

الفصل الاول

الاسمنت (تركيبه وانواعه)

1-1 مقدمة:

كلمة الأسمنت بشكل عام تعتبر مادة رابطة (Adhesive Materials) قادرة على ربط الأجزاء والكتل الصلبة في شكل كبير متماسك . هذا التعريف يشمل أنواع كثيرة من المواد المختلفة . ولكن هذا التعريف بالنسبة للأغراض الهندسية بصفة عامة يطلق على الأسمنت الجيري والذي يحتوي على المواد الجيرية كأساس في مكوناته . ويمكن تقسيم أنواع الأسمنت إلى قسمين :

أ- الاسمنت غير الهيدروليكي (Non-Hydraulic Cement)

هذا النوع من الأسمنت غير قادر على التماسك (Setting) واكتساب الصلابة (Compressive Strength) في وجود الماء ، مثال على ذلك الجير . أو غير قادر على الثبات من حيث الصلابة في وجود المياه ، مثال على ذلك الجبس .

ب- الاسمنت الهيدروليكي (Hydraulic Cement)

هذا النوع من الأسمنت له القدرة على التماسك (الشك) واكتساب المتانة والصلابة في وجود المياه . ويعتبر الأسمنت البورتلاندي (Portland Cement) من أهم هذه الأنواع من الأسمنت . وتعرف كلمة الشك (Setting) بأنها تحول المادة من الحالة اللينة (العجينة) إلى الحالة الصلدة ،

أما كلمة الصلابة (hardening) هي عبارة عن اكتساب المادة سواء كانت المونة أو الخرسانة للمتانة الميكانيكية (Compressive strength) .

1-2 صناعة الاسمنت البورتلاندي:

إن الاسمنت المستخدم حالياً هو الاسمنت البورتلاندي بصوره المتعددة، لذلك يجب معرفة طرق صناعته وإنتاجه والتعرف على المواد الخام المستخدمة في إنتاجه واحتوية على الكالسيوم والسيليكا بنسب معينة. نظراً لأن سيليكات الكالسيوم هي المكون الأساسي للأسمنت البورتلاندي، لذلك فإن المواد الخام المستخدمة في إنتاج الأسمنت والغنية بالكالسيوم هي الحجر الجيري (Lime stone) والحجر الطباشيري (Chalk) والرخام والأصداف البحرية ونسبة قد تصل إلى ٧٥٪، أما الطين (Clay) والطفل (Shale) ونسبته حوالي ٢٥٪ فهي المصادر الرئيسية للسيليكا المطلوبة في صناعة الأسمنت واللازمة لإنتاج سيليكات الكالسيوم. ويحتوي الطين على بعض من أكاسيد الحديد (Fe_2O_3) وأكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) والقلويات والتي تساعد على تكون سيليكات الكالسيوم عند درجات حرارة منخفضة نسبياً ولذلك فإنه في أغلب الأحيان يضاف إلى المواد الخام السالفة الذكر أكسيد الحديد (مواد خام الحديد) أو أكسيد الألومنيوم (بوكسيت) أو أكسيد السليكون (الرمل)، إذا كان الطين المستعمل يحتوي على نسبة ضعيفة من أحد هذه المواد. ولأنه يلزم دقة تجانس المواد الخام في الخليط المطلوب لإنتاج الأسمنت قبل معالجتها الحرارية، لدقة تكوين المركبات المطلوبة في كلنكر الأسمنت لذلك يتم تحديد النسب المطلوبة عن طريق التحاليل الكيميائية للمواد لمعرفة عناصر مركبها الكيميائي للوصول إلى المنتج المطلوب من الأسمنت. يتم ذلك في مرحله الخلط والمزج للمواد والتي تلي مرحلة استخراج المواد الخام وطحنها حيث أن المواد الخام تستخرج من المقاطع والتاجر بطريقة التفجير أو مباشرة بمعدات ميكانيكية ضخمة، ثم تنقل إلى كسارات لطحنها من صخور وكل إلى حصوات بقطر من ١٠ إلى ٥٠ مم، ثم يتم خلطها بالنسب المطلوبة. والخطوات الآتية تلخص طريقة تصنيع الأسمنت البورتلاندي:

1-3 المواد الخام المستخدمة في صناعة الاسمنت البورتلاندي:

تقسم المواد الخام المستخدمة في صناعة الاسمنت البورتلاندي الى

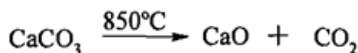
قسمين رئيسيين وهما :

أولاً: المواد الرئيسية (Main Component)

تتكون المواد الخام الرئيسية المستخدمة في صناعة الاسمنت البورتلاندي الى قسمين :-

1- المواد الجيرية (Limestone)

المواد الجيرية هي خامات طبيعية تحتوي على نسبة عالية جداً من كربونات الكالسيوم (Limestone) والتي تتحول أثناء عملية تصنيع الأسمنت إلى أكسيد الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون . يعتبر أكسيد الكالسيوم CaO الأكسيد الرئيسي والذي يمثل حتى 67% من التركيب الكيميائي للأسمنت .



2- المواد الطينية (Clays)

وهذه المواد تحتوي بصفة أساسية في تركيبها الكيميائي على أكسيد السليكا (SiO₂) وأكسيد الألومنيوم (Al₂O₃) نظراً لاحتوائها على نسب عالية من الكاولين التي يتمثل تركيبه الكيميائي في الصيغة الآتية (Al₂O₃.2SiO₂.2H₂O) . وتمثل نسبة أكسيد السليكا وأكسيد الألومنيوم نسبة من 20%-30% من التركيب الكيميائي للأسمنت الخام . والمقصود هنا بالأسمنت الخام (الكلنكر) هو الأسمنت الخارج من الفرن الدوار بعد حرق المواد الخام عند درجة حرارة 1450°م درجة حرارة مئوية وقبل إضافة 4-6% من الجبس (CaSO₄.2H₂O) .

ثانياً: المواد المصححة (Corrective Materials)

- وهي مواد تضاف على الخامتين الأساسيتين (المواد الجيرية والمواد الطينية) وذلك للوصول للتركيب الكيميائي المطلوب للخلط المطلوب لتصنيع الأسمنت (Raw mix) . ومن أهم المصححة المستخدمة هي :
- الرمل (Send) : ونظراً لاحتوائه على نسبة عالية جداً من أكسيد السيليكا (SiO_2) .
 - خامات الحديد (Iron Ore) : والتي تحتوى على نسبة عالية من أكاسيد الحديد .
 - خام الألومنيوم : والتي يحتوى على نسبة عالية من أكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) مثل البوكسيت (Bauxite) .

4-1 التركيب الكيميائي للأسمنت البورتلاندي (Chemical Composition of Portland Cement)

- الأسمنت البورتلاندي يتكون بصفة أساسية من أربع أكاسيد رئيسية وهي بالترتيب حسب أولوية وجودها من حيث الكيف والكم :
- أ- أكسيد الكالسيوم
 - ب- أكسيد السيليكا .
 - ج- أكسيد الألومنيوم
 - د- أكسيد الحديد .

ويمثل وجود الأربع أكاسيد السابقة الأساسية حوالي 90% من وزن الأسمنت ولذلك تسمى هذه الأكاسيد بالأكاسيد الأساسية أو المكونات الأساسية. أما نسبة الـ 10% الباقية من التركيب الكيميائي للأسمنت تتكون من الماجنيزيا (MgO) والأكاسيد القلوية مثل أكسيد الصوديوم وأكسيد البوتاسيوم (K_2O and Na_2O) وأكسيد التيتانيوم (TiO_2) وخامس أكسيد الفوسفور (P_2O_5) والجبس وتسمى هذه الأكاسيد والمركبات القليلة (Minor Component).

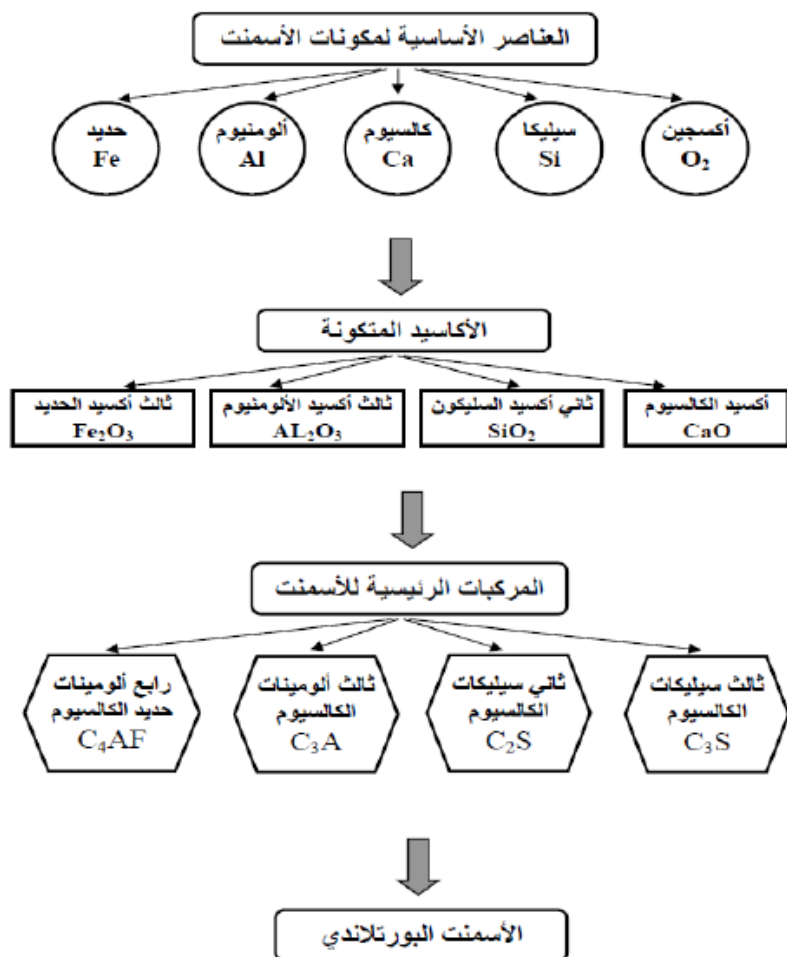
يوجد تغير تدريجي في التركيب الكيميائي للأسمنت على مدى الأزمنة المختلفة ، وهذا التغير التدريجي يعزى إلى زيادة نسبة الجير (CaO) وانخفاض قليل في نسبة السيليكا (SiO_2) . ويتكون التركيب الكيميائي للأسمنت البورتلاندي داخل الحدود المبينة بالجدول رقم (1) :

كما أن التركيب الكيميائي للأسمنت يتمثل بصورة أساسية في الأربع أكاسيد الرئيسية الآتية : Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , CaO . لكل أكسيد من هذه الأكاسيد الأربعة دور في تكوين الكلنكر ، ولكن يعظم دور CaO و SiO_2 ، وذلك لدورهم الأساسي في تكوين سليكات الكالسيوم سواء كانت سليكات ثنائي الكالسيوم وسليكات ثلاثي الكالسيوم ($2CaO.SiO_2$ and $3CaO.SiO_2$) حيث يعتبر هذين المعدنين هما المسئولين الأساسيين عن الخواص الأساسية للكلنكر حيث تشكل نسبة تواجدهما معاً حتى 75% من محتويات الكلنكر . أما

جدول رقم (1) : حدود التركيب الكيميائي للأسمنت البورتلندي

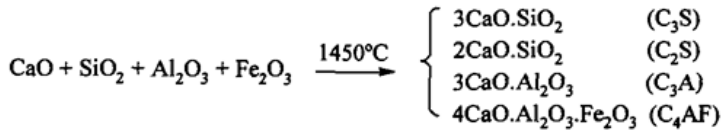
نسبة وجوده	الأكسيد
60-67	CaO
17-25	SiO ₂
3-8	Al ₂ O ₃
0.5-6	Fe ₂ O ₃
0.1-5.5	MgO
0.5-1.3	Na ₂ O + K ₂ O
1-3	SO ₃

أهمية وجود الأكسيدات الأخرين (Al₂O₃ and Fe₂O₃) فهما يساعدان على خفض درجة حرارة تكوين الكلنكر ، وذلك في المساعدة على تفاعل أكسيد الكالسيوم مع ثاني أكسيد السليكون لتكوين سليكات ثنائي وثلاثي الكالسيوم عند درجة حرارة أقل من درجة انصهارهما ، حيث درجة انصهار CaO تبلغ 2300°م ، ودرجة انصهار SiO₂ تبلغ 1710°م . لذلك وجود Fe₂O₃ و Al₂O₃ يعملان كمخفض (Fluxing Oxides) لدرجة حرارة انصهار الأكسيدات الأساسية . حيث أن درجة الحرارة العظمى لتكوين الكلنكر هي 1450°م .



5-1 التركيب المعدني للأسمنت الخام (Mineralogical Composition of Clinker)

نتيجة لحرق المواد الخام السابق ذكرها والتي تكون التركيب الكيميائي داخل الحدود الموضحة بالجدول رقم (1) فإنه يحدث تفاعل كيميائي بين هذه الأكاسيد عند درجة حرارة عالية (1450°م) وينتج لهذا التفاعل أربع مكونات رئيسية كالآتي :



ولكل من المكونات الناتجة من هذا التفاعل والتي تسمى معادن (Minerals) أو (Phases) خواص خاصة بها ومحصلة هذه الخواص للمكونات الأربعة السابق ذكرها ، تكون الخواص الأساسية للأسمنت البورتلاندي ، وكما يلي سوف نستعرض خواص كل مكون (Phase) من المكونات الأربعة السابقة :

6-1 خواص المكونات الأساسية للأسمنت

أ- سليكات ثلاثي الكالسيوم (Tri-calcium Silicates)



يعتبر هذا المركب من أهم مكونات الأسمنت البورتلاندي ويرمز له بالرمز C_3S حيث يمثل نسبة تتراوح من 35% إلى 55% من نسبة المكونات الأربعة المكونة للأسمنت . ويتميز هذا المركب باكتساب الصلابة والتماسك والمتانة في الأوقات المبكرة من عملية الهيدرة أى بمجرد إضافة الماء للأسمنت أو الخرسانة وفي الأيام الأولى من التفاعل ، وهو المسئول الأول

عن الخواص الميكانيكية للأسمنت من حيث المتانة (Compressive Strength) وخاصة في الأوقات المبكرة للتفاعل مع الماء. ويتميز هذا المكون بحرارة تفاعل مرتفعة نسبياً (Heat Hydration) وتبلغ حوالي 500 جول/جم .

ب- سيليكات ثنائي الكالسيوم (Di-calcium Silicates (2CaO.SiO₂))

يوجد هذا المركب في أربع أشكال مختلفة وهي α -C₂S, $\bar{\alpha}$ -C₂S, β -C₂S, γ -C₂S ، ويعتبر β -C₂S من أهم هذه الأشكال لأنه له القدرة على اكتساب الخواص الأسمنتية عند تفاعله مع الماء . ويتميز β -C₂S بانخفاض الحرارة المنطلقة عند تفاعله مع الماء حيث تبلغ 25 جول/جم .
نسبة وجود β -C₂S في الأسمنت حوالي 25% من نسبة المكونات الأربع الأساسية ، وهو المسئول عن زيادة قوة المتانة (Compressive Strength) في الأسمنت وخصوصاً في الأوقات المتأخرة من التفاعل ، أي بعد 28 يوم من بداية تفاعل الأسمنت مع الماء .

ت- ألومينات ثلاثي الكالسيوم ((Tri-calcium Aluminate (C3A))

هذا المركب هو المسئول الأول عن عملية الشك في الأسمنت (Setting) . فعند تفاعله مع الماء يحدث شك فوري سريع مع انطلاق كمية كبيرة من حرارة التفاعل تقدر بـ 850 جول/جم . لذلك عند طحن الأسمنت الخام يجب إضافة نسبة حوالي 5% من الجبس الخام لتهدئة عملية الشك ووصولها للمعدل المطلوب . وتمثل نسبة ثلاثي كالسيوم ألومينات من النسبة الكلية لمكونات مركبات الأسمنت من 7% إلى 15% .

ث- ألومينات حديد رباعي الكالسيوم (Tetra-calcium Aluminate)

Ferrite (C4AF)

يتفاعل هذ المركب مع الماء بسرعة وتحدث عملية الشك في خلال دقائق مع انطلاق كمية من حرارة التفاعل تقدر بـ 420 جول/جم . وتقدر الكمية الموجودة منه بنسبة 5% إلى 10% من النسبة الكلية للمكونات الأربعة للأسمنت .

جدول رقم (2)

المركب	الاصطلاح	النسبة في الأسمنت البورتلاندي
ثالث سيليكات الكالسيوم	C3S	٤٠ - ٥٥%
ثاني سيليكات الكالسيوم	C2S	٢٠ - ٣٥%
ثالث ألومينات الكالسيوم	C3A	٩ - ١١%
رابع ألومينات حديد الكالسيوم	C4AF	٥ - ١١%

7-1 الخطوات الرئيسية لصناعة الاسمنت البورتلندي

1- تقييم الخامات الواردة من المحاجر

وفيها تتم عملية التحليل الكيميائي والمعدني للخامات الرئيسية للوقوف على النسب المطلوبة لخلط الخامات الرئيسية والمواد المصححة للوصول للتركيب الكيميائي للخلطة المراد حرقها بالفرن الدوار لإنتاج الأسمنت الخام المعروف بـ (Clinker) .

2- تكسير المواد الخام المستقدمة من المحاجر

يتم ذلك عن طريق استخدام الكسارات (Crushers) للوصول إلى قطر الحبيبات حوالي 2cm ، ثم يخزن كل نوع من المواد الخام منفصلاً عن النوع الآخر في الصوامع .

3- نقل الخامات

تنتقل الخامات من أماكن تكسيرها في المحاجر إلى المصنع عن طريق السيور الناقلة للخامات إلى خط الإنتاج .

4- تخزين الخامات

تخزن الخامات في صوامع خاصة بالتخزين وكل خامة لها صومعة خاصة Silo ، كذلك المواد المصححة مثل الرمل والبوكسيت واليوكسيت كل في صومعة خاصة ، وكل هذه الصوامع تدار بطريقة الكترونية وذلك لاتصالهم بالغرفة المركزية للتحكم بالمصنع .

5- تحديد نسبة خلط المواد الخام; وذلك لتحقيق المعايير التالية:

- أ- التركيب الكيميائي المطلوب للمواد الناتجة بعد التفاعل .
- ب- نسبة الجزء المسال أثناء عملية الاحتراق والتي تحدث ما بين 1250°م إلى 1450°م وهي المرحلة التي تتكون فيها ثلاثي كالمسيوم سليكات ونسبة الجزء المسال يجب أن تكون في حدود 18%-25% .
- ج- سهولة اختراق المخلوط (المواد الخام) (Burnability) : حيث يجب خلط المواد الخام بنسب تضمن سهولة الحرق ، وذلك بعدم زيادة نسبة

السيليكا SiO_2 عن الحد المطلوب ، وأيضاً بتحديد نسب المواد المساعدة على الحرق مثل Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ويعتبر هذا العامل مهم جداً في صناعة الأسمنت للأسباب الآتية :

- ترشيد استهلاك واستخدام الطاقة في صناعة الأسمنت .
- الحفاظ على بطانة الفرن الدوار من التلف .
- الوصول على النسبة المطلوبة من ثلاثي كالسيوم سليكات $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ في مرحلة التلبيد (Sintering Zone) .

6- طحن المواد الخام بعد خلطها

بعد تحديد نسب الخلط المقررة بناءً على المعايير السابقة ، تطحن هذه المواد طحناً جيداً بواسطة أنواع مختلفة من الطواحين . في هذه الطواحين تطحن المواد المخلوطة طحناً جيداً لدرجة عالية من النعومة (High fineness) ، ثم تتم بعد ذلك عملية الخلط والتجانس (Mixing and Homogeneity) .

وتتم عملية الطحن بطريقتين مختلفتين :

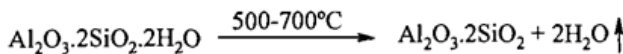
- أ- إما في وجود نسبة كبيرة من المياه (40%-50%) كما هو الحال في تصنيع الأسمنت بالطريقة الرطبة (Wet Process) .
- ب- أو في عدم وجود المياه وتطحن الخامات على الحالة الجافة كما هو الحال في تصنيع الأسمنت بالطريقة الجافة (Dry Process) .

7- عملية حرق الخامات لإنتاج الكلنكر

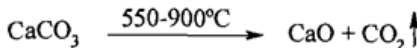
سوف نركز في عملية التصنيع على الطريقة الجافة (Dry Process) لاستخدامها على نطاق واسع أكبر من الطريقة الرطبة . وكذلك كم الإنتاج الكبير في الطريقة الجافة عن كمية الأسمنت المنتج في الطريقة الرطبة ، حيث يصل حجم الإنتاج بالطريقة الجافة حتى 7000 t/d ، أما في الطريقة الرطبة فإن حجم الإنتاج لا يزيد عن 1500 t/d للفرن الواحد . وهناك أيضاً الكثير من الأسباب التي تفضل استخدام الطريقة الجافة عن الطريقة الرطبة والتي لا يوجد مجال هنا لذكرها .

بعد طحن المخلوط المحضر من الخامات الأساسية السابق ذكرها وذلك في حالته الجافة ، يتم شحن المخلوط في السيكلونات وعددها أربعة مرتبة ترتيباً رأسياً وتسمى (Preheaters) وفيها تخرج الحرارة من درجة الحرارة العادية حتى درجة حرارة 850°م - 900°م في السيكلون الرابع والأخير والذي ينتهي عند مدخل الفرن الدوار . وفي هذه المرحلة تحدث التفاعلات الآتية :

- تبخر الماء الموجود بالمخلوط في شكل رطوبة (Evaporation) .
- انطلاق الماء الموجود كأحد مكونات الطفلة .



- تحلل كربونات الكالسيوم (الحجر الجيري) (Dissociation) .



- بدء اتحاد وتفاعل أكسيد الكالسيوم CaO مع أكاسيد الطفلة (Al₂O₃, SiO₂) .

- بعد بلوغ المواد الخام المحروقة في السليكونات الرأسية عند درجة الحرارة (850°C - 900°C) ، تشحن هذه المواد في هذه الحالة في فرن (Rotary kiln) يميل ميلاً خفيفاً على المحور الأفقي ومبطن بأنواع خاصة من الطوب الحراري ، وجسم الفرن مصنوع من الصلب وقطر الفرن يبلغ $1/10$ من طوله حيث يبلغ قطر الفرن 5 أمتار وطوله حوالي 50-70 متر ، ويدور الفرن بمعدل 1-3 لفة في الدقيقة الواحدة .

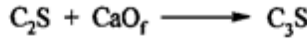
بعد وصول المخلوط من السيكلون الرابع إلى بداية الفرن وهو الجزء الأعلى من الفرن . يتم حرق المخلوط بداخل الفرن الدوار حيث تختلف درجة حرارة المخلوط من مكان لآخر داخل الفرن حيث تتدرج درجة الحرارة من أعلى الفرن (بداية الشحن) من 1000°C لتصل إلى حوالي 1450°C في نهايته.

بعد عملية الحريق داخل الفرن وعند الاقتراب من فتحة الخروج حيث درجات الحرارة العالية ، فإن المركبات الناتجة من التفاعلات تكون في هيئة مادة صلبة رمادية اللون تسمى بالكلنكر (Clinker) أو الأسمنت الخام .

والخطوات التالية تبين التحول الذي يطرأ على المواد الخام عند درجات الحرارة المختلفة :

- 1- عند درجة حرارة ما بين 27 حتى 600 درجة حرارة مئوية تحدث عملية تبخر للمياه كذلك عملية التكسير لمجموعات الهيدروكسيل .
- 2- عند درجة حرارة 550 درجة مئوية تبدأ عملية تحول CaCO_3 إلى $\text{CO}_2 + \text{CaO}$ وهي ما تسمى بعملية Decarbonation وتنتهي هذه العملية عند 1000 درجة حرارة مئوية .
- 3- عند درجة حرارة 660 تبدأ الطفلة وهي المكون الرئيسي الثاني في المواد الخام والتي تحتوى تركيبها في الأساس على الكولينييت $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ في التكسير وتتحول بدورها إلى SiO_2 and Al_2O_3 بجانب وجود Fe_2O_3 الموجود في الطفلة كشوائب عند درجة حرارة 950 .
- 4- في نطاق درجة حرارة مئوية ما بين 550 وحتى 1280 تبدأ الأكاسيد المتحررة في التفاعل مع بعضها البعض بما يعرف بتفاعلات الحالة الصلبة (Solid-State Reactions) والتي تبدأ عندها تكون الأطوار (Phases) المكونة للأسمنت الخام (Clinker) مثل C_2S , CA , Ferrite and بجانب وجود نسبة كبيرة من أكسيد الكالسيوم الحر (CaO) الذي لم يتفاعل بعد .

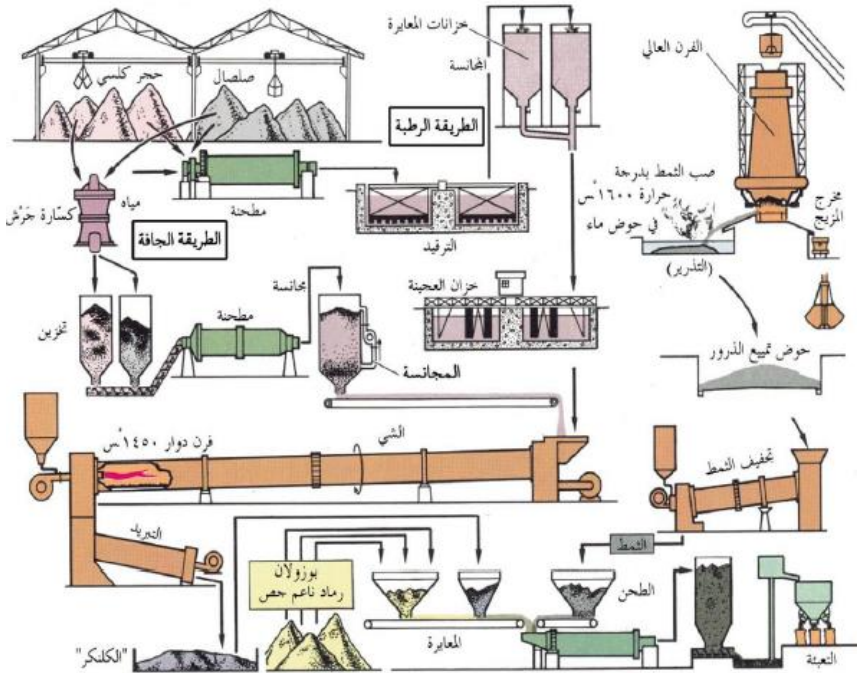
5- فى نطاق درجة حرارة مئوية ما بين 1250 وحتى 1450 تحدث عملية فيها يحدث انصهار جزئي لجزء من C_2S التى تكونت فى الخطوة السابقة ومن ثم يتحد هذا الجزء مع أكسيد الكالسيوم الحر (CaO_f) المتبقى من الخطوات السابقة لتكوين C_3S وهو من أهم الأطوار الموجودة فى مكونات الأسمنت :



6- المرحلة الأخيرة من هذه العمليات وهى عملية من أهم العمليات فى صناعة الأسمنت ألا وهى عملية التبريد (Cooling) وتتم هذه العملية تبريد الكلنكر الناتج فجائياً حتى لا ينكسر الـ C_3S ويتحول إلى C_2S, CaO_f .

8- طحن الكلنكر (Grinding of Clinker)

يطحن الكلنكر المبرد ويضاف إليه نسبة تصل إلى 5% من الجبس ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) أثناء الطحن ، أهمية إضافة الجبس هو لضبط زمن الشك للأسمنت (Regulation of Setting) ، ويتم طحن الكلنكر مع الجبس إلى درجة عالية من النعومة تبلغ حوالي ($2800 \text{ cm}^2/\text{g}$) ثم يخزن ويبعاً لكى يكون جاهزاً لعملية الشحن والاستخدام .

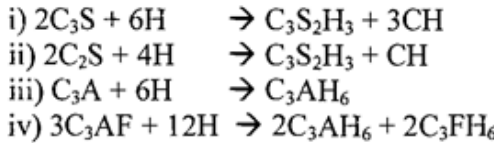


شكل يبين خطوات تصنيع الاسمنت

8-1 إمالة الاسمنت

هي عملية تفاعل مركبات الاسمنت مع الماء لتكوين مركبات جديدة لتجعل من الاسمنت مادة ذات خواص تماسكية (cohesive) وتلاصقية (adhesive) وله خاصية التجمد (setting) والتصلب (hardening) بفعل هذه التفاعلات الكيميائية مع الماء لتجعله قادراً على ربط المواد الأخرى (ركام ناعم وخشن ، حديد) مع بعضها البعض وتحولها إلى وحدة متكاملة مترابطة.

إن عملية شك وتصلب الأسمنت البورتلاندي تحدث نتيجة للتفاعل بينه وبين الماء المضاف إليه عند درجات الحرارة العادية (5°م - 40°م) وفيها يتم تفاعل كلاً من ثنائي وثلاثي الكالسيوم سليكات مع الماء وينتج من هذا التفاعل هيدروكسيد الكالسيوم وسليكات الكالسيوم المائية وتسمى (Tobermorite) ، وكذلك تتفاعل باقي مكونات الأسمنت مع الماء ، طبقاً للتفاعلات التالية على النحو التالي :



العوامل التي تؤثر في معدلات التفاعلات السابقة :

- 1- درجة نعومة الأسمنت .
- 2- نسبة الماء المضافة إلى نسبة الأسمنت .
- 3- درجة حرارة التفاعل ، حيث يزيد معدل التفاعل بزيادة درجة حرارة الجو .

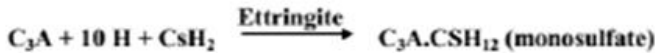
9-1 التفاعلات الكيميائية لمركبات الاسمنت البورتلاندي

١- إمهاء الألومينات :-

ويمكن التعبير عن التفاعلات الكيميائية المرادفة لعمليات إمهاء الألومينات بالمعادلات التالية:



ثالث ألومينات الكالسيوم + ماء + جبس ← إترنجيت.



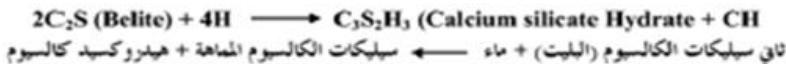
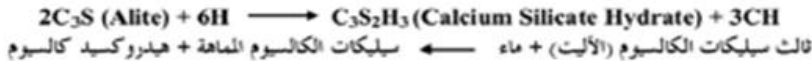
ثالث ألومينات الكالسيوم المتبقية + ماء + جبس إترنجيت ← أحادي الكبريتات.



رابع ألومينات حديد الكالسيوم + ماء + هيدروكسيد كالسيوم ← فريت

٢- إمهاء السيليكات :-

ويتم التعبير عن التفاعل لثالث سيليكات الكالسيوم وثاني سيليكات الكالسيوم الممهاء بالمعادلتين الآتيتين:



وبلاحظ في هذا التفاعل أن إمهاء ثالث سيليكات الكالسيوم C_3S ينتج عنه:

- ٦١% سيليكات الكالسيوم الممهاء.

- ٣٩% هيدروكسيد الكالسيوم.

و إمهاء ثاني سيليكات الكالسيوم C_2S ينتج عنه:

- ٨٢% سيليكات الكالسيوم الممهاء.

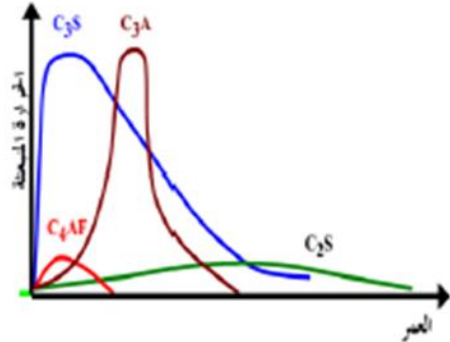
- ١٨% هيدروكسيد الكالسيوم.

10-1 حرارة إمالة الاسمنت

عبارة عن كمية الحرارة المنبعثة من الخرسانة اثناء الخلط نتيجة إمالة المركبات المختلفة من الاسمنت. ويبين الشكل التالي كمية الحرارة المنبعثة نتيجة امالة هذه المركبات ولحظات ظهورها :

Table 2.4: Heat of hydration of pure compounds

Compound	Heat of hydration	
	J/g	Cal/g
C_2S	502	120
C_3S	260	62
C_3A	867	207
C_4AF	419	100



و تظهر حرارة الامالة بصورة اكبر اثناء صب الخرسانة الكتلية حيث يتم تكتل احجام كبيرة من الخرسانة , وبالتالي تنتج كمية حرارة عالية تسبب اجهادات حرارية عالية في الخرسانة تعمل على حدوث تغيرات حجمية تسبب شروخ داخلية للخرسانة. وللد من حرارة الامالة نلجأ احيانا للحلول التالية :

- 1- صب الخرسانة على شكل طبقات فات فواصل صب افقية.
 - 2- تقليب الخرسانة بالثلج بدلا من الماء حيث يؤدي الى ضبط درجة حرارتها.
 - 3- عمل مواسير تبريد داخل الخرسانة و ذلك في المشاريع المهمة في الكتل الضخمة , حيث تمرر داخل هذه المواسير ماء درجة حرارته منخفضة او غاز تبريد يعمل على امتصاص الحرارة أولاً بأول.
- ملاحظة : يجب ان لا تتعدى درجة حرارة الخرسانة اثناء الصب 32^0 مئوية وإلا يتم رفض الخرسانة (المواصفة القياسية المصرية)

11-1 شك وتصلد عجينة الاسمنت

- المرحلة الأولى: بعد خلط الأسمنت بالماء مباشرة تتكون عجينة أسمنتية بحالتها اللدنة، وفيها تنتشر حبيبات الأسمنت في ماء الخلط وتظهر على مسافات من بعضها بتخللها الماء، وتحدد تلك المسافات طبقاً لنسبة الماء الأسمنت بالخلط (w/c) ويوضح شكل (2-12-أ) مرحلة انتشار الحبيبات الأسمنتية في الماء، حيث أن نسبة الماء/الأسمنت تلعب دوراً هاماً في عملية الإماهة للأسمنت وكذلك في التأثير على خواص الخرسانات الناتجة. ويطلق على هذه المرحلة الحالة الطازجة للعجينة الأسمنتية.
- المرحلة الثانية: وفي هذه المرحلة تتحول العجينة الأسمنتية إلى درجة أقل من السيولة ولكن العجينة ما زالت قابلة للتشغيل، وهنا تبدأ منتجات لتفاعلات مركبات الأسمنت المماهة مثل الإنترنجيت (من الألومينات) وسيليكات الكالسسيوم المماهة (من السيليكات) في التكوين حول وعلى سطح حبيبات الأسمنت المنتشرة، كما هو موضح بالشكل (2-12-ب). ويصبح الماء في هذه المرحلة مشبع بالجير. وهذه المرحلة تتم بعد ساعتين تقريباً من بداية الخلط.
- المرحلة الثالثة: تبدأ البنية الداخلية (من سيليكات الكالسسيوم المماهة والإنترنجيت و هيدروكسيد الألومنيوم) تظهر وتتم على سطح حبيبات الأسمنت مكونة جسوراً بين الحبيبات في الفجوات والتغرات الموجودة بين الحبيبات كما هو موضح بالشكل (2-12-ج). وهنا تكون العجينة قد تصلدت ووصلت إلى الشكل النهائي بعد يوم واحد ولكن لم تصل إلى مقاومتها الكلية النهائية (على الرغم من أنه أحياناً يتم فك القرم والشدات بعد يوم واحد فقط لأغراض كثيرة) وتظهر البنية الداخلية والمكونة من سيليكات الكالسسيوم المماهة وبلورات هيدروكسيد الكالسسيوم والإنترنجيت بكثافة عالية في هذه المرحلة كما هو مبين بالشكل (2-13).
- المرحلة الرابعة: وهذه المرحلة بعد ٧ أيام وما بعدها، تكون منتجات عملية التصلد من سيليكات الكالسسيوم المماهة والإنترنجيت و هيدروكسيد الكالسسيوم قد ملأت المسام الدقيقة بين الحبيبات ومستمرة في ذلك مع زيادة الأيام مكونة كتلة أكثر كثافة قليلة المسام، حيث يوضح ذلك بالشكل (2-12-د). عند السبعة أيام قد تصل مقاومة العجينة للضغط إلى حوالي ٧٠% من مقاومتها المطلوبة.

الشكل التالي يمثل مراحل شك وتصلد عجينة الاسمنت



12-1 أنواع الاسمنت البورتلاندي

1- الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي (Normal Portland Cement)

يتضح من الحديث عن صناعة الأسمنت البورتلاندي العادي أن C_4AF , C_3A ليس لهما دور مؤثر على اكتساب الصلابة والمتانة للأسمنت البورتلاندي العادي والتي تعتمد بشكل أساسي على وجود C_2S , C_3S . وعلى الرغم من وجود C_2AF , C_3A قد يسبب الكثير من المشاكل في الخواص الميكانيكية والفيزيائية للأسمنت بجانب ذلك فوجد C_3A يتسبب في سهولة مهاجمة أملاح الكبريتات للأسمنت ، أيضاً انطلاق كمية كبيرة من حرارة التفاعل مما يتسبب في التأثير على انخفاض قوة المتانة للأسمنت والخرسانة وخصوصاً في الكتل الخرسانية الكبيرة ، فبرغم من هذه السلبيات لوجود C_4AF , C_3A فإن وجود أكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) وأكسيد الحديد (Fe_2O_3) في المواد الخام يساعد بصورة كبيرة في عملية التصنيع ، حيث أن وجودهما يخفض درجة حرارة تكوين سليكات الكالسيوم (C_3S , C_2S) التي هي الأساس في صناعة الأسمنت . لذلك فوجود Al_2O_3 ، Fe_2O_3 يعمل (Flux) أي مخفض لدرجة حرارة تكوين الكلنكر مما يتسبب في خفض تكلفة إنتاج الأسمنت البورتلاندي . ولذلك فإن وجود $C_4AF + C_3A$ يجب ألا تزيد نسبتها في الكلنكر عن 15% .

2- الاسمنت سريع التصلب (Rapid-Hardening Cement)

فى هذا النوع من الأسمنت يجب أن تكون نسبة C_3S أكبر من نسبة وجوده فى الأسمنت البورتلاندي العادي وذلك على حساب وجود C_2S ، حيث أن سرعة الشك للمركب C_3S أكبر من سرعة الشك للمركب C_2S . لذلك يراعى فى تصنيع الأسمنت سريع الشك أن تكون نسبة CaO فى المواد الخام المستخدمة فى تصنيع هذا النوع أكبر من نسبة وجوده فى المواد الخام المستخدمة فى تصنيع الأسمنت البورتلاندي العادي .

علاوة على ذلك يجب أن تكون درجة نعومة الأسمنت سريع الشك أكبر بكثير من درجة نعومة الأسمنت البورتلاندي العادي مما قد يساعد فى عملية الهيدرة فى الأوقات المبكرة من إضافة الماء للأسمنت .

3- الاسمنت المقاوم للكبريتات (Sulfate Resisting Cement)

هذا النوع من الأسمنت يطلق عليه أحياناً أسم (Set water cement) . وغالباً ما يستخدم هذا النوع فى الإنشاءات التى تتعرض لوجود أملاح فى التربة أو أن تكون معرضة لمياه البحار التى تحتوى على نسبة عالية من أملاح الكبريتات والكلوريدات لذلك يجب أن يكون هذا النوع مقاوم لتفاعل الأملاح السابق ذكرها معه .

عند استخدام الأسمنت البورتلاندي العادي فى وسط يحتوى على أملاح الكبريتات كمياه البحار والمحيطات ، فإن أيونات الكبريتات SO_4^- يتفاعل مع المركب الثالث المكون للكلنكر C_3A ويكون مركب آخر يسمى $(3Ca.Al_2O_3.31H_2O)$ كالحسيوم سلفوألومينات وهذا المركب الجديد عند

عملية الهيدرة يحدث له تمدد كبير في الحكم مما يستتب في إنهيار المتانة الميكانيكية للخرسانة .

لذلك فإنه عند تصنيع الأسمنت المقاوم للكبريتات يجب أن يحتوى على كمية قليلة جداً من C_3A وذلك عن طريق استخدام خامات تحتوى على نسبة قليلة من أكسيد الألومنيوم عن نسبة أكسيد الألومنيوم المستخدمة فى المواد الخام المستخدمة فى تصنيع الأسمنت البورتلاندي العادي .

4- الاسمنت الحديدي (Portland Blast-Furnace Cement)

فى صناعة هذا النوع من الأسمنت يتم خلط 65% كلنكر الأسمنت البورتلاندي العادي مع 35% من خبث الحديد الناتج من الفرن العالي ويتم عملية طحن هذا المخلوط بعد إضافة نسبة 5% من الجبس . والغرض من تصنيع هذا النوع من الأسمنت هو الحصول على أسمنت بورتلاندي بتكلفة أقل حيث يعتبر خبث الأفران العالية من المخلفات الصناعية الغير مستغلة .

5- الاسمنت البوزلاني (اسمنت الكرنك) (Portland Pozolanic Cement)

لإنتاج أسمنت الكرنك يتم خلط 60% من كلنكر الأسمنت البورتلاندي مع حوالي 35% إلى 40% من الرمل ويتم طحن هذا المخلوط بعد إضافة الجبس له . ويعتبر هذا النوع من الأسمنت ذات جودة أقل من الأنواع السابقة نظراً لاحتوائه على نسبة عالية من الرمال والتي ليس لها خواص أسمنتية .

6- الاسمنت الابيض (White Cement)

يصنع هذا الأسمنت بنفس طريقة الأسمنت البورتلاندي العادي ولكن لا يجب أن تحتوي المواد الخام المستخدمة في تصنيع الأسمنت الأبيض على أى نسبة من الأكاسيد الملونة وخصوصاً أكاسيد الحديد .

7- الاسمنت المنخفض الحرارة (Low-Heat Cement)

يستخدم هذا النوع من الأسمنت في إنشاء وبناء الكتل الخرسانية الضخمة والتي تتطلب عدم انطلاق حرارة تفاعل كبيرة أثناء إضافة الماء (الهيدرة) لذلك إذا نظرنا لمكونات كلنكر الأسمنت البورتلاندي العادي فنجد أن C_3A ينتج عند انطلاق كمية حرارة تفاعل كبيرة جداً تبلغ حوالي 850 جول/جم . لذلك يجب عند تصنيع الأسمنت المنخفض الحرارة مراعاة أن تكون نسبة C_3A أقل ما يمكن ولا تزيد عن 4% ، وذلك باستخدام مواد خام تحتوي على نسبة قليلة من أكسيد الألومنيوم أقل من نسبة الألومنيوم الموجود في المواد الخام المستخدمة في صناعة الأسمنت البورتلاندي العادي .

الفصل الثاني

الجير والجبس

1-2 الجير (Lime):

هو مصطلح عام يطلق على مركبات الكالسيوم والتي قد تكون على شكل كربونات (كربونات الكالسيوم CaCO_3) كالحجر الجيري او اوكسيد (اوكسيد الكالسيوم CaO) كالجير الحي او هيدروكسيد (هيدروكسيد الكالسيوم Ca(OH)_2) كالجير المطفئ

أ- الحجر الجيري (Limestone)

وهو من الصخور الرسوبية التي تتكون في معظمها من كربونات الكالسيوم CaCO_3 و يمكن تعريفه كذلك على انه الصخور التي يستخرج منها الجير وتطلق هذه التسمية (الحجر الجيري) على الصخور التي تحتوي نسبة 50 % او اكثر من الكالسييت او الدولوميت على ان تكون نسبة الكالسييت هي الغالبة , اما اذا احتوى الحجر الجيري على اكثر من 10 % من الدولوميت ويسمى هنا بالحجر الجيري الدولوميتي .و يكون الحجر الجيري في الغالب لونه ابيض ولكن قد يحتوي على بعض الشوائب من العناصر الاخرى التي تغير من لونه , فقد يكون مائلا للون البني او الاصفر او الاحمر لوجود عنصر اكسيد الحديد وقد يتواجد عنصر الكربون فيكون لونه ازرق او اسود او رصاصي , وعموما على حسب نسبة الشوائب الموجودة يتغير لون الحجر الجيري وخواصه ايضا.

اما انواع الحجر الجيري تتلخص بـ :

1- الحجر الجيري العضوي

2- الحجر الجيري الفتاتي

3- الحجر الجيري الكيميائي

اما استخداماته :-

- 1- في صناعة الاسمنت البورتلندي
- 2- في صناعة كاربونات الصوديوم اللا مائية او رماد الصودا
- 3- كمادة مساعدة في مصاهر الحديد والفولاذ
- 4- صناعة الصوف الصخري
- 5- صناعة الجير
- 6- صناعة احجار الزينة
- 7- صناعة كتل البناء

ب- الجير الحي (Burnt Lime, Quick Lime)

مادة الجير الحي عبارة عن اكسيد الكالسيوم الذي ينتج من احتراق حجر الجير (تمثل كاربونات الكالسيوم المادة الاساسية به) في عملية كيميائية تسمى بالتكلس . ومادة الجير الحي عبارة عن بودرة بيضاء قلوية تتفاعل بشدة مع الماء لتكون هيدروكسيد الكالسيوم المعروف باسم ماء الكلس (Lime Water) .

أما استخدامات الجير الحي في الكثير من الصناعات الحديثة مثل صناعة الحديد والزرجاج والورق وانتاج السكر ودباغة الجلود, وفي معاملة المجاري ونفايات العمليات الصناعية . ويستخدم كذلك في تحضير بعض انواع الصبغات و المبيضات. ذلك بالإضافة الى الصناعات التي تقوم باستخراج المعادن , وكمعدل لحمضية التربة وكمعامل مساعد للاسمدة داخل التربة.

ت- الجير المطفي (Slaked Lime)

هو هيدروكسيد الكالسيوم وينتج عن خلط الماء مع الجير الحي ويستخدم في الدباغة والزراعة . ومن المهم ان نذكر ان هناك صورة منه موجودة في الطبيعة تسمى تجاريا بورتلان (Portland) ولكنه لحد ما نادر الوجود. والجير المطفي عند معاملته لك 5000 مئوية يتحول مرة اخرى الى الجير الحي . ومن خواص الجير المطفي انه لا يذوب في الماء وعند اضافة الماء له يتكون ما يسمى بحليب (لبن) الكالسيوم, هذا المكون له ردة فعل مع الاحماض ويؤثر حتى على المعادن وقد يؤكسدها ويذيبها.

2-2 الجبس (Gypsum):

الجبس معدن يوجد على شكل رواسب كبيرة في كل انحاء العالم . وهو كبريتات الكالسيوم المائية ، وصيغته $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. وعندما يسخن حتى درجة حرارة $80-90^\circ \text{C}$ ويسمى الناتج في هذه الحالة بالجبس النصف مائي (Hemihydrate) وبالشكل التالي :



وعندما يخلط الجبس النصف مائي مع الماء يعاد التفاعل بالعكس حيث يشكل بلورات ابرية تنمو اثناء تكوينها وتتشابك مع بعضها البعض وتتماسك , وان حجم وشكل وسرعة تكوين هذه البلورات وتماسكها تعتمد على :-

- 1- نوعية المادة الخام. 2- طريقة التحضير. 3- المواد الغريبة الموجودة بالمواد الخام.

يفقد الجبس كل مائه اذا سخن بدرجة حرارة $120-163^\circ \text{C}$ ويتحول الى كبريتات كالسيوم لا مائية ، او أنهيدريت (Anhydrite) (الجبسين) وكما مبين في المعادلة التالية:-



2-2-1 تكليس الجبس :

تتضمن الطريقة العادية لتكليس الجبس طحن الفلز ووضعه في جهاز تكليس calciner يستوعب 9 - 22 طنا . وترفع درجة الحرارة الى $120-150^\circ \text{C}$ مئوية تقريبا ، مع استمرار التحريك للمحافظة على انتظام درجة الحرارة . ممكن سحب المادة من جهاز التكليس هذا، والتي يعرفها الجمهور تحت اسم جبص باريس ويعرفها المصنعون تحت اسم جبص الترسيب الأول وبيعه عند هذه الدرجة ، او ممكن تسخينها الى 190°C لإنتاج مادة تعرف تحت اسم جبص الترسيب الثاني جبص الترسيب الاول هو تقريبا $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ النصف المائي والشكل الثاني هو الشكل

اللامائي . عملا ، ان كافة ملاطات الجبس التي تباع على شكل جص الترسيب الاول تمزج بالرمال او لباب الخشب . ويستخدم الشكل الثاني في تصنيع اللوح المجصصة ومنتجات الجبس الاخرى . يمكن ايضا تكليس الجبس في افران دوارة شبيهة بأفران الحجر الجيري .

1-2-2 تصلب الجص :

التصلب هو اساسا تحويل بالإماهة الكيميائية ، كما يتمثل بالمعادلة التالية :



هذه المعادلة معاكسة لمعادلة ازالة الماء من الجبس . يتجمد فيها الجص ويتصلب لان الماء السائل يتفاعل لتشكيل الهيدرات البلورية الصلبة . تحدث الاماهة بالماء السائل عند درجة حرارة دون 99 مئوية تقريباً ولهذا يجب تسخين الجص الى اكثر من 99 مئوية لإزالة الماء بصورة عملية . يحتوي الجص التجاري عادة على بعض الغراء والمواد الاخرى لتأخير زمن التصلد لإعطاء الجص فرصة للتطبيق على المادة .

3-2 العوامل المؤثرة على تحول الجص الى جبصين:

يتضمن انجاز عملية التحول هذه الانماط التالية:

- 1- عندما تجري عملية التحميص في جو من بخار الماء يتكون الجبس فقط ولا يمكن الحصول على الجبصين.
- 2- استمرار انطلاق الماء نتيجة سحب بخار الماء بتيار جاف من الهواء مثلاً من الجص كمادة اولية فلا يتشكل الجبس.
- 3- تؤثر نعومة حبيبات الجص كثيراً على حسن سير العملية, ذلك لان للجص ناقلية حرارية منخفضة تمنع الانتشار الحراري حتى

أعماق الحبيبات , ولهذا يستحسن طحن الجص ناعما قبل ادخاله في عملية الشبي.

2-4 أنواع الجبس:

1- **الجبس اللاصق (Stuck Gypsum):** يحضر هذا النوع من الجبسين بتحميم الجص بالطريقة الجافة لدرجة من الحرارة لا تزيد على (155°C) حيث تبدأ جزيئات الماء بالتححر عند درجة (130°C).

2- **جبس الطلاء :** ويحضر بتحميم الجص لدرجة حرارة تقارب 200°C - 250°C ويحوي هذا النوع كمية من الماء تقارب 1.5-3 وزنا.

3- **جبس الطلاء القاسي:** يستحصل هذا النوع من الجبسين بتحميم الجص لدرجة 600°C - 700°C , ومن ثم تضاف اليه كمية من المواد العضوية التي تخفف من سرعة تصلبه.

4- **جبس الأستريخ :** يحضر هذا النوع من الجبسين بتحميم الجص بدرجة عالية من الحرارة قد تصل الى 900°C - 1050°C في افران قمعية لازالة الماء كليا والحموضة جزئيا, ويتميز هذا النوع من الجبسين بتصلبه البطيء وصلابته العالية قياسا بكبريتات الكالسيوم شبه مائية.

5- **جبس المرمر :** يحضر هذا النوع من الجبسين بالتحميم المضاعف وازافة المواد المنشطة في اثناء عمليات التحميم كشب البوتاسيوم أو البوراكس لذا فإن مميزات هذا النوع من الجبسين تتعلق والى حد بعيد بنوعية المضافات وكميتها. ويتميز هذا الجبسين بتصلبه البطيء الذي يسمح باستخدامه لتغطية الجدران وصقل السطوح المعدنية كمادة قاسية.

6- **الجبسين :** يتشابه الجبسين الى حد بعيد مع جبس الاستريخ, ويحضر من تحميم الجبسين الطبيعي (95 %) مع مواد منشطة مثل كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4 وكبريتات الخارصين

$ZnSO_4$ واوكسيد الكالسيوم CaO و الاسمنت. وتكون سرعة تصلبه ابطأ من المركبات الجصية الاخرى, كما ان قساوته اعلى منها جميعا , لذلك فإنه يمزج مع المواد الرابطة كالكلس والاسمنت بنسبة 1:3 .

5-2 مناطق تواجد الجص او الجبس في العراق:

يوجد الجبس (مادة أولية) في مناطق مختلفة من القطر فقد يوجد نقياً لا يحتوي على مواد غريبة بنسب كبيرة يصنع منه جص نقي يعرف محلياً باسم (البورق) كما توجد ترسبات نقية للجبس في شمال العراق غير كاملة التبلور تحت اسم (المرمر) ومنها كامل التبلور بأسم (الصدف) وتحضر منه أنقى انواع الجص أو المنتجات الجبسية مثل مسحوق باريس وتكون فيه الكبريتات في أنقى حالاتها.

أما في المناطق الوسطى فتكون التراكيب الجبسية قريبة من السطح وهي غير كاملة التبلور وتحتوي على شوائب في الغالب رملية وطينية ومن انواعه (الودعي والمشغل والصهال) ، **فالودعي** يحتوي على شوائب سليكية (رمل وحصى) لذا تكون مساميته عالية وهو ذو جودة واطنة ، اما **المشغل** فهو يحتوي على شوائب طينية وهو أجود من الودعي ، اما **الصهال** فيحتوي على شوائب كلسية وهو ذو كثافة عالية ، وبصورة عامة يكون الجص المنتج في المناطق الوسطى غير نقي.

يستخدم الجص 1- كمادة رابطة للوحدات البنائية (مونه). 2- ويستعمل في أعمال الإنهاء. 3- أو كمادة تدخل في انتاج بعض المنتجات الجبسية إلا انه يمتاز بتأثره بالرطوبة ، لذا يجب استخدامه في المناطق غير المعرضة للرطوبة. 4- ويستخدم في بناء السقوف بالشيلمان (العقادة) لتصلبه السريع.

2-6 الاحجار الجصية (الجبسية):

يعتبر حجر الجص من الصخور الرسوبية الهامة بالعراق وآثرها انتشارا ويصنف معدنيا على انه أبريتات ثنائية الاماهة ويتواجد حجر الجبس في العراق بانواع مختلفة ومنها ماييلي:-

1- البستر (Alabaster)

وهو حجر متحول ويسمى بالمرمر وهو عبارة عن حبيبات دقيقة ومتماسكة وتستخدم للزينة في اعتاب الابواب والشبابيك كما في الموصل وكركوك واربيل.

2- السينايت (Selenite)

ويسمى محليا بالصدف ويتكون من صفائح رقيقة شفافة ويوجد في منطقة الحبانية ومحولها .

3- الجبسايت (Gypsite)

ويكون عادة على شكل طبقات بلورية خلال الطبقات الرملية كما في مناطق النجف وكربلاء والاسكندرية ويعرف باسماء كالودعي والصهال والزكور وغيرها.

4- الجص الكتلي (Massive Gypsum Rocks)

ويكون على شكل صخور جبسية مصمتة , نسبة الجبس اكثر من 85 % وتحتوي على شوائب مثل الكلس والدولومايت كما في مناطق الموصل وكركوك وهيت وغيرها.

5- السانتسبار (Suntinspar)

يظهر على شكل الياف رقيقة لامعة او على شكل عروق كما في مناطق كربلاء والنجف.

7-2 تصنيف الجص حسب المواصفة البريطانية رقم (1191):

1- صنف (أ) (Class A)

ويشمل كبريتات الكالسيوم بنصف جزيئة ماء ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) عالية النقاوة ويدعى بمسحوق باريس . عند مزجه بالماء يتماسك خلال دقائق قليلة ويستعمل في الانهاءات الا ان سرعة التماسك تجعله غير مفضلا لذلك, ويستعمل ايضا في صنع الاصباغ غير الدهنية والمصبوبات كالتماثيل والزخارف وفي اعمال التجبير.

2- صنف (ب) (Class B)

وهو مشابه للصنف (A) مع بعض المضافات المؤخرة للتماسك (Retarder) ويستعمل في طبقات الانهاء المختلفة.

3- صنف (ج) (Class C)

ويشمل كبريتات الكالسيوم اللا مائية (CaSO_4) حيث يتميز ببطء التماسك وقد تستعمل المضافات المعجلة (Accelerators) لتعديل زمن التماسك, ولهذا الصنف نفس استعمالات الصنف (B).

4- صنف (د) (Class D) المسمى بـ (اسمنت كين Keen Cement)

وهو جص لا مائي يحضر بطريقة خاصة حيث يغطس كتل الجص المحروقة بدرجة حرارة اكثر من 1000°C في احواض تحتوي على محلول الشب ثم يجفف ويحرق مرة ثانية بدرجة حرارة $(200-240)^\circ\text{C}$, ثم يطحن الناتج, وقد تضاف عليه معجلات لتقليل زمن التماسك ويتميز بان له لين وسهل النشر واكثر قوة و مقاومة للرطوبة من بين بقية الانواع الاخرى , لذا يستعمل في طبقات الانهاء الاخيرة وفي عمل الزوايا و الاركان.

ملاحظة: تستعمل الاصناف السابقة في طبقات الانتهاء وليس كقيمة بنائية لربط الوحدات البنائية, وقد تضاف اليه الحيوانية او الصناعية لتقليل التشققات.

8-2 تصنيف الجص حسب المواصفة العراقية رقم (28) لسنة 1988: 1- الجص الميكانيكي (المحلي)

هو ناتج من حرق خامات الجبس والحاوية على نسبة عالية من الشوائب (الطينية ، الرملية ، الكلسية) وتؤثر على زمن التماسك ، يحضر بكوربدائية ويطن بمطاحن صغيرة ومتحركة ويستعمل بالبناء والانتهاءات الأولية وليس النهائية.

2- الجص الفني

يحضر الجص من نفس خامات الجص الميكانيكي الا انه يحرق بأفران خاصة وبدرجة حرارة ثابتة ويطن بمطاحن ثابتة ، وهو انعم واكثر تحملا وأقل زمن للتماسك من الجص الميكانيكي ، وقد يضاف الرمل لزيادة زمن التماسك ويستعمل مواد بنائية (كمونة) وطبقة الانتهاءات الأولية والنهائية.

3- البورق

هو اقرب مايكون الى مسحوق باريس ويسمى بالبياض في المناطق الشمالية له نفس استعمالات مسحوق باريس.

8-2 الخواص الهندسية للجص:

1- يمتاز بانه سريع التصلب حيث يتراوح زمن الشك للجبس العادي سريع الشك بين (5-8) دقائق, اما الجبس متوسط الشك فلا يقل عن (15 دقيقة), لذلك يجب ان تكون الخلطة قليلة الكمية وان تكون ادوات واوعية الخلط نظيفة وخالية من اثار الجص المتصلب لانه يزيد من سرعة التصلب ولا يمكن استخدام خلطات ميكانيكية.

- 2- يتمدد الجص عند تصلبه وقليل التقلص عد الجفاف عكس السمنت لذلك لاتظهر التشققات عند جفاف الجص وهذا يساعد في سرعة عمل طبقة جص فوق طبقة اخرى دون الحاجة الى الانتظار فترة طويلة لآتمال تقلص الطبقة الاولى.
- 3- يلتصق الجص على معظم السطوح بشكل جيد ويلتصق على بعضه البعض افضل من السمنت.
- 4- ان الجص من المواد الرابطة غير المقاومة للماء حيث يفقد الربط بتاثر الماء لذا لايستعمل في المحلات المعرضة للرطوبة امادة رابطة او كمادة انهاء.
- 5- لايجوز اعادة خلط مونة الجص او اعادة اضافة الماء و استعمالها بعد حصول التماسك.
- 6- يساعد الجص على صدا الحديد وتآكله مثل اطارات الابواب و الشبابيب الحديدية وحديد التسليح لذلك يجب حمايتها بطليها بطبقة مانعة للرطوبة.
- 7- يجب عدم خلط مونة الجص بمونة السمنت الا انه يمكن عمل طبقة لبخ بالسمنت فوقها طبقة جص للجدران غير المعرضة للرطوبة .
- 8- درجة نعومة الجبس: تختلف درجة نعومة الجبس حسب نوعه وتقاس بنسبة وزن الجبس المتبقي على منخل قياس (0.15 ملم) على ان يمر بصورة تامة من منخل قياس (1.15 ملم) حيث تكون نعومة الجبس العادي لا تزيد عن 25% , اما الجبس المستخدم للتشكيل لايزيد عن 5%.

10-2 استعمالات الجص :

- 1- يستعمل الجص كمادة رابطة للوحدات البنائية في المناطق الجافة
- 2- يستعمل كمادة انهاءات الجدران الاولى والنهائية
- 3- في انتاج منتجات جاهزة جصية ومنها:

أ -الواح بياض PLASTER BOARD

هو عبارة عن الواح مربعة أو مستطيلة الشكل يتراوح سمكها بين (2-4) سم ينتج من البورق وتباع بشكل قطع تتركب على الجدران أو السقوف, و يستخدم عادة مع الجص الالياف البنائية او الصناعية لزيادة تحملها وعدم تكسرها وهي ذات اشكال هندسية وفنية لاعطاء شكل فني جميل.

ب - الكتل البنائية (Building Block)

وتصنع من الجص او الجص والرمل وكذلك مع الركام خفيف الوزن تتميز هذه الكتل بقلّة الكثافة وعزلها الجيد وانهاءها الجميل وهي على الاغلب تكون مجوفة.

ت - الواح قواطع Partition Tile

وهي الواح كبيرة تستعمل كقاطع لتقطيع الفضاءات و تكون مجوفة أو صلبة وذات ابعاد مختلفة.

ث - القطع الكاتمة للصجيج Noise Silencers Tiles

وهي الواح تصنع من الجص او من الياف الاسبست او تراكيب معدنية او مواد اخرى، تمتاز هذه القطع بان سطحها الخارجي مثقب يعمل على امتصاص الصوت ويقلل الضوضاء.

2-11 حساب وزن المواد الاولية الداخلة في تركيب الجص :

تعتمد نواتج حرق المواد الخام للجص على درجة حرارة الحرق, فإذا كانت درجة حرق المواد الاولية دون الـ (200°C), فإن نواتج الحرق يكون جص نصف مائي ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) . اما اذا كان الحرق بدرجة حرارة اكبر من (200°C) , فإن نواتج الحرق عبارة عن جص لا مائي (CaSO_4) .

لذلك يمكن معرفة اوزان المواد الاولية حسب الخطوات التالية:-

- 1- تحديد فيما اذا كانت درجة الحرق دون او فوق الـ (200° C) (معرفة الناتج اذا كان الجص نصف مائي أو لا مائي).
- 2- حساب الوزن الجزيئي للجص قبل الحرق (X₁).
- 3- حساب الوزن الجزيئي للجص بعد الحرق (سواء كان حرق جزئي او تام وحسب معطيات السؤال)
- 4- حساب وزن المواد الأولية من المعادلة التالية :

$$W1 = \frac{X1}{X2} * W2$$

حيث أن :-

W1 = وزن المواد الاولية.

W2 = وزن المواد الناتجة.

X1 = الوزن الجزيئي للمواد الاولية.

X2 = الوزن الجزيئي للمواد الناتجة.

الفصل الثالث

الماء

1-3 المقدمة :

الماء هو سائل شفاف لا لون له ولا رائحة، ويوجد في الكرة الأرضية في المسطحات المائية من الجداول والبحيرات والبحار والمحيطات أو يتساقط عليها على شكل أمطار. كما يعدّ المكوّن الأساسي للسوائل في جميع الكائنات الحيّة. ويعدّ الماء أكثر المركّبات الكيميائيّة انتشاراً، ويتألّف جزيء الماء من ثلاث ذرات، ذرّة أكسجين مركزية ترتبط بها ذرتي هيدروجين برابطة تساهميّة لتكوّن صيغته H_2O . يكون الماء سائلاً عند الظروف القياسية من الضغط ودرجة الحرارة، ولكن له حالات أخرى شائعة الوجود أيضاً؛ وهي الحالة الصلبة على شكل جليد والحالة الغازية على شكل بخار ماء. إنّ الماء هو أساس وجود الحياة على كوكب الأرض، وهو يغطّي 71% من سطحها، وتمثّل مياه البحار والمحيطات أكبر نسبة للماء على الأرض، حيث تبلغ حوالي 96.5%. وتتوزّع النسب الباقية بين المياه الجوفيّة وبين جليد المناطق القطبيّة (1.7% لكلّيهما) مع وجود نسبة صغيرة على شكل بخار ماء معلق في الهواء على هيئة سحب وأحياناً أخرى على هيئة ضباب أو ندى، بالإضافة إلى الزخات المطريّة أو الثلجية.

تبلغ نسبة الماء العذب حوالي 2.5 % فقط من الماء الموجود على الأرض، وأغلب هذه الكميّة (حوالي 99%) موجودة في الكتل الجليديّة في المناطق القطبيّة، في حين تتواجد 0.3 % من الماء العذب في الأنهار والبحيرات وفي الغلاف الجوّي.

أما في الطبيعة، فتتغيّر حالة الماء بين الحالات الثلاثة للمادة على سطح الأرض باستمرار من خلال ما يعرف باسم دورة الماء.

2-3 الخواص الفيزيائية والكيميائية للماء :

- 1- يعدّ الماء من المذيبات القطبية الجيدة، وعادةً ما يشار إليه على أنه مذيب عام. تُعرّف المواد الكيميائية القابلة للذوبان في الماء بأنها مواد هيدروفيلية (مثل الأملاح والسكريات والأحماض والقلويات وبعض الغازات مثل الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون) . بالمقابل، تُعرّف المواد الكيميائية التي تكون غير قابلة للامتزاج مع الماء (مثل الدهون، الزيوت والشحوم) هيدروفوبية. من جهة أخرى يمتزج الماء مع العديد من السوائل كالكحولات (الإيثانول) ولكن بالمقابل لا يمتزج الماء مع أغلب الزيوت العضوية، إذ تشكّل الأخيرة طبقة ذات كثافة أقل تطفو على سطح الماء.
- 2- تعتمد قيمة نقطة غليان الماء على قيمة الضغط الجوي المحيط، فإن الماء النقي يغلي عند مستوى سطح البحر عند الدرجة 100 °س، في حين أنه يغلي عند الدرجة 68 °س عند قمة جبل إيفرست (8,848 م فوق سطح البحر. عند إذابة المواد القابلة للانحلال في الماء ترتفع نقطة غليان الماء وتنخفض نقطة تجمّده.
- 3- للماء كثافة مقدارها 1000 كغ/م³ (تعادل 1 غ/مل) عند الدرجة 4°س، أما الجليد فكثافته تبلغ 917 كغ/م³ تكون لكثافة الماء قيمة أعظمية عند الدرجة 3.98 °س، وبعد ذلك تميل للتناقص، وذلك على العكس من أغلب المواد النقية الأخرى، والتي تزداد كثافتها عندما تنخفض درجة حرارتها .
- 4- للماء النقي موصليّة كهربائية ضعيفة، ولكنها تزداد عند إذابة كمية قليلة من مادة أيونية مثل كلوريد الصوديوم.
- 5- يصنف الماء كيميائياً على أنه أكسيد للهيدروجين، وهو يتشكّل عندما يحترق الهيدروجين أو أي مركّب حاو عليه بالأوكسجين، وهو مزيج انفجاري. تستطيع العناصر الكيميائية الأكثر كهروسلبية من الهيدروجين مثل الليثيوم والصوديوم والكالسيوم والبوتاسيوم

والسيزيوم أن تزيح الهيدروجين من الماء مشكلة بذلك الهيدروكسيدات الموافقة.

6- يوصف الماء بأنه عسير عندما تكون نسبة الأملاح المعدنية في الماء عالية، وخاصة أملاح الكالسيوم والمغنسيوم بالإضافة إلى بعض الأملاح المنحلة من البيكربونات و الكبريتات، لهذه الخاصية أهمية في الصناعة بشكل خاص وخاصة في المراحل عند التبخير، كما أن لها تأثير على الصحة، لذلك تخضع عادة إلى عملية إزالة للعسر.

3-3 الماء الثقيل :

الماء الثقيل (ويسمى أيضاً أكسيد الديوتريوم أو D_2O). و هو ماء يحتوي على نظير ثقيل من الهيدروجين يسمى ديوتريوم رمزه الكيميائي D بدلاً من الهيدروجين العادي . وتبلغ كتلة ذرة الديوتريوم حوالي ضعف كتلة ذرة الهيدروجين العادي. ونظراً للفرق بين كتلتي ذرتي نوعي الهيدروجين تختلف الخواص الطبيعية للماء الثقيل عن خواص الماء العادي . فالماء الثقيل يتجمد عند درجة 3.82° م بدلاً من درجة الصفر المئوي، ويغلي عند درجة 101.42° م، بدلاً من 100° م، ولا تنبت فيه البذور ولا تعيش فيه الحيوانات.

والماء الثقيل نافع في بعض أنواع المفاعلات النووية التي تسمى مفاعلات الماء الثقيل، حيث يعمل وسيطاً للتحكم في طاقة النيوترونات المنطلقة من التفاعل المتسلسل و هو يعمل أيضاً مبرداً حيث يزيل الحرارة الناتجة عن التفاعلات النووية. وهذا يمنع ارتفاع الحرارة في قلب المفاعل، ويحمل الحرارة كي يمكن استخدامها في إنتاج البخار والطاقة . وتنتج كميات كبيرة من الماء الثقيل عن طريق التبادل الحفزي للديوتريوم بين الماء وغاز كبريتيد الهيدروجين . وبعد ذلك يقطر الماء المشبع بالديوتريوم.

وقد فصل جيلبرت لويس، وهو كيميائي من جامعة كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية، الماء الثقيل عن الماء العادي لأول مرة عام 1932.

كما يمكن أن يكون على الشكل ماء فائق الثقل عندما يحل التريتيوم (T2O) مكان الهيدروجين في جزيء الماء.

3-4 تصنيف المياه حسب ملوحتها :

يمكن تصنيف المياه حسب احتوائها على الاملاح الذائبة الى الاصناف التالية :-

- 1- المياه المالحة : مثل مياه البحار والمحيطات وتحتوي على حوالي (35000 mg/l) من الاملاح الصلبة الذائبة.
- 2- المياه العذبة : والتي تتراوح ملوحتها بين (100-1000 mg/l).
- 3- المياه شبه المالحة : ويقع ما بين المياه المالحة و العذبة مثل بعض مياه الآبار الجوفية والتي قد تصل نسبة ملوحتها الى (10000 mg/l).
- 4- المياه النقية : هي التي لا تحتوي على املاح ذائبة تقريبا وهيب لا تتواجد في الطبيعة ولكن يتم تحضيرها صناعيا.

3-5 ماء الخلط في الخرسانة :

هو الماء الذي يضاف الى الخلطة الخرسانية بعد تمام خلط المكونات خلطا جافا (ركام كبير/ حصي ، وركام صغير/ رمل ، وأسمنت) . اما استعمالات هذه المياه في الخرسانة فيكون بالشكل التالي:

أ- خلط الخرسانة . ب- غسل الركام . ت- معالجة الخرسانة .

أ- خلط الخرسانة :

أ – يكون الماء المستعمل في خلط الخرسانة نظيفا " وخاليا" من المواد الضارة مثل الزيوت والأحماض والمواد العضوية والأملاح وكذلك

الطين والطيني وأي مواد تؤثر تأثيراً " متلفاً" على مكونات الخرسانة أو حديد التسليح ويشترط في ماء الخلط ألا يزيد محتوى الأملاح فيه على:

2.00 غم / لتر من الأملاح الكلية الذائبة (T.D.S) .

0.50 غم / لتر من أملاح الكلوريدات على هيئة CL .

0.30 غم / لتر من أملاح الكبريتات على هيئة SO3 .

1.00 غم / لتر من أملاح الكربونات والبيكربونات.

0.10 غم / لتر من أملاح كبريتيد الصوديوم.

0.20 غم / لتر من المواد العضوية.

2.00 غم / لتر من المواد غير العضوية وهي الطين والمواد العالقة.

ب - لا يقل بصفة عامة - الأس الهيدروجيني - (PH) لماء الخلط عن (7) ويجب إجراء تحاليل لمعرفة الرقم الفعلي قبل استخدام الماء.

ج - يعتبر الماء الصالح للشرب - باستثناء الاشتراطات البكتريولوجية - مناسباً في جميع الأحوال لخلط الخرسانة . وفي حالة عدم توافره يمكن استعمال ماء من مصادر أخرى لخلط ومعالجة الخرسانة بشرط استيفاء الشروط الواردة سابقاً وذلك بالإضافة إلى ما يلي:

1- لا يزيد زمن الشك الابتدائي لعينات الإسمنت المجهزة بهذا الماء بأكثر من 30 دقيقة على زمن الشك الابتدائي لعينات بنفس الإسمنت جهزت بالماء الصالح للشرب وعلى ألا يقل زمن الشك الابتدائي بأية حال عن 45 دقيقة.

2- لا تقل مقاومة الضغط لمكعبات المونة القياسية بعد 7 و 28 يوماً والتي تستعمل فيها هذا الماء عن 90 % من مقاومة الضغط لعينات مماثلة جهزت بماء خلط صالح للشرب عند نفس العمر . مع استخدام القالب القياسي لاختبار المونة القياسية في كلتا الحالتين.

- 3- يجب عند تصميم الخلطة الخرسانية استخدام نفس نوع الماء الذي يستخدم في الخلط عند تنفيذ المنشأ وذلك في مراحل كل من الخلطات المختبرية والتجريبية والتأكيدية.
- د - لا يسمح على الإطلاق باستخدام ماء البحر في خلط الخرسانة المسلحة بجميع أنواعها.
- هـ - يجوز استعمال ماء البحر - عند الضرورة - في خلط الخرسانة العادية بدون تسليح على أن يتم تصميم خلطة بنفس الماء مع زيادة محتوى الإسمنت في الخلطة للوصول إلى المقاومة المطلوبة للخرسانة وبشرط عدم ملاستها لسطح خرسانة مسلحة مع توافر الخبرة السابقة في استخدام ماء البحر.
- و - كمية ماء الخلط:
- توجد مشاكل بالنسبة لماء الخلط الصالح للخرسانة ومدى توفره وخاصة في الصحارى ومناطق ندرة المياه العذبة كما أن تحديد كمية المياه اللازمة للخرسانة تعتبر مشكلة تقابل المهندس حيث تتراوح نسبة الماء إلى الإسمنت بين (35% - 60%) وتتوقف على ما يأتي :
- 1- درجة التشغيل المطلوبة للخرسانة الطازجة التي تتطلب قواما معيناً لغرض معين (جافة - لدنة - مبتلة) .
 - 2- نوع العمل الهندسي نفسه - خرسانة رصف الطرق تحتاج إلى ماء خلط أقل من الخرسانة المسلحة.
 - 3- كمية الإسمنت المستخدمة بالخلطة الخرسانية أي مدى غنى الخلطة الخرسانية بالإسمنت.
 - 4- طريقة دمك الخرسانة فالدمك الميكانيكي باستخدام الهزازات الميكانيكية يحتاج إلى كمية ماء أقل من الدمك اليدوي.
 - 5- نوع الركام ومدى تدرجه الحبيبي ومقدار مساحته السطحية وأقصى مقاس له . الخلطات الخرسانية التي تحتوى ركام صغير تحتاج إلى زيادة ماء الخلط.
 - 6- درجة حرارة الجو ومقدار رطوبته النسبية .

ز- نتائج زيادة ماء الخلط :

- 1- حدوث انفصال حبيبي للخرسانة الطازجة.
 - 2- حدوث ظاهرة النضج (Bleeding) وما يصاحبها من تواجد طبقة الإسمنت اللباني على سطح الخرسانة وتعرف هذه الظاهرة بالزبد (Laitance) ، إذ يظهر ماء على سطح الخرسانة بعد عملية الدمك والتسوية.
 - 3- خرسانة متصلدة ذات فراغات.
 - 4- صعوبة وصل الخرسانة القديمة بالخرسانة حديثة الصب .
 - 5- صعوبة صب الخرسانة في الأجواء شديدة البرودة .
 - 6- وجود طبقة ترابية بسطح البلاطات الخرسانية .
- ويمكن حصر تأثير الماء غير النقي على الخرسانة بالشكل التالي:
- 1- تقليل تماسك حبيبات الركام مع بعضها البعض.
 - 2- تأخير زمن الشك.
 - 3- حدوث تغيرات حجمية قد تؤدي لظهور شروخ وضعاف الخرسانة.
 - 4- عزل ومنع تغليف حبيبات الاسمنت كمادة لاحمة لسطح حبيبات الركام بما يؤثر على تماسك بنيان الخرسانة.

ب- غسل الركام

يستخدم الماء الصالح في عمليات غسل الركام والتي تكون عادة بغرض إزالة المخلفات من الطين والمواد الناعمة والأملاح والمواد العضوية والتي تعلق بأسطح الحبيبات ويلاحظ أن استعمال ماء غير صالح لغسل الركام قد يؤدي إلى أضرار تماثل تلك التي تنشأ عند استعمال هذا الماء في الخلط وذلك لأنها تمنع الالتصاق وتقلل التماسك.

ت- معالجة الخرسانة

هي عملية الحفاظ على محتوى الخرسانة من الرطوبة وذلك إما بمنع تبخر الماء أو بإمدادها بكميات اضافية من الماء. إذ يستخدم الماء التنظيف الخالي من الشوائب الصالح للشرب بنفس مواصفات الماء

المستخدم للخلط. و المعالجة تساعد الخرسانة في الحصول على المقاومة المطلوبة وكذلك تساعد الخرسانة على مقاومة العوامل الجوية وقد اتضح أن استخدام مواد جيدة وبنسب صحيحة ليس ضمانا كافيا" للحصول على خرسانة ذات خواص حسنة إذا ما أهملنا مرحلة المعالجة . والمعالجة الكاملة تضيف إلى خواص الخرسانة خاصية المقاومة للبري وكذلك تحسين مقاومة النفاذية للسوائل . والماء المستعمل في الخلطة الخرسانية يوزع كالاتي : (يمتص جزءا منه بواسطة حبيبات الركام – جزءا لتحسين درجة التشغيل – الجزء الهام هو إتمام عملية إمالة الإسمنت).

أما الغرض من عملية معالجة الخرسانة فهو :

- 1- المحافظة على نسبة من ماء الخلط الذي يضاف للخرسانة عند خلطها مدة من الزمن تسمى فترة المعالجة حتى تستمر عملية إمالة الإسمنت.
- 2- المحافظة على درجة حرارة الخرسانة عند درجة معينة تصلح لإتمام التفاعلات الكيميائية.

تستمر عملية المعالجة بحد ادنى 7 أيام ولا تتم عملية المعالجة في وجود الشمس نظرا" لارتفاع درجة حرارة سطح الخرسانة بالنسبة لماء المعالجة (المنخفض الحرارة بالنسبة لسطح الخرسانة) بما يودى لاحتمالية حدوث شروخ نتيجة التمدد الحراري وتتم عملية المعالجة بالطرق التالية:

- 1- منع تبخر ماء الخرسانة بتغطية سطح الخرسانة أو قفل مساهما بعمل غشاء أو طبقة مانعة للتبخر وذلك بإستخدام الخيش الرطب أو اللفاف المانعة للتسرب.
 - 2- إضافة الماء باستمرار للتعويض عن الماء الذى يتبخر وذلك بغمر الخرسانة على شكل برك أو الرش بالماء باستمرار.
 - 3- المعالجة بإستخدام المركبات الكيميائية العازلة للرطوبة.
 - 4- المعالجة بالبخار ويكون بطريقتين :
- أ- إما تحت ضغط عال وتستغرق المعالجة (7-8 ساعات) أو

ب- تحت ضغط عادي وتستمر المعالجة تقريبا (10-16 ساعة).
والمعالجة بالبخار تستخدم في مصانع الخرسانة الجاهزة وهي عملية معقدة ومكلفة ولكنها تؤدي إلى السرعة في عملية الإمالة والتصلد للإسراع من الإنتاج وتجنب مشاكل التخزين وتفيد في عمل خلطات ذات محتوى ماء قليل فتزيد المقاومة وتقل نسبة الانكماش وتكون ذات مقاومة.

اما المواد المستخدمة في عملية المعالجة فهي:

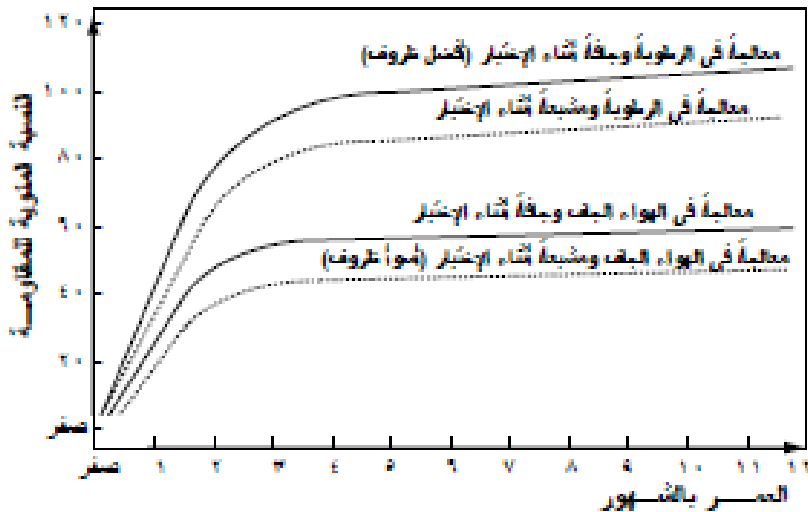
- 1- الماء.
- 2- الخيش المرطب.
- 3- مواد أخرى مثل الرمل الطبيعي والتبن والقش ونشارة الخشب والركام الناعم.
- 4- الأغشية المانعة للتسرب مثل : لفائف البلاستيك والورق المانع لتسرب الماء.
- 5- مركبات أو إضافات المعالجة و التي تعمل على سد مسام الخرسانة.

3-6 تأثير كيفية (طريقة) المعالجة على مقاومة الخرسانة :

مما سبق يتضح أهمية المحافظة على هذا الماء داخل الخرسانة بواسطة المعالجة بالماء ويتم ذلك بمنع الخرسانة من الجفاف لمدة ثلاثة أيام على الأقل ويمكن الحصول على نتائج أحسن بامتداد فترة المعالجة لمدة 14 يوما . وتتم المعالجة بالماء بالرش أو الغمر أو بالخيش المبلل ويجب ألا يحدث الماء المستخدم في المعالجة بقعا أو ترهيرا أو ترسيبا أو أي ظواهر غير مقبولة على سطح الخرسانة .
كما وإن طريقة المعالجة تؤثر على مقاومة الخرسانة بشكل واضح وكالتالي :

- 1- عند معالجة الخرسانة في وسط رطب فإن مقاومة الخرسانة الناتجة تكون اعلى من المعالجة في الوسط الجاف.
- 2- عندما تكون عينة الخرسانة جافة اثناء الاختبار فإن قيم المقاومة تكون اعلى من تلك المسجلة في حالة كون العينة مشبعة بالماء.

والشكل التالي يوضح الكلام السابق.



3-7 تفاعل الماء مع الاسمنت (الاماهة) :

كما مر سابقا في الفصل الاول فان عملية الاماهة هي عبارة عن تفاعل الماء مع مركبات الاسمنت لتكوين المادة الصلبة التي تتحمل الاحمال الميتة والحية، وبصورة عامة، هناك عدة ملاحظات يمكن ذكرها الان تخص الماء المستخدم في عملية الاماهة:

- عند إضافة الماء الى الإسمنت تتكون عجينة وتبدأ عملية الإماهة بمجرد ملاسة الماء للإسمنت مصحوبة ببعض الظواهر الطبيعية مثل انبعاث حرارة وتماسك للعجينة (شك (setting وهذه الظاهرة تتم تحت ظروف كيميائية معقدة.
- الناتج في معظم الحالات هو هيدرات سيليكات الكالسيوم التي تشكل أساس عملية التصلد الحجر الجيرى.

- بالنسبة للإسمنت البورتلاندى يلزم حوالى $1 \pm 25\%$ من وزنه ماء للوصول الى الاماهة الكاملة وتتحد هذه الكمية من الماء به اتحادا كيميائيا.
- لتكوين جيلاطين الإسمنت فإنه يلزم بالإضافة الى الماء الذى يتحد كيميائيا مع الإسمنت كمية اضافية من الماء كوسط تتشتت فيه المادة الصلبة وتصل هذه الكمية من الماء الى نحو 15% من وزن الإسمنت في حالة الإماهة الكاملة.
- لذلك للوصول الى حالة الإماهة الكاملة لابد من وجود كمية من الماء تتراوح بين $(40\% - 37\%)$ من وزن الإسمنت لتكوين الجيلاتين وإتمام عملية الإماهة.

كيمياء المياه الجوفية

إن مرور ووجود المياه الجوفية بطبقات الأرض المختلفة يسبب ذوبان الكثير من الأملاح والمعادن وتحللها وإطلاق الأيونات المختلفة والتي لها تأثير أخف على سببي على صحة الإنسان والكائنات الحية الأخرى من نبات وحيوان ، فضلاً عن تأثيرها بالصناعات المختلفة إذا ما استخدمت المياه الجوفية كمصدر لتلك الصناعات . لذلك من الضروري معرفة تلك المواد الذائبة والأيونات المنطلقة من تحلل المعادن . ويمكن تلخيصها بالشكل التالي :-

١- مجموع المواد الصلبة الذائبة "Total Dissolved Solids TDS"

هو مجموع كل المواد الذائبة (العنوية وغير العنوية) ككتلة على وحدة حجم الماء المار من فلتة ذو قياس فتحات ($2 \mu m$) والذي يتم تبخيرها بدرجة حرارة ($180^\circ C$) على حفرة تبخير . فالمواد التي تبقى على الحفرة هي تلك المواد الذائبة (TDS) . هناك مراف عديدة وأجهزة الكترونية تقوم بقراءة الـ (TDS) مباشرة ويدون الحامية للتبخير .

٢- الرقم الهيدروجيني "pH"

هو مقياس أيونات الهيدروجين الحرة في الماء ويمكن معرفته مباشرة باستخدام أجهزة الكترونية . وهو يمثل درجة حموضة وقاعدية المحاليل .

٣- الإرشالية الكهربائية "Electrical Conductivity EC"

وهو مقدرة المادة على إرشال التيار الكهربائي من خلالها ، ويهورة عامة تعتمد على الخواص الفيزيائية والكيميائية للمادة . أما في الماء فتعتمد على

تركيز الأملاح الذائبة في الماء والشوائب حيث أن الماء النقي موصل غير جيد للكهربائية . تعتبر الإحصائية الكهربائية (EC) طريقة سريعة لإيجاد مقدار (TDS) في الماء عند عدم توفر المواد والأجهزة اللازمة لإيجاد (TDS) . فهناك معادلة وصيغة رياضية تربط قيمة الـ (EC) بالـ (TDS) وهي

$$EC_{(mmhos/cm)} = 0.0008 (TDS)_{mg/l} + 0.9536$$

٤- الأيونات الرئيسية (Major Ions)

وتنقل هذه الأيونات عند إمرار تيار كهربائي بين قطبين يؤمنان في الماء . وهناك نوعان من الأيونات الرئيسة والتي تشمل الأيونات الموجبة (Cations) والتي تنجذب إلى القطب السالب (Cathode) ومنها أسمته باسم الـ (Cations) . بينما الأيونات السالبة (Anions) تنجذب نحو القطب الموجب للتيار (Anode) وكذلك أُشتقت منه سمية الـ (Anions) .

أولاً/ الأيونات الموجبة (Cations)

١- أيون البوتاسيوم (K⁺) : المصدر الرئيسي لهذا الأيون في المياه الجوفية هو التحوية التي تحدث لمعادن مختلفة مثل الأورثوكلس والميكرولاين والبايوتايت . وهذه المعادن تتواجد في الصخور النارية والمقولة . يجب أن لا يزيد تركيز البوتاسيوم في المياه الجوفية عن (12 mg/l) حسب مواصفات منظمة الصحة العالمية (WHO 1995) *

ب- أيون الصوديوم (Na^+) : يتفاعل هذا الأيون بسهولة سريعة

مع الماء والتلوج والجليد . أغلب مصادر هذا الأيون هو التجوية التي تحدث لبعض المعادن كالبلاجيوكلاس والفلدسبار والمعادن الطينية وغيرها من المعادن . يجب أن لا يزيد تركيز الصوديوم عن (200 mg/l)

ج- أيون المغنيسيوم (Mg^{+2}) : المغنيسيوم والمعادن القلوية الأخرى هي

التي تسبب عسرة المياه حيث يسمى الماء الذي يحتوي على نسبة عالية من هذه المعادن يسمى ماء عسر (hard water) والتي تحتوي على نسبة قليلة من تلك المعادن يسمى ماء خفيف (soft water) . أما المصدر الرئيسي لهذا الأيون هو معدن الدولوميت في الصخور الرسوبية أو من الأولفين ، البايوتايت و الهورنبلند في الصخور النارية ، ومعدن السربنتين في الصخور المتحولة . تركيز الصوديوم يجب أن لا يزيد عن (125 mg/l) .

د- أيون الكالسيوم (Ca^{+2}) : المياه الجوفية تكون عادة يتماص مع

الصخور الرسوبية ذات الأهلول البحرية والتي تكون مصدر لأيون الكالسيوم في المياه الجوفية . هذا الأيون يتحلل من صخور الدولوميت والأنتهايدرايت والجبس وغيرها من المعادن البحرية و أن أيون الكالسيوم والصوديوم ووجود الأيونات السالبة للبيكاربونات ، الكربونات ، الكبريتات ، والسليكا يؤدي إلى :-

١- إنسداد الأنابيب الخاصة

٢- تكوين قشرة مشبعة للحرارة

٣- وجود أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم

وبذلك عالية يؤخر ظهور الرغوة في الصابون لذلك يحتاج إلى صابون

أكثر .

ثانياً / الأيونات السالبة (Anions)

أ- أيونات الكلوريد (Cl^-)

المصدر الطبيعي الرئيسي للكلوريد

في المياه الجوفية ينقسم إلى قسمين ، الأول هو الرئيسي من الصخور الرسوبية أما المصدر الثانوي فهو من الصخور النارية . في المناطق الساحلية

فإن تدخل الجبهة الملحية البحرية في المياه الجوفية يسبب زيادة في هذه الأيونات . عندما يكون تركيز الكلوريد أكثر من (100 mg/l) يكون طعم المياه مالحة ، وأن وجود هذه الأيونات يسبب بعض الأضرار الفيسيولوجية . حساسة الأغذية بهجرة عامة تتطلب عدم تجاوز

التركيز عن (250 mg/l) ، أما الصناعات الورقية فيجب أن لا يزيد

التركيز عن (100 mg/l) . المواصفات القياسية لمنظمة الصحة العالمية تذكر بأن الماء الصالح للشرب يجب أن لا يتجاوز تركيزه عن (250 mg/l)

ب- أيونات النترات (NO_3^-)

تركيز هذا الأيون في المياه الجوفية يكون قليلاً جداً ولكن زيادة بعض الفعاليات البشرية تؤدي إلى زيادة في تركيز هذا الأيون . ومن هذه الفعاليات :-

١- الزراعة في مساحة يكون فيها سمك طبقة التربة الزراعية فيها قليلاً جداً أو يكون بسبب ضعف في سعة التخزين المؤقت للمواد الغذائية أو عند تغيير نوع استخدام الأرض .

٢- تكثيف فعالية المحاصيل على مدى فترة الإخصاب .

٣- انتشار زراعة المحاصيل يتطلب مبرعات إخصاب عالية والتي تجعل التربة عادية لفترة زمنية طويلة كزراعة محاصيل الذرة والبنج والخضروات .

٤- يزل الأسمدة الكيميائية عن مربيه أنظمة البزل .

٥- الأسمدة العضوية للحيوانات الداجنة .

د - أيونات الكبريتات (SO_4^{-2}) : المصدر الرئيسي للكبريتات في المياه

الجوفية هو المصدر حاسمات الكبريتيد والجبس بالإضافة إلى معدن الأنهيدرايت. وأن تركيز الكبريتات في المياه الطبيعية لا يتجاوز (300 mg/l) فيما عدا تلك الأنهار التي تتأثر بتقريف المناجم الحفصية والتي يصل فيها تركيز الكبريتات إلى أكثر من ($200\ 000 \text{ mg/l}$) (المحامات الكبريتية).
 بأن وجود الكبريتات مع الكالسيوم يكون مادة قشرية تلتصق وتمنع مرور الحرارة كما في المراحل الحرارية. أما عندما يكون تركيزها في الماء أكثر من (250 mg/l) سوف يكون مرفوضاً (مواصفات منظمة الصحة العالمية (WHO 1995) للشرب ولأكثر من الصناعات، بينما الماء المحتوي على تركيز (500 mg/l) يكون طعمها مر، بالإضافة إلى أن الماء الذي يحتوي على تركيز أكثر من (1000 mg/l) فربما يسبب الإسهال.

هـ - أيونات البيكربونات (HCO_3^-) : المصدر الرئيسي للبيكربونات

هو الانحجار الكلسية بالإضافة إلى الدولوميت. عادة البيكربونات لا يتجاوز تركيزها عن (500 mg/l) وتصل في بعض الأحيان إلى (1000 mg/l) في المياه المشكوة بثاني أكسيد الكربون بصورة كبيرة. بأن وجود بيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم مع بعض المراحل البخارية والسفانات الحرارية يؤدي إلى تكوين طبقة تؤدي إلى التآكل وإطلاق غاز CO_2 .
 أما في مياه الشرب فيجب أن يتراوح تركيز البيكربونات بين ($125 - 350 \text{ mg/l}$).

دقة نتائج فحص تراكمية الأيونات في الماء

عند أخذ نماذج من المياه الجوفية لغرض التحليل الكيميائي وإيجاد نسبة تراكمية الأيونات في تلك النماذج، فمن الضروري التأكد من صحة تلك النسب قبل إستخدامها بالتفريق الهيدروكيميائي، ومن المعروف بأن الماء متعادل الشحنة (أي أن الأيونات الموجبة يجب أن تساوي الأيونات السالبة) لذلك فإن نسبة الخطأ المسموحة لتلك النسب يجب أن لا يتجاوز $(\pm 5\%)$ وكامبين بالصورة التالية:-

$$\text{Error} = \frac{\sum \text{Cations} - \sum \text{Anions}}{\sum \text{Cations} + \sum \text{Anions}} * 100 \% \quad \text{within } \pm 5\%$$

$\sum \text{Cations} =$ مجموع الشحنات الموجبة بوحدات (meq/l)

$\sum \text{Anions} =$ مجموع الشحنات السالبة بوحدات (meq/l)

كيفية تحويل التراكمية من وحدات (mg/l) إلى (meq/l)

لغرض تحويل التراكمية من وحدات المليغرام على اللتر (mg/l) إلى وحدات الملييمكافى على اللتر (meq/l) فيجب معرفة الوزن المكافى لكل آيون. وبصفة التراكمية الخاصة بالأيونات (mg/l) على الوزن المكافى لذلك الأيون، سوف تتحول القيمة بالتركيز إلى وحدات (meq/l)؛

$$\text{تركيز الأيون (meq/l)} = \frac{\text{تركيز الأيون (mg/l)}}{\text{الوزن المكافى للأيون}}$$

أما الأوزان المكافئة للأيونات الموجبة والسالبة فهي كالتالي؛

(1) Sodium (Na^+) = 23

(2) Calcium (Ca^{+2}) = 20

(3) Magnesium (Mg^{+2}) = 12

(4) Potassium (K^+) = 39

(5) Bicarbonate (HCO_3^-) = 61

(6) Chloride (Cl^-) = 35.5

مثال / تم الحصول على النتائج التالية من فحص تراكيز الأيونات الموجبة (Cations) والسالبة (Anions) لنموذج من المياه الجوفية. قارن النتائج المستحصلة مع المواصفات الخاصة بمنظمة الصحة العالمية (WHO 1995) وبين صلاحية استخدام تلك المياه، استناداً بشرياً.

	Ions	Concentration (mg/l)
Cations	K^+	14.75
	Na^+	1165
	Mg^{+2}	72.91
	Ca^{+2}	192.38
Anions	Cl^-	1251
	SO_4^{-2}	1238.4
	HCO_3^-	187.93
	NO_3^-	11.2

الجواب / قبل أن يتم مناقشة النتائج وفيما إذا كانت مطابقة للمواصفات أو غير مطابقة، يجب في بداية الأمر التأكد من دقة النتائج، فإذا كانت النتائج ضمن نسبة الخطأ المسموحة ($\pm 5\%$) فيمكن مقارنة النتائج مع المواصفات العالمية. ولكن إذا كانت هذه النتائج أصلاً ليست ضمن نسبة الخطأ المسموحة فيمكن رفض النموذج على أساس أن النتائج غير مبنية من مختبر الفهر، وليس هناك داعٍ لمقارنة النتائج مع المواصفات القياسية.

(1)

1- الخطوة الأولى : تحويل نتائج التحليل للملجمن (mg/l) إلى

Ions	Concentration (meq/l)	(meq/l)
K^+	$\rightarrow$	$0.337 (= \frac{14.75}{39})$

Na^+	$\rightarrow$	50.68
--------	---------------	-------

Mg^{+2}	$\rightarrow$	6.00
-----------	---------------	------

Ca^{+2}	$\rightarrow$	9.60
-----------	---------------	------

$\Sigma \text{ Cations} = 66.65$

Ions	Concentration (Meq/l)
------	-----------------------

Cl^-	$\rightarrow$ 35.30 $(= \frac{1251}{35})$
--------	---

SO_4^{-2}	$\rightarrow$ 25.80
-------------	---------------------

HCO_3^{-1}	$\rightarrow$ 3.08
--------------	--------------------

NO_3^-	$\rightarrow$ 0.18
----------	--------------------

$\Sigma \text{ Anions} = 64.36$

$$\text{Error \%} = \frac{\Sigma \text{ Cations} - \Sigma \text{ Anions}}{\Sigma \text{ Cations} + \Sigma \text{ Anions}} \times 100\% = \frac{66.65 - 64.36}{66.65 + 64.36} \times 100\%$$

وهي ضمن 1.75 %

الحدود المسموحة للخطأ ($\pm 5\%$)
 الآن نقارن تلك النتائج مع المواصفات القياسية ونلاحظ بأن النموذج
 غير صالح للشرب لأن نسبة K^+ و Na^+ و Ca^{+2} و Cl^- و SO_4^{-2}