أتحاد مـُهندسي كوردستان

KURDISTAN ENGINEERS UNION

The Research Project name: **أسم مشروع البحث:**

تصميم الخلطات الخرسانية

Concrete Mix Design

من إعداد:

- **المـهندس (احسان اسماعيل محمود)**

الإهـــداء

السادة رئيس و اعضاء اتحاد مهندسي كردستان

السلام عليكم و رحمة الله و بركاته

اسعدت كثيرا بتواجدي معكم في هذا الطرح المتواضع عن (تصميم الخلطات الخرسانية) ، و اتشرف باهدائه الى الاخوة و الاخوات في الاتحاد و زملائي في العمل و من واجب الوفاء ان اتقدم بجزيل الشكر الى حكومة اقليم كردستان التي بفضلها تمكنت من تطبيق ما تعلمته في كلية الهندسة على يد اساتذتى الافاضل ، و تشرفت بان اساهم في اعمار كردستان الحبيبة

و اقدم شكري الى كل من ساندني و ساهم في تطويرقدراتي و الاعلاءمن خبراتي في الحياة العملية

المـُهندس (احسان اسماعيل محمود)

تصميم الخلطات الخرسانية يعنى تحديد القيم النسبية لمكوناتها Proportioning بما يتفق مع المتطلبات المرغوبة لعمل معين. ويكون ذلك باستخدام نسب ثبتت فاعليتها من الخبرة وتسمى بالنسبة الوضعية Empirical Proportioning وقد يكون بطرق حسابية مبنية على أساس فني تتضمن خواص المواد المستخدمة والخواص المطلوبة فى 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 Materialsلنحصل 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 اقتصاديات 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 والذي تؤثر نسبة وجوده فى الخلطة تأثيراً كبيراً على تكاليفها نظراً لغلو ثمنه بالنسبة لباقي المكونات.

2- كيفية بيان نسب مكونات الخرسانةExpressing Proportions

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

الاسمنت	الرمل	الحصو (الركام كبير)
1	2	4

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

- وقد تبين المواد الحبيبية كنسبة بين الأسمنت والركام الخليط Ratio Cement/Aggregates فمثلاً خلطة ١: ٦ أى جزء واحد أسمنت وستة أجزاء ركام بالوزن وتبين هذه النسبة مدى غنى او افتقار الخرسانة Rich or Lean Mixفالخلطة 1: ٤ تعتبر خلطة غنية أما الخلطة 1 : 8 فتعتبر خلطة فقيرة.
- وقد تبين نسب المواد الحبيبية بما يحوية المتر المكعب للخرسانة الطازجة من الأسمنت والركام الصغير والركام الكبير على أن يُبين الأسمنت بالوزن والركام بالحجم تسهيلاً لتحضيرالكميات عند الخلط فمثلا بخلطة

الاسمنت	الرمل	الحصو
٣٠٠ كيلوغرام	0.4متر مكعب	٠,٨ متر مكعب

و مجموع هذه الكميات يعطى تقريبا بعد خلطها بالماء حوالى متر مكعب من الخرسانة الطازجة

كما يمكن أن يُعبر عن الأسمنت بعدد الاكياس للمتر المكعب من الخرسانة الطازجة وهذا العدد يسمى معامل الأسمنت Cement Factor فمثلاً خلطة يحتوى المتر المكعب منها على ٦ اكياس أسمنت (وزن كيس يساوي ٥٠ كيلوغرام) وخلطة أخرى غنية يحتوى المتر المكعب منها على ٨ اكياس أو خلطة فقيرة يحتوى المتر المكعب منها على ٤ اكياس

الاسمنت	الرمل	الحصو
6 اكياس	0.4 متر مكعب	0.8متر مكعب

- وتبين 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 وبالتالي يمكن تعيين حجم ذلك الماء باللتر. وأحيانا قد تبين كمية ماء الخلط اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة الطازجة مباشرة فمثلا خلطة

الاسمنت	الرمل	الحصو	ماء
300كغم	0.4م^3	0.8 م^3	150 لتر

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

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

الاسمنت	الرمل	الحصو	ماء
300كغم	0.4م^3	0.8 م^3	150 لتر

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

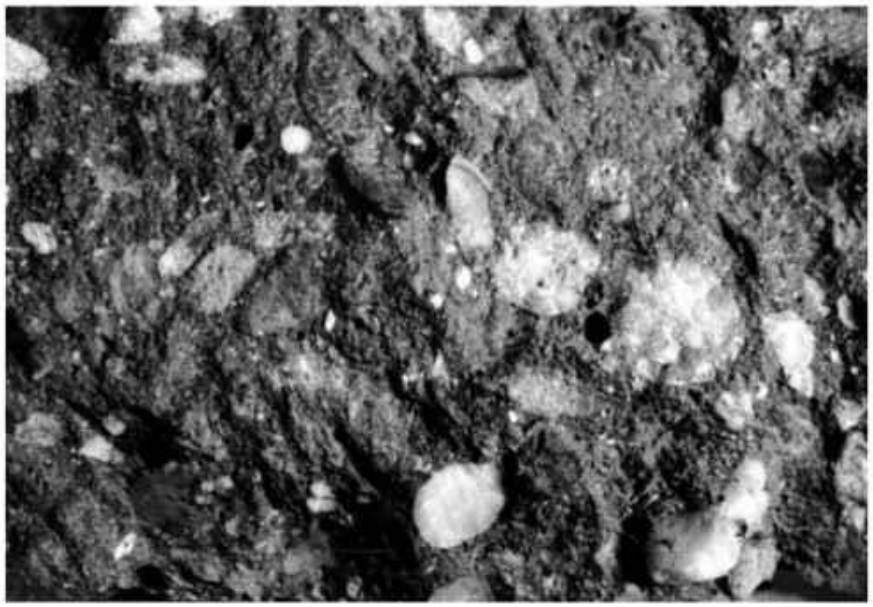
٣ العلاقة بين الركام والعجينة الأسمنتيةAggregate-Paste Relationship

تتركب الخرسانة من عجينة أسمنتية (نشطة) وركام (خامل) وتعتمد مقاومة الخرسانة على مقاومة العجينة حيث أن مقاومة الركام كبيرة جدا بالنسبة لمقاومة العجينة. ولذلك فإن إنهيار الخرسانة التقليدية يكون دائما 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 مفاجيء حيث يمر الشرخ بالركام وليس حوله ويشطره كما في شكل (٥-١)

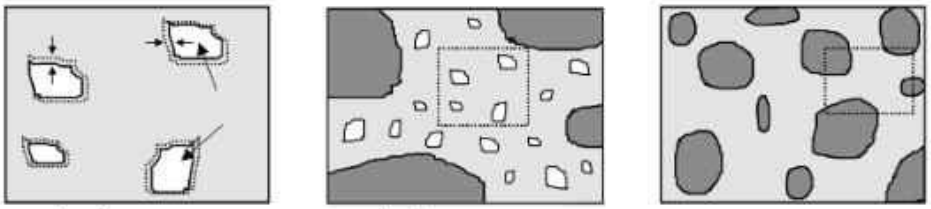
ومن الجدير بالذكر أن تشغيلية الخرسانة تنتج من تأثير تشحيم العجينة للركام وتتأثر بمقدار سيولة العجينة. كما تعتمد نفاذية الخرسانة للسوائل على وجود واستمرار العجينة الأسمنتية.

وبالإضافة الى ذلك فإن إنكماش الكتلة الخرسانية الدائم يكون ناتج من العجينة الأسمنتية وليس
الركام.

والعجينة الأسمنتية تكون عبارة عن معلق 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 مكونا بنية العجينة.



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



شكل (٥-٢) علاقة العجينة الأسمنتية بالركام.

4-طرق تصميم الخلطات الخرسانيةMix Design Methods

أولاً : الطريقة الوضعيةEmpirical Method

تحدد هذه الطريقة نسباً لمكونات الخرسانة نتيجة الخبرة Experience السابقة للاستعمال بنجاح. وقد أثبتت هذه الطريقة ملائمتها وصلاحيتها للعمليات الصغيرة Small Jobs نظراً لسهولتها حيث تعطى المواد الصلبة الأسمنت ، الرمل ، الحصو 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 في المنشآت طبقا لنوع الخرسانة أو طبقا لمقاومة الخرسانة للضغط هي كما يلى:

	الأسمنت	الرمل	الحصو
خلطة غنية ذات مقاومة عالية	1	1	2
خلطة متوسطة	1	2	4
خلطة فقيرة ذات مقاومة منخفضة	1	3	6

أي

الأسمنت	الركام
1	3
1	6
1	9

وذلك على أساس أن الركام مناسب والماء أقل ما يمكن لجعل الخلطة ذات قوامConsistency مناسب لتكون لدنة. والنسب الوضعية المستخدمة فى دولة العراق و اقليم الكردستان هي:

أسمنت	رمل	حصو
س/ كغم	0.4 م^3	0.8 م^3

مع كمية الماء المناسبة والمعقولة وتتراوح قيمة الماء كنسبة من الأسمنت (م/س) من ٠.٤ إلى 0.7 بالوزن ويحدد كميتها طبيعة العمل. أما كمية الأسمنت "س" فيحددها نوع العمل والخلطة اللازمة له هل هي غنية أو فقيرة حيث تتراوح "س" من ٢٠٠ إلى ٤٠٠ كيلوغرام أي من ٤إلى ٨ اكياس سمنت للمتر المكعب من الخرسانة. ويحدد كمية الأسمنت وكمية الماء المهندس المسئول عن مواصفات العملية تبعا لطبيعتها.

- وعيوب هذه الطريقة تتلخص في 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 أحيانا إلى ١.٢م.

٣ - نسبة الرمل / الحصو شبه ثابتة وهى ١: ٢ مع ملاحظة إهمال نوع الركام وتدرجه والمقاس الإعتباري الأكبر له وكذلك إهمال معاير النعومة للرمل.

4- 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 في الخلطة الخرسانية ويلزم عمل إختبارات مقارنة بين المواد المختلفة والخلطات المتباينة. وتتطلب هذه الطريقة وجود عينات من الأسمنت والحصو 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 كغم (٥% من وزن الكيس)
- 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 والحصو ويفضل استخدام 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 والحصو 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 والحصو والماء كما يلى:

$$\text{Absolute Volume} = \frac{C}{Gc} + \frac{S}{Gs} + \frac{G}{Gg} + \frac{W}{1.0} = 1000 \text{ Liters}$$

حيث :-

C: - وزن الأسمنت بالكغم اللازم للمتر المكعب من الخرسانة.
S: - وزن الرمل بالكغم اللازم للمتر المكعب من الخرسانة
G: - وزن الحصو بالكغم اللازم للمتر المكعب من الخرسانة
W: - وزن الماء بالكغم اللازم للمتر المكعب من الخرسانة

G_C G_S G_g الوزن النوعى للأسمنت والرمل والحصو على التوالى
علما بأن واحد متر مكعب من الخرسانة = ١٠٠٠ لتر.

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

1- كمية الأسمنت اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة.
2- نسبة الماء إلى الأسمنت بالوزن (م/س) أو كمية الماء للمتر المكعب من الخرسانة.
3- نسبة الركام الصغير إلى الركام الكبير في الركام المستخدم
4- الوزن النوعى للأسمنت والركام الكبير والركام الصغير.

وتحدد البيانات سالفة الذكر من واقع الخبرة Experience ومن النتائج العملية Practice ومن الاختبارات المختبرية Laboratory Tests أى أننا نحدد قيمة C ، W/C ، G/S وكذلك نحدد الأوزان النوعية G_C ، G_S ، G_g ثم تطبق المعادلة سالفة الذكر لتعيين وزن كل من الرمل والحصو.
واذا أريد بيان النسب بين المكونات الحبيبية للخرسانة بالوزن للأسمنت وبالحجم للركام يلزم معرفة الوزن الحجمي لكل من الرمل والحصو (أى وزن المتر المكعب) وذلك من واقع الخبرة والتجارب.

*وتتضح تلك الطريقة في المثال التالي:
المطلوب تصميم خلطة خرسانية بحيث تكون الخرسانة الطازجة لدنة القوام Plastic وبحيث تكون الخرسانة المتصلدة ذات مقاومة للضغط بعد ٢٨ يوم تساوى ٢٤٠ كغم /سم^2 . مع مراعاة أن الركام الخليط المستخدم يمر منه نسبة ٤٠% من المنخل القياسي ٣/١٦ مع العلم بان
الوزن النوعى للأسمنت = ٣,١٥.
الون النوعى للركام الرمل أو الحصو = ٢.٦٥.
الوزن الحجمي للركام (الرمل أو الحصو) = ١٧٠٠ كغم / م^3

الـــــحـــــل

أ - تعين نسبة الركام الصغير (الرمل) إلى الركام الكبير (الحصو)
يعتبر المار من المنخل القياسى ٣/١٦ هو الرمل والمحتجز عليه هو الحصو. إذن يتبين أن النسبة المئوية للرمل فى الركام الخليط تساوى ٤٠% وبالتالي الحصو يساوى 60%.
ملاحظة: هذه النسبة قد تفرض طبقا للخبرة والسوابق العملية - والنسبة الشائعة الإستخدام قد تفرض مباشرة على أساس ٣٣٪ للرمل أى نسبة الرمل إلى الحصو تساوى ١ : ٢

ب - 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 التي تعمل فيها.
ومن الخبرة العملية يمكن إستخدام هذه العلاقة:
كمية الأسمنت اللازمة للمتر المكعب - مقاومة للضغط بعد ٢٨ يوم (كغم/سم^2) + ٥٠ إلى ١٠٠ إذن
كمية الأسمنت اللازمة للمتر المكعب = ٢٤٠ + ٦٠ = ٣٠٠ كغم.

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

في هذا المثال نفرض أن (م/س) = 0.5
إذن كمية الماء للمتر المكعب من الخرسانة = ١٥٠ لتر.
جدول (٥-١) العلاقة بين كمية ماء الخلط ومحتوى الأسمنت.

المقاس الإعتباري الأكبر للركام (مم)	قيمة (م/س) لمحتوى أسمنت (كغم) لكل متر مكعب خرسانة				
	200	250	300	350	400
10	0,70	0,60	0,50	0,475	0,40
20	0,65	0,55	0,45	0,425	0,385
40	0,61	0,48	0,425	0,385	0,37

د - يحسب تصميم الخلطة الخرسانية كما يلى:
وزن الحصو = ($\frac{60}{40}$) وزن الرمل = ١,٥ وزن الرمل
2.65

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

وزن الرمل =800 كغم
وزن الحصو =١٢٠٠ كغم.

- نسب الخلطة الخرسانية بالوزن:

أسمنت	رمل	حصو	ماء
300كغم	800كغم	1200كغم	150كغم
1	2.67	4	0.5

- نسبة الخلطة الخرسانية بالحجم:

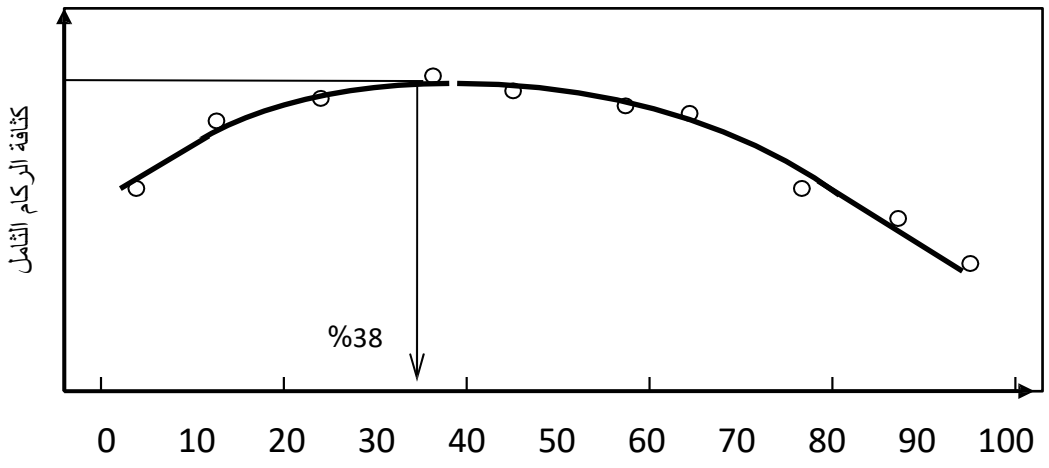
أسمنت	رمل	حصو	ماء
300/ 50كيس	1700/800 م^3	1700/1200 م^3	150ليتر
6 اكياس	0.47	0.71	150 ليتر

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

ا- طريقة الكثافة القصوىOptimum Unit Weight Method

وفيها يتم عمل خلطات من الركام الجاف فقط تحتوى على نسبا مختلفة من الرمل إلى الركام الخليط فمثلاً : صفر %% ١٠٠٪ % ، ٢٠٪ ، ...١٠٠٠ % مع تعيين وحدة الوزن لكل منها ثم نوقع القراءات على منحنى ويمكن من هذا المنحنى إيجاد نسبة الرمل التي ستكون عندها وحدة الوزن نهاية قصوى أى الحصول على أقل نسبة فراغات ممكنة. ويتضح ذلك من شكل (٥-٣) الذي يبين أن نسبة الرمل ٣٦% تعطى أقصى وحدة وزن للركام الخليط.

شكل (٥-٣) الكثافة القصوى للركام الخليط



الشكل (5-3) الكثافة القصوى للركام الخليط

ب طريقة المساحة السطحية للركام Surface Area Method

الأساس العلمي في هذه الطريقة هو الربط بين كمية عجينة الأسمنت في الخلطة الخرسانية والمساحة السطحية للركام الذى تغلف أسطحة لإتمام عملية الإلتصاق بين حبيباته ومعنى ذلك بأنه في الخلطات الخرسانية ذات الركام الصغير المقاس فإنه يحتاج لزيادة كمية الأسمنت بسبب زيادة المساحة السطحية لهذا الركام. وإحدى طرق التعبير المذكورة هي 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^2 /غم التي تعطى غالبا أكبر قيمة للمقاومة. وبالتالي نحدد التدرج المطلوب أو نسبة الرمل في الركام الشامل.

5-الخلطات الخرسانية عالية المقاومة Design of HSC Mixes

الخلطات الخرسانية عالية المقاومة تتميز بوجود عدد كبير من المواد التي ينبغي 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 في مكونات الخرسانة عالية المقاومة وذلك فى باب الخرسانات الخاصة. وفيما يلى شرح موجز لخطوات تصميم الخلطات الخرسانية عالية المقاومة

1- يتم تقرير إستخدام مادة غبار السليكا في الحالات الآتية:

- إذا كانت المقاومة المطلوبة للخرسانة أكبر من ٨٠٠ كغم /سم^2.
- عندما تكون الخرسانة قليلة النفاذية ضرورية ومرغوبة.
- في حالة خرسانة الضخ حتى لا يحدث إنفصال حبيبي
- عندما تكون الخرسانة معرضة لمواد كيميائية خاصة الكلوريدات.

2- يمكن فرض محتوى غبار السليكا طبقا لمقاومة الضغط المطلوبة كما هو موضح بالجدول الآتي:

المقاومة الضغط للخرسانة كغم/ سم^2	نسبة غبار السليكا المضاف كنسبة من وزن الاسمنت
700 الى 800	5 الى 10%
800 الى 900	10 الى 15%
900 الى 1000	15 الى 20%
اكبر من 1000	20 الى 25%

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

2- **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 أوأسمنت مقاوم للكبريتات. وبصفة عامة فإن كفاءة مادة غبار السليكا تكون أكبر في حالةإستخدام الأسمنت البورتلاندى العادى بالمقارنة بباقى أنواع الأسمنت. ولا يُنصح باستخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات إلا فى حالة وجود نسبة عالية من أملاح الكبريتات في التربة أوفي المياه الجوفية. أما فى الأحوال العادية أو الأحوال التى تكون فيها مقاومة الكلوريدات أهم من مقاومة الكبريتات فينصح باستخدام الأسمنت البورتلاندي العادي.

٤ -يحدد محتوى الأسمنت فى المتر المكعب خرسانة طبقا لمحتوى غبار السليكا المستخدم كمايلي:-

نسبة غبار السليكا المضاف كنسبة من وزن الاسمنت	كمية الاسمنت كغم / م^3
15 الى 20%	450
5 الى 15%	475
عدم وجود غبار السليكا	500

5- **يتم إختيار نوع الملدنات** (Superplasticizers) بحيث يكون من النوع المطابق للمواصفات الأمريكية ASTM 494 Type F وفى حالة الحرارة الشديدة أو في حالة طول مدة صب وصناعة الخرسانة فيفضل نوع الملدنات المطابق للمواصفات الأمريكية ASTM C494 Type G

6- **يمكن فرض نسبة الملدنات** (Super plasticizers) طبقا 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 كغم/سم^2	نسبة الملدنات كنسبة من (وزن الاسمنت + غبار السليكا)
400 الى 500	1.0 الى 1.5 %
500 الى 600	1.5 الى 2 %
600 الى 700	2.0 الى 2.5 %
اكبر من 700	2.5 الى 3.5 %

7- **يتم إستخدام الحصو كركام كبير فى الخلطة** الخرسانية إذا كانت مقاومة الضغط المطلوبة لاتتجاوز ٧٥٠ أو ٨٠٠ كغم /سم ٢ وفى حالة خرسانة ذات مقاومة أكبر من ذلك فمن الضرورى إستخدام كسر حجر قوى دولوميت أو جرانيت.

8- **يفضل أن لا يزيد المقاس الإعتبارى الأكبر للركام الكبير عن ٢٠مم**. والركام مقاس 14 مم أو حتى 10 مم يعطى مقاومة أفضل بشرط أن يكون الركام متدرج وسليم وقوى. وتفرض النسبة بين الركام الكبير والرمل وفقا لأى طريقة كما فى حالة الخرسانة التقليدية (عادية المقاومة).

9- **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. علما بأن هذه المعادلة مستنتجة على أساس خرسانة تحتوى على ملدنات وتعطى خلطة لدنة القوام هبوط = ٨إلى ١٢ سم). وقد تم إستنتاج هذه المعادلة بتحليل نتائج أكثر من ١٥٠ خلطة خرسانية ذات مقاومة تتراوح من ٥٠٠ إلى ١١٠٠ كغم سم.

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

حيث:-

Fc هي مقاومة الخرسانة كغم/سم^2

C هي وزن الأسمنت فى المتر المكعب من الخرسانة - كغم

SF هي وزن غبار السليكا في المتر المكعب من الخرسانة - كغم

α عامل يتوقف على نوع الركام الكبير المستخدم ويساوى 13 ، 14 ، 15 للحصو والجرانيت والدولوميت على الترتيب.

β عامل يتوقف على نوع الاسمنت ويساوى 0 ، 13 ، 12 ، 10.5 للاسمنت البورتلاندي العادي و المقاوم 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 كغم /سم^2 باستخدام محتوى أسمنت = ٤٧٥ كغم/م^3

المقاومة المطلوبة =1000كغم /سم^2 محتوى الاسمنت =475 كغم /م^3		غبار السليكا كنسبة مئوية من وزن الاسمنت				
		%5	%10	%15	%20	%25
اسمنت بورتلاندي عادي	الحصو	0.244	0237	0.231	0.224	0.216
اسمنت المقاوم للكبريتات	الحصو	0.251	0.245	0.238	0.231	0.223
اسمنت فائق النعومة	الحصو	0.266	0259.	0.251	0.244	0.236
اسمنت بورتلاندي عادي	دولوميت	0.262	0.256	0.249	0.242	0.235
اسمنت المقاوم للكبريتات	دولوميت	0.271	0.264	0.257	0.250	0.242
اسمنت فائق النعومة	دولوميت	0.286	0.279	0.272	0.264	0.256

10- **يتم تطبيق معادلة الحجم المطلق** بنفس الطريقة المتبعة سابقا 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 يلي:

الأسمنت = ٣,١٥ غبار السليكا = 2.15 الملدنات = ١,١٥

الحصو والرمل = ٢,٦٥ الدولوميت = ٢.٧ الجرانيت = ٢.٧

مثـــــال

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

-مقاومة الضغط المطلوبة = ٨٠٠ كغم/سم^2

- الهبوط بإستخدام المخروط القياسي = ١٠ سم

- نوع الأسمنت المستخدم هو أسمنت مقاوم للكبريتات

-الركام المستخدم عبارة عن رمل طبيعي حرش و دولوميت مقاس ١٤مم ، والتدرج الحبيبي لكل من الرمل والدولوميت كما يلي:

فتحة المنخل - سم	٢٠	10	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15
دولوميت	100	85	6	-	-	-	-	-
رمل	-	100	94	80	65	50	10	صفر

تصميم الخلطة

1- نسبة غبار السليكا المناظر لمقاومة ٨٠٠ كغم/سم^2 مع استخدام الدولوميت = 10% من وزن الأسمنت.

2- محتوى الأسمنت المناظر لنسبة ١٠% من غبار السليكا = ٤٧٥ كغم/م^3.

∴ وزن غبار السليكا = ٤٧٥ × ١٠% = ٤٧,٥ كغم/م^3.

3- نسبة الملدنات المطلوبة = 3% من وزن المواد الأسمنتية وتكون من النوع ASTM-Type G

∴ وزن الملدنات فى المتر المكعب = 0.03 *(475+47.5)= ١٥,٦٧٥ كغم

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

∴ وزن الماء في المتر المكعب = 0.294*(475+47.5) = 153.6 كغم

5- يتم خلط الركام الكبير مع الركام الصغير بحيث يحقق ان ٣٠% من وزن الركام الخليط يمر خلال المنخل رقم 4.75. إذن باستخدام النتائج في جدول التدرج نجد أن:

٠.٩٤ وزن الرمل + ٠.٠٦ وزن الدولوميت = ٠.٣٠ (وزن الرمل + وزن الدولوميت)

∴ وزن الرمل = ٠.٣٧٥ وزن الدولوميت.

6- بتطبيق معادلة الحجم المطلق

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

حيث W هي وزن الدولوميت

بحل المعادلة نحصل على وزن الدولوميت = ١٢٨٩ كغم

∴ وزن الرمل = ١٢٨٩ × ٠,٣٧٥ = ٤٨٣ كغم

7 - يكون وزن المكونات المختلفة اللازمة لعمل واحد متر مكعب خرسانة هي:

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

6- بعض الخلطات الخرسانية ذات المتطلبات الخاصة
Concrete Mixes With Special Requirements

قد يكون مطلوبا في 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 إنسيابي أو أن تحتفظ الخلطة بقوامها اللدن لمدة طويلة (قد تصل إلى ساعتين).
والأمثلة الآتية هى نتائج معملية لبعض الخلطات.

الخلطة رقم 1

المطلوب
-مقاومة الضغط = ٤٠٠ كغم /سم^2
يشترط عدم إستخدام أية إضافات.
- الهبوط في حدود 10 سم.
الخلطة المقترحة:
-أسمنت بورتلاندى عادى ٥٠٠ كغم/ م^3
-نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠.٤٣(٢١٥ لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
-نسبة الرمل إلى الحصو = ٠.٣٥ : ٠.٦٥(رمل حرش وحصو مقاس ١٦ مم).
النتائج:
-الهبوط = ١٠ سم.
-مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ٣٢٢ كغم/ سم ^{2}
-مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٤٠٥ كغم/ سم ^{2}
-مقاومة الضغط بعد ٥٦ يوم = ٤٢٧ كغم/ سم ^{2}

الخلطة رقم ٢

المطلوب
-مقاومة الضغط = ٤٠٠ كغم/سم^2.
-يمكن إستخدام إضافات.
-الهبوط فى حدود ١٠سم ويستمر بدون فقد لمدة ساعة على الأقل.
الخلطة المقترحة:
-أسمنت بورتلاندى عادى ٤٥٠ كغم/م^3.
-نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٢٦ (١١٧لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة)
نسبة الرمل إلى الحصو = ٠٣٥ : ٠.٦٥(رمل حرش وحصو مقاس ١٦ مم).
-إستخدام 3% ملدنات ASTM type G

النتائج:
-الهبوط الأولى = ١٤ سم
-الهبوط بعد ساعة = ١٠ سم.
- مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ٣٧٥ كغم / سم^2.
-مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٤٤٥ كغم/سم^2.
-مقاومة الضغط بعد ٥٦ يوم = ٤٩٠ كغم/ سم^2

الخلطة رقم ٣

المطلوب:

-مقاومة الضغط = ٦٠٠ كغم /سم^2.

-الهبوط في حدود ٨ سم ويستمر بدون فقد لمدة ساعة على الأقل.

الخلطة المقترحة:

أسمنت بورتلاندى عادى ٥٠٠ كغم/م^3.

-نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٣٠ (١٥٠ لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة)

-نسبة الرمل إلى الدولوميت = 0.35 : ٠,٦٥ (رمل حرش و دولوميت مقاس 16 مم).

-إستخدام 4% ملدنات ASTM type G

النتائج:

-الهبوط الأولى = ١٢ سم

-الهبوط بعد ساعة = 9 سم.

-مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ٥٥٠ كغم/سم ^{2}

-مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٧٠٠ كغم/ سم^2

-مقاومة الضغط بعد ٥٦ يوم = ٧٤٧ كغم/سم^2.

الخلطة رقم 4

المطلوب

-مقاومة الضغط = ٥٠٠ كغم / سم ^{2}

-الهبوط في حدود 8 سم.

الخلطة المقترحة:

-أسمنت بورتلاندى عادى ٤٥٠ كغم/م^3.

- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٣٢ (١٤٤لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).

- نسبة الرمل إلى الحصو = ٠٣٥ : ٠,٦٥(رمل حرش وحصو مقاس ١٦ سم).

- إستخدام ٣% ملدنات ASTM type G

النتائج:

-الهبوط = 8 سم

-مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ٤٦٠ كغم/ سم2.

- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٥٥٠ كغم/ سم2

- مقاومة الضغط بعد ٥٦ يوم = ٥٧٥ كغم/سم2.

الخلطة رقم 5

المطلوب:

- مقاومة الضغط = ٨٠٠ كغم / سم 2
- الهبوط في حدود 5 سم.

الخلطة المقترحة:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٥٠٠ كغم/م3
- غبار السليكا ١٥% من وزن الأسمنت (٧٥كغم فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الماء إلى الأسمنت 0.25(125 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% ملدناتASTM type G

النتائج:

- الهبوط = ٥ سم
- مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ٧١٠ كغم/ سم2
- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٨٥٠ كغم/ سم 2

الخلطة رقم ٦

المطلوب:

- مقاومة الضغط = ٢٠٠ كغم/ سم 2
- الهبوط في حدود ١٠ سم.

الخلطة المقترحة الأولى بدون إضافات:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٢٧٠ كغم/م3
- نسبة الماء إلى الأسمنت – 0.7(١٨٩ لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل إلى الحصو = ٠,٣٥ : ٠,٦٥(رمل حرش وحصو مقاس 16 سم)

النتائج:

- الهبوط = 10 سم
- مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ١٢٥ كغم/سم2
- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٢٢٠ كغم سم2
- مقاومة الضغط بعد ٥٦ يوم = ٢٣٠ كغم/سم 2

الخلطة المقترحة الثانية باستخدام إضافات:

أسمنت بورتلاندى عادى ٢٠٠ كغم/م2

- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠.٥٩ (١١٨لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل إلى الحصو = ٠,٣٥ : ٠.٦٥(رمل حرش وحصو مقاس 16 سم).

-استخدام 3% ملدنات ASTM type G

النتائج:

الهبوط = 10.5سم

-مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ١٥٥ كغم/ سم 2

-مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٢٠٥ كغم/ سم 2

--مقاومة الضغط بعد 56 يوم = ٢30 كغم/ سم 2