CONCRETE TECHNOLOGY
تكنلوجيا الخرسانة 2

المرحلة الثالثة

Asst. Lec. Nora AL-Anssari

Lecture 4

Concrete Mix Design

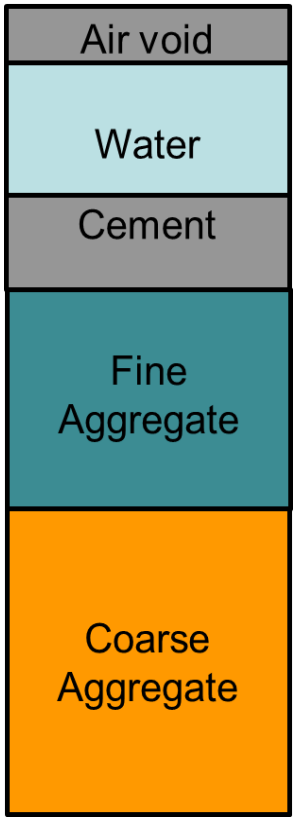
• Concrete Mix Design

➢ Methods of concrete mix design

There are many methods for designed concrete mixes :-

1) **American Method**:- that is designed according (ACI 211.1 – 91)

2) **British Method**



تصميم الخلطات الخرسانية يعني تحديد القيم النسبية Proportioning لمكوناتها بما يتفق مع المتطلبات المرغوبة لعمل معين.

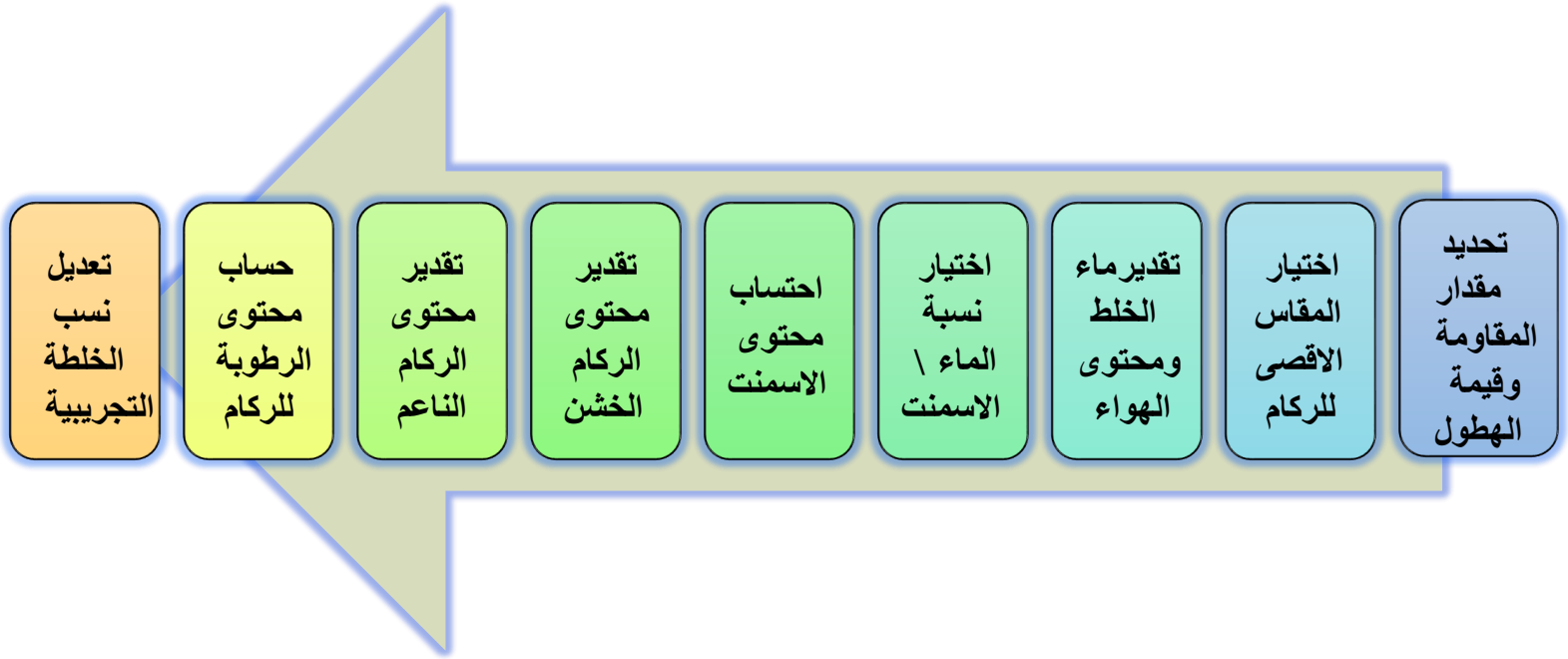
هذه الطرق الحسابية تهدف الى استخدام المواد الموجودة لنحصل منها على خرسانة ذات خواص مطلوبة في الحالتين الطرية والمتصلبة وذلك بأقل التكاليف ويمكن اعتبار ان مقاومة انضغاط الخرسانة تبين مدى جودة الخرسانة المتصلدة كما تعبر قيمة الهطول Slump عن مدى جودة الخرسانة الطرية.

يتم تحديد الخلطة الخرسانية حسب نسب مكوناتها من المواد الحبيبية وهي: الاسمنت -والركام الناعم الرمل- والركام الخشن الحصى

1) American Method

تتكون طريقة **ACI 211.1-91** من تسع خطوات منطقية و مباشرة تأخذ في نظر الاعتبار خصائص المواد التي سيتم استخدامها لإنتاج خرسانة ذات قابلية تشغيل مثالية وديمومة عالية.

❖ **خطوات تصميم الخلطة الخرسانية:**



Step one:- Target strength تحديد المقاومة

- في حالة توفر معلومات سابقة لمعرفة وتقدير الانحراف المعياري S

$fm \text{ or } f_{cr'} = f_{c'} + 1.34_{*} (S)$ $\quad fm \text{ or } f_{cr'} = f_{c'} + 2.33_{*} (S) - 3.5$ ونأخذ القيمة الأكبر

- اما عند عدم توفر معلومات سابقة يتم احتساب معدل المقاومة المطلوبة, المقاومة المستهدفة من جدول رقم 1

جدول 1: الزيادة المطلوبة في المقاومة لمقاومة الانضغاط المحددة

Minimum required average strength	
$f'_{cr} = f_{c'} + 6.9$ Mpa	When $f_{c'} < 21$
$f'_{cr} = f_{c'} + 8.3$ Mpa	When $35 \geq f_{c'} \geq 21$
$f'_{cr} = 1.1 f_{c'} + 4.8$ Mpa	When $f_{c'} > 35$

Step two:- Choose slump اختيار مقدار الهطول

- يتم تحديد قيمة الحد الأدنى والحد الأقصى للهطول وحسب متطلبات البناء. ويعد ذلك ضروريًا لتجنب الانعزال الحبيبيsegregation
- في حالة عدم تحديد مقدار الهطول في التصميم الانشائي يتم اختيار الهطول المناسب للعمل الجدول رقم2 والقيم المثبتة بالجدول على اساس استعمال الهزاز في عملية الرص وفي حالة استخدام اساليب اخرى لرص الخرسانة فمن الممكن زيادة القيم المبينة بمقدار 2 سم.

جدول 2: قيم الهطول المناسبة لأنواع مختلفة من المنشآت

نوع المنشأ	الهطول cm	
	الحد الأدنى	الحد الأعلى
الأسس المسلحة للجدران والأعمدة	2	8
الأسس الغير المسلحة وجدران الهياكل الثانوية	2	8
العتبات والجدران المسلحة	2	10
الأعمدة	2	10
بلاطات وأرصفة الطرق	2	8
خرسانة كتلية	2	8

Step three:- Maximum nominal coarse aggregate size

اختيار المقاس الاقصى للركام

الأسس المعتمدة في اختيار المقاس الأقصى للركام هي باستعمال اكبر مقاس للركام المتوفر بصورة اقتصادية وان يناسب المقاس أبعاد المنشأ الخرساني.

ان أبعاد القوالب أو المسافات بين حديد التسليح في القالب تحدد اختيار الحد الأقصى للركام المستخدم

تنص المواصفة على أن ألا يتجاوز المقاس الأقصى للركام:

- خُمس البعد الأضيق بين جانبي القالب،
- ثلث عمق البلاط Slab
- ¾ اصغر مسافة بين قضبان حديد التسليح المنفردة أو المجمعة

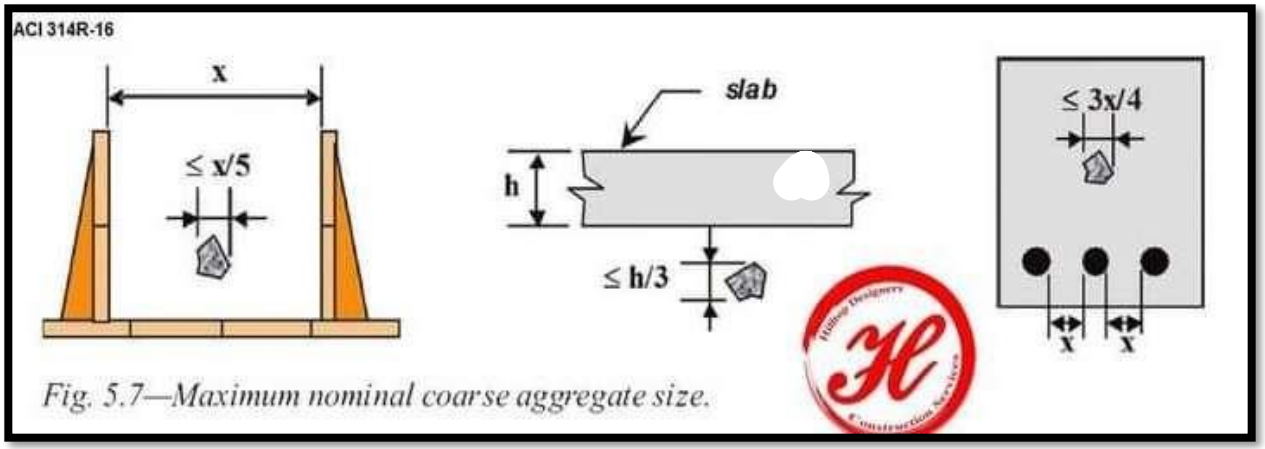


Fig. 5.7—Maximum nominal coarse aggregate size.

Step four:- Mixing water and air content

تقدير كمية ماء الخلط ومحتوى الهواء

- يتم تقدير كمية ماء الخلط المطلوبة وكذلك محتوى الهواء المحصور من خلال قيم المقاس الاقصى للركام ومقدار الهطول حسب الجدول رقم 3:

جدول 3: المتطلبات التقريبية لماء الخلط ومحتوى الهواء لمختلف قابلية التشغيل والمقاسات القصوى للركام

الهطول سم	كمية الماء كغم \م^3 من الخرسانة للمقاسات القصوى للركام مم							
	10	12.5	20	25	40	50	70	150
الخرسانة الاعتيادية								
5-3	206	200	185	180	160	155	145	125
10-8	225	215	200	195	175	170	160	140
18-15	240	230	210	205	185	180	170	---
القيم التقريبية للهواء المحصور في الخرسانة الاعتيادية كنسبة مئوية %	3	2.5	2	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Step five:- Choose water \cement ratio

اختيار نسبة الماء \ الاسمنت

- يتم تقدير نسبة الماء \ الاسمنت من معرفة قيمة مقاومة الانضغاط بعمر 28 يوم لأنواع الخرسانة) الخرسانة الاعتيادية حسب الجدول رقم 4:

جدول 4: العلاقة بين w/c ratio و مقاومة الانضغاط للخرسانة

مقاومة الانضغاط بعمر 28 نيوتن/مم^2	نسبة الماء/الاسمنت	
	الخرسانة الاعتيادية	الخرسانة الحاوية على هواء مقصود
45	0.38	--
40	0.43	--
35	0.48	0.40
30	0.55	0.46
25	0.62	0.53
20	0.70	0.61
15	0.80	0.70

Step six:- Cement content

احتساب محتوى الاسمنت

- يمكن احتساب كمية الاسمنت المطلوبة لوحدة الحجم من الخرسانة من الخطوات رقم 1, 2 وحسب العلاقة التالية: -

$$\text{كمية الاسمنت} = \frac{\text{كمية ماء الخلط المقدرة}}{\text{نسبة الماء \ الاسمنت}}$$

Step seven:- coarse aggregate content

تقدير محتوى الركام الخشن

- يتم تقدير حجم الركام الخشن بالنسبة لوحدة الحجم من الخرسانة. وللحصول على الوزن الجاف للركام الخشن نضرب القيمة المستخرجة من الجدول رقم 5 في وحدة الوزن للركام:-

وزن الركام الخشن الجاف = القيمة المستحصلة من جدول رقم * الكثافة الجافة المرصوصة للركام الخشن

جدول 5: حجم الركام الخشن لكل وحدة حجم من الخرسانة

حجم الركام الخشن الجاف والمرصوص بالدك اليدوي لكل وحدة حجم من الخرسانة ولمقادير مختلفة من معامل النعومة للرمل.				المقاس الاقصى للركام مم
3.0	**2.8**	**2.6**	**2.4**	
0.44	0.46	0.48	0.50	**10**
0.53	0.55	0.57	0.59	**12.5**
0.60	0.62	0.64	0.66	**20**
0.65	0.67	0.69	0.71	**25**
0.70	0.72	0.74	0.76	**40**
0.72	0.74	0.76	0.78	**50**
0.75	0.77	0.79	0.81	**70**
0.81	0.83	0.85	0.87	**150**

Step eight:- Fine aggregate تقدير محتوى الركام الناعم

يوجد طريقتين لتقدير محتوى الركام الناعم

طريقة الوزن ;Weight method

- اذا كان وزن الخرسانة "معلوم كثافتها" فأن الوزن المطلوب من الركام الناعم يمثل الفرق بين وزن الخرسانة والوزن الكلي لبقية مكونات الخرسانة ;الحصى والاسمنت والماء. اما اذا كان وزن الخرسانة غير معلوم فيمكن تقديرها من جدول رقم 6:

جدول رقم 6 التقدير الاولي لوزن الخرسانة الطرية

ت	المقاس الاقصى للركام مم	التقدير الاولي لوزن الخرسانة كغم/م ^{3}	
		الخرسانة الاعتيادية	الخرسانة الحاوية على الهواء المقصود
1	10	2285	2190
2	12.5	2315	2235
3	20	2355	2280
4	25	2375	2315
5	40	2420	2355
6	50	2445	2375
7	70	2465	2400
8	150	2506	2435

طريقة الحجم المطلق;Absolute volume method

•هذه الطريقة اكثر دقة من طريقة الوزن وتستند على الحجوم المزاحة من قبل مكونات الخرسانة (الماء , الهواء , الاسمنت , الركام الخشن) حيث تطرح هذه الحجوم للخرسانة من وحدة الحجم للخرسانة للحصول على الحجم المطلوب من الركام الناعم حيث ان الحجم المشغول في الخرسانة لأي من مكوناتها يساوي وزن المادة مقسوما" على كثافتها.

$$Absolute\ Volume = \frac{Cement\ weight}{Cement\ SG} + \frac{Sand\ weight}{Sand\ SG} + \frac{Gravel\ weight}{Gravel\ SG} + \frac{Water\ weight}{Water\ SG} = 1000\ Liters$$

$$Sand\ volume = 1 - \left[\frac{Cement\ weight}{Cement\ SG} + \frac{Gravel\ weight}{Gravel\ SG} + \frac{Water\ weight}{Water\ SG} + Air\ volume\right]$$

✓ علماً بأن واحد متر مكعب من الخرسانة = 1000لتر

Step nine:- Moisture content of aggregate

حساب محتوى الرطوبة للركام

- اذا كان الركام المستعمل للخلطة رطباً فيجب زيادة وزنه بنفس نسبة محتوى الماء فيه اي مجموع نسب الماء الممتص والملتصق وتقليل ماء الخلط المضاف للخلطة بنفس تلك النسبة في حالة الركام اي محتوى الرطوبة الكلي ناقصاً الماء الممتص.
- وقد بينت الفحوصات المختبرية بان محتوى الرطوبة الكلي للركام الخشن والناعم تساوي 2% و 6% على التوالي ، لذلك سيصبح:

وزن الركام الخشن المعدل = 1.02 x وزن الركام الخشن التجريبي المستخرج
وزن الركام الناعم المعدل = 1.06 x وزن الركام الناعم التجريبي المستخرج

- اما بالنسبة للماء فان الماء الممتص لا يؤثر على كمية ماء الخلط ولهذا يستثنى في التعديلات وتعدل كمية الماء الملتصق بسطح الركام الخشن والناعم والذي يشارك مع ماء الخلطة ولهذا يجب ان تطرح هذه الاوزان من وزن ماء الخلطة وكالاتي:

للركام الخشن = (0.02 – نسبة الامتصاص) x وزن الركام الخشن التجريبي المستخرج
للركام الناعم = (0.06 – نسبة الامتصاص) x وزن الركام الناعم التجريبي المستخرج

Step ten:- تعديل نسب الخلطة الخرسانية في الدفعة التجريبية

- تعتمد الطريقة الامريكية على اعداد دفعة Batchتجريبية في المختبر قبل اعداد الخلطة الرئيسية وذلك لتعديلها لتكون خالية من الانفصال الحبيبي ولإعطاء الخلطة الخرسانية الهطول المرغوب وقابلية التشغيل والمقاومة المطلوبة.
- يجب الحفاظ على النسب المثالية لجميع المكونات لتحسين الخلطة الخرسانية والحفاظ على قوة الخرسانة وقابليتها للتشغيل.
- بهذه الطريقة، يمكن الحفاظ على أقل تكلفة لإنتاج الخرسانة وكذلك الحصول على أعلى قوة للخليط.
- يسمح إجراء خلط الخرسانة التجريبي لمحترفي البناء بفحص القوة وقابلية التشغيل وخصائص أخرى مرغوبة للخلطات الخرسانية.
- تلعب الخلطات التجريبية دورًا مهمًا أثناء استخدام مواد أو مضافات جديدة.

الأوزان المحسوبة لمكونات الخرسانة هي لمتر مكعب واحد من الخرسانة. وإذا أريد إنتاج أحجام أخرى من الخرسانة فيتم احتساب الأوزان من خلال حاصل ضرب أوزان مكونات الخرسانة لمتر مكعب واحد مع الحجوم المطلوب انتاجها من الخرسانة.

Example 1

Designed concrete mix by using the American method for preparing $1m^3$ of concrete, which is required to be designed to meet the following requirements: The specified **compressive strength of concrete 25 N/mm²** with a 28-day age, the type of concrete is normal, the amount of **slump is 50-25mm**, the **maximum size of the aggregate is 19 mm**, The maximum permissible percentage of **water/cement is 0.5**, The compacted **dry density of coarse aggregate is 1800 kg / m³,** the **finesse coefficient for fine aggregate is 3.0**, the condition of the aggregate is completely dry, **the total absorption rate of fine aggregate is 1%** and **the total absorption rate of coarse aggregate is 0.5%.**

Answer:-

1. نحدد المقاومة : بما انه لم تتوفر معلومات عن الانحراف المعياري نستخدم جدول رقم 1 وبما انه $f'_c = 25$ وهي

$35 \geq f'_c \leq 12$ فان قيمة مقاومة الانضغاط المستهدفة $f'cr$ تستخرج من العلاقة

$$f'cr = f_{c'} + 8.3$$

$$f'cr = 33.3Mpa$$

2. اختيار مقدار الهطول:

مقدار الهطول محدد من خلال السؤال = 25-50 ملم

3. المقاس الاقصى:

المقاس الاقصى للركام محدد من خلال السؤال = 19 ملم

4. كمية ماء ومحتوى الهواء:

من جدول رقم 3, كمية ماء الخلط = 185 كغم/م^3,

ومحتوى الهواء = 2%

الهطول سم	كمية الماء كغم \م^3 من الخرسانة للمقاسات القصوى للركام مم							
	10	12.5	20	25	40	50	70	150
	الخرسانة الاعتيادية							
5-3	206	200	185	180	160	155	145	125
10-8	225	215	200	195	175	170	160	140
18-15	240	230	210	205	185	180	170	---
القيم التقريبية للهواء المحصور في الخرسانة الاعتيادية كنسبة مئوية %	3	2.5	2	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

5. اختيار نسبة الماء/الاسمنت:

نسبة الماء\ للأسمنت مذكورة في السؤال 0.5

6. حساب كمية الاسمنت:

نجد كمية الاسمنت بعد معرفة كمية الماء من خطوة رقم 3, ومن المعادلة التالية:

$$\frac{W}{C} = 0.5$$

$$C = \frac{185}{0.5} = 370 \text{ كغم/م}^3$$

7. تقدير محتوى الركام الخشن:

المقاس الاقصى للركام مم	حجم الركام الخشن الجاف والمرصوص بالدك اليدوي لكل وحدة حجم من الخرسانة ولمقادير مختلفة من معامل النعومة للرمل.			
	2.4	2.6	2.8	3.0
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.76	0.74	0.72	0.70
50	0.78	0.76	0.74	0.72
70	0.81	0.79	0.77	0.75
150	0.87	0.85	0.83	0.81

من جدول رقم5, نحدد حجم الركام الخشن وهو= 0.6

وزن الركام الخشن = كثافة الركام الخشن* حجم الركام الخشن

وزن الركام الخشن =0.6 *1800

= 1.080 كغم/م^3

8. تقدير محتوى الركام الناعم:

1.طريقة الوزن

من جدول رقم 6 نحدد كثافة الخرسانة الطرية وهي = 2355 كغم/م ^{3}

وزن الركام الناعم الجاف كليا = وزن الخرسانة- (وزن الركام الخشن الجاف + وزن الماء + وزن الاسمنت)

وزن الركام الناعم = 2355 - (1080+185+370)=kg/m^3

وزن الركام الناعم = 720 kg/m^3

2. باستخدام طريقة الحجم المطلق(وهي الادق والاصح)

حجم الاسمنت $= \frac{370}{3150} = 0.117\ m^3$

حجم الماء $= \frac{185}{1000} = 0.185\ m^3$

حجم الركام الخشن $= \frac{1080}{2650} = 0.4\ m^3$

حجم الرمل $= 1 - (0.117 + 0.185 + 0.4) = 0.298$

وزن الرمل $= 0.298 * 2650 = 789.7$

نسب مكونات الخلطة الخرسانية كغم	
الاسمنت	**370**
الرمل	**789.7**
الحصو	**1080**
الماء	**206.8**

9. تعديلات الأوزان حسب حالة الركام بنوعيه:

بما أن الركام جاف كليا بنوعيه, لذلك لا يحتاج إلى تعديل أوزان, ولكن يجب تعديل وزن الماء بقدر امتصاص الركام بنوعيه للتعويض عن الماء المفقود بالامتصاص.

وزن الماء الممتص من خلال الركام الناعم= وزن الركام الناعم* نسبة امتصاص الركام الناعم

$= 251.5\ (1/100) * = 2.515\ kg/m^3$

وزن الماء الممتص من خلال الركام الخشن =وزن الركام الخشن* نسبة امتصاص الركام الخشن

$= (0.5/100) * 930 = 4.65\ kg/m^3$

إذن وزن الماء الجديد $= 200 + 2.515 + 4.65 = 206.8$ كغم/م ^{3}

2. باستخدام طريقة الحجم المطلق(وهي الادق والاصح)

حجم الاسمنت $= \frac{370}{3150} = 0.117\ m^3$

حجم الماء $= \frac{185}{1000} = 0.185\ m^3$

حجم الركام الخشن $= \frac{1080}{2650} = 0.4\ m^3$

حجم الرمل $= 1 - (0.117 + 0.185 + 0.4) = 0.298$

وزن الرمل $= 0.298 * 2650 = 789.7$

نسب مكونات الخلطة الخرسانية كغم	
الاسمنت	**370**
الرمل	**789.7**
الحصو	**1080**
الماء	**206.8**

9. تعديلات الأوزان حسب حالة الركام بنوعيه:

بما أن الركام جاف كليا بنوعيه, لذلك لا يحتاج إلى تعديل أوزان, ولكن يجب تعديل وزن الماء بقدر امتصاص الركام بنوعيه للتعويض عن الماء المفقود بالامتصاص.

وزن الماء الممتص من خلال الركام الناعم= وزن الركام الناعم* نسبة امتصاص الركام الناعم

$= 251.5\ (1/100) * = 2.515\ kg/m^3$

وزن الماء الممتص من خلال الركام الخشن =وزن الركام الخشن* نسبة امتصاص الركام الخشن

$= (0.5/100) * 930 = 4.65\ kg/m^3$

إذن وزن الماء الجديد $= 200 + 2.515 + 4.65 = 206.8$ كغم/م ^{3}

Example 2

Design a concrete mix to be used in the ceiling to meet the following requirements, Precipitation 80 mm fc′=20Mpa

Density of coarse aggregate = 1600 kg/m3, standard deviation = 3.7 MPa, For fine aggregate = 2.62, the maximum size of aggregate is 25 mm S.g, for coarse aggregate = 2.65 , Fm=3

Example 2

Design a concrete mix for use in an underground concrete structure that is not exposed to harsh conditions and sulfate salts attack, provided that it meets the following requirements:

1. Required compressive strength at 28 days = 25 MPa
2. Relative density of Ordinary Portland cement = 3.15
3. The amount of precipitation =5 -2.5 cm
4. Characteristics of coarse aggregate: the maximum size of the aggregate= 19 mm, the dry weight in manual ramming is 1680 kg/m3, the total relative density= 2.7, the absorption ratio= 0.5%, the moisture content = 3%.
5. Characteristics of fine aggregates: total relative density= 2.65 absorption rate= 1%, fineness modulus (FM)= 2.80, moisture content= 7%.

H.W1:

A concrete mix is designed for use in a concrete structure exposed to harsh conditions (freezing and thawing) provided that it meets the following requirements:

1. Required compressive strength rate at 28 days old = Mpa25
2. The amount of precipitation is 2.5-5 cm
3. Properties of coarse aggregate
4. Characteristics of coarse aggregate (maximum aggregate size = 19 mm, dry weight by hand ramming = 1680 kg/m3, relative density = 2.7, absorption ratio = 1%, moisture content = 3%)
5. Properties of fine aggregates (relative density = 2.65, absorption percentage = 1%, fineness modulus FM = 2.8, moisture content = 7%)

H.W2:

Design a concrete mix according to the American method used in the implementation of a foundation exposed to sulfate attack (sever) so that the compressive strength at the age of 28 days is 23.5 Mpa, the net distance between the steel reinforcement = 100 mm, the sand fineness coefficient is 2.4, the dry density is Kg/m 3 1600 Specific weight of the coarse aggregate and fine 2.6, the moisture content of coarse aggregate is 1% and its absorption is 0.6%, the moisture content of fine aggregate is 1.5% and its absorption is 1%.

ANY QUESTIONS?