

---

# [ High Strength Concrete ]

۲ May ۲۰۱۲

## المقدمة

### الفصل الأول : لمحة تاريخية

١ - ١ - من مخفضات الماء إلى المدنات

١ - ٢ - استخدام غبار السيليس

١ - ٣ - في الوقت الحالي

### الفصل الثاني : استعمال البيتون عالي المقاومة

١ - ٢ - فوائد استعمال البيتون عالي المقاومة

٢ - ١ - ١ - بالنسبة لصاحب البناء

٢ - ١ - ٢ - بالنسبة للمصمم

٢ - ١ - ٣ - بالنسبة للمنتج

٢ - ١ - ٤ - بالنسبة للبيئة

٢ - ٢ - دراسة عملية لحالتين استخدم فيهما البيتون عالي المقاومة

٢ - ٢ - ١ - برج Two Union Square

٢ - ٢ - ٢ - جسر Normandie

### الفصل الثالث : مواصفات البيتون عالي المقاومة

٣ - ١ - مقاومة البيتون على الضغط

٣ - ٢ - تحسين مقاومة العجينة الاسمنتية

٣ - ٣ - تحسين مقاومة التماسك

٣ - ٤ - البحث عن الحصويات عالية المقاومة

٣ - ٥ - حالة البيتون ذو النسبة ماء / اسمنت الضعيفة

٣ - ٦ - النسبة ماء / اسمنت

### الفصل الرابع : مواصفات مواد البيتون عالي المقاومة

٤ - ١ - تصنيف البيتون عالي المقاومة

٤ - ٢ - اختيار المواد الداخلة في تركيب البيتون عالي المقاومة

٤ - ٢ - ١ - اختيار الاسمنت

٤ - ٢ - ٢ - اختيار الملدن

٤ - ٢ - ٣ - اختيار المادة المألثة للفراغات ( ذات النعومة العالية جداً ) .

٤ - ٢ - ٤ - اختيار غبار السيليس .

٤ - ٢ - ٥ - اختيار الرماد

٤ - ٢ - ٦ - اختيار خبث الحديد الناتج من الأفران العالية

٤ - ٢ - ٧ - حدود استخدام الرماد و الخبث في البيتون عالي المقاومة

٤ - ٢ - ٨ - اختيار الحصويات

٤ - ٢ - ٨ - ١ - الحصويات الدقيقة

٤ - ٢ - ٨ - ٢ - الحصويات الكبيرة مجروشة أم زلطية

### الفصل الخامس : تنسيب خلطات البيتون عالي المقاومة ( تصميم الخلطة )

- ٥ - ١ - طريقة جامعة Sherbrooke في تصميم الخلطة
- ٥ - ١ - ١ - النسبة ماء - اسمنت
- ٥ - ١ - ٢ - المحتوى المائي
- ٥ - ١ - ٣ - كمية الملدن
- ٥ - ١ - ٤ - كمية الحصويات الكبيرة
- ٥ - ١ - ٥ - المحتوى من الهواء
- ٥ - ١ - ٦ - حدود هذه الطريقة
- ٥ - ٢ - طريقة الكود الأمريكي ٣٦٣ ACI في اختيار المواد و تصميم خلطة  
البيتون عالي المقاومة
- ٥ - ٢ - ١ - هبوط مخروط أبرامس و تحديد المقاومة المطلوبة
- ٥ - ٢ - ٢ - اختيار الحجم الأعظمي للحصويات
- ٥ - ٢ - ٣ - تحديد كمية الحصويات الكبيرة
- ٥ - ٢ - ٤ - تحديد كمية الماء الحر و المحتوى الهوائي
- ٥ - ٢ - ٥ - اختيار نسبة الماء للاسمنت
- ٥ - ٢ - ٦ - كمية الاسمنت
- ٥ - ٢ - ٧ - التجارب الأولية
- ٥ - ٢ - ٨ - التجارب على الإضافات
- ٥ - ٢ - ٩ - الخلطات التجريبية النهائية
- الفصل السادس : إنتاج البيتون عالي المقاومة و صبه في المكان
- ٦ - ١ - تحضيرات ما قبل الجبل
- ٦ - ٢ - الجبل
- ٦ - ٣ - مراقبة طراوة البيتون عالي المقاومة
- ٦ - ٤ - انفصال المواد
- ٦ - ٥ - مراقبة درجة حرارة البيتون الطازج
- ٦ - ٥ - ١ - رفع درجة حرارة البيتون الطري البارد
- ٦ - ٥ - ٢ - تبريد البيتون الطري المرتفع الحرارة
- الفصل السابع : الأنواع الخاصة للبيتون عالي المقاومة
- ٧ - ١ - البيتون عالي المقاومة الخفيف
- ٧ - ١ - ١ - الحصويات الناعمة
- ٧ - ١ - ٢ - المادة الرابطة
- ٧ - ١ - ٣ - الخصائص الميكانيكية للبيتون عالي المقاومة الخفيف
- ٧ - ١ - ٣ - ١ - المقاومة على الضغط
- ٧ - ١ - ٣ - ٢ - معامل الانكسار و مقاومة القص و مقاومة الشد المباشر
- ٧ - ١ - ٣ - ٣ - معامل المرونة - اللدونة
- ٧ - ١ - ٣ - ٤ - الالتصاق
- ٧ - ١ - ٣ - ٥ - التقلص و السيلان
- ٧ - ١ - ٣ - ٦ - منحنى الاجهاد - التشوه

٧ - ١ - ٣ - ٧ - مقاومة التعب

٧ - ١ - ٣ - ٨ - الميزات الحرارية

٧ - ١ - ٤ - الاستخدام

٧ - ٢ - البيتون عالي المقاومة الثقيل

٧ - ٣ - البيتون عالي المقاومة المقوى بالألياف

٧ - ٤ - البيتون عالي المقاومة المحصور

٧ - ٥ - البيتون عالي المقاومة المرصوص بالعجلات

الفصل الثامن : التجارب المخبرية على البيتون عالي المقاومة

٨ - ١ - مقدمة عن التجارب المخبرية

٨ - ٢ - تأمين المواد و إجراء التجارب عليها

٨ - ٢ - ١ - الاسمنت

٨ - ٢ - ٢ - الإضافات الاسمنتية

٨ - ٢ - ٣ - الملدن

٨ - ٢ - ٤ - الماء

٨ - ٢ - ٥ - الحصويات

٨ - ٢ - ٥ - ١ - عينات الجص المختبرة

٨ - ٢ - ٥ - ٢ - تجربة لوس أنجلوس

أ - الغاية من التجربة

ب - مبدأ التجربة و الدراسة النظرية

ج - وصف الجهاز

د - إجراء التجربة

هـ - النتائج

٨ - ٢ - ٥ - ٣ - اختيار نوع البحص المستخدم في صنع البيتون عالي

المقاومة

٨ - ٣ - تجارب المقاومة على الضغط

٨ - ٣ - ١ - التجربة الأولى

٨ - ٣ - ١ - ١ - نسب المواد

٨ - ٣ - ١ - ٢ - الجبل

٨ - ٣ - ١ - ٣ - الصب في المكعبات

٨ - ٣ - ١ - ٤ - كسر العينات

٨ - ٣ - ١ - ٥ - النتائج

٨ - ٣ - ٢ - التجربة الثانية

٨ - ٣ - ٣ - التجربة الثالثة

٨ - ٣ - ٤ - التجربة الرابعة

٨ - ٣ - ٥ - نتائج التجارب

٨ - ٤ - خلاصة البحث

المراجع

إن البيتون هو العنصر الأساسي في عملية البناء ، و نتيجة لتزايد المتطلبات التكنولوجية و المعمارية فقد أوجدت أنواع جديدة من البيتون من أهمها البيتون عالي المقاومة .

وكان البيتون عالي المقاومة قد صمم أساساً من أجل تطبيقات خاصة ، و يمكن أن نحصل عليه باستخدام نفس المواد الداخلة في تركيب البيتون العادي مع استعمال التقنيات الحديثة بهدف الحصول على مادة ذات عمر أطول و مقاومة أعلى . و يمكن القول أن البيتون عالي المقاومة يستخدم في جميع أنواع المنشآت كالجسور و الطرق و الأبنية و الأحواض و غيرها ...

:

يعتبر البيتون عالي المقاومة مادة جديدة في صناعة البيتون تطورت بشكل تدريجي لعدة سنوات . و مع التطور الحاصل بمرور الزمن ، فقد تغيرت كذلك المفاهيم المتعلقة به . ففي الخمسينات كان البيتون ذو المقاومة  $34\text{Mpa}$  يعتبر عالي المقاومة ، و في الستينات استخدم البيتون ذو المقاومة  $52 - 41\text{Mpa}$  بشكل تجاري و في السبعينات أنتج البيتون ذو المقاومة  $62\text{Mpa}$  . و حديثاً تم الوصول إلى مقاومات بحدود  $140\text{Mpa}$  و استخدم هذا البيتون في بعض الأبنية العالية .

و نظراً لتزايد أهمية البيتون عالي المقاومة في السنوات الماضية ، و اتساع سوق انتاجه و استعماله في شتى أنواع التطبيقات الهندسية و المنشآت من أبراج عالية ( ناطحات السحاب ) و جسور و قواعد بترولية ، و في جميع أنحاء العالم و الناتج عن التطور الكبير في تكنولوجيا صناعة و معالجة المواد و عن التزايد في طلب مقاومات أعلى فقد هدفنا من خلال هذا البحث إلى توضيح إمكانية صنع البيتون عالي المقاومة باستعمال المواد المحلية من اسمنت و حصويات ، و إمكانية الحصول على مقاومات على الضغط مرتفعة نسبياً .

و بالرغم من وجود عوائق عديدة عند صنع العينات و إجراء التجارب بسبب غلاء مواد الإضافات الاسمنتية ( غبار السيليس ) و الملدن و عدم توفرها محلياً . و اضطرارنا إلى استعمال هذه المواد من مصادر غير موثوقة ، و عدم قدرتنا على إجراء تجارب القبول ( النعومة و الجودة ) على هذه المواد للتأكد من فعاليتها نظراً لعدم توفر التجهيزات اللازمة ، كما أن الماء الذي وضعت فيه العينات البيتونية المختبرة كان بارداً ، مما يؤثر بشكل سلبي على مقاومة العينات على الضغط ، إلا

أنا فضلنا إجراء التجارب على عينات مركبة باستعمال ما توفر لدينا من مواد دون اللجوء إلى استخدام حصويات ذات مقاومة خاصة أو اسمنت خاص بل إلى ما توفره الأسواق المحلية من مواد أولية كما لم نستعمل الإضافات الاسمنتية و الملدن ذات المواصفات الخاصة و الخاضعة لمعايير الجودة و لم توضع العينات في ماء مسخن و لو قليلاً ، كل ذلك لنثبت أنه يمكن صنع البيتون عالي المقاومة ذو مقاومات جيدة باستخدام مواد محلية عادية لا تحمل مواصفات خاصة و دون توفير شروط مثالية ، لنصل بنتائجنا إلى ما يمكن الحصول عليه في الظروف العادية في الحياة العملية في بلدنا .

طبعاً لا ننسى أنه بتحسين الظروف و باستعمال مواد ذات وثوقية أعلى يمكننا الحصول على مواصفات أفضل و مقاومات أعلى مما حصلنا عليه في تجاربنا .

بدأ تطور البيتون عالي المقاومة منذ بداية الستينات حيث كانت مقاومة البيتون من 15-20 Mpa و كان من المستبعد وقتئذ أن يحل البيتون محل الفولاذ في بناء ناطحات السحاب .

و قد كانت البداية في شيكاغو عام 1960 ، حيث كانت تضاف كميات كبيرة من الاسمنت للحصول على مقاومة أعلى ، و ذلك لأن الاسمنت لم يكن غالي الثمن ، و برفع المقاومة استطاع المهندس تصغير مقطع الأعمدة و زيادة ارتفاعها .

:

و في عام 1970 كان من المستحيل صنع البيتون الذي تزيد مقاومته عن 60 Mpa ، لأن المخفضات المائية لم تكن قوية بما يكفي لتخفيض نسبة الماء للاسمنت . و عندما بدء باستعمال الملدنات Super plastifiants كان الهدف منها زيادة سيولة البيتون بدون تخفيض نسبة الماء للاسمنت ، و دون أن يؤدي استعمالها لانفصال مكونات البيتون أو فقدان المقاومة .

و في الثمانينات استعملت الملدنات في البيتون بكميات جيدة دون أن تؤدي إلى تأخير في التصلب . حيث كان من المعتقد حينها أن النسبة 0.30 هي أدنى نسبة للماء / اسمنت تسمح للاسمنت البورتلاندي بأن يتميه بشكل جيد ، إلى أن قام Bâche بتخفيض هذه النسبة إلى 0.16 و ذلك باستعمال كميات زائدة من الملدن Super plastifiant و بإضافة غبار السيليس Fumée de silice ، و استطاع بذلك الحصول على بيتون بمقاومة على الضغط مقدارها 280 Mpa في مخابر خاصة . طبعاً ليس لهذه التجربة أي فائدة عملية في مجال البناء لأنها تتطلب استعمال البوكسيت المتكلس Bauxite Calciné \* كحصىات و هو مكلف جداً .

:

في أواخر السبعينات ، استخدم غبار السيليس كإضافات اسمنتية في البلدان الاسكندنافية ، و في بداية الثمانينات تم استعماله في باقي أنحاء العالم . و في الحقيقة يعتبر غبار السيليس مادة ذات ميزات كبيرة لأنها تؤثر بشكل فعال في مختلف مراحل حياة البيتون عالي المقاومة و لكنه لا يعتبر أساسياً إذا أردنا صنع بيتون بمقاومة لا تزيد عن 100 Mpa .

:

لا يشغل البيتون عالي المقاومة حالياً إلا حيزاً صغيراً من سوق البيتون ، و لم يعد صنعه اليوم تحدياً ، و لكن تكمن الصعوبة في تغيير عادات البناء لدى المهندسين و المتعهدين و اقتناعهم باستعمال هذا النوع من البيتون .

\* البوكسيت : صخر يستخرج منه الألمنيوم .

إن البيتون عالي المقاومة يسمح للمصمم بإنشاء أبنية أكثر ارتفاعاً ، و للمعماري بتصميم بلاطات أقل سماكة و أعمدة أصغر مقطعاً و أطول ارتفاعاً في ناطحات السحاب مما يعطي جمالية أكثر لهذه التصاميم .

و بايتمال البيتون عالي المقاومة يمكن فك الكوفراج بشكل أسرع ، و تقليل كمية فولاذ التسليح في الأبنية العالية مما يخفض من الحمولة الميتة فيها .  
و يعتمد الخيار النهائي في استعمال مادة معينة في البناء بشكل أساسي على العامل الاقتصادي . و مع أن الميزات المختلفة للبيتون عالي المقاومة توفر فوائد أكثر مما في البيتون العادي ، إلا أنه توجد و ستوجد دوماً حالات يكون فيها استعمال البيتون بمقاومة ۲۰ - ۳۰ Mpa هو الحل الأمثل للعديد من المتطلبات . و لن يلغي تطور البيتون عالي المقاومة استعمال البيتون العادي .

:

:

إن الهدف الأساسي للمالك هو الحصول على أكبر عائدات ممكنة طوال فترة حياة المشروع ، و بالتالي فإن طبيعة المادة المستخدمة في البناء قليلاً ما تنال اهتمام المالك .

ففي القواعد البترولية Troll مثلاً ، تم استخدام بيتون بمقاومة ۷۵ - ۶۰ Mpa على عمق يقارب ۳۰۰ m ، مما خفض ۵۰۰۰۰ ton تقريباً من وزن هذه القواعد و بالتالي وفر أكثر من ۷۰ مليون دولار .

و في برج Two Union Square في سيائل ، كان يجب أن يتمتع سكان الطوابق الأخيرة بنفس راحة سكان الطوابق السفلى مهما كانت سرعة الرياح ، مما جعل المالك يميل إلى استعمال البيتون عالي المقاومة بدلاً من الفولاذ بشكل غير مباشر . حيث أن ناطحات السحاب ذات البنية المعدنية تهتز بشكل كبير عند هبوب الرياح ، و الحل مكلف جداً .

:

يجب على المصمم تلبية المتطلبات الوظيفية للمالك و المتطلبات الجمالية للمعماري ، مع الأخذ بعين الاعتبار أن قراره النهائي يعتمد بشكل أساسي على الفهم التقني و الاقتصادي لسوق الإنشاء في المكان الذي تقام فيه المنشأة .



لم يختر الببتون عالي المقاومة دوماً بسبب مقاومته العالية على الضغط بل بسبب معامل مرونته العالي أحياناً أو استمراريته أو كتامته أحياناً أخرى .

ففي النرويج اختير لمقاومته العالية للتآكل و التكسر في الطرق التي تسير عليها السيارات مجنزرة في الشتاء .

و في شيكاغو استطاع مصمم Water Tower Place الموضح في الشكل رقم ( ٢ - ١ ) باستخدامه للببتون عالي المقاومة تصغير مقطع الأعمدة في الطوابق السفلى و بالتالي تقليل الحمل الميت للبرج على الأساسات و كذلك زيادة مساحة السكن .



الشكل رقم ( ٢ - ١ )

و اختير البيتون عالي المقاومة لبناء برج Two Union Square في سياتل بالولايات المتحدة الأمريكية اعتماداً على قيمة معامل مرونته لا على مقاومته الكبيرة بالرغم من أن هاتين الخاصتين مرتبطتان ببعضهما نوعاً ما\* . إن استعمال البيتون عالي المقاومة لا يقل فقط من وزن القواعد البترولية بل يحسن استمراريتها خاصة في المناطق التي تتأثر بمد البحر مما يعرض هذه القواعد لظروف قاسية جداً كما هو الحال في قواعد Hibernia في كندا .

:

توصل بعض منتجي البيتون إلى أن إنتاج البيتون عالي المقاومة و نقله و تهيئته للاستعمال ليس بمنتاؤل الجميع . فإننتاجه يتطلب دراسة وافية ، و بحثاً دقيقاً فيما يتعلق بالمواد المستعملة و الموجودة في الأسواق ، و يعتبر عنصر مراقبة الجودة للمنتج مسألة جوهرية . و قد استطاع بعض المنتجين الذين أنتجوا البيتون عالي المقاومة أن يستفيدوا من تطويره و مراقبته من ناحية الإنتاجية و المردودية الاقتصادية . و من المفيد أن نعلم أن زيادة المقاومة على الضغط بمقدار ٤ أضعاف أدى خلال بضع سنوات إلى الاستغناء عن الفولاذ في صناعة ناطحات السحاب ، الأمر الذي كان مستحيلاً قبل ذلك .

:

إن الاسمنت البورتلاندي يستهلك الكثير من الطاقة و يطلق الكثير من  $CO_2$  و بالتالي فإن استعمال بيتون ذو نسبة ماء / اسمنت عالية في منشأ ما يعتبر هدراً للمواد الأولية و الطاقة و باستعمال البيتون عالي المقاومة في نفس المنشأ فإننا نقلل كمية الاسمنت و الحصىات و بذلك نقلل من الهدر .

:

## : Two Union Square

تم بناء برج Two Union Square ذو الـ ٥٨ طابقاً عام ١٩٨٨ في سياتل و قد تطلب بناؤه و هيكلته تقنيات جديدة . فقد وضعت في الوسط ٤ أنابيب من الفولاذ بقطر ٣m و سماكة ٦٠٠mm و عبئت ببيتون ذو مقاومة ١٣٠Mpa لمقاومة القوى الجانبية ، كما تطلب أعمدة مركبة على المحيط و ربطت الأعمدة المركزية مع الأعمدة المحيطية بشدادات معدنية في الطوابق العليا كما هو موضح في الشكل رقم (٢ - ٢) .

\* قد تؤدي الرياح القوية إلى اهتزازات شديدة فبحسب Gordon هزت الرياح قمة برج Empire State Building بمقدار ٦٠٠mm

و لرفع صلابة هذا البرج ذو الارتفاع ٢١٦m و تقليل الاهتزازات الناجمة عن الرياح أو عن الهزات الأرضية ، ملئت الأنابيب الفولاذية ببيتون عالي المقاومة ذو معامل مرونة ٥٠GPA أي ضعفي معامل مرونة البيتون العادي ، و قد تطلب ذلك استعمال بيتون بمقاومة على الضغط مقدارها ١٣٠MPA مع أن المقاومة ٩٠ MPA كانت كافية من وجهة النظر الإنشائية . و قد حصل على هذه المقاومة العالية باستعمال اسمنت بورتلاندي نوع I / II منخفض القلوية ، و نسبة ماء / اسمنت مقدارها ٠.٢٢ و حصويات زلطية عالية المقاومة بقطر أعظمي ١٠mm و رمل من نفس مصدر الحصويات .



الشكل رقم (٢ - ٢)



برج Two Union Square أثناء عمليات البناء



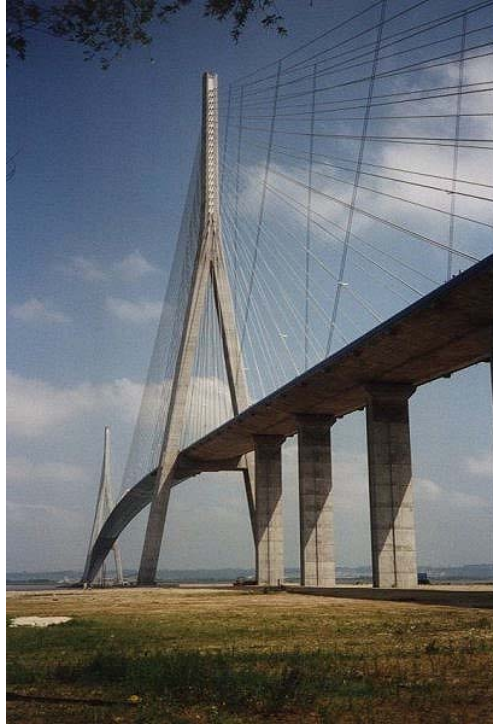
منظر عام لبرج Two Union Square

## : Normandie

بني هذا الجسر عام ١٩٩٣ في فرنسا ، و يبلغ طوله الكلي  $2141m$  و عرضه  $21m$  و هو يحوي أربع مسارات للسيارات و اثنين للمشاة و الدراجات . تتألف الفتحة الوسطى للجسر من ثلاثة أقسام : قسمين من البيتون المصبوب في المكان بطول  $116m$  مستندة على ركائز مستندة بدورها على أعمدة فرعونية بشكل حرف y مقلوبة و بارتفاع  $214m$  كما هو موضح في الأشكال رقم ( ٢ - ٣ ) و ( ٢ - ٤ ) و قسم ثالث مركزي بطول  $624m$  بني ببلاطات مسبقة الصنع .

و قد تطلب بناء الجسرحوالي  $70000m^3$  من البيتون بمقاومة وسطية  $80Mpa$  . و استخدم في صنع البيتون رمل طبيعي بقطر  $4 - 0 mm$  و حصويات زلطية مطحونة بقطر لا يتجاوز  $20 mm$  و ملدن ميلاميني محسن و نسبة غبار السيليس إلى الاسمنت مقدارها  $8\%$  .

و قد استخدم ضخ البيتون - و بصعوبة في كثير من الأحيان - لبناء القسم الشاقولي من الجسر ، كما تم رج البيتون داخليا و خارجيا .



الشكل رقم ( ٢ - ٣ )



الشكل رقم ( ٢ - ٤ )



منظر عام لجسر Normandie

لم يبد منتج الاسمنت اهتماماً كبيراً لإنتاج اسمنت بمواصفات خاصة من أجل صنع البيتون عالي المقاومة لأن هذا البيتون لا يشغل إلا حيزاً صغيراً من سوق البيتون . و في الوقت نفسه فإن اختيار المواد الداخلة في تركيب البيتون عالي المقاومة ستحد منه دوماً اعتبارات اقتصادية مقارنة بالبيتون العادي ، إلى أن تصبح تكاليف إنتاج البيتون عالي المقاومة صغيرة نسبياً .

إن إنتاج البيتون عالي المقاومة أصعب من إنتاج البيتون العادي لعدة أسباب نذكر منها : أنه كلما ارتفعت المقاومة المطلوبة فإن مواصفات البيتون تنفصل عن نسبة الماء / الاسمنت التي تعتبر المؤشر الرئيسي لخواص البيتون العادي بوساطة مسامية العجينة الاسمنتية .

ففي البيتون العادي يوجد الكثير من الماء الذي يتحكم بحالة العجينة الاسمنتية ، هذا الماء الذي يوجد في قسم التماسك ( العجينة الاسمنتية المحيطة بالحصويات ) حول الحصويات الكبيرة يمثل الرابط في البنية المجهرية للبيتون و هو مكان بدء تحطم البيتون عند تعرضه للضغط .

:

تعتبر المقاومة على الضغط من أهم خواص البيتون عالي المقاومة و لكنها ليست الوحيدة التي تميزه ، و ترتبط هذه المقاومة بشكل كبير بالبنية المجهرية للبيتون التي تؤثر في الخواص الأخرى كالمرونة و النفوذية .

ينكسر البيتون العادي في القسم الأضعف من الأقسام الثلاثة التالية : المونة بين الحصويات أو الحصويات نفسها أو التماسك بين المونة و الحصويات . و لرفع المقاومة على الضغط يجب الاهتمام بتقوية الأقسام الثلاثة معاً .

و بالتالي يمكن أن نعتبر البيتون مادة غير متجانسة مؤلفة من ثلاث أقسام :

١ - العجينة الاسمنتية

٢ - التماسك بين الحصويات و العجينة الاسمنتية .

٣ - الحصويات ( التي يمكن أن تكون كريستالية كما في حالة الغرانيت ) .

:

إن مقاومة الأجسام على الضغط أكبر من مقاومتها على الشد ، لأن المادة تتحطم في الشد نتيجة الانتشار السريع لثق بسيط في حين أنه تلزم العديد من الشقوق المتحددة ليحصل الانكسار في الضغط .

و القاعدة العامة تقول أن مقاومة الضغط تقل عندما يزيد حجم المسامات ، و أنها تزيد حين يصغر حجم الرمل .  
و بالنتيجة يمكن تحسين مقاومة العجينة الاسمنتية المميهة بالأخذ بعين الاعتبار ما يلي :

- ١ - المسامية : اجتماع عدد كبير من المسامات أو الفراغات بقطر أكبر من ٥٠ mm في نقطة معينة تنقص مقاومة المواد بشكل كبير .
- ٢ - حجم الحصىات : بشكل عام ، تزيد مقاومة الحصىات عندما يقل حجم الحبيبات

:

إن التماسك في البيتون العادي يتم عادة في الطبقة ذات سماكة بين ٠.١ mm - ٠.٥ mm . و بالنتيجة حسب نظرية Weibull ، فإن الشقوق تحدث في هذه الطبقة عندما يخضع البيتون لإجهادات متعددة .  
إن مقاومة الحصىات لا يمكن أن تلعب دوراً هاماً في مقاومة البيتون طالما أنه توجد مسامات كبيرة و شبكة من الشقوق في طبقة التماسك لأن القليل جداً من الإجهادات المؤثرة على البيتون تنتقل من العجينة الاسمنتية إلى الحصىات .  
نلاحظ عند تقوية سطح التماسك أن مقاومة و خصائص مرونة الحصىات تصبح كبيرة و تؤثر على سلوك البيتون عندما يوضع تحت تأثير إجهادات متزايدة ، و لتقوية قسم التماسك و تقليل سماكته يمكن تخفيض النسبة ماء / الاسمنت و استخدام غبار السيليس .

:

ليس ضرورياً في البيتون العادي اختيار مواد حصىة خاصة المقاومة . في حين أنه في البيتون عالي المقاومة حيث العجينة الاسمنتية و طبقات التماسك قوية بشكل كاف ، يمكن أن تصبح الحصىات نقطة ضعف البيتون إذا لم يتم اختيارها بشكل جيد و سليم .

و يمكن أن نستعمل في صنع البيتون عالي المقاومة حصىات طبيعية أو زلط أو حصىات مجروشة .

تعتمد مقاومة الحصىات الطبيعية على مقاومة الصخرة الأم و التي لا يمكن تحسين مقاومتها . و لا يعتبر استخدام الديناميت أو الجرش الطريقة الأسلم للحصول على حصىات دون عيوب ، و يفضل استخدام الصخور ذات الحبيبات الدقيقة التي تنكسر بشكل يحوي على أقل عدد من الشقوق . و يمكن أن تكون الصخور الأم التي تستعمل



للحصول على الحصويات إما وحيدة الطور كالصخور الكلسية و الدولوميت\* و الصوان أو متعددة الأطوار كالغرانيت .  
و لذلك فإذا أردنا تقوية مقاومة البيتون فيجب الانتباه بشكل خاص عند اختيار الحصويات المستعملة .

/

من الجوهرى استخدام أضعف نسبة ماء للأسمنت ممكنة من ناحية المقاومة ، و لكن يجب التذكر أيضاً أن البيتون عالى المقاومة يجب أن ينقل و يوضع قيد الاستخدام بسهولة كما في البيتون العادى باستخدام نفس الوسائل .  
إن حالة البيتون عالى المقاومة محكومة بعوامل كيميائية و أخرى فيزيائية . فمن العوامل الفيزيائية التي تلعب دوراً هاماً في حالة البيتون الطري نجد التوزيع الحصوي و شكل حبيبات الاسمنت . و من العوامل الكيميائية المؤثرة على حالة البيتون الطري نجد رد الفعل البدائى للأسمنت و الإضافات الاسمنتية عندما تتفاعل مع الماء و كذلك طول فترة السبات .

/

تعود الزيادة في مقاومة البيتون عالى المقاومة بشكل رئيسى إلى تقليل مسامية العجينة الاسمنتية المميهة و الذي ينتج عن استخدام المزيد من الاسمنت مع تقليل كمية ماء الجبل باستخدام الملدنات من جهة ، و استبدال قسم من الاسمنت بالإضافات الاسمنتية كلما أمكن ذلك من وجهة النظر الاقتصادية .  
إن الإضافات الاسمنتية لا تملك نفس خصائص الربط للأسمنت البورتلاندى و لا تتفاعل بنفس سرعته .

و قد وجد أنه بعد ٢٨ يوماً ، و كذلك بعد أشهر أو سنوات فإن البيتون عالى المقاومة يحوي العديد من جزيئات الاسمنت و الإضافات الاسمنتية التي لم تتفاعل . و بالتالى نتأكد مما يلي :

- ١ - لن يتفاعل كل الماء الموجود في البيتون بشكل كامل مع النظام الاسمنتي المستخدم .
- ٢ - لن تنمي كل حبيبات الاسمنت .
- ٣ - لن تتفاعل جميع حبيبات الإضافات الاسمنتية .

---

\* الدولوميت : كلس + مغنزيوم

:

---

إن البيتون عالي المقاومة هو بيتون ذو مسامية قليلة ناتجة عن الاستخدام القليل لماء الجبل بحيث أنه في القسم الرابط في البيتون فإن حبيبات الاسمنت و الإضافات الاسمنتية تتقارب من بعضها البعض بشكل أكبر مما في البيتون العادي .

و كلما قلت مسامية العجينة الاسمنتية فإن مقاومة البيتون تزيد طالما استخدمنا حصويات جيدة المقاومة - و خاصة الكبيرة منها - .

يحضر البيتون عالي المقاومة باختيار دقيق للمواد الداخلة في تركيبه ، و الفقرات التالية تبين مواصفات المواد المستعملة فيه :

يُصنّف البيتون عالي المقاومة عادة إلى عدة أصناف بحسب مقاومتها على الضغط كما هو موضح في الجدول ( ٤ - ١ ) :

١٥٠	١٢٥	١٠٠	٧٥	٥٠	Mpa مقاومة الضغط
V	IV	III	II	I	صنف البيتون عالي المقاومة

الجدول ( ٤ - ١ )

إن العامل الأول الذي يجب الانتباه إليه في تحضير البيتون عالي المقاومة هو الاسمنت و ذلك لأن فاعلية الاسمنت فيما يتعلق بالطراوة و المقاومة تصبح حرجة كلما زادت المقاومة المطلوبة على الضغط .  
و بشكل عام فإنه من الممكن تحضير بيتون عالي المقاومة من الدرجة I باستخدام معظم أنواع الاسمنت التجارية الموجودة في الأسواق إلا في حال كونها ذات قلوية منخفضة جداً .  
إلا أن بعض أنواع الاسمنت هذه لا يمكن أن تستخدم لصنع البيتون عالي المقاومة من الدرجة II ( مقاومة حتى ٧٥ ) و القليل جداً منها يمكن أن تخدم في صنع بيتون عالي المقاومة درجة IV أو V .  
كما أنه من الصعب تجنب التصلب السريع للبيتون عند استخدام بعض أنواع الاسمنت إذا أردنا صنع البيتون بنسبة ماء للاسمنت منخفضة حتى لو زدنا كمية الملدن .  
أما فيما يتعلق بالمقاومة ، فيمكن القول أنه كلما زادت درجة نعومة الاسمنت ، كلما أعطت مقاومة أعلى لأن ذلك سيزيد من السطح السيليكاتي الذي يتفاعل بسرعة مع ماء الجبل ، و لكن من ناحية أخرى فإنه كلما زادت نعومة الاسمنت كلما زاد قطر الشقوق الناجمة عن الانكماش .

بالنتيجة يمكن إيجاد العديد من أنواع الاسمنت البورتلاندي التي تسمح بصنع البيتون عالي المقاومة من الدرجة II ، و يصعب الأمر عندما يتعلق بالبيتون عالي المقاومة من الدرجة III ، حيث يصبح من المفيد عندها استخدام الإضافات الاسمنتية .

:

يعد اختيار الملدن الفعال بنفس درجة أهمية اختيار الاسمنت ، لأن الأنواع المختلفة من الملدنات لا تتفاعل بنفس الطريقة مع الاسمنت في البيتون عالي المقاومة .  
و قد بينت التجارب أنه ليست لكل أنواع الملدنات نفس الفعالية في توزيع حبيبات الاسمنت داخل البيتون عند تقليل كمية الماء ، كما لا يملك بعضها نفس القدرة على التحكم في حالة البيتون ذو نسبة الماء للاسمنت الضعيفة خلال الساعات الأولى من خلط الاسمنت مع الماء .

و يمكن تصنيف الملدنات إلى خمس أنواع رئيسية حسب تركيبها الكيميائي :

- ١ - ملدنات الميلايين .
- ٢ - ملدنات النفثالين .
- ٣ - ملدنات اللينوسيلفونات .
- ٤ - ملدنات كربوكسيلية .
- ٥ - ملدنات البولي أكريلات .

( ) :

دلت التجارب الأخيرة في مراكز الأبحاث أنه يمكن صنع بيتون عالي المقاومة باستخدام العديد من المواد الرابطة ( المألثة ) و التي قد تكون : الاسمنت البورتلاندي فقط ، أو الاسمنت البورتلاندي و الرماد الناتج عن أفران الصلب . أو الاسمنت البورتلاندي و غبار السيليس ، أو الاسمنت البورتلاندي و خبث الحديد و غبار السيليس ، أو الاسمنت البورتلاندي و الرماد و غبار السيليس .

و يجب الأخذ بعين الاعتبار عند صنع البيتون عالي المقاومة درجة I أو II استخدام الرماد أو خبث الحديد أو الاسمنت المركب كلما أمكن ذلك ، فهذه الإضافات هي أرخص سعراً من الاسمنت البورتلاندي و استخدامها يمكن أيضاً من تقليل كمية الملدن المطلوبة نوعاً ما . و بالتالي فهي ليست أفضل من الناحية الاقتصادية فحسب و لكنها تسهل السيطرة على طراوة البيتون .

أما بالنسبة لغبار السيليس فإن استخدامه يزيد ثمن إنتاج البيتون عالي المقاومة و لذلك فإننا نستخدمه لتسهيل الحصول على المقاومة المطلوبة و التحكم بحالة البيتون عالي المقاومة من الدرجة III .

كان من المعتقد سابقاً أنه من اللازم استخدام غبار السيليس من أجل إنتاج البيتون عالي المقاومة و هو ليس بالأمر الصحيح دائماً . إذ يمكن صنع البيتون عالي المقاومة من الدرجة I أو II دون غبار السيليس . و مع ذلك فإنه عند توفره بسعر مناسب فمن المستحسن استخدامه لأنه يسهل بشكل كبير الحصول على طراوة و مقاومة البيتون المطلوبتين .

و يمكن مراقبة نوعية غبار السيليس عن طريق :

- ١ - قياس محتواه من السيليس و القلويات و الكربون .
- ٢ - قياس محتواه من الجزيئات الكريستالية بتوجيه أشعة X .
- ٣ - قياس سطحه النوعي بامتصاصه للأزوت .
- ٤ - قياس محتواه من البوزولان .
- ٥ - التأكد من عدم احتوائه على السيليسيوم الذي يؤدي إلى تحرير الهيدروجين .

تكمّن المشكلة الرئيسية عند استخدام الرماد لإنتاج البيتون عالي المقاومة في أن تعبير الرماد هو تعبير شامل لمنتج متفاوت الصفات بشكل كبير مع أنه قد وضعت مقاييس و تصنيفات له .

و بالاعتماد على تصنيف ASTM ( المواصفات الأمريكية لاختبار المواد ) يمكن تقسيم الرماد إلى صنفين حسب تركيبة الكيمياء : الرماد من الصنف F الحاوي على القليل من الكالسيوم ، و الرماد من الصنف C الحاوي على الكثير من الكالسيوم .

و من الضروري جداً عندما نستخدم الرماد لصنع البيتون عالي المقاومة أن نراقب نوعيته بشكل جيد . و يجب الحذر من أداء الرماد على المدى الطويل لأن ناتج حرق الكربون في الأفران الحرارية يتغير مع الزمن .

و تبدأ مراقبة نوعية الرماد بمراقبة تركيبه الكيميائي حسب الأكاسيد التي تشكله (  $CaO$  ,  $Al_2O_3$  ,  $SiO_2$  ,  $Fe_2O_3$  ) ثم حسب محتواه القلوي ، و حسب محتواه من الكربون و كذلك حسب محتواه من  $SO_3$  .

إن استخدام خبث الحديد في صنع البيتون عالي المقاومة قليل في الوقت الحالي ، و لكنه تبين في كل مرة استخدم فيها الخبث أنه يعطي خصائص جيدة تماماً كالاسمنت البورتلاندي سواء كان ذلك في البيتون العادي أو في البيتون عالي المقاومة .

و تعد أفضل طريقة لمراقبة نوعية الخبث هي التحقق من نعومته حسب قياس Blaine .

:  
إن استبدال قسم من الاسمنت بالخبث أو الرماد لصنع البيتون عالي المقاومة يجلب الكثير من الفوائد ، و مع ذلك فيجب استعمالهما بحذر و بكميات قليلة في الحالات التالية :

- ١ - الحاجة لمقاومة عالية بوقت قصير ( لأنه يؤخر التصلب ) .
- ٢ - الصب في الطقس البارد .
- ٣ - الحاجة لمقاومة التجمد و الذوبان .
- ٤ - ضرورة تخفيض الحرارة الأعظمية للبيتون عالي المقاومة في عنصر إنشائي .

:  
يجب أن يتم اختيار الحصىات بشكل دقيق لأن اختيارها بشكل عشوائي قد يؤدي إلى أن تكون الحصىات هي نقطة الضعف التي يبدأ فيها انكسار البيتون عند تعرضه للإجهادات .

:  
يستحسن في البيتون عالي المقاومة استخدام الرمل الخشن لوجود كمية كافية من المواد الناعمة المؤلفة من الاسمنت و الإضافات الاسمنتية ، و بذلك فإنه لا حاجة لرمل ناعم من أجل تحسين طراوة البيتون و مقاومته للانفصال . كما أن استخدام الرمل الخشن يقلل نوعاً ما كمية الماء اللازمة للحصول على المرونة المطلوبة ، مما يشكل فائدة من الناحية الاقتصادية أما من ناحية المقاومة فإن شرط استخدام الرمل هو أن يكون نظيفاً و ألا يحوي الطين أو السيلت .

:  
يجب الحصول بعد الجرش على حصىات متساوية الأبعاد و مكعبية و ليس على جزيئات مسطحة أو طولية\* .  
و يمكن القول أن أفضل حصىات لصنع البيتون عالي المقاومة من حيث الشكل و المقاومة هي الزلط النهري أو الزلط الجليدي لأنها تتشكل غالباً من الجزيئات الأكثر قساوة في الصخرة الأم التي كسرت منها ، و لأنها نظفت جيداً بعبورها للمياه .

يمكن في البيتون العادي تقليل كمية الماء من أجل طراوة معينة بزيادة الحجم الأقصى للحصىات الكبيرة . بينما في البيتون عالي المقاومة فإن الزيادة في المقاومة الناتجة عن زيادة حجم الحصىات لا تكفي للتعويض عن فقدان في

---

\*الحصىات المسطحة و الطولية غير مستحسنة لأنها ضعيفة

المقاومة الناتجة عن الآثار السلبية التالية :

- ١ - زيادة حجم الحصىات يصبح قسم التماسك أكبر و أكثر تبايناً .
- ٢ - من ناحية أخرى ، و في أغلب أنواع الصخور المستخدمة لصنع الحصىات الكبيرة في البيتون عالي المقاومة، فإنه كلما صغرت الجزيئات زادت قساوتها .

و بينت التجارب أنه في حالة أغلب الحصىات الطبيعية ، فإن القياس الأعظمي من ١٠mm إلى ١٢mm هو الأمثل لصنع البيتون عالي المقاومة . و لكن ذلك لا يعني أنه لا يمكن استخدام حصىات بقياس ٢٠mm . و إذا كانت الصخرة الأم قاسية بشكل كاف و متجانسة فيمكن استخدام حصىات بقياس ٢٥ - ٢٠ mm دون أن يؤثر ذلك بشكل سلبي على طراوة البيتون أو مقاومته .

( )

إن الهدف من جميع طرق تنسيب البيتون ، التقليدية منها و الحديثة ، هو تحديد نسب المواد اللازمة لإنتاج البيتون بالموصفات المطلوبة و بأكثر اقتصادية ممكنة .

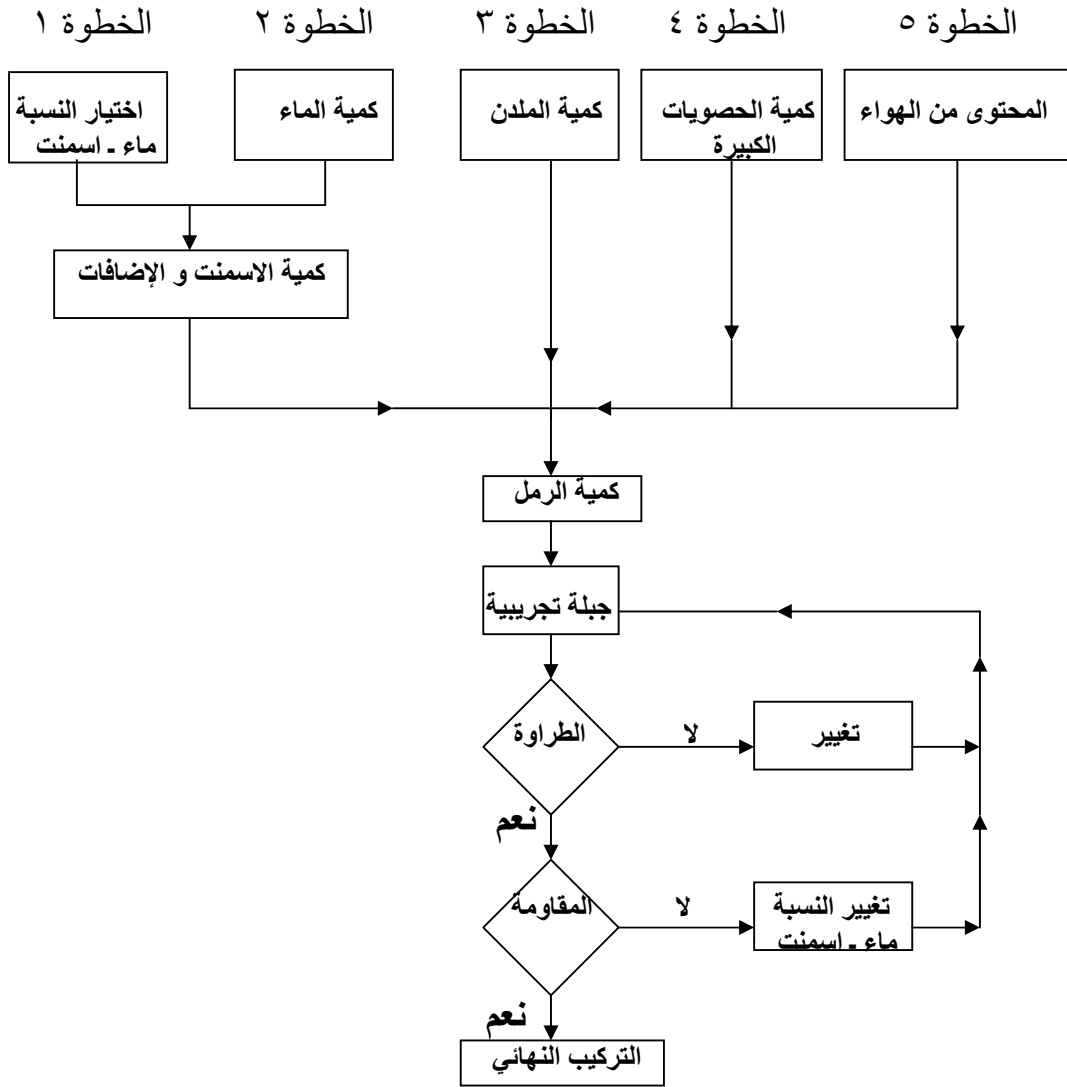
- إلا أن الطرق التقليدية لتصميم الخلطات قد فقدت الكثير من أهميتها لعدة أسباب :
- ١ - إن حدود النسبة ماء / اسمنت في البيتون حالياً هي أكبر بكثير مما كانت عليه فيما مضى خاصة عندما تنخفض هذه النسبة كثيراً بفضل الملدنات .
  - ٢ - يحوي البيتون في الوقت الحالي على العديد من الإضافات الاسمنتية التي تحل محل كميات كبيرة من الاسمنت .
  - ٣ - يحوي البيتون حالياً ، و في كثير من الأحيان على غبار السيليس الذي يغير خصائص البيتون بشكل واضح .
  - ٤ - يمكن تكييف مقدار الهبوط باستخدام الملدنات بدلاً من الماء دون تغيير في نسبة الماء للاسمنت .

و سندرس في هذا الفصل طريقتين لتشكيل البيتون عالي المقاومة .

### Sherbrooke

تسمح هذه الطريقة المطورة في جامعة Sherbrooke بتصميم خلطة البيتون عالي المقاومة الحاوي على فراغات الهواء ( البيتون الرغوي) أو بدونه(البيتون العادي) . فهي تأخذ بعين الاعتبار الانخفاض في المقاومة على الضغط الناتج عن وجود فقاعات هوائية في البيتون الحاوي على الهواء .  
إن تصميم الخلطة بهذه الطريقة موضح في الشكل رقم ( ٥ - ١ ) :



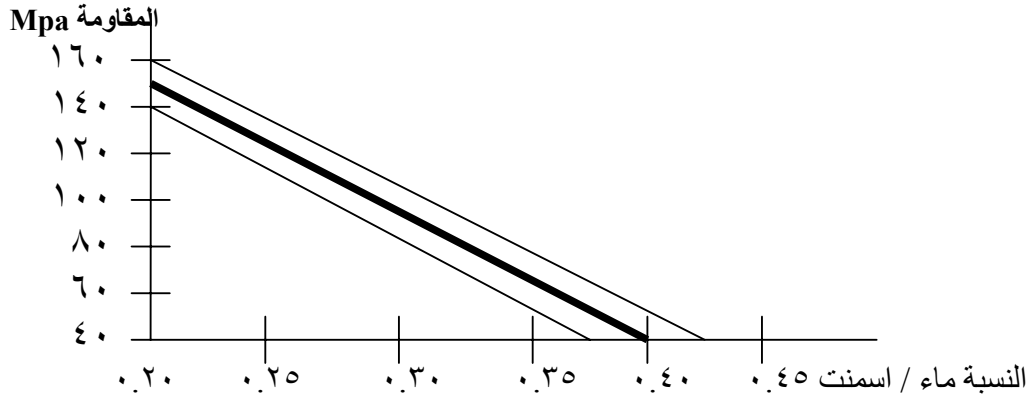


الشكل رقم ( ٥ - ١ )

و تبدأ عملية التشكيل باختيار خمس مزايا خاصة بالبيتون عالي المقاومة أو للمواد المستعملة فيه و هي :

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ :

يمكن أن نجد هذه النسبة باستعمال المنحني التالي الموضح في الشكل رقم ( ٥ - ٢ ) من أجل بيتون ذو مقاومة على الضغط محددة بعد ٢٨ يوماً .



الشكل رقم ( ٥ - ٢ )

بعد تحديد كمية الماء اللازمة لصنع بيتون بهبوط  $200\text{ mm}$  خلال ساعة من الخلط من أكبر الصعوبات التي تواجهنا عند تشكيل البيتون عالي المقاومة . و تختلف كمية الماء الأصغرية اللازمة لهذا الغرض حسب نعومة و تركيب و فعالية كل طور ، و حسب تركيب و ذوبان كبريتات الكالسيوم و الكبريتات القلوية\* في الاسمنت . و يمكن أن نحدد كمية الماء بطريقة بسيطة بالاعتماد على الشكل رقم ( ٥ - ٣ ) و يمكن بشكل عام أن نأخذ كمية الماء بحدود  $145\text{ l/m}^3$  .

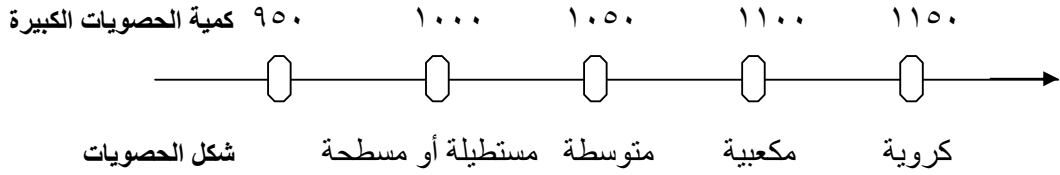
Point de saturation	٠.٦	٠.٨	١.٠	١.٢	١.٤	%
Quantité d'eau	١٢٠-١٢٥	١٢٥-١٣٥	١٣٥-١٤٥	١٤٥-١٥٥	١٥٥-١٦٥	
L/m <sup>٣</sup>						

الشكل رقم ( ٥ - ٣ )

نحصل على كمية الملدن من الشكل السابق رقم ( ٥ - ٣ ) .

نحصل على كمية الحصويات من الشكل رقم ( ٥ - ٤ ) حسب شكلها ، فإذا كان هناك شك حول شكل الحصويات فنأخذ كميتها بدءاً من  $1000\text{ kg/m}^3$  .

\*الكبريتات القلوية : ناتجة عن اتحاد الكبريت مع القلويات الطيارة



الشكل رقم ( ٥ - ٤ )

:

عند استعمال البيتون عالي المقاومة في مناطق لا تتعرض إلى ظروف من التجمد و الذوبان ، فلاداعي لاستعمال البيتون الرغوي . و تكون كمية الهواء الوحيدة الموجودة في كتلة البيتون هي الناتجة عند تشكيله . و قد أثبتت التجارب أنه من الصعب صنع بيتون يحوي أقل من ١% من الهواء الداخلي و أنه من المسموح أن تصل هذه النسبة إلى ٣% .

:

يمكن معرفة سبب عدم حصول البيتون عالي المقاومة على الأداء المطلوب بتطبيق القواعد و مراقبة الطراوة و سطح الانكسار و خصائص البيتون عالي المقاومة الأخرى بشكل جيد .

فمثلاً ، إذا لم نحصل على المقاومة المطلوبة على الضغط و أظهر سطح انكسار العينة وجود شقوق كثيرة في الحصويات، فهذا دليل على أن الحصويات لم تكن مقاومة بشكل كاف .

و إذا أظهر سطح الانكسار انخلاع عدد من الحصويات الكبيرة فهذا يعني أن سطح الحصويات الكبيرة ناعم جداً أو متسخ و بالتالي يجب استبدالها بحصويات أخشن و أنظف .

و إذا بدأ الانكسار في منطقة العجينة الاسمنتية حول الحصويات فيكفي تخفيض النسبة ماء / اسمنت للحصول على بيتون ذو مقاومة أعلى باستخدام نفس الحصويات .

و إذا لم نحصل على الهبوط المطلوب للبيتون فيكفي أن نضيف كمية من الملدن . و إذا حصل هبوط سريع في البيتون فيمكن أن نزيد كمية الماء أو أن نستبدل الملدن المستعمل بملدن آخر يكون أكثر فعالية مع الاسمنت .

و إذا لم تكن طراوة الببتون مناسبة فإما أن يكون تدرج الحصىات سينااً فنقل كمية الحصىات الكبيرة أو أن الملدن لا يتوافق مع الاسمنت فنستبدل الملدن أو الاسمنت أو الاثنين معاً .

## ACI

:

:

يحيوي الكود على جدول قيم هبوط الببتون سواء احتوى على ملدن أم لا . و تعتبر أول قيمة للهبوط يجب عندها إضافة الملدن هي ٥٠ - ٢٥ mm كما هو موضح في الشكل رقم ( ٥ - ٥ ) .

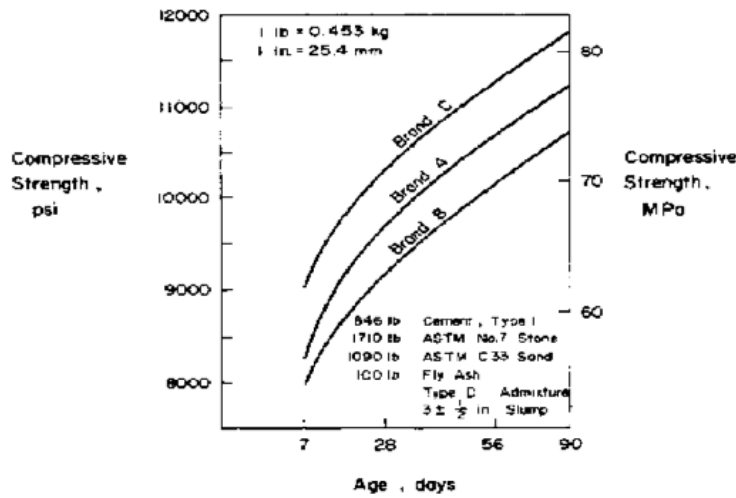


Fig. 3.1—Effects of various brands of cement on concrete compressive strength<sup>3.2,3.12</sup>

الشكل رقم ( ٥ - ٥ )

:

تقترح الطريقة استعمال حصىات بقطر ٢٥ - ١٩ mm من أجل ببتون ذو مقاومة أعلى من ٦٥ Mpa ، و بقطر ١٣-١٠ mm من أجل مقاومات أعلى من ٨٥ Mpa . و كما هو الأمر في الببتون العادي ، يجب الأخذ بعين الاعتبار ألا يزيد حجم الحصىات الأعظمي عن خمس أصغر بعد للقالب ، أو ثلث سماكة البلاطة ، أو ثلاث أرباع المسافة بين قضبان حديد التسليح كما هو موضح في الشكل رقم ( ٥ - ٦ ) .

:

تقترح هذه الطريقة أن تكون كمية الحصويات الكبيرة ، و المعبر عنها بقيمة الكتلة الحجمية بحدود ٠.٦٥ ، ٠.٦٨ ، ٠.٧٢ ، ٠.٧٥ من أجل حصويات ذات حجم ١٠ ، ١٣ ، ٢٠ ، ٢٥ على التوالي.

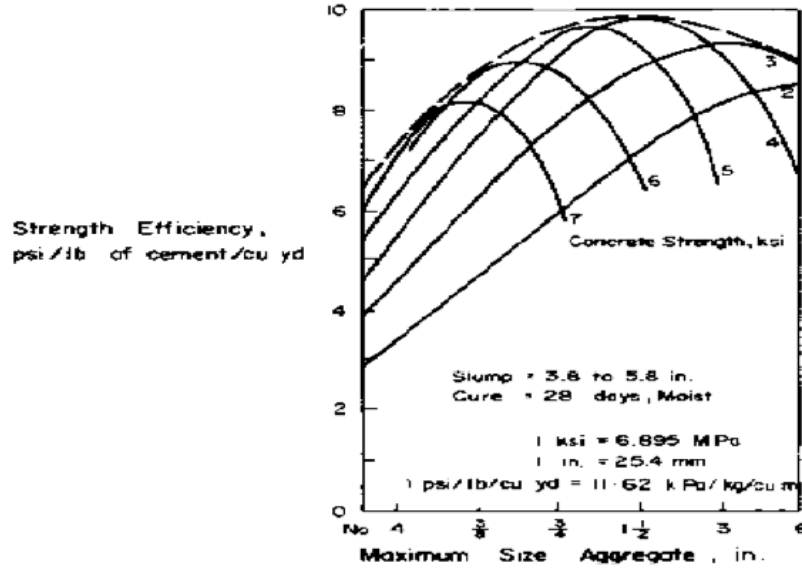


Fig. 3.5—Maximum size aggregate for strength efficiency envelope<sup>3.2</sup>

الشكل رقم (٥ - ٦)

يعطي جدول في الكود والموضح في الشكل رقم (٥ - ٧) قيم كميات المياه و الهواء التقريبية المطلوبة من أجل صنع بيتون عالي المقاومة ذو حجم حصويات محدد .

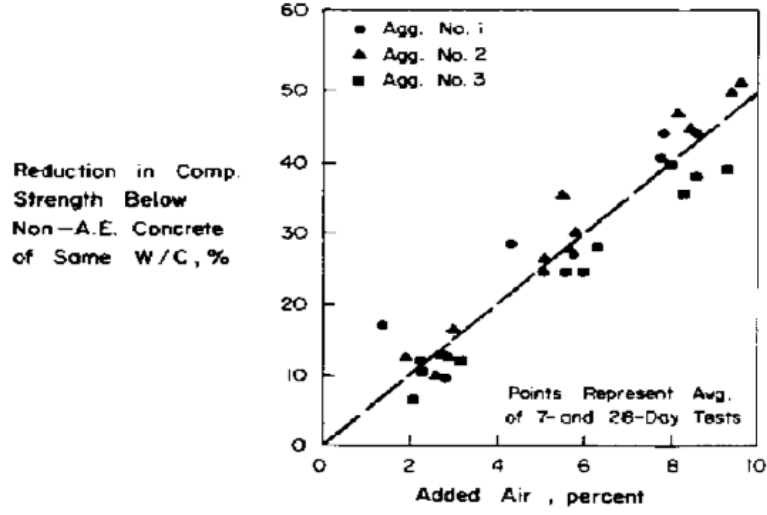


Fig. 3.4—Strength reduction by air entrainment<sup>3.26</sup>

الشكل رقم ( ٥ - ٧ )

:

يمكن اعتماداً على الحجم الأعظمي للحصويات و المقاومة على الضغط المطلوبة ، الحصول على قيم نسبة الماء للاسمنت من خلال جدولين موجودين في الكود و الموضحين بالشكل ( ٥ - ٨ ) .

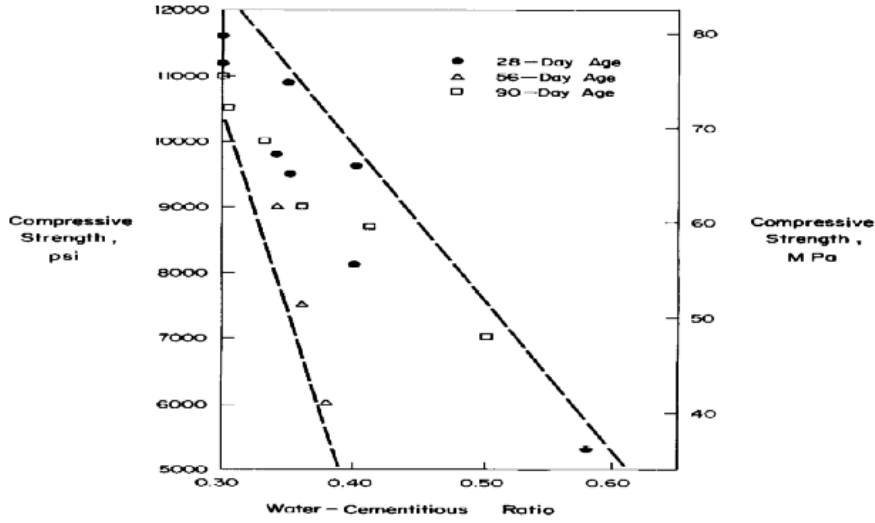


Fig. 3.2—Strength versus water-cement ratios of various mixtures<sup>2,2,3,10,3,15,3,16</sup>

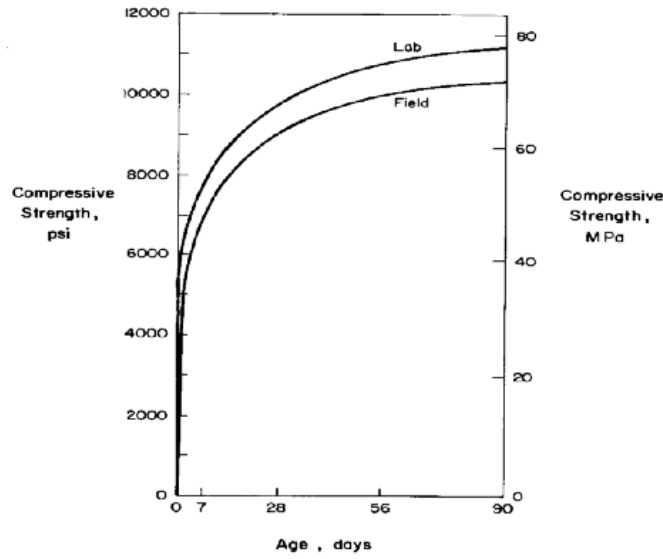


Fig. 3.3—Laboratory-molded concrete strengths versus ready-mixed field-molded concrete strengths for 9000 psi (62 MPa) concrete<sup>2,2</sup>

الشكل رقم ( ٥ - ٨ )

تحسب كمية الاسمنت بتقسيم كتلة الماء الحر على النسبة ماء / اسمنت .

في هذه المرحلة تحدد نوعية البيتون المحضر باستخدام الاسمنت دون أي إضافات اسمنتية .

تجرى تجارب إضافية باستبدال كمية من الاسمنت بالرماد أو خبث الحديد وفق نسب محددة ، أما في حال استعمال غبار السيليس فلا حدود لكمية الاسمنت التي يمكن استبدالها ، طالما أن هذه التجربة صالحة من أجل مقاومة أعظمية مقدارها 85Mpa و تحدد هذه الكميات بـ % ٢٥ - ١٥ من كتلة الاسمنت من أجل رماد درجة F ، و % ٣٥ - ٢٠ من أجل رماد درجة C ، و % ٣٥ - ٣٠ من أجل خبث الحديد .

:

تصنع خلطة مقارنة باستخدام الاسمنت فقط ، أما في بقية الخلطات الأخرى فتستبدل كمية من الاسمنت بالرماد أو الخبث حسب ما أعطته التجارب الأولية .

و في الختام فإن تصميم خلطة البيتون عالي المقاومة تعتبر مزيجاً من العلم و الخبرة ، فمن الصعب تركيبه دون معرفة المعلومات التقنية و طرق التصميم .

و مهما كانت طريقة التشكيل المستعملة فيجب إجراء عينات و خلطات تجريبية و كلما أمكن تقليل عدد هذه التجارب كان ذلك أفضل .



إن عملية إنتاج و نقل و صب البيتون عالي المقاومة تتم بنفس الطرق المستعملة من أجل البيتون العادي ، حيث أن كمية الاستهلاك القليلة للبيتون عالي المقاومة في سوق البيتون لا تبرر في الوقت الحالي إنشاء معامل جبل خاصة أو تطوير معدات إكمال مختلفة عما يستعمل للبيتون العادي .

:

على الرغم من أن مراقبة جودة المواد المستخدمة في صنع جميع أنواع البيتون أمر هام ، إلا أن ذلك يصبح ضرورة كبيرة الأهمية عند إنتاج البيتون عالي المقاومة . فمن الضروري مراقبة نوعية الملمدن و التحقق من توافقه مع الاسمنت المستعمل كلما أمكن ذلك بعد ذلك يأتي دور مراقبة التدرج الحبي و شكل الحصىات الكبيرة المستعملة خاصة الحصىات التي تأتي من كسارات و مقالع تستعمل معدات طحن قد لا تكون صالحة دوماً لإنتاج حصىات ذات نوعية جيدة توافق متطلبات البيتون عالي المقاومة . كما يجب مراقبة رطوبة الحصىات و خاصة في الشتاء حيث تصبح المراقبة المتقنة لكمية الماء في الرمل و الحصىات أمراً حرجاً و لذلك تسخن الحصىات بالبخار في بعض البلدان الباردة من أجل إذابة الجليد الموجود فيها أو رفع حرارتها و تجفيفها قبل الصب . و تجب مراقبة الإضافات الاسمنتية في حال استعمالها من أجل إنتاج البيتون عالي المقاومة .

:

ينتج البيتون عالي المقاومة بنفس المجابيل المستعملة لإنتاج البيتون العادي و لكن بمدة جبل أطول . و قد تؤدي الاختلافات البسيطة في نسب إلى اختلافات في صفاته ، فزيادة ماء الجبل بمقدار  $3-5L/m^3$  قد تؤدي إلى فقدان بمقدار  $10-20Mpa$  في المقاومة ، و قد تؤدي زيادة الهبوط إلى الإخلال بالبيتون و انفصال مواده .

إن زمن جبل البيتون عالي المقاومة أطول عادة منه في البيتون العادي ، و تعد لحظة إدخال الملمدن اللحظة الحرجة في الجبل . و توجد حالياً ثلاث طرق تقريبية لتحديد هذه اللحظة :

الطريقة الأولى : و توضع فيها كامل كمية الملمدن مع الماء قبل بدء الجبل .  
الطريقة الثانية : و يوضع فيها ثلثا كمية الملمدن في البيتون في بداية الجبل و الثلث الباقي يوضع في نهاية فترة الجبل .  
الطريقة الثالثة : توضع نصف كمية الملمدن في المجبل في لحظة الجبل بحيث يغادر البيتون المجبل بهبوط مقداره  $100mm$  ليصل إلى الورشة بهبوط مقداره  $50mm$  .  
و تضاف باقي كمية الملمدن في الورشة للحصول على الهبوط المطلوب .

و مهما كانت الطريقة المستعملة لإضافة الملمدن فيجب ألا ننسى أنه يجب ألا يزيد هبوط البيتون عالي المقاومة ابداً عن  $230mm$  ، لأخذ الاحتياطات اللازمة عند

حصول أي خطأ ، كما أنه يمنع في جميع الأحوال منعاً باتاً زيادة الهبوط بإضافة الماء .

:

تستخدم تجربة الهبوط بشكل عام لقياس طراوة البيتون عالي المقاومة مع أن صلاحيتها ليست مؤكدة . و من الناحية النظرية ، يفضل مراقبة طراوة البيتون باستخدام مقياسين هما مقاومة القص و اللزوجة .

و يعطي مخروط أبرامز في كل تجارب البيتون الرطب صورة واضحة عن حد القص . و بحساب الزمن اللازم لهبوط بارتفاع 10 cm ، يمكن أن نحصل على فكرة عن اللزوجة مما يسمح باستبعاد البيتون اللزج كثيراً

:

تختلف أسباب انفصال المواد ، فقد تنتج عن وجود ماء تنظيف في القوالب أو عن خطأ في معايرة ماء الجبل أو كمية الملدن ، كما قد تنتج عن زيادة كمية الملدن فوق حد الإشباع حتى و لو كانت الزيادة قليلة .

و ليس من السهل دراسة الانفصال . و بالطبع فإنه حين تحدث هذه الحادثة فإن نوعية البيتون تنخفض بشكل ملحوظ و بالتالي يجب إنقاص مخاطر الانفصال . و بشكل عام فإن زيادة لزوجة البيتون تؤدي إلى زيادة استقراره و تقليل خطر الانفصال .

:

يجب مراقبة درجة حرارة البيتون الطري لما لها من آثار على لدانته و حالته ، فإذا كانت حرارة البيتون بعد خلطه مباشرة مرتفعة ( $C > 25$ ) فإن التمييه يحدث بسرعة و قد يصعب جداً التحكم بطراوة البيتون عالي المقاومة لفترة طويلة تكفي لنقله و صبه بشكل سليم إلا إذا غير تركيب البيتون بإضافة المبطئات على سبيل المثال . كما أنه قد تصعب مراقبة كمية الهواء المطلوب احتوائها في البيتون عالي المقاومة عندما تكون درجة حرارته مرتفعة . و من ناحية ثانية ، فإذا كان البيتون بارداً ( $C < 10$ ) فإن الملدن السائل يصبح أقل فعالية لتوزيع حبيبات الاسمنت . إن درجة الحرارة المثالية لنقل البيتون عالي المقاومة هي بحدود ( $C 20 - 15$ ) . و من المفضل كلما أمكن ذلك أن توضع هذه الحدود في إضبارة المشروع و أن تحدد فيها درجات الحرارة العظمى و الصغرى المسموح بها في البيتون الطري .

:

كثيراً ما تنخفض درجة حرارة البيتون الطري و لكن معالجة ذلك أمر سهل إذ يمكن تسخين البيتون عالي المقاومة بنفس التقنيات الفعالة المستخدمة في البيتون العادي كتسخين ماء الخلط و تسخين الحصىيات .

و في حالة استعمال الكوفراج المعدني فيجب الانتباه بشكل جيد إلى التأخر في التصلب الناتج عن البرودة العالية ، فمن الممكن أن يتجمد البيتون ضمن هذا النوع من القوالب ، و قد نواجه نفس المشاكل في الأقسام الخارجية من البلاطات التي قد تنخفض حرارتها خلال الساعات الأولى من الصب بشكل سريع ، لذلك يجب حماية و عزل البيتون في كلتا الحالتين بوضع وسائل لتغطية البيتون و تسخينه لمنع هذه المشاكل .

:

يجب أن تراقب درجة حرارة البيتون عالي المقاومة صيفاً ، لخفض الحرارة الأعظمية الناتجة في كتلة البيتون . و يتم ذلك باستعمال الماء البارد و كما يمكن تبريد الحصىيات برشها بالماء ، و إذا تطلب الأمر فيستعمل الجليد المجروش و يستبدل بقسم من ماء الجبل و قد يستعمل الأزوت السائل من أجل التبريد في بعض الحالات الخاصة .

و يؤدي تبريد البيتون عالي المقاومة بالإضافة لذلك إلى تحسين طواعيته مما يزيد المدة التي يمكن فيها نقله و وضعه في المكان وضخه .

و في الختام يمكن القول أن إنتاج البيتون عالي المقاومة يبدأ دوماً بالمراقبة الصارمة لنوعية المواد و لنوعية البيتون الطازج ، بعد ذلك يجب مراقبة طراوة البيتون عالي المقاومة و يمكن الاكتفاء حالياً من أجل ذلك بتجربة الهبوط مع أنها غير كافية ، كما يجب مراقبة درجة حرارته بحيث تبقى بحدود ( ٢٠ - ١٥ ) قدر الإمكان .

كما هو الحال في البيتون العادي فإن البيتون عالي المقاومة الخاص يتميز بصفات تميزه عن البيتون عالي المقاومة العادي . إذ يمكن إضافة ألياف إلى البيتون عالي المقاومة لتحسين صلابته و لدانته و زيادة مقاومته للصدم كما يمكن أن يحرص في أنابيب فولاذية رقيقة لرفع مقاومته على الضغط و لدانته .  
و هناك صفات مشتركة لكل الأنواع الخاصة للبيتون عالي المقاومة و هي أنها ذات نسبة ماء / اسمنت منخفضة و ذات صلادة عالية و استمرارية كبيرة .

:

عندما نعلم أهمية مقاومة الحصىيات الكبيرة في البيتون عالي المقاومة فمن الغريب أن ن فكر باستخدام الحصىيات الخفيفة لصنعه فهي مسامية و ذات مقاومة ضعيفة و تسحق بسهولة إلا أن خفض الكتلة الحجمية للبيتون عالي المقاومة ( ذو مقاومة ٥٠-٦٠Mpa ) هي ذات فائدة اقتصادية في بعض الحالات الخاصة على الرغم من السعر المرتفع للحصىيات الخفيفة\* .

إن امتصاص الحصىيات الخفيفة للماء كبير عادة ، و قد يؤدي استعمال مثل هذه الحصىيات في بعض الحالات إلى مشاكل في حالة البيتون لأن امتصاصها للماء يؤثر بشكل مباشر على هبوط و طراوة البيتون عالي المقاومة .

و من إحدى المشاكل التي يجب حلها عند صنع البيتون عالي المقاومة الخفيف هي تحديد حالة الإشباع التي يجب أن تستخدم بها الحصىيات ، هل هي جافة أم مشبعة أم متوسطة الإشباع و ذلك لأن امتصاصها للماء غير ثابت و يتفاوت حسب تركيبها .

:

يمكن صنع البيتون عالي المقاومة الخفيف باستعمال الرمل الطبيعي أو مزيج من الرمل الخفيف و الرمل الطبيعي . و باستعمال الرمل الخفيف تقل طراوة البيتون عما يمكن الحصول عليه فيما لو استبدلت كمية منه بالرمل الطبيعي . و باستعماله تصل الكتلة الحجمية للبيتون الطري إلى حوالي  $1850 \text{ kg/m}^3$  أو أقل من ذلك .

---

\* تتراوح الكتلة الحجمية للبيتون عالي المقاومة الخفيف بين  $2000 \text{ kg/m}^3$  -  $1850$  و قد تقل عن ذلك

:

من المفيد استعمال غبار السيليس و الرماد بشكل متوازٍ في البيتون عالي المقاومة الخفيف بسبب تفاعل مادة بوزولانية سريعة التفاعل و هي غبار السيليس مع مادة بوزولانية بطيئة التفاعل و هي الرماد .

و تتراوح كمية الاسمنت في البيتون عالي المقاومة الخفيف بين ٦٠٠ - ٤٠٠  $kg/m^3$  . و بصورة عامة فإننا نقبل بالقول أنه يجب عدم تجاوز كمية معدنية من الاسمنت و الإضافات لرفع مقاومة البيتون عالي المقاومة الخفيف على الضغط لأنه في مرحلة معينة لا يعود لرفع مقاومة العجينة الاسمنتية المميهة أي تأثير على مقاومة البيتون .

كما تتعلق كمية المادة الرابطة بنوع الحصىات المستخدمة\* لأن مقاومة هذه الأخيرة تعتبر النقطة المؤثرة في البيتون الخفيف .

:

:

يمكن صنع بيتون عالي المقاومة الخفيف بمقاومة على الضغط مقدارها ١٠٠Mpa و كتلة حجمية مقدارها  $1865 kg / m^3$  .

:

تتراوح قيمة مقاومة الشد المباشر للبيتون الخفيف بين ٢ - ١.٩ Mpa و مقاومته للشد عند الانعطاف بين ٨.٧ - ٦ Mpa و مقاومته للقص بين ٥.٢ - ٣.٥ Mpa .

:

إن معامل لدونة البيتون عالي المقاومة الخفيف هو أصغر منه في البيتون عالي المقاومة ذو الكثافة العادية من أجل نفس المقاومة على الضغط . و تتراوح قيمته من أجل عينات ناضجة بدرجة حرارة ٢٠C و رطوبة ٥٠% بين ١٨-١٣ Gpa .

\* يحدد نوع الحصىات المستخدمة عن طريق إجراء تجارب

:

تتراوح قيمة إجهادات الالتصاق بين البيتون عالي المقاومة الخفيف و حديد تسليح بقطر 20 mm بين 1.9 - 2.3 Mpa .

يتقلص البيتون عالي المقاومة المصنوع بحصويات خفيفة على المدى القصير بسرعة أقل بسبب وجود الماء في الحصويات الخفيفة ، و لكن قيمة الانكماش على المدى الطويل هي أعلى مما في الأنواع الأخرى من البيتون .

إن الجزء المساعد من منحنى الإجهاد - التشوه للبيتون عالي المقاومة الخفيف هو خطي الشكل حتى القمة أما الجزء الهابط فهو شديد الانحدار و تقل فيه اللدانة كلما زادت المقاومة .

لا يوجد تفاوت كبير بين قيمتي مقاومة التعب في البيتون عالي المقاومة الخفيف و العادي .

إن الميزات الحرارية للبيتون الخفيف ( معامل التمدد و نقل الحرارة و النفوذية ) تعادل نصف قيمتها في بيتون ذو كثافة عادية بمقاومة مساوية .

تم استخدام البيتون عالي المقاومة الخفيف في إنشاء القواعد البترولية لسببين :  
١ - تحسين استقرار القاعدة البترولية على ركائز جافة أثناء السحب .  
٢ - مقاومته المميزة المرتفعة .

و يجعل السبب الثاني استخدام البيتون عالي المقاومة الخفيف مفيداً في إنشاء الجسور . و قد بنيت منشآت عديدة باستخدام البيتون عالي المقاومة الخفيف كما كان الحال في قاعدة Glower Beaufort Sea I التي بنيت على ركائز جافة في اليابان ثم سحبت عبر المحيط الهادي لتوضع في بحر Beaufort .

و في عام ١٩٩١ . بنيت في النرويج ستة جسور باستخدام البيتون عالي المقاومة الخفيف . و مع أن كلفة المتر المكعب للبيتون عالي المقاومة هذا أعلى منها للبيتون عالي المقاومة العادي ، إلا أنه و باستخدام هذا البيتون أمكن إنشاء جسور أكثر اقتصادية لأن الإنقاص الكبير لحمولتها الميتة قللت بشكل كبير التكلفة الإضافية الناجمة عن استيراد الحصىات الخفيفة .

:

يستعمل البيتون عالي المقاومة الثقيل ذو المقاومة العادية من أجل إنشاء الثقالات أو من أجل تشكيل عواكس الأشعة  $\gamma$  .

و هو يصنع باستخدام الحصىات الغنية بالحديد كالايمنيت\* *Ilménite* و الهيماتيت *Hématite* أو حتى باستخدام قطع من الفولاذ و الإيلمينيت أو الهيماتيت مطحونة بشكل جيد كحصىات دقيقة.

و تتراوح الكتلة الحجمية للبيتون الثقيل بين  $3000 - 6000 \text{ kg / m}^3$  حسب كثافة و نوعية الحصىات المستخدمة .

و تكون المقاومة على الضغط باستخدام حصىات ثقيلة اقل منها فيما لو استعملت حصىات ذات كثافة عادية ، كما أن معامل لدونة البيتون عالي المقاومة الثقيل أكبر منه في البيتون ذو الكثافة العادية . فقياس معامل لدونته بعمر ٢٨ يوم كان بحدود  $60 \text{ Gpa}$  لبيتون من الإيلمينيت و بحدود  $52 \text{ Gpa}$  لبيتون ثقيل حاوي على الرمل الطبيعي .

و يقل تقلص البيتون عالي المقاومة الثقيل عنه في البيتون العادي ، و مع أن مقاومة البيتون الثقيل على الضغط اقل بقليل منه في البيتون عالي المقاومة العادي إلا أن معامل لدونته أكبر بكثير بسبب الصلابة العالية للحصىات الثقيلة .

:

تستخدم أنواع مختلفة من الألياف من أجل تحسين مواصفات البيتون العادي و مقاومته للصدم ، و لا يمكن استخدام جميع هذه الأنواع في البيتون عالي المقاومة ، إذ أن الصفات الفيزيائية لبعض الأنواع التجارية من الألياف لا تسمح باستخدامها في البيتون عالي المقاومة .

---

\* الاليمينيت : أوكسيد الحديد و التيتانيوم .

و من بين هذه الأنواع تعد الألياف البلاستيكية أو الزجاجية قليلة الفائدة في تحسين الصفات الميكانيكية للبيتون عالي المقاومة ، باستثناء تحسين مقاومتها للحريق و في بعض الحالات مقاومتها للصدم . و تملك هذه الألياف البلاستيكية معامل لدونة ضعيف جداً بحيث لا يمكنه تحسين صلابة البيتون بشكل ملحوظ ، و هو ما يطلب عادة عند إضافة الألياف للبيتون في الوقت الحالي . و يمكن كذلك إضافة ألياف الفولاذ أو الألياف الكربونية للبيتون عالي المقاومة . فمثلاً تستعمل ألياف الفولاذ في المناطق النشطة زلزالياً ، كما يمكن استعمالها عندما تصبح تكلفة الأتاري كبيرة بحيث يكون استخدام الألياف أفضل اقتصادياً .

و لكن بشكل عام . فإن إضافة ألياف الفولاذ لا يحسن مقاومة البيتون عالي المقاومة على الضغط بالشكل الذي نريده .

و كما هو الحال في الأنواع الأخرى من البيتون فإن إضافة الألياف بقل طراوة البيتون عالي المقاومة .

⋮

لا تعد فكرة حصر البيتون ضمن قالب من الفولاذ حديثة ، إذ قد أجريت دراسات عديدة حول هذا الموضوع .

و قد وجد أن حصر البيتون ضمن أسطوانات فولاذية يزيد مقاومته بشكل كبير . و بزيادة ضغط الحصر أو منع الانزياح الجانبي يمكن أن نتأكد من تأثيرات ثلاث عوامل على منحنى الإجهاد - تشوه :

- ١ - تزيد المقاومة النهائية على الضغط كلما زاد ضغط الحصر .
- ٢ - يزيد التشوه الحاصل قبل الانهيار بشكل كبير كلما زاد ضغط الحصر متجاوزاً ما يسمى بعتبة الانهيار .
- ٣ - يبقى انحدار منحنى الإجهاد - تشوه في القسم اللدن كما هو عملياً ، مبيناً بذلك أن للحصر تأثيراً قليلاً على معامل لدونة البيتون .

و قد بينت الدراسات الحديثة الأمور التالية عند حصر البيتون عالي المقاومة ضمن أسطوانات فولاذية :

- ١ - يؤدي استعمال أسطوانة فولاذية رقيقة من أجل الحصر في بيتون عالي المقاومة ذو مقاومة ٨٥Mpa مثلاً إلى مضاعفة الحمولة الأعظمية التي يمكن أن يتحملها عمود معرض إلى حمولة لا مركزية بمقدار ٢.٢ - ١.٦ مرة .
- ٢ - يعد الترابط بين الأسطوانة الفولاذية و البيتون و الطريقة التي تطبق بها الحمولة على المواد عاملاً هاماً .

و من الناحية العملية ، فإن حصر البيتون عالي المقاومة سهل جداً . إذ تحل الأسطوانة الفولاذية محل الكوفراج ، و تعبأ الأسطوانة بالبيتون بواسطة مضخة .



:  
تختلف هذه التقنية عنها في البيتون المرصوص بالعجلات المستخدم في بناء السدود. حيث أنها تركز على وضع البيتون عالي المقاومة الجاف بالوسائل المستخدمة من قبل منتج البيتون لإنشاء بلاطات صناعية ذات أبعاد كبيرة .

فمثلاً أنشئت في معمل للورق خلال أقل من شهر و نصف بلاطة صناعية مساحتها  $87000 \text{ m}^2$  . و قد أنشئت هذه البلاطة الضخمة على طبقتين بسماكة  $150 \text{ mm}$  باستخدام بيتون عالي المقاومة ذو مقاومة وسطية مقدارها  $60 \text{ Mpa}$  بعمر ٢٨ يوماً. و لم تحو هذه البلاطة على تسليح أو ألياف فولاذية أو مواد لاصقة و مع ذلك فقد أظهرت مقاومة جيدة لحقات التجمد و الذوبان المتوالية و كذلك لمقاومة الحت و الاهتراء ، الأمر الذي كان ضرورياً لتسهيل عمل الأجهزة الثقيلة المستخدمة لتفريغ جذوع الأشجار و حملها إلى المعمل .

و قد رص هذا البيتون بنفس طريقة رص البيتون الزفتي العادي المستخدم في الطرق باستخدام عجلات رجاغة و مداحل ذات عجلات مطاطية .

و تعد الميزات الأساسية المطلوبة في ذلك هي استمرارية سطوح البيتون عالي المقاومة المرصوص بالعجلات . و مقاومته الكبيرة للاهتراء ، و سرعة الإنشاء و سرعة وضع البلاطات قيد الاستخدام .

كما يجب أن يراقب تركيب البيتون عالي المقاومة المرصوص بالعجلات للتأكد من نوعية المادة الرابطة و الحصىات المتوفرة و وسائل الخلط و الوضع في المكان .

و بالتالي يمكن القول أنه كما هو الحال في البيتون العادي فقد أجابت بعض أنواع البيتون عالي المقاومة على المتطلبات التكنولوجية الخاصة .

:

بعد ما قمنا بتقديمه في الفصول السابقة من عرض نظري لتطور البيتون عالي المقاومة و مبادئه و استعمالاته و كيفية اختيار المواد الداخلة في تركيبه و ما يتميز به من خصائص عن بقية أنواع البيتون المستعملة . سنقوم في هذا الفصل بعرض القسم المخبري من البحث ، و الذي سنتطرق فيه إلى الغاية من هذه الدراسة و ما هدفنا إليه من إجراء هذه التجارب . ثم سنتطرق إلى كيفية تأمين المواد التي استعملناها في تركيب البيتون عالي المقاومة من اسمنت و ملدن و حصويات و غبار سيليس ، و العوائق التي واجهتنا عند اختيار هذه المواد و تأمينها ، و ما قمنا به من تجارب على هذه المواد للتأكد من جودتها و فعاليتها في رفع مقاومة البيتون .

و سنتحدث بشكل تفصيلي عن مبدأ تجربة لوس أنجلوس و الجهاز المستخدم فيها و فائدتها و سبب استعمالها في التجارب على الحصويات المستخدمة في البيتون عالي المقاومة ، ثم سننتقل بعد ذلك إلى شرح تجارب المقاومة على الضغط للعينات البيتونية المختبرة فننتحدث فيها عن نسب المواد الداخلة في تركيب البيتون عالي المقاومة في كل تجربة و الفروق بين نسب المواد في التجارب الأربع ثم عن طريقة الجبل و الخطوات المتبعة فيها ، ثم عن صب العينات في القوالب و كسرها .

بعد ذلك نعرض النتائج التي حصلنا عليها من الاجهادات الأعظمية التي يمكن تطبيقها في كل تجربة و لكل عينة من العينات و ما توصلنا إليه من مقاومات على الضغط و من ثم نقوم بالتعليق على هذه النتائج و شرح سببها .

و في الخاتمة سنتحدث عما توصلنا إليه كنتيجة للبحث و بعض التوصيات أو الايضاحات لما يمكن القيام به لتحسين النتائج التي يمكن التوصل إليها .

:

إن إنتاج البيتون عالي المقاومة الموافق لمتطلبات الطراوة و المقاومة يستلزم فرض قيود أكبر على اختيار المواد مما هو الحال في البيتون العادي . و يمكن القول أنه ليس من السهل الحصول على مواد محلية بمواصفات جيدة لصنع البيتون عالي المقاومة ، و نظراً لعدم إمكانية إجراء التجارب على كل المواد المستعملة بسبب النقص في التجهيزات و الوقت ، فقد اكتفينا بإجراء التجارب على الحصويات . و قد تم اختيار المواد كما يلي :

:  
بالرغم من الأهمية الكبرى للاسمنت المستعمل في البيتون عالي المقاومة ، فقد استعملنا الاسمنت البورتلاندي ( ضمن أكياس ) صنع معمل اسمنت عدرا لصنع العينات المختبرة ، و لم تجر عليه أي تجربة من تجارب الجودة أو النعومة المطلوبة عند استعمال الاسمنت كما كنا قد أشرنا لذلك في الفقرة ٤ - ٢ - ١ . باعتبار أن هذا الاسمنت تنطبق عليه الشروط و المواصفات و التي تتم عادة في معامل صنعه .

:  
استعملنا غبار السيليس في تركيب البيتون عالي المقاومة ، و قد حصلنا عليه ضمن كيس لا يحمل أي علامة تجارية أو ماركة للشركة المصنعة أو تاريخ أو مدة الصلاحية . و بسبب صعوبة إجراء تجارب مراقبة جودة غبار السيليس الواردة في الفقرة ٤ - ٢ - ٤ ، فقد اكتفينا بالمشاهدة العينية التي أظهرت أن المادة المستعملة لم تكن مطابقة للمواصفات نظراً لكونها خشنة كما هو واضح في الشكل رقم ( ٨ - ١ ) و قد لا حظنا أنها أخشن من الاسمنت البورتلاندي ، و من المعلوم أنه من المواصفات الأساسية المطلوبة عند استعمال غبار السيليس هي النعومة الكبيرة لحبيباته و التي بسببها أطلق عليه هذا الاسم .



الشكل رقم ( ٨ - ١ )

و نظراً لعدم وجود مصدر بديل و لعدم إمكاننا استيراد المواد مباشرة فقد اضطررنا لاستعمال ما توفر من هذه المادة في صنع العينات المختبرة .

:

هنا أيضاً و لعدم توفر أي معلومات حول التركيب الكيميائي للملدن أو نوعه أو الشركة المصنعة أو تاريخ أو مدة الصلاحية ، و لصعوبة التأكد من المواصفات المطلوبة الواردة في الفقرة ٤ - ٢ - ٢ . و لعدم وجود مادة بديلة ( و عدم تمكننا من الحصول عليه من مصادر خارجية ) . فقد استعملنا الملدن دون إجراء أي تجارب على فعاليته في توزيع حبيبات الاسمنت ضمن البيتون أو قدرته على التفاعل مع الاسمنت بشكل جيد أو مدى تحكمه بطراوة البيتون .

:

نظراً لأن متطلبات نوعية الماء في البيتون عالي المقاومة لا تختلف عنها في البيتون العادي . فقد استعملنا الماء العادي الصالح للشرب .

:

نظراً للأهمية الكبيرة للحصويات في تحديد مقاومة البيتون عالي المقاومة ، و لكي لا تكون الحصويات هي نقطة ضعفه كما كان قد أشير لذلك في الفقرة ٤ - ٢ - ٨ ، فقد اخترنا ثلاث عينات من البحص و أجرينا التجارب عليها و اخترنا الأفضل حسب النتائج .

:

استخدمنا ثلاث عينات من البحص : اثنتان منها من الدولوميت بحجم متوسط و صغير ، و الثالثة كلسية بحجم متوسط .

:

#### أ - الغاية من التجربة :

معرفة مدى مقاومة عينات البحص للتآكل بالانسحاق ، أي حساب عامل التآكل أو الاهتراء للبحص .

#### ب - مبدأ التجربة و الدراسة النظرية :

تجرى هذه التجربة من أجل أعمال إنشاءات الطرق و السكك الحديدية و مهابط المطارات حيث أنه من المعلوم أن العنصر الأساسي في أساس هذه المنشآت المذكورة هو البحص و الحجارة .

و كلما كانت هذه العناصر ذات مقاومة عالية كلما كان المنشأ أقوى و عمره أطول ،  
و كلما كانت غير مقاومة و هشة أدى ذلك إلى تفتت في طبقات المنشآت و هذا يسبب  
اضطراب في المنشأة ككل .  
أما في صنع البيتون عالي المقاومة فهي تستعمل لاختبار مقاومة الحصى التي  
تلعب دوراً أساسياً في رفع المقاومة على الضغط .  
لذلك فقد أوجدت هذه التجربة من أجل معرفة عامل التآكل للحجارة و البحص بحيث  
تمكن من معرفة مقاومة هذه المواد و لو بشكل تقريبي .

إن التجربة تختلف بحسب اختلاف التركيب الحبي للحجارة المجرية ، و يوجد سبعة  
تراكيب حبية حسب النظام الأمريكي ASTM و هي :

A - B - C - D - E - F - G

و تختلف كل تجربة عن الأخرى بأربعة عناصر :

١ - كتلة الحجارة .

٢ - أقطار الحجارة .

٣ - عدد الكرات الفولاذية المستعملة .

٤ - عدد دورات الحلة المعدنية .

و تجري عمليات التحليل وفق المواصفات الأمريكية ASTM حسب الجدول رقم  
( ٨ - ٢ ) :

بالنسبة للتراكيب A , B , C , D يدور الجهاز ٥٠٠ دورة

بالنسبة للتراكيب E , F , G يدور الجهاز ١٠٠٠ دورة

كتلة وتدرج عينة الاختبار بالغمات							أقطار المناخل	
G	F	E	D	C	B	A	محجوز على	مار من
		٢٥٠٠					٢ ½	٣
		٢٥٠٠					٢	٢ ½
	٥٠٠٠	٥٠٠٠					١ ½	٢
٥٠٠٠	٥٠٠٠					١٢٥٠	١	١ ½
٥٠٠٠						١٢٥٠	¾	١
					٢٥٠٠	١٢٥٠	½	¾
					٢٥٠٠	١٢٥٠	¾	½
				٢٥٠٠			رقم ٣	رقم ٣/٨
				٢٥٠٠			رقم ٤	رقم ٣
			٥٠٠٠				رقم ٨	رقم ٤
١٠٠٠٠	١٠٠٠٠	١٠٠٠٠	٥٠٠٠	٥٠٠٠	٥٠٠٠	٥٠٠٠	المجموع بالغمات	
١٢	١٢	١٢	٦	٨	١١	١٢	عدد الكرات	

الجدول رقم ( ٨ - ٢ )

إن مبدأ التجربة يتلخص في وضع كمية من المواد الحصى ذات تركيب حبي معين  
في حلة معدنية أسطوانية دوارة مع عدد من الكرات الفولاذية و ذلك من أجل تسريع

اهتراء المواد الحصوية و من ثم تخرج المواد بعد انتهاء الدوران و تنخل بالمنخل رقم ١٢ ذو الفتحة ١.٧ ملم .

بفرض :

$M_1$  : كتلة العينة قبل إدخالها إلى الحلة ( قبل الانسحاق ).

$M_2$  : كتلة العينة بعد اهترائها و نخلها بالمنخل رقم ١٢ .

إن عامل لوس أنجلوس أو عامل الاهتراء يعطى بالعلاقة التالية :

$$\% \text{ عامل لوس أنجلوس} = \frac{\text{الكتلة المتأكلة}}{\text{الكتلة الكلية}} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} * 100$$

و كلما كان عامل لوس أنجلوس صغيراً كلما كانت مقاومة الحجارة أكبر ، و ذلك لأنه يمثل عامل تآكل أو اهتراء\* .

:

يتألف الجهاز الموضح في الأشكال ( ٣ - ٨ ) و ( ٤ - ٨ ) من حلة معدنية ذات محور أفقي قطرها حوالي ٨٠ سم و عرضها ٥٠ سم و سرعة دورانها ( ٣٥ - ٣٠ ) دورة في الدقيقة و تدور ٥٠٠ أو ١٠٠٠ دورة ، و يتوقف الجهاز بشكل أوتوماتيكي بعد تعيينه على عدد الدورات المطلوبة ، كما يلحق بالجهاز كرات فولاذية موضحة بالشكل رقم ( ٥ - ٨ ) عدد ١٢ كتلة الواحدة ٤٢٠ غرام و قطرها ٤٦ ملم .

---

\* يجب أن يكون عامل لوس أنجلوس أقل من ٤٥% من أجل المواد الحصوية المستعملة في أعمال البيتون العادي ، و بين ٥٠% - ٤٠% للاستعمال في طرق الدرجة الثانية و الثالثة ، و أقل من ٣٩% من أجل طرق الدرجة الأولى و مهابط الطائرات .  
أما في حالة البيتون عالي المقاومة فيجب تخفيض قيمة عامل لوس أنجلوس قدر المستطاع .



الشكل رقم ( ٨ - ٣ )



الشكل رقم ( ٨ - ٤ )



الشكل رقم ( ٨ - ٥ )

د - إجراء التجربة :

أجرينا التجارب على العينات الثلاثة بالاعتماد على حجمها و الجدول رقم ( ٨ - ٢ ) الوارد سابقاً و كانت كما في الجدول رقم ( ٨ - ٦ ) :

العينة	دولوميتية متوسطة الحجم	دولوميتية صغيرة الحجم	كلسية متوسطة الحجم
كتلة و تدرج عينة الاختبار	٢.٥ - كغ محجوز على المهزة رقم ٣	٢.٥ - كغ محجوز على المهزة رقم ٣	٢.٥ - كغ محجوز على المهزة رقم ٣
	٢.٥ - كغ محجوز على المهزة رقم ٣/٨	٢.٥ - كغ محجوز على المهزة رقم ٤	٢.٥ - كغ محجوز على المهزة رقم ٤
عدد الكرات المستخدمة	١١	٨	٨
عدد الدورات	٥٠٠	٥٠٠	٥٠٠
وزن المحجوز على المهزة ١٢ بعد الغسل و التجفيف ( بالغم )	٤١٥٠	٣٦٥٥	٣٧٩٥

الجدول رقم ( ٨ - ٦ )



#### هـ - النتائج :

بحساب قيمة عامل لوس أنجلوس للعينات الثلاث حصلنا على القيم المبينة في الجدول رقم ( ٨ - ٧ ) :

العينة	دولوميتية متوسطة الحجم	دولوميتية صغيرة الحجم	كلسية متوسطة الحجم
عامل لوس أنجلوس	١٧%	٢٦.٩%	٢٤.١%

الجدول رقم ( ٨ - ٧ )

:

اعتماداً على القيم التي تم الحصول عليها في الجدول السابق رقم ( ٨ - ٧ ) و على اعتبار أنه كلما كانت قيمة عامل لوس أنجلوس أصغر كان ذلك أفضل فإننا نختار البحص الدولوميتي متوسط الحجم\* في دراستنا من أجل صنع عينات البيتون عالي المقاومة .

:

إن الهدف الأساسي من دراستنا هو إيجاد المقاومة الأعظمية على الضغط لعينات البيتون المختبرة و التي يمكن الحصول عليها باستخدام ما توفر من مواد أولية .

و لذلك فقد قمنا بإجراء أربع تجارب على أربع مكعبات في كل تجربة ، و قد قمنا فيها بتغيير حجم الحصى كما قمنا بتغيير كمية الملدن للحصول على الطراوة المطلوبة بحيث تكون كمية الماء و الملدن معاً ثابتتين في التجارب الأربع أي أنه بزيادة كمية الملدن بمقدار معين فإننا سنقوم بتقليل كمية الماء بنفس المقدار .

و قد أجرينا التجارب الأربع كاملة في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية .

\* تجدر الإشارة هنا إلى أننا قد حصلنا على هذا البحص من مقال الشركة العامة للبناء في منطقة دمر .

\_\_\_\_\_

:

و قد كانت نسب المواد في هذه التجربة في المتر المكعب من البيتون كما في الجدول  
رقم ( ٨ - ٨ ) :

المادة	بحص		رمل بين ٠.١٥- ٢.٤ ملم	الماء	الملدن	الاسمنت	غبار السيليس
	بين ٩.٣٥- ١٩ ملم	بين ٢.٤-٩.٥٣ ملم					
الكمية بالكلغ	٧٥٦	٤٨٤	٧٦٦	١٩٧	١١	٤٠٣	٩١

الجدول رقم ( ٨ - ٨ )

و لم يتم في هذه التجربة غسل البحص أو الرمل .

:

و قد قمنا بعملية الجبل حسب الخطوات التالية :

- ١ - يوضع البحص و الرمل في الجبل و يدار المجبل حتى يتم الخلط بشكل جيد .
- ٢ - يخلط الاسمنت و غبار السيليس على حدة .
- ٣ - يخلط الماء و الملدن على حده .
- ٤ - يضاف الاسمنت و غبار السيليس إلى المجبل و تخلط مع البحص و الرمل .
- ٥ - يضاف أخيراً الماء و الملدن إلى الجبل و يدار المجبل حتى الحصول على عينة متجانسة ، ثم يوقف المجبل .



منظر للبيتون بعد الجبل

فور إيقاف المجبل ، قمنا بإخراج العينة و صبها في أربع مكعبات قياس  $15 \times 15 \times 15$  سم كما هو واضح في الشكل رقم ( ٨ - ٩ ) دون رج أو دق للبيتون المصبوب . و بعد تسوية سطح العينات البيتونية توضع في مكان آمن لتتصلب و تترك مدة ٢٤ ساعة في القوالب .

و في اليوم التالي قمنا بفك القوالب و إخراج العينات البيتونية المختبرة منها الموضحة في الشكل رقم ( ٨ - ١٠ ) و وضعها في حوض الماء ( الذي لم يكن ذو درجة حرارة ملائمة بشكل تام ) .

تترك العينات بعد ذلك مدة ٢٦ يوم في حوض الماء ثم تخرج من الماء لتجفف مدة ٢٤ ساعة قبل كسرها .



الشكل رقم ( ٨ - ٩ )



الشكل رقم ( ٨ - ١٠ )

اعتمدنا في تجاربنا كسر العينات بعمر ٢٨ يوم ، و قد كانت النتائج التي حصلنا عليها في هذه التجربة الأولى كما في الجدول رقم ( ٨ - ١١ ) :

رقم العينة	١	٢	٣	٤
القوة المطبقة بالطن	١١١	١٠٨	١١٥	١١٢

الجدول رقم ( ٨ - ١١ )



جهاز قياس مقاومة عينات البيتون على الضغط



العينة البيتونية قبل كسرها



العينة البيتونية بعد كسرها

بتقسيم قيمة القوة المطبقة مقدره بالكغ على مساحة سطح العينة و التي مقدارها ١٥ سم مربع نحصل على قيمة المقاومة على الضغط التي تتحملها كل عينة كما في الجدول رقم ( ٨ - ١٢ ) :

رقم العينة	١	٢	٣	٤
المقاومة على الضغط كغ/سم <sup>٢</sup>	٤٩٣.٣	٤٨٠	٥١١.١	٤٩٧.٧

الجدول رقم ( ٨ - ١٢ )

و بالتالي تكون المقاومة الوسطية على الضغط التي تم الحصول عليها في هذه التجربة هي :

$$f_c = ٤٩٥.٥ \text{ kg / cm}^2$$

:  
قمنا في هذه التجربة بتغيير حجم الحصويات فأخذناها كما يلي :  
- بحص بين ١٢.٧ - ٩.٥٣ ملم الشكل رقم ( ٨ - ١٣ ) .  
- بحص بين ٩.٥٣ - ٢.٤ ملم الشكل ( ٨ - ١٤ ) .  
- رمل بين ٢.٤ - ٠.١٥ ملم الشكل ( ٨ - ١٥ )



الشكل رقم ( ٨ - ١٣ )



الشكل رقم ( ٨ - ١٤ )



الشكل رقم ( ٨ - ١٥ )

و بنفس الكميات السابقة ، أي أننا فقط قمنا بتغيير الحجم الأعظمي للبحص المستخدم و صغرناه من ١٩ ملم إلى ١٢.٧ ملم .  
كما قمنا في هذه التجربة بغسل البحص و الرمل على المهزة رقم ٢٠٠ حتى الحصول على ماء رائق ، ثم قمنا بتجفيف الحصىيات في فرن المختبر لمدة ٢٤ ساعة .  
و بتكرار نفس الخطوات الواردة في الفقرات ٨ - ٣ - ١ ، ٨ - ٣ - ١ ، ٨ - ٣ - ١ ، ٨ - ٣ - ١ ،  
٨ - ٣ - ١ . حصلنا على قيم القوى المطبقة الواردة في الجدول رقم  
( ٨ - ١٦ ) :

رقم العينة	١	٢	٣	٤
القوة المطبقة بالطن	٨٨	٨٤	٩٢	٨٥

الجدول رقم ( ٨ - ١٦ )

و بالتالي و بتقسيم قيمة القوة المطبقة على مساحة سطح العينة و التي مقدارها ١٥ سم<sup>٢</sup> نحصل على قيم المقاومات على الضغط لكل عينة في هذه التجربة كما هو موضح في الجدول رقم ( ٨ - ١٧ ) :

رقم العينة	١	٢	٣	٤
المقاومة على الضغط كغ / سم <sup>٢</sup>	٣٩١.١	٣٧٣.٣	٤٠٨.٩	٣٧٧.٨

الجدول رقم ( ٨ - ١٧ )



و بالتالي بأخذ المتوسط الحسابي للقيم الواردة في الجدول السابق رقم ( ٨ - ١٧ ) نجد القيمة الوسطية للمقاومة على الضغط الناتجة في هذه التجربة و هي :

$$f_c = 387.8 \text{ kg / cm}^2$$

و هي أقل من القيمة الواردة في التجربة الأولى مع أننا كنا قد قمنا بتصغير حجم البحص و غسله .

:

في هذه التجربة أبقينا حجوم الحصى كما هو في التجربة الثانية فقرة ٨ - ٣ - ٢ و قمنا بغسل الحصى أيضاً . و لكننا قمنا في هذه التجربة بتغيير كمية الماء و الملدن بحيث زدنا كمية الملدن بمقدار الضعف اي بمقدار ١١ كغ / م<sup>٣</sup> و أنقصنا كمية الماء بالمقدار نفسه بحيث يبقى مجموع كميتي الماء و الملدن ثابتاً . و بالتالي أصبحت الكميتان كما يلي :

- الماء : ١٨٦ كغ .

- الملدن : ٢٢ كغ .

و قمنا بتكرار نفس الخطوات الواردة في التجربة الأولى في الفقرات ٨ - ٣ - ١ - ٢ ، ٨ - ٣ - ١ - ٣ ، ٨ - ٣ - ١ - ٤ ، و حصلنا بالنتيجة على قيم القوى المطبقة على العينات المكعبية الواردة في الجدول رقم ( ٨ - ١٨ ) :

رقم العينة	١	٢	٣	٤
القوة المطبقة بالطن	٨٤	٨٥	٨٢	٨٦

الجدول رقم ( ٨ - ١٨ )

و بتقسيم قيم هذه القوى المطبقة مقدره بالكغ على مساحة سطح العينة ١٥ سم<sup>٢</sup> نحصل على قيم المقاومة على الضغط لكل عينة من العينات الأربع في هذه التجربة كما هو موضح في الجدول رقم ( ٨ - ١٩ ) :

رقم العينة	١	٢	٣	٤
المقاومة على الضغط كغ / سم <sup>٢</sup>	٣٧٣.٣	٣٧٧.٨	٣٦٤.٤	٣٨٢.٢

الجدول رقم ( ٨ - ١٩ )

و بالتالي بأخذ القيمة الوسطية لقيم المقاومات على الضغط الواردة في الجدول السابق رقم ( ٨ - ١٩ ) نجد المقاومة الوسطية على الضغط لعينات البيتون المختبرة في هذه التجربة و هي :

$$f_c = 374.4 \text{ kg / cm}^2$$

نلاحظ هنا انخفاض قيمة المقاومة على الضغط عما كانت في التجربة الثانية مع أننا زدنا كمية الملدن و حافظنا على حجم الحصىات و غسلها . و قد كانت الخلطة البيتونية ذات طراوة أفضل نتيجة لزيادة كمية الملدن مع أننا قللنا النسبة ماء / اسمنت بتقليل كمية الماء .

:

في هذه التجربة ايضاً أبقينا حجوم الحصىات كما كان في التجربة الثانية فقرة ٨ - ٣ - ٢ ، كما قمنا بغسل الحصىات و تجفيفها أيضاً . و قمنا في هذه التجربة بتغيير كمية الماء و الملدن بحيث زدنا كمية الملدن بمقدار ١١ كغ / م<sup>٣</sup> عن القيمة الواردة في التجربة الثالثة فقرة ٨ - ٣ - ٣ ، و أنقصنا كمية الماء بالمقدار نفسه لإبقاء مجموع كميتي الماء و الملدن في الخلطة البيتونية ثابتاً . و بالتالي أصبحت الكميتان كما يلي :

- الماء : ١٧٥ كغ

- الملدن : ٣٣ كغ .

و قمنا بتكرار نفس خطوات الجبل و الصب و الكسر الواردة في التجربة الأولى في الفقرات ٨ - ٣ - ١ ، ٨ - ٣ - ١ ، ٨ - ٣ - ١ ، ٨ - ٣ - ١ ، و حصلنا بالتالي على قيم القوى الأعظمية المطبقة على العينات المختبرة و المبينة في الجدول رقم ( ٨ - ٢٠ )

رقم العينة	١	٢	٣	٤
القوة المطبقة بالطن	١٢٢	١٢٥	١٢٠	١٣٢

الجدول رقم ( ٨ - ٢٠ )

و بتقسيم قيم القوى بالكغ على مساحة سطح العينة نحصل على قيم المقاومات على الضغط للعينات الأربع المستخدمة في هذه التجربة كما هو مبين في الجدول رقم ( ٨ - ٢١ ) :

رقم العينة	١	٢	٣	٤
المقاومة على الضغط كغ / سم <sup>٢</sup>	٥٤٢	٥٥٦	٥٣٣	٥٨٧

الجدول رقم ( ٨ - ٢١ )

و بأخذ المتوسط الحسابي لهذه القيم الواردة في الجدول السابق نحصل على القيمة الوسطية للمقاومة على الضغط للعينات المختبرة في هذه التجربة و هي :

$$f_c = ٥٥٤.٤ \text{ kg / cm}^2$$

:

لاحظنا من خلال العرض السابق للتجارب الأربعة التي قمنا بها على العينات المكعبية للبيتون عالي المقاومة أننا حصلنا عليه من نتائج تعود للأسباب التالية :

١ - في التجربة الأولى استخدمنا الحصويات دون غسل كما استخدمنا الإضافات الاسمنتية ( غبار السيليس ) و الملدن دون التأكد من سلامتها و صلاحيتها ( لعدم وجود تاريخ صلاحية ) فكانت المقاومة الوسطية التي حصلنا عليها

$$490.0 \text{ kg / cm}^2$$

٢ - بعد ذلك و في التجربة الثانية و الثالثة لاحظنا أن المقاومة الوسطية التي حصلنا عليها قد بدأت بالتراجع شيئاً فشيئاً فكانت قيمتها حوالي  $387.4 \text{ kg / cm}^2$  ،  $374.4$  على التوالي أي أن المقاومة كانت تتناقص مع مرور الزمن ( حيث أن التجارب كانت مرتبة بشكل متسلسل زمنياً ) و حيث أننا لم نغير من نوعية الاسمنت أو الحصويات المستعملة أو كميات المواد عما كان في التجربة الأولى ، فقد تبين أن ذلك كان بسبب الإضافات الاسمنتية و الملدن و التي على ما يبدو كانت فاقدة لفعاليتها بسبب انتهاء تاريخ صلاحيتها ، و بالتالي أصبحت تؤثر بشكل سلبي على مقاومة البيتون على الضغط ، بالرغم من أنه في التجربة الثانية قمنا بغسيل الحصويات و في التجربة الثالثة قمنا بغسيل الحصويات و زيادة كمية الملدن المستعملة و إنقاص كمية الماء أي إنقاص النسبة ماء / اسمنت .

٣ - في التجربة الرابعة قمنا باستخدام كمية جديدة من غبار السيليس و الملدن من نفس النوعية و نفس المصدر و حافظنا على نوعية باقي المواد و كمياتها لكننا قمنا بزيادة كمية الملدن مع إنقاص نسبة الماء للاسمنت فحصلنا على مقاومة وسطية مقدارها

$$504.4 \text{ kg/cm}^2$$

و بالتالي يمكن القول أن المواد المضافة إلى الخلطة البيتونية ( غبار السيليس و الملدن ) قد أثرت بشكل سلبي على مقاومة عينات البيتون بسبب انتهاء تاريخ صلاحيتها ، و باستخدامنا لمواد صالحة للاستعمال تمكنا من الحصول على مقاومات على الضغط جيدة نسبياً دون استخدام مواد ذات خصائص معينة أو مميزة .

:

توصلنا من خلال الدراسة و التجارب التي قمنا بها على عينات البيتون المختبرة أنه يمكننا صنع بيتون عالي المقاومة نسبياً ذو مقاومة وسطية بحدود  $500 \text{ kg / cm}^2$  باستخدام مواد غير خاضعة للشروط أو المواصفات ، و بسبب عدم توفر الوقت و مصادر المواد فقد اكتفينا بهذه التجارب و هذه المقاومة ، مع العلم أنه يمكن الحصول على مقاومات على الضغط أعلى من ذلك بكثير باستخدام مواد مختبرة و محققة لشروط الجودة و الصلاحية .

- :
- 
- ١-١ P.- C Aitcin; Bétons haute performance, Eyrolles, ٢٠٠١
  - ١-٢ S. Freedman, High-strength concrete, Skokie, ١٩٧١
  - ١-٣ J. -M. Brocherieux, les bétons à hautes performances, Malier, ١٩٩٢.
  - ١-٤ ACI ٣٦٣ R-٩٢, state - of - the art Report on High-strength concrete, ACI Manual of concrete practice.
  - ١-٥ CEB Bulletin d'information n° ٢٢٢, Application of High-strength concrete, CEB, ١٩٩٤.

- :
- 
- ١ -١ مواد البناء , د. طارق أصلان ، جامعة تشرين ، ١٩٨٨
  - ٢-٢- الدليل العملي لاختبار مواد البناء ، م. أسامة الخطيب ، جامعة حلب ، ١٩٨٦،

- :
- 
- ٣-١-<http://www.greatbuildings.com/cgi-bin/gbi.cgi/Empire-state-Building.html>
  - ٣-٢-<http://www.Bridgepros.com/projects/lepontdeNormandie>
  - ٣-٣-<http://www.Lcpc.fr/images/pdn>
  - ٣-٤-<http://www.Structurae.de/en/photos>
  - ٣-٥-<http://www.officespace.com/osoweb>
  - ٣-٦-<http://www.skyscrapers.com/English/file/D.٩>
  - ٣-٧-<http://www.gnb.ca/dot/sommet/concrete-f.htm>
  - ٣-٨-<http://www.tfhr.gov/structur/hpc/hpc٧/contnt.htm>