

الجزء الاول

الاسمنت ، المواد البديلة للاسمنت و
المضافات

Cement, Cement Replacement
materials (CRMs) and
Admixtures

الفصل الاول

الاسمنت Cement

المقدمة 1.1

الاسمنت هو المادة التي بوجود الماء تكون لها خواص تلاصقية (adhesive) وتماسكية (cohesive) حيث تقوم بربط الاجزاء الصلبة .

ان الاسمنت الذي له علاقة بالخرسانة الانشائية هو الاسمنت الذي يتجمد (setting) ويتصلب (hardening) بوجود الماء وهو ما يسمى بالاسمنت المائي الهيدروليكي (hydraulic cement) .

ب Hick الاسمنت مصطلح عام يمكن استعماله لكل المواد الرابطة لذلك فان المهندس المدني تكون له اسبابه باستعمال مصطلح خرسانة الاسمنت البورتلاندي (Portland cement concrete) ، خرسانة سمنت الومنيات الكالسيوم (calcium aluminates cement concrete) او خرسانة الابوكسي (epoxy concrete) عندما تكون المادة الرابطة هي الاسمنت البورتلاندي ، سمنت الومنيات الكالسيوم او الابوكسي على التوالي

صناعة 2.1

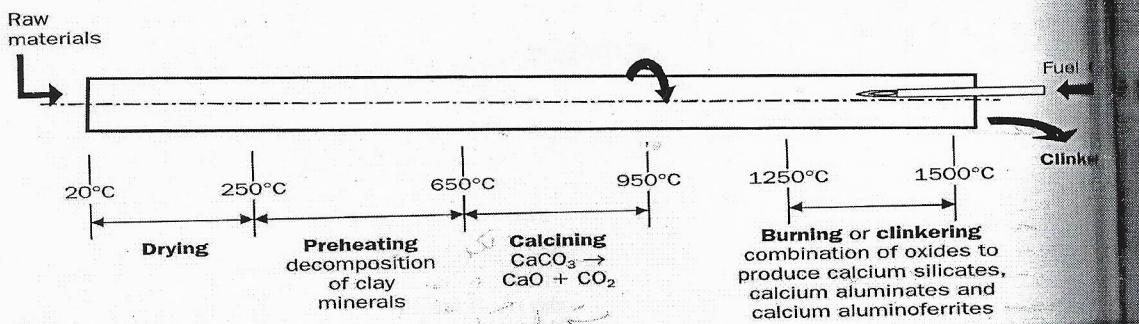
المكونات الرئيسية للاسمنت البورتلاندي هي ، اوكسيد الكالسيوم (CaO) وثاني اوكسيد السلكون او السلكا (ClO₂) . كل النوعين يوجدان بكميات كبيرة ، النوع الاول يوجد باشكال مختلفة من كarbonات الكالسيوم (CaCO₃) مثل الطباشير (chalk) وحجر الكلس (Lime stone) ، اما النوع الثاني فيوجد بشكل مختلفة من المواد الطينية الارجيلية (shells) او الصفائح (argillaceous clay) .

انتاج الاسمنت هو عملية ذات مقاييس واسع تتطلب كميات هائلة من المواد الخام لذلك تكون المصانع قريبة من اماكن المواد الاولية . المواد الخام الاولية تحتوي مرکبات اخرى ، وبصورة خاصة فان الاطيان تحتوي اكسيد الالومانيا (aluminum) ، الحديد (iron) ، المغنيسيوم (magnesium) ، الصوديوم (sodium) والبوتاسيوم (potassium) .

ان هذه الاكسيد لا يمكن تحاشيها . فاول اثنين (الالومانيا وال الحديد) لهما تأثير كبير على صناعة وتركيب الاسمنت الناتج ، وبعض الاكسيد الاصغر يمكن ان يكون لها تأثير مهم حتى عندما توجد بكميات صغيرة . ان عملية التصنيع تكون بسيطة بالرغم من انها تتعرض لدرجات حرارة عالية .

في البداية يتم سحق الطباشير (chalk) والطين (clay) الى احجام جزئية تبلغ (75) مايكرون او اقل وبعد ذلك تخلط بالنسبة المطلوبة وان تركيب هذا الخليط يكون خطرا وربما يكون من الضروري اضافة كميات صغيرة من المواد الاصغر مثل الرمل المسحوق او اوكسيد الحديد .

عملية الخلط تتم اما بوجود الماء لتكوين محلول (slurry) وهو ما يسمى بالعملية الرطبة (wet process) او بشكل جاف وهو ما يسمى بالعملية الجافة (dry process) . ان الجزء المهم في تحول خليط المواد الاولية الى الاسمنت البورتلاندي تحدث في الفرن الدوار (rotary kiln) . ان الفرن عبارة عن اسطوانة حديدة مائلة يمكن ان يصل طولها الى (200) م وقطرها الى (6) م وتدور حول محورها الطولي الذي يميل حوالي ثلات درجات ، لاحظ الشكل (1.1)



الشكل (1.1) العمليات التي تجري في مصنع الاسمنت البورتلاندي يستعمل الطريقة الرطبة

يسخن الفرن من نهايته السفلی الى حوالي (1500°C) بواسطة احتراق الوقود ، واكثر الوقود استعمالا هو الفحم الحجري ، لكن النفط والغاز الطبيعي والمواد العضوية الضائعة يمكن استعمالها ايضا .

في العملية الرطبة يُغذى المحلول (slurry) من النهاية العليا للفرن المعرض للحرارة حيث يتم تسخين المحلول عند مروره الى الاسفل تحت التأثير المشترك للدوران والوزن . ان الخليط يأخذ عدة ساعات للمرور خلال الفرن ، لكن العملية تستغرق عدة ساعات والفرن يتم توقيفه فقط للصيانة من وقت الى اخر . الخليط يلاقي زيادة في درجات الحرارة عند مروره الى اسفل الفرن حيث تحدث اربعة تغيرات فيزيائية وكيميائية في درجات الحرارة العالية وهي :-

- الجاف Drying
- التسخين Preheating
- التحول الى الكلس Calcining
- والحرق او تكون الكلنكر Clinkering

ان الشيء المهم جدا في عملية صنع الاسمنت هو تكون سليكات والومنيات الكالسيوم وكميات اصغر من المركبات الاخرى في منطقة الحرق ، التفاعل يحدث في حالة شبه انصهار وان اكسيد الحديد ، الالومنيا والمغنيسيوم الموجودة في الطين والتي تسلك كمذيب ، تتمكن سلكات الكالسيوم ان تتكون في درجات حرارة اقل مما يجب . ان المادة تتبع من الفرن على شكل كلنكر (Clinker) مقاس حبيباته لا تتجاوز بضع ملمترات . حبيبات الكلنكر هذه تبرد ويضاف لها نسبة قليلة من الجبس (Caso4 2H2O) وذلك قبل طحن الكلنكر الى مسحوق ناعم .

ان الكلنكر المطحون والجبس غالبا ما يكون المكون الجديد للناتج النهائي للاسمنت ، على الرغم من انه في بعض البلدان يتم اضافة نسبة تصل الى (5 %) من المواد المالة مثل الحجر الجيري (lime stone)

3.1 الخواص الفيزيائية Physical Properties

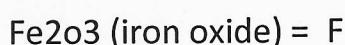
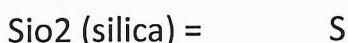
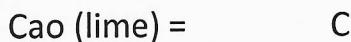
الاسمنت البورتلاندي عبارة عن مسحوق رمادي حبيباته لها وزن نوعي حوالي (3.15) ومعظمها لها حجم يتراوح بين (2- 80) ميكرون . حجم الجزيئات يعتمد على عملية الطحن ويمكن ان تتغير حسب متطلبات الاسمنت .

ان حجم الجزيئات يكون من الصغر بحيث يكون من الصعوبة قياسها بالتحليل المنخلي كما في حالة الركام ، وبدلا من ذلك يتم اللجوء الى المساحة السطحية النوعية (specific surface area) ، حيث المساحة السطحية لوحدة الوزن تستعمل كقياس بديل . هذه المساحة تزداد كلما انخفضت حجم الجزيئات ، اي ان القيمة العليا تعني صغر معدل حجم الجزيئات .

ان طريقة بلين (Blain method) وهي الاكثر شيوعا مبنية على اساس قياس سرعة انتشار الهواء تحت ضغط ثابت خلال نموذج صغير مضغوط من الاسمنت . ان قيم (SSA) المقاسة بهذه الطريقة تتراوح بين (300- 500 م² / كغم) لاغلب انواع الاسمنت المستعملة .

4.1 التركيب الكيميائي Chemical Composition

كما هو معرف فان الاسمنت البورتلاندي يتكون من خليط من المركبات تكونت من عدد من الاكاسيد في درجات الحرارة العالية في منطقة الحرق (Burning zone) . للسهولة فإنه يتم استخدام الاختصارات التالية لللاكاسيد الرئيسية



المركبات الرئيسية للأسمنت والتي تسمى في بعض الأحيان الحالات (الأشكال) هي كما مبين في الجدول (1.1)

جدول (1.1) التركيب النوذجي للأسمنت البورتلاندي الاعتيادي

Name of compound	Oxide of composition	Abbreviation	Weight %
Tricalcium Silicat	3Cao.Cio ₂	C3S	50
Dicalcium Silicat	2Cao.Cio ₂	C2S	23
Tricalcium Aluminate	3Cao.Al ₂ O ₃	C3A	12
Tetracalcium aluminate ferrite	4Cao.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C4AF	8

في الحقيقة فإن المركب (C4AF) لا يعتبر مركب حقيقي ، لكنه يمثل معدل التركيب للمحلول الصلب .

كل حبة سمنت تتكون من خليط متالف من هذه المركبات ويكون من الصعب تحديد كميات كل مركب بواسطة التحليل المباشر ، وبدل من تحديد نسب الاكاسيد فإن تركيب هذه المركبات يحسيب باستعمال عدد من المعادلات التي تم تطويرها من قبل العالم بوج (Boujue 1955) وهي باختصار :-

$$C3S = 4.07 C - 7.60 (S) - 6.72 (A) - 1.43 (F) - 2.85 (\dot{S}) \quad 1.1$$

$$C2S = 2.87 (S) - 0.754 (C3S) \quad 1.2$$

$$C3A = 2.65 (S) - 1.69 (F) \quad 1.3$$

حيث (S) هي النسبة وزنا للاكاسيد (S = SO₃) .

كما ان (C3S) و (C2S) الاخ... هي النسبة المئوية وزنا لمختلف المركبات وكذلك (C) ، (S) هي النسبة المئوية وزنا للاكاسيد من تحليل الاكاسيد . معادلات بوج لا تعطي القيم الحقيقة للمركبات و السبب الرئيسي ان هذه المركبات لا تجري بصورة كمية نقية بل تحتوي بعض الاكاسيد الثانوية في محلول الصلب .

الصيغ او الاشكال الملوثة (impure forms) لكل من سلكات ثلاثي الكالسيوم (C_3S) وسلكات ثنائي الكالسيوم (C_2S) تدعى بـ (elite) و (belite) على التوالي .

على اية حال فان القيم التي يتم الحصول عليها تفي لجميع الاغراض بصورة كافية بما في ذلك كل الاعتبارات الخاصة بانواع الاسمنت المختلفة وتاثيرها على سلوكها . ان نسب مركبات الاكسيد المتوقعة للاسمنت البورتلاندي مبينه على الجدول رقم (2.1) حيث من الجدول يمكن ملاحظة ان (CaO) و (SiO_2) هي الاكسيد الرئيسية حيث تبلغ نسبت (CaO) الى (SiO_2) ثلاثة الى واحد . تركيب اي نوع من الاسمنت سوف يعتمد على نوعية ونسبة المواد الخام وهي تتغير من سمنت الى اخر وحتى في نفس الاسمنت مع الزمن

جدول (2.1) مركبات الاكسيد النموذجية للاسمنت البورتلاندي المستعمل للاغراض العامة

Oxide	Shorthand Notation	Common Name	Weight%
CaO	C	Lime	63
SiO_2	S	Silica	22
Al_2O_3	A	Alumina	6
Fe_2O_3	F	Ferrit Oxide	2.6
MgO	M	Magnesia	0.6
K_2O	K		0.3
Na_2O_3	N	AlKalis	2.0
SO_3	S	Sulfur Trioxide	
CO_2	C	Carbon Dioxide	
H_2O	H	Water	

4.1 اماهة الاسمنت Hydration of Cement

عند خلط الاسمنت مع الماء فان مركباته المكونة له تخضع لسلسلة من التفاعلات الكيميائية التي تكون مسؤولة عن تصلب الخرسانة .

التفاعلات مع الماء تسمى بالاماهة (Hydration) ونتائج الاماهة الجديدة الصلب يسمى نواتج الاماهة (hydration products). كل التفاعلات الكيميائية التي تتضمنها عملية الاماهة يمكن وصفها بواسطة قياس الاتحاد العنصري (Heat of reaction) ، سرعة التفاعل (Rate of reaction) وحرارة التفاعل (Stoichiometries) .

ان خصائص الاماهة تم تلخيصها على الجدول (3.1) .

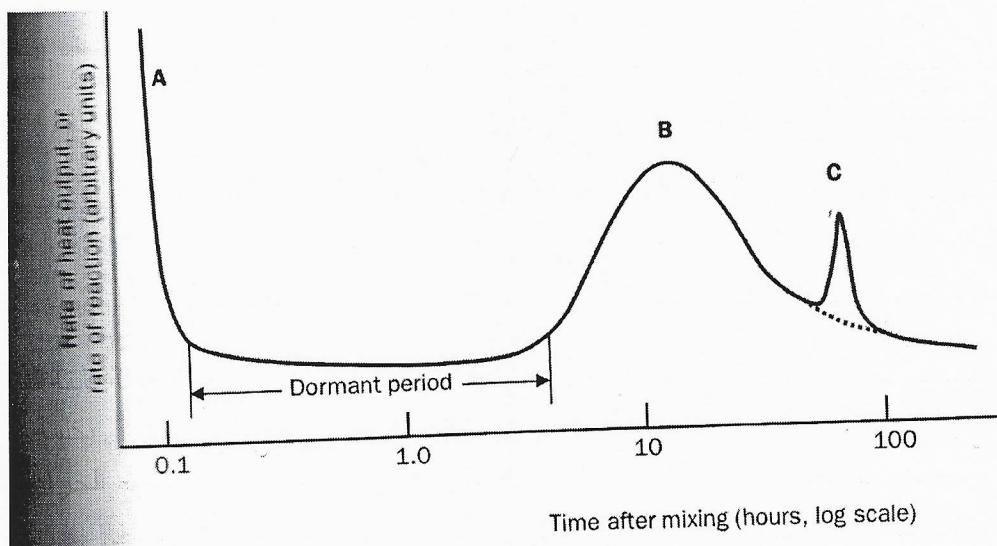
جدول (3.1) مميزات الاماهة لمركبات الاسمنت

Compounds	Reaction rates	Amount of heat liberated	Contribution to Cement	
			Strength	Heat liberation
C_3S	Moderate	Moderate	High	High
C_2S	Slow	Low	Low initially – high later	Low
$C_3A + CSH_2$	Fast	Very High	Very High	Very High
$C_4AF + CSH_2$	Moderate	Moderate	Low	Moderate

في الفترة الابتدائية بعد الخلط فان سيولة (Fluidity) او تمسك (Consistency) عجينة الاسمنت والماء يبدو انها تبقى ثابتة . في الحقيقة يحدث فقدان قليل ولكن تدريجي للسيولة التي يمكن اعادتها جزئيا عند اعادة الخلط .

عند وقت التصلب الابتدائي (initial set) ، الذي يكون بين ساعتين واربع ساعات بعد الخلط في درجات الحرارة الاعتيادية فان الخليط يبدأ بالتصلب بمعدل اسرع . على اية حال ، فان الخليط لايزال لا يملك مقاومة او مقاومة قليلة والتصلب او اكتساب المقاومة لا يبدأ الا بعد التجمد النهائي (Final set) ، الذي يحدث بعد بضع ساعات .

ان سرعة او معدل اكتساب المقاومة يكون سريعا في الايام اللاحقة ويستمر لكن بسرعة تناقصية ثابتة لفترة على الاقل بضعة اشهر . عجينة الاسمنت تصبح حارة ايضا خصوصا خلال التجمد وفترة التصلب المبكرة . بكلمة اخرى فان تفاعلات الاماهة تكون مصحوبة بحرارة (Exothermic) ، وقياس معدل الانطلاق في درجات الحرارة الثابتة هو مؤشر مباشر على سرعة التفاعل . الشكل (2.1) يبين التغير النوذجي لذلك مع الزمن بعد الخلط



الشكل (2.1) السرعة النوذجية لتمييم عجينة الاسمنت بدرجة حرارة ثابتة

حالا عند الخلط يكون هناك ما يسمى بالذروة (Peak A) العالية ولكن لفترة قصيرة تدوم عدة دقائق . بعد ذلك تنحدر بسرعة الى قيمة واطئه وثابته وهي ما تسمى بفترة السبات (Dormant period) ، عندما يكون الاسمنت غير فعال وان ذلك ربما يدوم لمدة ساعتين او ثلاث ساعات . بعد ذلك تبدا السرعة بالازدياد بسرعة في وقت مساوي تقريبا لوقت التجمد وتصل الى الذروة الواسعة (peak B) لبعض الوقت بعد التصلب النهائي .

التفاعل ينخفض بعد ذلك تدريجيا واحينا للحظه قصيرة ، بعد يوم او يومين ليعطي الذروة الضيقه (Peak C) . ان تفاعلات الاماهة التي تسبب هذا السلوك تشمل المركبات الرئيسية في وقت واحد .

ان العمليات الفيزيائية والكميائية الناتجة عن تكوين النواتج الصلبة لعجينة الاسمنت المتصلبة تكون معقدة لكن الوصف المبسط الاخر يبداء عند الاخذ بنظر الاعتبار التفاعلات الكميائية لكل مركب منفرد التي رغم ذلك تكون ذات اهمية .

ان المشاركة الرئيسية في الذروة الاولى (Peak A) القصيرة والشديدة هو اعادة اماهة (Rehydration) سلفات الكالسيوم التي تنشأ من تحلل الجبس (Gypsum) في عمليات الطحن والجبس يعاد تشكيله حسب المعالدة التالية :-



$$\text{H} = \text{H}_2\text{O}$$

ان المشاركة الاضافية لهذه الذروة تأتي من

1. اماهة الجير الحر (Free lime)
2. حرارة البالل (Heat of wetting)
3. حرارة المحلول (heat of solution)
4. والتفاعلات الاولية لحالة الالومنيات (initial reactions of the aluminatephases)

ان سلوك الالومنيات يكون مهم بشكل خاص في المراحل المبكرة للاماهة . في الشكل او الصيغة النقيّة (pure form) فان (C3A) يتفاعل بشدة عالية مع الماء فينتج عنه تصلب فجائي للعجينة . ان ذلك يجب منعه وهذا يفسر سبب اضافة الجبس الى الكلنكر . ان التفاعل الاولى للجبس و (C3A) يكون حسب المعادلة التالية :-

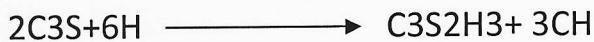


ان الناتج ، سلفو الومنيات الكالسيوم (Calcium Sulfoaluminate) هو ما يعرف بالاترنجات (Ettringite) . بالرغم من ان الاترنجات غير قابلة للذوبان وانها تتبلور ، الا ان التفاعل اقل بكثير من تفاعل المركب (C3A) لوحده ولذلك يمكن تحاشي التجمد السريع .

من المعتاد اضافة حوالي (5-6)% من الجبس من وزن الاسمنت ، حيث تتحول الاترنجات تدرجيا الى (calcium monosulfoaluminate) التي تحتوي على نسبة منخفضة من الكبريتات (Sulfates) ومن المحتمل ، اذا تم استهلاك كل الجبس قبل استهلاك (C3A) فان ذلك يؤدي الى تكون الهدرات المباشرة (– Directed Hydrate) . ان ذلك يسبب الذروة الثالثة القصيرة (Peak C) ، التي يمكن ان تحدث خلال يومين او ثلاثة بعد بداية الاماهة . ان حدوث هذه الذروة يعتمد على الكمية النسبية لكل من الجبس والمركب (C3A) في الاسمنت غير المتميئ ويتبع ذلك تكون هيئة من الاسمنت المحتوي على نسبة عالية من (C3A) .

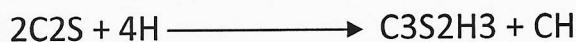
ان حالة المركب (C4AF) يتفاعل بمقاييس زمني متشابه ، والتفاعل يشمل ايضاً مركب وسطي (مركب بين المركب الاصلي والناتج) مع الجبس . النواتج تملك مركب غير دقيق ومتغير ، لكن يشمل اشكال عاليه و واطئه من الكبريت تقترب من المركب (C3A.F) ، (3SC.H16) و (3SC.H32) على التوالي ، اي مشابه الى نواتج (C3A) .
تفاعلات النواتج تشارك قليلاً في سلوك الاسمنت بصورة عامة .

كما شاهدنا ، فان المركبان (C3S) و (C2S) يشكلان كتلة الاسمنت غير المتمينة ، ونواتج اماهتهما تعطي الاسمنت المتصلب معظم خواصه الهندسية مثل المقاومة (Strength) و الصلابة (stiffness) ; لذلك فان تفاعلهما ومعدل سرعة تفاعلهما تسيطر على خواص عجينة الاسمنت المتصلبة (hcp) وبالتالي على الخرسانه وهي تكون مهمة جداً .
المركب (C3S) وبصورة ادق (elite) يكون الاسرع تفاعلاً ، حيث ينتج عنه السلكات الثانية والكلسيوم الثلاثي بالإضافة الى هيدروكسيد الكلسيوم كما في المعادلة التالية .



ان اغلب الذروة (peak B) في منحني التطور الحراري (2.1) ينتج عن هذه التفاعلات ، التي هي هدرات - سلكات - الكلسيوم (C-S-H) المسؤولة عن مقاومة عجينة الاسمنت المتصلبة (hardened cement paste , hcp) .

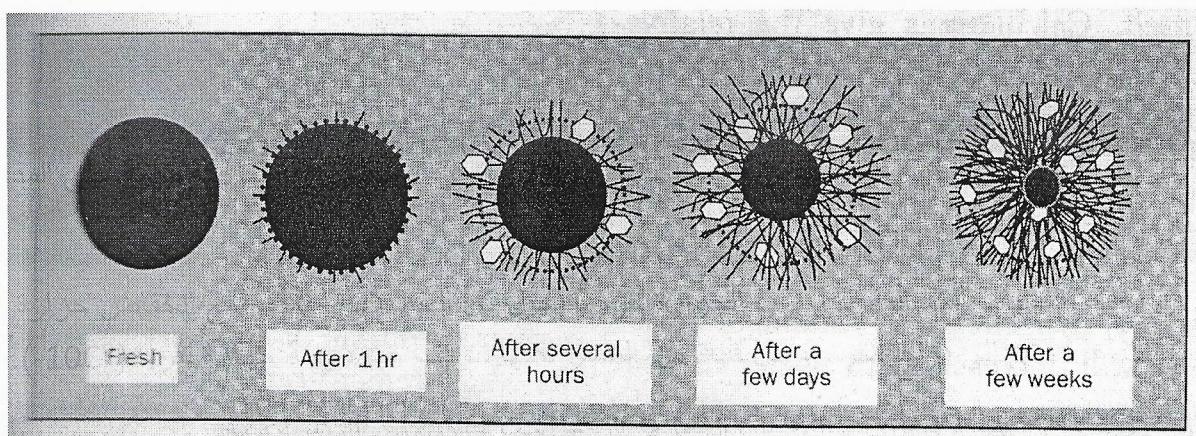
ان المركب (C2S) وبكلمة اخرى (belite) يتفاعل بصورة بطيئة جداً فاصله لكن ينتج عنه نواتج متماثلة كما في المعادلة التالية:-



ان هذا التفاعل يشارك بحرارة قليلة في المقياس الزمني للشكل (2.1) ، لكن لا يعمل اي مشاركة مهمة على المدى الطويل لمقاومة عجينة الاسمنت المتصلبة .

من الشائع ان اغلب العمليات الكيميائية التي تزيد الحرارة تقوم بتعجيل كل التفاعلات اعلاه . مع انخفاض حرارة الاماهة سوف يستمر التفاعل حتى الى درجة حرارة اقل قليلاً من الصفر لكنها تتوقف عند درجة حرارة تقريباً (10°C) .

العمليات الفيزيائية خلال عملية الاماهة والتركيب الشعري الناتج لعجينة الاسمنت المتصلبة يكونان متساويان ، بل ربما يكون ذلك اهم من التفاعلات الكيميائية ، ان العديد من الدراسات تم اجرائها بواسطة المسح الضوبي (scanning) وتم تحليلها المجهر الالكتروني والشكل (3.1) يوضح اماهة حبة مفردة من حبيبات الاسمنت الموضوع في حجم .



الشكل (3.1) توضيح عملية الاماهة لحبة سمنت مفردة

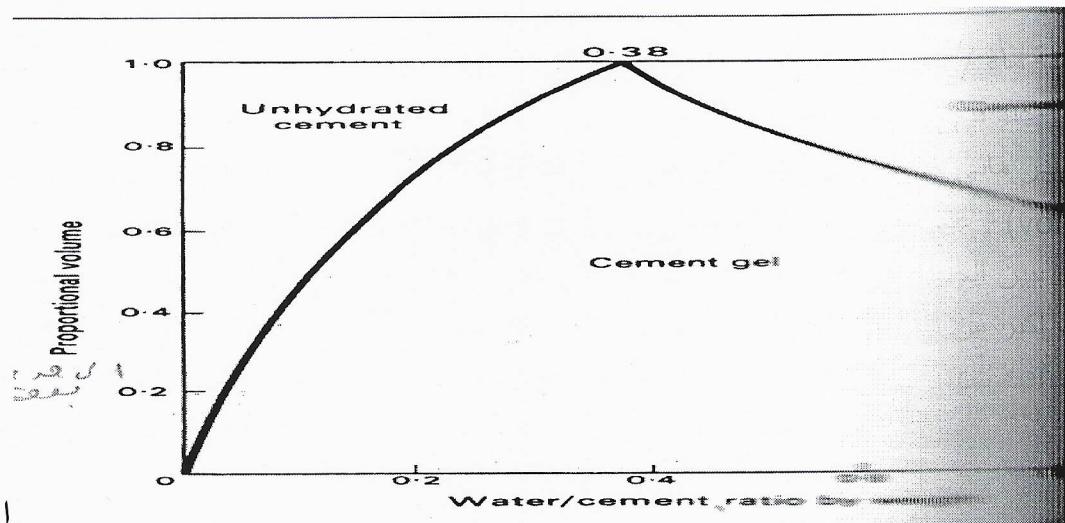
ان النقاط المهمة في الرسم اعلاه هي :-

- ان العمليات تحدث عند السطح البيني للمحلول - المادة لصلبة ، مع نواتج صلبه تتربس في المنطقة حول اللب القليل لللاسمنت غير المتميء لكل حبة سمنت .
- النواتج المتكونة بالصورة المبكرة جدا تكون طبقة سطحية على حبة الاسمنت والتي تعمل ك حاجز لا يتفاعل اخرى خلال فترة السبات وان نهاية فترة السبات تنتهي عندما تتحطم هذه الطبقة اما بواسطة تكون ضغط تناسخي داخلي او بواسطة بلورات هيدروكسيد الكالسيوم او كلاهما حيث يمكن ذلك عملية الاماهة ان تستمر بسرعة .
- نواتج الاماهة التي تدعى بالجل (Gel) تتكون من :-
- كتلة غير متبولة (amorphous mass) وبصورة رئيسية (C-S-H) التي تكون عبارة عن جزيئات ليفية غير منتظمة وصغيرة ، بعض الاجزاء الصلبة ، بعض الجزيئات الموجفة والمسطحة والتي عادة يكون طولها (0.5 – 2.0) ميكرون وقطرها اقل من (0.2) ميكرون مع مساحة سطحية عالية جدا تصل الى (200000) m^2 / kg ; اي تظاهي الاف المرات اكبر من حبيبات الاسمنت التي تكونت منها .
- حبيبات سداسية واسعة من هيدروكسيد الكالسيوم المنتشرة في النسيج الليفي .
- الجل يحتوي عدد من فجوات الجل الصغيرة ، التي يكون عرضها حوالي (0.2 نانو متر nm) بين الجزيئات اللفية ، وعند استمرار عملية الاماهة ، فان نواتج جديدة سوف تترسب ضمن النسيج الموجود مؤديا ذلك الى تقليل مسامية الجل .
- سرعة التفاعل تنخفض بعد فترة طويلة من الذروة (peak B) بسبب ازدياد صعوبة انتشار الماء خلال نواتج الاماهة لللاسمنت غير المتميء . لقد تم تخمين او تقدير ، انه بسبب ذلك ، فان الاماهة التامة تكون غير ممكنه لحببيات الاسمنت التي قطرها يكون اكبر من (50) ميكرون ، وقد وجد انه بعد عدد من السنين لا يزال هناك لب من الاسمنت غير المتميء .
- ان نواتج الاماهة المترسبة قرب السطح البيني الطازج لللاسمنت ، اي النواتج الداخلية (inner Products) تكون متراسة وكثيفة اكثر من تلك المترسبة بعيدا (outer products) .
- عند الاماهة التامة فان :-
- مسامية الجل تصل الى الحد الاوطال (حوالي 28%) .
- حجم نواتج الاماهة يكون اكبر بقليل من ضعف حجم الاسمنت غير المتميء ، لكن يكون ثلثي الحجم الاولى المتحد الاسمنت غير المتميء والماء الذي يستهلكه .

في الحقيقة ، فان الاماهة تحدث معا في كتلة من حبيبات الاسمنت في ماء الخليط ، وهكذا نواتج الاماهة تتفاعل وتتنافس في نفس الفضاء . ان الشيء المهم والحيوي للاماهة هي انها تحدث تقريبا في حجم كلثي ثابت ; اي ان الخليط سوف لن ينفع او يتقلص وان عجية الاسمنت المتصلبة او الخرسانة تكون بنفس الحجم والشكل عندما تتصلب بعد صبها في قالب بعد عملية الخلط . باستعمال هذه الحقيقة والخواص المقاومة للمواد الطازجة والمتميزة فيمكن بيان ما يلي:-

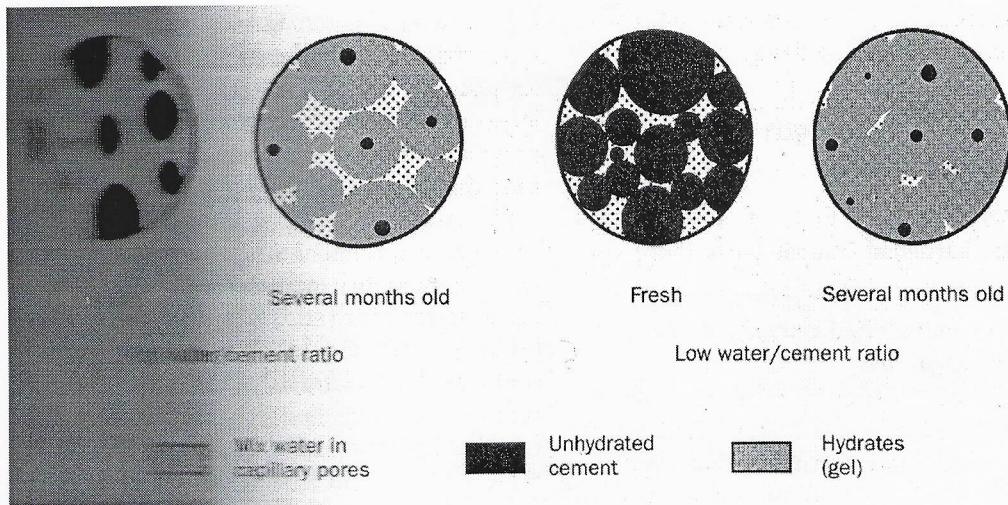
❖ عند نسبة ماء/سمنت حوالي (0.43) ، يوجد ماء خلط جيد (كافي) لاماهة كل الاسمنت وملئ كل الفجوات الناتجة . لذلك عند نسب ماء / سمنت اوطاً من ذلك ، سوف لن تحدث اماهة ، ما لم يكن هناك مصدر ما خارجي متوفّر ، على سبيل المثال ، اذا كان الاسمنت او الخرسانة منقوغان في الماء . ان هذا هو حالة الماء غير الكافي ، وان العجينة تخضع للتتجفيف الذاتي (self - desiccation). في التطبقات العملية ، وفي نماذج المختومة (Sealed specimens) فان الاماهة سوف تتوقف الى حد ما قبل استهلاك جميع الماء المتوفّر ، وان نسبة ماء / سمنت اولية حوالي (0.5) تكون مطلوبة لاماهة .

❖ عند نسبة ماء / سمنت حوالي (0.38)، حجم تواتج الاماهة ، اي الجل ، يشابة تماما ذلك في الاسمنت الطازج والماء . عند قيم من نسب الماء / الاسمنت الاقل من ذلك ، فان الاماهة سوفه تتوقف قبل اتمامها ، حتى لوتوفر لها مصدر مائي خارجي ان ذلك يدعى شرط او حالة الحجم غير الكافي (condition of insufficient volume) . عند نسب الماء / الاسمنت الاعلى من ذلك فسوف يكون هناك كمية متزايدة من الفضاء غير المملوء بين الحبيبات الاصلية على شكل مسامات شعرية (capillaru pores) ، التي تكون بالمعدل مئات المرات اكبر من مسامات الجل ضمن الجل نفسه . الحسابات تعطي الحجوم النسبية للاسمنت غير المتميء (unhydrated cement) ، الجل والمسامات الشعرية عند الاماهة التامة مبينة على الشكل (4.1). في الحقيقة ، للاسباب التي تم مناقشتها اعلاه فان الاماهة سوف لن تحدث بصورة تامة على الاطلاق ولذلك فان الحجوم في الشكل (4.1) لن يتم الوصول اليها اطلاقا ، لكن ربما يمكن الاقتراب منها . على اي حال ، عند اي مرحلة من الاماهة ، فان حجم المسامات الشعرية سوف يزداد مع نسبة الماء / الاسمنت .



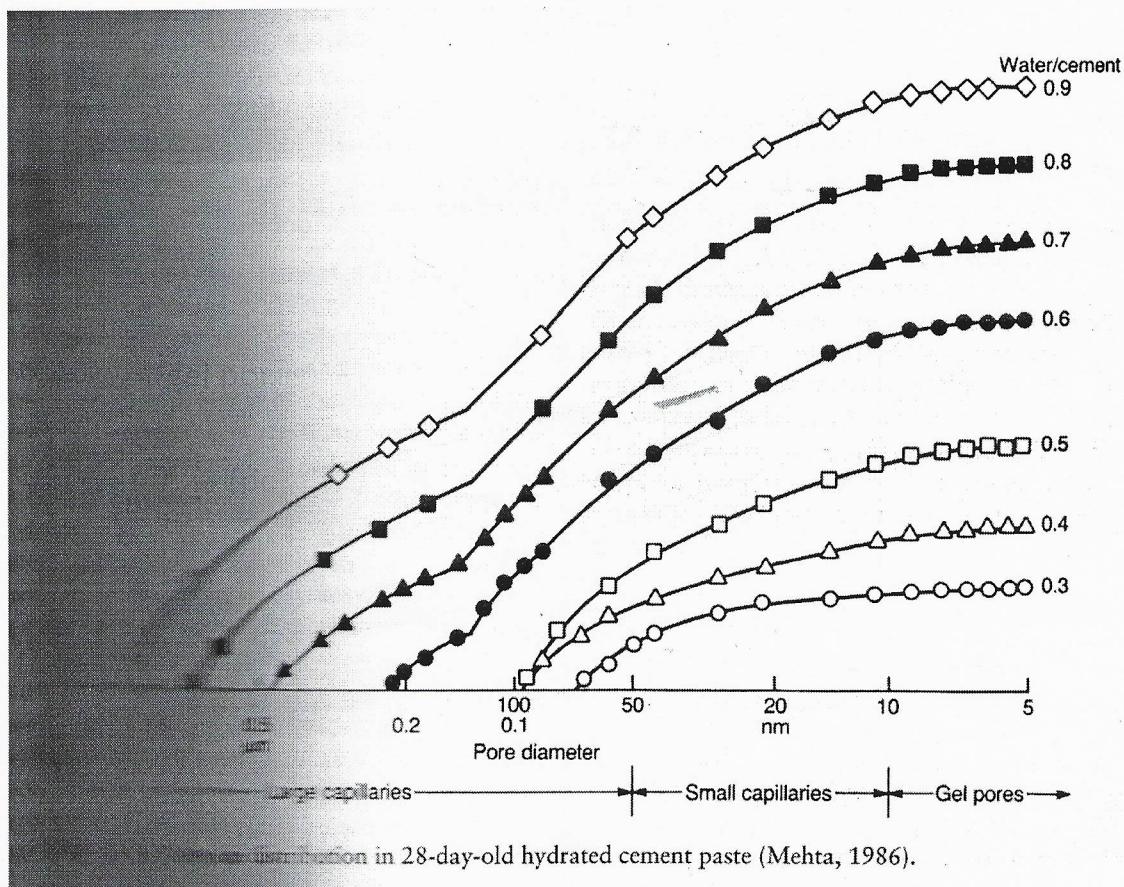
شكل (4.1) التركيب الحجمي لعجينة الاسمنت المتصلبة المتميئه بصورة تامه بعد خزنها في الماء

المخطط في الشكل (5.1) بين توضيحات مرئية ، هذا التوضيح يبين تركيب مثالي لعجنتين من الاسمنت من الاسمنت مع نسب ماء / سمنت عالية وواطئه ، لنقل بمستوى (0.8) و (0.4) على التوالي ، عند الخلط وعندما تتضخم بعد عدد اشهر . في العجينة التي لها نسبة ماء / سمنت عالية فان الحبيبات تنتشر منذ البداية بصورة واسعة في ماء الخلط وعندما تتضخم فان لا يزال هناك حجم كبير من المسامات الشعرية . من ناحية اخرى ، ففي حالة العجينة التي نسبة الماء / الاسمنت تكون واطئه فان الحبيبات تكون اكثر تقاربا من بعضها ونواتج الاماهة تشغل حجم كبير للعجينة الناضجة ، والتي لذلك تملك حجم كبير جدا من المسامات الشعرية (لكن هذه المسامات ، اذا كانت نسبة الماء / الاسمنت واطئه بصورة كافية فانها ربما تختفي تماما ..



الشكل (5.1) تركيب عجينة الاسمنت

بالرغم من انه يكون من المهم التمييز بين المسامات (capillary pores) وفجوات الجل (gel pores) في التطبيقات العملية فانه يوجد تقريبا توزيع متعدد الحجم للمسامات . الشكل (6.1) يبين القياسات النموذجية التي توضح ذلك والتي توفر ايضا دليلا مباشرا لتخفيض مقدار المسامة (pore volume) وحجم المسامة (pore size) مع انخفاض نسبة الماء / الاسمنت لعجائن بنفس العمر ، في هذه الحالة بعمر (28) يوم .



الشكل (6.1) توزيع حجم المسامة لعجينة الاسمنت المتميزة بعمر (28 يوم)

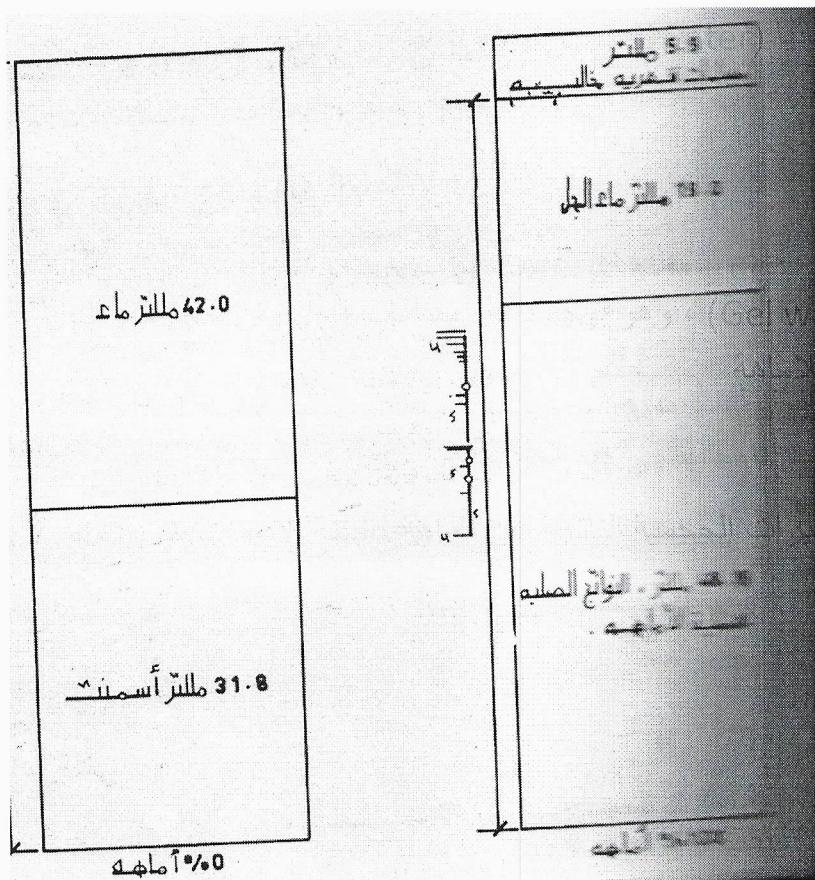
5.1 حجم نواتج الاماهة (Volume of products of hydration)

كما هو معروف فان الفراغ الكلي المتوفّر لنواتج الاماهة يتمثل في الحجم المطلق للاسمنت الجاف اضافة الى حجم الماء المضاف الى الخليط،اما كمية الماء القليلة المفقودة بسبب النضح وكذلك انكماش عجينة الاسمنت عندما تكون في الحالة الدنة فيمكن اهمالها في هذه المرحلة.

ان الماء المتواجد داخل هيكل عجينة الاسمنت المتميّزة يتكون من :-

1. الماء المتّحد كميائيا (compound water)، اي غير القابل للتّبخر .
 - وهو يشكّل جزء من المركبات المتميّزة .
 - لقد وجد ان حجم الماء المتّحد كميائيا = (23%) من وزن الاسمنت الجاف .
2. الماء القابل للتّبخر ، وهو الماء الحر (free water) ويوجّد داخل المسامات الشعيرية ، ان حجم الماء الحر يتغيّر حسب حجم المسامات الشعيرية داخل عجينة الاسمنت المتميّزة .
3. ماء الجل (Gel water) ، وهو يوجد داخل مسامات الجل وان حجم ماء الجل = (28%) من حجم النّواتج الصلبة للاماهة

المخطط التالي يمثل التّغييرات الحجمية الناتجة عن ايماهة عجينة الاسمنت بنسبة ماء / سمنت مقدارها (0.42)



الشكل (7.1) مخطط يمثل التّغييرات الحجمية الناتجة عن ايماهة عجينة الاسمنت ، بنسبة ماء / سمنت مقدارها (0.24)

لقد وجد عملياً أن وزن الماء المتهد (في عجينة الاسمنت المتميّة كلياً) يشغل نسبة (23%) من وزن الاسمنت غير متميّء (الجاف) .

الوزن النوعي لنواتج الاماهة للاسمنت يكون ، باعتبار ان هذه النواتج تشغل حجماً أكبر من الحجم المطلق الاسمنت غير المتميّء(الجاف) ولكن أقل من مجموع حجمي الاسمنت الجاف والماء غير القابل للتبخّر بقدر (0.254) تقريرياً من حجم الاخير . ان معدل قيمة الوزن النوعي لنواتج الاماهة (بضمنها الفراغات في اكثـر تركيب ممكـن) في الحالة المشبعة تساوي (2.16) .

مثال توضيحي

- نأخذ بالاعتبار اماهـة (100 غـم) من الاسـمنت
- نأخذ الوزن النوعي للـاسـمنت الجـاف (3.15)

$$100 / 3.15 = 31.8 \text{ ml}$$

- اذا الحجم المطلق للـاسـمنت غير متميـء هو كما قلنا فـان الماءـغير القـابل للتـبخـر هو حوالي (23 ml) من وزـن الاسـمنت اي (23 ml)
- ان النـواتـج الصـلـبة لـعملـيـة الـاماـهـة تـشـغـل حـجـمـاً أـقـلـ من مـجمـوع حـجمـي الاسـمنت غير مـتمـيـء والمـاءـغير القـابل للتـبخـر بـمـقـدـار (0.254) من حـجـمـ الاـخـير عليهـ فـان

$$31.8 + 0.23 * 100 = 48.9 \text{ ml}$$

- من الحقيقة القائلة ان مسامـات الجـلـ تشـغـل حـوـالـي (28%) من الحـجـمـ الكـلـيـ للـجلـ ، لذلك يمكن حـسابـ مـاءـ الجـلـ (Wg) من العلاقة التـالـيـة

$$Wg / 48.9 = 0.28 \quad Wg = 19.0 \text{ ml}$$

- حـجمـ الاسـمنتـ المـتـمـيـأـ (حـجمـ النـواتـجـ الصـلـبةـ +ـ حـجمـ مـاءـ الجـلـ) يكون

$$48.9 + 19.0 = 67.9 \text{ ml}$$

- كـخلاـصـةـ لـماـ جـاءـ اـعـلاـهـ فـانـ

$$\text{وزـنـ الاسـمنتـ الجـافـ} = (100 \text{ غـم})$$

$$\text{حجمـ الاسـمنتـ الجـافـ} = 100 / 3.15 = 31.8 \text{ ml}$$

$$\text{وزـنـ المـاءـ المتـهـدـ كـمـيـائـيـاـ معـ الاسـمنتـ} = 23 \text{ gr}$$

$$\text{حجمـ مـاءـ الجـلـ} = Wg = 19.0 \text{ ml}$$

المـاءـ الكـلـيـ فيـ الخلـطـ هوـ وزـنـ المـاءـ المتـهـدـ كـمـيـائـيـاـ معـ الاسـمنتـ +ـ حـجمـ مـاءـ الجـلـ أيـ

$$23 + 19.0 = 42 \text{ ml}$$

$$42 / 100 = 0.42$$

نـسـبـةـ المـاءـ /ـ الاسـمنتـ

$$42 / 31.8 = 1.32$$

نـسـبـةـ المـاءـ إـلـىـ الاسـمنتـ فـيـ الحـجمـ

$$48.9 + 19 = 67.9 \text{ ml}$$

حـجمـ الاسـمنتـ المـتـمـيـأـ

$$31.8 + 42 = 73.8 \text{ ml}$$

الـحـجمـ الـاـصـلـيـ لـلـمـاءـ وـالـاسـمنتـ

$$37.8 - 67.9 = 5.9 \text{ ml}$$

الـنـقصـانـ فـيـ الحـجمـ بـسـبـبـ الـاماـهـةـ

$$67.9 / 31.8 = 2.1 \text{ ml}$$

٦.١ تركيب ومقاومة عجينة الاسمنت المتصلبة

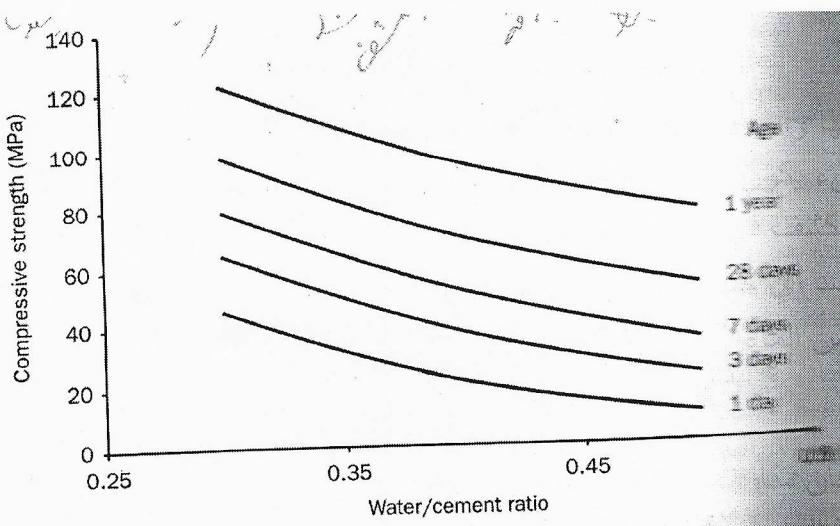
(structure and strength of hardened cement paste)

في اي مرحلة من الاماهة فان عجينة الاسمنت المتصلبة (hcp) تتكون ممالي:-

١. الاسمنت غير المتميء المتبقى في مركز (لب) حبيبات الاسمنت الاصلية .
٢. الهدرات ، وبصورة رئيسية هدرات الكالسيوم - السلكات (S-C-H) وايضا بعض الومنيات الكالسيوم ، السلفو الومنيات والحديد ، التي تملك شكل ليفي معقد يحوي مسامات الجل .
٣. بلورات هروكسيد الكالسيوم والتي تدعى احيانا بالكلسایت (calcite) .
٤. الفراغ الغير مملأ المتبقى بين حبيبات الاسمنت (المسامات الشعرية)

مقاومة عجينة الاسمنت المتصلبة مشتقة من قوى نوع (Van der Waals) بين الياف الهدرات . بالرغم من ان هذه القوى تكون قيمتها واطئة ، فان تاثيرها المتكامل والكبير جدا على المساحة السطحية يكون مهما . ان الاسمنت غير المتميء يكون قوي بطبعته وغير ضار بالنسبة للمقاومة . في الحقيقة فان الاسمنت غير المتميء يكون مفيد حيث انه يكشف في ما اذا العجينة او الخرسانة سوف تتشقق او تتكسر لاحقا ، ولذلك يمكن ان يكون هدرات جديدة تقوم بسد اي ختم (Seal) الشق ويعيد التكامل الانشائي (structural integrity) وان ذلك من الطبيعي ان يوفر بعض الماء . لا توجد مادة انشائية اخرى تملك خاصية المعالجة الذاتية (self – healing) (property

لاي سمنت خاص ، فان مقاومة الانضغاط للنماذج المخزونة في الماء بدرجة حرارة ورطوبة ثابتتين تزداد مع العمر وانخفاض نسبة الماء / الاسمنت . الشكل (8.1) يبين السلوك النموذجي لذلك .



الشكل (8.1) تطور مقاومة الانضغاط لعجينة الاسمنت البورتلاندي المخزونة في الماء بدرجة حرارة (20°C)

سوف نلاحظ هنا ان المقاومة تستمر بالزيادة عند نسبة ماء / سمنت اقل من (0,38) ، بالرغم من ان الشكل 4.1 يبين ان هناك زيادة حجمية للاسمنت غير المتميء في نهاية المطاف . ان ذلك دليل اضافي على ان الاسمنت غير المتميء غير مؤذى للمقاومة ، وان نوعية الهدرات هي العامل المتحكم في ذلك .

لقد شاهدنا ان كل من حجم ومقدار المسامات الشعرية تتأثر ايضا بالعمر ونسبة الماء / الاسمنت (الشكل 4.1 و 6.1) ولذلك فليس من المدهش ان المقاومة و المسامية مرتبطةان بدقة . بتعبير بسيط فان المسامية الاقل تعود اما الى زيادة العمر او انخفاض نسبة الماء / الاسمنت او كلاهما ، وهذا يعني مقاومة اعلى . العلاقة بين المقاومة والمسامية تم توضيحيها من قبل العالم (Power 1958) بالصيغة التالية

$$\sigma = k \cdot (1-p^3)$$

حيث

$$k = \text{constant}$$

$$\sigma = \text{compressive strength}$$

$$P = \text{porosity} = \text{pore volume} / \text{total space volume}$$

نلاحظ في المعادلة اعلاه ان المسامية مرفوعة للقوة الثالثة وان هذا يبين اهميتها الكبيرة جدا .

ان المعادلة اعلاه كانت على نماذج من عجائن الاسمنت المعالجة اعتياديا ، اي في درجات حرارة وضغط المحيط الاعتيادي ، حيث تم الحصول على مسامية مختلفة بتغيير نسبة الماء / الاسمنت . لقد تم الحصول على مسامية تتراوح بين (25%) الى (50%) . ان المسامية المنخفضة الى (2%) عند تقليل نسبة الماء / الاسمنت الى (0.093) مع المعالجة بالحرارة الاعلى (250°C) والضغط الذي يصل الى (3.5 MPa) .

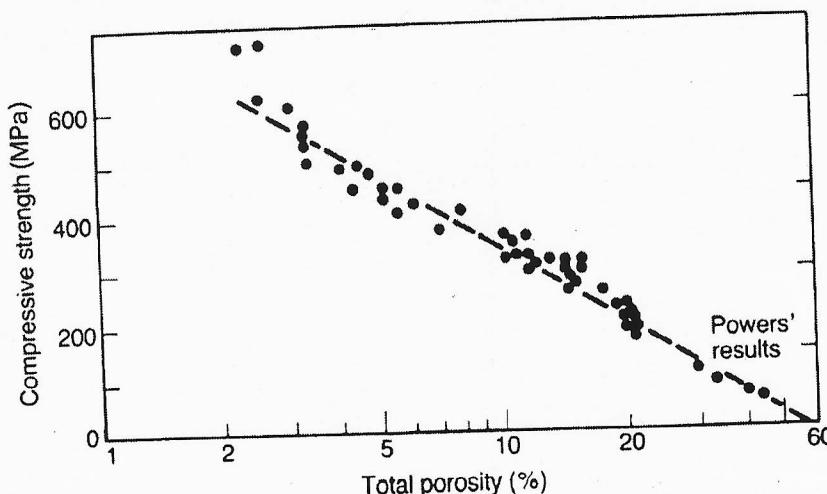
الشكل (9.1) (يبين ذلك ، حيث بهذه المسامية الواطئة جدا تم الحصول على مقاومة انضغاط تصل الى اكبر من (600 MPa)) ، ان ذلك ينسجم مع معادلة (Powers) لتصبح بالشكل التالي

$$\sigma = A \log(P/P_{crit})$$

حيث

$$A = \text{constant}$$

$$P_{crit} = \text{critical porosity giving 0 strength , to be (55%) in fig 1.7}$$



الشكل (9.1) اعتمادية مقاومة عجينة الاسمنت المتصلبة على المسامية

ان مدى (size) وحجم (volume) المسامات على العكس من حجمها الكلي تبدو انها عامل مهم . العالم (Birchall et al, 1981) قلل حجم المسامات الكبيرة (التي حجمها اكثـر من حوالي 1.5 ماكرون) بواسطـة دمج البوليمير في العجينة التي نسبة الماء / الاسمنت فيها حوالي (0.20) وعولجـت في البداية تحت الضـغـط . ان الاسـمـنـتـ الخـالـيـ منـ الـاجـسـامـ الـكـبـيرـةـ الـظـارـةـ (macrodefect free , MDF, cement) يـمـلـكـ مقـاـوـمـةـ اـنـضـغـاطـ اـكـثـرـ منـ (200 MPa) ، معـ مقـاـوـمـةـ اـنـحنـاءـ تـصـلـ الىـ (70 MPa) ، وـهـذـاـ اـعـلـىـ بـكـثـيرـ مـاـ هوـ مـوـجـودـ فـيـ عـجـينـةـ الاسـمـنـتـ اوـ الـخـرـسانـةـ الـاعـتـيـادـيـتـينـ .

من الواضح ان المسامية الواطئة جدا او المقاومة العالية جدا لا يمكن الوصول اليـها في الخرسـانـةـ المـنـتـجـةـ بـكمـيـاتـ كـبـيرـةـ فـيـ تـطـبـيقـاتـ الـهـنـدـسـةـ الـمـدـنـيـةـ التقـيـديـةـ ، الاـ انـ ذـلـكـ يـكـونـ مـمـكـناـ فـيـ اـنـتـاجـ الـوـحدـاتـ الصـغـيرـةـ فـيـ المـصـانـعـ . عـلـىـ اـيـةـ حـالـ ، فـانـ النـتـائـجـ الـمـبـيـنـةـ عـلـىـ الشـكـلـ (8.1)ـ تـكـوـنـ مـفـيـدـةـ فـيـ فـهـمـ سـلـوكـ عـجـينـةـ الاسـمـنـتـ الـمـتـصـلـبـةـ .

7.1 الماء في عجينة الاسمنت المتصلبة وانكماش الجفاف (drying shrinkage)

ان المساحات السطحية الواسعة في الجل تعطي عجينة الاسمنت المتصلبة (hcp) انجذاب جيد نحو الماء وتجعل حجمها الكلي حساس للماء (water – sensitive) ، اي فقدان الماء سوف ينتج عنه الانكمash ، والانكمash قابل للاستعادة (recoverable) بصورة كبيرة عند اكتساب الماء من جديد . سوف نناقش هنا الطرق المختلفة التي يتواجد بها الماء في العجينة وكيف ان فقدان هذا الماء سوف يؤدي الى الانكمash . ان انواع هذا الماء (والاماكن التي يتواجد فيها) هي :-

1. بخار الماء water vapour

الفجوات الاوسع ربما تكون مملوءة جزئيا بالماء والفضاء المتبقى سوف يحتوي بخار الماء عندما يكون الضغط في حالة توازن مع الرطوبة النسبية ودرجة حرارة البيئة المحيطة .

2. الماء الشعري capillary water

ان هذا الماء يتواجد في المسامات الشعريـةـ وفـجـوـاتـ الجـلـ الـوـاسـعـةـ (اـكـبـرـ مـنـ 5ـ نـانـوـمـيـترـ) . انـ المـاءـ المـتـواـجـدـ فـيـ الـفـجـوـاتـ الـتـيـ تـكـوـنـ اـكـبـرـ مـنـ حـوـالـيـ (50ـ نـانـوـمـيـترـ)ـ يـمـكـنـ اـعـتـبارـهـ مـاءـ حـرـ عـنـدـمـاـ يـكـونـ خـارـجـ نـطـاقـ ايـ قـوـىـ سـطـحـيـةـ وـازـالـتـهـ لـاـيـنـتـجـ عـنـهـ انـكـماـشـ ؛ـ عـلـىـ اـيـةـ حـالـ ،ـ فـانـ المـاءـ فـيـ الـفـجـوـاتـ الـتـيـ تـكـوـنـ اـصـغـرـ مـنـ (50ـ نـانـوـمـيـترـ)ـ يـخـضـعـ لـقـوـىـ الشـدـ الشـعـريـ وـازـالـتـهـ فـيـ درـجـاتـ الـحرـارـةـ الـاعـتـيـادـيـةـ وـالـرـطـوبـةـ الـاعـتـيـادـيـةـ رـبـماـ يـنـتـجـ عـنـهـ انـكـماـشـ قـلـيلـ .

3. الماء الممتر Adsorbed water

وهو الماء الذي يكون قريبا الى سطوح الصلبة ويكون تحت تأثير قوى الجذب السطحي . ان الطبقات التي تتكون من خمس جزيئات من الماء تعطي سماك اقصى كلي يبلغ (1.3 nm) . ان نسبة كبيرة من هذا الماء يمكن ان يفقد بالجفاف عندما تكون نسبة الرطوبة (30%) ، وان هذا الفقدان هو العامل المشارك الرئيسي لانكمash الجفاف (drying shrinkage) .

4. الماء بين الطبقات interlayer water

وهو الماء الموجود في مسامات الجل (gel pores) والتي تكون اضيق من (2.6 nm) ، وكما في النقطة (3) اعلاه فان هذا الماء سوف يكون تحت تأثير قوى الجذب من السطحين ، ولذلك سوف يكون

ممسوک بقوه . ان هذا الماء يمكن ان يزول عند الجفاف القوى ، على سبيل المثال ، عند درجات الحرارة المرتفعة و / او الرطوبة النسبية الاقل من (10%) ، لكن فقدانه ينتج عنه انكماش مهم ، وان قوى (Van der wall) تكون قادرة على سحب السطوح الصلبة بعضها الى بعض (اي تقريبها) .

5. الماء المتحد كميائيا chemically combined water

وهو الماء الذي اتحد مع الاسمنت الطري في تفاعلات الاماهة . ان هذا الماء لايفقد عند الجفاف لكنه يتحرر عندما تتحلل العجينة بواسطة التسخين لدرجات الحرارة العالية في حدود (900 - 1000 °C) .

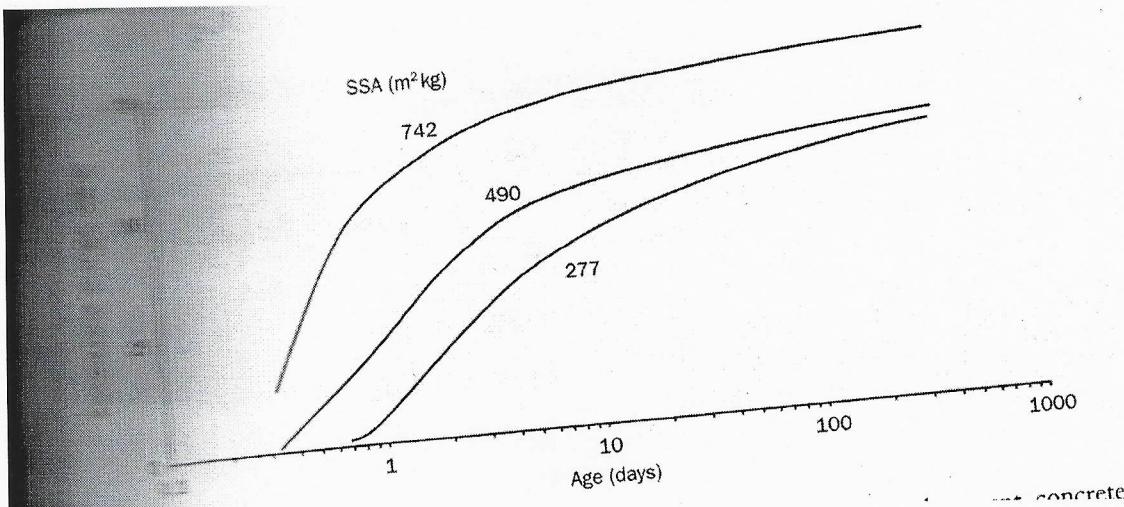
ان تقييمات الماء اعلاه سوف لن تكون ذات حدود واضحة المعالم لكن ازالة الماء سوف يصبح تدريجيا اكثر صعوبة . ان التقسيم التحكمي ممكن ان يكون مفيد في بعض الاوقات بين الماء القابل للتبخر والماء غير القابل للتبخر . هناك عدد من الطرق لتعريف ذلك ، اسهلاها ، هو ان الماء القابل للتبخر يتم فقدانه عند التجفيف بدرجة حرارة (105 °C) ان ذلك يشمل الماء في النقاط (3.1) اعلاه وبعض الماء الموجود في النقطه (4) . الماء غير القابل للتبخر يشمل الماء المتبقى في النقطه (4) وكل الماء الموجود في النقطه (5) ; ان كمية هذا الماء عبر عنها كتبه من محتوى الماء الكلي الذي يزداد بتقدم عملية الاماهة وان هذا يمكن ان يستعمل لتلخيص تقدم تفاعلات الاماهة .

8.1 تعديلات الاسمنت البورتلاندي Modifications of Portland cement

عند مناقشة خواص وتركيب الاسمنت في النقاط السابقة تم الاشارة الى انه يمكن تغير ذلك اما بواسطة اجراء التغيير في مركبات المواد الخام او بواسطة التغيير في عمليات التصنيع . في هذه الفقرة سوف يتم مناقشة الطرق التي بواسطتها يتم تعديل الاسمنت من الاعتيادي الى النوع الذي يمكن الاستفادة منه في التطبيقات الخاصة .

1.8.1 التجمد ، اكتساب المقاومة والحرارة الناتجة Setting, strength gain and heat output

ان المقياس الزمني النسبي لفتره السبات ، التجمد واكتساب المقاومة تحكم ببعض العمليات الحرجة في تطبيقات الخرسانة ، على سبيل المثال ، نقل وصب الخرسانة ، والوقت الذي يتم به رفع القالب بامان . احد طرق تعديل هذه الخواص هو تعديل مكونات المركب عن طريق تغير المكونات النسبية للمواد الخام ونوعها المستعملة في صناعة الاسمنت . على سبيل المثال ، عند تقليل محتوى المركبين (C3S) و (C2S) في احد انواع الاسمنت سوف يعطي سمنت يكتسب المقاومة بسرعه . الشكل (10.1) يبين ان الخواص التي تؤدي الى التصلب الاسرع يمكن الوصول اليها ايضا بواسطة الطحن الانعم للاسمنت الذي يعطي زيادة في المساحة السطحية المعرضة لماء الخلط ، ولذلك سوف تكون هناك تفاعلات اماهة اسرع وبالتالي مقاومة اعلى .



الشكل (10.1) تأثير المساحة السطحية النوعية على اكتساب المقاومة لخرسانة الاسمنت البورتلاندي مع نسبة ماء / سمنت مقدارها (0.4)

بما ان تفاعلات الاماهة تكون مصحوبة بالحرارة فان ذلك يسبب تصلب اعلى مما يحدث بسبب الحرارة الناتجة في المراحل الاولى للاماهة ، التي سوف تزيل خطر التشققات الحرارية في الصبات الكبيرة من التفاوت الجوهري في درجات الحرارة في الاعمار المبكرة ; اي خلال الايام القليلة الاولى بعد الصب . لتنقليل سرعة حرارة الاماهة المنطلقة يمكن استعمال الاسمنت الذي يحتوي على نسبة واطئه من (C3S) ونسبة عالية من (C2S).

2.8.1 مقاومة الكبريتات Sulfate Resistance

عندما تصبح الكبريتات التي تأتي من المصادر الخارجية ، مثل المياه الجوفية ، في اتصال مع عجينة الاسمنت المتصلبة فيمكن ان تحدث تفاعلات مع نواتج الاماهة في حالة الومنيات الكالسيوم ، مكونة سلفو الومنيات الكالسيوم اي الاترنجات (Ettringite) ، وعلى وجه ادق يتم اعادة تكوينها لانها كانت قد تكونت في عمر مبكر جدا في عملية الاماهة . الشي المهم هو ان التفاعل يكون تمدي ويتمكن لذلك ان يسبب للخرسانة التمزق (disruption) ، التشقق (cracking) وفقدان المقاومة لعجينة الاسمنت المتصلبة التي تكون اصلا هشه نسبيا وذات مقاومة شد واطئه (في الاعمار المبكرة سوف لن يكون هناك تأثير لذلك لان الخرسانة ما تزال لدنه او على الاقل مرنة) . ان الاسمنت الذي يكون محتوى (C3A) فيه قليل يكون مثال للاسمنت المقاوم للكبريتات .

3.8.1 الاسمنت الابيض White cement

ان اللون الرمادي للاغلب انواع الاسمنت يعود الى وجود الحديد (ferrite) في المرحلة (C4AF) ، التي تأتي من مركبات الحديد الموجودة في الطين او الصفائح المستعملة في صناعة الاسمنت . ان استعمال المواد التي لا تحتوي على الحديد ، مثل الطين الصيني (chine clay) سوف ينتج عنه سمنت يكون محتوى (C4AF) فيه تقريبا صفر ; الذي يكون في الغالب ابيض صافي ، ولذلك يكون جذاب من الناحية المعمارية لعمليات الانهاء في الابنية . الاسمنت الابيض يكون اغلى بكثير من الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي بسبب زيادة كلفة المواد الاولية والعنابة الكبيرة المطلوبة اثناء عملية التصنيع لتجنب تغير اللون (discoloration).