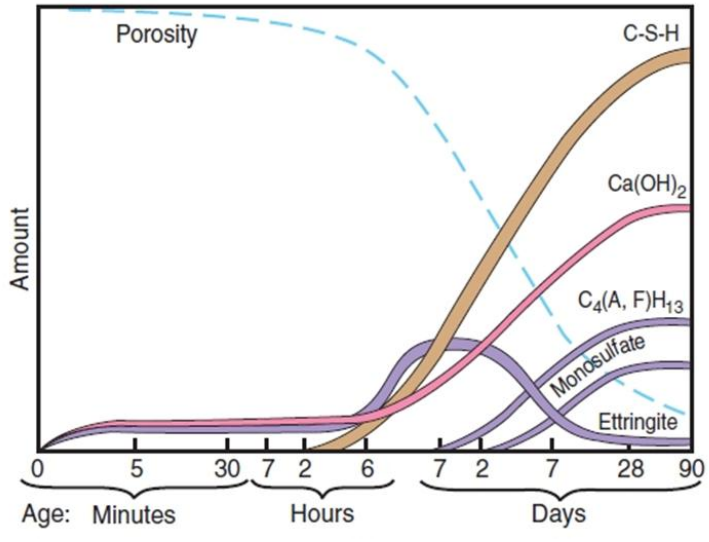
المحاضرة الثالثة

اماهة الاسمنت وهيكل عجينة الاسمنت ونواتج الاماهة

اماهة الاسمنت Hydration of cement :- عملية تفاعل الاسمنت مع الماء وناتج الاماهة هي عجينة الاسمنت .تنتج عن عملية الاماهة حرارة تدعى بحرارة الاماهة سببها الرئيس هو المركبين C3A و C4AF وتفاعلهما مع الماء وخاصة C3A. كما ان تفاعل C3S مع الماء يشارك في زيادة حرارة الاماهة وتقاس حرارة الاماهة بالجول / غم او سعرة/غم والجدول التالي يوضح حرارة الاماهة لمركبات الاسمنت الاساسية :

المركب	حرارة الاماهة جول/غم	حرارة الاماهة سعره/غم
C3S	502	120
C2S	260	60
C3A	867	207
C4AF	419	100

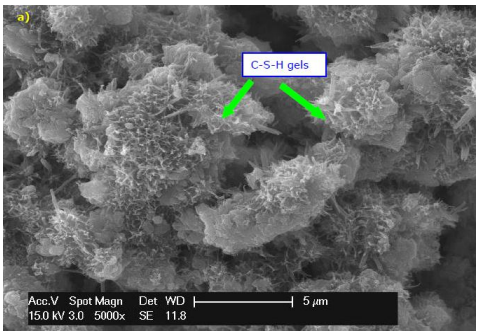
اما الشكل التالي فيوضح تطور نواتج اماهة الاسمنت مع الوقت. حيث ان حوالي نصف حرارة الاماهة تتولد في الثلاث ساعات الاولى وحوالي ثلاث ارباعها في سبعة ايام. نتيجة لتكون نواتج الاماهة فان مسامية عجينة الاسمنت الممثلة بالخط الازرق في الشكل تقل بصورة ملحوظة مع الوقت. والسبب في ذلك هو تقليل نسبة الفراغات الموجودة في هيكل عجينة الاسمنت وذلك بملأها بنواتج اماهة الاسمنت.



شكل يوضح تطور اماهة المركبات الاساسية في الاسمنت مع الوقت

- **هيكل عجينة الاسمنت المتميه Structure of hydrated cement paste**

في أي عمر من اعمار الاماهة عجينة الاسمنت المتميه تحتوي على :-



1- **سليكات الكالسيوم المهدرجة** C-S-H (جل الاسمنت)
وينتج من اماهة السليكات في الاسمنت كروي الشكل ويحتوي في داخله على مسامات تدعى مسامات الجل وكما موضح في الشكل تحت المجهر الالكتروني باستخدام المسح بطريقة الاليكترونات الثانوية Secondary Electron (SE).

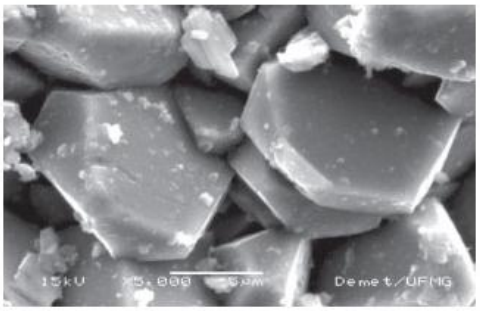
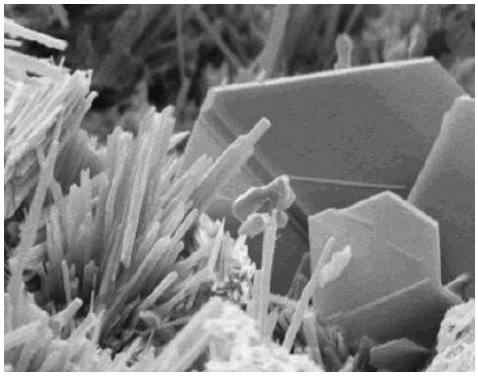
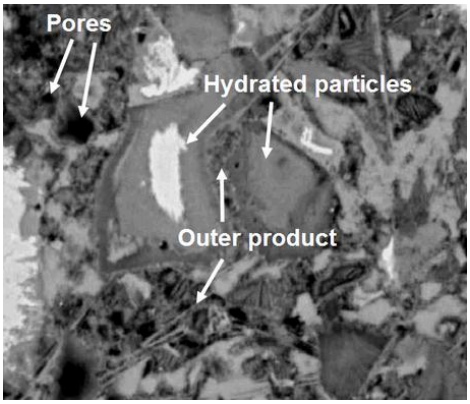


Image amplified 5,000× of the concrete surface showing a detail of the portlandite crystals [$Ca(OH)_2$].

2- **هيدروكسيد الكالسيوم** $Ca(OH)_2$ (يعتبر جل ايضا)
وينتج من اماهة السليكات في الاسمنتجزيئاته صفائحية سداسية الشكل في الغالب ويحتوي في داخله ايضا على مسامات اكثر وبسبب شكله الصفائحي السداسي يسبب ضعفا في مقاومة عجينة الاسمنت كما موضح في الشكل تحت المجهر الالكتروني باستخدام المسح بطريقة الاليكترونات الثانوية (SE).



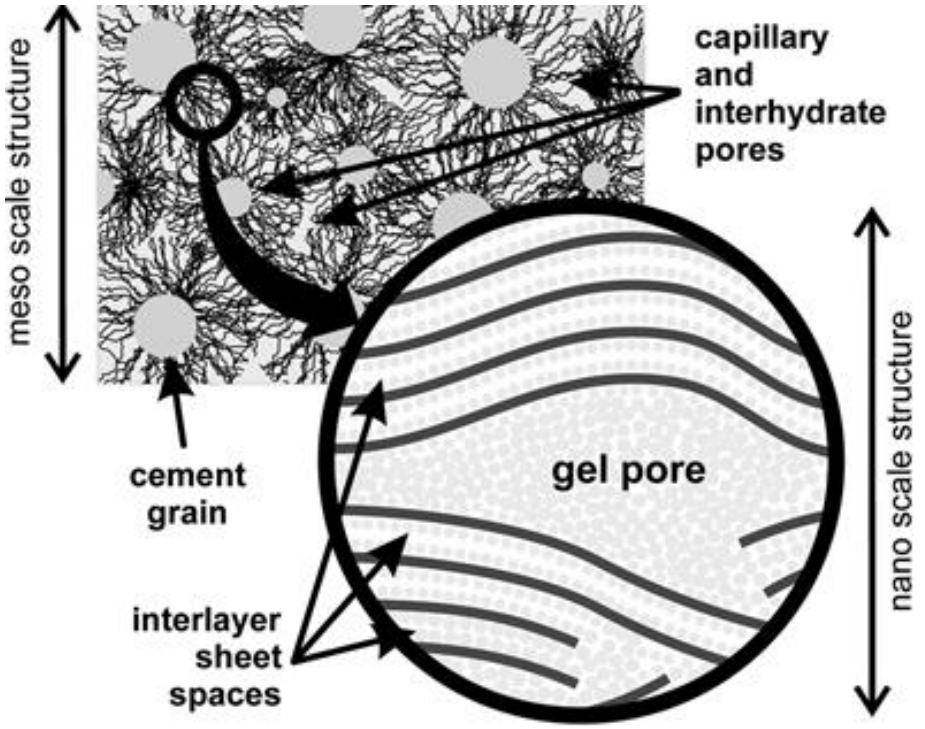
3- **سلفوالومينات الكالسيوم او الاترنكايت** (C_4AH_8 , C_3AH_6)
وينتج من اماهة الالومينات في الاسمنت ويكون على شكل شكلين الاول ابري والثاني منشوري . النوع الاول كما موضح في الشكل تحت المجهر الالكتروني باستخدام المسح بطريقة الاليكترونات الثانوية Secondary Electron (SE).



4- **اسمنت غير متميه** Un-hydrated Cement
(قد يكون موجودا أو غير موجود في الهيكل تبعا لكمية الماء وهل ان كانت كافية ام غيركافية للتفاعل الكلي للاسمنت) ويختفي مع الوقت نتيجة لاستمرار عملية الاماهة اذا توفر الماء . ولهذا تعالج الخرسانة بالغمر او الرش بالماء. ويظهر بشكل نقاط بيضاء تحت المجهر الاليكتروني باستخدام المسح بطريقة الاليكترونات المبعثرة Back Scattered Electron (BSE).

5- الفجوات الموجودة في عجينة الاسمنت Pores in hydrated cement paste وتشمل :-

- الفجوات خلال C-S-H و CH (مسامات الجل) Gel voids :- 1- سمك هذه الفجوات 18 A تقريبا
  2- تشغل 28% من الجل الصلب



شكل يوضح مسامات الجل الموجودة بين جزيئات جل الاسمنت (CSH)

- المسامات الشعرية (Capillary voids) :- يمكن تعريفها بأنها ذلك الجزء من الحجم الكلي الغير مملوء بنواتج الاماهة حيث ان نواتج عملية الاماهة تشغل أكثر من ضعف حجم الاسمنت الجاف وهذا يعني أن حجم المسامات الشعرية يقل بتقدم عملية الاماهة .

1- مقاسها تقريبا 1.3 m

2- متغيرة الشكل

3- تشكل نظام عشوائي يتوزع داخل عجينة الاسمنت

4- شبيه بقنوات جريان الماء داخل عجينة الاسمنت

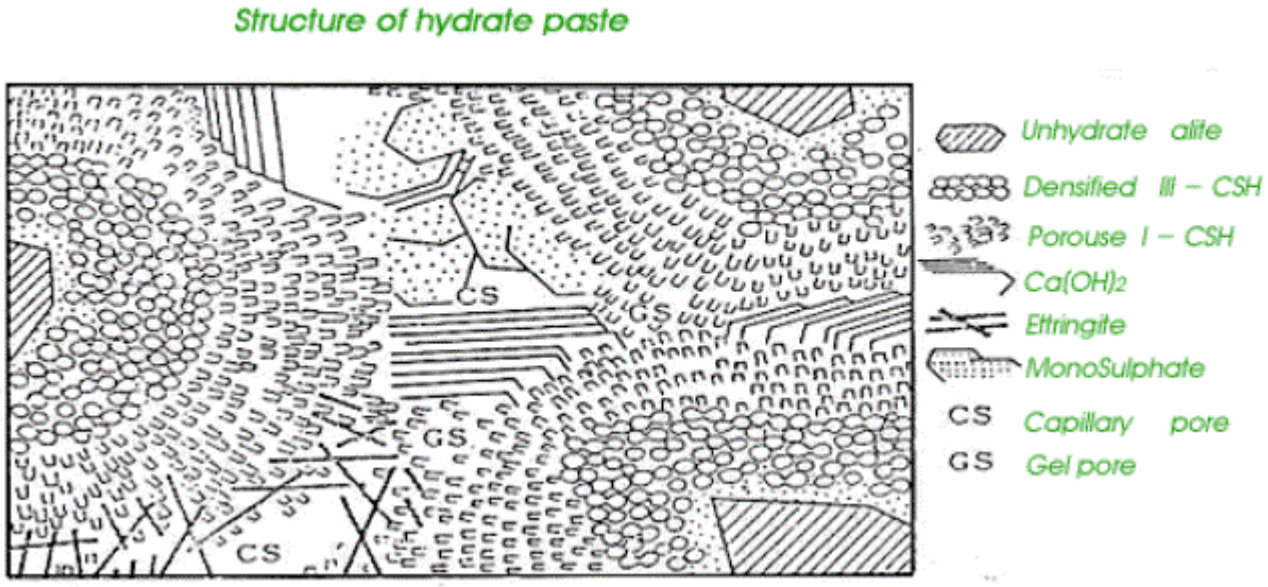
تعتمد على :- نسبة الماء إلى الاسمنت w/c ، درجة الاماهة التي تتأثر بنوعية الاسمنت

يمكن قطع المسامات الشعرية والتي هي السبب الرئيس في نفاذية عجينة الاسمنت من خلال :-

1-استخدام نسبة ماء الى اسمنت مناسبة .

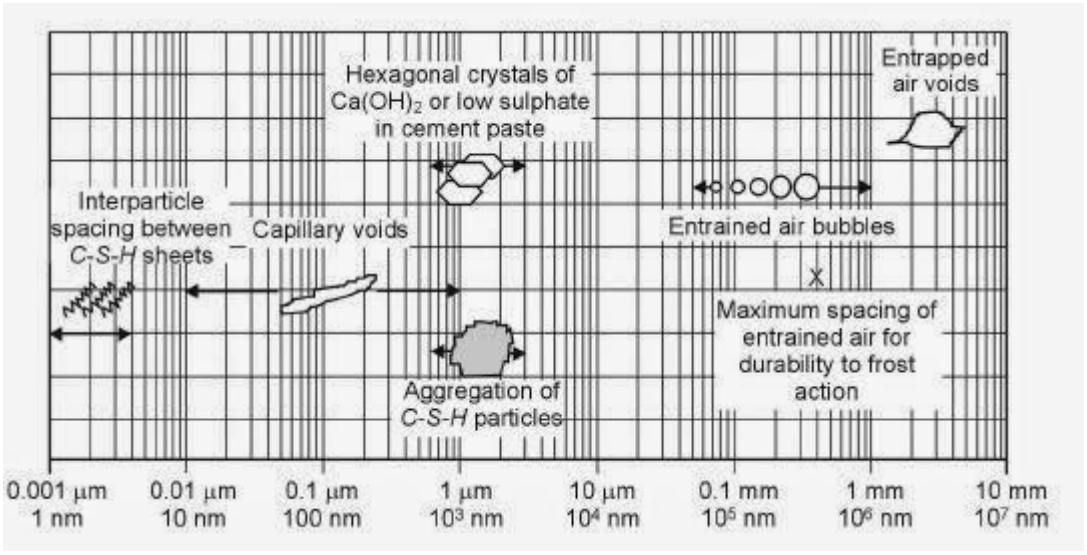
2-المعالجة الرطبة للخرسانة .

المخطط التالي يوضح هيكل عجينة الاسمنت المتميه ونولتج الاماهة:



مخطط لهيكل عجينة الاسمنت المتميه

اما المخطط التالي فيوضح اقطار نواتج الاماهة نبة الى الفراغات الاموجودة في الهيكل على المستوى البعدي.



اقطار نواتج الاماهة والفراعات الموجودة في هيكل عجينة الاسمنت

- **انواع الماء الموجود داخل هيكل عجينة الاسمنت المتميأ**
  - الماء المتحد كيميائيا Compound water (الغير قابل للتبخر)

- ويشكل جزءا من المركبات المتميهه
- حجم الماء المتحد كيميائيا = 23% من وزن الاسمنت الجاف
  - الماء القابل للتبخر ويشمل :-

- الماء الحر Free water ويوجد داخل المسامات الشعرية وكذلك الماء الممتز على سطوح نواتج الاماهة.

❖ حجم الماء الحر يتغير حسب حجم المسامات الشعرية داخل هيكل عجينة الاسمنت المتميه.

- ماء الجل Gel water ويوج داخل مسامات الجل.
- حجم ماء الجل = 28% من حجوم النواتج الصلبة للاماهة.

بعد الاطلاع على تفاصيل هيكل عجينة الاسمنت بعد الاماهة، ماهي مقترحاتك لتطوير بنية عجينة الاسمنت؟

- **حجوم نواتج الاماهة Volume of Hydration Products**

حجم نواتج الاماهة الصلبة = حجم الاسمنت + حجم الماء المتحد كيميائيا – 0.254 حجم الماء المتحد كيميائيا

$$Vs = Vc + 0.23C - 0.254 \times 0.23C$$

Vs = حجم نواتج الاماهة الصلبة.

Vc = حجم الاسمنت

C = وزن الاسمنت

حجم ماء الجل = 28% من حجم النواتج الصلبة للاماهة

$$Wg = 0.28\ (Vs + Wg)$$

Wg = حجم ماء الجل

- **اذا كان تفاعل الاسمنت مع الماء بوعاء مغلق :-**

w/c اكبر او يساوي 0.42 الماء كافي للاماهة الكلية (لايوجد اسمنت غير متميه في هيكل العجينة المتميهه)

w/c اصغر من 0.42 الماء غير كافي للاماهة الكلية (يوجد اسمنت غير متميه في هيكل عجينة الاسمنت المتميهه)

- **اذا كان التفاعل بوعاء غير مغلق أي يمكن ان يتوفر الماء من الجو المحيط**

w/c اكبر او يساوي 0.38 الماء كافي للاماهة الكلية (لايوجد اسمنت غير متميه في هيكل العجينة المتميهه)

w/c اصغر من 0.38 الماء غير كافي للاماهة الكلية (يوجد اسمنت غير متميه في هيكل عجينة الاسمنت المتميهه)

الحجم قبل التفاعل = الحجم بعد التفاعل

فجوات		ماء (W)
اسمنت غير متميه		
ماء جل (Wg)		اسمنت (C)
نواتج صلبة (Vs)		
بعد التفاعل		قبل التفاعل

- على الاقل توجد النواتج الصلبة وماء الجل في هيكل عجينة الاسمنت المتميه أما الاسمنت الغير متميه والفجوات فيعتمد ظهورها على كمية الماء المستخدمة .