المحاضرة السابعة **أصناف الإسمنت البورتلاندي**

اعتماداً على معرفة الصفات العامة لمكونات الإسمنت يمكن معرفة صفات صنف من أصناف الإسمنت إذا عُلمت النسب المئوية لمكوناته، فالإسمنت الغني بـC_3S والفقير ببقية المكونات يبدي مقاومة مبكرة عالية، والإسمنت الغني بـC_3A و C_3S ينشر كمية كبيرة من الحرارة في الأيام الأولى، والإسمنت الغني بـC_2S تكون مقاومته المبكرة منخفضة ترتفع على المدى البعيد. بما أن C_3S و C_2S هما المركبان المسؤولان عن المقاومة النهائية، فإن المقاومة على المدى البعيد تتناسب مع مجموع المكونين ($C_2S + C_3S$).

إن المناقشة السابقة عامة تعطي معلومات غير محددة لأنها تخلو من مرجع محدد يمكن المقارنة معه. لذلك حددت المواصفات العالمية أصنافاً للإسمنت متضمنة النسب المئوية التقريبية للمكونات في كل صنف، من هذه المواصفات العالمية: المواصفة القياسية الأمريكية للمواد واختباراتها المعروفة اختصاراً بـASTM، والمواصفة البريطانية BS 12/91، والمواصفة الأوروبية الموحدة EN / 197-1/2000، والمواصفة السورية القياسية رقم 1887/97/. سندرس بشيء من التفصيل أصناف الإسمنت حسب الـASTM وعلاقة تركيب كل صنف بصفاته العامة.

7-1 أصناف الإسمنت البورتلاندي حسب ASTM:

يُصنف الإسمنت البورتلاندي حسب الـASTM إلى خمسة أصناف تُعطى الأرقام من واحد إلى خمسة باستخدام الأرقام الرومانية (I , II , III , IV , V). تحوي الأصناف الخمسة كل مكونات الإسمنت البورتلاندي بنسب مختلفة وبنعومات مختلفة كما هو موضح في الجدول التالي:

	I	II	III	IV	V
C_3S %	50	45	60	25	40
C_2S %	25	30	15	50	40
C_3A %	12	7	10	5	4
C_4AF %	8	12	8	12	10
النعومة Cm^2/g	3500	3500	4500	3000	3500
المقاومة (بعد يوم واحد) Kg/cm^2	70	60	140	30	60
حرارة الإماهة (بعد 7 أيام) J/g	330	250	500	210	250

الجدول (1-7): أصناف الإسمنت البورتلاندي حسب ASTM

الصنف I:

يدعى الإسمنت البورتلاندي العادي المستعمل في مجال البناء في الحالات العادية التي لا تتطلب مواصفات خاصة للإسمنت. سنعتمد على النسب والقيم الخاصة بالصنف **I** عند دراسة بقية الأصناف ونقارنها بالصنف رقم **I**.

الصنف II:

هو الصنف الأكثر ملاءمة للاستعمال في الطقس الحار لأن نسبة C_3A منخفضة إلى 7% كما أن نسبة C_3S أقل من نسبتها في الصنف **I** وكلا المركبين ينشر حرارة كبيرة بسبب تفاعلات الإماهة. تبلغ حرارة إماهته بعد 3 أيام 250 J/g وهي أقل من الحرارة المنتشرة عند استعمال الصنف **I**.

تقل المقاومة المبكرة بعمر يوم واحد في الصنف **II** عن الصنف **I** بسبب انخفاض نسبة C_3S لكن المقاومة النهائية تكون نفسها تقريباً لأن مجموع $C_2S + C_3S$ في الصنفين **I** و **II** هو 75%. في الطقس الحار يكون تفاعل الإسمنت مع الماء أسرع وتنتشر الحرارة بوقت أقصر مما يزيد من احتمال التشقق الحراري لذلك يُفضل استعمال الصنف **II** بدلاً من الصنف **I** خاصة في الكتل الخرسانية الكبيرة.

الصنف III:

هو الصنف الأكثر ملائمة للاستعمال في الطقس البارد وعموماً في الحالات التي يرغب فيها بالحصول على مقاومة مبكرة عالية. يتميز الصنف **III** بارتفاع نسبة C_3S المسؤولة عن المقاومة المبكرة، كما تزداد نعومة هذا الصنف إلى $4500\ cm^2/g$ مما يعني زيادة سطح التماس بين الماء والإسمنت وتفاعل كمية أكبر من الإسمنت في المراحل الأولى من التفاعل وهذا يؤدي إلى ارتفاع المقاومة المبكرة إذ تبلغ مقاومته بعد يوم واحد ضعفي مقاومة الصنف **I**. كما ترتفع حرارة الإماهة إلى $500\ J/g$ وهذا يساعد على إبقاء الخرسانة دافئة بعض الشيء في الطقس البارد إذا تمت تغطيتها بعد الصب وعزلها مأمكن حرارياً عن الهواء البارد.

يستعمل هذا الصنف في الحالات التي تتطلب الحصول على مقاومة مبكرة عالية كما في حالة تحضير الجدران الخرسانية مسبقة الصنع، إذ يمكن فك القوالب لإعادة استعمالها في زمن أقصر. إن ازدياد المقاومة المبكرة لا يعني بالضرورة ازدياد المقاومة النهائية لأن مجموع نسبة $C_2S + C_3S$ في هذا الصنف هي أيضاً 75%. لا يجوز استخدام هذا الصنف من الإسمنت في الكتل الخرسانية الضخمة كالسدود بسبب سرعة تفاعلات الإماهة وارتفاع كمية الحرارة المنتشرة في الأيام الأولى مما يؤدي إلى حصول التشققات الحرارية.

الصنف IV:

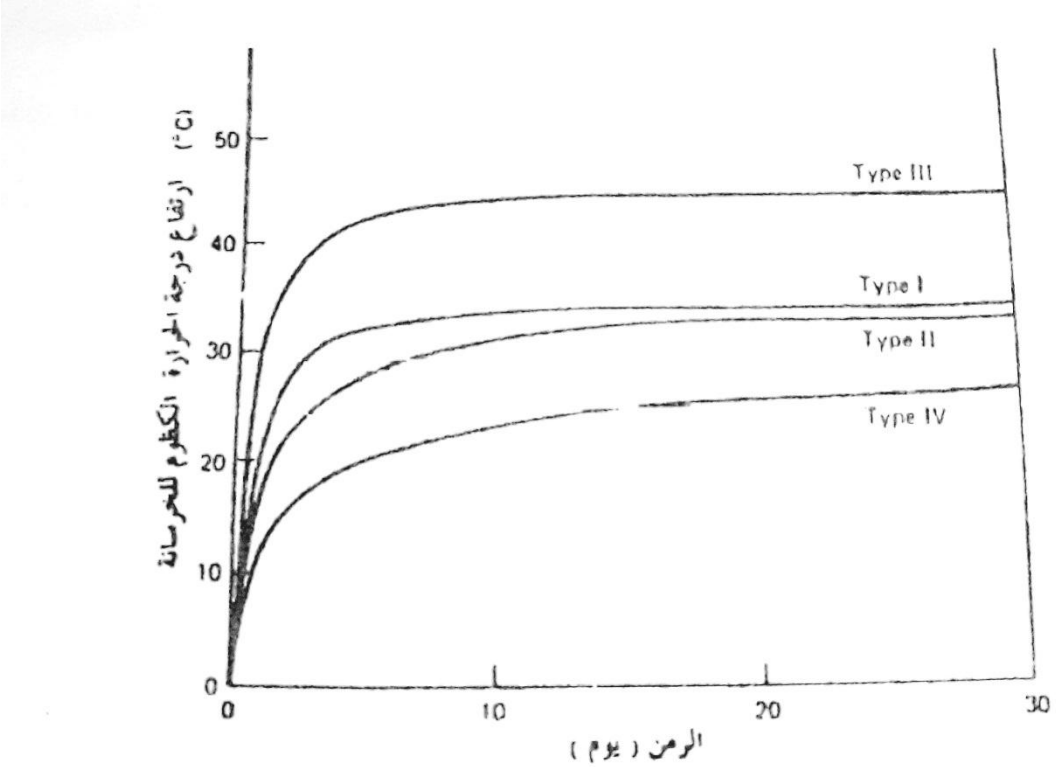
يدعى إسمنت السدود، ويتميز بانخفاض نسبة كل من C_3S و C_3A الناشران الأكبران للحرارة، وبتناقص النعومة إلى $3000\ cm^2/g$، كل ذلك يؤدي إلى بطء تفاعلات الإماهة وقلة انتشار الحرارة في المراحل الأولى من التفاعل وهذا يساعد على تجنب مشكلة التشققات الحرارية. تكون المقاومة المبكرة منخفضة فهي بعمر يوم واحد $30\ Kg/cm^2$ لكن المقاومة النهائية تكون مقاربة لبقية الأصناف إذ إن مجموع $C_2S + C_3S$ هو 75% أيضاً.

الصنف V:

يدعى الإسمنت المقاوم للتآكل الكبريتاتي، ومايميز هذا الصنف هو انخفاض نسبة C_3A إلى ما دون 5%. إن شوارد الكبريتات SO_4^{-2} يمكن أن تسبب نوعاً خطيراً من التآكل الكيميائي للخرسانة عندما تدخل إلى الخرسانة مع المياه التي ترشح خلال الجدران الإسمنتية حيث تتفاعل مع نواتج إماهة C_3A كما سنرى بالتفصيل في بحث التآكل الكيميائي للخرسانة. لذلك يجب أن يكون محتوى الإسمنت من C_3A منخفضاً إلى دون 5% لضمان عدم حصول التآكل الكبريتاتي.

7-2 الحرارة المنتشرة من تفاعلات الإماهة لأصناف الإسمنت:

إن كمية الحرارة الكلية الناتجة عن تفاعلات الإماهة يمكن حسابها من معرفة نسب مكونات كل صنف من الأصناف الخمسة، أما ارتفاع درجة حرارة الكتل الإسمنتية، والذي يتحدد بعاملين هما: معدل انتشار الحرارة ومعدل تبدد الحرارة إلى الوسط الخارجي، فيختلف من صنف لآخر. يبين الشكل التالي ارتفاع درجة الحرارة الكظوم داخل الكتل الخرسانية عند إماهة أصناف الإسمنت الخمسة، والمقصود بالكظوم هو تراكم الحرارة دون تبادلها مع الوسط الخارجي.



الشكل (1-7): ارتفاع درجة الحرارة أثناء إماهة أصناف الإسمنت

7-3 التركيب الكيميائي للإسمنت وعلاقات بوغ (Bogue):

يتضح من الدراسة السابقة أهمية تحديد النسب المئوية لمكونات الإسمنت في معرفة الصفات العامة له ومدى مطابقة الإسمنت المنتَج للصنف المقصود إنتاجه، إذ إن أي اختلاف في نسب المواد الأولية أو تغير في درجة حرارة الفرن أو مدة بقاء المواد داخله يؤدي إلى اختلاف نسب C_3S و C_2S و C_3A و C_4AF وهذا ينعكس على الصفات العامة للإسمنت المنتَج.

لذلك ولضبط نوعية الإسمنت والتأكد من سلامة نوعيته تقوم المخابر الكيميائية في معامل الإسمنت بأخذ عينات من الإسمنت بشكل دوري ومستمر كل بضع ساعات وتقوم بعملية تحليل كيميائي لمعرفة نسب الأكاسيد الرئيسية الموجودة في الإسمنت. يتم هذا العمل إما بطرق التحليل الكيميائي التقليدية أو باستعمال أجهزة حديثة تعتمد على انعراج الأشعة السينية.

إن طرق التحليل الكيميائي التقليدية هي السائدة المعتَمَدة في المواصفات العالمية وتستعملها بشكل كامل أو بشكل جزئي كل معامل الإسمنت وتتلخص في أخذ وزن معين من الإسمنت وحله بحمض

كلور الماء فتنحل كل المكونات تقريباً عدا السيليكا التي تُفصل بالرشح، ثم يُمدد المحلول ويُقسم إلى أجزاء تُاير في كل جزء شاردة معينة وبالنهاية تُحدد كمية الشوارد الرئيسة التالية: الكالسيوم والمغنيزيوم والحديد والألمنيوم والكبريتات بالإضافة إلى السيليكا والبقايا غير المنحلة. ثم تُحسب هذه الشوارد كأكاسيد وتُعطى النتيجة كنسبة مئوية لهذه الأكاسيد في الإسمنت، والجدول التالي يعطي هذه القيم لعينة من الإسمنت:

الأكسيد	النسبة الوزنية المئوية
CaO	64.6
SiO_2	20.4
Al_2O_3	5.1
Fe_2O_3	3.2
MgO	1.8
SO_3	2.7
النعومة ($cm^2//g$)	3800

الجدول (2-7): التحليل الكيميائي لعينة إسمنت

اعتماداً على نتائج التحليل الكيميائي لعينة الإسمنت يمكن حساب النسبة المئوية للمكونات الرئيسة C_3S و C_2S و C_3A و C_4AF وذلك بعد كتابة المعادلات الممثلة لتشكل كل مادة وإجراء الحسابات اللازمة. يُلاحظ أن أكسيد الكالسيوم متوزع في المكونات الأربعة لذلك يرمز لكمية CaO في كل مكون برمز مجهول ويُكتب عدد من المعادلات بعدد المجاهيل وتُحل مع بعضها، وكذلك بالنسبة لبقية الأكاسيد. تحتاج هذه العملية إلى بعض الوقت والجهد، لذلك قام أحد المهتمين بهذه الحسابات بتطوير علاقات رياضية تتضمن بعض الأرقام الثابتة لحساب النسب المئوية مباشرة لمكونات الإسمنت، تدعى هذه العلاقات بعلاقات "بوغ" وهي مجموعتان من العلاقات:

- **المجموعة الأولى:** وتُطبق إذا كانت النسبة $\frac{A}{F}$ **> 0.64** وهي:

$$C_3S = 4.071(C) - 7.60(S) - 6.718(A) - 1.43(F) - 2.852(\bar{S})$$
$$C_2S = 2.867(S) - 0.7544(C_3S)$$
$$C_3A = 2.650(A) - 1.692(F)$$
$$C_4AF = 3.043(F)$$

- **المجموعة الثانية:** وتُطبق إذا كانت النسبة $\frac{A}{F}$ **< 0.64** وهي:

$$C_3S = 4.071(C) - 7.60(S) - 4.479(A) - 2.859(F) - 2.852(\bar{S})$$
$$C_2S = 2.867(S) - 0.7544(C_3S)$$
$$C_3A = 0$$
$$C_4AF = 2.10(A) + 1.702(F)$$

إن القيم الموجودة بين قوسين هي النسب الوزنية المئوية للأكاسيد المعطاة بحسب التحليل الكيميائي. يكفي أن تُعوض هذه القيم في العلاقات المذكورة أعلاه لحساب النسب المئوية المطلوبة مباشرة، وقد زودت الحواسيب ببرامج خاصة تقوم بالحسابات مباشرة بعد إدخال النسب الوزنية للأكاسيد الناتجة من التحليل الكيميائي إلى الحاسوب.

تطبيق:

1- ماهي النسب المئوية لمكونات الإسمنت الرئيسية في عينة من الإسمنت أعطى التحليل الكيميائي لها نتائج مماثلة لتلك النتائج الواردة في الجدول (2-7).

2- ماهي الصفات العامة لهذا الصنف من الإسمنت مقارنة مع الصنف **I** حسب ASTM.

الحل:

1- يلاحظ أن النسبة $\frac{A}{F} > 0.64$ لذلك نطبق مجموع علاقات بوغ الأولى وبالتعويض نجد:

$C_3S = 4.071(64.6) - 7.60(20.4) - 6.718(5.1) - 1.43(3.2) - 2.852(2.7)$

$C_3S = 61.41\%$

$C_2S = 2.867(20.4) - 0.7544(61.41) = 12.16\%$

$C_3A = 2.650(5.1) - 1.692(3.2) = 8.11\%$

$C_4AF = 3.043(3.2) = 9.74\%$

2- تركيب هذا الصنف من الإسمنت قريب من الصنف III حسب ASTM نظراً لارتفاع نسبة C_3S مقارنة مع الصنف I لذلك يبدي مقاومة مبكرة عالية. كما أنه ناشر للحرارة أكثر من الصنف I لأن نسبة C_3S مرتفعة ولأنه أكثر نعومة من الصنف I أيضاً، ويصلح للاستخدام في الطقس البارد. ولايصلح للكتل الخرسانية الضخمة كالسدود ولايقاوم التآكل الكبريتاتي لارتفاع نسبة C_3A إلى أكثر من 5% وهي 8.11%.المقاومة النهائية تقارب الصنف I لأن مجموع نسب $C_2S + C_3S$ هي 73.5% وهي قريبة من 75% للصنف I.

7-4 الإسمنت المخلوط:

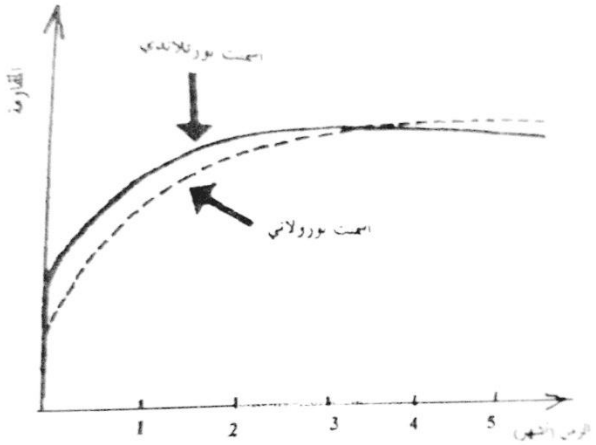
إذا أُضيف إلى الإسمنت البورتلاندي أثناء طحنه مواد أخرى مثل الخبث أو الأحجار الكلسية أو البوزولانا بنسبة صغيرة لا تتجاوز 5% تبقى تسمية الإسمنت "الإسمنت البورتلاندي". أما إذا أُضيفت هذه المواد بنسبة 5-20% فنحصل على إسمنت مخلوط يكون اسمه حسب المادة المضافة: إسمنت (بورتلاندي - خبثي) أو إسمنت (بورتلاندي - كلسي) أو إسمنت (بورتلاندي - بوزولاني) وإذا تجاوزت نسبة المادة المضافة 20% فيصبح اسمه بحسب نوع المادة المضافة إلى الإسمنت مثل: الإسمنت الخبثي والإسمنت الكلسي والإسمنت البوزولاني.

7-4-1 الإسمنت البورتلاندي – البوزولاني:

هو مزيج من الإسمنت البورتلاندي والبوزولانا تكون نسبة البوزولانا في المجال 5-20% ومادة البوزولانا هي مواد سيليكاتية طبيعية أو صناعية تحوي مواد سيليكاتية فعالة تكون غالباً غير متبلورة. يمكن لهذه المواد السيليكاتية أن تتفاعل ببطء مع ماءات الكالسيوم والماء لتشكل سيليكات الكالسيوم المائية وهي المادة الرابطة الرئيسة في الإسمنت المتصلب. إن ماءات الكالسيوم تنشأ عن إماهة C_3S و C_2S وهي بلورات موشورية ليس لها دور رابط تنحل جزئياً في الماء مما يؤدي إلى تآكل الخرسانة، كما أن البوزولانا نفسها مادة غير رابطة، لكنها يمكن أن تتفاعل مع ماءات الكالسيوم وينتج عن التفاعل مادة رابطة هي C – S – H تساهم في زيادة الترابط بين مكونات الخرسانة. إن التفاعل المذكور يترافق مع زيادة في حجم المادة الصلبة، هذه الزيادة في الحجم تملأ قسماً من المسامات في الخرسانة فتقل نفوذيتها للماء وتزداد كتامتها وبالتالي تصبح أكثر مقاومة للتآكل الكيميائي بسبب انخفاض عامل النفوذية.

توجد البوزولانا في الطبيعة في المناطق البركانية بشكل أحجار مسامية ناتجة عن صخور اندفاعية غنية بالمواد السيليكاتية غير المتبلورة كما في منطقة شهبا في جبل العرب ومنطقة في إيطاليا جوار قرية بوزولي التي اشتُق منها اسم بوزولانا. أما البوزولانا الصناعية فهي الرماد الناتج عن محطات الطاقة الحرارية التي تستعمل الفحم الحجري كوقود ويتخلف عن الاحتراق رماد سيليكاتي ناعم يدعى الرماد المتطاير بشكل بودرة ناعمة جاهزة للاستعمال بمزجها مع الإسمنت البورتلاندي.

يكون تفاعل البوزولانا مع ماءات الكالسيوم بطيئاً يستغرق عدة أشهر، لذلك تكون مقاومة الخرسانة المحضرة باستعمال الإسمنت البوزولاني أقل مقاومة في الشهرين الأولين من مقاومة الخرسانة المحضرة بالإسمنت البورتلاندي، لكن مع مرور الزمن تزداد مقاومة خرسانة الإسمنت البوزولاني لتصبح مساوية لمقاومة خرسانة الإسمنت العادي ثم يمكن أن تصبح أكبر وهذا يعود إلى كمية البوزولانا المضافة ومدى فعاليتها إذ ليست لكل المواد البوزولانية الفعالية نفسها. تظهر فعالية المادة البوزولانية من خلال تزايد المقاومة مع الزمن كما يتضح من الشكل (2-7) ومن تزايد كتامة الخرسانة وانخفاض حجم المسامات. أما إذا كانت المادة البوزولانية غير فعالة فإن دورها يكون كمادة صلبة مالئة فقط مثل بقية الرمال أو الحصويات الصلبة المضافة ولا يلاحظ تحسن في المقاومة على المدى البعيد بعد عدة أشهر من الصب.



الشكل (2-7): تطور المقاومة للإسمنت البوزولاني والبورتلاندي مع الزمن

يمكن تلخيص أهم الميزات من استعمال الإسمنت البوزولاني بالنقاط التالية:

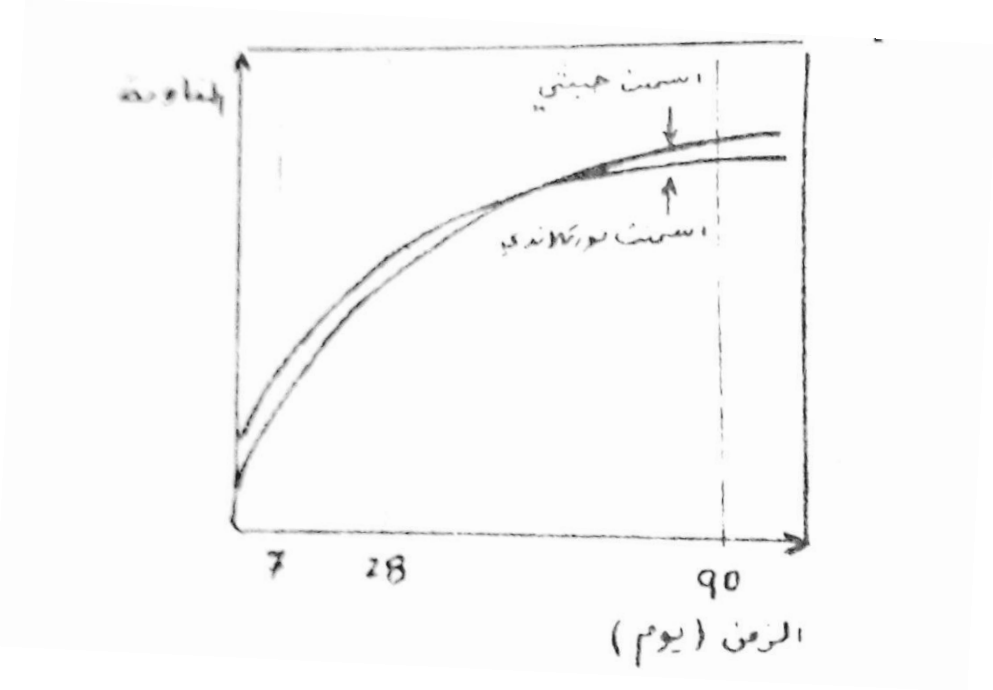
- تحقيق بعض الوفر المالي بسبب استبدال كمية من البوزولانا رخيصة الثمن بكمية من الإسمنت البورتلاندي.
- الإسمنت البوزولاني أقل نشراً للحرارة من الإسمنت البورتلاندي، لذلك يمكن استعماله في الطقس الحار وفي الكتل الكبيرة الأبعاد لأن احتمال التشقق الحراري يكون أقل.
- الخرسانة الناتجة عند استعمال الإسمنت البوزولاني تكون أكثر كتامة أو أكثر مقاومة لرشح المياه.
- الخرسانة الناتجة عند استعمال الإسمنت البوزولاني أكثر مقاومة للتآكل الكيميائي وخاصة التآكل الكبريتاتي وللتآكل بسبب مرور الماء الحاوي حمض الكربون.
- على الرغم من توفير نسبة من الإسمنت وضعف المقاومة المبكرة، لكن المقاومة النهائية تكون جيدة وتساوي إن لم تكن أفضل من مقاومة خرسانة الإسمنت البورتلاندي.
- يمكن التغلب على ضعف المقاومة المبكرة لخرسانة الإسمنت البوزولاني بزيادة نعومة الإسمنت والبوزولانا.

7-4-2 الإسمنت الخبثي:

وهو أحد أنواع الإسمنت المخلوط ويتألف من الإسمنت البورتلاندي مضافاً إلى مادة الخبث الناتجة من الأفران العالية لتعدين الحديد كمنتَج ثانوي. يتألف الخبث من عدة مركبات أهمها: ميتاسيليكات الكالسيوم $CaSiO_3$ وألومينات الكالسيوم $CaAl_2O_4$ وفوسفات الكالسيوم $Ca_3(PO_4)_2$ تُطحن مادة الخبث مع الكلينكر فنحصل على الإسمنت الخبثي.

يُستعمل الإسمنت الخبثي الذي يحوي نسبة عالية من الخبث قد تصل إلى 40% في تحضير المنشآت الخرسانية التي لاتتعرض لحمولات وإجهادات كبيرة وفي أعمال الطينة وفي الخرسانة الملامسة لمياه البحر. تتفاعل مكونات الخبث مع الماء في وسط قلوي ناتج عن وجود ماءات الكالسيوم، فتنتج مواد لها صفة رابطة تساهم في زيادة التماسك وتحسين المقاومة لتعويض انخفاض المقاومة بسبب استبدال كمية من الخبث بكمية من الإسمنت البورتلاندي ويمكن أن تصل مقاومة الإسمنت الخبثي إلى مقاومة الإسمنت البورتلاندي العادي بعد أن تتم كل التفاعلات الكيميائية بعد عدة أشهر من المزج. يؤدي وجود الخبث في الإسمنت الخبثي إلى تحسن في قابلية

التشغيل مما يسمح بإنقاص النسبة $\frac{W}{C}$ واكتساب بعض المقاومة، كما أن حرارة الإماهة أقل من حرارة إماهة الإسمنت البورتلاندي، وعامل التمدد الحراري لخرسانة الإسمنت الخبثي أقل بمقدار 10% من خرسانة الإسمنت البورتلاندي. الشكل (3-7) يوضح تغير مقاومة الإسمنت الخبثي مع الزمن بالمقارنة مع الإسمنت البورتلاندي.



الشكل (3-7): تطور المقاومة مع الزمن للإسمنت الخبثي

يُفضل أن تكون نعومة الإسمنت الخبثي أعلى قليلاً من نعومة الإسمنت البورتلاندي لتعويض الانخفاض في المقاومة في الأسابيع الأولى من المزج، ونظراً لانخفاض حرارة إماهة الإسمنت الخبثي يمكن استعماله في الكتل الخرسانية الكبيرة. كما يستعمل كإسمنت مقاوم للتآكل الكبريتاتي لانخفاض نسبة C_3A ولذلك يستعمل الإسمنت الخبثي في تحضير الخرسانة الملامسة لمياه البحار. يُصنف الإسمنت الخبثي في الولايات المتحدة بالصنف IS حسب الـASTM، وفي ألمانيا باسم "آيزن بورتلاند" حيث تصل نسبة الخبث إلى 35% وإذا زادت النسبة عن 36% وحتى 85% يسمى إسمنت "Hochofen"، وفي فرنسا يُحضر بنسبة خبث تصل إلى 50% باسم الإسمنت المعدني المخلوط.

إن تحضير الإسمنت الخبثي يتطلب طاقة أقل من الطاقة اللازمة لتحضير الإسمنت البورتلاندي، لذلك نجد في بعض الدول توجهاً أكبر لاستخدام الإسمنت الخبثي، ففي هولندا يشكل الإسمنت الخبثي نحو 60% من مجمل كمية الإسمنت المستعمل من كل الأنواع.

7-5 أنواع أخرى من الإسمنت:

توجد أنواع أخرى من الإسمنت إما أنها تختلف تماماً عن الإسمنت البورتلاندي أو يدخل في تركيبها مواد أخرى بالإضافة إلى الإسمنت البورتلاندي، ولها عادة استعمالات خاصة في مجالات محددة ونذكر منها الأنواع التالية:

7-5-1 الإسمنت الألومينـي:

يتألف من نحو 40% ألومينا Al_2O_3 ونحو 40% أكسيد كالسيوم بالإضافة إلى بعض أكاسيد الحديد ونحو 8% من السيليكا. ويُحضر من الأحجار الكلسية والبوكسيت ونسبة ضئيلة من السيليكا بعد طحنها وحرقها في فرن تصل درجة حرارته إلى نحو $1600C^{\circ}$ حيث تتم تفاعلات كيميائية تؤدي إلى تشكل المادة الرئيسية وهي $CaO.Al_2O_3$ ورمزها CA بنسبة نحو 60% بالإضافة إلى نواتج أخرى كما هو مبين بالجدول التالي:

المادة	النسبة الوزنية المئوية
CA	60
C_2S	10
C_2AS	5-20
$C_{12}A_7$	10-25
FeO	
مواد أخرى	

الجدول (3-7): التركيب الكيميائي للإسمنت الألومينـي

الإسمنت الناتج له زمن أخذ مقارب للإسمنت البورتلاندي لكن مقاومته أعلى بكثير من مقاومة الإسمنت البورتلاندي خاصة في المراحل المبكرة من التصلب وذلك بسبب سرعة تفاعل إماهة CA إذ تكون مقاومة خرسانة الإسمنت الألومينـي بعد 24 ساعة أعلى من مقاومة خرسانة الإسمنت البورتلاندي بعمر 7 أيام وهذه المقاومة هي نحو 3/4 المقاومة النهائية التي يمكن الحصول عليها.

ساد الاعتقاد بأن الإسمنت الألومينـي سينافس الإسمنت البورتلاندي لسرعة تصلبه ومقاومته العالية، لكن تراجع بسبب حصول بعض الحوادث مما فرض قيوداً على استعمال هذا النوع من الإسمنت في المنشآت الخرسانية المعرضة لحمولات وإجهادات عالية. إن سبب الحوادث هو عملية تحصل في الخرسانة بعد أن يتم التصلب وتدعى عملية التحول، ولفهم عملية التحول نعود إلى تفاعلات إماهة المكون الرئيسي في الإسمنت الألومينـي وهو CA حيث يتفاعل مع الماء معطياً عدة نواتج بحسب درجة حرارة التفاعل وفق المعادلات التالية:

$$CA + H \begin{cases} \xrightarrow{10\ C^{\circ}} CAH_{10} \\ \xrightarrow{10\text{-}25\ C^{\circ}} C_2AH_8 + AH_3 \\ \xrightarrow{25\ C^{\circ}} C_3AH_6 + 2AH_3 \end{cases}$$

في الواقع نحصل على مزيج من نواتج التفاعل تتغير نسبته باختلاف درجة الحرارة.إن CAH_{10} و C_2AH_8 غير ثابتين مع مرور الزمن ويمكن أن يتحولا إلى الناتج الثالث وهو C_3AH6.

$$3CAH_{10} \rightarrow C_3AH_6 + 2AH_3 + 18H$$

إن هذا التحول يترافق مع تناقص في حجم المادة الصلبة مما يؤدي إلى ضعف الخرسانة قد يصل إلى حد انهيارها، لذلك لم يعد الإسمنت الألومينـي يستعمل في المنشآت التي تتعرض لحمولات عالية.

يمكن التقليل من حدة مشكلة التحول بطريقتين: الأولى تخفيض النسبة $\frac{W}{C}$ بحيث يستغرق تفاعل إماهة CA زمناً طويلاً وهكذا يمكن أن تعوض زيادة الحجم الناتج عن إماهة CA نقصان الحجم الناتج عن عملية التحول. أما الطريقة الثانية فهي إجراء عملية إماهة CA بدرجات حرارة مرتفعة للسماح للقسم الأعظم من CA بتشكيل C_3AH_6 مباشرة والتقليل من تشكل CAH_{10} و C_2AH_8 إلى الحد الأدنى، ومع ذلك لايمكن ضمان نجاعة هذه الحلول وتبقى بعض المخاوف عند استعمال هذا النوع من الإسمنت في تحضير الخرسانة.

إن أهم استعمال للإسمنت الألومينى في الوقت الحالي هو الحصول على خرسانة مقاومة للحريق ولدرجات الحرارة العالية، ويتم ذلك بمزج الإسمنت الألومينى مع رمال سيليكاتية تتفاعل بدرجات حرارة مرتفعة مع نواتج إماهة CA وتعطي مواداً صلبة متزججة تشبه السيراميك لها ثبات حراري وتقاوم درجات الحرارة العالية. كما يستعمل الإسمنت الألومينى في تبطين الأفران وفي عمليات الإصلاح والترميم وملء الفجوات والتشققات نظراً للمقاومة العالية المبكرة التي يبديها.

7-5-2 إسمنت آبار النفط:

يجب أن يكون الإسمنت المستعمل في آبار النفط بطيء التصلب وله زمن أخذ كبير نسبياً حتى عند درجات حرارة مرتفعة، وله ثبات ومقاومة كبيرة لعوامل التآكل الشديدة، إن محتوى إسمنت آبار النفط من C_3A يجب أن يكون قليلاً، وفي أعماق البئر يستعمل إسمنت لايحوي C_3A وهذا يساعد على عدم التآكل الكبريتاتي لأن المياه الجوفية العميقة تكون عادة غنية بشوارد الكبريتات. تصل درجة الحرارة في أعماق البئر إلى قيم مرتفعة نحو $260\ C^{\circ}$ أو حتى أكثر، لذلك يستعمل إسمنت محتواه من C_2S مرتفع لإطالة زمن الأخذ في الحرارة العالية. يضخ عادة الإسمنت الممزوج مع نسبة عالية من الماء وبعض المواد الناعمة مثل البنتونايت للحصول على ملاط رقيق القوام له بعض اللزوجة حتى لاتنفصل الدقائق الصلبة عن الماء فيمكن ضخه إلى الأعماق ومن المهم جداً في آبار النفط إطالة الفترة التي يمكن فيها استمرار ضخ الملاط حتى يصل إلى الأعماق.

7-5-3 الإسمنت السريع التصلب:

وهو إسمنت بورتلاندي يكون عادة محتواه من C_3S مرتفعاً قد يصل أحياناً إلى 70% ونعومته عالية حتى يتفاعل الجزء الأكبر منه في المراحل المبكرة من التفاعل إذ تصل نعومته في الأنواع الفائقة السرعة إلى نحو $7000 - 9000\ cm^2/g$ وفي بعض الأنواع تُضاف كمية من مسرِع للتصلب إلى الإسمنت أثناء طحن الكلينكر مثل كلور الكالسيوم بنسبة لاتتجاوز 2% فنحصل على نوع خاص جداً من الإسمنت يتفاعل بسرعة كبيرة مع الماء ويكون زمن الأخذ صغيراً جداً لا يتجاوز بضع دقائق.

يستعمل هذا النوع من الإسمنت في أعمال الإصلاح السريع والترميم التي تتطلب تصلباً سريعاً جداً ومقاومة عالية مبكرة. إن مدة حفظ هذا الإسمنت قبل الاستعمال قصيرة نظراً لمساحته السطحية العالية ولشراهته لامتصاص الرطوبة، لذلك يجب حفظه في مكان جاف ولاتتجاوز مدة حفظه شهراً واحداً مقابل ثلاثة أشهر للإسمنت العادي.

إن هذا النوع من الإسمنت ينشر حرارة عالية في وقت مبكر لذلك لايجوز استعماله في الكتل الكبيرة بسبب خطورة التشققات. يبدي هذا الإسمنت مقاومة بعد 16 ساعة مساوية لمقاومة الإسمنت العادي يعمر 3 أيام، ويبدي بعد 24 ساعة مقاومة مساوية للإسمنت العادي بعمر 7 أيام،

لكن بعد أكثر من 28 يوم فلا توجد زيادة ملحوظة في المقاومة النهائية عن مقاومة الخرسانة العادية.

7-5-4 الإسمنت الأبيض:

إن التركيب الكيميائي للإسمنت الأبيض يشابه التركيب الكيميائي للإسمنت البورتلاندي القاتم (أسود أو رمادي) إلا أن الشوائب الملونة مثل أكسيد المنغنيز وأكاسيد الحديد تكون قليلة جداً إذ إن هذه الأكاسيد هي التي تكسب الإسمنت اللون القاتم حتى لو كانت نسبتها قليلة بحدود %(2-1) فمكونات الإسمنت الرئيسة هي مركبات بيضاء اللون لذلك يكون الإسمنت الفقير بالشوائب القاتمة أبيض اللون.

لتحضير الإسمنت الأبيض يجب أن تكون المواد الأولية المستعملة في صناعة الإسمنت خالية تقريباً من الشوائب القاتمة اللون، كما يجب أن يكون الوقود المستعمل في فرن الحرق نظيفاً لا يعطي شوائب فحمية داكنة، وأن يتم طحن الكلينكر في مطاحن ذات كرات خاصة غير فولاذية. كل ذلك يجعل كلفة صناعة الإسمنت الأبيض أعلى قليلاً من الإسمنت العادي. لكن التركيب الكيميائي هو نفسه تقريباً مع انخفاض نسبة C_4AF، وتكون تفاعلات الإماهة نفسها أيضاً.

يستعمل الإسمنت الأبيض في أعمال الزينة والديكور إذ يمكن أن يلوَن باللون المرغوب بإضافة بعض المواد الملونة من الأكاسيد المعدنية التي تضاف إلى الخلطة أثناء تحضيرها. يبين الجدول التالي النسب المئوية لمكونات الإسمنت الأبيض:

المادة	النسبة الوزنية المئوية
C_3S	50-60
C_2S	22-26
C_3A	10-12
C_4AF	0-1
SO_3	2.6

الجدول (4-7): التركيب الكيميائي للإسمنت الأبيض