تأثير نسبة الماء للإسمنت على سلوك الاضافات الكيميائية

م. ليلى مسعود المزوغي* م. محمد خالد التركي**
جامعة طرابلس – كلية الهندسة – قسم هندسة التعدين

***قسم هندسة التعدين، كلية الهندسة، جامعة طرابلس، طرابلس، ليبيا.**
****المدير التنفيذي لشركة الفهد للاستشارات والاعمال الهندسية، طرابلس، ليبيا.**

L.Almaoghy@uot.edu.ly
m.turki@alfahed.ly

الملخص

في المناطق الحارة عموماً وليبيا خصوصاً يكون للتعامل مع العوامل البيئية المحيطة أثر في غاية الأهمية علي خواص الخلطة الخرسانية سلباً أو إيجاباً، وتلعب المواد الكيميائية التي تضاف للخرسانة دوراً مهماً للتحكم في هذه الخواص ومنها قوة تحمل الخرسانة وديمومتها مع الزمن. فهذا التعامل يقصد به النقل والصب والمعالجة ،مع الاستعمال الصحيح والأمثل للإضافات الكيميائية مما يتطلب فهماً دقيقاً وجيداً للحصول علي أفضل النتائج للخلطات الخرسانية المستهدفة ،تتواجد الاضافات بأنواع مختلفة وتتداخل مع الاسمنت فى الخلطة الخرسانية فزيائيا وكيميائيا فى وقت مبكر قد يودى ذلك على ادائها سلبا وإيجابا وعليه يستوجب ضرورة معرفة توافق هذه الاضافات مع الاسمنت المستخدم بالإضافة الى تأثير العوامل الاخرى المحيطة وتحديد الجرعات المثلى الواجب إضافتها من هذه الإضافات لتلافي أي نتائج عكسية علي خواص الخرسانة وخاصة قوة التحمل والمشغولية وزمن الشك. ومن هذا المنطلق تناول هذا البحث بالدراسة النظرية والعملية أثر النسب المختلفة من الماء الى الاسمنت وزمن اضافة الملدن عند استعمال الإضافات الكيميائية المصنفة حسب المواصفة الامريكية (ASTM C494) من الأنواع: ■ (Type A) ■ (Type F) ■ (Type G) ، وتم التركيز على ثلاثة خواص رئيسية ويختص منها التشغيلية التي تعبر عن خواص الخرسانة الطازجة، وقوة تحمل الضغط التي تعبر عن خاصية الخرسانة بعد تصلدها، و زمن الشك الذي يعبر عن التحول في مراحل الخرسانة من الطازجة إلي المتصلدة ،وخلصت الدراسة إلى أن لنسبة الماء الى الاسمنت وزمن اضافة الملدن تأثير على سلوك الاضافات مع اختلاف هذا التأثير بين الاضافات العادية والاضافات الفائقة مشيرا الى ضرورة اجراء الاختبارات المعملية للوصول الى الجرعة المثلى والتي تعبر عن التوافق بين مجموعة الملدنات ونوع الاسمنت المستخدم .

الكلمات المفتاحية: الخرسانة، الإضافات الكيميائية، الملدنات، نسبة الماء إلى الأسمنت، زمن الشك

Abstract:

In hot regions in general, and Libya in particular, interaction with the surrounding environmental factors has a significant impact—either positive or negative—on the properties of concrete mixtures. Chemical admixtures play an important role in controlling these properties, such as compressive strength and long-term durability. This interaction includes transportation, casting, and curing, alongside the correct and optimal use of chemical admixtures. Achieving the desired concrete performance requires a precise understanding of these processes. Chemical admixtures come in various types and interact physically and chemically with cement at early stages, which may affect their performance either positively or negatively. Therefore, it is essential to study the compatibility of these admixtures with the type of cement used, in addition to considering the surrounding environmental factors and determining the optimum dosages to avoid any adverse effects on concrete properties—particularly compressive strength, workability, and setting time. This study investigates, both theoretically and experimentally, the effects of different water-to-cement ratios and the timing of superplasticizer addition when using chemical admixtures classified according to ASTM C494 standards, including: ■Type A ■Type F ■ Type G, The focus was on three key concrete properties: **workability**, which reflects the characteristics of fresh concrete; **compressive strength**, which indicates the properties of hardened concrete; and **setting time,** which marks the transition from fresh to hardened state. The findings revealed that both the water-to-cement ratio and the timing of admixture addition significantly influence admixture behavior, with noticeable differences between normal and high-range water reducers. The study emphasizes the need for laboratory testing to determine the optimal dosage that ensures compatibility between the selected admixture and the type of cement used.

Keywords: Concrete, Chemical admixtures, Superplasticizers, Water-to-cement ratio, Setting time

المقدمة

يـتم اسـتخدام الملـدنات فـي الخلطـات الخرسـانية بهـدف الحـد مـن بعـض المشـكلات التـي قـد تواجـه الخرسـانة، أو لتحسـين خصائصـها، خاصـة فـي حالتهـا الطازجـة، مثـل **قابليـة التشـغيل،** وذلـك دون الحاجـة إلـى زيـادة كميـة مـاء الخلـط. وقـد انتشـر اسـتخدام الإضـافات الكيميائيـة بشـكل واسـع فـي الأعمـال الهندسـية، ويُعـزى هـذا الانتشـار إلـى المزايـا العديـدة التـي توفرهـا هـذه الإضـافات. فالملـدنات تمتلـك القـدرة علـى تحسـين خصـائص الخرسـانة الطازجـة مـن خـلال زيـادة السـيولة وقابليـة التشـغيل، مـع الحفـاظ علـى نسـبة المـاء إلـى الإسـمنت (w/c) ثابتـة، كمـا يمكنهـا أيضًـا تحسـين خصـائص الخرسـانة المتصـلدة مـن خـلال خفـض نسـبة المـاء إلـى الإسـمنت مـع الحفـاظ علـى درجـة التشـغيل، ممـا يُنـتج خرسـانة ذات مقاومـة عاليـة. بالإضـافة إلـى ذلـك، تسـاهم الملـدنات فـي تسـريع أو تـأخير زمـن شـك الإسـمنت حسـب الحاجـة، كمـا تقلـل مـن حـدوث الانفصـال الحبيبـي، وتحسـن مـن قابليـة ضـخ الخرسـانة إلـى ارتفاعـات كبيـرة. إلا أن فعاليـة هـذه الملـدنات قـد تتـأثر بعوامـل عـدة، أبرزهـا **نسـبة المـاء إلـى الإسـمنت، وزمـن إضـافة الملـدن إلـى الخلطـة الطازجـة،** ممـا يسـتدعي دراسـة تـأثير هـذه العوامـل بدقـة. ومـن هـذا المنطلـق، تهـدف هـذه الورقـة إلـى دراسـة **درجـة التشـغيل ومـدة الاحتفـاظ بهـا** عنـد اسـتخدام الملـدنات فـي خلطـات خرسـانية طازجـة ذات نسـب مـاء مختلفـة وأزمنـة إضـافة متباينـة، مـع اقتـراح حلـول مثلـى وفعالـة مـن الناحيـة الاقتصـادية. وقـد تـم فـي هـذه الدراسـة إعـداد خلطـات خرسـانية باسـتخدام **مـواد محليـة،** وملـدنات مصـنفة وفـق المواصـفة الأمريكيـة ASTM C494 مـن النـوعين: ■ Type A ■ Type F، تم إجراء اختبارات على هذه الخلطات في حالتها الطازجة لدراسة تأثير المتغيرات المذكورة.

البرنامج العملي:

اسـتخدمت العناصـر الاساسـية للخلطـة الخرسـانية المتمثلـة فـي الاسـمنت والركـام بنوعيـه والاضـافات الكيميائية والماء بنسب وزنية للوصول إلى المتطلبات الخاصة بهذه الدراسة وهذه المواد كالتالي:

- **المواد الخام:**

1. الاسمنت:

تـم استخـدام الإسمنـت البورتلانـدي العـادي (N 42.5) لجميـع الخلطـات الخرسانيـة وهـو مـن إنتـاج شـركة الاتحـاد العربـي للمقـاولات - مصـنع البـرج - زلـيطن، وقـد تـم اختبـاره معمليـاً لتحديـد خـواصـه الفيزيـائيـة والتـأكـد مـن مطابقتـه لـلمواصفات، وقـد تبيـن أن الإسـمنت المسـتخدم مطابـقاً لمـا تـنص عليـه المواصـفة القياسـية الليبيـة للإسـمنت رقـم (م ق ل 340:2009)، والمواصفة الأوروبية (BS-EN 197-1-2000).

2. الركام الناعم:

الركـام النـاعم الـذي تـم اسـتخدامه فـي إعـداد الخلطـات الخرسـانية هـو عبـارة عـن رمـل طـبيعـي جـاف وهـو خـالي مـن الشـوائـب، ومـورد مـن مدينـة زلـيطن، والركـام النـاعم لـه تأثـير مهـم

على خواص الخلطة الخرسانية وعلى الأخص على خاصية التشغيلية ومقاومة الضغط، وقد أجريت عليه الاختبارات المعملية لمعرفة مدى مطابقته للحدود الطبيعية، وهو مطابق لحدود المواصفة الليبية رقم (م ق ل 2002:49).

3. الركام الخشن:

يعتبر الركام الخشن ذو أهمية كبيرة في صنع الخرسانة، حيث يؤثر بشكل كبير على مقاومة الخرسانة، وهو ركام خالي من الشوائب والطين والطمي التي تعمل على إضعاف التماسك بين العجينة الإسمنتية والركام، والركام الخشن المستعمل في هذه الدراسة استخدام ركام خشن ذو تدرج من 5 – 20 مم تم جلبه من محاجر راس اللفعة (محجر شركة الاتحاد العربي للمقاولات)، وقد خضع هذا الركام لسلسلة من الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية، وأظهرت النتائج مطابقة خواصه لمتطلبات المواصفة الليبية رقم (م ق ل 2002:49).

4. الماء:

تنص المواصفات عادة على أن الماء المستخدم في خلط الخرسانة يجب أن يكون خالي من المواد الضارة مثل الزيوت والشحوم والأملاح والأحماض والقلويات والمواد العضوية والمواد الناعمة سواء كانت هذه المواد ذائبة أو معلقة وخلافها من المواد التي يكون لها تأثير عكسي على الخرسانة من حيث قوة الكسر والمتانة ، ويعتبر الماء الصالح للشرب صالحاً لخلط الخرسانة وفقا للمواصفات الليبية رقم (م ق ل294).

. الإضافات الكيميائية (الملدنات):

تعج الأسواق العالمية بمختلف الأنواع من العلامات التجارية للإضافات الخرسانية ، وبالرغم من تشعّب منتجات الشركات وتنوعها ، إلا أن ما هو متوفر في السوق الليبي يكاد يكون محدوداً، ولغرض تنفيذ متطلبات هذه الدراسة ، فقد حاولنا قدر الإمكان التوفيق بين أكثر أنواع الإضافات استخداماً في المشاريع الهندسية والمطابقة للمواصفة الامريكية (ASTM C494) والمتمثلة في:

- إضافة تخفيض ماء خلط الخرسانة عالية الأداء (Type F).
- إضافة تخفيض ماء الخلط منخفضة الأداء (Type A).

- **اجراءات نسب الخلط و التجهيز والاختبار:**

عن طريق استخدام طريقة المعادلة الحجمية تم تحديد نسب مكونات خلط متر مكعب من الخرسانة الموضحة بالجدول (1) مع الجدير بالذكر أنه تم الحرص على تثبيت اوزان الخلط و تثبيت نسبة

هذه الملدنات فى كل الخلطات وحيث أنه كان التركيز في هذا البحث على تأثير سلوك الملدنات المضافة للخرسانة الطازجة مع اختلاف فى نسب الماء للإسمنت أثناء اضافة الملدن بحيث تراوحت من0.30 إلى 0.60 مع قياسً درجة التشغيل (مقدار الهبوط) مباشرة وبعد مرور 15 و 30 دقيقة من زمن إضافة هذا الملدن وتم اجراء كل الخلطات ظروف المعمل حيث تم أخذ 22 درجة مئوية كدرجة حرارة مرجعية لأنها تعبر عن درجة المعمل.

جدول (1) أوزان المواد الداخلة في خلط الخرسانة لمتر مكعب

وصف المجموعة	الاسمنت (كجم/م^3)	الركام الناعم (كجم/م^3)	الركام الخشن (كجم/م^3)	الماء (كجم/م^3)	الاضافات الكيميائية (كجم/م^3)	
					Type A	Type F
الاولى	380	740	1110	180	4.56	0
الثانية	380	740	1110	180	0	3.8

النتائج

1. الفحص البصرى

يعد الفحص البصرى من اول وابسط وسائل ضبط الجودة ويحتاج لخبرة عملية وتكمن اهميته في التحقق من تجانس الخرسانة وتقدير درجة التشغيل والتأكد من صحة النسب زمن خلال نتائج الفحص المبنية في الجدول (2) تم تقييم درجة التشغيل للخلطات الخرسانية المنتجة قبل وبعد اضافة الملدن حيث اظهرت النتائج اثر كل من الملدن العادي والملدن فائق التأثير على تحسين قابلية التشغيل مع بيان الفروق بينهما من حيث مستوى التحسين المحقق.

جدول (2) الفحص البصري قبل وبعد إضافة الملدن

نسبة الماء للإسمنت	الفحص البصري قبل إضافة الملدن	الفحص البصري بعد إضافة الملدن	
		Type A	Type F

0.30	التشغيلية منخفضة جدا (لم يحدث هبوط)	التشغيلية منخفضة جدا (لم يحدث هبوط)	التشغيلية منخفضة جدا (لم يحدث هبوط)
0.35	التشغيلية منخفضة جدا (لم يحدث هبوط)	التشغيلية منخفضة جدا (لم يحدث هبوط)	التشغيلية منخفضة (هبوط بسيط)
0.45	التشغيلية منخفضة جدا (لم يحدث هبوط)	التشغيلية منخفضة جدا (هبوط بسيط)	التشغيلية عالية جدا (حدوث انفصال حبيبي)
0.5	التشغيلية منخفضة جدا (هبوط بسيط)	التشغيلية منخفضة (هبوط بسيط)	التشغيلية عالية جدا (حدوث انفصال حبيبي)
0.52	التشغيلية منخفضة (هبوط بسيط)	تشغيلية متوسطة	التشغيلية عالية جدا (حدوث انفصال حبيبي)
0.55	تشغيلية متوسطة	التشغيلية عالية جدا (حدوث انفصال حبيبي)	التشغيلية عالية جدا (حدوث انفصال حبيبي)
0.6	التشغيلية عالية	التشغيلية عالية جدا (حدوث انفصال حبيبي)	التشغيلية عالية جدا (حدوث انفصال حبيبي)

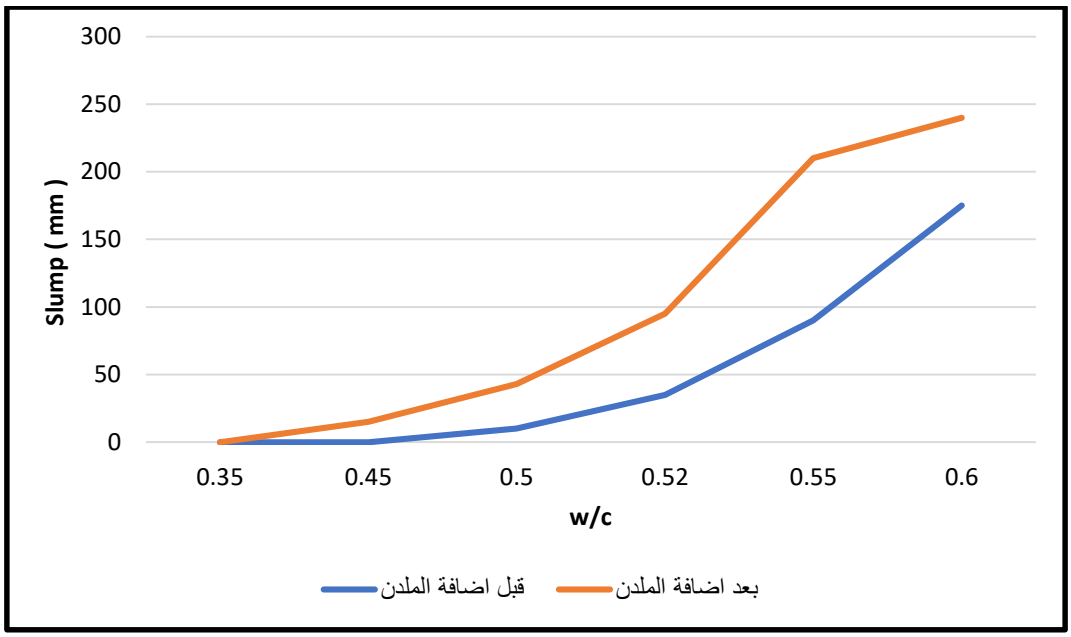
2. درجة التشغيل

يرتبط مقدار الهبوط بدور الملدنات حيث ان الخلطات مع الملدن العادي تحافظ على هبوط منخفض مقارنة الملدن العادي لنفس الجرعة ونفس نسبة الماء للإسمنت ويزداد مقار الهبوط مع زيادة نسبة الماء للإسمنت عند استخدام النوعين من الملدنات وبدرجة متفاوتة كما موضح بالجدول (3) والاشكال (1،2).

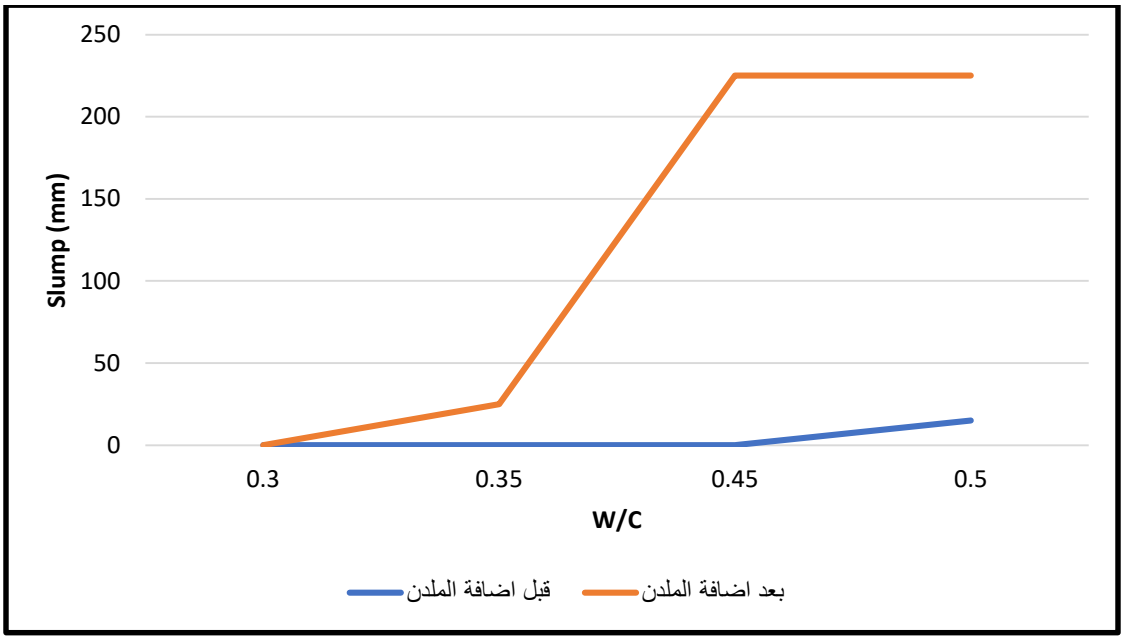
جدول (3) مقدار الهبوط قبل إضافة الملدن وبعد اضافته

نسبة الماء للإسمنت	الهبوط المبدئي (مم) (قبل إضافة الملدن)	الهبوط النهائي (مم) (بعد إضافة الملدن)	
		Type A	Type F

0	0	0	0.35
25	15	0	0.45
225	43	10	0.5
250	95	35	0.52
250	210	90	0.55
250	240	175	0.6



الشكل (1) الهبوط قبل وبعد إضافة الملدن العادى



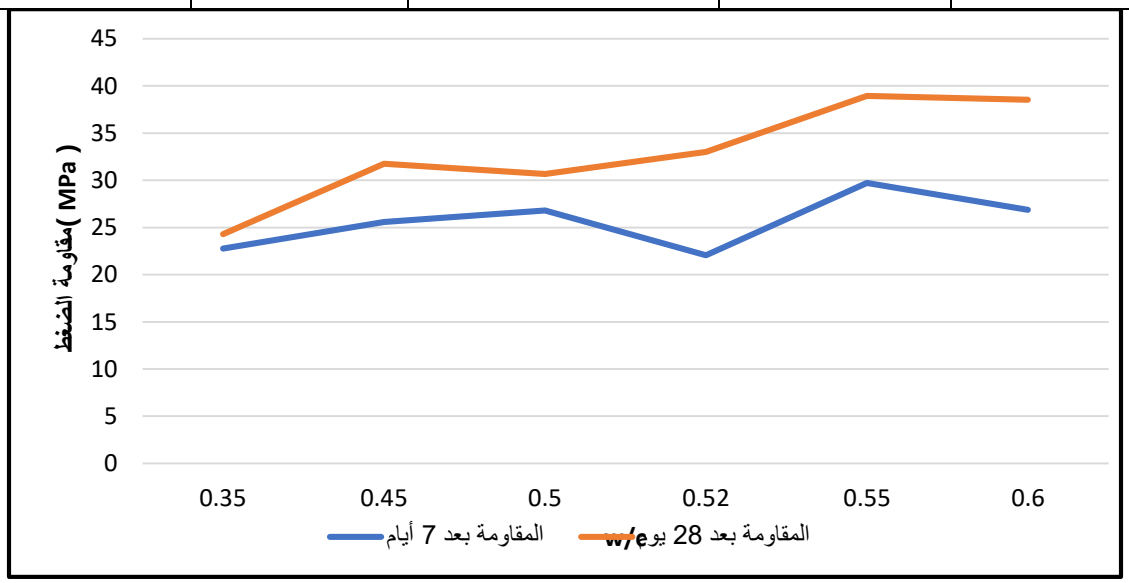
الشكل (2) الهبوط قبل وبعد إضافة الملدن الفائق

3. مقاومة الضغط:

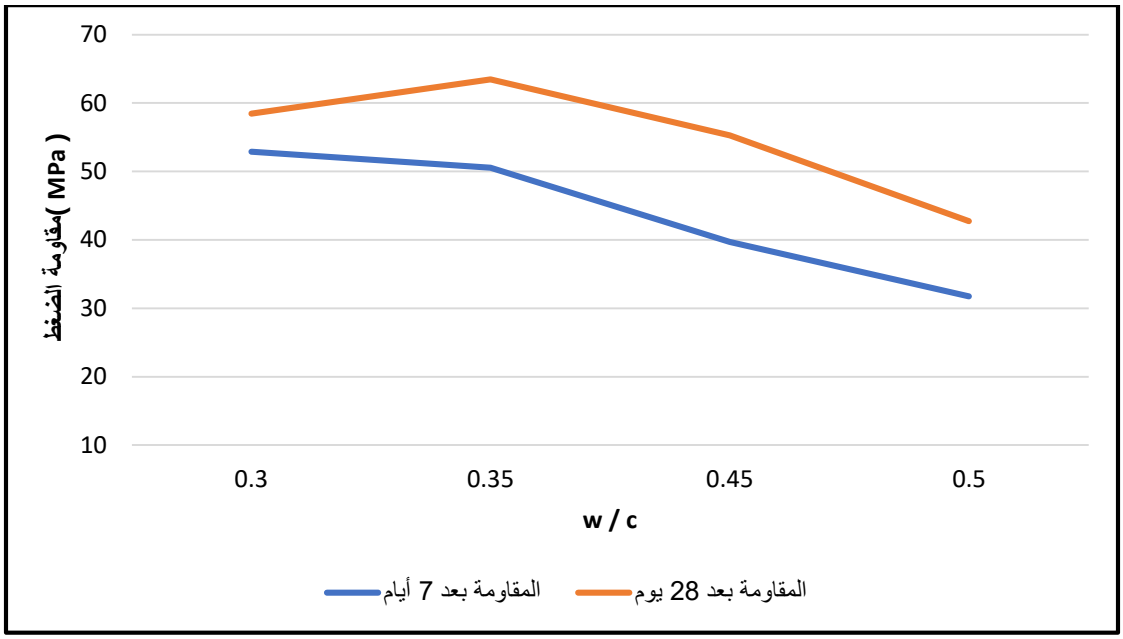
تختلف مقاومة الضغط عند استخدام الملدن العادي والملدن الفائق عند نفس نسبة الماء للإسمنت والسبب يرجع الى الية عمل كل منهما فالملدن العادي محدود التأثير فهو لا يغير كثيرا من بنية المسام الخرسانية بينما في حالة الملدن الفائق تكون الخرسانة اكثر كثافة واقل مسامية بسبب تعبئة افضل لحبيبات الاسمنت وتحسين توزيعها مما يحقق مقاومة اعلى مقارنة بالملدن العادي كما موضح بالجدول (4) والاشكال (3،4).

جدول (4) مقاومة الضغط عند استخدام الملدنات

نسبة الماء للإسمنت	مقاومة الضغط ن\ مم^2			
	لعمر 7 ايام		لعمر 28 يوما	
	Type A	**Type F**	**Type A**	**Type F**
0.35	22.76	52.89	24.29	58.47
0.45	25.59	50.56	31.74	63.47
0.5	26.79	39.71	30.65	55.29
0.52	22.05	31.72	33.01	42.72
0.55	29.72	استحالة اخذ عينات	38.95	استحالة اخذ عينات
0.6	26.87	استحالة اخذ عينات	38.54	استحالة اخذ عينات



شكل (3) مقاومة الضغط عند استخدام الملدن العادى



شكل (4) مقاومة الضغط عند استخدام الملدن الفائق

الخلاصة:

اهتمت هذه الدراسة بالتركيز على أهم التأثيرات الناتجة عن توافق الإضافات المستخدمة على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة من حيث قابلية التشغيل ومقاومة الضغط ، و أظهرت النتائج أن كفاءة الملدنات العادية (plasticizers) تبدأ من توفر نسبة ماء الى الاسمنت تفوق 0.4 وتزداد بزيادة هذه النسبة، و أظهرت الملدنات الفائقة (Super plasticizers) كفاءة ملحوظة حتى عند نسب منخفضة تصلإلى 0.35، مع وصولها إلى نسبة التشبع عند نسبة 0.45، حيث لا يؤدي بعدها رفع نسبة الماء إلى تحسين إضافي في الأداء . كما تبين أن الاختلاف في نوع الإسمنت وخصائصه، و كذلك نوع وجرعة الكيميائية، قد يسبب بعض المخاطر لعدم التوافق والتجانس، مما ينعكس سلبًا على خصائص الخرسانة وكذلك الاختلاف في خصائص الملدنات تكون واضحة عند نسب الماء للإسمنت المنخفضة، وأخيرًا، أظهرت النتائج أن زمن إضافة الملدن إلى الخلطة الخرسانية لا يؤثر بشكل واضح على مقاومة الضغط للخرسانة المتصلدة، ما دام باقي المتغيرات تحت السيطرة.

التوصيات:

مـن خـلال هـذه الدراسـة ومـا تـم الحصـول عليـه مـن نتـائج واستخلاصـه منهـا، نعـرض فيمـا يلـي بعـض التوصـيات التـي قـد تسـاعد ذوي الاختصـاص المهتمـين و القـائمين علـى صـناعة الخرسـانة الجاهزة على إجراء عمليات التحسين والتطوير ، وهذه التوصيات تتلخص فيما يلي :

- التوسـع فـي دراسـة تـأثير الـزمن علـى كفـاءة الملـدن وذلـك بـالتعرض لتـأثير أنـواع مختلفـة مـن الإسمنت ذات محتوى مختلف من مركب (C_3A).
- توسع دراسة تأثير نعومة الاسمنت على سلوك الملدنات المختلفة.
- قبـل اسـتخدام أي إضـافات ضـرورة عمـل خلطـات تجريبيـة فـي المعمـل واختيـار الجرعـة المثلـى ونوع الاضافة المناسب بالإضافة الى زمن اضافة جرعة الملدن.
- التركيز على المراقبة والتحكم بالجودة عند اختيار المواد ومدى مطابقتها للمواصفات.
- عدم الاعتماد على النشرات المرفقة للمواد المضافة فقط.

1) المراجع:

1. المواصفات القياسية الليبية رقم (340)، الإسمنت البورتلاندي، لسنة 2009.
2. المواصفات القياسية الليبية رقم (49) ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية، لسنة 2002.
3. المواصفات القياسية الليبية رقم (294) المياه المستعملة في الخرسانة، لسنة 1990.
4. الدليل الليبي لتصميم الخلطات الخرسانية التقليدية (816)
5. American Society for Testing and Materials, ASTM - C494 - 12 standard specification for ready - Mixed concrete, 2012.
6. American Society for Testing and Materials, ASTM – C494 , specification for chemical Admixtures for concrete, 1990
7. American Society for Testing and Materials, ASTM C143 / C143M - 10, Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, 2010 .
8. American Society for Testing and Materials, ASTM C1064 / C1064M – 11, Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete, 2011.

المراجع :

1. **المواصفات القياسية الليبية رقم 340 (2009). الإسمنت البورتلاندي. الهيئة الوطنية للمواصفات والمعايير القياسية، ليبيا.**
2. **المواصفة القياسية الليبية رقم 49 (2002). ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية. الهيئة الوطنية للمواصفات والمعايير القياسية، ليبيا.**
3. **المواصفة القياسية الليبية رقم 294 (1990). المياه المستعملة في الخرسانة. الهيئة الوطنية للمواصفات والمعايير القياسية، ليبيا.**
4. **مركز البحوث والاستشارات – جامعة طرابلس. الدليل الليبي لتصميم الخلطات الخرسانية التقليدية (رقم 816).**
5. ***ASTM C494/C494M – 12 (2012). Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. American Society for Testing and Materials.***
6. ***ASTM C143/C143M – 10 (2010). Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. American Society for Testing and Materials.***
7. ***ASTM C1064/C1064M – 11 (2011). Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed.***