مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (29) العدد (4) 2007
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (29) No. (4) 2007

تأثير استخدام الإسمنت المقاوم للكبريتات في بطء تصلب البيتون

الدكتور علي خيربك*

(تاريخ الإيداع 15 / 8 / 2007. قُبِل للنشر في 2007/10/1)

□ الملخّص □

يتم اختيار الإسمنت عادة قبل الشروع في أعمال صب البيتون وفقاً لمعايير عدة تتعلق بنوع المنشأة وموقعها والمقاومة الميكانيكية المطلوبة ونوع تربة التأسيس. لذلك نجد في أحيان كثيرة توصيات باستخدام إسمنت بورتلاندي سريع التصلب عندما تُطلَب مقاومة مبكرة مرتفعة، وإسمنت بورتلاندي ذو حرارة إماهة منخفضة عند صب الكتل الضخمة، وهو مقاوم للكبريتات عند صب البيتون في أوساط حاوية على الكبريتات.

يهدف هذا البحث إلى دراسة الأسباب التي تكمن وراء ظاهرة بطء تصلب البيتون الذي استخدم فيه الإسمنت المقاوم للكبريتات، هذه الظاهرة التي تؤخر من وصول البيتون إلى مقاومته النهائية خلافاً للبيتون الذي يصنع باستخدام الإسمنت البورتلاندي العادي.

تم في هذا البحث دراسة تطور المقاومة الميكانيكية مع الزمن على عينات من المونة الإسمنتية تمَّ صبها باستخدام إسمنت بورتلاندي عادي، وإسمنت بورتلاندي مقاوم للكبريتات.

بعد إجراء الاختبارات اللازمة في مخبر تجريب المواد في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين، ودراسة النتائج الخاصة بتطور المقاومة الميكانيكية مع الزمن لكلا نوعي الإسمنت، تمَّ تقييم هذه النتائج وتقديم التحليل الخاص بأسباب تأخر التصلب، وعرض قيم تسمح بتحديد نسب انخفاض المقاومة في عمر محدد للإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات مقارنة بالإسمنت البورتلاندي العادي.

الكلمات المفتاحية:

الإسمنت البورتلاندي العادي، الإسمنت المقاوم للكبريتات، تصلب البيتون، الإماهة، التركيب المينيرالي للإسمنت.

*مدرس في قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (29) العدد (4) 2007
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (29) No. (4) 2007

Rôle Des Ciments Résistants Aux Sulfates Dans Le Durcissement Lent Du Béton

Dr. Ali Kheirbek*

(Déposé le 15 / 8 / 2007. Accepté 1/10/2007)

□ Résumé □

Le choix du ciment se fait souvent avant la mise au point des formulations du béton, il dépend de la structure, de la nature du sol et de la résistance souhaitée.

Un ciment à durcissement rapide est recommandé quand on exige des résistances élevées du béton à jeune âge, un autre ciment à chaleur d'hydratation réduite serait recommandé pour les structures massives, et un ciment résistant aux sulfates dans le cas où le béton sera coulé dans les milieux sulfatés.

Le but de cet article est d'étudier les mécanismes de durcissement d'un béton contenant dans sa composition du ciment résistant aux sulfates. La composition minéralogique du clinker peut expliquer le phénomène de durcissement lent du béton.

Afin de suivre l'évolution de la résistance mécanique des ciments résistants aux sulfates, nous avons fabriqué des échantillons de mortiers en utilisant des ciments portlands normaux, et d'autres résistants aux sulfates.

L'analyse des résultats de résistances mécaniques obtenues sur chaque type de ciment nous a permis d'évaluer l'effet de la composition minéralogique du ciment sur l'évolution de la résistance mécanique, et le rôle du pourcentage de C3A (relativement élevé dans les ciments résistants aux sulfates) dans le phénomène de durcissement lent du béton.

Mots clés: Ciment portland normal, ciment résistant aux sulfates, durcissement du béton, hydratation, composition minéralogique du ciment.

***Maître- assistant-Faculté de génie civil- Université Tichrine- Lattaquié Syrie.**

www.manaraa.com

1- مقدمة:

ينتشر استخدام الإسمنت المقاوم للكبريتات في المواقع التي يمكن أن تظهر فيها أخطار قد تؤثر في ديمومة البيتون بفعل الوسط الذي سيُصَب فيه، مما يستدعي اتخاذ احتياطات تتعلق باختيار المواد الداخلة في البيتون كالإسمنت مثلاً أو بعض الإضافات الصلبة أو السائلة التي تعمل على إكساب البيتون بعض المواصفات الخاصة التي تجعله يقاوم العوامل المخربة المحيطة به.

تكون الأوساط الضارة والمخربة للبيتون عادةً إما على شكل غازات ضارة قد تؤثر سلباً في البيتون بوجود الرطوبة والحرارة، كغاز ثاني أكسيد الكربون مثلاً، أو على شكل محاليل ضارة عندما تقع في تماس مباشر مع البيتون كأملاح الكلور أو الكبريتات.

تُصنِّف المواصفات العالمية درجة تخريب الوسط عادة في أربعة مستويات [1]:

الجدول 1: تصنيف الأوساط المخربة وفق المواصفات الفرنسية P 18 - 305

تصنيف الأوساط المخربة وفق المواصفات الفرنسية P 18 - 305					
رمز الوسط	وصف الوسط	CO_2 mg /l	SO_4^{--} mg/l	Mg^{++} mg/l	PH
A1	ضعيف التخريب الكيميائي (جو منشآت صناعية)	15-30	250-600	300>	5.5 -6.5
A2	متوسط التخريب الكيميائي	30-60	600-1500	300-1500	4.5-5.5
A3	عالي التخريب الكيميائي	60-100	1500-6000	1500-3000	4-4.5
A4	شديد التخريب	>100	>6000	>3000	<4

يبدو من الجدول أن المعيار الفرنسي لاستخدام الإسمنت المقاوم للكبريتات هو وقوع نسبة شوارد الكبريتات ($SO4^{--}$) بين (550-1500 mg/l). تُتَّخَذ عادة سلسلة من الإجراءات الاحتياطية الإضافية للتقليل من أثر الكبريتات في البيتون نذكر منها:

- استخدام الإسمنت المقاوم للكبريتات في صناعة البيتون.
- ألا يقل عيار الإسمنت عن $\frac{550}{\sqrt[5]{D}}$ حيث D:القطر الأعظمي للحصويات بالـ mm.
- الإقلال قدر الإمكان من النسبة W/C بحيث لا تتجاوز بأي شكل من الأشكال قيمة 0.55.
- وقاية حديد التسليح وذلك بزيادة سماكة طبقة التغطية بحيث لا تقل عن 30mm.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

2- آلية تأثير الوسط الكبريتي في البيتون:

يتم تخرب البيتون بتأثير الكبريتات فيه عن طريق انتفاخه بشكل رئيسي. يعود هذا الانتفاخ إلى تشكل الإيترانجيت الانتفاخي (Ettringite expansive) على مرحلتين [1]:

- إيترانجيت المرحلة الأولية: الناتج عن دخول الجبس في عملية الإماهة
- إيترانجيت المرحلة الثانية: الذي يتشكل وفق الآلية التالية:

تتفاعل أملاح الكبريت الموجودة في الوسط المخَّرب مع البورتلانديت ($Ca(OH)_2$) الناتج من عمليات الإماهة الأولية لتشكيل الجبس وفق المعادلة التالية:

$$Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O + 2NaOH$$

عندما يزداد محتوى الوسط من الكبريتات (أكبر من 1000 mg/l) يحصل ترسب للجبس المتشكل. أما الباقي من الجبس فيدخل في تفاعل آخر مع ألومينات الكالسيوم الثلاثية (C3A) التي لم تدخل بعد في عملية الإماهة لتشكيل الإيترانجيت ذي البنية الإبرية كما هو موضح في الشكل (1)، وهو ما يؤدي إلى انتفاخ البيتون ومن ثم تقشره أو تخربه وذلك وفقاً للمعادلة التالية:

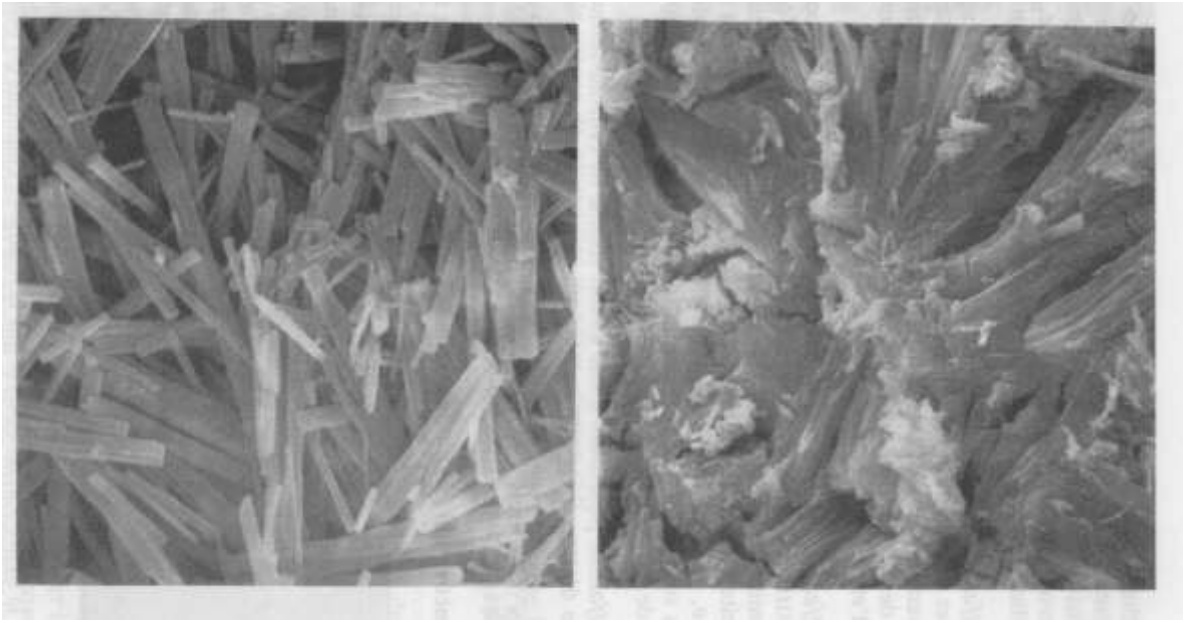
$$C3A + 3CaSO_4.2H_2O \rightarrow C3A.3CaSO_4.H_{3O-32}$$

يمكن إذاً تلخيص آلية تخرب البيتون بفعل تأثير الوسط الكبريتي كما يلي:

- ملامسة الوسط المخرب لسطح البيتون.
- تغلغل شوارد الكبريتات (SO_4^{--}) عن طريق الانتشار إلى الطبقة السطحية من البيتون.
- تغلغل شوارد (Mg^{++}, Na^{+}, NH_4^{+}) في بنية البيتون ومن ثم تشكل الجبس بكمية تتناسب مع شوارد الكبريتات وكثافة البورتلانديت ($Ca(OH)_2$) في البيتون.
- تفاعل شوارد الكبريتات (SO_4^{--}) مع ألومينات الكالسيوم الثلاثية C3A لتشكيل الإيترانجيت القابل للانتفاخ.
- ظهور التشققات السطحية الناجمة عن الضغط الداخلي لبلورات الإيترانجيت على بنية البيتون.
- تغلغل شوارد الكبريتات من جديد بشكل أكبر وذلك عبر الشقوق المتشكلة حديثاً ليزيد معها عمق التخرب.

يبين الشكل (1) البنية الإبرية بالمجهر الإلكتروني للإيترانجيت الانتفاخي ($C3A.3CaSO_4.H_{3O-32}$) الذي يقوم بالضغط على بنية البيتون وتشكيل إجهادات تؤدي بعد ترسب كمية كافية من هذا المركب إلى حدوث تقشرات ينشأ عنها انسلاخ الطبقة السطحية من البيتون والذي يمتد مع ازدياد تغلغل الكبريتات والأملاح الأخرى إلى زيادة عمق التخرب.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



الشكل 1. البنية الإبرية لمركب الإيترانجيت الانتفاخي ($C3A.3CaSO_4.H_{3O-32}$)

3-الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات (Ciment résistant aux sulfates)

3-1 التركيب (Composition)

يتكون الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات [3] من مطحون الكلنكر ذي المركبات الأربعة الأساسية التالية:

$$C4AF - C3A - C3S - C2S$$

مع إضافة كبريتات الكالسيوم بكميات صغيرة إلى الكلنكر أثناء التصنيع وذلك لضبط زمن تجمد الإسمنت. لا تتجاوز النسبة المضافة من هذه المادة الـ 1% وزناً من كمية الإسمنت.

بالعودة إلى ما رأيناه سابقاً من تأثير ألومينات الكالسيوم الثلاثية C3A في تشكيل الإيترانجيت في الوسط الكبريتي الذي يقع في البيتون، يجب أن لا تتجاوز نسبة ألومينات الكالسيوم الثلاثية حداً معيناً [5] في الكلنكر، ويُحسب من المعادلة التالية:

$$C3A = 2.65\ A - 1.69\ F$$

حيث:

A: نسبة أكسيد الألمنيوم (Al_2O_3) في كتلة الإسمنت الكلية عندما نختبره وفق م.ق.س (75).

F: نسبة أكسيد الحديد (Fe_2O_3) في كتلة الإسمنت الكلية عندما نختبره وفق م.ق.س (75).

تكون هذه النسبة عادة بحدود الـ 3.5% من الكلنكر أي في الحدود الدنيا إذا ما علمنا أن نسبة C3A في كلنكر الإسمنت البورتلاندي العادي تتراوح بين 2 و12%.

يبين الجدول 2 النسب الوسطية لمركبات الكلنكر في الإسمنت البورتلاندي العادي والإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات.

الجدول 2: القيم الوسطية لنسب مركبات الكلنكر في نوعي الإسمنت المدروسين

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

تغير نسب مركبات الإسمنت تبعاً لنوع الإسمنت				
نوع الإسمنت	النسبة المئوية لمركبات الكلنكر في الإسمنت			
	C4AF	C3A	C2S	C3S
الإسمنت البورتلاندي العادي	8	11	27	45
الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات	8	4	43	38

2-3 إماهة الإسمنت (Hydratation du ciment):

يتصلب الإسمنت عندما يمزج بالماء وفق عملية فيزياكيميائية تسمى تمّيه أو إماهة (hydratation) تستمر لمدة أشهر أو سنوات تبعاً لبقاء الماء في بنية البيتون.

أظهرت الدراسات أن البيتون المعالج بالرطوبة [6] يستمر في الإماهة ومن ثمة في كسب المقاومة حتى عمر بعيد قد يتجاوز ستة أشهر.

نبين في ما يلي آلية إماهة كل مركب من مركبات الإسمنت السابقة وتأثير ذلك في المواصفات العامة للبيتون الناتج:

C3S: تصدر عن إماهة C3S حرارة إماهة (Chaleur d'hydratation) تعادل ضعف الحرارة المنتشرة من إماهة C2S. يحصل التفاعل الكيماوي بالنسبة لـ C3S على النحو التالي:

$$2C3S + 6H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

يُسمّى ناتج التفاعل الرئيسي بالهيدرات (Hydrates أو سيليكات الكالسيوم المائية أو التوبرموريت والذي يعطي البيتون قوته.

يعمل هذا المركب على إعطاء البيتون مقاومة عالية في العمر المديد.

C2S: يساعد هذا المركب على منح الإسمنت بعد تصلبه مقاومة في العمر المتوسط والبعيد، وعندما يوجد بكمية كبيرة في الكلنكر، تنخفض الحرارة (حرارة الإماهة) المنتشرة عند تجمد الإسمنت. من هنا يمكن القول إن ثنائي وثلاثي سيليكات الكالسيوم يعملان على إكساب البيتون المقاومة المطلوبة في العمر المتوسط والبعيد.

C3A: وهو المركب الذي يتفاعل أولاً والذي يعطي البيتون المتصلب بداية مقاومته، وهو المركب الذي ينشر أكبر حرارة عند إماهته لذلك يُعدّ المركب الرئيسي المساعد في حصول التجمد للعجينة الإسمنتية، ويسهم قليلاً في إكساب البيتون مقاومته النهائية كما يتأثر كثيراً بوجود الكبريتات.

C4AF: ثاني مركب يدخل في تفاعلات الإماهة بعد C3A، وهو يتفاعل مع الماء بسرعة أقل ويعد دوره ثانوياً في عملية تصلب الإسمنت [7].

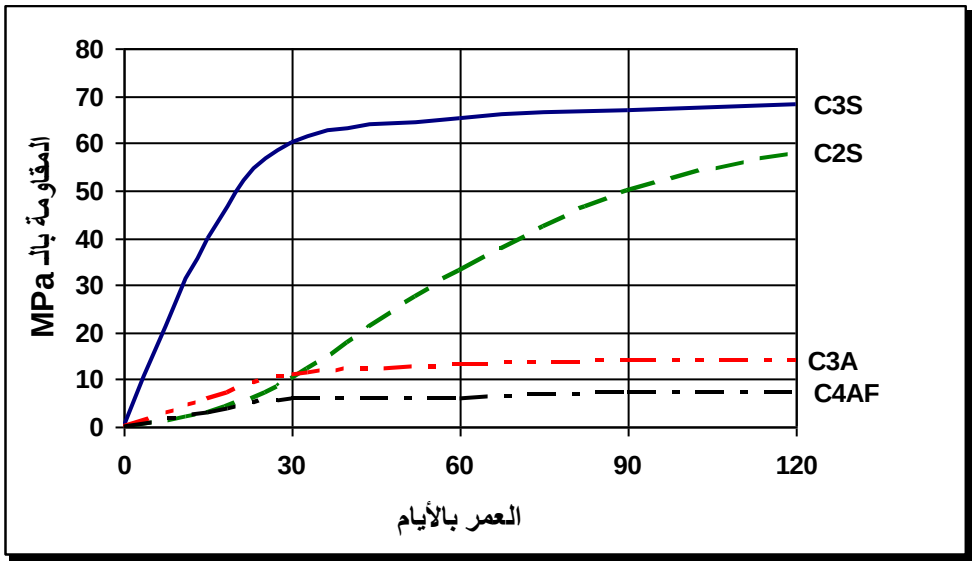
يمكن تلخيص دور نسب مركبات الكلنكر في تصلب الإسمنت على النحو التالي:

- يعود لـ C3A و C3S التي تبدأ أولاً بعمليات الإماهة إكساب البيتون مقاومته المبكرة والمتوسطة.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

- يعود لـ C2S والتي تتأخر نسبياً في الدخول بتفاعلات الإماهة إكساب البيتون مقاومته في العمر المديد.

يبين الشكل 2 القيمة الوسطية لإسهام كل مركب من مركبات الكلنكر في المقاومة الميكانيكية على الضغط البسيط للبيتون مع الزمن.



الشكل 2: إسهام مركبات الكلنكر في إكساب البيتون مقاومته مع الزمن

4- أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى دراسة أسباب ظاهرة بطء تصلب البيتون الذي استُخدم فيه الإسمنت المقاوم للكبريتات والذي يسهم في تأخير وصول البيتون إلى مقاومته القصوى خلافاً للبيتون الذي يصنع باستخدام الإسمنت البورتلاندي العادي.

تهدف الدراسة أيضاً إلى مراقبة تطور مقاومة البيتون المصنوع من الإسمنت البورتلاندي العادي بعد عمر 28 يوماً لتقديم توصيات تخص اعتماد المقاومة المميزة للبيتون بعمر معين، وربط ذلك بالتركيب المينيرالي للإسمنت.

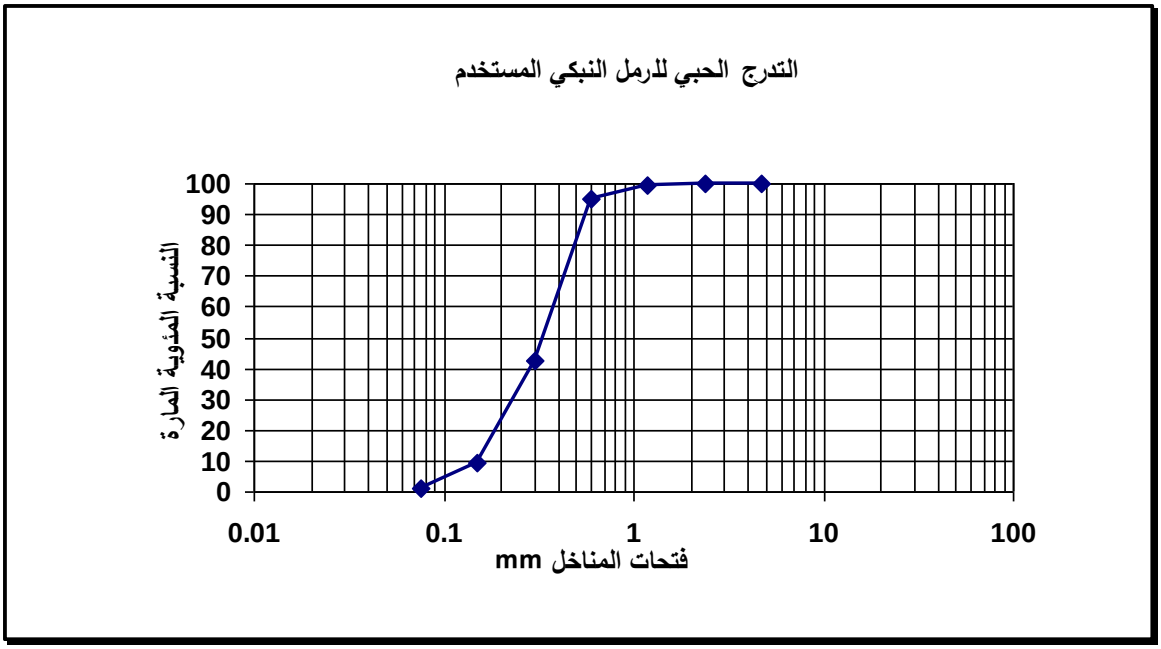
5- طريقة البحث والمواد المستخدمة:

تمَّ اعتماد المنهجية التجريبية لإجراء البحث من خلال صب واختبار عدد كاف من عينات المونة الإسمنتية ليتم بعدها جمع النتائج وتحليلها ومناقشتها للوصول إلى الاستنتاجات والتوصيات اللازمة.

تم تحضير عينات من المونة الإسمنتية بأبعاد 4*4*16 سم باستخدام نوعين من الإسمنت: إسمنت بورتلاندي عادي وإسمنت بورتلاندي مقاوم للكبريتات. استُخدم معها رمل نبكي مغسول بمكافئ رملي قدره ES=91.5% ومعامل نعومة قدره MF=1.5 وتدرج حبي معطى بالمنحني المبين في الشكل 3.

بعد صب العينات باستخدام خلاط المونة الإسمنتية، كان فك القوالب يتم في اليوم التالي للصب بعد مرور 24 ساعة. يُجرى ذلك بحذر حيث يتم تنظيفها ومسحها بالزيت المعدني لتستخدم في اليوم التالي. أما العينات فتوضع في الماء مباشرة بعد نزعها من القوالب، وتبقى مغمورة بالكامل في الماء حتى يحين موعد الاختبار [10].

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



الشكل 3: منحني التدرج الحبي للرمل المستخدم في صناعة عينات المونة الإسمنتية

تم صب سلسلة من العينات المتشابهة من كلا نوعي الإسمنت، وبظروف وخصائص صب وتخزين موحدة، وبنسبتين لـ W/C=0.55, W/C=0.6 وذلك ليتم اختبارها على الضغط البسيط والشد بالانعطاف باستخدام جهاز كسر عينات المونة الإسمنتية في مخبر تجريب المواد في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين، بأعمار مختلفة (3، 7، 14، 28، 60، و90 يوماً) وذلك لدراسة تطور المقاومة مع الزمن باستخدام نوعي الإسمنت المدروسين.

6- النتائج ومناقشتها (Résultats et discussion):

تبين الأشكال 4 و5 تطور مقاومات المونة الإسمنتية مع الزمن حتى العمر 90 يوماً لكلا نوعي الإسمنت وللمقاومات المقاسة على الضغط البسيط.

يبدو على منحنيات الشكل 4 وفيما يخص المونة W/C=0.55، الازدياد النسبي للمقاومة واضحاً بين العمرين 28 و60 يوماً للإسمنت المقاوم للكبريتات (14%)، فيما ينعدم هذا الفرق للإسمنت البورتلاندي العادي. أما عند العمر 90 يوماً فيستمر منحنى الإسمنت المقاوم للكبريتات بالصعود حتى يتجاوز المنحني الخاص بالإسمنت العادي الذي.يسجل بدوره زيادة طفيفة بين العمرين 60 و90 يوماً بحدود 11%.

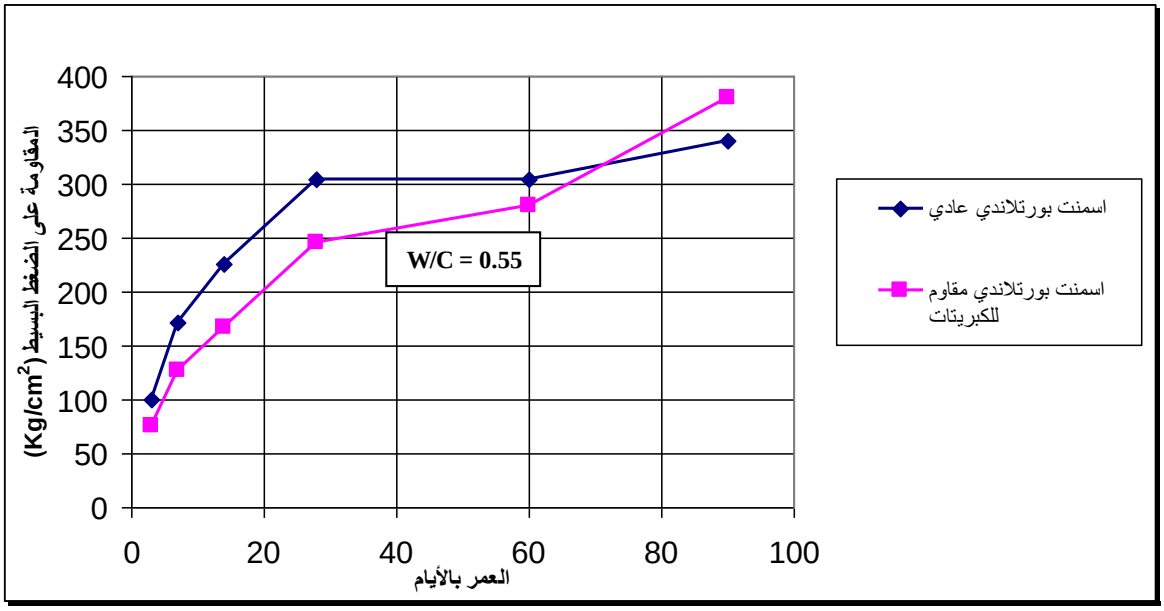
أما على منحنيات الشكل 5 وفيما يخص المونة W/C=0.6، يبدو الازدياد النسبي للمقاومة كبيراً بين العمرين 28 و60 يوماً للإسمنت المقاوم للكبريتات (84%)، كما نلاحظ تطور المقاومة أيضاً بين هذين العمرين للإسمنت البورتلاندي العادي ولكن بنسب أقل (39%). أما عند العمر 90 يوماً فيُلاحظ السلوك نفسه فيما يخص تجاوز منحنى الإسمنت المقاوم للكبريتات المنحنى الخاص بالإسمنت العادي الذي.يسجل بدوره زيادة بين العمرين 60 و90 يوماً بحدود 13%

أما الزيادة في المقاومة بين 28 و90 يوماً فتتراوح بين 11 و55% للإسمنت البورتلاندي العادي للنسب W/C = 0.55 و W/C = 0.60 على التوالي، وتتراوح بالنسبة للإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات بين 28 و90 يوماً من 55 إلى 125% للنسب W/C = 0.55 و W/C = 0.60 على التوالي.

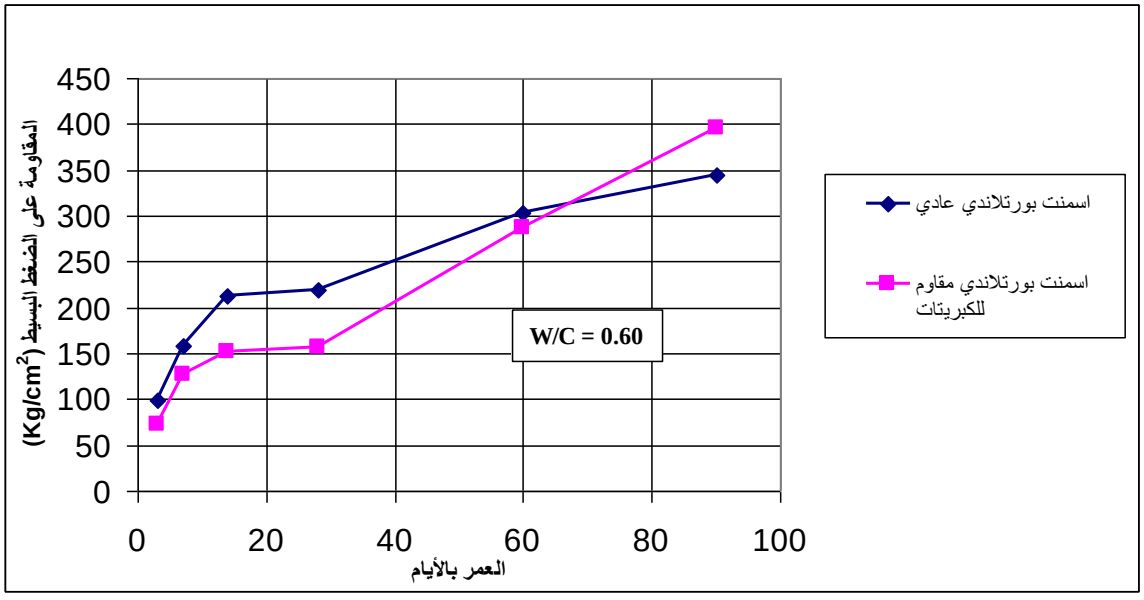
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

بعد قراءة هذه النتائج، يمكن تفسير المقاومات المنخفضة نسبياً عند العمر 28 يوماً للكثير من عينات البيتون الذي يحوي في تركيبه إسمنتاً مقاوماً للكبريتات، إذ إن هناك طوراً آخر لمنحني تغير المقاومة مع الزمن يبدأ من هذا العمر ويستقر نسبياً عند العمر 90 يوماً.

و يبدو أن النسبة W/C تلعب دوراً هاماً في هذا التطور. يُلاحظ ذلك من خلال التفاوت في نسبة ازدياد المقاومة بين العمر 28 و90 يوماً لكلا النسبتين W/C=0.60 , W/C=0.55، إذ تكون هذه النسبة أكبر كلما زادت نسبة الماء في الإسمنت.



الشكل 4: تطور مقاومة عينات المونة الإسمنتية مع الزمن على الضغط البسيط



الشكل 5: تطور مقاومة عينات المونة الإسمنتية مع الزمن على الضغط البسيط

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

يبين الجدول 3 الزيادة النسبية في المقاومات على الضغط البسيط لعينات المونة المصنوعة من نوعي الإسمنت وبالنسب المختلفة W/C.

الجدول 3: الزيادة النسبية للمقاومة على الضغط بين العمرين 28 و90 يوماً

النسبة W/C	الإسمنت البورتلاندي العادي	الإسمنت المقاوم للكبريتات
	الزيادة في المقاومة على الضغط % بين العمرين 28 و90 يوماً	الزيادة في المقاومة على الضغط % بين العمرين 28 و90 يوماً
0.55	11	55
0.6	57	124

يُلاحظ من الجدول تطوراً واضحاً للمقاومة بين العمرين 28 و90 يوماً حتى للإسمنت البورتلاندي العادي عندما تصل نسبة W/C إلى 0,6 مما يمكن تفسيره باستمرار عمليات الإماهة [11]، وبشكل واضح عندما تتوفر كمية زائدة من الماء في الخلطة.

يُعزى تطور مقاومة الإسمنت المقاوم للكبريتات بعد عمر 28 إلى تركيبه المعدني له حيث كنا قد أشرنا في المقدمة إلى أن المركب C3A هو أول المركبات التي تتفاعل مع الماء من بين المركبات الأربعة المشكلة للكلنكر، وهو الذي يعطي بداية مقاومة الإسمنت المقاوم للكبريتات. ونظراً لكون C3A يتأثر كثيراً بوجود الكبريتات فمن المؤكد أن تكون نسبة C3A الداخلة في تركيب الإسمنت المقاوم للكبريتات قليلة (أقل منها في الإسمنت البورتلاندي العادي). أما بالنسبة لكل من C3S و C2S اللذين يعطيان المقاومة للبيتون في العمر المتوسط والبعيد فإن نسبتهما في تركيب الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات أكبر منهما في الإسمنت البورتلاندي العادي مما سيؤثر في عملية التصلب التي ستتم على نحو أبطأ وهذا ما يفسر استمرار ازدياد المقاومة بعد العمر 28 يوماً لعينات المونة المصنوعة من الإسمنت المقاوم للكبريتات.

7- الاستنتاجات والتوصيات (Conclusion et recommandations):

في النهاية، يمكن القول إن الزيادة في المقاومة بعد العمر 28 يوماً قد تخص كلا نوعي الإسمنت، ولكن على نحو أوضح للإسمنت المقاوم للكبريتات، مما يستوجب قبل اتخاذ القرار بقبول أو رفض المقاومات الميكانيكية الوقوف عند التركيب المينيرالي للإسمنت (Composition minéralogique)و تصنيفه قبل اعتماد الزمن الأقصى الذي ستُعتمَد عنده مقاومة البيتون للضغط.

يمكن القول أيضاً إن النسبة W/C قد تلعب دوراً في استمرار عمليات الإماهة بالنسبة للإسمنت البورتلاندي العادي والمقاوم للكبريتات على السواء، إذ تستمر تفاعلات الإماهة بعد عمر 28 يوماً كلما زادت هذه النسبة (و بشكل أوضح للإسمنت المقاوم للكبريتات)، وهذا ما يستدعي التريث أيضاً وأخذ ذلك بعين الاعتبار قبل تحديد عمر البيتون الذي ستُعتَمد عنده المقاومة.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

المراجع:

1. BARON, J. ; OLIVIER, J. P. *La durabilité des Bétons*, Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 1992, 453.
2. BARON, J. ; OLIVIER, J. P. *Les bétons, bases et données pour leur formulation*, Eyrolles, Paris, 1999, 522.
3. DREUX, G. ; FESTA J. *Nouveau guide du béton et de ses constituants*, Eyrolles, Paris, 1998, 409.
4. KHEIRBEK, A. *Influence des paramètres de formulation sur les retraits endogène et de dessiccation de la pâte de ciment*, Université de Cergy-Pontoise, France, 2000, 143.
5. هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية، *الإسمنت المقاوم للكبريتات*، المواصفة القياسية السورية رقم 246/ 2003، دمشق 2003.
6. نقابة المهندسين، *الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة*، الطبعة الثالثة، دمشق، 2004.
7. أصلان، طارق. *مواد البناء*، مطبوعات جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا، 1988، 311.
8. POWERS, T. C.; BROYNYARD T. L *Study of the physical properties of hardened portland cement paste*, part 9,.bulletin of PCA, N° 22, 1948.
9. OGAWA, K. ; ROY, D. M. *C4A3S Hydration ettringite formation and its expansion mechanism. Microstructural observation of expansion*, Cement and Concrete Research, 1982, vol. 12,. 101-109.
10. BAROGHEL-BOUNY V. *Caractérisation microstructurale et hydriques des pâtes de ciment et des bétons ordinaires et à très hautes performances*, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1994, 468.
11. DE LARRARD, F. *Structure granulaires et formulation des bétons*, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, 2000, 414.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com