تأثير السيليكا فيوم على خواص الخرسانة عالية المقاومة

نوري محمد الباشا[1]، مسعود حركات ارحومه[2]، حسن محمد الحديدي[3]

[3،2،1]جامعة صبراتة – كلية الهندسة – قسم الهندسة المدنية

[1]nelbasha@yahoo.com.au

الملخص

لقي استخدام الخرسانة عالية المقاومة اهتماما كبيراً في الآونة الأخيرة؛ لأن استخدام الخرسانة عالية المقاومة يقلل من القطاعات الخرسانية وبالتالي يوفّر مساحات فضاء أكبر داخل المنشآت، ويقلل من وزن المنشأ، ويسمح بزيادة عدد الأدوار، مع تميزها أيضاً بالديمومة والمتانة العالية وقدرتها العالية على التحمل مع الزمن.

في هذا البحث تمت دراسة تأثير اضافة السيليكا فيوم بنسب (20,15,10%) من وزن الأسمنت على خواص الخرسانة عالية المقاومة، ولما كان من الضروري للحصول على خرسانة عالية المقاومة خفض نسبة الماء للأسمنت تم استخدام نسبة ماء للأسمنت (0.30) وتم استعمال الملدن (بلاستوكريت– إن) بنسبة (3.5%) من وزن الأسمنت للمحافظة على قابلية التشغيل المطلوبة.

تم إجراء بعض الاختبارات على الخلطات والعينات الخرسانية وهي اختبار الهبوط واختبار مقاومة الضغط لعدد 48 عينة للأعمار (7, 14, 28, 56 يوم) واختبار مقاومة الشد غير المباشر لعدد 12 عينة بعد 28 يوم واختبار نسبة الامتصاص للخرسانة لعدد 8 عينات. وأظهرت نتائج الاختبارات تحسين جميع خواص الخرسانة عند إضافة السيليكا فيوم مقارنة بالخلطة المرجعية، وكانت أعلى مقاومة ضغط تم الحصول عليها بعد 56 يوم هي (87.8MPa) وذلك عند إضافة السيليكا فيوم بنسبة 15 %، وعند النسبة نفسها زادت مقاومة الشد على الخلطة المرجعية بنسبة (16.19%) بعد 28 يوم.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة عالية المقاومة – السيليكا فيوم – الرماد المتطاير – مقاومة الضغط.

المقدمـــة

ازداد بشكل واسع استخدام الخرسانة في جميع المنشآت والمباني السكنية والخدمية، حيث يستخدم في انشائها خلطات خرسانية تقليدية ذات مقاومة متوسطة، وكنتيجة للزيادة المطردة في أعداد السكان، تم التوجه إلى التوسع الرأسي في المباني لتميزه عن التوسع الأفقي في صغر المساحات المشغولة مع

إيوائه أعداد أكبر من السكان أو الموظفين أو غيرهم، وبهذا انتشرت العديد من المباني العالية في أغلب دول العالم. ولكي تكتمل الفائدة المرجوة من التوسع الرأسي وللوصول إلى الاستغلال الأمثل للمساحات المشغولة، يكون من الأفضل استعمال خلطات خرسانية عالية المقاومة، وبشكل خاص في أعمدة المباني، وهذا من شأنه تقليص مقاطع الأعمدة، وبالتالي توفير مساحات فضاء أكبر داخل المنشآت مع إمكانية زيادة عدد الأدوار.

وتعد الخرسانة عالية المقاومة نوع جديد نسبياً من أنواع الخرسانة، تطورت بشكل تدريجي عدة سنوات، ومع التطور الحاصل عبر مرور الزمن فقد تغيرت كذلك المفاهيم المتعلقة بها، ففي الخمسينات كانت الخرسانة ذات المقاومة (34MPa) تعد عالية المقاومة وفي الستينيات تم استخدام خرسانة ذات مقاومة (52MPa) وفي السبعينيات تم إنتاج خرسانة ذات مقاومة (62MPa) وحديثاً تم الوصول إلى مقاومة ضغط (140MPa) وتم استخدامها في بعض الأبنية العالية في العالم (محمود إمام، 2002).

ومن الإضافات المستخدمة للحصول على خرسانة عالية المقاومة مادة السيليكا فيوم و هي من المواد البوزولانية التي تضاف للخلطات الخرسانية وهي منتج ثانوي من عملية إنتاج معدن الفيروسيليكون في الأفران الكهربائية القوسية حيث يتم الحصول عليها من الدخان المتصاعد من خلال مداخن الأفران بواسطة عملية التكثيف، وتحتوي هذه المادة على نسبة عالية جداً من أكاسيد السيليكون تصل الي 97%، وعند إضافتها للخلطة الخرسانية تتفاعل أكاسيد السيليكون مع هيدروكسيد الكالسيوم الحر الناتج من عملية إماهة الأسمنت وتنتج مركب (هيدرات سيليكات الكالسيوم) بكميات كبيرة وبالتالي تساعد في زيادة مقاومة الضغط بشكل كبير (ACI,1992).

وفي هذا البحث تم استبدال الأسمنت جزئياً بالسيليكا فيوم بنسب (20,15,10 %) لمعرفة مدي تأثير هذا الاستبدال على قابلية التشغيل ومقاومة الضغط ومقاومة الشد ونسبة الامتصاص للخرسانة عالية المقاومة وأيضاً لمعرفة النسبة المثلى لإضافة هذه المادة.

البرنـــــامج العملي

المواد المستخدمة

الأسمنت

تم استخدام الأسمنت البورتلاندي العادي محلي الصنع (زليتن) نوع N42.5 وهو مطابق للمواصفات القياسية الليبية (المواصفات القياسية الليبية، 2002).

الركام الناعم

تم استخدام الرمل المتوفر محلياً من منطقة زليتن، تم إجراء اختبار التدرج الحبيبي بموجب المواصفة القياسية الليبية كما هو موضح بالجدول (1). وقد أجريت الاختبارات الفيزيائية طبقاً للمواصفة الليبية؛ حيث كان الوزن النوعي له (2.67) أما سعة الامتصاص فكانت (1.01%)، وتبين أنه مطابق للمواصفات القياسية الليبية.

الجدول (1): التدرج الحبيبي للركام الناعم

مقاس فتحة المنخل مم	النسبة المئوية المحجوزة	النسبة المئوية المارة	حدود المواصفات
5.00	0	100	100
2.36	0.3	99.7	100-80
1.18	1.2	98.8	100-70
0.6	35	65	100-55
0.3	75	25	70-5
0.15	99.6	0.4	15-0

الركام الخشن

تم استخدام ركام خشن محلي (ركام رأس الأفعى) وهو ركام غير منتظم الشكل ومقاسه الاعتباري الأكبر 20mm وتم إجراء اختبار التدرج الحبيبي بموجب المواصفة القياسية الليبية كما موضح بالجدول (3)، وكذلك أجريت الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية طبقاً للمواصفات الليبية الموضحة في الجدول (2)، واتضح أن الركام المستخدم مطابق للمواصفات القياسية الليبية.

الجدول (2): نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن

الاختبار	النتائج	رقم المواصفة الليبية
الوزن النوعي	2.64	256
سعة الامتصاص	0.68	256
معامل الصدم	%11.56	255

الجدول (3): التحليل المنخلي للركام الخشن

مقاس فتحة المنخل (مم)	وزن المحجوز (جم)	الوزن التراكمي للمحجوز (جم)	النسبة المئوية للتراكمي المحجوز %	النسبة المئوية للمـــار %	حدود المواصفات
37.5	0	0	0	100	100
20	95	95	1.9	98.1	100−90
14	1755	1850	37	63	80−40
10	1100	2950	59	41	60−30
5	2000	4950	99	1	10−0

السيليكا فيوم Silica Fume

تم استخدام سيليكا فيوم من انتاج شركة Sika معبأة في اكياس 5 كجم ويوضح الجدول (4) الخواص الفيزيائية لها، كما يبين الجدول (5) التركيب الكيميائي لها، وتم استخدامها طبقاً للمواصفة الأمريكية (ACI 234 R, 1996).

الجدول (4): الخواص الفيزيائية للسيليكا فيوم (ACI 234 R, 1996)

Property	Value
Particle size (typical)	<1µm
Bulk density (AS-Produced) (Slurry) (Densified)	130-430 kg/m³ 1,320-1,440 kg/m³ 480-720 kg/m³
Specific gravity	2.22
Surface area	13,000-30,000 m²/kg

الجدول (5): التركيب الكيميائي للسيليكا فيوم (ACI 234 R, 1996)

Chemical Composition (%)	
SiO_2	90 – 96
Fe_2O_3	0.07 – 1.9
Al_2O_3	0.5 – 0.8
Na_2O	0.3 – 0.42
K_2O	0.5 –1.3
CaO	0.5
MgO	0.04 – 0.9

الملدنات

تم في هذه الدراسة استخدام الملدنات الفائقة (Super Plasticizers) من صنع شركة Sika نوع بلاستوكريت –إن (Plastocrete-N) وهي إضافة سائلة للخرسانة تعمل ملدنا عالي الكفاءة وعاملا لتقليل نفاذية الخرسانة وهو مطابق للمواصفات الأمريكية ASTM C494-81 type A، و متوفر في السوق الليبي.

الخلطات الخرسانية

تم إجراء العديد من الخلطات التجريبية للتأكد من صلاحية الإضافات المستخدمة وتوافقها مع الأسمنت وباقي مكونات الخلطة للحصول على النسبة الأمثل للملدن التي تعطي التشغيلية المطلوبة، وتم تصميم جميع الخلطات الخرسانية وفقاً للأساسيات التالية، ويوضح الجدول (6) أوزان المواد المستخدمة في هذه الخلطات.

1- محتوى المواد الأسمنتية الرابطة 500 كجم/م^3.

2- نسبة الماء للمواد الأسمنتية الرابطة (w/b) 0.3.

3- نسبة الملدن 3.5% من وزن المواد الأسمنتية.

جدول (6): نسب خلط المواد المستخدمة

رقم الخلطة	الأسمنت (كجم/م^3)	الركام الناعم (كجم/م^3)	الركام الخشن (كجم/م^3)	المـــاء (كجم/م^3)	الملدن (كجم/م^3)	السيليكا فيوم (كجم/م^3)
NC	500	659	1162	150	17.5	0
$S.F_{10}$	450	659	1162	150	17.5	50
$S.F_{15}$	425	659	1162	150	17.5	75
$S.F_{20}$	400	659	1162	150	17.5	100

الاختبارات المعملية

اختبار الهبوط

تم إجراء هذا الاختبار طبقاً للمواصفة القياسية الأمريكية (ASTM 143-78) لقياس قابلية التشغيل للخرسانة.

اختبار مقاومة الضغط

تم إجراء هذا الاختبار طبقاً للمواصفات البريطانية (BS 1881-Part 116) على عيّنات مكعبة الشكل ذات أبعاد (150×150×150 ملم) بعد اكتمال فترة المعالجة ،ثم يتم إخراج العيّنات لتجف مدة 24 ساعة في درجة حرارة المعمل، وبعد ذلك يتم وضع العيّنات في جهاز الاختبار مع مراعاة أن يكون سطح المكعب المعرض إلى الضغط موازيا لسطح آلة الاختبار وعموديا على محورها، وتم في هذه الدراسة إجراء هذا الاختبار على عدد 48 مكعب عند الأعمار (7, 14 ,28, 56) يوم.

اختبار مقاومة الشد الانشطاري

أجري هذا الاختبار وفقاً للمواصفة ASTM C496-2003 على عيّنات اسطوانية الشكل ذات قطر 150ملم وطول 150ملم بعد اكتمال فترة المعالجة يتم إخراجها وتركها لتجف مدة 24 ساعة في درجة حرارة المعمل ثم يتم وضع العيّنة بين رأسي جهاز الاختبار بطريقة أفقية، ثم يتم التحميل تدريجياً حتى حدوث الانهيار، ويتم تسجيل الإجهاد المسبب للكسر وغالباً تنقسم العيّنة إلى جزئين بعد الانهيار، وتم في هذه الدراسة إجراء هذا الاختبار على عدد 12 اسطوانة بعمر 28 يوم.

اختبار نسبة امتصاص الخرسانة للماء

تم إجراء هذا الاختبار طبقاً للمواصفة (BS 1881 Part 122) حيث أجري هذا الاختبار على مكعبين خرسانيين من كل خلطة بإجمالي 8 مكعبات؛ حيث تم تجفيف العيّنات الخرسانية بعمر 28 يوم في فرن كهربائي درجة حرارته 100–105 درجة مئوية مدة 24 ساعة، ثم تركت تبرد مدة ساعتين، ثم وزنت بميزان إلكتروني وهي جافة (W1) ثم غمرت العيّنات مباشرة في الماء مدة 24 ساعة، وأُخرجت بعد ذلك وجفف سطحها بقطعة من القماش، ثم وزنت وهي رطبة (W2) وحُسبت النسبة المئوية للامتصاص كما يلي:

$$\text{Water Absorption \%} = (W2-W1/\ W1)\times 100$$

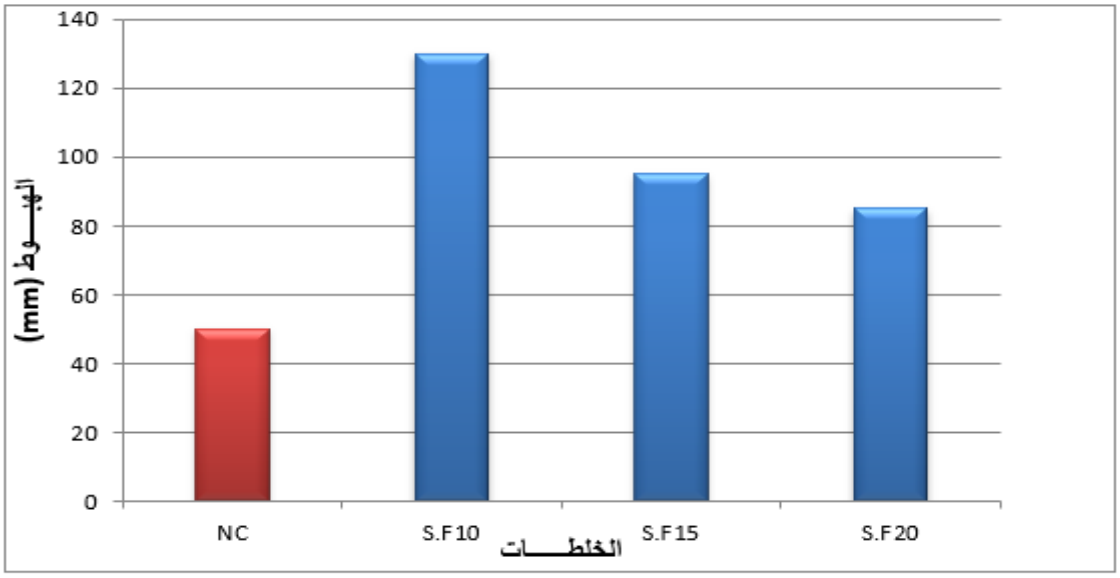
النتائــج والمنــاقشــة

نتائج اختبار الهبوط

الجدول (7) يبيّن نتائج اختبار الهبوط للخلطة المرجعية (NC) وللخلطات التي تحتوي على السيليكا فيوم بنسب (20,15,10%)، وأظهرت النتائج أنه عند إضافة السيليكا فيوم بنسب (20,15,10%) زادت قيمة الهبوط على الخلطة المرجعية بنسب (70,90,160%) على التوالي؛ لأن حبيبات السيليكا فيوم تملأ الفراغات بين حبيبات الأسمنت مما تزيد من قابلية التشغيل وتقلل حاجة الخرسانة للماء، كما نلاحظ من النتائج أيضاً أنه كلما زادت نسبة السيليكا فيوم انخفضت قابلية التشغيل وذلك لصغر حجم حبيبات السيليكا فيوم ودرجة النعومة العالية التي تتمتع بها مما تؤدي إلى امتصاص ماء الخلط بشكل أكبر، ولكن أدى استخدام الملدن في هذه الخلطات إلى الحفاظ على قابلية التشغيل بالشكل المطلوب، ويوضّح الشكل (1) تأثير نسبة استخدام السيليكا فيوم على قابلية التشغيل.

الجدول (7): نتائج اختبار الهبوط للمجموعتين الأولى والثانية

رقم الخلطة	الهبوط (mm)	نسبة الزيادة على الخلطة المرجعية (%)
NC	50	0
S.F10	130	160
S.F15	95	90
S.F20	85	70



الشكل (1): تأثير نسبة السيليكا فيوم على قابلية التشغيل

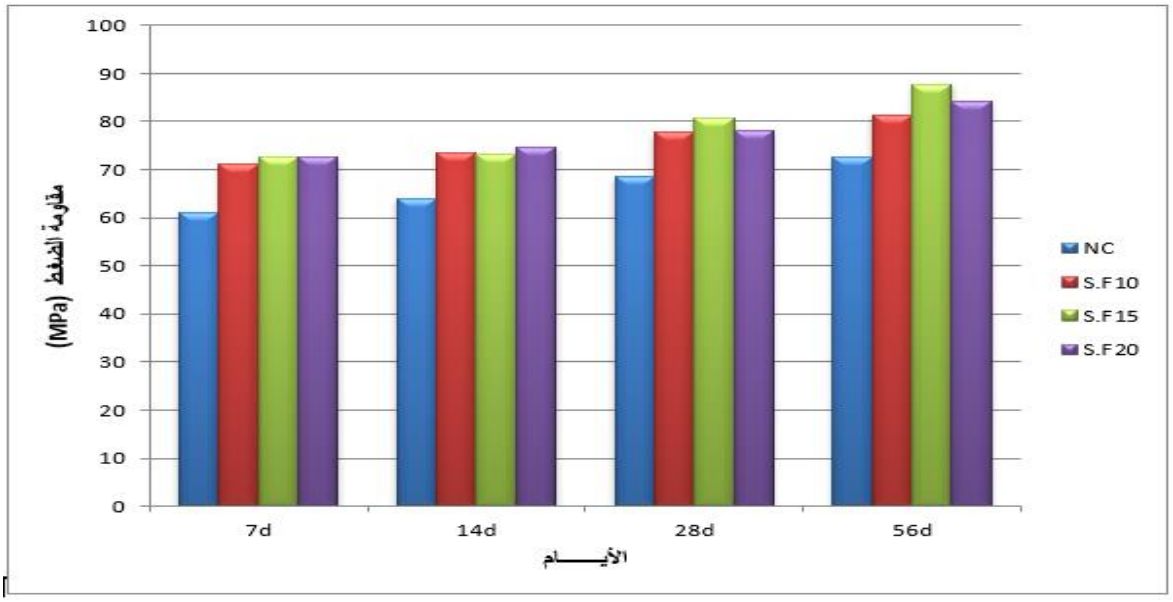
نتائج اختبار مقاومة الضغط

يوضح الجدول (8) نتائج اختبار مقاومة الضغط للخلطة المرجعية (NC) وللخلطات الحاوية على السيليكا فيوم بنسب (20,15,10%) عند الأعمار (56,28,14,7 يوم)؛ حيث أشارت جميع النتائج إلى زيادة مقاومة الضغط على الخلطة المرجعية عند جميع الأعمار بسبب صغر حجم حبيبات السيليكا فيوم التي أدت إلى ملء الفراغات بين حبيبات الأسمنت وكذلك نتيجة للتفاعل البوزولاني لهذه المادة، واحتوائها على نسبة عالية جدا من أكاسيد السيليكون، وكانت أعلى مقاومة ضغط عند إضافة السيليكا فيوم بنسبة 15% من وزن الأسمنت حيث زدات على الخلطة المرجعية بنسبة 17.77% عند 28 يوم وبنسبة 21.01% عند 56 يوم، وهذه النتائج تتفق مع نتائج (Amudhavalli و Mathew 2012)؛ حيث وجدوا أن أعلى مقاومة ضغط تكون عند إضافة السيليكا فيوم بنسبة 15%، كما تتفق هذه النتائج أيضاً مع نتائج (Sata وآخرين ،2004) وجدوا أن أفضل نسبة لإضافة السيليكا فيوم تعطي أعلى مقاومة هي 15% من وزن الأسمنت، ويوضح الشكل (2) تأثير نسبة إضافة السيليكا فيوم على مقاومة الضغط للخرسانة.

الجدول (8): نتائج اختبار مقاومة الضغط

رقم الخلطة	مقاومة الضغط (MPa) ـ (نسبة الزيادة على الخلطة المرجعية %)			
	7 أيام	14 يوم	28 يوم	56 يوم
NC	61 -(0)*	64 -(0)*	68.44 -(0)*	72.55 -(0)*

S.F10	(16.5)- 71.07	(14.92)- 73.55	(13.64)- 77.78	(12.19)- 81.4
S.F15	(18.98)- 72.58	(14.23)- 73.11	(17.77)- 80.6	(21.01)- 87.8
S.F20	(18.83)- 72.49	(16.67)- 74.67	(14.28)- 78.22	(16.08)- 84.22



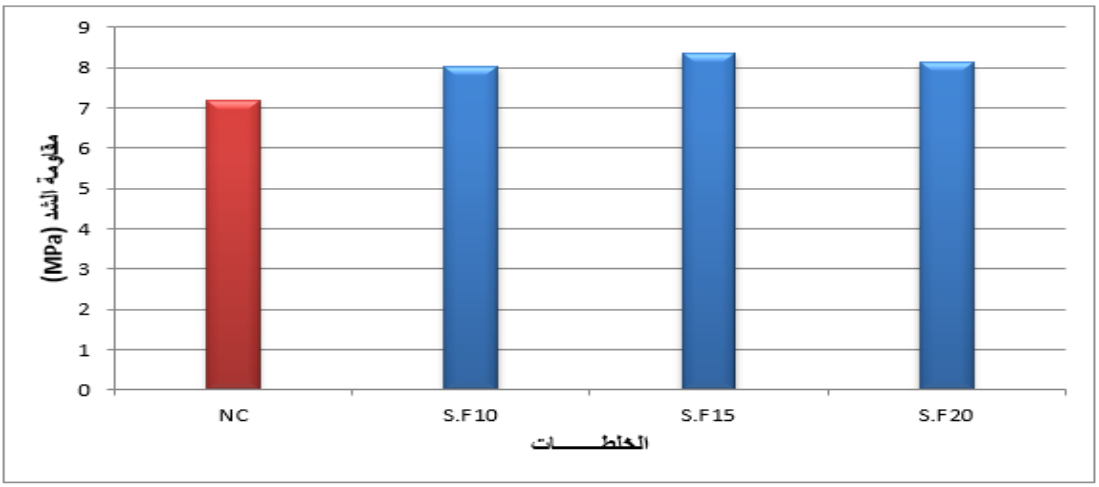
الشكل (2): تأثير نسبة إضافة السيليكا فيوم على مقاومة الضغط

نتائج اختبار مقاومة الشد

يبيّن الجدول (9) نتائج اختبار مقاومة الشد للخلطة المرجعية وللخلطات المضاف إليها السيليكا فيوم بنسب (20,15,10%) من وزن الأسمنت، وقد تم اختبار العيّنات بعد انقضاء 28 يوم في فترة المعالجة، حيث أظهرت النتائج زيادة مقاومة الشد على الخلطة المرجعية لجميع الخلطات بنسب (11.48 ,16.19 ,13.14%) على التوالي كما حدث في اختبار مقاومة الضغط؛ لأن مقاومة الشد تمثّل 10-15% من مقاومة الضغط، وكانت أعلى مقاومة شد هي (8.351MPa) وذلك عند إضافة السيليكا فيوم بنسبة 15% من وزن الأسمنت، ويوضّح الشكل (3) تأثير تغيير نسبة السيليكا فيوم على مقاومة الشد بعد 28 يوم.

الجدول (9): نتائج اختبار مقاومة الشد

رقم الخلطة	مقاومة الشد بعد 28 يوم (MPa)	نسبة الزيادة على الخلطة المرجعية (%)
NC	7.186	*0*
S.F10	8.011	*11.48*
S.F15	8.351	*16.19*
S.F20	8.134	*13.14*



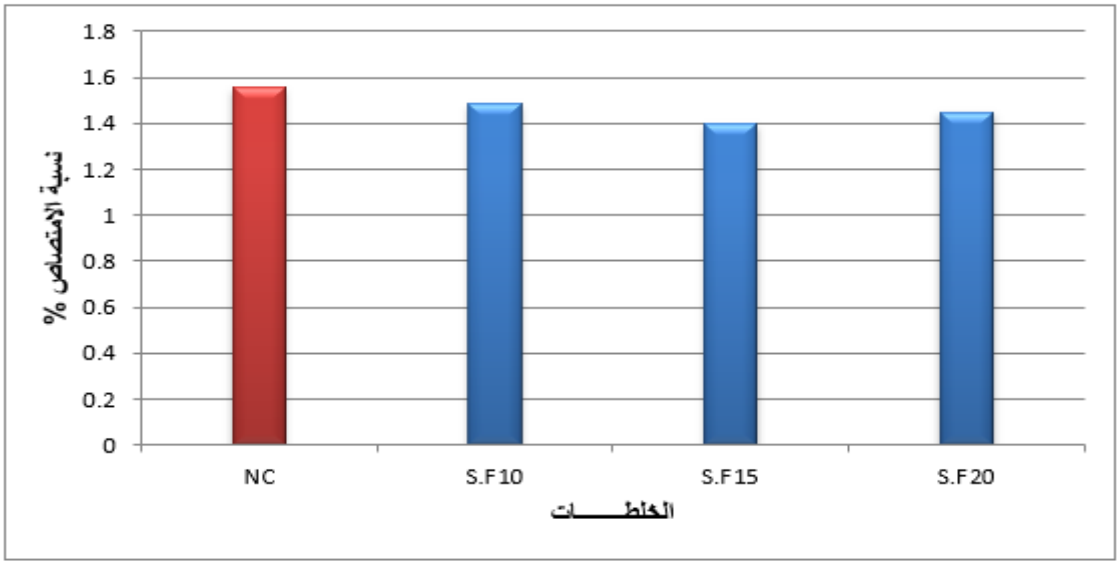
الشكل (3): تأثير نسبة السيليكا فيوم على مقاومة الشد بعد 28 يوم

نتائج اختبار نسبة الامتصاص

يوضّح الجدول (10) نتائج اختبار الامتصاص للخلطة المرجعية والخلطات التي تحتوي على السيليكا فيوم ؛ حيث أدّت إضافة السيليكا فيوم بنسب (20,15,10%) إلى انخفاض نسبة الامتصاص على الخلطة المرجعية بنسب (4.75, 10.41 ,7.069%) على التوالي؛ وذلك بسبب الصغر المتناهي لحجم حبيبات السيليكا فيوم التي تقلل من عدد المسامات وتجعل التركيبة الأسمنتية أكثر تجانساً مما يؤدي إلى خفض نسبة امتصاص الخرسانة للماء، وقد كانت أفضل نسبة أدت إلى انخفاض الامتصاص عند استبدال 15% من وزن الأسمنت بالسيليكا فيوم ؛حيث كانت نسبة الامتصاص (1.394%)، ويوضّح الشكل (4) تأثير نسبة السيليكا فيوم على امتصاص الخرسانة للماء بعد 28 يوم.

الجدول (10): نتائج اختبار الامتصاص

رقم الخلطة	نسبة الامتصاص %	النقصان في نسبة الامتصاص مقارنة مع الخلطة المرجعية %
NC	1.556	*0*
S.F10	1.482	*4.75*
S.F15	1.394	*10.41*
S.F20	1.446	*7.069*



الشكل (5): تأثير نسبة السيليكا فيوم على انخفاض نسبة الامتصاص

الاستنتاجات

بناء على نتائج الاختبارات للخلطات والعيّنات التي تم تنفيذها في هذه الدراسة تم التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

1- عند إضافة السيليكا فيوم تزيد قابلية التشغيل على الخلطة المرجعية، ولكن كلما زادت نسبة الإضافة انخفضت قيمة الهبوط بفضل وجود الملدن.
2- تزداد مقاومة الضغط عند اضافة السيليكا فيوم على الخلطة المرجعية عند جميع النسب وجميع الأعمار وكانت أعلى مقاومة ضغط عند استبدال الأسمنت بنسبة 15% بالسيليكا فيوم.

3- تزداد مقاومة الشد عند إضافة السيليكا فيوم على الخلطة المرجعية، وكانت أفضل مقاومة شد تم التحصل عليها عند إضافة 15 % من السيليكا فيوم.

4- تنخفض نسبة الامتصاص عند إضافة السيليكا فيوم على الخلطة المرجعية، وكانت أقصى نسبة انخفاض عند إضافة 15% من السيليكا فيوم.

5- عند اختبار مقاومة الضغط كان كسر العيّنات يحدث بشكل مفاجئ وانهياري وذلك بسبب أن الكسر في الخرسانة عالية المقاومة يكون خلال الركام الخشن وليس حوله كما في الخرسانة التقليدية.

المراجع

1- المراجع العربية

- محمود إمام ـ الأنواع المختلفة (الخاصة) من الخرسانة (2002).

- المواصفات القياسية الليبية للأسمنت والركام (2002).

2- المراجع الاجنبية

- ACI 363 R, 92 State – Of – The Art Report on High- Strength Concrete.

- ACI 234 R – 96. Guide for The Use of Silica Fume in Concrete. By ACI Committee 234.

- Amudhavalli, N.K. and Mathew, J. (2012) Effect of Silica Fume on Strength and Durability Parameters of Concrete. International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies, August (2012).

- Sata, V., Jaturapita C. and Kiattikomol, K. (2004). Utilization of Palm Oil Fuel Ash in High Strength Concrete. Journal of Materials in Civil Engineering. (ASCE)0899-1561(2004) 16:6 (623).