University Of Anbar
College of Engineering
Civil Engineering Department

Properties of Concrete Lab

2nd Stage

مدرس المادة :
م.م. محمد وجيه يونس
م.د. سعدون مشرف عبدالله
م.د. إبراهيم حكيم موسى
م.م. بيداء حمدي صالح

Prepared By:
أ.م. محمد حمود مهنا

تصميم الخلطات الخرسانية

تصميم الخلطات الخرسانية يعنى تحديد القيم النسبية لمكوناتها Proportioning بما يتفق مع المتطلبات المرغوبة لعمل معين. ويكون ذلك بإستخدام نسب ثُبتت فاعليتها من الخبرة وتسمى بالنسبة الوضعية Empirical Proportioning وقد يكون بطرق حسابية مبنية على أساس فنى تتضمن خواص المواد المستخدمة والخواص المطلوبة في الخرسانة المتصلدة (مثل مدى المقاومة للأحمال أو المقاومة للبرى) والإشتراطات التي تتطلبها خطوات صناعة الخرسانة مثل السهولة المناسبة للصب Placing والتسوية النهائية (التشطيب Finishing) لسطح الخرسانة.
وذلك مع مراعاة التكاليف الإقتصادية حسب نوع العمل الإنشائي المطلوب. وهذه الطرق الحسابية تهدف الى إستخدام المواد الموجودة Available Materials لنحصل منها على خرسانة ذات خواص مطلوبة في الحالتين الطازجة والمتصلدة وذلك بأقل التكاليف ويمكن إعتبار أن مقاومة الخرسانة للضغط تبين مدى جودة الخرسانة المتصلدة كما تعبر قيمة الهبوط Slump عن مدى جودة الخرسانة الطازجة.
ويعتبر تحديد نسب الخلطة الخرسانية من أهم العوامل التي تؤثر على جودة الخرسانة وعلى إقتصاديات المشروع. فمن الممكن الحصول على خرسانات متباينة في جودتها وثمنها بالرغم أن جميعها تتكون من نفس المواد. ويعتمد الإقتصاد النسبى للخلطات الخرسانية على أثمان مكوناتها وعلى أجور العمال وتكاليف النقل لتلك المكونات. ويعتبر الأسمنت أحد المكونات الأساسية للخرسانة والذى تؤثر نسبة وجوده في الخلطة تأثيراً كبيراً على تكاليفها نظراً لغلو ثمنه بالنسبة لباقي المكونات.

الاعتبارات الاساسية فى تصميم الخلطات الخرسانية

هنالك نقطتان مهمتان لابد من التأكيد عليهما هما الكلفة وامتلاك الخرسانة الحد الادنى من خواص محددة بمواصفات .

1- الكلفة

وتشمل المواد والمعدات واجور العمال. ويكون الهدف عند تصميم الخلطات هو تقليل كمية الاسمنت لكونه اعلى كلفة من باقي المكونات الاخرى , وهنالك فائدة اخرى غير اقتصادية من تقليل كمية الاسمنت هي :-

*- يؤدي تقليل كمية الاسمنت في الكتل الخرسانية الضخمة كالسدود الى تقليل الحرارة المنبعثة نتيجة عملية الاماهة وبالتالي تقليل التشققات في الخرسانة.
*- يؤدي تقليل كمية الاسمنت الى تقليل الانكماش نتيجة لزيادة كمية الاسمنت كما في الخلطات الغنية بالإسمنت .

عند تقدير كلفة الخرسانة من الضروري الاخذ بنظر الاعتبار التغير (variability) الحاصل في مقاومة الخرسانة بسبب اعتماد الحد الادنى للمقاومة (minimum strength) كمحدد في المواصفات الموضوعة من قبل المصمم الانشائي ومعيار فعلي لقبول الخرسانة, بينما تكون الكلفة الفعلية للخرسانة مرتبطة بالمواد المستعملة لإنتاج معدل مقاومة(mean strength) معين.
ولهذا التفاوت تتوضح اهمية السيطرة النوعية (quality control) فكلما كانت السيطرة النوعية افضل كلما كان الفرق بين الحد الادنى للمقاومة ومعدلها اقل , ان السيطرة النوعية تمثل مصروفا" اضافيا" لكل من عملية الاشراف ومعدات الخلط .
كما وتتأثر كلفة اجور العمل بدرجة كبيرة بقابلية التشغيل , فقابلية التشغيل الغير ملائمة لوسائل الرص المتوفرة تؤدي الى ارتفاع اجور العمل او الى عدم الحصول على خرسانة مرصوصة بصورة كافية وبالتالي زيادة الكلفة.
ويجب الاخذ بنظر الاعتبار الاستفادة من المواد الاولية المتوفرة بالقرب من موقع العمل لتلافي نقلها من مواقع بعيدة وبالتالي زيادة الكلفة.

2- المواصفات Specification

تحدد المواصفات الحدود الدنيا لعدد من الخواص المطلوبة ومنها:-
*- الحد الادنى لمقاومة الانضغاط والذي يكون مهم للاعتبارات الانشائية.
*- الحد الاعلى لنسبة الماء/ الاسمنت (W/C) او الحد الادنى لمحتوى الاسمنت او الحد الادنى لمحتوى الهواء المقصود لإعطاء متانة مقبولة.
*- الحد الاعلى لمحتوى الاسمنت لتلافي الانكماش والحرارة العالية التي تسبب التشقق.
*- الحد الادنى لكثافة المنشآت المتكونة من كتل خرسانية ضخمة.
كل هذه المتطلبات يجب تثبيتها في حسابات تصميم الخلطة وهي التي تحدد نسب الخلط للمادة المستعملة.

تحدد المواصفات الحد الادنى لمقاومة الخرسانة المستعملة لأغراض مختلفة وحسب ما مبين في الجدول ادناه :-

ت	نوع الخرسانة	الحدود الدنيا للمقاومة (نت/مم2)
1	الخرسانة الاعتيادية Plain Concrete	7
2	الخرسانة المسلحة والحاوية على ركام خفيف Reinforced Concrete with lightweight aggregate	15
3	الخرسانة المسلحة والحاوية على ركام اعتيادي Reinforced Concrete with normal aggregate	20
4	الخرسانة ذات الشد اللاحق Post-tensioned Concrete	30
5	الخرسانة مسبقة الشد Pre-tensioned Concrete	40

كيفية بيان نسب مكونات الخرسانة Expressing Proportions

1- تُبَيَن مكونات الخرسانة من المواد الحبيبية Granular Materials وهى الأسمنت والركام الناعم والركام الخشن عادة على هيئة نسب Ratios بالوزن أو بالحجم فمثلا عندما يقال خلطة 1: 2: 4 معناها

أسمنت	رمل	حصو
1	2	4

أي تحتوى على جزء من الأسمنت وجزئيين من الرمل وأربعة أجزاء من الحصو. وتفضل أن تكون تلك النسب بالوزن لعدم إمكان التحديد الدقيق لكمية الأسمنت والركام بالحجم نتيجة تغير الكمية التي يستوعبها حجم معين بتغيير مدى الرص Compaction المستخدم. كما أن الركام الناعم قد يتغير حجمه بتأثير ظاهرة زيادة الحجم Bulking بالرطوبة.

2- وقد تُبَيَن نسب المواد الحبيبية بما يحتويه المتر المكعب للخرسانة الطازجة من الأسمنت والركام الناعم والركام الخشن على أن يُبين الأسمنت بالوزن والركام بالحجم تسهيلاً لتحضير الكميات عند الخلط فمثلا بخلطة .

أسمنت	رمل	حصو
300 كغم (6 كيس أسمنت)	٠,٤ متر مكعب	٠,٨ متر مكعب

ومجموع هذه الكميات يعطى تقريبا" بعد خلطها بالماء حوالي متر مكعب من الخرسانة الطازجة.

3- وُتبَيَن كمية الماء اللازمة للخلطة على هيئة نسبة من الأسمنت بالوزن فمثلا خلطة بها نسبة الماء الى الأسمنت(w/c) = ٠,٥ بالوزن ، فاذا علم وزن الأسمنت في المتر المكعب للخرسانة الطازجة أمكن تعيين وزن الماء اللازم له لإجراء الخلط وبالتالي يمكن تعيين حجم ذلك الماء باللتر. وأحياناً قد تُبَيَن كمية ماء الخلط اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة الطازجة مباشرة فمثلا خلطة:

أسمنت	رمل	حصو	ماء
300 كغم	٠,٤ م^3	٠,٨ م^3	150 لتر

4- وتُبَيَن كمية الإضافات -إن وجدت- على أساس أنها نسبة مئوية من وزن الأسمنت المستخدم بالخلطة فمثلا خلطة:

أسمنت	رمل	حصو	ماء
300 كغم	٠,٤ م^3	٠,٨ م^3	150 لتر

بها ٢ % ملدنات تعنى أن وزن الملدنات المستخدم ٠,٠٢ ×300 = 6 كغم للمتر المكعب من الخرسانة الطازجة.

تصميم الخلطة حسب الطريقة الامريكية

خطوات التصميم

1- اختيار مقدار الهطول.

في حالة عدم تحديد مقدار الهطول في المواصفات يتم اختيار الهطول المناسب للعمل من الجدول رقم (1) 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 .

ت	نوع المنشأ	مقدار الهطول سم	
		الحد الادنى	الحد الاعلى
1	الاسس المسلحة للجدران والاعمدة	2	8
2	الاسس الغير مسلحة وجدران الهياكل الثانوية	2	8
3	العتبات والجدران المسلحة	2	10
4	الاعمدة	2	10
5	بلاطات وارصفة الطرق	2	8
6	خرسانة كتلية	2	8

جدول رقم (1) قيم الهبوط لأنواع مختلفة من المنشآت

ملاحظة:-

في حالة اختلاف مقدار الهطول الفعلي(في موقع العمل) عن الافتراضي فيتم تعديل كمية الماء بمقدار (2-4 kg\m^3) لكل (1cm) في الزيادة او النقصان للهطول.

فمثلا" اذا كان الهطول المطلوب (10 سم) وظهر بعد الخلط (8سم) فيتم زيادة كمية الماء (4 kg / m^3) اما اذا ظهر الهطول بعد الخلط (12سم) فيتم تقليل كمية الماء بمقدار(4 kg / m^3).

2- اختيار المقاس الاقصى للركام

يستعمل اكبر مقاس للركام المتوفر بصورة اقتصادية ويجب ان يناسب المقاس ابعاد المنشأ الخرساني وان لا يزيد المقاس الاقصى عن 1\5 اقل بعد بين جانبي القالب او عن 1\3 عمق البلاط او 3\4 اصغر مسافة بين قضبان حديد التسليح.

3- تقدير كمية ماء الخلط ومحتوى الهواء

من جدول رقم (2) يتم تقدير كمية ماء الخلط المطلوبة لأنواع الخرسانة (الخرسانة الاعتيادية والخرسانة الحاوية على هواء مقصود) من معرفة المقاس الاقصى للركام ومقدار الهطول .

الهطول (مم)	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
الخرسانة الحاوية على الهواء المقصود								
5-3	180	175	165	160	145	140	135	120
10-8	200	190	180	175	160	155	150	135
18-15	215	205	190	185	170	165	160	---
المعدلات المقترحة لمحتوى الهواء الكلي كنسبة مئوية	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

جدول رقم (2) القيم التقريبية لمتطلبات ماء الخلط ومحتوى الهواء لمقادير مختلفة من الهطول والمقاسات القصوى للركام.

4- اختيار نسبة الماء/ الاسمنت

من جدول رقم (3) يتم تقدير نسبة الماء \ الاسمنت من معرفة قيمة مقاومة الانضغاط بعمر 28 يوم لأنواع الخرسانة (الخرسانة الاعتيادية والخرسانة الحاوية على هواء مقصود).

ت	مقاومة الانضغاط بعمر 28(نت/مم^2)	نسبة الماء/الاسمنت	
		الخرسانة الاعتيادية	الخرسانة الحاوية على هواء مقصود
1	45	0.38	--
2	40	0.43	--
3	35	0.48	0,40
4	30	0.55	0.46
5	25	0.62	0.53
6	20	0.70	0.61
7	15	0.80	0.70

جدول رقم (3) العلاقة بين نسبة الماء/ الاسمنت ومقاومة الخرسانة

5- احتساب محتوى الاسمنت

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

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

اما اذا حددت المواصفات الحد الادنى لمحتوى الاسمنت فيجب اخذ القيمة الاكبر من محتوى الاسمنت.

6- تقدير محتوى الركام الخشن

من جدول رقم (4) 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^3).

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

جدول رقم (4) حجم الركام الخشن لكل وحدة حجم من الخرسانة

7- تقدير محتوى الركام الناعم

أ- 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, الاسمنت ,الماء) .

اما اذا كان وزن الخرسانة غير معلوم فيمكن تقديرها من جدول رقم (5) .

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

جدول رقم (5) التقدير الاولي لوزن الخرسانة الطرية

ب- 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.

8- حساب محتوى الرطوبة للركام

اذا كان الركام المستعمل للخلطة رطبا" 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 ناقصا" الماء الممتص).
وقد بينت الفحوصات المختبرية بان محتوى الرطوبة الكلي للركام الخشن والناعم تساوي 2% , 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

مثال :-
المطلوب تصميم خلطة خرسانية للاستعمال في منشأ تحت مستوى الارض ولكن في موقع لا يتعرض لظروف قاسية او لهجوم املاح الكبريتات وان تفي بالمتطلبات التالية :-

1- معدل مقاومة الانضغاط بعمر 28 يوم = 25 نت/ مم^2
2- مقدار الهطول = 8-10 سم
3- الكثافة النسبية للاسمنت البورتلاندي المستعمل = 3.15
4- خواص الركام الخشن:-
المقاس الاقصى = 40 مم
الوزن الجاف بالدك اليدوي = 1600 كغم /م^3
الكثافة الكلية النسبية = 2.68
نسبة الامتصاص = 0.5%
5- خواص الركام الناعم:-
الكثافة النسبية الكلية = 2.64
نسبة الامتصاص = 0.7%

معامل النعومة = 2.8
الحل:-
1- من جدول رقم (2) [ولهطول 8-10 سم ومقاس اقصى للركام الخشن مقداره 40 ولخرسانة اعتيادية] فان كمية الماء اللازمة = 175 كغم \ م^3
2- من جدول رقم (3) ولمقاومة انضغاط مقدارها 25 نت\ مم^2 فان نسبة الماء \ الاسمنت = 0.62
كمية الاسمنت المطلوبة = 175 \ 0.62 = 282 كغم \ م^3
3- من جدول رقم (4) فان كمية الركام المقدرة لمعامل نعومة الرمل مقداره 2.8 ومقاس اقصى للركام الخشن مقداره 40 مم هي 0.72 م^3

لذا فان وزن الركام الخشن والجاف المطلوب = 0.72 X 1600 = 1152 كغم

4- ايجاد وزن الركام الناعم

ا- طريقة الوزن
من جدول رقم (5) ولمقاس ركام خشن مقداره 40 مم فان وزن المتر المكعب للخرسانة الاعتيادية = 2420 كغم\م^3
وبذلك سيكون وزن الركام الناعم هو وزن الخرسانة مطروحا منه وزن المكونات الاخرى (الماء , الاسمنت , الركام الخشن)
وزن الركام الناعم = 2420 – 175 – 282 - 1152 = 811 كغم

ب- طريقة الحجم المطلق
من جدول رقم (2) تقدر نسبة محتوى الهواء المحصور وتساوي 1 %
حجم الماء = الوزن \ الكثافة = 175\1000 = 0.175 م^3
حجم الاسمنت = 282 \1000 x 3.15 = 0.09 م^3
حجم الركام الخشن = 1152\1000 x 2.68 = 0.43 م^3
حجم الهواء المحصور= 0.01 م^3

الحجم الكلي للمكونات عدا الرمل = 0.175 + 0.09 + 0.43 + 0.01 = 0.705 م^3
الحجم المطلوب للرمل = 1.0 – 0.705 = 0.295 م^3
الوزن المطلوب للرمل الجاف = 0.295 x 2.64 x 1000 = 779 كغم

حساب محتوى الرطوبة:-

بالنسبة للركام المعدل
وزن الركام الخشن المعدل = 1.02 x وزن الركام الخشن التجريبي المستخرج
= 1.02 x 1152
= 1175 كغم
وزن الركام الناعم المعدل = 1.06 x وزن الركام الناعم التجريبي المستخرج
= 1.06 x 811 = 860 كغم
بالنسبة للماء المعدل فيحسب كالاتي
للركام الخشن = (0.02 – نسبة الامتصاص) x وزن الركام الخشن التجريبي المستخرج
= 1152 x (0.005– 0.02)
= 17 كغم

للركام الناعم = (0.06 – نسبة الامتصاص) x وزن الركام الخشن التجريبي المستخرج
= 811 x (0.007 – 0.06)
= 43 كغم

اذن وزن الماء المضاف واللازم للخليط = 175 – 17 – 43 = 115 كغم

فتكون الاوزان المطلوبة للمواد لإنتاج متر مكعب من الخرسانة هي:

الماء المضاف	= 115 كغم
الاسمنت	= 282 كغم
الركام الخشن (الرطب)	= 1175 كغم
الركام الناعم (الرطب)	= 860 كغم
المجموع	= 2432 كغم \ $م^3$

المصادر References

1- الخرسانة أ.د. محمود الامام

2- تكنولوجيا الخرسانة د. مؤيد نوري خلف و هناء عبد يوسف

3- الانترنيت.