# إرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة بتصنيع الأسمنت والجير

## مقدّمة

الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة (**EHS**) هي وثائق مرجعية فنّية تتضمن أمثلة عامة وأمثلة من صناعات محددة على الممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة (**GIIP**).[1] وحين تشارك مؤسسة واحدة أو أكثر من المؤسسات الأعضاء في مجموعة البنك الدولي في أحد المشروعات ينبغي تطبيق الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة هذه حسب مقتضيات السياسات والمعايير التي تعتمدها تلك المؤسسة. وتستهدف هذه الإرشادات بشأن قطاع الصناعة أن يتم استخدامها جنباً إلى جنب مع وثيقة **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**، التي تتيح الإرشادات لمن يستخدمونها فيما يتعلق بالقضايا المشتركة في هذا المجال والممكن تطبيقها في جميع قطاعات الصناعة. وبالنسبة للمشروعات المُعقّدة، قد يلزم استخدام إرشادات متعددة حسب تعدد قطاعات الصناعة المعنيّة. ويمكن الاطلاع على القائمة الكاملة للإرشادات الخاصة بالقطاعات الصناعية على شبكة الإنترنت على الموقع:

http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines

وتتضمّن الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة مستويات الأداء والإجراءات التي يمكن للتكنولوجيا الحالية أن تحققها في المنشآت الجديدة بتكلفة معقولة. وقد يشمل تطبيق هذه الإرشادات في المنشآت القائمة وضع أهداف وغايات خاصة بكل موقع على حدة، مع اعتماد جدول زمني مناسب لتحقيقها.

وينبغي أن يكون تطبيق الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة بما يتناسب مع المخاطر والتهديدات المُحددة في كل مشروع، استناداً إلى نتائج التقييم البيئي الذي يأخذ في الاعتبار متغيرات كل موقع على حدة ومنها: الوضع في البلد المُضيف، والطاقة الاستيعابية في البيئة المعنيّة، والعوامل الأخرى الخاصة بالمشروع. كما يجب أن تستند تطبيق التوصيات الفنّية المحددة إلى الرأي المهني المتخصّص الذي يصدر عن أشخاص مؤهلين من ذوي الخبرة العملية.

وحين تختلف اللوائح التنظيمية المعتمدة في البلد المضيف عن المستويات والإجراءات التي تنص عليها هذه الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة، فمن المتوقع من المشروعات تطبيق أيهما أكثر صرامة. وإذا كانت المستويات أو الإجراءات الأقل صرامة من المنصوص عليه في هذه الإرشادات هي الملائمة – في ضوء أوضاع المشروع المعني – يحتاج الأمر إلى تبرير كامل ومُفصّل بشأن أية بدائل مُقترحة في إطار التقييم البيئي للموقع المحدد. وينبغي أن يُبيّن ذلك التبرير أن اختيار أي من مستويات الأداء البديلة يؤمّن حماية صحة البشر والبيئة.

[1] هي من حيث تعريفها ممارسة المهارات والاجتهاد والحصافة والتبصّر المُتوقعة على نحو معقول من المهنيين ذوي المهارات والخبرة العملية في النوع نفسه من العمل وفي الأوضاع نفسها أو المماثلة بشكل عام. وقد تشمل الأوضاع التي يمكن أن يجدها المهنيّون من ذوي المهارات والخبرة العملية عند قيامهم بتقييم مجموعة أساليب منع ومكافحة التلوّث المُتاحة لأحد المشروعات – على سبيل المثال لا الحصر – مستويات مختلفة من تدهور البيئة ومن الطاقة الاستيعابية البيئية، مع مستويات مختلفة من الجدوى المالية والفنّية.

## التطبيق

تشتمل إرشادات البيئة والصحة والسلامة الخاصة بتصنيع الأسمنت والجير على المعلومات المتعلقة بمشروعات تصنيع الأسمنت والجير. تتم مناقشة عملية استخراج المواد الخام والتي تعتبر نشاطًا شائع الارتباط بمشروعات تصنيع الأسمنت في إرشادات البيئة والصحة والسلامة المتعلقة باستخراج مواد التشييد، ويحتوي الملحق (أ) على وصف كامل لأنشطة الصناعة في هذا القطاع. وهذه الوثيقة يتم تنظيمها وفق الأقسام التالية:

القسم 1: الآثار المرتبطة تحديداً بالصناعة وكيفية التعامل معها
القسم 2: مؤشرات الأداء ورصده
القسم 3: ثبت المراجع ومصادر إضافية
الملحق(أ): وصف عام لأنشطة الصناعة

## 1.0 الآثار المرتبطة تحديداً بالصناعة وكيفية التعامل معها

يعرض القسم التالي ملخصاً للقضايا ذات الصلة بالبيئة والصحة والسلامة المرتبطة بتصنيع الأسمنت والجير والتي تحدث خلال مرحلة التشغيل، هذا فضلاً عن التوصيات المتعلقة بكيفية التعامل معها، وتجدر الإشارة إلى أن التوصيات المتعلقة بالتعامل مع قضايا البيئة والصحة والسلامة المشتركة في غالبية المرافق الصناعية الكبرى خلال مرحلة الإنشاء وإيقاف التشغيل واردة في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

### 1.1 البيئة

تشتمل القضايا البيئية ذات الصلة بمشروعات تصنيع الأسمنت والجير على ما يلي في المقام الأول:

- الانبعاثات الهوائية
- استهلاك الطاقة وأنواع الوقود
- المياه المستعملة
- إنتاج النفايات الصلبة
- الضوضاء

**الانبعاثات الهوائية**

يتم إنتاج الانبعاثات الهوائية في عملية تصنيع الأسمنت والجير خلال عمليتي معالجة وتخزين المواد الوسيطة والنهائية ومن خلال تشغيل أنظمة الأفران ومبردات الأحجار الأسمنتية الصغيرة والطواحين، ويتم الآن استخدام أنواع عديدة من الأفران في تصنيع الأسمنت (أفران التسخين المسبق-الكلسنة المسبقة (يرمز إليها بالرمز PHP) وأفران التسخين المسبق (PH) وأفران المعالجة الجافة الطويلة (LD) وأفران المعالجة شبه الجافة وأفران المعالجة شبه الرطبة وأفران المعالجة الرطبة)، وعادة ما تستحوذ أفران PHP بالأفضلية عندما يتعلق الأمر بالأداء البيئي. على الرغم من أن الأفران المزودة بقائم لا تزال مستخدمة في التشغيل، إلا أنها عادة ما تكون غير مقبولة إلا من الناحية الاقتصادية في المصانع الصغيرة وبدأت تتلاشى تدريجيًا عن طريق تجديد التجهيزات.

يتم استخدام أربعة أنواع رئيسة من الأفران في تصنيع الجير لإنتاج الأنواع المختلفة من الجير الحي (تفاعلية) وهي: الدوارة والرأسية المزودة بقائم (ما يزيد عن 10 أنواع) وأفران الهيكل المصبعي المتحرك وأفران الكلسنة بتعليق الغاز.

*غازات العادم*

يشيع في ذلك القطاع الصناعي استخدام مصادر الاحتراق في توليد الطاقة. وتتيح **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** الإرشادات حول كيفية التعامل مع الانبعاثات الناتجة

عن مصادر الاحتراق الصغيرة التي لها قدرة تصل حتى 50 ميغاواط ساعة حرارية، بما في ذلك معايير الانبعاثات الهوائية المعنية بانبعاث غازات العادم. أما الإرشادات المنطبقة على مصادر الانبعاثات الأكبر من 50 ميجاوات حراري في الساعة فتتناولها **الإرشادت بشأن البيئة والصحة والسلامة من أجل الطاقة الحرارية**.

*المواد الجسيمية*

تعتبر إنبعاثات المواد الجسيمية أحد التأثيرات الواضحة لعملية تصنيع الأسمنت والجير، وكما هو وارد أدناه، فإن الموارد الأساسية لإنبعاثات المواد الجسيمية والطرق الموصى بها لمنعها والتحكم فيها تشتمل على مايلي:

بالنسبة لإنبعاثات المواد الجسيمية المرتبطة بمعالجة وتخزين المواد الوسيطة والمواد النهائية (بما في ذلك سحق المواد الخام وطحنها)، ومعالجة أنواع الوقود السائلة وتخزينها، ونقل المواد (باستخدام الشاحنات وسيور النقل مثلاً)، وأنشطة التعبئة، فإن الأساليب الموصى بها لمنع التحكم ومكافحته تشتمل على ما يلي:

- استخدام مخطط بسيط وطولي لعمليات تداول المواد لخفض الحاجة إلى تعدد نقاط النقل؛
- استخدام سيور النقل المغلقة لنقل المواد وكبح الإنبعاثات في نقاط النقل؛
- تنظيف سيور الإرجاع في أنظمة سيور النقل؛
- تخزين المواد الخام المسحوقة والممزوجة مسبقًا في حجيرات مغطاة ومغلقة؛
- تخزين الفحم المسحوق وكوك البترول (الفحم البترولي) في صوامع؛
- تخزين أنواع الوقود التي يتم الحصول عليها من النفايات في مناطق محمية من الرياح وعوامل الطقس الأخرى؛
- تخزين الأحجار الأسمنتية الصغيرة في حجيرات أو صوامع مغطاة/مغلقة مزودة بآليات استخراج الغبار أوتوماتيكيًا؛
- تخزين الأسمنت في صوامع مزودة بآليات أوتوماتيكية لإصلاح وتحميل صهاريج الكميات الكبيرة؛
- تخزين الأحجام التي تمت غربلتها من أكسيد الكالسيوم في عنابر أو صوامع وتخزين الدرجات الدقيقة من الجير المطفأ في صوامع مغلقة؛
- إجراء أعمال الصيانة الروتينية داخل المصنع والتنظيف الجيد للإقلال من تسربات الهواء والانسكابات إلى أدنى حد؛
- معالجة المواد (مثل عمليات السحق والطحن الجاف وطحن الأحجار الأسمنتية الصغيرة) في أنظمة مغلقة يتم الحفاظ على الضغط السلبي فيها باستخدام مراوح العادم. تجميع هواء التهوية والتخلص من الغبار باستخدام الحلزونات والمرشحات الكيسية؛
- تشغيل أنظمة أوتوماتيكية لتعبئة الأكياس ومناولتها إلى أقصى حد ممكن ويشمل ذلك:
  - استخدام آلة دوارة لتعبئة الأكياس بالإضافة إلى ملقم أكياس ورقية أوتوماتيكي ووحدة تحكم في الانبعاثات المنفلتة
  - استخدم وحدة تحكم أوتوماتيكية في الوزن لكل كيس أثناء التفريغ
  - استخدام السيور الناقلة لنقل الأكياس إلى ماكينة التحميل
  - تخزين البالات التي تم الانتهاء منها في حجيرات مغطاة من أجل شحنها بعد ذلك

بالنسبة لإنبعاثات المواد الجسيمية المتعلقة بتشغيل أنظمة الأفران ومبردات الأحجار الأسمنتية الصغيرة والطواحين بما في ذلك حرق الأحجار الأسمنتية الصغيرة والحجر الجيري، فيوصى بإتباع أساليب منع ومكافحة التلوث التالية وذلك بالإضافة إلى تيسير عمليات تشغيل الفرن [2] بالشكل المناسب:

- احتجاز الأتربة المتصاعدة من الفرن والمبرد باستخدام المرشحات وإعادة تدوير الجسيمات المستعادة في مواد تلقيم الفرن وفي الأحجار الأسمنتية الصغيرة على التوالي؛
- استخدام المرسبات الالكتروستاتية أو أنظمة الترشيح القماشية (مرشحات كيسية) لتجميع انبعاثات المواد الجسيمية في الغازات المتصاعدة من الفرن والتحكم فيها؛ [3]
- استخدام الحلزونات لفصل الجسيمات الكبيرة في غازات المبرد ويتبعها استخدام المرشحات القماشية؛
- احتجاز تراب الطاحونة باستخدام المرشحات القماشية [4] وإعادة تدويره داخل الطاحونة.

*أكاسيد النيتروجين*

تنبعث أكاسيد النيتروجين ($NO_X$) في عمليات الاحتراق [5] التي تحدث في فرن الأسمنت عند درجات حرارة مرتفعة. بالإضافة إلى تيسير عمليات تشغيل الفرن بالشكل المناسب، يوصى بإتباع أساليب المنع والمكافحة التالية:

- الإبقاء على تدفق الهواء الثانوي منخفضًا قدر الإمكان (بمعنى أن يتم تقليل الأكسجين).
- استخدام تبريد اللهب عن طريق إضافة الماء إلى الوقود أو إضافته مباشرة إلى اللهب (بمعنى أن تنخفض درجة الحرارة ويزداد التركيز الأصلي للهيدروكسيل)، وقد يكون هناك تأثير سلبي لاستخدام تبريد اللهب على استهلاك الوقود ومن المحتمل أن تكون هناك زيادة بنسبة 2-3 في المائة في الاستهلاك ومن ثم زيادة تناسبية معها في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون ($CO_2$):
- استخدام المحارق التي تنخفض فيها أكاسيد النيتروجين $NO_X$ لتجنب وجود بقع انبعاث موضعية ساخنة ؛
- إنشاء عملية احتراق تتم على مراحل [6]، ويمكن تطبيقها في أفران التسخين المسبق-الكلسنة المسبقة (PHP) وأفران التسخين المسبق (PH).
- تصنيع الجير: ينخفض إنتاج أكسيد النيتروجين ($NO_X$) عادةً في عملية *تصنيع الجير* عنه في عملية تصنيع الأسمنت، وبما أن حرق الحجر الجيري يتم عادةً في درجات حرارة منخفضة، فإن إنبعاثات أكاسيد النيتروجين NOX الناتجة من المصدر تكون منخفضة ويمكن التحكم فيها باستخدام المحارق التي تنخفض فيها أكاسيد النيتروجين NOX.

*أكاسيد الكبريت*

ترتبط إنبعاثات ثاني أكسيد اكبريت ($SO_2$) في تصنيع الأسمنت في المقام الأول بمحتوى الكبريت المتطاير أو التفاعلي الموجود في المواد الخام [7] وترتبط بجودة أنواع

[2] يشير تيسير عمليات تشغيل الفرن إلى الحفاظ على وجود الفرن في أفضل حالات التشغيل.

[3] على الرغم من أن المرسبات الالكتروستاتية يمكن الاعتماد عليها في ظروف التشغيل العادية، إلا أن مخاطر الانفجار تكون قائمة عندما تتجاوز تركيزات أول أكسيد الكربون (CO) في عادم الفرن عن نسبة 0.5 في المائة. ولمنع هذه المخاطر، ينبغي أن يتأكد المشغلون من خضوع عمليات الاحتراق للإدارة والتحكم المناسبين والمستمرين بما في ذلك الرصد المستمر لمستويات أول أكسيد الكربون وخاصة أثناء بدء تشغيل الفرن كي يتم أوتوماتيكيًا إيقاف تشغيل الفرن إذا لزم الأمر.

[4] لا يصلح استخدام المرسبات الالكتروستاتية في إزالة الغبار من الطاحونة.

[5] يمثل غاز أول أكسيد النيتروجين ما يزيد عن 90 في المائة من أكاسيد النيتروجين $NO_X$ المنبعثة.

[6]

[7] تنتج الإنبعاثات المتصاعدة لغاز ثاني أكسيد الكبريت $SO_2$ من المواد الخام التي يوجد بها محتوى عالٍ من الكبريت العضوي أو بيبريت الحديد (FeS).

الوقود المستخدم لتوليد الطاقة. بالإضافة إلى تسيير عمليات تشغيل الفرن بالشكل المناسب، فإن أساليب مكافحة التلوث الموصى بها من أجل تقليل غاز ثاني أكسيد الكبريت $SO_2$ تشتمل على ما يلي:

- استخدام طاحونة رأسية وتمرير الغازات عبر الطاحونة لاستعادة الطاقة وتقليل محتوى الكبريت في الغاز. يختلط الغاز الذي يحتوي على الكبريت في الطاحونة مع كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) الموجودة في المواد الخام وينتج كبريتات الكالسيوم (الجبس).
- اختيار مصدر الوقود الذي ينخفض فيه محتوى الكبريت؛
- حقن مواد ماصة مثل الجير المطفأ ($Ca(OH)_2$)، أو أكسيد الكالسيوم ($CaO$)، أو الرماد المتطاير الذي يرتفع فيه محتوى أكسيد الكالسيوم في الغاز العادم قبل مروره بالمرشحات؛
- استخدم أجهزة الغسل الرطب أو الجاف. [8]

عادةً ما تكون إنبعاثات غاز ثاني أكسيد الكبريت $SO_2$ منخفضة في تصنيع الجير عنها في تصنيع الأسمنت بسبب انخفاض مستوى الكبريت في المواد الخام. تشتمل أساليب الحد من إنبعاثات غاز ثاني أكسيد الكبريت $SO_2$ على ما يلي:

- اختيار المواد المحتجرة التي ينخفض فيها محتوى الكبريت المتطاير؛
- حقن الجير المطفأ أو البيكربونات في مجرى غاز العادم قبل استخدام المرشحات ؛
- حقن الجير المطفأ أو الجير الحي المنقسم إلى ذرات دقيقة في قبو الاحتراق بالفرن.

*غازات الدفيئة*

ترتبط الغازات الدفيئة وبخاصة غاز ثاني أكسيد الكربون ($CO_2$)، [9] في المقام الأول باستهلاك الوقود وبإزالة الكربون من الحجر الجيري والذي يشكل ثاني أكسيد الكربون $CO_2$ نسبة 44 في المائة من وزنه الصافي. بالإضافة إلى تيسير عمليات تشغيل الفرن بالشكل المناسب، فإن الأساليب الموصى بها لمنع ومكافحة إنبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون $CO_2$ تشتمل على ما يلي:

- إنتاج مواد الأسمنت المخلوطة والتي قد يكون لها تأثير في الانخفاض الواضح في استهلاك الوقود وإنبعاثات غاز $CO_2$ المترتبة عليه في كل طن من المنتج النهائي؛
- اختيار وتشغيل عملية المعالجة لتعزيز كفاءة الطاقة (الأفران الجافة/أفران التسخين المسبق/أفران الكلسنة المسبقة)؛
- اختيار نوع الوقود الذي تنخفض فيه نسبة محتوى الكربون إلى القيمة السعرية (مثل الغاز الطبيعي أو الزيوت الوقود أو بعض أنواع الوقود المستعمل)؛
- اختيار المواد الخام التي ينخفض فيها محتوى المواد العضوية.

يسهم غاز أول أكسيد الكربون (CO) مساهمة قليلة في إنبعاثات غاز الدفيئة (أقل من 0.5-1 في المائة من إجمالي الغازات المنبعثة)، [10] وعادة ما ترتبط هذه الإنبعاثات

[8] يعتبر الغسل الجاف أعلى في التكلفة ولذلك فهو أسلوب يقل انتشارًا عن أسلوب الغسل الرطب ويستخدم في العادة عندما ترتفع إنبعاثات ثاني أكسيد الكبريت $SO_2$ عن 1500 ملليغرام/نانومتر 3

[9] لا ينبعث غاز الدفيئة $N_2O$ من مصانع الأسمنت والجير بسبب درجات الحرارة المرتفعة وظروف الأكسدة، ويتمثل المصدر الوحيد المحتمل لغاز $N_20$في الإنبعاثات المباشرة الصادرة من المواد الخام في طاحونة المواد الخام.

[10] يعتبر غاز أول أكسيد الكربون مؤشرًا على الظروف المحيطة بالمعالجة، وعادة ما تكون قراءات أول أكسيد الكربون المرتفعة علامة تحذير من أن عملية التصنيع لا تسير كما ينبغي (ومن المحتمل أن يكون

بمحتوى المواد العضوية في المادة الخام، وقد تم إيراد توصيات إضافية معنية بكيفية التعامل مع غازات الدفيئة في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

*المعادن الثقيلة وملوثات الهواء الأخرى*

قد تكون المعادن الثقيلة (مثل الرصاص والكادميوم والزئبق) من الانبعاثات الخطيرة الصادرة من عملية تصنيع الأسمنت وتنشأ نتيجة استخدام المواد الخام وأنواع الوقود الأحفوري والوقود المستعمل. ترتبط المعادن غير المتطايرة في أغلب الأحيان بالجسيمات الجزيئية. وعادة ما تتولد إنبعاثات المعادن المتطايرة مثل الزئبق [11] من المواد الخام وأنواع الوقود المستعمل على حد سواء ولا يتم كبحها من خلال استخدام المرشحات.

تشتمل الأساليب الموصى بها للحد من إنبعاثات المعادن الثقيلة على ما يلي:

- تنفيذ إجراءات فعالة لخفض الغبار/المواد الجسيمية كما وردت مناقشته أعلاه لاحتجاز المعادن الموجودة. استعن بالامتصاص باستخدام الكربون المنشط إذا لزم الأمر في حالة التركيزات العالية من المعادن الثقيلة المتطايرة (وبخاصةٍ الزئبق) وينبغي التعامل مع النفايات الصلبة الناتجة على أنها نفايات صلبة كما تم التعرض لذلك في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**
- رصد وضبط محتوى المعادن الثقيلة المتطايرة في مواد الإدخال والوقود المستعمل من خلال اختيار المواد. وقد تشتمل خيارات الضبط على أجهزة الغسل الرطبة والامتصاص باستخدام الكربون المنشط ويتوقف ذلك على نوع المعادن المتطايرة الموجود في غاز الوقود.
- تشغيل الفرن بطريقة منظمة وثابتة لتجنب حالات إيقاف التشغيل الطارئة للمرسبات الإلكتروستاتية (إذا كانت موجودة في الفرن).
- لا ينبغي استخدام الوقود المستعمل أثناء بدء التشغيل أو إيقاف التشغيل.

*الوقود المستعمل*

تتمكن أفران الأسمنت نظرًا لأوساطها القلوية الشديدة وارتفاع درجة حرارة اللهب فيها (2000 درجة مئوية) من استخدام أنواع الوقود المستعملة ذات القيمة السعرية المرتفعة (مثل المذيبات المستهلكة والزيت المستعمل والإطارات المستعملة ونفايات المواد البلاستيكية ونفايات المواد العضوية الكيمائية بما فيها المركبات ثنائية الفينيل المتعدد الكلور [PCB] ومبيدات الآفات المتقادمة الكلور عضوية والمواد المكلورة الأخرى)، وقد يؤدي استخدام الوقود المستعمل إلى إنبعاث المركبات العضوية المتطايرة (VOC) ومركبات ثنائي بنزوديوكسين متعدد الكلور (PCDD) وثنائي البنزوفيوران (PCDF) وفلوريد الهيدروجين (HF) وكلوريد الهيدروجين (HCl) والمعادن السامة ومكوناتها إذا لم يتم السيطرة عليها وتشغيلها بالشكل الصحيح.

يتطلب استخدام الوقود المستعمل أو المواد الخام التالفة في عملية تصنيع الأسمنت الحصول على إذن خاص من السلطة المحلية، وينبغي أن يحدد هذا الإذن مقادير وأنواع النفايات التي يجوز استخدامها سواء في صورة وقود أو مواد خام وينبغي أن يشتمل أيضًا على معايير الجودة مثل الحد الأدنى للقيمة السعرية والحد الأقصى لمستويات التركيز في الملوثات

هناك استهلاك أعلى للوقود). ينبغي رصد نسبة أول أكسيد الكربون بشكل مستمر. بالإضافة إلى ذلك، يوجد خطر حدوث الإنفجارات المتعلقة بتركيزات غاز أول أكسيد الكربون التي تزيد عن 0.5-1 في المائة عند استخدام المرسبات الإلكتروستاتية.

[11] يتم إدخال الزئبق في الفرن مع المواد الخام (90 في المائة تقريبًا) بينما يأتي مقدار صغير منه (10 في المائة تقريبًا) مع الوقود.

النوعية مثل مركبات ثنائية الفينيل المتعدد الكلور والهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات والزئبق والمعادن الثقيلة الأخرى.

تشتمل أساليب المنع والمكافحة الخاصة بهذه الأنواع من الملوثات الهوائية على ما يلي:

- تنفيذ أساليب خفض المواد الجسيمية لتقليل إنبعاثات المعادن الثقيلة غير المتطايرة والتحكم في مواد النفايات المحتجزة على أنها نفايات خطرة كما هو وارد في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**
- رصد وضبط محتوى المعادن الثقيلة المتطايرة في مواد الإدخال والوقود المستعمل من خلال اختيار المواد، وقد تشتمل خيارات الضبط على أجهزة الغسل الرطبة والامتصاص باستخدام الكربون المنشط ويتوقف ذلك على نوع المعادن المتطايرة الموجود في غاز الوقود.
- الحقن المباشر لأنواع الوقود التي تحتوي على معادن متطايرة أو تركيزات مرتفعة من المركبات العضوية المتطايرة في المحرقة الرئيسة بدلاً من حقنها المحارق الثانوية؛
- تجنب استخدام أنواع الوقود التي بها محتوى عالٍ من الهالوجينات أثناء عملية الاحتراق الثانوي وأثناء مرحلتي بدء وإيقاف التشغيل؛
- خفض فترات تبريد غاز الفرن (من 500 إلى 200 درجة مئوية) إلى الحد الأدنى لتجنب إعادة تكوين الديوكسينات والفيورانات ثنائية البنزين متعددة الروابط الكلورية التي تحطمت من قبل [12], [13], [14];
- تنفيذ إجراءات التخزين والمناولة الملائمة للنفايات الخطرة وغير الخطرة التي سيتم استخدامها كوقود أو مواد خام مستعمل، وذلك كما هو وارد في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.
- يندر استخدام الوقود المستعمل أو نفايات المواد الخام في *تصنيع الجير* بسبب متطلبات جودة المنتج. [15]

**استهلاك الطاقة وأنواع الوقود**

يعتبر تصنيع الأسمنت والجير من الصناعات التي تستهلك كميات هائلة من الطاقة، وتمثل تكاليف الطاقة الكهربائية والوقود نسبة 40-50 في المائة من تكاليف الإنتاج الكلية. بالإضافة إلى توصيات الحفاظ على الطاقة الواردة في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**، فهناك قسم مخصص يشتمل على ما يلي.

[12] يتم تحطيم الديوكسينات والفيورانات ثنائية البنزين متعددة الروابط الكلورية في اللهب والغازات ذات درجة الحرارة المرتفعة ولكن يمكن إعادة تكوينها مرة أخرى في درجات حرارة أقل انخفاضًا (250-500 درجة مئوية). من المتيسر وجود فترات قصيرة من التبريد الذي ينخفض إلى ما هو أقل من 200 درجة مئوية في أفران التسخين المسبق-الكلسنة المسبقة وأفران التسخين المسبق حيث يكون التدفق في الحلزونات سريعًا ولكن من الصعب أن يتوفر ذلك في أنواع الأفران الأخرى.

[13] لا يزال استخدام الكربون المنشط في صناعة الأسمنت لامتصاص المقادير البسيطة من المعادن المتطايرة (مثل الزئبق) أو المركبات العضوية المتطايرة أو مركبات ثنائي بنزو بارا ديوكسين متعدد الكلور- ثنائي بنزو الفيوران متعدد الكلور مرحلة تجريبية ويرجع السبب في الرئيس في ذلك إلى اختلاف تركيبات الوقود. قد تؤدي حالات التشغيل الجيد والاختيار الدقيق لمواد الإدخال إلى تجنب الحاجة إلى استخدام الكربون المنشط.

[14] تتوافر معلومات إضافية عن منع وكبح انبعاثات مركبات ثنائي بنزو بارا ديوكسين متعدد الكلور وثنائي بنزو الفيوران متعدد الكلور في تقرير مجلس البحوث العلمية والصناعية، 2006.

[15] يؤثر مصدر الوقود المستخدم في تصنيع الجير تأثيرًا واضحًا على جودة الجير الذي يتم إنتاجه ويرجع السبب الرئيس لهذا التأثير إلى محتوى الكبريت الذي يتم احتجازه في المنتج ويؤدي إلى خفض قيمته، وقد تؤثر أنواع الوقود المختلفة في جودة المنتج إذا لم يكتمل احتراقها ومن ثم يأتي الغاز الطبيعي والزيت كأكثر أنواع الوقود شيوعًا في تصنيع الجير نظرًا لخصائص احتراقها. يمكن استخدام الفحم (الذي ينخفض فيه محتوى الكبريت) والفحم البترولي عندما لا يمثل محتوى الكبريت الناتج في المنتج أي أهمية. يندر استخدام الوقود المستعمل أو نفايات المواد الخام في تصنيع الجير بسبب متطلبات جودة المنتج.

*الأفران*

بالنسبة للمصانع الجديدة والتحديثات الكبرى، فإن الممارسة الدولية الجيدة لإنتاج الأحجار الأسمنتية الصغيرة تشتمل على استخدام أفران المعالجة الجافة التي تتبع مراحل متعددة من التسخين المسبق والكلسنة المسبقة (أفران التسخين المسبق-الكلسنة المسبقة). تعتبر أفران التسخين المسبق-الكلسنة المسبقة من أكثر الأفران شائعة الاستخدام في تصنيع الأسمنت، فهي تتميز باستهلاك أقل في الحرارة (بسبب استعادة كميات كبيرة من الحرارة من غاز الفرن في الحلزونات وبسبب انخفاض حالات فقدان الحرارة من الفرن) وبعدم تبخر المياه (مقارنةً بأفران المعالجة الرطبة التي تستخدم الردغة) وهي في نفس الوقت توفر أعلى سعة إنتاجية. يتم أيضًا استخدام أفران التسخين المسبق على نطاق واسع بسبب سهولة تشغيلها، ويرتفع استهلاك الحرارة في أفران التسخين المسبق ارتفاعًا طفيفًا عنه في أفران التسخين المسبق-الكلسنة المسبقة إلا أن سعتها الإنتاجية تنخفض بشكل ملحوظ عنها في أفران التسخين المسبق-الكلسنة المسبقة. [16] وتعتبر أنواع الأفران الأخرى (مثل أفران المعالجة الجافة الطويلة [LD] وأفران المعالجة شبه الجافة وأفران المعالجة شبه الرطبة وأفران المعالجة الرطبة) أنواعًا مهجورة. لتحسين كفاءة الطاقة بشكل أكبر، ينبغي استخدام الحرارة الناتجة من المبرد كهواء معالجة ساخن مثل الهواء الذي يتصاعد من قناة الهواء الثلاثية المستخدمة في الكلسنة المسبقة.

بالنسبة لتصنيع الجير، فإن الأفران الحلقية العالية المزودة بقائم والأفران التجددية ذات التدفق المتوازي وباقي أنواع الأفران المزودة بقائم تتميز بانخفاض استهلاك الوقود وارتفاع مرونة الوقود، وقد تم الإشارة إلى متوسط استهلاك الحرارة والكهرباء في أنواع الأفران المختلفة في قسم "استخدام الموارد والنفايات" الوارد أدناه.

*المبردات*

يعتبر "مبرد الهيكل المصبعي" هو النوع الوحيد من مبردات الأحجار الأسمنتية الصغيرة الذي يتم الآن استخدامه والذي يتم إنتاجه في إصدارات عديدة، ويتمثل الهدف من المبرد في خفض درجة حرارة الأحجار الأسمنتية بأسرع ما يمكن وتسخين الهواء الثانوي إلى أعلى درجة حرارة ممكنة كي يتم تقليل استهلاك الوقود.

*أنواع الوقود*

يعتبر الفحم المسحوق (الفحم الأسود والليجنيت) هو أكثر أنواع الوقود استخدامًا في صناعة الأسمنت ومن ناحية ثانية فقد أدت التكلفة المنخفضة لكوك البترول (الفحم البترولي) إلى زيادة استخدام هذا النوع من الوقود، وتتولد من الفحم والفحم البترولي إنبعاثات من غازات الدفيئة (GHG) أكثر من تلك التي تتولد من غاز الوقود والغاز الطبيعي (ما يقرب من 65 في المائة زيادة في الانبعاثات عن الانبعاثات في الغاز)، [17] كما أن محتوى الكبريت المرتفع في الوقود (من خصائص الفحم البترولي) قد يؤدي إلى حدوث مشاكل تشتمل في المقام

[16] تنتج أفران المعالجة الجافة ما يقرب من 80 في المائة من الأسمنت في أوربا، وينبغي تحويل الأفران التي لا تستخدم المعالجة الجافة إلى المعالجة الجافة عند تحسينها أو توسيعها، حيث أن أفران المعالجة الجافة الطويلة يرتفع فيها استهلاك الحرارة بشكل كبير وعادةً ما تلاحقها مشاكل خطيرة في الصيانة بالإضافة إلى التكاليف المتعلقة بذلك. تتميز أفران المعالجة شبه الجافة والمعالجة شبه الرطبة (Lepol) بالاستهلاك المتوسط للحرارة بسبب محتوى الرطوبة الموجودة في مواد تلقيم الفرن التي تأخذ شكل كرات. يرتفع استهلاك الكهرباء وتكاليف الصيانة في أفران المعالجة شبه الرطبة بسبب مكابس المرشحات. تعتبر أفران المعالجة الجافة (المهجورة الآن بشكل كبير) هي أقدم تقنيات الأفران الرأسية التي تسجل أعلى مستويات في استهلاك الحرارة وأقل سعة إنتاجية. لم يعد ينظر إلى الأفران العالية المزودة بقائم على أنها تقنية تصلح لإنتاج الأسمنت.

[17] يمثل زيت الوقود والغاز الطبيعي نسبة أقل من 6 في المائة من إجمالي استهلاك الوقود في أوربا ويرجع ذلك إلى ارتفاع تكلفتهما عن تكلفة الكوك البترولي والفحم.

الأول على تراكم الكبريت في حلقات الفرن. يشيع بشكل متزايد استخدام الوقود المستعمل كبديل للوقود التقليدي في صناعة الأسمنت ورغم ذلك ينبغي مراعاة مخاطر انبعاثات الهواء المتعلقة به كما تم تناولها بالشرح أعلاه. [18]

قد يكون من الضروري إتباع إجراءات خفض التلوث لضمان عدم توليد الانبعاثات السامة من احتراق النفايات في أفران الأسمنت، وينبغي القيام بالرصد الملائم (كما تمت مناقشته في القسم رقم 2) عند القيام بحرق الوقود المستهلك في مصانع الأسمنت.

**المياه المستعملة**

*معالجة المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية*

تعتبر العمليات التي تتم في المرافق لإنجاز أغراض التبريد في المراحل المختلفة من عملية التصنيع (المحامل وحلقات الفرن) هي المصدر الرئيس لتوليد المياه المستعملة وقد تنتج من بعض العمليات مياه مستعملة يرتفع فيها الأس الهيدروجيني والمواد الصلبة المعلقة. وتشتمل أساليب معالجة المياه المستعملة في العملية الصناعية الواردة في هذا القسم على معادلة التدفق والحمولة بالإضافة إلى ضبط الأس الهيدروجيني، والحد من ترسيب المواد الصلبة المعلقة باستخدام أحواض التصفية وأجهزة التنقية، واستخدام الترشيح متعدد الأوساط للتقليل من المواد الصلبة المعلقة غير المستقرة. وتناقش **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** كيفية التعامل مع المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية وأمثلة لطرق المعالجة. ويتعين على المرافق، من خلال استخدامها لهذه التقنيات وأساليب الممارسة الصحيحة المتعلقة بكيفية التعامل مع المياه المستعملة، أن تفي بالقيم الإرشادية المعنية بتصريف المياه المستعملة والمبينة بالجدول ذي الصلة بالقسم 2 من وثيقة قطاع الصناعة هذا.

*المجاري الأخرى للمياه المستعملة واستهلاك المياه*

تقدم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** توجيهات حول كيفية التعامل مع المياه المستعملة غير الملوثة الناتجة عن العمليات التي تتم في المرافق الصناعية، ومياه العواصف غير الملوثة، ومياه الصرف الصحي. ويجب توجيه مجاري المياه المستعملة الملوثة إلى نظام معالجة المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية.

قد تتلوث مياه العواصف التي تتدفق عبر الكوك البترولي والفحم وأكوام مواد النفايات المعرضة للهواء الطلق، وينبغي منع مياه العواصف من ملامسة أكواد مواد النفايات عن طريق تغطية أو تطويل هذه الأكوام وعن طريق تركيب وحدات التحكم المستمرة، كما أن أساليب منع التلوث الموصى بها في حالة إنبعاثات الغبار من أكوام مواد النفايات ومن الأحجار الأسمنتية الصغيرة والفحم والنفايات (كما هو وارد أعلاه) قد تساعد في الحد من تعرض مياه العواصف للتلوث. في حالة عدم ملامسة مياه العواصف لأكوام المواد، ينبغي حماية التربة والمياه الجوفية من التلوث المحتمل عن طريق رصف قاعدة هذه الأكوام أو تبطينها بدلاً من ذلك، وعن طريق تثبيت وحدات التحكم المستمرة حولها، وتجميع مياه العواصف في حوض مبطن للسماح بالمواد الجسيمية بالاستقرار قبل أن يتم العزل والتحكم وإعادة التدوير أو التصريف. تشتمل **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** على مزيدٍ من التوصيات حول التعامل مع مياه العواصف الملوثة.

[18] لقد أصبح استخدام الوقود المستعمل كوقود بديل إجراءًا متبعًا في الدول الصناعية، حيث وصل المعدل المتوسط لاستخدامه في الاتحاد الأوربي إلى 12 في المائة، وتشتمل أنواع الوقود البديلة على بقايا الوقود والمواد الممتصة والبقايا الممزقة (مثل المواد البلاستيكية والمطاط) والمواد البلاستيكية التي ينخفض فيها عنصر الكلور والإطارات والمنسوجات وحمأة الصرف الصحي والمرشحات المستعملة.

وتقدم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** توصيات لخفض استهلاك المياه، لا سيما في الأماكن التي تكون فيها المصادر الطبيعية محدودة.

**النفايات الصلبة**

تشتمل مصادر النفايات الصلبة في عملية تصنيع الأسمنت والجير على النفايات المتخلفة عن إنتاج الأحجار الأسمنتية والتي تتكون بشكل أساسي من الصخور التالفة التي يتم التخلص منها من المواد الخام أثناء إعداد المواد الخام، ويشتمل مجرى النفايات المحتملة على غبار الفرن الذي تتم إزالته من مجرى التحويل أو مدخنة العادم إذا لم يتم إعادة تدويره في العملية.

تنتج كميات صغيرة من النفايات من صيانة المصنع (مثل الزيت المستخدم ومعادن الخردة)، [19] بينما قد تشتمل مواد النفايات الأخرى على تراكمات الغبار المتصاعدة من الفرن والتي تحتوي على الكلوريد/الفلوريد. في عملية إنتاج الجير، تتم إعادة استخدام/إعادة تدوير الغبار والجير الحالي غير المطابق للمواصفات والجير المطفأ في منتجات تجارية محددة (مثل الجير المستخدم في عمليات التشييد والجير المستخدم لتثبيت التربة والجير الحي ومنتجات البالات).

وتقدم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** الإرشادات حول التعامل مع النفايات الخطرة وغير الخطرة.

**الضوضاء**

يرتبط التلوث الضوضائي بالمراحل المتعددة في عملية تصنيع الأسمنت والجير بما في ذلك استخراج المواد الخام (خضع للمناقشة في **إرشادات البيئة والصحة والسلامة المتعلقة باستخراج مواد التشييد**)، والطحن والتخزين، ومناولة ونقل المواد الخام والمنتجات الوسيطة والنهائية، وتشغيل مراوح العادم. تقدم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** المستويات الموصى بها لإجراءات خفض الضوضاء ومستويات الضوضاء المحيطة.

## 1.2 الصحة والسلامة المهنية

تتضمن أكبر التأثيرات المتعلقة بالصحة والسلامة المهنية والتي تبرز أثناء مرحلة تشغيل مشروعات تصنيع الأسمنت والجير على ما يلي:

- الغبار
- الحرارة
- الضوضاء والاهتزازات
- المخاطر البدنية
- الإشعاع
- المخاطر الكيمائية وقضايا الصحة الصناعية

**الغبار**

يرتبط التعرض للجسيمات الدقيقة بالعمل في معظم مراحل تصنيع الأسمنت والجير التي ينتج الغبار فيها إلا أنه ينتج بشكل ملحوظ من تشغيل المحاجر (انظر **إرشادات البيئة والصحة والسلامة المتعلقة باستخراج مواد التشييد**) ومناولة المواد الخام وطحن الأحجار الأسمنتية/الأسمنت. [20] يتعلق

[19] قد تتولد الرشاحات القلوية الناتجة من مكابس الترشيح في المرافق القديمة التي لازالت عاكفة على استخدام عمليات المعالجة شبه الرطبة المتقطعة بشكل كبير.

[20] ينظر المؤتمر الأمريكي لإخصائيِّ الصحة الصناعية الحكومية (ACGIH)لأسمنت البورتلاند على أنه "غبار ضار"، ويخاطر العمال الذين يتعرضون لفترة طويلة للغبار المحمل بالجسيمات الدقيقة بإمكانية إصابتهم بأمراض السُحار (تَغَبُّرُ الرِّئَة) الحميد، والنفاخ الرئوي، والتهاب الشعب الهوائية، والتليف.

التعرض لغبار السيليكا(المتبلر) النشط ($SiO_2$) عندما يكون موجودًا في المواد الخام بالمخاطر المحتملة في قسم تصنيع الأسمنت والجير. وتتضمن طرق منع التعرض للغبار والسيطرة عليه ما يلي: [21]

- مكافحة الغبار عن طريق عمليات التنظيف والصيانة الجيدة؛
- استخدام الحجيرات المغلقة مكيفة الهواء؛
- استخدام أنظمة استخلاص الغبار وإعادة تدويره للتخلص من الغبار في مناطق العمل وبخاصة طواحين السحق؛
- استخدام امتصاص الهواء (الشفط) في مناطق تعبئة أكياس الأسمنت؛
- استخدام معدات الوقاية الشخصية (مثل الكمامات والأقنعة) لمواجهة التعرض للمواد المتبقية بعد استخدام وحدات التحكم الهندسية والمعالجة التي سبق الإشارة إليها أعلاه؛
- استخدام أنظمة التنظيف الخوائي المتنقلة لمنع تراكم الغبار في المناطق المرصوفة؛

**الحرارة**

تحدث حالات التعرض الرئيسة للحرارة في هذا القسم أثناء تشغيل وصيانة الأفران أو المعدات الساخنة الأخرى ومن خلال التفاعلات الطاردة للحرارة التي تحدث في عملية إطفاء الجير. وتتضمن أساليب المنع والسيطرة الموصى بها ما يلي:

- حجب أسطح المعدات الساخنة حيثما يُتوقع وجود العمال بجوارها أو ملامستهم لها واستخدام معدات الوقاية الشخصية، حسب الحاجة (مثل القفازات والأحذية المعزولة).
- تقليل وقت التشغيل اللازم في الأوساط التي ترتفع فيها درجة الحرارة عن طريق تنفيذ ورديات عمل أقصر طولاً في هذه المواقع؛
- توفير واستخدام كمامات مزودة بهواء أو أكسجين، حسب الحاجة؛
- تنفيذ إجراءات دقيقة للسلامة والحماية الشخصية في عملية إطفاء الجير لتجنب التعرض المحتمل للتفاعلات الطاردة للحرارة.

**الضوضاء والاهتزازات**

تعتبر مراوح العادم وطواحين السحق هي المصادر الرئيسة للضوضاء والاهتزازات في مصانع الأسمنت والجير، وقد يشتمل التحكم في إنبعاثات الضوضاء على استخدام كاتمات صوت المراوح وحواجز الغرف لمشغلي الطواحين وحواجز الضوضاء ووسائل حماية الجهاز السمعي في حالة تعذر خفض الضوضاء إلى مستويات مقبولة وذلك كما تمت مناقشته في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

**المخاطر البدنية**

ترتبط الإصابات التي تحدث أثناء عمليات تصنيع الأسمنت والجير في العادة بحالات الانزلاق والانحشار والسقوط والاحتكاك بالأشياء الساقطة/المتحركة والرفع وفرط الإجهاد، بينما قد تحدث الإصابات الأخرى بسبب الاحتكاك بالآلات المتحركة أو الاحتجاز فيها (مثل الشاحنات القلابة والمحملات الأمامية والرافعات الشوكية. تمثل الأنشطة المتعلقة بصيانة المعدات بما فيها معدات السحق والطواحين وأجهزة فرز

[21] يتوافر مزيد من المعلومات عن منع مخاطر استنشاق السيليكا والسيطرة عليه لدى وزارة العمل الأمريكية، إدارة الصحة والسلامة المهنية (OSHA)، القسم الإلكتروني للتعامل مع السيليكا المتاح على العنوان التالي : http://www.osha.gov/SLTC/etools/silica/index.html

الطحين والمراوح والمبردات والسيور الناقلة مصدرًا هامًا في التعرض للمخاطر البدنية، وقد تمت مناقشة التعامل مع هذه الأنواع من المخاطر في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**. [22]

**الإشعاع**

يتم أحيانًا استخدام الأشعة السينية لتحقيق الرصد المستمر لخليط المواد الخام الموجودة في السير الناقل الذي يتم تلقيمه في طاحونة المواد الخام، وينبغي حماية مشغلي هذه المعدات من خلال إجراءات الحماية من الإشعاع المؤين كما هو وارد في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

**المخاطر الكيميائية وقضايا الصحة الصناعية**

قد يساهم الكروم في حدوث التهاب الجلد التلامسيّ التحسُسى بين العمال الذين يتعاملون مع الأسمنت. [23] تشتمل أساليب منع ومكافحة هذا الخطر المحتمل على تقليل نسبة الكروم القابل للذوبان في مخلوطات الأسمنت واستخدام معدات الوقاية الشخصية المناسبة لمنع التهاب الجلد التلامسي كما هو وارد في **الإرشادات العامة بشأن الصحة والسلامة والبيئة.**

يعتبر التلامس العرضي المحتمل مع أكسيد الكالسيوم (CaO) / وهيدروكسيد الكالسيوم (CaOH) مع البشرة /العيون / الأغشية المخاطية هي أحد المخاطر الموجودة في مصانع إنتاج الجير والتي لابد من تقييمها ومنعها وتخفيفها من خلال إجراءات ومعدات الطوارئ. قد تتسبب الرطوبة في الإصابة بالحروق، وينبغي أن تتوافر مرافق الغسل الفوري لمناطق الجسم المصابة بما في ذلك مرافق غسل العيون في المكان الذي تتم فيه مناولة الجير الحي، وينبغي تغطية وتطويق مناطق المعالجة إذا كان ذلك ممكنًا لتجنب تولد خطر الغبار. وتقدم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** إرشادات إضافية حول أساليب التعامل مع المخاطر الكيمائية.

### 1.3 صحة المجتمعات المحلية وسلامتها

تتماثل التأثيرات الواقعة على صحة المجتمع وسلامته أثناء إنشاء وتشغيل وإيقاف تشغيل مصانع تصنيع الأسمنت والجير مع التأثيرات الحادثة أثناء إنشاء وتشغيل وإيقاف تشغيل معظم المرافق الصناعية، وقد تم تناولها بالمناقشة في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

## 2.0 مؤشرات الأداء والرصد

### 2.1 البيئة

**إرشادات بشأن الانبعاثات والنفايات السائلة**

تقدم الجداول 1 و2 و3 إرشادات بشأن الانبعاثات والنفايات السائلة لهذا القطاع. وتشرح القيم الإرشادية الخاصة بالانبعاثات والنفايات السائلة الناتجة عن العمليات في هذا القطاع الممارسة الصناعية الدولية الجيدة كما هي واردة في المعايير ذات الصلة للبلدان التي لديها أطر تنظيمية معترف بها. كما يمكن تطبيق هذه الإرشادات في ظروف التشغيل العادية داخل المرافق المصممة والمشغلة على نحو ملائم من خلال تطبيق أساليب منع التلوث والسيطرة عليه والتي تم تناولها بالمناقشة في الأقسام السابقة من هذه الوثيقة. وينبغي

[22] يتوافر مزيد من الإرشادات لدى المجلس العالمي للأعمال التجارية من أجل التنمية المستدامة(WBCSD) ، مبادرة استدامة الأسمنت(CSI) ، الصحة والسلامة في صناعات الأسمنت، وتتوافر أمثلة على الممارسات السليمة (2004) في :
http://www.wbcsdcement.org/pdf/tf3/tf3_guidelines.pdf

[23] أظهرت الفحوصات أن الأسمنت الأمريكي يحتوي على محتوى كروم يمثل 5-124جزءًا من المليون بينما يحتوي الأسمنت الأوربي على 32-176 جزءًا من المليون، ويضبط الاتحاد الأوربي نسبة الكروم القابل للذوبان (Cr VI) في الأسمنت بحيث يصل الحد الأعلى منه إلى 0.0002 في المائة من الوزن الإجمالي للجاف من الأسمنت لمنع التهابات الجلد التلامسية التحسسية.

تطبيق هذه المستويات بدون تخفيف، فيما لا يقل عن 95 في المائة من وقت تشغيل المصنع أو الوحدة، بعد حسابها كنسبة من ساعات التشغيل السنوية. ويجب تبرير عدم تطبيق هذه المستويات بالنسبة لأوضاع مشروع محلي محدد في التقييم البيئي.

**جدول 1 - مستويات الانبعاثات الهوائية في تصنيع الأسمنت***

| الملوثات | الوحدة | القيمة الإرشادية |
|---|---|---|
| **المواد الجسيمية** (نظام الفرن الجديد) | ملليغرام/نانو متر 3 | 30(أ) |
| **المواد الجسيمية** (الأفران الموجودة) | ملليغرام/نانو متر 3 | 100 |
| **الغبار** (المصادر المحددة الأخرى بما فيها تبريد الأحجار الأسمنتية وطحن الأسمنت) | ملليغرام/نانو متر 3 | 50 |
| **ثاني أكسيد الكبريت ($SO_2$)** | ملليغرام/نانو متر 3 | 400 |
| **أكاسيد النيتروجين (NOX)** | ملليغرام/نانو متر 3 | 600 |
| **كلوريد الهيدروجين** | ملليغرام/نانو متر 3 | 10ب |
| **فلوريد الهيدروجين** | ملليغرام/نانو متر 3 | 1ب |
| **إجمالي الكربون العضوي** | ملليغرام/نانو متر 3 | 10 |
| **ديوكسينات/فيورانات** | ملليغرام مكافيء سمي/نانومتر3 | 0.1ب |
| **الكادميوم والثاليوم (Cd+Tl)** | ملليغرام/نانو متر 3 | 0.05ب |
| **الزئبق (Hg)** | ملليغرام/نانومتر3 | 0.05ب |
| **إجمالي المعادنج** | ملليغرام/نانومتر3 | 0.5 |

ملاحظات:
*الإنبعاثات الصادرة من مدخنة الفرن ما لم تتم الإشارة إلى غير ذلك. تم تعديل قيم المعدل اليومي إلى 273 كيلو و101.3 كيلو باسكال ونسبة 10 في المائة من الأكسجين $O_2$ والغاز الجاف ما لم تتم الإشارة إلى غير ذلك.
أ10 ملليغرام/نانومتر3في حالة إنبعاث ما يزيد عن 40 في المائة من الحرارة الناتجة من النفايات الخطرة. بقي حالة إنبعاث ما يزيد عن 40 في المائة من الحرارة المنبعثة من النفايات الخطرة، فإن القيم المتوسطة تتجاوز الفترة التجريبية التي تصل إلى 30 دقيقة كحد أدنى و8 ساعات كحد أقصى.
جالمعادن الإجمالية = الزرنيخ (As) والرصاص (Pb) والكوبالت (Co) والكروم (Cr) والنحاس (Cu) والماغنسيوم (Mn) والنيكل (Ni) والفاناديوم (V) والأنتيمون (Sb)

تنطبق الإرشادات بشأن النفايات السائلة على عمليات التصريف المباشر للنفايات السائلة المعالجة في المياه السطحية من أجل الاستخدام العام. يمكن تحديد مستويات التصريف الخاصة بالموقع بناء على مدى توفر وظروف استخدام الأنظمة العامة لتجميع ومعالجة مياه الصرف الصحي أو، إن كان تصريفها يتم مباشرة على المياه السطحية، عندئذ يتم تحديد المستويات بناء على نظام تصنيف استخدام المياه المستقبلة كما هو موضح في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**. إن الإرشادات المعنية بانبعاث الملوثات تنطبق على الانبعاثات الناتجة عن العمليات. وتتناول **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** بالبحث الإرشادات الخاصة بانبعاث الملوثات من مصادر الاحتراق المرتبطة بأنشطة توليد الطاقة البخارية والكهربائية من مصادر لها قدرة تساوي أو تقل عن 50 ميغاوات؛ أما انبعاثات مصادر الطاقة الأكبر فتعالجها **الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة من أجل الطاقة الحرارية**. كما تقدم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** إرشاداً حول اعتبارات البيئة المحيطة استناداً إلى إجمالي حمل الانبعاثات.

**الجدول 2 مستويات الانبعاثات الهوائية تصنيع الجير**

| الملوثات | الوحدة | القيمة الإرشاديةأ |
|---|---|---|
| **الغبار** | ملليغرام/نانو متر3 | 50 |
| **ثاني أكسيد الكبريت ($SO_2$)** | ملليغرام/نانو متر3 | 400 |
| **أكاسيد النيتروجين ($NO_X$)** | ملليغرام/نانو متر3 | 500 |
| **كلوريد الهيدروجين** | ملليغرام/نانو متر3 | 10 |

ملاحظات:
أ تم تعديل قيم المعدل اليومي إلى 273° كلفن و101.3 كيلو باسكال ونسبة 2 في المائة من الأكسجين O2 والغاز الجاف ما لم تتم الإشارة إلى غير ذلك.

| الجدول 3 مستويات النفايات السائلة تصنيع الأسمنت والجير | | |
|---|---|---|
| الملوثات | الوحدة | القيمة الإرشادية |
| **الأس الهيدروجيني** | الوحدة المعيارية | 6–9 |
| **إجمالي المواد الصلبة العالقة** | ملليغرام/لتر | 50 |
| **زيادة درجة الحرارة** | درجة مئوية | <3(أ) |
| أ عند حافة منطقة مزج مثبتة علمياً تأخذ في الاعتبار نوعية المياه المحيطة، واستخدام المياه المستقبلة، والمستقبلات المحتملة، والطاقة التمثيلية | | |

### استخدام الموارد والنفايات

تقدم الجداول التالية 4-7 أمثلة استخدام الموارد وإنتاج النفايات في هذا القطاع والتي يمكن اعتبارها كمؤشرات لكفاءة القطاع والتي يمكن استخدامها لتتبع التغييرات في الأداء بمرور الوقت.

| جدول 4 – استهلاك الموارد والطاقة. | | |
|---|---|---|
| المدخلات حسب وحدة المنتج | الوحدة | معيار الصناعة الإرشادي |
| **طاقة الوقود – الأسمنت** | غيغا جول/طن من الأحجار الأسمنتية | 3.0–4.2أ، ب، ج، د، هـ |
| **الطاقة الكهربائية – الأسمنت** | كيلوواط ساعة/طن من الأسمنت المكافئ | 90–150أ، ب، ج |
| **الطاقة الكهربائية - طحن الأحجار الأسمنتية** | كيلوواط ساعة/طن متري | 40–45 |
| **طاقة الوقود – الجير** | غيغا جول/طن من الجير | 4–4.7 الأفران المزودة بقائم وتعمل بالتلقيم المختلطb<br>3.6–6 الأفران الحديثة المزودة بقائم والأفران الدوارةb |
| **الطاقة الكهربائية – الجير** | كيلوواط ساعة/طن من الجير المكافئ | 5-15 الأفران العالية المزودة بقائم وتعمل بالتلقيم المختلطb<br>20-40 الأفران العالية الحديثة المزودة بقائم والأفران الدوارةb |
| **المواد**<br>مواد خام بديلة يتم استخدامها في إنتاج الأحجار الأسمنتية | % | 2–10أ، و، ز |
| مواد خام بديلة في إنتاج الأسمنت | % | 0–80/70 في خبث الفرن العالي<br>0≤–30 في الرماد المتطاير |
| ملاحظات: برجاء مراجعة الجدول رقم 5 للحصول على الملاحظات والموارد. | | |

| جدول 5 الإنبعاثات وإنتاج النفايات. | | |
|---|---|---|
| الإنتاج لكل وحدة منتج | الوحدة | معيار الصناعة الإرشادي |
| **النفايات** | كيلوغرام/طن | 0.25–0.6(أ) |
| **الانبعاثات**<br>الغبار | غرام/طن أسمنت مكافئ | 20–50(أ) |
| أكاسيد النيتروجين ($NO_X$) | غرام/طن من الأسمنت المكافئ | 600–800ب |
| أكاسيد الكبريت ($SO_X$) | كيلوغرام/طن | 0.1–2.0أ، ح |
| ثاني أكسيد الكربون ($CO_2$)<br>من إزالة الكربون ح<br>من الوقود ط | كيلوغرام/طن<br>كيلوغرام/طن من الأسمنت المكافئ | 400–525أ، هـ، و، ح، ل<br>150–350 أ، هـ، و، ح |
| أ شركة Buzzi–Unicem (2004)<br>ب الاتفاقية الدولية لحماية النبات (2001).<br>ج Ernest Orlando، المعمل القومي (2004).<br>د .NRCan (2001)<br>هـإتحاد شركات صناعة الأسمنت (2003).<br>و مجموعة .Italcementi (2005)<br>ز البيئة (2004)<br>ح شركة Lafarge (2004).<br>طيتأثر بالكميات المتنوعة من الرماد المتطاير وباقي المواد الإضافية المستخدمة.<br>ك ينظر إلى إنبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة من حرق النفايات (على الأقل من تكسير التحلل البيولوجي) على أنها مادة محايدة في العديد من الدول.<br>ل المجلس العالمي للأعمال التجارية من أجل التنمية المستدامة، مبادرة استدامة الأسمنت، 2002 | | |

**الجدول رقم 6. استهلاك الحرارة والسعة الإنتاجية الخاصة بأفران تصنيع الأسمنت.**

| نوع الفرن | استهلاك الحرارة (الأحجار الأسمنتية بالميجاجول/طن) | الحد الأقصى للسعة الإنتاجية |
|---|---|---|
| **التسخين المسبق-الكلسنة المسبقة - 3–6 مراحل** | 3 000–3 800(أ) | 12 000 |
| **التسخين المسبق** | 3 100–4 200 | 4 000 |
| **المعالجة الجافة الطويلة** | ≤5 000 | 3 800 |
| **المعالجة شبه الجافة-المعالجة شبه الرطبة (Lepol)** | 3 300–4 500 | 2 500 |
| **المعالجة الرطبة** | 5 000–6 000 | 1 500–2 000 |

ملاحظات:
أ تتمكن عمليات التسخين المسبق-الكلسنة المسبقة سداسية المراحل من تحقيق 2900 ميجا جول/طن من الأحجار الأسمنتية في الظروف المثلى.
المصدر: الاتفاقية الدولية لحماية النبات (2001).

**الجدول رقم 7. معدل استهلاك الحرارة والكهرباء في الأنواع الأربعة من أفران الجير.**

| نوع الفرن [24] | استهلاك الحرارة (الجير بالميجاجول/طن) | استهلاك الكهرباء (الجير بالكيلو واط في الساعة/طن) |
|---|---|---|
| **الأفران المزودة بقائم** | 3600–4500 | 5–45 |
| **الأفران الدوارة** | 4600–5400 | 18–40 |
| **المصبع المتحرك** | 3700–4800 | 31–38 |
| **التسخين المسبق لتعليق الغاز** | 4600–5400 | 20–25 |

المصدر: الاتفاقية الدولية لحماية النبات (2001).

**الرصد البيئي**

يجب تطبيق برامج الرصد البيئي الخاصة بذلك القطاع للتعامل مع جميع الأنشطة التي تم تحديد أنها ذات آثار كبيرة محتملة على البيئة، أثناء العمليات العادية وفي الظروف غير المواتية. ويجب أن تستند أنشطة الرصد البيئي إلى المؤشرات المباشرة وغير المباشرة المطبقة على مشروع بعينه للانبعاثات والنفايات السائلة واستغلال الموارد.

يجب أن يكون معدل تكرار الرصد كافياً لتوفير بيانات تمثيلية للمعيار الجاري رصده. ويجب أن يقوم بعمليات الرصد أفراد مدربون وفقاً لإجراءات الرصد والاحتفاظ بالسجلات مع استخدام معدات تجري معايرتها وصيانتها على نحو سليم. كما ينبغي تحليل بيانات الرصد ومراجعتها على فترات منتظمة ومقارنتها بالمعايير التشغيلية حتى يتسنى اتخاذ أية إجراءات تصحيحية لازمة. وتتوفر إرشادات إضافية عن الطرق المطبقة لأخذ العينات وتحليل الانبعاثات في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

## 2.2 الصحة والسلامة المهنية

**إرشادات الصحة والسلامة المهنية**

يجب تقييم أداء الصحة والسلامة المهنية بالمقارنة مع إرشادات التعرض المنشورة دولياً، والتي تشمل على سبيل المثال، قيمة الحد الأقصى المقبول للتعرض (TLV®) وإرشادات التعرض المهني ومؤشرات التعرض البيولوجي (BEIs®) المنشورة من قبل المؤتمر الأمريكي لخبراء الصحة المهنية الحكوميين (ACGIH)، [25] ودليل الجيب للمخاطر الكيميائية المنشورة من قبل المعهد الوطني الأمريكي للصحة والسلامة المهنية (NIOSH)، [26] وحدود التعرض المسموح بها (PELs) المنشورة من قبل الإدارة الأمريكية للصحة والسلامة المهنية

[24] يتطلب الجير الحي الذي يحتوي على الكالسيوم التفاعلي معدل استهلاك أعلى.

[25] متاح على الموقعين التاليين: http://www.acgih.org/TLV/ http://www.acgih.org/store/
[26] متاح على الموقع التالي : http://www.cdc.gov/niosh/npg/

(OSHA)، [27] والقيم الإرشادية لحدود التعرض المهني المنشورة من قبل الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي، [28] أو ما يشابهها من مصادر.

**معدلات الحوادث والوفيات**

يجب على إدارات المشاريع أن تحاول خفض عدد الحوادث التي تقع بين عمال المشروع (سواءً المعينين مباشرة أو المتعاقدين من الباطن) إلى أن يصل إلى مستوى الصفر، لا سيما الحوادث التي يمكن أن تؤدي إلى فقدان وقت العمل، أو إلى مستويات مختلفة من الإعاقة، أو حتى إلى حدوث وفيات. ويجب إجراء مقارنة معيارية بين المعدلات السائدة في المرفق وبين أداء المرافق الأخرى في هذا القطاع في البلدان المتقدمة من خلال الرجوع إلى المصادر المنشورة (مثل مكتب إحصاءات العمل الأمريكي وإدارة الصحة والسلامة بالمملكة المتحدة والمجلس العالمي للأعمال التجارية من أجل التنمية المستدامة- مبادرة استدامة الأسمنت) [29]

**رصد الصحة والسلامة المهنية**

يجب رصد بيئة العمل بحثاً عن الأخطار المهنية ذات الصلة بالمشروع المحدد. وينبغي تصميم الرصد والقيام به على أيدي متخصصين معتمدين [30] كجزء من برنامج رصد الصحة والسلامة المهنية. كما يجب أن تقوم المنشآت بالاحتفاظ بسجل للحوادث والأمراض والأحداث الخطرة المهنية والحوادث الأخرى. وتتوفر إرشادات إضافية عن برامج رصد الصحة والسلامة المهنية في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

[27] متاح على الموقع التالي :
http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992
[28] متاح على الموقع التالي :
http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/
[29] متاح على المواقع التالية:
http://www.bls.gov/iif/
http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm
www.wbcsd.ch
http://www.wbcsdcement.org/
[30] يمكن أن يكون من بين المهنيين المعتمدين خبراء الصحة الصناعية المعتمدون، أو الخبراء المسجلون المعنيون بممارسة المهن، أو المهنيون المعتمدون المعنيون بالسلامة، أو الأفراد المماثلون.

# 3.0 ثبت المراجع والمصادر الإضافية

Cembureau (European Cement Association). 1999. Best Available Techniques for the Cement Industry. A Contribution from the European Cement Industry to the Exchange of Information and Preparation of the IPPC BAT Reference for the Cement Industry. Brussels: Cembureau. Available at http://www.cembureau.be/

Cement Industry Federation (CIF). 2003. Cement Industry Environment Report. Manuka, ACT: CIF. Available at http://www.cement.org.au/

Cement Sustainability Initiative, World Business Council on Sustainable Development (WBCSD). 2002. Our Agenda for Action. Geneva: WBCSD. Available at http://www.wbcsdcement.org/agenda.asp

CSI. 2004. Formation and Release of POPs in the Cement Industry. Second edition 2006. Geneva: WBCSD. Available at http://www.wbcsdcement.org/pdf/formation_release_pops_second_edition.pdf

CSI. 2005. Progress Report, June 2005. Geneva: WBCSD. Available at http://www.wbcsdcement.org/pdf/csi_progress_report_2005.pdf

CSI. 2005. $CO_2$ Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry. Cement $CO_2$ Protocol, July. Geneva: WBCSD. Available at http://www.wbcsdcement.org/climate.asp

CSI. 2005. Environmental and Social Assessment Guidelines. Available at: http://www.wbcsd.org/web/publications/cement_esia_guidelines.pdf

CSI. Guidelines on the Responsible Use of Fuel and Materials. 2005. Available at: http://www.wbcsd.org/DocRoot/Vjft3qGjo1v6HREH7jM6/tf2-guidelines.pdf

European Commission. 2000. Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste. Brussels: EC. Available at http://europa.eu.int/eur-lex/en/consleg/pdf/2000/en_2000L0076_do_001.pdf

European Commission. 2001. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). Reference Document on Best Available Techniques (BREF) for Cement and Lime Production. Seville: EICCPB. Available at http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm

European Commission. 2004. Directorate-General Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies (IPTS). Promoting Environmental Technologies: Sectoral Analyses, Barriers and Measures. Brussels: EC. Available at http://www.jrc.es/

European Environment Agency (EEA). 2005. EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook. Copenhagen: EEA. Available at http://reports.eea.europa.eu/EMEPCORINAIR4/en/page002.html

Environment Canada. 2004. Foundation Report on the Cement Manufacturing Sector. Draft No. 1, June. Gatineau, Quebec: Environment Canada. Available at http://www.ec.gc.ca/

GTZ-Holcim Public Private Partnership. Guidelines on co-processing Waste Materials in Cement Production. Available at: http://www.holcim.com/gc/CORP/uploads/GuidelinesCOPROCEM_web.pdf

National Safety Council. Radon Radioactivity and the Fly Ash Market. Itasca, IL: National Safety Council. Available at http://www.nsc.org/ech/radon/rad_faqs.htm

Natural Resources Canada (NRC). 2001. Office of Energy Efficiency. Energy Consumption Benchmark Guide: Cement Clinker Production. Available at http://oee.nrcan.gc.ca/publications/industrial/BenchmCement_e.pdf

United States (US) Environmental Protection Agency (EPA). 1999. Code of Federal Regulation Title 40, Part 63. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Source Categories; Portland Cement Manufacturing Industry. Washington, DC: US EPA. Available at http://www.epa.gov/EPA-AIR/1999/June/Day-14/a12893.htm

US EPA. 2003. 40 CFR Part 411. Cement Manufacturing Point Source Category. Effluent Limitations Guidelines, Cement Manufacturing Point Source Category. Washington, DC: US EPA. Available at http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/waisidx_03/40cfr411_03.html

US EPA. 2004. Code of Federal Regulation Title 40, Part 63. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Source Categories; Lime Manufacturing Plants. Washington, DC: US EPA. Available at http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR/2004/January/Day-05/a23057.htm

US EPA. 2005. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Final Standards for Hazardous Air Pollutants for Hazardous Waste Combustors (Phase I Final Replacement Standards and Phase II). 40 CFR Parts 9, 63, 260 et al. Washington, DC: US EPA. Available at http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR/2005/December/Day-19/a24198.htm

US National Library of Medicine, National Institutes of Health. Haz-Map–Occupational Exposure to Hazardous Agents. Available at http://hazmap.nlm.nih.gov/index.html

Marlowe, I., and D. Mansfield. 2002. Substudy 10: Environment, Health and Safety Performance Improvement, Toward a Sustainable Cement Industry. Independent Report commissioned by the World Business Council for Sustainable Development. AEA Technology. Geneva: WBCSD. Available at http://www.wbcsdcement.org/pdf/final_report10.pdf

World Business Council for Sustainable Development and the Foundation for Industrial and Scientific Research of Norway. 2006. Formation and Release of POPs in the Cement Industry,

Second Edition. Available at http://www.wbcsdcement.org/pdf/formation_release_pops_second_edition.pdf

Worrell, E and C. Galitsky. 2004. Energy Efficiency Improvement Opportunities for Cement Making. An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Sponsored by the US Environmental Protection Agency. Berkeley, LA: University of California, Berkeley. Available at http://www.energystar.gov/ia/business/industry/Cement_Energy_Guide.pdf

Wulf-Schnabel, J., and J. Lohse. 1999. Economic Evaluation of Dust Abatement Techniques in the European Cement Industry. Okopol: Institute for Environmental Strategies.

## الملحق(أ): وصف عام لأنشطة الصناعة

تعتبر عمليتي إنتاج الأسمنت والحجر الجيري علميتين متشابهتين، حيث أن كلتاهما يستلزم استخراج الأحجار والتعدين والطحن ومجانسة المواد الخام كما هو موضح في الشكل رقم أ.1. للتقليل من تكاليف النقل وتوفير الفرصة لاستخدام السيور الناقلة، يتم تصنيع الأسمنت والجير في العادة بجوار موارد المواد الخام وبالقرب من أسواق المنتجات. يتم توزيع الأسمنت بشكل موفر اقتصاديًا باستخدام شاحنات في نطاق دائري صغير نسبيًا (ما يقرب من 100-150 كم من المصنع) ويمكن أن يتم النقل باستخدام الزوارق أو السفن إذا كان المصنع موجودًا في عرض البحر. يحتاج خط الإنتاج الأحادي المدمج (أفران التسخين المسبق-الكلسنة المسبقة [PHP] وأفران التسخين المسبق التي تصل السعة الإنتاجية فيها إلى 3000 طن من الأحجار الأسمنتية/ اليوم) ما يقرب من 400000 م$^2$ في منطقة مستوية بالإضافة إلى منطقة إضافية [مثل 250000 م$^2$] للتوسعة الإضافية. يتراوح العمر الافتراضي لمرفق المشروع النموذجي من 40 إلى 50 سنة على الأقل. يعتبر حجم المصنع أحد العوامل الهامة حيث أن الفروق في مقياس الإنتاج يكون لها تأثير واضح على تكاليف الإنتاج وبالتالي على تكاليف الاستثمار الخاصة بأساليب خفض التلوث ومكافحته. يمكن الوصول إلى نفس المستوى البيئي باستخدام مصانع صغيرة بتكلفة أعلى في إنتاج الأسمنت منها في المصانع الكبيرة.

### تصنيع الأسمنت

يتم استخدام الطاقة في تصنيع الأسمنت لمعالجة المواد الخام التي تتكون بصفة أساسية من الحجر الجري (كربونات الكالسيوم $CaCO_3$) والصلصال (سيليكات الألمنيوم) والرمل (أكسيد السيليكا) وركاز الحديد لإنتاج الأحجار الأسمنتية التي يتم طحنها مع الجبس والحجر الجيري ومواد أخرى كي يتم إنتاج الأسمنت.

بعد مرحلة المزج المسبق، يتم خلط المواد الخام معًا ويتم طحنها كي تكون خليط متجانس يأخذ التركيبة الكيميائية المطلوبة (وجبة المواد الخام). تعتبر درجة النقاوة وتوزيع حجم الجسيمات في المواد الخام من الخصائص الهامة اللازمة لعملية الاحتراق. يتم استئناف عملية الإنتاج بعد انتهاء الخلط في أحد الأفران الدوارة عن طريق كلسنة المواد الخام (مثل تحلل كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ عند درجة حرارة تقترب من 900 درجة مئوية) وينبعث غاز ثاني أكسيد الكربون ($CO_2$) ويتم ترسيب أكسيد الكالسيوم، ويأتي بعد ذلك عملية تكوين الأحجار الصغيرة والتي يتفاعل فيها أكسيد الكالسيوم عند درجات حرارة مرتفعة (1400 إلى 1500 درجة مئوية) مع السيليكا وأكسيد الألمنيوم وأكاسيد الحديد. من الممكن إضافة مكونات أخرى في خليط المواد الخام للحصول على التركيبة المطلوبة (مثل رمل السيليكا أو الرمل السبائكي وبقايا أكسيد الألمنيوم وخبث الفرن العالي وبقايا الجبس). تقترب درجة حرارة اللهب والغازات الناتجة من 2000 درجة مئوية. تسقط الأحجار الساخنة من الفرن إلى المبرد حيث يجب أن يتم تبريدها بأسرع ما يمكن كي يتم تحسين جودة الأحجار ولاستعادة الطاقة عن طريق تسخين الهواء الثانوي، وعادةً ما يتم الاستعانة بمبردات بها مصبعات للقيام بهذا الغرض (على العكس من استخدام المبردات المساعدة)، ويتم بعد ذلك طحن الأحجار المبردة مع الجبس والحجر الجيري لإنتاج أسمنت البورتلاند ويتم طحنها مع مكونات أخرى إضافية لإنتاج أنواع الأسمنت المركبة أو الممزوجة، يتم بعد ذلك تخزين الأسمنت في صوامع أو في أكياس. مكونات الخليط هي عبارة عن مواد لها خصائص هيدروليكية (مثل البوتزلان الطبيعي والرماد

المتطاير وخبث الفرن العالي وغبار القاع الذي يتراكم بين الفينة والفينة). ينبغي أن يحتوي الرماد المتطاير وغبار القاع على بقايا الكربون (والتي عادةً ما تنتج من مصانع تتم إدارتها بالفحم). يتم أحيانًا إضافة كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ بكميات صغيرة كمادة حشو.

**تصنيع الجير**

يتم إنتاج الجير عن طريق حرق كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ أو الدولوميت (يتكون من الكالسيوم وكربونات الماغنسيوم) (يقل استخدامه) مما يوفر الحرارة الكافية للوصول إلى درجات حرارة تتعدى 800 درجة مئوية وتتسبب في نزع الكربون من المواد الخام لإنتاج أكسيد الكالسيوم (CaO، المعروف بالجير الحي)، يتم بعد ذلك الاحتفاظ بالجير الحي عند درجات حرارة تتراوح من 1200-1 إلى 1300 درجة مئوية لضبط التفاعل. يمكن تسليم الجير المحروق إلى المستخدم النهائي في صورة جير حي (صلب القوام ومتوسط الحجم ومحروق بشكل بسيط ويتوقف ذلك على تفاعليته). يعتبر الجير المحروق بشكل بسيط من أكثر المواد التفاعلية وأشهرها استخدامًا بواسطة منتجي الصلب. ويتم بالتناوب نقل الجير الحي إلى مصنع الهيدرات حيث يتفاعل مع الماء في تفاعل قوي طارد للحرارة لإنتاج الجير المطفأ (هيدروكسيد الكالسيوم، $Ca(OH)_2$). يوجد شكلان للجير المطفأ: (المسحوق) الجاف أو مستحلب الجير (سائل). تتكون عملية إنتاج الجير المطفأ من عزل المادة وهيدرتها (التميه) وتخزينها في صوامع (المسحوق الجاف) كي يتم بيعه سائبًا أو في أكياس أو عزله وهيدرته (التميه) وتخزينه في خزانات (مستحلب الجير). ينبغي توخي الحذر لضمان طرد الماء من الجير الحي (بالإضافة إلى رطوبة الهواء) حيث أنها قد تتسبب في التميه الذي يطلق الحرارة ويتسبب في التمدد وهو الأمر الذي قد يشكل خطرًا على السلامة.

*الشكل ألف-1: عمليات التصنيع*