مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (3) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (3) 2011

تغير أداء الملدنات باختلاف نوع الاسمنت المستخدم في الخلطة البيتونية

الدكتور زكائي طريفي [*]
الدكتور علي خيربك [**]
وسيم غدير [***]

(تاريخ الإيداع 2 / 3 / 2011. قُبِل للنشر في 5/ 6 / 2011)

□ملخّص □

يُعدّ البيتون مادة البناء الأساسية، ويتألف من الحصويات والإسمنت والماء والإضافات (كيميائية– معدنية– زجاجية). وأهم ما يميز البيتون مقاومته للضغط، وجميع القوانين الخاصة بتصميم الخلطات البيتونية تشير إلى تناسب عكسي بين مقاومة البيتون وكمية الماء المضافة، ويُعبر عنها غالباً بالنسبة **W/C** ، فلا بدّ من تخفيض كمية ماء الجبل إلى حدودها الدنيا لإنتاج بيتون بمقاومات عالية، وهذا يجعل العمل في الورشة مستحيلاً بسبب صعوبة قابلية التشغيل للخلطة البيتونية، والحاجة لتحقيق الهدفين معاً(المقاومة وقابلية التشغيل) دفعت إلى استخدام مواد دخلت حديثاً في صناعة البيتون (مخفضات ماء، ملدنات، ملدنات عالية الفعالية، ملدنات ذات فعالية قصوى). وأداء هذه المواد يتغير بتغير معاملات الخلطة.

ركّز البحث على تغير تأثير الملدنات في سلوك البيتون الطري والصلب عندما يختلف نوع الاسمنت، وتم ذلك من خلال تصميم خلطة مرجعية وإجراء العديد من التجارب باستخدام ثلاثة أنواع من الإسمنت، وثلاثة أنواع من الملدنات. وقد أظهر البحث الأثر الإيجابي لاستخدام الملدنات حيث تم الوصول إلى قابلية تشغيل ممتازة بنسبة منخفضة نسبياً ل (**W/C=0.45**). كما تم رفع المقاومة لتصل إلى الضعف في بعض الخلطات مع بعض أنواع الملدنات وعند نسب معينة منها، فعملت الملدنات على تحويل البيتون من بيتون جامد جداً إلى بيتون ذي قابلية تشغيل ومقاومة ممتازتين في آنٍ واحد عند استخدامها بقواعد علمية صحيحة، مع اختلاف النتائج تبعاً لنوع الإسمنت ونوع الملدن ونسبته، وليس لها تأثيرات سلبية لاستخدامها بنسبٍ قليلة جداً، وهي مواد خاملة فلا تؤثر في البيتون بعد تصلبه.

الكلمات المفتاحية: البيتون، الاسمنت، مخفضات الماء، الملدنات، الملدنات عالية الأداء، قابلية التشغيل، مقاومة البيتون، هبوط البيتون.

[*] **أستاذ مساعد – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**
[**] **أستاذ مساعد – قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين – سورية.**
[***] **طالب دراسات عليا (ماجستير) – قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين – سورية.**

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (3) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (3) 2011

Plasticizers' Behavior Changes with Different Types of Cement in Concrete Mix

Dr. Zakai Tarifi [*]
Dr. Ali Kheirbek [**]
Waseem Gadeer [***]

(Received 2 / 3 / 2011. Accepted 5 / 6 / 2011)

□ ABSTRACT □

Concrete is considered the primary construction material. It consists of aggregates, cement, water, additives (chemicals, metal, or glassy additives). Concrete's most distinguished property is its compressive resistance and all concrete mix design relations refer to a contrast proportion between concrete resistance and added water quantity which is expressed by the ratio w/c; therefore, mixing water quantity must be reduced to the minimum to produce high-strength concrete, but that makes the work on the site impossible because of the difficult workability of concrete mix. The need to achieve the two targets (resistance and workability) simultaneously led to using materials that have recently been used in the manufacturing of concrete (water reducers, plasticizers, super plasticizers, and hyperplasticizers). The behavior of these plasticizers changes with the change of concrete mix constants.

This research focuses on the changes of plasticizers' effect on the behavior of fresh and set concrete with different kinds of cement through designing a standard mix and doing several experiments using three types of cement and three types of plasticizers.

The research shows the positive effect of using plasticizers since an excellent workability with a low ratio of w/c =0.45 was achieved. Resistance was doubled with some kinds of plasticizers. So, plasticizers, and according to correct scientific rules, transform concrete from an unworkable one to concrete which has a perfect workability and resistance simultaneously, with different results according to the type of cement and the plasticizer's type and ratio. They also do not have any negative effect when they are used with very low ratios and they are inactive materials which do not affect concrete after it sets.

Key Words: Concrete, cement, water reducers, plasticizers, super plasticizers, workability, concrete strength, concrete.

***Assistant Professor, Department of Structural Engineering Faculty of Civil Engineering, Tishreen University , Lattakia, Syria.**
****Assistant Professor, Department of Construction Engineering and Management, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
*****Postgraduate Student, Department of Structural Engineering Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

البيتون: يُعرّف البيتون أنه حجر صنعي يُشكل من خليط بنسبٍ محددةٍ ومدروسةٍ من مواد حصوية (بحص، رمل، اسمنت، ماء، مواد إضافية أخرى).

يشكل الماء والإسمنت ما يسمى بالعجينة الإسمنتية التي تعمل بدورها على ربط حبات المواد الحصوية، وتعمل مع الرمل على ملء الفراغات المتبقية بين جزيئات تلك المواد، للوصول إلى خليطٍ متجانس مكتنز ومقاوم.

وفي عصرنا يعتبر البيتون مادة البناء الأولى، ولا يوجد حقل من حقول الهندسة المدنية إلا ويتصدر البيتون أولى مواده الإنشائية، كالجسور والطرق والمهابط والسدود البيتونية، ومحطات الطاقة النووية والكهروحرارية، ومنشآت البناء، ويعود الفضل في ذلك إلى الإمكانيات التي يقدمها البيتون، والتي تميزه عن غيره من مواد البناء الأخرى، كقابلية الصب والتقولب (الصب في المكان)، اقتصاديته ومقاومته العالية للعوامل الخارجية من قوى ورياح ومواد مخربة وغيرها من المؤثرات المختلفة، وقد خضعت صناعة البيتون، دوماً وعبر مراحل نموها إلى تطورات عديدة وخاصةً بعد ازدياد المتطلبات العمرانية والبيئية.

وتعد المقاومة المميزة للبيتون على الضغط F'c من أهم خواص البيتون وتقاس بإجهاد الانكسار كما تعدّ قابلية تشغيل الخلطة البيتونية التي تقاس إما بمقدار الهبوط (slump) بمخروط (ABRAMS)، أو بقياس زمن جريان الخلطة البيتونية في المانيابيليميتر (Maniabilimeter)، ولتحقيق الغايتين معاً (المقاومة وقابلية التشغيل) تُضاف الملدنات لتحسين أداء الخلطة البيتونية.

ساهمت الملدنات بشكلٍ كبير في تحسين أداء البيتون في حالته الطرية والصلبة ورفع مقاومته. وتعددت الأبحاث التي تدرس تأثير هذه الملدنات على أداء البيتون ومنها [5]، [6]، [7]، كما لُوحظ مؤخراً أن أداء الملدن في الخلطة يختلف باختلاف معاملاتها، وخصوصاً نوع الإسمنت المستخدم وتأثير المعاملات الأخرى في هذا الأداء، كنظافة الرمل ونعومته، وتدرج الحصويات وتركيزها في الخلطة.

أهمية البحث وأهدافه:

غالباً ما يتم الحصول على مقاومات منخفضة نسبياً مقارنةً مع المقاومات التصميمية، يعود ذلك عموماً إلى زيادة كمية الماء المستخدم عن الكمية المثالية، وذلك للحصول على قابلية تشغيل جيدة في الورشة، من هنا تبدو الحاجة الملحة إلى استخدام الملدنات بأنواعها المختلفة.

يهدف البحث إلى عدة أهداف وهي:

1- إجراء مقارنة بين خصائص الملدنات المتوفرة في السوق المحلية.

2- دراسة الأثر المتبادل بين أنواع الملدنات وأنواع الإسمنت.

3- دراسة أثر هذه الملدنات على خصائص البيتون.

4- دراسة تطور مقاومة البيتون مع الزمن باستخدام الأنواع المختلفة من الملدنات.

5- دراسة إمكانية تخفيض استهلاك الإسمنت وتأثير ذلك اقتصادياً في إنتاج البيتون.

طرائق البحث ومواده:

اعتمد البحث المنهجية التجريبية التي تعتمد على استثمار نتائج الاختبارات في إعداد بعض النماذج الرياضية، التي تشرح تأثير أداء الملدنات باستخدام معاملات الخلطة، وتم ذلك من خلال صب واختبار عددٍ كبيرٍ من العينات البيتونية، باستخدام ثلاثة أنواع من الإسمنت، وثلاثة أنواع من الملدنات عالية الأداء (Super plasticizers) ليتم بعدها جمع النتائج وتحليلها ومناقشتها للوصول إلى الاستنتاجات والتوصيات.

أنواع الاسمنت المستخدم:

1-الإسمنت البورتلندي العادي **CEM I 32.5**، صنع معمل طرطوس، المصنع وفق المواصفة السورية رقم (63) لعام 1987[1].

2-الإسمنت البورتلندي العادي **CEM II 32.5**، صنع معمل حلب-المسلمية، المصنع وفق المواصفة السورية رقم (1887) لعام 1997[1].

3-الإسمنت البورتلندي **CEM I 42.5R**، تركيا- أضنا، المصنع وفق المواصفة الأوروبية رقم TS EN 197-1:2002 [2].

أنواع الملدنات عالية الأداء المستخدمة :

1-ملدن عالي الأداء (**I**) وهو مؤخر تصلب ومخفض ماء بكثرة تركيبه الكيميائي بولي كربوكسيلات، مطابق للمواصفة الأمريكية ASTM C494 TYPE G [3].

2-ملدن عالي الأداء (**II**) تركيبه الكيميائي (الميلامين) وهو مسرع تصلب ومخفض ماء، مطابق للمواصفة الأمريكية ASTM C494 TYPE F [3].صناعة تركيا.

3- ملدن عالي الأداء مؤخر تصلب وخافض بشكل كبير للماء (**III**) تركيبه الكيميائي (النفتالين) وهو مطابق للمواصفة الأمريكية ASTM C494 TYP E [3].

الجدول(1) يبين مقارنة بين أنواع الملدنات الثلاثة المستخدمة في البحث

الخصائص	الملدن **I**	الملدن **II**	الملدن **III**
المظهر	سائل بني	سائل بني قاتم	سائل بني قاتم
درجة التجمد	-2 C°	0	0 C°
محتوى الهواء	2%	-	-
محتوى الكلوريد	0%	< %0.1	0%
الكثافة غ/سم^3	1.15±0.01 (25C°)	1.2±0.03 (20C°)	1.16±0.01 (25C°)
المواد الفعالة	36%	40%	33%
الجرعة	(0.8-2.75)% OF CEMENT	(0.6-1.5)% OF CEMENT	(0.6-1.2)% OF CEMENT

تم تصميم خلطة بيتونية مرجعية باتباع إحدى طرق التصميم المعروفة وهي طريق دروغوريس [4].فكانت مكونات الخلطة البيتونية كنسب وزنية في المتر المكعب مبينة بالجدول رقم (2):

الجدول(2) يبين تصميم الخلطة البيتونية المستخدمة في البحث:

	النسب المئوية والكميات اللازمة وزناً لمتر مكعب واحد من الخلطة البيتونية					
الصنف	بحص	رمل عدسي	رمل نبكي	اسمنت		ماء
مجال الأقطار[mm]	[2.36-20]	[0.15-4.75]	[0.15-2.36]	-		-
النسبة المئوية %	57	19.35	23.65	W/C = 0.45		
الوزن [Kg]	1017	345	422	400		180

وهي خلطة مرجعية بدون ملدنات، وباستخدام الأنواع الثلاثة من الإسمنت يكون لدينا ثلاث خلطات مرجعية ثابتة، بدون ملدنات، تم إضافة الملدنات الثلاثة إليها بنسب مختلفة (1%-1,5%-1,8%-2%-2,5%) وهي نسب مئوية من الملدن السائل بالنسبة لوزن الاسمنت وفقاً لمواصفات الملدنات المستخدمة، وقد بلغ عدد الخلطات الإجمالية المستخدمة في البحث (48) خلطة، وكل خلطة (12) مكعب قياس cm(10*10*10) أي(3) مكعبات لكل عمر كسر، ولأجل الاختصار تم تسجيل القيمة الوسطية لمقاومة الانهيار في الجداول، حيث تم تجريبها في مخابر كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين على مدى ستة أشهر، وقد صُنعت الخلطات وفق المراحل التالية:

أولاً: إضافة الملدنات الثلاثة إلى الخلطة المرجعية الأولى(بإسمنت بورتلندي عادي32.5 CEM I –صنع معمل طرطوس).[1]

ثانياً: إضافة الملدنات الثلاثة إلى الخلطة المرجعية الثانية(بإسمنت بورتلندي عادي 32.5 CEM II –صنع الاسكان العسكري-حلب -المسلمية).[1]

ثالثاً: إضافة الملدنات الثلاثة إلى الخلطة المرجعية الثالثة(بإسمنت بورتلندي صنع تركيا- أضنا TS EN 197-1:2002).[2]

النتائج والمناقشة:

تم تسجيل نتائج التجارب كافة ضمن ثلاثة جداول، جدول لكلٍّ (نوع إسمنت مع الملدنات الثلاثة).

الجدول (3) يبين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخلطات المصبوبة باستخدام اسمنت 32.5 CEM I صنع معمل طرطوس:

رقم الخلطة	نوع الاسمنت	W/C	نوع الملدن	نسبة الملدن %	الهبوط CM	زمن الجريان Sec	R_C 7 Kg/cm²	R_C 28 Kg/cm²	R_C 56 Kg/cm²	R_C 90 Kg/cm²	معدل الزيادة في المقاومةعند عمر 28يوم%
1	الإسمنت البورتلندي العادي صنع معمل طرطوس 32.5 CEM I	0.45	بلا	0	0	∞	310	478	520	590	0
2			I	1	8	13	342	520	620	650	8.8
3				1.5	10	6	378	582	672	700	21.75
4				1.8	16	4	412	622	725	752	30.13
5				2	18	3	440	650	750	780	35.98
6				2.5	20	2	468	668	758	800	39.75
7			II	1	2	30	362	530	620	650	10.88
8				1.5	5	15	445	583	700	730	21.97
9				1.8	6	11	458	623	738	760	30.33
10				2	7	8	450	620	752	773	29.71

11				2.5	8	6	445	615	740	765	28.66
12			III	1	0	93	313	480	542	605	0.4
13				1.5	1	50	315	490	563	610	2.5
14				1.8	2	32	317	505	600	633	5.6
15				2	3	18	322	518	635	660	8.4
16				2.5	4	10	325	540	660	690	12.97

الجدول (4) يبين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخلطات المصبوبة باستخدام اسمنت CEM II 32.5 صنع معمل حلب:

رقم الخلطة	نوع الاسمنت	W/C	نوع الملدن	نسبة الملدن %	الهبوط CM	زمن الجريان Sec	R_C 7 Kg/cm²	R_C 28 Kg/cm²	R_C 56 Kg/cm²	R_C 90 Kg/cm²	معدل الزيادة في المقاومة عند عمر 28 يوم%
17	الاسمنت البورتلندي العادي صنع معمل حلب-المسلمية -A CEM II 32.5	0.45	بلا	0	0	∞	280	407	462	517	0
18			I	1	8	9	310	515	562	600	26.54
19				1.5	16	5	333	585	620	662	43.73
20				1.8	20	3	353	590	630	670	44.96
21				2	22	2	385	595	635	680	46.19
22				2.5	24	1	378	590	630	675	44.96
23			II	1	6	16	312	530	605	630	30.22
24				1.5	7	9	347	560	632	660	37.59
25				1.8	8	5	370	565	637	670	38.82
26				2	10	4	355	570	640	675	40.05
27				2.5	14	3	340	560	648	670	37.59
28			III	1	1	29	342	415	487	540	1.97
29				1.5	3	11	330	440	510	560	8.11
30				1.8	5	6	320	460	533	590	13.02
31				2	8	5	310	470	538	610	15.48
32				2.5	10	4	293`	460`	525`	600`	13.02

الجدول (5) يبين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخلطات باستخدام اسمنت TS EN 197-1:2002 صنع تركيا-أضنا:

رقم الخلطة	نوع الاسمنت	W/C	نوع الملدن	نسبة الملدن %	الهبوط CM	زمن الجريان Sec	R_C 7 Kg/cm²	R_C 28 Kg/cm²	R_C 56 Kg/cm²	R_C 90 Kg/cm²	معدل الزيادة في المقاومة عند عمر 28 يوم%
33	الاسمنت البورتلندي التركي- أضنا CEM I 42.5R	0.45	بلا	0	0	∞	325	380	420	435	0
34			I	1	0	45	365	562	645	680	47.89
35				1.5	1	15	417	607	710	757	59.74
36				1.8	6	9	450	617	750	800	62.37
37				2	8	6	477	623	770	820	63.95
38				2.5	10	4	475	643	800	835	69.21
39			II	1	1	55	500	580	715	750	52.63
40				1.5	4	18	565	643	795	830	69.21
41				1.8	5	13	568	660	800	835	73.68
42				2	6	10	575	658	790	825	73.16

43				2.5	7	7	570	645	780	820	69.74
44				1	60	0	340	470	570	600	23.68
45				1.5	45	0	360	510	628	660	34.21
46			III	1.8	40	0.5	372	530	650	680	39.47
47				2	28	1	380	545	655	692	43.42
48				2.5	11	3	392`	560`	663`	720`	47.37

تُظهر الجداول الثلاثة بأنواع الإسمنت المختلفة تطوراً واضحاً للمقاومة مع الزمن عندما تزداد نسبة الملدن، خاصة الملدن **I**. والملدن **II**، وتبين أن هذا الازدياد في المقاومة يتوقف عند حدٍّ معين يتوافق مع نسبة إشباع الخلطة بالملدن وهي بحدود (2%)، وهي النسبة المثالية والتي تصبح إضافة الملدن بعدها غير مجدية.

وكذلك أظهرت النتائج زيادةً واضحةً في هبوط مخروط أبرامز، ونقصان زمن جريان الخلطات، وهذا ما أعطى قابلية تشغيل ممتازة لأنواع الإسمنت الثلاثة عند إضافة الملدنات [6].

نلاحظ من الجداول(3-4-5) إمكانية الحصول على مقاومات وقابلية تشغيل أعلى، ويمكن الإشارة أن الملدن**I** و الملدن Π والملدن III استطاعوا عند النسبة 0.45=(W/C):

1. رفع المقاومة (39%-29.71%-12.97%) على التوالي، بعمر (28) يوم للبيتون باسمنت صنع معمل طرطوس.
2. رفع المقاومة (46.19%-40.05%-15.48%)على التوالي، بعمر (28) يوم للبيتون باسمنت صنع معمل حلب.
3. رفع المقاومة (69.21%-73.68%-47.37%)على التوالي، بعمر (28) يوم للبيتون باسمنت صنع تركيا.

إن سبب الاختلاف في المقاومة بدون ملدنات يتعلق بالمواصفات الفيزيائية والكيميائية لكل نوع إسمنت.

كما أن استمرار زيادة المقاومة حتى عمر(90) يوم يُعزى إلى استمرار إماهة حبات الاسمنت حتى هذا العمر وذلك يتعلق بالتركيب الكيميائي للاسمنت الموضح في الجداول (6-7-8).

الجدول(6) يبين التحليل الفيزيائي والكيميائي لاسمنت CEM I 32.5 صنع معمل طرطوس

نوع الاسمنتت	الأكاسيد	النسب المئوية الوزنية	المركبات الرئيسية	النسب المئوية الوزنية
الاسمنت البورتلندي العادي صنع معمل طرطوس CEM I 32.5	CaO	61.54	C_3S	47.4
	SiO_2	20.69	C_2S	23.56
	Al_2O_3	4.73	C_3A	4.9
	Fe_2O_3	4.52	C_4AF	13.75
	MgO	2.9		
	So_3	2.68		
	Cl	0.02		
	المواد غير المنحلة	1.1		
	الفاقد بالحرق	1.05		
	زمن بدء التجمد	124 دقيقة		
	زمن نهاية التجمد	190 دقيقة		
	مقاومة 28 يوم	$335kg/cm^2$		
	عامل النعومة	$2180cm^2g$		

نلاحظ في الجدول (6) زيادة نسبة (S_2C) نسبياً على حساب(C_3S) وهذا ما أدى إلى بطء التصلب كون (S_2C) مسؤولاً عن التصلب في العمر المديد، وهذا ما أدى إلى استمرار التصلب حتى (90) يوماً. كما نلاحظ زيادة نسبة(C_3A) عن الحدود الطبيعية (10%–5%) وهذا ما أدى إلى نقصان قابلية التشغيل كون (C_3A) شرهاً للماء، ونركز على أن قابلية التشغيل تتعلق بعدة نقط مجتمعةً وهي – نعومة الاسمنت – نسبة (C_3A) فكلما انخفضت زادت قابلية التشغيل – نسب (C_3S) ، (S_2C) فزيادة الأولى يسبب سرعة في التصلب وزيادة الثانية يسبب بطء في التصلب وكما نعلم أن موضوع التصلب يتعلق بشكل مباشر بقابلية التشغيل.

الجدول(7) يبين التحليل الفيزيائي والكيميائي لاسمنت CEM II 32.5 صنع معمل حلب.

نوع الاسمنتت	الأكاسيد	النسب المئوية	المركبات الرئيسية	النسب المئوية
الاسمنت البورتلندي العادي صنع معمل حلب–المسلمية CEM II 32.5 A–	CaO	60.11	C_3S	37.81
	SiO_2	21.18	C_2S	32.15
	Al_2O_3	4.74	C_3A	4.98
	Fe_2O_3	4.48	C_4AF	13.63
	MgO	1.68		
	So_3	2.67		
	Cl	0.022		
	المواد غير المنحلة	2.78		
	الفاقد بالحرق	1		
	زمن بدء التجمد	148 دقيقة		
	زمن نهاية التجمد	265 دقيقة		
	مقاومة 28 يوم	$368kg/cm^2$		
	عامل النعومة	$2735cm^2g$		

نلاحظ في الجدول (7) زيادة نسبة (S_2C) لتساوي تقريباً (C_3S) وهذا ما أدى إلى بطء التصلب كون (S_2C) مسؤولاً عن التصلب في العمر المديد، وهذا ما أدى إلى استمرار التصلب حتى (90) يوم.كما نلاحظ انخفاض نسبة(C_3A) عن الحدود الطبيعية للاسمنت العادي (10%–5%) وهذا ما يؤكد أن الاسمنت بطيء التصلب.

الجدول(8) يبين التحليل الفيزيائي والكيميائي لاسمنت (CEM I 42.5R صنع تركيا)

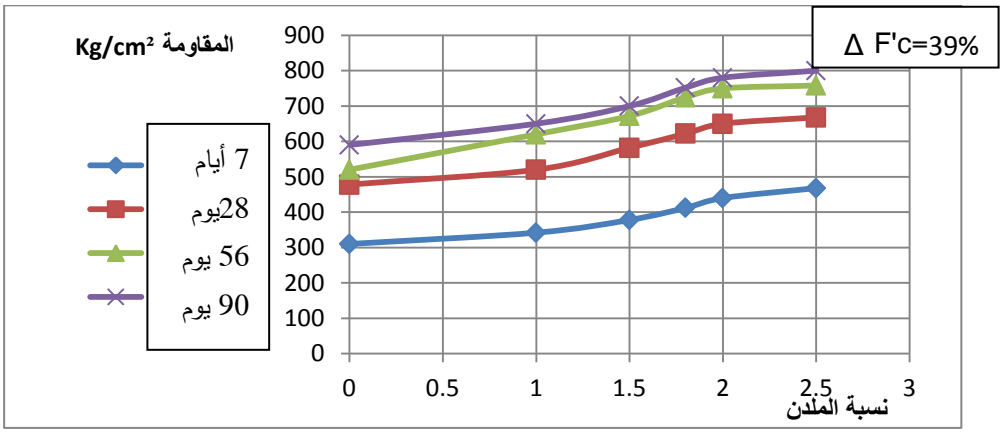
نوع الاسمنتت	الأكاسيد	النسب المئوية	المركبات الرئيسية	النسب المئوية
الاسمنت البورتلندي التركي – أضنا CEM I 42.5R	CaO	64.6	C_3S	61.41
	SiO_2	20.4	C_2S	12.16
	Al_2O_3	5.1	C_3A	8.1
	Fe_2O_3	3.2	C_4AF	9.74
	MgO	1.8		
	So_3	2.7		
	Cl	0.04		
	المواد غير المنحلة	1.1		
	الفاقد بالحرق	2.85		

	زمن بدء التجمد	95 دقيقة		
	زمن نهاية التجمد	130 دقيقة		
	مقاومة 28 يوم	478kg/cm^2		
	عامل النعومة	2800cm^{2}g		

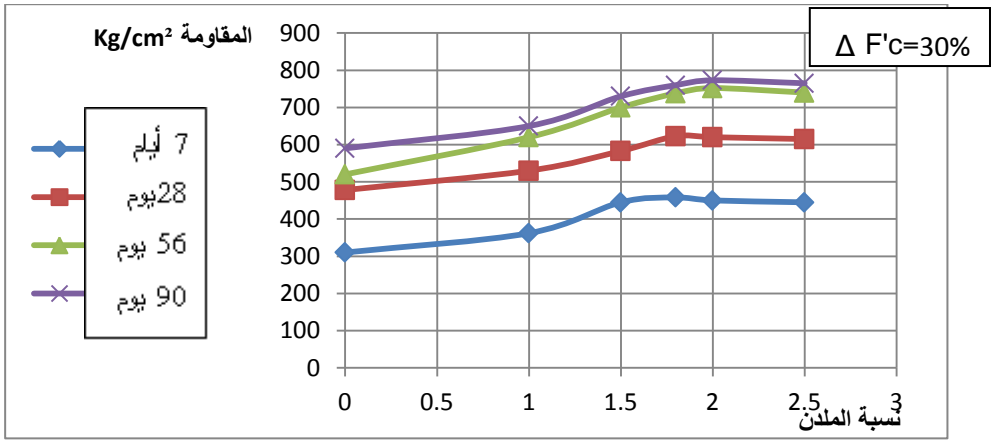
نلاحظ في الجدول (8) زيادة نسبة **(S_3C)** على حساب **(S_2C)** هذا ما أدى إلى سرعة التصلب في العمر القريب كون **(S_3C)** مسؤولاً عن التصلب في العمر القريب وهذا ما أدى إلى زيادة التصلب مع هذا النوع من الاسمنت (خلال الشهر الأول).

بالاستعانة بقيم الجدول (3) تم رسم مخططات بيانية لإظهار:

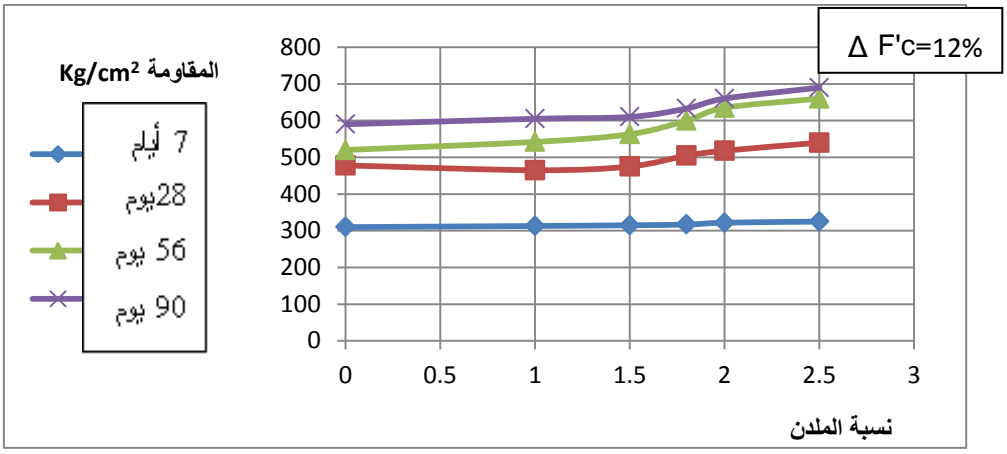
أ- العلاقة بين مقاومة البيتون ونسب الملدنات عند عمر معين للبيتون، ومقدار الزيادة في المقاومة .



الشكل (1): العلاقة بين مقاومة البيتون باسمنت بورتلندي صنع معمل طرطوس ونسبة الملدن I.



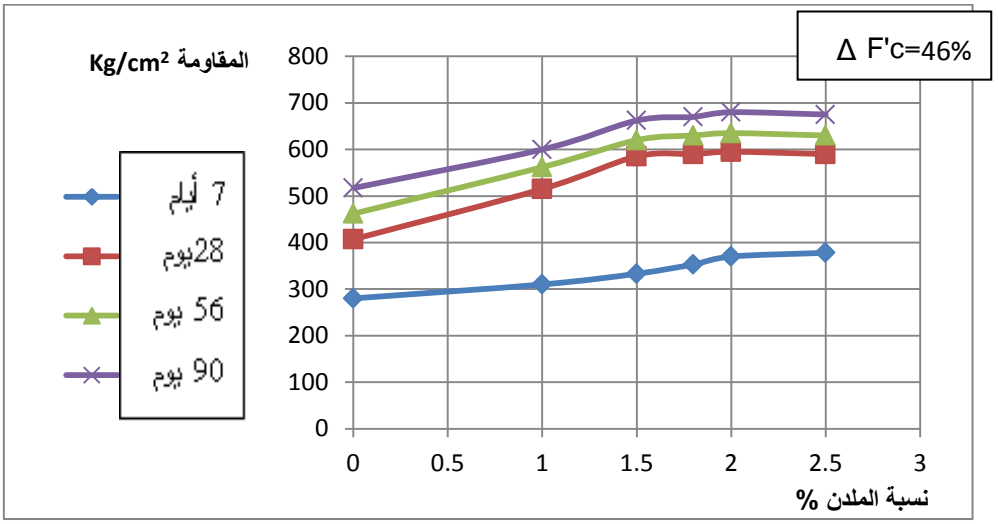
الشكل (2): العلاقة بين مقاومة البيتون باسمنت بورتلندي صنع معمل طرطوس ونسبة الملدن II.



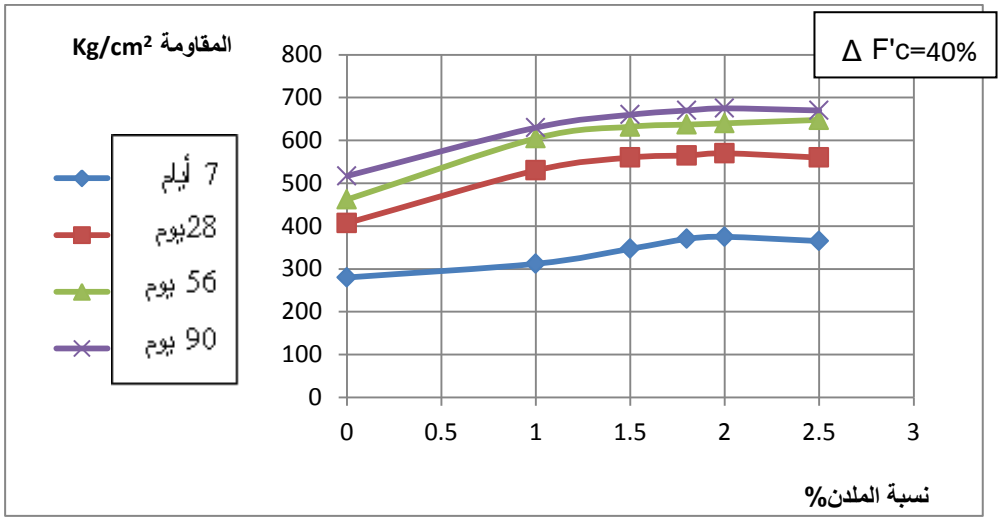
الشكل (3): العلاقة بين مقاومة البيتون باسمنت بورتلندي صنع معمل طرطوس ونسبة الملدن III.

بالاستعانة بقيم الجدول (4) تم رسم مخططات بيانية لإظهار:

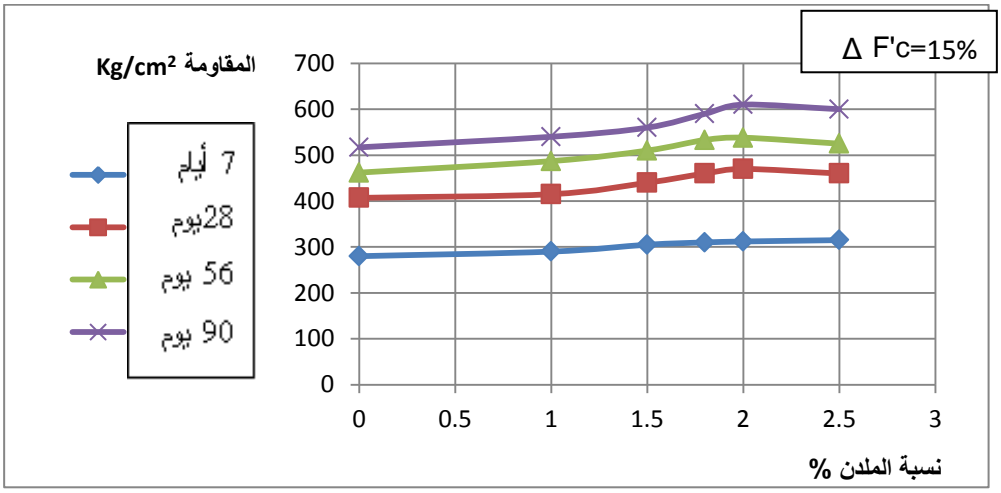
ب- العلاقة بين مقاومة البيتون ونسب الملدنات عند عمر معين للبيتون، ومقدار الزيادة في المقاومة



الشكل (4): العلاقة بين مقاومة البيتون باسمنت بورتلندي صنع معمل الاسكان-حلب ونسبة الملدن I.



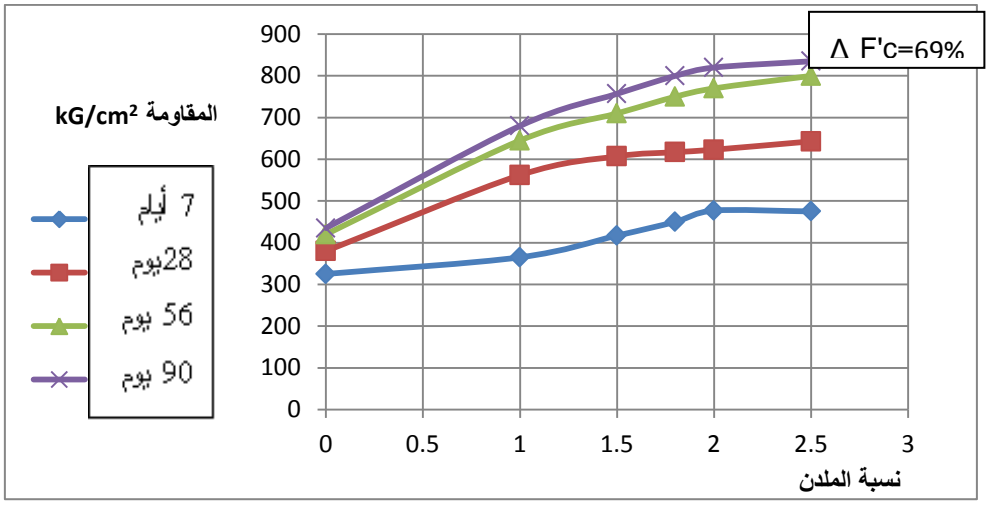
الشكل (5): العلاقة بين مقاومة البيتون باسمنت بورتلندي صنع معمل الاسكان– حلب ونسبة الملدن II



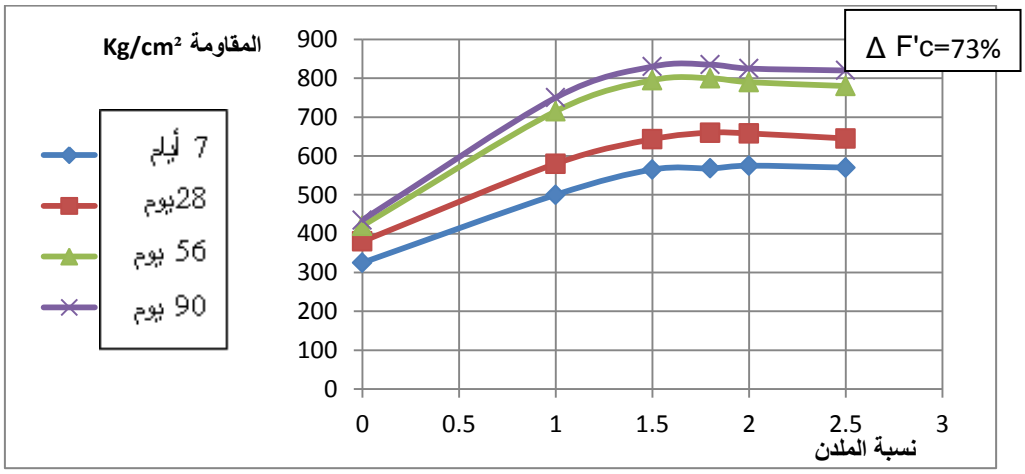
الشكل (6): العلاقة بين مقاومة البيتون باسمنت بورتلندي صنع معمل الاسكان–حلب ونسبة الملدن III.

بالاستعانة بقيم الجدول (5) تم رسم مخططات بيانية لإظهار:

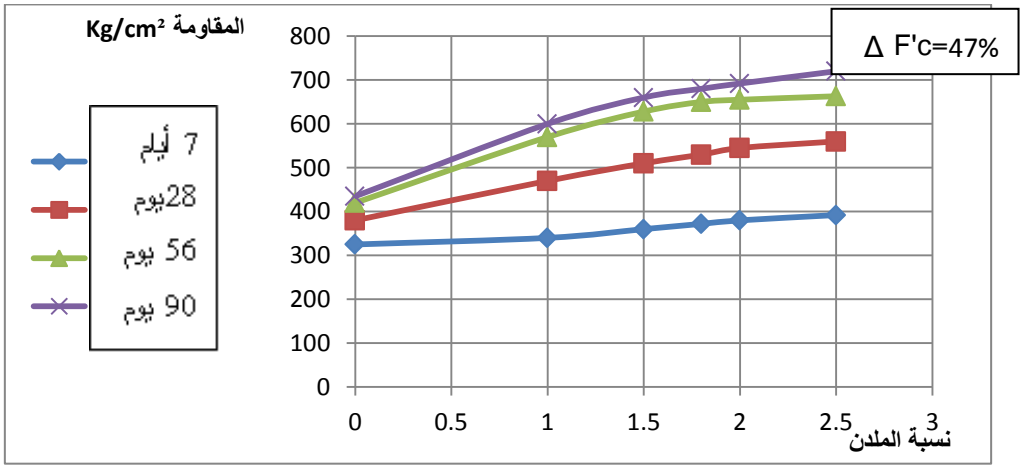
ج– العلاقة بين مقاومة البيتون ونسب الملدنات عند عمر معين للبيتون باسمنت **TS EN 197-1:2002**، ومقدار الزيادة في المقاومة



الشكل (7): العلاقة بين مقاومة البيتون باسمنت بورتلندي –تركي–أضنا ونسبة الملدن I.

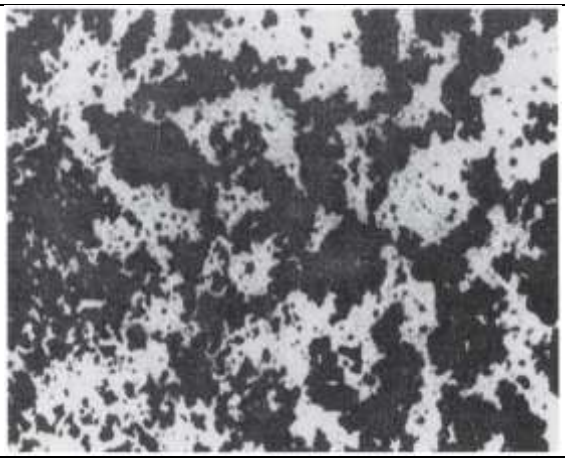
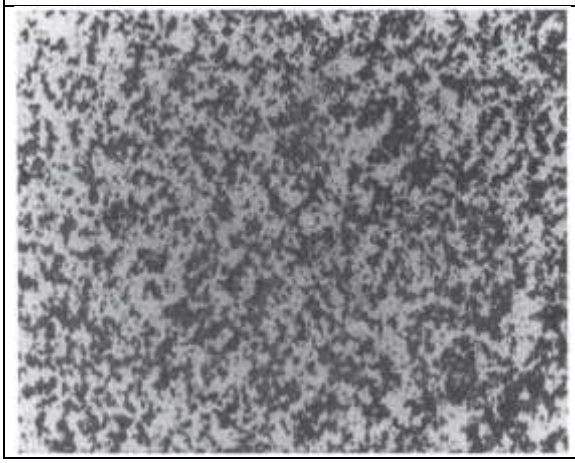


الشكل (8): العلاقة بين مقاومة البيتون باسمنت بورتلندي–تركي–أضنا ونسبة الملدن II.



الشكل (9): العلاقة بين مقاومة البيتون باسمنت بورتلندي –تركي–أضنا ونسبة الملدن III.

يعود هذا الارتفاع في المقاومة إلى البعثرة المهمّة التي تقوم بها جزيئات الملدن، التي من شأنها توزيع حبيبات الاسمنت بشكل منتظم يمنعها من التجمع والتكتل، مما يرفع درجة الإماهة حيث يصبح اتصالها بالماء المحيط أكثر حرية، وهو ما سيؤدي إلى ازدياد المقاومة، فكلما كان السطح النوعي للاسمنت أكبر كلما سيطر عليه الملدن وبعثره بشكل أفضل، بالتالي أدى إلى ارتفاع مقاومته بشكل أفضل، وبما أن الاسمنت التركي هو الأنعم لذلك كانت منحنياته هي الأشد ميلاً والأعلى قيماً في المقاومة، ويبين الشكل التالي تأثير الملدن في توزع حبيبات الاسمنت.

توزع جزيئات الاسمنت قبل إضافة الملدن	توزع جزيئات الاسمنت بعد إضافة الملدن
	

الشكل(10) يبين توزع جزيئات الاسمنت في الماء قبل وبعد إضافة الملدن[7]

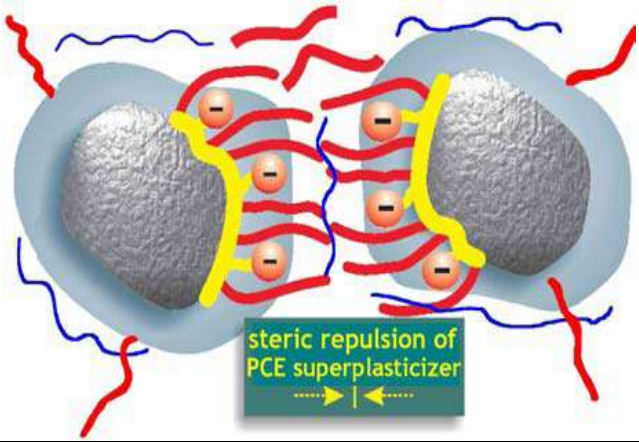
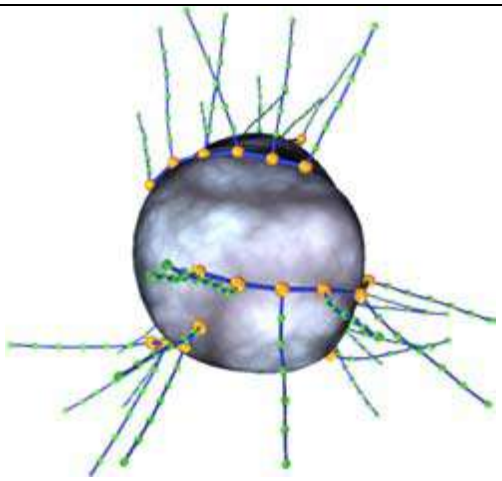
حاول عدة باحثين دراسة تأثير الملدنات في جزيئات الاسمنت في أثناء فترة الخلط والإماهة الأولية للاسمنت، وبناءً على كثير من الملاحظات والدراسات فقد اقترح جوليكون وزملاؤه [7] . آلية لشرح فعل الملدن في أثناء إماهة الاسمنت، حيث أنهم فسّروا آلية عمل الملدن الممتز على سطح حبات الاسمنت بأربع حالات:

-الحالة الأولى: امتزاز جزيئات الملدن على حبات اسمنت ذات شحنة سالبة وتعديلها

-الحالة الثانية: تظهر تنافراً كهربائياً ساكناً لذرتي اسمنت، إحداهما ذات شحنة سالبة، والثانية ذات شحنة موجبة، بوجود الملدن، حيث إنه بغياب الملدن كان سيحل تجاذب بين الذرتين.

-الحالة الثالثة: تبين تنافراً خاملاً بين جزيئتين من الملدن ملتصقتين على ذرتي اسمنت متجاورتين، وتشكلان غطاءً يُضعف التجاذب الكهربائي.

-الحالة الرابعة: تظهر التفاعل المتبادل بين جزيئات الملدن وبعض المواقع النشيطة على حبات الاسمنت. حيث إنه في هذه الحالة تتنافس جزيئات الملدن مع كبريتات الكالسيوم على تحييد هذه المواقع (أي تحويل هذه المواقع النشيطة إلى مواقع خاملة) وهذا يفسر في بعض الحالات لماذا يفقد الملدن ذو التأثير القوي مقدرته على بعثرة ذرات الاسمنت بعد فترة قصيرة. حيث إن قسماً منه يتفاعل مع هذه المواقع النشيطة، وبالتالي يصبح أضعف في بعثرة ذرات الاسمنت، ونبين فيما يلي آلية عمل الملدن بشكل يوضح تشتيت وبعثرة جزيئات الاسمنت.

الشكل الحبيبي مبيناً تنافر حبات الاسمنت	الشكل المجهري لحبة الاسمنت وجزيئات الملدن
	

الشكل (11) توضيحي يبين آلية عمل الملدن بعملية التشتت والبعثرة لحبات الاسمنت[8]

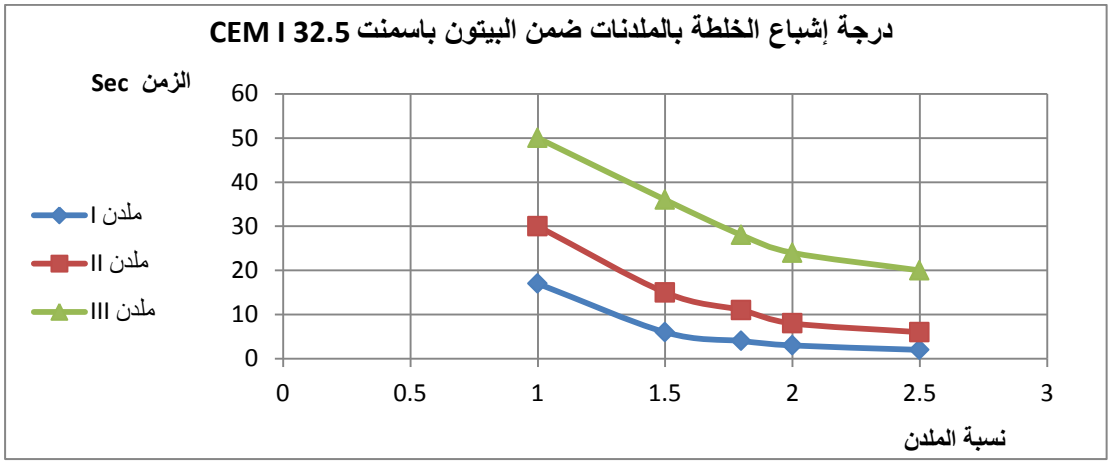
الشكل (12) يبين جهاز المانيابيليمتر لقياس زمن الجريان.

الشكل (13) يبين العينة البيتونية خلال عملية التحميل والانهيار.

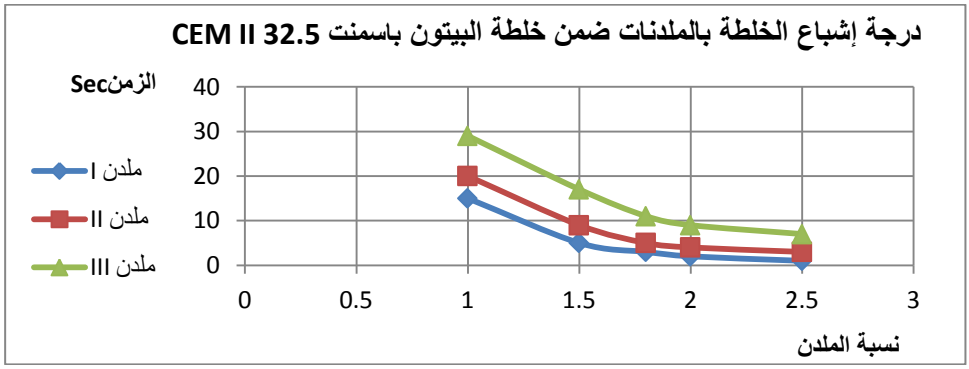
الشكل (14) يبين العينة البيتونية المنهارة وشكل الانهيار كان موحداً في جميع الخلطات أي أن نوع الملدن لا يؤثر في سلوك الانهيار وشكل الانهيار يؤكد تعرض العينة لحمولة ضغط محوري

ثانياً: تأثير الملدنات في قوام الخلطات كان واضحاً من خلال مخططات الإشباع:

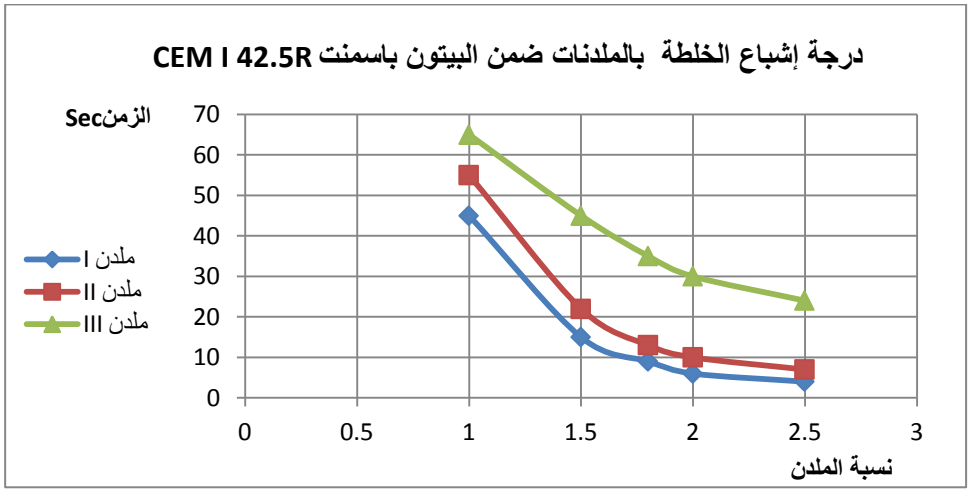
1- مخطط إشباع الخلطة بالملدن(نسبة ملدن-زمن جريان).



الشكل (15): العلاقة بين زمن جريان الخلطة البيتونية باسمنت صنع معمل طرطوس CEM I 32.5 ونسبة الملدنات.



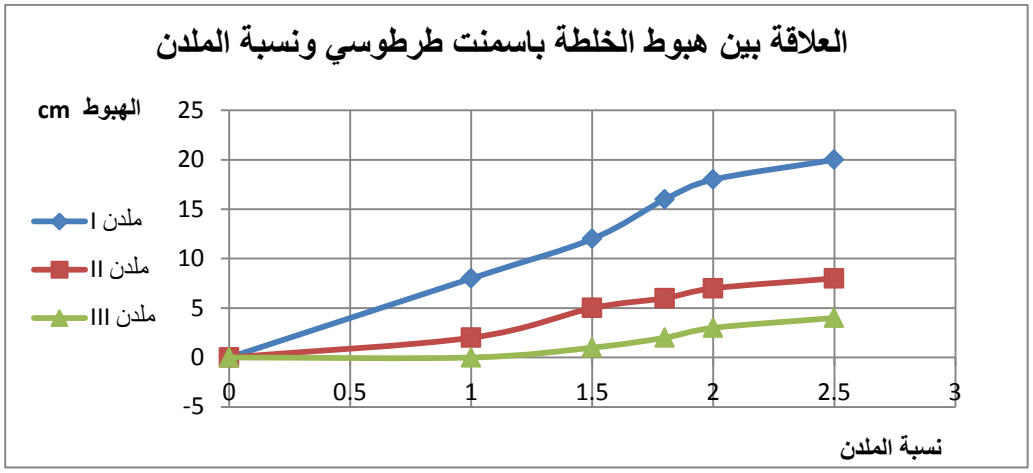
الشكل (16): العلاقة بين زمن الجريان للخلطة باسمنت صنع معمل حلب–المسلمية CEM II 32.5 – ونسبة الملدنات.



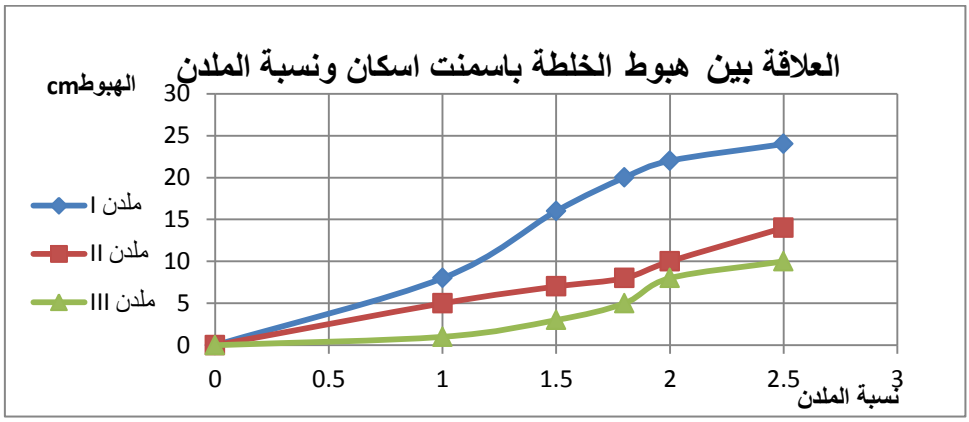
الشكل (17): العلاقة بين زمن جريان الخلطة البيتونية باسمنت بورتلندي– تركيا– أضنا CEM I 42.5R ونسبة الملدنات.

كما يظهر سلوك الملدن في الخلطة بالحالة الطرية من خلال زيادة الهبوط لكل خلطة مرجعية حسب النسب كما هو مبين في المخططات التالية.

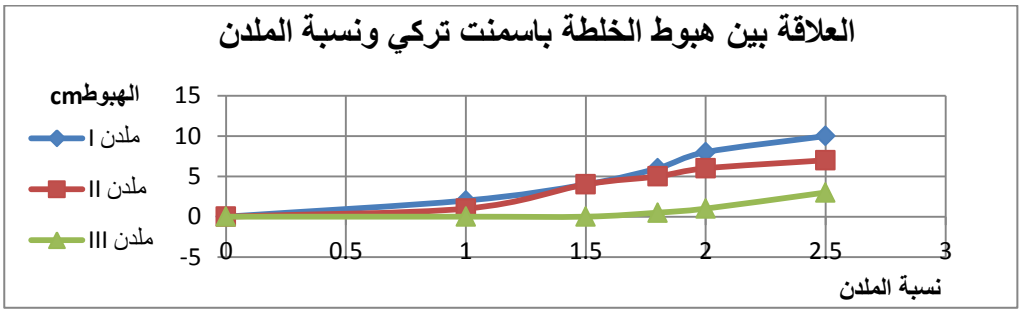
1–مخطط الهبوط لكل ملدن(نسبة ملدن– الهبوط).



الشكل (18): العلاقة بين هبوط الخلطة البيتونية باسمنت صنع معمل طرطوس CEM I 32.5 ونسبة الملدنات.



الشكل (19): العلاقة بين هبوط الخلطة البيتونية باسمنت صنع معمل حلب-المسلمية CEM II 32.5 – ونسبة الملدنات.



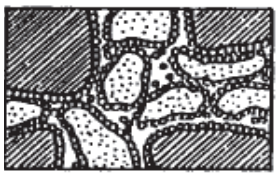
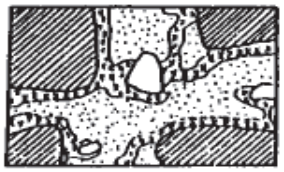
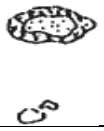
الشكل (20): العلاقة بين هبوط الخلطة البيتونية باسمنت بورتلندي تركي- أضنا CEM I 42.5Rونسبة الملدنات.

نلاحظ أن الملدن **I** أبدى تأثيراً ممتازاً في قابلية التشغيل في جميع الخلطات.

كما نلاحظ أن الملدن **II** أبدى تأثيراً جيداً في قابلية التشغيل.

أما تأثير الملدن **III** في قابلية التشغيل فهو ضعيف جداً، حيث لم يستطع هذا الملدن إعطاء السيولة والهبوط اللازم للبيتون بالاسمنت البورتلندي صنع تركيا+ الاسمنت البورتلندي صنع طرطوس، حيث النسبة العظمى منه (2.5%) لم ترفع الهبوط سوى إلى (4cm,3cm)، أما مع البيتون باسمنت بورتلندي صنع الإسكان فقد أعطى تأثيراً مقبولاً في قابلية التشغيل ضعيفة عند النسبة العظمى منه(2.5%) حيث وصل الهبوط إلى (10cm).

ويمكن تفسير انخفاض زمن جريان الخلطات وإكسابها سيولةً وهبوطاً يستمر لوقت أطول بأن جزيئات الملدن منعت حبات الاسمنت من الهدرجة المباشرة، حيث قامت بتغليفها، فأطالت زمن الهدرجة، الزمن الذي يسمح لنا بالتحكم بالخلطة وتشغيلها بشكل أفضل وأسهل، ويتم إعاقة الهدرجة على أربعة مراحل مبينة في الشكل التالي:

المراحل	الشكل	الرمز	الشرح
أولاً: لحظة الخلط أي بداية الخلط			ذرات الاسمنت غير المهدرجة الجزيئات البولميرية للملدن الحصويات ووجود الماء في الفراغ الموجود
ثانياً: في أثناء التصلب			مزيج من جزيئات الاسمنت غير المهدرجة والجيل الاسمنتي المهدرج والتي تتوضع عليها الجزيئات البولميرية للملدن جزئياً
ثالثاً: استمرار عملية التصلب			مزيج من الجيل الاسمنتي المهدرج وجزيئات الاسمنت غير المهدرجة المغلفة بطبقة من جزيئات الملدن البولميرية
رابعاً: نهاية عملية التصلب			هدرجة الاسمنت المغلف ببولميرات الملدنات أو بالنسيج الغشائي الهواء المدخل

الشكل (21): يبين فعالية جزيئات الملدنات وأثرها في حبيبات الاسمنت.[9]

الاستنتاجات والتوصيات:

1-تعمل الملدنات عالية الفعالية على زيادة المقاومة بشكلين مباشر وغير مباشر حيث:

- الزيادة غير ا لمباشرة: نتيجة إقلال النسبة (W/C) الذي من شأنه زيادة المقاومة.
- الزيادة المباشرة: من خلال طبيعة التفاعلات بين الملدنات عالية الفعالية والاسمنت، حيث يؤدي هذا التفاعل إلى انتفاخ ذرات الاسمنت، وهذا الانتفاخ يؤدي إلى ملء الفراغات حول الحصويات، بالتالي تحقيق كتامة واكتناز أكبر والحصول على مقاومات أعلى، ويجب التنويه أن زيادة نسب الملدن إلى (2.5%) فما فوق تؤدي إلى زيادة الانتفاخ وهذا بدوره يؤدي إلى إضعاف المقاومة.

2-من الضروري الاعتناء بنوعية الإحضارات من حيث النظافة والتدرج الحبي الجيد للحصول على التأثير المنتظر للملدن.

3-باستخدام الملدنات عالية الفعالية يمكن الحصول على بيتون عالي المقاومة، بالتالي يمكن تخفيض نسبة استهلاك الاسمنت، أو تخفيض أبعاد مقاطع العناصر البيتونية.في منشآت البيتون العادي.

4-باستخدام الملدنات عالية الفعالية يمكن الوصول إلى بيتون ذاتي التوضع، وهذا ما دلت عليه نتائج الجريان والهبوط للعينات المضاف إليها الملدنات.

5-دلت نتائج التجارب على توافق بين درجة إشباع الخلطة بالملدن وقيمة المقاومة الأعلى عند النسبة نفسها من الملدن وهي تقريباً(2%)، ويمكن تسميتها بالنسبة الحرجة التي بعدها تكون إضافة الملدن غير مجدية.

6-أظهرت نتائج التجارب على العينات البيتونية الفاعلية الممتازة للملدن عالي الفعالية لتقليل نسبة امتصاص العينات البيتونية للماء، حيث انخفضت نسب الامتصاص بوجود الملدنات ضعفين وأحياناً ثلاثة أضعاف.

7-يجب الانتباه جيداً عند استخدام الملدنات إلى شروط السلامة الخاصة بها. والتأكيد على الالتزام بالنشرات المرفقة وبشروط الحفظ والاستخدام وخاصة عدم تجاوز النسب العظمى المسموحة.

التوصيات:

1-التأكيد على استخدام الملدنات في البيتون لما لها من أثر ممتاز في تحسين خصائصه في الحالتين الطرية والصلبة، حيث تعدّ قابلية التشغيل والمقاومة من أهم خواص البيتون، وتعطي مؤشراً واضحاً لمعظم خواص البيتون الأخرى، ففي حال توفر مقاومة عالية للبيتون، فهذا يعني أن بنية البيتون مترابطة ومتراصة، والترابط بين الركام والعجينة الإسمنتية جيد، وهذا يؤدي إلى ارتفاع مقاومة الشد ومعامل المرونة الاستاتيكي وتقليل نسبة الامتصاص والنفاذية، بسبب التراص الجيد وقلة الشقوق والفراغات .

2-باستخدام الملدنات عالية الفعالية يمكن الحصول على بيتون عالي المقاومة، بالتالي نقترح تخفيض نسبة استهلاك الاسمنت، والحد من الهدر. وذلك في منشآت البيتون العادي.

3-متابعة الأبحاث المتعلقة بدراسة تأثير معاملات الخلطة الأخرى، كالتدرج الحبي والشكل والنظافة على أداء الملدنات.

4-التحقق من فعالية الملدن قبل استخدامه في البيتون، وإجراء دراسة أولية تمكننا من تقدير فعاليته النسبة المثلى للملدن وتحديدها، والتي تتعلق دائماً بخصائص الخلطة والملدن ونوع الاسمنت.

5-عدم استخدام نوع معين من الملدن مع نوع معين من الاسمنت بسبب بعض الصعوبات الناتجة في أثناء التنفيذ كعدم حدوث تصلب للاسمنت.

6-عدم الاكتفاء بالمعلومات الواردة في النشرات المرفقة مع الملدنات، والاعتماد على قيم الاختبارات الأولية.

7-اختبار المقاومة المميزة للبيتون بعمر (56) يوم بدل(28) يوم لأنها تصل بعمر(56) يوم إلى (90%) من مقاومتها بعمر (90) يوم.

المراجع:

[1] هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية.

[2] هيئة المواصفات والمقاييس الأوروبية.TS EN 1-197 2002.

[3] هيئة المواصفات والمقاييس الأمريكية .ASTM.

[4] DREUX, G. ; FESTA,J. *Nouveau guide du béton et de ses constituants*, Eyrolles, Paris, 1998, 409.

[5] خير بك، علي. تأثير استخدام الاسمنت المقاوم للكبريتات في بطء تصلب البيتون مجلة جامعة تشرين، المجلد29,2007،11.

[6] خير بك، علي. أثر الاستخدام الأمثل للملدنات على مواصفات المونة الاسمنتية في الحالة الطرية والصلبة، مجلة جامعة تشرين، المجلد30,2008،11.

[7] JOLICOEN,C.; NKINAMUBAUZ, P.C.; SIMAND,M.A.; PIOTTE, M.; *progress in understanding the functional properity of superplasticizer in fresh concrete*.ACI.SP-.1994, 148.

[8] AITCIN, P.-C. *High-performance Concrete*, E and FN Spon, London, ISBS 0-419-19270-0, 591.

[9] موقع أكتروني الهندسة نت،.تاريخ الدخول 2010/5/13.