تصميم الخلطة الخرسانية وفق متطلبات الكود الأميركي (ACI 211.1-91)

الخطوة الأولى: اختيار المقاومة التصميمية المصعدة:

اختيار المقاومة التصميمية المصعدة المستعملة في الجداول مثلاً اذا أردنا تصميم خرسانة بمقاومة 30MPa فالقيمة الواجب استعمالها تستخرج من الجدول 4.2 وهي 38.3 في حالتنا. يحدد الجدول 4.2 القيم التصميمية المصعدة بحسب الحالة.

Table 4.2 – minimum required average strength without suffcient historical	
$f`cr = f`c + 6.9\ MPa$	when f `c < 20.7
$f`cr = f`c + 8.3\ MPa$	when 34.5 ≤f `c ≥ 20.7
$f`cr = 1.1\ f`c + 4.8\ MPa$	when f `c > 34.5

الخطوة الثانية: اختيار قيم هبوط المخروط حسب التصميم:

يتم تقدير الهبوط لنوع المنشأة من الجدول 13-8 علماً بأن القيم في الجدول هي على اعتبار استخدام الهزاز (vibrator) أثناء الصب، وفي حال استخدام أساليب أخرى يضاف 2 سم للقيم. يوضح الجدول 13-8 قيم هبوط المخروط من الحد الأدنى إلى الأعلى.

جدول 13-8 قيم الهطول المناسبة لانواع مختلفة من المنشآت	
نوع المنشاء	الهبوط (سم)
الاسس المسلحة للجدران والاعمدة	2-8
الاسس غير المسلحة وجدران الهياكل الثانوية	2-8
العتبات والجدران المسلحة	2-10
الاعمدة	2-10
بلاطات وارصفة الطرق	2-8
خرسانة كتلية	2-8

الخطوة الثالثة: هي اختيار القطر الاعظمي للحصويات:

يتم اختيار القطر الاعظمي للحصويات من الفحص المخبري (تجربة التحليل الحبي) .(على ألا يزيد عن 5/1 اقل بعد بين جانبي القالب أو 3/1 سماكة البلاطة، أو ¾ أصغر فسحة بين قضبان التسليح.

في معظم دفاتر الشروط الفنية المحلية: يجب ألا يزيد البعد الأعظمي للبحص المستخدم في الأجزاء المختلفة من المنشأة عن القيم التالية:

- في البلاطات والعناصر التي يقل بعدها الأدنى عن 20 سم 19 مم
- في جميع العناصر التي يقل بعدها الأدنى عن 40 سم 30 مم
- في الجدران والأساسات والتي تتجاوز سماكتها 40 سم 80 مم

الخطوة الرابعة هي تقدير كمية ماء الخلط (W_w) المطلوب ومحتوى الهواء المو افق:

بعد اختيار الهبوط المناسب لنوع المنشأ وتقدير القطر الاعظمي للحصويات (الركام الخشن) يتم تقدير كمية الماء للخلطة بـ (kg) ومحتوى الهواء كنسبة مئوية من الجدول (A1.5.3.3):

Table A1.5.3.3 Water kg /m^3 of concrete (م^3 / كمية الماء كغم)								
	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

الخطوة الخامسة: اختيار نسبة الماء الى الاسمنت (w/c):

من الجدول 15-8 يتم اختيار نسبة الماء الى الاسمنت (بحسب المقاومة التي وجدناها في أول خطوة يتم تحديد نسبة الماء الى الاسمنت، في حال عدم تواجد قيمة المقاومة بشكل صريح في الجدول 15-8 يمكن عندها تقريبها لأقرب قيمة موجودة).

يجب ألا تتجاوز القيمة المختارة لنسبة الماء إلى الاسمنت (w/c) القيم الحدية المسموحة المحددة بالجدول 16-8

جدول 15 – 8 العلاقة بين نسبة الماء الى الاسمنت ومقاومة الخرسانة	
مقاومة الانضغاط بعمر 28 يوم	نسبة الماء الى الاسمنت بالوزن
45	*0.38*
40	*0.43*
35	*0.48*
30	*0.55*
25	*0.62*
20	*0.7*
15	*0.8*

16-8 الحد الاعلى لنسب الماء\ السمنت المسموح بها للخرسانة المتعرضة لظروف قاسية		
نوع المنشأ	المنشأ مشبع بالرطوبة غالبة او بصورة مستمرة ومعرض لدورات من الانجماد والذوبان	المنشأ المعرض لمياه البحر ولاملاح الكبريتات
مقاطع رقيقة مثل ارصفة الطرق وعتبات الابواب والنوافذ والمقاطع التي قل غطاء الخرسانة فيها عن 3 سم	*0.45*	*0.40*
الانواع الاخرى من المنشآت	*0.50*	*0.45*

مدرس المقرر: د.م مهند سليم مهنا

الخطوة السادسة هي حساب وزن الاسمنت:

وزن الاسمنت = كمية الماء المقدرة من الجدول (الخطوة الرابعة) / نسبة الماء للاسمنت المقدرة في (الخطوة الخامسة)

$$weight\ of\ cement = \frac{W_w}{w/c}$$

الخطوة السابعة هي تقدير كمية الركام الخشن:

من مقاس الركام الاقصى (القطر الاعظمي للحصويات) ومعامل النعومة للرمل يتم تقدير كمية الركام بالحجم لكل مكعب من الخرسانة ومن ثم ضرب القيمة من الجدول بالكثافة الجافة للركام لتقدير وزن الركام الخشن.

Volume of coarse aggregate per unit of volume (A1.5.3.6)				
Nominal max size of aggregate	Fineness modulit 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 الثامنة هي تقدير محتوى الركام الناعم:

بعد أن تم تقدير محتوى كل من الاسمنت والركام الخشن والماء والهواء يتم تقدير محتوى الركام الناعم بعدة طرق نذكر منها:

a) <u>طريقة المتبقي الأولية:</u>

باستخدام الجدول (A1.5.3.7.1) نجد الوزن الكلي لواحدة الحجوم من الخلطة الخرسانية وفقاً للقطر الاعظمي للحصويات المستخدمة

نطرح من الوزن الكلي المحسوب مجموع أوزان مكونات الخلطة المحسوبة في الخطوات السابقة فيكون المتبقي هو وزن الرمل.

مدرس المقرر: د.م مهند سليم مهنا

TABLE A1.5.3.7.1 — FIRST ESTIMATE OF MASS OF FRESH CONCRETE (SI)

Nominal maximum size of aggregate, mm	First estimate of concrete unit mass, kg/m³*	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
9.5	2280	2200
12.5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37.5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

b) طريقة الحجم المطلق :

هذه الطريقة دقيقة ومبسطة حيث نحول الاوزان المحسوبة سابقاً إلى حجوم بقسمة كل وزن على كثافته ونجمع الحجوم ونطرحها من(1) ، عندئذ يمثل الناتج حجم الرمل الذي إذا ضربناه بكثافة الرمل نكون قد حصلنا على وزن الرمل المطلوب بالخلطة.

حجم الرمل = 1- {وزن الماء/كثافته) + (وزن الاسمنت/ كثافته) + (وزن الركام الخشن /كثافته) + (حجم الهواء)}

بعد الحصول على حجم الرمل نضربه بالكثافة فنحصل على وزن الرمل المطلوب وبالتالي أوزان جميع مكونات الخلطة الخرسانية أصبحت معلومة.

الخطوة التاسعة هي تعديل نسب الخلط :

من المعلوم انه محتوى الرطوبة بالركام متغير وهذا يعني ضرورة تعديل كمية الماء في الخلطة كما ان أوزان الركام المحسوبة سابقاً هي الاوزان الجافة لذا يجب تعديلها الى الأوزان الرطبة وسيتم شرح العملية بالتفصيل بالمثال التالي.

مدرس المقرر: د.م مهند سليم مهنا

مثال :صمم خلطة خرسانية للاستعمال في قواعد منشأ خرساني تحت الأرض ولا يتعرض لظروف قاسية ولهجوم أملاح الكبريتات على ان تلبي بالمتطلبات التالية:

معدل مقاومة الانضغاط المطلوبة بعمر 28 يوم= 25MPa

الكثافة النسبية للاسمنت البورتلاندي الاعتيادي = 3.15

مقدار هبوط المخروط المطلوب= 2.5-5cm

خواص الركام الخشن: المقاس الاقصى للركام=19mm، الوزن الحجمي الجاف بالدك اليدوي= $1680kg/m^3$

الكثافة النسبية الكلية=2.7، نسبة الامتصاص =0.5%، محتوى الرطوبة =3%.

خواص الركام الناعم: (الكثافة النسبية الكلية=2.65، نسبة الامتصاص=1%، معامل النعومة (FM)= 2.8، محتوى الرطوبة =7%)

الحل:

الخطوة الأولى:

المقاومة التصميمية المصعدة:

على اعتبار مقاومة الانضغاط المطلوبة $f'_c = 25MPa > 20.7$ يكون بحسب الجدول 2-4:

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

الخطوة الثانية:

اختيار قيم هبوط المخروط حسب التصميم:

على اعتبار المنشأ المراد صبه عبارة عن قواعد واساسات يكون بحسب الجدول 13-8 قيم هبوط المخروط المسموحة تتراوح في المجال بين 2-8cm، وفي حالتنا سنستهدف هبوط مخروط بين (2.5-5cm) وهو يقع ضمن المجال المسموح المذكور سابقاً.

الخطوة الثالثة: هي اختيار القطر الاعظمي للحصويات:

يتم اختيار المقاس الاقصى للركام بحيث يحقق مجموعة من الاشتراطات أهمها ألا يزيد عن:

5/1 أقل بعد بين جانبي القالب (الكوفراج)

3/1 سماكة البلاطة،

¾ أصغر بعد بين قضبان التسليح.

سماكة طبقة التغطية ناقص 5ملم.

عموماً يتم اختيار القطر الاعظمي للحصويات بين (19-40mm) عند تصميم الخلطات البيتونية، ويمكن اعتبار القيمة (3/4inch=19mm) مقبولة في معظم تصاميم الخلطات وهي القيمة التي سنعتمدها في مقررنا كقطر اعظمي للحصويات مالم يذكر خلاف ذلك في نص المسألة.

مدرس المقرر: د.م مهند سليم مهنا

الخطوة الرابعة هي تقدير كمية ماء الخلط (W_w):

من المقاس الأقصى للركام (19mm) ومقدار هبوط المخروط (2.5-5cm) وباستخدام الجدول (A1.5.3.3) نجد أن:

محتوى الماء المطلوب= $190kg/m^3$

محتوى الهواء= 2%

الخطوة الخامسة: اختيار نسبة الماء الى الاسمنت (w/c):

على اعتبار المقاومة التصميمية المصعدة (33.3MPa) الناتجة من الخطوة الأولى نلاحظ باستخدام الجدول 15-8 أن النسبة (w/c) تتراوح بين (0.48-0.55). لذلك نلجأ لاستخدام علاقات التوسيط الداخلي لحساب النسبة (w/c) المعبر عنها بـX :

$$\frac{X-0.48}{(0.55-0.48)}=\frac{(33.3-35)}{(30-35)} \quad \rightarrow \quad X=0.5$$

بالمقارنة مع القيم الحدية المسموحة لنسبة (w/c) الموجودة بالجدول 16-8 وعلى اعتبار الوسط المحيط بالخرسانة لا يتعرض لمياه البحر أو الكبريتات يمكننا بالتالي اعتماد نسبة الماء للاسمنت=0.5

الخطوة السادسة هي حساب وزن الاسمنت:

وزن الاسمنت = كمية الماء المقدرة من الجدول (الخطوة الرابعة) / نسبة الماء للاسمنت المقدرة في (الخطوة الخامسة)

$$weight\ of\ cement=\frac{W_w}{w/c}=\frac{190}{0.5}=380kg$$

الخطوة السابعة هي تقدير كمية الركام الخشن:

باعتبار المقاس الأعظمي للحصويات (الركام الخشن) هو (19mm)

وبالفرض لدينا معامل نعومة الرمل FM=2.8، يكون من الجدول (A1.5.3.6) حجم الركام لكل متر مكعب من الخلطة الخرسانية:

حجم الحصويات (الركام الخشن) = $0.62m^3$

كتلة الحصويات الجافة = حجم الحصويات × الكتلة الحجمية الجافة للحصويات

كتلة الحصويات الجافة = 0.62 × 1680= 1042kg

مدرس المقرر: د.م مهند سليم مهنا

الخطوة الثامنة هي تقدير محتوى الركام الناعم:

طريقة المتبقي الأولية:

باستخدام الجدول (A1.5.3.7.1) وباعتبار القطر الأعظمي للحصويات المستخدمة (19mm) يكون لدينا الوزن الكلي للمتر المكعب من الخلطة مساوياً لـ 2345kg

وزن الرمل = 2345- (وزن مكونات الخلطة الخرسانية عدا الرمل)

وزن الرمل = 2345- (1042+380+190) =733kg

طريقة الحجم المطلق:

حجم الرمل = 1- (حجم مكونات الخلطة الخرسانية عدا الرمل)

حجم الرمل = 1- (حجم الماء+ حجم الاسمنت+ حجم الحصويات+ حجم الهواء)

حجم الرمل = 1- {وزن الماء/كثافته) + (وزن الاسمنت/ كثافته) + (وزن الركام الخشن /كثافته) + (حجم الهواء)}

$$Volume\ of\ sand = 1 - \left\{\left(\frac{190}{1000}\right) + \left(\frac{380}{3.15 \times 1000}\right) + \left(\frac{1042}{2.7 \times 1000}\right) + (0.02)\right\}$$

$$Volume\ of\ sand = 1 - 0.717 = 0.283m^3$$

وزن الرمل = حجم الرمل × الكثافة النسبية للرمل

وزن الرمل = 0.283 × 2.62×1000=749.9kg

وبالتالي يمكن اعتماد مكونات الخلطة التصميمية وفق الاوزان التالية:

المكون	الوزن (kg)	ملاحظات عملية
بحص	1042	الاهتمام بنظافة الحصويات وخلوها نسبياً من المواد الناعمة
رمل	750	لا تزيد المواد الناعمة (غضار+سيلت) عن 3% ومعامل النعومة FMيحقق: 3.1>FM>2.4
اسمنت	380	وزن الشوال الواحد من الاسمنت 50kg لذا يمكن تقريبها إلى 4 شوالات.
ماء	190	الانتباه إلى أن مكونات الخلطة الجافة مثل الرمل والبحص تحتوي على نسبة رطوبة طبيعية أي كمية مياه ولو صغيرة.

يجب تعديل محتوى الماء في الخلطة لوجود رطوبة أولية في الركام الخشن والناعم:

وزن الماء الملتصق على الركام الخشن(الحصويات) = (محتوى الرطوبة-نسبة الامتصاص) × وزن الركام

وزن الماء الملتصق على الحصويات = (0.005-0.03) × 1042=26.05kg

وزن الماء الملتصق على الركام الناعم (الرمل) = (محتوى الرطوبة-نسبة الامتصاص) × وزن الرمل

وزن الماء الملتصق على الرمل = (0.01-0.07) × 750=45kg

وزن الماء المصحح= وزن الماء المحسوب بالخطوة – (وزن الماء الملتصق على الرمل والبحص)

وزن الماء المصحح= 190 – (45+26.05) =119kg

على اعتبار الأوزان المحسوبة سابقاً للرمل والحصويات هي أوزان جافة وعملياً لايمكن في الورشات أن تكون هذه المواد جافة تماماً بسبب تعرضها للرطوبة الجوية لذلك يصحح وزن الرمل والحصويات بضربه بالمعامل (1+w) حيث (w) تمثل رطوبة المادة

وزن الحصويات (رطبة)= 1042×(0.03+1)=1073kg

وزن الرمل (رطب)= 750×(0.06+1)=795kg

وبالتالي تصبح المكونات النهائية اللازمة للحصول على خلطة خرسانية بمقاومة 25MPa كالتالي:

المكون	الوزن (kg)
بحص	1073
رمل	795
اسمنت	380
ماء	119

مدرس المقرر: د.م مهند سليم مهنا