**الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية**

**وزارة التعليم العالي والبحث العلمي**

**جامعة الشهيد حمه لخضر- الوادي**

**كلية العلوم و تكنولوجيا**

**قسم الري و الهندسة المدنية**


**مذكرة**

**تـــدخل ضـــمن متطلبات نـــيل شهادة ماستر مواد الهندسة المدنية**

**تخصص: مواد الهندسة المدنية**

# تأثير التدرج الحبيبي على الخصائص الفيزيائية للخرسانة


- بن تيشة هيثم
- رحومة مسعودة
- غربي عائشة
- فريجات مريم

**تحت إشراف :**

- د.بدادي العيد


**دفعة : اكتوبر 2023**

# الإهـــــداء

**بدأنا رحلتنا بأيدي متعددة واجتزنا تحديات عديدة، وتحملنا عبء الصعاب بكل قوة. اليوم، وبفضل الله، نستطيع أن نلملم أجزاء سهر الليالي وتعب الأيام التي قطعناها في هذا العمل المتواضع.**

**نتوجه بالشكر إلى منارة العلم وسيد الخلق، رسولنا الكريم، سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم.**

**نشكر أيضًا من قدم لنا يد العون وساهم في رسم طريقنا نحو النجاح، ولم يبخل بأي شيء لدعمنا في هذا المسار. نقدم شكرنا الخالص لوالدينا الأعزاء، الذين كانوا دائمًا ينثرون حنانهم ودعمهم في حياتنا.**

**كما نعبر عن امتناننا لوالدتنا الغالية، التي خيمت محبتها على قلوبنا.**

**نشكر أيضًا أخواتنا وإخواننا، وكل من أحبناهم وأحبونا، وساهموا في إثراء حياتنا بالأمل والتحفيز. كانت رحلتنا مشتركة نمضي فيها يدًا بيد نحو النجاح.**

**نقدم شكرنا العميق لزملائنا الأعزاء.**

**وأخيرًا، نعبر عن امتناننا العميق لأساتذتنا الكرام وللأستاذ القدير د. بدادي العيد، الذين شاركونا حروفًا من ذهب وعلمونا كلمات وأفكارًا قيمة.**

**إلى جميع من ساهم في إنجاز هذا العمل المتواضع، نقدم فائق الامتنان والاعتراف.**

# الشكر و التقدير

**نثمن بجدارة وامتنان واهب العقول ومنير الدروب، الله عز وجل. كما نود أن نعبر عن شكرنا العميق والجزيل للأفراد والجهات التي كان لهم دور كبير في إتمام هذا العمل، ونود أن نذكرهم على النحو التالي:**

**نشكر جامعتنا، جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي، على دعمها وتشجيعها لنا طوال فترة البحث.**

**نود أيضًا أن نعبر عن امتناننا لكلية العلوم والتكنولوجيا وقسم الري والهندسة المدنية على دعمهم وتوجيهاتهم.**

**نقدم شكرنا الخاص لجميع الأساتذة الذين شاركوا معنا في هذا البحث، ونخص بالذكر الدكتور بدادي العيد، المشرف الفاضل على هذا البحث. كما نود أن نشكر المختبرات التي ساهمت في تنفيذ التجارب، بما في ذلك مخبر نيوزيلاب ومخبر الجيوتقني للهندسة والبناء. تعبيرنا عن امتناننا لجهودهم الجادة والمستمرة في سبيل إنجاح هذه الدراسة.**

**ولا يمكننا أن ننسى دعم أهلنا وأحبائنا الذين كانوا إلى جانبنا في كل مراحل حياتنا، وساهموا بشكل كبير في تحفيزنا وتشجيعنا.**

**ملخص :**

الخرسانة هي المادة الاكثر استعمالا في مجال البناء و تنقسم الي نوعين عادية و حديثة. الخرسانة العادية هي عبارة عن خليط من الماء و الاسمنت و الركام(رمل وحصى) . اما الخرسانة الحديثة تحوي مواد اخري تدعي المحسنات و الاضافات . يمثل الركام 75 % من حجم الخرسانة والهدف الاساسي من هذه الدراسة تحسين الخصائص الفيزيائية للخرسانة وتثمين رمل الكثبان في المناطق الجنوبية كبديل جزئي . ومن ناحية اخري يقلل استغلال هذه الثروة من استعمال رمل البناء الذي يأخذ من الوديان والبحار والتي تعتبر مادة غير متجمدة . قمنا من خلال هاته الدراسة بخلط نوعين من الرمل (رمل البناء و رمل الكثبان) مع بعضهما البعض وأجرينا تجارب حول المواد التي استعملناها بغية التعرف علي خصائصها. الرمل المستعمل في هذه الدراسة هو مزيج من رمل البناء لمنطقة جامعة والذي يتميز بمعامل نعومة مقبول في مجال البناء مع كمية من رمل الكثبان لمنطقة الوادي وقمنا في هذه الدراسة بوضع ستة تركيبات مختلفة في ما بينهما باختلاف نسبة رمل الكثبان في الخليط حيث كانت النسب كالتالي : التركيبة الاولى خالية تماما من رمل الكثبان و التركيبة الثانية خالية تماما من رمل البناء و التركيبة الثالثة خليط به نسبة المضافة من 10 % من رمل الكثبان و 15% في التركيبة الرابعة و 20 % في التركيبة الخامسة و 25 % في التركيبة السادسة. استخدمنا في هذه الدراسة 12 عينة مكعبة ذات ابعاد 10 سنتمتر والعدد اكثر 18 عينة ذات ابعاد 15 سنتمتر استخدمناها لاختبارات الديمومة . في الاخير تحصلنا علي نتائج مقبولة كلما زادت نسبة رمل الكثبان في التركيبة اعطت نتيجة جيدة وهذا راجع الي صغر حجم حبيبات رمل الكثبان وملئ الفراغات في الخرسانة وكما لحضنا التناقص في تغلغل الماء في الخرسانة في تجربة النفاذية كلما زادت نسبة رمل الكثبان وهذا راجع لنقص الفراغات في الخرسانة . اما تجربة الامتصاص فكلما زادت نسبة رمل الكثبان زادت نسبة الامتصاص وهذا راجع ما تفسره الخاصية الشعرية للامتصاص فكلما تقلصت الفراغات زادة الامتصاص . وفي الاخير نستنتج ان التركيبة بها 25 % من رمل الكثبان اعطت نتائج جيدة في تجربة النفاذية ومنه تحسين الخصائص الفيزيائية للخرسانة كما اعطت التركيبة الاولي الخالية من رمل الكثبان نسبة امتصاص حسنة لاحتوائها علي فراغات

**الكلمات مفتاحيه :** خرسانة , رمل , النفاذية , الامتصاصية .

## Résumé :

Le béton est le matériau le plus largement utilisé dans le domaine de la construction, et il se divise en deux types : le béton ordinaire et le béton moderne. Le béton ordinaire est un mélange d'eau, de ciment et d'agrégats (sable et gravier). Quant au béton moderne, il contient d'autres substances appelées adjuvants et additifs. Les agrégats représentent 75% du volume du béton, et l'objectif principal de cette étude est d'améliorer les propriétés physiques du béton et de valoriser le sable des dunes dans les régions du sud en tant qu'alternative partielle. D'autre part, cela permet de réduire l'exploitation de cette ressource par rapport à l'utilisation de sable de construction prélevé dans les rivières et les mers, qui est considéré comme une ressource non renouvelable. Dans le cadre de cette étude, nous avons mélangé deux types de sable (sable de construction et sable des dunes) et mené des expériences sur les matériaux que nous avons utilisés afin de mieux comprendre leurs propriétés. Le sable utilisé dans cette étude est un mélange de sable de construction de la région universitaire, caractérisé par un indice de finesse acceptable dans la construction, avec une quantité de sable des dunes de la vallée. Dans cette étude, six compositions différentes ont été préparées en variant la proportion de sable des dunes dans le mélange, avec les proportions suivantes : la première composition était entièrement dépourvue de sable des dunes, la deuxième était totalement exempte de sable de construction, la troisième avait une proportion de 10% de sable des dunes, la quatrième en avait 15%, la cinquième en avait 20%, et la sixième en avait 25%. Pour cette étude, nous avons utilisé 12 échantillons cubiques de 10 cm de côté et plus de 18 échantillons de 15 cm de côté pour les tests de durabilité. En fin de compte , les résultats de l'étude montrent que l'incorporation d'une proportion plus élevée de sable des dunes dans le béton a eu des effets positifs. La petite taille des grains de sable des dunes a permis de remplir efficacement les vides dans le béton, réduisant ainsi la pénétration de l'eau et améliorant la perméabilité du matériau. Cependant, cela a également entraîné une augmentation de l'absorption d'eau en raison des caractéristiques capillaires du sable des dunes. En fin de compte, la composition contenant 25% de sable des dunes s'est avérée bénéfique pour la perméabilité du béton, tandis que la composition sans sable des dunes a montré une absorption raisonnable en raison de la présence de vides.

**Mots-clés :** béton, sable, perméabilité, absorption.

## Summary :

Concrete is the most widely used material in the construction industry and is divided into two types: ordinary concrete and modern concrete. Ordinary concrete is a mixture of water, cement, and aggregates (sand and gravel). Modern concrete, on the other hand, contains other substances called admixtures and additives. Aggregates represent 75% of the volume of concrete, and the main objective of this study is to improve the physical properties of concrete and to valorize dune sand in southern regions as a partial alternative. On the other hand, this reduces the exploitation of this resource compared to the use of construction sand taken from rivers and seas, which is considered a non-renewable resource.

In this study, we mixed two types of sand (construction sand and dune sand) and conducted experiments on the materials we used to better understand their properties. The sand used in this study is a blend of construction sand from the university region, characterized by an acceptable fineness modulus in construction, with a quantity of dune sand from the valley. In this study, six different compositions were prepared by varying the proportion of dune sand in the mix, with the following proportions: the first composition was entirely devoid of dune sand, the second was completely devoid of construction sand, the third had a 10% proportion of dune sand, the fourth had 15%, the fifth had 20%, and the sixth had 25%.

For this study, we used 12 cubic samples measuring 10 cm on each side and more than 18 samples measuring 15 cm on each side for durability tests. In the end, we obtained acceptable results, where a higher proportion of dune sand in the composition yielded good results. This is due to the small size of dune sand grains and the filling of voids in the concrete. We also observed a decrease in water penetration into the concrete in the permeability test as the proportion of dune sand increased, due to the reduction in voids in the concrete. As for the absorption test, a higher proportion of dune sand resulted in increased absorption, which can be explained by the capillary properties of absorption. The smaller the voids, the higher the absorption.

In conclusion, the composition containing 25% dune sand yielded good results in the permeability test, allowing for the improvement of the physical properties of concrete, while the first composition devoid of dune sand showed reasonable absorption due to the presence of voids.

**Keywords:** concrete, sand, permeability, absorption.

**الفهرس :**


1 الفصل الأول..... **Error! Bookmark not defined.**
1.1 عموميات حول الخرسانة:.....4
1.1.1 نبذة عن تاريخها: .....4
1.1.2 تعريف الخرسانة : .....4
1.1.3 مكونات الخرسانة : [8][9][10].....5
1.1.4 الماء : .....7
1.1.5 التسليح حديد :.....7
1.1.6 الإضافات [14][9][10].....7
1.1.7 مراحل صناعة الخرسانة : .....9
1.1.8 مرحلة الخلط: .....10
1.1.9 مرحلة الصب:.....11
1.1.10 مرحلة المعالجة [9] [10] :.....11
1.1.11 المراحل إلي تمر بها الخرسانة من لحظة الخلط حتى التصلب [19][10][9]: 12
1.1.12 أنواع الخرسانة: .....12
1.1.13 ايجابيات الخرسانة: .....13
1.1.14 سلبيات الخرسانة :.....13
1.2 الخصائص الأساسية للخرسانة العادية:.....13
1.2.1 مدخل: .....13
1.2.2 قابلية التشغيل:.....13
1.2.3 المقاومة: .....14
1.2.4 تعريف المرونة : .....19
1.2.5 النفاذية:.....20
1.2.6 الانكماش: [ 31, 21,22,24,30].....22
1.2.7 الديمومة :.....23
1.2.8 الخاتمة : .....28
2 الفصل الثاني ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.1 مدخل : .....25
2.2 تعريف : .....26
2.3 الأنواع المختلفة للركام : .....26
2.3.1 الركام الطبيعي:.....26

2.3.2 الركام الترسبي: ..... 26
2.3.3 ركام المحاجر:..... 26
2.3.4 الركام الاصطناعي:..... 26
2.3.5 المواد الركامية المعاد تدويرها: ..... 27
2.4 الخصائص الفيزيائية للركام: ..... 30
2.5 خصائص التصنيع:..... 30
2.5.1 مواصفات الركام للخرسانة: ..... 30
2.5.2 تحليل الحجم الحبيبي:..... 30
2.5.3 الخصائص الهندسية للركام:..... 31
2.5.4 الخصائص الداخلية:..... 32
2.5.5 الخصائص الفيزيائية:..... 32
2.5.6 الخصائص الكيميائية:..... 35
2.5.7 الخصائص الريولوجية: ..... 36
2.5.8 الخصائص الفيزيائية..... 36
2.6 الخصائص الميكانيكية :..... 40
2.6.1 الخصائص الميكانيكية :..... 45
2.7 الخاتمة : ..... 48
3 الفصل الثالث ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.1 خصائص المواد المستعملة :..... 64
3.1.1 الرمل:..... 64
3.1.2 معامل النعومة :..... 69
3.1.3 المكافئ الرملي :..... 69
3.2 الحصى:..... 70
3.2.1 التحليل الحبيبي..... 70
3.2.2 نظافة الركام..... 72
3.2.3 معامل الامتصاص: ..... 72
3.2.4 الاسمنت :..... 73
3.3 الماء: ..... 73
3.3.1 التركيبة الكيميائية للماء المستخدم: ..... 73
3.4 تركيبة الخرسانة: ..... 73
3.4.1 طريقة فوري:..... 73
3.5 تحديد نسب المواد : ..... 75
3.6 الخاتمة..... 79
4 المحور الرابع : تحليل ومناقشة النتائج الفصل الرابع..... 65

4.1 اختبارات على الخرسانة الطازجة:.....65
4.1.1 اختبار الهبوط: .....65
4.1.2 الأدوات المستخدمة: .....65
4.1.3 تحضير عينات الخرسانة الطازجة: .....65
4.1.4 خطوات الاختبار:.....65
4.2 تجربة النفاذية: .....68
4.2.1 الادوات المستعملة: .....68
4.2.2 أسلوب العمل .....68
4.2.3 نتائج تجربة النفاذية: .....68
4.3 تجربة الامتصاص :.....69
4.3.1 الادوات المستعملة.....70
4.3.2 نتائج تجربة االمتصاص:.....70

**قائمة الجداول :**


الجدول 1 . I تصنيف الاسمنت حسب مقاومة الانضغاط [14] .....6

الجدول2 . I تصنيف الاسمنت حسب مكوناته.....7

جدول I . 3 تقييم حاله الخرسانة بواسطة هبوط مخروط أبرامز [24].....14

جدول I . 4 طبيعة ونسب مواد المكونات.....20

جدول I . 5 اهم انواع الانكماش [23].....23

جدول I . 6 آليات تدهور.....23

الجدول II . 1 الحدود المسموح بها للشوائب في الركام المعاد تدويره [81] .....34

الجدول III . 1 يوضح الكتلة الحجمية الظاهرية و المطلقة.....64

الجدول III . 2 يوضح التحليل الحبيبي لرمل البناء.....65

الجدول III . 3 يوضح معامل النعومة للرمل في جميع الحالات.....69

الجدول III . 4 يوضح مكافئ الرملي للرمل في جميع الحالات .....70

الجدول III . 5 يوضح التحليل الحبيبي للحصى (15/8) .....71

الجدول III . 6 يوضح قيم الكتلة الحجمية الظاهرية و الكتلة الحجمية المطلقة.....72

الجدول III . 7 يوضح التركيبات B10 Bo و B15 .....78

الجدول III . 8 يوضح التركيبة $B_{20}$ و $B_{25}$.....79

الجدول IV . 1 يوضح نتائج النفاذية.....68

**قائمة الأشكال :**


الشكل I . 1 العلاقة بين نسبة (E/C) ومقاومة الخرسانة.....10

الشكل I . 2 فئات الخرسانة بواسطة مخروط أبرامز .....14

الشكل I . 3 يوضح أنواع الأحمال المطبقة على العنصر.....15

الشكل I . 4 يوضح كيفية تطبيق قوة الضغط على العنصر. .....15

الشكل I . 5 Iيوضح عالقة الإجهاد والانفعال .....16

الشكل II . 1 يظهر امتصاص الماء للخرسانة.....39

الرسم البياني III. 1 يوضح التحليل الحبيبي لرمل البناء .....66

الرسم البياني III. 2 يوضح التحليل الحبيبي رمل البناء و10 %من الكثبان الرملية .....67

الرسم البياني III. 3 يوضح التحليل الحبيبي رمل البناء و15 %من الكثبان الرملية .....68

الرسم البياني III. 4 يوضح التحليل الحبيبي رمل البناء و 20%من الكثبان الرملية .....68

الرسم البياني III. 5 يوضح التحليل الحبيبي رمل البناء و 25%من الكثبان الرملية .....69

الرسم البياني III. 6 يوضح التحليل الحبيبي للحصى (8/3) .....71

الرسم البياني III. 7 يوضح التحليل الحبيبي للحصى (15/8) .....72

الرسم البياني III. 8 يوضح منحنى الحبيبي المستعمل في طريقة فوري .....74

الرسم البياني III. 9 يوضح التحليل الحبيبي للمواد (رمل البناء 100%) .....75

الرسم البياني III. 10 يوضح التحليل الحبيبي للمواد (رمل الكثبان 100%) .....76

الرسم البياني III. 11 يوضح التحليل الحبيبي للمواد (رمل) بناء و 10% رمل الكثبان) .....76

الرسم البياني III. 12 يوضح التحليل الحبيبي للمواد (رمل) بناء و 15% رمل الكثبان) .....77

الرسم البياني III. 13 يوضح التحليل الحبيبي للمواد (رمل) بناء و 20% رمل الكثبان) .....77

الرسم البياني III. 14 يوضح التحليل الحبيبي للمواد (رمل) بناء و 25% رمل الكثبان) .....78

69 ..... 1 يوضح نتائج النفاذيةIVالرسم البياني

71 ..... 2 يوضح نتائج االمتصاص بعمر 28 يومIVالرسم البياني

**قائمة الصور :**


الصورة I . 1 توضح طريقة وضع العينة داخل جهاز الشد المباشر. .....17

الصورة I . 2 الصورة توضح طريقة وضع العينة داخل جهاز الشد الغير مباشر. .....17

الصورة I . 3 توضح وضع العينة داخل جهاز الشد بالانحناء بتعريض العينة لقوى واحدة مركزية. .....18

الصورة I . 4 توضح وضع العينة داخل جهاز الشد بالانحناء وبتعريض العينة لقوتين مركزيتين.19

الصورة I . 5 جهاز عملية الانكماش.....23

الصورة II . 1 مخطط تركيب مصنع لإنتاج الركام المعاد تدويره .....28

الصورة II . 2 قاعدة الامتثال بقيمتين محددتين [37] .....30

الصورة II . 3 شكل الركام .....31

الصورة II . 4 العلاقة بين امتصاص الماء وكثافة الركام المُعاد تدويره .....33

الصورة II . 5 العلاقة بين نفاذية الخرسانة ومقاومة الضغط ومستوى المسامية مترابطة ارتباطًا وثيقًا مع الهيكل الدقيق للمادة. .....38

الصورة II . 6 9 العلاقة بين مقاومة الشد بالتصدع ومقاومة الضغط.....42

الصورة II . 7 تأثير نسبة الركام إلى الأسمنت على مقاومة الخرسانة .....43

الصورة II . 8 العلاقة بين نسبة الماء إلى الأسمنت.....44

الصورة III. 1 توضح الغربيل المستخدمة في تحليل الحبيبي.....65

الصورة III. 2 توضح اسمنت نوع "متين".....73

الصورة IV. 1 توضح خطوات اختبار مخروط ابرامس .....66

الصورة IV. 2 توضح تجربة الامتصاص.....70

# مقدمة عامة

# مقدمة عامة

أهمية المباني لا تقل عن أهمية الماء، لذا كان من الضروري تطوير المواد اللازمة للبناء باستناد أكبر إلى المواد الأكثر انتشارًا. ومن بين العناصر الشائعة المستخدمة في البناء منذ وقت طويل نجد "الخرسانة"، وهي خليط مركب يتم تكوينه باستخدام نسب محددة ومدروسة من الركام والماء ومادة رابطة تربط حبيبات الركام مع بعضها. تتميز الخرسانة بقابلية التشكيل والمقاومة للحرارة، وتمنح العناصر الإنشائية شكلًا جماليًا. الركام يعتبر العنصر الأساسي في الخرسانة ويتكون أساسًا من الحصى والرمل، وهما عناصر غير متجددة في الطبيعة. لذلك، يواجه معظم أنحاء العالم تحديات في جلب هاتين المادتين. يتم استخدام الرمل في البناء أساسًا من الأودية وشواطئ البحار، ويتوجب أن يتوافر فيه الشروط المنصوص عليها في علم البناء، ولكن إمداداته في تناقص مستمر.

**الهدف :**

تهدف هذه الدراسة إلى تحسين الخصائص الفيزيائية للخرسانة واستفادة من رمل الكثبان المتاح بكثرة في المناطق الجنوبية. تم في هذا البحث تطبيق ستة تركيبات مختلفة للخليط الخرساني بناءً على نسب مختلفة من رمل الكثبان، وهذه النسب هي كالتالي:

- **التركيبة الأولى:** تم استخدام خليط خرساني خالٍ تمامًا من رمل الكثبان دون إضافة رمل البناء.
- **التركيبة الثانية:** تم استخدام خليط خرساني خالٍ تمامًا من رمل البناء دون إضافة رمل الكثبان.
- **التركيبة الثالثة**: تم استخدام خليط خرساني متجانس يحتوي على 10% من رمل الكثبان مع رمل البناء.
- **التركيبة الرابعة:** تم استخدام خليط خرساني يحتوي على 15% من رمل الكثبان مع رمل البناء.
- **التركيبة الخامسة:** تم استخدام خليط خرساني يحتوي على 20% من رمل الكثبان مع رمل البناء.
- **التركيبة السادسة:** تم استخدام خليط خرساني يحتوي على 25% من رمل الكثبان مع رمل البناء.

هذه التركيبات تمثل محاولة لتحسين خواص الخرسانة من خلال استفادة من رمل الكثبان المتاح بنسب مختلفة. سيتم تحليل هذه التركيبات واختبار أدائها لتحديد النتائج والتأكد من تحسين الخصائص الفيزيائية للخرسانة.

# مقدمة عامة

## خطة البحث :

يتنقسم هذا البحث إلى جزئين رئيسيين: الجزء الأول الذي يُعرف بـ "البحث الببليوجرافي" والجزء الثاني الذي يُعرف بـ "الدراسة التجريبية". يُنقسم الجزء الأول إلى محورين أساسيين. الأول يتعلق بعرض عموميات وخصائص أساسية للخرسانة العادية، مثل قابلية التشغيل والمقاومة. أما المحور الثاني، فيتعامل مع دراسة خصائص الركام وتأثيرها على الخواص العامة للخرسانة.

أما بالنسبة للجزء الثاني "الدراسة التجريبية"، فيتنقسم إلى محورين رئيسيين أيضًا. المحور الثالث يتناول تفاصيل تركيبة الخرسانة وخصائص المواد المستخدمة فيها. أما المحور الرابع، فيتعامل مع تحليل ومناقشة النتائج التي تم الوصول إليها خلال الدراسة التجريبية.

بهذه الطريقة، يتيح هذا التقسيم الهيكلي للبحث فهمًا منهجيًا ومنظمًا للمحتوى والمراحل التي تمر بها الدراسة.

1 الفصل الأول :

# عموميات و الخصائص الأساسية للخرسانة العادية

## 1.1 عموميات حول الخرسانة:

### 1.1.1 نبذة عن تاريخها:

عرف عن طريق الأبحاث أن أول من استعمل الخرسانة كمادة أساسية في البناء هم الرومان, كما وجد الكثير من الباحثين أن أول استعمال فعلي للمادة الرابطة ) الإسمنت ) كان في إيطاليا في القرن الثاني قبل الميلاد, حين عثر على نوع خاص من الرمل البركاني ( البوزولان) بالقرب من خليج نابولي في إيطاليا . [1][2]

أستعمل هذا الرمل كمادة أولية في صناعة الإسمنت و كذلك كمادة لدمج الصخور معا لتتشكل بعدها خرسانة عن طريق التفاعل الكيميائي لرمل البوزولان مع الجير و الماء لتتصلب و تنتج كتلة شبيهة بالصخر, وقد استعمل الرومان هذا الخليط لبناء الجسور و الأحواض المائية وقنوات الصرف الصحي و المباني. [1][2]

في الواقع لا يمكن الفصل بين مسمى الخرسانة الرومانية آنذاك وبين ما يمكن تسميته أول) خلطة خراسانية في العالم ) و الركام المتلاصق, وتشبه الخرسانة الرومانية خرسانة الاسمنت البورتلاندي الحديثة, إذ أنها لم تكن مادة لدنة سهلة القولبة .[1][2]

كما يجسد معبد البانثيون و قبته الصامدان لحد الآن العمارة الرومانية بأبهى صورها, ويعد نموذج للخرسانة الرومانية و كان قد انتهى انشاؤه سنة 217 بعد الميلاد . [1][2][3]

و في القرن التاسع عشر من ميلاد و بالتحديد عام 1820م حصل أول استعمال حديث للخرسانة على يد جوزيف آسبن أين تحصل على براءة اختراع إسمنت محسن سماه ( الإسمنت البورتلاندي ( نسبة إلى الحجر الطبيعي المصدر في جزيرة بورتلاند, والى يومنا هذا لا يزال الإسمنت البورتلاندي هو الأكثر شيوعا و استخداما في صناعة الخرسانة الحديثة .[2][4][1]

### 1.1.2 تعريف الخرسانة :

الخرسانة هي مصطلح عربي يطلق على الحجر الصناعي الناتج عن عملية التفاعل الكيميائي بين مجموعة من بعض المواد الطبيعية, أو مزيج بين مواد طبيعية و أخرى اصطناعية, أو كلاهما معا, تسمى [5]:

باللغة الإنجليزية .....concrete و باللغة الألمانية .... beton .

الخرسانة هي عبارة عن مركب غير متجانس يتكون من الإسمنت والركام و الماء, و الإضافات في بعض الأحيان [7][5][6]

كما أنها مادة اقتصادية سهلة الصب في القوالب, مقاومة للحريق و قوى الضغط, وهاته الخصائص ضمنت لها حصة كبيرة في مجال الإنشاءات لحد الآن, لكن مقاومتها الضعيفة لقوى الشد والتي تسمح بسهولة انكسارها و قابلية حدوث التشققات هو ما دفع لاختراع الخرسانة المسلحة سنة 1784م, و ذلك من خلال تسليحها بقضبان فولاذية لرفع مقاومة الشد لديها والحد من التشققات و انتشارها . [6]

## 1.1.3 مكونات الخرسانة : [8][9][10]

### 1.1.3.1 الركام الصغير (الرمل) :

يجب أن يتوفر على تدرج حبيبي مناسب, خال من المواد الناعمة الطينية أو العضوية أو الأملاح ( لأنها تؤثر سلبا على قوة الخرسانة )

### 1.1.3.2 الركام الكبير ( الحصى) :

تنطبق عليه نفس مواصفات الرمل في شروط التدرج الحبيبي و كذالك المواد المؤثرة سلبا .

هو مادة يمكن الحصول عليها مباشرة من الطبيعة أو من الأفضل عن طريق تكسير الصخور بواسطة الكسارات للحصول على التدرج المطلوب .

و يقصد بالتدرج الحبيبي أن يكون حجم الحبيبات غير متساوي بتدرج متقارب مسموح يضمن تداخل جيد بينهما و بين باقي مكونات الخرسانة مما يعطي قوة أكبر للخرسانة .

### 1.1.3.3 الإسمنت:

الإسمنت عبارة عن مادة رابطة هيدروليكية تأتي على شكل مساحيق معدنية دقيقة يتم الحصول عليها عن طريق الحرق في درجة حرارة عالية (حوالي 1450 درجة مئوية) وطحن خليط معدني (80% حجر جيري + 20%

طين بشكل عام).[11]

يشكل هذا اللاصق الممزوج بالماء عجينة تتماسك وتتصلب بتفاعلات عملية الإماهة بعد التصلب، تحافظ هذه [12] العجينة على قوتها وثباتها، حتى تحت الماء. وهو مكون أساسي للخرسانة. 6

#### 1.1.3.3.1 تصنيف الإسمنت :

يصنف الإسمنت حسب مقاومته ومكوناته

#### 1.1.3.3.2 تصنيف الإسمنت حسب مقاومته :

ينقسم الإسمنت إلى ثلاث فئات 32.5 - 42.5 - 52.5 ، محددة بالحد الأدنى لقيمة المقاومة الطبيعية

للإسمنت عند 28 يومًا.

المقاومة الطبيعية للإسمنت هي المقاومة الميكانيكية للضغط التي تم قياسها عند 28 يومًا وفقًا للمعيار [ NF

[1-196 **[13]** ويتم التعبير عنها بـ1N / mm2 =1MPa = 10 daN/cm2 = 10 bar / mm2).

**الجدول 1 . ا تصنيف الاسمنت حسب مقاومة الانضغاط [14]**

| Désignation de la classe de résistance | Résistance à la compression (en MPa) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Résistance à court terme à 2 jours | à 7 jours | Résistance courante à 28 jours | |
| 32,5 N | – | ≥ 16 | ≥ 32,5 | ≤ 52,5 |
| 32,5 R | ≥ 10 | – | | |
| 42,5 N | ≥ 10 | – | ≥ 42,5 | ≤ 62,5 |
| 42,5 R | ≥ 20 | – | | |
| 52,5 N | ≥ 20 | – | ≥ 52,5 | – |
| 52,5 R | ≥ 30 | – | | |

الفئة R تعطي مقاومة في عمر مبكرة مرتفعة عن الفئة العادية .

### 1.1.3.3.3 تصنيف الإسمنت حسب مكوناته :

**الجدول2 . ا تصنيف الاسمنت حسب مكوناته**

| | Cim. Port-land | Ciment Portland composé | | Ciment de haut fourneau | | | Ciment pozzolanique | | Ciment au laitier et aux cendres | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CPA-CEM I | CPJ-CEM II/A | CPJ-CEM II/B | CHF-CEM III/A | CHF-CEM III/B | CLK-CEM III/C | CPZ-CEM IV/A | CPZ-CEM IV/B | CLC-CEM V/A | CLC-CEM V/B |
| Clinker (K) | /95% | /80% ≤94% | /65% ≤79% | /35% ≤64% | /20% ≤34% | /5% ≤19% | /65% ≤90% | /45% ≤64% | /40% ≤64% | /20% ≤39% |
| Laitier (S) | * | 6%≤ total ≤20% (fumée de silice ≤10%) | 21%≤ total ≤35% (fumée de silice ≤10%) | /36% ≤65% | /66% ≤80% | /81% ≤95% | * | * | /18% ≤30% | /31% ≤50% |
| Pouzzolanes (Z) | * | | | * | * | * | 10% ≤ total ≤35% (fumée ≤10%) | 36% ≤ total ≤55% (fumée ≤10%) | 18%≤ total ≤30% | 31%≤ total ≤50% |
| Cendre siliceuses (V) | * | | | * | * | * | | | | |
| Fumée de silice (D) | * | | | * | * | * | | | * | * |
| Cendres calciques (W) | * | | | * | * | * | * | * | * | * |
| Schistes (T) | * | | | * | * | * | * | * | * | * |
| Calcaires (L) | * | | | * | * | * | * | * | * | * |
| Fillers (F) | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |

### 1.1.4 الماء :

الهدف ألساسي من استعماله هو الحصول على الرابط الناتج عن تفاعله مع مادة إلسمنت دون إحداث أي ضرر كونه

يحتوي على الكبريتات أو ألمالح , وتجنبا ألي طارئ سلبي لهذا الغرض و كذلك في عملية الرش بعد التصلب يتوجب

استعمال المياه الصالحة للشرب.

### 1.1.5 التسليح حديد :

يستخدم حديد التسليح في الخرسانة المسلحة فقط و ال يستخدم في الخرسانة العادية .

وينقسم حديد التسليح إلى :

- حديد لين عادي .
- حديد عالي المقاومة .

ويتوفر الحديد بأقطار ( من 6 إلى 32mm )الستخدامه في ألجزاء المختلفة من المنشآت .

- كذلك قد يكون الحديد ذو سطح أملس أو ذو نتوءات لولبية وألخير أفضل من حيث تماسكه مع الخرسانة .

### 1.1.6 الإضافات [14][9][10]

هي مواد كيميائية تضاف للخرسانة سواء أثناء الخلط أو تعالج بها بعد تصلبها بغرض اكتساب الخرسانة خصائص أخرى

جديدة بما يتوافق مع المردود المرجو منها .

1-3-6-1 /الشروط الواجب مراعاتها عند استخدام اإلضافات:

- أن ال تتجاوز نسبة استخدام اإلضافات في الخلطة بنسب محدودة من قبل المصنع حتى ال تؤثر على مقاومة الخرسانة .

- أن يكون هناك تناسب بين تكلفة استخدام اإلضافات و الفائدة التي تعود منها .

- أن ال تقل مقاومة الخرسانة و تماسكها مع حديد التسليح نسبة 85٪من القيم االساسية لها في حالة عدم استخدام اإلضافات. **[15]**

### 1.1.6.1 أنواع الإضافات :

أنواع الإضافات كثيرة جدا , نذكر منها :

### 1/ إضافات تعجيل زمن التصلب:

هي مواد تستخدم للحصول على مقاومة مبكرة عالية للخرسانة.

- **استخداماتها :** - توفير الوقت الالزم لتنفيذ المنشآت . - إزالة القالب مبكرا.

**2- /إضافات إبطاء زمن التصلب:**

هي مواد تستخدم بفرض تأخير الشك االبتدائي أو النهائي لألسمنت.

- **استخداماتها :** - صب الخرسانة في االجواء الحارة حيث يكون شك االسمنت سريعا بسبب حرارة الجو التي تسرع من تفاعله مع الماء . – الحاجة إلى عمل تشكيالت إضافية لسطح الخرسانة ممايتطلب بقاء الخرسانة لدنة مدة أطول.

### 3/إضافات تحسين القابلية للتشغيل: [16]

هي مواد تستخدم بغرض تحسين قابيلة التشغيل الخرسانة دون إضافة الماء الن إضافته بزيادة تقلل من المقاومة.

- **استخداماتها :** - عند وجود تسليح كثيف –عند استخدام المضخات في رفع الخرسانة

**4 /إضافات الهواء المحبوس:**

هي مواد تستخدم بغرض إحداث فراغات دقيقة داخل الخرسانة وذلك للحصول على خرسانة خفيفة

- **استخداماتها :** -تستخدم عند الحاجة لخرسانة خفيفة الوزن في عمل تشكيالت زخرفيه أو في جدران المنشات –ال تستخدم في االجزاء االساسية من الهياكل اإلنشائية للمباني )ألن الفراغات داخل الخرسانة تقلل من مقاومتها.)

### 5 /إضافات تقليل النفاذية:

هي مواد تستخدم بغرض تقليل نفاذية الخرسانة للماء وبالتالي تمنع حدوث مشكلة صدأ حديد التسليح في االجزاء الي تتعرض للرطوبة. وهي إما مواد تضاف للخرسانة أثناء الخلط أو مواد تعالج بها االسطح النهائية للخرسانة فتسد فراغاتها وتكسبها صفة عدم النفاذية للرطوبة.

❖ **استخدامتها** أ- في الجسور إلي تنفذ فوق مياه البحار واألنهار. ب- في المنشآت الخراسانية المعر3ضة لنسبة عالية من الرطوبة (القريبة من شواطئ البحار). ج- في خرسانات الخزانات

## 1.1.7 مراحل صناعة الخرسانة :

لنتحصل على ما نسميها الخرسانة بـ يجب علينا المرور بمراحل عديدة [9][10][17] .

### 1.1.7.1 مرحلة تصميم الخلطة الخراسانية :

❖ **تعريفها :** ونعني بها المرحلة التي نحدد فيها نسب مواد الخلط المشكلة للخرسانة المطلوبة ومنه تحديد كميات المواد.

- نسب الخلط الشائعة الاستخدام للخرسانة العادية هي ( 0.8 m من الحصى + 0.4 m رمل + gK250 إسمنت + كمية ماء تتراوح بين 160 و 180 لتر ) .

وهذه الخلطة تعطي مقاومة للخرسانة لا تقل عن 250 gK 2 /mc بعد 28 يوم

#### 1.1.7.1.1 العوامل التي تؤثر على مقاومة الخرسانة في مرحلة التصميم [9][10] :

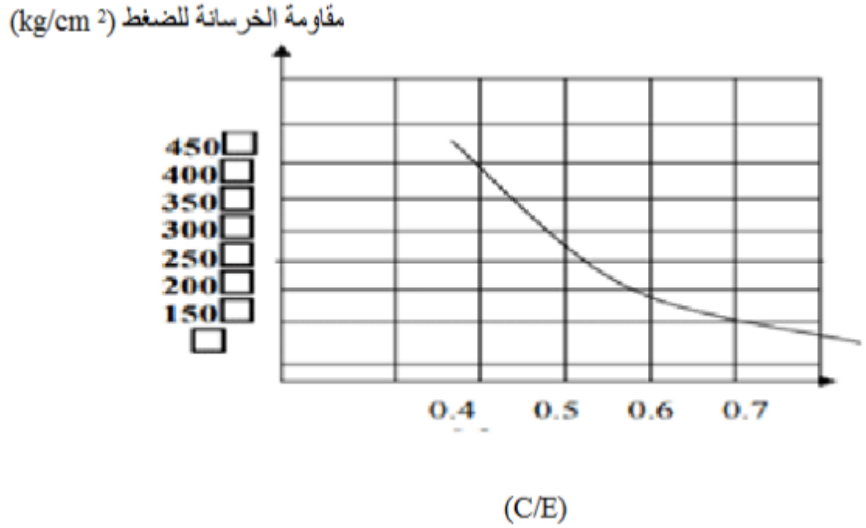
❖ **نسبة الماء إلى الإسمنت (E/C) :**

الماء الذي نستخدمه في الخلطة الخراسانية ينقسم على حسب دوره أو فعاليته إلى قسمين :

2- الماء الفاعل في عملية التفاعل الكيميائي مع الإسمنت و هي النسبة المثالية للحصول على أعلى قيمة للمقاومة في الخرسانة, بحيث إذا استعملنا نسبة أقل لن نتحصل على اللدنة المطلوبة لربط .

2- الماء الفاعل في سهولة تشغيل الخرسانة و هذه النسبة كلما قلت كلما كان أفضل لأنها في النهاية تتبخر مخلفة بذلك فراغات تقلل من قوة الخرسانة .

- وعليه فالمقصود بالنسبة (E/C) هي كمية الماء اللازمة و الكافية لكمية من الاسمنت لحدوث التفاعل الكيميائي بشكل مثالي . – وعموما كلما قلت هذه النسبة حصلنا على خرسانة قليلة الفراغات عالية المقاومة ) بشرط ان لا يؤثر تقليل هذه النسبة على قابلية الخرسانة للتشغيل ) . (انظر الشكل التالي )




**الشكل I . 1 العلاقة بين نسبة (E/C) ومقاومة الخرسانة**

❖ **نسبة الأسمنت إلى الركام**

كلما زادت نسبة الاسمنت إلى الركام زادت قوة الخرسانة. ويستخدم عادة:

- 7 أكياس إسمنت لكل (1) (m) من الركام الخليط للخرسانة المسلحة.
- 5 أكياس إسمنت لكل 1 ( (m) من الركام الخليط للخرسانة العادية.

❖ **نسبة ( الاسمنت إلى الرمل) في الخلطة الخراسانية :**

كلما زادت هذه النسبة تزيد قابلية الخرسانة للتشغيل. 4-2-1-4-1/ نسبة الركام الكبير إلى الركام الصغير)

عادة نستخدم نسبة - الركام الكبير / الركام (الصغير) = (1 / 2) بالحجم.

ومن المهم جداً مراعاة التدرج الحبيبي من الركام الصغير و الكبير وذلك لتقليل الفراغات داخل الخرسانة وبالتالي

الحصول على خرسانة قوية.

### 1.1.8 مرحلة الخلط :

❖ **تعريفها :**

هي المرحلة التي يتم فيها مزج مكونات الخرسانة بالنسب المحددة وتكوين خليط متجانس.

حيث تقوم عجينة الاسمنت بتغليف حبيبات الركام الصغير والكبير ثم يقوم الركام الصغير والعجينة الإسمنتية بملء الفراغات بين حبيبات الركام الكبير.

أثبتت الدراسات والتجارب أن إطالة زمن الخلط ) إلى حد ما له تأثير ممتاز في تحسين مقاومتها حيث أنه يساعد في الحصول على خرسانة متجانسة ويزيد من قابليتها للتشغيل ويقلل من الدمك اللازم في مرحلة الصب وينتج خرسانة كثيفة تمنع تسرب الماء.

#### 1.1.8.1 الشروط الواجب مراعاتها أثناء عملية الخلط :

- ✓ استخدام نسب الخلط المحددة في المخططات.
- ✓ استخدام الخلط الميكانيكي
- ✓ يجب ألا يقل زمن الخلط عن دقيقة واحدة لضمان خلط مكونات الخرسانة جيداً.

### 1.1.9 مرحلة الصب:

❖ **تعريفها :**

يقصد بمرحلة الصب هي المرحلة التي يتم فيها وضع الخلطة الخراسانية في القوالب المعدة لذلك.

✓ ويتم ذلك إما يدوياً بواسطة العمال أو ميكانيكيا بوسطه مضخات الخرسانة

#### 1.1.9.1 الشروط الواجب مراعاتها أثناء عملية الصب:

- بجب رش القوالب بالماء قبل الصب حتى لا تتشرب جزءا من ماء الخلطة الخراسانية فيتأثر تفاعل الإسمنت وتضعف الخرسانة.
- يجب أن يتم الصب في أقصر وقت ممكن بعد خلط الخرسانة لأن إطالة زمن نقل الخرسانة يؤدي إلى تبخر جزء من ماء الخلط وذلك يؤثر على إتمام تفاعل الاسمنت وبالتالي يقلل من مقاومة الخرسانة.
- بجب عدم صب الخرسانة من ارتفاع أكبر من 1 متر حتى لا يحدث انفصال حبيبي لها أي تنفصل الحبيبات الكبيرة من الركام عن الخلطة الخراسانية وتهبط إلى أسفل بينما تصعد العجينة الإسمنتية إلى أعلى) .
- بجب دمك الخرسانة أثناء الصب ميكانيكياً بالهزازات وذلك لطرد الهواء من داخل الخرسانة وبالتالي الحصول على خرسانة قليلة الفراغات وقليلة النفاذية وأكثر تحملا للعوامل الجوية وعالية المقاومة، كذلك فإن عملية الدمك تساعد على تماسك الخرسانة . مع حديد التسليح والدمك الجيد أيضا يمكننا من استخدام نسبة (E/C) قليلة وذلك كما هو معلوم يعطى خرسانة أقوى[18] .
- في حالة الصب باستخدام المضخات يجب عدم زيادة ماء الخلط بغرض الحصول على خرسانة طرية تسهل حركتها داخل مواسير المضخة لأن زيادة الماء يضر بقوة الخرسانة. يمكن الحصول على خرسانة طرية بتزويدها بإضافات أثناء خلطها تعطيها اللدونة المطلوبة دون التأثير على قوتها. كذلك يجب العناية بنظافة المضخات بعد كل عملية صب وذلك لسهولة العمل في المرات المقبلة.
- عند الصب على خراسانات قديمة لابد من أن يكون سطح الخرسانة القديمة نظيفاً وخشناً ويرطب بالماء قبل صب الخرسانة الجديدة عليه. ويمكن الاستعانة بمواد كيميائية مثل المواد الإيبوكسية للمساعدة في ربط الخرسانة الجديدة بالقديمة. -7- يجب اختيار أماكن وقف الصب بعناية حتى لا تتأثر الأجزاء الخراسانية للمنشآت ولكي نضمن سلامتها يجب ألا نقف مثلا في منتصف البلاطات الخراسانية للأسقف أو منتصف الكمرات.

### 1.1.10 مرحلة المعالجة [9] [10] :

❖ **تعريفها:**

يقصد بمرحلة المعالجة هي المرحلة إلي يتم فيها رش الخرسانة المتصلبة بالماء على فترات لمدة محددة حسب المواصفات الفنية للأجزاء الخراسانية المختلفة من المنشأ.

وهذه المرحلة لها أهمية كبيرة ويجب الاهتمام بها لأن الماء ضروري لتمام تفاعل الاسمنت حتى بعد تصلب

الخرسانة

عادة تتم معالجة الخرسانة برشها بالماء صباحاً قبل الشروق ومساء بعد الغروب لمدة 7 أيام في الأجواء الحارة تغطى الخرسانة بالخيش المبلل بالماء للمحافظة عليها رطبة.

في مصانع المباني الجاهزة تتم معالجة الخرسانة ببخار الماء حيث يساعد على سرعة تفاعل الاسمنت وبالتالي الحصول على مقاومة عالية مبكرة للخرسانة.

### 1.1.11 المراحل إلي تمر بها الخرسانة من لحظة الخلط حتى التصلب [19][10][9]:

#### 1.1.11.1 مرحلة الخرسانة الطازجة:
هي مرحلة الخرسانة أثناء خلطها وصبها ( أي قبل زمن التصلب ).

#### 1.1.11.2 مرحلة الخرسانة الخضراء:
هي مرحلة الخرسانة التي شكت ولم تتصلب بعد ) أي لا يصلح إعادة خلطها مرة أخرى ولا تتحمل فك القالب ).

#### 1.1.11.3 مرحلة الخرسانة المتصلبة:
هي المرحلة التي تكون الخرسانة فيها قد اكتسبت قوة تتيح فك القوالب وتبقى الخرسانة متماسكة وتتحمل الأحمال إلي

تؤثر عليها.

### 1.1.12 أنواع الخرسانة:
تعددت أنواع الخرسانة كثيرا في وقتنا الحاضر نتيجة مكوناتها نذكر منها على سبيل المثال[20] :

#### 1.1.12.1 خرسانة عادية :
قد تسمى خرسانة نظافة ولا تستعمل في صب منشآت عليها أحمال وتصب عادة لملء الفراغات ولتثبيت التربة تحت

أو حول منشآت مسلحه بالحديد.

#### 1.1.12.2 خرسانة مسلحة :
هي خرسانة تسمى مسلحه لأنها تصب مع قضبان حديدية لها إشكال خاصة يحددها مهندسون متخصصون بالتصميم لجعل الجسم المصبوب من هذه الخرسانة مع الحديد أكثر قوة وقدرة على تحمل أوزان كثيرة مثل الجسور ، الأسقف :

المباني العالية...).

#### 1.1.12.3 خرسانة بيضاء :
مكونة من خليط الاسمنت الابيض مع كمية من الرمل و الحصى.

#### 1.1.12.4 خرسانة كسر طوب :
مكونة من خليط كسر الطوب مع كمية من الرمل و الإسمنت.

كما يوجد أنواع أخرى من الخراسانات المسلحة التي لها صفات و استخدامات خاصة مثل[20]:

- الخرسانة المسلحة المصبوبة تحت الماء.
- الخرسانة المسلحة المقاومة للحريق.
- الخرسانة المسلحة المقاومة للإشعاعات الذرية.
- الخرسانة المسلحة للسدود.
- الخرسانة المسلحة ضد القنابل.
- الخرسانة المسلحة المقاومة للزلازل.
- الخرسانة المسلحة الملونة.

الطرق المختلفة لتجهيز منتجات الخرسانة المسلحة يكسبها أسماء أخرى مثل[20] :

☒ **الخرسانة المصبوبة في الموقع :** (لا) يتم تحريك الجسم المصبوب بعد الصب
☒ **الخرسانة مسبقة الصب:** (تصب الأجسام في موقع ويتم تركيبها في موقع آخر)

☒ **الخرسانة سابقة الإجهاد :** (تصب ويتم شدها بأسلاك قويه جدا لتكون قادرة على حمل أحمال كبيرة مثل الجسور الطويلة جدا)

### 1.1.13 ايجابيات الخرسانة:

للخرسانة ايجابيات كثيرة نذكر منها [6]

- مقاومة للضغط.
- مقاومة للحرائق.
- مقاومة للصدمات.
- اقتصادية مقارنة ببعض المواد.

### 1.1.14 سلبيات الخرسانة :

للخرسانة سلبيات كثيرة نذكر منها [6]

- ضعف مقاومة الشد.
- ضعف مقاومة الانحناء.
- ضعف مقاومة القص.
- لديها ثقل كبير
- تشوه البيئة خلال البناء والهدم.
- تطلب كميات هائلة من المواد.
- صعوبة التعديل بعد الصب.
- انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة أثناء انتاج الاسمنت.

## 1.2 الخصائص الأساسية للخرسانة العادية:

### 1.2.1 مدخل:

الخرسانة عبارة عن مواد مركبة مكونة من الاسمنت والماء و الركام الرمل والحصى ) و ربما يمكن إدخال إضافات هي

أو محسنات التي تهدف إلى تحسين بعض خصائص الخرسانة.

تعتمد جودتها على مكوناتها التي لها تأثير على سلوكها (قابلية التشغيل ( و أدائها في حالتها الصلبة و متانتها و النفاذية والانكماش ...الخ

خصائص الخرسانة العادية منها قابلية التشغيل و قوى الشد و الضغط و الانحناء و المرونة و الديمومة و النفاذية, و لتسليط الضوء على تأثير المكونات بشكل خاص على خصائص الخرسانة عند استخدام مزيج الرمل مع رمل الكثبان.

### 1.2.2 قابلية التشغيل:

هي الخاصية التي تعتمد على سهولة خلط و نقل و صب الخرسانة بدون حدوث أي انفصال حبيبي وهي خاصية أساسية في الخرسانة, تساهم في سهولة تنفيذ الخرسانة من أجل :

- ملأ مثالي للقالب
- التماسك مع الفولاذ
- الحصول على وجه تقريبي ذو مظهر جيد

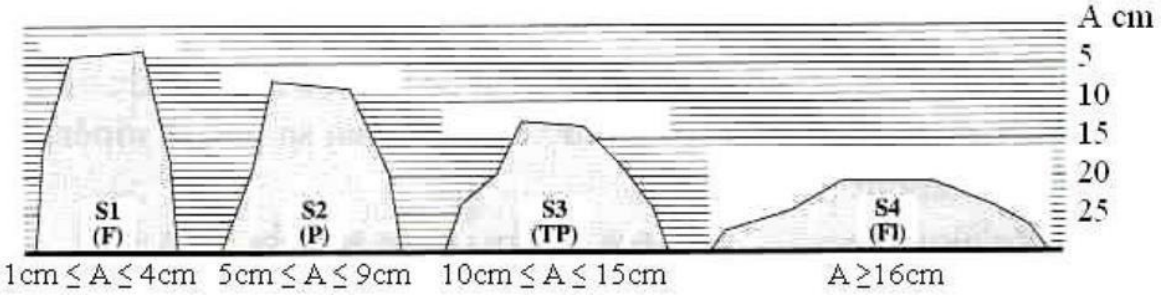
قدرة الخرسانة الطازجة على التوزيع بشكل جيد في القوالب و حول التعزيز و على بقائها متجانسة [22]

تتطلب خرسانة الرمل كميات كبيرة من المياه مقارنة بالخرسانة العادية وهذا يترجم بالنسبة / بحيث تتباين من 0.6 إلى 0.7 بينما هذه النسبة في الحالة العادية تقارب 0.5 و هذه الخاصية تعود إلى نعومة الخليط الكبيرة [23 ] تتأثر قابلية التشغيل للخرسانة بحجم الحبيبات و شكلها و بكمية الاسمنت و الماء [25 ]

يمكن تقدير قابلية التشغيل بعديد من الاختبارات الأكثر شيوعا و هي طاولة الهز و مخروط أبرامز و اختبار vébéالتي تسمح بقياس بعض خصائص الخرسانة قبل الاستعمال و يمكن تقييم التشغيلية بشكل عام من خلال تجربة مخروط أبرامز كدلالة للهبوط المعروف وفقا للفئات التي يشير إليها الجدول حسب المعيارين NvE206 و EFP 18305 [24]

**جدول I . 3 تقييم حاله الخرسانة بواسطة هبوط مخروط أبرامز [24]**

| الفئة | حالة الخرسانة | ملاحظة | قيمة هبوط الخرسانة في المخروط Cm |
|---|---|---|---|
| **S1** | جافة | F | 4 الى 1 |
| **S2** | لدنة | P | 5 الى 9 |
| **S3** | لدنة جدا | TP | 10 الى 15 |
| **S4** | سائلة | FL | 16 |




**الشكل I . 2 فئات الخرسانة بواسطة مخروط أبرامز**

تعتمد قابلية التشغيلية العديد من العوامل أبرزها [22و24 ]

- حجم الحبيبات
- كمية العناصر الدقيقة
- استعمال الحصى من النوع المحدب
- كمية الاسمنت
- استخدام الملدنات
- كمية المياه

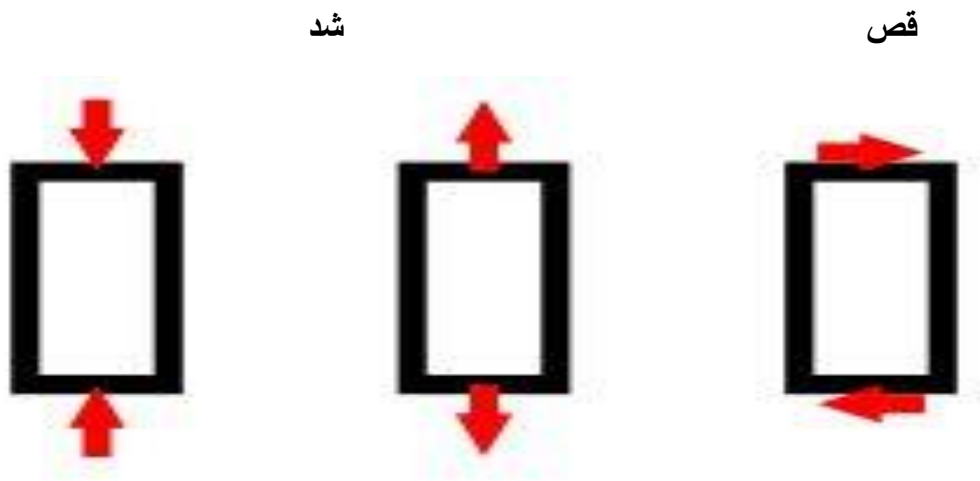
قابلية التشغيل هي خاصية ذات أهمية لا تقل عن المقاومة كما يمكن تعديلها في الموقع قبل استعمال الخرسانة في حالة وجود نقص في التشغيلية .

## 1.2.3 المقاومة:

### ❖ تعريف:

هي قدرة المادة على تحمل الأحمال المطبقة عليها دون حدوث انهيار ميكانيكي أو تشوه لدن, حيث تعمل القوى و الأحمال المطبقة على المادة التي تولد قوى داخلية تسمى بالاجهادات عندما يعبر عنها بالنسبة لوحدة مساحة المادة كما تؤدي الى تشوهات عديدة تتسبب في كسر المادة. [22]

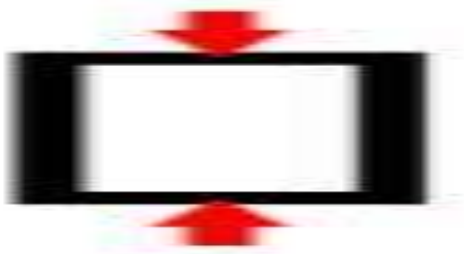
كما يمكن ان تكون الأحمال المطبقة محورية (شد أو ضغط أو دوارنية (قص)) لذلك يجب تحديدها لمعرفة مدى مقاومة العنصر للأحمال.[26]




**الشكل I . 3 يوضح أنواع الأحمال المطبقة على العنصر.**

### 1.2.3.1 مقاومة الضغط:

هي قيمة إجهاد الضغط المحوري الذي تصل إليه المادة عند الانهيار التام. حيث يمكن تصنيع خرسانة لها مقاومة عالية للانضغاط, فالعديد منها تزيد (Mpa50 ) بينما لا تزيد في بعض المواد مثل الحجر الرملي عن . [27](Mpa5-10)



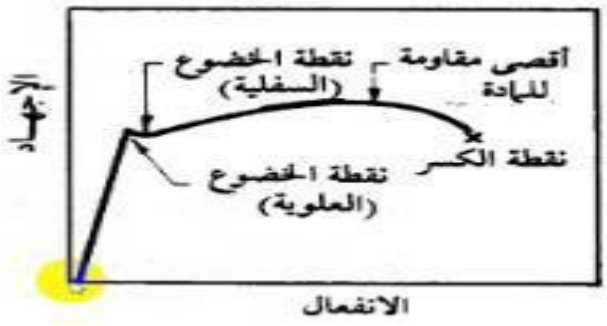
**الشكل I . 4 يوضح كيفية تطيق قوة الضغط على العنصر.**

المرحلة المرنة: تتميز بمنطقة خطية تخضع فيها العينة الى

"هوك قانون"$\sigma=E*\varepsilon$

E :معامل يونغ لالنضغاط.

حيث تنتهي هذه المرحلة في نقطة الخضوع. الشكل -المرحلة اللدنة: تتميز هذه المرحلة بأن المادة لن تعود إلى طولها االصلي بعد زوال الحمل أو القوى[27] .




**الشكل I . 5 يوضح عالقة الإجهاد والانفعال**

### 1.2.3.2 مقاومة الشد:

تتحمل الخرسانة العادية المتصلبة مقاومة الضغط بدرجة كبيرة ولذلك يجرى تصميم الخرسانة باعتبارها تقاوم إجهادات الضغط أساسا أما بالنسبة لمقاومتها لقوى الشد (سواء المباشر أو غير المباشر) فإنها تعتبر ضعيفة المقاومة للشد إذا ما قورنت بمقاومتها للضغط حيث تتراوح قيمتها مابين 7 إلى 14% من مقاومة الضغط اي بنسبة متوسطة قدرها 10% وتختلف هذه النسبة تبعًا لعمر الخرسانة وكذلك تعتمد هذه الأخيرة على رتبة الخرسانة ومع ذلك إهتم الباحثون بمقاومتها الشد في الخرسانة.[26]

هنالك عدة دراسات أجريت بخصوص مقاومة الخرسانة لشد. مثلا:

- لو أخذنا عينة من الخرسانة وحولنا كسرها عن طريق الشد فيها لا نستطيع التأثير بحمل كافي.[28]
- لكن لو علقنا فيها الأحمال بشكل عمودي ستنهار بحمل أقل بكثير من الحمل المطلوب ب لكي تنهار به حالة الضغط (ستنهار بحوالي 10 من الحمل المطلوب لحالة الضغط).[28]

**السبب**

عند تحميل الخرسانة إجهادات شد, تحدث شروخ دقيقة جدا بداخلها هذه الأخيرة تؤدي إلى تفتح وتمدد الشروخ هذا ما يقلل من مساحة الخرسانة التي تتحمل الإجهاد وهذا ما يسبب في زيادة الإجهاد وتنهار العينة عة على العكس ما يحدث في حالة الضغط حيث أن هذه الشروخ تنضغط وتتمدد ببطء ما يكون تأثيرها أقل. بسر لذلك يجب علينا دعم الخرسانة بحديد التسليح لزيادة مقاومتها في الشد[28].

#### 1.2.3.2.1 اختبار الشد المباشر:

يتم تحضير العينة على حسب الأشكال المحددة لهذا الاختبار, وبعد إجراء عملية الخلط والصب والدمك للعينات يتم مسك العينة عند نهايتها والتأثير بحمل شد تدريجي وببطء وبعد ذلك نقوم بحساب مقاومتها له.

**الصورة ا . 1 توضح طريقة وضع العينة داخل جهاز الشد المباشر.**

$$FT = Pmax/A$$

يتم حساب مقاومة الشد ب:

Ft : مقاومة الشد (N/mm2).

Pmax: قوة الشد القصوى (N).

A : المساحة المقطع (mm ) .

لكن هنالك احتمال عدم مركزية حمل الشد في هذا الاختبار لدى يتم اللجوء لاختبار الشد الغير مباشر.

**1.2.3.2.2 اختبار الشد الغير المباشر (الطريقة البرازيلية):**

يتم هذا الاختبار بتعريض عينة اسطوانية الشكل إلى قوة حمل أفقية جانبية ( على السطح الجانبي لها كما تشترط العينة أبعاد معينة (2632].(mc :L,0:16mc[

**الصورة ا . 2 الصورة توضح طريقة وضع العينة داخل جهاز الشد الغير مباشر.**

تحسب مقاومة الشد الغير المباشر ب:Ft=2P/n*D*L

Ft مقاومة الشد الغير مباشر (N/mm2).

P: الحمل الأقصى (N).

L:طول الأسطوانة (mm)

D: القطر الاسطوانة (26].(mm[

ملاحظة: اختبار الشد الغير المباشر ب

- سهولة الإجراء.
- وجود اجهادات شد بقيمة ثابت و منتظمة على حوالي 60% من طول مستوى الانهيار وعموما مقاومة الشد للخرسانة مساوية ل 58% من قيمة مقاومة الشد البرازيلي.[26]

### 1.2.3.3 مقاومة الانحناء:

وهي مقاومة الشد بسبب الانحناء كما تتراوح مقاومة الانحناء بين (12الى 20%) من مقاومة الضغط وتزيد عن مقاومة الشد بنسبة (60 إلى 100 ويتم حساب مقاومة الانحناء عمليا في المخبر بتكسير روافد بسيطة في شكل منشورات (d*d*4d) على مساند محملة بقوة مركزة واحدة أو قوتين مركزتين يبتعدان مسافة 4. [26]

### 1.2.3.3.1 اختبار الشد عن طريق الانحناء:

هو الاختبار الأكثر شيوعا.[22] يختص هذا الاختبار بتعين مقاومة الخرسانة المتصلبة للانحناء ودراسة سلوك الكمرات (العينات), الخرسانة عند تعريضها إلى أحمال انحناء وبيان شكل الكسر الناتج عن انهيار هذه الكمرات نتيجة التحميل كما هو موضح في الصورة [26]

يتم حساب مقاومة الانحناء ب: **Fb=Mmax*Y/I**

Fb مقاومة الانحناء ( Pa ).

Mmax: هو أكثر عزم تتعرض له العينة المختبرة والمقابل لحمل الكسر (Pmax).

Y: بعد النقطة الطرفية للمقطع المستعرض عن محور التعادل.

I: عزم الذاتي للمقطع المستعرض حول محور التعادل. [26]

**الصورة I . 3 توضح وضع العينة داخل جهاز الشد بالانحناء بتعريض العينة لقوى واحدة مركزية.**

**الصورة I . 4 توضح وضع العينة داخل جهاز الشد بالانحناء وبتعريض العينة لقوتين مركزيتين.**

**ملاحظة:**

- ✓ يفضل إجراء هذا الاختبار في حالة وضع قوتين ذلك لتأكد من ضمان وجود عزم وعدم وجود قوى قص.

### 1.2.3.4 مقاومة القص:

تكون مقاومة الخرسانة للقص في حدود 10 الى 12% من مقاومة الضغط وهي أكبر من مقاومة الشد بحوالي (20) الى 30) ونظرا لضعف الخرسانة لإجهادات القص يوضع حديد تسليح عرضي لتحمل تلك الاجهادات والتي تزيد قرب

المساند [6]

نستخلص مما سبقا أن للمقاومة دور مهام في تحديد وتميز الخصائص الميكانكية للخرسانة حيث تعتمد المقاومة على:

- ➢ جرعة الاسمنت
- ➢ مسامية الخرسانة
- ➢ نسبة ( E/C).

نن30

## 1.2.4 تعريف المرونة :

هي خاصية مميزة للخرسانة لتقييم ضغوطاتها و تشوهاتها, الخرسانة مثلها مثل تتناسب مع الأحمال المطبقة [ 22 ]

جميع المواد الأخرى أي أن تشوهاتها

- يزيد معامل المرونة مع الزيادة في الكثافة, ولا يزيد معامل المرونة بنفس معدل القوة [35]
- معامل مرونة هو ميل منحنى التشوه مع الإجهاد و يعبر عنه بالعلاقة التالية [21 ]

حيث أن $E = \sigma cj / \varepsilon$

E : معامل المرونة

oc : إجهاد الضغط المطبق MPa

ε: التشوه النسبي $\Delta l / l$

oci ε

درجة الحرارة تأثر على معامل المرونة بحيث كلما ارتفعت و ينخفض معامل المرونة وجود علاقة عكسية " و ينتج عن ارتفاع درجة الحرارة عملية الزحف على مدى قصير مما يؤدي إلى تقليل معامل مرونة [32]

التشوه النسبي يرتبط بمعامل مرونة الخرسانة و بمقاومتها في الحالة التالية: [25]

معامل التشوه الطولي الفوري Ery = 110003fcj

معامل التشوه المؤجل Evj = 37003fc

$f$cj = 1.1fc28

$EVj \approx 1\ 3\ Eij$

هذا القانون في الكثير من الأحيان هو معامل المرونة الحقيقي للخرسانة [25]

### 1.2.5 النفاذية:

النفاذية . هي الخاصية التي بواسطتها يمكن تسرب اي سائل (ماء أو أحماض أو هواء داخل الخرسانة. حيث يؤدي هذا التسرب إلى تقليل من عمر الخرسانة وتدهورها وعدم أدائها الجيد لوظفتها خصوصا في المنشآت المائية، كما تتناسب عكسيا مع كثافة الخرسانة، يتم قياسها عن طريق تجربة النفاذية( حساب معامل النفاذية ). [6]

تلعب النفاذية دوراً أساسياً في التأثير على ديمومة الخرسانة وذلك لأن دخول العناصر العدوانية مثل الكلورايدات, الكبريتات, ثاني أكسيد الكربون, الأكسجين وبخار الماء في الخرسانة يعتمد على نفاذية الخرسانة. وتتأثر نفاذية الخرسانة بعدد كبير من العوامل مثل مقاس الركام ونسبته و نوع وكمية الأسمنت و نسبة الماء للأسمنت و المواد الإضافية المستخدمة و طرق التحضير والصب . ولذلك فإن معرفة تأثير هذه العوامل كل على حده و على نفاذية الخرسانة المتصلبة يؤدي إلى إنتاج خلطات خراسانية ذات ديمومة عالية وعمر افتراضي طويل للمنشآت الخراسانية. [29]

#### 1.2.5.1 العوامل التي تؤثر على نفاذية الخرسانة:

وتنقسم إلى ثلاث مجموعات رئيسية هي:

##### 1.2.5.1.1 طبيعة ونسب مواد المكونات:

**جدول I . 4 طبيعة ونسب مواد المكونات**

| الركام الخشن (الحصى) : | الركام الناعم (الرمل) | الماء | الاسمنت | الإضافات |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| تتأثر نفاذية الخرسانة أيضا بشكل حبيبات الركام نوعية الركام . | إن النقص في الركام الناعم يمكن أن يؤثر سلباً على الفراغات في الخرسانة, أما العامل الآخر الذي يؤثر على نفاذية الخرسانة هو نسبة الركام الناعم إلى محتوى الركام الكلي حيث يمكن أن يؤدي استخدام الرمل الناعم إلى صعوبة في قابلية تشغيل الخرسانة، وخاصة إذا زادت نسبة الرمل في محتوى الركام الكلي | ان نقاء الماء يؤثر بصورة كبيرة على نفاذية الخرسانة وديمومتها | بما أن عجينة االسمنت تغلف حبيبات الركام في الخرسانة المدموكة جيدا , فان نفاذية العجينة هي صاحبة التأثير ألألكبر على نفاذية الخرسانة ولذلك، فإن كمية االسمنت ونسبة الماء لالسمنت هما العاملان ألألكثر أهمية اللذان يؤثران على نفاذية الخرسانة | أن استخدام هذه إلضافات يساعد في إنتاج خلطة قابلة للتشغيل حتى عند استخدام نسبة ماء لالسمنت قليلة، مما يقلل كثيرا من نفاذية الخرسانة |

**1.2.5.1.2طرق التحضير :**

تتأثر نفاذية الخرسانة بالعديد من المراحل الهامة والمؤثرة في عملية التصنيع. تشمل هذه المراحل الخلط، والنقل، والصب، والدمك، وإنضاج الخرسانة. من المهم أن يتم الخلط بشكل جيد والدمك بشكل كافٍ لضمان مزج متجانس وجيد بين الركام والعجينة الإسمنتية، وملء الفراغات بينهما. يعد هذا الجوانب الأساسية التي يجب توفرها للحصول على نفاذية منخفضة للخرسانة.

ويثبت أن معدل تغلغل الأكسجين في الميلاط ذو النوعية الواحدة (نفس نسبة الماء للإسمنت) أقل من معدل التغلغل في الخرسانة، وهذا يعني أن الميلاط المستخدم ذو الجودة الأقل سيكون له نفاذية أقل من الخرسانة ذات الجودة الأعلى. وبالتالي، فإن جودة الخلط والدمك تلعب دورًا حاسمًا في تحسين نفاذية الخرسانة وجعلها أكثر متانة وقوة. [29]

**1.2.5.1.3 العوامل المرتبطة بالمعالجة اللاحقة:**

تتضمن عوامل هذه المجموعة عدة جوانب مثل عمر الخرسانة وطرق التصلُّب وظروف الاختبار لتحديد النفاذية المطلوبة. يؤثر التصلُّب والعُمر بشكل كبير على نفاذية الخرسانة. ولهذا السبب، يُحتاج إلى عملية الانضاج لأن تمام التصلُّب يحدث فقط في المسامات الممتلئة بالماء، ويتعين تفادي فقدان الماء عن طريق التبخر من تلك المسامات.

ومن المعروف أن طريقة الانضاج تؤثر بشكل كبير على الخرسانة، وخاصةً عندما يكون نسبة الماء للإسمنت منخفضة؛ حيث يمكن حدوث التجفيف الذاتي بسرعة، مما يتسبب في ظهور التشققات المجهرية. ولذلك، يُنصح بتنظيم عملية الانضاج بدقة ومراقبة مستوى الماء بعناية لضمان تحقيق نفاذية منخفضة ومتانة عالية للخرسانة. [29]

تُعد التشققات الحرارية والانكماش الناتج عن التجفيف ظاهرة شائعة تؤدي إلى تلف الخرسانة في هذه المنطقة. ويُعرف أن صدأ حديد التسليح وذوبان الأملاح يتسارعان مع زيادة درجة الحرارة، والتي

يمكن أن ترتفع إلى 70-80 درجة مئوية على سطح الخرسانة نتيجة امتصاص أشعة الشمس في أيام الصيف الحارة.

تتسبب التغيرات في درجات الحرارة في دورات من التمدد والانكماش والتميه، مما يؤدي إلى تكوُّن تشققات مجهرية وتدهور المنطقة البينية بين الحصى والعجينة الإسمنتية نتيجة عدم توافق الحرارة لمكونات الخرسانة. وتجمع هذه التأثيرات السلبية معًا، مما ينتج عنه زيادة في نفاذية الخرسانة وتقليل استدامتها.

لضمان الجودة والاستدامة في الخرسانة، يتعين التركيز على تحسين عمليات التحكم في درجات الحرارة أثناء الصب والتصليح الحراري المناسب للحد من هذه التأثيرات السلبية. كما ينبغي مراعاة استخدام مواد مضافة وتقنيات تعزز من قوة ومتانة الخرسانة، وبذلك يمكن تحقيق خرسانة ذات نفاذية منخفضة وأداء أكثر استدامة على المدى الطويل. [29]

نستنتج أن منتجي ومستخدمي الخرسانة والمهندسين الممارسين معرفة العوامل المؤثرة على نفاذية الخرسانة. ونظراً لأن نفاذية الخرسانة تعتمد على العوامل مثل: (مواد الخرسانة, طرق الخلط طرق الصب والإنضاج)، لذا يجب الاهتمام بكل هذه العوامل عند تصميم الخلطات الخراسانية لإنتاج خرسانة كثيفة وغير نفاذة. كما يجب أن يعتمد تصميم الخراسانية على تناسب الركام الثنائي الركام الخشن (والرمل, كما يجب خلط الخرسانة وصبها ودمكها وإنضاجها جيدا. كذلك يجب تشجيع استخدام الإضافات الكيميائية

كما نعلم أن تأثير النفاذية على الخرسانة له تأثير سلبي غالبًا يظهر كما يالي:

- في حالة تسرب الماء والهواء إلى عمق العنصر الخراساني فإنه ينتج عنه تضخم وصدأ و تأكل لحديد التسليح. في الأجواء الباردة يتجمد الماء داخل الفراغات مسببًا تمددًا يؤدي إلى توليد اجهادات تؤثر على متانة الهيكل الخراساني.
- في حالة تسرب الماء يحمل معه بعض الأملاح إلى داخل الجسم الخراساني فانه يتفاعل كيميائيًا متحولاً بذالك إلى بلورات تسبب في توليد اجهادات داخلية تضعف عمل الخرسانة.
- في حالة الأجواء الحارة خروج الماء من الخرسانة قد يحمل معه بعض من الأملاح أو المركبات المكونة للخرسانة يصحبه عن هذا الأخير زيادة في الفراغات على مستوى الداخلي لها.

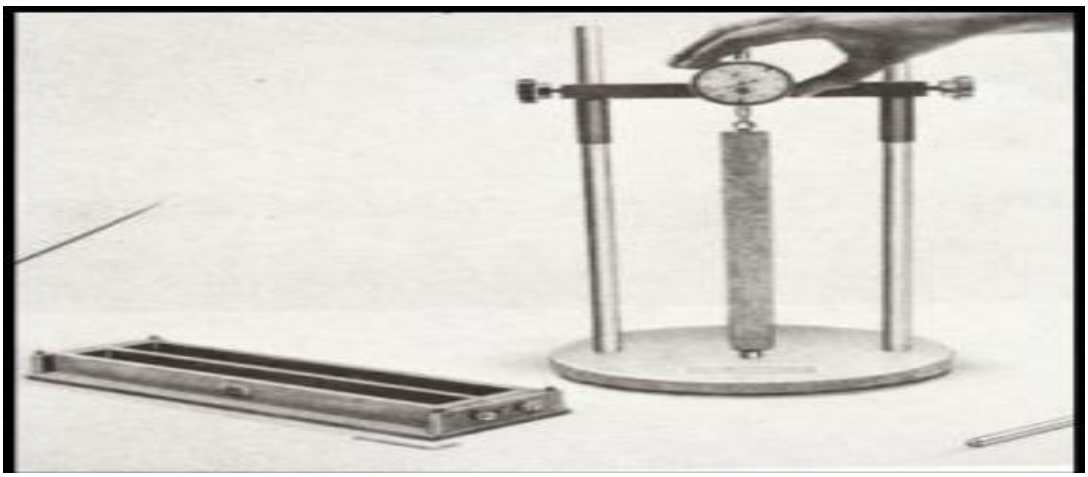
### 1.2.6 الانكماش: [ 31, 21,22,24,30]

❖ **تعريف الانكماش :**

هو تغيرات الحجم أو الأبعاد الأولية للخرسانة أو الميلاط بسبب كمية الماء الداخلة في التركيبة و ترتبط التشوهات برطوبة المحيط وسط التخزين هذا ما يسمى بالانكماش و كما أظهرت الدراسات التجريبية, أن انكماش خرسانة الرمل يضعف الخرسانة التقليدية

☒ في المناطق الرطبة جدا $\Delta l / l = 1.5 \times 10-4$الى $2 \times 10-4$
☒ في المناطق الجافة جدا (الصحراوية ) $A = 5 \times 10-4$

وفق القواعد BPEL91 من الممكن حسب الحالة. , و تقييم الانكماش الإجمالي النهائي في الهواء $\varepsilon_r$



**الصورة I . 5 جهاز عملية الانكماش**

**جدول I . 5 اهم انواع الانكماش [23]**

| النوع | الاسباب | الملاحظات | كيفية المعالجة |
|---|---|---|---|
| الانكماش اللدن ( قبل التصلب ) | تبخر كمية من الماء الداخل في الخرسانة | تشققات متتابعة لان الخرسانة منجذبة داخل الكتلة | نستعمل محسن لمنع التبخر الاولي للماء |
| انكماش حراري (بعد التصلب ) | نتيجة رجوع الخرسانة الى الحرارة العادية للمحيط و فقدها للحرارة التفاعل | نلاحظ نقص صغير في طول | يجب تفادي التراكيز الاضافية للاسمنت |
| انكماش جاف ( بعد التصلب ) | ناجم عن نفقص الحجم الذي يسببه خروج الماء بالخاصية الشعرية و تصلب العجينة | يزداد الانكماش بازدياد النعومة و تركيز الاسمنت | يجب المحافظة على الدمك في الخرسانة |

## 1.3 الديمومة :

❖ **تعريف الديمومة :**

- ✓ هي تميز الخرسانة بالقدرة أو المقاومة وذلك بمرور الوقت دون التحلل [ 25 ]
- ✓ وكونها قادرة على الحفاظ على المقاومة ومواصلة في أداء وضيفتها فترة أطول و يجب إن تقاوم آليات التدهور مثل دورات التجمد و ذوبان الجليد و الهجوم الكيميائي مثل هجوم الأحماض و الكبريتات[33]
- ✓ ضعف الديمومة يمكن أن يكون من العوامل الخارجية أو الظواهر الداخلية في الخرسانة [33]
- ✓ تعتمد ديمومة الخرسانة على عدة عوامل (الكيميائية - الفيزيائية - الميكانيكية ( التي توثر على عمرها أبرزها العوامل الكيميائية و التآكل تأثر هذه العوامل على جودتها وجودة كل مكون من مكونتها [ 22 ]

### 1.3.1.1 آليات التدهور :

**جدول I . 6 آليات تدهور**

| تآكل التعزيزات : [25] | دورات التجمد و ذوبان | مقاومة العوامل العدوانية : |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| يتسبب تآكل التعزيزات بشكل عام في حدوث الانتفاخ مما يؤدي إلى حدوث توترات داخلية في الخرسانة و بالتالي تغيرات في المظهر الخارجي للهيكل . | ✓ ينتج عن دورات التجمد و الذوبان تلف الخرسانة التدرجي و تعتمد على تغيرات في الدرجة الحرارة و عدد دوراتها و مدته يؤدي التجمد /الذوبان إلى زيادة الضغوط الهيدروليكية في المسامات الشعرية مما يسبب في تشققات العجينة الأسمنتية[25 ]<br>✓ تعتمد مقاومة التجمد / الذوبان للخرسانة على نوعية الهواء المحصور و محتوى الماء و الرطوبة<br>✓ تحسين متانة الخرسانة من خلال وجود الهواء المحبوس ومنها خرسانة الهواء المحبوس توفر مقاومة أفضل للجامد و العوامل الكيميائية [24] | غالبا ما يأتي من خلال هجومات الكيمائية و الأحماض و الأملاح الموجودة في الماء التي تتلامس مع الخرسانة مما يؤدي إلى إذابة بعض مكونات الاسمنت وتكوين مركبات جديدة التي تسبب في تآكل الخرسانة و الانتفاخ ... الخ. [24] |

## 1.3.2 الامتصاص :

الامتصاص في الخرسانة هو القدرة على استيعاب الماء داخل المسام والفجوات في هيكلها الشعري. ينتج الامتصاص عن الخصائص الشعرية للخرسانة، وهو يؤدي إلى انتفاخها وتفتتها عند تعرضها للتجمد والذوبان عندما تكون مشبعة بالماء. هذا الجانب الشعري في هيكل الخرسانة يكشف عن أهمية الشبكة الشعرية في تحديد متانة الخرسانة.

لتقدير معامل الامتصاص، يتم أخذ عينات من الخرسانة بأبعاد مكعب 10 سم على الجانب، وتكون عمر العينات لا يقل عن 28 يومًا. يتم تغليف خمسة من وجوه العينة بمادة شمعية لمنع تفاعلها مع الهواء. ثم يتم وزن العينات ووضعها في حاوية تحتوي على ماء حتى يتم غمر العينات بعمق 1 سم من الماء. يتم أخذ عينات من الماء بشكل منتظم على فترات زمنية محددة (15 دقيقة، 30 دقيقة، 45 دقيقة، إلخ)، وتزن هذه العينات أيضًا.

الهدف من هذا التجربة هو حساب نسبة الماء الممتصة من الجانب الخرساني للعينة. يمكن استخراج معامل الامتصاص باستخدام العلاقة التالية: (أدرج العلاقة هنا)

هذه العملية تساهم في فهم خصائص الخرسانة ومتانتها وتأثير الامتصاص على أدائها في البيئات المختلفة.

$$Ca = (MSAT - MSEC) / A$$

Ca: االمتصاص معامل (kg/m2)

MSAT : كتلة العينة بعد االمتصاص (kg)

MSEC : كتلة العينة الجافة (kg)

A : المساحة المغمورة (m2)

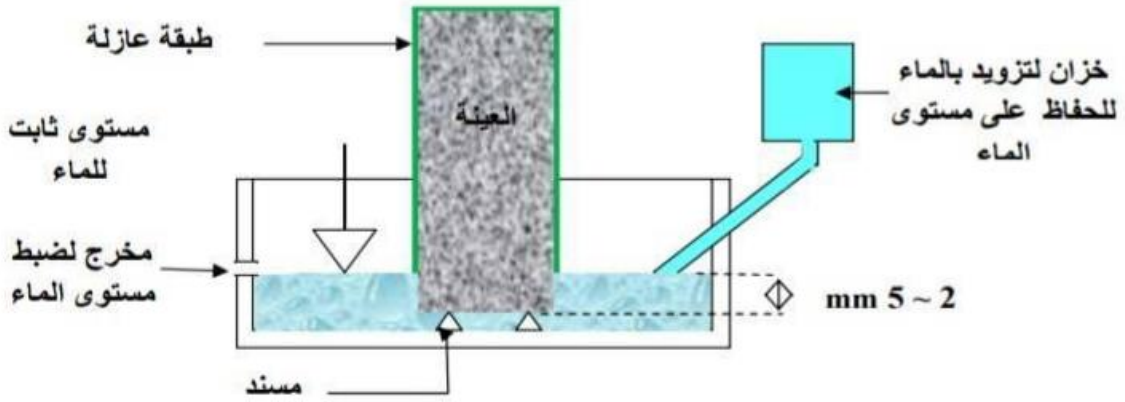
كما يحسب معامل االمتصاص بالعالقة التالية:

$$AC = ( (MSAT - MSEC) / MSEC) * 100$$

AC: معامل االمتصاص (%)

MSAT : كتلة العينة بعد االمتصاص (kg)

MSEC : كتلة العينة الجافة (kg)




**الصورة I . 6 توضح وضع العينة في الماء.**

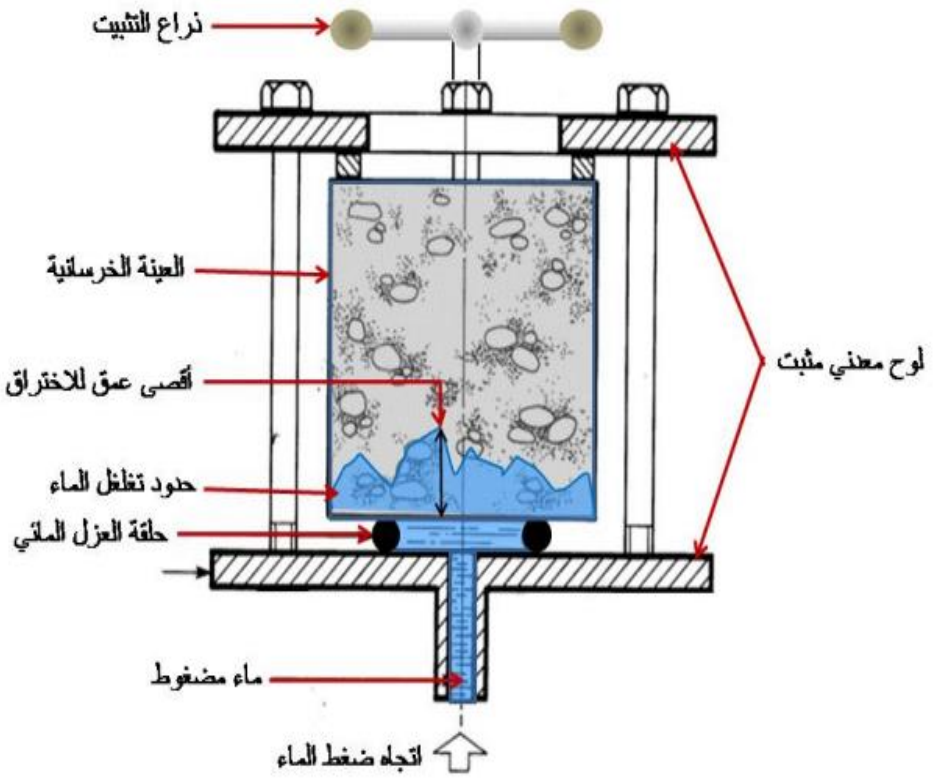
### 1.3.3 النفاذية :

النفاذية هي الخاصية التي تُمكِّن من تسرب أي سائل خلال هيكل الخرسانة. تلعب هذه الخاصية دورًا حيويًا في تأثير العمر الافتراضي للخرسانة، حيث إن وصول الرطوبة إلى الصلب المُسلَّح يمكن أن يتسبب في تآكله والتأكسد، وأيضًا قدوم الأحماض والأملاح يمكن أن يؤدي إلى تدهور الخرسانة. في بعض الحالات، تكون نفاذية الخرسانة حاسمة لأداء المنشأ، مثل الخزانات التي تحتوي على سوائل أو حوائط البدرومات والهياكل تحت الأرض، حيث تصبح الخاصية غير نفاذة مطلوبة وحيوية لمقاومة الأحمال والتسرب. وأظهرت العديد من الدراسات أن حقن الماء النقي في مسام الخرسانة يؤثر على التوازن الكيميائي للمراحل المختلفة داخلها، مما يمكن أن يتسبب في ظواهر انحلال أو ترسيب المكونات الدقيقة في الخرسانة. لتقييم نفاذية الخرسانة، اتبعت الجمعية البريطانية للخرسانة إجراءات محددة تمثلت في الاختبار الذي يقيس أقصى عمق وصل إليه الماء كنتيجة للاختبار، كما هو موضح في الجدول التالي .

**الجدول I-1 تقييم نفاذية الخرسانة بناء على اختبار نفاذية الماء**

| تقييم نفاذية الخرسانة | منخفضة | متوسطة | مرتفعة |
|---|---|---|---|
| عمق اختراق الماء (mm) | اقل من 30mm | من 30 الى 60 mm | اكبر من 60 mm |

يوضح الشكل التالي كيفية وضع العينة في الجهاز :




**الصورة I . 7توضح تثبيت العينة في الجهاز.**

حيث أن هناك عوامل رئيسية تؤثر على نفاذية الخرسانة:

وتنقسم إلى ثالث مجموعات رئيسية هي:

طبيعة ونسب مواد المكونات:

### ❖ الركام الخشن(الحصى):

تتأثر نفاذية الخرسانة أيضا بشكل حبيبات الركام )نوعية الركام(.

### ❖ الركام الناعم( الرمل):

إن النقص في الركام الناعم يمكن أن يؤثر سلبا على الفراغات في الخرسانة ,أما العامل آلخر الذي يؤثر على نفاذية الخرسانة هو نسبة الركام الناعم إلى محتوى الركام الكلي حيث يمكن أن يؤدي استخدام الرمل الناعم إلى صعوبة في قابلية تشغيل الخرسانة، وخاصة إذا زادت نسبة الرمل في محتوى الركام الكلي.

### ❖ الماء:

ان نقاء الماء يؤثر بصورة كبيرة على نفاذية الخرسانة وديمومتها

### ❖ الإسمنت:

عنصر الإسمنت يلعب دورًا بارزًا في نفاذية الخرسانة نظرًا لأن العجينة الإسمنتية تغلف حبيبات الركام في الخليط بشكل جيد. بالتالي، فإن كمية الإسمنت ونسبة الماء إلى الإسمنت هما العوامل الأكثر أهمية التي تؤثران على نفاذية الخرسانة.

### ❖ الإضافات:

استخدام الإضافات يلعب دورًا مهمًا في تحسين قابلية الخليط للتشغيل، حتى عند استخدام نسبة ماء إلى الإسمنت منخفضة. ذلك يقلل بشكل كبير من نفاذية الخرسانة.

### ❖ نسبة الماء / الإسمنت:

نسبة الماء إلى الإسمنت تؤثر بشكل كبير على نفاذية الخرسانة. كلما زاد محتوى الماء، زادت نفاذية الخرسانة. عندما تكون نسبة الماء مرتفعة، يخرج معظم الماء الحر من الخرسانة بعد تفاعله مع الإسمنت، وبالتالي لا تتم ضغط جزيئات الإسمنت والركام بشكل كافٍ كما في حالة نسبة الماء منخفضة. هذا يتيح فرصة لاختراق الماء المسام بسبب التبخر أو غيره من الأسباب. عادة، عندما تكون نسبة الماء إلى الإسمنت حوالي 4.0، تكون النفاذية عملياً صفر. و في الاخير الملدن الفائق يسمح بتقليل نسبة الماء والإسمنت في الخليط، مما يمكن من إنتاج الخرسانة ذات نفاذية منخفضة.

### ❖ طرق التحضير :

هناك عدة مراحل حاسمة تؤثر بشكل كبير على نفاذية الخرسانة، مثل عمليات الخلط والنقل والصب والدمك وإنضاج الخرسانة. من المهم أن نفهم أن الخلط الجيد والدمك الكافي يلعبان دورًا حاسمًا في تحقيق توزيع متساوٍ وفعال وملء دقيق للفراغات بين حبيبات الركام والعجينة الإسمنتية. وهذا هو الأمر الضروري للحصول على خرسانة ذات نفاذية منخفضة.

على سبيل المثال، يمكن ملاحظة أن معدل تغلغل الأكسجين في الميالط التي تحتوي على نسبة ماء إلى إسمنت معينة يكون أقل من معدل التغلغل في الخرسانة نفسها. وهذا يعني أن الميالط ذات الجودة الأقل قد تكون لها نفاذية أقل من الخرسانة ذات الجودة العالية، حتى إذا كانت تحتوي على نفس نسبة الماء للإسمنت.من هذا يتضح أن هناك تفاوتات في نفاذية الخرسانة تعتمد على الجودة وعملية التصنيع وتركيب المواد.

### ❖ العوامل المرتبطة بالمعالجة اللاحقة :

تشمل عوامل هذه المجموعة عدة جوانب مثل عمر الخرسانة وطرق التصلب وظروف الاختبار اللازمة لتحديد النفاذية المطلوبة. يمتلك التصلب والعمر تأثيرًا كبيرًا على نفاذية الخرسانة، حيث يعتمد تماسك الإسمنت بشكل كبير على وجود الماء في المسام. لذلك، يجب تجنب فقدان الماء بسبب التبخر من تلك المسام. ومن المعروف أن طرق التصلب تؤثر بشكل كبير على الخرسانة عندما تكون نسبة الماء إلى الإسمنت منخفضة. يمكن أن يحدث التجفيف الذاتي بسرعة في مثل هذه الحالات مما يؤدي إلى ظهور تشققات صغيرة. التشققات الحرارية والانكماش الناتج عن التجفيف تعتبر ظاهرة شائعة تؤثر على الخرسانة في هذه الحالة. هناك أيضًا تأثير سلبي لارتفاع درجات الحرارة على صدأ حديد التسليح وذوبان المواد المالحة، والتي يمكن أن تصل إلى 70 - 80 درجة مئوية في سطح الخرسانة نتيجة تعرضها لأشعة الشمس خلال أيام الصيف الحارة. هذا بالإضافة إلى تغير درجات الحرارة الذي يتسبب في دورات من التمدد والانكماش والتميه، وفقدان الماء الناتج عنه يمكن أن يسبب تشققات صغيرة وتدهورًا في المنطقة الواقعة بين الحصى والعجينة الإسمنتية. تؤدي جميع هذه التأثيرات إلى تراكم آثار سلبية على الخرسانة، مما يسبب زيادة في نفاذيتها وتقليل ديمومتها. لذلك، يجب على منتجي ومستخدمي الخرسانة والمهندسين أن يكونوا على دراية بالعوامل التي تؤثر على نفاذية الخرسانة. ونظرًا لأن نفاذية الخرسانة تعتمد على عدة عوامل مثل مواد الخرسانة وطرق الخلط والصب وعمليات الانضاج، فإنه يجب مراعات كل هذه الجوانب عند تصميم الخلطات الخرسانية لتحقيق خرسانة غير نفاذة وذات كفاءة عالية. ويجب أن يتميز تصميم الخلطة بالنسب المناسبة للركام الخشن

والرمل، ويجب أن يتم خلط وصب ودمك وانضاج الخرسانة بعناية. من المفيد أيضًا تشجيع استخدام الإضافات الكيميائية لتحسين نفاذية الخرسانة.

- في حالة تسرب الماء والهواء إلى عمق العنصر الخراساني فإنه ينتج عنه تضخم وصدأ و تأكل لحديد التسليح.
- ي ألجواء الباردة يتجمد الماء داخل الفراغات مسبب ا تمدد ا يؤدي إلى توليد اجهادات تؤثر على متانة الهيكل الخراساني.
- في حالة تسرب الماء يحمل معه بعض ألمالح إلى داخل الجسم الخراساني فانه يتفاعل كيميائي متحوال بذلك إلى بلورات تسبب في توليد اجهادات داخلية تضعف عمل الخرسانة.
- في حالة ألجواء الحارة خروج الماء من الخرسانة قد يحمل معه بعض من ألمالح أو المركبات المكونة للخرسانة يصحبه عن هذا ألخير زيادة في الفراغات على مستوى الداخلي لها.

## 1.4 الخاتمة :

نستنتج مما سبق :

تعتبر اقتصادية التكلفة، وسهلة الصب في القوالب، وتتمتع بمقاومة جيدة للحريق وقوى الضغط.

ومع ذلك، تُعَد مقاومتها لقوى الشد نسبياً ضعيفة مقارنة بمقاومتها لقوى الضغط، مما يجعلها عُرضة للانكسار والتشقق. ولحل هذه المشكلة، تم ابتكار الخرسانة المسلحة في عام 1748م، وذلك عن طريق تسليحها بقضبان فولاذية لزيادة مقاومتها لقوى الشد وللحد من انتشار التشققات.

باستخدام التسليح الفولاذي، أصبح بإمكان الخرسانة المسلحة تحقيق مقاومة عالية لقوى الشد، مما يجعلها موادًا أكثر صلابة وقدرة على التحمل للإجهادات المختلفة. وبفضل هذا التحسين، أصبحت الخرسانة المسلحة خيارًا مثلى للهياكل الإنشائية التي تتطلب قوة واستدامة على المدى الطويل.

# الفصل الثاني :
# خصائص الركام و تأثيره على الخرسانة

2 خصائص الركام :

## 2.1 مدخل :

تتعامل عملية بناء المساكن وتهيئة البيئة مع ثلاثة قطاعات رئيسية من الأنشطة، وهي صناعات الاستخراج ومواد البناء، والبناء والأشغال العامة. جميع الأعمال المتعلقة بهذه القطاعات تستخدم المواد الخام الطبيعية كقطع صخور أو طمي رملي وحصى، وتكون هذه المواد إما مستخرجة بشكل اصطناعي من الصخور الطبيعية أو من النفايات الصناعية، وأحيانًا يتم استخدام النفايات الغير قابلة

للتفسخ. تختلف طبيعتها وشكلها اعتمادًا على مواقع الاحتياطيات وتقنيات الإنتاج. وتكون هذه المواد مخصصة للاستخدام بدون أي إضافة من الرابطات لتماسكها (كعبور مسارات السكك الحديدية، أو طبقة الأساس للطرق، أو الحشو...) أو للتجميع باستخدام رابط (الإسمنت للخرسانة، أو القار للطبقات المعبأة) [36].

## 2.2 تعريف :

معظم تعريفات المواد الرملية مأخوذة من نص المعيار XP P 18-540 [37]. المواد الرملية هي مجموعة من الحبيبات بين 0 و 125 ملم، مخصصة خصيصًا لإعداد الأسمنت والخرسانة وطبقات الأساس والقاعدة والاتصال والتدحرج للطرق والأرصفة والطبقات الخرسانية للسكك الحديدية والحشوات [36].

## 2.3 الأنواع المختلفة للركام :

يتم استخدام المواد الرملية في الخرسانة بأنواعها الطبيعية والاصطناعية والمعاد تدويرها:

- **"الطبيعية"**، عندما تكون مستخرجة من صخور قابلة للتفتت أو صخور صلبة ولا تخضع لأي معالجة بخلاف المعالجة الميكانيكية (تقليل الأبعاد)؛
- **"الاصطناعية"**، عندما تكون نتاج التحول الحراري والميكانيكي للصخور أو الخامات المعدنية؛
- **"المعاد تدويرها"**، عندما تكون من نتاج هدم الهياكل أو عندما يتم إعادة استخدامها [38].

### 2.3.1 الركام الطبيعي:

ياتي الركام الطبيعي من مصادرين: من محاجر الصخور الصلبة والتجمعات الطمية. جيولوجيًا، تأتي الركام من ثلاثة أنواع من الصخور:

- ✓ **الصخور البركانية:** الجرانيت والبازلت والبورفير.
- ✓ **الصخور الرسوبية:** الحجر الجيري والصوان والكوارتزيت.
- ✓ **الصخور المتحولة:** الجنيس والأمفيبولايت.

التركيبات المعدنية تكشف عن وجود ثلاث عائلات من المواد الرملية: الصخور الجيرية، الصخور السيليكا، والصخور السيليكو-جيرية [38].

### 2.3.2 الركام الترسبي:

الركام الذي يتم تجميعه بفعل التآكل والتجوية وتكون شكلها غالبًا نتيجة لعمليات التآكل. يتواجد هذا الركام بشكل أساسي في تجمعات الرواسب الترسيبية داخل أسرّة الأنهار (وأحيانًا في البحر) [39]. يتم غسل هذا الركام لإزالة الجسيمات الطينية، ويتم فرزها للحصول على فئات مختلفة من الركام [40].

### 2.3.3 ركام المحاجر:

يتم الحصول على هذا الركام من خلال الاستخراج والكسر، تليها عمليات الفرز أو الغربلة لتحديد الحبيبات ذات الأبعاد المحددة. يتميز ركام المحاجر بخصائص تعتمد على عدد كبير من العوامل: أصل الصخور، تناسق الطبقة، درجة التكسير...[41]. يثبت هذا النوع من الركام تماسكًا جيدًا مع اللبنة الإسمنتية بسبب نسيج سطحه وخشونته. من ناحية أخرى، يتطلب المزيد من الماء للتشغيل بناءً على القابلية للتشكيل ويعود ذلك إلى زواياه وبالتالي إلى مساحات سطحه الممتدة [42].

### 2.3.4 الركام الاصطناعي:

تشمل هذه الفئة الركام الذي يتم الحصول عليه من خلال التحويل الحراري للصخور والمعادن والمنتجات الصناعية المعدلة.

- ❖ **منتجات الثانوية والنفايات الصناعية:**

**أ) السلاغ الفرن العالي:**

السلاغ الفرن العالي هو المنتج الثانوي الرئيسي لصناعة الحديد والصلب، وهو يتكون من جميع المواد المعدنية الموجودة في حمولة الفرن العالي (خام الحديد والمواد المضافة) التي تظل بعد استخراج الحديد [41].

**ب) السلاغ المتبلور المكسر:**

يتم الحصول عليه عن طريق التبريد البطيء في الهواء الطلق، في حفرة، وهو يمتلك مظهرًا وخصائص صخرية مغمورة. قد يكون أكثر أو أقل مسامية، كلما كان التبريد أبطأ وفي طبقات أرق، كلما كان السلاغ متبلورًا ومتينًا [43]. يتمتع بكتلة حجم ظاهرية > 1250 كجم/سم 3، ويتكون كيميائيًا بشكل أساسي من الجير، المغنيسيا، السيليكا والألومينا [44].

**ج) السلاغ الممدد أو المعقم:**

يخضع السلاغ المصبوب لمعالجة خاصة: حقن قوية بالماء وعملية ميكانيكية. تتعرض جزيئات السلاغ لرش على عدة أمتار حيث تتعرض للتبريد بالهواء طوال مدة مسارها [44، 45]. يتميز السلاغ الممدد بكتلة حجم ظاهرية تتراوح بين 800 و 950 كجم/م$^3$ [41].

**د) زجاجات الصلب:**

هذه الزجاجات هي منتجات فرعية لتحويل الصبغة هيماتيت إلى صلب. يتم معالجة هذه المادة بنفس طريقة السلاغ الفرن العالي، وتعاني هذه المادة من تقليل نسبة الحديد مما يؤدي إلى كتلة حجم ظاهرية مرتفعة تبلغ حوالي 3300 كجم/م3 [43].

**ه) الشوائب الفحمية:**

تنتج صناعة التعدين بشكل عام، وصناعة التعدين الفحمي بشكل خاص كميات هائلة من المواد الباطنية. تجد هذه النفايات تطبيقات هامة في أعمال التربيتة للطرق كحصى [43]

**و) الركام ذو الخصائص العالية الذي تم تحضيره صناعياً:**

هذه المواد الركامية تم تحضيرها خصيصاً لتلبية بعض الاستخدامات، بما في ذلك الركام الشديد الصلابة لتعزيز مقاومة التآكل للأرضيات الصناعية (مثل الحصى الحديدي، الكاربوروندوم ...) أو الركام الحراري [43].

**ز) الركام المضغوط أو المكسر:**

تتمتع هذه المواد الركامية بخصائص مقاومة وعزل ووزن مثيرة للاهتمام. ومن بين الأكثر استخدامًا الطين أو الصخور المكسرة، وتكون كثافتها الظاهرية

لمواد الركامية الخفيفة بالتمدد أو السندبادية:

تتراوح كثافتها الظاهرية بين 400 و 800 كجم/م$^3$، حسب النوع والحبيبات. إنها تمكّن من صنع الخرسانة الإنشائية بنفس القدر الذي تمكن من صنع الخرسانة ذات العزل الحراري الجيد [6].

**2.3.5 المواد الركامية المعاد تدويرها:**

منافذ جديدةالركام المعاد تدويره هو الركام الذي ينتج عن تحويل المواد الغير عضوية التي تم استخدامها سابقًا في البناء. تشمل هذه الفئة الركامية موادًا مثل الخرسانة المكسرة ومخلفات الأسفلت المسحوقة...

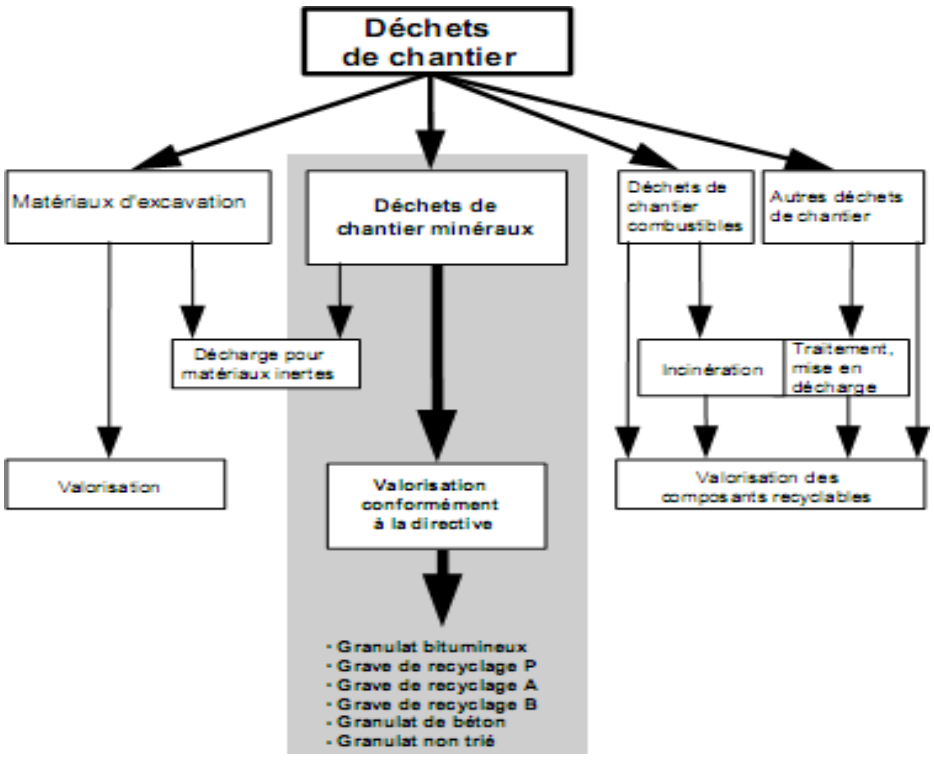
**أ) نفايات المواقع البنائية:**

تتكون نفايات المواقع البنائية بشكل أساسي من نفايات مشتقة من مواقع البناء والأشغال العامة والأنشطة الصناعية المخصصة لإنتاج مواد البناء. تُعرف بأنها نفايات غير قابلة للتحلل، ولا تحترق، ولا تتفاعل بأي تفاعل فيزيائي أو كيميائي آخر، ولا تتحلل بطريقة قابلة للتحلل الحيوي، ولا تتسبب في تدهور مواد أخرى تدخل في اتصال معها بطريقة قادرة على تلويث البيئة أو إلحاق الضرر بصحة الإنسان [46].

النفايات المقبولة هي: الخرسانة والأحجار والقرميد والسيراميك والطوب والبلاط، بالإضافة إلى الأسفلت المسحوق بدون قار. يُعتبر الأسبستوس نفايات غير قابلة للتحلل، ولكن يُحظر استخدامه لأسباب صحية [47]. توضح الشكل (I.2) مختلف فئات نفايات المواقع البنائية ومجالات التطبيق [48].

**ب) نفايات الهدم:**

نفايات الهدم هي فئة فرعية من نفايات البناء التي تجمع جميع مواد الهدم أو التجديد. حيث إن الخرسانة تشكل ما يقرب من 75% من وزن جميع مواد البناء، فإن غالبية نفايات الهدم تتألف من الخرسانة [49].




**الصورة II . 1 مخطط تركيب مصنع لإنتاج الركام المعاد تدويره**

عدد الكسارات المستخدمة يعتمد على جودة الركام المطلوب الحصول عليه. ستعطي استخدام كسارة واحدة مواد ذات جودة أفضل أو أقل، وهذا حتى إذا كانت المواد الأولية نسبياً نظيفة. بالإضافة إلى ذلك، لن يزيل عملية الكسر الواحد جميع الشوائب، بل سيتم إزالة الحطام المعدني فقط بفضل المغناطيس الكهربائي. لذلك، يسمح استخدام كسارة ثانية بإجراء عملية فرز ثانية (يدوياً ومغناطيسياً)،

مما يعطي موادًا أكثر نظافة. وللحصول على نظافة أكبر، يقترح RILEM [51] إزالة الجزء السفلي الذي يقل عن 10 مم بعد الكسر الأولي وتوجيه المحتفظ به إلى الكسارة الثانية.

اختيار الكسارات هو أيضًا عنصر مهم في إنتاج هذا النوع من الركام. في البداية، يجب على الكسارات معالجة كتل بقطر 0.8 إلى 1 متر، مما يعني أن تآكل الكسارة أسرع بكثير وأن سعة الإنتاج أقل من المحاجر. وفي الغالب، تمتلك معظم محطات معالجة مواد الهدم في كندا كسارات فكية أو صدمية ككسارة أولية وكسارة فكية أو صدمية أو في بعض الأحيان كسارة مخروطية ككسارة ثانوية [52].

باستثناء التوزيع الحبيبي، فإن الخصائص الأخرى مثل الكثافة والكتلة الحجمية والامتصاص والتحلل بالتأثير لا تتأثر بنوع الكسارة أو دائرة الكسارة نفسها، وجميع الكسارات تنتج تقريبًا نفس الكمية من الجسيمات المكعبة إذا كانت المواد الأولية للخرسانة الأسمنتية ليست لها اتجاه خاص في تطوير جسيمات مسطحة ومطولة.

الكسارات الفكية تعطي حبيبية أكبر، مما يجعل تقليل الحبيبية غير كافٍ، مما يستدعي الكسر الثاني. وعلى الجانب الآخر، يؤكد RILEM [51] أنه من هذه الكسارات تأتي أفضل توزيع حبيبي لإنتاج الركام المعاد تدويره المصنوع من الخرسانة الأسمنتية.

تسمح الكسارات ذات التأثير (أو الصدمة) بتقليل الحبيبية بشكل جيد أثناء الكسر الأولي وتفصل النوى المسلحة للخرسانة بشكل جيد؛ ومع ذلك، فإنها تتعرض للتآكل بشكل كبير جدًا وأبعاد المواد المراد كسرها محدودة. ينتج هاتان الكسارتان تقريبًا نفس الكمية من الجسيمات الدقيقة (جسيمات بحجم <80 µm).

الكسارة الثالثة وهي الكسارة المخروطية، يتم استخدامها بشكل أقل بكثير، ولكنها مفيدة جدًا ككسارة ثانوية مع الركام ذو الحبيبية القصوى الذي يصل إلى 200 ملم.

سيكون لنوع المادة المراد كسرها تأثير على اختيار الكسارات أيضًا. إذا كانت الكسارة مصنوعة من الخرسانة الأسمنتية، فإن كمية معجون الأسمنت المحيطة بالحصى الطبيعي ستكون أكثر أو أقل مهمة اعتمادًا على نوع الكسارة المستخدمة. بالإضافة إلى ذلك، يؤكد Quebaud أن الكسارة ذات الصدمة تكسر كلاً من الحصى الطبيعي ودائرة الأسمنت، لكنها لا تفصل الأخيرة عن الحصى الطبيعي، بينما تُعطي الكسارات الفكية نسبة أكبر من معجون الأسمنت في الكسر الدقيق. وبالتالي، فإن الحصى بعد الكسر سيحتوي على نسبة كبيرة من الجسيمات الدقيقة.

بصفتها ختاماً لإنتاج هذا النوع من الركام، يقترح CIMPELLI [53] ملخصًا للمراحل المختلفة لإعداد المنتجات الناتجة عن إعادة التدوير في Île-de-France:

اختيار وتخزين المنتجات الخام؛ التحضير قبل المعالجة الذي يتمثل في تقليل العناصر الأكبر باستخدام مطرقة هيدروليكية؛ الكسر الأولي باستخدام كسارة ذات تأثير أو فك تليها إزالة المعادن باستخدام التأثير الكهرمغنطيسي؛

ووفقًا للمنشآت، يمكن أن يسبق الكسر عملية غربلة لإزالة المواد ذات الخصائص المنخفضة ويليها فرز يدوي لإزالة الشوائب؛ وفي بعض الأحيان،

الكسر الثانوي للجزء العلوي الناتج عن الكسر الأولي.

**التخزين:**

يتم تخزين الركام المعاد تدويره بعد المعالجة في مساحات تخزين، إما على شكل كومات فردية أو في حاويات أو صوامع [36]، وذلك وفقًا لمعايير محددة والتي تعتمد على مصدر الركام، وشكل الحبيبات، وطبيعة عمليات المعالجة وحجم الحبيبات.

ينصح هانسن [54] بتخزين أنواع مختلفة من الركام بشكل منفصل، وعدم الاحتفاظ بالرمال المعاد تدويرها لفترة طويلة [55].

## 2.4 الخصائص الفيزيائية للركام:

يجب أن تستوفي الركام المستخدمة في أعمال البناء والهندسة المدنية متطلبات الجودة والخصائص الخاصة بكل استخدام. ترتبط خصائص الركام بالخصائص الأساسية للصخور الأصلية وخصائص التصنيع [38].

يجب أن يتم أخذ عينة للتحليل وفقًا للمعايير "NF P 18-553 و EN 932-1" المتعلقة بأخذ العينات باستخدام "عينات العينة" أو "الربع" [56، 57].

## 2.5 خصائص التصنيع:

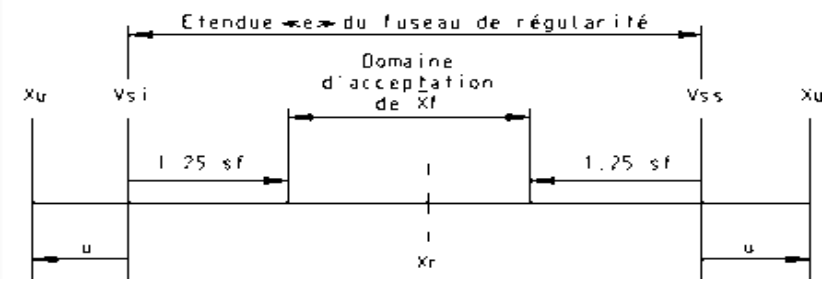
### 2.5.1 مواصفات الركام للخرسانة:

تحدد المواصفة التجريبية XP P 18-540[38] خصائص الركام الذي يمكن استخدامه في إعداد الخرسانة الهيدرولية [3، 23، 24]. تميز المواصفة بين أربعة فئات من الركام: الملء، الرمل الناعم، الرمل، والحصى، وأيضًا أربع فئات للركام الطبيعي A و B و C و D، 3] وخمس فئات للركام المعاد تدويره [58]: A و B و C و D و E حسب ترتيب الجودة التنازلي من وجهة نظر أداء الخرسانة [3]. تحدد المواصفة أيضًا قواعد الامتثال للحجم الحبيبي بتحديد الحدود المقبولة، كما هو موضح في الشكل 2-3

قيمة أو قيمتان محددتان، القيمة السفلى (VSi) و/أو القيمة العليا (VSS) المستخدمة لتحديد الحدود المقبولة.

نطاق التصنيع: $VSi + 1.25S \leq m \leq VSS + 1.25S$ الذي يجب أن يكون ضمن النطاق المتساوي 3] $S \leq (VSS - VSi) / 3$]، حيث m هو القيمة المتوسطة و S هو الانحراف المعياري.

قيمة أو قيمتان حدية (VSi - U) و/أو القيمة العليا (VSS + U) التي يجب ألا تتجاوز أي نتيجة




**الصورة II . 2 قاعدة الامتثال بقيمتين محددتين [37]**

اختبار.

### 2.5.2 تحليل الحجم الحبيبي:

ينظم تحليل الحجم الحبيبي وفقًا للمواصفات "EN 933-1 و EN 933-2"، يتم تمييز الركام بواسطة d و D ، حيث تمثل d الأبعاد الأصغر و D الأكبر المطلوبة.

يتمثل تحليل الحجم الحبيبي في تجزئة المادة إلى مجموعة من الكسور باستخدام غرابيل [38,60]. يتم تقديم أوزان الكسور المختلفة بالنسبة للكتلة الأولية الجافة للمادة. يتم استخدام النسب المحصل عليها، إما بصورة رقمية أو رسومية (منحنى حجم الحبيبات) [60,61,38]. تحتاج منحنى حجم الحبيبات لتكون مستمرة جيدة للحصول على خرسانة سهلة التشكيل [24].

يستخدم أيضًا أسلوبًا أكثر تطورًا لتحديد الحجم الحبيبي يستند إلى معالجة الصور. يتم معالجة الحجم الحبيبي باستخدام برنامج فيديوجرانيولومتر VDG40 وتغطي استخدامه المواصفة الفرنسية XP P 18-566".

## 2.5.3 الخصائص الهندسية للركام:

قد يكون الركام له أشكال كروية، مكعبة، كتلية، مسطحة أو مطولة. تؤثر هذه الخصائص، بالإضافة إلى حالة سطح الحبيبات، على قدرة الخرسانة الطازجة على التشكيل، وعلى المتانة والمقاومة الميكانيكية للخرسانة المتصلبة.

### ❖ المعامل النموذجي للنعومة (MF):

المعامل النموذجي للنعومة هو معامل يمكن أن يوضح مدى وجود العناصر الدقيقة في الركام. يُعد المعامل النموذجي للنعومة مساوياً لـ 100/1 من مجموع النقاط المُرفضة المتراكمة بالنسب المئوية على مجموعة من الغرابيل. يعرض الجدول I.1 سلسلة الغرابيل المستخدمة لتحديد المعامل النموذجي للنعومة وفقًا للمعيار المعتمد [59,61,38].

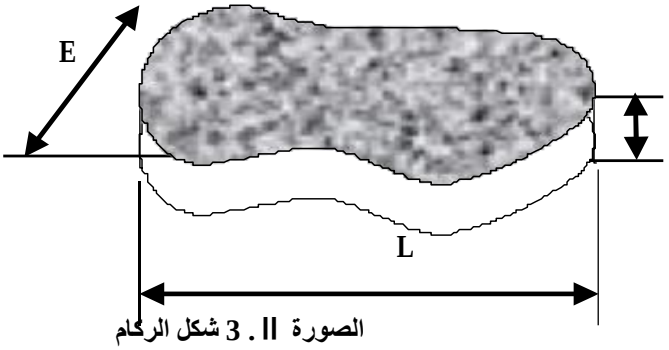
يجب أن يكون الرمل الجيد للخرسانة له معامل نموذجي للنعومة حوالي 2.2 و 2.8. عندما يكون المعامل أقل من ذلك، يكون الرمل يحتوي بشكل رئيسي على العناصر الدقيقة والجدا رفيعة، مما يتطلب زيادة كمية الماء المستخدمة، أما عندما يكون المعامل أعلى من ذلك، فإن الرمل يفتقر إلى العناصر الدقيقة، وبذلك تتنقص خاصية القابلية للتشكيل في الخرسانة [59,61].

### ➢ الشكل:

يُعتبر الشكل الجيد للركام أمرًا أساسيًا لتجنب تراجع مقاومة الخرسانة بسبب خطر ظهور خطوط انزلاق محتملة.

تُعرَّفُ شكل عنصر الركام بثلاثة معاملات أبعاد رئيسية هي السُمك (E) والحجم (G) والطول (L)، كما هو موضح في الشكل (2.3).

بالنسبة للاستخدامات المختلفة، من المستحسن استخدام أكثر أنواع الركام اتساقًا ممكنًا. يُنصح بشدة باستخدام ركام ذو شكل مدمج بشكل كافٍ في الخرسانة [38].




الصورة II . 3 شكل الركام

### ➢ معامل التسطيح "A":

يُعبر معامل التسطيح عن شكل الركام الذي يكون حجمه بين 4 و80 مم، وهو بالتعريف هو النسبة المئوية للعناصر التي تحقق شرط G/E > 1.58. يتم تحديد معامل التسطيح وفقًا للمعيار NF EN 933-3.

يُظهر ركام ذو شكل غير مواتي (مسطح أو مطول) معامل تسطيح مرتفعًا (20 إلى 40٪). بينما يُظهر ركام ذو شكل مواتٍ (كروي، مكعب، غير منتظم) معامل تسطيح عادة ما يكون بين 5 و 20٪.

**الزاوية:**

تُقدر زاوية الركام تقليدياً بقيم مؤشرات الكسر والتكسير. ولكن يمكن قياسها أيضًا من خلال وقت تدفق حجم معين من الركام عبر فتحة محددة، ومن ثم تحديد معامل تدفق الحصى. وتكون نفس المنهجية معمول بها للأنقال، حيث تختلف فقط أبعاد أدوات القياس [38].

**العجينة الاسمنتية الملتصقة بالركام:**

يحتوي الركام المعاد تدويره على مونة وعجينة أسمنتية، والتي تكون دائماً موجودة وملتصقة بالركام. في اليابان، توصلت الأبحاث إلى طريقة لإزالة العجينة من سطح الركام دون تكسيره [55].

العوامل الرئيسية التي تؤثر على كمية العجينة الأسمنتية المرتبطة بالركام المعاد تدويره هي: نسبة الماء إلى الأسمنت، مقاومة الخرسانة المصدرة للركام [66] وحجم الركام المعاد تدويره [55].

### 2.5.4 الخصائص الداخلية:

**البتروغرافيا:**

تتمثل البتروغرافيا في تحديد طبيعة المعادن المختلفة، ونسبهم النسبية، ودرجة تحللهم، وحجمهم وترتيبهم، بالإضافة إلى وجود المسام المحتملة. تُمكن هذه العملية أيضًا من تحديد الحالة البلورية للمادة (الكريستالوغرافيا) لوصف الصخور [32].

في الصخور، يمكن أن تكون المادة في حالتين مختلفتين:

- حالة بلورية، هي الأكثر شيوعًا: ترتيب منظم للمادة بتكرار دوري في الفضاء لذرة أو مجموعة من الذرات: التركيب البلوري.
- حالة غير بلورية، أقل شيوعًا بكثير، حيث يتم ترتيب الجزيئات بشكل عشوائي: كما هو الحال في الزجاج البركاني والأوبال والأملاح المعدنية الهلامية (الكالسيدونيا) والتي تعتبر أصنافًا من السيليكا.

### 2.5.5 الخصائص الفيزيائية:

يمكن تصنيف الخصائص الفيزيائية إلى مجموعتين [33]: تلك المتعلقة بالركام نفسه، وتلك المتعلقة بكمية المواد الغريبة والضارة.

- **كثافات الحجوم:**

يتم تحديد كثافات الحجوم للركام وفقًا للمعايير: NF P 18-554، 18-555، 18-558، EN 1097-3، EN

[69,70,71,72,73]

- **الكتلة الحجمية الظاهرة:** هي النسبة بين الكتلة الجافة للعينة وحجم المادة الصلبة فيها، بما في ذلك المسام بين الحبيبات.
- **الكتلة الحجمية المطلقة:** هي النسبة بين الكتلة الجافة للعينة وحجم المادة الصلبة فيها (باستثناء المسام).

هناك 3 طرق تُستخدم عمومًا لتحديد هذه الكتل الحجمية بناءً على الدقة المطلوبة وطبيعة الركام:

- طريقة العيار المسطر: حيث يتم قياس الحجم باستخدام عيار مسطر وتحديد الكتلة الجافة للمادة الصلبة في العينة.
- طريقة القياس بالمقياس الكميائي (البيكنوميتر): حيث يتم قياس الحجم بواسطة المقياس الكميائي وتحديد الكتلة للمادة الصلبة بالعينة.
- طريقة الوزن المائي: تُستخدم هذه الطريقة أيضًا لتحديد الحجوم الظاهرية بعد تغطية المادة بالبارافين أو الدهن.

➢ **البُقْعَة**

هي النسبة بين حجم الفراغات التي يمكن ملؤها بالماء وحجم العينة الكلي للركام. يتم قياس البُقْعَة وفقًا للمعايير "NF P18 554، 34] "EN 1097-3، 37].

تتعلق وجود المسام الداخلية في الركام بشكل مباشر بكثافة الركام. بعض المسام موجودة تمامًا داخل الركام والبعض الآخر يتدفق إلى السطح [45].

➢ **نسبة الماء :**

تعتبر نسبة الماء هي النسبة بين كتلة الماء الموجودة في العينة وكتلة العينة الجافة.

➢ **نسبة امتصاص الماء:**

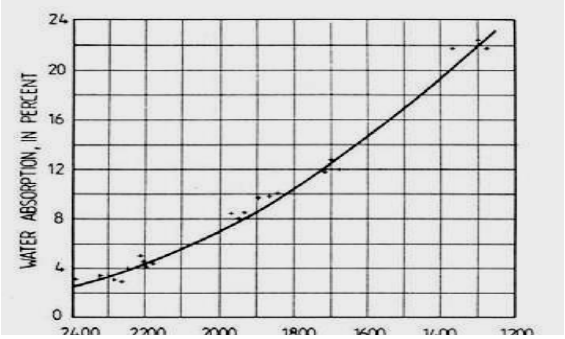
الامتصاص المائي هو النسبة بين كتلة العينة بعد غمرها في الماء لمدة 24 ساعة عند 20 درجة مئوية وضغط جوي، وكتلة العينة الجافة. يتم تحديد ذلك وفقًا للمعايير القياسية "NF P 18-554، 18-555، EN 1097-3، EN 1097-6".

يعتبر الركام أكثر أو أقل خطورة اعتمادًا على درجة اشباعه بالماء عند حدوث التجمد. تعتمد قدرة امتصاص الماء للركام المُعاد تدويره بشكل أساسي على:

حجم الركام. يمتص الركام الدقيق كميات أكبر من الماء مقارنة بالركام الكبير [39].

جودة وكمية اللب الإسمنتي المرتبط بالركام [40].

كثافة الركام [39] (راجع الشكل 2-4).




**الصورة II . 4 العلاقة بين امتصاص الماء وكثافة الركام المُعاد تدويره**

➢ **نظافة الركام**

جودة الركام المستخدم في الخرسانة عامل مهم جدًا. يمكن أن تتمثل الشوائب في الركام في ثلاث فئات رئيسية: المواد العضوية، الطين، والمواد الدقيقة (المنبثقة من عملية التكسير أو الطحن للصخور). تواجدها على سطح الركام يتداخل مع عملية التحول الهيدراتي للأسمنت ويمنع التصاق الركام بالمواد الرابطة بشكل جيد، مما يؤدي إلى انخفاض المقاومة الميكانيكية وتباين خصائص الخلطات الريولوجية. يبدو أن هذه الشوائب أكثر شيوعًا في الرمال منها في الركام الكبير، حيث يمكن غسلها بسهولة [42].

**ا ) الرمال:**

يتم قياس أهمية التلوث الطيني في الرمال من خلال اختبار مكافئ الرمل واختبار الميثيلين الأزرق.

➢ **مكافئ الرمل (ES):**

مكافئ الرمل هو نسبة حجمية معتادة مضروبة في 100 بين العناصر المعروفة بأنها رملية والعناصر الأدق. هناك نوعان من القياسات: الاختبار المرئي واختبار البستنة. حاليًا، يصف ثلاثة نصوص تنظيمية هذا الاختبار:

- اختبار مكافئ الرمل (NFP 18-598) [41]
- اختبار مكافئ الرمل بنسبة 10٪ من الجزيئات الدقيقة (NFP 18-597) [42]
- تقييم الجزيئات الدقيقة - مكافئ الرمل (EN 933-8) [43]

تتيح اختبارات مكافئ الرمل تحديد نسبة الجزيئات الدقيقة جدًا في الرمل (جانب كمي) دون أي تمييز بين الطبيعة "الطين والطمي والوحل والمواد المذابة" (جانب نوعي)، ولتقييم نظافة الرمال بشكل أكثر انتقائية، يمكن إكمال اختبار مكافئ الرمل بالاختبار بالميثيلين الأزرق. [60,61]

➢ **اختبار البستنة بالميثيلين الأزرق:**

يتم تثبيت البستنة الزرقاء عادة على الطين الدقيق على حساب الجزيئات الدقيقة غير الطينية. يُجرى اختبار البستنة بالميثيلين الأزرق وفقًا للمواصفة "NF EN 933-9" على الجزء الحبيبي (2/0 ملم) من الرمال العادية (VB) أو على الملء (0.125/0 ملم) الموجود في رمل محشو أو حصى أو خليط (VBF). القيمة الحدية وفقًا للمواصفات للخرسانة الهيدروليكية هي 0.1. [59]

**ب) نظافة سطح الحصى، اختبار النقاء السطحي (P):**

يتميز نقاء سطح الحصى بمحتوى الجزيئات الدقيقة وخاصة الطينية أو من النباتات أو العضوية، وهو محدد كنسبة الجزيئات المارة عبر فتحة بحجم 0.5 ملم مقابل الوزن الإجمالي لعينة الحصى. يتم تحديد ذلك وفقًا للمواصفة NF P 18-591. [80]

**د) الشوائب الأخرى:**

تحدد المواصفات المتعلقة بالركام حدودًا لبعض الشوائب مثل: العناصر القواقعية في الحصى الطبيعي، المواد العضوية في الرمال، الكلوريدات والكبريتات والكبريتيدات. يتم تقديم حدود الملوثات في الركام المعاد تدويره عن طريق الجدول I.2.

**الجدول II . 1 الحدود المسموح بها للشوائب في الركام المعاد تدويره [81]**

| نوع الركام المعاد تدويره | الجص، الطين وشوائب أخرى بكثافة < 1،950 كجم/م^3 | الأسفلت، البلاستيك، الدهانات، القماش، الورق، الخشب، |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| والمواد المماثلة بكثافة < 1،200 كجم/م^3 | | |
| 2 kg/m$^3$ | 10 kg/m$^3$ | الركام |
| 2 kg/m$^3$ | 10 kg/m$^3$ | الرمل |

## 2.5.6 الخصائص الكيميائية:

✓ **تركيز الكلوريدات:**

الرمل الذي يأتي من مناطق ساحلية، وكذلك رمل الصحراء، يحتوي على الملح ويجب معالجته. الكمية المقبولة من أيونات الكلوريد في الركام محدودة إلى: 1٪ للخرسانة غير المسلحة؛ 0.40٪ للخرسانة المسلحة وفقًا لـ Neville وفقًا للمواصفة الأوروبية NF EN 206-1.

لوحظ في بعض الحالات للخرسانة المعاد تدويرها وجود كميات من الكلوريدات تتجاوز الحدود الموصى بها. يرتبط ذلك على سبيل المثال بتلوث المنشآت بالكلوريدات أثناء استخدامها قبل الهدم.

✓ **تركيز الكبريتات:**

المواصفة الأوروبية EN-12-620 تحدد الحد الأقصى لتركيز الكبريتات إلى 1% [64]. ترتبط تركيز الكبريتات في الركام المعاد تدويره بكمية الأسمنت الملتصقة بالركام. يكون تحمل الضغط للخرسانة التي تحتوي على 3٪ من الجبس أقل بنسبة 15٪ من تلك التي لا يوجد بها جبس. ومع ذلك، يجب غسل الركام قبل استخدامه ويمكن اعتبار الهدم الانتقائي بديلاً فعالاً [74].

✓ **رد الفعل القلوي:**

رد الفعل القلوي هو مجموعة من التفاعلات الكيميائية التي يمكن أن تحدث بين بعض أشكال السيليكا أو السيليكات أو الكربونات الخاصة بالركام والعناصر القلوية (الصوديوم والبوتاسيوم) الموجودة في المواد الرابطة في الخلطة [40]، مما يؤدي إلى تكوين جل هائل يؤدي إلى تشقق الخرسانة [38].

يتم تصنيف الركام على أنه غير رد فعلي (NR) ، أو معروض للردة فعل (PR) ، أو معروض للردة فعل بفعل الحالة السلبية (PRP). تُعلن تركيز القلويات النشطة في الركام إذا تجاوز 0.01٪ وأعرب عنها بالنسبة المكافئة لـ Na2O.

✓ **تجمد الركام:**

سيكون الركام غير حساس للتجمد إذا كان يحتوي على نسبة منخفضة جدًا من المسامية أو إذا تم توقيف نظام السعب الخاص به بعدد كاف من الماكروسبورات (التي تلعب دور فقاعات هوائية) [68]. يُعتبر الركام غير مجمد إذا تم احترام واحدة على الأقل من القيم الثلاث المحددة التالية: امتصاص الماء ضئيل (Ab ≤ 1٪)، قوة الانشطار جيدة (LA ≤ 25)، مجمدية (G ≤ 30 [3]، 23]. في الحالات الأخرى، يتم قياس التجمدية عن طريق تحلل الحجم الحبيبي للمادة التي تعرضت مسبقاً لدورات التجمد والذوبان [38].

## 2-6 خصائص الخرسانة الأساسية (التقليدية والمعاد تدويرها):

تنوع الخرسانة الحالية، مع خصائص متغيرة بشكل متطرف، لا يسمح بتصور مبدأ مشترك للتركيب. تتم التركيبة بناءً على الخصائص الرئيسية المطلوبة من المواد وتتكيف بناءً على الخصائص الثانوية المطلوبة. تُعتبر الخرسانة الجيدة حقًا عندما تُحقق ثلاثة أهداف رئيسية: الحصول على مقاومة ميكانيكية، والحصول على ريولوجيا تسهل عملية التنفيذ، وتشكيل هيكل حبيبي يؤدي إلى أقصى اكتمال، ويمكن أن تكون خاصية ثانوية مطلوبة. نظرًا لعدم توفر مجموعة كبيرة من الحصباء المتاحة

في مكان معين، يجب أن تأخذ تركيبة الخرسانة في الاعتبار الموارد المحلية والتكاليف. لهذا السبب، لا تُظهر الخصائص الفطرية للحصباء دائمًا في الخرسانة قيمتها الحقيقية.

غالبًا ما تختلف الخصائص الناتجة من الحصباء في الخرسانة. بالنسبة للخرسانة المعاد تدويرها من حيث المورفولوجيا، فهي مطابقة للخرسانة الطبيعية بالنسبة للتركيب، وما يميزها هو الحصباء. في هذا السياق، نقدم لمحة عن تأثير الحصباء على خصائص الخرسانة وخاصة في حالة الحصباء المعاد تدويرها.

## 2.5.7 الخصائص الريولوجية:

✓ **تأثير الحصباء على القابلية للتشكيل:**

القابلية للتشكيل هي خاصية قدرة الخرسانة على التنفيذ والتشكيل [93]. تُقيّم هذه الخاصية بواسطة معدات مختلفة، أشهرها اختبار الانهيار بمخروط أبرامز المعروف أيضًا بـ اختبار السلمب.

بالنسبة للخرسانة التقليدية، يكون من الصعب غالبًا تحديد هذه الخاصية بسبب مزج العديد من المعلمات الفطرية لتركيبة الخرسانة (نسبة المياه، ونسبة ونوع الرابطة، وشكل ونسيج الحصباء، وتوزيع الحبيبات وأقصى حجم للحصباء) [42,98]. بعض المعلمات الأخرى، إذا لم يتم التحكم فيها، يمكن أن تؤثر بشكل أكبر على القابلية للتشكيل، مثل عملية الخلط، ونقل الخرسانة، ودرجة الحرارة، والرطوبة، والرواسب الرملية وتأثير المواد الخاملة [93].

تزيد كمية الماء المطلوبة للحصول على قابلية للتشكيل مع زيادة مؤشر شكل ونسيج الحصباء [95]. يُفضل تقليل قطر وكمية الحصباء الكبيرة لتجنب التفصيق [45,96]. تحتاج الحصباء الزاوية ذات النسيج السطحي الخشن (مثل الحصباء المكسرة والمعاد تدويرها) إلى المزيد من الماء لتحقيق قابلية للتشكيل محددة مقارنة بالحصباء المستديرة ذات النسيج الناعم [59,42]، بالإضافة إلى أن معامل الاحتكاك النسبي للحصباء الزاوية يجعلها غير مواتية للقابلية للتشكيل [96,45].

تُسهم وجود المواد الخاملة في تحسين قابلية التشكيل للخرسانة من خلال تسهيل حركة الحصباء. تتناقص تأثير خصائص الحصباء على القابلية للتشكيل عندما يزداد التركيب غنى بالأسمنت [28,45]، ويمكن أن يختفي تمامًا عندما يكون معدل الحصباء إلى الأسمنت 2.5 أو 2 [95,42].

عمومًا، تتأثر قابلية التشكيل للخرسانة المعاد تدويرها بقدرة الحصباء على امتصاص الماء [98,99]. يمكن أن تؤثر شكل ونسيج الحصباء أيضًا على كفاءة قابلية التشكيل للخرسانة. يعتمد ذلك على نوع المطحنة المستخدمة [74].

يُرجع امتصاص الماء العالي إلى وجود الطين القديم المرتبط بالحصباء المعاد تدويرها، وكلما كان هذا الطين أكثر كانت قابلية التشكيل أقل [100]. ووفقًا لبعض التجارب، فإن الخرسانة المعاد تدويرها التي تحتوي على الحصباء المعاد تدويرها والرمل الطبيعي تحتاج إلى 5٪ من الماء المستخدم في الخرسانة التقليدية بنفس قابلية التشكيل [101,102,75]. يقترح بعض الباحثين استخدام الحصباء المعاد تدويرها المشبعة بالماء أو الرطوبة العالية [103]. وفقًا للدراسة التي أُجريت من قبل م. بارا وآخرون (1998) [104]، عندما تكون الحصباء المعاد تدويرها مشبعة بالماء، فإن المنطقة الانتقالية غير فعالة، ولتحسينها يُفضل ترطيب الحصباء بنسبة 80-90٪ (أقرب إلى التشبع).

## 2.5.8 الخصائص الفيزيائية

✓ **تأثير واجهة معجون الأسمنت ـ الحصباء:**

تشير بعض الملاحظات بوضوح إلى أن التشققات الدقيقة في الخرسانة تنبع من منطقة الواجهة وأن الشبكة التشققية تمر عبر هذه الواجهات عند الانهيار. تؤثر الخصائص المعدنية للحصباء الدقيقة وأيضًا

الحصباء التي تحتوي على طبقة خارجية مسامية على البنية الميكروسكوبية للهالة الانتقالية وتؤدي إلى تكوين منطقة أكثر كثافة [42].

تحتوي الخرسانة المعاد تدويرها على واجهتين: الأولى في الحصباء المعاد تدويرها (ترابط الحصباء - المعجون القديم) والأخرى تم إنشاؤها حديثًا بين الحصباء المعاد تدويرها (بما في ذلك الملاط القديم) والمعجون الأسمنتي الجديد [74]. يجب مراعاة هذه المناطق عند دراسة نفاذية ومقاومة الخرسانة.

- ✓ **تأثير الملاط القديم الملتصق بالحصباء المعاد تدويرها في الخرسانة المعاد تدويرها:**

إحدى المشاكل الشائعة في الحصباء المستمدة من عمليات الهدم هو الملاط القديم الملتصق بالحصباء والذي لا يمكن التخلص منه بسهولة. كمية هذا الملاط غير متجانسة وتعتمد على جودة ترابط الحصباء مع معجون الأسمنت وكذلك قوة عملية التكسير أثناء تصنيع المعاد تدويرها. تؤثر هذه الكمية من الملاط الملتصق بالحصباء المعاد تدويرها على مقاومة الخرسانة على المدى الطويل. قد أثبت كوكوبو وأوينو (2000) [105] أنه إذا كان معدل الأسمنت إلى الماء للخرسانة الأصلية منخفضًا، فإن تأثير معجون الأسمنت لا يؤثر كثيرًا على المقاومة على المدى الطويل. على أي حال، تؤثر كمية الملاط الملتصق بالحصباء المعاد تدويرها على مقاومة الانحناء وطاقة التمزق، حيث تنخفض هذه المقاومة مع زيادة كمية الملاط.

- ✓ **تأثير شكل ونسيج سطح الحصباء:**

تؤثر شكل ونسيج الحصباء بشكل كبير على مقاومة الخرسانة [106]. تعتمد هذه الخاصية إلى حد كبير على خصائص الحصباء الكبيرة، حيث تكون أقل عندما تكون الحصباء ذات سطح أملس بالمقارنة مع الحصباء المكسرة ذات الشكل الزاوي والسطح الخشن [42]. مقاومة الضغط للخرسانة التي تحتوي على حصباء أملسة أقل بنسبة 10 من مقاومة الخرسانة التي تحتوي على حصباء خشنة.

- ✓ **تأثير الشكل والنسيج على ترابط المعجون بالحصباء:**

بناءً على التحاليل الميكرو-بنية [82,59] لخرسانة ما، تم إظهار أن واجهة معجون الأسمنت والحصباء تظهر كأكثر منطقة مسامية وبالتالي هي الأكثر حرجية بالنسبة لنفاذية ومتانة الخرسانة.

يؤثر نسيج سطح الحصباء على هذا الترابط مع معجون الأسمنت وبالتالي يؤثر على مقاومة الخرسانة (خاصة مقاومة الشد) [42,59,106]. وجد أن ترابط معجون الأسمنت والحصباء أفضل مع الحصباء المكسرة بسبب نسيجها الأكثر خشونة من الحصباء المدورة [108,42].

يؤدي نسيج الحصباء المكسرة إلى تحسين التصاق الحصباء بمصفوفة الأسمنت، شرط أن لا يحتوي هذه الحصباء على مواد تعيق التصاقها مثل غبار التكسير. وتكون الحصباء الأرق والطويلة عمومًا هشة، وبالتالي يجب تجنبها.

من الممكن أن تكون مقاومة التصاق المعجون أقل من مقاومة الشد لمعجون الأسمنت المتحجر مما يؤدي إلى انفصال الحصباء عن المعجون. وقد لوحظ هذه الظاهرة باستخدام حصباء من الكوارتزيت [109]. على الرغم من أن هذه الحصباء تتمتع بمقاومة عالية، إلا أن مقاومة الخرسانة التي تم استخدامها فيها، كانت ضعيفة جداً بسبب سطحها الأملس الذي يسبب انفصال المعجون عند تطبيق الجهد.

أُجريت تجربة أخرى [59] على اثنين من الخرسانات بنفس التركيبة ونفس الانسيابية، إحداها مع حصباء من الحجر الجيري والأخرى مع حصباء من السيليكا. لوحظ أنه على الرغم من صلابة السيليكس الأعلى بكثير من الحجر الجيري، إلا أننا نحصل على مقاومة شد أعلى بشكل ملحوظ مع الحجر الجيري الذي يظهر انفصال الحصباء في مستوى الحبيبات بالمقارنة مع السيليكس الذي يتعرض لانفصال الحصباء عن معجون الأسمنت عند تطبيق جهد.

يمتلك الحصباء الأرق والطويلة تأثير غير مواتي على متانة الخرسانة، حيث يميل الحصباء الأرق إلى التوجيه في اتجاه واحد مما يؤدي إلى تشكيل ممرات للتصريف وتركيز المياه والهواء حولها [59].

- ✓ **نفاذية الخرسانة، المسامية وامتصاص الماء:**

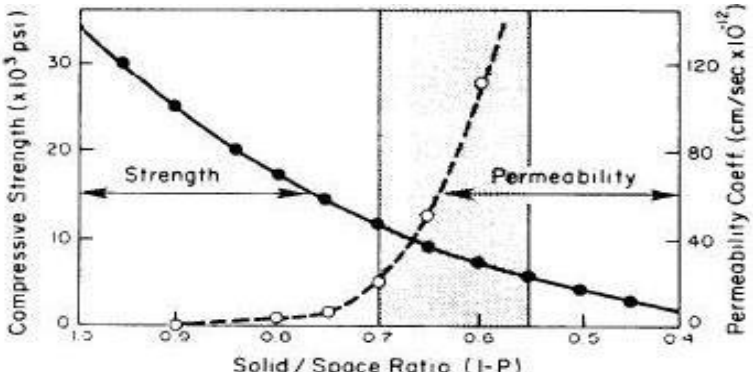
للحفاظ على الخرسانة بشكل جيد (متانة)، من الضروري وجود متطلبات لنفاذية الماء، والهواء أو بعض الغازات ومقاومة انتشار الأيونات. على الرغم من أن التأثيرات الميكانيكية والقوانين التي تحكمها مختلفة، إلا أن وسائل العمل التي تقيد هذه التأثيرات هي نفسها: تقليل حجم المياه المحتلة وتوصيل الشبكة الشعرية.

تتميز نفاذية الخرسانة بنفاذية معجون الأسمنت ونفاذية الحصباء. إذا كانت نفاذية معجون الأسمنت المتحجر مرتبطة بطبيعة الشبكة المسامية داخل معجون الأسمنت نفسه، ولكن أيضًا من المنطقة المجاورة للواجهة بين معجون الأسمنت والحصباء. بينما تتميز نفاذية الحصباء الطبيعية بطبيعة المسام التي عادةً ما تكون غير متصلة بالإضافة إلى أن الحصباء عندما تتم غمرها بمعجون الأسمنت، فإنها لا تشارك تقريبًا في نفاذية الخرسانة [42]. وعلى العكس من ذلك، تزيد استخدام الحصباء ذات القطر الكبير وبنسبة كبيرة من النفاذية [110]، والتي لاحظت بشكل أكبر في واجهة المعجون والحصباء. يجدر بالذكر أن نفاذية الخرسانة تنخفض بشكل كبير جدًا مع انخفاض نسبة E/C.

صحيح، لا يمكن الحديث عن النفاذية دون الإشارة إلى المسامية التي لا يؤثر حجمها وحده بشكل كبير على النفاذية. فالمسامية تعتمد على البعد والتوزيع والشكل والمتعرج والاستمرارية للمسام. نظرًا لأن العلاقة بين النفاذية والمسامية هي علاقة وثيقة جدًا، فإنها تُعَدُّ معاملًا حاسمًا لمتانة الخرسانة كما يوضح ذلك الشكل (I.10).

(تم توفير الشكل المذكور في النص ولكن لا يمكن عرضه هنا نظرًا لأن النص الذي يتم توفيره هنا يكون بصيغة نص ولا يدعم الرسوم البيانية أو الصور).

حجم المسامات في الخرسانة، بغض النظر عن سهولة تمرير السوائل خلالها، يتم قياسه من خلال




**الصورة II . 5 العلاقة بين نفاذية الخرسانة ومقاومة الضغط ومستوى المسامية مترابطة ارتباطًا وثيقًا مع الهيكل الدقيق للمادة.**

امتصاص الماء. يُعتبر امتصاص الماء ظاهرة فيزيائية تمثل سلوك الخرسانة المتصلبة تجاه الماء. إنها خاصية نقل للمادة المسامية تميز قدرتها على امتصاص ونقل سائل رطب عن طريق الشعيرات الشعرية. يمكن توصيف عملية امتصاص الماء من خلال معاملين: الامتصاص الأولي، الذي يمثل أبعاد الشعيرات الكبيرة، والامتصاصية، التي تمثل حجم الشعيرات الدقيقة [112].

أحد المشاكل الرئيسية في استخدام الركام المعاد تدويره في الخرسانة الهيكلية هو قوته العالية في الامتصاص، مما يؤدي إلى صعوبات في التحكم في الخصائص المادية والهندسية للخرسانة.

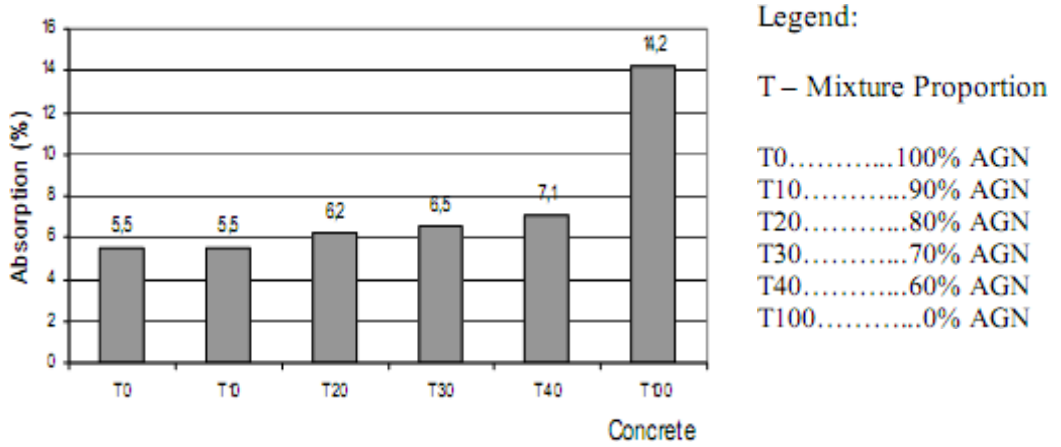
امتصاص الماء في الخرسانة الطازجة يؤدي بالتالي إلى تقليل قوتها ومتانتها بعد الانضمام. إن امتصاص الماء هو عامل مهم فيما يتعلق بمتانة الخرسانة، حيث يمكن تقليل عدد كبير من الاعتداءات مثل هجوم الكبريتات وتفاعل القلوي والجليد والذوبان إذا كان امتصاص الماء في الخرسانة منخفضًا. من المُوصَى بشدة باستخدام الخرسانة المُختلطة المصنوعة من الرمل الطبيعي والحصى المُعاد تدويره لظروف التعرض المتوسطة [112].

أثناء تصنيع هذه الخرسانة، يكون من الصعب الحفاظ على القابلية للتشغيل ثابتة نظرًا لامتصاص الماء العالي للحصى المعاد تدويره. يظهر أن المادة الأكثر إشكالية هي الرمل المعاد تدويره. يتطلب تحضير الخرسانة التي تحتوي على الرمال والحصى المعاد تدويره بعض الاحتياطات الخاصة:

- ❖ استخدام مثبط تدفق يساعد على حل مشاكل التشكيل وضمان سلوك مقبول.
- ❖ تشبع المحتمل للحصى الذي قد يكون ضروريًا لتحسين تنفيذ الخرسانة وتقليل حركة الماء من ملاط الأسمنت إلى الحصى.
- ❖ يمكن زيادة كمية الأسمنت بحوالي 50 كجم/م3 مقارنة بالخرسانة التي تحتوي على الرمل الطبيعي للوصول بأمان إلى فئة المقاومة المستهدفة.

يُظهر امتصاص الماء للخرسانة المعاد تدويره أنه أعلى بمقدار ثلاثة أضعاف من الخرسانة الطبيعية (تقريبًا) [114]. عُثِر عليه أن الماء الممتص من قِبَل خرسانة تحتوي على 100% من الحصى المعاد تدويره يكون حوالي 39% أعلى من الخرسانة التي تحتوي على الحصى الطبيعي بعد 28 يومًا من التجفيف.

يُظهِر الشكل (6-2) النسب المختلفة لامتصاص الماء للخرسانة باستخدام نسب مختلفة من الحصى المعاد تدويره.




**الشكل II . 1 يظهر امتصاص الماء للخرسانة**

- ✓ **الانكماش والانفعال :**

الانكماش والانفعال هما انحناءتان لا يمكن فصلهما عن سلوك الخرسانة. إنهما ينشأان من معجون الأسمنت. لذلك يجب أخذ هذه الانحناءات في الاعتبار في جميع الحالات.

الانكماش في معجون الأسمنت يكون أكبر بقدر زيادة نسبة الأسمنت إلى الماء. ومع ذلك، يكون انكماش التجفيف الذي قد يحدث فعلياً، محدودًا بوجود المواد الكبيرة إذا كانت بنسب مرتفعة. ووفقًا لبعض الدراسات، يتم تعزيز تدهور (التشقق) الذي ينشأ عن الانكماش بوجود المواد الكبيرة المسطحة

التي يمكن أن تكون سببًا لتجميع المياه إذا كانت مجاورة [24]، بوجود الطين والجزيئات الدقيقة في المواد الكبيرة ، وبحجم الموديول المرن لهذه الأخيرة [111]. الانكماش يكون أكبر في حال استخدام المواد الكبيرة الخفيفة التي تتمتع بموديول مرن أقل وبالتالي تقدم مقاومة أقل لانكماش معجون الأسمنت المحتمل [111]. عموماً، المواد الكبيرة الطبيعية لا تخضع للانكماش، ولكن هناك صخور تنكمش بدرجة تقارب الخرسانة ذات المواد الكبيرة التي لا تنكمش، كما هو الحال مع بعض الصخور الرسوبية. يصنف الحجر الجيري كمادة كبيرة بدون انكماش، على العكس من ذلك، تمدده الضئيل يقلل من الخصائص الحرارية للخرسانة لأن المواد الكبيرة الجيرية يمكن أن تظهر اختلافات كبيرة في معامل التمدد مع معجون الأسمنت، مما قد يؤدي إلى كسر الارتباط بين المعجون والمواد الكبيرة .

يميل الخرسانة المصنوعة من المواد الكبيرة المعاد تدويرها إلى أن تكون لها انكماش وانفعال أكبر. يزداد هذا الاتجاه مع زيادة نسبة المواد الكبيرة المعاد تدويرها. تم الإبلاغ عن انكماش وانفعال مفرطين في حالة استخدام رمل الخرسانة المكسورة وتبليل المواد الكبيرة مسبقًا، وفقًا لدراسة [116]. أوصت هذه الدراسة بتبديل رمل الخرسانة المعاد تدويرها برمل طبيعي لتخفيف آثار الانكماش والانفعال. أشار HASABA & ALL. إلى أن انكماش تجفيف الخرسانة المصنوعة من المواد الكبيرة المعاد تدويرها ورمل طبيعي يكون 50% أكبر من الخرسانة التقليدية، وعند استخدام كل من المواد الكبيرة المعاد تدويرها (كبيرة ودقيقة)، يمكن أن يزداد انكماش التجفيف للخرسانة المعاد تدويرها بنسبة تصل إلى 70% أكثر من الخرسانة التقليدية. يدعم هؤلاء الكتاب أن العامل المسؤول عن تولد انكماش في هذا النوع من الخرسانة هو الامتصاص القوي للماء من قبل المواد الكبيرة المعاد تدويرها.

تظهر بعض الدراسات KATZ (2003) أنه عند سن 90 يومًا، يمكن أن يكون الانكماش حوالي 0.55 إلى 0.8 مم / متر للخرسانة المعاد تدويرها، بينما القيمة المقارنة للخرسانة التقليدية هي فقط حوالي 0.30 مم / متر. في بعض الدراسات الأخرى [118]، أظهر تأثير نسبة المواد الكبيرة المعاد تدويرها أي فرق ملحوظ في الانكماش إذا لم تتجاوز هذه النسبة 50% بشكل جيد. يعرض هذا الشكل مقارنة بين قياسات الانكماش على العينات الخرسانية المصنوعة من 20 و50 و100% من المواد الكبيرة المعاد تدويرها. عند معدلات 100% من المواد المعاد تدويرها، يكون الفرق واضحًا بالفعل. تم الحصول على نتائج مماثلة أيضًا عند ربط الانكماش بمقاومة الضغط ، مع نسب المواد الكبيرة المعاد تدويرها بنسب 20 و 50%، تكون القيم المعروضة ضمن نفس النطاق من القيم المسجلة مع الخرسانة المرجعية، في حين تكون قيمة العينة بنسبة 100% من المواد المعاد تدويرها بعيدة عن ذلك بكثير. بعد سنة من التحميل في ظروف معملية طبيعية، أظهرت نتائج اختبار الانفعال تناقضًا مع ما تم ذكره سابقًا، حيث أعطى الانفعال نحو 20% أقل من الخرسانة التقليدية [50]. على الرغم من أن هناك حاجة لعمل إضافي في هذا المجال لمقارنة النتائج، يبدو أن سلوك الخرسانة المعاد تدويرها والخرسانة التقليدية غير قابلة للمقارنة عند تصور التأثير المشترك للانكماش والانفعال .

## 2.6 الخصائص الميكانيكية :

### ✓ مقاومة الضغط:

ترتبط المقاومة الميكانيكية للخرسانة بشكل أساسي بأداء المواد الكبيرة . ووفقًا لبعض الباحثين [120، 121]، تحصل الخرسانة المصنوعة باستخدام المواد الكبيرة المعاد تدويرها على مقاومة ميكانيكية جيدة وقد تصل مقاومتها للضغط إلى قيم مكافئة لتلك الموجودة في الخرسانة التقليدية.

يتأثر مقاومة الضغط للخرسانة التي تحتوي على مواد كبيرة معاد تدويرها مباشرةً بمقاومة المواد الكبيرة المستخدمة. ويعتمد ذلك بدوره على الكثافة النقية للمواد الكبيرة. ونظرًا لأن المواد الكبيرة المعاد تدويرها عادة ما تظهر كثافة أقل من المواد الكبيرة الطبيعية، بسبب وجود الأسمنت والتكوين غير المتجانس فيها، فإن مقاومة الضغط للخرسانة المصنوعة من مواد معاد تدويرها عمومًا تكون أقل. يؤثر وجود الطين الملتصق بالمواد الكبيرة والذي يمتلك صلابة أقل بكثير من المواد الكبيرة الطبيعية، على هذه الصلابة وبالتالي على مقاومتها [122]. ومع ذلك، فإن مقاومة الخرسانة لا تعتمد فقط على

مقاومة المواد الكبيرة، بل يتأثر أيضًا بجودة الأسمنت وتركيبة المعجون وعملية الخلط والكثافة وغيرها من العوامل التي تؤثر على مكونات الخرسانة وخصائصها النهائية.

المقاومة الميكانيكية للخرسانة تعتمد بشكل كبير على خصائص المواد الكبيرة، ولكن أيضًا إلى حد ما على امتصاصها وخصائص الرابطة بينها.

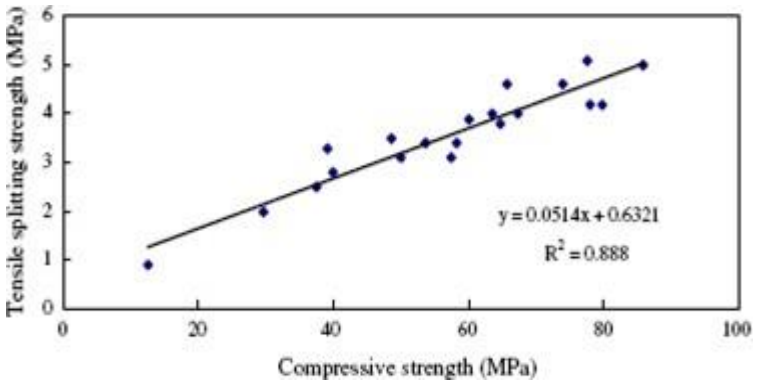
وفقًا لتاش وأدلفاتاه (2009) [123]، يمكن للخرسانة المعاد تدويرها أن تنافس الخرسانة التقليدية إذا كانت تحتوي على نسبة عالية من الزلط بدلاً من المعجون القديم.

مع استخدام تقنيات محددة أثناء تحضير الخرسانة، وزيادة نسبة الأسمنت (بنسبة حوالي 10%) وتقليل نسبة الماء إلى الأسمنت، يمكن تحقيق خرسانة تمتلك مقاومة مماثلة للخرسانة التقليدية التي تحتوي على مواد كبيرة طبيعية. وفقًا لدراسة قام بها ب. جونزاليس فونتيبوا (2005) [124]، تعطي خرسانة محضرة بنسبة 50% من المواد الكبيرة المعاد تدويرها الرطبة ونسبة الماء إلى الأسمنت = 55.0 نفس المقاومة للضغط مثل الخرسانة التقليدية.

- ✓ **العلاقة بين مقاومة الضغط ومقاومة الشد:**

تزداد مقاومة الشد (Rt) مع زيادة مقاومة الضغط (Rc)، ولكن بمعدل يتناقص. هناك العديد من العوامل التي تؤثر على العلاقة بين المقاومتين: المواد الكبيرة الكبيرة المكسرة، خصائص المواد الكبيرة الدقيقة، توزيع حجم المواد الكبيرة وعمر الخرسانة. تم اقتراح عدد من الصيغ التجريبية التي تربط بين Rt و Rc. يبدو أن التعبير التالي يعطي أفضل علاقة بين Rt و Rc: $Rt = 0.2 * Rc^{0.7}$ (I.2

حيث يتم التعبير عن المقاومتين بالميجاباسكال. بالنسبة للخرسانة المعاد تدويرها، يصف الشكل (I.14) العلاقة الوثيقة بين مقاومة الشد بالتصدع ومقاومة الضغط [100].




**الصورة II . 6 9 العلاقة بين مقاومة الشد بالتصدع ومقاومة الضغط**

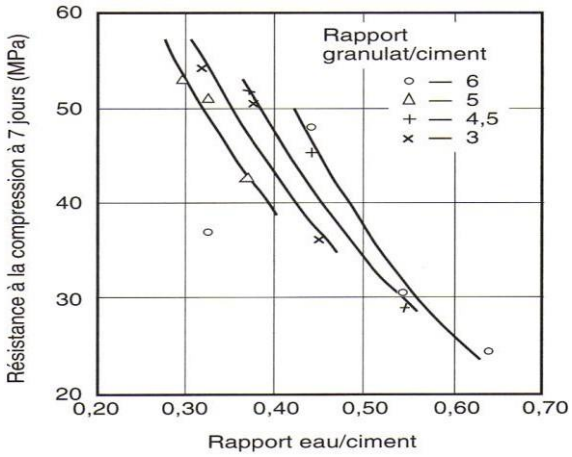
✓ **تأثير كمية المادة الرابطة على المقاومة**

زيادة جرعة الأسمنت في الخرسانة سيؤدي إلى تقليل نسبة الماء إلى الأسمنت في هذه الخرسانة، مما سيؤدي بالضرورة إلى زيادة المقاومة خاصة على المدى القصير. يرتبط مستوى المقاومة للخرسانة بنوع وفئة الأسمنت [93]، بينما تؤثر الجرعة العالية للأسمنت في المقاومة لجميع أنواع الخرسانة ذات المقاومات المتوسطة أو العالية جدًا (< 35 ميجاباسكال). لتحقيق نفس مقاومة الضغط للخرسانة التقليدية، من الضروري زيادة جرعة الأسمنت في الخرسانة التي تحتوي على مواد كبيرة معاد تدويرها من 5 إلى 9 % ومن 15 إلى 20 % في الخرسانة التي تحتوي على رمل معاد تدويره [73].

✓ **تأثير نسبة الركام إلى الأسمنت على المقاومة:**

نسبة الركام إلى الأسمنت هي عامل ذو أهمية ضئيلة في تطور المقاومة. مع نسبة ماء إلى الأسمنت ثابتة، تم إثبات أن الخرسانة التي تحتوي على جرعة أقل من الأسمنت تكون أكثر مقاومة [125] كما يظهر في الشكل (10-2). التفسير الأكثر احتمالاً هو النسبة المنخفضة للفراغات بالمقارنة مع حجم الخرسانة الإجمالي.

بمعنى آخر، عندما يكون لدينا نفس نسبة الماء إلى الأسمنت، يبدو أن استخدام جرعة أقل من الأسمنت يؤدي إلى خرسانة أكثر مقاومة. هذا يرجع إلى أن نسبة الركام إلى الأسمنت تؤثر على تراكب الجسيمات وتقليل الفراغات في الخرسانة، مما يعزز قوتها ومقاومتها للتحميل والتشقق.




**الصورة II . 7 تأثير نسبة الركام إلى الأسمنت على مقاومة الخرسانة**

تشير الدراسات التي أجريت حول تأثير نسبة المواد الكبيرة على مقاومة الخرسانة إلى أنه عندما يزداد نسبة حجم المواد الكبيرة من 0 إلى 20٪ من الحجم الإجمالي، يحدث انخفاض تدريجي في مقاومة الضغط، بينما بين 40 و 80٪، يحدث زيادة في مقاومة الضغط.

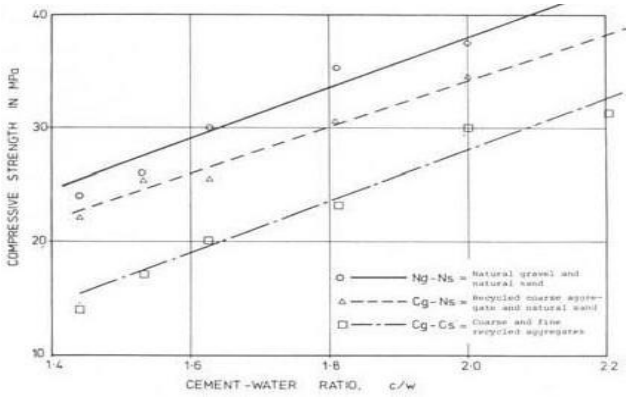
- ✓ **تأثير المواد الكبيرة على نسبة الماء إلى الأسمنت (E/C):**

معروف أن الخرسانة المصممة باستخدام المواد الكبيرة المكسرة تولد سطحًا محددًا أكثر تطورًا وتتطلب كمية أكبر من الماء من المواد الكبيرة المدحلة مما يؤثر على المقاومة.

بالنسبة للنسبة بين الماء والأسمنت (E/C) التي تكون أقل من 0.4، يتم زيادة مقاومة الضغط بنسبة 38٪، عندما يتم تصنيع الخرسانة باستخدام المواد الكبيرة المكسرة بدلاً من المدحلة، وبالنسبة لنسبة E/C = 0.65، لا يتغير مستوى المقاومة .

امتصاص الماء من قبل المواد الكبيرة المعاد تدويرها يؤدي إلى استخدام نسب E/C أعلى في الخرسانة المعاد تدويرها بالمقارنة مع الخرسانة التقليدية [85]. [127] MUKAI & ALL (1979) اقترحت علاقة بين نسبة E/C ومقاومة الضغط بناءً على نسبة المواد الكبيرة المعاد تدويرها المستخدمة، كما هو موضح في الشكل (11-2).

أثبتت [85] TAVAKOLI & SOROUSHIAN (1996)أن الخرسانة المكونة من 100٪ من المواد الكبيرة المعاد تدويرها بنسبة ماء إلى الأسمنت أقل من الخرسانة التقليدية، تعطي مقاومة ضغط أعلى مما تم رصده في الخرسانة التقليدية. بينما عند نسبة الماء إلى الأسمنت متساوية، فإن مقاومة الضغط للخرسانة المكونة من 100٪ من المواد الكبيرة المعاد تدويرها أقل من مقاومة الخرسانة التقليدية [119].




**الصورة II . 8 العلاقة بين نسبة الماء إلى الأسمنت**

### ✓ تأثير أصل ومقاومة المواد الكبيرة:

نظرًا لأن ثلاثة أرباع حجم الخرسانة يتكون من المواد الكبيرة، فإن جودة هذه المواد ذات أهمية كبيرة على مقاومة الضغط للخرسانة. لا يمكن أن تتجاوز مقاومة الضغط للخرسانة بشكل كبير مقاومة معظم المواد الكبيرة، ويعتمد ذلك من جهة على طبيعة الصخرة الأم التي تم تكسيرها أو تلفيها إلى الحجم الحالي [115، 128] ومن جهة أخرى، على عملية التكسير المعتمدة [129].

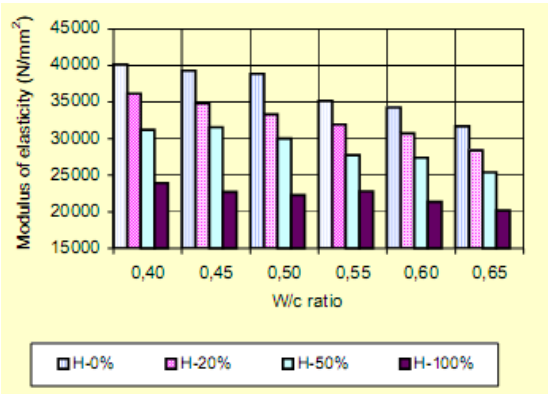
عندما يتم تحميل عينة من الخرسانة بالضغط، فإنها تحتوي على العديد من المواد الكبيرة المكسورة، مما يعني أن مقاومة المادة الكبيرة أقل من المقاومة الاسمية للخرسانة. يُلاحظ هذا بشكل خاص عند استخدام اللاتيريت كمواد كبيرة، وهي تستخدم على نطاق واسع في الدول الواقعة جنوب الصحراء الكبرى [109].

وبالتالي، فإن أصل ومقاومة المواد الكبيرة يلعب دورًا حاسمًا في تحديد قوة الخرسانة وأدائها، ويجب مراعاة هذه العوامل عند اختيار المواد الكبيرة المناسبة للخلطة الخرسانية المستخدمة في المشروع.

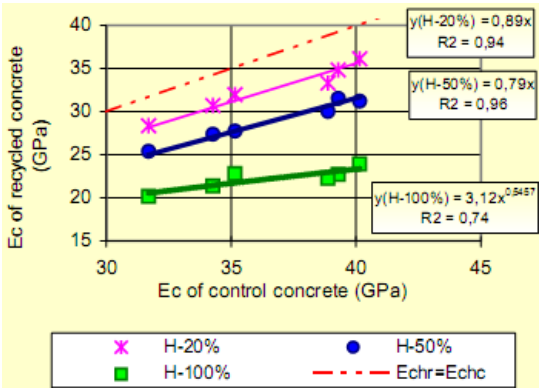
### ✓ معامل المرونة (E):

معامل المرونة هو واحد من الخصائص الأكثر تأثراً في الخرسانة المعاد تدويرها، حتى عند معدلات الاستبدال المنخفضة بالمواد الكبيرة المعاد تدويرها [115]. تم الإبلاغ عن معامل المرونة للخرسانة المعاد تدويرها بنسبة تتراوح بين 50-70٪ مقارنة بالخرسانة العادية، حسبما أفاد بعض الباحثين [84، 200، 201، 202]. لاحظ هؤلاء الباحثون أنه مع مستويات استبدال مختلفة للمواد الكبيرة المعاد تدويرها بنسب 20٪، 50٪ و 100٪ في الخرسانة، فإن القيم المتوسطة لمعامل المرونة تكون منخفضة بنسبة 10٪، 20٪ و 40٪ على التوالي مقارنة بالقيم المسجلة للخرسانة التقليدية [85] كما هو موضح في الشكل (12-2). يُلاحظ في هذا الشكل أن فقدان الصلابة للخرسانة المعاد تدويرها يزداد بزيادة نسبة الماء إلى الأسمنت. هناك ترابط بعض بين المعاملات الإنشائية الثابتة للخرسانة التقليدية والخرسانة المعاد تدويرها عندما يكون الاستبدال جزئيًا (20٪ و 50٪) وتصبح متوسطة عندما يكون معدل الاستبدال 100٪ ويتم تمثيل ذلك بوضوح في الشكل (13-2).

نتائج اختبار الزمن الزائف الذي أجري في ظروف معملية عادية تتعارض مع ما تم ذكره سابقًا، حيث




**الصورة II . 12 تطور المعامل المرون للخرسانة بالنسبة للمعدلات المختلفة للاستبدال بالمواد الكبيرة المعاد تدويرها ونسبة الماء إلى الأسمنت (E/C).**




**الصورة 2. 13 العلاقة بين مقاومة الضغط وانكماش الخرسانة** [119]

تبين بعد مرور عام من التحميل أن الزمن الزائف يكون أقل بحوالي 20% من الخرسانة العادية (NAC). ومع ذلك، يجب ملاحظة أنه من الضروري إجراء المزيد من الأبحاث في هذا المجال لمقارنة وتأكيد هذه النتائج.

يبدو أن سلوك الخرسانة ذات الركام الطبيعي المعاد تدويره (RAC) والخرسانة ذات الركام الطبيعي (NAC) غير قابل للمقارنة المباشرة عند مراقبة التأثير المشترك للانكماش والزمن الزائف. قد يكون ذلك ناجمًا عن الاختلافات في خصائص المواد، والتفاعلات بين الركام المعاد تدويره والمصفوفة الإسمنتية، بالإضافة إلى عوامل أخرى تؤثر على السلوك طويل المدى لهذه الخرسانة .

من المهم مواصلة البحوث في هذا المجال من أجل فهم الاختلافات في السلوك بين الخرسانة ذات الركام المعاد تدويره و الخرسانة التقليدية بشكل أفضل. ستسهم هذه النتائج في تحسين تصميم واستخدام الخرسانة المستدامة مع مراعاة الخصائص المحددة للمواد المعاد تدويره.

## 2.6.1 الخصائص الميكانيكية :

### ✓ مقاومة الضغط:

ترتبط مقاومة ميكانيكية للخرسانة بشكل أساسي بأداء الحصى الميكانيكي. وفقًا لبعض الكتّاب [120,121]، تحقق الخرسانات المصنوعة باستخدام الحصى المعاد تدويره مقاومة ميكانيكية جيدة وقد تصل إلى مقاومة الضغط المكافئة لتلك الموجودة في الخرسانة التقليدية.

تأثر مقاومة الضغط للخرسانات القائمة على الحصى المعاد تدويره بشكل مباشر بمقاومة الحصى المستخدمة. وهذا يعتمد بدوره على الكثافة الخام للحصى. حيث أن الحصى المعاد تدويره عادة يظهر كثافة أقل من الحصى الطبيعي، نتيجةً لوجود الأسمنت وتكوين غالبًا غير متجانس، فإن مقاومة الضغط للخرسانات المصنوعة من الحصى المعاد تدويره عمومًا أقل. وتؤثر وجود الملاط الملتصق بالحصى والذي يتمتع بصلابة أضعف بكثير من الحصى الطبيعي بشكل أكبر على هذه الصلابة وبالتالي تصنيفها [122]. ومع ذلك، فإن مقاومة الخرسانة لا تعتمد فقط على المقاومة الميكانيكية للحصى، بل أيضًا إلى حد ما على امتصاصهم وخصائص ربطهم.

وفقًا لتاش وأديلفتاه (2009) [123]، يمكن للخرسانة ذات الركام المعاد تدويره أن تنافس الخرسانة التقليدية إذا كانت غنية بالحصى بدلاً من الملاط القديم.

مع استخدام تقنيات محددة أثناء تحضير الخرسانة، يمكن تحقيق محتوى أعلى من الإسمنت (بنسبة حوالي 10%) ونسبة E/C أقل، وبذلك يمكن تحقيق خرسانة بمقاومة مشابهة لتلك المصنوعة من الحصى الطبيعي. ووفقًا لدراسة قام بها ب. غونزاليس فونتيبوا (2005) [124]، تحقق الخرسانة المحضرة باستخدام 50% من الحصى المعاد تدويره بحالة رطبة ونسبة E/C = 0.55 نفس مقاومة الضغط التي تحققها الخرسانة التقليدية.

✓ **تأثير كمية المواد الرابطة على المقاومة:**

زيادة محتوى الإسمنت في الخرسانة ستؤدي إلى تقليل نسبة الإسمنت إلى الماء (E/C) في هذه الخرسانة، مما سيؤدي بالضرورة إلى زيادة المقاومة بشكل خاص على المدى القصير. ترتبط مقاومة الخرسانة بنوع وفئة الإسمنت [93]، بينما يؤثر المحتوى العالي من الإسمنت في الخرسانة على مقاومة جميع أنواع الخرسانات من المقاومات المتوسطة إلى العالية جدًا (< 35 ميجا باسكال) [45]. من أجل تحقيق نفس مقاومة الضغط للخرسانة التقليدية، يتطلب زيادة جرعة الإسمنت في الخرسانة ذات الركام الخشن المعاد تدويره من 5 إلى 9% ومن 15 إلى 20% في الخرسانة ذات الركام الناعم المعاد تدويره.

✓ **تأثير أصل ومقاومة الحصى:**

نظرًا لأن ثلاثة أرباع حجم الخرسانة مشغولة بالحصى، فإن جودة هذه الأخيرة ذات أهمية كبيرة فيما يتعلق بمقاومة ضغط الخرسانة. لا يمكن أن تتجاوز مقاومة الضغط للخرسانة بشكل كبير مقاومة معظم الحصى، ويعتمد ذلك من جهة على طبيعة الصخور الأم التي تم تكسيرها أو تآكلها إلى البعد الحالي [115، 128] ومن جهة أخرى على عملية التكسير المعتمدة [199]. المحاولة المكسرة من الخرسانة التي تعرضت للضغط تحتوي على عدة حصى مكسورة، وهذا يعني أن مقاومة الحصى أقل من المقاومة الاسمية للخرسانة. هذه الحالة تنطبق عند استخدام اللاتريت كحصى، والتي تنتشر بشكل أكبر في البلدان الواقعة جنوب الصحراء الكبرى [109].

✓ **وحدة المرونة (E):**

وحدة المرونة هي واحدة من الخصائص الأكثر تأثراً في الخرسانات المعاد تدويرها، حتى عند استبدال نسب متدنية من الحصى المعاد تدويره [115]. تم الإبلاغ عن وحدة المرونة للخرسانة المعاد تدويره بنسبة تتراوح بين 50-70% مقارنة بالخرسانة العادية، كما أفاد بعض الكتّاب. لاحظوا أنه عند استبدال نسب 20، 50 و 100% من الحصى المعاد تدويره في الخرسانة، فإن القيم المتوسطة لوحدة المرونة تقل على التوالي بنسب 10، 20 و 40% مقارنة بتلك المسجلة للخرسانة التقليدية [119] كما هو موضح في الشكل (I.17). من الواضح من الشكل أن فقدان الصلابة في الخرسانات المعاد تدويره يتزايد مع زيادة نسبة E/C. هناك ترابط معين بين الوحدات المرونة الثابتة للخرسانة التقليدية والخرسانة المعاد تدويره عندما يكون الاستبدال جزئيًا (20 و 50%)، وتصبح هذه الترابط ضعيفة عندما تكون نسبة الاستبدال 100%.

✓ **المتانة:**

يمكن لكل عامل مهاجم في البيئة المحيطة بالهيكل الخرساني أن يتسرب وينتشر ويخترق من خلال المسام الموجودة في الخرسانة وفقًا للقوانين وآليات النقل. تظهر سوء المتانة من خلال تدهور يمكن أن ينجم عن عوامل خارجية أو ظواهر داخلية في الخرسانة. لذا، يعتبر دراسة متانة الخرسانات التي تعتمد على الحصى المعاد تدويره خطوة ضرورية لتحديد مجال استخدامها، وامتصاص الماء هو العيب الرئيسي الذي يهدد المتانة. يعتبر امتصاص الماء عن طريق الغمر وإجمالي حجم المسام كمؤشرين أفضل للطول المحتمل للعمر الافتراضي للخرسانة من امتصاص الماء عن طريق السعلات، والذي يعطي مؤشرًا ماكروسكوبيًا للشبكة المسامية بما أن الخرسانة ليست بحالة تشبع كامل للماء. أفادت دراسة أجراها ويركوين وآخرون [112] بأن عملية امتصاص الماء في الخرسانة المعاد

تدويره مماثلة لتلك في الخرسانة التقليدية وتخضع للقوانين نفسها. ومع ذلك، تتميز الخرسانات المعاد تدويره بقدرة أكبر على امتصاص الماء. يعود ذلك إلى حجم السعلات الكبيرة والنسبة الحجمية الأكبر للسعلات الصغيرة، مما يجعلها في المقام الأول أكثر عرضة لاختراق العوامل المهاجمة. تلك العوامل تأتي في شكل ماء أو أيونات أو غازات تخترق الخرسانة وقد تغير سرعة تدهور الخرسانة خلال فترة عمر المنشأ. أكثر الظواهر التي تمت مناقشتها في الأدب العلمي لحالة الخرسانة المعاد تدويره هي: الكربونة، وتفاعل القلويات، والتجمد والذوبان.

وجود الملاط الملتصق بالحصى والذي يمتلك صلابة أضعف بكثير من الحصى الطبيعي، يؤثر بشكل أكبر على هذه الصلابة، وبالتالي تصنيفها [122].

- ✓ **الكربونة:**

بسبب مساميته الأعلى، يجب أن تكون عمق الكربونة أعلى بمبدأ للخرسانة المعاد تدويره مقارنة بالخرسانة الطبيعية. ومع ذلك، وفقًا لدراسة أجريت على إعادة تدوير الحصى من الخرسانة والحصى من البناء ، فإن عمق الكربونة يقل عندما يزيد كمية الحصى المعاد استخدامه، وهذا يظهر سلوكًا أفضل عندما يكون الاستبدال 20% أو 50%. حتى عند الاستبدال بنسبة 100%، كان مستوى الكربونة مماثلًا لتلك المرئية في الخرسانة الطبيعية.

يمكن تفسير هذا بأن جرعة الإسمنت أعلى في الخرسانة المعاد تدويره لتحقيق المقاومة الميكانيكية للخرسانة الطبيعية، مما يزيد من القلوية في الوسط. بالإضافة إلى ذلك، يتكون الحصى المعاد تدويره جزئيًا من الملاط القديم الذي قد يحتوي على هيدروكسيد الكالسيوم الذي يزيد من القلوية بشكل أكبر. من الجانب الآخر، قد تبطئ التشبع بالماء (أثناء الامتصاص ونسبة E/C العالية) انتشار ثاني أكسيد الكربون، وهذا أمر مهم عندما يزيد معدل استبدال الحصى المعاد تدويره.

- ✓ **تفاعل القلويات مع الحصى (Alkali-Aggregate Reaction - AAR):**

تعتبر تفاعل القلويات مع الحصى واحدة من مشكلات الخرسانة، حيث يحدث تفاعل كيميائي بين السيليكا الشبه بلورية أو غير متبلورة الموجودة في الحصى النشط وبعض أيونات المحلول الفجوي. في حالة عدم اتخاذ الاحتياطات اللازمة، يمكن أن تظهر هذه المشكلة في أجزاء من المنشآت، وخاصة في الأماكن المعرضة بشكل شديد للرطوبة، وتتميز بتكوين هلام متورم يمكن أن يسبب، خاصة في قلب الخرسانة، تشوهات وتشققات صغيرة في المادة. الإجهادات المتمددة تولد، إذا تجاوزت مقاومة الشد للخرسانة، انفصالًا على الحدود بين اللب والحصى وتكوين تشققات صغيرة تظهر سطحيًا على شكل تشققات باتجاهات متعددة. يمكن حدوث هذه المشكلة فقط عندما تتوافر ثلاثة شروط معاً: وجود حصى ممكن أن يكون نشطًا كيميائيًا، ووجود القلويات ($Na^+$، $K^+$) بكميات كافية في المحلول الفجوي ($pH > 12.5$) للحفاظ على تركيز أيونات الهيدروكسيل عالي، وظروف رطوبة نسبية تتجاوز 80-85٪ [129].

بالنسبة لحالة إعادة استخدام الحصى من الخرسانة المعاد تدويره، يوجد قليل جدًا من المواضيع في الأدب العلمي حول حالة تفاعل القلويات مع الحصى. لا يمكن أن يحدث هذا المشكل إلا إذا كان الحصى المعاد تدويره نشطًا انطلاقيًا من البداية، ويمكن أن يحدث هذا عندما لم تكن الظروف ملائمة لتفاعلهم قبل إعادة الاستخدام (مثل أنهم كانوا في بيئة جافة أو عدم وجود كافي من القلويات)، أو عندما يأتي من الملاط القديم الذي يحتوي على نشاط كيميائي متبقي في جزء الرمل .

- ✓ **التجمد والذوبان:**

لا يكون الحصى حساسًا للتجمد إذا كان لديه مسامية منخفضة جدًا أو إذا تم تقطيع نظامه الشعري بواسطة عدد كافٍ من الماكروسبورات (التي تلعب دور فقاعات الهواء). حجم الماء القابل للتجمد لا يجب أن يتجاوز حجم فراغات الهواء المحتجزة في الخرسانة. تترجم هذه الشروط إلى ضرورة وجود

نسبة ماء إسمنت/ماء كافية منخفضة، مما يؤدي إلى تحقيق مقاومة جيدة للخرسانة والتي يمكنها تحمل القوى التالفة الناجمة عن التجمد. الخرسانة المصنوعة من حصى معاد تدويره لا تفلت من هذا القاعدة وهي أكثر عرضة لهذه التدهورات بسبب نسبة امتصاص المياه العالية من قبل الحصى.

تم إجراء العديد من الأبحاث حول استخدام الحصى المعاد تدويره المتاح في السوق أو المصنوع من الخرسانة المختبرية، مع وجود هيكل هوائي أو بدونه. وقد أشارت هذه الأبحاث إلى أن سلوك الخرسانة المعدة فقط من الحصى المعاد تدويره فيما يتعلق بالتجمد والذوبان هو ضعيف إلى حد ما، ولكن يمكن التفكير في استخدام خرسانة مصنوعة من رمل طبيعي وحصى معاد تدويره في ظروف تجمد معتدل. يمكن قياس درجة تأثر الخرسانة بالتجمد من خلال تفكك حجمي للحصى المعرض لدورات التجمد والذوبان، أو من خلال قياس مقاومة التجمد والذوبان للخرسانة، ولكن لم يتم تأسيس علاقة بسيطة بين هذه الاختبارات. وبنتيجة لذلك، تنبع أداء الخرسانة المعاد تدويره ذات الأداء الضعيف في مقاومة التجمد والذوبان من الخرسانة المعاد استخدامها من الخرسانة التي لديها هيكل هوائي سيء أو تكون قد تعرضت لتشققات أثناء الإنتاج (عند التكسير) [130].

تم إجراء اختبارات بهدف تحسين مقاومة الخرسانة المعاد تدويره للتجمد والذوبان من خلال إعادة تكوين التركيبة، أو من خلال إضافات مانعات التجمد. ووفقًا لـ SALEM & BURDETTE (1998)، فإن طريقة تدخل الهواء هي أفضل طريقة لتحسين مقاومة الحصى المعاد تدويره للتجمد والذوبان، ومع ذلك، تؤثر هذه الطريقة على بعض الخصائص الفيزيائية للخرسانة. لقد لاحظ M. BARRA & VAZQUEZ (1996)أن النتائج السيئة لمقاومة التجمد والذوبان للحصى المعاد تدويره يمكن تحقيقها من خلال استخدام الحصى في حالة التشبع أو الجفاف، وأن هذه الخرسانة تصبح جيدة باستخدام حصى تم تبليله مسبقًا. [131]

## 2.7 الخاتمة :

استنادًا إلى ما تم تقديمه في هذا الجزء من المراجع، يمكننا التوصل إلى النتائج التالية:

- تختلف نوعية وجودة فضلات البناء والهدم من بلد إلى آخر، وإعادة تدويرها يكون أكثر تأثيرًا بيئيًا من اقتصاديًا.
- وجود مواد اللبنة (الملاط الملتصق بالحصى) يعقد من اختيار تقنيات الإنتاج، وبالتالي يمكن أن تتزايد وجود الشوائب بشكل كبير.
- إزالة البنية بشكل انتقائي ضرورية، وهو اختيار أكثر كلفة ولكنه يضمن حصى عالية الجودة.
- بسبب نسبة امتصاص المياه العالية، سيتضيق نطاق تطبيق الحصى المعاد تدويره. إنها تظهر أداءً سيئًا فيما يتعلق بالتجمد والذوبان.
- تشير النتائج المسجلة في الأدب إلى تعقيدات فيما يتعلق بحجم استبدال الحصى المعاد تدويره، مما يستدعي التحقيقات الأخرى لتحديد خصائص الخرسانة المعاد تدويره بشكل أفضل.
- تبرز التجارب في مجال إعادة التدوير الدول المتقدمة أكثر (أكثر الدول صناعية) التي تهتم بالتنمية المستدامة وتأخذ البيئة كأداة رائدة.

# الفصل الثالث :

# تركيبة الخرسانة و خصائص المواد المستعملة

**مقدمة**

الخرسانة هي مادة مكونة من ثلاثة مكونات أساسية، وهي الركام والرمل والحصى، بالإضافة إلى الاسمنت الذي يعمل كرابط هيدروليكي، ويتم استخدام الماء أيضًا. يتم تكوين الخرسانة من خلال تفاعل كيميائي يسمح بتجميعها ببطء، وتصل نسبة 50% من مقاومتها النهائية بعد مرور 7 أيام، وهذه القيمة يتم احتسابها بناءً على القيم التي تحصلنا عليها بعد مرور 28 يومًا. في هذا الفصل، سنقوم بدراسة خصائص مكونات الخرسانة، وتركيبتها، وسنقوم بإجراء اختبارات على المواد لتحديد خصائصها. تُستخدم المواد التي نستخدمها في الدراسة المحلية، وتشمل رمال الكثبان الرملية من وادي، ورمل البناء من جامعة ، وحصى من عين توته باتنة، بالإضافة إلى الإسمنت.

# 3 تركيبة الخرسانة و خصائص المواد المستعملة :

## 3.1 خصائص المواد المستعملة :

### 3.1.1 الرمل:

قمنا باستخدام نوعين من الرمل في هذا البحث، وهما رمل الكثبان الرملية من ولاية الوادي، ورمل البناء من جامعة ولاية المغير . بعد ذلك، قمنا بمزجهما للحصول على خليط من الرملين، وأجرينا تجربة عليه لدراسة خصائصهما.

#### 3.1.1.1 الكتلة الحجمية:

النتائج في الجدول الآتي:

**الجدول III. 1 يوضح الكتلة الحجمية الظاهرية و المطلقة**

| الكتلة الحجمية | رمل البناء | رمل الكثبان | المزيج | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 10% | 15% | 20% | 20% |
| الظاهرية $g/cm^3$ | 1.46 | 1.79 | 1.79 | 1.77 | 1.75 | 1.70 |
| المطلقة | 2.4 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |

**تجربة الكتلة الحجمية الظاهرية :**

- وزن المول فارغ $m_0$= 7974
- وزن المول مع العينة $m_1$= 13220
- حجم المول

نصف القطر * π* الارتفاع $v= 35685.49\ m^3$

$P= m_1-m_2/v$ $p= 1.46\ g/m^3$

#### 3.1.1.2 التحليل الحبيبي

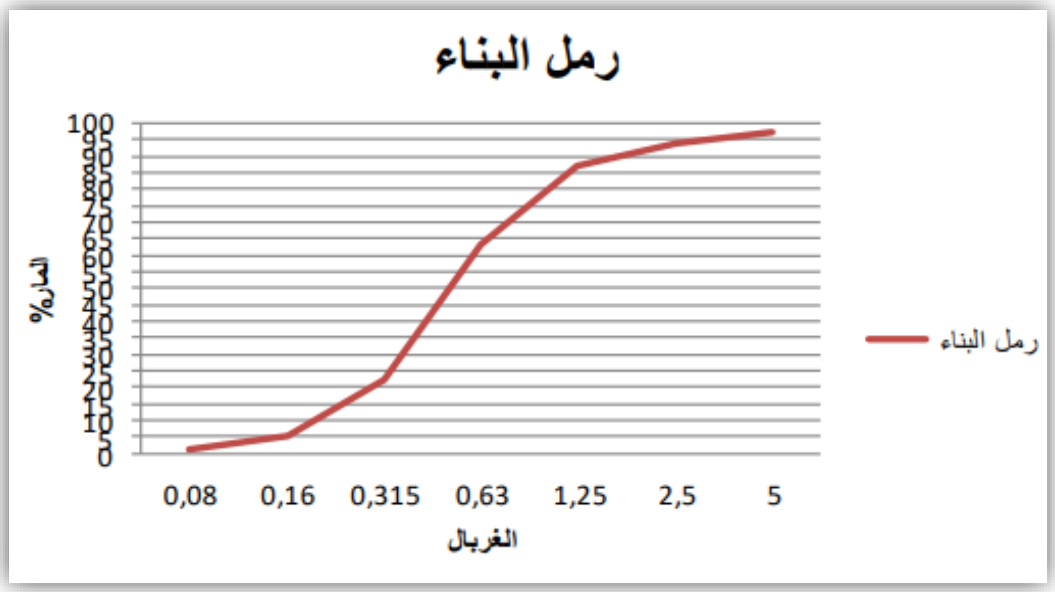
**الصورة III. 1 توضح الغربيل المستخدمة في تحليل الحبيبي**

### 3.1.1.2.1 رمل البناء :

يوضح الجدول والرسم البياني ادناه نتيجة التحليل الحبيبي

**الجدول III. 2 يوضح التحليل الحبيبي لرمل البناء**

| الغربال | رفض | الرفض التراكمي | الرفض % |
|---|---|---|---|
| 6.3 | 11.20 | 11.20 | 1.12 |
| 5 | 3.07 | 14.27 | 1.427 |
| 2.5 | 21.56 | 35.83 | 3.583 |
| 1.25 | 26.70 | 62.53 | 6.253 |
| 0.63 | 676.16 | 738.69 | 73.87 |
| 0.315 | 107.40 | 846.74 | 84.61 |
| 0.160 | 68.70 | 414.74 | 91.48 |
| 0.08 | 15.13 | 929.92 | 92.99 |




الرسم البياني III. 1 يوضح التحليل الحبيبي لرمل البناء

### 3.1.1.2.2 رمل الكثبان :

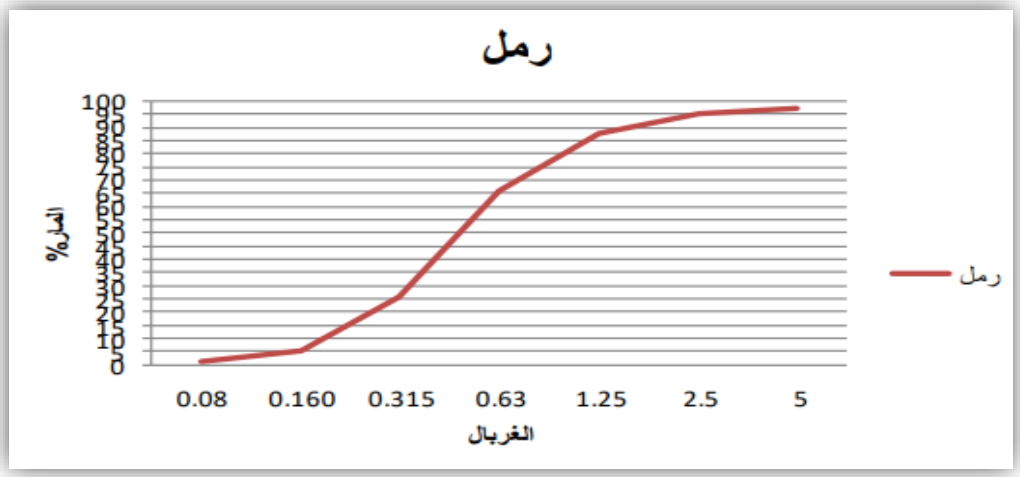
| الغربال | رفض | الرفض التراكمي | الرفض % |
|---|---|---|---|
| 6.3 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 |
| 2.5 | 0 | 0 | 0 |
| 1.25 | 0 | 0 | 0 |
| 0.63 | 1.46 | 1.46 | 0.146 |
| 0.315 | 214.44 | 215.9 | 21.59 |
| 0.160 | 642.18 | 858.08 | 85.808 |
| 0.08 | 49.2 | 877.28 | 87.728 |

**رمل البناء و10 %من الكثبان الرملية:**

يوضح الجدول والرسم البياني ادناه نتيجة التحليل الحبيبي

| الغربال | رفض | الرفض التراكمي | الرفض % |
|---|---|---|---|
| 6.3 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 4.2 | 4.20 | 2.42 |
| 2.5 | 17.8 | 22 | 2.2 |
| 1.25 | | 38.8 | 3.88 |
| 0.63 | 2139.8 | 252.6 | 25.26 |
| 0.315 | 577.6 | 830.2 | 83.02 |

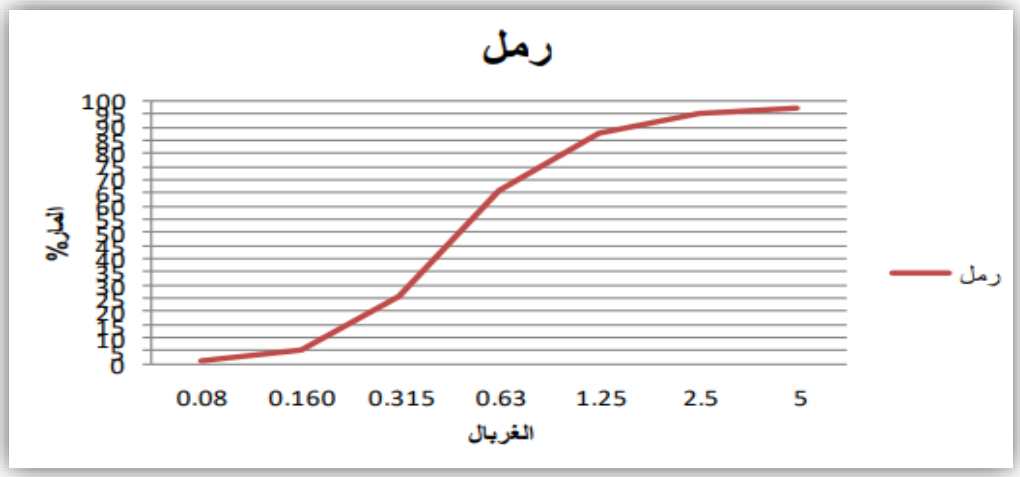
| | | | |
|---|---|---|---|
| 0.160 | 93 | 923.2 | 92.32 |
| 0.08 | 12.26 | 935.26 | 93.526 |




الرسم البياني III. 2 يوضح التحليل الحبيبي رمل البناء و10 %من الكثبان الرملية

### 3.1.1.2.3رمل البناء و15 %من الكثبان الرملية

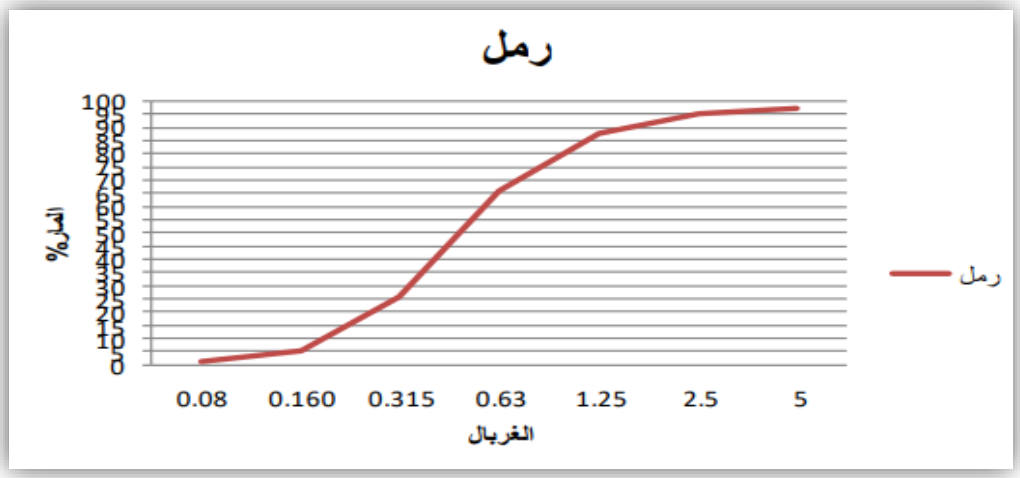
| الغربال | رفض | الرفض التراكمي | الرفض % |
|---|---|---|---|
| 6.3 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 3.60 | 3.60 | 0.36 |
| 2.5 | 1.80 | 5.40 | 0.54 |
| 1.25 | 23.8 | 29.2 | 2.9 |
| 0.63 | 287.7 | 316.9 | 31.69 |
| 0.315 | 582.68 | 899.5 | 89.9 |
| 0.160 | 64.2 | 963.7 | 96.3 |
| 0.08 | 11.4 | 975.1 | 97.5 |



الرسم البياني III. 3 يوضح التحليل الحبيبي رمل البناء و15 %من الكثبان الرملية

### 3.1.1.2.4رمل البناء و 20% من الكثبان الرملية:

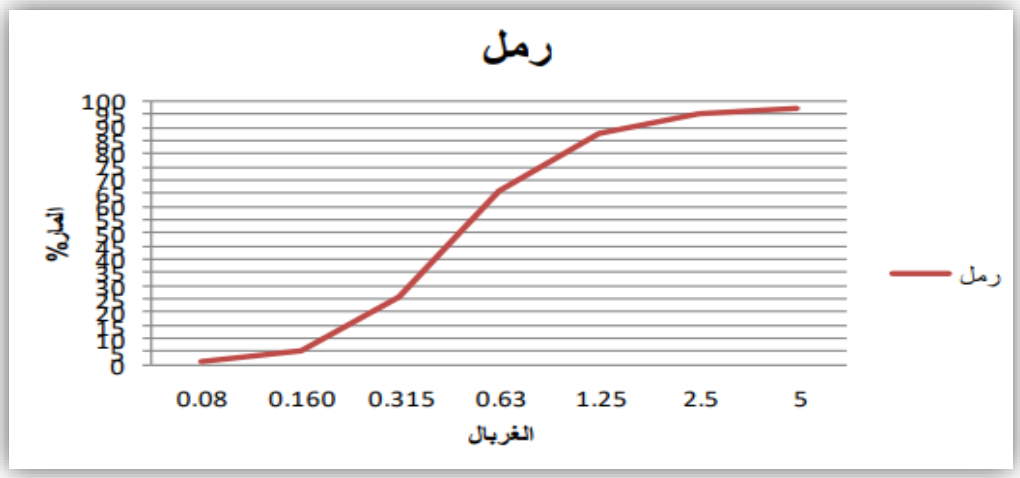
| الغربال | رفض | الرفض التراكمي | الرفض % |
|---|---|---|---|
| 6.3 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0.42 | 0.42 | 0.042 |
| 2.5 | 1.78 | 2.20 | 0.22 |
| 1.25 | 1.68 | 3.88 | 0.388 |
| 0.63 | 21.34 | 25.22 | 2.522 |
| 0.315 | 57.76 | 82.98 | 8.298 |
| 0.160 | 9.3 | 92.28 | 9.228 |
| 0.08 | 1.26 | 93.54 | 9.354 |




الرسم البياني III. 4 يوضح التحليل الحبيبي رمل البناء و 20%من الكثبان الرملية

### / 3-2-1-1-2رمل البناء و 25% من الكثبان الرملية:

| الغربال | رفض | الرفض التراكمي | الرفض % |
|---|---|---|---|
| 6.3 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 26.7 | 29.7 | 0.29 |
| 2.5 | 28.4 | 55.1 | 0.55 |
| 1.25 | 66.4 | 121.5 | 1.21 |
| 0.63 | 215.7 | 337.7 | 3.37 |
| 0.315 | 386 | 723.2 | 7.23 |
| 0.160 | 259.8 | 982.2 | 9.82 |
| 0.08 | 16.2 | 998.4 | 9.98 |




الرسم البياني III. 5 يوضح التحليل الحبيبي رمل البناء و 25%من الكثبان الرملية

## 3.1.2 معامل النعومة :

موضح في الجدول الأتي

الجدول III. 3 يوضح معامل النعومة للرمل في جميع الحالات

| الرمل | رمل البناء | رمل الكثبان | المزيج | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 10% | 15% | 20% | %25 |
| معامل النعومة | 2.61 | 1.07 | 2.26 | 2.14 | 2.05 | 2.00 |

## 3.1.3 المكافئ الرملي :

- قبل أخذ العينة من الرمل، أجرينا استخدام غربال بقطر 5 مم، وغربال ذو قيمة معتبرة لفصل الرمل. تم أخذ عينة من الرمل بوزن 120 جرامًا للغربال.
- باستخدام أنبوب مدرج، أضفنا ماء مقطر في المرحلة الأولى، ثم وضعنا العينة من الرمل في الأنبوب مع الماء المقطر، وانتظرنا لمدة 10 دقائق. بعد انتهاء هذه الفترة، أغلقنا الأنبوب بغطاء بلاستيكي وقمنا برجه 45 رجة من اليمين إلى اليسار.
- بعد انتهاء عملية الرج، عادنا لاستعادة الماء المقطر إلى الجزء العلوي من الأنبوب وانتظرنا لمدة 20 دقيقة. بعد انقضاء هذه الفترة، قمنا بإجراء القراءات التالية:

**قراءة 1:** h1 = 13.6 سم

**قراءة 2:** h2 = 8.8 سم

- بناءً على القراءات، قمنا بحساب نسبة h1/h2 * 100 = 8.8/13.6 * 100 = 64.70.
وتبيّن أن القيمة التي حصلنا عليها (64.70) لمقياس المكافئ الرملي تتجاوز القيمة المسموحة (60) لحمل الرمل.
- بالتالي، قد تم تجاوز القيمة المسموح بها بالنسبة لمقياس المكافئ الرملي لرمل جامعة ة لوادي بعد إجراء التجربة.

**الجدول III. 4 يوضح مكافئ الرملي للرمل في جميع الحالات**

| الرمل | رمل البناء | رمل الكثبان | المزيج | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 10% | 15% | 20% | %25 |
| المكافئ الرملي | 64.70 | 95.75 | 75.50 | 76.50 | 77.20 | 77.40 |

ومنه نستنتج ان الرمل المستخدم رمل نظيف مع نسبة منخفضة من الطين وهو مناسب تماما للخرسانة عالية الجودة.

## 3.2 الحصى:

الحصى المستخدم هو من عين التوتة باتنه وقد استخدمنا في دراستنا فئتين من الحصى

حصى (8/3) وحصى (15/8).

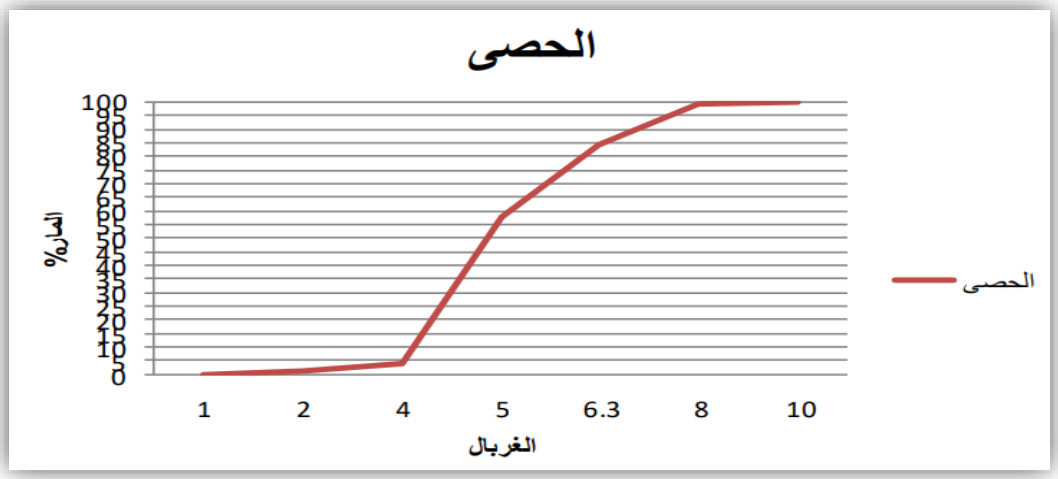
### 3.2.1 التحليل الحبيبي

موضح في الجدولين والرسمين والبيانيين ادناه

جدول الحصى (8/3): الوزن الكلي للعينة هو :3000

| الغربال | الرفض الجزئي | الرفض التراكمي | الرفض ٪ | المار ٪ | التفلطح ٪ |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| 8 | 16.6 | 593.4 | 12 | 88 | 86.2 |
| 6.3 | 454.6 | 1303 | 26 | 74 | 62.3 |
| 5 | 774.4 | 3289 | 66 | 34 | 220 |
| 4 | 1648.2 | 4400 | 88 | 12 | 163 |
| 2 | 83.8 | 4961 | 99 | 1 | 74.3 |
| 1 | 22.4 | 4999 | 100 | 0 | 4.4 |
| | | | | المجموع | 600 |
| | | | | التفلطح ٪ | 12 |

**ملاحظة** : التفلطح هو تمرير العينات على غرابيل




**الرسم البياني III. 6 يوضح التحليل الحبيبي للحصى (8/3)**

جدول الحصى (15/8): الوزن الكلي للعينة هو : 5000

**الجدول III. 5 يوضح التحليل الحبيبي للحصى (15/8)**

| الغربال | الرفض الجزئي | الرفض التراكمي | الرفض ٪ | المار ٪ | التفلطح ٪ |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| 8 | 593.4 | 16.6 | 1 | 99 | 0 |
| 6.3 | 709.6 | 471.2 | 16 | 84 | 35.5 |
| 5 | 1996 | 1245.6 | 41 | 58 | 75.9 |
| 4 | 1111 | 2893.8 | 96 | 4 | 80.1 |
| 2 | 561 | 2977.6 | 99 | 1 | 0 |
| 1 | 38 | 3000 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | المجموع | 192 |
| | | | | التفلطح ٪ | 0 |

**الرسم البياني III. 7 يوضح التحليل الحبيبي للحصى (15/8)**

### 3.2.1.1 الكتلة الحجمية الظاهرية :

هي الكثافة الظاهرية للحصى في متر مكعب من الحصى مأخوذة من كومة وتشمل الفراغات نافذة و الغير نافذة للجسم و فراغات بين الحبيبات.

### 3.2.1.2 الكتلة الحجمية المطلقة :

هي كتلة في متر مكعب بعد طرد جميع الفراغات سواء كانت بين الحبيبات والفراغات داخل الحبيبة. وتكون على مستوى مخبار مدرج موضح في ملحق (III-1)

**الجدول III. 6 يوضح قيم الكتلة الحجمية الظاهرية و الكتلة الحجمية المطلقة**

| الكتلة الحجمية | الحصى (3/8) | الحصى (15/8) |
|---|---|---|
| الكتلة الحجمية الظاهرية | 1.39 | 1.35 |
| الكتلة الحجمية المطلقة | 2.63 | 2.63 |

### 3.2.2 نظافة الركام

نقوم بغسل عينة من الحصى على الغربال 0.5 ملم و هي نسبة مئوية للمار ويتم حسابها على الشكل التالي:

فرق كتلة العينة قبل الغسل وكتلة العينة بعد الغسل على كتلة العينة قبل الغسل مضروب في 100

نظافة الحصى (8/3): 0.42

نظافة الحصى(15/8): 1.8%

### 3.2.3 معامل الامتصاص:

هو نسبة المئوية للزيادة في الوزن الركام الجاف بعد غمره في الماء لمدة 24 ساعة يعطي بعلاقة التالية:

فرق كتلة العينة في حالة تشبع وكتلة العينة في حالة جافة على كتلة العينة في حالة جافة مضروب في 100

نسبة زيادة الحصى (8/3): 3.95%

نسبة زيادة الحصى (15/8): 2.5%

### 3.2.4 الاسمنت :

يتم إنتاج الإسمنت البورتلاندي المركب عن طريق طحن الكلينكر، الذي يتكون أساسًا من سيليكات الكالسيوم، بالإضافة إلى الجبس كمضافة. تشمل هذه المضافة أشكال متعددة من كبريتات الكالسيوم. وقد تم تصنيع جميع أنواع الخرسانة باستخدام الإسمنت المقاوم (لافارج) من بلدية جمور في ولاية بسكرة، ويتبع النوع CPJ CEM II / A.2

**الصورة III. 2 توضح الصورة اسمنت من نوع "متين"**

## 3.3 الماء:

لقد استخدمنا في الخرسانة ماء حنفية البيت في بلدية البياضة الخرسانة ذات الجودة العالية يجب أن تحتوي على اقل نسبة ماء إلى اسمنت.

### 3.3.1 التركيبة الكيميائية للماء المستخدم:

| الملوحة (mol/l) | HP (mol/l) | HCO (mol/l) | $SO_4$ (mol/l) | $NO_3$ (mol/l) | Cl (mol/l) | Na (mol/l) | K (mol/l) | Mg (mol/l) | Ca (mol/l) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2799 | 7.75 | 124 | 755 | 14.5 | 755 | 536 | 31 | 125 | 242 |

## 3.4 تركيبة الخرسانة:

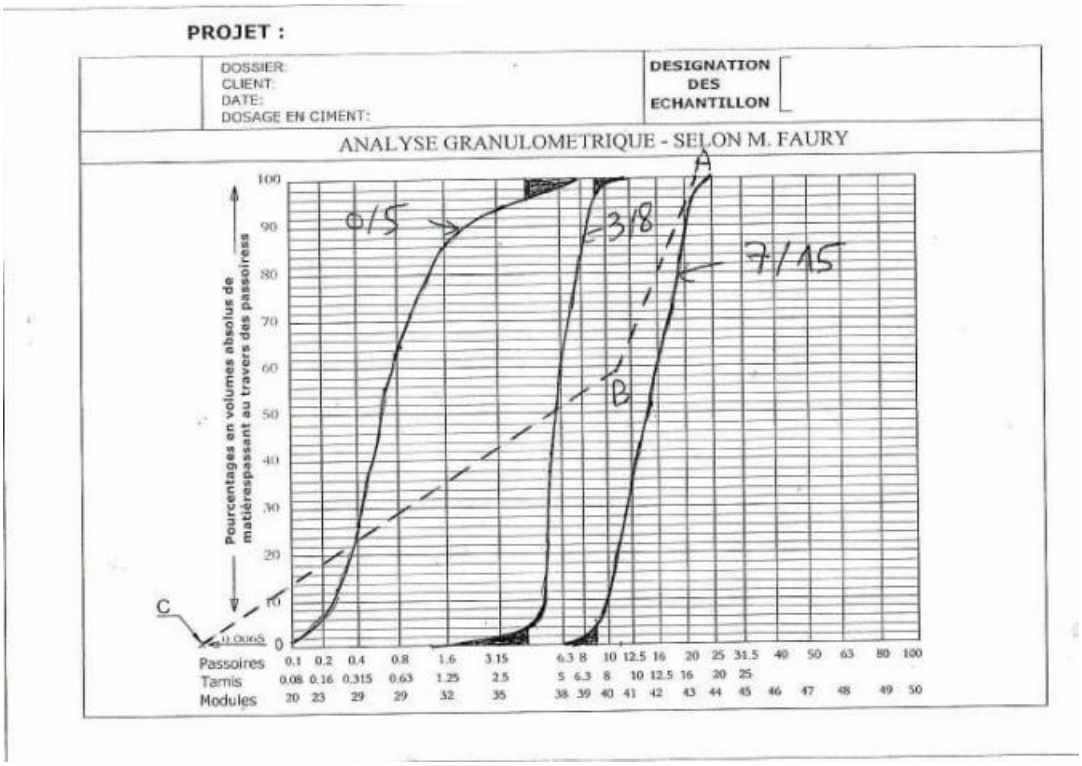
طريقة تحديد تركيبة الخرسانة الأمثل منها الركام بأنواعه وكذلك كمية الاسمنت الماء من اجل حصول على الخرسانة و ذات خصائص تلائم الهيكل أو جزء منه ولقد استعملنا طريقة لتحديد تركيبة الخرسانة و هي طريقة فوري.

### 3.4.1 طريقة فوري:

في عام 1941، تم تقديم الطريقة الفوريّة كتكملة لطريقة بولومي في صناعة الخرسانة. تُستخدم هذه الطريقة لإعطاء الخرسانة خصائص محددة، حيث تتميز بتقليل كمية الرمل وزيادة الحصى في

تكوينها. ونتيجة لذلك، تكون الخرسانة التي تمتاز بصلابة أعلى، وهي مناسبة للمشاريع التي لا تتطلب قدرة كبيرة على التشغيل الفوري..

عادةً، تتمتع الخرسانة الفوريّة بقوة ميكانيكية أعلى من الخرسانة البولومي، وهذا يعزى جزئيًا إلى استخدام طريقة فوري. تعتمد هذه الطريقة على قانون التحبيب المستمر، الذي يستند إلى نظرية كاكوت ويتعلق بانضغاط المواد ذات الحبيبات الموحدة الحجم والتي تلتزم بتوزيع متجانس. هذا القانون يتضمن وظيفة رياضية تشرح المقياس التدريجي للحجم، حيث يتم تطبيقه لرسم منحنى الحجم الأمثل الذي يقود إلى أقصى كفاءة في الضغط. عمليًا، يتم رسم منحنى الحبيبات المرجعي المثالي ومن ثم تقسيم المجاميع المكونة بواسطة خطوط تقسيم معينة، تستند إلى المساحات السفلية والعلوية للمنحنيات، وهذا يساهم في تحقيق الخواص المطلوبة للخرسانة..




**الرسم البياني III. 8 يوضح منحنى الحبيبي المستعمل في طريقة فوري**

من الضروري التمييز بين الحبوب الدقيقة والمتوسطة التي يقل قطرها عن D / 2 عن الحبوب الكبيرة التي يزيد قطرها عن D / 2 ، لأن ميل الخط المرج المستقيم يختلف لكل فئة من هاتين الفئتين. لذلك يتكون المنحنى الحبيبي المرجعي من خطين مستقيمين على نظام المحاور المتدرجة في حدود الإحداثيات ، يذكر أحدهم:

حدود تقاطع هذين الخطين المستقيمين نقطة الانكسار) التي تقع عند D / 2 ؛ الإحداثي Ya/2.

YD/2=46+4

من الرسم البياني نستخرج نسبة المواد الجافة تقاطع الخط المرجعي و الخط المتشكل من تساوي المساحتين هو نسبة المواد الجافة المتبقية (رمل واسمنت. الحصى ونسبة المتبقية . هي الماء نسبة الاسمنت حسب فوري تساوي حجم الاسمنت المفروض على الحجم الكلي منقوص منه الماء. أما فنحصل عليه من النسبة (ماء / اسمنت) والتي تساوي 0.52, مع العلم إن تركيز الاسمنت المستعمل في التركيبات الأربعة ثابت و هو 400 كغ م3 نضرب القيمة التي في دارستنا وهي 0.52 في كتلة الاسمنت وناتج هو كتلة أو حجم الماء. ونسبة

الرمل تكون من طرح نسبة الاسمنت من نسبة المواد الجافة (النسبة المتبقية من المنحنى).

ملاحظة:

(D=D1+(D1-D2)*(X/Y

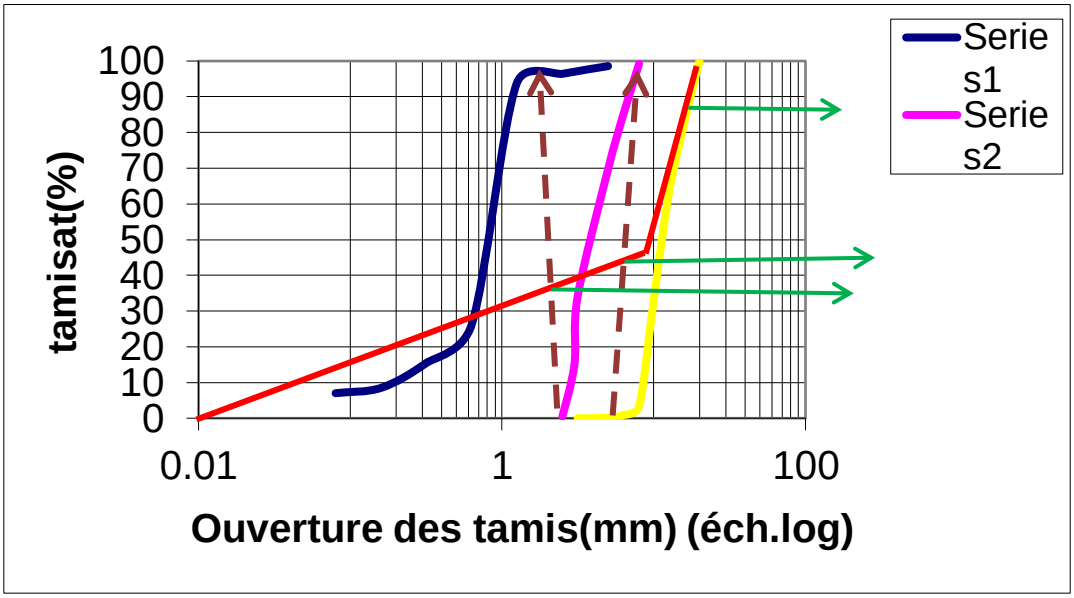
رسم المنحنى المرجعي لتحليل الحبيبي (ABC)

- ❖ نضع النقطة (0) C (0.065-)
- ❖ نضع النقطة (100) A
- ❖ نضع النقطة (D ,D2917/2)
- ❖ D = Dmax انظر الملحق (III-2)

## 3.5 تحديد نسب المواد :

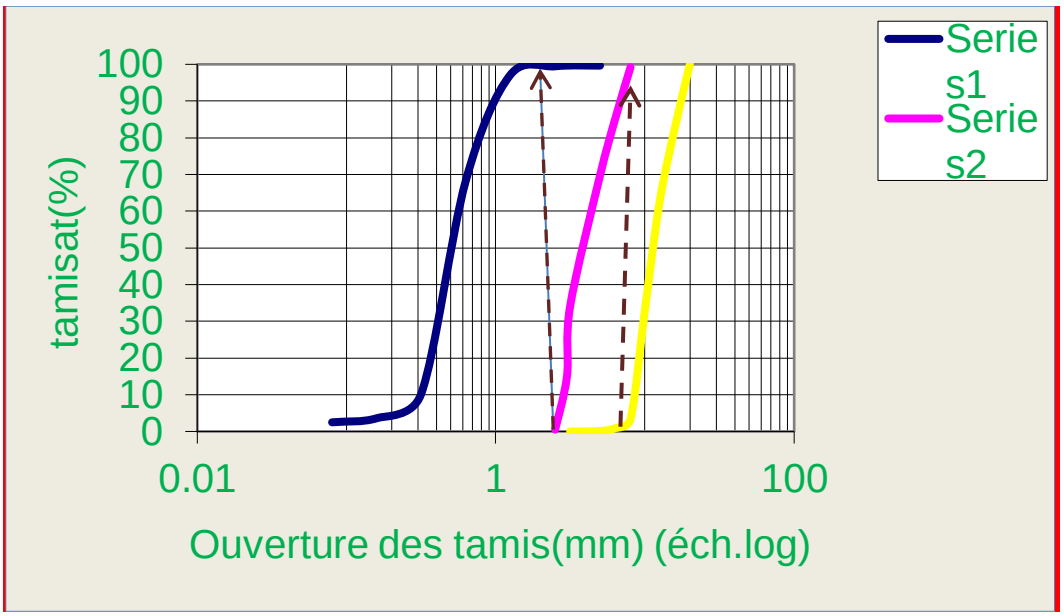
2-2-1/رسم البياني للمواد مع المنحنى المرجعي:

الرسم البياني للمواد (رمل البناء 100%)



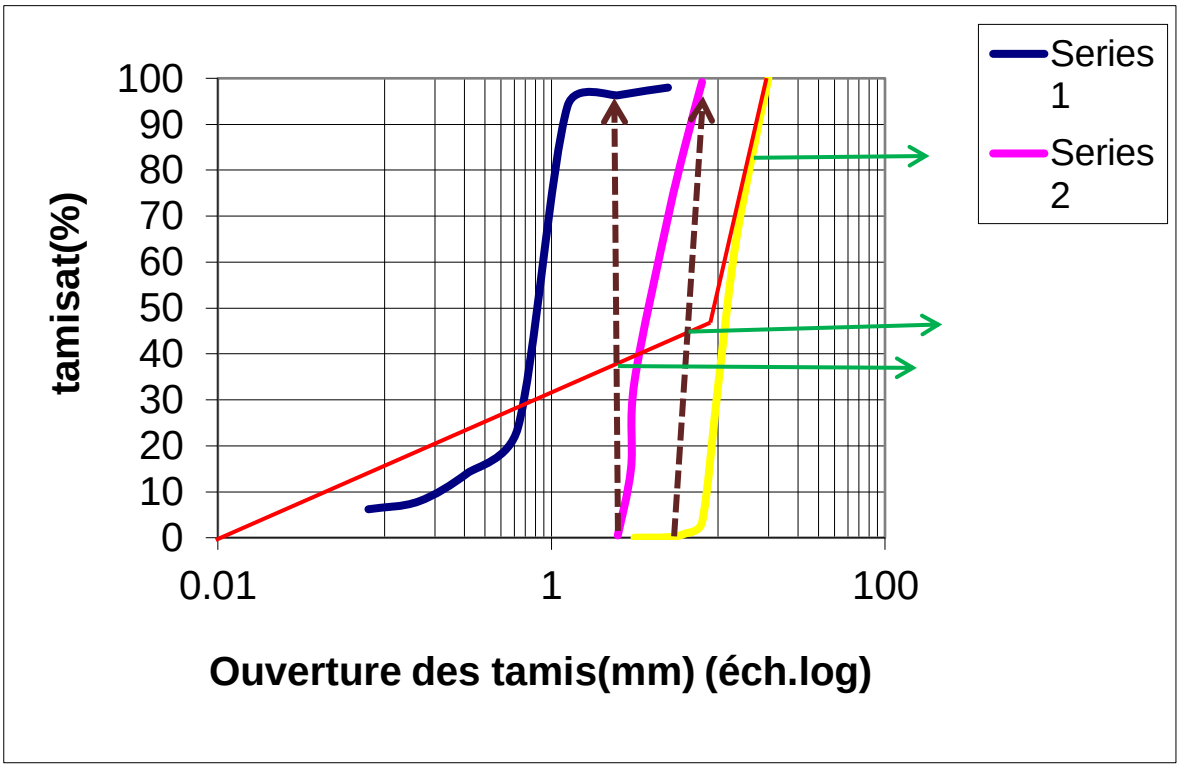

**الرسم البياني III. 9 يوضح التحليل الحبيبي للمواد (رمل البناء 100%)**

الرسم البياني للمواد (رمل الكثبان 100%)



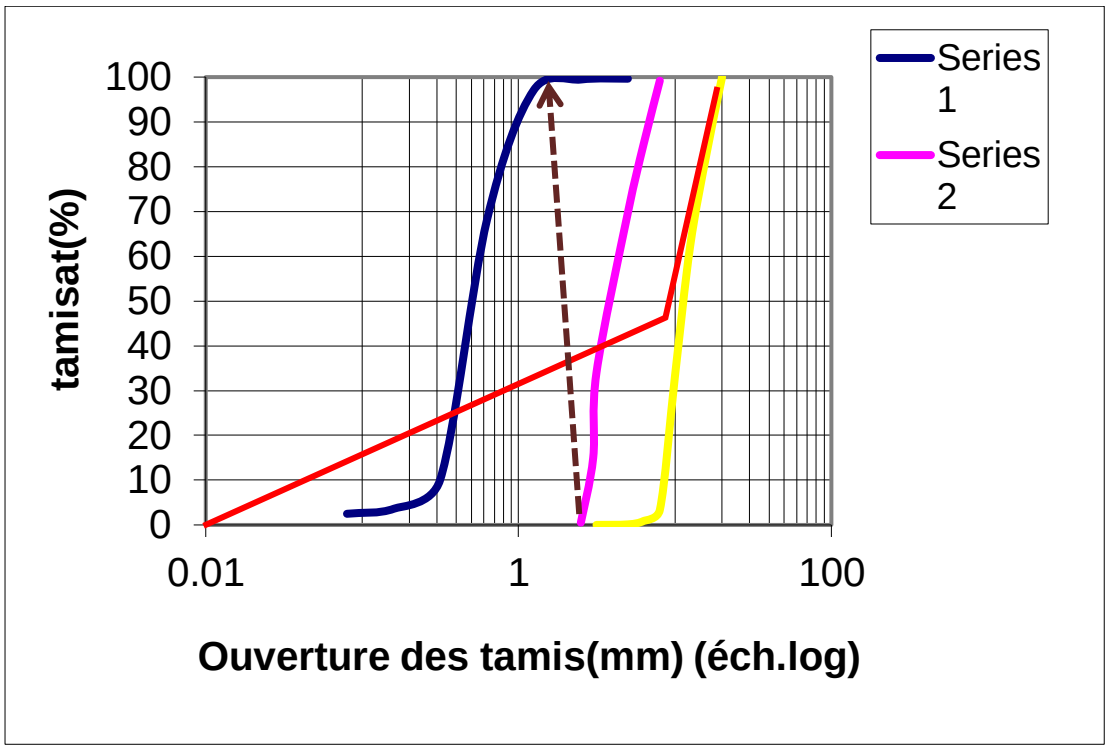

**الرسم البياني III. 10 يوضح التحليل الحبيبي للمواد (رمل الكثبان 100%)**

الرسم البياني للمواد (رمل) بناء و 10% رمل الكثبان



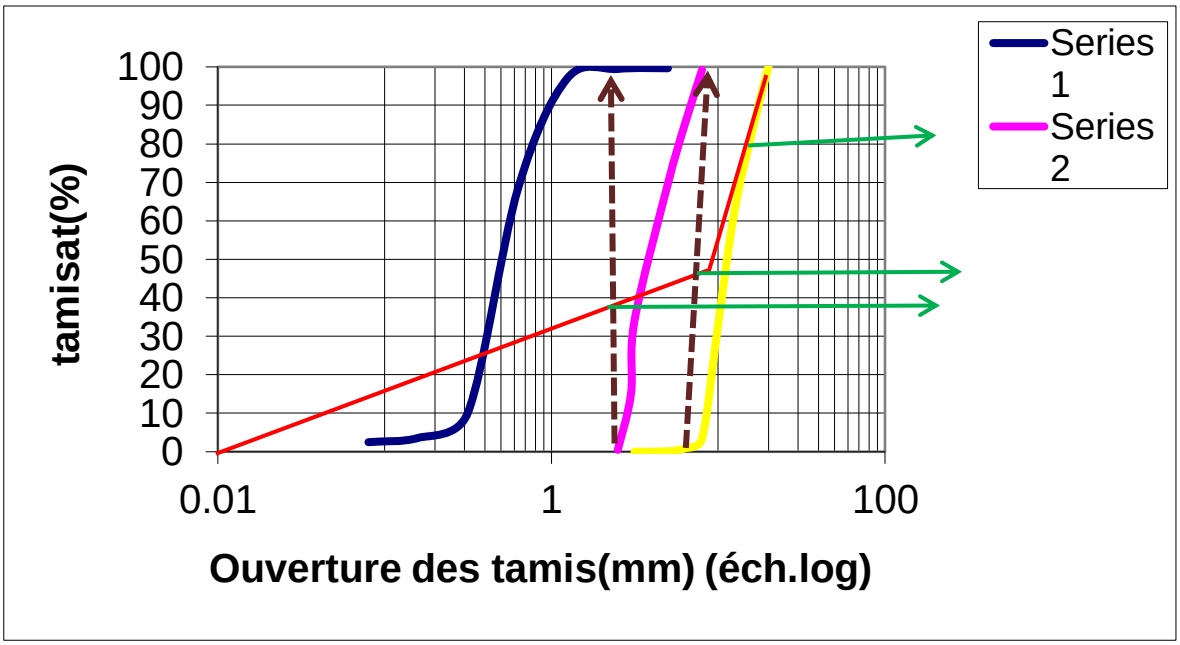

**الرسم البياني III. 11 يوضح التحليل الحبيبي للمواد (رمل) بناء و 10% رمل الكثبان)**

الرسم البياني للمواد (رمل) بناء و 15% رمل الكثبان



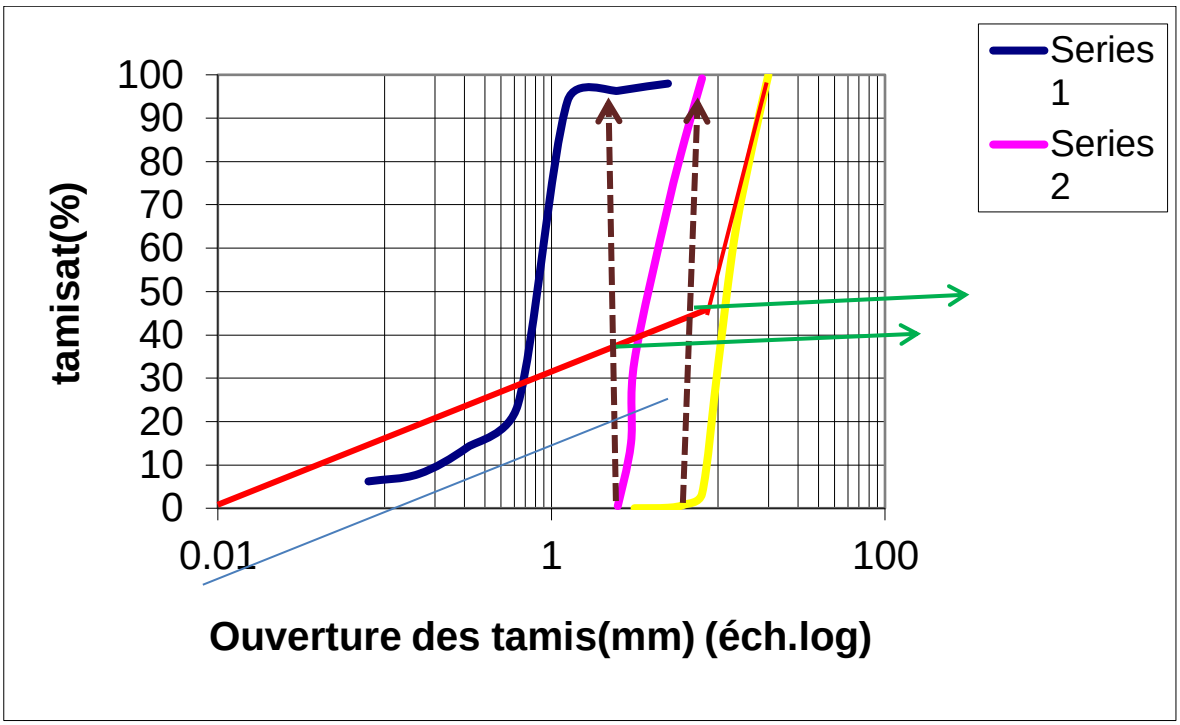

**الرسم البياني III. 12 يوضح التحليل الحبيبي للمواد (رمل) بناء و 15% رمل الكثبان)**

الرسم البياني للمواد (رمل) بناء و 20% رمل الكثبان




**الرسم البياني III. 13 يوضح التحليل الحبيبي للمواد (رمل) بناء و 20% رمل الكثبان)**

الرسم البياني للمواد (رمل) بناء و 25% رمل الكثبان




الرسم البياني III. 14 يوضح التحليل الحبيبي للمواد (رمل) بناء و 25% رمل الكثبان)

### 3 تركيبات الخرسانة:

لدينا 6 تركيبات تتكون من الماء والاسمنت والحصى بنوعيه والرمل ومحسن ملدن وفي دراستنا التغير بين التركيبات يكون في الرمل. التركيبة B الرمل يكون رمل بناء و التركيبة B10 الرمل يكون الرمل بناء و 10 رمل الكثبان والتركيبة B15 يصبح رمل الكثبان 15% وفي التركيبة B20 يصبح 20 , وفي التركيبة B25 يصبح 25 .

**ترميز :**

| الترميز | نوع الخرسانة |
|---|---|
| $B_0$ | خرسانة رمل البناء 100 % |
| $B_1$ | خرسانة رمل الكثبان 100 % |
| $B_{10}$ | خرسانة بها 10% من الرمل الكثبان |
| $B_{15}$ | خرسانة بها 15% من الرمل الكثبان |
| $B_{20}$ | خرسانة بها 20% من الرمل الكثبان |
| $B_{25}$ | خرسانة بها 25% من الرمل الكثبان |

النتائج موضحة في الجدولين الآتيين:

التركيبات B و B10 و B15

الجدول III. 7 يوضح التركيبات Bo B10 و B15

| المواد | النسبة % | الحجم (ل) | الوزن (كلغ /م$^3$) |
|---|---|---|---|
| الاسمنت | 14.02 | 114.07 | 400 |
| الماء | / | 171.5 | 200 |
| الحصى 8/15 | 43 | 356.25 | 912 |
| الحصى 3/8 | 9 | 74.56 | 198.33 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| رمل البناء و رمل الكثبان | 33.98 | 283.62 | 823.6 |
| المجموع | 100 | 1000 | 2533.93 |

ملاحظة: القيم المتحصل عليها مصححة بمعامل K والمواد المستعملة في التركيبة موضحة في الملحق (III-2)

التركيبة $B_{20}$ , $B_{25}$

**الجدول III. 8 يوضح التركيبة $B_{20}$ و $B_{25}$**

| المواد | النسبة % | الحجم (ل) | الوزن (كلغ /م$^3$) |
|---|---|---|---|
| الاسمنت | 14.02 | 114.07 | 400 |
| الماء | / | 171.5 | 200 |
| الحصى 8/15 | 43 | 356.25 | 912 |
| الحصى 3/8 | 11 | 90.24 | 312.2 |
| رمل البناء و رمل الكثبان | 32.38 | 267.94 | 523.25 |
| المجموع | 100 | 1000 | 2347.45 |

## 3.6 الخاتمة

لدينا أربع تكوينات تتألف من الماء والإسمنت والحصى بأنواعه والرمل. وترتكب دراستنا في تغيير تركيبات هذه المواد بخصوص الرمل. وقد استخدمنا طريقة الفوري في تكوين الخرسانة. هذه الطريقة تعتمد على تحقيق مقاومة ممتازة، ولقد قمنا بالتحسين باستخدام مواد محسنة لضمان أداء ممتاز من حيث التشغيلية، من خلال تقليل نسبة الماء المضاف إلى الإسمنت.

# الفصل الرابع
# : تحليل و مناقشة النتائج

# 4 تحليل ومناقشة النتائج :

**مقدمة:**

تتمثل الخصائص الفيزيائية للمادة في أهمية بارزة، مما يميزها عن العديد من المواد الأخرى ومركباتها المماثلة. وبعد أن قمنا بتعريف الخرسانة في النبذة المقدمة حول تاريخها وخصائصها، وبعد أن أُعطيت التركيبة المقترحة المثلى لهذه المادة في الدراسة، سنركز في هذا الفصل على الخصائص الفيزيائية للخرسانة العادية، وبشكل خاص على الامتصاص و النفاذية .

## 4.1 اختبارات على الخرسانة الطازجة:

### 4.1.1 اختبار الهبوط:

#### 4.1.1.1 الغرض من الاختبار:

هو يعبر عنه بدرجة بلل الخرسانة الطازجة (قابلية تشغيل الخرسانة)

### 4.1.2 الأدوات المستخدمة:

- مخروط الهبوط.
- قضيب الدمك القياسي.
- أدوات خلط ( جاروف، وعاء خلط.)
- مسطرة قياس.

### 4.1.3 تحضير عينات الخرسانة الطازجة:

- يتم تحضير العينة من الخلطة المعدة في موقع العمل باستخدام الخلط اليدوي أو الخلط الميكانيكي.
- يجب أن تكون العينة الكلية التي تم جمعها من الخرسانة الطازجة حجمها لا يقل عن (30 لتر أو 0.03 متر مكعب)، ويجب أن تكون هذه العينة من كميات مأخوذة من مناطق مختلفة في الخلطة.
- يجب أخذ العينة من العوامل البيئية، وعدم تأخير إجراء الاختبار لأكثر من 10 دقائق بعد تحضير العينة.
- يجب تسجيل المعلومات التالية على كل عينة، وتشمل تاريخ ووقت أخذ عينة الاختبار، وطريقة الخلط المستخدمة، ونسب المكونات في الخلطة، ودرجة الحرارة والظروف الجوية.

### 4.1.4 خطوات الاختبار:

- يتم تأمين المخروط في وضعه القائم باستخدام مسامير التثبيت، ويوضع على سطح أفقي ومستوٍ. يتم رش حواف الجزء الداخلي من المخروط بزيت خاص لمنع الخرسانة من التصاقها بالمخروط أثناء إجراء الاختبار.
- يتم ملء المخروط بالعينة على ثلاث طبقات متساوية السمك، حيث يتم وضع ثلث حجم المخروط في كل طبقة، وبعد ذلك يتم دمك كل طبقة بواسطة قضيب الدمك القياسي بـ 25 ضربة.
- يتم تسوية سطح المخروط باستخدام قضيب الدمك أو بواسطة المسطرين.
- بعد ذلك، يتم إزالة مسامير التثبيت، ويتم رفع المخروط بشكل رأسي للسماح للخرسانة بالهبوط بشكل طبيعي.
- يتم قياس المسافة بين سطح المخروط وسطح الخرسانة المنهارة، وهذه المسافة تعكس خصائص القوام للخرسانة.

**الصورة IV. 1 توضح خطوات اختبار مخروط ابرامس**

**ملاحظة**

نظرًا لأن طريقة الفوري تُستخدم للخرسانة التي لا تمتاز بقابلية تشغيل جيدة، سنستخدم محسّنًا (مثل الملدن الفائق) لتحقيق قابلية تشغيل ممتازة. يجدر بالذكر أننا قد استخدمنا خرسانة ذات لدونة مرتفعة.

## الية عمل الملدن

من أجل تحسين الأداء الفيزيائي لهذه المواد، يُعتبر تقليل كمية الماء ضروريًا، حيث يمكن أن تؤدي عملية تبخر الماء إلى تكوين المسام. علاوة على ذلك، تعمل الملدنات المتفوقة على زيادة سيولة هذه المواد في الحالة الطازجة، مما يسمح بالحد من كمية الماء عبر امتصاصها على سطح جزيئات الإسمنت، أو عن طريق التوزيع بينها. تقوم الملدنات المتفوقة بزيادة تأثيرات التنافر الكهروستاتيكية أو الفراغية بين تلك الجزيئات، مما ينجم عنه تقليل التلامس بينها، وبالتالي يساهم ذلك في تحقيق تدفق أفضل للمواد في الحالة الطازجة. ومن أجل معرفة تأثير رمل الكثبان على قابلية التشغيل ثبتنا قيمة الهبوط والتي كانت 9.8 سنتمتر ولتحقيق نفس الهبوط لتركيبات الأربعة تحتم علينا تغيير نسب المحسن الملدن . النتائج موضحة كالآتي:

| التركيبة | الهبوط (سم) | نسبة المحسن الفائق % | الكتلة الحجمية ( كغ/ م3) | | نسبة الماء % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | طازجة | 28 يوم | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $B_0$ | 6 | 0.25 | 2.108 | 2.097 | 0.52 |
| $B_1$ | 9.8 | 0.35 | 1.996 | 1.987 | 0.52 |
| $B_{10}$ | 9.8 | 0.3 | 2.165 | 2.155 | 0.52 |
| $B_{15}$ | 9.8 | 0.25 | 2.062 | 2.051 | 0.52 |
| $B_{20}$ | 9.8 | 0.25 | 2.092 | 2.081 | 0.52 |
| $B_{25}$ | 9.8 | 0.25 | 2.160 | 2.149 | 0.52 |

يبين الجدول اعلاه معدل هبوط ابرامس و نسبة المحسن المحتوى المائي المتبخر الذي يحسب بالعلاقة التالية:

$$W = ( (M1 — M2)/ M1)*100$$

W : نسبة الماء (%).

و الكتلة الحجمية الطازجة

و المتصلدة لكل تركيبة كما يبن

$M_1$. الكتلة الحجمية الطازجة (كغ/م3 ).

$M_2$: الكتلة الحجمية الصلدة بعد 28 يوم (كغ/م3 ).

كما لاحظنا، يتضح أن زيادة نسبة رمل الكثبان تؤدي إلى انخفاض نسبة التبخر المائي، وهذا يفسر وجود الفجوات الضيقة في الخرسانة. هذه الظاهرة تمنع امتصاص كميات كبيرة من الماء داخل الخرسانة.

كما يمكن تفسير النسبة المستقرة للهبوط في الخلطات الستة بزيادة نسبة الملدن. وعلى النحو ذاته، عندما تزيد نسبة الرمل في الخلطة، يقل معدل الهبوط (هبوط الأبرامس). لذلك، قمنا بزيادة نسبة الملدن لتحقيق هبوط ثابت ومستقر.

**ملاحظة :**

قمنا بتثبيت القيمة (ماء اسمنت) = 0.52ومعدل هبوط ابرامس 9.8 سم في كل التركيبات من أجل الحصول على نتائج التركيبات في نفس الظروف.

## 4.2 تجربة النفاذية:

النفاذية هي الخاصية التي تؤثر في إمكانية تسرب السوائل من خلال الخرسانة. وتكون هذه السوائل سببًا في انخفاض عمر الخرسانة، حيث يمكن أن يؤدي وصول الرطوبة إلى الهيكل المعدني إلى تآكله وتكون الأحماض والأملاح أيضًا عوامل تسبب تدهور الخرسانة. تعتبر النفاذية للخرسانة مهمة للغاية، حيث يمكن أن تشير إلى عدم قدرة المنشأ على أداء وظيفته بشكل صحيح، مثل في الحالات التي تحتوي فيها الخزانات على سوائل أو في حالة الجدران الأرضية والهياكل تحت الأرض. في مثل هذه المنشآت، تصبح النفاذية خاصية مهمة وضرورية بنفس القدر مثل مقاومتها للأحمال وأوزان أكبر. قد أشارت دراسات عديدة إلى أن حقن الماء النقي في مسام الخرسانة يؤثر على التوازن الكيميائي للمراحل المختلفة الموجودة فيها. ونتيجة لهذا التأثير، يمكن أن تظهر ظواهر تحلل أو ترسيب للمكونات الدقيقة الموجودة في الخرسانة.

### 4.2.1 الأدوات المستعملة:

عينات مكعبة ذات إبعاد (15سم) القوالب المستعملة في التشكيل موضحة في الملحق (IV-1).

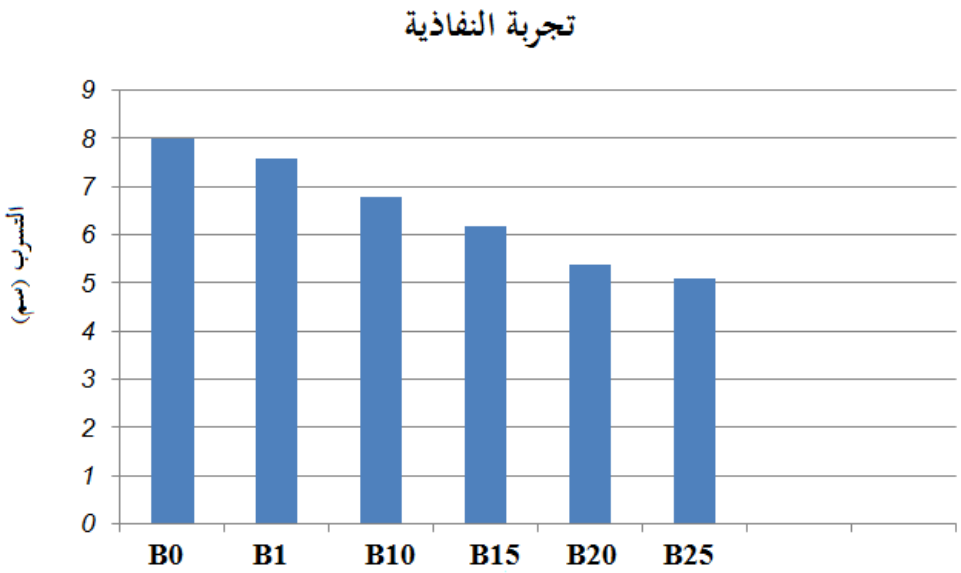
### 4.2.2 أسلوب العمل

- يُعد تجهيز العينات للفحص عملية تتضمن مجموعة من الخطوات مثل الخلط والصب والضغط والدمك والمعالجة.
- بعد تجهيز العينة، يُوضع في جهاز الاختبار ويتعرض لضغط من الماء.
- من ثم، يتم إخراج العينة من الجهاز وكسرها بهدف قياس تسرب الماء منها، يُمكن الإشارة إلى الملحق (IV-2) و (IV-3) لمزيد من التفاصيل.

### 4.2.3 نتائج تجربة النفاذية:

**الجدول IV. 1 يوضح نتائج النفاذية**

| نوع الخرسانة | $B_0$ | $B_1$ | $B_{10}$ | $B_{15}$ | $B_{20}$ | $B_{25}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| متوسط التسرب (سم) | 8 | 7.6 | 7.2 | 6.6 | 6.3 | 5.3 |




**الرسم البياني IV. 1 يوضح نتائج النفاذية**

- لحظنا من الجدول و المنحنى ان النفاذية نقصت كل ما زادت نسبة رمل الكثبان في الخرسانة وهذا راجع الى ملئ الفرغات الموجودة في الخرسانة بالحبيبات الصغيرة لرمل الكثبان التي تعيق تغلغل الماء الى عمق الخرسانة.

## 4.3 تجربة الامتصاص :

الامتصاص في الخرسانة يشير إلى قدرتها على استيعاب المياه داخل فراغاتها باستخدام الخواص الشعرية. يُجدر التنويه أن هذه الخاصية غير مرتبطة بمقدار النفاذية. يتسبب الامتصاص في تورُّم الخرسانة وتمددها، وهو يلعب دورًا في تفتيتها عند تكرار دورات التجمد والذوبان، وخاصةً عندما تكون المشبعة بالمياه. بالإضافة إلى ذلك، يُسهم الامتصاص في تجاذب السوائل الضارة، مما يؤثر سلبًا على جودة الخرسانة.

تتم حساب نسبة الامتصاص باستخدام العلاقة التالية:

$$Ca = (MSAT-MSEC) / A$$

معامل الامتصاص (kg/m2) =Ca

MSAT : كتلة العينة بعد االمتصاص (kg)
MSEC : كتلة العينة الجافة (kg)
A : مساحة سطح العينة (m)

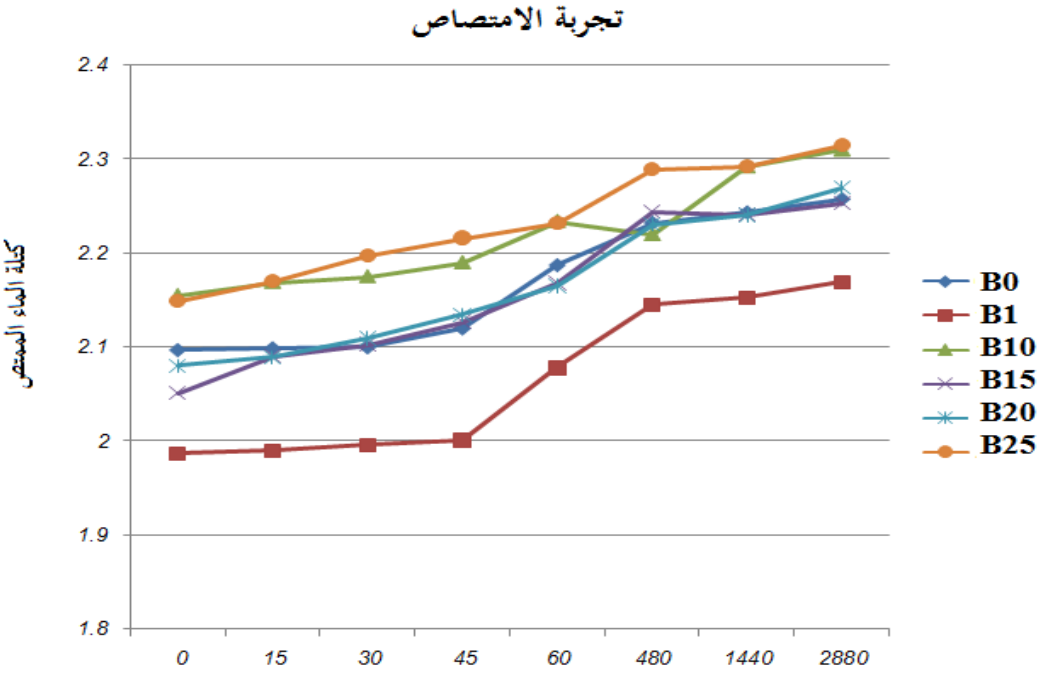
**الصورة IV. 2 توضح تجربة الامتصاص**

### 4.3.1 الادوات المستعملة

- تستخدم عينات مكعبة ذات أبعاد (10 سم) قوالبٌ مبينة تفاصيلها في الملحق (IV-4).
- يتم إجراء التجربة في وعاء مُخصَّص لها،
- ويتم استخدام مادة عازلة عن الماء.
- كما يُستخدم ميزانٌ حساس موضح تفاصيله في الملحق (IV-5 و IV-6).

### 4.3.2 نتائج تجربة االمتصاص:

| أنواع الخرسانة | | 0 د | 15 د | 30 د | 45 د | 60 د | 240 | 1 يوم | 2 يوم |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $B_0$ | 28 يوم | 2.097 | 2.099 | 2.100 | 2.120 | 2.181 | 2.232 | 2.243 | 2.257 |
| $B_1$ | | 1.987 | 1.990 | 1.996 | 2.001 | 2.078 | 2.145 | 2.153 | 2.169 |
| $B_{10}$ | | 2.155 | 2.169 | 2.175 | 2.190 | 2.234 | 2.220 | 2.292 | 2.310 |
| $B_{15}$ | | 2.051 | 2.090 | 2.103 | 2.127 | 2.168 | 2.244 | 2.241 | 2.253 |
| $B_{20}$ | | 2.081 | 2.090 | 2.110 | 2.135 | 2.165 | 2.230 | 2.240 | 2.269 |
| $B_{25}$ | | 2.149 | 2.170 | 2.197 | 2.216 | 2.232 | 2.289 | 2.292 | 2.315 |




**الرسم البياني IV. 2 يوضح نتائج االمتصاص بعمر 28 يوم**

**ترميز**

- $B_0$ خرسانة بها رمل البناء 100 %
- $B_1$ خرسانة بها رمل الكثبان 100 %
- $B_{10}$ خرسانة بها 10 % من رمل الكثبان
- $B_{15}$ خرسانة بها 15 % من رمل الكثبان
- $B_{20}$ خرسانة بها 20 % من رمل الكثبان
- $B_{25}$ خرسانة بها 25 % من رمل الكثبان

**النتائج :**

من الملاحظات المستخلصة من الجدول والمنحنى، يتضح أن هناك زيادة في معدل الامتصاص مع مرور الزمن. كما لوحظ أيضًا أن هذه الزيادة في الامتصاص تتزايد مع زيادة نسبة الكثبان الرملية في تكوين الخرسانة. ومن هذا يمكننا استنتاج أن زيادة الامتصاص ترتبط بانخفاض حجم الفراغات في الخرسانة، وهذه الظاهرة تفسر بواسطة الخاصية الشعرية للامتصاص.

بناءً على هذه الملاحظات، يمكننا القول أن التركيبة $B_{25}$ التي أظهرت أعلى نسبة امتصاص، تتميز بوجود فراغات أصغر فيها بالمقارنة مع التركيبات الأخرى. على الجانب الآخر، التركيبة $B_0$ التي أظهرت أدنى نسبة امتصاص، تشير إلى وجود فراغات أكبر فيها.

**ملاحظة :**

توصيات منظمة AFPC-AFREM1 تشير إلى أن معامل امتصاص الماء بالخاصية الشعرية للخرسانة العادية يتراوح حوالي 2.75 $Kg/m^2$.

# الخلاصة العامة و التوصيات

# الخلاصة العامة و توصيات

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة تأثير التدرج الحبيبي على الخصائص الفيزيائية للخرسانة. تمت إجراء عدة تجارب على نوعين من الرمل، وهما رمل الكثبان ورمل الجامعة، باستخدام مجموعة من العينات النموذجية. في البداية، قمنا بتسليط الضوء على الخصائص العامة للخرسانة، حيث لوحظت مزايا اقتصادية مثل تكلفة منخفضة وسهولة الصب في القوالب، بالإضافة إلى مقاومة جيدة للحرائق وقوى الضغط.ثم تناولنا دراسة خصائص الركام، الذي يشكل جزءًا كبيرًا من تكوين الخرسانة ويؤثر بشكل كبير على خصائصها الأساسية.أثبتت النتائج أن معامل النعومة لرمل الكثبان أقل من رمل الجامعة. بناءً على تجارب المكافئ الرملي، تبين أن الرمل المستخدم هو رمل نظيف بنسبة منخفضة من الطين، وهو مناسب تمامًا لإنتاج خرسانة عالية الجودة. أيضًا لوحظت زيادة في معدل الامتصاص مع انخفاض حجم الفراغات في الخرسانة، ويمكن تفسير هذه الظاهرة بواسطة الخاصية الشعرية للامتصاص. بناءً على هذه النتائج، يمكن القول أن تركيبة B25 التي أظهرت أعلى نسبة امتصاص تتميز بوجود فراغات أصغر فيها مقارنةً بالتركيبات الأخرى. وعلى الجانب الآخر، تشير تركيبة B التي أظهرت أدنى نسبة امتصاص إلى وجود فراغات أكبر فيها.

- إضافة رمل الكثبان بنسب 10% و15% و20%و 25% أظهرت نتائج مشجعة في تجربة النفاذية، حيث كانت هذه النتائج أفضل من تلك التي حصلنا عليها عند استخدام نسبة 100% من رمل البناء. سجلنا أيضًا انخفاضًا في تسرب المياه في العينة كلما زادت نسبة رمل الكثبان. يعود هذا التحسن إلى قدرة رمل الكثبان على ملء الفراغات وجعل الخرسانة أقل مسامية.
- بالنسبة لتجربة الامتصاص، فقد أظهرت إضافة رمل الكثبان بنسب 10% و15% و20% و 25% نتائج مرضية. واستدلت التركيبة التي تمت إضافتها بنسبة 20% بأدنى قيمة لامتصاص المياه، وزادت نسبة الامتصاص تدريجياً مع زيادة نسبة رمل الكثبان. ومع ذلك، لم تتجاوز نسبة الامتصاص هذه الخرسانة العادية بنسبة 75.2 كغ/م2.
- يجدر بالذكر أننا نأمل في العثور على رمل بناء خشن ذو معامل نعومة أكبر من 3، حيث يمكن دمجه مع رمل الكثبان لزيادة نسبة الاستفادة من الرمل الكثبان بدون التأثير سلبًا على الخصائص الفيزيائية للخرسانة العادية. بذلك، يمكننا القول إننا نحقق توازنًا بين تحسين الخصائص الفيزيائية واستفادة كبيرة من رمل الكثبان، مما يساهم في تقليل تكلفة المتر المكعب من الخرسانة العادية.

نتوقع أن يُظهر هذا البحث كيفية تحسين الخصائص الفيزيائية واستغلال رمل الكثبان. في الختام، نتطلع إلى أن يكون لدينا نجاح نسبي في هذا العمل، ونأمل أيضًا في استمرار البحث في هذا المجال وزيادة الاهتمام به.

# المراجع

https://www.memphis.edu/ce/index.php?fbclid=IwAR1nOk5owRNnajPzA03odV65Iqxdhmx

[2] https://m.facebook.com/The.Muslim.researchers/photos/a.390064377822089/8051980729

[3] www.youtube.com/watch?v=r9YCvcNWTE8

type=3?/75382

[4]https://workingdrawing.yoo7.com/t41-topic]

[5] نبذة عامة عن الخرسانة

[6] الفصل الأول عموميات حول الخرسانة والخرسانة الخضراء

[7]https://www.prof-eng.net/2019/08/Concrete-Types.html]

[8]https://sites.google.com/site/scdgndeti/concrete-components-tests]

[9]https://www.et3lemdelivery.com/2018/09/A-book-on-concrete-industry-types-and-uses-:]

(كتاب عن الخرسانة وصناعتها وانواعها واستخداماتها)pdf.html

[10]www.business4lions.com/2019/09/Concrete.html]

((11]https://books-library.online/free-155659909-download]

[12] شروخ وتشققات الجدران انواعها اسبابها وطرق علاجها بالصور

[13] كتاب ماء الخلط ومعالجة الخرسانة

[14] noor-book.com/كتاب-اضافات-الخرسانه-pdf

[15]الفواصل في أعمال الخرسانة - وظيفتها وانواعها

[16] مكونات وانواع ومواصفات ومراحل صناعة و زمن تصلب الخرسانة- موقع اسود البيزنس

(17]https://download-engineering-pdf-ebooks.com/12383-free-book]

[18] تعريف ومميزات وعيوب واختبارات استلام الخرسانة الجاهزة

[19]/https://www.facebook.com/RwytLlmqawlatQtaAlkhrsantAljahzt/posts

[20] https://www.marefa.org

[21] مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر في الهندسة المدنية تخصص مواد الهندسة المدنية تحت عنوان (المساهمة في تحسين خصائص خرسانة رمل المحاجر بواسطة التصحيح الحبيبي من إعداد مريقة إبراهيم و رحماني كمال بجامعة الشهيد حمه

لخضر بالوادي [22] مذكرة ماجستير عنوانها استغلال رمل الكثبان في صياغة الخرسانة من اعداد بركات عبد العزيز جامعة قاصدي مرباح ورقلة تاريخ نوقشت 05/11/2006

[23] مذكرة تخرج لينيل شهادة ماجستير عنوانها المساهمة في تحسين خصائص الخرسانة الرمل الكثبان بواسطة التصحيح الحبيبي و التعزيز بالألياف المعدنية من إعداد ماني محمد نوقشت 28/11/2010

[24] مذكرة تخرج مهندس دوله في هندسة مدنية عنوانها استغلال رمل الكثبان في صياغة الخرسانة من عداد حمادي دليلة و بخوش زهير جامعة قاصدي مرباح ورقلة تاريخ نوقشت 21/06/2007

[25] مذكرة دكتواء LMD هندسة مدنية التخصص النمذجة العددية للمواد الجيولوجية تحت عنوان ( Intitulé Étude des

97

propriétés physico-mécaniques et rhéologiques des bétons à base des sables de carrières: expérimentation et modélisation

) بجامعة محمد خيضر بسكرة من إعداد محمد الياس كمال خواجية نوقشت في

29 ماي 2016

[26] كتاب خواص وإختبارات الخرسانة المتصلدة

[https://m.marefa.org [27

[https://www.youtube.com/watch?v=Rfu7CUeQse8[28

[https://www.facebook.com/www.mamoun.con/posts/[29

[30] مذكرة ماجستير بعنوان استعادة ألياف المعدنية من النفايات الهوائية في الخرسانة الكثبان الرملية بجامعة قاصدي مرباح ورقلة بكلية العلوم التطبيقية قسم الهندسة المدنية و الري من عداد بالفراق عالوه نوقشت 20/06/2006

[31] مذكرة ماجستير بعنوان دراسة تجريبية للخرسانة بالرمل الكثبان الرملية بجامعة ورقلة قسم الهندسة مدنية و الري من

عداد بنتات عيسى.

[32] مذكرة دكتواء تحت عنوان المعالجة الطبيعية الميلاط والخرسانة لهياكل الخرسانة الجاهزة بجامعة محمد خيضر – بسكرة

بكلية العلوم والعلوم الهندسية بقسم الهندسة المدنية من إعداد بن عمار بنخدا نوقشت 19/06/2006

[33] مذكرة تخرج الماستر تحت عنوان متانة الخرسانة المعرضة لبيئة عدوانية حامض الكبريتيك و تأثير شكل الركام المسحوق المدفون بجامعة محمد بوضياف المسيلة بكلية التكنولوجيا قسم هندسة مدنية تخصص مواد بناء من اعداد Zitouni.Sو Naceri.A.GH

[34] مذكرة الدكتوراه بعنوان المساهمة في دراسة تأثير إضافة الرمل من الكثبان الرملية الدقيقة إلى االسمنت ، على أألداء الفيزيائي والميكانيكي وتشوه والديمومة الخرسانة بجامعة محمد خيضر ببسكره بكلية العلوم والتكنولوجيا بقسم الهندسة مدنية تخصص مواد بناء من إعداد سليم غزالة نوقشت 15/03/2012

[35]أطروحة دكتورا عنوانها دراسة تأثير طبيعة مواد الحشو على خواص الخرسانة على أساس المواد المحلية في الحالة الطازجة والمتصلدة ودرجات الحرارة المرتفعة من إعداد Belouadah MESSAOUDA جامعة محمد بوضياف - - نوقيشة يوم 18/12/2018.

مسيلة

[36]أطروحة دكتورا عنوانها دراسة السلوك الميكانيكي والمتانة للخرسانة المسلحة بالألياف تأثير البيئات المختلفة وطبيعة

الألياف من أعداد FEDAOUI-AKMOUSSI Oudia جامعة مولود معمري - تيزي وزو نوقشت يوم 06/03/2016 .

[37]مذكرة ماجستير عنوانها Le recyclage des bétons de démolition Solution pour le développement

durable. Formulation et comportements physiques et mécaniques des bétons à base de ces

recycles من إعداد BEREDJEM Layachi جامعة باجي مختار - عنابة

[38] أطروحة دكتورا عنوانها CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA RESISTANCE

CARACTERISTIQUE DES BETONS DE LA REGION DE TLEMCEN

[39] من إعداد سيدي محمد الأمين BOUKLI HACENE من جامعة بكير بلقايد - تلمسان تو تقديمها سنة 2009 مذكرة ماستر عنونها تأثير إضافة نفايات طوب النفايات على الخصائص الفيزيائية الميكانيكية من اعداد بولوزا وليد و غرين عبد الباسط من جامعة AKLI MOHAND OULHADI de Bouira

سنة 2019/2018.

[40] مذكرة ماستر تخصص تصميم وتشخيص أنظمة والتموين بمياه والتطهير عنونها تحليل كيفية تاثير المياه الصاعدة على منشآت الر ي الخراسانية من إعداد زيدي يحي و ساكر عبد الرزاق من جامعة الشهيد حمه لخضر – الوادي نوقشت في26/5/6201

[41]: A. CHAREF, "La problématique des granulats au Maroc", Push-Button Publishing, (2007).

[42]: Norme Française XP P 18-540, "Granulats - Définitions, conformité, spécifications, indice de classement: P 15-540", (1997).

[43]: R. MAILLOT, "Mémento technique des Granulats", les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 166 p., (2001).

[44]: DEGUSSA CONSTRUCTION CHEMICALS FRANCE, "La Technologie du Béton", Guf Formation\Béton\Technobeton V05_01U, 140 p.

[45]: J. BARON, et R. SAUTREY, "Le béton hydraulique", Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 560 p., (1982).

[46]: V. PHOUMMAVONG, "Cours en ligne matériaux de construction", Université Nationale du Laos, http://www.la.refer.org/materiaux/

[47]: A. M. NEVILLE, "Propriétés des bétons", traduis par le CRIB, Edition Eyrolles, 806p., (2000).

[48]: G. ARQUIE & C. TOURENQ, "Granulats", Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, 717 p., (1990).

[49]: J. ALEXANDRE & J. SEBILEAU, "Laitier de haut fourneau", Centre Technique et de Promotion des Laitiers, Paris édition, 340 p., (1988).

[50]: S. HACHAICHI, "Substitution de Sable roulé par les déchets de carrières et de hauts fourneaux dans le béton", Thèse de Magister, 92 p., (2008).

[51]: Le LERM, "Déchets de chantiers de bâtiment", enquête CEBTP/DEMAIN pour FFB et ADEME, (1999).

[52]: ADEME, "Guide des déchets de chantiers de bâtiment", Paris, (1998).

[53]: H. DJELAL & V. NOUVEL, "Gestion des déchets de démolition et environnement", XXVI Rencontres Universitaires de Génie Civil, Nancy, 8 p., (2008).

[54]: N. BOURMATTE, "Granulats Recyclés de substitution pour Bétons Hydrauliques, Caractérisation, Performances, Durabilité", Thèse de Magister, Université Mentouri de Constantine, 159 p., (2005).

[55]: M. QUEBAUD, "Caractérisation des granulats recyclés : Étude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats", Thèse de doctorat, Université d'Artois, 247 p., (1996).

[56]: RILEM, "Demolition and Reuse of concrete", Report of technical committee, 37- DRC, T.C Hansen, E&FN SPON, 305 p., (1988).

[57]: F. PELLERIN, "Caractérisation des granulats recyclés fabriqués avec du béton de ciment et des enrobés bitumineux pour utilisation dans les fondations routières", Thèse de master es sciences, Université de Laval, 165 p., (2000).

[58]: C. CIMPELLI, "Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'ile-de- France Les bétons et produits de démolition recyclés", 43 p., (1996).

[59]: T. C. HANSEN, "Recycled aggregates and recycled aggregate concrete second state-of -the-art report developments 1945-1985", demolition and recycling of concrete, 19(3),pp:201-246, (1986). (rapporté par [13])

[60]: H. HUSSAIN & D. LEVACHER, "Recyclage de béton de démolition dans la fabrication des nouveaux bétons", XXIemes Rencontres Universitaires de Génie Civil, (2003).

[61]: Norme Française P 18-553, "Granulats -Préparation d'un échantillon pour essai", AFNOR, (1990).

[62]: Norme Française EN 932-1, "Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats - Partie 1: Méthodes d'échantillonnage", AFNOR, (1996).

[63]: J. BARON & J. P. OLIVIER, "Les bétons, bases et données pour leur formulation", Association technique de l'industrie des liants hydrauliques, R. BERTRANDY et C. PIKETTY, "Les granulats pour bétons", 2eme tirage, Edition Eyrolles, 522 p., (1997).

[64]: G. DREUX & J. FESTA, "Nouveau guide du bétonet ses constituants", Edition Eyrolles, geme édition, 409 p., (1998).

[65] R. DUPAIN, R. LANCHAN & J.-C. SAINT-ARROMAN, "Granulats, Sols, Ciments et Bétons", Editions Casteilla, 2ème édition conforme aux normes européennes, 236 p., (2000).

[66]: F. GABRYSIAK, "Matériaux - Les Granulats - Chapitre 2", Académie de Nancy-Metz, http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/Batiment_Pro/

[67]: Y. DESCANTES, Y. FOSSE & G. EHRET, "Automated measurement of aggregate properties Part 1: Crushed and broken surfaces in coarse aggregate particles", Materials and Structures, 39(1), pp:3-12, (2006).

[68]: Norme française XP P 18-566, "Granulats: Analyse granulométrique, aplatissement, allongement - Essai à l'aide d'un appareil d'ombroscopie", AFNOR, (2002).

[69]: Norme Française EN 12-620, "Granulats pour béton hydraulique", (2004).

[70]: Norme Française EN 933-3, "Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats Partie 3 Détermination de la forme des -granulats - Coefficient d'aplatissement", AFNOR, (1996).

[71]: T. YAMATO & M. SOEDA, "Physical properties of recycled aggregate and the utilization as concrete aggregate", International seminar on Recycled Concrete, (2000). (rapporté par [39])

[72]: J. L. DURVILLE & H. HERAUD, "Description des roches et des massifs rocheux", Techniques de l'ingénieur C 352, 13 p., (1995).

[73]: CH. GHERDAOUI, "Influence des fines minérales sur les propriétés mécaniques et la durabilité du béton à base de sable de carrières de la région

de Guelma", Mémoire de Magister, Université Badji M. - Annaba, 94 p., (2007).

[74]: Norme Française P 18 554, "Granulats - Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux", (1990).

[75]: Norme Française P 18-555, "Granulats - Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et de la teneur en eau des sables", AFNOR, (1990).

[76]: Norme Française P 18-558, "Granualts: Détermination de la masse volumique absolue des fines", AFNOR, (1990).

[77]: Norme Française EN 1097-3, "Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie3: Détermination de la Masse volumique apparente", AFNOR, (1996).

[78]: Norme Française EN 1097-6, "Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 6: Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient de l'absorption d'eau", AFNOR, (1996).

[79]: L. MIREN ETXEBERRIA, "Experimental Study on Microstructure and Structural Behaviour of Recycled Aggregate Concrete", Thèse de doctorat, Université polytechnique de Catalogne - Espagne, 242 p., (2004).

[80]: R.S. RAVINDRARAJAH, M. STEWARD & D. GRECO, "Variability of Recycled Concrete Aggregate and its Effects on Concrete Properties", 2nd International Conference on Engineering Materials, San Jose, USA, (2001).

[81]: Norme Française XP P 18-598, "Granulats- Equivalent de sable", AFNOR, (1991). [82]: Norme Française XP P 18-597, "Granulats- Détermination de la propreté des sables : équivalent de sable à 10% de fines, AFNOR, (1990).

[83]: Norme Française EN 933-8, "Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8: évaluation des fines - équivalent de sable", AFNOR, (1996).

[84]: Norme Française EN 933-9, "Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 9: Qualification des fines - Essai au bleu

de méthylène", AFNOR, (1996).

[85]: Norme Française XP P 18-591, "Granulats

superficielle", AFNOR, (1990).

détermination de la propreté

[86] J. S. FERGUS, "Investigation and Mix Proportions for utilizing Recycled Portland Cement Concrete as Aggregate", National Seminar on PCC Pavement Recycling and Rehabilitation; St. Louis, Missouri, USA, Federal Highway Administration Report; pp:144-160, (1981).

[87]: Norme Européenne EN 206-1, "Béton Partiel: Spécification, performances, production et conformité", (2002).

[88] V.W.Y. TAM, "Aggregate testing using 2nd-, 7th- and 10th-order interpolation polynomials", Resources, Conservation and Recycling, 52(1), pp:39-57, (2007).

[89]: Norme Européenne EN 1367-1, "Résistance à l'alternance gel-dégel",

[90]: A. AJDUKIEWICZ & A. KLISZCZEWICZ, "Influence of recycled aggregate on mechanical properties of HS/HPC", Cement & Concrete Composites, 24(2), pp:269-279, (2002).

[91] I. B. TOPÇU & S. SENGEL, "Properties of concretes produced with concrete aggregate", Civil Engineering Department, Université d'Osmangazi, Turkey, (2004).

[92]: V. W. Y. TAM, X. F. GAO & C. M. TAM, "Micro-structural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach", Cement & Concrete Research, 35(6):1195-203, (2005).

[93]: D. SANI, G. MORICONI, G. FAVA & V. CORINALDESI, "Leaching and mechanical behaviour of concrete manufactured with recycled aggregates", Waste Management, 25(2), pp:177-182, (2005).

[94]: Norme Française XP P 18-573, "Granulats - Essai Los-Angeles", AFNOR, (1990). [95]: Norme Française EN 1097-2, "Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats Partie 2 Méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation", AFNOR, (1996).

[96]: Norme Française XP P 18-574, "Granulats - Essai de fragmentation dynamique", AFNOR, (1990).

[97]: Norme Française P 18-577, "Granulats - Essai Micro-Deval", AFNOR, (1990).

[98]: Norme Française EN 1097-1, "Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats Partie 1: Détermination de la

résistance à l'usure (Micro-Deval) (indice de classement P 18-650.1)",

AFNOR, (1996).

[99]: J. BARON et J. P. OLIVIER, "Les bétons, bases et données pour leur formulation", Association technique de l'industrie des liants hydrauliques, K. KHAYAT et J. P.OLIVIER, "Viser une consistance adaptée aux moyens de mise en œuvre - indice de la mise en œuvre sur la formulation des bétons", 2eme tirage, Edition Eyrolles, 522 p., (1997).

[100]: F. GABRYSIAK, "Matériaux - Les Bétons - Chapitre 4", Académie de Nancy-Metz, http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/Batiment_Pro/

[101]: S. S. JANKAR et C. B. K. RAO, "Index of aggregate particle shape and texture of coarse aggregate as a parameter for concrete mix proportioning", Cement & concrete research, 34(11), pp:2021-2027, (2004).

[102]: S. BETHMONT, "Mécanisme de ségrégation dans les bétons autoplacants", Thèse de Doctorat, ENPC Paris, France, 166 p., (2005).

[103]: M. WESTERHOLM, D. LAGERBLAD, J. SILFWERBRAND & E. Forssberg, "Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars", Cement & Concrete Composites, 30(4), pp:274-282, (2008).

[104]: M. S. RASHWAN & S. ABOURIZK, "The properties of recycled concrete", Concrete International, 19(7), pp:56–60, (1997).

[105]: C. S. POON, Z. H. SHUI, L. LAM & S. C. KOU, "Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of hardened concrete", Cement & Concrete Research, 34(1), pp:31-36, (2004).

[106]: C. S. POON & C. S. LAM, "The effect of aggregates-to- cement (A/C) ratio and types of aggregates on the properties of pre-cast concrete blocks", Cement & Concrete Composites, 30(4), pp:283-289, (2008).

[107] T. MUKAI, M. KIKUCHI & N. ISHIKAWA, "Study on the properties of concrete containing recycle concrete aggregate", Cement Association of Japan, 32d review, (1978), (rapporté par [39]).

[108]: T.C. HANSEN & H. NARUD, "Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate", Concrete International- design and construction, 5(1), pp:79-83, (1983).

[109]: A. NEALEN & S. SCHENK, "The influence of recycled aggregate core moisture on freshly mixed and hardened concrete properties", In Darmstadt concrete, Annual Journal 13, TU Darmstadt, (1998).

[110]: M. BARRA & ALL., "Properties of concretes with recycled aggregates: influence of properties of the aggregates and their interpretation, use of recycled concrete aggregate", Sustainable Construction. ISBN 0-7277-2726-5. pp:19–30, (1998).

[111]: K. KOKUBU, TSHIMIZU & A. UENO, "Effects of recycled aggregate qualities on the mechanical properties of concrete, Internacional Workshop On Recycled Concrete", Tokyo, JSPS 76 Committee on Construction Materials, Japan Society for the Promotion of Science, pp:107–115, (2000).

[112]: H. DONZA, O. CABRERA & E. F. IRASSAR, "High-strength concrete with different fine aggregate", Cement & Concrete Research, 32(11), pp:1755-1761, (2002).

[113]: R. JONES et M. F. KAPLAN, "The effects of coarse aggregate on the mode of failure of concrete in compression and flexure", Magazine of Concrete Research, 9(26), pp:89-94, (1957). (rapporté par [7])

[114]: O. ÖZKAN, I. YÜKSEL & O. MURATÖGLU, "Strength properties of concrete incorporating coal bottom ash and granulated blast furnace slag", Waste Management, 27(2), pp:161-167, (2007).

[115]: A. KILIÇ & ALL., "The influence of the aggregate type on the strength and abrasion resistance of high strength concrete", Cement & Concrete Composites, 30(4), pp: 290-296, (2008).

[116]: M. F. KAPLAN, "Flexural and compressive strength of concrete as affected by the properties of coarse aggregates", ACI Journal Proceedings, 55, pp:1193-1202, (1959) (rapporté par [7]).

[117]: S. CHANDRA & L. BERNTSSON, "Lightweight Aggregate concrete", Noyes Publications, 406 p., (2002).

[118]: E. WIRQUIN, R. HADЛEVA-ZAHARIEVA & F. BUYLE-BODIN, "Utilisation de l'absorption d'eau des bétons comme critères de leur durabilité - Application aux bétons de granulats recyclés", Materials and Structures, 33(6), pp:403-408, (2000).

[119]: R. HADFIEVA-ZAHARIEVA, "Durabilité des bétons à base de granulats recyclés", Thèse de Doctorat, Université d'Artois, 350 p., (1998) (rapporté par [70]).

[120] FT OLORUNSOGO & N. PADAYACHEE, "Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes", Cement & Concrete Research, 32(2), pp:179– 185, (2002).

[121] Y. MALIER, "Les bétons à haute performance, caractérisation, durabilité et applications", Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, 673p., (1992).

[122] Projet de recherche, "Baustoffkreislauf im Massivbau (BiM)", hautes écoles et instituts de recherche, République fédérale d'Allemagne, www.b-i-m.de

[123]: S. HASABA, M. KAWAMURA, T. KAZUYUKI & T. KUNIO, "Drying shrinkage and durability of concrete made from recycled concrete aggregates", Trans. Jap. Concr. Inst., 3, pp:55–60, (1981), (rapporté par [39]).

[124]: A. KATZ, "Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete", Cement & Concrete Research, 33(5), pp:703-11, (2003).

[125]: M. SANCHEZ de JUAN & P. A. GUTIERREZ, "Influence of recycled aggregate quality on concrete properties", laboratoire Central des Matériaux et Structures, Espagne.

[126]: F. LORANGER, "Caractérisation de matériaux recycles (bétons, enrobes et fondations granulaires) et évaluation de leur performance dans les bétons conventionnels et compactes au rouleau", Mémoire de Maître ES Sciences, Université Laval, 198 p., (2001).

[127]: L. BERREDJEM & N. ARABI, "Les matériaux de démolition des déchets inertes, une source de granulats pour béton", Séminaire national sur l'environnement et industrie, Sheraton Oran, pp :31-43, (2009).

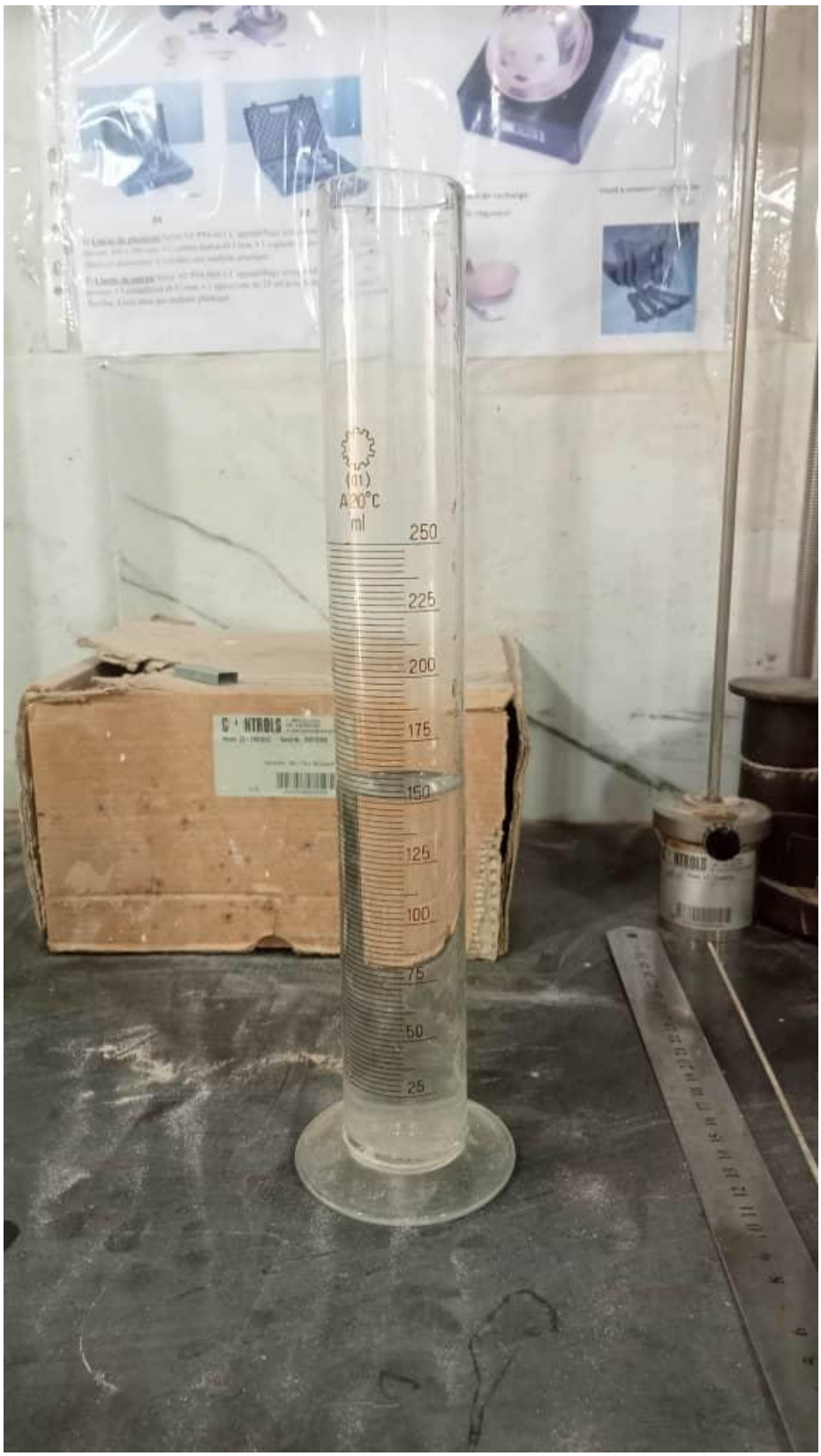
[128] M. S. JUAN & P. A. GUTIÉRREZ, "Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate", Construction & Building Materials, 23(2), 872-877, (2009).

[129]: S. W. TABSH & A. S. ABDELFATAH, "Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete", Construction and Building Materials, 23(2), 1163-1167, (2009).

[130]: B. GONZALEZ FONTEBOA, "Hormigones conàridos reciclados procedentes de demoliciones: dosificaciones, propiedades mecànicas y comportamiento estructural a cortante", Thèse de Doctorat, Université de la Coruna - Espagne, (2002).

[131]: H. C. ERNTROY & B. W. SHACKLOCK, "Design of high strength concrete mixes, proc. Of a symposium on mix design and quality control of concrete", Cement and Concrete Assoc., London, pp:55-73, (1954) (rapporté par [39]).

# الملاحق




**الملحق (1-III)مخبار مدرج لتجربة الكتلة الحجمية المطلقة**

**الملحق (2-III) يوضح المواد المستعملة في التركيبة الخرسانة**

**الملحق (IV-1) يوضح قوالب عينات تجربة النفاذية**

**الملحق (IV-2) عمق تسرب الماء في عينة النفاذية**

**الملحق (IV-3) تحطيم عينة النفاذية**

**الملحق (IV-4) قوالب عينات تجربة الامتصاص**

**الملحق (IV-5,6) مزان حساس كبير وصغير**