ISSN: 2410-7727

الاستفادة من مخلفات مقالع الحجر الجيري المحلية كبديل جزئي للأسمنت في الخلطات الخرسانية

Utilizing Local Limestone Quarry Waste as a Partial Replacement of Cement in Concrete Mixtures

وليد أحمد سالم بازار*

* أستاذ مساعد بقسم الهندسة المدنية– كلية الهندسة والبترول– جامعة حضرموت– الجمهورية اليمنية
waleedbazar@gmail.com

ISSN: 2410-7727

ISSN: 2410-7727

الاستفادة من مخلفات مقالع الحجر الجيري المحلية كبديل جزئي للأسمنت في الخلطات الخرسانية

الملخص:

هدف هذا البحث العملي إلى دراسة إمكانية الاستفادة من بودرة الحجر الجيري الناتجة من تقطيع وتهيئة أحجار البناء في المقالع المحلية كمخلفات صناعية والتخلص من التلوث البيئي الناتج عنها من خلال إضافة بودرة الحجر الجيري للخرسانة كبديل جزئي للأسمنت.

ينتشر الحجر الجيري على نطاق واسع في التركيب الجيولوجي السطحي في اليمن عامة و محافظة حضرموت خاصة، لذلك تم إنشاء العديد من مقالع ومعامل إنتاج وتقطيع وحدات البناء في منطقة الدراسة لغرض الاستفادة من الاحتياطيات الطبيعية من الأحجار الجيرية في أعمال البناء، إلا أنه ينتج عن هذه المقالع مخلفات من آثار التقطيع و تتكدس في مواقع التصنيع كميات كبيرة من مسحوق الحجر الجيري المتطاير، والذي له آثار بيئية سلبية على الإنسان والبيئة، ولغرض التخلص منها بشكل هندسي سليم تم اختيار طريقة الاستبدال الجزئي للأسمنت ببودرة الحجر الجيري لغرض بيئي وهو التخلص من المخلفات وغرض اقتصادي وهو التقليل من نسبة الأسمنت في الخلطات الخرسانية.

لدراسة تأثير إضافة بودرة الحجر الجيري على خواص الخرسانة الطرية والمتصلبة تم تحضير 30 عينة خرسانية بنسب استبدال جزئي من الأسمنت (0%، 5%، 10%، 20%)، حيث تم إجراء فحص قابلية التشغيل للخرسانة الطرية وفحص الإنضغاط والكثافة والامتصاص للخرسانة المتصلبة لجميع الخلطات واستعراض النتائج ومناقشتها. أظهرت النتائج إمكانية الإستفادة من بودرة الحجر الجيري المنتجة محليا كبديل جزئي للأسمنت وبنتائج مرضية خاصة عند نسبة استبدال 5%، حيث تحسنت الكثافة والامتصاص للخرسانة مع نقصان محدود في مقاومة الانضغاط وقابلية التشغيل، غير أنه عند زيادة نسبة الاستبدال إلى 20% كانت النتائج سلبية على الخرسانة المتصلبة حيث قلت مقاومة الانضغاط والكثافة والامتصاص في حين تحسنت قابلية التشغيل للخرسانة الطرية. لذلك أوصى الباحث باستمرار الأبحاث المحلية في هذا السياق للاستفادة من المخلفات الصناعية والتخلص منها بشكل هندسي وبيئي سليم.

الكلمات الدالة: بودرة الحجر الجيري، اليمن، حضرموت، الخرسانة، المخلفات الصناعية، البيئة.

ISSN: 2410-7727

Utilizing Local Limestone Quarry Waste as a Partial Replacement of Cement in Concrete Mixtures

Waled Ahmed Salem Bazar *

*Civil Department, College of Engineering and Petroleum, Hadhramout University, Yemen
waleedbazar@gmail.com

ABSTRACT

The main objective of this practical research is to study the possibility of utilizing limestone powder, which is a byproduct of cutting and preparing building stones in local quarries, as an industrial waste. The aim is to address the environmental pollution caused by this waste by incorporating limestone powder into concrete as a partial replacement for cement. Limestone is widely distributed in the surface geological formations of Hadhramaut Governorate. As a result, numerous quarries and factories have been established to exploit the natural limestone reserves for the construction of residential buildings. However, these quarries produce waste in the form of limestone powder as a byproduct of the cutting process. This waste accumulates in large quantities at manufacturing sites. This accumulation has negative environmental impacts on both humans and the environment. In order to achieve environmentally sound waste disposal and economic efficiency, the method of partial cement replacement was chosen. This method aims to reduce the cement content in concrete mixtures. To investigate the impact of incorporating limestone powder on the characteristics of fresh and hardened concrete, a total of 30 concrete samples were prepared with varying rates of partial cement replacement (0%, 5%, 10%, and 20%). The workability of fresh concrete, as well as the compressive strength, density, and absorption of hardened concrete, were evaluated for each concrete mixture. The results showed that using limestone powder as a partial substitute for cement can be beneficial, especially when replacing 5% of the cement. At this rate, the density and absorption of concrete improve, with only a slight decrease in compressive strength and workability. However, when the replacement rate was increased to 20%, the results showed a negative impact on the compressive strength, density, and absorption of hardened concrete. However, it did improve the workability of fresh concrete. The researcher recommended continuing local research in this context to harness the potential of industrial waste and explore sustainable and environmentally friendly methods.

Keywords: Limestone Powder, Hadhramaut, Yemen, Concrete, industrial waste, environment

ISSN: 2410-7727

1. المقدمة

يشكل الحجر الجيري ما نسبة 15٪ من مجموعة الصخور الرسوبية للقشرة الأرضية، و ترتبط اليمن بالتركيب الجيولوجي الإقليمي للوح العربي كما تشكل محافظة حضرموت الواقعة شرق اليمن جزء من العمود الجيولوجي لليمن ولمنطقة جنوب الجزيرة العربية، كما تتميز المحافظة بإنتشار الأحجار الجيرية على نطاق واسع فيها حيث تنتشر الأحجار الجيرية العقدية و العضوية على الشريط الساحلي و على جانبي وادي حضرموت و هضبتي حضرموت الجنوبية و الشمالية و التي تشكل أكبر تكوين رسوبي في شبة الجزيرة العربية، وتنتشر مجموعة حضرموت والشحر على امتداد الشريط الساحلي و على جميع الأحواض الرسوبية المتكونة في المنطقة وتعتبر أعلى المجموعات الحاوية على تموضعات الحجر الجيري و بمختلف الأنواع حيث تحتوي على الحجر الجيري بسماكة عالية تصل إلى 152 متر (الهندي، هشام عبدالكريم و أحمد، عبدالباقي جيلاني. 2010).

تنتشر رواسب الحجر الجيري على نطاق واسع في اليمن، ويوجد عدد من رواسب الحجر الجيري النقي في مناطق مختلفة خاصة الجزء الشرقي من اليمن ونتيجة لخصائصها الكيميائية وبياضها تجعلها مناسبة لإنتاج كربونات الكالسيوم النقية والأسمنت والحديد والصلب والزجاج والورق والاستخدامات الزراعية. وتقدر الاحتياطيات بنحو 3.6 مليار متر مكعب (بارشيد، محمد عوض.2018).

يوجد الحجر الجيري النقي في مجموعة عمران غرب اليمن ومجموعة حضرموت والشحر في شرق اليمن من العصر الجوراسي إلى العصر البايلوسين وتظهر رواسب الحجر الجيري النقي في منطقة حضرموت على السطح بسماكة ودرجة نقاء متغيرة وتقع بالقرب من الطرق السريعة المعبدة. فهي ناعمة إلى صلبة، ذات لون من الأبيض إلى الرمادي الفاتح والبيج ومتوسط التركيب الكيميائي للحجر الجيري النقي في منطقة حضرموت هو: 51.20 - 55.4٪ CaO، 1.90 - 0.01٪ SiO2. أظهرت الاختبارات الفيزيائية أن متوسط قيم الكثافة 2.54 - 2.66 جم / سم ^{3}، ومتوسط قيم البياض 94.85 - 95.20٪. تحتوي هذه الرواسب على محتوى منخفض من السيليكا والألومينا مع درجة عالية من البياض. تقدر احتياطيات الحجر الجيري النقي في حضرموت بنحو 155 مليون متر مكعب.(Assabri, A. M. 2014)

يستخدم للحجر الجيري ذو النقاوة العالية بشكل رئيسي في صناعة الأسمنت، بينما يفضل استخدام الأحجار ذات الألوان المميزة أو الأنماط أو المحتوى الأحفوري كأحجار البناء والزخرفة. حجر البناء الأكثر تواجد والأكثر استخداما في اليمن هو الحجر الجيري وتُفضل أنواع الحجر الجيري كحجر بناء نظرًا لسهولة معالجته وكذلك لتواجد الحجر الجيري بشكل شائع في الهضاب الرسوبية التي تهيمن على المنطقة الشرقية وأيضًا في المرتفعات الغربية من اليمن، وبالتالي فهي رخيصة نسبيًا.

ولهذا الغرض تم إنشاء العديد من المقالع لإنتاج وحدات البناء وتنتشر هذه المقالع في منطقة الدراسة في مديريات حضرموت الساحلية خاصة مديرية الشحر ومديرية غيل باوزير والتي تشتهر بإنتاج أنواع مختلفة من الوحدات البنائية من الحجر الجيري والحجر الرملي.

ISSN: 2410-7727

انقسمت الأبحاث في مجال استخدام مخلفات الحجر الجيري في الخرسانة إلى اتجاهين رئيسيين الأول استخدامه كبديل جزئي للأسمنت والثاني كبديل جزئي للرمل في الخلطات الخرسانية، حيث يعد مسحوق الحجر الجيري مادة مناسبة كمضاف وبديل جزئي للأسمنت في الخلطة الخرسانية لامتلاكه محتوى عالي من كربونات الكالسيوم (Ca_3Co) ودرجة نعومة عالية ويعد إستخدام بودرة الحجر الجيري كبديل جزئي للأسمنت أحدى طرق لتقليل إستخدام الأسمنت في الخلطات الخرسانية وكذلك التقليل من الأثر البيئي للمخلفات الصناعية بالإضافة إلى الفوائد الإقتصادية من تقليل محتوى الأسمنت في الخلطات الأسمنتية، في حين استخدمت مخلفات الحجر الجيري في بعض الأبحاث كبديل جزئي للرمل المستخدم في الخلطات الخرسانية. انظر المراجع العربية حسب التسلسل([2]،[3]،[5]) وكذلك المراجع الأجنبية حسب التسلسل ([7-9]،[11-13]).

وقد توصلت الأبحاث إلى نتائج مرضية في خواص الخرسانة المختلفة سواء باستبدال جزء من الأسمنت أو جزء من الرمل في الخلطات الخرسانية بنسب متفاوته حسب نوع ومصدر ومحتوى كربونات الكالسيوم ونعومة البودرة ونسب الاضافة أو الرمل الجيري المستخدم ولاتزال الأبحاث مستمرة في هذا السياق، لذلك نجد أن المواصفات العالمية قد سمحت باستخدام الحجر الجيري بالإضافة أو الإستبدال من وزن الأسمنت لإنتاج أسمنت مخلوط أو مركب حيث حددت المواصفة الأمريكية (ASTMC150/150M-2021) الحد الأدنى البالغ (70٪) من محتوى كربونات الكالسيوم في بودرة الحجر الجيري المستخدمة كبديل جزئي من كلينكر الأسمنت البورتلاندي الاعتيادي وبنسبة استبدال لاتتجاوز 5٪ من وزن الأسمنت (الكلينكر).

أما المواصفة الأوروبية (EN 197-2011)، فقد حددت نسبة (75٪) من محتوى كربونات الكالسيوم كحد أدنى في بودرة الحجر الجيري لإنتاج الأسمنت البورتلاندي المركب (المخلوط) C-M /CEMII، وبنسبة إضافة (بالاستبدال) لبودرة الحجر الجيري بين 6-20٪ من وزن الكلينكر.

2- منطقة الدراسة:

تم تحديد منطقة الشريط الساحلي لمحافظة حضرموت لوجود المقالع وانتشارها في المناطق الساحلية للمحافظة مديريات الساحلية وخاصة مديرية الشحر شرق مدينة المكلا عاصمة المحافظة ومديرية غيل باوزير شمال شرق المكلا، بشكل عام تتميز محافظة حضرموت – اليمن والتي تقع على الإحداثيات بين خطي طول 45 إلى 56 شرقي جرينتش و ما بين خطي عرض 13 إلى 19 شمال خط الاستواء بتنوع تضاريسي هائل في طبقاتها الجوفية حيث تتكون من عدة طبقات من الأحجار و الصخور المتنوعة والطبقات الطينية و الرملية. وتتميز المحافظة بانتشار الأحجار الجيرية على نطاق واسع فيها حيث تنتشر الأحجار الجيرية على الشريط الساحلي وهضبتي حضرموت الجنوبية والشمالية ووادي

ISSN: 2410-7727

حضرموت. ومن الناحية الجيولوجية تنتشر مجموعة حضرموت والشحر على امتداد الشريط الساحلي و على جميع الأحواض الرسوبية المتكونة في المنطقة و تعتبر أعلى المجموعات الحاوية على توضعات الحجر الجيري و بمختلف الأنواع حيث تحتوي على حجر الجيري عالي النقاوة وبمحتوى عالي من كربونات الكالسيوم وبسماكة عالية (بارشيد، محمد عوض.2018).

تنتشر العديد من المقالع الأحجار الجيرية لإنتاج وحدات البناء من الحجرالجيري في منطقة الدراسة في مديريات حضرموت الساحلية خاصة مديرية الشحر ومديرية غيل باوزير ومديرية الديس الشرقية وغيرها من المديريات الشرقية ويتم تقطيع الوحدات البنائية بالمقاسات المطلوبة بواسطة مناشير خاصة وتستخدم في الغالب في بناء البيوت الشعبية كجدران حاملة. وتتواجد هذه المقالع داخل المديريات في أماكن متفرقة مثل: منطقتي الصداع والقارة في مديرية الغيل ومنطقة عيص خرد وكذلك منطقة الضبة في مديرية الشحر وفي منطقة يثمون بمديرية الديس الشرقية وقصيعر وغيرها من المناطق.

3- أهمية البحث وأهدافه:

يتم تقطيع الصخور الجيرية وتهيئتها في مقالع الحجر الجيري لإنتاج وحدات البناء المنتشر استخدامها محليا في بناء البيوت كجدران حاملة وكذلك عند استخراج كتل الحجر المستخدمة في صناعة الأسمنت وينتج عن عمليات القطع والقص تكدس كميات هائلة من البودرة ومسحوق الحجر الجيري والرملي كمخلفات صناعية الشكل (1) يوضح تطاير الغبار الناتج عن القطع والكميات المكدسة في أحد المقالع منطقة الدراسة.

إن تكدس هذه الكميات قد ينتج عنه أضرار بيئية وصحية على العاملين في المقالع والمناطق المجاورة نتيجة تطاير حبيبات البودرة في الجو كما أنها تشغل مساحات كبيرة في أماكن تكدسها، من جانب آخر ينتج عن تصنيع الأسمنت من كتل الاحجار الجيرية تحت درجات الحرارة العالية إنبعاث كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون التي تسبب ثلوث الجو و تأثر طبقات الجو من هذه الانبعاثات، لذلك هدف هذا البحث دراسة إمكانية الاستفادة من هذه المخلفات الصناعية المحلية في الخلطات الخرسانية وتأثيرها على خواص الخرسانة الطرية والمتصلبة بعد التأكد من صلاحية البودرة الجيرية من خلال مطابقتها بالمواصفات العالمية، كما هدف البحث الى التقليل من إستخدام الأسمنت في الخلطات الخرسانية باستبداله بنسب مختلفة من بودرة الحجر الجيري ودراسة مدى تأثير اضافة بودرة الحجرالجيري على خواص الخرسانة، وتكمن أهمية البحث في عملية التخلص من المخلفات الصناعية المنتجة محلياً بشكل أمن وسليم والذي سيساعد في التقليل من مشكلة التكدسات لبودرة الحجر الجيري الناتجة من محاجر و مقالع الحجر الجيري والتقليل من ضررها البيئي والصحي وفوائده الاقتصادية من خلال تقليل نسب الأسمنت في الخلطة الخرسانية وإستبداله ببودرة الحجر الجيري.

ISSN: 2410-7727

شكل (1) توضح تكدسات بودرة الحجر الجيري وتطايرها اثناء التقطيع من أحد المحاجر بمنطقة الدراسة

4- منهجية البحث

اعتمد المنهج التجريبي العملي من خلال إجراء التجارب المعملية بعد النزولات الميدانية وأخذ عينات من مقالع الحجر الجيري ضمن منطقة الدارسة وشمل البحث عمل التجارب المختبرية على عينات من مخلفات الحجر الجيري وتقدير صلاحيتها للاستخدام في أعمال الخرسانة ومن ثم عمل مكعبات خرسانية تحتوي على نسب مختلفة من بودرة الحجر الجيري كبديل جزئي للأسمنت وبعدها تم فحصها و تحليل النتائج ومناقشتها لمعرفة مدى تأثير الإضافة على خواص الخرسانة وقد تمت الفحوصات المعملية في مختبر الخرسانة قسم الهندسة المدنية كلية الهندسة والبترول جامعة حضرموت.

ISSN: 2410-7727

1-4 مواقع أخذ عينات مخلفات الحجر الجيري:

تم أخذ العينات من مسحوق الحجر الجيري الناتج عن التقطيع في المقالع من مديريتي الشحر و غيل باوزير، حيث يقع الموقع الأول الذي أخذت منه العينات في منطقة عيص خرد الموضحة في الشكل (2) والتي تبعد عن مدينة الشحر مسافة 12 كم وتقع على الإحداثيات 14°47′08N 49°42'0.5E.

شكل (2) الموقع الأول الذي أخذت منه عينات البودرة منطقة عيص خرد مديرية الشحر

شكل (3) الموقع الثاني العينة منطقة القارة مديرية غيل باوزير

ISSN: 2410-7727

وقد تم زيارة عدد من المقالع في مديرية غيل باوزير ومديرية الشحر في إطار النزولات الميدانية و فيما يلي الأشكال (4) و(5) توضح بعض المقالع التي تمت زيارتها ضمن منطقة الدراسة، كما يوضح الجدول (1) أسمائها وإحداثياتها.

4-1-1 مقالع مديرية غيل باوزير:

شكل (4) المقالع التي تم زيارتها بمديرية غيل باوزير

4-1-2 مقالع مديرية الشحر:

شكل (5) المقالع التي تم زيارتها بمديرية الشحر

ISSN: 2410-7727

جدول (1) أسماء و إحداثيات المحاجر(المقالع) التي تم زيارتها في منطقة الدراسة

الرقم	إحداثيات محاجر غيل باوزير	
1	محجر بايمين	احداثيات 14°47′22N 49°22'55E
2	محجر باعباد	احداثيات 14°47′23N 49°22'42E
3	محجر بن صبيح	احداثيات 14°47′29N 49°22'34E
4	محجرباقحران	احداثيات 14°47′42N 49°22'25E
الرقم	إحداثيات محاجر الشحر	
1	محجر عبد الحسين	احداثيات 14°47′03N 49°42'17E
2	محجر حميد	احداثيات 14°47′06N 49°42'35E

2-4 المواد المستخدمة (Materials):

1-2-4 بودرة الحجر الجيري (Limestone Powder):

تم عمل بعض الاختبارات الأولية لعينتي البودرة (بودرة الشحر وبودرة الغيل) وذلك لغرض تحديد نسبة نقاوة البودرة بتقدير نسبة كربونات الكالسيوم في البودرة وتم إجراء الاختبار على عينة بودرة الغيل و بودرة الشحر بعد تجفيفها في الفرن لمدة 24 ساعة بدرجة حرارة 110 درجة مئوية، وتم تقدير نسبة كربونات الكالسيوم بالطريقة الوزنية المبسطة باستخدام حامض الهيدروكلوريك المخفف و إضافتها إلى البودرة المجففة وتركه للتفاعل لمدة ساعة ويتفاعل الحامض مع كربونات الكالسيوم لتحويله إلى راسب من كلوريد الكالسيوم مع تبخر وتحرر ثاني أكسيد الكربون CO_2 والذي يمكن حسابه وزنيا عن طريق الفرق في وزن البودرة قبل وبعد إضافة المحلول، تحسب نسبة الكربونات بإستخدام المعادلة التالية:

نسبة كربونات الكالسيوم % = (وزن ثاني أكسيد الكربون بالجرام ÷ وزن البودرة جافة بالجرام) × 227.4

حيث أن

وزن ثاني أكسيد الكربون = وزن البودرة مع المحلول قبل التفاعل – وزن البودرة بعد التفاعل

سيتم تكرار هذه التجربة لعدد 3 تجارب لكل نوع من البودرة وكانت النتائج كالتالي:

- درجة نقاوة بودرة الشحر = 78.9٪.
- درجة نقاوة بودرة الغيل = 54.78 ٪

ISSN: 2410-7727

وعلى ضوء ذلك تم اختيار بودرة الشحر كإضافة للخرسانة في هذا البحث نتيجة نقاوتها واحتوائها على نسبة أكبرمن 70٪ من كربونات الكالسيوم وهذا ماأوصت به المواصفات كما ذكر سابقا، وعليه تم إجراء التحليل الكيميائي لبودرة الشحر بواسطة اختبار أشعة (X-RAY) لتحديد التركيب الكيميائي للبودرة في الشركة العربية اليمنية للأسمنت المحدودة وكانت النتائج كما موضح في الجدول (2).

جدول (2) يبين الخواص الكيميائية لبودرة الشحر المستخدمة في هذا البحث

الاختبار الكيميائي		الوحدة	التحليل النموذجي
أكسيد السيليكون	SiO_2	%	7.84
أكسيد الألومنيوم	Al_2O_3	%	0.38
أكسيد الحديد	Fe_2O_3	%	0.37
أكسيد الكالسيوم	CaO	%	44.27
أكسيد المغنيسوم	MgO	%	0.55
أكسيد البوتاسيوم	K_2O	%	0.12
أكسيد الصوديوم	Na_2O	%	0.03
أنهيدريد الكبريتيك	SO_3	%	2.11
الكلور	Cl	%	0.01
أكسيد السترونشيوم	SrO	%	0.11
يرطب عند درجة حرارة $110\ C^0$	M	%	0.87
الفواقد في الأشتعال	L.O.I	%	37.36

تم تمرير مسحوق الحجر الجيري على المنخل رقم (200) (75 ميكرون) للحصول على بودرة قبل استخدامها كبديل للأسمنت وذلك لزيادة مساحتها السطحية وتقليل نعومتها من خلال أخذ التدرجات الناعمة الأقل من أو تساوي حبيبات الأسمنت وبذلك تكون البودرة أنعم من الأسمنت للاستفادة من التأثير الفيزيائي لحبيبات البودرة المالئ للفرغات داخل الخرسانة.

ISSN: 2410-7727

4-2-2 الأسمنت (Cement):

تم استخدام أسمنت بورتلاندي اعتيادي OPC (Type I) من إنتاج الشركة العمانية للأسمنت ريسوت مطابق للمواصفات البريطانية القياسية (B.S EN 197-1:2011) المعيار CEM I 42.5N والجداول (3)، توضح الخصائص الكيميائية للأسمنت المستخدم بحسب ما ورد في نشرة الشركة ومقارنتها بالمواصفات القياسية البريطانية.

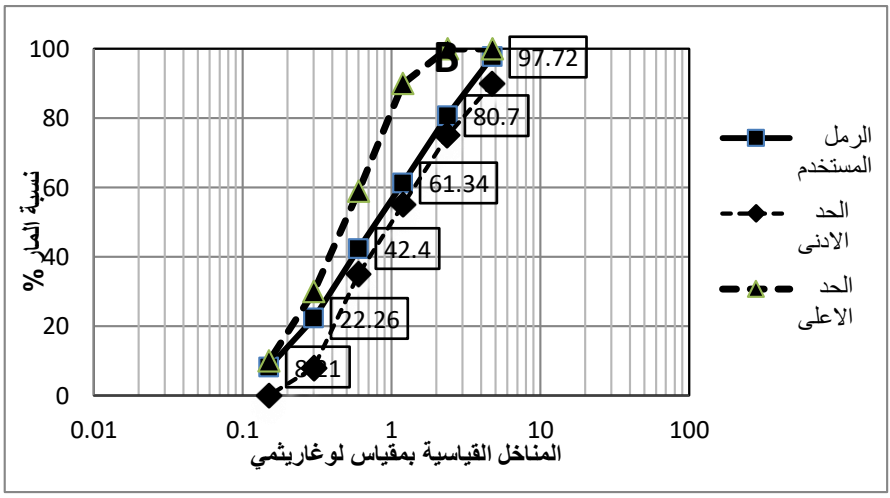
الجدول (3) الخواص الكيميائية للأسمنت البورتلاندي المستخدم و مطابقته للمواصفات البريطانية

نتائج الفحص الكيميائي		الوحدة	حدود الموصفات		التحليل النموذجي
			Min	Max	
أكسيد السيليكون	SiO_2	%	-	-	20.85
أكسيد الألومنيوم	Al_2O_3	%	-	-	4.25
أكسيد الحديد	Fe_2O_3	%	-	-	3.76
أكسيد الكالسيوم	CaO	%	-	-	63.8
أكسيد المغنيسوم	MgO	%	-	5	1.64
أكسيد البوتاسيوم	K_2O	%	-	-	0.57
أكسيد الصوديوم	Na_2O	%	-	-	0.34
أنهيدريد الكبريتيك	SO_3	%	-	3-5	2.61
الكلور	Cl	%	-	0.1	0.01
الفواقد في الأشتعال	L.O.I	%	-	5	2.5
بقايا غير قابلة للذوبان	I.R (KOH)	%	-	5	0.45
الومينات ثلاثي الكالسيوم	C_3A	%	-	-	4.91

4-2-3 الركام الناعم (Fine Aggregate):

تم استخدام رمل كسارة متدرج ومطابق للمواصفات الأمريكية (ASTM –C33) كما هو موضح في الشكل (6)، الرمل المستخدم بمعاير نعومة 2.48 ووزن نوعي 2.61 ونسبة امتصاص 0.22 ومكافئ رملي 72٪.

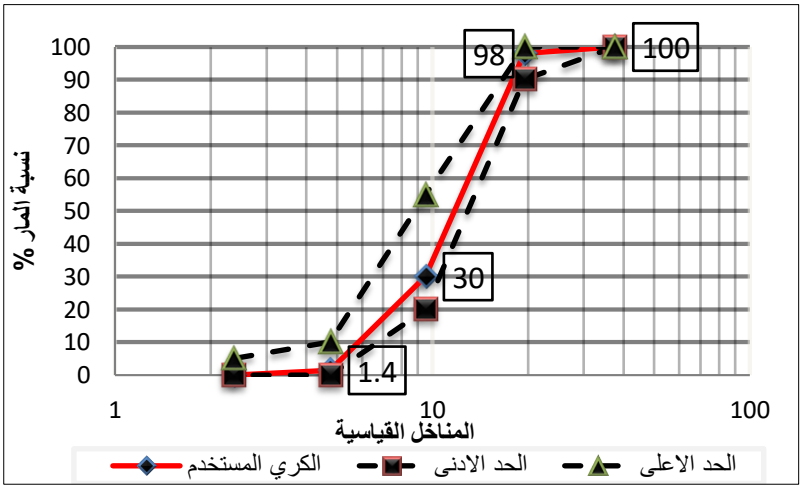
ISSN: 2410-7727



الشكل (6) التدرج الحبيبي للرمل المستخدم ومطابقته للمواصفات الأمريكية ASTM-C33

4-2-4 الركام الخشن (Coarse Aggregate):

تم استخدام ركام خشن متدرج ومطابق للمواصفات الأمريكية (ASTM–C33) كما هو موضح في الشكل (7)، الركام الخشن بمقاس اعتباري أقصى 20ملم والوزن النوعي (2.76)، نسبة الامتصاص (0.77%)، مقاومة الصدم باستخدام جهاز لوس انجلوس نسبة الفاقد فيه (17.3%).



الشكل (7) تدرج الركام الخشن المستخدم ومطابقه للمواصفات الإمريكية ASTM-C33

ISSN: 2410-7727

4-2-5 ماء الخلط Mixing Water:

تم استخدام الماء الصالح للشرب في جميع الخلطات عند درجة حرارة الغرفة و قد تم تحديد نسبة ثابتة لنسبة الماء إلى (الأسمنت+البودرة) (W /(C+P)=0.57) للحصول على هطول (Slump Test) بمقدار (20±100) لجميع العينات.

4-3 تحضير العينات الخرسانية Preparing Concrete Samples:

تم تحضير 30 عينة مكعبية من الخرسانة بإستخدام قوالب قياسية محكمة التثبيت بأبعاد (15×15×15 سم) وتم طلاء جميع القوالب بطبقة رقيقة من الزيت وذلك لمنع إلتصاق الخرسانة بعد الصب وتمت عملية الصب والدمك باستخدم قضيب الدمك بعدد 25 ضربة لكل طبقة ثم تم تسوية السطح وحفظت القوالب لمدة 24 ساعة مغطاة بمادة بلاستيكية لمنع تبخر الماء وتم فك القوالب وغمرها مباشرة في أحواض المعالجة بالماء بدرجة حرارة الغرفة إلى حين إجراء الفحوصات عليها.-ASTM C192 (2015)

4-3-1 الخلطات الخرسانية (Concrete Mixing):

لدراسة تأثير بودرة الحجر الجيري على خواص الخرسانة تم تحضير أربع خلطات خرسانية بمحتوى أسمنتي ثابت يساوي (400 kg/m^3) وبنسب خلط ثابتة (1:1.5:3) 1 أسمنت: 1.5 رمل: 3 ركام خشن مع نسب مختلفة من بودرة الحجر الجيري كبديل جزئي 0٪ ، 5٪ ، 10٪ ، 20٪ من وزن الأسمنت مع ثبات نسبة الماء إلى الأسمنت+البودرة (W/(C+P)=0.57) للحصول على هطول (Slump Test) بمقدار (20±100) لجميع العينات، والجدول (4) يوضح الخلطات والمواد المستخدمة.

جدول (4) يبين نسب الخلط لجميع الخلطات المستخدمة في البحث.

اسم العينة	نسبة البودرة %	الأسمنت كجم	الرمل كجم	الركام الخشن كجم	L.S كجم	نسبة الماء إلى (الأسمنت+البودرة) W/(C+P)
R المرجعية	0	400	600	1200	0	0.57
L.S 5	5	380	600	1200	20	0.57
L.S 10	10	360	600	1200	40	0.57
L.S 20	20	320	600	1200	80	0.57

حيث أن:

R هي الخلطة المرجعية بدون أي إضافة، نسبة الاستبدال (0%)

LS 5 هي الخلطة المضاف لها 5% من البودرة كبديل جزئي من وزن الأسمنت

ISSN: 2410-7727

LS 10 هي الحلطة المضاف لها 10% من البودرة كبديل جزئي من وزن الأسمنت
LS 20 هي الخلطة المضاف لها 20% من البودرة كبديل جزئي من وزن الأسمنت

4-4 الفحوصات على الخرسانة الطرية والمتصلبة:

4-4-1 فحص الخرسانة الطرية:

4-4-1-1: فحص قابلية التشغيل:

تم إجراء فحص الهطول (Slump test) للخرسانة الطرية بحسب مواصفات الجمعية الأمريكية للفحص والمواد (ASTM C143-2015) لقياس قابلية التشغيل للخرسانة الطرية لجميع الخلطات الخرسانية حيث يتم ملئ القالب المخروطي للفحص بالخرسانة على ثلاث طبقات مع استخدام قضيب الدمك بعدد 25 ضربة بعد كل طبقة وبعد الطبقة الأخيرة يتم تسوية سطح القالب ويرفع ببطء ويتم قياس فرق الارتفاع بين القالب المخروطي والعينة مقرب لأقرب (5mm).

4-4-2 فحوصات الخرسانة المتصلبة:

4-4-2-1 فحص مقاومة الانضغاط:

تم إجراء فحص مقاومة الانضغاط (Compressive Strength Test) بحسب مواصفات الجمعية الأمريكية للفحص و المواد (ASTM C39-2015a) بواسطة جهاز كسر المكعبات نوع (MATEST) بسعة تحميل (2000KN) و بمعدل تجميل ثابت حيث تم تسليط قوة عمودية محورية بواسطة ماكينة الضغط و قد تم إجراء الفحص لعدد ثلاث مكعبات لكل خلطة من الخلطات الخرسانية المختبرة بعمر 7 و 28 يوم و الشكل (8-أ) يوضح الجهاز المستخدم.

4-4-2-2 فحص الكثافة:

تم إجراء فحص الكثافة للمكعبات الخرسانية عند عمر 28 يوم حيث تم اخذ 3 مكعبات من كل خلطة خرسانية ووضعها في الفرن بدرجة حرارة معينة (5 ± 110) لمدة لا تقل عن 24 ساعة حتى يتم التأكد من ثبات التغير في وزن العينة بحسب مواصفات الجمعية الأمريكية للفحص والمواد (ASTM C642-2013)والشكل (8-ج) يوضح الفرن المستخدم.

4-4-2-3 فحص الامتصاص:

تم قياس الامتصاص للعينات الخرسانية بعد إخراجها من حوض المعالجة الموضح في الشكل (8-ب) بعد مرور 28 يوم وتم تجفيفها في الفرن بدرجة حرارة(5 ± 110) لمدة 24 ساعة على الأقل حتى

ISSN: 2410-7727

يتم التأكد من ثبات التغير في وزنها ثم يتم إعادة غمر العينة في الماء لمدة لا تقل عن 24 ساعة حتى تمتلئ جميع المسامات بالماء ويثبت وزنها ويعبر عن الامتصاص كنسبة مئوية وذلك عن طريق الزيادة في الوزن كنسبة مئوية من وزنها الأصلي بحسب مواصفات الجمعية الامريكية للفحص والمواد. (ASTM C642 – 2013)

أ- جهاز فحص الانضغاط	ب- حوض المعالجة	ج- الفرن الكهربائي

الشكل (8) بعض الأجهزة والأدوات المستخدمة في البحث

5- نتائج والمناقشة لاختبارات العينات الخرسانية (Results of Concrete Samples):

5-1 نتائج ومناقشة اختبارات الخرسانة الطازجة

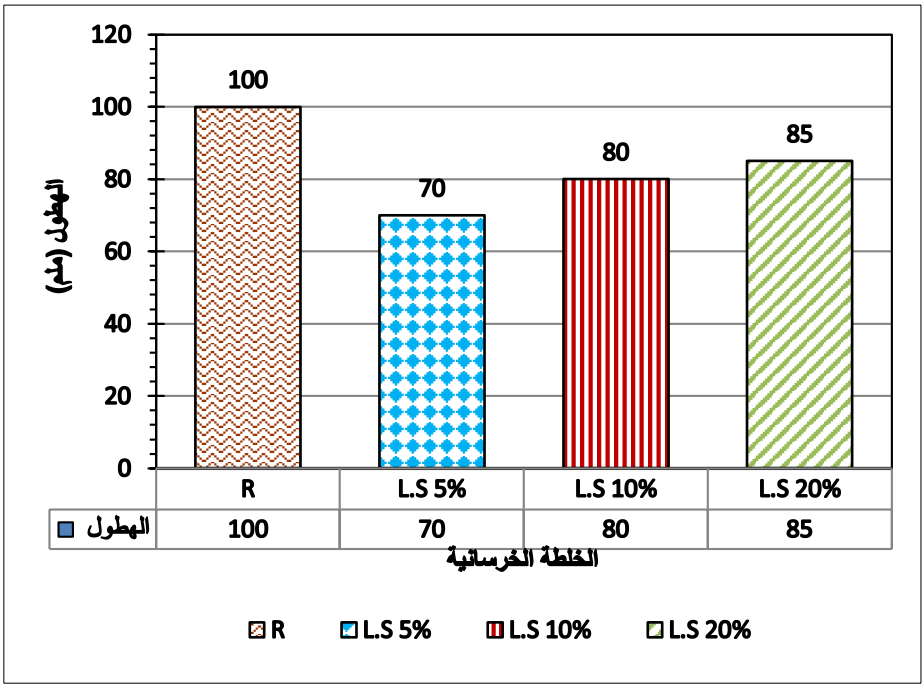
(Discussion of Fresh concrete test result):

5-1-1 تأثير إضافة البودرة (L.S) على قابلية التشغيل (Workability):

قابلية التشغيل تعتبر من أهم الخواص التي تحدد جودة الخرسانة في الحالة الطرية فهي تعبر عن مدى انسيابية الخلطة و درجة تشغيلها و تعطي مؤشرات على تجانس نسب الخلط بالإضافة إلى تجانس المادة المضافة (L.S) مع المكونات الأساسية للخلطة.لمعرفة مدى تأثير البودرة على قابلية التشغيل عند إضافتها للخلطة الخرسانية فيما يلي نتائج قابلية التشغيل للخلطة المرجعية (R) و مقارنتها بالخلطات الحاوية على البودرة (L.S).

ISSN: 2410-7727

الشكل (9) يوضح نتائج اختبار الهطول (Slump – Test) الذي يحدد قابلية التشغيل لكل الخلطات الخرسانية:



الشكل (9) يوضح قيم الهطول (Slump) للخلطات المختلفة

يلاحظ من خلال نتائج فحص الهطول الموضحة في الشكل (9) أنه وبشكل عام يقل الهطول في جميع الخلطات الحاوية على البودرة مقارنة بالخلطة المرجعية (بدون الإضافة) وبالتالي تقل قابلية التشغيل عند إضافة البودرة إلا أنه بزيادة نسبة الإضافة تتحسن قابلية التشغيل حيث أن قيم الهطول عند إضافة (L.S= 5%) قلت عن قيمة الهطول في الخلطة المرجعية و كان مقدار النقص في قيمة الهطول حوالي (30%) عن الهطول في الخلطة المرجعية، أما قيمة الهطول عند إضافة (L.S=10% & L.S= 20%) أعطت قيم أعلى في الهطول مما كانت عليه عند إضافة (L.S= 5%) حيث كانت قيمة النقصان عن الخلطة المرجعية بمقدار (20% و 15%) على التوالي ويتبين مما سبق و بالمقارنة بين نسب الإضافة أن قيم الهطول تزداد نسبياً مع زيادة نسب الاستبدال بالبودرة حيث أنه عند التعويض بـ (L.S=5%) إنخفضت قيمة الهطول ثم إزدادت عند التعويض بالنسب (L.S= 10% & LS= 20)، وربما يعود السبب في نقصان قيم الهطول للخلطات الحاوية على البودرة مقارنة بالخلطة المرجعية إلى زيادة المساحة السطحية لبودرة الحجر الجيري مما يعني زيادة الطلب للماء لتغطية جميع

ISSN: 2410-7727

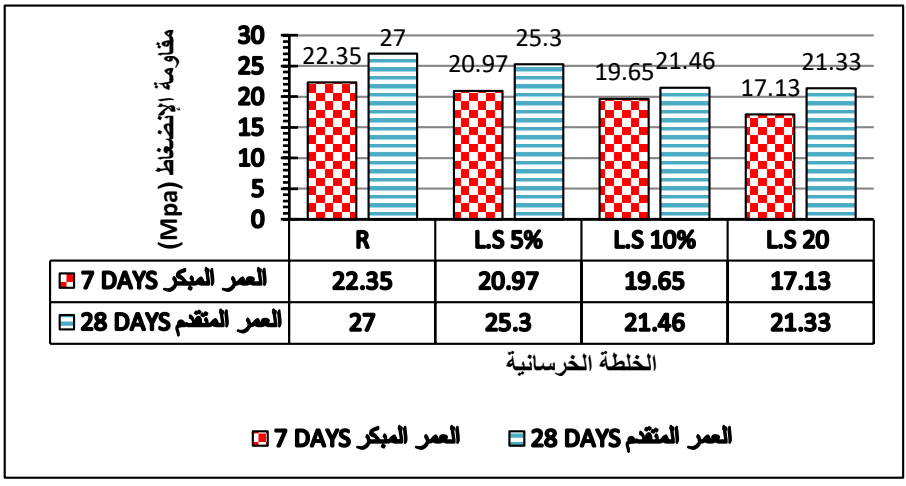
الحبيبات ولغرض الوصـــــول الى نفس قيمة الهطول للخلطة المرجعية يتطلب زيادة كمية الماء،ولكن نتيجة النعومة العالية للبودرة حيث أن البودرة المســتخدمة كلها مارة من المنخل 75 مايكرون وبالتالي زيادة نسبة الاستبدال تزداد نعومة الخليط وتتحسن قابلية التشغيل.

2-5 نتائج ومناقشة اختبارات الخرسانة المتصلبة

(Discussion of Hardened Concrete Test Result)

1-2-5 تأثير البودرة (L.S) على مقاومة الانضغاط للخرسانة (Compressive Strength):

مما لا شك فيه ان مقاومة الانضغاط من أهم خواص الخرسانة و بتحسن مقاومة الانضغاط للخرسانة ينتج عنه تحسن في أغلب الخواص الاخرى للخرسانة مثل مقاومة الشد و القص وغيرها من الخواص، و لمعرفة تأثير البودرة على مقاومة الانضغاط نستعرض نتائج النسب المختلفة من إضافة البودرة إلى الخلطة الخرسانية كبديل للأسمنت بنسب (5٪، 10٪، 20٪) ومقارنتها مع الخلطة المرجعية التي لاتحتوي على البودرة.يوضح الشكل (10) نتائج اختبار مقاومة الانضغاط لجميع الخلطات عند العمر المبكر 7 أيام وعند العمر المتقدم 28 يوم، والقيم الموضحة في الشكل هي متوسط فحص كسر لثلاثة مكعبات من كل خلطة.



الشكل (10) يوضح قيم مقاومة الانضغاط للخلطات المختلفة

يلاحظ من خلال نتائج فحص الانضغاط بشكل عام حدوث انخفاض في قيمة مقاومة الانضغاط للخلطة الخرسانية للخلطات الحاوية على البودرة مقارنة الخلطة المرجعية وتقل المقاومة تدريجيا بزيادة نسبة البودرة قد يكون بسبب تقليل المحتوى الأسمنتي لاستبداله بالبودرة مع ثبات

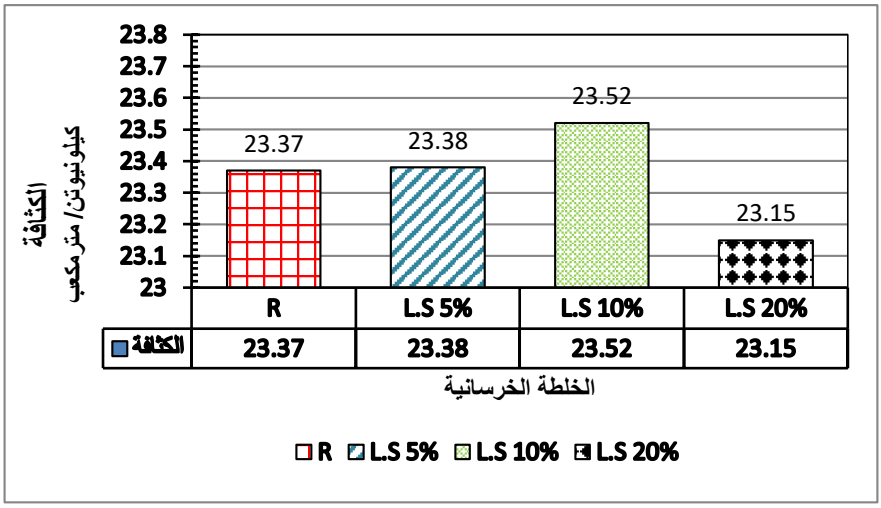
ISSN: 2410-7727

المحتوى المائي، كما يلاحظ أن الخلطات الحاوية عل البودرة أعطت قيم اكبر في المقاومة المبكرة بعمر 7 أيام في حين لم يحدث لها زيادة ملحوظة في المقاومة المتقدمة بعمر 28 يوم ماعدا الخلطة الحاوية على 5٪ من البودرة (L.S 5%) فقد انخفضت مقاومة الانضغاط المبكرة لها عن المقاومة في الخلطة المرجعية بمقدار محدود و كان مقدار النقص في المقاومة حوالي (6.1٪) اما بالنسبة للمقاومة المتقدمة بعمر 28 يوم فإن مقاومة الانضغاط حدث لها زيادة ملحوظة و أعطت أفضل نتيجة من النسب الأخرى حيث كان مقدار النقص عن الخلطة المرجعية كان (6.3٪) كما أن العينة اكتسبت بما يعادل (٪ 81) من مقاومتها في العمر المبكر، أما الخلطة (L.S 10 = 10 %) فإن المقاومة في العمر المبكر بعمر 7 أيام انخفضت بما يعادل (% 12) و لكن في العمر المتقدم بعمر 28 يوم لم يحدث أي تغير ملحوظ في المقاومة حيث أن العينات اكتسبت حوالي (92٪) من مقاومتها في العمر المبكر بعمر7 أيام،ومما سبق يتبين بأن البودرة ساعدت على زيادة عملية إماهة الأسمنت في الخلطة الخرسانية في العمر المبكر وأن أثر استبدال جزء من الأسمنت بالبودرة الجيرية هو أثر فيزيائي مالئ للفراغات نتيجة نعومة حبيبات البودرة و بشكل خاص عند طحنه لنعومات كبيرة حيث يوفر سطحاً إضافياً لترسيب نواتج الإماهة محفزاً الإماهة المبكرة للأسمنت، أما عند إضافة (L.S = 20 %) انخفضت قيمة مقاومة الانضغاط بشكل ملحوظ في العمر المبكر بعمر 7 أيام حيث كان مقدار النقص في المقاومة عن الخلطة المرجعية يقدر بحوالي (23.3٪) أما في العمر المتقدم بعمر 28 يوم لم يكن هناك زيادة ملحوظة في قيمة مقاومة الانضغاط وأعطت قيمة مقاربة لنسبة (L.S =10%) حيث كان مقدار النقص في العمر المتقدم عن الخلطة المرجعية عند نفس العمر يقدر بحوالي (21%)، و مما سبق ذكره يتبين أن مقاومة الانضغاط بشكل عام تقل بزيادة نسبة الإضافة و السبب في ذلك هو زيادة المواد الناعمة وخصوصاً عندما تكون بنسب عالية أو كبيرة فإن عجينة الأسمنت لا تتمكن من إكساء أو تغطية جميع الأجزاء الناعمة والمساحة السطحية العالية و هذه ظاهرة تسبب في خسارة جزئية في مقاومة الانضغاط و خصوصاً في نسب الاستبدال العالية من بودرة الحجر الجيري كما ينتج عن الانخفاض في مكون الكلنكر نتيجة استبدال جزء من الأسمنت بالبودرة تغييرات فيزيائية على الخرسانة.

2-2-5 تأثير إضافة البودرة (L.S) على الكثافة (Density)

الشكل (11) يبين نتائج الكثافة الكلية بعمر 28 يوم للخلطات الخرسانية وتأثير نسبة إضافة البودرة على الكثافة مقارنة بالخلطة المرجعية، تم أخذ القيم في الشكل كمتوسط لفحص ثلاث عينات من كل خلطة.

ISSN: 2410-7727



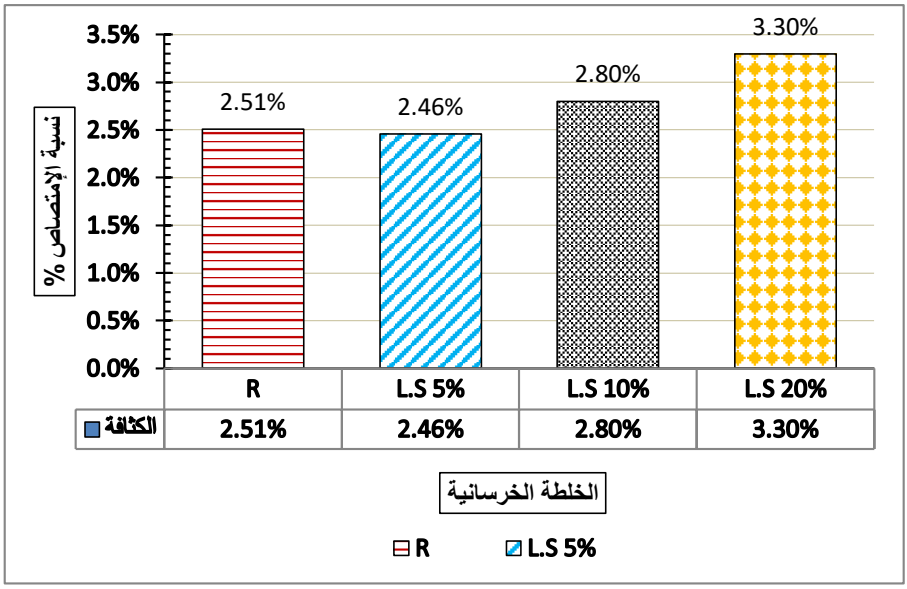
الشكل (11) يوضح قيم الكثافة للخلطة الخرسانية بعمر 28 يوم

يظهر من نتائج فحص الكثافة بشكل عام بأنه لا توجد هناك فروق ملحوظة في قيم الكثافة ما عدا الخلطة الحاوية على نسبة الإضافة (L.S = 10%) أعطت زيادة محدودة في الكثافة بما يعادل (0.64 %) مقارنة بالخلطة المرجعية، و الخلطة بنسبة إضافة (L.S =5%) أعطت قيم مساوية تقريباً لكثافة الخلطة المرجعية وهذا يدل على عدم تأثر الكثافة عند الإضافة بنسبة 5٪ من البودرة، في حين عند إضافة (L.S = 20%) كان هناك نقص في الكثافة وأعطت أقل كثافة بين الخلطات حيث كان مقدار النقص (0.94٪)، و مما سبق يتضح وجود تأثير طفيف في الكثافة عند إضافة البودرة حيث لم تتأثر قيم الكثافة عند الاستبدال بنسبة 5٪ وقلت الكثافة عند نسبة الاستبدال البودرة ب 20٪ وكانت أفضل نسبة تحسنت عندها الكثافة في الخلطة الحاوية على 10٪ بودرة وعليه يمكن القول بتحسن التأثير المالئ للبودرة عن هذه النسبة.

3-2-5 تأثير البودرة (L.S) على الامتصاص:

تعتبر خاصية الامتصاص خاصية فيزيائية يمكن الاستدلال من خلالها على نسبة المسامات والفراغات داخل العجينة الأسمنتية الناتجة عن عملية الإماهة، إن زيادة نسبة الامتصاص تشير إلى زيادة المسامات في الخرسانة وبالتالي تأثر سلبياً على مقاومة الخرسانة والعكس صحيح، وتعتبر خاصية الامتصاص مهمة أيضا في ديمومة الخرسانة ومقاومتها للعوامل البيئية الخارجية. الشكل (12) يعرض نتائج الامتصاص للخلطات الخرسانية المختلفة عند عمر 28 يوم، والقيم في الشكل هي متوسط لفحص ثلاث عينات من كل خلطة.

ISSN: 2410-7727



الشكل (12) يوضح قيم الامتصاص للخلطات الخرسانية بعمر 28 يوم

من خلال نتائج فحص الامتصاص للخلطات الخرسانية كما موضح بالشكل (5) يلاحظ حدوث زيادة قيم الامتصاص للخلطات الحاوية على البودرة بزيادة نسبة الاستبدال إلى 10٪ و20٪ مقارنة مع الخلطة المرجعية الغير حاوية على البودرة في قيم الامتصاص و بشكل عام فإن قيم الامتصاص تزداد بزيادة نسبة الإضافة، غير أن نسبة الإضافة التي أعطت أفضل وأقل قيمة للامتصاص مقارنة الخلطة المرجعية هي عند إضافة (L.S = 5%) و كان مقدار النقص في الامتصاص حوالي (2.5٪) وهذا يعني أن نسبة المسامات قد قلت، كما لوحظ أن قيم الامتصاص في الخلطات الاخرى أعطت قيم أكبر من قيم الامتصاص في الخلطة المرجعية حيث أنه عند إضافة (L.S =10%) كان مقدار الزيادة في الامتصاص حوالي (11٪) أما عند إضافة (L.S =20%) فإن قيمة الامتصاص زادت بشكل ملحوظ مقارنة الخلطة المرجعية و كان مقدار الزيادة حوالي (31٪) مما يشير إلى زيادة المسامات داخل الخلطة الخرسانية بزيادة الاستبدال، يتبين مماسبق بأن البودرة عملت كمادة مالئة إلى حد النسبة (L.S = 5%) ثم بعد ذلك أعطت نتائج عكسية حيث زادت قيم الامتصاص و ذلك بسبب الزيادة النسبية للمساحة السطحية للبودرة وانه بعد النسبة 5٪ من الإضافة قد وصلت إلى حد التشبع وهنا تلعب نعومة البودرة وحجم حبيباتها وشكلها الخارجي دور في ترتيب الأثر الفيزيائي للبودرة كمادة مالئة و أدت إلى تقليل المسامات بشكل نسبي للخلطة الخرسانية وفي ملئ الفراغات داخل الخرسانة وعند زيادة نسبة البودرة خاصة عندما تكون نعومتها غير كافية وبمساحة سطحية كبيرة تؤدي إلى تأثير عكسي مما أدى إلى تقليل سرعة التفاعل وبالتالي تكوين مسامات إضافية لوجود حبيبات لم تتفاعل بشكل كامل وسريع.

ISSN: 2410-7727

6- الاستنتاجات والتوصيات

يمكن استخدام بودرة الحجر الجيري كبديل جزئي من الأسمنت في الخلطة وبنسبة تصل إلى 5 ٪ كنسبة استبدال مثالية من وزن الأسمنت مع فقدان في مقاومة الضغط للخلطة بمقدار 6 ٪ مقارنة مع مثيلتها الخالية من البودرة ويزيد هذا الفقدان في المقاومة بزيادة نسبة الاستبدال المستخدمة حيث يصل الفقدان إلى الضعف أي فقدان بحدود 12٪ عند مضاعفة نسبة الاستبدال إلى 10٪.

تقل قابلية التشغيل في جميع الخلطات الحاوية على البودرة مقارنة بالخلطة المرجعية (الخالية من البودرة) إلا أنه بزيادة نسبة الاستبدال تتحسن قابلية التشغيل بشكل ملحوظ.

لايوجد تأثير ملحوظ في كثافة الخرسانة الحاوية على بودرة الحجر الجيري بنسة استبدال 5٪ مقارنة بالخرسانة المرجعية لكن هناك زيادة في الكثافة عند زيادة نسبة الاستبدال إلى 10٪ أما عند زيادة الاستبدال إلى 20٪ فقد قلت الكثافة، أي أن استبدال نسبة 10٪ أعطت أفضل كثافة مقارنة بالخلطات الأخرى.

قلت نسبة الامتصاص للخرسانة الحاوية على نسبة استبدال 5٪ في حين زادت نسبة الامتصاص بزيادة نسبة الاستبدال الأعلى من 10٪ حيث وصلت نسبة الامتصاص إلى نسبة أكبر من 30٪ مقارنة بالخرسانة المرجعية.

وعلية يمكن القول أنه يمكن استخدام بودرة الخحر الجيري الناتج محلياً من مقالع الأحجار الجيرية بعد إجراء الفحوصات اللازمة مع نخله على الأقل على منخل 200 (75 ميكرون) والتأكد من احتواءه على نسب عالية من كربونات الكالسيوم تتجاوز على الأقل 75٪ كما اشارت له المواصفات الامريكية والاوربية وغيرها.

يمكن استخدام البودرة الجيرية بنسب استبدال وزنية أقل من 10٪ من وزن الأسمنت مع فقدان مقبول للمقاومة والتي يمكن أن يتم تعويضها من خلال إجراء عدد من الأبحاث وباستخدام بعض الإجراءات الإضافية لتحسين من خواص الخرسانة الحاوية على بودرة الحجرالجيري على سبيل المثال عن طريق زيادة نعومة الكلينكر أو باستخدام مواد إضافية مثل المواد البوزولانية أو استخدام أنواع أخرى من الأسمنت مثل الأسمنت البوزولاني أو المركب لما للمواد البوزولانية من تأثير كيميائي وفيزيائي معروف ربما يكون مفيد عند استخدامه مع بودري الحجر الجيري وهذا أحد التوصيات التي يمكن متابعتها في فقرة التوصيات التالية:

ISSN: 2410-7727

من خلال نتائج هذا البحث وماتم مناقشته يوصي الباحث بالتالي:

- مواصلة الأبحاث والدراسات للاستفادة الكاملة من مخلفات الحجر الجيري المنتج محلياً من خلال إضافتها للخرسانة والتخلص من آثارها البيئية مع الاستفادة الاقتصادية من تقليل كميات الأسمنت وتعويضها بالبودرة الجيرية.
- استثمار بودرة الحجر الجيري في صناعات الأسمنت من خلال إنتاج أسمنت مركب حاوي على البودرة الجيرية والمعروف عالمياً بالأسمنت الجيري والذي لا ينتج محلياً حتى هذه اللحظة رغم توفر المواد الخام بشكل واسع.
- اجراء دراسات مماثلة لتحسين الأثر السلبي لزيادة نسبة الاستبدال البودرة من خلال ايجاد البدائل والطرق المناسبة.
- اجراء دراسات لمعرفة تأثير المواد الكيميائية وكذا العوامل الخارجية والديمومة للخواص الخرسانة الحاوية على البودرة الجيرية.
- اجراء أبحاث لدراسة استخدام البودرة المحلية كركام ناعم بدل الرمل.
- البحث عن بدائل للبودرة بمحتوى عالي من كربونات الكالسيوم وبنعومة ونقاوة عالية من مصادر أخرى ضمن منطقة الدراسة أو في عموم اليمن.

ISSN: 2410-7727

المراجع

المراجع العربية:

[1] الهندي، هشام عبدالكريم و أحمد، عبدالباقي جيلاني. (2010). "دراسة المواصفات الصناعية للحجر الجيري في ساحل حضرموت- اليمن"(رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة النيلين، الخرطوم. مسترجع من http://search.mondumah.com/Record/915859

[2] الحمامي أمينة، أندراوس سعود، السويداني عارف، (2017). " أثر إضافة البوزولانا الطبيعية و والكلس كبديل جزئي عن الأسمنت على خواص الخرسانة"، (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة دمشق، كلية الهندسة المدنية، قسم هندسة النقل والمواصلات.

[3] الشهواني، رنا برهان، (2011)."تأثير مسحوقِ حجر الكلس كبدىل جزئي من الأسمنت على بعض خصائص الخرسانة الاعتىادىة ". مجلة هندسة الرافدين، اصدار شهر يونيو، العدد 3، المجلد 19.

[4]بارشيد، محمد عوض (2018). "توزيع الصخور والمعادن في محافظة حضرموت (دراسة في الجيومورفولوجيا الاقتصادية) ". مجلة جامعة حضؤموت للعلوم الانسانية، المجلد 15، العدد 2، ديسمبر.

[5] حاوي خالد حسن، (2015). " تأثير الملدن الفائق والحجر الجيري في الخرسانة الطرية والمتصلبة "، مجلة جامعة بابل، العلوم الهندسية العدد1 المجلد 23.

المراجع الأجنبية:

[1] Assabri, A. M. (2014),"Industrial Minerals in Yemen", Issues for promotion. Ministry of Oil and Minerals, Geological Survey and Mineral Resources Board.

[2] ASTM C150/150M (2021). "Standard Specification for Portland cement", American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, United States.

[3] ASTM C192-(2015). "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory", American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, United States.

[4] ASTM C143-(2015). "Standard Test Method for Slump of Hydraulic - Cement Concrete", American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, United States.

ISSN: 2410-7727

[5] ASTM C39-(2015a). "Standard Test Method for Compressive Strength for Cylindrical Concrete Specimens", American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, United States.
[6] ASTM C642-(2013). "Standard Test Method for Density, Absorption and Voids in Hardened Concrete", American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, United States.

[7] Alli, O. O., Odewumi, T. O.,Akolade, A. S and Adebiyi, A. Y. (2018)."Effect of Limestone as an Additive on Properties of Concrete." Journal of Advancement in Engineering and Technology, Volume 7/ Issue1.

[8] Bheel Naraindas, Memon.A.S., Khaskheli I. A., Talpur N. M. (2020). "Effect of Sugarcane Bagasse Ash and Lime Stone Fines on the Mechanical Properties of Concrete ", Journal of Engineering Technology & Applied Science Research.

[9] De Weerdt K.; Kjellsen K.O.; Sellevold E.; Justnes, H.(2011), "Synergy between fly ash and limestone powder in ternary cements". Cement & Concrete Composites, 2011, 33: 30-38.

[10] EN 197-1:(2011). Cement - Part 1: "Composition, specifications and conformity criteria for common cements". European Standard.

[11] K˛epniak, M.; Woyciechowski, P.; Franus, W. (2021). "Transition Zone Enhancement with Waste Limestone Powder as a Reason for Concrete Compressive Strength Increase". Materials 2021, 14, 7254. https://doi.org/10.3390/ma14237254

[12] Liu S., Wang Z. (2014). "Effect of limestone powder on acid characteristics of cement pastes". Materials Science, 2014, 20(4): 503-508.

[13] Voglis N., Kakali G., Chaniotakis E., Tsivilis S. (2005). "Portland limestone cement, their properties and hydration compared to those of other composite cement". Cement and Concrete Composites, 2005, 27: 191-196.