بيان إخلاء مسؤولية مجموعة البنك الدولي

تهدف الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة إلى تقديم أمثلة عامة، وخصوصاً بصناعات محددة، للممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة، على النحو المعرَّف في معايير الأداء بشأن الاستدامة البيئية والاجتماعية لمؤسسة التمويل الدولية، والإطار البيئي والاجتماعي والإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة للبنك الدولي، وتقدم معلومات عن مختلف قضايا البيئة والصحة والسلامة. وحين تشارك مؤسسة واحدة أو أكثر من المؤسسات الأعضاء في مجموعة البنك الدولي في أحد المشروعات ينبغي تطبيق الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة حسب مقتضيات السياسات والمعايير التي تعتمدها تلك المؤسسة.

وتقدم الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة معلومات عن قضايا البيئة والصحة والسلامة المشتركة بين مختلف قطاعات الصناعة. والغرض من الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة بمختلف قطاعات الصناعة – الإرشادات الخاصة بقطاع الصناعة والتي تكوِّن مع الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة، الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة – هو الرجوع إليها جنباً إلى جنب مع الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة. وبالنسبة للمشروعات المُعقَّدة، قد يلزم استخدام إرشادات متعددة حسب تعدد قطاعات الصناعة المعنيَّة. ويمكن الاطلاع على القائمة الكاملة للإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة على https://www.ifc.org/ehsguidelines . وفي كل مشروع ينبغي أن يكون تطبيق الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة متماشياً مع المخاطر والتهديدات المُحدَّدة لذلك المشروع، استناداً إلى نتائج تقييم البيئة والصحة والسلامة الذي يأخذ في الاعتبار متغيرات كل موقع على حِدة، ومنها: السياق العام للبلد، القدرة الاستيعابية في البيئة المعنيَّة، والعوامل الأخرى الخاصة بالمشروع.

وعلى الرغم من بذل جهود معقولة لضمان دقة المعلومات الواردة في الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة واكتمالها وحداثتها، لا تضمن مجموعة البنك الدولي أو تكفل دقة أو اكتمال أو حداثة أو فعالية أو موثوقية المعلومات الواردة فيها. ولا تتحمل مجموعة البنك الدولي أية مسؤولية عن أي أخطاء أو سهو أو تناقضات في المعلومات الواردة في الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة، ولا تتحمل أية مسؤولية فيما يتعلق باستخدام أو عدم استخدام أو الاعتماد على أي معلومات أو طُرُق أو عمليات أو توصيات أو استنتاجات أو أحكام واردة في هذه الإرشادات. ولا تقدم مجموعة البنك الدولي أي تأكيدات بشأن تواؤم الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة أو توافقها مع المتطلبات القانونية الدولية أو الوطنية أو المحلية لأي بلد أو أي من المعايير الصناعية. وتُخلي مجموعة البنك الدولي مسؤوليتها صراحة عن أي أضرار من أي نوع، بما في ذلك الأضرار الخاصة أو غير المباشرة أو العرضية أو التبعية أو التعويضية، التي تنشأ عن استخدام الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة أو الاعتماد عليها أو تتعلق بذلك.

ولا يُعَد نشر وإتاحة الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة تقديماً لخدمات مهنية أو غيرها من الخدمات، من جانب أي مؤسسة عضو في مجموعة البنك الدولي، لصالح أي شخص أو جهة أو نيابة عنه، كما لا يعني موافقة أي مؤسسة عضو في المجموعة على أداء أي واجب منوط بأي شخص أو كيان لآخر. ويجب طلب المشورة المهنية من الأشخاص المؤهلين وذوي الخبرة قبل الدخول (أو الامتناع عن الدخول) في أي نشاط من أنشطة المشروعات.

ربما احتوت بعض أجزاء في الإرشادات على روابط إلى مواقع لأطراف ثالثة على شبكة الإنترنت، لا تقع تحت سيطرة مجموعة البنك الدولي، والمجموعة ليست مسؤولة عن محتويات أي موقع مرتبط أو أي روابط موجودة في داخل هذا الموقع المرتبط. كما لا تصادق مجموعة البنك الدولي ولا تقدم أي تأكيدات أخرى بشأن دقة أو موثوقية هذه المواقع المرتبطة أو محتوياتها.

وتتألف مجموعة البنك الدولي من البنك الدولي للإنشاء والتعمير (IBRD)، والمؤسسة الدولية للتنمية (IDA)، ومؤسسة التمويل الدولية (IFC)، والوكالة الدولية لضمان الاستثمار (MIGA)، والمركز الدولي لتسوية منازعات الاستثمار (ICSID). ولأغراض بيان عدم المسؤولية هذا فإن أي إشارة إلى مجموعة البنك الدولي تعني أيّاً من هذه المؤسسات الأعضاء أو جميعها، حسبما يقتضي السياق.

ولا يوجد في الإرشادات ما من شأنه أن يشكل تنازلاً أو قيداً على، الامتيازات والحصانات التي تتمتع بها أيٌّ من المؤسسات الأعضاء في مجموعة البنك الدولي، المحفوظة على نحو محدد وصريح.

الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة بتصنيع الأسمنت والجير

مقدمة

1. الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة (EHS) هي وثائق مرجعية فنِّية تتضمن أمثلة عامة ومحددة أ للممارسات 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 هذه الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة 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 توجيهات لمن يستخدمونها فيما يتعلق بالقضايا المشتركة في هذا المجال والتي يمكن تطبيقها في جميع قطاعات الصناعة. وبالنسبة للمشروعات المُعقَّدة قد يلزم استخدام إرشادات متعددة حسب تعدد قطاعات الصناعة المعنيَّة. ويمكن الاطلاع على قائمة كاملة للإرشادات الخاصة بالقطاعات الصناعية على شبكة الإنترنت على الموقع: www.ifc.org/ehsguidelines.

2. تتضمَّن الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة مستويات الأداء والإجراءات التي تُعَد عموماً قابلة للإنجاز باستخدام التقنيات الحالية 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.

3. ينبغي أن يكون تطبيق الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة متماشياً مع المخاطر والتهديدات المُحدَّدة في كل مشروع، استناداً إلى نتائج التقييم البيئي الذي يأخذ في الاعتبار متغيرات كل موقع على حِدة، ومنها: الوضع في البلد المُضيف، القدرة الاستيعابية في البيئة المعنيَّة، والعوامل الأخرى الخاصة بالمشروع. كما يجب أن يستند تطبيق التوصيات الفنِّية المحددة إلى الرأي المهني المتخصِّص الذي يصدر عن أشخاص مؤهلين من ذوي الخبرة العملية.

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

[1] الممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة من حيث تعريفها 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 عالمياً. 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

5. تشتمل **الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة بتصنيع الأسمنت والجير** على معلومات ذات صلة بمشروعات تصنيع الأسمنت والجير. أما عملية استخراج المواد الخام، وهو النشاط الشائع المرتبط بعمليات تصنيع الأسمنت، فتتناوله **الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة باستخراج مواد البناء**.[2] ولا تغطي هذه الإرشادات إنتاج الأسمنت الأسبستي الخاضع حالياً لقيود قائمة الاستبعاد الخاصة بمؤسسة التمويل الدولية. ويحتوي الملحق ألف على وصف كامل لأنشطة الصناعة في هذا القطاع. وتنتظم الوثيقة على النحو التالي:

1–الآثار المرتبطة بهذه الصناعة وكيفية التعامل معها 3

1.1 البيئة 4

1.2 الصحة والسلامة المهنية 19

1.3 الصحة والسلامة المجتمعية 26

2– رصد الأداء والمتابعة..... 27

2.1 البيئة 27

2.2 الصحة والسلامة المهنية 33

3– ثبت المراجع والمصادر الإضافية..... 35

الملحق ألف – وصف عام لأنشطة الصناعة 43

1–الآثار المرتبطة بهذه الصناعة وكيفية التعامل معها

6. يعرض القسم 1 ملخصاً للقضايا ذات الصلة بالبيئة والصحة والسلامة المرتبطة بتصنيع الأسمنت والجير خلال مرحلة التشغيل، هذا فضلاً على التوصيات المتعلقة بكيفية التعامل معها، وتجدر الإشارة إلى أن التوصيات المتعلقة بالتعامل مع قضايا البيئة والصحة والسلامة المشتركة بين غالبية المنشآت الصناعية الكبرى في خلال مرحلة البناء وإيقاف التشغيل ترد في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.**

[2] يمكن أن تؤدي الخصائص الكيميائية والهيدرولوجية والجيولوجية للحجر الجيري والمناخات المحلية المرتبطة بها إلى نشأة تنوع بيولوجي فريد وخدمات نظم إيكولوجية مرتبطة بها. ومن المهم تقييم الآثار المحتملة للمشروع على التنوع البيولوجي المحصور في الحجر الجيري، والتخفيف منها عند الضرورة، بما في ذلك الأنواع المرتبطة به، وموائلها، وخدمات النظام الإيكولوجي التي تقدمها. لمزيد من المعلومات، انظر المنظمة الدولية لحياة الطيور وآخرين، *نشاط الاستخراج والتنوع البيولوجي في مناطق الحجر الجيري* (2014)، https://www.birdlife.org/sites/default/files/Extraction-and-Biodiversity-in-Limestone-Areas.pdf؛ الاتحاد الدولي لحفظ الطبيعة، *إدارة التنوع البيولوجي في قطاع الأسمنت والحصى: مؤشرات التنوع البيولوجي ونظام الإبلاغ* (غلاند، سويسرا: الاتحاد العالمي لحفظ الطبيعة، 2014)، https://www.iucn.org/content/biodiversity-management-cement-and-aggregates-sector-biodiversity-indicator-and-reporting-system-birs؛ الرابطة العالمية للأسمنت والخرسانة، *إرشادات الاستدامة لإعادة تأهيل المحاجر وإدارة التنوع البيولوجي بها* (لندن: الرابطة العالمية للأسمنت والخرسانة، 2020)، https://gccassociation.org/wp-content/uploads/2020/05/GCCA_Guidelines_Sustainability_Biodiversity_Quarry_Rehabilitation_May_2020-1.pdf .

1.1 البيئة

7. تتجلى القضايا البيئية ذات الصلة بمشروعات تصنيع الأسمنت والجير في المقام الأول في المجالات التالية:

- استخدام الطاقة
- غازات الدفيئة
- الانبعاثات الهوائية
- الضوضاء والاهتزازات
- المياه المستعملة
- النفايات الصلبة

استخدام الطاقة

8. يُعَد تصنيع الأسمنت والجير من الصناعات التي تستهلك كميات هائلة من الطاقة، لذا، بالإضافة إلى التوصيات المتعلقة بالحفاظ على الطاقة الواردة في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**، تقدِّم الأقسام التالية توجيهات خاصة بالقطاع بشأن كفاءة استخدام الطاقة الحرارية والكهربائية.

أفران الأسمنت والجير

9. تستخدم حالياً أنواع كثيرة 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 (ليبول) وأفران المعالجة الرطبة وأفران العمود.[3] وتُعد أفران PHP الأكثر استخداماً في صناعة الأسمنت،[4،5] حيث تمتاز بطلب أقل من الطاقة الحرارية (نظراً لارتفاع معدل استرداد الحرارة من

[3] أفران المعالجة الجافة الطويلة (LD) أعلى كثيراً في استهلاك الحرارة من أفران PHP وعادةً ما تلاحقها مشكلات خطيرة في الصيانة بالإضافة إلى التكاليف المتعلقة بذلك. وتتميز أفران المعالجة شبه الجافة والمعالجة شبه الرطبة (ليبول) بالاستهلاك المتوسط للحرارة بسبب محتوى الرطوبة الموجودة في تغذية الفرن التي تأخذ شكل كرات. ويرتفع استهلاك الكهرباء وتكاليف الصيانة في أفران المعالجة شبه الرطبة بسبب مكابس المرشحات، وتُعَد الآن من التقنيات المتقادمة. وتُعَد أفران المعالجة الرطبة، المهجورة الآن بشكل كبير، أقدم تقنيات الأفران الدوارة التي تسجل أعلى مستويات في استهلاك الحرارة.

[4] حسبما ورد في قاعدة بيانات *الحصول على الأرقام الصحيحة*، التي تحتفظ بها الرابطة العالمية للأسمنت والخرسانة والتي يغطي أعضاؤها المبلغون 22% من إنتاج الكلنكر العالمي في عام 2019، شكلت أفران PHP ما يقرب من 65% من إنتاج الكلنكر العالمي لأعضاء الرابطة في عام 2019؛ وشكلت أفران PH وLD ما يقرب من 20% وحوالي 2% على التوالي؛ وشكلت أفران المعالجة شبه الجافة وشبه الرطبة (ليبول) والمعالجة الرطبة وأفران العمود مجتمعة حوالي 13%. انظر الرابطة العالمية للأسمنت والخرسانة، مجموعة البيانات 8TGK%، "إجمالي أحجام إنتاج الكلنكر حسب نوع الفرن (%)" في "الحصول على الأرقام الصحيحة"، *قاعدة بيانات الأسمنت العالمية عن ثاني أكسيد الكربون ومعلومات الطاقة* (لندن: الرابطة العالمية للأسمنت والخرسانة، 2019)، https://gccassociation.org/gnr/.

[5] في عام 2013، أنتجت الصين 60% من إجمالي الأسمنت العالمي. واعتباراً من 2011، استخدم 86% من الإنتاج الصيني تقنية فرن PHP (بزيادة قدرها 10% عن عام 2000). انظر جنغ كي وآخرين، "تقدير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من إنتاج الأسمنت في الصين: المنهجيات وأوجه عدم اليقين"، *سياسات الطاقة* 57 (2013):

غاز الفرن في السيكلونات واستغلال الحرارة المهدرة المستردة في وحدة الكلسنة المسبقة) وعدم وجود ماء لتبخيره (على العكس من الفرن شبه الرطب أو الرطب الذي تكون مواده الخام في شكل رطب أو طيني)، كما أنها توفر أعلى قدرة إنتاجية. ويرتفع عادةً الطلب النوعي لأفران PH من الطاقة الحرارية بنسبة 5–15% مقارنة مع أفران PHP.[6] وتتمثل الممارسة الصناعية الدولية الجيدة لإنتاج الكلنكر الأسمنتي في مصانع الأسمنت الجديدة وعمليات التحديث الكبرى، في استخدام أفران معالجة جافة مزودة بفرن PHP متعدد المراحل (عادة خمس مراحل أو ست مراحل، حسب محتوى الرطوبة في الوقود والمواد الخام).[7]

10. وبالإضافة إلى اختيار تكنولوجيا أفران الأسمنت، يمكن تحقيق مزيد من الكفاءة في استخدام الطاقة الحرارية من خلال تحسين تصميم عمليات التصنيع . ويشمل ذلك استغلال الطاقة الإنتاجية العالية، وتحسين نسبة الطول إلى القطر، وتحسين تصميم الأفران، وتحسين نظم إشعال الفرن، وظروف التشغيل الموحدة والمستقرة، وتحسين ضوابط العمليات، وتوفير مجاري هواء من الدرجة الثالثة (لوحدة الكلسنة المسبقة)، والحفاظ على ظروف الفرن شبه تكافُئية ولكنها مؤكسدة، واستخدام أجهزة التعدين، والحد من تسرب الهواء إلى الداخل، وصيانة مواصفات مقاومة الحرارة في الأفران.[8] وفي ظل الظروف المُثلى يجب أن يكون استخدام الطاقة الحرارية النوعية لفرن PHP متعدد المراحل في حدود 2.9–3.3 جيجا جول (GJ) لكل طن من الكلنكر.[9]

11. وتُستخدم في صناعة الجير أنواع مختلفة من الأفران – مثل الأفران الدوارة الطويلة (LRKs)، والأفران الدوارة مع وحدة تسخين مسبق (PRKs)، والأفران التجددية ذات التدفق المتوازي (PFRKs)، وأفران العمود الحلقية (ASKs). وتتميز أفران العمود ذات التغذية المختلطة مثل ASKs وPFRKs وغيرها من أفران العمود/ الرأسية باستهلاك طاقة حرارية أقل بكثير (3–5 جيجا جول/طن من الجير) ومرونة وقود أعلى مقارنة باستخدامات الأفران الدوارة، التي تقع في نطاق 5–8 جيجا جول/طن.[10] وإلى جانب اعتبارات استخدام الطاقة، تشمل العوامل الرئيسية الأخرى التي تؤثر في اختيار الفرن خصائص الحجر الجيري – على سبيل المثال: لا يمكن لأفران PRFK عموماً معالجة أحجام صغيرة جدّاً من حبيبات الحجر الجيري – وتوافر الوقود وخصائصه، والخصائص التي يطلبها العملاء في منتج الجير. وحيثما تسمح أحجام منتجات الجير واعتبارات الجودة بذلك، يُعَد استخدام الأفران الرأسية

172–181، https://china.lbl.gov/sites/all/files/6329_ep_cement_co2.pdf. وفي الهند، صاحبة المرتبة الثانية عالمياً في إنتاج الأسمنت في عام 2013، تستخدم كل الطاقة المركبة تقريباً في الهند التصنيع بالعمليات الجافة، وأنشئ ما يقرب من 50% من الطاقة الإنتاجية في السنوات العشر الأخيرة. وقد استُخدمت تقنية فرن PHP في 40% من إنتاج الأسمنت في عام 2013. انظر الوكالة الدولية للطاقة والمجلس العالمي للأعمال التجارية من أجل التنمية المستدامة، *خريطة طريق التكنولوجيا: تكنولوجيا منخفضة الكربون لصناعة الأسمنت الهندية* (باريس: الوكالة الدولية للطاقة، 2013)، https://docs.wbcsd.org/2013/02/Low_Carbon_Technology_for_the_Indian_Cement_Industry_IEA_WBCSD_Feb_2013.pdf.

[6] يستند هذا النطاق لاستخدام الطاقة الحرارية لأفران PH وPHP إلى البيانات الواردة في فراوك شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة: وثيقة مرجعية لإنتاج الأسمنت والجير وأكسيد المغنيسيوم، الأمر التوجيهي بشأن الانبعاثات الصناعية 2010/75/EU* (بروكسل: المفوضية الأوروبية (2013)، القسم 1.3.3، الجدول 1.18، 47، https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/CLM_Published_def_0.pdf؛ والرابطة العالمية للأسمنت والخرسانة، قاعدة بيانات "الحصول على الأرقام الصحيحة".

[7] شوركت وآخرون، *أفضل التقنيات المتاحة*، القسم 4.2.3.2، التقنية ج، 343.

[8] تمت مناقشة تقنيات إضافية لتحسين الكفاءة الحرارية لفرن التكليس وفرن PH في شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*، القسم 1.4.2.1.1، 100.

[9] شوركت وآخرون، *أفضل التقنيات المتاحة*، البند 1.4.2.1.1، 100–101. ومن شأن استخدام الوقود البديل أن يزيد من استهلاك الطاقة بما يتجاوز هذا النطاق، تبعاً للمحتوى من الطاقة الحرارية والرطوبة. وسيؤدي استخدام نظام التمرير الجانبي للغاز أيضاً إلى زيادة استهلاك الطاقة.

[10] شوركت وآخرون، *أفضل التقنيات المتاحة*، الجدول 2.23، 223.

من الممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة نظراً لأدائها المتفوق من حيث الكفاءة البيئية/ كفاءة استخدام الطاقة. (من بين الأفران الرأسية، تُعَد تقنية PRFK هي الأكثر كفاءة في استخدام الطاقة). [11]

12. يمكن تحقيق أقصى كفاءة للطاقة الحرارية في أفران الجير من خلال (1) استخدام إدارة الطاقة والتحكم في العمليات، بما في ذلك تحسين جودة الوقود (قيمة حرارية عالية/رطوبة منخفضة)، ومعدلات التدفق، وظروف الاحتراق؛ (2) اختيار الحجم الأمثل للحبيبات الحجرية؛ (3) الحد من الهواء الزائد في أفران LRK وPRK؛ (4) الصيانة الدورية للمعدات، بما في ذلك ضمان سلامة بطانة مقاومة الحرارة/العزل في الفرن؛ (5) استخدام تقنيات أخرى خاصة بمختلف أنواع أفران إنتاج الجير. [12]

مبردات الكلنكر

13. الغرض من المبرد هو خفض درجة حرارة الكلنكر في أسرع وقت ممكن للتحكم في جودة المنتج وتوليد درجات حرارة للكلنكر مناسبة لمراحل الطحن/الخلط النهائية. ويوفر الهواء الساخن المستعاد من المبرد هواء احتراق لشعلة الموقد الرئيسي في الفرن ووحدة PHP، أو يمكن استخدامه لأغراض تجفيف أخرى، وبالتالي تقليل استهلاك الوقود. والنوع الوحيد من مبردات الكلنكر التي يجري تركيبها حالياً هو *المبرد الشبكي*، الذي ينتج في إصدارات عدة، ويرجع ذلك بالأساس إلى قدرته العالية وكفاءة استرداد الحرارة الفائقة مقارنة بأنواع المبردات الأخرى. (عادة ما تتمتع المبردات الشبكية من الجيل الأحدث بمعدلات استرداد للحرارة تتراوح بين 65 – 75%). [13] وتنطوي الممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة على استخدام مبردات شبكية عالية الكفاءة – على سبيل المثال، الشبكة الأولية الثابتة – وتقنيات التحسين الحراري. وتتضمن هذه التقنيات استخدام ألواح شبكية مبردة توفر مقاومة أكبر للتدفق لتوفير توزيع أكثر اتساقاً لهواء التبريد، والتحكم في إمداد هواء التبريد إلى أقسام الشبكة الفردية، واستخدام مشغلات متغيرة السرعة لمراوح المبرد. [14]

[11] الرابطة الأوروبية لمصنعي الجير (EULA)، *صناعة جير تنافسية وفعالة، حجر الزاوية لأوروبا مستدامة (خريطة طريق الجير)* (بروكسل: الرابطة الأوروبية لمصنعي الجير، 2014)، القسم 3، 14، https://www.eula.eu/a-competitive-and-efficient-lime-industry-cornerstone-for-a-sustainable-europe-lime-roadmap-summary/.

[12] تمت مناقشة تقنيات إضافية لتحسين الطاقة لمختلف أنواع أفران الجير في شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*، القسم 2.4.1، الجدول 2.34، 252.

[13] معهد الإنتاجية الصناعية (IIP)، "التحويل إلى مبردات شبكية عالية الكفاءة"، *قاعدة بيانات تكنولوجيا كفاءة الطاقة* (بدون تاريخ)، http://www.iipinetwork.org/wp-content/letd/content/conversion-high-efficiency-grate-coolers.html.

[14] شوركت وآخرون، *أفضل التقنيات المتاحة*، القسم 1.4.2.1.1، 100.

التدابير الأخرى لكفاءة استخدام الطاقة[15]

14. يتفاوت استخدام الطاقة الكهربائية في نطاق 80–120 كيلوواط ساعة/طن أسمنت تقريباً.[16،17،18] وتمثل المحركات المستخدمة لتشغيل المراوح والمعدات الكهربائية الأخرى – خصوصاً للطحن – جزءاً كبيراً من إجمالي الطاقة الكهربائية المستخدمة في منشأة تصنيع الأسمنت (تحتوي منشأة تصنيع الأسمنت النموذجية على أكثر من 500 محرك).[19] وتتطلب المراحل المختلفة لعملية إنتاج الأسمنت متطلبات مختلفة للطاقة الكهربائية: طحن المواد الخام والخلط المتجانس (حوالي 30% من إجمالي استخدام الطاقة الكهربائية)؛ إنتاج الكلنكر (حوالي 25%)؛ وإنتاج الأسمنت، بما في ذلك الطحن النهائي والخلط والتعبئة/النقل (حوالي 45%).[20]

15. يمكن تقليل استخدام الطاقة الكهربائية في معالجة الأسمنت إلى الحد الأدنى من خلال استخدام معدات عالية الكفاءة وتقنيات موفرة للطاقة. وتشمل هذه استخدام (1) ضوابط العمليات الآلية للطواحين وأجهزة الفرز/التصنيف في طحن/تحضير مسحوق الخام (وجبة الخام)، وإدارة الوقود، والطحن النهائي؛ (2) نظم إدارة الطاقة؛ (3) المعدات ذات الكفاءة في استخدام الطاقة مثل أنظمة السيور الميكانيكية الناقلة للمواد (استهلاك أقل للطاقة من الأنظمة الهوائية) وأنظمة صوامع المزج/الخلط المتجانس من النوع المعتمد على الجاذبية (استهلاك طاقة أقل من الأنظمة المميعة بالهواء)؛ (4) أنظمة الطحن الرأسية والأفقية – المطاحن الدوارة والمكبس الأسطواني/أنظمة الطحن عالية الضغط غالباً ما تكون أكثر كفاءة بنسبة 50% من الطواحين الكروية – وأجهزة الفرز/التصنيف عالية الكفاءة من الجيل الثالث لتحضير المادة الخام والوقود وطحن الأسمنت؛[21] (5) سيكلونات أفران التسخين المسبق عالية الكفاءة ومنخفضة الضغط (لتقليل استخدام الطاقة في نظام غاز عادم الأفران)؛ (6) محركات عالية الكفاءة وجيدة الصيانة لعمليات النقل والطحن والعمليات

[15] يمكن الاطلاع على معلومات مفيدة إضافية في المفوضية الأوروبية، *الوثيقة المرجعية بشأن أفضل التقنيات المتاحة لكفاءة استخدام الطاقة* (بروكسل: المفوضية الأوروبية، 2009)، https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/ENE_Adopted_02-2009.pdf.

[16] وانغ، يوفي، جنغ بينغ هاو، وصامويل هولر، "تحليل سياسات التخفيف من ثاني أكسيد الكربون في صناعة الأسمنت الصينية" *المجلس الأوروبي من أجل اقتصاد موفر للطاقة 2012 دراسة صيفية عن كفاءة استخدام الطاقة في الصناعة* (فوبرتال، ألمانيا: معهد فوبرتال، 2012)، http://epub.wupperinst.org/files/4635/4635_Wang.pdf

[17] الرابطة العالمية للأسمنت والخرسانة، "الحصول على الأرقام الصحيحة"، مجموعة البيانات 33AGW.

[18] شوركت وآخرون، *أفضل التقنيات المتاحة*، القسم 1.3.3.2، 49.

[19] انظر معهد الإنتاجية الصناعية، "المحركات والمشغلات عالية الكفاءة" (بدون تاريخ)، http://www.iipinetwork.org/wp-content/letd/content/high-efficiency-motors-drives.html.

[20] الرابطة الأوروبية لمصنعي الأسمنت (CEMBUREAU)، "كفاءة استخدام الطاقة الكهربائية"، في *دور الأسمنت في الاقتصاد منخفض الكربون لعام 2050* (بروكسل: CEMBUREAU، 2013)، 39–41، https://lowcarboneconomy.cembureau.eu/wp-content/uploads/2018/09/cembureau-full-report.pdf. وكما هو مذكور في مقدمة هذه الإرشادات فإن عناصر البيئة والصحة والسلامة الخاصة باستخراج المواد الخام تغطيها **الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة باستخراج مواد التشييد** الصادرة عن مؤسسة التمويل الدولية.

[21] معهد الإنتاجية الصناعية، "الطواحين الأسطوانية العمودية للطحن النهائي" (بدون تاريخ)، http://www.iipinetwork.org/wp-content/letd/content/vertical-roller-mills-finish-grinding.html.

المتصلة بالأفران؛ و(7) ومشغلات متغيرة السرعة للمحركات والمراوح في الفرن، والمبرد، وأفران التسخين المسبق، وأجهزة الفرز، والطواحين، وغيرها. ويمكن لهذه التقنيات مجتمعة تحقيق وفورات في الطاقة الكهربائية مع فترات استرداد مواتية للاستثمارات.[22،23]

16. يشكل استخدام الطاقة الكهربائية في تصنيع الجير جزءاً صغيراً (حوالي 10%) من استهلاك الطاقة، وعادة ما يكون في حدود 60 كيلو واط ساعة/طن من الجير. وترتبط فُرص تحسين كفاءة استخدام الطاقة الكهربائية في المقام الأول بما يلي: (1) استخدام ضوابط إدارة العمليات والطاقة؛ (2) تحسين كفاءة المحركات؛ و(3) تحسين عمليات التبريد والسحق/الطحن باستخدام معدات عالية الكفاءة.[24] ويمكن أن تحقق هذه الخطوات وفورات كبيرة في الطاقة، على سبيل المثال، يمكن تحقيق تحسُّن في كفاءة استخدام المحركات في حدود 10%.[25]

غازات الدفيئة

17. ترتبط انبعاثات غازات الدفيئة في صناعة الأسمنت، وخصوصاً انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2)،[26] بصورة رئيسية بتكليس الحجر الجيري في أثناء إنتاج الكلنكر (حوالي 55% من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون)، والوقود المستخدم في تسخين الفرن (حوالي 35% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عادة عن استخدام أنواع الوقود كثيفة الكربون، بما في ذلك الفحم الحجري وكوك البترول)، واستخدام الكهرباء ونقلها (حوالي 10% من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون حسب مصدر الكهرباء).[27] وتتفاوت كثافة انبعاثات غازات الدفيئة في أثناء إنتاج الأسمنت تبعاً لكل من (1) تكوين مادة تغذية (المادة الأولية) الفرن؛ (2) نوع الوقود المستخدم في الاحتراق؛ (3) المستوى العام لكفاءة استخدام الطاقة في المرفق واختيار تكنولوجيا الأفران؛ (4) نسبة الكلنكر إلى الأسمنت؛ و(5) الكثافة الكربونية لإمدادات الكهرباء.[28] وفي حين لا يزال الوقود الأحفوري التقليدي هو مصدر الوقود السائد في

---

[22] المرجع السابق، "الأسمنت" (بدون تاريخ).

[23] ووريل، إرنست، كاترينا كرميلي، كريستينا غاليتسكي، *تحسين كفاءة استخدام الطاقة وفرص توفير التكاليف لصناعة الأسمنت – دليل ENERGY STAR® للطاقة ومديري المصانع* (واشنطن العاصمة: الوكالة الأمريكية لحماية البيئة (EPA)، 2013)، 19–82، http://www.energystar.gov/sites/default/files/tools/ENERGY%20STAR%20Guide%20for%20the%20Cement%20Industry%2027_Rev%20js%20reformat%2011192014.pdf_2013_08.

[24] الرابطة الأوروبية لمصنعي الجير، *صناعة جير تنافسية وفعالة، حجر الزاوية لأوروبا مستدامة (خريطة طريق الجير)*، القسم 5.1.1، 27–36.

[25] المرجع السابق، 14.

[26] من غير الوارد أن ينبعث الغاز الدفيء القوي أكسيد النيتروز (N_2O) من مصانع الأسمنت والجير بسبب درجات الحرارة المرتفعة والظروف المؤكسدة. ويتمثل المصدر الوحيد المحتمل لغاز N_2O في الانبعاثات المباشرة الصادرة من المادة الخام في طاحونة المواد الخام.

[27] المجلس العالمي للأعمال التجارية من أجل التنمية المستدامة، *ثاني أكسيد الكربون، وحماية المناخ* (جنيف: المجلس العالمي للأعمال التجارية من أجل التنمية المستدامة، بدون تاريخ)، https://www.wbcsd.org/Programs/Climate-and-Energy.

[28] يمكن استخدام خيارات الطاقة المتجددة – مثل طاقة الرياح، والطاقة الشمسية الكهروضوئية، والطاقة الحرارية الشمسية، وتوليد الطاقة الكهرومائية الصغيرة – لإنتاج الأسمنت. ويتوقف استخدام هذه التكنولوجيات على عوامل مثل توافر مصادر الطاقة المتجددة، وأسعار الكهرباء، وحجم المصنع. انظر الوكالة الدولية للطاقة، *خريطة طريق التكنولوجيا: التحول إلى تكنولوجيا منخفضة الكربون في صناعة الأسمنت* (باريس: الوكالة الدولية للطاقة، 2018)، 37، https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-low-carbon-transition-in-the-cement-industry. ويُعَد استخدام توليد الطاقة للاستعمال الداخلي من المصادر المتجددة في قطاع البيئة والصحة والسلامة منخفضاً.

البلدان الرئيسية المنتجة للأسمنت على مستوى العالم[29]– بما في ذلك الصين والهند، اللتين احتلتا المركزين الأول والثاني في إنتاج الأسمنت العالمي على التوالي في عام 2015[30]– فإن استخدام وقود النفايات[31] والكتلة الحيوية بدلاً من الوقود الأحفوري آخذ في الازدياد على مستوى العالم.[32]

18. تتشابه إزالة الكربون من الحجر الجيري وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون ذات الصلة بالوقود في عملية إنتاج الجير مع صناعة الأسمنت. ومع ذلك يُعد استهلاك الكهرباء وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون المصاحبة لتصنيع الجير أقل بشكل عام مقارنةً مع صناعة الأسمنت. كما يهيمن على إنتاج الجير استخدام الوقود الأحفوري التقليدي بين المنتجين الرئيسيين.

19. يجب إجراء تقدير كمي سنوي لانبعاثات غازات الدفيئة المرتبطة بمشروعات تصنيع الأسمنت أو الجير، وتوليد الطاقة الحرارية المصاحبة لها، وفقاً للمنهجيات والممارسات الجيدة المعترف بها دولياً.

20. تتضمن **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** توصيات بشأن التعامل مع انبعاثات غازات الدفيئة. بالإضافة إلى تدابير كفاءة استخدام الطاقة التي نوقشت في الأقسام السابقة من هذه الإرشادات، تتضمن الأساليب القطاعية للحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في صناعة الأسمنت ما يلي:[33]

- إنتاج الأسمنت المخلوط – الذي يستبدل فيه جزئيّاً بالكلنكر الرماد المتطاير، وخَبَث أفران الصهر، والمواد البركانية الطبيعية، والطَّفْلة المكلسنة، و/أو الحجر الجيري المطحون – أو مواد أسمنتية جديدة أقل كثافة في استخدام الطاقة وغازات الدفيئة من الكلنكر لكل وحدة من الناتج

[29] يُعَد الفحم المسحوق (الفحم الأسود والليغنيت) أكثر أنواع الوقود استخداماً في صناعة الأسمنت، ومن ناحية أخرى أدت التكلفة المنخفضة لكوك البترول إلى زيادة استخدام هذا النوع من الوقود، وينتج الفحم الحجري وكوك البترول انبعاثات أعلى من غازات الدفيئة مقارنة بأنواع الوقود الأقل كثافة في الانبعاثات الكربونية – حوالي 65% زيادة في وحدات الانبعاث مقارنة بالغاز الطبيعي، على سبيل المثال. كما أن محتوى الكبريت المرتفع في الوقود (من خصائص كوك البترول) قد يؤدي إلى حدوث مشكلات مثل تراكم الكبريت في حلقات الفرن.

[30] CEMBUREAU، *الأسمنت والخرسانة: حقائق وأرقام أساسية* (بروكسل: المفوضية الأوروبية، 2020)، https://cembureau.eu/cement-101/key-facts-figures.

[31] يمكن أن تتضمن أنواع الوقود المستخدمة عادة في صناعة الأسمنت نفايات خطرة وغير خطرة ذات مستويات مختلفة من القيمة الحرارية. ويمكن الاطِّلاع على قائمة بالوقود الشائع الاستخدام في شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*، القسم 1.2.4.3.1، 22. وقد تشمل أنواع الوقود المستعمل، مثل المذيبات المستعملة، والزيوت المستعملة، والإطارات المستعملة، والوقود المشتق من المخلفات، ونفايات البلاستيك.

[32] يمثل الوقود الأحفوري التقليدي حوالي 85% من الوقود المستخدم عالميّاً في صناعة الأسمنت (على أساس النسبة المئوية من إجمالي الطاقة)، يليه خليط الوقود الأحفوري/المستعمل (حوالي 10%) ووقود الكتلة الحيوية (حوالي 5%). وكانت القيم المقابلة في عام 2000 حوالي 95% من الوقود الأحفوري التقليدي، وحوالي 4% من أنواع الوقود الأحفوري/المستعمل المختلطة، وحوالي 1% من وقود الكتلة الحيوية. انظر الرابطة العالمية للأسمنت والخرسانة، *الحصول على الأرقام الصحيحة*، مجموعة البيانات 25aAGFC، لكل من "العالم" و"دول الاتحاد الأوروبي 28".

[33] يجب النظر في تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه أو إعادة استخدامه في صناعة الأسمنت مع ظهور جدواها الفنية والتجارية بشكل أوضح في المستقبل. ويتوفر مزيد من المعلومات في: برنامج الوكالة الدولية للطاقة للبحث والتطوير في مجال غازات الدفيئة (IEAGHG)، *تطبيق احتجاز الكربون وتخزينه في صناعة الأسمنت* (2013)، https://ieaghg.org/docs/General_Docs/Reports/2013-19.pdf.

النهائي، وهو ما يؤدي إلى انخفاض كبير في استهلاك الوقود وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون اللاحقة.[34،35،36] ا استبدال الوقود التقليدي (الفحم الحجري/كوك البترول) بأنواع وقود بديلة ذات محتوى كربوني أقل إلى القيمة الحرارية أو الحرق المشترك لهما معاً، بما في ذلك التحول إلى وقود أقل إنتاجا للكربون (على سبيل المثال، الغاز الطبيعي، أو زيت الوقود إن لم يكن مجدياً)،وأنواع مختارة من وقود النفايات – كما هو موضح في قسم "الانبعاثات الهوائية" والقسم الفرعي " وقود النفايات والنفايات وما يصحبها من انبعاثات هوائية" أدناه – ووقود الكتلة الحيوية مثل الأرز، قشور البُن، وقشور نوى النخيل، ومخلفات الأخشاب، وما إلى ذلك، أو الوقود المشتق من المخلفات (حيثما تتوافر هذه الأنواع البديلة من الوقود بكميات كافية بكلفة اقتصادية).[37]

- الاستعاضة الجزئية عن مادة التغذية من الحجر الجيري واستخدام مصادر غير مكربنة من أكسيد الكالسيوم أو الجير الحي – مثل خَبَث أفران الصهر ورماد الليغنيت ورماد الفحم ورمل الكسارة الخرسانية وما إلى ذلك – لتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن العمليات وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون من الوقود المتعلقة بالكلسنة.[38،39]

[34] فعلى سبيل المثال، بالنسبة للأسمنت الذي يحتوي على 30–70% من خبث أفران الصهر المحبب، يمكن تخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بما يتراوح بين 100 كجم إلى 430 كجم لكل طن من الأسمنت، مقارنة بالانبعاثات المعتادة التي تبلغ 750 كجم من ثاني أكسيد الكربون لكل طن من الأسمنت. ويعتمد الاستخدام المتزايد للأسمنت المخلوط على توافر المواد البديلة وخصائصها وأسعارها، والمعايير الوطنية، واعتبارات السوق مثل التطبيق المزمع لمنتج الأسمنت. انظر معهد الإنتاجية الصناعية، *بدائل الأسمنت المخلوطة* (بدون تاريخ)، http://www.iipinetwork.org/wp-content/letd/content/blended-cement-alternatives.html.

[35] تتفاوت نسب الكلنكر إلى الأسمنت بين كبار منتجي الأسمنت. حيث بلغت النسبة في الصين 63% (73% عام 2005) في عام 2011؛ الهند 70.5% في عام 2013 (77.8% في عام 2005)؛ الاتحاد الأوروبي 73.6% في عام 2013 (75.8% في عام 2005)؛ والولايات المتحدة 83.5% في عام 2013 (83.7% في عام 2005). وللاطلاع على نِسب الأسمنت إلى الكلنكر في الصين، انظر كي وآخرين، "تقدير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون"، 7. ولمزيد من المعلومات عن الهند والاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة، انظر الرابطة العالمية للأسمنت والخرسانة، "الحصول على الأرقام الصحيحة"، مجموعة البيانات 92AGW. ولكل من "الهند" و"دول الاتحاد الأوروبي 28" و"الولايات المتحدة".

[36] الوكالة الدولية للطاقة والمجلس العالمي للأعمال التجارية من أجل التنمية المستدامة (2018)، *التحول إلى تكنولوجيا منخفضة الكربون في صناعة الأسمنت"*، 32–35.

[37] مؤسسة التمويل الدولية، *زيادة استخدام أنواع الوقود البديلة في مصانع الأسمنت: أفضل الممارسات الدولية* (واشنطن العاصمة: مؤسسة التمويل الدولية، 2017)، https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/33180042-b8c1-4797-ac82-cd5167689d39/Alternative_Fuels_08+04.pdf?MOD=AJPERES&CVID=lT3Bm3Z.

[38] انظر ووريل، كيرملي وغاليتسكي، *تحسين استخدام كفاءة الطاقة وفُرص توفير التكاليف لصناعة الأسمنت– دليل ENERGY STAR® للطاقة ومديري المصانع*، 76–80؛ ومعهد الإنتاجية الصناعية، *المواد الخام البديلة* (بدون تاريخ). يعتمد مدى إمكانية استخدام مواد التغذية البديلة على تركيبة المواد الخام التقليدية المتاحة (على سبيل المثال، الحجر الجيري) وتوافر مواد التغذية البديلة وتكلفتها وتركيبتها مثل محتوى السيليكا والألومينا والمغنيسيا والكبريت.

[39] اختيار مواد خام ذات محتوى أقل من المواد العضوية لتجنب توليد انبعاثات إضافية من ثاني أكسيد الكربون، وانبعاثات طفيفة من أول أكسيد الكربون، والتي عادة ما تكون أقل من 0.5–1% من إجمالي الغازات المنبعثة في أثناء حرق الكلنكر. ويُعَد غاز أول أكسيد الكربون مؤشراً 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 هناك استهلاك أعلى للوقود). ولذلك، يجب مراقبة أول أكسيد الكربون باستمرار. وبالإضافة إلى ذلك هناك مخاطر من حدوث انفجارات مرتبطة بتركيزات غاز أول أكسيد الكربون التي تزيد على 0.5–1% عند استخدام المرسبات الإلكتروستاتية.

- تحتوي غازات النفايات التي يتم تصريفها من الفرن، ونظام تبريد الكلنكر، ونظام التسخين المسبق للفرن على طاقة مفيدة يمكن استخدامها في تجفيف المواد الخام والوقود، و/أو توليد الطاقة. وعلى الرغم من أن صناعة الأسمنت لا تتطلب عادة قدراً كبيراً من التسخين بدرجة حرارة منخفضة، يمكن استعادة حرارة المعالجة من خلال غلايات استعادة الحرارة لاستخدامها في دورة توليد كهرباء مستقلة، أو لتكملة البخار الناتج عن احتراق الوقود في توليد الطاقة للاستعمال الداخلي بالموقع. وتعتمد كمية الحرارة المهدرة المتاحة لتوليد طاقة من الحرارة المستردة على تصميم وإنتاج نظام الفرن، ومحتوى الرطوبة للمواد الخام، وكمية الحرارة المطلوبة للتجفيف في نظام طحن الخام، ونظام الوقود الصلب، وطاحونة الأسمنت. ويمكن أن يوفر توليد الكهرباء من استرداد الحرارة المهدرة ما يصل إلى 30% من إجمالي احتياجات مصنع الأسمنت من الكهرباء من خلال أنواع مختلفة من الأنظمة القائمة على دورة رانكين – وخصوصاً دورة رانكين البخارية التي تمثل الغالبية العظمى من أنظمة استرداد الحرارة المهدرة. ومن بين الأنظمة الأخرى دورة رانكين العضوية ودورة كالينا.[40]

21. فيما يخص صناعة الجير، يمكن تقليل انبعاثات غازات الدفيئة إلى أدنى حد من خلال (1) استخدام أفران رأسية أكثر كفاءة (حسب حجم الإنتاج ومواصفات منتجات الجير) وتحقيق الاستفادة المثلى من الفرن كما هو مبيَّن في قسم "استخدام الطاقة" أعلاه؛ (2) استرداد الحرارة المهدرة من الفرن وفي أثناء إماهة (إطفاء) الجير (يمكن استخدام الحرارة المهدرة في تجفيف المواد الخام وطحنها)؛ و(3) التبديل إلى استخدام أنواع الوقود الأقل كثافة في انبعاثات غازات الدفيئة، بما في ذلك أنواع وقود النفايات، والغاز الطبيعي (أو زيت الوقود إن تعذر ذلك)، والكتلة الحيوية، ويكون ذلك رهناً بالقيود الفنية.[41]

الانبعاثات الهوائية

22. تتولد الانبعاثات الهوائية من مصدر ثابت في صناعة الأسمنت والجير من خلال عمل أنظمة الفرن، ومبردات الكلنكر، والطواحين، ومن خلال تداول وتخزين المواد والمنتجات الوسيطة والنهائية. ويمكن أن تحدث أيضاً انبعاثات الغبار من مصادر غير ثابتة.

23. تسود في ذلك القطاع الصناعي استخدام مصادر الاحتراق في توليد الطاقة. وتتيح **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** مبادئ توجيهية حول كيفية التعامل مع الانبعاثات الناتجة عن مصادر الاحتراق الصغيرة التي لها سعة مدخول طاقة حرارية تصل إلى 50 ميجاواط حرارية، بما في ذلك معايير انبعاث الملوثات في الهواء المعنية بانبعاث غازات العادم. وتقدم **الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة بالطاقة الحرارية** إرشادات قابلة للتطبيق على مصادر الانبعاثات التي تزيد على 50 ميجاواط حرارية.

الجسيمات الدقيقة

24. تُعَد انبعاثات الجسيمات الدقيقة من التأثيرات الكبيرة المحتملة لعملية تصنيع الأسمنت والجير، ويرد في الفقرات التالية ملخص للموارد الأساسية لانبعاثات الجسيمات الدقيقة والطُّرُق الموصى بها لمنعها ومكافحتها.

[40] تتوافر توجيهات بشأن استعادة الحرارة المهدرة في مؤسسة التمويل الدولية ومعهد الإنتاجية الصناعية، *استرداد الحرارة المهدرة لقطاع الأسمنت: تحليل الأسواق والموردين* (واشنطن العاصمة: مؤسسة التمويل الدولية ومعهد الإنتاجية الصناعية، 2014)، https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/publications/report_waste_heat_recovery_for_the_cement_sector_market_and_supplier_analysis.

[41] الرابطة الأوروبية لمصنعي الجير، *صناعة جير تنافسية وفعالة*، القسم 5، 27–42.

25. بالنسبة لانبعاثات الجسيمات الدقيقة المتعلقة بتشغيل أنظمة الأفران ومبردات الكلنكر بما في ذلك حرق الكلنكر والحجر الجيري، فيوصى باتِّباع أساليب منع ومكافحة التلوث التالية، وذلك بالإضافة إلى تيسير عمليات تشغيل الفرن[42] بالشكل المناسب:

- احتجاز الغبار المتصاعد من الفرن ومبرد الكلنكر باستخدام المرشحات وإعادة تدوير الجسيمات المستعادة في تغذية الفرن وفي الكلنكر على التوالي.
- استخدام أنظمة[43] المرشحات القماشية بوصفها خيار التحكم المفضل، مع استخدام المرسبات الإلكتروستاتية بوصفه خياراً بديلاً[44] لجمع انبعاثات الجسيمات الدقيقة (PM_{10} و $PM_{2.5}$) والتحكم فيها في غبار غاز عادم الفرن وغاز نظام التمرير الجانبي، وهواء العادم من المبردات.

26. بالنسبة لانبعاثات الجسيمات الدقيقة المرتبطة بتشغيل الطواحين، فإن تقنية التحكم الموصى بها هي التقاط غبار الطاحونة باستخدام مرشحات قماشية[45] وإعادة تدويره في داخل الطاحونة.

27. بالنسبة لانبعاثات الجسيمات الدقيقة والغبار المنفلت من تداول 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 تعبئة الشكائر، فإن الأساليب الموصى بها لمنع التلوث ومكافحته تشتمل على ما يلي:

- استخدام أنظمة مغلقة لتداول المواد (على سبيل المثال، عمليات السحق، وطحن المادة الخام، وطحن الكلنكر) وإبقائها تحت ضغط سلبي بواسطة مراوح الطرد، مع إزالة الغبار من هواء التهوية باستخدام مرشحات قماشية.[46]
- استخدام سيور ناقلة مغلقة لنقل المواد وكبح الانبعاثات في نقاط النقل، بما في ذلك الاستعانة بأنظمة لتنظيف سيور الإرجاع.
- تصميم أماكن تخزين مغطاة و واسعة بما فيه الكفاية للكلنكر والوقود الصلب ، تجنباً للحاجة إلى المناولة المزدوجة المتكررة من أكوام المواد الخارجية وإليها. فعلى سبيل المثال، تحافظ المنشآت عادة على سعة تخزين مغطاة أو صوامع للكلنكر تكفي لما يصل إلى حوالي 15–30 يوماً من الإنتاج لتقليل عمليات نقل الكلنكر، وللسماح باستمرار إنتاج الأسمنت في خلال فترة التوقف السنوية لصيانة الفرن.

---

[42] يشير تيسير عمليات تشغيل الفرن إلى الحفاظ على بقاء الفرن في أفضل حالات التشغيل.

[43] يشار إلى المرشحات (الفلاتر) القماشية أيضاً باسم المرشحات "الكيسية" أو مرشحات "حجرة المرشحات الكيسية". والمصطلح المستخدم في هذه الوثيقة هو المرشح القماشي (الفلتر القماشي).

[44] مع أنه يمكن الاعتماد على المرسبات الإلكتروستاتية في ظروف التشغيل العادية، فهناك مخاطر انفجار قائمة عندما تتجاوز تركيزات أول أكسيد الكربون (CO) في عادم الفرن نسبة 0.5%. وللوقاية من ذلك، ينبغي أن يتأكد المشغِّلون من خضوع عمليات الاحتراق للإدارة والتحكم المناسبين والمستمرين بما في ذلك الرصد المستمر لمستويات أول أكسيد الكربون، وخصوصاً في أثناء بدء تشغيل الفرن كي يتم أوتوماتيكياً إيقاف تشغيل الفرن إذا لزم الأمر. ويجب أيضاً تحديد أبعاد المرسبات الإلكتروستاتية على نحو سليم لاستيعاب حالات التشغيل غير العادية للأفران الكبيرة، التي يتم في خلالها دفع كميات كبيرة من الكلنكر الساخن غير المحترق عبر غازات عادم المبرد.

[45] المرسبات الإلكتروستاتية غير مناسبة لإزالة الغبار من الطواحين بسبب التكاليف الاستثمارية والكفاءة (الانبعاثات العالية نسبياً) في أثناء بدء التشغيل وإيقافه.

[46] بالنسبة لأنشطة إطفاء الجير قد تكون أجهزة الغسل الرطبة فعالة في الحالات التي يقيد فيها استخدام المرشحات القماشية بسبب الرطوبة العالية / درجة الحرارة المنخفضة لغازات المداخن. شوركت وآخرون، *أفضل التقنيات المتاحة*، القسم 4.6.3.2، 361.

- تنفيذ أنظمة تعبئة شكائر ومناولة أوتوماتيكية إلى أقصى حد ممكن، بما في ذلك استخدام (1) آلة تعبئة شكائر دوارة مع مغذٍّ أوتوماتيكي للشكائر الورقية، ووحدة تحكم في الانبعاثات المنفلتة، (2) التحكم التلقائي في وزن كل شكارة في أثناء التفريغ، (3) سيور ناقلة لنقل الشكائر إلى ماكينة تحميل البالات ولفها، و(4) تخزين البالات التي تم الانتهاء منها في حجيرات مغطاة من أجل شحنها بعد ذلك.
- الحد من الغبار المنبعث أو المنفلت من المواد ومخزونات الوقود من خلال ممارسات التخزين، مثل استخدام (1) الحجيرات المغطاة أو المغلقة للمواد الخام المسحوقة والمخلوطة؛ (2) صوامع للوقود التقليدي مثل الفحم المسحوق وكوك البترول؛ (3) المناطق المحمية من الرياح وهطول الأمطار لأنواع الوقود المشتقة من المخلفات؛ (4) الحجيرات أو الصوامع المغطاة/المغلقة للكلنكر مع شفط /استرجاع الغبار تلقائيّاً؛ (5) صوامع مزودة بتقنية شفط/استرجاع الغبار آليّاً من الأسمنت، موصلة بنظام تحميل آلي لناقلات السوائب؛ (6) خزانات أو صوامع للأحجام المغربلة من الجير المحترق؛ و(7) صوامع محكمة الغلق لتخزين الفئات الدقيقة من الجير المطفأ. ويمكن أيضاً تقليل انبعاثات الجسيمات الدقيقة في مناطق التخزين/التكويم عن طريق استخدام رذاذ الماء ومخمدات الغبار الكيماوية، بما في ذلك أساليب الترطيب، في مواضع شحن/تفريغ المواد.
- إجراء أعمال الصيانة الروتينية للمصنع والترتيب والتنظيف الجيد للحد من تسربات الهواء والانسكابات الصغيرة واستخدام أنظمة تفريغ متنقلة وثابتة لعمليات التشغيل الروتينية وغير العادية.
- استخدام تصميمات بسيطة وخطية لعمليات مناولة المواد لتقليل الحاجة إلى نقاط نقل متعددة، بما في ذلك الرصف والترطيب وإجراءات التنظيف لمناطق النقل البري.

28. تتضمن **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** توصيات إضافية للتعامل مع انبعاثات الجسيمات الدقيقة من المصادر المنتشرة الأخرى، بما في ذلك الغبار الناتج عن المركبات التي تتحرك في داخل منشأة تصنيع الأسمنت أو الجير أو بالقرب منها.

أكاسيد النيتروجين

29. تتولد انبعاثات أكسيد النيتروجين (NO_X) في عمليات الاحتراق التي تحدث في فرن الأسمنت عند درجات حرارة مرتفعة.[47] وبالإضافة إلى تيسير عمليات تشغيل الفرن، يوصى باتِّباع أساليب المنع والمكافحة التالية:

- استخدام مواقد منخفضة أكاسيد النيتروجين NO_X (في الفرن الرئيسي، وكذلك في فرن الكلسنة المسبقة، حسب الاقتضاء) لتجنب ظهور بؤر لهب ساخنة موضعية تعزز تكوُّن أكاسيد النيتروجين NO_x.[48]
- استخدام فرن كلسنة منخفض أكاسيد النيتروجين.

[47] يمثل غاز أول أكسيد النيتروجين ما يزيد على 90% من أكاسيد النيتروجين NO_X المنبعثة.

[48] فيما يتعلق باستخدام مواقد منخفضة أكاسيد النيتروجين NO_x مع فرن الكلسنة المسبقة، انظر شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*، القسم 4.2.6.1، 349. وفيما يتعلق بالاستفادة المُثلى من الموقد، إذا كان الموقد الأوليُّ يعمل على نسبة منخفضة من الهواء الأوليّ، فسيكون للموقد منخفض أكاسيد النيتروجين تأثير هامشي على مستويات أكاسيد النيتروجين. وقد يكون هناك تأثير سلبي لاستخدام تبريد اللهب على استهلاك الوقود، ومن المحتمل أن تكون هناك زيادة بنسبة 2–3% في استخدام الوقود، ومن ثَم زيادة مترتبة في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2). انظر شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*، القسم 1.4.5.1.2، 130.

- استخدام أنواع الوقود منخفضة المحتوى النيتروجيني.
- إعداد عملية احتراق مرحلية، حسب الاقتضاء، في أفران PHP وPH.
- تحسين تدفق الهواء الأولي والثانوي لضمان ظروف الاشتعال/ الاحتراق المناسبة مع السيطرة المحكمة على الأكسجين الزائد، ومن ثَم تقليل تكوُّن أكاسيد النيتروجين والانبعاثات.
- استخدام تبريد اللهب[49] عن طريق إضافة الماء إلى الوقود أو إضافته مباشرة إلى اللهب لتقليل درجة الحرارة وزيادة تركيز جذور الهيدروكسيل.

30. بالإضافة إلى أساليب التحكم الأولية المذكورة أعلاه لتقليل أكاسيد النيتروجين NO_x، يمكن أيضاً استخدام أساليب ثانوية مثل الاختزال الانتقائي غير المحفز (SNCR) إذا لزم الأمر.[50]

31. بسبب انخفاض درجات حرارة حرق الحجر الجيري، تقل انبعاثات أكاسيد النيتروجين NO_x بشكل عام في صناعة الجير عنها في صناعة الأسمنت. وبالإضافة إلى تيسير الظروف التشغيلية للفرن، يمكن السيطرة على انبعاثات أكاسيد النيتروجين NO_x باستخدام مواقد محسنة منخفضة أكاسيد النيتروجين.[51]

المركبات العضوية الكلية

32. في العمليات الحرارية (الاحتراق) بشكل عامٍ، غالباً يكون الاحتراق غير الكامل مصحوباً بتكوُّن المركَّبات العضوية الكلية (TOC) أو المركَّبات العضوية المتطايرة (VOC). وفي الأفران تقل الانبعاثات في الظروف العادية المستقرة. وربما زادت التركيزات في أثناء بدء التشغيل أو ظروف التشغيل غير الطبيعية (غير العادية). ومن الممكن أن تقع هذه الأحداث بتواتر متفاوت، على سبيل المثال بين مرة أو مرتين في الأسبوع ومرة واحدة كل شهرين أو ثلاثة أشهر. ويمكن أن تحدث انبعاثات المركبات العضوية الكلية في الخطوات الأولية للعملية (فرن التسخين المسبق، فرن الكلسنة المسبقة)، حيث تتطاير المادة العضوية المتطايرة الموجودة في وجبة الخام في أثناء تسخين التغذية. وتنطلق المادة العضوية بين درجات حرارة من 400°م إلى 600°م.

33. في الظروف العادية، تكون انبعاثات المركَّبات العضوية الكلية منخفضة بشكل عامٍ، ولكن يمكن أن تكون أعلى بسبب المحتوى العضوي المتطاير في المادة الخام المستخدَمة في المصنع. وإذا أمكن الاختيار فلا ينبغي تلقيم المواد الخام الطبيعية أو المستعملة ذات المحتوى العالي من المركَّبات العضوية

[49] لمزيد من التفصيل حول أساليب التبريد باللهب، انظر مركز غوجارات للإنتاج الأنظف (GCPC)، *فرص الإنتاج الأنظف في قطاع تصنيع الأسمنت* (بدون تاريخ)، http://www.gcpcenvis.nic.in/Experts/Cement%20sector.pdf.

[50] لمزيد من المعلومات حول الاختزال الانتقائي غير المحفز وعوامل الاختزال وتطبيقاته، انظر شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*، القسم 1.4.5.1.7، 134–139.

[51] تم تركيب مواقد منخفضة أكاسيد النيتروجين في الأفران الدوارة ويمكن أيضاً تطبيقها على أفران العمود الحلقية في بعض الظروف الخاصة (الهواء الأولي المرتفع). وليس من السهل النقل المباشر لتقنية الموقد منخفض أكاسيد النيتروجين من أفران الأسمنت إلى أفران الجير. ففي أفران الأسمنت، تكون درجات حرارة اللهب أعلى، وقد أعدت المواقد منخفضة أكاسيد النيتروجين على نحو يقلل المستويات الأولية العالية من "أكاسيد النيتروجين الحرارية". وفي معظم أفران الجير تكون مستويات أكاسيد النيتروجين و"أكاسيد النيتروجين الحرارية" أقل أهمية. ويجب ضبط تقنية الموقد حسب الوقود المستخدم، سواء الوقود الأحفوري التقليدي أو الوقود المستعمل. وتتميز الأفران التجددية ذات التدفق المتوازي باحتراق عديم اللهب، وهو ما يجعل المواقد منخفضة أكاسيد النيتروجين غير قابلة للتطبيق على هذا النوع من الأفران. انظر شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*، القسم 2.4.6.1.3، 274.

المتطايرة في نظام الفرن عبر مسار تغذية المواد الخام، ويجب عدم استخدام الوقود الذي يحتوي على نسبة عالية من الهالوجينات في الاحتراق الثانوي. ويمكن تطبيق إجراءات تحسين العملية، مثل تيسير وتحسين تشغيل المصنع، وعملية الحرق و/أو الخلط المتجانس للتغذيات من الوقود والمواد الخام، للحفاظ على انخفاض انبعاثات المركَّبات العضوية الكلية. وفي حالة انبعاث تركيزات مرتفعة من المركبات العضوية الكلية، يمكن النظر في استخدام الامتزاز على الكربون المنشط كما هو الحال في القطاعات الأخرى. [52]

ثاني أكسيد الكبريت

34. ترتبط انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في صناعة الأسمنت في المقام الأول بمحتوى الكبريت المتطاير أو التفاعلي الموجود في المواد الخام وبدرجة أقل بجودة أنواع الوقود المستخدَم في الأفران.[53] وتشمل أساليب مكافحة التلوث الموصى بها للحد من ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) ما يلي:

- اختيار المواد الخام وأنواع الوقود ذات المحتوى المنخفض من الكبريت المتطاير.
- تحسين عملية حرق الكلنكر باستخدام أساليب، منها: تيسير عمليات الفرن، وضمان التوزيع المتساوي للمسحوق الساخن في صاعد الفرن، ومنع الظروف الاختزالية في عملية الحرق. ومن شأن تحسين تركيز الأكسجين في منطقة مدخل الفرن أن يعزز احتجاز ثاني أكسيد الكبريت في حمولة الفرن، ولكن يجب موازنة ذلك مع الآثار على انبعاثات أكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون.
- استخدام طاحونة رأسية للمواد الخام، مع مرور الغازات عبر المطحنة لاستعادة الطاقة وتقليل محتوى الكبريت في الغاز (في المطحنة، يختلط الغاز الذي يحتوي على أكسيد الكبريت (SOx) مع كربونات الكالسيوم (CaCO3) بوجبة الخام وينتج كبريتات الكالسيوم (الجبس)).
- حقن مواد ماصة مثل هيدروكسيد الكالسيوم أو الجير المطفأ (Ca(OH)2)، أو أكسيد الكالسيوم (CaO)، أو الرماد المتطاير الذي يرتفع فيه محتوى أكسيد الكالسيوم في الغاز العادم قبل مروره بالمرشحات.
- استخدام أجهزة الغسل الرطب أو الجاف.[54]

35. ترتبط انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت في صناعة الجير بمحتوى الكبريت في الوقود والمواد الخام، وتصميم/نوع الفرن، ومتطلبات المنتج. تتميز أفران العمود، بما في ذلك الأفران التجددية ذات التدفق المتوازي، بشكل عام بانبعاثات ثاني أكسيد كبريت أقل مما تُحدثه الأفران الدوارة أو الأفران الدوارة

[52] انظر شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*

[53] تنتج الانبعاثات المتصاعدة لغاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 من المواد الخام التي يوجد بها محتوى عالٍ من الكبريت العضوي أو البيريت (FeS). ويتأكسد الكبريت الداخل في نظام الفرن مع الوقود إلى ثاني أكسيد الكبريت SO_2 ولا يؤدي إلى انبعاثات كبيرة منه بسبب الطبيعة القلوية القوية في منطقة التلبيد ومنطقة التكليس والمرحلة السفلى من فرن التسخين المسبق. انظر شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*، القسم 1.3.4.3، 66، والقسم 1.4.3.2، 111.

[54] مع أن انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) لا تمثل في العادة مشكلة كبيرة في صناعة الأسمنت، فمن الممكن استخدام أجهزة غسل الغاز الجاف والرطب لمكافحة هذه الانبعاثات. ويُعَد الغسل الجاف أعلى في التكلفة، ولذلك هو أسلوب أقل انتشاراً عن أسلوب الغسل الرطب، ويستخدم في العادة عندما ترتفع انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت SO_2 على 1500 ملي غرام لكل متر مكعب قياسي (ملغم/م^3 قياسي).

المجهزة بوحدات تسخين مسبق. ويمكن أن يؤدي اختيار أنواع الوقود والمواد الخام ذات المحتوى المنخفض من الكبريت إلى تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت.[55]

المعادن الثقيلة

36. قد تكون انبعاثات المعادن الثقيلة – مثل الرصاص والكادميوم والزئبق – في أثناء تصنيع الأسمنت والجير كبيرة، تبعاً لوجود المعادن الثقيلة في المواد الخام والوقود الأحفوري والوقود المشتق من المخلفات.

37. ترتبط المعادن غير المتطايرة في الغالب بالجسيمات الدقيقة، ويمكن مكافحتها باستخدام تدابير مكافحة الغبار/الجسيمات، كما هو مبيَّن في القسم أعلاه. ويجب التعامل مع مواد النفايات المحتجزة باعتبارها نفايات خطرة، كما هو مبيَّن في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

38. ولا يمتص غبار الغاز الخام المعادن المتطايرة مثل الزئبق سوى امتصاص جزئيٍّ، بحسب درجة حرارة غاز العادم. وتشتمل الأساليب الموصى بها للحد من انبعاثات المعادن الثقيلة الطيارة على ما يلي:

- تطبيق ضوابط على محتوى المعادن الثقيلة المتطايرة في مواد المدخلات و وقود النفايات من خلال المراقبة واختيار المواد (بما في ذلك أساليب الاستخراج الانتقائي من المحاجر لتجنب المواد ذات النِّسَب العالية من تركيزات المعادن).
- بالنسبة للتركيزات العالية من المعادن الثقيلة المتطايرة (وخصوصاً الزئبق)، يمكن استخدام الإزالة المتكررة الانتقائية للغبار أو "تصريف" غبار الأفران المخصَّب بالزئبق، بالإضافة إلى حقن مادة ماصة، للحد من تراكم مستويات الزئبق في غبار الفرن.[56] ينبغي التعامل مع النفايات الصلبة الناتجة على أنها نفايات خطرة، كما هو مبيَّن في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**. كما يمكن أن تكون تدابير مكافحة الملوثات المتعددة، مثل أجهزة الغسل الرطب والامتزاز على الكربون النشط، فعالة أيضاً في مكافحة التركيزات العالية من المعادن الثقيلة المتطايرة.[57]

وقود النفايات والنفايات وما يصحبها من انبعاثات هوائية

[55] لمزيد من المعلومات حول التحكم في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في تصنيع الجير، انظر شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*، القسم 2.4.6.2، 279.

[56] هذه التقنية للإزالة المتكررة للغبار أو "التصريف" تكون أكثر كفاءة في وضع "إيقاف تشغيل طاحونة الخام"، بحيث يعمل الفرن بمفرده، بدلاً من العمل مع طاحونة الخام بغرض استخدام غازات الفرن لتجفيف الوجبة الخام في طاحونة الخام)، لأن الغبار الآتي من فرن التسخين المسبق يحتوي على تركيزات زئبق أعلى، حيث إنه لا "يخفف" في داخل طاحونة الخام. ويجب أن تكون درجة حرارة غاز المداخن منخفضة قدر الإمكان، ويفضل أن تكون أقل من 130 درجة مئوية (°م)، من أجل الحصول على معدل مرتفع لكفاءة الامتزاز. وانظر برنامج الأمم المتحدة للبيئة، "مرافق إنتاج كلنكر الأسمنت" في *دليل إلى أفضل التقنيات المتاحة وأفضل الممارسات البيئية* (نيويورك: برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2016)، القسمين 3.2.1 و 3.2.2، 10–12، http://mercuryconvention.org/Portals/11/documents/publications/BAT_BEP_E_interractif.pdf.

[57] أجهزة الغسل الرطب أكثر فعالية في الحالات التي تكون فيها انبعاثات الزئبق السائدة في شكل أكسيد. وإذا كانت هناك مستويات عالية من عنصر الزئبق، فإن أجهزة الغسل الرطب لن تكون فعالة ما لم تُستخدم إضافات لأكسدة الزئبق. وتُصنع مرشحات الكربون المنشط على قواعد محشوة مقسمة لوحدات ترشيح مختلفة الأحجام لاستيعاب المستويات المختلفة من إنتاجية الغاز وسعة الفرن. وانظر برنامج الأمم المتحدة للبيئة، "مرافق إنتاج كلنكر الأسمنت"، القسمان 3.3.1 و3.3.3.

39. يمكن لأفران الأسمنت، بسبب الأجواء شديدة القلوية بها، وارتفاع درجات حرارة اللهب (حتى 2000°م)، استخدام أنواع وقود النفايات ذات القيمة الحرارية العالية، مثل المذيبات المستعملة، والزيت المستعمل، والإطارات المستهلكة، والوقود المشتق من المخلفات، ومخلفات البلاستيك. وفي حالات استثنائية، يمكن أيضاً استخدام أفران الأسمنت للتخلص من النفايات ذات القيمة الحرارية أو المعدنية القليلة التي لا تُسهِم في عملية إنتاج الكلنكر. ولا ينبغي النظر في اللجوء إلى هذه المعالَجة المشترَكة للنفايات الخطرة (بما في ذلك المركبات ثنائية الفينيل متعدد الكلور (PCBs)، ومبيدات الكلور العضوي القديمة، وغيرها من المواد المكلورة) إلا إذا استُوفيت متطلبات معينة (مبينة أدناه) تتعلق بمراقبة العمليات، والتحكم في الانبعاثات، والتحكم في المدخلات (على سبيل المثال، التحكم في محتوى المعادن الثقيلة، وقيمة التسخين، ومحتوى الرماد، ومحتوى الكلور). ومع أن استخدام أنواع وقود النفايات يمكن أن يسمح باستبدال الوقود الأحفوري، فإن استخدام وقود النفايات أو المعالجة المشتركة للنفايات الخطرة – إذا لم يتم تشغيلها ومراقبتها بشكل صحيح – قد يؤدي إلى انبعاث المركَّبات العضوية المتطايرة، والملوثات العضوية الثابتة، مثل الديوكسينات ثنائية البنزين متعددة الكلور (PCDDs) والفيورانات ثنائية البنزين متعددة الكلور (PCDFs)، وكذلك فلوريد الهيدروجين (HF) وكلوريد الهيدروجين (HCl) (الذي يمكن أن يتولد أيضاً عن المركَّبات العضوية المتطايرة من المواد الخام التي تحتوي على الكلوريد)، والمعادن السامة ومركباتها.

40. يجب على المنشآت التي تستخدم وقود النفايات أو المعالجة المشتركة للنفايات الخطرة في صناعة الأسمنت توثيق كميات وأنواع النفايات المستخدمة ومعايير الجودة، مثل الحد الأدنى للقيمة الحرارية والحد الأقصى لمستويات تركيز ملوثات محددة، مثل ثنائي الفينيل متعدد الكلور والكلور والهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات والزئبق والمعادن الثقيلة الأخرى. ويجب إجراء رصد كافٍ للانبعاثات (تمت مناقشته في القسم 2 من هذه الإرشادات) عند حرق النفايات في مصانع الأسمنت، كوقود البديل أو لغرض إعدام النفايات. وتشتمل أساليب المنع والمكافحة الخاصة بهذه الأنواع من الملوثات الهوائية على ما يلي:[58]

- إجراء الرصد والتحكم في محتوى المعادن الثقيلة المتطايرة في مواد المدخلات ووقود النفايات من خلال اختيار المواد وتدابير التحكم والمكافحة المبينة في قسم المعادن الثقيلة. ويجب التعامل مع المعادن غير المتطايرة وفقاً للتوصيات الواردة في قسم .الجسيمات الدقيقة
- تنفيذ إجراءات التخزين والمناولة الملائمة للنفايات الخطرة وغير الخطرة التي سيتم استخدامها كوقود أو مواد خام مستعملة، وذلك كما هو وارد في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.**
- الحقن المباشر لأنواع الوقود التي تحتوي على معادن متطايرة أو تركيزات مرتفعة من المركَّبات العضوية المتطايرة في المحرقة الرئيسية بدلاً من حقنها عبر المحارق الثانوية.
- تجنب أنواع الوقود التي بها محتوًى عالٍ من الهالوجينات في أثناء عملية الحرق الثانوي وفي أثناء مرحلتَيْ بدء التشغيل وإيقافه.
- ضمان التبريد السريع لغازات عادم الفرن إلى أقل من 200°م في أفران طويلة رطبة وطويلة جافة بدون تسخين مسبق.[59]

[58] تقدّم الرابطة العالمية للأسمنت والخرسانة إرشادات إضافية حول التعامل مع الوقود المستعمل والمواد في: الرابطة العالمية للأسمنت والخرسانة، *إرشادات المعالجة المشتركة للوقود والمواد الخام في صناعة الأسمنت* (لندن: الرابطة العالمية للأسمنت والخرسانة، 2019ب)، https://gccassociation.org/wp-content/uploads/2019/10/GCCA_Guidelines_FuelsRawMaterials_v04_AMEND.pdf.

[59] يتم تحطيم الديوكسينات والفيورانات ثنائية البنزين متعددة الكلور في اللهب والغازات ذات درجة الحرارة المرتفعة، ولكن يمكن إعادة تكوينها في درجات حرارة أقل انخفاضاً (250–500°م). من الممكن تقصير وقت التبريد إلى ما دون 200°م في أفران التسخين المسبق–الكلسنة المسبقة وأفران التسخين السابق، حيث يكون التدفق في السيكلونات

41. في تصنيع الجير، نادراً ما يُستخدم وقود النفايات والمواد الخام المستعملة نظراً لمتطلبات جودة المنتج.[60]

الضوضاء والاهتزازات

42. تشكِّل مراحل تصنيع الأسمنت والجير المختلفة العديد من مصادر من الضوضاء عالية المستوى. و تشمل استخراج المواد الخام (كما هو مبين في **الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة لاستخراج مواد التشييد**)؛ الطحن والتخزين؛ مناولة ونقل المواد الخام أو المنتجات الوسيطة والنهائية؛ وتشغيل مراوح الطرد. ومن بين وسائل التحكم في انبعاثات الضوضاء استخدام كواتم صوت للمراوح، وحواجز للغرف لمشغلي الطواحين، وحواجز الضوضاء، وعاكسات الصوت، والعزل. وتقدِّم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** المستويات الموصى بها لإجراءات خفض الضوضاء ومستويات الضوضاء المحيطة.

المياه المستعملة

معالجة المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية

43. تنتج المياه المستعملة بشكل رئيسي من مرافق التبريد في مختلف مراحل العملية (على سبيل المثال، المحامل وحلقات الفرن). وتشتمل أساليب معالجة المياه المستعملة الناتجة عن العمليات 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 لأساليب المعالجة.

تدفقات المياه المستعملة الأخرى واستهلاك المياه

44. تقدِّم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** إرشاداً حول كيفية التعامل مع المياه المستعملة غير الملوثة الناتجة عن عمليات المنشآت، ومياه العواصف غير الملوثة، ومياه الصرف الصحي. ويجب توجيه التدفقات الملوثة إلى نظام معالجة المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية.

سريعاً، ولكن من الصعب أن يتوافر ذلك في أنواع الأفران الأخرى. ولا يزال استخدام الكربون المنشط لامتزاز المقادير البسيطة من المعادن المتطايرة (مثل الزئبق) أو المركبات العضوية المتطايرة أو مركبات الديوكسينات والفيورانات ثنائية البنزين متعددة الكلور في مرحلة التجريب نظراً لاختلاف تركيب الوقود. ومن شأن توفير ظروف تشغيلية جيدة والاختيار الدقيق لمواد الإدخال أن يجنبنا الحاجة إلى استخدام الكربون المنشط. تتوافر معلومات عن منع ومكافحة انبعاثات الديوكسينات والفيورانات ثنائية البنزين متعددة الكلور في: المجلس العالمي للأعمال التجارية من أجل التنمية المستدامة، *تكوُّن وإطلاق الملوثات العضوية الثابتة في صناعة الأسمنت*، الطبعة الثانية (جنيف: المجلس العالمي للأعمال التجارية من أجل التنمية المستدامة، 2006)، http://docs.wbcsd.org/2006/01/FormationAndReleaseOfPOPsInCementIndustry.pdf.

[60] يؤثر مصدر الوقود المستخدم في تصنيع الجير تأثيراً واضحاً على جودة الجير الذي يتم إنتاجه والسبب الرئيس لهذا التأثير هو محتوى الكبريت الذي يتم احتجازه في المنتج ويؤدي إلى خفض قيمته. ويمكن أن يكون لمختلف أنواع الوقود تأثير على جودة المنتج إذا لم يكن الاحتراق كاملاً. لذلك، فإن الغاز الطبيعي والنفط هما الوقود الأكثر استخداما في تصنيع الجير، نظراً لخصائص احتراقهما. ويمكن استخدام الفحم (الذي ينخفض فيه محتوى الكبريت) وكوك البترول عندما لا يكون لمحتوى الكبريت الناتج أي أهمية في المنتج.

45. وقد تتلوث مياه العواصف التي تتدفق عبر مخزونات كوك البترول والفحم وأكوام مواد النفايات. وينبغي منع مياه العواصف من ملامسة أكوام مواد النفايات عن طريق تغطية أو تطويل هذه الأكوام، وعن طريق تركيب وحدات السيطرة على الجريان السطحي. كما أن أساليب منع التلوث الموصى بها في حالة انبعاثات الغبار من أكوام مواد النفايات ومن الكلنكر والفحم والمخلفات قد تساعد في الحد من تعرُّض 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 وسائل للسيطرة على الجريان السطحي حولها، وتجميع مياه العواصف في حوض مبطن للسماح بالجسيمات الدقيقة بالاستقرار قبل أن يتم العزل والتحكم وإعادة التدوير أو التصريف. وتقدّم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** مزيداً من التوصيات بشأن التعامل مع مياه العواصف الملوثة.

46. وعلى الرغم من أن صناعة الأسمنت ليست صناعة كثيفة الاستخدام للمياه، من الممكن أن تُسهم في الإجهاد المائي في المواقع القاحلة موسمياً. وتقدّم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** توصيات لخفض استهلاك المياه، لا سيما في الأماكن التي تكون فيها المَصادر الطبيعية محدودة. وبالإضافة إلى اتِّباع تدابير الترتيب والنظافة نجحت شركات الأسمنت في الحفاظ على المياه باعتماد أنظمة التبريد الجاف بدلاً من التبخير، على سبيل المثال، في مكثفات دورة توليد الطاقة.

النفايات الصلبة

47. تشتمل مصادر النفايات الصلبة في عملية تصنيع الأسمنت والجير على مخلفات إنتاج الكلنكر (التي تتكون بشكل أساسي من الصخور التالفة التي تنفصل من المحاجر أو يتم التخلص منها من المواد الخام في أثناء تحضير وجبة الخام) فضلاً على مخلفات الكلنكر غير المطابق للمواصفات. وتشتمل تدفقات المخلفات المحتملة الأخرى، التي يمكن تصنيفها ضمن المخلفات الخطرة، على غبار الفرن الذي تتم إزالته من مسار نظام التمرير الجانبي ومدخنة العادم – حال عدم إعادة تدويره في العملية. وهناك أيضاً بعض المخلَّفات المحدودة الناتجة عن أعمال صيانة المصنع – على سبيل المثال: الزيوت والخردة المعدنية المستعملة، والمواد المقاومة للحرارة في الأفران التي قد تحتوي على معادن ثقيلة. بينما قد تشتمل مواد النفايات الأخرى على المواد القلوية أو الكلوريد أو الفلوريد الموجود في تراكمات الغبار المتصاعدة من الفرن.

48. في عملية إنتاج الجير، كثيراً ما تتم إعادة استخدام/إعادة تدوير الغبار والجير الحي غير المطابق للمواصفات والجير المطفأ في منتجات تجارية محددة – مثل الجير المستخدم في عمليات التشييد والجير المستخدم لتثبيت التربة والجير المطفأ والمنتجات المصنعة على شكل حبيبات.

49. وتقدّم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** إرشادات حول التعامل مع النفايات الخطرة وغير الخطرة.

1.2 الصحة والسلامة المهنية

50. من بين أكبر التأثيرات المتعلقة بالصحة والسلامة المهنية التي تبرز في أثناء مرحلة تشغيل مشروعات تصنيع الأسمنت ما يلي:[61]

- الغبار الخطر
- الانفجارات والحرائق
- أنواع الطاقة الخطرة
- المخاطر الكهربائية
- الأماكن المغلقة
- أعمال الرفع المعقدة والحرجة
- اللحام والقطع واللحام بالنحاس الأصفر (أعمال ساخنة)
- الحرارة
- الضوضاء والاهتزازات
- المخاطر البدنية
- الإشعاع
- الأخطار الكيميائية وغيرها من قضايا الصحة الصناعية

الغبار الخطر

51. يرتبط التعرض للجسيمات الدقيقة بالعمل في معظم مراحل تصنيع الأسمنت والجير التي ينتج الغبار فيها إلا أنه ينتج بشكل ملحوظ في أثناء العمل في المحاجر (انظر **الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة المتعلقة باستخراج مواد التشييد**) ومناولة المواد الخام وطحن الكلنكر/الأسمنت. وعلى وجه الخصوص يُعَد التعرض للجزء المستنشق من غبار السيليكا النشط (البلوري) (SiO_2)، وللأسبستوس حال وجوده في المواد الخام والمنتجات (على سبيل المثال: غبار الأسمنت)، يُعَد خطراً محتملاً وثيق الصلة بقطاع تصنيع الأسمنت والجير، ويجب اتِّباع معايير الصحة والسلامة المحددة لمكافحة هذه المخاطر.[62] وتتضمن طرق منع التعرض للغبار والسيطرة عليه ما يلي:

[61] يمكن الحصول على مزيد من المعلومات التفصيلية عن الآثار على الصحة والسلامة المهنية من خلال الرجوع إلى معايير الصحة والسلامة المهنية في الممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة، مثل هيئة السلامة والصحة المهنية الأمريكية (US OSHA) لعام *1910 – الصناعة العامة*؛ اللوائح التنظيمية ومدونة السلوك الصادرة عن إدارة الصحة والسلامة (HSE) بالمملكة المتحدة؛ والإرشادات ومدونات السلوك الأسترالية والنيوزيلندية.

[62] يمكن الحصول على معلومات عن الوقاية من أخطار استنشاق السيليكا ومكافحتها من عدة مصادر، بما في ذلك هيئة الصحة والسلامة في أونتاريو، *السيليكا في مكان العمل* (2011)؛ هيئة السلامة والصحة المهنية، *معيار هيئة السلامة والصحة المهنية للسيليكا البلورية المستنشقة للصناعة العامة والبحرية* (2018)؛ المؤتمر الأمريكي لخبراء الصحة المهنية الحكوميين (ACGIH)، *القيمة الحدّية القُصوى المقبولة (TLVs) ومؤشرات التعرض البيولوجي (BEIs) لعام 2021*؛ هيئة السلامة والصحة المهنية الأمريكية، *معايير الصحة المهنية والسلامة، 1910.1053 الجزء الفرعي Z، المواد السامة والخطرة، السيليكا البلورية المستنشقة*، https://www.osha.gov/laws-

- منع الغبار من خلال أعمال الترتيب والنظافة الجيدة، بما في ذلك استخدام أنظمة التنظيف الخوائي المتنقلة لمنع تراكم الغبار على المناطق المرصوفة.
- استخدام الحجيرات المغلقة مكيفة الهواء.
- استخدام سيور ناقلة/ مصاعد مغلقة مع وسائل لمكافحة انبعاثات الغبار المنفلت في نقاط النقل.
- استخدام أنظمة استخلاص الغبار وإعادة تدويره للتخلص من الغبار في مناطق العمل، وخصوصاً طواحين السحق.
- استخدام امتصاص الهواء (الشفط) في مناطق تعبئة شكائر الأسمنت.
- قياس مدى تعرض العمال للغبار الخطر.
- استخدام معدات الوقاية الشخصية (مثل الكمامات والأقنعة) لمواجهة التعرض للمواد المتبقية بعد استخدام ضوابط العمليات والضوابط الهندسية التي سبقت الإشارة إليها أعلاه.[63]
- تنفيذ برنامج لحماية الجهاز التنفسي. يجب أن يكون هناك برنامج مكتوب لحماية الجهاز التنفسي يحدد أسلوب التشغيل القياسي المعمول به لحماية جميع العمال من المخاطر التي تهدد الجهاز التنفسي. ويجب أن يشتمل على تعيين مدير للبرنامج، واختيار جهاز التنفس الصناعي، والتقييم الطبي، وإجراءات اختبار الملاءمة، وإجراءات الاستخدام السليم، والصيانة، وإجراءات جودة الهواء (أجهزة التنفس المزودة بالهواء)، وتقييم البرنامج ومكان العمل، والتدريب.[64]

[63] لمزيد من المعلومات راجع إدارة الصحة والسلامة بالمملكة المتحدة، *معدات حماية الجهاز التنفسي في العمل، دليل عملي*، HSG53 الطبعة الرابعة (2013)، https://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg53.pdf؛ الجمعية الأمريكية الدولية للاختبار والمواد، *ASTM F3387–19: الممارسة القياسية لحماية الجهاز التنفسي* (غرب كونشوهوكين، بنسلفانيا، 2019)، https://www.astm.org/Standards/F3387.htm، doi: 10.1520 / F3387–19؛ و/أو نانسي ج. بولينجر وروبرت إتش. شولتز، *دليل المعهد القومي الأمريكي للصحة والسلامة المهنية إلى حماية الجهاز التنفسي في البيئات الصناعية*، منشور إدارة الخدمات الصحية والإنسانية رقم 87–116 (1987)، https://www.cdc.gov/niosh/docs/87–116/pdfs/87–116.pdf?id=10.26616/NIOSHPUB87116.

[64] لمزيد من المعلومات، راجع هيئة السلامة والصحة المهنية الأمريكية، *معايير الصحة المهنية والسلامة، 1910.134 (c) الجزء الفرعي I، برنامج حماية الجهاز التنفسي*، https://www.osha.gov/laws–regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134، أو الجمعية الأمريكية الدولية للاختبار والمواد، *الممارسة القياسية لحماية الجهاز التنفسي*، https://www.astm.org/Standards/F3387.htm.

الانفجارات والحرائق

52. يمكن أن تنجم الحرائق والانفجارات عن كثير من العمليات المختلفة وأنواع الوقود المستخدَم في صناعة الأسمنت. وفي المتوسط، يستهلك 0.2–0.3 طن من الفحم في الأفران لكل كيلوغرام من إنتاج أسمنت الكلنكر، وهو ما يجعل تخزين الفحم ومناولته ونقله من أكثر مخاطر الحرائق شيوعاً في صناعة الأسمنت. وتشمل مخاطر الحرائق الرئيسية الأخرى محطات الكهرباء الخاصة بالموقع، والمكونات الكهربائية، مثل المحولات ومعدات التبديل، وتخزين الشكائر الفارغة.

53. وترتبط أكثر مخاطر الانفجار شيوعاً في مصانع الأسمنت بغبار الفحم (انفجار الغبار). فلمَّا كان الفحم يُسحق إلى جزيئات أصغر قبل استخدامه في الفرن، فإن ذلك يزيد كثيراً من أخطار نشوب حريق/انفجار. كما يمكن أن تنفجر المرشحات الكيسية المستخدمة في طاحونة الفحم تلقائيّاً أو نتيجة للكهرباء الساكنة. وعلاوة على ذلك يمكن أن يؤدي تراكم المخاليط المتفجرة، مثل غبار الفحم المشتت بدقة في الهواء أو أول أكسيد الكربون في الهواء، إلى خطر حدوث انفجار في المرسبات الإلكتروستاتية.

54. وللاطِّلاع على الممارسات الموصى بها، يرجى الرجوع إلى **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** والمعايير المناسبة في الممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة.[65]

[65] انظر هيئة السلامة والصحة المهنية الأمريكية، *1910 الجزء الفرعي H، المواد الخطرة*، https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910SubpartH؛ *الجزء الفرعي L، الوقاية من الحريق*، https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910SubpartL؛ *والجزء الفرعي S، الكهرباء*، https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910SubpartS؛ الجمعية الأمريكية الوطنية للحماية من الحرائق (NFPA)، *NFPA 68–2002: دليل إلى تنفيس الانفجارات المفاجئة، طبعة 2002*، في المجلد 13، قوانين الحرائق الوطنية 2005/2004، https://webstore.ansi.org/standards/nfpa-fire/nfpa682002؛ *NFPA 69: معيار بشأن أنظمة منع الانفجارات*، https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=69؛ *NFPA 70: الكود الوطني للكهرباء* (2020) https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=70؛ *NFPA 77: الممارسات الموصى بها بشأن الكهرباء الساكنة* (2019)، https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=77؛ *NFPA 85: مدونة مخاطر الغلايات وأنظمة الاحتراق* (2019)، https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=85؛ *NFPA 86: معيار للأفران* (2019)، https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=86؛ *NFPA 499: الممارسات الموصى بها لتصنيف الغبار القابل للاحتراق والمواقع الخطرة (المصنفة) للتركيبات الكهربائية في مناطق العمليات الكيميائية* (2021)، https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=499؛ *NFPA 654: معيار الوقاية من الحرائق وانفجارات الغبار الناتجة عن تصنيع، ومعالجة، ومناولة الجسيمات الصلبة القابلة للاحتراق* (2020)، https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=654؛ والجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين، *مدونة الغلايات وأوعية الضغط* (2021)، https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/bpvc-complete-code-boiler-pressure-vessel-code-complete-set.

مصادر الطاقة الخطرة

55. يمكن أن تشكل مصادر الطاقة – بما في ذلك المصادر الكهربائية أو الميكانيكية أو الهيدروليكية أو الهوائية أو الكيميائية أو الحرارية أو غيرها من المصادر – في الآلات والمعدات خطراً على العمال. ويمكن أن يؤدي بدء التشغيل أو الإطلاق غير المتوقع للطاقة المخزَّنة، في أثناء صيانة الآلات والمعدات، إلى إلحاق إصابة خطيرة بالعمال أو حتى وفاتهم. وللاطِّلاع على الممارسات الموصى بها، يرجى الرجوع إلى **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** ومعايير الصحة والسلامة المهنية المناسبة في الممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة.[66]

المخاطر الكهربائية

56. يُعَد تصنيع الأسمنت من المجالات كثيفة الاستخدام للطاقة، وتوجد بمصانع الأسمنت معدات كهربائية ثقيلة مركبة للتحكم في الطاقة الكهربائية وتوزيعها واستخدامها. وفي كثير من الأحيان، تجهَّز مصانع الأسمنت بوحدات مخصصة لتوليد الطاقة. ويُعَد تشغيل وصيانة الدوائر الكهربائية والآلات والأدوات والمعدات التي تعمل بالكهرباء، مصدراً شائعاً للمخاطر الكهربائية، مثل: الصعق الكهربائي ووميض القوس الكهربائي والحروق والحرائق والانفجارات. وللاطِّلاع على الممارسات الموصي بها، يرجى الرجوع إلى **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** ومعايير الصحة والسلامة المهنية المناسبة في الممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة.[67]

الأماكن المغلقة

57. في عمليات مصانع الأسمنت، يتعين على العمال الدخول بانتظام إلى الأماكن المغلقة، مثل الأفران وحجرات المرشحات الكيسية والصناديق والكسارات والمجاري والصوامع والطواحين، كجزء من عملهم. ولا تزال تحدث وفيات وإصابات خطيرة في الأماكن المغلقة، ترتبط في الأغلب بعدم التعريف بالمخاطر و/أو مكافحتها و/أو التدريب عليها بصورة مناسبة. وللاطلاع على الممارسات الموصى بها، يرجى الرجوع إلى **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** ومعايير الصحة والسلامة المهنية المناسبة في الممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة.[68]

---

[66] ومن الأمثلة على ذلك هيئة السلامة والصحة المهنية الأمريكية، *1910 الجزء الفرعي J، ضوابط بيئية عامة، 1910.147: التحكم في الطاقة الخطرة (الإغلاق/ووضع اللافتات)* https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.147؛ الولايات المتحدة *1910*، OSHA، *الجزء الفرعي S، الكهرباء، 1910.333 اختيار واستخدام ممارسات العمل*، https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.333؛ الجمعية الأمريكية لمحترفي السلامة (ASSP) ، *ANSI / ASSP Z244.1-2016 (R2020) التحكم في الطاقة الخطرة: إجراءات الإغلاق ووضع اللافتات والطُّرق البديلة*، https://webstore.ansi.org/standards/asse/ansiasspz2442016r2020؛ وإدارة الصحة والسلامة بالمملكة المتحدة، *HSG253، العزل الآمن للمصنع والمعدات* (2006)، https://www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg253.htm.

[67] انظر هيئة السلامة والصحة المهنية الأمريكية، *1910 الجزء الفرعي S، الكهرباء*؛ ANSI/NEC؛ و*HSG85*، HSE، *الكهرباء في العمل: ممارسات العمل الآمنة* (2013)، https://www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg85.htm.

[68] هيئة السلامة والصحة المهنية الأمريكية، *1910 الجزء الفرعي J، الضوابط البيئية العامة 1910.146، الأماكن المحصورة المستلزمة لتصريح دخول*، https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.146؛ *ASTM D4276-02: الممارسات القياسية لدخول الأماكن المحصورة* (2020)، https://www.astm.org/Standards/D4276.htm؛ والمعايير الأسترالية، *AS 2865-2009، الأماكن المحصورة*، https://www.standards.org.au/standards-catalogue/sa-snz/publicsafety/sf-037/as--2865-2009.

أعمال الرفع المعقدة والحرجة

58. تحتوي مصانع الأسمنت على معدات ثقيلة كبيرة تحتاج في الأغلب إلى استبدالها أو نقلها للصيانة. وقد يتطلب ذلك عمليات رفع تنطوي على مواقف معقَّدة وحرجة، بما في ذلك رفع الأفراد أو المواد الخطرة، وجود عوائق في طرق أو مسارات الإبعاد، وعمليات الرفع التي تتجاوز 75% من الطاقة الاسمية للمعدات، وخلوص ذراع الرافعة أقل من 3 أقدام، ومخاطر القرب مثل الاضطرار إلى المرور في نطاق 20 قدماً من خط مزود بالطاقة، والرافعات الترادفية أو المتعددة. وللاطلاع على الممارسات الموصي بها، يرجى الرجوع إلى **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** ومعايير الصحة والسلامة المهنية المناسبة في الممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة.[69]

اللحام والقطع واللحام بالنحاس الأصفر (أعمال ساخنة)

59. تعتمد مصانع الأسمنت اعتماداً كبيراً على الهياكل والمعدات المعدنية التي تَبْلى بمرور الوقت وتحتاج إلى صيانة مستمرة. وبالنسبة لقسم الصيانة في مصنع الأسمنت، يُعَد اللحام والقطع من الأنشطة اليومية التي ترتبط في الأغلب بمخاطر أخرى مثل العمل على ارتفاعات أو دخول الأماكن المغلقة. وللاطِّلاع على الممارسات الموصي بها، يرجى الرجوع إلى **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** والمعايير المناسبة في الممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة.[70]

الحرارة

60. يمكن أن تقطع المخاطر الحرارية في مصنع الأسمنت على صورتين مختلفتين: الاتصال المباشر بالأسطح والمواد الساخنة، أو الإجهاد الحراري أو الإرهاق الحراري من العمل لمدة طويلة تحت درجات حرارة عالية.

61. ويمكن أن تحدث إصابات حرارية في أثناء تشغيل وصيانة الأفران أو أبراج التسخين المسبق أو المرسبات الإلكتروستاتية أو غيرها من المعدات الساخنة، من خلال الاتصال المباشر بالأسمنت الساخن أو الكلنكر الساخن أو غبار نظام التمرير الجانبي الناتج عن المرسبات أو المواد الأخرى، و/أو من خلال التفاعلات الطاردة للحرارة في عملية إطفاء الجير. وبالمثل يمكن أن ينتج الإجهاد الحراري والإرهاق الحراري عن العمل لفترات طويلة في الهواء

---

[69] الجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين، *ASME B30.19–2016، معايير السلامة للقاطرات المعلقة، والأوناش والرافعات والرافعات الهيدروليكية والخطاطيف والكريكات وحبال الرفع*، https://webstore.ansi.org/Standards/ASME/ASMEB301920162source=blog&_ga=2.74808987.801118766.1632709424-2025001869.1632150268؛ هيئة السلامة والصحة المهنية الأمريكية، *1910 الجزء الفرعي N، مناولة وتخزين المواد*، https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910SubpartN؛ وهيئة السلامة والصحة المهنية الأمريكية، *لوائح الصحة والسلامة في مجال التشييد، 1926 الجزء الفرعي CC، الأوناش والرافعات في مجال التشييد*، https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1926/1926SubpartCC.

[70] هيئة السلامة والصحة المهنية الأمريكية، *1910 الجزء الفرعي Q، اللحام والقطع واللحام بالنحاس*، https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910SubpartQ؛ إدارة الصحة والسلامة بالمملكة المتحدة *موارد للحام الصحي والآمن*، https://www.hse.gov.uk/welding/publications.htm؛ منظمة العمل الآمن في أستراليا، *مدونة سلوك نموذجية: عمليات اللحام*، https://www.safeworkaustralia.gov.au/doc/model-code-practice-welding-processes؛ والمعهد القومي الأمريكي للصحة والسلامة المهنية، المنشور رقم. DHHS–NIOSH–88–110، *مقاييس للمعيار الموصى به: أعمال اللحام واللحام بالنحاس الأصفر والقطع الحراري* (1988)، https://www.cdc.gov/niosh/docs/88-110/default.html.

الطلق تحت درجات حرارة مرتفعة، أو في الداخل، في المناطق ذات درجات الحرارة العالية، وخصوصاً بالنسبة لعمال الفرن. وللاطِّلاع على الممارسات الموصي بها، يرجى الرجوع إلى **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** والمعايير المناسبة في الممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة.[71]

الضوضاء والاهتزازات

62. هناك كثير من مراحل تصنيع الأسمنت والجير التي يمكن أن يتعرض فيها العمال للضوضاء. وهي تشمل استخراج المواد الخام (كما هو مبيَّن في **الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة لاستخراج مواد البناء**)؛ الطحن والتخزين؛ مناولة ونقل المواد الخام أو المنتجات الوسيطة والنهائية؛ وتشغيل مراوح الطرد. وتقدم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** المستويات الموصي بها لإجراءات خفض الضوضاء ومستويات الضوضاء المحيطة.

63. المصادر الرئيسية للضوضاء والاهتزازات في مصانع الأسمنت والجير هي عمليات التكسير/الطحن، والطواحين، والمجاري، والقواديس، والمعدات المتحركة، ومراوح الطرد، والمنافخ. ومن بين وسائل التحكم في انبعاثات الضوضاء: استخدام كاتمات صوت المراوح وحواجز الغرف لمشغلي الطواحين وحواجز الضوضاء، وعاكسات الصوت، والعزل، ووسائل حماية الجهاز السمعي في حال تعذُّر خفض الضوضاء إلى مستويات مقبولة، على النحو المبيَّن في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

المخاطر البدنية

64. ترتبط الإصابات التي تحدث في أثناء عمليات تصنيع الأسمنت والجير في العادة بحالات الانزلاق والتعثر والسقوط والاحتكاك بالأجسام الساقطة أو المتحركة والرفع وفرط الإجهاد. وقد تحدث إصابات أخرى من حوادث الحركة المرورية تتعلق بالاحتكاك أو الانحشار بالآلات المتحركة – على سبيل المثال، الشاحنات القلابة، واللوادر الأمامية، والرافعات الشوكية، وآلات تعبئة الشكائر. وتمثل الأنشطة المتعلقة بصيانة المعدات – بما فيها معدات التكسير والطواحين وأجهزة فرز الطحين والمراوح والمبردات والسيور الناقلة – مصادر مهمة للتعرُّض إلى المخاطر البدنية. وتصف **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** طُرُق التعامل مع هذه المخاطر.[72]

---

[71] انظر قسم الإجهاد الحراري والإرهاق الحراري في المؤتمر الأمريكي لخبراء الصحة المهنية الحكوميين، *القيمة الحدّية القُصوى المقبولة ومؤشرات التعرُّض البيولوجي لعام 2016: القيمة الحدّية القُصوى المقبولة للمواد الكيميائية والعوامل الفيزيائية ومؤشرات التعرُّض البيولوجي* (سينسيناتي: المؤتمر الأمريكي لخبراء الصحة المهنية الحكوميين، 2016)؛ المعهد القومي الأمريكي للصحة والسلامة المهنية، *مقاييس للمعيار الموصى به: التعرض المهني للحرارة والبيئات الحارة*، https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/default.html؛ وصفحة الويب التابعة للمعهد القومي الأمريكي للصحة والسلامة المهنية عن الإجهاد الحراري، https://www.cdc.gov/niosh/topics/heatstress/default.html.

[72] يتوافر مزيد من الإرشادات في المجلس العالمي للأعمال التجارية من أجل التنمية المستدامة، *الصحة والسلامة في صناعة الأسمنت: أمثلة على الممارسات الجيدة* (جنيف: المجلس العالمي للأعمال التجارية من أجل التنمية المستدامة، 2004)، http://ficem.org/CIC-descargas/Suiza/CSI/Health-and-Safety-in-the-Cement-Industry_Examples-of-Good-Practice-2004.pdf.

الإشعاع

65. تُستخدم أحياناً محطات الأشعة السينية للرصد المستمر لخليط المواد الخام الموجودة في السير الناقل الذي يتم تلقيمه في طاحونة المواد الخام. وينبغي حماية مشغلي محطات الأشعة السينية من خلال إجراءات الحماية من الإشعاع المؤين على النحو الموصوف في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

الأخطار الكيميائية وغيرها من قضايا الصحة الصناعية

66. قد يسهم التعرُّض للكروم في حدوث التهاب الجلد التلامسيّ التحسُّسي لدى العمال الذين يتعاملون مع الأسمنت.[73] وتشتمل أساليب منع ومكافحة هذا الخطر المحتمل على تقليل نسبة الكروم القابل للذوبان في مخلوطات الأسمنت واستخدام معدات الوقاية الشخصية المناسبة لمنع التلامس الجلدي، كما هو مبيَّن **في الإرشادات العامة بشأن الصحة والسلامة والبيئة**.

67. يتفاعل أكسيد الكالسيوم (CaO)، أو "الجير الحي"، مع الماء لإنتاج هيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH)_2$)، "الجير المُطفأ"، وهو محلول كاوٍ أكَّال بشدة. ومن شأن التلامس العرضي لمدة كافية بين مساحيق الجير الحي أو الجير المطفأ والجلد الرطب أو العينين أو الأغشية المخاطية أن يؤدي إلى حروق كاوية للأنسجة. كما أن هذا التفاعل طارد للحرارة وشديد الانفجار، يولد بخاراً محمَّلاً بالجير ورذاذ ماء ساخن، وكلاهما شديد الخطورة بسبب ارتفاع درجة حرارتهما وخصائصهما الكاوية. ويجب تغطية المناطق التي يتم فيها التعامل مع هذه المركَّبات على هيئة مسحوق، أو المناطق التي ينثر فيها الجير، وإغلاقها، إن أمكن، لتجنب توليد مخاطر من الغبار. وينبغي أن تتوافر مرافق الغسل الفوري لمناطق الجسم المصابة بما في ذلك مرافق غسل العيون في المكان الذي تتم فيه مناولة الجير الحي، ويجب توفير معدات الحماية الشخصية، مثل نظارات السلامة والقفازات والملابس الواقية وأغطية الأحذية، في عملية إطفاء الجير، واعتماد إجراءات السلامة المناسبة. وتقدِّم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** إرشادات إضافية حول أساليب التعامل مع المخاطر الكيميائية.

1.3 الصحة والسلامة المجتمعية

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

69. ومن بين تلك الآثار والمخاطر على صحة وسلامة المجتمع المحلي، من المهم تسليط الضوء على (1) حركة المرور وزيادة عدد المركبات المتوقفة بالقرب من المصنع في انتظار تحميلها، (2) الحمولات الزائدة للشاحنات، و(3) تدفق العمالة، خصوصاً في أثناء إنشاء المشروع. ففي الحالة الأولى، إذا تركت مناطق الانتظار دون إدارة، فإنها قد تتحول إلى تجمُّعات عشوائية تزيد من تعرُّض صحة وسلامة المجتمع للمخاطر. وعليه، يجب أن يكون لمناطق الانتظار بوابات تخضع للإشراف عليها وتكون بعيدة عن الطريق، ويجب أن تشتمل على مرافق مخصصة بها غرف لحفظ الأغراض ودورات مياه مخصصة للسائقين والمشغلين الآخرين. وفيما يتعلق بالحمولات الزائدة للشاحنات، يجب تطبيق توجيهات محددة وتعليمات إدارية بشأن إجراءات وحدود

[73] لمنع التهاب الجلد التلامسي التحسسي، وضع الاتحاد الأوروبي حدّاً أقصى لمحتوى الكروم القابل للذوبان في الأسمنت يبلغ 0.0002% من إجمالي الوزن الجاف للأسمنت.

التحميل في المصنع لتجنب زيادة مخاطر حوادث السلامة على الطُّرق. وفيما يتعلق بتدفق العمالة، يجب وضع خطط محددة لإدارة القوى العاملة لحماية صحة المجتمعات المحلية وسلامتها.

2. رصد الأداء والمتابعة

2.1 البيئة

إرشادات بشأن الانبعاثات والنفايات السائلة

70. تقدِّم الجداول 1 و2 و3 إرشادات بشأن الانبعاثات والنفايات السائلة لهذا القطاع. وتشرح القيم الإرشادية الخاصة بالانبعاثات والنفايات السائلة الناتجة عن العمليات في هذا القطاع بوضوح الممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة كما هي واردة في المعايير ذات الصلة للبلدان التي لديها أُطر تنظيمية معترَف بها. ويمكن تطبيق هذه الإرشادات في ظروف التشغيل العادية في داخل المرافق المصمَّمة والمشغَّلة على نحو ملائم من خلال تطبيق أساليب منع التلوث والسيطرة عليه، والتي تم تناولها بالمناقشة في الأقسام السابقة من هذه الوثيقة. وينبغي تطبيق هذه المستويات بدون تخفيف، فيما لا يقل عن 95% من وقت تشغيل المصنع أو الوحدة، بعد حسابها كنسبة من ساعات تشغيلها السنوية. ويجب تبرير عدم تطبيق هذه المستويات في ظروف محددة بأحد المشروعات المحلية، في التقييم البيئي.

71. تنطبق الإرشادات بشأن النفايات السائلة على التصريف المباشر للنفايات السائلة المعالَجة في المياه السطحية من أجل الاستخدام العام. ويمكن تحديد مستويات التصريف الخاصة بالموقع بناء على مدى التوافر وظروف استخدام الأنظمة العامة لتجميع ومعالجة مياه الصرف الصحي، أو إن كان تصريفها يتم مباشرة إلى المياه السطحية، عندئذ يتم تحديد المستويات بناءً على نظام تصنيف استخدام المياه المستقبلة كما هو موضح في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**. وتسري الإرشادات المعنية بانبعاث الملوثات على الانبعاثات الناتجة عن العمليات. وتتناول **في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** الإرشادات الخاصة بانبعاثات مصادر الاحتراق المرتبطة بأنشطة توليد الطاقة البخارية والكهربائية من مصادر لها قدرة تساوي أو تقل عن 50 ميجاواط حرارية. أما انبعاثات مصادر الطاقة الأكبر فتناقشها **الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة بالطاقة الحرارية**. كما تتضمن **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** توجيهات خاصة بالاعتبارات البيئية المستندة إلى إجمالي حِمل الانبعاثات.

كفاءة استخدام الموارد والنفايات

72. يقدم الجدول 4 أمثلة لاستخدام الموارد وإنتاج النفايات في هذا القطاع التي يمكن عدُّها مؤشرات للممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة والتي يمكن استخدامها لتتبع التغييرات في الأداء بمرور الوقت.[74]

[74] تم تصحيح أخطاء الجدول 4 بتاريخ أبريل 2025 لتصحيح معيار الصناعة لنسبة الكلنكر إلى الأسمنت، والتي يجب أن تكون أقل من 70–75% وليس 30%، مع توضيح بشأن إضافات الأسمنت، وإضافة تفاصيل لتعليقات هامشية جديدة (و) مع مراجع. وتم توسيع التعليقات الهامشية (ه) لتوضيح تأثير نسبة الكلنكر على انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.

الجدول 1. مستويات الانبعاثات الهوائية في صناعة الأسمنت		
الملوثات	الوحدات	القيمة الإرشادية
الجسيمات الدقيقة (نظام فرن جديد مزود بتنظيف جاف لغاز المداخن باستخدام المرسبات الإلكتروستاتية و/أو مرشح قماشي أو هجين)	ملغم/م^3 قياسي	25 [أ]
الجسيمات الدقيقة (الأفران الموجودة)	ملغم/م^3 قياسي	100
الغبار (المصادر الثابتة الأخرى بما فيها تبريد الكلنكر وطحن الأسمنت)	ملغم/م^3 قياسي	25
ثاني أكسيد الكبريت SO_2	ملغم/م^3 قياسي	400 [ب]
أكاسيد النيتروجين NO_X	ملغم/م^3 قياسي	NDA 600 [ج] انظر الحاشية الخاصة بالسقيفة الهوائية المتدهورة (DA)[ج]
تسلل النشادر (NH_3) إلى غازات المداخن (عند تطبيق الاختزال الانتقائي غير المحفز)	ملغم/م^3 قياسي	<30–50 [د]
كلوريد الهيدروجين	ملغم/م^3 قياسي	10 [هـ]
فلوريد الهيدروجين	ملغم/م^3 قياسي	1 [هـ]
إجمالي الكربون العضوي	ملغم/م^3 قياسي	30 [و]
ديوكسينات–فيورانات	نانوغرام مكافئ سمي/م^3 قياسي	0.1 [هـ]
الكادميوم والثاليوم (Cd+Tl)	ملغم/م^3 قياسي	0.05 [هـ]
الزئبق (Hg)	ملغم/م^3 قياسي	0.05 [هـ]
إجمالي المعادن [ز]	ملغم/م^3 قياسي	0.5
ملحوظات:		

الانبعاثات الصادرة من مدخنة الفرن ما لم يُذكر خلاف ذلك. وقد عدلت قيم المعدل اليومي إلى 273 كلفن و101.3 كيلو باسكال ونسبة 10% من الأكسجين O_2 والغاز الجاف ما لم يُذكر خلاف ذلك.

$ng\ TEQ / Nm^3$ = نانوغرام من مكافئ الديوكسين السام لكل متر مكعب قياسي.

انظر فان دن بيرغ وآخرين "إعادة تقييم معاملات التكافؤ السمي للديوكسينات والمركبات الشبيهة بالديوكسين على البشر والثدييات لمنظمة الصحة العالمية لعام 2005" *علوم السميات* 93، عدد 2 (أكتوبر/تشرين الأول 2006): 223–241. doi: 10.1093/toxsci/kfl055؛ ومنظمة الصحة العالمية، *البرنامج الدولي للسلامة المتعلق بالمواد الكيميائية* مبادئ توجيهية، http://www.who.int/ipcs/assessment/tef_values.pdf.

NDA = سقيفة هوائية غير متدهورة؛ DA = سقيفة هوائية متدهورة. يجب عَدُّ السقيفة الهوائية متدهورة في حالة تجاوز معايير جودة الهواء المحيط ذات الصلة (على النحو المحدد في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**)؛ تحدد قيمة DA/NDA لكل ملوث. ويجوز أن يبرر في التقييم البيئي اتِّباع قيم إرشادية أكثر صرامة أو أقل صرامة بسبب الاعتبارات البيئية والخاصة بالصحة المجتمعية والفنية والاقتصادية، مع عدم تجاوز الحدود المنصوص عليها في التشريعات الوطنية. وفي جميع الحالات يجب أن يثبت التقييم البيئي تقيد الآثار البيئية المحيطة الناجمة عن الانبعاثات بمتطلبات القسم 1.1 من **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

[أ] مستويات انبعاث الجسيمات الدقيقة من غازات المداخن الناتجة عن عمليات حرق الأفران الجديدة البالغة <10–20 ملغم/م3 قياسي (متوسط القيمة اليومية) يمكن تحقيقها في حالة استخدام المرسبات الإلكتروستاتية والمرشحات القماشية والهجينة. انظر شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*، القسم 4.2.5.3، 348. في حال انبعاث ما يزيد على 40% من الحرارة الناتجة من مخلفات خطر، تكون القيمة الإرشادية 10 ملغم/م^3 قياسي. انظر المفوضية الأوروبية (EC)، *الأمر التوجيهي EU/75/2010* بشأن حرق النفايات.

[ب] للاطِّلاع على القيمة الإرشادية لثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، انظر شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*، الجدول 4.4، 351.

[ج] القيمة الإرشادية لأكاسيد النيتروجين (NO_x) البالغة 600 ملغم/م^3 قياسي مستمدة من المعايير الإرشادية لمشروعات مؤسسة التمويل الدولية، ويجب تطبيقها في السقائف الهوائية غير المتدهورة. وبالنسبة للمشروعات الواقعة في سقائف هوائية متدهورة أو مناطق حساسة إيكولوجيّاً، ربما لزم أن تكون مستويات أكاسيد النيتروجين أقل من القيمة الإرشادية لحماية صحة الإنسان والبيئة. ويجب تبرير تطبيق القيمة الإرشادية البالغة 600 ملغم/م^3 قياسي في تقييم آثار المشروع، بما في ذلك إجراء تحليل مفصّل للجدوى الفنية والمالية للتدابير المطلوبة لتحقيق قِيَم أقل من القيمة الإرشادية. وربما لزم استخدام وسائل مكافحة ثانوية للتلوث مثل الاختزال الانتقائي غير المحفز للوصول إلى القيمة الإرشادية أو أقل منها. ويجب أن يشتمل استخدام الاختزال الانتقائي غير المحفز على تقييم وتخفيف المخاطر المرتبطة بنقل وتخزين واستخدام عوامل الاختزال (مثل الأمونيا واليوريا) وفقاً للإرشادات الخاصة بإدارة المواد الخطرة الواردة في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

[د] يتوقف تسلل الأمونيا على المستوى الأولي لأكاسيد النيتروجين وعلى كفاءة إخماد أكاسيد النيتروجين.

[هـ] وفيما يتعلق بكلوريد الهيدروجين، وفلوريد الهيدروجين، والكادميوم والثاليوم، والزئبق، والمعادن الكلية، فإن القيمة الإرشادية تتعلق بمتوسط القيمة اليومية أو المتوسط على مدى مدة أخذ العينة (قياسات موضعية، لمدة 30 دقيقة على الأقل). انظر شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*، القسم 4.2.6.5، 352، لحمض الهيدروكلوريك والهيدروفلوريك، والقسم 4.2.8 الجدول 4.5، 353، للمعادن. وبالنسبة للديوكسينات–الفيورانات، تمثل القيمة الإرشادية المتوسط في خلال مدة أخذ العينات التي تتراوح بين 6 ساعات و8 ساعات. انظر المفوضية الأوروبية، *الوثيقة المرجعية بشأن أفضل التقنيات المتاحة*، القسم 4.2.7، 353 بالنسبة للديوكسينات–الفيورانات. في حالة انبعاث ما يزيد على 40% من الحرارة المنبعثة من النفايات الخطرة، فإن الإرشادات تتناول القيم المتوسطة على مدى مدة أخذ عينات تبلغ 30 دقيقة كحد أدنى و8 ساعات كحد أقصى. انظر المفوضية الأوروبية (EC)، *الأمر التوجيهي EU/75/2010* بشأن حرق النفايات.

[ز] يجب إجراء تقييم مفصل للرواسب لتحديد مستوى إجمالي الكربون العضوي في الرواسب وتحديد الحد النهائي للمواد العضوية الكلية الواجب اتباعه بحيث يكون أدنى من القيمة الإرشادية المشار إليها البالغة 30 ملغم/ م^3 قياسي.

[ز] المعادن الإجمالية = الزرنيخ (As) والرصاص (Pb) والكوبالت (Co) والكروم (Cr) والنحاس (Cu) والمنغنيز (Mn) والنيكل (Ni) والفاناديوم (V) والأنتيمون (Sb). انظر شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*، الجدول 4.5، 353.

الجدول 2. مستويات الانبعاثات الهوائية: تصنيع الجير		
الملوثات	**الوحدات**	**القيمة الإرشادية [أ]**
الغبار	ملغم/م^3 قياسي	25
ثاني أكسيد الكبريت SO_2	ملغم/م^3 قياسي	200 لأفران PFRK وASK وMFSK وOSK وPRK أو 400 لفرن LRK
أكاسيد النيتروجين NO_X	ملغم/م^3 قياسي	350 لأفران OSK، MFSK، ASK، PFRK أو 500 لأفران PRK، LRK
كلوريد الهيدروجين	ملغم/م^3 قياسي	10
ملحوظات: للاطِّلاع على القيمة الإرشادية لثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، انظر شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*، الجدول 4.10، 365. لأكاسيد النيتروجين (NO_x)، انظر المرجع السابق، الجدول 4.9، 364. [أ] عدت قيم المعدل اليومي إلى 273° كلفن و101.3 كيلو باسكال ونسبة 2% من الأكسجين O_2 والغاز الجاف ما لم يذكر خلاف ذلك.		

الجدول 3. مستويات النفايات السائلة: تصنيع الأسمنت والجير		
الملوثات	**الوحدات**	**القيمة الإرشادية**
الأس الهيدروجيني	وحدة معيارية	9–6
إجمالي المواد الصلبة المعلقة	ملغم/ لتر	50
زيوت وشحوم	ملغم/ لتر	10
زيادة درجة الحرارة	°م	<3[أ]

[أ] عند حافة منطقة الخلط المقامة علمياً والتي تأخذ في الاعتبار نوعية المياه المحيطة، واستخدام الماء المستقبل، والمستقبلات المحتملة والقدرة التمثيلية.

الجدول 4. استهلاك الموارد والطاقة		
المدخلات حسب وحدة المنتج	**الوحدة**	**المعيار الإرشادي للصناعة**
طاقة الوقود: الأسمنت	جيجا جول/طن من الكلنكر	فرن PHP: 2.9–3.3 [أ]
الطاقة الكهربائية: الأسمنت	كيلو واط ساعة/طن من الأسمنت	80–105 [ب]
الطاقة الكهربائية: طحن الكلنكر	كيلو واط ساعة/طن من الأسمنت	28–45 [ج]
طاقة الوقود: الجير	جيجا جول/طن من الجير	4–4.7 أفران العمود التي تعمل بالتلقيم المختلط [د] 3.6–6 أفران العمود المتقدمة والدوارة [د]
الطاقة الكهربائية: الجير	كيلو واط ساعة/طن من الجير المكافئ	5–15 أفران العمود التي تعمل بالتلقيم المختلط [د] 20–40 أفران العمود المتقدمة والدوارة [د]
انبعاثات غازات الدفيئة	انبعاثات (مكافئ) ثاني أكسيد الكربون بالكيلوغرام/طن أسمنت	550–700 (بما في ذلك انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن استهلاك الكهرباء) [هـ]
نسبة الكلنكر إلى الأسمنت	%	محتوى الكلنكر أقل من 70–75% (أي أكثر من 25–30% من الإضافات مثل الجبس وبدائل الكلنكر مع المواد الأسمنتية البديلة مثل خبث الفرن العالي، والرماد المتطاير، والبوزولانا، ودخان السيليكا، والحجر الزيتي المحروق، والحجر الجيري ومواد أخرى مثل الطين المحروق). [و]

[أ] المعايير الإرشادية لمؤسسة التمويل الدولية؛ شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*؛ ووريل، كيرميلي وغاليتسكي، *تحسين كفاءة استخدام الطاقة*.

[ب] المعايير الإرشادية لمؤسسة التمويل الدولية؛ الرابطة العالمية للأسمنت والخرسانة، "الحصول على الأرقام الصحيحة"2018، مجموعة البيانات 33AGW. كما يجب إستشارة ومراجعة أحدث بيانات الرابطة العالمية للأسمنت والخرسانة

[ج] معهد الإنتاجية الصناعية، بدون تاريخ، "الطواحين الأسطوانية العمودية للطحن النهائي".

[د] انظر شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*.

[هـ] تشمل المعايير الإرشادية لمؤسسة التمويل الدولية انبعاثات غازات الدفيئة من الطاقة الكهربائية المستهلكة، سواء المتولدة في الموقع و/أو المستوردة من الشبكة. ومن الجدير بالذكر أن هذه الانبعاثات قد تتفاوت على نطاق أوسع من هذا النطاق اعتمادًا على نسبة الكلنكر إلى الأسمنت، وتتأثر بمجموعة منتجات الأسمنت، ومصدر وقود الفرن، إلى جانب عوامل أخرى.

[و] تجدر الإشارة إلى أن نسبة الكلنكر إلى الأسمنت تتفاوت بصورة كبيرة تبعاً لاختلاف تركيبة منتج الأسمنت والمعايير المسموح بها (مثل EN 197-6، و ASTM C150، وC595، وIS 269:2015، أو المعايير القياسية المحلية لجودة الأسمنت). القيم المرجعية إرشادية، حيث تتطلب بعض تطبيقات المستخدم النهائي الأسمنت بنسبة كلنكر أعلى من غيرها، لذا يجب تعديل القيم تبعاً لذلك. غير أنه يوجد اتجاه نحو الترويج لأنواع الأسمنت منخفضة الكلنكر، والتي أصبحت أكثر شيوعاً في الصناعة.

الرصد البيئي

73. يجب تنفيذ برامج الرصد البيئي الخاصة بهذا القطاع من أجل معالجة جميع الأنشطة المنطوية على تأثير كبير محتمَل على البيئة، في خلال عمليات التشغيل العادية وغير العادية على السواء. ويجب أن تستند أنشطة الرصد البيئي إلى مؤشرات مباشرة أو غير مباشرة بشأن الانبعاثات، والنفايات السائلة، واستخدام الموارد لكل مشروع محدَّد.[75]

74. ينبغي أن يكون معدل تكرار الرصد بالقدر الكافي 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 ليتسنى اتخاذ أي إجراءات تصحيحية لازمة. وتقدِّم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** إرشادات إضافية بشأن طرق أخذ العينات والتحليل المطبقة على الانبعاثات والنفايات السائلة.

75. يجب على المنشآت التي تستخدم وقود النفايات أو المواد الخام المستعملة في صناعة الأسمنت توثيق كميات وأنواع النفايات المستخدمة، إما كوقود أو كمادة خام، ومعايير الجودة، مثل الحد الأدنى للقيمة الحرارية والحد الأقصى لمستويات تركيز ملوثات محددة، مثل ثنائي الفينيل متعدد الكلور والكلور والهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات والزئبق والمعادن الثقيلة الأخرى.

2.2 الصحة والسلامة المهنية

إرشادات بشأن الصحة والسلامة المهنية

76. ينبغي تقييم الأداء من حيث الصحة والسلامة المهنية قياساً على إرشادات التعرض المنشورة دولياً، ومن الأمثلة على ذلك القيمة الحدِّية القُصوى المقبولة للتعرض المهني ومؤشرات التعرض البيولوجي، التي نشرها المؤتمر الأمريكي لخبراء الصحة المهنية الحكوميين؛[76] *دليل الجيب للمخاطر الكيميائية للمعهد الوطني الأمريكي للصحة والسلامة المهنية*، الذي نشره المعهد الوطني الأمريكي للصحة والسلامة المهنية (NIOSH)؛[77] حدود التعرض المسموح

[75] تتوافر بارامترات الرصد البيئي ومعدلات رصده الموصى بها في شوركت وآخرين، *أفضل التقنيات المتاحة*، القسم 4.2.2، 341 والمجلس العالمي للأعمال التجارية من أجل التنمية المستدامة (2012).

[76] المنشور متاح على https://portal.acgih.org/s/store#/store/browse/cat/a0s4W00000g02f8QAA/tiles.

[77] انظر مركز مكافحة الأمراض والوقاية منها في الولايات المتحدة (CDC)، *الجيب للمخاطر الكيميائية للمعهد الوطني الأمريكي للصحة والسلامة المهنية*، منشور إدارة الخدمات الصحية والإنسانية رقم 2005-149 (سينسيناتي: منشورات المعهد القومي الأمريكي للصحة والسلامة المهنية، 2007)، https://www.cdc.gov/niosh/docs/2005-149/pdfs/2005-149.pdf.

بها، التي نشرتها إدارة السلامة والصحة المهنية الأمريكية (OSHA)؛[78] *والقيم الإرشادية لحدود التعرض المهني*، التي نشرتها الوكالة الأوروبية للسلامة والصحة في العمل (EU-OSHA).[79]

معدلات الحوادث والوفيات

77. ينبغي أن تستهدف إدارة المشروع خفض عدد الحوادث التي تقع بين عمال المشروع (سواء المعيَّنون مباشرة أو المتعاقَد معهم من الباطن) إلى الصفر، لا سيما الحوادث التي يمكن أن تؤدي إلى فقدان وقت العمل، أو الإعاقة، أو حتى إلى حدوث وفيات. ويمكن إجراء مقارنة مرجعية لمعدلات الوفيات مع أداء منشآت البلدان المتقدمة بهذا القطاع، من خلال الرجوع إلى مطبوعات موثَّقة من مصادر مثل المكتب الأمريكي لإحصاءات العمل، وإدارة سلامة وصحة المناجم، وإدارة الصحة والسلامة بالمملكة المتحدة، ومبادرة استدامة الأسمنت التابعة لمجلس الأعمال العالمي المعني بالتنمية المستدامة/ الرابطة العالمية للأسمنت والخرسانة (GCCA).[80]

رصد الصحة والسلامة المهنية

78. ينبغي رصد بيئة العمل للوقوف على الأخطار المهنية ذات الصلة بالمشروع المحدد. وينبغي أن يصمم الرصد وينفذ على أيدي متخصصين معتمَدين في إطار برنامج لرصد الصحة والسلامة المهنية.[81] كما يجب أن تحتفظ المنشآت بسجل للحوادث والأمراض والأحداث الخطرة المهنية والحوادث الأخرى. ويجب أيضاً رصد بيئة العمل للوقوف على تركيزات السيليكا والأسبستوس والجسيمات الأخرى والتعرض لها. ويجب رصد معدل الإصابة بأمراض الرئة بين أفراد القوى العاملة بشكل دوري. وتقدم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** إرشادات إضافية حول برامج رصد الصحة والسلامة المهنية.

[78] انظر هيئة السلامة والصحة المهنية، *الجدول Z-1 حدود لملوثات الهواء* (بدون تاريخ)، منقول عن http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992.

[79] انظر الوكالة الأوروبية للسلامة والصحة في العمل، *الأمر التوجيهي 1831/2019: القيم الاسترشادية لحدود التعرض المهني*، 2019 https://osha.europa.eu/en/legislation/directive/directive-20191831-indicative-occupational-exposure-limit-values.

[80] متاح في http://www.bls.gov/iif/ و http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm و https://www.wbcsd.org أو https://www.wbcsd.org/Sector-Projects/Cement-Sustainability-Initiative أو https://gccassociation.org/على الترتيب.

[81] يمكن أن يكون من بين المهنيين المعتمدين خبراء الصحة الصناعية المعتمدون، أو خبراء الصحة المهنية المسجلون، أو أخصائيو السلامة المعتمدون، أو الأفراد المماثلون.

3. ثبت المراجع والمصادر الإضافية

ACGIH. 2018. *2018 TLVs and BEIs*. https://www.acgih.org/science/tlv-bei-guidelines.

ACGIH. 2021. *2021 Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs).* https://www.techstreet.com/standards/2021-threshold-limit-values-tlvs-and-biological-exposure-indices-beis?product_id=2198547.

ACGIH. 2016. *2016 TLVs and BEIs: Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices*. Cincinnati: ACGIH.

ANSI/NEC and HSE. 2013. *HSG85 Electricity at Work: Safe Working Practices*. https://www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg85.htm.

ASME. 2021. *Boiler and Pressure Vessel Code*. https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/bpvc-complete-code-boiler-pressure-vessel-code-complete-set.

ASME. n.d. *ASME B30: Safety Standard for Cableways, Cranes, Derricks, Hoists, Hooks, Jacks, and Slings,* https://blog.ansi.org/2019/01/asme-b30-volumes-safety-standard-lifting/#gref.

ASSP. 2020. *ANSI/ASSP Z244.1-2016 (R2020) The Control of Hazardous Energy: Lockout, Tagout and Alternative Methods*. https://webstore.ansi.org/standards/asse/ansiasspz2442016r2020.

ASTM International. 2012. ASTM C150-07: Standard Specification for Portland Cement. https://store.astm.org/c0150-07.html

ASTM International. 2013. *ASTM E1132 13e1: Standard Practice for Health Requirements Relating to Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica.* West Conshohocken, PA. https://www.astm.org/Standards/E1132.htm.

ASTM International. 2019. *ASTM F3387-19: Standard Practice for Respiratory Protection*. West Conshohocken, PA. doi: 10.1520/F3387-19. https://www.astm.org/Standards/F3387.htm.

ASTM International. 2020. *ASTM D4276-02: Standard Practice for Confined Area Entry*. https://www.astm.org/Standards/D4276.htm.

ASTM International. 2024. ASTM C595-24: Standard Specification for Blended Hydraulic Cements. https://store.astm.org/c0595_c0595m-24.html

Australian and New Zealand guidelines and codes of practice. 2016. https://www.commerce.wa.gov.au/worksafe/australian-standards-and-australiannew-zealand-standards.

BirdLife International, Fauna & Flora International, FFI, IUCN, and WWF. 2014. *Extraction and Biodiversity in Limestone Areas.* Joint Briefing Paper. https://www.birdlife.org/sites/default/files/Extraction-and-Biodiversity-in-Limestone-Areas.pdf.

Bollinger, Nancy J. and Robert H. Schultz. 1987. *NIOSH Guide to Industrial Respiratory Protection*. DHHS NIOSH Publication Number 87-116. https://www.cdc.gov/niosh/docs/87-116/pdfs/87-116.pdf?id=10.26616/NIOSHPUB87116.

CDC. 2007. *NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards*. DHHS (NIOSH) Publication No. 2005-149. https://www.cdc.gov/niosh/docs/2005-149/default.html.

Cecala, Andrew B et al. 2019. *Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing*, Report no. RI9701 (2nd ed.). Cincinnati: NIOSH Publications. https://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/works/pdfs/2019-124.pdf.

CEMBUREAU. 2013. *The Role of Cement in the 2050 Low Carbon Economy*. Brussels: CEMBUREAU. https://lowcarboneconomy.cembureau.eu/wp-content/uploads/2018/09/cembureau-full-report.pdf.

CEMBUREAU. 2020. *Cement and Concrete: Key Facts and Figures*. Brussels: EC. https://cembureau.eu/cement-101/key-facts-figures.

EC. 2009. *Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency*. Brussels: EC. https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/ENE_Adopted_02-2009.pdf.

EC. 2010. *Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 of November 2010 on Industrial Emissions (Integrated Pollution Prevention and Control).* Official Journal of the European Union. L 334/17. Brussels: EC.
I think they refer to this https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0075.

EU-OSHA. n.d. *Exposure to Chemical Agents and Chemical Safety*. https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/exposure-to-chemical-agents-and-chemical-safety/osh-related-aspects/council-directive-91-414-eec.

EU-OSHA, *Directive 2019/1831: Indicative Occupational Exposure Limit Values*, 2019, https://osha.europa.eu/en/legislation/directive/directive-20191831-indicative-occupational-exposure-limit-values

EULA. 2014. *A Competitive and Efficient Lime Industry, Cornerstone for a Sustainable Europe (Lime Roadmap).* Brussels: EULA. https://www.eula.eu/a-competitive-and-efficient-lime-industry-cornerstone-for-a-sustainable-europe-lime-roadmap-summary/.

European Norm (EN). 2023. EN-197-6 2023. Cement with Recycled Building Materials, Part 6. [Available for purchase].

GTZ-Holcim Public Private Partnership. 2006. *Guidelines on Pre- and Co-processing of Waste in Cement Production.* https://www.giz.de/de/downloads/giz-2020_en_guidelines-pre-coprocessing.pdf.

GCCA. n.d. *Global Cement and Concrete Association* https://gccassociation.org/

GCCA. 2019a. *GCCA Sustainability Guidelines for the monitoring and reporting of emissions from cement manufacturing*. Version 0.1. London: GCCA. https://gccassociation.org/wp-content/uploads/2019/10/GCCA_Guidelines_Emissions_v05_AMEND.pdf.

GCCA. 2019b. *GCCA Sustainability Guidelines for co-processing fuels and raw materials in cement manufacturing*. Version 0.1. London: GCCA. https://gccassociation.org/wp-content/uploads/2019/10/GCCA_Guidelines_FuelsRawMaterials_v04_AMEND.pdf.

GCCA.2019c. "Getting the Numbers Right." *Global Cement Database on CO_2 and Energy Information*. London: GCCA. https://gccassociation.org/gnr/.

GCCA. 2020. *GCCA Sustainability Guidelines for Quarry Rehabilitation and Biodiversity Management*. Version 0.1. London: GCCA. https://gccassociation.org/wp-content/uploads/2020/05/GCCA_Guidelines_Sustainability_Biodiversity_Quarry_Rehabilitation_May_2020-1.pdf.

GCPC. n.d. *Cleaner Production Opportunities in Cement Manufacturing Sector*. http://www.gcpcenvis.nic.in/Experts/Cement%20sector.pdf.

IIP. n.d. *Alternative Raw Materials*. http://www.iipinetwork.org/wp-content/Ietd/content/alternative-raw-materials.html.

IIP. n.d. *Blended Cement Alternatives.* Industrial Efficiency Technology Database. http://www.iipinetwork.org/wp-content/Ietd/content/blended-cement-alternatives.html.

IIP. n.d. *Cement.* Industrial Efficiency Technology Database. http://www.iipinetwork.org/wp-content/Ietd/content/cement.html.

IIP. n.d. *Conversion to High-Efficiency Grate Coolers.* Energy Efficiency Technology Database. http://www.iipinetwork.org/wp-content/Ietd/content/conversion-high-efficiency-grate-coolers.html.

IIP. n.d. *High Efficiency Motors & Drives.* Industrial Efficiency Technology Database. http://www.iipinetwork.org/wp-content/Ietd/content/high-efficiency-motors-drives.html.

IIP. n.d. *Industrial Efficiency Technology Database.* http://www.iipinetwork.org/wp-content/Ietd/index.html.

IIP. n.d. *Vertical Roller Mills for Finish Grinding.* Industrial Efficiency Technology Database. http://www.iipinetwork.org/wp-content/Ietd/content/vertical-roller-mills-finish-grinding.html.

IEA and WBCSD. 2013. *Technology Roadmap: Low-Carbon Technology for the Indian Cement Industry*. Paris: IEA. https://docs.wbcsd.org/2013/02/Low_Carbon_Technology_for_the_Indian_Cement_Industry_IEA_WBCSD_Feb_2013.pdf.

IEA. 2018. *Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry.* Technology Report. Paris: IEA. https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-low-carbon-transition-in-the-cement-industry.

IEAGHG. 2013. *Deployment of CCS in the Cement Industry.* https://ieaghg.org/docs/General_Docs/Reports/2013-19.pdf.

IFC. 2017. *Increasing the Use of Alternative Fuels at Cement Plants: International Best Practice.* Washington, DC: IFC. https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/33180042-b8c1-4797-ac82-cd5167689d39/Alternative_Fuels_08+04.pdf?MOD=AJPERES&CVID=lT3Bm3Zbn.

IFC and IIP. 2014. *Waste Heat Recovery for the Cement Sector: Market and Supplier Analysis*. Washington, DC: IFC and IIP. https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/publications/report_waste_heat_recovery_for_the_cement_sector_market_and_supplier_analysis.

IS. 2015. IS 269:2015. ISI Marked Certification for Ordinary Portland Cement.

IUCN. 2014. *Biodiversity Management in the Cement and Aggregates Sector: Biodiversity Indicator and Reporting System (BIRS)*. Gland, Switzerland: IUCN. https://www.iucn.org/content/biodiversity-management-cement-and-aggregates-sector-biodiversity-indicator-and-reporting-system-birs.

Ke, Jing, Michael McNeil, Lynn Price, Nina Zheng Khanna, and Nan Zhou. 2013. "Estimation of CO_2 Emissions from China's Cement Production: Methodologies and Uncertainties." *Energy Policy* 57 (June): 172–181. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.01.028; https://china.lbl.gov/sites/all/files/6329_ep_cement_co2.pdf.

Madlool, Naseer Abboodi, Rahman Saidur, Md Shouquat Hossain, and Nasrudin Abd Rahm. 2011. "A Critical Review on Energy Use and Savings in the Cement Industry." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 2042–2060. https://www.researchgate.net/publication/215599462_A_critical_review_on_energy_use_and_savings_in_the_cement.

Ministry of Labour, Training and Skills Development of Ontario, Canada. 2011. *Silica on Construction Projects.* https://www.labour.gov.on.ca/english/hs/pubs/silica/.

NFPA. 2002. *NFPA 68-2002: Guide for Venting of Deflagrations, 2002 edition*. Vol. 13, 2004/2005 National Fire Codes. https://webstore.ansi.org/standards/nfpa-fire/nfpa682002.

NFPA. n.d. *NFPA 69: Standard on Explosion Prevention Systems.* https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=69.

NFPA. 2020. *NFPA 70: National Electric Code*. https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=70.

NFPA. 2019. *NFPA 77: Recommended Practice on Static Electricity*. https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=77.

NFPA. n.d. *NFPA 85: Boiler and Combustion Systems Hazards Code*. https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=85.

NFPA. 2019. *NFPA 86: Standard for Ovens and Furnaces*. https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=86.

NFPA. 2021. *NFPA 499: Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas*. https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=499.

NFPA. 2020. *NFPA 654: Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids*. https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=654.

NIOSH. 1988. Publication No. DHHS-NIOSH-88-110. *Criteria for a Recommended Standard: Welding, Brazing, and Thermal Cutting*. https://www.cdc.gov/niosh/docs/88-110/default.html.

NIOSH. *Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Heat and Hot Environments*. https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/default.html.

NIOSH Heat Stress webpage. https://www.cdc.gov/niosh/topics/heatstress/default.html.

US OSHA. n.d. 1910 General Industry Standards. https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1928.

OSHA. n.d. *Occupational and Safety Health Standards, 1910.1001 Subpart Z, Asbestos*. https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.1001.

OSHA. n.d. *Occupational and Safety Health Standards, 1910.1053 Subpart Z, Toxic and Hazardous Substances, Respirable Crystalline Silica*. https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.1053.

OSHA. n.d. *Occupational and Safety Health Standards, 1910.134(c) Subpart I, Respiratory Protection Program*. https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134.

OSHA. n.d. *1910, Subpart H, Hazardous Materials*, https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910SubpartH.

OSHA. n.d. *Subpart L, Fire Protection*, https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910SubpartL.

OSHA. n.d. *Subpart S, Electrical*, https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910SubpartS.

OSHA. n.d. *1910 Subpart J, General Environmental Controls 1910.147: The Control of Hazardous Energy (Lockout/Tagout)* https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.147.

OSHA. n.d. *1910 Subpart S, Electrical, 1910.333 Selection and Use of Work Practices*, https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.333.

OSHA. n.d. *1910 Subpart J, General Environmental Controls 1910.146: Permit-Required Confined Spaces*, https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.146.

OSHA. n.d. *1910 Subpart N, Materials Handling and Storage*, https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910SubpartN.

OSHA. n.d. *Safety and Health Regulations for Construction: 1926 Subpart CC, Cranes and Derricks in Construction*, https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1926/1926SubpartCC.

OSHA. n.d. *1910 Subpart Q, Welding, Cutting and Brazing*, https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910SubpartQ.

OSHA. 2018. *OSHA's Respirable Crystalline Silica Standard for General Industry and Maritime. Fact Sheet.* https://www.osha.gov/Publications/OSHA3682.pdf.

Passant, Neil, Martin Peirce, Howard J. Rudd, David W. Scott, Ian Marlowe, and John D. Watterson. *UK Particulate and Heavy Metal Emissions from Industrial Processes.* AEA Technology. https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/empire/AEAT6270Issue2finaldraft_v2.pdf.

Renzoni, Roberto, Christophe Ullrich, Sandra Belboom, and Albert Germain. 2010. *Mercury in the Cement Industry*. CEMBUREAU and the WBCSD Cement Sustainability Initiative. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11617/CEMENT_Industry_-_Hg_report_CEMBUREAU_April_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Safe Work Australia. n.d. *Model Code of Practice: Welding Processes*. https://www.safeworkaustralia.gov.au/doc/model-code-practice-welding-processes.

Schorcht, Frauke, Ioanna Kourti, Bianca Maria Scalet, Serge Roudier, and Luis Delgado Sancho. 2013. *Best Available Techniques (BAT): Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide.* Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). Joint Research Center Reference Reports. Brussels: European Commission. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC83006.

Shan, Yuli, Zhu Liu, and Dabo Guan. 2015. "CO_2 Emissions from China's Lime Industry." *Applied Energy* 166 (May). doi:10.1016/j.apenergy.2015.04.091; https://www.researchgate.net/publication/277907090_CO2_emissions_from_China%27s_lime_industry.

Standards Australia. 2009. *AS 2865-2009: Confined Spaces*. https://www.standards.org.au/standards-catalogue/sa-snz/publicsafety/sf-037/as--2865-2009.

UK HSE. n.d. *Health and Safety Statistics.* http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm.

UK HSE. n.d. Health and Safety Welding Resources. https://www.hse.gov.uk/welding/publications.htm.

UK HSE. n.d. Regulations and codes of practice. https://www.hse.gov.uk/pubns/books/index-legal-ref.htm.

UK HSE. 2006. *HSG253: The Safe Isolation of Plant and Equipment*. https://www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg253.htm.

UK HSE. 2013. *Control of Substances Hazardous to Health, Regulations 2002: Approved Code of Practice and Guidance*, L5 (6th ed.). https://www.hse.gov.uk/pubns/priced/l5.pdf.

UK HSE. 2013. *Respiratory Protective Equipment at Work, A Practical Guide*, HSG53 (4th ed.). https://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg53.pdf.

UNEP. 2016. "Cement Clinker Production Facilities" in *Guidance on Best Available Techniques and Best Environmental Practices*. New York: UNEP. http://mercuryconvention.org/Portals/11/documents/publications/BAT_BEP_E_interractif.pdf.

United States Department of Labor. n.d. *Injuries, Illnesses, and Fatalities*. Bureau of Labor Statistics. https://www.bls.gov/iif.

United States Department of Labor. n.d. Occupational Safety and Health Standards—Toxic and Hazardous Substances. *Table Z-1 Limits for Air Contaminants*. https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992.

US EPA. 1999. *Code of Federal Regulation Title 40, Part 63, Subpart LLL—National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants from the Portland Cement Manufacturing Industry.* Washington, DC: US EPA. www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?node=sp40.12.63.lll.

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: USA EPA. https://www.epa.gov/stationary-sources-air-pollution/lime-manufacturing-plants-national-emission-standards-hazardous-air.

US EPA. 2008. *Code of Federal Regulation Title 40, Part 63, Subpart EEE—National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants from Hazardous Waste Combustor.* Washington, DC: US EPA. https://www.epa.gov/stationary-sources-air-pollution/hazardous-waste-combustors-national-emission-standards-hazardous.

US EPA. 2012. *Title 40, Chapter I, Subchapter N, Part 411 Cement Manufacturing Point Source Category.* Washington, DC: USA EPA. https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2014-title40-vol29/pdf/CFR-2014-title40-vol29-part411.pdf.

Van den Berg, Martin, Linda Birnbaum, Michael Denison, Mike Vito, William Farland, Mark Feeley, Heidelore Fiedler et al. 2006. "The 2005 World Health Organization Re-evaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-Like Compounds." *Toxicological Sciences* 93, no.2 (October): 223–241. doi: 10.1093/toxsci/kfl055.

Wang, Yufei, Zhengping Hao, and Samuel Höller. 2012. "Analysis of CO_2 Mitigation Policies in the Chinese Cement Industry." *ECEEE 2012 Summer Study on Energy Efficiency in Industry*. Wuppertal, Germany: Wuppertal Institute. http://epub.wupperinst.org/files/4635/4635_Wang.pdf.

WBCSD. n.d. Cement Sustainability Initiative. https://www.wbcsd.org/Sector-Projects/Cement-Sustainability-Initiative.

WBCSD. n.d. *CO_2 and Climate Protection*. Geneva: WBCSD. https://www.wbcsd.org/Programs/Climate-and-Energy.

WBCSD. 2004. *Health and Safety in the Cement Industry: Examples of Good Practice*. Geneva: WBCSD. http://ficem.org/CIC-descargas/Suiza/CSI/Health-and-Safety-in-the-Cement-Industry_Examples-of-Good-Practice-2004.pdf.

WBCSD. 2005a. *Environmental and Social Impact Assessment (ESIA) Guidelines*. Geneva: WBCSD. https://www.wbcsd.org/Sector-Projects/Cement-Sustainability-Initiative/Resources/Guidelines-for-Environmental-and-Social-Impact-Assessment-ESIA.

WBCSD. 2005b. *Guidelines for the Selection and Use of Fuels and Raw Materials in the Cement Manufacturing Process*. Geneva: WBCSD. https://www.wbcsd.org/contentwbc/download/2429/30121.

WBCSD. 2006. *Formation and Release of POPs in the Cement Industry* (2nd ed). Geneva: WBCSD. http://docs.wbcsd.org/2006/01/FormationAndReleaseOfPOPsInCementIndustry.pdf.

WBCSD. 2011a. *CO_2 and Energy Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry*. Version 3.0. Geneva: WBCSD. https://www.wbcsd.org/Sector-Projects/Cement-Sustainability-Initiative/Resources/CO2-Accounting-and-Reporting-Standard-for-the-Cement-Industry.

WHO. International Programme on Chemical Safety guidelines. http://www.who.int/ipcs/assessment/tef_values.pdf.

Worrell, Ernst, Katerina Kermeli, and Christina Galitsky. 2013. *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Cement Making—An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers.* Washington, DC: EPA. http://www.energystar.gov/sites/default/files/tools/ENERGY%20STAR%20Guide%20for%20the%20Cement%20Industry%2027_08_2013_Rev%20js%20reformat%2011192014.pdf

الملحق ألف – وصف عام لأنشطة الصناعة

79. تُعَد عمليتا إنتاج الأسمنت والحجر الجيري علميتين متشابهتين، حيث تستلزم كلتاهما أعمال الاستخراج من المحاجر والتعدين والطحن والخلط المتجانس للمواد الخام كما هو موضح في الشكل رقم ألف–1. وللتقليل من تكاليف النقل وتوفير الفرصة لاستخدام السيور الناقلة، توجد منشآت تصنيع الأسمنت والجير في العادة بجوار موارد المواد الخام وبالقرب من أسواق المنتجات. وتُعَد صناعة الأسمنت والجير من الصناعات كثيفة الاستخدام للطاقة التي تتطلب كميات كبيرة من الطاقة الحرارية والكهربائية، تبعاً لنوع عملية الإنتاج المستخدَمة والمعدات المصاحبة.

تصنيع الأسمنت

80. يتم استخدام الطاقة في تصنيع الأسمنت لمعالجة المواد الخام التي تتكون بصفة أساسية من الحجر الجيري (كربونات الكالسيوم) الطفلة (سيليكات الألمنيوم) والرمل (أكسيد السيليكا) وخام الحديد لإنتاج الكلنكر، الذي يُطحن مع الجبس والحجر الجيري ومواد أخرى لإنتاج الأسمنت. وفي العادة فإن خط الإنتاج الفردي المدمج – فرن تسخين مسبق–كلسنة مسبقة (PHP) أو فرن تسخين مسبق (PH) بطاقة إنتاج للكلنكر تبلغ 3000 طن في اليوم – يتطلب مساحة مسطحة تبلغ حوالي 400 ألف متر مربع (م^2)، ومساحة إضافية – 250 ألف م^2 أو أكثر في العادة – للتوسع في المستقبل. ويتراوح العمر الافتراضي لمرفق المشروع بين 40 سنة و50 سنة على الأقل. وتعالج المصانع عادة ما بين 2500 و12 ألف طن من الأسمنت يومياً. ويُعَد حجم المصنع أحد العوامل المهمة، حيث من الممكن أن تؤثر الفروق في مقياس الإنتاج تأثيراً كبيراً على تكاليف الإنتاج، وبالتالي على تكاليف الاستثمار الخاصة بأساليب خفض التلوث ومكافحته. ويمكن تحقيق المستوى نفسه من الأداء البيئي من قِبَل كلٍّ من المصانع الصغيرة والكبيرة، ولكن كلَّما كان المصنع أصغر زادت التكلفة لكل وحدة من إنتاج الأسمنت.

81. بعد مرحلة التكسير والمزج المسبق، تُخلط المواد الخام معاً وتُطحن لتكوين خليط متجانس –يُدعى وجبة الخام– يأخذ التركيبة الكيميائية المطلوبة. وتُعَد درجة النقاوة وتوزيع حجم الجسيمات في وجبة الخام من الخصائص المهمة اللازمة لعملية الاحتراق. بعد الخلط تستمر العملية في مجموعة من وحدات التسخين المسبق، الكلسنة المسبقة، وفرن دوار عن طريق كلسنة وجبة الخام، التي تحلل كربونات الكالسيوم عند حوالي 900°م، ومن ثَم تطلق ثاني أكسيد الكربون وتترك أكسيد الكالسيوم. ويؤدي هذا إلى عملية تكوين الكلنكر، حيث يتفاعل أكسيد الكالسيوم عند درجة حرارة 1400–1500°م مع السيليكا والألومينا وأكاسيد الحديد. وعند هذه النقطة يمكن إضافة مكونات أخرى – مثل: رمل السيليكا، والرمل السبائكي، وأكسيد الحديد، وبقايا الألومينا، وخَبَث أفران الصهر، و/أو بقايا الجبس – إلى مزيج المواد الخام لإنشاء تركيبة معيَّنة مرغوب فيها. وتقترب درجة حرارة اللهب والغازات الناتجة من 2000°م، ويسقط الكلنكر الساخن من الفرن على المبرد، حيث يجب تبريده بأسرع ما يمكن لتحسين جودة الكلنكر، وفي الوقت نفسه، تسهيل استرداد الحرارة عن طريق تسخين هواء الاحتراق الثانوي. وعادةً ما يستعان بمبردات شبكية للقيام بهذا الغرض، بدلاً من استخدام المبردات المساعدة التي عفى عليها الزمن. ويجري بعد ذلك طحن الكلنكر المبرد مع الجبس والحجر الجيري لإنتاج أسمنت البورتلاند، وطحنه مرة أخرى مع مكونات أخرى إضافية لإنتاج أنواع الأسمنت المركَّبة أو الممزوجة، ويخزن الأسمنت بعد ذلك في صوامع أو في شكائر. وتُعَد مكونات المزج – مثل: البوزولان الطبيعي، والرماد المتطاير، وخبث أفران الصهر، وأحياناً رماد القاع – مواد ذات خصائص هيدروليكية. وينبغي ألا يحتوي الرماد المتطاير وغبار القاع على بقايا الكربون (التي عادةً ما تُنتج من مصانع تعمل بتوليد الكهرباء باستخدام الفحم). وتضاف في بعض الأحيان كربونات الكالسيوم بكميات صغيرة كمادة حشو.

تصنيع الجير

82. ينتج الجير عن طريق حرق كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) – أو في حالات أقل الدولوميت، وهو مزيج من الكالسيوم وكربونات المغنيسيوم – في درجات حرارة أعلى من 800°م وهو ما يتسبب في إزالة الكربون من المادة الخام لإنتاج الجير الحي (أكسيد الكالسيوم). ويُحتفظ بعد ذلك بالجير الحي عند درجات حرارة تتراوح من 1200°م إلى 1300°م لضبط التفاعلية الكيميائية. ويمكن تسليم الجير المحروق إلى المستخدم النهائي في صورة جير حي (محروق عند درجة عالية أو متوسطة أو منخفضة بناءً على تفاعليته). يُعَد الجير المحروق عند درجة حرارة منخفضة من أكثر المواد التفاعلية وأشهرها استخداماً بواسطة منتجي الصلب. وبدلاً من ذلك، يمكن نقل الجير الحي إلى مصنع الهيدرات حيث يتفاعل مع الماء في تفاعل قوي طارد للحرارة لإنتاج الجير المطفأ (هيدروكسيد الكالسيوم). وينتج الجير المطفأ في شكلين: جاف (مسحوق) أو لبن الجير (سائل). وتتألف عملية إنتاج الجير المطفأ من فرز الحجم والإماهة، يليها التخزين في خزانات (في حالة لبن الجير) أو في صوامع (جير مطفأ جاف) للبيع سائباً أو في شكائر.

الشكل ألف -1 عمليات تصنيع الأسمنت