الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة عمار ثليجي – الأغواط

كلية/معهد:الهندسة المدنية والمعمارية
قسم:الهندسة المدنية

مذكـــرة ماستـــر

من تقديم الطالبين: سبقاق بلقاسم و حمداوي عبد الرحمان

ميدان:علوم وتكنولوجيا

شعبة:هندسة مدنية

تخصص:مواد الهندسة المدنية

موضوع البحث

صياغة ملاط ذاتي الرص صديق للبيئة

بإستعمال بقايا السيراميك والزجاج كمواد ناعمة

أعضاء لجنة المناقشة:

الاسم و اللقب	الدرجة العلمية	الصفة
إدريس قوال	أستاذ تعليم عالي	رئيسا
طيب بوزياني	أستاذ محاضر (أ)	ممتحن
أبو بكر بوخلخال	أستاذ مساعد (أ)	مقررا
أكرم صلاح الدين بلعيدي	أستاذ محاضر (أ)	مقررا مساعدا

الدفعة: جوان – 2018

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم وبه أستعين

أهدي هذا العمل المتواضع إلى سبب وجودي وسر سعادتي والديَ الكريمين رحمهما الله ثم إلى سر بهجتي وفرحتي أهل بيتي زوجتي وأولادي والى جميع الإخوان وإلى كل من علمني ولو حرفا أساتذتي الكرام وزملائي الطلبة والى كل أصدقائي سواء من تذكرت جميله أو نسيت فظله علي .
لكل هؤلاء وغيرهم أهدي ثمرة جهدي المتمثلة في هاته المذكرة وأسأل الله التوفيق والسداد والزيادة في العلم والأدب
وآخر مانختتم به كلامنا
اللهم صل على محمد وعلى آل محمد
.

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله على إحسانه

و الشكر له على توفيقه و امتنانه

و أشهد أن لا إله إلا الله وحده لا شريك له تعظيما لشأنه

و أشهد أن محمدا عبده و رسوله الداعي إلى رضوانه صلى الله عليه و على جميع أصحابه و إخوانه أما بعد :

أهدي ثمرة هذا العمل إلى :

أحق الناس بصحبتي في هذه الدنيا أمي الغالية "حليمة" حفظها الله و رعاها فإني لن أوفي حقها ما حييت ، فأسأل الله العظيم رب العرش الكريم أن يبارك فيها وأن يحفظها بما يحفظ به عباده الصالحين

إلى روحي أبي الطيبة "عبد القادر" رحمة الله عليه، الذي فارقنا في هذه الأيام المباركة

أسأل المولى الكريم أن يطيب ثراه ويثبته عند السؤال

إلى الإخوة: عيسى، عامر، عبد العزيز، محمد

إلى الأخوات: فتيحة ، يمينة ، خديجة، فاطمة ، نجية ، عائشة

وإلى كل أولاد إخوتي وأخواتي دون استثناء لأنهم كلهم أحباب قلبي

إلى من دخلت حياتي حديثا وأضفت عليها حبا وعطرا زوجتي الغالية "سناء" وابنتنا القادمة "انتصار" نرجو الله أن يتم بها علينا وتولد في صحة وعافية هي وأمها العزيزة

و إلى عمي أحمد وأهله حفظهم الله، وإلى أولاد عمي الذين هم بمثابة الإخوة، وإلى الخالة والأخوال وأولادهم

إلى الأخوين الصديقين ابن خالي لحسن رخرور وكل أهله ومحمد بيعة وكل أهله

وإلى الأستاذ والزميل إبراهيم سوداني

وإلى أستاذي ورفيقي في هذا العمل الأستاذ بلقاسم سبقاق

وإلى كل من عرفته خلال مسيرتي في الحياة وإلى كل أخ مسلم

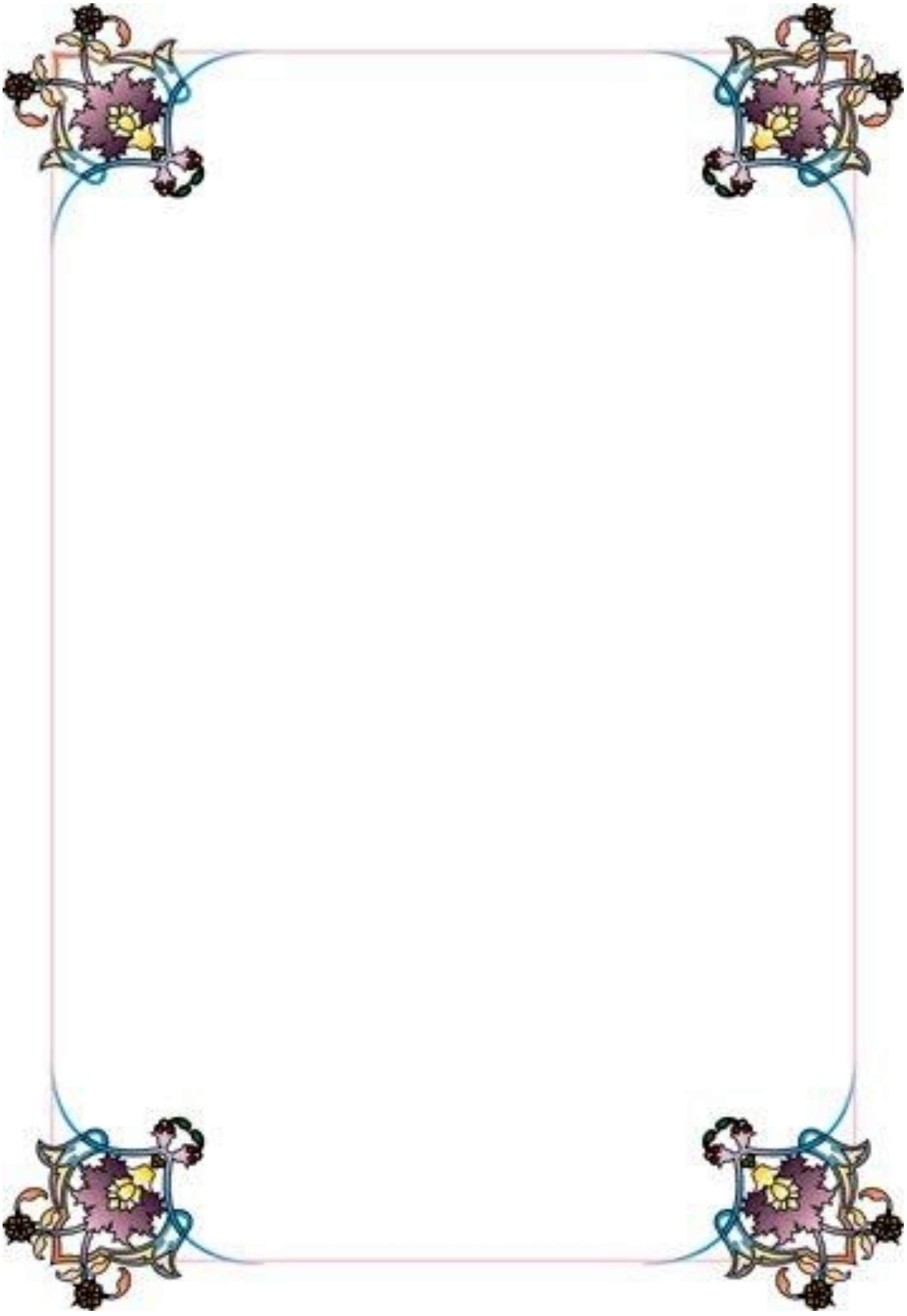
و ليعذرني من لم أذكر إسمه فإن القلب لم ينساه

وسبحانك اللهم و بحمدك أشهد أن لا إله إلا أنت أستغفرك

و أتوب إليك وصلى الله وسلم على نبينا محمد

و على آله و صحبه أجمعين

كتبه:عبد الرحمان حمداوي



الملخص

مدخل عام:..... 1

الفصل الأول:مدخل حول الخرسانة والملاط ذاتيي الرص

1-1. نبذة تاريخية عن الخرسانة ذاتية الرص:..... 4

1-2. مقدمة عن الخرسانة ذاتية الرص:..... 4

1-3. أسباب صناعة خرسانة ذاتية الرص:..... 4

1-4. مميزات الخرسانة ذاتية الرص:..... 5

1-5. مساوئ الخرسانة ذاتية الرص:..... 7

1-6. خصائص الخرسانة ذاتية الرص:..... 7

1-6-1. الانسيابية والسيولة العالية:..... 8

1-6-2. القدرة على الانتقال:..... 9

1-6-3. مقاومة الانعزال الحبيبي:..... 10

1-7. المواد المستعملة في صناعة الخرسانة الذاتية الرص:..... 10

1-7-1. المواد الناعمة (الرابط):..... 11

أ- الاسمنت:..... 12

ب-الإضافات الإسمنتية:..... 12

1-7-2. الإضافات الكيميائية:..... 20

1-7-3. الرمل:..... 21

1-7-4. الحصى:..... 21

1-7-5. الماء:..... 21

الفصل الثاني:خصائص المواد المستعملة والتجارب المنجزة

2-1. مقدمة:..... 22

2-2. وصف المواد : 22

2-2-1. الاسمنت:..... 22

2-2-2. الإضافات الإسمنتية:..... 23

أ- مسحوق السيراميك : 23
ب- مسحوق الزجاج: 25
2-2-3. الرمل: 27
2-2-4. الملدن الفائق: 28
2-2-5. ماء الخلط: 28
2-3. صياغة الملاط ذاتي الرص : 28
2-3-1. النسبة الماء إلى المسحوق (E/P): 29
2-3-2. النسب الرمل إلى الملاط (S/M)
والملدن إلى المسحوق(SP/P): 29
2-4. تعويض الاسمنت بالمسحوق: 31
2-5. التجارب : 31
2-5-1. التجارب المنجزة على الملاط في الحالة الطرية: 31
أ- تجربة الانتشار للمخروط الصغير: 32
ب-تجربة التدفق القمع الصغير على شكل حرف V: 32
2-5-2. الصب وتفكيك القوالب ومعالجة عينات الاختبار:.. 33
2-5-3. التجارب التي أجريت على الملاط في الحالة المتصلبة : 34
أ- تجربة مقاومة الضغط: 34
ب-مقاومة الانحناء البسيط: 35
ج- سرعة انتشار الأمواج فوق الصوتية: 36
د- تجربة امتصاص الماء بالغمر: 37
هـ- تجربة مقاومة الحرارة العالية: 37
الفصل الثالث:عرض النتائج ومناقشتها
3-1. مقدمة: 39
3-2. عرض النتائج ومناقشتها: 39
3-2-1. التجارب المنجزة على الملاط الذاتي الرص في الحالة الطرية: 39

أ– تصميم وصياغة الملاط الذاتي الرص الشاهد: 39

ب– تأثير إضافة السيراميك والزجاج كمواد ناعمة على

خصائص الملاط الذاتي الرص: 41

3–2–2. التجارب المنجزة على الملاط الذاتي الرص في الحالة المتصلبة: 44

أ– تأثير إضافة مسحوقي السيراميك والزجاج على بعض الخصائص

الميكانيكية والفيزيائية للملاط الذاتي الرص: 44

ب – تأثير إضافة السيراميك والزجاج كمواد ناعمة على مقاومة

امتصاص الملاط ذاتي الرص للماء: 51

ج – تأثير إضافة السيراميك والزجاج كمواد ناعمة على مقاومة

الملاط الذاتي الرص للحرارة العالية: 52

هـ– الملاحظات العينية بعد تعريض العينات لدرجات حرارة عالية : 65

خلاصة عامة:.....69

التوصيات: 72

المصادر: 74

الملحق(1):.....79

الملحق(2):.....81

الملخص

يهدف هذا العمل إلى إنتاج ملاط ذاتي الرص صديق للبيئة، إقتصادي و مقاوم للحرارة العالية وذلك باستبدال نسبة من الاسمنت بمواد ناعمة ناتجة عن بقايا مواد مستعملة كالزجاج والسيراميك. من أجل ذلك قمنا بدراسة تسع خلطات، واحدة شاهدة (مرجعية)، والثمانية خلطات تحتوي على نسب مختلفة من مسحوقي السيراميك والزجاج (5، 15، 25 و50%). في الحالة الطرية قمنا بتجربتي الإنتشار (الانسياب) و التدفق (الجريان). أما في الحالة المتصلبة وقصد تقييم الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للملاط ذاتي الرص قمنا بقياس مقاومة الضغط، مقاومة الانحناء، سرعة الأمواج فوق الصوتية، نسبة امتصاص الملاط ذاتي الرص للماء. ومن أجل دراسة مقاومة الملاط لتأثير الحرارة العالية قمنا بتعريض كل الخلطات إلى درجات حرارة مختلفة (400، 600، 800 و 1000°م)، وقمنا بقياس فقدان الكتلة، مقاومة الضغط، مقاومة الانحناء وسرعة الأمواج فوق الصوتية. أثبتت النتائج المتحصل عليها أن الملاط ذاتي الرص الذي يحتوي على نسبة 5% من الإضافات الإسمنتية (السيراميك والزجاج) هو ملاط ذو خصائص جيدة جدا. كما يمكن إستعمال نسب15 أو 25% بدرجة أقل بإعتبارها حققت نتائج متوسطة لكنها مقبولة عموما. فيما يخص تأثير الحرارة العالية، وفي حالة إستبدال 50 % من الإسمنت بمسحوقي السيراميك أو الزجاج، لاحظنا تراجعا كبيرا في حال إستخدام مسحوق الزجاج.

كلمات مفتاحية:ملاط، ذاتية الرص، إضافات إسمنتية، بيئة، حرارة عالية.

Résumé

L'objectif de ce travail est de produire un mortier autoplaçant respectueux à l'environnement, économique et résistant aux hautes températures en remplaçant une partie ciment par des poudres provenant de matériaux utilisés tels que le verre et la céramique. Neuf mélanges ont été désigné et préparé, un de référence et huit contenant différentes proportions de poudres de céramique et de verre (5, 15, 25 et 50%). À l'état frais, deux essais sont réalisés : essai d'étalement et essai d'écoulement. A l'état durci, et afin d'évaluer les propriétés physiques et mécaniques de mélanges préparés, nous avons mesuré la résistance à la compression, la résistance à la flexion, la vitesse d'onde ultrasonique et le taux d'absorption d'eau. Pour étudier le comportement des mortiers autoplaçants aux hautes températures, nous avons exposé les éprouvettes de tous les mélanges à des températures

différentes (400, 600, 800 et 1000 ° C), par la suite nous avons mesuré la perte de masse, la résistance à la compression, la résistance à la flexion et la vitesse d'onde ultrasonique. Les résultats obtenus montrent que le mortier autoplaçant, qui contient 5% de matériaux cimentaires (céramique et verre), est un mortier ayant de très bonnes propriétés. Il a été montré qu'il est possible d'utiliser 15% ou 25% de poudre de céramique ou de poudre de verre du moment qu'ils ont donné des résultats acceptables. Pour ce qui concerne l'effet de haute température, le remplacement de 50% de ciment par de la poudre de verre a causé une réduction significative des performances mécaniques du mortier autoplaçant par comparaison au même pourcentage dans le cas de la poudre de céramique.

Mots clés :mortier, autoplaçant, matériaux cimentaire, environnement, haute température.

مدخل عام

الفصل الأول

1-1. نبذة تاريخية عن الخرسانة ذاتية الرص:

توسع استخدام الخرسانة ذاتية الرص (الدمك) وفائقة الأداء بشكل كبير بعد اكتشافها حديثا وبالتحديد في العام 1980 في اليابان ، ويعتبر اليابانيون هم الرواد صناعة الخرسانة حيث قاموا في السنوات الأخيرة باستخدامها في المنشآت وتطبيقات عديدة. أما في أوروبا فعلى الأرجح أنها استخدمت لأول مرة في شبكات الطرق بالسويد منتصف عام 1990مولت الهيئة الأوروبية عدة مشاريع أهلية وحكومية للخرسانة ذاتية الرص مابين عامي 1997-2000، بعد ذلك انتشر استخدام هذا النوع من الخرسانة في عموم أوروبا[1].

في عام 2002 نشرت المنظمة الأوروبية المعروفة باسم (EFNARC) مواصفات ودليل استخدام الخرسانة ذاتية الرص ومنذ ذلك الحين نشرت عدة تقارير عن خرسانة ذاتية الرص وبعدها تم إنتاج هذه الخرسانة في العديد من الدول مثل تركيا وأمريكا.

1-2. مقدمة عن الخرسانة ذاتية الرص:

شهدت صناعة الخرسانة في العقود الأخيرة من الزمن تطورا كبيرا تمثل في إنتاج أنواع جديدة منها لتشييد منشآت خرسانية موثوق في خواصها من حيث القدرة على تحمل الضغوط المسلطة عليها والديمومة العالية مع سهولة التنفيذ (الصب والرص)، وتقليص فترة الإنشاء وتقليل الاعتماد على مهارة العمالة أثناء التنفيذ.

ومن أنواع هذه الخرسانة: **الخرسانة ذاتية الرص** (Béton autoplaçant)، الخرسانة التي تفي بالخواص المذكورة. وتعتبر الخرسانة ذاتية الرص من الأنواع الحديثة للخرسانة العالية الأداء[2].

كما تعتبر نتاج التقدم التكنولوجي في مجال إضافات الخرسانة حيث تعتبر كل من إضافات تحسين اللزوجة وإضافات تقليل الخلط (الملدنات) هما العنصران الأساسيان اللازمان لإنتاج هذه الخرسانة، وهي خرسانة لها درجة عالية من السيولة والانسياب كما أن لها مقاومة عالية للاتصال الحبيبي. و يمكن صبها بنجاح في الفراغات الضيقة والمزدحمة بحديد التسليح دون الاستعانة بوسيلة الرص (الهزاز) ودون أن يحدث لها التعشيش، وتكلفة المتر المكعب في الخرسانة ذاتية الرص قد يزيد بنسبة 10 إلى 20 % عن سعر الخرسانة العادية إلا أن التكلفة النهائية للخرسانة ذاتية الرص تعتبر اقل في ظل توفير تكاليف العمالة وإضافة إلى الوقت المستخدم في البناء ومن ناحية أخرى فإنها تزيد العمر الافتراضي للمباني.

1-3. أسباب صناعة خرسانة ذاتية الرص:

اقترحت الخرسانة ذاتية الرص للحصول على خرسانة مستقرة حيث أن من مساوئ الخرسانة الرئيسية هي الانعزال الحبيبي ويحدث الانعزال للأسباب التالية:

- ✓ دحرجة الخرسانة والتي تحدث أثناء نقل ومناولة الخرسانة

- ✓ سقوط الخرسانة من مسافات عالية
- ✓ زيادة الرص عند وجود حديد تسليح بكثافة عالية وعند كون كمية ماء الخلط قليلة نحتاج إلى زيادة الرص لضمان تغلغل الخرسانة بين قضبان حديد التسليح إلا أن ذلك يؤدي إلى ترسب الحصى والرمل في الأسفل وصعود مونة الاسمنت إلى الأعلى.

توفر الخرسانة ذاتية الرص وقتا أطول للمناولة إضافة إلى تقليل حدوث الانعزال الحبيبي، وحيث أنها تكون سائلة جدا لذلك ليس هناك من حاجة إلى الرص. ويتم استخدام الخرسانة ذاتية الرص بصورة أساسية في المباني شاهقة الارتفاعات مثل برج خليفة بمدينة دبي حيث يساعد تشغيلية الخرسانة على سهولة الضخ لارتفاعات كبيرة.

الهبوط الابتدائي للخرسانة ذاتية الرص يكاد يكون انهيار ومع ذلك لا يحدث انفصال أو نزف للخرسانة، بعض الخلطات الخرسانية التي تم تصميمها حققت إجهادات كسر تصل إلى 650كغ /سم^2، كما استخدمت الخرسانة ذاتية الرص في أعمال الحوائط اللوحية خاصة ذات الأعماق الكبيرة حيث تكون حركة الخرسانة بصورة طبيعية وتحت تأثير وزنها فقط[3].

1-4. مميزات الخرسانة ذاتية الرص:

- تمتلك سيولة عالية بحيث يمكن صبها بدون رص ولا تعطي فرصة لإضافة الماء نظرا لسيولتها العالية (**الشكل (1-1)**) [4].

الشكل (1-1): السيولة العالية للخرسانة ذاتية الرص[4]

- تبقى متجانسة قبل وبعد التصلب ولا يحدث بها انفصال حبيبي ويمكنها التغلغل خلال حديد التسليح (**الشكل (1–2)**) [5].

الشكل (1–2): الانسيابية والتغلغل خلال حديد التسليح[5]

- تحتاج إلى عمالة اقل.
- ديمومتها أعلى من الخرسانة العادية.
- يمكن ضخها في الأماكن العالية جدا أو استخدامها في الأماكن الضيقة أين يوجد كثافة في حديد التسليح دون الحاجة لبذل أي طاقة ميكانيكية لرص هذا النوع من الخرسانة.
- القدرة على صب كمية كبيرة من الخرسانة في فترة زمنية قصيرة.
- لا تحتاج لاستخدام هزازات في الموقع مما يؤدي إلى سهولة الصب.
- التغلب على مشكلة الضوضاء الناتجة عن الهزازات.
- توفر الخرسانة ذاتية الرص وقتا أطول للمناولة إضافة إلى التقليل من فرضية حدوث الانعزال، وحيث أنها تكون سائلة جدا لذلك ليس هناك حاجة إلى الرص.
- لها شكل ومظهر أفضل كما أنها لا تحتاج لتسوية سطحها بعد صبها (الشكل (1-3)) [1].

الشكل (1–3): مقارنة بين الخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الرص[1]

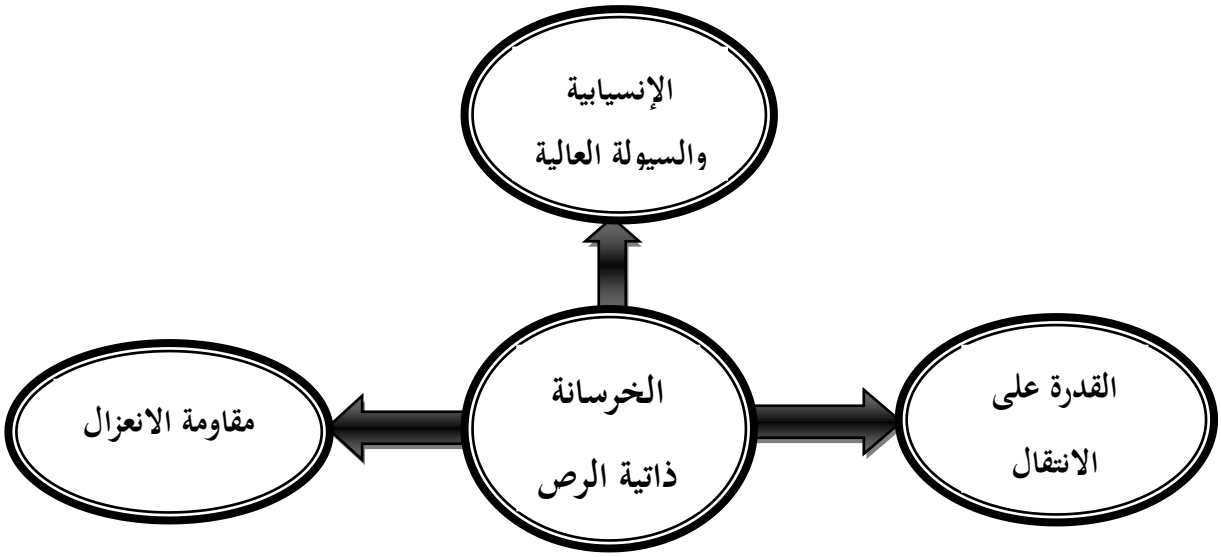
1–5. مساوئ الخرسانة ذاتية الرص: رغم كل الايجابيات والمميزات التي تتمتع بها الخرسانة ذاتية الرص إلا أن لها عدة مساوئ أهمها:

- ❖ تحتاج إلى تحكم وسيطرة نوعية عالية ولا يمكن إنتاجها إلا في معامل الخرسانة أو الخلاطات المركزية.
- ❖ تحتاج إلى نوعية قولبة محكمة حديدية (لا تنفع الخشبية)حتى لا تخرج الخرسانة من القولبة.
- ❖ التكلفة العالية لهذا النوع من الخرسانة لان تقدير الاسمنت يكون فيها عالي جدا وقد يصل إلى 550كغ/م^3، والاسمنت هو أغلى عنصر من بين العناصر المكونة لخرسانة ذاتية الرص.
- ❖ بالرغم من أنها تقاوم الانعزال إلا أن هناك فرصة ولو قليلة لحدوث الانعزال ويكون الانعزال فيها اخطر من الانعزال في الخرسانة العادية، وتلعب كمية الركام الخشن وكذلك الحجم الأقصى للركام الخشن دورا مهما في استقرار الخرسانة ذاتية الرص، فعندما يكون الحجم الأقصى للركام الخشن قريبا من اصغر مسافة بين قضبان حديد التسليح فهناك احتمالية كبيرة للانعزال.

وقد إقترح أحد الباحثون أن كمية الركام عندما تكون 50% من حجم الخلطة فهي تمثل أفضل نسبة للخرسانة ذاتية الرص. كما إن إستخدام ركام خفيف الوزن يقلل بشكل كبير من خطر الانعزال الحبيبي [3].

1–6. خصائص الخرسانة ذاتية الرص:

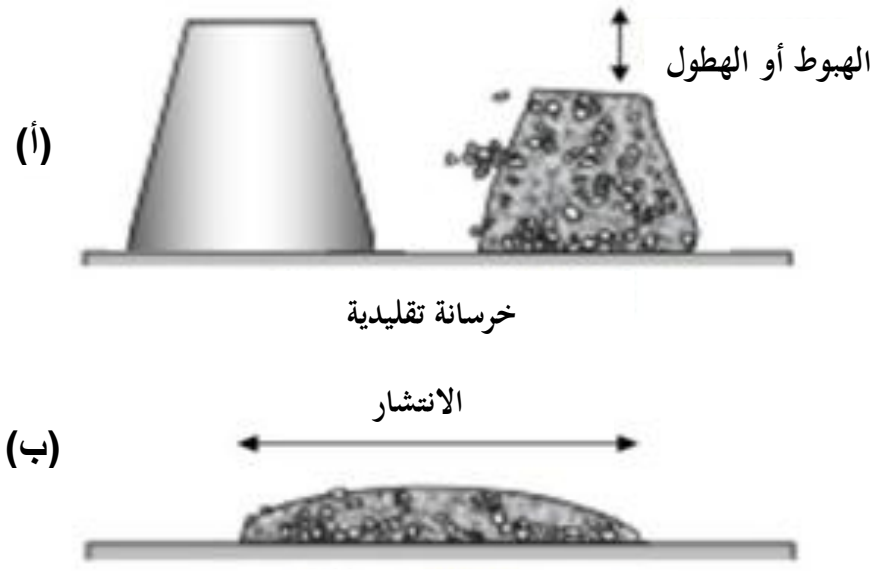
بالمقارنة مع الخرسانة العادية تتسم الخرسانة ذاتية الرص بثلاث خصائص رئيسية هي: الانسيابية والسيولة العالية، مقاومة الانعزال وقدرة كبيرة على المرور (الانتقال) الشكل (1–4).



الشكل (1–4): خصائص الخرسانة ذاتية الرص

1–6–1. الانسيابية والسيولة العالية:

هي القدرة على ملأ القولبة بالاعتماد على وزنها دون الاعتماد على الهزاز.أي أن لدى الخرسانة ذاتية الرص القدرة على الجريان والقدرة على التشكل، هذه الخاصية تقاس من خلال تجربة الانتشار (Etalement) عكس الخرسانة التقليدية فتجرى عليها تجربة الهبوط الشكل(1–5) .



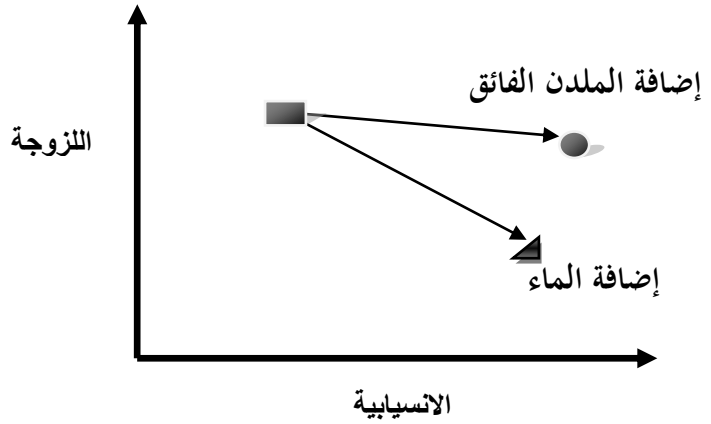
الشكل(1–5) : الخاصية في الحالة الطازجة

أ– خرسانة التقليدية ، ب– خرسانة ذاتية الرص

التشكل والانسيابية بالنسبة للخرسانة ذاتية الرص تسيطر عليه عملية الاحتكاك بين الحبيبات الصلبة يعني مكونات الخرسانة (مسحوق، رمل وحصى)، ويمكن تحقيق ذلك عن طريق زيادة السيولة باستخدام الملدنات الفائقة أو زيادة كمية الماء، غير أن هذه الأخيرة أي زيادة كمية الماء تضعف من لزوجة المزيج، لذلك وجب عدم زيادة كمية ماء الخلط بالمقابل وكما ذكر آنفا استخدام الملدنات الفائقة للحفاظ على قيمة لزوجة مناسبة[6].

وكذلك التقليل في الاحتكاك الداخلي بين الحبيبات يسهل عملية الانسياب ويكون ذلك بتقليص كمية الركام الخشن (الحصى) و استخدام مواد ناعمة مثل مسحوق حجر الكلس أو الرخام أو الرماد المتطاير وغيرها.

وفي الشكل (1-6) يبين تأثير إضافة الملدن الفائق وإضافة الماء على العجينة الخرسانية[7].



الشكل (1-6): تأثير إضافة الملدن الفائق وإضافة الماء على العجينة الخرسانية[7]

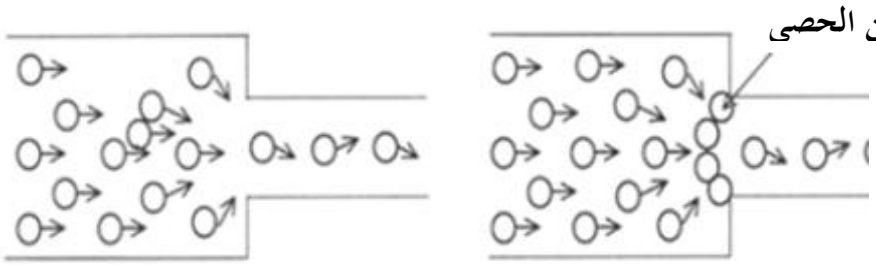
الباحث خياط بين أن الانسيابية تتأثر أيضا بنسبة الماء بالنسبة للمسحوق (الماء/المسحوق)، فانخفاض نسبة الماء/المسحوق يؤدي إلى سوء الانسياب ونقص السيولة. فعدم استقرار المزيج الذي يؤدي بدوره إلى الانعزال الحبيبي وتوقف جريان الخرسانة لذا ينبغي للنسبة الماء/المسحوق أن تؤخذ بطريقة تكفل قدر كبير من الانسيابية والسيولة العالية وتحقق الاستقرار في الخرسانة ذاتية الرص[8].

1-6-2. القدرة على الانتقال:

وهي القدرة على التغلغل والوصول إلى الأماكن الضيقة وكذا المناطق الكثيفة التسليح وذلك بفعل وزنها فقط دون الحاجة إلى استعمال آلات للوصول لذلك مثل: الهزازات.

هذه الخاصية تعتمد على تحقيق الاستقرار في المزيج، يعني حجم الحصى والمسافة بينها وبين حديد التسليح لضمان انسيابية وسيولة عالية وممتازة، وغير ذلك سيتشكل حتما تفرقة بين الحبيبات يعني تواجد فراغات بين العجينة والحصى مما يتسبب في تجميد الخرسانة ذاتية الرص بجوار حديد التسليح وبالتالي عدم قدرتها على المرور وهنا يحدث الانعزال الحبيبي. وهذا إما راجع إلى انخفاض نسبة كمية الماء بالنسبة لكمية المسحوق، أو/و

استخدام عامل اللزوجة. إن الجمود الحاصل يكون عند الاتصال أو الاصطدام بين جسيمات الحصى المرصوفة بالقرب من حديد التسليح وتزيد من خطر ارتفاع حجم الحصى لأنها متقاربة فيما بينها. ويمكن شرح آلية الإنسداد كما في الشكل (1-7).



الشكل (1-7): آلية التجميد [9]

الاصطدام بين جسيمات الحصى القريبة من جديد التسليح يؤدي إلى تماسكها وتتلاصق ببعضها مما ينتج عنه إعاقة مرور بقية الخرسانة، ولتحقيق القدرة على التغلغل والمرور وتفادي التجمد، يفضل استخدام إضافات تحسين اللزوجة أو التقليل من ماء الخلط لمنع حدوث انعزال حبيبي وكذلك التقليل من كمية الركام الخشن (الحصى) وكذا تقليل المقاس الأقصى للحصى.

1-6-3. مقاومة الانعزال الحبيبي:

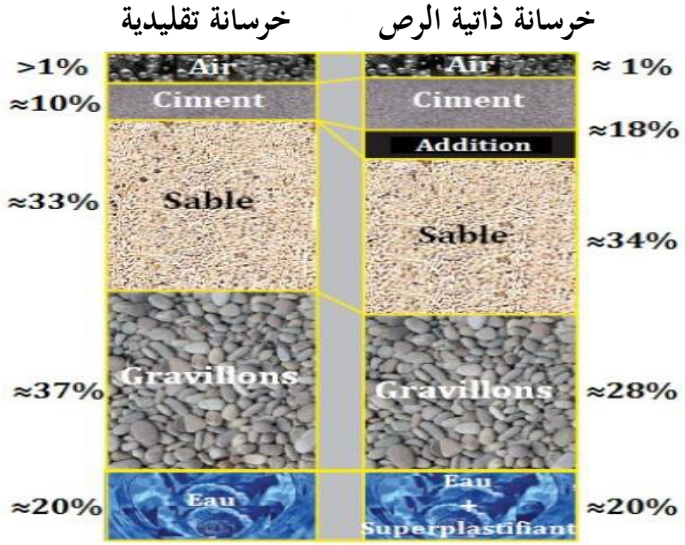
هذه الخاصية تعني قدرة الخرسانة على البقاء متجانسة وموحدة أثناء وبعد الصب. مقاومة الخرسانة للانعزال الحبيبي هو مرتبط ارتباطا وثيقا باللزوجة، فإذا كانت اللزوجة ضعيفة ينتج خروج للماء من الخرسانة وبسهولة، وخروج الماء بنسبة قليلة هو أمر مقبول، ولكن خروج الماء بشكل مفرط يقلل من استقرار الخرسانة في الحالة الطازجة أو الطرية، ليس هذا فقط بل يؤدي كذلك إلى التقليل من مقاومة الخرسانة وديمومتها في الحالة الصلبة. أما إذا كانت اللزوجة مرتفعة فهذا يعني عدم التحكم في الخرسانة وصعوبة صبها وكذا انفصال الحصى عن الملاط مما يؤدي إلى توقف تدفق وانسيابية الخرسانة بالقرب من حديد التسليح، وبالتالي ضرورة ضمان لزوجة ملائمة لتوفير قدر من مقاومة الانعزال الحبيبي.وهذا يتم تحقيقه عن طريق التقليل من المياه الحرة ونقصد به نسبة الماء بالنسبة للمسحوق (الماء/المسحوق)، وكذا التقليل من حجم الحصى ومقاسها الأقصى بالإضافة إلى زيادة كمية المواد الناعمة.[8,6].

1-7. المواد المستعملة في صناعة الخرسانة ذاتية الرص:

تتكون عادة من نفس المواد المستعملة في صناعة وإنتاج الخرسانة التقليدية(الاسمنت، الرمل، الحصى والماء) لكن مع استخدام إضافات كيميائية ومعدنية وعادة ما يتم تقييم الخلطات للخرسانة ذاتية الرص تجريبيًا. إن

الخرسانة ذاتية الرص تشكل كمية عالية من الحبيبات الناعمة، أما حجم الهواء فيكون ضعيفا، ومحتوى الماء في الخرسانة ذاتية الرص عموما يكون تقريبا نفس كمية ماء الخرسانة الجارية.

ولتقليل الاحتكاك بين حبيبات خرسانة ذاتية الرص يجب ان يكون حجم الحصى منخفضا مقارنة بالخرسانة التقليدية الشكل.(1-8)



الشكل.(1-8) : مكونات خرسانة ذاتية الرص والخرسانة التقليدية[10]

1-7-1. المواد الناعمة (الرابط):

المسحوق أو المواد الناعمة أو الرابط هو المكون الرئيسي في الخرسانة ذاتية الرص، فبالإضافة إلى مهمته الرئيسية في ربط مختلف مكونات الخرسانة في وجود الماء طبعا، فالمسحوق يشغل الفراغات بين حبيبات الحصى بجعل المواد أكثر كثافة أي الزيادة في الحجم من اجل تحسين خصائص الخرسانة في الحالة الطازجة (القدرة على الانتقال، مقاومة الانعزال، الانسيابية العالية) وفي الحالة الصلبة (المقاومة والديمومة).

إن نعومة المسحوق تلعب دورا هاما في تحسين خصائص خرسانة ذاتية الرص، فالزيادة فى نعومة المسحوق تسهم في تحسين كل من القدرة على الانتقال، مقاومة الانعزال، الانسيابية العالية.

أفاد البحث المقدم من Ozawa وآخرون أن الخرسانة ذاتية الرص التي تحتوي على كمية كبيرة من المواد الناعمة تقدم اكبر مقاومة ضد الانعزال الحبيبي بوجود كمية مناسبة من الماء بين حبيبات المسحوق الناعم[11]، بينما استخدام المساحيق التي تتضمن الكثير من الجسيمات الناعمة التي تقل عن 20 ميكرو متر تحتاج إلى كمية مرتفعة من الملدن من اجل زيادة قطر الانتشار (الانتقال) [12]. أظهرت تجارب أخرى أن حجم الجسيمات الناعمة التي تقل عن 100 ميكرو متر لها تأثير هام على القدرة على الملء ومقاومة الانعزال[13].

عموما المسحوق يتكون من اسمنت بورتلاندي بمفرده أو اسمنت ممزوج مع إضافات معدنية وذلك من أجل الاقتصاد والتوفير في تكاليف إنتاج الخرسانة ذاتية الرص وتجنب المشاكل الكبيرة في التمييه. في الاسمنت الممزوج نجد أن المسحوق غالبا ما يتركب من مكونين أو حتى ثلاثة : إسمنت مع هباب السليس، خبث الأفران العالية، الرماد المتطاير، الحجر الكلسي ...الخ.

تشمل المواد الناعمة كل من الاسمنت والمواد الناعمة المضافة مثل المواد البوزولانية والمساحيق الخاملة، حيث أن المواد البوزولانية هي مواد سليكية أو الومينو–سليكية لا تملك لوحدها خواص إسمنتية أو قد تكون ذات خواص إسمنتية قليلة ولكن عندما تكون بدرجة عالية من النعومة وبوجود الرطوبة تتفاعل كيميائيًا مع هيدروكسيد الكالسيوم بدرجة الحرارة الاعتيادية لتكوين مركبات ذات خواص إسمنتية.

لقد حدد الاتحاد الفدرالي الأوربي(EFNARC) محتوى المواد الإسمنتية بنسبة تتراوح بين 350 إلى 600كغ/م^3 من الخرسانة[14] .

أ– الإسمنت:

هو المادة الرابطة الناعمة التي بوجود الماء تتميه ثم مع مرور الوقت تتصلب فتملك بذلك خواصاتماسكيةوتلاصقية مما يجعله قادرا على ربط مكونات الخرسانة بعضها ببعض.و هي تستخدم كرابط في الملاط والخرسانة حيث تربط المواد الاصطناعية أو الطبيعية لتشكل مواد بناء قوية مقاومة للضغط و للتأثيرات البيئية العادية. يجب عدم الخلط بين الخرسانة والإسمنت، فالإسمنت يشير إلى المسحوق الجاف المستخدم في ربط المواد المكونة للخرسانة.

تعتبر صناعة الاسمنت من الصناعات الإستراتجية، وهي تعتمد على توفر المواد الخام اللازمة لذلك كالطين و الحجر الكلسي.

ب– الإضافات الإسمنتية:

الإضافات المعدنية هي مساحيق ناعمة مقاسها اقل من 80 ميكرو متر ووفقا لتأثير البوزولان تنقسم إلى عائلتين أو مجموعتين إضافات بوزولانية وإضافات خاملة أو شبه خاملة.

ب.1– الإضافات الإسمنتية البوزولانية:

تتميز أغلب المواد الإسمنتية المضافة، بصفة مشتركة وهي احتواؤها شكلا معينا من السيلكا اللابلورية النشيطة التي يمكنها بوجود الماء أن تتحد مع الكلس في درجة الحرارة العادية لتشكل سليكات الكالسيوم المائية، من الصنف نفسه الذي يتشكل في أثناء إماهة الإسمنت البرتلاندي، وعليه يمكن تمثيل التفاعل البوزولاني هذا بالشكل (1-9) [15]:

الشكل(1-9) بوزولانا + كلس(هدروكسيد الكالسيوم) + ماء ⟵ سيليكات الكالسيوم المائية

كما يمكن تعريفها بأنها مواد سيليكية أو الومنيو-سيليكية لا تملك لوحدها خواص إسمنتية أو قد تكون ذات خواص إسمنتية قليلة ولكن عندما تكون بدرجة عالية من النعومة وبوجود الرطوبة تتفاعل كيميائيا مع هيدروكسيد الكالسيوم بدرجة الحرارة الاعتيادية لتكوين مركبات ذات خواص إسمنتية ومن خصائصها زيادة الضغط على المدى الطويل[16].

لكن يجب التنويه إلا أنه في درجة حرارة الغرفة العادية، فإن هذا التفاعل بطيء، ويمكن أن يمتد لعدة شهور حتى يتم بشكل كامل، لكن بمقدار ما تكون المادة البوزولانية ناعمة ولا بلورية، فإن تفاعلها مع الكلس يكون أسرع.

وكما هو معلوم فإنه عند إماهة الإسمنت تتحرر كميات كبيرة من الكلس نتيجة لتمييه C_3S وC_2S هذا الكلس يشارك بقسط قليل في تطور مقاومة العجينة الإسمنتية المميهة، ويمكن أن يكون مؤثرا لحد كبير في مشكلة الديمومة مستقبلا، حيث أنه يمكن أن يزاح (ينجرف) خارجا بواسطة الماء، هذا الانجراف يؤدي إلى زيادة المسامية في العجينة الإسمنتية المتصلبة والتي بدورها تؤدي إلى انحرافات جديدة وهكذا[15].

إذا تمت إضافة البوزلانا إلى الإسمنت بنسبة كافية (20-30%) من وزن الإسمنت فإن كل الكلس الناتج عن عملية الإماهة سوف يتحول إلى مركب (C.S.H) [هذا من الناحية النظرية] لكن الظروف العادية للخرسانة عادة تكون بعيدة عن مثل هذه الظروف المثالية وبالتالي فإن التفاعل البوزلاني لا يكتمل أبدا. وهذا لابد من الإشارة إلى أنه بالرغم من استخدام البوزولانا الطبيعية في بعض البلدان في الوقت الحاضر، فإنه لا يتبين أنها تستخدم في إنتاج الخرسانة العالي المقاومة، بل إن أغلب هذه المواد البوزولانية المستخدمة ذات أصل صناعي، والتي ذكرنا منها هباب السيليس، خبث الأفران العالية ، الرماد الطائر[15].

- **هباب السيليس** :

هباب السيليس عبارة عن فضلات ناتجة عن تصنيع السيليكون أو خلائطه والتي تنتج في أفران تعمل بالقوس الكهربائي، حيث يختزل الكوارتز بوجود الفحم وينتج سيليكون غازي (أكسيد ملحق S_iO2)، وحالما ينطلق هذا الغاز باتجاه الأعلى فإنه يبرد ويتكثف ويتحول إلى أكسيد بشكل جزيئات سيليسية ناعمة جدا[16].

من حيث التركيب الكيميائي فإن هباب السيليس يتكون من السيليكون ويختلف محتوى هباب السيليس من (SiO_2) بحسب نوع المواد الأولية المستخدمة حيث يمكن أن تصل نسبة السيليس حتى 90% وبمقدار ما تكون المواد الخام المستخدمة نقية فإننا نحصل على تركيب كيميائي ثابت، أما من الناحية البنيوية فإن معظم حبات هباب السيليس تتميز ببنية زجاجية (لابلورية) وذلك ناتج عن التبريد السريع لبخار السيليس وتحوله إلى

أكسيد S_iO_2، أما جزيئاته فتبدو كروية تماما بقطر يتراوح بين أقل من 0.1 وحتى 0,01ميكرو متر تقريبا، وهكذا فإن المعدل الوسطي لحجم (حبة) السيليكا أصغر بـ 100 مرة من حجم حبة الإسمنت.[16]

إن الصفات الإيجابية التي تميز هباب السيليس عن غيره من المواد الإسمنتية الملحقة وتجعله مادة بوزولانية فعالة تعود إلى محتواه العالي من S_iO_2 وإلى بنية حبيباته اللابلورية بالإضافة إلى نعومتها العالية، حيث أن التأثير الإيجابي لهباب السيليس في الصفات الميكانيكية والبنيوية للخرسانة لا يعود إلى التفاعل البوزلاني فقط، بل أيضا إلى التأثير الفيزيائي لحباته الناعمة، والتي تقوم بدور مادة مالئة للفراغات بين حبات الإسمنت الأكبر حجما، وخاصة عند وجود كمية مناسبة من الملدنات، إضافة لذلك فإن نعومة حبات السيليس يمكن أن تؤدي إلى زيادة سيولة الخلطة الخرسانية المنفذة بنسبة ماء/إسمنت منخفضة والتي تكون عادة جامدة، ونتيجة لذلك فإن الحجر الإسمنتي المتصلب الذي يحوي هباب السيليس يصل إلى درجة عالية من الكثافة والاكتناز حتى قبل حصول أي تفاعل أو اتصال كيميائي بين جزيئات الإسمنت.[15]

أيضا في النعومة العالية لحبات السيليس يمكن أن تخفض وبشكل كبير ظاهرة النزف الداخلي والخارجي للخلطة الخرسانية وبنتيجته فإنها تغير الصفات البنيوية المجهرية لمناطق الاتصال بين العجينة الإسمنتية من ناحية والمواد الحصوية وحديد التسليح من ناحية أخرى، حيث تبين أن مناطق الاتصال هذه تكون عادة متراصة (مكتنزة) أكثر في حال استخدام هباب السيليس، أما من الناحية الكيميائية فإن حبات السيليس تتفاعل مع بلورات البورتلانديت $Ca(OH)_2$ وتحولها إلى CSH.

إن جملة هذه التأثيرات المتنوعة لفعل هباب السيليس في الخرسانة تؤدي إلى بنية مجهرية كثيفة بالإضافة إلى التحام قوي بين المواد الحصوية والعجينة الإسمنتية المميهة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة المقاومة الميكانيكية وخاصة بين 7- 28 يوما وتخفيض المسامية في العجينة الإسمنتية مما يؤدي إلى زيادة ديمومة الخرسانة. في الوقت الحالي يمكن إضافة السيليكا إلى الإسمنت بشكل مباشر عند الاستخدام بنسبة 6.5 إلى 8.5% من وزن الإسمنت وبالنتيجة يمكن الوصول إلى مقاومة تزيد عن (98 Mpa).

- **خبث الأفران العالية:**

ينتج الخبث من صناعة تعدين الحديد في الفرن العالي، حيث تتحول جميع الشوائب الموجودة في الفلزات الحديدية وفي مواد الحرق إلى خبث، وهكذا فالتركيب الكيميائي للخبث يعتبر ثابتا تقريبا، ويكون محتواه من الأكاسيد CaO, Al_2O, S_iO_2 ضمن مجال محدد، ولكن يمكن أن يحصل بعض الخلل بمحتوى Fe_2O_3 و MgO لكن ذلك لا يؤثر كثيرا في الخواص الرابطة الهيدروليكية لخبث الفرن العالي عند استخدامه كمادة إسمنتية مضافة[15].

إن الخاصة الأساسية التي يجب التحقق منها بالنسبة للخبث هي حالة البنيوية (بلورية أو زجاجية) والتي تؤثر بشكل كبير في الخواص الرابطة الهيدروليكية. يمكن خلط الخبث مع الإسمنت بعد طحنه بشكل منفصل"، أو تتم إضافته إلى الكلنكر ويطحنان معا، ويستخدم دوما بالاشتراك مع هباب السيليس لتصنيع خرسانة عالية المقاومة، وعموما فإنه بناء على المقاومة الابتدائية المطلوبة للخرسانة وعلى فعالية الخبث المستخدم، وعلى العوامل الجوية المحيطة في أثناء الصب تتحدد نسبة خبث الأفران العالية المستخدم والتي تتراوح بين (15-30 %) من نسبة الإسمنت[15].

- **الرماد الطائر:**

الرماد الطائر عبارة عن جزيئات صغيرة الحجم، يتم تجميعها في أنظمة تنقية الغبار في محطات توليد الطاقة التي تستخدم الفحم كوقود. يمكن أن يتنوع التركيب الكيميائي للرماد الطائر من مكان إلى آخر، وذلك بحسب نوع وكمية الشوائب الموجودة في الفحم المحترق، وبالرغم من وجود عدة تصنيفات للرماد الطائر (بحسب البلد المنتج) فإنه ليس من السهل أن يتطابق التركيب الكيميائي لأحد الأنواع مع أي من هذه التصنيفات.

أما من الناحية الفيزيائية فإن حبات الرماد الطائر يمكن أن توجد بعدة أشكال، حيث يمكن أن تأخذ الشكل الكروي الأملس، وتتدرج بالحجم مثل حبات الإسمنت، وبعضها يمكن أن تأخذ الشكل الكروي المجوف وبعها الشكل الزاوي الحاد، وعلى كل حال فإن الشرط الأساسي لأن يشارك الرماد الطائر بتفاعل بوزولاني هو وجوده بحالة لابلورية.

عموما فإنه لإنتاج الخرسانة عالية المقاومة (80-100MPa) يضاف الرماد الطائر بنسبة تصل حتى 15% من وزن الإسمنت وعندما يراد الحصول على مقاومة أعلى تتم إضافة هباب السيليس مع الرماد الطائر[17].

- **السيراميك:**

السيراميك هو مزيج من الإسمنت و الطين (الصلصال) والزجاج، ولا تدخل فيه أيّ مواد معدنيّة ولا مواد غير عضوية، يتم تسخينها كما يحدث لمواد الفخّار من أجل الحصول على شكل معيّن وقاسٍ، ويتمّ إضافة الإسمنت للخلطة ليصعب كسره ويظلّ متيناً، ويتحمّل الضغط والحرارة والأثقال، ويمكن تعريفه بطريقة أخرى، حيث إنّه مُنتج من الطين، الرمل والفلسبار، يمرّ بمراحل هي التجفيف، ثم التحميص، ثم الحرق ثم الطلاء، ويكون بأحجام مختلفة تبدأ من (10*10) سم حتى يصل البعض منها (125* 185)سم.

معظم السيراميك يتكون من عنصريين أو أكثر على سبيل المثال الألومينا فهي تتكون من الومنيوم وأكسجين. ومن المعروف أن ذرات السيراميك تترابط مع بعضها بواسطة تسمى الرابطة المعدنية. يغطي مفهوم المواد السيراميكية طيفاً واسعاً من المواد.

تبعاً للتصنيف العلمي فإن المواد السيراميكية تنقسم إلى:

- المواد الإنشائية :كالقرميد والآجر

  مواد العزل الحراري :بأنواعه

- المواد التقنية: ولها تسميات عدة منها السيراميك الهندسي والسيراميك الصناعي والسيراميك المتقدم.

تنقسم هذه المواد بدورها إلى : الأكاسيد المعدنية كالألومينا والزيركونيا الأكاسيد اللامعدنية كالكربيدات والنترات والسيليكات وأكاسيد البور

وهذه الأنواع من الروابط تنشأ نتيجة معامل مرونة عالي وصلادة عاليه ودرجه انصهار عاليه ومعامل تمدد حراري قريب من الحديد الزهر ومقاوم للمواد الكيميائية. والمعروف أن الروابط بين المعادن اضعف من الروابط في السيراميك والتي تسمح للالكترونات بالتحرك بحريه بين الذرات. وتقاوم معظم منتجات السيراميك الأحماض والغازات والأملاح، تستخدم مواد السيراميك الشائعة عوازل للكهرباء.

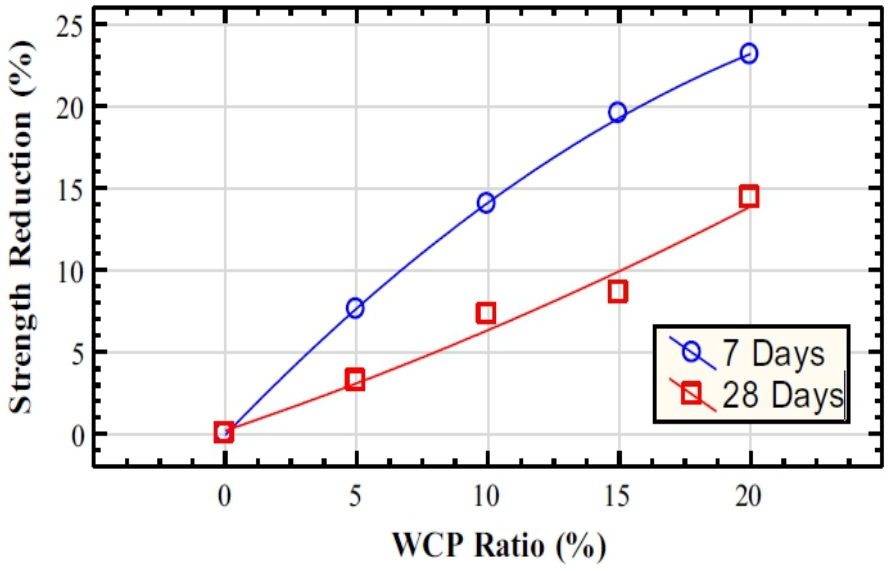
وفيما يلي أهم الخواص للسيراميك.

- ✓ تتميز بأنها على درجه عاليه من الصلادة.
- ✓ معامل المرونة عالي جدا.
- ✓ ذات معامل تمدد حراري صغير قريب من الحديد الزهر.
- ✓ على درجه عاليه من مقاومه الصدأ والتآكل.
- ✓ رديئة التوصيل للكهرباء لذلك تستخدم كعوازل.
- ✓ كثافتها صغيرة.
- ✓ غير قابله للمغناطيسية.
- ✓ أقل متانة لذلك يتم كسرها عندما تسقط على الأرض.

ملحوظة: هذه الخواص تعتمد على تركيب المادة وطريقه صناعتها.

أفاد الباحثان Senthamarai وManoharan أن الإنتاج اليومي للسيراميك يولد حوالي 30 % من النفايات التي يشكل عدم استخدامها مشكلة بيئية كبيرة تتعلق أساسا برميها في طبيعة [18].

تم إجراء العديد من البحوث لدراسة إمكانية استخدام النفايات السيراميك كمواد مستبدلة للركام الناعم أو الخشن الطبيعي أو كمواد ناعمة مستبدلة للإسمنت[18،19،20]. إن استعمال مسحوق السيراميك في الخرسانة و الملاط يسمح بتحسين مقاومتهم للضغط، و قد أشارت نفس الدراسة إلى عن نسبة مسحوق السيراميك المثالية هي 50%. أثبتت دراسة أخرى أن استبدال الاسمنت بمسحوق السيراميك يسمح بالحصول على الخرسانة ذاتية الرص ذات خصائص جيدة في الحالة الطرية، و على العكس من ذلك تأثرت المقاومة للضغط سلبا إذ تناقصت خصوصا عند نسبة استبدال مرتفعة و عند عمر 7 أيام (الشكل (1-10)) [20].



الشكل (1-10): تناقص مقاومة الضغط بدلالة نسبة مسحوق السيراميك[20]

- **الزجاج:**

الزجاج مادة عديمة اللون تصنع أساسا من السيليكا المصهور في درجات حرارة عالية مع حمض البوريك أو الفوسفات. والزجاج يوجد في الطبيعة كما يوجد أيضا في المواد البركانية التي تسمى الزجاج البركاني أو المواد التي تنشأ من النيازك. وليس الزجاج صلبا ولا سائلا وإنما يكون في حالة خاصة تظهر فيها جزيئاته بشكل عشوائي، ولكن يوجد تماسك كاف لإحداث إتحاد كيميائي بينها. وعندما يتم تبريد الزجاج يصل إلى حالته الصلبة ولكن بدون تبلور، ومع تعريضه للحرارة يتحول الزجاج إلى سائل. وعادة ما يكون الزجاج شفافا ولكنه قد يكون غير شفاف أو نصف شفاف أيضا، ويختلف لونه تبعا لمكوناته.

ويكون الزجاج المصهور كاللدائن بحيث يمكن تشكيله باستخدام عدة تقنيات. ومن الممكن تقطيع

الزجاج عندما يكون باردا. وفي درجات الحرارة المنخفضة يكون الزجاج هشا وينكسر. ولمثل هذه المواد الطبيعية كالزجاج البركاني والتيكتيت مكونات وخصائص تشبه الزجاج الصناعي.

المكونات الأساسية للزجاج هي السيليكا المشتقة من الرمل والصوان والكوارتز. وتصهر السيليكا في درجات حرارة عالية جدا لإنتاج زجاج السيليكا المصهور. ويتم إنتاج أنواع مختلفة من الزجاج باتحاد السيليكا مع مواد خام أخرى بنسب مختلفة .وهناك مركبات قلوية مثل كربونات الصوديوم وكربونات البوتاسيوم تقلل من درجة حرارة الصهر ولزوجة السيليكا. وينصهر الزجاج عادة عند درجة حرارة عالية ولا يتمدد أو ينكمش بدرجة كبيرة مع تغير درجات الحرارة، ومن ثم يكون مناسبا لإنتاج الأدوات التي تستخدم في المعامل والأشياء التي تكون عرضة للصدمات الحرارية مثل مرايا التليسكوب. ويعتبر الزجاج موصلا رديئا لكل من الحرارة والكهرباء ومن ثم فإنه مفيد للعوازل الكهربائية والحرارية.

كما أن صناعة الزجاج ينتج عنها فضلات وبقايا معتبرة، ويمكن أن نجد هذه الفضلات والبقايا من عدة مصادر من أهمها محلات تركيب الزجاج والتي وحسب دراسة ميدانية قمنا بها وجدنا أنه ما يقارب 20% من مجموع الزجاج الذي يطلب من طرف أصحاب هذه المحلات.

وإذا أردنا التطرق إلى الدراسات التي استعملت فيها بقايا الزجاج فهناك دراسات عديدة ومتعددة، حيث استعملت هذه البقايا كركام خشن وكذا ركام ناعم وحتى مسحوق.

ب-2. الإضافات الخاملة والشبه خاملة:

هذه الإضافات تكون مطحونة بشكل دقيق ذات نعومة مقاربة لمسحوق الاسمنت البورتلاندي أي تكون الحبيبات ذات مقاس اقل من 80 ميكرو متر، عموما هذه الإضافات لا تكون لها نشاط بوزولاني، ويمكن أن نذكر من هذه الإضافات الخاملة والشبه خاملة : مسحوق الكلس وهو الأكثر استعمالا في إنتاج الخرسانة الذاتية الرص ومسحوق الرخام[9].

- **الحجر الكلسي** أو **الحجر الجيري**:

يُرمز له كيميائياً ($CaCO_3$)، هو حجر رسوبي ناشئ من رواسب أحياء مائية متكلسة وغالباً ما يحتوي على أحبار وقواقع بحرية. طبقاً لطبيعته الجيولوجية فإنه يحتوي على كميات متفاوتة من السيليكا على صورة شوائب وكذلك كميات متفاوتة من الحجر الكلسي النقي، غالباً ما يكون أبيض اللون، لكن الشوائب مثل الطمي والرمل وأكاسيد الحديد تجعله يتلون بألوان مختلفة. كما توجد منه أنواع تسمى "**كلاستيك**" بمعنى أنها مكونة من خليط من أحجار أخرى صغيرة متماسكة. للحجر الجيري استخدامات اقتصادية كثيرة كمادة للبناء وأحجار زينة طبيعية، كما أن بعض طبقاته تكون مخازن تحت الأرض تختزن النفط والغاز الطبيعي.

يستخدم في الحصول على الجير المستخدم في البناء ، و الحصول على ثاني أكسيد الكربون الذي يمكن منه الحصول على هيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH)_2$)، ويمكن استخدام الأنواع الغير نقية منه كأحجار للبناء، كما يدخل في صناعة الحديد والصلب، حيث يضاف إلى الفحم وخام الحديد في الأفران العالية، حيث يخفض من درجة انصهار خام الحديد، كما يقوم بفصل الشوائب الغير مرغوب فيها من الحديد الناتج.

ومسحوق الكلس هو نفاية ناتجة عن سحق أحجار الكلس وقد تم استخدامه في الخرسانة ذاتية الرص، وقد نتج عنها تخفيض الانتشار واللزوجة البلاستيكية [21]. بالإضافة إلى ذلك أن استخدام جزيئات ناعمة للكلس يمكن تخفيض حرارة التميه[22]، ومن ناحية أخرى تحسين الانسيابية واستقرار الخرسانة ذاتية الرص في الحالة الطازجة (الطرية). وجل الدراسات تؤكد أن إضافة مسحوق الكلس تحسن من مقاومة الضغط بنسبة تصل إلى 40% بعد 28يوم وبعد 90يوم أيضا، مقارنة بالخرسانة التقليدية.

- **مسحوق الحجر الطباشيري:**

هي عبارة عن مواد ناعمة ناتجة من حجر الطباشير وهي تتألف أساسا من كربونات الكالسيوم [23]. وقد أدمج مسحوق الحجر الطباشيري في الخرسانة ذاتية الرص مع محتوى يتغير بين 25% و50%. وقد ذكر باحثون آخرون انه ومن اجل الحصول على نفس القدرة على ملء الخرسانة ذاتية الرص بمسحوق الحجر الطباشيري يتطلب كمية كبيرة من الملدن الفائق الفعالية مرتفعة مقارنة مع مسحوق الكلس. إن مسحوق الحجر الطباشيري يمكن أن يسهم في تحقيق مكسب للمقاومة.

في الواقع تقديم اثنين من مسحوق الحجر الطباشيري مختلفة النعومة في الخرسانة ذاتية الرص تكون السبب في زيادة مقاومة الضغط قد تصل إلى 28% بعد 28 يوم وحتى بعد 90 يوم، مقارنة بالخرسانة التقليدية، ومن اجل نفس نسبة الماء/الاسمنت [23] .

- **مسحوق الرخام :**

هو بقايا ناتجة عن عملية قص، نحت وتلميع أحجار الرخام [23]. هذه الحجارة أصلها كلسي، تتميز بالجمال حيث أنها ذات أسطح ملساء وبراقة مما يجعل منه صخور سامية وغالية لأنها تدوم أطول مدة.

يستخدم الرخام في المنازل من اجل المظهر الجمالي في الحمامات وفي تبليط الأرضيات وفي الحدائق العمومية في الممرات أو على الأدراج للزينة. عندما ينقل حجر الرخام من محجرة الرخام إلى المصنع يتم تجزئته إلى أحجار صغيرة محسوبة الأبعاد أي إلى عناصر على حسب الطلب، هذه الأحجار يتم نحتها وجعلها ذات أسطح ملساء وبراقة على النحو المطلوب.

وينتج من هذه العملية كمية معتبرة من النفايات وبقايا الرخام ترمى في الطبيعة، تمثل من 20% إلى 30% من مجمل الرخام المستعمل، استغلال هذه النفايات ضروري من جهة لمنع التلوث البيئي، ومن جهة أخرى لحماية الموارد الطبيعية، وفي الوقت الحاضر مسحوق الرخام من الإضافات الأكثر انتشارا في إنتاج الاسمنت في جميع أنحاء العالم وخاصة في تركيا وهي شديدة الغنى بالرخام حيث أنها تتوفر على 250 نوع من أنواع الرخام حيث تمثل 40% من الاحتياط العالمي [24،25].

هناك القليل من الأعمال التي تتناول اثر إدراج مسحوق الرخام على الخرسانة التي تم نشرها.

الباحث Topçu وآخرون درسوا تأثير مسحوق الرخام على خصائص الخرسانة ذاتية الرص، هؤلاء الباحثون وجدوا أن محتوى 200كغ(/م) ملائم من اجل تحسين خصائص الخرسانة ذاتية الرص في الحالة الطازجة والحالة الصلبة[26]. الباحث Guneyisi وآخرون بينوا أن إدخال مسحوق الرخام في ملاط الذاتي الرص الذي تم استبدال نسبة من الاسمنت أدت إلى زيادة وقت الجريان ووقت بداية ونهاية الأخذ، في حين أنها تقلل من مقاومة الضغط وسرعة مرور الموجات الصوتية[27]. أفادت دراسة أخرى أن استبدال 5% من الاسمنت بمسحوق الرخام حسنت من مقاومة الضغط مقارنة مع الخرسانة التقليدية[28].

وباختصار، إن استخدام الإضافات المعدنية مفيدة جدا سواء استخدمناها للتقليل من النفايات وحماية البيئة وكذا من الناحية الاقتصادية من خلال التقليل من استخدام كميات كبيرة من الاسمنت الذي هو أغلى مكونات الخرسانة وخاصة في الخرسانة ذاتية الرص التي تتطلب كميات كبيرة من المساحيق الناعمة.

بما أن بعض الإضافات المعدنية لها تأثير سلبي وخاصة عند إضافة عنصر واحد فقط مع الاسمنت أي مزيج ثنائي بمعنى ذو مسحوقين فقط مثلا الاسمنت ومسحوق الحجر الكلسي يقلل من مقاومة الضغط على المدى الطويل، من اجل حل هذا المشكل يمكن استعمال ثلاث مساحيق أو حتى أربعة مساحيق، مثلا اسمنت بورتلاندي+ مسحوق حجر كلسي+هباب السيليس.

1-7-2. الإضافات الكيميائية:

تعرف الإضافات بأنها المواد التي تضاف إلى الخرسانة أو عجينة الاسمنت خلال عملية الخلط لتحسين خاصية معينة أو عدد من خواص الخرسانة في الحالة الطرية أو المتصلبة للخرسانة.

والإضافات التي تستخدم في إنتاج الخرسانة الذاتية الرص نوعان:

أ– الإضافات الملدنة أو المقللة للماء بدرجة متفوقة (Super-plastifiant) وهي صنف حديث من الإضافات المقللة للماء وأكثرها فعالية حيث أنها تقلل كمية ماء الخلط اللازم لإنتاج الخرسانة بنسبة قد تصل إلى 30% هذا النوع من المضافات يمكن استعماله لإنتاج خرسانة ذاتية الرص ذات مقاومة عالية للانضغاط.

ب– إضافات لتعديل اللزوجة للمزيج الخرساني وهي مشتقات سليلوزية وبوليميرية والهدف من هذه الإضافات هو زيادة لزوجة الخلطة الخرسانية وتحسين أدائها.

1-7-3. الرمل :

أو ما يسمى الركام الناعم، إن الركام الناعم المستعمل في صناعة الخرسانة الذاتية الرص هو نفس نوع الركام الناعم المستعمل في إنتاج الخرسانة التقليدية حيث انه يعمل على زيادة تماسك الخرسانة الطرية وتحسين قابلية التشغيل وتقليل الانعزال.

1-7-4. الحصى:

أو ما يسمى كذلك بالركام الخشن، إن نوع الركام الخشن الذي يستخدم في إنتاج الخرسانة الذاتية الرص هو نفس الركام المستعمل في إنتاج الخرسانة العادية. أما أقصى مقاس للركام الخشن الذي يمكن استعماله في إنتاج ا لخرسانة الذاتية الرص فيحدد بعدة عوامل أهمها نوع المنشأ وأبعاد المقطع الخرساني والمسافات بين حديد التسليح، وقد حدد الاتحاد الفدرالي الأوربي[14] (EFNARC) المقاس الأقصى للركام الخشن المستعمل في إنتاج الخرسانة الذاتية الرص 40 ملم. لكن بصورة عامة فان الركام الخشن المستعمل في إنتاج الخرسانة الذاتية الرص محليًا يكون ذو مقاس أقصى 15 ملم.

1-7-5. الماء:

الماء المستخدم في الخلطات لغرض الخلط والمعالجة هو ماء الحنفية النقي، إذ أن كل المواصفات تشير إلى إن ماء الخلط يجب أن يكون خالي من الشوائب وصالح للشرب.

الفصل الثاني

2-1. مقدمة :

في هذا الفصل نهتم اولا بخصائص المواد المكونة لمختلف الأمزجة ثم نمر الى شرح طريقة الصياغة للملاط ذاتي الرص، وفي الأخير نشرع في إنجاز التجارب المتعلقة بالمزيج في الحالة الطرية وفي الحالة الصلبة.

2-2. وصف المواد :

2-2-1. الاسمنت:

الإسمنت (CPA BISKRIA-CEM.I-42,5 R CRS) هو المستعمل في تحضير مختلف الأمزجة وهو إسمنت بورتلاندي مصنع ذو رتبة 42.5 يتميز بلون رمادي، متحصل عليه من مزيج الكلينكر والذي يمثل 95% مع نسبة 5%من الجبس من أجل التحكم في زمن الأخذ، وهو من أنواع الإسمنت المقاوم للأملاح كما يوضحه الشكل رقم (2-1).

الجدولين (2-1) و(2-2) يبينان التركيبة الكيميائية للإسمنت والخصائص الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت.

الجدول:(2-1) : التركيبة الكيميائية للإسمنت .

المكونات	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	TiO_2	K2O	SO_3	L.O.I
نسبة الاسمنت	18.37	4.26	3.89	64.04	1.52	0.12	-	-	3.01	4.23

الجدول (2-2): يبين الخصائص الفيزيائية الميكانيكية للإسمنت .

الخصائص	القيم
قوام عجينة الاسمنت (%)	27
بداية الأخذ (د)	170
نهاية الأخذ (د)	255
الكثافة النوعية	3.1
النعومة ($سم^2$ / غ)	3921
مقاومة الضغط عند 28 يوما (MPa)	≥ 42.5

الشكل: (2–1) : نوع الإسمنت المستعمل

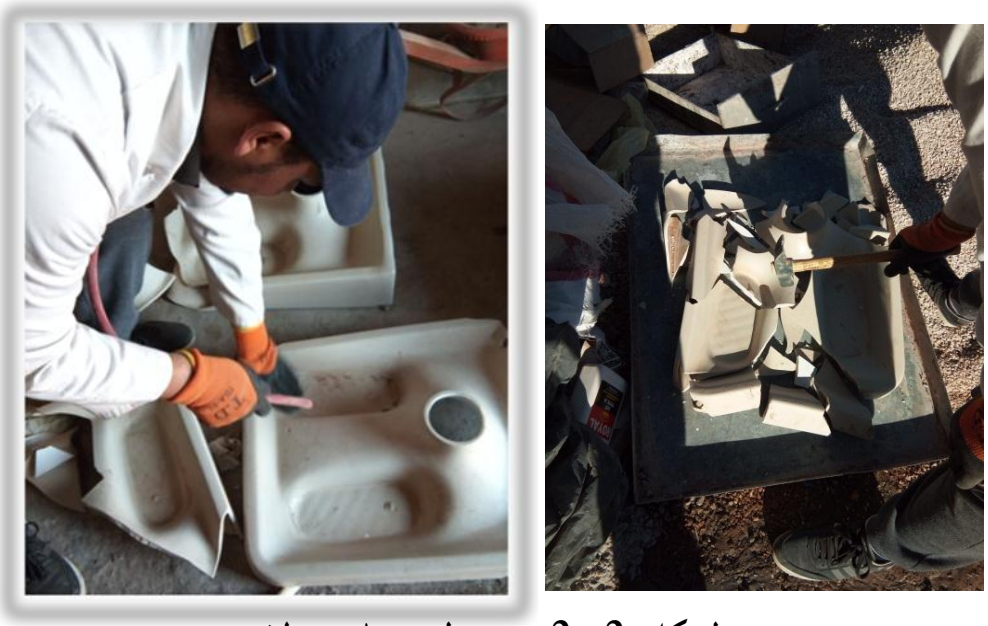
2–2–2. الإضافات الإسمنتية:

أ– مسحوق السيراميك :

تحصلنا على هذا المسحوق من طحن بقايا الأدوات المصنوعة من السيراميك والتي جمعناها من الأماكن التالية:

- المحلات (القطع المكسورة أو التي بها خطأ صناعي).
- ورشات العمل (القطع المكسرة أثناء التركيب).
- الطبيعة (أجزاء مرمية في الطبيعة مشوهة للبيئة) .

كما في الشكل رقم (2- 2):



الشكل (2– 2):جمع السيراميك وتنظيفه

تمت عملية تنقية وتنظيف السيراميك من الشوائب، بعدها قمنا بالتكسير اليدوي لقطع السيراميك الشكل (2-2) فتحصلنا على كمية سيراميك وزنها 37.5 كغ، ثم طحنا الناتج باستعمال آلة الطحن الصورة (أ) من الشكل (2-3) للحصول على ناتج من مادة السيراميك قطره الأقصى 2مم، نقوم بتقسيم هذا الناتج إلى كميات لا تتجاوز 10 كغ، لنقوم بوضعها كل على حدا في آلة لوس أنجلس من اجل سحقها، الشكل رقم (2-3) يبين مراحل الحصول على مسحوق السيراميك.

-أ- -ب- - ج -

الشكل (2-3): مراحل الحصول على مسحوق السيراميك

بعد وضع الناتج في آلة لوس أنجلس التي تحتوي على كرات من الحديد دورها سحق مادة السيراميك بفعل الاصطدام فيما بينها أو الاصطدام مع الأسطوانة، ونقوم بتشغيل الآلة على 5 مراحل كل مرحلة بها 500 دورة بمعدل 2500 دورة لكل كمية للحصول على مسحوق ناعم تماثل نعومته نعومة الاسمنت بعدها نقوم بتمرير الناتج المتحصل عليه عبر غربال قطره 80 ميكرو متر لنحصل على مسحوق سيراميك ناعم قريب أو مشابه لمسحوق الإسمنت، فكانت الكمية النهائية المتحصل عليها 18.2 كغ من مسحوق سيراميك ناعم مار بالغربال ذو القطر 80 ميكرو متر.

الجدول (2-3) يوضح الخصائص الكيميائية لمسحوق السيراميك :

الجدول (2-3) الخصائص الكيميائية لمسحوق السيراميك

المكونات	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2o_3	CaO	MgO	Na_2O	TiO_2	K2O	SO_3	L.O.I
نسبة مسحوق السيراميك	62.3	16.5	2.37	5.94	0.72	0.31	6.78	0.65	0.01	3.65

أخذنا عينة من مسحوق السيراميك وبعد قيامنا بتجربة النعومة عليها تحصلنا على قيمة النعومة 2740 سم^2/غ.

ب- مسحوق الزجاج:

قمنا بجمع بقايا الزجاج المكسر من بعض محلات تركيب الزجاج والتي كانت موجهة للرمي في الطبيعة، وبعد القيام بعملية إحصائية للكمية التي يرميها أصحاب محلات تركيب الزجاج بولاية الأغواط (مست العملية محلات ببلدية آفلو وببلدية الأغواط) فوجدنا انه حوالي 20% من الزجاج الذي تشتريه هاته المحلات لاستغلاله موجه للرمي في الطبيعة كبقايا تقوم بتلويث البيئة.

بعد مرحلة جمع الزجاج كان علينا تنظيفه وتنقيته من مختلف الشوائب (الشكل رقم (**2-4**))، تأتي مرحلة فرزه وتصنيفه (الشكل (**2-5**))، فصنفناه إلى نوعين زجاج محلي وزجاج مستورد، وقد استعملنا الزجاج المحلي في عملنا هذا، والذي بلغ وزنه 41.9 كغ. قمنا بطحن كمية الزجاج في آلة الطحن الصورة (أ) من الشكل رقم (**2-3**)

الشكل (2-4): تنقية وتنظيف بقايا الزجاج

الشكل (2-5):فرز وتصنيف بقايا الزجاج

فتحصلنا على ناتج خشن يصل قطره إلى 2 مم، مما تطلب استعمال جـهاز Micro DEVALLE قصد الحصول على مسحوق ناعم كعملية أولى قمنا بوزن 4 كغ من الزجاج الناتج من العملية السابقة،كل 1 كغ على حدا ووضعها رفقة 2 كغ من الكريات الحديدية الصغيرة الخاصة بجهاز السحق في واحدة من الاسطوانات الأربع المكونة للجهاز وتشغيله 8 ساعات دون توقف لضمان الحصول على أكبر كمية مسحوق ناعمة (الشكل رقم (2-6)).

-أ-

-ب-

الشكل (2-6): جـهاز Micro DEVALLE.

وبعد 8 ساعات من دوران الجهاز قمنا باستخراج كميات الزجاج الاربع التي تم سحقها من الجهاز لتتم عملية تمريرها عبر الغربال ذو القطر 80 ميكرو متر للحصول على مسحوق تماثل نعومته نعومة مسحوق الاسمنت. وقد أعدنا العملية 10 مرات لنتحصل في الأخير على مسحوق ناعم تماثل نعومته نعومة مسحوق الاسمنت، فقدرت الكمية الإجمالية المتحصل عليها من مسحوق الزجاج بـ 26.3 كغ. والجدول (2-4) يبين الخصائص الكيميائية لمسحوق الزجاج.

جدول (2-4): الخصائص الكيميائية لمسحوق الزجاج

المكونات	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2o_3	CaO	MgO	SO_3	K2O	Na_2O	CL	L.O.I
مسحوق الزجاج	70.40	2.54	0.37	11.2	1.60	0.16	0.36	12.25	0.04	0.82

أخذنا عينة من مسحوق الزجاج وبعد قيامنا بتجربة النعومة عليها تحصلنا على قيمة النعومة3734 سم^2/ غ

2-2-3. الرمل:

الرمل المستعمل هو من النوع الناتج عن تفتت الأحجار الرسوبية والموجود بكثرة في ولاية الأغواط خاصة على ضفاف الوديان. والرمل المستعمل في الدراسة مجلوب من ضفة وادي مزي.

هذا الرمل حجم الحبيبات فيه يمثل استمرارا منتظما كما يبينه الشكل (2-7) للتحليل الحبيبي التالي:

الشكل (2-7) :منحنى التحليل الحبيبي للرمل المستعمل

الجدول رقم (2-7) يوضح الخصائص الفيزيائية لحبيبات رمل وادي مزي المستعمل في هذا العمل.

الجدول رقم :(2-7) الخصائص الفيزيائية لحبيبات الرمل:

الحبيبات	الرمل 5/0
معامل الامتصاص (%)	0.59
الكتلة الحجمية المطلقة (كلغ / م3)	2600
الكتلة الحجمية الظاهرة (كلغ / م3)	1540
المحتوى المائي (%)	0.03
المكافئ الرملي (%)	89

2-2-4. الملدن الفائق :

الملدن الفائق المستعمل في هذه الدراسة هو ملدن يسمح بتخفيض نسبة عالية من الماء من الجيل الثالث والمعروف باسم Medaflow 30، هذا المساعد جلب من قبل مؤسسة غرانيتاكس الجزائر العاصمة مصمم على قاعدة Polycarboxylates، والذي يحسن بنسبة كبيرة خصائص الخرسانة في الحالة الطازجة والحالة الصلبة ، الملدن الفائق Medaflow 30 هو سائل لونه أصفر أساسه الحمضي PH يساوي 6 وذو كثافة 1.07، المستخرج الجاف لهذا المساعد يمثل 30 %من كميته.

2-2-5. ماء الخلط:

يجب أن يكون نظيف ، حتى لا يؤثر على زمن الأخذ ، والمقاومة وأداء التسليح ، لتحضير مختلف الأمزجة استعملنا ماء الحنفية.

الشكل (2-8): صورة تمثل مختلف المواد المستعملة اسمنت، مسحوق السيراميك، ومسحوق الزجاج والرمل:

شكل (2-8): مختلف المواد المستعملة

2-3. صياغة الملاط ذاتي الرص :

يتميز الملاط الذاتي الرص بقابلية كبيرة للتشكل (عتبة ضعيفة للقص) تسمح بضمان الجريان بفعل الانسيابية والسيولة العالية للملاط ذاتي الرص، وبلزوجة مناسبة لتحمل الحبيبات الخشنة، وتفادي كل مخاطر الانعزال الحبيبي للملاط ذاتي الرص [29]. باعتبار أن الملاط يشغل حجم مهم في الخرسانة ذاتية الرص (حوالي 70 % من حجم الخرسانة ذاتية الرص) [30]، نتائج التجارب على الملاط ذاتي الرص ستكون كافية أو مقنعة وتستطيع

إعطاء فكرة كبيرة حول السلوك الريولوجي للخرسانة ذاتية الرص، إذن نستنتج أن خصائص الملاط مهيمنة على خصائص الخرسانة.

حسب Domone et jin تجرى التجارب على الملاط للأسباب التالية :

- خرسانة ذاتية الرص تحتوي على حجم صغير من الحصى مقارنة بالخرسانة العادية (31 إلى 35 %).
- تقييم خصائص الملاط تشكل مرحلة تكاملية أساسية في صياغة الخرسانة ذاتية الرص .
- القيام بالتجارب على الملاط أسهل من القيام بالتجارب على الخرسانة .
- القيام بالتجارب على الملاط أقل وقتا وجهدا ولا نستعمل فيه كميات كبيرة.[31]

قمنا باختبارات على الملاط من خلال تجربة الانتشار بالمخروط الصغير وتجربة الجريان بالقمع الصغير على شكل حرف V، هاته الاختبارات لها هدف تحديد المحتوى (رمل إلى الملاط) وكمية الملدن الفائق (الملدن إلى المسحوق).[32]

2-3-1. النسبة الماء إلى المسحوق (E/P):

بصفة عامة الخرسانة ذاتية الرص تتميز بنسبة الماء/المسحوق ضعيفة أقل من 0.5 [33]، وهذا من اجل التقليص من كمية الماء الحر مما ينتج عنه تحسين المقاومة ضد الانعزال الحبيبي.

بعض العلماء قد وجدوا أن النسبة الماء إلى المسحوق التي تتراوح بين 0.84 و 1.07 بالحجم وبين 0.28و 0.45 بالكتلة هي المناسبة لإنتاج الخرسانة ذاتية الرص ذات الخصائص الجيدة في الحالة الطرية والحالة المتصلبة[34]، القيم التي تؤخذ خارج هاته المجالات المذكورة يمكن أن تسبب مشاكل أهمها الانعزال الحبيبي للخرسانة ذاتية الرص.[35]

بوقنجقجي قد أقر بأنه يمكن الذهاب إلى النسبة الماء إلى المسحوق تساوي 0.4 من اجل الحصول على ملاط ذاتي الرص مرضي ذو قطر انتشار أكبر من 27 سم.[36]

من أجل الحصول على خرسانة ذاتية الرص بخصائص ريولوجية وبخصائص فيزيائية وميكانيكية و بديمومة جيدة . وبالاعتماد على الأعمال المنجزة سابقا فان النسبة الماء إلى المسحوق المختارة تساوي 0.4.

2-3-2. نسب الرمل إلى الملاط (S/M) والملدن إلى المسحوق(SP/P):

توصل باحثون إلى تحديد حجم الرمل ب 40 % من حجم الملاط(رمل/ملاط=0.4) من أجل الحصول على ملاط ذاتي الرص ممتاز باستعمال مواد أولية يابانية و هذا ليس ما هو معمول به في الواقع باعتبار

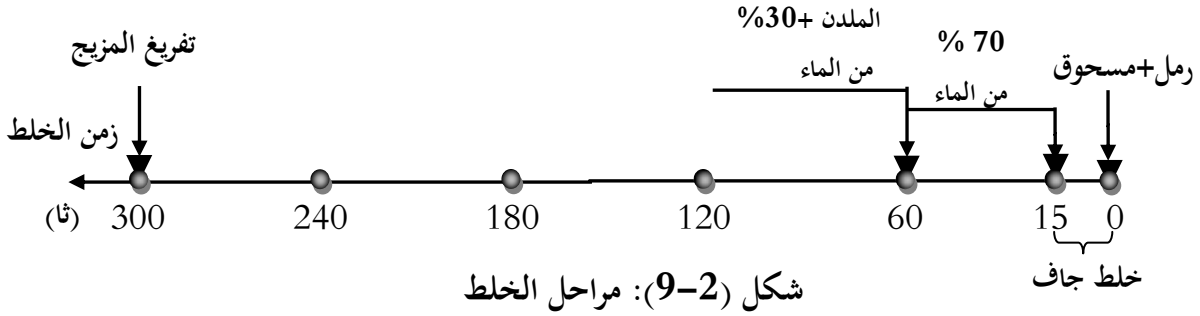
أن استعمال الخرسانة ذاتية الرص عالميا أثبت ضرورة تعديل هذا الحجم، و لهذا فإن العالم Domone قام بتحليل 68 حالة للخرسانة ذاتية الرص من مختلف أرجاء العالم و توصل إلى أن 80 % من الحالات المدروسة فيها حجم الرمل المستعمل محصور بين 41 و52%، أما في الجزائر الدكتور بوقنجقجي قام باختبار الخرسانة ذاتية الرص بمواد محلية أثبت أن نسبة الرمل إلى الملاط مساوية لـ 0,5 هي الأنسب للحصول على خرسانة ذاتية الرص ذات خصائص جيدة [36]، الشيء الذي أكدته بحوث و دراسات سابقة قام بها أساتذة قسم الهندسة المدنية بجامعة الأغواط [38,37,9].

ومن اجل تحديد النسبة الملدن إلى المسحوق قمنا ببعض التجارب الأولية باختبار ثلاث نسب للملدن المتفوق هي: 0,9 % 1,0 % و 1,1 %.

2-4. تعويض الاسمنت بالمسحوق:

بعد تحديد قيم المحتوى المائي والمحتوى الرملي وكمية الملدن المستعملة نستطيع القول اننا تحصلنا على التركيبة المثالية للملاط ذاتي الرص المرجعي، المرحلة التالية تتمثل في دراسة تأثير المسحوق على خصائص الملاط الذاتي الرص في الحالة الطرية، ومن اجل هذا استبدلنا كمية الاسمنت في الخلطة المرجعية بمسحوق السيراميك تارة ومسحوق الزجاج تارة أخرى بالنسب 5%، 15%، 25%، 50%، مع الحفاظ على مختلف خصائص الملاط ذاتي الرص ثابتة، للتذكير فان هاته المرحلة ليست قاعدة عامة وانما رأينا أن استعمال التجارب على الملاط اسهل واسرع واقل تكلفة منه على الخرسانة.

بعدما قمنا بحساب كمية كل عنصر داخل في تركيب ملاط ذاتي الرص ، نشرع في خلط المزيج بالطريقة التالية خلط جاف المسحوق مع الرمل مدة 15 ثانية قبل إضافة الماء من اجل تجانس الخليط، ثم نضيف 70% من ماء الخلط الذي هو ماء الشرب من الحنفية بتدفق منتظم حتى نهاية الدقيقة الأولى، خلال الدقيقة الثانية ندخل بانتظام الملدن مع نسبة 30% الماء المتبقية بعد أن تم مزجهما، نترك عملية الخلط ثلاث دقائق أخرى يكون وقت عملية الخلط الكلي خمس دقائق، الشكل (2-9) يلخص كل هاته المراحل بشكل مبسط ودقيق.



شكل (2–9): مراحل الخلط

نذكر هنا أننا استعملنا آلة الخلط المثبتة بمحور عمودي ذات سعة 5 لتر لخلطة الملاط كما هو موضح في الشكل(2–10)

الشكل(2–10): آلة الخلط الملاط ذاتي الرص

2–5. التجارب :

2–5–1. التجارب المنجزة على الملاط في الحالة الطرية:

تهدف التجارب على الملاط الطازج لتحديد النسبتين S/M وSP/P كمرحلة أولى، ودراسة تأثير مسحوق السيراميك ومسحوق الزجاج على ريولوجية الملاط ذاتي الرص كمرحلة ثانية. تجربة الانتشار تهدف الى حساب تشوه الملاط بقياس قطر انتشاره، ومراقبة استقرار الملاط بملاحظة تجانسه بعد توقف الانتشار، لزوجة الملاط تحسب بقياس زمن التدفق من خلال تجربة القمع الصغير على شكل حرف V.

لصنع خرسانة ذاتية الرص بخصائص ممتازة في الحالة الطرية وجب أن يكون الملاط ذاتي الرص ذو انتشار محصور بين 27 و33سم، ووقت تدفق يتراوح بين 2 إلى 10 ثواني [39]، Chai[40] اقترح نفس التوقيت لزمن تدفق وانتشار أكثر من 30سم، في دراستنا هاته ولغرض الحصول على ملاط ذاتي الرص المقاييس الثلاث التالية يجب أن تكون محققة.

- انتشار كبير: هاته الخاصية تترجم بقيمة انتشار محصورة بين 27 و33 سم .
- لزوجة مناسبة: زمن تدفق محصور بين 2 و10 ثواني يسمح بإعطاء ملاط ذو لزوجة مناسبة .
- مقاومة الانعزال الحبيبي: ملاط ذاتي الرص لا يجب أن يقدم أية علامات مرئية للانعزال الحبيبي أو نضوح الماء.

أ- تجربة الانتشار للمخروط الصغير:

- **الأدوات المستعملة:**

تجربة الانتشار للمخروط الصغير تتطلب اللوازم التالية لوحة النشر، مخروط صغير، مسطرة، دلو، قماش مبلل، مغرفة يد.

- **مراحل التجربة**

تتمثل التجربة في ملء مخروط صغير بالملاط ذاتي الرص، ورفعه عموديا وببطء، بعد رفع المخروط الملاط ينتشر على اللوحة الشكل (2-11)، بعد توقف التدفق نقيس الانتشار نحسب قطرين متعامدين d1، d2 ، الانتشار النهائي هو متوسط قيمتين المتحصل عليهما، مراقبة عينية لشكل الملاط المنتشر التي يمكن أن تكون مهمة، الشكل (2-11)

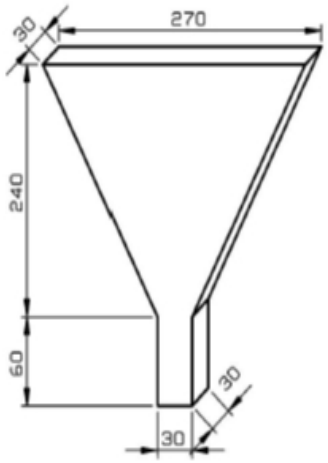
الشكل (3-11): تجربة الانتشار بالمخروط الصغير

ب- تجربة التدفق القمع الصغير على شكل حرف V:

- **أدوات التجربة**

الأدوات المستعملة في التجربة هي كالآتي:

قمع صغير على شكل حرف V، والذي أبعاده موضحة في الشكل التالي الشكل (2-12)، دلو، قماش مبلل، ميقات (لقياس الوقت).



الشكل (2-12)يوضح ابعاد القمع الصغير على شكل حرف V

2-5-2. الصب وتفكيك القوالب ومعالجة عينات الاختبار:

بعد أن قمنا بجميع التجارب الخاصة بالملاط في الحالة الطرية، نقوم بتحضير الملاط ذاتي الرص من اجل صبه في القوالب الحديدية دون رصه، أي إعداد عينات الاختبار بغية إجراء التجارب على الملاط في الحالة الصلبة (الشكل (2-13))

الشكل (2-13)ملء القوالب

بعد مرور 24 ساعة من عملية صب الملاط ذاتي الرص في القوالب نقوم بتفكيك القوالب بحذر حتى لا تنكسر العينات لأنها ما تزال طرية نوعا ما، بعدها نغمر العينات في الماء المشبع بالجير تحت درجة 20°م حتى موعد التجربة، وهذا وفقا للمعيار NF P18-438 [11]، الشكل رقم (2-14).

الشكل (2-14): حفظ عينات الاختبار

2-5-3. التجارب التي أجريت على الملاط في الحالة المتصلبة :

قمنا باختبار العينات لدراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية بتحديد مقاومة الضغط، مقاومة الانحناء على عينات اختبار ذات الأبعاد (4×4×16سم)، وذات عمر 3 ، 7 ، 28 و56 يوم، وسرعة انتشار الأمواج فوق الصوتية للعينات ذات العمر 28 و56 يوم، وتجربة امتصاص الماء بالغمر، أجريت على ثلاث عينات الاختبار بعد 28 يوم، بعد المعالجة في الماء المشبع بالجير، القيم المأخوذة بالحسبان هي القيم المتوسطة للقيم الفردية لثلاث عينات اختبار، كذلك قمنا بتجربة مقاومة الملاط للحرارة العالية بدرجات حرارة مختلفة (400°م،600°م،800°م و 1000°م).

أ- تجربة مقاومة الضغط:

قمنا بتجربة مقاومة الضغط على العينات المكعبة الشكل بعدد 6 قطع لكل خليط ناتجة عن تكسير ثلاث عينات اختبار من تجربة الانحناء، العينات معرضة لحمولة متزايدة حتى الانكسار المتوسط باستعمال آلة ضغط الهيدروليكية بقدرة 2000 كن، هاته الآلة مجهزة بشاشة عرض رقمية تسمح بإدخال مساحة العينة، سرعة التحميل(2.5 كن/ثا)، والحصول على قوة ومقاومة الضغط (الشكل (2-15)).

بعد قراءة قوة الضغط وتسجيلها بعد كل تجربة، نقوم بحساب مقاومة الضغط بالعلاقة

$$\sigma_C = \frac{F}{a^2}$$

حيث : σ_C :مقاومة الضغط (ميقا باسكال)،

F_C: قوة الضغط (نيوتن)،

a: عرض العينة(مم)

الشكل (2–15): جهاز حساب مقاومة الضغط.

ب– مقاومة الانحناء البسيط:

هاته التجربة أجريت وفقا للمعيار NF P18-433 [41]، الطريقة تتمثل في وضع العينات المنشورية الشكل على مسندين وإخضاعها لحمولة متزايدة مركزة في الوسط حتى الانكسار الشكل (2–16). هذه الحمولة مطبقة بمساعدة الآلة الضاغطة مربوطة بجهاز كمبيوتر من اجل القراءة الرقمية والذي يتحكم في سرعة الحمولة المطبقة (5ن/ثا) التي نقوم بإدخالها قبل إجراء التجارب.

الشكل (2–16): يوضح تجربة الانحناء البسيط

قوة الانكسار تعطى بنفس الطريقة، مقاومة الانحناء يتحصل عليها من خلال حساب بسيط لمقاومة المواد .

اجهاد الانحناء الاعظمي يستقر في وسط العينة ، ويحسب بالعلاقة التالية :

$$\sigma_f = \frac{1{,}5Fl}{a^3}$$

حيث: σ_f : مقاومة الانحناء (ميقا باسكال)

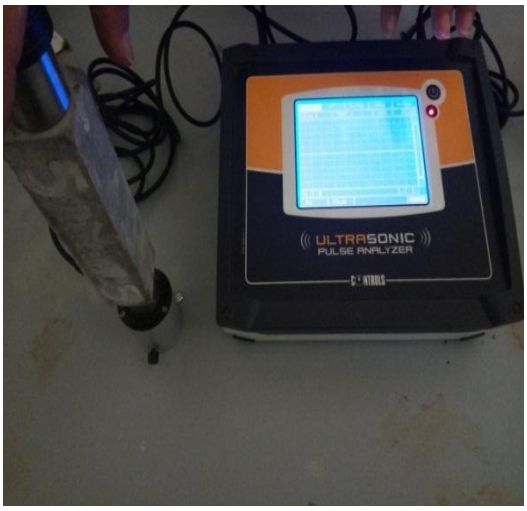
F_f: قوة الانحناء (نيوتن)

l : المسافة بين المسندين(مم)

a: عرض العينة(مم)

ج- سرعة انتشار الأمواج فوق الصوتية:

قياس سرعة الموجات فوق صوتية يتم بقيم متوسطة لجهاز قياس الانتشار الصوتي من الموجات فوق صوتية والموافق للمعيار NF P18-418 [41]، هذا الجهاز يتكون من مولد نبض كهربائي ومن عدة محولات للطاقة، ويمتد منه سلكان طويلان في نهاية كل منهما قطعة اسطوانية ذات سطح مستوي (مرسل ومستقبل) يسمحان بإرسال واستقبال الموجات فوق الصوتية.الشكل رقم (2-17).



الشكل (2-17): جهاز قياس الأمواج فرق صوتية

الجهاز يولد أمواج صوتية تمر عبر عينة الملاط انطلاقا من محول الطاقة المرسل المطبق على مساحة مسطحة، ترصد هذه الأمواج بواسطة محول الطاقة المستقبل الذي هو مطبق كذلك على مساحة مسطحة في وضعية مقابلة وموازية للأولى، نسجل هنا أن المساحتين المسطحتين يجب أن تكونا مدهونتين مسبقا بمادة الفازلين لضمان أفضل نقل الموجات فوق الصوتية . عندما تلتقط الأمواج من المستقبل هنا الجهاز يعطي قراءة مباشرة لسرعة مرور الأمواج، حيث V هي السرعة وحدتها (كم/ثا).

د– تجربة امتصاص الماء بالغمر:

هاته التجربة أجريت وفق المعيار ASTM C642-97[42]، قمنا أولا بتجفيف العينات في فرن التجفيف على درجة 106°م مدة 72 ساعة لضمان الجفاف التام للعينات، استخرجنا العينات بعد ذلك لتتعرض للبرودة، بعدها قمنا بوزن العينات، تم غمرنا العينات في الماء تحت درجة 21°م مدة 72 ساعة، بعد هذه المرحلة يتم مسح العينات بمنشفة ثم وزنها، بعدها نقوم بحساب نسبة امتصاص الملاط ذاتي الرص للماء حسب العلاقة التالية:

نسبة الامتصاص = [(وزن العينة بعد الغمر – وزنها جافة)\وزنها جافة]× 100

هـ– تجربة مقاومة الحرارة العالية:

قمنا بوضع مختلف أنواع العينات الخاصة بتسع خلطات التي نقوم بدراستها في الفرن وهذا بعد استخراجها من مكان حفظها (الماء المشبع بالجير) نقوم بقياس وزنها المبلل ليتم قياس وزنها الجاف مرة أخرى بعد استخراجها من الفرن وتمت هاته العملية كما يلي:

بعد وضع العينات في الفرن نقوم بضبطه على درجة الحرارة المراد دراسة تأثيرها (400، 600، 800 و1000°م) ومن ثم نشغله، تبدأ درجة الحرارة في الارتفاع إلى أن تصل للحرارة التي تم ضبطها، حيث تبقى العينات تحت تأثيرها لمدة ساعتين.

الشكل (2–18):يوضح جهاز الفرن

بعد استخراج العينات من الفرن نقوم بتسجيل الملاحظات العينية على كل العينات بعد تعريضها لدرجات الحرارة العالية التي ذكرناها آنفا قبل أن نجري عليها مختلف التجارب لمعرفة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية بداية بتجربة نسبة التغير في الكتلة بعدما قمنا بوزن العينات قبل وبعد تعريضهم لدرجات الحرارة العالية المختلفة، بعدها ندرس مقاومة العينات لقوى الضغط، ومقاومة الانحناء وكذا سرعة الأمواج فوق الصوتية.

الفصل الثالث

3-1. مقدمة:

في هذا الفصل تطرقنا إلى عرض التجارب التي قمنا بها وتحليل النتائج المتحصل عليها، وقد بدأنا ككل عمل تجريبي بتحديد مكونات الملاط الذاتي الرص الشاهد وذلك بتحديد كل من نسبة (S/M)، وكذا النسبة المثالية للملدن الفائق (المتفوق)، وهاتين النسبتين تحددان من تجربتي الانتشار (الانسياب) والتدفق، بعدها نمر إلى تأثير استبدال الإسمنت بمسحوقي السيراميك (**PC**) والزجاج (**PV**) على الملاط الذاتي الرص في الحالتين الطرية و المتصلبة.

- **الحالة الطرية:** في هذه الحالة نقوم بتجربتين أساسيتين وهما تجربة الانتشار وتجربة التدفق قبل وبعد إضافة مسحوقي السيراميك والزجاج للملاط الذاتي الرص.
- **الحالة المتصلبة:** في هذه الحالة نقوم ببعض التجارب الميكانيكية و الفيزيائية كالمقاومة للضغط والانحناء، سرعة الموجات فوق الصوتية وكذا تجربة امتصاص الملاط الذاتي الرص للماء. و قد أجريت هذه التجارب عند أعمار للملاط ذاتي الرص موافق ل:3، 7، 28 و 56يوم.

كما قمنا بتجربة مقاومة الملاط ذاتي الرص للحرارة العالية بدرجات مختلفة هي: 400، 600، 800 و1000°م. وقد أنجزت هذه التجارب في عمر 28 يوم ولدراسة تأثر مختلف المزائج قمنا بقياس المقاومة الضغط، المقاومة الانحناء، سرعة الموجات فوق الصوتية، بالإضافة إلى قياس الفقدان في الكتلة.

3-2. عرض النتائج ومناقشتها:

3-2-1. التجارب المنجزة على الملاط الذاتي الرص في الحالة الطرية:

أ- تصميم وصياغة الملاط الذاتي الرص الشاهد:

في هذه المرحلة من عملنا قمنا بتحديد نسبة كمية الرمل/الملاط (S/M)، وكذا تحديد النسبة المثالية للملدن فائق أو المتفوق (SP/P).

❖ **تحديد نسبة الرمل إلى الملاط (S/M):**

من اجل تحديد نسبة الرمل إلى الملاط وبما أننا بصدد استعمال رمل الوادي المحلي، قمنا بالاعتماد على عدة دراسات سابقة استعملت نفس نوعية الرمل [37,9 ,38]، حيث توافقت نتائجها في أن النسبة المثالية للرمل إلى الملاط في الملاط أو الخرسانة ذاتية الرص هي: S/M=0,5.

❖ **تحديد النسبة المثالية للملدن الفائق (SP/P):**

لتحديد النسبة المثالية للملدن الفائق (المتفوق) قمنا بتجربتين هما تجربة الانتشار وتجربة التدفق (الجريان)، وقد قمنا باختبار ثلاث نسب من الملدن هي:0,9، 1,0و1,1%.

أ-1 تجربة التدفق (الجريان):

وهي تجربة تعتمد على معرفة زمن تدفق الملاط بتمريره عبر الجهاز المخروطي، ويكون زمن تدفق الملاط الذاتي الرص محصور بين 2 و10ثا، وهذا حسب المعايير الأوروبية (EFNARC)[14].

أ-2 **تجربة الانتشار:**

تعتمد هذه التجربة على تحديد قطر انتشار الملاط الذاتي الرص بعد وضعه في المخروط الصغير ورفع المخروط لينساب الملاط وينتشر، بعدها نقيس قطر الانتشار، وهو محصور بين 27 و33سم.

الجدول(3-1) يبين مكونات الخلطات المدروسة والنتائج المتحصل عليها من تجربتي التدفق والانتشار.

الجدول(3-1): مكونات الخلطات المدروسة في 1م^3 والنتائج المتحصل عليها من تجربتي التدفق والانتشار.

الخلطات	الاسمنت(كغ)	الرمل(كغ)	نسبة الملدن الفائق(%)	الماء(كغ)	زمن التدفق (ثا)	قطر الانتشار (سم)
1	1300,00	690,66	0,90	286,92	7,85	22,30
2			1,00	286,47	7,05	24,50
3			1,10	285,98	3,90	31,50

النتائج المدونة في الجدول (3-1) تبين ان الخلطتين 1و 2 المحتويتين على نسبة ملدن متفوق مساوية على التوالي ل 0,9 و 1,0% لا تملكان السيولة اللازمة لاعتبارهما ذاتيتي الرص لان قطر انتشارهما اقل من 27سم، بينما الخلطة 3 أعطت قيمة انتشار 31,50 سم و هي قيمة داخلة في المجال المطلوب و هو ما يسمح باعتبارها ذاتية الرص. من خلال نفس الجدول، لاحظنا ان كل قيم زمن التدفق هي قيم مقبولة أي ان هذه الخلطات لها لزوجة مناسبة.

من خلال تحليلنا لنتائج الجدول(3-1) توصلنا إلى أن النسبة 1,1%هي النسبة المثالية للملدن الفائق والتي سيتم استعمالها في بقية التجارب.

ب- تأثير إضافة السيراميك والزجاج كمواد ناعمة على خصائص الملاط ذاتي الرص:

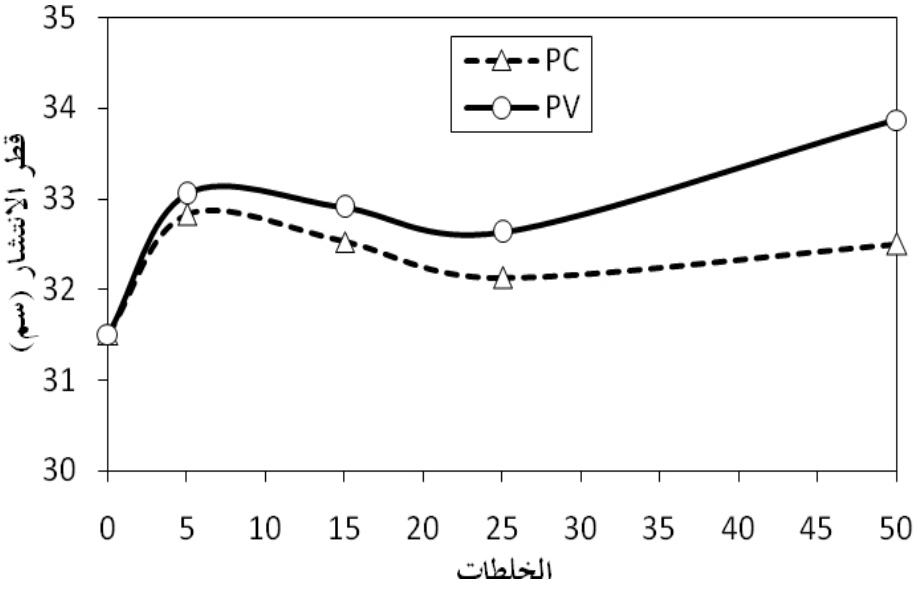
بعد تحديد كل من نسبة الرمل إلى الملاط والتي كانت:(S/M=0,5، ونسبة الملدن الفائق إلى المسحوق SP/P=1,1، وهنا يمكن أن نلخص كمية مكونات الخلطات المراد تطبيق التجارب عليها وذلك بعد إضافة كل من مسحوقي السيراميك والزجاج بنسب متفاوتة قيمها 5، 15، 25 و50%، دون أن ننسى مزيج الملاط الشاهد، في الجدول التالي:

جدول (3-2): مكونات الخلطات الخرسانية المدروسة في 1م^3

المزائج	E/P	المكونات							
		الاسمنت (غ)	نسبة المضاف (%)	مسحوق السيراميك (غ)	مسحوق الزجاج (غ)	الملدن الفائق الفعالية SP		الرمل (غ)	الماء (غ)
						نسبة(%)	كمية(غ)		
100C	0,4	690,65	0	0	0	1,1	7,60	1300,00	285,98
5PC		656,12	5	34,53	0				
15PC		587,06	15	103,60	0				
25PC		517,99	25	172,66	0				
50PC		345,33	50	345,33	0				
5PV		656,12	5	0	34,53				
15PV		587,06	15	0	103,60				
25PV		517,99	25	0	172,66				
50PV		345,33	50	0	345,33				

بعد ذلك نقوم بتجربتي التدفق والانتشار لمعرفة مدى تأثير إضافة السيراميك والزجاج على الملاط في الحالة الطرية.

❖ **تجربة الانتشار**:تحصنا على النتائج المبينة في الاشكال (3-1 و3-2)

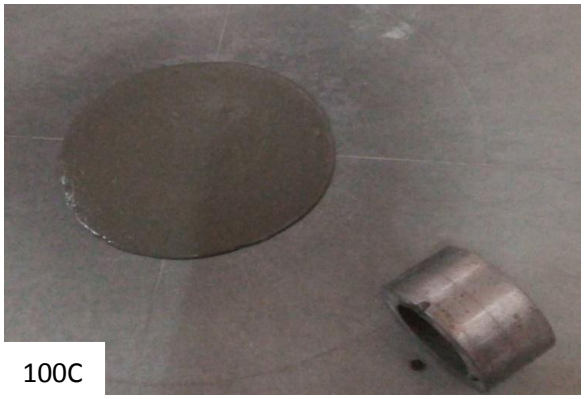


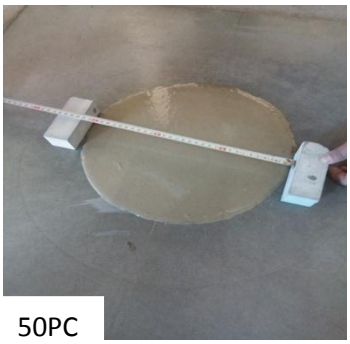
الشكل(3-1) : تغير قطر الانتشار بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين

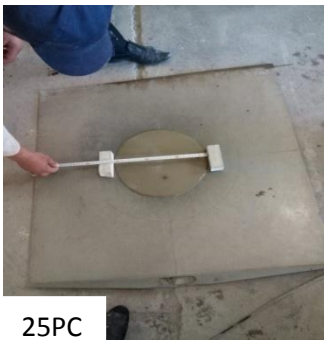
من الشكل (3-1) نلاحظ أن أقطار انتشار كل الخلطات التي قمنا بدراستها وعوضنا فيها الاسمنت بنسبة من السيراميك والزجاج كانت كبيرة مقارنة بالخلطة المرجعية المكونة من الاسمنت فقط كرابط، كما نلاحظ في الخلطات المضاف إليها السيراميك أن قيمة قطر الانتشار القريبة من قيمة قطر الخلطة الشاهدة هي عند الملاط ذو النسبة 25%من السيراميك وهذه القيمة هي 32,00 سم، أما أعلى قيمة كانت عند المزيج ذو النسبة 50%، حيث كانت قيمة القطر 33,87سم.

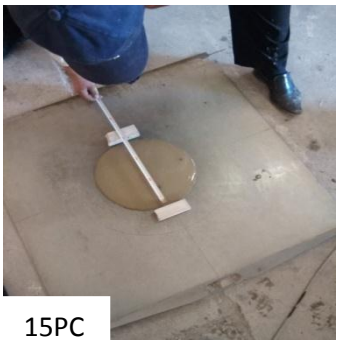
أما فيما يخص الخلطات المضاف إليها الزجاج فأقل قيمة هي 32,35 سم وكانت عند المزيج ذو النسبة 25% وأعلى قيمة كانت 32,83سم عند النسبة 5% من الزجاج، مع ملاحظة نضوح الماء عند النسبة 50% لكل من السيراميك والزجاج (الشكل (3-2)).

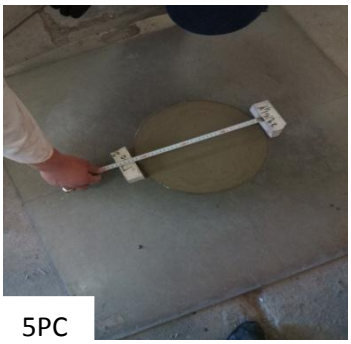
ومن خلال هذه النتائج نستنتج أن سيولة و تجانس الملاط الذي قمنا بتغيير نسبة الاسمنت فيه بنسبة من مسحوقي السيراميك والزجاج كانت عالية نسبيا مقارنة بخلطة الملاط المرجعية، ماعدا في حالة الملاطين المحتويين على اكبر نسبة سواء من مسحوق الزجاج أو مسحوق السيراميك (50%) أين لاحظنا علامات نضوح بمعنى خروج الماء (الشكل (3-2)).

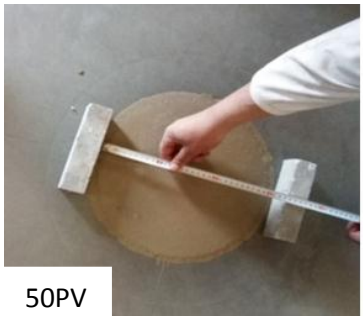


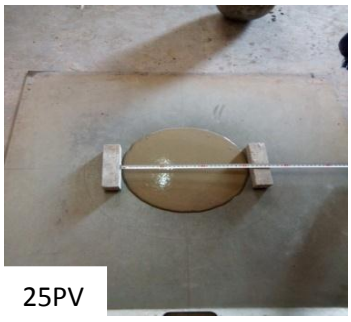


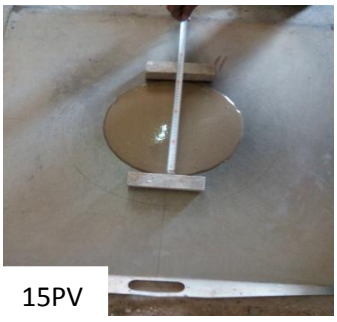








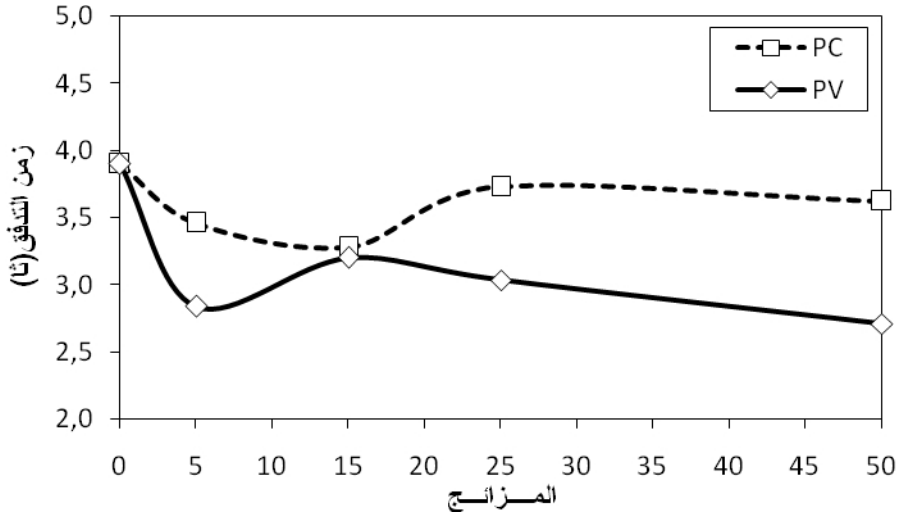




الشكل (3-2) :صور تجارب الانتشار لكل الخلطات

❖ **زمن التدفق (الجريان)**:تحصلنا على النتائج المبينة في الشكل (3-3)

الشكل (3-3) يشير إلى أن زمن تدفق الملاط الذاتي الرص للخلطة المرجعية و باقي الخلطات كان بين 2,71 و 3,90ثا، أي أنها قيم مقبولة بما انها محصورة بين قيمتي المجال المسموح به حسب المعايير الأوروبية (EFNARC) [14]، كما نلاحظ أن كل الخلطات كان فيها قيم زمن التدفق أقل من زمن تدفق ملاط الخلطة المرجعية ، هنا نستنتج أن هذه الخلطات هي أكثر انسيابية وذات سيولة عالية و اقل لزوجة مقارنة بالخلطة المرجعية.



الشكل (3-3): تغير زمن تدفق الملاط بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين

النتائج المتحصل عليها من خلال تجربتي الانتشار و التدفق تبين أن الاستبدال الجزئي للإسمنت بكل من مسحوقي السيراميك و الزجاج و بنسب لا تتجاوز 25% كان جد إيجابي حيث انه ساهم في زيادة سيولة و انسيابية وتجانس الملاط ذاتي الرص. يمكن تفسير هذه النتيجة بزيادة حجم الرابط (اسمنت+مسحوق) بسبب استبدال الاسمنت بمادة ناعمة ذات كتلة حجمية اصغر منها، الشيء الذي يرفع حجم الرابط و بتالي يسمح بتقليل الاحتكاكات بين جزيئات الرمل مؤديا في الأخير الى تسهيل حركة وتدفق هذه الجزيئات.

إن رفع نسبة الاسمنت المستبدل الى 50% يسمح بالحصول على ملاط ذو سيولة و انسيابية كبيرة لكنه غير متجانس بسبب وجود مؤشرات نضوح به.

بإمكاننا الاستخلاص انه بالإمكان تقليل تركيز او نسبة الملدن المتفوق و ذلك من اجل انتاج ملاط ذاتي الرص اقتصادي و متجانس ذو سيولة و انسيابية مماثلتين للمزيج الشاهد و هذا باستعمال بقايا مواد محلية كالزجاج والسيراميك و ذلك بعد طحنها.

3-2-2. التجارب المنجزة على الملاط الذاتي الرص في الحالة المتصلبة:

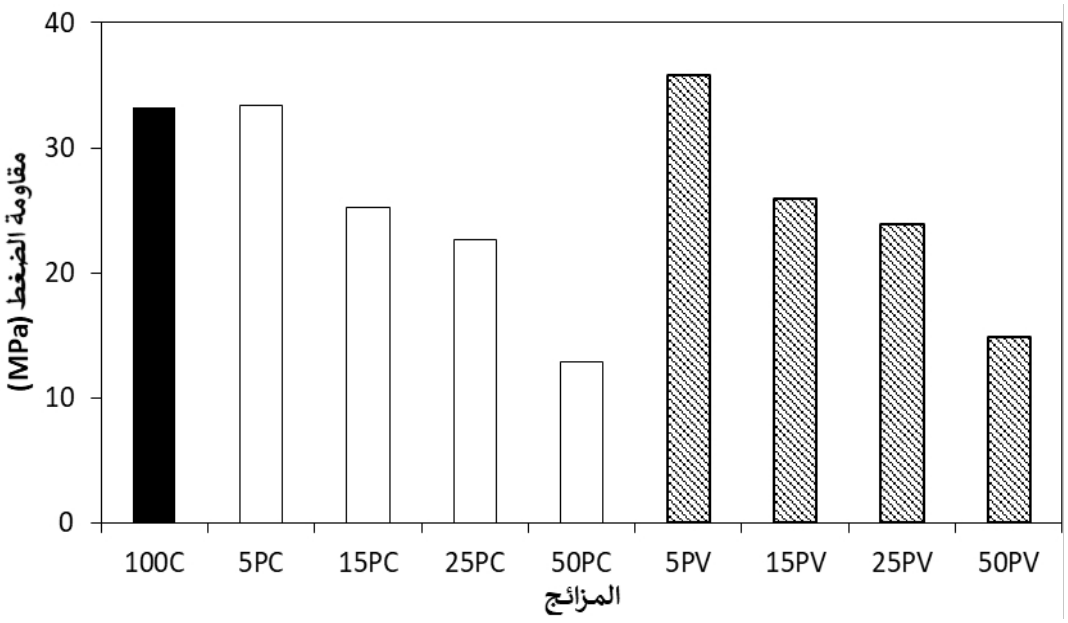
أ-تأثير إضافة مسحوقي السيراميك والزجاج على بعض الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للملاط الذاتي الرص:

أ-1. مقاومة الضغط: هذه التجربة هي من أهم الاختبارات التي نقوم بها على الخرسانة إن لم تكن أهمها لأن الخرسانة تستخدم أساسا لمقاومة قوى الضغط. وقد قمنا بقياس و دراسة مقاومة قوى الضغط عند أعمار 3، 7، 28 و56يوم.

- **مقاومة الضغط بعد 03 أيام:** تحصلنا على النتائج الموضحةبالشكل (3-4).

من الشكل (3-4) نلاحظ أن مقاومة الضغط بالنسبة للمزيجين المحتويين على النسبة 5% من كل من مسحوقي السيراميك والزجاج كانت مرتفعة مقارنة بمقاومة الضغط بالنسبة للمزيج المرجعي، وأعلى قيمة لمقاومة الضغط كانت للمزيج ذو النسبة 5% لمسحوق الزجاج وقدرت هذه القيمة بـ:σ_c=35,79MPa،أما مقاومة الضغط للمزيج المرجعي قدرت بـ: σ_c=33,20MPa.

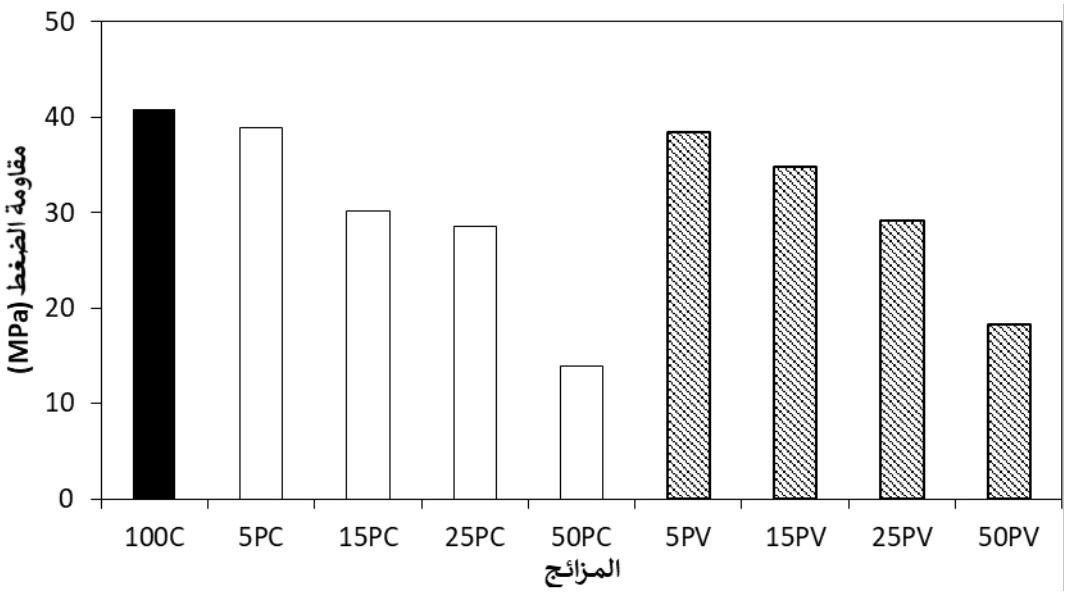
ومن جهة أخرى بينت النتائج أن المزيجين ذو النسبة 50%من كل من السيراميك والزجاج هما الأقل مقاومة للضغط حيث أن قيمتيهما قدرتا بـσ_c=14,84MPa و σ_c=12,84MPa للزجاج و للسيراميك على التوالي، و هي نسب اقل بـ 61 و 55 % بالمقارنة مع مقاومة الضغط للمزيج المرجعي. كما لاحظنا أنه كلما زادت نسبة الإضافات الإسمنتية كلما نقصت مقاومة الضغط باستثناء النسبة 5% التي كان فيها لمقاومة الضغط أعلى القيمة.



الشكل (3-4): تغير مقاومة الضغط بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين بعد 03 أيام

- **مقاومة الضغط بعد 07 أيام:** تحصلنا على النتائج المبينةبالشكل (3-5)

نلاحظ من خلال الشكل (3-5) تناقص في قيم مقاومة الضغط مع إضافة كل من مسحوقي السيراميك و الزجاج. تشير النتائج المتحصل عليها كذلك إلى أن زيادة في نسبة استبدال الاسمنت تساهم في تناقص مقاومة الضغط للملاط ذاتي الرص.

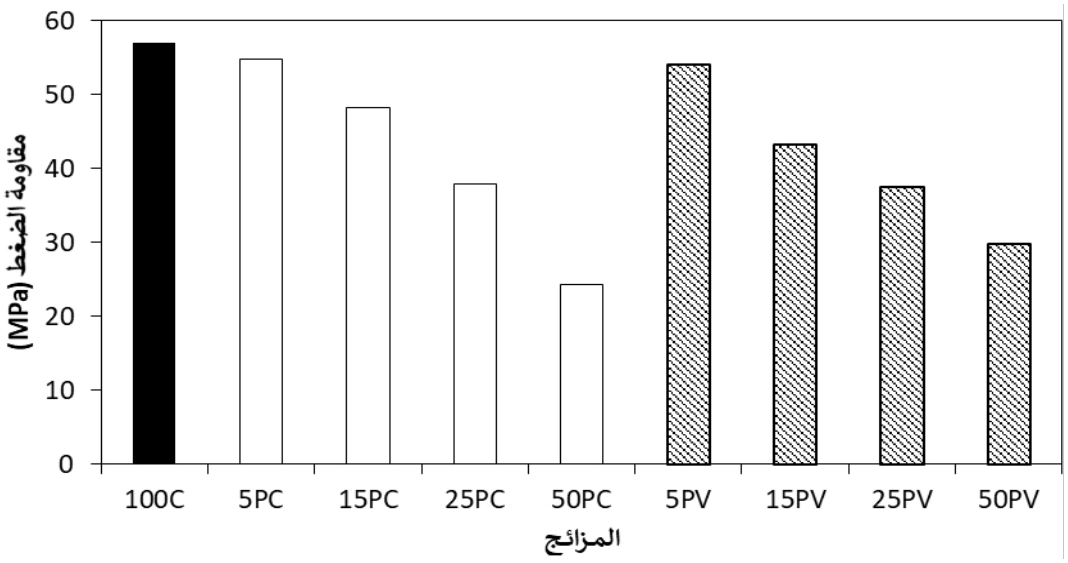


الشكل (3–5): تغير مقاومة الضغط بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين بعد 07 أيام

نلاحظ من خلال الشكل (3-5) تناقص في قيم مقاومة الضغط مع إضافة كل من مسحوقي السيراميك والزجاج. تشير النتائج المتحصل عليها كذلك الى ان زيادة في نسبة استبدال الاسمنت تساهم في تناقص مقاومة الضغط للملاط ذاتي الرص.

نفس النتائج تبين أن مقاومة الضغط للمزائج المحتوية على مسحوق الزجاج كانت اعلى من مسحوق السيراميك عند مقارنتها نسبة بنسبة.

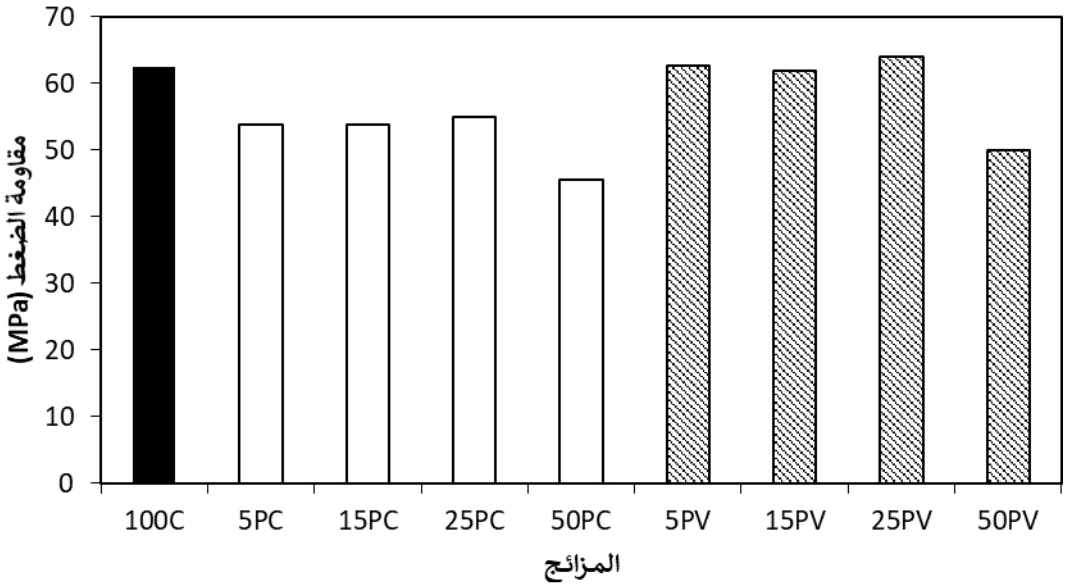
- **مقاومة الضغط بعد 28 يوم:** تحصلنا على النتائج التالية الشكل (3-6)



الشكل(3–6):تغير مقاومة الضغط بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين بعد28 يوم

من خلال تحليلنا لنتائج مقاومة الضغط عند 28 يوم (الشكل (3-6)) سجلنا تناقص لمقاومة الضغط بالنسبة للمزائج المحتوية على 5، 15، 25 و 50% من مسحوق السيراميك بما نسبته 4، 15، 34 و 57%. في حالة مسحوق الزجاج كانت نسبة نقصان في مقاومة الضغط مساوية ل 5، 24، 34 و 48% بالنسبة للمزائج المكونة من 5، 15، 25 و 50% على التوالي.

- **مقاومة الضغط بعد 56 يوم:** تحصلنا على النتائج المعروضة في الشكل (3-7)

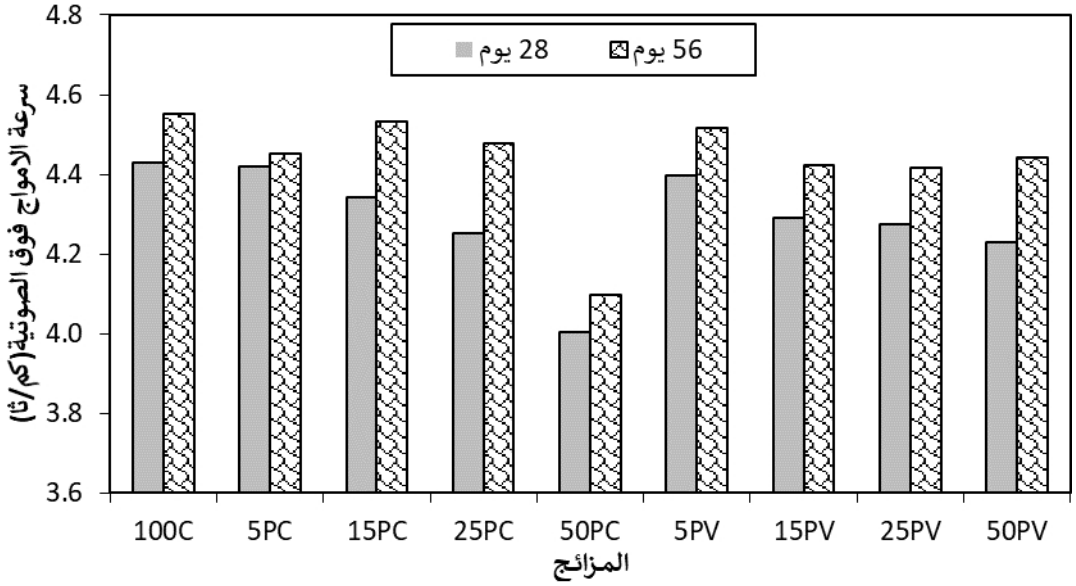


الشكل (3-7): تغير مقاومة الضغط بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين بعد56يوم

من الشكل رقم (3-7) نلاحظ أن مقاومة الضغط تحسنت في المزائج المحتوية على مسحوق الزجاج لدرجة ان قيمة مقاومة ضغط في حالة المزيجين 5PV و15PV كانت مساوية لقيمة المزيج الشاهد، في حين ان مقاومة المزيج 25PV للضغط تجاوزت قيمة المزيج الشاهد بما نسبته 3%.

إن الاستبدال الجزئي للإسمنت بمادة ناعمة ذات مساحة سطحية مساوية تقريبا للمساحة السطحية للإسمنت (مسحوق الزجاج) له تأثيرين الأول فيزيائي بحيث أن كثافة المزيج تزداد نتيجة لملأ الفراغات و المسامات، بينما التأثير الثاني هو تأثير كيميائي-فيزيائي بسبب التفاعل الكيميائي (بعد 28 يوم) الحادث بين السيليس SiO_2 و الكلس و الذي يؤدي إلى تكون مركبات جديدة (سيليكات الكالسيوم المائية) لها مقاومة و قابلية لملأ الفراغات. ان هذين التأثيرين يسمحان بتقليل مسامية الملاط او الخرسانة و بالتالي زيادة مقاومتها للضغط و ديمومتها.

أ-2. سرعة الأمواج فوق الصوتية: هذه التجربة جد مهمة تسمح لنا بمعرفة درجة كثافة الملاط او الخرسانة المتصلبة دون تعريضها للتكسير،حيث انها تعتمد على قياس سرعة مرور الأمواج داخل قطعة خرسانة وذلك باستعمال جهاز يتكون من علبة قياس الزمن والسرعة، ويمتد منها سلكان طويلان في نهاية كل واحد منهما قطعة اسطوانية ذات سطح مستوي (المرسل او المستقبل) يسمحان بإرسال واستقبال الموجات فوق الصوتية.الشكل (3-8) يظهر لنا نتائج هذه التجربة بعد مرور 28 و56 يوم.



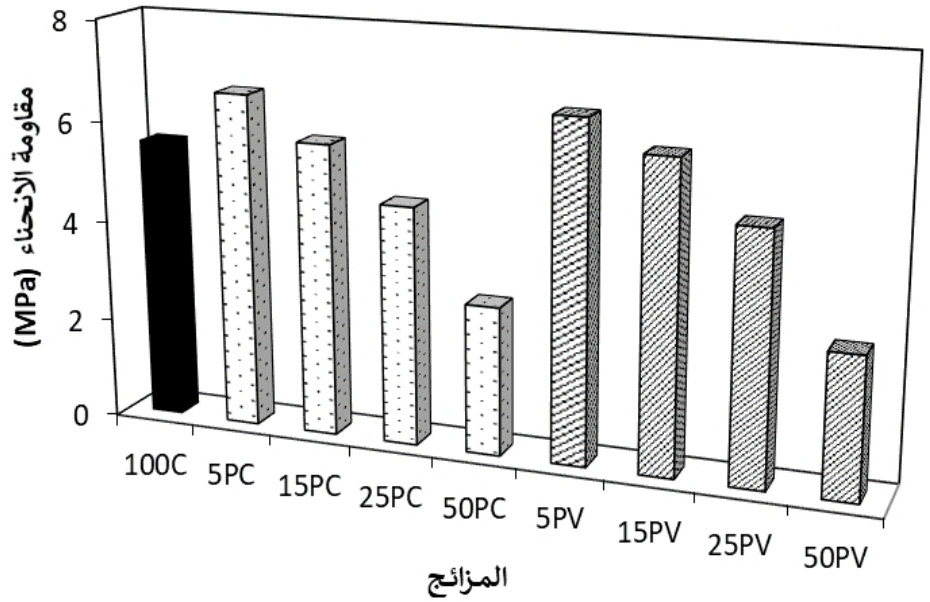
الشكل (3-8): تغير سرعة الأمواج الصوتية بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين بعد 28 و56 يوم

من خلال الشكل(3-8) نلاحظ تناقص سرعة الأمواج فوق صوتية عند 28 يوم مع إضافة مسحوقي السيراميك و الزجاج، كما تشير النتائج الى تقارب قيمة سرعة الأمواج فوق صوتية بالنسبة للمزيجين 5PV و 5PC مع قيمة المزيج الشاهد. عند 56 يوم، لاحظنا ارتفاعا في قيمة سرعة الأمواج فوق صوتية لكل المزائج بنسب مختلفة تتراوح بين 1 و5%.يمكن اعتبار أن النسبة 5% من مسحوق الزجاج هي الأمثل باعتبارهاالأقرب للمزيج المرجعي من حيث قيمة سرعة الأمواج فوق صوتية المتحصل عليها.

إن زيادة سرعة الأمواج فوق صوتية بين 28 و56 يوم راجع أساسا الى استمرار ظاهرة تميه الاسمنت و بالتالي استمرار تشكل أو تكون العناصر المميهة ذا من جهة، و من جهة أخرى فإن استبدال الإسمنت بمواد ناعمة ذات مساحة سطحية مساوية تقريبا للمساحة السطحية للإسمنت (مسحوق الزجاج) تساهم في زيادة كثافة الملاط سواءا مباشرتا عن طريق ملأ و سد الفراغات و المسامات او عن طريق تكون سليكات الكالسيوم المائية والتي بدورها تعمل على سد الفراغات المجهرية.

أ-3. مقاومةالانحناء البسيط:

- **مقاومة الانحناء البسيط بعد 03 أيام:** تحصلنا على النتائج التالية الموضحة بالشكل (3-9).

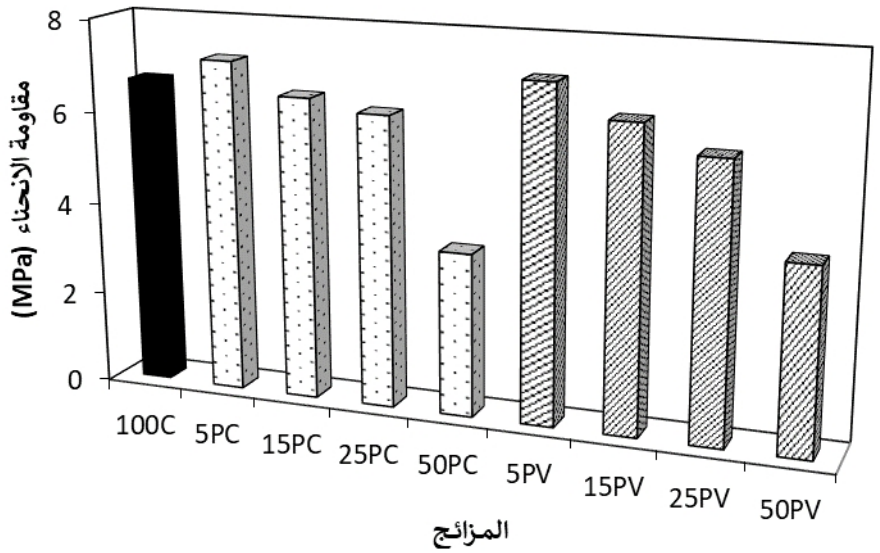


الشكل (3-9): تغير مقاومة الانحناء بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين بعد 03 أيام

تشير نتائج الشكل (3-9) الى ان استعمال مسحوقي السيراميك و الزجاج بنسب 5 و15% قد أعطى نتائج جيدة بحيث ان مقاومة الانحناء تجاوزت نظيرتها في المزيج الشاهد بنسبة 4 إلى 19%، في حين أدت زيادة نسبة الاسمنت المستبدلة بمسحوقي السيراميك و الزجاج الى اكثر من 15% الى تناقص معتبر لمقاومة الانحناء و قد بلغ هذا التناقص اعلى قيمه في حالة المزيجين 50PV و 50PC.

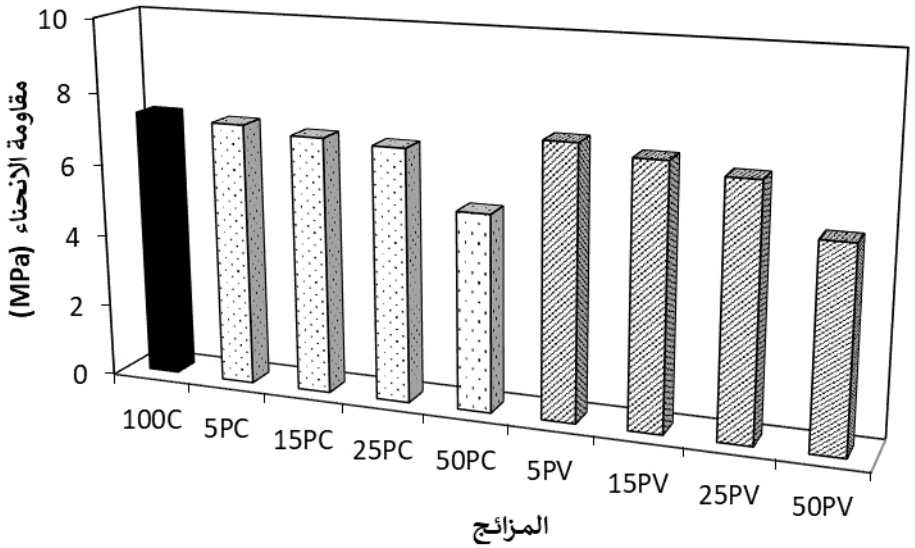
- **مقاومة الانحناء البسيط بعد 07 أيام:** تحصلنا على النتائج التالية (الشكل (3-10)).

الشكل (3-10)نلاحظ أن هناك مزيجين تجاوزت فيهما قيمة مقاومة الإنحناء القيمة المسجلة للملاط الشاهد، المزيج ذو النسبة 5% من مسحوق السيراميك و المزيج ذو نفس النسبة من مسحوق الزجاج حيث بلغت قيمة مقاومة الانحناء فيه σ_F =7,18MPa، بينما بلغت قيمة مقاومة الانحناء للملاط الشاهد σ_F=6,69MPa. بينت النتائج كذلك أن هناك تناقص في قيم مقاومة الإنحناء كلما زادت نسب مسحوقي الزجاج والسيراميك ، كما نستطيع القول أن هذا التناقص هو بقيم متساوية بين مسحوقي السيراميك والزجاج.



الشكل (3–10): تغير مقاومة الانحناء بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين بعد 07 أيام

- **مقاومة الانحناء البسيط بعد 28 يوم:** تحصلنا على النتائج التالية المستعرضة بالشكل (3–11).

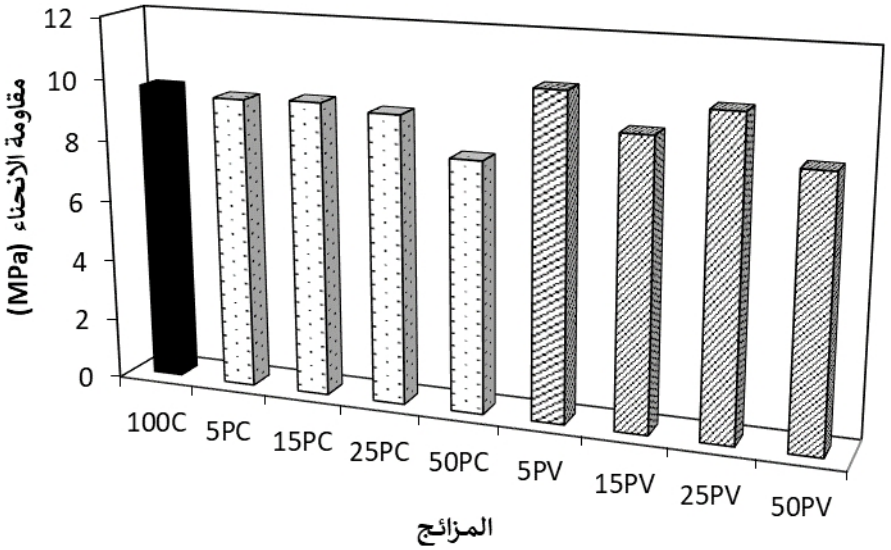


الشكل (3–11): تغير مقاومة الانحناء بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين بعد 28 يوم

من خلال تحليل نتائج مقاومة الانحناء بعد 28 يوم (الشكل (3–11))، نلاحظ ان مقاومة الانحناء للمزيجذو النسبة 5% من مسحوق الزجاج قد تجاوزت قليلا مقاومة الانحناء للمزيج الشاهد، حيث سجلنا قيمة تقدر بـ: σ_F=7,44MPa بالنسبة للمزيج ذو النسبة 5% من مسحوق الزجاج، أما المزيج الشاهد فقد سجل مقاومة اقل قدرت بـ: σ_F =7,38MPa.ان إضافة مسحوقي الزجاج و السيراميك بما نسبته 15 او 25%

يسمح بالحصول على مقاومة اقل قليلا مقارنة مع المزيج المحتوي فقط على الاسمنت، بينما تبين ان رفع نسبة إضافة مسحوقي الزجاج و السيراميك الى 50% ينتج مقاومة ضعيفة للانحناء.

- **مقاومة الانحناء البسيط بعد56 يوم:** تحصلنا على النتائج التالية (الشكل (3-12)).



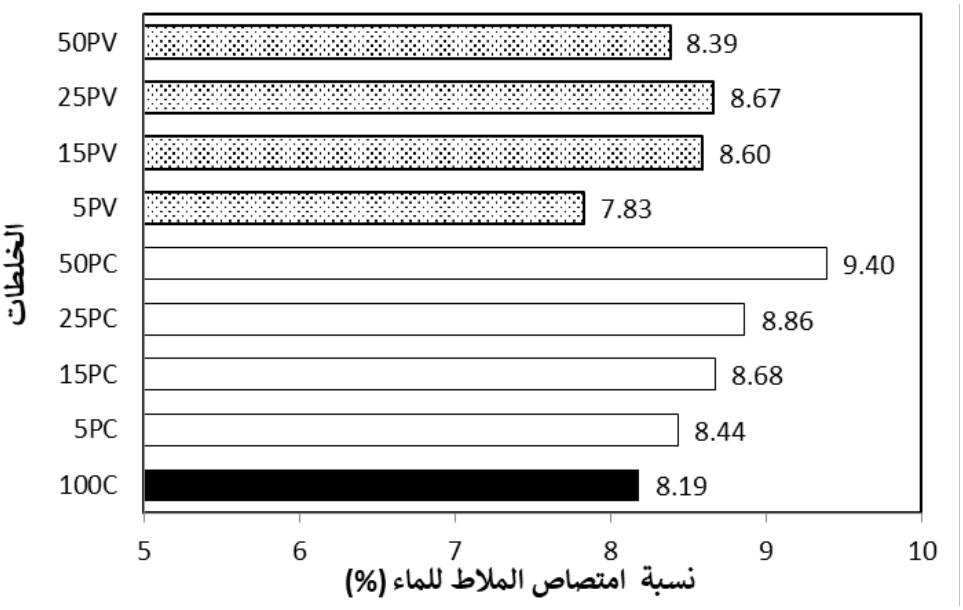
الشكل (3-12): تغير مقاومة الانحناء بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين بعد 56 يوم

الشكل (3-12) يبين لنا تغير مقاومة الانحناء بعد مرور 56 يوم، حيث نلاحظ من خلاله ان مقاومة الانحناء قد تحسنت في اغلب المزائج حتى أنها تجاوزت قيمة المزيج الشاهد و ذلك في حالة المزيجين 5PV و 25PV. كما نستطيع ان نستنتج أن مقاومة الانحناء للمزائج المحتوية على مسحوق الزجاج كانت اعلى من نظيرتها المحتوية على مسحوق السيراميك.

يمكن تفسير قيم مقاومة الانحناء المرتفعة خاصة في المزائج المحتوية على 5 ،15 و 25% من مسحوقي السيراميك او الزجاج بالشكل الغير منتظم لجزيئات هاتين المادتين، و هو ما يزيد من التماسك بين مكونات الملاط ذاتي الرص و يساهم في تحسين مقاومته للانحناء.

ب- تأثير إضافة السيراميك والزجاج كمواد ناعمة على مقاومة امتصاص الملاط ذاتي الرص للماء:

هذه التجربة تسمح لنا بقياس و التعرف على كمية الماء الممتص التي تملأ الفراغات و المسامات بين حبيبات المكونة للعينات، ويتم حساب كمية امتصاص الملاط للماء بعد تجفيف العينات من الماء تماما ووزنها، ومن ثم إعادة غمسها في الماء حتى التشبع وبعملية حسابية بسيطة نستخرج كمية الماء الممتص. وقد تحصلنا على النتائج الممثلة في الشكل (3-13).



الشكل (3-13): نسبة امتصاص الملاط للماء بدلالة تغير نسبة السيراميك والزجاج الناعمين

الشكل (3-13) يبين أن كل قيم الماء الممتص هي اعلى من قيمة الخلطة المرجعية ما عدا في حالة الخلطة 5PV اين سجلنا نسبة امتصاص اقل ب 4% بالمقارنة مع الخلطة المرجعية. في حالة تجاوز نسبة استبدال الاسمنت بالمواد الناعمة ل 5%، نستنتج ان استعمال مسحوقي السيراميك و الزجاج يزيد من كمية الماء الممتص و بدرجة اقل بالنسبة لمسحوق للزجاج.

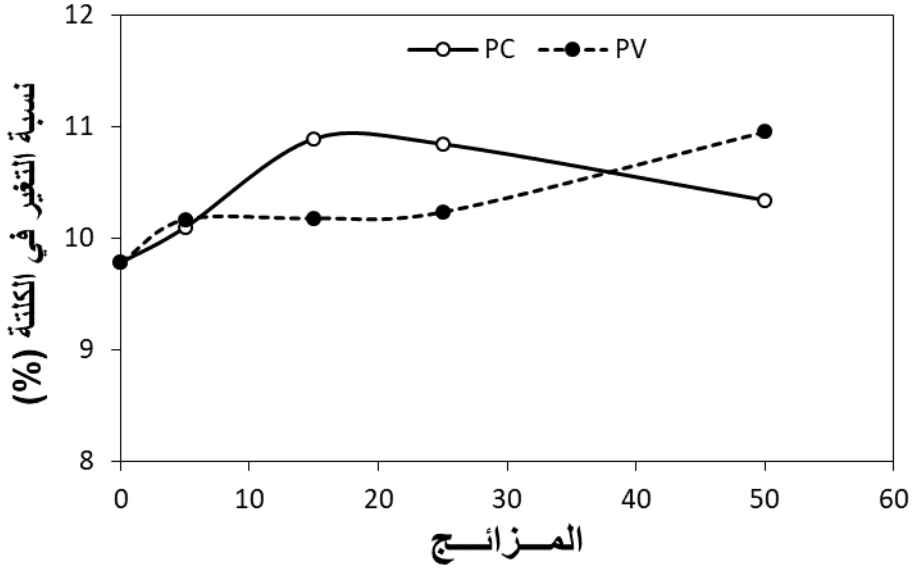
من هذا نستنتج أن مسامية او حجم الفراغات في الملاط ذو النسبة 5% من مسحوق الزجاج هي أقل من الملاط المرجعي، أي أن إستعمال مسحوق الزجاج بنسبة 5% تعتبر الأمثل لتقليل نسبة إمتصاص الماء.

ج- تأثير إضافة السيراميك والزجاج كمواد ناعمة على مقاومة الملاط الذاتي الرص للحرارة العالية:

في هذه المرحلة من عملنا التجريبي قمنا بدراسة تأثير إضافة مسحوقي السيراميك والزجاج على خصائص الملاط الذاتي الرص بعد تعريضه للحرارة العالية (400°م، 600°م، 800°م و1000°م). والخصائص التي قمنا بدراستها أربع وهي الفقدان في الكتلة، مقاومة الضغط، الأمواج فوق الصوتية، مقاومة الانحناء. كما قمنا بملاحظة و مراقبة عينية لعينات مختلف المزائج.

ج-1. الفقدان في الكتلة:

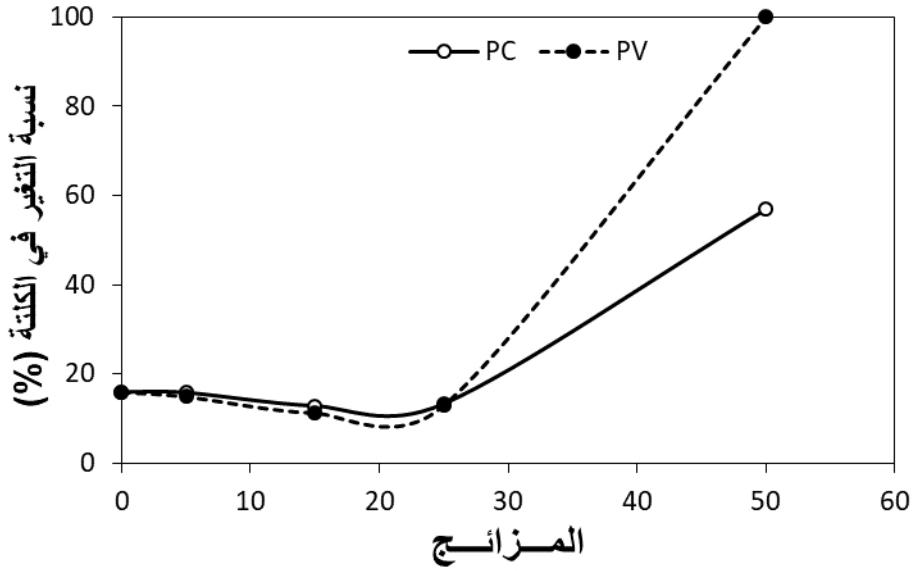
❖ **عند درجة الحرارة 400°م**: الشكل (3-14) يوضح النتائج المتحصل عليها.



الشكل (3-14): نسبة الفقدان في الكتلة بدلالة تغير نسبة السيراميك والزجاج الناعمين عند 400°م

نلاحظ من خلال الشكل (3-14) أن هناك ارتفاع طفيف في نسبة الفقدان في الكتلة (من 3 الى 6%) في كل الخلطات المحتوية على مواد ناعمة ما عدا تلك المكونة من 15و 25% من مسحوق السيراميك و 50% من مسحوق الزجاج أين سجلنا ارتفاع أكبر في نسبة الفقدان في الكتلة (من 11 الى 12%) بالمقارنة مع الخلطة المرجعية.

❖ **عند درجة الحرارة 600°م**: الشكل (3-15) يوضح النتائج المتحصل عليها.



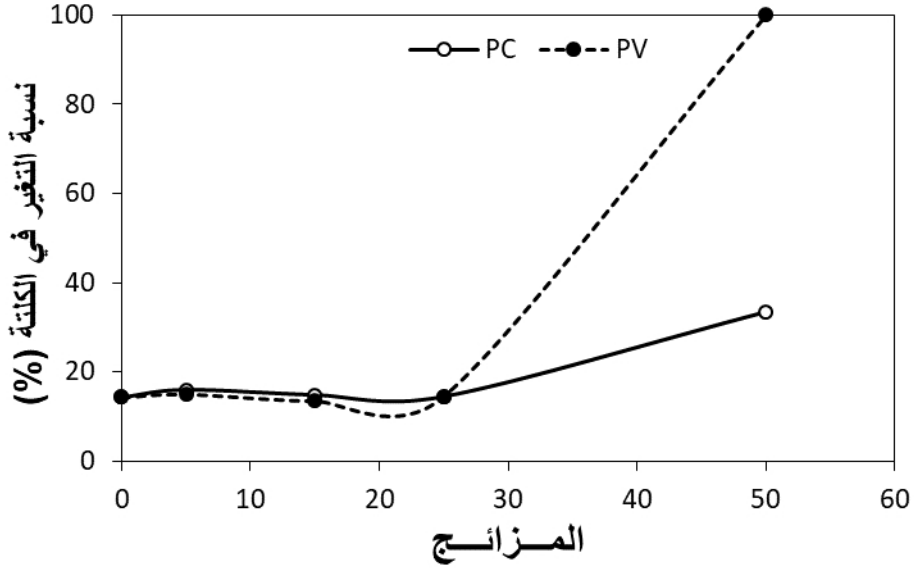
الشكل (3-15): نسبة الفقدان في الكتلة بدلالة تغير نسبة السراميك والزجاج الناعمين عند 600°م

من خلال تحليلنا لمنحنى الشكل (3-15) زيادة كبيرة في نسبة الفقدان في الكتلة في حالة تجاوز نسبة مسحوقي السيراميك و الزجاج ل 25% (المزيجين50PVو 50PC). في حالة الخلطات 5PC، 15PC و25PC سجلنا نسبة الفقدان في الكتلة مساوية على التوالي ل 15,82، 12,85 و 13,31% و هي نسب اقل من نسبة الخلطة المرجعية (16,34%)، في حين أدت زيادة نسبة إضافة مسحوق السيراميك إلى 50% إلى ارتفاع في نسبة الفقدان في الكتلة وصلت إلى 56,89% أي أكثر من ثلاث أضعاف الخلطة المرجعية.

بالنسبة لمسحوق الزجاج، لاحظنا ان الخلطات 5PV، 15PV و 25PV تعرضتللفقدان في كتلتها مساوي على التوالي ل 14,92، 11,27 و 13,00% و هي قيم اقل من قيمة نظيرتها المحتوية على مسحوق السيراميك و قيمة الخلطة المرجعية. فيما يخص الخلطة 50PV، أدت زيادة نسبة إضافة مسحوق السيراميك الى 50% الى فقدان كاملفي الكتلةنتيجة لتفتت عيناتها.

يستوجب الإشارة إلى انه لاحظنا تكسر و تفتت بعض العينات نتيجة لانفجارها و هو ما حدث بضبط عند وصول درجة الحرارة للقيمة 550°م.

❖ **عند درجة الحرارة 800°م**: الشكل (3-16) يوضح النتائج المتحصل عليها



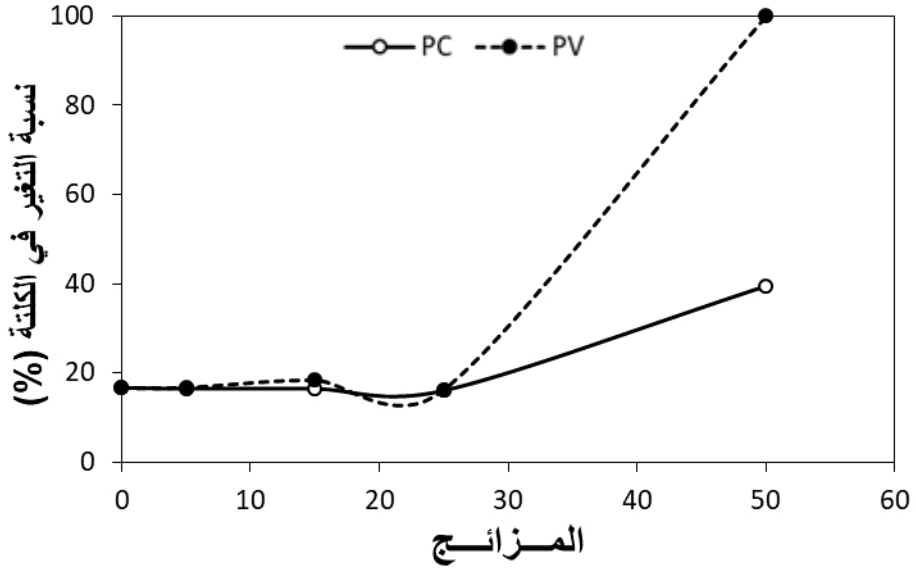
الشكل(3-16): نسبة الفقدان في الكتلة بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين عند 800°م

من خلال تحليلنا لمنحنى الشكل (3-16) لاحظنا ان الاستبدال الجزئي للإسمنت بمسحوقي السيراميك و الزجاج بنسب 5، 15 و25% قد أعطى قيم فقدان في الكتلة مساوية تقريبا لقيمة الخلطة المكونة من

الاسمنت وحده كرابط. في حالة رفع نسبة استبدال إلى 50% لاحظنا اختلافا في النتائج حيث أن الخلطتين 50PV و 50PC كانتا أكثر تأثرا بارتفاع درجة الحرارة حيث أن نسبة الفقدان في الكتلة كانت على التوالي 33,46 و 100% و هذا يؤكد ما لاحظناه من تكسر و تفتت لعينات هاتين الخلطتين.

كما في حالة درجة الحرارة 600°م، فان التكسر و تفتت بعض العينات ناجم عن انفجارها و هو ما احسسنا به عند بلوغ الفرن لدرجة حرارة 550°م و هذا يدل على انها درجة الحرارة الحرجة الواجب عدم تخطيا للحفاظ على شكل العينة و من خلالها العنصر الخرساني.

❖ **عند درجة الحرارة 1000°م**: الشكل (3-17) يوضح النتائج المتحصل عليها



الشكل (3-17) نسبة الفقدان في الكتلة بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين عند 1000°م

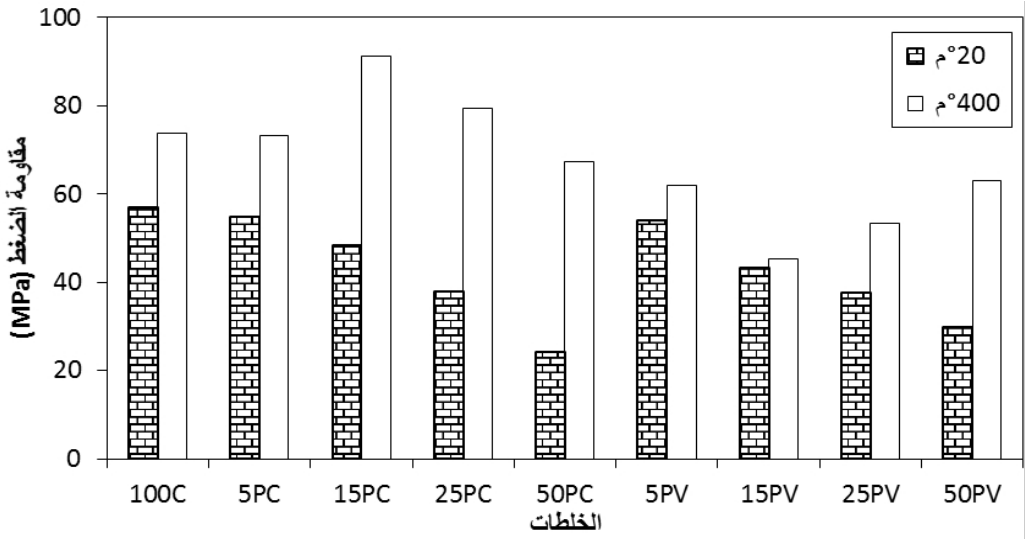
من خلال تحليلنا لنتائج الشكل (3-17) وبالمقارنة مع نتائج الشكل (3-16) لاحظنا زيادة في نسبة الفقدان في الكتلة مع ارتفاع درجة الحرارة من 800 الى 1000°م، كما لاحظنا من خلال مقارنتنا لمختلف الخلطات ان هذه الأخيرة سلكت نفس السلوك أي تأثرت نفس تأثر برفع درجة الحرارة.

إن زيادة الفقدان في الكتلة مع ارتفاع درجة الحرارة راجع أساسا إلى تبخر الماء الموجود ببعض المسامات و الماء المرتبط كيميائيا بهدروكسيد الكالسيوم حيث يحدث لهذا الأخير تفكك حسب المعادلة (1.3).

$$Ca(OH)_2 \longrightarrow CaO + H_2O \qquad (1.3)$$

ج-2.مقاومة الضغط:

❖ **عند درجة الحرارة 400°م:** الشكل (3-18) يبين النتائج المتحصل عليها.

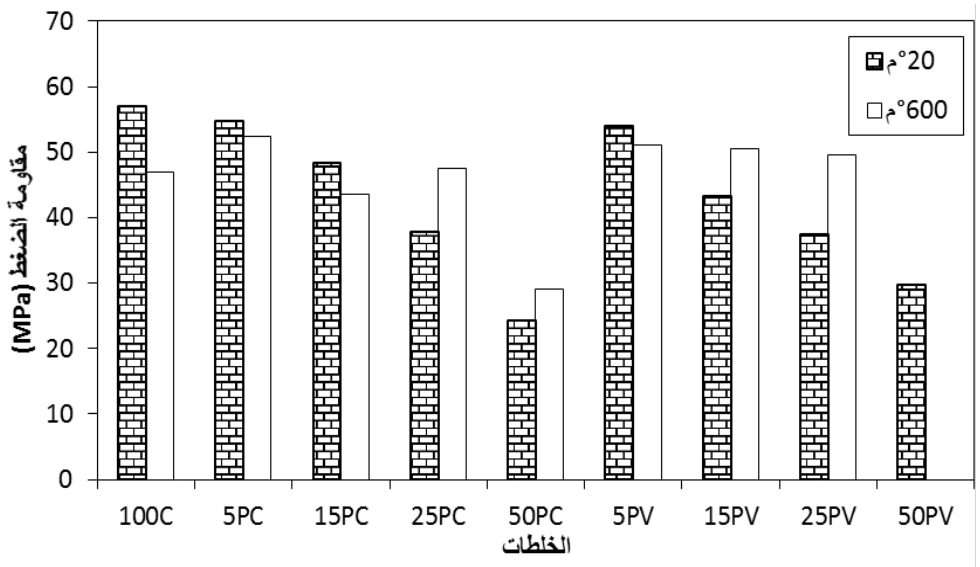


الشكل (3-18) تغير مقاومة الضغط بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين عند درجة 400°م

نلاحظ من خلال الشكل (3-18) أن هناك تحسن او ربح في مقاومة الضغط لكل الخلطات مع رفع درجة الحرارة من 20°مالى 400°م، كما استنتجنا ان اقل قيمة لهذا تحسن كانت للخلطة 15PV بما نسبته 5%، و اكبرها كانت من نصيب الخلطة 50PC بما نسبته حوالي 180%.

من خلال مقارنتنا لسلوك الخلطات المحتوية على مسحوق السيراميك و نظيرتها المحتوية على مسحوق الزجاج، لاحظنا ان الربح في مقاومة الضغط كان اكبر في حالة إضافة مسحوق السيراميك.

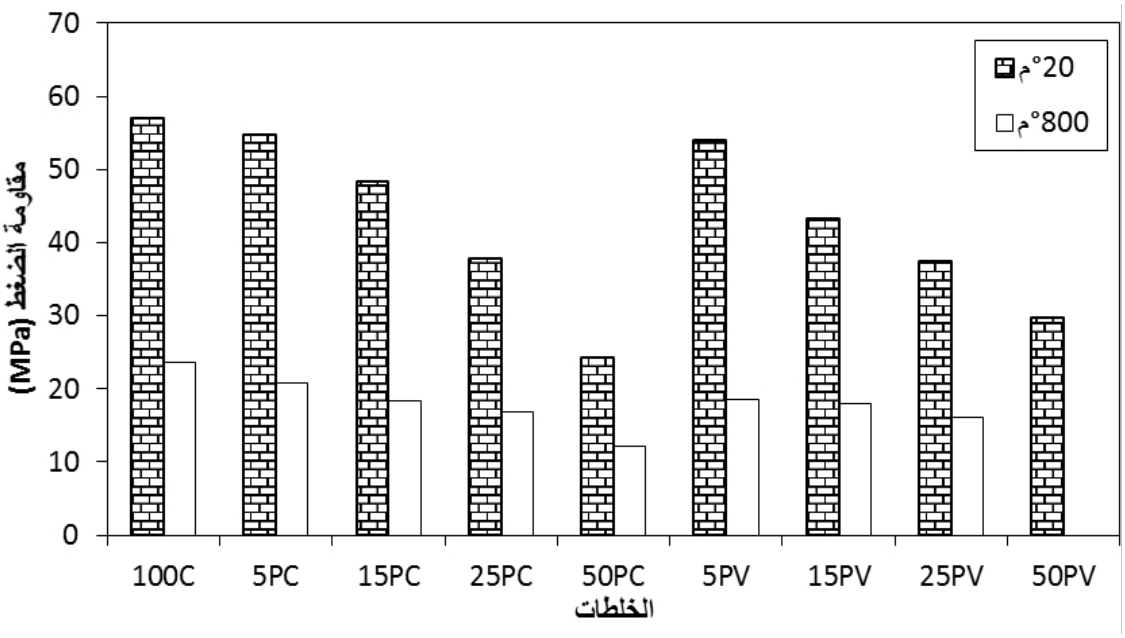
❖ **عند درجة الحرارة 600°م:** الشكل (3-19) يوضح النتائج المتحصل عليها.



الشكل (3-19) تغير مقاومة الضغط بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين عند 600°م

نتائج منحنى الشكل (3-19) تبين أن سلوك بعض الخلطات كان سلبيا و بعض الأخر كان إيجابيا، فمثلا الخلطات 100C،5PC، 15PC، 5PV و 50PV أبانت عن سلوك سلبي أي ان مقاومتها للضغط تراجعت لدرجة استحالت قياسا نتيجة لتشوه الكبير للعينات كما هو حال الخلطة 50PV. فيما يخص الخلطات الأخرى لاحظنا زيادة في مقاومة الضغط تراوحت نسبتها ما بين 17 و32%.

❖ **عند درجة الحرارة 800°م**: الشكل (3-20) يوضح النتائج المتحصل عليها

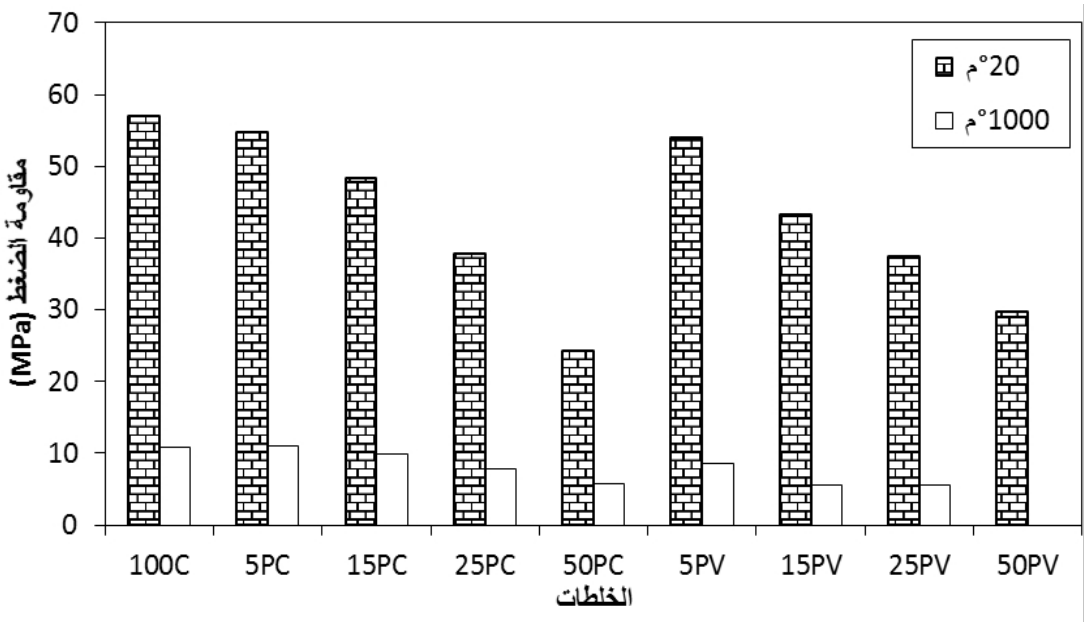


الشكل (3-20): تغير مقاومة الضغط بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين عند 800°م

نلاحظ من الشكل (3-20) أن هناك انخفاض كبير في مقاومة الضغط للعينات التي تعرضت لدرجة حرارة عالية بلغت 800°م، مقارنة بمقاومة الضغط للعينات التي كانت تحت درجة حرارة عادية (20°م)، و قد كانت قيم هذا الانخفاض بالنسبة للخلطات 100C، 5PC، 15PC، 25PC، 50PC، 5PV، 15PV، 25PV و 50PV كالتالي 58، 62، 62، 55، 50، 66، 59، 57، 100%. هذه القيم تبين ان إضافة 5 او 15%من مسحوقي الزجاج او السيراميك كان لها تأثير سلبي طالما أن مقاومتهم للضغط تراجعت اكثر من الخلطة المرجعية، بينما كان تناقص في مقاومة الضغط للخلطات 25PC ، 50PC و 25PV اقل قليلا بالمقارنة مع الخلطة 100C.

في الأخير لاحظنا استحالة قياس مقاومة الضغط لعينات الخلطة 50PV نتيجة لتفتتها الكامل.

❖ **عند درجة الحرارة 1000°م**: الشكل (3-21) يوضح النتائج المتحصل عليها.



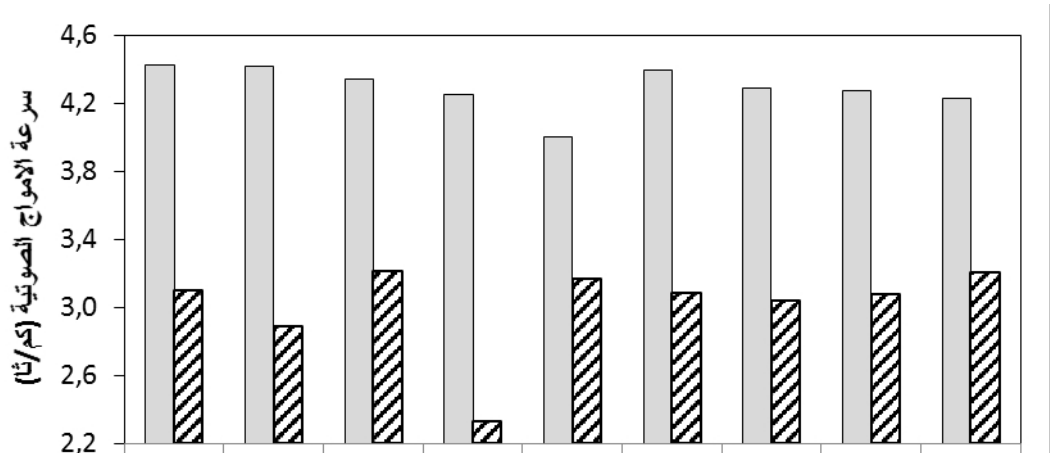
الشكل (3-21) تغير مقاومة الضغط بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين عند 1000°م

الشكل (3-21) يبين لنا ان هناك انخفاض كبير جدا لمقاومة الضغط للعينات عند تعريضها لدرجة حرارة عالية بلغت 1000°م مقارنة بالعينات المحفوظة تحت درجة حرارة عادية (20°م)، و قد بلغت قيم هذا الانخفاض بالنسبة للخلطات 100C،5PC، 15PC، 25PC، 50PC، 5PV، 15PV، 25PV و 50PV كالتالي 81، 80، 80، 79، 76، 84، 87، 85، 100%. هذه النتائج تدل على مساهمة الإيجابية رغم قلتها لمسحوق السيراميك في تقليل من تراجع مقاومة الضغط مقارنة مع الخلطة المحتوية فقط على الاسمنت. في مقابل ذلك لاحظنا ضعف الخلطات المحتوية على مسحوق الزجاج في مقاومة الحرارة العالية و هو ما بلغ اشده في حالة الخلطة المكونة من 50% التي تعرضت عيناتها الى تكسر و تفتت كاملين.

ج-3. سرعة الأمواج فوق الصوتية:

❖ **عند درجة الحرارة 400°م**: الشكل (3-22) يوضح النتائج المتحصل عليها.

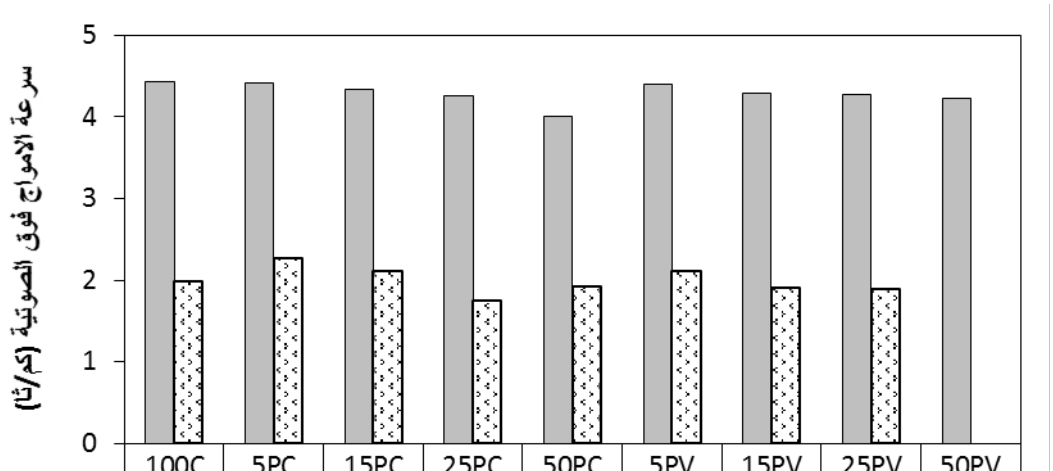
من الشكل (3-22) نجد أن سرعة الأمواج فوق الصوتية تناقصت بشكل معتبر بعد تعريض العينات لدرجة حرارة 400°م مقارنة بالعينات المحفوظة في درجة حرارة عادية (20°م)، و قد سجلت أعلى نسبة تناقص في المزيج ذو النسبة 25% من مسحوق السيراميك قدرت بـ 45% يليه مباشرتا المزيج ذو النسبة 5% من مسحوق السيراميك بـ 35%، بينما اقلها كانت من نصيب المزيج ذو النسبة 50% من مسحوق السيراميك قدرت بـ21%.



	100C	5PC	15PC	25PC	50PC	5PV	15PV	25PV	50PV
م°20	4,43	4,42	4,34	4,25	4,00	4,40	4,29	4,28	4,23
م°400	3,10	2,89	3,21	2,33	3,17	3,09	3,04	3,08	3,20

الشكل (3–22): تغير سرعة الأمواج فوق الصوتية بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين عند درجة 400°م

❖ **عند درجة الحرارة 600°م:** الشكل (3–23) يوضح النتائج المتحصل عليها.



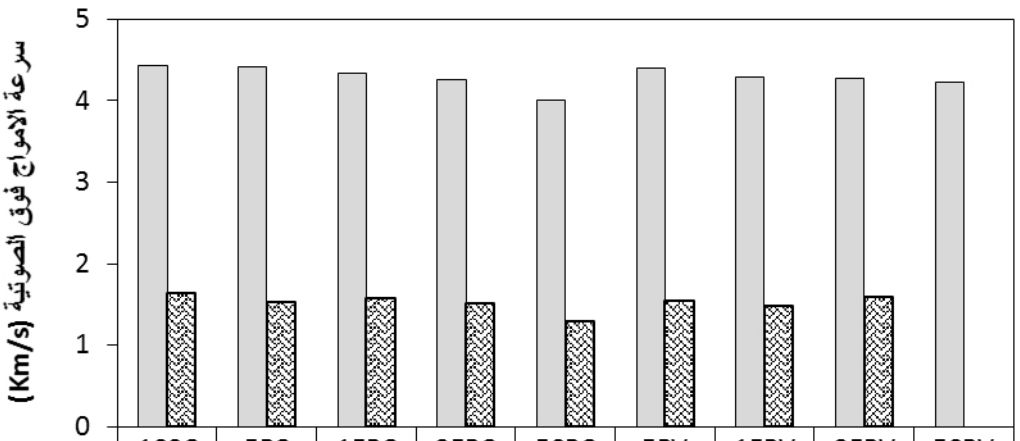
	100C	5PC	15PC	25PC	50PC	5PV	15PV	25PV	50PV
م°20	4,43	4,42	4,34	4,25	4,00	4,40	4,29	4,28	4,23
م°600	1,99	2,27	2,10	1,74	1,92	2,11	1,91	1,89	0,00

الشكل (3–23) تغير سرعة الأمواج فوق الصوتية بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين عند درجة 600°م

من الشكل (3–23) نجد أن سرعة الأمواج فوق الصوتية تناقصت بشكل كبير بعد تعريض العينات لدرجة حرارة 600°م مقارنة بالعينات التي كانت تحت درجة حرارة عادية (20°م)، حيث سجلنا نسب تناقص تراوحت بين 49 و59%، هذه الأخيرة لوحظت في المزيج المحتوي على 25% من مسحوق السيراميك.

كما نلاحظ من خلال الشكل (3-23) انه هناك تحسن في سرعة الأمواج فوق الصوتية في ثلاث مزائج المضاف إليها مسحوقي السيراميك والزجاج (5PC، 15PC و5PV)مقارنة بمزيج الملاط الشاهد.تشير النتائج المتحصل عليها ان أعلى قيمة سجلت في مزيج المضاف إليه 5% من مسحوق السيراميك و قدرت بـV=2,267Km/s ، أما بالنسبةلمسحوق الزجاج فكانت اعلى قيمة من نصيب المزيج المضاف إليه 5% قدرت بـV=2,209Km/s، مقارنة بقيمة الملاط الشاهد التي كانت مساويتا لـV=1,989Km/s. ويجدر الذكر انه لم نستطع قياس سرعة الأمواج فوق الصوتية بالنسبة للخليط ذو النسبة 50% من الزجاج نتيجة تكسر و تفتت العينات عند وصول درجة الحرارة 550°م.

❖ **عند درجة الحرارة 800°م**: الشكل (3-24) يوضح النتائج المتحصل عليها



	100C	5PC	15PC	25PC	50PC	5PV	15PV	25PV	50PV
20°م	4,43	4,42	4,34	4,25	4,00	4,40	4,29	4,28	4,23
800°م	1,64	1,53	1,57	1,51	1,29	1,55	1,49	1,59	0,00

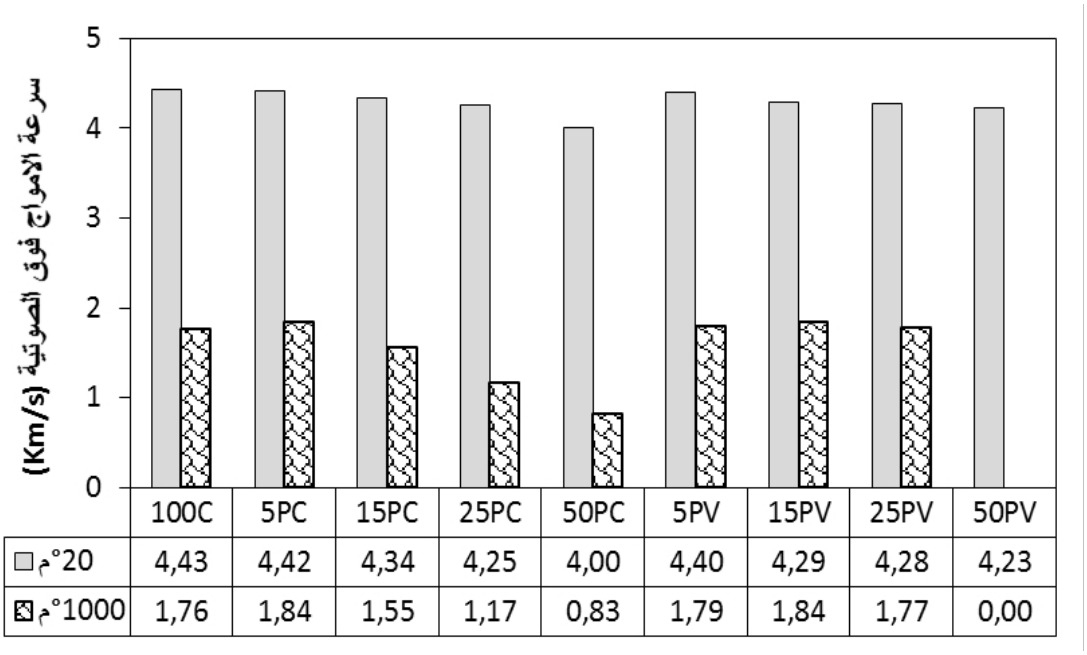
الشكل (3-24): تغير سرعة الأمواج فوق الصوتية بدلالة نسبة السيراميك الزجاج الناعمين عند درجة 800°م

نلاحظ من الشكل (3-24) أن هناك تناقص كبير جدا في سرعة الأمواج فوق الصوتية للعينات التي تعرضت لدرجة حرارة 800°م، و قد تراوحت نسبة هذا التناقص بين 63 و68% مقارنة بسرعة الأمواج فوق الصوتية للعينات التي كانت تحت درجة حرارة عادية(20°م).

عند درجة حرارة 800°م ، لم نلاحظ اي تتحسن لسرعة الأمواج الصوتية في المزائج المضاف إليها نسبة من مسحوقي السيراميك والزجاج مقارنة بالملاط الشاهد حيث كانت سرعة الأمواج فوق الصوتية فيه

V=1,641Km/s، وأعلى قيمة للسرعة في للمزائج ذات الإضافات سجلت عند المزيج ذو النسبة 25% من مسحوق الزجاج وكانت V=1,59Km/s. كما نشير الى استحالت قياس سرعة الأمواج فوق الصوتية للمزيج ذو النسبة 50% من الزجاج نتيجة لتحطم عيناته بسبب شدة تأثرها من ارتفاع درجة الحرارة.

❖ **عند درجة الحرارة 1000°م**: الشكل (3-25) يوضح النتائج المتحصل عليها.



	100C	5PC	15PC	25PC	50PC	5PV	15PV	25PV	50PV
20°م	4,43	4,42	4,34	4,25	4,00	4,40	4,29	4,28	4,23
1000°م	1,76	1,84	1,55	1,17	0,83	1,79	1,84	1,77	0,00

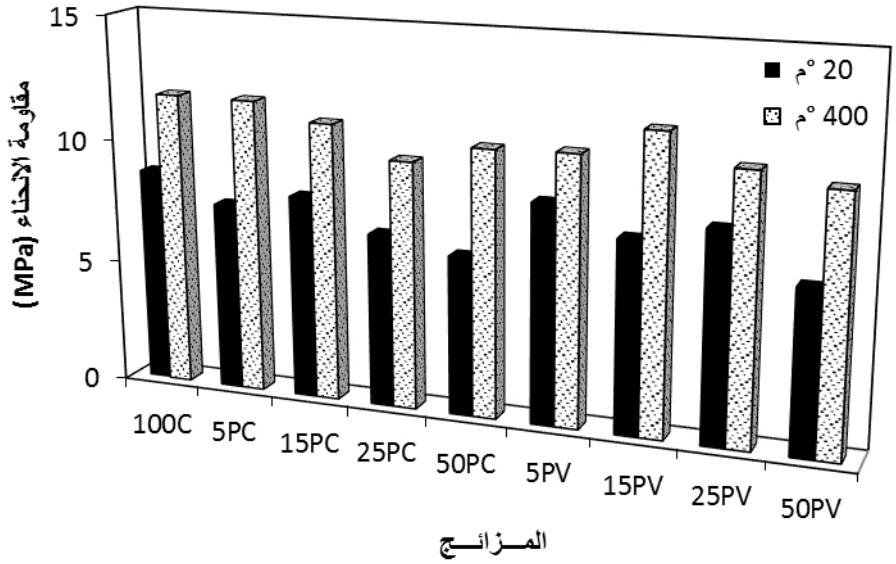
الشكل (3-25) تغير سرعة الأمواج فوق الصوتية بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين عند درجة 1000°م

نلاحظ من الشكل (3-25) أنه وكما في الحالات السابقة نجد أن تعريض العينات لدرجة حرارة عالية يخفض من سرعة الأمواج فوق الصوتية مقارنة بالقيم المتحصل عليها في درجة حرارة عادية (20°م)، حيث بلغت نسبة هذا التناقص قيم عالية جدا تراوحت بين 57 و79%. أعلى هذه القيم لوحظت في المزيج 50PC، بينما أدناها كانت للمزيج 15PV.

عند درجة حرارة 1000°م،لاحظنا تأثرا أقل لسرعة الأمواج فوق الصوتية في أربع مزائج المضاف إليها مسحوقي السيراميك والزجاج (5PC، 5PV، 15PV و 25PV) مقارنة بمزيج الملاط الشاهد.

ج-4. مقاومة الانحناء:

❖ **عند درجة الحرارة 400°م**: الشكل (3-26) يوضح النتائج المتحصل عليها.



الشكل (3-26) تغير مقاومة الانحناء بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين عند درجةحرارة400°م

لاحظنا من الشكل (3-26) أن مقاومة الانحناء قد تحسنت بعد تعريض العينات لدرجة حرارة عالية بلغت 400°م لكل المزائج مقارنة بالمزائج التي كانت تحت درجة حرارة عادية (20°م).

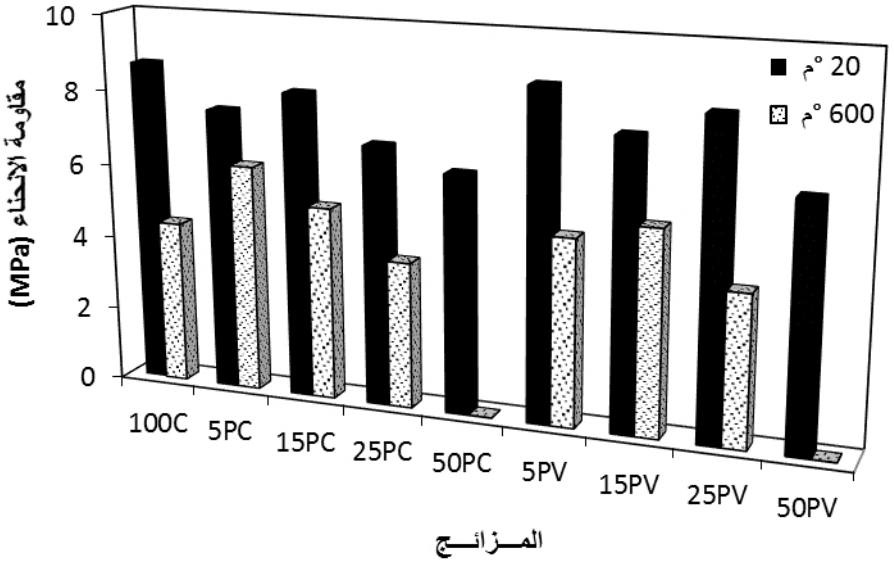
كما نلاحظ من خلال الشكل (3-26) أن الملاط الشاهد هو الذي يملك أعلى قيمة لمقاومة الانحناء عند رفع درجةالحرارة الى 400°م مقارنة ببقية المزائج التي تمت الإضافة لها نسب مختلفة من مسحوقي السيراميك والزجاج، رغم ان قيمة مقاومة الانحناء هذه لم تكن بفارق كبير حيث قدرت مقاومة الانحناء للملاط الشاهد بـ: σ_F=11,82MPa، أما مقاومة الانحناء للمزيجين المحتويين على 5% من مسحوق السيراميك و5% من مسحوق الزجاج فقدرت بـσ_F=11,81MPa.

❖ **عند درجة الحرارة 600°م**: الشكل (3-27) يوضح النتائج المتحصل عليها.

من خلال تحليلنا لنتائج الشكل (3-27) لاحظنا تناقص في مقاومة الانحناء لكل المزائج بعد تعريضهم لدرجة حرارة عالية بلغت 600°م مقارنة بالمزائج التي كانت تحت درجة حرارة عادية (20°م) حيث كانت نسبة هذا التناقص من 19 إلى 52%. أعلى هذه القيم لوحظت في المزيج 25PV، بينما أدناها كانت للمزيج

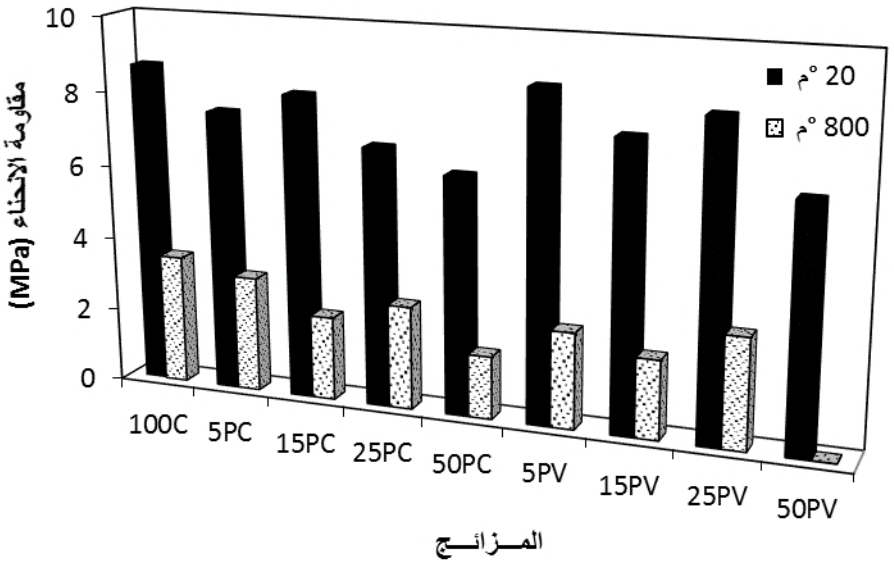
5PC.كما لاحظنا عدم إمكانية قياس مقاومة الانحناء فيكل من المزيجين المكونيين من 50% من مسحوقي السيراميك والزجاج نتيجة لتكسر وتفتت عينات بسبب إنفجارها و ذلك عند وصولها درجة الحرارة 550°م.

يشار إلى انه سجلنا قيم لمقاومة الانحناء في المزائج المحتوية على 5 و 15% من مسحوقي السيراميك و الزجاج أعلى من قيمة المزيج الشاهد.



الشكل (3–27) تغير مقاومة الانحناء بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين عند درجة حرارة 600°م

❖ **عند درجة الحرارة 800°م:** الشكل (3-28) يوضح النتائج المتحصل عليها.

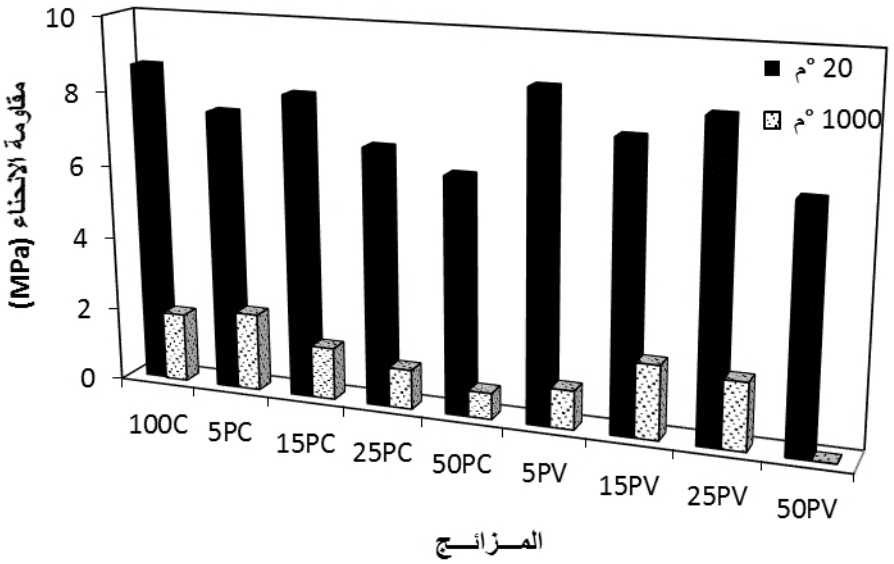


الشكل (3–28): تغير مقاومة الانحناء بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين عند درجة حرارة 800°م

من الشكل (3-28) نلاحظ أن مقاومة الانحناء تناقصت بشكل كبير جدا بالنسبة للمزائج التي تعرضت لدرجة حرارة 800°م مقارنة بالمزائج التي كانت تحت درجة حرارة عادية (20°م) وقد تراوحت نسبة هذا التناقص ما بين 59 إلى 73%. هذه قيم تشير إلى أن المزيج 50PC فقد تقريبا 73% من مقاومته للانحناء، بينما أقل قيمة فقدان كانت للمزيج 5PC ب 59%.

تجدر الإشارة الى انه لم نتمكن من قياس مقاومة الانحناء في كل من المزيجين المحتويين على 50% من مسحوقي السيراميك والزجاج نتيجة لتكسر وتفتت عينات بسبب إنفجارها و ذلك عند وصولها درجة الحرارة 550°م.

❖ **عند درجة الحرارة 1000 °م**: الشكل (3-29) يوضح النتائج المتحصل عليها.



الشكل (3-29) تغير مقاومة الانحناء بدلالة نسبة السيراميك والزجاج الناعمين عند درجة حرارة 1000°م

من الشكل (3-29) نلاحظ أن مقاومة الانحناء تناقصت بشكل كبير جدا بالنسبة للمزائج التي تعرضت لدرجة حرارة 1000°م مقارنة بالمزائج التي كانت تحت درجة حرارة عادية (20°م)، وقد تراوحت نسبة هذا التناقص ما بين 72 و 89%. أعلى قيم هذا التناقص لوحظت في المزيج 25PC، بينما ادناها كانت للمزيج 5PC.

نفس النتائج بينت أن هناك تحسن ملحوظ لمقاومة الانحناء عند تسليط درجة حرارة 1000°م على كل العينات، وهذا التحسن كان للمزيجين5PC و15PVمقارنة بالمزيج الشاهد.

هـ- الملاحظات العينية بعد تعريض العينات لدرجات حرارة عالية :

- أول الملاحظات هي محافظة العينات على شكلها مع ظهور بعض التشققات على سطح العينات من جراء الجفاف عند درجة الحرارة 400°م (الشكل (3-30)).

الشكل (3-30): تشققات على سطح العينات

- تكسر لحواف بعض العينات بعد تجاوز درجة الحرارة 400°م ، منها العينة المحتوية على 25% من مسحوق الزجاج (الشكل (3-31)).

الشكل (3-31) تكسر حواف العينات

- أول الملاحظات بعد تجاوز درجة الحرارة 400°م كانت سماع انفجار لبعض العينات عند بلوغ درجة الحرارة 550°م.
- بعد فتح الفرن لاحظنا تكسر جزئي وكلي (تفتت) لبعض العينات التي تخص الخلطات ذات النسبة 50% من مسحوقي السيراميك والزجاج (الشكل (3-32)).

الشكل (3-32): تكسر العينات بفعل الحرارة العالية

- كما نلاحظ تغير لون العينات من اللون الرمادي الإسمنتي إلى لون باهت أو إلى لون مائل للون الأحمر اللآجوري (الشكل (3-33)).

الشكل (3-37) تغير لون العينات

- كما لاحظنا فقدان أغلب العينات لتماسكها خصوصا تلك المحتوية على النسبة 25 و50% من كلا المادتين الناعمتين، عند تعريضها لدرجة حرارة مساوية لـ 800 و 1000°م، حتى انه يمكن تفتيها باليد من شدة هشاشتها.

تفسير النتائج:

إن تناقص مقاومتي الانحناء و الضغط عند رفع درجة الحرارة من 20 الى 600 ، 800 او 1000°م راجع إلى التميه السريع و الغير منتظم للإسمنت، بالإضافة تقلص العجينة الاسمنتية و هو ما يؤدي إلى حصول شروخ و تشققات تساهم في تضعيف تجانس و ترابط مكونات الملاط ذاتي الرص.

إن تحسن مقاومتي الانحناء و الضغط عند رفع درجة الحرارة من 20 الى 400°م راجع إلى تسريع تميه الإسمنت الشيء الذي يسرع من تشكل العناصر المسؤولة عن تطوير صلابة و قوة الإسمنت.

إن استعمال مواد ناعمة بديلة للإسمنت كالسيراميك و الزجاج بالنسب أقل من 25 % يمكن أن يساهم في تحسين سلوك الملاط ذاتي الرص إتجاه الحرارة العالية. في حالة نسبة إضافة مسحوقي السيراميك و الزجاج مساوية لـ 50%، كان سلوك مسحوق الزجاج اضعف من مسحوق السيراميك و هذا يمكن تفسيره بالطبيعة الكيميائية أو البلورية للسيراميك و التي تجعله يقاوم درجات الحرارة المرتفعة.

الخلاصة العامة

الخلاصة العامة

تم إنجاز هذا العمل بمخبر البحث للهندسة المدنية، حيث يهدف هذا العمل إلى إنتاج ملاط ذاتي الرص صديق للبيئة، إقتصادي و مقاوم للحرارة العالية وذلك باستبدال نسبة من الاسمنت بمواد ناعمة ناتجة عن بقايا مواد مستعملة كالزجاج والسيراميك، ومن خلال تحليلنا لمختلف النتائج المتحصل تمكنا من استخلاص النقاط التالية:

في الحالة الطرية:

- إن نسبة الملدن المتفوق اللازمة للحصول على ملاط ذاتي الرص متجانس، ذو سيولة عاليةو لزوجة مقبولة هي 1,1%.
- أثبتت نتائج هذا البحث العلمي أن إستعمال مسحوقي السيراميك و الزجاج بنسب تصل الى 25% يساهم في انتاج ملاط ذاتي الرص متجانس و ذو سيولة و لزوجة جيدتين ، في حين أن الوصول إلى نسبة 50% ينتج ملاط غير متجانس به علامات نضوح.
- بالإمكان تقليل تركيز او نسبة الملدن المتفوق و ذلك من اجل انتاج ملاط ذاتي الرص اقتصادي و متجانس ذو سيولة و انسيابية مماثلتين للمزيج الشاهد و هذا باستعمال بقايا مواد محلية كالزجاج والسيراميك و ذلك بعد طحنها.

في الحالة المتصلبة:

- إن الاستبدال الجزئي للإسمنت بنسبة 5 %من مسحوقي السيراميك و الزجاج أعطى قيم مقاومة للضغط و الانحناء مساوية او أكبر من للخلطة المكونة فقط من الإسمنت في حين أن تجاوز هذه النسبة خصوصا عند 50 %كان له اثر سلبي على هاتين الخاصتين.
- إن الاستبدال الجزئي للإسمنت بمادة ناعمة ذات مساحة سطحية مساوية تقريبا للمساحة السطحية للإسمنت (مسحوق الزجاج) يزيد من كثافة المزيج نتيجة لملء الفراغات و المسامات، و هو ما يساهم في زيادة مقاومتها للضغط و ديمومتها.
- تزداد قيم سرعة الأمواج فوق الصوتية بزيادة عمر الملاط و تقل بإرتفاع نسبة إستبدال الإسمنت بمسحوقي السيراميك و الزجاج.
- إن إستعمال مسحوق الزجاج بنسبة 5% تعتبر الأمثل لتقليل نسبة إمتصاص الماء.

- إن رفع درجة الحرارة من 20 الى 400°م، 600°م،800°م أو1000°ما يؤدي إلى نسبة الفقدان في الكتلة تتراوح بين 10 و11%، 11 و 100%، 14 و 100 % أو 16 و 100 %. و قد لوحظت أعلى هذه القيم في النسبة 50 % من مسحوقي السيراميك و الزجاج.
- بالنسبة لمقاومة الضغط و الإنحناء لدرجة الحرارة العالية، لاحظنا تحسنا أكبر للخلطات المحتوية على مسحوق السيراميك و ذلك عند رفع درجة الحرارة من 20 الى 400°م. عند الإنتقال إلى درجة حرارة 600°م، إستنتجنا تحسنا لبعض الخلطات و تراجع لأغلب الخلطات. إن رفع درجة الحرارة من 600°م إلى 800°م أو1000°م، يسبب نقص كبير في مقاومة الضغط و الإنحناء.
- إن استعمال مسحوقي السيراميك و الزجاج بنسبة اكبر من25 % يضعف كثيرا مقاومة الملاط ذاتي الرص للحرارة العالية.
- لتقليل من تشوه عينات المكونة من 50 % من مسحوقي السيراميك و الزجاج، يستوجب عدم تجاوز درجة حرارة 550°م.

يمكننا الاستخلاص عموما بأن النسبة المثالية لإستعمال كل من مسحوقي السيراميك و الزجاج هي 5 %، كما يمكن رفع هذه النسبة إلى 15 أو 25 % للحصول على ملاط أو خرسانة ذاتية الرص ذو خصائص متوسطة و مقبولة.

التوصيات

التوصيات

- نظرا لان هذه الدراسة تتطرق إلى استعمال مادتي الزجاج والسيراميك المسترجعتين كإضافات إسمنتية ناعمة، نتمنى أن يؤخذ عملنا هذا على قدر من الأهمية كمبدأ للبحث العلمي في مجال إنتاج اسمنت صديق للبيئة وبمواد محلية 100% وذات تكلفة قليلة.
- نوصي بإستعمال آلة طحن ذات طاقة و فعالية أكبر و ذلك من أجل رفع نعومة (أو المساحة السطحية) لمسحوقي السيراميك و الزجاج إلى قيمة أكبر من قيمة نعومة الإسمنت.
- كتتمة لعملنا هذا نقترح القيام بدراسة أخرى تشمل الإنكماش و ديمومة الملاط ذاتي الرص في وسط مائي و في أيضا وسط كيميائي.
- في هذه الدراسة قمنا بإضافة مسحوقي السيراميك والزجاج كل على حدا. نوصي بمزج كلا المسحوقين معا أي دراسة تأثير إستعمال رابط إسمنتي ثلاثي (إسمنت + مسحوق سيراميك + مسحوق الزجاج).

المصادر

المصادر

[1] Rabicoff, Richard (2012-08-21). "Technology Makes Engineering Firm a Concrete Success" bmore Media. اطلع عليه بتاريخ 23 نوفمبر 2015.

[2] الخرسانة ذاتية الدمك جامعة بنها للهندسة. السعودية. 2015/2014.

[3] أ.د محمود الامام "تكنولوجيا الخرسانة" جامعة المنصورة، 2002.

[4] الخرسانة الخاصة وانواعها

[5] https://www.civil-files.com/2017/04/special-concrete-types self consolidating concrete being used in tilt up concrete construction

[6] Khayat, K.H., and Tangtermsirikul, S, " Fresh concrete properties ", State of the Art Rep ort (23) of RILEM Technical Committee 174- SCC, Edited by A. Skarendahl and O. Petersson, RILEM Publications. S.A.R.L, Cachan Cedex, France, 2000; 17–22

[7] Okamura, H, " Ferguson lecture for 1996: self-compacting high-performance concrete ", Concrete International 1997; 19(7): 50-54.

[8] Khayat, K.H, " Workability, testing, and performance of self-consolidating concrete ", ACI Materials Journal 1999, 96(3): 346–53.

[9] Boukhelkhal, A. Rheology, physical and mechanical characterization and durability of self-compacting concrete made with marble powder. [MScthesis]. University of Laghouat, Algeria. 2012.

[10] Sheinn, A.M.M, " Rheological modelling of self compacting concrete", Doctoral Thesis of National. University of Singapore, Singapore, 2007.

[11] Ozawa, K., Maekawa, K., and Okamura, H, " Development of high performance concrete ", Journal of the Faculty of Engineering, The University of Tokyo, 1992; 41(3): 381-439.

[12] Felekoglu, B, " A comparative study on the performance of sands rich and poor in fines in self- compacting concrete ", Construction and Building Materials 2008, 22(4): 646-54.

[13] Noumowe, A., Carre, H., Daoud, A., and Toutanji, H, " High-strength self compacting concrete exposedto fire test ", Journal of Materials in Civil Engineering 2006, 18(6): 754-8.

EFNARC, " Specification and Guidelines for Self-compacting Concrete ", [14]
European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures, EFNARC, Norfolk, UK, February 2002,32pp

Aitcin.P.C. High-performance concrete. E&FN spon.London.1998 [15]

د. مروان خوري : التلاؤم بين الروابط الإسمنتية والإضافات الكيميائية- مجلة جامعة البعث-المجلد 26- [16]
العدد 5- 2004

Mindess.S Material selection ; propotioning and quality control.High [17]
performance concrete ; properties and applications.
Edited by SP Shah and SH Ahmad.1989

R.M. Senthamarai, Manoharan P. Devadas, Concrete with [18]
ceramic waste aggregate, CementConcr. Compos. 27 (9–10) (2005)
910–913.

A. Gonzalez-Corominas, M. Etxeberria, Properties of high [19]
performance concrete made with recycled fine ceramic and coarse
mixed aggregates,Constr. Build. Mater. 68 (2014) 618–626.

SerkanSubasi, HakanÖztürk, Mehmet Emiroglu,Utilizing of [20]
waste ceramic powders as filler material in self-consolidating
concrete,Constr. Build. Mater. 149 (2017) 567–574.

Carlsward, J., Emborg, M., Utsi, S., and Oberg, P, " Effects of constituents [21]
on the workability and rheology of self- compacting concrete ", In: the Third
International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Wallevik OH,
Nielsson I, editors, RILEM Publications S.A.R.L, Bagneux, France, 2003; 143-53.

Nawa, T., Izumi, T., and Edamatsu, Y, " State-of-the -art report on [22]
materials and design of self- compacting concrete ",
Proceedings of International Workshop on Self-Compacting Concrete, ed K.
Ozawa and K. Ouchi, Kochi University of Technology, Japan, August 1998: 160-90.

Zhu, W., and Gibbs, J.C, " Use of different limestone and chalk powders in self- [23]
compacting concrete ", Cement and Concrete Research 2005; 35: 1457–62.

Celik, M.Y., and Sabah, E, " Geological and technical characterization [24]
of Iscehisar (Afyon-Turkey) marble deposits and the impact of marble

waste on environmental pollution ", Journal of Environmental Management 2008; 87: 106–16.

Alyamac, K.E., and Ince, R, "A preliminary concrete mix design for SCC with marble powders", Construction Building Materials 2009; 23: 1201–10. [25]

Topcu, I.B., Bilir, T., Uygunoglu, T, " Effect of waste marble dust content as filler on properties of self- compacting concrete ", Construction Building Materials 2009; 23(5): 1947–53. [26]

Guneyisi, E., Gesoglu, M., and Ozbay, E, " Effects of marble powder and slag on the properties of self compacting mortars ", Materials and Structures 2009;42: 813–26. [27]

Ergun, A, " Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete ", Construction and Building Materials 2011; 25: 806–12. [28]

Yen, T., Tang, C.W., Chang, C.S., and Chen, K.H, " Flow behaviour of high strength high-performance concrete",Cement and Concrete Composites 1999; 21: 413-24. [29]

Domone, P.L,"Self-compactingconcrete:An analysis of 11 years of case studies ", Cement and Concrete Composites 2006; 28(2):197-208. [30]

Domone, P.L.,And Jin, J,"Properties of mortar for self-compacting concrete",Proceedings of Rilem International Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Sweden, 13-15 September, 1999; 109-20. [31]

Boukendakdji, O, " Étude de l'influence des paramètres de formulation sur les propriétés d'un béton autoplaçant : Optimisation des conditions opératoires ", Thèse de doctorat de l'Université Saad Dahleb de Blida, Algérie, 2010. [32]

Domone, P.L., Jin, J., and Chai, H.W, " Optimum mix proportioning of self compactingconcrete ", Innovation in Concrete Structures: Design and Construction, Proceedings of Creatingwith Concrete, University of Dundee, Dundee, UK, September, 1999; 277–85. [33]

Felekoglu, B., Turkel, S., and Baradan, B, " Effect of water/cement ratio on the fresh and hardenedproperties of self-compactingconcrete ", [34]

Building Environment 2007; 42(4): 1795–802.

Felekoglu, B., Turkel, S., and Baradan, B, " Effect of water/cement ratio on the fresh and hardenedproperties of self-compactingconcrete ", Building Environment 2007; 42(4): 1795–802. [35]

Boukendakdji, O, " Etude de l'influence des parametres de formulation sur les proprietes d'un betonautoplacant : Optimisation des conditions operatoires ", These de doctorat de l'Universite Saad Dahleb de Blida, Algerie, 2010. [36]

Belaidi, ASE, " Contribution à l'étude rhéologique et durabilité de béton autoplaçant : Apport des ajouts cimentaires ternaires et des fillers locaux et industriels ", These de doctorat de l'Universite Saad Dahleb de Blida, Algerie, 2013. [37]

Benabed, B, " Influence de la qualité et de la nature des sables sur les performances et la durabilité des bétons autoplaçants", These de doctorat de l'Universite de Laghouat, Algerie, 2014. [38]

Domone, P.L., And Jin, J, "Properties of mortar for self-compacting concrete", Proceedings of Rilem International Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Sweden, 13-15 September, 1999; 109- 20. [39]

Chai, H.W, " Design and testing of self compacting concrete ",Production Methods and Workability of Concrete, RILEM International Conference, Eds P.J.M. Bartos, D.L. Marrs and D.J. Cleland,1996; 199–208 [40]

AFNOR, " Béton et constituants du béton ",Tome 2, 5eme édition, Paris, 2002. [41]

ASTM C 642-97, " Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete", American Society for Testing and Materials, USA, 1997 [42]

الملحق

ملحق (1) خاص بالنتائج المتحصل عليها

المزائج	قطر الانتشار (سم)	زمن التدفق (ثا)	مقاومة الضغط (MPa)				مقاومة الانحناء(MPa)				سرعة الأمواج فوق الصوتية(Km/s)		نسبة امتصاص الملاط للماء (%)
			7	28	56	90	7	28	56	90	28	56	
100C	31.50	3.90	33.20	40.82	56.98	62.44	5.58	6.69	7.38	9.74	4.43	4.45	8.19
5PC	32.83	3.46	33.43	38.85	54.83	53.91	6.62	7.18	7.24	9.48	4.42	4.45	8.44
15PC	32.53	3.28	25.26	30.23	48.34	53.77	5.78	6.51	7.05	9.56	4.34	4.53	8.68
25PC	32.13	3.73	22.63	28.56	37.89	54.94	4.71	6.28	6.95	9.36	4.25	4.48	8.86
50PC	32.50	3.62	12.84	13.98	24.27	45.47	2.93	3.52	5.40	8.13	4.00	4.10	9.40
5PV	33.05	2.84	35.79	38.38	54.04	62.63	6.66	7.18	7.44	10.46	4.40	4.52	7.83
15PV	32.90	3.20	25.91	34.83	43.33	61.88	6.06	6.49	7.17	9.30	4.29	4.42	8.60
25PV	32.63	3.04	23.90	29.23	37.53	64.13	4.92	5.92	6.87	10.18	4.28	4.41	8.67
50PV	33.87	2.71	14.84	18.30	29.80	49.97	2.78	3.98	5.51	8.65	4.23	4.44	8.39

ملحق (1) خاص بالنتائج المتحصل عليها

المزائج	مقاومة الضغط (MPa) عند				مقاومة الانحناء (MPa) عند				سرعة الأمواج فوق الصوتية (Km/s) عند			
	400 °م	600 °م	800 °م	1000 °م	400 °م	600 °م	800 °م	1000 °م	400 °م	600 °م	800 °م	1000 °م
100C	73.89	47.00	23.71	10.75	11.82	4.36	3.47	1.86	4.43	1.99	1.64	1.76
5PC	73.20	52.34	20.81	11.09	11.81	6.09	3.11	2.10	4.42	2.27	1.53	1.84
15PC	91.22	43.58	18.38	9.81	11.13	5.17	2.25	1.41	4.34	2.10	1.57	1.55
25PC	79.44	47.46	16.90	7.84	9.90	3.91	2.78	1.07	4.25	1.74	1.51	1.17
50PC	67.42	29.10	12.19	5.80	10.64	-	1.69	0.70	4.00	1.92	1.29	0.83
5PV	62.08	51.06	18.55	8.50	10.72	4.99	2.58	1.04	4.40	2.11	1.55	1.79
15PV	45.31	50.58	17.89	5.61	11.81	5.45	2.12	1.99	4.29	1.91	1.49	1.84
25PV	53.34	49.50	16.08	5.48	10.64	4.03	2.96	1.82	4.28	1.89	1.59	1.77
50PV	63.00	0.00	0.00	0.00	10.17	-	-	-	4.23	-	-	-

ملحق (2): المصطلحات بثلاث لغات (عربية، إنجليزية وفرنسية)

الفرنسية	الإنجليزية	العربية
ciment	cement	إسمنت
Additions inertes	Inert additions	إضافات خاملة
addition	addition	إضافة
absorption	absorption	إمتصاص
onde	wave	أمواج
étalement	slump flow	الإنتشار
flexion	flexural	إنحناء
ségrégation	segregation	إنعزال حبيبي
écoulement	flow	تدفق
ferraillage	reinforcement	تسليح
Nidification (nids de gravier)	nesting	تعشيش
hydratation	hydration	تميه
écoulement	flow	جريان
pierre de craie	Chalk stone	حجر طباشيري
pierre de calcaire	Calcareous stone	حجر كلسي
Laitier de hauts fourneau	slag	خبث الأفران العالية
béton	concrete	خرسانة
mélange	mixture	خلطة
durabilité	durability	ديمومة
marbre	marble	رخام
compactage	compaction	رص
cendres volantes	Fly ash	الرماد المتطاير
sable	sand	رمل
verre	glass	زجاج

céramique	ceramic	سيراميك
silicates de calcium hydratés	Calcium silicate hydrates	سيليكات الكالسيوم المائية
Super fluidité	hyperfluidity	سيولة عالية
formulation	formulation	صياغة
pompabilité	pompability	ضخ
frais	fresh	طرية
argile	clay	طين
capacité de passage	Passing ability	القدرة على الانتقال
coffrage	formwork	قولبة
densité	density	كثافة
chaux	lime	كلس
mélange	mixture	مزيج
Surface spécifique	Specific surface	مساحة سطحية
porosité	porosity	مسامية
poudre	powder	مسحوق
résistance	strength	مقاومة
mortier	mortar	ملاط
plastifiant	plasticizer	ملدن
prise	setting	مناولة–اخذ
ressuage	bleeding	نضوح
finesse	finenss	نعومة
Fumée de silice	Silica fume	هباب السليس
vibreur	vibrator	هزاز