

Distr.: General
11 November 2010

Arabic
Original: English

برنامج الأمم المتحدة للبيئة



لجنة التفاوض الحكومية الدولية المعنية بإعداد
صك عالمي ملزم قانوناً بشأن الزئبق
الدورة الثانية

شيبا، اليابان، ٢٤ - ٢٨ كانون الثاني/يناير ٢٠١١
البند ٣ من جدول الأعمال المؤقت*
إعداد صك عالمي ملزم قانوناً بشأن الزئبق

دراسة عن مصادر الزئبق وانبعاثاته وتحليل تدابير التحكم في الانبعاثات من حيث التكلفة والفاعلية

مذكرة من الأمانة

١ - تسهياً لأعمال لجنة التفاوض الحكومية الدولية، طلب مجلس إدارة برنامج الأمم المتحدة للبيئة من الأمين التنفيذي للبرنامج، في الفقرة ٢٩ من مقرره ٥/٢٥، أن يقوم، بالتشاور مع البلدان المعنية، بإجراء دراسة عن مختلف أنواع مصادر انبعاثات الزئبق، وعن الاتجاهات الحالية والمستقبلية لانبعاثات الزئبق، من أجل تحليل وتقييم التكنولوجيات والتدابير البديلة للتحكم في الانبعاثات، من حيث التكلفة والفاعلية.

٢ - وترد الدراسة المطلوبة في مرفق هذه الوثيقة. وقد تم إصدارها دون أي تحرير رسمي. وفي معرض إعداد الدراسة قامت الأمانة بتجميع معلومات من الحكومات وغيرها من المصادر من أجل تمكين اللجنة من أن تنظر في طائفة واسعة من البيانات ذات الصلة. وتشتمل الدراسة على المعلومات التالية:

(أ) موجز الانبعاثات العالمية للزئبق في الهواء، على أساس الحصر الذي تم إعداده في سياق برنامج الأمم المتحدة للبيئة وبرنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم عن سنة ٢٠٠٥، بما في ذلك تقديرات جديدة للانبعاثات العالمية التاريخية؛

(ب) موجز لتقارير حصر الانبعاثات الوطنية وأعمال الحصر القائمة، على أساس البحوث التي تمت منذ نشر الحصر المشار إليه أعلاه في عام ٢٠٠٨؛

(ج) مواصفات فنية وخيارات للسيطرة على الانبعاثات في القطاعات المختارة التالية: محطات توليد الكهرباء والمراجل الصناعية العاملة بالفحم، وإنتاج الإسمنت، وإنتاج الفلزات غير الحديدية، وحرق النفايات؛

(د) ملخص للمعلومات المتاحة عن التكلفة ونواحي الكفاءة لمختلف تقنيات التحكم في الانبعاثات؛

(هـ) أمثلة لحسابات فعالية التكاليف للقطاعات المختارة.

٣ - وقد ترغب اللجنة في النظر في المعلومات المقدمة في هذه الدراسة في سياق مناقشتها للانبعاثات.

المرفق

دراسة عن مصادر الزئبق وانبعثاته وتحليل تدابير التحكم في الانبعاثات من حيث التكلفة والفاعلية

دراسة عن مصادر الزئبق وانبعاثاته وتحليل تدابير التحكم
في الانبعاثات من حيث التكلفة والفاعلية
”الدراسة المطلوبة بموجب الفقرة ٢٩ من مقرر مجلس
إدارة برنامج الأمم المتحدة للبيئة ٥/٢٥“



شعبة التكنولوجيا والصناعة والاقتصاد
فرع المواد الكيميائية
جنيف، سويسرا
تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٠

تنويه

لا تنطوي التسميات المستخدمة ولا طريقة عرض المادة في هذا التقرير على الإعراب عن أي رأي كان من جانب الأمم المتحدة أو برنامج الأمم المتحدة للبيئة فيما يتعلق بالمركز القانوني لأي بلد أو إقليم أو مدينة أو منطقة، أو بسلطانها، أو فيما يتصل بتريسييم الحدود أو الترخوم. وأي آراء مُعرب عنها في هذه الوثيقة لا تعبر بالضرورة عن آراء برنامج الأمم المتحدة للبيئة.

ولا ينطوي ذكر شركات معيّنة أو منتجات لمصنّعين بالاسم على ما يفيد أنها معتمدة أو موصى بها من جانب برنامج الأمم المتحدة للبيئة أو أنها تفضّل غيرها من المنتجات ذات الطبيعة المماثلة غير المذكورة في هذه الدراسة. ولا يُسمح باستخدام المعلومات الواردة في هذا المنشور بشأن المنتجات المحمية بالملكية لأغراض الدعاية أو الإعلان.

يُسمح بالاقْتباس من هذا المنشور أو إعادة طباعة المادة الواردة فيه، لكن الإشارة مطلوبة إلى المصدر وإلى هذه الوثيقة. ويجب إرسال نسخة من المنشور الذي يحتوي على الاقتباس أو إعادة الطباعة إلى فرع المواد الكيميائية لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة.

يمكن الاطلاع على النسخة الإلكترونية من هذه الوثيقة على الموقع:

<http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/tabid/434/Default.aspx>، أو يمكن الحصول عليها من:

فرع المواد الكيميائية، برنامج الأمم المتحدة للبيئة

UNEP Chemicals

11-13, chemin des Anémones
CH-1219 Châtelaine, Geneva
Switzerland

الهاتف: +41 22 917 1234

البريد الإلكتروني: mercury@unep.org

فرع المواد الكيميائية لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة هو جزء من شعبة التكنولوجيا والصناعة والاقتصاد في برنامج الأمم المتحدة للبيئة.

الكُتاب المشاركون

يعرب برنامج الأمم المتحدة للبيئة عن تقديره لكل من شارك في هذه الدراسة ويتوجّه بالشكر بصفة خاصة إلى الكُتاب الرئيسيين المذكورين أدناه على ما أبدوه من إخلاص والتزام:

جون مونتي، وكارن كندبوم، من المعهد السويدي لأبحاث البيئة.

جوزيف باكين، وكير سندست، واليزابيث باكين، من المعهد النرويجي لأبحاث الهواء

سايمن ويلسون، من برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم

دميان باناسيوك، المعهد النرويجي لأبحاث الهواء، بولندا.

١ - ملخص تنفيذي

١-١ - مقدمة

١ - الغرض من هذا التقرير هو تقديم موجز لانبعاثات الزئبق في الهواء، وخيارات التحكم في الانبعاثات في قطاعات مختارة، ومدى كفاءتها وتكلفتها. والهدف منه هو دعم عمليات التفاوض الجارية من أجل إعداد صكّ عالمي ملزم قانوناً بشأن الزئبق.

١-٢ - الانبعاثات

٢ - يقوم هذا التقرير عن الانبعاثات على أساس الحصر العالمي الشامل لانبعاثات الزئبق في الهواء الذي أعد عن عام ٢٠٠٥ (برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم، ٢٠٠٨). وتشتمل هذه الدراسة على تحديث لذلك الحصر وتحليل للمعلومات عن انبعاثات الزئبق المقدم بيانات عنها في التقارير الوطنية والتقارير المنشورة منذ ٢٠٠٨. وإضافة إلى ذلك يعرض التقرير تقييماً للاتجاهات العالمية للانبعاثات، ويشمل ذلك تنسيقاً للبيانات المنشورة في عمليات الحصر السابقة عن الفترة ١٩٩٠ إلى ٢٠٠٥ وزيادة اكتمالها.

٣ - وقُدِّرت الانبعاثات العالمية من الزئبق الناتج عن النشاط البشري في الهواء لعام ٢٠٠٥ بما يبلغ ١٩٢١ طنناً مترياً. وأهم فئة من فئات مصادر الانبعاثات هي احتراق الوقود الأحفوري في محطات توليد الكهرباء والمرآجل الصناعية، الذي يسهم بنحو ٥٠٠ طن (٢٦ في المائة من مجموع الانبعاثات في الهواء في العالم). ويعزى ٣٨٠ طنناً إضافياً من الزئبق (٢٠ في المائة) إلى احتراق الوقود الأحفوري في التدفئة المنزلية. ويسهم تعدين الذهب الحرفي على نطاق ضيق بنحو ٣٢٣ طنناً (١٧ في المائة). ومن القطاعات الهامة الأخرى، إنتاج الإسمنت (١٩٠ طنناً، أي ١٠ في المائة)، والصناعات المعدنية غير الحديدية (فيما عدا الذهب) (١٣٠ طنناً، أي ٧ في المائة) وإنتاج الذهب على نطاق واسع (١١٠ أطنان، أي ٦ في المائة). وتبقى ١٥ في المائة تعزى إلى إنتاج الحديد والصلب، وإدارة النفايات، وإحراق جثث الموتى، وصناعات الكلور القلوية، وإنتاج الزئبق.

٤ - وترد بيانات الانبعاثات العالمية المذكورة أعلاه موزعة أيضاً في شكل كميات انبعاثات موزعة جغرافياً (شبكياً) لغرض استعمالها كمدخلات في أغراض النمذجة للغلاف الجوي. وترد أيضاً معلومات عن التوزيع المكاني للزئبق ما بين الأنواع الثلاثة الرئيسية للزئبق/مركبات الزئبق، وهي: الزئبق الأولي الغازي، ومركبات الزئبق ثنائي التكافؤ، والزئبق الملصق بالجسيمات.

٥ - وقد تمت إعادة تحليل مخزونات الزئبق العالمية للسنوات ١٩٩٠ و١٩٩٥ و٢٠٠٠ و٢٠٠٥ من أجل إعداد سلسلة بيانات تاريخية للمخزونات العالمية من انبعاثات الزئبق تكون أكثر قابلية للمقارنة. بما يتيح تحليلاً للاتجاهات العالمية في انبعاثات الزئبق في الهواء. واشتملت عملية إعادة التحليل هذه على تقديرات جديدة للانبعاثات من "الاستعمال المتعمد للزئبق" للسنوات ١٩٩٠ و١٩٩٥ و٢٠٠٠. ويتبين من هذا التحليل أن انبعاثات الزئبق العالمية اختلفت، حيث كانت ١٩٦٧ طنناً في ١٩٩٠، ثم نقصت نقصاً طفيفاً إلى ١٨١٤ طنناً في ١٩٩٥ ثم ١٨١٩ طنناً في ٢٠٠٠، ثم ١٩٢١ في ٢٠٠٥. ولم تُسفر إعادة التحليل عن ظهور تغييرات كبيرة في انبعاثات الزئبق العالمية. ويرجع السبب في ذلك إلى تعديرات كبيرة في كميات الانبعاثات بين مناطق العالم. فقد زادت الانبعاثات في آسيا في الفترة ١٩٩٠ إلى ٢٠٠٥، وتراجعت كمية الانبعاثات في أمريكا الشمالية وأوروبا أثناء نفس الفترة.

٦ - ويخلص استعراض تقارير مخزونات الانبعاثات الوطنية من الزئبق وأوراق البحث المتعلقة بانبعاثات الزئبق إلى أن تقديرات الانبعاثات الجديدة كانت في معظم الحالات في نطاق تقديرات الانبعاثات المبلّغة في دراسة برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨).

٧ - ولاستكشاف خيارات التحكم في الانبعاثات في هذه الدراسة، تم اختيار أربعة قطاعات على أساس حجم الانبعاثات وأن الزئبق المنبعث من هذه المصادر ينبع أساساً من الوقود أو المواد الخام أو النفايات التي تتم معالجتها أو إحراقها في درجة حرارة عالية. وهذه الخصائص تجعل خيارات التحكم متماثلة إلى حد ما، وبالتالي تكون هذه القطاعات مناسبة لدراسة مشتركة. والقطاعات المختارة هي احتراق الفحم في محطات الطاقة والمراجل الصناعية، وإنتاج الإسمنت، وإنتاج المعادن غير الحديدية (بما في ذلك الذهب)، وحرق النفايات. وتسهم هذه القطاعات في مجموعها بما مقداره ٥١ في المائة تقريباً من مجموع انبعاثات الزئبق العالمية في الهواء في عام ٢٠٠٥.

١-٣-١ - خيارات التحكم في الانبعاثات

١-٣-١-١ - اعتبارات عامة بشأن التحكم في الانبعاثات في جميع القطاعات الأربعة المختارة

٨ - يعتمد حجم انبعاثات الزئبق من القطاعات الأربعة المختارة على عدد من العوامل، تشمل المحتوى من الزئبق وغير ذلك من الخصائص التركيبية للوقود والمواد الخام، والتكوين الفني للمرفق المصدر، ووجود معدات التحكم في ملوثات الهواء ومعدات التحكم في الزئبق بصفة خاصة. وتختلف هذه العوامل اختلافاً كبيراً في مختلف مناطق العالم، وكذلك داخل المناطق، مما يجعل من الصعب تحديد خيارات التحكم القابلة للتطبيق عموماً. ولتحديد خيارات تحكم مناسبة لمخطة أو منشأة معينة يحتاج الأمر إلى توفر معرفة تفصيلية بالحالة الفنية لهذه المخطط/المنشأة. كما أنه يلزم لوضع استراتيجيات إقليمية أو وطنية لتخفيض انبعاثات الزئبق أن يؤخذ الوضع الاقتصادي للمنطقة في الاعتبار.

٩ - وهناك عامل مهم وهو المعدات الموجودة لخفض انبعاثات ملوثات الهواء الأخرى (على سبيل المثال، الجسيمات وثنائي أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين، وغير ذلك من الملوثات السُمّية) التي يمكن أن تقلل أيضاً من انبعاثات الزئبق. كما يمكن أن يتفاوت مستوى تحقيق التحكم المشترك في الحد من انبعاثات الزئبق تفاوتاً كبيراً، ويتوقف ذلك على خصائص المواد المدخلة وتفصيل معدات التحكم. ويجب أن يؤخذ هذا الجانب في الاعتبار، سواء عند تقييم انبعاثات الزئبق الحالية، أو عند النظر في الحاجة إلى اتخاذ تدابير إضافية، أو في وضع سيناريوهات واستراتيجيات مستقبلية للتحكم في انبعاثات الزئبق.

١٠ - وثمة جانب عام آخر ينطبق على القطاعات الأربعة وهو أن التدابير الرامية إلى تحسين الأداء وزيادة كفاءة استخدام الطاقة سوف تؤدي إلى انخفاض استهلاك الوقود والمواد الخام، وبالتالي إلى خفض انبعاثات الزئبق بشكل غير مباشر.

١١ - ويتطلب تقدير تكاليف التحكم في انبعاثات الزئبق معرفة الوضع الحالي لمصادر الانبعاثات، بما في ذلك المواصفات التكنولوجية للحالة الحالية، والمخطط لها، للتحكم في تلوث الهواء. وكثيراً ما يتم تحقيق درجة ما من التحكم في انبعاثات الزئبق عند استخدام معدات تحكم بغرض التحكم في ملوثات غير زئبقية للوفاء بمعايير ذات صلة بتلوث الهواء. وفي هذه الحالة يتحقق مستوى معين من خفض انبعاثات الزئبق دون أي تكلفة إضافية.

١-٣-٢ - محطات توليد الطاقة والمراجل الصناعية التي تعمل بالفحم

- ١٢ - كثيراً ما يتم إجراء تدابير قبل الاحتراق، مثل غسل الفحم، لخفض محتويات الكبريت والرماد في الفحم. وكذلك تجرى إزالة نسبة ضئيلة متغيرة من الزئبق في الفحم في هذه العملية. وقد ثبت أن تدابير ما قبل الاحتراق تقلل من انبعاثات الزئبق بمعدل ٣٠ في المائة. كما أن مزج الفحم باستخدام فحم منخفض الزئبق يؤدي إلى تخفيض الانبعاثات.
- ١٣ - وتتميز إضافة الهالوجينات قبل الاحتراق (وخاصة البروم) بالقدرة على تحسين إزالة الزئبق من خلال تعزيز أكسدة الزئبق في غاز المداخن، وبالتالي زيادة كفاءة التحكم في المادة الجسيمية في المراحل اللاحقة وفي معدات إزالة كبريت غاز المداخن.
- ١٤ - وعندما يستخدم حقن الكربون المنشط على نطاق تجاري مقترناً بجهاز للتحكم في الجسيمات، مثل المرسل الكهروستاتيكي أو المرشح النسيجي، فإن ذلك يمكن أن يحدث خفضاً كبيراً في انبعاثات الزئبق. وقد لوحظت تخفيضات تصل إلى أكثر من ٩٠ في المائة. والكربونات المعالجة كيميائياً (مثل الكربونات المعالجة بالبروم) هي أكثر فعالية من الكربون التقليدي المنشط غير المعالج، في معالجة غازات المداخن التي تحتوي على كميات أكبر من بخار الزئبق.
- ١٥ - ويتطلب التقييم المفصل لتكاليف وفعالية التحكم في انبعاثات الزئبق توفر معلومات مفصلة عن الخصائص التقنية للمصادر وكذلك عن مدى توافر الفحم للمزج وعن المضافات المحتملة. وتتوفر بيانات جوهرية من التطبيقات الميدانية في الولايات المتحدة.
- ١٦ - وقد تحولت أجهزة التحكم في تلوث الهواء الزئبق المنبعث من غازات المداخن إلى مخلفات مثل الرماد المتطاير أو ترسبات معدات غسل تركيز الكبريت من غاز المداخن. وينبغي أن تشمل تقييمات التحكم الكامل على الزيادات المحتملة في تكاليف إدارة هذه المخلفات بسبب التأثيرات المحتملة لأي تغييرات في تكوين النفايات، بما في ذلك زيادة المحتوى من الزئبق.

١-٣-٣ - إنتاج الإسمنت

- ١٧ - الزئبق المنبعث من إنتاج الإسمنت ناشئ عن الفحم وغيره من أنواع الوقود المستخدمة، والمواد الخام مثل الحجر الجيري، وغير ذلك من المواد المضافة. وتتفاوت تركيبات الزئبق بدرجة كبيرة في أنواع الوقود والمواد الخام، ومن الممكن تحقيق تخفيضات كبيرة في الانبعاثات بالتحويل إلى أنواع من الوقود والمواد الخام ذات محتوى أقل من الزئبق.
- ١٨ - ويعتمد امتزاز الزئبق إلى تراب قمائن الإسمنت في صناعة الإسمنت اعتماداً كبيراً على ظروف التشغيل في المصنع، حيث يتعزز الامتزاز بدرجات الحرارة المنخفضة. ويمكن تحقيق إزالة الزئبق الناتج عن العملية عن طريق إزالة الغبار من جهاز التحكم في الجسيمات إذا كانت درجة حرارة غازات العادم منخفضة. ولأن تراب قمائن الإسمنت الذي يتم إزالته من كتلة غازات المداخن في إنتاج الإسمنت يعاد تدويره في العملية، فقد يتطلب استخدام أساليب حقن الكربون المنشط خطوة إضافية لإزالة الجسيمات إذا كانت الجزيئات التي يتم جمعها لا يعاد تدويرها.
- ١٩ - ومن الممكن تحقيق غاية أخرى لأجهزة التحكم النهائية في ملوثات الهواء في إنتاج الإسمنت بواسطة تكنولوجيات تحكم مماثلة للأجهزة المستعملة في محطات توليد الكهرباء التي تعمل بالفحم. ويمكن توقع إزالة كميات كبيرة من الزئبق إذا أُدخلت إزالة الكبريت من غاز المداخن من أجل تقليل الغازات الحمضية في المقام الأول.

١-٣-٤ - إنتاج المعادن غير الحديدية

٢٠ - يعتبر إنتاج المعادن غير الحديدية عملية صناعية معقدة للغاية ذات أشكال مختلفة باختلاف نوع المعادن المستخرجة وخصائص الخام ونوع العملية الأساسية المستخدمة. ويمكن أن يختلف محتوى الخام من الزئبق اختلافاً كبيراً. والخطوة الأولى في معالجة الخامات والمعادن في درجات حرارة عالية هي التحميص، حيث يتحول الكبريت في الخام إلى غاز ثاني أكسيد الكبريت. ويتم إطلاق أي زئبق في الخام مع الغاز. وفي كثير من الأحيان يتم تجهيز المصاهر الكبيرة للمعادن غير الحديدية بأجهزة ذات كفاءة عالية للتحكم في تلوث الهواء لضبط انبعاثات الجسيمات وغاز ثاني أكسيد الكبريت من أجهزة التحميص وأفران الصهر والمحولات. ويتحقق التحكم في انبعاثات غازات المداخن بامتصاص ثاني أكسيد الكبريت في مصانع حامض الكبريتيك، التي تكون في العادة جزءاً من مصانع الصهر.

٢١ - ويمكن تحقيق الإزالة النوعية للزئبق خاصة (حوالي ٩٠ - ٩٥ في المائة) باستخدام تقنية بوليدن نورزينك (Boliden Norzink) مثلاً، حيث يُمتز الزئبق في محلول من الكالوميل (الكلوريد الزئبقي) قبل مرحلة مصنع حامض الكبريتيك.

٢٢ - وبالنسبة للوحدات الحرارية الأخرى في صناعة إنتاج الذهب مثل القمائن والأنايق والأفران، فإن أفضل أدوات التحكم النوعي في الزئبق خاصة هي مرشحات الكربون المشبع بالكبريت، التي تحقق كفاءات انخفاض فعال في انبعاثات الزئبق تتراوح بين ٩٣ في المائة - أكبر من ٩٩ في المائة.

١-٣-٥ - حرق النفايات

٢٣ - لأن جميع الزئبق المنبعث في الهواء من حرق النفايات ينشأ عن الزئبق في النفايات، فإن التدبير الرئيسي الأكثر أهمية هو تقليل مدخلات الزئبق إلى محرقة النفايات. ويمكن تحقيق ذلك عن طريق فرز المنتجات المحتوية على الزئبق من مجرى النفايات قبل حرقها.

٢٤ - وأحدث محارق النفايات البلدية أو المحلية مجهزة بأجهزة متقدمة للتحكم في انبعاثات مختلف الملوثات. ويمكن تحسين بعض هذه الأجهزة للتحكم في الزئبق بواسطة التحكم في درجة الحرارة.

٢٥ - ويمكن تحقيق التحكم النوعي في الزئبق عن طريق حقن الكربون أو أجهزة غسل الغاز أو كليهما. وتوجد لدى وكالة حماية البيئة الأمريكية تقارير عن أمثلة من تكاليف حقن الكربون المنشط من عدة عمليات تحكم في حرق النفايات.

١-٣-٦ - الخلاصة

٢٦ - توجد مجموعة من التكنولوجيات لخفض انبعاثات الزئبق، وهي تستخدم في بلدان مختلفة لكل من القطاعات التي تتناولها هذه الدراسة. وكثير من التكنولوجيات تستخدم بالفعل لخفض ملوثات الهواء الأخرى (منها على سبيل المثال، الجسيمات أو ثاني أكسيد الكبريت أو أكاسيد النيتروجين أو ملوثات أخرى سامة).

٢٧ - ويمكن للمعدات الموجودة المستخدمة لتخفيض هذه الانبعاثات أن تخفض من انبعاثات الزئبق أيضاً. ومع ذلك، فإن من الممكن أن يتفاوت مستوى خفض انبعاثات الزئبق تفاوتاً كبيراً، وذلك اعتماداً على خصائص مواد المدخلات وتفصيل معدات التحكم. ويجب أن يؤخذ هذا الجانب في الاعتبار سواء عند تقييم انبعاثات الزئبق الحالية أو عند النظر في الحاجة إلى اتخاذ تدابير إضافية، وفي وضع السيناريوهات والاستراتيجيات المستقبلية للتحكم في انبعاثات الزئبق.

- ٢٨ - وتؤدي التدابير العامة الرامية إلى تحسين الأداء وزيادة كفاءة استخدام الطاقة إلى انخفاض استهلاك الوقود والمواد الخام، مما يؤدي بالتالي إلى خفض انبعاثات الزئبق بشكل غير مباشر.
- ٢٩ - ويتطلب تقدير تكاليف التحكم في انبعاثات الزئبق معرفة الوضع الحالي لمصادر الانبعاثات، بما في ذلك المواصفات التكنولوجية لوسائل التحكم في تلوث الهواء، الحالية منها والمخطط لها.

جدول المحتويات

٦	ملخص تنفيذي	١ -
٦	مقدمة	١-١ -
٦	الانبعاثات	٢-١ -
٧	خيارات التحكم في الانبعاثات	٣-١ -
	١-٣-١ اعتبارات عامة بشأن التحكم في الانبعاثات في جميع القطاعات	
٧	الأربعة المختارة	
٨	٢-٣-١ محطات توليد الطاقة والمراحل الصناعية في التي تعمل بالفحم	
٨	٣-٣-١ إنتاج الإسمنت	
٩	٤-٣-١ إنتاج المعادن غير الحديدية	
٩	٥-٣-١ حرق النفايات	
٩	٦-٣-١ الخلاصة	
١٥	مقدمة	٢ -
١٥	١-٢ الخلفية والنطاق والولاية	
١٦	٢-٢ مصادر المعلومات	
١٧	انبعاثات الزئبق العالمية	٣ -
١٧	١-٣ انبعاثات الزئبق البشرية المنشأ في الهواء	
٢٢	٢-٣ الاتجاهات في الانبعاثات العالمية للزئبق في الهواء	
٢٣	٣-٢-١ الانبعاثات حسب المنطقة الجغرافية	
٢٥	٣-٣ مقارنة المعلومات بشأن الانبعاثات	
٢٥	٣-٣-١ مقارنة بين الدراسات المتاحة عن الانبعاثات العالمية	
٢٧	٣-٣-٢ مقارنة بين قوائم الحصر في كل بلد على حدة	
٣٣	التحكم في الانبعاثات، والكفاءة والتكاليف	٤ -
٣٣	١-٤ التحكم في الانبعاثات الأولية	
٣٤	٢-٤ التحكم المشترك في الزئبق وملوثات الهواء	
٣٦	٣-٤ الجمع بين تقنيات تحكم مختلفة لتعظيم التحكم في الزئبق	
٣٧	٤-٤ التكلفة والكفاءة في التحكم في الزئبق	
٤٢	توصيف القطاعات المختارة	٥ -
٤٢	١-٥ احتراق الفحم في محطات توليد الطاقة والمراحل الصناعية	
٤٢	١-١-٥ منشأ الزئبق والانبعاثات من احتراق الفحم	
٤٢	٢-١-٥ تكنولوجيات احتراق الفحم	
٤٣	٣-١-٥ تدابير التحكم في احتراق الفحم	
	٤-١-٥ تكاليف وكفاءة تكنولوجيات التحكم في محطات الطاقة التي تعمل	
٤٧	باحتراق الفحم	

٥١	إنتاج الفلزات غير الحديدية	٢-٥
٥١	١-٢-٥ منشأ الزئبق والانبعاثات من إنتاج الفلزات غير الحديدية	
٥٢	٢-٢-٥ التكنولوجيات المستعملة في إنتاج الفلزات غير الحديدية	
٥٣	٣-٢-٥ تدابير التحكم في إنتاج الفلزات غير الحديدية	
	٤-٢-٥ تكاليف وكفاءة تكنولوجيات التحكم المستخدمة في إنتاج الفلزات غير الحديدية	
٥٥	غير الحديدية	
٥٦	إنتاج الإسمنت	٣-٥
٥٦	١-٣-٥ منشأ الزئبق والانبعاثات من إنتاج الإسمنت	
٥٨	٢-٣-٥ تدابير التحكم في إنتاج الإسمنت	
٦٠	٣-٣-٥ تكاليف وكفاءة تقنيات التحكم في الزئبق في إنتاج الإسمنت	
٦١	٤-٥ حرق النفايات	
٦١	١-٤-٥ منشأ الزئبق والانبعاثات الناجمة عن حرق النفايات	
٦١	٢-٤-٥ تكنولوجيات حرق النفايات	
٦٢	٣-٤-٥ تدابير التحكم في حرق النفايات	
٦٤	٤-٤-٥ تكاليف وكفاءة تكنولوجيات التحكم في حرق النفايات	
٦٦	٦ - الخلاصة	
٦٦	١-٦ الانبعاثات	
٦٦	٢-٦ خيارات ضبط الانبعاثات	
	١-٢-٦ الاستنتاجات الأساسية بشأن ضبط الانبعاثات في جميع القطاعات الأربعة المختارة	
٦٧	الأربعة المختارة	
٦٧	٢-٢-٦ محطات الكهرباء التي تعمل بالفحم والمراحل الصناعية	
٦٨	٣-٢-٦ الإنتاج الحالي	
٦٨	٤-٢-٦ إنتاج الفلزات غير الحديدية	
٦٩	٥-٢-٦ حرق النفايات	
٧٠	٧ - المراجع	
٧٤	المرفق الأول - موجز الردود على الاستبيان	
	المرفق الثاني - إرشادات بشأن التقييمات القطرية لاستراتيجيات خفض انبعاثات الزئبق في الغلاف الجوي	
٧٧	إعداد بيانات خط الأساس	
٧٨	سيناريوهات لإجراءات إضافية للتحكم في انبعاثات الزئبق	
٧٨	معلومات إضافية	

قائمة المختصرات

برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم	Arctic Monitoring and Assessment Program	AMAP
تعددين الذهب الحرفي على نطاق ضيق	Artisanal Small scale Gold Mining	ASGM
أفضل التقنيات المتاحة	Best Available Techniques	BAT
وثائق مرجعية بأفضل التقنيات المتاحة	Best Available Techniques Reference Documents	BREF
الانبعاثات الثانوية: انبعاثات ناتجة من مصادر يكون فيها الزئبق أحد مركبات الوقود أو المادة الخام المستعملة في العملية	Emissions occurring from sources where mercury is a constituent in fuel or raw material used in the process.	By product emissions
مركز الفحم النظيف في الوكالة الدولية للطاقة	Clean Coal Centre of the IEA	CCC
أول أكسيد الكربون	Carbon monoxide	CO
جهاز ترسيب إلكتروستاتي	Electrostatic Precipitator	ESP
التقييم المتكامل لانبعاثات المعادن الثقيلة في أوروبا، وهو مشروع أبحاث ممول من الاتحاد الأوروبي، أنظر قائمة المراجع	Integrated Assessment of heavy metal releases in Europe. Research project funded by European Union, see reference list	ESPREME
الاتحاد الأوروبي	European Union	EU
الدول السبع والعشرين الأعضاء في الاتحاد الأوروبي	The 27 member states of the European Union	EU-27
احتراق على قاعدة مميعة	Fluidized Bed Combustion	FBC
مصفاة نسيجية	Fabric Filter	FF
إزالة الكبريت من غاز المداخن	Flue Gas Desulphurization	FGT
مشروع أبحاث ممول من الاتحاد الأوروبي، أنظر قائمة المراجع	Research project funded by European Union, see reference list.	HEIMTSA
الزئبق الأولي	Elemental mercury	Hg ⁰
كلوريد الزئبق	Mercuric Chloride	HgCl ₂
الوكالة الدولية للطاقة	International Energy Agency	IEA
لجنة التفاوض الحكومية الدولية	Intergovernmental Negotiating Committee	INC
انبعاثات الاستعمال عن قصد: الانبعاثات الناتجة من مصادر يستعمل فيها الزئبق عن قصد، كأن يكون جزءاً من المنتجات أو من عملية صناعية	Emissions occurring from sources where mercury is intentionally used e.g. in products or as a part of an industrial process.	
المنع والمراقبة المتكاملان للتلوث، من توجيهات الاتحاد الأوروبي	Integrated Pollution Prevention and Control, a EU directive	IPPC
القيمة الحرارية الدنيا (وتعرف أيضاً باسم القيمة	Lower heating value (also known as net calorific	LHV

الكلورينية الصافية)	value, or net CV)	
اتفاقية LRTAP، أو CLRTAP: اتفاقية بشأن نقل الملوثات الحيوية البعيد المدى عبر الحدود، وهي اتفاقية خاصة بتلوث الهواء في إطار لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا	Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. A convention on air pollution under the UN Economic Commission for Europe (UN ECE)	LRTAP
النشادر	Ammonia	NH ₃
أكاسيد النيتروجين	Nitrogen Oxides	NO _x
احتراق مسحوق الفحم	Pulverized Coal Combustion	PCC
جسيمات	Particulate Matter	PM
اختزال حفزي انتقائي	Selective Catalytic Reduction	SCR
اختزال غير حفزي انتقائي	Selective Non-Catalytic Reduction	SNCR
ثاني أكسيد الكبريت	Sulphur Dioxide	SO ₂
مركبات عضوية متطايرة	Volatile Organic Compounds	VOC
المختبر التقني الوطني للطاقة	National Energy Technology Laboratory	NETL
معهد أبحاث الطاقة الكهربائية	Electric Power Research Institute	EPRI
توجيهات خاصة بتعظيم العمليات، أنظر قائمة المراجع	Process Optimization Guidelines, see reference list.	POG
التشغيل والصيانة	Operating and Maintenance	O&M
مكتب المساءلة الحكومي (الولايات المتحدة الأمريكية)	Government Accountability Office (USA)	GAO
مسحوق كربون مُنشَّط	Powdered Activated Carbon	PAC
ميغاوات/ساعة (في توليد الكهرباء)	Megawatt hour (energy generation)	NWH
الكهرباء بحساب ميغاوات/ساعة	Megawatt hour electricity	NWhe

٢ - مقدمة

٢-١ - الخلفية والنطاق والولاية

١ - أعدت هذه الدراسة استجابة للدعوة الواردة في الفقرة ٢٩ من القرار ٥/٢٥ - ثالثاً، الصادر عن مجلس إدارة برنامج الأمم المتحدة للبيئة/المنتدى البيئي الوزاري العالمي. وتتناول هذه الدراسة أنواعاً مختلفة من المصادر المسببة لانبعاثات الزئبق، والاتجاهات الحالية والمستقبلية لانبعاثات الزئبق، بما في ذلك تحليل وتقييم تكلفة وفعالية التكنولوجيات والتدابير البديلة للتحكم في الانبعاثات.

٢ - والغرض من هذه الدراسة هو تقديم معلومات من أجل تسهيل عمل لجنة التفاوض الحكومية الدولية، ومن ثم إتاحة المعلومات الأساسية ذات الصلة بوضع تدابير للتحكم في انبعاثات الزئبق يمكن تضمينها في صك ملزم قانوناً يجرى تدارسه في اللجنة.

٣ - والأهداف الرئيسية للدراسة هي:

(أ) تقديم معلومات مستكملة وحديثة عن انبعاثات الزئبق بالنسبة لبلدان وقطاعات مختارة وعن الاتجاهات الحالية في انبعاثات الزئبق؛

(ب) تقديم نظرة عامة عن الخصائص التقنية للمصادر الرئيسية لانبعاثات الزئبق في قطاعات هامة في البلدان المختارة؛

(ج) تقديم موجز للمعلومات المتاحة عن تكاليف وكفاءة التكنولوجيات المختلفة للتحكم في الانبعاثات.

٤ - وتركز الدراسة على أكبر فئات مصادر الانبعاثات. وقد تحددت هذه الفئات على أساس تقارير الانبعاثات السابقة التي أعدها برنامج الأمم المتحدة للبيئة والمعلومات المتاحة من المؤلفات المنشورة. وتم النظر أيضاً في مدى توفر معلومات عن تكاليف وفعالية تكنولوجيات وتدابير التحكم البديلة ومدى فائدة هذه المعلومات للجنة التفاوض الحكومية الدولية. وقد حُددت مصادر انبعاثات الزئبق ذات الأولوية على أنها محطات توليد الطاقة والمراجل الصناعية التي تعمل بطاقة الفحم؛ وإنتاج المعادن غير الحديدية (لا سيما الرصاص والزنك والنحاس والذهب)، وحرق النفايات، وإنتاج الإسمنت.

٥ - ويقدم هذا التقرير ملخصاً للمعارف المتاحة عن انبعاثات الزئبق في الهواء، ووصفاً مختصراً للقطاعات المختارة لهذه الدراسة، ومعلومات عن العمليات التي يدخل فيها الزئبق ومكان وكيفية إطلاقه في الهواء، وخيارات التحكم والتكاليف المرتبطة بها.

٦ - وهكذا فإن المقصود من التقرير أن يقدم معلومات تفيد المناقشات الجارية للتوصل إلى اتفاق عالمي بشأن إجراء تخفيضات في انبعاثات الزئبق من القطاعات المختارة. ومرفق بهذا التقرير إرشادات للبلدان التي ترغب في إجراء تقييم أكثر تفصيلاً لخيارات التحكم في بلدانها.

٢-٢ - مصادر المعلومات

٧ - يستند هذا التقرير إلى التقارير التي أعدت لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة في ٢٠٠٨ بشأن انبعاثات الزئبق العالمية والتقديرات الكمية للتكاليف والكفاءة فيما يتعلق بالخيارات البديلة، والمعلومات المقدمة من البلدان والمنظمات، وكذلك المعلومات الحديثة المتاحة من الكتابات المنشورة عن الانبعاثات وخيارات التحكم والتكاليف.

٨ - والتقارير التي أعدت لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة في عام ٢٠٠٨ والتي استخدمت في هذه الدراسة هي؛ تقرير حصر الانبعاث العالمية للزئبق في عام ٢٠٠٥^(١) (UNEP/AMAP, 2008) (تم إعداده بالتعاون بين برنامج الأمم المتحدة للبيئة وبرنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم)، و”التقييم النوعي العام للتكاليف المحتملة والفوائد المرتبطة بكل من الأهداف الاستراتيجية المنصوص عليها في المرفق ١ من تقرير الاجتماع الأول للفريق العامل المفتوح العضوية“^(٢). وتم استقاء معلومات إضافية عن تكنولوجيات التحكم من الأعمال المنشورة ونتائج المشاريع البحثية التي يمولها الاتحاد الأوروبي مثل ESPREME (التقييم المتكامل لإطلاقات المعادن الثقيلة في أوروبا) وHEIMTSA. (مشروع البحوث الممولة من الاتحاد الأوروبي).

٩ - وقد طُلب من بعض البلدان تقديم معلومات عن الانبعاثات وخيارات التحكم والتكاليف. ولتسهيل جمع المعلومات تم تعميم استبيانات ونماذج بطريقة إكسل Excel. وكانت البلدان المختارة للدراسة هي البرازيل، والصين، والهند، والاتحاد الروسي، وجنوب أفريقيا، والولايات المتحدة الأمريكية وبلدان الاتحاد الأوروبي الـ ٢٧. كما عُقدت اجتماعات للمتابعة مع بعض الحكومات لمساعدتها في جمع المعلومات.

١٠ - وقد تم الاضطلاع بمراجعتين في إعداد هذا التقرير. وأرسل مشروع التقرير التجريبي مباشرة في ٤ آذار/مارس ٢٠١٠ إلى البلدان المذكورة أعلاه وتم إتاحتها بشكل مفتوح للمراجعة على موقع برنامج الأمم المتحدة للبيئة. وأرسلت المسودة النهائية في ٢٩ أيلول/سبتمبر ٢٠١٠ للمراجعة إلى جميع أصحاب المصلحة الذين قدموا المعلومات.

١١ - ويرد موجز للمعلومات المقدمة في المرفق ١، كما أن التقارير الوطنية متاحة أيضاً على موقع برنامج الأمم المتحدة للبيئة على شبكة الإنترنت.

(١) http://www.chem.unep.ch/mercury/Atmospheric_Emissions/Technical_background_report.pdf

(٢) http://www.chem.unep.ch/mercury/OEWG2/documents/e52/English/OEWG_2_5_add_1.pdf

٣ - انبعاثات الزئبق العالمية

١٢ - الغرض من هذا الفصل هو تقديم نظرة عامة عن انبعاثات الزئبق العالمية البشرية المنشأ في الغلاف الجوي، كإجمالي للانبعاثات العالمية ومن القطاعات والمناطق الجغرافية المختارة.

٣-١ - انبعاثات الزئبق البشرية المنشأ في الهواء

١٣ - أُعد حصر لانبعاثات الزئبق العالمية البشرية المنشأ لعام ٢٠٠٥ في مشروع مشترك بين برنامج الأمم المتحدة للبيئة وبرنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم، في عام ٢٠٠٨. وقد استند هذا الحصر للانبعاثات إلى التقارير الوطنية، وتقديرات الانبعاثات لبلدان أخرى استناداً إلى بيانات النشاط وعوامل الانبعاثات ذات الصلة. وبسبب عدم وجود مقياس عام مباشر، يُستخدم "تقدير" انبعاثات الزئبق العالمية في الأساس نفس الأساليب المستخدمة في استخراج معظم البيانات على الصعيد الوطني. ويمكن الاطلاع على تفاصيل عن أساليب ومصادر البيانات والمعلومات الأخرى في تقرير الحصر السالف الذكر.

١٤ - وقد تناول حصر ٢٠٠٥ قطاعي انبعاثات 'الاستخدام غير المتعمد' والاستخدام المتعمد. وتنشأ انبعاثات استخدام الزئبق 'غير المتعمد' في الهواء أساساً من إنتاج الطاقة والقطاعات الصناعية، حيث تكون انبعاثات الزئبق 'منتجاً ثانوياً غير متعمد' مرتبطاً بوجود الزئبق في أنواع الوقود الأحفوري مثل الفحم، والمواد الخام. وتشمل قطاعات الانبعاثات 'غير المتعمدة': الاحتراق الثابت للوقود الأحفوري في محطات الطاقة، والتدفئة المنزلية^(٣)، وإنتاج حديد الزهر وحديد الصلب، وإنتاج الفلزات غير الحديدية، وإنتاج الإسمنت، وإنتاج الزئبق، وإنتاج الذهب على نطاق كبير، وبعض الأنشطة الأخرى. كما تحتسب أيضاً انبعاثات الزئبق من صناعة قلوبات الكلور في حصر القطاعات 'غير المتعمدة' حيث ترد عادة ضمن قوائم حصر الانبعاثات الوطنية، ولأسباب تاريخية (أي الاتساق مع ما سبق نشره من قوائم الحصر). وتتضمن تقارير بعض البلدان عن الانبعاثات الوطنية حرق النفايات وغيرها من القطاعات التي يمكن اعتبارها من الاستخدامات المتعمدة. ومع ذلك، ففي معظم أجزاء العالم تقدر الانبعاثات من مصادر الاستخدام المتعمد أساساً باستخدام طرائق تنطوي على تحليل تدفق المواد أو على تقديرات توازن الكتلة (برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم، ٢٠٠٨).

١٥ - وتشمل قطاعات 'الاستخدام المتعمد' تعدين الذهب الحرفي الضيق النطاق، والانبعاثات الناتجة عن حرق الجثث، والأسنان الصناعية المستخدم فيها ملغم الزئبق، والإنتاج الثانوي للصلب، والإطلاقات المنتشرة من استخدام بعض المنتجات (مثل الأدوات الطبية، والبطاريات، والمصابيح، الخ) والتخلص من النفايات (بما في ذلك حرق النفايات المحتوية على الزئبق).

١٦ - ويتضح من الشكل ١ أن الاحتراق الثابت للفحم في محطات توليد الطاقة والتدفئة المنزلية ومصادر الاحتراق الأخرى هو أكبر فئة من فئات مصادر انبعاثات الزئبق البشرية المنشأ في الهواء. ويوجد الزئبق في الفحم كمكون طفيف يتم إطلاقه في الهواء خلال عملية الاحتراق. ويسهم احتراق أنواع الوقود الأحفوري الأخرى لإنتاج الطاقة أو الحرارة أيضاً في انبعاثات الزئبق، ولكن بقدر أقل من الفحم إلى حد كبير.

١٧ - وينتج عن تعدين ومعالجة الخامات الصناعية، ولا سيما في الإنتاج الأولي للحديد والصلب وإنتاج الفلزات غير الحديدية (وخاصة صهر النحاس والرصاص والزنك) إطلاق الزئبق كنتيجة لاحتراق الوقود ولوجوده كشوائب في الخامات. ومن مصادر إنتاج الزئبق الناتج عن إنتاج المعادن أيضاً تعدين وإنتاج الزئبق نفسه (وهذا مصدر بسيط نسبياً)، وإنتاج

(٣) في بلدان كثيرة، تستعمل كميات كبيرة من الفحم (الردئ النوعية في الغالب) في التدفئة والطهو في المنازل؛ وفي بلدان أخرى تستخدم المراحل لخدمة أعداد كبيرة من الوحدات السكنية.

الذهب حيث يكون الزئبق موجوداً في الخامات أو مستخدماً في بعض العمليات الصناعية لاستخراج الذهب من رواسب العروق. ويعتبر استخدام الزئبق لاستخراج الذهب في تعدين الذهب الحرقي وعلى النطاق الصغير استخداماً متعمداً.

١٨ - ويرتبط المصدر الرئيسي الثالث من إطلاقات الزئبق 'غير المتعمدة' بإنتاج الإسمنت. ففي إنتاج الإسمنت ينشأ الزئبق المنبعث من وجوده في الوقود المستخدم لتسخين قمائن الإسمنت (الفحم في المقام الأول) مع أي وقود أو نفايات مشتركة في الاحتراق، وفي الحجر الجيري وغيره من المواد الخام الثانوية والمواد المضافة. وهكذا يمكن أن تتفاوت كثيراً انبعاثات الزئبق في إنتاج الإسمنت، سواء من حيث المصدر أو الحجم.

١٩ - وتشمل قطاعات الاستخدام المتعمد في قائمة حصر برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨) إنتاج الذهب الحرقي وعلى النطاق الضيق، الذي يؤدي إلى انبعاثات في كل من الهواء والصراف في الماء. وخلافاً لمعظم القطاعات الأخرى فإن التصريف في المياه المرتبط بأنشطة تعدين الذهب الحرقي والضيق النطاق هو كبير الحجم بقدر الانبعاثات في الهواء أو أكبر، وقد تنتج عنه تأثيرات بيئية كبيرة على المستوى المحلي النطاق. وتشمل الانبعاثات التقديرية الأخرى للاستخدام المتعمد في قوائم حصر ٢٠٠٨ الانبعاثات من حرق النفايات وغيرها من انبعاثات التخلص من النفايات والانبعاثات من زئبق الأسنان بعد حرق جثث بشرية (ولكنها لا تشمل حالياً إطلاقات الزئبق من عمليات حشو الأسنان بملغم الزئبق)، والإطلاقات من استخدام الزئبق في منتجات مثل البطاريات والمصاييح وأجهزة القياس.

٢٠ - وترد في الجدول ١ والشكل ١ تقديرات انبعاثات الزئبق العالمية البشرية المنشأ في الهواء في عام ٢٠٠٥ من مختلف القطاعات.

٢١ - ويعرض الجدول ١ انبعاثات الزئبق والمساهمة النسبية في انبعاثات الزئبق العالمية في الهواء في عام ٢٠٠٥ من القطاعات المختارة للدراسة الحالية، وهي مبينة في الصفوف الخمسة الأولى العليا. وتمثل هذه القطاعات الخمسة في مجموعها نحو ٥٠ في المائة من الانبعاثات العالمية المقدرة، ويسهم احتراق الفحم في محطات توليد الكهرباء بنسبة ٢٦ في المائة وإنتاج المعادن غير الحديدية (باستثناء إنتاج الذهب) بنسبة ٧ في المائة وإنتاج الذهب واسع النطاق بنسبة ٦ في المائة وإنتاج الإسمنت بنسبة ١٠ في المائة وحرق النفايات على نطاق واسع بنسبة ٢ في المائة. وقد كانت الأولوية لهذه القطاعات في الدراسة الحالية بسبب مساهمتها النسبية في الانبعاثات العالمية للزئبق في الهواء ولأنها قطاعات تتألف إلى حد كبير من مصادر موضعية تتسم بارتفاع درجة حرارة الاحتراق أو عمليات يكون فيها تركيب واستخدام تكنولوجيات مماثلة للتحكم في الانبعاثات ملائماً وعملياً.

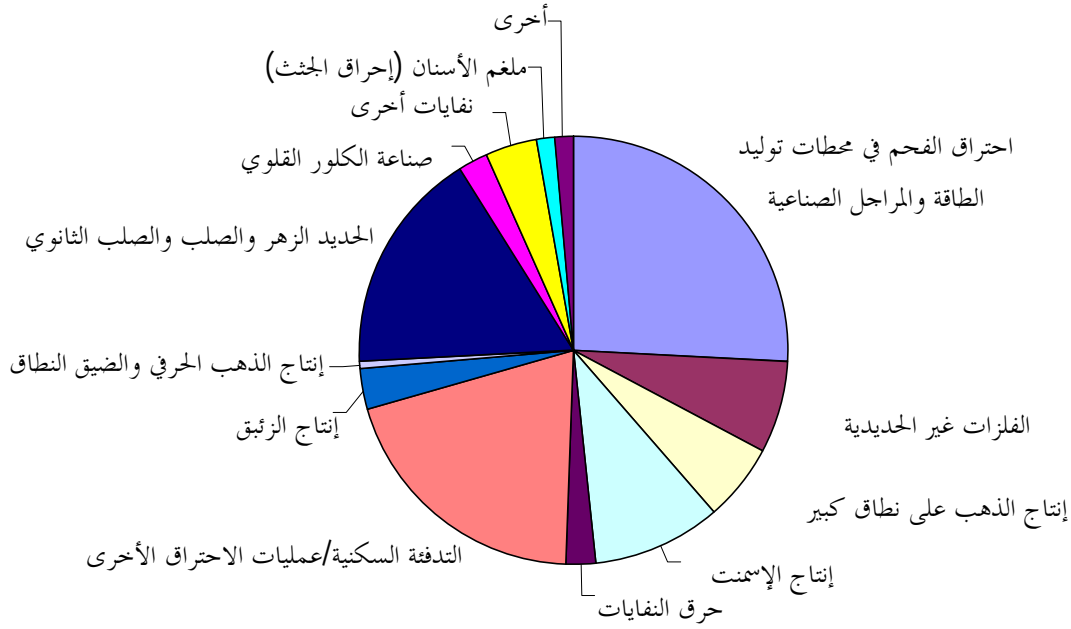
٢٢ - ويوجد قدر كبير من عدم اليقين فيما يتصل بتقديرات الانبعاثات سواء في التقارير الوطنية أو التقديرات الأخرى. فبالنسبة لقطاعات 'الاستخدام غير المتعمد' تقدر نسبة عدم اليقين في التقديرات العالمية بنحو ± 25 في المائة في احتراق الفحم ± 30 في المائة في إنتاج المعادن الحديدية/غير الحديدية وإنتاج الإسمنت، رغم أن هذه التقديرات قد لا تمثل النسبة الفعلية لدي البلدان كل على حدة. وتختلف أوجه عدم اليقين بين البلدان والقارات باختلاف مدى إتاحة وموثوقية البيانات الإحصائية عن أنشطة واستهلاك الزئبق، فضلاً عن المعلومات التي تسمح بتطبيق عوامل الانبعاثات المناسبة (مثل المحتوى من الزئبق في الوقود، وتكنولوجيات التحكم). وبالنسبة لقطاعات مثل إنتاج الذهب والانبعاثات الناجمة عن حرق النفايات والتخلص من النفايات، فإن عدم اليقين أكبر بشكل ملحوظ؛ وينبغي النظر إلى التقديرات المتطورة المقدمة في تقرير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨) على أنها الانبعاثات القصوى المحتملة. وتمثل التقديرات "المحافظلة" أكثر التقديرات معقولة للانبعاثات من قطاعات 'الاستخدام المتعمد' المعروضة في ذلك التقرير.

الجدول ١: تقديرات انبعاثات الزئبق العالمية البشرية المنشأ في الهواء في عام ٢٠٠٥ من مختلف القطاعات، منقحة من برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨). القطاعات الواردة في الصفوف الخمسة الأولى هي القطاعات المختارة لهذه الدراسة، وأسفلها غيرها من القطاعات المختلفة.

النسبة المئوية للإسهام في الانبعاثات في الهواء	الانبعاثات في ٢٠٠٥* الطن = ١٠٠٠ كجم	القطاع
٢٦	٤٩٨ (٦٥٧-٣٣٩)	احتراق الفحم في محطات توليد الطاقة والمراجل الصناعية
٧	١٣٢ (١٨٥-٨٠)	الفلترات غير الحديدية (النحاس والزنك والرصاص)
٦	١١١ (١٥٦-٦٦)	إنتاج الذهب على نطاق كبير
١٠	١٨٩ (٢٦٣-١١٤)	إنتاج الإسمنت
٢	٤٢	حرق النفايات
٢٠	٣٨٢ (٥٠٦-٢٥٧)	التدفئة السكنية/عمليات الاحتراق الأخرى
١٧	٣٢٣	إنتاج الذهب الحرفي والضيق النطاق
٤	٧٤	النفايات الأخرى
٣	٦١ (٧٤-٣٥)	الحديد الزهر والصلب والصلب الثانوي
٢	٤٧ (٦٤-٢٩)	صناعة الكلور القلوي
١	٢٧	ملغم الأسنان (إحراق الجثث)**
١	٢٦	مصادر أخرى
٠,٥	٩ (١٢-٥)	إنتاج الزئبق
	١٩٢١	المجموع

* يمثل أفضل التقديرات: تقدير (فسحة عدم اليقين)، أو تقدير متحفظ (لا يرتبط بمدى). أنظر برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨) لمناقشة عدم اليقين.

** لا تشمل الانبعاثات الأخرى من الإنتاج والمناولة والاستعمال والتخلص من ملغم الأسنان.



الشكل ١ - نسبة انبعاثات الزئبق العالمية البشرية المنشأ في الهواء في عام ٢٠٠٥ من مختلف القطاعات (منقحة من برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم، ٢٠٠٨).

٢٣ - وكان حصر الانبعاثات العالمية البشرية المنشأ في الهواء لعام ٢٠٠٥، الذي يرد وصفه في تقرير (٢٠٠٨)، هو أكثر عمليات الحصر العالمي شمولاً حتى الآن. وفي عام ٢٠١٠ أجريت عملية مراجعة لبيانات هذا الحصر وقوائم الحصر المنشورة من قبل للسنوات ١٩٩٠ و ١٩٩٥ و ٢٠٠٠؛ وبالنسبة لعام ٢٠٠٥ أدى هذا التنقيح إلى بعض التغييرات الطفيفة في مجموع الانبعاثات العالمية للزئبق في الهواء فيما يتعلق أساساً بقطاعات الاستخدام المتعمد كنتيجة لتحسن في المعلومات عن استهلاك الزئبق في القطاعات ذات الصلة. ويتناول الفرع ٣-٢ فيما يلي هذه المسألة بمزيد من التفصيل.

٢٤ - ومن بين إجمالي تقدير انبعاثات الزئبق في الهواء في عام ٢٠٠٥ الذي يصل إلى ١٩٢١ طناً، تبلغ مساهمة احتراق الوقود الأحفوري في محطات الطاقة والمراجل الصناعية حوالي ٥٠٠ طن (٢٦ في المائة) واحتراق الوقود الأحفوري لأغراض التدفئة السكنية ٣٨٠ طناً إضافية من الزئبق (٢٠ في المائة من الانبعاثات العالمية) (برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨ و ٢٠١٠)). وفي كثير من البلدان تستخدم كميات كبيرة من الفحم (غالباً ما يكون رديء الجودة) لأغراض التدفئة والطبخ في المنازل بصفة فردية. وفي بلدان أخرى تُستخدم المراجل في توفير التدفئة لعدد أكبر من الوحدات السكنية. وعلى الرغم من أن التدفئة السكنية مصدر هام من مصادر انبعاثات الزئبق فإن هذه الدراسة لا تتناولها بمزيد من التفصيل لأن الخيارات المناسبة للتحكم في الانبعاثات مختلفة جداً عنها في محطات الطاقة والمراجل الصناعية. وينبغي النظر في ضوابط بديلة مثل التحول إلى مصادر أخرى للطاقة كوقود لأغراض الطهي والتدفئة، حسب الظروف المحلية وتوافر الموارد.

٢٥ - وينشأ ٧٠ في المائة تقريباً من إجمالي انبعاثات الزئبق من الصناعات غير الحديدية، في آسيا (أنظر الفرع ٢-٢ لمزيد من التفاصيل بشأن الانبعاثات حسب المناطق الجغرافية). وتقدر مساهمة الصناعات الفلزية غير الحديدية (من العمليات الواسعة النطاق) بنحو ١٣٠ طناً من إجمالي انبعاثات الزئبق في الهواء في جميع أنحاء العالم في عام ٢٠٠٥، حيث يأتي نحو ٥٠ في المائة من الانبعاثات التقديرية من هذا القطاع من الصين، تليها كوريا الجنوبية (حوالي ٥ في المائة)، وحوالي ٥ في المائة من كل من شيلي وأستراليا. ويمثل إنتاج الذهب على نطاق واسع ٦ في المائة من الانبعاثات العالمية (حوالي ١١٠ أطنان). وتشير التقديرات في عام ٢٠٠٥ إلى أن الصين كانت أكبر مصدر للانبعاثات، بنسبة ٤٠ في المائة من انبعاثات هذا القطاع، تليها أستراليا والولايات المتحدة واندونيسيا وكلها تسهم بما بين ٥ و ٧ في المائة من انبعاثات القطاع. وقد تلقى برنامج الأمم المتحدة للبيئة معلومات تشير إلى أن الصين قد توقفت مؤخراً عن استخدام الزئبق في إنتاج الذهب على نطاق واسع.

٢٦ - ونشأ حوالي ١٩٠ طناً (١٠ في المائة) من إجمالي انبعاثات الزئبق العالمية في الهواء من مصادر من صنع الإنسان في عام ٢٠٠٥ من صناعة الإسمنت. ويأتي حوالي ٧٤ في المائة من مجموع الزئبق المنبعث من قطاع الإسمنت في آسيا، حيث تمثل الصين، وهي المساهم الرئيسي، ٤٥ في المائة من مجموع الانبعاثات في الهواء من مصانع الإسمنت، تليها الهند (٦ في المائة)، واليابان (٥ في المائة). وتعتبر الولايات المتحدة المساهم الأكبر التالي (٣ في المائة)، (برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨)).

٢٧ - أما انبعاثات الزئبق من نفايات المنازل وغيرها من النفايات فغير مؤكدة إلى حد كبير. وتتخلص معظم البلدان من كميات كبيرة من النفايات في مقالب النفايات أو عن طريق الحرق في العراء. وكثير من البلدان ليس لديها مرافق واسعة النطاق ذات درجات حرارة عالية لحرق النفايات الصلبة. ولذلك فإن الانبعاثات الناتجة عن هذا القطاع إما أنه لا يتم الإبلاغ عنها في كثير من الأحيان أو أنها تكون مدرجة تحت فئة عامة للانبعاثات؛ انبعاثات أخرى. أما البلدان التي تبلغ عن الانبعاثات من مرافق حرق النفايات البلدية والطبية والخطرة الكبيرة النطاق فتشمل الولايات المتحدة واليابان ودولاً في أوروبا - ولهذا الأسباب قد تبدو ممثلة بصورة مبالغ فيها إلى حد ما في انبعاثات هذا الجزء من حصر قطاع النفايات. وفي بلدان أخرى، قد يبلغ عن حرق النفايات ضمن فئة النفايات والقطاعات الأخرى في الحصر العالمي. ومن الممكن مقارنة انبعاثات قطاع النفايات المحسوبة على أساس تحليل تدفق المواد أو نهج توازن الكتلة، جنباً إلى جنب مع المعلومات عن ممارسات معالجة النفايات داخل البلدان، مع التقديرات المبلغ عنها عن حرق النفايات حيثما تتوفر هذه التقديرات. ووفقاً لأحدث التقديرات المنقحة مؤخراً (AMAP,2010) بالنسبة للانبعاثات من قطاعات الاستخدام المتعمد في عام ٢٠٠٥ (أنظر الفقرة ٣٠)، يقدر إسهام حرق النفايات البلدية الصلبة في المرافق الواسعة النطاق بما يقرب من ٢ في المائة من انبعاثات الزئبق العالمية في الهواء (مع ٤ في المائة أخرى في إطار فئة "النفايات الأخرى"). ومع مراعاة نواحي عدم الدقة في تخصيص الانبعاثات لمناطق مختلفة من قطاع النفايات، تسهم كل من أمريكا الشمالية وأوروبا بنحو ٢٠ في المائة من الزئبق الذي يرتبط مباشرة بحرق النفايات الواسع النطاق في جميع أنحاء العالم، بينما تسهم آسيا بنحو ٤٥ في المائة.

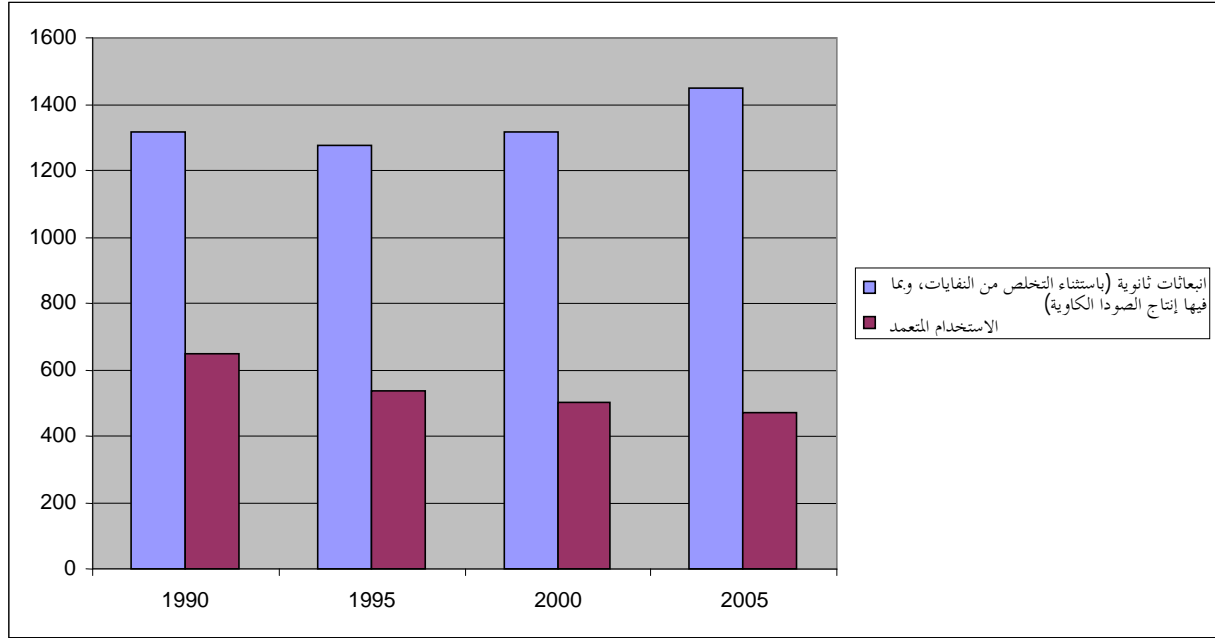
٢٨ - وتستخدم قوائم حصر الانبعاثات الموزعة جغرافياً (المشبكة) كمُدخل معلوماتي لأغراض نمذجة طبقة الغلاف الجوي. وبالإضافة إلى ذلك، تتطلب النماذج أيضاً أن تكون هذه الانبعاثات محددة المواصفات، لتقسيم الانبعاثات الأولية بين ثلاثة أنواع رئيسية من الزئبق/مركبات الزئبق، هي الزئبق الأولي الغازي (وهي تُختصر أيضاً إلى Hg⁰ أو Hg⁰)، ومركبات الزئبق ثنائي التكافؤ (Hg²) والزئبق الملتصق بالجسيمات (Hg-P)؛ وتشكل هذه معاً انبعاثات الزئبق الكلية (HgT). وللأنواع المختلفة من الزئبق سلوك انتقال مميز، وبالتالي تعتبر المعلومات عن الانتواع ضرورية لتحديد مصير الزئبق المنبعث. وتوجد معلومات عن الانتواع وارتفاعات أكادس الجسيمات الصلبة المتولدة في غازات المداخن في تقرير AMAP/UNEP (2008).

٣-٢ - الاتجاهات في الانبعاثات العالمية للزئبق في الهواء

٢٩ - كجزء من تقييم عام ٢٠١٠ عن الزئبق في القطب الشمالي، أجرى برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم إعادة تحليل لقوائم حصر الزئبق العالمي للأعوام ١٩٩٠ و ١٩٩٥ و ٢٠٠٠ و ٢٠٠٥ و Pacyna and (Pacyna and Pacyna, 2002; Pacyna and 2006; Pacyna et al., 2005)، وذلك في محاولة لإعداد سلسلة من قوائم حصر الانبعاثات العالمية تكون أكثر قابلية للمقارنة التاريخية وتسمح بتحليل اتجاهات انبعاثات الزئبق العالمية في الهواء (AMAP, 2010). وتستخدم إعادة التحليل هذه منهجية عامة وقاعدة معلومات أكثر اتساقاً لتقدير انبعاثات معينة، وتحديث قوائم الحصر السابقة لمختلف البلدان والقطاعات لتكون متسقة مع ما استجد من معرفة أثناء عملية إعداد قوائم الحصر على مدى السنوات الـ ١٥ الماضية، كما تتضمن مزيداً من التنقيح لحصر عام ٢٠٠٥ باستخدام البيانات التي توفرت حديثاً عن الاستهلاك الإقليمي للزئبق، والتي تشكل الأساس لتقديرات الانبعاثات المتصلة بقطاعات 'الاستخدام المتعمد'. ويمكن الاطلاع على تفاصيل التنقيحات في تقرير AMAP, 2010.

٣٠ - وبالنسبة لعام ٢٠٠٥، أسفرت المراجعة عن تقدير أدنى بحوالي ٥ أطنان، أي ١٩٢١ طناً مقارنة مع ١٩٢٦ طناً من انبعاثات الزئبق العالمية في الهواء المقدرة في تقرير (٢٠٠٨). ولم تتغير الانبعاثات 'غير المتعمدة' كثيراً عن تلك التي قدمت في تقرير ٢٠٠٨، لكن حدث تنقيح طفيف لتقديرات الانبعاثات لبلدان معينة من قطاعات 'الاستخدام المتعمد'. وبالإضافة إلى تنقيح الانبعاثات من القطاعات 'غير المتعمدة' لجميع السنوات (١٩٩٠، ١٩٩٥، ٢٠٠٠، ٢٠٠٥)، وضعت في سياق عملية إعادة التحليل تقديرات عن الانبعاثات من 'الاستخدام المتعمد' للزئبق للسنوات ١٩٩٠ و ١٩٩٥ و ٢٠٠٠، وهذه (باستثناء الانبعاثات من صناعة الكلور والقلويات) لم تكن متوفرة من قبل لقوائم الحصر 'التاريخية'.

٣١ - ويعرض الشكل ٢ التقديرات المنقحة عن انبعاثات الزئبق في الهواء في ١٩٩٠، ١٩٩٥، ٢٠٠٠، و ٢٠٠٥ من قطاعي 'الانبعاثات غير المتعمدة' و'الاستخدام المتعمد'. ومن المهم الإشارة إلى أن البيانات المقدمة عن الانبعاثات من قطاعات 'الاستخدام المتعمد' تمثل تقديرات متحفظة.



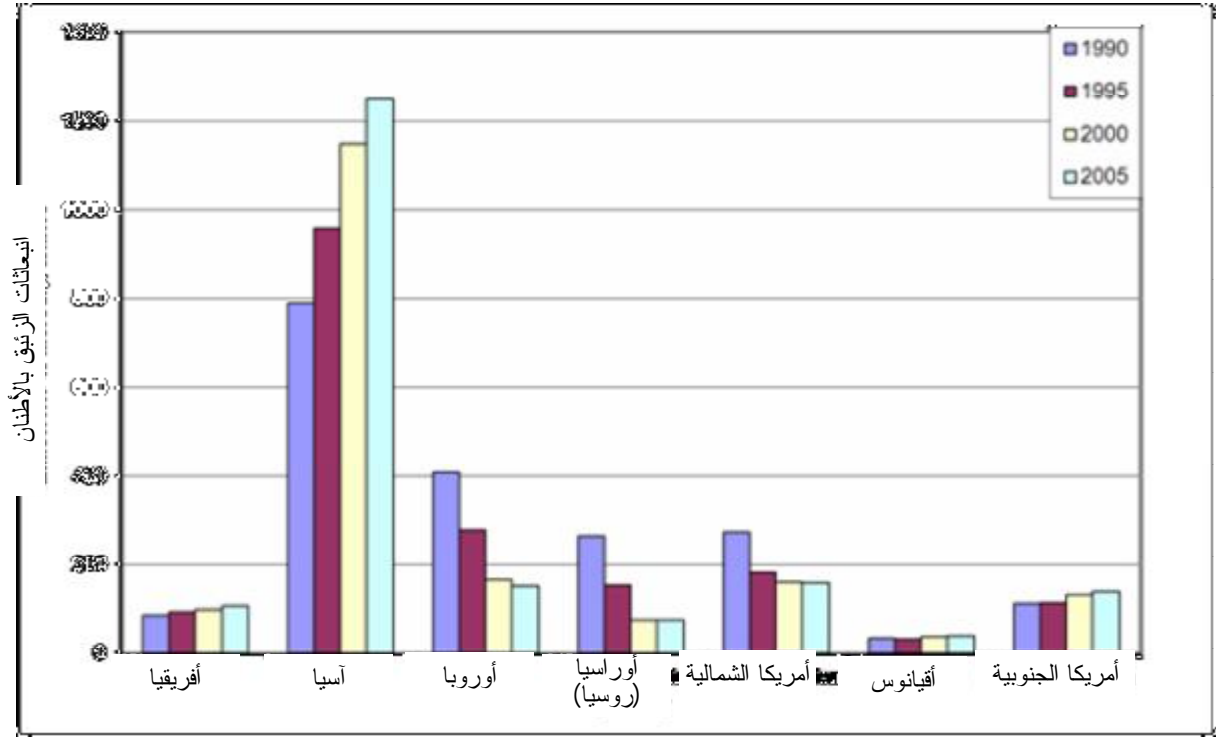
الشكل ٢ - التقديرات المنقحة لمجموع انبعاثات الزئبق العالمية البشرية المنشأ في الهواء (بالأطنان) من قطاعات 'الانبعاثات الثانوية' و انبعاثات 'الاستخدام المتعمد' في أعوام ١٩٩٠ و ١٩٩٥ و ٢٠٠٠ و ٢٠٠٥. (WD = التخلص من النفايات و CSP = إنتاج الصودا الكاوية) (المصدر: AMAP, 2010).

٣٢ - ويعرض العمود الأيسر في الشكل ٢ التقديرات المنقحة لانبعاثات 'المنتجات الثانوية' في كل سنة. ويعرض العمود الأيمن انبعاثات الزئبق في الهواء من قطاعات 'الاستخدام المتعمد'. ووفقاً للتقديرات المنقحة، زادت انبعاثات 'المنتجات الثانوية' بعض الشيء من ١٩٩٠ حتى ٢٠٠٥، في حين أن انبعاثات قطاع 'الاستخدام المتعمد' قد انخفضت خلال نفس الفترة من الزمن. وعموماً، فإنه عند إضافة مصادر قطاعي 'الاستخدام المتعمد' و'غير المتعمد' كان المستوى الإجمالي لانبعاثات الزئبق في الهواء على النطاق العالمي مستقرًا نسبيًا في الفترة من ١٩٩٠ إلى ٢٠٠٥.

٣-٢-١ - الانبعاثات حسب المنطقة الجغرافية

٣٣ - على الرغم من أن المستوى الإجمالي للانبعاثات العالمية من الزئبق في الهواء ظل مستقرًا نسبيًا منذ عام ١٩٩٠، فقد كان هناك تحول إقليمي كبير في المكان الذي تنشأ منه الانبعاثات. ويلخص الشكل ٣ الاتجاهات الإقليمية في الانبعاثات (المجمعة) من القطاعات 'غير المتعمدة' و'الاستخدام المتعمد' لسنوات ١٩٩٠ و ١٩٩٥ و ٢٠٠٠ و ٢٠٠٥. ويتبين من الشكل أن انبعاثات الزئبق البشرية المنشأ في الهواء قد زادت إلى حد كبير في آسيا وإلى حد أقل بكثير في أفريقيا وأمريكا الجنوبية، في حين أن الانبعاثات في أوروبا، وأوراسيا (روسيا) وأمريكا الشمالية قد انخفضت ما بين ١٩٩٠ و ٢٠٠٥.

٣٤ - ووفقاً لتقرير ٢٠٠٨، ساهمت الدول الآسيوية في ٢٠٠٥ بحوالي ٦٧ في المائة في انبعاثات الزئبق العالمية البشرية المنشأ في الهواء، تليها أمريكا الشمالية وأوروبا (برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨)). ويُنظر إلى روسيا، بمساهمتها التي تبلغ ٤ في المائة تقريباً في الانبعاثات العالمية، بشكل منفصل نتيجة لأن أراضيها توجد في كل من أوروبا وآسيا.

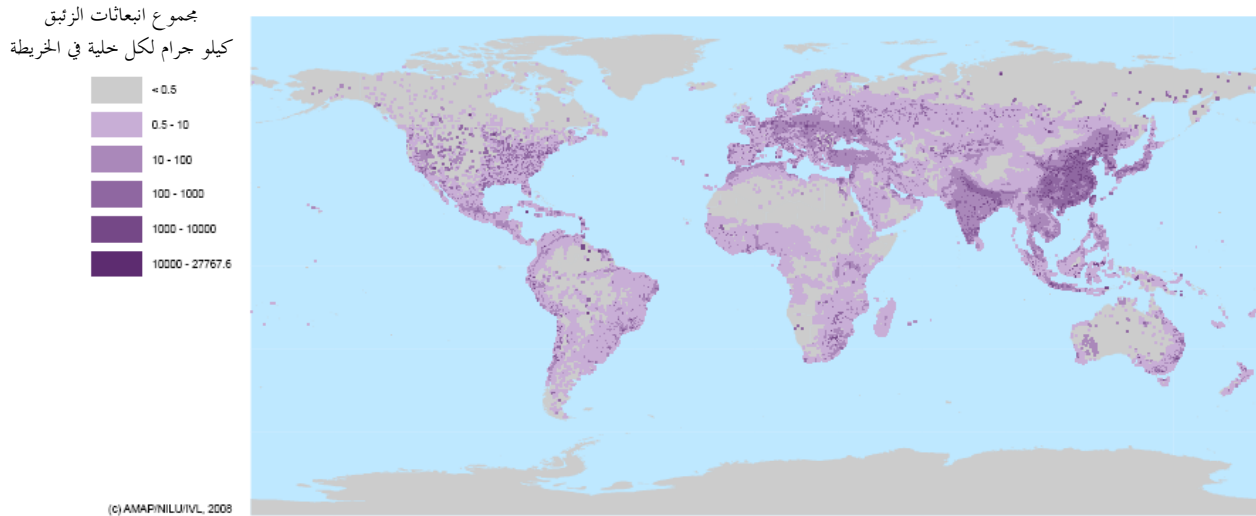


الشكل ٣ - التقديرات المنقحة لانبعاثات الزئبق البشرية المنشأ في الهواء (بالطن) في أعوام ١٩٩٠ و ١٩٩٥ و ٢٠٠٠ و ٢٠٠٥ من مختلف القارات/المناطق (المصدر: AMAP, 2010).

٣٥ - ويقدر أن الصين، بالعدد الكبير من محطات الطاقة التي تعمل بالفحم فيها، هي أكبر مسبب لانبعاثات الزئبق في الهواء في جميع أنحاء العالم في عام ٢٠٠٥. وليست الانبعاثات من محطات الطاقة سوى جزء من الانبعاثات الناجمة عن مجموع احتراق الزئبق في الصين. ولا يقل عن هذا أهمية الانبعاثات الناتجة عن احتراق الفحم من نوعية رديئة مختلطاً مع أنواع مختلفة من النفايات في الوحدات السكنية الصغيرة للتدفئة وطهي الطعام في المناطق الريفية. ومن المحتمل أن تكون الانبعاثات الناتجة عن قطاع الطاقة في الصين قد انخفضت منذ عام ٢٠٠٥ (أنظر الفرع ٢-٣-٣).

٣٦ - وكانت ثلاث دول معاً، هي الصين والهند والولايات المتحدة، مسؤولة عن ٥٧ في المائة من إجمالي الانبعاثات العالمية المقدرة من الزئبق في الهواء في عام ٢٠٠٥ (١٠٩٧ طناً من أصل ١٩٢١ طناً).

٣٧ - ويبين الشكل ٤ توزيع انبعاثات الزئبق العالمية البشرية المنشأ في عام ٢٠٠٥ بعد توزيعها جغرافياً وفقاً للمنهجية الموصوفة في تقرير ٢٠٠٨.



الشكل ٤ - انبعاثات الزئبق موزعة مكانياً (من برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم، ٢٠٠٨).

٣-٣ - مقارنة المعلومات بشأن الانبعاثات

٣-٣-١ - مقارنة بين الدراسات المتاحة عن الانبعاثات العالمية

٣٨ - من الممكن مقارنة حصر الانبعاثات العالمية البشرية المنشأ في برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨) مع قوائم الحصر المقدمة في تقديرات أخرى مثل تلك الخاصة بانبعاثات الزئبق العالمية من المصادر البشرية والطبيعية التي قدمها بيرون وآخرون (Pirrone et al (2010)). ويقدر ذلك الحصر الانبعاثات العالمية البشرية المنشأ في الهواء بـ ٢٣٢٠ طنناً مترياً، استناداً إلى بيانات من مختلف البلدان للسنوات ٢٠٠٣ - ٢٠٠٦، بما في ذلك العديد من نفس المصادر التي استخدمت في وضع تقديرات حصر برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٥)، وبالنسبة لأوروبا وروسيا وأمريكا الجنوبية، استناداً إلى تقديرات برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم. ويعتبر الحصر الكلي (٢٣٢٠ طنناً) في نطاق الحصر العالمي المقدر في تقرير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨)، وهو ١٢٢١ إلى ٢٩٥٠ طنناً (أفضل تقدير هو ١٩٢١ طنناً)، وكذلك التقديرات لبعض القطاعات الفردية (أنظر الجدول ٢). وعلى سبيل المثال، قدر بيرون وآخرون (٢٠١٠) الانبعاثات بمقدار ٨١٠ طنناً للاحتراق الثابت للفحم (محطات توليد الطاقة والتدفئة السكنية معاً)، و٢٣٦ طنناً لإنتاج الإسمنت، مقارنة مع تقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم، وهو ٨٧٨ طنناً (١١٦٣-٥٩٧) و١٨٩ (٢٦٣-١١٤) طنناً على التوالي، ومع ذلك لا تتفق الأرقام بشكل جيد بالنسبة لإنتاج المعادن غير الحديدية (٣١٠ طنناً مقارنة مع تقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم وهو ١٣٢ طنناً (١٨٥-٨٠) طنناً). وبالمثل، بالنسبة لصناعة الكلور والقلويات، فإن التقديرات المقدمة من بيرون وآخرين (٢٠١٠) هي ١٦٣ طنناً، وهي تقديرات أعلى بكثير من تلك التي عرضت في عمل برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم، وهي ٤٧ طنناً (٢٩-٦٤ طنناً). وهناك أيضاً اختلافات في تقديرات الانبعاثات المقدمة من البلدان بصفة فردية. ويمكن في بعض الحالات تفسير هذا جزئياً باستخدام عوامل مختلفة للانبعاثات. وعلى سبيل المثال، فإن محتوى الزئبق

في الفحم متغير بدرجة كبيرة، وفي حالة عدم وجود تركيزات متناسبة تنشأ افتراضات مختلفة عن محتوى الزئبق في الفحم في مختلف قوائم الحصر.

الجدول ٢ - تقديرات انبعاثات الزئبق العالمية البشرية المنشأ في الهواء في عام ٢٠٠٥ من قطاعات مختارة - مقارنة بجميع قوائم الحصر العالمية (بالطن)

هايبلندر وهربرت (٢٠٠٨)	بيرون وآخرون (٢٠١٠)	برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للمرصد والتقييم ٢٠٠٨ (منقحة)*	القطاعات المختارة
بالطن	بالطن	بالطن	
	٨١٠ (منها ٧٤٧ من احتراق الفحم في مصانع الطاقة)	٤٩٨ (٦٥٧-٣٣٩)	الاحتراق الثابت
		٣٨٢ (٥٠٦-٢٥٧)	احتراق الفحم في محطات الطاقة والمراجل الصناعية
			التدفئة السكنية/أنواع احتراق أخرى
٢٧٥	٣١٠	١٣٢ (١٨٥-٨٠)	إنتاج الفلزات غير الحديدية
	-	١١١ (١٥٦-٦٦)	المعادن غير الحديدية (النحاس والزنك والرصاص)
	-		إنتاج الذهب واسع النطاق
			إنتاج الإسمنت
	٢٣٦	١٨٩ (٢٦٣-١١٤)	إنتاج الإسمنت
			حرق النفايات
	١٨٧ (التخلص من النفايات)	٤٢	حرق النفايات
		٧٤	نفايات أخرى
			قطاعات رئيسية أخرى
	٤٣	٦١ (٧٤-٣٥)	حديد الزهر والصلب والصلب الثانوي
	٤٠٠	٣٢٣	إنتاج الذهب الحرقي والضيق النطاق
	١٦٣	٤٧ (٦٤-٢٩)	صناعة الكلوريد القلوي
	٢٣٢٠	١٩٢١ (٢٩٥٠-١٢٢١)	جمالي الحصر**

* تمثل أفضل التقديرات: تقدير (فترة عدم يقين) أو تقدير تحفظي (لا يوجد مدى ذي صلة). (أنظر، (UNEP/AMAP (٢٠٠٨)

** يشمل قطاعات أخرى غير مدرجة في الجدول أعلاه.

٣٩ - ويقدر هايبلندر وهربرت (2008) Hylander and Herbert أن حوالي ٢٧٥ طنًا من الزئبق قد انبعثت على الصعيد العالمي في عام ٢٠٠٥ من المعالجة الفلزية غير الحديدية في درجات حرارة عالية للنحاس والرصاص وخامات كبريتيد الزنك، مع ما يقرب من انبعاث النصف من مصاهر الزنك، والباقي مقسم بالتساوي بين مصاهر النحاس والرصاص. ومرة أخرى نجد هذا التقدير أعلى من تقدير الانبعاثات في تقرير حصر برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للمرصد والتقييم (٢٠٠٨). ويمكن أن يعزى ذلك إلى استخدام عوامل انبعاثات أعلى من تلك المطبقة في عمل برنامج الأمم المتحدة

للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (ولكنها أقل من عوامل الانبعاثات المستخدمة في بعض العمل المقدم في الحصر الذي قام به بيرون وآخرون (٢٠١٠). وتشير تقييمات بيرون وآخرين (٢٠١٠) وهايلاندر وهيربرت (٢٠٠٨) إلى أن مساهمة قطاع المعادن غير الحديدية على وجه الخصوص في الانبعاثات العالمية في الهواء قد تكون أكبر من تلك المقدمة في تقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨). وقد يكون هذا، في جزء منه، راجعاً إلى الانبعاثات المرتبطة بعمليات الصهر الصغيرة في بلدان مثل الصين.

٤٠ - وتصبح مقارنة قوائم الحصر معقدة أيضاً بسبب الاختلافات في القطاعات المشمولة. فعلى سبيل المثال، فإن تعدين الذهب على نطاق كبير ليس مصنفاً بشكل منفصل في قطاعات الانبعاثات الواردة في بيرون وآخرين (٢٠١٠)، ولكنها تشمل الانبعاثات من احتراق طبقة الفحم (٣٢ طناً) وإنتاج كلوريد الفينيل الأحادي (VCM) (٢٤ طناً)، وهما غير مدرجين في حصر برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (اعتُبر الأول غير بشري المنشأ وتم استبعاد الآخر بسبب عدم وجود معلومات وافية عن هذا المصدر).

٤١ - ويتضمن تقرير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨) وصفاً أكثر تفصيلاً لبعض المقارنات المعروضة أعلاه، ولكن كل هذه المقارنات تشير إلى الحاجة الأساسية إلى معلومات أفضل عن المعايير الأساسية مثل محتوى الفحم في الزئبق وعوامل الانبعاثات المناسبة (لمختلف التكنولوجيات التطبيقية، الخ) والبيانات الإحصائية عن استهلاك واستخدام الزئبق والأنشطة في مختلف البلدان، فضلاً عن تدابير التحكم المطبقة. وبالنسبة للبلدان التي تشير قوائم الحصر العالمية إلى وجود انبعاثات كبيرة للزئبق فيها، لا يزال هناك افتقار إلى بحوث وطنية مؤكدة أو بيانات إحصائية لدعم عملية التحقق من تقديرات الانبعاثات، مما يشكل عقبة في إزالة عدم اليقين المرتبط بتقديرات الانبعاثات، على الرغم من أن البحوث المقدمة مؤخراً إلى برنامج الأمم المتحدة للبيئة المتعلقة بقطاع المحطات التي تعمل بالفحم قد أظهرت تقدماً كبيراً (وزارة حماية البيئة في الصين، ٢٠١٠).

٤٢ - وتجري في القسم التالي مناقشة قدر كبير من العمل في إطار الدراسة الحالية بهدف الحصول على معلومات أفضل من هذا النوع، وغير ذلك من المعلومات ذات الصلة التي يمكن الحصول عليها من عدة بلدان.

٢-٣-٣ مقارنة بين قوائم الحصر في كل بلد على حدة

٤٣ - في السنوات الأخيرة أنتجت العديد من البلدان قوائم حصر وطنية لانبعاثات الزئبق في الهواء، وأتاحت هذه التقارير لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة للاستخدام في الدراسة الحالية. وتجري مناقشة بعض هذه التقارير أدناه، بما في ذلك مقارنة بياناتها مع تقديرات الانبعاثات التي قدمت في تقرير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨).

أستراليا

٤٤ - بالنسبة لأستراليا، قدر نيلسون وآخرون (Nelson et al, 2009) انبعاثات الزئبق البشرية المنشأ في الهواء بحوالي ١٥ طناً في عام ٢٠٠٦، وهي أقل من نصف الانبعاثات المقدرة في قائمة حصر برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم لعام ٢٠٠٥. ويعتبر إنتاج الذهب، الذي يسهم بحوالي ٧,٦ أطنان، سواء في الحصر الوطني أو العالمي، مساهماً رئيسياً في الانبعاثات الأسترالية البشرية المنشأ. ويعتبر احتراق الفحم في محطات توليد الطاقة ثاني أكبر مصدر في قوائم الحصر الوطنية، ويسهم بحوالي ٢,٣ طن، في حين أن قوائم الحصر في برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم تقدر أن الانبعاثات أقرب إلى ٨,٨ أطنان نتيجة لاستخدام محتوى مختلف للزئبق في الفحم؛ ولم يرد في قائمة حصر نيلسون وآخرين (٢٠٠٩) تحديد لاحتراق الفحم لأجل التدفئة السكنية. والمصادر الرئيسية الأخرى

في أستراليا هي إنتاج الألومينا من البوكسيت (١٠٩ طن) والتعدين والصهر في إنتاج الفلزات غير الحديدية (عدا صهر الذهب؛ ٠،٨٩ طن)، وهو، مرة أخرى، أقل من تقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم، وهو ٦ أطنان سنوياً لهذه القطاعات. أما تقديرات الانبعاثات من أنشطة مثل إنتاج فحم الكوك (٠،٥ طن) و صناعة الكلور القلوي (٠،٣٤ طن) والانبعاثات من إنتاج الإسمنت والجير (٠،٣١ طن) فهي قابلة للمقارنة مع تلك الموجودة في قائمة الحصر في برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم.

كندا

٤٥ - يشير التقرير الوطني الكندي إلى أن الانبعاثات من محطات توليد الطاقة التي تعمل بالفحم تبلغ ٢ من الأطنان وإنتاج الفلزات غير الحديدية ١،٤ طن، وإنتاج الإسمنت ٠،٣ طن، من أصل مجموع الانبعاثات التي تبلغ ما يقرب من ٧،١ أطنان في عام ٢٠٠٧. وهذه البيانات التي تستند إلى قائمة الحصر الوطنية للانبعاثات الملوثة (NPRI) لعام ٢٠٠٧ تماثل القيم التي تم الإبلاغ عنها في قائمة الحصر في برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم لعام ٢٠٠٥، التي استندت إلى حد كبير إلى بيانات ومجموع تقديرات الانبعاثات الكندية في قائمة الحصر الوطنية للانبعاثات الملوثة لعام ٢٠٠٥ وتقدر بـ ٨،٠ أطنان (٤،٠ - ١٢،٠) أطنان. وفي بيانات برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم قدرت الانبعاثات الناتجة عن حرق النفايات في عام ٢٠٠٥ بـ ٠،٨ طن على أساس نهج تدفق الكتلة، وذلك مقارنة بالقيمة المبلغ عنها وهي ١،١ طن في عام ٢٠٠٧. وتشير بيانات الحصر الوطنية إلى انخفاض طفيف للانبعاثات من محطات الطاقة التي تدار بالفحم وإنتاج الفلزات غير الحديدية، كما تشير إلى زيادة طفيفة في الانبعاثات من إنتاج الإسمنت بين عامي ٢٠٠٥ و ٢٠٠٧.

الصين

٤٦ - رغم عدم وجود تقديرات تفصيلية عن الانبعاثات الوطنية في الصين، فقد نشرت دراسات شتى ذات صلة في الآونة الأخيرة. وقد قدر وو (Wu) وآخرون (٢٠٠٦) الانبعاثات البشرية المصدر من الزئبق في الصين بـ ٦٩٦ طنًا في عام ٢٠٠٣، مع هامش من الشك يبلغ ± ٣٠٧ طن. ويمكن مقارنة ذلك بالتقدير البالغ ٧٩٤ طنًا (في نطاق ٤٧٧ - ١١١٣ طنًا) الوارد في تقرير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم. ويقدر لي وآخرون (Li et al (2010)) انبعاثات الزئبق من الإنتاج الأولي للزئبق في الصين بـ ٨٠،٧ - ١٠٤،٢ طنًا في السنة (للفترة ٢٠٠٢-٢٠٠٦). وقد تم تحديث تقرير ستريتس وآخرين (Streets et al (٢٠٠٩)) عن احتراق الفحم واستيفائه حتى عام ٢٠٠٥، مما أسفر عن تقديرات لانبعاثات الزئبق الناجمة عن احتراق الفحم في محطات توليد الكهرباء والصناعة بلغت حوالي ٢٩٥ طنًا في عام ٢٠٠٥. وفي دراسة لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة أعدتها جامعة تشينغها في بكين لوزارة حماية البيئة في الصين (MEPC, 2010، قيد الإصدار)، قدرت بصفة أولية انبعاثات الزئبق من احتراق الفحم في محطات توليد الطاقة التي تعمل بالفحم في عام ٢٠٠٥ بـ ١٠٨،٦ طن (هامش شك = ٦٥،٢ - ١٩٥،٤)، بينما كان تقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨) لهذا القطاع هو ١٩٥ (١٤٦-٢٤٣ طنًا) لعام ٢٠٠٥ أيضاً. ويقدر وو وآخرون (٢٠٠٦) الانبعاثات الناجمة عن احتراق الفحم في محطات توليد الكهرباء والصناعة (بمجمعة) بـ ٢٢٥ طنًا (وهو ما يماثل تقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم لهذا المجموع) كما أنها قدرت الانبعاثات من صهر المعادن غير الحديدية على نطاق واسع بـ ٢٩٠ طنًا (أعلى بكثير من تقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم وهو ٧٧ - ١٤٣ طنًا من صناعة الفلزات غير الحديدية (ويشمل ذلك إنتاج الذهب الواسع النطاق)، ومن إنتاج الإسمنت ٣٥ طنًا (أقل من تقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (في نطاق ٥٩-١١٠ طنًا)) وحرق النفايات المنزلية بما يقرب من ١٠ أطنان.

الهند

٤٧ - فيما يتصل بأنشطة شراكة أبحاث انتقال الزئبق في الهواء ومصيره (MATFR)، قُدرت انبعاثات الزئبق في الهواء من المصادر الصناعية في الهند بواسطة مخرجي وآخرين ((Mukherjee et al, (٢٠٠٩) لعامي ٢٠٠٠ و٢٠٠٤. ونظراً لندرة المعلومات الخاصة بالبلد، استندت التقديرات إلى عوامل الانبعاثات الخاصة بالاتحاد الأوروبي، وبالولايات المتحدة، وإلى الأدبيات والمعلومات المحدودة التي وردت من الهند. ووفقاً لهذه التقديرات، انخفضت الانبعاثات من ٣٢١ طناً في عام ٢٠٠٠ إلى ٢٥٣ طناً في عام ٢٠٠٤، وذلك بسبب خفض الانبعاثات بشدة من مصانع الكلور والقلويات، ويمكن مقارنة هذا مع تقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم وهو ١٨٠ (٢٥٢-١٠٨) طناً في عام ٢٠٠٥. والهند منتج كبير للفحم، وقد قدر مخرجي وآخرين (٢٠٠٩) أن أكبر مصدر لانبعاثات الزئبق في الهواء في الهند عام ٢٠٠٤ كان محطات توليد الطاقة التي تدار بالفحم، بكمية بلغت حوالي ١٢١ طناً. ويفسر الفرق بين هذا التقدير وتقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨) عن عام ٢٠٠٥ (٨٧-٥٢ طن) إلى حد كبير بأن تقرير مخرجي وآخرين قد استخدم قيمة أعلى للزئبق في الفحم (٠,٣٧٦ ملجم/كجم) من تلك المستخدمة في دراسة برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم. وقد قدرت كوماري ((Kumari (٢٠١٠) زيادة في انبعاثات الزئبق من محطات توليد الطاقة الحرارية الهندية من ٩٥ إلى ١١٢ طناً بين عامي ٢٠٠٦ و٢٠٠٨، مع هامش شك ما بين ٥٩ و٢٠٠ طن لعام ٢٠٠٨. ووفقاً لمخرجي وآخرين (٢٠٠٩)، أسهم إنتاج الفلزات غير الحديدية، حيث يتم استخدام تقنيات مختلفة للنحاس والرصاص والزنك، بمقدار ١٥,٥ طناً من الزئبق في الهواء في ٢٠٠٤ في الهند، وهي زيادة عن حوالي ٨ أطنان المقدرة لعام ٢٠٠٠. وقدرت كوماري (٢٠١٠) الانبعاثات من المصاهر غير الحديدية ما بين ٧,٦ و٢١,٧ طناً في عام ٢٠٠٧، أما تقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم لعام ٢٠٠٥ فهو من ٣ إلى ٥,٦ أطنان. وبالنسبة لصناعة الإسمنت في الهند، وهي وفقاً لمخرجي وآخرين (٢٠٠٩)، ثاني أكبر باعث للانبعاثات في العالم، يقدر ما تطلقه الهند منها بنحو ٤,٧ أطنان من الزئبق في عام ٢٠٠٤، وهو أقل من ٨-١٤,٨ طناً الوارد في تقرير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم. وتوجد في الهند بعض مصانع أسمنت بورتلاند الحديثة جداً والمتطورة. ويشير مخرجي وآخرين (٢٠٠٩) إلى أن استهلاك الطاقة في إنتاج الإسمنت مرتفع جداً، ولكن لم يُعرف ما إذا كان أي من المصانع يقوم باستخدام النفايات كوقود بديل. وبشكل عام يتم التخلص من النفايات البلدية الصلبة في الهند في مقالب القمامة، وذلك بالطمر والحرق في الهواء الطلق. أما النفايات الطبية فيتم حرقها في بعض المستشفيات، ولكن المعلومات ليست مكتملة.

جمهورية كوريا

٤٨ - أسفر حصر الانبعاثات في جمهورية كوريا لعام ٢٠٠٧ (كيم وآخرون ٢٠١٠) (Kim et al 2010) عن مجموع تقديري لانبعاثات الزئبق في الهواء مقداره ١٢,٨ طناً (المتوسط ما بين ٦,٥ إلى ٢٠,٢ طناً)، حيث نشأت ٥٤,٨ في المائة من المصادر الصناعية و ٤٥,٠ في المائة من مصادر الاحتراق الثابت و ٠,٢ في المائة من مصادر متحركة. وكانت مسببات الانبعاثات الرئيسية هي محطات توليد الطاقة الحرارية (٢٦ في المائة)، ومصافي النفط (٢٥ في المائة)، وقمائن الإسمنت (٢٠ في المائة)، وحرق النفايات (البلدية والصناعية والطبية وحمأة مياه المجاري (٢٠ في المائة). وكانت الانبعاثات من إنتاج الفلزات غير الحديدية طفيفة وأقل بكثير من تلك المدرجة في تقديرات برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج رصد وتقييم القطب الشمالي.

٤٩ - وعلى الرغم من أن تقديرات كيم وآخرين (٢٠١٠) كانت أقل من التقدير الذي يبلغ ٣٢،٣ طنناً (٤،١٩ - ٤٥،٢) لجمهورية كوريا في بيانات برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم، يلاحظ المؤلفون أن الانبعاثات قد انخفضت بجدّة من عام ٢٠٠٠ إلى عام ٢٠٠٧، وأن هذا الانخفاض ارتبط بإدخال تكنولوجيا التحكم؛ ولم تحدد دراستهم مقدار الانبعاثات من احتراق الفحم السكنى. وكان تقدير كيم وآخرين (٢٠١٠) لانبعاثات محطات الطاقة هو ١،١ - ٤،٥ من الأطنان، وهو نحو ثلث تقديرات برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم البالغ ٦،٧ - ١١،٣ طنناً، إلا أن تقديرات حرق النفايات (١،٨ طن) أعلى منها في تقديرات تقرير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٣،٠ طن).

٥٠ - وشملت دراسة كيم وآخرين (٢٠١٠) برنامج قياس واسع النطاق للانبعاثات من مصادر مختلفة في جمهورية كوريا، بما يتيح وضع عوامل انبعاثات خاصة بالبلد، وهو ما يزيد زيادة كبيرة في دقة الحصر الذي أورده كيم وآخرون (٢٠١٠). وكانت عوامل الانبعاثات التي تم التوصل إليها أقل بصفة عامة من تلك التي نشرت في الأدبيات. وتستخدم كوريا أجهزة كفاءة للتحكم في تلوث الهواء، وممارسات جيدة من ناحية الإدارة البيئية. ومن الممارسات المعمول بها في كوريا لوائح منظمة لمنتجات الزئبق ونفايات الزئبق والتحكم في مصادر الانبعاثات، فضلاً عن زيادة المنافع المشتركة بالتحكم في الزئبق في أجهزة التحكم في التلوث الموجودة واستعمال أنواع نظيفة من الوقود وإغلاق المرافق العالية التلوث والأقل كفاءة، ولوائح تنظيمية صارمة لتلوث الهواء، وزيادة الوعي بين أصحاب المنشآت والجمهور للحد من استخدام الزئبق في المنتجات (كيم وآخرون ٢٠١٠).

جنوب أفريقيا

٥١ - قدر ماسيكوامنج وآخرون (Masekoameng et al (2010)) انبعاثات الزئبق في الهواء من مصادر جنوب أفريقيا خلال الفترة الزمنية ٢٠٠٠ - ٢٠٠٦. وقُدّرت انبعاثات الزئبق في الهواء من كل نشاط باستخدام مزيج من المعلومات السنوية عن النشاط وعوامل الانبعاثات الخاصة بجنوب أفريقيا وعوامل الانبعاثات المستندة إلى مجموعة أدوات برنامج الأمم المتحدة للبيئة. وعموماً، كانت هناك زيادة مقدرة في مجموع انبعاثات الزئبق في الغلاف الجوي من حوالي ٣٤ طنناً في عام ٢٠٠٠ إلى ٥٠ طنناً في عام ٢٠٠٦. وكانت محطات توليد الكهرباء العاملة بالفحم أكبر مساهم في انبعاثات الزئبق بـ ٣٨،٩ طنناً يليها إنتاج الإسمنت بـ ٣،٩ من الأطنان في عام ٢٠٠٦. ويتفق هذا الحصر للانبعاثات في جنوب أفريقيا اتفاقاً وثيقاً مع بيانات برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم، سواء لمجموع الانبعاثات أو لكل القطاعات تقريباً.

٥٢ - وبالنسبة لمحطات الكهرباء العاملة بالفحم، استندت الحسابات إلى استهلاك الفحم بكل محطة على حدة ومحتوى الزئبق في الفحم، وكذلك أجهزة التحكم في الانبعاثات وكفاءتها المفترضة في الإزالة.

قوائم الحصر الوطنية استناداً إلى مجموعة أدوات برنامج الأمم المتحدة للبيئة

٥٣ - وضعت العديد من البلدان قوائم حصر لانبعاثات الزئبق، أو أنها في سبيل ذلك، باستخدام مجموعة أدوات برنامج الأمم المتحدة للبيئة (يونيب ٢٠٠٥، ويونيب ٢٠١٠). وقد قدمت جميع قوائم الحصر المشار إليها رسمياً إلى برنامج الأمم المتحدة للبيئة، وهي متاحة على موقع البرنامج على شبكة الإنترنت.

٥٤ - وتم إبلاغ تقديرات أمريكا الجنوبية والوسطى من شيلي وإكوادور والجمهورية الدومينيكية والمكسيك وبنما. وقدرت انبعاثات الزئبق البشرية المنشأ في الهواء في شيلي في حدود ١،٧ - ٩ أطنان سنوياً (حكومة شيلي، ٢٠٠٨)، وهذا

أقل من التقديرات البالغة ١٢،٦ طنناً في برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨). وقد أسفر حصر الانبعاثات في بنما، المستند أيضاً إلى مجموعة أدوات برنامج الأمم المتحدة للبيئة، عن تقديرات لانبعاثات الزئبق في الهواء من ٠،٢٤ - ٤،٨ أطنان سنوياً (السلطة الوطنية للبيئة، بنما، ٢٠٠٩)، بالمقارنة مع الانبعاثات المقدرة بـ ٠،٨ طن في برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم. وقدرت إكوادور انبعاثات الزئبق البشرية المنشأ من ٠،٩ - ١٦ طنناً في عام ٢٠٠٥ (وزارة البيئة، إكوادور، ٢٠٠٨)، بالمقارنة مع تقديرات برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم بـ ٦،٥ أطنان. وأبلغت المكسيك عن انبعاثات مقدارها ٥٠ طنناً في عام ٢٠٠٤، وكانت تقديرات برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨) عن المكسيك ١٤،٧ طنناً من جميع المصادر المدروسة. وأبلغت الجمهورية الدومينيكية عن أن انبعاثات الزئبق في الهواء بلغت ١،١ طن (وزارة الصحة والبيئة والموارد الطبيعية، ٢٠١٠) مقارنة بتقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم، وهو ٠،٦٥٤ طن.

٥٥ - وأنتجت العديد من البلدان الآسيوية تقديرات وطنية لانبعاثات الزئبق في الهواء باستخدام مجموعة أدوات برنامج الأمم المتحدة للبيئة على النحو التالي:

- كمبوديا: ٠،٨-١٤،٨ طنناً (على الرغم من أن الفصل بين الانبعاثات في الهواء والماء غير واضح في هذه الحالة)، مقارنة مع تقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨)، وهو ٢،٣ (١،٤ - ٣،٣ أطنان)؛

- باكستان: ٢،١-٥،٧ أطنان، مقارنة مع تقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨)، وهو ٥،٩ (٣،٥ - ٨،٣ أطنان)؛

- الفلبين: ٨٠،٧ طنناً (منها ٣٢ طنناً تعزى إلى إنتاج الطاقة الحرارية الجوفية و ٣٩،٥ طنناً لإنتاج الذهب)، بالمقارنة مع تقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨) بـ ١٤،٤ (٨،٦-٢٠،١ طنناً)؛

- الجمهورية العربية السورية ١،٣ - ٧،١ أطنان، بالمقارنة مع تقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨) وهو ٠،٧ (٠،٤ - ١،٠ طن)؛

- اليمن: ٠،٢-١،٨ طن، مقارنة مع تقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨)، وهو ٠،٤ (٠،٢-٠،٥) طن.

٥٦ - وفي أفريقيا، صدرت قوائم الحصر تأسيساً على مجموعة أدوات برنامج الأمم المتحدة للبيئة، عن:

- بوركينا فاسو: ٠،٥ طن، مقارنة مع تقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨)، وهو ٢،٤ (١،٢ - ٣،٦ أطنان)؛

- مدغشقر: ١٥ طنناً (تتصل إلى حد كبير بالتخلص من النفايات)، بالمقارنة مع تقدير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨)، وهو ٠،٩ (٠،٤-١،٣) طن.

٥٧ - وتجدر الإشارة إلى أن عدداً من قوائم الحصر الوطنية هذه لا تزال أولية، والمقارنة المباشرة مع مجموع تقديرات الانبعاثات في تقرير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨) قد لا تكون دائماً ملائمة

بسبب المصادر التي تشملها (مثل إنتاج الطاقة الحرارية الجوفية في حالة الفلبين، والتي لا يتناولها برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨). وبالمثل، فإن الانبعاثات من مصادر أخرى لاحتراق الفحم غير محطات توليد الطاقة (على سبيل المثال، استخدام الفحم لأغراض التدفئة المنزلية والطهو) ليست محسوبة كمياً في قوائم حصر وطنية كثيرة، وهي عرضة لشكوك كبيرة في جميع قوائم الحصر التي تتضمنها.

٥٨ - ولا تزال قوائم الحصر الوطنية من معظم البلدان، بما في ذلك بلدان الانبعاثات الرئيسية، غائبة أو غير مكتملة. وفي غياب هذه القوائم تصبح الحسابات القائمة على أساس البيانات الإحصائية المتاحة (المجمعة على الصعيد العالمي) وعوامل الانبعاثات والافتراضات المتعلقة بالتكنولوجيا والممارسات، هي السبيل الوحيد لاستخراج تقديرات كمية للانبعاثات العالمية. وترتبط هذه الحسابات مع شيء من عدم اليقين يبلغ في تقديرات برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨) ٢٥ في المائة للاحتراق الثابت للوقود الأحفوري و ٣٠ في المائة لقطاعات إنتاج الفلزات غير الحديدية والحديد والصلب والإسمنت. وبالنسبة للتخلص من النفايات يبلغ عدم اليقين درجة أعلى بكثير، قد تصل إلى معامل ٥. وبالنسبة للزئبق وإنتاج الذهب، لم يعط تقدير لعدم اليقين؛ ويرجع ذلك أساساً إلى الدرجة العالية لعدم اليقين في تقدير الانبعاثات الناجمة عن إنتاج الذهب الحرفي. وقد تراوح عدم اليقين في تقديرات الانبعاثات الإجمالية لمناطق مختلفة أيضاً بين ٢٧ و ٣٠ في المائة بالنسبة لأمريكا الشمالية وأوروبا وأستراليا، وبين ٤٠ و ٥٠ في المائة بالنسبة لبقية العالم. ولم يحدث أي مراجعة لهذه الحالات من عدم اليقين في هذه الدراسة ولكن الإتاحة المرتفعة لقوائم حصر الانبعاثات الوطنية (كما ذكر في هذا القسم) توفر معلومات قيّمة من شأنها أن تسمح بإعداد قوائم حصر للانبعاثات بدقة عالية في المستقبل. وبالإضافة إلى حالات عدم اليقين فيما يتصل باستخدام البيانات الإحصائية العالمية وعوامل الانبعاثات، يلاحظ أيضاً أن الانبعاثات قد تكون تغيرت منذ سنة الأساس ٢٠٠٥ المستخدمة في تقرير برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨). وربما يكون الاستخدام الزائد للطاقة والإنتاج الصناعي قد زادا من انبعاثات الزئبق في بعض المناطق، في حين أن تدابير الحد من الانبعاثات الملوثة للهواء أو اتخاذ تدابير محددة لخفض انبعاثات الزئبق ربما أدت إلى تخفيض انبعاثات الزئبق في قطاعات ومناطق أخرى. ومن الأمثلة على ذلك حالة الصين، حيث تفيد المعلومات المقدمة من الصين لهذه الدراسة أن انبعاثات الزئبق من محطات الطاقة التي تعمل بالفحم انخفضت بمقدار ٣٥ طناً بين عامي ٢٠٠٥ و ٢٠٠٨، بشكل رئيسي نتيجة لتحسين كفاءة الطاقة في هذا القطاع واتخاذ تدابير خفض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكبريت.

٤ - التحكم في الانبعاثات، والكفاءة والتكاليف

٥٩ - الغرض من هذا القسم هو تقديم عرض عام للتكنولوجيات المتاحة لخفض انبعاثات الزئبق في قطاعات مختارة وما يرتبط بها من كفاءات وتكاليف، والتحكم المشترك في انبعاثات الزئبق وملوثات الهواء، فضلاً عن مناقشة عامة قصيرة وأمثلة لمتطلبات حسابات التكلفة.

٤-١ - التحكم في الانبعاثات الأولية

٦٠ - يدخل الزئبق في عملية الاحتراق أو في العمليات الصناعية التي تجري في درجة حرارة عالية، المشمولة في هذه الدراسة، بصفته مكوناً ثانوياً للوقود، أو في المواد الخام المستخدمة في العملية، أو في النفايات (في الاحتراق)؛ وينبعث نتيجة لذلك جزء متغير من هذا الزئبق في الهواء بعد الاحتراق. وفي حين أن الطريقة الأكثر عملية لخفض انبعاثات الزئبق قد تكون من خلال أجهزة التحكم في العادم، فإنه يمكن في العديد من الحالات أن تلعب خطوات أخرى دوراً هاماً. وأحد تدابير التحكم الأولية هو تقليل كمية الزئبق في الوقود والمواد الخام أو النفايات قبل حدوث الاحتراق. وثمة نهج عام آخر لخفض الانبعاثات وهو زيادة كفاءة التشغيل مما يقلل من كمية الوقود أو المواد الخام المستخدمة، وبالتالي من الانبعاثات الناتجة من الزئبق وغيره من الملوثات.

٦١ - وهناك عدد من التدابير الأعم التي يمكن اعتبارها من أفضل الممارسات العامة التي يمكن أن تكون فعالة في خفض انبعاثات الزئبق من جميع الأنواع، بتكلفة منخفضة عموماً، لا سيما بالمقارنة مع التكاليف الإجمالية لإنشاء وتشغيل مصنع أو محطة توليد للطاقة (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، ٢٠٠٦ و ٢٠١٠، قيد الإصدار):

- *التدريب والتعليم وتحفيز الموظفين والمشغلين:* إن من يشرف على العمليات الصناعية هم الناس. لذلك، فإن توفير التدريب المناسب والمركّز للعاملين يمكن أن يكون وسيلة فعالة جداً من حيث التكلفة لخفض انبعاثات المواد الضارة؛
- *تعظيم عملية التحكم:* تتطلب القدرة على خفض مختلف الملوثات في نفس الوقت والحفاظ على انبعاثات منخفضة اهتماماً صارماً بعملية التحكم؛
- *الصيانة المنتظمة:* يجب ضمان وجود صيانة كافية ودورية للحفاظ على كفاءة الوحدات التقنية للعمليات الصناعية، وعلى استمرارية تشغيل نظم خفض التلوث المرتبطة بها لتعمل على مستوى عالٍ؛
- *الوعي التشغيلي بأهمية الإدارة البيئية:* يعتبر نظام الإدارة البيئية الذي يحدد بوضوح المسؤوليات عن العمليات ذات الصلة بالبيئة من الأدوات الضرورية للإدارة المسؤولة، فهو يذكى الوعي، وتدخل فيه الأهداف والتدابير العملية وتعليمات العمليات والمهام وقوائم الفحص والتوثيق، حسب الاقتضاء.

٦٢ - وللتحكم في انبعاثات الزئبق في غازات المداخن بعد عملية الاحتراق، يمكن اتخاذ عدد من النهج التقنية المختلفة. وفي كثير من الحالات تتحقق سيطرة مشتركة على الزئبق وغيره من انبعاثات ملوثات الهواء عند استخدام تكنولوجيات التحكم في الانبعاثات في الهواء. ولأجل التحكم الإضافي في انبعاثات الزئبق في الهواء تم تطوير تكنولوجيات محددة للتحكم تقوم في الغالب على إضافة مواد ماصة، مثل الكربون المنشط (المعالج كيميائياً أو بطريقة غير كيميائية) لاصطياد الزئبق.

٦٣ - وبالنسبة للقطاعات المختارة في هذه الدراسة، فإن العديد من تكنولوجيات التحكم المشتركة القابلة للتطبيق والمخصصة للزئبق متماثلة، وبالتالي فإنها لا تقدم هنا بشكل منفصل لكل قطاع. ومع ذلك، فإنه بسبب الاختلافات بين القطاعات وفي داخل كل قطاع، تناقش الفروع ٥-١ إلى ٥-٤ معلومات خاصة بقطاعات معينة.

٤-٢ - التحكم المشترك في الزئبق وملوثات الهواء

٦٤ - تمتلك مصانع الاحتراق والعمليات الصناعية الحديثة والعديد من المصانع التي تم تحديثها مجموعة متنوعة من معدات التحكم في التلوث (الجدول ٣). وبالنسبة للعديد من تكنولوجيات خفض الملوثات، فإن الهدف الرئيسي لها هو نوع واحد من ملوثات الهواء، ولكن نفس التكنولوجيا قد تسهم أيضاً في إزالة ملوثات أخرى من غازات المداخن. فعلى سبيل المثال يؤدي المرشح النسيجي وظيفته ثانوية هي التحكم في الغاز الحمضي، والأمر كذلك بالنسبة للغسيل الرطب في التحكم في الجسيمات. وهناك حاجة في كثير من الأحيان إلى نظم تحكم مختلفة تعمل معاً لتحقيق التحكم المرغوب في ملوثات عديدة. وعموماً فإن معدات التحكم في التلوث التي يتم نصبها هي تلك التي تهدف إلى خفض انبعاثات الملوثات مثل الجسيمات (المواد الجسيمية) وثاني أكسيد الكبريت، وأكاسيد النيتروجين، وقد تؤثر أيضاً بدرجات متفاوتة على انبعاثات الزئبق. وللوصول إلى تخفيضات في الزئبق تتجاوز المستويات التي تتحقق بالفعل كاستفادة مشتركة من تكنولوجيات خفض ملوثات الهواء الأكثر شيوعاً، هناك حاجة إلى تدابير إضافية لخفض الزئبق على وجه التحديد.

الجدول ٣: بعض التكنولوجيات الشائعة للتحكم في ملوثات الهواء (مأخوذة بشكل عام من دليل حصر انبعاثات ملوثات الهواء (EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook, 2007)).

الوصف	تكنولوجيات التحكم في تلوث الهواء
تتكون من مادة شبه مسامية في شكل أكياس أو أكمام تحتجز الجسيمات، تركب على غرفة محكمة (الكيسية)، وهي مقسمة إلى عدد من الأقسام. وتستخدم المرشحات النسيجية كمرحلة ثانية في نظم التحكم في الغاز الحمضي (مثل التحكم في غاز ثاني أكسيد الكبريت).	المرشحات النسيجية (FF)
المرسبات التي تستخدم مبدأ الجذب الكهروستاتيكي لإزالة الجسيمات الناتجة من غازات المداخن. وهي تتألف من صفوف من أقطاب التفريغ الكهربائية (الإلكتروودات) (أسلاك أو قضبان معدنية رقيقة)، يتم من خلالها استخدام الجهد العالي، وتمتد بين مجموعة من صفوف متوازية من لوحات معدنية تجمع الجسيمات المشحونة.	المرسبات الكهروستاتيكية (ESP)
تقوم بإزالة الغازات الحمضية (مثل: حمض الهيدروكلوريك، وحمض الهيدروفلوريك، وثاني أكسيد الكبريت) وذلك بغسل غازات المداخن في برج تفاعل مصمم لتوفير ملامسة عالية بين الغاز والسائل. في المرحلة الأولى يتم تبريد الغازات عن طريق الرش بالمياه، وإزالة حمض الهيدروكلوريك وحمض الهيدروفلوريك وبعض الجسيمات وبعض المعادن الثقيلة. وفي المرحلة الثانية يستخدم هيدروكسيد الكالسيوم أو مادة قلوية أخرى مناسبة لإزالة ثاني أكسيد الكبريت وحمض الهيدروكلوريك المتبقي. وبالغسل الرطب بالحجر الجيري تبلغ كفاءة خفض غاز ثاني أكسيد الكبريت أكثر من ٩٠ في المائة. وفي بعض الأحيان يُستخدم الغسل الرطب بهدف رئيسي هو إزالة الجسيمات. وتستخدم أغلب أنظمة إزالة تركيز الكبريت من غاز المداخن في جميع أنحاء العالم أجهزة الغسل الرطب بالحجر الجيري.	أجهزة الغسل الرطب
تستخدم مادة طينية قلوية كاشفة (عادة هيدروكسيد الكالسيوم) تستعمل كراداز من القطرات الدقيقة. ويتم امتصاص الغازات الحمضية (مثل غاز ثاني أكسيد الكبريت) في المرحلة المائية على سطح هذه القطرات وتثبيد؛ ويجفف الطين بحرارة مداخل الغاز لتشكيل منتج جاف يتجمع في المرسب الكهروستاتيكي أو المرشح النسيجي. وتصل كفاءة خفض ثاني أكسيد الكبريت إلى أكثر من ٩٠ في المائة.	أجهزة الغسل شبه الحاف/أجهزة امتصاص الرذاذ/التحفيف بالرش

أجهزة الحقن الجاف	تتضمن حقن كاشف قلوي (مثل هيدروكسيد الصوديوم أو بيكربونات الكالسيوم) على شكل مسحوق دقيق وجاف لإزالة وتحييد الغازات الحمضية. وعادة ما يُجمع المنتج الذي يتم تحييده في مرشح نسيجي.
الاختزال الانتقائي غير الحفزي (SNCR) والاختزال الانتقائي الحفزي (SCR).	يهدف إلى خفض أكاسيد النيتروجين في غازات المداخن. في الاختزال الانتقائي غير الحفزي يتم حقن الأمونيا أو اليوريا بالقرب من الفرن. ويستند الاختزال الانتقائي الحفزي إلى التفاعلات الانتقائية مع المواد المضافة المحقونة في وجود عامل حفاز. والمواد المضافة المستخدمة هي في الغالب الأمونيا (الغازية وفي محلول) واليوريا أيضاً. ويمكن أن يكون خفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين بنظام الاختزال غير الحفزي محدوداً (يصل إلى ٥٠ في المائة) ولكنه يصير ما بين ٧٠ و٩٥ في المائة بالنظام الحفزي.
الامتزاز باستخدام الكربون المنشط/فحم الكوك الليغيت المنشط	تم تطوير عدة تقنيات مختلفة للتحكم في الزئبق والمركبات العضوية المتطايرة والديوكسين. ويمكن لهذه الأنظمة أيضاً أن تكون فعالة إلى حد ما في إزالة حمض الهيدروكلوريك وغاز ثاني أكسيد الكبريت.

٦٥ - وتهدف المرشحات النسيجية وأجهزة الترسيب الكهروستاتيكية، في المقام الأول، إلى خفض المادة الجسيمية من غازات المداخن، ولكن يمكنها أيضاً إلى حد ما خفض انبعاثات الزئبق في الغلاف الجوي بإزالة الزئبق الممتز في الجسيمات. وتعتمد كفاءة إزالة الزئبق على قدرة المرشحات على التخلص من الجزيئات الصغيرة الحجم التي قد يُمتز الزئبق عليها وعلى وجود المكونات في تيار غاز المداخن التي قد تكون التُقطت على المرشحات وتكون بمثابة مواقع لامتزاز الزئبق.

٦٦ - والأنظمة المصممة لإزالة غاز ثاني أكسيد الكبريت (وغيره من الغازات الحمضية) من غازات المداخن، والتي تسمى أيضاً باسم أجهزة إزالة غازات الكبريت من المداخن، هي أجهزة الغسل الرطب وأجهزة الغسل شبه الجاف وأجهزة الامتصاص بالرش والحقن الجاف. وتستند جميعها إلى تفاعل غاز ثاني أكسيد الكبريت مع وسيط قلوي مضاف كمادة صلبة أو معلق أو محلول في الماء لتكوين أملاح تلك المواد. وقد تقلل عمليات إزالة الكبريت من غازات المداخن أيضاً من انبعاثات المادة الجسيمية، وانبعاثات الزئبق وانبعاثات معادن أخرى. وتوجد أجهزة رطبة أخرى مصممة بصفة أساسية لإزالة الجسيمات، ولكنها تقلل أيضاً من انبعاثات الغازات القابلة للذوبان في الماء مثل غاز ثاني أكسيد الكبريت.

٦٧ - ويهدف الاختزال الانتقائي غير الحفزي والاختزال الانتقائي الحفزي إلى خفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين، وقد يكون لهما تأثير إيجابي على إزالة الزئبق عن طريق تعزيز أكسدة الزئبق الأولي إلى أشكال ثنائية التكافؤ.

٦٨ - ويتحدد التحكم المشترك في انبعاثات الزئبق من مصادر الاحتراق أساساً بقدرة النظام المركب للتحكم في تلوث الهواء (المرشحات أو أجهزة غسل الغاز) على امتزاز الزئبق من الطور الغازي إلى الطور الصلب أو الطور السائل، ويمكن عندئذ فصله عن تدفق الغاز. وينطلق الزئبق من احتراق الفحم في صورة مؤكسدة (Hg^{2+}) أو أولية (Hg^0) أو جسيمية زئبقية (Hg^p). ويوجد الزئبق في الفحم بكميات ضئيلة تطلقها عملية الاحتراق في غاز العادم كزئبق أولي، وعندئذ قد يتأكسد عندما يبرد غاز المداخن. ويتم امتصاص هذه الأنواع المؤكسدة بسهولة في المواد السائلة والصلبة، وبالتالي يمكن إزالته بكفاءة أكثر من غاز المداخن. ويعرف الزئبق الذي يتم امتزازه على السطوح الصلبة باسم طفرة الزئبق الجسيمية. ويعتمد تشكيل الأنواع المؤكسدة على درجة الحرارة، ولكنه يعتمد أيضاً على تكوين غاز المداخن، الذي يعتمد بدوره على ظروف الاحتراق وتكوين الوقود ووجود المضافات الخ. ويعد وجود الكلور في الفحم مثلاً لأحد العلامات المهمة، ذلك أن التركيزات العالية من الكلور في الفحم تنتج عادة تركيزاً أعلى من أنواع الكلور في غازات المداخن وأكسدة أكثر كفاءة للزئبق الأولى إلى شكل ثنائي التكافؤ. ويتم في أي حالة تحديد انتواع الزئبق بواسطة عدد من العلامات التي يمكن أيضاً أن تكون متغيرة جداً. ويكون الزئبق المؤكسد أكثر انتشاراً في غازات المداخن من احتراق الفحم البيتوميني، ومن السهل نسبياً

التقاطه باستخدام أجهزة التحكم في غاز ثاني أكسيد الكبريت، مثل أجهزة الغسل الرطب بالحجر الجيري. ومن السهل نسبياً التقاط الزئبق الجسيمى أيضاً في أجهزة التحكم الجسيمى الموجودة. ومن الصعب التقاط الزئبق الأولي، الأكثر انتشاراً في غازات المداخن الناتجة عن احتراق الفحم الليغنيت وشبه البيتوميني، بواسطة الأجهزة الموجودة للتحكم في التلوث.

٦٩ - ويمكن الاطلاع على مزيد من المعلومات عن التقنيات ذات الصلة بالقطاعات المختارة، في أعمال المكتب الأوروبي الخاصة بالمنع والمراقبة المتكاملين للتلوث (IPPC) (وثائق مرجعية لأفضل التقنيات المتاحة (BREF)، على الموقع: <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/> وفي أعمال الوكالة الأمريكية لحماية البيئة على الموقع <http://www.eippcb.jrc.es/reference>، وفي مركز تكنولوجيا الهواء النظيف على الموقع <http://www.epa.gov/ttn/catc/>.

٤-٣ - الجمع بين تقنيات تحكم مختلفة لتعظيم التحكم في الزئبق

٧٠ - يمكن تحقيق التحكم في انبعاثات الزئبق من مصادر الاحتراق باستخدام عدد من التدابير المختلفة أو مزيج من تدابير التحكم. ويوجد في الفرع ٤-٢ وصف لتكنولوجيات التحكم في تلوث الهواء (التي تستهدف في المقام الأول ملوثات أخرى ولكنها تقلل أيضاً من انبعاثات الزئبق إلى حد ما)، كما يوجد في الفصل الخامس وصف لأمثلة من الأجهزة المتاحة المخصصة للتحكم في الزئبق، في سياق الأقسام الفرعية ذات الصلة بكل قطاع. كذلك ينبغي النظر لدى وضع استراتيجيات للتحكم في الزئبق في توليفات تجمع بين تكنولوجيات التحكم في تلوث الهواء والتكنولوجيات المخصصة للتحكم في الزئبق. وبطبيعة الحال يعتمد اختيار أجهزة التحكم في تلوث الهواء أيضاً على أولويات أخرى، مثل الحد من انبعاثات المواد الجسيمية أو ثاني أكسيد الكبريت، وبالتالي فمن الصعب اقتراح مزيج من تقنيات التحكم المختلفة التي عادةً ما تكون قابلة للاستخدام للتحكم الأمثل في انبعاثات الزئبق من دون معرفة بالوضع القائم للتحكم الأوسع نطاقاً في تلوث الهواء. والمعايير الأخرى التي تؤثر على اختيار بدائل التحكم المحتملة هي المواصفات التكنولوجية لمصدر الانبعاثات وخصائص غازات المداخن (على سبيل المثال: المكونات الأخرى وأنواع الزئبق).

٧١ - وتأتي معظم المعلومات عن القطاعات الأربعة المختارة في هذه الدراسة حتى الآن من المعلومات المتوفرة عن التحكم في الزئبق في محطات توليد الطاقة التي تعمل بالفحم، وهي تقوم أساساً على البحوث التي أجريت في الولايات المتحدة الأمريكية (أنظر الفرع ٥-١). وبالنسبة لهذا القطاع، وبموجب الظروف ذات الصلة بمحطات الطاقة التي جرت دراستها في الولايات المتحدة، يمكن أن يتحقق خفض مهم في انبعاثات الزئبق باستخدام حقن الكربون المنشط، ربما مع استكماله بأجهزة إضافية لإزالة الجسيمات مثل المرشحات النسيجية. وعلى سبيل المثال، فإن حقن الكربون المنشط يقلل الزئبق بالفعل بنسبة ٩٠ في المائة في ما يقرب من ٣٠ من المراحل في الولايات المتحدة (GAO, 2009; NESCAUM, 2010).^(٤) ويمكن أن لا يكون الكربون المنشط معالجاً، أو قد يكون معالجاً كيميائياً، لا سيما باستعمال الهالوجينات مثل البروم أو الكلور، كما يحدث مؤخراً. وتزيد المعالجة الكيميائية من نسبة الزئبق المؤكسد (Hg^{2+}) في غازات المداخن مما يؤدي إلى تحسينات في أداء أنظمة إزالة غازات الكبريت من المداخن وأداء المرشحات الكهروستاتيكية لإزالة الزئبق. (Weem, 2010) ويصدق هذا بصفة خاصة على أنواع الفحم الليغنيت وشبه البيتوميني منخفضي الدرجة. ويتواصل تطوير واختبار حقن الكربون المنشط المعالج كيميائياً، وهو الآن متوفر تجارياً أيضاً في الولايات المتحدة.

(٤) تضم قائمة معهد شركات الهواء النظيف ١٥٥ من وسائل التحكم التي تعمل بحقن الكربون المنشط تم تطبيقها في الولايات المتحدة وكندا حتى حزيران/يونيه ٢٠١٠، وكثير منها يستخدم بالفعل http://www.icac.com/files/members/Commercial_Hg_Bookings_060410.pdf.

٧٢ - ويستخدم حقن الكربون المنشط أساساً في محطات توليد الكهرباء مع المعدات القائمة للتحكم في تلوث الهواء (مثل أجهزة الترسيب الكهروستاتيكي، وإزالة الكبريت، والتحكم في أكاسيد النيتروجين). وقد تكون هناك حاجة إلى مزيد من الفحص والدراسة لكفاءة حقن الكربون المنشط في محطات الكهرباء التي تعمل بطاقة احتراق الفحم المجهزة بمرسبات كهروستاتيكية فقط على سبيل المثال. وفي حين أن أجهزة حقن الكربون المنشط وغيرها من أجهزة التحكم المباشر في الزئبق يمكنها أن تعمل بشكل جيد جنباً إلى جنب مع غيرها من أجهزة التحكم في تلوث الهواء، فليس من المطلوب بالضرورة استعمال أجهزة متقدمة لضبط الانبعاثات لتحسين التحكم في الزئبق. ومع ذلك، ولما كان المستهدف من أجهزة التحكم في الزئبق بصفة خاصة هو زيادة كمية الزئبق المتر إلى جسيمات، فإن أجهزة التحكم في انبعاثات الجسيمات (مثل المرسبات الكهروستاتيكية والمرشحات النسيجية) تصبح متطلباً أساسياً. وهكذا فإن من الضروري، لوضع توقعات مستقبلية وطنية لانبعاثات الزئبق واستراتيجيات وطنية للحد من الانبعاثات، تقييم كل من الوضع التقني الحالي والمخطط له للتحكم في انبعاث ملوثات الهواء كخطوة أولى. أما في المناطق التي لا يوجد فيها سوى أجهزة التحكم في انبعاثات الجسيمات في الهواء ولا يوجد تخطيط لمعدات تحكم إضافية في ملوثات الهواء، فيمكن النظر في الاستخدام المباشر لمواد ماصة أو مؤكسدة. وقد يحتاج الأمر إلى النظر في تدابير ما قبل الاحتراق مثل غسيل الفحم أو مزج الوقود (مع وقود أقل في المحتوى من الزئبق).

٤ - ٤ - التكلفة والكفاءة في التحكم في الزئبق

٧٣ - يتطلب تقدير تكاليف التحكم في انبعاثات الزئبق معرفة الوضع الحالي لمصادر الانبعاثات، بما في ذلك المواصفات التكنولوجية للتحكم في تلوث الهواء، الحالية والمخطط لها. فإذا كانت الضوابط قد تم تطبيقها أو جار تطبيقها لغرض التحكم في الملوثات غير الزئبقية (على سبيل المثال، المواد الجسيمية وأكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين) للوفاء بمعايير ذات صلة بتلوث الهواء، تُعتبر تكلفة خفض الانبعاثات الناتجة من الزئبق صفرًا. أما التكلفة الحقيقية للتحكم في الزئبق فهي فقط تكلفة التدابير التي تتخذ لخفض انبعاثات الزئبق بالتحديد. وينبغي تقييم جميع المعلومات المتعلقة بالتكاليف المقدمة في هذا التقرير في هذا السياق. وأخيراً، فإن تكاليف مكافحة الزئبق تعتمد أيضاً، بالطبع، على مستوى التحكم في الزئبق الذي يتم تحقيقه.

٧٤ - وفي الفروع التالية المخصصة لقطاعات محددة، ترد معلومات عامة عن تكاليف التحكم في الزئبق تقوم في الأساس على دراسات في أوروبا وأمريكا الشمالية.

٧٥ - وغالباً ما تكون تكاليف التعديلات اللازمة لتحديث تكنولوجيات التحكم في الملوثات في مصنع قائم أعلى من تكاليف إدخال تدابير ماثلة في تصميم مصنع جديد. ويرجع هذا إلى عوامل مثل انخفاض كفاءة المحطات القديمة، والمتطلبات الخاصة بمكان وتصميم التدابير الجديدة، وخسارة الإيرادات في فترة التركيب وفترة انخفاض الإنتاج التي تليها. كذلك قد تكون نفقات الاستثمار السنوي أعلى، بالنظر إلى أن العمر التشغيلي للمصنع بعد إعادة تجهيزه قد يكون أقصر من العمر المتوقع للمصنع الجديد، مما يعني سنوات أقل مقابل نفس التكاليف الاستثمارية. والمفترض عموماً هو أن تكاليف التعديل التحديثي للتكنولوجيات الأكثر تكلفة مثل إزالة الكبريت من غاز المداخن، والاختزال الحفزي الانتقائي، تضيف ٣٠ في المائة إلى التكاليف السنوية لرأس المال، في حين أن تكاليف تهيئة تكنولوجيات التحكم في الجسيمات منذ البداية تكون أقل من ذلك بكثير.

٧٦ - وترد بيانات عن خفض انبعاثات الزئبق الناجم عن توليفات مختلفة من منشآت التحكم في الجدول ٤ والجدول ٥ وفي الفصول التالية عن كل قطاع من القطاعات الأربعة المشمولة في هذه الدراسة. ويظهر في بعض الجداول رقم واحد

لكفاءة الإزالة لكل توليفة من التكنولوجيات كأفضل تقدير عام لكفاءة الخفض، وإن كان الواقع يشير إلى ضرورة النظر إلى كفاءة الإزالة باعتبارها نطاقاً، لأن الإزالة في أي محطة معينة تعتمد على العديد من العوامل، مثل نوعية الفحم وظروف الاحتراق، الخ.

٧٧ - ومن المهم أيضاً أن نلاحظ أن فعالية أجهزة التحكم في الزئبق في هذا التقرير مُعبر عنها كنسبة مئوية لخفض انبعاثات الزئبق، وإن كان إجمالي الانبعاثات الناتجة عن مرفق معين يتوقف على عوامل إضافية مثل حجم النشاط الإجمالي ومستوى الزئبق في المدخلات أو مواد التغذية (مثل الفحم والحامات والنفايات).

٧٨ - وتعكس تكلفة الاستثمار (رأس المال) في العادة تكلفة شراء المعدات والبنية التحتية اللازمة لها والأدوات وأجهزة التحكم. وتشمل بالإضافة إلى ذلك الشحن والتركيب والضرائب، فضلاً عن الأتعاب الهندسية.

٧٩ - وتشمل تكاليف التشغيل والصيانة تكاليف العمالة، والطاقة، والصيانة، والاستبدال الدوري للعناصر، وتكاليف التحكم، فضلاً عن التكلفة المتغيرة لمدخلات المواد المستعملة للامتزاز. ويمكن التعويض عن هذا جزئياً عن طريق بيع منتجات ثانوية معينة من عمليات خفض التلوث، مثل الحجر الجيري والجبس من أجهزة الغسيل الرطب. وعادة ما تكون بعض تكاليف التشغيل والصيانة، مثل تكاليف العمالة والطاقة، محددة بظروف كل بلد، ويمكن، إلى حد ما، أن تختلف من بلد إلى آخر. وتستند التكاليف في هذا التقرير أساساً إلى التكاليف الواردة في تقارير الولايات المتحدة أو أوروبا، ويمكن أن تحسب التكاليف الخاصة بكل بلد بدقة أكبر من خلال التعديل حسب الناتج المحلي الإجمالي للفرد ومكافئ القوة الشرائية. ومع ذلك فإنه بالنسبة لتكنولوجيات الإزالة الخاصة بالزئبق، لا تمثل هذه التكاليف سوى جزء صغير من التكاليف الكلية للتشغيل والصيانة، وقد لا يكون مثل هذا التعديل ضرورياً. وفي بعض الحالات، تكون تكاليف المراقبة الإلزامية للانبعاثات مشمولة في تكاليف التشغيل والصيانة.

٨٠ - ويفيد تقرير وكالة حماية البيئة الأميركية (٢٠٠٥) أن نطاق عدم اليقين في بيانات التكلفة هو في حدود - ٣٠ إلى + ٨٠ في المائة. والمعتاد أنه بمرور الوقت تقل تكاليف التكنولوجيات عما كانت عليه في المرحلة المبكرة للتنفيذ. كذلك تكون التكاليف مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالموقع، لذلك تُعرض في العادة كتكاليف استرشادية مجمعة من مجموعة من التقارير عن تكاليف مصانع بأحجام مختلفة، وهو ما يجعل الاستقراء بالنسبة لمصانع أخرى أقل يقيناً.

٨١ - واستناداً إلى تقييم لتكاليف التحكم تم إجراؤه في المشروع البحثي الأوروبي ESPREME، تم وضع قاعدة بيانات عن تكاليف^(٥) وكفاءة خيارات مختلفة للتحكم. وتُعرض في الجداول ٤ و ٥ و ٦ التكاليف المحسوبة سنوياً لمزيج من التكنولوجيات المختارة لخفض الملوثات بالنسبة لكل نشاط، وفعاليتها في خفض انبعاثات الزئبق في قطاعات إحراق الفحم والفولاذ غير الحديدية والإسمنت وحرق النفايات كما نشرت في تقرير باسينا وآخرين (٢٠١٠). ويرد في الفصل الخامس من هذا التقرير مناقشة لخيارات تحكم إضافية.

(٥) وُضعت تقديرات التكاليف الاستثمارية/الرأسمالية على أساس عمر افتراضي للتكنولوجيا مدته ١٥ سنة، مع سعر خصم ٤ في

الجدول ٤ - مثال لتكاليف التحكم في الانبعاثات وكفاءة عمليات الإزالة في احتراق الفحم (من باسينا وآخرين، ٢٠١٠).

التكاليف السنوية (بالدولار/ميغاواط ساعة (كهرباء) بأسعار ٢٠٠٨ ^(ب))			الحفض التقديري للزئبق (في المائة)	تكنولوجيا التحكم في الانبعاثات
التكاليف الإجمالية ^(١)	تكاليف التشغيل والصيانة	التكاليف الاستثمارية		
١٤٤	٠٠٩	٠٠٥	٦٣<	المرسب الكهروستاتيكي الجاف ESP
١٤٩	١٤٥	٠٠٥	٩٣<	المرشح النسيجي (FF)
٥٠٧	٣٤٠	٢٤٧	٩٨<	المرشح النسيجي + الغسيل الرطب أو الجاف + حقن مواد ماصة
٥٠١	٢٤٤	٢٤٧	٩٨<	المرسب الكهروستاتيكي الجاف + الغسيل الرطب أو الجاف + حقن مواد ماصة

- أ - يمكن توقع تكاليف التشغيل السنوية بـ ٢٠ دولار/ميغاواط ساعة للتكنولوجيات الناشئة مثل الأكسدة الكهربائية الحفازة أو دورة التغير المتكاملة.
- ب - تبلغ دقة تقديرات التكاليف في الجدول ± ٥٠ في المائة.

الجدول ٥ - أمثلة لتكاليف التحكم في الانبعاثات والكفاءة للفولاذ غير الحديدي وإنتاج الإسمنت (من باسينا وآخرين، ٢٠١٠).

القطاع	مؤشر النشاط النوعي (SAI)	تكنولوجيا التحكم في الانبعاثات	الزئبق الأحمر (في المائة)	التكاليف السنوية ^(١) (دولار أمريكي ٢٠٠٨/مؤشر النشاط النوعي)		
				التكاليف الاستثمارية	تكاليف التشغيل والصيانة	إجمالي التكاليف
الرصاصة الأولى	طن متري/رصاص أولي	المرسب الكهروستاتيكي الجاف ESP	٥	٠٠١	٠٠٠٤	٠٠١
	طن متري/رصاص أولي	المرشح النسيجي FF	١٠	٠٠١	١٠١	١٠٢
	طن متري/رصاص أولي	حقن الكربون المنشط + مرشح نسيجي + إزالة تركيز الكبريت من غاز المداخن	٩٠	١٠٣	٢٤٥	٣٤٨
الزنك الأولي	طن متري/زنك أولي	المرسب الكهروستاتيكي الجاف	٥	٠٠١	٠٠٠٦	٠٠٢
	طن متري/زنك أولي	المرشح النسيجي	١٠	٤٠٥	١٠١	٥٠٦
النحاس الأولي	طن متري/نحاس أولي	المرشح النسيجي	٥	١٠٨	١٣٤٨	١٥٠٦
	طن متري/نحاس أولي	أحدث المرشحات النسيجية	١٠	٣٤٩	٢٥٠٧	٢٩٠٥
الرصاصة الأولى	طن متري/رصاص أولي	المرسب الكهروستاتيكي الجاف ESP	٥	٠٠١	٠٠٠٦	٠٠٢

القطاع	مؤشر النشاط النوعي (SAD)	تكنولوجيا التحكم في الانبعاثات	الزئبق الأحمر (في المائة)	التكاليف السنوية ⁽¹⁾ (دولار أمريكي ٢٠٠٨ / مؤشر النشاط النوعي)		
				التكاليف الاستثمارية	تكاليف التشغيل والصيانة	إجمالي التكاليف
	طن متري/ارصاص أولي	المرشح النسيجي FF	١٠	٦٤٨	١٤١	٧٤٩
	طن متري/ارصاص أولي	حقن الكربون المنشط + مرشح نسيجي + إزالة تركيز الكبريت من غاز المداخن	٩٠	٢٤٥	١٤٣	٣٤٨
الزنك الأولي	طن متري/زنك أولي	المرسب الكهروستاتيكي الجاف	٥	٠٠١	٠٠٦	٠٠٢
	طن متري/زنك أولي	المرشح النسيجي	١٠	٤٤٥	١٠١	٥٤٦
النحاس الأولي	طن متري/نحاس أولي	المرشح النسيجي	٥	١٤٨	١٣٠	١٥٠
	طن متري/نحاس أولي	أحدث المرشحات النسيجية	١٠	٣٠٩	٢٥٠	٢٩٠
الارصاص الثانوي	طن متري/ارصاص ثانوي	المرسب الكهروستاتيكي الجاف	٥	٠٠١	٠٠٦	٠٠٢
	طن متري/ارصاص ثانوي	المرشح النسيجي	١٠	٦٤٨	١٤١	٧٤٩
الزنك الثانوي	طن متري/زنك ثانوي	المرسب الكهروستاتيكي الجاف	٥	٠٠١	٠٠٦	٠٠٦
	طن متري/زنك ثانوي	المرشح النسيجي	١٠	٠٠١	١٠٤	١٠٥
النحاس الثانوي	طن متري/نحاس ثانوي	المرسب الكهروستاتيكي الجاف	٥	١٠٤	١٥٠	٢٦٠
	طن متري/نحاس ثانوي	المرشح النسيجي	١٠	٦٠٦	٤٤٠	٥٠٦
إنتاج الإسمنت	طن متري/إسمنت	المرشح النسيجي	٥	٠٠٢	٠٠٢	٠٠٤
	طن متري/إسمنت	المرشح النسيجي المحسن	٩٨	٠٠٤	٠٠٤	٠٠٨
	طن متري/إسمنت	الإزالة الرطبة لتركيز الكبريت من غاز المداخن	٩٠	١٠٤	٠٠٥	١٠٨

أ - تبلغ دقة تقديرات التكاليف في الجدول في حدود $\pm 50\%$ في المائة.

الجدول ٦ - مثال لتكاليف التحكم في الانبعاثات وكفاءة إزالة حرق النفايات (من ياسينا وآخرين ٢٠١٠).

التكاليف السنوية (بالدولار/طن متري نفايات) بأسعار ٢٠٠٨ ^(١)			خفض الزئبق (في المائة)	تكنولوجيا التحكم في الانبعاثات
التكاليف الإجمالية	تكاليف التشغيل والصيانة	تكاليف الاستثمار		
٠,٢	٠,١	٠,١	٢٠	الغسيل الرطب مع مضافات قلوية - متوسط الكفاءة في التحكم في الانبعاثات
١,٢	٠,٦	٠,٦	٦٠	فصل النفايات - متوسط الكفاءة
٨,٨	٧,٠	١,٨	٧٠	المرسب الكهروستاتيكي الجاف
٤,٨	٢,٥	٢,٣	٩٩	مرسب كهروستاتيكي + كربون منشط بالجير + مرشح نسيجي
٤,١	١,٨	٢,٣	٩٠	غسيل الغاز على مرحلتين + مرسب كهروستاتيكي رطب
٦,٢	٤,٠	٢,٢	٨٠	حقن الكربون المنشط + مرشح نسيجي
١١,٤	٦,٢	٥,٣	٩٥	حقن الكربون المنشط + غسيل بالرش + مرسب كهروستاتيكي
١٢,٧	٧,١	٥,٨	٩٩	حقن الكربون المنشط + غسيل بالرش باللبن الجيري + صودا كاوية + مرشح نسيجي

أ - تبلغ دقة تقديرات التكاليف في الجدول في حدود ± ٥٠ في المائة.

٥ - توصيف القطاعات المختارة

٨٢ - الغرض من هذا الفصل هو تقديم عرض موجز للأوصاف والمعلومات التقنية عن انبعاثات الزئبق في الهواء، مع التركيز على الخيارات المتاحة للتحكم في انبعاثات الزئبق في القطاعات المختارة والتكاليف المرتبطة بها. وتُعرض أيضاً أمثلة لتقديرات التكاليف لمرافق فردية.

وتوجد معلومات أكثر تفصيلاً عن محطات الطاقة التي تعمل بالفحم في وثيقة برنامج الأمم المتحدة للبيئة عن إرشادات لتحسين العمليات (قيد الإعداد 2010 UNEP).

٥ - ١ - احتراق الفحم في محطات توليد الطاقة والمرجل الصناعية

٨٣ - الغرض من احتراق الفحم هو توفير الحرارة والكهرباء للصناعة والمجتمع بصفة عامة. ويمكن تحقيق احتراق الفحم باستخدام عدة تكنولوجيات مختلفة.

٥-١-١ منشأ الزئبق والانبعاثات من احتراق الفحم

٨٤ - يوجد الزئبق بشكل طبيعي في الفحم بكميات ضئيلة جداً تُطلق أثناء الاحتراق وتدخل الغلاف الجوي عن طريق غازات المداخن. وتختلف تركيزات الزئبق في الفحم بين المناطق الجغرافية، وعادة ما تكون في نطاق من ٠,١ إلى ٠,٣ جزء من المليون، لكن يمكن أن توجد مستويات خارج هذا النطاق أيضاً، وقد تم قياس قيم تصل إلى ١ في المليون بواسطة مختبرات معتمدة لفحم الليغيت. وقد نشرت دائرة المسح الجيولوجي الأميركية مؤخرًا حصراً لجودة الفحم العالمي لأكثر من ١٥٠٠ عينة فحم من جميع أنحاء العالم، وكانت إحدى المعلومات تحليل محتوى الزئبق. (متاح على الموقع الإلكتروني: <http://pubs.usgs.gov/of/2010/1196>).

٥-١-٢ تكنولوجيات احتراق الفحم

٨٥ - يعتبر احتراق مسحوق الفحم التكنولوجية السائدة لاحتراق الفحم في جميع أنحاء العالم، وعادة ما تُستخدم في الوحدات الكبيرة. وربما كانت هذه التكنولوجية هي الجيل الأول لتكنولوجيا البخار التقليدية، بكفاءة تصل إلى ٤٠ في المائة محسوبة على أساس القيمة الأدنى للتسخين (LHV)؛ أو الجيل الثاني من تكنولوجيا البخار فوق الحرجة بكفاءة تصل إلى ٤٧ في المائة (LHV). ومن الممكن تحقيق كفاءة مماثلة عن طريق تكنولوجيا دورة التحويل المتكاملة المختلطة (IGCC)، رغم أن تطبيقها على احتراق الفحم لم يبدأ إلا مؤخراً، نتيجة لميزتها الخاصة في التقاط وتخزين الكربون. ويستخدم الاحتراق على قاعدة مميعة (FBC) بدرجة أقل، وإن كان يستخدم الآن في الوحدات الكبيرة وبكفاءة تصل إلى ٤٤ في المائة تقريباً (LHV). ويتطلب كل من احتراق مسحوق الفحم والاحتراق على قاعدة مميعة معالجة مسبقة للفحم من خلال طحنه وما إلى ذلك، من أجل تحقيق كسور من الفحم بحجم مناسب. كما أن نظم التحكم في الانبعاثات في تلك التكنولوجيات، التي تستخدم عادةً في الوحدات الأكبر، شائعة ومجدية اقتصادياً. وقد استخدمت نظم التغذية بالوقود في المراحل الصغيرة الحجم لأكثر من قرن، وهي تستخدم التغذية بكتل الفحم والاحتراق. لكن هذه النظم غير فعالة وغير مستقرة نسبياً بسبب تقييد وصول الأكسجين إلى مواد الاشتعال. وتقوم تكنولوجيا دورة التحويل المتكاملة المختلطة بتحويل الفحم إلى غاز قبل الاحتراق وبذلك تحقق انخفاض الانبعاثات دون استخدام أجهزة التخفيض الثانوي الغالية الثمن.

٨٦ - ويعتبر احتراق مسحوق الفحم تكنولوجيا متطورة، وهناك الآلاف من الوحدات في جميع أنحاء العالم (مركز الفحم النظيف بالوكالة الدولية للطاقة). ويمكن استخدام تكنولوجيا احتراق مسحوق الفحم في احتراق مجموعة متنوعة واسعة من الفحم، على الرغم من أنها ليست دائماً ملائمة للأنواع التي يكون محتوى الرماد فيها مرتفعاً.

٨٧ - ويوجد في الاحتراق على قاعدة مميعة طبقة من المواد الحاملة التي تُهيَّج أو تُمَيِّع عن طريق حقن الهواء الساخن مسبقاً خلال لوح مسامي أو الجرش من أسفل. ونتيجة لذلك تحدث دوامات لخلط الغاز والمواد الصلبة. ويحدث هذا الفعل، الذي يشبه فوران أو احتدام السوائل شبيهاً كبيراً، تفاعلات كيميائية فعالة ونقلاً للحرارة. وتتحقق انبعاثات ملوثات الهواء المنخفضة نسبياً في الغالب من الاحتراق على قاعدة مميعة عن طريق الإدخال التدريجي للهواء وإضافة الحجر الجيري والاحتراق في درجات حرارة منخفضة بين حوالي ٧٥٠ و ٩٥٠ درجة مئوية. ويناسب الاحتراق على قاعدة مميعة على وجه الخصوص أنواع الفحم الغنية بالرماد وأنواع الوقود المتفاوتة الجودة (برنامج رصد وتقييم الانتقال البعيد المدى للملوثات الهواء في أوروبا ٢٠٠٩ والتوجيه الصادر عن الجماعة الأوروبية ٢٠٠٦. ومع ذلك، فإن عيب هذه التكنولوجيا هو دفع النفايات الكبير بسبب عدم القدرة على استخدام نواتج عملية إزالة الكبريت بالطريقة التي يستخدم فيها الجبس الناتج من غسل غاز المداخن في عملية احتراق مسحوق الفحم.

٨٨ - ويقوم الاحتراق في محطات توليد الطاقة بتحويل الطاقة الكيميائية المخترنة في الوقود إلى طاقة كهربائية أو حرارة، أو كليهما. وتعتبر محطات الطاقة المختلطة أكثر كفاءة في استخدام الطاقة المنبعثة، في حين أنه في محطات توليد الكهرباء الأقدم التي تستخدم التلقيم قد تكون خسائر إجمالي الطاقة إلى البيئة مرتفعة، وقد تصل إلى نسبة ٧٠ في المائة من الطاقة الكيميائية في الوقود، بحسب نوع الوقود والتقنية النوعية. لكن الخسائر في محطة توليد الكهرباء الحديثة العالية الكفاءة تمهبط إلى ما يقرب من نصف الطاقة الكيميائية الموجودة في الوقود. أما في محطات الطاقة المختلطة للحرارة والكهرباء فيصل أكبر جزء من الطاقة في الوقود إلى المستهلكين النهائيين إما في صورة كهرباء أو حرارة (لعمليات الصناعية أو للتدفئة السكنية أو لاستخدامات مشابهة). وتضع الوثيقة المرجعية للاتحاد الأوروبي عن أفضل التكنولوجيات المتاحة لمحطات الاحتراق الكبيرة معياراً لتوليد الحرارة والطاقة لحرق الفحم بكفاءة تبلغ ٧٠ - ٩٠ في المائة (LHV).

٥-١-٣ - تدابير التحكم في احتراق الفحم

٨٩ - من أول تدابير التحكم تخفيض كمية الزئبق في الوقود، بطرق منها، على سبيل المثال، اختيار أنواع الفحم المنخفضة المحتوى من الزئبق بطبيعتها، والمعالجة المسبقة للفحم، وخطط استبدال الوقود (مثل استبدال الفحم بالغاز الطبيعي أو بمصادر الطاقة المتجددة). وهناك نهج عام آخر لخفض الانبعاثات وهو زيادة كفاءة التشغيل، مما يقلل من كمية الوقود المطلوبة وبالتالي من الانبعاثات الناتجة من الزئبق وغيرها من الملوثات. وللتحكم في انبعاثات الزئبق بعد خطوة الاحتراق هناك تدابير تقنية مختلفة ممكنة للتحكم في تلوث الهواء وتدابير للتلوث بالزئبق خاصة. ويرد أدناه عرض موجز لهذه الخيارات.

المعالجة المسبقة للفحم

٩٠ - بالإضافة إلى نوعية ومحتوى الفحم من الزئبق، تؤثر كيمياء الزئبق في داخل الفحم أيضاً في انبعاثات الزئبق من احتراق الفحم. وقد يكون للفحم من مناطق جغرافية مختلفة خصائص مختلفة جداً، والطبقات الرئيسية من الفحم هي الأنثراسايت والفحم البيتومييني، والفحم دون البيتومييني، وفحم الليغنيت. ويحتوي فحم الأنثراسايت على أعلى نسبة من المحتوى الكربوني وأعلى قيمة للطاقة، أما الليغنيت فإن فيه أدنى نسبة منهما. وتوجد تسميات بديلة: إذ يسمى الفحم الذي

يحتوي على أعلى محتوى من الكربون باسم "الفحم الحجري أو الأسود" أما الفحم الذي يحتوي على أدنى محتوى فيسمى "الفحم البني".^(٦)

٩١ - ومن الممكن تحقيق انخفاض في انبعاثات الزئبق من محطات توليد الطاقة عن طريق نشر تكنولوجيا معالجة الفحم قبل الاحتراق. وتشمل تكنولوجيا معالجة الفحم المعتبرة في سياق كفاءة المحطة وإزالة الزئبق غسل الفحم بالطريقة التقليدية، وإثراء الفحم بمعالجة محتوى الزئبق، وخلط الفحم، ومضافات الفحم.

٩٢ - وعلى الرغم من أن عمليات غسل/معالجة الفحم قد ينتج عنها معدلات خفض عالية نسبياً في الزئبق مع بعض أنواع الفحم، فإنها ليست كافية لاستخدامها كوسيلة موثوق بها من وسائل تخفيض الزئبق في جميع أنواع الفحم. كذلك فإن الغسيل لتحقيق الهدف الرئيسي في خفض الكبريت في أنواع الفحم البتوميني يقلل أيضاً من تركيز الزئبق مقارنة بالتركيزات في داخل الأرض. وتختلف كفاءة الإزالة وفقاً لنسبة الزئبق في الكبريتيدات في الفحم وكفاءة إزالة الكبريتيد (كولكر وآخرون (Kolker et al, 2006)، وفي سلوس (Sloss, 2008)). كذلك فإن الهدف من عمليات تنظيف الفحم، مثل تعويم الزبد والتكتيل الانتقائي ونهج الأعاصير والنهج الكيميائية، هو إزالة الكبريت، وبالتالي فإن أي خفض للزئبق هو منفعة مصاحبة. ويتراوح تخفيض الزئبق في هذه العمليات بين ١٠ في المائة إلى ٧٠ في المائة، بمتوسط قدره ٣٠ في المائة على أساس مكافئ الطاقة (Sloss, 2008).

تحسين إجراءات التشغيل

٩٣ - قد ينطوي تحسين كفاءة محطة قوى (على سبيل المثال بهدف خفض تكاليف الإنتاج) على عدد من التدابير الرامية إلى الاقتصاد في استعمال الوقود (الفحم)، ونتيجة لذلك، تنخفض كمية انبعاثات الزئبق. ومن أكثر التدابير المطبقة عموماً على مرافق حرق الفحم: تركيب محارق جديدة، وتحسين أجهزة التسخين المسبق للهواء، وتحسين أجهزة الاقتصاد، وتحسين تدابير الاحتراق، وتقليل دورات التشغيل القصيرة، والحد من الرواسب على سطوح انتقال الحرارة في جانب الغاز، والحد من ارتشاح الهواء، وتحديث التوربينات. وبالإضافة إلى ذلك، فإن لممارسات التشغيل والصيانة أثر كبير على أداء المحطة، بما في ذلك الكفاءة والموثوقية وتكلفة التشغيل. ذلك أن المحطة الجيدة التشغيل والصيانة تكون أقل تعرضاً للارتكاس السريع في معدل الحرارة، وبالتالي فإن ممارسات التشغيل والصيانة تؤثر في حد ذاتها في استخدام الفحم وفي انبعاثات الزئبق. لذلك ينبغي أن تلقى ممارسات التشغيل والصيانة اعتباراً مستمراً في التشغيل اليومي للمحطة. ومع ذلك، فإن محطات احتراق مسحوق الفحم لا تزيد كفاءتها القصوى حالياً عن ٤٠ في المائة تقريباً، ولا يتحقق المزيد من التحسينات إلا عن طريق التحديث إلى مراحل جديدة فوق الحرجة.

(٦) تستعمل نُظم تصنيف مختلفة على الصعيد الدولي، قائمة في المقام الأول على أساس درجة التغير التي تطرأ على الفحم من مرحلة الفحم الخثي إلى فحم الإنتراسيد، ويطلق عليها عملية التفحم. وأنواع الفحم المنخفضة الجودة، مثل اللغيت والفحم شبه البيتوميني، هي في العادة أقل صلابة وأسهل في التكسير، وشكلها باهت أقرب إلى الطين، ومن سماتها ارتفاع نسبة الرطوبة وانخفاض محتوى الكربون، ومن ثم انخفاض محتوى الطاقة. والأنواع الأعلى درجة هي في الغالب أشد صلابة وتماماً، وتتميز في الغالب بلون أسود لامع، وتحتوي على نسبة أعلى من الكربون ونسبة أقل من الرطوبة، وتنتج طاقة أكبر. وأعلى الدرجات هو فحم الإنتراسيد، وبالتالي فهو أعلى محتوى من الكربون والطاقة وأقل محتوى من الرطوبة. ومن التسميات الأخرى، يطلق اسم الفحم البني على الأصناف الدنيا، والفحم الأسود أو الصلب على الأصناف الأعلى.

التحكم المشترك في الزئبق في مرافق احتراق الفحم

٩٤ - تستخدم تكنولوجيات التحكم في ملوثات متعددة، التي سبق وصفها في الفصل الثالث، على نطاق واسع في مرافق احتراق الفحم. وقد قام سلوس (Sloss (2008)) بتجميع بيانات عن فعالية تكنولوجيات التحكم القائمة ونهج الفائدة المشتركة في القدرة على التقاط الزئبق في مرافق احتراق الفحم، وهي ملخصة في الجدول ٧. ويتبين من الجدول أن مدى التراوح في التقاط الزئبق بالنسبة لمجموعة من معدات التحكم قد يكون كبيراً جداً، وأن درجة الالتقاط تعتمد أيضاً على نوعية الفحم (الفحم البيتومييني أو الفحم شبه البيتومييني أو فحم الليغنيت). وهكذا، يجب أن يتم تقييم التقاط الزئبق والمنفعة المشتركة من معدات التحكم في تلوث الهواء على أساس كل محطة على حدة، وأن يتضمن معلومات عن نوعية الوقود وتكوين غاز المداخن وتفصيل محددة حول تركيب أجهزة التحكم في تلوث الهواء.

الجدول ٧ - مثال لأجهزة التحكم في تلوث الهواء وكفاءتها (في المائة) في النقاط الزئبق في الفحم في محطات توليد الطاقة التي تعمل بالفحم، معدلة من سلوس (٢٠٠٨)

أجهزة التحكم في المادة الجسيمية	الفحم البيتومييني*	الفحم شبه البيتومييني*	فحم الليغنيت*
المرسب الكهروستاتيكي - الجانب البارد	٦٣-٠	١٨-٠	٢-٠
المرسب الكهروستاتيكي - الجانب الساخن	٤٨-٠	٢٧-٠	□-
المرشحات النسيجية	٩٣-٨٤	٦٧-٥٣	-
التحكم في المادة الجسيمية وثاني أكسيد الكبريت			
مرسب كهروستاتيكي - الجانب البارد+إزالة كبريت غاز المداخن الرطب	٧٤-٦٤	٥٨-٠	٥٦-٢١
مرسب كهروستاتيكي - الجانب الساخن+إزالة كبريت غاز المداخن الرطب	٥٤-٦	٤٢-٠	-
مرشحات نسيجية + غسيل	مرتفع جداً		أقل
مرشحات نسيجية + إزالة كبريت غاز المداخن الرطب	٨٩-٦٢		
أجهزة التحكم في أكاسيد النيتروجين والمادة الجسيمية وثاني أكسيد الكبريت			
اختزال حفزي انتقائي+ محفف بالرش + مرشحات نسيجية	٩٩-٩٤	٤٧-٠	٩٦-٠

* تستند النطاقات إلى مجموعة محدودة من التجارب التي أجريت في مرافق في الولايات المتحدة.

□ لا توجد بيانات.

٩٥ - وبذلت جهود كبيرة في الولايات المتحدة لتطوير تكنولوجيات للتحكم في انبعاثات الزئبق من احتراق الفحم، بما في ذلك اختبارات واسعة كاملة النطاق لكفاءة أجهزة التحكم لضبط الزئبق اعتماداً على نوع الفحم ونوع المواد الماصة والمواد المضافة ودرجة الحرارة وظروف التشغيل. وتلخص نتائج هذه الجهود ورقة برنامج الأمم المتحدة للبيئة، ٢٠١٠ (قيد الإعداد) وسلوس (٢٠٠٨). ويلاحظ أن هذه الأجهزة للتحكم في الزئبق مستخدمة بالفعل في عشرات المنشآت، كما يشار إلى ذلك في الفرع ٤-٣.

٩٦ - وتشير بعض الأمثلة الأخيرة لفحص عمل أجهزة إزالة الزئبق في مكافحة تلوث الهواء إلى كفاءة في نطاق ٦٨ - ٩١ في المائة في محطات توليد الطاقة الحرارية في كوريا، مع تحقيق أعلى كفاءة في إزالة الزئبق بالتزامن مع كفاءة عالية في الحد من تلوث الهواء (بصفة رئيسية: الاختزال الحفزي الانتقائي، و المرسب الكهروستاتيكي - الجانب البارد، وإزالة الرطوبة لكبريت غاز المداخن) (كيم وآخرون، ٢٠١٠؛ وبوداسيني، ٢٠٠٩).

التحكم في الزئبق بصفة خاصة في إنشاءات احتراق الفحم

٩٧ - بالإضافة إلى المنافع المشتركة من التكنولوجيات الأخرى للتحكم في تلوث الهواء، يمكن استخدام أجهزة تحكم في الزئبق بصفة خاصة، وهي تستخدم بالفعل على نطاق واسع على مستوى تجاري في الولايات المتحدة.

٩٨ - وعند تصميم تكنولوجيات التحكم في الزئبق خاصة، غالباً ما تقوم هذه التكنولوجيات على امتزاز الزئبق على مواد ماصة مثل الكربون المنشط لتعزيز قدرة الامتزاز. وكانت المواد الماصة الأصلية غير المعالجة أقل نجاحاً مع أنواع الفحم المنخفض الدرجة، لأن وجود نسبة عالية من الزئبق الأولي فيها يزيد من صعوبة التقاطها في غازات المداخن. ومع ذلك، فإنه تتوفر الآن مواد ماصة تمت معالجتها كيميائياً مع الهالوجينات مثل البروم والكلورين، على سبيل المثال. وتقوم هذه المواد بتحويل الزئبق الأولي الأكثر صعوبة في الالتقاط إلى شكل ثنائي التكافؤ (مؤكسد) يكون أكثر سهولة في الالتقاط، وبالتالي تحقق درجة عالية من اختزال الزئبق في جميع أنواع الفحم.

٩٩ - وتم في ألمانيا تطبيق حقن مواد ماصة في غازات مداخن المراحل التي تعمل بالفحم من أجل التحكم في الزئبق منذ تسعينيات القرن الماضي (ويرلنغ، ٢٠٠٠)، كما عُرضت هذه التكنولوجيا في الولايات المتحدة في عدة نظم تجارية كاملة (غاو (٢٠٠٩)، ونسكوم (٢٠١٠)). ومن الممكن إضافة مواد ماصة عند المنبع في جهاز التحكم في المادة الجسيمية الموجود، ويتم جمع الزئبق في جزء الرماد المتطاير. وتوجد تكنولوجيات بديلة، حيث يتم حقن المواد الماصة بعد الأجهزة الموجود للتحكم في المادة الجسيمية، وفي هذه الحالة تقتضي الحاجة وجود وحدة تحكم إضافية في الجسيمات لالتقاط الزئبق المحتوي على المادة الماصة (مثل تشكيلة عملية التحكم في الانبعاثات السامة (TOXECON™)). والتشكيلة الثالثة التي عُرضت لحقن مواد ماصة هي TOXECON II™، التي يتم فيها حقن المواد الماصة في الحقل الوسطى للمرسلب الكهروستاتيكي الموجود. وتضم طريقة التحكم في الانبعاثات السامة (TOXECON™)، التي يملك براءة اختراعها معهد بحوث الطاقة الكهربائية، وحدة ثانوية للتحكم في الجسيمات (مرشح نسيجي) أظهرت قدرتها على تخفيض انبعاثات الزئبق بنسبة تزيد على ٩٠ في المائة. وهكذا يتم جمع الغالبية العظمى من الرماد المتطاير قبل خطوة التحكم في الزئبق، وتتسم هذه الطريقة بالاستخدام الأوسع نطاقاً والقابلية التسويقية. ويتم جمع جزء الرماد الأصغر بكثير الذي يحتوي على الكربون المنشط والزئبق في الخطوة التالية.

١٠٠ - ومن بين العوامل التي تؤثر على أداء أي مواد ماصة، فيما يتعلق بالتقاط الزئبق ما يلي (بافليش وآخرون ٢٠٠٣؛ وسريفاستافا وآخرون ٢٠٠٦؛ ونسكوم ٢٠١٠):

- الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمادة الماصة
- معدل حقن وتوزيع المادة الماصة
- مَعلمات غازات المداخن مثل درجة الحرارة وتركيزات أنواع الهالوجين (على سبيل المثال: حمض الهيدروكلوريك وبروم الهالوجين) وتركيز ثالث أكسيد الكبريت
- تشكيلة التحكم في تلوث الهواء القائمة

١٠١ - وقد تم إجراء معظم التجارب الموجزة في وثيقة دليل إرشادات تحسين العمليات (برنامج الأمم المتحدة للبيئة (قيد الإعداد)) وسلوس (٢٠٠٨) بحقن المواد الماصة عند المنبع في جهاز التحكم في المادة الجسيمية القائم. وفيما يلي بعض الاستنتاجات الرئيسية:

- يزيد التقاط الزئبق مع زيادة كمية المواد الماصة المضافة، وإن كان قد تم التوصل في بعض الحالات إلى أفضل الكميات عند نقطة تصبح بعدها أي إضافة غير ذات جدوى.
- تحقق درجات الحرارة الأدنى (< ١٥٠ درجة مئوية) في مدخل المرسب الكهروستاتيكي التقاط كمية أعلى من الزئبق.
- تتوقف كفاءة التحكم باستخدام الكربون المنشط غير المعالج، وهو الأسلوب المفضل عموماً عند وجود تركيزات مرتفعة للكوريد في الفحم، على تكوين الزئبق المؤكسد في غازات المداخن. ويمكن تحقيق كفاءة أعلى بواسطة الكربون المعالج بالهالوجين، خاصة في المحطات التي تستخدم الفحم المنخفض الرتبة ذا المحتوى المنخفض من الكلورين.

١٠٢- ومن الجوانب السلبية التي تم تحديدها في حقن الكربون المنشط من أجل التحكم في الزئبق أن الزئبق (وكذلك الكربون المنشط المضاف) سوف ينتهي إلى أن يكون جزءاً من الرماد المتطاير، مما يقلل من احتمال التخلص الآمن من الرماد أو استخدامه، على سبيل المثال، في البناء أو صناعة الإسمنت. ولتجنب هذا، يمكن وضع جهاز ثان لإزالة الجسيمات وإضافة الكربون المنشط بعد الجهاز المعتاد للتحكم في الجسيمات، كما في طريقة إزالة السموم TOXCONTM المذكورة أعلاه.

١٠٣- وتم اختبار مضافات البروم لتعزيز أكسدة الزئبق في غازات المداخن كمادة مضافة قبل الاحتراق عند مستويات تعادل ٢٥ جزءاً من المليون في الفحم. وقد لوحظ بصورة منتظمة خفض في انبعاثات الزئبق من ٩٢-٩٧ في المائة على وحدة حرق فحم بيتوميني ثانوي بقوة ٦٠٠ ميغاواط ومجهزة بمعدات اختزال حفزي انتقائي وإزالة تركيز الكبريت من غاز المداخن (ريبي وفوستين، ٢٠٠٩). كذلك أجريت تجارب مماثلة في ١٤ وحدة لحرق الفحم ذي المحتوى المنخفض من الكلور، وتبين النتائج أكسدة أكثر من ٩٠ في المائة من الزئبق في غاز المداخن عند إضافة البروم إلى الفحم بما يعادل ٢٥ إلى ٣٠٠ جزء في المليون في الفحم (تشانغ وآخرون، ٢٠٠٨). ويمكن باستخدام الهالوجينات، وخصوصاً البروم، كإضافات لما قبل الاحتراق خفض انبعاثات الزئبق بنسبة تزيد على ٨٠ في المائة في حالات معينة. (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، ٢٠١٠)، قيد الإعداد).

٥-١-٤ - تكاليف وكفاءة تكنولوجيات التحكم في محطات الطاقة التي تعمل باحتراق الفحم

المعالجة المسبقة للفحم

١٠٤- تشمل المعالجة المسبقة للفحم إجراءات (مثل السحق والتجفيف والغسيل) تهدف إلى زيادة الأداء وناتج الطاقة في عملية الاحتراق أو إلى خفض الانبعاثات من المواد الضارة. وفي بعض الأحيان تتم أيضاً إضافة كواشف كيميائية أو مزج للفحم لتحقيق أداء أفضل. وغسل الفحم هو في المقام الأول إجراء لتخفيض محتويات الفحم من الرماد والكبريت، ويمكنه أيضاً أن يخفف محتويات الزئبق، وبالتالي فمن الصعب تحديد التكاليف المباشرة للمعالجة المسبقة للفحم من أجل التحكم في الزئبق حصراً. وتعتمد تكاليف خلط الفحم (أي خلطه بأنواع أخرى من الفحم أو الوقود ذات محتوى منخفض من الزئبق) على توافر وقود الخلط والطلب عليه في السوق (وكالة حماية البيئة، ٢٠٠٥).

تحسين إجراءات التشغيل

١٠٥- تفيدي التغييرات في تصميم وتشغيل محطات الطاقة في تحسين الأداء والموثوقية، ويمكن أن تؤدي، بالتالي، إلى خفض تكاليف التشغيل والصيانة. ولم يمكن الوصول إلى بيانات ذات جودة كافية عن هذه التكاليف أو انخفاض التكاليف.

التحكم المشترك في الزئبق في منشآت احتراق الفحم

١٠٦- يتوفر استعراض شامل لتكنولوجيات التحكم والتكاليف المرتبطة بذلك لدى مركز الفحم النظيف بالوكالة الدولية للطاقة (سلوس، ٢٠٠٨).

١٠٧- وتعتبر الظروف القائمة في محطة الطاقة من الجوانب الهامة عند تقدير تكاليف التحكم في انبعاثات الزئبق. وتختلف تكاليف إزالة الزئبق اختلافاً بيناً حسب ما إذا كانت الظروف القائمة تشمل محطات للطاقة مجهزة بأجهزة حديثة للتحكم في تلوث الهواء أو كانت الأجهزة المركبة للتحكم في الانبعاثات في غاية البساطة. ومن الممكن أن يؤدي تعظيم تشغيل المنشآت القائمة للتحكم في الانبعاثات إلى تخفيض انبعاثات الزئبق، ولكن التقديرات العامة للتكاليف ليست متاحة.

١٠٨- وقد وضعت وكالة حماية البيئة الأمريكية دليلاً (CUECost) لتقدير تكاليف التحكم في تلوث الهواء بالفحم (بما في ذلك التحكم في الزئبق) في محطات الطاقة. ويمكن استخدام هذا الدليل لتقدير تكاليف تركيب اثني عشرة تكنولوجيا مختلفة لإزالة غاز ثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين وثنائي أكسيد الكربون والزرنيق، إما بوصفها مكونات منفصلة أو بوصفها نظاماً متكاملًا للتحكم في تلوث الهواء <http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r09131/600r09131.html>.

١٠٩- واستناداً إلى تقييم تكاليف التحكم الذي تم تنفيذه في المشروع البحثي الأوروبي (ESPREME)، وضعت قاعدة بيانات لتكاليف وكفاءة خيارات تحكم مختلفة. كذلك نجد التكاليف السنوية لتكنولوجيات مختارة لخفض ملوثات متعددة، مفصلة حسب النشاط، وكفاءة تلك التكنولوجيات في الحد من انبعاثات الزئبق الناتج عن احتراق الفحم، منشورة في باسينا وآخرين، ٢٠١٠. ويتراوح مجموع التكاليف السنوية^(٧) (أي التكاليف الرأسمالية السنوية وتكاليف التشغيل والصيانة السنوية) بين ١٣، دولار أمريكي/ميغاواط ساعة من الكهرباء/٢٠٠٨ لتتصيب جهاز مرسب كهروستاتيكي بكفاءة إزالة أكثر من ٦٣ في المائة من الزئبق، و٥-٢ - ٥ دولار أمريكي/ميغاواط ساعة من الكهرباء/٢٠٠٨ لتتصيب جهاز أكثر تقدماً للتحكم في تلوث الهواء (إزالة الجسيمات والكبريت في الغسيل في جهاز غسل الغاز) مع كفاءة في إزالة الزئبق تقدر بأكثر من ٩٣ في المائة. وتمثل هذه النتائج الظروف الأوروبية، وربما لا تكون قابلة للتحويل إلى مناطق أخرى.

١١٠- وتمثل التكلفة الرأسمالية لمعدات تخفيض التلوث ذات أفضل مستوى من التقنية المتاحة (التحكم في الجسيمات + إزالة كبريت غاز المداخن) أقل من ٥ في المائة من التكاليف الإجمالية لمحطة الطاقة الكهربائية التي تعمل باحتراق الفحم (من دون تكاليف الوقود). وإذا ما أدخلت تكلفة الفحم في تكلفة المحطة، تكون المساهمة في مستوى من ٣-٣،٥ في المائة. وأساس هذا التقدير مأخوذ عن تقدير روك (٢٠٠٦) لتكلفة الإنتاج في محطة فحم جديدة، وهو ٦٠ دولاراً أمريكياً/ميغاواط، بما في ذلك تكلفة الوقود التي تبلغ ١٤،١٠ دولار/ميغاواط، مع تكلفة إجمالية لأفضل التقنيات المتاحة تبلغ ٢،٢٨ دولار/ميغاواط.

(٧) تحسب التكاليف الرأسمالية بافتراض دورة حياة للتكنولوجيا مدتها ٢٠ سنة، مع سعر خصم ٤ في المائة.

التحكم في الزئبق في احتراق الفحم بصفة خاصة

١١١- يأتي خفض انبعاثات الزئبق من احتراق الفحم من تأثيرات تنفيذ تكنولوجيات التحكم في ملوثات الهواء التقليدية (الجسيمات وثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين)، وتكنولوجيات خاصة لإزالة المعادن الثقيلة. ويستفاد من أمثلة مُبلَّغ عنها من محطات توليد الطاقة في الولايات المتحدة، واردة في تقارير مكتب المساءلة الحكومية في الولايات المتحدة (٢٠٠٩)، وتقرير جمعية الهواء النظيف للولايات الشمالية الشرقية (2010) NESCAUM أن التحكم في الزئبق يجري في نطاق تجاري في العديد من محطات توليد الكهرباء بتكلفة منخفضة نسبياً باستخدام حقن الكربون، ولكن قد تكون هناك حاجة إلى تدابير تحكم بديلة في بعض الحالات. وهناك أيضاً أمثلة لمنشآت يكون فيها التحكم في تلوث الهواء بالوسائل التقليدية كافياً للوصول إلى مستوى تحكم في الزئبق يصل إلى أكثر من ٩٠ في المائة. كما يمكن لبعض أنواع المراحل أن تصل إلى هذا المستوى في إزالة الزئبق دون أجهزة تحكم إضافية. أما تكاليف شراء وتركيب نظم حقن الكربون (والمواد الماصة) ومعدات الرصد فتقع في نطاق ١,٢ مليون دولار إلى ٦,٢ مليون دولار أمريكي (بأسعار سنة ٢٠٠٨) لكل محطة لتوليد الكهرباء. وهذا أقل بكثير من الأنواع الأخرى من أنظمة التحكم في تلوث الهواء للتحكم في مادة الجسيمات أو ثاني أكسيد الكبريت أو أكاسيد النيتروجين. وبالمقارنة، فإن متوسط التكلفة الاستثمارية (الشراء والتركيب) للغسيل الرطب للتحكم في غاز ثاني أكسيد الكبريت تبلغ أكثر من ٨٦ مليون دولار أمريكي (بأسعار سنة ٢٠٠٨) لكل مرجل. وبالنسبة لمحطات الطاقة التي تستثمر في المرشحات النسيجية بالإضافة إلى أنظمة حقن المواد الماصة، كانت التكلفة الاستثمارية من ١٢,٧ إلى ٢٤,٥ مليون دولار أمريكي (بأسعار سنة ٢٠٠٨). ولم ترد في هذه الدراسة الكميات الفعلية للزئبق الذي تمت إزالته (مكتب المساءلة الحكومية، ٢٠٠٩). ومع ذلك، فإن تقرير جمعية الهواء النظيف للولايات الشمالية الشرقية (٢٠١٠) يتضمن بيانات عن فعالية التحكم في الزئبق من عدد من محطات الكهرباء التي تعمل بالفحم في الولايات المتحدة.

١١٢- ووفقاً لأنشطة بحوث مختبر تكنولوجيا الطاقة الوطنية (NETL) التي ترعاها وزارة الطاقة بالولايات المتحدة، أظهرت تكاليف حقن المواد الماصة لإزالة الزئبق تحسناً كبيراً جنباً إلى جنب مع إمكانية تحقيق تخفيضات في تكاليف التركيب الشاملة والتكاليف التشغيلية. ويشير التحليل الاقتصادي لوزارة الطاقة الذي صدر في عام ٢٠٠٧ إلى أن تكلفة التحكم في الزئبق يمكن أن تنخفض بشكل جذري بالمقارنة مع التقديرات الأصلية نتيجة لانخفاض معدل حقن المواد الماصة عند استعمال مواد ماصة معالجة أكثر كفاءة، حتى بما يعوض التكاليف الأعلى للمواد الماصة المعالجة. وأشار التحليل إلى أن تكلفة إزالة ٩٠ في المائة من انبعاثات الزئبق بواسطة حقن الكربون المنشط تراوحت بين حوالي ٣٠.٠٠٠ دولار إلى أقل من ١٠.٠٠٠ دولار للرجل الواحد (ما يعادل ٢٢.٠٠٠ إلى ٦٦.٠٠٠ دولار/كجم) من الزئبق الذي تمت إزالته من مواقع الاختبار الميداني التابعة لوزارة الطاقة (فيلبي، ٢٠٠٨). وقد استخدمت اختبارات مواقع وزارة الطاقة الكربون المنشط المعالج كيميائياً (بالبروم). وعلى الرغم من أن التكلفة الرأسمالية لنظام التحكم في الزئبق منخفضة نسبياً، فإن الإنفاق الرئيسي يأتي من تكلفة المواد الماصة ذاتها. وعموماً، يتيح الكربون المُعالج بالبروم معدلات للحقن (كتلة المواد الماصة/تدفق غازات المداخن) أقل بكثير من الكربون غير المعالج لتحقيق نفس المستوى من إزالة الزئبق. وهكذا، فإنه على الرغم من أن الكربون المعالج كيميائياً أكثر تكلفة من غير المعالج، فإن استخدام الكربون المعالج كيميائياً يسمح بتخفيض كبير في تكلفة إزالة الزئبق.

١١٣- ومن الممكن إعادة استخدام الرماد المتطاير الملتقط من أجهزة التحكم في تلوث الهواء في التطبيقات الهندسية، كما أن له قيمة اقتصادية. ويمكن أن تؤثر إضافة المواد الماصة مثل الكربون المنشط على نوعية الرماد المتطاير (والجيس) ومن المحتمل أن يمنع هذا بيعها، ولذلك تتأثر تكاليف التحكم في الزئبق بالخسارة المحتملة في العائد بالنسبة للمحطات التي تبيع الرماد المتطاير لإعادة الاستخدام بشكل مربح. وقد صدر مؤخراً تقرير عن جمعية الهواء النظيف للولايات الشمالية الشرقية

يلخص اختبارات وزارة الطاقة، التي تشير إلى إمكانية حدوث زيادة قدرها ١٧٠ - ٣٠٠ في المائة في تكاليف إزالة الزئبق إذا وُضعت في الاعتبار هذه الخسارة في عائدات الرماد (وزارة الطاقة، ٢٠٠٦؛ جمعية الهواء النظيف، ٢٠١٠). ومع ذلك، فقد أدى هذا الأثر الاقتصادي إلى تقدم تكنولوجي في شكل تطوير مواد ماصة مساعدة للخرسانة، الأمر الذي يُتوقع معه في نهاية المطاف أن تعوض عن هذه التكلفة.

١١٤- وقدرت وزارة الطاقة الأمريكية التكاليف الرأسمالية لحقن الكربون المنشط في وحدة ٣٦٠ ميغاواط (تحرق الفحم مع كبريت منخفض وكلور منخفض وقلوية عالية) بمجهزة بجهاز الامتزاز المجفف بالرش (SDA)، بالإضافة إلى مرشحات نسيجية (وزارة الطاقة للولايات المتحدة، ٢٠٠٦). وتقدر التكلفة الرأسمالية لهذه الوحدة (محددة بوصفها المتطلبات الرأسمالية الإجمالية) بـ ٣,٦ دولار/كيلوواط (٠,٠٣ دولار/ميغاواط بدولارات ٢٠١٠). وقدر مجموع تكاليف التشغيل والصيانة لهذا المثال بمبلغ ٦٠٠ ٠٠٠ دولار في السنة (٠,٢١ دولار/ميغاواط بدولارات ٢٠١٠)، لتحقيق إزالة ٩٠ في المائة من الزئبق. وكانت التكلفة الإضافية لحقن الكربون المنشط هي آثار الانبعاثات الثانوية أو قيمة تكاليف التخلص منها، إضافة إلى الإيرادات غير المحققة من بيع الرماد (بسبب تلوث الكربون المنشط بالرماد المتطاير). وقدر أثر الانبعاثات الثانوية لهذه الوحدة بقوة ٣٦٠ ميغاواط بمبلغ ١ ٤٣٠ ٠٠٠ دولار أمريكي/سنة.

١١٥- ويعرض الجدول ٤ أمثلة إضافية للتكاليف الرأسمالية والتشغيلية لتشكيلات مختلفة من تكنولوجيا التحكم في تلوث الهواء.

١١٦- وترد في الجدول ٨ تكاليف إضافة أجهزة نوعية للتحكم في انبعاثات الزئبق بصفة خاصة في محطة افتراضية للطاقة مع تشكيل مختار من المعدات الموجودة. وتظهر تقديرات التكلفة على النحو الوارد في سلبوس (٢٠٠٨)، (٨٠ في المائة إزالة للزئبق)، وتستند إلى تقرير مختبر تكنولوجيا الطاقة الوطنية عن تكاليف حقن الكربون المنشط، المنشور في تقرير جمعية الهواء النظيف للولايات الشمالية الشرقية. وقد استندت تكاليف مختبر تكنولوجيا الطاقة الوطنية إلى برامج الاختبارات الميدانية في مرحلته الثانية ووضع سيناريوهات عدة لمختلف أنواع الفحم والتشكيل ومستوى التحكم في الزئبق. وبالنسبة لتكنولوجيا المواد الماصة، تضمنت التحليلات سيناريوهات للتحكم بنسبة ٥٠ في المائة و٧٠ في المائة و٩٠ في المائة للفحم شبه البيتوميني وفحم الليغنيت؛ وبالنسبة لتكنولوجيات الأكسدة (المواد الحفازة والمواد المضافة، مثل $CaBr_2$) شمل التحليل سيناريوهات لخفض الزئبق بنسبة ٧٣ في المائة للفحم شبه البيتوميني وفحم الليغنيت (جمعية الهواء النظيف ٢٠١٠). وعادة ما تكون تكاليف إضافة البروم مدفوعة بالتكاليف الكيميائية كما هو الحال مع تكنولوجيات المواد الماصة، في حين تكون المواد الحفازة مقيدة في العادة بالتكاليف الاستثمارية/التكاليف الرأسمالية وإعادة التأهيل (جمعية الهواء النظيف، ٢٠١٠).

١١٧- واستناداً إلى البيانات الواردة في الجدول ٨، يمكن تقديم أمثلة على عمليات حسابية افتراضية. فبالنسبة لمحطة للطاقة بقوة ٢٢٠ ميغاواط وبها تشكيلة مكونة من جهاز ترسيب كهروستاتيكي فقط، فإن إدخال تكنولوجيا حقن الكربون المنشط من شأنها أن تزيل ١٨٠ جراماً (٩٠ في المائة) من الزئبق للطن الواحد من الفحم الليغنيت المستهلك الذي يحتوي على ٠,٢ جزء في المليون من الزئبق بتكلفة قدرها ٠,١٣ - ١,٢٠ دولار/ميغاواط. وبالنسبة لمحطة طاقة بقوة ٥٠٠ ميغاواط بها تشكيل تكنولوجي مكون من مرسب كهروستاتيكي + جهاز إزالة تركيز الكبريت من غاز المدخن، بوسعها، عن طريق إضافة البروم إزالة ٧٣ جراماً (٧٣ في المائة) من الزئبق بتكلفة قدرها ٠,٠٨ دولار/ميغاواط لطن واحد من الفحم شبه البيتوميني يحتوي على ٠,١ جزء في المليون من الزئبق أو إزالة ١٤٦ جراماً من الزئبق للطن الواحد من فحم الليغنيت الذي يحتوي على ٠,٢ جزء في المليون من الزئبق.

الجدول ٨ - أمثلة للتكاليف الرأسمالية والتشغيلية وتكاليف الصيانة، وكفاءة إزالة الزئبق في مختلف تشكيلات أجهزة التحكم الخاصة بانبعثات الزئبق. تستند بيانات الجدول إلى بيانات من (٢٠٠٨) Sloss/Curs, 2007 و (2010) ESCAUM,

المصدر	كفاءة الإزالة (بالنسبة المئوية/ طاقة المحطة) (ميغاواط)	تكلفة التشغيل والصيانة (بأسعار ٢٠١٠ دولار أمريكي/ميغاواط/ساعة كهرباء)	التكلفة الرأسمالية (بأسعار ٢٠١٠ دولار أمريكي/ميغاواط/ساعة كهرباء)	تشكيلات معدات جديدة	تشكيلات المعدات الموجودة ١= فحم الليغنيت ٢= الفحم شبة البيتوميني
Sloss, 2008	80 /	4.06	0.15	+ حقن الكربون المنشط	مرسب كهروستاتيكي - بارد
Sloss, 2008	80 /	4.06	0.15	+ حقن الكربون المنشط	مرسب كهروستاتيكي - بارد + إزالة تركيز الكبريت من غاز المداخن
Sloss, 2008	80 /	0.32	0.02	+ حقن الكربون المنشط	الغسيل الجاف + مرشح نسيجي
NESCAUM, 2010	90/220	0.09-1.16	0.04	+ حقن الكربون المنشط	مرسب الكهروستاتيكي ^١
NESCAUM, 2010	140 و 90/240	0.14-1.06	0.06-0.07	+ حقن الكربون المنشط	مرسب كهروستاتيكي ^٢
NESCAUM, 2010	73/500	0.07 ^(٨)	0.01	+ كربون منشط بالبروم	مرسب كهروستاتيكي + إزالة تركيز الكبريت من غاز المداخن ^١
NESCAUM, 2010	73/500	0.07	0.01	+ كربون منشط بالبروم	مرسب كهروستاتيكي + إزالة رطوبة لتركيز الكبريت من غاز المداخن ^٢
NESCAUM, 2010	73/500	غير متاحة	0.02	+ مادة حفازة Pd	مرسب كهروستاتيكي + إزالة رطوبة لتركيز الكبريت من غاز المداخن ^١
NESCAUM, 2010	73/500	غير متاحة	0.03	+ مادة حفازة Au	مرسب كهروستاتيكي + إزالة رطوبة لتركيز الكبريت من غاز المداخن ^٢

٢-٥ - إنتاج الفلزات غير الحديدية

١١٨- يشمل إنتاج الفلزات غير الحديدية، على سبيل المثال، إنتاج الزنك والنحاس والرصاص والذهب. ويتم إنتاج الفلزات غير الحديدية من خامات المناجم، ثم تجري معالجتها في عدة خطوات في عمليات لاستخراج المنتج النهائي.

(٨) تكلفة التشغيل والصيانة محسوبة على أساس بيانات الخبراء للدراسة المطلوبة بموجب الفقرة ٢٩ عن تكنولوجيا KNX، وهي ١,٦ مليون دولار سنوياً.

٥-٢-١ - منشأ الزئبق والانبعاثات من إنتاج الفلزات غير الحديدية

١١٩- تتوقف انبعاثات الزئبق من إنتاج الفلزات غير الحديدية بشكل رئيسي على محتوى الزئبق في خامات الفلزات غير الحديدية المستخدمة ونوع التكنولوجيا الصناعية، فضلاً عن تكنولوجيا التحكم المستخدمة في إنتاج الفلزات غير الحديدية. ويوجد الزئبق على هيئة شوائب في العديد من خامات الكبريتيد. وفي هذه الخامات قد يحل الزئبق محل عناصر الزنك والنحاس والكاديوم والبريوم والرصاص والزرنيخ. كما يوجد الزئبق في بعض الخامات المعدنية بشكل زئبق أولي أو سبيكة مع معادن أخرى (خلائط). وقد كانت محتويات الزئبق عالية في بعض من هذه الرواسب بما يكفي لاستهداف إنتاج الزئبق كمنتج جانبي. وقدر المتوسط العالمي لمحتوى الزئبق في الزنك بـ ١٢٣ ملجم من الزئبق/كجم من خام الزنك، مما يؤدي إلى تجميع ٦٠٠ طن من الزئبق أثناء إنتاج الزنك (هاجمان وآخرون، ٢٠١٠، والمراجع فيه). ويوجد معظم الزئبق المرتبط بالنحاس في ترسيبات الكبريتيد الضخمة. وتعتبر جزيئات الزئبق إحدى نتائج تركيز الزنك والظروف البيئية خلال تشكيل الترسيبات. وفي العادة يوجد الزئبق مرتبطاً بترسيبات الذهب على الرغم من أن كمية الزئبق في خام الذهب تختلف اختلافاً واسعاً، من أقل من ١،٠ ملجم/كجم إلى أكثر من ١٠٠ ملجم/كجم (هاجمان وآخرون، ٢٠١٠، والمراجع فيه).

١٢٠- وتحدد التكنولوجيا الصناعية المستخدمة مصير الزئبق المحتوي في الخام إلى حد كبير. وإذا استخدمت عمليات مرتفعة درجة الحرارة (أي في التحميص والتلبيد) في المعالجة الأولى للخام، يتم إطلاق الزئبق إلى طور الغاز، أما إذا استخدمت عمليات التحليل الكهربائي فيظل الزئبق في الطور السائل (الشكل ٥).

١٢١- ويقدر في عمليات الحرارة المرتفعة أن يتبخّر معظم الزئبق نتيجة الأكسدة. ويتبع الزئبق المتبخّر تيار الغاز الذي يمكن تنظيفه بواسطة مرشحات الجسيمات والمرسبات الكهروستاتيكية الجافة والرطبة، أو أجهزة غسل الغاز، مما ينتج عنه إما نفايات صلبة جافة أو حمأة محتوية على الزئبق (مجموعة أدوات برنامج الأمم المتحدة للبيئة). وغالباً ما ينتج حمض الكبريتيك كنتاج مصاحب في مصانع المعادن غير الحديدية بسبب غنى معظم الخامات بالكبريت. ويتم إطلاق الكبريت، فضلاً عن الزئبق، من الركاز خلال الأكسدة الأولية في خطوة التحميص/التلبد، ويتم تمرير الزئبق المحتوي على تيار غاز الكبريتيك إلى مصنع حامض الكبريتيك. وقد يتم تنصيب تقنيات لإزالة الزئبق بشكل خاص لضمان أن يكون محتوى الزئبق في حمض الكبريتيك المنتج بنسبة منخفضة بدرجة كافية. ويتوقع أن ما تبقى من الزئبق من عملية التحميص أو التلبد سوف يتبع الفضلات إلى إعادة التدوير أو الترسيب.

١٢٢- وعملية الترشيح كجزء من عملية التحليل الكهربائي، ينتج عنها زئبق يحتوي على ناتج ترشيح السائل وفضلات صلبة. وقد تتبع أجزاء من الزئبق المتبقي الرواسب إلى مرحلة معالجة أخرى من عملية التنقية. ولم يتم التحقق من أية بيانات عن انبعاثات الزئبق من خطوة التحليل الكهربائي (مجموعة أدوات برنامج الأمم المتحدة للبيئة).

١٢٣- ويمكن أن تشمل عملية الصهر مواد ثانوية قد تكون، من حيث المبدأ، مصدراً للزئبق. ويتم تصعيد الزئبق في تغذية المصهر ويدخل في تيار الغاز.

١٢٤- وتعتبر انبعاثات الزئبق من الوقود المستخدم في عمليات التدفئة أقل أهمية.

١٢٥- ويمكن ملاحظة الخطوات الرئيسية للإنتاج الأولي للمعادن غير الحديدية وتدفقات الزئبق ضمن هذه الخطوات في الشكل ٥.

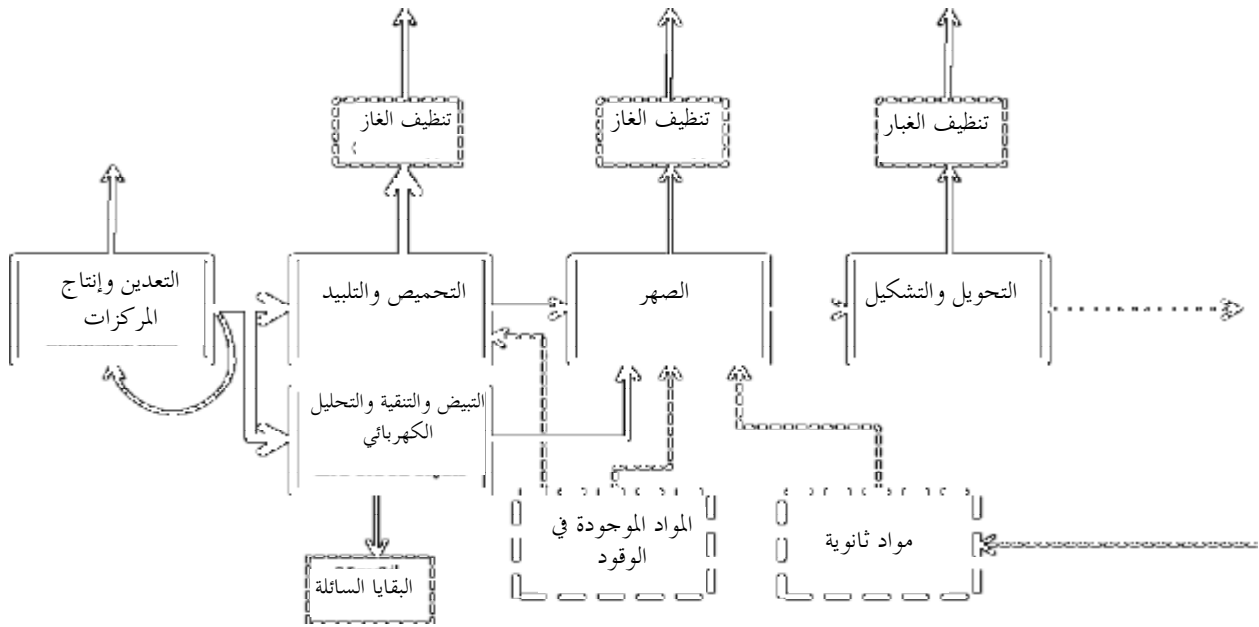
٥-٢-٢- التكنولوجيات المستعملة في إنتاج الفلزات غير الحديدية

١٢٦- هناك العديد من التقنيات التي تستخدم للإنتاج الأولي للمعادن غير الحديدية. ويمكن التمييز بين عملية معالجة الخامات بالسوائل لاستخلاص الفلزات (التحليل الكهربائي) الأكثر استخداماً، والعمليات الميثلورجية الحرارية.

١٢٧- وتقوم العمليات الميثلورجية الحرارية بمعالجة المعادن والخامات والمركبات المعدنية حرارياً لاستخلاص المعادن، وبالتالي فإن معظم العمليات الميثلورجية الحرارية تتطلب مدخلات طاقة للحفاظ على درجة الحرارة التي تجري فيها العملية. وعادة ما يتم توفير الطاقة عن طريق احتراق الوقود الأحفوري.

١٢٨- وفي عملية المعالجة بالسوائل، تستخدم الكيمياء لاستخلاص المعادن من الخامات أو المركبات أو المواد المعاد تدويرها أو البقايا.

١٢٩- ويمكن استخدام تكنولوجيات مختلفة أو مجموعات من التكنولوجيات معاً في الخطوات المبينة في الشكل ٥. وللإطلاع على وصف مفصل لمختلف التكنولوجيات لإنتاج الفلزات غير الحديدية، يرجى الرجوع إلى مشروع الوثيقة المرجعية للجماعة الأوروبية بشأن الصناعات المعدنية غير الحديدية، على الموقع: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/>.



الشكل ٥: الخطوات الرئيسية لإنتاج الفلزات غير الحديدية ومسار الزئبق ضمن الخطوات. التحميص/التلييد والصهر هي عمليات تتم في درجة حرارة مرتفعة حيث يمتل انبعاث الزئبق في الهواء في المقام الأول.

٥-٢-٣- تدابير التحكم في إنتاج الفلزات غير الحديدية

١٣٠- غالباً ما تحتوي خامات الفلزات غير الحديدية (مثل النحاس والزنك والبيريت والرصاص والذهب) على الزئبق بكميات طفيفة. وتستخدم تكنولوجيات التحكم التقني الشامل في الملوثات التي يرد وصفها في الفصل الرابع في مرافق إنتاج الفلزات غير الحديدية. كما يمكن لأجهزة التحكم في تلوث الهواء التقاط الزئبق في غازات المدخن بدرجات متفاوتة. وبالإضافة إلى المنافع المشتركة من تكنولوجيات التحكم في تلوث الهواء، تم تطوير تكنولوجيات نوعية لإزالة الزئبق بصفة خاصة لاستخدامها في إنتاج الفلزات غير الحديدية. وكانت هناك طموحات وراء الدافع إلى تطوير تكنولوجيات التحكم في

الزئبق لاستخدامها في مرافق إنتاج الفلزات غير الحديدية؛ وهي خفض الانبعاثات في الهواء وكذلك منع الزئبق من تلويث حامض الكبريتيك، الذي يمكن أن ينتج بعد تجميع الفلزات التي تحتوي على حامض الكبريتيك. وتتم إزالة بعض الزئبق من غاز المداخن عبر التكتيف (في غسيل الغاز أو وحدات مرشحات التحكم في تلوث الهواء، على سبيل المثال) مع السيلينيوم أو الكبريتات الموجودة بالفعل في الخامات.

١٣١- وأظهرت القياسات في مصهر للزنك بطريقة المعالجة بالسوائل في الصين (وانغ وآخرون، ٢٠١٠) كفاءة إزالة الزئبق بأجهزة التحكم في تلوث الهواء التي تعالج النفايات الغازية من فرن التحميص. ويبين التقرير كفاءة إزالة الزئبق التي قيست لكل خطوة في شكل متوسط لقيمة الخفض بالنسبة المثوية \pm انحراف معياري. وبعد مرجل النفايات الحراري، والمدمومة الفرازة والمرسب الكهروستاتيكي، يمر الغاز بعملية تنظيف غاز المداخن التي تشمل جهازاً للغسيل الرطب باستخدام حمض الكبريتيك المخفف المعاد تدويره. وأثبتت معدات تنظيف غاز المداخن هذه كفاءة في إزالة الزئبق بلغت حوالي $17,4 \pm 0,5$ في المائة. والخطوة التالية هي مزيل التضبب الالكتروستاتي لإزالة بخار الماء، الذي أزال $3,3 \pm 30,3$ في المائة من الزئبق. وكانت كفاءة برج استرجاع الزئبق في إزالة الزئبق $87,9 \pm 3,5$ في المائة. ويستخدم برج الاسترجاع هذا عملية بوليدن نورزنك Boliden Norzink التي تزيل الزئبق من الغاز قبل مصنع حامض الكبريتيك. وقد أزال مصنع الحامض نفسه $97,4 \pm 0,6$ في المائة من الزئبق من الغاز الداخل إليه.

١٣٢- ويفترض هايلاندر وهربرت (٢٠٠٨) في حصريهما لانبعاثات الزئبق من إنتاج الفلزات غير الحديدية أن كفاءة إزالة الزئبق كانت بين ٩٥-٩٩ في المائة عند وجود مصنع لحامض الكبريتيك في مصهر الميتالورجية الحرارية للنحاس أو الرصاص أو الزنك، وعلى افتراض أنه تم منع الزئبق من تلويث منتج حمض الكبريتيك. وإذا كانت المرسبات الكهروستاتيكية و/أو معدات غسيل الغاز موجودة وحدها، تكون الافتراضات هي إزالة ٨٠ في المائة من الزئبق إذا ما كانت المرسبات والغسلات تتسم بالكفاءة، و٤٠ في المائة إذا ما كانت أقل كفاءة. وإذا كانت أجهزة إزالة الكبريت محدودة أو معدومة ولم توجد أجهزة للتحكم في إزالة الزئبق خاصة، تكون إزالة الزئبق المفترضة ١٠ في المائة.

١٣٣- وتتوفر عدة أساليب مختلفة لإزالة الزئبق بصفة خاصة من غازات المداخن في صناعة الفلزات غير الحديدية. والعمليات التي يتم بها تحويل الزئبق إلى مركب كيميائي صلب يمكن إزالته بالتريسيب أو غسيل الغاز أو الترشيح تشمل عمليات أوتوكمبو Outokumpu وبولكم Bolkem، حيث يتم ترسيب الزئبق في شكل مركبات الكبريتات الصلبة، وعملية بوليدن نورزنك Boliden Norzink حيث يرسب الزئبق في شكل كلوريد زئبقي. وتشمل الطرق البديلة مرشحات الكربون أو السيلينيوم (للمعالجة المنخفضة التركيز) أو أجهزة غسيل السيلينيوم (بمجموعة أدوات برنامج الأمم المتحدة للبيئة ٢٠١٠). وتوجد معلومات إضافية متاحة على الموقع: http://www.sulphuric-acid.com/techmanual/GasCleaning/gcl_hg.htm.

١٣٤- ووفقاً للمعلومات المقدّمة في الردود على الاستبيان، توجد مجموعة تكنولوجيات مخصصة لإزالة الزئبق مستخدمة في الإنتاج الصناعي للذهب في الولايات المتحدة، بالإضافة إلى استخدامات التحكم في المادة الجسيمية بواسطة المرشح الكيسي أو التريسيب الكهروستاتيكي في معظم المصانع، ومعدات التحكم في غاز ثاني أكسيد الكبريت بواسطة أجهزة غسل الغاز الرطب، على سبيل المثال، في مصانع أخرى. وتشمل الأجهزة المخصصة للتحكم في الزئبق مكثف الزئبق، في تركيبة مجمعة مع أنواع مختلفة من مرشحات امتزاز الكربون، مما يعطي كفاءة إزالة تبلغ ٩٣ - ٩٩,٦ في المائة. كما يتم تنصيب أجهزة غسل الغاز في بعض المصانع، مثل أجهزة غسل الغاز لحقن الكلوريد الزئبقي أو الهيوكلوريت، التي تحقق كفاءة عالية في إزالة الزئبق.

١٣٥- وفيما يتعلق بالإنتاج الصناعي للذهب، قامت إدارة حماية البيئة في نيفادا بتنفيذ برنامج التحكم في الزئبق في نيفادا في ٢٠٠٦ من أجل تحقيق تخفيضات في الانبعاثات في الهواء من عمليات المعادن الثمينة (أي منشآت إنتاج الذهب والفضة). ورغم أن عدداً من مرافق الإنتاج الصناعي للذهب في الولايات المتحدة لديها بالفعل أجهزة نوعية فعالة للتحكم في الزئبق بصفة خاصة، فإن برنامج نيفادا يتطلب وجود منشآت لاستخدام أفضل التكنولوجيات المتاحة للتحكم في انبعاثات الزئبق في الهواء في مرافق إنتاج الذهب والفضة في جميع المناجم التي تستخدم أي عمليات حرارية في ولاية نيفادا (مثل الأفران ومعدات التحميص وأجهزة التعقيم والقمان أو الأفران التي تعمل بالكهرباء وأجهزة الاستخلاص الكيميائي والأنيبيق، الخ).

١٣٦- وعلاوة على ذلك، تقوم الولايات المتحدة الأمريكية بوضع لوائح وطنية لانبعاثات الزئبق من الإنتاج الصناعي للذهب. وإذا نفذت اللوائح المعروضة للجمهور لإبداء الرأي فيها في ٢٨ نيسان/أبريل ٢٠١٠ بالكامل، جنباً إلى جنب مع برنامج نيفادا للزئبق، فسوف تنخفض تقديرات الولايات المتحدة لانبعاثات الزئبق من هذه الصناعة الوطنية بنسبة ٩٤ في المائة تقريباً عن مستويات انبعاثات عام ١٩٩٩، وأكثر من ٩٦ في المائة من احتمالات المستويات غير المنضبطة للانبعاثات، وتنخفض انبعاثات الزئبق من عمليات المعالجة المسبقة للحام (مثل التحميص) بنسبة ٩٤ في المائة بالمقارنة مع الظروف غير المتحكم فيها و٦٤ في المائة بالمقارنة مع أحوال ٢٠٠٧. ومن الخطوات اللاحقة لإنتاج الذهب، بما في ذلك القمان والأنيبيق والصهر على سبيل المثال، يُتوقع تخفيض يقدر بـ ٩٨-٩٩ في المائة مقارنة مع الظروف غير المتحكم فيها، وبنحو ٩٠ في المائة بالمقارنة مع الظروف في ٢٠٠٧.

١٣٧- ويمكن أن نخلص إلى أن هناك العديد من الخيارات المختلفة لإزالة الزئبق في صناعة الفلزات غير الحديدية. ومع ذلك، فإنه نظراً لتنوع خامات الفلزات غير الحديدية، وأن لرواسب كل منها خصائص مختلفة بشكل ملحوظ، فإنه يكاد يكون من المستحيل التعميم فيما يتعلق بالجدوى والتكاليف، وما إلى ذلك. (برنامج الأمم المتحدة للبيئة ٢٠٠٦).

٥-٢-٤ - تكاليف وكفاءة تكنولوجيات التحكم المستخدمة في إنتاج الفلزات غير الحديدية

١٣٨- تستخدم المصاهر الكبيرة غير الحديدية أجهزة تحكم في تلوث الهواء عالية الكفاءة للتحكم في الجسيمات وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكبريت الناتجة من أفران التحميص وأفران الصهر والمحولات. وغالباً ما ينبعث الزئبق في شكل غازي، وبالتالي فإن المرشحات النسيجية والمرسبات الكهروستاتيكية لا تكون في غاية الفعالية في إزالة هذا العنصر. ويتحقق التحكم في انبعاثات غازات المداخن عن طريق امتصاص ثاني أكسيد الكبريت في مصانع حامض الكبريتيك، التي تكون في العادة جزءاً من مصانع الصهر. ويعتبر المزج بين مرسب كهروستاتيكي جاف وأجهزة غسيل الغازات الرطب وإزالة الزئبق ومرسب كهروستاتيكي رطب أفضل التكنولوجيات المتاحة في الاتحاد الأوروبي (EC, 2001a). وتعتمد كمية الانبعاثات المتبقية على محتوى الزئبق في الخام.

١٣٩- وتفيد التقارير عن تكنولوجيات إزالة الزئبق، الخاصة بإنتاج الفلزات غير الحديدية، أن عملية بوليدن - نورزنك هي الأقل في التكاليف الرأسمالية والتشغيلية، على الرغم من بعض التكلفة للطاقة اللازمة لتشغيل أجهزة غسيل الغاز. (تقرير برنامج الأمم المتحدة للبيئة، ٢٠٠٦، الفرع ٥-٣) (إنتاج الفلزات (غير الحديدية) المعاد تدويرها). ولا توجد بيانات عن تكاليف تتعلق بعملية بوليدن - نورزنك. وكما لوحظ في الفرع ٥-٢-٣، فإن نفس مصنع حامض الكبريتيك له تأثير غير متعمد في إزالة الزئبق من الغاز أيضاً.

١٤٠- وكانت التكاليف المحسوبة سنوياً لتكنولوجيات مختارة لخفض ملوثات متعددة لكل طن من إنتاج المعادن، كمؤشر لنشاط محدد، وكفاءتها في خفض انبعاثات الزئبق ضمن تحليلات مشروع التقييم المتكامل لانبعاثات المعادن الثقيلة في أوروبا (<http://espreme.ier.uni-stuttgart.de>). وتعتبر منشآت التحكم في الانبعاثات ذات القدرة المنخفضة في إزالة الزئبق (التي تتراوح بين ٥ إلى ١٠ في المائة باستعمال مرسبات كهروستاتيكية، على سبيل المثال) غير مكلفة إلى حد ما، حيث تبلغ التكلفة الإجمالية السنوية ما يتراوح بين ٠،١ و ٠،٢ دولار/طن من المعدن المنتج بأسعار ٢٠٠٨. أما المرشحات النسيجية ذات الإمكانيات المماثلة في خفض انبعاثات الزئبق فتكاد تكون أكثر تكلفة بدرجة قليلة من المرسبات الكهروستاتيكية بالنسبة لإنتاج كل من الرصاص الأوّلي والزنك الأوّلي. لكن هذا الفرق يكون أكبر من ذلك بالنسبة لقطاع إنتاج النحاس الأوّلي، إذ تصل التكلفة الإجمالية السنوية إلى ما بين ١٥،٠ و ٣٠،٠ دولاراً لكل طن من النحاس المنتج.

١٤١- وتؤدي الإجراءات الخاصة بالزئبق، مثل حقن الكربون المنشط المستخدم مع تشكيلة مرسبات كهروستاتيكية ومرشحات نسيجية وأجهزة إزالة تركيز الكبريت من غاز المداخن في إنتاج الزنك الأوّلي إلى زيادة التكلفة السنوية الإجمالية بحوالي الثلث مقارنة باستخدام المرسبات الكهروستاتيكية مع أجهزة إزالة تركيز الكبريت من غاز المداخن، أو المرشحات النسيجية مع أجهزة إزالة تركيز الكبريت من غاز المداخن (باسينا وآخرون، ٢٠١٠).

١٤٢- وتتوفر معلومات تفصيلية عن تكاليف وكفاءة خفض انبعاثات الزئبق من إنتاج الذهب من الولايات المتحدة نتيجة لعملية وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة الخاصة بوضع لائحة مقترحة للزئبق. وقد أسفر تقييم تكاليف وكفاءة الإنتاج الصناعي للذهب في ولاية نيفادا عن تقديرات لتخفيضات في الانبعاثات بنسبة ٩٩،٧ في المائة بواسطة أجهزة التحكم بما في ذلك تبريد الغاز والتحكم في المادة الجسيمية وجهاز بوليدن نورزنك لغسيل الغاز بالكالميل. وكانت تكاليف التركيب حوالي ٣،٥ مليون دولار، وقدرت تكاليف التشغيل بـ ٦٦٠.٠٠٠ دولار أمريكي سنوياً بالنسبة لأجهزة التحكم العاملة بالفعل من حوالي ١٠ سنوات. وبالنسبة لوحداث حرارية أخرى في صناعة إنتاج الذهب، مثل القمائن والأنايق والأفران، فإن أفضل أجهزة التحكم هي مرشحات الكربون المشبعة بالكبريت، التي تحقق خفضاً يبلغ نحو ٩٣ إلى ٩٩ في المائة. كما كان تقدير تكاليف تركيب نظام امتصاص الكربون في أحد المرافق (بمعدل تدفق حجمي ٢٥٠٠ قدم مكعب في الدقيقة) نحو ١٨٤.٠٠٠ دولار أمريكي. وتبلغ التكاليف التقديرية السنوية لعمل جهاز امتزاز الكربون نحو ١٠.٠٠٠ دولار أمريكي سنوياً، وتقدر تكلفة استبدال الكربون بـ ٥٤.٠٠٠ دولار سنوياً. ويتوفر المزيد من التفاصيل على موقع إدارة حماية البيئة في نيفادا على الإنترنت: <http://ndep.nv.gov/baqp/hg/clearinghouse.html>.

٥-٣- إنتاج الإسمنت

٥-٣-١- منشأ الزئبق والانبعاثات من إنتاج الإسمنت

١٤٣- يوجد الزئبق بشكل طبيعي في المواد الخام (الحجر الجيري، مثلاً) المستخدمة في إنتاج الإسمنت، وكذلك في الوقود المستخدم في العملية، مما يؤدي إلى دخول الزئبق في نظام قمائن الإسمنت.

١٤٤- ويتم استخراج المواد الخام الطبيعية لإنتاج الإسمنت مثل الحجر الجيري، والمرل (الطين الجيري)، والطفل الصفحي أو طين المحاجر من عمليات التعدين والمحاجر (مثل الحفر في الصخور والتفجير والتنقيب والسحب والسحق)، قبل أن يتم سحقها في مطحنة أو معصرة وجعلها متجانسة كيميائياً بخلط المواد الخام بنسب محكمة.

١٤٥- ويوضع الخام (المسحوق الجاف أو الطين) الناتج من الاستخراج وعملية الإعداد في الفرن وتتم معالجته حرارياً لإنتاج الكلنكر (خبث المعادن). وتشمل المعالجة الحرارية (١) التجفيف والتسخين المسبق (٢) التحميص (٣) التلييد. وبعد أن يتم تبريد الكلنكر، يُطحن مع الجبس ($CaSO_4$) لصنع الإسمنت.

١٤٦- وبسبب خصائص رماد محطات الطاقة (الرماد المتطاير أو رماد القاع)، فإنه من الممكن خلط خبث الفرن، أو البقايا الأخرى للعملية (خبث الحديد والحماة الورقية وغبار السيليكا ورماد البيريت والجبس الفوسفاتي) مع الإسمنت. وقد يحتوي الرماد المتطاير المستخدم على الزئبق (> 0.002 - 0.8 ملجم/كجم) وفقاً لـ رنزوي وآخرين، (٢٠١٠)، ولكن من الصعب تقدير كم من الزئبق يدخل البيئة عن هذا الطريق.

١٤٧- وبغض النظر عن أنواع العمليات ونوع فرن الإسمنت (عمليات الفرن الرطبة والجافة)، فإن الزئبق يدخل في الفرن مع المواد الخام، حيث يختلف محتوى الزئبق من منطقة إلى أخرى، وأيضاً مع أنواع الوقود المتفاوتة المحتوى من الزئبق. ومن المتوقع أن يحدث الناتج الرئيسي من الزئبق في عملية تصنيع الكلنكر (خبث المعادن) في الفرن حيث يترك الزئبق الفرن مع الغبار وغاز العادم.

١٤٨- ومن الممكن أن تبقى كميات صغيرة جداً من الزئبق الذي لا ينبعث في الهواء أو تلتقطه معدات التحكم في الانبعاثات في تراب قمينة الإسمنت أو في منتج الإسمنت النهائي. ووفقاً لمجموعة أدوات برنامج الأمم المتحدة للبيئة، يُتوقع أن يكون محتوى الزئبق في الإسمنت ما بين 0.02 - 0.1 جرام/طن أسمنت، ويقدم رنزوي وآخرون (٢٠١٠) متوسطاً للقيم من دراسات للولايات المتحدة وكندا هو 0.014 جرام من الزئبق للطن من الإسمنت، وألمانيا 0.06 جرام من الزئبق للطن الواحد من الإسمنت، مع نطاقات من القيم الفردية بعضها لا يكاد يُذكر، إلى قيم أعلى بكثير من نطاق مجموعة أدوات برنامج الأمم المتحدة للبيئة.

١٤٩- وحيث إن إنتاج الإسمنت يشمل عمليات كثيفة الاستخدام للطاقة، فإن استهلاك الوقود يمثل جزءاً مهماً من تكاليف الإنتاج. وتُستخدم أنواع مختلفة من الوقود لتوليد الحرارة اللازمة لعملية تصنيع الكلنكر وخاصة من مسحوق الفحم (الفحم الأسود والليغيت) وفحم الكوك النفطي وزيت الوقود الثقيل والغاز الطبيعي، لكن يجري استخدام أنواع أخرى أيضاً من الوقود والنفايات الأقل تكلفة، مثل القمامة البلدية الممزقة والمطاط المكسّر، كما تستخدم مذيبيات النفايات على نطاق واسع، وهذه يمكن أن تسهم في انبعاثات الزئبق من إنتاج الإسمنت (باسينا وآخرون، ٢٠١٠). ووفقاً لوثيقة IPPC (الاتفاقية المتكاملة لمنع التلوث والسيطرة) بشأن أفضل التقنيات المتاحة في صناعات الإسمنت التحويلية (الجماعة الأوروبية، ٢٠١٠)، كان استهلاك الوقود الشائع في صناعة الإسمنت الأوروبية في عام ٢٠٠٦ هو فحم الكوك النفطي (بنسبة ٣٩ في المائة) والفحم (بنسبة ١٩ في المائة) أو خليط من فحم الكوك النفطي والفحم (١٦ في المائة)، ولكنها تستخدم أيضاً المازوت (٣ في المائة) والليغيت وأنواع أخرى من الوقود الصلب (٥ في المائة) والغاز (١ في المائة)، فضلاً عن أنواع مختلفة من الوقود من النفايات (١٨ في المائة). ووفقاً لردود الولايات المتحدة على الاستبيان، فإن الفحم (٦٣ في المائة) وفحم الكوك النفطي (٢١ في المائة) هما الوقود المستخدم بكميات أكبر، تليهما أنواع بديلة من الوقود من مختلف الأنواع (١٢ في المائة) والغاز الطبيعي (٣ في المائة)، واستخدامات طفيفة من أنواع الوقود الأحفوري الأخرى. وفي البرازيل يهيمن فحم الكوك النفطي من بين أنواع الوقود، ولكن يُستخدم أيضاً وقود الفحم النباتي وأنواع أخرى من الوقود البديل، وفقاً للردود على الاستبيان.

١٥٠- ويمكن أن يكون منشأ الزئبق المنبعث من إنتاج الإسمنت هو شوائب في المواد الخام ومن أنواع الوقود المستخدمة. وتختلف المساهمة النسبية في الانبعاثات بين المصانع وبين البلدان، ولا يوجد نمط واحد لنوع من الوقود أو المواد الخام

يسهم بالقدر الأعظم في مدخلات الزئبق في فرن الإسمنت. ويتبين من دراسة لوكالة حماية البيئة الأمريكية (٢٠٠٩) عن معايير الانبعاثات الوطنية للملوثات الهوائية الخطرة من صناعة أسمنت بورتلاند، أنه بالنسبة لنحو ٥٥ في المائة من أفران الإسمنت في الولايات المتحدة، يمثل الزئبق من غير الحجر الجيري أكثر من ٥٠ في المائة من انبعاثات الزئبق من الفرن (أي الناتجة من مواد خام أخرى أو من أنواع وقود أخرى). وتجدر الإشارة، مع ذلك، إلى أن أصول الزئبق كانت متغيرة بدرجة كبيرة بين الأفران موضوع الدراسة. وتستنتج دراسة أجرتها جامعة دي لييج أنه في معظم الحالات كان المساهم الأكبر في مدخلات الزئبق الإجمالي في نظام أفران الإسمنت في أوروبا هو المواد الخام الطبيعية، وليس أنواع الوقود (رنزوني وآخرون، ٢٠١٠).

٥-٣-٢ - تدابير التحكم في إنتاج الإسمنت

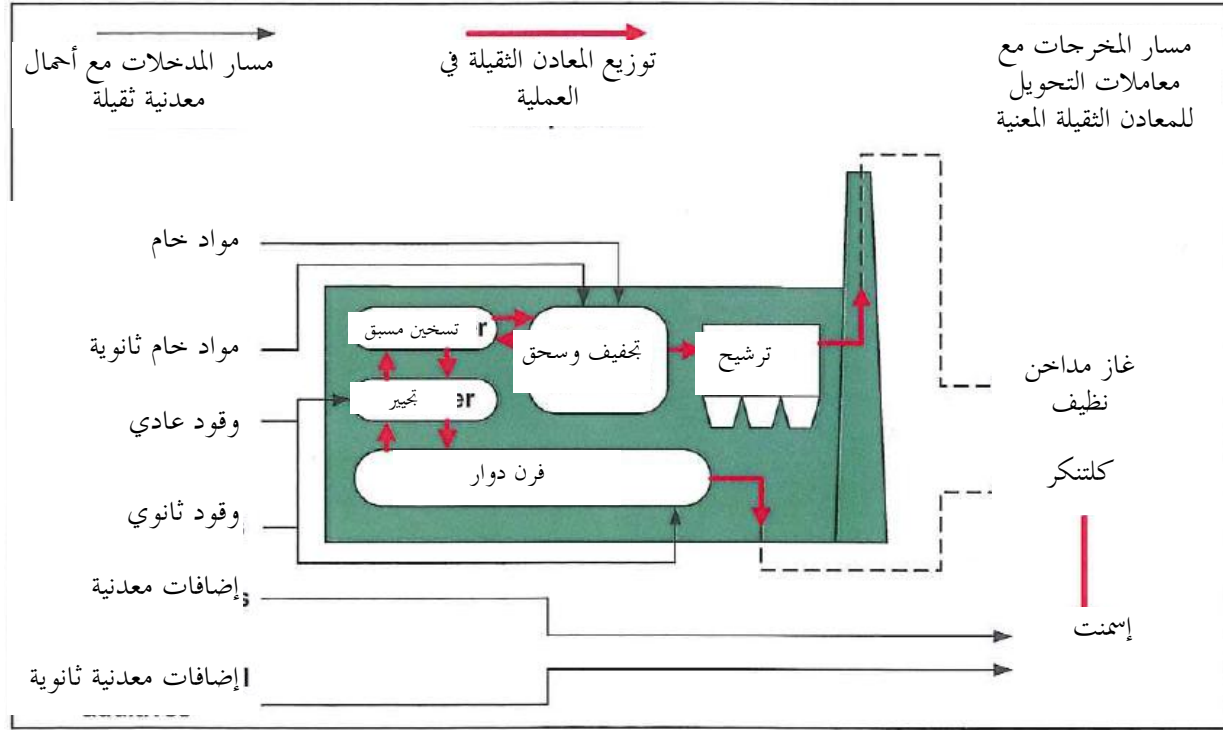
١٥١- تتمثل التدابير الأولية لخفض انبعاثات الزئبق في إنتاج الإسمنت في الاختيار الدقيق والتحكم في المواد التي تدخل الفرن (الجماعة الأوروبية، ٢٠١٠)، وبالتالي فإن المهم هو اختيار الوقود والمواد الخام ذات المحتويات المنخفضة من الزئبق. وثمة تدبير أولي آخر وهو ضمان كفاءة تشغيل المصنع، على سبيل المثال من أجل تخفيض كمية الوقود أو التحكم في درجات الحرارة وتدفق الغاز في مراحل مختلفة في العملية للاستفادة من إمكانيات التحكم في تدفق الزئبق خلال النظام. ويوجد في إنتاج الإسمنت آليات عملية متكاملة وظروف تشغيل تسمح بتعزيز قدرة قمائن الإسمنت على التقاط الزئبق وخفض انبعاثاته في الهواء (سنيور، ٢٠١٠؛ ورنزوني وآخرون، ٢٠١٠).

١٥٢- وعلى سبيل المثال يمكن تعزيز امتزاز الزئبق على الجسيمات داخل منظومة الفرن الجاف عن طريق تمرير الغازات الخارجة من فرن التسخين المسبق من خلال تجفيف/طحن المواد الخام في طاحونة الخام. ويمكن أن تكون طاحونة الخام إما متصلة (في وضع التشغيل) أو منفصلة (في وضع الإيقاف). فعندما تكون طاحونة الخام متصلة، تمر الغازات من جهاز التسخين المسبق عبر الطاحونة قبل الذهاب إلى جهاز التحكم في الجسيمات (الشكل ٦). وعندما تكون الطاحونة منفصلة تتجاوز غازات العادم طاحونة الخام وتذهب مباشرة إلى جهاز التحكم في الجسيمات بعد تبريدها.

١٥٣- ويتيح التحميل العالي للغبار وزيادة وقت الاتصال بين المواد الصلبة والغاز عندما تكون طاحونة الخام متصلة امتزاز مزيد من الزئبق على المواد الصلبة قبل جهاز التحكم في الجسيمات (رنزوني وآخرون، ٢٠١٠). ويخلص مشروع جمعية أسمنت بورتلاند الذي تضمن جمع واستعراض بيانات أكداش الانبعاثات إلى أن أفران التسخين/التحميص المسبق تحتوي على قدر أكبر بكثير من انبعاثات الزئبق في الهواء عندما تكون طاحونة الخام منفصلة (شراير وآخرون، ٢٠٠٩)، ويرجع هذا إلى انعدام القدرة على امتزاز الجزيئات المطحونة حديثاً في طاحونة الخام. ويعتبر إيقاف طاحونة الخام جزءاً منتظماً من عمليات مصانع الإسمنت.

١٥٤- ويكثف الزئبق المتطاير في درجة حرارة منخفضة نسبياً (١٢٠-١٥٠ درجة مئوية) على جزيئات المواد الخام في نظام فرن الإسمنت (مجموعة أدوات برنامج الأمم المتحدة للبيئة، ٢٠١٠). ومع انخفاض حرارة غازات المدخن بدرجة كافية، يتم جمع الزئبق المتمز على الجزيئات مع الجسيمات في جهاز تجميع الجسيمات. ومن الشائع إعادة تدوير الغبار الذي يتم جمعه في جهاز التحكم في الجسيمات (غالباً ما يسمى غبار فرن الإسمنت) مرة أخرى في عملية الإنتاج (سنيور، ٢٠١٠).

١٥٥- وطريقة التطهير الدوري لغبار فرن الإسمنت (CKD) هي إحدى طرق تخفيض انبعاثات الزئبق في الهواء بإزالة الزئبق المتمز على جزيئات من النظام. وتعتمد كفاءة هذا الإجراء، جزئياً، على كمية الغبار التي يتم إزالتها من النظام، وعلى درجة الحرارة الغالبة في جهاز التحكم في تلوث الهواء (رنزوني وآخرون، ٢٠١٠).



الشكل ٦: مسارات المعادن في قمائن الإسمنت ذات أفران التسخين المسبق في عملية جافة (الجماعة الأوروبية، ٢٠١٠، والمراجع فيها).

١٥٦- ويتضح من المعلومات المقدمة من البلدان (أنظر المرفق الأول للاطلاع على معلومات عن البلدان التي تقدم المعلومات) أن أكثر معدات التحكم في تلوث الهواء شيوعاً في مصانع الإسمنت في تلك البلدان هي أنواع مختلفة من أجهزة التحكم في الجسيمات. ووفقاً للمعلومات المقدمة، فإن أجهزة التحكم في الجسيمات مثل المرسل الكهروستاتيكي أو المرشح الكيسي/المرشح النسيجي هي الأجهزة الشائعة في مصانع الإسمنت (في البرازيل وقبرص وآيسلندا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية). وهناك إفادات أيضاً عن استخدام أجهزة الاختزال الانتقائي غير الحفزي في عدد من المصانع في المملكة المتحدة وأخرى في الولايات المتحدة. وفي الولايات المتحدة أيضاً، تم تجهيز بعض المصانع بأجهزة الغسيل الغازي الرطب أو الجاف لإزالة غاز ثاني أكسيد الكبريت. وليس هناك في المعلومات المقدمة ما يدل على تركيب أجهزة تحكم بالزئبق خاصة في أي مصنع للإسمنت، مع استثناء واحد، حيث أبلغت الولايات المتحدة عن فرن إسمنت واحد يقوم حالياً بتشغيل نظام حقن الكربون المنشط للتحكم في الزئبق خاصة.

١٥٧- ويشجع استخدام تكنولوجيا خفض التلوث في مصانع الإسمنت، مثل المرشحات النسيجية أو المرسلات الكهروستاتيكية، ولكن المعلومات نادرة عن كفاءة إزالة الزئبق على وجه التحديد من قمائن الإسمنت. ومن الممكن، بشكل عام، توقع أن تكون كفاءة إزالة الزئبق في أفران الإسمنت أعلى أو مشابهة لكفاءة إزالة الزئبق بالأجهزة المماثلة المستخدمة مثلاً في محطات توليد الكهرباء، ما دام يجري على نحو فعال تطهير غبار فرن الإسمنت والتخلص منه.

١٥٨- ووفقاً لرنزوني وآخرين (٢٠١٠)، تشمل تقنيات إزالة الانبعاثات التي تم اختبارها في صناعة الإسمنت الامتزاز على فحم الكوك المنشط (Polvitec) وحقن الكربون المنشط. وحقن الكربون المنشط هو أكثر تعقيداً من استخدامه على محطات توليد الطاقة التي تعمل بالفحم. ولأن من الشائع أن تتم إعادة تدوير الغبار الذي يتم جمعه من المرشحات النسيجية باعتبارها

جزءاً لا يتجزأ من نظام تجهيز المواد الخام في مصنع الإسمنت، فليس من المرغوب فيه حقن الكربون المنشط الذي من شأنه أن ينتهي في الغبار المتجمع من فرن الإسمنت. ومن الضروري التحكم بعناية في درجة حرارة هذا النظام، إلى أقل من ٢٠٠ درجة مئوية، من أجل ضمان حسن امتزاز الزئبق والتقليل من مخاطر حرائق الكربون المنشط في المرشحات النسيجية أو في نظام معالجة المواد الصلبة. وأحد الخيارات، إذا فشلت التدابير الأخرى، هو تنصيب جهاز حقن الكربون المنشط وجهاز إضافي لإزالة الغبار في نهاية مجرى مرشح فرن الإسمنت الرئيسي (رنزوني وآخرون ٢٠١٠).

٥-٣-٣ - تكاليف وكفاءة تقنيات التحكم في الزئبق في إنتاج الإسمنت

١٥٩- من الجوانب الهامة عند تقدير تكاليف التحكم في انبعاثات الزئبق هي افتراضات خط الأساس، فقد تكون الاختلافات في تكاليف إزالة الزئبق كبيرة جداً إذا كانت أوضاع خط الأساس هي عبارة عن مصانع أسمنت مجهزة بمعدات حديثة للتحكم في تلوث الهواء أو أنه تم فيها تركيب أجهزة تحكم في الانبعاثات في غاية البساطة. ويمكن توقع أن تكون بعض معدات التحكم، مثل المرشحات الكهروستاتيكية، منخفضة الكفاءة في إزالة الزئبق بسبب ارتفاع نسبة الزئبق الأولي في الغازات.

١٦٠- وترد أدناه التكاليف المحسوبة سنوياً لتكنولوجيات مختارة للتحكم في الملوثات المتعددة من إنتاج ١ طن من الإسمنت وفعاليتها في خفض انبعاثات الزئبق.

١٦١- واستناداً إلى المعلومات المتاحة من الوثائق المرجعية لأفضل التكنولوجيات المتاحة عن التكاليف السنوية^(٩) (مع بيان التكلفة الاستثمارية بين أقواس) في إنتاج الإسمنت والحجر وأكسيد المغنيسيوم (الجماعة الأوروبية، ٢٠١٠)، لتكنولوجيات مختارة لتخفيض الملوثات المتعددة، تبلغ التكلفة لكل طن^(١٠) من الإسمنت في المتوسط نحو ٠،٥٦ (٠،٣٤) دولار أمريكي بأسعار ٢٠١٠، لاستخدام المرشحات الكهروستاتيكية، و٠،٦٩ (٠،٣٢) دولار أمريكي بأسعار ٢٠١٠ للمرشحات النسيجية. ومن شأن إدخال أجهزة غسيل الغاز الجاف أو الرطب وحده أن يؤدي إلى تكلفة بمتوسط ١،٩٤ (١،١٢) و٢،٦٣ (٠،٨١) دولار أمريكي بأسعار ٢٠١٠، على التوالي. ويمكن تحقيق كفاءة أعلى في الإزالة (تصل إلى ٩٠ في المائة) إذا تم الجمع بين المرشحات النسيجية وأجهزة غسيل الغاز بتكلفة تبلغ في المتوسط من ٢،٦٣ (١،١٣) دولار أمريكي بأسعار ٢٠١٠.

١٦٢- وقامت وكالة حماية البيئة الأمريكية بتحليل لتكلفة تنصيب أجهزة حقن الكربون المنشط للتحكم في الزئبق في قمائن الإسمنت، وشمل هذا التحليل المرشحات النسيجية ذات إمكانات الصقل. وتجري إعادة تدوير معظم غبار فرن الإسمنت مرة أخرى إلى الفرن. ويمكن أن ينتج عن حقن الكربون المنشط قبل المرور بالمرشح الرئيسي وجود كربون إضافي في تراب قمينة الإسمنت، مما يجعله غير صالح لإعادة التدوير إلى الفرن ما لم يتم التحكم في العملية بعناية. وقد قدرت تكاليف التحكم في الزئبق بشكل خاص في وحدات إنتاج الإسمنت باستخدام التكاليف التي وضعت أصلاً لمراحل المرافق الكهربائية. وتراوحت عوامل التكلفة الرأسمالية من ١،٨١ إلى ٣،٠٠ دولار/طن من الكلنكر، والمتوسط هو ٢،٤١ دولار/طن. وتراوح مجموع التكاليف المحسوبة بالقيمة سنوياً من ٠،٩٦ إلى ١،١٣ دولار/طن من الكلنكر، والمتوسط هو ١،٤١ دولار/طن من الكلنكر. وتبلغ التكلفة الرأسمالية لفرن التسخين/التحميص المسبق بطاقة إنتاج تبلغ ١،٢ مليون طن في

(٩) بافتراض دورة حياة للتكنولوجيا مدتها ٢٠ عاماً مع سعر خصم ٤ في المائة.

(١٠) طاقة مصنع إسمنت بقدرة ٣ ٠٠٠ طن من الكلينكر يومياً.

السنة ٢٠٠٩ مليون دولار، والتكلفة السنوية ١٠٢٥ مليون دولار سنوياً (بأسعار ٢٠٠٥). ونتيجةً لارتفاع تكلفة جهاز غسيل الغاز بالمقارنة مع حقن الكربون المنشط، تتوقع وكالة الولايات المتحدة لحماية البيئة عدم تنصيب أجهزة غسل الغاز للتحكم في الزئبق إلا عند الحاجة إلى غسل الغاز أيضاً للتحكم في الملوثات الأخرى. وتقدر وكالة حماية البيئة الأمريكية أيضاً أن حقن الكربون المنشط يمكنه تحقيق ٩٠ في المائة في تخفيض انبعاثات الزئبق في مصانع الإسمنت (وكالة حماية البيئة، ٢٠١٠).

٥-٤- حرق النفايات

٥-٤-١- منشأ الزئبق والانبعاثات الناجمة عن حرق النفايات

١٦٣- تتوقف التأثيرات الرئيسية على إجمالي انبعاثات الزئبق في الهواء من حرق النفايات على محتوى الزئبق في النفايات، وقدرة المحرقة على حرق النفايات، ونوع المحرقة (حرق دون فرز مع هواء مفرط، أو حرق مع التحكم في كمية الأكسجين) والطريقة التي تعمل بها (ما إذا كانت تتضمن استرجاع الحرارة مثلاً)، ودرجة الإزالة التي تتفق مع المصنع. وأهم إجراء أساسي للتحكم في انبعاثات الزئبق في الهواء هو تجنب دخول الزئبق في مجاري النفايات أو المعالجة المسبقة للنفايات، أو المعالجة المسبقة مثل فصل وإزالة المواد المحتوية على الزئبق قبل إدخال النفايات في المحرقة. ومن الممكن أن يوجد الزئبق في النفايات المتزلية بتركيزات شديدة التنوع في بلدان مختلفة، ويتوقف هذا في الأساس على كمية الزئبق في المنتجات المتزلية ووجود نظم لجمع الزئبق أو ما إذا كان يتم التخلص من المنتجات في المجرى العادي للنفايات. وتشمل مجموعات المنتجات الشائعة التي تحتوي على الزئبق البطاريات وأجهزة قياس الحرارة ومصادر الإضاءة الفلورسنت. وهكذا يرتبط التحكم في الزئبق في حرق النفايات ارتباطاً وثيقاً بمشكلة الزئبق في المنتجات المتزلية والأجهزة الطبية، الخ، التي قد ينتهي جزء منها إلى مجرى النفايات، ومن ثم فإن الاستعاضة عن المنتجات المحتوية على الزئبق أو إدخال نظم فعالة لجمع الزئبق والتخلص الآمن منه إنما هي تدابير بديلة لتجنب انبعاثات الزئبق من حرق النفايات.

٥-٤-٢- تكنولوجيات حرق النفايات

١٦٤- يلاحظ أن حرق النفايات على نطاق واسع، وهو ما يركز عليه هذا الفرع، ليس إجراءً شائعاً في كثير من البلدان. ووجود أشكال أخرى من إدارة النفايات، أو عدم وجود نظم منضبطة لمعالجة النفايات، يؤدي إلى نشوء انبعاثات الزئبق عن طريق التفريغ الغازي من مقابل القمامة أو حرق النفايات غير المنضبط، وبالتالي فإن المعلومات المقدمة هنا لا تتصل إلا بالبلدان التي يكون فيها حرق النفايات على نطاق واسع جزءاً لا يتجزأ من نظام إدارة النفايات.

١٦٥- وهناك العديد من التصاميم والتقنيات المختلفة للأفران المستخدمة في حرق النفايات البلدية الصلبة. ففي المحرقة النمطية، يتم إدخال النفايات إلى غرفة الحرق ووضعها على تشبيكة ناقلة تتحرك بالنفايات عبر المحرقة، وخلط النفايات جيداً مع الهواء الساخن لضمان الاحتراق الفعال. ويحتوي العديد من تصاميم المحارق على غرفتي احتراق، حيث يُضخ الهواء إلى الغرفة الأولية من خلال النفايات (الهواء الأولي)، وتُمر منتجات الاحتراق غير الكامل (أول أكسيد الكربون والمركبات العضوية) إلى غرفة الاحتراق الثانية حيث يتم ضخ هواء إضافي (الهواء الثانوي) ويكتمل الاحتراق.

١٦٦- وهناك ثلاث فئات رئيسية من تكنولوجيا حرق النفايات البلدية الصلبة، تعتمد على كمية وشكل النفايات المراد حرقها. وهذه الفئات هي وحدات الحرق الجمعي، ووحدات الحرق المكونة من وحدات معيارية، ووحدات الحرق على قاعدة مُمِعة. ففي وحدات الحرق الجمعي تُحرق النفايات البلدية الصلبة دون أي معالجة مسبقة سوى إزالة الأجزاء الكبيرة

جداً بما لا يسمح بمرورها من خلال نظام التغذية وإزالة المواد الخطرة، مثل اسطوانات الغاز المضغوط. أما وحدات الحرق المعيارية فهي مماثلة لوحدة الحرق الجمعي إلا أنها تحرق النفايات التي لم تتم معالجتها مسبقاً، لكنها عادة ما تكون أصغر حجماً، وتتراوح سعتها من ٤ إلى ١٣٠ طناً من النفايات يومياً. وفي وحدات الحرق على قاعدة مميعة يتم حرق النفايات في قاعدة من مادة حاملة (على سبيل المثال، الرمل أو الرماد) على تشبيكة ناقلة أو لوحة توزيع، مميعة بالهواء. ولحرق النفايات البلدية الصلبة في الحرق على قاعدة مميعة، يجب معالجة النفايات (تمزيقها مثلاً) من أجل جعلها في حجم مناسب. (الجماعة الأوروبية، 2006a، EC).

١٦٧- وعادة ما يتم حرق النفايات الخطرة، التي قد يكون بها نسبة عالية من محتوى الزئبق، إما في محارق ذات تكنولوجيا خاصة أو في نوع من القمائن الدوارة. وتشمل المحارق ذات التكنولوجيا الخاصة أفراناً ذات اسطوانات أو تشبيكات ناقلة أو لفاعات كاتمة للصوت من أنواع منخفضة التكنولوجيا جداً. كذلك، يمكن إدراج تكنولوجيات أخرى تعالج النفايات الخطرة في هذه المجموعة (مثل أكسدة الماء فوق الحرجة، وترجيح القوس الكهربائي) (على الرغم من أنها ليست بالضرورة مصنفة بأنها تكنولوجيات "إحراق"). وفي بعض البلدان تحرق النفايات الخطرة في مصانع الإسمنت وأفران الحرق الجمعي الخفيفة الوزن. وفي بعض البلدان تحرق النفايات الطبية في محارق النفايات الخطرة أو في محارق النفايات البلدية المناسبة لهذا الغرض (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، ٢٠٠٥).

٥-٤-٣ - تدابير التحكم في حرق النفايات

١٦٨- بما أن جميع الزئبق المنبعث في الهواء من حرق النفايات ينشأ من الزئبق في النفايات، فإن أهم التدابير الأولية هي خفض مدخلات الزئبق إلى المحرقة. ويمكن تحقيق ذلك عن طريق فرز المنتجات المحتوية على الزئبق من مجرى النفايات قبل حرقها.

١٦٩- وفي حرق النفايات، قد يكون من الممكن تعزيز كفاءة معدات التحكم من ناحية التحكم بواسطة امتزاز أبخرة الزئبق من غرفة الاحتراق على مادة ممتزة من الغاز الحمضي أو غيرها من الممتزات، ثم إزالة زئبق مرحلة الجسيمات. ولتحقيق السيطرة العالية على الزئبق، من المفيد خفض درجة حرارة غاز المداخل في مدخل جهاز التحكم إلى ١٧٥ درجة مئوية (أو أقل). وفي الغالب الأعم تستخدم أحدث نظم حرق النفايات البلدية مزيجاً من تبريد الغاز وأنايب حقن المواد الماصة أو نظم التحفيف بالرش قبل المرور في جهاز إزالة الجسيمات لخفض الحرارة وتوفير آلية للتحكم في الغازات الحمضية (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، ٢٠٠٦).

١٧٠- وفي ظل ظروف الحرق في درجات حرارة تتجاوز ٨٥٠ درجة مئوية ومحتوى أكسجين من ٨-١٠ في المائة حجماً، تكون الأنواع السائدة من الزئبق هي كلوريدات الزئبق (الأول والثاني) والزئبق الأولي (فيلزن وآخرون، ٢٠٠٢). ويتبين من التوازن الكيميائي للزئبق، المحسوب بالديناميكا الحرارية في غاز المداخل المعتاد الذي يحتوي على حمض الهيدروكلوريك وغاز ثاني أكسيد الكبريت، أن المنتج الرئيسي بين ٣٠٠ و ٧٠٠ درجة مئوية هو ثاني كلوريد الزئبق، في حين أنه فوق ٧٠٠ درجة مئوية يكون الزئبق الأولي هو النوع المهيمن. ويرد في الجدول ٩ موجز لكفاءة مختلف معدات تنظيف غاز المداخل في إزالة الزئبق في المحارق. (فيلزن وآخرون، ٢٠٠٢). وتدابير التحكم هذه غير مخصصة للزئبق، وينبغي اعتبارها محصر أمثلة من التكنولوجيات العامة للتحكم في الانبعاثات. ولغرض التقدير يفترض أن نسبة ثاني كلوريد الزئبق إلى الزئبق الأولي هي ما بين ٣٠/٧٠ و ٢٠/٨٠. وقد تكون "المواد الماصة أو (الممتزات) الخاصة" مشربة بالكبريت أو مركبات الكبريت أو ممتزات قائمة على مركبات الكربون المنشط، التي تزيد من امتزاز الزئبق على الجسيمات.

الجدول ٩: كفاءة إزالة الزئبق في نظم تنظيف غازات المداخن لمحارق النفايات (مجموعة أدوات برنامج الأمم المتحدة للبيئة)

المعدات	درجات الحرارة	الزئبق الأوّلي Hg(0)	كلوريد الزئبق HgCl ₂	الإجمالي**	المرجع
مرسبات كهروستاتيكية	١٨٠	١٠-٠	٤-٠	٨-٠	Velzen et al 2002
أجهزة الغسل الرطب	٧٠-٦٥	٨٠-٧٠	١٠-٠	٦٥-٥٥	Velzen et al 2002
أجهزة الغسل الرطب مع عامل تكيف		٩٥-٩٠	٣٠-٢٠	٨٢-٧٦	Velzen et al 2002
أجهزة امتصاص بالرذاذ+ مرشحات نسيجية (الحجر الجيري)	١٣٠	٦٠-٥٠	٣٥-٣٠	٥٢-٤٤	Velzen et al 2002
أجهزة امتصاص بالرذاذ+ مرشحات نسيجية (مواد امتصاص خاصة مضافة*)		٩٥-٩٠	٩٠-٨٠	٩٤-٨٧	Velzen et al 2002
أجهزة امتصاص بفقاعات محبوسة+ مرشحات نسيجية (مواد امتصاص خاصة مضافة*)	١٣٠	٩٥-٩٠	٩٠-٨٠	٩٤-٨٧	Velzen et al 2002
قاعدة مميعة دوارة + مرشحات نسيجية (مواد امتصاص خاصة مضافة*)	١٣٠	٩٩-٩٠	٩٥-٨٠	٩٨-٨٧	Velzen et al 2002
مرسبات كهروستاتيكية أو مرشحات نسيجية+ حقن بالكربون				٩٠<٥٠-	Pirrone et al 2001
مرسبات كهروستاتيكية أو مرشحات نسيجية+ جهاز غسل رطب صقال				٨٥	Pirrone et al 2001

* أجهزة الامتصاص الخاصة قد تكون أجهزة امتصاص مشبعة بالكبريت أو مركبات الكبريت أو أجهزة امتصاص على كربون منشط، يزيد من امتزاز الزئبق على الجسيمات.

١٧١- وكما هو مبين في الجدول، في بعض الأحيان لا يكون للمرسبات الكهروستاتيكية البسيطة إلا كفاءة منخفضة جداً لإزالة الزئبق. أما أجهزة الغسل الرطب أو أجهزة الامتصاص بالرذاذ باستخدام الحجر الجيري لإزالة الغاز الحمضي فتبلغ كفاءتها من ٦٥-٥٥ في المائة و٥٢-٤٤ في المائة على التوالي. وللحصول على كفاءة إزالة عالية لأكثر من ٩٠ في المائة، فإنه يلزم إضافة مواد ماصة خاصة/مواد امتزاز خاصة، والكربون المنشط في كثير من الأحيان.

١٧٢- ويفيد تقرير تاكاوكا وآخرين (٢٠٠٢) عن خفض في زيادة انبعاث الزئبق من ٢٠ إلى ٣٠ في المائة عند استخدام حقن الكربون المنشط في نطاق تجريبي لجهاز حرق النفايات البلدية الصلبة مجهز بمرشح نسيجي. وتزيد درجة الحرارة المنخفضة لغازات المداخن من نسبة إزالة الزئبق الأوّلي.

١٧٣- وفي جمهورية كوريا، تطبق متطلبات تنظيمية صارمة لغازات الديوكسين والغازات الحمضية، وتم تنصيب العديد من أجهزة التحكم في تلوث الهواء في محارق النفايات البلدية في مجموعات متنوعة من التشكيلات. ويبلغ متوسط إزالة الزئبق حوالي ٨٥ في المائة (كيم وآخرون، ٢٠١٠). وتقوم بعض المرافق أيضاً بحقن الكربون المنشط حيث تكون كفاءة

إزالة الزئبق أعلى. وفي التخلص من النفايات الصناعية بالحرق قيست كفاءة إزالة بلغت ٥٠-٩٢ في المائة (أقل إزالة مع أجهزة مكافحة تلوث الهواء من النوع الجاف وأعلىها مع النوع الرطب). وبالنسبة لحرق النفايات الطبية الخطرة والمعدية كانت كفاءة الإزالة حوالي ٨٩ في المائة، وإن كانت كفاءة الإزالة تعتمد على محتوى الزئبق في مدخلات النفايات.

١٧٤- ومن الردود على الاستبيان يمكن الاستنتاج أن من الشائع جداً في محطات حرق النفايات وجود معدات خاصة بالزئبق حصرياً بالإضافة إلى الأجهزة المشتركة للتحكم في تلوث الهواء. والتكنولوجيات المذكورة الخاصة بالزئبق حصرياً هي، على سبيل المثال، الحقن بالكربون المنشط أو أجهزة غسل الغاز من مختلف الأنواع.

٥-٤-٤ - تكاليف وكفاءة تكنولوجيات التحكم في حرق النفايات

١٧٥- إن المطلوب عموماً لإزالة الزئبق بالامتزاز استخدام الكواشف على قاعدة من الكربون من أجل تحقيق أفضل التقنيات المتاحة لمستوى من الانبعاثات مقداره (>٠,٠٥/مجم/متر مكعب في حالة أخذ عينات غير متواصل) (المفوضية الأوروبية، ٢٠٠٦). ويعتمد الأداء الدقيق للتحكم على مستويات وتوزيع الزئبق في النفايات. وبعض تيارات النفايات بها محتوى من الزئبق متغير جداً مما يتطلب معالجة إضافية مسبقة للنفايات.

١٧٦- ومن الجوانب الهامة عند تقدير تكاليف التحكم في انبعاثات الزئبق الافتراضات الخاصة بالأحوال الأساسية. وتختلف تكاليف إزالة الزئبق اختلافاً كبيراً حين تكون الأحوال الأساسية هي مصانع مجهزة بمعدات حديثة للتحكم في تلوث الهواء عنها إذا كانت المعدات المنصوبة للتحكم في الانبعاثات في غاية البساطة.

١٧٧- وعلى أساس العمل الممول من الاتحاد الأوروبي في مشروع ESPREME، تم حساب التكاليف السنوية لتكنولوجيات مختارة لتخفيض ملوثات متعددة لكل طن من النفايات البلدية وكفاءتها في التحكم المشترك في انبعاثات الزئبق. وقد استمدت المعلومات على أساس التعامل مع الظروف الأوروبية، وبالتالي فقد تكون غير ذات صلة في مكان آخر. وبالنسبة للتحكم في انبعاثات الجسيمات الأساسية (مرسب كهروستاتيكي ومرشح نسيجي)، قدرت التكاليف السنوية الإجمالية بـ ٠,١٨ دولار لكل طن من النفايات. وبالنسبة لمجموعات التحكم في الجسيمات بأجهزة غسل الغاز والمرسبات الكهروستاتيكية المحسنة وحقن الكربون المنشط، تقدر التكاليف السنوية في حدود ٤ إلى ١٢ دولاراً لكل طن من النفايات. ويتراوح التحكم المشترك في الزئبق في هذه الأمثلة بين ٥ و ١٠ في المائة في الحالة الأولى، وبين ٨٠ و ٩٩ في المائة في المثال الثاني.

١٧٨- ويقدر فيستشيديك وآخرون (٢٠٠٦) متوسط تكاليف تقنيات التحكم في الانبعاثات في حرق النفايات الطبية (إزالة الغبار مسبقاً بالمرسب الكهروستاتيكي، يليه حقن الجير والكربون المنشط وأخيراً المرشح النسيجي) بما يعادل نحو ٢٥ دولاراً لكل طن من النفايات التي يتم حرقها سنوياً.

١٧٩- وحيث إن التكاليف المتصلة بالحرق عالية، والمتصلة بالطمر متوسطة في البلدان المتقدمة، فإن من الصعب إدارة هذه التجهيزات اقتصادياً في البلدان الأقل نمواً. ونظراً إلى التكلفة العالية، فإن فرص الاستعاضة ببدائل خالية من الزئبق قد تكون هي الخيار الأفضل (برنامج الأمم المتحدة للبيئة ٢٠٠٨).

١٨٠- وفي الردود على الاستبيانات، قدمت الولايات المتحدة الأمريكية تقريراً بتكاليف حقن الكربون المنشط لوحدة نمطية كبيرة لحرق النفايات البلدية بطاقة تبلغ ٧٣٠ طناً من النفايات يومياً، بتكلفة رأسمالية سنوية تبلغ ١٥٠.٠٠٠ دولار وتكاليف تشغيل سنوية تبلغ ٩١.٠٠٠ دولار (بأسعار ١٩٨٧)، وهي تقديرات وُضعت أثناء وضع اللوائح في أوائل التسعينيات. وهذه الأرقام تعادل على وجه التقريب ٠,٧ دولار/طن/سنة تقريباً (التكاليف السنوية على مدى ٢٠ عاماً

وخصم ٤ في المائة، بأسعار ٢٠١٠). وهذه التكاليف لا تشمل تكاليف نظام مجفف الرش/المرشح النسيجي، الذي يضيف مبلغاً قدره ١٢ دولار × ١٠ إلى التكلفة الرأسمالية و٣،٦ دولار × ١٠ إلى التكلفة السنوية إذا لم تكن تلك الإجراءات مطبقة بالفعل للتحكم في الملوثات الأخرى غير الزئبق.

١٨١- وبالنسبة لمحارق نفايات المستشفيات والنفايات الطبية والمعدية، أفادت وكالة حماية البيئة الأمريكية أن التكاليف الرأسمالية لنظام حقن الكربون المنشط تبلغ نحو ٣ ٨٠٠ إلى ١٢ ٠٠٠ دولار. وتتراوح التكاليف السنوية لمجموعة نظام حقن الكربون المنشط من نحو ٥ ٤٠٠ دولار/سنة إلى ٥٦ ٣٠٠ دولار/سنة. والتكاليف الرأسمالية والتكاليف السنوية محسوبتان بالدولار الأمريكي بأسعار عام ٢٠٠٧. وتقدر التكاليف الرأسمالية لنظام حقن الكربون المنشط المركب على وحدة حرق النفايات الصلبة التجارية أو الصناعية بما يتراوح بين نحو ٥ ٦٠٠ دولار إلى ١٥٦ ٠٠٠ دولار. وتتراوح التكاليف السنوية لنظام حقن الكربون المنشط من حوالي ٢ ٩٠٠ دولار/سنة إلى ٣،٢ مليون دولار/سنة. وهذه التكاليف لنظام حقن الكربون المنشط المطبقة على حرق النفايات الصناعية تشمل حرق النفايات الصناعية الصلبة في قمائن الإسمنت. وكل من التكاليف الرأسمالية والتكاليف السنوية محسوبة بأسعار ٢٠٠٨.

١٨٢- ويمكن الاطلاع على معلومات إضافية عن أصل التكاليف في الأمثلة المذكورة أعلاه في وثائق مختلفة أعدت كجزء من عملية وضع القوانين في الولايات المتحدة لقطاع حرق النفايات (أنظر المعلومات المقدمة من الولايات المتحدة إلى برنامج الأمم المتحدة للبيئة).

٦ - الخلاصة

١٨٣- الغرض من هذا التقرير هو تقديم موجز لانبعاثات الزئبق في الهواء، وخيارات المراقبة في قطاعات مختارة، ومدى كفاءتها وتكلفتها. والهدف منه هو دعم عمليات التفاوض الجارية من أجل إعداد صكّ عالمي مُلزم قانوناً بشأن الزئبق.

١٨٤- واشتملت الدراسة على وضع وتوزيع استبيانات لغرض جمع المعلومات عن الخصائص التقنية للقطاعات المختارة في مختلف البلدان، ومعلومات جارية عن الانبعاثات وضوابط الانبعاثات وكذلك عن خطط التطوير في المستقبل لتلك القطاعات. وتركز الدراسة على وصف النهج المحتملة للتحكم في الانبعاثات وتحديث قوائم حصر الانبعاثات.

٦-١ - الانبعاثات

١٨٥- تمثل انبعاثات الزئبق من القطاعات المختارة، وهي احتراق الفحم في معامل توليد الطاقة والمراحل الصناعية، وإنتاج الإسمنت، وإنتاج المعادن غير الحديدية، وحرق النفايات، ونسبة ٥١ في المائة من مجموع انبعاثات الزئبق العالمية في الهواء في عام ٢٠٠٥.

١٨٦- ويفيد استعراض لتقارير مخزونات الزئبق الوطنية الحديثة وأوراق البحث عن انبعاثات الزئبق أن تقديرات الانبعاثات الجديدة في معظم الحالات تظل في نطاق قيم الانبعاثات المُبلّغ عنها في دراسة برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم (٢٠٠٨).

١٨٧- ويتبين من تقييم لاتجاهات الانبعاثات في العالم شمل تنسيقاً للبيانات وتحسيناً لتغطية الحصر أن الانبعاثات العالمية كانت نحو ١٩٦٧ طناً في ١٩٩٠، ثم انخفضت قليلاً إلى ١٨١٤ طناً في ١٩٩٥، ثم ١٨١٩ طناً في ٢٠٠٠، وبلغت ١٩٢١ طناً في ٢٠٠٥.

١٨٨- ولم يسفر هذا التقييم عن تعيّر كبير في مجموع انبعاثات الزئبق العالمية، إلا أنه يلاحظ وجود تحوّل واضح في الانبعاثات فيما بين المناطق، إذ زادت الانبعاثات في آسيا في الفترة من ١٩٩٠ إلى ٢٠٠٥، بينما تناقصت الانبعاثات في أمريكا الشمالية وأوروبا أثناء نفس الفترة.

١٨٩- ويحدّد من دقة بيانات تقديرات الانبعاثات العالمية جميعاً عدم وجود معلومات تفصيلية تختص بكل مرفق وعدم وجود بيانات تمثيلية مناسبة للرصد في كثير من البلدان.

٦-٢ - خيارات ضبط الانبعاثات

١٩٠- تتوقف انبعاثات الزئبق من القطاعات الأربعة المختارة على عدد من العوامل، منها محتوى الزئبق، والخصائص التركيبية الأخرى للوقود والمواد الخام، والإطار التقني للمرافق التي ينتج عنها انبعاثات الزئبق والمعدات الموجودة للتحكم في انبعاثات الملوثات في الهواء (مثل إزالة الجسيمات باستعمال أجهزة الترسيب الإلكترونيات أو المصافي النسيجية وإزالة الكبريت في أجهزة الغسيل) والضوابط الخاصة بالزئبق. وتختلف هذه العوامل اختلافاً بيناً في مختلف المناطق في العالم، كما تختلف في داخل المناطق، مما يجعل من الصعب التعرّف على خيارات المراقبة المستخدمة بشكل عام. ولتحديد خيارات ضبط الزئبق في مرفق أو مصنع معيّن، يحتاج الأمر إلى معرفة بالحالة التقنية الراهنة للمرفق أو المصنع. كذلك يحتاج وضع استراتيجيات إقليمية أو وطنية لتقليل الانبعاثات من الزئبق إلى معرفة الحالة الاقتصادية للمنطقة وأخذها في الاعتبار.

٦-٢-١ - الاستنتاجات الأساسية بشأن ضبط الانبعاثات في جميع القطاعات الأربعة المختارة

١٩١- توجد طائفة من تقنيات خفض انبعاثات الزئبق، وهي مستعملة في مختلف البلدان، في كل قطاع من القطاعات التي تركز عليها هذه الدراسة. وكثير من هذه التقنيات موجود من أجل تقليل ملوثات أخرى للهواء (مثل الجسيمات وثنائي أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين أو غير ذلك من الملوثات السامة).

١٩٢- ويمكن للمعدات الموجودة من أجل خفض تلك الانبعاثات أن تعمل أيضاً على خفض الزئبق. إلا أن مستوى خفض انبعاثات الزئبق تختلف اختلافاً كبيراً، بحسب خصائص مواد المدخلات وتفصيل تلك الضوابط. ومن الواجب أخذ هذا الجانب في الاعتبار سواءً عند تقييم انبعاثات الزئبق الراهنة، أو في سياق النظر في الحاجة إلى تدابير إضافية، أو في وضع سيناريوهات واستراتيجيات للمستقبل بشأن التحكم في انبعاثات الزئبق.

١٩٣- ومن شأن التدابير العامة التي تهدف إلى تحسين الأداء وزيادة كفاءة الطاقة أن تؤدي إلى نقص استهلاك الوقود والمواد الخام، ومن ثم تؤثر تأثيراً غير مباشر على خفض انبعاثات الزئبق.

١٩٤- ومن أجل تقدير تكاليف الحد من انبعاثات الزئبق ينبغي معرفة الحالة الراهنة لمصادر الانبعاثات، بما في ذلك وصف تكنولوجي للضوابط الراهنة والمخططة للتحكم في تلوث الهواء.

٦-٢-٢ - محطات الكهرباء التي تعمل بالفحم والمراجل الصناعية

١٩٥- يمكن للتدابير التي تتخذ قبل الاحتراق (مثل غسل الفحم وخلط الفحم) أن تؤدي إلى خفض انبعاثات الزئبق بنسبة تصل إلى ٧٠ في المائة، وتبلغ هذه النسبة ٣٠ في المائة في المتوسط.

١٩٦- وتؤدي إضافة منظفات قبل الاحتراق (وخاصة البرومين) إلى تحسين إزالة الزئبق عن طريق الإسراع في أكسدة الزئبق في الغاز المسال (خاصة في وجود اختزال حفزي انتقائي) مما يزيد من كفاءة إزالة الزئبق في عملية التحكم في الجسيمات في المراحل التالية وتحسين كفاءة معدات إزالة الكبريت من الغاز المسال.

١٩٧- وحين يُستعمل حقن الكربون المنشط على نطاق تجاري مع معدات التحكم في الجسيمات، مثل أجهزة الترسيب الإلكترونيات أو المصافي النسيجية، فإن ذلك يمكن أن يؤدي إلى خفض كبير في انبعاثات الزئبق. وقد تحققت معدلات خفض تصل إلى أكثر من ٩٠ في المائة. وقد ثبت أن مركبات الكربون المعالجة كيميائياً (مثل الكربون المعالج بالبرومين) هي أكثر كفاءة من استعمال الكربون المنشط العادي غير المعالج، في معالجة الغازات السائلة التي تحتوي على كميات أكبر من بخار الزئبق الأولي.

١٩٨- ومن أجل وضع تقديرات تفصيلية لتكلفة وكفاءة ضوابط انبعاثات الزئبق يحتاج الأمر إلى معلومات تفصيلية عن الخصائص التقنية لمصادر الانبعاثات وكذلك عن مدى توافر الفحم للخلط والإضافات الأخرى المحتملة. وتوجد معلومات متوفرة متاحة من التطبيقات الميدانية في الولايات المتحدة.

١٩٩- وقد تؤدي أجهزة التحكم في تلوث الهواء إلى تحويل الزئبق من الغاز المسال إلى فضلات مثل الرماد المتطاير أو صبيب من أجهزة إزالة الكبريت من غاز المداخن. وينبغي أن تشمل تقديرات التكلفة الكلية للضوابط على الزيادات المحتملة في التكلفة الناتجة عن إدارة تلك المخلفات بسبب التأثيرات المحتملة للتغيرات في تكوين المخلفات، بما في ذلك زيادة المحتوى من الزئبق.

٦-٢-٣ الإنتاج الحالي

٢٠٠- تنشأ انبعاثات الزئبق من إنتاج الإسمنت عن الفحم وسائر أنواع الوقود المستعملة، والمواد الخام مثل الجير وغيره من المواد المضافة. وتختلف تركيزات الزئبق اختلافاً كبيراً في أنواع الوقود والمواد الخام، ويمكن تحقيق خفض كبير في الانبعاثات بالتحوّل إلى أنواع من الوقود والمواد الخام ذات محتوى منخفض من الزئبق.

٢٠١- ولما كان الغبار الإسمنتي الناتج في الأفران، المزال من الغازات المتصاعدة في إنتاج الإسمنت، يعاد تدويره إلى درجة كبيرة في العملية، فإن إضافة الكربون المنشط لا يجب ربطها مباشرة بأجهزة الحدّ من الجسيمات المستعملة حالياً في حالة عدم السيطرة الكاملة على درجة الحرارة.

٢٠٢- ويتوقف امتزاز الزئبق في الغبار الإسمنتي المتصاعد من الأفران في إنتاج الإسمنت إلى درجة كبيرة على الأحوال التشغيلية في المصنع، حيث تساعد درجات الحرارة المنخفضة على زيادة الامتزاز. ويمكن تحقيق إزالة الزئبق من العملية عن طريق إزالة الغبار من معدات التحكم في الجسيمات إذا كانت درجة حرارة غازات العادم منخفضة.

٢٠٣- ويمكن تحقيق السيطرة على انبعاثات الزئبق في نهاية عملية إنتاج الإسمنت باستعمال تكنولوجيات تحكّم مشابهة للتقنيات المستعملة بمحطات توليد الكهرباء التي تعمل بالفحم، ويمكن الحصول على نتائج جيدة في إزالة الزئبق بإدخال عملية إزالة الكبريت من غاز المداخن من أجل خفض الغازات الحمضية أساساً. وإذا استُخدم الحقل بالكربون المنشط في إزالة الزئبق، فإن الأمر يحتاج إلى ضبط الحرارة بعناية وإلى خطوة إضافية لإزالة الجسيمات، إذا لم تكن الجسيمات المجمعة تدخل في عملية إعادة تدوير.

٦-٢-٤ إنتاج الفلزات غير الحديدية

٢٠٤- عملية إنتاج الفلزات غير الحديدية هي عملية صناعية بالغة التعقيد تختلف مكوّناتها الصناعية باختلاف المعادن المراد استخلاصها، وخصائص الخام المستخدم، والعمليات الأساسية المستعملة. ويمكن أن يختلف محتوى الزئبق في الخام اختلافاً كبيراً.

٢٠٥- وفي عملية تصنيع الخام في إنتاج المعادن البيروميديّة، فإن أول الخطوات هي التحميص التي يتحوّل فيها الكبريت الخام إلى غاز ثاني أكسيد الكبريت. وأي زئبق موجود في الخام سيتطاير مع الغاز.

٢٠٦- وعادة ما تزود المصاهر الكبيرة غير الحديدية بأجهزة للتحكم في ملوثات الهواء ذات كفاءة عالية للتحكّم في الجسيمات وانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت من أجهزة التحميص وأفران الصهر والحولات. وينبعث الزئبق على الأغلب في شكل غازي ومن ثمّ فإن أجهزة الترسيب الإلكتروستاتي لا تعمل بكفاءة عالية في إزالة ذلك العنصر. ويمكن تحقيق التحكّم في انبعاثات الغاز في المداخن عن طريق استيعاب ثاني أكسيد الكبريت في معامل حمض الكبريت، التي تشكّل عادة جزءاً من مصانع الصهر.

٢٠٧- ويمكن تحقيق المزيد من إزالة الزئبق بوجه خاص (من ٩٠ إلى ٩٥ في المائة) باستعمال، مثلاً، تقنية بوليدن نورزنك، حيث يجري امتزاز الزئبق في محلول من الكالوميل (كلوريد الزئبق) قبل دخوله إلى مصنع حمض الكبريت.

٢٠٨- وبالنسبة للوحدات الحرارية الأخرى في صناعة إنتاج الذهب مثل المراحل والخضاضات والأفران، فإن أفضل الضوابط الخاصة بالزئبق هي مرشحات الكربون المشبعة بالكبريت، حيث أنها تحقّق كفاءة في خفض انبعاثات الزئبق تصل إلى نحو ٩٣ - أكبر من ٩٩ في المائة.

٦-٢-٥ حرق النفايات

٢٠٩- بما أن جميع الزئبق المنبعث إلى الهواء من حرق النفايات ناشئ عن الزئبق الموجود في النفايات فإن أهم إجراء أولي هو خفض محتوى الزئبق في مدخلات جهاز الإحراق. ويمكن تحقيق ذلك عن طريق فرز المنتجات التي تحتوي على الزئبق من مجرى المخلفات قبل الحرق.

٢١٠- ومعظم محارق النفايات البلدية الحديثة مزودة بضوابط متقدمة للانبعاثات لمختلف الملوثات. ويمكن تعديل بعض هذه الأجهزة للخلاص من انبعاثات الزئبق، عن طريق التحكم في الحرارة مثلاً.

٢١١- ويمكن تحقيق التحكم في نفايات الزئبق على وجه التحديد عن طريق الحقن بالكربون أو الغسيل أو استخدام كلتا الطريقتين. وتُبلَّغ إلى وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة الأمريكية أمثلة لتكلفة الحقن بالكربون المنشط من عدة عمليات للتحكم في حرق النفايات.

٧ - المراجع

- AMAP, 2010. تحديث الحصر العالمي التاريخي لانبعاثات الزئبق في الهواء من مصادر بشرية. تقرير تقني رقم ٣ (٢٠١٠)، برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم، أوسلو، النرويج.
- Chang, R., Dombrowski, K., Senior, C. (2008). Near and Long Term Options for Controlling Mercury Emissions from Power Plants, The MEGA Symposium, Baltimore, MD, 2008.
- CURS (2007) *Coal utility environmental cost (CUECost) workbook user's manual. Version 4.0.* Chapel Hill, NC, USA, CURS- Center for Urban and Regional Studies, University of North Carolina at Chapel Hill, 28 pp (Feb 2007) BETA VERSION
- وزارة الطاقة في الصين (قيد الإعداد)، ٢٠١٠: خفض انبعاثات الزئبق من احتراق الفحم في قطاع الطاقة. من MEPC إعداد إدارة العلوم البيئية والهندسة، جامعة سنج هاو، بيجين، ١٠٠٠٨٤، الصين، بتكليف من وزارة حماية البيئة في الصين، وفرع المواد الكيميائية ببرنامج الأمم المتحدة للبيئة. ١٧ أيلول/سبتمبر ٢٠١٠. منشورات الجماعة الأوروبية
- EC 2001a. IPPC Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries, European Commission, December 2001.
- EC 2006a. IPPC Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration, European Commission, August 2006. ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/wi_bref_0806.pdf
- EC, 2006b. IPPC Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants. July 2006. ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/lcp_bref_0706.pdf
- EC 2010. IPPC Reference Document on best Available Techniques in the Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries. May 2010. ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/clm_bref_0510.pdf
- EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook — 2009. EEA Technical report No 6/2009. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>
- EPA 2005. United States Environmental Protection Agency. Multipollutant Emission Control Technology Options for Coal-fired Power Plants. EPA-600/R-05/034. March 2005.
- EPA 2009. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants From the Portland Cement Manufacturing Industry Federal Register / Vol. 74, No. 86 / Wednesday, May 6, 2009.
- EPA. 2010. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants from the Portland Cement Manufacturing Industry and Standards of Performance for Portland Cement Plants; Final Rule.
- ESPREME تقييم متكامل لانبعاثات المعادن الثقيلة في أوروبا. مشروع أبحاث أوروبي يهدف إلى وضع طرق وتحديد استراتيجيات لدعم وضع السياسات البيئية في الاتحاد الأوروبي من أجل تقليل انبعاثات الفلزات الثقيلة وآثارها الضارة. ويمكن الاطلاع على مزيد من المعلومات على الموقع: <http://espreme.ier.uni-stuttgart.de/>.
- Feeley T.J. III, Brickett L.A., O'Palko A., Jones A.P. 2008, DOE/NETL's Mercury Control Technology R&D Program Taking Technology from Concept to Commercial Reality, Presented at the MEGA Symposium, Baltimore, August 2008.
- GAO 2009 الولايات المتحدة الأمريكية، مكتب المساءلة الحكومية، ٢٠٠٩: تكنولوجيات التحكم في الزئبق في محطات الكهرباء التي تعمل بالفحم حققت خفضاً كبيراً في الانبعاثات. تقرير إلى رئيس اللجنة الفرعية المعنية بالهواء النظيف والسلامة النووية، لجنة البيئة والأشغال العامة، مجلس الشيوخ الأمريكي. GAO - 10-47.
- Government of Chile, 2008 حكومة شيلي، ٢٠٠٨ "مشروع تجربي بشأن دعم وضع حصر للزئبق وإدارة المخاطر واتخاذ القرارات: مساهمة في الشراكة العالمية للزئبق. كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٨.

- Hageman, S. et al 2010. Technical and economic criteria for processing mercury-containing tailings. Report to UNEP February, 2010.
- HEIMTSA- منهجية متكاملة للصحة والبيئة ومجموعة أدوات لتقييم السيناريوهات. مشروع أبحاث أوروبي دعماً لخطة العمل بشأن البيئة والصحة بالتوسع في تقييم الآثار الصحية، وطرق وأدوات تحليل التكلفة والمزايا من أجل تقييم الآثار البيئية والصحية لمختلف السياسات في القطاعات الرئيسية بشكل يعتمد عليه على المستوى الأوروبي. ويمكن الاطلاع على مزيد من المعلومات على الموقع <http://www.heimtsa.eu/>
- Hylander, L.D., Herbert, R.B. 2008. Global Emissions and Production of Mercury during the Pyrometallurgical Extraction of Nonferrous Sulfide Ores. *Env.Sci Technol.* 2008, 42, 5971-5977.
- IEA Clean Coal Centre الوكالة الدولية للطاقة، مركز الفحم النظيف
<http://www.coalonline.org/site/coalonline/content/home>
- IPCC, 2006 المنع والمراقبة المتكاملان للتلوث، ٢٠٠٦، خطوط توجيهية بشأن الحصر الوطني لغازات الاحتراق
[.http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html)
- Kim, J.-H., Park, J.-M., Lee, S.-B., Pudasainee, D., Seo, T.-C. 2010. Anthropogenic mercury emission inventory with emission factors and total emissions in Korea. *Atmospheric Environment* 44 (2010) 2714-2721.
- Kumari, R. 2010. Emission Estimate of Passport-Free Heavy Metal Mercury from Indian Thermal Power Plants and Non-Ferrous Smelters. By Toxic Link, supported by the European Environmental Bureau - Zero Mercury Campaign.
- Li, G., Feng, X., Li, Z., Qiu, G., Shang, L., Liang, P., Wang, D., Yang, Y. Mercury emission to the atmosphere from primary Zn production in China. *Science of the Total Environment* 408 (2010) 4607-4612.
- Masekoameng, K. M., Leaner, J., Dabrowski, J. 2010. Trends in anthropogenic mercury emissions estimated for South Africa during 2000-2006. *Atmospheric Environment* (2010), doi:10.1016/j.atmosenv.2010.05.006
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, the Dominican Republic, 2010. “ANÁLISIS SITUACIONAL SOBRE LA GESTIÓN DEL MERCURIO EN LA REPÚBLICA DOMINICANA E INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES DE MERCURIO. INFORME PRELIMINAR
- Ministerio del Ambiente, Ecuador, 2008. Pilot Project on Strengthening Inventory Development and Risk Management-Decision Making for Mercury: A Contribution to the Global Alliance on Mercury. Final report.
- Mukherjee, A.B., Bhattacharya, P., Sarkar, A., Zevenhoven, R. 2009. Mercury Emissions from Industrial Sources in India and its Effects in the Environment. Chapter 4 in N. Pirrone and R. Mason (eds.), *Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere*, DOI:10.1007/978-0-387-93958-2_4. Springer Science + Business Media, LLC 2009.
- National Environmental Authority, Department of Environmental Quality Protection, Panama, 2009. Pilot Project on Strengthening the Development of an Inventory and Risk Management in Making Decisions on Mercury. “National Emissions Inventory of Mercury in Panama”, Summary of the Final Report. January 2009.
- Nelson, P. F., Nguyen, H., Morrison, A. L., Malfoy, H. Cope, M. E., Hibberd, M. F., Lee, S., McGregor, J. L., Meyer, M. 2009. Mercury Sources, Transportation and Fate in Australia. Final Report to the Department of Environment, Water, Heritage & the Arts, RFT 100/0607. December 2009.
- NESCAUM (2010). Technologies for Control and Measurement of Mercury Emissions from Coal-Fired Power Plants in the United States: A 2010 Status Report. Northeast States for Coordinated Air Use Management (NESCAUM).
- Pacyna, E.G. and J.M. Pacyna, 2002. Global emission of mercury from anthropogenic sources in 1995. *Water, Air and Soil Pollution*, 137: 149-165.
- Pacyna, J.M. and E.G. Pacyna, 2005. Anthropogenic sources and global inventory of mercury emissions. In: Parsons, M.B. and J.B. Percival (eds.), *Mercury: Sources, Measurements, Cycles, and Effects*. Mineralogical Association of Canada, Short Course Series Volume No. 32.

- Pacyna, J. M., Sundseth, K., Pacyna, E. G., and Jozewich, W., 2009. An Assessment of costs and Benefits Associated with Mercury Emission Reductions from Major Anthropogenic Sources. Journal of Air and Waste Management Association (Accepted).
- Pacyna, J. M., Sundseth, K., Pacyna, E. G., and Jozewich, W., 2010. An Assessment of costs and Benefits Associated with Mercury Emission Reductions from Major Anthropogenic Sources. Journal of Air and Waste Management Association 60:302-315
- Pavlish J H, Sondreal E A, Mann M D, Olson E S, Galbreath K C, Laudal D, Benson S A (2003) Status review of mercury control options at coal-fired power plants. *Fuel Processing Technology*; 82 (2-3); 89-165 (Aug 2003)
- Pirrone, N., Cinnirella, S., feng, X., Finkelman, R. B., Friedli, H. R., leaner, J., Mason, R., Mukherjee, A. B., Stracher, G. B., Streets, D. G., Telmer, K. (2010). Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 5951-5964, 2010.
- Pudasainee, D., Kim, J.-H., Seo, Y.-C. 2009. Mercury emission trend influenced by stringent air pollutants regulation for coal fired power plants in Korea. *Atmospheric Environment* 43 (2009) 6254-6259.
- Renzoni, R., Ullrich, C., Belboom, S., German, A. (2010) Mercury in the Cement Industry. Université de Liège. Independently commissioned by CEMBUREAU - CSI.
- Rini, M.J., Vosteen, B.W. (2009). Full-Scale Test Results from a 600 MW PRB-fired Unit Using Alstom's KNX Technology for Mercury Control, MEC-6 Conference, Ljubljana, Slovenia, April 2009.
- Rokke, N., 2006. The Energy Outlook of Norway. Plenary session presentation of the Polish-Norwegian Energy Supply and Environmental Impact Thematic Seminar 18 October 2006. PowerPoint presentation.
- Schreiber, R. J., Kellett, P. E., Kellett, C. D. 2009. Compilation of mercury emissions data. Portland Cement Association. PCA R&D Serial No. SN3091.
- Senior, C. (2010) Mercury Emissions Reduction from Portland Cement Kilns using Wet Scrubbers. Paper-2010-A-1419. Presented at the Air & Waste Management Association Annual Meeting and Exhibition, Calgary, Alberta, Canada, June 22-25, 2010.
- Sloss, L. (2008). Economics of mercury control. Clean Coal Center, CCC/134
- Srivastava R K, Hutson N, Martin B, Princiotta F, Staudt J (2006) Control of mercury emissions from coal-fired utility boilers. *Environmental Science and Technology*; 40 (5); 1385-1393 (Mar 2006)
- Streets, D. G., Hao, J., Wang, S., Wu, Y. 2009. Mercury emissions from coal combustion in China. Chapter 2 in N. Pirrone and R. Mason (eds.), *Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere*, DOI:10.1007/978-0-387-93958-2_2. Springer Science + Business Media, LLC 2009.
- Takaoka M, Takeda N, Fujiwara T, Kurata M, Kimura T. 2002. Control of mercury emissions from a municipal solid waste incinerator in Japan. *J Air Waste Manag Assoc.* 2002 Aug;52(8):931-40.
- برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP)، ٢٠٠٦ دليل لتقليل الاستعمالات الرئيسية للزئبق وانبعاثاته، حزيران/يونيه ٢٠٠٦
<http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/MercuryPublications/GuidanceTrainingMaterialToolkits/tabid/3609/language/en-US/Default.aspx>
- برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) ٢٠٠٥ مجموعة أدوات لتحديد انبعاثات الزئبق وتقديرها كميًا. برنامج الأمم المتحدة للبيئة، فرع المواد الكيميائية، برنامج الزئبق
<http://www.chem.unep.ch/mercury/Toolkit/default.htm>
- برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) ٢٠١٠ مجموعة أدوات لتحديد انبعاثات الزئبق وتقديرها كميًا. برنامج الأمم المتحدة للبيئة، فرع المواد الكيميائية، برنامج الزئبق
<http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/MercuryPublications/GuidanceTrainingMaterialToolkits/MercuryToolkit/tabid/4566/language/en-US/Default.aspx>
- برنامج الأمم المتحدة للبيئة، ٢٠٠٨ تقرير تقني أولي عن تقييم الانبعاثات العالمية للزئبق في الغلاف الجوي. برنامج القطب الشمالي للرصد والتقييم/فرع المواد الكيميائية ببرنامج الأمم المتحدة للبيئة.
http://www.chem.unep.ch/mercury/Atmospheric_Emissions/Technical_background_report.pdf)

برنامج الأمم المتحدة للبيئة، ٢٠٠٨ تقرير برنامج الأمم المتحدة للبيئة بشأن التقييم الكمي العام للتكلفة المحتملة والمنافع المتصلة بكل هدف من الأهداف الاستراتيجية المنصوص عليها في المرفق ١ في تقرير اجتماع الفريق العامل المفتوح العضوية، فرع المواد الكيميائية في برنامج الأمم المتحدة للبيئة، UNEP-CBA report.

[http://www.chem.unep.ch/mercury/OEWG2/documents/e52\)/English/OEWG_2_5_add_1.pdf](http://www.chem.unep.ch/mercury/OEWG2/documents/e52)/English/OEWG_2_5_add_1.pdf)

برنامج الأمم المتحدة للبيئة، فرع المواد الكيميائية، ٢٠٠٨ التقييم العالمي للزئبق في الغلاف الجوي: المصادر والانبعاثات والانتقال. فرع المواد الكيميائية ببرنامج الأمم المتحدة للبيئة، جنيف

(http://www.chem.unep.ch/mercury/Atmospheric_Emissions/UNEP%20SUMMARY%20REPORT%20-%20final%20for%20WEB%20Dec%202008.pdf)

برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP)، قيد الإعداد (٢٠١٠): وثيقة إرشادات بشأن أفضل العمليات لتقليل انبعاثات الزئبق من احتراق الفحم في محطة توليد الكهرباء. تقرير إلى فرع المواد الكيميائية ببرنامج الأمم المتحدة للبيئة، كانون الثاني/يناير ٢٠١١

<http://hqweb.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/PrioritiesforAction/Coalcombustion/ProcessOptimizationGuidanceDocument/tabid/4873/language/en-US/Default.aspx>

US DOE, 2006. DOE/NETL's Phase II Mercury Control Technology Field Testing Program. Preliminary Economic Analysis of Activated Carbon Injection. Prepared by Jones, A.P., Hoffman, J.W., Smith, D.N., Felley, T.J., Murphy, J.T. 2006.

Wang, S. X., Song, J. X., Li, G. H., Wu, Y., Zhang, L., Wan, Q., Streets, D. G., Chin, C. K., Hao, J. M., 2010. Estimating mercury emissions from a zinc smelter in relation to China's mercury control policies. Environmental Pollution 158 (2010) 3347-3353.

Wang, S. X., Zhang, L., Li, G. H., Wu, Y., Hao, J. M., Pirrone, N., Sprovieri, F., Ancora, M. P. (2010). Mercury emission and speciation of coal-fired power plants in China. Atmospheric Chemistry and Physics, 10, 1183-1192, 2010.

Weem, A.P., 2010. Reduction of mercury emissions from coal fired power plants. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Working Group on Strategies and Review, 47th session, Informal document No 6, August 3, 2010.

Wirling, J., Schiffer, H.-P., Merzbach, F. (2000). Adsorptive Waste Gas Cleaning During the Co-Combustion of Sewage Sludge in a Lignite-Fired Industrial Power Plant; VGB-Power Tech., December 2000.

Visschedijk A.J.H., Denier van der Gon H.A.C., van het Bolscher M. and P.Y.J. Zandveld, 2006. Study to the effectiveness of the UN ECE Heavy Metals (HM) Protocol and cost of additional measures. TNO report No. 2006-A-R0087/B, Apeldorn, the Netherlands.

Wu, Y., Wang, S., Streets, D. G., Hao, J., Chan, M., Jiang, J. 2006. Trends in anthropogenic mercury emissions in China from 1995 to 2003. Environ. Sci. technol. 2006, 40, 5312-5318.

المرفق الأول موجز الردود على الاستبيان

قدّمت ردود رسمية من كل من: الاتحاد الأوروبي، استراليا، آيسلندا، البرازيل، بربادوس، بولندا، تركيا، جنوب أفريقيا، روسيا، سيشيل، الصين، قبرص، كندا، ليتوانيا، المملكة المتحدة (إنجلترا وويلز)، النمسا، الهند، الولايات المتحدة الأمريكية. وتفاوتت التفاصيل والتغطية بين الردود. ويرد في الجدول التالي تلخيص للبيانات المقدّمة وبعض المعلومات الإضافية من الردود. وقدّمت بعض الدول أيضاً معلومات تشير إلى التطورات في المستقبل في كل قطاع فيما يخص القدرات و/أو التطورات التكنولوجية والمخططات المقبلة فيما يتعلق بالتحكم في الملوثات والزئبق.

احتراق الفحم

A = معلومات مجمّعة، I = معلومات عن محطات قوى مفردة، PM = مادة جسيمية (جسيمات)

مصادر الانبعاثات من محطات القوى الكهربائية والمراجل الصناعية التي تعمل بالفحم								
ملخص للردود المقدّمة								
انبعاثات الزئبق	كفاءة التحكم	تكنولوجيات التحكم الموجودة	الزئبق في الفحم	استهلاك الفحم	نوع المرجل	الطاقة	معلومات عن الخطة أو الوحدة (العدد)	
		A		A	A	A	7 >	البرازيل
A							51	كندا
	A	A	A	A		A	6 242	الصين
	A (PM)	A		A	A	A	396	الهند
		A		A		A	58	ليتوانيا
							296	بولندا
I	I	I	I	I	I	I	120	روسيا
I							16	المملكة المتحدة
I	I	I		I	I	I	1282 وحدة 522 محطة	الولايات المتحدة (مرافق الكهرباء)
I	I (PM)	I	I	I	I	I	596 وحدة 294 مصنعاً	الولايات المتحدة (المراجل/أجهزة التدفئة)

إنتاج الفلزات غير الحديدية

A = معلومات مجمعة، I = معلومات عن مصانع مفردة

وصف لمصادر إنتاج الفلزات غير الحديدية ملخص للردود المقدمة								
انبعاثات الزئبق	كفاءة التحكم	تكنولوجيات التحكم الموجودة	إنتاج الفلزات	محتوى الزئبق في الوقود	استهلاك الوقود/وسيلة التحكم	بيانات العمليات	بيانات المصانع (العدد)	
			A		A	A	> 10 شركات	البرازيل
A							12	كندا
			A		A	A	8200	الصين
I	I (جسيمات)	I	I	I	I	I	1	آيسلندا
							17+54	بولندا
A								روسيا
I							12	المملكة المتحدة
I	I	I	I			I	28	الولايات المتحدة

إنتاج الإسمنت

A = معلومات مجمعة، I = معلومات عن مصانع مفردة

أوصاف مصادر إنتاج الإسمنت ملخص للردود المقدمة								
انبعاثات الزئبق	كفاءة التحكم	تكنولوجيات التحكم الموجودة	استهلاك المواد الخام	الزئبق في الوقود/المواد الأولية	استهلاك الوقود	إنتاج الإسمنت	بيانات المصانع (العدد)	
			I		I	I	1	بربادوس
		A	A		A	A	70	البرازيل
A							17	كندا
					A	A		الصين
I		I	I		I	I	2	قبرص
I	I (جسيمات)	I	I	I	I	I	1	آيسلندا
							53	بولندا
A								روسيا
	I (جسيمات)	I	I			I	11	جنوب أفريقيا
I		I			I	I	12	المملكة المتحدة
I		I	A	A	A	I	184	الولايات المتحدة

حرق النفايات

A = معلومات مجمعة، I = معلومات عن وحدات مفردة

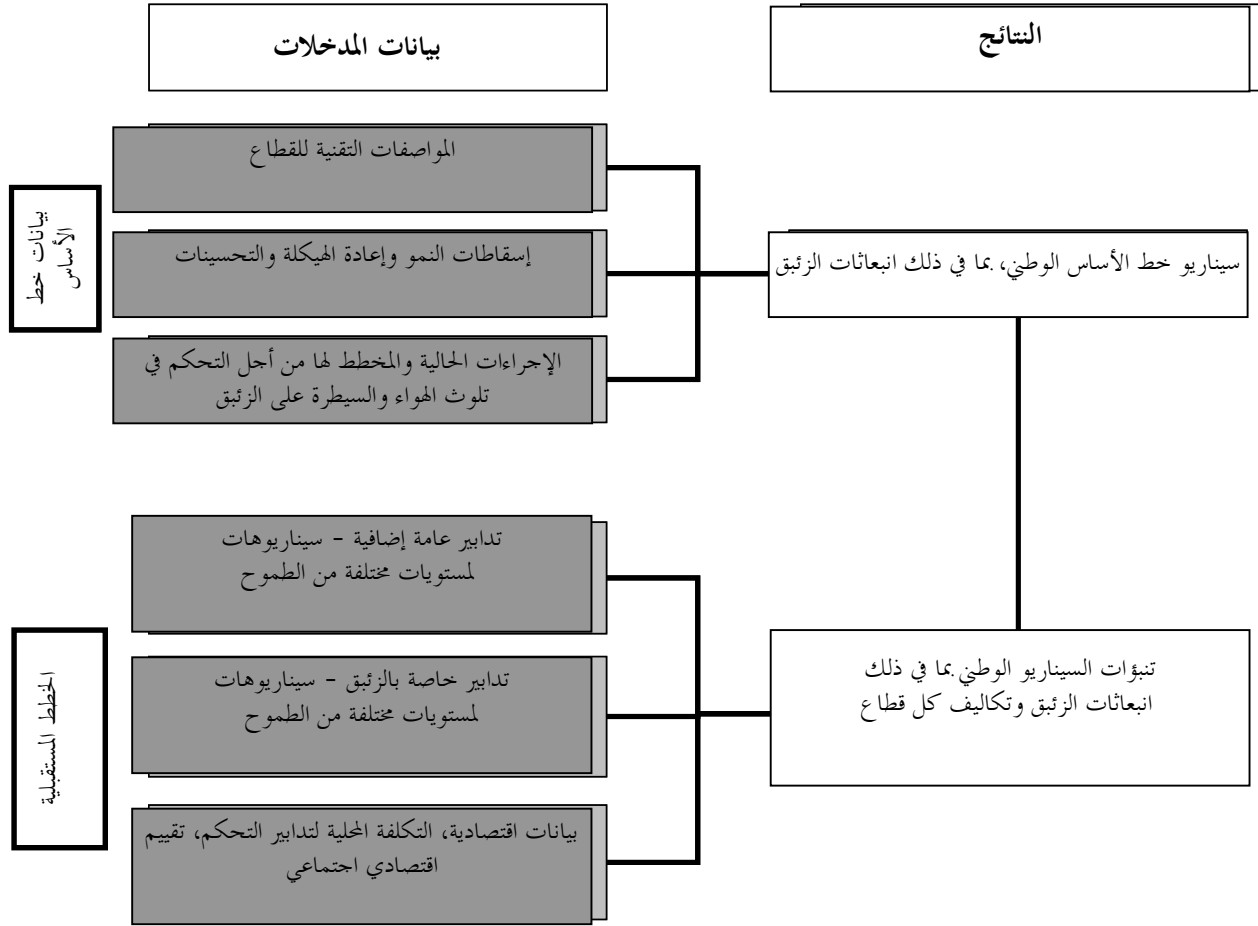
أوصاف مصادر حرق النفايات ملخص الردود على الاستبيان							
انبعاثات الرئيق	كفاءة التحكم	تكنولوجيات التحكم الموجودة	زئبق النفايات	أنواع النفايات	كمية النفايات الاحتراق	بيانات الوحدات (العدد + نوع النفايات)	
I		I		I	I	2	استراليا
		A		A	A	22 (IW, HZ)	البرازيل
A							كندا
					A		الصين
I		I		I	I	1	آيسلندا
I	I	I	I	I	I	1 (ME)	نيوزيلندا
						1	بولندا
I	I (PM)	I		I	I	1	تركيا
I				I		33	المملكة المتحدة
I		I		I		96 (HZ)	الولايات المتحدة
I		A	A	I	A	١٦٧ وحدة (HO) مصنعاً	الولايات المتحدة
I		I		I	I	57 (ME)	الولايات المتحدة

PM = جسيمات

IW = نفايات صناعية، ME = نفايات طبية، HZ = نفايات خطرة، HO = نفايات منزلية

المرفق الثاني: إرشادات بشأن التقييمات القطرية لاستراتيجيات خفض انبعاثات الزئبق في الغلاف الجوي

يقدم هذا المرفق إرشادات عامة بشأن وضع استراتيجيات وطنية. ويحتاج الأمر، لإجراء تقييم مفصّل لتكنولوجيات التحكم البديلة لتقليل انبعاثات الزئبق، معرفة محلية بالقطاعات الصناعية والاقتصاد والخطط المستقبلية للتشريعات الوطنية. ويرد في الشكل ٧ وصف عام لإجراء مقترح للتقييم الوطني، في شكل مخطط انسيابي.



الشكل ٧ - وصف بياني لإجراء وضع استراتيجية وطنية للتحكم في انبعاثات الزئبق في الهواء

ويرد وصف تفصيلي لمعلومات المدخلات المطلوبة في هذا الإجراء خطوة بخطوة لإعداد السيناريوهات، في الاستبيان الذي أُعد من أجل هذه الدراسة (يمكن الاطلاع عليه على موقع برنامج الأمم المتحدة للبيئة على الشبكة) ويمكن تلخيصه فيما يلي:

إعداد بيانات خط الأساس

الغرض من هذه الخطوة هو تقييم الوضع الحالي لانبعاثات الزئبق والتغيرات في البواعث الاجتماعية للصناعة والطاقة (مثل النمو الاقتصادي والتشريعات). وأساس التقييم هو وصف للحالة التكنولوجية الراهنة وإعداد حصر لانبعاثات الزئبق للقطاعات المختارة. ويمكن أن يستند حصر انبعاثات الزئبق إما إلى القياس أو التقدير من بيانات النشاط (الطاقة، والإنتاج

الصناعي، واستهلاك المواد الخام) وعوامل الانبعاثات، أو على أساس مزيج من النهجين. وتتيح المعرفة بمحتويات الزئبق في الوقود والمواد الخام تقييم مجموع مدخلات الزئبق في العملية الصناعية أو عملية إنتاج الطاقة، ويمكن استخدام هذه المعلومات، مع المعلومات الخاصة بمعرفة الحالة التكنولوجية والوضع الحالي للتحكم في الانبعاثات، في تقييم الانبعاثات. ويدخل في هذه الخطوة أيضاً تقييم التغييرات المتوقعة في البواعث الاجتماعية، وتنفيذ التشريعات الوطنية أو الدولية القائمة أو المتوقعة التي من شأنها تغيير النشاط الصناعي وانبعاثات الزئبق. وتسفر هذه الخطوة عن حصر للانبعاثات الحالية من الزئبق وتقييم لكيفية تغيير هذه الحالة إذا لم تتخذ خطوات محدّدة لخفض انبعاثات الزئبق.

سيناريوهات لإجراءات إضافية للتحكم في انبعاثات الزئبق

العنصر الرئيسي في هذه الخطوة هو العمل على وضع استراتيجيات قابلة للتطبيق للتحكم في انبعاثات الزئبق وخفضها. وينبغي أن يستند اختيار استراتيجية التحكم إلى المعلومات والخصائص التقنية المستقاة من تقييم بيانات خط الأساس، أي القدرة على اختيار التدابير الممكن تنفيذها تقنياً واقتصادياً فيما يتعلق بالوضع الراهن. ويمكن وضع سيناريوهات لمستويات مختلفة من تنفيذ تدابير التحكم أو مستويات مختلفة من تحديث المعدات والتقنيات على مستويات مختلفة من الطموح. وفي النهاية يجب تقييم تكاليف التنفيذ. وسوف تختلف تكاليف التشغيل، وإلى حد ما التكاليف الاستثمارية، اختلافاً كبيراً حسب الوضع الاقتصادي ومدى وجود الخدمات والمواد الاستهلاكية وغيرها من العوامل المحلية. لذلك فمن المطلوب إجراء التقييم على أساس قطري.

معلومات إضافية

كما ورد في جزء سابق من التقرير، لم تسفر المعلومات المتلقاة من الاستبيانات الموزعة من أجل هذه الدراسة عن معلومات كافية لإعداد سيناريوهات عالمية. وقد قام عدد من البلدان بإجراء دراسات خاصة به باستعمال إجراءات تشبه الإجراءات الموضّح أعلاه ويمكن أن يستفيد منها الآخرون. وتوجد معلومات مستفيضة في الوثائق التي أُعدت كجزء من العملية التشريعية للتحكم في انبعاثات الزئبق في مختلف القطاعات في الولايات المتحدة الأمريكية. ومن الأمثلة على ذلك تعدين الذهب على نطاق واسع، حيث أُعد تقييم لاحتمالات التحكم في انبعاثات الزئبق وما يتصل بها من تكلفة. ويرد تلخيص لهذه العملية في الفصل الخامس في هذا التقرير. ويمكن الحصول على مزيد من المعلومات في التقارير المقدّمة من الولايات المتحدة بشأن إنتاج الفلزات غير الحديدية، إلى برنامج الأمم المتحدة للبيئة، وترد الإشارة إليها في المراجع. ويشتمل رد الولايات المتحدة الأمريكية أيضاً على معلومات تفصيلية عن القطاعات المختارة الأخرى.

ومن الأمثلة الأخرى المقدّمة إلى فرع المواد الكيميائية ببرنامج الأمم المتحدة للبيئة تقرير "خفض انبعاثات الزئبق من احتراق الفحم في قطاع الطاقة" الذي أعدته جامعة سنغ هوا، بيجين، الصين، بتكليف من وزارة حماية البيئة في الصين وفرع المواد الكيميائية ببرنامج الأمم المتحدة للبيئة (قيد الإعداد (٢٠١٠)) (متاح أيضاً على موقع برنامج الأمم المتحدة للبيئة). وترد في هذا التقرير معلومات أساسية عن قطاع الفحم، وانبعاثات الزئبق، والتحكم المشترك في الزئبق في منشآت التحكم في تلوث الهواء، وسيناريوهات بشأن التحكم. كما ترد مناقشة لهذه المواضيع.