

## الاسمنت

## يتبع الروابط المعدنية المائية:

## 2- الاسمنت:



يعتبر الاسمنت أهم مادة رابطة مائية، يستعمل بشكل واسع في تحضير البيتون، والبيتون المسلح، والمونة الاسمنتية (في الورشات، والأبنية السكنية، والأبنية مسبقة الصنع، والمنشآت المائية، والطرق والمطارات). ويمكن تعريفه على أنه: رابطة معدنية مائية، يمكنه التصلب في الهواء والماء معاً، نحصل عليه من طحن المزيج الناتج عن شوي الأحجار الكلسية والغضار.

## الاسمنت البورتلاندي:

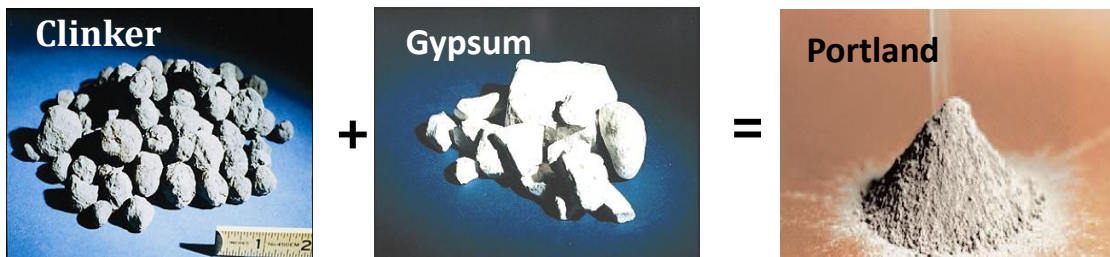
وهو عبارة عن مسحوق رمادي اللون، يمكنه التصلب في الماء والهواء، وقد أطلق عليه اسم البورتلاندي بسبب التشابه الكبير بين الاسمنت بعد تصلبه، والأحجار الرمادية المنتشرة في جزيرة "بورتلاندي" على السواحل البريطانية، وهو يلعب دوراً أساسياً في مجالات البناء الحديثة، ويعتبر أكثر الأنواع استخداماً كونه الأفضل والأكثر اقتصادية، يستخدم في المنشآت العادية حيث لا ضرورة لمواصفات خاصة كالمقاومة للمواد الكيماوية - سرعة التصلب - سرعة التماسك العالية - ألوان خاصة.

## انتاج الاسمنت:

تختلف صفات الاسمنت وتركيبه الكيميائي والمينرالي بحسب اختلاف المواد الخام الداخلة في تركيبه، واختلاف التكنولوجيا المستخدمة في صناعته.

ان معرفة التركيب المينرالي يساعد في معرفة الصفات الفيزيائية، والميكانيكية الرئيسية للاسمنت، وفي تصميم الاسمنت للبيتون بحسب الظروف الاستثمارية له.

يتم الحصول على الاسمنت البورتلاندي من شوي مزيج **الأحجار الكلسية والغضار**، بحيث يضمن تشكل سيليكات الكالسيوم في المادة المشوية، والتي تسمى **بالكلينكر**، وهو على شكل حبيبات يصل قطرها إلى (40 mm)، ومن ثم يتم طحنها إلى بودرة ويضاف إليها الجبس للحصول على الاسمنت.



## العمليات التكنولوجية في انتاج الاسمنت:

تحضير المواد الخام - تحضير المزيج - شوي المزيج - طحن الكلينكر مع المواد المضافة للحصول على مسحوق ناعم.

### تقييم جودة الكلينكر:

تتعلق جودة الكلينكر بتركيبه الكيميائي والمينرالي، حيث يجب أن تتألف المواد الخام للاسمنت من كربونات الكالسيوم بنسبة % (75)، ومن المادة الغضارية بنسبة % (25)، ولا توجد في الطبيعة صخور طبيعية تحوي هذه النسب إلا ما ندر، ولهذا يعتمد إلى خلط المواد الخام الحاوية على مختلف الأكاسيد، أو إضافة بعض المواد الخام الحاوية على أكاسيد معينة بنسبة عالية.

تتألف الأحجار الكلسية بشكل رئيسي من كربونات الكالسيوم  $\text{CaCO}_3$ .

ويتألف الغضار من عدة أكاسيد معدنية تحتوي بشكل رئيسي على ثلاثة أكاسيد أساسية وهي:

أكسيد السيليسيوم، أكسيد الألمنيوم، أكسيد الحديد.

وبعملية الشوي يتطاير ثاني أكسيد الكربون، وتتشكل أربعة مينرالات رئيسية في الكلينكر وهي:

جدول (1): المينرالات الرئيسية في الكلينكر

الصيغة الكيميائية	الاختصار	اسم المينرال	نسبته النظامية % مجاله النظامي
$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$	سيليكات ثلاثية الكالسيوم (Alite)	57 (37-65)
$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$	سيليكات ثنائية الكالسيوم (Belite)	16 (10-37)
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$	الومينات ثلاثية الكالسيوم (Alominate)	9 (5-15)
$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$	ألومينات الحديد رباعية الكالسيوم (Ferrite)	10 (6-18)

حيث تستخدم الاختصارات التالية: (CaO): C, (SiO<sub>2</sub>): S, (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>): F, (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>): A, (H<sub>2</sub>O): H. عدا عن هذه المينرالات الرئيسية يمكن أن يتواجد في الكلينكر أكاسيد حرة غير متحدة وهي ضارة، مثل: أكسيد الكالسيوم الحر (CaO)، أكسيد المغنزيوم (MgO)، وأكسيد البوتاسيوم (K<sub>2</sub>O)، وأكسيد الصوديوم (Na<sub>2</sub>O)، وجود مثل هذه الأكاسيد يخفض من جودة الاسمنت.

يجب ألا يحتوي الكلينكر على أكسيد الكالسيوم الحر (CaO)، حيث أنه مثل أكسيد المغنزيوم (MgO) المشوي بدرجة حرارة  $1500^\circ\text{C}$ ، ينطفئ ببطء شديد مع ازدياد في حجمه مما يتسبب في تشقق البيتون المتصلب.

### دور الجبس (gypsum) في تنظيم بداية ونهاية تجمد الاسمنت:

يتميز الكلينكر المطحون الصافي ببداية سريعة للأخذ حوالي (3-5) دقيقة، لذا عملياً لا يمكن استعماله لوحده من دون إضافة مواد تؤخر زمن بداية الأخذ مثل الجبس، حيث يضاف بنسبة % (1.5-3.5) من وزن الكلينكر، وقد تصل في بعض الأحيان إلى 5%، حيث يتفاعل الجبس مع الومينات الكالسيوم المائية ويتشكل ملح لا ينحل بالماء، لذا يجب أن تكون نسبة الجبس المضافة متناسبة مع كمية (C<sub>3</sub>A) الموجودة في الكلينكر، بحيث لا تقل عن (1.5%) من وزن الكلينكر، ولا تزيد على (3.5%).

إن الاسمنت الحاوي على هذه النسبة من الجبس يكون فيه بداية الأخذ لا تقل عن (45) دقيقة، ونهاية الأخذ لا تزيد على (12) ساعة ابتداء من لحظة خلط الماء مع الاسمنت.

### تصلب الاسمنت البورتلاندي وتشكل بنيته:

بمزج الاسمنت مع الماء تتشكل عجينة اسمنتية لدنة صمغية، تتكثف تدريجياً وتتحوّل إلى الحالة الصلبة. توجد عدة نظريات تشرح نظرية التصلب، منها **نظرية بابكوف** وبحسبها يقسم تصلب الاسمنت إلى ثلاثة مراحل:

(1) الانحلال.

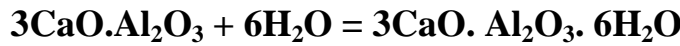
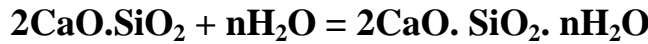
(2) التميّه والتحول إلى البنية الغروية، (العنصر المسؤول عن تشكل المادة الغروية هو (CaO)

(3) التبلور ثم التصلب.

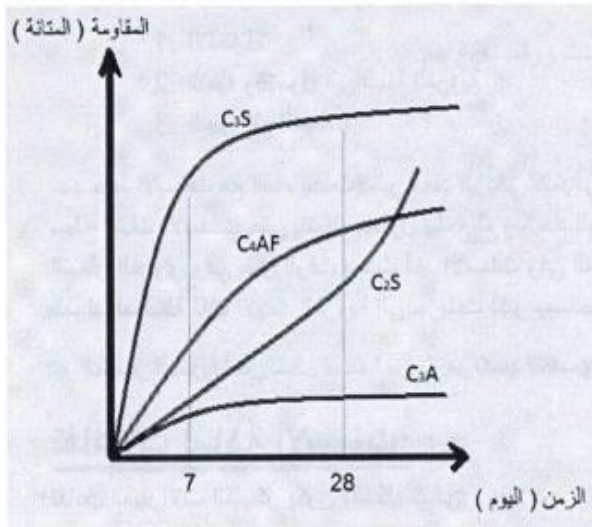
ف عند خلط الاسمنت مع الماء يحدث تأثير معقد فيزيائي كيميائي متبادل:

- ففي البداية تنحل مميزات الكلينكر من سطح حبات الاسمنت حتى يتشكل محلول مشبع.
- ثم باتحاد الماء مع الميكرالات تتشكل اتحادات مائية عالية التبعثر الغروي، وبالوقت ذاته يحدث اخذ للاسمنت (تصلب).
- وفي المرحلة الأخيرة تحدث عمليات إعادة تبلور جزيئات المواد المتشكلة ذات الأبعاد الغروية إلى جزيئات أكبر، يصاحبه تصلب العجينة الاسمنتية وزيادة متانتها.

إن تفاعل مميزات الكلينكر مع الماء يكون بالشكل التالي:



تختلف سرعة تفاعل الميكرالات مع الماء، أسرعها هو تفاعل (C<sub>3</sub>A) مع الماء، ثم (C<sub>4</sub>AF)، ثم (C<sub>3</sub>S)، وأبطأها هو تفاعل (C<sub>2</sub>S)، انظر الشكل المجاور.



تؤثر سرعة تميّه مميزات الكلينكر على سرعة تصلبها.

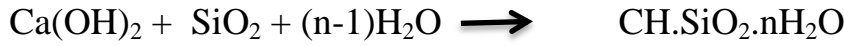
إن C<sub>3</sub>A هو أول ميكرال يدخل في تفاعل الاماهة، ويكون في الدقائق الأولى كتلة صلبة (لأن الألمنيوم هو العنصر الأكثر نشاطاً)، لذا نعد إلى زيادة نسبته في حال أردنا الحصول على اسمنت سريع الأخذ، وأما إذا أردنا تفاعلات متأخرة فإننا نزيد من نسبة C<sub>2</sub>S.

نلاحظ من الشكل المجاور أنه لو أردنا اسمنت مقاومته المبكرة كبيرة فإننا نأخذ قيمة C<sub>3</sub>S كبيرة أي اسمنت آليتي، أما إذا أردنا الحصول على متانة عالية بوقت متأخر نستعمل اسمنت بيليتي C<sub>2</sub>S. يمكن صنع

الاسمنت من دون اضافات، أو مع اضافة مواد فعالة بنسبة تصل إلى (15%) من وزن الاسمنت.

دور المواد الفعالة المائية هو منع تأثير الماء على الحجر الاسمنتي.

تحتوي المواد الفعالة المائية على أكسيد السيليسيوم ( $SiO_2$ ) في الحالة غير المتبلورة، لذا فهو يتفاعل مع ماءات الكالسيوم  $Ca(OH)_2$  الناتجة من تمييه  $C_3S$ ، وتتشكل سيليكات الكالسيوم المائية (C-S-H) التي لا تتحلل في الماء، وبالتالي تعمل على رفع مقاومة البيتون ضد الماء. أي:

✚ عيار الاسمنت :

يعرف عيار الاسمنت على أنه كمية الاسمنت اللازمة لصنع متر مكعب واحد من الخرسانة، ويتم تحديد عيار الاسمنت في تصميم الخلطات البيتونية من أجل الحصول على المقاومة المطلوبة، كما سندرس لاحقاً في تصميم الخلطات البيتونية.

تأثير عيار الاسمنت على خصائص الخرسانة الطازجة والمتصلبة :

- 1- تزداد درجة تشغيل الخلطة الطازجة مع زيادة عيار الاسمنت، لأن ذلك يزيد من حجم العجينة الاسمنتية والتي تعطي الحجم الطري للخلطة.
- 2- يزداد الوزن الحجمي للخلطة تبعاً لعيار الاسمنت، ويعطي قيمته العظمى من أجل عيار للاسمنت بين  $300-400 \text{ Kg/m}^3$ .  
إذا كان  $C < 300$ ، تصبح العجينة الاسمنتية غير كافية لملء الفراغات بين الحصى، مما يزيد من نسبة الفراغات ويقلل الوزن الحجمي للخلطة.  
وإذا كانت  $C > 400$ ، يزداد حجم العجينة الاسمنتية على حساب حجم الحصى، وبما أن الوزن النوعي الكلي للعجينة الاسمنتية أقل من الوزن النوعي للحصى، فهذا يقلل الوزن الحجمي للخلطة البيتونية.
- 3- تزداد مقاومة الخلطة على الضغط تبعاً لعيار الاسمنت الى حد معين  $300-400 \text{ Kg/m}^3$  حيث تثبت المقاومة بعدها.  
إن زيادة عيار الاسمنت يزيد السطح النوعي، مما يسبب زيادة كمية الماء وبالتالي نقصان المقاومة، اضافة الى أن زيادة عيار الاسمنت يسبب زيادة العجينة الاسمنتية والتي تقلل من ارتكاز الحصى على بعضها البعض، وتقطع الاستناد بينها، مما يقلل من مقاومة الخلطة.  
أما نقصان عيار الاسمنت فيقلل من حجم العجينة الاسمنتية، وتصبح غير كافية لملء الفراغات بين الحصى، مما يسبب زيادة نسبة الفراغات، وبالتالي انخفاض مقاومة الخلطة البيتونية.
- 4- تزداد تشوهات التقلص والتشوهات (المرنة – اللزجة – اللدنة) للبيتون كلما زاد عيار الاسمنت.

يبين الجدولين (4-10)، و(4-11) من الكود السوري لعام 2012 الطبعة 4، العلاقة بين عيار الاسمنت (كمية الاسمنت بالـ Kg اللازمة لانتاج  $1 \text{ m}^3$  خرسانة)، وبين جودة الخرسانة (مقاومتها المميزة على الضغط  $f'c$  بعمر 28 يوم لعينات اسطوانية قياسية  $150\phi * 300$  mm)

الجدول (٤-١٠): مقاومة الضغط المميزة المحتملة في حالة الخرسانة المراقبة بشكل دقيق

450*			400		350	300	كمية الأسمنت kg/m <sup>3</sup>	
C45	C40	C35	C30	C25	C20	C18	درجة جودة الاسطوانة	
45	40	35	30	25	20	18	MPa	المقاومة الاسطوانية
450	400	350	300	250	200	180	kgf/cm <sup>2</sup>	المميزة المحتملة f' <sub>c</sub>

الجدول (٤-١١): مقاومة الضغط المميزة المحتملة في حالة الخرسانة غير المراقبة بشكل دقيق

450*	400	350	300	250	200	150	100	كمية الأسمنت kg/m <sup>3</sup>		
C25	C20	C18	C15	C12	C10	C8	C5	درجة جودة الخرسانة		
25	20	18	15	12	10	8	5	MPa	المقاومة الاسطوانية	
250	200	180	180	120	100	80	50	kgf/cm <sup>2</sup>	المميزة المحتملة f' <sub>c</sub>	
خرسانة مسلحة				خرسانة عادية		نظافة تحت الأساسات		ردم	مجال الاستعمال	

\* مع ضرورة إضافة ملدنات عالية الجودة super plasticizer وسيليكا فيوم silica fume.

### ماركة الاسمنت:

تعرف ماركة الاسمنت على أنها حد المتانة على الضغط بعمر 28 يوم، لعينات مكعبية من المونة الاسمنتية النظامية بوحدة MPa، والتي تتكون وفق المواصفة الأوربية (EN 196-1) من (1:3:0.5)، أي: (1 اسمنت، و3 رمل كوارتزي قاسي، و0.5 ماء)، وبناءً عليها يتم تصنيف الاسمنت إلى 3 (ماركات) وهي: 32.5, 42.5, 52.5، كما هو مبين في الجدول التالي:

Strength class صنف المقاومة (رتبة الاسمنت)	Compressive strength MPa			
	Early strength المقاومة المبكرة		Standard strength المقاومة القياسية	
	2 days يومان	7 days سبعة ايام	28 days ثمان و عشرون يوماً	
32.5L	-	≥12.0	≥32.5	≤52.5
32.5N	-	≥16.0		
32.5R	10.0≥	-		
42.5L	-	≥16.0	≥42.5	≤62.5
42.5N	10.0≥	-		
42.5R	≥20.0	-		
52.5L	≥10.0	-	≥52.5	-
52.5N	≥20.0	-		
52.5R	≥30.0	-		

حيث: L: اسمنت ذو مقاومة ابتدائية منخفضة، N: اسمنت ذو مقاومة ابتدائية عادية، R: اسمنت ذو مقاومة ابتدائية عالية.

### العوامل المؤثرة على مقاومة الاسمنت على الضغط:

هناك عدة عوامل من أهمها:

- 1- تركيب الاسمنت: بزيادة  $C_3S$  تزداد المقاومة المبكرة، وبزيادة  $C_2S$  تنخفض المقاومة المبكرة.
- 2- نعومة الاسمنت : طردية (بزيادتها تزداد المقاومة).
- 3- درجات الحرارة والرطوبة: تأثير درجات الحرارة عكسي، وتأثير الرطوبة طردية.
- 4- نسبة الماء / الاسمنت: عكسية (بزيادتها تقل المقاومة).
- 5- نسبة الرمل: عكسية.

### أنواع الاسمنت البورتلاندي :

#### 1- حسب تركيبه المينرالي:

- 1- الاسمنت عالي الآليت، يحتوي على ( $C_3S$ ) أكثر من 60%.
- 2- الاسمنت الأليتي، يحتوي على ( $C_3S$ ) بين 50% إلى 60%.
- 3- الاسمنت البيليتي، يحتوي على ( $C_2S$ ) أكثر من 35%.
- 4- الاسمنت الألوميناتي، يحتوي على ( $C_3A$ ) أكثر من 12%.
- 5- الاسمنت السيليتي، يحتوي على ( $C_3A$ ) أقل من 2%، وعلى ( $C_4AF$ ) أكثر من 18%.

#### 2- حسب المواصفة الأمريكية (ASTM C109):

يتم وفق هذه المواصفة تصنيف الاسمنت البورتلاندي إلى 5 أصناف مختلفة، كما هو مبين في الجدول التالي:

مقاومة الضغط: Compressive Strength (MPa)				Cement type نوع الاسمنت
28days	7days	3days	1day	
28	19	12	-	I
22	16	10	-	IA
28	17	10	-	II
22	14	8	-	IIA
-	-	24	12	III
-	-	19	10	IIIA
17	7	-	-	IV
21	21	8	-	V

حيث:

I: عادي، IA: عادي مع مولدات فقاعات، II: مقاومته للكبريتات متوسطة، IIA: مقاومته للكبريتات متوسطة مع مولدات فقاعات، III: مقاومة مبكرة عالية، IIIA: مقاومة مبكرة عالية مع مولدات فقاعات، IV: منخفض حرارة التمييه، V: مقاومته للكبريتات عالية.

3- حسب المواصفة الأوروبية (EN 197-1:2011):

يتم وفق هذه المواصفة تصنيف الاسمنت البورتلاندي إلى 27 صنف مختلف حسب نسبة المادة الفعالة فيه (الكلينكر)، ونسب الاضافات ان وجدت فيه، كما هو مبين في الجدول التالي:

Cement type	Notation	Clinker %	Addition %
CEM I	Portland cement CEM I	95-100	-
CEM II	Portland-slag cement II/A-S	80-94	6-20
	II/B-S	65-79	21-35
	Portland-silica fume cement II/A-D	90-94	6-10
	Portland-pozzolana cement II/A-P	80-94	6-20
	II/B-P	65-79	21-35
	II/A-Q	80-94	6-20
	II/B-Q	65-79	21-35
	Portland-fly ash cement II/A-V	80-94	6-20
	II/B-V	65-79	21-35
	II/A-W	80-94	6-20
	II/B-W	65-79	21-35
	Portland-burnt shale cement II/A-T	80-94	6-20
	II/B-T	65-79	21-35
	Portland-limestone cement II/A-L	80-94	6-20
	II/B-L	65-79	21-35
II/A-LL	80-94	6-20	
II/B-LL	65-79	21-35	
Portland-composite cement	II/A-M	80-94	6-20
	II/B-M	65-79	21-35
CEM III	Blastfurnace cement III/A	35-64	36-65
	III/B	20-34	66-80
	III/C	5-19	81-95
CEM IV	Pozzolanic cement IV/A	65-89	11-35
	IV/B	45-64	36-55
CEM V	Composite cement V/A	40-64	36-60
	V/B	20-38	61-80

انتهت المحاضرة الثانية