مقاومة الاسمنت strength of cement

وفقا للمواصفة EN 196-1

1- الغاية من التجربة:

تحديد مقاومة الضغط والانعطاف للاسمنت باستخدام عينات موشورية من المونة الاسمنتية أبعادها(40x40x160)mm

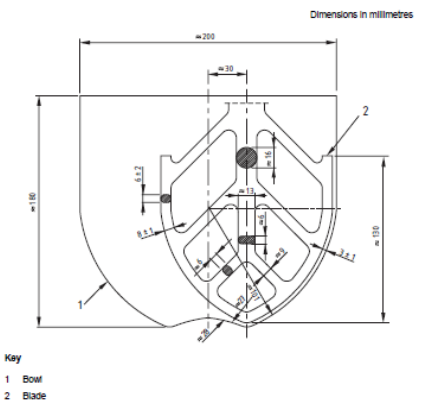
2- المبدأ

تُعتبر هذه التجربة إحدى تجارب تقييم نوعية الاسمنت حيث يتم التحقق من أن مقاومة الاسمنت تقع ضمن الحدود الدنيا والعظمى المحددة بالمواصفة. ترتبط مقاومة الاسمنت بتركيب الاسمنت ونعومته.

ملاحظة: لا تُستخدم مقاومة الاسمنت لتوقع مقاومة الخلطة الخرسانية بسبب وجود عوامل أخرى تؤثر على مقاومة الخرسانة مثل: مواصفات الحصويات، مواصفات الخلطة، الظروف البيئية لمكان العمل، أسلوب الإنشاء.

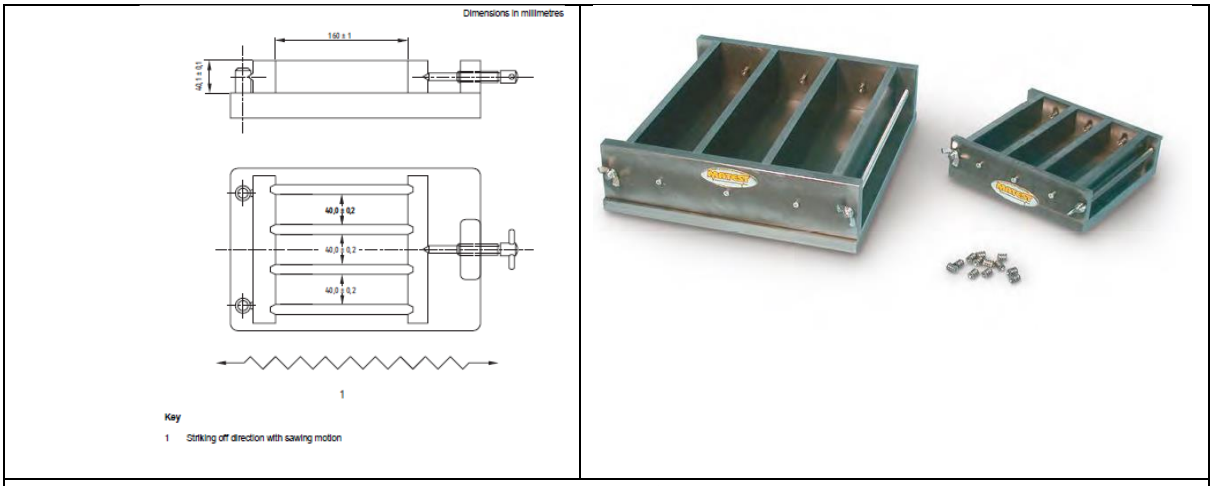
3- الأجهزة:

- **خلاط:** يتألف من قسمين:
  - **بوتقة (وعاء الخلط):** وعاء مقاوم للصدأ، سعته 5 l، أبعاده موضحة بالشكل (1). يتم تثبيته تحت الجزء الدوار أثناء عملية الخلط ليدور داخله شفرة تمر بجوانب الوعاء برفق.
  - **شفرة:** مصنوعة من معدن مقاوم للصدأ، مقاساتها موضحة بالشكل (1)، لها محور لتثبيتها على الجهاز المزود بمحرك كهربائي. تدور حول نفسها وحول محور البوتقة. تشكل البوتقة والشفرة مجموعة واحدة تعمل مع بعضها. يتم التحكم بسرعة الدوران بواسطة محرك كهربائي.



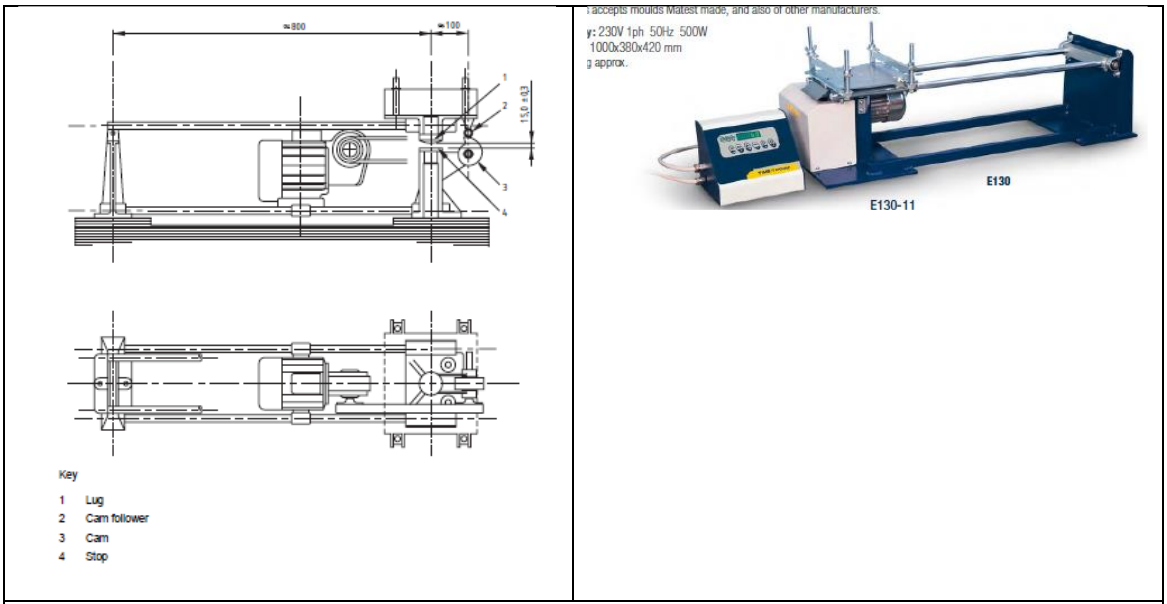
الشكل (1): الخلاط

- **القوالب:** يتألف كل قالب من ثلاث حجرات أفقية بجدران عمودية، تتسع لثلاث نماذج موشورية مقطعها العرضي (40x40) mm وطولها (160mm). صورة القالب وأبعاده مبينة في الشكل (2).
  يجب أن يكون القالب مصنوعاً من الفولاذ وبسماكة لا تقل عن 10mm.



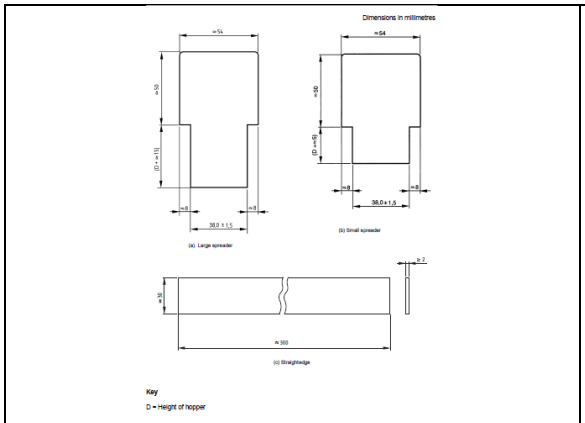
الشكل (2):القالب

- **جهاز الرج:** يتألف جهاز الرج المبين في الشكل (4) بشكل أساسي من لوح مستطيل مثبت بشكل محكم على ذراعين خفيفتين مربوطتين إلى محور طوله (800)mm من مركز اللوح. أبعاد اللوح أكبر أو تساوي أبعاد قاعدة القالب. يزود الجهاز بكلابات لتثبيت القالب على اللوح. يسمح الجهاز بتأمين سقوط حر للقالب المثبت على اللوح مسافة قدرها (15±0.3)mm . كما يزود الجهاز بعداد لإحصاء عدد مرات الهبوط والصعود (الصدمات) للوح والذي يجب أن يكون 60 صدمة.



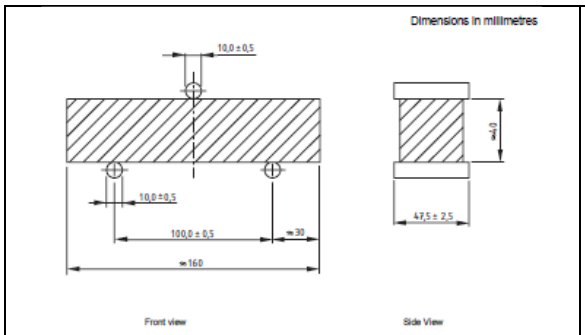
الشكل (3):جهاز الرج

- **مساطر(مناشر) الإملاء و التسوية (طويلة وقصيرة) و مسطرة معدنية لتسوية السطح واللوح الزجاجي لتغطية القالب** كما في الشكل (4) .



الشكل(4) : المساطر ولوح التغطية

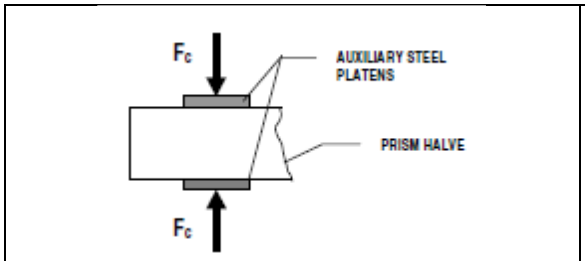
- **جهاز اختبار مقاومة الانعطاف:** يعتمد جهاز تحديد مقاومة الانعطاف على تطبيق حمولات تصل إلى 10kN وبدقة ±1% وبمعدل حمولة تصل إلى N/sec (10±50). الجهاز مزود بمزلاج يربط بين بكرتين فولاذيتين داعمتين بشكل أسطواني، كما توجد بكرة تحميل ثالثة مماثلة للبكرتين السابقتين. يبين الشكل (5) جهاز الاختبار وكيفية تطبيق الحمولة.



الشكل(5) : جهاز اختبار مقاومة الانعطاف

- **جهاز اختبار الضغط:** يُستخدم لقياس مقاومة الضغط عن طريق تطبيق حمولة محورية باستخدام مكبس شاقولي. يجب أن يكون الجهاز ذو مقدرة مناسبة للاختبار. قبل البدء بالتجربة يجب أن يُضبط المحور الشاقولي للمكبس مع المحور الشاقولي للجهاز، كما يجب أن يكون مسند الجهاز الذي توضع عليه العينة عمودياً مع محور الجهاز. يتم تحريك المكبس بحرية حتى يلامس سطح العينة حيث يتم تطبيق الحمولة.

ملاحظة: يمكن استخدام صفيحتين إضافيتين لوضعهما فوق وتحت العينة عند الحاجة ويجب أن تكونا مصنوعتان من الفولاذ المقسى.



الشكل(6) : جهاز اختبار مقاومة الضغط

- **ميزان بدقة ±1g**
- **ميقاتية.**

4- تحضير المونة الاسمنتية:

4-1 مكونات المونة:

- **الرمل:** الرمل المستخدم في اختبارات المقاومة هو الرمل القياسي الموافق للمواصفة (CEN Standard sand, EN 196-1) والذي هو عبارة عن رمل طبيعي سيليسي مؤلف من حبيبات مكورة ويتركب من السيليس بنسبة لا تقل عن 98%. تدرجه الحبي مبين في الجدول التالي:

فتحة المنخل (mm)	النسبة المئوية التراكمية المحجوزة %
2	0.0
1.6	7±5
1.0	33±5
0.5	67±5
0.16	87±5
0.08	99±5

يجب أن يكون محتوى الرطوبة للرمل أقل من (0.2%). يُعبأ الرمل ضمن أكياس بلاستيكية وزن كل منها (1350±5) g.

- **الاسمنت:** يُفضّل أن تتعرض عينة الاسمنت المختبرة للهواء المحيط أقل ما يمكن. عندما يتوجب حفظ العينة لأكثر من 24h (الزمن الفاصل بين الاعتيان والاختبار) فيجب أن يتم ذلك ضمن أوعية محكمة الإغلاق لا تتفاعل مع الاسمنت.

- **الماء**: يمكن أن يُستخدم الماء المقطر أو ماء الشرب العادي في الاختبارات.

2-4 تركيب عينات الاختبار: النسب الوزنية للمواد المكونة هي:

- جزء واحد من الاسمنت.
- ثلاثة أجزاء من الرمل القياسي.
- نصف جزء من الماء.

تتكون الخلطة اللازمة لتشكيل ثلاث عينات (ثلاثة مواشير) من g (2±450) من الاسمنت، و g (5±1350) من الرمل القياسي، g (1±225)من الماء.

3-4 خلط (مزج) المكونات:

تتم العملية بشكل آلي وفقاً للخطوات التالية:

1. وضع الماء والاسمنت في وعاء الخلط مع الانتباه لعدم حدوث ضياع في الماء والاسمنت
2. في الحال، يتم تشغيل الخلاط على السرعة المنخفضة r/min (5±140) والبدء بتشغيل الميقاتية لتحديد أزمنة مراحل الخلط.
3. بعد الخلط لمدة 30sec، نبدأ بإضافة الرمل تدريجياً لمدة 30sec، بعدها مباشرة ننقل الخلاط إلى السرعة العالية r/min (10±285) ونتابع الخلط لمدة 30sec.
4. نوقف الخلاط 90sec، يتم فيها خلال الثلاثين ثانية الأولى إزالة كل البقايا العالقة على جدران وعاء الخلط بواسطة كاشطة بلاستيكية و تُعاد إلى داخل الوعاء.
5. يُشغل الخلاط مرة ثانية بالسرعة العالية لمدة 60sec .

4-4 أشكال وحجم العينات:

عينات اختبار المقاومة هي عينات موشورية أبعادها mm (40x40x160).

5-4 ملء القالب:

1. نقوم بملء العينة ضمن القالب المثبت على سطح جهاز الرج، مباشرة بعد الانتهاء من تحضير العينة. يتم وضع حوالي 300g من المونة المأخوذة مباشرة من وعاء الخلط، ضمن كل حجيرة من حجيرات القالب. ننشر هذه الكمية ضمن الحجيرة باستخدام الناشرة الطويلة وذلك بسحبها مرتين للأمام وللخلف.
2. نقوم بتشغيل جهاز الرج ونطرق الطبقة الأولى 60 طرقة.
3. نملأ الطبقة الثانية بالمونة مع الانتباه إلى ضرورة وجود كمية زائدة من المونة ونستخدم الناشرة القصيرة لتسوية السطح ثم نرجها من جديد 60 طرقة.
4. نرفع القالب بهدوء عن طاولة الرج ثم نزيل المونة الزائدة باستخدام صفيحة معدنية ذات طرف مستقيم عن طريق تحريكها فوق القالب باتجاه الطول مع حركة عرضانية منشارية، بعد ذلك نسوي سطح القالب ليصبح مستوياً وناعماً.
5. تُعلّم القوالب بعلامات مميزة لسهولة التمييز بين القوالب إما بكتابة ورقة ولصقها على القالب أو الكتابة على القالب مباشرة.

4-6 تهيئة (معالجة) عينات الاختبار:

4-6-1 المعالجة والتخزين قبل فك القوالب:

- نغطي القالب بصفيحة زجاجية أو معدنية أو مصنوعة من أي مادة لا تتفاعل مع الاسمنت، حيث يجب أن تكون أبعاد الصفيحة مساوية (210x185x6)mm .
- في الحال، نضع كل قالب على قاعدة أفقية ضمن غرفة الهواء الرطب (غرفة الإنضاج) وبشكل يسمح بوصول الهواء الرطب إلى كافة أجزاء القالب.

ملاحظة: لا تتم عملية تخزين القوالب فوق بعضها البعض.

4-6-2: فك القوالب:

- يجب الانتباه عند فك القوالب وإخراج العينات لعدم تأذيها أو فقدان بعض أجزائها و يستخدم لذلك مطرقة مطاطية أو بلاستيكية.
- في حالة العينات الواجب اختبارها على عمر 24h، فعملية فك القالب تتم قبل الاختبار بفترة زمنية لا تزيد عن 20min.
- في حالة العينات الواجب اختبارها على عمر أكبر من 24h، فعملية فك القالب تتم بعد الصب بفترة زمنية تتراوح بين h(20-24) .
- تُوضع علامات مميزة على العينات التي يتم اختيارها للمعالجة (الإنضاج) ضمن الماء لتمييزها، باستخدام قلم حبر مقاوم للماء.

ملاحظة1: يمكن تأخير فك القوالب 24h إضافية إذا لم تتصلب العينة ضمن القالب ويجب ذكر ذلك ضمن تقرير التجربة.

ملاحظة 2: للتأكد من تجانس عمليات الخلط والرص، ومحتوى الهواء لعينات المونة، فإنه يُنصح بوزن كل عينة عند إخراجها من القالب.

4-6-3 المعالجة (الإنضاج بالماء):

- تُغمر العينات بدون تأخير ضمن حوض من الماء درجة حرارته 20±1°C حيث توضع على منصب شبكي يسمح بوصول الماء إلى كافة أوجه العينة وكذلك لتلافي التماس المباشر بين العينة وقعر الحوض.
- يجب أن لا يقل عمق الماء فوق العينة عن 5mm.
- الماء المستخدم في ملء الحوض هو ماء الشرب ويجب أن يزود الحوض بنظام يسمح بالمحافظة على درجة الحرارة ثابتة أثناء تخزين العينات.
- يتم إخراج العينات من حوض الماء قبل البدء بالاختبار بفترة زمنية لا تزيد عن 15min لإزالة الرواسب والعوالق عن أسطح العينة ثم تُغطى بقطعة قماش رطبة حتى تنفيذ الاختبار.

4-6-4 عمر العينات لإجراء الاختبارات:

يُحسب عمر العينة من لحظة خلط الماء مع الاسمنت في بداية تحضير العينة وتُسمى هذه اللحظة " بالزمن صفر" (Zero time). تُجرى اختبارات المقاومة على أعمار مختلفة وفقا لما يلي:

- 24h±15min

- 48h±30min
- 72h±45min
- 7d±2h
- ≥28d±8h

5- إجراء الاختبارات:

5-1 اختبار الانعطاف:

- تستخدم طريقة تحميل النقطة المركزية لتحديد مقاومة الانعطاف حيث يُوضع الموشور (العينة) من أحد أوجهه الجانبية على مسندين (بكرتين ناعمتين) بحيث يكون محور العينة متعامد مع المساند.
- معدل سرعة تطبيق الحمولة N/sec (50±10) حتى انكسار العينة.
- يجب حفظ جزئي النموذج بعد عملية الكسر لاختبار مقاومتهما بجهاز الضغط.
- تُحسب مقاومة الانعطاف من العلاقة:

$$\boldsymbol{R_F = \frac{1.5 \times F_f \times l}{b^3}}$$

حيث:

R_F: مقاومة الانعطاف MPa (N/mm^2)

b: طول ضلع المقطع المربع (قاعدة الموشور) (mm)

l : المسافة بين بكرات الاستناد (mm)

F_f: الحمل المطبق في منتصف الموشور (N)

- مقاومة الانعطاف تساوي المتوسط الحسابي لنتائج اختبار المواشير الثلاث المكونة للقالب الواحد.

5-2 اختبار الضغط:

- يُجرى اختبار الضغط على الجزأين الناتجين عن كسر الموشور باختبار الانعطاف (كل على حده).
- يُوضع الجزء المكسور في مكانه على الجهاز على وجهه الجانبي بحيث لا يبعد محور الجزء المكسور عن محور مكبس الجهاز أكثر من 0.5mm±، وبمسافة بين وجه الموشور الطرفي وصفيحة المكبس حوالي 10mm.
- يتم تطبيق حمولة الضغط بسرعة تحميل تعادل N/sec (2400±200) حتى انهيار العينة.
- يتم حساب المقاومة على الضغط من العلاقة:

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

حيث:

R_c:مقاومة الضغط MPa.

F_c: حمولة الانهيار N

1600: مساحة سطح التحميل mm^2(40x40) .

- مقاومة الضغط تساوي المتوسط الحسابي لنتائج اختبار الست أجزاء الناتجة عن كسر المواشير بالانعطاف.
- إذا كانت إحدى النتائج الستة تختلف بأكثر من (±10%) من المتوسط الحسابي فيتم استبعادها ويُحسب المتوسط من جديد للنتائج المتبقية. وعنما يتبين وجود إحدى النتائج التي تختلف عن المتوسط بأكثر من (±10%) فيتم استبعاد العينة بالكامل.

6- تقييم النتائج:

يتم مقارنة نتائج اختبارات الضغط بالقيم الواردة في المواصفة EN 197-1 المبينة في الجدول التالي:

Strength class صنف المقاومة	Compressive strength MPa مقاومة الضغط MPa			
	Early strength المقاومة المبكرة		Standard strength المقاومة القياسية	
	2 days يومان	7 days سبعة ايام	28 days ثمان و عشرون يوماً	
32.5L	-	≥12.0	≥32.5	≤52.5
32.5N	-	≥16.0		
32.5R	≥10.0	-		
42.5L	-	≥16.0	≥42.5	≤62.5
42.5N	≥10.0	-		
42.5R	≥20.0	-		
52.5L	≥10.0	-	≥52.5	-
52.5N	≥20.0	-		
52.5R	≥30.0	-		

حيث:

L: اسمنت ذو مقاومة ابتدائية بطيئة.

N: اسمنت ذو مقاومة ابتدائية عادية.

R: اسمنت ذو مقاومة ابتدائية عالية.

مقاومة الضغط للاسمنت وفقا للمواصفة

ASTM C109

يتم تحديد مقاومة الضغط للاسمنت وفقا لهذه المواصفة عن طريق اختبار مكعبات من المونة الاسمنتية أبعادها (50x50x50)mm

1- تحضير العينات:

النسب الوزنية المكونة للخلط هي:

- جزء واحد من الاسمنت
- 2.75 جزء من الرمل القياسي.
- نسبة W/C=0.485 في كل أنواع الاسمنت البورتلندي العادي, و W/C=0.46 في كل أنواع الاسمنت البورتلندي الحاوي على مولدات الفقاعات الهوائية.

كميات المواد اللازمة لتشكيل خلطات من المونة الاسمنتية الكافية لملء ست او تسع مكعبات مبينة في الجدول التالي:

المواد		عدد العينات	
		6	9
الاسمنت (g)		500	740
الرمل القياسي (g)		1375	2035
الماء (ml)	اسمنت بورتلندي عادي	242	359
	اسمنت بورتلندي مع مولدات فقاعات هوائية	230	340

2- خلط المكونات: تتم عملية الخلط كما ذكر سابقاً في المواصفة الأوروبية

3- ملء القوالب:

1. ملء جميع المكعبات بطبقة واحدة من المونة سماكتها تعادل تقريباً نصف سماكة القالب (أي بحدود 25mm). ثم رص هذه الطبقة بكل قالب على حده بقضيب الرص 32 طرقة على أربع جولات (8 طرقات في كل جولة).
2. ملء الطبقة الثانية بالمونة المتبقية ورصها أيضاً كما ذكر سابقاً، ثم تسوية أسطح العينات وإزالة المونة الزائدة بواسطة مسطرة معدنية، يبين الشكل (7) تعبئة ورص القالب.

3. يجب أن لا تتجاوز عملية ملء القوالب دقيقتين وثلاثين ثانية.

الشكل (7) : تعبئة القوالب المكعبية

4 – إنضاج وتخزين العينات: كما ذكر سابقاً في المواصفة الأوروبية

5- إجراء الاختبار: تُجرى اختبارات المقاومة على أعمار مختلفة وفقاً لما يلي:

- 24h±30min
- 72h±1h
- 7d±3h
- ≥28d±12h

توضع العينة على جهاز اختبار الضغط مع الانتباه لتطابق محور العينة مع محور مكابس آلة الضغط وتُطبق عليها حمولة ضغط بسرعة تحميل تتراوح بين (900-1800N/sec). يبين الشكل (8) جهاز الاختبار

الشكل (8) : جهاز اختبار مقاومة الضغط لمكعبات المونة

6- مقاومة الضغط:

تُحسب مقاومة الضغط من العلاقة التالية:

$$f_m = \frac{P}{A}$$

حيث:

f_m: مقاومة الضغط MPa

P: الحمل الأعظمي (حمل الانهيار) N

A: مسحة سطح العينة (المكعب) mm^2

- يُعبر عن مقاومة الضغط بالمتوسط الحسابي لمقاومات مكعبين أو ثلاثة مكعبات مصنوعة من نفس الخلطة والمختبرة في نفس الوقت.
- يجب أن لا يزيد الاختلاف بين قيمة المقاومة المتوسطة وقيم المقاومة لكل مكعب على حده عن 8.7% عند اختبار ثلاث مكعبات و7.6% عند اختبار مكعبين.
- إذا لم يتحقق الشرط المذكور في حالة اختبار ثلاثة مكعبات يتم استبعادها وإيجاد متوسط مقاومة المكعبين الباقيين ثم تحقيق شرط حالة اختبار مكعبين فقط و إذا لم يتحقق الشرط تُلغى نتيجة التجربة.

7- تقييم النتائج:

يجب أن لا تقل قيم مقاومة الضغط على عمر معين عما هو وارد في الجدول:

Cement type نوع الاسمنت	**Compressive strength(MPa) مقاومة الضغط**			
	1day	3days	7days	28days
I	-	12	19	28
IA	-	10	16	22
II	-	10	17	28
IIA	-	8	14	22
III	12	24	-	-
IIIA	10	19	-	-
IV	-	-	7	17
V	-	8	21	21

ملاحظة: الحرف A تدل على الاسمنت الحاوي مولدات فقاعات هوائية .

كثافة الاسمنت Density of cement

وفقاً للمواصفة ASTM C188

1- الغاية من التجربة:

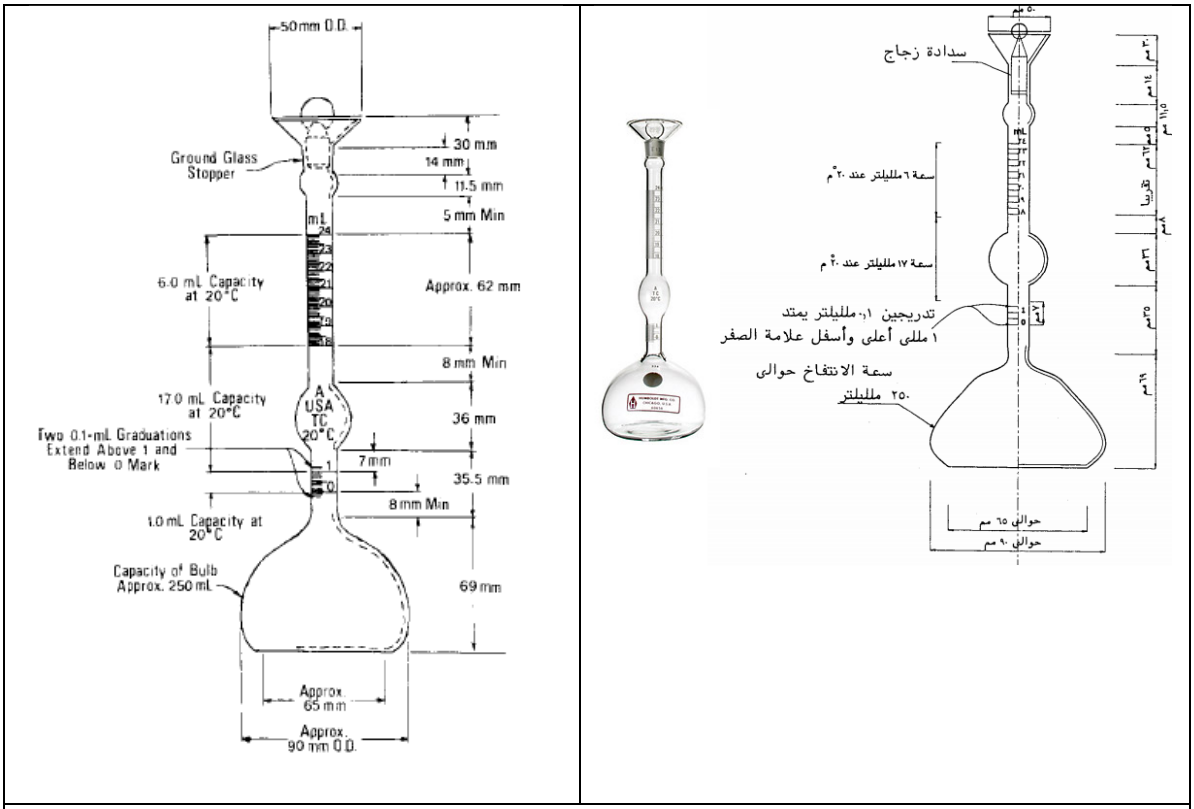
تحديد الكثافة الصلبة (كثافة الذرات الصلبة) للإسمنت.

2- المبدأ

تُعرف كثافة الاسمنت بأنها كتلة واحدة الحجم للأجزاء الصلبة من الاسمنت وتُقدر بـ g/Cm^3.

3- الأجهزة:

- **قارورة لوشاتولييه:** قارورة (قنينة) معيارية ذات شكل وأبعاد محددة بالشكل رقم (1) مصنوعة من زجاج شفاف ذو نوعية جيدة، وتتألف من انتفاخين: الكبير سعته 250ml والصغير سعته بحدود 17ml ورقبة مدرجة مكونة من جزأين الأول مدرج بين ml (0-1)، والثاني مدرج بين ml (18-24).



الشكل (1): قارورة لوشاتولييه

- سدادة للقارورة، قمع زجاجي، قطعة مطاطية.
- ميزان بدقة 0.01g

4- المواد:

- **كيروسين** خالي من الماء، ذو كثافة تعادل 0.73g/ml في درجة الحرارة 23±2°C.
- **اسمنت بورتلندي.**

5- إجراء التجربة:

- تُملأ القارورة بالكيروسين حتى تدريجة تقع بين ml (1-0)، ثم تُوضع القارورة في حمام مائي بشكل شاقولي، وتُؤخذ القراءة الابتدائية لمستوى الكيروسين.
- نزن كتلة من الاسمنت حوالي 64g بدقة 0.05g.
- نضع عينة الاسمنت ضمن القارورة على دفعات عند نفس درجة الحرارة للكيروسين ويجب مراعاة عدم ضياع أي ذرة من الاسمنت أو التصاق أي منها على السطح الداخلي للقارورة فوق مستوى الكيروسين. تؤدي عملية إضافة الاسمنت إلى ارتفاع مستوى الكيروسين إلى الجزء الثاني المدرج من القارورة.
- بعد الانتهاء من إضافة كامل كمية الاسمنت، تُحرك القارورة وهي بوضع مائل بحركة دورانية للتخلص من الهواء المحبوس بين ذرات الاسمنت، كما في الشكل (2)

الشكل (2): تحريك قارورة لوشاتولييه وهي بوضع مائل

ملاحظة: تُوضع القارورة على قطعة مطاطية أثناء تحريكها بشكل مائل تجنباً لكسرها.

- نستمر بالتحريك حتى خروج كافة الفقاعات الهوائية ثم نضع القارورة ضمن الحمام المائي ونتركها فترة زمنية حتى يصبح السائل رائقاً فنأخذ القراءة النهائية لمستوى السائل.

ملاحظة: يجب ألا تتغير درجة الحرارة بأكثر من 0.2°C بين القراءة الابتدائية والقراءة النهائية.

6- الحسابات:

- نوجد الفرق بين القراءتين الابتدائية والنهائية والذي يمثل حجم السائل المزاح نتيجة إضافة عينة الاسمنت وبالتالي فان هذا الفرق هو الحجم الصلب لعينة الاسمنت.
- تُحسب الكثافة من العلاقة التالية:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (g/Cm^3)$$

حيث:

m: كتلة عينة الاسمنت (g)
V: حجم عينة الاسمنت (Cm^3)

ملاحظة:
من المفيد في تصميم الخلطات الخرسانية والتحكم بها، استبدال كثافة الاسمنت بالوزن النوعي وهو رقم ليس له واحدة ينتج من تقسيم كثافة الاسمنت على كثافة الماء في الدرجة 4°C+ والمساوية $1g/cm^3$. بمعنى آخر الوزن النوعي للإسمنت هو نفس كثافة الاسمنت ولكن بدون واحدة.