الخلطة الخرسانية (Concrete Mix)

مقدمة:

تصميم الخلطات الخرسانية يعني تحديد القيم النسبية لمكوناتها بما يتفق مع المتطلبات المرغوبة لصب عنصر خرساني محدد.

ويعتبر تحديد نسب الخلطة الخرسانية من أهم العوامل التي تؤثر على جودة الخرسانة وعلى اقتصاديات المشروع. فمن الممكن الحصول على خرسانات متباينة في جودتها وثمنها بالرغم أن جميعها تتكون من نفس المواد (اسمنت، ركام خشن وناعم، ماء وإضافات محددة). ويعتمد الاقتصاد النسبي للخلطات الخرسانية على أثمان مكوناتها وعلى أجور العمال وتكاليف النقل لتلك المكونات.

يتم تحديد نسب مكونات الخلطة (تصميم الخلطة) إما باستخدام نسب ثبتت فاعليتها من الخبرة أو بواسطة طرق حسابية مبنية على اساس هندسي تتضمن خواص المواد المستخدمة والخواص المرجوة في الخرسانة المتصلدة (مثل مقاومة الضغط أو الكبريتات...) إضافة لتحقيقها الاشتراطات التي تتطلبها خطوات صناعة الخرسانة وصبها مثل السهولة المناسبة للصب (القوام وقابلية التشغيل) والتسوية النهائية (التشطيب) لسطح الخرسانة. وذلك مع مراعات التكاليف الاقتصادية حسب نوع العمل الانشائي المطلوب. باختصار تهدف الطرق الحسابية الى استخدام المواد الموجودة لنحصل منها على خرسانة ذات خواص مطلوبة في الحالتين الطرية والمتصلدة وذلك بأقل التكاليف ويمكن اعتبار معيار مقاومة الخرسانة للضغط من اهم المعايير التي تبين مدى جودة الخرسانة المتصلدة أما قيمة هبوط مخروط أبرامز عن مدى جودة الخرسانة الطرية.

يعتبر الاسمنت أحد المكونات الأساسية للخرسانة والذي تؤثر نسبته وجودته في الخلطة تأثيرا كبيراً على تكاليفها نظرا لارتفاع ثمنه بالنسبة لباقي مكونات الخلطة، وهناك إضافات أخرى للخلطة الخرسانية عدا المكونات الأساسية للخرسانة (الركام الخشن والركام الناعم وعجينة الأسمنت)، والإضافات عادة يتم استخدامها للحصول على صفات معينة للخرسانة في حالتها الطرية والمتصلبة. سوف يتم بداية التطرق بشيء من التفصيل عن مكونات الخلطة الخرسانية الأساسية والإضافات الخرسانية شائعة الاستخدام ثم نتحدث عن تفاصيل تصميم الخلطات الخرسانية والطرق المستخدمة في تصميم الخلطات الخرسانية ذات المقاومة العادية والخلطات الخرسانية عالية المقاومة.

مكونات الخلطة الخرسانية

مكونات الخلطة الخرسانية الأساسية هي الاسمنت والركام (ركام ناعم (رمل)+ ركام خشن (بحص)) والماء وفي حالات اخرى ممكن ان يكون لدينا هناك مكونات اخرى للخلطة الخرسانية وهي المضافات الكيميائية حيث يتم استخدامها لغرض تحسين بعض الصفات للخرسانة وسوف نتناول بشيء من التفصيل المكونات المذكورة في اعلاه لتتكون لدينا صورة واضحة عن تلك المكونات التي نتعامل معها طوال حياتنا العملية كما يلي:

اولا: - مكونات الخلطة الأساسية:

1-الأسمنت

كما هو معروف فان مادة الأسمنت لها خواص تلاصقية ومن خلال هذه الخاصية تتمكن من ربط الأجزاء او المكونات الأخرى للخلطة الخرسانية بكتلة صلبة. والتفاعل الكيميائي بين الماء والأسمنت (عملية الأماهة) هي التي تعطي الخواص التلاصقية لعجينة الأسمنت الناتجة عن التفاعل ومرآبات الأسمنت الأساسية هي أربعة:

1. C2Sسليكات ثنائي الكالسيوم
2. C3Sسليكات ثلاثي الكالسيوم
3. C3Aالومينات ثلاثي الكالسيوم
4. C4AFالومينات حديد رباعي الكالسيوم

ومقاومة الأسمنت مسؤول عنها بصورة رئيسية مركب سليكات ثنائي الكالسيوم وسليكات ثلاثي الكالسيوم والمركب سليكات ثنائي الكالسيوم يشارك بدرجة كبيرة في المقاومة المبكرة خلال ال 28 يوم الأولى أما مركب سليكات ثلاثي الكالسيوم فله دور في اكتساب المقاومة بعد ال 28 يوم الأولى وبعد مرور سنة يتساوى المركبان في تطوير المقاومة، اما المركبان الومينات ثلاثي الكالسيوم والومينات حديد رباعي الكالسيوم فلهما تأثير اقل على المقاومة مع ان الومينات ثلاثي الكالسيوم له دور في زيادة المقاومة المبكرة

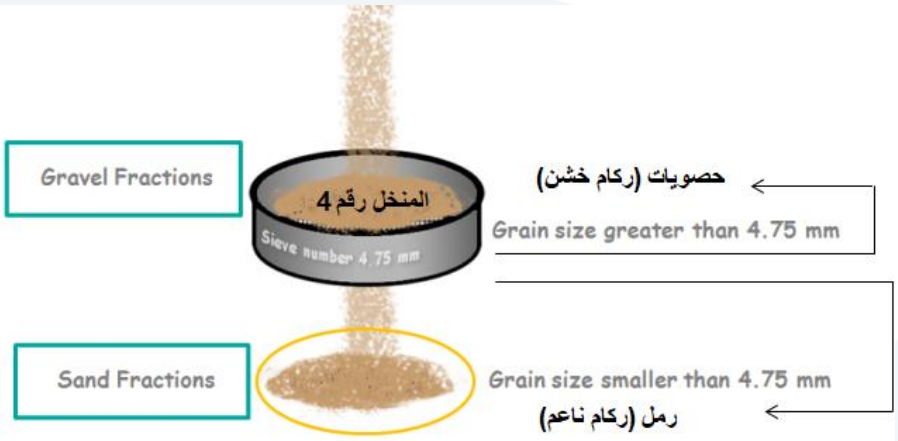
وبالاعتماد على نسب المركبات الأساسية المذكورة سابقاً يمكن انتاج انواع عديدة من الاسمنت البورتلاندي ومن هذه الأنواع:

1. الأسمنت البورتلاندي العادي (Type I)
2. الأسمنت البورتلاندي متوسط المقاومة للكبريتات (Type II)
3. الأسمنت البورتلاندي سريع التصلب (Type III)
4. الأسمنت البورتلاندي المنخفض الحرارة (Type IV)
5. الأسمنت البورتلاندي عالي المقاومة للكبريتات (Type V)

وهذه الأنواع لكل منها خواصه واستعمالاته.

-الركام

%خواص الركام لها الدور الكبير في تحديد قوة ومتانة الخرسانة حيث ان الركام يمثل بحدود 75 % من الحجم الكلي للخلطة الخرسانية. والركام يصنف الى ركام خشن وركام ناعم، والركام الناعم هو الذي يمر من المنخل القياسي رقم 4 والمقصود به هو المنخل الذي فيه اربعة فتحات لكل انش طول، والركام الخشن هو الذي لا يمر من خلال منخل رقم 4 كما هو موضح بالشكل التالي. تبلغ كثافة الخرسانة التي يستعمل فيها ركام طبيعي وسطياً $2300kg/m^3$ تقريباً.



الشكل 1: المنخل القياسي رقم 4 الفاصل بين أبعاد الركام الخشن والناعم

ثانياً: الإضافات الخرسانية

هي مواد تضاف الى الخلطة الخرسانية أثناء عملية الخلط وبكميات قليلة جدا لغرض اعطاء الخرسانة الطرية او الخرسانة المتصلبة خواص معينة ويمكن تصنيفها إلى:

1. تحسين القدرة على ضخ الخرسانة.
2. زيادة المقاومة المبكرة للخرسانة.
3. تحسين قابلية التشغيل للخرسانة الطرية بدون اضافة ماء يتجاوز النسبة التصميمية.
4. التعجيل او التأخير في زمن التصلب.
5. الحد من حدوث الانفصال الحبيبي.
6. تحسين خواص الخرسانة المتصلدة مثل مقاومة البري.
7. الحصول على خرسانة غير منفذة للماء أو خرسانة خلوية أو خرسانة ذات صفات خاصة.
8. الحصول على خرسانة ذات مقاومة عالية.

هناك شروط يجب الالتزام بها في حالة استخدام الإضافات الخرسانية وهي:

1 - ألا يكون لها تأثيرا ضارا على الخرسانة او حديد التسليح.

2 - ضرورة التأكد من مدى ملائمة وفاعلية الأضافات المستخدمة بواسطة خلطات تجريبية.

3 - في حالة استخدام نوعين او أكثر من الإضافات في نفس الخلطة الخرسانية يجب ان تتوفر معلومات مفصلة وواضحة عن مدى تداخلهما والتوافق فيما بينهم.

4 - يجب عدم اضافة كلوريد الكالسيوم او الاضافات التي اساسها من الكلوريدات إطلاقاً الى الخرسانة المسلحة او الخرسانة مسبقة الإجهاد.

5 - من الضروري ان يكون هناك تناسب بين الفوائد الناتجة من استخدام الاضافات مع الزيادة في التكاليف.

6 - يجب ان يتم توريد المضافات الخرسانية على شكل عبوات داخل براميل او اوعية مغلقة بأحكام وان يكون مكتوب عليها بالتفصيل نوع المادة واسمها التجاري وتاريخ الإنتاج ومدة الصلاحية بالإضافة الى خواص المادة ومدى مطابقتها للمواصفات القياسية المعمول بها، وضرورة تخزين المادة بطريقة تحميها من اشعة الشمس والحرارة والرطوبة.

هناك العديد من المضافات الكيميائية التي يتم استخدامها مع الخرسانة وتقسم الى المجموعات التالية:

1 - اضافات الهواء المحبوس.

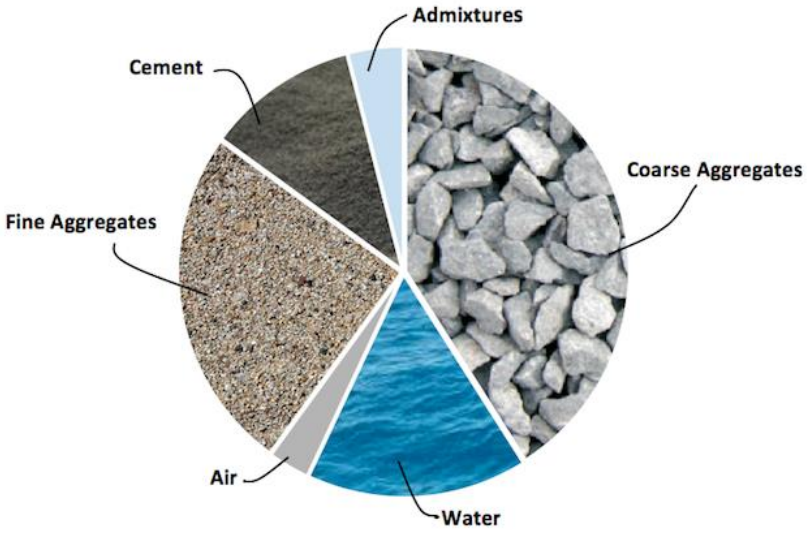
2 - اضافات لمنع نفاذ الماء بالخرسانة.

3 - اضافات لتلوين الخرسانة.

4- الملدنات للتحكم بقابلية التشغيل للخلطة

5 - اضافات تخفيض نسبة الماء والتحكم في التصلب.

تصميم الخلطة الخرسانية



تصميم الخلطة الخرسانية وفق الطريقة الفرنسية:

تعتمد الطريقة الفرنسية على تسلسل تصميم الخلطة الخرسانية وفق أربع مراحل رئيسية تتضمن كل مرحلة رئيسية عدداً من النقاط الفرعية:

1. تحديد نسبة الاسمنت إلى الماء (C/W) انطلاقاً من مقاومة البيتون المرغوبة
2. تحديد وزن مكونات العجينة الاسمنتية (C+W) من هبوط مخروط أبرامز وقوام الخلطة المنشودة.
3. تحديد نسبة الركام الناعم والخشن بعد رسم منحني التركيب الحبي المعياري
4. تحديد وزن الحصويات والرمل المستخدمين في الخلطة

الخطوة الأولى:

تحديد نسبة الاسمنت إلى الماء (C/W) انطلاقاً من مقاومة البيتون المرغوبة:

تعطى نسبة الاسمنت إلى الماء وفق علاقة بولومي التالية (Formule de Bolomey)

$$f'_{cm} = G \times N_{cem} \times (\frac{C}{W} - 0.5)$$

حيث

G : معامل الحصويات الذي يتعلق بالقطر الأعظمي للحصويات المستخدمة، ويعطى بالجدول التقريبي التالي:

جودة الحصويات	Dmax<16mm	20<Dmax<40mm	Dmax>60mm
ممتازة	0.55	0.6	0.65
جيدة	0.45	0.55	0.6
مقبولة	0.35	0.40	0.45

تؤخذ قيمة وسطية لـ G تساوي 0.5 مالم يذكر خلاف ذلك.

N_{cem} : رتبة الاسمنت الحقيقية (مقاومة العجينة الاسمنتية بعد 28 يوم) حيث يوجد في الأسواق المحلية ثلاث رتب شائعة للاسمنت: Class 32.5، Class 42.5 N ، Class 52.5 N

حيث يعبر الرقم الموجود عن مقاومة الضغط لمكعبات الأسمنت القياسية 7سم * 7سم * 7سم بوحدة نيوتن / مم2 وذلك عند عمر 28 يوم.

وتؤخذ للبيتون العادي في مسائلنا عادة 40MPa مالم يذكر خلاف ذلك.

f'_{cm} المقاومة الوسطية للبيتون (المصعدة) وتعطى تقريباً بالعلاقة:

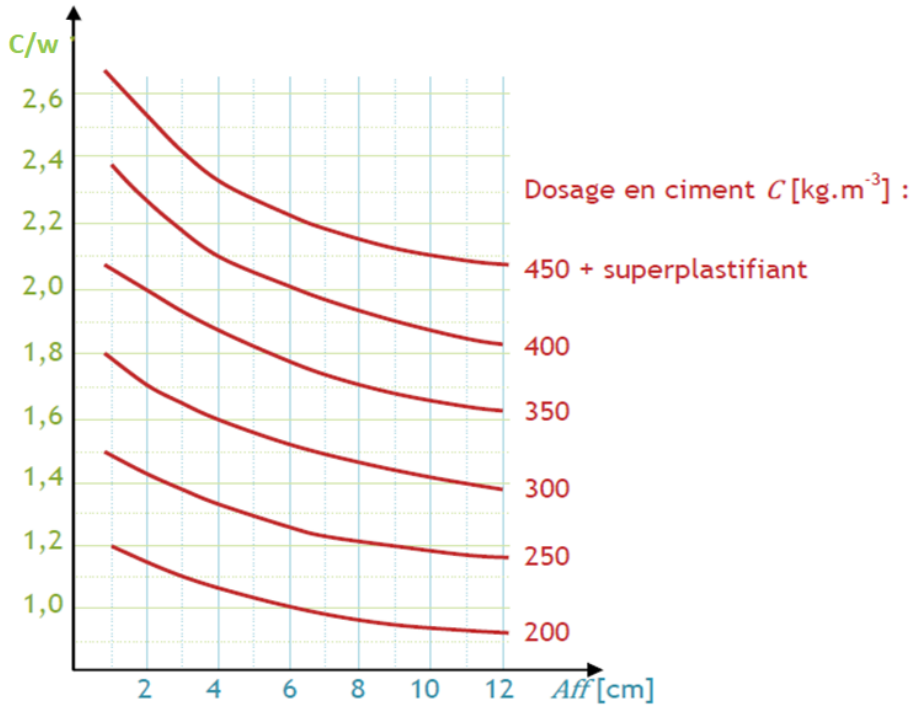
$$f'_{cr} = (1.15 - 1.2) \times f'_{c28}$$

f'_{c28} المقاومة المميزة للبيتون بعد 28 يوم.

الخطوة الثانية:

تحديد وزن مكونات العجينة الاسمنتية (C+W) من هبوط مخروط أبرامز وقوام الخلطة المنشودة.

حسب القوام المرغوب به للخلطة البيتونية وبالتالي حسب قيم هبوط مخروط أبرامز يمكن لنا تحديد كمية الاسمنت اللازمة للخلطة البيتونية وذلك بناء على قيم المعامل (C/w) الناتج من الخطوة الأولى، وذلك باستخدام مخططان درو-غوريس (Dreux Gorisse)



مخطط درو-غوريس (Dreux Gorisse)

يمكننا بعد حساب كمية الاسمنت معرفة كمية المياه اللازمة للخلطة بسهولة من النسبة (c/w). مع الانتباه إلى أن القيمة التي حصلنا عليها لكمية المياه تتوافق مع أقطار للحصويات تتراوح بين (20-25mm) وضرورة تعديل كمية المياه وفقاً لقطر الحصويات المستخدمة كما في الجدول:

Dimension maximale des plus gros granulats D_{max} [mm]	5	10	16	25	40
Correction sur le dosage en eau E [%]	+15	+9	+4	0	-4

الخطوة الثالثة:

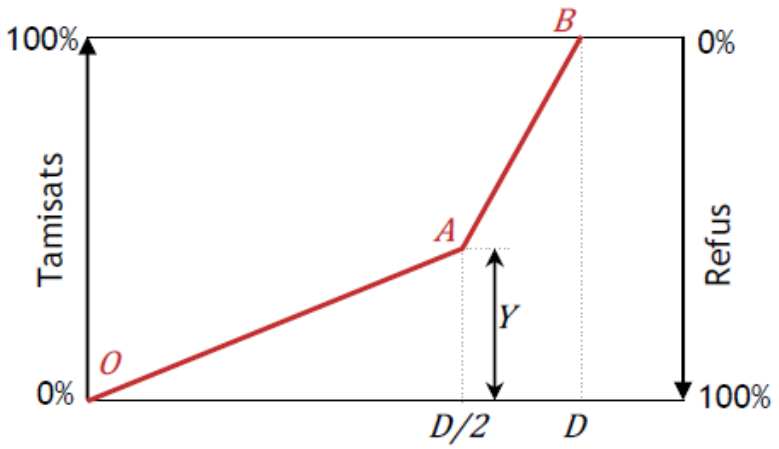
تحديد نسبة الركام الناعم والخشن بعد رسم منحني التركيب الحبي المعياري

لرسم منحني التركيب الحبي المعياري لابد أولا من تحيد النقاط (O, A, B) حيث O مبدا الاحداثيات، B تتوافق مع القطر الأعظمي للحصويات، A تتوافق مع الاحداثيات التالية:

X_A: نصف القطر الأعظمي للحصويات (Dmax)

Y_A: تعطى بالمعادلة:

$$Y = 50 - \sqrt{D_{max}} + A$$

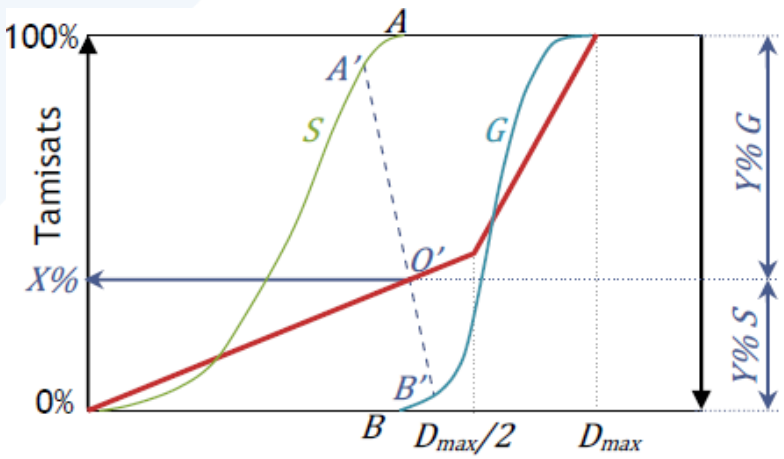


حيث A معامل تصحيح يعطى بالجدول التالي وفقاً لكمية الاسمنت في الخلطة ولنوع الحصويات فيما إذا كانت مكسرة (Concase) أو طبيعية مدورة (Roule) إضافة لطاقة الهزاز.

Vibration	Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
400+Superplastifiant	-2	0	-4	-2	-6	-4
400	0	+2	-2	0	-4	-2
350	+2	+4	0	+2	-2	0
300	+4	+6	+2	+4	0	+2
250	+6	+7	+4	+6	+2	+4
200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

تؤخذ قيمة A مساوية ل 2 مالم يذكر خلاف ذلك في المسألة.

بعد ذلك نرسم المستقيم A'B' الذي يصل بين نسبة مئوية مارة (95%) للرمل و (5%) للحصويات، فتكون نقطة تقاطع المستقيم A'B' مع المنحني المعياري (OAB) تعبر عن نسبة الرمل (Y%s) ونسبة الحصويات (Y%g) في ركام الخلطة.



الخطوة الرابعة:

تحديد وزن الحصويات والرمل المستخدمين في الخلطة:

يتم في هذه الخطوة بداية حساب معامل الاكتناز α من الجدول التالي بدلالة القطر الأعظمي للحصويات وقوام الخلطة وهزاز الخلط.

قوام الخلطة	الرج	معامل الاكتناز α						
		$D_{max}=5$	$D_{max}=10$	$D_{max}=12,5$	$D_{max}=20$	$D_{max}=31,5$	$D_{max}=50$	$D_{max}=80$
طرية	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
لدنة	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
كثيف	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,780	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

تؤخذ قيمة α مساوية لـ 0.82 مالم يذكر خلاف ذلك في نص المسألة.

بعد الحصول على قيمة معامل الاكتناز α نقوم بحساب حجم الركام الكلي V_G (بحص +رمل) اللازم للخلطة وفق العلاقة التالية:

$$\alpha = \frac{V_{solid}}{V_{beton}} = \frac{V_{ciment} + V_{Granulat}}{1} \rightarrow \quad V_G = \alpha - V_c$$

مع الانتباه إلى أن V_G يمثل حجم الركام الكلي أي مجموع حجمي البحص والرمل.

$$\text{حجم الركام الكلي} = \text{معامل الاكتناز} - \frac{\text{وزن الاسمنت}}{\text{كثافة الاسمنت}}$$

حيث كثافة الاسمنت الوسطية $3100kg/m^3$.

يمكننا بعد ذلك بسهولة حساب وزن الرمل والبحص بسهولة وفق العلاقات التالية:

وزن الرمل = نسبة الرمل في الركام (Y%s)×حجم الحصويات الكلي× الكتلة الحجمية المطلقة للرمل (Masse volumique absolue)

وزن البحص = نسبة البحص في الركام (Y%g)×حجم الحصويات الكلي× الكتلة الحجمية للبحص.

مثال تطبيقي:

يراد تنفيذ حصيرة بيتونية بسماكة 70cm وبأبعاد (20×30m) لمبنى سكني.

معطيات البيتون:

المقاومة المميزة للبيتون بعد 28 يوم: $f'_{c28} = 25MPa$

هبوط مخروط أبرامز: 8cm

كثافة الاسمنت (الكتلة الحجمية المطلقة): 3100kg/m^3

معطيات الركام:

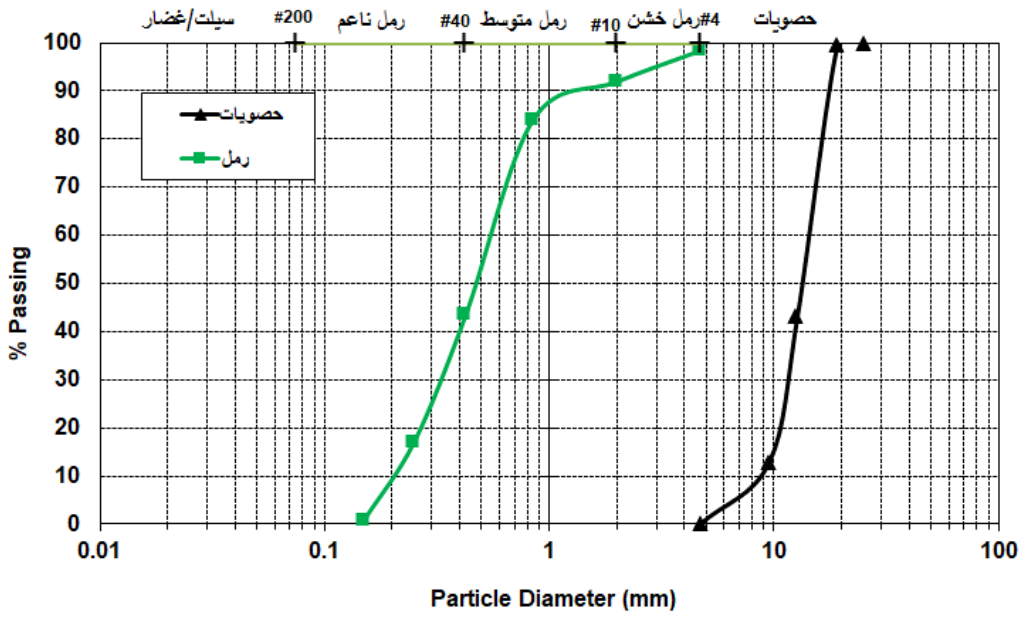
الحصويات المستخدمة من النوع المكسر الجيد بقطر أعظمي للحصويات D_{max}=20mm

معامل الحصويات: G=0.55 ...في حال عدم إعطاء قيمته إما يؤخذ من الجدول أو تفرض قيمته 0.5.

الكتلة الحجمية للحصويات: $\rho_g = 2500\ kg/m^3$

الكتلة الحجمية للرمل: $\rho_s = 2450\ kg/m^3$

منحني التركيب الحبي للبحص والرمل موضح بالشكل التالي:



مدرس المقرر: د.م مهند سليم مهنا

الحل:

حساب نسبة الاسمنت إلى الماء (C/w) من علاقة بولومي:

$$f'_{cm} = G \times N_{cem} \times (\frac{c}{w} - 0.5)$$

حيث:

$$f'_{cm} = (1.15 - 1.2) \times f'_{c28}$$

$$f'_{cm} = 1.2 \times f'_{c28} = 1.2 \times 25 = 30MPa$$

$N_{cem} = 40MPa$ مالم يذكر خلاف ذلك

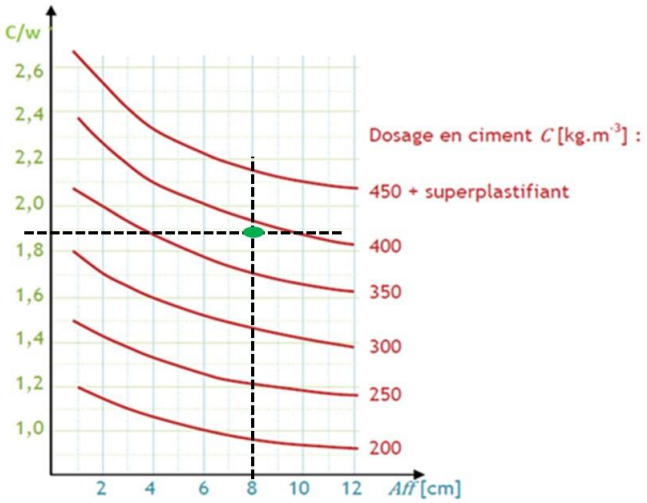
ومنه:

$$30 = 0.55 \times 40 \times (\frac{c}{w} - 0.5)$$

$$\frac{c}{w} = 1.86$$

من مخطط درو-غوريس نجد أنه من أجل هبوط لمخروط أبرامز (8cm) ونسبة (C/W) تكون كمية الاسمنت المطلوبة:

C=390 kg for 1m^3 of concrete

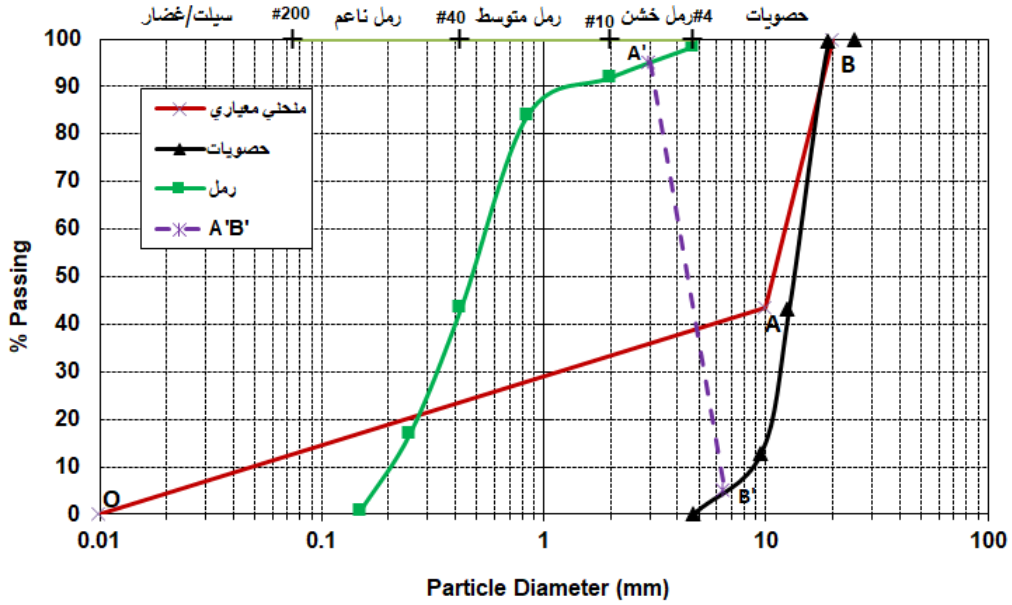


وبالتالي تكون كمية المياه المطلوبة على اعتبار النسبة (C/w=1.86) يكون:

$$\frac{C}{w} = 1.86 \rightarrow \frac{390}{w} = 1.86 \rightarrow w = 209.6\ litre$$

حساب نسبة الرمل والبحص في الركام:

نرسم على منحني التركيب الحبي لكل من البحص والرمل المنحني المعياري (OAB) والخط A'B' كما هو موضح بالشكل:



فنجد أن نقطة تقاطع المنحني (OAB) مع الخط (A'B') تتوافق مع نسبة مارة تقريبياً للرمل (S=40%) ونسبة للبحص (Gr=60%).

حساب حجوم الركام في الخلطة:

باعتبار هبوط المخروط (6<8cm<9) يتوافق مع قوام لدن للخلطة، تكون قيمة معامل الاكتناز الموافقة (α=0.82)

ويكون مجموع أحجام كل من الركام (بحص+رمل) والاسمنت يجب أن يساوي 1 متر مكعب (1000لتر)

$$\alpha = \frac{V_{solid}}{V_{beton}} = \frac{V_{ciment} + V_{Granulat}}{1} \rightarrow \quad V_G = \alpha - V_c$$

مع الانتباه إلى أن V_G يمثل حجم الركام الكلي أي مجموع حجمي البحص والرمل.

حجم الاسمنت يساوي إلى (وزن الاسمنت/كثافة الاسمنت)

$$\text{حجم الركام الكلي} = \text{معامل الاكتناز} - \frac{\text{وزن الاسمنت}}{\text{كثافة الاسمنت}}$$

$$\text{حجم الركام الكلي} = (0.82) - \frac{390}{3100} = 0.694m^3$$

من المنحني المعياري في الخطوة السابقة وجدنا أن نسبة البحص (60%) في حين نسبة الرمل (40%)

وبالتالي حجم البحص:

$$V_g = 60\% \times 0.694 = 0.416m^3$$

وحجم الرمل:

$$V_s = 40\% \times 0.694 = 0.2776m^3$$

أصبح بإمكاننا حساب كتلة الرمل والبحص في الخلطة بعد معرفة أحجامهما وذلك عن طريق الكتلة الحجمية:

$$Gr = 0.416 \times 2500 = 1040kg\ for\ 1m^3\ of\ concrete\ mix$$

$$S = 0.2776 \times 2450 = 680\ kg\ for\ 1m^3\ of\ concrete\ mix$$

نلاحظ أن كمية البحص تعادل مرة ونصف كمية الرمل في الخلطة تقريباً.

المكون	الوزن (kg)
بحص	1040
رمل	680
اسمنت	390
ماء	209

يجب الانتباه إلى أن أوزان الركام المستنتجة والموضحة بالجدول السابق إنا هي أوزان جافة، تفترض أن البحص والرمل جاف تماماً بدون رطوبة وهذا من غير الممكن تحقيقه في ورش البناء التنفيذية. لذلك لابد من تعديل الأوزان السابقة حسب رطوبتها الحقلية حيث تزداد أوزان كل من البحص والرمل في الجدول (بسبب الرطوبة) وينخفض وزن الماء الواجب إضافته بسبب وجود نسبة من المياه أصلاً في البحص والرمل.

بفرض رطوبة البحص (2%) ورطوبة الرمل (7%) يكون:

حجم الماء في البحص= 2%× 1040=20.8kg

حجم الماء في الرمل= 7%× 680=47.6kg

وبالتالي تصبح كميات المواد الداخلة في تشكيل الخلطة البيتونية بعد زيادة وزن الركام وإنقاص وزن الماء لإدخال تأثير الرطوبة الحقلية بالاعتبار كما يلي:

مدرس المقرر: د.م مهند سليم مهنا

المكون	الوزن (kg)
بحص	1040+20.8=1060.8
رمل	680+47.6=727.6
اسمنت	390
ماء	209-(47.6+20.8) =140.6

مجموع أوزان مكونات الخلطة للمتر المكعب الواحد = 2319 كغ وهو ما يتو افق مع الوزن الحجمي للبيتون حيث يبلغ عملياً بين ($2200-2400kg/m^3$) حسب قطر الركام المستخدم.

يتم حساب حجم البيتون اللازم لصب الحصيرة البيتونية المطلوبة وضرب مكونات الخلطة (المذكورة بالجدول السابق) بعدد الأمتار اللازمة للحصول على الكمية الكلية المطلوبة لإنتاج الخلطة الخرسانية الضرورية لتنفيذ الحصيرة.

مدرس المقرر: د.م مهند سليم مهنا