الباب الخامس

تصميم الخلطات الخرسانية

Concrete Mix Design

٥-١ مقدمة

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 فى الخرسانة المتصلدة (مثل مدى المقاومة للأحمال أو المقاومة للبرى) والإشتراطات التى تتطلبها خطوات صناعة الخرسانة مثل السهولة المناسبة للصب Placing والتسوية النهائية (التشطيب Finishing) لسطح الخرسانة. وذلك مع مراعاة التكاليف الإقتصادية حسب نوع العمل الإنشائى المطلوب. وهذه الطرق الحسابية تهدف الى إستخدام المواد الموجودة Available Materials لنحصل منها على خرسانة ذات خواص مطلوبة فى الحالتين الطازجة والمتصلدة وذلك بأقل التكاليف Required Qualities at Minimum Cost ويمكن إعتبار أن مقاومة الخرسانة للضغط تبين مدى جودة Quality الخرسانة المتصلدة كما تعبر قيمة الهبوط Slump عن مدى جودة الخرسانة الطازجة.

ويعتبر تحديد نسب الخلطة الخرسانية من أهم العوامل التى تؤثر على جودة الخرسانة وعلى إقتصاديات المشروع. فمن الممكن الحصول على خرسانات متباينة فى 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 فى الخلطة تأثيراً كبيراً على تكاليفها نظراً لغلو ثمنه بالنسبة لباقى المكونات.

٥-٢ كيفية بيان نسب مكونات الخرسانة Expressing Proportions

❐ تُبَيَن مكونات الخرسانة من المواد الحبيبية Granular Materials وهى الأسمنت والركام الصغير والركام الكبير عادة على هيئة نسب Ratios بالوزن أو بالحجم فمثلا عندما يقال خلطة ١ : ٢ : ٤ معناها:

الأسمنت	الرمل	الزلط
=	٢	٤

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

أى تحتوى على جزء من الأسمنت وجزئين من الرمل وأربعة أجزاء من الزلط. وتفضل أن تكون تلك النسب بالوزن لعدم إمكان التحديد الدقيق لكمية الأسمنت بالحجم وأيضا الركام نتيجة تغير الكمية التى يستوعبها حجم معين بتغيير مدى الدمك Compaction المستخدم. كما أن الركام الصغير قد يتغير حجمه بتأثير ظاهرة زيادة الحجم Bulking بالرطوبة.

- وقد تُبَيَن المواد الحبيبية كنسبة بين الأسمنت والركام الخليط Cement/Agrregates Ratio فمثلاً خلطة ١: ٦ أى جزء واحد أسمنت وستة أجزاء ركام بالوزن وتبين هذه النسبة مدى غنى او إفتقار الخرسانة Rich or Lean Mix فالخلطة ١ : ٤ تعتبر خلطة غنية أما الخلطة ١ : ٨ فتعتبر خلطة فقيرة.

- وقد تُبَيَن نسب المواد الحبيبية بما يحوية المتر المكعب للخرسانة الطازجة من الأسمنت والركام الصغير والركام الكبير على أن يُبين الأسمنت بالوزن والركام بالحجم تسهيلاً لتحضير الكميات عند الخلط فمثلا بخلطة .

أسمنت	رمل	زلط
٣٠٠ كيلوجرام	٠,٤ متر مكعب	٠,٨ متر مكعب

ومجموع هذة الكميات يعطى تقريبا بعد خلطها بالماء حوالى متر مكعب من الخرسانة الطازجة

- كما يمكن ان يُعبَر عن الأسمنت بعدد الشكاير للمتر المكعب من الخرسانة الطازجة وهذا العدد يسمى معامل الأسمنت Cement Factor فمثلاً خلطة يحتوى المتر المكعب منها على ٦ شكاير أسمنت (الشيكارة وزنها ٥٠ كيلو جرام) وخلطة أخرى غنية يحتوى المتر المكعب منها على ٨ شكاير أو خلطة فقيرة يحتوى المتر المكعب منها على ٤ شكاير:

أسمنت	رمل	زلط
٦ شكاير	٠,٤م^3	٠,٨ م^3

- وتُبَيَن كمية الماء اللازمة للخلطة على هيئة نسبة من الأسمنت بالوزن فمثلا خلطة بها نسبة الماء الى الأسمنت = ٠,٥ بالوزن ، فاذا علم وزن الأسمنت فى المتر المكعب للخرسانة الطازجة أمكن تعيين وزن الماء اللازم له لإجراء الخلط وبالتالى يمكن تعيين حجم ذلك الماء باللتر. وأحياناً قد تُبَيَن كمية ماء الخلط اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة الطازجة مباشرة فمثلا خلطة:

أسمنت	رمل	زلط	ماء
٣٠٠ كج	٠,٤م^3	٠,٨ م^3	١٥٠ لتر

أى أن المتر المكعب من الخرسانة الطازجة لهذه الخلطة يلزم له ٣٠٠ كج أسمنت (٦ شكاير) و ١٥٠ لتر ماء. وتحسب الكميات المطلوبة من المواد لأى خلطة تبعا لعدد الأمتار المكعبة الكلية من الخرسانة الطازجة.

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

أسمنت	رمل	زلط	ماء
m	٣	٣	k

بها ٢ % ملدنات تعنى أن وزن الملدنات المستخدم = ٣٠٠ × ٠,٠٢ = ٦ كيلو جرام للمتر المكعب من الخرسانة الطازجة.

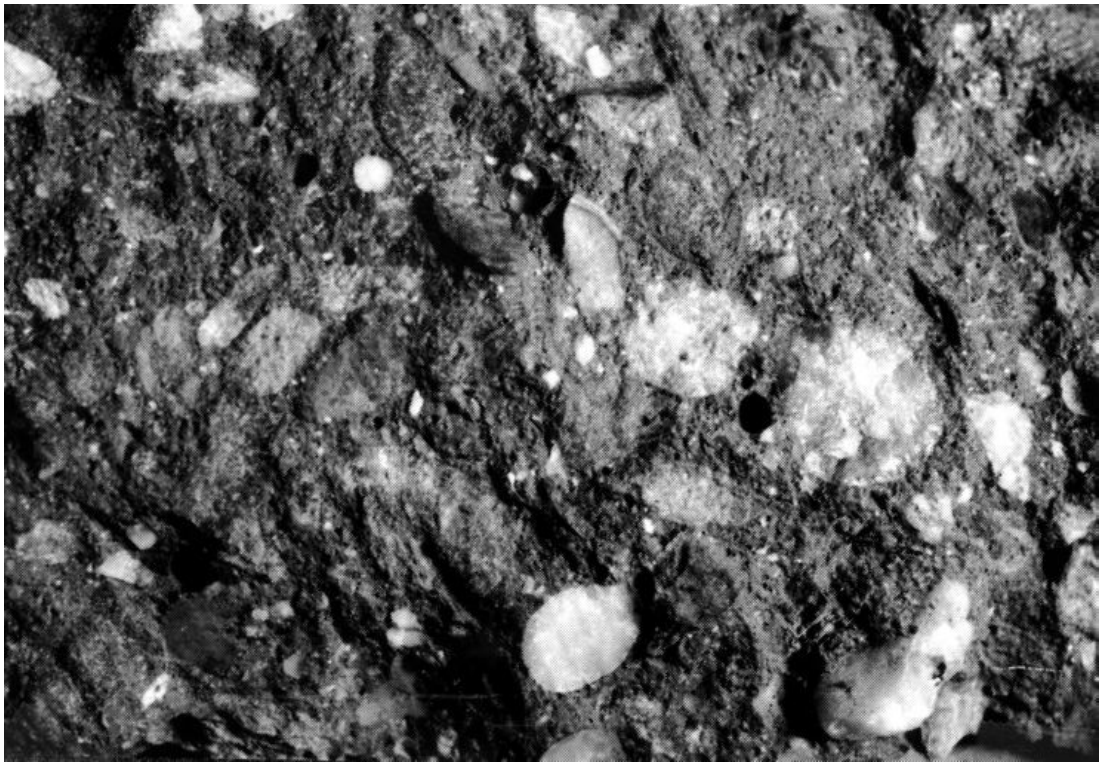
٥-٣ العلاقة بين الركام والعجينة الأسمنتية Aggregate-Paste Relationship

تتركب الخرسانة من عجينة أسمنتية (نشطة) وركام (خامل) وتعتمد مقاومة الخرسانة على مقاومة العجينة حيث أن مقاومة الركام كبيرة جداً بالنسبة لمقاومة العجينة. ولذلك فإن إنهيار الخرسانة التقليدية يكون دائماً فى العجينة ويمر الشرخ حول الركام. فإذا أمكننا إنتاج عجينة ذات مقاومة عالية جداً تقترب من مقاومة الركام فإننا نحصل على خرسانة عالية المقاومة High Strength Concrete والتى يكون الإنهيار فيها مفاجىء حيث يمر الشرخ بالركام (وليس حوله) ويشطره كما فى شكل (٥-١).

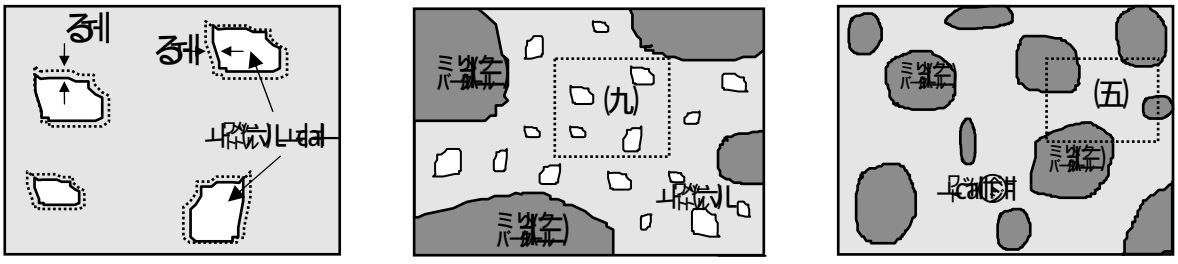
ومن الجدير بالذكر أن تشغيلية الخرسانة تنتج من تأثير تشحيم العجينة للركام وتتأثر بمقدار سيولة العجينة. كما تعتمد نفاذية الخرسانة للسوائل على وجود واستمرار العجينة الأسمنتية. وبالإضافة الى ذلك فإن إنكماش الكتلة الخرسانية الدائم يكون ناتج من العجينة الأسمنتية وليس الركام.

والعجينة الأسمنتية تكون عبارة عن مُعلق Suspension للأسمنت فى الماء (شكل ٥-٢). وكلما خفت درجة تركيز المعلق كلما زادت المسافة بين حبيبات الأسمنت وكلما قلت بالتبعية بنية العجينة. وهذا يوضح أن مقاومة الضغط للخرسانة دالة عكسية مع نسبة الماء إلى الأسمنت (م/س). وعندما تبدأ عملية الإماهة للأسمنت فيتكون الجل من الماء ومن مادة سطح حبيبات الأسمنت والذى قد يصل حجمه الى ضعف حجم الأسمنت الناتج منه. وهكذا مع إستمرار الإماهة يستمر تكون الجل حول كل حبيبة حتى يتصل الجل ببعضه مكوناً بنية العجينة.

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM



شكل (٥-١) الكسر فى الخرسانة عالية المقاومة يمر خلال الركام وليس حوله.



شكل (٥-٢) علاقة العجينة الأسمنتية بالركام.

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

٥-٤ طرق تصميم الخلطات الخرسانية Mix Design Methods

أولاً : الطريقة الوضعية Empirical Method

تحدد هذه الطريقة نسباً لمكونات الخرسانة نتيجة الخبرة Experience السابقة للإستعمال بنجاح. وقد أثبتت هذه الطريقة ملائمتها وصلاحيتها للعمليات الصغيرة Small Jobs نظراً لسهولتها حيث تعطى المواد الصلبة (الأسمنت ، الرمل ، الزلط) على هيئة نسب بالوزن أو الحجم وقد تحدد كمية الماء اللازم أو تترك لمراعاتها أثناء الخلط بحيث نحصل على خلطة لدنة Plastic سهلة التشغيل Workable. ونسب مكونات الخرسانة بالوزن المستخدمة عادة فى المنشآت طبقا لنوع الخرسانة أو طبقا لمقاومة الخرسانة للضغط هى كما يلى :

	الأسمنت		الرمل		الزلط	أى	الأسمنت		الركام
خلطة غنية ذات مقاومة عالية	=		=		ア		=		ア
خلطة متوسطة	=		ア		イ		=		ウ
خلطة فقيرة ذات مقاومة منخفضة	=		ア		イ		=		エ

وذلك على أساس أن الركام مناسب والماء أقل ما يمكن لجعل الخلطة ذات قوام Consistency مناسب لتكون لدنة. والنسب الوضعية المستخدمة فى جمهورية مصر العربية هى:

أسمنت	رمل	زلط
س كج	٠,٤ م٣	٠,٨ م٣

مع كمية الماء المناسبة والمعقولة وتتراوح قيمة الماء كنسبة من الأسمنت (م/س) من ٠,٤ إلى ٠,٧ بالوزن ويحدد كميتها طبيعة العمل. أما كمية الأسمنت "س" فيحددها نوع العمل والخلطة اللازمة له هل هى غنية أو فقيرة حيث تتراوح "س" من ٢٠٠ إلى ٤٠٠ كيلوجرام أى من ٤ إلى ٨ شكاير للمتر المكعب من الخرسانة. ويحدد كمية الأسمنت وكمية الماء المهندس المسئول عن مواصفات العملية تبعا لطبيعتها .

❐ وعيوب هذه الطريقة تتلخص فى النقاط الآتية:

١- نسبة الماء / الأسمنت (م/س) غير محددة ومتروكة لظروف العمل.
٢- النسبة المذكورة لا تعطى متراً مكعبا فى جميع الحالات وقد يصل الحجم أحياناً إلى ١,٢ م٣.
٣- نسبة الرمل / الزلط شبه ثابتة وهى ١: ٢ مع ملاحظة إهمال نوع الركام وتدرجه والمقاس الإعتبارى الأكبر له وكذلك إهمال معاير النعومة للرمل.
٤- لا يمكن الحصول على بيانات صحيحة لخواص الخرسانة الناتجة وكذلك لا يمكن توقع قيمة دقيقة لمقاومة الضغط لهذه الخرسانة.

ثانياً : طريقة المحاولة Trial Method

تعتمد هذه الطريقة على معرفة نسبة م/س فى الخلطة الخرسانية ويلزم عمل إختبارات مقارنة بين المواد المختلفة والخلطات المتباينة. وتتطلب هذه الطريقة وجود عينات من الأسمنت والزلط والرمل كما يجب تحديد نسبة م/س وكذلك المقاومة المطلوبة.

❐ وفيما يلى ملخص لخطوات تصميم خلطة خرسانية بطريقة المحاولة:

- تؤخذ كمية من الأسمنت فى حدود ٢,٥ كج (٥% من وزن الشيكارة).
- تحدد نسبة (م/س) من الخبرة أو من المنحنيات البيانية أو من الجداول.
- يخلط الأسمنت والماء لتكوين عجينة الأسمنت المكونة من أ ، ب.
- تحضر كمية من الرمل والزلط ويفضل إستخدام الركام المشبع والسطح جاف كما يراعى ألا يزيد المقاس الإعتبارى الأكبر عن ١/٥ البعد الأصغر للمقطع وأن لا يزيد عن ٣/٤ المسافة بين أسياخ حديد التسليح (أيهما أصغر).
- يضاف تدريجيا كميات من الرمل والزلط وتخلط الخلطة جيداً ثم يحدد قوام الخرسانة إلى أن تصل إلى الخلطة التى تعطى القوام المطلوب.
- توزن بعد ذلك الكميات المتبقية ومنها تحسب الأوزان المستعملة.
- تحسب الكميات بالوزن والحجم المطلوبة لعمل خلطة الخرسانة لموقع العمل .

ثالثاً : طريقة الحجم المطلق Absolute Volume Method

تفترض هذه الطريقة أن الحجم المطلق للخرسانة هو مجموع الحجوم المطلقة للمواد المكونة للخرسانة Concrete Ingredients أى الحجم المطلق للأسمنت والرمل والزلط والماء كما يلى:

$$\text{Absolute Volume} = \frac{C}{G_c} + \frac{S}{G_s} + \frac{G}{G_g} + \frac{W}{1.0} = 1000 \text{ Liters}$$

حيث :

C = وزن الأسمنت بالكيلوجرام اللازم للمتر المكعب من الخرسانة .

S = وزن الرمل ،، ،، ،، ،، ،، ،،

G = وزن الزلط ،، ،، ،، ،، ،، ،،

W = وزن المـاء ،، ،، ،، ،، ،، ،،

G_c , G_s , G_g = الوزن النوعى للأسمنت والرمل والزلط على التوالى

علماً بأن واحد متر مكعب من الخرسانة = ١٠٠٠ لتر.

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

وفى هذه الطريقة يلزم تحديد كلاً مما يأتى طبقا للإشتراطات المطلوبة فى مقاومة الخرسانة المتصلدة Strength والإشتراطات المطلوبة فى مدى تشغيل Workability الخرسانة الطازجة:

١ـ كمية الأسمنت اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة.
٢ـ نسبة الماء إلى الأسمنت بالوزن (م/س) أو كمية الماء للمتر المكعب من الخرسانة.
٣ـ نسبة الركام الصغير إلى الركام الكبير فى الركام المستخدم.
٤ـ الوزن النوعى للأسمنت والركام الكبير والركام الصغير.

وتحدد البيانات سالفة الذكر من واقع الخبرة Experience ومن النتائج العملية Practice ومن الإختبارات المعملية Laboratory Tests أى أننا نحدد قيمة C ، W/C ، G/S وكذلك نحدد الأوزان النوعية G_c G_s , G_g ثم تُطبق المعادلة سالفة الذكر لتعيين وزن كل من الرمل والزلط. واذا أريد بيان النسب بين المكونات الحبيبية للخرسانة بالوزن للأسمنت وبالحجم للركام يلزم معرفة الوزن الحجمى لكل من الرمل والزلط (أى وزن المتر المكعب) وذلك من واقع الخبرة والتجارب.

❐ وتتضح تلك الطريقة فى المثال التالى :

المطلوب تصميم خلطة خرسانية بحيث تكون الخرسانة الطازجة لدنة القوام Plastic وبحيث تكون الخرسانة المتصلدة ذات مقاومة للضغط بعد ٢٨ يوم تساوى ٢٤٠ كج/سم^{٢}. مع مراعاة أن الركام الخليط المستخدم يمر منه نسبة ٤٠% من المنخل القياسى ١٦/٣ مع العلم بأن:
الوزن النوعى للأسمنت = ٣,١٥.
الون النوعى للركام (الرمل أو الزلط) = ٢,٦٥.
الوزن الحجمى للركام (الرمل أو الزلط) = ١٧٠٠ كج/سم^{٣}.

الحـــل

أ ـ تُعين نسبة الركام الصغير (الرمل) إلى الركام الكبير (الزلط):
يعتبر المار من المنخل القياسى ١٦/٣ هو الرمل والمحتجز عليه هو الزلط. إذن يتبين أن النسبة المئوية للرمل فى الركام الخليط تساوى ٤٠% وبالتالى الزلط يساوى ٦٠%.

ملاحظة: هذه النسبة قد تفرض طبقا للخبرة والسوابق العملية ـ والنسبة الشائعة الإستخدام قد تفرض مباشرة على أساس ٣٣% للرمل أى نسبة الرمل إلى الزلط تساوى ١ : ٢

ب ـ تفرض كمية الأسمنت اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة على أساس مقاومة الخرسانة المتصلدة بعد ٢٨ يوم أو على أساس أى متطلبات أخرى خاصة بمتانة الخرسانة أو الظروف التى تعمل فيها.

ومن الخبرة العملية يمكن إستخدام هذه العلاقة:
كمية الأسمنت اللازمة للمترالمكعب = مقاومة للضغط بعد ٢٨ يوم (كج/سم^{٢}) + ٥٠ إلى ١٠٠

إذن كمية الأسمنت اللازمة للمتر المكعب = ٢٤٠ + ٦٠ = ٣٠٠ كج/م٣.

ج - تُعين كمية الماء اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة طبقا لمحتوى الأسمنت فى الخلطة والمقاس الإعتبارى للركام المستخدم وكذلك درجة القابلية للتشغيل المطلوبة. وهذه الكمية قد تفرض مباشرة طبقا للخبرة أو بالإستعانة بالجدول (٥-١).

فى هذا المثال نفرض أن (م/س) = ٠,٥

إذن كمية الماء للمتر المكعب من الخرسانة = ١٥٠ لتر.

جدول (٥-١) العلاقة بين كمية ماء الخلط ومحتوى الأسمنت.

المقاس الإعتبارى الأكبر للركام (مم)	قيمة (م/س) لمحتوى أسمنت (كج) لكل متر مكعب خرسانة				
	٢٥٠	٢٧٥	٣٠٠	٣٢٥	٣٥٠
١٠	٠,٦٥	٠,٦٠	٠,٥٥	٠,٥٠	٠,٤٥
٢٠	٠,٦٠	٠,٥٥	٠,٥٠	٠,٤٥	٠,٤٠
٤٠	٠,٥٥	٠,٥٠	٠,٤٥	٠,٤٠	٠,٣٥

د- يحسب تصميم الخلطة الخرسانية كما يلى :

وزن الزلط = (٦٠ / ٤٠) وزن الرمل = ١,٥ وزن الرمل

$$\text{Absolute Volume} = \frac{300}{3.15} + \frac{S}{2.65} + \frac{1.5S}{2.65} + \frac{150}{1.0} = 1000 \text{ litres}$$

وزن الرمل ،، ،، ، ،، = ٨٠٠ كج.

وزن الزلط ،، ،، ، ،، = ١٢٠٠ كج.

❑ نسب الخلطة الخرسانية بالوزن :

أسمنت	رمل	زلط	ماء
٣٠٠ كج	٨٠٠ كج	١٢٠٠ كج	١٥٠ كج
١ :	٢,٦٧ :	٤ :	٠,٥

❑ نسبة الخلطة الخرسانية بالحجم :

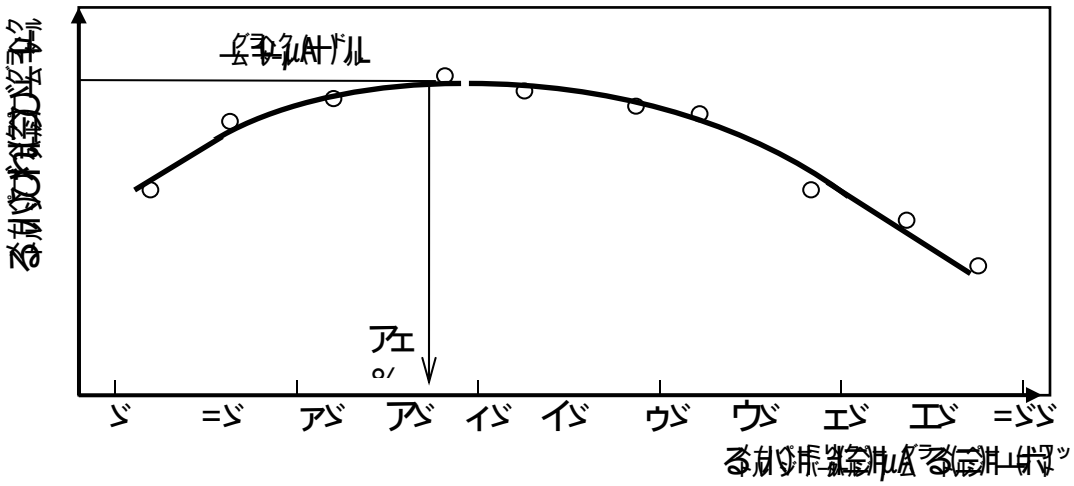
أسمنت	رمل	زلط	ماء
$\frac{٣٠٠}{٥٠}$ شكارة	$\frac{٨٠٠}{١٧٠٠}$ م٣	$\frac{١٢٠٠}{١٧٠٠}$ م٣	١٥٠ لتر
٦ شكاير	٠,٤٧ م٣	٠,٧١ م٣	١٥٠ لتر

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

وتجدر الأشارة إلى أن تعيين نسبة الركام الصغير (الرمل) إلى الركام الكبير (الزلط) يمكن أن يتم على أسس أخرى هامه منها :

أ- طريقة الكثافة القصوى Optimum Unit Weight Method

وفيها يتم عمل خلطات من الركام الجاف فقط تحتوى على نسباً مختلفة من الرمل إلى الركام الخليط فمثلاً : صفر % ، ١٠ % ، ٢٠ % ، .... ١٠٠ % مع تعيين وحدة الوزن لكل منها ثم نوقع القراءات على منحنى ويمكن من هذا المنحنى إيجاد نسبة الرمل التى ستكون عندها وحدة الوزن نهاية قصوى أى الحصول على أقل نسبة فراغات ممكنة. ويتضح ذلك من شكل (٥-٣) الذى يبين أن نسبة الرمل ٣٦ % تعطى أقصى وحدة وزن للركام الخليط.



شكل (٥-٣) الكثافة القصوى للركام الخليط

ب- طريقة المساحة السطحية للركام Surface Area Method

الأساس العلمى فى هذه الطريقة هو الربط بين كمية عجينة الأسمنت فى الخلطة الخرسانية والمساحة السطحية للركام الذى تغلف أسطحة لإتمام عملية الإلتصاق بين حبيباته ومعنى ذلك بأنه فى الخلطات الخرسانية ذات الركام الصغير المقاس فإنه يحتاج لزيادة كمية الأسمنت بسبب زيادة المساحة السطحية لهذا الركام. وإحدى طرق التعبير المذكورة هى إستخدام المساحة السطحية للركام الخليط ومقاومة الضغط للخرسانة وذلك بمعرفة مقاومة الضغط المطلوبة للخرسانة أو قد تفرض المساحة السطحية للركام الخليط بقيمة تتراوح من ٢٤ إلى ٢٦ سم^{٢}/جم التى تعطى غالبا أكبر قيمة للمقاومة. وبالتالى نحدد التدرج المطلوب أو نسبة الرمل فى الركام الشامل.

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

٥-٥ تصميم الخلطات الخرسانية عالية المقاومة Design of HSC Mixes

الخلطات الخرسانية عالية المقاومة تتميز بوجود عدد كبير من المواد التى ينبغى إختيار الكميات والنسب المثلى منها للوصول إلى خرسانة ذات خواص مرغوبة خاصة من ناحية القابلية للتشغيل والمقاومة والمعمرية (المتانة). وتصميم الخلطات الخرسانية عالية المقاومة يعتمد على نوعية وجودة المواد بدرجة أكبر من إعتماده على نسب الخلطة. ولقد سبق أن تناولنا الخصائص المطلوب توافرها فى مكونات الخرسانة عالية المقاومة وذلك فى باب الخرسانات الخاصة. وفيما يلى شرح موجز لخطوات تصميم الخلطات الخرسانية عالية المقاومة

١- يتم تقرير إستخدام مادة غبار السليكا فى الحالات الآتية:

- إذا كانت المقاومة المطلوبة للخرسانة أكبر من ٨٠٠ كج/سم٢.
- عندما تكون الخرسانة قليلة النفاذية ضرورية ومرغوبة.
- فى حالة خرسانة الضخ حتى لايحدث إنفصال حبيبى.
- عندما تكون الخرسانة معرضة لمواد كيميائية خاصة الكلوريدات.

٢- يمكن فرض محتوى غبار السليكا طبقاً لمقاومة الضغط المطلوبة كما هو موضح بالجدول الآتى:

٧٠٠ إلى ٨٠٠	٥ إلى ١٠%
٨٠٠ إلى ٩٠٠	١٠ إلى ١٥%
٩٠٠ إلى ١٠٠٠	١٥ إلى ٢٠%
أكبر من ١٠٠٠	٢٠ إلى ٢٥%

ملحوظة : يفضل أخذ الحد الأعلى لنسبة غبار السليكا عندما يكون الزلط هو المستخدم فى الخلطة أما فى حالة إستخدام الدولوميت أو الجرانيت فيفضل أخذ الحد الأدنى لنسبة غبار السليكا.

٣- يتم تحديد نوع الأسمنت المستخدم طبقاً لتقرير التربة الخاص بالعملية أو اللوح التنفيذية للمنشأ وعادة ما يكون إما أسمنت بورتلاندى عادى أو أسمنت بورتلاندى فائق النعومة أو أسمنت مقاوم للكبريتات. وبصفة عامة فإن كفاءة مادة غبار السليكا تكون أكبر فى حالة إستخدام الأسمنت البورتلاندى العادى بالمقارنة بباقى أنواع الأسمنت. ولا يُنصح بإستخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات إلا فى حالة وجود نسبة عالية من أملاح الكبريتات فى التربة أو فى المياه الجوفية. أما فى الأحوال العادية أو الأحوال التى تكون فيها مقاومة الكلوريدات أهم من مقاومة الكبريتات فينصح بإستخدام الأسمنت البورتلاندى العادى.

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

٤- يحدد محتوى الأسمنت فى المتر المكعب خرسانة طبقاً لمحتوى غبار السليكا المستخدم كمايلى:

نسبة غبار السليكا المضاف كنسبة من وزن الأسمنت	محتوى الأسمنت كج/م^{٣}
١٥ إلى ٢٠%	٤٥٠
٥ إلى ١٥%	٤٧٥
عدم وجود غبار السليكا	٥٠٠

٥ - يتم إختيار نوع الملدنات (Superplasticizers) بحيث يكون من النوع المطابق للمواصفات الأمريكية ASTM C494 Type F. وفى حالة الحرارة الشديدة أو فى حالة طول مدة صب وصناعة الخرسانة فيفضل نوع الملدنات المطابق للمواصفات الأمريكية ASTM C494 Type G

٦- يمكن فرض نسبة الملدنات (Superplasticizers) طبقاً لمقاومة الضغط المطلوبة وذلك بعد عمل إختبار تأكيدى على خلطة تجريبية صغيرة للتأكد من توافق المادة مع الأسمنت المستخدم والحصول على المقاومة و القابلية للتشغيل المطلوبتين.

مقاومة الضغط للخرسانة كج/سم^{٢}	نسبة الملدنات كنسبة من وزن الأسمنت + غبار السليكا
٤٠٠ إلى ٥٠٠	١,٠ إلى ١,٥%
٥٠٠ إلى ٦٠٠	١,٥ إلى ٢,٠%
٦٠٠ إلى ٧٠٠	٢,٠ إلى ٢,٥%
أكبر من ٧٠٠	٢,٥ إلى ٣,٥%

٧- يتم إستخدام الزلط كركام كبير فى الخلطة الخرسانية إذا كانت مقاومة الضغط المطلوبة لاتتجاوز ٧٥٠ أو ٨٠٠ كج/سم^{٢} وفى حالة خرسانة ذات مقاومة أكبر من ذلك فمن الضرورى إستخدام كسر حجر قوى (دولوميت أو جرانيت).

٨- يفضل أن لا يزيد المقاس الإعتبارى الأكبر للركام الكبير عن ٢٠ مم. والركام مقاس ١٤ مم أو حتى ١٠ مم يعطى مقاومة أفضل بشرط أن يكون الركام متدرج وسليم وقوى. وتفرض النسبة بين الركام الكبير والرمل وفقاً لأى طريقة كما فى حالة الخرسانة التقليدية (عادية المقاومة).

٩- تفرض نسبة الماء إلى المواد الأسمنتية (أسمنت + غبار سليكا) من المعادلة التجريبية الآتية مع مراعاة أن لايقل وزن الماء عن ٠,٢٢ من وزن المواد الأسمنتية. علماً بأن هذه المعادلة مستنتجة على أساس خرسانة تحتوى على ملدنات وتعطى خلطة لدنة القوام (هبوط = ٨

إلى ١٢ سم). وقد تم إستنتاج هذه المعادلة بتحليل نتائج أكثر من ١٥٠ خلطة خرسانية ذات مقاومة تتراوح من ٥٠٠ إلى ١١٠٠ كج/سم٢.

$$w/cm = \frac{\log\left\{\frac{\alpha\,(1000 - C - SF)}{f_c}\right\}}{3.0 * \log(\beta)}$$

حيث:

w/cm النسبة بين وزن الماء ووزن المواد الأسمنتية (الأسمنت + غبار السليكا)

f_c هى مقاومة الخرسانة كج/سم٢

C هى وزن الأسمنت فى المتر المكعب من الخرسانة - كج

SF هى وزن غبار السليكا فى المتر المكعب من الخرسانة - كج

α عامل يتوقف على نوع الركام الكبير المستخدم ويساوى ١٣ ، ١٤ ، ١٥ للزلط والجرانيت والدولوميت على الترتيب.

β عامل يتوقف على نوع الأسمنت ويساوى ١٣,٠ ، ١٢ ، ١٠,٥ للأسمنت البورتلاندى العادى والأسمنت المقاوم للكبريتات والأسمنت فائق النعومة على الترتيب.

والجدول الآتى يعطى بعض القيم لنسبة الماء إلى المواد الأسمنتية (*w/cm*) وذلك لتحقيق مقاومة ضغط بعد ٢٨ يوم = ١٠٠٠ كج/سم٢ بإستخدام محتوى أسمنت = ٤٧٥ كج/م٣.

٠,٤٠	٠,٤٢	٠,٤٤	٠,٤٦	٠,٤٨	(١)	
٠,٤٢	٠,٤٤	٠,٤٦	٠,٤٨	٠,٥٠	(٢)	
٠,٤٤	٠,٤٦	٠,٤٨	٠,٥٠	٠,٥٢	(٣)	
٠,٤٢	٠,٤٤	٠,٤٦	٠,٤٨	٠,٥٠		
٠,٤٤	٠,٤٦	٠,٤٨	٠,٥٠	٠,٥٢		
٠,٤٦	٠,٤٨	٠,٥٠	٠,٥٢	٠,٥٤		

١٠- **يتم تطبيق معادلة الحجم المطلق** بنفس الطريقة المتبعة سابقاً فى حالة الخرسانة عادية المقاومة وذلك لحساب أوزان المكونات المختلفة فى المتر المكعب من الخرسانة مع مراعاة فرض قيم الأوزان النوعية للمواد المختلفة إذا لم تتوافر بيانات عنها كما يلى:

الأسمنت = ٣,١٥	غبار السليكا = ٢,١٥	المخلفات = ١,١٥
الزلط والرمل = ٢,٦٥	الدولوميت = ٢,٧	الجرانيت = ٢,٧

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

مثال:

المطلوب تصميم خلطة خرسانية عالية المقاومة وتحديد الكميات اللازمة لعمل واحد متر مكعب من الخرسانة إذا علم أن:

- **مقاومة الضغط المطلوبة = ٨٠٠ كج/سم٢**
- **الهبوط بإستخدام المخروط القياسى = ١٠ سم**
- **نوع الأسمنت المستخدم هو أسمنت مقاوم للكبريتات**
- **الركام المستخدم عبارة عن رمل طبيعى حرش و دولوميت مقاس ١٤مم ، والتدرج الحبيبى لكلٍ من الرمل والدولوميت كما يلى:**

فتحة المنخل - مم	٢٠	١٠	٤,٧٥	٢,٣٦	١,١٨	٠,٦	٠,٣	٠,١٥
دولوميت	١٠٠	٨٥	٦	-	-	-	-	-
رمـــل	-	١٠٠	٩٤	٨٠	٦٥	٥٠	١٠	صفر

تصميم الخلطة

١- نسبة غبار السليكا المناظر لمقاومة ٨٠٠ كج/سم٢ مع استخدام الدولوميت = ١٠% من وزن الأسمنت.

٢- محتوى الأسمنت المناظر لنسبة ١٠% من غبار السليكا = ٤٧٥ كج/م٣.

∴ وزن غبار السليكا = ٤٧٥ × ١٠% = ٤٧,٥ كج/م٣.

٣- نسبة الملدنات المطلوبة = ٣% من وزن المواد الأسمنتية وتكون من النوع ASTM-Type G

∴ وزن الملدنات فى المتر المكعب = ٠,٠٣ × (٤٧٥ + ٤٧,٥) = ١٥,٦٧٥ كج

٤- بتطبيق معادلة *w/cm* مع مراعاة أن قيمة α = ١٥ وقيمة β = ١٢ نحصل على نسبة الماء إلى المواد الأسمنتية = ٠,٢٩٤

∴ وزن الماء فى المتر المكعب = ٠,٢٩٤ (٤٧٥ + ٤٧,٥) = ١٥٣,٦ كج

٥- يتم خلط الركام الكبير مع الركام الصغير بحيث يحقق أن ٣٠% من وزن الركام الخليط يمر خلال المنخل رقم ٤,٧٥. إذن بإستخدام النتائج فى جدول التدرج نجد أن:

٠,٩٤ وزن الرمل + ٠,٠٦ وزن الدولوميت = ٠,٣٠ (وزن الرمل + وزن الدولوميت)

∴ وزن الرمل = ٠,٣٧٥ وزن الدولوميت.

٦- بتطبيق معادلة الحجم المطلق:

$$\frac{475}{3.15}+\frac{47.5}{2.15}+\frac{0.375\ W}{2.65}+\frac{W}{2.7}+\frac{15.675}{1.15}+\frac{153.6}{1.0}=1000$$

حيث W هى وزن الدولوميت.

بحل المعادلة نحصل على وزن الدولوميت = ١٢٨٩ كج

∴ وزن الرمل = ١٢٨٩ × ٠,٣٧٥ = ٤٨٣ كج

٧- و يكون وزن المكونات المختلفة اللازمة لعمل واحد متر مكعب خرسانة هى:

- **وزن الأسمنت المقاوم للكبريتات = ٤٧٥ كج**
- **وزن غبار السليكا = ٤٧,٥ كج**
- **وزن الدولوميت = ١٢٨٩ كج**
- **وزن الرمل = ٤٨٣ كج**
- **وزن الملدنات ASTM C494 Type G = ١٥,٦٧٥ كج**
- **وزن الماء = ١٥٣,٦ كج**

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

٥-٦ بعض الخلطات الخرسانية ذات المتطلبات الخاصة

Concrete Mixes With Special Requirements

قد يكون مطلوباً فى بعض الأحيان تصميم خلطة خرسانية لها خواص معينة أو تحقق شروطاً معينة تكون ضرورية من الناحية التصميمية أو التنفيذية فمثلاً قد يطلب أن تكون الخلطة ذات مقاومة عالية أو أن يكون لها قوام إنسيابى أو أن تحتفظ الخلطة بقوامها اللدن لمدة طويلة (قد تصل إلى ساعتين). والأمثلة الآتية هى نتائج معملية لبعض الخلطات التى تم تنفيذها فى معامل كلية الهندسة بالمنصورة.

الخلطة رقم ١

المطلوب:

- مقاومة الضغط = ٤٠٠ كج/سم^{٢}.
- يشترط عدم إستخدام أية إضافات.
- الهبوط فى حدود ١٠ سم.

الخلطة المقترحة:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٥٠٠ كج/م^{٣}.
- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٤٣ (٢١٥ لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل إلىالزلط = ٠,٣٥ : ٠,٦٥ (رمل حرش وزلط مقاس ١٦ مم).

النتائج:

- الهبوط = ١٠ سم.
- مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ٣٢٢ كج/سم^{٢}.
- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٤٠٥ كج/سم^{٢}.
- مقاومة الضغط بعد ٥٦ يوم = ٤٢٧ كج/سم^{٢}.

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

الخلطة رقم ٢

المطلوب:

- مقاومة الضغط = ٤٠٠ كج/سم٢.
- يمكن إستخدام إضافات.
- الهبوط فى حدود ١٠ سم ويستمر بدون فقد لمدة ساعة على الأقل.

الخلطة المقترحة:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٤٥٠ كج/م٣.
- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٢٦ (١١٧ لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل إلىالزلط = ٠,٣٥ : ٠,٦٥ (رمل حرش وزلط مقاس ١٦ مم).
- إستخدام ٣% ملدنات ASTM type G.

النتائج:

- الهبوط الأولى = ١٤ سم - الهبوط بعد ساعة = ١٠ سم.
- مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ٣٧٥ كج/سم٢.
- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٤٤٥ كج/سم٢.
- مقاومة الضغط بعد ٥٦ يوم = ٤٩٠ كج/سم٢.

الخلطة رقم ٣

المطلوب:

- مقاومة الضغط = ٦٠٠ كج/سم٢.
- الهبوط فى حدود ٨ سم ويستمر بدون فقد لمدة ساعة على الأقل.

الخلطة المقترحة:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٥٠٠ كج/م٣.
- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٣٠ (١٥٠ لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل إلى الدولوميت=٠,٣٥ : ٠,٦٥ (رمل حرش ودولوميت مقاس ١٦ مم).
- إستخدام ٤% ملدنات ASTM type G.

النتائج:

- الهبوط الأولى = ١٢ سم - الهبوط بعد ساعة = ٩ سم.
- مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ٥٥٠ كج/سم٢.
- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٧٠٠ كج/سم٢.

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

- مقاومة الضغط بعد ٥٦ يوم = ٧٤٧ كج/سم٢.

الخلطة رقم ٤

المطلوب:

- مقاومة الضغط = ٥٠٠ كج/سم٢.
- الهبوط فى حدود ٨ سم.

الخلطة المقترحة:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٤٥٠ كج/م٣.
- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٣٢ (١٤٤ لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل إلىالزلط = ٠,٣٥ : ٠,٦٥ (رمل حرش وزلط مقاس ١٦ سم).
- إستخدام ٣% ملدنات ASTM type G.

النتائج:

- الهبوط = ٨ سم
- مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ٤٦٠ كج/سم٢.
- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٥٥٠ كج/سم٢.
- مقاومة الضغط بعد ٥٦ يوم = ٥٧٥ كج/سم٢.

الخلطة رقم ٥

المطلوب:

- مقاومة الضغط = ٨٠٠ كج/سم٢.
- الهبوط فى حدود ٥ سم.

الخلطة المقترحة:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٥٠٠ كج/م٣.
- غبار السليكا ١٥% من وزن الأسمنت (٧٥ كج فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٢٥ (١٢٥ لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل = ٢٥% من الركام الشامل.
- دولوميت مقاس ١٠ مم = ٢٥% من الركام الشامل.
- دولوميت مقاس ١٦ مم = ٥٠% من الركام الشامل.
- إستخدام ٣,٥% ملدنات ASTM type G.

النتائج:

- الهبوط = ٥ سم

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

- مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ٧١٠ كج/سم٢.
- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٨٥٠ كج/سم٢.

الخلطة رقم ٦

المطلوب:

- مقاومة الضغط = ٢٠٠ كج/سم٢.
- الهبوط فى حدود ١٠ سم.

الخلطة المقترحة الأولى بدون إضافات:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٢٧٠ كج/م٣.
- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٧٠ (١٨٩ لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل إلىالزلط = ٠,٣٥ : ٠,٦٥ (رمل حرش وزلط مقاس ١٦ سم).

النتائج:

- الهبوط = ١٠ سم
- مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ١٢٥ كج/سم٢.
- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٢٢٠ كج/سم٢.
- مقاومة الضغط بعد ٥٦ يوم = ٢٣٠ كج/سم٢.

الخلطة المقترحة الثانية بإستخدام إضافات:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٢٠٠ كج/م٣.
- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٥٩ (١١٨ لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل إلىالزلط = ٠,٣٥ : ٠,٦٥ (رمل حرش وزلط مقاس ١٦ سم).
- إستخدام ٣% ملدنات ASTM type G.

النتائج:

- الهبوط = ١٠,٥ سم
- مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ١٥٥ كج/سم٢.
- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٢٠٥ كج/سم٢.
- مقاومة الضغط بعد ٥٦ يوم = ٢٢٠ كج/سم٢.

****