

## ماء الخلط mixing water

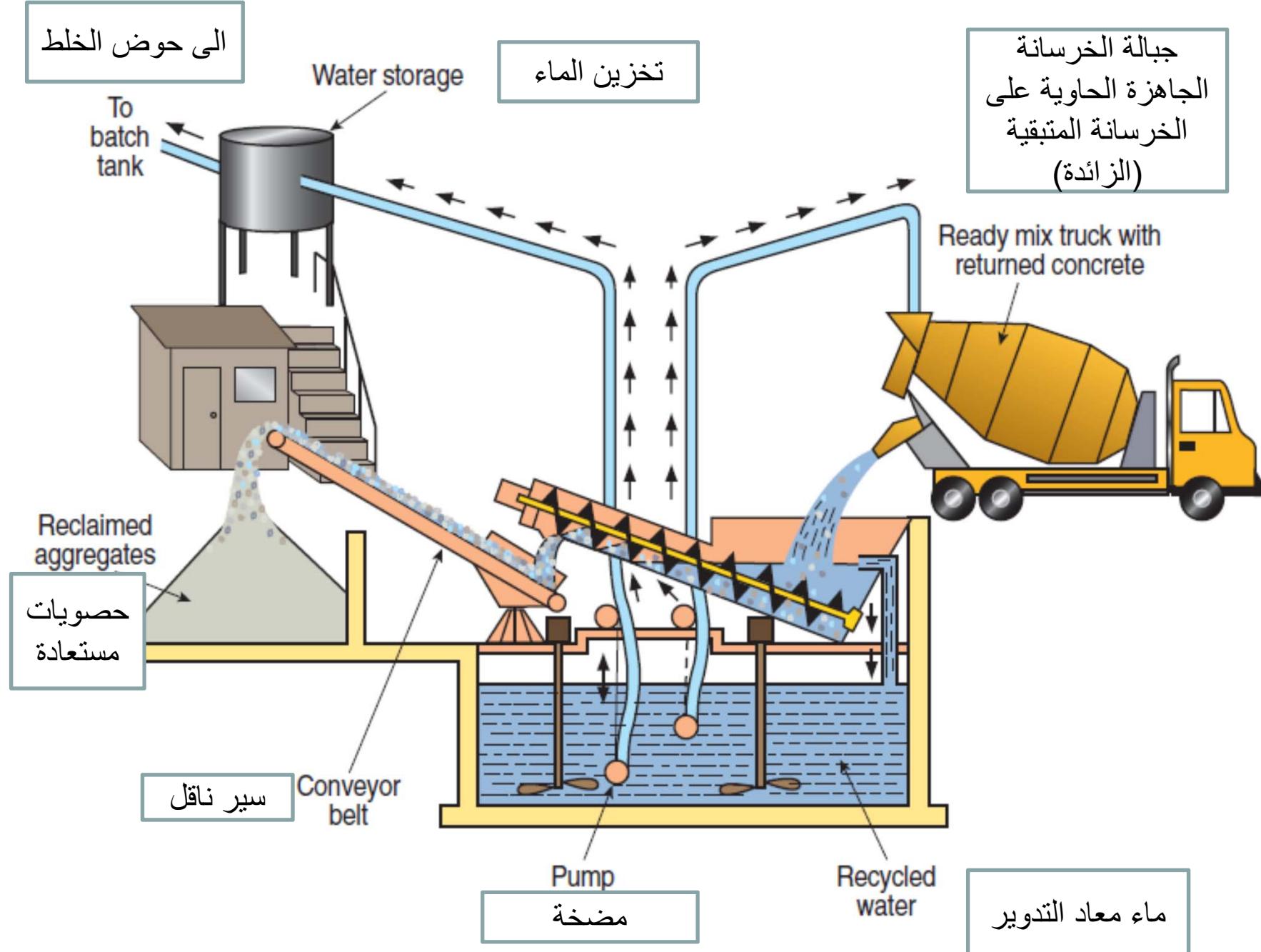
- يجب ان يكون الماء المستعمل في خلط الخرسانة و غسل الركام، نظيفا و خالياً من المواد الضارة مثل الزيت و الاحماض و القلوبيات و الاملاح الأخرى، التي قد تؤثر تأثيراً متنقاً على الخرسانة أو فولاذ التسليح.
- يُشترط في الماء ألا تزيد أملاح الكلوريدات الذائبة فيه على  $0.5\text{g/l}$  ، و املاح الكبريتات على  $0.3\text{g/l}$  ، و الاملاح الكلية على  $2\text{g/l}$  .
- ان الماء الصالح للشرب مناسب في جميع الأحوال لخلط الخرسانة.
- لا يُسمح باستعمال ماء البحر لخلط الخرسانة المسلحة، و ان كان يجوز استعماله عند الضرورة في الخرسانة العادية دون تسليح ، مع زيادة كمية الاسمنت للوصول الى الدرجة المطلوبة في مقاومة الخرسانة. و تحدد كمية الزيادة بموجب تجارب نظامية خاصة بذلك. وفي كل الحالات يجب اجراء تحارب أولاً، و في حال نجاحها يتم السماح باستعمال ماء البحر
- يمكن استعمال الماء غير الصالح للشرب في خلط الخرسانة اذا كان:
  - زمن الأخذ الابتدائي لعينات الاسمنت المجهزة بهذا الماء لا يزيد بأكثر من  $30\text{min}$  على زمن الأخذ الابتدائي لعينات من الاسمنت ذاته المخلوط بالماء الصالح للشرب، و بحيث لا يقل زمن الابتدائي عن  $45\text{min}$  في كل الأحوال.
  - مقاومة الضغط بعد 7 أيام، أو 28 يوما، للعينات القياسية التي يُستعمل في خلطها هذا الماء لا تقل عن 90% من مقاومة الضغط لعينات مماثلة خللت بماء صالح للشرب.

## **تدوير المياه الناتجة عن صناعة الخرسانة:**

- تُعتبر صناعة الخرسانة الجاهزة امام تحدي كبير يتمثل في التعامل مع كمية كبيرة من الخرسانة المتبقية (المنتجة وغير المستخدمة) و التي تمثل نسبة تتراوح بين 3-5% من مجمل كمية الخرسانة المنتجة. بالإضافة لمياه المياه الكبيرة المستخدمة في تنظيف الجبالات من هذه البقايا.
- تشمل المياه المعادة التدوير: مياه غسل الجبالات المتحركة و المجايل المركزية، مياه العواصف المطرية الساقطة فوق منطقة المجايل المركزية، مياه الخرسانة المتبقية، مياه قص وتكسير الخرسانة المتصلبة.
- إنشأت العديد من المجايل أنظمة تدوير لهذه المياه كما هو مبين بالشكل المرفق و الذي يعتمد بشكل أساسى على تجميع المياه ضمن أحواض ترسيب كبيرة بحيث تترسب الذرات الصلبة في القاع و المياه الصافية في الأعلى و التي يمكن أعاد استخدامها ضمن الخلطات الخرسانية اذا حفقت الاشتراطات الواردة في المواصفات.

## **اشتراطات استخدام المياه الناتجة عن صناعة الخرسانة كماء خلط (جل):**

- الكتلة المضافة من المادة الصلبة الى الخلطة الخرسانية و الاتية من الماء المستعاد، يجب ان تكون اقل من 1% من الكتلة الكلية للحصويات المتواجدة أصلاً ضمن الخلطة.
  - يجب ان تحقق المياه الاشتراطات المتعلقة بنسب المواد الكيميائية المسموحة وفقاً للمواصفة المعتمدة مثل (الكلور، الكبريتات، الاحماض، الزيوت، القلوبيات،....)
  - يجب ان تتحقق المياه الاشتراطات الخاصة بأ زمنة الأخذ للاسمنت و كذلك المقاومة بالضغط للخرسانة بأعمار 7, 28 يوماً وفقاً للمواصفة المعتمدة.
  - يجب الأخذ بعين الاعتبار التأثير لهذه المياه على الخرسانة الخاصة كالخرسانة المسبيقة الاجهاد، الخرسانة المعرضة لظروف تعرض شديدة، الخرسانة المعمارية.
- ملاحظة:** يمكن تقدير كتلة المواد الصلبة الموجودة في الماء المستعاد وفقاً لكثافة الماء.



## تصميم الخلطة الخرسانية وفقاً لـ ACI 211.1

### Proportioning of concrete mixtures according to ACI 211.1

#### ١- مقدمة عامة:

تتكون الخلطة الخرسانية من الحصويات (بصص و رمل) و اسمنت بورتلندي و ماء بالإضافة الى الإضافات الاسمنتية (المنيرالية) و الإضافات الخرسانية (الكيميائية).

سيتم تصميم الخلطة بطريقة الحجوم المطلقة.

#### ٢- الاعتبارات الأساسية لتصميم الخلطة:

- الكلفة

- قابلية التشغيل

- المقاومة

- الديمومة

#### ٢- ١ الكلفة :Cost

تعتبر تكلفة الاسمنت البورتلندي أكبر بكثير من تكلفة الحصويات و بالتالي يجب الأخذ بعين الاعتبار كل الخطوات التي من شأنها أن تخفض كمية الاسمنت دون أن يؤثر ذلك على الخواص المطلوبة من الخرسانة مثل المقاومة و الديمومة.

#### ٢- ٢ قابلية التشغيل :Workability

تُعرف قابلية تشغيل الخرسانة الطيرية بانها مقدار الجهد أو العمل الواجب إنجازه للتغلب على قوى الاحتكاك بين حبيبات الخرسانة من أجل الحصول على خرسانة تامة الرص.

تعتبر قابلية التشغيل خاصية مركبة من جزأين:

- **القوام (consistency)** : و يُعبر عن سهولة جريان الخرسانة.
- التماسك (الترابط) (cohesiveness) : يجب ان تتحقق الخرسانة الطيرية درجة ثبات كافية (أي ان تكون ذات قدرة على الاحتفاظ بالماء (عكس النضح) و قدرة على المحافظة على ثبات الحصويات الخشنة ضمنها (عكس الانفصال).

ان معرفة قيمة قابلية التشغيل المناسبة للخليفة الخرسانية يرتبط بأمرتين:

- نوع المنشأ
- طريقة الصب و الرص و الانهاء للخليفة الخرسانية.

### اختبارات قابلية تشغيل الخرسانة:

تعتبر الطبيعة المزدوجة لقابلية التشغيل سببا رئيسيا لعدم وجود طريقة واحدة فقط لاختباراتها في الحالة الطيرية. ان اهم الاختبارات المستخدمة لتحديد قابلية تشغيل الخرسانة هي:

- اختبار الهبوط باستخدام مخروط ابرامز (slump test) .
- اختبار Vebe test .
- اختبار عامل الرص Compacting factor test

## اختبار الهبوط :Slump test

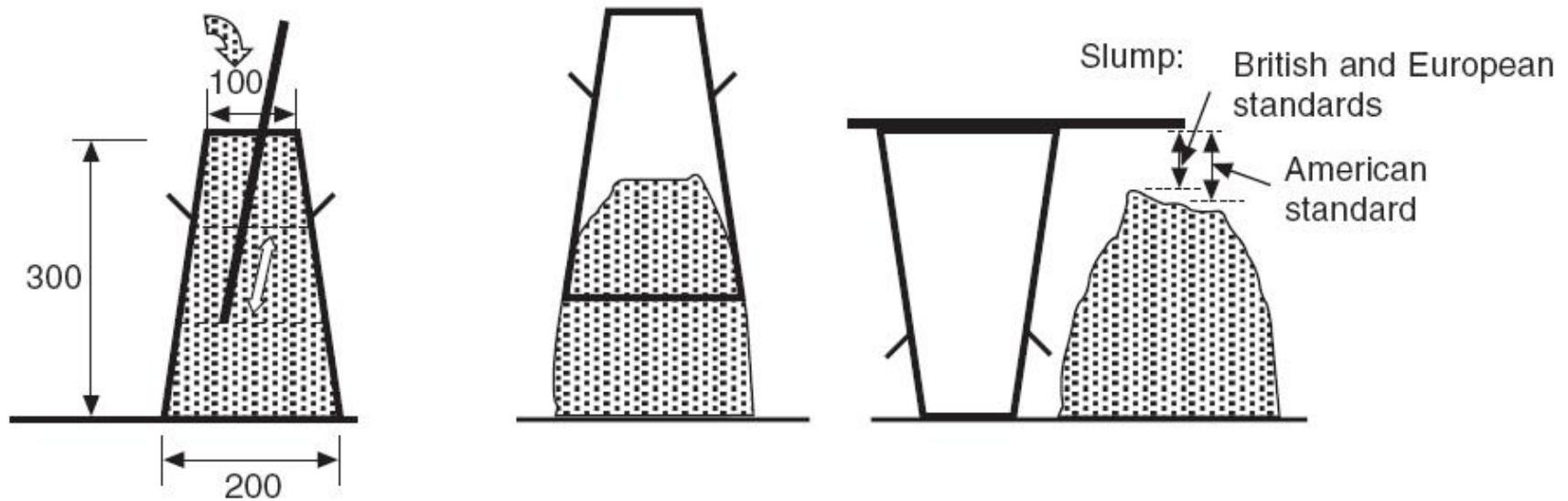
يُستخدم هذا الاختبار لتحديد قوام الخرسانة باستخدام مخروط ناقص (جذع مخروط) ارتفاعه 30Cm و قطر قاعدته السفلي 20Cm و قطر قاعدته العليا 10Cm .

يجري الاختبار وفقا للخطوات التالية:

1. يُنْظَف المخروط بقطعة قماش رطبة ثم يُوضع على طاولة مستوية و يُمْلأ بالخرسانة الطيرية على ثلات طبقات حيث تُرص كل طبقة 25 ضربة باستخدام قضيب الرص (قطر قضيب الرص 1.6Cm و طوله 60Cm ).
2. بعد الملء نقوم بتسوية سطح المخروط، ثم يُرفع دفعه واحدة شاقوليًّا.
3. يُقاس مقدار الهبوط للخرسانة من ارتفاعها الأصلي كما في الشكل المرفق وتقارن القيمة الناتجة مع قيم المواصفات لتحديد قوام الخرسانة الطيرية.
4. يُقاس الهبوط مقرابًا إلى أقرب 5mm .

العلاقة بين هبوط المخروط القياسي و قوام الخرسانة و المجال المفضل لاستعمالها

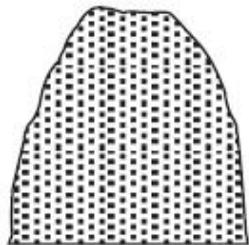
هبوط مخروط أبرامز (mm)	الخرسانة		المجال المفضل لاستعمالها
	قوامها	قابلية تشغيلها	
0-25	جامد جدا	منخفضة جدا	تُستعمل في الأعمال الخرسانية الخاصة ذات المقاومات العالية جداً، ويُستعمل رج ميكانيكي قوي جداً
25-50	جامد	منخفضة	تُستعمل في القطاعات الخرسانية ذات المقاومات العالية، ويُستعمل رج ميكانيكي قوي.
50-100	مائع	متوسطة	تُستعمل في القطاعات الخرسانية المسلحة العادية، ويُستعمل رج عادي
100-150	سائل	عالية	تُستعمل في القطاعات الخرسانية الصغيرة أو الكثيفة التسلیح غير المناسبة للرج، ويُستعمل رج يدوی.



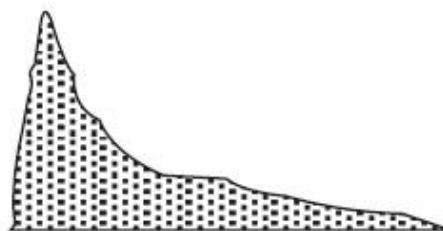
1. The cone is filled with concrete in three equal layers, and each layer is compacted with twenty-five tamps of the tamping rod.

2. The cone is slowly raised and the concrete is allowed to slump under its own weight.

3. The slump is measured using the upturned cone and slump rod as a guide



True



Shear



Collapse

Types of slump

الهبوط mm	قابلية التشغيل
0	لا هبوط
5-10	قليلة جدا
15-30	قليلة
35-75	متوسطة
80-155	عالية
أكبر من 160 و حتى الانهيار	عالية جدا



## اختبار : Vebe test

يعتبر هذا الاختبار مناسب جدا للخلطات الخرسانية الطيرية ذات قابلية التشغيل المنخفضة والمنخفضة جداً، حيث يقوم بقياس الزمن الذي تحتاجه الخرسانة الطيرية لكي تتحول من الشكل المخروطي الى أسطوانة افقية السطح تحت تأثير الاهتزاز باستخدام الجهاز المبين جانبًا.

يتكون جهاز الاختبار من قالب اسطواني معدني قطره الداخلي  $240 \pm 5\text{mm}$  و ارتفاعه  $200\text{mm}$  ، و طاولة رج (اهتزاز) و قمع و قرص زجاجي قطره  $230\text{mm}$  و سمكاه  $10\text{mm}$  و مخروط ناقص (جذع مخروط) له نفس ابعاد مخروط ابرامز.

يُجرى الاختبار وفقا للخطوات التالية:

1. يوضع المخروط ضمن القالب الاسطواني بحيث يتتطابق مركز المخروط مع مركز الاسطوانة.



٢. نستخدم القمع لملء المخروط بالخرسانة الطيرية على ثلاث طبقات و رص لكل طبقة ب 25 طرقة.
٣. بعد الانتهاء من الملء، نرفع القمع و نسوي سطح الخرسانة و نرفع المخروط بحرص.
٤. نجعل القرص الزجاجي الشفاف بتماس مع سطح الخرسانة و نحرر نقطة تثبيته.
٥. نشغل طاولة الاهتزاز و نقيس الزمن من لحظة بدء الاهتزاز و حتى إعادة قولبة الخرسانة ضمن القالب الاسطواني و نستدل على ذلك من تغطية السطح السفلي للقرص الزجاجي بالعجينة الاسمنتية.
٦. يُقاس الزمن مقاربا لأقرب ثانية.

تتراوح قيمة الزمن المسجل بين (3-30) sec .

### اختبار عامل الرص : compacting factor

يُستخدم هذا الاختبار لتحديد درجة رص الخرسانة القليلة و المتوسطة و العالية قابلية التشغيل باستخدام كمية عمل نظامية.

يُجرى هذا الاختبار بواسطة الجهاز المبين جانبا و الذي يتتألف من:



- مخروط ناقص (جذع مخروط) علوي ، القطر الداخلي لقاعدته العليا 260mm و القطر الداخلي لقاعدته السفلية 130mm و ارتفاعه 280mm .

- مخروط ناقص (جذع مخروط) سفلي ، القطر الداخلي لقاعدته العليا 240mm و القطر الداخلي لقاعدته السفلية 130mm و ارتفاعه 130mm

• أسطوانة قطرها الداخلي 150mm و ارتفاعها 285mm . المسافة بين أسفل المخروط الأول و أعلى المخروط الثاني هي 200mm و المسافة بين أسفل المخروط الثاني و أعلى الأسطوانة هي 200mm . يوجد بواحة في أسفل كل مخروط، يتم غلقها و فتها يدويا.

يُجرى الاختبار وفقاً للخطوات التالية:

١. توضع الخلطة الطيرية ضمن المخروط العلوي (البواحة مغلقة) دون إيه عملية رص.
٢. تفتح البواحة الموجودة في أسفل المخروط العلوي، بحيث يُسمح بهبوط الخرسانة تحت تأثير وزنها الذاتي إلى المخروط الثاني.
٣. نكرر العملية نفسها للمخروط السفلي فتمر الخرسانة إلى الأسطوانة
٤. بعد الانتهاء من ملء الأسطوانة، يُسوى سطحها و تُنظف جوانبها و حوافها الخارجية، ثم يُعين وزن الخرسانة المرصوصة جزئيا.
٥. يُعاد ملء الأسطوانة من نفس الخلطة الخرسانية على ثلاث طبقات و 25 ضربة لكل طبقة و يُعين وزن الخرسانة المرصوصة كليا. معال الرص يُعطى من العلاقة:

$$\frac{\text{وزن الخرسانة المرصوصة جزئيا}}{\text{وزن الخرسانة المرصوصة كليا}} = \text{معامل الرص}$$

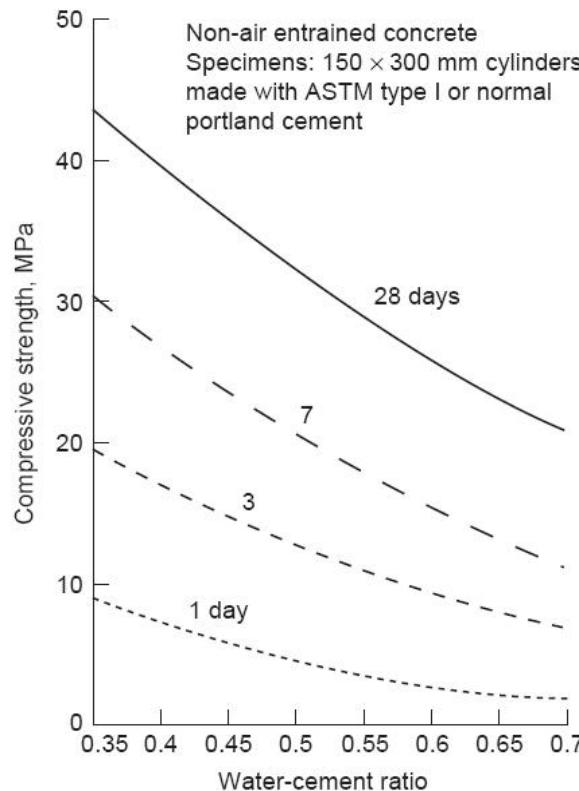
تتراوح قيم معامل الرص بين 0.78 - 0.95 .

## العوامل المؤثرة على قابلية تشغيل الخرسانة الطيرية:

تتأثر قابلية التشغيل بالعوامل التالية:

- كمية الماء.
- كمية الاسمنت.
- التدرج الحبي للحصويات
- الاضافات

## ٢- ٣ المقاومة على الضغط للخرسانة :Compressive strength of concrete



تعتبر المقاومة على الضغط للخرسانة المتصلبة من اهم الخواص لدى مهندسي التصميم و ضمان الجودة كونها ترتبط بالعديد من الخواص من مثل معامل المرونة و النفوذية بالإضافة الى كون اخبارها سهل نوعا ما.

تؤثر على المقاومة على الضغط العديد من العوامل من مثل : نسبة  $W/C$  ، درجة الاماهة للاسمنت البورتلندي ، نسبة الفراغات ضمن الخرسانة، كمية الاسمنت، الحصويات، الإضافات، شروط الانضاج، معايير الاختبار.

## ٤ - ديمومة الخرسانة :Durability of concrete

تعرف ديمومة الخرسانة بقدرتها على البقاء في الخدمة في مواجهة التأثير التخريبي للعوامل الجوية، و العوامل الكيميائية، و الحت وغيرها، خلال الفترة التصميمية للمنشأ.

ترتبط بشكل مباشر بنفوذية الخلطة الخرسانية.

### ٣- المعطيات الواجب توفرها قبل البدء بعملية التصميم:

- التحليل الحبي للحصويات الخشنة و الناعمة و عامل النعومة للحصوات الناعمة.
- الوزن الحجمي الركامى (الكلى) الجاف للحصويات الخشنة
- رطوبة و تشرب (امتصاص) الحصويات الناعمة و الحصويات الخشنة.
- متطلبات العمل (المقاومة المميزة على عمر 28 يوم ، نسبة الفراغات الدنيا، مقدار هبوط الخرسانة الطيرية استخدام مخروط ابرامز ،  $W/C$  ، القطر الأعظمي للحصويات)

## ٤- خطوات تصميم الخلطة:

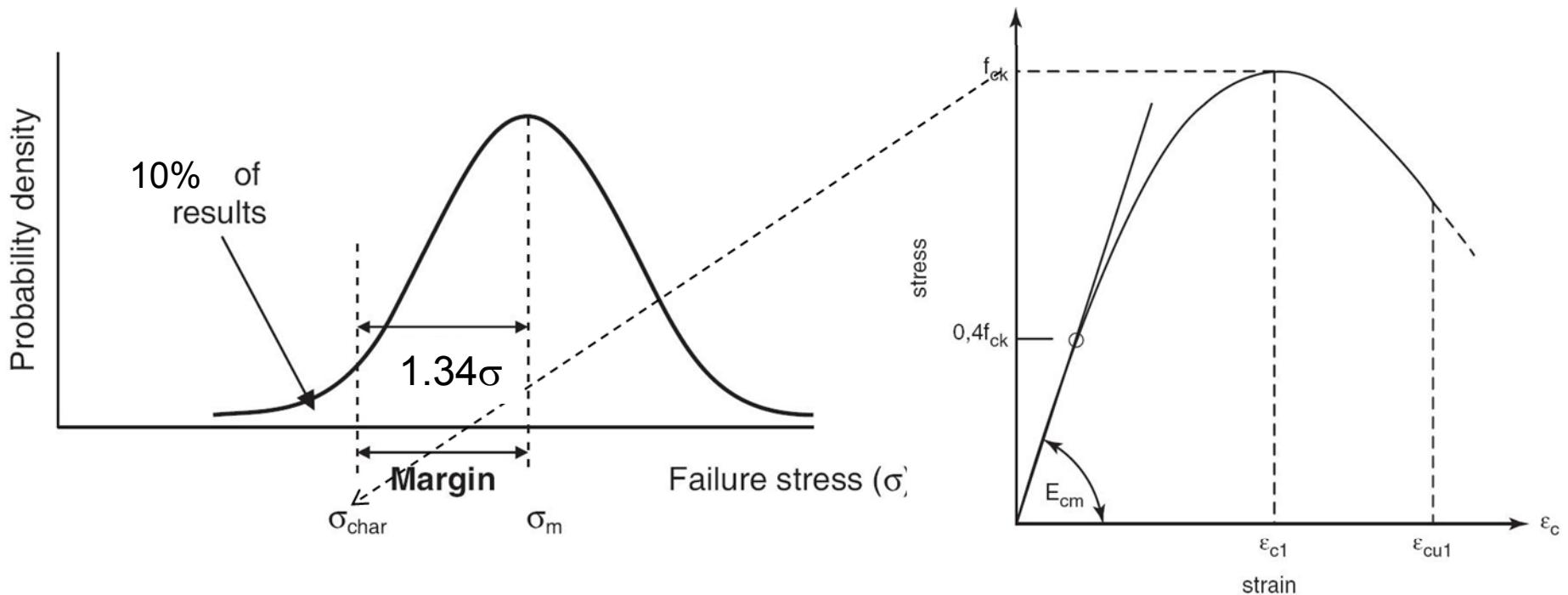
- المقاومة الاسطوانية المتوسطة Average compressive strength
- نسبة W/C
- الحصويات الخشنة (البصق) (القطر الأعظمي، الكمية Coarse aggregate (maximum size and quantity))
- نسبة الهواء المدخل او المحجوز ضمن الخلطة (entrained air or entrapped air)
- قابلية التشغيل Workability
- كمية الماء Water content
- الاسمنت (نوعه، كميته) Cement (type and content)
- الإضافات (الحاجة، معطيات الاستخدام ضمن الخلطة) Admixtures (need and application data)
- الحصويات الناعمة (الرمل) Fine aggregate
- تصحيحات الرطوبة Moisture corrections
- صناعة الخلطات التجريبية Make trial mixes

## ٤- المقاومة الاسطوانية المتوسطة:

يقوم المهندس الانشائي بالحسابات الانشائية على أساس قيمة مقاومة اسطوانية مميزة على عمر 28 يوم. ويطلب من مهندس الخلطات، تصميم خلطة تعطي مقاومة لا تقل عن قيمة الاسطوانية المميزة.

يقوم مهندس المواد بتصميم عدة خلطات ، حيث يحصل على مجموعة من المقاومات نتيجة تغير خواص المواد و طريقة الخلط.

يبين الشكل التالي منحنى التوزيع الطبيعي لمجموعة نتائج مقاومات الخلطات.



يبين منحنى التوزيع الطبيعي ، أن المقاومة الاسطوانية المتوسطة تزيد عن المقاومة الاسطوانية المميزة ب  $1.34\sigma$ .

تسمح المعايير ACI322, ACI318 بأن تكون نسبة 10% من نتائج المقاومات أصغر من قيمة المقاومة المميزة.

يتم حساب الانحراف المعياري من العلاقة التالية:

$$\sigma = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \right)^{1/2} \quad \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

حيث:  
 $\sigma$  : الانحراف المعياري  
 $\bar{X}$  : المتوسط الحسابي لعدد  $n$  من التجارب.  
 $X_i$  : قيمة المقاومة الاسطوانية للتجربة الواحدة.  
 $n$  : عدد التجارب.

نرمز للمقاومة المميزة الاسطوانية ب  $f_c'$

نرمز للمقاومة الاسطوانية المتوسطة ب  $f_{cr}'$

يتم حساب قيمة المقاومة الاسطوانية المتوسطة من احدى العلاقات التاليتين ، حيث يتم اختيار المقاومة الأكبر:

$$f_{cr}' = f_c' + 1.34\sigma$$

$$f_{cr}' = f_c' + 2.33\sigma - 3.45$$

1. يتم استخدام هاتين المعادلتين عندما يكون عدد التجارب أكبر من 30 تجربة أو عندما تتوافر معلومات إحصائية كافية

٢. أما إذا كان عدد التجارب أقل من ثلاثة (يتراوح بين 15-30 ) فيجب ضرب معامل الانحراف المعياري بمعامل ، يؤخذ من الجدول رقم 1 .

جدول ١

Number of Tests	Modification Factor <i>F</i>
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 or more	1.00

بعد تصحيح قيمة الانحراف المعياري ، نقوم بالعودة للمعادلتين الأساسيةن لإيجاد المقاومة الاسطوانية المتوسطة.

٣. اذا كان عدد التجارب أقل من 15 او لا يوجد اية معطيات إحصائية سابقة فانه يتم حساب المقاومة الاسطوانية المتوسطة مباشرة من الجدول رقم 2

جدول ٢

Specified Compressive Strength $f'_c$ , MPa (psi)	Required Average Compressive Strength $f'_{cr}$ , MPa (psi)
<21 (<3000)	$f'_c + 7.0 (f'_c + 1000)$
21 to 35 (3000 to 5000)	$f'_c + 8.5 (f'_c + 1200)$
>35 (>5000)	$f'_c + 10.0 (f'_c + 1400)$

**مثال:**

اذا كانت المقاومة الاسطوانية المميزة على عمر 28 يوما تعادل  $31 \text{ MPa}$  ، يطلب حساب المقاومة الاسطوانية المتوسطة في الحالات التالية:

١. مجبل جديد و لا يوجد معطيات إحصائية سابقة (الانحراف المعياري غير محدد).
٢. مجبل جديد و الانحراف المعياري  $\sigma = 3.6 \text{ MPa}$  لأجل عدد من التجارب يعادل 17 تجربة.
٣. مجبل قديم في انتاج الخلطات الخرسانية و يوجد معلومات إحصائية لعدد من التجارب يزيد عن 30 تجربة ، الانحراف المعياري  $\sigma = 2.4 \text{ MPa}$
٤. مجبل قديم في انتاج الخلطات الخرسانية و يوجد معلومات إحصائية لعدد من التجارب يزيد عن 30 تجربة ، الانحراف المعياري  $\sigma = 3.8 \text{ MPa}$ .

#### **٤ - ٢ نسبة الماء الى الاسمنت :W/C**

تحسب من الجدول رقم 3 مع الانتباه لاستخدام مولدات الفقاعات الهوائية او عدمه ، ثم تقارن القيم الناتجة مع القيم العظمى لنسبة الماء الى الاسمنت الواردة في الجداولين 5 ، 4 حيث تؤخذ القيمة الأصغر.

جدول ٣

Compressive Strength at 28 days, $f'_c$ , MPa (psi)**	Water-Cement Ratio by Weight	
	Non-Air-Entrained Concrete	Air-Entrained Concrete
48 (7000)	0.33	—
41 (6000)	0.41	0.32
35 (5000)	0.48	0.40
28 (4000)	0.57	0.48
21 (3000)	0.68	0.59
14 (2000)	0.82	0.74

\* American Concrete Institute (ACI 211.1 and ACI 211.3)

\*\*Strength is based on cylinders moist-cured 28 days in accordance with ASTM C31 (AASHTO T23). Relationship assumes nominal maximum size of aggregate about 19 to 25 mm ( $\frac{3}{4}$  to 1 in.).

## جدول ٤

Exposure condition	Maximum water-cementitious material ratio by mass for concrete	Minimum design compressive strength, $f'_c$ , MPa (psi)
Concrete protected from exposure to freezing and thawing, application of deicing chemicals, or aggressive substances	Select water-cementitious material ratio on basis of strength, workability, and finishing needs	Select strength based on structural requirements
Concrete intended to have low permeability when exposed to water	0.50	28 (4000)
Concrete exposed to freezing and thawing in a moist condition or deicers	0.45	31 (4500)
For corrosion protection for reinforced concrete exposed to chlorides from deicing salts, salt water, brackish water, seawater, or spray from these sources	0.40	35 (5000)

Adapted from ACI 318 (2002).

## جدول ٥

Sulfate exposure	Water-soluble sulfate ( $\text{SO}_4$ ) in soil, percent by mass*	Sulfate ( $\text{SO}_4$ ) in water, ppm*	Cement type**	Maximum water-cementitious material ratio, by mass	Minimum design compressive strength, $f'_c$ , MPa (psi)
Negligible	Less than 0.10	Less than 150	No special type required	—	—
Moderate†	0.10 to 0.20	150 to 1500	II, MS, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0.50	28 (4000)
Severe	0.20 to 2.00	1500 to 10,000	V, HS	0.45	31 (4500)
Very severe	Over 2.00	Over 10,000	V, HS	0.40	35 (5000)

\* Tested in accordance with the Method for Determining the Quantity of Soluble Sulfate in Solid (Soil and Rock) and Water Samples, Bureau of Reclamation, Denver, 1977.

\*\* Cement Types II and V are in ASTM C 150 (AASHTO M 85), Types MS and HS in ASTM C 1157, and the remaining types are in ASTM C 595 (AASHTO M 240). Pozzolans or slags that have been determined by test or service record to improve sulfate resistance may also be used.

† Seawater.

## ٤- ٣ متطلبات الحصويات الخشنة (البحص):

يجب ان يتوافر لدينا التحليل الحبي للحصويات الخشنة و كذلك طبيعة هذه الحصويات (شكلها، بنية سطحها، نفوذيتها). تشمل متطلبات الحصويات الخشنة، تحديد قطرها الأعظمي و حاب الحجم الركامى (الكتلی) لها.

### ٤ - ١-٣ متطلبات القطر الأعظمي للبحص

يجب ان يحقق القطر الأعظمي الاشتراطات التالية:

١. القطر الأعظمي للبحص  $\geq 1/5$  بعد الأصغر بين جوانب قالب.
٢. القطر الأعظمي للبحص  $\geq \frac{3}{4}$  المسافة الصافية بين قضبان التسليح.
٣. القطر الأعظمي للبحص  $\geq \frac{3}{4}$  المسافة الصافية بين قضبان التسليح و سطح قالب (طبقة التغطية).
٤. القطر الأعظمي للبحص  $\geq 1/3$  سمكاة البلاطة (البلاطات غير المسلحة، الأرضيات).

### ٤ - ٢-٣ الحجم الركامى (الكتلی) للبحص

يُحسب من الجدول رقم 6 و ذلك بعد معرفة القطر الأسمى الأعظمي للحصويات و معامل النعومة للرمل. ثم يُستخدم في حساب وزن البحص الجاف بعد معرفة الوزن الحجمي الركامى الجاف للبحص.

ملاحظات:

- يمكن زيادة حجم البحص بمقدار 10% عندما نريد الحصول على قابلية تشغيل أقل (إنشاء الطرق).
- يمكن انقصان حجم البحص بمقدار 10% عندما نريد الحصول على قابلية تشغيل أكبر (الصب باستخدام المضخات).

جدول ٦

Nominal maximum size of aggregate, mm (in.)	Bulk volume of dry-rodded coarse aggregate per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate*			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 ( $\frac{3}{8}$ )	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 ( $\frac{1}{2}$ )	0.59	0.57	0.55	0.53
19 ( $\frac{3}{4}$ )	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 ( $1\frac{1}{2}$ )	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

\*Bulk volumes are based on aggregates in a dry-rodded condition as described in ASTM C 29 (AASHTO T 19). Adapted from ACI 211.1.

#### ٤-٤ نسبة الفراغات الهوائية

يتم استخدام مولدات الفقاعات الهوائية ضمن الخلطات الخرسانية عند وجود خطر تعرضها لدورات متتالية من التجمد و الذوبان أو أملاح الاذابة. بالإضافة لذلك فان استخدام مولدات الفقاعات الهوائية ساهم في تحسين قابلية التشغيل.

يتم حساب نسبة الفراغات الهوائية من الجدول رقم ٧ وفقاً للقطر الأعظمي للحصويات.

جدول ٧

Slump, mm	Water, kilograms per cubic meter of concrete, for indicated sizes of aggregate*							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm**	75 mm**	150 mm**
<b>Non-air-entrained concrete</b>								
25 to 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 to 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 to 175	243	228	216	202	190	178	160	—
Approximate amount of entrapped air in non-air-entrained concrete, percent	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>Air-entrained concrete</b>								
25 to 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 to 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 to 175	216	205	197	184	174	166	154	—
Recommended average total air content, percent, for level of exposure: <sup>†</sup>								
Mild exposure	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Moderate exposure	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Severe exposure	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

#### ٤ - ١-٤ حالات التعرض لخطر التجمد و الذوبان

١. حال التعرض الطيفي (الخفيف) **Mild exposure** : في هذه الحالة يكون خطر التعرض لدورات التجمد و الذوبان ضعيف جداً، و بالتالي لا حاجة لاستخدام مولدات الفقاعات الهوائية. اذا ما تم استخدامها فيكون الهدف هو تحسن قابلية التشغيل.

٢. حالة التعرض المتوسط (المعتدل) **Moderate exposure** : في هذه الحالة لا تتعرض الخرسانة للرطوبة لفترات طويلة قبل عملية التجمد و كذلك لا تتعرض للأملاح و المواد الكيميائية الضارة . مثال : الجدران، الأعمدة، الجوانز التي ليست على اتصال مباشر مع الترب الرطبة و لا تتلقى بشكل مباشر املاح الازمة.

٣. حال التعرض الشديد **severe exposure**: في هذه الحالة تكون الخرسانة مشبعة نتيجة تلامسها المباشر مع الترب الرطبة او مع الماء قبل حدوث التجمد. كما تتعرض الخرسانة لأملاح الازابة و المواد الكيميائية الضارة (كلور-كبريتات)

#### ملاحظات :

- عند ثبات كمية الماء فان استخدام مولدات الفقاعات الهوائية ستؤدي الى زيادة الهبوط .
- عند ثبات الهبوط فان استخدام مولدات الفقاعات الهوائية سيؤدي الى تخفيض نسبة الماء، فمثلا : ان زيادة محتوى الهواء بمقدار 1% تؤدي الى نقصان كمية الماء بمقدار 3Kg ، و العكس صحيح.
- يتم التعامل مع نسبة الهواء المطلوبة من خلال مجال يحوي القيمة الهدف المحددة ضمن الجدول، هذا المجال ينقص عن القيمة الهدف ب(1) و يزيد ب (2) عن القيمة الهدف. فمثلا من أجل القيمة الهدف التي تساوي 6 يكون مجال العمل هو (5-8) .

#### ٤- ٥ قابلية التشغيل (الهبوط بمخروط ابرامز):

- يعتبر مقدار الهبوط بمخروط ابرامز معيارا لقياس قوام الخلطة الخرسانية الطيرية.
- تحدد قيم الهبوط من الجدول رقم ٨ وفقا لنوع العنصر الانشائي.
- عندما نريد ضبط معايير الخلطة ، فإنه يمكن زيادة مقدار الهبوط بمقدار 10mm عن طريق إضافة 2kg من الماء لكل 1m<sup>3</sup> من الخرسانة.

## جدول ٨

Concrete construction	Slump, mm (in.)	
	Maximum*	Minimum
Reinforced foundation walls and footings	75 (3)	25 (1)
Plain footings, caissons, and substructure walls	75 (3)	25 (1)
Beams and reinforced walls	100 (4)	25 (1)
Building columns	100 (4)	25 (1)
Pavements and slabs	75 (3)	25 (1)
Mass concrete	75 (3)	25 (1)

## ٤ - ٦ كمية الماء :

تتأثر كمية الماء بالعوامل التالية:

- أبعاد الحصويات و شكلها و بنية سطحها.
- مقدار الهبوط .
- نسبة  $W/C$  .
- نسبة الفراغات الهوائية.
- نوع المواد الرابطة الاسمنتية.
- الاضافات

- يتم الحصول على كمية الماء اللازمة للخلطة من الجدول رقم ٧ وذلك لحصويات خشنة (بمحض) مكسرة، ذات حواف حادة و جافة.

- يتم تخفيض القيم الواردة في الجدول رقم ٧ بمقدار **12Kg** عندما تكون الحصويات الخشنة مكسرة ذات حواف قريبة من الحادة، و تخفيض كمية الماء بمقدار **21Kg** عندما تكون الحصويات الخشنة طبيعية ملساء مع القليل من الحصويات المكسرة، و تخفيض كمية الماء بمقدار **27kg** عندما تكون الحصويات الخشنة طبيعية ملساء و مدوره تماماً.

#### **ملاحظات :**

- ان زيادة ابعاد الحصويات و زيادة نسية الفراغات الهوائية، و انخفاض النسبة **W/C** و انخفاض مقدار الهبوط، و استخدام حصويات خشنة مدوره و الإضافات المخفضة للماء، تؤدي الى تخفيض الحاجة للماء (تقليل كمية الماء اللازمة للخلط).
- بالمقابل فان زيادة درجة الحرارة، و زيادة كمية الاسمنت و زيادة مقدار الهبوط و النسبة **W/C** و استخدام الحصويات ذات الحواف الحادة تؤدي الى زيادة الحاجة للماء (زيادة كمية الماء اللازمة للخلط).

#### **٤ - ٧ كمية المواد الاسمنتية و نوعها :**

- يتم حسابها من خلال النسبة **W/C** (مرحلة رقم ٢) ، بالإضافة الى أن كمية الماء أصبحت معروفة (مرحلة رقم ٦)
- يجب ان لا تقل قيمة **C** المحسوبة عن ما يلي:
  ١. في حالة التعرض الشديد لدورات التجمد و املاح الاذابة فان كمية الاسمنت يجب ان لا تقل عن  $334\text{kg}/\text{m}^3$  أي  $C \geq 334\text{kg}/\text{m}^3$  و النسبة **W/C** يجب ان لا تتجاوز القيمة العظمى المحددة في الجدولين ٤ و ٥ .
  ٢. في حالة صب الخرسانة تحت الماء: فان  $C \geq 385\text{kg}/\text{m}^3$  ،  $W/C \leq 0.45$  .
  ٣. الأرضيات و بلاطات الأرصفة و غيرها من الاعمال المسطحة: فان كمية الاسمنت يجب ان لا تقل. عما هو وارد في الجدول رقم ٩

## جدول رقم ٩

Nominal maximum size of aggregate, mm (in.)	Cementing materials, kg/m <sup>3</sup> (lb/yd <sup>3</sup> )*
37.5 (1½)	280 (470)
25 (1)	310 (520)
19 (¾)	320 (540)
12.5 (½)	350 (590)
9.5 (⅜)	360 (610)

### ٤- ٨ الإضافات الاسمنتية (المنيرالية) و البيتونية (الكيميائية):

تعطى الإضافات كنسبة مئوية من كمية الاسمنت و بالتالي فانه يمكن حساب كميتها وفقاً للنسبة المعطاة .

الإضافات الاسمنتية مثل (الرماد المتطاير، هباب السيليس...) و الإضافات البيتونية مثل (مولادات الفقاعات الهوائية، الملدනات، مخفضات الماء، المسرعات، .....).

### ٤- ٩ حساب وزن الرمل:

يُحسب وزن الرمل بالاعتماد على طريقة الحجوم المطلقة (بالنسبة للحصويات تشمل حجمها فقط دون الفراغات فيما بينها).

حجم الخلطة الخرسانية =  $1m^3$  = مجموع الحجوم المطلقة لمكوناتها و التي تشمل (الاسمنت، الماء ، البحص، الرمل، الفراغات الهوائية، الإضافات). من خلال المراحل السابقة تمت معرفة كمية كافة المواد ما عدا الرمل و بالتالي نقوم بحساب الحجم المطلق لكل مادة.

و بالتالي فان الحجم المطلق للرمل = 1 - مجموع الحجوم المطلقة للمواد المحددة مسبقاً  
يُحسب الحجم المطلق لكل مادة من العلاقة التالية:

$$Absolute\ volume = \frac{weight\ of\ losse\ material}{relative\ density\ (specific\ gravity)\ of\ a\ material * density\ of\ water}$$

بعد معرفة الحجم المطلق للرمل ، يمكن حساب وزنه من نفس قانون الحجم المطلق:

$$weight\ of\ losse\ material = absolute\ volume * specific\ gravity\ of\ a\ material * density\ of\ water$$

في نهاية هذه المرحلة تكون قد حصلنا على اوزان الحصويات وهي بالحالة الجافة بالفرن و الماء و الاسمنت و الإضافات. ان استخدام الحصويات ضمن الخلطة الخرسانية و هي بحالة التجفاف بالفرن أمر نادر الحدوث ، فالحصويات تورد و هي تحتوي على نسب رطوبة معينة، لذلك لا بد من اجراء تصحيحات الرطوبة.

**ملاحظة:**

الاوزان النوعية لبعض المواد:

- الاسمنت البورتلندي 3.15 - الحصويات 2.4-2.9
- الاسمنت المخلوط 2.9-3.15
- الرماد الطائر (المتطاير) 1.9-2.8
- الخبث 2.25 - هباب السيليس 2.85-2.95
- كثافة الماء في الدرجة 4°C تعادل 1000Kg/m<sup>3</sup>

## ٤ - ١٠ تصحيحات الرطوبة:

نصح أوزان البصص و الرمل بالاعتماد على نسبة رطوبة كل منها ، كما نصح كمية الماء بالاعتماد على رطوبة الحصويات و تشربها، حيث ان الماء الحر المتواجد على سطح الحصويات يمكن ان يساهم في ماء الجبل، كما ان الحصويات يمكن ان تأخذ ماءً من ماء الجبل في حال كانت رطوبتها اقل من تشربها.

### مثال ١:

يُطلب تصميم خلطة خرسانية وفقاً لـ ACI 211.1 باستخدام طريقة الحجوم المطلقة وفقاً لمايلي:

**المتطلبات التصميمية:** الخلطة سوف تُستخدم في صب ركيزة جسر معرض بشكل شديد لدورات التجمد و الذوبان و لأملاح الأذابة ، المقاومة الاسطوانية المميزة تساوي  $24.1 \text{ MPa}$  ، الاشتراطات البعدية: بعد الاصغرى بين جوانب قالب يساوى  $0.3\text{m}$  ، المسافة الصافية الدنيا بين قضبان التسلیح تساوى  $64\text{mm}$  ، و سمكية طبقة التغطية الدنيا تساوى  $64\text{mm}$  . الانحراف المعياري للمقاومة على الضغط يساوى  $2.4 \text{ MPa}$  ، العدد الكلى للتجارب يزيد عن ثلاثة تجربة.

**المواد المتوفرة:** الاسمنت من النوع **V** ، تُستخدم مولدات الفقاعات الهوائية وفقاً لمايلي  $6.3\text{ml}/1\%/100\text{Kg}$  of cement

البصص: القطر الأعظمي للحصويات  $37.5\text{mm}$  ، القطر الأعظمي الاسمي للحصويات  $25\text{mm}$  ، البصص نهرى مدور، الوزن النوعي الجاف (الكلي) يساوى  $2.621$  ، الامتصاص  $0.4\%$  ، الرطوبة  $1.5\%$  ، الوزن الحجمي الجاف المرصوص يساوى  $1681\text{Kg/m}^3$  .

الرمل: رمل طبيعى، الوزن النوعي الجاف (الكلي) يساوى  $2.572$  ، الامتصاص  $0.8\%$  ، الرطوبة  $4\%$  ، معامل النعومة  $2.6$

## مثال ٢:

يُطلب تصميم خلطة خرسانية وفقاً لـ ACI 211.1 باستخدام طريقة الحجوم المطلقة وفقاً لما يلي:

**المتطلبات التصميمية:** الخلطة تحوي مولدات الفقاعات الهوائية وسوف تُستخدم في صب عمود خارجي فوق سطح الأرض ، يتعرض لدورات من التجمد و الذوبان بشكل كبير. المقاومة الاسطوانية المميزة على عمر 28 يوماً تعادل  $24\text{MPa}$  ، لا تتوافر معطيات إحصائية سابقة، يجب أن يتراوح هبوط مخروط ابرامز بين (50-100) ، و القطر الأعظمي للحصويات يجب أن لا يزيد عن  $30\text{mm}$  .

**المواد المتوفرة:** الاسمنت من النوع I (العادي) ، وزنه النوعي 3.15 .

**الحصويات الخشنة (البحص):** يتوافر نوعان من البحص ناتجان عن عمليات تحطيم للصخور (حصويات مكسرة)، نسبة خلطهما هي 60:40 (60% من النوع الأول و 40% من النوع الثاني). الكثافة الكلية (الركامية) (الكلية) الجافة المرصوصة للخلط تعادل  $1650\text{Kg/m}^3$  .

خواص البحص من النوع الأول: القطر الأعظمي الاسمي  $25\text{mm}$  ، الوزن النوعي الركامى الجاف 2.75 ، التشرب (الامتصاص) 0.7% ، العينة المخبرية المستخدمة في العينات التجريبية رطوبتها 0.0% .

خواص البحص من النوع الثاني: القطر الأعظمي الاسمي  $10\text{mm}$  ، الوزن النوعي الركامى الجاف 2.65 ، التشرب (الامتصاص) 0.8% ، العينة المخبرية المستخدمة في العينات التجريبية رطوبتها 0.5% .

**الرمل:** رمل طبيعي، الوزن النوعي الركامى (الكتلى) (الكتلى) يساوى 2.6 ، الامتصاص 1% ، العينة المخبرية المستخدمة في العينات التجريبية رطوبتها 3.0% ، معامل النعومة 2.8

## ٥- حالات خاصة:

١- حالة الخرسانة ذات الهبوط المنخفض او المعدوم **no slump concrete** هي خرسانة هبوطها يتراوح بين mm(0-25) وتصنف الى ثلاثة انواع كما في الجدول التالي:

قابلية التشغيل			الوصف
عامل الرص	زمن الرج sec	الهبوط mm	
-	32-18	-	خرسانة جافة الى اقصى حد
0.70	18-10	-	خرسانة جامدة جدا
0.75	10-5	0-25	خرسانة جامدة

جدول رقم ١٠ : تصنيف الخرسانة التي قابلية تشغيلها أقل من 25mm

عند تصميم هذا النوع من الخلطات الخرسانية ، نتبع نفس خطوات التصميم السابقة مع اجراء تعديلين :

- **التعديل الأول:** يرتبط بكمية الماء حيث يتم اعتبار القيم الواردة في الجدول ( 7 ) الموافقة لهبوط يتراوح بين (75-100)mm كقيم مرجعية (تمثل النسبة المئوية 100% ) ومن ثم يتم حساب كمية الماء للخلطات الخرسانية المنخفضة الهبوط وفقا للنسب المئوية المبينة في الجدول ( 11 ).
- **التعديل الثاني:** يرتبط بالحجم الكلي للحصويات الوارد بالجدول ( 6 ) حيث يتم ضرب القيم الواردة فيه بعوامل التصحيح الواردة في الجدول (12)

التصنيف	كمية الماء كنسبة مئوية من القيمة المرجعية %
خرسانة جافة الى اقصى حد	78
خرسانة جامدة جدا	83
خرسانة جامدة	88
خرسانة لدنة (المرجعية)	100
خرسانة سائلة	106

جدول رقم ١١ : نسبة تعديل كمية الماء في حالة الخرسانة التي هبّوطها أقل من 25mm وفي حالة الخرسانة السائلة

عوامل التصحيح للحجم الكلي للحصويات الخشنّة وفقاً للقطر الاعظمي الاسمي					التصنيف
40mm	25mm	20mm	12.5mm	9.5mm	
1.30	1.40	1.45	1.70	1.90	خرسانة جافة الى اقصى حد
1.25	1.25	1.30	1.45	1.60	خرسانة جامدة جدا
1.15	1.15	1.15	1.30	1.35	خرسانة جامدة
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	خرسانة لدنة (المرجعية)
1.00	1.00	1.00	0.98	0.97	خرسانة سائلة

جدول رقم ١٢ عوامل تصحيح الحجم الكلي للحصويات الخشنّة وفقاً للقطر الاعظمي الاسمي في الخرسانة التي قابلية تشغيلها أقل من 25mm

ملاحظة: في الجدول السابقين تظهر في السطر الأخير منها نسبة الماء و معامل التصحيح للحجم الكلي للحصويات الخشنة الخاصة بالخرسانة السائلة.

## ٢- حالة الخرسانة السائلة flowing concrete

تُعرف الخرسانة وفقاً للمواصفة ASTM C1017 على أنها الخرسانة التي هبوطها يزيد عن 190mm ويكون تماسكها طبيعي.

عموماً: الخرسانة السائلة يكون هبوطها أكثر من 200mm أو قطر جريانها بين 510-620mm (أو عامل رصها يتراوح بين 0.96-0.98) .

يتم تصميم خلطة الخرسانة السائلة كخلطة عاديَّة ذات هبوط يعادل 75mm و من ثم تتم إضافة الملدّنات للحصول على الهبوط العالي المرغوب. كما انه يجب استبعاد الحصويات الخشنة جداً و الحصويات المتطاولة و الحصويات المسطحة من خلطات الخرسانة السائلة.

تلعب الحصويات الناعمة دوراً مهما في تماسك الخلطات الخرسانية السائلة ، لذلك نقوم بزيادة نسبتها بمقدار 5% و بنفس المقدار نقوم بتخفيض الحصويات الخشنة.

### **مثال ٣:**

تم تصميم خلطة خرسانية بطريقة الحجوم المطلقة وفقاً ل ACI 211.1 ، لتؤمن المعطيات التالية: مقاومة ممizza بالضغط على عمر 28 يوماً تعادل  $31 \text{ MPa}$  ، هبوط مخروط ابرامز  $75\text{mm}$  ، نسبة الفراغات الهوائية (القيمة التصميمية) 7% ، فكانت كميات المواد الازمة لإنتاج خلطة حجمها يعادل  $1\text{m}^3$  كما يلي:

كمية الماء الواجب اضافتها  $83\text{kg}$  ، كمية الاسمنت  $435\text{kg}$  ، كمية الحصويات الخشنة (البحص) بروطتها  $1093\text{kg}$  (رطوبة الحصويات الخشنة 2% ، تشربها 0.5% وزنها النوعي الكلي الجاف 2.68 ) ، كمية الحصويات الناعمة (الرمل)  $719\text{kg}$  (رطوبة الرمل 6% ، تشربها 0.7% وزنها النوعي الكلي الجاف 2.64 ) ، نسبة  $\text{W/C}=0.31$  .

عند تنفيذ الخلطة المخبرية التي حجمها  $0.1\text{m}^3$  من المواد السابقة، كانت النتائج كما يلي: هبوط مخروط ابرامز  $100\text{mm}$  ، نسبة الفراغات الهوائية 8% ، كثافة الخرسانة الطيرية (وزنها الحجمي)  $2274 \text{ kg/m}^3$  . يُطلب إعادة ضبط مكونات الخلطة الخرسانية التي حجمها  $1\text{m}^3$  بحيث تحقق الشروط التصميمية المطلوبة.

## **٦- اختبارات الخرسانة الطيرية**

الخرسانة الطيرية هي الخرسانة التي تبدأ من لحظة إضافة الماء الى مكونات الخرسانة الجافة و حتى لحظة حدوث زمن الاخذ الاولى و تمتاز هذه المرحلة بالقدرة على الخلط، و النقل، و النقل، و الصب.

تجري على الخرسانة الطيرية الاختبارات التالية:

### **٦- ١ اختبارات قابلية التشغيل**

تشمل هذه الاختبارات هبوط المخروط، عامل الرص، و Vebe test وقد شرح هذه الاختبارات مسبقاً

### **٦- ٢ اختبار تحديد كثافة الخرسانة الطيرية**

يُجري هذا الاختبار عن طريق ملء أسطوانة معدنية معروفة الحجم و معروفة وزنها فارغة، بالخرسانة الطيرية و من ثم وزنها وهي مملأة بالخرسانة، فتكون كثافتها هي :

$$D = \frac{m_1 - m_2}{v}$$

حيث:

$m_1$  : وزن الأسطوانة مملوأة بالخرسانة الطيرية . kg

$m_2$  : وزن الأسطوانة فارغة . kg

$v$  : حجم الأسطوانة .  $m^3$

$D$  : كثافة الخرسانة الطيرية  $kg/m^3$

## ٦- ٣ اختبار تحديد نسبة الهواء ضمن الخرسانة الطيرية

يوجد ثلاثة طرق لتحديد نسبة الهواء ضمن الخرسانة الطيرية وهي:

١. عن طريق الكثافة الطيرية.

٢. الطريقة الحجمية

٣. عن طريق الضغط

$$D = \frac{m1 - m2}{v}$$

حيث:

$m1$  : وزن الأسطوانة مملوأة بالخرسانة الطيرية . kg

$m2$  : وزن الأسطوانة فارغة . kg

$V$  : حجم الأسطوانة .  $m^3$

$D$  : كثافة الخرسانة الطيرية  $kg/m^3$

## ٧ ضبط الجودة للخرسانة الطيرية:

يهدف هذا الاختبار لتحديد المكونات الفعلية الموجودة ضمن الخرسانة الطيرية.