

## تطور مقاومة البيتون بين نوعي الإسمنت الأكثر شيوعاً في سوريا (البورتلاندي العادي والمقاوم للكبريتات)

الدكتور المهندس مروان خوري

أستاذ مساعد في قسم هندسة المواصلات والنقل اختصاص خواص المواد في كلية الهندسة المدنية – جامعة البعث .

الدكتور المهندس عبد القادر الجندي

أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية – جامعة حماه اختصاص مواد البناء .

المهندسة داليا فرج أولاد

طالبة دكتوراه في كلية الهندسة المدنية قسم هندسة المواصلات والنقل – جامعة البعث .

d.aolad@yahoo.com

### ملخص

يتم اختيار الإسمنت عادةً قبل الشروع في أعمال صبّ البيتون وفقاً لمعايير عدة تتعلق بنوع المنشأة وموقعها والمقاومة الميكانيكية المطلوبة وترتبة التأسيس. لذلك نجد في أحيان كثيرة توصيات باستخدام إسمنت بورتلاندي سريع التصلب عندما تُطلب مقاومة مبكرة مرتفعة، وإسمنت بورتلاندي ذو حرارة إمالة منخفضة عند صبّ الكتل الضخمة، ومقاوم للكبريتات عند صبّ 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 يُصنع باستخدام الإسمنت البورتلاندي العادي.

تمّ في هذا البحث دراسة تطور المقاومة الميكانيكية مع الزمن على عينات بيتونية تمّ صبها باستخدام إسمنت بورتلاندي عادي، وإسمنت مقاوم للكبريتات.

بعد إجراء الاختبارات اللازمة ودراسة النتائج الخاصة بتطور المقاومة الميكانيكية مع الزمن لكل من نوعي الإسمنت، تم تقييم هذه النتائج وتحليل أسباب تأخر التصلب، والمقارنة بين نوعي الإسمنت المستخدم من حيث النتائج التي تم الحصول عليها.

**كلمات مفتاحية:** الإسمنت البورتلاندي العادي، الإسمنت المقاوم للكبريتات، تفاعل الإمالة، تصلب البيتون.

## **The development of concrete resistance between the two most common cement types in Syria**

**(Normal Portland and sulfate resistant)**

### **Abstract:**

Cement is usually selected before concrete work is initiated according to several criteria relating to the type of plant, its location, the required mechanical resistance and the foundation soil. Therefore, we often find recommendations for the use of fast-paced Portland cement when high resistance is required, low-temperature Portland cement when pouring large blocks, and sulfate resistance when pouring concrete into sulfate containers.

This research aims to study the reasons behind the slow cement hardening process in which sulfate-resistant cement was used. This phenomenon delays the concrete's arrival to its final resistance, unlike the concrete, which is made using ordinary Portland cement.

In this study, the development of mechanical resistance over time was studied on a bituminous sample that was poured using ordinary Portland cement and sulfate resistant cement. After the necessary tests and the study of the results of the development of mechanical resistance with time for both types of cement, these results were evaluated and analyzed the causes of delayed sclerosis, and comparison between the two types of cement used in terms of the results obtained.

**Keywords:** Ordinary Portland Cement, Sulfate Resistant Cement, Reaction, Concrete Hardening.

## ١ - مقدمة:

ينتشر استخدام الإسمنت المقاوم للكبريتات في المواقع التي يمكن أن تظهر فيها أخطار قد تؤثر على ديمومة البيتون بفعل الوسط الذي سيُصبّ 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 توجد على تماس مباشر مع البيتون كأملح الكلور أو الكبريتات. تُصنّف المواصفات العالمية درجة تخريب الوسط عادةً في أربعة مستويات :

الجدول (١) تصنيف الأوساط المخربة وفق المواصفات الفرنسية P 18-305

تصنيف الأوساط المخربة وفق المواصفات الفرنسية P 18-305					
PH	Mg <sup>++</sup> mg/l	So <sub>4</sub> <sup>--</sup> mg/l	Co <sub>2</sub> mg/l	وصف الوسط	رمز الوسط
5.5-6.5	300>	250-600	15-30	ضعيف التخريب الكيميائي (جو منشآت صناعية)	A1
4.5-5.5	300-1500	600-1500	30-60	متوسط التخريب الكيميائي	A2
4-4.5	1500-3000	1500-6000	60-100	عالي التخريب الكيميائي	A3
>4	3000>	6000>	100>	شديد التخريب	A4

## 2- الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات:

يتكون الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات 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، بحيث لا تتجاوز النسبة المضافة من هذه المادة الـ 1% وزناً من كمية الإسمنت.

**C3A**: أومينات ثلاثية الكالسيوم أسرع وأنشط مكونات الإسمنت وهو الذي 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.

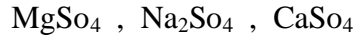
**C4AF**: ألومينوفريت رباعي الكالسيوم إماهته تشبه إماهة C3A لكن التفاعل أبطأ وأقل نشراً للحرارة ولا يسبب تفاعله مع الماء تجمداً سريعاً، ويعد دوره ثانوياً في عملية تصلب الإسمنت.

**C3S**: سيليكات ثلاثية الكالسيوم تعتبر من أهم مكونات الإسمنت وتشكل حوالي نصف وزنه وهي مسؤولة عن تصلبه وإعطائه المقاومة العالية في العمر المديد.

**C2S**: سيليكات ثنائية الكالسيوم يتفاعل مع الماء بشكل مشابه لتفاعل C3S إلا أنه أبطأ بكثير نظراً لقلّة فعاليته ونشاطه، ويستغرق إتمام التفاعل مع الماء إلى أكثر من سنة [2]. لذلك يمكن اعتباره مشاركاً في إكساب البيتون المقاومة في العمر المتوسط والمديد.

### 3- التآكل الكبريتاتي:

وهو من أهم أنواع التآكل الكيميائي، وسببه وجود شوارد الكبريتات  $SO_4^-$  في الماء الملامس للبيتون. وتوجد هذه الشوارد في المياه الجوفية وبخاصة في التربة الغضارية، وفي مياه البحر والمناطق المجاورة لبعض الصناعات الكيميائية التي تطرح نفاياتها الغنية بشوارد الكبريتات مثل :

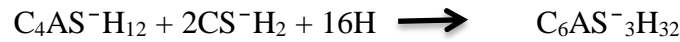


وتتم آلية التآكل على الشكل التالي :

عند إماهة C3A بوجود الجص يتحول في البداية إلى إيترنجيت ثم إلى مركب أحادي سلفو ألومينات  $C_4A^-H_{12}$ . وعندما تصادف شوارد الكبريتات شوارد الكالسيوم الموجودة في المسامات، والناجمة من تشرذم ماءات الكالسيوم فإنها تتفاعل معها مشكلة كبريتات الكالسيوم المائية (الجص) حسب المعادلة :



ثم يتفاعل الناتج مع أحادي سلفو ألومينات مشكلاً الإيترنجيت من جديد :



إن حجم الإيترنجيت الناتج أكبر بكثير من حجم المواد الداخلة في التفاعل، إذ أنه يضم (30-32) جزيء ماء، وبالتالي يؤثر بقوة ضاغطة [1] تؤدي إلى حدوث إجهادات داخلية عالية وتسبب تشققات غير مرغوب بها في بنية البيتون. تُتخذ عادةً سلسلة من الإجراءات الاحتياطية للتقليل من أثر الكبريتات في البيتون نذكر منها :

- استخدام الإسمنت المقاوم للكبريتات في صناعة البيتون.
- استعمال مادة البوزولانا التي تتفاعل مع ماءات الكالسيوم  $CA(OH)_2$  مشكلةً سيليكات الكالسيوم المائية، وبذلك يقل تشكل كبريتات الكالسيوم المائية (الجص).
- ألا يقل عيار الإسمنت عن  $\frac{550}{\sqrt{D}}$  حيث D: القطر الأعظمي للحصويات بالـmm.
- الإقلال قدر الإمكان من النسبة W/C بحيث لا تتجاوز بأي شكل من الأشكال 0.55.
- وقاية حديد التسليح وذلك بزيادة سماكة طبقة التغطية بحيث لا تقل عن 30mm.

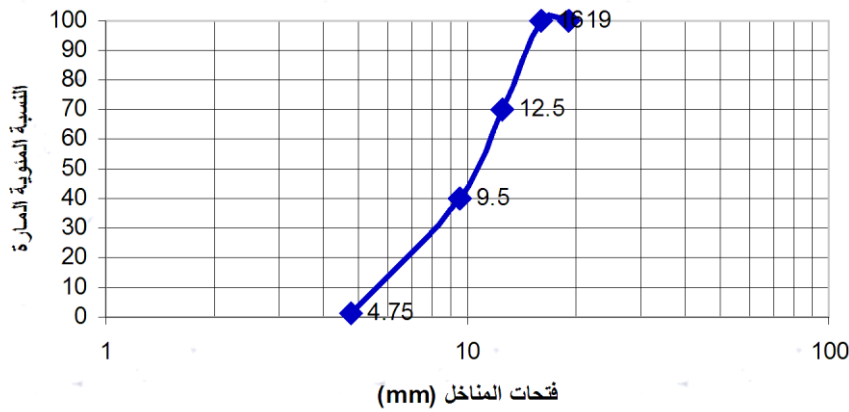
### 4- أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى دراسة أسباب ظاهرة بطء تصلب البيتون الذي استُخدم فيه الإسمنت المقاوم للكبريتات والذي يؤدي إلى تأخير وصول البيتون إلى مقاومته القصوى خلافاً للبيتون الذي يُصنع باستخدام الإسمنت البورتلاندي العادي، كما يهدف إلى مراقبة تطور مقاومة نوعي البيتون بعد عمر 28 يوم .

## 5- المواد المستخدمة في إجراء البحث وطرائقه:

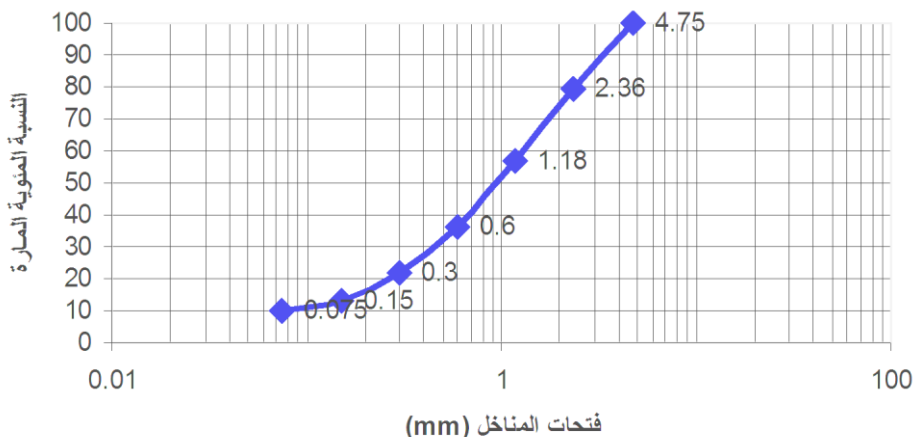
اعتمد في هذا البحث المنهج التجريبي المتبع في صنع البيتون التقليدي من خلال صب واختبار عدد كاف من عينات المكعبات الإسمنتية ليتم بعدها جمع النتائج وتحليلها ومناقشتها للوصول إلى الاستنتاجات والتوصيات اللازمة. تجدر الإشارة هنا إلى أنّ هذا البحث تم على أنواع محددة من الإحضرارات المحلية تمت دراسة خواصها لتحديد قابلية استخدامها في خلطات البيتون. استخدمت المواد التالية في البحث لتحضير الخلطات البيتونية المختلفة:

- 1- إسمنت بورتلاندي عادي صنف 32.5 صنع معمل طرطوس مطابق للمواصفات القياسية السورية رقم 44 لعام 1980. إسمنت مقاوم للكبريتات مطابق للمواصفات القياسية السورية رقم 246 لعام 2003 صنع معمل إسمنت البادية.
- 2- حصويات خشنة "بحص" ذات تدرج حبي محقق لـ AASHTO T27-78 وأيضاً لـ ASTM E11-16 وبقطر أعظمي  $D_{max}=16\text{ mm}$  ومعامل لوس أنجلوس لهذه الحصويات بلغ  $L.A=17.04\%$  محقق لـ AASHTO T96-77 وقد بلغ وزن البحص النوعي 2.65 .



الشكل (1) منحنى التحليل الحبي للبحص المستخدم.

- 3- حصويات ناعمة "رمل" ذات مكافئ رملي  $E.s=95.2\%$  ووزن نوعي بلغ 2.71 تعمل على زيادة تماسك العجينة الطرية وتحسن من قابلية التشغيل.
- 4- الماء: الماء المستخدم في إنتاج البيتون وحفظ العينات هو الماء الصالح للشرب الخالي من الشوائب والأملاح الضارة.



الشكل (2) منحني التحليل الحبي للرمل المستخدم.

## 6- النتائج:

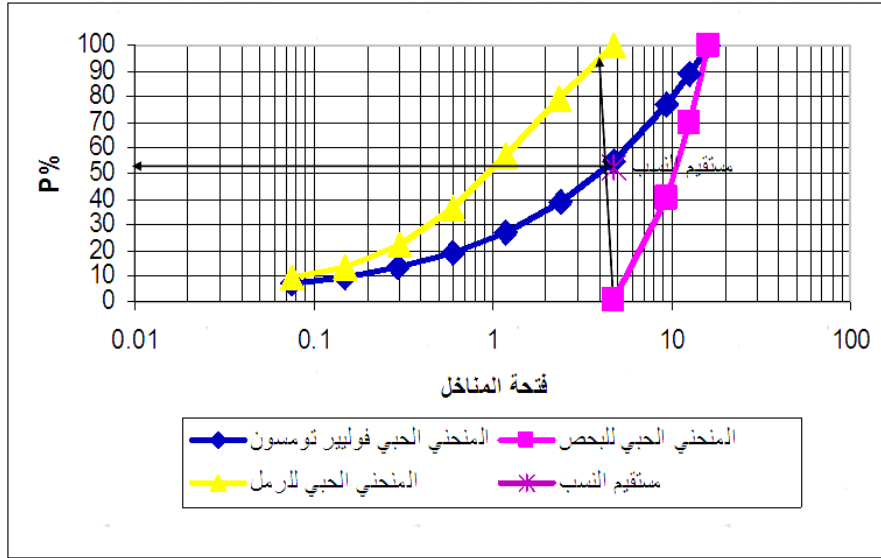
رغم التقدم العلمي الكبير في مجال تكنولوجيا البيتون فإنه لا توجد طريقة ثابتة نظامية خاصة بتركيب الخلطة البيتونية وإنما جميع هذه الطرق هي طرق تجريبية تعتمد على فرضيات معينة غايتها جميعاً تشكيل بيتون سهل التنفيذ وبأقل طاقة رص ممكنة ويعطي مقاومة ميكانيكية عالية وكتيم نسبياً.

من هذه الطرق ما يعتمد على وضع منحني حبي مثالي لخليط المواد الحصوية ومنها ما يعتمد على تحديد نسبة حجم الفراغات المتبقية بين حبات المواد الحصوية ومنها ما يعتمد على عامل نعومة المواد الحصوية .

اعتمدنا في تصميم الخلطات طريقة **فولبير- تومسون** والتي تتطلب إجراء تجربة التحليل الحبي لجميع المواد الحصوية الداخلة في تركيب الخلطة البيتونية ورسم المنحنيات الحبية.

من الصعب في الطبيعة الحصول بسهولة على منحني فولبير- تومسون لذلك نسعى لخلط نسب معينة من مجموعة أصناف من مواد حصوية لنقترب قدر الإمكان من هذا المنحني إلا أنه عملياً وبحسب ما تقتضيه المواصفات العالمية يشكل من مجموعة أصناف المواد الحصوية الداخلة في تركيب البيتون منحنيين : الأول يمثل منحني خليط الرمل والثاني يمثل منحني خليط البحص .

يبين الشكل التالي تفصيلاً لما تم ذكره :



الشكل (3) تعيين النسبة المئوية المطلوبة من كل من منحني الرمل والبحص.

\*\*\* حساب الكميات وفق طريقة فولبير تومسون :

لدينا عامل الاكتناز " المطلوب تحقيقه "  $\gamma = 0.82$

$$V_A + A_B + A_{CE} + V_V = 1000 \text{ L}$$

$$V_A + V_B = \gamma * 1000 - V_{CE} = 0.82 * 1000 - 350/3.1 = 707$$

حيث:  $V_{CE}$  حجم الاسمنت ضمن متر مكعب واحد = عيار الاسمنت/ وزنه النوعي

$$V_A \text{ حجم البحص ضمن متر مكعب واحد} = 707 * 49\% = 346.43 \text{ L}$$

$$V_B \text{ حجم الرمل ضمن متر مكعب واحد} = 707 * 51\% = 360.57 \text{ L}$$

وبتعويض الأوزان النوعية لكل صنف يمكن تعيين كميته كما يلي:

$$P_A \text{ كمية البحص المستخدمة} = V_A * G_A = 346.43 * 2.65 = 918.04 \text{ Kg/m}^3$$

$$P_B \text{ كمية الرمل المستخدمة} = V_B * G_B = 360.57 * 2.71 = 977.14 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{عيار الإسمنت } 350 \text{ Kg/m}^3 \text{ وتم إضافة الماء وفق النسبة } W/C = 0.40$$

سوف نقوم بتثبيت هذه الأوزان في جميع العينات التي سيتم إنتاجها في هذا البحث لاحقاً.

كما تم التحقق من قوام الخلطات التي تم الحصول عليها بإجراء تجربة مخروط أبرامز والتي تحقق متطلبات ومواصفات AASHTO T119-74 و ASTM C143-74 والتي تعطي قيم الهبوط وفق ما يلي :

**الجدول (2) تصنيف البيتون حسب قيمة الهبوط المقاسة بمخروط أبرامز .**

قيمة الهبوط (mm)	قوام البيتون	مجال استخدامه
0 – 25	بيتون جامد جداً	أرضيات وبلاطات الطرق البيتونية
25 – 50	بيتون جامد	المنشآت الكتلية
50 – 100	بيتون لدن	البيتون المسلح
100 – 150	بيتون سائل	العناصر البيتونية الرقيقة والبيتون المضخوخ

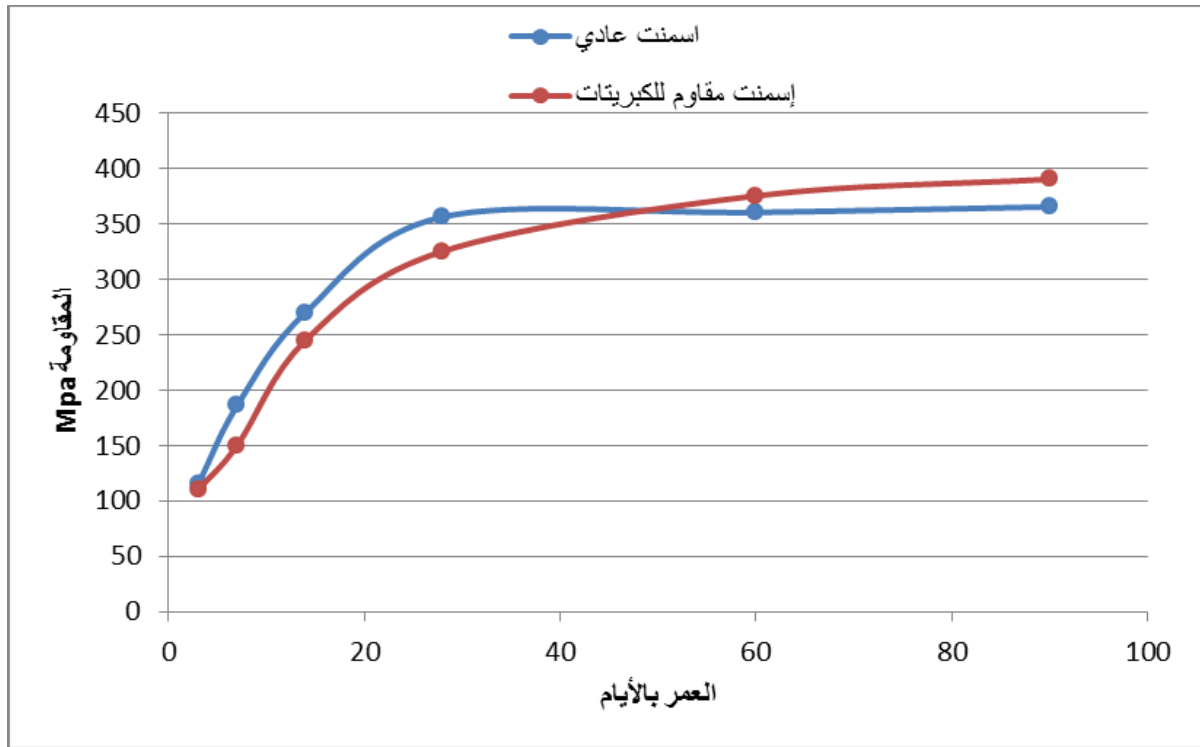
وقد كانت قيم الهبوط جميعها ضمن المجال mm (9 - 5.5) وهو ضمن المجال الملائم لاستخدام البيتون في المنشآت البيتونية المسلحة .

تم صب سلسلة من العينات المتشابهة من كلا نوعي الإسمنت، وبظروف وخصائص صب وتخزين موحدة .

تجدر الإشارة هنا إلى أنه لم يتم استخدام أي من أنواع الإضافات ( السائلة أو الصلبة ) عند إجراء هذه التجارب وذلك للوقوف فقط على تأثير اختلاف نوع الإسمنت على المقاومة وكيفية تداخل النتائج وتغيير إضافة متغيرات أخرى للعينات البيتونية التي تم الحصول عليها .

يبين الشكل التالي تطور مقاومة البيتون المقاسة على الضغط البسيط مع الزمن حتى العمر 90 يوماً لكل من نوعي الإسمنت " وهي القيم الوسطية للمقاومات المقاسة لأكثر من ثلاث عينات بنفس العمر وذات ظروف التخزين " :





الشكل (4) تطور مقاومة عينات الإسمنت مع الزمن على الضغط البسيط.

بعد قراءة النتائج وتحليلها، يمكن تفسير المقامات المنخفضة نسبياً عند العمر 28 يوم للكثير من عينات البيتون الذي يحوي في تركيبه إسمنت مقاوم للكبريتات، ولكن هناك طور آخر لمنحني المقاومة لعينات البيتون التي استُخدم فيها الإسمنت المقاوم للكبريتات بين العمرين (90 - 28) يوم ليستقر بعدها نسبياً عند العمر 90 يوماً .

يُعزى تطور مقاومة الإسمنت المقاوم للكبريتات بعد عمر 28 يوم إلى تركيبه المعدني حيث كنا قد أشرنا 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 نسبته الداخلة في تركيب الإسمنت المقاوم للكبريتات أقل منها في الإسمنت البورتلاندي العادي .

أما بالنسبة لكل من C2S و C3S 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 نحوٍ أبطأ وهذا ما يفسر استمرار ازدياد المقاومة بعد العمر 28 يوماً لعينات البيتون المصنوع من الإسمنت المقاوم للكبريتات .

## ٧. الاستنتاجات و التوصيات:

- ١- لا بد من التنويه لضرورة ثبات مصادر الحصويات من أجل تصاميم معدة مسبقاً وعند التحقق من اختلاف مواصفات الإحضارات ( التدرج الحبي - معامل L.A - نسبة المواد الناعمة ...) فمن الضروري إجراء التعديلات اللازمة وفق اختبارات المطابقة وبأيدي خبيرة للوصول إلى تصاميم أخرى تتوافق مع الإحضارات المعدلة واقتراح أن تكون الجهات المصممة للبيتون مسؤولة عن إجراء التعديلات الخاصة بهذه التصاميم عند ظهور أي خلل في البيتون الناتج .
- ٢- إن الزيادة في المقاومة بعد عمر 28 يوماً تخص كلا نوعي الإسمنت، ولكن على نحو أوضح الإسمنت المقاوم للكبريتات، مما يستوجب " قبل اتخاذ القرار بقبول أو رفض " المقاومات الميكانيكية الوقوف عند التركيب المينيرالي للإسمنت وتصنيفه قبل اعتماد الزمن الأقصى الذي سئتمتد عنده مقاومة البيتون للضغط .
- ٣- 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 وذا ما يستدعي التريث أيضاً وأخذ ذلك بعين الاعتبار قبل تحديد عمر البيتون الذي سئتمتد عنده المقاومة .
- ٤- يمكن إتمام البحث بعد حل مسائل اختبارات المطابقة الخاصة بالبيتون بإجراء أبحاث مماثلة من شأنها البحث عن رفع أداء البيتون في الحالة الصلبة وصولاً إلى البيتون عالي الأداء وذلك باستخدام مواد بمواصفات عالية كالإسمنت بأصناف أكبر من 32.5 و المدنات عالية الأداء و الإحضارات عالية الجودة والإضافات رافعات المقاومة كهباب السيليس .
- ٥- نرى في النهاية ضرورة إجراء أبحاث مستمرة ضمن مجال تكنولوجيا البيتون كون هذه المادة حية وقابلة للتعديل بشكل كبير بعد التطور الهائل الذي شهده قطاع مواد البناء و كيمويات البيتون.

## المراجع باللغة الانكليزية :

- 1- Horta A., "Evaluation of Self – Consolidating Concrete for Bridge structure Applications"  
, M. Sc. Thesis , Georgia Institute of Technology , 2005.
- 2 – ACI302. 1R-96, American concrete Institute, Guide for concrete floor and slab construction.
- 3 - ACI304. 2R-96, American concrete Institute, Placing concrete by pumping methods.
- 4 - ACI308. 9R-96, American concrete Institute, Standard specification for curing concrete.
- 5 - ACI309R -05, American concrete Institute, Guide for consolidation of concrete.
- 6 - ACI347 -04, American concrete Institute, guide to form work for concrete.
- 7 – ASTM , Standard test Method for bulk density and voids in Aggregates C29.
- 8 – ASTM, Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field C31.

- 9 - ASTM, Standard specifications for concrete aggregates c33.
- 10 - ASTM, Standard test method for slump of hydraulic – cement concrete C149.
- 11 - ASTM, Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory C192.

### المراجع باللغة العربية :

- 1- حنّاء، بسام. الدليل العملي لمواد البناء، منشورات جامعة البعث لعام 2000 - 1999
- 2 - خوري ، مروان . الكيمياء للمهندسين ، منشورات جامعة البعث لعام 2001 – 2000