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 أكبرمن ٨٠٠كغم/سم٢.
- عندماتكون الخرسانة قليلة النفاذية ضرورية ومرغوبة.
- فى حالة خرسانة الضخ حتى لايحدث إنفصال حبيبي . عندما
- تكون الخرسانة معرضة لمواد كيميائية خاصة الكلوريدات.

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

مقاومة الخرسانة للانضغاط كغم/متر2	نسبة غبار السليكا المضافة كنسبة من وزن السمنت
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 الحصى 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 بالموقع

للمنشأ وعادة ما يستخدم 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 يُنصحباستخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات إلا فى حالة وجود نسبة عالية من أملاح الكبريتات فى التربة أو فى المياه الجوفية. أمافى الأحوال العادية أو الأحوال التى تكون فيها مقاومة الكلوريدات أهم من مقاومة الكبريتات فينصح باستخدام الأسمنت البورتلاندى العادى.

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

نسبة غبار السليكا المضاف كنسبة من وزن الأسمنت	محتوى الأسمنت كغم/م^3
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 الانضغاط للخرسانة كغم\سم^2	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%

7- يتم استخدام الحصى كركام كبير في الخلطه الخرسانية إذا كانت مقاومه الضغط المطلوبة لاتتجاوز ٧٥٠ أو ٨٠٠ كغم/سم^2 وفى حاله خرسانة ذات مقاومه 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 كغم/سم٢.

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

حيث:

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

f_c هي مقاومة الخرسانة كغم/سم٢

C هي وزن الأسمنت فى المتر المكعب من الخرسانة ـ كغم

SF هي وزن غبار السليكا فى المتر المكعب من الخرسانة ـ كغم

α عامل يتوقف على نوع الركام الكبير المستخدم ويساوى ١٣ ، ١٤ ، ١٥ للحصى 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/C* وذلك لتحقيق مقاومة ضغط بعمر ٢٨ يوم = ١٠٠٠ كغم/سم٢ باستخدام محتوى أسمنت = ٤٧٥ كغم/م٣.

المقاومة المطلوبة = 1000كغم/سم٢		غبار السليكا كنسبة مئوية من وزن الأسمنت				
محتوى الأسمنت = 475 كغم/م٣		٥%	١٠%	١٥%	٢٠%	٢٥%
ـ أسمنت بورتلاندى عادى	حصى	٠,٢٤٤	٠,٢٣٧	٠,٢٣١	٠,٢٢٤	٠,٢١٦
ـ أسمنت مقاوم للكبريتات	حصى	٠,٢٥١	٠,٢٤٥	٠,٢٣٨	٠,٢٣١	٠,٢٢٣
ـ أسمنت فائق النعومة	حصى	٠,٢٦٦	٠,٢٥٩	٠,٢٥١	٠,٢٤٤	٠,٢٣٦
ـ أسمنت بورتلاندى عادى	دولوميت	٠,٢٦٢	٠,٢٥٦	٠,٢٤٩	٠,٢٤٢	٠,٢٣٥
ـ أسمنت مقاوم للكبريتات	دولوميت	٠,٢٧١	٠,٢٦٤	٠,٢٥٧	٠,٢٥٠	٠,٢٤٢
ـ أسمنت فائق النعومة	دولوميت	٠,٢٨٦	٠,٢٧٩	٠,٢٧٢	٠,٢٦٤	٠,٢٥٦

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 المـلدنات = ١,١٥

الزلط والرمل = ٢,٦٥ الدولـوميت = ٢,٧ الجرانيت = ٢,٧

مثال:

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

- مقاومة الانضغاط المطلوبة = ٨٠٠ كغم/م^2
- الهبوط باستخدام المخروط القياسى = ١٠ سم
- نوع الأسمنت المستخدم مقاو م للكبريتات
- الركام المستخدم عبارة عن رمل طبيعى و دولوميت مقاس ١٤ملم ، 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 800 كغم/سم^2 مع استخدام الدولوميت = ١٠% من وزن الأسمنت.

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

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

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) = ١٥,٦٧٥كغم

٤- بتطبيق معادلة w/c مع مراعاة أن قيمة $\alpha = ١٥$ وقيمة $\beta = ١٢$ نحصل على نسبة الماء إلى المواد الأسمنتية = ٠,٢٩٤

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

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 هي وزن الدولوميت.

بحل المعادلة نحصل على وزن الدولوميت = ١٢٨٩ كغم

∴ وزن الرمل = ١٢٨٩× ٠,٣٧٥ = ٤٨٣ كغم

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

- 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 = ١٥,٦٧٥ كغم
- وزن الماء = ١٥٣,٦كغم

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 فمثلًا 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 هي نتائج مختبرية لبعض الخلطات التى تم تنفيذها فىمختبرات كلية الهندسة.

الخلطة رقم ١

المطلوب:

- مقاومة الانضغاط = ٤٠٠ كغم\م^{٢} .
- يشترط عدم إستخدام أية إضافات.
- الهبوط فى حدود ١٠ سم.

الخلطة المقترحة:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٥٠٠ كغم/م^{٣} .
- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٤٣ (٢١٥ لتر ماء في المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل إلىالحصى = ٠,٣٥ : ٠,٦٥ (وحصى مقاس ١٦ مم).

النتائج:

- الهبوط = ١٠ سم.
- مقاومة الانضغاط بعمر ٧ أيام = ٣٢٢ كغم/سم^{٢}.
- مقاومة الانضغاط بعمر ٢٨ يوم = ٤٠٥ كغم/سم^{٢} .
- مقاومة الانضغاط بعمر ٦٠ يوم = ٤٢٧كغم/سم^{٢}.

الخلطة رقم ٢

المطلوب:

- مقاومة الانضغاط = ٤٠٠كغم\سم٢ .
- يمكن إستخدام إضافات.
- الهبوط فى حدود ١٠ سم ويستمر بدون فقد لمدة ساعة على الأقل.

الخلطة المقترحة:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٤٥٠كغم/م٣ .
- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٢٦ (١١٧لترماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل إلىالحصى = ٠,٣٥ :٠,٦٥(وحصى مقاس ١٦ مم) .
- إستخدام ٣% ملدناتASTM type G .

النتائج:

- الهبوط الأولى = ١٤ سم
- الهبوط بعد ساعة = ١٠ سم.
- مقاومة الانضغاط بعمر ٧ أيام = ٣٧٥ كغم/سم٢ .
- مقاومة الانضغاط بعمر ٢٨ يوم = ٤٤٥ كغم/سم٢ .
- مقاومة الانضغاط بعمر ٦٠ يوم = ٤٩٠ كغم/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.

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

الخلطة رقم ٤

المطلوب:

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

الخلطة المقترحة:

ـ أسمنت بورتلاندى عادى ٤٥٠ آج/م٣ .
-نسبة الماء إلى الأسمنت١٤٤) ٠,٣٢ = لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة(.
- نسبة الرمل الى الحصى= ٠,٣٥: ٠,٦٥ (رمل حرش وحصى مقاس ١٦ سم).
-إستخدام ٣% ملدناتASTM type G .

النتائج:

ـ الهبوط = ٨ سم.
ـ مقاومة الانضغاط بعمر ٧ أيام = ٤٦٠ كغم/سم٢ .
ـ مقاومة الانضغاط بعمر ٢٨ يوم = ٥٥٠كغم/سم٢.
ـ مقاومة الانضغاط بعمر ٦٠ يوم = ٥٧٥ كغم/سم٢.

الخلطة رقم ٥

المطلوب:

- مقاومة الانضغاط = ٨٠٠كغم/سم٢.
ـ الهبوط فى حدود ٥ سم.

الخلطة المقترحة:

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

النتائج:

ـ الهبوط = ٥ سم

- مقاومة الانضغاط بعمر ٧ أيام = ٧١٠كغم/سم٢.
- مقاومة الانضغاط بعمر ٢٨ يوم = ٨٥٠ كغم/سم٢.

الخلطة رقم ٦

المطلوب:

- مقاومة الانضغاط = ٢٠٠كغم/سم٢.
- الهبوط فى حدود ١٠ سم.

الخلطة المقترحة الأولى بدون إضافات:

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

النتائج:

- الهبوط = ١٠ سم
- مقاومة الانضغاط بعمر ٧ أيام = ١٢٥كغم/سم٢ .
- مقاومة الانضغاط بعمر ٢٨ يوم = ٢٢٠ كغم/سم٢ .
- مقاومة الانضغاط بعمر ٦٠ يوم = ٢٣٠ كغم/سم٢.

الخلطة المقترحة الثانية بإستخدام إضافات:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٢٠٠كغم/م٣ .
- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٥٩ (١١٨لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل إلىالحصى = ٠,٣٥: ٠,٦٥ (حصى مقاس ١٦ سم) .
- إستخدام٣ % ملدناتASTM type G .

النتائج:

- الهبوط = ١٠,٥ سم
- مقاومة الانضغاط بعمر ٧ أيام = ١٥٥كغم/سم٢.
- مقاومة الانضغاط بعمر ٢٨ يوم = ٢٠٥ كغم/سم٢.
- مقاومة الانضغاط بعمر ٦٠ يوم = ٢٢٠ كغم/سم٢.

****