الفصل الاول :السمنت البورتلاندي Portland Cement
مقدمة عن السمنت

نظرة تأريخية- Historical Background:

أن معرفة المواد السمنتية وكيفية أستعمالها بدأ منذ تطور الخليقة، فقدأرتبط ذلك بنشوء الحضارات القديمة وأزدهارها، حيث كانت تستخدم كمواد لاصقة لتثبيت الاحجار والطابوق لاغراض البناء والتشييد من أهم الباحثين في هذا المجال المهندس ألانجليزي جون سميتون John Smeaton حيث توصل ألى أستخدام أفضل مونة عند خلط البوزولانا مع الحجر الجير . أما السمنت البورتلاندي Portland Cement فقد أكتشف من قبل البناء ألانجليزي Aspdin Joseph وسمي بهذا الاسم بسبب تشابه لون السمنت البورتلاندي المتجمد مع لون صخور جزيرة بورتلاند في أنجلترا.

السمنت البورتلاندي Portland Cement:

السمنت مادة أ أنشائية تمتلك خواص تماسكية وتلاصقية Cohesive & Adhesive بوجود الماء، حيث يتفاعل معه كيمياوياً مكوناً كتلة قادرة على ربط العناصر المعدنية مع بعضها البعض، أو ربط المواد غير القابلة للتماسك وتحوله الى كتلة متراصة قادرة على نقل وتحمل أثقال مختلفة.

يكون السمنت على نوعين:
1- السمنت الطبيعي Natural Cement
2- السمنت الصناعي Manufactured Cement
أن السمنت المستخدم في أنتاج الخرسانة له خاصية التجمد Setting والتصلب Hardening نتيجة التفاعلات الكيمياوية وبوجود الماء، لذلك يعرف بالسمنت الهاييروليكيHydraulic Cement

صناعة السمنت ومركباته:

صناعة السمنت البورتلاندي Manufacturing of Portland Cement
أن المواد الاولية المستخدمة في صناعة السمنت البورتلاندي ، يجب أن تحتوي على كميات مناسبة من المركبات الحاوية على الجير الكلس، السليكا، الالومينا، الحديد، ويتم ذلك بخلط مواد كلسية Calcareous Materials مثل الحجر الجيري Lime Stone والحجر الجيري الطباشيري Chalk Lime Stone مع مواد طينية Clayey Materials مثل الاحجار الطينية الرخوة Shale أو الطين Clay والتي تعد مصدر رئيسي للالومينا والسليكا

ملاحظات عامة:

1. في بعض ألاحيان يحصل زيادة أو نقص في واحد أو أ أكثر من المركبات الرئيسية، وفي مثل هذه الحالة يجب أستعمال مواد أضافية ذات تركيب مناسب لتعديل الخليط بحيث يكون حاوياً على نسب محددة من المركبات اللازمة الخام Raw Mix لصناعة السمنت.
2. أن وجود الحديد في المواد الاولية ضروري لانتاج السمنت من ناحية تركيبه الكيمياوي أو خواصه، لذلك يجب أضافته ألى الخليط الخام أذا كانت نسبته في المواد الاولية المستعملة قليلة جداً.
3. تسلك السليكا كمادة مساعدة على الانصهار وذلك يسهل تكوين سليكات الكالسيوم بدرجات حرارة أقل من تلك اللازمة خلافاً لذلك.
4. من المركبات الاخرى الموجودة في المواد الطينية المستعملة كمواد أولية، هي المغنيسيا والقلويات والفوسفات، وهذه المواد لها تأثير ضار أذا وجدت بكميات كبيرة في السمنت المنتج، لذلك يجب أستعمال المضافات أو أجراء بعض العمليات الخاصة، التي تؤدي ألى تقليل نسبة هذه المركبات ألى الحدود المسموحة والتي لا تشكل خطورة على الخرسانة.

طرق صناعة السمنت Methods of Manufacturing Cement

هنالك طريقتين رئيسيتين لصناعة السمنت البورتلاندي:

1. الطريقة الرطبة Dry Process
2. الطريقة الجافة Wet Process

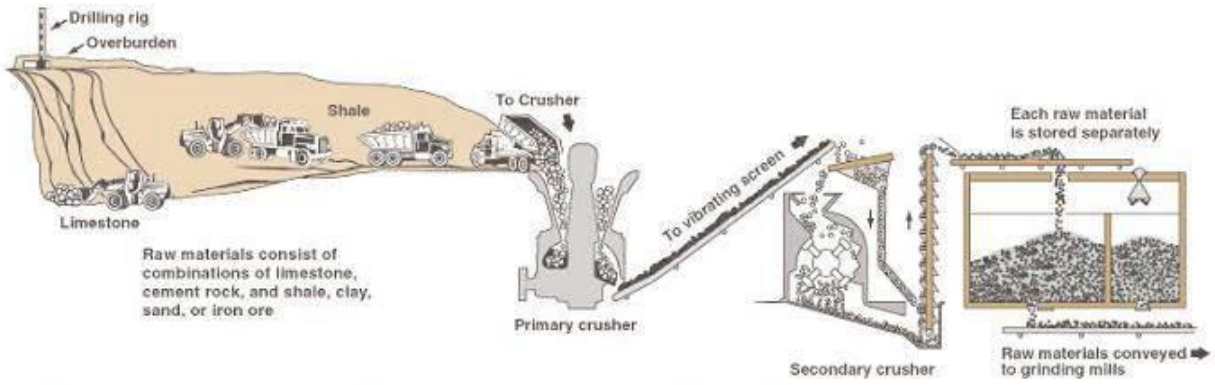
في الطريقة الرطبة يتم طحن ومزج المواد الاولية بوجود الماء، أما في الطريقة الجافة يتم طحن ومزج المواد الاولية بحالتها الجافة .أن أختيار طريقة من هذه الطرق يعتمد على:

1. طبيعة المواد الاولية المستعملة، حيث تستعمل الطريقة الرطبة عندما تكون نسبة الرطوبة في الخامات عالية، وعندما تكون المواد الخام صلدة لدرجة أنها لاتتفتت بالماء تستعمل الطريقة الجافة.
2. تستعمل الطريقة الجافة في البلدان الباردة وذلك خوفاً من تجمد الماء في الخليط، وكذلك عند شحة الماء اللازم لعملية الخلط.

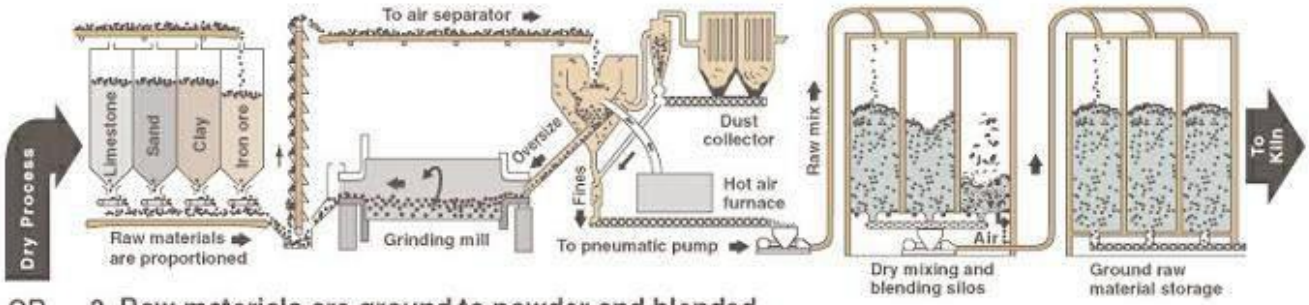
1. الطريقة الرطبة Wet Process

تتم عملية صناعة السمنت في هذه الطريقة عن طريق طحن وخلط المواد الاولية بوجود الماء، فعند أستعمال الحجر الجيري الطباشيري كمادة كلسية أولية يتم تكسيره ألى قطع صغيرة بواسطة كسارات خاصة ومن ثم يخلط مع الماء في طاحونة غسل Wash Mill وعند أستعمال الطين كمادة طينية أولية يهشم ويمزج مع الماء داخل طاحونة مشابهة للطاحوندة الاولى، وبعد ذلك يضخ مطحون المواد الاولية ليمتزج بنسب محددة ويمرر الخليط خلال سلسلة من المشبكات لغرض ترشيحه، ويخزن الناتج النهائي والذي يكون بشكل ملاط دقيق القوام في خزانات خاصة تسمى خزانات الملاط Slurry Tanks يمرر الملاط في الافران الدوا رة Rotary Tanks التي هي عبارة عن أسطوانة معدنية كبيرة قطرها حوالي 5 م وطولها حوالي 151 م، مبطنة من الداخل بطابوق ناري وتدور ببطء حول محورها الذي يميل قليلاً عن الافق، وتتراوح درجات الحرارة فيها بين1400 - 1500 م°، حيث يتكتل فيها الملاط ويصبح بشكل كرات تسمى بالكلنكر Clinker يمرر الكلنكر في مبردات خاصة تسمى مبردات الكلنكر Clinker Coolers ثم يطحن مع الجبس طحناً ناعماً وذلك لمنع حدوث التجمد الفجائي للسمنت عند أضافة الماء أليه، وتتم عملية الطحن في داخل طاحونة تسمى بطاحونة الكرة Ball Mill والتي تتكون من عدة غرف تحوي كرات فولاذية وبعد أخراج السمنت من الطاحونة يمرر على فاصلة مع تيار هوائي حيث تتحرك الدقائق نحو خزان السمنت، عندئذ يعبأ في أكياس زنة 50 كغم، أو ينقل بواسطة سيارات حوضية خاصة .أما الدقائق الخشنة فتعاد ألى الطاحونة مرةً ثانية ليتم طحنها من جديد .يتراوح قطر كرات الكلنكر مابين 3-25 - ملم الملاط :عبارة عن عجينة رخوة القوام محتوى الماء فيها يتراوح مابين 35- 50% .

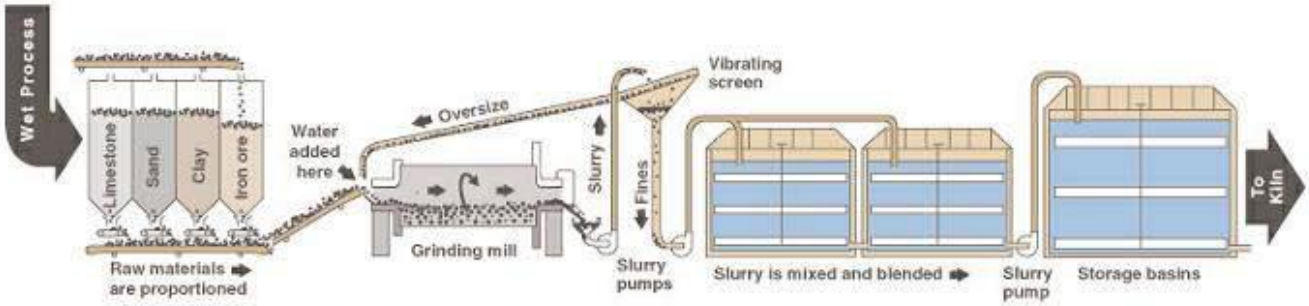
الشكل (1-1) يبين الخطوات التفصيلية لعملية صناعة السمنت بالطريقة الرطبة.



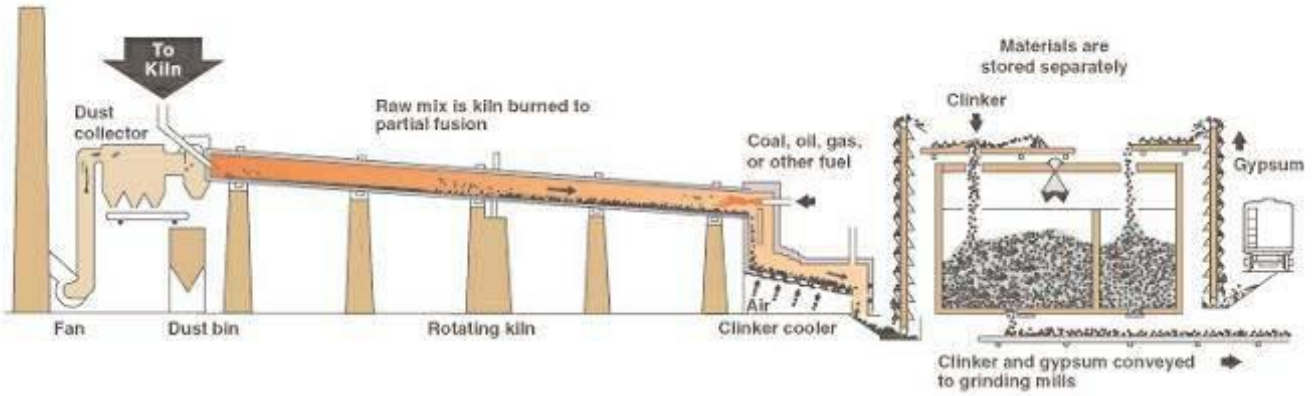
1. Stone is first reduced to 125 mm (5 in.) size, then to 20 mm (¾ in.), and stored.



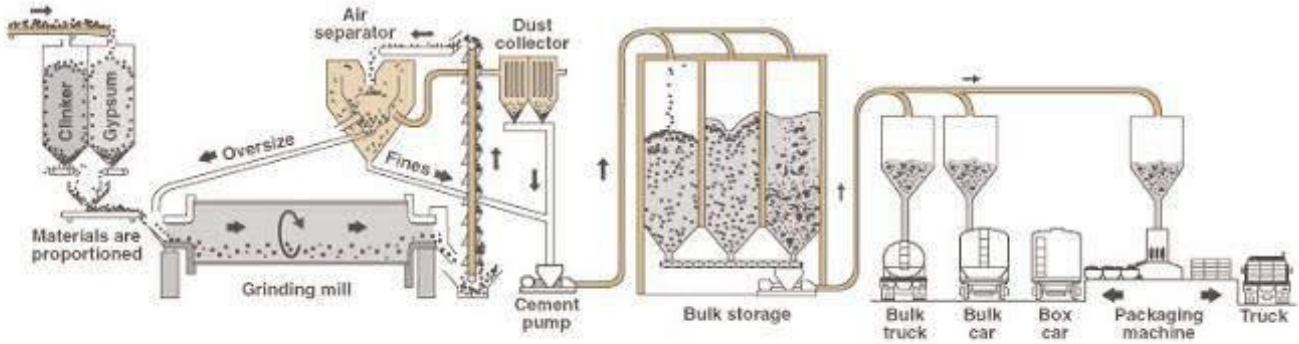
OR 2. Raw materials are ground to powder and blended.



2. Raw materials are ground, mixed with water to form slurry, and blended.



3. Burning changes raw mix chemically into cement clinker.



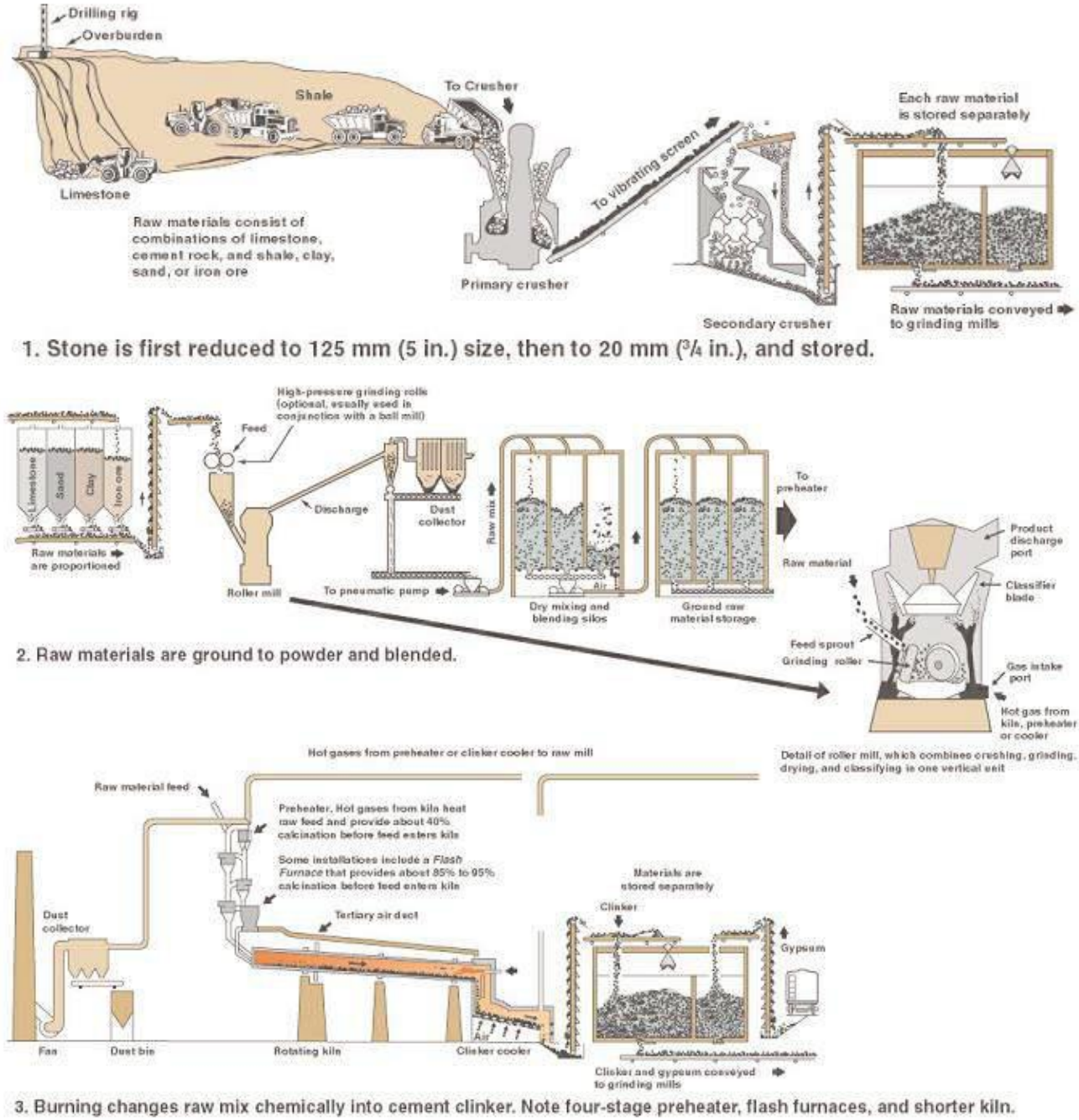
4. Clinker with gypsum is ground into portland cement and shipped.

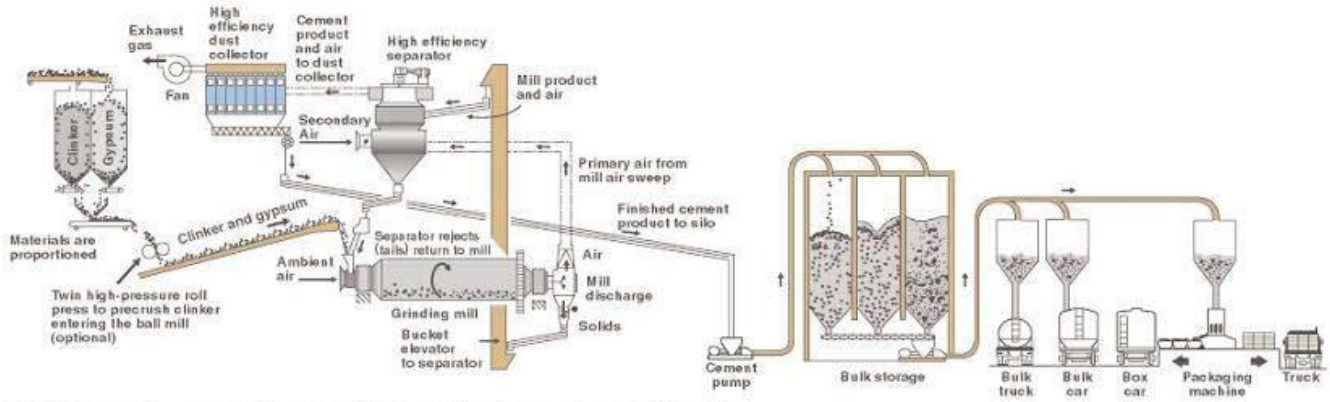
شكل (1-1) مخطط تفصيلي لعملية صناعة السمنت بالطريقة الرطبة.

2. الطريقة الجافة Dry Process

في هذه الطريقة تسحق المواد الكلسية والطينية، وتوضع بنسب معينة داخل طاحونة حيث تجفف وتحول ألى مسحوق ناعم يسمى دقيق الخام، يضخ هذا الدقيق الجاف ألى داخل خزان الخلط Blending Silo حيث يتم فيه التصحيح النهائي لنسب المواد الاولية اللازمة لصناعة السمنت يخلط دقيق الخام بواسطة هواء مضغوط للحصول على خليط متجانس. بعد ذلك ينخل دقيق الخام ويوضع على صحن دوار Rotary Dish ويضاف أليه الماء بنسبة 12% من وزنه فتتكون كرات صلبة قطرها حوالي 15 سم، تحمص هذه الكرات في داخل شبكة قضبان حديدية مسخنة مسبقاً بالغازات الساخنة من الفرن، ثم تدخل هذه الكرات الصلبة في الفرن الدوار، والعمليات التالية تكون مماثلة للطريقة الرطبة في صناعة السمنت.

الشكل (1- 2) يبين الخطوات التفصيلية لعملية صناعة السمنت بالطريقة الجافة.





شكل (1-2) مخطط تفصيلي لعملية صناعة السمنت بالطريقة الجافة.

جدول (1-1) مقارنة بين الطريقة الرطبة والجافة لصناعة السمنت.

الطريقة الجافة	الطريقة الرطبة
حجم الفرن المستخدم أصغر لان محتوى الماء 12% من وزن دقيق الخام	حجم الفرن أكبر لان محتوى الماء يتراوح بين 35-50% في ملاط السمنت الدقيق القوام
كمية الوقود اللازمة لازالة الرطوبة من الاجسام الصلبة الكروية أقل.	كمية الوقود اللازمة لازالة الرطوبة من ملاط السمنت أكبر من الطريقة الجافة.
أكثر أقتصادية وبالاخص عندما تكون المواد الاولية جافة	أقل أقتصادية.
يصعب السيطرة على طريقة خلط المواد الاولية والحصول على مواد متجانسة	يمكن الحصول على مواد متجانسة.
تحتاج المكائن والمعدات الى أدامة وصيانة كبيرة.	تحتاج المكائن والمعدات الى أدامة وصيانة أقل.

التركيب الكيمياوي للسمنت البورتلاندي

:Chemical Composition of Portland Cement

أن المواد الاولية المستعملة في صناعة السمنت البورتلاندي تتكون بصورة رئيسية من الجير والسليكا والالومينا و أوكسيد الحديد .وهذه المركبات تتفاعل مع بعضها البعض في داخل الفرن لتكون مواد ومركبات أكثر تعقيداً، وكمية قليلة من جير غير متحد بسبب عدم توفر الوقت الكافي لاتحاده مع باقي المركبات، وتستمر هذه التفاعلات الكيمياوية في داخل الفرن ألى أن يتم الوصول ألى حالة التوازن الكيمياوي ، ونتيجة لذلك فأن ناتج الحرق للكلنكر يحتو على أربعة 4 مركبات رئيسية كما مبين في الجدول (1-2) أدناه :

جدول (1-2) التركيب الكيمياوي لكلنكر السمنت

ت	أسم المركب	الرمز الكيمياوي المختصر	التركيب الكيمياوي
1	سليكات ثنائي الكالسيوم	C2S	$2\ CaO.SiO_2$
2	سليكات ثلاثي الكالسيوم	C3S	$3\ CaO.SiO_2$
3	ألومينات ثلاثي الكالسيوم	C3A	$3\ CaO.Al_2O_3$
4	ألومينات حديد رباعي الكالسيوم	C4AF	$4\ CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

وهذه الرموز تم التوصل أليها عن طريق رموز الأكاسيد والمستعملة من قبل كيمياويي السمنت وكما في الجدول (1- 3) أدناه :

جدول (1- 3) رموز الأكاسيد

الأكاسيد	الرمز الكيمياوي	الرمز المختصر
أوكسيد ألامنيوم	Al_2O_3	A
أوكسيد الكالسيوم	CaO	C
أوكسيد الحديد	Fe_2O_3	F
أوكسيد السليكون	SiO_2	S

ميزات ومساوئ مركبات (أكاسيد) السمنت:

Advantages & Disadvantages of Cement Oxides

1. ثنائي سليكات الكالسيوم Di-Calcium Silicate, C2S:

يتميز هذا المركب بأن سرعة تفاعله بطيئة ويعطي حرارة قليلة أثناء التفاعل، وتحمله الابتدائي لمقاومة الانضغاط ضعيف، ألا أن تحمله النهائي جيد.

2. سليكات ثلاثي الكالسيوم Tri-Calcium Silicate, C3S :

يتميز هذا المركب بأن سرعة تفاعله معتدلة، ويحرر كمية لابأس بها من الحرارة أثناء التفاعل، ويكون تحمله الابتدائي والنهائي جيد، ويكون هذا المركب مع المركب C2S حوالي 70-80% من السمنت البورتلاندي.

3. ألومينات ثلاثي الكالسيوم Tri-Calcium Aluminate, C3A :

يتميز هذا المركب بتفاعله السريع وبتحرير كمية كبيرة من الحرارة أثناء التفاعل، ويكون التحمل الابتدائي له جيد ألا أن التحمل النهائي ضعيف، ويعد هذا المركب قلق، وذلك لتفاعله الكبير مع الاملاح مما يؤدي ألى أضعاف السمنت.

4. ألومينات حديد رباعي الكالسيوم Tetra-Calcium Aluminate Ferrite, C4AF :

يمثل مجموعة أكاسيد مقاربة في خواصها للأكاسيد السابقة، ويتفاعل مع الماء بسرعة أقل من C3A ويكون مركبات مائية أكثر أستقراراً من مركباتC3A وأقل أستقراراً من مركبات سليكات الكالسيوم المائية وتكون حرارة الاماهة أعلى من تلك التي يولدها C2S وأقل من بقية المركبات، ويوجد بنسبة 5-10% من وزن السمنت، ويكون تأثيره قليلاً عليه .

بالاضافة ألى المركبات الاربعة الرئيسية، هناك مركبات أخرى نسبتها المئوية قليلة جداً وهي:

1. أوكسيد المغنيسيوم MgO
2. أوكسيد البوتاسيوم K_2O
3. أوكسيد الصوديوم Na_2O
4. أوكسيد المنغنيز Mn_2O_3
5. أوكسيد التيتانيوم TiO_2
6. ثالث أوكسيد الكبريت SO_3
7. الفسفور P_2O_5

يعد أوكسيدي الصوديوم والبوتاسيوم من المركبات المهمة، حيث تسمى بالقلويات بأمكانها التفاعل مع بعض أجزاء السليكا الفعالة في الركام ضمن الخرسانة المتصلبة، ونواتج التفاعل تكون مصحوبة بزيادة في الحجم، فتسبب تشقق وتلف الخرسانة، أضافةً ألى ذلك فأنها تؤثر على الوقت اللازم لتجمد السمنت.

أما النسبة المئوية للمركبات الرئيسية فبالامكان أحتسابها من النسبة المئوية للأكاسيد المستحصلة من التحليل الكيمياوي بواسطة معادلات Bogue على فرض أن التفاعلات

الكيمياوية التي تؤدي الى تكوين المركبات الرئيسية وصلت الى حالة التوازن الكيمياوي ، وأن نواتج هذا التوازن متبلورة كلياً.

$C3S = 4.07\ (CaO) - 7.60\ (SiO_2) - 6.72\ (Al_2O_3) - 1.43\ (Fe_2O_3) - 2.85\ (SO_3)$.

$C2S = 2.87\ (SiO_2) - 0.754\ (C3S)$.

$C3A = 2.65\ (Al_2O_3) - 1.69\ (Fe_2O_3)$.

$C4AF = 3.04\ (Fe_2O_3)$.

أن حالة التوازن الكيمياوي لاتستمر أثناء تبريد الكلنكر، وأن سرعة تبريد الكلنكر تؤثر على درجة تبلوره وعلى كمية المواد الغير متبلورة الموجودة فيه والتي تسمى بالزجاج، حيث أن خواص هذه المادة الغير متبلورة تختلف عن خواص المركبات المتبلورة التي لها نفس التركيب الكيمياوي.

الجدول (1-4) أدناه يعطي فكرة عامة عن تركيب السمنت، ويوضح حدود الأكاسيد الداخلة في تكوينه.

جدول (1-4) النسب التقريبية لأكاسيد السمنت

Oxide	Content (%)
CaO	60-67
SiO_2	17-25
Al_2O_3	3-8
Fe_2O_3	0.5-6
MgO	0.1-4
Alkalis ($Na_2O_3 + K_2O$)	0.2-1.3
SO_3	1-3

الفقدان أثناء الايقاد (الحرق) Loss on Ignition :

هو الفقدان في وزن النموذج بعد التسخين الى درجة الحرارة الحمراء Red Heat 1000م°، ويعبر عن مقيار الكربنة Carbonation وعن عملية الاماهة Hydration Process التي تحدث للجير الحرFree Lime والمغنيسيا الحرة الموجودين في السمنت نتيجة خزن السمنت لفترة طويلة Prolonged Story, أو نتيجة تعرضه للظروف الجوية، كما وأن جزءاً صغيراً من الفقدان أثناء الايقاد ناتج عن فقدان الماء الداخل في تركيب الجبس وتحدد المواصفات القياسية البريطاندية نسبة الفقدان أثناء الايقاد من 3% في المناخ المعتدل، الى 4% في المناخ الاستوائي، أما المواصفات القياسية العراقية فتحدد نسبة الفقدان للسمنت البورتلاندي الاعتيادي والسريع التصلب ب 4% كحد أقصى.

المخلفات غير الذائبة Insoluble Residue:

هي ذلك الجزء من نموذج السمنت الغير قابل للذوبان في حامض الهايدروكلوريك، وتنشأ بصورة رئيسية من السليكا غير المتفاعلة لتكوين مركبات السمنت الذائبة في هذا الحامض، لذا فأن المخلفات غير الذائبة تعبر عن مدى أكتمال التفاعلات الكيمياوية في داخل الفرن، والمواصفات القياسية العراقية تحدد نسبة المخلفات غير الذائبة ب 1.5% من وزن السمنت كحد أقصى.

أماهة السمنت Hydration of Cement:

عملية تفاعل السمنت مع الماء تؤدي الى سلسلة من التفاعلات الكيمياوية، والتي تؤدي بالنهاية الى تكوين المادة الرابطة Bonding Material

$\{(C2S, C3S, C3A, C4AF) + (H_2O) \longrightarrow$ New Components$\}$ Hydration.

وهذا يعني أنه بوجود الماء تكون السليكات والالومينات مركبات جديدة وهذا مايطلق عليه بعملية الاماهة Hydration Process. وبمرور الوقت تتحول نواتج عملية الاماهة الى كتلة متينة وصلبة تعرف بعجينة السمنت المتصلبة، أن تفاعل مركبات السمنت مع الماء يكون على نوعين:

1. التفاعل الحقيقي لعملية الاماهة، وهو الاضافة المباشرة لجزيئات الماء الى السمنت.
2. التحلل بالماء ويمكن توضيح طبيعته بتفسير معادلة أماهة C3S

$$2(3CaO.SiO_2) + H_2O \longrightarrow 3Ca(OH)_2 + 3CaO.2SiO_2.3H_2O$$

أن عملية تفاعل C3S مع الماء لا تتوقف عندما يصبح المحلول مشبعاً بهايدروكسيد الكالسيوم، ولكنها تستمر والكميات الناتجة من الجير تترسب بشكل بلورات $Ca(OH)_2$.

سليكات الكالسيوم المائية تبقى مستقرة عندما تكون بتماس مع المحلول المشبع بالجير، و تعاني تحللاً عند وضعها بالماء ويتكون نتيجة لذلك بعض الجير وتستمر الى أن يتم تشبع الماء بالجير . أن أستمرار سليكات الكالسيوم المائية بالاماهة، يترك المركب المتصلب كسليكا متميئة فقط ندتيجة تحلل كل الجير.
أن سرعة التفاعلات الكيميائية للمركبات الرئيسية تختلف من مركب الى أخر، وحسب ما موضح في أدناه:
1. الالومينات Aluminate تبدأ بالتفاعل أولاً مع الماء، وتؤثر على مسلك التفاعلات الكيميائية في الاوقات المبكرة من عملية الاماهة.
2. السليكات Silicate تؤثر على التفاعلات في المرحلة التالية.

A- نتائج تفاعل مركبات السمنت مع الماء (هايدرات):

نواتج عملية الأماهة للسمنت مشابهة كيمياوياً لنواتج عملية الأماهة لكل مركب على أنفراد تحت ظروف مماثلة، مع العلم أن نواتج التفاعل قد يؤثر بعضها على البعض الأخر.

B- الهايدرات الرئيسية لعملية الأماهة:

أن الهايدرات الرئيسية لعملية الأماهة هي:
1. سليكات الكالسيوم المائية.
2. ألومينات ثلاثي الكالسيوم المائية.
3. (C4AF) تتميأ ألى ألومينات ثلاثي الكالسيوم المائية، وكالسيوم فيرايت $CaO.Fe_2O_3$ بشكل غير متبلور.

سليكات الكالسيوم (C2S & C3S) هي المركبات السمنتية الرئيسية، وأن السلوك الفيزيائي للسمنت أثناء عملية الأماهة يماثل سلوك هذين المركبين، وتعزى المقاومة النهائية لهيكل عجينة السمنت المتصلبة بصورة رئيسية الى سليكات الكالسيوم المتميئة (Hydrated Calcium Silicate)، وبما أن مركبات سليكات الكالسيوم تكون حوالي 75% من وزن السمنت البورتلاندي الأعتيادي ، فمن المتوقع أن تشكل هذه المركبات و/أو هايدراتها الجزء الأعظم من عجينة السمنت في أي مرحلة من مراحل عملية الأماهة.

C- تحديد تقدم عملية الأماهة للسمنت:

يمكن تحديد تقدم عملية الأماهة من قياس
1. كمية $Ca(OH)_2$ الناتج من أماهة السليكات.
2. الحرارة المتولدة أ أثناء عملية الأماهة.
3. الوزن النوعي لعجينة السمنت المتميأة.
4. كمية الماء المتحد كيمياوياً مع السمنت.
5. كمية السمنت غير المتميأ بواسطة التحليل الكمي بالأشعة السينية.
6. مقاومة عجينة السمنت المتميأة.

D- سليكات الكالسيوم المائية Hydro Calcium Silicate:

1. المركب ثلاثي سليكات الكالسيوم C3S:

أن عملية مزج ال (C3S) مع الماء تؤدي الى تكون:
a) أيونات من الجير والسليكا في المحلول بنسبة جزيئية (1 سليكا : 3جير).
b) بلورات من $Ca(OH)_2$.
c) جل سليكات الكالسيوم المائية .

حيث أن عملية أماهة C3S بشكل كامل قد تستغرق سنة واحدة أو أكثر .عندما تحصل عملية أماهة كلية للمركب C3S ,يمكن التعبير عن التفاعل الكيميائي بصورة تقريبية بالمعادلة الكيميائية التالية:

$$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

2. المركب ثنائي سليكات الكالسيوم C2S:

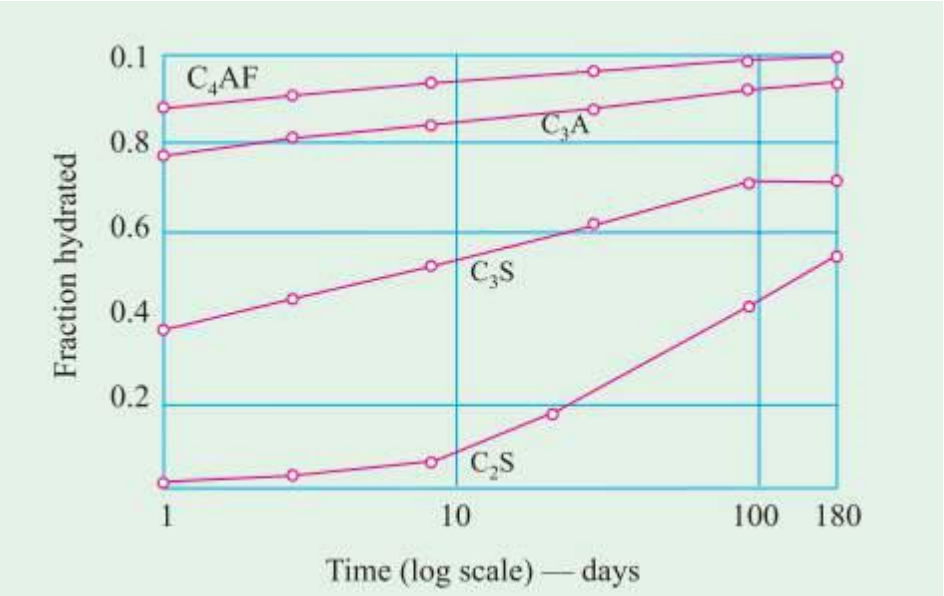
أن عملية تفاعل المركب C2S مع الماء تتسم بما يلي :

a) أبطأ من عملية تفاعل C3S مع الماء.
b) كمية $Ca(OH)_2$ الناتجة من عملية الأماهة أقل.
c) الجل المتكون مماثل لذلك الناتج من عملية أماهة المركب C3S ولكن هنالك أختلاف في مسلك التفاعلات الكيمياوية بين المركبين.

أن عملية أماهة المركب C2S بشكل كامل قد تستغرق أكثر من أربعة سنوات، وعند حصول أماهة كلية يعبر عن التفاعل الكيميائي بصورة تقريبية بالمعادلة الكيميائية التالية:

$$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$$

أن معدل سرعة الأماهة للمركبين بحالتيهما الخالصة مختلف كما مبين في الشكل (1-3) أدناه:



شكل(1-3) معدل أماهة مركبات السمنت البورتلاندي مع الزمن.

أن تركيب سليكات الكالسيوم C2S & C3S بصورة تقريبية عند أكتمال عملية الأماهة هو $(C_3S_2H_3)$ ويسمى بالتوبرمورايت. أن المركبين C2S & C3S يحتاجان ألى كمية مماثلة من الماء لعملية الأماهة ، ولكن قابلية أنتاج C3S لهايدروكسيد الكالسيوم يفوق ضعف أنتاج C2S له وكما مبين في المعادلات التالية:

أماهة المركب C3S والأوزان المناظرة

$$[2C_3S + 6H \longrightarrow C_3S_2H_3 + 3Ca(OH)_2]$$
$$100 + 24 \longrightarrow 75 + 49$$

أماهة المركب C2S والأوزان المناظرة

$$[2C_2S + 4H \longrightarrow C_3S_2H_3 + Ca(OH)_2]$$
$$100 + 21 \longrightarrow 99 + 22$$

.3 ألومينات ثلاثي الكالسيوم المائية وتأثير الجبس C3A & Effect of Gypsum:

أن كمية C3A في السمنت قليلة، لكن سلوكها يجعلها ذات أهمية .أن ألومينات ثلاثي الكالسيوم المائية تكون بهيئة صفائح مستوية، كل منها محاط بسليكات الكالسيوم المائية .أن تفاعل C3A مع الماء يكون شديداً ومصحوباً بأنبعاث كمية كبيرة من الحرارة، مكوناً بلورات صفائحية سداسية من ألومينات الكالسيوم المائية .وفي السمنت البورتلاندي يؤدي هذا النوع من التفاعل الى حدوث التجمد الفجائي Flash Setting، ولكن وجود الجبس الذي يضاف الى الكلنكر قبل عملية الطحن يعمل كمؤخر لعملية تفاعل C3A مع الماء، أذ يتفاعل معها مكوناً سلفو ألومينات الكالسيوم غير الذائبة حول حبيبات ال (C3A) وبهذا يؤخر تفاعلها مع الماء، متيحاً وقتاً كافياً لأماهة C3S والتي يكون تفاعلها أبطأ من C3A.

أن نتيجة تفاعل C3A الموجود في السمنت مع الجبس بوجود الماء يؤدي الى تكون:

a) سلفو ألومينات الكالسيوم المائية والحاوية على نسبة عالية من السلفات (الكبريتات)،والتي تدعى بال Ettringite ويعبر عنها كيميائياً $(3CaO.Al_2O_3.CaSO_4.12H_2O)$

b) سلفو ألومينات الكالسيوم المائية والحاوية على نسبة واطئة من السلفات (الكبريتات)، ويعبر عنها كيميائياً $(3CaO.Al_2O_3.CaSO_4.12H_2O)$.

<u>أن تفاصيل وكيفية تكون سلفو ألومينات الكالسيوم غير واضحة للأسباب التالية:</u>

1 - لتقييد التفاعلات الكيميائية في المراحل المبكرة من عملية الأماهة .

2- تغير النسبة المئوية للمكونات في الأنواع المختلفة من السمنت.

3- صعوبة أيجاد كمية المركبات في حالة وجود مركبات أخرى في السمنت المتميأ.

<u>يستمر التفاعل للجبس مع ال (C3A)، الى أن يتم أستنفاذ أحدهما، بينما يستمر (C3S) عملية الأماهة، وحسب التالي:</u>

1- أذا تم أستنفاذ C3A قبل الجبس، فأن الجبس الفائض يتمدد ليكون عاملاً مساعداً في تمزق وتلف كتلة عجينة السمنت Cement Paste.

2- أذا تم أ أستنفاذ الجبس قبل ال C3A فأن أ ألومينات ثلاثي الكالسيوم المتبقية تبدأ بالتميؤ مكونة بلورات مكعبية ثابتة ومستقرة ذات مقاومة عالية لأملاح الكبريتات،

$$C_3A + 6H \longrightarrow C_3AH_6$$

أن ألومينات الكالسيوم المائية تأخذ عدة أ أشكال قبل تحولها الى الحالة المستقرة (C_3AH_6),

ومن المحتمل أن تتكون بلورات سداسية $(C_4AH_8, C_4AH_{10}, \text{and } C_4AH_{12})$ قبل البلورات المكعبية، و أذا حصل و أن تعرض أي شكل من أشكالها قبل (تحولها الى الحالة المستقرة والتي تكون مقاومتها للكبريتات عالية جداً)الى أملاح الكبريتات الموجودة بكثرة في الرمال، التربة، أو المياه الجوفية، التي تتعرض لها الكتلة الخرسانية، فأنها تتفاعل معها مكونةً سلفو ألومينات الكالسيوم، وأن هذا التفاعل يكون مصحوباً بزيادة في الحجم تؤدي الى تشقق وتلف الكتلة الخرسانية معتمداً على:

1. كمية الألومينات المتبقية.
2. تركيز أملاح الكبريتات.

يصحب تحول بلورات ألومينات الكالسيوم المائية من الشكل السداسي والشبه مستقر الى الشكل المكعبي المستقر، وهذا يؤدي الى تغير في كثافة وحجم البلورات، مؤدياً بذلك الى تقليل مقاومة عجينة السمنت في الأوقات المتأخرة بسبب:

1. فقدان التماسك والتلاصق في البنية المجهرية.
2. زيادة مسامية كتلة عجينة السمنت المتصلبة.

يتبين مما ورد في أعلاه, أن وجود C3A في السمنت غير مرغوباً به، حيث أن مشاركته في أعطاء مقاومة قليلة جداً وتتحدد في الأيام الأولى فقط (من 1- 3 أيام)، لكنه مفيد في صناعة السمنت حيث يعمل كمادة مساعدة للأنصهار، ويقلل من درجة الحرارة اللازمة لتكوين الكلنكلر، ويسهل عملية أتحاد الجير مع السليكا.

4. ألومينات رباعي حيبي الكالسيوم C4AF:

يتفاعل الجبس مع C4AF مكوناً سلفو ألومينات الكالسيوم وسلفو فيرايت الكالسيوم، حيث يعمل كمادة مساعدة للأنصهار ويسرع من عملية الأماهة للسليكات . أن أستعمال النسبة المثلى للجبس ضرورة وذلك لأنها:

a) تنظم سرعة التفاعلات الكيميائية في الأوقات المبكرة.
b) تمنع التركيز الموقعي لنواتج عملية الأماهة.

أن كمية الجبس الضرورية تزداد بزيادة:

1. محتوى ال C3A.
2. القلويات.
3. نعومة السمنت.
4. محتوى القلويات في السمنت.

تحدد المواصفة القياسية العراقية رقم 5 لسنة 1804 ، هذه النسبة كالتالي:

1- 2.5% كحد أعلى عندما يكون C3A $\geq$ 7% .
2- 3% (.كحد أعلى عندما يكون C3A $<$ 7%.

التجمد غير الحقيقي False Setting:

هو تجمد غير أعتيادي يحصل قبل أوانه، وفي خلال بضع دقائق من عملية خلط الماء مع السمنت .يختلف التجمد غير الحقيقي عن الفجائي للأسباب التالية:

1. الحرارة المتولدة قليلة ولايمكن تقديرها.
2. يمكن السيطرة عليه و أسترجاع لدونة عجينة السمنت من خلال أعادة خلطها من جديد وبدون أضافة الماء، وتتجمد من دون فقدان في المقاومة.

الأسباب التي تؤدي الى حصول التجمد غير الحقيقي False Setting، يمكن أجماله بما يلي:

1. جفاف ماء الجبس المستعمل.

عند طحن الجبس مع الكلنكر الحار بدرجة حرارة (100-190) م°, يفقد الجبس 75% من ماء التبلور $CaSO_4.1/2H_2O$، وعندما تزيد درجة الحرارة عن 190 م° يفقد الجبس كل الماء الداخل في تركيبه $CaSO_4$. وعند أضافة الماء الى السمنت يسبب ذلك التجمد خلال عدة دقائق، كما موضح في المعادلة الكيميائية التالية:

$$CaSO_4.\ 1/2H_2O + H_2O \longrightarrow CaSO_4.2H_2O$$
$$CaSO_4 + H_2O \longrightarrow CaSO_4.2H_2O$$

2. الخزن الردئ للسمنت.

أثناء الخزن الردئ للسمنت، تتفاعل القلويات الموجودة في السمنت K_2O & Na_2O مع غاز ثاني أوكسيد الكاربون الموجود في الجو مما ينتج عنه تكون كاربونات الصوديوم وكاربونات البوتاسيوم, وعند أضافة الماء الى السمنت، تتفاعل الكاربونات مع المركب $Ca(OH)_2$، الناتج من عملية أماهة المركب C3S, حيث تترسب كاربونات الكالسيوم مسببةً التجمد، وكما موضح في المعادلات الكيميائية التالية:

$$K_2O + CO_2 \longrightarrow K_2CO_3$$

$Na_2O + CO_2 \longrightarrow Na_2CO_3$
$K_2CO_3 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCO_3$
$Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCO_3$

3. تنشيط فاعلية C3S المعرض للجو الرطب .
أثناء خزن السمنت بصورة رديئة، تتعرض حبيبات السمنت الى رطوبة، فيلتصق الماء بسطوحها ويكسبها فاعلية، وأثناء عملية الخلط (أضافة الماء للسمنت) تتحد السطوح الفعالة بسرعة مع الماء مسببةً التجمد خلال عدة دقائق.

العوامل المؤثرة على التجمد والتصلب Factors affect Setting & Hardening:

1. المكونات الرئيسية للسمنت.
2. محتوى الماء في العجينة، فكلما أزدادت نسبة الماء الى المواد السمنتية تتجمد بصورة أبطأ من العجينة الجافة، لذلك يجب أعتماد نسبة ماء الى المواد السمنتية بحيث تعطي قوام قياسي.
3. درجة الحرارة والرطوبة النسبية أثناء عملية الخلط.
4. نعومة السمنت، حيث تزداد سرعة التجمد بزيادة نعومة السمنت وذلك بسبب زيادة المساحة السطحية المعرضة للتفاعل.

ثبات السمنت Soundness of Cement :

أن السمنت الذي يبدي تمدداً يعرف بالسمنت غير ثابت الحجم Unsound Cement، وهذا يؤدي الى تشقق عجينة السمنت المتصلبة عنيما تكون تحت ظروف مقيدة.

الأسباب التي تؤدي الى عدم ثبات السمنت هي:

1. تأخر أو بطء عملية الأماهة للجير الحر CaO.

فأذا كانت المواد الأولية المستخدمة في تصنيع السمنت حاوية على جير أكثر من الذي يتجمد مع باقي المركبات، فأن الكمية الفائضة تبقى بحالة حرة وتحترق بشدة في داخل الفرن .وهذا الجير المحروق يتميأ بصورة بطيئة جداً. يشغل $Ca(OH)_2$ حجم أكبر من حجم CaO مما يؤدي الى التمدد.

$CaO + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2$

يمكن تحديد المحتوى الفعلي للجير الحر بالتحليل الكيميائي للكلنكر المستخرج من الفرن مباشرةً.

2. تأخر أو بطء عملية الأماهة للمغنيسيا الحرة MgO:

المغنيسيا الحرة تكون بشكل متبلور وتتفاعل بطريقة مماثلة للجير الحر

$MgO + H_2O \longrightarrow Mg(OH)_2$

أما المغنيسيا الموجودة في الزجاج فلا تسبب عدم الثبات لكونها غير متبلورة وتتميأ سريعاً متحولةً الى الحالة المستقرة في عجينة السمنت المتصلبة.

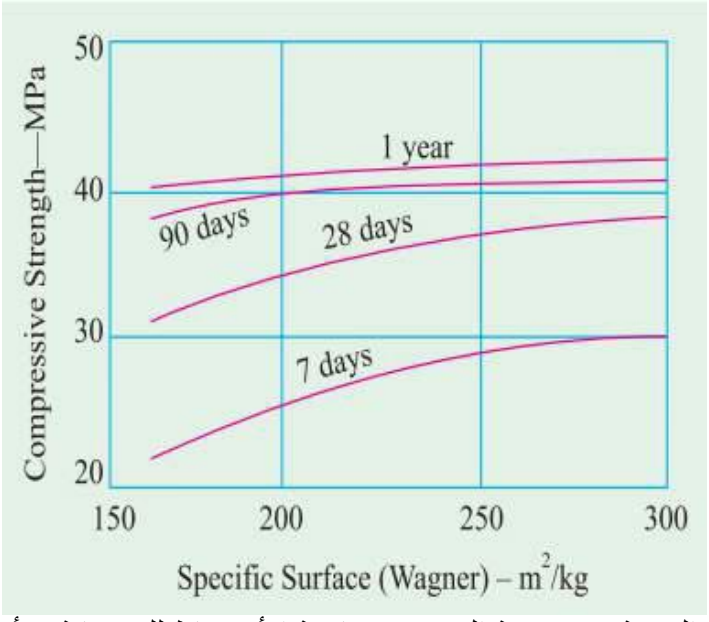
3. كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$:

يضاف الجبس الى الكلنكر قبل عملية الطحن (لمنع التجمد الفجائي)، وفي حالة وجود الجبس بكمية أكبر من التي تتفاعل مع المركب C3A أثناء التجمد، فأن الجبس الفائض يتمدد بطيئاً ويؤدي الى عدم الثبات.

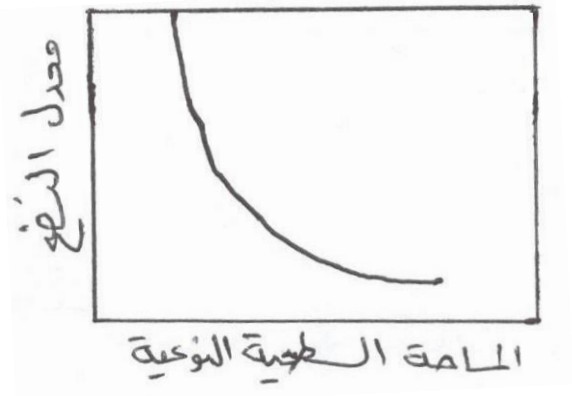
نعومة السمنت Fineness of Cement:

أن الخطوة النهائية في صناعة السمنت هي عملية طحن الكلنكر مع الجبس. وبما أن الأماهة تبدأ بسطوح حبيبات السمنت، يمكن القول بأن المساحة السطحية الكلية للحبيبات تمثل المادة المتوفرة لعملية الأماهة، وبهذا فأن النعومة هي مجموع المساحات السطحية النوعية لحبيبات السمنت وتقاس ب (سم ^{2}/غم)أ أو م2 /كغم).
أن النعومة العالية قي تكون ضرورية للأسباب التالية:

1. لتغطية سطوح حبيبات الركام بطريقة أفضل وهذا يؤدي الى أن التماسك والتلاصق بين مكونات الملاط السمنتي أفضل.
2. لتحسين قابلية تشغيل الخلطة الخرسانية.
3. لزيادة سرعة الحصول على المقاومة المبكرة، وكما مبين في الشكل (1-4).
4. لتقليل طبقة الماء التي تنفصل عن سطح الخلطة بسبب النضح Bleeding, وكما موضح في الشكل (1-5).



شكل(1-4). العلاقة بين نعومة السمنت ومقاومة الأنضغاط للخرسانة ولأعمار مختلفة.



شكل (1-5) العلاقة بين نعومة السمنت ومعدل النضح لعجينة السمنت.

<u>ولنعومة السمنت العالية أضرار يمكن أجمالها بما يلي:</u>

1. تزداد كلفة الطحن بزيادة نعومة السمنت.
2. تعرض السمنت الى أماهة جزئية أثناء الخزن الردئ للسمنت، مما يؤدي الى فقدان قيمته السمنتية.
3. زيادة المساحة السطحية للقلويات الموجودة فيه، وينتج عن ذلك تفاعلها بشدة معأجزاء السليكا في الركام مسببةً تشقق وتلف الخرسانة.
4. زيادة أنكماش عجينة السمنت.
5. زيادة المساحة السطحية للمركب C3A، مما يستوجب زيادة كمية الجبس اللازمة للتفاعل مع هذا المركب.

لذلك من الضروري السيطرة على نعومة السمنت من خلال أستخدام الفحوصات القياسية.

طرق قياس نعومة السمنت:

1) طريقة النخل Sieve Method.
يتم أيجاد نسبة المتبقي من السمنت على المنخل مقاس 90 مايكرون (حسب المواصفة القياسية البريطانية)، والتي تشترط أن لاتزيد هذه النسبة عن 10% من وزن السمنت الأعتيادي، و 5% من وزن السمنت سريع التصلب .كما تشترط المواصفة القياسية الأمريكية بأن لاتزيد نسبة المتبقي من السمنت الأعتيادي على المنخل رقم 200 (مقاس 75 مايكرون)عن 22%.
أن الفحص المنخلي لايعطي معلومات دقيقة حول مقاس الحبيبات الأصغر من مقاس المناخل المذكورة، والتي تكون مهمة خلال الأماهة المبكرة .أن أ أستعمال مناخل ذات مقاسات أصغر يكون غير مجد بسبب أنسداد فتحات مشبك المنخل بحبيبات السمنت، لذا نادراً مايتم أستعمال هذه الطريقة.
2) طريقة واجنر (Wagner Turbidimeter) حسب المواصفة القياسية الأمريكية (ASTM C115).
3) طريقة نفاذية الهواء (Air Permeability Method) حسب المواصفة القياسية البريطانية .(B.S. 12:1971)
4) طريقة بلين (Blaine Method)حسب المواصفة القياسية الأمريكية (ASTM C204-78a) , والمعتمدة من قبل المواصفة القياسية العراقية رقم 5 لسنة 1984.

تحدد المواصفة القياسية البريطانية(B.S.12:1971) قيمة المساحة السطحية النوعية بطريقة نفاذية الهواء بمقدار:-
a) 2250سم^2/ غم كحد أدنى للسمنت البورتلاندي الأعتيادي.
b) 3250سم^2/ غم كحد أدنى للسمنت السريع التصلب.
في حين تحيد المواصفة القياسية البريطانية (B.S. 1370:1974) قيمة المساحة السطحية النوعية بطريقة نفاذية الهواء بمقدار 3200 سم^2/غم كحد أدنى للسمنت منخفض الحرارة.

تتوقف نعومة السمنت على مجموعة من العوامل أهمها:
1. طريقة صناعة السمنت والمكونات الأساسية له.
2. درجة حرارة الحرق التي تؤثر على صلابة الكلنكر، وبالتالي على النعومة التي يطحن بها السمنت.
3. نوع الطواحين المستعملة.

حجوم نواتج عملية الأماهة

هيكل السمنت المتميأ Structure of Hydrated Cement

أن العديد من الخواص الميكانيكية لكتلة عجينة السمنت والخرسانة تعتمد على:
1. البنية الفيزيائية لنواتج عملية الأماهة (بدرجة كبيرة).
2. التركيب الكيميائي للسمنت المتميأ.
لهذا فأن معرفة وفهم الخواص الفيزيائية لجل السمنت لها أهمية كبيرة . أن عملية مزج الماء مع السمنت يؤدي الى تشكيل عجينة السمنت (مزيج من الحبيبات الصلبة المنتشرة بالماء).

في السمنت البورتلاندي الأعتيادي يتراوح:
a) مقاس الحبيبات بين 0.5 مايكرون -80 مايكرون.
b) المساحة السطحية النوعية للحبيبات أعلاه مابين 3000– 4000سم^2/ غم (طريقة نفاذية الهواء).
c) ضمن حدود محتوى الماء العملي، تبتعد حبيبات السمنت عن بعضها البعض بمقدار 5 - 10مايكرون.

اذن يتبين من ما ورد في أعلاه، أن مقاس الحبيبات وبعدها عن بعضها البعض يكون كافياً لجعل العجينة تتصرف ككتلة لدنة.

أن تأأثير خاصية اللدونة لعجينة السمنت الطرية (Fresh Cement Paste)، يمكن أيجازه بما يلي:

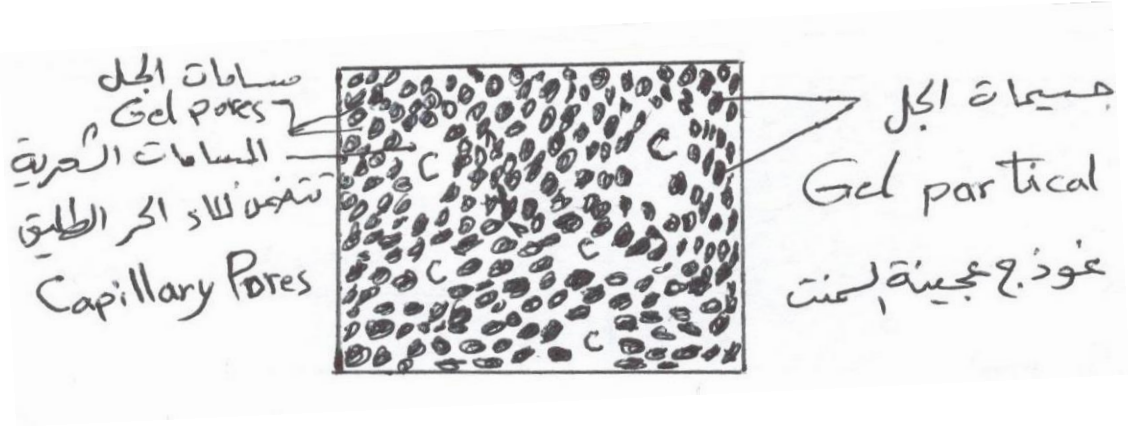
i) تتحكم بالمسافة بين الحبيبات وقوى الجذب والتنافر بينها.
ii) تجعل العجينة مادة رابطة أساسية لتكوين الملاط أو الخرسانة عندما تتخللها حبيبات الركام.

في حدود نسبة الماء الى المواد السمنتية المستعملة في الخرسانة يحصل النضح و/أو الترسيب (خلال الساعات الأولى)وبعدها، فأن الترتيب الأولي لحبيبات السمنت والفراغات بينها، هي التي تحدد أساس الهيكل النهائي لعجينة السمنت التي تتطور وتنمو بتكوين نواتج التفاعلات الكيمياوية . أن حجم بين وحول حبيبات السمنت الأصلية يحدد كثافة الكتلة المسامية، وحجم الماء الذي يملأ مبدئياً هذه الفراغات نسبة الى حجم المواد السمنتية الصلب يعرف بنسبة الماء الى المواد السمنتية الفعالة (Effective Water Cementitious ratio).

في أي مرحلة من مراحل عملية الأماهة، تتألف عجينة السمنت المتصلبة من:

1. هايدرات المركبات المختلفة {سليكات الكالسيوم المائية ، ألومينات ثلاثي الكالسيوم المائية ، كالسيوم فيرايت $CaO.Fe_2O_3$}والتي تشكل بمجموعها جل السمنت.
2. بلورات من$Ca(OH)_2$ الناتج من عملية أماهة السليكا
3. بعض المركبات الثانوية.
4. السمنت غير المتميأ.
5. بقايا الماء الذي يملأ الفراغات .عجينة السمنت الطرية.

أن هذه الفراغات تسمى المسامات الشعرية Capillary Pores، ومسامات الجل Gel Pores، كما موضح في الشكل (6-1).



شكل (6-1). نموذج مبسط لهيكل عجينة السمنت.

يكون جل سليكات الكالسيوم بهيئة صفائح ملفوفة ومطوية بطرق مختلفة، وتحت المجهر تظهر هذه الصفائح بأشكال أبرية وليفية أو مطولة مثنية . أن هذه المادة تشكل جل شبه غررو يدعى في عجينة السمنت بجل التوبرمورايت .بتقدم عملية الأماهة تزداد المساحة السطحية لنواتج الأماهة بدرجة كبيرة، وتلتصق كمية كبيرة من الماء الطليق بسطوح جسيمات الجل .و أذا لم يسمح بأنتقال الماء من وألى عجينة السمنت، يتم أستعمال الماء الحر في تفاعلات الأماهة ولغاية بقاء جزء قليل منه، ولذلك فأن الرطوبة النسبية تنخفض في داخل كتلة عجينة السمنت المتصلبة، ويؤدي ذلك الى حصول ظاهرة الجفاف الذاتي، ويفقد الجل جزء كبير من المساحة السطحية الداخلية. وفي عجينة السمنت

المعرضة للجفاف الذاتي والتي لاتزي [فيها نسبة الماء /المواد السمنتية عن 0.5 تكون كمية ماء الخلط كافية لأستمرار الأماهة بمعدل مماثل لحالة أستعمال المعالجة الرطبة.

A) المسامات الشعرية Capillary Pores:

في أي مرحلة من مراحل عملية الأماهة تمثل هذه المسامات ذلك الجزء من الحجم الكلي غير المملوء بنواتج عملية الأماهة. وبما أن نواتج عملية الأماهة تشغل حجماً أكبر من ضعف حجم السمنت الجاف لوحده، لذا فأن حجم المسامات الشعرية يقل بتقدم عملية الأماهة. المسامات الشعرية لايمكن رؤيتها بالعين المجردة، أذ يتراوح مقاسها بحدود 1.3 مايكرون، تختلف في الشكل وتكون مجموعة منظمة مترابطة منتشرة بصورة مبعثرة خلال عجينة السمنت.

تعتمد المسامية الشعرية لعجينة السمنت على:

1. نسبة الماء الى المواد السمنتية في الخليط، عندما تكون نسبة الماء /المواد السمنتية أكبر من 0.38 فأن حجم الجل يكون غير كافي لملئ كل الفراغات المتوفرة له حتى بعد أكتمال عملية الأماهة.
2. درجة الأماهة التي تتأثر بنوع السمنت.

تكون المسامات الشعرية مسؤولة عن نفاذية عجينة السمنت المتصلبة، وبأستمرار عملية الأماهة تزداد كمية الجل المتكونة، وفي عجينة السمنت الناضجة والكثيفة تصبح المسامات الشعرية مغلقة بواسطة الجل وتنفصل عن بعضها البعض، ومن الممكن أن يكون أتصالها بواسطة مسامات الجل.

أن عدم وجود مسامات شعرية مرتبطة مع بعضها البعض ناتج عن:

1. أستعمال نسبة مناسبة من الماء / المواد السمنتية.
2. المعالجة الرطبة لفترة طويلة وكافية.

B)مسامات الجل Gel Pores:

مسامات الجل عبارة عن مسامات مرتبطة مع بعضها البعض تتخلل جسيمات الجل، وبأمكانها أن تحوي كمية كبيرة من الماء القابل للتبخر .تكون هذه المسامات أصغر بكثير من المسامات الشعرية. تشغل مسامات الجل حوالي 28% من الحجم الكلي للجل (جسيمات الجل+ مسامات الجل)، والقيمة الحقيقية تعتمد على:

a) السمنت المستعمل، وليس لها علاقة كبيرة بنسبة الماء / المواد السمنتية في الخليط.
b) تقدم عملية الأماهة.

وهذا يشير الى أن الجل الناتج متشابه الخواص الفيزيائية في جميع المراحل، و أن أستمرار عملية الأماهة لايؤثر على النواتج الموجودة مسبقاً.

وبتقدم عملية الأماهة:

1. يزداد الحجم الكلي للجل.
2. يزداد الحجم الكلي لمسامات الجل.
3. يقل حجم المسامات الشعرية.

C) الماء المتواجد في عجينة السمنت المتميأة:

عجينة السمنت المتميأة تتضمن المسامات دون المجهرية التي بأمكانها أمتصاص الماء من المحيط الخارجي .قد يعتمد الماء الفعلي في عجينة السمنت على رطوبة المحيط، وبسبب كون المسامات الشعرية كبيرة الحجم نسبةً الى مسامات الجل فأنها تفقد الماء عندما تنخفض الرطوبة النسبية للمحيط دون 45% بينما يبقى الماء مرتبطاً بمسامات الجل حتى ولو كانت رطوبة المحيط واطئة جداً.

أذن الماء المتواجد في عجينة السمنت المتميئة يكون:

a) الماء الحر (يكون موجوداً في داخل المسامات الشعرية).
b) الماء المتحي كيمياوياً (يشكل جزءاً من المركبات المتميئة).
c) ماء الجل (داخل مسامات الجل وبعضه ممسوكاً بالقوى السطحية لجسيمات الجل).

التصنيف أعلاه غير مناسب للأغراض البحثية، ويفضل تصنيف الماء في عجينة السمنت المتميئة الى نوعين:
.1 الماء القابل للتبخر Evaporable Water، يشمل الماء الموجود داخل المسامات الشعرية وبعض الماء الموجود في داخل مسامات الجل.
.2 الماء غير القابل للتبخر Non-evaporable Water، يشمل تقريباً كل الماء المتحد كيميائياً مع السمنت وكذلك بعض الماء غير الداخل بالأرتباط الكيميائي.

من الممكن تعيين الماء القابل للتبخر من معرفة الفقدان بالوزن أثناء تجفيف نموذج من عجينة السمنت الى حالة التوازن في درجة حرارة 105 م °وضغط بخاري مقداره 0.008 ملم زئبق .الجدول (1-5) يوضح الوقت التقريبي لأنضاج عجينة السمنت والتي عندها تنقطع أستمرارية المسامات الشعرية.

جدول (1-5) الوقت التقريبي لأنضاج عجينة السمنت والتي عندها تنقطع أستمرارية المسامات الشعرية.

الوقت التقريبي	نسبة الماء /المواد السمنتية وزناً
3 أيام	0.4
7 أيام	0.45
14 يوم	0.5
6 أشهر	0.6
سنة واحدة	0.7
غير ممكن	أكثر من 0.7

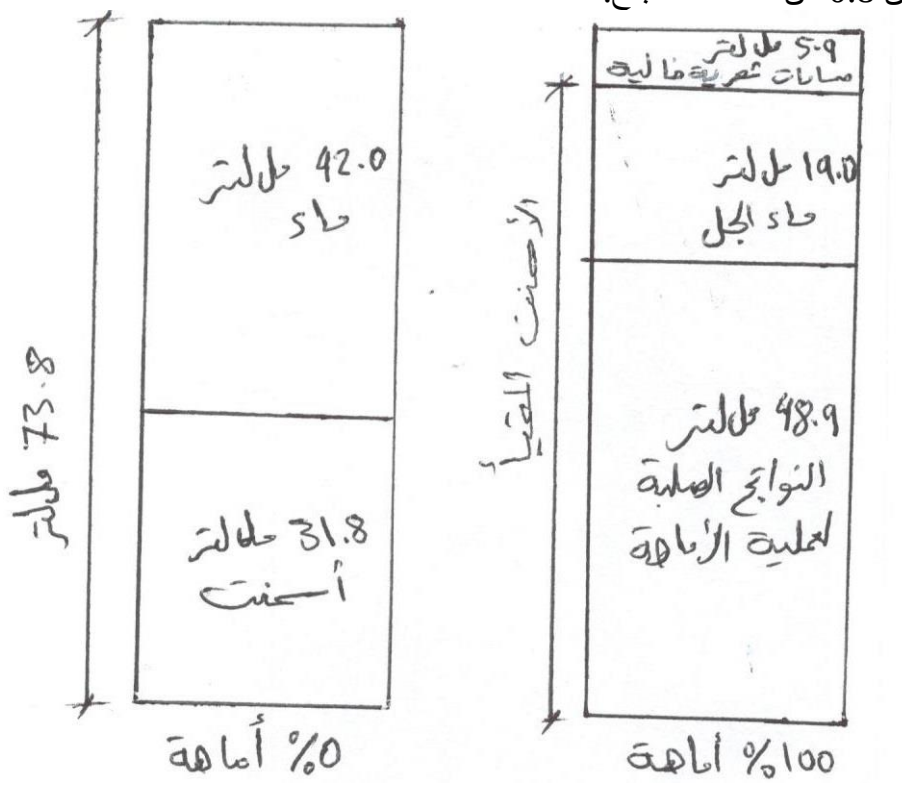
كمية الماء غير القابلة للتبخر تزداد بتقدم عملية الأماهة، ولكن في عجينة السمنت المشبعة يمكن أن يصبح هذا الماء أكثر من نصف الماء الكلي الموجود، وفي عجينة السمنت المتميأة بصورة جيدة يشكل الماء غير القابل للتبخر تقريباً 18% من وزن السمنت غير المتميأ وقد تصل النسبة الى23 % في عجينة السمنت المتميأة بشكل كلي.
بالنظر الى تناسب كمية الماء غير القابل للتبخر والحجم الصلب لعجينة السمنت، فأن حجم هذا الماء يعد كمقياس لكمية جل السمنت الموجود (أي أنه مقياس لدرجة الأماهة). أن الفراغ الكلي المتوفر لنواتج الأماهة يشمل الحجم المطلق للسمنت الجاف أضافةً الى حجم الماء المضاف الى الخليط، وفي هذه المرحلة تهمل كمية الماء القليلة المفقودة بسبب عملية النضح وأنكماش عجينة السمنت عندما تكون في الحالة اللدنة.
أن نسبة الماء المقيد كيمياوياً Chemically Bound Water خلال عملية الأماهة لكل من سليكات ثلاثي الكالسيوم C3S وسليكات ثنائي الكالسيوم C2S هي 21.24% تقريباً من وزنهما على التوالي، والنسب المناظرة لألومينات ثلاثي الكالسيوم C3A والومينات حديد رباعي الكالسيوم C4AF هي 37.40 % على التوالي. وهذه الأرقام غير دقيقة وذلك لأن المعلومات المتوفرة حول قياس الأتحاد العنصري لنواتج عملية الأماهة للسمنت غير كافية لتحديد كمية الماء المتحد كيمياوياً مع السمنت، لذا يفضل في هذه المرحلة أستعمال تعبير الماء غير القابل للتبخر Non- evaporable Water، وفي عجينة السمنت المتميئة كلياً يمثل هذا الماء نسبة23% من وزن السمنت غير المتميأ (الجاف).
يكون الوزن النوعي لنواتج الأماهة للسمنت (على أعتبار أن هذه النواتج تشغل حجماً أكبر من الحجم المطلق للسمنت الغير متميأ، وهذا الحجم المشغول هو أقل من مجموع حجمي السمنت الغير متميأ والماء غير القابل للتبخر) بمقدار 0.254من حجم الماء غير القابل للتبخر.كما وأن معدل قيمة الوزن النوعي لنواتج الأماهة (بضمنها الفراغات في أكثف تركيب ممكن)في الحالة المشبعة هو 2.16.
مثال تطبيقي:
كمية السمنت التي سوف يتم أماهتها هي 100 غم .
الوزن النوعي للسمنت الجاف هو 3.15

الماء غير القابل للتبخر 23% من وزن السمنت غير المتميأ (الجاف).
مسامات الجل تشكل 28% من الحجم الكلي للجل.
الحل:
الحجم المطلق للسمنت غير المتميأ = (كمية السمنت الجاف / الوزن النوعي للسمنت).
= (3.15/100)
= 31.8 مل.
الماء غير القابل للتبخر = 23% من وزن السمنت غير المتميأ
= 0.23 × 100
= 23 مل.
بما أن النواتج الصلبة لعملية الأماهة تشغل حجما أقل من مجموع حجمي السمنت غير المتميأ (الجاف) والماء غير القابل للتبخر بمقدار 0.254 من حجم الماء غير القابل للتبخر.
أذن حجم النواتج الصلبة لعملية الأماهة (جسيمات الجل) = الحجم المطلق للسمنت غير المتميأ (الجاف) + (1-0.254) × حجم الماء غير القابل للتبخر.
= 31.8 +(1-0.254) * 23
= 31.8 + 17.158
= 48.958 مل .
بما أن مسامات الجل تشكل 28% من الحجم الكلي للجل، فأن حجم ماء الجل$\boldsymbol{wg}$ (Gel Water) يمكن حسابه من العلاقة التالية :

$$\boldsymbol{wg}/(\boldsymbol{wg} + \mathbf{48.958}) = \mathbf{0.28}$$
$$\boldsymbol{wg} = \mathbf{19.0\ ml.}$$

أذن حجم السمنت المتميأ = حجم النواتج الصلبة لعملية الأماهة (جسيمات الجل) + حجم ماء الجل.
= 48.959 + 19.0
= 67.9 مل .
الخلاصة.
وزن السمنت الجاف 100 غم
الحجم المطلق للسمنت الجاف 31.8 مللتر
وزن الماء المتحد كيمياوياً مع السمنت 23.0 غم
حجم ماء الجل 19.0 مللتر
الماء الكلي في الخليط 42.0 مللتر
نسبة الماء / السمنت بالوزن 0.42
نسبة الماء / السمنت بالحجم 1.32
حجم السمنت المتميأ 67.9 مللتر
الحجم الأصلي للماء والسمنت 73.8 مللتر
النقصان في الحجم بسبب الأماهة 5.9 مللتر
حجم نواتج الأماهة لمللتر واحد من السمنت الجاف 2.1 مللتر
لقد فرض بأن عملية الأماهة تحصل في داخل أنبوبة أختبار مغلقة بأحكام وليس هنالك أي أنتقال للماء من وألى عجينة السمنت .أن التغيرات الحجمية الحاصلة يمكن ملاحظتها في الشكل(1-7) والنقصان في الحجم = 67.9 –73.8) (5.9ml يمثل المسامات الشعرية الخالية والمنتشرة خلال عجينة السمنت المتميأة.
في عجينة السمنت الموضوعة في الأنبوبة المغلقة، تتوقف عملية الأماهة عندما تصل الى مرحلة بحيث أن الماء المتحد كيمياوياً مع السمنت يعادل حوالي 1/2 محتوى الماء الأصلي، ومن الممكن أن تكتمل عملية الأماهة فقط عندما يكون ماء الخلط على الأقل مساوياً الى ضعف الماء اللازم للتفاعلات الكيميائية أي أن تكون نسبة الماء / المواد السمنتية في هذا الخليط تقريباً 0.5 وزناً .وفي المثال المذكور أعلاه لو كانت كمية الماء الكلية أقل من 42 مللتر فأنها غير كافية لأكمال عملية الأماهة التي تتوقف قبل أن تخلو المسامات الشعرية من الماء وذلك لأن الجل بأمكانه أن

يتكون فقط في حالة توفر ماء كافي في المسامات الشعرية لأكمال التفاعلات الكيميائية لملئ مسامات الجل المتكونة، وبما أن ماء الجل ممسوك بثبات فأنه لن يتمكن من الحركة الى المسامات الشعرية لأكمال عملية الأماهة للجزء المتبقي من السمنت غير المتميأ. وقد تبين من الدراسات السابقة بأن عملية الأماهة تستمر بصورة بطيئة عندما يتحول ضغط بخار الماء الى أقل من 0.8 من ضغط الأشباع.



شكل (1-7) مخطط يمثل التغيرات الحجمية الناتجة عن أماهة عجينة السمنت بنسبة ماء/ المواد السمنتية مقدارها 0.42

لو أعتبرنا الآن عملية الأماهة لعجينة السمنت المعالجة تحت الماء، ففي هذه الحالة تمتص المسامات الشعرية الماء من الخارج حال خلوها منه بعد أستعماله في عملية الأماهة .وكما مبين سابقاً أن 100 غم من السمنت (31.8 مللتر)تشغل 67.9مللتر بعد أكمال عملية الأماهة .ولغرض عدم بقاء سمنت غير متميأ ولمنع تواجد المسامات الشعرية يجب أن يكون حجم ماء الخلط الأصلي تقريباً (36. 1 ml = 31.8 –67.9) وأن نسبة الماء / السمنت المناظرة لهذه القيمة 0.36بالوزن وهنالك بحوث أخرى تشير الى أن هذه القيمة هي تقريباً 0.38. فأذا كانت نسبة الماء / السمنت الحقيقية في الخليط (مع السماح للنضح) أقل من 0.38 بالوزن، فأن أكمال عملية الأماهة غير ممكن وذلك لأن الحجم المتوفر هو غير كاف ليتسع لكل نواتج عملية الأماهة .على سبيل المثال في الخليط الحاوي على 100 غم من السمنت (31.0 مللتر)، 30 غم من الماء، يكون هذا الماء غير كافياً لأماهة A غرام من السمنت، كما موضح في أدناه:

$0.23\ A \times 0.254\ A = 0.0585\ A$

الحجم المشغول بالنواتج الصلبة لعملية الأماهة:

$(A/3.15) + (0.23\ A - 0.0585\ A) = 0.489\ A.$

المسامية:

$$\boldsymbol{wg} / (\mathbf{0.489}\ \boldsymbol{A} + \boldsymbol{wg}) = \mathbf{0.28}$$

والماء الكلي:

$0.23\ A + \boldsymbol{wg} = 30$
$A = 71.5\ gm = 22.7\ ml.$
$\boldsymbol{wg} = 13.5\ gm.$

حجم السمنت المتميأ:

$(0.489 \times 71.5) + 13.5 = 48.5$ ml.

وحجم السمنت غير المتميأ:

$31.8 – 22.7 = 9.1$ ml.

حجم المسامات الشعرية الحالية:

$(31.8 + 30) – (48.5 + 9.1) = 4.2$ ml.

فأذا جهز الماء من الخارج فسيكون بأمكان بعض السمنت الجاف Y أن يتميأبحيث أن نواتج عملية الأماهة تشغل 4.2 مللتر أأضافةً الى حجمه الأولي .ولقد وجد بأن 22.7 مللتر من
السمنت يتميأ ليشغل 48.5 مللتر، أي أن نواتج عملية الأماهة لمللتر واحد من السمنت تشغل
48.5/22.7 =2.13مللتر، كذلك فأن 4.2 مللتر أضافة الى الحجم الأولي للسمنت الذي سيتميأ
ستمتلأ بأماهة Y مللتر من السمنت
أي أن:

$(\boldsymbol{4.2} + \boldsymbol{Y})/\boldsymbol{Y} = 2.13$

$\boldsymbol{Y} = \boldsymbol{3.7\ ml}.$

كما وأن حجم السمنت الذي لايزال غير متميأ هو {$(31.8 – (22.7 + 3.7)) = 5.4$ ml}
حيث يزن 17 غم .وبمعنى أخر فأن 17% من وزن السمنت الأصلي بقي غير متميأ وسوف لايتمكن من التميأ لأن الجل قد شغل كل المسامات الشعرية المتوفرة، أي أن نسبة حجم السمنت المتميأ الى مجموع حجوم السمنت المتميأ والمسامات الشعرية هي1.
أن السمنت الغير متميأ غير ضار لمقاومة عجينة السمنت، ولقد لوحظ عند مقارنة نماذج من عجينة السمنت التي تكون فيها نسبة حجم السمنت المتميأ الى مجموع حجوم السمنت المتميأ والمسامات الشعرية مساوية الى 1 بأن النماذج الحاوية على نسبة أعلى من السمنت غير المتميأ (أي التي تكون فيها نسبة الماء / المواد السمنتية أقل)تكون ذات مقاومة أعلى.
من ناحية ثانية أذا كانت نسبة الماء/ السمنت أأعلى من 0.38 بأمكان السمنت أن يتميأ بكامله ولكن المسامات الشعرية ستكون موجودة . بعض هذه الفراغات تحتوي على الماء الفائض عن الخليط والأخرى تمتلأ بأمتصاص الماء من الخارج.
على سبيل المثال لو أعتبرنا عملية الأماهة لعجينة السمنت بنسبة ماء / مواد سمنتية مقدارها 0.475 موضوعة في داخل أنبوبة أختبار مغلقة بأحكام وفرضنا بأن وزن السمنت الجاف 126 غم، فأن حجم الماء هو $(0.475 \times 126 = 60$ ml). أن نسب الخلط لهذه العجينة يمكن ملاحظتها الى يسار شكل رقم (1-8) ولكن في الواقع أن الماء والسمنت مخلوطين مع بعضهما البعض والماء يكون المسامات الشعرية بين حبيبات السمنت الغير متميأة.
وعندما يتميأ السمنت كلياً فأن حجم الماء غير القابل للتبخر:

$0.23 \times 126 = 29.0$ ml.

والحجم المشغول بالنواتج الصلبة لعملية الأماهة:

$(126/3.15) + 29 – (0.254 \times 29) = 61.6$ ml.

والمسامية:

$$\boldsymbol{wg}/(\boldsymbol{wg} + \boldsymbol{61.6}) = \boldsymbol{0.28}$$

حجم ماء الجل:

$$\boldsymbol{wg} = \boldsymbol{24\ ml}.$$

وحجم السمنت المتميأ:

$61.6 + 24 = 85.6$ ml.

حجم السمامات الشعرية الحاوية على الماء:

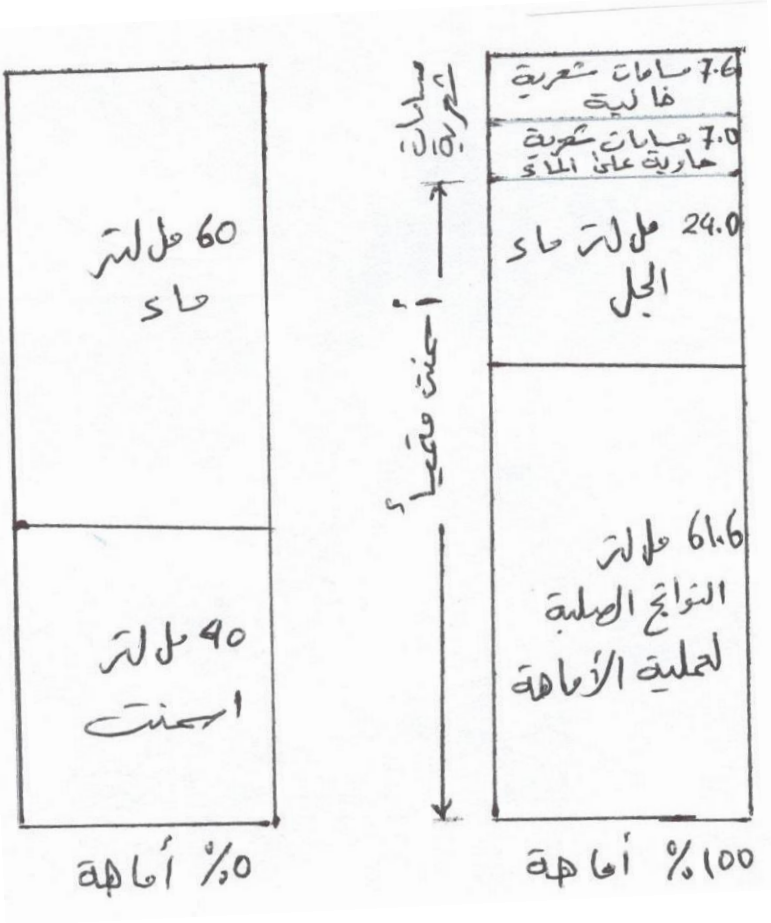
$60 – (24 + 29) = 7.0$ ml.

حجم المسامات الشعرية الخالية:

$100 – (85.6 + 7.0) = 7.4$ ml.

وأن عولجت عجينة السمنت في هذه الحالة تحت الماء، فأأن المسامات الشعرية ستمتلئ بأمتصاصها الماء من الخارج.
أن نسبة الجل / الفراغ Gel Space Ratio في هذه الحالة:

$$85.6/(85.6+14.4)=0.856$$



شكل (1-8) مخطط يمثل التغيرات الحجمية الناتجة عن أماهة عجينة السمنت بنسبة ماء/ الموادالسمنتية مقيارها0.42 .

حرارة الأماهة للسمنت Heat of Cement Hydration:

تعد كمقياس لكمية الحرارة المنبعثة عند أماهة السمنت كلياً في درجة حرارة معينة، وتقاس بال (جول /غم) أو (سعرة/غم)من السمنت غير المتميأ . أن أماهة السمنت قد تكون مصحوبة بأنبعاث حراري قد يصل الى 120 سعرة/غم، أن قابلية توصيل الخرسانة للحرارة واطئة نسبياً لذلك فأنها تسلك كمادة عازلة.
أن عملية الأماهة داخل الكتل الخرسانية الضخمة مثل الخزانات والسدود تكون مصحوبة بأنبعاث كبير في درجة الحرارة وفي نفس الوقت يفقد السطح الخارجي للكتلة الخرسانية بعض الحرارة لذلك ينشأأ أنحدار شديد في درجات الحرارة بين داخل وسطح الكتلة الخرسانية، وأثناء التبريد اللاحق تتولد أجهادات Stresses قد تؤدي الى حصول تشققات خطيرة . أن الأنبعاث العالي للحرارة يكون مفيداً جداً في الأجواء الباردة حيث تمنع أنجماد الماء داخل المسامات الشعرية للخرسانة المصبوبة حديثاً. يمكن تحديد حرارة الأماهة بموجب متطلبات المواصفة القياسية الأمريكية (ASTM C186-78 & ASTM C186-82) والمواصفة القياسية البريطانية (B.S. 1370: 1974 & B.S. 4550: Part 3: Section 38: 1978)، أن حرارة الأماهة المقاسة = حرارة التفاعلات الكيميائية لعملية الأماهة + حرارة ألتصاق الماء بسطوح جسيمات الجل (ربع الحرارة الكلية للأماهة).

<u>أن حرارة الأماهة للسمنت تعتمد على:</u>

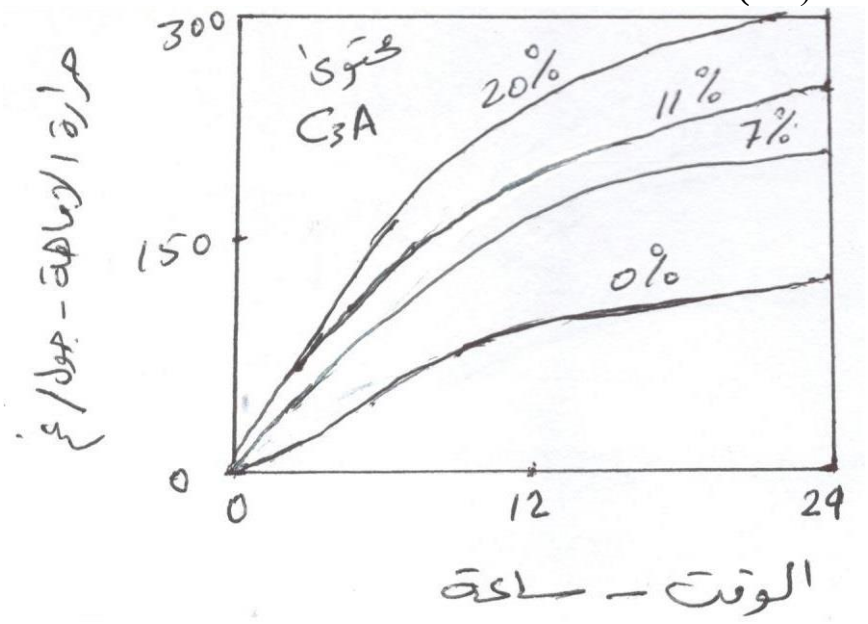
<u>1.</u> تركيبه الكيميائي، أن حرارة الأماهة للسمنت = مجموع حرارة الأماهة للمركبات الفردية عندما تتميأ بصورة منفصلة .ويمكن حساب مدى مشاركة المركبات الفردية في توليد حرارة الأماهة الكلية من العلاقة التالية:

حرارة الأماهة لغرام واحد من السمنت=

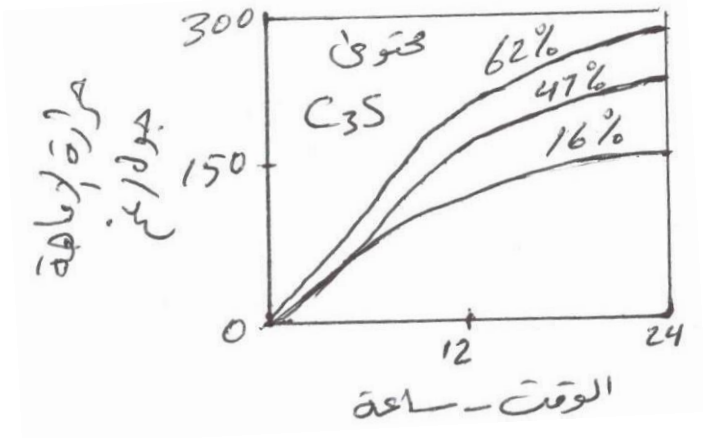
136 (C3S) + 62 (C2S) + 200 (C3A) + 30 (C4AF)

ملاحظة :الكميات داخل القواس تمثل النسب المئوية للمركبات الفردية من وزن السمنت.

بما أن المركبات المختلفة من السمنت تتميأ بسرع مختلفة في المراحل المبكرة من عملية الأماهة، لذلك فأن معدل سرعة أنبعاث الحرارة والحرارة الكلية تعتمد على مركبات السمنت .يمكن تقليل معدل سرعة توليد الحرارة في الأوقات المبكرة وذلك بتقليل نسبة أكثر المركبات سرعةً في التميأ C3A وC3S.أما تأثير المركب C3A على حرارة الأماهة موضح في الشكل (1-9) أدناه.



شكل(1-9) علاقة حرارة الأماهة مع الزمن محتوى المركب C3S ثابت تقريباً



شكل(1-10) العلاقة بين حرارة الأماهة والزمن للمركب C3S

<u>2.</u> درجة حرارة المحيط، ذات تأثير كبير فبزيادتها تزداد كمية الحرارة المنبعثة

<u>3.</u> نوع السمنت، أن معدل سرعة أنبعاث الحرارة للأنواع المختلفة من السمنت وكما موضح

في أدناه:

3-1 السمنت البورتلاندي سريع التصلب.
3-2 السمنت البورتلاندي الاعتيادي.
3-3 السمنت البورتلاندي المعدل.
3-4 السمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات.
3-5 السمنت البورتلاندي منخفض الحرارة.

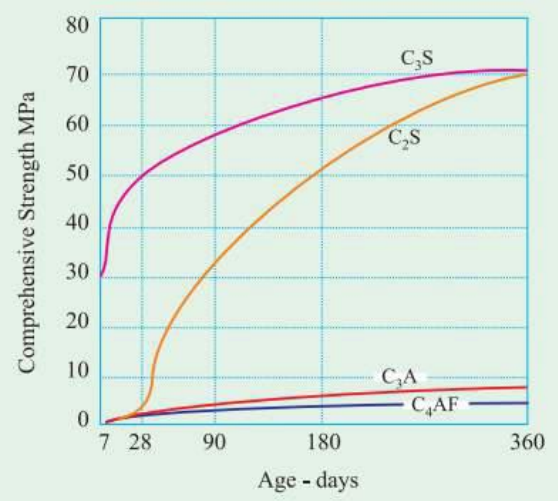
أنخفاض معدل أنبعاث درجة الحرارة.

4. نعومة السمنت، بزيادة نعومة السمنت تزداد سرعة التفاعلات الكيميائية لعملية الأماهة أي معدل سرعة أنبعاث الحرارة، ولكن الكمية الكلية للحرارة لاتتأثر.

5. كمية السمنت في الخليط، تؤثر على أرتفاع الحرارة الكلية المتولدة، لذلك يمكن تغيير كمية السمنت في الخلطة لغرض السيطرة على حرارة الأماهة.

تأثير مركبات السمنت على خواصه:

أن المركبات الرئيسية المسؤولة عن مقاومة السمنت هي ال C2S والـ C3S , C3S يشارك بدرجة أكبر في تطوير المقاومة خلال ال 4 أسابيع الأولى ، في حين C2S يؤثر على أكتساب المقاومة بعد ال 4 أسابيع الأولى. وفي عمر سنة تقريباً يشارك المركبين بالتساوي في أعطاء المقاومة النهائية Ultimate Strength, كما في الشكل (1-11).



شكل (1-11) علاقة مقاومة الأنضغاط لمركبات السمنت مع الزمن.

بصورة عامة تتواجد سليكات الكالسيوم في السمنت التجاري بشكل غير نقي، وهذه المواد الغير نقية قد تؤثر على معدل سرعة التفاعلات الكيميائية لعملية الأماهة وتطور مقاومة عجينة السمنت. أن تأثير المركبات الرئيسية الأخرى C3A و C4AF على تطور المقاومة أقل وضوحاً . أن دور المركب C3A هو المساهمة بتطوير المقاومة بعمر 1- 3 أيام، وتقليل المقاومة بعمر متأأخر وخصوصاً في السمنت الحاوي على نسبة عالية من C3A أو C4AF .

أما دور المركب C4AF في تطوير مقاومة عجينة السمنت غير واضح ولكن بصورة عامة ليس له مساهمة أيجابية يمكن تقديرها .يمكن تخمين مقاومة السمنت على أساس المركبات الداخلة في تكوينه من العلاقة التالية:

a (C3S) + b (C2S) + c (C3A) + d (C4AF)

حيث أن:

- الرموز الكيميائية داخل الأقواس هي نسب المركبات من وزن السمنت.
- الرموز (a, b, c, and d) هي ثوابت تمثل مشاركة % من المركب المتناظر في تطوير مقاومة عجينة السمنت.

بأستعمال هذه المعادلة يمكن تقدير مقاومة عجينة السمنت بسهولة أثناء صناعته، وبهذا ستقل الحاجة الى الفحوصات التقليدية، ولكن من الناحية العملية ظهر أن تأثير المركبات المختلفة ليس دائماً بذي أهمية و أن ذلك يعتمد على العمر وظروف المعالجة .بصورة عامة أن زيادة المركب C3S يزيد المقاومة الى حد 28 يوم، في حين أن المركب C2S له تأثير أيجابي على المقاومة في عمر أكثر من سنة .

المركبات الثاندوية Secondary Compounds:

أن من أهم المركبات الثانوية الموجودة في السمنت هي القلويات Na_2O و K_2O , في الأعمار المبكرة 3–28 يوم تؤدي هذه المركبات الى زيادة المقاومة بدرجة ضئيلة لكون K_2O قابل للذوبان في الماء، وبعد عمر 28 يوماً يقل أكتساب المقاومة مع زيادة محتوى القلويات. حيث
تتفاعل القلويات أعلاه مع بعض أجزاء السليكا الفعالة في الركام ويكون الناتج مصحوب بزيادة حجمية كبيرة تؤدي الى تشقق وتلف الكتلة الخرسانية.

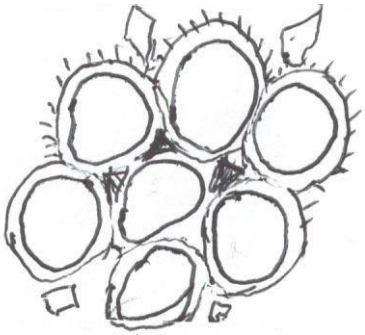
المقاومة الميكانديكية لجل السمنت Mechanical Strength of Cement Gel:

أن الدراسات الحديثة تبين بأن التصلب و أكتساب المقاومة يحصل بتحول مادة الترابط الناتجة عن الأماهة الى كتلة متشابكة وصلبة تحل تدريجياً محل ماء الخلط المتواجد بين حبيبات السمنت وبهذا يتم ربط كتلة المركب السمنتي مع بعضها البعض وكما يلي:

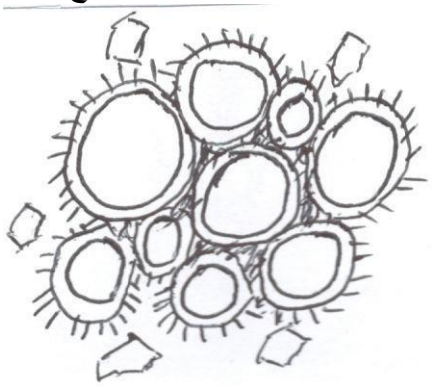
1. أضافة الماء الذي يحيط بحبيبات السمنت كما مبين في الشكل (1-12) أدناه.

شكل(1-12) أضافة الماء الى حبيبات السمنت.

2. خلال ساعتين من أضافة الماء الى حبيبات السمنت، تحاط حبيبات السمنت بغلاف جيلاتيني من المواد المتميأة وتتصل مع بعضها البعض في نقاط التماس السطحية عن طريق هذا الغلاف مكونةً شبكة متصلة مع بعضها بواسطة قوة لاصقة ضعيفة تسبب فقدان اللدونة في هذه المرحلة وتؤدي الى مايعرف بالتجمد، علماً أ أنه من الممكن لهذا الهيكل الأنفصال ببساطة ومن ثم التجمد مرةً ثانية وبسرعة عند أعادة تكتل حبيبات السمنت كما في الشكل (1-13) أدناه .



شكل (1-13) ظهور غلاف الجل حول حبيبات الجل مع وضوح بلورات $Ca(OH)_2$.



شكل (1-14) نمو الأبر الليفية الصفائحية وتداخلها.

3. تطور المقاومة خلال فترة التصلب يبدأ بعد 3- 5 ساعات من أضافة الماء ويكون مقترناً بتغير ملحوظ في البنية المجهرية للسمنت .

فالغلاف الأولي للجل يكون بهيئة بروزات سطحية ورفيعة بشكل أبري مشعة من حبيبة السمنت، وبمرور الوقت ينمو الى كتلة ليفية رقيقة القوام كثيفة ومتشابكة كما في الشكل (1- 13). أن هذه الأبر الليفية المتكونة هي جل سليكات الكالسيوم المتميأة (C-S-H) والناتجة من تفاعل السليكات في السمنت مع الماء، وبنفس الوقت فأن هايدروكسيد الكالسيوم يترسب في الهيكل كناتج ثانوي ويكون بشكل بلورات زاوية.

وبأستمرار عملية الأماهة فأن الأبر الليفية للجل تتداخل مع بعضها البعض في المناطق المحيطة بحبيبات السمنت المتجاورة مكونة شبكة متداخلة والتي سوف تؤدي بالنتيجة الى الأندماج وتشكل مادة رابطة صلبة لها القابلية على ربط:

a) النواتج المتبلورة من عملية الأماهة .
b) حبيبات السمنت غير المتميأة .
c) الحصى والرمل في الخرسانة .

أن تفاصيل تكوين ألياف الجل لسليكات الكالسيوم المتميأة لاتزال غير واضحة .أن المصدر الفعلي لمقاومة جل السمنت غير واضح كلياً ولكن من المحتمل أن ينشأ من نوعين من الروابط التماسكية Cohesive Bonds:

I) التجاذب الفيزيائي Physical Attraction بين السطوح الصلبة المنفصلة فقط بمسامات الجل الصغيرة والذي يعرف بقوى فاندر فالز.

ii) الروابط الكيميائية Chemical Bonds, جسيمات الجل تكون مرتبطة بقوى كيميائية أقوى بكثير من قوى فاندر فالز، ولكن الروابط الكيميائية تغطي جزء صغير فقط من حدود جسيمات الجل.

الفصل الثاني
أنواع السمنت البورتلاندي Types of Portland Cement

أنواع السمنت:-

1. السمنت البورتلاندي الأعتيادي Ordinary Portland Cement

يستعمل في المنشأت الخرسانية غير المعرضة لتأثير الأملاح الكبريتية في التربة أو المياه الجو فية. متطلبات التركيب الكيميائي حسب المواصفة القياسية العراقية رقم 5 لسنة 1984:

a. معامل الأشباع الجيري Lime Saturation Factor
يحدد هذا المعامل للتأكد من أن كمية الجير الحر في المواد الأولية المستعملة في تصنيع السمنت ليست عالية بحيث تسبب ظهور جير حر بعد حصول التوازن الكيميائي .يتم حسابه من المعادلة التالية:

$$CaO - 0.7\,(SO_3) / (2.8\,(SiO_2) + 1.2\,(Al_2O_3) + 0.65\,(Fe_2O_3))$$

الرموز داخل الأقواس تمثل النسب المئوية لمركبات السمنت من وزنه الحد الأعلى لمعامل الأشباع الجيري 1.02 والحد الأدنى 0.66

b. نسبة Al_2O_3/Fe_2O_3 لاتقل عن 0.66
c. المخلفات غير الذائبة لاتزيد عن 1.5%.
d. نسبة SO_3 تحدد بمقدار 2.5% كحد أعلى عندما تكون نسبة ألومينات ثلاثي الكالسيوم C3A أقل أو مساوية الى 7% ، أو 3% عندما تكون نسبة ألومينات ثلاثي الكالسيوم C3A أكبر من 7 %.
e. نسبة الفقدان أثناء الأيقاد 4% كحد أعلى.
f. الحدالأعلى للمغنيسيا MgO هو 4% للمواصفة القياسية البريطانية، و 5% للمواصفة القياسية العراقية.

2. السمنت البورتلاندي المعدل Modified Portland Cement

في بعض الأستعمالات ربما تكون المقاومة المبكرة الواطئة جداً – سلبية- ، لهذا السبب فقي أستحدث السمنت البورتلاندي المعدل في الولايات المتحدة . أن لهذا السمنت سرعة أنبعاث حرارة أعلى من معدل الأنبعاث الحراري للسمنت البورتلاندي منخفض الحرارة، ومعدل أكتساب مقاومة مشابه للسمنت البورتلاندي الأعتيادي . ينصح بأستخدام السمنت البورتلاندي المعدل في المنشأت التي يفضل أن تكون الحرارة المنبعثة فيها معتدلة، أو عند حدوث هجوم معتدل للأملاح الكبريتية.

3. السمنت البورتلاندي سريع التصلب Rapid Hardening Portland Cement

يستعمل السمنت البورتلاندي سريع التصلب للحصول على مقاومة مبكرة عالية، على سبيل المثال:

- ❖ عندما يراد رفع القوالب الخشبية مبكراً لغرض أعادة أستعمالها في أماكن أخرى.
- ❖ صناعة البلوكات الخرسانية والوحدات الجاهزة كي يمكن نقل هذه المنتجات بعد فترة قصيرة من صبها.
- ❖ في الأرصفة والأماكن التي لايمكن غلقها طويلاً.
- ❖ في أعمال الصيانة المراد أكمالها بسرعة.
- ❖ في الأجواء الباردة لمنع أنجماد الماء داخل المسامات الشعرية.

ميزات السمنت البورتلاندي سريع التصلب:

a) يطور أكتساب المقاومة بصورة أسرع من السمنت البورتلاندي الأعتيادي .
b) زمن التجمد لهذا السمنت مماثل للسمنت البورتلاندي الأعتيادي .
c) مقاومته بعمر 3 أيام تعادل مقاومة السمنت البورتلاندي الأعتيادي بعمر 7 أيام وبأستعمال نفس نسبة الماء /المواد السمنتية.
d) متطلبات ثبات الحجم والتركيب الكيميائي مشابهه للسمنت البورتلاندي الأعتيادي.
e) معدل سرعة أنبعاث الحرارة أعلى من السمنت البورتلاندي الأعتيادي وذلك لزيادة محتوى C3S و C3A.

أن زيادة معدل أكتساب المقاومة يتأتى من:

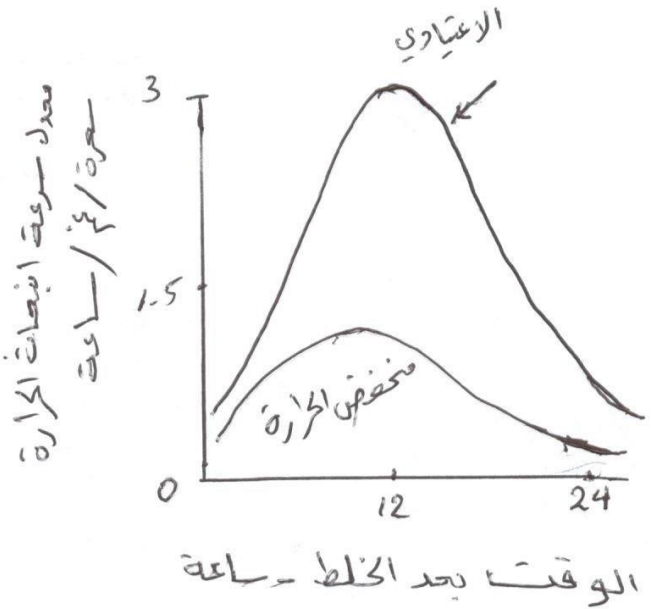
1. زيادة محتوى المركب C3S
2. الطحن الناعم لكلنكر السمنت، حيث أن الحد الأدنى لنعومة السمنت البورتلاندي سريع التصلب هو 3250 سم^2/غم حسب متطلبات المواصفة القياسية العراقية رقم 5 لسنة 1984.

ملاحظة مهمة :لايستعمل السمنت البورتلاندي سريع التصلب في أنتاج الكتل الخرسانية الضخمة.

4. السمنت البورتلاندي منخفض الحرارة Low Heat Portland Cement

يستعمل هذا النوع من السمنت البورتلاندي في الكتل الخرسانية الضخمة . أن أ رتفاع درجات الحرارة في داخل الكتلة الخرسانية الضخمة الناتجة عن تطور حرارة الأماهة للسمنت قد يؤدي الى تشققات خطيرة، لهذا السبب يصبح من الضروري تحديد معدل سرعة أنبعاث الحرارة في هذا النوع من المنشأ ويتم ذلك بأستعمال السمنت البورتلاندي منخفض الحرارة. يحوي هذا النوع من السمنت البورتلاندي على نسب أقل من C3S و C3A ونسبة أعلى من C2S، مقارنةً بالسمنت البورتلاندي الأعتيادي . من خواص هذا السمنت :

a) أنه يقلل من أنبعاث حرارة الأماهة كما في الشكل (2-1) أدناه



شكل (2-1) العلاقة بين معدل سرعة أنبعاث الحرارة والزمن للسمنت البوتلاندي الأعتيادي والمنخفض الحرارة.

b) يقلل من مقاومة الخرسانة في الأوقات المبكرة.
c) المساحة السطحية النوعية لاتقل عن 3200 سم^2 /غم، حسب المواصفة القياسية البريطانية (B.S. 1370:1974).
d) تحدد المواصفة القياسية البريطانيةB.S. 1370:1974 حرارة الأماهة لهذا النوع من السمنت بمقدار:
   - 60 سعرة /غم بعمر 7 أيام .
   - 70 سعرة /غم بعمر 28 يوماً .

5. السمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات Sulphate Resisting Portland Cement

يحتوي هذا النوع من السمنت البورتلاندي على نسب أقل من مركبات C3A و C4AF (أكثر مركبات السمنت تأثراً بالأملاح الكبريتية)، وعلى نسب أعلى من السليكات مقارنةً بالسمنت البورتلاندي الأعتيادي . في هذا النوع من السمنت يشكل المركب C2S نسبة عالية من وزن السليكات.

من خواص هذا النوع من السمنت:
a) المقاومة المبكرة له واطئة.
b) حرارة الأماهة الناتجة منه أعلى بقليل من تلك الناتجة من السمنت البورتلاندي منخفض الحرارة.
c) كلفة أنتاجه أعلى من السمنت البورتلاندي الأعتيادي بسبب المتطلبات الخاصة في تركيب المواد.

- **هجوم الأملاح الكبريتية Sulphate Attack:**

في السمنت المتصلب يكون هجوم الأملاح الكبريتية على نوعين:
1. تفاعل ألومينات الكالسيوم المائية (قبل تحولها الى الحالة الثابتة والمستقرة C3AH6 والتي تكون مقاومتها للكبريتات عالية جدا) مع أملاح الكبريتات الموجودة في الماء، التربة، أو المياه الجوفية، وناتج التفاعل هو سلفو ألومينات الكالسيوم المائية المتكونة ضمن هيكل عجينة السمنت المتميأة، وبما أ أن هذه الزيادة في حجم المواد المتفاعلة هي بحدود 227% ، فأن ذلك سوف يؤدي الى تشقق تدريجي في الخرسانة.
2. التبادل الذي حصل بين $Ca(OH)_2$ (الناتج من عملية أماهة السليكات) والكبريتات، مؤدياً الى تكوين الجبس مع زيادة في حجم المواد المتفاعلة مقدارها 124%.
أن دور المركب C4AF غير واضح تماماً من الناحية الكيميائية عند تفاعله مع الكبريتات، ويتوقع أن ينتج عن ذلك سلفو ألومينات الكالسيوم بالأضافة الى سلفو فيرايت الكالسيوم مسبباً التمدد.
تحدد المواصفة القياسية العراقية رقم 6 لسنة 1984 المتطلبات التالية:
- ❖ الحد الأعلى لمحتوى C3A بمقدار3.5 %.
- ❖ الحد الأدنى للنعومة بمقدار 2500 سم^2 /غم.

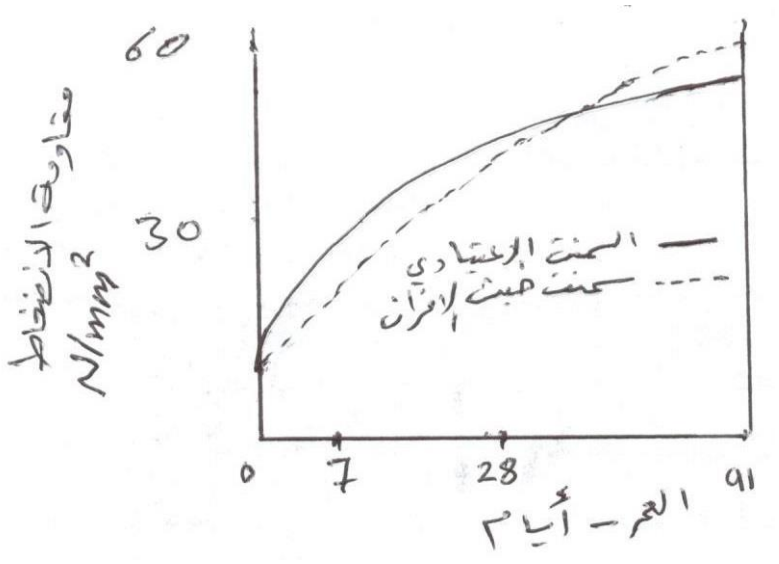
6. السمنت البورتلاندي خبث الأفران العالية Cement Portland Blast Furnace Slag
يصنع السمنت البورتلاندي خبث الأفران العالية من طحن كلنكر السمنت البورتلاندي الأعتيادي مع أضافة حبيبات خبث الفرن العالي والجبس للسيطرة على عملية التجمد . أن الخبث هو عبارة عن فضلات صناعية ناتجة أثناء صناعة حديد الزهر. التركيب الكيميائي للخبث كما في الجدول (2-1) أدناه:

جدول (2-1) التركيب الكيميائي للخبث .

ت	المركب	النسبة المئوية	الملاحظات
1	جير	42	نفس مكونات السمنت ولكن بنسب مختلفة
2	سليكا	31	
3	الومينا	19	
4	مغنيسيا	5	
5	قلويات	1	

تختلف نسبة الخبث الداخلة في تركيب هذا النوع من السمنت .المواصفة القياسية البريطانية (B.S.146:1974) تحدد الحد الأعلى لنسبة الخبث بمقدار 65% ، والمواصفة القياسية الأمريكية (ASTM C595-76) تحدد النسبة بين 25 -65%.

خواص السمنت البورتلاندي خبث الأفران العالية:
a) المقاومة المبكرة له أقل من السمنت البورتلاندي الأعتيادي ، ولكن في الأوقات المتأخرة يتم الحصول على مقاومة متساوية كما في الشكل (2 -2).
b) متطلبات النعومة وزمن التجمد والثبات مماثلة للسمنت البورتلاندي الأعتيادي في الحقيقة نعومة السمنت البورتلاندي خبث الأفران العالية أعلى من نعومة السمنت البورتلاندي الأعتيادي.
c) قابلية تشغيله أعلى من السمنت البورتلاندي الأعتيادي.
d) مقاومته للكبريتات عالية.



شكل (2 -2) العلاقة بين مقاومة الأنضغاط والزمن للسمنت البورتلاندي الأعتيادي وسمنت خبث الأفران العالية.

أستعمالات السمنت البورتلاندي خبث الأفران العالية.

- يستخدم في أنتاج الكتل الخرسانية الضخمة .
- يمكن أستعماله في المنشأت المعرضة لتأثير مياه البحر.
- لايجوز أستخدامه عند صناعة الخرسانة في الأجواء الباردة.

7. السمنت البورتلاندي البوزولاني Portland Pozzolana Cement

عبارة عن خليط من السمنت البورتلاندي الأعتيادي والبوزولانا، والبوزولانا حسب المواصفة القياسية الأمريكية (ASTM C 618) عبارة عن مواد سليكية أو سليكية وألومينية لاتملك لوحدها صفات رابطة، ولكن عندما تطحن طحناً ناعماً وبوجود الماء تتفاعل مع $Ca(OH)_2$ في درجات الحرارة الأعتيادية لتكوين سليكات الكالسيوم المستقرة.
أنواع البوزولانا.

- طبيعية مثل الرماد البركاني.
- صناعية مثل الطين المحروق، رماد مسحوق الفحم، ورماد قشور الرز.

خواص السمنت البورتلاندي البوزولاني:
خواص السمنت البورتلاندي البوزولاني مماثله لخواص السمنت البورتلاندي خبث الأفران العالية.

8. السمنت البورتلاندي الأبيض White Portland cement

يستعمل هذا النوع من السمنت في لبخ بعض الواجهات تفاصيل معمارية وفي الكاشي الموزائيك بكافة تشكيلاته و أعمال التماثيل والنافورات وغيرها .صناعة هذا النوع من السمنت مماثلة للسمنت البورتلاندي الأعتيادي . المواد الخام الداخلة في تركيبه هي الطين الأبيض، الحجر الجير ، والحجر الجيري الطباشيري ذات نقاوة عالية جداً، والحاوية على نسب قليلة جداً من أوكسيد الحديد والمنغنيز.
تتطلب صناعة هذا النوع من السمنت درجات حرارة أعلى من السمنت البورتلاندي الأعتيادي، وكلفة طحنه أعلى أضافةً الى أرتفاع أسعار المواد الخام . نسبة المركب C4AF في هذا السمنت قليلة جداً نتيجة قلة نسبة الحديد Fe_2O_3ووزنه النوعي أقل بقليل من الوزن النوعي للسمنت البورتلاندي الأعتيادي اذ يتراوح مابين 3.05– 3.10.

9. السمنت البورتلاندي الملون Colored Portland Cement

يحضر بأضافة أنواع معينة من الأصباغ الى السمنت البورتلاندي (أثناء عملية طحن الكلنكر) حسب متطلبات المواصفة القياسية البريطانية (B.S. 1014: 1975), ويشترط في هذه الأصباغ أن تكون غير فعالة كيميائياً (خاملة) و أن لايتغير لونها بتعرضها المستمر للجو ولاتؤثر على عملية تطور أكتساب المقاومة للخرسانة ولاتحتوي أنواع من الجبس الضار بالخرسانة .بسبب كون الأصباغ مواد ذات طبيعة غير سمنتية يفضل أستعمال الخلطات الغنية بالسمنت . عند صعوبة الحصول على لون متجانس للخرسانة في بعض الأحيان يفضل عدم أستخدام الأصباغ.

- **<u>أنواع خاصة من السمنت البورتلاندي Special Types of Portland Cement:</u>**

a) السمنت البورتلاندي المقاوم للبكتيريا Anti-bacterial Portland Cement

يستعمل هذا النوع من السمنت في أحواض السباحة وفي أرضيات وجدران مصانع الأغذية. يصنع هذا النوع من السمنت من طحن كلنكر السمنت البورتلاندي الأعتيادي مع عامل مقاوم للبكتيريا ومانع لتخمر الأحياء المجهرية.

b) السمنت البورتلاندي الغير مألوف للماء Hydrophobic Portland Cement

يصنع هذا النوع من السمنت للتغلب على ظاهرة تلف السمنت أثناء الخزن الردئ، حيث تطحن مواد معينة مع السمنت البورتلاندي الأعتيادي لتشكل طبقة رقيقة صادة للماء حول حبيبات السمنت .والمواد المستعملة لهذا الغرض هي حامض الأستياريك Stearic Acid وحامض الاوليك Oleic Acid وحامض اللوريك Lauric Acid وخماسي كلوروفينول Pentachlorophena, وأكثر هذا المواد فعاليةً هو حامض الاوليك حيث يضاف بنسبة 0.4% 0.1– . أن الغشاء المتكون حول حبيبات السمنت يتحطم أثناء عملية خلط الخرسانة وبذلك تستمر عملية الأماهة بصورة طبيعية مع حدوث نقصان في المقاومة المكتسبة في الأعمار المبكرة مقارنة مع السمنت البورتلاندي الأعتيادي.

c) السمنت البورتلاندي المانع لنفاذ الماء Water Proof Cement

يمكن تصنيع هذا النـوع من الســمنت بأضافة مواد معــينة مانعة لنفاذ الماء Waterproofing Substances الى كلنكر السمنت البورتلاندي الأعتيادي (أثناء عملية الطحن) .والمواد المانعة لنفاذ الماء والمستعملة لهذا الغرض هي أستيارات الكالسيوم Calcium Stearate وأستيارات الألمنيوم Aluminum Stearate والجبس المعامل مع حامض التانيك Tannic Acid وزيوت معينة غير قابلة للتصبين Non-Saponifable Oils, أن هذه المواد المضافة تعطي خاصية عدم نفاذ السوائل للسمنت مع حدوث نقصان في أكتساب المقاومة للأعمار المبكرة ولكن يمكن التغلب على ذلك بزيادة محتوى السمنت في الخلطة الخرسانية.

d) سمنت البناء Masonry Cement

يتم الحصول على هذا النوع من السمنت من طحن المواد السمنتية مع مواد أخرى .يستعمل في تحضير مونة البناء المستعملة لأغراض البناء بالطابوق أو البلوك وذلك لأن لدونتها تفوق لدونة مونة السمنت البورتلاندي الأعتيادي. تحدد المواصفة القياسية الأمريكية (ASTM C91- 78) متطلبات نوعين من سمنت البناء هما:

- النوع الأول (لأغراض البناء الغير حامل للأثقال / جدران القواطع والجدران غير المحملة).
- النوع الثاني (لأغراض البناء الحامل للأثقال).

e) السمنت الطبيعي Natural Cement

يصنع بتكليس أحجار السمنت Cement Rocks الطبيعية المتكونة من الحجر الجير الطيني الحاوي على نسبة كافية من الألومينا والسليكا . يتم التكليس في درجات حرارة أقل من تلك اللازمة لأنتاج كلنكر السمنت البورتلاندي الأعتيادي مما يؤدي الى قلة محتوى C3S في هذا النوع من السمنت وبذلك سوف يكون تصلبه بطيئاً، ثم يطحن الناتج بعد عملية التكليس. هنالك أختلافات كبيرة في خواص السمنت الطبيعي المنتج بأختلاف مناطق الأنتاج نتيجة الأختلافات الكبيرة في المواد الخام الداخلة في تركيبه . أن أستعمال هذا النوع من السمنت نادر جداً مقارنة بالميزات والمقاومة التي يتمتع بها السمنت البورتلاندي الأعتيادي.

f) السمنت ذو المقا ومة العالية للكبريتات Supersulphated Cement
يصنع من طحن حبيبات خبث الفرن العالي بنسبة 80 - 85% مع كبريتات الكالسيوم (بشكل جبس محروق خالي من جزيئات الماء) بنسبة 10 - 15% وكلنكر السمنت البورتلاندي الأعتيادي بنسبة 5% .
من فوائد هذا النوع من السمنت هي المقاومة العالية لتأثير أملاح الكبريتات مقارنةً مع الأنواع الأخرى من السمنت البورتلاندي ، أذ بأمكانه أن يقاوم التركيز العالي لأملاح الكبريتات الموجودة في التربة أو المياه الجوفية، ولهذا السبب يستعمل في أعمال المجاري والصرف الصحي وفي الأراضي الملوثة.

الخصائص الفيزيائية والكيميائية للسمنت ذو المقاومة العالية للكبريتات
: Physical & Chemical Properties of Supersulphated Cement

1) نعومته أعلى من نعومة السمنت البورتلاندي الأعتيادي وتتراوح مابين 3500-5000 سم ^{2}/غم.
2) وقت التجمد الأبتدائي له مابين (2.5 - 4) ساعة، ووقت التجمد النهائي يتراوح مابين (4.5-7) ساعة.
3) وزنه النوعي 2.9 .
4) حرارة الأماهة له أقل من تلك التي للسمنت البورتلاندي الأعتيادي .
5) يمكن خزن السمنت ذو المقاومة العالية للكبريتات تحت ظروف مماثلة للأنواع الأخرى من السمنت البورتلاندي ، ولكن بعد خزنه لمدة سنة واحدة وهو في الأكياس يزداد وقت تجمده الأبتدائي والنهائي بحدود 1.5 ساعة مع عدم تأثر مقاومته للأنضغاط بعمر 28 يوماً، بيد أن خزنه لفترة طويلة يؤثر على أكتسابه للمقاومة في الأعمار المبكرة مقارنة مع السمنت البورتلاندي الأعتيادي.
6) يتحد كيميائياً مع ماء أكثر من ذلك اللازم لأماهة السمنت البورتلاندي الأعتيادي ، لذلك لايفضل أنتاج خرسانة من هذا النوع من السمنت بنسبة ماء / المواد السمنتية أقل من 0.4 .
7) من الضروري معالجة الخرسانة المنتجة بهذا النوع من السمنت مدة لاتقل عن 4 أ أيام وذلك لأن الجفاف الذي يحصل قبل أوانه يسبب ظهور طبقة هشة على سطح الخرسانة خصوصاً في الأجواء الحارة ويبقى سمك هذه الطبقة ثابتاً مع الوقت.
8) لايستعمل في أنتاج خرسانة في الأجواء الباردة بسبب أنخفاض معدل سرعة أكتساب المقاومة.

g) السمنت التمددي Expanding Cement
يتكون هذا السمنت من خليط من السمنت البورتلاندي وعامل تمددي ومادة مثبتة، ينتج عن أستعمال هذا النوع من السمنت تمدد في الفترات المبكرة وزيادة حجم عجينة السمنت بدون تلفها .التمدد يحصل فقط عندما تكون الخرسانة رطبة لذلك لابد من السيطرة على عملية المعالجة بصورة جيدة، لذلك فأن عملية أستخدام السمنت التمددي تتطلب خبرة ومهارة جيدة.
يتم الحصول على العامل التمددي من حرق خليط من الجبس والبوكسايت والحجر الجيري الطباشيري حيث تتكون كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ وألومينات الكالسيوم C3A، وبوجود الماء تتفاعل هذه المركبات لتكوين سلفو ألومينات الكالسيوم المائية المحروقة Ettringite ويرافق هذه العملية تمدد في عجينة السمنت .عادةً مايتم أستخدام خبث الأفران العالية كمادة مثبتة.

h) السمنت الألومينى Aluminous Cement
يصنع السمنت عالي الألومينا من الحجر الجيري أو الحجر الجيري الطباشيري والبوكسايت، يتكون البوكسايت من الألومينا المتميأة و أكاسيد الحديد والتيتانيوم مع كميات قليلة من السليكا. تسخن المواد الخام بعد طحنها حتى تصل الى نقطة الأنصهار، يبرد الناتج ويجزء قبل أن يطحن ليصل الى نعومة مقدارها 2500 سم^2 / غم الى 3200 سم^2 / غم .
أن الصلابة العالية للكلنكر ودرجة حرارة الحرق العالية والكلفة الأولية العالية للبوكسايت يجعل السمنت عالي الألومينا غالي الثمن.

يقاوم هذا النوع من السمنت تأثير أملاح الكبريتات نتيجة للأسباب التالية:
1) لعدم وجود هايدروكسيد الكالسيوم في السمنت الألومينى المتميأ.
2) التأثير الواقي لجل الألومينا الخامل المتكون أثناء عملية الأماهة.
3) لايهاجم هذا النوع من السمنت من قبل في الماء الصافي وبذلك يكون صالحاً للأستعمال في صناعة الأنابيب الخرسانية.
من المميزات الواضحة الأخرى للسمنت الألومينى أنه يحصل على 80% من مقاومته النهائية بعمر 24 ساعة، في حين يحصل السمنت البورتلاندي الأعتيادي على 80% من مقاومته بعمر28 يوماً .لايستعمل السمنت عالي الألومينا في الأجواء الحارة بسبب الحرارة الكبيرة المنبعثة عند التفاعل.

- **مضافات الخرسانة Concrete Admixtures:**

أن مضافات الخرسانة هي مواد غير السمنت الهايدروليكي والركام والماء، تستعمل كأحد مكونات الملاط أو الخرسانة، وتضاف الى مزيج المواد مباشرةً قبل أو أثناء عملية الخلط لتحسين خاصية معينة أو عدد من الخواص .
يتوفر في الوقت الحاضر العديد من المواد المضافة التي تستعمل لأغرا ض عديدة أهمها:

1. المضافات المعجلة Accelerated Admixtures

هذه المضافات تزيد من سرعة التفاعل الأبتدائية بين السمنت والماء وبذلك تعجل من تجمد الخرسانة وتطور مقاومتها المبكرة مثل $CaCl_2$.

2. المضافات المبطئة Retarding Admixtures

هذه المواد المضافة تقلل من سرعة التفاعل الأبتدائي بين الماء وا لسمنت وبذلك تبطئ تجمد الخرسانة، وبصورة عامة تبطئ هذه المضافات تصلب الخرسانة أيضاً مثل السكريات.

3. الملدنات أو المضافات المقللة للماء Plasticizers or Water Reducing Admixtures

هذه المواد المضافة تزيد من سيولة عجينة السمنت دون التأثير بدرجة كبيرة على محتوى الهواء، وبذلك تزيد من قابلية التشغيل للخرسانة لنسبة ثابتة من الماء / السمنت، أو تسمح بتقليل محتوى الماء في الخرسانة عند تثبيت قابلية التشغيل مثل الكلفو سلفونات.

4. الملدنات المتفوقة أو المضافات المقللة للماء بدرجة متفوقة
High Range water Reducing Admixtures

تقليل المحتوى المائي هي مضافات أكثر فعالية من المضافات المقللة للماء الأعتيادية، حيث تقلل المحتوى المائي اللازم للحصول على قوام معين بمقدار 12% أو أكثر، أو بتثبيت وزيادة قابلية تشغيل الخليط بدرجة كبيرة مثل المواد ذات أصل النفثالين.

5. مضافات الهواء المقصود Air Entraining Admixtures

هي مواد تسبب تكوين كمية مستقرة من الهواء بهيئة فقاعات دقيقة من الخرسانة أو الملاط خلال عملية الخلط من أجل زيادة قابلية التشغيل أو لتحسين مقاومة الأنجماد مثل الزيوت والشحوم الحيوانية والنباتية، المضافات المعدنية المسحوقة سحقاً ناعماً، والمواد البوزولانية.

قد ينتج عن أستخدام المضافات تأثيرات ضارة لبعض خواص الخرسانة بالرغم من تحسينها لخواص أخرى على سبيل المثال المواد المسحوقة سحقاً ناعماً تحسن من قابلية التشغيل ولكنها تقلل من مقاومة الخرسانة وتزيد من أنكماشها.
يشترط قبل استعمال أنوع من الأضافات لغرض معين الأنتباه الى مايلي:

- أن تجرى لها فحوصات كاملة مع المواد الفعلية الداخلة في تكوين الخرسانة.
- أن تكون غير باهظة الثمن مقارنة بالخرسانة الخالية من المواد المضافة، أو أن تتناسب الزيادة في التكاليف مع الفائدة المرجوة من أستعمال المضافات.