الباب الثاني

الإطار النظري

الفصل الأول:

1-2 مكونات الخرسانة أنواعها:

1-1-2 مقدمة:

الخرسانة هي بنيان مكون من عدة مواد والجزء الأكبر في هذا البنيان هو الركام الذي يتماسك مع بعضه في صورة كتلة حجرية وذلك بفعل العجينة الأسمنتية المغلفة للركام والتي تتصلد نتيجة للتفاعل الكيميائي بين الأسمنت والماء.

تعتبر الخرسانة أكثر إستخداماً وذلك لرخص مكوناتها وسهولة تصنيعها ويطلق على خلطة الرمل والزلط إسم "الركام" ولكن يفضل أن يقدر كل منهما على حدة حتى تكون نسبة كل منهما للآخر مناسبة في الخلطة الخرسانية الناتجة ، كما يمكن تنظيم التدرج الحبيبى للركام الخليط وفى المعتاد يستخدم الرمل كركام صغير حتى لو كان الركام الكبير من الأحجار المكسرة.ويتركب الركام الصغير من أكثر من نوع من الرمل ، كما أن الركام الكبير قد يتركب من أكثر من نوع من الزلط وقد يكون له أكثر من مقاس خاص إذ زاد المقاس الأكبر عن 35 مليمتر.

2-1-2 مكونات الخرسانة:

تعتبر الخرسانة واحدة من أنواع الحجر الصناعي التي يمكن الحصول عليها بخلط مكوناتها من أسمنت وركام وماء وصبها في قوالب التشكيل ودمكها وتسويتها ومعالجتها لإتمام عملية التفاعل الكيميائي بين الاسمنت والماء الذي سرعان ما يحدث فيها شك (setting) ثم تتصلب وبذلك تصبح فيه المادة الناتجة هي حجر صناعي قادر على تحمل أحمال الضغط والقص التي سوف تقع عليه.

تعتمد مقاومة الخرسانة على نوع مكوناتها ونسب هذه المكونات من أسمنت وركام وماء بالإضافة إلي كيفية وطريقة خلط ومعالجة الخرسانة ، حيث يمكن الحصول على خرسانة لها مواصفات خاصة للإغراض الإنشائية المتنوعة وذلك بالتحكم الملائم والمناسب في نسب الخلطة من أسمنت وركام وماء والإضافات إن وجدت.

تتكون الخلطة الخرسانية من الآتي:

1- الأسمنت.
2- الركام.

3- الماء.

4- الإضافات (عند الحاجة لها).

1-2-1-2 الأسمنت:

هو تلك المادة الرابطة الناعمة التي لها خواصاً تماسكيه وتلاصقية بوجود الماء مما يجعله قادراً على ربط مكونات الخرسانة بعضها البعض. وأهم استخدام للأسمنت هو الخرسانة حيث يربط المواد الاصطناعية أو الطبيعية لتشكل مواد بناء قوية مقاومة للتأثيرات البيئية العادية.

تعتبر مادة الحجر الجيري المادة الرئيسية في صناعة الاسمنت وتشكل تقريبا % 80 من مادة الاسمنت. وتخلط هذه المواد التي تجهز بنسب محددة تحرق عند درجة حرارة 1400 درجة مئوية تقريبا ويسمى الناتج عن عملية الحرق " الكلنكر" يتكون الكلنكر من مركبات أسمنتية ناتجة عن عملية الحرق وهي سيليكات ثلاثي الكالسيوم ، سيليكات ثنائي الكالسيوم ، الومينات ثلاثي الكالسيوم ، الومينات حديد رباعي الكالسيوم.

❖ أنواع الاسمنت:

1- الاسمنت البورتلاندي العادي:

هو الأسمنت و النوع المنخفض من نوع (CA) ويعرف بالأسمنت المقاوم للكبريتات وفي أمريكا بنوع (V) وهو يتبع للمواصفات القياسية المرقمة (72-180 C) محتواه يساوي 50%. أما المواصفات البريطانية المرقمة(4027) لسنة 1966 فإن محتواه لا يزيد عن 3.5% وهو عبارة عن أسمنت مثالي لكن بسبب المتطلبات الخاصة لتركيب المواد الخام المستعملة في عملية تصنيعه لا يمكن دائما إنتاج هذا النوع نسبة للتكلفة الزهيدة بالمقارنة مع الأنواع الأخرى من الأسمنت.

2- **الاسمنت البورتلاندى سريع التصلب :**

هو شبيه جداً بالاسمنت العادي إلا انه أعلى تكلفة من العادي ولكن الفرق في التكلفة ضئيلة إذا ما قورن بفوائده ,ويصنع هذا الاسمنت بحرق الخامات الغنية بالجير وزيادة محتواه من (C_3S) ثم طحنها لدرجة عالية من النعومة ويكتسب مقاومة بسرعة أكثر ولذلك يوصف بالاسمنت عالي المقاومة المبكرة ويستعمل في الحالات التي يتطلب فيها نمو سريع لمقاومة الخرسانة.

- **وتتمثل عيوبه في :**

أ- زيادة معامل الانكماش .

ب- عدم إمكانية تخزينه لمدة تزيد على أسبوعين أوثلاثة على الأكثر وذلك لأن كلويد الكالسيوم يزيد من معدل إمتصاص الرطوبة من الجو ويعمل بالتالي على سرعة تلف الاسمنت.

3- **الاسمنت البورتلاندي منخفض الحرارة** :

هذا الاسمنت ذو معدل منخفض لنمو حرارة الإماهه في بادئ الأمر ، ويستعمل في المنشآت الكتلية لأن إرتفاع درجة الحرارة داخل كتلتها الخرسانية نتيجة درجة الحرارة الناتجة من إماهه الاسمنت تؤدي لشقوق خطيرة في الخرسانة وهنالك أنواع عديدة منتجة من الأسمنت والمطورة للإستعمالات الخاصة وهي:

1- الأسمنت المقاوم للبكتريا.
2- الأسمنت البورتلاندى ذو النوع المحبوس.
3- الأسمنت البورتلاندى غير منفذ للماء.
4- الأسمنت البورتلاندي الملون .
5- الأسمنت البورتلاندي الأبيض .
6- الاسمنت مقاوم للكبريتات .
7- الاسمنت المتصلب في درجة الحرارة العالية

❖ صناعة الأسمنت:

هنالك طريقتان الطريقة الجافة والطريقة الرطبة ففي الطريقة الجافة تكون المواد المكتسبة والطينية جافة في جميع مراحل الصناعة أو على الأقل بعد عملية التكسير وقبل الخلط. أما الطريقة الرطبة فتستعمل في حالة وجود خامات رخوة أو تحتوي على بعض الرطوبة وفيما تخلط الخامات خلطاً صحيحاً جيداً مع كمية من الماء تتراوح بين 32% إلى 45% من الخليط العام.

❖ الخواص الفيزيائية والميكانيكية للأسمنت:

تعتبر الخواص القياسية وطرق إختبارها أساساً ومقياساً يعتمد علية كلياً في قبول الأسمنت للإستعمال في أشكاله وصوره المتعددة. كما يعتمد على هذه الخواص في تطور الأسمنت لكي يفي بإحتياجات وظروف الأعمال الإنشائية المختلفة التي يدخل فيما الأسمنت كعنصر مهم في موادها وفيما يلي النقاط الرئيسية لخواص الأسمنت البورتلاندي العادي وهي:

أ. نعومة الأسمنت.
ب. الكثافة النوعية للأسمنت.

ت. الشك والتصلد في الأسمنت.

ث. مقاومة الاسمنت.

ج. ثبات حجم الأسمنت

1) **نعومة الأسمنت:**

يعد مقياس حبيبات الأسمنت عاملاً يؤثر على مدى تفاعل الأسمنت مع الماء فمعدل تفاعل الماء مع عينة الأسمنت الناعم يكون أكبر من معدل تفاعله مع الاسمنت الخشن,هذا بالإضافة إلى إن عملية التصلد للأسمنت الناعم تكون أكبر ، وأن الحبيبات الخشنة من الأسمنت قد تأخذ سنوات للتفاعل مع الماء وكذلك تؤثر نعومة الطحن إلى حد كبير على قابلية التشغيل للخرسانة فدرجة النعومة الكبيرة تحسن من تماسك خلطة الخرسانة وتعمل على إنقاص كمية ماء النضح.

2) **الكثافة النوعية:**

يؤثر التخزين الطويل تأثيراً كبيراً على الكثافة النوعية للأسمنت, ونجري إختبار الكثافة النوعية للأسمنت للمقارنة بين نوعين من الأسمنت إذا عرفت الكثافة النوعية ككل.

3) **الشك:**

ينقسم زمن الشك إلى قسمين:

1. زمن الشك الابتدائي :

هو الزمن الذي يمضي من لحظة إضافة الماء للأسمنت وحتى تستطيع إبرة جهاز فيكات من أن تنفذ من عجينة الأسمنت على مسافة 4-6 ملم من قاع القالب.

2. زمن الشك النهائي :

هو الزمن الذي تستطيع عبره إبره جهاز فيكات أن تترك أثر على أن لا يظهر أي أثر لحافة الجزء الأسطواني المثبت حولها. ويجب أن لا يكون شك الأسمنت سريعاً أو بطيئاً لأنه في حالة الشك السريع لن يكون هنالك وقت كاف لنقل الخرسانة إلى موقع الصب قبل فقد لدونتها، وفي الحالة الثانية يحتاج الشك إلى وقت طويل مما يعمل على تعطيل العمل وبالإضافة إلى ذلك فقد يؤخر ذلك من الإنتفاع بالمنشأة وذلك حتى تصل المنشأة إلى المقاومة المناسبة.

لزمن الشك علاقة وثيقة بكمية الماء المضاف ودرجة الحرارة فيتأخر زمن الشك كلما زاد الماء المضاف لأنه يتم فصل حبيبات الأسمنت عن التفاعل الكيميائي بوجود طبقات سمكية من الماء تؤجل التفاعل لفترة من الزمن لأن التفاعلات الكيميائية عادة ما تكون بطيئة في درجات الحرارة المنخفضة ، وأيضا يتأثر زمن الشك بالمكونات الكيميائية إلى حد ما.

أما نعومة الأسمنت فهي تؤثر بوضوح على عملية الشك فكلما زادت النعومة كلما أسرع زمن الشك.

الشكل(2-1)يوضح جهاز فيكات

4) مقاومة الأسمنت:

قد تمثل المقاومة الميكانيكية للأسمنت المتصلب الخاصية الأكثر حاجة وأهمية في مجال الإستعمال الإنشائي وتعتمد مقاومة المونه على تماسك العجينة الأسمنتية والتحامها بحبيبات الركام ,وتعتبر مقاومة الشد في الأسمنت ليست بذات أهمية وذلك لأن مونه الأسمنت أو الخرسانة لا يستعملان في تحمل إجهادات الشد ويدخل الأسمنت أساساً في المنشآت ليتحمل إجهادات الضغط.

5) الثبات:

ومعناه غياب العناصر التي تعمل على الضرر بالمقاومة وتحمله مع مرور الزمن وهذه الخاصية تعتبر واحدة من الخواص المهمة للأسمنت.

2-1-2-2الركام:

هو زلط أو قطع حجريه ، يتراوح حجمها من1 إلى 5 سم ، تتكون أساساً من حبيبات الكوارتز أو السليكا وتستعمل في جميع أنواع الخرسانة العادية والمسلحة وسابقة الإجهاد ، وفي أعمال الرصف وتفضل القطع المشطوفة الحادة الزوايا ،ويتكون الركام بصورة عامة من حبيبات صخرية متدرجة في الحجم منها حبيبات صغيرة كالرمل والأخرى حبيبات كبيرة

كالحصى أو الزلط وإضافة إلى كون الركام يشكل الجزء الأكبر من هيكل الخرسانة والذي يعطي للكتلة الخرسانية استقرارها ومقاومتها للقوى الخارجية والعوامل الجوية .

من الخواص المهمة لركام الخرسانة هو تدرج حبيباته، ولغرض الحصول على هيكل خرساني كثيف يجب أن يكون تدرج ركام الخرسانة مناسبا وذلك بتحديد نسبة الركام الناعم والركام الخشن في الخليط كما يجب أن يكون الركام نظيفا قويا مقاوما للسحق والصدم ومناسبا من حيث الامتصاص ذا شكل وملمس مناسبين وغير قابل للإنحلال، ومقاوما للتآكل والبري.

- **يقسم ركام الخرسانة إلى الأقسام المختلفة التالية :**

1- **بالنسبة لوزنه :**

- ركام ثقيل.
- ركام عادي.
- ركام خفيف.

2- **بالنسبة لمساميته :**

- ركام كثيف التركيب مثل الركام العادي والثقيل
- ركام مسامي التركيب مثل الركام الخفيف

3- **طبقاً لمنشئه . أصله :**

- ركام طبيعي.
- ركام صناعي.

4- **بالنسبة لشكل حبيباته :**

- ركام مدور.
- غير منتظم.
- زاوي.
- مفلطح.

5- **بالنسبة لطريقة تجهيزه :**

- ركام بمقاسه الطبيعي(ركام طبيعي).
- ركام جرى تكسيره ميكانيكياً (ركام صناعي).

6- **بالنسبة لمقاس حبيباته** :

- رمل ناعم جداً.
- رمل ناعم.
- رمل خشن.
- حصى.
- حصى خشن

➢ **الاشتراطات الخاصة بالركام:**

- يجب أن تكون حبيبات الركام شبه كروية وغير مفلطحة وتفضل الأنواع عديدة الأوجه.
- يجب ألا تزيد نسبة الامتصاص عن 5%.
- يجب ألا يقل الوزن النوعي الظاهري عن 2.35
- يجب ألا تزيد نسبة الفاقد في وزن الركام عند إجراء اختبار الثبات عن 10-12% من الوزن.
- يجب أن يخضع الركام للغسيل قبل استخدامه وذلك لضمان خلوه من المواد العضوية والأملاح الضارة.

➢ **الاختبارات التي تجرى على الركام:**

1- **التدرج الحبيبي**:-

هو أحد الإختبارات الهامه لتحديد مدى صلاحية الركام للإستخدام في الخلطات الخرسانية

- **الاجهزة والأدوات:-**
  1) ميزان حساس
  2) فرن جيد التهوية
  3) مجموعة من المناخل القياسية
  4) إناء كبير يسمح بإحتواء العينة بإضافة إلى خمسة مرات حجمها ماء
- **طريقة العمل**:-

يتم تحضير عينة الإختبار عن طريق التقسيم الربعي ثم تجفف العينة بإستخدام الفرن إذا كانت رطبة وتم التأكد من نظافة المناخل وسلامتها قبل إستخدامها ثم وزنت عينة الركام ورتبت

المناخل ترتيباً تصاعدياً وتم نخل العينة بتحريك المناخل يدوياً لمدة خمسة دقائق ثم تم وزن مقادير الركام المحجوزة على كل منخل على حدة بإستخدام الميزان الحساس وحسبت النسبة المئوية للركام المحجوز على كل منخل.

الشكل (2-2) يوضح غرابيل التحليل المنخلي

2- **إختبار تعيين نسبة الإمتصاص للركام**:-

يهدف هذا الإختبار لتعيين نسبة الإمتصاص للركام الكبير والصغير والمقصود بنسبة الإمتصاص النسبة المئوية للزيادة في وزن الركام الجاف بعد غمرة في الماء لمدة 24 ساعة.

- **الأجهزة والأدوات:-**

1. ميزان حساس
2. فرن تجفيف
3. وعاء لغمر العينة
4. ثوب قماش للتجفيف

- **طريقة العمل:-**

تم تحضير عينة من الركام وجففت في الفرن لمدة 24 ساعة بعد ذلك تم وزن الوعاء فارغ(W1) ثم وضعت عينة من الركام الجاف في الوعاء ووزنت(W2) بعد ذلك غمرت العينة في الماء لمدة 24 ساعة وأخرجت وجففت بقطعة قماش وتم وزنها(W3) وكررت هذه التجربة ثلاث مرات بإستخدام ثلاثة أوعية مختلفة.

3- **تعيين الثقل النوعي للركام:**

الثقل النوعي هو عبارة عن النسبة بين1سم مكعب من المادة مقابل1سم مكعب من الماء المقطر في درجة حرارة واحد درجة مئوية أوهوالعلاقة بين كثافة المادة وكثافة الماء في درجة الحرارة نفسها.

- **الأجهزة والأدوات:-**

1) ميزان حساس
2) فرن تجفيف
3) وعاء لغمر العينة

- **طريقة العمل:-**

جهزت عينة من الركام وتم تجفيفها في فرن ثم وضع وزن مناسب من الركام في الإسطوانة وتم تسجيل وزن الإسطوانة وهي فارغة(W1) وسجل ايضاً وزن الإسطوانة والعينة(W2) ثم صب الماء في الإسطوانة ووزنت مرة أخرى(W3) بعد ذلك تم وزن الإسطوانة ماء فقط (W4) وكررت هذه العملية ثلاث مرات لثلاثة أوزان مختلفة وتم حساب الثقل النوعي للركام.

4- الثبات الحجمي.
5- التحليل الكيميائي.
6- شكل الحبيبات وحالة السطح
7- مقاومة الركام للبرى والاحتكاك
8- مقاومة الركام للتهشيم.

3-2-1-2 ماء الخلط:

هو الماء الذي يضاف إلى الأسمنت والركام لإتمام عملية التفاعل وعمليات الخلط والتشغيل والصب والدمك ، ويجب أن يكون ماء الخلط المستخدم في خلط الخرسانة نظيفاً خالياً من المواد الضارة مثل الزيوت والأحماض والقلويات والأملاح التي تؤثر على الخرسانة أو حديد التسليح.

وتعتبر مصادر مياه الشرب صالحة للإستعمال كماء للخلط ، أما إذا كانت هنالك دلائل تشير إلى عدم صلاحية الماء للخلط كتغير الطعم والرائحة والشكل واللون فيجوز استخدامه بعد عمل الاختبارات اللازمة ويجب الإبتعاد عن مصادر المياه التي تحمل الشوائب والمواد الضارة ومن هذه المصادر المجارى التي تحمل كميات مركزة من المواد العالقة والمجارى التي تحمل

الفضلات الصناعية والمنزلية والآبار ويمكن الكشف بسهولة عن وجود بعض هذه الشوائب والمواد الضارة مثل الزيوت والمواد العضوية التي تطفو على سطح الأرض. يتم إجراء إختبارات أو تحاليل كيميائية للتأكد من خلو الماء من الشوائب أو لمعرفة نوع المواد العضوية ويمكن إستخدام أوراق عباد الشمس لمعرفة الماء ما إذا كان حامضياً أو قاعدياً.

وفيما يلي بعض النتائج المهمة التي يجب معرفتها عند تحديد صلاحية ماء الخلط للخرسانة :

1- لا يعتبر لون الماء أو رائحته دليل قاطعاً على مدى صلاحيته لخلط الخرسانة.

2- يمكن إستعمال أنواع كثيرة من الماء الملوث في خلط الخرسانة وقد لا ينتج عنه ضرر ظاهر للخرسانة المسلحة وذلك عكس ما يتصوره المهندسين ، ويشترط للسماح بإستخدام هذا الماء أن يكون التلوث الموجود به غير مركز لدرجة واضحة كما يشترط إجراء الإختبارات اللازمة.

3- أي ماء إستخدم من قبل كماء مغلي يمكن إستخدامه كماء خلط دون أن يتلف الأسمنت أو الخرسانة أو الخرسانة المسلحة.

- **مشاكل ماء الخلط :**

توجد مشاكل بالنسبة لماء الخلط تواجه أي مهندس وهي :

1) مدى توافر ماء الخلط الصالح للخرسانة ولا تظهر هذه المشاكل في المدن نتيجة لتوفير المياه الصالحة للشرب ولكنها تظهر في الصحارى والمناطق التي تندر فيها المياه العذبة حيث يلزم البحث عن مياه صالحة في المناطق المتاخمة.

2) تحديد كمية (Quantity) المياه اللازمة للخرسانة يعتبر مشكلة تقابل المهندس حيث تتراوح نسبة الماء للأسمنت المستخدمة في الخلطة الخرسانية بين (0.35 – 0.8) وتتوقف على الأتي:

أ. درجة التشغيل المطلوبة للخرسانة الطازجة .

ب. نوع العمل الهندسي نفسه فخرسانة رصف الطرق مثلاً تحتاج إلى ماء خلط أقل من الخرسانة المسلحة.

ت. كمية الأسمنت الموجودة بالخلطة الخرسانية أي مدى غنى الخلطة الخرسانية بالأسمنت(Richness of Mix) وبالتالي نسبة الركام إلى الأسمنت(Cement ratio Aggregate).

ث. طريقة دمك (Compaction) الخرسانة فالدمك الميكانيكي باستخدام الهزازات يحتاج إلى كمية أقل من الماء للخرسانة عن تلك التي يحتاجها الدمك يدوياً.

ج. نوع الركام ومدى تدرجه الحبيبي ومقدار مساحته السطحية.

ح. درجة الحرارة الجوية ومقدار رطوبته الجوية.

➢ **أنواع الخرسانة بالنسبة لكمية ماء الخلط :**

يتحكم ماء الخلط في نوع الخرسانة كما يلي :-

- خرسانة جافة القوام(dry Consistency) وتحدث إذا كانت كمية الماء قليلة بدرجة ملحوظة وتعطي بذلك خرسانة جافة القوام.
- خرسانة لدنة القوام(Soft Consistency) وفيما تكون نسبة الماء مناسبة وتعطي خرسانة لدنة القوام.
- خرسانة مبتلة القوام (Wet Consistency) إذا زادت كمية المياه عن الحد المناسب فإن الخرسانة الناتجة تكون منهارة القوام ضعيفة المقاومة يظهر بها الانفصال الحبيبي والنضح (Segregation & Bleeding)

➢ **العوامل التي تتحكم في ماء الخلط:**

هنالك عوامل تتحكم في ماء الخلط داخل الخرسانة:

1. نوع العمل الهندسي أي خرسانة الطرق غير خرسانة المنشات.
2. كميه الماء عند صب الخرسانة في الطرق غير ماء صب المباني.
3. درجه دمك الخرسانة .
4. المساحة السطحية وكمية الاسمنت ونوع الركام أي خواص الركام.
5. التدرج الحبيبي للركام .

4-2-1-2 الرمل :

الرمل هو مادة حبيبية موجودة في الطبيعة وهو احد مكونات الخلطة الخرسانية.يتكون الرمل من حبيبات معدنية ناعمة يكون قطرها في حدود 0.0625 ملم .يجب أن يكون الركام الناعم نظيفا ومار من الغربال رقم 4 وان تكون حبيباته جيدة التدرج.

❖ **الفحص عن الشوائب العضوية في الرمل:**

يعمل هذا الفحص لمعرفة الشوائب العضوية الموجودة في الرمل الذي يستخدم في الخرسانة فإذا كان وجود هذه الشوائب اكثر من المسموح به ذلك يؤثر على الخرسانة ويضعف مقاومتها وكذلك يؤثر عليها في جوانب أخرى.

- **الأجهزة والأدوات:-**

1) –دورق زجاجي

2) –عينة رمل

3) –محلول هيدروكسيد الصوديوم

- **طريقة العمل:-**

وضع الرمل في دورق زجاجي ثم أضيف إليه محلول هيدروكسيد الصوديوم وتم رج المحلول مع عينة الرمل بحيث غطى المحلول كل عينة الرمل في المخبار ثم تركت العينة المختبره مغمورة في محلول هيدروكسيد الصوديوم مدة 24 ساعة ثم بعد ذلك حضر محلول قياسي من هيدروكسيد الصوديوم وحامض التنيك المذاب في الكحول.

- **النتائج:-**

تقدر نسبة الشوائب في الرمل بمقارنة لون المحلول الموجود فوق عينة الرمل بلون المحلول القياسي.

2-1-2-5 الإضافات:

الإضافات هي مواد غير الركام والأسمنت والماء تضاف إلى الخلطة الخرسانية أثناء عملية الخلط بكميات صغيرة جداً بغرض إعطاء الخرسانة الطازجة أو الخرسانة المتصلدة خواص معينة مطلوبة مثل:

1) تحسين قابلية التشغيل للخرسانة الطازجة دون زيادة ماء الخلط.
2) التعجيل أو التأخير في الشك.
3) تقليل معدل الهبوط للخرسانة
4) تحسين القدرة في صب الخرسانة.
5) الحد من حدوث إنفصال حبيبي.
6) زيادة المقاومة المبكرة للخرسانة.
7) الحصول على خرسانة عالية المقاومة.
8) تحسين خواص الخرسانة المتصلدة مثل مقاومة البرى
9) الحصول على خرسانة غير منفذة للماء أو خرسانة ذات صفات خاصة.

- **أنواع الإضافات:Types of Addition**

1- إضافة تعجيل الشك: الهدف منها هو تقصير زمن الشك

2- إضافة مبطئة للشك: الهدف منها هو إبطاء الشك للأسمنت في ظروف الأجواء الحارة.

3- إضافة مواد تقلل مياه الخلط: الهدف منها تقوية مقاومة الانضغاط وتعطي قابلية للتشغيل تقلل كمية الأسمنت مع ثبات مقاومة الضغط والقابلية للتشغيل وتلافي الزيادة غير المطلوبة في كمية الماء أثناء الخلط والصب في الموقع.

4- إضافة الهواء المحبوس air entraining agent:

عبارة عن خلط كمية معينة من هذه الإضافة إلى الخلطة الخرسانية فينتج مجموعة كبيرة من الفقاعات الهوائية منتظمة على سطح الخلطة. لهذه الفقاعات تأثير على الخرسانة الطازجة من حيث قابلية التشغيل والنضج ، وأيضا تؤثر على الخرسانة المتصلدة من حيث التجمد والنفاذية .

5- إضافة المادة الملونة للخرسانة:

هي عبارة عن إضافة مواد ملونة للخلطة نظرا لمتطلبات بعض المواصفات المعمارية بحيث تصب منها طبقة رقيقة على سطح الخرسانة. وهذه الإضافات عبارة عن أكاسيد معدنية ومواد أخرى متشابهة. تضاف المادة الملونة للخلطة التي تتطلب أن تكون الخرسانة ذات سطح ملون وخاصة للخرسانة العادية ومن أمثلتها ثاني أكسيد المنجنيز وأكسيد هيدروكسيد الكروم.

- **الاشتراطات المطلوب توفرها عند استخدام الإضافات**:

1. يجب أن لا تؤثر تأثيراً ضاراً على الخرسانة أو حديد التسليح.
2. أن تتناسب الفوائد الناتجة من إستخدام الإضافات مع الزيادة في التكاليف.
3. يجب عدم إضافة كلوريد الكالسيوم أو الإضافات التي أساسها من الكلوريدات بتاتاً إلى الخرسانة المسلحة أو الخرسانة سابقة الإجهاد أو الخرسانة التي بها معادن مدفونة.
4. يجب التأكد من مدى ملائمة وفاعلية أي من الإضافات بواسطة خلطات تجريبية.
5. إذا استخدم نوعين أو أكثر من الإضافات في نفس الخلطة الخرسانية فيلزم أن تتواجد معلومات كافية لبيان مدى تداخلهما والتأكد من مدى توافقهما.

❖ **الفوم (الفلين):**

يعتبر الفلين المعروف علمياً بإسم البوليسترين من أشهر المواد البلاستسكية وهي مادة خفيفة الوزن لا تمتص الماء بسهولة ويمكن ضغطها إلى حد كبير غير أنها تعود إلى حالتها بعد أن يزول الضغط ، ويمكن إشتقاق عدة مواد منه وذلك عن طريق البلمره مع مواد أخرى.وذلك بغرض تحسين بعض المواصفات.

ويتميز البوليسترين بالقساوة والقابلية الممتازة للطلاء بالمعادن ولكنة يعتبر مادة قصفة، ويعد البوليسترين من أقدم البوليمرات حيث بدأ استخدامه في عام 1930م وهو

مركب له جساءة ممتازة ، وكذلك يتميز بسهولة التشكيل، ولكنه مع ذلك منخفض المقاومة للصدمات مما يحد من استخدامه .

يستخرج الفلين من لحا شجرالبلوط وتنمو هذه الشجره بكثرة في البرتقال وإسبانيا حيث ينتج معظم الفلين ، وتعد إيطاليا ثالث دولة في الأهمية من حيث إنتاج الفلين.

- **إستعمالات الفلين:-**

يستعمل معظم الفلين كمادة عاذلة ولذلك يجمع ويضغط في شكل ألواح، ويستخدم في مصانع حفظ اللحوم والفواكة ويستعمل ايضا في صناعة عوامات شباك الصيد وذلك لإمكانية طفوه فوق الماء ويمكن جعل الارضيات والسقوف والجدران عاذلة للصوت باستخدام الفلين،وأستخدم الفلين مؤخراً في صناعة البلوك الفليني الذي يتميز بخفة الوزن وجودة العزل الحراري والصوتي، كما إن له مقاومة عاليه للحريق.

في هذا البحث تم إجراء دراسات لانتاج نوع جديد من الخرسانة المستخدمة في إنتاج الوحدات البنائية للمقاطع غير المحملة حيث تم إستخدام نسب مختفلة من حبيبات البوليسترين (الفلين) كنسبة من وزن الاسمنت، وقد تم إختيار هذه المادة بسبب كثافتها الواطئه مقارنة مع أنواع الركام المستخدمة لأغراض العزل الحراري .

- **مميزات خرسانة البوليسترين:-**

i. زيادة العزل الحراري للمنشآت
ii. تقليل الاحمال الميتة مما يؤدي إلى تقليل الكلفة وذلك بإستخدام مقاطع تصميمية وحديد تسليح أقل من تلك التي تستخدم في الخرسانة الإعتيادية.
iii. إستهلاك مادة البوليسترين من النفايات مما يساهم في تقليل أسباب التلوث

- **مواصفات الفلين:-**

1- تكون نسبة إمتصاص الماء اقل من2% بالحجم عندما يتم الإختبار طبقاً للمواصفة ASTM (D2842).
2- لاتقل مقاومة الانضغاط الموافقة لحدوث ترخيم 10% عن 70 كيلو باسكال
3- عندما يتم الإختبار طبقاً للمواصفة ASTMD(1621).
4- تكون الكثافة 16 كيلو جرام لكل متر مكعب.
5- تكون الموصلية الحرارية عند درجة حرارة 24 درجة مئوية بحد أقصى 0.035 واط/م.ك عندما يتم الإختبار طبقاً للمواصفة ASTM(C177)

2-1-3 أنواع الخرسانة:

2-1-3-1 الخرسانة العادية:

وهى خرسانة بدون حديد تسليح وتستخدم في أعمال الفرشات الخرسانية تحت الأساسات والأرصفة وعمل الكتل الخرسانية غير المعرضة لإجهادات شد وعمل الأرضيات والسدود ومقاومتها تتراوح من 150 إلى 250 كج/سم2 حسب الغرض المستخدمة من أجله.

2-1-3-2 الخرسانة المسلحة:

وهى خرسانة عادية ويشترك معها حديد تسليح لمقاومة إجهادات الشد وهذا النوع من الخرسانة هو الأكثر استخداماً وذلك لسهولة تنفيذها ورخص تصنيعها. ويمكن أن تصب في الموقع مباشرة أو تصب في المصنع لعمل وحدات خرسانية جاهزة.وينبغي تحقيق التوافق والاتزان بين الإجهادات و الانفعالات في كل من الخرسانة والحديد.

2-1-3-3 خرسانة سابقة الإجهاد

وهى خرسانة عادية يتم إكسابها إجهادات ضغط قبل تحميلها وهذه الإجهادات تكون كفيلة بملاشاة إجهادات الشد الناتجة من تأثير الأحمال وبالتالي لا نحتاج إلى حديد تسليح حيث تكون المحصلة النهائية للإجهادات على طول القطاع الخرساني بعد التحميل هي غالباً إجهادات ضغط وبالتالي تكون الخرسانة كفيلة بتحملها، وبناءاً عليه يجب أن تكون الخرسانة ذات مقاومة عالية للضغط تتراوح من 350 إلى 600 كج/سم2 وذلك حتى يمكنها تحمل إجهادات ضغط التصنيع وإجهادات ضغط التشغيل.

تمتاز الخرسانة سابقة الإجهاد بقلة الشروخ مع مقاومة عالية للأحمال. وهى مناسبة للاستخدام في الكباري والمستودعات المائية والوحدات الجاهزة مثل السكك الحديدية وأعمدة التلغراف.

2-1-3-4 الخرسانة سابقة الصب:

تصب الخرسانة وتعالج حتى تمام تصلدها في المصنع ثم بعد ذلك تنقل إلى المنشأ وممكن أن تكون خرسانة عادية أو مسلحة أو سابقة الإجهاد وتشمل البلاطات والأعمدة والحوائط والبلوكات الخرسانية والفلنكات ووحدات الأسوار والسلالم .وفيها يتم التحكم في عملية جودة الخرسانة والتصنيع

شكل (2-3) يوضح خرسانة سابقة الصب.

2-1-3-5 الخرسانة عالية المقاومة:

وهى خرسانة ذات مقاومة تزيد عن 600كج/سم2 وقد تصل أو تزيد عن 1400 كج/سم2 ويمكن الحصول عليها باستخدام المواد المحلية المتاحة والتي تستخدم في صناعة الخرسانة التقليدية(250 كج/سم2) من ركام وأسمنت وماء إلا أن الخرسانة عالية المقاومة تحتوى على مادة إضافية أخرى وهي الملدنات وذلك حتى نتمكن من تقليل ماء الخلط إلى أقصى درجة مع الحصول على نفس القابلية للتشغيل وبالتالي الحصول على المقاومة العالية.

❖ **الخصائص المطلوب توافرها في المكونات:**

- الركام الكبير يجب أن يكون قوي ومتين لأنه يعمل كعامل يحدد مقاومة الخرسانة القصوى.
- الركام الصغير أو الرمل يجب أن يكون خشن نوعاً ما حيث يكون معاير النعومة له من 2.8 إلى 3.0 وذلك لأن الخلطة تكون غنية بالمواد الناعمة مثل الأسمنت وغبار السيلكا.
- الأسمنت يجب أن يكون عالي الجودة وأن يكون متوافق مع أي إضافات مستخدمة.
- غبار السيلكا وهى مادة بوزلانية تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الحرالناتج من تفاعل الأسمنت مع الماء مكونة مركبات غير قابلة للذوبان مثل سيليكات الكالسيوم والتي تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية وبالتالي زيادة المقاومة وتحسين النفاذيه.
- الملدنات وهى أهم مكون للحصول على خرسانة عالية المقاومة حيث تخفض نسبة ماء الخلط إلى 0.25 من وزن الأسمنت فقط وبالتالي يمكننا الحصول على أعلى مقاومة ويجب عمل تحقيق من مدى توافق هذه المادة مع الأسمنت المستخدم.

ظل استخدام الخرسانة عالية المقاومة فترة طويلة محصوراً في عدة تطبيقات تقليدية هدفها الأوحد هو استغلال قيمة المقاومة العالية في الحصول على أقل مساحة قطاع وأقل حجم للمنشأ وكذلك أقل وزن للمنشأ.

ولذلك كانت هذه التطبيقات محددة في ثلاثة أشياء رئيسية هي:

- المباني عالية الارتفاع .
- الكباري .
- المنشآت البحرية .

❖ **المميزات العامة للخرسانة عالية المقاومة:**

1- مقاومة الضغط فيها من 600إلى 1400 كج/سم^2

2- معاير المرونة يساوى تقريبا مرتين إلى مرتين ونصف معاير المرونة للخرسانة التقليدية

3- تمتاز بمتانة عالية ومقاومة للاحتكاك ومقاومة للكيماويات.

4- الفوائد الناتجة منها أكثر من الزيادة في تكاليف إنتاجها.

❖ **عيوب الخرسانة عالية المقاومة:**

أ- أكثر قصافة من الخرسانة التقليدية .

ب- الانهيار بها مفاجئ حيث يكون الكسر فيها خلال الركام الكبير.

ت- إستخدامها يتطلب درجة عالية من ضبط الجودة والتحكم فيها.

الشكل (2-4) يوضح خرسانة عالية المقاومة

2-1-3-6 الخرسانة الليفية:

وهى الخرسانة المصنوعة من الأسمنت والركام و المحتوية على ألياف غير مستمرة وموزعة توزيعاً عشوائياً في جميع الاتجاهات خلال الكتلة الخرسانية وتنقسم إلى قسمين:

1- الياف الصلب وهى قطع من الصلب بطول3 إلى 8سم وقطر من0.50 إلى 0.8 مم
2- الألياف الصناعية مثل ألياف البولي بروبلين والبوليستر وتأخذ نفس شكل ألياف الصلب.

الشكل(2-5) يوضح خرسانة ليفية

2-1-3-7 الخرسانة ذاتية الدمك:

الخرسانة ذاتية الدمك هي الخرسانة التي لها درجة عالية من السيولة والإنسياب كما أن لها مقاومة عالية للانفصال الحبيبي ويمكن صبها بنجاح في القطاعات الضيقة والمزدحمة بحديد التسليح وذلك بدون الاستعانة بأي وسيلة دمك خارجية.

❖ **الخواص المطلوب تحقيقها في الخرسانة ذاتية الدمك:**

1. درجة انسياب وسيولة عالية.
2. درجة مقاومة عالية للإنفصال الحبيبي.
3. لها قدرة عالية على الصب والملء في القطاعات الضيقة أو المزدحمة بحديد التسليح وذلك تحت تأثير وزنها وبدون حدوث إنسداد أو توقف الخرسانة

2-1-3-8 الخرسانة الخفيفة:

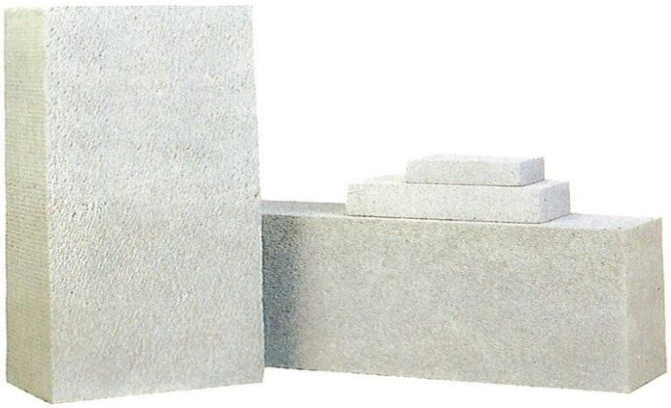
من أهم عيوب الخرسانة التقليدية كمادة إنشائية بالمقارنة مع الخشب والحديد أن الخرسانة التقليدية ثقيلة الوزن نسبياً حيث تكون نسبة الوزن الذاتي لأجزاء المبنى بالمقارنة مع الأحمال المؤثرة هي نسبة عالية في جميع الأحوال. ولذلك تم التفكير في إنتاج واستخدام خرسانة خفيفة وزنها اقل من 2000كجم/م3.

لذلك تم تصنيع خرسانة إنشائية تزن 1400 إلى 1900 كجم/م 3 بزيادة بسيطة في التكاليف. كذلك تم إنتاج خرسانة نصف إنشائية للبلوكات الداخلية تزن 900 كجم/م3 وتستعمل بكفاءة كحوائط داخلية .

وعموماً فإن الخرسانة الخفيفة هي تلك التي يقل وزنها عن 2000 كجم/م3 والغرض من إستخدامها هو تقليل وزن المنشأ وبالتالي تقليل تكاليف الأساسات وكذلك لأغراض العزل الحراري والصوتي.

- **مواصفات الخرسانة خفيفة الوزن:-**

1- مقاومة عاليه 1000 كجم/سم^2
2- مقاومة شد 100 كجم/سم^2
3- مقاومة عاليه للإنكماش والعوامل الجويه .
4- معامل إمتصاص قليل جدا .



الشكل (2-6) يوضح الخرسانة الخفيفة

2-1-3-9 الخرسانة الكتلية:

وهى خرسانة ذات كتل كبيرة مثل خرسانة السدود والخزانات الأرضية أو أي خرسانة بحيث يكون حجمها من الكبر بحيث يتطلب ذلك أخذ الإحتياطات من تولد الحرارة الناتجة من إماهه الأسمنت وما يتبع ذلك من إنكماش وتشريخ للخرسانة. ويستخدم في الخرسانة الكتلية ركام كبير قد يصل مقاسه حوالي 15 سم ونظراً لوجود حرارة تفاعل عالية من الأسمنت فإنه ينبغي أخذ بعض الإحتياطات الضرورية مثل:

1) استخدام أسمنت من النوع منخفض الحرارة .
2) استخدام محتوى قليل من الأسمنت أي أن تكون الخلطة فقيرة.
3) إحلال نسبة من 10 إلى 20 % من الأسمنت بمادة بوزلانية مثل غبار السليكا أو الرماد المتطاير.

4) استخدام الثلج المجروش بدلاً من جزء من ماء الخلط و تسمى هذه العملية بالتبريد السابق .
5) وجود مواسير رفيعة من الصلب رقيق الجدران داخل الكتلة الخرسانية تمر خلالها دورات من الماء البارد لخفض الحرارة و تسمى هذه العملية بالتبريد اللاحق.
6) الصب على طبقات قليلة الإرتفاع بحد أقصى واحد متر .
7) العزل السطحي للخرسانة برقائق من البوليسترين أو اليوريثان وذلك بغرض تنظيم معدل هبوط الحرارة بحيث يقل فرق الإجهاد الناتج من الهبوط السريع لدرجة الحرارة عند سطح الخرسانة وداخلها .

الشكل (2-7) يوضح الخرسانة الكتلية

2-1-3-10 الخرسانة المقذوفة :

هي خرسانة (أو مونه) تقذف بضغط الهواء من فوهة القاذف بسرعة عالية إلى السطح المراد الوصول إليه. وتستخدم غالبا في أعمال الإصلاحات والترميم وتبطين الترع وفى كثير من الأحوال التي يصعب فيها إستخدام الطرق التقليدية في الصب فمثلاً عندما يكون مطلوب صب طبقات غير سميكة أو متغيرة السمك أو عندما يصعب الوصول إلى منطقة العمل أو عندما يكون استخدام الشدات صعباً أو مكلفاً. كما تستخدم الخرسانة المقذوفة في إصلاح الخرسانة المتداعية في الكباري والسدود والمنشآت المواجهة للمياه وكذلك مباني الطوب المتآكلة .كما تستخدم في تبطين الأفران بكافة أنواعها.

ويوجد نوعين رئيسيين لطريقة تنفيذ الخلطة ، أسلوب الخلط الجاف وأسلوب الخلط المبتل. ففي الطريقة الجافة يتم خلط الركام و الأسمنت وأي مكونات أخرى على الجاف أولاً وتدفع باستخدام ضغط الهواء خلال القاذف ثم يضاف الماء عند فوهة القاذف ويدفع الجميع إلى السطح المراد صبه. أما في الطريقة الرطبة فيتم خلط جميع المكونات بما فيها الماء خلطاً جيداً

أولاً ويدفع الجميع بإستخدام ضغط الهواء خلال القاذف إلى السطح المراد قذفه. وفى جميع الأحوال يلزم إعداد السطح المقذوف عليه الخرسانة لضمان جودة ترابطها معه.

الشكل (2-8) يوضح الخرسانة المقذوفة

الفصل الثاني

2-2-1 مراحل صناعة الخرسانة وخواصها

2-2-1-1 مراحل صناعة الخرسانة

يمكن تقسيم المراحل التي تمر بها صناعة الخرسانة إلى ثلاثة مراحل رئيسية هي:

2-2-1-1-1 مرحلة ما قبل الصب (الإعداد):

- إختيار المكونات وتصميم الخلطات.
- تشوين المواد.
- إعداد الفرم والشدات.
- تحضير الكميات والعبوات.

2-2-1-1-2 مرحلة الصب:

1- الخلط:

الغرض من عملية الخلط هو تحويل العناصر المكونة للخرسانة إلى خليط متجانس التكوين والقوام في اقل وقت ممكن ويتأثر بالآتي.

- **نوع الخلط:**

- الخلط اليدوي
- الخلط الميكانيكي

- **زمن الخلط:**

يجب أن لا يقل زمن الخلط عن دقيقتين بعد وضع الأسمنت والركام أو لا يقل عن دقيقة واحدة بعد إضافة الماء. وذلك حتى يصبح الخليط متجانس في اللون والقوام مع مراعاة عدم زيادة سرعة الخلاط عن السرعة المحددة له حتى لا يحدث إنفصال حبيبى.

2- **مرحلة النقل:** يلزم صب الخرسانة بعد تمام خلطها مباشرة مع مراعاة تجنب إنفصال مكوناتها على أن لا تزيد المدة مابين إضافة ماء الخلط وصب الخرسانة على 30 دقيقة في الجو العادي و 20 دقيقة في الجو الحار.

3- **مرحلة الصب:** تعتبر عملية الصب من أهم العمليات التي تمر بها الخرسانة فالصب يتم خلال الفترة البسيطة التي تتحول فيها مكونات الخرسانة إلى مادة لدنة ثم تتحول إلى مادة صلدة قوية .

4- **الدمك:**

بعد عملية الصب مباشرة تكون الخرسانة الطازجة غير متماسكة مع بعضها من ناحية وحديد التسليح من أخرى لذا فان عملية الدمك ضرورية لتحقيق قوة الترابط بين المواد المكونة للخرسانة مع بعضها وحديد التسليح.

أنواع الدمك:

- **دمك يدوي:**

ويستخدم في الدمك اليدوي أدوات من الخشب أو الحديد . يراعى أن يستمر الدمك اليدوي لحين توقف تسرب الفقاعات الهوائية وحتى تظهر طبقة رقيقة من عجينة الاسمنت فوق السطح الخارجي النهائي للخرسانة وعندها يتوقف الدمك لان استمراره يسبب نضح الخرسانة.

- **الدمك الميكانيكي:**

يستخدم الدمك الميكانيكي الهزازات والغرض من استخدامها هو جعل جزئيات الخرسانة في حركة مستمرة أثناء عملية الهز وذلك بتقليل الاحتكاك بين الجزئيات.

- **مزايا استخدام الهزازات:**

1. زيادة مقاومة الخرسانة للضغط والانحناء.
2. زيادة كثافة الخرسانة.
3. تقليل درجة الامتصاص.
4. زيادة التماسك والترابط بين الخرسانة وحديد التسليح.
5. تقليل التغيرات الحجمية.

5- **التشطيب:**

معاملة السطح طبيعيا للحصول على سطح معماري ناعم وذلك باستخدام الواح ذات اسطح مستوية وملساء لعمل الفرم الخاصة.

3-1-1-2-2 مرحلة ما بعد الصب

1- **المعالجة:**

إن مقاومة الخرسانة للضغط وقوة تحملها للعوامل البيئية ومقاومتها لنفاذ الماء وثبات حجمها يزداد بمرور الوقت بشرط أن تكون الظروف مهيأة لاستمرار التفاعل الكيميائي بين الماء والأسمنت وذلك بحفظ درجة معينة ومناسبة من الرطوبة أو منع الماء من التبخر والمعالجة تتم عن طريق:

- منع تبخر ماء الخرسانة بتغطيتها أو قفل مسامها بعمل غشاء أو طبقة مانعة للتبخر.

- إضافة الماء باستمرار للتعويض عن الماء الذي يتبخر.

➢ **المواد المستعملة في المعالجة:**

- الخيش المرطب والماء.
- الأغشية المانعة للتسرب مثل : لفائف البلاستيك والورق المانع لتسرب الماء.
- مركبات أو إضافات المعالجة والتي تعمل على سد مسام الخرسانة.
- مواد أخرى مثل الرمل الطبيعي والتبن والقش ونشارة الخشب.

وطرق المعالجة كثيرة نذكر منها:

1. الغمر بالماء على شكل برك (في الأسطح الأفقية والأرضيات).
2. الرش بالماء (حفظ السطح رطبا بين مواعيد الرش مع عدم السماح له بالجفاف).
3. التغطية بالخيش الرطب.
4. التغطية باللفائف المانعة لتسرب الماء.
5. المعالجة باستعمال المركبات الكيماوية (العازلة للرطوبة - السدودة).

2- إزالة الفرم:-

إن المدة الواجب انقضاؤها بين صب الخرسانة وفك الشدات تتوقف على درجة الحرارة وطول البحر ونوع الأسمنت المستخدم وأسلوب المعالجة والحمل الذي سيتعرض له المنشأ بعد الفك ، ويشترط أن لا ينتج عن الفك حدوث أي ترخيم أو شروخ أو تشوهات غير مسموح بها. ويجب مراعاة أن لا تتعرض الخرسانة للإهتزازات أو الصدمات أثناء الفك.

2-2-2 الخرسانة الطازجة:

خواص تشغيل الخرسانة الطازجة تتوقف على العاملين الآتيين :

1- السهولة التي يمكن بها تحريك حبيبات الركام والأجزاء الصغيرة من الخرسانة بالنسبة لبعضها البعض.

2- التماسك خلال الكتلة الخرسانية أثناء عمليات النقل والصب والدمك فمثلاً إذا زادت لدونه عجينة الأسمنت بالخرسانة الطازجة فإن ذلك يزيد من تماسكها أما إذا زدات سهولة الترحيل ولكن هذا يصحبه نقص في تماسك الجزئيات وحدوث إنفصال حبيبي في مكونات الخلطة أي ينتج خرسانة طازجة غير متجانسة متصلدة ذات فراغات وتحمل ضعيف.

2-2-2-1 الخواص الرئيسية للخرسانة الطازجة:

1. القوام:

يعبر قوام الخرسانة الطازجة عن درجة بلل الخرسانة، ويمكن القول بأن قوام الخرسانة يعبر عن السيولة النسبية للخرسانة وهو يبين النسبة بين كمية ماء الخلط وكمية المواد الجافة بالخرسانة.

- **الغرض من تحديد القوام:**

هو ضمان الحصول على خرسانة ذات درجة سيولة أو لدونة تتناسب مع مختلف الأعمال الإنشائية.

- **العوامل التي تؤثر على القوام:**

- نسبة مكونات الخرسانة: من ماء ورمل وزلط وأسمنت حيث يزداد الهبوط بزيادة محتوى الماء في الخلطة أو بزيادة نسبة الأسمنت أو لصغر نسبة الرمل إلى الزلط.
- نعومة الأسمنت حيث يزداد الهبوط بزيادة المساحة السطحية للأسمنت وحتى حوالي2000 جم /سم2 ثم تقل بعد ذلك بشرط ثبوت جميع العوامل الأخرى في الخلطة الخرسانية.
- المقاس الاعتباري الأكبر للركام حيث يزداد الهبوط بزيادة ذلك المقاس ويقل كلما صغر حجم الحبيبات.
- الزمن بين الانتهاء من الخلط وبين إجراء إختبار الهبوط حيث يقل الهبوط بزيادة الزمن.
- حرارة الجو حيث يقل الهبوط كلما زادت حرارة الجو.
- الإضافات: تعمل الإضافات على تحسين قوام الخرسانة بدرجات متفاوته وأهم هذه الإضافات الملدنات وهي مواد سائلة تضاف إلى الخلطة بنسبة 1-3%من وزن الاسمنت.

- **تحديد قوام الخرسانة الطازجة:**

هناك طرق متعددة لتعيين قوام الخرسانة وهي ترتكز على إحدى الأسس الآتية:

1) هبوط الخرسانة الطازجة بعد إزالة قالب التشكيل عقب ملئه مباشرة حيث تعبر قيمة الهبوط عن قوام الخرسانة، ويجرى إختبار الهبوط باستخدام مخروط ناقص معدني وبأبعاد قياسية إرتفاع 2 بوصة وقطر 8 بوصات وقطر القمة 4 بوصات ويملأ

بالخرسانة بأشكال مختلفة(هبوط إنهيار – هبوط قص – هبوط حقيقي) ويقاس مقدار الهبوط بالمليمتر. وتعبر القيمة الماقسه للهبوط عن درجة قوام الخرسانة الطازجة.

2) إختراق جسم معدني محدد للخرسانة الطازجة من مساحة معينة تحت تأثير وزنه الذاتي فقد يعبرعن مدى تغلغل الجسم المعدني داخل الخرسانة الطازجة عن حالة قوام الخرسانة.

3) إنسياب الخرسانة الطازجة بعد تعرضها لإهتزازات ترددية حيث تعبر النسبة المئوية للإنسياب عن القوام حيث أن زيادته تتناسب مع زيادة درجة البلل للخرسانة الطازجة.ويتم إختبار الإنسياب بوضع الخرسانة الطازجة عقب الخلط مباشرة في مخروط ناقص بأبعاد قياسية.

جدول (2-1)درجات قوام الخرسانة الطازجة .

قوام الخرسانة	الهبوط مم
جاف Dry	صفر – 20%
صلب Stiff	10 – 40%
لدن Plastic	30 – 120%
مبتل Wet	100 – 200 %
رخو Sloppy	180 – 220 %

2. قابلية التشغيل:-

قابلية التشغيل هي خاصية الخرسانة الطازجة التي تبين السهولة التي يمكن بها صب ومناولة الخلطة الخرسانية كما تبين درجة تجانسها ومقاومتها للإنفصال الحبيبي.

➢ **العوامل التي تؤثر على قابلية التشغيل:-**

1) الركام:

- مقاس الركام: زيادة نسبة الرمل تزيد من الاحتكاك وبالتالي تزيد صلابة الخلطة .
- شكل حبيبات الركام: الحبيبات المدورة أكثر قابلية للتشغيل بينما الحبيبات الزاوية والمفلطحة وغير المنتظمة صعبة التشغيل
- حالة السطح: تقل درجة التشغيل بسبب خشونة السطح مثل حالة الأحجار المكسرة.
- المسامية: تقلل زيادة المسامية من حركة الحبيبات وتزيد من الإحتكاك الداخلي بينها وتقل التشغيلية .

- المقاس الاعتباري الأكبر: ازدياد حجم الحبيبات يقلل من القابلية للتشغيل وممكن ذلك يكون معتمداً على كيفية صب الخرسانة وطبيعة المنشأ.

2) الاسمنت:

- نوعه: حيث تؤثر طرق صناعة الأسمنت على التشغيلية نتيجة تغير درجة التشحيم في كسل نوع.
- نعومته: زيادة نعومة الأسمنت يزيد من درجة تشغيل الخرسانة ولكن تكاليف طحن وتنعيم الأسمنت مكلفة جداً بحيث لا توازي المكسب في زيادة درجة التشغيل.
- خواص العجينة: نسبة الركام إلى الأسمنت حيث تؤثر هذه النسبة على القابلية للتشغيل بدرجات متفاوتة تعتمد على عدة عوامل مختلفة مثل المساحة السطحية ونصف قطر الركام والحجم.

3) الماء :

في الخلطات الفقيرة بالأسمنت فإن زيادة الماء لا يؤثر تأثيراً كبيراً على القابلية للتشغيل أما في الخلطات الغنية فإن زيادة الماء لها تأثير كبير وحساس على القابلية للتشغيل.

4) الإضافات :

تعمل الإضافات على تحسين درجة التشغيل للخرسانة بدرجات متفاوتة.

اختبار الهبوط لتحديد القوام:-

يتم الاختبار باستخدام القمع القياسي والذي تكون أبعاده (10*20*30) يتم وضع الخرسانة فيه على ثلاث طبقات كل طبقة بارتفاع 10سم ويتم دمكها باستخدام القضيب القياسي عدد 25 ضربة متفرقة , وبعد الانتهاء يتم رفع القمع راسيا وترك الخرسانة تهبط تلقائيا تحت وزنها وقياس مقدار الهبوط

الشكل (2-9) يوضح جهاز اختبار الهبوط

5) الانفصال الحبيبي:

الانفصال الحبيبي هو انفصال مكونات أي خليط غير متجانس (مثل الخرسانة) بحيث يصبح توزيع هذه المكونات غير منتظم.

ويوجد نوعان من الإنفصال الحبيبى للخرسانة:

1. إنفصال الحبيبات الكبيرة من الركام نتيجة لكونها أكثر ترسباً. وذلك يكون في الخلطات الجافة جداً وخاصة الفقيرة في الأسمنت.
2. انفصال الاسمنت اللباني ويكون في الخلطات المبتلة.

➢ **أسباب الانفصال الحبيبي:**

- الخلط: عند زيادة زمن الخلط عن الزمن اللازم والمناسب .
- النقل: عند نقل الخرسانة إلى موضع الصب يمكن حدوث إنفصال نتيجة الرج و التأرجح.
- الصب: يجب مراعاة عدم الصب من مسافات بعيدة.
- الدمك: الدمك الزائد قد يسبب انفصال حبيبي.

6) النضح:

هو تكون طبقة من الماء على سطح الخرسانة الطازجة المصبوبة حديثاً بعد دمكها وتسويتها لذلك يطلق عليها ظاهرة اكتساب الماء وينتج النضج من عدم قدرة المواد المكونة للخرسانة من الإحتفاظ بجميع ماء الخلط المنتشر بالخلط.

➢ **أسباب النزف:**

كثرة الدمك الذي يؤدى إلى هبوط الركام إلى أسفل وصعود العجينة الأسمنتية إلى أعلى وكذلك زيادة ماء الخلط و تتلخص أضرار النضح في الآتي:

1- إحتواء الطبقة العليا على نسبة عالية من الماء مما يسبب وجود فراغات في تلك الطبقة نتيجة تبخر الماء وبالتالي ضعف مقاومة الخرسانة.
2- عند صعود الماء إلى أعلا قد يحمل معه جزيئات ناعمة من الأسمنت تكون طبقة هشة على السطح بعد تبخر الماء وجفافه ولذلك يلزم إزالة هذه الطبقة قبل الإستمرار في الصب.
3- تراكم طبقة رقيقة من الماء تحت سطوح الركام الكبير والحديد مما يؤدى إلى فراغات وضعف قوة التماسك بين الخرسانة و حديد التسليح.
4- نتيجة لحدوث النضح للخرسانة فإن الطبقة العليا لها تكون زائدة البلل تحوي نسبة عالية من الماء الأمر الذي يسبب وجود فراغات وبالتالي ضعف الخرسانة في التحمل

وضعف في المقاومة. وغالباً يصاحب النضح انكماش وانفصال حبيبي للخرسانة ويرجع غالباً إلى استخدام كمية كبيرة من ماء الخلط.

ويمكن التحكم في النضح جزئيا وذلك بالاتي :

1) تقليل محتوى الماء للخلطة الأسمنتية .
2) استخدام رمل ناعم واسمنت ناعم .

3-2-2 الخرسانة المتصلدة :

يعتمد مدي تصلد الخرسانة على مدي استكمال درجة التفاعلات فزيادة درجة التفاعل تزيد كثافة الحجر الأسمنتي ويزداد الترابط بين حبيبات الركام ويقل حيز الفراغات وتتحول المادة مع الزمن إلى مادة صلبة قوية وتتأثر درجة التفاعلات بتوفر كمية الأسمنت اللازمة للتفاعل وبعد توفر الرطوبة الكافية حول الخرسانة لمنع تبخر الماء مع أهم الضروريات لاستكمال التفاعل. وتعتبر المعالجة السليمة للخرسانة منذ يومها الأول من بداية تماسكها وتصلبها من أهم العوامل المساعدة لاستكمال التفاعل على الوجه الأكمل وضمان سير تصلد الخرسانة الذي يؤدي إلى أجود مقاومة وأفضل خواص.

1-3-2-2 خواص الخرسانة المتصلدة :

من المعروف أن خواص الخرسانة المتصلدة تتغير بمرور الزمن وتغير الظروف المحيطة بها والقياسات المطلقة للخواص المتصلدة تكون ذات أهمية للدرجة التي توضح فيها الخواص ذات معني في الحالات التي تشمل فيها نجاحاً في التحقق من وجود الخواص المطلوبة وعند التصميم الإنشائي يجب أن يراعي أن قيم الخواص المتصلدة المستخدمة كأساس في التصميم ذات حد أدني للأمان لتعطي منشأ معيناً مامونا بإستخدام المواد المتوفرة وتحت الظروف المحيطة ومن أهم هذه الخواص هي المقاومة .

2-3-2-2 العوامل المؤثرة علي المقاومة Strength :

يمكن اعتبار المقاومة بشكل عام على أنها واحدة من أهم الخواص الخرسانية رغم أنه في العديد من الحالات التطبيقية توجد خصائص أخرى قد تكون في الواقع أكثر أهمية من المقاومة مثل الديمومة(Durability) والنفاذية(permeability).

وللخرسانة عموماً أنواع كثيرة ولكل نوع منها خواص أو خاصية معينة تختلف عن غيره وتعطي الغرض من إستخدامه فمثلا الخرسانة المستخدمة في عمليات إنشاء الطرق تمتاز بأنها تتحمل وتقاوم عوامل البري التي تتعرض له وسائل النقل المختلفة كما تمتاز خرسانة الخزانات بعدم نفاذيتها للسوائل المختلفة أما خرسانة الأساسات فإنها تقاوم الأحمال الثقيلة كما

تقاوم التآكل نتيجة للتفاعلات الكيميائية مع الأملاح الموجودة ، ومن هذه الأمثلة نرى كيف أن لكل نوع من أنواع الخرسانة خاصية مميزة تجعله دون غيره ملائما لعمل إنشائي معين ولكن هنالك خاصية هامة مشتركة هي مقاومة الخرسانة للضغط. يمكن إجمال الغرض الذي من أجله يقام أي منشأ خرساني في وظيفة أساسية وهي مقاومة القوى المؤثرة عليه أيا كانت طبيعتها.

تعتبر مقاومة الخرسانة دليلاً مباشر أو غير مباشر لكثير من الخواص الأخرى الهامة وعموماً تتميز الخرسانة عالية المقاومة بأنها أكثر صلابة أو غير منفذة للسوائل ومقاومتها للعوامل الجوية والمتلفة كبيرة هذا بالرغم من أن الخرسانة التي تكون مقاومتها كبيرة قد تكون معرضة أكثر للتشقق بالجفاف كما قد تكون أقل قابلية للتمدد ومن ثم تكون أكثر عرضة لحدوث شروخ لها. وبملاحظة هذه العلاقات المختلفة ومع معرفة سهولة إجراء اختبارات مقاومة الخرسانة كل ذلك يجعل مقاومة الخرسانة أساسا في تحديد الجودة وتقدير تأثير العوامل المتغيرة الأخرى مثل المواد المكونة نسب الخلط والمعدات والأجهزة والطريقة المستخدمة في الإنشاء.

- **قسمت مقاومة الخرسانة المتصلدة إلى خمسة أنواع كالأتي :**

1- **مقاومة الضغط :**Strength Compressive:

هي أهم خواص الخرسانة وتعبر عن درجة جودتها وصلاحيتها، مقاومة الضغط هى المقاومة الأم للخرسانة حيث أن معظم الخواص الأخرى الشد والانحناء مع حديد التسليح تزيد وتتحسن بزيادة مقاومة الضغط. مقاومة الضغط لخرسانة المنشآت التقليدية تتراوح بين 250 الي350كج/سم^2 أما بالنسبة للمنشآت الخاصة والوحدات سابقة التجهيز فمقاومة الضغط تزيد وتصل 500كج/سم^2 والوحدات الخرسانية سابقة الإجهاد ذات مقاومة للضغط تزيد عن 400كج/سم^2 وقد تصل 600كجم/سم^2.

العوامل التي تؤثر على مقاومة الضغط:

1- المواد المكونة ونسب الخلط .

2- طرق صناعة الخرسانة

3- ظروف المعالجة

2- **مقاومة الشد** Tensile Strength:

تتحمل الخرسانة العادية المتصلدة مقاومة الضغط بدرجة كبيرة ولذلك يجرى تصميم الخرسانة بإعتبارها تقاوم إجهادات الضغط أساساً أما بالنسبة لمقاومتها لقوى الشد فإنها تعتبر ضعيفة. المقاومة للشد إذا ما قورنت بمقاومتها للضغط ويرجع هذا لكونها مادة قصفة، كلما زادت مقاومة الخرسانة للضغط كلما قلت الزيادة النسبية لمقاومة الشد إلى أن تصل مقاومة

الضغط 800كجم /سم^2 عندها تصل مقاومة الشد إلى أقصى قيمة لها والتي تتراوح من60إلي70كجم/سم^2.

3- **مقاومة التماسك** Bond Strength:

مقاومة التماسك هي مقاومة الخرسانة لإنزلاق سيخ التسليح الملتصق بها والموجود بداخلها.

يتم التماسك بين الخرسانة وحديد التسليح بواسطة الآتي:

- الالتصاق مع الخرسانة.
- قوى الإحتكاك بين الخرسانة والسيخ.
- لتحميل على النتوءات في الأسياخ.

تعتمد مقاومة التماسك على كلٍ من خواص الخرسانة وخواص الحديد وكذلك على مساحة التلامس بينهما. وتتراوح مقاومة التماسك من 25 إلى 45 كج/سم^2 وذلك في حالة الخرسانة ذات المقاومة العادية أما في حالة الخرسانة عالية المقاومة فإن مقاومة التماسك قد تصل إلى 80 كج/ سم^2 أو أكثر. ويجرى إختبار تعيين مقاومة التماسك بين الخرسانة وحديد التسليح و ذلك بتحديد الحمل المسبب لإنهيار وإنزلاق سيخ حديد التسليح داخل الخرسانة.

4- مقاومة القص Shear Strength :

قوى القص المباشرة هي قوتين متساويتين ومتوازيتين تؤثران على مستويين على مسافة صغيرة جداً من بعضهما. لا يمكن تحديد مقاومة الخرسانة للقص بصورة صحيحة لان قوة القص تكون مصحوبة بعزم إنحناء أي إجهادات شد وضغط.

مقاومة القص في الخرسانة أكبر من مقاومتها للشد بحوالي 20إلى 30% أي أنها حوالي 10 إلى 12% من مقاومة الضغط.

5- **مقاومة الإنحناء**Bending Strength :

مقاومة الإنحناء تزيد عن مقاومة الشد للخرسانة بنسبة من 60 إلي100% وتؤخذ مقاومة الشد مساوية 60% من مقاومة الإنحناء.

الفصل الثالث :

2-3-1 الخرسانة خفيفة الوزن

مقدمة:

الخرسانة خفيفة الوزن هي الخرسانة التي تقل كثافتها عن2000 كجم/م^3 والغرض من استخدامها هو تقليل وزن المنشأة وبالتالي تقليل تكاليف الأساسات والتي تزيد مقاومة ضغطها بعد28 يوم عن 172.5 كجم/سم^2.

إن التوفير في حمولات يمكن أن يصغر من حجم الأساسات وبذلك يتم توفير النفقات والوقت في عملية البناء.

تفيد الكثافة القليلة للمادة في تأمين عازلية حرارية كبيرة للمباني ،وبشكل تقريبي فإن كافة أنواع الخرسانة الخفيفة تكون مقاومة للنار بطبيعتها ، علما بأن بعض هذه الأنواع تكون مقاومة للنار بدرجة عالية تصل حتى 1000 درجة مئوية ، كما أن بعض أنواعها يمكن قطعها بسهولة ودق المسامير بها والتعامل معها بأدوات نجارة عادية.

توجد ثلاث طرق لإنتاج الخرسانة خفيفة الوزن :

1. استعمال الركام المسامي خفيف الوزن ذو الوزن النوعي الظاهري المنخفض بدلا من الركام الاعتيادي الذي يكون وزنه النوعي2.6.
2. تكوين فجوات كبيرة فيما بين الخرسانة أو خلال كتلة العجينة .
3. استبعاد الركام الناعم من الخلطة بحيث يتواجد عدد كبير من الفجوات خلال الخرسانة ويستخدم الركام الكبير ذو الوزن النوعي الاعتيادي.

توفر الخرسانة خفيفة الوزن عزلا حراريا جيد وهي ذات سعه تحميلية عالية إلا أنها ليست ذات مقاومة للتآكل.

❖ **يمكن تصنيف الخرسانة خفيفة الوزن إلى الآتي:-**

- الخرسانة خفيفة الوزن الإنشائية .
- الخرسانة المستعملة في الجدران

2-3-2 أنواع الخرسانة خفيفة الوزن:-

2-3-2-1 خرسانة خالية من المواد الرفيعة:-

تتكون من الأسمنت والركام الكبير فقط وأحيانا يستخدم فيها الهواء عن طريق إضافة مواد رغوية أو باستعمال تدرجات خاصة من الركام ويمكن أن يكون زلط أو أحجار مكسرة أو ركام خفيف.

ينحصر تدرج الركام بين 10_20مم وهذا النوع من الخرسانة تتراوح من 3/2 إلى 4/3 كثافة الخرسانة التقليدية

2-3-2-2 خرسانة الركام الخفيف:-

هي أكثر الأنواع شيوعا والركام المستخدم فيها من النوع الصناعي.لا يزيد وزن الركام الصغير الإنشائي خفيف الوزن والذي له طبيعة خلوية في الحالة الجافة السائبة عن 1120 كجم/م^3، ولا يزيد وزن الركام الكبير منه في الحالة الجافة السائبة عن 880 كجم/م^3. ولهذا الركام طبيعة خلوية ناتجة من تسخينه في درجة حرارة عالية (غالبا أعلى من 1100) بواسطة تكوين غازات من تفاعل الحرارة مع بعض مكونات المادة الخام مع انصهار مصاحب للمعادن به .

من أمثلة الركام الطين الممد و الفوم (البوليسترين).

تتميز الخرسانة ذات الركام الخفيف الوزن بخفة الوزن الذي بدوره يقلل من الحمل الميت والذي يوفر في كلفة إنشاء الأساس وكذلك تصغير الأعضاء الإنشائية الذي سيقلل من التكلفة .

❖ **الصفات التي يجب توفرها في الركام الخفيف**:-

1. أن تكون حبيبات الركام متجانسة من حيث التركيب
2. أن تكون حبيبات الركام ذات وزن نوعي منخفض
3. أن تكون ذات مقاومة مناسبة وتتغير مقاومة الركام تبعا لنوع ومصدر الركام.
4. أن تكون ذات قدرة على التماسك مع حبيبات الأسمنت
5. أن تكون ذات مقاومة جيدة للعوامل الجوية
6. المقاس الاعتباري الأكبر للركام

تصنف الخرسانة ذات الركام الخفيف إلى ثلاثة أنواع:

1) **الخرسانة الخفيفة الوزن العازلة:**

وهي خرسانة خفيفة الوزن خاصة تستعمل لأغراض العزل الحراري بالدرجة الأساس وبكثافة قليلة لا تتعدى 800 كجم/م^3 ذات عزل حراري عالي غير أن تحملها للضغط ضعيف تتراوح بين 0.69_6.89 نيوتن/ملم^2.

2) **الخرسانة الخفيفة الوزن الإنشائية:** وهي خرسانة ذات كفاءة من الناحية الإنشائية منتجة بإستخدام ركام مصنوع من الطين العادي او الصفحي المنفوخ حراريا أو خبث الأفران وأدنى تحمل للضغط 17.24 نيوتن/ملم^2 ويصل تحملها للضغط 34.47 نيوتن/ملم^2

3) **خرسانة الركام الخفيف متوسط المقاومة**:

هذه يكون تحملها للضغط بحدود 6.89-17.24 نيوتن/ملم^2

3-2-3-2 الخرسانة المهواة أو الخلوية:-

هي الخرسانة خفيفة الوزن والتي تحتوي على خليات ثابتة من الهواء أو الغازات موزعة بانتظام في الخليط . تتكون فقاعات من الغارات والهواء في وسط الخرسانة وهي في الحالة الطازجة ويظل التركيب مسامي بعد أن تشك الخرسانة .

تنتج الخرسانة المهواة بطريقتين :

i. إنتاج غازات في الخلطة بتفاعلات كيميائية.
ii. إضافة مواد رغوية .

ومن المواد المولدة للغازات المسحوق الناعم من بودرة الألمونيوم أو الزنك وعند خلطها بالأسمنت تتكون فقاعات من الهيدروجين فتنتفخ الكتلة مكونة عند تصلدها مادة خلوية.

- **مجالات إستخدام الخرسانة الخلوية:**

تنقسم مجالات استخدام الخرسانة الخلوية إلى ثلاثة أقسام:

1. القطع المسبقة الصنع .
2. القوالب الخرسانية .
3. الصب في الموقع .

أولا: القطع المسبقة الصنع:

يتم صب الخرسانة الخلوية مباشرة في قوالب أو في أغلفة مصنوعة من المعدن وبعد صب الخرسانة الرغوية يتم إزالة القوالب وتترك القوالب الخرسانية حتى تجف وتستخدم هذه الطريقة في الواح الجدران والواح الأسقف .

إن مزايا العزل الممتازة للخرسانة الخلوية ذات الكثافة القليلة (الخرسانة الخلوية المحتوية على كمية كبيرة من الفقاعات) ذات استخدامات رائعة بالنسبة للأبنية ، حيث يعتبر الوزن الخفيف للجدران والألواح مناسب للغاية للأسقف والأسطح.

كما تستخدم الأحجار المختلفة الأحجام المصنوعة من الخرسانة الخلوية بكثرة للجدران وواجهات الأبنية وهي سهلة الاستخدام

ثانيا: إنتاج القوالب الخرسانية:

يعتبر الطابوق من الأشكال المعروفة التي تدخل في الخرسانة الخلوية في صنعها، حيث يمكن صب الخرسانة الخلوية مباشرة في القوالب الخاصة بالطابوق من الحجم الصغير، كما يمكن أيضاً صب الطابوق في قوالب كبيرة ومن ثم يتم تقطيعه بعد إخراجه من القوالب بحسب الأحجام المرغوبة .

ثالثا: الصب في الموقع:

*** الأرضيات :**

تعتبر الخرسانة الخلوية ذات استخدامات مناسبة كطبقة إضافية للأرضيات، حيث أنها تساعد على تسوية الأرضيات بالإضافة إلى خاصية عزل الضجيج.

*** الأسقف :**

تستخدم خلطات الخرسانة الخلوية كطبقة عازلة للحرارة بالنسبة للأسقف المسطحة بنسب قليله وتستخدم للتسويه والميول وتغطية المواسير في الأسطح.

*** الطبقة الأساسية للشوارع :**

يمكن إستخدام الخرسانة في البنية الأساسية للشوارع بدل طبقة الأحجار المستخدمة بشكل عام أو يمكن إضافة الخرسانة الخلوية إلى هذه الطبقة ويعتبر هذا المزج بين الحجارة والخرسانة الخلوية مناسباً تماماً عندما تكون الطبقات التحتية للأرض هشة.

*** الحفر والفراغات المجوفة :**

تعتبر الخرسانة الخلوية شائعة الاستعمال لملء وتثبيت الأنابيب الممددة في الأنفاق بالإضافة إلى الخزانات والآبار والمناجم أو أي تجاويف أخرى وذلك نظراً لما تمتلكه من خاصية التدفق وإمكانية قطعه أو قصه بالإضافة إلى التكلفة المتدنية حيث تعتبر هذه الطريقة هي الطريقة الأمثل والأكثر شيوعاً بالنسبة لصب المناجم.

*** ملء الجدران :**

تسخدم الخرسانة الخلوية كمادة لملء جدران المنازل أو الفجوات الصناعية ، وتعتبر هذه الطريقة من الطرق التي ستنجح في دول العالم الثالث بالنسبة لمشاريع الإسكان حيث يعتبر الوقت من العوامل الهامة في مثل هذه المشاريع، ولذلك فإن آلة الخرسانة الخلوية تستطيع إنجاز عدة منازل بسهولة في يوم واحد حيث يلزم وضع القوالب التي تشكل الجدران ويتم بعد ذلك ملء هذه القوالب بالخرسانة الخلوية ولا تستلزم العملية لاحقاً سوى إزالة القوالب بعد جفاف الخرسانة.

➢ مواد الخرسانة الخلوية:

ينقسم الركام في الخرسانة الخلوية إلى مجموعتين:

I. ركام مصنع بواسطة عمليات التسخين مثل خبث الأفران والرماد المتطاير .

II. الركام المصنع من المواد الطبيعية .

يمكن إضافة الألياف إلى الخرسانة لتقليل انكماش الخرسانة الخلوية الناتج من فعل تغيرات الحرارة والرطوبة وقد تضاف المواد البوزلانية إلى الخليط الأسمنتي .

2-3-3 فوائد استعمالات الخرسانة خفيفة الوزن:

1- تقليل من وزن الخرسانة اللازم لإعطاء المقاومة المطلوبة والديمومة المطلوبة.
2- تحسين العزل الحراري.
3- زيادة مقاومة الحريق.
4- التوفير الناتج من سهولة المناولة والعمل وتقليل كلفة القوالب والنقل والتركيب.
5- الإقتصاد الكبير في الطاقة اللازمة للتبريد والتدفئة للأبنية المعمولة من الخرسانة الخفيفة.

2-3-4 الخرسانة الرغوية:

وهي خلطة من الأسمنت والرمل وبعض المواد الكيماوية والتي تخلط في خلاط خاص بها وتضخ حيث تؤدي هذه الخلطة إلى عمل فقاعات هوائية داخل الخلطة , وهذا من شأنه أن يساعد على زيادة حجمها وخفة وزنها, تستعمل الخرسانة الرغوية في الغالب من أجل عمل ميول للأسطح نظرا لأنها خفيفة الوزن إضافة إلى إمكانية أن يكون سطحها ناعم. وهي عبارة عن خرسانة خفيفة الوزن تتراوح كثافتها من 400-1600كجم/م^3. تعتبر الخرسانة الرغوية هشة وضعيفة ولذلك تحتاج إلى العناية الكبيرة للتنفيذ و كذلك عند تركيب العزل حيث يمكن أن تؤدي الأعمال فوقها إلى بعض التكسر والتصدعات.

نسبة أحجام كل من الرغوة والرمل والأسمنت هي العوامل التي تحدد درجة كثافة الخرسانة الرغوية. فالخرسانة الرغوية هي كالخرسانة العادية من حيث الشكل والمكونات فيستخدم فيها الأسمنت والرمل كمواد أساسية تعطي قوام الخرسانة من حيث الثبات والمتانة مع إضافة السائل الذي يعطي الرغاوي الكثيفة التي تقوم بخلخلة مكونات الخرسانة بانتظام فتعطي خرسانة خفيفة الوزن يتراوح وزنها بين 400-800كجم/م^3 وهي تعطي خواص مطلوبة أولها خفة الوزن علي المبني مقارنة بالخرسانة العادية . ووجود فراغات الهواء داخل الخرسانة تضعف الموصلية الحرارية فيفقد الهواء سخونته عند اختراقها فيخرج باردا وبالتالي تخفيف تكلفة التبريد الكهربائي عالي التكلفة وتمتاز أيضا بالثبات ، والديمومة تدوم بدوام الأسمنت.

ومن المميزات الاخرى التي تتمتع بها الخرسانة الرغوية هي إمكانية الضخ للإرتفاعات العالية ، وتعتبر الحل المناسب لعزل سقوفات المباني من حرارة الطقس بالإضافة إلى قلة تكلفتها .

جدول (2-2) يوضح كثافة الخرسانة الرغوية واستخدامها

من 300-700كجم/م3 تستخدم الخرسانة الرغوية مع هذه الكثافة في العزل الحراري والصوتي والحماية من الحريق , لوحات ديكور السقوف , وسقوف العزل .	من 300 -500كجم/م3 تستخدم الخرسانة الرغوية مع هذه الكثافة في السقف والأرضيات والعزل ضد الحرارة والصوت .
من 700-1000كجم/م3 تستخدم الخرسانة الرغوية مع هذه الكثافة للبنات البناء ولوحات معززة زكل البيوت الجاهزة وتستخدم لملء الفراغ والأسطح والأرضيات.	من 600-900كجم/م3 تستخدم لصناعة كتل الخرسانة الجاهزة وألواح الجدران والستاير للتقسيم بين الغرف وألواح الأسقف والعزل الحراري وعوازل الصوت في مستوى متعدد المباني.
من 1000-1400كجم/م3 تستخدم الخرسانة الرغوية مع هذه الكثافة للأبنية الجاهزة والصب في مواقع ألواح الجدران الحاملة وغير الحاملة.	من 1000-1200كجم/م3 مصنوعة من رمل وأسمنت تستخدم في الكتل الخرسانية وللوحات الخارجية للمباني ، الواح التسوية وتسقيف الطوابق.
من1400-1600كجم/م3 تستخدم الخرسانة الرغوية مع هذه الكثافة للبلاطات وغيرها من عناصر البناء الحاملة التي تتطلب أعلى قوة.	من 1200-1600كجم/م3 تستخدم في الألواح الجاهزة للاستخدام التجاري والصناعي والحدائق.

2-3-4-1 مميزات الخرسانة الرغوية:

1) ذات جدوى إقتصادية عالية.
2) تقليل وزن المنشأ.
3) كميات حديد قليلة.
4) تكلفة نقلها رخيصة وجهد أقل أثناء الصب.
5) قدرة عالية على العزل الحراري.
6) توفير الطاقة في التدفئة والتبريد.

7) ذات إنتاجية عالية.
8) سهلة الإستخدام والتشكيل وذلك لإنسيابها وقابليتها العالية للتشغيل.
9) مقاومة للحريق.

2-4-3-2 أنواع الخرسانة الرغوية:

تنقسم الخرسانة الرغوية إلى ثلاثة أقسام رئيسية حسب الكثافة وهي:

1) خرسانة رغوية إنشائية وهي ذات كثافة 1200كجم/م^3
2) خرسانة رغوية شبه إنشائية وهي ذات كثافة 800-1200كجم/م^3
3) خرسانة رغوية للعزل الحراري وهي ذات كثافة 400-800 كجم/م^3

2-4-3-3 إستخدامات الخرسانة الرغوية:

1. ردم الخنادق وعمل تسوية الطرق
2. الجدران: تستخدم كمادة لحشو التجاويف في نظام الطوب لزيادة العزل الحراري وكذلك في الحوائط الخارجية.
3. الأسقف والأرضيات: تستخدم كمادة مالئة وكعازل حراري للأسقف وأعمال التسوية أسفل الأرضيات وتستخدم لعمل ألواح التغطية المستخدمة في العزل الحراري والصوتي.
4. أعمال تنسيق الحدائق والديكورات الخارجية.
5. أعمال الترميم والإصلاح في المباني القديمة.

2-4-3-4 العوامل التي تؤثر على نوعية وخواص الخرسانة الرغوية:

1. نوع وخواص الركام المستخدم.
2. نسبة الماء إلى الأسمنت.
3. درجة الدمك.
4. خاصية التشغيل والقوام.
5. نسبة الأسمنت إلى الركام.

2-4-3-5 خصائص ومواصفات الخرسانة الرغوية:

1- مقاومة الكسر: تعتمد على مجموعة من العوامل أهمها الكثافة ونسبة الماء إلى الأسمنت ونسبة الركام إلى الأسمنت.
2- الموصلية الحرارية.

3- مقاومة الظروف الجوية: للخرسانة الرغوية قدرة على مقاومة الظروف الجوية المتقلبة وذلك نظراً لخاصية الإنكماش التي تتميز بها. تبلغ نسبة الإنكماش للخرسانة الرغوية حوالي عشرة أضعاف نسبة الإنكماش للخرسانة العادية.

4- العزل الصوتي: لها قدرة عالية على إمتصاص الأصوات.

5- مقاومة الحريق: تعتبر الخرسانة الرغوية مادة غير عضوية فبالتالي غير قابلة للإحتراق

2-3-4-6 طرق وكيفية إنتاج الخرسانة الرغوية:-

يوجد عدة طرق لإنتاج الخلايا الهوائية أو الغازية في الخرسانة الرغوية ومنها:

1- إستعمال المواد الراغية : يشترط في المواد الراغية أن لا يكون لها تأثير كيماوي على مكونات الخلطة الخرسانية وان لا تتفاعل معهم كيمائيا, كذلك لا أن تكون الفقاعات الهوائية الناتجة من استخدام هذه المواد ثابتة لا تتغير أي لا تتعرض للتهشم والتلف بسرعة.

- **أنواع المواد الراغية:**

أ. مواد راغية إصطناعية .

ب. مواد راغية عضوية بروتينية يتم إنتاجها من بقايا الحيوانات المتحللة.

2- إستعمال المواد المضافة للخرسانة الرغوية كالمواد الحابسة للهواء.

3- إحداث تفاعلات كيماوية مولدة للغازات.