الجمهورية العربية السورية
جامعة تشرين
كلية الهندسة المدنية
قسم هندسة وإدارة التشييد

تطوير نموذج مؤتمت قائم على BIM لتقييم بدائل المواد المحلية للوصول الى سكن مستدام منخفض التكلفة

Development of an automated BIM-based model to evaluate local material alternatives for low-cost sustainable housing

المشرف الرئيسي
أ.د. جمال عمران

المشرف المشارك
أ.د. علي خيربك

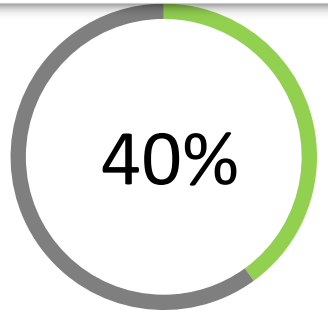
مصطفى وسوف

مخطط العرض:

العمل المخبري
أهداف وأهمية البحث
مشكلة البحث
6
4
2
7
المراجع
5
الخرسانة الخضراء
3
الفجوة البحثية
مقدمة البحث
1

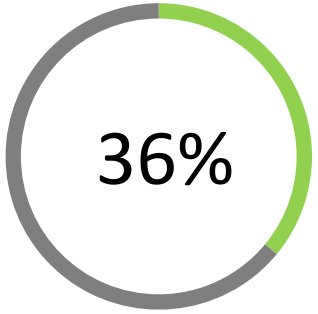
مقدمة البحث

أدت العديد من الجهود إلى تقليل البصمة البيئية من مجال البناء في البلدان المتقدمة في المقابل، غالبًا ما يتم تجاهل الاستدامة في البلدان النامية بسبب الاقتصاد غير مستقر و وسياسات البناء غير الملائمة، و يتضح من الدراسات الحديثة أن هناك حاجة ماسة إلى ممارسات البناء المستدامة في البلدان النامية للإزالة أساليب البناء التقليدية، والتي في وضعها الحالية تستنزف الموارد، وتضر بالبيئة، وتهدد صحة أصحاب المصلحة



CO2

40% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالطاقة



Energy

36% من استهلاك الطاقة حول العالم تأتي من قطاع البناء والتشييد

تقرير صدر عام 2022 عن برنامج الأمم المتحدة للبيئة
(United Nations Environment Program)

مقدمة البحث

من اللازم اتباع نهج منظم لإدارة وتعزيز المشاريع السكنية منخفضة التكلفة وخاصة المستدامة منها، أحد جوانب هذا النهج هو اقتراح وتقييم بدائل مواد بناء مستدامة من مصادر محلية وفق معايير متعددة (الاقتصادي–البيئي–الاجتماعي) حيث تعد تكلفة المشروع والجودة والسلامة والوقت هي العوامل الأربعة الرئيسية التي تساهم في نجاح مشاريع البناء ولكن في الوقت الحاضر يجب ان تتميز هذه المساكن بقصر فترة التصميم والبناء، وانخفاض تكاليف التشغيل وخاصة الطاقة مع تقليل التأثيرات السلبية على البيئة، حيث يمكن أن يكون للأتمتة تأثير هائل وخاصة في مجال التقييم المتعدد المعايير وسيكون نظام البناء المستقل هو الأنسب لهذه الأنواع من المطالب لأنه يمكن أن يتعامل مع الظروف غير المتوقعة أثناء سير المشروع دون إشراف أو تدخل بشري

دور الـ BIM في التصميم المستدام

حسب التقرير الذي أصدرته مكتبة BIM الوطنية (National BIM Library) NBS، عام 2022 تساعد طرق العمل الرقمية في مواجهة التحديات الصناعية والمجتمعية حيث إشارة نتائج المسح :

75%

(38٪ يوافقون بشدة)

تأثير إيجابي على الاستدامة البيئية

تمثيل المبنى كقاعدة بيانات متكاملة منسقة وهذا يعني التصور الواضح لشكل المبنى وتوفير الكثير من البيانات اللازمة لدعم التصميم المستدام

تحاكي نمذجة معلومات البناء مشروع التشييد في بيئة افتراضية، اذ تعمل كمستودع لمعلومات المشروع.

تساعد في إنشاء مباني وأماكن أفضل

80%

(42٪ يوافقون بشدة)

مشكلة البحث

01

صناعة البناء مسؤولة عن جزء كبير من استهلاك الطاقة في العالم وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري. نتيجة لذلك ، أصبحت الحاجة إلى مواد البناء المستدامة ذات أهمية متزايدة حيث تستخدم المواد التقليدية مثل الحديد والخرسانة على نطاق واسع في صناعة البناء ، ولكن هذه المواد غالبًا ما تكون باهظة الثمن وتستهلك الكثير من الطاقة وتضر بالبيئة.

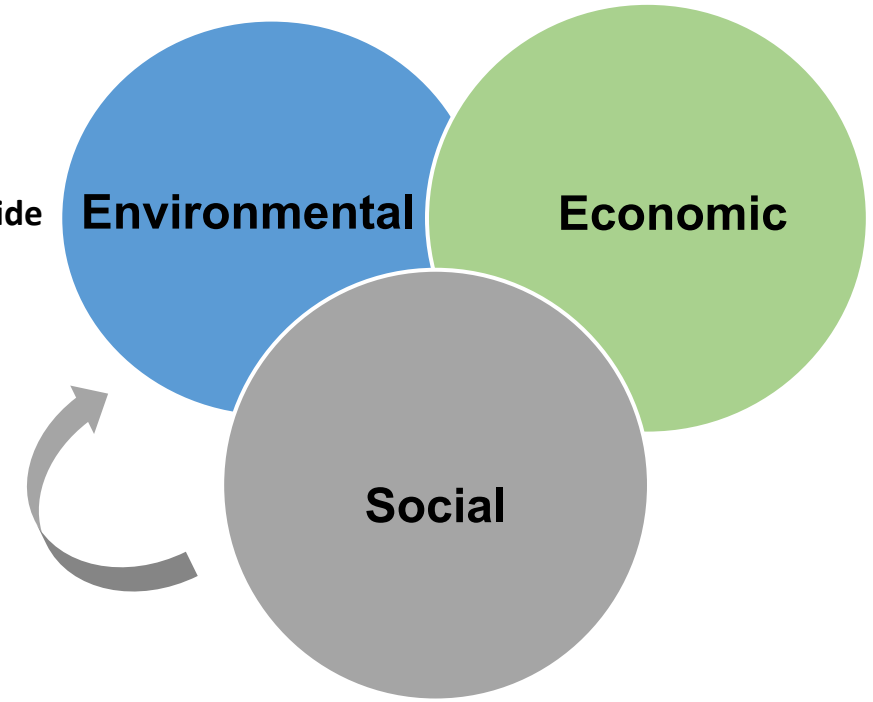
02

أصبحت مواد البناء المستدامة ذات أهمية متزايدة في عالمنا اليوم. ومع تزايد عدد السكان ، نمت الحاجة إلى مواد بناء أكثر كفاءة وفعالية من حيث التكلفة حيث أصبحت المواد المستدامة مثل المواد المعاد تدويرها والموارد المتجددة والمواد النباتية ذات شعبية متزايدة ، لأنها أكثر صداقة للبيئة وغالبًا ما تكون أقل تكلفة من المواد التقليدية.

03

تركز مشكلة البحث: في ارتفاع اسعار العقارات وزيادة الطلب على المساكن وخاصة في ظل الكوارث التي شهدتها المنطقة والحرب التي دامت اكثر من 14عام خلفت ورائها كم هائل من الدمار ولكن اتاحت لنا الفرص ذهبية لإعادة بناء هذه المساكن بطريقة مستدامه تقلل فيها التأثيرات السلبية على البيئة وتحد من استنزاف الموارد الطبيعية وبأسعار وتكاليف منخفضه

مشكلة البحث



- Carbon dioxide emission

- Life cycle costs
- Design alternatives costs

- Thermal comfort

هناك حاجة لمنهج وأداة سريعة وتلقائية لتقييم مواد البناء المستدامة محليا وفق المؤشرات البيئية والاقتصادية والاجتماعية لكل عنصر من عناصر البناء في مرحل التصميم حيث ان عملية صنع القرار على أساس نمذجة معلومات البناء (BIM) سوف يوفر أداة مؤتمتة للحصول على مؤشرات بدائل التصميم المختلفة للوصول الى أبنية السكنية المستدامة منخفضة التكلفة.

ملخص
المراجعة الادبية

01

الدراسات السابقة قامت باقتراح استبدال جزئيًا للأسمنت بمواد ثانوية، ام التحدي الحالي هو استبدال للإسمنت بمواد طبيعية مستدامة أي انتاج خرسانة بالاعتماد على البوزولانا الطبيعية.

02

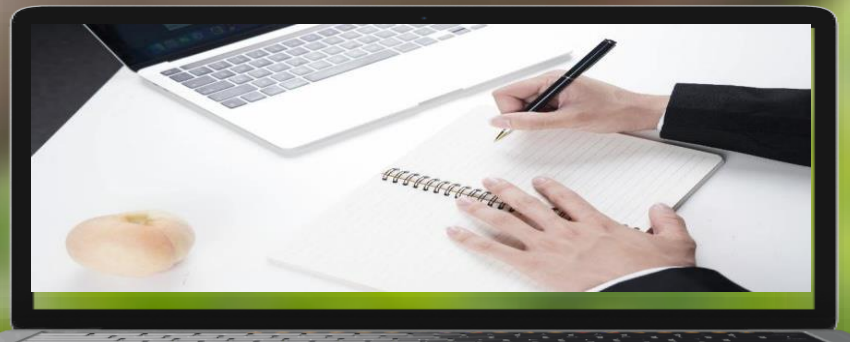
إيجاد مواد بناء مستدامة رخيصة الثمن وقابلية للتطبيق من مصادر محلية والتي يمكن استخدامها كبدائل للمواد القائمة على الأسمنت، فالتحدي الحالي الذي يواجه صناعة البناء والتشييد هو إنتاج خرسانة مستدامة بأقل تكلفة ممكنة.

03

أجريت العديد من الدراسات على أنواع مختلفة من بلوك الجدران باستخدام أنواع مختلفة من المواد كالطين او قشور الأرز او البلوك الاسمنتي من حصويات معاد تدويرها ولكن ما يسعى الى تقديمه هذا البحث هو بلوك يمكن استخدامه كمادة إنشائية وعازلة للحرارة وذلك من خرسانة خضراء و مواد معاد تدورها من نفايات ومخلفات الأنقاض او من مواد طبيعية.

الفجوة البحثية:

يعالج هذا البحث دراسة استبدال الاسمنت البورتلاندي بالبوزولانا المطحونة وذلك وفق نسب استبدال مختلفة حيث ان معظم الدراسات البحثية ناقشت تأثير استبدال الاسمنت البورتلاندي بمواد مخلفات المصانع مثل الرماد المتطاير وخبث الافران وتأثيرها على الخصائص الميكانيكية في ظل وجود مواد طبيعية يمكن استخدامها كبديل ومحسن للإسمنت وقسم اخر من الدراسات لم يتطرق الى دراسة الاثر الحراري للخرسانة المصنعة من المواد والحصى البوزولاني كما ان الدمج بين هذه المواد (بوزولانا وبازلت والحصويات المعاد تدويرها) في العجينة الرابطة او الهيكل الحصوي لإنتاج خرسانة بيئية يعتبر جديد وغير مألوف وهذا ما يشكل فجوة معرفية يحاول هذا البحث ملئها، حيث تتلخص اهداف البحث بدراسة الخواص الفيزيائية (الناقلية الحرارية) والميكانيكية (المقاومة على الضغط البسيط) للبيتون الاخضر المنتج من المواد الطبيعية بهدف تقليل البصمة البيئية وتحسن الأداء الحراري .



أهمية البحث:

تكمن اهمية البحث في ابتكار مواد بناء مستدامه محليه 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.
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 ، يضمن النموذج الآلي المستند إلى (BIM) أن المواد المستخدمة في عملية البناء ليست مستدامة فحسب بل أيضًا فعالة من حيث التكلفة مما يجعلها حلاً جذابًا لمشاريع الإسكان منخفضة التكلفة.

اما على المستوى التقني فيعد تطوير نموذج مؤتمت قائم على نمذجة معلومات البناء(BIM) نهجًا مبتكرًا نحو تحقيق سكن مستدام ومنخفض التكلفة، من خلال دمج تقنية (BIM) مع مبادئ الاستدامة، يهدف هذا النموذج إلى تقييم البدائل المختلفة للمواد المستدامة التي يمكن الحصول عليها محليًا و يوفر منصة شاملة تسمح بإنشاء وتحليل وتصور النماذج ثلاثية الأبعاد، والتي يمكن أن تساعد بشكل كبير في عملية صنع القرار البناء المستدام.

هدف البحث:

الهدف الأول:

اكتشف المواد المستدامة والمتوفرة محليا وأهميتها في بناء مساكن منخفضة التكلفة

الهدف الثاني:

اقتراح مواد (خرسانة وحدات بلوك مفرغ) جديدة مستدامة من مواد طبيعية و معاد تدويرها و إزالة التحديات المرتبطة بتنفيذ تلك المواد في مجال إدارة المشاريع الهندسية.

الهدف الثالث:

إنتاج خرسانة مستدامة بأقل تكلفة ممكنة و باقل نسبة من الأسمنت البورتلاندي لتقليل التأثير البيئي ، والحفاظ على الموارد ، وتعزيز صحة القاطنين وراحتهم

الهدف الرابع:

التحقيق من فوائد دمج تقنية BIM في عملية تقييم المواد المستدام

الهدف الخامس:

تطبيق الأدوات التقنية الحديثة في صناعة التشييد المحلية، وذلك من خلال تطوير نموذج آلي قائم على BIM لتقييم بدائل مواد البناء المستدامة وفق المؤشرات البيئية والاقتصادية والاجتماعية.

الخرسانة الخضراء

تعتبر الخرسانة من أكبر المواد المستهلكة للطاقة، والتي تتطلب نسبة كبيرة من الأسمنت البورتلاندي. حيث ان عملية تصنيع الأسمنت ينتج نسبة عالية من ثاني أكسيد الكربون (CO_2) مما يؤدي إلى تلويث البيئة المحيطة.

ومن هنا جاءت الحاجة إلى أساليب ومنهجيات جديدة للتعامل مع أزمة الطاقة والحد من التأثيرات البيئية السلبية التي تسببها صناعة البناء. ومن هذه الأساليب الاعتماد على مواد البناء الصديقة للبيئة مثل الخرسانة الخضراء، والمعروفة أيضًا باسم الخرسانة المستدامة، وهي مادة بناء تهدف إلى تقليل التأثير البيئي باستخدام مواد طبيعية أو معاد تدويرها أو مستدامة في إنتاجها. إحدى الطرق المقترحة لتحقيق الاستدامة في الخرسانة هي استبدال الأسمنت بمواد بوزولانية، وهو ما لا يقلل من البصمة الكربونية فحسب، بل يحسن أيضًا من أداء الخرسانة ويقلل من تكلفتها.

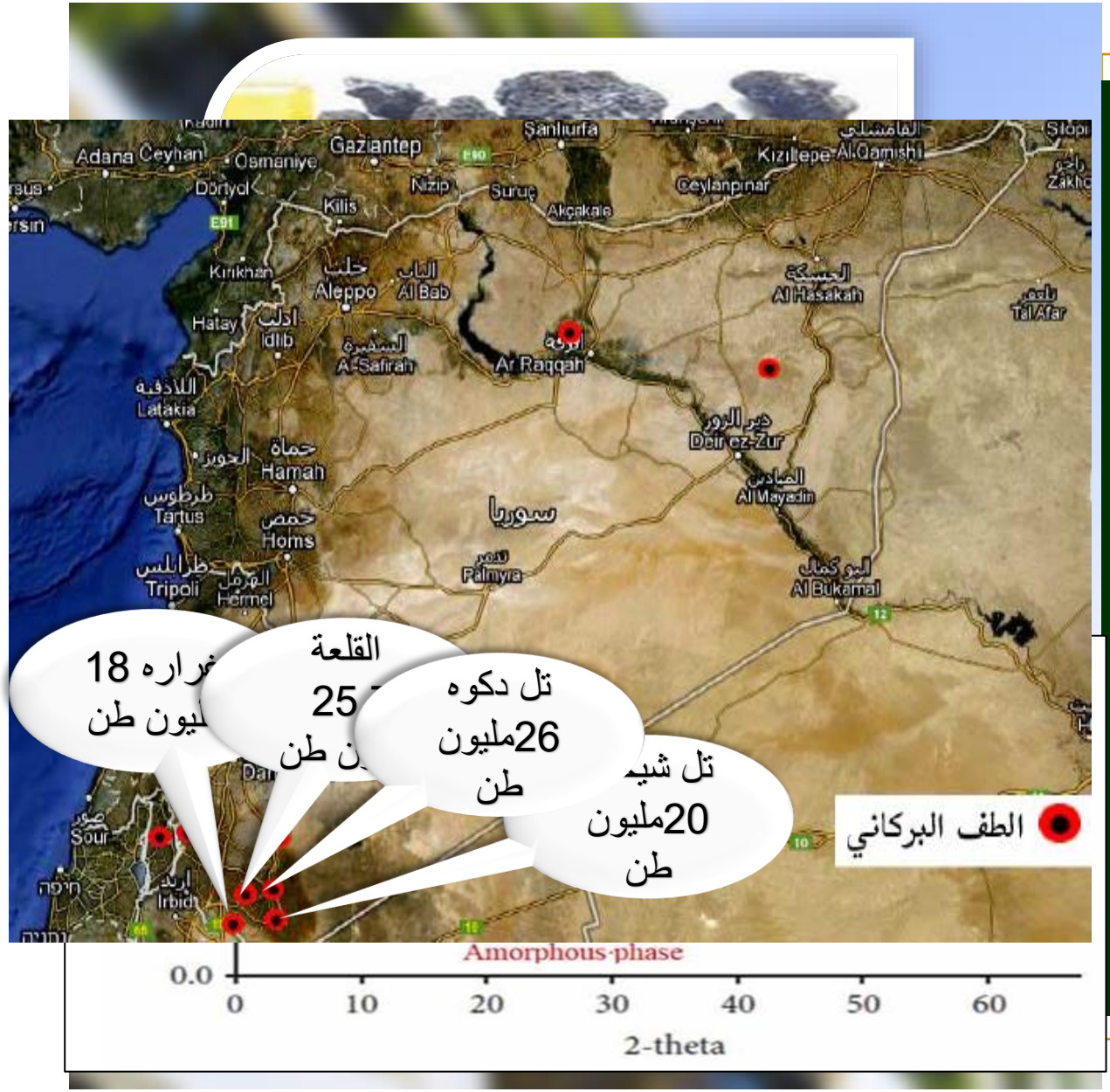
تتواجد البوزولانا الطبيعية في سوريا في موقع "تل شيحان" وهي حقل بركاني، الأكاسيد الرئيسية التي تشكل NP هي كما يلي:

SiO_2: 44.9%

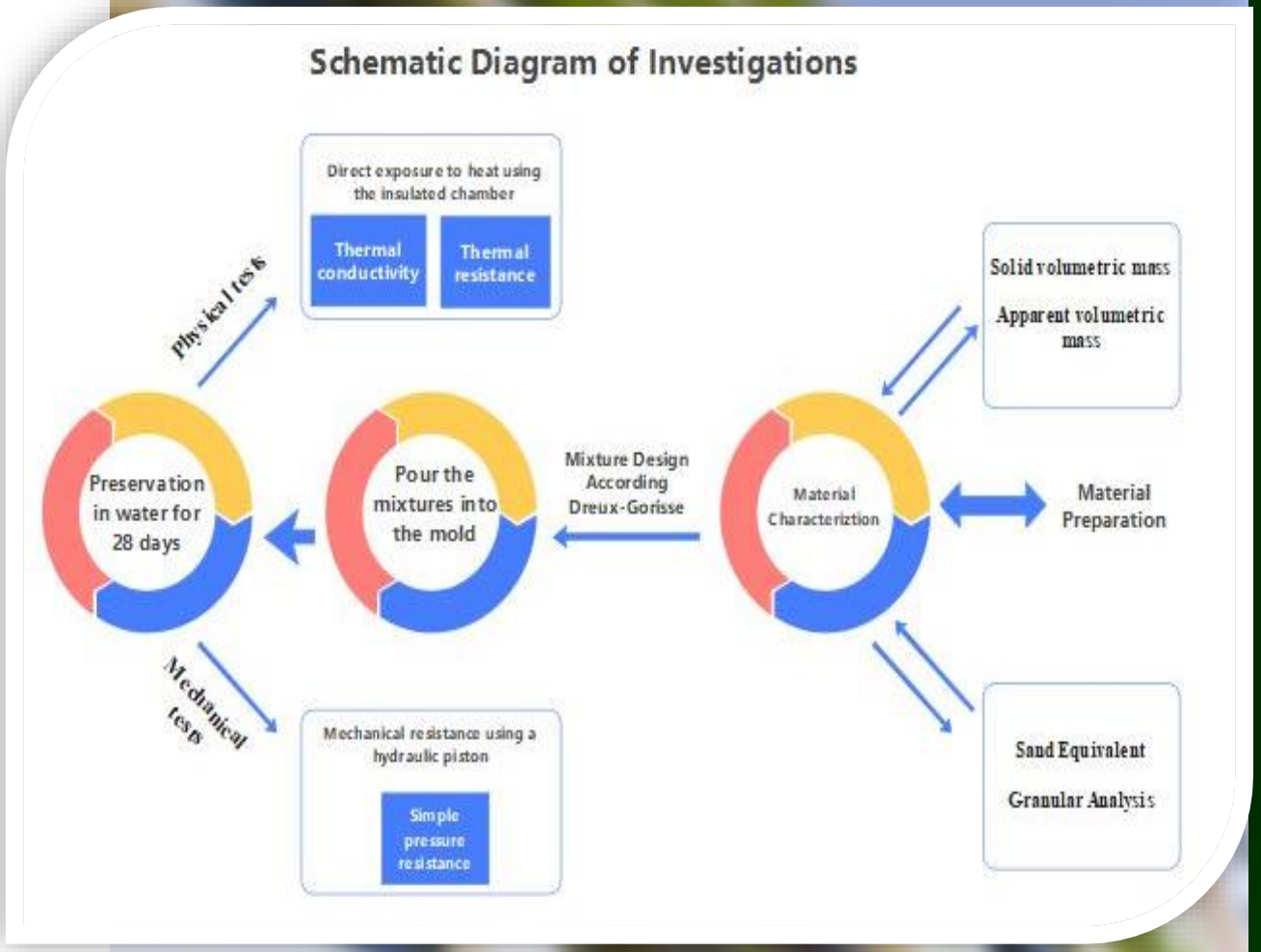
Al_2O_3: 17.5%

Fe_2O_3: 8.9%

مجموع هذه الاكاسيد يزيد عن 70% وبالتالي هي مطابقة لمواصفات ASTM C618



الخرسانة الخضراء

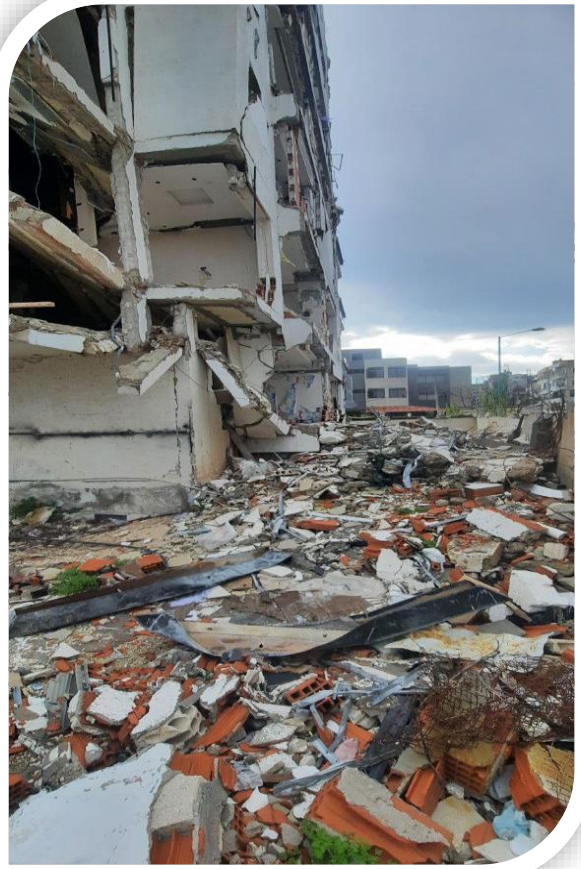


تم تنظيم العمل البحثي ليشمل اولا توصيف للمواد المستخدمة والتجارب المخبرية التي تمت عليه من قياس للكتلة الحجمية الصلبة والظاهرية بالإضافة الى قياس المكافئ الرملي للتأكد من نظافته قبل استخدامه في الخلطات واجراء تجارب التدرج الحبي للحصويات اي فصل المقاسات المختلفة من العينة بعضها عن بعض لتعيين مدى التوزيع الحجمي للحبيبات الحصوية بعد ذلك تم تصميم الخلطات وتوضيح نسب الخلط لكل مجموعة من المجموعات الاربعة مع البارامترات المتغيرة في كل خلطة ثم تم صب العينات في القالب بأبعاد (10*10*10)سم و فكها في اليوم التالي ووضع العينات في الماء لمدة 28 يوماً تمهيد لأجراء اختبارات الناقلية الحرارية والمقاومة الميكانيكية انتهاءا بعرض للنتائج والمناقشات.

توصيف الإحضارات

تحضير الأنقاض مخبرياً:

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.



يمكن
المحضر
المرح
ب التاب
بلوك
بعملية
المرح
المط
ائدة لم
المرح
طر أعظ
المدن
تدويرها
المرح

البرنامج التجريبي

تحضير الأنقاض مخبرياً:

قبل البدء بصب الخلطات البيتونية سوف يتم القيام بتوصيف الإحضارات من بوزولانا وبازلت و حصويات المعاد تدويرها وذلك من خلال إجراء مجموعة من التجارب لمعرفة خواص هذه المواد حيث يمكن تلخيص هذه الاختبارات:

الكتلة الحجمي الظاهري والصلب لمختلف الحصويات

قياس نظافة الإحضارات بالمكافئ الرملي

التحليل الحبي

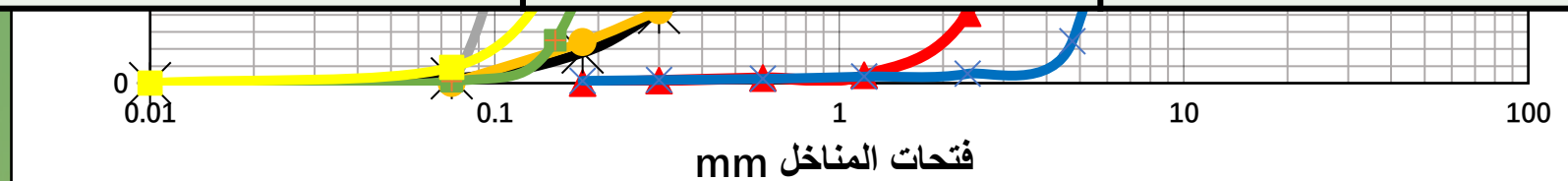
قياس التشرب الكلي

قياس معامل الاهتراء وفق لوس انجلوس

الكتلة الحجمي الظاهري والصلب و التحليل الحبي لمختلف الحصويات

تم قياس الوزن الحجمي الظاهري و الصلب للحصويات البوزولانية و المعاد تدويرها و الحصويات الطبيعية بالاعتماد على اشتراطات المواصفة الخاصة بالوزن الحجمي و النوعي (ASTM D 854-92) نبين فيما يلي نتائج قياس الوزن الحجمي الظاهري و الصلب للعينات المدروسة

العينة	الكتلة الحجمي الظاهري kg/l	الكتلة الحجمي الصلب kg/l
الحصويات البوزولانية	0.705	1.728
الرمل البوزولاني	1.257	2.12
الرمل البازلت	1.127	2.374
الحصويات المعاد تدويرها	1.274	2.280
الرمل الناعم	1.338	2.55
الرمل الخشن	1.570	2.68
البحص الطبيعي	1.439	2.74



البرنامج التجريبي

تصميم الخلطات:

تم اعتماد 16 خلطة بيتونية مقسمة على اربع مجموعات بنسب استبدال مختلفة لكل من الحصويات (الطبيعية والمعاد تدويرها و البوزولانية) بالإضافة الى استبدال الاسمنت بالبوزولانا المطحونة بالنسب الوزنية التالية (10%،30%،50%) والرمل الطبيعي بالبازلت المطحون او الرمل البوزولاني 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).

- 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 $10\ L/m^3$

نسب و أوزان المواد الداخلة في التركيب الخلطات

خلـــــــطات المجموعة الرابعة				
مكونات الخلطات (kg/m^3)	NCP	$GCP_{P10\%}$	$GCP_{P30\%}$	$GCP_{P50\%}$
الرمل البوزولاني	666	666	666	666
بوزولانا مطحونة	0	35	105	175
إسمنت	350	315	245	175
ماء	210	210	210	210
حصويات بوزولانية	658	658	658	658
بازلت	340	340	340	340

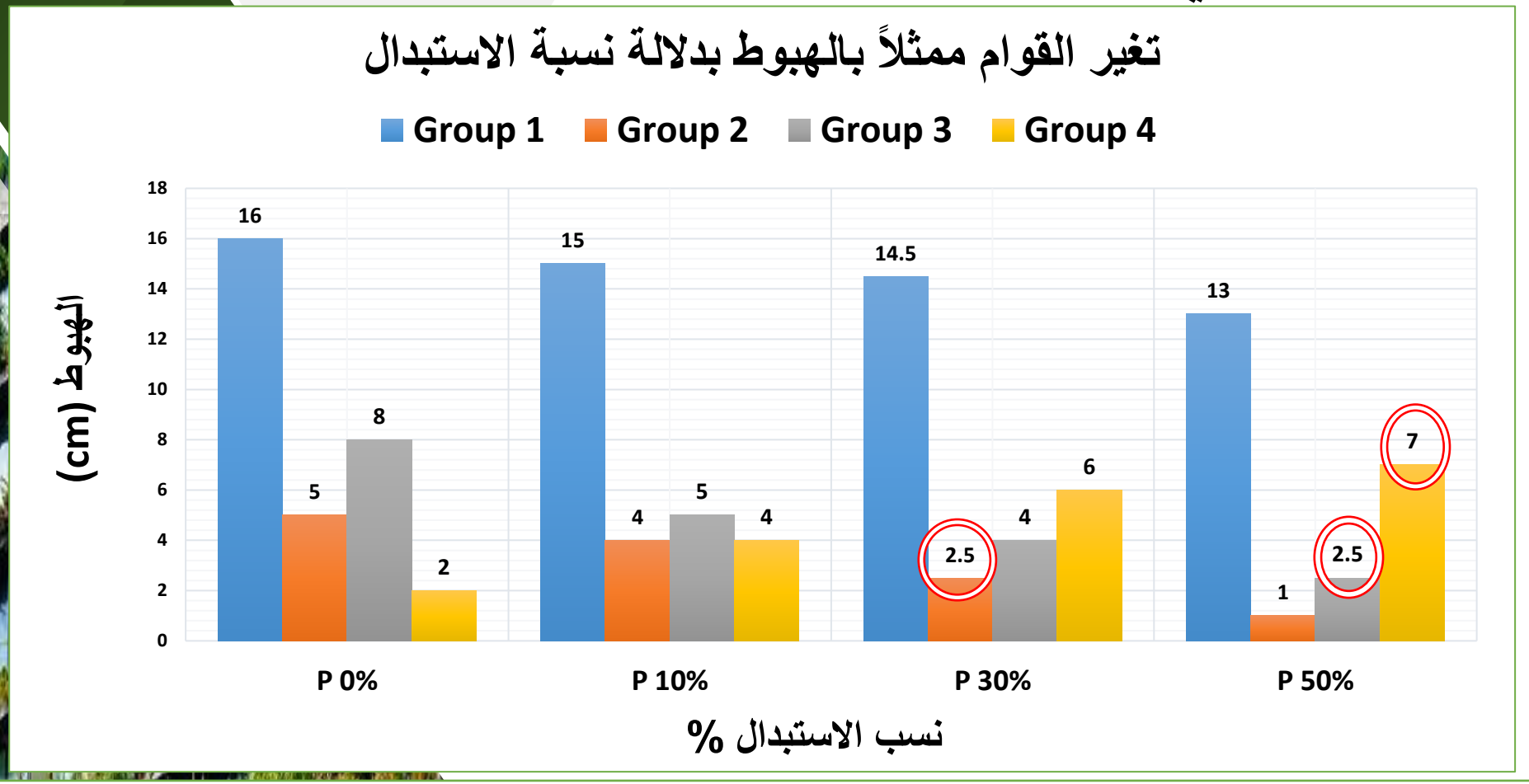
- الخلطة (13) و تتكون من (100% اسمنت بورتلاندي و100% حصويات بوزولانية و100% رمل بوزولاني) و تم إطلاق التسمية (NC_{PS}) عليها.
- الخلطة (14) و تتكون من (90% اسمنت بورتلاندي و10% بوزولانا و100% حصويات بوزولانية و100% رمل بوزولاني) و تم إطلاق التسمية ($GCS_{P10\%}$) عليها.
- الخلطة (15) و تتكون من (70% اسمنت بورتلاندي و30% بوزولانا و100% حصويات بوزولانية و100% رمل بوزولاني) و تم إطلاق التسمية ($GCS_{P30\%}$) عليها.
- الخلطة (16) و تتكون من (50% اسمنت بورتلاندي و50% بوزولانا و100% حصويات بوزولانية و100% رمل بوزولاني) و تم إطلاق التسمية ($GCS_{P50\%}$) عليها.
- الخلطة (12) و تتكون من (50% اسمنت بورتلاندي و50% بوزولانا و100% حصويات بوزولانية و100% بازلت) و تم إطلاق التسمية ($GCP_{P50\%}$) عليها.

الاختبارات على البيتون الطري:

قياس القوام بطريقة المخروط

قياس الوزن الحجمي للبيتون الطري.

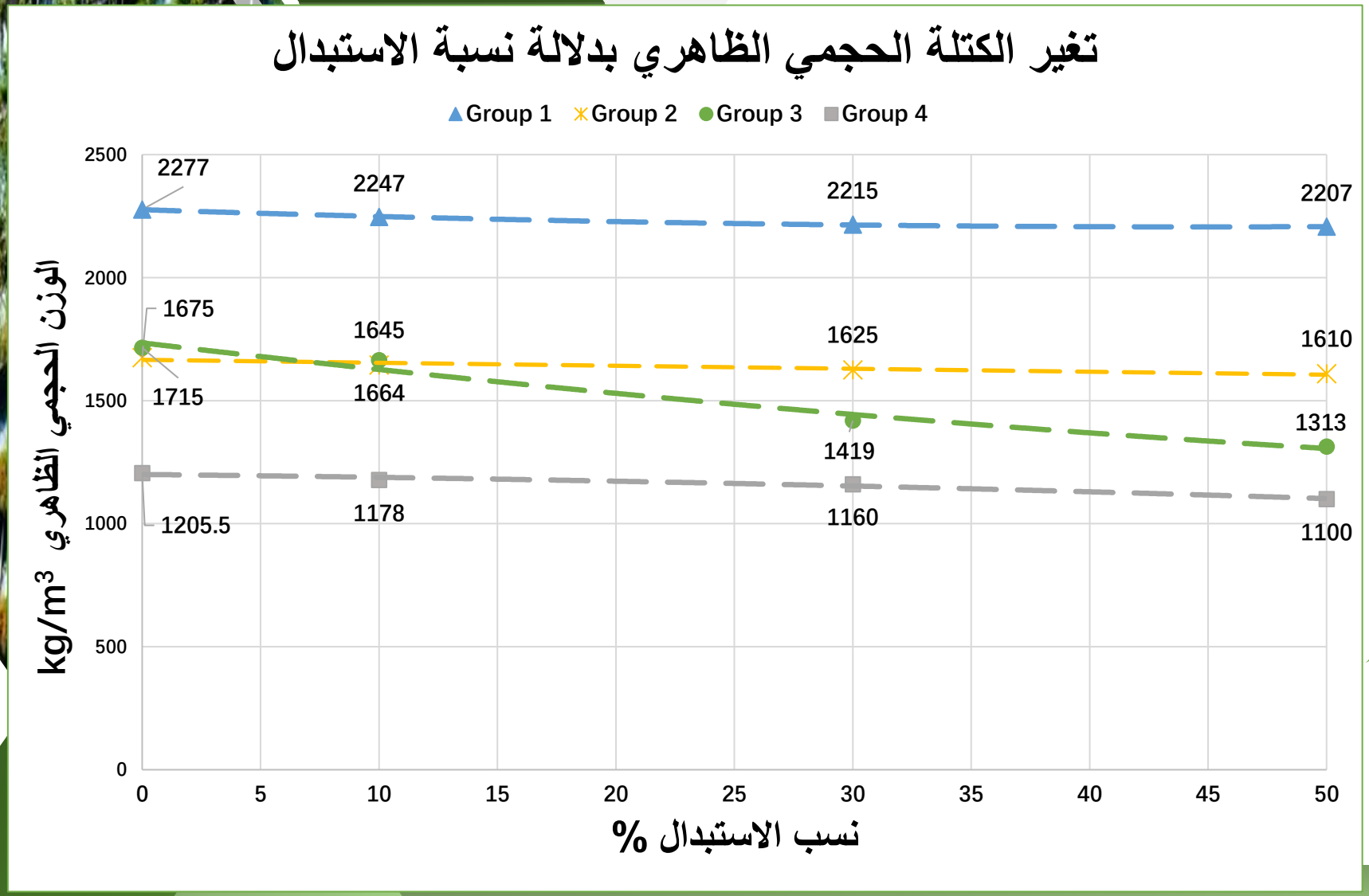
الاختبارات على البيتون الطري:



وعند استبدال حصوياته الطبيعية بالحصويات البوزولانية والرمل السيليسي بالرمل البازلتي (خلطات المجموعة الثالثة) وذلك مع 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 50% للأسمنت بالبوزولانا في العجينة الرابطة ويعود ذلك الى شراهة البازلت الى الماء كما نلاحظ انخفاض قابلية التشغيل الخلطات عند استخدام الرمل البوزولاني كبديل عن الرمل الطبيعي مع الحصويات البوزولانية (خلطات المجموعة الرابعة) من دون استبدال الاسمنت بالبوزولانا ولكن مع زيادة نسبة الاستبدال نلاحظ تحسن قابلية التشغيل حيث خرجت العينات من شريحة القوام الجامد الى اللدن عند نسبة استبدال 10% أي استبدال الاسمنت بالبوزولانا يحسن من قابلية التشغيل عند تغيير الهيكل الحصوي من حصويات طبيعية الى حصويات و رمل بوزولاني وقد يعذى ذلك الى ان البوزولانا المطحونة لا تدخل في تفاعل الإماهة مباشرة كما في الاسمنت بل تحتاج الى وسيط الا وهو الكلس الحي وبالتالي طلبها للماء اقل.

الاختبارات على البيتون الطري:

قياس الكتلة الحجمي للبيتون الطري.



زيادة نسبة استبدال الاسمنت بالبوزولانا في العجينة الرابطة يؤدي الى انخفاض الوزن الحجمي للبيتون حيث حققت اقل وزن عند نسبة استبدال 50% وذلك بالنسبة لجميع الخلطات.

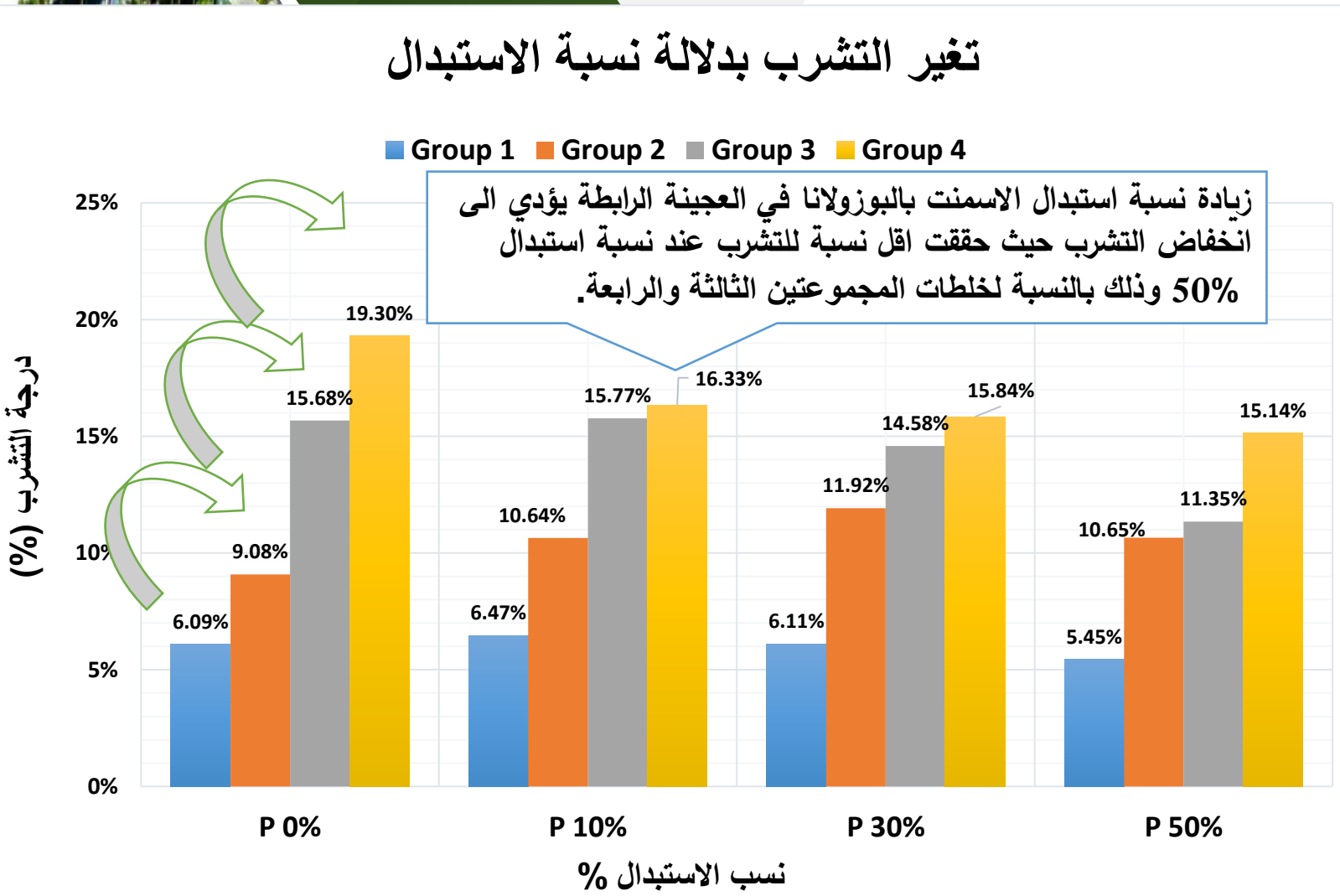
كما نلاحظ ان الخلطات الحاوية على حصويات ورمل بوزولاني (خلطات المجموعة الرابعة) حققت اقل وزن حجمي ويعود السبب في ذلك الى انخفاض كثافة البوزولانا مقارنة بالحصويات الطبيعية والمعاد تدويرها.

الاختبارات على البيتون المتصلب:

تم صب العينات ضمن القوالب على طبقتين باستخدام الطاولة الرجاجة. ثم تسوية سطوح العينات تمهيداً لحفظها في الماء لاحقاً، تم إخراج العينات من الماء بعد 28 يوماً وإجراء الاختبارات اللازمة عليها.

الاختبارات على البيتون المتصلب:

قياس التشرب الأقصى بالماء



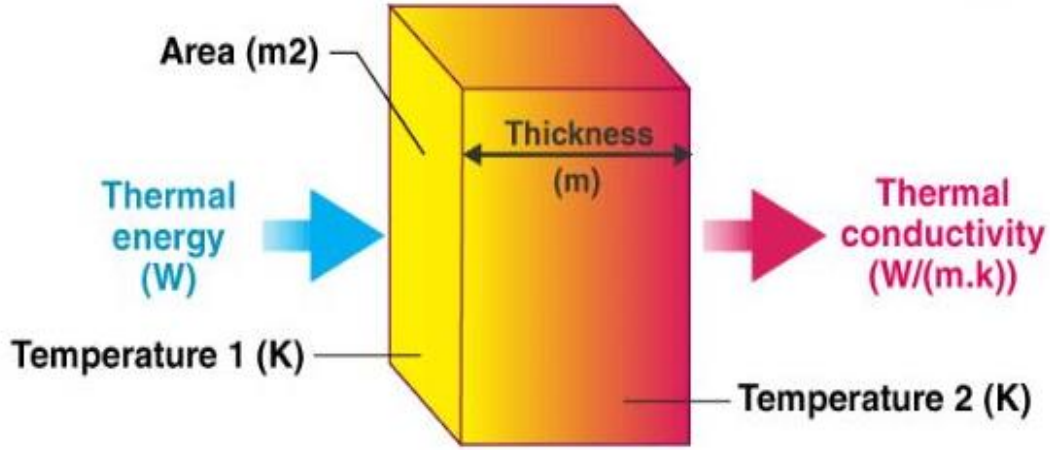
تسجل العينات إزدياداً في تشربها بنسبة 6% للعينات بدون استبدال (حصويات طبيعية) إلى النسبة 9% للعينات المصنعة كليا من الحصويات المعاد تدويرها يعود ذلك الى شرهة الحصويات المدورة للماء والتي تحتوي على قطع البلوك في تركيبها كما نلاحظ إزدياداً في تشرب العينات عند استبدال الحصويات طبيعية بالحصويات البوزولانية بنسبة 15.6% للعينات المصنعة من الحصويات البوزولانية والرمل البازلتي وبنسبة 19.3% للعينات المصنعة من الحصويات والرمل البوزولاني و يعود ذلك الى شره الحصويات البوزولانية للماء التي تحتوي على مسامات فراغية في تركيبها.

الاختبارات على البيتون المتصلب:

قياس الناقلية الحرارية

تم حساب مقدار الطاقة الحرارية (Q) المنتقلة باستخدام المعادلة الآتية :

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



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:

$$\lambda = \frac{Q * L}{A * \Delta T}$$

الاختبارات على البيتون المتصلب:

قياس الناقلية الحرارية

نتائج قياس الناقلية الحرارية للمجموعة الثانية من الخلطات 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)
NCR	0.1	0.01	91	39.24	1.078	0.928
$GCR_{P10\%}$			86	36.69	1.022	0.978
$GCR_{P30\%}$			79	33.26	0.945	1.058
$GCR_{P50\%}$			69	28.88	0.844	1.184

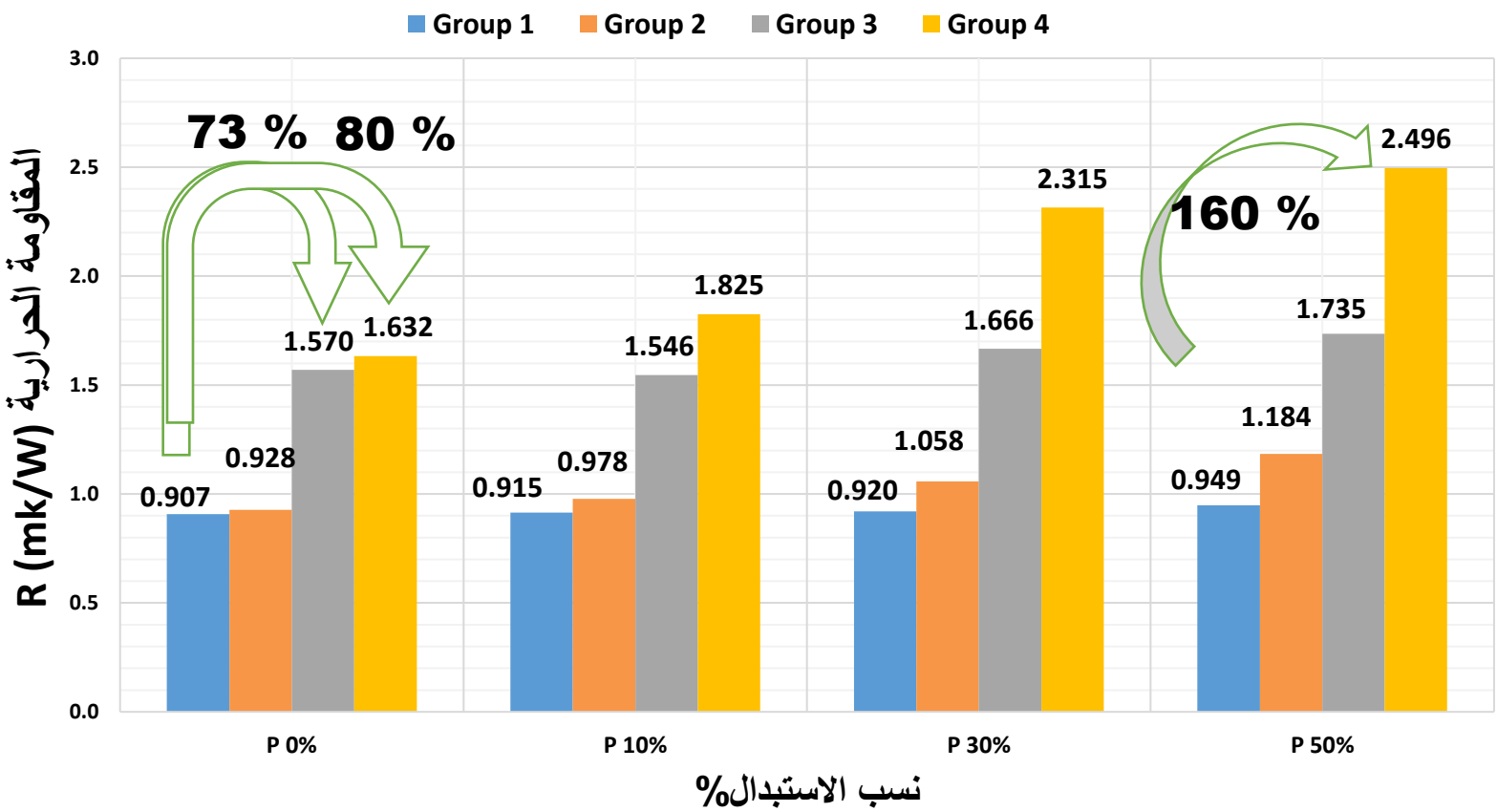
نتائج قياس الناقلية الحرارية للمجموعة الرابعة من الخلطات البيتونية

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_{PS}	0.1	0.01	137	25.12	0.613	1.632
$GCS_{P10\%}$			108	20.88	0.548	1.825
$GCS_{P30\%}$			77	15.12	0.432	2.315
$GCS_{P50\%}$			68	13.66	0.401	2.496

الاختبارات على

قياس الناقلية ال

تغير المقاومة الحرارية بدلالة نسبة الاستبدال

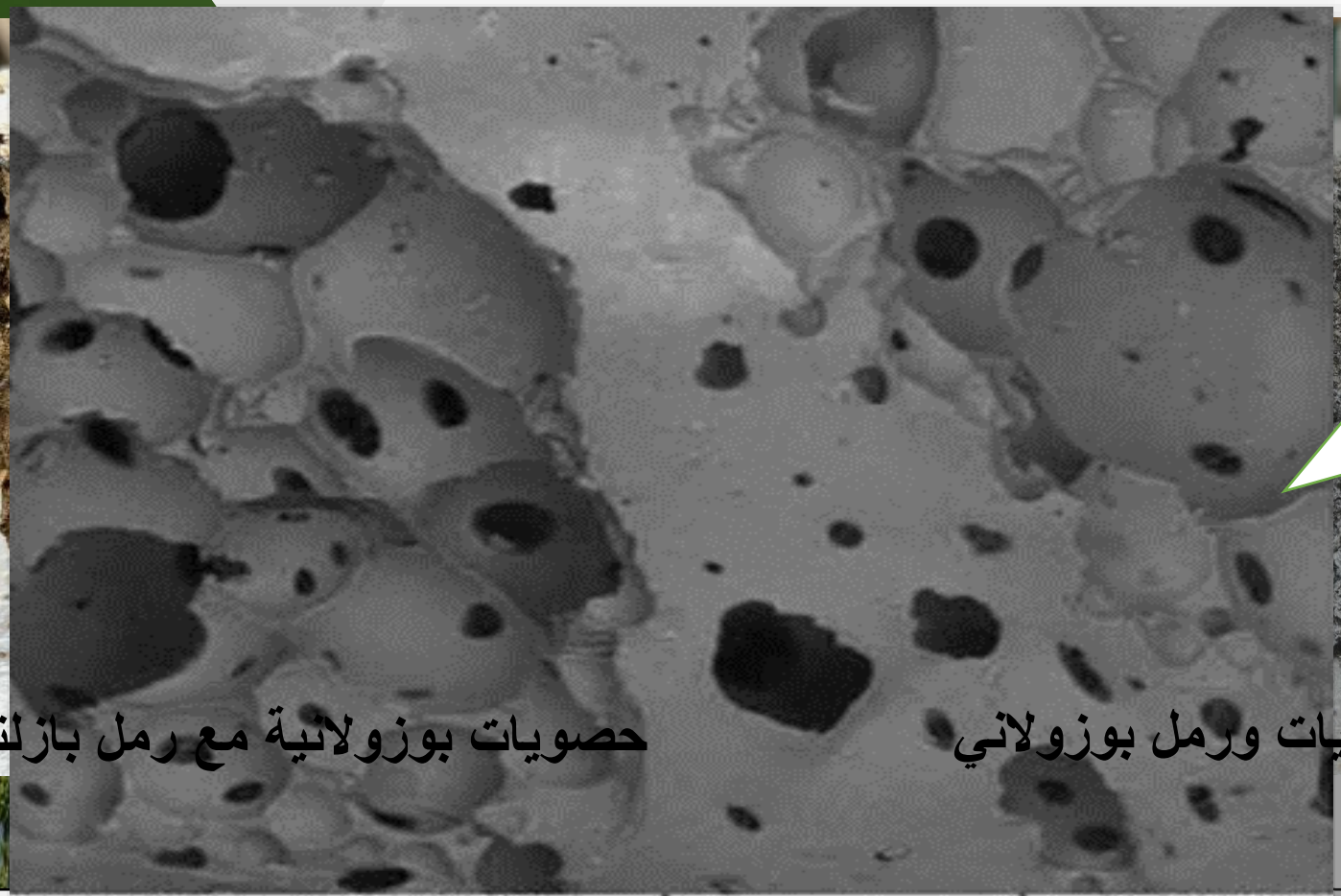


كما تظهر الحصويات البوزولانا عند استخدامها مع رمل البازلت ، مقاومة حرارية تزيد عن 73% مقارنة بعينات المجموعة الأولى ، حتى مع استبدال 50 ٪ من الأسمنت بالبوزولانا المطحون ، نلاحظ زيادة في المقاومة بأكثر من 11٪ ولكن مع استبدال الرمل البازلتي بالبوزولانا (خلطات المجموعة الرابعة) نلاحظ زيادة المقاومة الحرارية بنسبة 80٪ مقارنة بعينات المجموعة الأولى ، حيث وصلت المقاومة الحرارية لهذه العينات إلى 2.5 (متر. كلفن/واط) يعود السبب الى ان الحصويات البوزولانية (خلطات المجموعة الثالثة والرابعة) او المعاد تدويرها(خلطات المجموعة الثانية) تقلل من اكتناز الخلطة لان كثافتها اقل من الحصويات الطبيعية (خلطات المجموعة الأولى) وبالتالي تزداد المسامية أي قدرتها على امتصاص الهواء مما سيزيد من مقاومتها الحرارية.

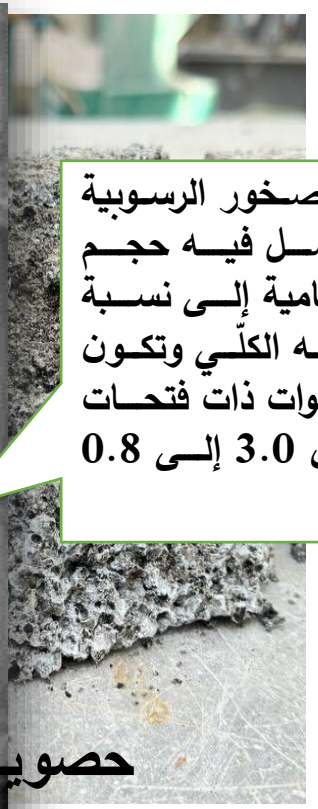
الاختبارات على البيتون المتصلب:

قياس الناقلية الحرارية

حصويات بوزولانية مع رمل بازلتي



مسح صورة مجهرية إلكترونية (SEM) للبوزولانا الطبيعية توضح تركيبها الحويصلي



حصويات ورمل بوزولاني

البوزولانا من الصخور الرسوبية المسامية اذ تصل فيه حجم الفراغات المسامية إلى نسبة 50% من حجمه الكلّي وتكون على شكل قنوات ذات فتحات تتراوح ما بين 3.0 إلى 0.8 نانومتر.

لاني نلاحظ ان

وهذا

وبمقارنة الأداء الحرا

حبيبات الرمل البازلت

ما توضحه القيم ا

الاختبارات على البيتون المتصلب:

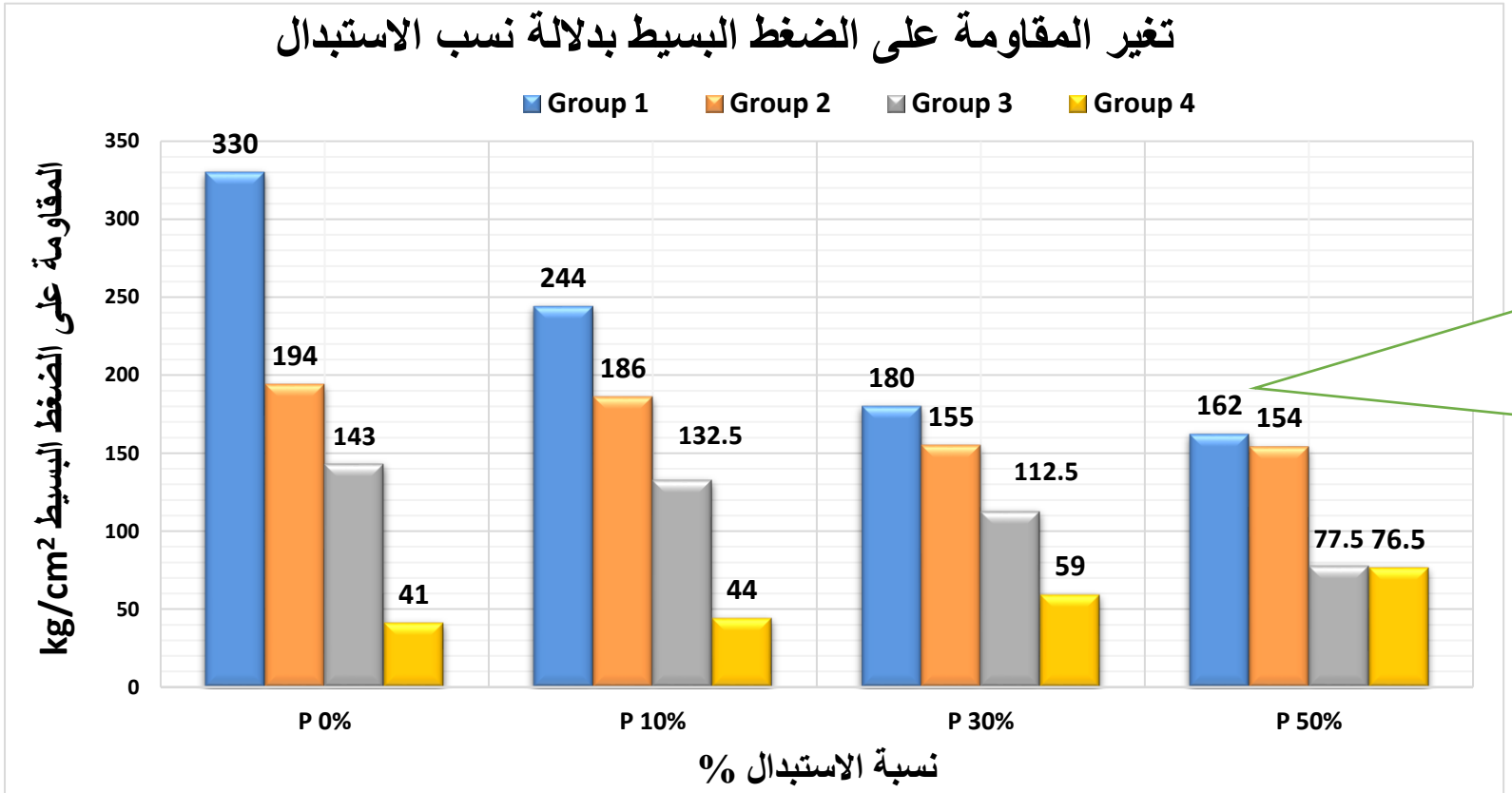
قياس المقاومة على الضغط البسيط

لتحديد قوة الضغط التي تؤدي الى انهيار العينات عن طريق حساب السطح المعرض لتلك القوة ويبين الجدول التالي نتائج اختباري للعينات البيتونية:

الخلطة	نسبة الاستبدال %	المقاومة على الضغط البسيط (kg/cm^2)	الانحراف المعياري	معامل التغير (%)
NC	0	210	0	0.00
$GCP_{10\%}$	10	244	1.4	0.58
$GCP_{30\%}$	30	180	0.0	0.00
$GCP_{50\%}$	50	162	4.2	2.62
NCR	0	194	8.5	4.37
$GCR_{P10\%}$	10	186	2.7	1.80
$GCR_{P30\%}$	30	155	1.4	0.91
$GCR_{P50\%}$	50	154	2.8	1.84
NCP	0	143	2.8	1.98
$GCP_{P10\%}$	10	132.5	3.5	2.67
$GCP_{P30\%}$	30	112.5	3.5	3.14
$GCP_{P50\%}$	50	77.5	0.7	0.91
NC_{PS}	0	41	1.4	3.45
$GCS_{P10\%}$	10	44	1.4	3.21
$GCS_{P30\%}$	30	59	4.2	7.19
$GCS_{P50\%}$	50	76.5	4.9	6.47

الاختبارات على البيتون المتصلب:

قياس المقاومة على الضغط البسيط



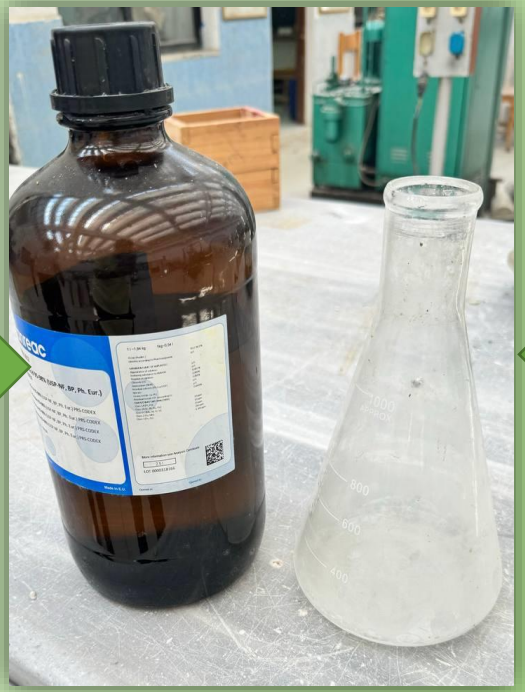
تجدر الإشارة إلى أن الاستبدال الكلي للحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها حافظ على بيتون قريب جدا من بيتون الخلطات المرجعية عند نسب الاستبدال ذاتها إذ انخفضت المقاومات بنسبة 5% عند نسبة استبدال 50% للأسمنت بالبوزولانا المطحونة

أن معامل الفعالية للبوزولانا المطحونة اقل من الاسمنت ونتيجة لذلك تنخفض المقاومة على الضغط البسيط عند استبدال الاسمنت بالبوزولانا كما في خلطات المجموعة الأولى(حصويات طبيعية) والثانية(حصويات معاد تدويرها) والثالثة(حصويات بوزولانية مع رمل بازلتي) باستثناء المجموعة الرابعة الحاوية على حصويات ورمل بوزولاني حيث مع استبدال 50% من الاسمنت بالبوزولانا تزداد المقاومة على الضغط البسيط بنسبة تزيد عند 46.4% ويعود السبب في ذلك الى الرمل البوزولاني حيث ان حجم الجسيمات وتوزيعها يؤثر أيضًا على قوة ضغط للخرسانة فالحجم والتوزيع المناسب لجزيئات الرمل البوزولاني يساعد في تسهيل عملية الترطيب ويزيد من القوة الإجمالية للخرسانة على عكس الرمل البازلتي المستخدم في عينات المجموعة الثالثة

الاختبارات على البيتون المتصلب:

قياس الديمومة

لدراسة تأثير نسبة استبدال الاسمنت بالبوزولانا الطبيعية في العجينة الرابطة والحصويات الطبيعية بالحصى المعاد تدويرها والحصى البوزولاني والبازلتي على ديمومة البيتون المنتج ، قمنا بإجراء اختبار ديمومة مسرع (أسبوع من الغمر) على عينات البيتون بغمرها في محلول حمض الكبريت و التحقق من فقدان المقاومة بعد الغمر



الاختبارات على البيتون المتصلب:

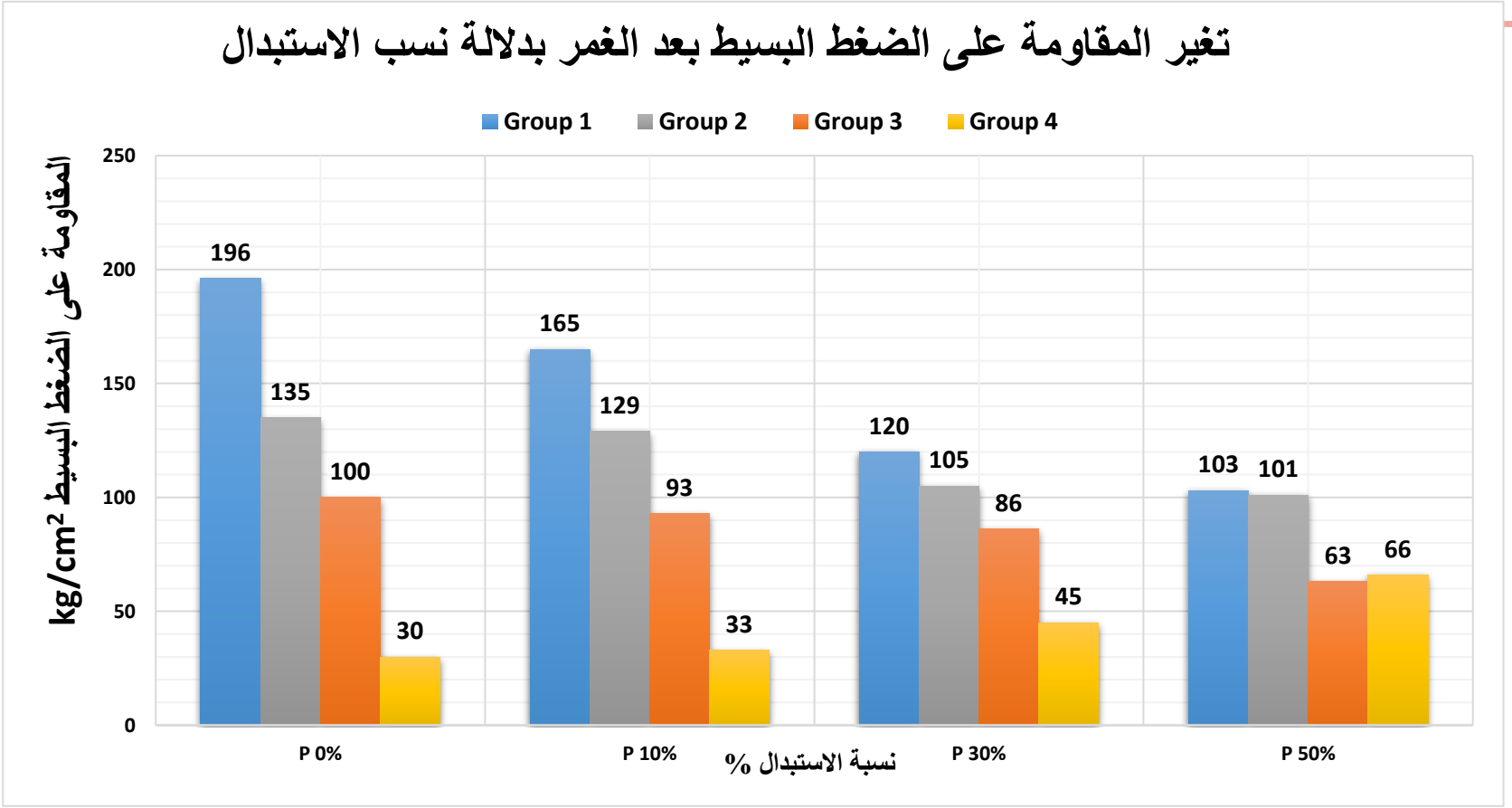
قياس الديمومة

نتائج الاختبار على المقاومة بعد الغمر بمحلول حمض الكبريت

الخلطة	المقاومة قبل الغمر بالمحلول (kg/cm^2)	المقاومة بعد الغمر بالمحلول (kg/cm^2)	انخفاض المقاومة (الديمومة) (%)
NC	330	182	44.8%
$GCP_{10\%}$	244	195	20.1%
$GCP_{30\%}$	180	120	33.3%
$GCP_{50\%}$	162	102	37.0%
NCP	143	98	31.5%
$GCP_{P10\%}$	132.5	82	38.1%
$GCP_{P30\%}$	112.5	109	3.1%
$GCP_{P50\%}$	77.5	73	5.8%
NCR	194	145	25.3%
$GCR_{P10\%}$	186	112	39.8%
$GCR_{P30\%}$	155	142	8.4%
$GCR_{P50\%}$	154	108	29.9%
NC_{PS}	41	30	26.8%
$GCS_{P10\%}$	44	33	25%
$GCS_{P30\%}$	59	45	23.7%
$GCS_{P50\%}$	76.5	66	13.7%

الاختبارات على البيتون المتصلب:

قياس الديمومة



قمنا بتمثيل العلاقة بين المقاومة على الضغط البسيط للبيتون بعد الغمر بمحلول حمض الكبريت ونسب الاستبدال الاسمنت بالبوزولانا الطبيعية في العجينة الرابطة وذلك على الشكل

يسلك المدرج المبين على هذا الشكل سلوكاً مشابهاً لمدرج العينات غير المغمورة ولقياس تأثر ديمومة البيتون بدلالة نسب الاستبدال قمنا بحساب معامل يتعلق بالديمومة تمت تسميته بمعامل انخفاض المقاومة ΔR والمعرف كما يلي:

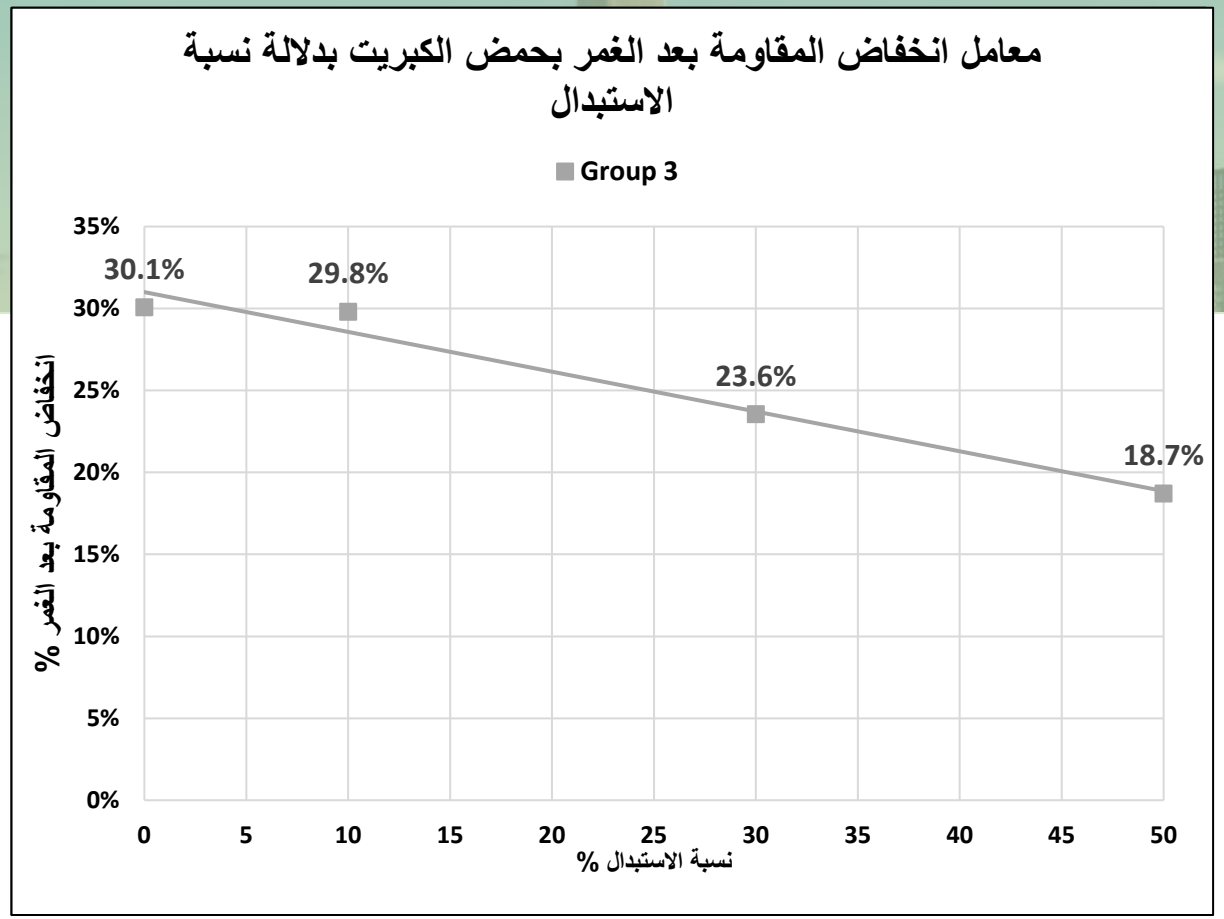
$$\Delta R = \frac{R2 - R1}{R2} \times 100$$

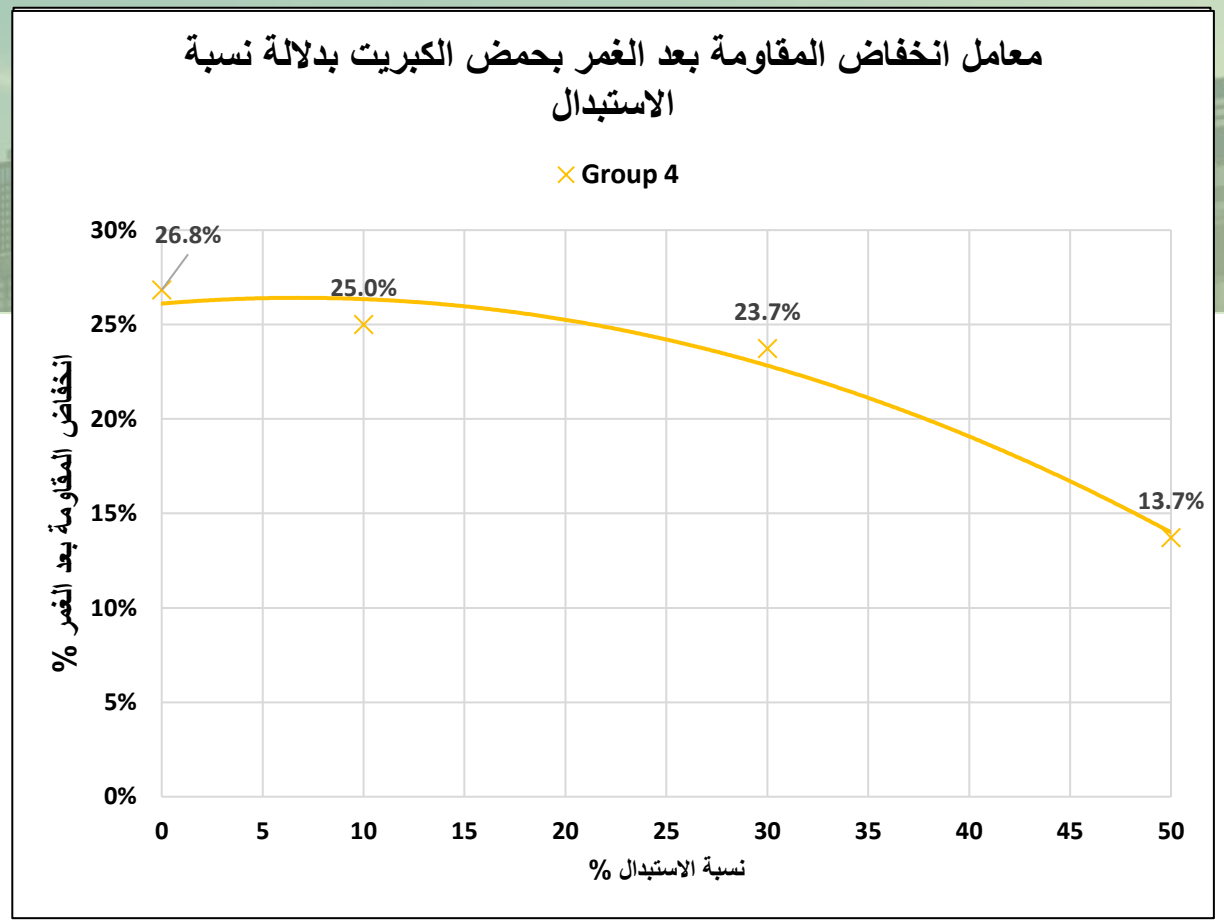
حيث:

R2: مقاومة العينات على الضغط البسيط قبل غمرها بالمحلول حمض الكبريت

R1: مقاومة العينات على الضغط البسيط بغد غمرها بالمحلول حمض الكبريت

تأثير نسب الاستبدال على معامل الديمومة وذلك لكل مجموعة من الخلطات على حدا :





صب العينات (اللبنات الاسمنتية المفرغة)

تجاوزت قيم المقاومة على الضغط البسيط للعينات المكعبية الحدود الدنيا للمواصفة السورية الخاصة بالبلوك الإسمنتي، اتاح ذلك تصنيع البلوك باستخدام الحصويات المعاد تدويرها او حصويات بوزولانية مع إمكانية استبدال الاسمنت بالبوزولانا المطحونة وفق نسب الاستبدال وصلت الى 50%

المواد المستخدمة

- **حصويات طبيعية.**
- **البوزولانا المطحونة كبديل عن الاسمنت البورتلاندي.**
- **الإسمنت البورتلاندي.**
- **الحصويات المدورة من الأنقاض** : وقد تم استبدال الحصى الطبيعي بالحصى المعاد تدويرها و بذات القطر الأعظمي وفق نسب استبدال (100%).
- **الماء.**
- **الحصويات البوزولانية:** وفق نسب استبدال (100%)

نسب و أوزان المواد الداخلة في التركيب الخلطات

الخلـــــــطات						
مكونات الخلطات (kg/m^3)	BN	$BN_{p50\%}$	BGP	$BGP_{p50\%}$	BGR	$BGR_{p50\%}$
حصويات طبيعية	1888	1888	0	0	0	0
اسمنت	200	100	200	100	200	100
بوزولانا	0	100	0	100	0	100
ماء	100	100	100	100	100	100
حصويات بوزولانية	0	0	1752	1752	0	0
الحصويات المعاد تدويرها	0	0	0	0	1761	1761

- الخلطة (BN) : (100% حصويات طبيعية,100% اسمنت بورتلاندي).
- الخلطة ($BN_{p50\%}$) : (100% حصويات طبيعية,50% اسمنت بورتلاندي, 50% بوزولانا مطحونة).
- الخلطة (BGP) : (100% حصويات بوزولانية,100% اسمنت بورتلاندي).
- الخلطة ($BGP_{p50\%}$) : (100% حصويات بوزولانية, 50% اسمنت بورتلاندي, 50% بوزولانا مطحونة).
- الخلطة (BGR) : (100% حصويات معاد تدويرها,100% اسمنت بورتلاندي).
- الخلطة ($BGR_{p50\%}$) : (100% حصويات معاد تدويرها, 50% اسمنت بورتلاندي, 50% بوزولانا مطحونة).

مراحل التصنيع

تحضير المواد

الحصويات الطبيعية، الحصويات المعاد تدويرها، الحصويات البوزولانية، الإسمنت، البوزولانا، الماء

قياس أوزان المواد وفق تصميم كل خلطة

مزج المواد

وفق نسب الاستبدال بشكلها الجاف ثم إضافة الماء بشكل تدريجي للوصول للخلطة المتجانسة

صب المزيج بالقالب

بشكل تدريجي مع عملية الرج والضغط بآن واحد

نزع القالب بعد الضغط مباشرة

ترطيب العينات بشكل مستمر حتى العمر 28 يوم.

إجراء الاختبارات المطلوبة علي العينات

الوزن النوعي
المقاومة على الضغط البسيط
الانتقال الحراري

عينات اللبنات المفرغة التي تم صبها

النتائج

5

استبدال الاسمنت بالبوزولانا يحسن من قابلية التشغيل عند تغير الشكل الحصوي من حصويات
تنخفض المقاومات على الضغط البسيط مع زيادة نسب استبدال الاسمنت بالبوزولانا المطحونة في الخلطات
طلبها للماء اقل

6

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

7

تتجاوز قيم المقاومة على الضغط البسيط للعينات المكعبية الحدود الدنيا للمواصفة السورية الخاصة بالبلوك الإسمنتي، اتاح ذلك تصنيع البلوك الإسمنتي باستخدام حصويات معاد تدويرها او بوزولانية مع إمكانية استبدال الاسمنت بالبوزولانا المطحونة وفق نسب الاستبدال وصلت الى 50%.

4

كما تظهر الحصويات البوزولانا عند استخدامها مع رمل البازلت ، مقاومة حرارية أكبر بمقدار 75% مقارنة بعينات المجموعة الأولى ، حتى مع استبدال 50 ٪ من الأسمنت بالبوزولانا المطحون ، نلاحظ زيادة في المقاومة بأكثر من 11٪ ولكن مع استبدال الرمل البازلتي بالبوزولانا نلاحظ زيادة المقاومة الحرارية بأكثر من 80٪ ، حيث وصلت المقاومة الحرارية لهذه العينات إلى 2.5 (متر. كلفن/واط)

التوصيات المستقبلية:

دراسة المتانة والأداء طويل الأمد للخرسانة التي تحتوي على مواد بوزولانية في ظل ظروف بيئية مختلفة مثل دورات التجميد والذوبان والتعرض للمواد الكيميائية العدوانية.

إجراء تقييمات لدورة الحياة لتقييم التأثير البيئي لاستخدام المواد البوزولانية في الخرسانة مقارنة بالخلطات التقليدية القائمة على الأسمنت.

استكشاف التأثير المحتمل بين المواد البوزولانية وغيرها من المواد الأسمنتية التكميلية، مثل الرماد المتطاير والخبث وغبار السيليكا، من أجل تحسين فوائدها مجتمعة في تصميم خلطات الخرسانة.

وبشكل عام، نقترح أن هناك حاجة إلى إجراء المزيد من الأبحاث لفهم الفوائد والقيود المترتبة على دمج المواد البوزولانية والمواد المعاد تدويرها في الخرسانة الخضراء وتحسين استخدامها في ممارسات البناء المستدامة وعالية الأداء.

Thank
You