجعها على مواصفات BS(البريطانية) لفحص الخرسانة.	الوزن النوعي 2.57، الكثافة 1.85 جم/سم^3.	كتل صخور الجرانيت المكسرة	G. Balamurugan & P. Perumal
أجريت الاختبارات وفق الكود الهندي (IS 383) الذي يقارن عادة بمعايير ASTM الأمريكية في الأداء.	الوزن النوعي 1.95 قيمة الانتفاخ 34.13%.	الجرانيت	A. Sivakumar & Prakash M
الأوزان النوعية والتدرج متوافقة مع BS EN12620:2002، وقورنت النتائج بـAC و BS	محتوى مواد ناعمة 10.45% نسبة الامتصاص 10.6%.	صخور مكسرة	K.B.Meisuh et al
المقارنة بالمواصفات (الأمريكية/البريطانية)	**الخصائص الفيزيائية والكيميائية**	**نوع الصخر**	**الدراسة (الباحثون)**
اعتمدت الدراسة معايير تدرج المنطقة الثانية وفق IS 383، وقارنت الأداء بمواصفات ACI في المراجع.	معاير النعومة بين 2.43 و 2.72.	بقايا استخراج ومعالجة الصخور	A. Kannan et al
التدرج المعتمد يقع ضمن حدود المنطقة الثانية لـ IS 383، وتم استخدام ماكينة ضغط متوافقة مع المعايير الدولية.	الوزن النوعي 2.40 معاير النعومة 2.60	صخور مكسرة	Amit Kumar Singh et al
أجريت اختبارات التآكل وفق BS 812-113 واختبار الشد وفق ASTM C 496-	الوزن النوعي 1.74، امتصاص الماء 2.34%.	غرانوليت يحوي الأرثوبيرو كسن	G. K. Febin et al

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/muah9925

الدراسة (الباحثون)	نوع الصخر	الخصائص الفيزيائية والكيميائية	المقارنة بالمواصفات (الأمريكية/البريطانية)
	(Charnockite)		-ISO 8301.
C. K. Kankam et al	صخور مكسرة	الحجم الأقصى 2 ملم، معاير النعومة 3.54.	استوفت المواد متطلبات الكود BS 882، وقورن معامل المرونة بمعادلات BS و ACI.
M.d. Safiuddin et al	جرانيت مكسر	كثافة نسبية 2.63، مؤشر التفرطح 55.%	استخدم الأسمنت الأمريكي ASTM Type I، وأجريت اختبارات الهواء والكثافة وفق BS 1881، والتدفق وفق الكود الياباني JSCE.

ثانيا: الخصائص الفيزيائية والكيميائية للرمل

يوضح الجدول 2 الخصائص الفيزيائية والكيميائية للرمل الطبيعي المستخدم في دراسات المراجعة.

جدول2: خصائص الرمل المستخدم في الدراسات

الدراسة (الباحثون)	الخصائص الفيزيائية للرمل	الخصائص الكيميائية للرمل
G. Balamurugan & P. Perumal	الوزن النوعي2.53 :، معاير النعومة3.08 :، نسبة الفراغات0.55 :، الكثافة 1.63 : جم/سم^3.	-
Poonam et al.	الوزن النوعي (المتوسط).2.296 :	-
Bismark K. Meisuh et al.	الوزن النوعي2.66 :، معاير النعومة2.66 :، امتصاص الماء6.8% :، محتوى المواد الناعمة.3.89% :	-
K. Mamta & Ahsan Rabbani	الوزن النوعي2.68 :، الكثافة الظاهرية النسبية 1550 :كجم/م^3، الجزيئات أنعم من 0.075 ملم.6% :	SiO2 (80.78%)، Al2O3 (10.52%)، Fe2O3 (1.75%)، CaO (3.21%)، MgO (0.77%).
A. Kannan et al.	الوزن النوعي2.63 ، معاير النعومة.2.48 :	-
M. Shahul Hameed & A. S. S. Sekar	الكثافة الظاهرية 1430 :كجم/م^3، معاير النعومة2.20 :، الحجم الفعال 0.20 :ملم، معامل الانتظام.6.00 :	SiO2 (80.78%)، CaO (3.21%)، Al2O3 (10.52%)، K2O (1.23%).
Amit Kumar Singh et al.	الوزن النوعي2.3 :، معاير النعومة.2.75 :	-
G. Kottukappalli Febin et al.	الوزن النوعي للرمل المصنع2.68 ، الامتصاص1.60% :، معاير النعومة.4.91 :	-
Md. Safiuddin et al.	الكثافة النسبية2.60 ، معاير النعومة3.01، الامتصاص.1.20%	-

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/muah9925

الجوانب البيئية

يعد الرمل الطبيعي مورد غير متجدد نتيجة لتكوينه الذي يستغرق ملايين السنين فالأفراط في استخدامه في الخلطات الخرسانية يؤدي إلى مشاكل بيئية كبيرة، خاصة في المدن القريبة للساحل الليبي التي تعتمد بشكل مباشر على رمال الشواطئ محدثا تآكل وارتفاع لمنسوب المياه مما يخلق حاجة ماسة لإيجاد البديل عنه.

حيث اتجه البحاث الى استبدال الرمل بغبار المحاجر مما يسهم في تقليل التلوث البيئي والمحافظة على الرمل

منهجية الدراسة

تعتمد هذه الدراسة على منهجية المراجعة العلمية من خلال جمع وتحليل الدراسات المنشورة في مجلات علمية محكمة عبر قواعد بيانات موثوقة مثل Scopus، ScienceDirect، SpringerLink & Google Scholar.

وقد تم تنفيذ عملية البحث العلمي باستخدام مجموعة محددة من الكلمات المفتاحية لضمان قابلية التكرار (Reproducibility) ، حيث شملت الكلمات:

Keywords:
Quarry Dust, Quarry Rock Dust, Granite Quarry Dust, Fine Aggregate Replacement, Sand Replacement in Concrete, Mechanical Properties of Concrete, Compressive Strength, Tensile Strength, Flexural Strength, Density, Concrete Grade C20–C45, Sustainable Concrete

نطاق الدراسة

تم حصر الدراسات المنشورة من مدة 12 عام خلا الفترة من 2007 الى 2019، مع التركيز على الدراسات التجريبية فقط.

تم اختيار الدراسات وفق الشروط التالية:

- أن تكون منشورة في مجلات علمية محكمة.
- أن تستخدم غبار المحاجر كبديل جزئي أو كلي للرمل الطبيعي.
- أن تتضمن الدراسة نتائج ميكانيكية واضحة عند عمر 28يوم على الأقل.
- أن تتضمن واحدة أو أكثر من الخصائص التالية: مقاومة الضغط، مقاومة الشد، مقاومة الانحناء، الكثافة.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/muah9925

- أن تستخدم خرسانة برتب من C20 إلى C45.

حجم العينة البحثية

تمت مراجعة أكثر من 12بحث علمي نشر في مجلات علمية محكمة لمعرفة تأثير استخدام الغبار على الخواص للخلطات الخرسانية وتحديد نسب الاستبدال المثلى.

المناقشة

أولا أهم الفروقات بين الرمل وغبار المحاجر

تتلخص الفروقات بين الرمل وغبار المحاجر في النقاط التالية:

1. غبار المحاجر الناتج عن صخور الجرانيت له شكل زاوي وملمسه خشن نتيجة لعملية التكسير أما الرمل فهو ذو حبيبات مستديرة وناعمة.
2. غبار المحاجر يحتوي نسبة عالية من المواد الناعمة مقارنتا بالرمل.
3. نتيجة لوجود نسبة عالية من المواد الناعمة وشكل الغبار الزاوي فإن له قدرة عالية على امتصاص الماء مما ينتج عنه تقليل قابلية التشغيل.
4. الرمل غني جداً بـ السيليكا (SiO2) بنسبة قد تتجاوز 80%، بينما يحتوي غبار المحاجر على نسب أعلى من الألومينا (Al2O3) وأكسيد الحديد (Fe2O3)مقارنة بالرمل، وهذه الخواص تجعله أقرب قليلا لتركيب الاسمنت في بعض الأكاسيد.
5. نتيجة لوجود نسبة عالية من المواد الناعمة في غبار المحاجر فهذه المواد تساعده في سد الفراغات بين حبيبات الرمل إذا استخدمت بنسب معتدلة وبالتالي تزيد من كثافة وقوة الخرسانة الناتجة.

ثانيا: تأثير الغبار على خصائص الخرسانة

يوضح الجدول(3) الخصائص الميكانيكية وقابلية التشغيل والمقارنة بالمواصفات العالمية

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/muah9925

جدول(3): مقارنة نتائج الخلطات المرجعية وخلطات غبار المحاجر

الدراسة (الباحثون)	نتائج الخلطة المرجعية (رمل 100%)	نتائج خلطة غبار المحاجر النسبة المثلى	ملاحظات المقارنة بالمواصفات (ACI / BS)
M. Devi et al.	ضغط 31.00 MPa: شد: 3.22 MPa انحناء 7.55 MPa:	ضغط:34.00 بنسبة إحلال 100% مع مضافات شد3.75 : انحناء8.28 :	تم التصميم وفق IS 10262لتحقيق رتبة تماثل متطلبات الأكواد العالمية للمنشآت المقاومة للتآكل وفق ASTM C1202.
G.Balamurugan	(M25) ضغط: 28.58 MPa شد 3.17 MPa، انحناء 3.66 MPa	(M25) ضغط 30.07، شد 3.63، انحناء 4.10 عند إحلال 50%	أظهرت الخلطات نتائج تتجاوز الحد الأدنى للمقاومة المطلوبة في الكود البريطاني BS 8110عند نسبة إحلال 50%
.Sivakumar	ضغط 38.50 MPa شد: 3.92 MPa	ضغط 36.46 MPa إحلال 100% شد 3.33 MPa	رغم أن الرمل الطبيعي أعطى نتائج أعلى قليلا في بعض الرتب، إلا أن الغبار حقق أداء ميكانيكيا مكافئا "لمتطلبات التصميم القياسية.
B. Meisuh	(C45) ضغط 44.43 MPa انحناء 4.57 MPa	(C45) ضغط: 47.27 MPa انحناء 4.93 MPa إحلال 100%	أثبتت الدراسة أن معادلات ACIو BSتظلم خلطات الغبار لأن النتائج المختبرية كانت أعلى من توقعات الأكواد بنسبة تصل لـ 24.%
Kannan et al.	ضغط 37.74 MPa شد 4.46 MPa انحناء 9.93MPa	ضغط 47.24 MPa إحلال 60% غبار مغسول شد:5.78 انحناء:10.81	تفوقت خلطة الغبار على المرجعية بنسبة 25.17%، مما يجعلها مطابقة لمواصفات الخرسانة عالية الأداء في الكود الأمريكي
M. S. Hameed	ضغط 36.85MPa شد 4.62 MPa	ضغط 40.35 MPa: إحلال 100% خليط غبار ورخام شد5.02 MPa	الخلطة "الخضراء" تفوقت على المرجعية بنسبة 9.49%واستوفت شروط الانسيابية (Flow) في الكودات الدولية للخرسانة ذاتية الدمك
A. K. Singh	ضغط 35.25 MPa هبوط 84mm	ضغط 44.86 MPa: إحلال 60% هبوط :45 ملم (مع مضافات)	حققت زيادة بنسبة 27%عن الخلطة المرجعية، مع الالتزام بتصميم الخلطة وفق IS 10262 المقارب لمعايير ACI 211

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/muah9925

الدراسة (الباحثون)	نتائج الخلطة المرجعية (رمل 100%)	نتائج خلطة غبار المحاجر النسبة المثلى	ملاحظات المقارنة بالمواصفات (ACI / BS)
K. Febin et al.	ضغط: 10 MPa شد 2.8 MPa	ضغط 28 MPa: إحلال60%غبار شد:3.2	تحسنت المقاومة بشكل هائل واستخدمت الدراسة ASTM C 496و BS 812 لضمان جودة كتل البناء
C. Kankam	(C45) ضغط 44.43 MPa معامل مرونة 31.28 MPa	(C45) ضغط: 46.40 MPa إحلال 25% معامل مرونة 34.38 MPa	وجدت الدراسة أن قيم معامل المرونة لخلطات الغبار أعلى من تنبؤات ACIو BS بنحو 7.9%
M.d. Safiuddin	ضغط 44 MPa هبوط: 230 ملم	ضغط 45 MPa إحلال 20% مع أبخرة السيليكا هبوط 235 :ملم	الخلطات المرجعية والمطورة أعطت نتائج "ممتازة" في فحص سرعة النبضات فوق الصوتية 4.575 كم/ث وفق المعايير الدولية

كما موضح في الجدول(3) أن الخرسانة المحتوية على غبار المحاجر تفوقت على الخلطة المرجعة بنسب اعلى في الشد والانحناء بفضل الحبيبات الزاوية لغبار المحاجر التي تعزز من قوى الاحتكاك داخل منطقة الانتقال البينية، وهو ما يفسر تحسن الشد والانحناء بنسب تفوق نسب تحسن الضغط في بعض الدراسات، بينما قلة قابلية التشغيل مما يستدعي إضافة الملدانات.

اختبارات الكربنه و نفاذية الكلوريدات

بناء على الدراسات، تم استخلاص نتائج الاختبارات لنفاذية الكلوريدات وخصائص الكربنة

1- نتائج اختبار نفاذية الكلوريدات السريعة(RCPT)

هذه الاختبارات من أهم الاختبارات لكونها تعطي مؤشر لقدرة الخرسانة على حماية اسياخ حديد التسليح من التآكل، وقد أظهرت الدراسات ما يلي:

- أظهرت إحدى الدراسات أن قيمة نفاذية الكلوريدات لخرسانة غبار المحاجر بدون مضافات هي 2426كولوم عند عمر 28 يوماً{1}.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/muah9925

- أدى استخدام مثبطات التآكل المتكاملة (Inhibitors) إلى خفض النفاذية بشكل كبير، حيث حققت إضافة 2% من نيتريت الكالسيوم تحسنا في مقاومة نفاذية الكلوريدات بنسبة 97.87%، بينما حقق ثلاثي إيثانول أمين تحسنا بنسبة 96.59%.
- بفضل احتواء غبار المحاجر على مواد ناعمة على تقليل النفاذية بسد المسام ومنع دخول الأيونات الضارة من خلال تشكيل مركبات معقدة تملأ الفراغات الشعرية.
- أن استبدال الرمل الطبيعي بغبار المحاجر بنسبة حوالي 60% تساعد في خفض نفاذية أيونات الكلوريدات إذا قورنت باستخدام الخلطات المحتوية على الرمل.

2. الكربنة وديمومة البنية المجهرية

معظم الدراسات لم تذكر صراحة قيما لعمق الكربنة (Carbonation Depth)، ولكن قدمت مؤشرات على تحسن الخصائص التي تمنع حدوثها:

- غبار المحاجر يحتوي على مواد ناعمة تساهم في سد الفراغات الدقيقة بين حبيبات الرمل والإسمنت، مما يزيد الكثافة التي تمنع تغلغل غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) المسؤول عن الكربنة.
- قامت إحدى الدراسات باختبار النفاذية تحت الضغط للخرسانة الخضراء التي تحتوي على نسبة 50% من مسحوق الركام و 50% من غبار المحاجر، حيث بلغت قيمته الاختراق 3.30 إلى 11.50سم للخرسانة المنتجة، بينما كانت الاختراق للعينة المرجعية إلى 3.50–14.20سم، مما يدل على ان لديها مقاومة عالية للعوامل الميكانيكية[3] .
- غبار المحاجر يحتوي على سيليكا نشط تساهم في التفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم لتكوين سيليكات الكالسيوم المهدرجة(C–S–H) الثانوية، التي تساعد في زيادة الكثافة للمادة واستقرارها الكيميائي ضد هجمات الكربنة والكبريتات.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/muah9925

3. اختبارات الامتصاص السطحي والخاصية الشعرية(Sorptivity)

ترتبط اختبارات الامتصاص السطحي والخاصية الشعرية ارتباطا وثيقا بقدرة الخرسانة على مقاومة الكربنة والكلوريدات:

- بناء على نتائج الدراسات فإن غبار المحاجر يحتوي على امتصاص أقل من 0.25 مل/م²/ثانية، حيث يمكن تصنيفها بانها خرسانة ذات امتصاص منخفض جدا وفق المعايير الدولية.
- بناء على نتائج الدراسات فإن معدل الامتصاص الشعيري ينخفض بسبب التراص الجيد للحبيبات ونقص المسامية، حيث انها استخدمت نسبة استبدال 15%–30% من مخلفات المحاجر، وهذه الخاصية تجعلها مثالية للمنشأت البحرية [10].

الاستنتاجات

من خلال مراجعة نتائج الدراسات السابقة نخلص الى:

- يمكن استبدال جزئي للرمل الطبيعي بغبار المحاجر في إنتاج الخرسانة وهذا يساعد في تقليل التكلفة نظرا لارتفاع سعر الرمل الطبيعي كما يساعد على الاتزان البيئي بالمحافظة على الموارد لطبيعية.
- أفضل نسبة إحلال تساهم في تحسين خواص الخرسانة 60% لكونها تحقق أفضل توازن بين مقاومة الضغط و قابلية التشغيل، بالرغم من بعض الدراسات التي أظهرت نتائج جيدة عند نسبة 100% بشرط توفر تدرج حبيبي مناسب و استخدام بعض مواد الإضافة الكيميائية، وهذا يدل ان نسبة الاحلال ليست ثابته بل تتغير بنوع الصخر الناتج عنه الغبار و نسبة نعومة المواد و تصميم الخلطات.
- تشير النتائج لتحسن في مقاومة الضغط، مقاومة الشد، مقاومة الانحناء و الكثافة، إذا تم ضبط نسبة الاستبدال الأمثل و معالجة مشكلة نعومة المواد.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/muah9925

الخلاصة

تظهر نتائج هذه الدراسة المرجعية، التي اعتمدت على تحليل 12 دراسة بحثية منشورة من عام 2007 الى 2019، أن غبار المحاجر يمثل بديلا فعالا للرمل في انتاج الخرسانة، ليس من الناحية الاقتصادية فقط، بل أيضا من منظور الاستدامة البيئية وتقليل الآثار السلبية الناتجة عن استنزاف الموارد الطبيعية والتخلص من المخلفات الصناعية، و قد اتفقت معظم الدراسات على أن استخدام غبار المحاجر في الخلطات الخرسانية يسهم في تحسين الخصائص الميكانيكية للخرسانة، بما في ذلك مقاومة الضغط، وقوة الشد والانحناء كما تمنحها متانة اعلى ونفاذية اقل مقارنة بالخرسانة التقليدية المعتمدة على الرمل الطبيعي فقط.

بينت الدراسات أن النسبة المثلى لاستبدال الرمل بغبار المحاجر تختلف حسب نوع الصخور والخرسانة المطلوبة، حيث خلصت معظم الأبحاث الى أن أفضل نسب استبدال هي 60% لكونها تعطي توازن بين المقاومة والكثافة، في حين أن زيادة محتوى غبار المحاجر تؤدي إلى انخفاض الهبوط، نتيجة لخشونة الحبيبات وارتفاع مساحة السطح النوعية وامتصاص الماء، إلا أنه يمكن التحكم فيه من خلال استخدام الملدنات الفائقة.

وبناء على ما سبق، يمكن استخلاص أن غبار المحاجر ليس مجرد نفايات صناعية، بل مادة إنشائية فعالة يمكن استخدامها في الخلطات الخرسانية، إذا تم التحكم في نسب الاستبدال، المحتوى المائي والمضافات الكيميائية، بما يضمن تحقيق التوازن بين الخصائص الميكانيكية، والمتانة، وقابلية التشغيل.

التوصيات

بناء على تحليل نتائج الدراسات السابقة، نوصى بما يلي:

- معظم الدراسات التي تم مراجعتها تم فيها إجراء الاختبارات لفترات قصيرة، لذلك من الضروري عمل دراسات طويلة الأمد لتقييم سلوك هذه الخرسانة بالنسبة لمقاومة الكربنة، الهجوم الكبريتي، الزحف، الانكماش و اختبارها في الظروف المختلفة.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/muah9925

- عمل اختبارات حقلية لهذا النوع من الخرسانة تبدأ تدريجيا كالاتي
  - العناصر غير الإنشائية
  - البلاطات الخرسانية للرصف
  - البلوك والطوب الخرساني
  - تقييم لأداء الخرسانة قبل استخدامها في الاعمال الانشائية الحساسة
- يمكن دراسة الطرق الاتية لحل مشكلة ارتفاع نسبة المواد الناعمة في الخرسانة الناتجة:
  - استخدام ملدنات فائقة تناسب كل نوع من أنواع الصخور
  - غسل الغبار قبل الاستخدام
  - خلط الغبار مع ركام ناعم له تدرج جيد لتحسين التدرج الحبيبي
- اجراء دراسات لمقارنة تكلفة الرمل الطبيعي بغبار المحاجر بالاعتماد على بيانات السوق المحلي
- اجراء دراسات لتحديد نسبة الاحلال الأمثل بناء على التدرج الحبيبي، نسبة النعومة ونوع الصخور تحت ظروف التشغيل المختلفة وتأثيرها على أداء الخرسانة طويل الأمد.

References

[1] G. Balamurugan and P. Perumal, Behaviour of Concrete on the Use of Quarry Dust to Replace Sand – An Experimental Study, IRACST – Engineering Science and Technology: An International Journal (ESTIJ), December (2013), pp. 776-781.

[2 Poonam, A. Bishnoi, and M. Bala, Effect of Quarry Dust as Partial Replacement of Sand in Concrete, International Journal of Engineering Research (ER Publications), June (2015), pp. 129-133.

[3] Bismark K. Meisuh, Charles K. Kankam, and Thomas K. Buabin, Effect of quarry rock dust on the flexural strength of concrete, Case Studies in Construction Materials, (2018), pp. 16-22.

[4 K. Mamta and A. Rabbani, Experimental Investigation on replacement of Sand by Quarry Dust in Concrete-Main

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/muah9925

Paper, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), June (2017), pp. 3151-3158.

[5] A. Kannan, K. Subramanian, and M. I. Abdul Aleem, Optimum Mix of Quarry Dust as Partial Replacement of Fine Aggregate in Concrete, International Journal of Research in Engineering Technology and Management (IJRETM), Sep (2014), pp. 1-5.

[6] A. Sivakumar and Prakash M., Characteristic Studies on the Mechanical Properties of Quarry Dust Addition in Conventional Concrete, Journal of Civil Engineering and Construction Technology, October (2011), pp. 218-235.

[7] M. S. Hameed and A. S. S. Sekar, Properties of Green Concrete Containing Quarry Rock Dust and Marble Sludge Powder as Fine Aggregate, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, June (2009), pp. 83-89.

[8] A. K. Singh, V. Srivastava, and V. C. Agarwal, Stone Dust in Concrete: Effect on Compressive Strength, International Journal of Engineering & Technical Research (IJETR), August (2015), pp. 282-287.

[9] G. K. Febin, A. Abhirami, A.K. Vineetha, V. Manisha, R. Ramkrishnan, D. Sathyan, K.M. Mini, Strength and durability properties of quarry dust powder incorporated concrete blocks, Construction and Building Materials, (2019),pp. 1-9.

[10] C.K. Kankam, B.K. Meisuh, G.Sossou, and T.K. Buabin, Stress-strain characteristics of concrete containing quarry rock dust as partial replacement of sand, Case Studies in Construction Materials, Dec (2017), pp. 66-72.

[11] M.d. Safiuddin, S. N. Raman, and M. F. M. Zain, Utilization of Quarry Waste Fine Aggregate in Concrete Mixtures, Journal of Applied Sciences Research, (2007), pp. 202-208.

[12] M. Devi and K. Kannan, Analysis of Strength and Corrosion Resistance Behavior of Inhibitors in Concrete Containing Quarry Dust as Fine Aggregate, ARPN

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/muah9925

Journal of Engineering and Applied Sciences, November (2011), pp. 124-135.

[13] ASTM C33/C33M (2023). Standard Specification for Concrete Aggregates. ASTM International.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية