

الخرسانة خفيفة الوزن: الأنواع والتطبيقات

بحث مقدم من قبل المهندسة المجازة

ناواز صباح نادر

الى نقابة المهندسين فرع السليمانية
كمتطلب لنيل درجة مهندس استشاري

تموز 2016

Abstract الخلاصة

احد انجح الاساليب لتقليل الحمل الذاتي للبنابات المتعددة الطوابق هو تقليل وزن المواد الانشائية الداخلة في تكوينها (الخرسانة مثلا) اي انتاج خرسانة خفيفة الوزن. الخرسانة الخفيفة الوزن هي مادة بنائية خفيفة بمقاومة مرضية وعزل حراري جيد. من الجدير بالذكر بان استخدام الخرسانة الخفيفة الوزن لا يؤدي فقط الى تقليل الحمل الذاتي للمنشأ وانما يساعد كذلك على حفظ الطاقة وبالتالي تقليل كلفة التدفئة والتبريد. القى هذا البحث الضوء على انواع الخرسانة الخفيفة الوزن مع التركيز على المواد الاولية الداخلة في انتاجها وخواصها وتطبيقاتها العملية (إنشائيا وغير إنشائيا). هذه الانواع شملت خرسانة الركام الخفيف الوزن, الخرسانة الخالية من الرمل والخرسانة المهواة. تم وصف طرق انتاج الانواع الثلاث من الخرسانة الخفيفة الوزن باختصار, حيث تبين بان العامل المؤثر في عملية الانتاج هو ادخال الفجوات الهوائية عمدا. اعتمادا على البحوث التي اجريت على هذا النوع من الخرسانة فقد تم الاستنتاج بامكانية انتاجها باي كثافة. كذلك تم تحري بعض الخواص للخرسانة خفيفة الوزن وتبين امكانية تحسين خواصها بأضافة بعض المضافات منها الملدنات (مقلات الماء) ومضافات معدنية مثل السليكا فيوم والفلاي آش. اخيرا فان هناك فوائد عديدة من استخدام الخرسانة الخفيفة الوزن في تطبيقات الهندسة المدنية كمادة مالئة, عناصر عزل, رصف الطرق واتشاء الجسور.

1- المقدمة Introduction

الخرسانة هي مادة انشائية يتم استخدامها بكثرة بسبب خصائصها الجيدة مثل المتانة, قابلية التشغيل, المقاومة وتوفر المواد الاولية الداخلة في انتاجها (الاسمنت, الركام والماء) (Mehta and Monteiro, 2006).

الخرسانة مادة مركبة تتألف من جسيمات الركام مع وسط رابط (مادة اسمنتية) ويمكن انتاجها بأنواع مختلفة, يمكن اعتبار الخرسانة تتألف من ثلاثة اطوار (عجينة الاسمنت, الركام والمنطقة البيئية الواقعة بينهما) (Akçaoğlu et al., 2004).

تعتبر الخرسانة مادة غير متجانسة تتكون من عجينة الاسمنت والركام (عند مستوى الماكروسكوب) بينما عند مستوى المايكروسكوب فإن عجينة الاسمنت نفسها تتألف من حبيبات الاسمنت غير المتفاعلة, نواتج امالة الاسمنت (تفاعل مركبات الاسمنت مع الماء) والفجوات (Nemati et al., 1998). لاحظ شكل رقم (1).

من ناحية الكثافة يمكن تقسيم الخرسانة الى عدة انواع مثل الثقيلة, الاعتيادية والخفيفة الوزن.

التقليل في وزن الخرسانة المنتجة يمكن تحقيقه بثلاث طرق :

1. استخدام ركام خفيف الوزن لانتاج خرسانة الركام خفيف الوزن.
2. ازالة الركام الناعم (الرمل) من الخلطة لانتاج الخرسانة الخالية من الرمل.
3. اضافة الرغوة (منتجة اثناء الخلط او مسبقا لانتاج الخرسانة المهواة).

يمكن ملاحظة ان العامل المشترك في الطرق الثلاث هو ادخال فجوات الهواء داخل الخلطة الخرسانية مؤديا الى تقليل وزنها وبالتالي كثافتها. ففي حالة استخدام الركام خفيف الوزن بدل الركام التقليدي (الحصى) فان فجوات الهواء تتمثل بالمسامات الموجودة داخل الركام الخفيف الوزن نفسه. اما في حالة ازالة الركام الناعم (الرمل) فان فجوات الهواء ستتكون في المناطق التي كان من المفروض ان يشغلها الرمل مع التأكيد على ان الركام الخشن (الحصى) يستخدم بمقاس واحد تقريبا. اما في الحالة الثالثة فان فجوات الهواء ستدخل بشكل رغوة مسبقا التكوين او تتكون اثناء الخلط بفعل فيزيائي او كيميائي.

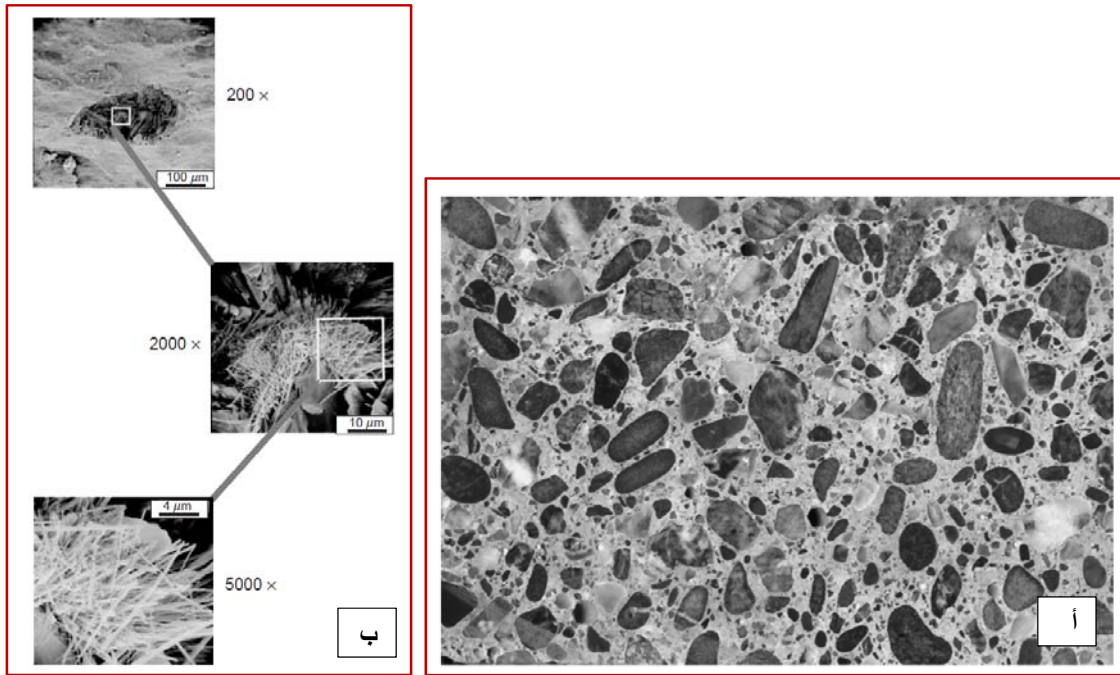
الخرسانة الخفيفة الوزن يمكن انتاجها عمليا بكثافة من 300 كغم/م³ الى 1850 كغم/م³. الكود الامريكي (ACI 213R87) اعتمد الكثافة لتصنيف الخرسانة الخفيفة الوزن اعتمادا على التطبيق المستخدم لاجله وذكر ثلاثة فئات وهي:-

اولا: الخرسانة واطنة الكثافة (300-800) كغم/م³ تستخدم للاغراض غير الانشائية (عزل حراري وضوئي).

ثانيا: الخرسانة الخفيفة الوزن الانشائية بكثافة من (1350-1850) كغم/م³ مع اقل مقاومة تصميمية بعمر 28 يوم (17 ميكا باسكال) وتستخدم للاغراض الانشائية.

ثالثا: خرسانة معتدلة المقاومة تقع بين الفئتين اعلاه يكون بمقاومة بين 7 الى 17 ميكا باسكال (Neville, 2011).

في المشاريع الانشائية, يتم استخدام الخرسانة الخفيفة الوزن لتقليل الحمل على المنشأ وبالتالي تقليل حجم الاعمدة والعنات والاسس واعضاء اخرى حاملة للثقال (Kosmatka et al., 2002). باستخدام بعض المضافات, يمكن انتاج خرسانة خفيفة الوزن تستخدم للاغراض الانشائية بنفس مقاومة الخرسانة الاعتيادية او اعلى مع تحقيق المتطلبات الميكانيكية ومتطلبات المتانة. من الواضح بأن تقليل وزن المنشآت الخرسانية يعود بفوائد عديدة ليس فقط بتقليل الحمل الميت للمنشأ ولكن ايضا توفير خصائص العزل الحرارى الجيد والمتانة لذلك كان الهدف من هذا البحث هو تقديم وصف ل احد انواع الخرسانة وهو الخرسانة الخفيفة الوزن من ناحية انواعها, طرق انتاجها, خصائصها وتطبيقاتها العملية.



شكل رقم (1) (أ) الخرسانة بمستوى الماكرو (ب) نسيج عجينة الاسمنت المتمينة عند مستوى المايكرو (Mehta and Monteiro, 2006)

2- الخرسانة خفيفة الوزن Lightweight concrete

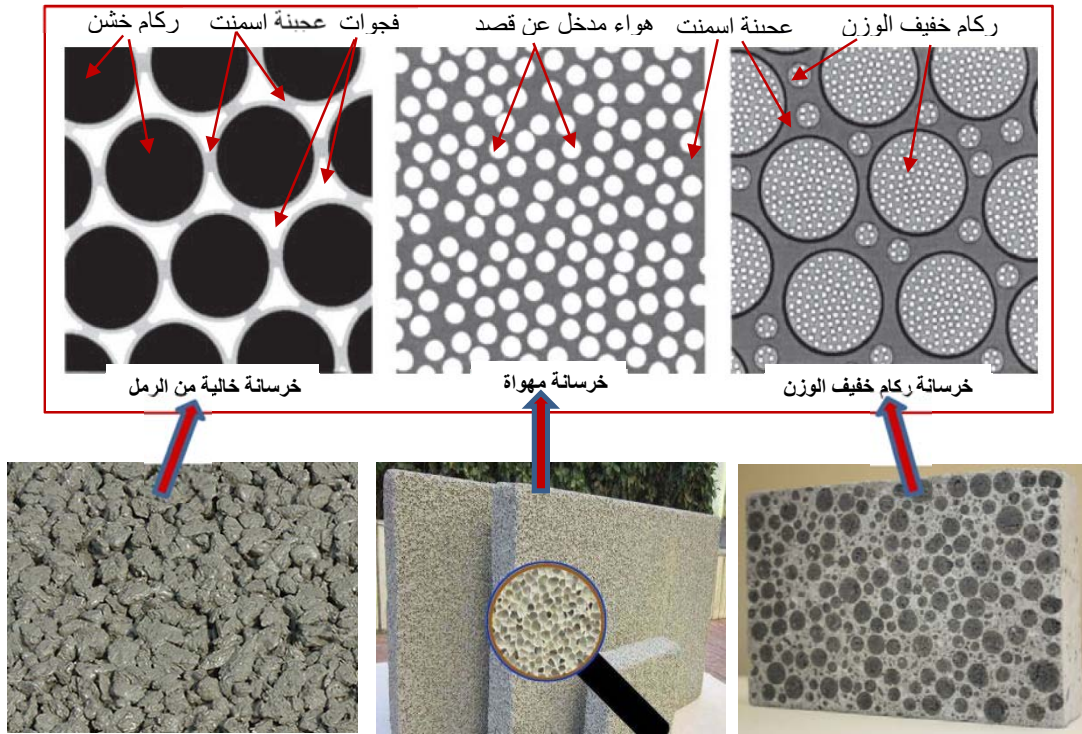
يمكن انتاج الخرسانة الخفيفة الوزن بأستبدال جزء او كل الركام التقليدي بمادة خفيفة الوزن وكما تم ذكره سابقا فإنه وبالاعتماد على طريقة الانتاج يمكن تقسيم الخرسانة الخفيفة الوزن الى:- لاحظ الشكل رقم (2).

1. خرسانة الركام الخفيف الوزن Lightweight concrete

2. الخرسانة الخالية من الركام الناعم No-fines concrete

3. الخرسانة المهواة aerated concrete

جدول رقم (1) يوضح مجموعات الخرسانة الخفيفة الوزن ايضا ومتطلبات إنتاجها.



شكل رقم (2) انواع الخرسانة الخفيفة الوزن, بعد (Newman and Choo, 2003)

جدول رقم (1) مجموعات الخرسانة خفيفة الوزن

Groups of Lightweight Concrete			
No. fines concrete	Light weight aggregate concrete	Aerated concrete	
1- gravel 2- crush stone 3- coarse clinker 4- pulverized – fuel ash 5- expanded clay or shale 6- expanded slate 7- foamed slag	1- clinker 2- foamed slag 3- expanded clay 4- expanded shale 5- expanded slate 6- pulverized – fuel ash 7- exfoliated vermiculite 8- expanded perlite 9- organic aggregate	Chemical aerating 1- aluminum powder method 2- hydrogen peroxide method 3- calcium carbide method	Foaming mixture 1- preformed foam 2- Mix-foam method

إعتمادا على بعض الباحثين (Newman and Choo, 2003) فإنه يمكن إنتاج الخرسانة الخفيفة الوزن بكثافة من 300 الى 2000 كغم/م³ وبمقاومة 1 الى 60 ميكا باسكال ويتم توصيل حراري من 0,2 الى 1 واط/متر. كيلفن مقارنة بكثافة الخرسانة الاعتيادية وهي 2100 الى 2500 كغم/م³ ومقاومتها 15 الى 100 ميكا باسكال وتوصيلها الحراري 1,6 الى 1,9 واط/م. كيلفن.

الجدول رقم (2) يوضح المواد الاولية الاساسية الداخلة في انتاج الخرسانة الاعتيادية والثلاثة انواع من الخرسانة الخفيفة الوزن. من الجدير بالذكر هنا بان بعض المضافات والالياف يمكن استخدامها مع المواد الاولية في حالة الرغبة بتحسين بعض الخصائص لكل انواع الخرسانة وحسب التطبيق المنتجة من اجله.

جدول رقم (2) المواد الاولية الداخلة في انتاج الخرسانات الاعتيادية والخفيفة الوزن

المواد	خرسانة اعتيادية	خرسانة الركام خفيف الوزن	خرسانة خالية من الرمل	خرسانة مهواة
الاسمنت	√	√	√	√
ركام ناعم (رمل)	√	√	-	√
ركام خشن (حصي)	√	-	√ (مقاس واحد)	-
ماء	√	√	√	√
ركام خفيف الوزن	-	√	-	-
فقاعات (رغوة او غاز)	-	-	-	√
ملدنات (مقلات ماء)	√	√	√	√
مضافات معدنية (سلسكا فيوم, فلاي آش.. الخ)	√	√	√	√
الياف	√	√	-	√ (ما عدا الياف الحديد)

1-2 خرسانة الركام الخفيف الوزن

يمكن تقسيم الركام الخفيف الوزن الى صنفين : ركام طبيعي وركام صناعي مصنوع من مواد طبيعية او مخلفات صناعية (Neville, 2011). قلة وزن الركام الخفيف تعود الى طبيعة نسيجها الحاوي على مسامات عديدة .

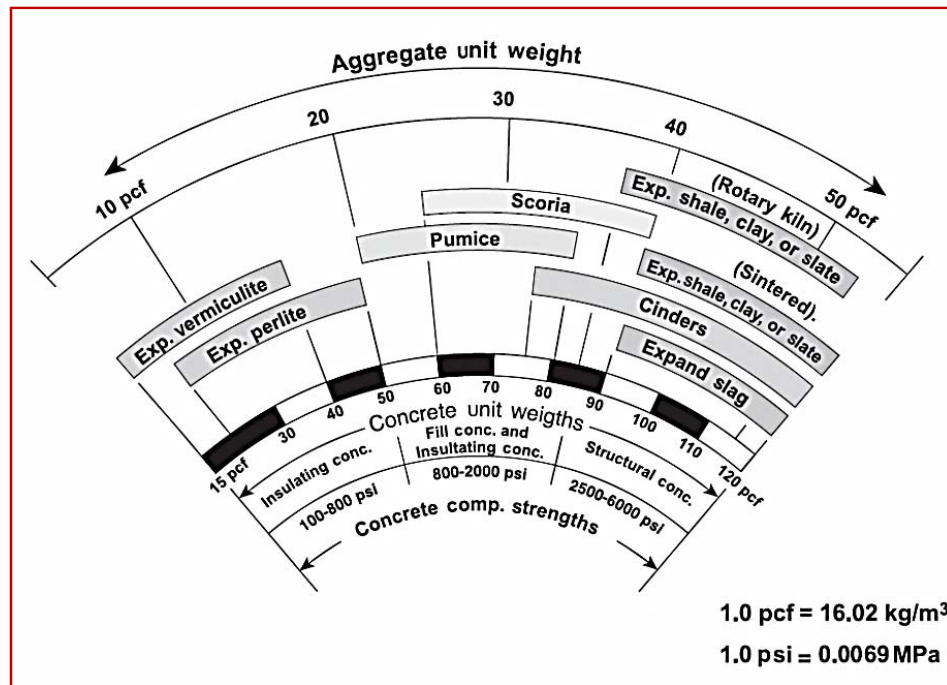
شكل رقم (3) يوضح احد انواع الركام الخفيف الوزن ويظهر النسيج الخلوي داخله.

الركام الخفيف الوزن الطبيعي ينتج من تكسير الصخور البركانية النارية (igneous volcanic rocks) مثل pumice, scoria and tuff. اما الركام الخفيف الوزن الصناعي فيتم تصنيعه تبعا للمواد الاولية الداخلة في انتاجه بالاضافة لطريقة الانتاج, يتم انتاج هذا النوع من الركام صناعيا بمعالجة مواد مثل الطين clay, البرلايت pearlite, الرماد المتطاير fly ash وغيرها معالجة حرارية بدرجة (1000 الى 1200 سليزي) مما يؤدي الى توسعها (زيادة حجمها) بسبب تولد غازات في نسيجها الداخلي وبالتالي تقليل وزنها النوعي (Mehta and Monteiro, 2006).

الشكل رقم (4) يوضح تشكيلة الركام الخفيف الوزن من ناحية انواعه ووزنه. يمكن ملاحظة وجود الركام المسامي جدا والمستخدم في انتاج خرسانة للاغراض العازلة وغير الانشائية, بينما في الجهة الثانية يوجد ركام اقل مسامات يمكن استخدامه لانتاج خرسانات إنشائية (Mehta and Monteiro, 2006).



شكل (3) ركام خفيف الوزن (<http://www.eng.nus.edu.sg/EResnews/0602/rd/rd4.html>)



شكل رقم (4) تشكيلة الركام الخفيف الوزن واستخداماته للأغراض المختلفة (Mehta and Monteiro, 2006)

2-2 الخرسانة الخالية من الرمل

الخرسانة الخالية من الرمل يتكون من الاسمنت, الماء, وقياس واحد من الركام الخشن تخلط لتكون مادة ذات نسيج مسامي يحتل مكان الركام الناعم المزال من الخلطة, شكل رقم (5). الحجم الكبير للفجوات هو العامل الذي يؤدي الى تقليل الوزن وبالتالي المقاومة. هناك تسميات اخرى لهذا النوع من الخرسانة وهي كما يلي:-

- خرسانة بدون رمل (Zero-fine concrete)
- الخرسانة النفاذة (Pervious concrete)
- الخرسانة المسامية (Porous concrete)

في بعض الحالات تستخدم الخرسانة الخالية من الرمل في انشاء البيوت بسبب عزلها الحراري الجيد. من المهم التنويه هنا الى ان الخرسانة الخالية من الرمل يتم انتاجها مع نسبة من الهواء داخلها لغرض توفير العزل الحراري الجيد وهذه الفجوات الهوائية تكون كبيرة نسبيا لغرض منع حركة الماء في مقطع الخرسانة بالخاصية الشعرية (الامتصاص).

ينتج هذا النوع من الخرسانة الخفيفة الوزن من ركام خشن بقياس واحد مغطى بطبقة رقيقة من عجينة الاسمنت حوالي (3,1 ملم), هذا النسيج المسامي يسمح باختراق الماء خلال الخرسانة مما يقلل من مشاكل البيئية المرتبط بالرصف بالاسفلت او الخرسانة التقليدية, لاحظ الشكل رقم (6). مقاومة الانضغاط والكثافة لهذا النوع من الخرسانة الخفيفة الوزن تزداد محتوى الاسمنت مما يثبت اهمية غلاف عجينة الاسمنت وسمكه في تحديد درجة التلاصق مع الركام الخشن وبالتالي زيادة المقاومة.



شكل رقم (5) خرسانة خالية من الركام الناعم مغطاة بخرسانة اعتيادية
(<http://c8a.co.uk/applications/screed>)



شكل رقم (6) خرسانة خالية من الرمل نفاذة للماء

(<http://civilblog.org/2014/07/15/what-is-no-fines-concrete>)

2-3 الخرسانة المهواة

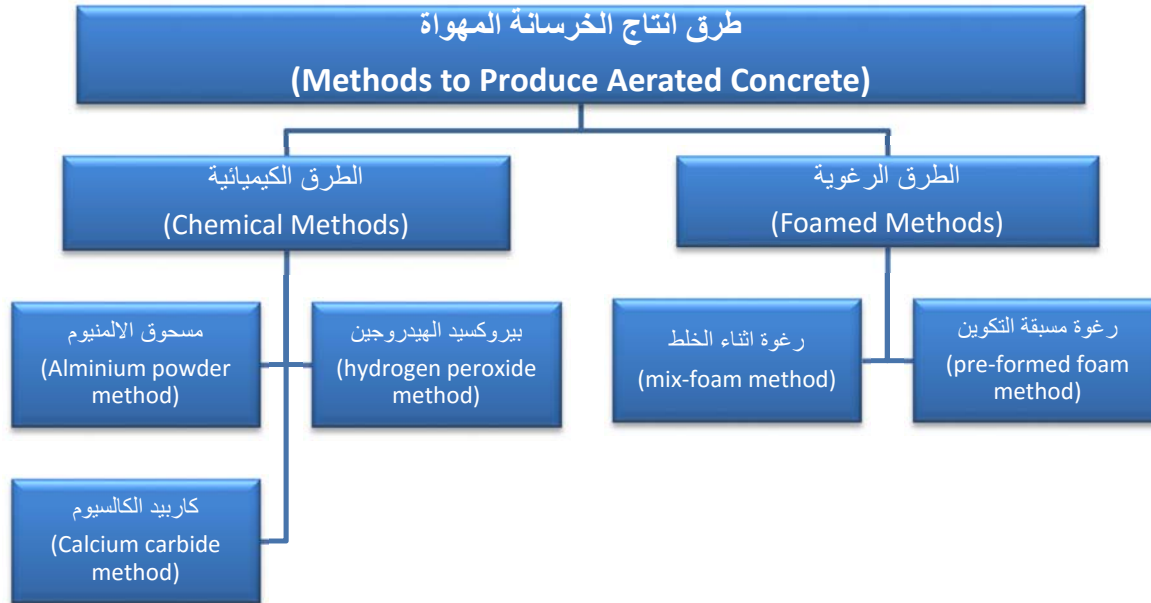
الخرسانة المهواة أو تسمى أحيانا بالخرسانة الخلوية Cellular concrete, هي مادة بنائية خفيفة الوزن تصنع أما بمراحل فيزيائية أو كيميائية من خلالها يتم إدخال الغاز أو الهواء الى داخل الخليط, شكل رقم (7). شكل رقم (7) يوضح طرق انتاج الخرسانة المهواة حيث يتبين منه بان هذه الطرق إما ان تكون رغوية او كيميائية. ففي حالة الطرق الرغوية فان الفجوات الهوائية تتشكل اما باضافة محلول مولد الرغوة (air-entraining agent) والذي يسبب تكون الفقاعات اثناء الخلط بخلاط عالي السرعة او باضافة رغوة مسبقة التكوين الى الخليط خلال الخلط بخلاط اعتيادي. اما في حالة الطرق الكيميائية فان الفجوات الهوائية تكون بشكل غاز يتحرر بفعل كيميائي من خلال تفاعل مساحيق مضافة معينة مع مركبات الاسمنت او ماء الخلط اثناء خلط الخرسانة.

تمتلك الخرسانة المهواة فقاعات هوائية أو فجوات تتراوح من المايكروميتر الى حوالي حجم جزيئات الرمل, ترتبط هذه الفقاعات مع بعضها بالأسمنت البورتلاندي فقط أو سمنت+نورة أو سمنت+رمل أو سمنت+بوزولان, ويجب أن تكون الفقاعات مستقرة بصورة كافية للحفاظ على بنيتها (Orchard, 1976).

تعالج الخرسانة المهواة المستعملة كمادة إنشائية عادة بالبخار بالضغط العالي high pressure steam cured لذلك فهي تصنع في المعمل وتتوفر للمستخدم بشكل وحدات مسبقة الصب مثل ألواح السقوف والجدران والأرضيات. يتم تسليح القطع الكبيرة لمقاومة الضرر الذي ينتج عن الحمل المتراكم اثناء النقل, أما قطع البلوك فلا يتم تسليحها.

يمكن إنتاج الخرسانة المهواة بإحدى الطرق التالية (Orchard, 1976):

- 1- بخلط المحاليل المولدة للهواء مع الاسمنت أو الاسمنت والرمل بخلاطات خاصة عالية السرعة.
 - 2- بتكوين رغوي ثم إضافة الكمية المطلوبة منها إلى الاسمنت أو خليط الاسمنت والرمل داخل الخلاط الاعتيادي.
 - 3- بإضافة بيروكسيد الهيدروجين (H_2O_2) إلى الخليط: بيروكسيد الهيدروجين هو سائل غير مستقر مع وجود الاسمنت يتفكك إلى ماء وغاز الاوكسجين الذي يكون مسؤول عن تكوين الفقاعات داخل الخليط الاسمنتي.
 - 4- باستخدام كاربيد الكالسيوم (CaC_2): الذي يتفاعل مع الماء لانتاج هيدروكسيد الكالسيوم وغاز الاستيلين (C_2H_2) الذي يتوزع كفقاعات في الخليط الاسمنتي.
 - 5- بإضافة مسحوق الألمنيوم إلى خليط الاسمنت: يتفاعل الألمنيوم مع القلويات في الخليط الاسمنتي محررا غاز الهيدروجين كفقاعات تسبب زيادة حجم الخرسانة وبالتالي تقليل الوزن.
- من الجدير بالذكر هنا بانه وباعتماد الية تكوين الفقاعات داخل الخلطة الخرسانية فأن الناتج يسمى خرسانة غازية (Gas Concrete) او خرسانة رغوية (Foamed Concrete).



شكل رقم (7) طرق إنتاج الخرسانة المهواة

تعتبر الخرسانة الرغوية مادة بنائية خفيفة الوزن ذات مقاومة جيدة بالإضافة إلى توصيلها الحراري الواسع وقابلية تشغيلها العالية يعتبر وزن الخرسانة الرغوية واطئ بسبب احتوائها على الفقاعات الهوائية، يمكن إنتاج الخرسانة الرغوية بطريقتين.

أولاً:- بإضافة المحلول المولد للرغاوي **Foaming agent** إلى الخليط أثناء الخلط بخلاط عالي السرعة مما يؤدي إلى تكون فقاعات هواء تنتشر داخل الخليط مما يسبب خفة الوزن وبالتالي نقصان الكثافة، هذه الطريقة تسمى بطريقة الرغاوي المتكونة أثناء الخلط.

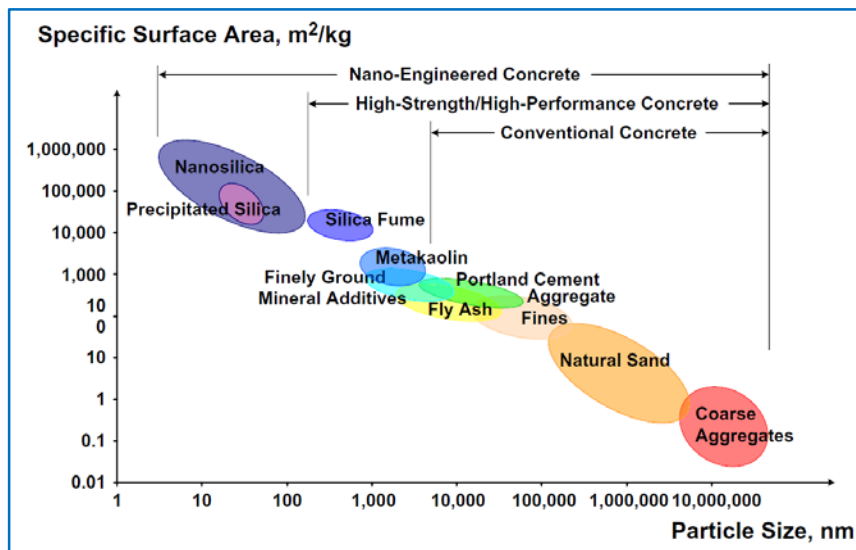
ثانياً :- يتم في هذه الطريقة تكوين الفقاعات أولاً وذلك بإضافة المحلول المولد للرغاوي **Foaming agent** إلى الماء ونسب معينة ثم خلط المزيج بخلاط خاص مما يولد الرغاوي المطلوبة، بعدها يتم خلط المواد الأخرى وتضاف الرغاوي المسبقة التكوين إلى الخليط الرطب وتخلط في خلاط اعتيادي لتكوين الخرسانة الرغوية تسمى هذه الطريقة بطريقة الرغاوي المسبقة التكوين.

طورت طريقة الرغاوي المسبقة التكوين سنة (1950 م) علماً أن هناك تحكم عالي بحجم الفراغات الهوائية التي تنتج بهذه الطريقة باستخدام بعض المحاليل المولدة للرغاوي. يمكن بهذه الطريقة إنتاج خرسانة رغوية بكثافة تتراوح بين (320) إلى (1920) كغم/م³.

من الجدير بالذكر أن كل فقاعة رغوية تكون محاطة بغشاء بروتيني سميك يمكنها من الثبات والاستقرار أثناء الخلط والقولبة وبالنهاية وبعد اكتمال الخلط والقولبة فإن هذا الغشاء سوف يتحطم تاركاً وراءه الفراغ الهوائي (Neville, 2011).

3- المضافات Admixtures

بالإضافة إلى الاسمنت فإن المركبات الرئيسية الداخلة في إنتاج الخرسانة هي الركام (ناعم و/أو خشن) والماء. لتحسين بعض الخواص للناتج النهائي يتم إضافة بعض المضافات بأحجام جسيمات ومساحات سطحية متنوعة كما في الشكل رقم (8) والذي يوضح المواد الأولية للخرسانة وبعض المضافات الثانوية اللازمة لتحسين خصائص معينة للخرسانة. حيث يتوضح من خلال هذا الشكل بأن المواد الانعم (على اليسار) تكون بمساحة سطحية أكبر بكثير من المواد الخشنة مثل الحصى (على اليمين). كذلك يتوضح من هذا الشكل بأن إنتاج خرسانات باداء عالي ومقاومة عالية يتطلب إضافة مضافات معدنية مثل (سليكا فيوم وفلاي آش) باقطار صغيرة جداً (أقل من 1 مايكروميتر).

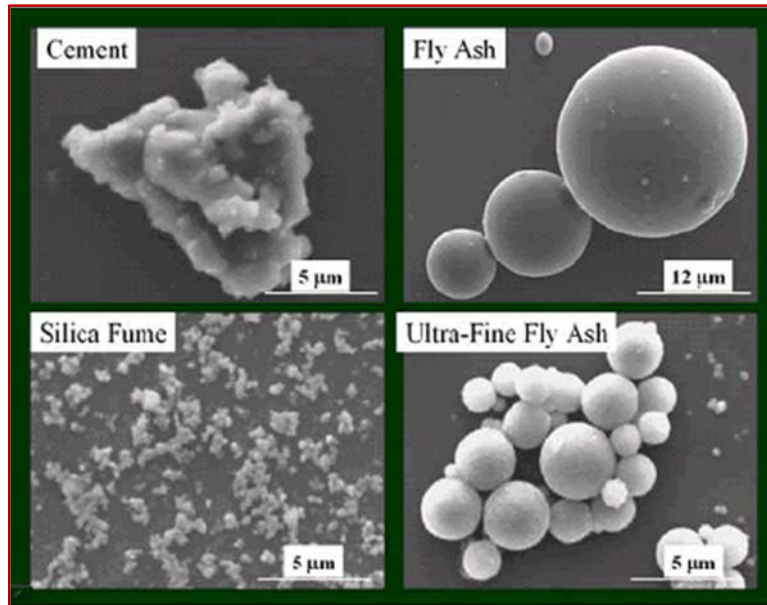


شكل رقم (8) المواد الأولية للخرسانة وبعض المضافات الثانوية (Sanchez and Sobolev, 2010)

من اهم المضافات الثانوية هي السليكا فيوم Silica Fume (وهي ناتج عرضي من عملية صناعة السليكون) وكذلك الفلاي آش Fly Ash وهو ناتج عرضي من عملية حرق الفحم في محطات الطاقة الحرارية (Tanyildizi and Coskun, 2008). الشكل رقم (9) يوضح بعض انواع المضافات المستخدمة في الخرسانة بينما الشكل رقم (10) فيوضح بعض هذه المضافات من ناحية اقطار جسيماتها وبنيتها الداخلية. يتبين من الشكل رقم (10) بان السليكا فيوم تكون باحجام جسيمات اقل بكثير منها للفلاي آش حتى العالي النعومة منه بينما مجموعة الفلاي آش تكون باحجام دائرية اصغر من جسيمات الاسمنت. بشكل عام فان اقطار جسيمات السليكا فيوم والفلاي آش تكون اصغر من جسيمات الاسمنت بكثير وبمتوسط قطر للجسيمات يعادل 0,1 ميكروميتر.



شكل رقم (9) بعض انواع المضافات المستخدمة في الخرسانة (www.google.com/images)



شكل رقم (10) بنية واقطار جسيمات الاسمنت, فلاي آش, سليكا فيوم وفلاي آش عالي النعومة مأخوذة بمجهر اليكتروني عالي الدقة (www.google.com/images)

يتم استخدام هكذا مضافات لزيادة الربط بين عجينة الاسمنت والركام وذلك بتحسين المنطقة البينية بينهما مما يؤدي الى تحسين المقاومة. آلية عمل هذه المضافات تكون عن طريق الفعل الفيزيائي والكيميائي. فيزيائيا تقوم هذه المضافات بملأ الفجوات في عجينة الاسمنت وكذلك المنطقة البينية بين عجينة الاسمنت والركام. اما كيميائيا فانها تتفاعل مع الماء وبعض مركبات الاسمنت مكونة نواتج اماهة جديدة تعمل على ملأ الفراغات في عجينة الاسمنت وبالتالي تقليل المسامية وزيادة مقاومة الخرسانة. من ناحية اخرى فان استخدام الالياف يساعد على تقليل التشققات في الخرسانة ولكن يشترط ان تمتلك هذه الالياف معامل مرونة عالي ومقاومة شد جيدة لتتمكن من تحسين مقاومة شد الخرسانة. هناك انواع عديدة من الالياف يمكن استخدامها في الخرسانة مثل الالياف الحديدية, البلاستيكية, الزجاجية والياف الكربون والاسبست ايضا. الشكل رقم (11) يوضح بعض انواع الالياف المستخدمة في الخرسانة.

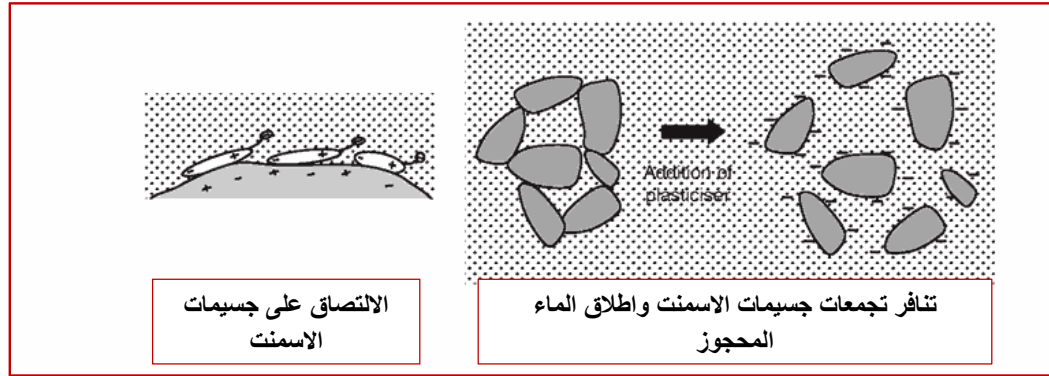


شكل رقم (11) بعض انواع الالياف المستخدمة في الخرسانة (www.google.com/images)

هناك ايضا مقلات الماء Superplasticizers والتي تطورت سنة 1970 واصبح لها استعمالات واسعة في صناعة الانشاءات الخرسانية. الغاية من استخدام هذه الممزوجات هي تقليل كمية ماء الخلط وصولا لتحسين خصائص الخرسانة.

مبدأ عمل مقلات الماء هو كالاتي, لاحظ شكل رقم (12): عندما تخلط جسيمات الاسمنت والتي تحمل شحنات موجبة وسالبة مع الماء فانها ستتجمع مع بعضها مكونة تجمعات تعمل على حجز كمية من ماء الخلط مما يسبب تقليل سيولة الخلطة وقابلية تشغيلها. هذه العملية لها تاثيرين على الخلطة الاسمنية: الاول عدم توفر ماء كافي لحصول عملية الاماهة وبالتالي وجود كتل سمنت غير متمى تمثل مناطق ضعف مسببة ضعف المقاومة. ثانيا هذه الكمية من الماء سوف تتبخر تاركة وراءها فجوات هوائية تزيد من مسامية الخرسانة مؤدية الى زيادة النفاذية ونقصان المقاومة. مع اضافة محاليل مقلات الماء (تمتلك ايونات بشحنات سالبة) سوف تتشكل شحنات سالبة على جسيمات الاسمنت بعد الالتصاق عليها. هذه العملية ستجعل من جسيمات الاسمنت بنفس الشحنة مسببة تنافرها عن بعضها مما يؤدي الى تحرير الماء المحجوز داخل تجمعاتها والذي سيشارك في عملية الخلط واماهة الاسمنت مسببا زيادة بسيولة الخرسانة وقابلية تشغيلها.

من الجدير بالذكر هنا بأنه في حالة استخدام مقلات الماء فإن نسبة الماء/الاسمنت سوف تقل عنها في الخلطة الاعتيادية بدون مقلات ماء.



شكل رقم (12) آلية عمل مقلات الماء في الخرسانة (Domone and Illston, 2010)

4- تطبيقات الخرسانة الخفيفة الوزن Applications of Lightweight Concrete

1-4 خرسانة الركام الخفيف الوزن

تم استخدام الخرسانة الخفيفة الوزن (خرسانة الركام الخفيف الوزن) في التطبيقات الانشائية وبسبب فوائد نسبة المقاومة/الوزن وقلة التوصيل الحراري فقد ازداد الطلب عليها في المشاريع الحديثة (Shannag, 2011). هناك فوائد متوخاة من استخدام خرسانة الركام خفيف الوزن, نذكر منها ما يلي:






انشائيا : استخدام خرسانة خفيفة الوزن يؤدي الى تقليل حجم العضو الانشائي, تقليل كمية حديد التسليح, وتقليل حجم الخرسانة المستخدم وبالتالي تقليل الكلفة الكلية .

وظيفيا : الخرسانة خفيفة الوزن توفر خصائص عزل حراري جيدة وبذلك تعطي فوائد حفظ للطاقة مما يسبب تقليل كلف التشغيل مثل التدفئة والتبريد, بالإضافة الى امتلاكها خصائص عزل صوتي كون الصوت يمتص خلالها ولاينعكس كما هو الحال في الخرسانة الاعتيادية. بالإضافة الى ما ذكر اعلاه فأن الخرسانة الخفيفة الوزن مادة غير قابلة للاحتراق ومقاومة للنار.

هناك امثلة عديدة تظهر ان استخدام خرسانة الركام خفيف الوزن يؤدي الى تقليل كلف الاساسات وحديد التسليح (Mehta and Monteiro, 2006) وكما يلي, لاحظ شكل رقم (13):-

- عام 1936 تم توفير حوالي 3 مليون دولار بتوفير كمية حديد التسليح نتيجة لاستخدام خرسانة خفيفة الوزن في مشروع جسر (San Francisco-Oakland Bridge).
- استخدام الخرسانة الخفيفة الوزن في طوابق بينايات عالية مثل (Lake Point Tower) في شيكاغو والتي تم بنائها عام 1968 بعدد طوابق يبلغ 71 طابق وتم استخدام الخرسانة خفيفة الوزن انشائية بكثافة 1730 كغم/م³ ومقاومة انطعاظ 20 الى 22 ميكاباسكال بعمر 7 ايام.
- بناية (One Shell Plaza) في نكساس تتكون من 52 طابق مثال لمنشأ كامل من الخرسانة الانشائية خفيفة الوزن بكثافة 1840 كغم/م³ ومقاومة انطعاظ 41,2 ميكاباسكال, نظرا لتحمل التربة المحدود في منطقة البناية لم يكن بالامكان بناء اكثر من 35 طابق باستخدام الخرسانة الاعتيادية, بينما باستخدام الخرسانة الخفيفة الوزن تم تنفيذ 52 طابق.

- الفضاء الوسطي (195 م) لجسر (California Parrotts Ferry) باستخدام الخرسانة الانشائية خفيفة الوزن تم تقليل الحمل 20% وتقليل الكلفة 10%.
- استخدام الخرسانة الخفيفة الوزن كوحدات مسبقة الصب في ملعب (Calgary Saddle dome) في كندا والذي انشأ سنة 1988.

	
<p>Lake Point Tower in Chicago (http://www.elixirwellnesscentre.com/locations)</p>	<p>San Francisco-Oakland Bay bridge (http://www.planetware.com/picture/san-francisco-oakland-bay-bridge-us-casfvw7.htm)</p>
	
<p>California Parrotts Ferry Bridge (http://www.highestbridges.hk/wiki/index.php/Parrotts_Ferry_Bridge)</p>	<p>One Shell Plaza, Houston, Texas (http://khan.princeton.edu/khanOneShell.html)</p>
	
<p>Calgary Saddledome Stadium in Canada (http://blog.travelpod.com/travel-photo/travelingdiva/10/1220633580/saddledome.jpg/tpod.html)</p>	

شكل رقم (13) بعض تطبيقات خرسانة الركام الخفيف الوزن

2-4 الخرسانة الخالية من الرمل

استخدمت الخرسانة الخالية من الرمل في البداية لإنشاء منشآت بطابقين بعدها في عام 1950 تطورت لإنشاء مباني بخمس طوابق واستمرت بالتطور لتصل الى عشرة طوابق. وتم استخدامها في المنازل لإنشاء الجدران الحاملة للثقيل المصبوبة موقعا. أما في البنايات العالية متعددة الطوابق فقد تم استخدامها كألواح مسبقة الصب او بلوك معالج البخار.

اما تطبيقاتها في الرصف فقد تم استخدام الخرسانة الخالية من الرمل في مواقف السيارات , الطرق السكنية وممرات المشاة حيث تكون حركة المرور قليلة, لاحظ الشكل رقم (14).

المهمة الاساسية للخرسانة الخالية من الرمل (طبقة مسامية) في الرصف هي كخزان للاحتفاظ بالماء داخلها الى ان يتم تصريفه من قبل التربة اسفلها لانها تعتبر طريقة فعالة للسيطرة على تصريف الماء في المناطق التي تحدث فيها فيضانات بسبب هطول امطار سريعة متكررة مما يقلل مشاكل الفيضانات المصاحبة للرصف بالخرسانة الاعتيادية غير النفاذة.

نظرا لخفة وزنها وخاصيتي العزل الحراري والصوتي الجيدتين تعد الخرسانة الخالية من الركام الناعم مادة جيدة لصناعة القطع الخرسانية مسبقة الصب (الجاهزة) بالاضافة الى سهولة السيطرة على نسب الخلط والنوعية في مصانع القطع الجاهزة باعتماد هذه الخلطة من الخرسانة الخفيفة الوزن.

من استخداماتها ايضا هي كجدران حاملة وغير حاملة للثقيل, في المنشآت الوقتية لكلفتها الاولية الواطئة ولسهولة هدمها واعادة استخدام موادها الاولية واخيرا تم استخدامها كجدران سائدة صغيرة.



شكل رقم (14) خرسانة خالية من الرمل مستخدمة في رصف طريق

(<http://www.techinsider.io/how-magical-concrete-absorbs-water-2015-9>)

3-4 الخرسانة المهواة

- من مميزات الخرسانة الرغوية هو خفة وزنها عليه فان لها فوائد عديدة :
- مقارنة بالطرق الأخرى المستعملة في إنتاج الخرسانة الخفيفة الوزن تعتبر الخرسانة الرغوية ذات كلفة اقل.
 - تمتلك الخرسانة الرغوية قابلة تشغيل ممتازة مما يسمح بإجراء معالجات مختلفة للسطح.
 - يمكن تقليل الوزن مع مدى واسع من الكثافات والمقاومات.
 - تقليل الحمل الميت للمنشأ مما يؤدي الى تقليل الكمية المطلوبة من حديد التسليح ايضا وبالتالي تحقيق توفير اضافي في الكلفة.
 - تقليل كلف الحمل والنقل للوحدات الجاهزة مسبقة الصب بسبب خفة وزنها.
 - معدلات تنفيذ سريعة.
 - تقليل الايدي العاملة.
 - مقاومة الحريق: تستطيع الجدران بسماكة 13 سم و120 كغم/م³ تحمل أسنة اللهب لمدة 5 ساعات، كما تستطيع الجدران التي تبلغ سماكتها 10 سم وكثافتها 400 كغم/م³ التحمل لنفس الفترة تبعاً لكمية الهواء المتخلل في الخرسانة الرغوية.
 - عزل حراري جيد: يمكن للخرسانة الرغوية الوصول إلى عزل حراري مشابه لمزايا الخرسانة العادية باستخدام 20% فقط من المواد الأولية اللازمة لإنتاج الخرسانة الاعتيادية.
 - العزل الصوتي الجيد: حيث أن هذا النوع من الخرسانة يسبب امتصاص الصوت ولا يعكسه وبالتالي تقليل الضوضاء.
 - فوائد لحفظ الطاقة بسبب خصائص العزل الحراري الجيدة وبالتالي تقليل كلف التكيف (التدفئة والتبريد).

عمليا يمكن تقسيم تطبيقات الخرسانة الرغوية الى ثلاث استخدامات , لاحظ الشكل رقم (15):-.

- وحدات مسبقة الصب: 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 والسقوف. إن مزايا العزل الممتازة للخرسانة الخلوية ذات الكثافة القليلة (الخرسانة الخلوية المحتوية على كمية كبيرة من الفقاعات) ذات إستخدامات رائعة بالنسبة للأبنية، حيث يعتبر الوزن الخفيف للجدران والألواح مناسب للغاية للأسقف والأسطح. كما تستخدم الأحجار المختلفة الأحجام المصنوعة من الخرسانة الخلوية بكثرة للجدران ووحدات الأبنية وهي سهلة الاستخدام.
- وحدات بنائية (بلوك): يعتبر البلوك من الأشكال المعروفة التي تدخل 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 إخراجها من القوالب بحسب الأحجام المرغوب بها.
- صب موقعي (ارضيات ,سقوف عازلة وملئ الجدران): تعتبر الخرسانة الخلوية ذات إستخدامات مناسبة كطبقة إضافية للأرضيات، حيث أنها تساعد على تسوية الأرضيات بالإضافة إلى خاصية عزل الضجيج. كما وتستخدم خلطات الخرسانة الخلوية كطبقة عازلة للحرارة بالنسبة للأسقف المسطحة.

كما تم استخدام الخرسانة الرغوية في تطبيقات أخرى يمكن توضيحها بالشكل رقم (16). حيث يمكن استخدام الخرسانة الرغوية 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. تعتبر الخرسانة الرغوية 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 الأمثل والأكثر شيوعاً بالنسبة لصب المناجم. كما تستخدم الخرسانة الرغوية كمادة لملء جدران المنازل أو الفجوات الصناعية، وتعتبر هذه الطريقة من الطرق الناجحة في دول العالم الثالث بالنسبة لمشاريع الإسكان حيث يعتبر الوقت من العوامل الهامة في مثل هذه المشاريع.



شكل رقم (15) بعض تطبيقات الخرسانة الرغوية (www.dr-luca.com)

	
<p>تستخدم كطبقة صدم في منصات البترول بسبب خصائصها الجيدة لامتصاص الصدمة (1992) الكثافة (800) كغم/م³ وبكمية 2294 م³ www.provoton.com, 2006)</p>	<p>تقليل كبير للحمل على قاعدة الأرضية (2001) الكثافة (340-480) كغم/م³ وبكمية 22937 م³ (www.provoton.com, 2006)</p>
	
<p>مادة مألوفة للفتحات والمنشآت تحت الأرض بسبب سيولتها العالية (1999) الكثافة (640) كغم/م³ وبكمية 10245 م³ www.provoton.com, 2006)</p>	<p>تقليل الهبوط لمسار الدرجات الهوائية الاسفلتي نتيجة وجود تربة قابلة للانضغاط (1997) الكثافة (640) كغم/م³ وبكمية 917 م³ (www.provoton.com, 2006)</p>
	
<p>مادة مألوفة للفتحات والتجاويف بسبب سيولتها العالية وامكانية ضخها بسهولة لمسافات بعيدة بضغط اقل (www.foamconcrete.co.uk, 2013)</p>	<p>مادة مألوفة لجوانب المنشأ بسبب تسليطها لحمل عمودي قليل على تربة الاساس بالاضافة الى تقليل الحمل الجانبي على المنشأ (www.foamconcrete.co.uk, 2013)</p>

شكل رقم (16) الاستفادة من مميزات الخرسانة الرغوية في تطبيقات اخرى

5- الاستنتاجات

احد انجح الاساليب لتقليل الحمل الذاتي للبنابات المتعددة الطوابق هو تقليل وزن المواد الانشائية الداخلة في تكوينها (الخرسانة مثلا) اي صنع خرسانة خفيفة الوزن. لعقود عديدة استخدمت الخرسانة الخفيفة الوزن في مشاريع مختلفة, هذه الدراسة تصف انواع الخرسانة الخفيفة الوزن (خرسانة الركام الخفيف الوزن, الخرسانة الخالية من الرمل والخرسانة المهواة) وقد ركزت على تطبيقاتها من ناحية استخدامها للاغراض غير الانشائية والاعراض الانشائية. بالنسبة لفوائدها, فان استخدام الخرسانة الخفيفة الوزن لا يؤدي فقط الى تقليل حمل المنشأ وانما يوفر عزل حراري جيد جدا بالاضافة الى متانة مقبولة. من خلال المعلومات المستوحاة من هذا البحث يتبين ما يلي:

- الخرسانة الخفيفة الوزن هي مادة بنائية خفيفة بمقاومة مرضية وعزل حراري جيد.
- يمكن انتاج خرسانة خفيفة الوزن بابدال الركام الخشن بأخر خفيف الوزن او ازالة الرمل الناعم او اضافة فقاعات رغو الى الخلطة الخرسانية.
- اعتمادا على البحوث التي اجريت على هذا النوع من الخرسانة فقد تم الاستنتاج بامكانية انتاجها باي كثافة.
- استخدام خرسانة خفيفة الوزن يؤدي الى تقليل الحمل الذاتي للمنشأ وايضا يساعد على حفظ الطاقة وبالتالي تقليل كلف التدفئة والتبريد.
- امكانية تحسين خواص الخرسانة خفيفة الوزن بأضافة بعض المضافات منها الملدنات (مقلات الماء) ومضافات معدنية مثل السليكا فيوم والفلاي آش.
- هناك فوائد عديدة من استخدام الخرسانة الخفيفة الوزن في تطبيقات الهندسة المدنية للاغراض الانشائية (عناصر انشائية, الواح جدران وسقوف جاهزة ورصف الطرق) وللغراض غير الانشائية (مادة مالئة للفجوات والتجاويف ووحدات بنائية عازلة).

المصادر:

- AKÇAOĞLU, T., TOKYAY, M. & ÇELİK, T. 2004. Effect of coarse aggregate size and matrix quality on ITZ and failure behavior of concrete under uniaxial compression. *Cement and Concrete Composites*, 26, 633-638.
- DOMONE, P. & ILLSTON, J. 2010. *Construction Materials : Their Nature and Behaviour*, Fourth Edition. 4 ed. Hoboken: Taylor and Francis.
- KOSMATKA, S. H., PANARESE, W. C. & ASSOCIATION, P. C. 2002. *Design and control of concrete mixtures*, Portland Cement Association Skokie, IL.
- MEHTA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. 2006. *Concrete: microstructure, properties and materials*, McGraw-Hill.
- NEMATI, K. M., MONTEIRO, P. J. M. & SCRIVENER, K. L. 1998. Analysis of compressive stress-induced cracks in concrete. *ACI Materials Journal*, 95, 617-630.
- NEVILLE, A. M. 2011. *Properties of concrete*, London Pearson Education Limited.
- NEWMAN, J. B. & CHOO, B. S. 2003. *Advanced concrete technology*, Butterworth-Heinemann.
- ORCHARD, D. F. 1976. *Concrete technology: Volume I*, DF Orchard, John Wiley and Sons, New York and Toronto, 1973 .*Cement and concrete research*, 6, 331.
- SANCHEZ, F. & SOBOLEV, K. 2010. Nanotechnology in concrete – A review. *Construction and Building Materials*, 24, 2060-2071.
- SHANNAG, M. J. 2011. Characteristics of lightweight concrete containing mineral admixtures. *Construction and Building Materials*, 25, 658-662.
- TANYILDIZI, H. & COSKUN, A. 2008. Performance of lightweight concrete with silica fume after high temperature. *Construction and Building Materials*, 22, 2124-2129.
- WWW.PROVOTON.COM 2006. Foam concrete. PROVOTON.