

استعمال الملدنات الفائقة والسليكا فوم لتقليل محتوى السمنت

ياسين علي صالح، مدرس مساعد

قسم الهندسة المدنية-جامعة تكريت

الخلاصة

في هذا البحث تم استخدام الملدنات الفائقة (SP) Superplasticizers والسليكا فوم (SF) Silica Fume لتحسين خواص الخرسانة، بإضافتهما بنسب مختلفة إلى نموذجين من الخرسانة العادية الأولى بنسبة 1:2:4 والثانية بنسبة 1:1.5:3 .

تبين من خلال نتائج البحث إن إضافة السليكا فوم أدت إلى رفع مقاومة الانضغاط بمعدل 45.3% و 47.7% تقريباً بينما أدت إضافة الملدن الفائق إلى رفع مقاومة الانضغاط بمعدل 43% و 41% تقريباً عن الخلطة المرجعية بعمر 7 أيام و 28 يوم على التوالي بالنسبة للخلطة الأولى، بينما في الخلطة الثانية أدت إضافة السليكا فوم إلى رفع مقاومة الانضغاط بمعدل 46.7% و 49% تقريباً بينما أدى إضافة الملدن الفائق إلى رفع مقاومة الانضغاط بمعدل 44% و 43% تقريباً عن الخلطة المرجعية بعمر 7 أيام و 28 يوم على التوالي.

بعد إضافتهما معا تبين أن أعلى مقاومة انضغاط يمكن الحصول عليها عندما تكون نسبة الإضافة بمقدار 5% من السليكا فوم و 3% من الملدن الفائق حيث إنهما أديا إلى رفع مقاومة الانضغاط بمعدل 49.3% و 48.4% تقريباً بالنسبة للخلطة الأولى بينما أديا في الخلطة الثانية إلى رفع مقاومة الانضغاط بمعدل 52.4% و 51.2% تقريباً عن الخلطة المرجعية بعمر 7 أيام و 28 يوم على التوالي.

أما بالنسبة لمقاومة الشد فأن إضافة الملدن الفائق أدى إلى زيادتها عن الخلطة المرجعية بمقدار 29.2% و 31.6% تقريباً بالنسبة للخلطتين الأولى والثانية على التوالي في حين أن إضافة السليكا فوم أدت إلى رفع مقاومة الشد بمقدار 38.1% و 40.3% تقريباً بالنسبة للخلطتين الأولى والثانية على التوالي، بينما تأثيرهما معا في رفع مقاومة الشد اكبر من تأثير كل منهما على حدة وأن أعلى مقاومة شد يمكن الحصول عليها عندما تكون نسبة الإضافة بمقدار 5% من السليكا فوم و 3% من الملدن الفائق، حيث إنهما أديا إلى رفع مقاومة الشد و بزيادة مقدارها 38.9% و 40.7% بالنسبة للخلطتين الأولى والثانية على التوالي .

أما تأثير تغيير محتوى السمنت نتيجة لاستخدام المواد المضافة فيمكن ملاحظة أن أعلى نسبة انخفاض حدثت نتيجة لاستخدام الملدن الفائق بنسبة 3% كانت بحدود 8.7% و 9.35% بينما أعلى نسبة انخفاض حدثت نتيجة لاستخدام السليكا فوم بنسبة 5% كانت بحدود 9.4% و 11.26% بالنسبة للخلطتين الأولى والثانية على التوالي، بعد إضافة كل من الملدن الفائق والسليكا فوم معا بنسبة 3% و 5% على التوالي كانت نسبة الانخفاض بحدود 10.15% و 13.54% بالنسبة للخلطتين الأولى والثانية على التوالي.

الكلمات الدالة

الخرسانة ، تقليل محتوى السمنت ، الإضافات ، الملدنات الفائقة ، السليكا فوم

Using SP and SF to Lower Cement Content

Abstract

In the present research, using different percents of superplasticizer (SP) and silica fume (SF) to improve the characteristics of concrete is performed. SP and SF are added

to two types of normal concrete, the first is of mixing ratio (1:2:4) and the second is of mixing ratio (1:1.5:3).

The results show that adding SF lead to increase compressive strength for first mix by about 45.3% and 47.7% while adding SP lead to increase the compressive strength by about 43% and 41% compared to reference mix at 7 and 28 day respectively. The corresponding values for second mix are 46.7% , 49%, 44% and 43% respectively.

The maximum compressive strength when SP and SF used together can be attained when the percents of SF and SP are 5% and 3% respectively. The increase in compressive strength is about 49.3% and 48.4% for first mix, while the corresponding values for second mix are 52.4% and 51.2% as they compared to reference mix at 7 and 28 day respectively.

For Tensile strength, adding SP lead to increase it by about 29.2% and 31.6% for first and second mix respectively, while the corresponding values when adding SF are 38.1% and 40.3%. The effect of using SP and SF together on increase tensile strength is more than the effect of using each one separately. The maximum tensile strength can be attained when the percents of SF and SP are 5% and 3% respectively as they increase the tensile strength by about 38.9% and 40.7% for first and second mix.

The effect of using admixtures on cement content can be noted clearly as the maximum reduction percents are about 8.7% and 9.35% for first and second mix respectively when the percent of SP is 3%. The corresponding values are 9.4% and 11.26% when the percent of SF is 5%. Using SP and SF together at percents 3% and 5% respectively lead to reduce cement content by about 10.15% and 13.54% for first and second mix respectively.

Keywords: Concrete, Cement Content Reduction, Admixtures, Superplasticizer, Silica fume.

المقدمة

الإضافات هي مواد تضاف إلى الخلطة الخرسانية بكميات قليلة نسبياً لغرض إعطاء الخرسانة الطرية أو المتصلدة خواص معينة.

من أهم الإضافات وأكثرها شيوعاً هي إضافات تخفيض الماء والتي تسمى بالملدنات الفائقة Superplasticizers (SP) حيث تؤدي هذه الإضافات إلى زيادة المقاومة عن طريق تقليل المحتوى المائي للسمنت (w/c) كما تؤدي إلى زيادة قابلية التشغيل بدرجة كبيرة وتقليل النفاذية وتستخدم مع إضافات تحسين اللزوجة للحصول على خرسانة ذاتية الرص Self Compaction .

إن إضافة الملدنات الفائقة لها عدة فوائد على الخرسانة الطرية مثل زيادة قابلية التشغيل بدون إضافة ماء، تقليل نسبة الماء إلى السمنت مع الحفاظ على نفس قيمة الهطول وسهولة ضخ الخرسانة الطرية^[1]. ولكي يصنف الملدن الفائق كملدن فائق ذو مدى واسع (HRWRA) يجب أن يطابق متطلبات ASTM C494 أي أن تكون له قابلية لتخفيض ماء الخلطة على الأقل 12%^[2].

في السنوات الأخيرة كان هناك توجه كبير لاستخدام المواد البوزولانية وخصوصاً بوزولانك سليكا فوم (SF) والتي تضاف كنسبة مئوية جزئية بدلاً من السمنت وبالتالي تؤدي إلى تقليل كمية السمنت وتعطي خرسانة اقتصادية ذات مقاومة عالية ونفاذية قليلة^[3].

ومتانة وقابلية تشغيل عالية مع دراسة إمكانية تقليل محتوى السمنت .

الجانب العملي

إن الجانب العملي لهذا البحث يتضمن إجراء فحص الهطول، مقاومة الانضغاط ومقاومة الشد للخرسانة.

المواد المستخدمة

في ما يلي عرض موجز للمواد المستخدمة في هذا البحث

السمنت

تم في هذا البحث استخدام سمنت بورتلاندي اعتيادي إنتاج معمل بادوش والمبين تفاصيل خصائصه في الجدول رقم (1).

الركام الخشن

تم استخدام حصو اعتيادي غير مكسر مجهز من مقال مدينة تكريت والجدول (2) يبين تدرج هذا الركام والجدول (3) يبين نسبة المواد الضارة.

الركام الناعم

تم استخدام رمل اعتيادي مجهز من مقال مدينة تكريت والجدول (4) يبين تدرج هذا الركام والجدول (5) يبين نسبة المواد الضارة.

الملدن الفائق (SP)

تم استخدام الملدن الفائق (Sikament FFN) المجهز من قبل شركة سيكا العالمية .

السليكا فوم (SF)

تم استخدام السليكا فوم (Sika Fume HR/TU) المجهزة من قبل شركة سيكا العالمية.

إن استخدام الملدنات الفائقة ذات المدى الواسع (HRWRA) بالإضافة إلى السليكا فوم (SF) يؤدي إلى الحصول على خرسانة ذات مقاومة ومتانة عاليتين^[3].

قام محمد محسن عشية^[4] بدراسة إمكانية تقليل محتوى السمنت باستخدام الملدنات الفائقة (SP) وقد توصل بعد إجراء عدة تجارب عملية إلى إمكانية تقليل محتوى الماء بنسبة وصلت إلى 38.5% مع محتوى سمنت 250 كغم/م³ وبمقاومة عالية، مما يدل على إمكانية الحصول على مقاومة عالية باستخدام الملدن الفائق مع تقليل محتوى السمنت (خرسانة اقتصادية) وذلك لكلفة السمنت ضمن مكونات الخرسانة وإن أية إضافات تؤدي إلى تقليل محتوى السمنت دون فقدان في المقاومة سوف تؤدي إلى إنتاج خرسانة اقتصادية .

أوضح مالهورترا وبنتر وبيلوديو (Malhotra, Painter and Bilodeau,1987)^[5] أن إضافة السليكا فوم إلى الخلطة الخرسانية تؤدي إلى زيادة المقاومة بنسبة 30% للأعمار من 3-28 يوم أما في الأعمار المبكرة فلا يوجد هناك فرق كبير بين مقاومة الخرسانة الاعتيادية والخرسانة الحاوية على السليكا فوم. وفي حين أن السليكا فوم لا تؤدي إلى زيادة المقاومة في الأعمار المبكرة بشكل كبير عكس الملدنات الفائقة فأنها تؤدي إلى زيادة المقاومة في الأعمار المبكرة بشكل كبير .

قام احمد عدنان^[6] باستخدام الملدنات الفائقة والسليكا فوم لتحسين مقاومة الخرسانة خفيفة الوزن حيث استخدم أحجار كلسيه خفيفة الوزن بدلا من الركام والتي أدت إلى تقليل مقاومة الخرسانة لذلك قام بإضافة الملدنات الفائقة والسليكا فوم للحصول > 30 خرسانة خفيفة الوزن وذات مقاومة عالية مع إبقاء محتوى السمنت ثابتا.

في هذا البحث تم استخدام الملدنات الفائقة والسليكا فوم للحصول على خرسانة ذات مقاومة

في الخرسانة المرجعية كانت قيم الهطول ضمن القيم المسموح بها في المواصفات أما عند إضافة الملدن الفائق لوحظ زيادة قابلية التشغيل وقيم هطول أكثر من النسبة المسموح بها مما تطلب تقليل نسبة الماء إلى السمنت w/c وأصبحت تتراوح ما بين 0.37-0.30 بينما عند إضافة السليكا فوم مع الملدن الفائق كانت هناك زيادة قليلة بنسبة الماء إلى السمنت بحيث وصلت بحدود 0.40 .

مقاومة الانضغاط

تم دراسة مقاومة الانضغاط للخلطات الخرسانية وذلك بفحص مكعبات بإبعاد 150*150*150 مم بعمر 7 أيام و 28 يوم، وان نتائج الفحص للخلطات المرجعية أظهرت زيادة مقاومة الانضغاط للخلطة 1:1.5:3 بنسبة 23% تقريبا بعمر 7 أيام وبنسبة 25% تقريبا بعمر 28 يوم عن الخلطة 1:2:4 وترجع هذه الزيادة إلى زيادة محتوى السمنت في الخلطة الخرسانية 1:1.5:3 نسبة إلى الركام بنوعية الناعم والخشن .

الأشكال (1, 2, 3 و 4) توضح مدى زيادة مقاومة الانضغاط بعمر 7 أيام و 28 يوم على التوالي بعد إضافة كل من الملدن الفائق والسليكا فوم كلا على حدة حيث يتبين أن تأثير السليكا فوم في رفع مقاومة الانضغاط أكبر من تأثير الملدن الفائق كما يلاحظ أن زيادة مقاومة الانضغاط بعمر 7 أيام تكون أكبر منه في 28 يوم بالنسبة للملدن الفائق وأقل منه بالنسبة للسليكا فوم. حيث إن إضافة السليكا فوم أدت إلى رفع مقاومة الانضغاط بمعدل 45.3% و 47.7% تقريبا عن الخلطة المرجعية بعمر 7 أيام و 28 يوم على التوالي، بينما أدى إضافة الملدن الفائق إلى رفع مقاومة الانضغاط بمعدل 43% و 41% تقريبا عن الخلطة المرجعية بعمر 7 أيام و 28 يوم على التوالي بالنسبة للخلطة الأولى، أما بالنسبة للخلطة الثانية فقد أدت إضافة السليكا فوم إلى رفع مقاومة الانضغاط

تم استخدام ماء صالح للشرب لإنتاج النماذج وإنضاجها .

الخلطة الخرسانية

تم استخدام طريقة المدونة الأمريكية للكونكريت (ACI) الطريقة الوزنيه [7]. تم عمل نموذجين من الخرسانة العادية بدون إضافة أي مواد مضافة وينسب خلط مختلفة الأولى بنسبة 1:2:4 والثانية بنسبة 1:1.5:3 كخلطات مرجعية ومن ثم تم إضافة الملدن الفائق والسليكا فوم إلى الخلطة الخرسانية بنوعيتها كلا على حدة وينسب مختلفة، كما تم إضافتهما معا إلى الخلطة الخرسانية بنوعيتها 1:2:4 و 1:1.5:3 . تم ترميز النماذج حسب نسب الخلط ونوعية ونسبة المواد المضافة الجدول رقم (6) يوضح المواد المستخدمة مع الخلطة المرجعية.

طرق الفحص

لتشخيص خصائص الخرسانة الطرية تم إجراء فحص الهطول بالاعتماد على ASTM C-143 و ASTM C-138 أما لفحوصات الانضغاط والشد فقد تمت بالاعتماد على ASTM C-39 و ASTM C-469 و C-496 بأعمار 7 و 28 يوم.

الإنضاج

تم إنضاج نماذج المكعبات والاسطوانات في حوض ماء صالح للشرب وبدرجة حرارة الغرفة 23 + 1 م ° لمدة 28 يوم قبل إجراء فحص الانضغاط والشد.

النتائج والمناقشة

بعد إكمال الفحوصات المطلوبة تم الحصول على النتائج التالية:

قابلية التشغيل

مقاومة الانضغاط بمعدل 52.4% و 51.2% تقريبا عن الخلطة المرجعية بعمر 7 أيام و 28 يوم على التوالي للخلطة الثانية.

مقاومة الشد

تم تحديد مقاومة الشد غير المباشر (فحص الانشطار) وذلك بفحص اسطوانات بإبعاد 10*20 سم للخلطات الخرسانية بعمر 28 يوم.

يتضح من الشكلان (6 و 7) مدى زيادة مقاومة الشد بعد إضافة كل من الملدن الفائق والسليكا فوم على الخلطة الخرسانية كلا على حدة حيث يتبين أن تأثير السليكا فوم في رفع مقاومة الشد اكبر من تأثير الملدن الفائق حيث أدت إضافته إلى زيادة مقاومة الشد عن الخلطة المرجعية بمقدار 29.2% و 31.6% تقريبا بالنسبة للخلطتين الأولى والثانية على التوالي في حين أن إضافة السليكا فوم أدت إلى رفع مقاومة الشد بمقدار 38.1% و 40.3% تقريبا بالنسبة للخلطتين الأولى والثانية على التوالي.

الشكل (8) يوضح مدى زيادة مقاومة الشد بعد إضافتهما معا على الخلطة الخرسانية حيث أن تأثيرهما في رفع مقاومة الشد اكبر من تأثير كل منهما على حدة وأن أعلى مقاومة شد يمكن الحصول عليها عندما تكون نسبة الإضافة بمقدار 5% من السليكا فوم و 3% من الملدن الفائق، حيث إنهما أديا إلى رفع مقاومة الشد ويزيادة مقدارها 38.9% و 40.7% بالنسبة للخلطتين الأولى والثانية على التوالي.

محتوى السمنت

أوضحت النتائج السابقة زيادة مقاومة الانضغاط عند إضافة المواد المضافة لتزداد بنسبة وصلت في بعض الحالات إلى 50% تقريبا عن الخلطة المرجعية مقترية من قيمة أل 50 ميكاباسكال وهذا مستوى جيد لمن لدية خبرة عملية في مجال تنفيذ المشاريع ، أن القبول بمقاومة انضغاط بحدود 35

بمعدل 46.7% و 49% تقريبا عن الخلطة المرجعية، بعمر 7 أيام و 28 يوم على التوالي، بينما أدى إضافة الملدن الفائق إلى رفع مقاومة الانضغاط بمعدل 44% و 43% تقريبا عن الخلطة المرجعية بعمر 7 أيام و 28 يوم على التوالي. يلاحظ أن نسبة الزيادة مقاومة الانضغاط بعمر 7 أيام تكون اكبر منه في 28 ويعود سبب ذلك إلى أن سرعة تفاعل الملدن الفائق مع مكونات الخلطة الخرسانية تكون أسرع في الأيام المبكرة من عمر الخلطة وهذه الخاصية تكون مهمة وذات اثر كبير في الإسراع بانجاز الأعمال الخرسانية بصورة مبكرة والإسراع في انجاز العمل.

أوضح جودت كاظم عباس وياسين علي صالح [8] من خلال متابعتهم لمراحل أعمار جامعة تكريت بأنها تعاني من مشكلتين أساسيتين هما انخفاض مقاومة الانضغاط للخرسانة المستخدمة بصورة عامة بسبب رداءة الركام المنتج بنوعية من مقالع مدينة تكريت والتأخير في انجاز المشاريع في الوقت المحدد بغض النظر عن الأسباب المؤدية لهذا التأخير لذلك فإن استخدام المواد المضافة قد أصبح ضروريا لغرض معالجة هاتين المشكلتين بصورة حاسمة للمشكلة الأولى وبصورة جزئية بالنسبة للمشكلة الثانية.

الشكل (5) يوضح مدى زيادة مقاومة الانضغاط بعد إضافتهما معا حيث يتبين أن تأثيرهما معا في رفع مقاومة الانضغاط اكبر من تأثير كل منهما على حدة حيث إن أعلى مقاومة انضغاط يمكن الحصول عليها عندما تكون نسبة الإضافة بمقدار 5% من السليكا فوم و 3% من الملدن الفائق كما يلاحظ أن زيادة مقاومة الانضغاط بعمر 7 أيام تكون اكبر منه في 28 يوم ولكلا النوعين. حيث إنهما أديا إلى رفع مقاومة الانضغاط بمعدل 49.3% و 48.1% تقريبا عن الخلطة المرجعية بعمر 7 أيام و 28 يوم على التوالي بالنسبة للخلطة الأولى بينما أديا إلى رفع

الاستنتاجات

من خلال إضافة كل من الملدن الفائق (SP) و السليكا فوم (SF) إلى الخلطة الخرسانية يمكن استنتاج مايلي:

الملدن الفائق (SP)

من خلال ما تم عرضه من نتائج يتضح أن تأثير إضافة الملدن الفائق على الخلطة الخرسانية يتمثل بالنقاط التالية:-

- 1- إن إضافة الملدن الفائق بنسب مختلفة يؤدي إلى زيادة مقاومة الانضغاط وان تأثيره يزداد بزيادة نسبة الإضافة حيث أدت إضافته إلى رفع مقاومة الانضغاط بمعدل 43% و 41% بعمر 7 أيام و 28 يوم على التوالي، مما يعني إمكانية تخفيض محتوى السمنت بحدود 8.7% أي بمقدار 21كغم لكل متر مكعب بالنسبة للخلطة الأولى و بحدود 9.35% أي بمقدار 28كغم لكل متر مكعب بالنسبة للخلطة الثانية
- 2- أن تأثر مقاومة الانضغاط عند إضافة الملدن الفائق تكون اكبر في الأعمار المبكرة من عمر الخرسانة ويقل هذا التأثير بصورة تدريجية بتقدم عمر الخرسانة
- 3- إن تأثير إضافة الملدن الفائق تزداد بزيادة محتوى السمنت في الخلطة الخرسانية .
- 4- إن إضافة الملدن الفائق بنسب مختلفة يؤدي إلى زيادة مقاومة الشد للخرسانة وان تأثيره يزداد بزيادة نسبة الإضافة.
- 5- تزداد قابلية التشغيل بصورة واضحة عند إضافة الملدن الفائق مما يؤدي إلى زيادة الهطول للخلطة الخرسانية وهذا يتطلب بدورة تخفيض نسبة الماء إلى السمنت .

السليكا فوم (SF)

ميكاباسكال كقيمة مرجعية حسب المتطلبات الإنشائية لمعظم المشاريع التقليدية يعد شيئاً جيداً لذلك أصبح بالإمكان تخفيض كمية السمنت من الخلطة الخرسانية مع الاحتفاظ بخواص الخرسانة الأخرى مثل الهطول وتحسين خواص أخرى مثل قابلية التشغيل ونسبة الامتصاص وغيرها عند الفرض بان مقاومة الانضغاط المستهدفة هي 35 ميكاباسكال .

يشير الشكلان (9 و 10) إلى انخفاض في محتوى السمنت بالنسبة للخلطة الأولى والثانية بعد إضافة كل من الملدن الفائق والسليكا فوم كلا على حدة وبنسب مختلفة حيث يلاحظ بالنسبة للخلطة الأولى أن أعلى نسبة انخفاض حدثت نتيجة لاستخدام الملدن الفائق بنسبة 3% كانت بحدود 8.7% أي بمقدار 21كغم لكل متر مكعب بينما أعلى نسبة انخفاض حدثت لاستخدام السليكا فوم بنسبة 5% كانت بحدود 9.4% أي بمقدار 24كغم لكل متر مكعب تقريبا. أما بالنسبة للخلطة الثانية كانت أعلى نسبة انخفاض حدثت نتيجة لاستخدام الملدن الفائق بنسبة 3% كانت بحدود 9.35% أي بمقدار 28كغم لكل متر مكعب بينما أعلى نسبة انخفاض حدثت نتيجة لاستخدام السليكا فوم بنسبة 5% كانت بحدود 11.26% أي بمقدار 34كغم لكل متر مكعب تقريبا.

الشكل (11) يشير إلى انخفاض في محتوى السمنت بالنسبة للخلطة الأولى بعد إضافة كل من الملدن الفائق والسليكا فوم معا بنسبة 3% و 5% على التوالي حيث يلاحظ أن نسبة الانخفاض حدثت نتيجة لاستخدامهما معا ضمن هذه النسب كانت بحدود 10.15% أي بمقدار 30كغم لكل متر مكعب بينما أعلى نسبة انخفاض حدثت نتيجة لاستخدامهما معا 13.54% أي بمقدار 41 كغم لكل متر مكعب تقريبا بالنسبة للخلطة الثانية.

من خلال ما تم عرضه من نتائج يتضح أن تأثير إضافة الملدن الفائق والسليكا فوم على الخلطة الخرسانية يتمثل بالنقاط التالية:-

1- إن إضافة الملدن الفائق والسليكا فوم بنسب مختلفة يؤدي إلى زيادة مقاومة الانضغاط وان تأثيرهما يزداد بزيادة نسبة الإضافة حيث أدت إضافتهما معا إلى رفع مقاومة الانضغاط بمعدل 49.3% و 48.1% تقريبا عن الخلطة المرجعية بعمر 7 أيام و 28 يوم على التوالي، وهذا يعني إمكانية تخفيض محتوى السمنت نتيجة لاستخدامهما معا بحدود 10.15% أي بمقدار 30 كغم لكل متر مكعب بالنسبة للخلطة الأولى ونسبة 13.54% أي بمقدار 41 كغم لكل متر مكعب للخلطة الثانية.

2- إن أعلى مقاومة انضغاط ومقاومة شد يمكن الحصول عليهما عندما يتم إضافة الملدن الفائق والسليكا فوم معا وتكون نسبة الإضافة بمقدار 5% من السليكا فوم و 3% من الملدن الفائق.

3- إن إضافة الملدن الفائق والسليكا فوم بنسب مختلفة يؤدي إلى زيادة مقاومة الشد للخرسانة وان تأثيرهما معا يزداد بزيادة نسبة الإضافة حيث أدى إضافتهما إلى رفع مقاومة الشد بمعدل 38.9% و 40.7% بالنسبة للخلطة الأولى والثانية على التوالي.

المصادر

- 1- ACI- Committee 212, "Guide for the Use of High-Range Water Reducing Admixtures (Superplasticizers) in Concrete", ACI Manual of Concrete Practice, 2004.
- 2- ASTM C494/C494M-04, "Standard and Specification for Chem Admixtures for Concrete", Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.02, 2004.

من خلال ما تم عرضه من نتائج يتضح أن تأثير إضافة السليكا فوم على الخلطة الخرسانية يتمثل بالنقاط التالية:-

1- إن إضافة السليكا فوم بنسب مختلفة يؤدي إلى زيادة مقاومة الانضغاط وان تأثيره يزداد بزيادة نسبة الإضافة حيث أدى إضافة السليكا فوم إلى رفع مقاومة الانضغاط بمعدل 45.3% و 47.7% تقريبا عن الخلطة المرجعية بعمر 7 أيام و 28 يوم على التوالي، مما يعني إمكانية تخفيض محتوى السمنت بحدود 9.4% أي بمقدار 24 كغم لكل متر مكعب بالنسبة للخلطة الأولى و بحدود 11.26% أي بمقدار 34 كغم لكل متر مكعب بالنسبة للخلطة الثانية

2- إن تأثر مقاومة الانضغاط عند إضافة السليكا فوم تكون اقل في الأعمار المبكرة من عمر الخرسانة ويزداد هذا التأثير بصورة تدريجية بتقدم عمر الخرسانة.

3- إن تأثير إضافة السليكا فوم تزداد بزيادة محتوى السمنت في الخلطة الخرسانية.

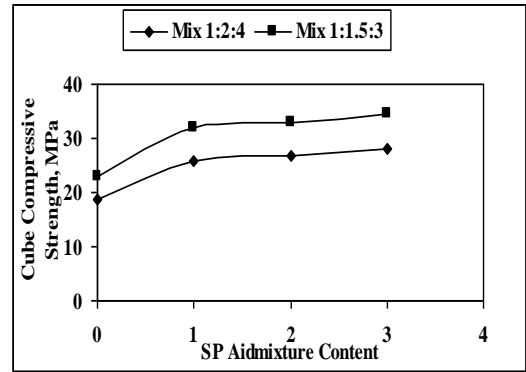
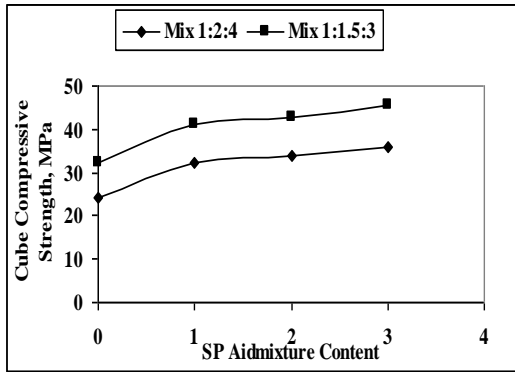
4- إن إضافة السليكا فوم بنسب مختلفة يؤدي إلى زيادة مقاومة الشد للخرسانة وان تأثيره يزداد بزيادة نسبة الإضافة حيث أدى إضافة السليكا فوم إلى رفع مقاومة الشد بمعدل 35.3% و 38.1%

تقريبا عن الخلطة المرجعية بعمر 7 أيام و 28 يوم على التوالي.

5- تزداد قابلية التشغيل بصورة واضحة عند إضافة السليكا فوم مما يؤدي إلى زيادة الهطول للخلطة الخرسانية وهذا يؤدي بدوره إلى تخفيض نسبة الماء إلى السمنت .

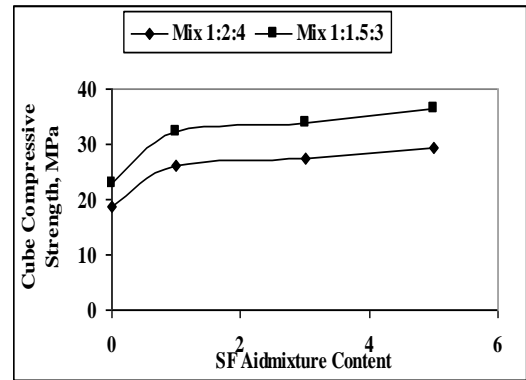
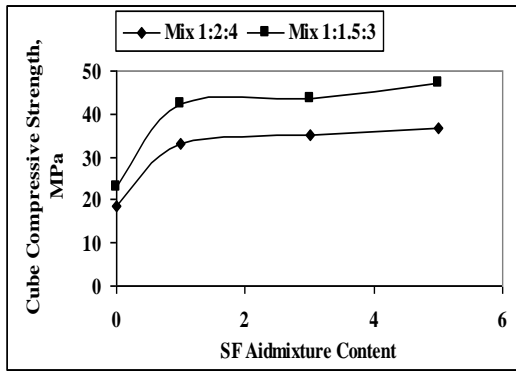
الملدن الفائق (SP) والسليكا فوم (SF)

- 6- Ghanee, Ahmed Adnan, "Dynamic Response of Lightweight Concrete Beams" M. Sc. Tikrit University, College of Engineering, 2010 .
- 7-ACI Committee 211"Standard Practice for Normal, Heavy Weight and Mass concrete" ACI 211.1-91 , ACI 2009.
- 8 - عباس، جودت كاظم وصالح، ياسين علي ، "تأثير المواد المكونة للخلطات الخرسانية المستخدمة في مشاريع أعمار محافظة صلاح الدين على مقاومة الانضغاط"، مجلة تكريت للعلوم الهندسية-العدد 2 ، مجلد 13 لسنة 2006.
- 3- ACI Committee report , "234R-2,2000 .
- 4- عشية ، محمد محسن عشية ، "إمكانية تقليل محتوى السمنت في الخلطات الخرسانية باستخدام المضافات" رسالة ماجستير، جامعة صنعاء، 2009.
- 5- Malhotra, V. M., Painter, K. M., and Bilodeau, A., "Mechanical Properties and Freezing and Thawing Resistance of High-Strength Concrete Incorporating Silica Fume," Cement, Concrete, and Aggregates, V. 9, No . 2, 1987 Year



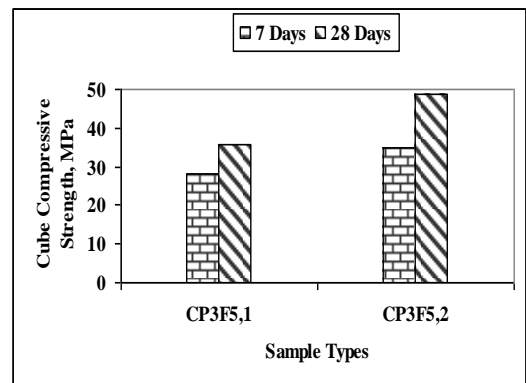
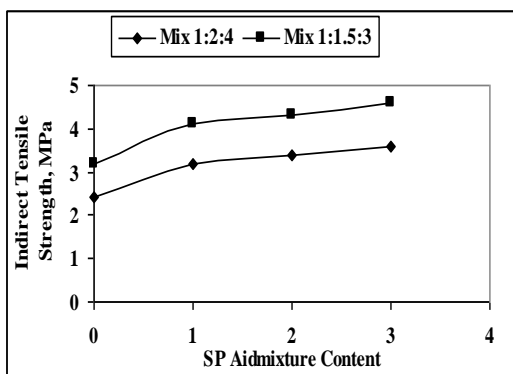
الشكل (2) يوضح تأثير الملدن الفائق على مقاومة الانضغاط بعمر 28 يوم

الشكل (1) يوضح تأثير الملدن الفائق على مقاومة الانضغاط بعمر 7 أيام



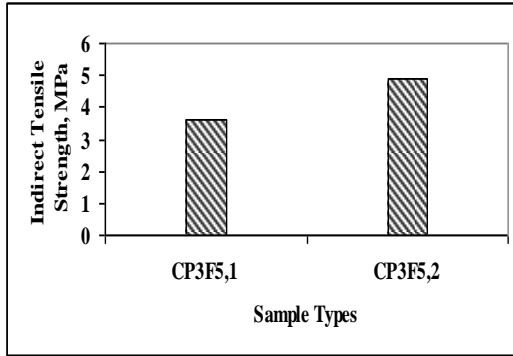
الشكل (4) يوضح تأثير السليكا فوم على مقاومة الانضغاط بعمر 28 يوم

الشكل (3) يوضح تأثير السليكا فوم على مقاومة الانضغاط بعمر 7 أيام

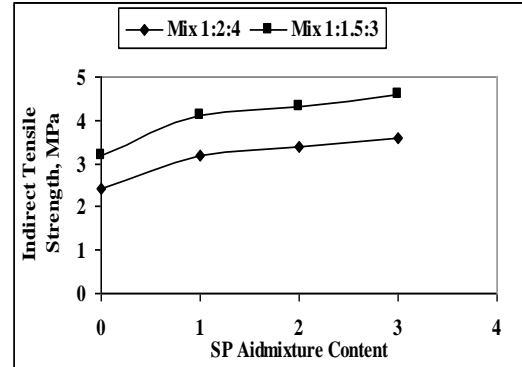


الشكل (6) يوضح تأثير الملدن الفائق على مقاومة الشد

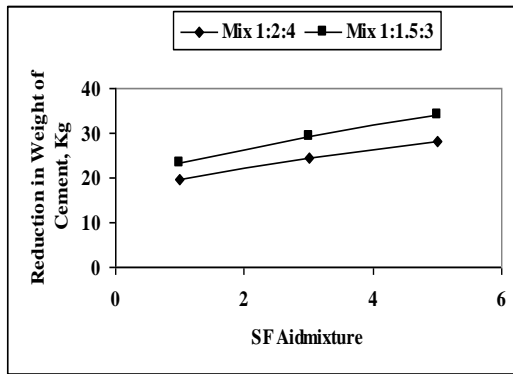
الشكل (5) يوضح تأثير كل من الملدن الفائق والسليكا فوم على مقاومة الانضغاط



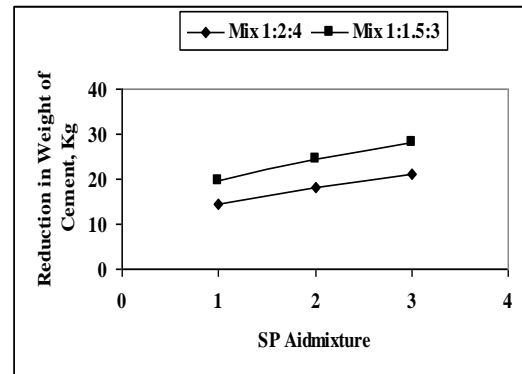
الشكل (8) يوضح تأثير كل من الملدن الفائق والسليكا فوم على مقاومة الشد



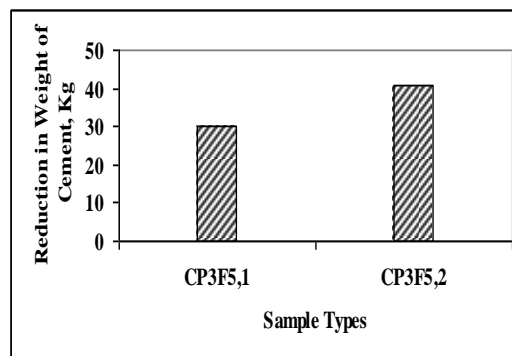
الشكل (7) يوضح تأثير السليكا فوم على مقاومة الشد



الشكل (10) يوضح تأثير السليكا فوم على تقليل محتوى السمنت



الشكل (9) يوضح تأثير الملدن الفائق على تقليل محتوى السمنت



الشكل (11) يوضح تأثير كل من الملدن الفائق والسليكا فوم على تقليل محتوى السمنت

جدول (1) نتائج الفحوصات المخبرية للسمنت المستخدم في البحث

اسم الفحص	النتائج	ق.ع.رقم 45 لسنة 1984
النعومة (م ² /كغم)	251	لا يقل عن 250
وقت التماسك الابتدائي (دقيقة)	80	لا يقل عن 60
وقت التماسك النهائي (ساعة)	6.0	لا يزيد عن 10 ساعة
تحمل الضغط (نيوتن/م ²) بعمر 7 ايام	15.2	لا يقل عن 15
الفقدان عند الحرق %	2.7	لا يزيد عن 4
المواد غير القابلة للذوبان %	1.15	لا تزيد عن 1.5
محتوى ألومينات ثلاثي الكالسيوم%	4.0	لا تزيد عن 8
محتوى ثالث اوكسيد الكبريت%	2.5	لا تزيد عن 2.8
محتوى اوكسيد الحديدك %	3.31	لا تزيد عن 6

جدول (2) النسبة المئوية للركام الخشن (الحصى) المار من كل منخل

حدود المواصفة القياسية العراقية رقم 45 لسنة 1980	المار %	حجم المنخل (م)
100-100	100	50.0
100-95	100	37.5
70-35	65	19.0
40-10	15	9.5
5-0	0	4.75
0	0	0.075

جدول (3) نتائج الفحوصات الكيماوية للركام الخشن (الحصى)

المواصفة القياسية العراقية رقم 45 لسنة 1980	الحصى	الفحص الكيماوي
لا تزيد عن 0.1%	0.0083	المواد الجبسية %
لا تزيد عن 5%	4210.	الأملاح الذاتية الكلية %

جدول (4) النسبة المئوية للركام الناعم (الرمل) المار من كل منخل

م.ق.ع.رقم 45 لسنة 1980					حجم المنخل (ملم)
منطقة تدرج (4)	منطقة تدرج (3)	منطقة تدرج (2)	منطقة تدرج (1)	المار %	
100	100	100	100	100	9.5
100-90	100-90	100-90	100-90	93.5	4.75
100-95	100-85	100-75	95-60	79.6	2.36
100-90	100-75	90-55	70-30	57.5	1.18
100-80	79-60	59-35	34-15	43.5	0.600
50-15	45-15	30-10	20-5	14.4	0.300
15-0	10-0	10-0	10-0	3.8	0.150
5-0	5-0	5-0	5-0	1.6	0.075

جدول (5) نتائج الفحوصات الكيماوية للركام الناعم (الرمل)

المواصفة القياسية العراقية رقم 45 لسنة 1980	الرمل	الفحص الكيماوي
اقل من 0.5	360.0	المواد الجبسية %
اقل من 2	1.14	الأملاح الذائبة الكلية %

جدول (6) يوضح رموز الخلطات الخرسانية

رمز النموذج	نسبة الخلط	%, SP	%, SF
CR1	1:2:4	0	0
CP1,1	1:2:4	1	0
CP2,1	1:2:4	2	0
CP3,1	1:2:4	3	0
CF1,1	1:2:4	0	1
CF3,1	1:2:4	0	3
CF5,1	1:2:4	0	5
CP1F1,1	1:2:4	1	1
CP1F3,1	1:2:4	1	3
CP1F5,1	1:2:4	1	5
F1,12CP	1:2:4	2	1
F3,12CP	1:2:4	2	3
F5,12CP	1:2:4	2	5
F1,13CP	1:2:4	3	1
F3,13CP	1:2:4	3	3
F5,13CP	1:2:4	3	5
CR2	1:1.5:3	0	0
CP1,2	1:1.5:3	1	0
CP2,2	1:1.5:3	2	0
CP3,2	1:1.5:3	3	0
CF5,2	1:1.5:3	0	5
CP1F1,2	1:1.5:3	1	1
CP1F3,2	1:1.5:3	1	3
CP1F5,2	1:1.5:3	1	5
F1,22CP	1:1.5:3	2	1
F3,22CP	1:1.5:3	2	3
F5,22CP	1:1.5:3	2	5
CP3F1,2	1:1.5:3	3	1
CP3F3,2	1:1.5:3	3	3
CP3F5,2	1:1.5:3	3	5

