تأثير إضافة مخلفات البورسلين كبديل جزئي عن الركام الناعم على بعض الخصائص الهندسية للخرسانة

زينة عادل محمد
مدرس مساعد
جامعة الموصل/ كلية الهندسة ـ قسم الهندسة المدنية

الخلاصة

بدأ في السنوات الأخيرة السعي بالاهتمام وراء الحصول على مصادر جديدة للركام الطبيعي المستخدم في الخلطات الخرسانية ، واشتدت المحاولات للاستفادة من تراكم بعض مخلفات البناء والإنشاء مثل كسر الطابوق أو المسحوق الناتج من قص حجر الحلان وغيرها لاستخدامها في إنتاج الخرسانة كبديل جزئي عن بعض مكوناتها من جهة ولغرض تحقيق فائدة اقتصادية عند القيام بتنفيذ المشاريع الإنشائية من جهة أخرى.

يهدف البحث إلى دراسة تأثير استخدام مسحوق مخلفات البورسلين كمادة مستبدلة جزئيا عن الركام الناعم في الخلطة الخرسانية وتأثير ذلك على خواص الخرسانة. إذ تم في هذا البحث إضافة مسحوق مخلفات البورسلين بنسبة %(0، 10، 20، 30، 40) مستبدلة من وزن الرمل. تبين النتائج المستحصلة أن استخدام مخلفات مسحوق البورسلين اثر على خواص الخرسانة إذ ساعد على انخفاض كثافة الخرسانة بمقدار يصل إلى 6.07% عند نسبة استبدال 40% وتقليل من قابلية امتصاصها للماء إلى قيمة 17% عند نفس النسبة، كما أظهرت النتائج التأثير الايجابي لمسحوق البورسلين على مقاومة الضغط والشد بزيادة تصل إلى 18% عند نسبة استبدال 20% مقارنة مع الخرسانة الاعتيادية.

Effect of Partial Replacement of Fine Aggregate on Some Engineering Properties of Concrete

Zeena Adel Mohammed
Assistant lecturer
Civil Engineering Dept./ University of Mosul

Abstract

Recently, interest set out for obtaining new recourses for natural aggregate ate used in concrete mixes. Attempts are also intensified to make use of the accumulation of certain types of construction and building residues such as bricks' fragments or the filler that results from the cutting of limestone and others to be used in concrete production as a partial replacement material of some of its components on the one hand and in order to achieve an economical benefit while executing the constructional projects on the other.

The research aims at studying the effect of using porcelain crushed filler as a partial replacement material for the fine aggregate in the concrete mix and the effect of this on the concrete properties. In this research, the porcelain crushed filler was added in (0, 10, 20,30, 40)% replaced by the weight of the fine aggregate.

Findings obtained have shown that the use of the porcelain crushed filler has affected the properties of concrete as it has caused a drop in the concrete density up to 6.07% at a replacement percentage of 40% and reducing its capacity of water absorption down to 17% at the same percentage. Findings have also shown the positive effect of the porcelain crushed filler on the compressive and tensile strengths with an increase reaching 18% at a replacement percentage 20% compared to the normal concrete.

أستلم: 12 -4- 2010 قبل: 5 -10 -2010

المقدمة

يسعى العديد من الباحثين والمهتمين ذوي الاختصاص إلى اللجوء لتحسين إنتاج الخرسانة بمواصفات جيدة بالبحث عن مواد جديدة قد تكون في بعض الأحيان إضافية أو مستبدلة بشكل جزئي عن احد مكونات الخرسانة، حصولا على خرسانة بجودة عالية وبنفس الوقت تحقق مستوى اقتصادي ملائم للحركة الصناعية المستمرة في إنشاء المشاريع.

تم التركيز في هذا البحث على استخدام مخلفات البورسلين الناتجة من تنفيذ الأبنية الذي توسع استخدامه بشكل متزايد في الفترات الأخيرة لما يتميز به من إعطاء الطابع الفني والجمالي عند تغليف أوجه وأرضيات الأبنية ولما يحققه من إدامة أكثر وسهولة التنظيف، عند استخدام البورسلين سوف ينتج عنه مخلفات يجب التخلص منها بعد انتهاء الإنشاء والناتجة عن قص بعض القطع القياسية حتى تلاءم بعض الزوايا أو الأماكن الضيقة. لهذه الأسباب تم الاستقصاء عن إمكانية استخدام هذه المخلفات كمادة بديلة عن الركام الناعم في الخرسانة ودراسة تأثيرها على خواص الخرسانة في حالتها الطرية والمتصلبة.

إنتاج البورسلين

البورسلين عبارة عن مادة بيضاء قوية تتكون من خليط من الطين النقي ، الكاؤولينات، الكوارتز (جدول (2) يوضح التركيب الكيميائي للبورسلين) وتبدأ خطوات الإنتاج بوضع الخليط وضخه بقوالب غير قابلة للصدأ ثم تكبس تحت ضغط وتقطع إلى الشكل المطلوب ثم تجفف القطع لطرد الرطوبة من جزيئات المادة وتحرق بأفران تحت درجات حرارة عالية تصل إلى (2200^0 F) ثم تزجج القطع بإضافة مواد مصهرة بألوان مختلفة متمثلة بمجموعة الاكاسيد وتخزن القطع بعد ذلك بشكل دقيق للمحافظة على التوزيع والتدرج المنتظم للألوان، وتعد عملية الحرق الأكثر تعقيدا وأهمية في صناعة البورسلين إذ تؤدي إلى احتراق المواد العضوية وتبخر الماء الجزيئي للمعادن كما أن عملية الحرق تمنح المادة المتانة والمقاومة حيث تحول المادة من مادة ضعيفة وهشة إلى منتج قوي وصلب بسبب التفاعل بين مكونات الخليط. كما انه يعمل على تليين المادة مما يؤدي إلى تكوين منصهر ذي لزوجة كافية ملائمة لحصر الغازات الناتجة أثناء الحرق في فقاعات داخل تركيب المادة وعدم السماح لها بالنفاذ [1].

استخدامات البورسلين

يزداد استخدام كاشي البورسلين بكثرة حاليا وتوسع إنتاج البورسلين بأنواع وأحجام مختلفة وذلك لما يتميز به من مؤشر على التكنولوجيا العالية باعطاءه جمالية بمستوى عالي وانخفاض في قابلية امتصاص الماء وله القابلية على مقاومة التأثيرات الكيميائية ومقاومة جيدة للانجماد [3,2] كما يعتبر مادة لها القابلية على مقاومة لا باس بها للتأثيرات الفيزيائية مثل الحرارة أو حركة الرطوبة أو تغير في درجات الحرارة العالية وعلى ضوء ذلك لا يحدث فيه أي تشقق وانكماش أو انزلاق للقطع وبذلك فانه يمنع أي تسريب للمياه تحته[4].

على ضوء هذه الخصائص التي تتميز به هذه المادة فإنها تستخدم لتغليف الواجهات إضافة لاستخدامها في اكساء الأرضيات والجدران خصوصا لما لها من قابلية امتصاص منخفضة مما جعلها سهلة الالتصاق والتثبيت أثناء البناء [5] ، وقد تم إعداد دراسة [6] لغرض الاستفادة من هذه المادة باستخدام مسحوقها كطلاء زجاجي لتغليف قضبان التسليح لزيادة قوة الربط مابين الخرسانة وقضبان التسليح بنسبة زيادة تصل إلى 325% مقارنة مع القضبان الغير مغلفة إذ يعمل هذا الغطاء الزجاجي على التقليل من تماس ماء عجينة السمنت مع قضبان التسليح والذي يؤثر بدوره على إضعاف الربط بين قضبان التسليح والخرسانة وبنفس الوقت يسرع في تآكل قضبان التسليح نفسه.

الهدف من البحث:

الهدف الرئيسي لهذا البحث هو معرفة تأثير إضافة مسحوق مخلفات البورسلين كبديل جزئي عن الركام الناعم إلى الخرسانة ودراسة خواصها (مقاومة الانضغاط، مقاومة الشد، قابلية الامتصاص، الكثافة) وبنسب استبدال مختلفة % (0، 10، 20، 30، 40) ومقارنة هذه الخواص مع الخرسانة الاعتيادية المرجعية التي لا تحوي على أية نسبة من هذا المسحوق ، لملاحظة إمكانية استخدام هذه المادة كبديل عن الركام الناعم لما تعود عليه من فوائد اقتصادية وبنفس الوقت استنزاف المخلفات الناتجة من البناء والاستفادة منها في الخلطات الخرسانية

البرنامج العملي:

1. المواد المستخدمة : تم استخدام المواد المتوفرة محليا وهي الاسمنت ، الركام الناعم (الرمل)، الركام الخشن (الحصى النهري)، مسحوق مخلفات البورسلأ. السمنت: تم استخدام سمنت مطابق للمواصفات العراقية المرقمة (IQS,No.5: 1984) [7] منتج من معمل بادوش والجدول(1) يبين خصائص السمنت المستخدم ومقارنته مع حدود المواصفة.

ب. الماء: استخدم ماء الشرب الاعتيادي لمدينة الموصل في جميع الخلطات الخرسانية لهذا البحث. ج. الركام الناعم الرمل المستخدم هو رمل نهري (River Sand) وبمعامل نعومة (2.8) وبتدرج مطابق للمواصفة البريطانية (B.S.882:1992) [8] تم استبدال الرمل جزئيا بمخلفات البورسلين المتبقية من اكساء أرضيات الأبنية في المدينة والشكل (1) يوضح صورة للمادة المستبدلة وذات التركيب الكيميائي الموضح بالجدول (2) إذ تم طحن قطع البورسلين المكسورة المتخلفة عن البناء واخذ المار من منخل No.4 وبمعامل نعومة (2.7) وبتدرج مطابق للمواصفة البريطانية (B.S. 882: 1992) [8]. والشكل (2) يبين التحليل المنخلي للركام الناعم وللمادة المستبدلة.

شكل (1): يوضح صورة للمادة المستبدلة (مسحوق البورسلين)

د. الركام الخشن : تم استخدام الحصى النهري المحلي المتوفر في أطراف مدينة الموصل وبمقاس أقصى 14ملم والشكل (3) يبين تدرج الركام الخشن والمطابق للمواصفة البريطانية (B.S. 882:1992) [8].

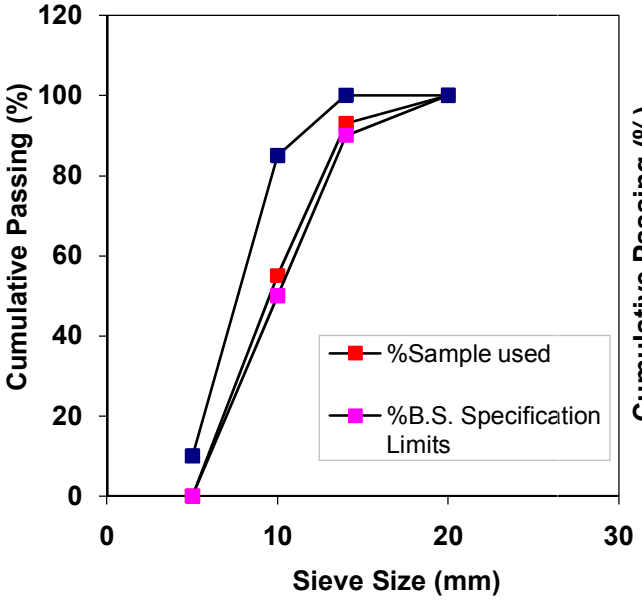
جدول (1): التحليل الكيميائي للسمنت المستخدم ومركباته الرئيسة

اكاسيد عناصر السمنت	النسبة المئوية (%)	حدود المواصفة (IQS,No.5: 1984) (%)
Ai_2O_3	5.8	3-8
SiO_2	21.52	17-25
Fe_2O_3	2.64	0.5-6
CaO	62.55	60-67
SO_3	2.34	لا يزيد عن 2.8%
MgO	3.20	لا يزيد عن 5%
مركبات السمنت الرئيسية	**النسبة المئوية (%)**	**حدود المواصفة (IQS,No.5: 1984) (%)**
C_3S	37.02	31.30-41.05
C_2S	33.97	28.61-37.90
C_3A	12.1	11.96-12.30
C_4AF	7.95	7.72-8.02
الخصائص الفيزيائية للسمنت المستخدم		
النعومة (نسبة المتبقي على منخل رقم 170)	3%	لا تزيد عن 10%
وقت التماسك		
ابتدائي (دقيقة)	135	لا يقل عن 45 دقيقة
نهائي(دقيقة)	360	لا يزيد عن 10 ساعات
مقاومة الانضغاط (MPa)		
3 أيام	18	لا تقل عن (16 MPa)
7 أيام	26	لا تقل عن (24 MPa)
مقاومة الشد (MPa)		
3 أيام	1.78	لا تقل عن (1.6 MPa)
7 أيام	2.5	لا تقل عن (2.4 MPa)

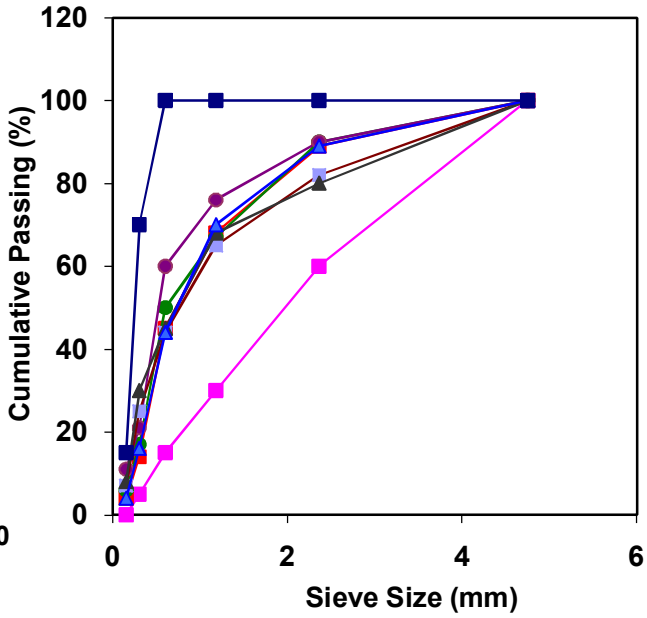
جدول (2): التحليل الكيميائي لمسحوق البورسلين المستخدم *

اكاسيد عناصر السمنت	النسبة المئوية (%)
Ai_2O_3	5.28
SiO_2	15.17
Fe_2O_3	2.46
CaO	53.12
SO_3	1.17
MgO	2.73

* تم التحليل في معمل سمنت حمام العليل.



شكل (3): يوضح التحليل المنخلي للركام الخشن المستخدم مع حدود المواصفات القياسية البريطانية (B.S. 882: 1992)



شكل (2): يوضح التحليل المنخلي للركام الناعم ومسحوق البورسلين المستخدم مع حدود المواصفات القياسية البريطانية (B.S. 882: 1992)

2. نسب الخلطة الخرسانية :-

تم تهيئة خمس خلطات خرسانية ذات نسب وزنية مختلفة من مسحوق البورسلين المستبدل مع الرمل ابتدأت بـ (0%،10%،20%،30%،40%)، تم الاعتماد على الخلطة الخرسانية ذات النسب الوزنية(1:1.88:2.61/0.55) [9] وبنسبة ماء إلى السمنت ثابتة مساوية إلى 0.55 وبمعدل مقاومة انضغاط مكعب (32.2 MPa) كخلطة مرجعية، جدول (3) يبين نسب الخلطات الخرسانية المستخدمة في البحث وكمية المواد المستخدمة لكل خلطة.

تم صب (12) نموذج خرساني مكعب الشكل بأبعاد (100×100×100ملم) و(3) نماذج خرسانية اسطوانية بأبعاد (100×200ملم) لكل خلطة خرسانية لأغراض الفحوصات المختبرية، تم غمر هذه النماذج في احواض المعالجة لحساب مقاومة الانضغاط لها بأعمار(3،14،21،28) يوم حسب المواصفة البريطانية (B.S 1881 : Part 116)[10] وإيجاد فحص الشد الانشطاري بعمر (28) يوم حسب المواصفة الأمريكية ASTM C496 [11]

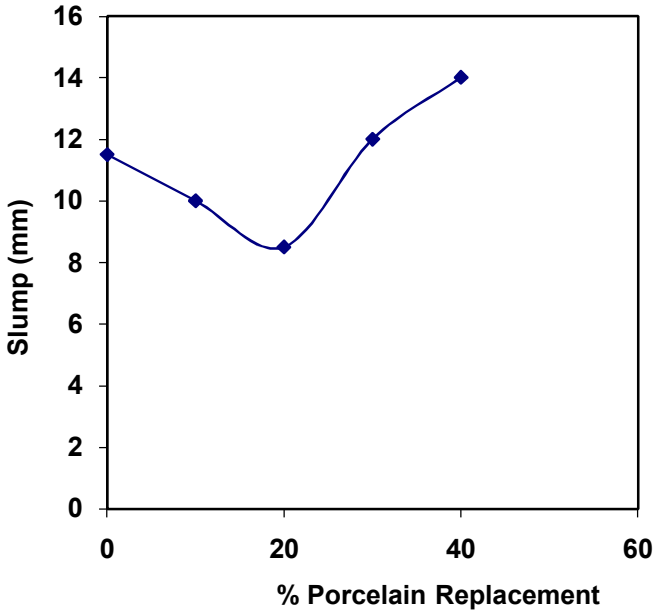
جدول (3): نسب وأوزان الخلطات الخرسانية (kg/m^3)

رقم الخلطة	النسب الوزنية	نسب الاستبدال (%)	محتوى السمنت كغم/م^3	الرمل كغم/م^3	الحصى كغم/م^3	المادة المستبدلة كغم/م^3	الماء كغم/م^3	معامل النعومة للركام الناعم (الرمل مع المادة المستبدلة)
M_1	1:1.88:2.61/0.55	0	390	733.2	1017.9	0	214.5	2.8
M_2	1:1.88:2.61/0.55	10	390	659.88	1017.9	73.32	214.5	2.7
M_3	1:1.88:2.61/0.55	20	390	586.56	1017.9	146.64	214.5	2.4
M_4	1:1.88:2.61/0.55	30	390	513.3	1017.9	219.9	214.5	2.8
M_5	1:1.88:2.61/0.55	40	390	440	1017.9	293.2	214.5	2.7

النتائج والمناقشة:-

1. قابلية التشغيل:-

الشكل (4) يبين نتائج فحص الهطول للخرسانة الطرية المقاسة استنادا إلى المواصفة الأمريكية (ASTM C143) [12] للخلطات الخرسانية ذات نسب الاستبدال المختلفة من مسحوق البورسلين. الملاحظ إن قيمة الهطول للخلطة المرجعية كانت(11.5cm) ثم انخفضت عند إضافة المادة البديلة ليصل إلى (8.5,10cm) عند نسبة استبدال (20,10%) على التوالي، ثم عاودت قيمته بالازدياد بنسبة (21.73،4.3%) عند نسبة استبدال (40،30%) على التوالي أيضا يعود ذلك إلى حدوث ظاهرة الامتزاز عند إضافة مسحوق البورسلين إذ امتص ماء الخلطة من قبل جزيئات المسحوق الذي يمتلك سطح نوعي أعلى من الرمل مما أدى إلى انخفاض الهطول، وعند زيادة نسبة المسحوق المستبدل عن الرمل في الخلطة إلى (40%،30%) امتلئت الفراغات بجزيئات ناعمة من مسحوق البورسلين ذات السطح الأملس وقللت من احتكاك الجزيئات مع بعضها البعض داخل الخلطة مما أدى إلى زيادة الهطول بزيادة نسبة الاستبدال. [13]

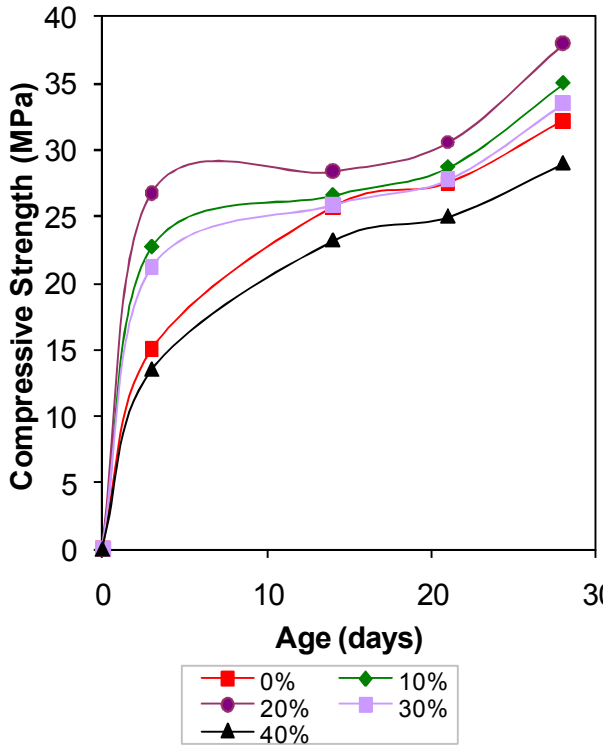


شكل (4): تأثير نسب الاستبدال المختلفة لمسحوق البورسلين على الهطول

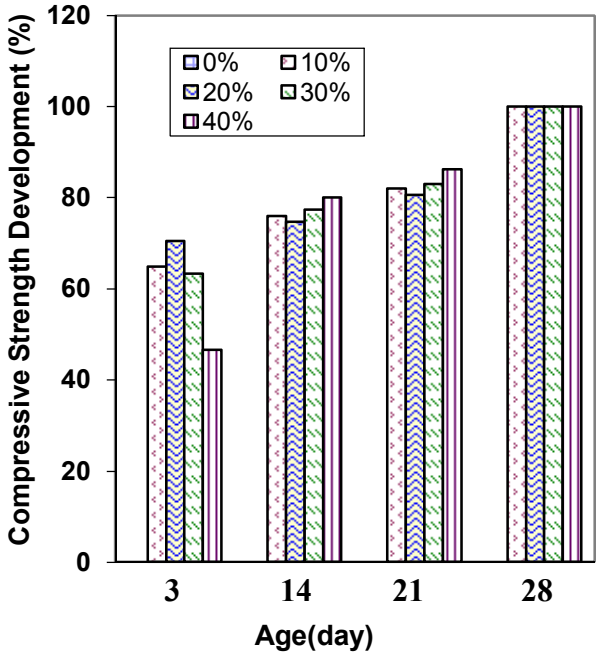
2. مقاومة الانضغاط

تم قياس مقاومة الانضغاط طبقا للمواصفة البريطانية (B.S.1881: Part 116) [3] الشكل (5) يوضح نتائج الفحص لمعدل ثلاثة مكعبات خرسانية وبأعمار مختلفة (28،21،14،3) يوم باستخدام مسحوق البورسلين بنسبة (40،30،20،10،0)% المستبدل من وزن الرمل. من الواضح أن مقاومة الانضغاط أعطت سلوكا ايجابيا لنسبة استبدال (20%) بينما انخفضت قيمة المقاومة عند نسبة استبدال (40%) مقارنة مع الخلطة المرجعية.

الشكل (6) يبين نمو مقاومة الانضغاط لجميع الخلطات الخرسانية وبأعمار مختلفة ويلاحظ أن هناك تأثير واضح لاستخدام مسحوق البورسلين بدلا من الرمل على نمو المقاومة.

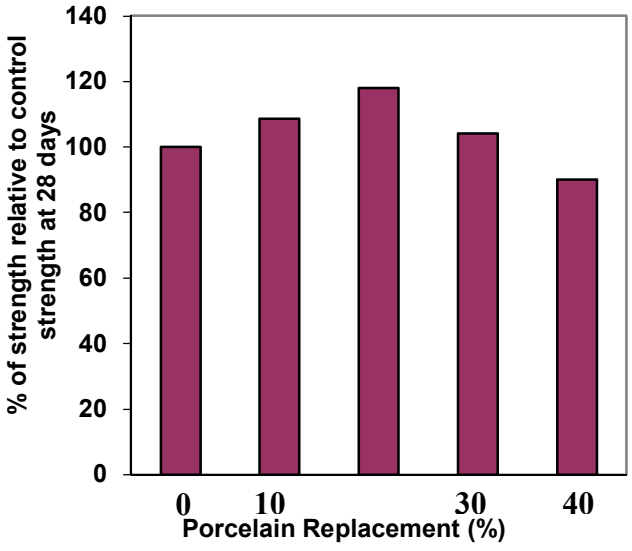


شكل (5): مقاومة الانضغاط للخلطات الخرسانية وبأعمار مختلفة

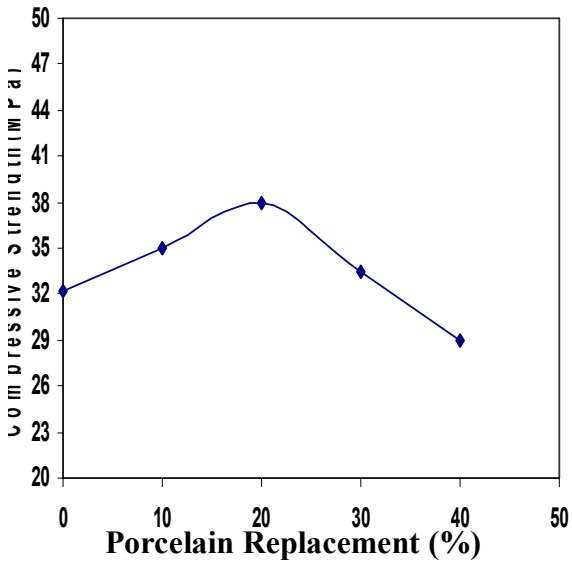


شكل (6): نمو مقاومة الانضغاط لجميع الخلطات الخرسانية وبأعمار مختلفة

والشكل (7) يوضح معدل مقاومة انضغاط لثلاث نماذج خرسانية مكعبة عند عمر 28 يوم. وبنسب استبدال مختلفة من مسحوق البورسلين.
الشكل (8) يوضح العلاقة بين مقاومة الانضغاط للخلطات الخرسانية إلى مقاومة الانضغاط للخلطة المرجعية وتأثير نسبة الاستبدال المختلفة لمسحوق البورسلين.



شكل (8): نمو مقاومة الانضغاط لجميع الخلطات الخرسانية وبعمر 28 يوم



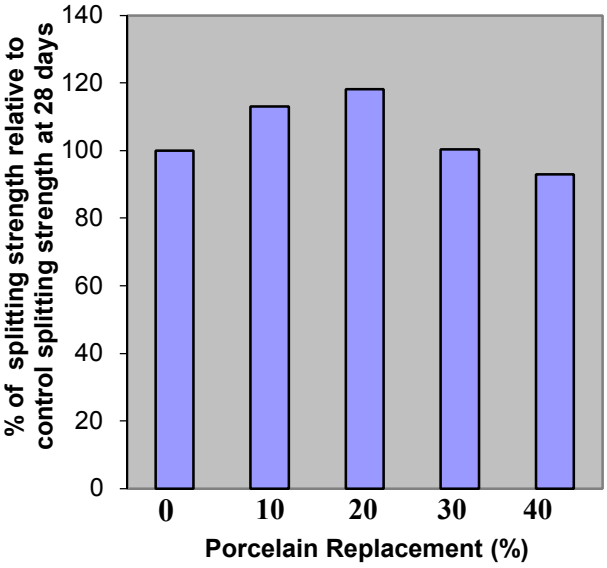
شكل (7): معدل مقاومة انضغاط لثلاث نماذج خرسانية مكعبة ذات نسب استبدال مختلفة من مسحوق البورسلين وبعمر 28 يوم

الشكل (8) يبين أن نسبة استبدال 20% من مسحوق البورسلين تعطي أفضل مؤشر ايجابي لمقاومة الانضغاط، إذ ازدادت المقاومة بنسبة 18% عند نسبة استبدال 20% مقارنة مع الخلطة المرجعية. هذا يدل على فعالية مسحوق البورسلين عند إضافته في الخلطة إذ يعتبر من المواد الغير خاملة(راجع جدول (2)) التي ربما أثرت بصورة ايجابية على تفاعل السمنت داخل الخلطة بالشكل الذي أدى إلى زيادة مقاومة الخرسانة. ثم تبدأ قيمة المقاومة بالانخفاض بحدود 9.9% عند نسبة استبدال 40% بسبب الزيادة التي حصلت في مقدار النعومة داخل الخلطة نتيجة للزيادة في نسبة المسحوق المستبدل عن الرمل فلا تستطيع عجينة السمنت أن تحيط بجميع جزيئات الركام الناعمة والخشنة، حدوث هذه الظاهرة تضعف من قوة الربط بين السمنت والركام مما أدى إلى انخفاض المقاومة بزيادة نسبة المسحوق [14].

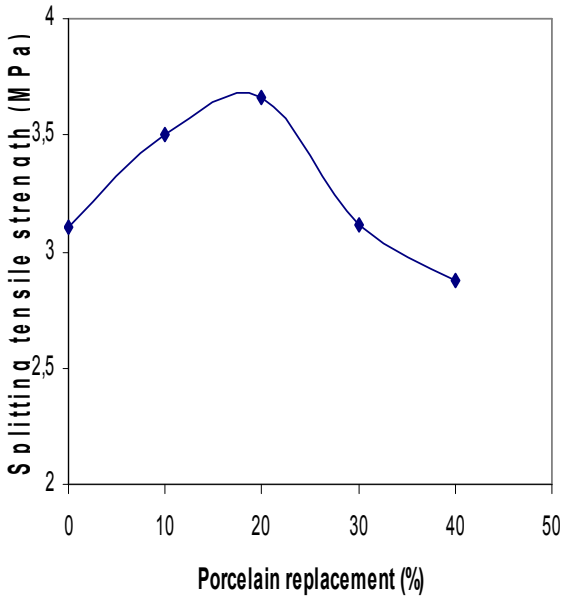
3. الشد الانشطاري:

تعد مقاومة الشد الانشطاري بصورة عامة من الخواص المهمة في الخرسانة ، حيث اجري فحص الشد الانشطاري لثلاث عينات من كل خلطة خرسانية عند نسب استبدال مختلفة وبعمر 28 يوم. الشكل (9) يوضح مقاومة الشد الانشطاري وتأثير نسبة استبدال مسحوق البورسلين عليها.

من خلال الشكل (9) يلاحظ أن قيمة الشد الانشطاري كانت (3.1 MPa) للخلطة المرجعية بعمر 28 يوم وقد ازدادت بنسبة (0.32%،12.9%،18) عند نسبة استبدال (10%،20%،30) على التوالي، وانخفضت بمقدار (7%) عند نسبة استبدال (40%). يوضح الشكل (10) العلاقة بين النسبة المئوية لمقاومة الشد الانشطاري للخلطات الخرسانية عند نسب استبدال مختلفة من البورسلين نسبة للخرسانة المرجعية.



شكل (10) نمو مقاومة الشد الانشطاري لجميع الخلطات الخرسانية بعمر 28 يوم



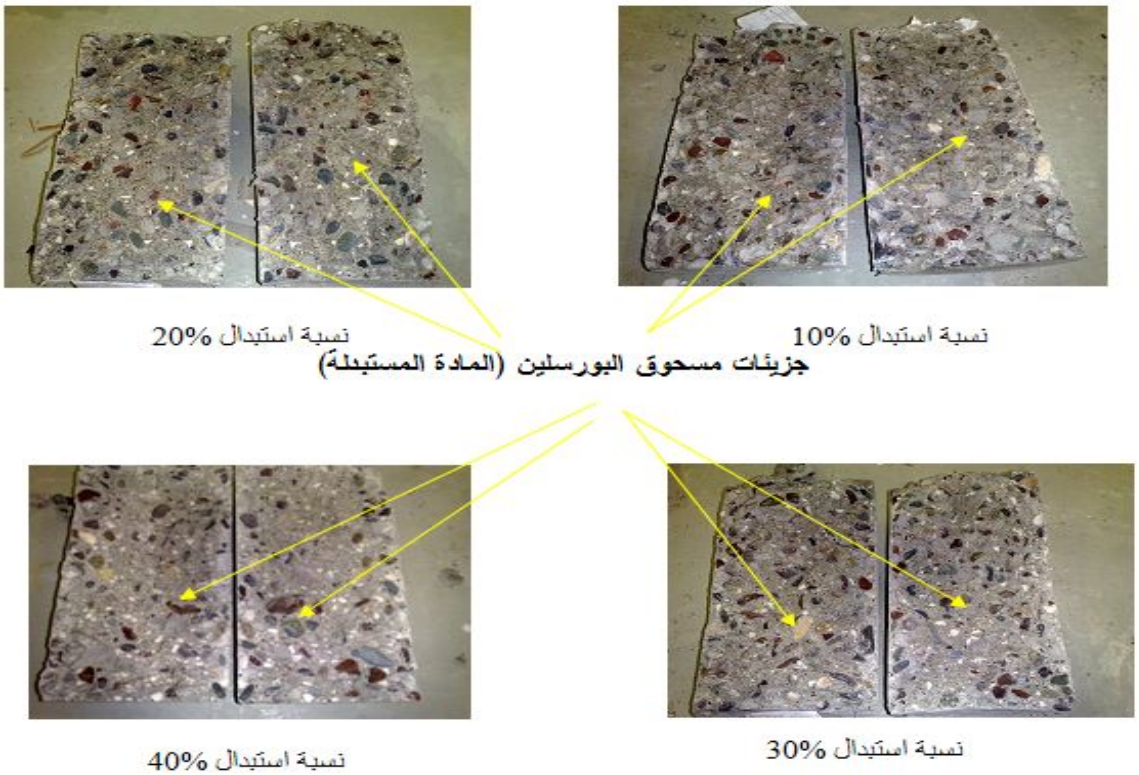
الشكل(9): مقاومة الشد الانشطاري للعينات الخرسانية بعمر 28 يوم

والشكل (11) يوضح عينات فحص الشد الانشطاري وكيفية توزيع وانتشار مسحوق المادة المستبدلة (البورسلين) في الخرسانة، يلاحظ من الشكل التوزيع المتجانس للمادة بين جزيئات الخرسانة وان نسبة التوزيع تزداد بزيادة نسبة الاستبدال .

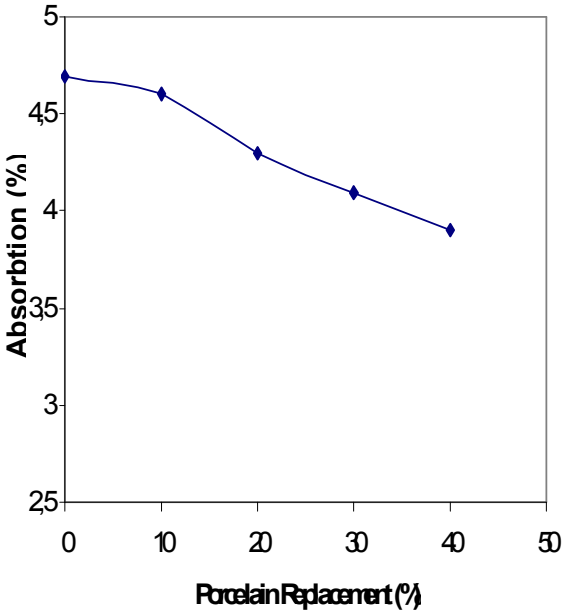
4.كثافة الخرسانة:

يوضح الشكل (12) مقدار نسبة انخفاض كثافة العينات عند إضافة مسحوق البورسلين بنسب استبدال مختلفة، حيث يزداد هذا الانخفاض بزيادة نسبة استبدال البورسلين عن الرمل في الخلطة الخرسانية إذ أصبحت نسبة انخفاض الكثافة (2.78%) عند نسبة استبدال (10%) وعند نسبة استبدال (40%) انخفضت الكثافة بمقدار (6.07%)، وقد يرجح السبب إلى انخفاض الكثافة الوزنية لمسحوق البورسلين مقارنة مع الرمل والى مسامية المادة، حيث تُعَرف الكثافة على أنها نسبة وزن العينة إلى حجمها الكلي الذي يمثل حجم الجزء الصلب وحجم المسامات بضمنها المسامات المتصلة والمسامات المنفصلة وتعتمد كثافة البورسلين على حجم الحبيبات وتوزيعها ودرجة الحرق وزمنه عند صناعة المادة وكمية

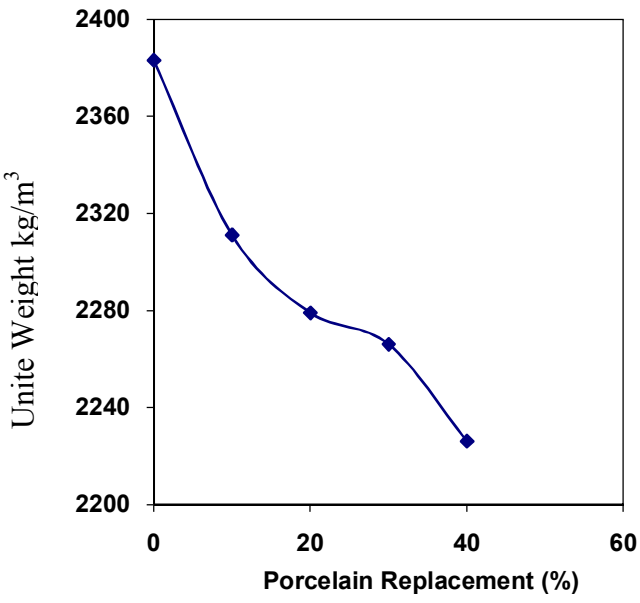
الغازات المتحررة عند الحرق والمسببة للمسامية والتزجج للمادة والتي لها تأثير على انخفاض كثافة البورسلين. النتائج في الشكل (12) هي معدل لكثافة ثلاث عينات خرسانية ولكل نسبة من الاستبدال حيث تزداد كثافة العينات الخرسانية بالانخفاض مع زيادة نسبة المادة المستبدلة التي حلت محل جزيئات الرمل في الخلطة [15].



الشكل (11) توزيع وانتشار جزيئات المادة المستبدلة ضمن الخرسانة



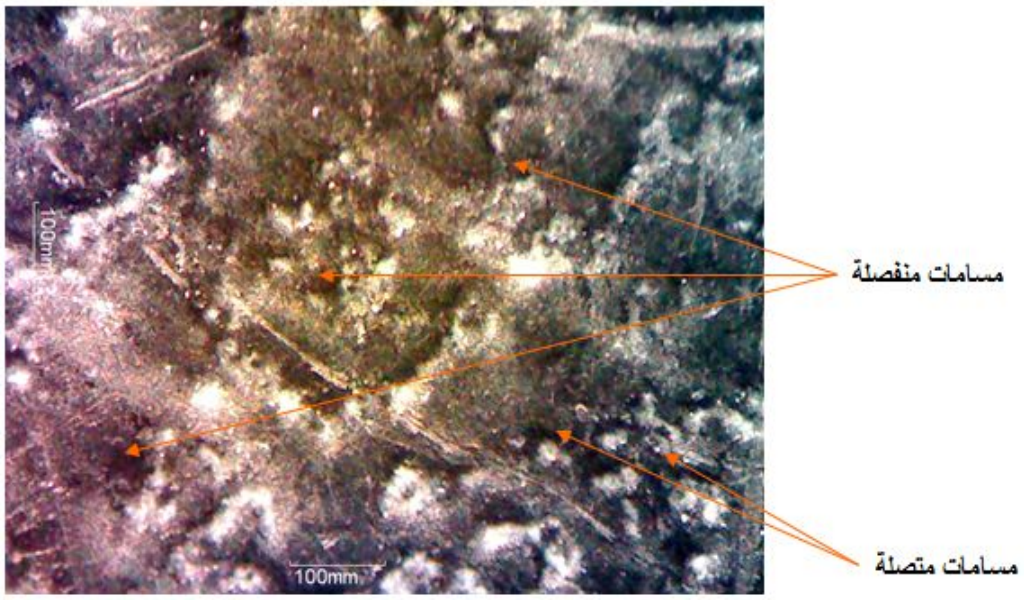
الشكل (13). امتصاص العينات الخرسانية بنسب استبدال مختلفة من مسحوق البورسلين



الشكل (12). كثافة العينات الخرسانية بنسب استبدال مختلفة من مسحوق

5. امتصاص العينات للماء:

تم تسخين النماذج مختبريا بالفرن بدرجة حرارة (100-110مْ) لمدة 24 ساعة ثم اخذ وزنها وغمرت بالماء مدة 24 ساعة وأخرجت بعد ذلك ومسح السطح الخارجي لها بقطعة قماش جافة وتم قياس الوزن من جديد لأجل تحديد الفرق في الوزن الناتج من امتصاص العينات للماء . الشكل (13) يوضح نتائج قياس الامتصاص لمعدل ثلاث عينات ولكل نسبة استبدال، من الملاحظ أن نسبة امتصاص العينات للماء تنخفض بزيادة نسبة الاستبدال إذ وصلت أعلى نسبة انخفاض لها بمقدار (17%) عند نسبة استبدال (40%) . يعود السبب لذلك إلى مايتميز به مسحوق المادة المستبدلة باحتوائها على نسبة من المسامات المغلقة (مسامات منفصلة) والتي تعني بان المسامات مغلقة ومعزولة عن بعضها البعض وغير متصلة بالسطح الخارجي وقلة احتواءها على المسامات الظاهرية (مسامات متصلة) والتي تكون الفراغات فيها متصلة مع بعضها البعض ومتصلة بالسطح الخارجي للجسم مما ساعد على تقليل من امتصاص الحبيبات للماء ، كما أن اللزوجة العالية لطبيعة المادة في طورها السائل وعند تعريضها لدرجات الحرارة العالية في مراحل التصنيع تسبب في حصر الغازات وفي الوقت نفسه شكل غلافا خارجيا زجاجيا عند التبريد فأعطى للمادة سطحا غير نفاذ للماء[16] . الشكل (14) يبين صورة مكبرة بالمجهر الضوئي (Motic Mlc- 150c) لجزيئات المادة المستبدلة المستخدمة في البحث.



الشكل (14): يبين صورة مكبرة لجزيئة المادة المستبدلة

الاستنتاجات:-

بالاعتماد على النتائج العملية يمكن استنتاج ما يلي:

1. استخدام مسحوق مخلفات البورسلين قلل من مقياس الهطول للخلطة الخرسانية إلى حد نسبة استبدال 20% إذ انخفض الهطول إلى 8.5 سم عما كان عليه ثم ازداد الهطول بزيادة نسبة الاستبدال مما ساعد على تحسين قابلية التشغيل، أي بصورة عامة يمكن اعتبار البورسلين مادة ذو تاثير نسبي على الهطول اذ يعمل على انخفاض الهطول عند نسبة استبدال (10%،20%) ويعمل على زيادته عند نسبة استبدال (30%،40%).
2. ارتفاع مقاومة الانضغاط للخرسانة عند استخدام مسحوق البورسلين إذ أعطت مقاومة الانضغاط سلوكا ايجابيا إلى حد نسبة استبدال 20% ثم انخفضت قيمة المقاومة بعد زيادة نسبة الاستبدال عن هذه القيمة مقارنة مع الخلطة المرجعية، أي ان هناك حد امثل لهذا البحث وهو نسبة 20% من الاستبدال.
3. إن إضافة مسحوق مخلفات البورسلين إلى الخلطة الخرسانية كان له تأثير واضح على مقاومة الشد الانشطاري إذ أعطت أعلى مقاومة للشد عند نسبة استبدال 20% ولكن بدأت نسبة المقاومة بالانخفاض عند زيادة نسبة الاستبدال عن هذا الحد.
4. انخفاض كثافة العينات الخرسانية عند إضافة مسحوق البورسلين ويزداد الانخفاض بزيادة نسبة إضافة البورسلين في الخلطة الخرسانية ويعود السبب إلى المسامية العالية التي تتمتع بها حبيبات مسحوق البورسلين.
5. لوحظ أن نسبة امتصاص العينات للماء تنخفض بزيادة نسبة الاستبدال إذ وصلت أعلى نسبة انخفاض لها بمقدار 17% عند نسبة استبدال 40% وذلك للطبيعة الغير نفاذة للماء التي تتميز بها سطح المادة المستبدلة.

المصادر

1. De' Gennaro, R., Cappelletti, P., Cerri,G., De' G ennaro,M., Dondi,M., and Langella, A., **"Zeolite truffs as raw materials for light weight aggregates**." Applied Clay Science, Vol.25, 2004, PP.71-81.

2.Biffi ,G.,G. ,**"Porcellanto- tecnologia, produzione, mercato",** Fenza, Italia :Gruppo Editoriale Fenza:, 1994.

3. Oliveira A., G., **"Porcellanto: Aspectos Mercadologicos "**, Tecnologicos Ceramica Industerial, Vol.3, No. 3 ,1998, PP.34-41.

4."Tile adhesive for marble, granite, ceramic and porcelain-cement based specification,", Kenya Standard, Public Review draft, Ministry of Roads and Public Works, University of Nairobi-Department of Civil Engineering, 2008, PP.1-13.

5. Almeida, A.,F., and Sichieri,E.,P**., "Study of the Adherence between polymer- modified mortars and porcelain stoneware tiles",**Materials Research, Vol.8,No.3, 2005, PP.245-249.

6. Hackler,C.,L., Weiss,C.,A., and Malone, P.,C.,**"Reactive porcelain enamel coating for reinforcing steel to enhance the bond to concrete and reduce corrosion",**International enamellers congress, Shanghai- China, May,2008, PP.18-22.

7. المواصفات القياسية (رقم 5)، (1984) **" خصائص السمنت البورتلاندي الاعتيادي"**، الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية، العراق 1984.

8. B.S. 882 -1992**, "Aggregate from Natural Source for Concrete",** British Standard Institution, 1992.

9. كشموله، سفيان يونس احمد، **"تقدير مقاومة الخرسانة بعمر 28 يوم باستخدام فحص المقاومة المعجل"**، جامعة الموصل، كلية الهندسة، 1999 ص .

10. B.S. 1881: part 116 :1983, **"Testing of Hardened Concrete"**, British Standard Institution, 1983.

11. ASTM C496-04, **"Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Speciemens"**, American Society for Testing and Materials, 2004.

12. ASTM C143-04 "Slump of Hydraulic-Cement Concrete", American Society for Testing and Materials, 2004.

13. Benachour, Y., Davy, C.A. , Skoczylas, F., and Houari, H**., "Effect of a high calcite filler addition upon microstructural, mechanical, shrinkage and transport properties of a mortar",** Cement and Concrete Research, Vol.38, 2008,PP. 727-736.

14. Celik,T., and Marar,K., **"Effects of crushed stone dust on some properties of concrete"**, Cement and Concrete Research, Vol.26, 1996, PP.1121-1130.

15. الاوجار، إيمان قاسم يحيى **"تحضير وتقييم ركام خفيف الوزن من مواد خام محلية ودراسة تاثير بعض المضافات"** ، جامعة الموصل، كلية العلوم، علوم الارض، 2008 ص110.

16. Rattachan, S., and Lorprayoon, C**.," Korat clays as raw materials for light weight aggregates",** Science Asia, Vol.31, 2005, PP. 277-281.

تم اجراء البحث في كلية ألهندسة = جامعة ألموصل