DOI: 10.51984/133C1P46

المؤتمر السادس للعلوم الهندسية والتقنية
The Sixth Conference for Engineering Sciences and Technology (CEST-6)
Conference Proceeding homepage: https://cest.org.ly

دراسة معملية لتحديد النسب الأمثل لبعض أنواع الملدنات الفائقة وتأثيرها على الخواص الميكانيكية للخرسانة الطرية والمتصلبة

نجيب حسن الشريف سويسي و محمد العربي المحروق
كلية الهندسة صبراتة جامعة صبراتة، صبراتة، ليبيا

الملخص

في الآونة الأخيرة زاد الاهتمام بإستعمال الملدنات الفائقة (Superplasticizer) لما لها من فوائد في تحسين أداء الخرسانة سواء على الخواص الطرية أو المتصلبة حيث تعمل بعض منها على زيادة قابلية التشغيل وتأخير زمن الشك الأولي والنهائي للخرسانة للاستفادة منها في الأجواء الحارة أو عند نقل الخرسانة مسافات طويلة، أو يمكن أن تزيد من كثافة الخرسانة وبالتالي تحسين مقاومة الضغط. تهدف هذه الدراسة الى معرفة مدى تأثير إستخدام الملدنات الفائقة على خواص الخرسانة وكذلك تأثير زيادة أو نقص جرعة الملدنات عن حدود المواصفات. حيث تم استخدام خلطة خرسانية مصممة على الطريقة الأمريكية ومضافا إليها مواد الملدنات الفائقة حسب المواصفات القياسية Sika® ViscoCrete® (TEMPO-12) و(Sikament-FF) وبنسب متغيرة (0.5، 1، 2، 4) % من وزن الإسمنت وذلك للمقارنة مع الخرسانة (المرجعية) بدون أي إضافات. وتبين من الدراسة أنه كلما زادت نسب الإضافات لهذه الملدنات ضمن الحدود الموصى بها تزداد مقاومة الضغط للخرسانة مقارنة بالخرسانة العادية (المرجعية) مع ملاحظة أن النسب الأمثل لمادة (Sika®ViscoCrete® TEMPO-12) أعطت مقاومة ضغط أعلى من نظيرتها للنسب الأمثل لمادة (Sikament-FF) مع تناقص في مقاومة الضغط بزيادة هذه النسب. بالإضافة الى ذلك، من خلال نتائج اختبار الهبوط للخرسانة الطرية لمادتي (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12) و(Sikament-FF) تبين ازدياد قابلية التشغيل للخلطة الخرسانية المضاف لها الملدن (Sikament-FF) أكثر من تلك المضاف لها الملدن (Sika® ViscoCrete® Tempo12). من جانب أخر، أظهرت نتائج أختبار نسبة الإمتصاص للخرسانة عند إضافة الملدن (Sikament-FF) الى الخلطة الخرسانية تأثيرا إيجابيا على أنخفاض نسبة الإمتصاص في حين كانت أقل إيجابية عند إضافة الملدن (Sika®ViscoCrete® TEMPO-12). حيث زادت نسبة الإمتصاص للخرسانة مع زيادة نسبة المادة المضافة، وفي كلا الملدنين فقد كان لهما تأثيرا أفضل من العينة المرجعية.

الكلمات المفتاحية:

الملدنات
خواص الخرسانة
نسبة امتصاص الخرسانة للماء
درجة التشغيل
مقاومة الضغط للخرسانة

An Experimental Investigation into the Optimal Dosage of Selected Superplasticizers and Their Influence on the Mechanical Properties of Fresh and Hardened Concrete

Najeb Hasen SH. Sawsi, Mohamed Elarbi Mahroug
Faculty of Engineering, Sabratha University, Sabratha, Libya

KEYWORDS:

Plasticizers
properties of concrete
water absorption rate of concrete
workability
compressive strength of concrete

ABSTRACT

Recently, there has been growing interest in the use of superplasticizers, which offer significant benefits in improving both fresh and hardened concrete properties. These additives can increase workability, extend setting times (helpful in hot weather or for long-distance transportation), and enhance density, which in turn improves compressive strength. This study investigates the effect of superplasticizers on concrete properties, focusing on the impact of varying the dosage beyond the recommended limits. A concrete mix was designed using the american method, incorporating two types of superplasticizers (sika® viscoconcrete® tempo-12) and (sikament-ff) at different percentages (0.5%, 1%, 2%, 4%) of the cement weight. The results were compared to a reference concrete mix without any additives. The findings show that increasing the proportion of superplasticizers within recommended limits led to higher compressive strength compared to the reference mix. Among the superplasticizers tested, (sika® viscoconcrete® tempo-12) yielded a higher compressive strength than (sikament-ff), although strength declined when the additive percentages exceeded the optimal range. In terms of workability, the slump test results indicated that the mix containing (sikament-ff) exhibited greater workability than the mix with (sika® viscoconcrete® tempo-12). Moreover, the absorption test revealed that (sikament-ff) reduced the absorption rate, while (sika® viscoconcrete® tempo-12) showed a slight increase in absorption as the dosage increased. In both cases, superplasticizers improved the concrete properties compared to the reference mix.

1. المقدمة

*Corresponding author:
E-mail addresses: najebsawsi83@gmail.com, (M. E. Mahroug) mhmdmahroug2020@gmail.com.
Article History : Received 13July 2024 - Received in revised form 25 September 2024 - Accepted 21 October 2024

تعتبر الخرسانة أحد أهم مواد البناء الأساسية والتي شهدت تطورا ملحوظا عبر العصور، حيث تتكون من ثلاث مكونات رئيسية هي الاسمنت والركام والماء [1]. الى جانب تلك المواد يمكن إضافة مواد أخرى مثل الملدنات والمواد المضافة الى الخرسانة لتحسين خصائص معينة وفقا للعوامل والظروف المختلفة للمنشآت الهندسية مثل تحسين قابلية التشغيل، التحكم في زمن الشك، زيادة مقاومة الضغط، وتقليل نسبة امتصاص الخرسانة للرطوبة والعوامل البيئية المختلفة [2]. الإضافات الكيميائية هي مواد تضاف الى الخرسانة لتحسين خاصية أو أكثر من خواص الخلطة الخرسانية وأكسابها ميزات تتناسب مع أغراض ومتطلبات البناء. وتطور إستعمال الإضافات في عدة مجالات مثل صناعة الطوب والبلاط والعناصر الخرسانية مسبقة الإجهاد وذلك للحصول على أنواع ذات إجهادات عالية [2]. هناك عدة أنواع مختلفة من الإضافات الكيميائية (الملدنات الفائقة) ومن أهم الأنواع الشائعة منها هي إضافات تقليل المحتوى المائي والتحكم في زمن الشك حيث تعمل على تقليل مياه الخلطة الخرسانية مما يجعلها أكثر متانة في مواجهة الظروف المناخية القاسية. الى جانب ذلك، هناك إضافات لزيادة المقاومة ضد التجمد والصقيع وتسمى إضافات الهواء المحبوس وغيرها من الإضافات الكيميائية كإضافات التحكم في الانكماش وإضافات تلوين الخرسانة وأخرى لمنع نفاذ الماء في الخرسانة. ومن خلال دراسة علمية وجد ان كمية الماء اللازمة لإتمام عملية التفاعل في الخلطة الخرسانية تتراوح (0.22-0.25) % من وزن الإسمنت حسب نوعية ودرجة نعومة الإسمنت، ولكن المشكلة أن هذه النسبة القليلة من الماء تعطي خرسانة جافة جدا صعبة التشغيل، مم يضطر صانع الخرسانة الى زيادة الماء بالقدر الذي يجعل الخرسانة لدنة ذات قابلية عالية للتشغيل. وقد أتضح من الأبحاث والدراسات والتجارب المعملية والخبرة العملية أن نسبة الماء التي تعطي خلطة خرسانية لدنة ذات قابلية تشغيل عالية (بدون إستعمال إضافات) هي (0.4-0.7) % من وزن الإسمنت ويتوقف ذلك على محتوى الإسمنت في الخلطة الخرسانية وعلى نسبة امتصاص الركام المستعمل للماء [3]. وبالرغم من أن هذه النسبة من الماء تعطي قابلية تشغيل عالية ولكن في نفس الوقت تعطي خرسانة متوسطة المقاومة، وبأجراء الأبحاث والدراسات والتقدم التكنولوجي أمكن التغلب على التناقص الناشئ بين المقاومة العالية وقابلية التشغيل المنخفضة وذلك بإستعمال بعض الإضافات المخفضة للماء بدرجة عالية والمؤخرة لزمن الشك (الملدنات الفائقة) والتي تسمح بإستعمال نسبة ماء قليلة وفي نفس الوقت تعطي قابلية تشغيل عالية وهذا النوع من الإضافات سيكون موضوع هذه الدراسة الحالية.

يهدف هذا البحث الى دراسة تأثير استعمال الملدنات الفائقة (لخفض كمية مياه الخلط وزمن الشك) على خواص الخرسانة الطرية والمتصلبة كما يهدف أيضا الى تحديد النسبة المثالية لهذه الإضافات. حيث تم أجراء اختبارات على نوعين من الملدنان الفائقة وهما (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12) & (Sikament®FF) وقد تم مقارنتها بالخرسانة المرجعية بدون استعمال إضافات وكان المتغير الرئيسي في الدراسة هو نسبة الإضافات من وزن الإسمنت في الخلطة الخرسانية المنتجة، وقد أجريت عدة اختبارات في هذه الدراسة لتقييم هذه الإضافات ومنها: -

- مقاومة الضغط (Compressive strength).
- الهبوط (Slump test).
- نسبة الإمتصاص (Water absorption).

2. البرنامج العملي

1.2. مكونات الخلطات الخرسانية

<u>الإسمنت:</u> لتحقيق البرنامج العملي لهذه الدراسة، تم إستخدام الإسمنت البورتلاندي العادي نوع (الصفصاف) لجميع الخلطات الخرسانية والمطابق للمواصفات القياسية الليبية رقم 2009/340 الخاصة بالإسمنت البورتلاندي العادي.

<u>الركام الناعم:</u> تم في هذه الدراسة إستخدام الركام الناعم المتوفر محليا من منطقة الرياينة وتم إجراء التحليل المنخلي له وكان وفق المواصفات البريطانية (BS882:1992) [9].

<u>الركام الخشن:</u> إن خواص ونوعية الركام له تأثير كبير على الخرسانة وخواصها لكونه يشغل حوالي (70–75) % من الحجم الكلي للكتلة الخرسانية [4]. يتكون الركام من حبيبات صخرية متدرجة بالحجم منها حبيبات كبيرة كالحصى (Gravel) والأخرى صغيرة كالرمل (Sand) ويشمل على المادة المالئة الخاملة نسبيا" والمنتشرة خلال عجينة الاسمنت في الخرسانة إذ يعطي للخرسانة استقرارها ومقاومتها للقوى الخارجية والعوامل الجوية كالحرارة والرطوبة والتجمد، كما ويقلل الركام التغيرات الحجمية الناتجة عن تجمد وتصلب عجينة الاسمنت أو تعرض الخرسانة للرطوبة والجفاف، لذلك فان الركام يعطي للخرسانة متانة أفضل مما لو استعملت عجينة الاسمنت لوحدها. وفي هذه الدراسة تم استخدام ركام ناعم من منطقة (الرياينة) وركام خشن نوع (رأس اللفع).

<u>الماء المستعمل:</u> إن نوعية الماء (Quality of Water) في الخرسانة وإحتوائه على الشوائب قد يتعارض مع تجمد الإسمنت وقد يؤثر على مقاومة الخرسانة بصورة عكسية أو يسبب تلوث سطحها وقد يؤدي الى صدأ الحديد [2]. ولهذه الأسباب تم إستخدام مياه نقية وخالية من الأملاح والشوائب (صالحة للشرب) لجميع الخلطات الخرسانية المستعملة في هذه الدراسة.

<u>الإضافات:</u> المضافات الخرسانية هي مواد خاصة تضاف أثناء الخلط لتحسين خصائص وسلوك الخرسانة الطازجة في الظروف الجوية المختلفة. من خلال تغيير خصائص الخرسانة المتصلدة، تقلل المواد المضافة من تكلفة البناء وتعزز جودة الخرسانة أثناء الخلط والنقل والمعالجة والتغلب على حالات طارئة معينة في عمليات صب الخرسانة .ولغرض تنفيذ متطلبات هذه الدراسة تم إستخدام مادتين من الملدنات الفائقة من انتاج شركة (Sika) وهما:

- الملدن الأول نوع (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12) وهو من إنتاج شركة سيكا ويكون على شكل سائل يضاف للخرسانة كملدن عالي الكفاءة وعامل لتقليل من نفاذية الخرسانة للمياه وتقليل المياه في الخلطة الخرسانية بنسبة أكثر من 20% ومطابق للمواصفات القياسية الامريكية (ASTM C 494/81 Type A) والجدول (1) يوضح المواصفات الفنية للملدن.

جدول رقم (1) المواصفات الفنية (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 للملدن (

اللون	بني فاتح
الكثافة	1.06كجم/لتر
محتوى الكلوريدات	لا يوجد
حدود الجرعة	(0.2-3)%

- الملدن الثاني نوع (Sikament® FF) وهو أيضا من إنتاج شركة سيكا ويكون على شكل سائل لإنتاج نوعية خرسانة ذات سيولة عالية ومطابق للمواصفات

الامريكية (ASTM C 494/81 TypeF) والبريطانية (B.S.5075 Part 3) والجدول (2) يوضح المواصفات الفنية للملدن.

جدول رقم (2) المواصفات الفنية للملدن (Sikament® FF)

اللون	سائل بني داكن
الكثافة	1.20 كجم/لتر
محتوى الكلوريدات	لا يوجد
حدود الجرعة	%(3-0.6)

تم إجراء خلطات تجريبية للتأكد من صلاحية الإضافات المستعملة وتوافقها مع الإسمنت المستعمل وباقي مكونات الخلطة، حيث تم التوصل إلى خلطة خرسانية تتكون من إسمنت وركام ناعم وخشن وماء مع إستعمال الإضافات (Sika) والمقارنة بينها وبين الخرسانة العادية المرجعية بدون إستعمال الإضافات.

2.2. الخلطة الخرسانية

لدراسة تحديد النسب الأمثل للملدنات الفائقة على خواص الخرسانة تم إعداد خلطة خرسانية باستخدام الطريقة الأمريكية بمقاومة ضغط تصميمية (30Mpa) تتكون من ركام خشن وناعم وماء وإسمنت. ونظرا لأن هذه الملدنات من أحد أهم مميزاتها تقليل نسبة الماء وتحسين قابلية التشغيل في الخرسانة (workability) مما يؤدي الى مقاومة ضغط عالية، لذلك فقد تم في هذه الدراسة استخدام نسبة منخفضة (w/c=%0.29) وتثبيتها في جميع الخلطات الخرسانية. ولإيجاد النسب الأمثل للملدنات في الخلطات

الخرسانية واستنادا لمواصفات شركة سيكا والتي أوصت بحدود الجرعات المضافة الى الخرسانة من الملدنات (0.5%-3%) فقد تم إستخدام نسب مختلفة بحيث تكون (0%، 0.5%، 1%، 2%، 4%) من وزن الإسمنت بوحدة وزن (ml/kg) والجدول (3) يوضح أعداد الخلطات الخرسانية.

جدول رقم (3) يوضح مواصفات الخلطات الخرسانية المستعملة

الخلطة	الاسمنت (kg/m^3)	ركام خشن (kg/m^3)	ركام ناعم (kg/m^3)	الماء (kg/m^3)	الإضافات (ml/m^3)
خلطة مرجعية 0%	368	918.41	884.9	189.84	-
خلطة (0.5%) Sika	368	918.41	884.9	189.84	1840
خلطة Sika(1%)	368	918.41	884.9	189.84	3680
خلطة Sika(2%)	368	918.41	884.9	189.84	7360
خلطة Sika(4%)	368	918.41	884.9	189.84	14720

3.2.التجارب المعملية

تم تحديد عدد من التجارب المختبرية لمعرفة تأثير الإضافات الكيميائية على خواص الخرسانة التي يمكن معرفتها من خلال تلك الإختبارات.

• إختبار درجة التشغيلية (Workability)

تم إختبار الهبوط (slump test) بإستخدام مخروط إبرامز، وفقا للمواصفات القياسية الأمريكية لإختبار المواد (ASTM C143) لقياس قابلية التشغيل للخرسانة وذلك بقياس الإنخفاض في أرتفاع عينة الخرسانة بعد إزالة القالب المخروطي، حيث أن الخرسانة ذات الهبوط الأعلى تكون أكثر قابلية للتشغيل.

• إختبار مقاومة الضغط (Compressive Strength)

الغرض من هذا الاختبار هو قياس قدرة الخرسانة على مقاومة الضغط المباشر. وهذه القياسات مهمة لتقييم جودة الخرسانة المستخدمة في الإنشاءات. تم إجراء هذا الإختبار وفقا للمواصفات القياسية الامريكية (ASTM C109:90). ولإجراء هذا الإختبار تم اخراج المكعبات الخرسانية من الأحواض بعد اكتمال فترة المعالجة (28 يوم) وتترك لتجف لمدة (24 ساعة) في درجة حرارة المختبر وبعد ذلك نضع العينات في جهاز الإختبار ثم يتم تسليط الحمل حتى يصل الى حد الفشل الذي تتكسر عنده العينة وتؤخذ قيمة الحمل المسبب للفشل.

• إختبار نسبة الإمتصاص (Water absorption)

عندما تكون الخرسانة قادرة على إمتصاص كميات كبيرة من الماء، فإن ذلك يزيد من تأثير دورات التجمد والذوبان عليها، مما يؤدي إلى التفتت والتلف، وهذا له تأثير كبير على أداء الخرسانة وسلامة البناء، خاصةً في الظروف المناخية. لذلك، من المهم جداً السيطرة على قدرة إمتصاص الخرسانة للماء وإبقائها ضمن المستويات المقبولة من خلال التصميم السليم لخلطة الخرسانة والتنفيذ الجيد، وهذا يساعد على ضمان أداء الخرسانة وإستدامتها على المدى الطويل. ووفقاً للمواصفات الأمريكية (ASTM-C642)، تم إختبار نسبة إمتصاص الخرسانة للماء بوزن العينات بدقة بعد وضعها في فرن على درجة حرارة 105 درجة مئوية لمدة 24 ساعة (الوزن الجاف) وأيضا بعد الغمر في الماء لمدة 24 ساعة (الوزن الرطب). ومن خلال المعادلة التالية يمكن حساب نسبة امتصاص الماء كالاتي:

نسبة امتصاص الماء = [(وزن الماء الممتص/ الوزن الجاف) × 100]

حيث أن: الوزن الجاف هو الوزن الكلي للعينة بعد التجفيف في الفرن بدرجة 105 درجة مئوية لمدة 24 ساعة، والوزن الرطب هو الوزن الكلي للعينة بعد غمرها في الماء لمدة 24 ساعة.

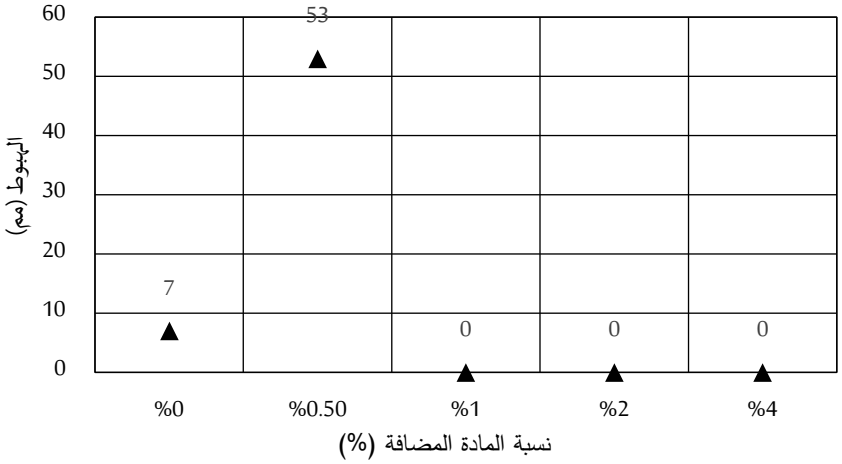
3. النتائج والمناقشة

1.3.نتائج إختبار الهبوط (slump test)

أن الهدف الرئيسي من إستخدام الإضافات في الخرسانة هو زيادة درجة هبوط الخرسانة بدون زيادة نسبة الماء في الخلطة، أي زيادة سيولتها وتشغيليتها. هذه الزيادة في التشغيلية تساعد على تحسين قابلية الصب والدمك، مما يحسن من كثافة الخرسانة وتماسكها وهذا بدوره يحسن من مقاومة الخرسانة الميكانيكية.

• نتائج إختبار الهبوط للملدن (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12)

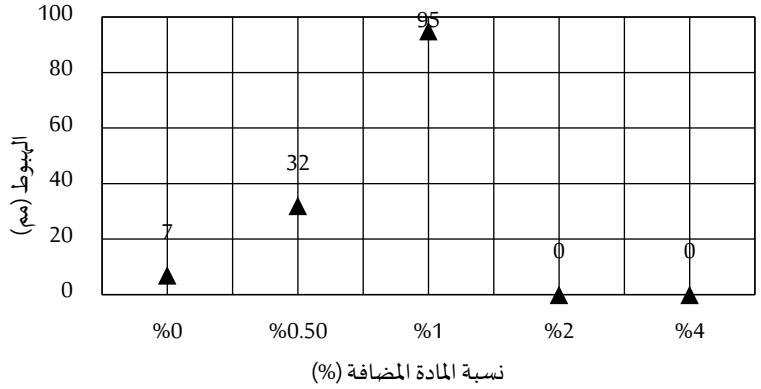
من خلال نتائج إختبار الهبوط لهذه الدراسة، فأن الخلطة المرجعية أظهرت هبوط قليل جدًا 7 مم، مما يشير إلى قابلية تشغيل ضعيفة للخرسانة، وعند إضافة 0.5% من ملدن (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12) زاد مقدار الهبوط إلى 53 مم، مما يدل على تحسن كبير في قابلية التشغيل. في حين كانت إختبارات الهبوط فاشلة، عند النسب الأعلى (1%، 2%، 4%) من هذا الملدن كما هو موضح بالشكل (1)، وهذا يشير إلى أن هذه النسب قد تكون مفرطة وتؤدي إلى فقدان السيطرة على قابلية التشغيل، لدى فأن التحكم الدقيق في نسب هذه الإضافات أمر بالغ الأهمية، حتى لا يتم المبالغة في استخدامها بما يضر بالخصائص الأخرى للخرسانة. من خلال هذه النتائج، يبدو أن النسبة الأمثل لهذه المادة هي 0.5%، حيث حققت أفضل أداء في قابلية التشغيل دون فقدان السيطرة.



شكل رقم (1): مقدار الهبوط لكل نسبة مضافة من الملدن (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12)

• نتائج إختبار الهبوط لمادة (Sikament® FF)

عند إضافة 0.5% من ملدن (Sikament® FF) زاد مقدار الهبوط إلى 32 مم، وهو أيضًا تحسن ملحوظ في قابلية التشغيل، مقارنة بالملدن (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12). في حين أن النسب الأعلى للملدن Sikament® (FF) (1%، 2%، 4%) أدت إلى فشل في الهبوط كما هو موضح بالشكل (2)، مما يشير إلى أن هناك حد أعلى لكمية الإضافة المثلى وتجاوز هذا الحد قد يؤدي إلى مشاكل مثل الانفصال الحبيبي. وأخيرا، تشير هذه النتائج أن الملدنات (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12) و(Sikament® FF) يمكن أن تكون ذات فاعلية في تحسين قابلية التشغيل والانسيابية للخرسانة دون التأثير سلبًا على الخصائص النهائية للخرسانة الطرية. مع الأخذ في الإعتبار أن الزيادة عن الحدود المسموح بها، ستظهر مشاكل في التماسك والتجانس بين مكونات الخلطة كالإنفصال الحبيبي وظاهرة النضح وهذا يضمن الحصول على التشغيلية المرغوبة دون المساس بالخصائص الأساسية للخرسانة. لدى فأن النسبة الأمثل هي حوالي 0.5% لكلا المادتين وهي النسبة المبدئية التي ستكون نقطة أنطلاق جيدة للمزيد من التحقق والتحليل في الدراسة المعملية.

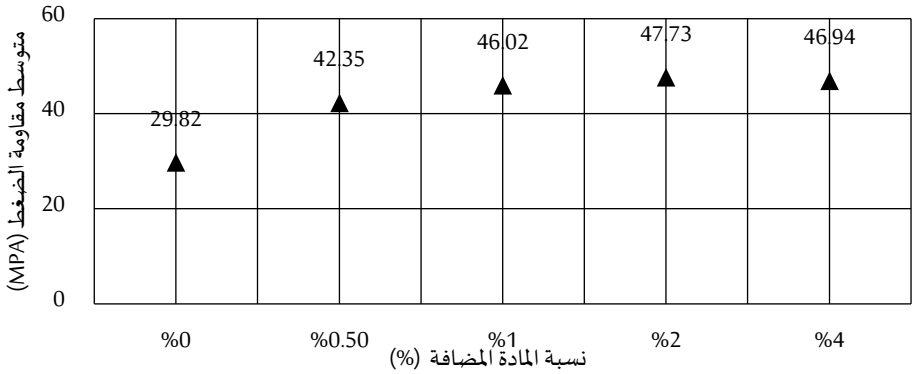


شكل رقم (2): مقدار الهبوط لكل نسبة مضافة من الملدن (Sikament® FF)

2.3.نتائج إختبار مقاومة الضغط للخرسانة

• نتائج إختبار مقاومة الضغط للمكعبات الخرسانية بإستخدام الملدن (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12)

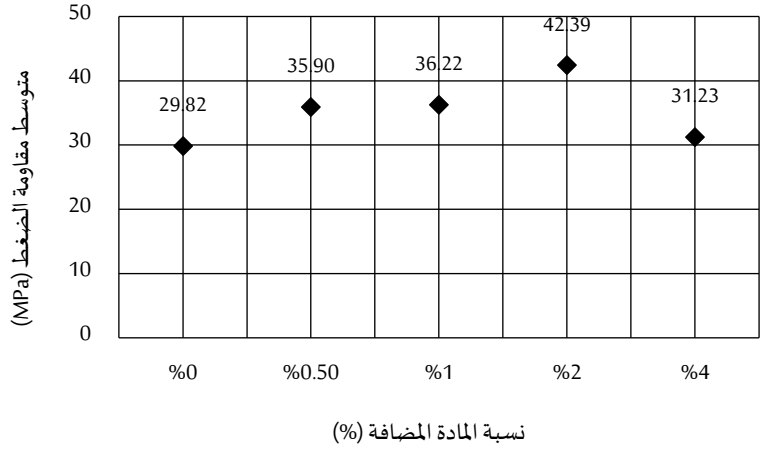
بناءً على نتائج إختبار مقاومة الضغط للخرسانة الموضحة في الشكل (3) التي تم إجراؤها بعد 28 يوم من الصب، يتضح إنه عند إضافة النسب (0.5%، 1%، 2%، 4%) للملدن (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12) كان متوسط مقاومة الضغط (42.35MPa، 46.02MPa، 47.73MPa، 46.94MPa) على التوالي، إذ يتضح من النتائج عند نسبة 2% من المادة المضافة (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12)، أن أعلى مقاومة ضغط للخرسانة كانت بقيمة 47.73MPa، وهذه النسبة الأعلى والأمثل بنسبة 60% مقارنة بالخرسانة المرجعية. ولكن عند زيادة نسبة الإضافة إلى 4%، إنخفضت مقاومة الضغط إلى (46.94 MPa)، على الرغم من أنها لا تزال أعلى من الخرسانة المرجعية بنسبة 57.41%. من خلال النتائج، تبين أن مقاومة الضغط للخرسانة ازدادت بشكل ملحوظ مع زيادة نسبة الإضافة من 0.5% إلى 2%.



الشكل رقم (3): مقاومة الضغط لكل نسبة مضافة من الملدن (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12)

• نتائج مقاومة الضغط للمكعبات الخرسانية بإستخدام الملدن (Sikament-FF)

من خلال نتائج المكعبات الخرسانية حول تأثير إضافة الملدن (Sikament-FF) على خصائص الخرسانة الصلبة فأنه عند إضافة النسب (0.5%، 1%، 2%، 4%) من هذه المادة كانت نتائج مقاومة الضغط للمكعبات الخرسانية في المتوسط (35.90MPa، 36.22MPa، 42.39MPa، 31.23MPa) على التوالي والموضحة في الشكل (4). من الملاحظ أنه، عند إضافة 0.5% من الملدن (Sikament-FF)، زادت مقاومة الضغط بنسبة 19.67% مقارنة بالعينة المرجعية، وهذا يظهر أن إضافة هذا الملدن حتى في نسب منخفضة لها تأثير إيجابي على خصائص الخرسانة الصلبة. من جهة أخرى، عند إضافة 2% من (Sikament-FF)، كانت أعلى زيادة في مقاومة الضغط 42.39MPa وهذه النسبة تُعتبر الأمثل لتحقيق أقصى تحسين في مقاومة الضغط. من الملاحظ أيضا أن زيادة النسبة إلى 4% أدت إلى إنخفاض مقاومة الضغط إلى 31.23MPa، أي بنسبة زيادة أقل عن العينة المرجعية بـ 4.71% فقط، هذا يشير إلى أن الزيادة عن النسبة الأمثل قد تكون مؤثرة سلبًا. الزيادة في مقاومة الضغط عند إضافة الملدن ترجع إلى قدرته على تحسين خصائص الخرسانة مثل سهولة الصب والمعالجة، بالإضافة إلى تحسين الترابط بين الركام والخليط الإسمنتي. لكن عند الزيادة عن النسبة الأمثل، قد يؤدي ذلك إلى تأثيرات سلبية مثل زيادة المسامية أو انخفاض في الترابط، مما ينتج عنه إنخفاض في مقاومة الضغط.

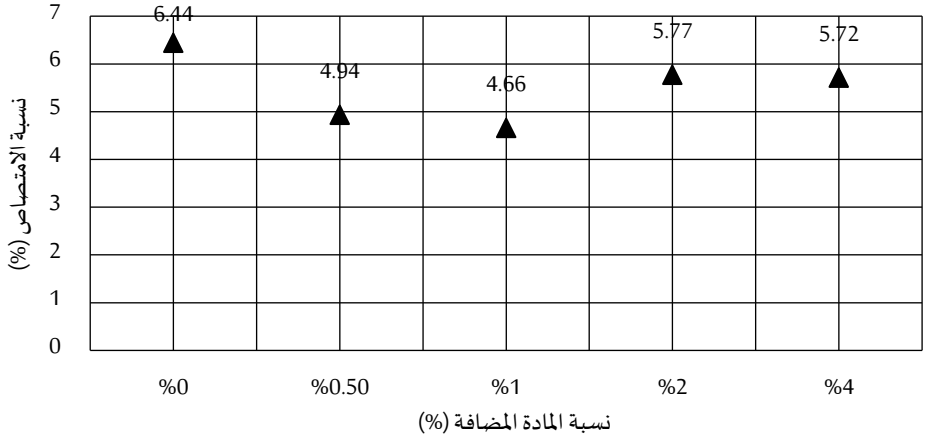


شكل رقم (4): مقاومة الضغط لكل نسبة مضافة من الملدن (Sikament-FF)

3.3. نتائج إختبار إمتصاص الخرسانة للماء

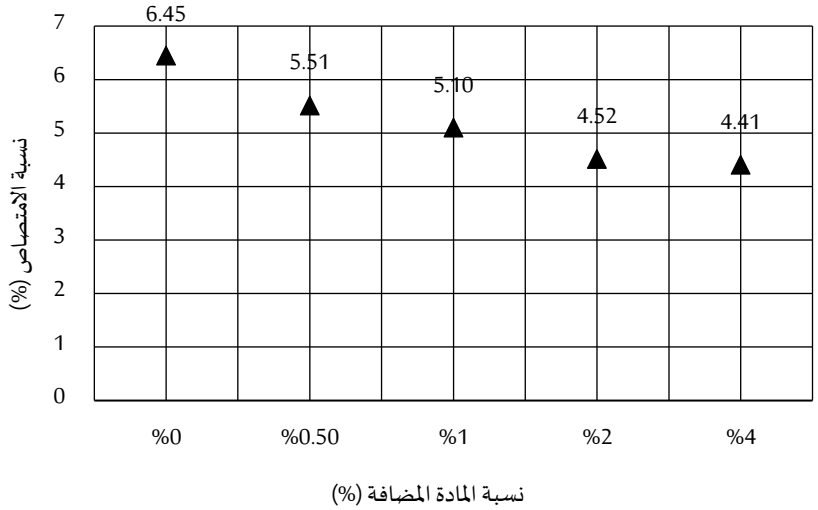
• نتائج إختبار الإمتصاص الخرسانة للماء بإستخدام الملدن (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12)

عند إضافة الملدن (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12) الى الخلطة الخرسانية بنسب (0.5%، 1%، 2%، 4%) كانت قيم نسبة الإمتصاص (4.94 %، 4.66%، 5.78%، 5.72 %) على التوالي كما هو موضح بالشكل (5)، حيث إنخفضت نسبة الإمتصاص إلى 4.94% عند أضافة الملدن بنسبة 0.5% مقارنة بـ 6.44% للعينة المرجعية بدون ملدن. بينما عند إضافة 1% من الملدن للخلطة الخرسانية، إنخفضت نسبة الامتصاص إلى 4.66% وهي أقل نسبة تم تسجيلها مقارنة بالنسب الأعلى. هذا التحسن في خاصية إمتصاص الماء ينعكس إيجابًيا على خصائص الخرسانة الأخرى مثل المتانة والديمومة على المدى الطويل، فكلما قلت نسبة إمتصاص الماء، قلت إحتمالية حدوث أي تلف للخرسانة. من خلال النتائج أيضا يتضح أن التغير في نسبة الإمتصاص ليس متناسباً مع التغير في نسبة الإضافة فعلى سبيل المثال، عند زيادة نسبة الإضافة من 0.5% إلى 1%، إنخفضت نسبة الإمتصاص، بينما عند زيادتها إلى 2% و4% أرتفعت نسبة الإمتصاص مرة أخرى الى 5.77% و5.72% على التوالي، هذا يشير إلى أن العلاقة بين نسبة الإضافة ونسبة الإمتصاص ليست خطية، بل تتأثر بالتفاعلات المعقدة بين المكونات. أخيرا، إن تحديد النسبة الأمثل للإضافة هو أمر مهم لتحقيق التوازن المثالي بين تأثير الملدن وخصائص الخرسانة النهائية، لذلك فأن النسبة البالغة 1% تقع ضمن المدى الموصى به، مما يشير إلى أنها قد تكون النسبة الأمثل للحصول على الخصائص المرغوبة. وعلى الرغم من ذلك، قد يكون من الضروري إجراء مزيد من الإختبارات والتحليلات للتأكد من أن هذه النسبة هي الأمثل، بالنظر إلى التفاعلات غير الخطية المذكورة سابقًا.



شكل(5): نسب الامتصاص للخرسانة لكل نسبة مضافة للملدن (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12)

- نتائج إختبار الإمتصاص للخرسانة بإستخدام الملدن(Sikament-FF) أن الزيادة في نسبة الإضافة للملدن (Sikament-FF) من 0.5% الى 4% أدت إلى إنخفاض واضح في نسبة إمتصاص الخرسانة للماء كما هو موضح بالشكل (6). النسبة الأمثل لهذه الإضافة كانت 4%، حيث أدت إلى إنخفاض في نسبة الامتصاص بمقدار 2% مقارنة بالعينة المرجعية (6.45%) التي لا تحتوي على أي إضافات. لذلك فأن، إنخفاض نسبة الامتصاص بمقدار 2% يُعتبر تحسنًا مهمًا في مقاومة الخرسانة للانتفاخ والتفتت الناتج عن الإمتصاص العالي للماء خلال دورات التجمد والذوبان. على الرغم أن النسبة المضافة الأمثل كانت 4%، إلا أنها تجاوزت الحدود الموصى بها لإستخدام مادة (Sikament-FF) والتي تتراوح بين 0.6-3% من وزن الأسمنت. لذلك، فإن النسبة الأمثل للاستخدام هي 2%، وهي ضمن الحدود الموصى بها والتي ستحقق التحسن المطلوب في مقاومة الخرسانة دون الخروج عن المواصفات. بناءا على ذلك، فأن هذه الدراسة قدمت نتائج مهمة حول إضافة (Sikament-FF) لتحسين خصائص الخرسانة، مع الحرص على إستخدام النسب المثلى ضمن الحدود الموصى بها للحصول على أفضل النتائج.



شكل رقم (6): نسبة الامتصاص للخرسانة لكل نسبة مضافة من الملدن (Sikament-FF)

4.الخاتمة والتوصيات

من خلال نتائج التجارب المعملية في هذه الدراسة التي تم مناقشتها، يمكن استخلاص الأتي:

1. تحديد نسب مثالية للملدنات الفائقة تعتبر العامل الأساسي لتحسين أداء خواص الخرسانة سواءا الطرية أو الصلبة مع تقليل التكلفة. ومن جانب أخر، فأن إستخدام الملدنات بشكل عشوائي دون دراسة مسبقة قد يؤدي إلى ضعف تماسك الخرسانة والزيادة في التكلفة.

2. الزيادة في نسب الملدنات لكلا من (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12) و(Sikament-FF) تؤدي إلى زيادة مقاومة الضغط مقارنة بالخرسانة العادية بدون ملدنات (المرجعية). حيث أن هناك نسب مثالية لكل نوع من هذه الملدنات تعطي أعلى مقاومة ضغط، بعد ذلك فأن أي زيادة في نسب الملدنات تبدأ مقاومة الضغط في التناقص وذلك بسبب ظاهرة الانفصال الحبيبي أو النضح عند النسب العالية مما يؤثر سلبًا على مقاومة الضغط.

3. عند استخدام الملدن (Sikament-FF) للخلطة الخرسانية الطرية كانت الزيادة في قابلية التشغيل (workability) أكثر مقارنة باستخدام الملدن (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12). كما أن الملدن (Sikament-FF) كان له التأثير الإيجابي على نسبة امتصاص الماء للخرسانة فكلما زادت نسبة إضافة الملدن كلما إنخفضت نسبة الامتصاص، وعلى العكس من ذلك فأن الزيادة في نسبة إضافة الملدن (Sika® ViscoCrete® TEMPO-12) يؤدي الى أرتفاع في نسبة امتصاص الماء وهذا ينعكس سلبا على خصائص الخرسانة.

هذه الدراسة تعطي توجيهات مهمة حول الإستخدام الأمثل للملدنات الفائقة في خلطات الخرسانة لتحقيق الأداء المرغوب مع الحد الأدنى من التكلفة.

وعلى الرغم من ذلك، قد يكون من الضروري إجراء مزيد من الإختبارات والتحليلات للتأكد من أن هذه النسب هي الأمثل، مع الأخذ في الاعتبار المشاكل في التماسك والتجانس بين مكونات الخلطات الخرسانية كالإنفصال الحبيبي وظاهرة النضح المؤثرة سلبا على الخصائص الأساسية للخرسانة. بالإضافة الى ذلك، يجب إجراء دراسة متكاملة على الأنواع الأخرى من الإضافات التي لم تستعمل في البحث.

5.المراجع

[1]- Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, and William C. Panarese, (Design and Control of Concrete Mixtures) FOURTEENTH EDITION, Portland cement Association (2012).

[2]- John Newman, Ban Choo, (Advance concrete technology), Edition, illustrated; Publisher, Butterworth-Heinemann, 2003; ISBN, 0750651040, 9780750651042.

[3]- Fady M.A Hassona, Hussein Abu-Zant, (Effects of Superplasticizers on Fresh and Hardened Portland cement Concrete Characteristics), An-Najah National University, (2016).

[4]- Venu Malagavelli, Rao P N, (Strength & Workability Characteristics of Concrete by Using Different Super Plasticizers), International Journal of Materials Engineering 2(1):71, (September 2012).

[5]- Mrose B. Muhit, (Dosage Limit Determination of Superplasticizing Admixture and Effect Evaluation on Properties of Concrete), International Journal of Scientific and Engineering Research 4(3), (March 2013).

[6]- ASTM C494 Type F and BS 5075 Part 3. Sika Egypt for Construction Chemicals El Abour City 1 st industrial zone (A) Section # 10 Block 13035, Egypt.

[7]- ASTM C 494-81 Type A & F, Sika (Thailand) Limited, 700/37 Moo five Amata City Chonburi Industrial Estate, KM 57, Bangna-Trad Rd.

[8]- ASTM C143-78, Standard Test Method for Slump of Portland cement Concrete.