دراسة تـأثير الملدنـات الفـائقة على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلبة

د. حسن محمد عبدالله

قسم الهندسة المدنية– كلية الهندسة – صبراته

جامعة الزاوية

ملخص:

أصبحت الإضافات الخرسانية وكيماويات البناء من العلوم الأساسية في مجـــال هندســـة التشييد والبناء، وتقاس حضارة الأمم وتطورها بمدى استخدامها لهذه المواد الحديثـــة، حيـــث إن هذه المواد تزيد من العمر الوظيفي للمنشآت الخرسانية، مما يؤثر تأثيراً إيجابياً على اقتصـــادها القومي.

وللإضافات الخرسانية استخدامات عديدة، سواء كان استخدامها في عمليات الخلط بالموقع أو في مصانع الخرسانة الجاهزة أو الخرسانة سابقة الإجهاد وتطور استخدام الإضافات أيضا حيث دخلت في صناعة مواد البناء كمصانع الطوب والإسمنت لتقليل الفاقد، أو الحصول على إنتاج ذي مقاومة ضغط عالية أو الحصول على مقاومة ضغط مُبكرة. ويجب أن لا ننسى التنبيه أن هذه الإضافات سلاح ذو حدين يجب تطبيقها وفقاً لتعليمات المصنع المرفقة بالنشرة الفنية .

يهدف البحث لمعرفة تأثير الاضافات الكيميائية على الخرسانة الطازجة والمتصلدة ومعرفة الجرعة المثلى الواجب استخدامها وتأثير الجرعات التي تتجاوز الجرعة المسموح بها من قبل المصنع ومدى تأثيرها على مقاومة الضغط، زمن الشك الابتدائي والنهائي وهبوط الخرسانة ونسبة الامتصاص وذلك باستعمال نوعين من الملدن الفائق من شركة سيكا

وخلص البحث إلى انه تتأثر خواص الخرسانة بوجه عام عند استعمال اضافات تفوق الحد المسموح به من قبل المصنع والتي تمثلت في هبوط مقاومة الضغط وتأخر زمن الشك وازدياد ملحوظ في قدرة الخرسانة على الامتصاص وذلك بالمقارنة مع الخلطة المرجعية والتي لم تستخدم فيها اضافات

الكلمات الدالة: خرسانة، ملدنات فائقة، مقاومة ضغط، زمن الشك الابتدائي والنهائي، نسبة الامتصاص

مقدمة:

الإضافات الكيميائية أو الملدنات الفائقة (Superplasticizer) هي مواد غير الرمل والإسمنت والماء تضاف إلى الخلطة الخرسانية أثناء عملية الخلط بكميات صغيرة جداً بغرض

إعطاء الخرسانة الطازجة أو الخرسانة المتصلدة خواص معينة مطلوبة مثل تحسين قابلية تشغيل الخرسانة دون زيادة ماء الخلط، التعجيل أو التأخير في الشك، تحسين القدرة على ضخ الخرسانة، زيادة المقاومة المبكرة للخرسانة وكذلك للحصول على خرسانة غير منفذة للماء أو خرسانة ذات صفات خاصة[1]

يوصي باستعمال هذه الاضافات بالمناطق الحارة مثل ليبيا والتي يتم فيها فقد مياه الخلط بصورة أسرع مما هو عليه بالمناطق معتدلة المناخ وذلك للمحافظة على تشغيلية الخرسانة لأوقات اطول وللمساعدة على تشطيبات جيدة لعناصر المبنى.

لقد قام كل من القروي وعلى[2] بدراسة لمعرفة تأثير الجرعات الزائدة على خواص الخرسانة العادية وذلك بعمل اختبارات على الخرسانة لمعرفة سلوكها ولقد تم دراسة النتائج الناجمة عن حدوث مبالغة والتي قد تكون غير مقصودة في استعمال المركب الكيماوي CORMIX P.7 الذي يضاف إلى الخلطة الخرسانية لتلدينها وأثره على التشغيلية ، وزمن الشك ، وقوة التحمل للخلطات الخرسانية، أظهرت التجارب أن استخدام نسب عالية من المركب ينتج عنه تأخرا في زمن الشك كما أن الهبوط للخلطة الخرسانية يزداد بزيادة نسبة المركب المضاف حيث تصبح عالية الميوهة وشبه سائلة إذا زادت النسبة عن 1.5 % ، وأظهرت التجارب أيضا أن قوة تحمل الضغط للخرسانة تزداد بزيادة نسبة المركب المضاف حتى تصل إلى 0.8 % ثم تبدأ في فقدان قدرتها ويلاحظ أن هذه الظاهرة تتكرر في جميع مراحل عمر الخرسانة.

وقد وجد السعدي[6] أنه بزيادة جرعة الملدن (سيكامنت– ار 2002) تزداد مقاومة الخرسانة إلى حد معين وهو 1% عندها تبدأ المقاومة بالهبوط وقد علل وجود هذه الظاهرة بزيادة جرعة الملدن تزداد عملية النزف والانفصال الحبيبي.

البرنامج العملي:

تم إجراء خلطات تجريبية للتأكد من صلاحية الإضافات المستخدمة وتوافقها مع الإسمنت المستخدم وباقي مكونات الخلطة الخرسانية ومن ثم تم التوصل إلى خلطة خرسانية كان المتغير فيها هو نسبة الاضافات الكيميائية حيث تم استخدام نوعين من هذه الإضافات من إنتاج شركة السيكا (SIKA) والمقارنة فيما بينهما وبين الخرسانة العادية بدون استخدام الإضافات الكيميائية.

تم إعداد خلطة خرسانية تتكون من إسمنت بورتلاندي عادي حسب المواصفات الليبية للإسمنت[3] وركام ناعم وخشن وماء ، وكانت نسب الخلط هي (1:2:3.1) ونسبة الماء إلى الإسمنت 0.4% وكان المتغير هو نوع ونسبة الملدن.

تم استعمال نسب ملدن تتراوح من 0.8 إلى 4% من وزن الإسمنت ، وتم تقسيم البرنامج العملي إلى ثلاث مجموعات وهي كالآتي:

- المجموعة ألأولى خلطة حاوية على إضافات السيكا من نوع (سيكامنت- 163)[4]
- المجموعة الثانية، خلطة حاوية على إضافات السيكا من نوع (سيكامنت- آر2004)[4]
- المجموعة الثالثة، خلطة الخرسانة المرجعية (بدون استخدام إضافات)

الخلطة الخرسانية تتكون من إسمنت بورتلاندي عادي مصنع محليا وركام ناعم تم إحضاره من منطقة زليطن وتم خلطه مع رمل خشن (غرينيليا) للحصول على معامل نعومة متوسطه وتم استخدام ركام خشن مستجلب من محاجر الجبل الغربي، ومياه نقية خالية من الشوائب.

تم استخدام الطريقة الحجمية لتحديد مكونات الخلطة للمتر المكعب من الخرسانة

$$V_w + V_{s+g} + V_{CA} + V_C + V_{si} = 1m^3$$

V_w= حجم الماء، V_{s+g}= حجم الرمل+القرينيليا، V_{CA}= حجم الركام الخشن، V_C= حجم الإسمنت و V_{Si}= حجم الملدن، وتم تحويل المعادلة الحجمية السابقة إلى معادلة وزنية وحساب أوزان مكونات الخلطة بالكيلوجرام:

$$\frac{C(w/c)}{\rho w}+\frac{A_S}{\rho s}+\frac{A_G}{\rho g}+\frac{A_{CA}}{\rho cA}+\frac{C}{\rho c}+\frac{S_i}{\rho si}=1m^3$$

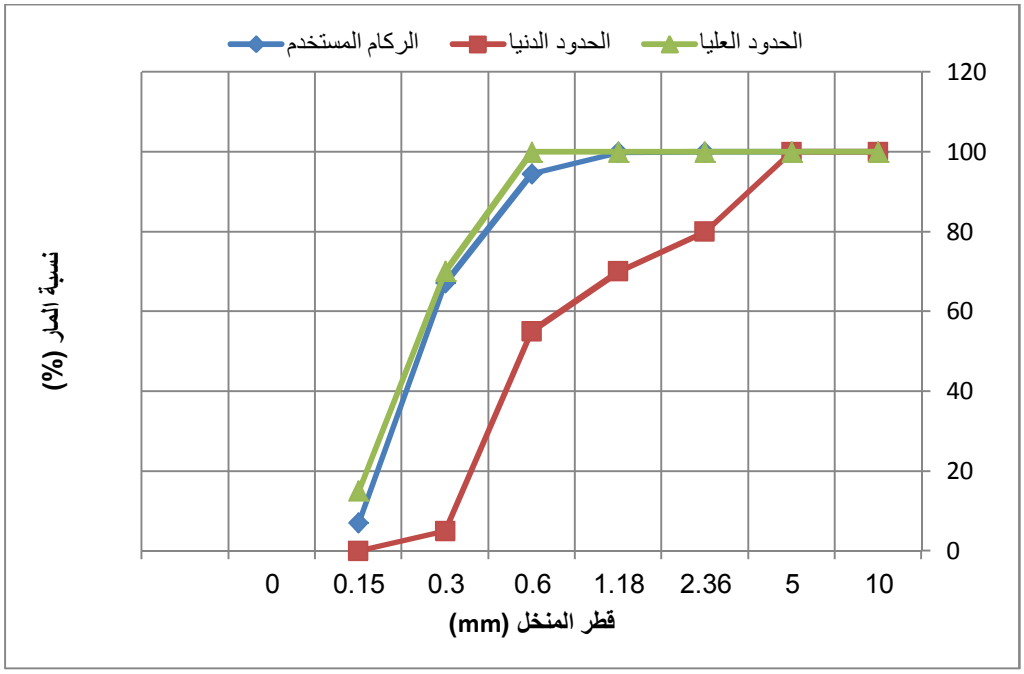
إسمنت = C، ماء = W، رمل ناعم = A_s، قرينيليا = A_g، ركام خشن= A_{CA}

الكثافة (كغ/م^3) = ρ ، الملدن = S_i

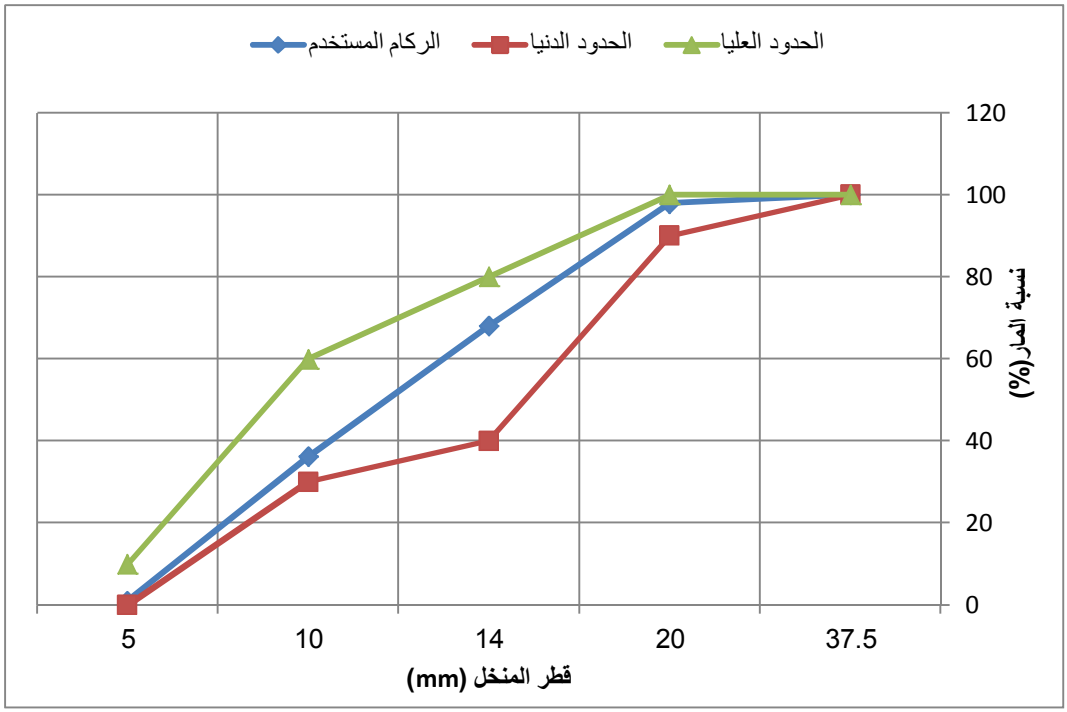
تم تثبيت محتوى الإسمنت بحيث كان 380 Kg للمتر المكعب وكانت كثافة مواد الخلطة الخرسانية كالتالي:

$\rho_S = 2.7Kg/m^3$, $\rho_C = 3.10Kg/m^3$, $\rho_{CA} = \rho_g = 2.65Kg/m^3$, $\rho_{Si} = 2.2Kg/m^3$

للتأكد من مواصفات المواد المستعملة ومطابقتها للمواصفات الليبية والعالمية{5} تم إجراء اختبار التحليل المنخلي والشكل رقم 1 و 2 يوضحان تدرج الركام الناعم الركام الخشن على التوالي.



شكل (1) تدرج الركام الناعم المستخدم وحدود المواصفات



شكل (2) تدرج الركام الخشن المستخدم وحدود المواصفات

الاختبارات:

اختبار الهبوط – Slump test:

تم اجراء اختبار الهبوط طبقا للموصفات الامريكية (ASTM C143-78)[7] وذلك لقياس قابلية التشغيل للخرسانة وهي الخاصية التي تحدد الجهد اللازم لتشغيل كمية من الخرسانة الطرية

اختبار زمن الشك الابتدائي والنهائي – Initial and Final setting:

أجري هذا الاختبار باستخدام جهاز فيكات طبقا للمواصفات الليبية 21/ 72 والغرض من من هذا الاختبار هو معرفة لدونة وزمن تصلد الإسمنت، وكذلك تحديد زمن الشك عند إضافة الملدن للإسمنت وتحديد خواص العجينة الإسمنتية (إسمنت + ملدن)

اختبار مقاومة الضغط – Compressive strength:

مقاومة الضغط من أهم خواص الخرسانة المتصلدة فهي تعبر عن درجة جودتها وصلاحيتها، ومقاومة الضغط هي المقاومة الام للخرسانة حيت إن معظم الخواص والمقاومات الأخرى مثل الشد والانحناء والقص تزيد بزيادة مقاومة الضغط والعكس صحيح . للذلك يجري هذا الاختبار بغرض التحكم في جودة الخرسانة وأجري هذا الاختبار وفقا للمواصفة BS 1881 (part 116, 1983)[8]

اختبار الامتصاص – Water absorption:

يتم هدا الاختبار حسب المواصفة الامريكية ASTM C1585-04[9] بأن تجفف العينات في الفرن بدرجة حرارة (100) تقريبا، ولمدة (24 ساعة) ثم يتم أخد وزنها ويعتبر هدا الوزن الجاف، ومن ثم تغمر العينات في الماء لمدة (24 ساعة) ويتم أخد وزنها ويعتبر هدا الوزن الرطب ، ومن خلال المعادلة التالية يمكن حساب نسبة الامتصاص :

$$\text{نسبة الامتصاص} = \frac{\text{الوزن الرطب} - \text{الوزن الجاف}}{\text{الوزن الجاف}} \times 100$$

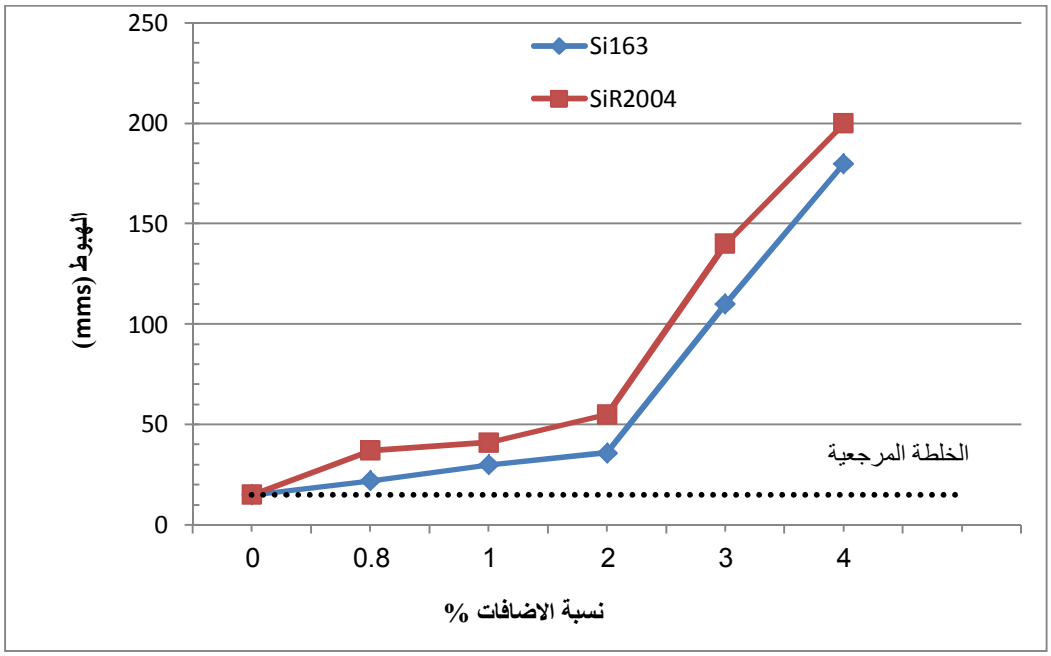
نتائج الاختبارات:

تأثير إضافات الأداء العالي على الهبوط:

نتائج اختبار الهبوط لمادتي (سيكامنت – 163) و (سيكامنت – آر 2004) الموضحة بالجدول رقم (1) حيث لوحظ تغير في قيمة الهبوط مع تغير نوع وجرعة الإضافات المستخدمة كما هو موضح بالشكل رقم (3) .

جدول (1) يوضح قيم الهبوط بالمليمتر

نسبة المضاف %	الهبوط (ملم)	
	سيكامنت – 163	سيكامنت – آر 2004
0.8	22	37
1.0	30	41
2.0	36	55
3.0	110	140
4.0	180	200
0.0	15	15



شكل (3) تأثير الملدن على هبوط الخرسانة الحاوية على مادتي السيكا

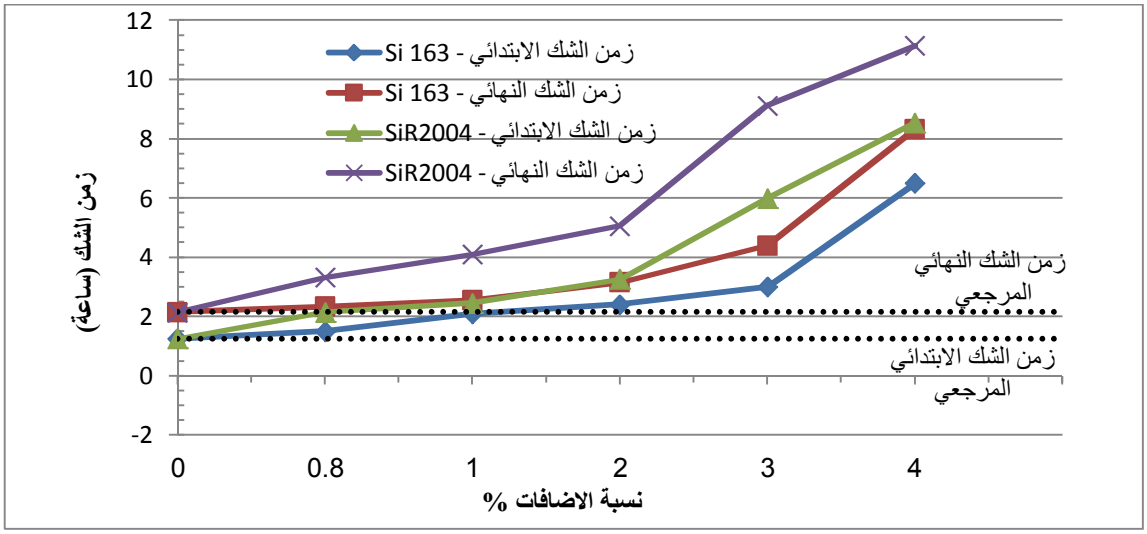
تأثير إضافات الأداء العالي على زمن الشك (الابتدائي والنهائي):

الجدول (2) يوضح نتائج اختبار زمن الشك الابتدائي والنهائي والشكل (4) يوضح تأثير الملدن على زمن الشك الابتدائي والنهائي للنسب المختلفة والمقارنة بالخرسانة غير الحاوية للملدن.

جدول (2) نتائج اختبار زمن الشك (الابتدائي والنهائي)

نسبة المضاف %	زمن الشك (ساعة)			
	سيكامنت – 163		آر 2004	
	الابتدائي	النهائي	*الابتدائي*	*النهائي*
0.80	1.50	2.33	2.15	3.30
1.0	2.10	2.55	2.45	4.11
2.0	2.41	3.15	3.26	5.07
3.0	3.00	4.40	6.00	9.13
4.0	6.50	8.33	8.55	11.15

بدون إضافات	الابتدائي	النهائي
	1.25	2.15



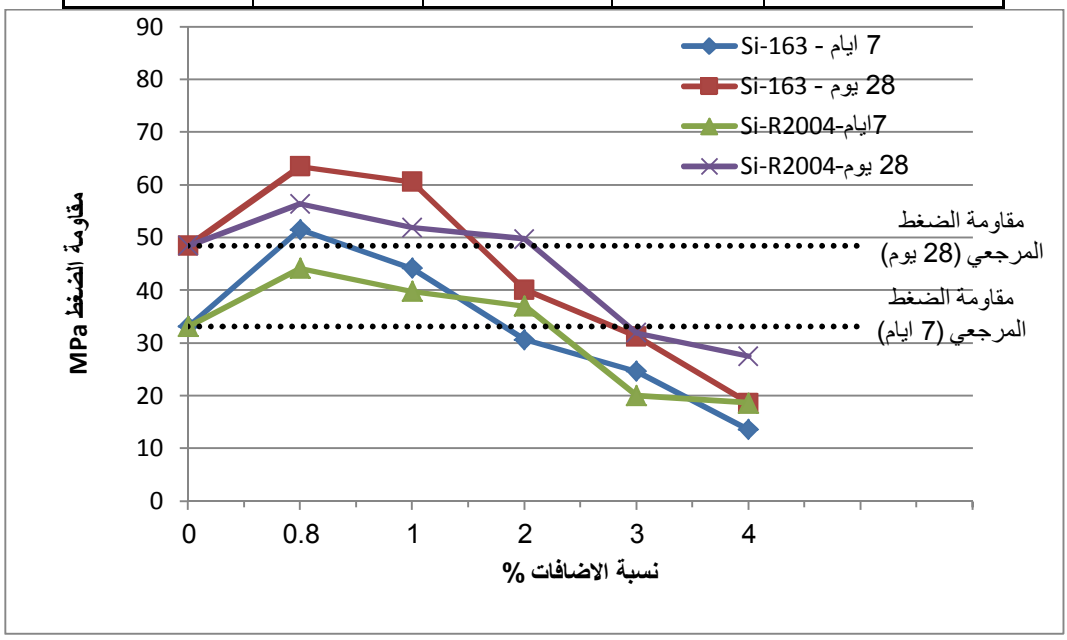
شكل (4) تأثير الملدن على زمن الشك الابتدائي والنهائي

تأثير إضافات الأداء العالي على مقاومة الضغط:

نتائج اختبارات مقاومة الضغط موضحة بالجدول رقم (3) والأشكال (4) و (5) توضح تأثير الإضافات الكيميائية على مقاومة ضغط للخرسانة خلال 7 ايام و 28 يوم .

جدول (3) يوضح قيم مقاومة الضغط لعمر 7 و28 يوم

النسبة المضاف %	سيكامنت – 163		سيكامنت – R2004	
	مقاومة الضغط (MPa)		مقاومة الضغط (MPa)	
	7 أيام	28 يوم	7 أيام	28 يوم
بدون اضافات	33.17	48.47	33.17	48.47
0.8	51.56	63.53	44.2	56.43
1	44.2	60.63	39.8	51.9
2	30.67	40.1	37.03	49.73
3	24.64	31.27	20.03	31.9
4	13.57	18.6	18.6	27.5



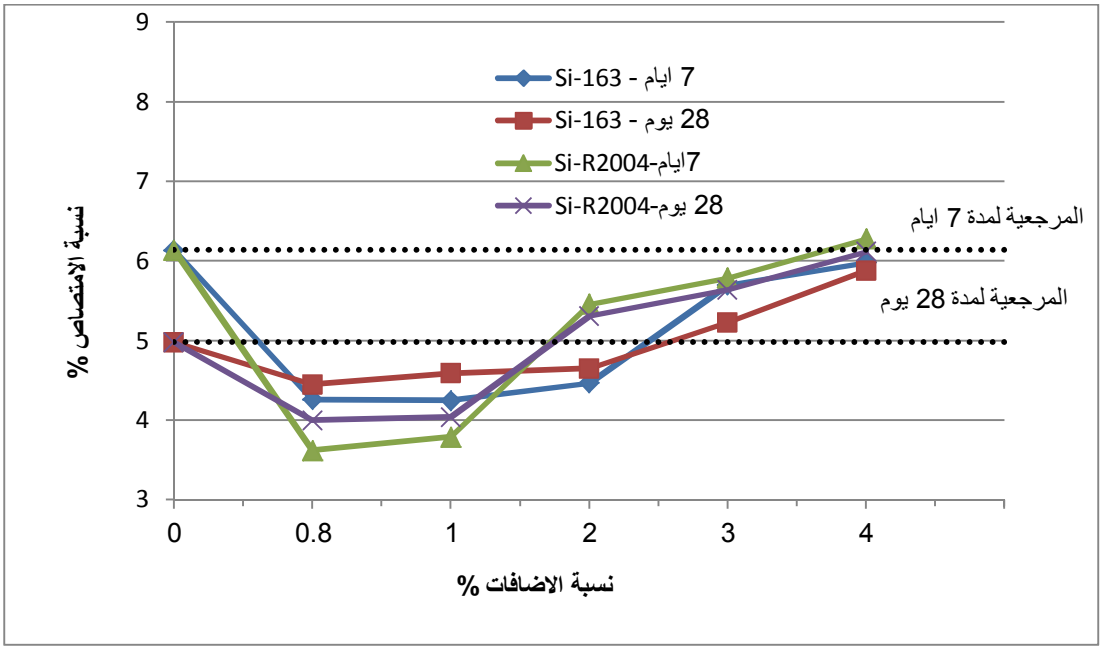
شكل (5) يوضح تأثير إضافات الأداء العالي على مقاومة الضغط

تأثير إضافات الأداء العالي على الامتصاص:

نتائج اختبارات نسبة الامتصاص موضحة بالجدول رقم (4) والشكل (6) يوضح تأثير الإضافات الكيميائية على خاصية امتصاص الخرسانة خلال 7 ايام و 28 يوم

جدول (4) يوضح نتائج اختبار الامتصاص لعمر 7 و28 يوم

النسبة المضاف %	نسبة الامتصاص			
	سيكامنت – 163		سيكامنت – R2004	
	7 أيام	28 يوم	7 أيام	28 يوم
بدون اضافات	6.14	4.98	6.14	4.98
0.8	4.26	4.45	3.62	4
1	4.25	4.59	3.79	4.04
2	4.47	4.65	5.46	5.31
3	5.7	5.23	5.79	5.64
4	5.98	5.88	6.28	6.12



شكل (6) يوضح تأثير إضافات الأداء العالي على خاصية الامتصاص للخرسانة

مناقشة النتائج:

ومن خلال دراسة الشكل رقم (3) ونتائج الاختبارات الموضحة بالجدول رقم (1) يتضح لنا أنه كلما زادت نسبة الإضافات الكيميائية تزيد تشغيلية الخرسانة ، والخرسانة الحاوية على مادة (سيكامنت – آر 2004) كانت قيمة الهبوط بالمليمتر كالتالي 37، 41، 55، 140، 200 بمعنى آخر أنه عند أقل نسبة ملدن وهي 0.8% نتحصل على أقل قيمة هبوط وهي 37 مليمتر وعند اكبر نسبة ملدن نتحصل على اقصى هبوط (200 مليمتر) وهذا ينطبق تماما على النوع الثاني من الملدن سيكامنت 163 مع ملاحظة الزيادة بقيمة الهبوط بنسبة بسيطة مقارنة مع النوع الأول من الملدن.

وبغض النظر عن المادة أو الجرعة المستخدمة فإن قيم الهبوط أعلي من الخرسانة العادية (الخلطة المرجعية) وبزيادة نسبة الإضافات عن 2 % تزيد قيمة الهبوط وتصبح الخرسانة عالية الميوهة وشبه سائلة

تبين النتائج الموضحة بالجدول (4) تأثير إضافات الأداء العالي على نسبة الامتصاص للخرسانة حيث تعتمد النسبة المثالية من الإضافات الكيميائية على أقل نسبة امتصاص ومن خلال النتائج اتضح أن أقل نسبة امتصاص كانت عند نسبة إضافات من المادتين تساوي (0.80%) ومع زيادة نسبة الإضافات تزداد نسبة الامتصاص لهذا يتضح لنا وجود تحسن في خاصية الامتصاص عند استخدام الإضافات الكيميائية مقارنة بالخرسانة العادية كما هو موضح بالشكل رقم (6).

ومن خلال دراسة الشكل (5) والنتائج المتحصل عليها تبين أن الخرسانة الحاوية على مادة (سيكامنت – آر 2004) تعطي مقاومة ضغط أعلي من الخرسانة الحاوية على مادة (سيكامنت – 163) وكانت أعلي قيمة لمقاومة الضغط هي (63.53MPa) لنسبة (0.80 %) .

وبدراسة قيم مقاومة الضغط لكلتا المادتين والنسب المختلفة من الإضافات يتضح أن النسبة (0.80%) كانت أعلي النسب في نتائج مقاومة الضغط وبذلك يمكننا القول بإنها النسبة المثالية عند المحتوى المائي (0.40) في اختبار مقاومة الضغط .

الاستنتاجات:

من خلال النتائج التي تم عرضها ومناقشتها تم التوصل إلى الاستنتاجات التالية :

1. يمكن زيادة قابلية التشغيل للخرسانة باستخدام إضافات الأداء العالي ، ولكن الجرعات العالية من الإضافات تؤدي إلى إضعاف تماسك الخرسانة .
2. يمكن التحكم بزمن شك الخرسانة باستخدام إضافات الأداء العالي ولقد لوحظ أن الخرسانة الحاوية علي مادة (سيكامنت – آر 2004) تؤخر زمن الشك بمعدل أعلى من مادة (سيكامنت – 163) مما يعني الاحتفاظ بقابلية التشغيل لمدة أطول ونقل الخرسانة لمسافة أطول .
3. تزداد مقاومة الضغط للخرسانة الحاوية على إضافات الأداء العالي مقارنة بالخرسانة العادية في حدود نسب معينة من الاضافات ثم تتناقص مقاومة الضغط بزيادة هذه النسب لنفس الخلطة المستخدمة .

   ولقد لوحظ أن الخرسانة الحاوية على مادة (سيكامنت – آر 2004) ذات مقاومة ضغط أعلى من الخرسانة الحاوية على مادة (سيكامنت – 163) .
4. يقل امتصاص الخرسانة عند استخدام إضافات الأداء العالي ، وكلما زادت نسبة الإضافات زادت نسبة الامتصاص . ولقد لوحظ أن الخرسانة الحاوية على مادة (سيكامنت – آر 2004) ذات نسبة امتصاص أقل من نظيرتها الحاوية على مادة (سيكامنت – 163) .

5. ومن خلال الاختبارات وجد أن أفضل نسبة إضافات كانت (0.8%) من وزن الإسمنت وذلك للخلطة المستخدمة ولكلتا المادتين اعتمادا على الهبوط ، مقاومة الضغط ، زمن الشك و نسبة الامتصاص أي أن هناك نسبة إضافات مثالية لكل خلطة خرسانية وبزيادة نسبة الإضافات عن النسبة المثالية يؤدي ذلك إلى آثار عكسية .
6. الاستعمال الأساسي لإضافات الأداء العالي يتمثل في تحسين قابلية التشغيل وزيادة زمن الشك بالإضافة لتحسين بعض الخواص الأخرى مثل مقاومة الضغط ، نسبة الامتصاص عند استعمال إضافات الأداء العالي بنسب محددة ومدروسة .

التوصيات:

على ضوء ما جاء في هذه الدراسة تم اقتراح بعض التوصيات التالية :

1. إجراء المزيد من البحوث لبيان تأثير إضافات الأداء العالي على خصائص الخرسانة ومقارنتها بالخرسانة العادية مع استخدام نسب أخرى من الإضافات ونسب متغيرة من نسبة الماء إلى الإسمنت (w/c) وتحديد النسبة المثالية للإضافات .
2. إجراء دراسة متكاملة على الأنواع الأخرى من الإضافات التي لم تستعمل في البحث .
3. دراسة خواص الخرسانة التي لم تدرس في هذا البحث لبيان تأثير زيادة نسبة الإضافات الكيميائية ، النفاذية ، المسامية ، مقاومة الشد .
4. إجراء عدد أكبر من العينات للحصول على نتائج أدق بالإضافة إلى أعمار عالية من الخرسانة.
5. استخدام أكثر من نوع من الإضافات الكيميائية في نفس الخلطة مثل إضافات الهواء المحبوس ومعرفة توافقها مع الإضافات الاخرى ودراسة تأثيرها على خصائص الخرسانة .

6. إجراء دراسة لمعرفة خواص الخرسانة في حالة استعمال جرعات اقل من الموصي بها .

المراجع:

1. محمود إمام (2002) "تقنية الخرسانة الخواص، الجودة والاختيارات" جامعة المنصورة، مصر، ISBN 977-5069-50-5
2. لطفي عبدالسلام القروي، على محمد على (2002) "حول تأثير الكيماويات المضافة على خواص الخرسانة" المؤتمر الوطني الأول لمواد البناء والهندسة الانشائية / قسم الهندسة المدنية براك ، ليبيا
3. المركز الوطني الليبي للمواصفاتوالمعايير القياسية، المواصفة الليبية القياسية رقم 340 "الإسمنت البورتلاندي العادي" 1997
4. النشرة الفنية – دليل المنتجات لشركة (Sika)
5. المركز الوطني الليبي للمواصفات والمعايير القياسية، المواصفة الليبية القياسية رقم 49 "ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية"،2002
6. Salahaldein .A (2012), "Influence of super plasticizer on strength of concrete", International Journal of Research in Engineering and Technology . Volume. 1 No. 3.
7. American Society for Testing and Materials, ASTM C143-78, Standards Test Method for Determining the Slump of Fresh Concrete

8. BS 1881: part 116 1983, Concrete Testing, Methods of Determination of Compressive Strength. of Concrete cubes, British Standard Institution, London
9. American Society for Testing and Materials, ASTM C1585-04, Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Concrete.