الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

قسم الهندسة المدنية و الري

مذكرة

مقدمة لنيل شهادة

ماستر

التخصص: الهندسة المدنية

المسار: هياكل

من إعداد الطالبتين:

تلي عقيلة *سعداني آية*

الموضوع

تأثير المعالجة الحرارية لمسحوق الزجاج المستعمل كمعوض جزئي للإسمنت على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للملاط.

المقدمة يوم:2022/05/30

أمام لجنة المناقشة:

الاسم و اللقب	الدرجة العلمية	المؤسسة	الصفة
علي حيدر شاهد	أستاذ محاضر ب	جامعة ورقلة	رئيس
السعيد عباني	أستاذ محاضر أ	جامعة ورقلة	ممتحن
سفيان سقاي	أستاذ التعليم العالي	جامعة ورقلة	مؤطر

السنة الجامعية: 2022/2021

الشكر والعرفان

الحمد لله الذي أعاننا بفضله وكرمه

على انجاز هذا العمل وإتمامه أما بعد، نتقدم بالشكر

الجزيل إلى كل من ساهم من قريب أو بعيد في إتمام

هذا العمل المتواضع , نشكر الذي لم يبخل علينا بنصائحه

وتوجيهاته القيمة وكان عونا وسندا في كل وقت، الأستاذ

المشرف "***سفيان سقاي***"

ونشكر كل من ساعدنا ولو بالكلمة الطيبة، و جميع من كان بمثابة

الدعم المعنوي لإتمام هذا العمل، كما أتوجه بالتحية والشكر

إلى كافة الموظفين والعمال في المخابر الجامعية

الخاصة بكلية العلوم التطبيقية وخاصة

إلى الشيخ "**عمي علي كشيرد**".

الإهداء

نهدي ثمرة جهدنا المتواضع إلى من فتحا الأبواب

في وجهنا ومهدا لنا سبيل النجاح ووضعا

أقدامنا في مسلك العلم وازدهر مستقبلنا

بجودهم إلى والدينا و إلى إخوتنا وكل عائلتنا من

كبيرو صغير و إلى من جمعتنا بهم مقاعد

الدراسة وكل أصدقائنا.

قائمة الجداول .....
قائمة الاشكال .....
ملخص.....
مقدمة عامة.....01

الفصل الاول: تدوير النفايات الصلبة

I مقدمة 02
II لمحة تاريخية حول تدوير النفايات 02
III النفايات الصلبة 02
III -1- تعريف النفايات الصلبة 02
III -2- أنواع النفايات الصلبة 03
IV إعادة تدوير النفايات في مجال الهندسة المدنية..... 04
V نفايات الزجاج و استعمالاتها..... 05
V -1- تعريف الزجاج..... 05
V -2- كمية نفايات الزجاج في العالم وفي الجزائر 06
V -3- مسحوق الزجاج..... 06
V -4- خصائص مسحوق الزجاج..... 06
V -5- تثمين مسحوق نفايات الزجاج في مجال البناء..... 07
V -6- الدراسات السابقة لاستخدام نفايات الزجاج في مجال البناء..... 07
VI خاتمة 08

الفصل الثاني: صناعة الاسمنت

I مقدمة..... 09
II الاسمنت..... 09
II -1- تعريف الاسمنت..... 09
II -2- صناعة الاسمنت البورتلاندي..... 09
III الأثر البيئي و الغازات المنبعثة من صناعة الاسمنت 10
IV التفاعل البوزولاني..... 11
IV -1- تعريف التفاعل البوزولاني في الاسمنت 11
IV -2- تفاعل الزجاج البوزولاني..... 12
V خاتمة..... 13

الفصل الثالث: المواد و المنهجية التجريبية

I مقدمة..... 14
II المواد و الطرق 14

	التجريبية.....	14
II -1-	تجارب خصائص	14
II -1-1-	الرمل.....	14
II -1-1-أ	مكافئ الرمل(NF P18-59)	14
II -1-1-ب	الهدف.....	16
II -1-1-ت	مراحل	16
II -1-2-	التجربة.....	16
II -1-2-أ	أدوات	16
II -1-2-أ-1	التجربة.....	16
II -1-2-أ-2	الكتلة الحجمية للرمل(NF P 18-555).....	17
II -1-2-ب	الكثافة المطلقة (NF P18-558).....	17
II -1-2-ب-1	تعريف الكثافة المطلقة.....	17
II -1-2-ب-2	مراحل التجربة.....	18
II -1-3-	الكثافة الظاهرية (NF P94-064).....	18
II -1-3-1	تعريف الكثافة الظاهرية	18
II -1-3-2	مراحل التجربة	20
II -2-	التحليل الحبيبي (الغربلة) (NF P18-560).....	20
II -2-1	الهدف.....	22
II -2-1	معامل النعومة.....	23
II -3-	تجارب خصائص مسحوق الزجاج.....	23
II -3-1	مسحوق الزجاج.....	23
II -3-1-1	الخصائص الكيميائية لمسحوق الزجاج.....	24
II -3-1-2	تحضير الملاط.....	25
II -4-	قابلية عمل الملاط.....	25
II -5-	الهدف من التجربة.....	26
II -6-	مراحل التجربة.....	26
II -7-	الاسمنت البورتلاندي.....	26
II -7-1	خصائص المياه المستعملة.....	27
II -7-2	القولبة (تحضير العينات).....	27
	سرعة انتشار الموجات فوق الصوتية (NF P18-418).....	
- III	الهدف.....	
	مبدأ التجربة.....	
	المقاومة الميكانيكية للملاط.....	

III -1- مقاومة الانحناء (NF P18-433)..... 28
III -2- مقاومة الضغط (NF P18-455) 29
IV – مؤشر النشاط البوزولاني (IAP)..... 29
V - خاتمة .....

الفصل الرابع: النتائج و مناقشتها

I - خصائص الرمل..... 30
II – خلطات الملاط المختلفة..... 30
III سرعة انتشار الموجات فوق الصوتية 31
IV - الكثافة..... 32
V - مقاومة الانحناء..... 34
VI – مقاومة الضغط..... 36
VII - مؤشر النشاط البوزولاني..... 38
VIII - مناقشة النتائج..... 38
خاتمة عامة..... 42
المراجع .....

قائمة الجداول

جدول 1-1- جدول معدل إنتاج النفايات الصلبة المترلية في بعض دول العالم..... 03
جدول 2-1- انبعاثات 'CO_2' (بالطن/لكل طن اسمنت)..... 11
جدول 3-1- جدول يوضح نوعية الرمال..... 15
جدول 3-2- جدول يوضح الكميات المتبقية و المرفوضة في تجربة الغربلة..... 19
جدول 3-3- جدول يوضح مجالات وحدة النعومة 19
جدول 3-4- نوع الملاط حسب زمن التشغيل..... 24
جدول 3-5- التركيب الكيميائي للكلنكر..... 25
جدول 3-6- التركيب المعدني للكلنكر 25
جدول 3-7- الخصائص الفيزيائية للمياه المستعملة 25
جدول 3-8- تصنيف الملاط حسب سرعة انتشار الموجات فوق الصوتية 27
جدول 4-1 الكميات المستعملة لخلطة الملاط 30

قائمة الاشكال

الشكل-1-01 أنواع النفايات الصلبة..... 04
الشكل -1-02 البنية الكيميائية للزجاج..... 05
الشكل -1-03 صورة مسحوق الزجاج..... 06
الشكل -2-01 الاسمنت البورتلاندي..... 09
الشكل -2-02 مخطط يوضح مراحل صناعة الاسمنت..... 10
الشكل -2-03 مؤشرات النشاط البوزولاني للزجاج المستخدم في ظروف مختلفة..... 12
الشكل -3-01 تجربة مكافئ الرمل..... 15
الشكل -3-02 أدوات تجربة مكافئ الرمل..... 16
الشكل -3-03 تجربة الكثافة المطلقة..... 16
الشكل -3-04 تجربة الكتلة الحجمية المطلقة..... 17
الشكل -3-05 تجربة الكثافة الظاهرية..... 18
الشكل -3-06 سلسلة الغرابيل المستعملة..... 18
الشكل -3-07 منحنى البياني للتوزيع الحبيبي 20
الشكل -3-08 مخطط يوضح مراحل سحق الزجاج و معالجته..... 21
الشكل -3-09 خصائص الكيميائية لمسحوق الزجاج V_0..... 22
الشكل -3-10 خصائص الكيميائية لمسحوق الزجاج V_{100}..... 22
الشكل -3-11 خصائص الكيميائية لمسحوق الزجاج V_{200}..... 23
الشكل -3-12 مقياس قابلية عمل الملاط..... 24
الشكل -3-13 مواد الملاط الشاهد..... 24
الشكل -3-14 مواد الملاط بمسحوق الزجاج..... 24
الشكل -3-15 مراحل إعداد العينات..... 26
الشكل -3-16 تجربة سرعة انتشار الموجات الفوق صوتية..... 27
الشكل -3-17 يوضح اختبارمقاومة الانحناء..... 28
الشكل -3-18 أنصاف العينات الناتجة من اختبار الانحناء..... 29
الشكل -3-19 يوضح اختبار مقاومة الضغط..... 29
الشكل -4-01 أعمدة بيانية تمثل سرعة انتشار الموجات فوق الصوتية في تركيبة الملاط ذات عمر 4 أيام 31
الشكل -4-02 أعمدة بيانية تمثل سرعة انتشار الموجات فوق الصوتية في تركيبة الملاط ذات عمر 7 أيام..... 31
الشكل -4-03 أعمدة بيانية تمثل سرعة انتشار الموجات فوق الصوتية في تركيبة الملاط ذات عمر 28 يوم.... 32
الشكل -4-04 اختلاف الكثافة بين تركيبات الملاط ذات عمر 4 أيام 32
الشكل -4-05 اختلاف الكثافة بين تركيبات الملاط ذات عمر 7 أيام..... 33
الشكل -4-06 اختلاف الكثافة بين تركيبات الملاط ذات عمر 28 يوم..... 33
الشكل -4-07 أعمدة بيانية تمثل مقاومة الانحناء للملاط لعمر 4 أيام..... 34

الشكل -4-08 أعمدة بيانية تمثل مقاومة الانحناء للملاط لعمر 7 أيام 34

الشكل -4-09 أعمدة بيانية تمثل مقاومة الانحناء للملاط لعمر 28 يوم..... 35

الشكل -4-10 منحنى بياني يمثل تطور مقاومة الانحناء كدالة لعمر الملاط..... 35

الشكل -4-11 أعمدة بيانية تمثل مقاومة الضغط للملاط لعمر 4 أيام..... 36

الشكل -4-12 أعمدة بيانية تمثل مقاومة الضغط للملاط لعمر 7 أيام..... 36

الشكل -4-13 أعمدة بيانية تمثل مقاومة الضغط للملاط لعمر 28 يوم..... 37

الشكل-4-14 منحنى بياني يمثل تطور مقاومة الضغط كدالة لعمر الملاط 37

الشكل-4-15 مؤشر النشاط البوزولاني لأنواع الملاط..... 38

الملخص:

الأسمنت هو المكون الأساسي في الملاط، والذي بدوره يشكل أسس وهياكل المباني التي نعيش ونعمل فيها، والطرق والجسور التي نسير عليها، مع ذلك أصبحت صناعة الاسمنت تشكل قلقا كبير في السنوات الأخيرة، بسبب غاز CO_2 الملوث للبيئة، المنبعث خلال صناعته. وجد الباحثون أن استعمال الزجاج في شكل مسحوق، يمكن إدخاله مع الاسمنت للحصول على أسمنت اقل تكلفة و أقل تلوث، حيث تتميز هذه المادة بتركيبتها الكيميائية ونشاطها البوزولاني. من خلال هذا العمل سنقوم بتجريب استعمال مسحوق زجاج معالج حراريا كبديل جزئي للاسمنت بنسبة 15 % في تحضير الملاط، و دراسة تأثير ذلك على خصائص الملاط، عبر سلسلة من الاختبارات الهدامة و غير الهدامة. حيث قمنا بتحضير أربعة تركيبات من الملاط: التركيبة الاولى ملاط عادي (شاهد) ،اما التركيبة الثانية فتحتوي على مسحوق الزجاج غير المعالج حراريا، و التركيبة الثالثة تحتوي على مسحوق الزجاج المعالج تحت درجة حرارة 100°C ،و التركيبة الاخيرة تحتوي على مسحوق الزجاج المعالج تحت درجة حرارة 200°C ،بعد إجراء مختلف التجارب لوحظ ان هناك تغير في سلوك عمل الملاط مقارنة بالشاهد حيث تبين ان مسحوق الزجاج يمتص الماء، وأما بالنسبة للكثافة فقد اظهرت النتائج بأن لملاط الزجاج المعالج كثافة صغيرة مقارنة بالشاهد حيث كانت نسبة الفرق تساوي (1.03) بالمائة في عمر 28 يوم في حالة الزجاج المعالج في 200°C درجة مئوية. بالنسبة لسرعة انتشار الموجات فوق الصوتية فلوحظ تغير طفيف مقارنة بالشاهد وملاط الزجاج المعالج وغير المعالج، بتناقص سرعة العينات الثلاثة، لكن عموما القيم كلها تدل على ان الملاط بمواصفات جيدة. اما بخصوص مقاومة الضغط فكانت نتائج ملاط الزجاج غير المعالج افضل النتائج حيث كانت نسبة الفرق (2.44-) بالمائة بينها وبين الشاهد. اما في مقاومة الانحناء فلم تكن النتائج جيدة في العينة الثلاثة مقارنة بالشاهد، حيث لوحظ ان المقاومة تقل مع مرور الزمن في عينات ملاط الزجاج، المعالج وغير المعالج.

الكلمات المفتاحية: الملاط، مسحوق الزجاج، المعالجة الحرارية، المقاومة الميكانيكية، النشاط البوزولاني.

Abstract:

Cement is the main component in mortar, which in turn forms the foundations and structures of the buildings in which we live and work, and the roads and bridges we walk on. However, the cement industry has become a major concern in recent years, due to the environmentally polluting CO_2 gas, which is emitted during its manufacture. The researchers found that the use of glass in the form of a powder, can be introduced with cement to obtain less expensive and less polluted cement, as this substance is characterized by its chemical composition and its pozzolanic activity. Through this work, we will experiment with the use of heat-treated glass powder as a partial substitute for 15% cement in the preparation of mortar, and study the effect of this on the properties of mortar, through a series of destructive and non-destructive tests. Where we prepared four compositions of mortar: the first composition is ordinary mortar (control), the second composition contains no treated glass powder, the third composition contains glass powder treated under the temperature of 100 ℃, and the last composition contains glass powder treated under the temperature of 200 ℃, after conducting various experiments, it was observed that there is a change in the behavior of the mortar work compared to the control, where it was found that the glass powder absorbs water, and as for the density, the results showed that the treated glass mortar had a small density compared to the control where the difference percentage was (1.03 percent) At the age of 28 days in the case of glass treated at 200°C. Regarding the speed of ultrasound, a slight change was observed compared to the control and the treated and untreated glass slurry, decreasing the speed of the three samples, but in general all the values indicate that the slurry has good specifications. As for pressure resistance, the results of untreated glass mortar were the best, as the percentage difference was (-2.44) percent between it and the control. As for the bending resistance, the results were not good in the three sample compared to the control, as it was noticed that the resistance decreases with the passage of time in the treated and untreated glass mortar samples.

Key words: mortar, glass powder, heat treatment, mechanical resistance, pozzolanic activity.

Résumé:

Le ciment est le composant principal du mortier, qui à son tour forme les fondations et les structures des bâtiments dans lesquels nous vivons et travaillons, ainsi que les routes et les ponts sur lesquels nous marchons. Cependant, l'industrie du ciment est devenue une préoccupation majeure ces dernières années, en raison du gaz CO_2 polluant l'environnement, qui est émis lors de sa fabrication. Les chercheurs ont découvert que l'utilisation du verre sous forme de poudre, peut être introduite avec le ciment pour obtenir un ciment moins cher et moins pollué, car cette substance se caractérise par sa composition chimique et son activité pouzzolanique. A travers ce travail, nous allons expérimenter l'utilisation de poudre de verre traité thermiquement comme substitut partiel du ciment à 15% dans la préparation du mortier, et étudier l'effet de ceci sur les propriétés du mortier, à travers une série d'essais destructives et non destructifs. Pour cela, nous avons préparé quatre compositions de mortier : la première est du mortier ordinaire (témoin), la deuxième contient de la poudre de verre non traité, la troisième contient de la poudre de verre traitée sous une température de 100 ℃, et la dernière contient de la poudre de verre traitée sous une température de 200 ℃. Après avoir mené diverses expériences, il a été observé qu'il y a un changement dans le comportement du mortier par rapport au témoin, où il a été constaté que la poudre de verre nécessite plus d'eau, et quant à la densité, les résultats ont montré que le mortier de verre traité avait une faible densité par rapport au témoin où le pourcentage de différence était (1,03 %) à l'âge de 28 jours dans le cas du verre traité à 200°C. En ce qui concerne la vitesse des ultrasons, un léger changement a été observé par rapport au témoin et au éprouvettes de verre traité et non traité, diminuant la vitesse des trois compositions ; mais en général, toutes les valeurs indiquent que les éprouvettes ont de bonnes spécifications. En ce qui concerne la résistance à la pression, les résultats du mortier de verre non traité étaient les meilleurs, car la différence de pourcentage était de (-2,44%) entre celle-ci et le témoin. En ce qui concerne la résistance à la flexion, les résultats n'étaient pas bon dans les trois compositions par rapport au témoin, car il a été remarqué que la résistance diminue avec le temps dans les échantillons de mortier de verre traité et non traité.

Mots clés: mortier, poudre de verre, traitement thermique, résistance mécanique, activité pouzzolanique.

مقدمة عامة

مقدمة عامة

يعتبر الاسمنت أهم مادة في قطاعي الخرسانة والبناء في جميع أنحاء العالم، لذلك يتم إنتاجه بكميات هائلة عالميا ويزداد الطلب العالمي عليه بنسبة (3-4)% سنويا. (D'Anhalt ; 2013)

الاستهلاك والإنتاج الثقيلان للاسمنت يعني انبعاثات كبيرة من الغازات الملوثة، والتي تقدر بأنها مسؤولة عن (5-7)% من الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي ،ولتقليل من هذا التأثير البيئي تم ادخال مواد ربط بديلة لصنع الخرسانة. (Vijayakumar, et al ; 2013 et Jangid, Saoji ; 2014)

ويعد غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعث من صناعة الإسمنت الغاز الأكثر تأثيرا على البيئة، ويمكن تخفيض انبعاثاته بتخفيض نسبة الكلنكـــر فـــي صناعة الإسمنت، وذلك بالاعتماد على الإسمنت المخلوط وزيادة الاعتماد على النفايات، باعتبارها مصدرا رخيصا للطاقة، وتحسين كفاءة الاستخدام بخفض الاستهلاك الحراري النوعي. (IEA Green House ; 2004)

من افضل تطبيقات معالجة النفايات تثمينها في مجال البناء واستخدامها في صناعة الخرسانة كبديل جزئي للإسمنت و الركام الخشن او الناعم .تعتبر نفايات الزجاج مادة قابلة لاستخدامها كمعوض جزئي للاسمنت لأنها تظهر خصائص بوزولانية عند طحنها وتحويلها الى مسحوق ناعم. (Raju et Kumar ; 2014)

وعلى هذا المقياس قمنا في عملنا هذا بدراسة تأثير المعالجة الحرارية لمسحوق الزجاج المضاف كبديل جزئي للاسمنت على الخواص الفيزيائية والكيميائية للملاط ،ولإتمام هذا العمل اتبعنا خطة العمل التالية :

- الفصل الاول يتحدث عن تعريف النفايات الصلبة، انواعها وخصائصها، وأهمية تدويرها في مجال البناء والهندسة.

- الفصل الثاني يتحدث عن الاسمنت البورتلاندي، صناعته والغازات الملوثة الناتجة عنها، وعلى ماهية التفاعل البوزولاني في الاسمنت.

- الفصل الثالث يشمل المواد المستخدمة والطرق التجريبية المختلفة التي تم إجراؤها لتحديد خصائص المواد المركبة.

- الفصل الرابع نعرض فيه مناقشة النتائج المحصل عليها في هذه الدراسة.

الفصل الاول:

تدوير النفايات الصلبة

I. مقدمة:

ان النفايات الصلبة من المشكلات البيئية البارزة على مستوى العالم ومصدر من مصادر التلوث البيئي، حيث يترتب عليها العديد من الآثار الصحية و الاقتصادية المباشرة والغير مباشرة في مختلف دول العالم

ان عملية تدوير هذه النفايات في مجال البناء والخرسانة يحقق استثمارا اقتصاديا واجتماعيا يساهم في خلق ثروة في ظل التنمية المستدامة والحفاظ على بيئة المحيط(Mechri et Messalta ; 2021).

لذالك سنتعرف في هذا الفصل على النفايات الصلبة، انواعها وخصائصها، وأهمية تدويرها في مجال البناء والهندسة.

II. لمحة تاريخية حول تدوير النفايات:

المقصود بإعادة التدوير هو إعادة استخدام النفايات، لإنتاج منتجات أخرى أقل جودة من المنتج الأصلي. بدأت فكرة التدوير أثناء الحرب العالمية الأولى والثانية، حيث كانت الدول تعاني من النقص الشديد في بعض المواد الأساسية مثل المطاط، مما دفعها إلى تجميع تلك المواد من المخلفات لإعادة استخدامها. وبعد سنوات أصبحت عملية التدوير من أهم أساليب إدارة التخلص من النفايات، وذلك للفوائد البيئية العديدة لهذه العملية. لسنوات عديدة كان التدوير المباشر عن طريق منتجي مواد النفايات هو الشكل الأساسي لإعادة التصنيع، ولكن مع بداية التسعينيات بدأ التركيز على التدوير غير المباشر، أي تصنيع مواد النفايات لإنتاج منتجات أخرى تعتمد على نفس المادة الخام مثل: تدوير الزجاج، الورق، البلاستيك والألمنيوم وغيرها من المواد التي يتم الآن إعادة تصنيعها. (مسعود؛ 2017)

III. النفايات الصلبة:

III.1 تعريف النفايات الصلبة:

النفايات الصلبة هي جميع المواد الغير سائلة الناتجة من مختلف أنواع الأنشطة البشرية والتي يتم الاستغناء عنها لعدم الاستفادة منها. كما يقصد بالمواد الصلبة عامة تلك المواد المقاومة للتحلل أو التي تتحلل ببطء شديد مثل: الزجاج، الحديد، الألمنيوم، بلاستيك، ومخلفات عمليات البناء والهدم من قطع خشبية وأجزاء معدنية وكتل خرسانية وعمليات حفر الطرق وأتربة الشارع، ومخلفات المتاجر والمصانع (زين العابدين ،وبن عبد المرضي؛ 2007) . ومعظم هذه المواد قابلة للتدوير ويمكن إعادة الاستفادة منها واستخدامها كمواد خام لصناعات جديدة. وتختلف نسبة النفايات الصلبة من منطقة إلى أخرى كماً ونوعاً حسب خصائص المجتمع وظروفه واختلاف الأنماط الاستهلاكية والسلوكية فيه وتفاوت مستويات الدخل. الجدول التالي يوضح الاختلاف في بعض الدول (خلف، الدليمي؛2009) كالتالي:

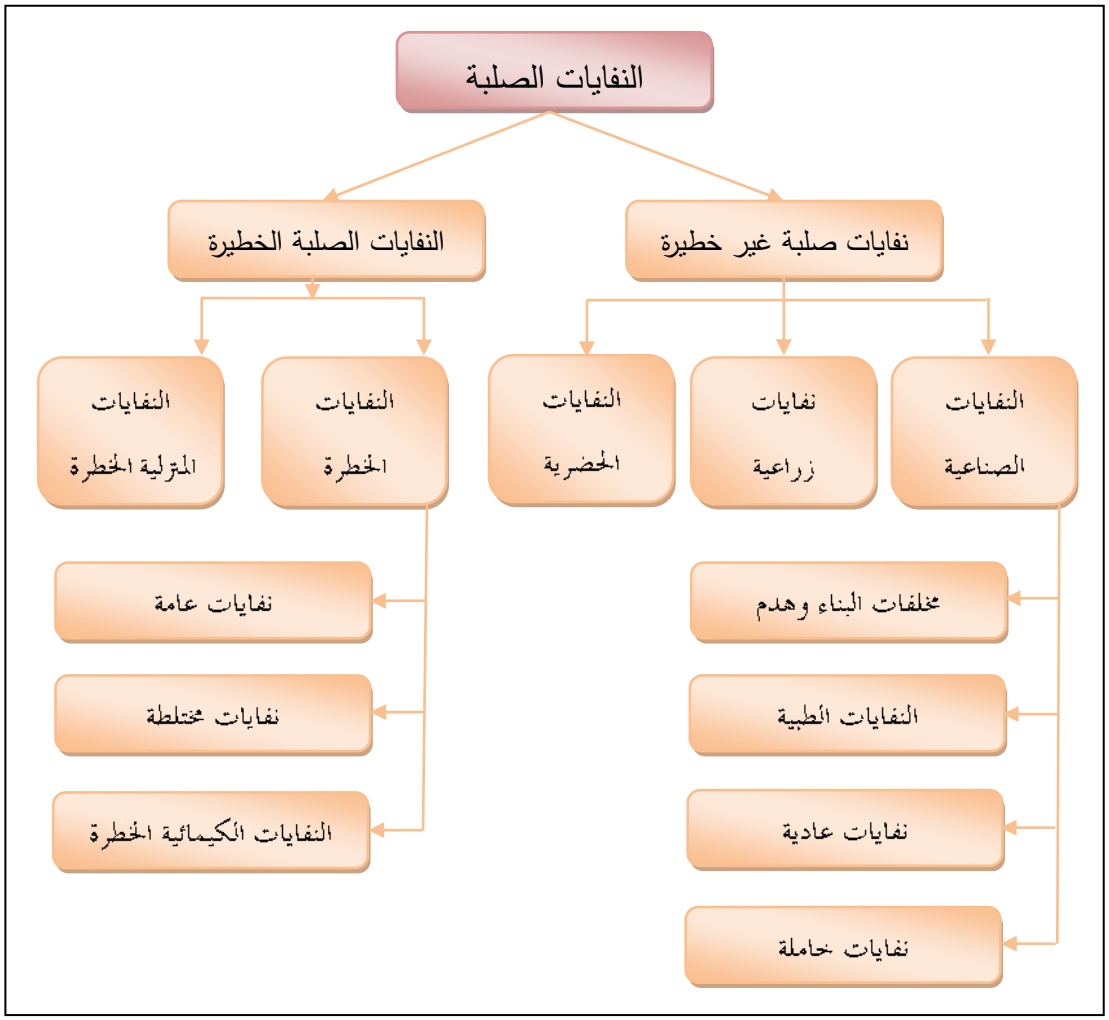
الجدول(1-01-): معدل انتاج النفايات الصلبة المنزلية في بعض دول العالم، 2003 (خلف ،الدليمي؛2009)

بعض دول العالم			
الدولة	معدل النفايات كغ/فرد/يوم	الدولة	معدل النفايات كغ/فرد/يوم
الإمارات	1.2	مصر	0.81
البحرين	1.3	سوريا	0.33
السعودية	1.4	تونس	0.41
عمان	0.7	المغرب	0.33
قطر	1.3	الاردن	0.6
اليابان	0.87	اليمن	0.6
الو.م.أ	1.98	الجزائر	1.2
استراليا	1.9	فرنسا	0.77
المانيا	1.1	بريطانيا	0.8

III.2 أنواع النفايات الصلبة:

تشير الصفة الصلبة الى ما هو ضخم وثابت. لذلك يحافظ الجسم الصلب على ثبات حجمه وشكله بفضل التماسك الرائع للجزيئات. وبهذه الطريقة، يتم تمييزها عن الحالات الأخرى كالحالة السائلة او الحالة الغازية عند تجميع المادة.

(Belferrag, et al ; 2007)



الشكل (01 -1-): أنواع النفايات الصلبة (Belferrag, et al ; 2007)

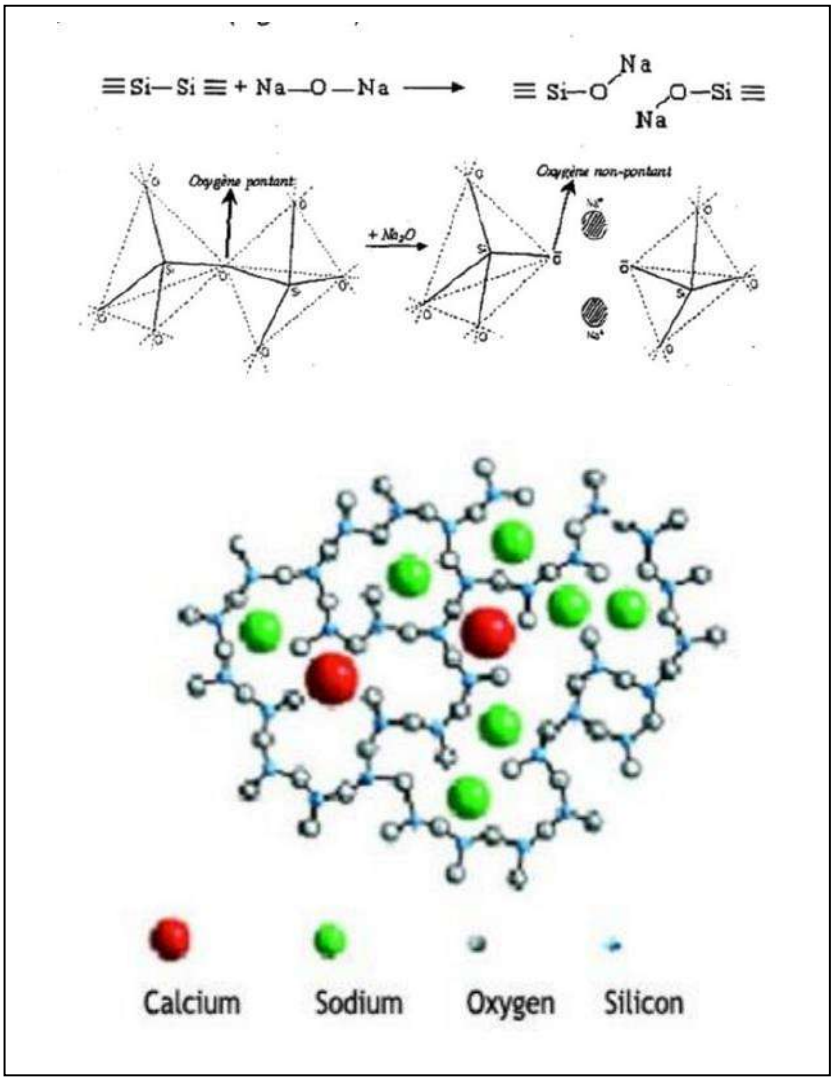
IV. اعادة تدوير النفايات في مجال الهندسة المدنية:

في سياق أعمال الهندسة المدنية تعتبر النفايات أيضًا مصدرًا جيدًا للمواد الخام. و يمكن أن يساعد استرداد النفايات وإعادة تدويرها في التقليل من استخدام المواد البكر في إنتاج منتجات جديدة. و يمكن أيضًا أن تؤدي إعادة تدوير نفايات البناء والهدم إلى الحفاظ على مساحة مكب النفايات وكميات كبيرة من المواد، هناك ثلاث فئات رئيسية من النفايات: النفايات الخاملة (مخلفات البناء و الهدم) والنفايات غير الخطرة (العرجون، نجارة الخشب) والنفايات الخطرة (الزجاج) . (Shekhawat et Aggarwal ; 2014)

V. نفايات الزجاج و استعمالاتها:

V.1 تعريف الزجاج:

الزجاج هو مادة صلبة غير عضوية، عادة ما تكون شفافة أو نصف شفافة، لامعة، صلبة، سهلة الانكسار، غير نافذة للمواد الطبيعية. بالرغم من أنه استعمل منذ القدم إلا أنه لا يزال مهم جدا في استعمالات شتى، مثل المباني والأدوات والأواني المنزلية ومعدات الاتصالات السلكية. و بسبب طبيعته الغير المتبلورة ولأنه يحتوي على كميات ملحوظة من السيليكا يُعتبر الزجاج بوزولانيًا. وبذلك يمكن استخدامه كبديل جزئي للأسمنت البورتلاندي في الملاط.



الشكل(1-02-): البنية الكيميائية للزجاج (Kassem, et al ;2011).

V.2 كمية نفايات الزجاج في العالم وفي الجزائر:

إحصائيًا، توجد معلومات غير واضحة حول الكمية الكاملة من نفايات الزجاج في العالم، بسبب نقص المعلومات من دول مختلفة، مثل دول الشرق الأوسط. ولكن وفقًا لتقديرات الأمم المتحدة للنفايات الصلبة، في عام 2004، كان هناك 200 مليون طن من النفايات الصلبة و 7٪ منها نفايات زجاجية، أي 14 مليون طن من نفايات الزجاج (Topçu I et Canbaz 2004)

من المتوقع أن يزداد إجمالي إنتاج الزجاج بسبب زيادة التصنيع وتحسين مستوى المعيشة، أي أن معدل الزجاج المهدر أيضًا سيزداد. وكمثال على ذلك، بلغ إجمالي نفايات الزجاج في الاتحاد الأوروبي 3ملايين طن في عام 2002، بينما بلغ إجمالي نفايات الزجاج في الاتحاد الأوروبي 4.1 مليون طن في عام 2008، وبلغ إجمالي إنتاج العالم من الزجاج حوالي 89.4 مليون طن في عام 2007، وأنتجت دول الاتحاد الأوروبي حوالي 38.3 مليون طن في نفس العام، والتي تمثل ما يقارب 30٪ من إجمالي إنتاج العالم.وهذا ما جعل الاتحاد الأوروبي أكبر منتج للزجاج في العالم في عام 2007. (Eurostat Statistical Books; 2010) بينما بلغت كمية نفايات الزجاج وطنيا في الجزائر 50000 طن سنويا (Mechri et Messalta; 2021).

V.3 مسحوق الزجاج:

يتم الحصول على مسحوق الزجاج عن طريق طحن الزجاج المسترجع إلى درجة نعومة معينة. عندما يتم دمجه في الخرسانة ليحل محل جزء من الأسمنت، فإن الزجاج يتحول إلى غبار يترابط مع العناصر بحكم خصائصه البوزولانية (Measson ; 1981)

الشكل (03 -1-): مسحوق الزجاج

V.4 خصائص مسحوق الزجاج:

ان خصائص الزجاج الفيزيائية والكيميائية هي التي تعطي له مميزات مختلفة و مهمة. و احد اهم خصائصه الفيزيائية المميزة انه عند تحويله لمسحوق حجم جزيئاته اقل من 75 µm يظهر نشاطا بوزولانيًا جيداً، لأنه يحتوي على كمية

كبيرة من السيليكا (ASTM C 311 ;2017)

-الكتلة الظاهرية لمسحوق الزجاج تساوي $988\ kg/m^3$

-الكتلة المطلقة لمسحوق الزجاج تساوي $2469\ kg/m^3$

-مساحة السطح المحددة (BLAINE SSB) : $3300\ cm^2/g$

V.5 تثمين مسحوق نفايات الزجاج في مجال البناء:

نفايات الزجاج ملوثة ومضرة بالبيئة، لذلك قد يبدو من المفيد إعادة تدوير مسحوق الزجاج كبديل جزئي للركام او الأسمنت. هذا يجعل من الممكن خفض سعر تكلفة الخرسانة، والحد من استخدام الموارد الطبيعية وتقليل انبعاث الغازات الدفيئة الناتجة من صناعة الاسمنت. الهدف الرئيسي من هذه العملية هو تطوير خرسانة اقتصادية وبيئية تحتوي على مسحوق زجاجي كمادة بديلة جزئيا للأسمنت او الركام . (Belferrag, et al; 2007, Shekhawat et Aggarwal ; 2014)

V.6 الدراسات السابقة لاستخدام نفايات الزجاج في مجال البناء:

تم إجراء العديد من الدراسات في الستينيات حول استخدام الزجاج كمواد ركام في الخرسانة. منذ ذلك الحين، تم التخلي عن الفكرة جزئيًا. لم يعد الموضوع موضوعيًا مرة أخرى إلا منذ حوالي عشرين عامًا. في الواقع، لأسباب اقتصادية وبيئية، أثار استخدام الزجاج المعاد تدويره في الأسمنت والخرسانة اهتمام عدد لا يحصى من البلديات، وقد شجع ذلك على إجراء دراسات جديدة.(Isabelle Fily-Paré ; 2014) نذكر بعض الدراسات المنجزة في سنوات الاخيرة:

[(Q Li et al ;2022) قاموا بدراسة أداء مسحوق نفايات الزجاج كمواد بوزولانية في ملاط الأسمنت المخلوط ; (P Zhan et al ;2022) دراسة القوة والبنية الدقيقة والخصائص الميكانيكية للخرسانة المعاد تدويرها المحتوية على مسحوق نفايات الزجاج ومسحوق الخبث الفولاذي; (Lidiane et al ;2021) قاموا بدراسة تأثير الاستبدال الجزئي للأسمنت بنفايات الزجاج على المعاجين; (Menchaca-Ballinas et Escalante-Garcia ;2019) قاموا بدراسة الأسمنت منخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من زجاج النفايات الذي يتم تنشيطه بواسطة CaO و NaOH; (Saggai, et al ;2019) دراسة مسحوق نفايات الزجاج في الملاط: التأثيرات التقنية والبيئية ;(Sudharsan et al ;2018) دراسة الاستدامة البيئية لنفايات الزجاج كمادة بناء - قيمة مرجعية – ;(GM Sadiqul,et al ;2017)إضافة مسحوق نفايات الزجاج كبديل جزئي للأسمنت لممارسة الخرسانة المستدامة; (Jani, et Hogland ;2014) نفايات الزجاج في إنتاج الخرسانة; (Vijayakumar et al ;2013) دراسات على مسحوق الزجاج كبديل جزئي للاسمنت في إنتاج الخرسانة ;(M Aly, et al ;2012) تمت دراسة تأثير نانو سيليكا على السلوك الميكانيكي والفيزيائي للنفايات ملاط الاسمنت الزجاجي]

VI. خاتمة:

في هذا الفصل تكلمنا على النفايات الصلبة وتأثيرها على البيئة وإمكانية استعادتها في مجال البناء و الهندسة المدنية، حيث ان التراكم الكبير لنفايات يتسبب في مشاكل عديدة بيئية منها وصحية لذلك تطرقنا ايضا لأهمية تدوير هذه النفايات و التدوير بصفة عامة، حيث ذكرنا أهم انواع النفايات المستعملة في مجال البناء. ثم تطرقنا لمادة الزجاج لأنه مادة مميزة بكونه بوزولانيا. وهذا ما يسمح بتعويضه جزئيا للاسمنت او الركام في الخرسانة.

الفصل الثاني:

صناعة الاسمنت

I. مقدمة:

يعتبر الاسمنت اكثر المواد اهمية و استخداما في الخرسانة، حيث تتطلب صناعته قدرا كبيرا من الطاقة مما يؤدي الى التسبب في التلوث البيئي، الناتج من عمليات الاحتراق الكيميائي والحراري، والتي تعتبر مصدرا رئيسيا لإنبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2. (Meyer ; 2005)

في هذا الفصل سنتعرف على الاسمنت البورتلاندي، صناعته والغازات الملوثة الناتجة عنها، وفي الاخير نتطرق الى مفهوم التفاعل البوزولاني في الاسمنت.

II. الاسمنت:

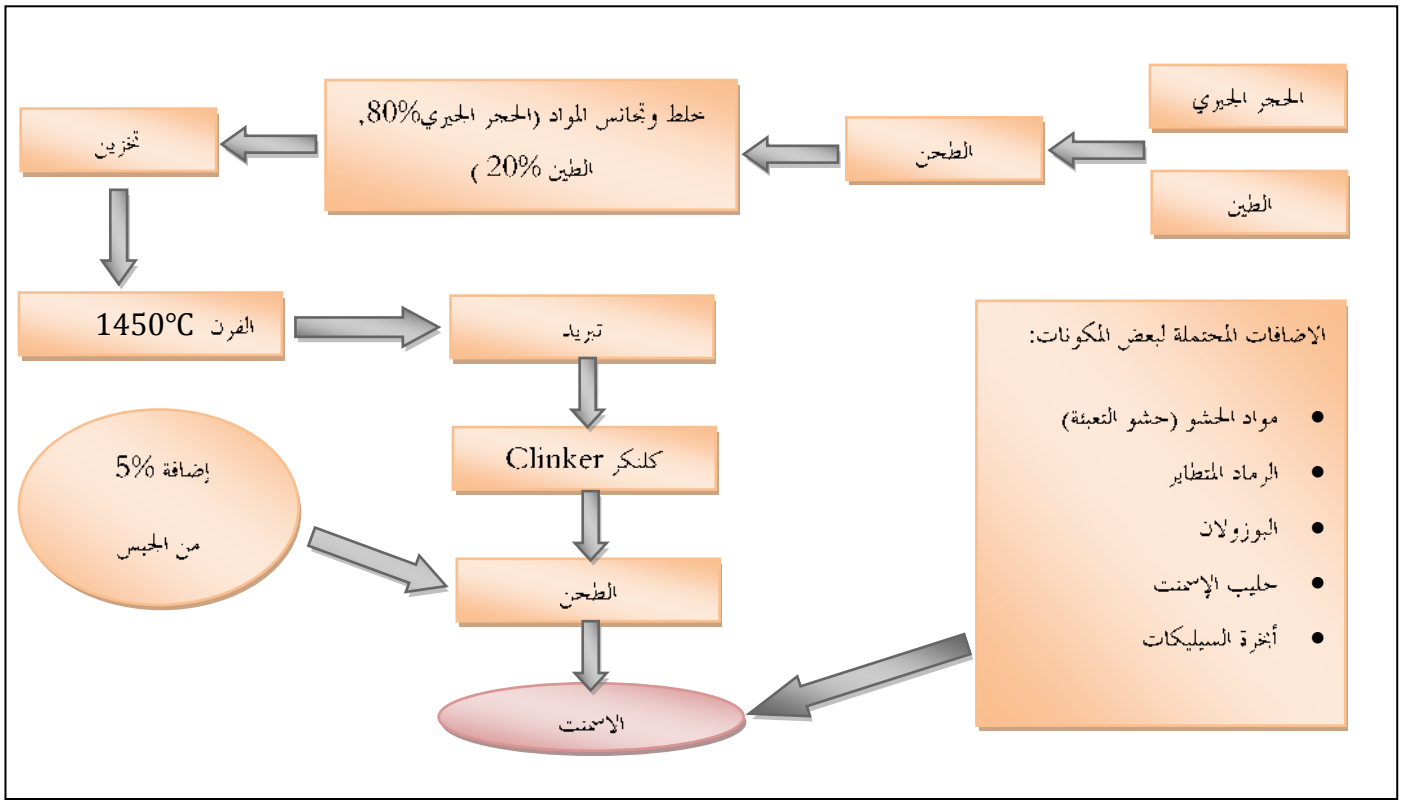
II.1 تعريف الاسمنت:

الاسمنت عبارة عن مادة رابطة هيدروليكية على شكل مسحوق كيميائي ناعم يتكون من السيليكات وألومينات الكلسيوم، و التي تكون رطبة في وجود الماء لتكون مادة قوية تحافظ على قوتها وثباتها حتى تحت الماء. (Kosmatka, et al ; 2004)

الشكل(01-2-): الاسمنت البورتلاندي

II.2 صناعة الاسمنت البورتلاندي:

يصنع الاسمنت البورتلاندي من الحجر الجيري والطين الذي يتم استخراجه من المحاجر وسحقه وتخزينه ثم تحليله كيميائيا لتحديد كمية المادة الخام . يتم طحن جميع المكونات و خلطها جيدا، ثم ادخال المسحوق الناتج في فرن دوار تحت درجة حرارة تصل الى(**1450°C**) لتتم عملية الحرق . وأخيرا الطحن لينتج الاسمنت.(Yacine et Zahredine ; 2006) كما هو موضح في المخطط التالي (الشكل 02-2-):



الشكل (02 -2-): مخطط يوضح مراحل صناعة الاسمنت البورتلاندي (Yacine et Zahredine ; 2006)

III. الاثر البيئي والغازات المنبعثة من صناعة الاسمنت:

تعتمد صناعة الإسمنت على حرق أنواع مختلفة من المواد، وتنجم عنها ملوثات بيئية متنوعة مثل الغبار وأكاسيد الكربون والكبريت ونفايات سائلة وصلبة مختلفة. وإضافة إلى ذلك، ينتج من تفكك كل كيلوغرام من الحجر الجيري (كربونات الكالسيوم) 0.44 كيلوغرام من غاز ثاني أكسيد الكربون.

ويبين الجدول (01 -2-) انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن حرق الوقود الأحفوري حسب نوع الوقود وطريقة التصنيع ونسبة الكلنكر و الإسمنت، وعلى أساس أن كمية الوقود المستخدمة لكل طن من الكلنكر هي 3,35 جيغاجول في الطريقة الجافة، 5.4 جيغاجول في الطريقة الرطبة، وأن كمية الكهرباء المستخدمة في أي من الطريقتين هي 0.38 جيغاجول لطن الكلنكر (الأمم المتحدة نيويورك؛ 2005 و2004 ;IEA Green House)

جدول(01-2-): انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (بالطن لكل طن اسمنت) (الأمم المتحدة نيويورك؛ 2005 و IEA Green House; 2004)

النسبة المئوية من الكلنكر/الاسمنت	الطريقة الجافة				الطريقة الرطبة			
	فحم	فيول	غاز	نفايات	فحم	فيول	غاز	نفايات
55	0.55	0.5	0.47	0.36	0.67	0.59	0.53	0.36
75	0.72	0.66	0.61	0.47	0.88	0.77	0.69	0.47
95(بورتلاندي)	0.89	0.81	0.75	0.57	1.09	0.95	0.90	0.57

وتنبعث من صناعة الإسمنت غازات أخرى أيضا مثل اكاسيد الكبريت و أكاسيد النتروجين (Sox) و (NOx) ويتوقف مستوى انبعاث غازات اكاسيد الكبريت (Sox) على محتوى المادة الخام والوقود من الكبريت، وتنتج غازات اكاسيد النتروجين (NOx) خلال عملية الاحتراق عبر تفاعل الآزوت الموجود في الهواء مع الأكسجين، وتعتمد كميتها على درجة حرارة التفاعل وكمية الأكسجين الزائد، بينما ينتج أول أكسيد الفحم عند الاحتراق غير الكامل للوقود.

(الأمم المتحدة نيويورك؛ 2005 و IEA Green House; 2004)

IV. التفاعل البوزولاني:

IV.1 تعريف التفاعل البوزولاني في الاسمنت:

في الأصل، اقتصر اسم البوزولان على الرماد البركاني الذي يتكون بشكل طبيعي، وكذلك الطين المكلس الذي يمكن أن يتفاعل مع الجير في وجود الماء وفي درجة حرارة الغرفة. تم توسيع هذا المصطلح لاحقًا ليشمل المواد الاصطناعية أو الطبيعية الأخرى (siliceux) أو (silico-alumineux) والتي في وجود الماء تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم لتشكيل مركبات لها خصائص الارتباط. يمكن تلخيص تفاعل البوزولاني على النحو التالي:

سيليكات الكالسيوم المميهة، السيليكو ألومينات الكلسيوم الرطب $\rightarrow$ ماء + $Pozzolan + Ca(OH)_2$

لوحظت الخاصية البوزولانية بدرجات متفاوتة في المواد الغنية بالسيليكا الغير المتبلورة، حيث يتميز الإجراء البوزولاني بجانبين مختلفين هما:(Barret et al ; 1977)

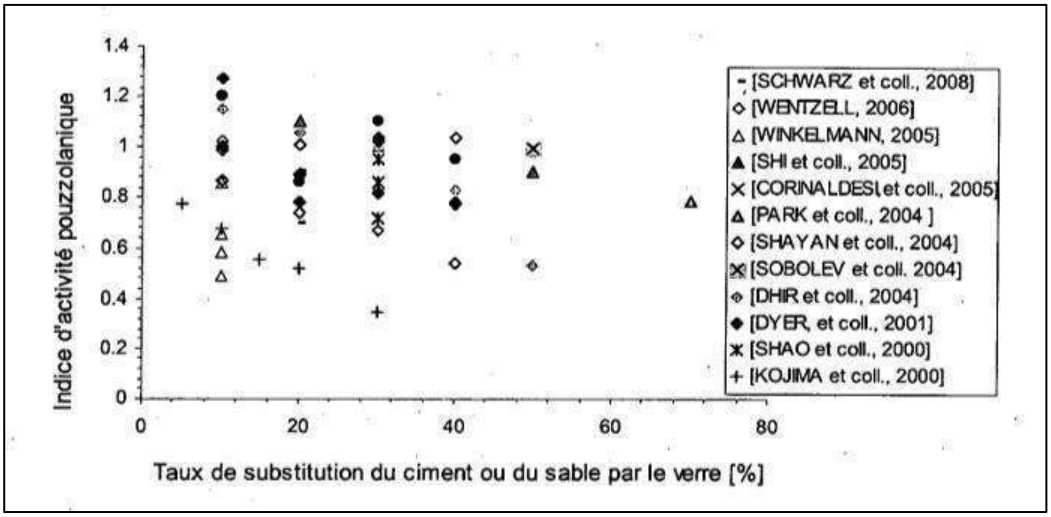
- المقدار الإجمالي لهيدروكسيد الكالسيوم الذي يستطيع البوزولان إنتاجه للإصلاح (الديناميكا الحرارية).
- سرعة تثبيت هيدروكسيد الكالسيوم بواسطة البوزولان (حركي).

بصفة عامة منتجات التفاعل البوزولاني هي مواد هلامية غير متبلورة من النوع C-S-H ،مع نسب Ca / Si بشكل عام أقل بكثير من تلك الموجودة في C-S-H في الأسمنت.

IV.2 تفاعل الزجاج البوزولاني:

تم تقييم النشاط البوزولاني للزجاج من خلال طرق مختلفة: الاختبارات الميكانيكية على عينات الاختبار من الملاط الأسمنتي والخرسانة أو حتى الاختبارات الكيميائية لاستهلاك الجير، على وجه الخصوص "تجربة شابيل" (ATG ;DRX) يجمع (الشكل03-2-) نتائج بعض الأعمال المنجزة بين سنتي (2000و 2008) اللتان تتناولان النشاط البوزولاني للزجاج. مؤشر من النشاط يتم تعريفه على أنه نسبة مقاومة الخليط مع الزجاج لقوة خليط التحكم، كان من الصعب (إن لم يكن من المستحيل) الجمع بين الأعمال الجاهزة في نفس الظروف. ومع ذلك، تظهر الاستنتاجات التالية بوضوح ; Idir) 2009):

1. يلعب حجم الحبيبات الزجاجية دوراً رئيسيًا في نشاط الزجاج البوزولاني: كلما كانت الحبيبات أقل كان نشاطها البوزولاني أفضل
2. تتناقص قوة الملاط والخرسانة حسب محتواها من الزجاج
3. الزجاج ذو اللون البني هو الزجاج الأقل نشاطًا بوزولاني خلاف الزجاج الأخضر ثم الزجاج الشفاف.
4. للحصول على مقاومة مثالية، من المثير للاهتمام استبدال الرمل بالزجاج بدلاً من الأسمنت.
5. تلعب درجة الحرارة العالية دوراً مهمًا في تنشيط الزجاج.
6. الزجاج بالمقارنة مع البوزولانات الأخرى بما في ذلك الرماد المتطاير، يطور نشاطه البوزولاني بسرعة.
7. .يمكن أن يؤدي الاستخدام المتزامن للزجاج والبوزولان لاستبدال جزء من الأسمنت إلى أوجه تآزر مثيرة للاهتمام.



الشكل (03 -2-): مؤشرات النشاط البوزولاني للزجاج المستخدم في ظروف مختلفة (Idir ; 2009).

V. الخاتمة:

في هذا الفصل تطرقنا بداية بمفهوم الاسمنت ومرورا بكيفية صناعته التي تسبب في انبعاث ثاني أكسيد الكربون الضار بالبيئة ، في الاخير تعرفنا على التفاعل البوزولاني في الاسمنت كذلك التفاعل البوزولاني في الزجاج لأنه القاسم المشترك بين مسحوق الزجاج و الاسمنت.

الفصل الثالث:

الطرق والمنهجية

التجريبية

I. مقدمة:

يلعب توظيف المواد المستخدمة في تكوين الملاط دورا مهما للغاية في خصائصه وأدائه اللاحق، حيث تتأثر الخصائص الأساسية للملاط إلى حد كبير بخصائص مكوناته (خصائص الرمل، خصائص الماء، وخصائص الاسمنت).

نتيجة لذلك يتم توحيد طرق اختبار وتحديد مكونات الملاط، وفقا للمعايير المعمول بها. في هذا الفصل نقدم مختلف المواد المستخدمة في تحضير الملاط المراد دراسته وكذلك جميع الاختبارات المطبقة والتي يتم تنفيذها وفقا للمعايير الفرنسية وإجراءات التشغيل المعمول بها.

II. المواد والطرق التجريبية:

II.1.تجارب خصائص الرمل:

الرمل الغريني هو مادة طبيعية يمكن أن يأتي من الأنهار، بسبب تأثير الماء على الصخور، حيث يسمى أيضا برمال النهر، ويستخدم على نطاق واسع في مجال البناء والخرسانة. لأنه يتكون من حبيبات متوسطة الحجم، تتميز بصلابتها و بشكلها الدائري.

II.1.1 مكافئ الرمل (NF P18-598):

أ- الهدف:

الهدف من تجربة مكافئ الرمل (Es) هو قياس نظافة الرمل الطبيعي و الاصطناعي المستعمل في مجال البناء والهندسة المدنية بغرض مراقبة صلاحيته.

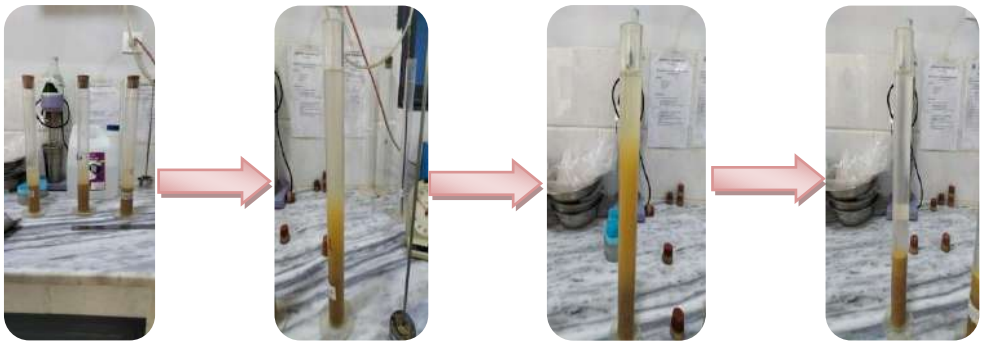
ب- مراحل التجربة:

- ✓ تحضير المحلول الغاسل المركب من ماء نقي و مادة غاسلة.
- ✓ نملئ الأنبوب بمحلول الغاسل حتى التدريجة الأولى.
- ✓ نزن (120g) من رمال البناء العادي المار من غربال 5 ملم، نضيف هذه الكمية من الرمل في أنبوب الاختبار الذي يحتوي على المحلول الغاسل.
- ✓ نترك الأنبوب واقف لمدة 10 دقائق للقضاء على فقاعات الهواء، ثم نقرأ تدريجة الارتفاع h_1.
- ✓ نسد أنابيب الاختبار بسدادة مطاطية ونقوم بالرج لمدة 30 ثانية (90 رجة تقريبا) بواسطة آلة الرج.
- ✓ نقوم بغسل الجدران الداخلية للعينة باستخدام أنبوب الغسيل الذي يتم تدويره بين الأصابع حتى التدريجة الثانية، نقوم بإزالة أنبوب الغسيل ثم نتركه يرتاح لمدة 20 دقيقة مع تجنب أي اهتزاز حتى نهاية الصب، ونقرأ التدريجة h_2.

- ✓ ندخل المكبس في المخبار لغاية التوقف ونقرأ التدريجة h' .
- ✓ نحسب المكافئ الرملي بالعلاقة التالية $E_s = \frac{h_2}{h_1} \times 100$
- ✓ نعيد التجربة 3 مرات للتأكد من النتائج.

التجربة

Ms رمل البناء المستعمل في الدراسة.



الشكل (01 -3-): تجربة مكافئ الرمل

h_1 =12.1 cm	h_1 = 12.5 cm	h_1 =12.1 cm
h_2 =9.3 cm	h_2 = 9.5 cm	h_2 =9.3 cm
h' = 8.3cm	h' = 8.2cm	h' = 8.2 cm

$$E_s = \frac{h_2}{h_1} \times 100 = 76. E_s = 76 E_s = 76.86$$

جدول(3-01-): يوضح نوعية الرمال

نوع الرمل	مكافئ الرمل(Es)%
رمل طيني	Es < 60
رمل خشن قليلا	60 <Es< 70
رمل نظيف	70 <Es< 80
رمل نظيف جدا	Es≥ 80

ت-أدوات ومواد التجربة:

الشكل(3-02-): أدوات تجربة مكافئ الرمل

II.2.1 الكتلة الحجمية لرمل(الكتلة المطلقة والظاهرية):(NF P 18-555)

أ-1 تعريف الكتلة الحجمية المطلقة:(NF P18-558):

هي الكتلة لكل وحدة حجم دون اعتبار الفراغات التي قد تكون موجودة بين حبيبات المادة المشكلة للركام.

2- مراحل التجربة:

- ✓ وضع حجم V1 من الماء في أنبوب اختبار
- ✓ تحضير كمية (Ms=100g) من رمل البناء
- ✓ أضفنا كمية الرمل في الأنبوب الذي به الماء بواسطة قمع
- ✓ قمنا بحساب الحجم V2 (حجم الماء والرمل معا)
- ✓ تم تعين حجم الرمل بالعلاقة التالية:Vs=V2 – V1
- ✓ أخيرا نحسب الكتلة الحجمية المطلقة بالعلاقة التالية : $Mv = \frac{M_S}{V_S}$

الشكل(03-3-): تجربة الكتلة الحجمية المطلقة

التجربة

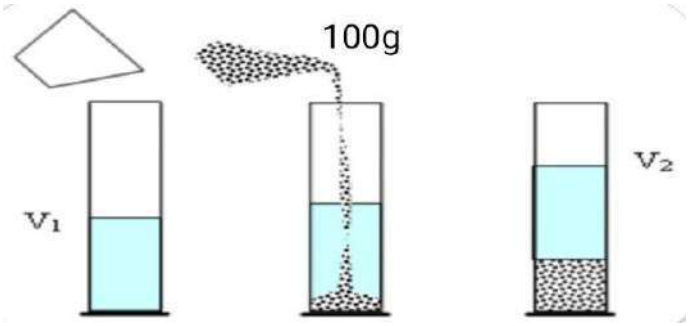
حساب حجم الماء المحبوس في الأنبوب: $V_{eau} = h \times r^2 \times \pi$

$$V_{eau} = 20 \times 1.6^2 \times 3.14 = 160.77\ cm^3$$

$$V_{eau+s} = 24.6 \times 1.6^2 \times 3.14 = 197.74\ cm^3$$

-حجم الحبيبات الصلبة $V_s = V_{eau+s} - V_{eau} = 197.74 - 160.77 = 36.97 cm^3$

الكتلة الحجمية المطلقة: $Mv = \frac{M_S}{V_S}$



الشكل(04-3-): تجربة الكتلة الحجمية المطلقة

ب-1 تعريف الكتلة الحجمية الظاهرية(NFP94-064):

هي الكتلة لكل وحدة حجم مع الفراغات التي تحتويها المادة.

2- مراحل التجربة:

- ✓ جهز كمية الرمل المراد وزنها، خذ كمية بكلتا يديك، املأ الوعاء حتى يفيض، ثم امسح بالمسطرة من المنتصف الوعاء إلى نهايته، ثم قم بالوزن لتعيين MS.
- ✓ حساب حجم الوعاء لتعيين حجم الرمل VS بالعلاقة التالية: $V_s = h \times r^2 \times \pi$
- ✓ حساب الكتلة الحجمية الظاهرية بالعلاقة التالية: $Mv = \frac{M_S}{V_S}$

التجربة

الشكل (05-3-): تجربة الكثافة الظاهرية

V: حجم الوعاء.

VS: حجم الرمل.

M: كتلة الوعاء فارغ

MS: كتلة الرمل.

$$V_s = \mathrm{h} \times \mathrm{r}^2 \times \pi$$

$$V_s = 11.3 \times 11^2 \times 3.14 = 1073.33\ cm^3$$

$$M_s = M_{0+s} - \mathrm{M} = 1832.4 - 141.9 = 1690.5\ \mathrm{g}$$

الكثافة الظاهرية: $\mathrm{Mv} = \frac{M_S}{V_S}$

II.3.1 التحليل الحبيبي (الغربلة):(NFP18-560)

1. **الهدف:** تهدف تجربة التحليل الحبيبي إلى تصنيف حبيبات الرمل تبعا لأقطارها عن طريق الغربلة، وفقا لخصائصها(الوزن، الحجم.. الخ)، وتحديد نسب الحبيبات ذات نفس الحجم واستنتاج معامل صفاء الرمل.

2. معامل النعومة:

إنها وحدة تسمح لنا بتمييز نعومة الأنواع المختلفة من الرمل من خلال مجموع النسب المئوية للرفض المتراكم للغرابيل من السلسلة التالية (5، 2.5، 1.25، 0.63، 0.315، 0.160، 0.080)ملم وتحسب بالعلاقة التالية: $\mathrm{M_f} = \frac{\Sigma \mathrm{RC}}{100}$

صورة (06 -3-): سلسلة الغرابيل المستعملة

جدول (02 -3-): يوضح الكميات المتبقية والمرفوضة في تجربة الغربلة

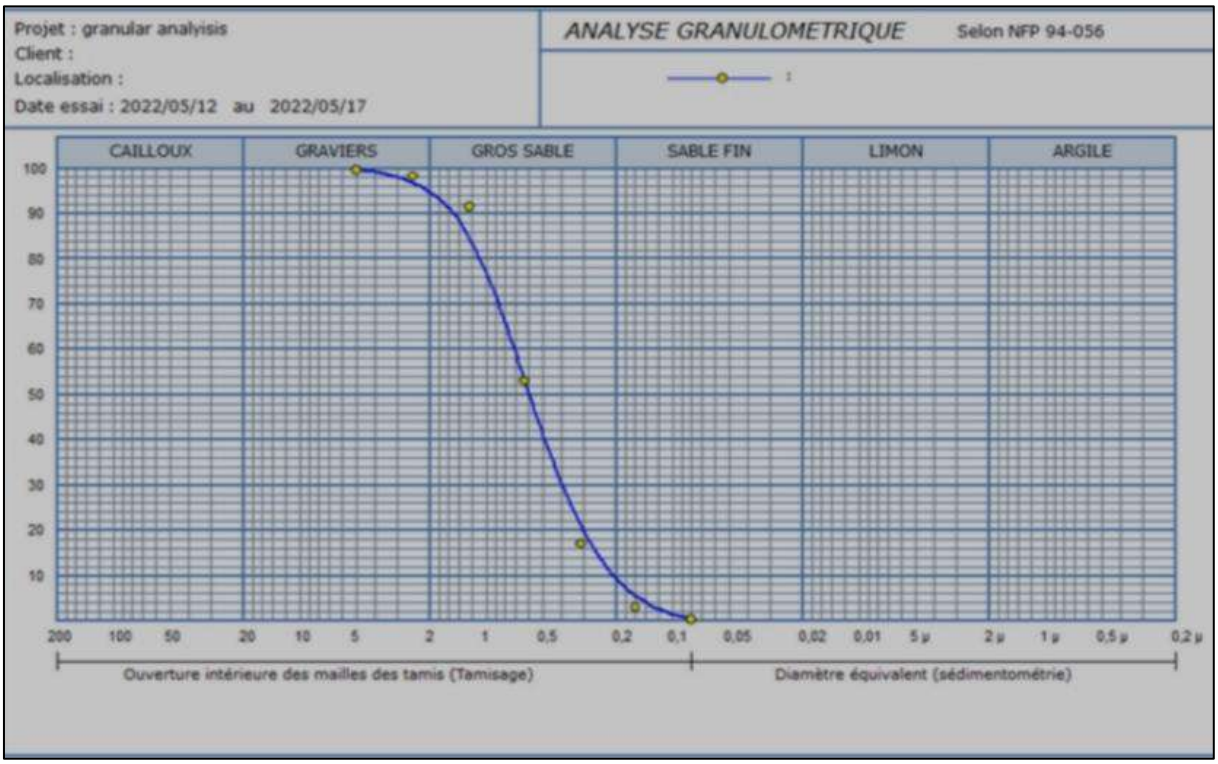
قطر المنخل (ملم)	الرفض الجزئي (غ)	الرفض التراكمي (غ)	النسبة المئوية % المرفوضة	نسبة المئوية المقبولة %
5	2.09	2.09	0. 209	99.791
2.5	13.89	15.98	1. 598	98.402
1.25	67.71	83.69	8. 369	91.631
0.63	385.45	469.14	46. 914	53.086
0.315	359.63	828.77	82. 877	17.123
0.160	141.50	970.27	97. 027	2.973
0.080	25.80	996.07	99. 607	0.393
0	3.26	999.33	99. 933	0.067

- كمية عينة الاختبار : 1000g
- حساب معامل النعومة:
- RC:الرفض التراكمي(%) من تحت مناخل الوحدة (5) إلى(0.16) .

$$M_f = \frac{\Sigma RC}{100} = 2.37$$

جدول (03 -3-): يوضح مجالات وحدة النعومة

		وحدة النعومة M_f
الرمال المسموح بها	الرمل في الغالب ناعم الحبيبات	1.8 – 2.2
	رمال تفاضلية	2.2 – 2.8
	رمال خشنة قليلا	2.8 – 3.3



الشكل (07-3-): منحنى بياني لتوزيع الحبيبي

II.2 تجارب خصائص مسحوق الزجاج:

II.1.2 مسحوق الزجاج:

للحصول على مسحوق الزجاج استخدمنا نفايات زجاج النوافذ الشفاف، واتبعنا المراحل التالية لتحويله لمسحوق ناعم:

- ✓ إحضار نفايات الزجاج.
- ✓ تنظيف الزجاج للحصول على خصائص دقيقة.
- ✓ تكسير الزجاج إلى قطع صغيرة بالهاون، ثم وضعه في المطحنة لسحقه.
- ✓ غربلة مسحوق الزجاج الناتج، نأخذ ما يمر من غربال $0.63\ mm$ والباقي نعيده للمطحنة لإعادة سحقه.

في دراستنا نحتاج إلى مسحوق زجاج ناعم معالج بدرجات حرارة مختلفة $°C$(0، 100، 200) لذلك نكمل مراحل معالجته كما يلي:

- ✓ بعد تحضير مسحوق الزجاج ،نقوم بتقسيمه إلى 3 كميات متساوية.
- ✓ ترك الكمية 1 بدون معالجة حرارية $0°C$، وضع الكمية 2 و 3 في الفرن على درجة حرارة($100°C$، 200).
- ✓ وأخيرا نأخذ عينة من كل مسحوق من الكميات الثلاثة ونضعهم في أنابيب صغيرة ونأخذها لتحليل الخصائص الكيميائية.

تحضير الزجاج وتكسيره بالهاون.

تكسير الزجاج.

سحق الزجاج بالمطحنة.

آلة الغربلة .

غربلة مسحوق الزجاج.

المسحوق الناتج.

مسحوق الزجاج

المعالجة الحرارية.

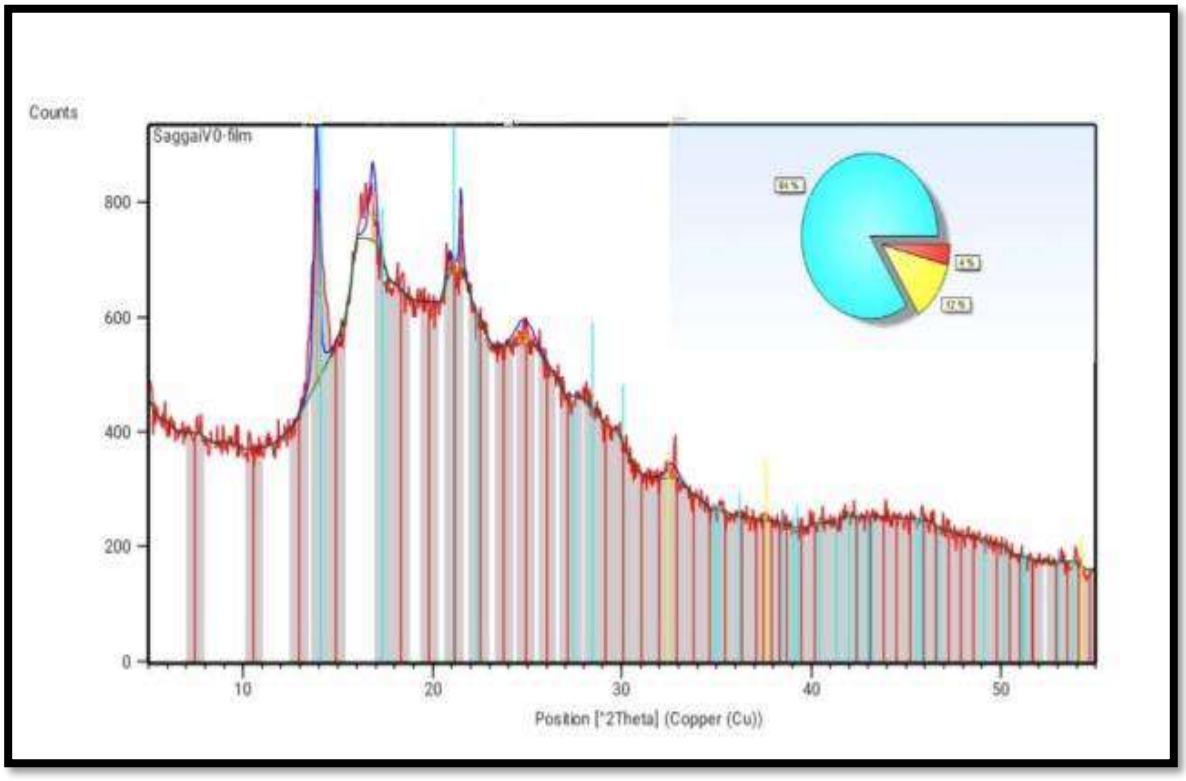
مسحوق زجاج معالج بالحرارة.

الناعم(0.63).

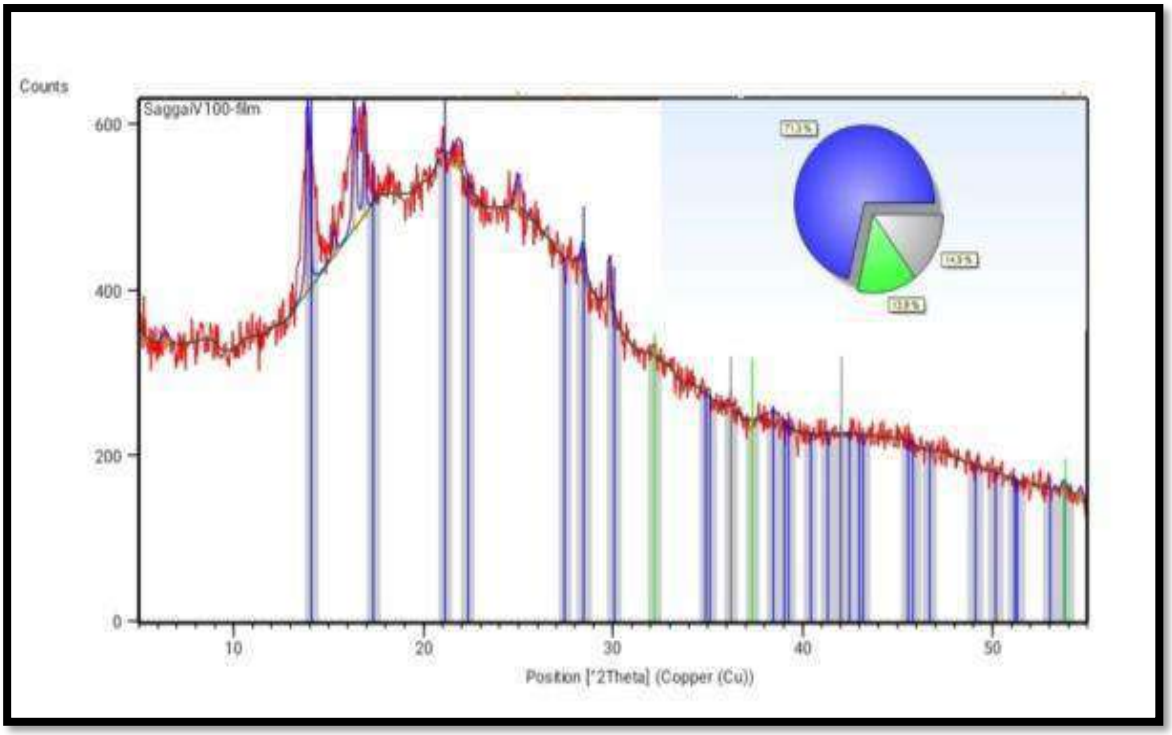
تحليل الخصائص الكيميائية (DRX).

الشكل (08-3-): مخطط يوضح مراحل سحق الزجاج ومعالجته.

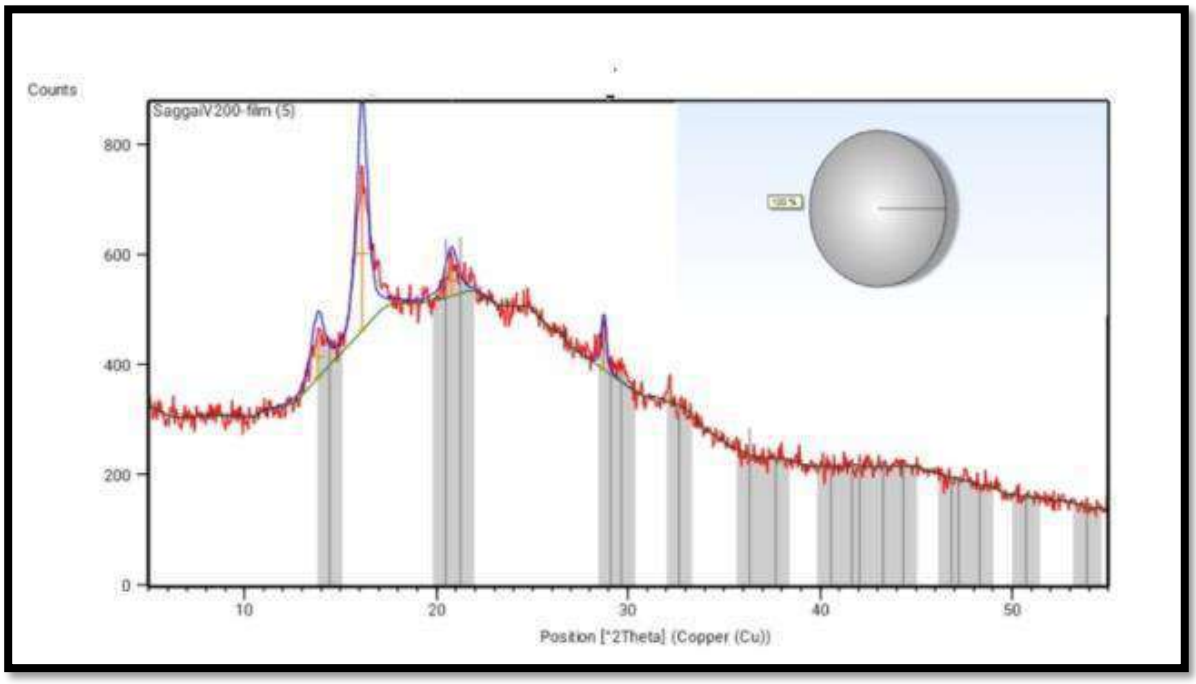
II.2.2الخصائص الكيميائية لمسحوق الزجاج:



الشكل (09-3-):الخصائص الكيميائية لمسحوق الزجاج.V_0



الشكل(10-3-):الخصائص الكيميائية لمسحوق الزجاج.V_{100}



الشكل (11-3-):الخصائص الكيميائية لمسحوق الزجاج V_{200}.

التركيبة	المركب	النسبة المئوية
V_0	Sio_2	84%
	Cao	12%
	Fe_3o_4	4%
V_{100}	Sio_2	71.3%
	Cao	14.9%
	Fe_3o_4	13.9%
V_{200}	Sio_2	100%
	Cao	/
	Fe_3o_4	/

❖ تحليل الأشكال:

نلاحظ في الشكل (3-09-) أن نسبة العناصر الكيميائية في عيناتV_0كانت;SiO_2%Fe_3O_4 ;84% 412% Cao، أما بالنسبة للشكل (3-10-) نلاحظ تغير في شكل المنحنى و زيادة نسبة العناصر الكيمائية FeO;14.9% Cao13.9% و نقصان في نسبة SiO_2 71.3%في عينات V_{100}.أما عن الشكل(11-3-) عينات V_{200}نلاحظ أن شكل المنحنى مماثل لمنحنى الشكل (10-3-) إلا أن منحنى الشكل (11-3-) سجل قيم أكبر في بعض الأماكن و ظهور SiO_2فقط في عينات V_{200}.

II. تحضير الملاط:

يتم تحديد تركيبة الملاط وفقا للمعيار EN 196-1،حيث استخدمنا خلطة الملاط التي تعتبر قياسية، والتي تتكون من كمية اسمنت C واحدة وثلاثة منها رمل بناء S قياسي، ونصفها ماءE،($E/C = 0.5$).

II.1.3 قابلية عمل الملاط(Maniabilimétre de mortier):

1- الهدف من التجربة:

هو تحديد كمية الماء التي تتوافق مع "الملاط البلاستيكي ".

2- مراحل التجربة:

- ✓ تحضر كمية المواد المعمول بها.
- ✓ خلط المواد الجافة اولا ثم اضافة الماءواكمال الخلط لمدة 4دقائق حتى يتجانس الملاط جيدا.
- ✓ وضع الملاط في جهاز" قابلية عمل الملاط"، يتم ايقاف ساعة التوقيت عندما يصل الملاط للخط المرجعي على جدار الجهاز.

جدول(3-04-): نوع الملاط حسب زمن التشغيل

نوع الملاط	زمن التشغيل(ثا)
مغلق	$t \geq 40$
بلاستيك	$20 < t \leq 30$
بلاستيك جدا	$10 < t \leq 20$
سائل	$t \leq 10$

الشكل(3-12-): مقياس قابلية عمل الملاط

- خلطة القوالب المستعملة (الملاط الشاهد):تتكون خلطة قالب واحد (3 عينات) من:

(الملاط الشاهد) $\begin{cases} C = 450 \pm 2g \\ E = 225 \pm 1g \\ S = 1350 \pm 5g \end{cases}$

الشكل(3-13-):مواد الملاط الشاهد

- الملاط المضاف إليه مسحوق الزجاج كبديل جزئي للإسمنت بنسبة 15%:

(الملاط بالزجاج) $\begin{cases} C = 382.5 \pm 2g \\ V = 67.5 \pm 1g \\ E = 234 \pm 1g \\ S = 1350 \pm 5g \end{cases}$

الشكل (3-14-):مواد الملاط بمسحوق الزجاج

II.4 الاسمنت البورتلاندي:

الاسمنت المستخدم هو اسمنت بورتلاند CPJ CEMII A 32.5Mpa، من شركة الاسمنت في عين التوتة (باتنة).

جدول(3-05-): التركيب الكيميائي للكلنكر%(Clinker)

SIO_2	AL_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	RI	SO_3	PAF
22	5.02	2.94	64.36	2.07	0.73	1.94	0.64

جدول(3-06-): التركيب المعدني للكلنكر%(Clinker)

C_3S	C_2S	C_3A	C_3AF
51.28	24.68	8.33	8.94

- الكثافة الظاهرية = $1085kg/m^3$
- الكثافة المطلقة = $3050kg/m^3$

II.5 خصائص المياه المستعملة:

المياه المستخدمة في الملاط من صنبور مختبر الخرسانة التابع لقسم الهندسة المدنية والري في جامعة قاصدي مرباح ورقلة ،وهي مياه نظيفة وصالحة لشرب.

جدول(07-3-): الخصائص الفيزيائية للمياه المستعملة

درجة الحرارة°C	الملوحةPSU	Tds	الناقليةµs/cm	الحموضةPH	الخاصية
29.23	1.13	1117	2234	8.87	

II.6 القولبة (تحضير العينات):

في عملنا، قمنا بإعداد 108 عينة بحجم(4 × 4 × 16) سم، للتوصيف الفيزيائي والميكانيكي لجميع أنواع الملاط المصنوع.

❖ مراحل إعداد العينات:

1. تجهيز القوالب.
2. تحضير الخليط حسب النوع والكمية المحسوبة.
3. صب الملاط في القالب، ثم وضعه بإحكام في طاولة الصدمات لمدة 120 ثانية (ما يعادل 120 صدمة).
4. تتم إزالة القالب من طاولة الصدمات ،ثم إزالة الملاط الزائد وتنعيم سطح العينة لتكون جاهزة كما هو واضح في الصورة التالية:

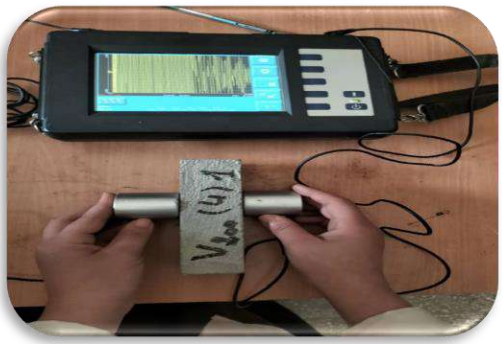
الشكل (15-3-): مراحل اعداد العينات

II. سرعة انتشار الموجات فوق الصوتية(NFP18-418):

1) الهدف: اختبار الموجات فوق الصوتية هو طريقة اختبار غير مدمرة تكتشف الأخطاء داخل المواد، و الهدف الأساسي منه هو اختبار تجانس الخرسانة حيث يعتمد هذا الاختبار على انتقال وانعكاس الموجات فوق الصوتية داخل المادة، وتكون هذه الموجات المستخدمة موجهة أو حرة (ضغط أو قص).

2) مبدأ التجربة:

يعتمد مبدأ الاختبار على انبعاث موجات فوق صوتية بواسطة محول طاقة موضوع على سطح المادة لتحكم في المادة وانتشارها. في تجربتنا، استخدمنا طريقة الاتصال حيث يكون من الضرورة إضافة اقتران "ماء أو هلام" بين المسبار و العينة لضمان انتقال الموجات.



الشكل (16-3-): تجربة سرعة انتشار الموجات فوق الصوتية

الجدول(08-3-): تصنيف الملاط حسب سرعة انتشار الموجات فوق الصوتية (BONATTI-HMD ;2015).

الجودة	سرعة الانتشار (m/s)
ممتازة	أكبر من 4500
جيدة	4500-3500
مقبولة	3500-3000
سيئة	3000-2000
سيئة جدا	أقل من 2000

III. المقاومة الميكانيكية للملاط:

III.1 مقاومة الانحناء:(NF P18-433)

لتحديد مقاومة الانحناء يتم استخدام طريقة الحمل المركزي في منتصف المسافة عن طريق جهاز الانحناء القياسي، حيث يتم وضع العينة في جهاز الانحناء مع وجه جانبي للقولبة على بكرات الدعم ومحوره الطولي، عمودي عليها كما هو موضح في (الشكل-3-17). تطبيق القوة عموديا بواسطة بكرة التحميل على الجانب المقابل للعينة وزيادتها بمقدار $\pm 50N/s$ $10N/s$ حتى ينكسر.

قمنا بالحفاظ على أنصاف العينات الناتجة من اختبار الانحناء حتى لحظة اختبار الضغط.

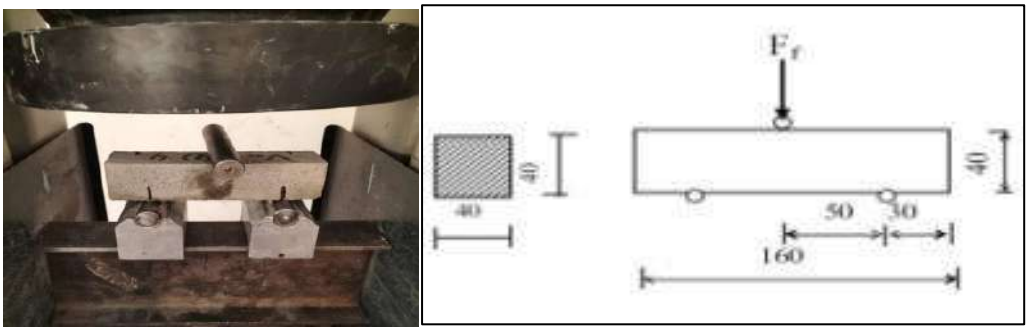
يتم حساب مقاومة الانحناء $R_f(N/mm^2)$ بالعلاقة التالية: $R_f = \frac{1.5 \times F_f \times L}{b^3}$

R_f : هي قوة الانحناء بوحدة N/mm^2 أو Mpa.

b: هو جانب المقطع المربع للعينة بوحدة mm.

F_f : القوة المطبقة على منتصف العينة عند الكسر بوحدة N.

L: المسافة بين الدعامات بوحدة mm.



الشكل(17-3-): يوضح اختبار مقاومة الانحناء.

III.مقاومة الضغط:(NF P18-455)

لتحديد مقاومة الضغط يتم اختبار نصف العينة المتحصل عليها من اختبار الانحناء بالضغط على وجه التشكيلة الجانبية تحت قسم $(4 \times 4)cm$،حيث يتم توسيط نصف العينة بشكل جانبي بين صفيحتين معدنيتين متقابلتين على التوازي، على بعد 10mmمن طرف نصف العينة، ثم إدخالها في مركز آلة الضغط كما هو موضح في(الشكل19-3-). تطبق قوة الحمل على العينة وتزداد بمقدار $1200N/s$ الى $2400N/s$حتى تنهار العينة.

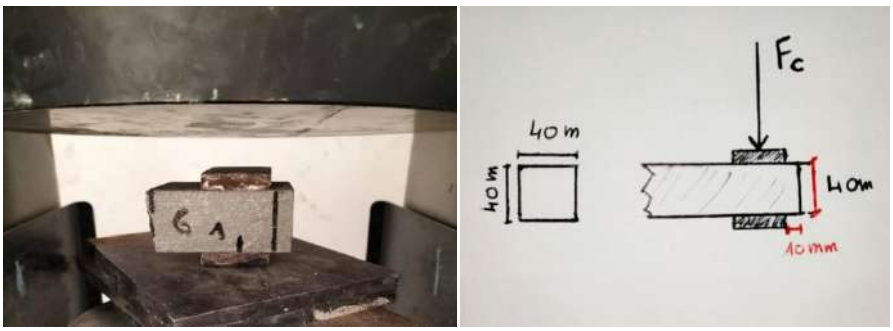
يتم حساب مقاومة الضغط $R_c(N/m^2)$ بالعلاقة التالية: $R_c = \frac{F_c}{1600}$

R_c: هي مقاومة الضغط N/m^2

F_c: القوة المطبقة عند الانهيار N.

A: المساحة بوحدة mm^2.

صورة(18-3-): أنصاف العينات الناتجة من اختبار الانحناء



الشكل(19-3-): يوضح اختبار مقاومة الضغط.

IV.مؤشر النشاط البوزولاني (IAP):

مؤشر النشاط البوزولاني(IAP)هو النسبة بين قيمة الإجهاد لـــمقاومة الانضغاط لملاط يحتوي على نسب من البوزولان الطبيعي لمدة 28 يومًا، وملاط الشاهد من الجودة العادية من نفس العمر.[ASTM C1240]

$$IAP = RC_{AV}/RC_T$$

IAP: هو مؤشر النشاط البوزولاني.

RC_{AV}:هي مقاومة الضغط للملاط مع مسحوق الزجاج بوحدة Mpa

RC_T :هي مقاومة الضغط لملاط الشاهد بوحدة Mpa

V. خاتمة:

في هذا الفصل قمنا بعرض خصائص مختلف المواد المستعملة (رمل البناء، الاسمنت، مسحوق الزجاج، ماء) لهذه الدراسة، حيث تـــبين لنا بأن الخصائص المواد المستعملة كانت بمعايير مقبولة وجيدة و تم التعامل مع تفاصيل الصيغ المختلفة لتمكين دراستنا التجريبية: دراسة الخواص الفيزيائية و الميكانيكية.

الفصل الرابع:

النتائج والمناقشة

النتائج ومناقشتها:

I. خصائص الرمل:

$$\begin{cases} \text{Mv} = \frac{M_S}{V_S} = \frac{100}{36.97} = \frac{2.70g}{cm^3} & \text{الكتلة الحجمية المطلقة} \\ \text{Mv} = \frac{M_S}{V_S} = \frac{1690.5}{1073.33} = 1.575\frac{g}{cm^3} & \text{الكتلة الحجمية الظاهرية} \\ \text{M}_\text{f} = \frac{\Sigma \text{RC}}{100} = \frac{236.994}{100} = 2.37 & \text{معامل النعومة} \\ \text{ES} = 76.57\% & \text{مكافئ الرمل : نسبة نقاوة الرمل المستعمل} \end{cases}$$

من خلال النتائج المحصل عليها واعتمادا على الجداول [(3-01-)، (3-03-)، (3-04-)] نستنتج بأن رمل البناء المستعمل رمل تفاضلي نقي ونظيف وحجم حبيباته ناعم إلى متوسط مع دقة جيدة.

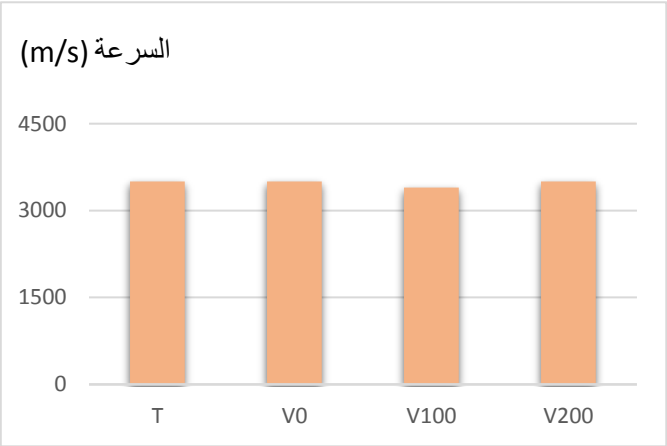
II. خلطات الملاط المختلفة:

جدول(4-01-): الكميات المستعملة لخلطة الملاط.

	ملاط الشاهد	ملاط بمسحوق الزجاج
الرمل (غ)	1350 ± 5غ	**1350 ± 5غ**
الماء (غ)	225 ± 1غ	**234 ± 1غ**
الاسمنت (غ)	450 ± 2غ	**382.5 ± 2غ**
مسحوق الزجاج (غ)	/	**67.5 ± 1غ**

III.سرعة انتشار الموجات فوق الصوتية:

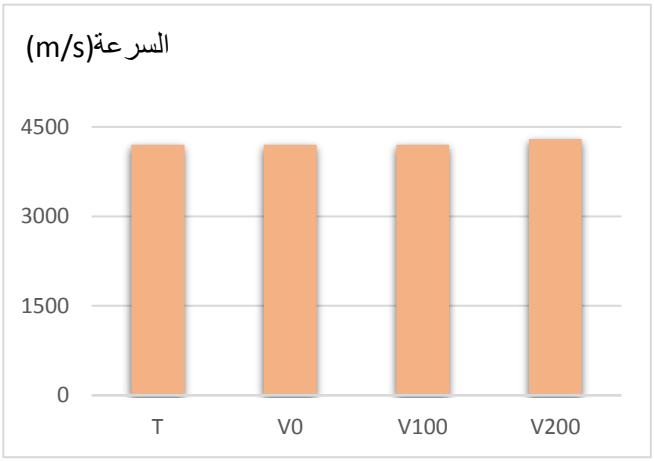
- يوضح الشكل (4-01-) التباين في سرعة انتشار الموجات الصوتية في تركيبة الملاط ذات عمر 4 أيام:



نلاحظ في الشكل أن التركيبات (T, V_0, V_{200}) أعطت نتائج متساوية (3500 م/ثا) مقارنة بالتركيبة V_{100} التي أظهرت نتيجة أقل من العينات السابقة وكانت نسبة الفرق مقارنة مع الملاط الشاهد 2.85% مما يعني هناك تناقص عن نتيجة التركيبة الشاهدة.

الشكل (4-01-): سرعة انتشار الموجات الصوتية في تركيبة الملاط ذات عمر 4 أيام.

- يوضح الشكل (4-02-) التباين في سرعة انتشار الموجات الصوتية في تركيبة الملاط ذات عمر 7 أيام:

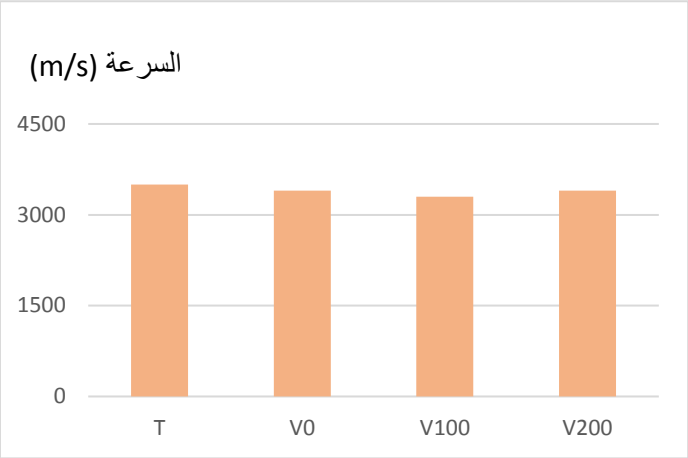


نلاحظ في الشكل ان التركيبات (T, V_0, V_{100}) أظهرت نفس النتيجة (4200 م/ثا) مقارنة مع التركيبة V_{200} بحيث أعطت نتيجة أكبر من التركيبات السابقة، وكانت نسبة الفرق مقارنة مع التركيبة الشاهدة (2.38%-) وهذا يعني أن هناك تزايد عن قيمة الملاط الشاهد.

الشكل (4-02-): سرعة انتشار الموجات الصوتية في تركيبة الملاط ذات عمر 7 أيام.

- يوضح الشكل (4-03-) التباين في سرعة انتشار الموجات الصوتية في تركيبة الملاط ذات عمر 28 يوم:

نرى في الشكل ان التركيبة V_{100} أخذت قيمة أقل من باقي العينات، أيضا نلاحظ أن التركيبة الشاهدة أظهرت نتيجة أفضل من العينات الأخرى وكانت الفروق في النسب المئوية (2.85%)، (5.71%)، (2.85%) على التوالي.



الشكل (4-03-): سرعة انتشار الموجات الصوتية في تركيبة الملاط ذات عمر 28 يوم.

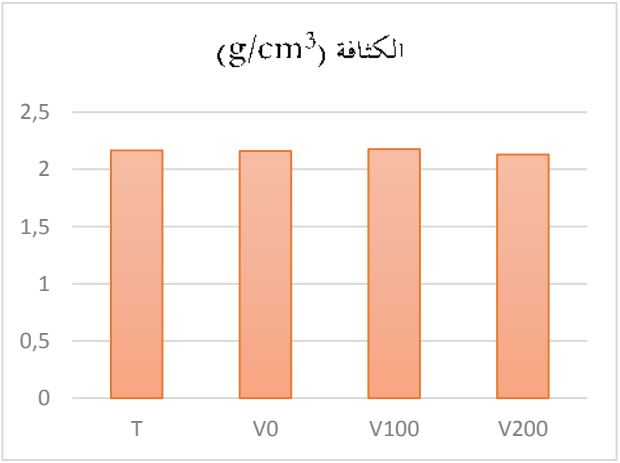
IV. الكثافة:

- تمثل المنحنيات في الشكل (4-04-) الاختلاف في الكثافة كدالة لعمر الملاط لعينات 4 أيام:

حسب الشكل (4-04-) باستثناء الملاط الذي يحتوي على مسحوق الزجاج المعالج تحت درجة حرارة 100° (V_{100}) تكون الكثافة منخفضة مقارنة بالملاط الشاهد.

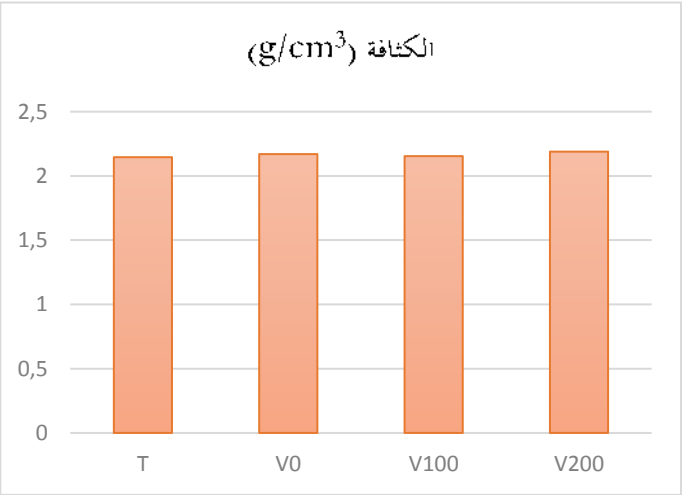
حيث كانت نسبة الفرق على التوالي كالآتي:

(2.28%) ، (-0.51%) ، (1.66%).



الشكل (4-04-): الاختلاف في الكثافة بين التركيبات الملاط ذات عمر 4 أيام.

- تمثل المنحنيات في الشكل (4-05-) الاختلاف في الكثافة كدالة لعمر الملاط لعينات 7 أيام:



حسب الشكل (4-05-) تكون الكثافة عالية في جميع العينات التي تحتوي على مسحوق الزجاج مقارنة بالعينة الشاهدة، ونلاحظ أيضا ان العينة (V_{200}) أظهرت أفضل نتيجة بالمقارنة مع التركيبات التي تحتوي على مسحوق الزجاج.

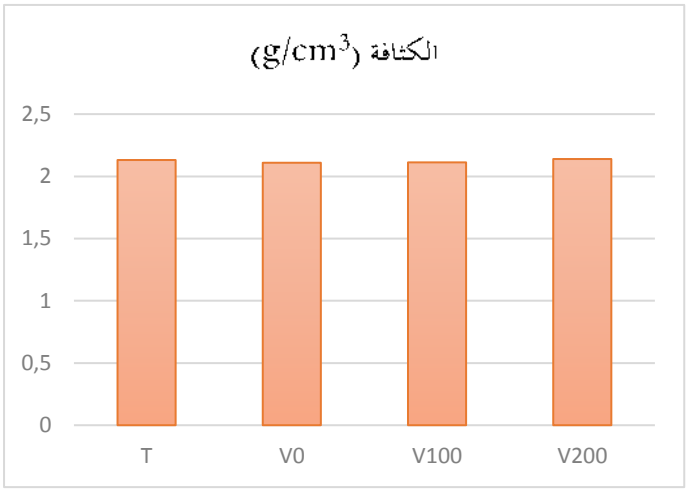
حيث كانت نسبة الفرق بينهم كالتالي:

(-1.12%) ، (-0.37%) ، (-2.00%)

على التوالي مقارنة بالملاط الشاهد

الشكل (4-05-): الاختلاف في الكثافة بين التركيبات الملاط ذات عمر 7 أيام.

- تمثل المنحنيات في الشكل (4-06-) الاختلاف في الكثافة كدالة لعمر الملاط لعينات 28 يوم:



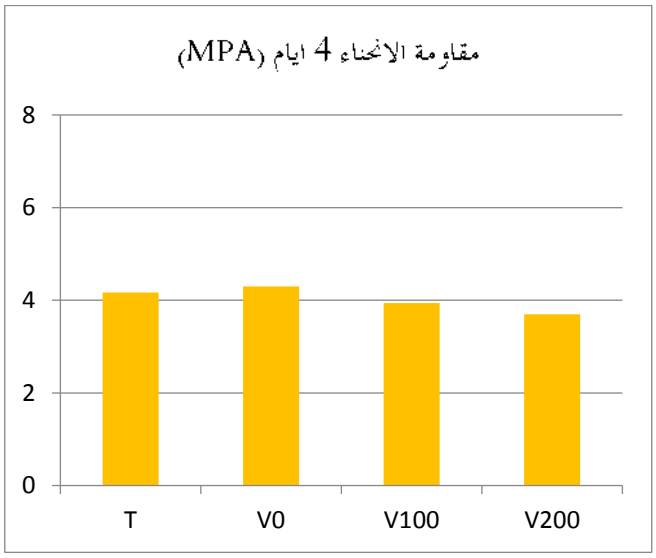
حسب الشكل(4-06-) باستثناء الملاط المحتوي على مسحوق الزجاج المعالج تحت درجة حرارة 200° (V_{200}) تكون الكثافة منخفضة في العينات الباقية مقارنة مع العينة الشاهدة، وتكون نسبة الفرق بينهم كما يلي:

(1.03%) ، (0.89%) ، (-0.38%) ، على التوالي مقارنة بالعينة الشاهدة.

الشكل (4-06-): الاختلاف في الكثافة بين التركيبة الملاط ذات عمر 28 يوم.

V.مقاومة الانحناء:

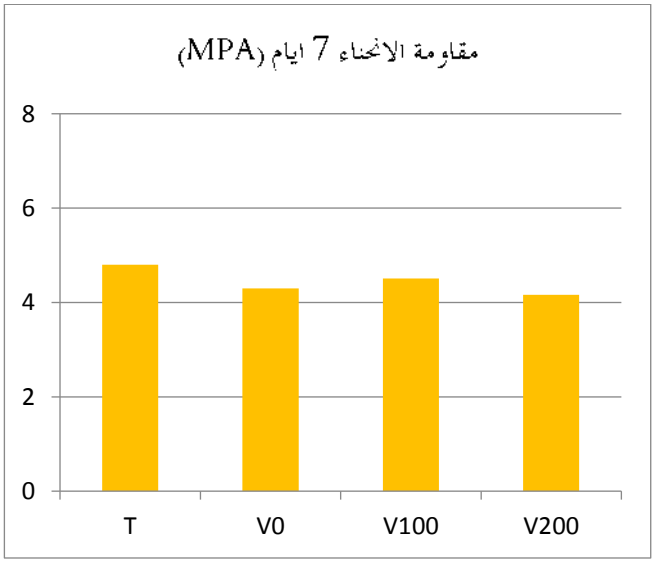
➢ يمثل الشكل (4-07-): مخطط نتائج مقاومة الانحناء لتركيباتالمختلفة للملاط لعمر 4 أيام



الشكل(4-07-): مخطط مقاومة الانحناء للملاط لعمر 4

-حيث نلاحظ أن النتائج متقاربة، حيث نرى أن العينة (V_0) أظهرت أعلى قيمة مقارنة بالتركيبات الاخرى، على عكس التركيبتين (V_{200})، (V_{100})اللتان أظهرتا نتيجة أصغر مقارنة بالملاط الشاهد، وكانت نسبة الفرق بينهم على التوالي كالتالي: (-3.12%)، (5.52%)، (11.27%)

➢ يمثل الشكل (4-08-): مخطط نتائج مقاومة الانحناء لتركيبات المختلفة للملاط لعمر 7 أيام



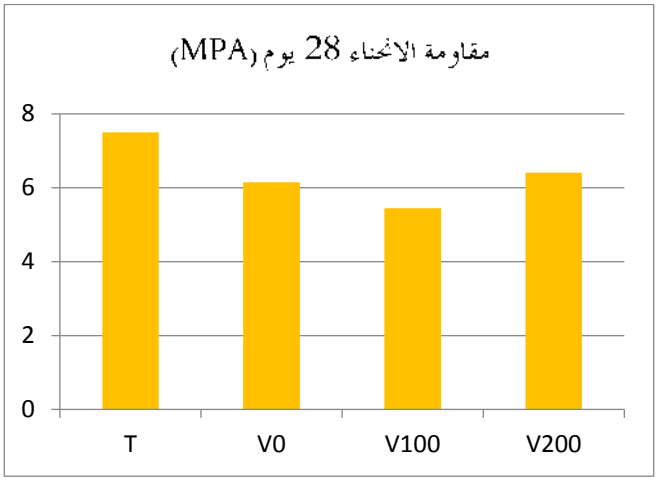
الشكل(4-08-): مخطط مقاومة الانحناء للملاط لعمر 7 أيام.

حيث نلاحظ أن العينة الشاهدة أظهرت نتائج أحسن من باقي التركيبات كذلك نرى أن العينة (V_{200})، سجلت أقل نتيجة مقارنة بالملاط الشاهد و كانت نسبة الفرق كمايلي :

(10.42%) ، (6.04%) ، (13.33%)

على التوالي.

➢ يمثل الشكل (4-09-): مخطط نتائج مقاومة الانحناء لتركيبات المختلفة للملاط لعمر 28 يوم.

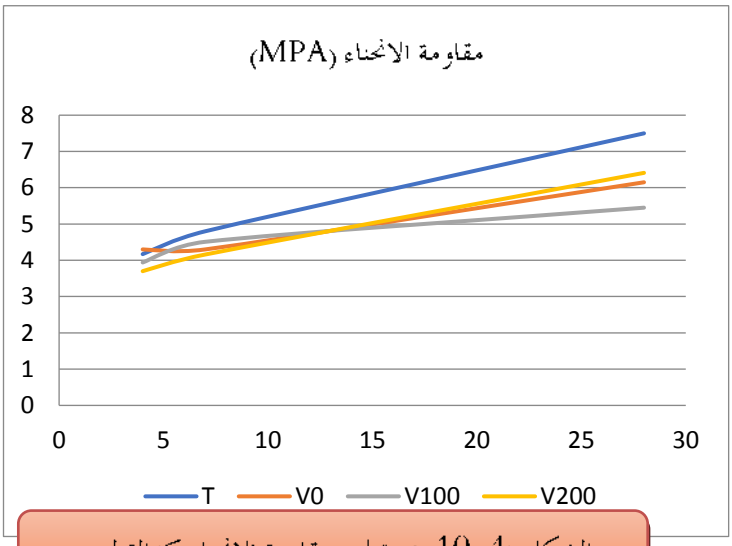


الشكل(4-09-): مخطط مقاومة الانحناء للملاط لعمر 28 يوم.

حيث نلاحظ أن العينة الشاهدة أظهرت نتائج أحسن من باقي التركيبات، كذلك نرى أن العينة (V_{100})، سجلت أقل نتيجة مقارنة بالملاط الشاهد و كانت نسبة الفرق كمايلي :

(18%)، (27.33%)، (14.53%) على التوالي.

➢ تمثل المنحنيات في الشكل (4-10-) الاختلاف في قوة الانحناء كدالة لعمر الملاط



الشكل (4-10-): تطور مقاومة الانحناء كدالة لعمر

يوضح المنحنى(4-10-) تطور مقاومة الانحناء، نلاحظ ان المقاومة تزداد مع زيادة العمر باستثناء العينة (V_0) حيث تقل مقاومة الانحناء فيها في عمر 7 أيام

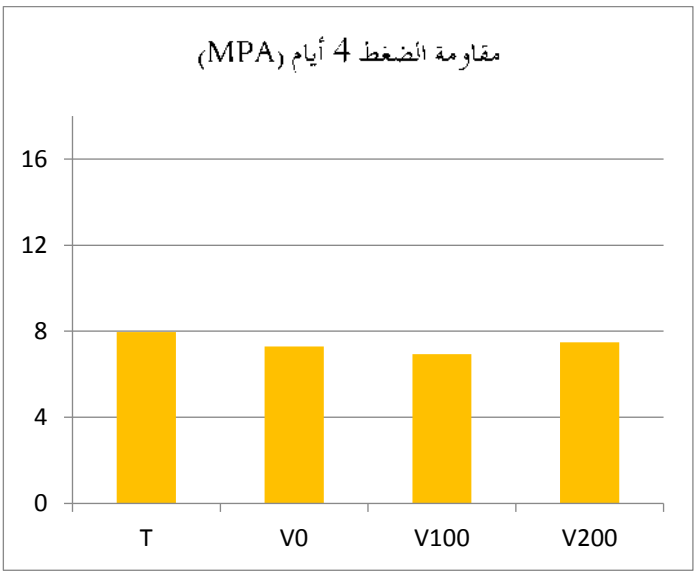
نلاحظ ان قيمة المقاومة في عمر 4 أيام متقاربة مع جميع التركيبات الا التركيبة (V_0) حيث سجلت اعلى قيمة مقارنة بالشاهد، حيث يكون معدل الفرق بينها على التوالي (-3.12%)، (5.52%) ، (11.27%) ، للتركيبات (V_0) ، (V_{100}) ، (V_{200})مقارنة بالملاط الشاهد.

في عمر 7 أيام نرى ان العينة الشاهدة أظهرت نتيجة أفضل مقارنة بالعينات الأخرى، وتكون نسبة الفرق بينهم (10.42%)، (6.04%)، (13.33%)، للعينات(V_0) ، (V_{100})، (V_{200})على التوالي مقارنة بالملاط الشاهد .

وفي عمر 28 يوم نلاحظ ان العينة الشاهدة اخذت أكبر مقاومة للإنحناء مقارنة بالعينات الأخرى، حيث تكون نسبة الفرق على التوالي (18%)، (27.33%)، (14.53%) للعينات (V_0) ، (V_{100})، (V_{200}) مقارنة بالملاط الشاهد.

VI. مقاومة الضغط:

- يمثل الشكل (4-11-) مخطط مقاومة الضغط للملاط لعمر 4 أيام :

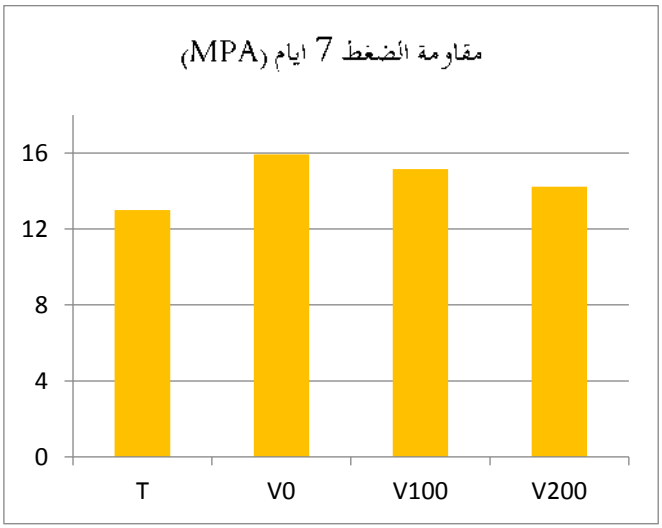


الشكل(4-11-): مخطط مقاومة الضغط للملاط لعمر 4 أيام.

نلاحظ أن النتائج متقاربة بين جميع التركيبات، حيث نرى الملاط الشاهد أظهر نتيجة أفضل من التركيبات الاخرى، كذلك نلاحظ أقل نتيجة سجلتها العينة (V_{100}) مقارنة بملاط الشاهد، وكانت نسبة الفرق بينهم على التوالي كمايلي :

(8.42%)، (12.81%)، (6.03%)

- يمثل الشكل (4-12-) مخطط مقاومة الضغط للملاط لعمر أيام:



الشكل(4-12-): مخطط مقاومة الضغط للملاط لعمر 7

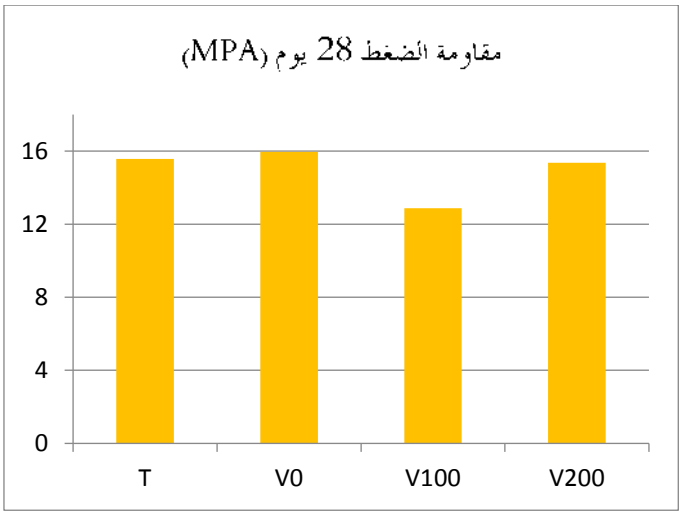
- نلاحظ من خلال المخطط أن العينات المضاف اليها مسحوق الزجاج كانت نتائجهم جيدة مقارنة بالملاط الشاهد.

- نرى أن العينة (V_0) أظهرت نتيجة أعلى من باقي العينات

وكانت نسبة الفرق بينهم على التوالي :

(-22.62%)، (-16.62%)، (-9.46%).

➢ يمثل الشكل (4-13-) مخطط مقاومة الضغط للملاط لعمر 28 يوم:



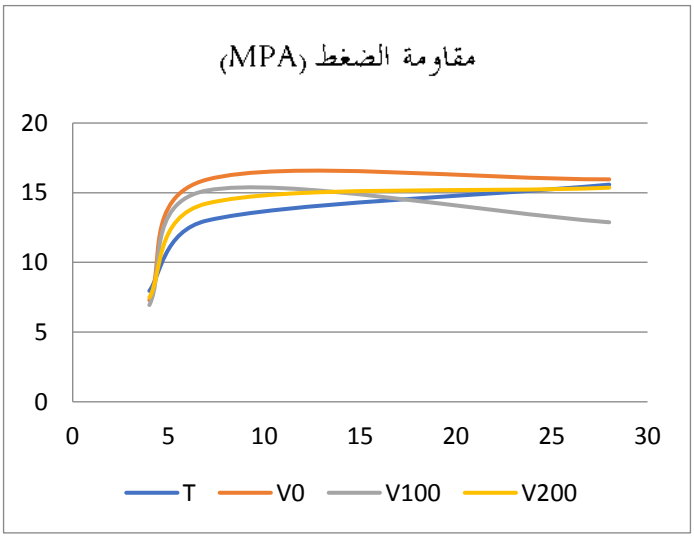
الشكل(4-13-): مخطط مقاومة الضغط للملاط لعمر 28

نلاحظ أن العينة (V_0) أظهرت نتيجة أعلى مقارنة بالتركيبات الاخرى، بالمقابل نلاحظ أن العينة (V_{100}) أظهرت نتيجة منخفضة بالمقارنة مع باقي التركيبات

-كانت نسبة الفرق بين نتائج التركيبات المختلفة على التوالي:

(-2.44%)، (17.33%)، (1.41%).

➢ تمثل المنحنيات في الشكل (4-14-) الاختلاف في قوة الضغط كدالة لعمر الملاط:



الشكل (4-14-): تطور مقاومة الانضغاط كدالة لعمر

تمثل المنحنيات في الشكل (4-14-) التطور في مقاومة الضغط،

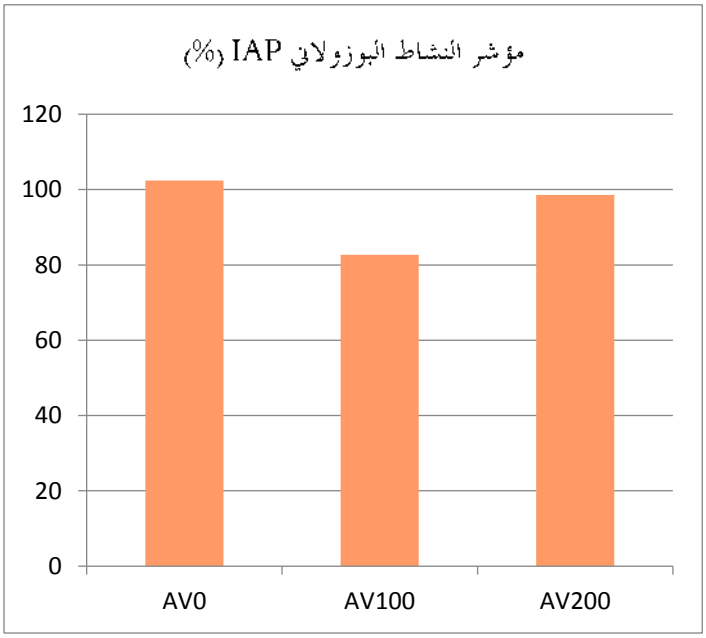
-حيث نسجل نتائج متقاربة في عمر 4 أيام بين التركيبات المختلفة وتكون نسبة الفرق بينها كالتالي (8.42%)، (12.81%)، (6.03%)، للعينات (V_0)، (V_{100})، (V_{200})على التوالي مقارنة بالملاط الشاهد.

-نلاحظ في عمر 7 أيام أن العينات المضاف اليها مسحوق الزجاج المعالج و الغير معالج أظهرت نتائج أفضل مقارنة بالعينة الشاهدة وكانت نسبة الفرق بينهم على التوالي (-22.62%)، (-16.62%)، (-9.46%)، للتركيبات (V_0) ، (V_{100}) ، (V_{200})مقارنة بالملاط الشاهد.

-في عمر 28 يوم نرى انخفاض في نتيجة العينة (V_{100}) من جهة، و استمرار ارتفاع مقاومة الضغط في باقي التركيبات (V_0)، (V_{200})، و الملاط الشاهد من جهة أخرى، وكانت نسبة الفرق بينهم (-2.44%)، (17.33%) ، (1.41%) ، للتركيبات (V_0) ، (V_{100}) ، (V_{200}) على التوالي مقارنة بالملاط الشاهد.

VII. مؤشر البوزولاني

وفقا للشكل (4-15-) تبلغ نسبة IAP حوالي (102.4%) في حالة استبدال 15% من الاسمنت بمسحوق الزجاج بدون معالجة حرارية. و(82.7 %) في حالة استبدال (15%) من الاسمنت بمسحوق الزجاج المعالج حرارياً تحت درجة 100. و (98.6%) في حالة استبدال (15%) من الاسمنت بمسحوق الزجاج المعالج حرارياً تحت درجة 200.



الشكل (4-15-): مؤشر النشاط البوزولاني لأنواع

VIII. مناقشة النتائج:

1- مواد البناء المستعملة في تحضير الملاط و نوعيته:

أ- الرمل: من خلال النتائج المحصل عليها تبين ان الرمل تفاضلي، نظيف ونقي وفق المعايير النظامية

[(NF P94-056) ; (NFP94-064) ; (NF P18-301) ; (NF P 18-555) ; (NF P18-598)]

ب- مسحوق الزجاج: من خلال التجارب و المعالجة الحرارية التي أجريناها على الزجاج الشفاف تحصلنا على مسحوق الزجاج بلون ابيض وقطر (0.63 ملم)، وتبين لنا بأن خصائص مسحوق الزجاج تتأثر بالمعالجة الحرارية، حيث حدث تغير في نسب المركبات الكيميائية لمسحوق الزجاج بتغير درجة الحرارة.

ت- الاسمنت: الاسمنت المستعمل من النوع البورتلاندي CPJ CEMII A 32.5Mpa ،من خلال النتائج نلاحظ بان نسبة الكلنكر CaO في الاسمنت (64.36%) أكبر من نسبة الكلنكر في الزجاج (12% ,14.9%) في حالة، مسحوق الزجاج معالج بالحرارة 100)°C و200) او غير المعالج.

- ونلاحظ أيضا بأن الكثافة الظاهرية لمسحوق الزجاج (0.988 غ/سم^3) أقل من كثافة كل من الرمل (1.575غ/سم^3) والاسمنت (1.085 غ/سم^3).

ث- خلطة الملاط: أما بالنسبة للملاط فتمت دراسة سلوك عمله وفقا للمعيار (EN P196-1) ،و اعتمادا على (الجدول -3-04) والنسب الناتجة خلال المجال [20ثا -30ثا] تحصلنا على النتائج التالية:

- بالنسبة للملاط العادي (الشاهد) فكان ملاط بلاستيكي، بنسبة (E/C =0.5) خلال زمن 24.23 ثانية.
- بالنسبة للملاط المضاف إليه مسحوق الزجاج بنسبة (15%) فكان ملاط بلاستيكي، بنسبة (E/C =0.52) خلال الزمن 26.11 ثانية، حيث نلاحظ في هذه النتائج بان مسحوق الزجاج يمتص الماء .

2- كثافة العينات المحضرة:

لوحظ من خلال النتائج أن الكثافة كانت كبيرة في التركيبة (V_{100}) و تتعدى القيم المسجلة في عينات الملاط الشاهد بنسب تتراوح بين (0.51%-) و (2.28%) في عمر 4 أيام. أما بالنسبة لعمر 7 أيام كانت أكبر قيمة للكثافة في التركيبة (V_{200}) و تفوت القيم المسجلة في الملاط الشاهد بنسب تتراوح بين (2.00%-)، (0.37%-). و لوحظ في عمر 28 يوم أن أعلى قيمة سجلتها التركيبة (V_{200}) بنسب تتراوح بين (0.52%-) و (1.03%). مما يعني أن المعالجة الحرارية للزجاج لها تأثير إيجابي على كثافة الملاط في نفس العمر.

أما بالنسبة للتغير بدلالة عمر الملاط فلوحظ أن الكثافة تتناقص مع مرور العمر، هذا منطقي لأنه بمرور الوقت يتواصل تجفيف الملاط و بالتالي تتناقص الكتلة الكلية مع الحفاظ على نفس الحجم.

3- انتشار الموجات فوق الصوتية:

بالنسبة لانتشار الموجات فوق الصوتية فلوحظ أن انتشار الموجات فوق الصوتية يزداد بين عمر 4 أيام و 7 أيام لكنها تتناقص في عمر 28 يوم. وفق للمعيار (NFP18-418) الموجود في جدول (BONATTI-HMD ,2015) فإن الملاط الشاهد و الملاط الذي يحوي نسبة من مسحوق الزجاج هو من النوع الجيد، تعتبر نتائج هذه التجربة غير الهدامة من المؤشرات الاولية لنوعية الملاط، لكن تبقى التجارب الهدامة (مقاومة الانحناء، مقاومة الضغط) هي القادرة على اثبات المؤشرات المذكورة في التجارب غير الهدامة.

مقارنة بنتائج سابقة (Boulifa, Dababi, 2016)، نلاحظ أن قيمة انتشار الموجات فوق الصوتية في عينات التي تحتوي على مسحوق الزجاج بنسبة (15%) كانت تتراوح بين (3400، 3500)، مقارنة بنتائجنا نجد أن قيمة الانتشار كانت أكبر مقارنة بنتائجهم حيث كانت القيم تتراوح بين (4200، 3500) بين العمرين 4 أيام و 7 أيام أما بالمقارنة مع العمر 28 يوم فكانت نتائجهم أفضل مما توصلنا له. مما يعني أن اضافة مسحوق الزجاج المعالج حراريا له تأثير ايجابي على انتشار الموجات الفوق صوتية في العمرين 4 أيام و 7 أيام، أما مع زيادة العمر نستنتج أن سرعة انتشار الموجات فوق صوتية لا ترتبط بزيادة درجة المعالجة الحرارية.

4- مقاومة الانحناء و مقاومة الضغط:

النتائج المحصل عليها أبانت على أن تواجد مسحوق الزجاج المعالج و الغير معالج له تأثير على مقاومة الملاط هذا التأثير يختلف باختلاف درجة حرارة معالجة مسحوق الزجاج. حيث يكون هذا التأثير إيجابي يعزز مقاومة الملاط للتحارب الهدامة أو سلبي لا يعزز مقاومة الملاط.

من خلال دراسات سابقة أظهرت النتائج على أن تواجد مسحوق الزجاج بنسبة (15%) تعطي نتائج:

كانت نسب الفرق مقارنة بالملاط الشاهد في مقاومة الانحناء (3.35%)، (13.98%)، (19.43%)، للأعمار 4، 7، و 28 يوم على التوالي. بالمقارنة بالنتائج التي تحصلنا عليها مع نتيجة الدراسة السابقة (Boulifa, Dababi, 2016) نرى أن مقاومة الانحناء في عمر 4 أيام كان هناك تقارب مع قيمة العينة V0، كانت نسبة الفرق (3.12%-)، أما بالسنة للعينات V_{100}، V_{200} كان هناك تفاوت في نسبة الفرق مقارنة بالملاط الشاهد (5.52%)، (11.27%).

أما بالنسبة للعمر 7 أيام كانت نتائجنا جيدة بالمقارنة بالنتيجة لديهم (Boulifa, Dababi, 2016) في جميع تركيبات الملاط المختلفة، كذلك الامر مع العمر 28 يوم.

اما بالنسبة لمقاومة الضغط فكانت نسبة الفرق مقارنة بالملاط الشاهد: (1.62%)، (22.34%)، (20.61%)، للأعمار 4، 7، و 28 يوم على التوالي (Boulifa, Dababi, 2016) مقارنة بنتائجنا يتبين لنا أن مقاومة الضغط لعمر 4 أيام كان هنالك تباعد في النتائج المحصل عليها، و حصل نفس النتيجة مع عمر 28 يوم، أما بالنسبة لعمر 7 أيام نرى أننا تحصلنا على نتائج أفضل من نتائج دراسة (Boulifa, Dababi, 2016) في جميع التراكيب المختلفة.

في هذه الدراسة قمنا بالمقارنة بين درجتين مختلفتين من الكلسنة ومنه نستنتج أن كلسنة مسحوق الزجاج و استبداله جزئيا بالإسمنت له تأثير سلبي على مقاومة الملاط في الاعمار الطويلة.

5- التفاعل البوزولاني:

اما بالنسبة للنشاط البوزولاني (IAP) ،فإن المؤشرات المحسوبة لأنواع الملاط (AV_0, AV_{100} و AV_{200}) بعد 28 يومًا غير مستقرة بالنسبة للملاط بالزجاج المعالج والغير معالج حراريا، حيث كانت نسبة AV_0 =102.4% و AV_{100}=82.7%و AV_{200}= 98.6%. ولكن هذه القيم أكبر من 75٪ مما يعني أن النشاط البوزولاني إيجابي [ASTM C618].

خاتمة عامة

خاتمة عامة:

الاستبدال الجزئي للإسمنت بمسحوق الزجاج هي تقنية مستخدمة على نطاق واسع حول العالم (Zainab, Enas ; 2019)

إن استبدال جزء من الاسمنت بمسحوق الزجاج الناعم يعمل على تقليل تصنيع الإسمنت وبالتالي تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ، كذلك اعادة تدوير النفايات الزجاجية التي يتم حسابها بملايين الأطنان سنويًا (Anwar ;2016)

دراستنا الحالية ما هي إلا تكملة لأبحاث سابقة في جامعتنا على الملاط، و التي تهدف الى ملاحظة تأثير استبدال جزء من الاسمنت بمسحوق الزجاج على أداء الملاط او الخرسانة.

ركز عملنا هذه المرة، على تأثير المعالجة الحرارية على خصائص مسحوق الزجاج الذي تم تعويضه جزئيا في الاسمنت، و بالتالي على خصائص الملاط. لهذا تم تحضير تركيبات مختلفة من الملاط، حيث تم إعداد عينات من الملاط الذي يحتوي على مسحوق الزجاج المعالج بنسبة 15٪ تحت درجتين مختلفتين (100 ° C و 200°C) و إعداد ملاط يحتوي على مسحوق زجاج غير معالج، و ملاط شاهد للمقارنة.

أظهرت النتائج المتحصل عليها مقارنة بنتائج سابقة أن: درجة الحرارة تنشط التفاعل البوزولاني للزجاج و كلسنة الزجاج لها تأثير سلبي على مقاومة الميكانيكية للملاط في التجارب الهدامة.

بالنسبة لانتشار الموجات فوق الصوتية كانت نتائجنا جيدة في الاعمار الصغيرة (4 أيام، 7 أيام)، اما في العمر 28 يوم كانت النتائج مقبولة نوعا ما. اما بالنسبة لكثافة العينات المحضرة فكانت اكبر مقارنة بالنتائج السابقة .

المراجع

1- Abdullah Anwar ; (2016). The in fluence of waste glass powder as a pozzolanic material in concrete

2- ASTM C 311; (2017). Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use Annu. B. ASTM Stand.

3- Barret. P, Menetrier. D et Cottin. B; (1977). Study of silica-lime solution reactions, Cement and Concrete Research, vol.7, n°l, p.61-67.

4-Belferrag. A, kriker. A, et khenfer. E ; (2007). Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les matériaux de constructions en zones sahariennes. Annales de la Faculté des Sciences et des Sciences de l'Ingénieur, vol. 1, no 2, p. 6-12.

5- D'Anhalt S. (2013). Le ciment nous coûte cher en CO2..... La chaîne Energie. Web site : http://energie.lexpansion.com/habitat/le-ciment-nous-coute-cher-en-co2-_a-39-7910.html .

6- European Commission. Environmental Statistics and Accounts in Europe, Eurostat Statistical Books; (2010).

7- Idir Rachida; (2009/07). Mécanismes d'action des fines et des granulats de verre sur la réaction alcali-silice et la réaction pouzzolanique.

8- IEA Green House R & D; (2004). Emission Reduction of Greenhouse Gases from the Cement Industry. Available at: www.iegreen.org.uk.

9-Isabelle F.P ; (2014). Québec, Canada. Revalorisation du verre dans le béton projeté Étude sur le remplacement partiel du ciment par de la poudre de verre en le béton projeté par voie sèche. P34-37.

10- Jangid. J, Saoji. A.C; (2014). Experimental investigation of waste glass powder as the partial replacement of cement in concrete production. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering.

International Conference on Advances in Engineering & Technology, 55-60.

11- Kassem.I.A, H.I.Al-khatib, I.S.Fathi; (2011). "SOME PROPERTIES OF MORTAR WITH CRUSHED GLASS AS FINE AGGREGATE", Journal for Engineering Sciences.

12-kosmatka, kerkhoff, Panarese, Macleod et Mcgrath; (2004). Dosage et contrôle des mélanges de béton 7^eédition, page22.

13- Measson. M ; (1981). Etude de l'activité Pouzzolanique de matériaux naturels traités thermiquement, en vue de la réalisation de liants hydrauliques. Thèse de doctorat.

14-Mechri. H, Messalta. S; (2021). The Valuation of recycling household solid waste in light of sustainable development requirements – Setif's Ecoset case study.

15- Meyer Christian ; 2005 Concrete as a green building material.

16- Raju.S, Kumar. PR; (2014). Effect of Using Glass Powder in Concrete. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology 3(5), 421-427.

17- Saggai. S, Dahmani. S, Boulifa. M, Debbabi. A; (2019). Waste Glass Powder in mortar: technical and environmental effects.

18- Shekhawat. B, et Aggarwal. D; (2014). Utilisation of Waste Glass Powder in Concrete–A Literature Review. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, vol. 8753.

19- Topçu I. B, Canbaz. M; (2004). Properties of concrete containing waste glass. Cement and Concrete Research, 34, 267–274.

20- Vijayakumar. G, Vishaliny. H, Govindarajulu. D; (2013). Studies on Glass Powder as Partial Replacement of Cement in Concrete Production. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering 3(2), 153-157.

21-Yacine. C et Zahredine. N ;(2006). Élément es de matériaux de construction et essais. Thèse de doctorat. http://ams.uokerbala.edu.iq/wp/blog/2017/09/08/page/6/

22- Zainab. Z, Enas. A; (2009). Recycling of wast glass as partial remplacementfon fine aggrergate in concrete, waste management, pages 665-659.

23- تحسين كفاءة الطاقة في الصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة الجزء الاول الأمم المتحدة نيويورك، 2005

24- خلف حسين و علي الدليمي (2009،صفحة 346/345) ،تخطيط الخدمات المجتمعية والبنية التحتية أمس معايير تقنيات. عمان،الاردن: دار صفاء للطباعة والنشر

25-د. هدى مسعود (9 فبراير 2001)" إسلام أون لاين" – إعادة التدوير. حيث تلتقي البيئة مع الاقتصاد.

26-عبد السلام علي زين العابدين، و محمد بن عبد المرضي عرفات، (2007،صفحة 45) ،تلوث البيئة ثمن المدينة، القاهرة، مصر: الهيئة المصرية العامة للكتاب.

27- Norme Française NF P 18 -598. Equivalent de sable. Octobre 1991.

28- Norme Française NF P18-555. Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables. Décembre 1990.

29- Norme Française NF P 18-558. Détermination de la masse volumique absolue des. Décembre 1990.

30- Norme Française NF P 18-560. Analyse granulométrique par tamisage. Septembre 1990.

31- Norme Française NF P18-433. Résistance à la flexion sur éprouvettes. Octobre 2001.

32- Norme Française NF P18-455. Résistance à la compression des éprouvettes. Février 2003.