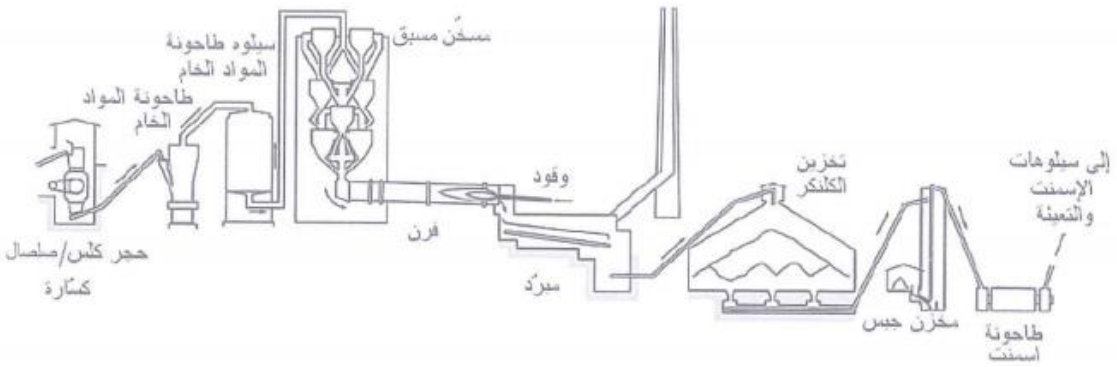
الاسمنت
"يتبع الروابط المعدنية المائية"

3- 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.

تصنيع الاسمنت:

يصنع الاسمنت البورتلاندي من كربونات الكالسيوم في شكل الحجر الكلسي أو الحجر الطبشوري، ومادة طينية كالغضار (الصلصال)، أو المارل، أو الطَفل (الصخر الطيني)، ويمكن إضافة مكونات ثانوية كأوكسيد الحديد، أو الرمل وذلك اعتماداً على تركيب المواد الخام والمنتج الدقيق المطلوب.
تنطوي العملية أساساً على نزع الكربون من كربونات الكالسيوم، وذلك بطرد ثاني أوكسيد الكربون، وتلبيد أوكسيد الكالسيوم الناتج (الكلس الحي) مع الصلصال، وأوكسيد الحديد.
تم تطوير أربعة متغيرات رئيسة في عملية التصنيع، وهي العمليات الرطبة، ونصف الرطبة، ونصف الجافة، والجافة.
تعتبر العملية الرطبة هي الممهدة للعمليات الأخرى، وهي لا تزال تستعمل في بعض المناطق، يتم فيها تشكيل روبة الصلصال، وروبة الكلس، ثم تخلطان مع بعضهما، ثم تجفف بالفرن بدرجة حرارة 1450°C، ثم تكلس، ثم تلبد إلى كتل قاسية رمادية/سوداء من كلينكر الاسمنت.
التطور الذي حصل في العمليات الأخرى نصف الرطبة ونصف الجافة هو تخفيض نسبة الماء المستخدمة في الروبة للتقليل من استهلاك الوقود اللازم لتبخر الماء.
في الطريقة الجافة يتم طحن الحجر الكلسي والصخر الطيني والرمل نموذجياً بالنسب التالية (80%، و17%، و3%) على التوالي، إلى مساحيق ناعمة، ثم خلطها لانتاج الطحين الجاف الذي يخزن في صوامع، ثم يتم تمريره عبر سلسلة من الدوامات لتسخينه بشكل تدريجي إلى الحرارة 750°C، ثم كلسنته عند الحرارة 900°C ، وذلك قبل تمريره إلى فرن ذو دوران سريع لانتاج الكلينكر عند الدرجة 1450°C، وبعد تبريد الكلينكر يطحن مع الجص بنسبة لا تتجاوز 5% لتأخير تجمد الاسمنت بسرعة عند خلطه بالماء.



شكل 1: تصنيع الاسمنت بالطريقة الجافة

الاسمنت البورتلاندي:

وهو عبارة عن مسحوق رمادي اللون، يمكنه التصلب في الماء والهواء، وقد أطلق عليه اسم البورتلاندي بسبب التشابيه الكبير بين الاسمنت بعد تصلبه، والأحجار الرمادية المنتشرة في جزيرة "بورتلاند" 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.

تركيب الاسمنت البورتلاندي:

إن المواد الأولية للاسمنت البورتلاندي هي حجر الطبشور، أو الحجر الكلسي، والصلصال، وهي تتألف بشكل أساسي من الكلس، والسيليكا، والألومينا، وأوكسيد الحديد. يوضح الجدول 2.3 تركيباً نموذجياً للاسمنت. تتفاعل هذه المركبات مع بعضها البعض خلال عملية الكلنكرة لانتاج المكونات الأربعة (المينرالات) الرئيسة للاسمنت البورتلاندي، الجدول 3.3.

عدا عن هذه المينرالات الرئيسة يمكن أن يتواجد في الكلينكر **أكاسيد** حرة غير متحدة وهي **ضارة**، مثل: أكسيد الكالسيوم الحر **(CaO)**، أكسيد المغنزيوم **(MgO)**، وأكسيد البوتاسيوم **(K_2O)**، وأكسيد الصوديوم **(Na_2O)**، 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 $1500)°C$)، ينطفئ ببطء شديد مع ازدياد في حجمه مما يتسبب في تشقق البيتون المتصلب.

تقدر نسبة المكونات الثانوية المشتملة على أكسيد المغنزيوم، وثالث أكسيد الكبريت، وأكاسيد الصوديوم والبوتاسيوم بنحو 2%. إن وجود الأكاسيد القلوية بنسب صغيرة يمكن أن يكون سبباً لحدوث تفاعل السليكا مع القلويات الذي يؤدي إلى تشقق الخرسانة عند استعمال بعض أنواع الحصويات التي تحتوي على السيليكا.

تستخدم الاختصارات التالية:

.(CaO): C, (SiO_2): S, (Fe_2O_3): F, (Al_2O_3): A, (H_2O): H

الجدول 2.3 التركيب النموذجي للمواد الأولية لصناعة الإسمنت البورتلاندي

المركب	النسبة المئوية
الكلس	68
السيليكا	22
الألومينا	5
أوكسيد الحديد	3
أكاسيد أخرى	2

الجدول 3.3 المركبات الرئيسية للإسمنت البورتلاندي وخواصها النوعية

المركب	الصيغة الكيماوية	رموز الإسمنت	الخواص
سيليكات ثلاثية الكالسيوم	$3CaO.SiO_2$	C_3S	تصلب سريع يعطي مقاومة مبكرة ونشر سريع للحرارة
سيليكات ثنائية الكالسيوم	$2CaO.SiO_2$	C_2S	تصلب بطيء يعطي تطوراً بطيئاً للمقاومة ونشر بطيء للحرارة
ألومينات ثلاثية الكالسيوم	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A	ترسب سريع يتم تأخيره بالجبس، تصلب سريع للحراة ولكن مقاومة نهائية أقل، عرضة لهجوم الكبريتات
ألومينو جديد رباعي الكالسيوم	$4CaO.\ Al_2O_3.\ Fe_2\ O_3$	C_4AF	تصلب بطيء بسبب اللون الرمادي في الإسمنت

دور الجص (gypsum) في تنظيم بداية ونهاية تجمد الاسمنت:

يتميز الكلينكر المطحون الصافي ببداية سريعة للأخذ حوالي (5-3) دقيقة، لذا عملياً لا يمكن استعماله لوحده من دون اضافة **مواد تؤخر زمن بداية الأخذ مثل الجص**، حيث يضاف بنسبة %(3.5-1.5) من وزن الكلينكر، وقد تصل في بعض الأحيان إلى 5%، حيث يتفاعل الجص مع الومينات الكالسيوم المائية ويتشكل ملح لا ينحل بالماء، لذا يجب أن تكون نسبة الجص المضافة متناسبة مع كمية (C_3A) الموجودة في الكلينكر، بحيث لا تقل عن (1.5%) من وزن الكلينكر، ولا تزيد على (3.5%).

إن الاسمنت الحاوي على هذه النسبة من الجص 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 وتتحول إلى الحالة الصلبة.

توجد عدة نظريات تشرح نظرية التصلب، منها **نظرية بابكوف** وبحسبها يقسم تصلب الاسمنت إلى ثلاثة مراحل:

1) الانحلال.

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

3) التبلور ثم التصلب.

فعند خلط الاسمنت مع الماء يحدث تأثير معقد فيزيائي كيميائي متبادل:

- ففي البداية تنحل مينرالات الكلينكر من سطح حبات الاسمنت حتى يتشكل محلول مشبع.
- ثم باتحاد الماء مع المينرالات 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.

تفاعلات الاماهة:

إن تفاعل مينرالات الكلينكر مع الماء يكون بالشكل التالي:

$$3CaO.SiO_2 + (n+1)H_2O = 2CaO.SiO_2.nH_2O + Ca(OH)_2$$

$$2CaO.SiO_2 + nH_2O = 2CaO.SiO_2.nH_2O$$

$$3CaO.Al_2O_3 + 6H_2O = 3CaO.Al_2O_3.6H_2O$$

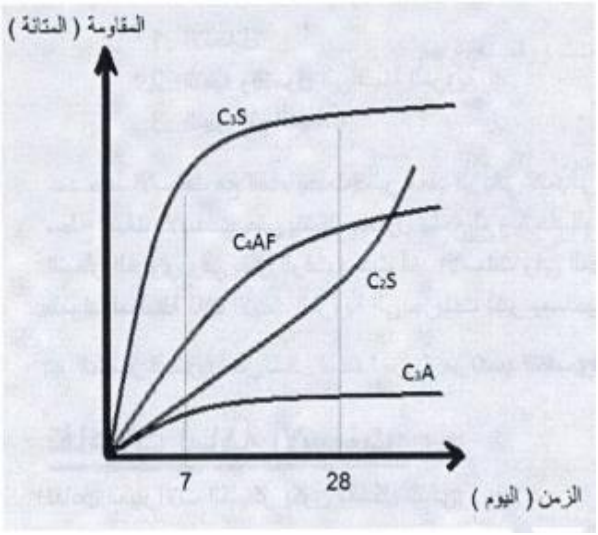
$$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3 + nH_2O = 3CaO.Al_2O_3.6H_2O + CaO.Fe_2O_3.(n-6)H_2O$$

تختلف سرعة تفاعل المينرالات مع الماء، أسرعها هو تفاعل (C_3A) مع الماء، ثم (C_4AF)، ثم (C_3S)، وأبطؤها هو تفاعل (C_2S)، انظر الشكل المجاور.

تؤثر سرعة تميه مينرالات الكلينكر على سرعة تصلبها.

إن C_3A هو أول مينرال يدخل في تفاعل الاماهة، ويكوّن في الدقائق الأولى كتلة صلبة (لأن الألمنيوم هو العنصر الأكثر نشاطاً)، لذا نعمد إلى زيادة نسبته في حال أردنا الحصول على اسمنت سريع الأخذ، وأما اذا أردنا تفاعلات متأخرة فإننا نزيد من نسبة C_2S.

نلاحظ من الشكل المجاور أنه لو أردنا اسمنت مقاومته المبكرة كبيرة فإننا نأخذ قيمة C_3S كبيرة أي اسمنت آليتي، أما إذا أردنا الحصول على متانة عالية بوقت متأخر نستعمل اسمنت بيليتي C_2S. يمكن صنع الاسمنت من دون اضافات، أو مع اضافة مواد فعالة بنسبة تصل إلى (15%) من وزن الاسمنت.



شكل (2): تغير المقاومة مع الزمن حسب المركبات الأربعة للعجينة الاسمنتية المميهة PC

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 تميه C_3S ، وتتشكل سيليكات الكالسيوم المائية (C-S-H) التي لا تنحل في الماء، وبالتالي تعمل على رفع مقاومة البيتون ضد الماء. أي:

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + (n-1)H_2O \longrightarrow CH.SiO_2.nH_2O$$

$$CH + S + H \longrightarrow C\text{-}S\text{-}H$$

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.

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 $300\text{-}400\ Kg/m^3$.

اذا كان C<300، تصبح العجينة الاسمنتية غير كافية لملء الفراغات بين الحصويات، مما يزيد من نسبة الفراغات ويقلل الوزن الحجمي للخلطة.

واذا كانت C>400، يزداد حجم العجينة الاسمنتية على حساب حجم الحصويات، وبما أن الوزن النوعي الكلي للعجينة الاسمنتية أقل من الوزن النوعي للحصويات، فهذا يقلل الوزن الحجمي للخلطة البيتونية .

3- تزداد **مقاومة الخلطة على الضغط** تبعا لعيار الاسمنت الى حد معين $300\text{-}400Kg/m^3$ 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 الحصويات 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 الحصويات، 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 m^3 خرسانة)، وبين **جودة الخرسانة** (مقاومتها المميزة على الضغط f'c بعمر 28 يوم لعينات اسطوانية قياسية mm (300*ϕ150)

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

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

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

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

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

تصنيف متانة الاسمنت (ماركة الاسمنت):

تعرف متانة الاسمنت (ماركة الاسمنت) على أنها حد المتانة على الضغط بعمر 28 يوم، لعينات مكعبية (40*40*40)mm، من المونة الاسمنتية النظامية بواحدة MPa، والتي تتكون وفق المواصفة الأوربية **(EN 196-1)** من (1:3:0.5)، أي: (1 اسمنت، و3 رمل كوارتزي قاسي، و 0.5 ماء)، وبناءً عليها يتم تصنيف متانة الاسمنت إلى 3 (**ماركات**) وهي: 32.5. 42.5, 52.5 ، كما هو مبين في الجدول المرافق، كما أن لكل صنف متانة للاسمنت هناك أصناف فرعية مقترنة بها للمتانة المبكرة:

R: للمتانة المبكرة العالية، وN: للمتانة المبكرة العادية، L : للمتانة المبكرة المنخفضة.

مثال: الاسمنت ذو الرمز **CEM I 42.5R**

يعني أنه اسمنت بورتلاندي ذو المتانة المبكرة العالية، وماركته 42.5 أي أن حد المتانة على الضغط له في عمر 28 يوم يساوي 42.5 MPa

Strength class صنف المقاومة (رتبة الاسمنت)	Compressive strength MPa مقاومة الضغط 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	-		

العوامل المؤثرة على متانة الاسمنت:

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 طردي.
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 الآليتي، يحتوي على (C_3S) بين 50% إلى 60%.
3- الاسمنت البيليتي، يحتوي على (C_2S) أكثر من 35%.
4- الاسمنت الألومينياتي، يحتوي على (C_3A) أكثر من 12%.
5- الاسمنت السيليتي، يحتوي على (C_3A) أقل من 2%، وعلى (C4AF) أكثر من 18%.

2- <u>حسب المواصفة الأمريكية (ASTM C109):</u>

يتم وفق هذه المواصفة تصنيف الاسمنت البورتلاندي إلى 7 أصناف مختلفة وهي:

I: عادي

IA: عادي مع مولدات فقاعات

II: مقاومته للكبريتات متوسطة

IIA: مقاومته للكبريتات متوسطة، مع مولدات للفقاعات.

III: مقاومة مبكرة عالية

IV: منخفض حرارة التميه

V: مقاومته للكبريتات عالية

3- **<u>حسب المواصفتين الأوربية (EN 197-1:2011)</u>، <u>والبريطانية (BS EN 197-1:2000)</u>:**

يضع المعيارين الأوربي والبريطاني خمسة أنواع رئيسة للإسمنت وهي:

نوع الاسمنت	رمز الاسمنت	الاسم
I	CEM I	الاسمنت البورتلاندي
II	CEM II	الاسمنت البورتلاندي المركب
III	CEM III	اسمنت الفرن العالي
IV	CEM IV	الاسمنت البوزولاني
V	CEM V	الاسمنت المركب

في هذه الأنواع الخمسة الرئيسة، يسمح بادراج مجال واسع من المكونات الاضافية بما فيها هباب السيليكا، والبوزولانا الطبيعية والصناعية، والرماد المتطاير الكلسي أو السيليكوني، والصخر الطيني المحروق (الطَفل المحروق) كما هو مبين في الجدول المواصفة الأوربية (9.3) المرافق.

ملاحظات:

أحرف الكود المستعملة في المواصفة الأوربية في الجدول (9.3) هي:

D: هباب السيليكا، F: مادة مالئة، K: كلينكر الاسمنت البورتلاندي، L/LL: الحجر الكلسي، M: مخلوط، P: بوزولانا طبيعية، Q: بوزولانا صناعية، S:خبث الفرن العالي المحبحب،، T: الصخر الطيني المحروق، V: رماد متطاير سيليسي، W: رماد متطاير كلسي،LH: اسمنت ذو حرارة منخفضة، VLH: اسمنت ذو حرارة منخفضة جداً، LL: حجر كلسي ذو محتوى كربون عضوي اجمالي لا يزيد على 0.2%، L: حجر كلسي ذو محتوى كربون عضوي اجمالي لا يزيد على 0.5%،

وفيما يتعلق بمتانة الكبريتات لدينا الرمز A للمتانة المنخفضة، والرمز G للمتانة المرتفعة.

الإسمنت البورتلاندي الأبيض

يُصنَع الإسمنت البورتلاندي الأبيض من مواد خالية بطبيعة الحال من أوكسيد الحديد والشوائب الأخرى التي تُعطي اللون الرمادي للإسمنت البورتلاندي. يستعمل الصلصال الصيني (China Clay) والحجر الكلسي عادة، ويتمّ إشعال الفرن بالغاز الطبيعي أو النفط بدلاً من الفحم الحجري المسحوق. كما تستعمل المطاحن الخالية من الحديد في عمليات الطحن لمنع تلويث اللون. وبسبب عمليّات التصنيع الخاصة، فإنّ سعر الإسمنت الأبيض يُعادل تقريباً ضعفي سعر نظيره من الإسمنت الرمادي. ولتعزيز البياض، يمكن أن يُضاف حتى 5% من صباغ أوكسيد التيتانيوم الأبيض. والمنتج القياسي هو من صنف المتانة 52.5 N. تشمل تطبيقات الإسمنت الأبيض الطّينة وحجر الصب والخرسانة المسبقة الصنع والخرسانة البُنيوية في الموقع والكحلة (Pointing).

الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات

يعدّ الإسمنت البورتلاندي المُقاوم للكبريتات مناسباً للخرسانة والملاط التي تكون على تماس مع الترب والمياه الجوفية المحتوية على كبريتات ذائبة بنسب أقل من المستويات العظمى (مقيسة كثالث أوكسيد الكبريت) البالغة 2% في التربة أو 0.5% في المياه الجوفية. ففي الإسمنت البورتلاندي العادي تكون ألومينات ثلاثية الكالسيوم المتميّهة عرضةً لهجوم الكبريتات الذائبة، إلا أنّه في الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات تكون نسبة هذا المكون 3.5% كحدّ أقصى. وللحصول على ديمومة عظمى، لا بدَّ أن تكون الخرسانة عالية الجودة، كثيفة وغير نفوذة. ويُعرَف الإسمنت المقاوم للكبريتات أيضاً بأنه المنخفض القلوي (LA) استناداً إلى المعيار البريطاني (BS 42027: 1996) لاحتوائه على أقل من 0.6% من قلويات (مقاسة كأوكسيد صوديوم). وبالتالي يمكّن من تصنيع الخرسانة المعمّرة، من دون خطر تفاعل سيليكا مع قلوي لاحق، بحصويات نشطة واستعمالٍ للإسمنت حتى 500 kg./ m^3 شريطة عدم وجود قلويات أخرى.

إسمنت أعمال البناء

يكون ملاط الإسمنت البورتلاندي قويّاً أكثر من الضرورة، ويركّز أيّة حركة تفاضلية في أعمال الآجُرّ أو البلوك في شقوق قليلة كبيرة وغير مرئية، يمكن أن تزيد من خطر تغلغل المطر (Rain Penetration). في حين ينتج إسمنت أعمال البناء ملاطاً أضعف، يسمح ببعض الحركة التفاضليّة، ويضمن توزع الشقوق الشعرية في الوصلات، محافظاً بالتالي على سلامة الآجُرّ والبلوك. ويحتوي إسمنت أعمال البناء على مواد مالئة معدنية حافظة للماء، عادةً الحجر الكلسي المطحون، وعناصر إدخال الهواء لإعطاء قابلية تشغيل أعلى من الإسمنت البورتلاندي غير المخلوط. ولا ينبغي عادةً خلط إسمنت البناء مع إضافات أخرى، بل يُخلَط مع رمل بناء بالنسب بين واحد إلى أربعة وواحد إلى ستة ونصف وفقاً لدرجة تعرض أعمال الآجُرّ أو البلوك. ويزيد الهواء المُدْخَل أثناء الخلط من ديمومة الملاط المتصلب ومقاومته للصقيع. كما أنّ إسمنت أعمال البناء يعد مناسباً للاستعمال في الطينة، ولكن ليس لأعمال تسوية الأرضيات أو أعمال الخرسانة. لذلك يستعمل عادة كبديل للإسمنت البورتلاندي مع الكلس المتميّه أو الملدن. يمكن إدخال صباغات لاعضوية، فيما عدا تلك المحتوية على الكربون الأسود، وذلك لإضفاء أثر بصري. ويبيّن الجدول 8.3 أصناف المتانة لإسمنت أعمال البناء.

الجدول 8.3 أصناف المتانة لإسمنت أعمال البناء
وفقاً للمعيار BS EN 413-1:2004

أصناف المقاومة		مقاومة الضغط (MPa)
المقاومة المبكرة بعمر 7 أيام	المقاومة القياسية بعمر 28 يوماً	
MC 5	-	5 ـ 15
MC 12.5	⩾ 7	12.5 ـ 32.5
MC 12.5X	⩾ 7	12.5 ـ 32.5
MC 22.5X	⩾ 10	22.5 ـ 42.5

ملاحظات: الإسمنت البنائي صمم من قبل Mc، ويشير الحرف X، إلى أنواع الإسمنت التي لا تشتمل على عامل النفوذية.

جدول (9.3): الأنواع العامة للاسمنت وفق المواصفة الأوربية:

Cement types and compositions permitted by EN 197-1

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