

تقييم دور نوع السليكا الرغوية وعوامل التشتت في خواص الخرسانة الحرارية الخالية من السمّنت

د. عبير عبد القادر صالح
مدرس / قسم الهندسة المدنية / جامعة بغداد
drabeersalih@yahoo.com

الخلاصة

تستخدم الحرارية في إنشاء الأفران وتعتبر الخرسانة الحرارية واحدة من أهم أنواع الحرارية التي تستخدم في تبطين أفران معامل السمّنت والبتروكيمياويات والمفاعل النووية وغيرها. الخرسانة الحرارية هي عبارة عن ركام حراري يربط بمادة رابطة هيدروكسيك أو طينية أو فوسفاتية. ونظرا لحدوث عملية التفكك خلال ارتفاع درجات الحرارة و مايصاحبها من فقدان لمقاومة الخرسانة الحرارية، ظهر اتجاه جديد في صناعة الخرسانة الحرارية وهو استخدام مواد متناهية في الصغر (نانوية) مثل السليكا الرغوية colloidal silica والتي تكون قادرة على اعطاء كتلة متماسكة من الخرسانة الحرارية في الحالة الطرية وذات مقاومة ميكانيكية وحرارية جيدة بعد الحرق . يهدف هذا البحث الى دراسة التأثير المشترك لنوع ونسبة السليكا الرغوية ونوع عوامل التشتت في بعض خواص الخرسانة الحرارية , تم استخدام نوعين من السليكا الرغوية (مكثفة وغير مكثفة) وبنسب (٢،٤،٦،٧،٨،٩) % من وزن الركام ونوعين من عوامل التشتت (سليكات الصوديوم و فلوريد الالمنيوم) بنسبة ١،٠ % من وزن الركام . اظهرت النتائج زيادة مقاومة الانضغاط بنسبة ١٨٣،٦ % عند زيادة نسبة السليكا الرغوية غير المكثفة من ٢ % الى ٩ % باستخدام فلوريد الالمنيوم كعامل مشتت في حين ازدادت الكثافة بنسبة ١٨،٤ % . كذلك اظهرت النتائج زيادة مقاومة الانضغاط بنسبة ٩٢،٢ % والكثافة الكلية بنسبة ٩،٣ % عند زيادة نسبة السليكا الرغوية المكثفة الى ٩ % .

Assessing the role of type of colloidal silica and deflocculantes on properties of refractory concrete free cement

Dr. Abeer A. Salih
Lecturer in Civil Engineering Department
University of Baghdad

Abstract

Refractories used for construction the kilns. Refractory concrete is one of the most important types of refractories used for linings furnaces in cement, petrochemical industries and nuclear power plants. Refractory concrete is consisting of refractory aggregate and bonding material which is hydraulic, clay or phosphate bonds. Because of dehydration at high temperature which accompanied with reduction in compressive strength, new trend appears in type of bonding materials.

This research aims to study the combined effect of type, percentage of colloidal silica and deflocculantes type in some properties of refractory concrete free cement. Two types of colloidal silica used (densified and undensified) with (٢,٤,٦,٧,٨,٩)% of aggregate weight and two types deflocculantes (sodium silicate and aluminum fluoride) with ٠,١% of aggregate weight are used . Results show the compressive strength increase ١٨٣,٦% and the bulk density increases ١٨,٤% when undensified colloidal silica increases from ٢% to ٩% using aluminum fluoride as deflocculantes. But when using densified colloidal silica compressive strength increase ٩٢,٢% and the bulk density increases ٩,٣%.

كلمات الدلالة: خرسانة حرارية خالية من السمنت , سليكا رغوية مكثفة, سليكا رغوية غير مكثفة, عامل تشتت , الجيلاتين, ركام حراري, سليكات الصوديوم , فلوريد الألمنيوم .

١. المقدمة

تعتبر الخرسانة الحرارية من الحرارية القاعدية التي تستخدم في تبطين افران معامل تكرير النفط ومعامل السمنت والوحدات الصناعية النووية لما لها من ايجابيات من حيث سهولة العمل واقتصادية في الانشاء وامكانية تصليح الاجزاء المتضررة من هذه الخرسانة في الافران في وقت قصير وكلفة اقل [1].

من مساوئ الخرسانة الحرارية الاعتيادية ، والتي يكون السمنت فيها هو المادة الرابطة ، هي انها تحتاج الى كمية ماء اعلى لغرض الخلط والقولبة والذي يعمل على تكوين هيكل مسامي بنسيج مفتوح ذو مقاومة انضغاط واطنة ، وخلال عملية الحرق تتفكك الاواصر الهيدروليكية ويتغير حجم المسامات وانتشارها مما يعمل على زيادة المسامية . تعتمد المسامية خلال فترات الحرق على كمية الماء المتحد كيميائيا والذي يعتمد بدوره على نوع ونسبة السمنت المستخدم وتتراوح مسامية الخرسانة الحرارية الاعتيادية بين ٢٢-٢٦% اعتمادا على نوع الركام المستخدم. كذلك في الخرسانة الحرارية الاعتيادية هناك انخفاض ملحوظ في المقاومة في متوسط درجة حرارة الحرق وهي غالبا تتراوح بين (٥٣٠-٩٨٠)°س بسبب تفكك الاواصر الهيدروليكية وعدم تكوين الاواصر السيراميكية . درجة الحرارة التي تنخفض فيها مقاومة الخرسانة الحرارية الاعتيادية تعتمد على عدة عوامل منها نوع ونسبة المادة الرابطة ، درجة حرارة الانضاج وبرنامج الحرق. محتوى الماء في الخرسانة الحرارية الاعتيادية يزداد بزيادة محتوى السمنت وان كثافة هذه الخرسانة ومقاومة الانضغاط تقل مع زيادة نسبة السمنت بسبب تفكك الاواصر في حين يزداد التغير الطولي الدائمي لها [٢, ٣].

ظهر اتجاه جديد في نوع المادة الرابطة المستخدمة في الخرسانة الحرارية تعتمد على تكنولوجيا النانو وتكوين اللحم الهلامي (sol gel) ومثال على ذلك هو استخدام السليكا الرغوية colloidal silica حيث تتكون اصرة هلامية القوام في الخرسانة الحرارية بدلا من مساوئ الاصرة الهيدروليكية والسيراميكية عند استخدام السمنت الالوميني حيث تكون السليكا الرغوية هلام حول الحبيبات الحرارية بعد التجفيف فتكتسب الخرسانة الحرارية مقاومتها الاولية الناتجة من تماسك مكوناتها بروابط هلامية (gel-bond) [4].

ان استخدام المواد النانوية في الخرسانة الحرارية اعطت نتائج جيدة وذلك باستبدال جزء من السمنت او جميعه بمادة نانوية سليكية وهي السليكا الرغوية حيث لاحظ الباحثون تحسن ملحوظ في الخواص الفيزيائية والميكانيكية والحرارية وقد اعطت هذه الحرارية اداء عالي خلال مرحلة الصب وخواص ايجابية في درجات الحرارة العالية عن طريق قدرة هذه المواد الدقيقة على ملء الفراغات بين الركام وزيادة الكثافة بالاضافة الى تقليل كمية الماء المستخدمة بسبب غياب السمنت [5]. هناك نوعين من السليكا الرغوية اعتمادا على كثافتها سليكا رغوية مكثفة (densified) وغير مكثفة (undensified). السليكا الرغوية المكثفة وتعرف ايضا بالـ (silica fume) او (micro silica) وهي ناتج عرضي من صناعة سبانك حديد السليكون تتراوح كثافتها بين (٠,٤٥ - ٠,٧) غم /سم^٣ تحتوي على تكتلات من الروابط النانوية غير

المنتظمة وتتغير الوانها بين الازرق والرصاصي اعتمادا على نسبة الشوائب التي تحتويها وتصل المساحة السطحية لهذا النوع الى ٢٠ م^٢/غم .

السليكا الرغوية غير المكثفة وتعرف ايضا بالسليكا الحرارية pyrogenic silica او ابخرة السليكا fumed silica وهي سليكا غير متبلورة دقيقة التجزئة ذات لون ابيض مساحتها السطحية عالية جدا تتراوح بين (٢٠٠-٦٠٠) م^٢/غم ويتراوح المقاس الحبيبي لها بين ٥-١٥٠ نانومتر، تصل كثافتها الى ٠,٢٢ غم/سم^٣ وتنتشر سريعا في الخرسانة الحرارية وتحسن خواص الصب. يصنع هذا النوع من السليكا الرغوية من تحلل رابع كلوريد السليكون SiCl₄ الى الطور الغازي باستخدام تقنية الامتصاص النتروجيني.[٦،٧]

يتكون هيكل الخرسانة الحرارية الخالية من السمنت من ركام حراري مع فراغات تملأ بالسليكا الرغوية وأي مواد ناعمة أن وجدت . بعد اضافة الماء الى مكونات الخرسانة الحرارية تتكون مجاميع الهيدروكسيل والتي تدعى Si-OH (sianol) والتي تكون منتشرة على سطح السليكا الرغوية بمواقع كثيرة وان الشحنة السالبة التي تملكها هذه الاواصر تكون عرضة للهجوم من الايونات الموجبة المتواجدة داخل النظام. هذه الايونات الموجبة متواجدة في الالومينا والكالسيوم اللذان مصدرهما الركام والنورة حيث تذوب وتهاجم مواقع (sianol) وتعمل على تكوين تجمعات او مايسمى بالتخثر (coagulation) والتي لها تأثير سلبي في خواص الخرسانة الحرارية الخالية من السمنت بسبب التفكك خلال مرحلة الحرق ,ولمنع امتصاص ايونات الالومينا او الكالسيوم من قبل السليكا الرغوية يتم اضافة عامل تشتيت deflocculante ,وتسمى ايضا عوامل تكوين الجل (gelling agent) , او تقليل PH الى اقل من ٥ او اضافة الملح او استخدام مواد عضوية . [٧]

تتفكك مجاميع الهيدروكسيل المتواجدة على سطح السليكا الرغوية خلال فترة التجفيف وتتكون روابط ال (Si-O-Si) siloxane والتي تكون على شكل شبكة ثلاثية الابعاد من السلاسل المتفرعة . هذه العملية تدعى الجيلاتين (gelation) حيث تعمل ازالة الماء على تقليل المسافات البينية للحبيبات ويزيد من احتمالية تصادم الحبيبات وتكوين اواصر ال ..siloxane [٨]

ان اضافة واحد من العوامل المشتتة او ، ماتسمى ايضا بعوامل تكوين الجل، تشجع على تكوين اواصر ال (siloxane) القوية من خلال عملية الجيلاتين لانتاج هلام حول الحبيبات الحرارية الصلبة في الخليط مما يعمل على اكساب الخرسانة الحرارية الخالية من السمنت مقاومة ميكانيكية عالية . الهيكل الهلامي الناتج يكون ذو نفاذية عالية ويسمح بتجفيف الخرسانة الحرارية بشكل اسهل ويقلل من احتمالية حدوث التشقق والتشطي كذلك فان المساحة السطحية العالية للسليكا الرغوية تشجع على تكوين المولايت خلال فترة الحرق الذي يعمل على زيادة المقاومة الميكانيكية والكيميائية في درجات الحرارة العالية. [٩]

اشار (Valentin و Violeta ٢٠٠٩) الى ان استخدام السليكا الرغوية غير المكثفة كمادة رابطة بنسبة ٣% مع عامل مشتت deflocculant في الخرسانة الحرارية الخالية من السمنت يعمل على زيادة الكثافة بنسبة ٩% بعد الحرق في درجة حرارة ١٢٠٠°س وزيادة مقاومة الانضغاط بنسبة ٢٠٠-٣٠٠% وادت زيادة الكثافة الى موصولية حرارية عالية بسبب تكوين اطوار صلبة مستمرة ، كذلك اشارا الى حصول التليبد في درجات حرارة تراوحت بين ٦٠٠-٨٠٠°س. أكد الباحثان على ان استخدام السليكا الرغوية يعمل على تقليل سليكات الالومينا في حين تزداد نسبة الجيلنايت واطوار الحديد كذلك يتكون طور الانورثايت والكرستوبلايت . جميع هذه الاطوار تعمل على زيادة مقاومة الانضغاط . [١٠]

استخدم (Regina واخرون ٢٠١١) سليكا رغوية غير مكثفة بنسب تراوحت بين (٤-٨)% من وزن الركام وزجاج الصوديوم كعامل مشتت استنتج الباحثون ان خواص الخرسانة الحرارية الطرية تتحسن كثيرا عند زيادة السليكا الرغوية من ٤% الى ٦% كذلك تزداد الكثافة وتتحسن مقاومة الانضغاط وقد اعتبر الباحثون أن نسبة ٥% هي النسبة المثلى لاستخدامها في انتاج خرسانة حرارة خالية من السمنت. [١١]

أما (Mosbery و Sandbery ١٩٨٩) فقد قاما بدراسة تأثير نوع ونسبة العامل المشتت في الخرسانة الحرارية باستخدام نسبة سليكا رغوية غير مكثفة بنسبة ٦% من وزن الركام , استخدم الباحثان سليكات الصوديوم بنسب تراوحت بين (٠,٠٣-٠,١) % من وزن الركام وتوصلوا الى ان نسبة ٠,١% من سليكات الصوديوم اعطت افضل قابلية تشغيل للخلطة وزمن تماسك مقبول , كذلك استخدم الباحثان فوسفات الصوديوم كعامل مشتت بنسب تراوحت بين (٠,١٢-٠,٣٦) %

مع الومينا فعالة بنسبة ١٠% من وزن الركام . وتوصل الباحثان الى ان نسبة ٠,١٨ % من فوسفات الصوديوم اعطت افضل قابلية تشغيل ومقاومة انضغاط بعد الحرق في درجة حرارة ١٠٠٠م تصل الى ٤٧ ميكاسباسكال [١٢]. قامت (Haneen ٢٠١٢) باستخدام اطيان الكاؤولين كمادة رابطة بالاضافة الى السليكا الرغوية غير المكثفة لانتاج خرسانة حرارية خالية من السمات. توصلت الباحثة الى انخفاض في مقاومة الانضغاط مع زيادة نسبة السليكا الرغوية عند استخدام اطيان الكاؤولين كعامل مشنت [١٣].

٢. الجانب العملي

١-٢ المواد المستخدمة

١-١-٢ الركام

تم استخدام ركام حراري مصنع من صخور البوكسايت في الشركة العامة لصناعة الحرارية في الفلوجة. والجدول رقم (١) يبين التحليل المنخلي للركام الحراري وهو مطابق لمتطلبات التقرير الصادر من معهد الخرسانة الامريكي (ACI-٥٤٧) [١٤] والجدول رقم (٢) يوضح التحليل الكيميائي للركام المستخدم.

جدول رقم (١) التحليل المنخلي للركام الحراري

| قياس المنخل (لم) | النسب العابرة % | تقرير ACI-٥٤٧ [١٤] |
|------------------|-----------------|-------------------------------------|
| ٤,٧٥ | ١٠٠ | |
| ٢,٣٦ | ٩٠,١ | |
| ١,١٨ | ٧٠,٣ | |
| ٠,٦ | ٥٥,٦ | |
| ٠,٣ | ٢٢,٧ | المتبقي على هذا المنخل ٧٥% (حداني) |
| ٠,١٥ | ١٤,٣ | العابر من هذا المنخل (١٠-١٥)% |

جدول رقم (٢)

التحليل الكيميائي للركام الحراري

| المحتوى % | الاكاسيد |
|-----------|--------------------------------|
| ٧٠,٣ | Al ₂ O ₃ |
| ٢٤,٧ | SiO ₂ |
| ٠,٥٧ | NaO+K ₂ O |
| ٢,١ | CaO |
| ٠,٩٧ | MgO |
| ٠,٧ | Fe ₂ O ₃ |

٢-١-٢ السليكا الرغوية

استخدم نوعين من السليكا الرغوية المكثفة وغير المكثفة المتوفرة في الاسواق المحلية وبنسب تراوحت بين (٩,٨,٧,٦,٤,٢)% من وزن الركام. والجدول رقم (٣) يوضح التحليل الكيميائي لنوعي السليكا وقد تم اجراء الفحص في الشركة العامة للمسح الجيولوجي . الجدول رقم (٤) يوضح الخواص الفيزيائية لنوعي السليكا الرغوية المستخدمة وفقا لورقة المعلومات المرفقة مع المنتج.

جدول رقم (٣) التحليل الكيميائي لنوعي السليكا الرغوية

| SO _٢ | Fe _٢ O _٢ | CaO | Al _٢ O _٢ | SiO _٢ | الاكاسيد % نوع السليكا الرغوية |
|-----------------|--------------------------------|------|--------------------------------|------------------|--------------------------------------|
| ٠,٧٤ | ٠,٠٠٤ | ٠,٠٧ | ٠,١٨ | ٩٢,٩ ٣ | سليكا رغوية مكثفة |
| ٠,٧٠ | ٠,٠٠٣٥ | ٠,٠٣ | ٠,٣٥ | ٩٩,١ | سليكا رغوية غير مكثفة |

الجدول رقم (٤) الخواص الفيزيائية لنوعي السليكا الرغوية

| كتافة كلية غم/سم ^٣ | مساحة سطحية م ^٢ /غم | الخواص نوع السليكا الرغوية |
|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| ٠,٦٥ | ١٨ | سليكا رغوية مكثفة |
| ٠,٢ | ٢٢٠ | سليكا رغوية غير مكثفة |

٣-١-٢ سليكات الصوديوم

استخدمت مادة سليكات الصوديوم والتي تسمى ايضا بماء الزجاج كعامل مشنت مع نوعي السليكا الرغوية في خلطات الخرسانة الحرارية بنسبة (٠,١%) من وزن الركام والجدول رقم (٥) يبين بعض خواص هذه المادة التي تم فحصها في مركز بحوث البناء.

جدول رقم (٥)

خواص سليكات الصوديوم

| المحتوى % | الاكاسيد |
|-----------|-------------------|
| ٣٤ | SiO _٢ |
| ١٤ | Na _٢ O |
| ١١-١١,٥ | pH |
| ١,٥ | الوزن النوعي |

٤-١-٢ فلوريد الالمنيوم

نتاج عرضي من صناعة الاسمدة الفوسفاتية في معمل الاسمدة الفوسفاتية في مجمع عكاشات في القائم غرب العراق , وهذه المادة هي عبارة عن مسحوق ابيض اللون وهو ناتج تفاعل حامض الفلوسيليك مع هيدروكسيد الالمنيوم كما موضح بالمعادلة ادناه



استخدمت مادة فلوريد الألمنيوم كعامل مشنت بنسبة ١,٠% من وزن الركام مع نوعي السليكا الرغوية في خلطات الخرسانة الحرارية.

١-٢-٥ الماء

استخدم ماء الشرب الاعتيادي في خلط الخرسانة الحرارية.

٣. الجانب العملي

١-٣ التجارب المختبرية

لدراسة تأثير نوع السليكا الرغوية ونوع العامل المشنت في خواص الخرسانة الحرارية , تم تحضير ٢٤ خلطة من الخرسانة الحرارية وواقع ٥ مكعبات لكل خلطة , وتم استعمال نوعين من السليكا الرغوية (مكثفة وغير مكثفة) ونسب تراوحت بين (٢,٤,٦,٧,٨,٩)% من وزن الركام ولكل نوع من المضافات (سليكات الصوديوم وفلوريد الألمنيوم). والجدول رقم (٦) يوضح تفاصيل الخلطات ورموزها.

جدول رقم (٦) تفاصيل الخلطات ورموزها

| رمز الخلطة | مكونات الخلطة | نسب السليكا الرغوية % من وزن الركام |
|------------|---|-------------------------------------|
| DS | ركام حراري + سليكا مكثفة + سليكات الصوديوم | ٨,٧,٦,٤,٢,٩ |
| US | ركام حراري + سليكا غير مكثفة + سليكات الصوديوم | ٩,٨,٧,٦,٤,٢ |
| DF | ركام حراري + سليكا مكثفة + فلوريد الألمنيوم | ٩,٨,٧,٦,٤,٢ |
| UF | ركام حراري + سليكا غير مكثفة + فلوريد الألمنيوم | ٩,٨,٧,٦,٤,٢ |

٢-٣ تصميم الخلطات

١-٢-٣ طريقة الخلط

صممت خلطات الخرسانة الحرارية الخالية من السمات تبعاً للمواصفة الأمريكية [١٥] (ASTM ٨٦٠-٢٠٠٠),

هذه الطريقة تتضمن اختبار الكرة في اليد Ball-in-Hand لتحديد نسبة $\frac{\text{الماء}}{\text{الوزن الجاف}}$ المثلى لنوعي السليكا الرغوية و

العوامل المشنتة ، والوزن الجاف هنا يمثل وزن الركام + وزن السليكا الرغوية + وزن عامل التشنت ، الجدول رقم (٩)

يوضح نسبة $\frac{\text{الماء}}{\text{الوزن الجاف}}$ للخلطات وبمدى معين لكل نسب السليكا الرغوية.

جدول رقم (٧) نسب $\frac{\text{الماء}}{\text{الوزن الجاف}}$

| رمز الخلطة | نسبة $\frac{\text{الماء}}{\text{الوزن الجاف}}$ % |
|------------|--|
| DS | ٤,٥-٤,٧ |
| US | ٥,٠-٥,٥ |
| DF | ٥,٥-٥,٨ |
| UF | ٥,٦-٦,٠ |

٣-٢-٣ القولية

تم تحضير نماذج الخرسانة الحرارية وفقا للمواصفة الامريكية ASTM C ٨٦٢-٢٠٠١ [١٦].

٣-٢-٣ التجفيف والحرق

بعد فتح القوالب وضعت النماذج في فرن التجفيف عند درجة حرارة ١١٠° س ولمدة ٢٤ ساعة وفقا للمواصفة الامريكية ASTM C ٨٦٥-١٩٩٥ [١٧]، ثم حرقت النماذج عند درجة حرارة ١٢٠٠° س بمعدل ٤° س /دقيقة وفترة ابقاء عند هذه الدرجة لمدة ساعتين. تم الحرق في افران مركز بحوث البناء.

٤. الفحوص المختبرية

- تم فحص مقاومة الانضغاط باستخدام قوالب مكعبة الشكل ذات ابعاد (٥*٥*٥) سم بموجب المواصفة الامريكية

ASTM C ١٣٣-١٩٩٧ [١٨].

- تم فحص الكثافة الكلية باستخدام قوالب مكعبة الشكل ذات ابعاد (٥*٥*٥) سم تبعا للمواصفة الامريكية

ASTM C ٢٠٠-٢٠٠٠ [١٩].

- اجري فحص الصدمة الحرارية بموجب المواصفة البريطانية BS ١٩٠٢: section ٧, ٦-١٩٨٧ [٢٠].

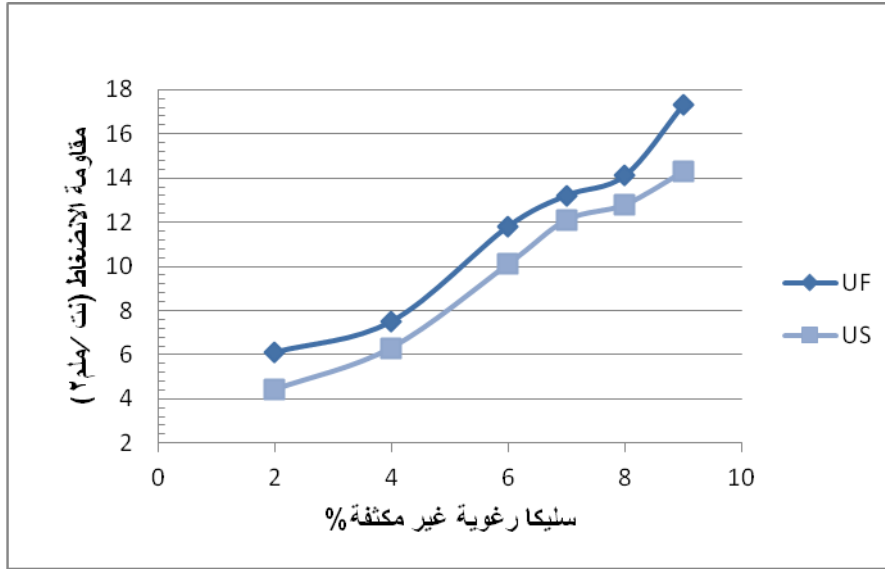
٥. النتائج والمناقشة

١-٥ مقاومة الانضغاط

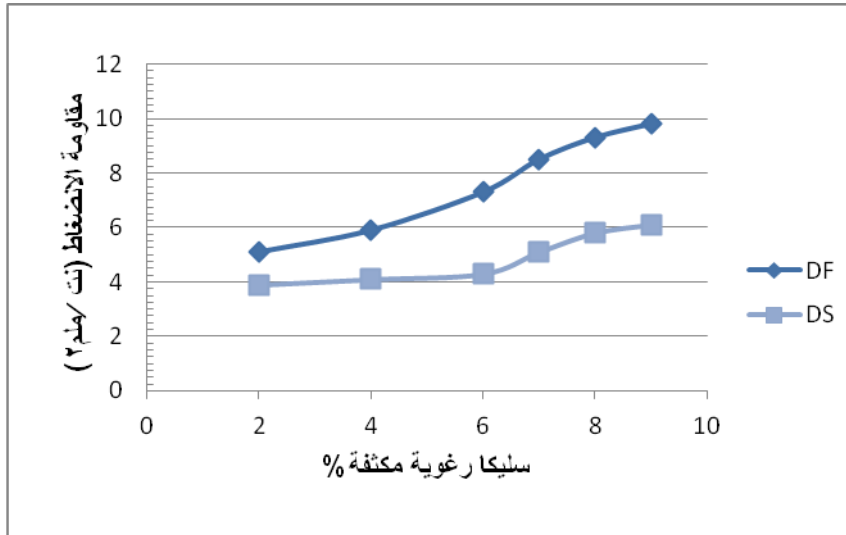
الشكلين (١) و(٢) توضح العلاقة بين مقاومة انضغاط الخرسانة الحرارية الخالية من السمنت ونسبة السليكا الرغوية وتأثير عوامل التشتت فيها. نلاحظ من الشكلين ازدياد مقاومة الانضغاط مع زيادة نسبة السليكا الرغوية وان مقاومة انضغاط اعلى ممكن الحصول عليها باستخدام سليكا رغوية غير مكثفة مع فلوريد الالمنيوم كعامل مشتت ويمكن تفسير ذلك ان المساحة السطحية العالية للسليكا الرغوية غير المكثفة توفر نسبة عالية من روابط الهيدروكسيل المنتشرة على سطح السليكا الرغوية (Si-OH) وهذا يعني نسبة اكبر من روابط الـ siloxane (Si-O-Si) بعد التجفيف وخاصة عند تكون نسبة SiO₂ عالية هذا يؤدي الى ارتفاع مقاومة انضغاط الخرسانة الحرارية بسبب زيادة الروابط الهلامية الناتجة عن الـ siloxane بشكل اكبر من السليكا الرغوية المكثفة ذات المساحة السطحية الاقل ونسبة SiO₂ اقل.

كذلك يعمل فلوريد الالمنيوم كعامل مشتت لتفاعلات سليكات الالومينا التي تتفكك خلال مرحلة الحرق ومحفز لحدوث التفاعلات الصلبة والتليد التي تحدث بسبب فقدان الروابط الذرية كنتيجة للتهدج الحراري والذي يسمح بانتشار تبادلي لمختلف الذرات المتقاربة داخل النظام او الجسم الحراري. وهذا ما أكد عليه (Norton) [٢١] حيث يعمل الفلور كعامل محفز لحدوث التفاعلات الصلبة وتزداد هذه التفاعلات باستخدام حجم حبيبي اصغر وتوفر حبيبات دقيقة في الوسط الملامس كذلك تزداد في المركبات التي تعاني من تحولات او انقلابات في الدرجات الحرارية العالية وهذا يحدث في السليكا SiO₂ التي تعاني من تحولات وانقلابات في درجات حراره تقارب ٥٧٣° س والذي يسبب فقدان الروابط في نقطة التحول ويسمح بمعدل انتشار اكبر وحدوث تبادل للذرات المتقاربة وتكوين اطوار جديدة ذات مقاومة انضغاط عالية. نلاحظ من الشكل رقم (٢) المعدل المنخفض للزيادة في مقاومة الانضغاط باستخدام سليكا مكثفة الى نسبة ٥% وسليكات الصوديوم وهذا قد يكون بسبب عدم توفر المساحة السطحية الكافية لحدوث التفاعلات الصلبة وتكوين الجيلاتين.

بلغت نسبة الزيادة في مقاومة الانضغاط ١٨٣,٦% و ١٦٤% عند زيادة السليكا الرغوية غير المكثفة من ٢% الى ٩% باستخدام فلوريد الالمنيوم وسليكات الصوديوم، على التوالي، كعامل مشتت في حين كانت لنظيرتها الكثيفة ٩٢,٢% و ٥٦,٤% فقط.



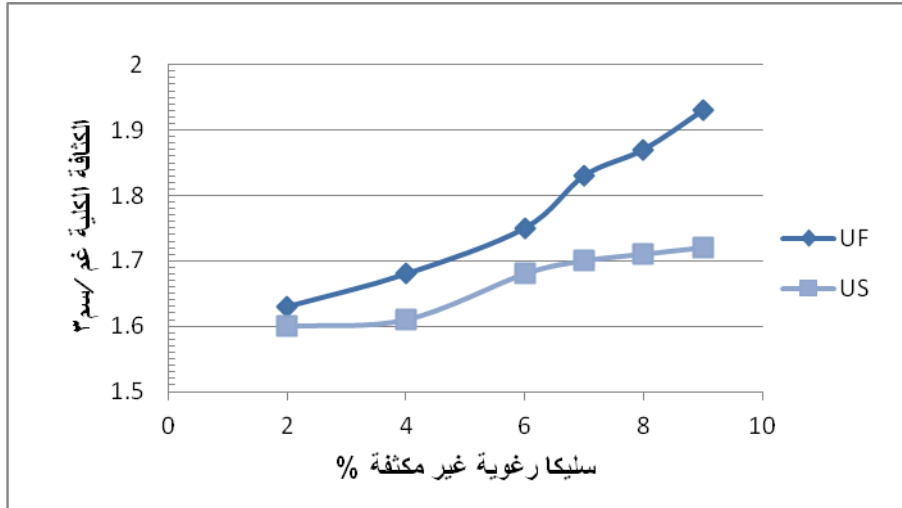
شكل رقم (١) العلاقة بين مقاومة انضغاط الخرسانة الحرارية الخالية من السمنت ونسبة السليكا الرغوية غير المكثفة



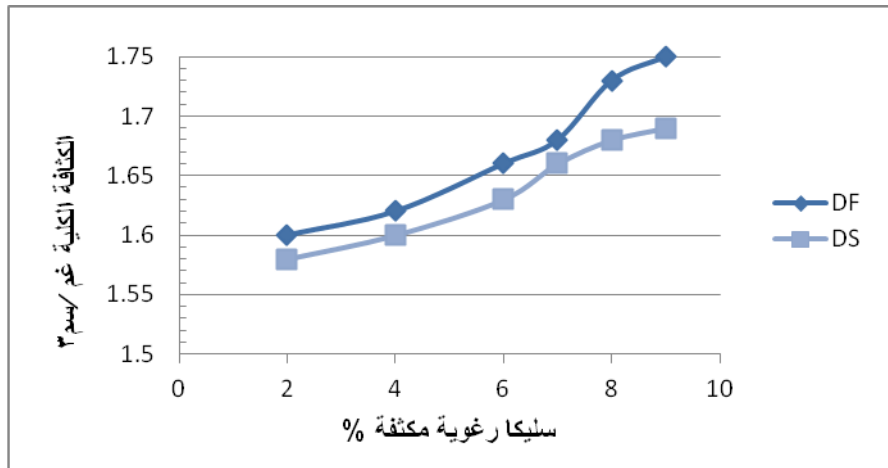
شكل رقم (٢) العلاقة بين مقاومة انضغاط الخرسانة الحرارية الخالية من السمنت ونسبة السليكا الرغوية المكثفة

٢-٥ الكثافة الكلية

تزداد كثافة الخرسانة بازدياد نسبة السليكا الرغوية وهذا ما نلاحظه من الشكلين (٣) و(٤). إن استخدام سليكا رغوية غير مكثفة تعطي خرسانة حرارية ذات كثافة اعلى حيث تسمح المساحة السطحية العالية للسليكا الرغوية غير المكثفة بحدوث التفاعلات الصلبة بنسبة اكبر ضمن النظام $(SiO_2-Al_2O_3-CaO)$ والذي يشجع على تكوين بلورات من المولاييت واطوار زجاجية متبلورة تؤدي الى زيادة كثافة الخرسانة الحرارية. بلغت نسبة الزيادة في كثافة الخرسانة الحرارية عند زيادة نسبة السليكا الرغوية غير المكثفة من ٢% الى ٩% مع فلوريد الالمنيوم وسليكات الصوديوم كعوامل مشتتة ١٨,٤% و ٧,٥% على التوالي. يبدو تأثير العامل المشتت من الشكلين ادناه حيث نحصل على خرسانة حرارية اقل كثافة باستخدام سليكات الصوديوم كعامل مشتت ولكلا النوعين من السليكا الرغوية وقد يعزى سبب ذلك الى ان املاح الفلزات القلوية مثل الصوديوم والبوتاسيوم تولد طوراً سائلاً عند تفاعلها مع السليكا مما يعمل على تكوين بلورات اقل كثافة منها في حالة استخدام فلوريد الالمنيوم الذي يحفز عمل التفاعلات ضمن الطور الصلب.



الشكل رقم (٣) العلاقة بين الكثافة الكلية للخرسانة الحرارية الخالية من السمنت ونسبة السليكا الرغوية غير المكثفة



الشكل رقم (٤) العلاقة بين الكثافة الكلية للخرسانة الحرارية الخالية من السمنت ونسبة السليكا الرغوية المكثفة

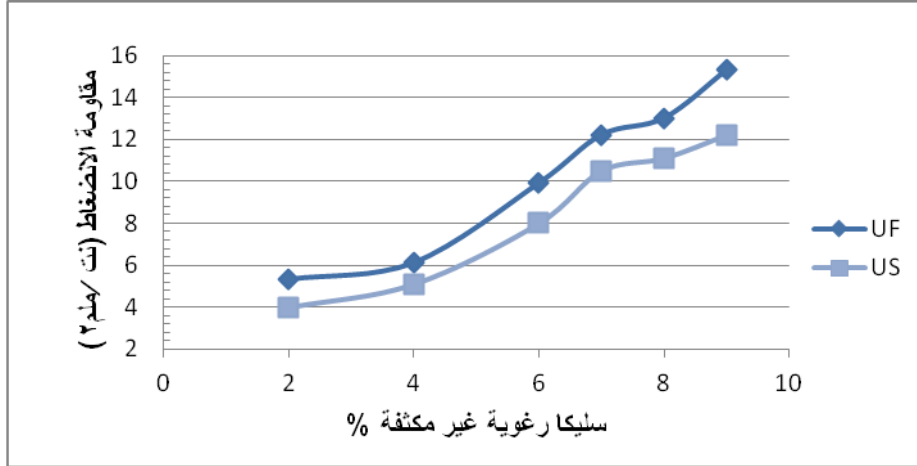
٣-٥ الصدمة الحرارية (مقاومة التشطي)

ابتد جميع نماذج الخرسانة الحرارية الخالية من السمنت مقاومة جيدة للتشطي حيث لم يتم ملاحظة حدوث التشققات بالعين المجردة. وهذا بسبب الروابط الهلامية التي تكونها السليكا الرغوية والتي تكون مسؤولة عن استيعاب الاجهادات الحاصلة عند التغير المفاجيء في درجة الحرارة.

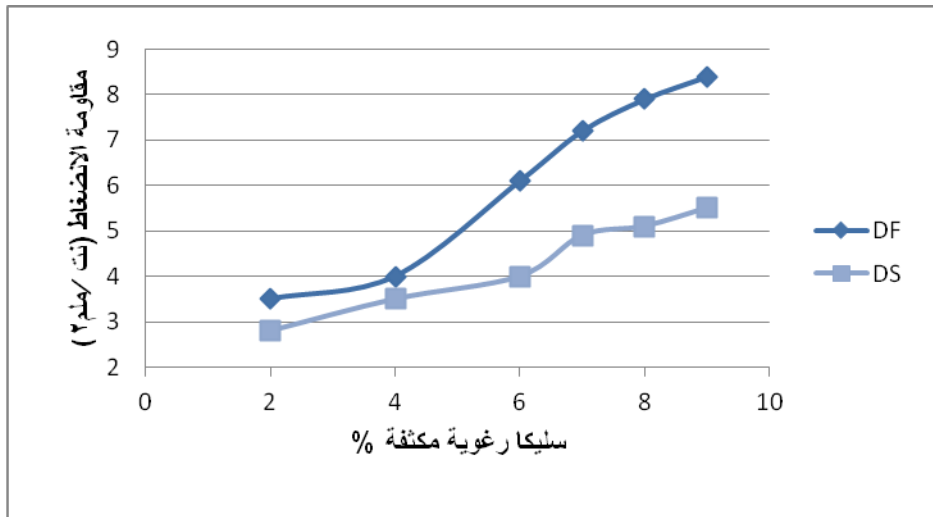
الشكلين (٥) و(٦) توضح مقاومة الانضغاط للخرسانة الحرارية بعد التعرض الى دورات من التسخين والتبريد. توضح الاشكال ان مقاومة الانضغاط للخرسانة الحرارية الحاوية على سليكا غير مكثفة تبقى اعلى من نظيرتها المكثفة وخاصة عند استخدام فلوريد الالمنيوم كعامل مشنت. يمكن تفسير ذلك من خلال نظرية تكوين الجيلاتين في الخرسانة الحرارية حيث تتكون روابط الـ (siloxane) بعد ازالة الماء في عملية التجفيف وهذه الروابط الهلامية الكيميائية هي المسؤولة عن المقاومة العالية للخرسانة الحرارية. عند التعرض الى درجات حرارية عالية سوف يتحرر الماء المتحد كيميائيا المتبقي ضمن مركبات الخرسانة الحرارية الحاوية على السليكا وهذا يعني روابط هلامية اكثر من الـ siloxane والذي يعمل على زيادة مقاومة هذه الخرسانة للتشطي عند تعرضها الى تغير حراري مفاجيء.

بلغت نسبة الانخفاض في مقاومة الانضغاط للخرسانة الحرارية الخالية من السمنت والحوية على سليكا رغوية غير مكثفة بنسبة ٩% وفلوريد الالمنيوم كعامل مشنت بلغت ١١,٦% في حين كانت في السليكا الرغوية المكثفة ١٤,٣%. أن نسبة

الانخفاض في مقاومة الانضغاط كانت اعلى للسليكا الرغوية المكثفة ويمكن ايعاز ذلك الى المساحة السطحية العالية للسليكا غير المكثفة والتي توفر روابط هلامية اكبر قادرة على مقاومة الاجهادات الناتجة عن التغير الحراري المفاجي بشكل اكبر.



الشكل رقم (٥) العلاقة بين مقاومة انضغاط الخرسانة الحرارية الخالية من السمنت ونسبة السليكا الرغوية غير المكثفة بعد التعرض الى ٢٠ دورة من التسخين والتبريد



الشكل رقم (٦) العلاقة بين مقاومة انضغاط الخرسانة الحرارية الخالية من السمنت ونسبة السليكا الرغوية المكثفة بعد التعرض الى ٢٠ دورة من التسخين والتبريد

الاستنتاجات

١. إمكانية انتاج خرسانة حرارية خالية من السمنت باستخدام السليكا الرغوية وعوامل تشتت متوفرة محليا.
٢. تزداد مقاومة الانضغاط بنسبة ١٨٣,٦% والكثافة الكلية بنسبة ١٨,٤% للخرسانة الحرارية الخالية من السمنت باستخدام سليكا رغوية غير مكثفة بنسبة ٩% مع فلوريد الالمنيوم كعامل مشتت، في حين تزداد مقاومة الانضغاط بنسبة ١٦٤,٨% والكثافة بنسبة ٧,٥% باستخدام سليكات الصوديوم كعامل مشتت.
٣. تزداد مقاومة الانضغاط بنسبة ٩٢,١% والكثافة بنسبة ٩,٤% للخرسانة الحرارية الخالية من السمنت باستخدام سليكا رغوية مكثفة بنسبة ٩% مع فلوريد الالمنيوم كعامل مشتت، في حين تزداد مقاومة الانضغاط بنسبة ٥٦,٤% والكثافة بنسبة ٧% باستخدام سليكات الصوديوم كعامل مشتت.
٤. بلغت نسبة الانخفاض في مقاومة الانضغاط بعد التعرض الى ٢٠ دورة من التسخين والتبريد ١١,٦% و ١٤,٣% عند استخدام سليكا رغوية غير مكثفة ومكثفة على التوالي، و فلوريد الالمنيوم كعامل مشتت.

المصادر

١. Anja Teric. Ljubica Pavolic (٢٠٠٩) " **Correlation among Sintering process, Porosity and creep deformation of Refractory Concrete**" J. Mater.Sci ٤٤:pp. ٢٤٨٨-٢٨٥٠.
٢. Lee. W.E, Vieiva W. , Zhang S. , Ghanbari K. , Sorpoolaky H. and Parr C.(٢٠٠١) " **Castable refractory concretes** " International Materials Reviews Vol. ٤٦ No. ٣, pp. ١٤٧-١٦٧.
٣. Evangelista .P, Parr C. ٢٠٠٤ " **Optimization of CAC Based Castables systems for wet shortcreting application in steel ladles**" Refractories Applications and news, Vol. ٩ No. ٣, pp. ١٣-١٨.
٤. Techcommentary ١٩٩٩ " **Elctrochnology use for Drying of Modern Castable Refractories**" Electric Power Research Institute (EPRI), Inc. <http://www.epri.com>.
٥. Khoeini M., Rasteger H. and Hafizpoor H. R. ٢٠١١ " **Perparation of Layer Nano-Silicate/ Alumina Castable Composites**" Journal of American Science, Vol. ٧ No. ٦, pp. ٦٣٠-٦٣٤.
٦. Garrett. P.R. ١٩٩٩ " **Deforming, Theory, and Industrial**" USA, CRC press, pp. ٢٣٩-٢٤٠, ISBN. from <http://www Wikipedia> " **Fumed Silica**".
٧. Bjorn Myhre ٢٠١٠ " **Microsilica in Refractory Castables Surfaces Properties and Set**" presented at IREFCON ٢٠١٠ at Klkata , India in February ٤-٦, ٢٠١٠.
٨. Badiie. S. H., Otraj S. ٢٠٠٩ " **Non-cement Refractory Castables containing nano-silica: Performance, microstructure, properties**" Ceramics- Silikaty, Vol. ٥٣, No. ٤, pp. ٢٩٧-٣٠٢.
٩. Ismael M.R, Dosanjios R.D., Salomao R. and Pandolfelli V.C. ٢٠٠٦ " **Colloidal Silica as a Nano-Structured Binder for Refractory Concrete**" Refractories Applications and News Vol. ١١ No. ٤, July/August ٢٠٠٦, pp. ١٦-٢٠.
١٠. Violeta Matulioniene and Valentin Antonovic ٢٠٠٩ " **Influence of Microsilica Additive on thermal Conductivity of Refractory Fireday-based Castable**" Energetika, Vol. ٥٥, No. ٢, pp. ١١٦-١٢٠.
١١. Regina Kalpokaite-Dickuviene, Kristina Brinkiene, Jūratė Česniene, Algis Makstys ٢٠١١ " **Effect of Fiber and Microsilica Incorporation on High Temperature Resistance of Cementitious Complex Binder**" ISSN ١٣٩٢-١٣٢٠ Materials Science , Vol. ١٧, No. ١.
١٢. Sandbery B. and Mosbery T. ١٩٨٩ " **Use of Elkem Microsilica in Binder Systems for Ultra-low cement Castables and basic 'Cement-Free' Castables**" Ceramic Transactions, Vol. ٤, ١٩٨٩, pp. ٦٩-٧٢.
١٣. Haneen Adil Mohammed ٢٠١٢ " **Effect of Steel Fibers on the Properties of Refractory Concrete without Alumina Cement** " M.Sc. Thesis, University of Baghdad, Civil Engineering Department , January ٢٠١٢.
١٤. ACI committee ٥٤٧R_٧٩ " **Refractory Concrete : Abstract of State-of-Art Report**" (Revised ١٩٨٣ , Reapproved ١٩٨٧).

١٥. ASTM C ٨٦٠ - ٢٠٠٠, "Standard Test Methods for Determining The Consistency of Refractory Castable " Vol. ١٥,٠١.
١٦. ASTM C ٨٦٢ - ٢٠٠١, "Standard Test Methods for Preparing Refractory Concrete Specimens by Casting" Vol. ١٥,٠١.
١٧. ASTM C ٨٦٥-١٩٩٥ "Standard Practice for Firing Refractory Concrete Specimens" Vol. ١٥,٠١.
١٨. ASTM C ١٣٣ - ١٩٩٧, "Standard Test Methods for Cold Crushing Strength and Modulus of Rupture of Refractories Brick and Shapes" Vol. ١٥,٠١.
١٩. ASTM C ٢٠-٢٠٠٠ "Standard Test Method for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity and Bulk Density" Vol. ١٥,١.
٢٠. British Standard Inst: BS ١٩٠٢: Section ٧,٦: ١٩٨٧, "Refractory Materials, Testing of Materials As Performed Test Pieces ".
٢١. Norton, F. H., ١٩٦٨ "Refractories ", ٤th ed, Mc Graw - Hill, p. ١٨١ .