The North African Journal of Scientific Publishing (NAJSP)
مجلة شمال إفريقيا للنشر العلمي (NAJSP)
E-ISSN: 2959-4820
Volume 2, Issue 3, July – September 2024, Page No: 225-232
Website: https://najsp.com/index.php/home/index
SJIFactor 2023: 3.733 معامل التأثير العربي (AIF) 2023: 0.63 ISI 2023: 0.383

فاعلية الاستعمال النسبي لمسحوق خليط من مخلفات ورش الجرانيت والرخام في تصميم خلطة خرسانية

احمد عبدالله الشريف[1*]، رافع فوزي بوخشيم [2]
قسم الهندسة المدنية، كلية العلوم والتقنية، درنة، ليبيا

The Effectiveness of The Partial Use of a Mixed Powder from Granite and Marble Workshop Waste in Concrete Mix Design

Ahmed Abdullh Elsharef [1*], Rafa Fozi Boakhshem [2]
[1,2] Department of Civil Engineering, Faculty of College of Technical Sciences, Derna, Libya

*Corresponding author	a.elsharef78@gmail.com	*المؤلف المراسل
تاريخ النشر:2024-09-11 تاريخ القبول:2024-08-22 تاريخ الاستلام:2024-07-16

الملخص

شهدت ليبيا في الآونة الأخيرة تزايداً ملحوظاً في إنشاء مصانع الرخام والجرانيت في مختلف المناطق والمدن، نظراً للعوائد المالية التي تحققها هذه الصناعة لملاكها. ومع ذلك، تولد هذه المصانع كميات كبيرة من المخلفات، مثل بقايا الأحجار والمساحيق الناتجة عن عمليات القص والصقل، بالإضافة إلى بعض المواد المكسورة. يؤدي تكدس هذه المخلفات إلى مشاكل بيئية وجمالية، حيث يتم التخلص منها في أماكن مختلفة، مما يخلق منظرًا فوضويًا وغير منظم. ومن المعروف في مجال الهندسة المدنية أن هذه المواد غير مناسبة للاستخدام في الردم الهندسي. بهدف تعزيز التنمية المستدامة وإيجاد استخدامات جديدة لهذه المخلفات، تم إجراء دراسة لاختبار إمكانية إدخالها كمكونات في الخلطات الخرسانية بنسب محددة. تهدف الدراسة إلى إنتاج خرسانة بخصائص مميزة والحفاظ على البيئة من خلال إعادة تدوير مخلفات الرخام والجرانيت. تضمنت الدراسة استخدام خليط من مسحوق الجرانيت والرخام، حيث تم استخدام نسبة 60% من مسحوق الجرانيت و40% من مسحوق الرخام كبديل جزئي للأسمنت. تم اختبار نسب مختلفة من هذا البديل الجزئي (0%، 10%، 20%، و30%)، وتمت دراسة الخلطات من حيث مقاومة الضغط وقوام الخرسانة الطازجة وتأثيرها على كثافة الخرسانة. أظهرت النتائج أن استخدام نسبة 10% من خليط المسحوق كبديل جزئي للأسمنت لم يحقق النتائج المرجوة، مما يشير إلى الحاجة إلى مزيد من الدراسات والتعديلات للوصول إلى نسب أفضل قد تؤدي إلى تحسين الخصائص الميكانيكية للخرسانة.

الكلمات المفتاحية: مخلفات الرخام، مخلفات الجرانيت، الخرسانة، إعادة التدوير، التنمية المستدامة

Aabstract

Recently, Libya has witnessed a significant increase in the establishment of marble and granite factories across various regions and cities, due to the financial benefits they bring to their owners. However, these factories produce large amounts of waste, such as stone remnants and powders from cutting and polishing processes, as well as broken materials. The accumulation of this waste leads to environmental and aesthetic issues, as it is often discarded in different areas, creating disorganized and unsightly scenes. In civil engineering, it is well known that these materials are unsuitable for use in engineering landfills. To promote sustainable development and explore new uses for these waste materials, a study was conducted to examine the possibility of incorporating them into concrete mixtures in specific proportions. The aim of the study was to produce concrete with distinct properties while also preserving the environment by recycling marble and granite waste. The study involved the use of a mixture of granite and marble powder, with 60% granite powder and 40% marble powder being used

as a partial replacement for cement. Various proportions of this partial replacement (0%, 10%, 20%, and 30%) were tested, and the mixtures were evaluated in terms of compressive strength, the consistency of fresh concrete, and their impact on concrete density. The results showed that using 10% of the powder mixture as a partial cement replacement did not achieve the desired results, indicating the need for further studies and adjustments to identify better proportions that may improve the mechanical properties of the concrete.

Keywords: Marble waste, Granite waste, Concrete, Recycling, Sustainable development

المحور الأول: مقدمة

إن المخلفات الصلبة الناتجة عن مصانع الجرانيت والرخام تشكل تحديات بيئية كبيرة، حيث تؤدي إلى تكدس كميات ضخمة من الفضلات التي لا يمكن التخلص منها بسهولة. هذه المخلفات تتسبب في مشاكل متعددة، أبرزها التأثير السلبي على البيئة والجمال العام، خاصة في المناطق الصناعية التي تقع بالقرب من التجمعات السكنية. في هذه الحالات، تتداخل المخلفات الصناعية مع المخلفات المنزلية، مما يزيد من تعقيد إدارة هذه الفضلات. في الدول النامية على وجه الخصوص، لا توجد غالباً هيئات متخصصة أو إدارات معنية بتدوير النفايات وفصلها أو معالجتها، سواء كانت صلبة أو سائلة. هذا النقص في البنية التحتية للتعامل مع النفايات يؤدي إلى تفاقم المشكلة البيئية، حيث تُلقى النفايات بشكل عشوائي أو تُدمج مع نفايات أخرى دون أي معالجة. هذا الوضع يستدعي البحث عن حلول بديلة ومبتكرة للتخلص من هذه المخلفات بطريقة مستدامة، وتحويلها إلى مواد يمكن الاستفادة منها في صناعات أخرى.

من هذا المنطلق، ظهرت فكرة استخدام مخلفات مصانع الجرانيت والرخام في إنتاج الخرسانة، التي تعتبر واحدة من أهم مواد البناء في العالم. الخرسانة هي خليط من عدة مكونات، والاسمنت هو العنصر الأساسي فيها، وهو مادة مكلفة نسبياً. صناعة الأسمنت تعتبر أحد أعمدة الاقتصاد في العديد من الدول، لكنها تصاحبها العديد من الآثار البيئية السلبية، خاصة من حيث الانبعاثات الناتجة عنها. أحد أبرز هذه الانبعاثات هو غاز ثاني أكسيد الكربون، الذي ينتج بكميات كبيرة أثناء تصنيع الأسمنت. هذا الغاز له تأثيرات ضارة على البيئة والمناخ، إذ يساهم في زيادة ظاهرة الاحتباس الحراري والتغيرات المناخية. وبالتالي، البحث عن طرق لتقليل الاعتماد على الأسمنت في الخلطات الخرسانية يُعتبر ضرورياً ليس فقط للتقليل من التكلفة، ولكن أيضاً للتقليل من الأثر البيئي. وهنا تأتي فكرة استبدال جزء من الأسمنت بمواد أخرى مثل مسحوق الجرانيت والرخام، وهي مواد تتوافر بكثرة من المخلفات الصناعية. باستخدام هذه المخلفات كبدائل جزئية للأسمنت في إنتاج الخرسانة، يمكن تحقيق عدة فوائد. من جهة، يمكن تقليل كمية الأسمنت المستخدمة، وبالتالي تقليل الانبعاثات الكربونية المصاحبة لصناعته. ومن جهة أخرى، يمكن تقليل حجم المخلفات المتراكمة في المناطق الصناعية، مما يسهم في تحسين الظروف البيئية بشكل عام. هذه الفكرة تمثل حلاً مبتكراً ومفيداً يجمع بين الاستدامة البيئية والتوفير في التكاليف، وهو ما يجعلها خياراً مناسباً للدول التي تواجه تحديات بيئية واقتصادية.

هناك العديد من الدراسات السابقة التي تناولت جدوى استخدام نفايات الرخام كبديل جزئي أو كلي لأحد مكونات الخلطة الخرسانية، وقد تمت مقارنة نتائج بحثنا ببعض هذه الدراسات. إحدى هذه الدراسات أجراها الباحثان Bensal & Singh، حيث بحثا تأثير إضافة مسحوق الرخام كبديل جزئي للأسمنت في الخلطات الخرسانية. وأظهرت النتائج أن زيادة نسبة مسحوق الرخام عن 10% أدت إلى انخفاض في مقاومة الضغط للخرسانة، مما يشير إلى أن الاستخدام المفرط لهذه المادة يمكن أن يؤثر سلبًا على الأداء الميكانيكي للخرسانة. تؤيد هذا الاتجاه دراسة أخرى، حيث اختار الباحث إضافة مسحوق الرخام بنسبة 5% كبديل للأسمنت. وأظهرت النتائج زيادة في مقاومة الانضغاط للخرسانة بحوالي 3% مقارنةً بالخلطة المرجعية التي لا تحتوي على أي إضافات[1] . دراسة أخرى قام بها Hebhoub في عام 2011، ركزت على إمكانية استخدام مخلفات ركام الرخام كبديل للركام الطبيعي لإنتاج خرسانة بخصائص جيدة. تم استخدام عدة خلطات، إحداها كبديل للركام الناعم، والأخرى كبديل للركام الخشن، والأخيرة كبديل لكليهما بنسب إحلال جزئي. وأظهرت النتائج أن هذه البدائل الجزئية أدت إلى تحسين مقاومة الخرسانة للضغط والشد، إلا أن قابلية التشغيل انخفضت مع زيادة نسبة الإحلال [2]. وفي دراسة أخرى أجريت في كلية الهندسة بجامعة عمر المختار في عام 2018، تم استخدام مسحوق الرخام الصافي كبديل جزئي للأسمنت في الخلطات الخرسانية بنسب مختلفة. أظهرت النتائج تحسنًا جيدًا في مقاومة الضغط للخرسانة، خاصة عند استخدام نسب أقل من 10% كبديل للأسمنت، مما يوازي بعض النتائج التي توصلنا إليها في دراستنا [3]. تشير هذه الدراسات مجتمعة إلى الفوائد البيئية والاقتصادية لاستخدام مخلفات الرخام، إلا أن تأثيرها على الخصائص الميكانيكية للخرسانة يعتمد على النسب المستخدمة والتوازن بين المكونات المختلفة للخلطة.

أولاً: مشكلة الدراسة

تكمن مشكلة الدراسة في التعامل مع التراكم الكبير للنفايات الناتجة عن مصانع الجرانيت والرخام، والتي تشكل عبئاً بيئياً كبيراً وتؤدي إلى تدهور البيئة المحيطة. الهدف الرئيسي للدراسة هو البحث عن حلول مبتكرة لاستغلال هذه النفايات بشكل مفيد من خلال إعادة تدويرها واستخدامها في صناعات مختلفة، مثل صناعة الخلطات الخرسانية. تعتبر هذه الفكرة خطوة نحو الحفاظ على البيئة من خلال تقليل التلوث الناتج عن تراكم النفايات، مع تحقيق فائدة اقتصادية من خلال تقليل استخدام المواد التقليدية المكلفة في الخرسانة، مثل الأسمنت. بهذا الشكل، تسعى الدراسة إلى تحقيق التوازن بين التنمية المستدامة والاستفادة المثلى من الموارد المتاحة.

ثانياً: اهمية الدراسة

تكتسب هذه الدراسة أهمية كبيرة من خلال التركيز على استكشاف قدرة خليط مسحوق الجرانيت والرخام، وليس مسحوق الرخام فقط، في تعويض مادة الأسمنت. إن صناعة الأسمنت تُعتبر من أكثر الصناعات تكلفة، حيث تتطلب موارد كبيرة وتسبب انبعاثات ضارة مثل غاز ثاني أكسيد الكربون، الذي يؤثر سلباً على البيئة المحيطة. من هنا، تأتي أهمية الدراسة في تقديم بديل جزئي للأسمنت من خلال استغلال هذا الخليط، الذي يمكن أن يساهم في تقليل التكاليف المالية المرتبطة بصناعة الأسمنت، إضافة إلى الحد من الانبعاثات البيئية الضارة. بذلك، تسهم الدراسة في تقديم حلول عملية لتعزيز الاستدامة البيئية والاقتصادية في صناعة البناء والتشييد.

ثالثاً: الهدف من الدراسة:

يهدف هذا البحث إلى تحقيق عدة أهداف، أبرزها دراسة تأثير خليط مسحوق الجرانيت والرخام على خصائص الخرسانة، مثل مقاومة الانضغاط وقوام الخرسانة. إلى جانب ذلك، تم تصميم خلطة خرسانية تستهدف الحصول على خرسانة بمقاومة ضغط تصل إلى 25 ميغاباسكال (MPa) مع نسبة هطول متوقعة تتراوح بين 75 و100 ملم، وذلك وفقاً للمواصفة الأمريكية .[4] (ACI 219-91) كما يتضمن البحث مناقشة تأثير إضافة مسحوق الجرانيت والرخام على وزن المكعب الخرساني عند عمر 28 يوم، بهدف تقييم تأثير هذه المواد على الكثافة الكلية للخرسانة وإمكاناتها في تحسين الخواص الميكانيكية والمادية للخرسانة مع تقليل الاعتماد على الأسمنت.

المحور الثاني: منهجية الدراسة

أولاً: إجراء اختبار التدرج الحبيبي للركام الخشن والناعم والمسحوق

يتم إجراء اختبار التدرج الحبيبي للمواد المختلفة المستخدمة في الخلطة الخرسانية، بما في ذلك الركام الخشن والناعم والمسحوق، وفقًا للمواصفة القياسية (ASTM C136) [5]. يهدف هذا الاختبار إلى تحديد توزيع حجم الحبيبات لكل مادة وضمان توافقها مع المتطلبات الفنية.

ثانياً: إجراء اختبار تحديد الوزن النوعي ونسبة الامتصاص للركام الخشن والناعم والمسحوق

يتم قياس الوزن النوعي ونسبة الامتصاص للمواد المستخدمة (الركام الخشن، الركام الناعم، المسحوق) بناءً على المواصفة (ASTM C127 - 15) [6]. يساهم هذا الاختبار في تحديد الخصائص الفيزيائية للمواد وتأثيرها على أداء الخرسانة.

ثالثاً: إجراء اختبار تعيين الوزن الحجمي (الكثافة الكلية) للركام الخشن

يتم تحديد الوزن الحجمي أو الكثافة الكلية للركام الخشن طبقًا للمواصفة (ASTM C29 / C29M) [7]. يُعد هذا الاختبار ضروريًا لتحديد كثافة المواد السائبة وتأثيرها على تصميم الخلطة الخرسانية.

رابعاً: إضافة خليط مسحوق الرخام والجرانيت بنسب محددة كبديل نسبي للأسمنت

يتم إضافة خليط من مسحوق الرخام والجرانيت بنسب محددة مسبقًا كبديل جزئي للأسمنت في تصميم الخلطة الخرسانية. يتم الحفاظ على ثبات أوزان باقي مكونات الخلطة مثل الركام الناعم، الركام الخشن، والماء، وفقًا للمواصفة الأمريكية (ACI 219.1-91). يهدف هذا الإجراء إلى دراسة تأثير هذه البدائل على خصائص الخرسانة، مع التركيز على مقاومة الضغط وقوام الخرسانة.

المحور الثالث: الجانب العملي

أولاً: اختبارات وتجارب معملية

اجريت جميع الاختبارات على المواد والخلطات الخرسانية في مدينة درنة في كلية العلوم والتقنية بمعمل الخرسانة والتقطت بعض الصور التي تبين مراحل العمل في المعمل وأجريت الحسابات والنتائج ورسم المخططات والنسب على برنامج الاكسل.

- اختبار التدرج الحبيبي للركام الناعم والخشن:

هذا الاختبار هو أحد الاختبارات الهامة لتحديد صلاحية الركام المستخدمة في الخلطات الخرسانية، وهو يختص بتحديد التدرج الحبيبي أي توزيع مقاسات حبيبات الركام في كمية من الركام المستخرج من المصادر الطبيعية وكذلك معرفة مقاسها الاعتباري الاكبر وبعض الخصائص الهامة مثل نسبة المواد الناعمة وغيرها من الخصائص.

- اختبار الوزن النوعي ونسبة الامتصاص للركام الخشن والناعم:

الهدف منه إيجاد الوزن النوعي للركام الخشن (الكبير) والركام الناعم (الصغير) ونسبة الامتصاص وذلك لأهمية هذه الخواص في تصميم الخلطات الخرسانة ومعرفة كمية مياه الخلط.

- اختبار تعيين الوزن الحجمي (الكثافة الكلية) للركام الخشن:

إيجاد الوزن الحجمي للركام الخشن وتفيد هذه الحسابات في عمليات تصميم الخلطات الخرسانية.

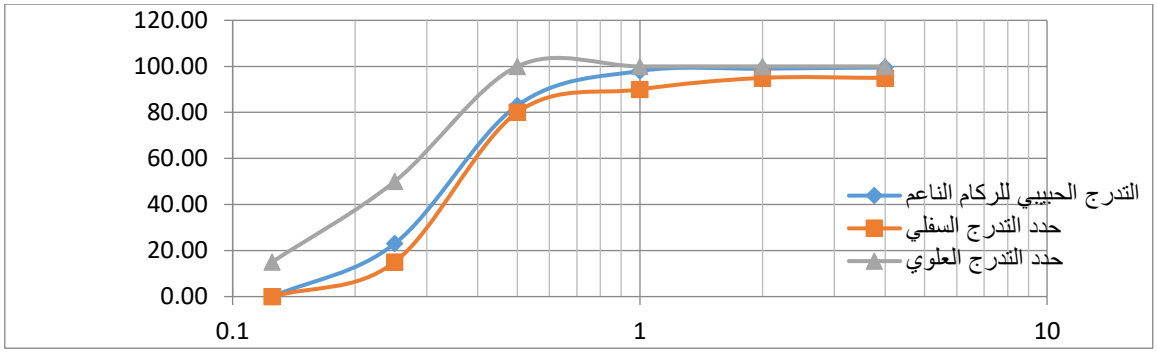
ثانياً: المواد المستخدمة:

- الاسمنت

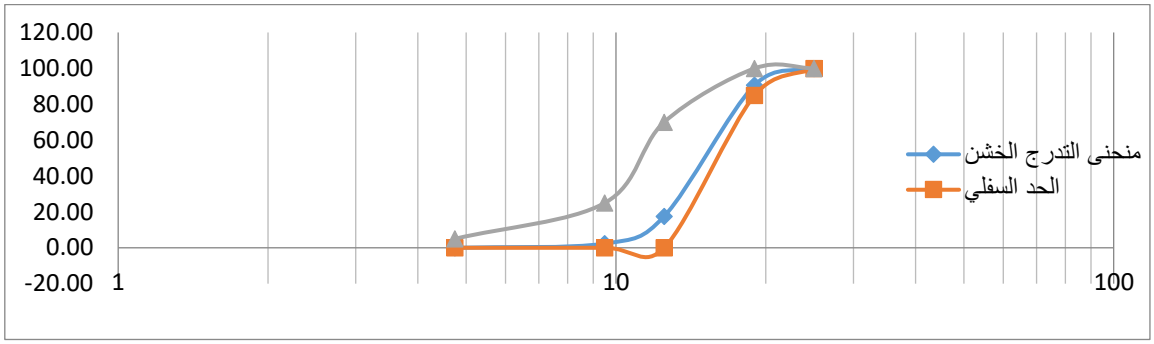
استخدم الاسمنت البورتلاندي العادي المصنوع بمصنع الاسمنت بمدينة درنة علما بان خواصه الكيميائية والفيزيائية طبقا للمواصفة البريطانية (BS812 ;1992).

- الركام

تم استخدام الركام الناعم "الرمل" المورد من منطقة جنزور شرق طبرق وكذلك الركام الخشن المورد من منطقة الهيشة جنوب درنة وكانت نتائج اختبار التدرج الحبيبي واختبارات الوزن النوعي للركام الناعم والخشن والتي اجريت بمعمل الخرسانة في كلية العلوم والتقنية بمدينة درنة كما موضحة بالمخططات الموضحة بالشكلين (1-2).



الشكل (1): منحنى التدرج الحبيبي للركام الناعم.



الشكل (2): منحنى التدرج الحبيبي للركام الخشن.

- مسحوق الرخام والجرانيت:

تم توريد مسحوق الخليط للرخام وللجرانيت المستعمل في الخلطة الخرسانية من إحدى مصانع الرخام بالمنطقة الصناعية بالساحل الشرقي بمدينة درنة، وتم طحنه بإحدى الكسارات، نسبة الامتصاص للمسحوق الخليط كانت 3.4% والوزن النوعي الظاهري للخليط المسحوق (2.5).

ثالثاً: تصميم الخلطة الخرسانية:

تم تصميم الخلطة الخرسانية طبقا للمواصفة الامريكية ACI 211.1-91 , للاستعمال في منشأ خرساني ولا يتعرض لظروف قاسية ولا لهجوم املاح الكبريتات على ان تفي بالمتطلبات التالية:

- معدل مقاومة الانضغاط المطلوبة بعمر 28 يوم = 25 MPa
- الكثافة النسبية للإسمنت البورتلاندي الاعتيادي = 3.15
- مقدار الهطول = 75- 100 ملم
- خواص الركام الخشن: (المقاس الاقصى للركام = 25 ملم، الوزن الجاف بالدك اليدوي= 1475كغم/سم3
- الوزن النوعيbulk specific gravity ، نسبة الامتصاص = 4%
- خواص الركام الناعم: نسبة الامتصاص = 1%، معامل النعومة (FM) = 2.4
- مسحوق الرخام: (نسبة الامتصاص = 3.4%).

رابعاً: عملية الخلط والصب والمعالجة:

تمت عملية الخلط في المعمل باستخدام خلاطه ميكانيكية وصممت الاوزان على انها اوزان جافة للخلطة الخرسانية. وتم عمل نماذج للخلطة الخرسانية حيث استخدمت المكعبات ذات مقاس 15*15*15 سم. كما مبينا بالجدول رقم (1) الموضح أدناه. حيث تمت الية الخلط بوضع الركام الخشن اولا ثم الاسمنت مع المسحوق ثم الركام الناعم وتم الخلط لمدة 30 ثانية وبعدها اضيف الماء واستمرت عملية الخلط لدقيقتين وبعد عملية الخلط تم اخذ العينات من الخلية بكميات ومن اماكن متفرقة من الخلط للحفاظ على تجانس الخليط للعينات. حيث اجري اختبار الهطول ثم صب الخرسانية فى قوالب الاختبار خلال فترات نموها. حيث تم صب عدد ثلاثة قوالب.

الجدول رقم (1): اوزان الخلطة الخرسانية لكل مكعب بحجم 150 ملم

نوع الخلطة	وزن الاسمنت/كج	المسحوق /كج	رمل /كج	حصى /كج	ماء/لتر
M0%	1.07	0.00	2.799	3.56	0.83
M10%	0.96	0.107	2.799	3.56	0.83
M20%	0.86	0.214	2.799	3.56	0.83
M30%	0.75	0.321	2.799	3.56	0.84

حيث:
M (0%): خلطة خرسانية بنسبة مسحوق (0 %) كبديل جزئي من وزن الاسمنت.
M (10%): خلطة خرسانية بنسبة مسحوق (10 %) كبديل جزئي من وزن الاسمنت.
M (20%): خلطة خرسانية بنسبة مسحوق (20%) كبديل جزئي من وزن الاسمنت.
M (30%): خلطة خرسانية بنسبة مسحوق (30%) كبديل جزئي من وزن الاسمنت.

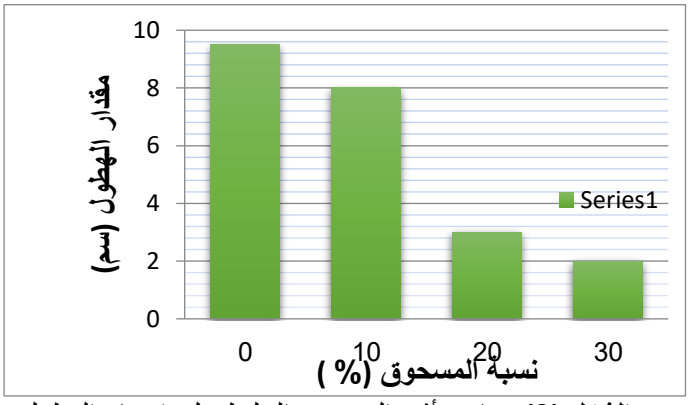
المحور الرابع: النتائج والمناقشة

أولاً: مناقشة نتائج اختبار الهطول بإضافة مسحوق الرخام والجرانيت

نلاحظ من نتائج المبينة بالجدول ادناه رقم (2) ومن الرسم البياني الموضح بالشكل رقم (2) ان نسبة الهطول تنخفض بشكل واضح مع زيادة مسحوق الخليط حيث كانت قيمة الهطول عند نسبة مسحوق(M10%) حوالي 8 سم وبمقدار 1.5 سم اقل مقارنة للعينة الاساسية المرجعية (M0%) التى كانت نسبة الهطول حوالي 9.5 سم كما ملاحظ ان مقدار الهطول للعينتين السابقتين تقعان ضمن حدود الهطول للخلطة الخرسانية التصميمية المطلوبة، بينما انخفاض كبير للهطول كما ملاحظ بزيادة مسحوق الرخام والجرانيت كبديل جزئي للاسمنت. يتضح ان سبب ذلك فى ان زيادة نسبة المسحوق تزيد من نسبة الامتصاص لماء الخلط الذي يؤدى الى جفاف الخلطة الخرسانية الطازجة وتجعلها أكثر تماسكا وبالتالي تقليل قابلية التشغيل للخلطة اثناء الصب.

الجدول رقم (2): نتائج اختبار الهطول للخرسانة الطازجة

رمز العينة M%	M (0%)	M (10%)	M (20%)	M (30%)
مقدار الهطول (cm)	9,5	8	3	2



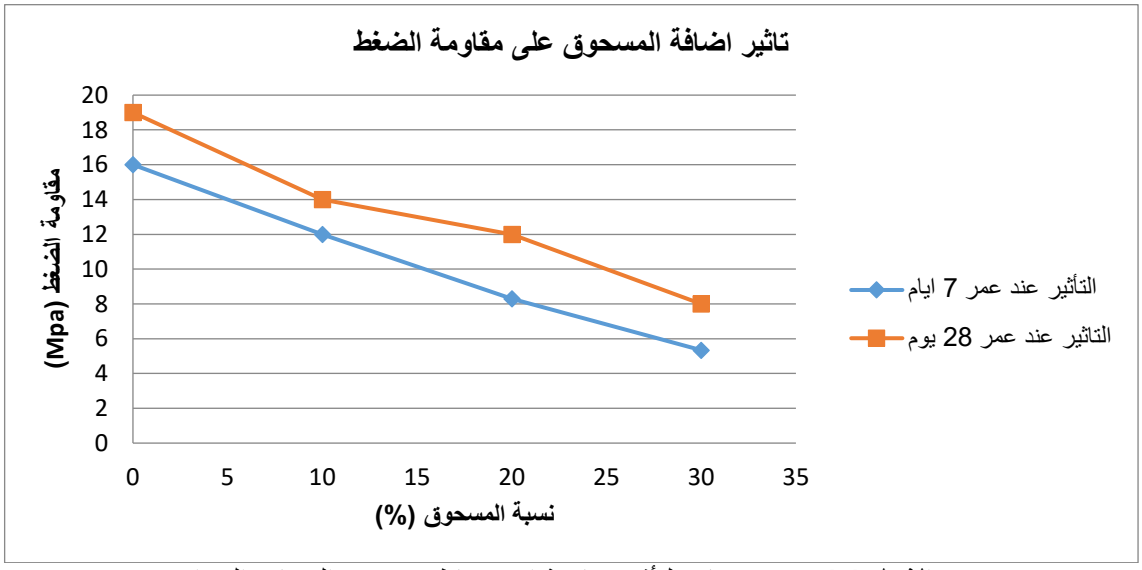
الشكل (3): نتائج تأثير المسحوق الخليط على اختبار الهطول.

ثانياً: مناقشة نتائج اختبار مقاومة الانضغاط للخرسانة بإضافة المسحوق الخليط

نلاحظ من نتائج المبينة بالجدول ادناه رقم (3) ومن الرسم البياني الموضح بالشكل (4) ان مقومة الانضغاط للخلطة الخرسانية الاساسية المرجعية بمحتوى اسمنتي (M0%)كامل عند عمر 28 يوم كانت تقريبا (19 MPa) والمقاومة الاقرب لها كانت تقريبا (14MPa) للعينة (M10%) يعني تناقص للمقاومة بمقدار أكثر من 25% وبانخفاض أكبر للعينة(M30%) يقدر بحوالي 50% عن الخلطة الاساسية المرجعية. السبب في ذلك ازدياد نسبة المسحوق البديل للإسمنت وبالتالي تناقص وزن الاسمنت بالخلطة الخرسانية والذي كان يلعب دور الاساسي في ترابط مكونات الخلطة وزيادة مقاومة الخرسانة للانضغاط.

الجدول رقم (3): نتائج اختبار المقومة الخرسانية للانضغاط

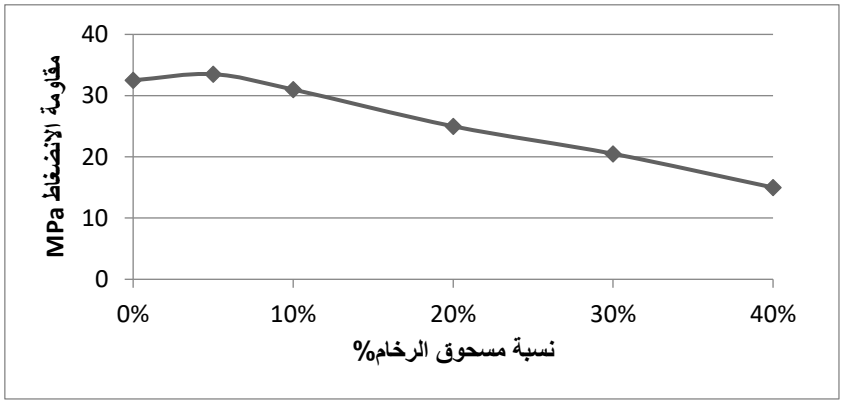
رمز العينة	تاريخ الكسر	عمر العينة (Day)	وزن العينة (g)	ابعاد العينة Cm^3	مساحة الوجة Cm^3	حمل الكسر (KN)	مقاومة الانضغاط التقريبية (MPa)
M0%	17.12.2019	7Days		15*15*15	225cm^3	360	16
		28Days	7750	15*15*15	225cm^3	410	19
M10%	17.12.2019	7Days		15*15*15	225cm^3	270	12
		28Days	7710	15*15*15	225cm^3	300	14
M20%	17.12.2019	7Days		15*15*15	225cm^3	185	8.3
		28Days	7615	15*15*15	225cm^3	260	12
M30%	17.12.2019	7Days		15*15*15	225cm^3	120	5.34
		28Days	7350	15*15*15	225cm^3	180	8



الشكل (4): منحنى بياني لتأثير مقاومة الانضغاط بمسحوق الرخام والجرانيت.

ثالثاً: مناقشة نتائج دراسة سابقة لتأثير مسحوق رخام فقط على مقاومة الانضغاط

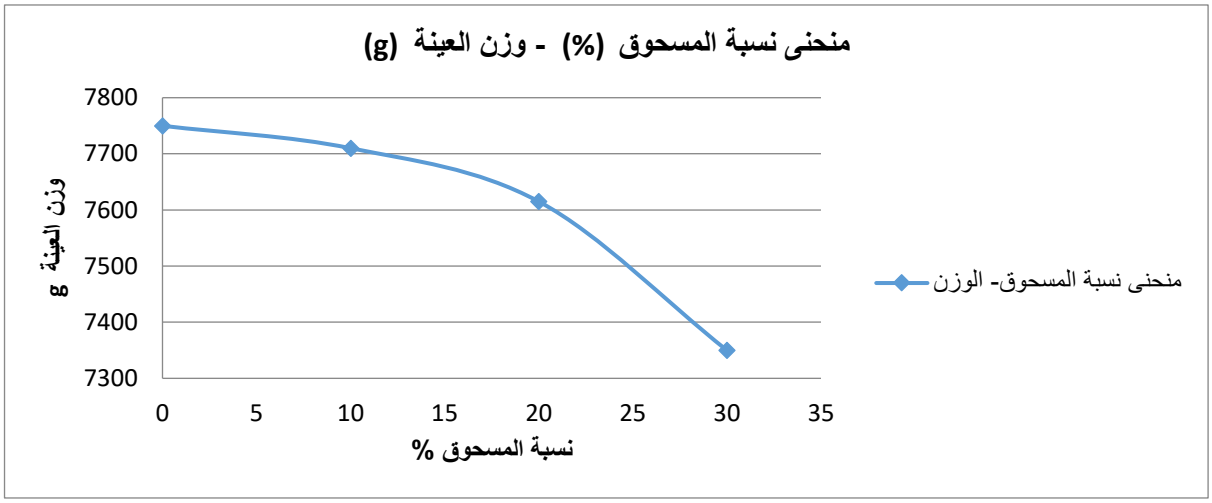
الشكل (5) يوضح متوسط مقاومة الانضغاط للخلطات الخرسانية عند عمر 28 يوم بنسب مختلفة قليلا عن نسب دراستنا ومسحوق مختلف عن الذي تم خلطة في هذه الدراسة، يتضح ان هناك زيادة للمقاومة الخرسانية بحوالي 3% عن الخلطة المرجعية باستبدال مسحوق الرخام الصافي بنسبة (M5%) كبديل للأسمنت وتناقص ملحوظ للمقاومة بزيادة نسبة المسحوق عن 10.



الشكل (5): منحنى بياني لتأثير مقاومة الانضغاط بمسحوق الرخام الصافي.

رابعاً: مناقشة لتأثير مسحوق الرخام والجرانيت على وزن المكعب عند عمر 28 يوم

نلاحظ من الجدول رقم (3) اعلاه والشكل رقم (6) ادناه ان منحنى تأثير المسحوق على وزن مكعب الخرسانة تأثير عكسي بمعنى ان كلما زادت نسبة المسحوق الخليط للرخام والجرانيت بالخلطة الخرسانية قل وزن المكعب والعكس صحيح يرجع باعتقادي بسبب الكثافة لمادة الاسمنت أعلى بكثير من كثافة المسحوق وبالتالي زيادة المسحوق كبديل جزئي للإسمنت تقلل من الوزن العام لمكعب الخلطة الخرسانية الصلبة، بالإضافة لقدرة الامتصاص العالية للمسحوق لامتصاص الماء.



الشكل (6): منحنى بياني لتأثير مسحوق الخليط على وزن القالب الخرساني

المحور الرابع: الاستنتاجات والتوصيات

أولاً: الاستنتاجات

بالنسبة للهطول للخرسانة الطازجة في دراستنا فان زيادة مسحوق الخليط الجرانيت والرخام كبديل نسبي للإسمنت في الخلطة الخرسانية التصميمية تساهم في تقليل قيمة الهطول بنسبة تصل الى 80% مقارنة بالخلطة المرجعية عند نسب خلط للمسحوق تتعدى 10% من وزن الاسمنت. وللحفاظ على نسبة الهطول المطلوبة في الخلطة الخرسانية التصميمية والتي كانت في دراستنا بين 7.5-10 سم ولذلك نوصي ان لا تتعدى نسبة الخلط المسحوق البديل عن 10%.

بالنسبة لمقاومة الانضغاط للخرسانة نستنتج ومن خلال مقارنة نتائجنا ونتائج الدراسة السابقة تبين لدينا ان نسبة زيادة المسحوق عن 10% في الخلطة الخرسانية تساهم بانخفاض مقاومة الخرسانة بشكل كبير يصل لأكثر من 50% من المقاومة المطلوبة وبالتالي فشل العضو الانشائي في مقاومة احمال الضغط وهذا يؤدي الى طبيعيا انخفاض مقاومة الشد ومقاومة الانحناء. وبحسب النتائج والمقارنة مع نتائج الدراسة السابقة يتضح ان نسبة زيادة المسحوق عن 10% كبديل للإسمنت غير مجدية ونوصي ان تكون النسبة والتي اكدتها النتائج هي ان تكون اقل من 5% للمسحوق البديل مع مراعاة الاختلاف في المسحوق للدراستين، في دراستنا كان المسحوق خليط بين الرخام وجزء من الجرانيت وفي الدراسة المقارنة كانت مسحوق رخام صافي.

ثانياً: التوصيات

عند تصميم خلطة خرسانية تتوافر فيها قيم محددة للهطول ولمقاومة الانضغاط للخرسانة نوصي بالتالي:

- ان لا تزيد نسب المسحوق البديل سواء رخام صافي او مختلط مع الجرانيت عن 10 % والنسبة الأفضل هي ان تكون اقل من 5% كبديل للإسمنت.
- نوصي بإجراء دراسة جديدة تكون نسب الخلط للمسحوق مختلفة واقل من نسبة 10 % وللتأكيد على جدوى تلك النسب في الحفاظ والزيادة للمقاومة الخرسانة تحديدا وبالتالي الاستفادة الفعلية من نفايات ورش الرخام والجرانيت والتي تؤثر بشكل كبير على البيئية.
- نوصي بإجراء اختبارات اخرى للمقاومة كمقاومة الشد الانشطاري ومقاومة الانحناء للخرسانة والتي لم يتسنى لنا القيام بها لسوء المعمل من الناحية الفنية ولعدم توفر المعدات الملائمة لذلك.
- نوصى ادارة القسم بان تولي الاهتمام الاكبر بالمعمل الخرساني للمعهد ولما له من دور مهم في تطور البحث العلمي بان يتم توفير اللوازم الناقصة به والذي كان سببا رئيسيا في صعوبة العمل اثناء بحثنا لما وجدناه من صعوبات من نقص للعديد من المعدات وعطل بعض الموجود.

قائمة المراجع:

1. J Sing J & Bensal, (partial Replacement of Cement with Waste Marble Powder with M25 Grade) International Journal of Technical research-Issue2-2005.
2. Ebhoub, H. & Aoun, H. & Belachia; (Use of waste marble aggregates in concrete) Construction and Building Materials- (2011).
3. أ. د أشرف حامد، (خواص الخرسانة المحتوية على رخام)، جامعة عمر المختار، المؤتمر الوطني السابع لمواد البناء - (2018).
4. (ACI219-91), Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete,1991.
5. (ASTM C136), Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
6. (ASTM C127-15), Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.
7. (ASTM C29-17a), Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate.
8. BS 1881: Part 108 (1983)، "Method for making test cubes from fresh concrete". British Standard Institution.
9. (ASTM C143-15a), Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.