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 القلويات و الاملاح الأخرى، التي قد تؤثر تأثيراً متلفاً على الخرسانة أو فولاذ التسليح.
- يُشترط في الماء ألا تزيد أملاح الكلوريدات الذائبة فيه على 0.5g/l ، و املاح الكبريتات على 0.3g/l ، و الأملاح الكلية على 2g/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 تُحدد 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 30min على زمن الأخذ الابتدائي لعينات من الاسمنت ذاته المخلوط بالماء الصالح للشرب، و بحيث لا يقل زمن الابتدائي عن 45min 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 خُلطت بماء صالح للشرب.

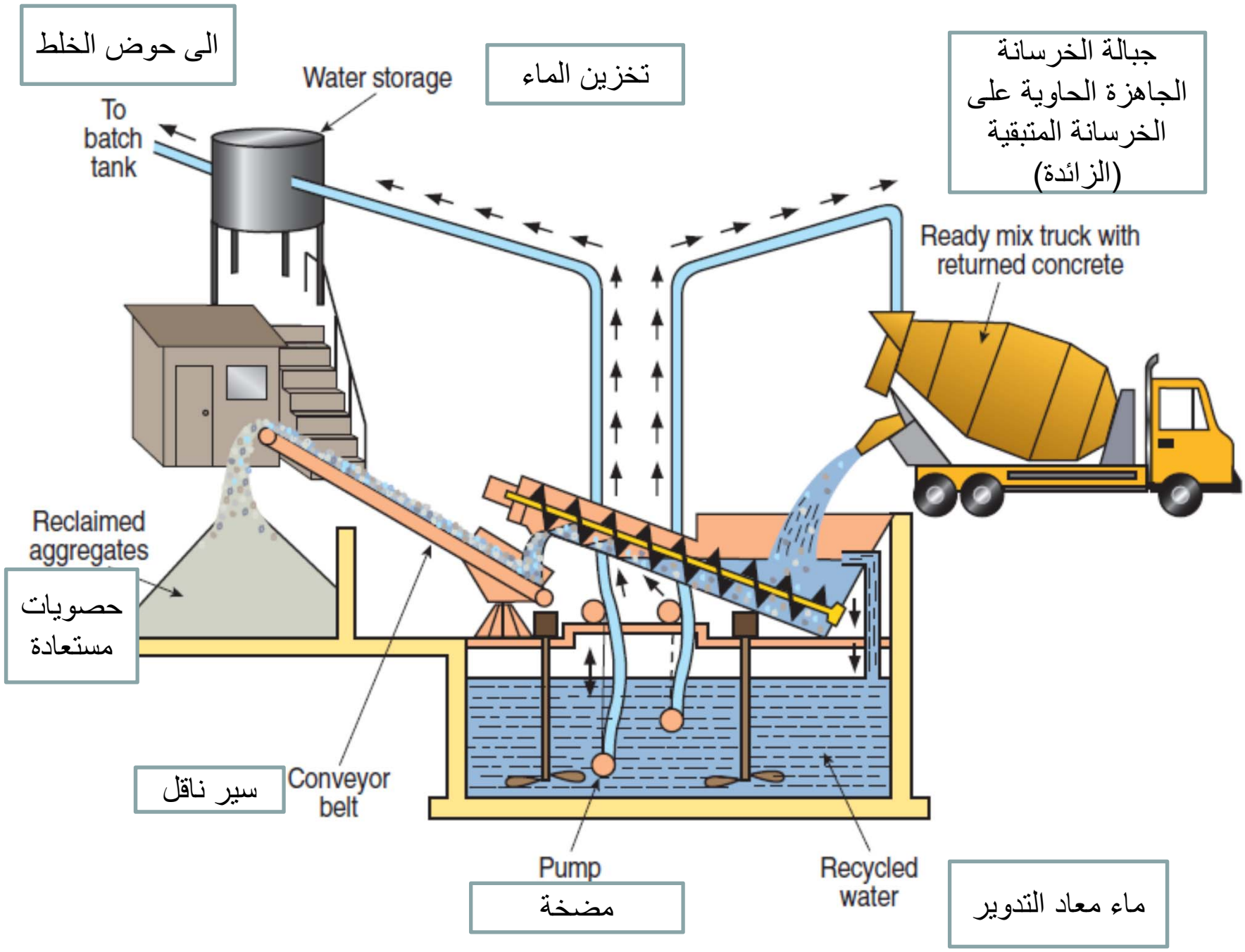
تدوير المياه الناتجة عن صناعة الخرسانة:

- 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 لكميات المياه الكبيرة المستخدمة في تنظيف الجبالات من هذه البقايا.
- تشمل المياه المعادة التدوير: مياه غسل الجبالات المتحركة و المجابل المركزية، مياه العواصف المطرية الساقطة فوق منطقة المجابل المركزية، مياه الخرسانة المتبقية، مياه قص وتكسير الخرسانة المتصلبة.
- أنشأت العديد من المجابل أنظمة تدوير لهذه المياه كما هو مبين بالشكل المرفق و الذي يعتمد بشكل أساسي على تجميع المياه ضمن احواض ترسيب كبيرة بحيث تترسب الذرات الصلبة في القاع و المياه الصافية في الأعلى و التي يمكن أعاد استخدامها ضمن الخلطات الخرسانية اذا حققت الاشتراطات الواردة في المواصفات.

اشتراطات استخدام المياه الناتجة عن صناعة الخرسانة كماء خلط (جبل):

- الكتلة المضافة من المادة الصلبة الى الخلطة الخرسانية و الاتية من الماء المستعاد، يجب ان تكون اقل من 1% من الكتلة الكلية للحصويات المتواجدة أصلا ضمن الخلطة.
- يجب ان تحقق المياه الاشتراطات المتعلقة بنسب المواد الكيميائية المسموحة وفقا للمواصفة المعتمدة مثل (الكلور، الكبريتات، الاحماض، الزيوت، القلويات،....)
- يجب ان تحقق المياه الاشتراطات الخاصة بأزمنة الأخذ للإسمنت و كذلك المقاومة بالضغط للخرسانة بأعمار 7, 28 يوماً وفقاً للمواصفة المعتمدة.
- يجب الأخذ بعين الاعتبار التأثير لهذه المياه على الخرسانة الخاصة كالخرسانة المسبقة الاجهاد، الخرسانة المعرضة لظروف تعرض شديدة، الخرسانة المعمارية.

ملاحظة: يمكن تقدير كتلة المواد الصلبة الموجودة في الماء المستعاد وفقا لكثافة الماء.


الى حوض الخلط
Water storage
تخزين الماء
جبالة الخرسانة الجاهزة الحاوية على الخرسانة المتبقية (الزائدة)
To batch tank
Ready mix truck with returned concrete
Reclaimed aggregates
حصويات مستعادة
سير ناقل
Conveyor belt
Pump
مضخة
Recycled water
ماء معاد التدوير

تصميم الخلطة الخرسانية وفقا ACI 211.1

Proportioning of concrete mixtures according to ACI 211.1

١- مقدمة عامة:

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

سيتم تصميم الخلطة بطريقة الحجوم المطلقة.

٢- الاعتبارات الأساسية لتصميم الخلطة:

- الكلفة
- قابلية التشغيل
- المقاومة
- الديمومة

٢- ١ الكلفة Cost:

تُعتبر 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 الطرية بانها مقدار الجهد أو العمل الواجب إنجازه للتغلب على قوى الاحتكاك بين حبيبات الخرسانة من اجل الحصول على خرسانة تامة الر ص.

تُعتبر قابلية التشغيل خاصية مركبة من جزأين:

- **القوام (consistency) : و يُعبر عن سهولة جريان الخرسانة.**
- **التماسك (الترابط) (cohesiveness) : يجب ان تحقق الخرسانة الطرية 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 للخلطة الخرسانية يرتبط بأمرين:

- **نوع المنشأ**
- **طريقة الصب و الرص و الانهاء للخلطة الخرسانية.**

اختبارات قابلية تشغيل الخرسانة:

تُعتبر الطبيعة المزدوجة لقابلية التشغيل سببا رئيسيا لعدم وجود طريقة واحدة فقط لاختباراتها في الحالة الطرية. 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 السفلى 20Cm و قطر قاعدته العليا10Cm .

يُجرى الاختبار وفقا للخطوات التالية:

١.يُنظف المخروط بقطعة قماش رطبة ثم يُوضع على طاولة مستوية و يُملأ بالخرسانة الطرية على ثلاث طبقات حيث تُرص كل طبقة 25 ضربة باستخدام قضيب الرص (قطر قضيب الرص 1.6Cm و طوله 60Cm).

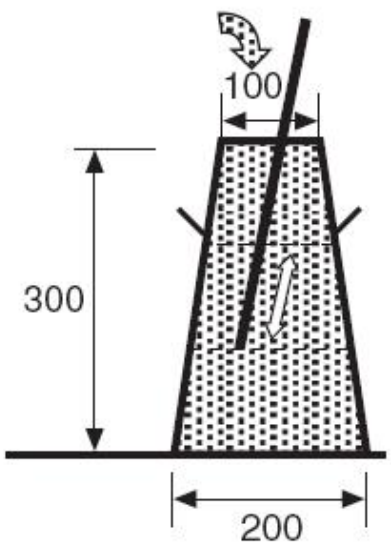
٢.بعد الملء نقوم بتسوية سطح المخروط، ثم يُرفع دفعة واحدة شاقولياً.

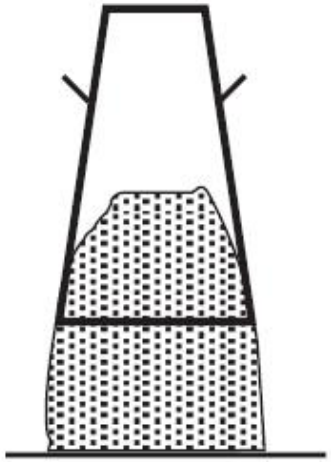
٣.يقاس مقدار الهبوط للخرسانة من ارتفاعها الأصلي كما في الشكل المرفق وتقارن القيمة الناتجة مع قيم المواصفات لتحديد قوام الخرسانة الطرية.

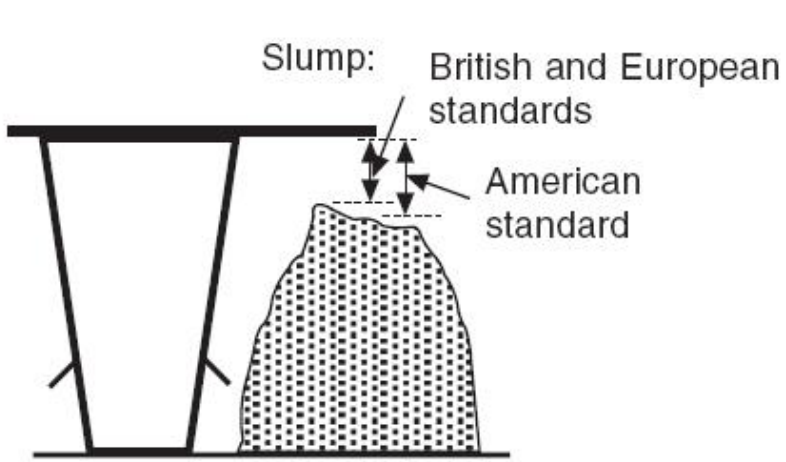
٤.يُقاس الهبوط مقربا الى اقرب 5mm .

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

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







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

Types of slump

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

اختبار Vebe test :

يُعتبر هذا الاختبار مناسب جدا للخلطات الخرسانية الطرية ذات قابلية التشغيل المنخفضة و المنخفضة جداً، حيث نقوم بقياس الزمن الذي تحتاجه الخرسانة الطرية لكي تتحول من الشكل المخروطي الى أسطوانة افقية السطح تحت تأثير الاهتزاز باستخدام الجهاز المبين جانباً.

يتألف جهاز الاختبار من قالب اسطواني معدني قطره الداخلي 240±5mm و ارتفاعه 200mm ، و طاولة رج (اهتزاز) و قمع و قرص زجاجي قطره 230mm و سماكته 10mm و مخروط ناقص (جذع مخروط) له نفس ابعاد مخروط ابرامز.

يُجرى الاختبار وفقا للخطوات التالية:

١.يوضع المخروط ضمن القالب الاسطواني بحيث يتطابق مركز المخروط مع مركز الأسطوانة.

٢. نستخدم القمع لملء المخروط بالخرسانة الطرية 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 مقربا لأقرب ثانية.

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

اختبار عامل الرصcompacting factor :

يُستخدم هدا 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 يتألف 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 اعلى الأسطوانة هي 200mm . يوجد بوابة في اسفل كل مخروط، يتم غلقها و فتها يدويا.

يُجرى الاختبار وفقا للخطوات التالية:

١.تُوضع الخلطة الطرية ضمن المخروط العلوي (البوابة مغلقة) دون اية عملية رص.

٢.تُفتح البوابة الموجودة في أسفل المخروط العلوي، بحيث يُسمح بهبوط الخرسانة تحت تأثير وزنها الذاتي الى المخروط الثاني.

٣.نكرر العملية نفسها للمخروط السفلي فتمر الخرسانة الى الاسطوانة

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 يعُين وزن الخرسانة المرصوصة كليا. معال الرص يُعطى من العلاقة:

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

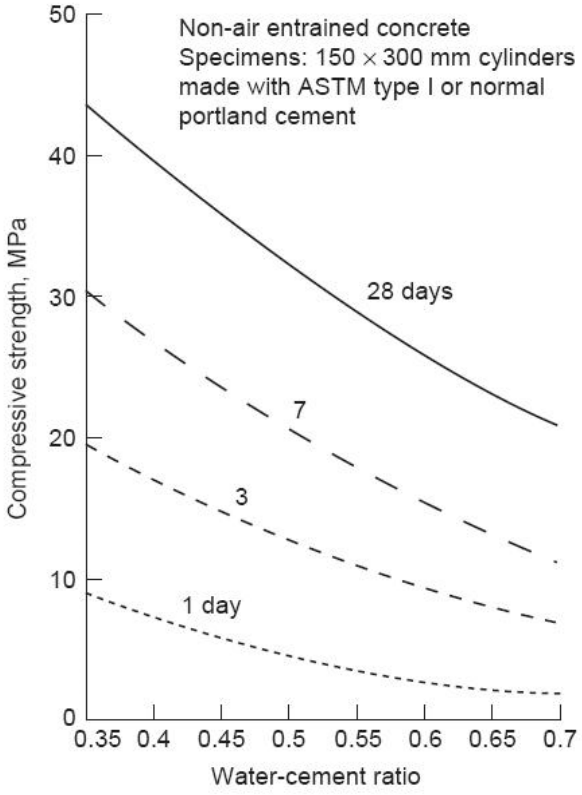
تتراوح قيم معامل الرص بين 0.95- 0.78 .

العوامل المؤثرة على قابلية تشغيل الخرسانة الطرية:

تتأثر قابلية التشغيل بالعوامل التالية:

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

٢- ٣ المقاومة على الضغط للخرسانةCompressive strength of concrete:



تُعتبر 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 للإسمنت البورتلندي، نسبة الفراغات ضمن الخرسانة، كمية الاسمنت، الحصويات، الإضافات، شروط الانضاج، معايير الاختبار.

٢- ٤ ديمومة الخرسانةDurability of concrete:

تُعرف ديمومة الخرسانة بقدرتها على البقاء في الخدمة في مواجهة التأثير التخريبي للعوامل الجوية، و العوامل الكيميائية، و الحت وغيرها، خلال الفترة التصميمة 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 الركامي (الكلي) 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 الطرية استخدام مخروط ابرامز ، W/C ، القطر الأعظمي للحصويات)**

٤- خطوات تصميم الخلطة:

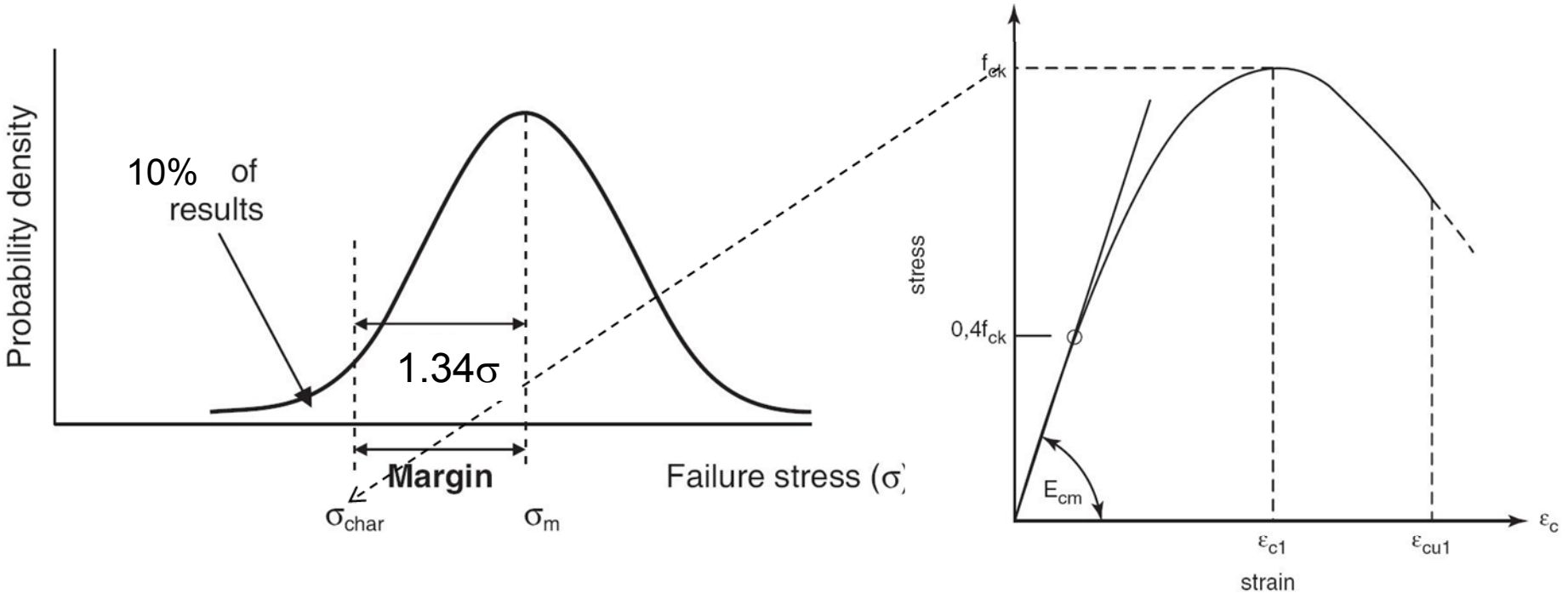
- المقاومة الاسطوانية المتوسطة Average compressive strength
- نسبة W/C
- الحصويات الخشنة (البحص) (القطر الأعظمي، الكمية) Coarse aggregate (maximum size and quantity)
- نسبة الهواء المدخل او المحجوز ضمن الخلطة (entrained air or entrapped air)
- قابلية التشغيل Workability
- كمية الماء Water content
- الاسمنت (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- ١ 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 منحني التوزيع الطبيعي لمجموعة نتائج مقاومات الخلطات.



يبين منحني التوزيع الطبيعي ، أن المقاومة الاسطوانية المتوسطة تزيد عن المقاومة الاسطوانية المميزة ب 1.34σ.

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

يتم حساب الانحراف المعياري من العلاقة التالية:

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

حيث: σ : 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 العلاقتين التاليتين ،حيث يتم اختيار المقاومة الأكبر:

$$f'_{cr} = f_c' + 1.34\sigma$$

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

١. **يتم استخدام هاتين المعادلتين عندما يكون عدد التجارب أكبر من 30 تجربة أو عندما تتوافر معطيات إحصائية كافية**

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

جدول ١

Number of Tests	Modification Factor *F*
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 or more	1.00

بعد تصحيح قيمة الانحراف المعيار ، نقوم بالعودة للمعادلتين الأساسيتين 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 31MPa ، يُطلب 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 σ=3.6MPa لأجل عدد من التجارب يعادل17 تجربة.

٣.مجبل قديم في انتاج الخلطات الخرسانية و يوجد معلومات إحصائية لعدد من التجارب يزيد عن 30 تجربة ، الانحراف المعياري σ=2.4MPa

٤.مجبل قديم في انتاج الخلطات الخرسانية و يوجد معلومات إحصائية لعدد من التجارب يزيد عن 30 تجربة ، الانحراف المعياري σ=3.8MPa .

٤- ٢ نسبة الماء الى الاسمنت W/C:

تُحسب 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 الجدولين 5 , 4 حيث تؤخذ القيمة الأصغر.

جدول ٣ Typical Relationship Between Water–Cement Ratio and Compressive Strength of Concrete*

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 (¾ 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 (SO_4) in soil, percent by mass*	Sulfate (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 to10,000	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 الركامي (الكتلي) لها.

٤- ٣-١ متطلبات القطر الأعظمي للبحص

يجب ان يحقق القطر الأعظمي الاشتراطات التالية:

١.القطر الأعظمي للبحص ≥ 1/5 البعد الأصغر بين جوانب القالب.

٢.القطر الأعظمي للبحص ≥ ¾ المسافة الصافية بين قضبان التسليح.

٣.القطر الأعظمي للبحص ≥ ¾ المسافة الصافية بين قضبان التسليح و سطح القالب (طبقة التغطية).

٤.القطر الأعظمي للبحص ≥ 1/3 سماكة البلاطة (البلاطات غير المسلحة، الأرضيات).

٤- ٣-٢ الحجم الركامي (الكلي) للبحص Bulk volume of CA

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

ملاحظات:

- **يمكن زيادة حجم البحص بمقدار 10% عندما نريد الحصول على قابلية تشغيل أقل (انشاء الطرق).**
- **يمكن انقاص 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 (⅜)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (½)	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (¾)	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1½)	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 وفقا 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**
	Non-air-entrained concrete							
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
	Air-entrained concrete							
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:†								
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- ٤-١ حالات التعرض لخطر التجمد و الذوبان

١. حال التعرض اللطيف (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 المعتدل (المتوسط) 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، الاعمدة، الجوائز التي ليست على اتصال مباشر مع الترب الرطبة و لا تتلقى بشكل مباشر املاح الاذابة.

٣. حال التعرض الشديد severe exposure : في هذه الحالة تكون الخرسانة مشبعة نتيجة تماسها المباشر مع الترب الرطبة او مع الماء قبل حدوث التجمد. كما تتعرض الخرسانة لأملاح الاذابة 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):

- يُعتبر مقدار الهبوط بمخروط ابرامز معيارا لقياس قوام الخلطة الخرسانية الطرية.
- تُحدد قيم الهبوط من الجدول رقم ٨ وفقا لنوع العنصر الانشائي.
- عندما نريد ضبط معايير الخلطة ، فانه يمكن زيادة مقدار الهبوط بمقدار 10mm عن طريق إضافة 2kg من الماء لكل $1m^3$ 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 (بحص) 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 تخفض كمية الماء بمقدار **21Kg** عندما تكون الحصويات الخشنة طبيعية ملساء مع القليل من الحصويات المكسرة، و تخفض كمية الماء بمقدار **27kg** عندما تكون الحصويات الخشنة طبيعة ملساء و مدورة تماماً.

ملاحظات :

- ان زيادة ابعاد الحصويات و زيادة نسية الفراغات الهوائية، و انخفاض النسبة **W/C** و انخفاض مقدار الهبوط، و استخدام حصويات خشنة مدورة 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 مايلي:

١. في حالة التعرض الشديد لدورات التجمد و املاح الاذابة فان كمية الاسمنت يجب ان لا تقل عن $334kg/m^3$ أي $C\geq334kg/m^3$ و النسبة **W/C** يجب ان لا تتجاوز القيم العظمى المحددة في الجدولين ٤ و ٥ .

٢. في حالة صب الخرسانة تحت الماء: فان $C\geq385kg/m^3$ ، $W/C\leq0.45$.

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/m³ (lb/yd³)*
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):

تُعطى الإضافات كنسبة مئوية من كمية الاسمنت و بالتالي فانه يمكن حساب كميتها وفقا للنسبة المعطاة .

الإضافات الاسمنتية مثل (الرماد المتطاير، هباب السيليس...) و الإضافات البيتونية مثل (مولدات الفقاعات الهوائية، الملدنات، 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 نقس قانون الحجم المطلق:

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

في نهاية هذه المرحلة نكون 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 2.85-2.95 – هباب السيليس 2.25**

كثافة الماء فى الدرجة4°c+ تعادل $1000Kg/m^3$.

٤- ١٠ تصحيحات الرطوبة:

نصحح أوزان البحص و الرمل بالاعتماد على نسبة رطوبة كل منها ، كما نصحح 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 وفقا ل 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 الاذابة ، المقاومة الاسطوانية المميزة تساوي 24.1MPa ، الاشتراطات البعدية: البعد الاصغري بين جوانب القالب يساوي 0.3m ، المسافة الصافية الدنيا بين قضبان التسليح تساوي 64mm ، و سماكة طبقة التغطية الدنيا تساوي 64mm . الانحراف المعياري للمقاومة على الضغط يساوي 2.4MPa ، العدد الكلي للتجارب يزيد عن ثلاثون تجربة.

المواد المتوفرة: الاسمنت من النوع V ، تُستخدم مولدات الفقاعات الهوائية وفقا لمايلي 6.3ml/1%/100Kg of cement ،

البحص: القطر الأعظمي للحصويات 37.5mm ، القطر الاعظمي الاسمي للحصويات 25mm ، البحص نهري مدور، الوزن النوعي الجاف (الكلي) الجاف يساوي 2.621 ، الامتصاص 0.4% ، الرطوبة 1.5% ، الوزن الحجمي الجاف المرصوص يساوي $1681Kg/m^3$.

الرمل: رمل طبيعي، الوزن النوعي الجاف (الكلي) يساوي 2.572 ، الامتصاص 0.8% ، الرطوبة 4% ، معامل النعومة 2.6

مثال ٢ :

يُطلب تصميم خلطة خرسانية وفقا ل 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 24MPa ، لا تتوافر معطيات إحصائية سابقة، يجب ان يتراوح هبوط مخروط ابرامز بين (50-100) ، و القطر الأعظمي للحصويات يجب أن لا يزيد عن 30mm .

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 الكتلية (الركامية) (الكلية) الجافة المرصوصة للخليط تعادل $1650Kg/m^3$.

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

خواص البحص من النوع الثاني: القطر الأعظمي الاسمي 10mm ، الوزن النوعي الركامي الجاف 2.65 ، التشرب (الامتصاص) 0.8% ، العينة المخبرية المستخدمة في العينات التجريبية رطوبتها 0.5%

الرمل: رمل طبيعي، الوزن النوعي الركامي (الكتلي) (الكلي) يساوي 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 (0-25)mm وتُصنف الى ثلاثة انواع كما في الجدول التالي:

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

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

عند تصميم هذ 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)**

التوصيف	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 هبوطها اقل من 25mm وفي حالة الخرسانة السائلة

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

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

ملاحظة: في الجدول السابقين تظهر في السطر الأخير منهما 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 (510-620)mm أو عامل رصها يتراوح بين (0.96-0.98) .

يتم تصميم خلطة الخرسانة السائلة كخلطة عادية ذات هبوط يعادل 75mm و من ثم تتم إضافة الملدنات 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 الخرسانة السائلة ، لذلك نقوم بزيادة نسبتها بمقدار 5% و بنفس المقدار نقوم بتخفيض الحصويات الخشنة.

مثال ٣:

تم تصميم خلطة خرسانية بطريقة الحجوم المطلقة وفقا ل ACI 211.1 ، لتؤمن المعطيات التالية: مقاومة مميزة بالضغط على عمر 28 يوما تعادل31MPa ، هبوط مخروط ابرامز75mm ، نسبة الفراغات الهوائية (القيمة التصميمية) 7% ، فكانت كميات المواد اللازمة لإنتاج خلطة حجمها يعادل $1m^3$ كما يلي:

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

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

٦- اختبارات الخرسانة الطرية

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

تُجرى على الخرسانة الطرية الاختبارات التالية:

٦- ١ اختبارات قابلية التشغيل

تشمل هذه الاختبارات هبوط المخروط، عامل الرص، و Vebe test و قد شرح هذه الاختبارات مسبقا

٦- ٢ اختبار تحديد كثافة الخرسانة الطرية

يُجرى هذا الاختبار عن طريق ملء أسطوانة معدنية معروفة الحجم و معروف وزنها فارغة، بالخرسانة الطرية و من ثم وزنها وهي مملوءة بالخرسانة، فتكون كثافتها هي :

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

حيث:

m1 : وزن الأسطوانة مملوءة بالخرسانة الطرية kg .

m2 : وزن الأسطوانة فارغة kg .

V : حجم الأسطوانة m^3 .

D : كثافة الخرسانة الطرية kg/m^3

٦- ٣ اختبار تحديد نسبة الهواء ضمن الخرسانة الطرية

يوجد ثلاثة طرق لتحديد نسبة الهواء ضمن الخرسانة الطرية وهي:

١.عن طريق الكثافة الطرية.

٢.الطريقة الحجمية

٣.عن طريق الضغط

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

حيث:

m1 : وزن الأسطوانة مملوءة بالخرسانة الطرية kg .

m2 : وزن الأسطوانة فارغة kg .

V : حجم الأسطوانة m^3 .

D : كثافة الخرسانة الطرية kg/m^3

٧ ضبط الجودة للخرسانة الطرية:

يهدف هذا الاختبار لتحديد المكونات الفعلية الموجودة ضمن الخرسانة الطرية.