

الأسمنت

## ■ الإسمنت:

■ هي مادة لها خاصية التماسك والتلاصق عند تفاعلها مع الماء.

■ المواد الأساسية اللازمة لصناعة الإسمنت:

■ مادة غنية بالجير "الحجر الجيري" ٧٥٪.

■ مادة غنية بالسليكا "الطين" ٢٥٪.

## ■ جميع أنواع الإسمنت تحتوي على:

الشق القاعدي	CaO	■ أكسيد الكالسيوم "الجير"
الشق الحامضي	SiO <sub>2</sub>	■ أكسيد السليكا
الشق الحامضي	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	■ أكسيد الحديد
الشق الحامضي	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	■ أكسيد الألومينيوم

## ■ الأنواع المختلفة من الإسمنت:

- الإسمنت البورتلاندي العادي.
- الإسمنت البورتلاندي سريع التصلد.
- الإسمنت البورتلاندي خبث أفران الحديد.
- الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات.
- الإسمنت البورتلاندي منخفض الحرارة.
- الإسمنت البورتلاندي الأبيض.

## ■ خطوات صناعة الإسمنت البورتلاندي:

١. تكسير المواد الخام وتخلط حسب النسب المحسوبة.
٢. حرق المواد الخام في الأفران الدوارة حتى يتكون الأجر.
٣. يبرد الأجر ويطحن مع نسبة بسيطة من الجبس إلى النعومة المطلوبة.
٤. تعبئة الإسمنت في أكياس (شكاير).

## طرق معالجة المواد الخام قبل تكليسها

### الطريقة الرطبة

فيها تخلط المواد الخام مع كمية مياه تتراوح نسبتها ( 30-40) % من وزن خليط المواد الخام ويكون لها نفس خطوات الطريقة الجافة.

### تفضل في الحالات الآتية

1. عدم ارتفاع سعر الوقود.
2. توافر المياه.
3. إذا كانت المواد الخام تحتوي على رطوبة عالية.

### الطريقة الجافة

فيها تكون المواد الخام الطينية والأحجار الجيرية جافة في جميع مراحل الصناعة

### تفضل في الحالات الآتية

1. ارتفاع سعر الوقود.
2. عدم توافر المياه.
3. عندما تكون المواد الخام صلبة لدرجة يصعب تفتتها بالماء

# التركيب الكيميائي للإسمنت البورتلاندى:

المحتوى كنسبة  
مئوية

المركب

60-67%

CaO

الجير (أكسيد الكالسيوم)

17-25%

SiO<sub>2</sub>

السليكا

3-8%

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

الألومينا

0.5-6%

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

أكسيد الحديد

0.1-4%

MgO

الماغنسيوم

0.5-1.3%

Na<sub>2</sub>O,  
K<sub>2</sub>O

القلويات

1-3%

So<sub>3</sub>

ثالث أكسيد الكبريت

## المكونات الأساسية للإسمنت البورتلاندي :

%55-35	$C_3S$	سليكات ثلاثي الكالسيوم	%75
%35-15	$C_2S$	سليكات ثنائي الكالسيوم	
%15-7	$C_3A$	أومينات ثلاثي الكالسيوم	%25
%10-5	$C_4AF$	أومنيوفيرو رباعي الكالسيوم	

# ◀ خواص المكونات الأساسية للإسمنت البورتلاندي

## ١- سليكات ثلاثي الكالسيوم $C_3S$

• تتفاعل بسرعة مع الماء لذلك تعطي مقاومة مبكرة عالية في الأسبوع الأول.

• حرارة الإماهة متوسطة ١٤ سعر/جرام.

• النسبة المتوسطة ٤٥٪.

• مسئولة عن المقاومة المبكرة للإسمنت خصوصاً ٢٨ يوم الأولى.

• لها خاصية جودة التلاحم والتلاصق.

# ◀ خواص المكونات الأساسية للإسمنت البورتلاندي

## سليكات ثنائي الكالسيوم $C_2S$

- النسبة المتوسطة ٢٥٪.
- هي المسؤولة عن المقاومة في الأعمار المتأخرة.
- مقاومة عالية لتأثير الكيماويات.
- حرارة الإماهة ٦١ سعر/جرام.

## ◀ خواص المكونات الأساسية للإسمنت البورتلاندي

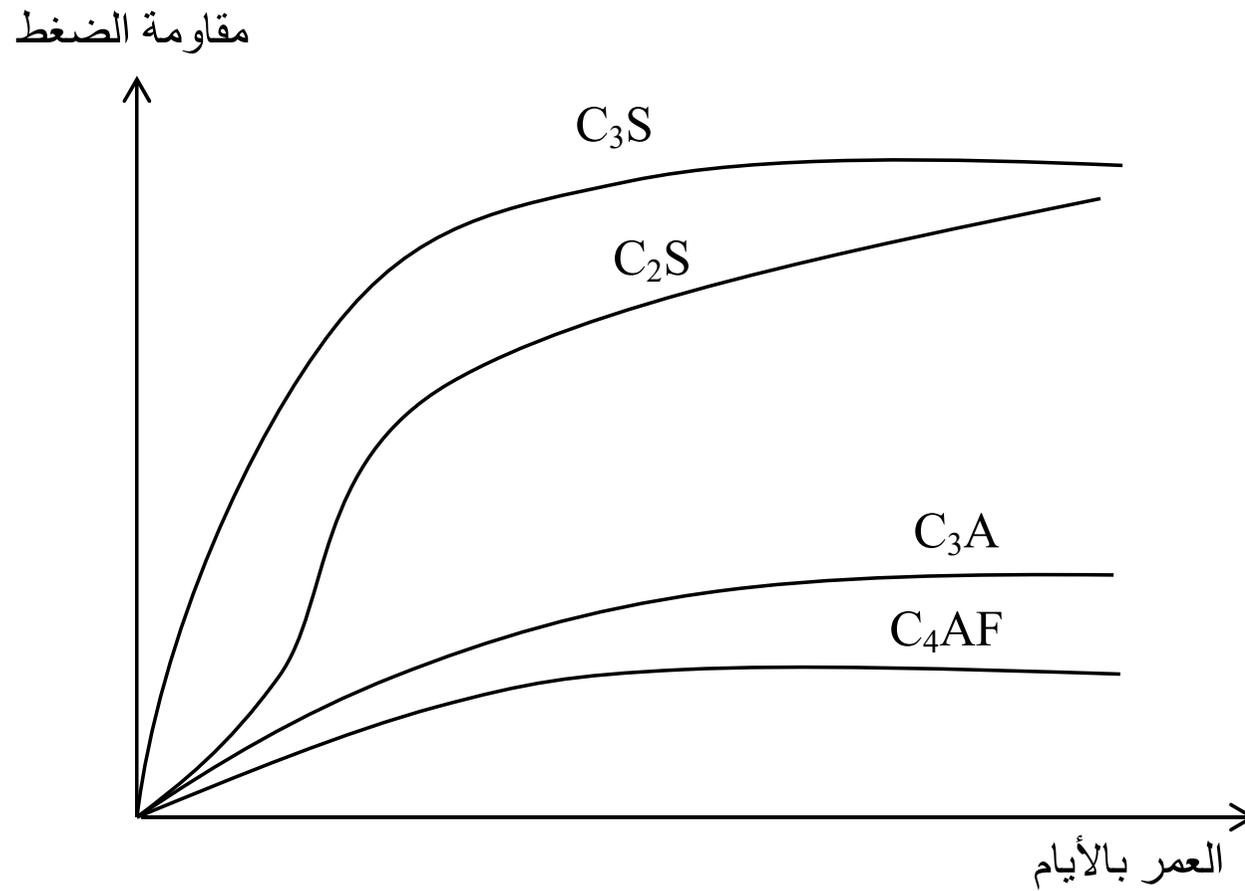
### أومينات ثلاثية الكالسيوم $C_3A$

- النسبة المتوسطة ١٠٪.
- تتفاعل مع الماء بسرعة جدًا وخاصة في اليوم الأول.
- حرارة الإماهة عالية حوالي ٢٠٠ سعر/جرام.
- له تأثير بسيط على قوة الإسمنت النهائية.

### الومنيوفيرو رباعي الكالسيوم

- نسبته في الإسمنت حوالي ٧٪.
- يتفاعل بسرعة ولكن أقل من  $C_3A$
- حرارة الإماهة ١٠٠ سعر/جرام
- أكثر مقاومة للكبريتات ولذلك تزداد نسبته على حساب  $C_2A$ .

# ◀ خواص المكونات الأساسية للإسمنت البورتلاندي



## إمالة سليكات ثنائي وثلاثي الكالسيوم



$$100 \quad 24 \quad 75 \quad 49$$



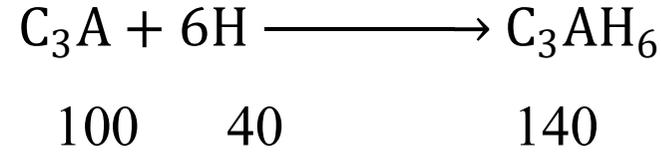
$$100 \quad 21 \quad 99 \quad 22$$

■ سليكات الكالسيوم المماهة هي المسئولة عن التماسك.

■ هيدروكسيد الكالسيوم يتفاعل مع الكبريتات ويعطي مادة حجمها كبير "ضارة بالخرسانة".

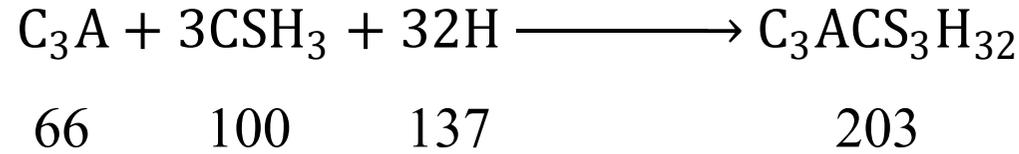
■  $C_2S$  أكثر مقاومة للكبريتات لأنه يعطي  $CH$  أقل.

■ إماهة ألومينات ثلاثي الكالسيوم



■ إماهة ألومينات ثلاثية الكالسيوم مع الجبس  $\text{C}_3\text{A} + \text{CaSO}_4$

يتفاعل الجبس مع  $\text{C}_3\text{A}$  ويعطي مركبات سلفو ألومينات الكالسيوم الذي يسبب زيادة في الحجم ويؤدي إلى شروخ الخرسانة.



■ إماهة ألومينات حديدية رباعية الكالسيوم  $C_4AF$



مركبات مختلطة من الألومينا والحديد

## حرارة إماهة الإسمنت

- عند خلط الإسمنت بالماء تنطلق حرارة نظرًا لأن تفاعل الإسمنت والماء يعتبر تفاعلًا طارد للحرارة، وهذه الحرارة تسمى حرارة الإماهة.
- يمكن حساب حرارة الإماهة لكل جرام من الإسمنت باستخدام المعادلة التالية:

$$H = 136(C_3 S) + 62(C_2 S) + 200(C_3 A) + 30(C_4 AF)$$

## ■ أنواع ماء الخلط بعد الإماهة

### ■ ماء متحد:

■ هو الماء الذي يتفاعل كيميائيًا مع الإسمنت ويقدر بحوالي ٢٣٪ من وزن الإسمنت الجاف.

### ■ ماء الجل

■ هو الماء المرتبط فيزيائيًا بنواتج الإماهة والممتد على المساحة السطحية الكبيرة لنواتج الإماهة. ويتواجد بين النواتج الصلبة للإماهة (gel pores) وهي مسام بالغة الدقة يبلغ قطرها حوالي ٢ نانومتر.

### ■ الماء الشعري:

■ حيث أن نواتج الإماهة الصلبة يشغل حجم أقل من الحجم المطلق للإسمنت والماء وبالتالي توجد مسام شعرية إما أن تكون فارغة أو

## ■ خواص الإسمنت البوتلاندى العادى:

### النعومة

- يقصد بالنعومة مدى قياس حبيبات الإسمنت أو المسافة السطحية للحبيبات.
- متوسط حجم الحبيبات ١٠ ميكرون.
- كلما صغرت الحبيبات كلما كبرت المساحة السطحية فتسرع عملية التفاعل وتؤثر على تطور المقاومة ولكن لا تؤثر المقاومة النهائية.

## ■ خواص الإسمنت البوتلاندي العادي:

■ تقاس نعومة الإسمنت باستخدام جهاز بلين.

### الطريقة:

إمرار كمية من الهواء خلال عينة الإسمنت ويعين الزمن اللازم لمرور هذه الكمية من الهواء.

كلما قل الزمن دل على أن الإسمنت أقل نعومة

◀ حدود القبول والرفض للإسمنت طبقاً للكود المصري

■ نوع الإسمنت	■ لا تقل النعومة عن
■ إسمنت بورتلاندي عادي	■ ٢٧٥٠ سم <sup>٢</sup> /جم
■ إسمنت بورتلاندي سريع التصاد	■ ٣٥٠٠ سم <sup>٢</sup> /جم

## ■ خواص الإسمنت البوتلاندي العادي:

### شك وتصلد الإسمنت: "يعين باستخدام جهاز فيكات"

- الشك: هو فقدان عجينة الإسمنت لدونتها وتصبح متماسكة
- التصلد: هو حصول العجينة التي شكت على قوة تحمل "مقاومة"
- زمن الشك الابتدائي: هو الزمن الذي يمضي من لحظة إضافة الماء إلى عجينة الإسمنت إلى اللحظة التي تستطيع فيها إبرة جهاز فيكات اختراق عجينة الإسمنت وتكون على بعد 5مم من قاع الجهاز.

## حدود القبول والرفض

■ **زمن الشك الابتدائي:** هو الزمن الذي يمضي من لحظة إضافة الماء إلى عجينة الإسمنت إلى اللحظة التي تستطيع فيها إبرة جهاز فيكات اختراق عجينة الإسمنت وتكون على بعد ٥مم من قاع الجهاز.

زمن الشك الابتدائي لا يقل عن (دقيقة)		رتبة الإسمنت
٧٥	N	٣٢.٥
	R	
٦٠	N	٤٢.٥
	R	
٤٥	N	٥٢.٥
	K	

زمن الشك النهائي: هو الزمن الذي يمضي من لحظة إضافة الماء إلى عجينة الإسمنت إلى اللحظة التي تخرق فيها إبرة جهاز فيكات عجينة الإسمنت مسافة أقل من ٠.٥ مم.

## حدود القبول والرفض

زمن الشك النهائي لا يزيد عن ١٠ ساعات.

الشك الوميضي: هو تفاعل  $C_3A$  بسرعة جدًا مع الماء خلال ثواني إذا لم يضاف الجبس ولا يمكن تقليب الخلطة بعد ذلك.

الشك الخاطئ: يحدث خلال ثواني وغير مصحوبة بدرجة حرارة ويمكن تقليب الخلطة بعد ذلك.

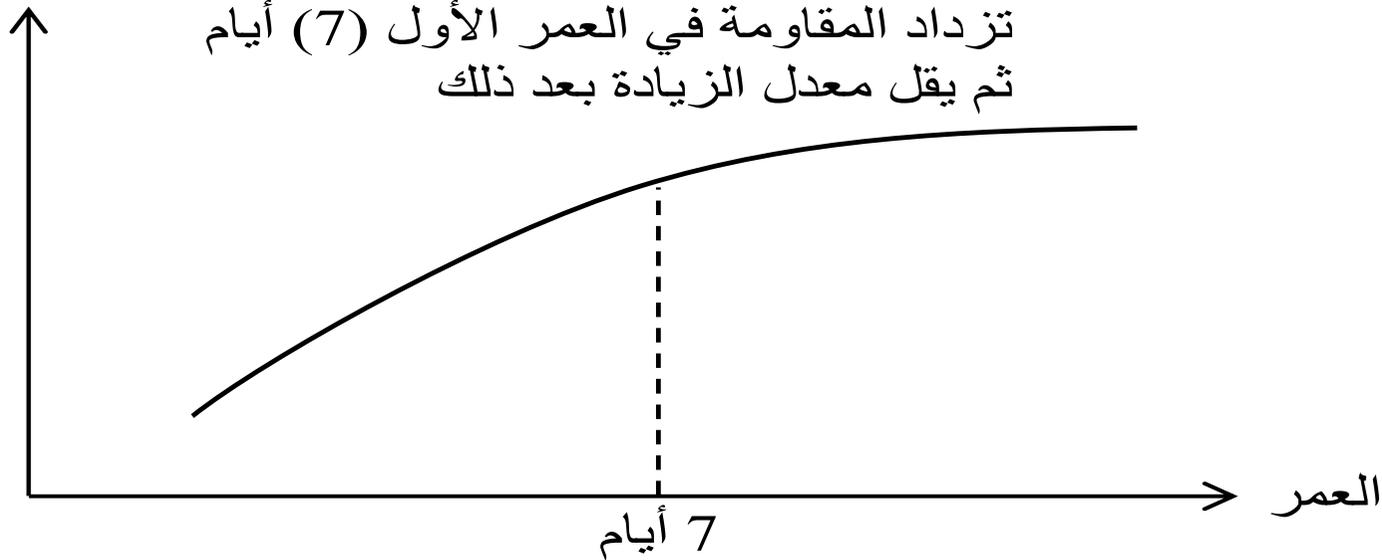
## مقاومة الإسمنت

قدرة تحمل الإسمنت في الضغط

مقاومة الإسمنت الصافي أكبر من مقاومته إذا خلط بالرمل.

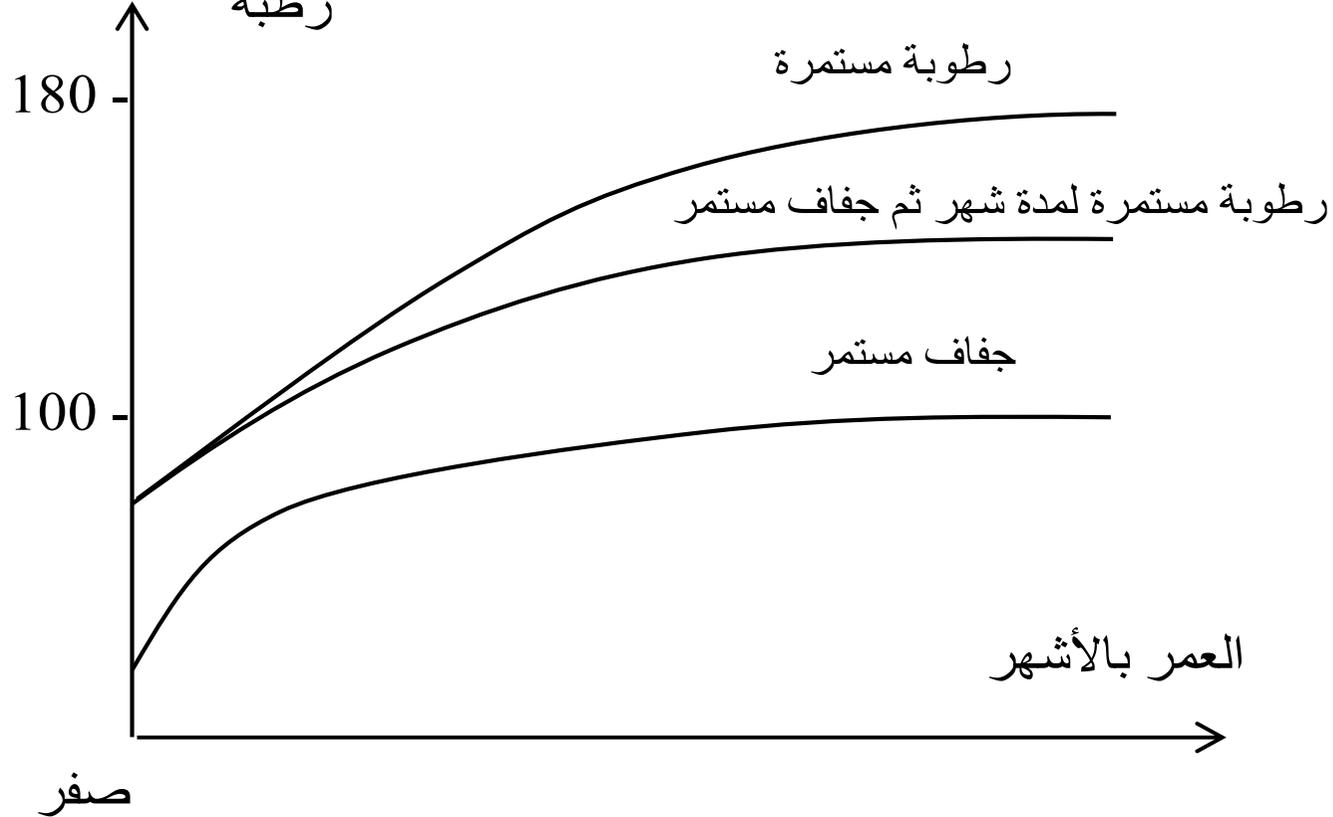
تأثير العمر على مقاومة الإسمنت:

المقاومة



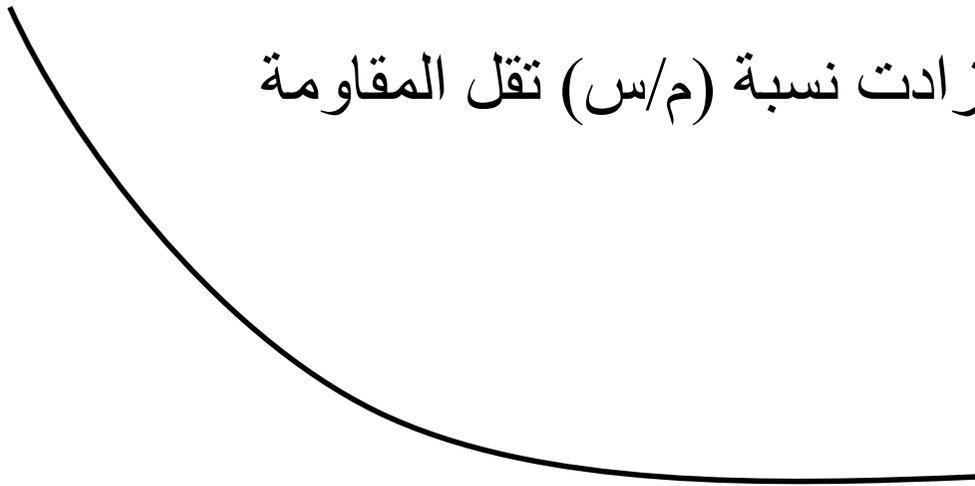
## ■ تأثير الرطوبة والجفاف والعمر على مقاومة الإسمنت

نسبة المقاومة % من  
مقاومة الضغط عند  
28 يوم ومعالجة  
رطبة



## ■ تأثير نسبة (م/س) على المقاومة

المقاومة



كلما زادت نسبة (م/س) تقل المقاومة

م/س →

<u>بعد ٢٨ يوم</u>	الحد الأدنى لمقاومة الضغط نيوتن/مم <sup>٢</sup>		
	<u>بعد ٧ أيام</u>	<u>بعد ٣ أيام</u>	
٣٦	٢٧	١٨	أسمنت بورتلاندي عادي
٤٠	٣١	٢٤	أسمنت بورتلاندي سريع التصلد

## ثبات الحجم

هو عدم زيادة حجم الإسمنت بعد تصلده  
العوامل التي تؤدي إلى عدم ثبات حجم الإسمنت

- أكسيد الكالسيوم الحر "الجير"  $\text{CaO}$
  - الجبس إذا كانت كميته زائدة.
  - أكسيد الماغنسيوم  $\text{MgO}$
- يتم اختبار ثبات الحجم للإسمنت باستخدام جهاز لوشاتلييه ويجب ألا تزيد المسافة بين طرفي جهاز لوشاتلييه بعد التغير في حجم الإسمنت عن ( ١٠ مم) حتى يكون مقبولاً.

# أنواع الإسمنت البورتلاندي

## ■ الإسمنت البورتلاندي العادي (Type I)

$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$
50%	25%	12%	8%

يستخدم في جميع الأغراض الإنشائية.

أكثر الأنواع استخدامًا في العالم.

النعومة لا تقل عن ٢٧٥٠ سم<sup>٢</sup>/جم وتصل إلى ٣٠٠٠ سم<sup>٢</sup>/جم.

يحصل على معظم مقاومته بعد ٢٨ يوم.

## ٢- الإسمنت البورتلاندي سريع التصلد (Type III)

$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$
55%	20%	12%	8%

- يتم زيادة  $C_3S$  وزيادة نعومة الإسمنت.
- النعومة لا تقل عن ٣٥٠٠ سم<sup>٢</sup>/جم.
- يستخدم في الأعمال التي تتطلب سرعة في إنهاؤها مثل أعمال الترميم في الطرق-مصانع الخرسانة الجاهزة-المناطق الباردة.
- يحصل على معظم مقاومته بعد ٣ أيام.

## ٣- إسمنت منخفض الحرارة (Type IV)

$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$
30%	45%	6%	12%

- يستخدم في الخرسانة الكتيلية مثل السدود.
- حرارة الإماهة هي حرارة الإماهة العادية.
- زمن الشك الابتدائي لا يقل عن ٦٠ دقيقة.
- المقاومة المبكرة منخفضة والمتأخرة عالية.
- غير مناسب في المنشآت العادية لبطء تفاعله.

## ٤- الإسمنت المعدل (Type II)

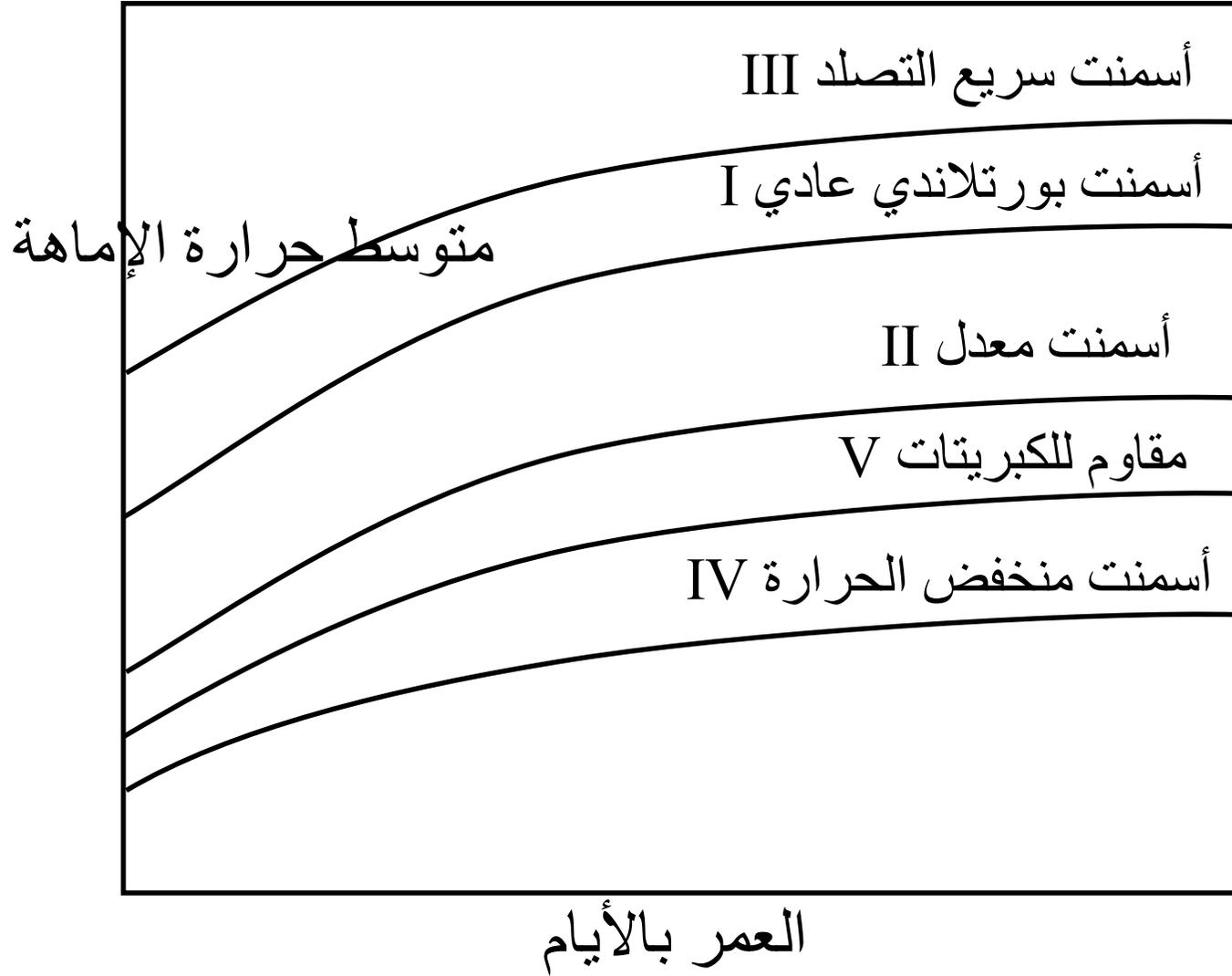
$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$
45%	30%	6%	12%

- نسبة  $C_3A$  لا تزيد عن ٨٪.
- مجموع  $C_3A+C_3S$  لا تزيد عن ٥٨٪.
- أفضل الأنواع في مقاومة الكبريتات والكلوريدات.
- يستخدم في حالة الكبريتات بتركيز متوسط.
- أنسب الأنواع في حالة التعرض لماء البحر لأنها تحتوي على كبريتات وكلوريدات.

## 5- الإسمنت المقاوم للكبريتات (Type V) SRV

$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$
43%	36%	4%	13%

- يستخدم في حالة تركيز الكبريتات عالي.
- نسبة  $C_3A$  لا تزيد عن 3.5-4%.
- تزداد نسبة  $C_2S$  على حساب  $C_3S$ .
- يستخدم في خرسانة المنشآت البحرية-الأساسات والبدرومات-أعمال المجاري-المواسير سابقة الصب.



حرارة الإماهة للأنواع المختلفة من الإسمنت

## الإسمنت المخلوط (المركب)

### يتكون من كلنكر + إضافة

امثلة للأضافات ( رماد الفحم المتطاير (صناعي) ، غبار السليكا (صناعي)، رماد البراكين (طبيعي) خبث الافران ، الحجر الجيري

## يرمز للإسمنت بالرمز CEM

الأرقام: ٥٢.٥-٤٢.٥-٣٢.٥ متر عن رتبة الإسمنت  
الرمز:

N: مقاومة مبكرة عادية.

R: مقاومة مبكرة عالية.

- CEM II/A-S → 42.5 N
- CEM I → إسمنت بورتلاندي عادي
- CEM II → إسمنت بورتلاندي مركب
- CEM III → إسمنت خبث الأفران العالية
- CEM IV → الإسمنت البوزولاني
- CEM V → الإسمنت المركب
- CEM I/SR3 → إسمنت بورتلاندي مقاوم للكبريتات

- A** → نسبة الكلنكر عالية
- B** → نسبة الكلنكر متوسطة
- C** → نسبة الكلنكر منخفضة
- S** → إسمنت بورتلاندي خبث الأفران
- D** → إسمنت بورتلاندي غبار السليكا
- L** إسمنت بورتلاندي حجر جيرى

32.5 42.5 52.5 N/mm<sup>2</sup> مقاومة الضغط القياسية بعد ٢٨ يوم

- N** → المقاومة المبكرة عادية
- R** → المقاومة المبكرة عالية