

# تصميم الخلطات الخرسانية

البحث من اعداد

المهندس المدني المجاز باسل حمودي حمد

من متطلبات الحصول على درجة مهندس استشاري في الهندسة المدنية

## بسم الله الرحمن الرحيم

### مقدمة

تصميم الخلطات الخرسانية يعني تحديد القيم النسبية لمكوناتها بما يتفق مع المتطلبات المرغوبة لعمل معين . ويكون ذلك باستخدام نسب تثبتت فاعليتها من الخبرة وتسمى بالنسبة الوضعية وقد يكون بطرق حسابية مبنية على اساس فني تتضمن خواص المواد المستخدمة والخواص المطلوبة في الخرسانة المتصلدة ( مثل مدى المقاومة للأحمال أو المقاومة للبري ) والاشتراطات التي تتطلبها خطوات صناعة الخرسانة مثل السهولة المناسبة للصب والتسوية النهائية ( التشطيب ) لسطح الخرسانة . وذلك مع مراعات التكاليف الاقتصادية حسب نوع العمل الانشائي المطلوب , وهذه الطرق الحسابية تهدف الى استخدام المواد الموجودة لنحصل منها على خرسانة ذات خواص مطلوبة في الحالتين الطرية والمتصلدة وذلك بأقل التكاليف ويمكن اعتبار ان مقاومة الخرسانة للضغط تبين مدى جودة الخرسانة المتصلدة كما تعبر قيمة الهبوط عن مدى جودة الخرسانة الطرية .

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 . ويعتمد الاقتصاد النسبي للخلطات الخرسانية على أثمان مكوناتها وعلى أجور العمال وتكاليف النقل لتلك المكونات . ويعتبر الاسمنت أحد المكونات الأساسية للخرسانة والذي تؤثر نسبة وجودته في الخلطة تأثيرا كبيرا على تكاليفها نظرا لارتفاع ثمنه بالنسبة لباقي مكونات الخلطة , وهنا مضافات اخرى للخلطة الخرسانية عدا المكونات الأساسية للخرسانة ( الركام الخشن والركام الناعم وعجينة الأسمنت ) , والمضافات عادة يتم استخدامها للحصول على صفات معينة للخرسانة في حالتها الطرية والمتصلبة وسوف يتم التطرق بشيء من التفصيل عن مكونات الخلطة الخرسانية الأساسية والمضافات الخرسانية الأخرى من خلال الفصل الاول للبحث والفصل الثاني سيكون فيه تفاصيل عن تصميم الخلطات الخرسانية والطريقة المستخدمة في تصميم الخلطات الخرسانية ذات المقاومة العادية والخلطات الخرسانية عالية المقاومة .

## المحتويات

### الفصل الاول

- 1- مكونات الخلطة الخرسانية الأساسية .
- 2- المضافات الخرسانية .

### الفصل الثانى

- 1- كيفية تحديد وبيان نسب ومكونات الخلطة الخرسانية .
- 2- العلاقة بين الركام والعجينة الأسمنتية .
- 3- طرق تصميم الخلطات الخرسانية .
- 4- تصميم الخلطات الخرسانية عالية المقاومة

## الفصل الاول

### مكونات الخلطة الخرسانية

مكونات الخلطة الخرسانية الأساسية هي الأسمنت والركام ( ركام ناعم وركام خشن ) 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 وكما يلي :-

اولا :- مكونات الخلطة الأساسية :-

#### 1- الأسمنت

كما هو معروف فان مادة الأسمنت لها خواص تلاحقية ومن خلال هذه الخاصية تتمكن من ربط الأجزاء او المكونات الأخرى للخلطة الخرسانية بكتلة صلبة . والتفاعل الكيميائي بين الماء والأسمنت وهو مايسمى بعملية الأماهة هي التي تعطي الخواص التلاحقية لعجينة الأسمنت الناتجة عن التفاعل ومركبات الأسمنت الأساسية هي أربعة :-

1- سليكات ثنائي الكالسيوم – C2S

2- سليكات ثلاثي الكالسيوم – C3S

3- الومينات ثلاثي الكالسيوم – C3A

4- الومينات حديد رباعي الكالسيوم – C4AF

ومقاومة الأسمنت مسؤول عنها بصورة رئيسية مركب سليكات ثنائي الكالسيوم وسليكات ثلاثي الكالسيوم والمركب سليكات ثلاثي الكالسيوم يشارك بدرجة كبيرة في المقاومة المبكرة خلال ال28 يوم الأولى أما مركب سليكات ثلاثي الكالسيوم فله دور في اكتساب المقاومة بعد ال28 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 الواردة الذكر يمكن انتاج انواع عديدة من الأسمنت البورتلاندي ومن هذه الأنواع :-

- 1- الأسمنت البورتلاندي العادي .
  - 2- الأسمنت البورتلاندي المنخفض الحرارة .
  - 3- الأسمنت البورتلاندي سريع التصلب .
  - 4- الأسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات .
- وهذه الأنواع لكل منها خواصه واستعمالاته .

## 2- 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 منخل رقم 4 والمقصود به هو المنخل الذي فيه اربعة فتحات لكل انج طول والركام الخشن هو الذي لا يمر من منخل رقم 4 .

وكثافة الخرسانة التي يستعمل فيها ركام طبيعي هي بحدود 2300 كغم ام<sup>3</sup> .

## ثانيا :- المضافات الخرسانية

اولا :- هي مواد تضاف الى الخلطة الخرسانية أثناء عملية الخلط وبكميات قليلة جدا لغرض اعطاء الخرسانة الطرية او الخرسانة المتصلبة خواص معينة وكما يلي :-

- 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 .

ثانيا :- هناك شروط يجب الالتزام بها في حالة استخدام المضافات الخرسانية وهي :-

- 1- من الضروري جدا ان لا يكون لها تاثيرا ضارا على الخرسانة او حديد التسليح .
  - 2- ضرورة التأكد من مدى ملائمة وفاعلية الإضافات المستخدمة بواسطة خلطات تجريبية .
  - 3- في حالة استخدام نوعين او اكثر من المضافات 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 بتاتا الى الخرسانة المسلحة او الخرسانة مسبقة الجهد او الخرسانة بها معادن من ضمنها .
  - 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 باحكام 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 .
- ثالثا :- 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- اضافات لمقاومة اجتراف الأسمنت بفعل الماء .
  - 5- اضافات تخفيض نسبة الماء والتحكم في التصلب ( يوجد منها سبعة انواع )
  - 6- توجد اضافات اخرى مختلفة .
- وهناك تفاصيل كثيرة اخرى عن موضوع المضافات السابقة الذكر وهنا تم التطرق اليها باختصار واعطاء نبذة مختصرة عن انواعها والأغراض الأساسية لاستخدامها .

## الفصل الثاني

### تصميم الخلطات الخرسانية

#### **1- كيفية تحديد وبيان نسب ومكونات الخلطة الخرسانية**

أ- الخلطة الخرسانية مكوناتها من المواد الحبيبية وهي الاسمنت والركام الصغير والركام الكبير عادة على هيئة نسب بالوزن او بالحجم فمثلا يقال خلطة بنسبة 1:2:4 هذه معناها

الاسمنت : 1 الرمل : 2 الحصى : 4

أي تحتوي على جزء من الاسمنت وجزئين من الرمل وأربعة أجزاء من الحصى , وتفضل ان تكون تلك النسب بالوزن لعدم امكانية التحديد الدقيق لكمية الأسمنت بالحجم وأيضا الركام نتيجة تغير الكمية التي يستوعبها حجم معين بتغيير مدى الحدل المستخدم . كما أن الركام الصغير قد يتغير حجمه بتأثير ظاهرة زيادة الحجم بالرطوبة .

ب- وقد تبين المواد الحبيبية كنسبة بين الأسمنت وستة أجزاء ركام بالوزن وتبين هذه النسبة مدى غنى او افتقار الخرسانة فالخلطة بنسبة 1:4 تعتبر خلطة غنية أما الخلطة بنسبة 1:8 تعتبر خلطة فقيرة .

ج- وقد تبين نسب المواد الحبيبية بما يحويه المتر المكعب من الخرسانة الطرية من الاسمنت والركام الصغير والركام الكبير على أن يبين الأسمنت بالوزن والركام بالحجم تسهيلا لتحضير الكميات عند الخلط فمثلا نسب الخلط .

أسمنت = 300 كيلو غرام رمل = 0.4 متر مكعب وحصى = 0.8 متر مكعب

ومجموع هذه الكميات يعطي تقريبا متر مكعب من الخرسانة الطرية بعد خلطها بالماء

د- كما يمكن ان يتم التعبير عن الأسمنت بعدد الاكياس للمتر المكعب من الخرسانة الطرية وهذا العدد يسمى معامل الاسمنت فمثلا خلطة يحتوي المتر المكعب منها على 6 اكياس اسمنت ( وزن الكيس الواحد 50 كيلو غرام ) وخلطة اخرى يحتوي المتر المكعب منها على 8 اكياس أو خلطة فقيرة يحتوي المتر المكعب منها على 4 اكياس .

أسمنت = 6 اكياس رمل = 0.4 م حصى = 0.8 م

هـ - تبين كمية الماء اللازمة للماء للخلطة على هيئة نسبة من الأسمنت بالوزن فمثلا خلطة بها نسبة الماء الى الأسمنت = 0,5 بالوزن , فاذا علم وزن الأسمنت في المتر المكعب للخرسانة

الطرية أمكن تعيين وزن الماء اللازم له لأجراء الخلط وبالتالي يمكن تعيين حجم ذلك الماء بالتر .  
وأحيانا قد تبين كمية ماء الخلط اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة الطرية مباشرة فمثلا :-

الاسمنت = 300كغم و الرمل = 3م0,4 والحصى = 3م0,8 والماء = 150 لتر  
أي أن المتر المكعب من الخرسانة الطرية لهذه الخلطة يلزم له 300 كغم اسمنت ( 6 أكياس )  
و 150 لتر ماء , وتحسب الكميات المطلوبة من المواد لأي خلطة تبعا لعدد الأمتار المكعبة الكلية  
من الخرسانة الطرية .

و- يتم بيان كمية الإضافات ان وجدت على أساس أنها نسبة مئوية من وزن الأسمنت المستخدم  
بالخلطة فمثلا خلطة :

الاسمنت = 300كغم و رمل = 3م0,4 و حصى = 3م 0,8 وماء = 150 لتر  
بها 2% ملدنات يعني ان وزن الملدنات المستخدمة = 0,02\*300 = 6 كيلوغرام للمتر المكعب  
من الخرسانة الطازجة

## 2- العلاقة بين الركام والعجينة الأسمنتية

تتكون الخرسانة من عجينة اسمنتية ( نشطة ) وركام ( خامل ) وتعتمد مقاومة الخرسانة على  
مقاومة العجينة حيث ان مقاومة الركام كبيرة جدا بالنسبة لمقاومة العجينة . ولذلك فان انهيار  
الخرسانة التقليدية يكون دائما في العجينة ويمر الشرخ حول الركام . فاذا أمكننا انتاج عجينة ذات  
مقاومة عالية جدا تقترب من مقاومة الركام فاننا نحصل على خرسانة عالية المقاومة والتي يكون  
الانهيار فيها مفاجيء حيث يمر الشرخ بالركام ( وليس حوله ) .

وهنا لابد من الاشارة الى ان 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 فان انكماش الكتلة الخرسانية الدائم يكون ناتج من العجينة الأسمنتية وليس  
الركام .

والعجينة الاسمنتية تكون عبارة عن معلق للاسمنت في الماء (شكل 5-2) وكلما خفت درجة تركيز  
يوضح ان مقاومة الضغط للخرسانة دالة عكسية مع نسبة الماء الى الاسمنت (م/س).وعندما تبدأ  
عملية الاماهة للاسمنت فيتكون الجل من الماء ومن مادة سطح حبيبات الاسمنت والذي قد يصل  
حجمه الى ضعف حجم الاسمنت الناتج منه . وهكذا مع استمرار الاماهة يستمر تكون الجل حول كل  
حبيبة حتى يتصل الجل ببعضه مكونا بنية العجينة.



### 3- طرق تصميم الخلطات الخرسانية

#### أولا :- الطريقة الوضعية

تحدد هذه الطريقة نسبة لمكونات الخرسانة نتيجة الخبرة السابقة للاستعمال بنجاح. وقد اثبتت هذه الطريقة ملائمتها وصلاحياتها للعمليات الصغيرة نظرا لسهولة حيث تعطي المواد الصلبة (الاسمنت, الرمل, الحصى) على هيئة نسب بالوزن او الحجم وقد تحدد كمية الماء اللازم او تترك لمراعاتها اثناء الخلط بحيث نحصل على خلطة لدنة سهلة التشغيل. ونسب مكونات الخرسانة بالوزن المستخدمة عادة في المنشآت طبقا لنوع الخرسانة او طبقا لمقاومة الخرسانة للضغط هي كما يلي

الاسمنت	الرمل	الحصى	
1	1	2	أي ان الاسمنت 1 والركام 3
1	2	4	أي ان الاسمنت 1 والركام 6
1	3	5	أي ان الاسمنت 1 والركام 8

وذلك على اساس ان الركام مناسب والماء أقل ما يمكن لجعل الخلطة ذات قوام مناسب لتكون لدنة. والنسب الوضعية المستخدمة

$$\text{الأسمنت} = \text{س كغم} \quad \text{رمل} = 0.4 \text{ م}^3 \quad \text{حصى} = 0.8 \text{ م}^3$$

مع كمية الماء المناسبة والمعقولة والتي تتراوح قيمة الماء كنسبة من الاسمنت (م/س) من 0,4 الى 0,7 بالوزن ويحدد كميتها طبيعة العمل. اما كمية الاسمنت (س) فيحددها نوع العمل والخلطة اللازمة له هل هي غنية او فقيرة حيث تتراوح كمية (س) من 200 الى 400 كيلو جرام اي من 4 الى 8 اكياس للمتر المكعب من الخرسانة. ويحدد كمية الاسمنت وكمية الماء المهندس المسئول عن مواصفات العملية تبعا لطبيعتها .

وعيوب هذه الطريقة تتلخص في النقاط الآتية :-

- 1- نسبة الماء /الاسمنت (م/س) غير محددة ومتروكة لظروف العمل .
- 2- النسبة المذكورة لا تعطي مترا مكعبا في جميع الحالات وقد يصل الحجم احيانا الى 1,2 متر مكعب .
- 3-نسبة الرمل /الحصى شبه ثابتة وهي 1:2 مع ملاحظة اهمال نوع الركام وتدرجه والمقاس الاعتباري الاكبر له وكذلك اهمال معايير النعومة للرمل .
- 4-لايمكن الحصول على بيانات صحيحة لخواص الخرسانة الناتجة وكذلك لا يمكن توقع قيمة دقيقة

لمقاومة الضغط لهذه الخرسانة .

### ثانياً: طريقة المحاولة

تعتمد هذه الطريقة على معرفة نسبة م/س في الخلطة الخرسانية ويلزم عمل اختبارات مقارنة بين المواد المختلفة والخلطات المتباينة . وتتطلب هذه الطريقة وجود عينات من الاسمنت والحصى والرمل كما يجب تحديد نسبة م/س وكذلك المقاومة المطلوبة . وفيما يلي ملخص لخطوات تصميم خلطة خرسانية بطريقة المحاولة :

- تؤخذ كمية من الاسمنت في حدود 2,5 كغم (5% من وزن الكيس )

- تحدد نسبة (م/س) من الخبرة او من المنحنيات البيانية او من الجداول .

- يخلط الاسمنت والماء لتكوين عجينة الاسمنت المكونة من ا,ب.

- تحضر كمية من الرمل الحصى ويفضل استخدام الركام المشبع والسطح جاف كما يراعى الا

يزيد المقاس الاعتباري الاكبر عن 5/1 البعد الاصغر للمقطع وان لا يزيد عن 4/3 المسافة بين اسياخ حديد التسليح (ايهما اصغر).

- يضاف تدريجياً كميات من الرمل والحصى وتخلط الخلطة جيداً ثم يحدد قوام الخرسانة الى ان تصل الى الخلطة التي تعطي القوام المطلوب.

- توزن بعد ذلك الكميات المتبقية ومنها تحسب الاوزان المستعملة .

- تحسب الكميات بالوزن والحجم المطلوبة لعمل خلطة الخرسانة لموقع العمل .

### ثالثاً: طريقة الحجم المطلق

تفترض هذه الطريقة ان الحجم المطلق للخرسانة هو مجموع الحجم المطلق للمواد المكونة للخرسانة اي الحجم المطلق للاسمنت والرمل والحصى والماء كما يلي :

حيث :-  $Absolute\ volume = C/G_c + S/G_s + G/G_g + W/1.0 = 1000\ Liters$

$C =$  وزن الاسمنت بالكيلوغرام اللازم للمتر المكعب من الخرسانة .

$S =$  وزن الرمل بالكيلوغرام اللازم للمتر المكعب من الخرسانة .

$G =$  وزن الحصى بالكيلوغرام اللازم للمتر المكعب من الخرسانة .

$W =$  وزن الماء بالكيلوغرام اللازم للمتر المكعب من الخرسانة .

$G_c, G_s, G_g =$  الوزن النوعي للأسمنت والرمل والحصى على التوالي علماً بأن

واحد متر مكعب من الخرسانة = 1000 لتر .

وفي هذه الطريقة يلزم تحديد كلا منما يأتي طبقا للاشترطات المطلوبة فيمقاومة الخرسانة المتصلدة والاشترطات المطلوبة في مدى تشغيل الخرسانة الطازجة :

- 1- كمية الاسمنت اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة .
  - 2- نسبة الماء الى الاسمنت بالوزن (م/س) او كمية الماء للمتر المكعب من الخرسانة
  - 3- نسبة الركام الصغير الى الركام الكبير في الركام المستخدم .
  - 4- الوزن النوعي للاسمنت والركام الكبير والركام الصغير .
- وتحدد البيانات سالفة الذكر من واقع الخبرة ومن النتائج العملية ومن الاختبارات المعملية اي اننا نحدد قيمة  $C, W/C, G/S$  وكذلك نحدد الأوزان النوعية  $G_s, cG$  ثم نطبق المعادلة سالفة الذكر لتعيين وزن كل من الرمل والحصى . واذا اريد بيان النسب بين المكونات الحبيبية للخرسانة بالوزن للاسمنت وبالحجم للركام يلزم معرفة الوزن الحجمي لكل من الرمل والزلط (اي وزن النتر المكعب) وذلك من واقع الخبرة والتجارب .
- وتتضح تلك الطريقة في المثال التالي :

المطلوب تصميم خلطه خرسانية بحيث تكون الخرسانة الطازجة لدنة القوام بحيث تكون الخرسانة المتصلدة ذات مقاومة للضغط بعد 28 يوم تساوي 240 كغم/سم<sup>2</sup> . مع مراعاة ان ركام الخليط المستخدم يمر منه نسبة 40 % من المنخل القياسي 16/3 مع العلم بان:

الوزن النوعي للاسمنت = 3,15

الوزن النوعي للركام (الرمل او الحصى) = 2,65

الوزن الحجمي للركام (الرمل او الحصى) = 1700 كغم /سم<sup>3</sup> .

### الحل

أ- تعيين نسبة الركام الصغير (الرمل) الى الركام الكبير (الحصى):

يعتبر المار من المنخل القياسي 16/3 هو الرمل والمحتجز عليه هو الحصى .اذن يتبين ان النسبة المنوية للرمل في الركام الخليط تساوي 40% وبالتالي الحصى يساوي 60% . ملاحظة : هذه النسبة قد تفرض طبقا للخبرة والسوابق العملية – والنسبة الشائعة الاستخدام قد تفرض مباشرة على اساس 33% للرمل اي نسبة الرمل الى الحصى تساوي 1:2

ب- تفرض كمية الاسمنت اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة على اساس مقاومة الخرسانة المتصلدة بعد 28 يوم او على اساس اي متطلبات اخرى خاصة بمتانة الخرسانة او الظروف التي تعمل فيها .

ومن الخبرة العملية يمكن استخدام هذه العلاقة :

كمية الاسمنت اللازمة للمتر المكعب = مقاومة الضغط بعد 28 يوم (كغم /سم مربع) +50 الى 100

اذن كمية الاسمنت اللازمة للمتر المكعب = 240 + 60 = 300 كغم/م مكعب

ج- تعين كمية الماء اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة طبقا لمحتوى الاسمنت في الخلطة

والمقاس الاعتباري للركام المستخدم وكذلك درجة القابلية للتشغيل المطلوبة . وهذه الكمية قد

تفرض مباشرة طبقا للخبرة او بالاستعانة بالجدول الموضح في ادناه

في هذا المثال نفرض ان (م/س)=0,5

اذن كمية الماء للمتر المكعب من الخرسانة = 150 لتر.

#### جدول يبين العلاقة بين كمية ماء الخلط ومحتوى الاسمنت

قيمة (م/س) لمحتوى الاسمنت ( كغم ) لكل متر مكعب خرسانة					المقياس الاعتباري للركام ( ملم )
400	350	300	250	200	
0.40	0.475	0.50	0.60	0.70	10
0.385	0.425	0.45	0.55	0.65	20
0.37	0.385	0.425	0.48	0.61	40

د - يحسب تصميم الخلطة الخرسانية كما يلي :

وزن الحصى = ( 40\60 ) وزن الرمل = 1.5 وزن الرمل

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

وزن الرمل = 800 كغم

وزن الحصى = 1200 كغم

نسب الخلطة الخرسانية بالوزن :

ماء	حصى	رمل	اسمنت
150 كغم	1200 كغم	800 كغم	300 كغم
0.5	4	2.67	1

نسبة الخلطة الخرسانية بالحجم :-

اسمنت	رمل	حصى	ماء
50\300	3م 1700\800	3م 1700\1200	150 لتر
6 اكياس	3م 0.47	3م 0.71	150 لتر

وهنا لابد من الإشارة الى ان تعيين نسبة الرمل الى الحصى يمكن ان يتم تحديدها على اسس اخرى هامة منها :-

1- طريقة الكثافة القصوى :-

وفيها يتم عمل خلطات من الركام الجاف فقط تحتوي على نسب مختلفة من الرمل الى الحصى فمثلا : 0% , 10% , 20% , 30% , 40% ..... 100% مع تعيين وحدة الوزن لكل منها ثم نرسم القراءات على منحنى ويمكن من هذا المنحنى ايجاد نسبة الرمل التي ستكون عندها وحدة الوزن نهاية قصوى اي الحصول على أقل نسبة فراغات ممكنة .

2- طريقة المساحة السطحية للركام :-

الأساس العلمي في هذه الطريقة هو الربط بين كمية عجينة الأسمنت في الخلطة الخرسانية والمساحة السطحية للركام الذي تغلف اسطحه لأتمام عملية الألتصاق بين حبيباته ومعنى ذلك بانه في الخلطات الخرسانية ذات الركام الصغير المقاس فانه يحتاج لزيادة كمية الأسمنت بسبب زيادة المساحة السطحية لهذا الركام . واحدى طرق التعبير المذكورة هي استخدام المساحة السطحية للركام الخليط ومقاومة الضغط للخرسانة وذلك بمعرفة مقاومة الضغط المطلوبة للخرسانة أو قد تفرض المساحة السطحية للركام الخليط بقيمة تتراوح من 24 الى 26 سم<sup>2</sup>غم التي تعطي غالبا اكبر قيمة للمقاومة . وبالتالي نحدد التدرج المطلوب أو نسبة الرمل في الركام الشامل .

#### 4- تصميم الخلطات الخرسانية عالية المقاومة

الخلطات الخرسانية عالية المقاومة تتميز بوجود عدد كبير من المواد التي ينبغي اختيار الكميات والنسب المثلى منها للوصول الى خرسانة ذات خواص مرغوبة خاصة من ناحية القابلية للتشغيل والمقاومة ( المتانة ) . وتصميم الخلطات الخرسانية عالية المقاومة يعتمد على نوعية وجودة

المواد بدرجة أكبر من اعتماده على نسب الخلطة .وفيما يلي شرح موجز لخطوات تصميم الخلطات الخرسانية عالية المقاومة .

**1- يتم تقرير استخدام غبار السليكا في الحالات الآتية :-**

- إذا كانت المقاومة المطلوبة أكبر من 800 كغم\سم<sup>2</sup>
- عندما تكون الخرسانة قليلة النفاذية ضرورية ومرغوبة .
- في حالة خرسانة الضخ حتى لا يحدث انفصال حبيبي .
- عندما تكون الخرسانة معرضة لمواد كيميائية خاصة الكلوريدات .

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

مقاومة الضغط للخرسانة كغم\سم <sup>2</sup>	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%
أكبر من 1000	20% الى 25%

ويفضل أخذ الحد الأعلى لنسبة غبار السليكا عندما يكون الحصى هو المستخدم في الخلطة أما في حالة استخدام الدولوميت أو الكرانيت فيفضل أخذ الحد الأدنى لنسبة غبار السليكا .

**3- كيف يتم تحديد نوع الاسمنت المستخدم :-**

يتم تحديد نوع الأسمنت المستخدم طبقا لتقرير التربة الخاص بالعملية أو اللوائح التنفيذية للمنشأ وعادة ما يكون اما اسمنت بورتلاندي عادي أو اسمنت بورتلاندي فائق النعومة او اسمنت مقاوم للكبريتات . وبصفة عامة فان كفاءة مادة غبار السليكا تكون أكبر في حالة استخدام الأسمنت البورتلاندي العادي بالمقارنة بباقي أنواع الأسمنت . ولاينصح باستخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات الا في حالة وجود نسبة عالية من أملاح الكبريتات في التربة أو في المياه الجوفية . أما في الأحوال العادية أو الأحوال التي تكون فيها مقاومة الكلوريدات أهم من مقاومة الكبريتات فينصح باستخدام الأسمنت البورتلاندي العادي .

**4- يحدد محتوى الأسمنت البورتلاندي في المتر المكعب خرسانة طبقا لمحتوى غبار السليكا**

المستخدم كما يلي :-

نسبة غبار السليكا المضاف كنسبة من وزن الأسمنت	محتوى الأسمنت كغم   م 3
15% الى 20%	450
5% الى 15%	475
عدم وجود غبار السليكا	500

5- يتم اختيار نوع الملدنات بحيث يكون من النوع المطابق للمواصفات الأمريكية

#### ASTM C494 Type F

وفي حالة الحرارة الشديدة او في حالة طول مدة صب وصناعة الخرسانة فيفضل نوع الملدنات

#### المطابق للمواصفات الامريكية ASTM C494 Type G

6- يمكن فرض نسبة الملدنات طبقا لمقاومة الضغط المطلوبة وذلك بعد عمل اختبار تاكيدي على خلطة تجريبية صغيرة للتأكد من توافق المادة مع الاسمنت المستخدم والحصول على المقاومة والقابلية للتشغيل المطلوبتين .

نسبة الملدنات كنسبة من وزن الاسمنت + غبار السليكا	مقاومة الضغط للخرسانة كج /سم 2
1,0 الى 1,5 %	400 الى 500
1,5 الى 2,0 %	500 الى 600
2,0 الى 2,5 %	600 الى 700
2,5 الى 3,5 %	اكبر من 700

7- يتم استخدام الحصى كركام كبير في الخلطة الخرسانية اذا كانت مقاومة الضغط المطلوبة لا تتجاوز 750 او 800 كغم /سم 2 وفي حالة خرسانة ذات مقاومة اكبر من ذلك فمن الضروري استخدام كسر حجر قوي (دولوميت او جرانيت )

8- يفضل ان لا يزيد المقاس الاعتباري الاكبر للركام الكبير عن 20مم والركام مقاس 14 مم او حتى 10 مم يعطي مقاومة افضل بشرط ان يكون الركام متدرج وسليم وقوي وتفرض النسبة بين الركام الكبير والرمل وفقا لاي طريقة كما في حالة الخرسانة التقليدية (عادية المقاومة).

9- تفرض نسبة الماء الى المواد الاسمنتية (اسمنت + غبار سليكا) من المعادلة التجريبية الاتية مع مراعاة ان لا يقل وزن الماء عن 0,22 من وزن المواد الاسمنتية . علما بان هذه المعادلة مستنتجة على اساس خرسانة تحتوي على ملدنات وتعطي خلطة لدنة القوام (هبوط = 8 الى 12سم). وقد تم استنتاج هذه المعادلة بتحليل نتائج اكثر من 150 خلطة خرسانية ذات مقاومة تتراوح من 500 الى 1100 كغم /سم<sup>2</sup> .

$$W/cm = \log \{ \alpha(1000 - C - SF) / f_c \} / 3 * \log (\beta)$$

حيث :

النسبة بين وزن الماء ووزن المواد الاسمنتية (الاسمنت + غبار السليكا)	w/cm
هي مقاومة الخرسانة كغم/سم <sup>2</sup>	f <sub>c</sub>
هي وزن الاسمنت في المتر المكعب من الخرسانة - كغم	C
هي وزن غبار السليكا في المتر المكعب من الخرسانة - كغم	SF
عامل يتوقف على نوع الركام الكبير المستخدم ويساوي 13 , 14 , 15 للحصى والجرانيت والدولوميت على الترتيب .	α
عامل يتوقف على نوع الاسمنت ويساوي 13,0 , 12 , 10,5 للاسمنت البورتلاندي العادي والاسمنت المقاوم للكبريتات والاسمنت فائق النعومة على الترتيب .	β

والجدول الاتي يعطي بعض القيم لنسبة الماء الى المواد الاسمنتية وذلك لتحقيق مقاومة ضغط بعد 28 يوم = 1000 كغم/سم<sup>2</sup> باستخدام محتوى اسمنت = 475 كغم /م<sup>3</sup> .

غبار السليكا كنسبة مئوية من وزن الاسمنت					المقاومة المطلوبة = 1000 كغم/سم <sup>2</sup> محتوى الاسمنت = 475 كغم/م <sup>3</sup>	
%25	%20	%15	%10	% 5	حصى	اسمنت بورتلاندي عادي
0.216	0.224	0.231	0.237	0.244	حصى	اسمنت بورتلاندي عادي
0.223	0.231	0.238	0.245	0.251	حصى	اسمنت مقاوم للكبريتات
0.236	0.244	0.251	0.259	0.266	حصى	اسمنت فائق النعومة
0.235	0.242	0.249	0.256	0.262	دولوميت	اسمنت بورتلاندي عادي
0.242	0.250	0.257	0.264	0.271	دولوميت	اسمنت مقاوم للكبريتات
0.256	0.264	0.272	0.279	0.286	دولوميت	اسمنت فائق النعومة



10- يتم تطبيق معادلة الحجم المطلق بنفس الطريقة المتبعة سابقا في حالة الخرسانة عادية المقاومة وذلك لحساب اوزان المكونات المختلفة في المتر المكعب من الخرسانة مع مراعاة فرض قيم الاوزان النوعية للمواد المختلفة اذا لم تتوافر بيانات عنها كما يلي :-

الاسمنت = 3,15      غبار السليكا = 2,15      الملدنات = 1,15  
الحصى والرمل = 2,65      الدولوميت = 2,7      الجرانيت = 2,7

مثال:

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

- مقاومة الضغط المطلوبة = 800 كج /سم مربع

- الهبوط باستخدام المخروط القياسي = 10 سم

- نوع الاسمنت المستخدم هو اسمنت مقاوم للكبريتات

- الركام المستخدم عبارة عن رمل طبيعي حرش ودولوميت مقاس 14مم, والتدرج الحبيبي لكل

من الرمل والدولوميت كما يلي :

فتحة المنخل -مم	20	10	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15
دولوميت	100	85	6	-	-	-	-	-
رمل	-	100	94	80	65	50	10	0

### تصميم الخلطة

1- نسبة غبار السليكا المناظر لمقاومة

800 كجم /سم<sup>2</sup> مع استخدام الدولوميت = 10% من وزن الاسمنت .

2 – محتوى الاسمنت المناظر لنسبة 10% من غبار السليكا = 475 كجم /م<sup>3</sup> .

اذن وزن غبار السليكا = 475 × 10% = 47,5 كجم/م<sup>3</sup>

3 – نسبة الملدنات المطلوبة = 3% من وزن المواد الاسمنتية وتكون من النوع

ASTM – Type G

اذن وزن الملدنات في المتر المكعب =  $(47,5+475) \times 0,03 = 15,675$  كغم  
 4- بتطبيق معادلة  $w / cm$  مع مراعاة ان قيمة  $\alpha = 15$  وقيمة  $\beta = 12$  نحصل على نسبة الماء الى المواد الاسمنتية =  $0,294$   
 وزن الماء في المتر المكعب =  $0,294 = (47,5+475) = 153,6$  كغم

5- يتم خلط الركام الكبير مع الركام الصغير بحيث يحقق ان 30% من وزن الركام الخليط يمر خلال المنخل رقم 4,75. اذن باستخدام النتائج في جدول التدرج نجد ان :  
 $0,94$  وزن الرمل +  $0,06$  وزن الدولوميت =  $0,30$  (وزن الرمل + وزن الدولوميت )  
 اذن وزن الرمل =  $0,375$  وزن الدولوميت .  
 6 - بتطبيق معادلة الحجم المطلق :

$$4.75/3.15+47.5/2.15+0.375W/2.65+W/2.7+15.675/1.15+153.6/1 = 1000$$

حيث  $W$  هي وزن الدولوميت.  
 بحل المعادلة نحصل على وزن الدولوميت =  $1289$  كغم  
 اذن وزن الرمل =  $0,375 \times 1289 = 483$  كغم  
 7- ويكون وزن المكونات المختلفة اللازمة لعمل واحد متر مكعب خرسانة هي:  
 - وزن الاسمنت المقاوم للكبريتات =  $475$  كغم  
 - وزن غبار السليكا =  $47,5$  كغم  
 - وزن الدولوميت =  $1289$  كغم  
 - وزن الرمل =  $483$  كغم  
 - وزن الملدنات =  $15,675$  كغم المطابق للمواصفات ASTM C494 Type G  
 - وزن الماء =  $153,6$  كغم

## خلاصة البحث

خلال البحث تم تناول المكونات الأساسية للخلطات الخرسانية وكذلك تم التطرق وبإيجاز عن الإضافات الخرسانية والغرض من استخدامها وبعد ذلك وفي الفصل الثاني تم التعرف على طرق تصميم الخلطات الخرسانية سواء من خلال النسب الوزنية أو الحجمية أو التجريبية .

ولكن هنا أود الإشارة إلى أنه ومن خلال الخبرات العملية وفي مشاريع مختلفة حيث يوجد هناك أساليب عديدة للعمل وفق تصاميم الخلطات الخرسانية المعتمدة والمتفق عليها ما بين الشركات المنفذة والجهة الاستشارية التي تمثل المالك حيث يتم وحسب نوع المشروع ومواصفاته والمقاومة المطلوبة للخرسانة , وعلى هذا الأساس يتم العمل على تصميم خلطة خرسانية تحقق المقاومة المطلوبة بعد اعتماد مصادر الركام والأسمنت

وهذه الصيغة تكون في حالة قيام الشركة بعمل الخلطات وتجهيزها دون الاعتماد على معامل الخرسانة الجاهزة التي من المفروض أن تقوم هي بأعداد تصاميم الخلطات المطلوبة على حسب المقاومة , وتكون مسؤولة بصورة مباشرة على التجهيز للمشاريع وتحمل كافة التكاليف في حالة عدم مطابقة الخرسانة المجهزة للمواصفات المطلوبة من حيث فحص الهطول المطلوب أو فحص مقاومة الأنضغاط للخرسانة .

وواقع حال العمل لدينا ومن خلال الكثير من الملاحظات نجد حالياً قصور لا يستهان به في هذه الجوانب حيث موضوع السيطرة على جودة الخرسانة المستخدمة ضعيف ونحن حالياً من خلال إشرافنا على بعض الأعمال نحاول جهدنا تطبيق المواصفات والأساليب الهندسية الصحيحة للوصول إلى جودة مقبولة في العمل .

ونسأل الله التوفيق والعون للجميع للأداء المخلص الصادق.

المهندس

باسل حمودي حمد

## المصادر :-

- 1- الخرسانة ..... أ.د محمود امام .
- 2- تصاميم المنشآت الخرسانية المسلحة ..... د. جمال عبدالواحد فرحان .
- 3- ادارة وضبط الجودة لمشروعات الخرسانة المسلحة ... د. محمد عبدالله الريدي .