



CONCRETE TECHNOLOGY II

50601212



تكنولوجيا الخرسانة ٢

Lecture 10 : Concrete Mix Design Example



Dr. Ahmed A. Ahmed
Al-Mustansiriyah University
College of Engineering - Civil Engineering Department



Learning Outcomes

في هذه المحاضرة سنتعرف على:

□ مثال تصميم خلطة خرسانية حسب الطريقة القياسية الامريكية ACI 211.1-91

طرق تصميم الخلطات الخرسانية

ACI 211.1-91
(Reapproved 2009)

Standard Practice for Selecting
Proportions for Normal,
Heavyweight, and Mass Concrete
An ACI Standard

Reported by ACI Committee 211



American Concrete Institute®

الطريقة الامريكية القياسية ACI 211.1-91

- تصف الطريقة الاميركية القياسية ACI 211.1-91 اختيار نسب خلط الخرسانة التي تحتوي على الأسمنت البورتلاندي بمفرده أو مع مواد أسمنتية أخرى ، كذلك تصف الطريقة الاميركية نسب خلط الخرسانة التي تحتوي على المضافات.
- أن هذه الطريقة توفر تقديرًا تقريبيًا لنسب المواد لاستخدامها في الخلطات التجريبية. تتكون طريقة ACI 211.1-91 من تسعة خطوات منطقية و مباشرة تأخذ في نظر الاعتبار خصائص المواد التي سيتم استخدامها لانتاج خرسانة ذات قابلية تشغيل مثالية وديمومة عالية.



الطريقة القياسية الامريكية ACI 211.1-91

خطوات تصميم الخلطة الخرسانية حسب الطريقة القياسية الامريكية ACI 211.1-91



الطريقة الامريكية القياسية ACI 211.1-91

١- تحديد قيمة الهطول

- يتم تحديد قيمة الحد الأدنى و الحد الأقصى للهطول و حسب متطلبات البناء. و يعد ذلك ضروريًا لتجنب الانعزال الحبيبي **segregation**
- في حالة عدم تحديد مقدار الهطول في التصميم الانشائي يتم اختيار الهطول المناسب للعمل من الجدول ادناه والقيم المثبتة بالجدول على اساس استعمال الهزاز في عملية الرص وفي حالة استخدام اساليب اخرى لرص الخرسانة فمن الممكن زيادة القيم المبينة بمقدار ٢ سم .

الهبوط (سم)	نوع المنشاء
8-2	الاسس المسلحة للجدران والاعمدة
8-2	الاسس غير المسلحة وجدران الهياكل الثانوية
10-2	العتبات والجدران المسلحة
10-2	الاعمدة
8-2	بلاطات وارضفة الطرق
8-2	خرسانة كتلية

الطريقة الأمريكية القياسية ACI 211.1-91

٢- اختيار المقاس الاقصى للركام

- ان استخدام المقاس الاقصى للركام ينتج خرسانة ذات فراغات اقل من استخدام الركام ذو مقاس اقل وبالتالي ، تتطلب الخرسانة ذات الركام الأكبر حجمًا كمية أقل من الملاط لكل وحدة حجم من الخرسانة ، حيث ان الملاط يحتوي على أعلى مكون و هو الاسمنت.
- ان أبعاد القوالب أو المسافات بين حديد التسليح في القالب تحدد اختيار الحد الأقصى للركام المستخدم
- تنص ACI 211.1 على أن ألا يتجاوز الحد الأقصى للركام :
 - ✓ خمس البعد الأضيق بين جوانب القالب ،
 - ✓ ثلث عمق البلاطات المسلحة (Slabs)
 - ✓ $\frac{3}{4}$ من الحد الأدنى للمسافات الواضحة بين حديد التسليح الفردي أو حزم حديد التسليح

الطريقة الأمريكية القياسية ACI 211.1-91

٣- تقدير ماء الخلط ومحتوى الهواء في الخلطة

- يتم تقدير كمية ماء الخلط المطلوبة لأنواع الخرسانة (الخرسانة الاعتيادية والخرسانة الحاوية على هواء مقصود) ومن خلال قيم المقاس الاقصى للركام ومقدار الهطول حسب الجدول التالي:

Water kg /m ³ of concrete (كمية الماء كغم / م ³)								
	max size aggregate							
Slump(mm)	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75	150
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
air cont %	3	2.5	2	1.5	1	.5	.3	.2

الطريقة الامريكية القياسية ACI 211.1-91

٤- اختيار نسبة الماء \ الاسمنت

- يتم تقدير نسبة الماء \ الاسمنت من معرفة قيمة مقاومة الانضغاط بعمر ٢٨ يوم لأنواع الخرسانة (الخرسانة الاعتيادية والخرسانة الحاوية على هواء مقصود) حسب الجدول التالي:

الحد الاعلى لنسب الماء \ السمنت المسموح بها للخرسانة المتعرضة لظروف قاسية		
المنشأ المعرض لمياه البحر ولاملاح الكبريتات	المنشأ مشبع بالرطوبة غالبية او بصورة مستمرة ومعرض لدورات من الانجماد والذوبان	نوع المنشأ
0.50	0.45	مقاطع رقيقة مثل ارصفة الطرق وعتبات الابواب والنوافذ والمقاطع التي قل غطاء الخرسانة فيها عن 3 سم
0.45	0.50	الانواع الاخرى من المنشآت

العلاقة بين نسبة الماء الى الاسمنت ومقاومة الخرسانة	
نسبة الماء الى الاسمنت بالوزن	مقاومة الانضغاط بعمر 28 يوم
0.38	45
0.43	40
0.48	35
0.55	30
0.62	25
0.7	20
0.8	15

الطريقة الأمريكية القياسية ACI 211.1-91

٥- احتساب محتوى الاسمنت

- يمكن احتساب كمية الاسمنت المطلوبة لوحدة الحجم من الخرسانة من الخطوات رقم ١ , ٢ وحسب العلاقة التالية :-:

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

الطريقة الامريكية القياسية ACI 211.1-91

٦- 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 في وحدة الوزن للركام الجاف والمرصوص بالدك اليدوي (كغم/م^٣). ∴

Volume of coarse aggregate per unit of volume				
Nominal max size of aggregate (mm)	Fineness modulus of fine aggregate معامل النعومة للركام الناعم			
	2.4	2.6	2.8	3
9	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.75	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

الطريقة الامريكية القياسية ACI 211.1-91

٧- تقدير محتوى الركام الناعم

يوجد طريقتين لتقدير محتوى الركام الناعم

✓ طريقة الوزن **Weight method** :-

إذا كان وزن الخرسانة "معلوم كثافتها" فإن الوزن المطلوب من الركام الناعم يمثل الفرق بين وزن الخرسانة والوزن الكلي لبقية مكونات الخرسانة (**الحصى** و**الاسمنت** و**الماء**). أما إذا كان وزن الخرسانة غير معلوم فيمكن تقديرها من جدول التالي:

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

الطريقة الامريكية القياسية ACI 211.1-91

٧- تقدير محتوى الركام الناعم

يوجد طريقتين لتقدير محتوى الركام الناعم

✓ طريقة الحجم المطلق Absolute volume method :-

هذه الطريقة اكثر دقة من طريقة الوزن وتستند على الحجوم المزاحة من قبل مكونات الخرسانة (الماء والهواء والاسمنت والركام الخشن) حيث تطرح هذه الحجوم للخرسانة من وحدة الحجم للخرسانة للحصول على الحجم المطلوب للركام الناعم حيث ان الحجم المشغول في الخرسانة لأي من مكوناتها يساوي وزن المادة مقسوماً 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 = ١٠٠٠ لتر



الطريقة الامريكية القياسية ACI 211.1-91

٨- 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 ٢ % و ٦ % على التوالي ، لذلك سيصبح:-

وزن الركام الخشن المعدل = $1.02 \times$ وزن الركام الخشن التجريبي المستخرج
وزن الركام الناعم المعدل = $1.06 \times$ وزن الركام الناعم التجريبي المستخرج

- اما بالنسبة للماء فان الماء الممتص لا يؤثر على كمية ماء الخلط ولهذا يستثنى في التعديلات وتعديل 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 = $(0.02 - \text{نسبة الامتصاص}) \times$ وزن الركام الخشن التجريبي المستخرج
للركام الناعم = $(0.06 - \text{نسبة الامتصاص}) \times$ وزن الركام الناعم التجريبي المستخرج

الطريقة الامريكية القياسية ACI 211.1-91

٩- تعديل نسب الخلطة الخرسانية في الدفعة التجريبية

- تعتمد الطريقة الامريكية على اعداد دفعة **Batch** تجريبية في المختبر قبل اعداد الخلطة الرئيسية وذلك لتعديلها لتكون خالية من الانفصال الحبيبي و لإعطاء 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

تصميم خلطة خرسانية حسب الكود الأمريكي

صمم خلطة خرسانية للاستعمال في منشأ خرساني تحت الارض ولا يتعرض لظروف قاسية و لهجوم املاح الكبريتات على ان تفي بالمتطلبات التالية:

- معدل مقاومة الانضغاط المطلوبة بعمر 28 يوم = 25 MPa
- الكثافة النسبية S.G للأسمنت البورتلاندي الاعتيادي = 3.15
- مقدار الهطول = 2.5 - 5 سم
- خواص الركام الخشن : المقاس الاقصى للركام = 19 مم ، الوزن الجاف بالرص اليدوي = 1680 كغم / م³ ، الكثافة النسبية الكلية = 2.7 ، نسبة الامتصاص = 0.5% ، المحتوى الرطوبي = 3%
- خواص الركام الناعم : الكثافة النسبية الكلية = 2.65 ، نسبة الامتصاص = 1% ، معامل النعومة = 2.8 ، المحتوى الرطوبي = 7%

تصميم خلطة خرسانية حسب الكود الأمريكي

الخطوة الأولى : اختيار المقاومة التصميمية من الجدول التالي

minimum required average strength without sufficient historical	
$f'_{cr} = f'_{c} + 6.9 \text{ MPa}$	when $f'_{c} < 20.7$
$f'_{cr} = f'_{c} + 8.3 \text{ MPa}$	when $34.5 \leq f'_{c} \leq 20.7$
$f'_{cr} = 1.1 f'_{c} + 4.8 \text{ MPa}$	when $f'_{c} > 34.5$

■ بما ان معدل المقاومة المطلوبة هو 25 فان المقاومة التصميمية من الجدول هي:

$$f'_{cr} = 25 + 8.3 = 33.3 \text{ MPa}$$

الخطوة الثانية : اختيار المقاس الاقصى للركام (معطى في السؤال = 19 mm)



تصميم خلطة خرسانية حسب الكود الأمريكي

الخطوة الثالثة: من المقاس الاقصى للركام mm 19 ومقادير الهطول 5-2.5 cm ومن الجدول ادناه نجد محتوى الماء والهواء

Water kg /m ³ of concrete (كمية الماء كغم / م ³)								
	max size aggregate							
Slump(mm)	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75	150
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
air cont %	3	2.5	2	1.5	1	.5	.3	.2

■ محتوى الماء = 190 كغم / م³ ، محتوى الهواء = 2 %

تصميم خلطة خرسانية حسب الكود الأمريكي

الخطوة الرابعة: اختيار نسبة الماء الى السمنت : من مقاومة الانضغاط التصميمية 33.3 Mpa من الخطوة الاولى ومن الجدول التالي نجد نسبة الماء الى السمنت

العلاقة بين نسبة الماء الى الاسمنت ومقاومة الخرسانة	
نسبة الماء الى الاسمنت بالوزن	مقاومة الانضغاط بعمر 28 يوم
0.38	45
0.43	40
0.48	35
0.55	30
0.62	25
0.7	20
0.8	15

$$\frac{X}{35 - 33.3} = \frac{0.55 - 0.48}{35 - 30}$$

$$X = 0.0238$$

$$w/c = 0.48 + 0.0238 = 0.5$$

تصميم خلطة خرسانية حسب الكود الأمريكي

الخطوة الخامسة : ايجاد محتوى الاسمنت في الخلطة

■ وزن السممت = كمية الماء \ نسبة الماء الى السممت = $\frac{190}{0.5} = 380$ كغم

Volume of coarse aggregate per unit of volume				
Nominal max size of aggregate	Fineness modult of fine aggregat (معامل النعومة للرمل)			
	2.4	2.6	2.8	3
9	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.75	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

الخطوة السادسة : تقدير كمية الركام الخشن من المقاس

← الاقصى للركام ومن معامل النعومة والجدول

نجد حجم الركام لكل متر مكعب من الخليط

■ حجم الركام الخشن = 0.62 م^3

■ وزن الركام الخشن = الحجم x الوزن الجاف للركام

$0.62 \times 1680 = 1042 \text{ Kg}$

تصميم خلطة خرسانية حسب الكود الأمريكي

الخطوة السابعة: تقدير محتوى الركام الناعم بطريقة الحجم المطلق

■ حجم الرمل = 1 - حجم مكونات الخليط عدا الرمل

حجم الهواء

حجم الحصى

حجم الماء

حجم الاسمنت

$$\left[0.02 + \left(\frac{1024}{1000 \times 2.7} \right) + \left(\frac{190}{1000} \right) + \left(\frac{380}{1000 \times 3.15} \right) \right] - 1 =$$

$$= 0.283 \text{ م}^3$$

■ وزن الرمل = $1000 \times 2.65 \times 0.283 = 750$ كغم

نسب مكونات الخلطة الخرسانية قبل التعديل (كغم)	
380	الاسمنت
750	الرمل
1042	الحصى
190	الماء

■ بالتالي تصبح المكونات



تصميم خلطة خرسانية حسب الكود الأمريكي

الخطوة الثامنة :

❖ ان محتوى الماء يجب تعديله لوجود محتوى رطوبي في الركام

❖ و يجب تعديل اوزان الركام لانها اوزان جافة وتحويلها الى اوزان رطبة

■ المحتوى الرطوبي في الركام الخشن = 3% ، ونسبة الامتصاص = 0.5%

■ الماء الممتص لا يؤثر على ماء الخليط وانما الماء الملتصق على الركام يؤثر على الخليط

ويحسب عن طريق طرح المحتوى الرطوبي من نسبة الامتصاص = 0.03 - 0.005 = 0.025 =

2.5%

■ المحتوى الرطوبي في الرمل = 7% ، ونسبة الامتصاص = 1%

■ الماء الملتصق على الرمل = 0.07 - 0.01 = 0.06 = 6%



تصميم خلطة خرسانية حسب الكود الأمريكي

- وزن الماء المصحح = وزن ماء الخلطة - وزن الماء الملتصق على الركام الخشن والناعم
$$= 190 - \{ (750 \times 0.06) + (1042 \times 0.025) \} = 119 \text{ كغم}$$
- وزن الركام الخشن المصحح (الرطب) = $1.025 \times 1024 = 1050 \text{ كغم}$
- وزن الركام الناعم المصحح (الرطب) = $1.06 \times 750 = 795 \text{ كغم}$
- وبالتالي تصبح مكونات الخلطة النهائية لمقاومة تصميمية 25 MPa

نسب مكونات الخلطة الخرسانية المعدلة (كغم)	
380	الاسمنت
795	الرمل
1050	الحصو
119	الماء

تصميم خلطة خرسانية حسب الكود الأمريكي

الخطوة التاسعة :

❖ في هذه المرحلة ، يجب فحص فاعلية نسب مكونات الخلطة الخرسانية المعدلة (كغم) عن طريق دفعات تجريبية في المختبر "Trial batches" يتم من خلالها تقليص أوزان مكونات الخلطة لإنتاج 0.1 م³ من الخرسانة تكون كافية لعمل نماذج فحص الانضغاط بعمر 28 يوماً ، بالإضافة لقياس الهطول ومحتوى الهواء والكثافة لإجراء التعديلات المطلوبة :

الدفعة التجريبية في المختبر لإنتاج 0.1 م ³ من الخرسانة		
38	380 x 0.1	الاسمنت
79.5	795 x 0.1	الرمل
105	1050 x 0.1	الحصو
11.9	119 x 0.1	الماء
234.4	المجموع (كغم)	

SO ... DO YOU HAVE ANY
QUESTIONS FOR ME?

