

تویژینه وهیهك ده ربارهی
(مكونات الإسمنت و أنواعه و مراحل
إنتاجه)

پیشکه شکراره له لایهن نه ندازیار
شیروان مجید نامق

۲۰۱۲/۴/۳

مكونات الإسمنت و أنواعه و مراحل إنتاجه

الأسمنت هو تلك المادة الرابطة الناعمة التي تتصلب وتقسى فتملك بذلك خواصا تماسكية وتلاصقية بوجود الماء مما يجعله قادرا على ربط مكونات الخرسانة بعضها ببعض. وأهم استخدام للأسمنت هو الملاط والخرسانة حيث يربط المواد الاصطناعية أو الطبيعية لتشكيل مواد بناء قوية مقاومة للتأثيرات البيئية العادية. يجب عدم الخلط بين الخرسانة الأسمنت، فالأسمنت يشير إلى المسحوق الجاف المستخدم في ربط المواد الكلية للخرسانة. وللأسمنت المستخدم في البناء نوعين هما الأسمنت المائي والأسمنت غير المائي.

تعتبر صناعة الاسمنت من الصناعات الإستراتيجية. وهي مع ذلك صناعة بسيطة مقارنة بالصناعات الكبرى، وتعتمد على توفر المواد الخام اللازمة لذلك.



لمحة تاريخية

يعود تاريخ الاسمنت إلى العهد الروماني وطور من قبل حضارات أخرى حيث استعملوا الجبس، حيث أضاف يونان إيطاليا رماد البراكين الموجود بمنطقة بوزلس، ثم طوره الرومان وعمموه إلى نهاية العصر الحاضر. الاسمنت هو مزيج من الجير مثل القرميد والآجر المكسرة، مضافة إلى الطين.

في العام ١٨٢٤ أودع العالم البريطاني **joseph aspalin** براءة لصناعة الجير المميه وأطلق عليه الأسمنت البورتلاندي نسبة إلى أعالي شبه جزيرة بورتلاند الموجودة على ضفاف بحر المانش الذي يفصل بين فرنسا وبريطانيا.

إن أول مصنع للاسمنت اخترع بواسطة **dupont et demarlé** في سنة ١٨٤٦ في منطقة **boulogne-sur-mer**، ولقد تطورت بعد ظهور مواد جديدة (فرن حركي الدوران حول نفسه) مكسر لكريات الكلنكر، تطورت وسائل صناعة

الأسمنت دون توقف، وفي عام ١٨٧٠ كان إنتاج الطن الواحد من الكلنكر (المكون الرئيسي للأسمنت) يستغرق ٤٠ ساعة، أما الآن فيستغرق ٣ دقائق فقط.

مقدمة -

تعتبر صناعة الأسمنت من الصناعات الاستراتيجية، لأنها ترتبط مباشرة بأعمال الإنشاء والتعمير. ويستخدم الأسمنت كمادة رابطة هيدروليكية من مكونات المونة أو الخرسانة. وهي مع ذلك صناعة بسيطة مقارنة بالصناعات الكبرى، وتعتمد على توفر المواد الخام اللازمة لذلك.

- الخليط الأساسي لصناعة الاسمنت يتكون غالباً من الطفل (Clay) والحجر الجيري (Limestone) ، والذي يسخن في درجة حرارة كافية لإحداث التفاعل بينهما لإنتاج سليكات الكالسيوم (Calcium Silicate) و تختلف الملوثات الناتجة عن مصانع الأسمنت من حيث المكونات والكمية، تبعاً لاختلاف عمليات التشغيل من مصنع لآخر وإجراءات النظافة العامة المتبعة، وعوامل أخرى متنوعة.

- هناك طريقتان أساسيتان في صناعة الأسمنت :

العمليات الجافة والعمليات الرطبة (Wet & Dry Processes) في العمليات الرطبة تطحن المواد الخام وتخلط بالمياه، ثم يفصل الناتج المعلق (Slurry) إلى الفرن. أما في العمليات الجافة فيتم تجفيف المواد الخام قبل أو أثناء الطحن أي قبل إدخالها إلى الفرن.

١- المواد الخام الأولية في صناعة الأسمنت:

١- الحجر الجيري.

٢- رمل السيليكات.

٣- الطفلة.

- ٤- الأتربة السطحية. (Shale)
- ٥- طفلة وأتربة البوكسيت (جسيمات متوسطة الحجم من الطبقات الرسوبية مثل الطفلة، ولها محتوى منخفض من الماء.)
- ٦- أكاسيد الحديد : وتستخدم كعوامل مذيية أو صهارة (Fluxing Agent) لتقليل درجة الحرارة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية.
- ٧- الجبس: ويضاف في المرحلة النهائية بمطاحن الأسمنت.
- ٨- مواد أخرى:
- أ- تستخدم المواد الكيميائية في المعمل، للقيام بالتحاليل واختبارات التحكم في الجودة.
- ب- تستخدم الزيوت ومواد التزليق الأخرى لصيانة الآلات.
- ج- يستخدم الغاز الطبيعي والمازوت لتوليد غازات الاحتراق المستخدمة في الأفران، وتكون الأفران مجهزة بحيث تستطيع حرق أكثر من نوع واحد من أنواع الوقود.



٢- أنواع الأسمنت البورتلاندي وخصائصها

أ- الأسمنت البورتلاندي العادي:

يستخدم في أعمال الإنشاءات بوجه عام، وهناك أصناف مختلفة من هذا النوع مثل الأسمنت الأبيض الذي يحتوى على نسبة أقل من أكسيد الحديد، و أسمنت آبار البترول (Oil-Well Cement) المستخدم في تبطين آبار البترول، والأسمنت سريع الشك، وأصناف أخرى متعددة ذات استخدامات خاصة.

ب- الأسمنت البورتلاندي المتصلب في درجة الحرارة العالية و المقاوم للكبريتات: يستخدم في الحالات التي تتطلب حرارة تميؤ معتدلة، أو في الإنشاءات الخرسانية المعرضة لتأثيرات متوسطة من الكبريتات



ج- الأسمنت سريع التصلب:

تختلف أصناف الأسمنت سريع التصلب عن الأسمنت العادي من عدة نواحي، منها أن نسبة الحجر الجيري إلى السيليكات ونسبة سيليكات ثلاثي الكالسيوم في الأسمنت سريع التصلب تكون أكبر من مثيلاتها في الأسمنت العادي. كما يتصف هذا النوع بدرجة نعومة أكبر من الأسمنت العادي، مما يؤدي إلى سرعة التصلب وتولد سريع للحرارة.

يستخدم الأسمنت سريع التصلب في إنشاء الطرق.

د- أسمنت بورتلاندي منخفض الحرارة:

يحتوى هذا النوع على نسبة منخفضة من كبريتات ثلاثي الكالسيوم وألومينات ثلاثي الكالسيوم، مما يؤدي إلى انخفاض في الحرارة المتولدة. تستخدم أكاسيد الحديد لخفض نسبة ألومينات ثلاثي الكالسيوم، وبالتالي ترتفع نسبة رباعي ألومينات الكالسيوم الحديدية في هذا النوع من الأسمنت.

هـ- الأسمنت المقاوم للكبريتات:

يحتوى هذا النوع من الأسمنت على نسبة منخفضة من ألومينات ثلاثي الكالسيوم،

ويتصف بقدرة أكبر على مقاومة الكبريتات بسبب مكوناته، أو بسبب العمليات المستخدمة في صناعته، لذلك فهو يستخدم في الحالات التي تتطلب مقاومة عالية للكبريتات.

- ٣ خطوط الإنتاج في تصنيع الأسمنت

أولاً: خط العمليات الرطبة:

لقد أخذ استخدام العمليات الجافة في صناعة الأسمنت في الانتشار ليحل تدريجياً محل العمليات الرطبة، بسبب الوفرة في الطاقة التي تتميز بها العمليات الجافة، والدقة في عمليات التحكم وفي خلط المواد الخام.

عمليات التشغيل الرئيسية في هذا الخط:

أ- تكسير وخلط المواد الخام:

تُكسر المواد الخام من حجر جيرى وسيليكات وطفلة وأتربة سطحية بواسطة الكسارات، ثم تُنخل وتُنقل، ليتم تخزينها على هيئة أكوام في مناطق مفتوحة أو مغطاة



ب-الطحن:

تنقل المواد الخام في طواحين المعلقة (**Slurry Mills**) ، حيث تخلط بالمياه ، ويستمر طحن المعلق حتى يصل إلى درجة النعومة المطلوبة. ينقل المعلق بعد ذلك إلى صوامع التخزين، حيث يصبح متجانساً بعد الضبط النهائي لمكوناته، وتؤخذ منه عينات بشكل دوري لضمان مطابقة تركيبته للمواصفات، ثم ينقل المعلق إلى أحواض المعلقة (**Slurry Basins**) حيث تقوم طواحين الشواكيش (**Rotating Arms**) بتحويله إلى خليط متجانس.



ج-الفرن والمبرد:

يسحب المعلق من قاع الأحواض إلى فتحة تغذية الفرن الدوار (Rotary Kiln). والفرن الدوار هو فرن أسطواني طويل، مبطن من الداخل بطوب حراري، ويدور ببطء حول محور يميل قليلاً عن المستوى الأفقي. ويسمح هذا الميل بدفع محتويات الفرن أثناء الدوران إلى الأمام. وتتولد عند الطرف الأمامي (الأسفل) من الفرن غازات احتراق عالية الحرارة تتدفق إلى الجزء الأعلى (الخلفي) من الفرن في تيار معاكس لحركة محتويات الفرن المندفعة إلى أسفل. ويتم تبريد الكلنكر بواسطة مبرد هوائي من 60°C إلى ما بين 200°C و 1400°C المتكون م. 1400°C

د-الطحن النهائي والتعبئة:

ينقل الكلنكر إلى طواحين كور (Ball Mills) ، حيث يضاف إليه الجبس ويطحن، ثم يعبأ في أكياس من الورق أو البلاستيك

ثانياً: خط العمليات الجافة:

عمليات التشغيل الرئيسية في هذا الخط:

أ- تكسير وخط المواد الخام:

تُكسر المواد الخام من حجر جيرى وسيليكات وطفلة وأتربة سطحية بواسطة الكسارات، ثم تُنخل وتُنقل، ليتم تخزينها على هيئة أكوام في مناطق مفتوحة أو مغطاة.

ب- الطحن:

يتم إدخال المواد الخام في مجفف دوار (Rotary Drier) ، حيث تجفف بواسطة الهواء الساخن أو العادم الناتجة عن تشغيل الفرن، ثم تطحن المواد الخام في طواحين المواد الخام وتنقل إلى صوامع تخزين ما قبل الخلط (Pre-blending Silos) حيث تصبح متجانسة بواسطة الهواء المضغوط، بعد ذلك تنقل المواد الخام المتجانسة من صوامع تخزين ما قبل الخلط إلى صوامع التخزين. تتم عملية الخلط بنسبة ٣٠% طفلة و ٧٠% حجر جيرى.

ج-الفرن والمبرد :-:

تسحب المواد الخام المتجانسة من قاع صوامع التخزين إلى فتحة تغذية برج التسخين الابتدائي ذي المراحل المتعددة، وقد يصل ارتفاع البرج إلى ١٢٠ متر، وهى مجهزة بسيكلونات لكلسنة الخليط، ومنه إلى الفرن الدوار (Rotary Kiln).

-يستخدم الغاز الطبيعي أو المازوت كمصدر للطاقة الحرارية، كما يستخدم الهواء الساخن الناتج عن تبريد الكلنكر كمصدر إضافي للحرارة.

-يميل الفرن قليلا عن المستوى الأفقي بحيث يسمح بحركة بطيئة للمواد الصلبة

إلى أسفل، فتقطع المسافة من فتحة التغذية الموجودة بأعلى الفرن إلى الطرف السفلى (جهة الاحتراق)، حيث تتولد غازات الاحتراق عالية الحرارة في فترة زمنية تتراوح بين ساعة وثلاث ساعات، بينما تتحرك غازات الاحتراق إلى أعلى في تيار معاكس لحركة المواد الصلبة .
فتعمل غازات الاحتراق الساخنة على تسخين المواد الخام م تسخيناً أولياً إلى ٩٠٠ م .

وتبلغ° عند فتحة تغذية الفرن وتوفر الحرارة اللازمة لتحلل حرارة° كربونات الكالسيوم. ثم تخرج هذه الغازات من أعلى المدخنة عند ٤٠٠ م° .درجة اللهب المنبعث من الولاعات حوالي ٢٠٠٠

-تستخدم في العمليات الجافة أفراناً أقصر من تلك المستخدمة في العمليات الرطبة نظراً لعدم استخدام المياه. والفرن الدوار قطره (٤- ٥ متر) وطوله من ٥٤ - ٧٥ متر. وتستخدم غلايات استرجاع الطاقة في العمليات الجافة حيث تكون درجة حرارة العادم الناتجة عن تشغيل الفرن أكبر من تلك المتولدة في العمليات الرطبة، وتستخدم المرسبات (الفلاتر) الالكتروستاتيكية لفصل الجسيمات الناتجة عن أتربة الأفران والمحمولة في تيار العادم .
كما تستخدم الألومينا وطوب الماغنيسيا (Magnesia Bricks) في تبطين الفرن، نظراً لتعرض السطح الداخلي للتآكل وللمواد الكيميائية عند درجات الحرارة المرتفعة في منطقة تكون الكلنكر.

-يتكون المنتج النهائي (الكلنكر) من حبيبات تتراوح أحجامها بين ٣ و ٢٠مم. ويخرج الكلنكر من الفرن الدوار ليدخل إلى أجهزة التبريد الهوائي المفاجئ م، (Air Quenching Coolers) لتتخفض درجة حرارته بسرعة إلى ما بين ١٠٠ - ٢٠٠ تعمل° كما هذه المبردات بالتبادل على تسخين غازات الاحتراق تسخيناً أولياً.

-هناك ثلاث أنواع من المبردات تستخدم في تبريد الكلنكر: المبرد الدوار (Rotary Cooler)، المبرد الكوكبي (Planetary Cooler) والمبرد الشبكي (Grate Cooler) ، والنوع الأخير هو أكثر الأنواع المستخدمة في العمليات الجافة

-يتسبب تكون الأتربة في الفرن في بعض المشاكل منها: تكون التراكمت والحلقات في السيكلونات وفتحة تغذية الفرن ومنطقة التكلس (Calcing Zone) والتي قد تؤدي إلى إيقاف الفرن عن العمل لعدة أيام. كما يستهلك تبخر القلويات قدراً كبيراً من الطاقة.

د-الطحن النهائي والتعبئة

ينقل الكلنكر إلى طواحين كور حيث يضاف إليه الجبس ويعبأ في أكياس من الورق أو البلاستيك.

ثالثاً: خط العمليات شبه الجافة:

-العمليات شبه الجافة هي حالة خاصة من العمليات الجافة، حيث يستخدم فرن ليبول (Lepol Kiln) أو الفرن المزود بعامود (Shaft Kiln) ، وفي الحالتين تشكل المواد الخام المطحونة في العمليات الجافة، على هيئة حبيبات يتراوح قطرها بين ١٠ و ١٥ مم بحيث يضاف إليها ١٣ % من المياه.

-في حالة استخدام فرن ليبول تجفف الحبيبات وتسخن تسخيناً ابتدائياً بواسطة السخان الشبكي الابتدائي المتحرك، ثم تنقل إلى فتحة تغذية الفرن. ويستخدم في هذا النظام، لأول مرة، أسلوباً يعتمد على تسخين المواد الخام تسخيناً ابتدائياً بواسطة جهاز منفصل ذو كفاءة حرارية مرتفعة، وهي المهمة التي كان يقوم بها الفرن في الأنظمة التقليدية.

-في حالة استخدام الفرن المزود بعامود تضاف السيليكات والطفلة خلال مرحلة التحبيب (Palletizing) ، وتتم عمليات التجفيف والتلبيد (Sintering) والتبريد في الطبقة العمودية المتحركة. وقد ساد استخدام هذا النظام قبل انتشار الأفران الدوارة، ويقتصر حالياً استخدام الأفران المزودة بعامود ذات التفريغ

المستمر من قاع الفرن على الهند والصين. ويمتاز هذا النوع من الأفران بالاقتصاد الحراري، بينما يعيبه ضرورة استمرار تحريك النار (Poking) في الفرن للحفاظ على حالة احتراق ثابتة، بالإضافة إلى تفاوت جودة منتجاته.

٤- الوحدات الخدمية ومصادر التلوث المحتملة في صناعة الأسمنتتضمن المنشآت المتوسطة والكبيرة بعض أو جميع الوحدات الخدمية والوحدات المساعدة التالية.

أ- الغلايات:

تنتج الغلايات البخار المستخدم في توليد الطاقة الكهربائية. ولتجنب تكوّن قشور الغلاية ينبغي أن تكون المواد الصلبة الذائبة الكلية في مياه تغذية الغلاية عند أدنى حد ممكن، لذلك يستخدم الماء اليسر (Soft Water) في تغذية الغلايات.

تقوم محطات الطاقة الحرارية المنتجة للبخار بتوليد الكهرباء خلال سلسلة من عمليات تحول الطاقة (Energy Conversion)، تشمل حرق الوقود في الغلايات لتحويل المياه إلى بخار مرتفع الضغط يستخدم في تدوير التوربينات لتوليد الكهرباء.

وينتج عن هذه العملية انبعاثات غازية مثل الانبعاثات النمطية الناتجة من عمليات الاحتراق. ويتضمن العادم الناتجة عن حرق المازوت أو السولار العوالق الأولية (من ضمنها المعادن الثقيلة في حالة تواجدها بنسب مرتفعة في الوقود)، أكاسيد الكبريت والنيتروجين وهيدروكربونات غير محترقة. ويتوقف تركيز هذه الملوثات في العادم على نظام الاحتراق (تصميم رشاشات الوقود، ارتفاع المدخنة) ومهارة التشغيل ومكونات الوقود. أما الغلايات التي تعمل بالغاز فتنتج عنها كميات ضئيلة للغاية من الجسيمات والملوثات الأخرى.

أما بالنسبة لتفوير الغلاية، فتعتبر مياه التفوير من أهم مصادر تلوث الصرف السائل إذ تحتوي على كميات كبيرة من المواد الصلبة الذائبة الكلية. وتهدف عملية تفوير الغلاية إلى خفض تركيزات الأملاح والمواد الصلبة الذائبة إلى الحد الذي يمنع ترسبها (تكون القشور) على أسطح التسخين.

وتستخدم المياه في وحدات توليد الطاقة لتبريد التوربينات، وتتولد المياه على هيئة

متكثفات البخار. وتتوقف كمية مياه الصرف الناتجة عن هذه الوحدات على طريقة التبريد المتبعة (دائرة تبريد مفتوحة أم مغلقة) وعلى إعادة تدوير (Recycling) متكثفات البخار، وتعتبر زيوت التزليق وعمليات التشحيم هي المصدر الرئيسي لتلوث مياه الصرف الناتجة عن وحدات توليد الطاقة .

ب- أبراج التبريد:

تستخدم المياه لأغراض التبريد على نطاق واسع في مختلف الصناعات، وخلال عملية التبريد ترتفع درجة حرارة المياه ولا تصلح للاستخدام لهذه الأغراض إلا بعد إعادة تبريدها. لذلك فإن أبراج التبريد تعتبر وسيلة فعالة لإعادة تدوير المياه وبالتالي ترشيد استهلاكها. وتتضمن عملية تبريد المياه بخرأ جزئياً يؤدي إلى زيادة تركيز الأملاح والمواد الصلبة الذائبة، لذلك فمن الضروري تفوير أبراج التبريد للتخلص من التركيزات المرتفعة لتلك المواد بالمياه، وتكون مياه توفير البرج ذات تركيزات مرتفعة من المواد الصلبة الذائبة الكلية التي تتسبب في تلوث مياه الصرف.

في العمليات الجافة بصناعة الأسمنت تستخدم المياه أساساً لتبريد عمليات التشغيل المختلفة (معدات التجفيف، تبريد الأجهزة، والضواغط وقواعد (كراسي) تحميل الفرن وقواعد تحميل الطاحونة ومواسير الموقد ... الخ). لذلك فإن الإدارة الجيدة للمياه في العمليات الجافة تؤدي في الحالات الطبيعية إلى خلو مياه الصرف من الملوثات. أما في العمليات الرطبة فإن المياه المستخدمة (مع المعلق) تتبخر في الفرن.

ج- الضواغط:

تستخدم الضواغط في صناعة الأسمنت لنقل المواد الخام بواسطة التيارات الهوائية المضغوطة. وتستهلك الضواغط كميات كبيرة من الزيوت لأغراض التزليق والتبريد، بالإضافة إلى الطاقة الكهربائية. وتعتبر زيوت التزليق والضوضاء الناتجة عن تشغيل الضواغط هي أهم الملوثات الناتجة عن هذه الوحدات.

د- المعمل:

يؤدى المعمل مهاماً أساسية في مصانع الأسمنت:

- اختبار المواد الخام والكيماويات المستخدمة والمياه ومياه الصرف.
- التحكم في جودة المنتجات بفحصها وإجراء الاختبارات اللازمة لذلك، وإجراء المقارنات بين المواصفات القياسية ومواصفات المواد الخام والمنتجات.
- المتغيرات التي يقوم المعمل باختبارها تمثل الخصائص الفيزيائية للمواد والمنتجات وتركيبها الكيميائي.

هـ-الورش والجراج:

تقوم الورش الكهربائية والميكانيكية في المنشآت الصناعية الكبيرة بإجراءات الصيانة والإصلاح، وأهم الملوثات الناتجة عن هذه الوحدات هي:

-الضوضاء.

-مياه غسيل المعدات والتي قد تكون ملوثة بزيوت التزليق.

-المعادن الخردة.

أما بالنسبة للجراج فإن نوعية الملوثات التي قد تتولد عنه تتوقف على الخدمات التي يؤديها. إن تواجد محطة للسولار أو الديزل بالمنشأة يتطلب وجود خزانات للوقود تحت الأرض أو فوقها، وبالتالي خططا للتحكم في التسرب والانسكابات. أما زيوت التزليق المستهلكة فيتم صرفها على شبكة الصرف أو بيعها لمحطات إعادة التدوير.

و-المخازن:

تتوقف مواصفات المخازن على نوعية المواد المخزنة والتي قد تكون:

- كيماويات: تستخدم لأغراض معالجة المياه أو كمواد إضافية في العمليات.
- وقود: يستخدم في الغلايات وفي السيارات والشاحنات ويخزن في خزانات تحت

الأرض أو فوقها، وأكثر أنواع الوقود شيوعاً هي المازوت والسولار والغاز الطبيعي والجازولين.
-معادن خردة.

ز- محطات معالجة مياه الصرف:

تحتوى مياه الصرف الناتجة عن مصانع الأسمنت على تركيزات مرتفعة من المواد الصلبة الذائبة الكلية، والمواد الصلبة العالقة وأملاح البوتاسيوم والكبريتات وتتصف بدرجة قلوية مرتفعة .

أهم الملوثات الناتجة عن محطات معالجة مياه الصرف هي:

-الحمأة: وتعتبر من أهم المخلفات الصلبة.
-المياه المعالجة: والتي قد تمثل مصدراً للتلوث البيئي إذا تعدت تركيزات الملوثات فيها الحدود التي نصت عليها القوانين البيئية ذات الصلة.

ح-المطعم ودورات المياه وأماكن الإعاشة:

تتولد عن هذه الوحدات مياه صرف صحي ومخلفات منزلية صلبة.

ط-وحدة تصنيع الاكياس الورقية:

تنتج هذه الوحدات شكاير من الورق الكرافت (Kraft Paper) لتعبئة الأسمنت، ويعتبر الورق والاكياس المرتجعة (المرفوضة) من المخلفات الصلبة.

كثمة انشاء مصنع للأسمنت تبدأ من ٢٠٠ مليون دولار تقريبا