BCRC

مركز أبحاث البناء
Building & Construction Research Center

الفرسانة الرغوية
Foam Concrete

GEF
مرفق البيئة العالمية
Global Environment Facility
برنامج المنح الصغيرة
Small Grants Programme

برنامج الامم المتحدة الانمائي
United Nation Development Programme
UNDP

الخرسانة الرغوية

Foam Concrete

مقدمة

الخرسانة الرغوية هي احدى اشكال الخرسانة الخفيفة والتي تعرف على انها الخرسانة التي تقل كثافتها عن كثافة الخرسانة العادية، حيث ان كثافة الخرسانة العادية تتراوح مابين ٢٢٠٠ – ٢٥٠٠ كغم/م^3، اما كثافة الخرسانة الخفيفة بما فيها الخرسانة الرغوية فيمكن ان تتراوح من ٢٠٠ – ١٨٠٠ كغم/م^3 وذلك تبعا لاغراض استخدام هذه الخرسانة والمواصفات المطلوبة.

وشهد استخدام هذه الخرسانة ازديادا كبيرا في الاونة الاخيرة لما لها من فوائد ومزايا عديدة سواء من حيث قدرتها العالية على العزل الحراري، او من حيث جدواها الاقتصادية نظرا لخفة وزنها وكثافتها مما يمكنها من تقليل التكلفة الاجمالية للمباني التي يتم استخدامها فيها. كما ان سهولة استخدامها نتيجة السيولة الكبيرة التي تتمتع بها وسهولة تشكيلها وضبط جودتها تجعل استخدامها مرغوبا ومطلوبا. كل ذلك اضافةالى مزايا وفوائد عديدة سيتم التطرق لها فيما بعد يجعل الاقبال على استخدام الخرسانة الرغوية في ازدياد مستمر.

وتستعمل الخرسانة الرغوية في العديد من التطبيقات سواء في اعمال ردم الخنادق او طبقات اساس الطرق او في الجدران والاسقف والارضيات، كما يمكن انتاج الطوب الخفيف من هذا النوع من الخرسانة. وفي الغالب تستعمل الخرسانة الرغوية في صبات الميول للأسطح (صبة الميلان) نظرا لأنها خفيفة الوزن ذات سطح املس وناعم، اضافة إلى وجود الفراغات داخلها والذي يؤدي الى زيادة العزل الحراري للأسطح، حيث حددت المواصفات الامريكية (ASTM C332) كثافة الخرسانة العازلة للحرارة (Insulating Concrete) من ٢٤٠ – ١٤٤٠ كغم/م^3 والموصلية الحرارية (Thermal Conductivity) لهذه الخرسانة من ٠,٠٦٥ – ٠,٤٣ واط/م.م°.

في حين ان الخرسانة الخفيفة المستعملة للاغراض الانشائية يجب ان تتراوح كثافتها من ١٤٠٠– ١٩٢٠ كغم / م^3.

ان الخرسانة الرغوية لها صفات فيزيائية مميزة نظرا لخفة وزنها وقلة كثافتها، مما يكسبها خصائص اضافية كمقاومتها الميكانيكية والموصلية الحرارية ومعامل تمددها الطولي ومعاملات الانكماش بالجفاف والتمزق والمرونة والعزل الصوتي ومقامتها للظروف الجوية المختلفة اضافة لمقاومتها للحريق.

ويمكن انتاج الخرسانة الرغوية بطرق ووسائل متنوعة وذلك لاستعمالها في اغراض العزل الحراري او اية اغراض اخرى، ومن هذه الطرق استعمال المواد الراغية او المواد الحابسة للهواء، او من خلال احداث تفاعلات كيماوية تنتج غازات تدخل بين مكونات الخلطة، وتسمى الخرسانة الرغوية باسماء مختلفة تبعا للطريقة التي يتم انتاج الخرسانة بها.

انواع الخرسانة الخفيفة

كما ذكر سابقا فان الخرسانة الرغوية هي احدى اشكال الخرسانة الخفيفة، حيث تقسم الخرسانة الخفيفة العازلة للحرارة الى نوعين رئيسيين:

١. الخرسانة الرغوية (Foam Concrete):

وهي عبارة عن خلطة من الأسمنت والرمل وبعض المواد الكيماوية المضافة والتي تخلط في خلاطة عادية وتضخ بمضخة خاصة حيث تؤدي هذه العملية إلى إحداث فقاعات هوائية داخل الخلطة وذلك بادخال كمية من الهواء او الغاز اثناء ضخها، بحيث ينتج من ذلك تكون خلايا مملوءة بالغاز او الهواء في العجينة الاسمنتية مما يؤدي الى انخفاض كثافتها بعد ان تتصلد وزيادة حجمها وخفة وزنها، وتتعلق كثافة الخرسانة الناتجة بكمية الهواء الداخل في تركيبها.

وتسمى هذه الخرسانة ايضا بالخرسانة الخلوية (Cellular Concrete).او الخرسانة الغازية (Gas Concrete) او الخرسانة المسامية (Pore Concrete).

تستعمل هذه الخرسانة غالبا في صبات الميول للاسقف (صبة الميلان) نظرا لأنها خفيفة الوزن ذات سطح املس وناعم، اضافة إلى وجود الفراغات داخلاها والذي يؤدي الى زيادة العزل الحراري للأسطح حيث انها تتمتع بخواص عالية للعزل الحراري.

الا ان الخرسانة الرغوية ذات الكثافة المنخفضة تعتبر هشة وضعيفة ولذلك تحتاج إلى عناية كبيرة اثناء التنفيذ وما بعده، حيث يمكن ان يؤدي القيام ببعض الأعمال فوقها الى بعض التكسر والتصدعات والانضغاط.

٢. خرسانة الركام الخفيف (Lightweight Concrete) :

وتنتج هذه الخرسانة باستعمال مواد اولية مختلفة من الركام خفيف الوزن، حيث يحتوي الركام نفسه في هذه الحالة على خلايا هوائية ومسامات تؤدي الى انخفاض كثافة الخرسانة المنتجة منه والتي تقل عن كثافة الخرسانة العادية المحتوية على الركام التقليدي.

كما يمكن انتاج خرسانة خفيفة (خرسانة رغوية) بدمج النوعين وذلك بالاستعاضة عن الرمل الطبيعي الذي يدخل في تركيب الخرسانة الرغوية بركام ناعم خفيف الوزن.

ميزات استخدام الخرسانة الرغوية

اصبح استخدام الخرسانة الرغوية في البناء أكثر فأكثر شيوعا واستعمالا لما لهذه الخرسانة من ميزات وايجابيات عديدة، ومن اهم هذه الميزات:

١. **ذات جدوى اقتصادية عالية** اذا ما تم مقارنتها مع المواد الاخرى والتي يمكن استخدامها في نفس المجال وذلك للاسباب التالية:

أ. ان استخدام الخرسانة الرغوية يؤدي الى تقليل وزن المنشأ (وذلك لان هذه الخرسانة يتراوح وزنها ما بين ١٠ ٪ إلى ٨٠ ٪ مقارنة بالخرسانة العادية ويعتمد وزنها على مكونات ونسب الخلط) مما يؤدي الى التقليل في ابعاد الاساسات وكميات الحديد المستخدمة وذلك من خلال عمل تصميم اكثر فعالية، اضافة الى ان استخدام الخرسانة الرغوية يؤدي الى تخفيف الحمل على الجسور مما يؤدي الى زيادة استعمال العناصر الخرسانية الانشائية الحاملة ذات المقاطع الصغيرة ولذلك وعلى الرغم من ان سعر المتر المكعب من الخرسانة الرغوية يقارب سعر مثيله من الخرسانة العادية، الا ان تكلفة المنشأ الاجمالية تقل.

ب. ان استخدام الخرسانة الرغوية يؤدي الى تقليل نفقات النقل وذلك لان الكمية التي تورد الى الموقع تقل بنسبة ٢٠٪ – ٣٠٪ من الكمية اللازمة حيث يستعاض عن هذه الكمية بالهواء الذي يتم توليده في الموقع.

ج. ان استخدام الخرسانة الرغوية خفيفة الوزن في الاجزاء مسبقة الصنع وفي المباني القشرية يتطلب وجود رافعات ذات قدرة منخفضة نسبيا، وجهد اقل اثناء عملية الصب.

د. كما انه ونتيجة لميزات العزل الحراري الجيدة للخرسانة الرغوية يتم توفير الطاقة في التدفئة و التبريد.

٢. **ذات انتاجية عالية**، حيث يمكن وبسهولة رفع الانتاجية من خلال استخدام عمالة قليلة وذلك لان استخدام الخرسانة الرغوية لا يحتاج الى معدات اضافية مثل الرجاجات وغيرها.

٣. **سهلة الاستخدام والتشكيل**، وذلك لانها ذات انسيابية وقابلية تشغيل عالية مما يتيح لها الدخول في الفجوات والفتحات دون أي عناء او جهد وبشكل سلس، كما انه يمكن ضخ الخرسانة الرغوية افقيا وعموديا ولمسافات طويلة دون حدوث النضح (Bleeding) او الانفصال الحبيبي (Segregation)، كما انه يمكن التعامل معها او ازالتها بسهولة بعد تصلبها وبمعدات عادية. اضافة الى ذلك فانه من الممكن صبها بقوالب وباشكال مختلفة.

اضافة الى ما تقدم فانه يمكن تلخيص وادراج العديد من المزايا الاضافية للخرسانة الرغوية:

- مادة عازلة للحرارة والصوت بشكل ممتاز.
- مادة اقتصادية مقارنة مع المواد الاخرى والفوائدالناتجة عن استخدامها.
- خفة وزنها تؤدي الى تقليل وزن المباني المستخدمة فيها مما يقلل من حدوث الهبوط فيها (Settlement).
- سهولة التعامل معها حيث يمكن تصنيعها ضمن مواصفات وقوة وكثافة محددة وبشكل مسبق، ويمكن التحكم بجودتها بسهولة، كما انها تستقبل بسهولة رولات البيتيومين او البلاط او الدهان، اضافة الى ان لها قابلية تشغيل عالية (Workability).
- مادة سائلة مما يمكنها من ملء الفجوات والفتحات بسهولة دون عوائق.
- لا تتطلب عمليات رج او دمك أثناء الصب، ولا تتطلّب اية معالجة اضافية او خاصة بعد الصب.

- تقاوم الظروف الجوية المختلفة حيث انها.ذات امتصاصية منخفضة للرطوبة، ولاتتأثر باختلاف درجات الحرارة.
- لها خاصية مقاومة الحريق.
- مادة غير ضارة وصديقة للبيئة ويمكن اعادة تصنيعها.

مجالات استخدام الخرسانة الرغوية

١. ردم الخنادق (Trench reinstatement) واعمال تسوية الطرق:

تعتبر الخرسانة الرغوية مادة مثالية لملء الخنادق واعمال الحفر المختلفة فهي لاتحتاج الى دمك او رج بخلاف المواد الاخرى التي قد تستخدم لنفس الغرض حيث انها تملأ اعمال الحفر والخنادق بشكل تام ولا يحدث أي هبوط فيها بعد صبها، مما يعني انها تكون جاهزة لاستقبال الطبقات النهائية.

كما يمكن استخدام الخرسانة الرغوية كقاعدة لبناء الطرق او طبقة اساس وتكون هذه الطرق أخف وزنا ولا يحدث فيها هبوط مقارنة بالطرق التي تستعمل الحجر التقليدي كطبقة اساس.

وتستخدم الخرسانة الرغوية في بناء الأنفاق من خلال استخدامها في ملئ الفرغات والتجاويف التي قد تظهر اثناء بناء الانفاق

٢. الجدران:

كون الخرسانة الرغوية سائلة، ولها قابلية تشغيل عالية مما يتيح المجال امام استخدامها كمادة مالئة مثالية للفجوات والتجاويف او الفراغات في المباني حتى في الأماكن ذات الفتحات الصغيرة والتي يصعب الوصول اليها بشكل تام وسهل، حيث يمكن استخدامها لحشو التجاويف في مبانى الطوب لزيادة عزل الجدران، ويتم استخدامها ايضا كمادة حشو عندما تكون متطلبات العزل الحراري عالية، اضافة الى استخدامها في القواطع والتقسيمات او الجدران غير الحاملة، وتستخدم الخرسانة الرغوية ايضا في الطوب او الجدران الخارجية.

٣. الارضيات والاسقف:

تستخدم الخرسانة الرغوية كعازل حراري في الأسقف و مدة الأرضيات ولاعمال التسوية وصبات الميلان. كما يمكن استخدامها كمادة مالئة اسفل البلاط في الارضيات وبهذا تكون الارضيات جاهزة لاستقبال

البلاط، كما تستخدم الخرسانة الرغوية لعمل الواح تغطية الاسقف المعلقة والمستخدمة في العزل الحراري او العزل الصوتي سواء في المساكن او الابنية التجارية او مباني المؤسسات.

٤. استخدامات مختلفة:

- في اعمال تنسيق الحدائق والديكورات الخارجية.
- في بناء ملاعب التنس او كرة السلة او الكرة الطائرة او في مضمار الجري.
- في حقن التربة لتقويتها ومنع انزلاقها.
- يمكن استخدامها بدل الردم خلف الجدران الاستنادية وفي حالات معينة.
- لإعادة بناء المباني القديمة، او ترميمها. حيث يمكن استخدامهافي اعمال الترميم والاصلاح للمباني القديمة نظرا لخفة وزنها وسهولة التعامل معها.

الخصائص الفيزيائية للخرسانة الرغوية

بشكل عام فان الخرسانة الرغوية ولخفة وزنها تتصف بقلة كثافتها، الامرالذي يؤثر بشكل او بآخر على خصائصها الاخرى كمقاومتها الميكانيكية والموصلية الحرارية ومعامل تمددها الطولي ومعاملات الانكماش بالجفاف والتمزق والمرونة والعزل الصوتي ومقامتها للظروف الجوية المختلفة اضافة لمقاومتها للحريق..الخ.

وهناك مؤثرات عديدة تلعب دورا في كل خاصية من الخصائص المذكورة فبالاضافة الى محتوى الهواء، اي نسبة حجم الفراغات في الخرسانة وتوزيعها،فان المؤثرات الاخرى التالية لها تأثير علىنوعية وخصائص الخرسانة الخفيفة المنتجة:

- نوع الركام المستخدم وخواصه وتدرجه.
- نسبة الماء الى الاسمنت (W/C- Ratio).
- نسبة الاسمنت الى الركام (بالحجم) (C/A- Ratio).
- درجة الدمك (Degree of Compaction).
- خاصية التشغيل والقوام (Workability & Consistency).
- طريقة الايناع (Curing Method).

ويمكن في هذا المجال ادراج المواصفات والخصائص التالية:

مقاومة الكسر:

تعتمد مقاومة الكسر لكافة اصناف الخرسانة الرغوية على عدة عوامل مثل الكثافة ونسبة الماء الى الاسمنت ، ونسبة الاسمنت الى الركام، ودرجة الدمك والتشغيل وطريقة الايناع، حيث ان نقصان مقاومة الكسر يكون بسب نقصان الكثافة، شأنها في ذلك شأن باقي انواع الخرسانة العادية اوالخفيفة.

ولتحسين خواص الخرسانة الخلوية فيما يتعلق بمقاومة الكسر والانكماش فيتم ايناعها بالبخار حيث تزداد قوة الخرسانة الرغوية الى الضعف..

وبشكل عام وكمثال على ذلك فقد وجد ان الخرسانة الرغوية ذات الكثافة التي تتراوح ما بين ٤٥٠ – ١٦٠٠ كغم/م^3 ومحتوى اسمنت من ٢٥٠ – ٤٠٠ كغم/م^3 تتحمل قوة من ٠,٥ – ١٧ ميجاباسكال.

الموصلية الحرارية:

ان خاصية العزل الحراري العالية التي تتمتع بها الخرسانة الرغوية تعود الى العدد الكبير من الفراغات الهوائية الموجودة بداخلها والتي تكون عبارة عن خلايا كثيفة من حيث العدد، وتتراوح الموصلية الحرارية للباطون الرغوي من ٠,٠٦٥ – ٠,٤٣ واط/م.م$^\circ$.

مقاومة الظروف الجوية:

للخرسانة الرغوية القدرة على مقاومة الظروف الجوية المتقلبة، وذلك بسب خاصية الانكماش بالجفاف (Drying Shrinkage) العالية لهذه الخرسانة والتي يتم ايناعها بالهواء الرطب (Moist Cured)، حيث تبلغ نسبة الانكماش للخرسانة الرغوية حوالي عشرة اضعاف نسبة الانكماش للخرسانة العادية.

العزل الصوتي:

تعتبر الخرسانة الرغوية عازلة جيدة للصوت، حيث ان لها قدرة عالية على امتصاص الاصوات، فقد وجد ان معامل امتصاص الصوت للخرسانة الرغوية ذات الكثافة ٨٠٠ كغم / م^3 هو

٠,٣٥ وهو ما يعادل استخدام طبقة من القصارة العازلة للصوت، وبذلك فان استخدام الخرسانة الرغوية يغني عن استخدام القصارة العازلة للصوت.

مقاومة الحريق:

الخرسانة الرغوية في مجملها مادة غير عضوية وبالتالي غير قابلة للاحتراق، وقد دلت العديد من التجارب في دول مختلفة وحسب المواصفات الامريكية ASTM، على ان بلاطة من الخرسانة الرغوية بكثاقة ١٤٠٠ كغم/م ^{٣} وبسماكة ١٥ سم قد قاومت الحريق لمدة تزيد عن سبعة ساعات.

طرق انتاج الخرسانة الرغوية:

يتميز هذا النوع من الخرسانة الخفيفة بكثافات منخفضة تقل عادة عن انواع الخرسانة الخفيفة الاخرى مما يجعلها مناسبة بشكل خاص لاستعمالات العزل الحراري في البناء. كما ان هذه الخرسانة لها مقاومة ميكانيكية منخفضة اذا ما قورنت بالخرسانة العادية او الانواع الاخرى من الخرسانة الخفيفة وقد سجلت الخرسانة الرغوية كاختراع لاول مرة في السويد في عام ١٩٢٩ حيث انتشر استعمالها بسرعة في الدول الاوروبية الاخرى والكثير من بلدان العالم.

ويتم انتاج هذا النوع من الخرسانة الخفيفة كما ذكر سابقا بادخال كميات من الهواء او الغاز خلال عملية الخلط مما يتسبب في تكون خلايا او فقاعات هوائية كثيرة في تركيبها وبالتالي الى انخفاض كثافتها. وتتعلق كثافة الخرسانة الناتجة بحجم الخلايا والمسامات الهوائية الموزعة فيها.

و هناك عدة وسائل لانتاج الخلايا الهوائية اوالغازية في الخرسانة الرغوية يمكن اجمالها بالطرق التالية:

أ. استعمال المواد الراغية (Foaming Agents).

ب. استعمال المواد المضافة للخرسانة كالمواد الحابسة للهواء (Air Entraining Agents).

ج. احداث تفاعلات كيماوية مولدة للغازات.

أ. **استعمال المواد الراغية (Foaming Agents).**

في هذه الطريقة يتم اضافة مواد راغية (Foaming Agents) بعد تخفيفها بالماء بنسبة معينة الى الخلطة الخرسانية والتي تتكون من الاسمنت والرمل والماء حيث يمكن انتاج خرسانة بكثافة تتراوح بين ٣٠٠ – ١٨٠٠ كغم/م^{٣}.

ان احتواء الخرسانة الرغوية الناتجة من هذه الطريقة على مسامات وخلايا بشكل متناسق ومتجانس في كامل الخلطة، يؤدي الى اكسابها مزايا خاصة كانسيابيتها العالية وسهولة صبها وتشكيلها.

وكما ذكر سابقا فانه يمكن انتاج خرسانة رغوية باضافة الركام الخفيف (الخشن والناعم) الى الخلطة، حيث يتيح استخدام Foaming Agents في هذه الحالة من انتاج خرسانة تمتاز بمقاومة عالية وخاصية عزل حراري جيدة تجعل من الممكن استخدامها كجدران انشائية عازلة.

انواع المواد الراغية:

يشترط في المواد الراغية ان لايكون لها اي تأثير كيماوي على مكونات الخرسانة من الاسمنت والرمل او الركام والماء وان لا تتفاعل معها كيماويا، كما انه من الضروري ان تكون الرغوة الناتجة عن استخدام هذه المواد ثابتة (Stable Foam) بمعنى ان الفقاعات الهوائية الموكونة للرغوة غير قابلة للتلف والتهشم بسرعة وذلك طيلة الفترة اللازمة لتصلد الخرسانة. حيث ان الاختلاف القليل في كثافة الخرسانة الطازجة خلال (٤٥) دقيقة بعد الخلط يدل على ثبات الرغوة.

ويوجد هناك نوعان من المواد المضافة الراغية:

- مواد راغية اصطناعية(Synthetic Foaming Agents) ومن ابرز صفاتها:
  - كثافة الرغوة الناتجة ٤٠ غرام/لتر او اقل.
  - كثافة المادة في حالتها المركزة من ١–١,١ غرام/سم^{٣}.
  - ذات لون شفاف مائل الى الصفرة.
  - يمكن انتاج الرغوة بخلطها بالماء بنسبة ٤٠ : ١ بسهولة.
  - يمكن الاحتفاظ بصلاحيتها للاستعمال لمدة طويلةفي حالتها المخففة بالماء.
- مواد راغية عضوية او بروتينية (Organic Foaming Agents)ويتم انتاجها بشكل رئيسي من بقايا الحيوانات المتحللة، ومن ابرز صفاتها:

- كثافة الرغوة الناتجة من ٦٠ — ١٠٠ غرام/لتر.
- كثافة المادة في حالتها المركزة من ١,١ — ١,٢ غرام/سم^{٣}.
- ذات لون بني داكن ذو رائحةنفاذة.
- يمكن الاحتفاظ بها لمدة طويلة من الزمن دون ان تتلف.في حال عدم تخفيفها بالماء
- تتحلل بعد فترة قصيرة في حال تخفيف المادة بالماء بنسبة ١:٣٠ او ١:٤٠ وتصبح غير صالحة للاستعمال خاصة بفعل الحرارة.

ويتم انتاج الخلايا في الخرسانة الرغوية بوساطة المادة الراغية باحدى الطريقتين التاليتين:

أ. **انتاج الرغوة بشكل مسبق (Preformed Foam):**

يمكن الحصول بهذه الطريقة على نسبة مسامات تصل الى ٨٠٪ بالحجم من في الخرسانة الناتجة (٨٠٠ لتر مسامات لكل متر مكعب)، حيث تتم عملية الخلط كالتالي:

١. تخفف المادة الراغية بالماء بنسبة معينة.
٢. يتم ادخالها في جهاز خاص مولد للرغوة (Aerator) او (Foam Generator) وذلك باضافة هواء مضغوط في المولد يساعد على انتاج الرغوة المطلوبة.
٣. تضاف الرغوة الناتجة من الجهاز المولد للرغوة الى الخلطة الخرسانية وتمزج الرغوة في الخليط جيدا وبعناية، حيث تضاف الرغوة الى الخلطة بكميات معينة تتحدد على اساسها كثافة الخرسانةالمرغوب الحصول عليها، كل ذلك مع مراعاة اضافة الرغوة الخارجة من الجهاز المولد مباشرة الى الخليط قبل ان تبدأ بفقدان خواصها الرغوية.

ب. **انتاج الرغوة بواسطة الخلط الميكانيكي (Mix-Foaming):**

تصل نسبة الخلايا الهوائية الناتجة بهذه الطريقة الى ٣٥٪ بالحجم من الخرسانة، حيث تتم عملية الخلط وتتابع اضافة المواد حسب توصيات معهد الخرسانة الامريكي (ACI) كالتالي:

١. توضع كمية الرمل اوالركام اللازمة في الخلاط.
٢. تضاف كمية الاسمنت اللازمة.
٣. يضاف الماء الضروري للخلط في الخلاطة مع اية مخاليط قابلة للذوبان بالماء يراد اضافتها.

٤. يتم اضافة المادة الراغية في حالتها المركزة او بعد تخفيفها بالماء بنسبة معينة الى خليط الماء والاسمنت على ان تتم عملية الخلط بشكل جيد وذلك حتى يتم توليد الرغوة خلال عملية الخلط مباشرة.

ب. **استعمال المواد المضافة للخرسانة كالمواد الحابسة للهواء (Air Entraining Agents):**

هي مواد تكون على شكل سائل كيماوي و هي مواد مضافة للخرسانة ومولدة للهواء (Air Entraining Agent) تضاف الى الخلطة الخرسانية التي تتكون كما ذكر سابقا من الاسمنت والماء والرمل او الركام الخفيف الوزن.

حيث يكون الناتج بعد اضافة المواد الحابسة للهواء خرسانة خفيفة تصل فيها نسبة الهواء المولد الى ٢٠٪ وفي حالات نادرة الى ٣٠٪ من حجمها.

ج. **التفاعلات الكيماوية المولدة للغازات:**

تعتمد هذه الطريقة لانتاج الخرسانة الرغوية على اضافة بعض المواد على شكل مساحيق تتفاعل كيماويا مع مكونات الخلطة الاسمنتية بحيث تطلق الغازات التي تعمل على نفخ العجينة الاسمنتية ويتم التفاعل بوجود الماء ضمن كتلة الخرسانة الطازجة خلال عملية الخلط واثناء المرحلة اللدنة للخليط الاسمنتي.

و من اهم الطرق المستعملة في هذا المجال هي اضافة مسحوق الالمنيوم الى الخلطة الاسمنتية حيث تتم عملية الانتاج على النحو التالي:

١. يتم مزج المكونات الاساسية والتي تحتوي على الاسمنت والرمل والماء باضافة مسحوق الالومنيوم في خلاطة مركزية.
٢. بعد المزج مباشرة يتم صب الخلطة والتي تكون على شكل عجينة سائلة في قوالب كبيرة بحيث يملأ المزيج جزء من هذه القوالب.
٣. يحدث تفاعل الالومنيوم مع الجير المتولد عن الاماهة (Hydration) او المستعمل كمادة رابطة في الخلطة الاسمنية حيث ينتج عن التفاعل الومينات الكالسيوم (Calcium Aluminates) وغاز الهيدروجين الضروري لتكوين الخلايا المسامية في الخرسانة.

٤. يمكن اضافة هيدروكسيد الصوديوم (Sodium Hydroxide) مع مسحوق الالومنيوم لتسريع عملية الاماهة وتوليد الهيدروجين اللازم لتشكيل الخلايا.

٥. نتيجة لهذا التفاعل يحدث انتفاخ في العجينة الاسمنية داخل القالب حيث تملأ القالب وتبدأ تدريجيا بالتصلب.

٦. بعد ذلك يتم تقطيع محتوى القوالب بطريقة اوتوماتيكية الى طوب او بلوكات بابعاد معينة حيث يكون القالب لايزال لينا وسهل التقطيع.

٧. يتم ايناع الاشكال المنتجة في جهاز الايناع بالبخارتحت الضغط (Autoclave) لتخرج منه القطع المصنعة من الخرسانة الخلوية باشكالها النهائية القابلة للاستعمال المباشر.

كما يمكن الاستعاضة عن مسحوق الالومينوم بمسحوق الخارصين او الزنك (Powdered Zinc) حيث ينتج عن التفاعل زنكات الكالسيوم وغاز الهيدروجين.

ومن الطرق الاخرى التي يتم فيها توليد الغازات بطريقة التفاعل الكيماوي، طريقة توليد غاز الاكسجين باضافة محلول ثاني اكسيد الهيدروجين (H_2O_2) المخفف بنسبة ٣٠٪ مع ٧٠٪ كلور فعال (Active Chlorine) الى الخلطة الاسمنية

يمكن بهذه الطريقة الحصول على خرسانة خلوية بكثافات تتراوح من ٢٠٠–١٤٠٠ كغم/م٣ وذلك بالتحكم بكمية المساحيق المستعملةاو المواد المضافة المولدة للغاز. وبشكل تقريبي يمكن الحصول على حوالي ١,٢٥ م^3 من الخرسانة الخلوية العازلة للحرارة باستعمال كيلوغرام واحد من مسحوق الالومنيوم في عملية الخلط لكل متر مكعب من الخرسانة.

المراجع

١- ادهم سبع العيش
" جدوى تصنيع وتطوير مواد عازلة للحرارة"
الجمعية العلمية الملكية –(١٢) ١٧٣/٢٢

٢- كود العزل الحراراي
" دستور البناء الوطني الاردني"
المجلة الثالث عشر- وزارة الاشغال العامة الاردنية

٣- دليل مواد العزل الحراري للمباني
الجمعية العلمية الملكية الاردنية / مركز بحوث البناء

٤- د. علي العناني ، م. ادهم سبع العيش
" العزل الحراري في البناء – توفير للطاقة وتأمين الراحة"
مجلة المهندس الاردني ،العدد ٣٥

٥- www.casthome.com