كلية هندسة العمارة – جامعة المنارة

إعداد

أ.د. بسام حويجة

1- مبادئ البيتون وفولاذ التسليح ومفهومهما

1-1- لمحة تاريخية - عموميات

مقدمة:

عرف الرومان الروابط الكلسية قبل الميلاد واستخدموها كرابط في البناء وعرف الاسمنت البورتلاندي في بداية القرن التاسع عشر. جرت بعد ذلك محاولات لتصنيع البيتون المسلح. فظهرت أولى المنشآت الخرسابية المسلحة في الفترة الواقعة بين سنتي 1860 – 1880، وكانت تتمثل في أبسط أنواع البلاطات والعتبات والأعمدة.

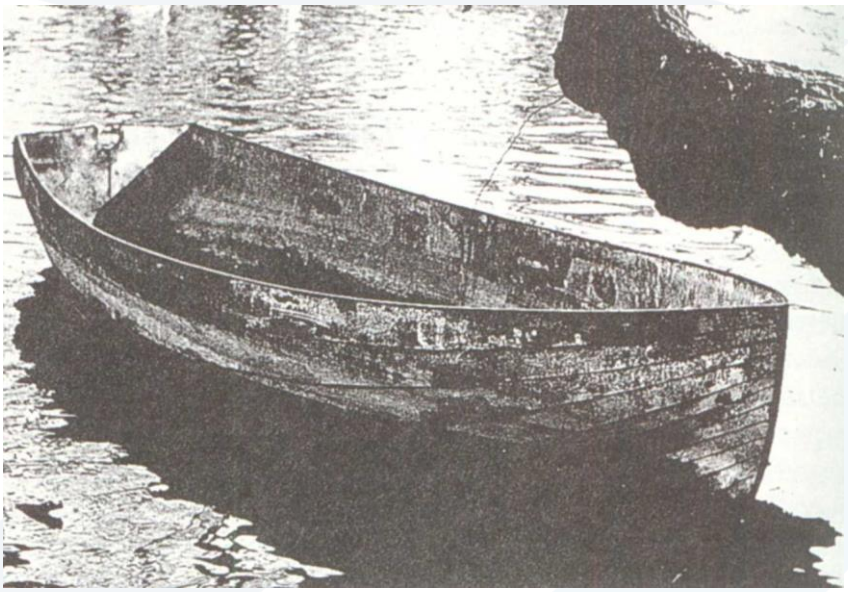
ساهمت أبحاث العلماء في نشوء الأسس النظرية الأولى للخرسانة المسلحة وتطبيقاتها العملية. يذكر منهم الفرنسيون كونسيديير وهينيبك والألماني مورش والروس بودولسكي ولوليت.

اتضحت الملامح العامة لطريقة الحساب بالإجهادات المسموحة، التي تعتمد على حساب المواد المرنة في نهاية القرن التاسع عشر. وتوفرت أولى الشروط التقنية لإقامة المنشآت الخرسانية المسلحة في بداية القرن العشرين. شغلت المنشآت الخرسانية المسلحة مكاناً بارزاً على حساب المنشآت الفولاذية مع باية الثلاثينيات من القرن العشرين. ووضع الروسي لوليت المبادئ الأساسية لنظرية جديدة تعتمد على أساس اجهادات الانهيار. واستخدمت في تلك الفترة الخرسانة المصبوبة في المكان على نطاق واسع والخرسانة مسبقة الصنع على نطاق ضيق. وطبقت فكرة الاجهاد المسبق على البيتون في الفترة نفسها بفضل أبحاث المهندس الفرنسي الشهير فريسينيه.

تطور بعد ذلك علم الخرسانة المسلحة تطوراً سريعاً سواء بطرق الحساب والبرامج وأنواع البيتون والمواد المضافة والمقاومات التي وصلت إلى قيم قريبة من مقاومة الفولاذ وأنواع المنشآت وأبعادها... الخ.

يعتبر الفرنسي جوزيف لويس لامبو (J. L. Lambot) من أوائل المفكرين بدمج شبكة من القضبان الحديدية مع البيتون الاسمنتي وذلك في عام 1848م، فقد بنى قارباً صغيراً من هذه المادة الحديثة الواعدة ، ونال شهادة اختراع على عمله هذا، الشكل (1-1). ثم جاء جوزيف مونييه (J. Monier) الذي عمل كبستاني في حدائق فرساي ليصنع، بطريقة مشابهة للسابقة، أحواضاً وصناديق لاحتواء الورود.

ومن ثم تم إدخال، القواعد الأولية لحساب هذه المادة، ولأول مرة، وكان ذلك بفضل فرانسوا هينيبيك (F. Hennebique) . في عام 1891م. قام الفرنسي إدمون كوانييه (E. Coignet) باستعمال جوائز بيتونية مسلحة مسبقة الصنع لإنشاء بناء في مدينة بياريتس (Biarritz). أخيراً، وفي عام 1897م، تم تدريس هذه المادة في المدرسة الوطنية للجسور والطرق في فرنسا بواسطة شارل رابو (C. Rabut). هكذا وفي نهاية القرن التاسع عشر تبلورت نظرية حساب البيتون المسلح (المواد المرنة) وتوفرت الشروط التقنية البسيطة لإقامة المنشآت البيتونية المسلحة في بداية القرن العشرين في أوروبا وأمريكا ، باعتبار أن صناعة الأسمنت والفولاذ توفرت وتطورت بما فيه الكفاية لإنتاج البيتون المسلح.



الشكل (1-1): قارب لامبو من البيتون المسلح – سنة 1848م

وبفضل الأبحاث والتجارب المستمرة تطورت نظرية البيتون المسلح وطرائق حسابه أكثر فأكثر، ابتداء من طريقة الاجهادات المسموحه (الطريقة الكلاسيكية) مروراً بطريقة الانكسار، لنصل إلى طريقة حالات الحدود المعتمدة حالياً في كافة المكاتب الهندسية.

البيتون:

يتكون البيتون من خليط من الحصويات (الرمل + البحص) والإسمنت والماء وبعض المضافات الأخرى أحياناً وفق نسب محددة. يحتوي البيتون على كمية من الفراغات والأنابيب الشعرية المملوءة بالماء والرطوبة والهواء. يتعلق حجم هذه الفراغات والأنابيب الشعرية، الذي يتراوح بين 5% و 25% من الحجم الكلي للبيتون، بصفات البيتون وبتركيب بنيته. وعلى هذا الأساس لا يعتبر البيتون جسماً صلباً وإنما جسماً شبيهاً بالجسم الصلب، وهو يخضع لقوانين الحوادث الشعرية. تكسب هذه الحوادث البيتون بعض الصفات الفيزيائية التي تتغير مع الزمن ومع تغير رطوبة الهواء النسبية وحرارته بحيث يولد تبخر الماء من البيتون انكماشاً في بنيته كما يولد امتصاصه للماء انتفاخاً فيها، وتتأثر أيضاً بالاجهادات التي تولدها الحمولات الخارجية. وتنتج القوى التي تسببها الحوادث الشعرية، والتي تختلف شدتها باختلاف مساحة السطوح المعرضة لتأثيرها، اجهادات داخلية في البيتون توازن تأثير هذه القوى.

وبسبب كبر السطوح المعرضة لتأثير القوى الشعرية في البيتون، تكون الاجهادات في الأنابيب الشعرية التي تسببها هذه القوى كبيرة خلال فترة تبخر الماء أو ترسبه فيها. وتؤثر هذه الاجهادات الداخلية على قدرة البيتون على المقاومة وتسبب فيه تغيرات لدنة كبيرة، وشقوقا في بعض الحالات. وبسبب كبر هذه الاجهادات الداخلية، تتعلق مقاومة البيتون وتغيراته بصورة مباشرة بحجم الأنابيب الشعرية والفراغات التي يحتويها.

تختلف الصفات الفيزيائية للبيتون اختلافاً كبيراً بين حالة وأخرى، لأنها تتعلق بنسب عيارات المواد الأولية التي تدخل في تركيبه وبالتركيب الحبي للرمل والبحص وبطبيعتهما، وطرائق خلط البيتون وصبه، والعناية به أثناء التصلب وبعده ،

وحالة الطقس كالرطوبة والجفاف والحرارة والبرودة أثناء التصلب وبعده. يؤدي إهمال أي شرط من هذه الشروط، إلى استحالة الوصول للنتائج التي نرغبها، حتى لو حققت بقية الشروط. ولهذا يطلب استعمال البيتون المسلح عامة والبيتون مسبق الإجهاد خاصة، معرفة خواص المواد الأولية التي تدخل في تركيب البيتون معرفة تامة، وخبرة عملية واسعة وتدقيق فني متواصل وحازم لأعمال التنفيذ.

إضافة إلى ذلك، وعلى الرغم من أن البيتون يصبح جسما صلبا بالمفهوم الذي ذكر أعلاه من اللحظة التي بدأ فيها تجمد الإسمنت، تدل التجارب العملية على أنه مادة تتحول من حالة إلى أخرى بصورة مستمرة. فالبيتون حساس للشروط الخارجية، للفيزيائية منها والميكانيكية، ولكن ردود فعله بالنسبة لها تكون بطيئة. بالإضافة إلى هذا، تترك الحوادث التي تؤثر فيه أثارا دائمة تتأثر بها ردود أفعاله المقبلة. وعلى هذا الأساس، نستطيع أن نجيز لأنفسنا القول: أن للبيتون "ذاكرة". هذا علماً بأن ما يكسب البيتون هذه الصفات المنوه عنها أعلاه، ما هو إلا الرابط المائي الذي يدخل في تركيبه، والذي يتحول كيميائيا بسبب عملية التميه (الهدرجة) التي تستمر بمرور الزمن.

أيضا يمكننا أن نقول إن عمر البيتون وتاريخه يحددان صفاته التي تقسم إلى قسم وراثي وآخر متحول، وهذا ما يجعله يشبه إلى حد ما "الكائنات الحية". ويرجع السبب في هذا إلى التغير العكوسي لبنية الرابط المائي في الشروط العادية لحفظه، وإلى الدور الكبير الذي يلعبه الماء في هذه البنية.

ويتغير البيتون تحت تأثير الحمولات، كباقي الأجسام الصلبة، حيث يصاب بتغيرات مرنة وأخرى لدنة، وإذا ما دام تأثير الحمولات فترة طويلة من الزمن، فإنه يصاب بتغيرات بطيئة تدعى الجريان أو السيلان (الزحف). تزداد هذه التغيرات البطيئة بمرور الزمن إلى أن تصل إلى حدود أعظمية معينة. وإذا ما أبطل تأثير الحمولات، يكون قسم من هذه التغيرات عكوسا، والقسم الأخر يكون نهائيا (تشوهات لدنة دائمة).

كما يتغير البيتون تلقائيا، بمعنى دون تأثير أية حمولة، ويتعلق هذا التغير التلقائي – سواء أكان انكماشا أم انتفاخا – بدرجة حرارة ورطوبة الجو الذي يوجد فيه البيتون. ويرافق هذا التغير حدوث تبخر في الماء الموجود في البيتون، أو امتصاص للماء الموجود في الوسط المحيط.

ونطلق اسم "تغيرات الحجم" على الآثار التي يسببها في البيتون، التمدد والتقلص الحراريين، الانكماش والانتفاخ الرطوبيين، والجريان في الحالة التي يدوم فيها تطبيق الحمولات فترة طويلة من الزمن.

2-1- مكونات البيتون:

- الحصويات (الرمل و البحص):

الرمل:

يتألف الرمل (S) من حبات ناجمة عن تفتت الصخور، أبعاد تلك الحبات أصغر من 5mm (تصنيف 0/Dmm أو d/D). ويمكن للرمل أن يكون طبيعيا أي مستخرجا من مجاري الأنهار ومن المقالع ومن شواطئ البحر، أو أن يكون صناعيا عندما يتم الحصول عليه عن طريق طحن قطع الصخور القاسية (غرانيت، كوارتزيت، بورفير وكالسيت...). وإن وزن المتر المكعب الواحد من الرمل هو حوالي 1600 kg.f. ويجب أن يكون الرمل المستعمل في صناعة البيتون نظيفا وعلى الأخص يجب ألا يحتوي على تراب أو مواد عضوية أو غضار. يمكن أخذ فكرة أولية عن النظافة عند الامساك بقبضة من الرمل ورميها يجب أن تبقى اليد نظيفة دون طبقة ملتصقة من الغبار.

يجب ألا تزيد المواد الناعمة (البودرة المارة من المنخل 200 ذي الفتحة $0.075mm$ على 5% من وزن الرمل الطبيعي، وعلى 7% من وزن الرمل الناتج عن تكسير الحجر، وفقاً الكود السوري. توجد تجارب مخبرية تحدد خواص الرمل: الرطوبة، والنظافة (المكافئ الرملي)، وعامل النعومة ومنحني التدرج الحبي للرمل.

اختبار الرطوبة:

تهدف هذه التجربة إلى تحديد النسبة المئوية للماء كوزن في الرمل، بالتالي تحديد درجة الرطوبة حتى نأخذ هذا الأمر بالحسبان أثناء تصميم الخلطة البيتونية، من خلال إنقاص كمية الماء الزائدة وكذلك زيادة وزن الرمل بهذا المقدار.

تحدد نسبة الرطوبة بالعلاقة التالية:

$$e\% = \frac{P1 - P2}{P2} \times 100$$

حيث:

$P1$: وزن الرمل الرطب، و $P2$: وزن الرمل الجاف (الشكل 1-2).

يبين الجدول (1-1) درجة الرطوبة في الحصويات (رمل + بحص) كتابع للنسبة المئوية للماء وزناً.

مشبع	رطب جداً	رطب	جاف	درجة الرطوبة	
12-15	8-11	4-7	0-3	في الرمل	$e\%$
7	5	3	1	في البحص	

الجدول (1-1): درجة رطوبة الحصويات

الشكل (1-2): تجفيف الحصويات في الفرن (24 ساعة)

تجربة النظافة:

يشار إلى أن معظم الشروط تنص على ضرورة مراقبة النظافة عن طريق اختبار المكافئ الرملي. تتلخص تجربة نظافة الحصويات بأخذ كمية منها غير مغسولة أو معرضة للمطر، ثم تجفف وتوزن $(P1)$ ، وبعد ذلك تغسل العينة جيداً وتفرك حتى إزالة كافة الشوائب ثم تعصر وتجفف ثانية، ومن ثم توزن $(P2)$ ، وتكون نسبة الشوائب:

$$\frac{P1-P2}{P2}$$

اختبار المكافئ الرملي $E.S.$:

يعمل على تحريك نشيط لكمية من الرمل في وعاء يحوي محلول غسيل خاص (الشكل 1-3)، ليترك المركب حتى يستقر ومن ثم يحسب المكافئ الرملي بالعلاقة التالية:

$$E.S.=100\frac{H1}{H2}$$

علما أن :

$H1$: ارتفاع الرمل المترسب،

$H2$: ارتفاع الرمل المترسب والمواد العائمة المعكرة (غضار ...).

الشكل (1-3): جهاز اختبار المكافئ الرملي

اختبار عامل النعومة M_f :

يعطي هذا العامل فكرة عن نسبة العناصر الناعمة والخشنة في الحصويات، وبينت الدراسات أن هذا العامل له تأثير واضح على سلوك البيتون.

يعرف بأنه مجموع المتبقي من الحصويات على المناخل المختلفة والموافقة لمجموعة أقطار المناخل النظامية.

وهذا يوافق المساحة التي تعلو منحني التحليل الحبي.

يكون الرمل صالح أو مقبول لصناعة البيتون إذا كان عامل نعومته يقع بين $(M_f = 2.2 \rightarrow 2.8)$.

$M_f < 2.2$: الرمل يحوي كثيراً من العناصر الناعمة، وهذا ما يزيد عيار الماء.

$M_f > 2.8$: الرمل خشن وينقصه العناصر الناعمة، والبيتون يفقد قابلية تشغيله.

تنص القواعد الفرنسية على أن يكون الرمل المستخدم في صناعة البيتون ذو عامل نعومة يقع بين $(M_f = 1.8 \rightarrow 3.2)$ ، مع ثلاثة حزم:

$2.2 < M_f < 2.8$: يوافق قابلية تشغيل مقبولة ومقاومة جيدة مع خطر انفصال محدود.

$1.8 < M_f < 2.2$: يوافق سهولة في الصب على حساب المقاومة.

$2.8 < M_f < 3.2$: يكون مناسباً عند البحث عن بيتون بمقاومة عالية، ولكن سوف نحصل على قابلية تشغيل ضعيفة وعلى خطر انفصال الحبات.

في كثير من الحالات يجب تصحيح المنحني الحبي للرمل بإضافة رمل ناعم أو رمل خشن وذلك حسب الحاجة، ولهذا الأمر نلجأ إلى قاعدة ابرهام.

ليكن لدينا رمل خشن S_1 له عامل نعومة كبير جداً مقداره M_{f1} ، وإننا نريد أن نضيف له رمل ناعم S_2 بعامل نعومة مقداره M_{f2} ، وذلك بهدف الحصول على خلطة ذات عامل نعومة مناسب مقداره M_f .

بتطبيق قاعدة ابرهام:

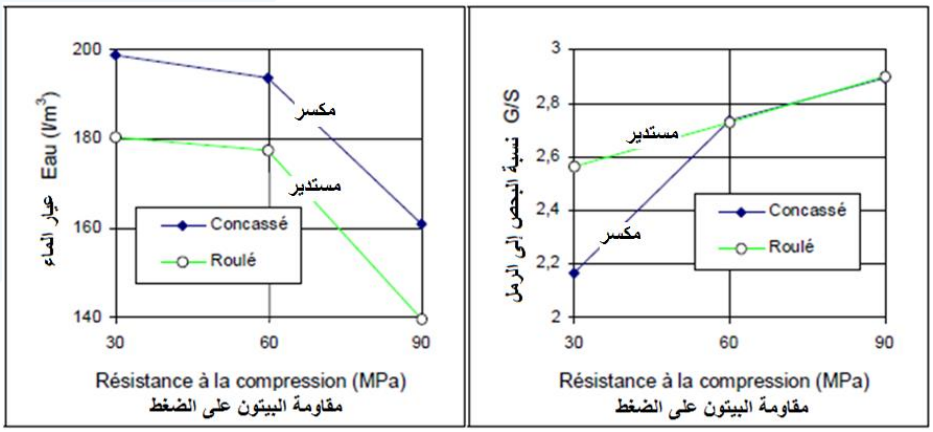
- نسبة الرمل الأول (الخشن): $S_1 = \dfrac{M_f - M_{f2}}{M_{f1} - M_{f2}}$
- نسبة الرمل الثاني (الناعم): $S_2 = \dfrac{M_{f1} - M_f}{M_{f1} - M_{f2}}$

تطبيق: $M_{f1} = 3.2 , M_{f2} = 2.0 , \quad M_f = 2.5$

- نسبة الرمل الأول: $S_1 = \dfrac{2.5 - 2}{3.2 - 2} = 42\%$
- نسبة الرمل الثاني: $S_2 = \dfrac{3.2 - 2.5}{3.2 - 2} = 58\%$

البحص:

بالنسبة للبيتون العادي، تتراوح أبعاد حبات البحص بين 5 و 25mm (تصنيف dmm/Dmm). يمكن استخراج البحص من مجاري الأنهار (بحص مستدير) أو عن طريق تكسير الصخور القاسية (بحص مكسر). يبين الشكل (1-4) الفروق الواضحة وتأثير شكل الحصويات (مستديرة أم مكسرة) على مقاومة البيتون على الضغط (بيتون عادي وبيتون عالي المقاومة).



الشكل (1-4): تأثير شكل الحصويات على المقاومة

يجب أن تكون مقاومة البحص ضد الانسحاق والصدم جيدة (قدرة تحملها على الكسر أكبر من ضعف قدرة البيتون المطلوب، وأن تحقق شروط اختبار لوس آنجلوس)، وأن تكون نظيفة وغير متشققة وأن يكون شكلها مناسباً، بعيداً عن الأشكال المفلطحة والإبرية. ويشترط في البعد الاعتباري الأكبر للبحص أن يكون أقل من ربع البعد الأصغر للجزء المطلوب صبه، وكذلك أقل من أصغر مسافة بين قضبان التسليح. ويعادل وزن المتر المكعب الواحد من البحص حوالي 1400 kg.f .

ويجب ألا تزيد المواد الناعمة (البودرة المارة من المنخل 200 الذي فتحته $0.075mm$)، على 1% من وزن البحص.

- **تجربة لوس آنجلوس للبحص** (الاهتراء):

تحدد نسبة التآكل أو عامل لوس آنجلوس كما يلي : $\alpha = \frac{P1-P2}{P1}\times 100 \le 30\%$

$P1$: الوزن الأصلي ، $P2$: الوزن النهائي .

علما أن : عدد الكرات الفولاذية المستخدمة يغير حسب التدرج الحبي (11 أو 12 كرة) ، وعدد دورات الطبل الأسطواني يغير وفق شروط التجربة: 500 أو 1000 دورة .

منحني التدرج الحبي:

يتم رسم منحني التحليل الحبي للحصويات من خلال تحميل قطر المناخل (D) على محور السينات (مقياس لوغاريتمي)، والنسبة المئوية الوزنية المارة عبر المنخل على محور العينات (مقياس عادي)، (الأشكال من 1-5 إلى 1-12).

يصنف الرمل عادة كما يلي:

- رمل ناعم تتراوح فيه أبعاد الحبات بين 0 و 0,5 mm
- رمل متوسط تتراوح فيه أبعاد الحبات بين 0,5 و 2 mm
- رمل خشن تتراوح فيه أبعاد الحبات بين 2 و 5 mm.

وأما البحص (G) والحجارة فيمكن تصنيفها حسب أبعادها كما هو مبين في الجدول (1-2).

الفتحات الحدية للمنخل (mm)	الصنف	
80 – 50	كبيرة	حجارة
31.5	متوسطة	
20	صغيرة	
20 – 12.5	خشن	بحص
8	متوسط	
5	ناعم	

الجدول (1-2): تصنيف البحص والحجارة

ولرسم منحنيات التحليل الحبي نعمل على تصميم جداول حاوية على المكونات المبينة في الجداول 1-(3-4 و5).

فتحة المنخل (mm)	الوزن المحجوز (grs.)	النسبة المئوية المحجوزة (%)	النسبة التراكمية المارة (%)	النسبة التراكمية المحجوزة (%)
9.5	0	0.00	100.00	0.00
4.75	290	8.81	91.19	8.81
2.36	856	26.02	65.17	34.83
1.18	752	22.86	42.31	57.69
0.6	740	22.49	19.82	80.18
0.3	498	15.14	4.68	95.32
0.15	120	3.65	1.03	98.97
0.075	22	0.67	0.36	99.64
القاع	12	0.36	0.00	100
المجموع	3290	100		

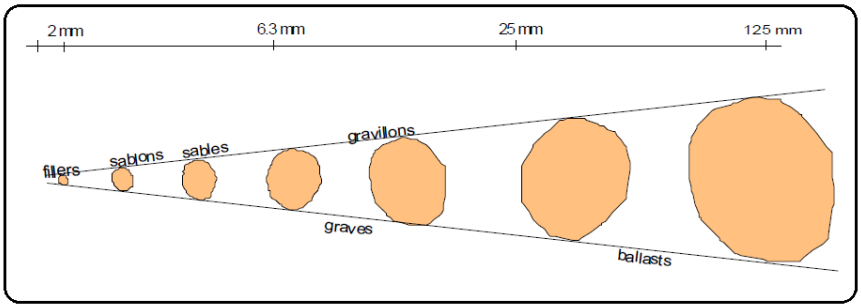
الجدول (1-3): نتائج التحليل الحبي لرمل خشن $(0/5mm)$

فتحة المنخل (mm)	الوزن المحجوز (grs.)	النسبة المئوية المحجوزة (%)	النسبة التراكمية المارة (%)	النسبة التراكمية المحجوزة (%)
9.5	0	0.00	100.00	0.00
4.75	4	0.31	99.69	0.31
2.36	4	0.31	99.38	0.62
1.18	1	0.08	99.31	0.69
0.6	110	8.49	90.81	9.19
0.3	812	62.70	28.11	71.89
0.15	240	18.53	9.58	90.42
0.075	124	9.58	0.00	100.00
القاع	0	0.00	0.00	100
المجموع	1295	100		

الجدول (1-4): نتائج التحليل الحبي لرمل ناعم $(0/2mm)$

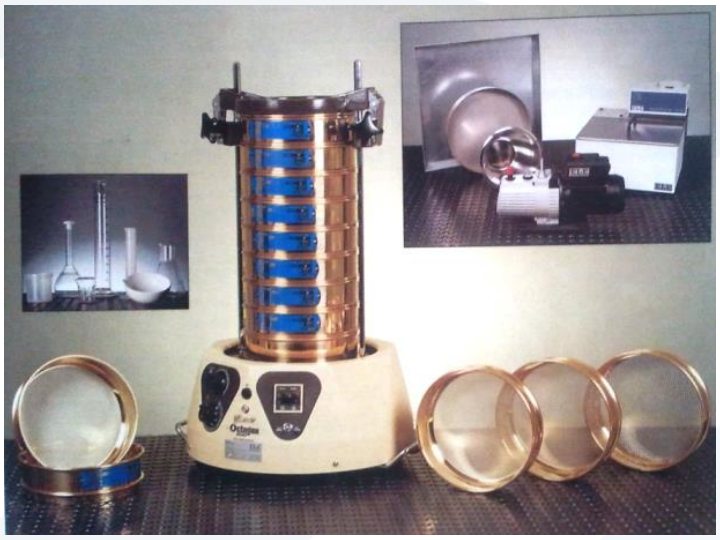
فتحة المنخل (mm)	الوزن المحجوز (grs.)	النسبة المئوية المحجوزة (%)	النسبة التراكمية المارة (%)	النسبة التراكمية المحجوزة (%)
37.25	0	0	100	0
31.5	0	0.00	100.00	0.00
25	0	0.00	100.00	0.00
19	2552	36.72	63.28	36.72
12.5	3662	52.69	10.59	89.41
9.5	658	9.47	1.12	98.88
4.75	78	1.12	0.00	100.00
2.36	0	0.00	0.00	100.00
1.18	0	0.00	0.00	100.00
0.60	0	0.00	0.00	100.00
القاع	0	0.00	0.00	100
المجموع	6950	100		

الجدول (1-5): نتائج التحليل الحبي لبحص $(5/25mm)$

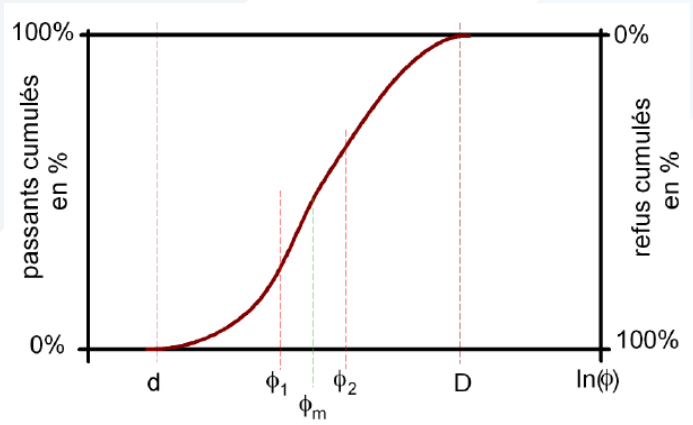


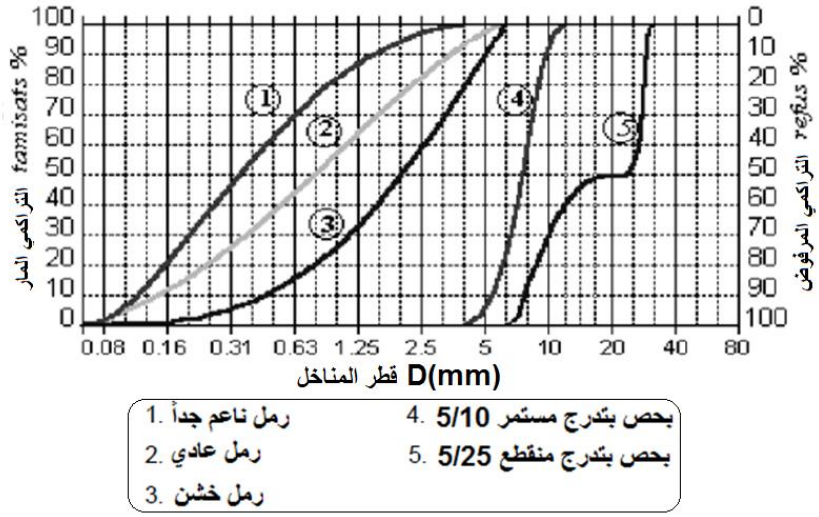
الشكل (1-5): الحصويات المستخدمة في تكوين البيتون (رمل وبحص وحجارة)

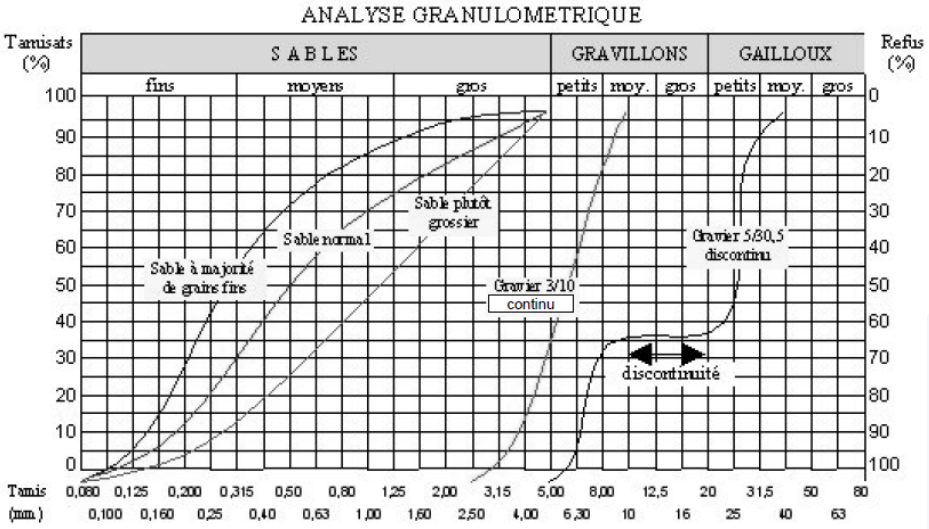
الشكل (1-6): تجربة التحليل الحبي للحصويات الخشنة



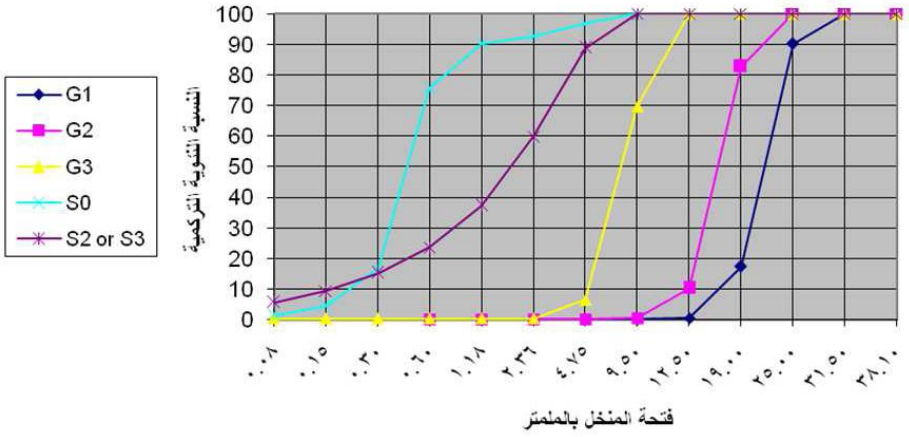
الشكل (1-7): تجربة التحليل الحبي للحصويات الناعمة



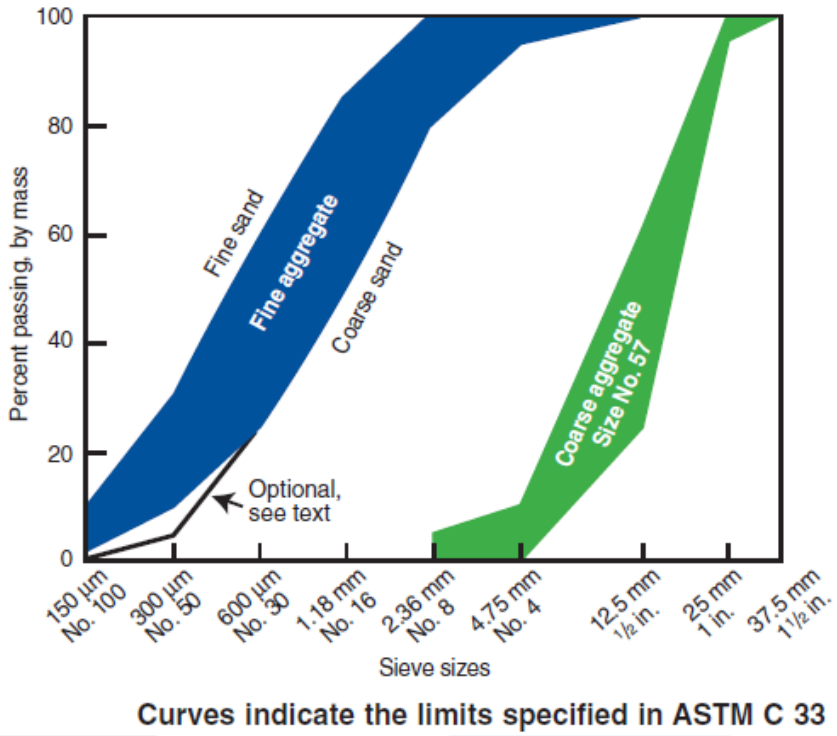




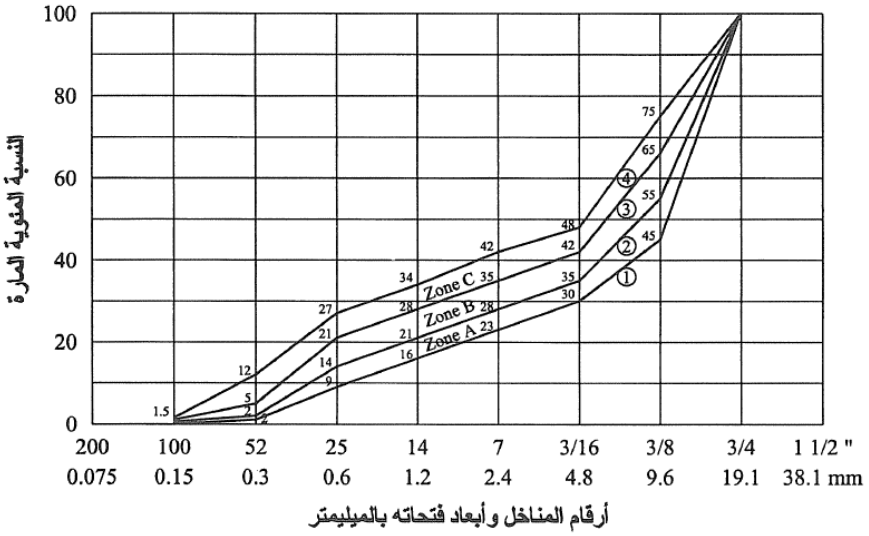
الشكل (1-8): منحنيات التحليل الحبي لحصويات مختلفة الأقطار والتدرج



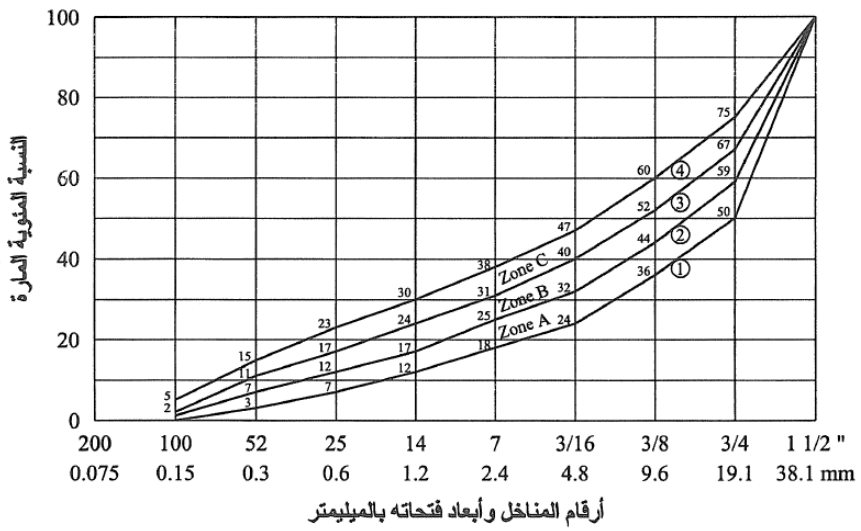
الشكل (1-9): التدرج الحبي لحصويات المجبل المركزي لمتاع اللاذقية



الشكل (1-10): التصنيف النموذجي للحصويات وفق ASTM (المواصفة C 33)



الشكل (1-11): المنحنيات الأربعة للتدرج الحبي للحصويات المكونة للبيتون وفق الكود السوري $(D_{\max} = 20mm)$



الشكل (1-12): المنحنيات الأربعة للتدرج الحبي للحصويات المكونة للبيتون

وفق الكود السوري $(D_{\max} = 38mm)$

- **ماء الخلط** (W): يجب أن يكون الماء المستعمل في خلط البيتون وغسل الحصويات نظيفاً وخالياً من المواد الضارة مثل الزيت والأحماض والقلويات والأملاح الأخرى التي قد تؤثر تأثيراً متلفاً على البيتون أو فولاذ التسليح. ويمكن أن نعتبر أن الماء الصالح للشرب مناسب في جميع الأحوال لخلط البيتون (الشكل 1-13).

Water that is safe to drink is safe to use in concrete.

الشكل (1-13): الماء الصالح للشرب هو صالح لتكوين البيتون

- **الأسمنت** (C): يستعمل في البيتون الأسمنت البورتلاندي من أحد الأنواع التالية: العادي، سريع التصلب، الأبيض، المخلوط، خبث الأفران والمقاوم للكبريتات. ويجب أن يفي الإسمنت المستعمل بالاشتراطات والمواصفات القياسية المعترف بها والمحددة في الشروط الخاصة بالمشروع. يخزن الإسمنت في مستودعات خاصة ومغلقة في الورشة بحيث لا تصل إليه الرطوبة، ويجب استخدامه قبل انتهاء فترة صلاحيته المحددة من قبل المعمل. أخيرا، نذكر بأن وزن المتر المكعب الواحد

من الإسمنت غير المرتص يتراوح بين 1000و 1200kg.f. ويتراوح عيار الإسمنت للبيتون العادي بصورة عامة بين 250 و 400 kg.f/m^3 . يخص العيار 250 البيتون المستخدم بكتل كبيرة، البيتون الحاوي على بحص بأبعاد كبيرة نسبيا وعلى نسبة تسليح صغيرة. أما العيار 400 فإنه يخص البيتون عالي الجودة والكتيم.

- **المضافات:** تساعد المواد المضافة إلى البيتون في تعديل خواصه ومن بينها زمن التجمد والتصلب، المقاومات الميكانيكية، التقلصات، التشقق، الكثافة ومقاومة الصقيع ومقاومة المياه الفتاكة

يُشترط في المضافات المستعملة ألا يكون لها تأثير ضار على الخرسانة أو صلب التسليح. ويجب تحديد الحد الأقصى للكمية المستعملة من كل المضافات، مقدراً كنسبة مئوية من وزن الإسمنت. ويُشترط في الخرسانة المحتوية على المضافات (بعد التأكد من حسن نتائج استعمالها سابقاً) ألا تقل مقاومتها للضغط والانعطاف وقوة التماسك بينها وبين فولاذ التسليح عن 85% من القيم المناظرة في حالة الخرسانة المجهزة دون مضافات.

يصنف النظام الامريكي ASTM C 494-92 المضافات وفق ما يلي:

Type A مخفض للماء

Type B مؤخر

Type C مسرع

Type D مخفض للماء ومؤخر

Type E مخفض للماء ومسرع

Type F مخفض للماء وملدن عالي الكفاءة

Type G مخفض للماء ومؤخر أو ملدن ومؤخر عالي الكفاءة

ويلخص الجدول (1-6) استعمال المواد المضافة الرئيسية.

المادة المضافة	بيان الأشغال
مخفضات الماء (مميعات)	منشآت بكتل كبيرة، مسبق الصنع، مركز جبل البيتون، بيتون عالي المقاومة.
ملدنات	نقل البيتون بالهواء المضغوط(ضخ البيتون وحقن الإسمنت)، بيتون كثيف التسليح وبيتون الطرق، بيتون مصبوب تحت الماء.
مسرعات	طقس بارد، مسبق الصنع، أعمال الكتامة، أعمال على شاطئ البحر (بين المد والجذر)، توزيع سريع، مهابط الحوامات، أعمال التثبيت، بيتون مصبوب تحت الماء.
مؤخرات	طقس حار، حقن على عمق كبير وبحرارة مرتفعة، أحجبة الكتامة، نقل البيتون لمسافات طويلة، صنع بيتون بحصويات ظاهرة، التوقف ومتابعة الصب، حقن مستمر (طريقة خاصة).
مولدات الفقاعات	طرق، سدود، جسور، أعمال بحرية، منشآت معرضة للصقيع وللمياه الفتاكة، مراكز جبل البيتون.
مضاد للتجمد	صب البيتون بطقس بارد جداً، حتى $-10^{\circ}C$
تأمين الكتامة	ورقة اسمنتية، خزانات، أحواض وسابح، دهاليز وأنفاق، أعمال تحت الأرض (جدران الأقبية، الأساسات)، الأعمال البحرية، سقوف أخيرة، أغطية نهائية، تيراسات، مونة فواصل الجدران الحجرية.

الجدول (1-6): المواد المضافة للبيتون

التركيب الحبي للبيتون (الخلطة البيتونية):

يدعى تحديد نسب العناصر المختلفة لمكونات البيتون: ماء – إسمنت – رمل – بحص – مضافات، بالتركيب الحبي للبيتون وله تأثير كبير على مقاومته ودرجة تشغيله.

وتبين المتراجحات التالية مجالات تغير مكونات البيتون العادي المحققة لمقاومة جيدة ودرجة تشغيل مقبولة:

$$C_{\min} = \frac{300 + f'_{28}}{\sqrt[5]{D}} \left(kg/m^3\right)$$

$$1.8 \le \frac{C}{W} \le 2.6 \quad ; \quad 2 \le \frac{G}{S} \le 2.2$$

باعتبار أن:

$C_{\min}$: العيار الأصغري للإسمنت في واحد متر مكعب من البيتون العادي

f'_{28} : مقاومة البيتون على الضغط بعد 28 يوم مقدرة بـ $(kg.f/cm^2)$

D : قطر الحصويات الأعظمي مقدرة بالمليمتر

C : عيار الإسمنت ، W: عيار الماء ، G: عيار البحص ، S:عيار الرمل.

3-1- مراقبة البيتون الطازج:

قوام البيتون (قابلية التشغيل):

إن قابلية التشغيل هي مقياس للدونة البيتون وإمكانية التعامل معه من أجل تحقيق سهولة في الصب مع إملاء جيد للقالب.

يتعلق قوام البيتون بجملة من العوامل أهمها:

أ - نسبة ماء الخلط إلى الأسمنت.

ب- نوعية الحصويات المستعملة: التركيب الحبي، درجة النعومة، المقاس الأعظمي.

ويتعلق اختيار القوام بعدة عوامل، أهمها:

- الوسائط المستعملة في رج البيتون وصبه في مكانه.
- أبعاد العناصر المراد صبها أو رجها.
- كثافة التسليح وتوضعه في المنشأة.

ويتحدد قوام البيتون من اختبار الهبوط القياسي لمخروط أبراهام، أو باستعمال اختبارات أخرى، مثل طاولة الانسياب، أو معامل الرص...

يبين الجدول (1-7) الحد الأعلى لهبوط المخروط كما ورد في الكود السوري.

الرقم	نوع العنصر الإنشائي البيتوني	الحد الأعلى للهبوط (mm)
1	الأجزاء البيتونية السميكة والأرضيات	100
2	بلاطات الطرق بالبيتون دون تسليح	75
3	الأساسات والجدران بالبيتون دون تسليح	125
4	جدران وركائز الأساسات بالبيتون المسلح	75
5	البلاطات والجيزان والاعمدة و الجدران بالبيتون المسلح	75

الجدول (1-7): الحد الأعلى لهبوط المخروط القياسي (كود سوري)

ويمكن أيضاً الاسترشاد بالقيم المبينة في الجدول (1-8) (كود سوري).

المجال المفضل	البيتون		هبوط المخروط (mm)
	قابلية التشغيل	القوام	
تستعمل في الأعمال البيتونية الخاصة ذات المقاومات العالية جداً، ويستعمل رج ميكانيكي قوي جداً	منخفضة جدا	جامد جدا	0-25
تستعمل في المقاطع البيتونية ذات المقاومات العالية، ويستعمل رج ميكانيكي قوي.	منخفضة	جامد	25-50
تستعمل في المقاطع البيتونية المسلحة العادية، ويستعمل رج عادي	متوسطة	مائع	50-100
تستعمل في المقاطع البيتونية الصغيرة أو الكثيفة التسليح غير المناسبة للرج، ويستعمل رج يدوي.	عالية	سائل	100-150

الجدول (1-8): العلاقة بين هبوط المخروط القياسي و قوام البيتون و المجال المفضل لاستعمالها (كود سوري)

يبين الجدول (1-9) العلاقة بين مقاومة البيتون وقابلية تشغيله. في الواقع إن هاتين الخاصيتين تتغيران بشكل عكسي.

من أجل مقاومة جيدة	من أجل قابلية تشغيل جيدة	دلالات تركيب البيتون
خشن	ناعم	نعومة الرمل
زيادتها	تخفيضها	$\left(\frac{G}{S}\right)$
تخفيضها	زيادتها	$W(E)$
منقطع قليلاً	مستمر	تدرج حبي
كبير	صغير	D_{mam}

الجدول (1-9): العلاقة بين المقاومة وقابلية التشغيل

تجربة مخروط أبراهام:

يملأ البيتون الطازج داخل قالب معدني من دون قعر، يستند على صفيحة معدنية (الشكل 1-14)، على شكل جزع مخروط قائم قاعدته العليا بقطر 100mm والسفلى بقطر 200mm ، مع ارتفاع 300mm . يتم إملاء البيتون على أربعة مراحل حيث يدك البيتون بعناية في كل مرة بواسطة قضيب مدبب بقطر 16mm ، بمعدل 25 ضربة لكل طبقة، ومن ثم يرفع القالب بهدوء ويقاس الهبوط الحاصل في البيتون نتيجة لرفع القالب.

الشكل (1-14): اختبار مخروط أبراهام

يجب أن يكون هبوط مخروط ابراهام محصوراً بين قيمة أصغرية وأخرى أعظمية وذلك وفقاً لطبيعة العنصر أو المنشأة المراد صبها (الشكل 1-15).

الشكل (1-15): صب البيتون وفق درجات تشغيل مختلفة

تابع الشكل (1-15)

يبين الجدول (1-10) قابلية التشغيل للبيتون كتابع لهبوط أبراهام ولطبيعة الرج المستخدم في الصب.

قابلية التشغيل	هبوط أبراهام A(cm)	نوع الرج المستخدم	قوام البيتون
منخفضة جداً	0-2	رج قوي جداً	بيتون جامد جداً
منخفضة	3-5	رج جيد	بيتون جامد
متوسطة	6-9	رج عادي	بيتون لدن
مرتفعة	10-13	دك بالقضيب	بيتون رخو نصف مائع
عالية جداً	≥14	دك ضعيف القضيب	بيتون مائع

الجدول (1-10): قابلية التشغيل كتابع للهبوط وللرج المستخدم

اختبارات متفرقة:

نبين فيما يلي بعض الاختبارات المهمة الواجب إجراؤها لحالة البيتون الطري (الشكل 1-16).

Fresh concrete density

كثافة البيتون الطري

Temperature Measurement

قياس الحرارة

الشكل (1-16): اختبارات البيتون الطري

Pressure-type meter for determining air content.

Volumetric air meter.

قياس محتوى الهواء في البيتون

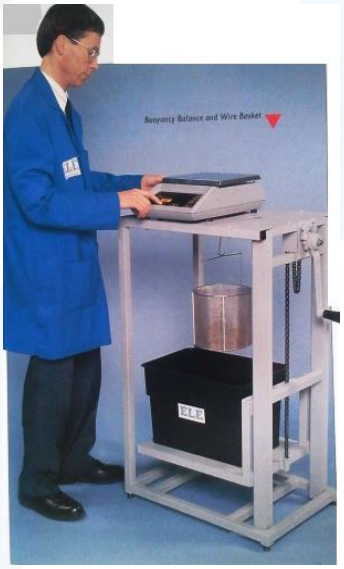
Time of Setting

اختبار زمن التصلب

Strength Specimens

أخذ العينات وحفظها لتحديد المقاومة

تابع للشكل (1-16)



تابع للشكل (1-16): اختبار الكثافة المطلقة للمواد