The Use Of Natural Pozzolana As An Alternative To Portland Cement With Recycled Pebbles For The Manufacture Of Concrete With Environmental Properties

Dr. Jamal Omran*
Dr. Ali Kheirbek**
Moustafa Wassouf***

(Received 1 / 8 / 2024. Accepted 3 / 9 / 2024)

□ ABSTRACT □

The construction industry is considered one of the main causes of environmental degradation due to the use of traditional building materials such as cement. As a result, there appears to be an urgent need to develop sustainable alternatives for producing green concrete using natural, unmanufactured materials. While recognizing the importance of cement in human urbanization, its large use clearly contributes to global warming that threatens the environment globally due to carbon dioxide emissions when fossil fuels are used to melt the products that are used in its manufacture, which are a mixture of clay, water and lime, to produce the main binding material in cement is clinker.

This research aims to study the replacement of Portland cement with natural pozzolana according to replacement ratios ranging between 10% and 50%, and to study the effect of this replacement on the physical properties, the most important of which is thermal conductivity, and the mechanical properties represented by resistance to simple pressure, with the use of recycled gravel as an alternative to natural gravel Which in turn helps achieve sustainable development by preserving natural resources.

The results showed that by increasing the percentage of replacement of cement with pozzolana, the thermal resistance of concrete increases, since replacing cement with an equal mass of pozzolana leads to a decrease in thermal conductivity by 5%. Also, recycled aggregates show greater thermal resistance compared to natural aggregates, since when replacing 50% of cement with ground pozzolana. We observe an increase in resistance by more than 24%, and a slight decrease in the compression resistance of the resulting concrete is acceptable if the replacement with pozzolana is less than 50%.

Keywords: Sustainable materials, Pozulana ground, Recycled pebbles, Thermal conductivity, Resistance to simple pressure.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

***Professor, Department of Construction Management, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria, j-omran@tishreen.edu. Sy.**
****Professor, Department of Construction Management, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria, alikheirbek@tishreen.edu.sy.**
*****PhD Student, Department of Construction Management, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria, moustafa.wassouf@tishreen.edu.sy**

استخدام البوزولانا الطبيعية كبديل للإسمنت البورتلاندي مع حصويات معاد تدويرها لصناعة بيتون بخصائص بيئية

د. جمال عمران*

د. علي خيربك**

مصطفى وسوف***

(تاريخ الإيداع 1 / 8 / 2024. قُبِل للنشر في 3/ 9 / 2024)

□ ملخّص □

تعتبر صناعة البناء والتشييد إحدى المسببات الرئيسية للتدهور البيئي بفعل استخدام مواد البناء التقليدية كالإسمنت، ونتيجة لذلك تبدو الحاجة ملحة لتطوير بدائل مستدامة لإنتاج بيتون اخضر باستخدام مواد طبيعية غير مصنعة. ومع الاعتراف بأهمية الإسمنت في العمران البشري، إلا أن استخدامه الكبير يساهم بشكل واضح في الاحتباس الحراري الذي يهدد البيئة عالمياً و ذلك بسبب انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون عند استخدام الوقود الأحفوري لصهر المنتجات التي تدخل في تصنيعه، وهي مزيج من الغضار والماء و الكلس، لإنتاج المادة الرابطة الأساسية في الإسمنت و هي الكلنكر.

يهدف هذا البحث الى دراسة استبدال الإسمنت البورتلاندي بالبوزولانا الطبيعية وذلك وفق نسب استبدال تتراوح بين 10% و 50%، ودراسة تأثير هذا الاستبدال على الخواص الفيزيائية و أهمها الناقلية الحرارية، و الخصائص الميكانيكية متمثلة بالمقاومة على الضغط البسيط، مع استخدام حصويات معاد تدويرها كبديل عن الحصويات الطبيعية الذي بدوره يساعد على تحقيق التنمية المستدامة من خلال الحفاظ على الموارد الطبيعية.

أظهرت النتائج أنه بزيادة النسبة المئوية لاستبدال الاسمنت بالبوزولانا، تزداد المقاومة الحرارية للبيتون حيث يؤدي استبدال الأسمنت بكتلة متساوية من البوزولانا إلى انخفاض الموصلية الحرارية بنسبة 5% وكما تظهر الحصويات المعاد تدويرها مقاومة حرارية اكبر مقارنة مع الحصويات الطبيعية حيث مع استبدال 50% من الاسمنت بالبوزولانا المطحونة نلاحظ ازدياد المقاومة الحرارية بنسبة تزيد عن 24%، كما لوحظ انخفاض المقاومة على الضغط البسيط للبيتون الناتج بشكل مقبول إذا ما كان الاستبدال بالبوزولانا أقل من 50%.

الكلمات المفتاحية: مواد مستدامة. بوزولانا الطبيعية. حصويات معاد تدويرها. موصلية حرارية. مقاومة على الضغط البسيط

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* أستاذ- قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
E-mail: j-omran@tishreen.edu.sy

** أستاذ- قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
E-mail: alikheirbek@tishreen.edu.sy.

*** طالب دراسات عليا (دكتوراه) – قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
E-mail: moustafa.wassouf@tishreen.edu.sy.

مقدمة:

يتم إنتاج الأسمنت البورتلاندي عن طريق طحن الكلنكر مع الجبس، ويتم إنتاج الكلنكر عن طريق عمليات تكليس واحتراق مجموعة من المواد الخام كالحجر الجيري، وأكسيد الحديد، والطَّفلة، والرمل؛ لذا تُعَدُّ عمليةُ إنتاج الكلنكر أكثر استهلاكًا للوقود، وأكثر إصدارًا للانبعاثات الكربونية، وأشد تأثيرًا في البيئة، فكلما تمكنتْ صناعةُ الأسمنتِ من استخدام كميات أقل من الكلنكر والاستعاضة عنها بمواد خام صديقة للبيئة – كانتْ أكثر صداقةً للبيئة.

المواد البوزولانية هي فئةٌ واسعةُ النطاقِين المواد السيليسية والألومينية (مواد تحتوي على أكسيد السيليكا و أكسيد الألومنيوم)، وهي في حد ذاتها مواد غير أسمنتية، لكن عند تفاعلها مع هيدروكسيد الكالسيوم –مع وجود الماء– يمكنها إنتاج مُرَكَّبات ذات خصائص أسمنتية. أما البوزولانا فهي أحد أنواع الطف البركاني التي توجد بشكل طبيعي. وبعضها صناعي مثل الرماد المتطاير الناتج من حرق الفحم في محطات توليد الكهرباء.(Osei and Jackson 2012)

يعالج هذا البحث دراسة استبدال الاسمنت البورتلاندي بالبوزولانا المطحونة وذلك وفق نسب استبدال مختلفة تتراوح بين 10%،30%، 50% حيث تتلخص أهميته بدراسة الخواص الفيزيائية (الناقلية الحرارية) والميكانيكية (المقاومة على الضغط البسيط) للبيتون المنتج بهدف تقليل البصمة البيئية (انبعاث غاز CO_2) وتقليل الكلفة الاقتصادية.

1-1 مواد البناء المستدامة:

مواد البناء المستدامة هي التي يتم استخدامها في مشاريع البناء وتؤدي إلى خفض الأثر البيئي للمشروع، وتساعد في تحسين جودة الحياة للناس الذين يعيشون في المنشأة أو المبنى، بالإضافة إلى المساهمة في تعزيز استخدام الطاقة والموارد الطبيعية وخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.(Wang 2022)

وقد نالت هذه المواد اهتمامًا كبيرًا في السنوات الأخيرة لأنها غالبا ما يتم استخراجها من موارد بيئية متجددة وتساعد مواد البناء المستدامة للمطورين وشركات المقاولات بتنفيذ مشاريع بجودة عالية تحقق أهداف التنمية المستدامة، والمحافظة على البيئة من خلال خفض البصمة الكربونية للمنشآت، بالإضافة إلى توفير تكاليف التشغيل والصيانة على المدى الطويل.

من المعروف أن المواد تلعب دورًا حاسمًا طوال فترة حياتها في أي منتج. ومع ذلك، فإن إنتاجها يطرح العديد من التحديات، حيث ان عمليات التصنيع التقليدية مسؤولة عن زيادة انبعاثات الكربون، مما يؤدي إلى زيادة القلق بشأن ظاهرة الاحتباس الحراري.(Aabid and Baig 2023) وقد أثبتت العديد من الدراسات أن مواد البناء التقليدية المستخدمة في عناصر البناء مثل الأسقف والجدران هي السبب الرئيسي في زيادة الأحمال الحرارية (التدفئة وتكييف الهواء) بسبب انخفاض مقاومتها الحرارية للعوامل الجوية (Omran and Wassouf 2024). ويبين الجدول (1) مقارنة بين مواد البناء التقليدية والمستدامة.

الجدول (1): مقارنة بين المواد المستدامة ومواد البناء التقليدية (Wang 2022)

مواد البناء التقليدية	مواد البناء الخضراء	
الطين والجبس والجرانيت	مخلفات، رماد متطاير، نفايات صناعية، نفايات زراعية	التركيب
الأسمنت، البلوك الاسمنتي	سبائك الألومنيوم، الخرسانة الخضراء، ألياف الكربون، الزجاج المفرغ الأخضر	المواد
درجة اشتعال منخفضة، سهلة التشكيل	عزل حراري، مقاومة للرطوبة، مقاومة للحريق	الاداء

عرضة لتوليد كميات كبيرة من الملوثات	استهلاك الطاقة منخفضة، إنتاج نظيف	الانتاج

2-1 البوزولانا الطبيعية:

البوزولان عبارة عن فئة واسعة من المواد السيليسية والألومينية التي تمتلك في حد ذاتها قيمة أسمنتية قليلة أو معدومة ولكن عندما تكون بشكل ناعم وبوجود الماء، تتفاعل كيميائيًا مع هيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH)_2$) في الشروط العادي وبدرجة حرارة الغرفة لتكوين مركبات ذات خواص أسمنتية.

وهي على نوعين:

1. بوزولانا طبيعية متجددة ناتجة من رماد البراكين
2. بوزولانا صناعية ناتجة من

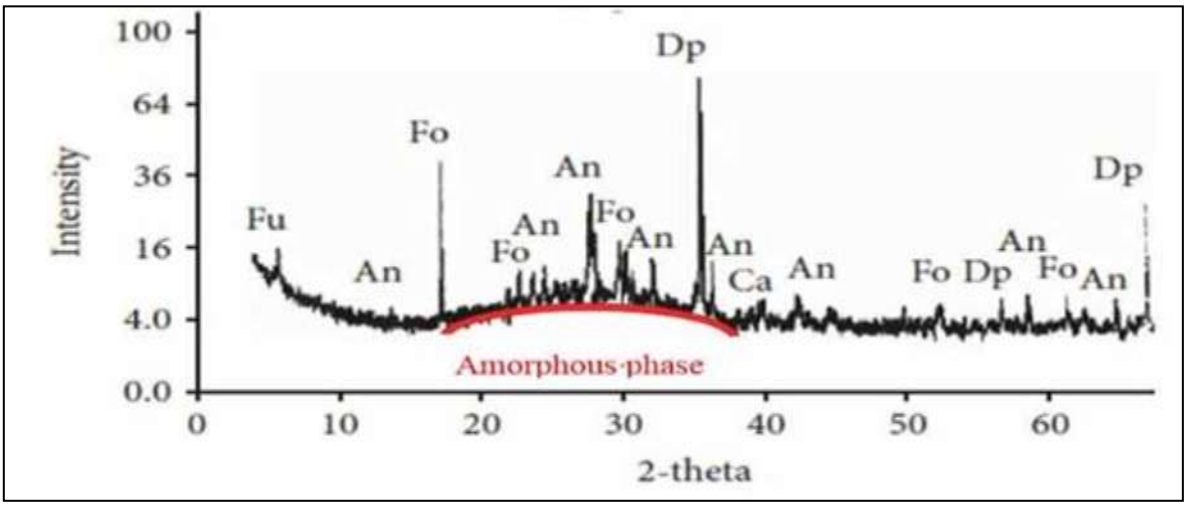
a. تدوير مخلفات المصانع مثل (FLY ASH) رماد الفحم: الناتج عن مخلفات حرق الفحم لمحطات إنتاج الكهرباء

b. خبث الحديد الناتج عن مخلفات مصانع الحديد: (SLAG BLAST FURNACE GROUND)

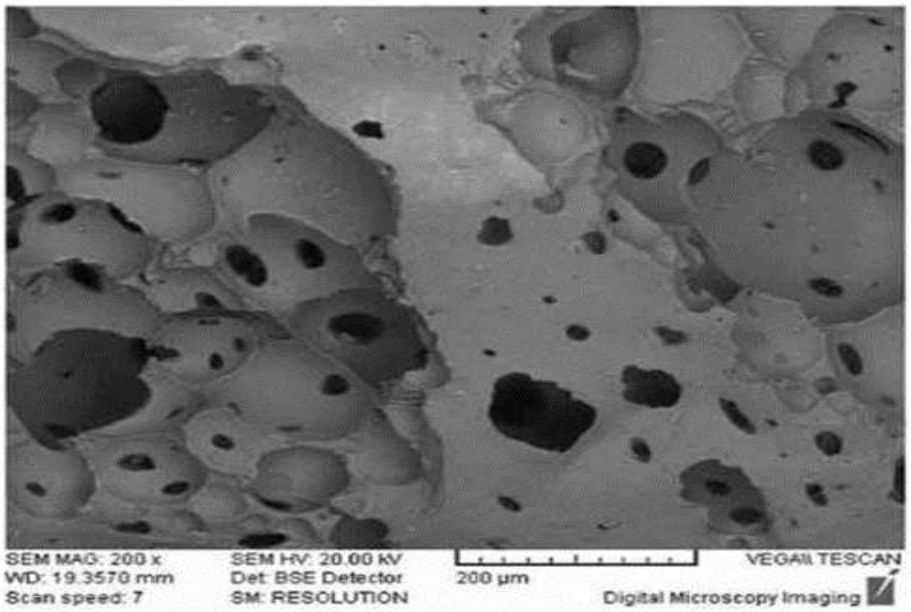
يمكن تقسيم pozzolans الطبيعية إلى فئتين(Yuan et al. 2021) مواد من اصل بركاني ومواد من اصل رسوبي حيث لا يوجد في سوريا أي مواد أسمنتية تكميلية ذات أصل صناعي، ومع ذلك فهي غنية بالمصادر الطبيعية، اذ توجد العديد من مناجم البوزولانا الطبيعية (NP) في البلاد بكمية تقدر بحوالي مليار طن ويبلغ الإنتاج السنوي للإسمنت في سوريا حوالي 6 ملايين طن وذلك وفق لإحصائيات المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية ومن المتوقع بشدة أن يرتفع هذا العدد بشكل حاد في المستقبل بسبب مرحلة إعادة البناء الحتمية، وبما أن سوريا مصنفة ضمن الدول ذات الدخل المنخفض، فإن هناك محاولات عديدة لإيجاد المزيد من المقاربات الاقتصادية. أحد هذه الأساليب هو استخدام الاضافات الطبيعية لتقليل تكلفة إنتاج الأسمنت حيث تضيف المصانع السورية حاليًا نسبة كبيرة من NP (~ 25%) إلى CEM I من أجل إنتاج أسمنت مخلوط من نوع CEM II.

الشكل (1) صورة لحبوب البوزولانا الطبيعية كما وردت من موقع "تل شيحان"(Al-swaidani 2021)

تتواجد البوزولانا الطبيعية في سوريا في موقع "تل شيحان" الواقع على بعد حوالي 70 كم جنوب شرق دمشق و 15 كم شمال غرب محافظة السويداء والتي تغطيها حرة الشام على نطاق واسع، وهي حقل بركاني تبلغ مساحته حوالي 45000 كيلومتر مربع تغطي أجزاء من الأردن والمملكة العربية السعودية (al-Swaidani 2019) وبالتالي، فإن البوزوالانا الطبيعية الموجود في موقع تل شيحان هي من أصل بركاني، الأكاسيد الرئيسية التي تشكل NP هي كما يلي: (SiO2: 44.9%، Al2O3: 16.5%، Fe2O3: 8.9%، CaO: 9.6%، MgO:8.4%) وأكاسيد القلويات: 4.4%. تم إجراء التحليل المعدني للبوزولانا الطبيعية بواسطة تقنية XRD (Al-swaidani 2021) ويظهر الشكل(2) نتائج التحليل للبوزولانا الطبيعية:



الشكل (2): تحليل XRD لـ NP يُظهر المعادن(Al-swaidani 2021)



الشكل(3) مسح صورة مجهرية إلكترونية (SEM) لحبوب NP توضح تركيبها الحويصلي(Al-swaidani 2021)

يؤدي استخدام البوزولانا الطبيعي إلى تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بإنتاج الأسمنت البورتلاندي، حيث أن استبدال الأسمنت البورتلاندي بنسبة 50% بالبوزولانا الطبيعي يعني خفض انبعاثات الغازات الدفيئة في إنتاج الأسمنت بمقدار النصف.(Ekolu, Hooton, and Thomas 2006)

3-1 مخلفات الانقاض:

تعرف المخلفات الإنشائية بأنها مخلفات صلبة غير خطرة تتولد من نشاطات الهدم، والإنشاء، والتطوير، والترميم، وهدم المنشآت والأبنية ومن المواد الناتجة: (بيتون، بلوك، خشب، زجاج، حديد، ألمنيوم، مواد أخرى) يقوم مبدأ إعادة التدوير على التقليل من استخدام الموارد الجديدة في إنشاء المباني بحيث يتم تصميم المباني بطريقة تكون في نهاية العمر الافتراضي مصدرا وموردا لمباني أخرى.

تولد أنشطة البناء والهدم والتجديد كمية كبيرة من النفايات التي تضر بالبيئة ويمكن أن يكون لها تأثير كبير على ظاهرة الاحتباس الحراري إذا لم تتم إدارتها بشكل صحيح (Alsheyab 2022) تشير التقديرات إلى أن حوالي 35% من مخلفات البناء والهدم تنتهي في مدافن النفايات دون أي نوع من المعالجة (Menegaki and Damigos 2018) ولذلك، هناك حاجة إلى حلول وتكنولوجيا وأساليب جديدة لإدارة أضرار التصادم .اقترحت المفوضية الأوروبية أنه بحلول عام 2020، يجب إعادة تدوير ما لا يقل عن 70٪ من نفايات البناء والهدم .ومع ذلك، كانت هناك بعض الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي تجاوزت فيها معدلات إعادة التدوير بالفعل 70٪ (Dahlbo et al. 2015) وقد تم تحقيق ذلك من خلال ممارسات إدارة النفايات الجيدة التي تطبق بشكل أساسي مبادئ إعادة التدوير في قطاع البناء.

1-3-1 المواد التي يمكن إعادة استخدامها:

الفائدة الرئيسية من استخدام مواد الانقاض هي الحفاظ على الموارد والطاقة الذي يمكن تجنبه عن طريق تقليل إنتاج مواد جديدة (U.S. Environmental Protection Agency) حيث يمكن إعادة تدوير واستخدام نسبة كبيرة منها ولكن ليس بالأمر البسيط حيث يمكن إجراء بعض المعالجات عليها (تحطيم، جرش، طحن، تنعيم، تصفية) كي تكون بعد ذلك صالحة لإعادة الاستخدام في أعمال البناء كالطرق مثلا (طبقات التأسيس، الردم، طبقات التسوية،...). حيث يشكل استخدام انقاض الأبنية و المنشآت من عناصر بيتونية انشائية وبلوك اسمنتي كمواد بديلة لإنتاج حصويات مدورة ناعمة تدخل في تحضير خلطات بيتونية، حيث تعتبر عنصرا مهما لتحقيق التنمية المستدامة من خلال الحفاظ على الموارد الطبيعية حيث يمكن استخدام البلوك الاسمنتي المطحون كمواد ناعمة لإنتاج خلطات بيتونية ذات استخدام اقل أهمية من العناصر الانشائية وذلك بحسب المقاومة المطلوبة على الضغط وبنسبة لا تتجاوز 65%.(Zhang 2013)

الشكل (4) بعض عينات مخلفات البناء والهدم(Colorado, Muñoz, and Neves Monteiro 2022)

أهمية البحث وأهدافه:

1. اهداف البحث:

يهدف البحث الى دراسة استبدال الاسمنت البورتلاندي بالبوزولانا المطحونة وذلك وفق نسب استبدال مختلفة تتراوح بين (10%،30%، 50%) ودراسة تأثيرها على الخواص الفيزيائية والميكانيكية للبيتون بالإضافة الى دراسة تأثير الحصويات المعاد تدويرها على الاستبدال الحاصل بالأسمنت البورتلاندي أي دراسة طبيعتها مع البوزولانا المطحونة. ويمكن تلخيص اهداف البحث بما يلي:

1. دراسة خصائص البيتون الأخضر الناتج من خلال الناقلية الحرارية والمقاومة على الضغط البسيط ومقارنة هذه النتائج مع البيتون التقليدي.
2. دراسة طبيعة العلاقة بين الحصويات المعاد تدويرها و البوزولانا الطبيعية والمستخدمة كبديل عن الاسمنت البورتلاندي.

3. أهمية البحث:

يعد استخدام المواد المستدامة أمرًا بالغ الأهمية لتقليل التأثير البيئي للبناء وتعزيز مستقبل أكثر استدامة. ومع ذلك غالبًا ما يكون توفر هذه المواد وتكلفتها تحديًا. لذلك يتم التركيز على المواد من مصادر محلية، مثل البوزولانا وحصويات الأنقاض والتي يمكن استخدامها في عناصر المبنى والتي تسهم في الحد من التأثيرات السلبية على البيئة وتعمل على خفض تكاليف البناء من دون التغيير في خصائص عناصر المبنى.

طرائق البحث ومواده:

اعتمد البحث المنهجية التجريبية فيما يتعمق بدارسة البوزولانا الطبيعية و الأنقاض و عينات البيتون المصنعة من الحصويات المعاد تدويرها، و المنهجية التحليلية و الرياضي لدارسة تغير المؤشرات الميكانيكية والفيزيائية مع نسب استبدال الاسمنت البورتلاندي بالبوزولانا المطحونة و الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها.

تم لهذا الغرض إخضاع العينات البيتونية من جميع الخلطات لاختبارات الفيزيائية والميكانيكية وذلك لعينات مكعبية بأبعاد (10*10*10 cm) حيث تم اجراء اختبار الناقلية الحرارية بطريقة التعريض المباشر للحرارة على العينات

البيتونية حيث تم تصميم حجرة حرارية معزولة من القرميد الحراري بأبعاد (10*10 cm) وارتفاع 20 cm مزودة من الأسفل بمنبع حراري ومن الجهة العلوية مفرغة للعينة المختبرة، يتيح شكل الحجرة والمنبع الحراري تسخين العينة من جهة واحدة فقط وذلك لقياس الانتقال الحراري من هذا الوجه الى الوجه الاخر بعد فترة من الزمن. ومن ثم تم اجراء اختبار المقاومة على الضغط البسيط للعينات المكعبية بعمر 28 يوم.

الإحضارات:

تم إحضار كمية كافية من أنقاض الهدم من إحدى المباني التي تعرضت لزلزال السادس من شباط في مدينة اللاذقية، و ذلك لمعالجتها مخبرياً قبل توصيفها و استخدامها في عملية تصنيع العينات المخبرية.

يبين الجدول رقم (2) نتائج قياس الاوزان الحجمية الظاهرية والصلبة ونسبة التشرب للحصويات الطبيعية والحصويات المعاد تدويرها والمستخدمة في صناعة نماذج مكعبات البيتون:

الجدول (2) نتائج الكتلة الحجمي الظاهري والصلب لمختلف الحصويات

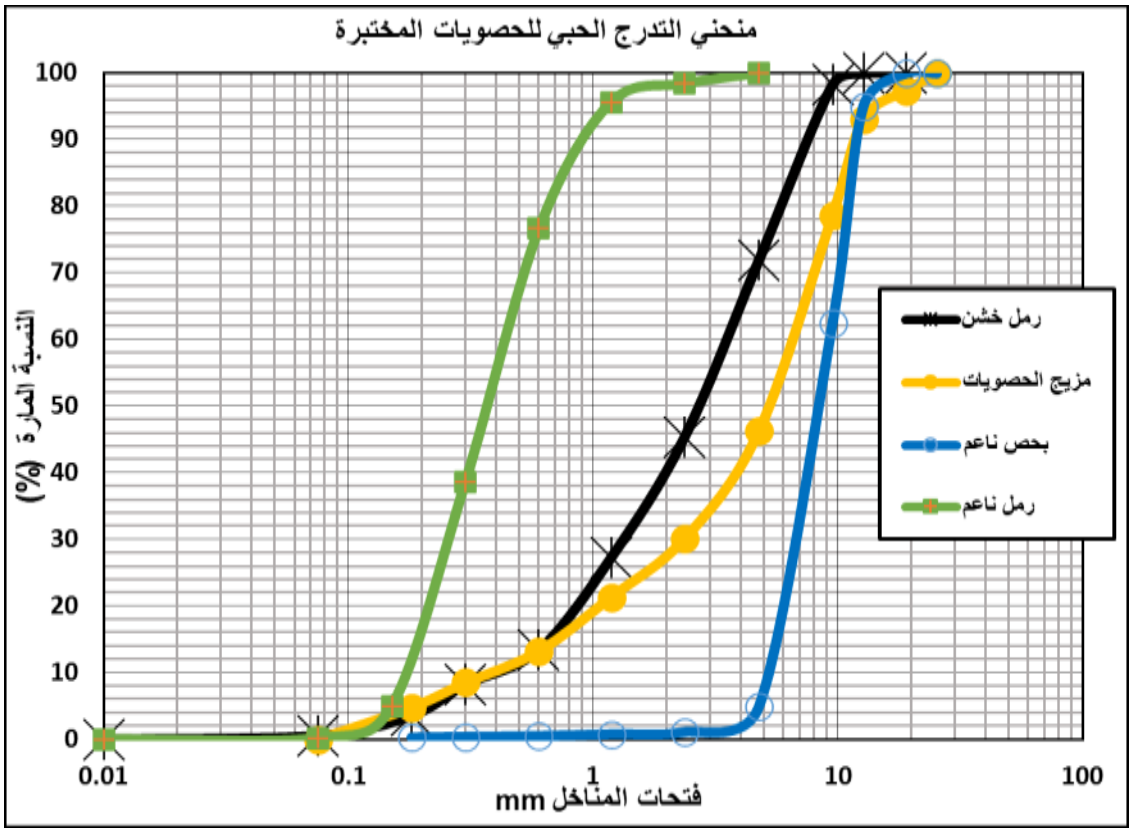
العينة	الكتلة الحجمي الظاهري kg/l	الكتلة الحجمي الصلب kg/l	التشرب %
الحصويات المعاد تدويرها	1.274	2.280	9
البحص الطبيعي	1.439	2.74	3.3
الرمل الناعم	1.338	2.55	-
الرمل الخشن	1.570	2.68	-

أما قيم المكافئ الرملي لنوعي الرمل المستخدمين فكانت 85 % للرمل السيليسي الناعم ومصدره من النبك و 68 % للرمل الكلسي الخشن. استخدم في صب البيتون إسمنت بورتلاندي عادي من النوع 1 و الصنف 32.5 من معمل طرطوس.

تصميم الخلطات البيتونية:

لتحضير النماذج المخبرية من الخرسانة الخضراء كان لا بد من تصميم الخلطة اعتماداً على نتائج التدرج الحبي للحصويات الطبيعية والمعاد تدويرها، تم اعتماد الطريقة الفرنسية بالتصميم (Dreux-Goriss). نبين فيما يلي مراحل تصميم هذه الخلطات و النسب النهائية التي تم الحصول عليها لمختلف الخلطات.

تم اعتماد 8 خلطات بيتونية مقسمة على مجموعتين بنسب استبدال مختلفة لكل من الحصويات (الطبيعية والمعاد تدويرها) بالإضافة الى استبدال الاسمنت بالبوزولانا المطحونة بالنسب الوزنية التالية (10%،30%،50%) مع الإشارة إلى أن المقصود بالحصويات المعاد تدويرها هو ذلك المزيج المكون من الأنقاض المحضرة بالنسب الوزنية التالية: (60%بيتون ،10%بلاط، 20%بلوك،10%سيراميك) ويعود السبب في اختيار هذه النسب الى التقارب الكبير بين منحني المزيج المحضر مع منحني البحص المستخدم مما سيخفف من تأثير بارامتر التدرج الحبي على مواصفات البيتون الناتج. ويبين الشكل (6) منحنيات التدرج الحبي للحصويات المستخدمة في الخلطات البيتونية



الشكل (5) منحني التدرج الحبي الخاص بالحصويات المختبرة

تم تثبيت نسبة الماء إلى الاسمنت في كل مجموعة من الخلطات لمنع تداخل البارامترات المؤثرة على خواص البيتون الناتج واعتمدت النسبة W/C=0.6 وكذلك G = 0.35 معامل الحصويات، حجم الهواء $10\ L/m^3$

نبين فيما يلي تركيب بعض هذه الخلطات:

- الخلطة (**NC**) و تتكون من (100% اسمنت بورتلاندي و حصويات طبيعية)
- الخلطة (**$GCP_{50\%}$**) و تتكون من (50% اسمنت بورتلاندي و50% بوزولانا و حصويات طبيعية)
- الخلطة (**NCR**) و تتكون من (100% اسمنت بورتلاندي و100% حصويات معاد تدويرها)
- الخلطة (**$GCR_{P50\%}$**) و تتكون من (50% اسمنت بورتلاندي و50% بوزولانا و100% حصويات معاد تدويرها).

<u>وتبين الجداول (3 و4) نتائج تصميم الخلطات البيتونية:</u>

الجدول (3) نتائج تصميم الخلطات الخاصة بالمجموعة الاولى من أجل 1م^3

مكونات الخلطات (kg/m^3)	خلـــــــطات المجموعة الاولى			
	NC	$GCP_{10\%}$	$GCP_{30\%}$	$GCP_{50\%}$
البحص المتوسط الطبيعي	994	994	994	994
الرمل الناعم	375	375	375	375
الرمل الخشن العدسي	375	375	375	375

بوزولانا	0	35	105	175
إسمنت	350	315	245	175
ماء	210	210	210	210

الجدول (4) نتائج تصميم الخلطات الخاصة بالمجموعة الثانية من أجل 1م^3

مكونات الخلطات (kg/m^3)	خلـــــــطات المجموعة الثانية			
	NCR	$GCR_{P10\%}$	$GCR_{P30\%}$	$GCR_{P50\%}$
الرمل الناعم	375	375	375	375
الرمل الخشن العدسي	375	375	375	375
بوزولانا	0	35	105	175
إسمنت	350	315	245	175
ماء	210	210	210	210
الحصويات المعاد تدويرها	994	994	994	994

النتائج والمناقشة:

نستعرض فيما يلي النتائج التي تم التوصل إليها بعد اجراء الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية وذلك لعينات مكعبية بأبعاد (10*10*10 cm) وذلك بنسب الاستبدال المختفة.

الخصائص الفيزيائية للبيتون الطري:

شملت هذه الخصائص كل من الوزن الحجمي الظاهري والهبوط باستخدام مخروط خاص للقياس يدعى مخروط أبرامز وذلك لتحديد قابلية الخرسانة للتشغيل (Workability) ولتحديد قوامها ونسبة الماء اللازم إضافته إلى الأسمنت. ويختلف القوام المناسب (الهبوط) طبقا لبيتون المنشآت المختلفة.

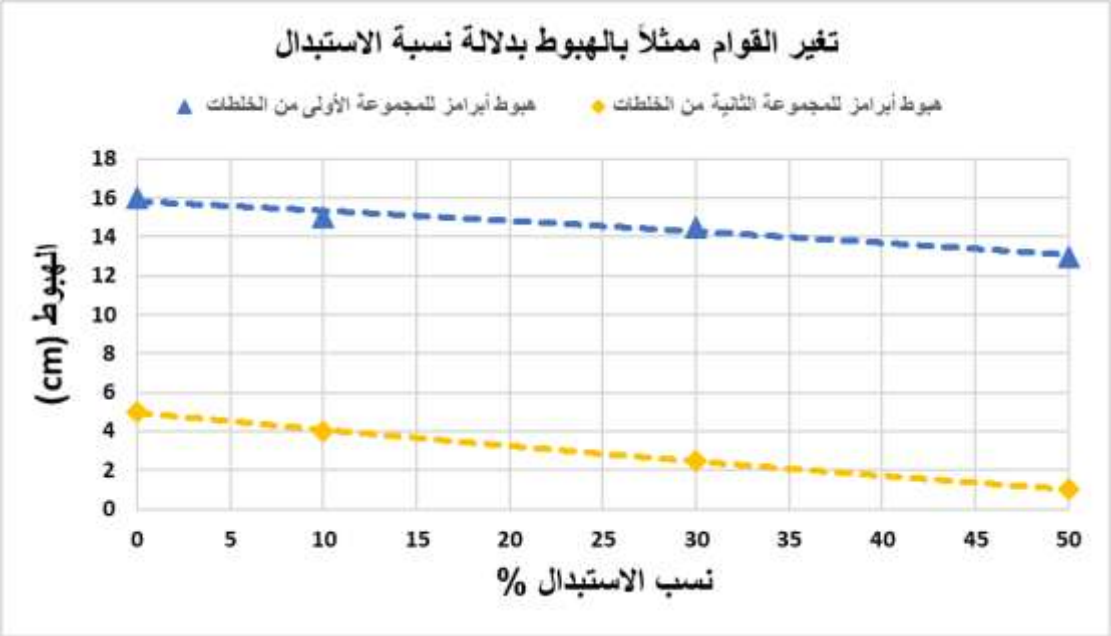
يبين الجدول (5–6) قيم الهبوط المقاس على مختلف الخلطات مع الوزن الحجمي للبيتون الطري.

الجدول (5):ـنتائج قياس هبوط أبرامز و الوزن الحجمي للبيتون الطري

الخلطة	هبوط أبرامز (cm)	الوزن الحجمي الظاهري (kg/m3)
NC	16	2277
GCP10%	15	2247
GCP30%	14.5	2215

2207	13	GCP50%
1675	5	NCR
1645	4	GCRP10%
1625	2.5	GCRP30%
1610	1	GCRP50%

تأثير الاستبدال على تغير قوام البيتون ممثلاً بهبوط أبرامز:



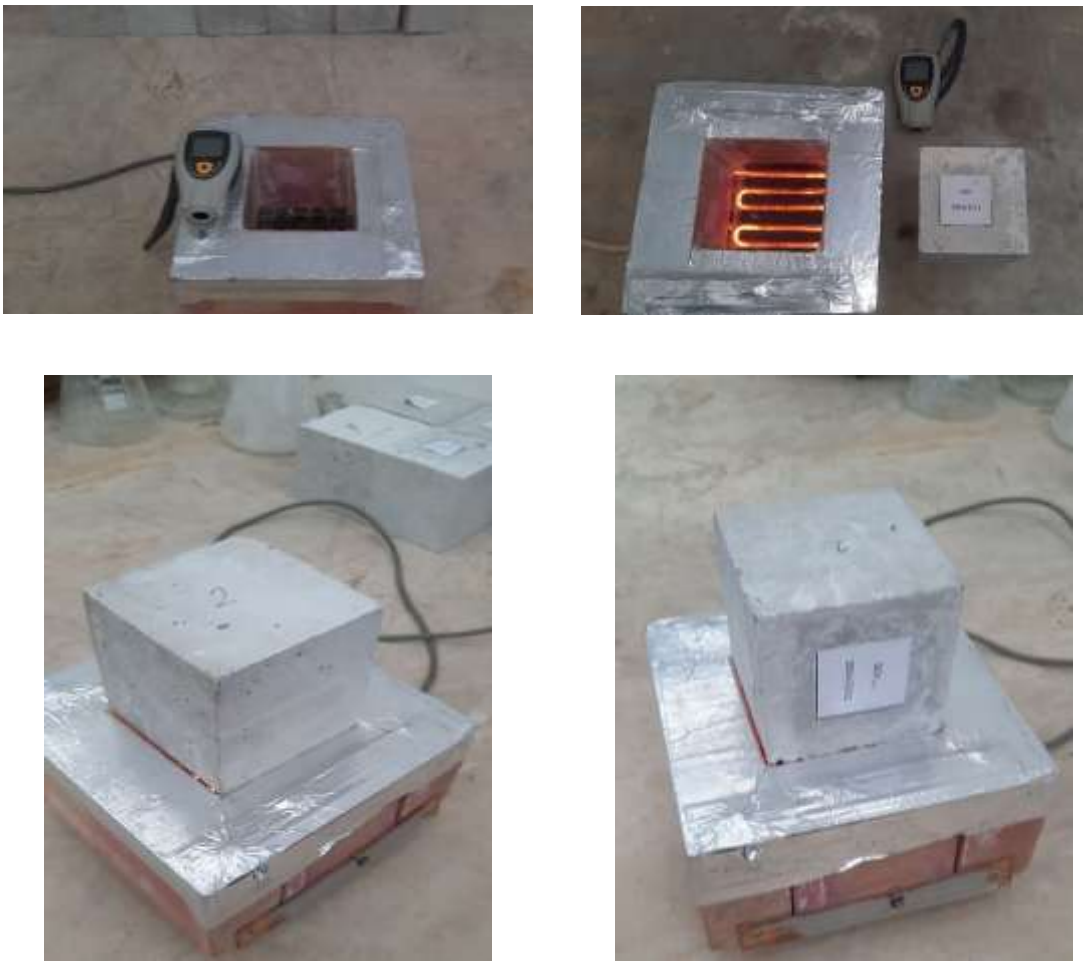
الشكل (6) تغير القوام ممثلاً بالهبوط بدلالة نسبة الاستبدال

من النتائج يمكن ملاحظة أنه مع زيادة النسبة المئوية لاستبدال الاسمنت بالبوزولانا، تقل قابلية تشغيل البيتون حيث يؤدي استبدال الأسمنت بكتلة متساوية من البوزولانا إلى زيادة الحجم لأن كثافة الأسمنت أعلى من كثافة البوزولانا. ويبين الشكل السابق التأثر الشديد لقوام البيتون عند استبدال حصوياته الطبيعية بالحصويات المدورة وذلك عند تثبيت نسبة الماء إلى الإسمنت W/C=0.6 إذ خرجت العينات من شريحة القوام اللدن slump=4cm إلى شريحة القوام الجامد slump<4cm عند نسبة الاستبدال 30%.

يعود ذلك إلى طبيعة الحصويات المعاد تدويرها و شرهها النسبي للماء مقارنة مع الحصويات الطبيعية وهو ما تبينه قيم التشرب لهذه الحصويات منفردة إذ كان تشربها يفوق تشرب الحصويات الطبيعية بشكل كبير مما سيخلق مشكلة تتعلق بتشغيل هذا البيتون وهو ما يمكن تلافيه بزيادة بإضافة الملدن للحصول على شريحة القوام المستهدفة مع مراعاة عدم زيادة الجرعة عن الحد المسموح لضمان عدم تأخير تصلب البيتون.

تغير المقاومة الحرارية بدلالة نسبة الاستبدال

اتاح شكل الحجرة والمنبع الحراري الى تسخين العينة بشكل منتظم من جهة واحدة فقط وذلك لقياس الانتقال الحراري من هذا الوجه الى الوجه الاخر بعد فترة من الزمن.



الشكل (7) الية قياس الناقلية الحرارية للعينات البيتونية

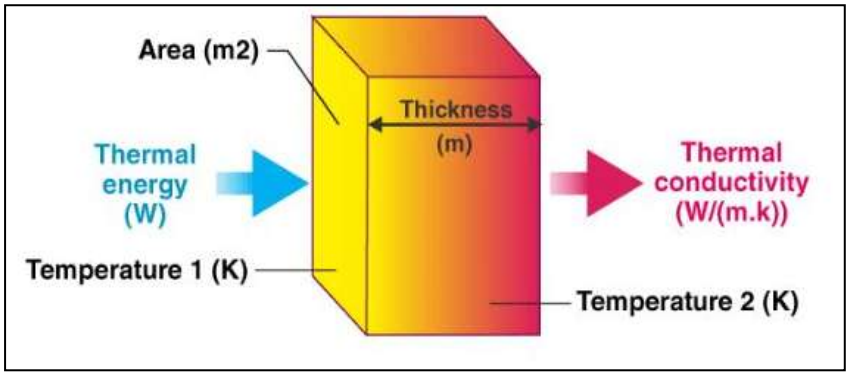
تم ترقيم أوجه العينات المكعبية المختبرة بحيث اخذت احد الأوجه الرقم 1 (المعرضة للحرارة) والوجه المقابل بالرقم 2 (المعرض للوسط الخارجي) بحيث تم تعريض العينات للحرارة بنفس المدة وقياس درجات الحرارة على الوجهين باستخدام ميزان الحرارة الليزري

الشكل (8) قياس الفرق في درجات الحرارة للمجموعة الأولى للخلطات ($GCP_{30\%}$)

الشكل (9) قياس الفرق في درجات الحرارة للمجموعة الأولى للخلطات ($GCP_{50\%}$)

تم حساب مقدار الطاقة الحرارية (Q) المنتقلة باستخدام المعادلة الآتية (Thermal insulation code,2009) :

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$



الشكل (10) يوضح الية الانتقال الحراري في الاجسام الصلبة (اعداد الباحث)

حيث:

m هي الكتلة المقاسة بوحدة الجرام (Kg)

c هي السعة الحرارية النوعية المقاسة بوحدة الـ (Jk/Kg. °c)

ΔT هو التغير في درجة الحرارة (°c) .

تم حساب معامل التوصيل الحراري للمكعبات البيتونية الذي يعرف على انه مقدار التيار الحراري المار باتجاه عمودي على سطح مادة مساحتها مترًا مربعًا وحدًا وسماكتها (ثخانتها) مترًا واحدًا بفعل فرق في درجة الحرارة مقداره درجة حرارة سلسيوس واحدة بين سطحيها ويعطى بالعلاقة التالية (Thermal insulation code,2009):

$$\lambda = (QL)/(A\Delta T)$$

حيث:

Q : كمية الحرارة المنقولة خلال المادة (w).

الجدول (6):_نتائج قياس الناقلية الحرارية للخلطات البيتونية

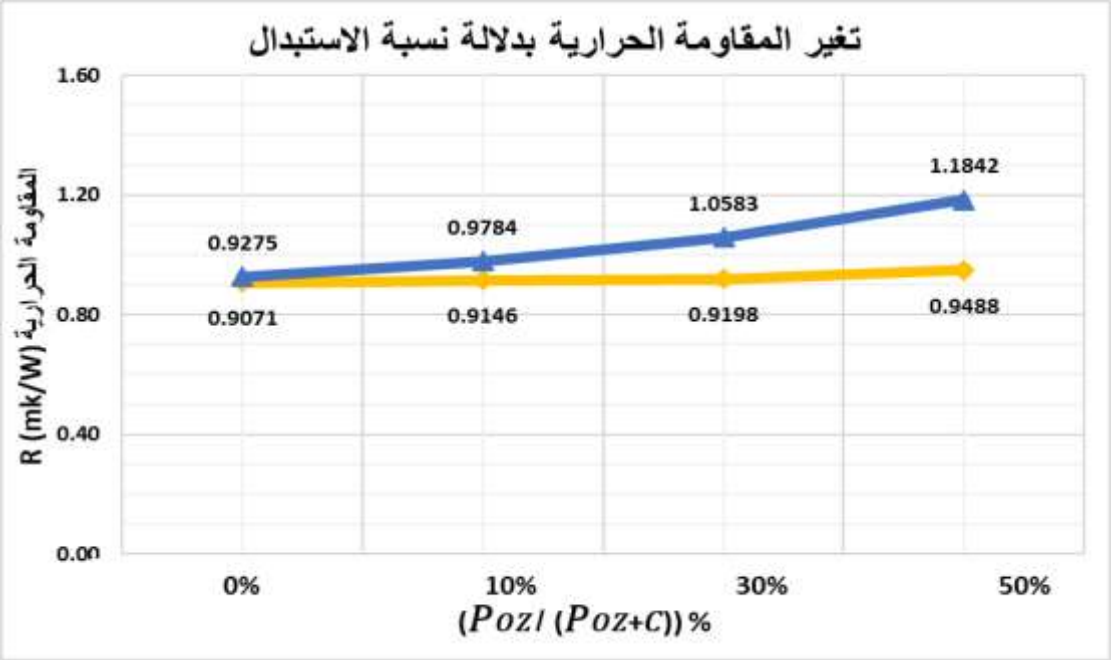
الخلطة	السماكة (m)	المساحة (m^2)	التغير في درجة الحرارة (°C)	مقدار الطاقة الحرارية المنتقلة (W)	الموصلية الحرارية λ (W/mk)	المقاومة الحرارية R (mk/W)
NC	0.1	0.01	66	37.373	1.102	0.9071
$GCP_{10\%}$			64	36.848	1.093	0.9146
$GCP_{30\%}$			64	36.640	1.087	0.9198
$GCP_{50\%}$			64	35.520	1.054	0.9488
NCR			91	39.24	1.078	0.9275
$GCR_{P10\%}$			86	36.69	1.022	0.9784
$GCR_{P30\%}$			79	33.26	0.945	1.0583
$GCR_{P50\%}$			69	28.88	0.844	1.1842

L: السماكة (m).

A : المساحة (m^2).

المقاومة الحرارية (R): هي المقاومة التي يبديها العنصر الإنشائي أمام انتقال الحرارة بالتوصيل خلال سماكته، وبازدياد هذه المقاومة تزداد قدرة العنصر الإنشائي على مقاومة الحرارة، كما يطلق على هذه القيمة مصطلح "العازلية الحرارية"، وتحسب من العلاقة التالية(Thermal insulation code,2009):

$$R = 1/\lambda$$



الشكل (11) تغير المقاومة الحرارية بدلالة نسبة الاستبدال

من النتائج يمكن ملاحظة أنه مع زيادة النسبة المئوية لاستبدال الاسمنت بالبوزولانا، تزداد المقاومة الحرارية للبيتون حيث يؤدي استبدال الأسمنت بكتلة متساوية من البوزولانا إلى انخفاض الموصلية الحرارية بنسبة 5% وكما تظهر الحصويات المعاد تدويرها مقاومة حرارية اكبر مقارنة مع الحصويات الطبيعية حتى مع استبدال 50% من الاسمنت بالبوزولانا المطحونة نلاحظ ازدياد المقاومة بنسبة تزيد عن 24%.

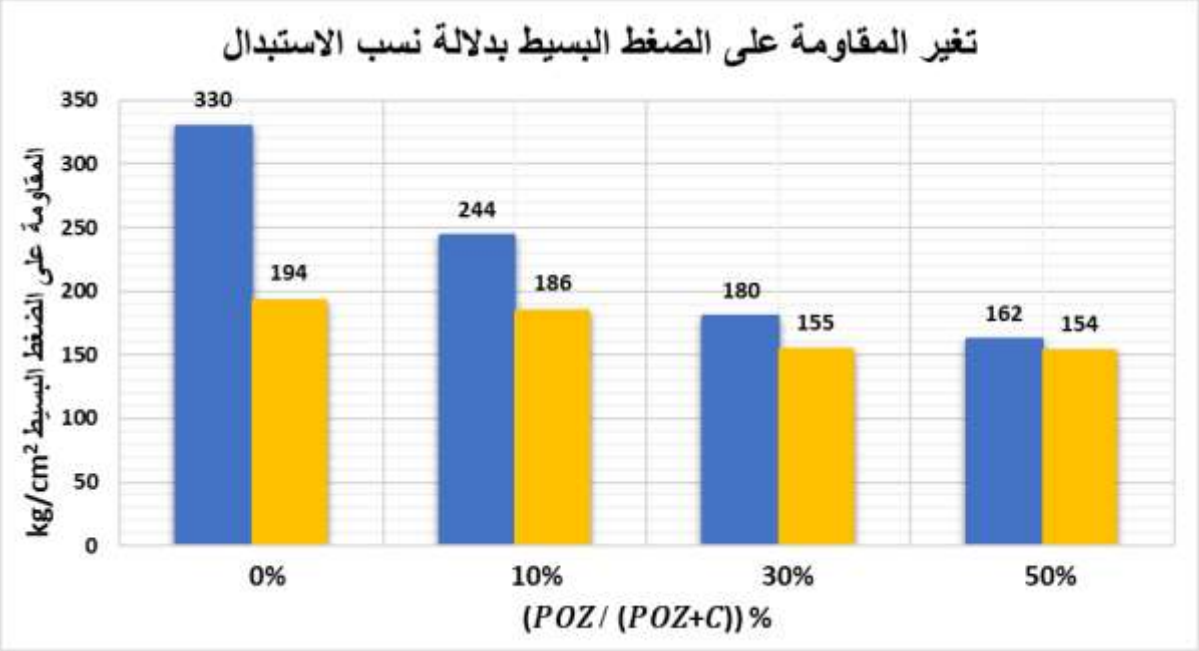
تغير المقاومة على الضغط البسيط بدلالة نسب الاستبدال:

لتحديد المقاومة على الضغط البسيط للعينات البيتونية وذلك عند عمر (28 يوم) قمنا بتطبيق قوة على سطحها حيث يتم حساب المقاومة على الضغط البسيط للعينات عن طريق حساب قوة الضغط التي تؤدي الى انهيار العينة وحساب السطح المعرض لتلك القوة.

الجدول (7):_نتائج قياس المقاومة على الضغط البسيط للخلطات البيتونية

الخلطة	$\left(\frac{POZ}{POZ+C}\right)\%$	المقاومة على الضغط البسيط kg/cm^2
NC	0	330
GCP10%	10	244
GCP30%	30	180
GCP50%	50	162
NCR	0	194
GCRP10%	10	186
GCRP30%	30	155
GCRP50%	50	154

قمنا بتمثيل العلاقة بين المقاومة المكعبية للعينات المصبوبة (10*10*10 cm) على الضغط البسيط ونسب الاستبدال وذلك على الشكل:



الشكل (12): العلاقة بين المقاومة على الضغط البسيط للبيتون ونسب الاستبدال

يستمد البيتون قوته من التفاعل البوزولاني بين السيليكا في البوزولانا وهيدروكسيد الكالسيوم المتحرر أثناء ترطيب الاسمنت البورتلاندي حيث عند نسب الاستبدال المنخفضة، تكون كمية السيليكا منخفضة، وبالتالي، يمكن تكوين كمية محدودة فقط من C–S–H، على الرغم من تحرير كمية كبيرة من هيدروكسيد الكالسيوم بسبب الكمية الكبيرة نسبيًا من الأسمنت البورتلاندي. ومع ذلك، عند الاستبدال بنسبة عالية، تزيد كمية البوزولانا في المزيج أي يتناقص تكوين C–S–H بسبب تحرير كمية صغيرة من هيدروكسيد الكالسيوم الناتج من ترطيب الكمية الصغيرة نسبيًا من الأسمنت البورتلاندي المتوفر في الخلطة وبالتالي تنخفض المقاومات على الضغط البسيط مع زيادة نسب الاستبدال في الخلطات.

تجدر الإشارة إلى أن الاستبدال الكلي للحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها حافظ على بيتون قريب جدا من بيتون الخلطات المرجعية عند نسب الاستبدال ذاتها إذ انخفضت المقاومات بنسبة 5% عند نسبة استبدال 50% للأسمنت بالبوزولانا المطحونة حيث تعتبر هذه النتيجة على درجة عالية من الأهمية وتفسح المجال أمام عملية الاستبدال بشكل واسع مع مراعاة عدم تبدل الخصائص الأخرى بشكل كبير.

الاستنتاجات والتوصيات:

في ضوء هذه النتائج التي حصلنا عليها لتأثير استبدال الاسمنت البورتلاندي بالبوزولانا المطحونة والحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها على الخواص الفيزيائية (الناقلية الحرارية) والميكانيكية (المقاومة على الضغط البسيط) للبيتون المنتج بهدف تقليل البصمة البيئية يمكن تسجيل النقاط التالية كاستنتاجات لهذا البحث:

- مع زيادة النسبة المئوية لاستبدال الاسمنت بالبوزولانا، تقل قابلية تشغيل البيتون حيث يؤدي استبدال الأسمنت بكتلة متساوية من البوزولانا إلى زيادة الحجم لأن كثافة الأسمنت أعلى من كثافة البوزولانا.
- زيادة النسبة المئوية لاستبدال الاسمنت البورتلاندي بالبوزولانا الطبيعية، تزيد المقاومة الحرارية للبيتون الناتج.

- تظهر الحصويات المعاد تدويرها مقاومة حرارية اكبر مقارنة مع الحصويات الطبيعية حتى مع استبدال 50% من الاسمنت بالبوزولانا الطبيعية نلاحظ ازدياد المقاومة بنسبة تزيد عن 24%.
- تنخفض المقاومات على الضغط البسيط مع زيادة نسب استبدال الاسمنت بالبوزولانا المطحونة في الخلطات.
- تعطي الحصويات المعاد تدويرها قيماً مقبولة للمقاومة على الضغط البسيط عند استخدامها بنسب مختلفة في البيتون، وهو ما يفسح المجال واسعاً للتفكير باستخدامها في بيتون المنشآت المدنية.
- تتجاوز قيم المقاومة على الضغط البسيط للعينات المكعبية الحدود الدنيا للمواصفة السورية الخاصة بالبلوك الإسمنتي، سيتيح ذلك تصنيع البلوك الإسمنتي باستخدام الحصويات المعاد تدويرها مع إمكانية استبدال الاسمنت بالبوزولانا المطحونة وفق نسب الاستبدال المختلفة.

References:

1. Alsheyab, MAT. 2022. 'Recycling of construction and demolition waste and its impact on climate change and sustainable development', International Journal of Environmental Science and Technology, 19: 2129-38
2. Menegaki, Maria, and Dimitris Damigos. 2018. 'A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management', Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 13: 8-15
3. Dahlbo, Helena, John Bachér, Katja Lähtinen, Timo Jouttijärvi, Pirke Suoheimo ، Tuomas Mattila, Susanna Sironen, Tuuli Myllymaa, and Kaarina Saramäki. 2015.
4. Zhang, Lianyang. 2013. 'Production of bricks from waste materials–A review', Construction and building materials, 47: 643-55.
5. Colorado, Henry A, Andrea Muñoz, and Sergio Neves Monteiro. 2022. 'Circular economy of construction and demolition waste: A case study of Colombia', Sustainability, 14: 7225.
6. Aabid, Abdul, and Muneer Baig. 2023. "Sustainable Materials for Engineering Applications." In, 6085. MDPI.
7. al-Swaidani, Aref M. 2019. 'Use of micro and nano volcanic scoria in the concrete binder: Study of compressive strength, porosity and sulfate resistance', Case Studies in Construction Materials, 11: e00294.
8. Al-swaidani, Aref M. 2021. 'Natural pozzolana of micro and nano-size as cementitious additive: resistance of concrete/mortar to chloride and acid attack', Cogent Engineering, 8: 1996306.
9. Alsheyab, MAT. 2022. 'Recycling of construction and demolition waste and its impact on climate change and sustainable development', International Journal of Environmental Science and Technology, 19: 2129-38.
10. Colorado, Henry A, Andrea Muñoz, and Sergio Neves Monteiro. 2022. 'Circular economy of construction and demolition waste: A case study of Colombia', Sustainability, 14: 7225.
11. Dahlbo, Helena, John Bachér, Katja Lähtinen, Timo Jouttijärvi, Pirke Suoheimo, Tuomas Mattila, Susanna Sironen, Tuuli Myllymaa, and Kaarina Saramäki. 2015. 'Construction and demolition waste management–a holistic evaluation of environmental performance', Journal of Cleaner Production, 107: 333-41.
12. Ekolu, S. O., R. D. Hooton, and M. D. A. Thomas. 2006. 'Studies on Ugandan Volcanic ash and Tuff.' in J. A. Mwakali and G. Taban-Wani (eds.), Proceedings from the International Conference on Advances in Engineering and Technology (Elsevier Science Ltd: Oxford).

13. Menegaki, Maria, and Dimitris Damigos. 2018. 'A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management', Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 13: 8-15.
14. Osei, DY, and EN Jackson. 2012. 'Compressive strength and workability of concrete using natural pozzolana as partial replacement of ordinary Portland cement', Advances in Applied Science Research, 3: 3658-62.
15. Wang, Yilin. 2022. "Research on the Sustainability in Green Building." In 2022 7th International Conference on Social Sciences and Economic Development (ICSSED 2022), 1388-93. Atlantis Press.
16. Yuan, Qiang, Zanqun Liu, Keren Zheng, and Cong Ma. 2021. 'Chapter 3 - Portland cement concrete.' in Qiang Yuan, Zanqun Liu, Keren Zheng and Cong Ma (eds.), Civil Engineering Materials (Elsevier).
17. Zhang, Lianyang. 2013. 'Production of bricks from waste materials–A review', Construction and building materials, 47: 643-55.
18. Omran J., Wassouf M. Using Building Information Modelling (BIM) by studying building orientation during design to achieve more sustainable buildings. Vestnik MGSU. 2024;19(3):436-455. (In Russ.) https://doi.org/10.22227/1997-0935.2024.3.436-455
19. Thermal insulation code for buildings in the Syrian Arab Republic,2009