إرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة
الخاصة بمعالجة الفحم الحجري

مقدّمة

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

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

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

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

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

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

أي من مستويات الأداء البديلة يؤمّن حماية صحة البشر والبيئة.

التطبيق

تغطي الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة التي تتعلق بمعالجة الفحم الحجري عمليات تحويل الفحم الحجري إلى كيماويات غازية أو سائلة، بما فيها الوقود. وهي تنطبق على إنتاج الغاز الصناعي (التركيبي) بواسطة عمليات التغويز (التحويل إلى غاز) المختلفة وما يتبعها من تحويلٍ إلى هيدروكربونات سائلة (عملية فيش- تروبش التركيبية)، أو ميثانول، أو أي منتجات سائلة أخرى مؤكسجة، إلى جانب الهدرجة المباشرة للفحم إلى هيدروكربونات سائلة.

وهذه الوثيقة تم تنظيمها وفق الأقسام التالية:

القسم *1.0*— الآثار المرتبطة تحديداً بالصناعة وكيفية التعامل معها
القسم *2.0*— مؤشرات الأداء ورصده
القسم *3.0* — ثبت المراجع والمصادر الإضافية
الملحق(أ): وصف عام لأنشطة الصناعة

1.0 الآثار المرتبطة تحديداً بالصناعة وكيفية التعامل معها

يقدم القسم التالي موجزًا لقضايا البيئة والصحة والسلامة المرتبطة بمعالجة الفحم الحجري، مع تقديم توصيات حول كيفية التعامل معها. وتجدر الإشارة إلى أن التوصيات المتعلقة بالتعامل مع قضايا البيئة والصحة والسلامة الشائعة في غالبية المرافق الصناعية الكبرى خلال مرحلة (مراحل) الإنشاء وإيقاف التشغيل واردة في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

1.1 القضايا البيئية

تتضمن القضايا البيئية المحتملة المرتبطة بمشاريع معالجة الفحم الحجري ما يلي:

- الانبعاثات الهوائية
- المياه المستعملة
- المواد الخطرة
- النفايات
- الضوضاء

الانبعاثات الهوائية

الانبعاثات المنفلتة من الغازات والمواد الدقائقية (الجسيمات)

تتألف المصادر الرئيسية للانبعاثات من عمليات معالجة الفحم الحجري بالأساس من المصادر الانفلاتية للمواد الدقيقة، والمركبات العضوية المتطايرة، وأول أكسيد الكربون، والهيدروجين. وقد تساهم أنشطة نقل الفحم الحجري، وتخزينه، وتحضيره بصورة كبيرة في الانبعاثات المنفلتة من المواد الدقائقية للفحم. وتشتمل التوصيات المتعلقة بمكافحة ومنع الانبعاثات المنفلتة من المواد الدقائقية للفحم على ما يلي:

- تصميم مخطط وحدة المعالجة أو المنشأة لتيسير إدارة الانبعاثات وتقليل عدد نقاط نقل الفحم الحجري؛
- استخدام معدات التحميل والتفريغ لتقليل ارتفاع سقوط الفحم الحجري على أكوام المكدسات؛
- استخدام أنظمة رش المياه و/ أو الأغطية البوليمرية للحد من تكون الغبار المنفلت من عملية تخزين الفحم الحجري (على سبيل المثال، على أكوام المخزون) إلى أقصى حد ممكن من الناحية العملية، تبعاً لمتطلبات نوعية الفحم الحجري؛

- التقاط غبار الفحم الحجري المنبعث من أعمال التكسير / التحجيم والنقل إلى مرشح كيسي أو أي جهاز آخر للتحكم في المواد الدقائقية؛
- تركيب أنظمة تجميع بالطرد المركزي (أجهزة فصل أو فرز دوامية) يعقبها أجهزة عالية الكفاءة لغسل الغاز بالترذيذ المائي من أجل المجففات الحرارية؛
- تركيب أنظمة تجميع بالطرد المركزي (أجهزة فصل أو فرز دوامية) يعقبها مرشحات قماشية من أجل معدات تنظيف الفحم الحجري الهيدروليكية؛
- استخدام ناقلات مغلقة ومزودة بمعدات استخلاص وترشيح عند نقاط النقل بواسطة الناقلات؛ و
- إخماد الغبار أثناء عمليات معالجة الفحم الحجري (مثل التكسير، والتحجيم، والتجفيف) والنقل (مثل الأنظمة الناقلة) باستخدام - على سبيل المثال - أنظمة رش مياه مع تجميعها ومعالجتها أو إعادة استخدامها لاحقاً.

وتشمل الانبعاثات المنفلتة لملوثات الهواء الأخرى تسرب المركبات العضوية المتطايرة، وأول أكسيد الكربون، والهيدروجين من عمليات متعددة مثل وحدات إنتاج الغاز الصناعي؛ وتخزين الفحم الحجري؛ ووحدات التفاعل التركيبي للميثانول وفيشر - تروبش؛ ووحدات تطوير المنتج؛ وأنظمة الصرف الملوث بالنفط ومنشآت معالجة المياه المستعملة، خاصة برك المعادلة وأجهزة فصل الزيت / الماء. كما تشمل الانبعاثات المنفلتة أيضاً التسرب من العديد من المصادر مثل الأنابيب، والصمامات، والوصلات، الفلانشات، والحشيات، الخطوط ذات النهايات المفتوحة، وفواقد التخزين والتشغيل من صهاريج التخزين ذات الأسقف الثابتة والعائمة وموانع التسرب من المضخات، وأنظمة نقل الغازات، وموانع التسرب المركبة بضواغط الهواء، وصمامات تنفيس الضغط، والحفر المفتوحة / وسائل الاحتواء، وعمليات تحميل وتفريغ الهيدروكربونات.

وتشمل توصيات منع ومكافحة المصادر المنفلتة لملوثات الهواء:

- خفض الانبعاثات المنفلتة من الأنابيب والصمامات ومانعات التسرب والصهاريج وغيرها من مكونات البنية الأساسية، وذلك بالرصد الدوري بالاستعانة بمعدات الكشف عن البخار، وصيانة أو استبدال ما يلزم من المكونات، بطريقة تراعي الأولويات؛
- الحفاظ على ثبات ضغط الصهريج وحيز البخار من خلال:
  - التنسيق بين جداول مواعيد التعبئة والسحب، وموازنة البخار بين الصهاريج (وهي عملية يتم فيها نقل البخار الذي تمت إزاحته أثناء أنشطة التعبئة إلى حيز البخار في الصهريج الجاري تفريغه أو إلى أي حاوية أخرى في إطار التحضير لاستعادة البخار)؛
  - استخدام طلاء أبيض أو أي طلاء آخر يتميز بخواص امتصاص منخفض للحرارة على الأجزاء الخارجية لصهاريج التخزين المستخدمة في تخزين نواتج التقطير الخفيفة مثل الغازولين، والإيثانول، والميثانول، للحد من امتصاص الحرارة. ويجب أن توضع في الاعتبار الآثار البصرية المحتملة الناجمة عن انعكاس الضوء من أسطح جسم الصهاريج؛
- وبناء على السعة التخزينية للتخزين وضغط بخار المواد المخزنة، يجب اختيار نوع محدد من الصهاريج للحد من

فواقد التخزين والتشغيل وفقاً لمعايير التصميمات المقبولة دولياً.[2]

- بالنسبة لصهاريج التخزين ذات السقف الثابت، الحد من فواقد التخزين والتشغيل عن طريق تركيب أسقف داخلية عائمة ومانعات تسرب[3]؛
- وبالنسبة لصهاريج التخزين ذات السقف العائم، يجب تصميم وتركيب الأسطح والتركيبات ومانعات التسرب من الحواف وفقاً للمعايير الدولية الخاصة لتقليل الفواقد التبخرية.[4]
- يُراعى استخدام أنظمة للتزويد والإرجاع، وخراطيم لاستعادة البخار، وشاحنات/عربات سكة حديد صهريجية/ حاويات كاتمة للبخار أثناء تحميل وتفريغ مركبات النقل؛
- استخدام أنظمة تعبئة شاحنات/عربات سكة حديد صهريجية ذات تحميل سفلي لتقليل انبعاث البخار؛
- في حالة وجود انبعاثات للبخار تساهم أو تؤدي إلى تولد مستويات لنوعية الهواء المحيط تتجاوز المعايير الصحية المحددة، يجب تركيب أدوات تحكم ثانوية في الانبعاثات مثل وحدات تكثيف واستعادة البخار، أو المؤكسدات التحفيزية، أو وسائط امتزاز الغاز، أو التبريد، أو وحدات امتصاص الزيت الفقير؛

غازات الدفيئة (GHGs)

من الممكن أن تنتج كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون (CO_2) أثناء تصنيع الغاز الصناعي، خاصة خلال تفاعل إزاحة الماء والغاز، علاوة على جميع العمليات المتعلقة بالاحتراق (مثل إنتاج الطاقة الكهربائية، وحرق المنتجات الثانوية أو الاستخدام في التوليد المشترك). وتعد التوصيات الرامية إلى الحفاظ على الطاقة والتعامل مع انبعاث غازات الدفيئة خاصة بكل مشروع وكل موقع بشكل محدد، إلا أنها تشمل بعض التوصيات التي تمت مناقشتها في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**. ويجب على جهات التشغيل، في المنشآت المتكاملة، دراسة نهج شامل للمنشأة في اختيار تقنيات العمليات والمرافق.

المواد الدقائقية (الجسيمات)، والزيوت الثقيلة، والمعادن الثقيلة

ربما تؤدي أنشطة تحضير الفحم الحجري (مثل استخدام المجففات)، وتغويزه (مثل التقليم وإزالة الرماد)، وعمليات تسييله إلى انبعاثات ثابتة المصدر للغبار والزيوت الثقيلة (القار). ويجب اختيار التكنولوجيات المناسبة للحد من انبعاث المواد الدقائقية (الجسيمات). ومن الممكن أن تنطلق المعادن

[2] على سبيل المثال، وفقاً للمعيار API Standard 650: *Welded Steel Tanks for Oil Storage* (1998), الصهاريج الجديدة، أو المعدلة، أو المعاد إنشائها التي تزيد سعتها على أو تساوي 40000 غالون والتي تخزن السوائل التي يبلغ ضغط البخار لها أو يزيد على 0.75 رطل على البوصة إلى أقل من 11.1 رطل على البوصة، أو سعة تبلغ أو تزيد على 20000 غالون وتخزن سوائل يبلغ ضغط بخارها أو يزيد على 4 أرطال على البوصة إلى أقل من 11.1 رطل على البوصة، يجب أن تجهز بما يلي: سقف ثابت بالاقتران مع سقف داخلي عائم مزود بمانع تسرب ميكانيكي رئيسي من النوع الانضغاطي (حذائي) مركب على السائل؛ أو سقف خارجي عائم مزود بمانع تسرب ميكانيكي رئيسي من النوع الانضغاطي (حذائي) مركب على السائل ومانع تسرب ثانوي مركب على الحافة، على أن يستوفي كلا من مانعي التسرب متطلبات الحد الأدنى المعين للمسافة الفاصلة مع تثبيت أغطية مزودة بحشيات على تركيبات السطح؛ أو أنظمة تنفيس مغلقة وأجهزة تحكم ذات كفاءة 95 في المائة.

[3] يجب أن يتم السماح بدخول العمال إلى الصهاريج وفق إجراءات الدخول إلى الأماكن المحصورة التي تتطلب تصريحاً بذلك كما هو مبين في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.

[4] ومن أمثلة هذه المعايير: API Standard 620: *Design and Construction of Large, Welded, Low-pressure Storage Tanks (2002);* API Standard 650: *Welded Steel Tanks for Oil Storage* (1998), and; European Union (EU) European Standard (EN) 12285-2:2005. Workshop fabricated steel tanks for the aboveground storage of flammable and non-flammable water polluting liquids (2005).

الثقيلة الموجودة في الفحم الحجري في الهواء خلال عملية تغويز الفحم الحجري.

ويمكن إزالة معظم المعادن الثقيلة عن طريق أجهز الغسل الرطب. وقد يلزم استخدام تكنولوجيا الامتصاص لإزالة الزئبق الموجود في الفحم الحجري الذي يحتوي على نسبة عالية من الزئبق. وتتناول **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** توصيات مكافحة انبعاث المواد الدقائقية.

الغازات الحمضية والأمونيا

تحتوي الغازات المنبعثة من المداخن من وحدة كلاوس لاستعادة الكبريت على خليط من الغازات الخاملة المحتوية على ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وتعد مصدراً هاماً للانبعاثات الهوائية خلال معالجة الفحم الحجري. كما تولد أيضاً عملية التغويز ملوثات مثل كبريتيد الهيدروجين (H_2S), وكبريتيد الكربونيل (COS), وثنائي كبريتيد الكربون (CS_2), وأول أكسيد الكربون (CO), والأمونيا (NH_3), وسيانيد الهيدروجين (HCN). وعادة ما تكون تلك الغازات قابلة للاستعادة إلى حد كبير خلال تنقية الغاز الصناعي (99< في المائة). وقد تؤدي عمليات التسييل، بما في ذلك العمليات التي تتم في صهاريج مزيج الردغ، إلى انطلاق غازات حمضية أخرى ومركبات عضوية متطايرة. وتشمل الاستراتيجيات الموصى بها للتعامل مع انبعاث الغازات الحمضية والأمونيا ما يلي:

- إجراء عملية لاستعادة الكبريت لتجنب انبعاث غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S (مثل عملية كلاوس)؛
- تنفيس صهاريج مزيج الردغ إلى إمداد هواء الاحتراق من أجل توليد الطاقة والحرارة؛
- إجراء عمليات غسل من خلال تركيب أجهزة غسل غازات الانفلات المؤكسدة أو المختزلة، إضافة إلى أجهزة غسل فنتوري، للحد من انبعاث ثاني أكسيد الكبريت؛
- في حالة تركيب أجهزة حرق لإزالة الكبريت، يجب تشغيل المحرقة على درجة حرارة 650 درجة مئوية (°م) أو أعلى مع استخدام النسب المناسبة للهواء إلى الوقود بغرض حرق كبريتيد الهيدروجين بشكل كامل؛ و
- تجهيز المداخن بمنافذ تسمح بتشغيل أجهزة الرصد (لرصد انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت من عملية كلاوس والمحارق، على سبيل المثال).

غازات العادم

يعد حرق الغاز الصناعي أو زيت الغاز من أجل توليد الطاقة والحرارة في منشآت معالجة الفحم الحجري من المصادر الهامة للانبعاثات الهوائية، بما في ذلك ثاني أكسيد الكربون، وأكاسيد النيتروجين، وثاني أكسيد الكبريت وفي حالة خلل الموقد، أول أكسيد الكربون.

وتقدم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** توجيهاً حول التعامل مع الانبعاثات الناتجة عن عمليات الاحتراق الصغيرة التي صممت لتوصيل الطاقة الميكانيكية أو الكهربائية، أو البخار، أو الحرارة، أو أي مزيج مما سبق، بغض النظر عن نوع الوقود، بطاقة حرارية إجمالية تصل إلى *50* ميغاوات حرارية. أما التوجيهات المنطبقة على العمليات المصدرة لطاقة أكبر من *50* ميغاوات حرارية فتتناولها **الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة المعنية بالطاقة الحرارية**.

ويجب التقليل من الانبعاثات المرتبطة بعملية مصادر الطاقة من خلال اعتماد إستراتيجية موحدة تتضمن تقليل الحاجة للطاقة، واستخدام أنواع الوقود الأكثر نظافة، وتطبيق ضوابط الانبعاثات عند الحاجة. وتتناول **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** التوصيات المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة.

التنفيس والإشعال

يعد كل من التنفيس والإشعال من تدابير التشغيل والسلامة الهامة المستخدمة في منشآت معالجة الفحم الحجري لضمان التخلص من الغازات بطريقة آمنة في حالة حدوث طارئ ما أو في حالة انقطاع الكهرباء أو حدوث عطل في المعدات أو في أي ظروف مضطربة أخرى في المصنع. كما يتم التخلص من المواد الخام غير المتفاعلة والغازات الثانوية القابلة للاحتراق عن طريق التنفيس والإشعال. ولا ينبغي تنفيس الغاز الفائض، بل يرسل بدلاً من ذلك إلى نظام غاز إشعال فعال للتخلص منه.

وتشمل توصيات الحد من تنفيس وإشعال الغازات ما يلي:

- تحسين كفاءة ضوابط المصنع لزيادة معدلات تحويل التفاعل؛
- الاستفادة من المواد الخام غير المتفاعلة والمنتجات الثانوية الغازية القابلة للاشتعال في توليد الطاقة، أو استعادة الحرارة، إن أمكن؛
- توفير أنظمة احتياطية لزيادة اعتمادية المصنع؛ و
- إقامة أنظمة الإشعال على مسافات آمنة من أماكن إقامة الأفراد والمناطق السكنية وصيانة أنظمة الإشعال لتحقيق كفاءة عالية.

ويمكن أن يكون التنفيس الطارئ مقبولاً في ظروف محددة لا يكون من المناسب فيها إشعال تيار الغاز. وفي هذه الحالة يجب تطبيق منهجيات قياسية لتقييم المخاطر من أجل تحليل تلك المواقف. ويجب توثيق مبررات عدم استخدام نظام إشعال الغاز توثيقاً تاماً قبل اللجوء إلى مرفق التنفيس الطارئ للغاز.

المياه المستعملة

المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية

ربما تتلوث المياه المستعملة الناتجة عن العمليات بالهيدروكربونات، والأمونيا والأمينات، والمركبات المؤكسجة، والأحماض، والأملاح غير العضوية، وكميات ضئيلة من أيونات المعادن الثقيلة. وتتضمن الممارسات الموصى بها للتعامل مع المياه المستعملة ما يلي:

- منع الانطلاق غير المقصود للسوائل من خلال الفحص والصيانة لأنظمة التخزين والنقل، بما في ذلك صناديق الحشو المركبة بالمضخات والصمامات وغيرها من النقاط التي بها احتمالية التسريب، إلى جانب تنفيذ خطط الاستجابة لحوادث الانسكاب؛
- توفير سعة كافية لتصريف سوائل المعالجة لزيادة إعادة استخدامها في العمليات وتجنب التصريف الشامل لسوائل المعالجة في نظام صرف المياه الملوثة بالزيت؛ و
- تصميم وبناء أحواض لتخزين المياه المستعملة والمواد الخطرة على أن تكون مجهزة بأسطح غير منفِذة لمنع ترشيح المياه الملوثة إلى التربة والمياه الجوفية.

وتتضمن الاحتياطات المحددة من أجل التعامل مع تيارات المياه المستعملة الفردية ما يلي:

- الأمينات المنسكبة الناتجة من نظام إزالة ثاني أكسيد الكربون القلوي اللاحق لوحدة التغويز (التحويل إلى غاز)

يجب جمعها في أنظمة صرف مغلقة مخصصة، بعد ترشيحها، وإعادة تدويرها مرة أخرى إلى العملية؛

- النفايات السائلة الناتجة من عمود الإنصال في وحدة فيشر تروبش التركيبية، التي تحتوي على هيدروكربونات مذابة ومركبات مؤكسجة (الكحولات والأحماض العضوية بصفة أساسية) وكميات ضئيلة من الكيتونات، يجب إعادة تدويرها داخل وحدة فيشر تروبش التركيبية لاستعادة الهيدروكربونات والمركبات المؤكسجة في عمود الإنصال؛
- يجب معادلة النفايات السائلة الحمضية والكاوية الناتجة من تحضير المياه منزوعة المعادن، والتي يتوقف تولدها على نوعية الإمداد الموجه للعملية من المياه غير المعالجة، قبل تصريفها في نظام معالجة المياه المستعملة الخاص بالمنشأة؛
- التفريغ السريع من أنظمة توليد البخار وأبراج التبريد يجب أن يبرد قبل تصريفه. وقد تتطلب مياه التبريد المحتوية على المبيدات الحيوية أو غيرها من الإضافات أيضاً إجراء تعديل للجرعات أو معالجة في وحدة معالجة المياه المستعملة الخاصة بالمنشأة قبل تصريفها؛ و
- يجب معالجة المياه الملوثة بالمركبات الهيدروكربونية الناتجة عن عمليات التنظيف الدورية خلال إعادة تحضير المنشأة فيما بين العمليات (يتم عادة إجراء أنشطة التنظيف **سنوياً** وقد تدوم لبضع أسابيع)، والنفايات السائلة الملوثة بالزيت الناتجة من حالات التسرب من العمليات، والنفايات السائلة المحتوية على المعادن الثقيلة من القواعد الثابتة والمميعة من خلال وحدة معالجة المياه المستعملة الخاصة بالمنشأة.

معالجة المياه المستعملة الناتجة عن العمليات

تتضمن تقنيات معالجة المياه المستعملة (مياه الصرف) الناتجة عن العمليات الصناعية الواردة في هذا القسم الفصل عند المصدر والمعالجة المسبقة لتيار المياه المركزة. وتتضمن الخطوات المثلى لمعالجة المياه المستعملة ما يلي: مصفيات الشحوم، وكاشطات الملوثات الزيتية، والتعويم بالهواء المذاب أو أجهزة فصل الزيت عن الماء لفصل الزيوت وفصل المواد الصلبة العائمة؛ والترشيح لفصل المواد الصلبة القابلة للترشيح؛ ومعادلة التدفق والحمل؛ والترسيب لتقليل المواد الصلبة العالقة باستخدام أجهزة تنقية؛ والمعالجة البيولوجية، والتي عادةً ما تكون هوائية، لتقليل المادة العضوية القابلة للذوبان (حاجة حيوية كيميائية للأكسجين)؛ وإزالة المغذيات البيولوجية أو الكيميائية للتقليل من نسبة النيتروجين والفوسفور؛ وكلورة النفايات السائلة في حالة الحاجة إلى التطهير؛ وإزالة الماء والتخلص من المخلفات في المدافن المخصصة للنفايات الخطرة. وربما تكون هناك حاجة إلى وسائل مكافحة هندسية لما يلي (*1*) احتواء ومعالجة المواد العضوية المتطايرة المنصلة من عمليات الوحدات المختلفة في نظام معالجة المياه المستعملة (مياه الصرف)، (*2*) الإزالة المتقدمة للمعادن باستخدام الترشيح الغشائي أو أي تقنيات معالجة فيزيائية/كيميائية أخرى، (*3*) إزالة المواد العضوية العنيدة، والسيانيد، والأكسجين الممتص كيميائياً غير القابل للتدهور البيولوجي باستخدام الكربون المنشط أو الأكسدة الكيميائية المتقدمة، (*3*) خفض سمية النفايات السائلة باستخدام التقنيات المناسبة (مثل التناضح العكسي، التبادل الأيوني، الكربون المنشط، إلى غير ذلك)، و(*4*) احتواء الروائح المزعجة ومعادلتها.

وتناقش **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** كيفية التعامل مع المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية وأمثلة لأساليب المعالجة. ويتعين على المرافق، من خلال استخدامها لهذه التكنولوجيات وأساليب الممارسة الصحيحة المتعلقة بكيفية التعامل مع المياه المستعملة، أن تفي بالقيم الإرشادية المعنية بتصريف المياه المستعملة والمبينة بالجدول ذي الصلة بالقسم 2 من وثيقة قطاع الصناعة هذا. وتقدم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** توصيات لخفض استهلاك المياه، لاسيما في الأماكن التي تكون فيها المصادر الطبيعية محدودة.

المجاري الأخرى للمياه المستعملة واستهلاك المياه

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

مياه العواصف: يمكن أن تتلوث مياه العواصف كنتيجة لانسكاب سوائل العمليات بالإضافة إلى نزوح المواد المرتشحة المحتوية على الهيدروكربونات والمعادن الثقيلة من مناطق تخزين الفحم الحجري. وتتضمن التوصيات الخاصة بهذه الصناعة ما يلي:

- تعبيد مناطق العمليات، والفصل بين مياه العواصف الملوثة ومياه العواصف غير الملوثة، وتنفيذ خطط السيطرة على الانسكابات. وتوجيه مياه العواصف الآتية من مناطق العمليات إلى وحدة معالجة مياه العواصف؛ و
- تصميم وإقامة منشآت تخزين الفحم الحجري وما يرتبط بها من أنظمة جمع السوائل المرتشحة لوقاية التربة ومصادر المياه من التلوث. وضرورة رصف مناطق مخزون الفحم الحجري لفصل مياه العواصف المحتمل تلوثها، ونقلها إلى وحدة معالجة المياه المستعملة الخاصة بالمنشأة .

مياه التبريد: تتسبب مياه التبريد في ارتفاع معدلات استهلاك المياه، إضافة إلى احتمالات انطلاق مياه مرتفعة درجة الحرارة، وبقايا المبيدات الحيوية، وبقايا المواد الأخرى المانعة لانسداد نظام التبريد بالأوساخ. وتشمل الاستراتيجيات الموصى بها لإدارة مياه التبريد ما يلي:

- يجب تبني فرص المحافظة على المياه لأنظمة التبريد بالمنشأة كما هو مبين في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة؛**
- استخدام طرق استعادة الحرارة (كذلك تحسينات كفاءة استخدام الطاقة) أو طرق تبريد أخرى لتقليل حرارة المياه المسخنة قبل تصريفها لضمان عدم تسبب درجة حرارة مياه الصرف في زيادة تتجاوز °3م في درجة الحرارة المحيطة عند حافة منطقة المزج المقامة علمياً والتي تأخذ في الاعتبار نوعية المياه المحيطة، واستخدام الماء المستقبل، والقدرة التمثيلية (الاستيعابية)، الخ.؛
- الحد من استخدام الكيماويات المانعة من الانسداد بالأوساخ والمثبطة للتآكل عن طريق ضمان العمق المناسب لمأخذ المياه واستخدام المصافي؛ واختيار البدائل الأقل تسبباً في المخاطر من حيث السمية، والتدرك البيولوجي، والتوافر

البيولوجي، وإمكانية التراكم البيولوجي؛ وتحديد الجرعة وفقاً للشروط التنظيمية المحلية وتوصيات جهات الصنع؛ و

- اختبار المبيدات الحيوية المتبقية والملوثات الأخرى ذات الأهمية لتحديد مدى الحاجة إلى تعديل الجرعات أو معالجة مياه التبريد قبل صرفها.

مياه الاختبار الهيدروستاتيكي: يتضمن الاختبار الهيدروستاتيكي (هيدروتست) للمعدات وخطوط الأنابيب إجراء اختبار ضغط باستخدام المياه (مياه مرشحة غير معالجة، في العادة)، للتحقق من سلامتها واكتشاف أماكن التسرب المحتملة. ويتم عادة إضافة إضافات كيميائية مواد مانعة للتآكل، ومزيل للأكسجين، وصبغة. وعند التعامل مع مياه الاختبارات الهيدروستاتيكية (هيدروتست)، يجب تطبيق تدابير منع ومكافحة التلوث التالية:

- إعادة استخدام المياه في اختبارات متعددة للحفاظ على المياه وتقليل صرف النفايات السائلة التي يحتمل أن تكون ملوثة؛
- تقليل استخدام المواد المانعة للتآكل والمواد الكيميائية الأخرى عن طريق تقليل وقت بقاء المياه في المعدات أو خط الأنابيب؛ و
- اختيار البدائل الأقل تسبباً في المخاطر من حيث السمية، والتدرك البيولوجي، والتوافر البيولوجي، وإمكانية التراكم البيولوجي؛ وتحديد الجرعة وفقاً للشروط التنظيمية المحلية وتوصيات جهات الصنع.

وإذا كان صرف مياه الاختبار الهيدروستاتيكي في البحر أو المياه السطحية هو الاختيار الوحيد المتاح عملياً للتخلص منها، يجب إعداد خطة للتخلص من مياه الاختبار الهيدروستاتيكي تراعي موقع ومعدل الصرف، واستخدام الكيماويات وانتشارها، والمخاطر البيئية، وأعمال الرصد اللازمة. ويجب تجنب التخلص من مياه الاختبار الهيدروستاتيكي في المياه الساحلية الضحلة.

المواد الخطرة

تنتج منشآت معالجة الفحم الحجري كميات كبيرة من المواد الخطرة، بما في ذلك المنتجات الوسيطة / النهائية والمنتجات الثانوية. ويجب أن تدار شؤون مناولة وتخزين ونقل تلك المواد بشكل سليم لتجنب حدوث آثار بيئية نتيجة تلك المواد الخطرة والحد منها. وتتضمن **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** الممارسات الموصى بها لإدارة المواد الخطرة، بما في ذلك المناولة والتخزين والنقل.

النفايات

تشمل النفايات غير الخطرة رماد القاع الفحم الحجريي، والخبث، والرماد المتطاير، ورسابة تخزين الفحم الحجري. أما رماد القاع الفحم الحجريي والخبث فهي تلك المنتجات الثانوية الخشنة الحبيبية غير القابلة للاشتعال التي تجمع من قاع أجهزة التغويز. كما يلتقط الرماد المتطاير أيضاً من المفاعل. وتعد الكمية المتولدة من الحمأة والرماد كبيرة في العادة وتتوقف على درجة الفحم الحجري المستخدم في وحدة المعالجة. ويرتبط الشكل الفيزيائي للرماد بعملية التغويز.

[5] Recycling Materials Resource Center (RMRC), Coal Bottom Ash/Boiler Slag, متاح على الموقع http://www.rmrc.unh.edu/Partners/UserGuide/cbabs1.htm

وتشمل النفايات التي يحتمل أن تكون خطرة عادة المحفزات المستهلكة، والزيوت، والمذيبات، والمحاليل المتفاعلة، والمرشحات، وقواعد الترشيح المشبعة، والقطارات الثقيلة الناتجة من قسم التنقية في عملية المعالجة، والحاويات المستعملة، والخرق الملوثة بالزيت، والمذيبات النفطية، والمحليات المستعملة، والأمينات المستهلكة في إزالة ثاني أكسيد الكربون، ومرشحات الكربون المنشط، والحمأة الملوثة بالزيت الناتجة من أجهزة الفصل الزيت والماء، والسوائل المستهلكة أو المستعملة في عمليات التشغيل أو الصيانة مثل الزيوت وسوائل الاختبار، والحمأة الناتجة من معالجة المياه المستعملة.

وقد تم تناول التوصيات العامة بشأن التعامل مع النفايات الخطرة وغير الخطرة في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**. وتشمل ممارسات التعامل مع النفايات الخاصة بتلك الصناعة تحديداً، ما يلي.

رماد القاع الفحم الحجريي، والخبث، والرماد المتطاير

وفقاً لمدى السمية والنشاط الإشعاعي، يمكن إعادة تدوير رماد القاع الفحم الحجريي، والخبث، والرماد المتطاير، بشرط توفر الخيارات الصالحة من الناحيتين التجارية والفنية. وتشمل طرق إعادة التدوير الموصى بها ما يلي:

- استخدام رماد القاع كركام في وحدات بناء الخرسانة خفيفة الوزن، وكمادة تغذية أولية في إنتاج إسمنت بورتلاند، أو كركام لأساس الطرق وأساساته التحتية، أو مادة ردم إنشائية، وكركام دقيق في الرصف بالأسفلت وكردم قابل للانسياب؛
- استخدام الخبث كجريش سفع، كحبيبات لألواح تكسية الأسقف، للسيطرة على الجليد والثلج، وكركام في الرصف بالأسفلت، وكردم إنشائي، وفي تطبيقات أساسات الطرق والأساسيات التحتية؛
- استخدام الرماد المتطاير في مواد البناء التي تتطلب مادة بزلانية.

وفي حالة عدم إمكانية إعادة تدوير تلك المواد نظراً لخصائصها السمية ونشاطها الإشعاعي أو عدم توفر خيارات صالحة من الناحيتين التجارية والفنية، يجب التخلص منها في منشآت دفن نفايات مرخصة تم تصميمها ويجري تشغيلها وفقاً للممارسات الصناعية الدولية الجيدة.

حمأة تخزين الفحم الحجري

يجب أن تجفف حمأة غبار الفحم الحجري المتولدة عن تخزين الفحم الحجري وتحضيره، ويعاد استخدامها أو تدويرها حيث كان ذلك ممكناً من الناحية العملية. وتشمل الخيارات الممكنة إعادة استخدامها كخام تغذية في عملية التغويز، تبعاً لتكنولوجيا التغويز المختارة. ويجب أن تتم عمليات مناولة الحمأة، ونقلها، والتعامل معها سواء داخل الموقع أو خارجه، وفقاً لتوصيات التعامل مع النفايات الصناعية غير الخطرة الواردة في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

المحفزات المستهلكة

تنتج المحفزات المستهلكة من استبدال قاعدة التحفيز أثناء الفترات المحددة لإعداد الوحدة للعمليات التالية في عمليات

[6] يتوفر إرشاد إضافي بشأن التخلص من النفايات الصناعية الخطرة وغير الخطرة في الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة من أجل مرافق إدارة النفايات.

إزالة الكبريت من الغاز الصناعي، وتفاعل فيشر تروبش، والأزمرة، والتكسير التحفيزي، وتصنيع الميثانول. وقد تحتوي المحفزات المستهلكة على الزنك، والنيكل، والكوبالت، والبلاتين، والبلاديوم، والنحاس، ويتوقف ذلك على نوع العملية المحددة.

وتشمل استراتيجيات إدارة النفايات الموصى بها من أجل المحفزات المستهلكة ما يلي:

- التعامل السليم بالموقع، ويشمل تغطيس المحفزات تلقائية الاشتعال (في الهواء) المستهلكة في الماء أثناء التخزين والنقل المؤقت حتى تصل إلى نقطة المعالجة النهائية، وذلك لتجنب التفاعلات المطلِقة للحرارة غير المتحكم فيها؛
- الإعادة إلى الجهة المصنعة لتجديدها؛ و
- التعامل خارج الموقع من خلال شركات متخصصة تستطيع استرداد وإعادة تدوير المعادن الثقيلة (أو المعادن الثمينة من المحفزات التي تستخدم في مصانع إنتاج حامض النيتريك)، كلما أمكن، أو التعامل مع المحفزات المستهلكة أو موادها غير القابلة للاستعادة وفقاً لتوصيات التعامل مع النفايات الخطرة وغير الخطرة الواردة في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**. أما المحفزات المحتوية على البلاتين أو البالاديوم فيجب إرسالها إلى مرفق لاستعادة المعادن الكريمة.

القطارات (النهايات) الثقيلة

يتم عادة حرق القطارات الثقيلة الناتجة من قسم التنقية بوحدة تصنيع الميثانول في غلاية بخار بواسطة مواقد متخصصة.

الضوضاء

تشمل المصادر الأساسية للضوضاء في منشآت معالجة الفحم الحجري المعالجة الفيزيائية للفحم (مثل، الغربلة، والتكسير، والتحجيم، والفرز)، إضافة إلى الآلات الدوارة كبيرة الحجم (مثل, ضواغط الهواء "الكومبريسورات"، والتربينات، والمضخات، والمحركات الكهربائية، ومبردات الهواء، وسخانات إحراق الوقود). وفي أثناء تخفيض الضغط الطارئ، تحدث ضوضاء عالية بسبب انطلاق غازات الضغط العالي التي يتم إشعالها و/ أو إطلاق البخار إلى الغلاف الجوي. وتحتوي **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** على التوصيات العامة المتعلقة بكيفية التعامل مع الضوضاء.

1.2 الصحة والسلامة المهنية

يجب تحديد المخاطر على الصحة والسلامة المهنية التي ترتبط تحديداً بالمنشأة بناء على تحليل السلامة الوظيفية أو التقييم الشامل للمخاطر أو الأخطار، بالاستعانة بمنهجيات محققة مثل دراسة تحديد المخاطر [*HAZID*]، ودراسات المخاطر وإمكانات التشغيل [*HAZOP*]، أو تقييم المخاطر القائم على وضع تصورات [*QRA*].

وكنهج عام، يجب أن تشمل عملية تخطيط كيفية التعامل مع قضايا الصحة والسلامة اعتماد نظام منظم وهيكلي للوقاية من المخاطر البدنية والكيميائية والبيولوجية والإشعاعية على الصحة والسلامة والسيطرة عليها، كما هو مبين في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

تبرز أكبر المخاطر المتعلقة بالصحة والسلامة المهنية أثناء مرحلة تشغيل منشآت معالجة الفحم، ويتصدرها ما يلي:

- سلامة العمليات
- انبعاث الغاز الغني بالأكسجين
- الأجواء المفتقرة إلى الأكسجين
- مخاطر الاستنشاق
- الحرائق والانفجارات

سلامة العمليات

يجب تطبيق برامج سلامة العمليات، نظراً للخصائص المرتبطة بتلك الصناعة تحديداً والتي تشتمل على التفاعلات الكيميائية المعقدة، واستخدم المواد الخطرة (مثل المركبات السامة، أو المتفاعلة، أو سريعة الالتهاب، أو المتفجرة)، والتفاعلات متعددة الخطوات. وتشمل إدارة سلامة العمليات الإجراءات التالية:

- اختبار المخاطر البدنية للمواد والتفاعلات؛
- دراسات تحليل المخاطر لمراجعة الممارسات الكيميائية والهندسية في العمليات، بما في ذلك الديناميكيات الحرارية والحركية؛
- مراجعة الصيانة الوقائية والسلامة الميكانيكية للمعدات والمرافق المستخدمة في عملية المعالجة؛
- تدريب العمال؛ و
- وضع تعليمات للتشغيل وإجراءات الاستجابة في حالات الطوارئ.

انبعاث الغاز الغني بالأكسجين

قد يتسرب الغاز الغني بالأكسجين من وحدات فصل الهواء متسبباً في مخاطر نشوب حرائق نظراً لغنى الجو بالأكسجين. ومن المحتمل أن تؤدي الأجواء الغنية بالأكسجين إلى تشبع المواد، والشعر، والملابس بالأكسجين مما يؤدي إلى احتراقها بقوة في حالة إشعالها. وتشمل إجراءات المنع والمكافحة الرامية إلى الحد من التعرض للأجواء الغنية بالأكسجين داخل الموقع وخارجه ما يلي:

- تركيب نظام إغلاق طارئ تلقائي يمكنه اكتشاف الانبعاث غير المحكوم للأكسجين (بما في ذلك وجود أجواء ينقص فيها الأكسجين في مناطق العمل [7]) والإنذار منه، وبدء إجراءات الإغلاق، مما يقلل من فترات الانبعاث، ويقضي على مصادر الإشعال المحتملة؛
- تصميم المنشآت والمكونات وفقاً لمعايير السلامة الصناعية المطبقة، مع تجنب وضع الأنابيب الناقلة للأكسجين في الأماكن المحصورة، باستخدام تركيبات كهربائية ذاتية السلامة، وباستخدام أنظمة تنفيس أكسجين على مستوى المنشأة تضع في الحسبان الآثار المحتملة للغاز المنفس؛
- تطبيق الإجراءات الخاصة بالأعمال في مناطق الانبعاثات الحرارية الخطرة والخاصة بالدخول إلى الأماكن المحصورة التي تتطلب تصريحاً، والتي تأخذ في اعتبارها تحديداً الانبعاث المحتمل للأكسجين؛
- تطبيق ممارسات تنظيف جيدة (إشراف داخلي) لتجنب تراكم المواد القابلة للاشتعال؛
- تخطيط وتنفيذ خطط الاستعداد والاستجابة للطوارئ التي تتضمن تحديداً إجراءات للتعامل مع الانبعاث غير المحكوم للأكسجين؛ و
- توفير المعدات المناسبة لمنع ومكافحة الحرائق كما هو مبين أدناه (مخاطر الحرائق والانفجار).

7 يجب تجهيز مناطق العمل التي يحتمل فيها وجود أجواء غنية بالأكسجين بأنظمة مراقبة يمكنها اكتشاف هذه الحالات. ويجب تزويد العمال بأنظمة مراقبة شخصية. كما يجب تزويد نوعي أنظمة المراقبة بتنبيه تحذيري يتم ضبطه عند وصول نسبة تركيز الأكسجين (O_2) في الهواء إلى 23.5%.

أجواء نقص الأكسجين

قد يؤدي الإطلاق والتراكم المحتمل لغاز النيتروجين في مناطق العمل إلى وجود أوضاع مسببة للاختناق نتيجة لإزاحة الأكسجين بفعل تلك الغازات. وتشتمل تدابير المنع والسيطرة لخفض مخاطر إطلاق الغازات الخانقة على ما يلي:

- تصميم ووضع أنظمة لتنفيس النيتروجين وفقاً للمعايير الصناعية المتعارف عليها؛
- تركيب نظام إغلاق تلقائي للطاقة يمكنه اكتشاف إطلاق النيتروجين غير المتحكم فيه (بما في ذلك وجود أجواء ينقص فيها الأكسجين في مناطق العمل [8]) وإصدار تحذير، وتشغيل التهوية الإجبارية، وتقليل فترة الإطلاق؛ و
- تنفيذ إجراءات دخول الأماكن المغلقة على النحو الوارد في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** مع مراعاة المخاطر المرتبطة بالمنشأة تحديداً.

مخاطر الاستنشاق

يرتبط التعرض الكيميائي في منشآت معالجة الفحم الحجري بصفة أساسية باستنشاق غبار الفحم الحجري، والمواد المتطايرة من زفت قطران الفحم الحجري، وأول أكسيد الكربون، وغيرها من الأبخرة مثل الميثانول والأمونيا. وربما يصاب العاملون المعرضون لغبار الفحم الحجري بأضرار في الرئة وتليف رئوي. كما يؤدي التعرض إلى أول أكسيد الكربون إلى تكون الكربوكسيهيموغلوبين (*COHb*)، الذي يثبط من قدرات خلايا الدم الحمراء على حمل الأكسجين. وتشمل الأعراض الخفيفة للتعرض بصورة خفيفة الصداع، والدوار، وقلة النشاط، وانخفاض التوافق بين اليدين والعينين، والضعف، والتشوش، والتوهان، والفتور، والغثيان، والاضطرابات البصرية. أما التعرض الزائد أو المطول فقد يؤدي إلى فقدان الوعي والوفاة.

ويجب التعامل مع التعرض المحتمل للمواد الكيماوية عن طريق الاستنشاق أثناء العمليات الروتينية لوحدة المعالجة استناداً إلى تحليل السلامة الوظيفية ودراسات الصحة الصناعية، وبالتوافق مع إرشادات الصحة والسلامة المهنية الواردة في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**. وتتضمن تدابير الحماية تدريب العاملين، وأنظمة منح تصاريح العمل، واستخدام معدات الحماية الشخصية، وأنظمة اكتشاف الغازات السامة والإنذار منها.

مخاطر الحرائق والانفجار

تخزين الفحم الحجري وتحضيره

الفحم الحجري عرضة للاحتراق التلقائي، ويرجع ذلك في العادة إلى تأكسد البيريت أو الملوثات الكبريتيدية الأخرى في الفحم الحجري. [7] [9] كما تحمل عمليات تحضير الفحم الحجري أيضا مخاطر نشوب حرائق ووقوع انفجارات نظراً لتولد غبار الفحم الحجري، الذي قد يشتعل، على حسب تركيزه في الهواء ووجود مصادر للإشعال. ومن ثم يمثل غبار الفحم الحجري خطراً كبيراً لوقوع انفجارات في منشآت تخزين ومناولة الفحم الحجري نظراً لإمكانية تولد سحب من غبار الفحم الحجري في الأماكن المغلقة. كما قد تتكون سحب الغبار

8 يجب تجهيز مناطق العمل التي يحتمل فيها وجود أجواء نقص الأكسجين بأنظمة مراقبة يمكنها اكتشاف هذه الحالات. يجب تزويد العمال بأنظمة مراقبة شخصية. يجب تزويد نوعي أنظمة المراقبة بتنبيه تحذيري يتم ضبطه عند وصول نسبة تركيز الأكسجين (O_2) في الهواء إلى 19.5%.

9 National Fire Protection Association (NFPA). Standard 850: Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations (2000).

10 NFPA. Standard 120: Standard for Fire Prevention and Control in Coal Mines (2004).

أيضاً حيثما يتراكم غبار الفحم الحجري السائب، كما هو الحال على الأرفف الإنشائية. وتشمل الأساليب الموصى بها لمنع ومكافحة مخاطر الاحتراق والانفجار في أماكن تخزين الفحم الحجري المغلقة ما يلي:

- تخزين أكوام الفحم الحجري بطريقة تمنع أو تحد من احتمالات الاشتعال، ومن بينها:
  - ارتصاص أكوام الفحم الحجري لتقليل كمية الهواء داخل الأكوام،
  - تقليل زمن تخزين الفحم الحجري،
  - تجنب وضع أكوام الفحم الحجري فوق مصادر الحرارة مثل أنابيب البخار أو غرف التفتيش،
  - بناء إنشاءات تخزين الفحم الحجري بمواد غير قابلة للاشتعال،
  - تصميم منشآت تخزين الفحم الحجري مع مراعاة تقليل المساحات السطحية التي يمكن أن يترسب عليها غبار الفحم الحجري وتوفير أنظمة لإزالة الغبار، و
  - الرصد المستمر للبقع الساخنة (الفحم الحجري المشتعل) باستخدام أنظمة اكتشاف الحرارة. وفي حالة اكتشاف بقعة ساخنة، يجب إزالة الفحم الحجري المشتعل. كما يجب توفير منافذ لمكافحة الحريق؛
- القضاء على وجود مصادر الإشعال المحتملة، وتوفير تأريض مناسب للمعدات لتقليل مخاطر الكهرباء الاستاتيكية، مع ضرورة أن تكون جميع الآلات والمعدات الكهربائية الموجودة داخل مناطق أو هياكل تخزين الفحم المغلقة معتمدة للاستخدام داخل المناطق الخطرة وأن تكون مزودة بمحركات مقاومة للشرر.
- يجب تصميم جميع الدوائر الكهربائية بحيث يتم قطعها تلقائياً عن بعد؛ و
- تركيب نظام تهوية جانبي مناسب في أماكن التخزين المغلقة لتقليل تركيزات الميثان، وأول أكسيد الكربون، والمنتجات المتطايرة من أكسدة الفحم الحجري بالهواء، والتعامل مع الدخان في حالة الحريق.

وتتضمن الأساليب الموصى بها لمنع ومكافحة مخاطر الانفجار بسبب تحضير الفحم الحجري في منطقة مغلقة ما يلي:

- إجراء الغربلة للفحم الحجري الجاف، والتكسير، والتنظيف الجاف، والجلخ، والسحق، والعمليات الأخرى التي تنتج غبار الفحم الحجري تحت بطانة من النيتروجين أو أي أساليب أخرى لمنع الانفجار مثل التهوية؛
- إقامة المنشآت في مواقع من شأنها التقليل من تعرض المباني الكبرى والمعدات الأخرى للحرائق والانفجارات؛
- مراعاة التحكم في محتوى الفحم الحجري من الرطوبة قبل الاستخدام، وفقاً لمتطلبات تكنولوجيا التغويز؛
- تركيب أدوات آمنة من التعطل لرصد تركيزات الميثان في الهواء، وإيقاف العمليات إذا بلغ تركيز الميثان 40 في المائة من أدنى حد للانفجار؛
- تركيب أنظمة لجمع الغبار وصيانتها بشكل سليم من أجل التقاط الانبعاثات المنفلتة من معدات أو آلات مناولة الفحم الحجري.

معالجة الفحم الحجري

تشتمل مخاطر الحرائق والانفجارات التي تنتج عن عمليات المعالجة على الإطلاق غير المقصود للغاز الصناعي (أول أكسيد الكربون والهيدروجين)، والأكسجين، والميثانول،

والأمونيا. وقد يتسبب إطلاق الغاز الصناعي في حدوث "حرائق نفاثة"، أو قد يؤدي إلى انفجار سحابة بخارية أو "كرات نارية" أو "نيران وامضة"، حسب كمية المادة القابلة للاشتعال الموجودة وحسب درجة انحصار السحابة. ومن الممكن أن تشتعل غازات الهيدروجين وأول أكسيد الكربون حتى في غياب مصادر الإشعال إذا بلغت درجات الحرارة *500*°م و*609*°م، على التوالي. وقد يؤدي انسكاب السوائل القابلة للالتهاب إلى اندلاع "حرائق البرك". وتشتمل التدابير الموصى بها لمنع ومكافحة مخاطر الحرائق والانفجارات في عمليات المعالجة على ما يلي:

- توفير أجهزة اكتشاف مبكر للإطلاق، مثل أنظمة مراقبة ضغط الغازات ونقل السوائل، إلى جانب أنظمة اكتشاف الحرائق عن طريق الحرارة أو الدخان؛
- الحد من حالات الانفلات المحتملة عن طريق عزل عمليات المعالجة عن كميات المخزون الكبيرة؛
- تجنب مصادر الإشعال المحتمل (على سبيل المثال، عن طريق تصميم تخطيط الأنابيب بحيث يحول دون الانسكاب على الأنابيب، والمعدات، و/أو الآلات الدوارة مرتفعة الحرارة)؛
- مكافحة الآثار المحتملة للحرائق أو الانفجارات عن طريق العزل واستخدام المسافات الفاصلة بين مناطق العمليات، والتخزين، والمرافق، والمناطق الآمنة. ويمكن تحديد المسافات الآمنة عن طريق تحليل سلامة لهذه المنشأة تحديداً، ومن خلال تطبيق المعايير المعترف بها دولياً في مجال السلامة من الحرائق؛ [11]
- تحديد المناطق التي من المحتمل أن تتأثر بالإطلاق غير المقصود عن طريق ما يلي:
  - تحديد المناطق المعرضة للحريق وتجهيزها بنظام للصرف لجمع أي سوائل قابلة اشتعال تم إطلاقها بطريقة غير مقصودة ونقلها إلى منطقة احتواء آمنة، بما في ذلك الاحتواء الثانوي لصهاريج التخزين،
  - تعزيز المباني أو تركيب جدران فاصلة مضادة للحريق / الانفجار في المناطق التي يتعذر فيها ترك مساحات حاجزة مناسبة، و
  - تصميم نظام لصرف المخلفات السائلة المختلطة بالنفط لتجنب انتشار الحريق.

1.3 صحة المجتمعات المحلية وسلامتها

تماثل الآثار التي تتعلق بصحة المجتمعات المحلية وسلامتها والتي تحدث أثناء مرحلتي إنشاء مرافق معالجة الفحم الحجري وإنهاء أنشطتها تلك الآثار التي تحدث في غالبية المنشآت الصناعية الأخرى، وتتناولها بالمناقشة **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**. وتحدث أهم المخاطر على صحة وسلامة المجتمع التي ترتبط بمنشآت أو مرافق معالجة الفحم الحجري أثناء مرحلة التشغيل وتشمل التهديدات الناتجة عن الحوادث الكبرى المرتبطة بإمكانية نشوب حرائق أو وقوع انفجارات أو الانطلاق العارض للمنتجات النهائية داخل المنشأة (المرفق) أو نقله خارج مرفق المعالجة. وتقدم الإرشادات بشأن التعامل مع تلك القضايا في الأقسام ذات الصلة في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**: التعامل مع المواد الخطرة (بما في ذلك المخاطر الكبرى)؛ والسلامة المرورية، ونقل المواد الخطرة، والاستعداد للطوارئ والاستجابة لها. ويمكن الاطلاع على إرشادات إضافية تتعلق

[11] على سبيل المثال، NFPA Standard 30: Flammable and Combustible Liquids Code (2003).

بالنقل البحري والسكك الحديدية إضافة إلى المرافق الشاطئية في الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة من أجل النقل البحري، والسكك الحديدية؛ والموانئ والمرافئ، ومحطات النفط الخام والمنتجات البترولية.

2.0 مؤشرات الأداء ورصده

2.1 البيئة

إرشادات بشأن الانبعاثات والنفايات السائلة

يقدم الجدولان *1* و *2* إرشادات بشأن الانبعاثات والنفايات السائلة لهذا القطاع. وتشرح القيم الإرشادية الخاصة بالانبعاثات والنفايات السائلة الناتجة عن العمليات في هذا القطاع الممارسة الصناعية الدولية الجيدة كما هي واردة في المعايير ذات الصلة للبلدان التي لديها أطر تنظيمية معترف بها. كما يمكن تطبيق هذه الإرشادات في ظروف التشغيل العادية داخل المرافق المصممة والمشغلة على نحو ملائم من خلال تطبيق أساليب منع التلوث والسيطرة عليه والتي تم تناولها بالمناقشة في الأقسام السابقة من هذه الوثيقة.

وتنطبق الإرشادات المعنية بانبعاث الملوثات على الانبعاثات الناتجة عن العمليات. وتعالج **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** الإرشادات الخاصة بانبعاث الملوثات من مصادر الاحتراق المرتبطة بأنشطة توليد الطاقة البخارية والكهربائية من مصادر لها قدرة تساوي أو تقل عن *50* ميغاوات؛ أما انبعاثات مصادر الطاقة الأكبر فتعالجها الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة من أجل الطاقة الحرارية. كما تقدم **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** الإرشادات المعنية باعتبارات البيئة المحيطة استناداً إلى إجمالي حمل الانبعاثات.

وتنطبق الإرشادات بشأن النفايات السائلة على عمليات التصريف المباشر للنفايات السائلة المعالجة في المياه السطحية من أجل الاستخدام العام. ويمكن تحديد مستويات التصريف الخاصة بالموقع بناءاً على مدى توفر وظروف استخدام الأنظمة العامة لتجميع ومعالجة مياه الصرف الصحي أو، إن كان تصريفها يتم مباشرة على المياه السطحية، عندئذ يتم تحديد المستويات بناء على نظام تصنيف استخدام المياه المستقبلة كما هو موضح في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**. وينبغي تطبيق هذه المستويات بدون تخفيف، فيما لا يقل عن *95* في المائة من وقت تشغيل المصنع أو الوحدة، بعد حسابها كنسبة من ساعات التشغيل السنوية. ويجب تبرير الانحراف عن تحقيق هذه المستويات نتيجة لظروف محلية محددة للمشروع في التقييم البيئي.

استخدام الموارد - استهلاك الطاقة - توليد الانبعاثات وإنتاج النفايات

يقدم الجدول *3* أمثلة لمؤشرات استهلاك الموارد للطاقة والمياه في هذا القطاع. ويقدم الجدول *4* أمثلة لمؤشرات توليد الانبعاثات والنفايات. وتُتاح القيم المعيارية للصناعة بغرض المقارنة فقط وعلى المشروعات الفردية أن تستهدف التحسين المستمر في هذه المجالات. ويمكن استمداد المعايير الإرشادية ذات الصلة من أجل وحدات معالجة الفحم الحجري من تغويز الفحم الحجري من أجل محطات الطاقة الكهربية الكبيرة. ويجب أن تكون الانبعاثات الصادرة من وحدات التغويز المنتجة للغاز الصناعي لوحدة فيشر تروبش أقل كثيراً، نظراً لمتطلبات النقاء لمحفز التصنيع.

الرصد البيئي

يجب تطبيق برامج الرصد البيئي الخاصة بذلك القطاع للتعامل مع جميع الأنشطة التي تم التوصل إلى أنها تحدث آثاراً كبيرة محتملة على البيئة أثناء العمليات العادية وفي الظروف المضطربة. ويجب أن تستند أنشطة الرصد البيئي إلى المؤشرات المباشرة وغير المباشرة المطبقة على مشروع بعينه

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

الجدول 1- مستويات الانبعاثات الهوائية في وحدات معالجة الفحم الحجري

الملوثات	الوحدة	القيمة الإرشادية
وحدة تحضير الفحم الحجري		
دقائقيات المجففات الحرارية	ملليغرام/م3 معياري	70
عتامة غاز المجفف الحراري	%	20
جسيمات معدات تنظيف الفحم الحجري الهوائية	ملليغرام/م3 معياري	40
عتامة معدات تنظيف الفحم الحجري الهوائية	%	10
عتامة غاز النقل والتخزين، والتحضير	%	10
الإجمالي		
ثاني أكسيد الكبريت	ملليغرام/م3 معياري	150-200
أكاسيد النيتروجين	ملليغرام/م3 معياري	200-400[1]
الزئبق	ملليغرام/م3 معياري	1.0
المواد الدقائقية	ملليغرام/م3 معياري	30-50[1]
المركبات العضوية المتطايرة	ملليغرام/م3 معياري	150
إجمالي المعادن الثقيلة	ملليغرام/م3 معياري	1.5
كبريتيد الهيدروجين	ملليغرام/م3 معياري	10[2]
كبريتيد الكربونيل + ثنائي كبريتيد الكربون	ملليغرام/م3 معياري	3
أمونيا	ملليغرام/م3 معياري	30
ملاحظات:		

الجدول 2- مستويات النفايات السائلة لوحدات معالجة الفحم الحجري

الملوثات	الوحدة	القيمة الإرشادية
الأس الهيدروجيني		6 - 9
حاجة حيوية كيميائية للأكسجين5	ملليغرام/ لتر	30
الحاجة الكيميائية للأكسجين	ملليغرام/ لتر	150 (40 مياه تبريد)
نيتروجين الأمونيا (كنيتروجين)	ملليغرام/ لتر	5
نتروجين كلي	ملليغرام/ لتر	10
إجمالي الفوسفور	ملليغرام/ لتر	2
كبريتيد	ملليغرام/ لتر	1
زيوت وشحوم	ملليغرام/ لتر	10
مجموع المواد الصلبة المعلقة	ملليغرام/ لتر	35
إجمالي المعادن	ملليغرام/ لتر	3
كادميوم	ملليغرام/ لتر	0.1
كروم (إجمالي)	ملليغرام/ لتر	0.5
كروم (سداسي التكافؤ)	ملليغرام/ لتر	0.1
نحاس	ملليغرام/ لتر	0.5
كوبالت	ملليغرام/ لتر	0.5
زنك	ملليغرام/ لتر	1
رصاص	ملليغرام/ لتر	0.5
حديد	ملليغرام/ لتر	3
نيكل	ملليغرام/ لتر	1
الزئبق	ملليغرام/ لتر	0.02
فـانـاديـوم	ملليغرام/ لتر	1
منغنيز	ملليغرام/ لتر	2
فينول	ملليغرام/ لتر	0.5
سيانيدات	ملليغرام/ لتر	0.5

جدول 3- استهلاك الموارد والطاقة

المؤشر	الوحدة	المعيار الإرشادي للصناعة
الطاقة الكهربية استهلاك الطاقة الكهربية لوحدات تحويل الفحم الحجري إلى سائل	ميغاوات ساعة/ طن متري من إجمالي منتجات تحويل الفحم الحجري إلى سائل	0.05 – 0.1
استهلاك الطاقة الكهربية لوحدات الميثانول	ميغاوات ساعة/ طن متري من الميثانول	0.07

الجدول 4- توليد الانبعاثات والنفايات[1]		
المؤشر	الوحدة	المعيار الإرشادي للصناعة
ثاني أكسيد الكبريت	غرام/م3 معياري من الغاز الصناعي	0.3 - 0.5
(فحم- ميثانول-غازولين)[4]	طن/يوم	6-14
(فيشر-تروبش)[4]	طن/يوم	9-14
أكاسيد النيتروجين	غرام/م3 معياري من الغاز الصناعي	0.35-0.6
أكاسيد النيتروجين (فحم-ميثانول-غازولين)[4]	طن/يوم	5-15.5
أكاسيد النيتروجين (فيشر-تروبش)[4]	طن/يوم	5-23.6
مادة دقائقية أقل من 10 ميكرون	غرام/م3 معياري من الغاز الصناعي	0.12
مواد دقائقية(فحم-ميثانول-غازولين)[4]	طن/يوم	0.5-7.5
مواد دقائقية (فيشر-تروبش)[4]	طن/يوم	1-6
ثاني أكسيد كربون [2][3]	كيلوغرام/ كيلوغرام من الفحم الحجري	1.5
ثاني أكسيد كربون (فحم حجري-ميثانول-غازولين وفيشر-تروبش)[4]	طن/يوم	21,000
أمونيا	غرام/م3 معياري من الغاز الصناعي	0.004

نفايات صلبة (رماد، خبث، كبريت)[2]	كغم/طن من الفحم الحجري	50 – 200

ملاحظات:

1. الإنتاج: 1300 – 1500 م3 معياري من الغاز الصناعي/طن من الفحم الحجري
2. تبعاً لرتبة ودرجة الفحم الحجري؛ محسوبة على أساس GHP = 30 غيغاجول/ كيلوغرام
3. بدون التقاط غاز الكربون وامتصاصه
4. المرجع: Edgar, T.F. (1983). لمنشأة تسييل فحم حجري ذات طاقة 50000 برميل/اليوم

2.2 أداء الصحة والسلامة المهنية

إرشادات الصحة والسلامة المهنية

يجب تقييم أداء الصحة والسلامة المهنية بالمقارنة مع إرشادات التعرض المنشورة دولياً، والتي تشمل على سبيل المثال، قيمة الحد الأقصى المقبول للتعرض (TLV®) وإرشادات التعرض المهني ومؤشرات التعرض البيولوجي (BEIs®) المنشورة من قبل المؤتمر الأمريكي لخبراء الصحة المهنية الحكوميين (ACGIH) [7]، ودليل الجيب للمخاطر الكيميائية المنشورة من قبل المعهد الوطني الأمريكي للصحة والسلامة المهنية (NIOSH) [7]، وحدود التعرض المسموح بها (PELs) المنشورة من قبل الإدارة الأمريكية للصحة والسلامة المهنية (OSHA) [7]، والقيم الإرشادية لحدود التعرض المهني المنشورة من قبل الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي [7]، أو ما يشابهها من مصادر.

معدلات الحوادث والوفيات

يجب على إدارات المشاريع أن تحاول خفض عدد الحوادث التي تقع بين عمال المشروع (سواءً المعينين مباشرة أو المتعاقدين من الباطن) إلى أن يصل إلى مستوى الصفر، لا سيما الحوادث التي يمكن أن تؤدي إلى فقدان وقت العمل، أو إلى مستويات مختلفة من الإعاقة، أو حتى إلى حدوث وفيات. ويمكن مقارنة معدلات المنشأة بأداء المنشآت الأخرى في هذا القطاع بالبلدان المتقدمة من خلال استشارة المصادر المنشورة (على سبيل المثال: مكتب الولايات المتحدة لإحصائيات العمل وإدارة الصحة والسلامة بالمملكة المتحدة) [7].

رصد الصحة والسلامة المهنية

يجب رصد بيئة العمل بحثاً عن الأخطار المهنية ذات الصلة بالمشروع المحدد. وينبغي تصميم الرصد والقيام به على أيدي متخصصين معتمدين [7] كجزء من برنامج رصد الصحة والسلامة المهنية. كما يجب على المرافق الاحتفاظ بسجلات عن الحوادث والأمراض المهنية والأحداث والحوادث الخطرة. وتتوفر إرشادات إضافية عن برامج رصد الصحة والسلامة المهنية في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**.

[12] متاح على الموقعين التاليين:
http://www.acgih.org/TLV/
/http://www.acgih.org/store
[13] متاح على الموقع التالي: /http://www.cdc.gov/niosh/npg
[14] متاح على الموقع التالي:
http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992
[15] متاح على الموقع التالي:
/ http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel

[16] متاح على الموقعين التاليين:
http://www.bls.gov/iif/
http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm
[17] يشمل المتخصصون المعتمدون الخبراء الصحيين المعتمدين، وخبراء الصحة المهنية المسجلين، أو أخصائيي السلامة المعتمدين أو المناظرين لهم.

3.0 ثبت المراجع والمصادر الإضافية

Edgar, T.F. 1983. Coal Processing and Pollution Control. Houston: Gulf Publishing Company.

European Bank for Reconstruction and Development (EBRD). Sub-sectoral Environmental Guidelines: Coal Processing. London: EBRD. Available at http://www.ebrd.com

European Commission. 2006. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants. July 2006. Sevilla, Spain: EIPPCB. Available at http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm

European Commission. 2003. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Mineral Oil and Gas Refineries. February 2003. Sevilla, Spain: EIPPCB. Available at http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm

German Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). 2002. First General Administrative Regulation Pertaining to the Federal Emission Control Act (Technical Instructions on Air Quality Control – TA Luft). Bonn: BMU. Available at http://www.bmu.de/english/air_pollution_control/ta_luft/doc/36958.php

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. Special Report, Carbon Dioxide Capture and Storage, March 2006. Geneva: IPCC.

Kirk-Othmer, R.E. 2006. Encyclopedia of Chemical Technology. 5th Edition. New York: John Wiley and Sons Ltd.

Lockhart, N. 2002. Advances in Coal Preparation. London: World Energy Council. Available at http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/default/tech_papers/17th_congress/1_2_02.asp

National Fire Protection Association (NFPA). 2004. Standard 120: Standard for Fire Prevention and Control in Coal Mines. 2004 Edition. Quincy, MA: NFPA.

NFPA. 2003. Standard 30: Flammable and Combustible Liquids Code. 2003 Edition. Quincy, MA: NFPA.

NFPA. 2000. Standard 850: Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations. 2000 Edition. Quincy, MA: NFPA.

Northeast States for Coordinated Air Use Management (NESCAUM). 2003. Mercury Emissions from Coal -Fired Power Plants: The Case for Regulatory Action. October 2003. Boston, MA: NESCAUM

United States (US) Environmental Protection Agency (EPA). 2005. 40 CFR Part 60, Standards of Performance for New and Existing Stationary Sources: Electric Utility Steam Generating Units, Clean Air Mercury Rule. Washington, DC: US EPA.

US EPA. 40 CFR Part 60. Standards of Performance for New Stationary Sources. Subpart Y—Standards of Performance for Coal Preparation Plants. Washington, DC: US EPA.

US EPA. 40 CFR Part 434—Coal Mining Point Source Category BPT, BAT, BCT Limitations and New Source Performance Standards. Washington, DC: US EPA.

United States Congress. 2005. Clean Skies Act of 2005. (Inhofe, S.131 in 109th Congress). Washington, DC: Library of Congress. Available at http://thomas.loc.gov/cgi-bin/query/z?c109:S.131:

University of New Hampshire Recycled Materials Resource Center (RMRC). Coal Bottom Ash/Boiler Slag. Available at http://www.rmrc.unh.edu/

Zhu D. and Y. Zhang. Major trends of new technologies for coal mining and utilization beyond 2000 - Technical scenario of the chinese coal industry. China Coal Research Institute, Ministry of Coal Industry, Beijing, China. Available at http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/default/tech_papers/17th_congress/3_1_11.asp

Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 2005. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. Available at http://www.wiley-vch.de/vch/software/ullmann/index.php?page=home

الملحق(أ): وصف عام لأنشطة الصناعة

يدخل ضمن عملية تحويل الفحم الحجري إلى كيماويات غازية أو سائلة وكذلك إلى وقود العمليات والمنشآت المساعدة التالية:

- تغويز الفحم الحجري (تحويله إلى غاز) إلى غاز صناعي (CO + H2)
- التسييل غير المباشر (أي تفاعل فيشر تروبش التركيبي لوقود المركبات (الغازولين وزيت الغاز [السولار]) من الغاز الصناعي)
- الأمونيا من الغاز الصناعي
- الميثانول من الغاز الصناعي
- التسييل المباشر (مثل، تسييل الفحم الحجري بالهدرجة المباشرة)

الفحم الحجري

يعد الفحم الحجري واحداً من أكثر موارد الطاقة وفرة في العالم، ومن المرجح أن يتزايد استخدامه مع توفر تقنيات التخلص من غازات الدفيئة خاصة ثاني أكسيد الكربون. ويوجد الفحم الحجري في مجموعة واسعة من الأشكال والنوعيات. ويشار إلى درجة تحول المادة النباتية إلى فحم أو التفحم باعتبارها "الرتبة". ويؤلف الفحم الحجري البني واللغنيت، والفحم الحجري تحت القاري (تحت البيتومي)، والفحم القاري، والانتراسيت سلسلة الرتب ذات المحتوى الزائد من الكربون. ويعرض الجدول أ-*1* تصنيف الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد. [7]

ويصنف الفحم الحجري الذي يحتوي على أقل من *69* في المائة من الكربون الثابت وفقاً لقيمته الحرارية الإجمالية إلى ما يلي:

- **قاري (بتومي)** إذا كانت القيمة الحرارية الإجمالية< 24400 كيلوجول لكل كيلوغرام, متكتل
- **تحت قاري** إذا كان 19300 كيلوجول/كغم<القيمة الحرارية الإجمالية<26700 كيلوجول/كغم، غير متكتل
- **اللغنيتي** إذا كان 14600 كيلوجول/كغم <القيمة الحرارية الإجمالية <19300 كيلوجول/كغم، غير متكتل

تم الاتفاق في مجال التجارة الدولية والاتحاد الأوروبي، على أنظمة تصنيف مستقلة للفحم الحجري الصلب، والفحم الحجري البني، واللغنيت.

الجدول أ/1. تصنيف الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد للفحم

		كربون ثابت [1] (%)		المادة المتطايرة [1] (%)	
		الحد الأدنى	الحد الأقصى	الحد الأدنى	الحد الأقصى
الأنتراسيتي غير متكتل	ميتا أنتراسيت	98			2
	أنتراسيت	92	98	2	8
	شبه أنتراسيت	86	92	8	14
قاري متكتل في العادة	منخفض التطاير	78	86	14	22
	متوسط التطاير	69	78	22	31
	عالي التطاير		69	31	

ملاحظات:
(1) على أساس جاف، خالي من المواد المعدنية

[18] Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, 5th Edition (2006).

وتتسبب الشوائب الموجودة في الفحوم الحجرية - وهي الكبريت، والنيتروجين، والرماد، في حدوث تباينات في الدرجة. تحتوي معظم الفحوم الحجرية التجارية على الكبريت بنسبة 0.5 - 4.0 في المائة وزناً، في صورة كبريتات، وبيريت، وكبريت عضوي. وتتراوح نسبة النيتروجين في العادة ما بين 0.5 - 2.0 في المائة وزناً. ونظراً لأن النيتروجين يكون في الغالب مرتبطاً بجزيئات عضوية، فهو ليس قابلاً للإزالة بالطرق الفيزيائية. ويشتق رماد الفحم الحجري من المحتوى المعدني للفحم عند حرقه أو استعماله. ويحتوي رماد الفحم الحجري على عناصر متبقية من الزرنيخ، والبيريليوم، والكادميوم، والكروم، والنحاس، والفلور، والرصاص، والمنغنيز، والزئبق.

تغويز الفحم الحجري

تتباين وحدات تغويز الفحم الحجري بشكل كبير في حجمها تبعاً للوجهة النهائية للغاز الصناعي المنتج. ففي التصنيع الكيميائي، تستند السعة التصميمية بصورة معتادة إلى معدل تغذية يبلغ ما بين 1500 إلى 2000 طن في اليوم من الفحم الحجري. ومن الممكن الوصول إلى سعات أكبر، خاصة من أجل إنتاج الميثانول. وفي حالة تصنيع الوقود السائل، تستخدم المنشآت القائمة 120000 طن/يوم (تقريباً 40 ميغا طن في العام) من الفحم الحجري لإنتاج 160000 برميل في اليوم (تقريباً 10 ميغا طن/عام) مكافئ نفطي من الوقود السائل.

لوجيستيات الفحم الحجري وتحضيره

تقع المصانع الكبيرة لتحويل الفحم الحجري إلى زيت في العادة بالقرب من مناجم الفحم الحجري، وتتشارك في منشآت وأماكن التخزين. ويتم تلقيم الفحم الحجري عادة في الصناديق، والمستودعات، والأوعية القمعية بالمصانع عن طريق سيور ناقلة. أما المصانع الأصغر حجماً فقد تكون بعيدة عن المناجم. وفي تلك الحالة، يتم نقل الفحم الحجري عن طريق السكك الحديدية، أو الناقلات، أو خطوط أنابيب المستحلبات وتخزن في أكوام. وفي العادة، ينبغي تحضير الفحم الحجري قبل شحنه واستعماله، ويتوقف ذلك على خصائص كل من المنجم والفحم الحجري وكذلك تكنولوجيا التعدين. [7] ويتم تناول تحضير الفحم الحجري في **الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة من أجل التعدين**. وقبل الاستخدام، يتم تحويل الفحم الحجري المخزن في منشآت معالجة الفحم الحجري إلى أشكال فيزيائية لازمة لمفاعلات إنتاج الغاز الصناعي، والتي تختلف حسب التكنولوجيا المستخدمة في إنتاج الغاز الصناعي. وتشمل العمليات المعتادة تجفيف الفحم الحجري وتقليص حجمه (بالتكسير، أو التجليخ، أو السحق).

منشآت إنتاج الغاز الصناعي

تنطوي عملية تغويز الفحم الحجري على تفاعل الفحم الحجري مع الأكسجين، والبخار، وثاني أكسيد الكربون لتكوين غاز منتج (الغاز الصناعي) يحتوي على هيدروجين وأول أكسيد كربون. كما ينطوي التغويز بصفة أساسية على احتراق غير كامل في بيئة اختزالية. ويتمثل الفارق التشغيلي الرئيسي عن الاحتراق الكامل للفحم الحجري في أن التغويز يستهلك الحرارة المنتجة أثناء الاحتراق. وفي ظل البيئة الاختزالية للتغويز، ينطلق الكبريت الذي في الفحم الحجري ككبريتيد الهيدروجين بدلاً من ثاني أكسيد الكبريت، ويتحول النيتروجين في أكثره إلى أمونيا بدلاً من أكاسيد النيتروجين. ويسهل عزل تلك الأشكال المختزلة من الكبريت والنيتروجين، والتقاطها، والاستفادة منها.

[19] Lockhart, N., World Energy Council. Advances in Coal Preparation (2002).

ووفقاً لنوع جهاز التغويز وظروف التشغيل، يمكن أن يستخدم التغويز لإنتاج غاز صناعي مناسب لأي عدد من التطبيقات. ويبين الشكل ألف - 1 نسخة ميسرة من عملية التغويز.

يتم تلقيم الفحم الحجري المحضر في عملية التغويز، إضافة إلى الأكسجين والبخار. وتبعاً للنوع المحدد لجهاز التغويز، يمكن إخماد الغاز الصناعي المتدفق من المفاعل إلى الخارج وتبريده واستعادة الحرارة كبخار عالي الضغط. وتتم استعادة الرماد من قاع المفاعل، إلى جانب القار، سواء صلباً أم خبثاً (وفقاً للعملية). ويتم خلط الغاز الصناعي بالبخار وتلقيمه في مفاعل الإزاحة لتعديل نسبة الهيدروجين / أول أكسيد الكربون إلى القيمة المطلوبة. وتتم بعد ذلك تنقية الغاز الصناعي من كبريتيد الهيدروجين، وأول أكسيد الكربون، والأمونيا، و سيانيد الهيدروجين وصولاً إلى المواصفات المطلوبة. ويتم استخدام ثلاثة أنواع رئيسية من مفاعلات التغويز: مفاعلات القاعدة الثابتة، ومفاعلات القاعدة المميعة، ومفاعلات التدفق المحمول.

مفاعلات القاعدة الثابتة

تعتبر أجهزة التغويز ذات التيار المعاكس والقاعدة الثابتة من أول أنواع المفاعلات التي تم تطويرها. وفي تلك العملية، يتم إدخال الهواء والبخار من القاع حيث يتحركان إلى الأعلى من عبر قاعدة من الفحم الحجري. ويتم تلقيم الفحم الحجري فوق القاعدة حيث يتحرك إلى أسفل في اتجاه معاكس لتدفق الغازات. وتتميز القواعد الثابتة بعدة مميزات. حيث يعمل تدفق الغازات الساخنة من منطقة الاحتراق على التسخين المسبق للفحم الحجري مما يؤدي إلى زيادة كفاءة التسخين. وتتحقق نسبة عالية لتحويل الكربون عن طريق التدفق الكتلي للمواد الصلبة عبر مناطق التغويز والاحتراق، والطول النسبي لزمن بقاء الوقود في المفاعل. ويخرج الغاز الناتج في درجة حرارة منخفضة نسبياً دون أن يحمل ملوثات من المواد الصلبة. ولكن، ربما يوجد زيت وقار، مما قد يؤدي إلى ترسب الملوثات في المعدات اللاحقة.

أما عيوب مفاعلات التغويز ذات القاعدة الثابتة فتتمثل في عدم القدرة على معالجة الفحوم الارتصاصية (المتكتلة) (مثل رتبة الفحم الحجري القاري [البيتومي])، التي تميل إلى الانتفاخ والتكتل عند تسخينها. وقد تؤدي تلك الفحوم إلى إعاقة تدفق الغاز والمواد الصلبة، مما يؤدي بدوره إلى فشل العملية.

المفاعلات ذات القاعدة المميعة

تسمح مفاعلات التغويز ذات القاعدة المميعة بتحسين المزج وتجانس درجة الحرارة، مما يتيح للأكسجين التفاعل مع نواتج الإزالة التدريجية للمواد المتطايرة. ويجب الحفاظ على درجات الحرارة، في المفاعلات الجافة ذات القاعدة المميعة، تحت درجة انصهار الرماد، مما يتسبب في التحول غير الكامل للكربون في الفحوم الحجرية غير المتفاعلة. وتعمل مفاعلات تغويز الرماد المتكتل على درجات حرارة أعلى (تصل إلى 1150 °م)، قريبة من درجة تلين الرماد، مما يحسن من تحويل الكربون ويؤدي إلى تغوز الفحوم الحجرية غير المتفاعلة عالية الرتبة وترصص الفحوم. وتزيد درجات الحرارة الأعلى من معدلات التغويز، وخرج الفحم الحجري، والكفاءة. وتتمثل الميزة الرئيسية في مفاعلات التغويز ذات القاعدة المميعة في مرونتها من حيث قابلية استخدام الفحوم المتكتلة، إضافة إلى الفحوم منخفضة النوعية ذات المحتوى العالي من الرماد. علاوة على ذلك، يمكن لمفاعل التغويز ذي القاعدة المميعة أن يعمل في نطاق عريض من الأحمال

التشغيلية أو المخرجات دون حدوث هبوط معتد به في كفاءة عملية.

المفاعلات ذات التدفق المحمول

يمكن في ذلك النوع من المفاعلات أن تكون المغوزات من النوع المزيل للخبث ذي التدفق المحتبس، الذي يتم تلقيمه على الجاف، وتعريضه للضغط، وضخ الأكسجين به. حيث يتم تجفيف الفحم الحجري وسحقه إلى جزيئات قطرها < 0.1 مم لتلقيمه في المغوز بواسطة غاز ناقل، الذي يكون في العادة غاز النيتروجين. ويتم إدخال الفحم الحجري، والأكسجين، والبخار في المغوز من خلال مواقد متقابلة أفقياً. ويتم إنتاج غاز الوقود الخام من تفاعلات التغويز عالية الحرارة، ويتدفق إلى الأعلى مع بعض الدقائقيات المحمولة المكونة من الرماد وكميات صغيرة من الكربون غير المتفاعل.

وتحول درجة الحرارة العالية للمفاعل الرماد المتبقي إلى خبث مصهور، يتدفق إلى أسفل على جدران المغوزات، ثم يمر على حوض لإخماده (تسقيته) . ويمكن إخماد غاز الوقود الخام عند مخرج المفاعل بواسطة غاز وقود مبرد معاد تدويره لخفض درجة الحرارة إلى ما دون درجة انصهار الرماد، ومنع المواد الصلبة اللزجة من الدخول إلى مبرد غاز الوقود الخام. ويقوم مبرد الغاز الخام بتبريد الغاز مرة أخرى مولداً بخاراً عالي الضغط يتم إرساله إلى دورة البخار. وتتم استعادة المواد الصلبة بواسطة مرشحات الدقائقيات وإعادة تدويرها إلى المفاعل. ويمكن لذلك النوع من المفاعلات التعامل مع جميع رتب الفحم الحجري.

التسييل غير المباشر للفحم الحجري

إنتاج الهيدروكربون السائل

يمكن استخدام عمليات فيشر تروبش لإنتاج زيت خام صناعي خفيف (الخام الصناعي) وأوليفينات خفيفة، أو هيدروكربونات شمعية ثقيلة. ويمكن تكرير الخام الصناعي للحصول على الغازولين والسولار، والهيدروكربونات الثقيلة للحصول على شموع متخصصة، أو في حالة تكسيره هيدروجينياً و/أو أزمرته، يستخدم في إنتاج السولار، وزيوت التزليق، والنافثا، التي تعد خام التغذية للتكسير إلى أوليفينات. وتستخدم المحفزات الحديدية المعززة بالبوتاسيوم والنحاس.

وتشمل التصميمات النموذجية لمفاعلات فيشر - تروبش مفاعلات ذات درجة حرارة منخفضة (مفاعلات ذات قاعدة ردغية)، ومفاعلات ذات درجة حرارة مرتفعة (مفاعلات ذات قاعدة مميعة).

وتتكون مفاعلات القاعدة الردغية من وعاء يحتوي على ردغة من الشمع المستمد من العمليات مع محفز. ويتم دفع الغاز الصناعي عبر القاعدة الردغية في ظروف نموذجية للعملية تشمل 220–250° م و2.5–4.5 ميغا باسكال ويحول إلى هيدروكربونات. ويتم تمرير الحرارة المولدة من المستحلب إلى ملفات التبريد داخل المفاعل لتوليد البخار. وتتم إزالة الهيدروكربونات الخفيفة، التي في الحالة البخارية، من الحافة الحرة أعلى المفاعل مع المتفاعلات التي لم يتم تحويلها ويتم تكثيفها في تسلسل التكثيف اللاحق. ويتم مزج الهيدروكربونات السائلة الأكثر ثقلاً في المستحلب التي يتم إزالتها منه في عملية فصل المواد الصلبة.

وتتكون المفاعلات ذات القاعدة المميعة من وعاء يحتوي على قاعدة مميعة من محفزات الحديد المسالة والمختزلة. ويتم دفع الغاز الصناعي بواسطة موزع للغاز عبر القاعدة، حيث يتحول

حفزياً إلى هيدروكربونات في حالة غازية في ظل ظروف للعملية تبلغ حوالي 340° م و2.5 ميغا باسكال. وتخرج المنتجات والغازات غير المحولة من المفاعل من خلال أجهزة فصل دوامية داخلية.

الألكلة

يتمثل الغرض من الألكلة في الحصول على وقود محركات عالي الجودة. ويستخدم تعبير الألكلة لوصف تفاعل الأوليفينات مع الأيزوبيوتان، لتكوين أيزوبارافينات ذات وزن جزيئي أعلى ورقم أوكتين أعلى. وتنطوي هذه العملية على ظروف تفاعل تتم عند درجات حرارة منخفضة في وجود حامض قوي (حامض الهيدروفلوريك أو حامض الكبريتيك غير المتبخر (H_2SO_4).

الأزمرة

تستخدم الأزمرة في تغيير ترتيب الجزيء دون تغيير تركيب الجزيء الأصلي. ويتم تحويل البارافينات منخفضة الوزن الجزيئي ($C_5 - C_6$) إلى أيزوبارافينات ذات دليل أوكتين أعلى. وتستخدم حالياً ثلاثة أنواع متمايزة من المحفزات في تلك العملية: الألومينا المعززة بالكلوريد، والزركونيا الزيوليتية، والزركونيا المكبرتة.

التكسير التحفيزي

يستخدم التكسير التحفيزي لترقية الهيدروكربونات الأثقل إلى هيدركربونات أكثر قيمة وأقل غلياناً. وتستخدم تلك العملية الحرارة ومحفز لتكسير جزيئات الهيدوكربون الأكبر إلى جزيئات أصغر وأخف. وتتكون وحدات **التكسير التحفيزي المميع** التي تستخدم عادة من ثلاثة أقسام متمايزة: قسم للتفاعل والتجديد يتضمن نافخ هواء وغلاية تسخن بالحرارة المفقودة؛ وقسم المجزئ الرئيسي الذي يشمل ضاغط غاز رطب؛ وقسم وحدة الغاز غير المشبع. وفي عملية التكسير التحفيزي المميع، يتقابل الزيت وبخار الزيت المسخن مسبقاً إلى 250 إلى 425 °م مع المحفز الساخن (زيوليت) في درجة حرارة 680-730 °م في المفاعل الصاعد. ولتحسين التبخير، والتكسير اللاحق، تتم تذرية مادة التغذية بواسطة البخار. وتتم عملية التكثير في درجات حرارة تتراوح ما بين 500 و540°م وضغط يبلغ 1.5-2.0 بار. وتتكون معظم المحفزات المستخدمة في التكسير التحفيزي من الزيوليت المدعوم بالسيليكا-ألومينا الصناعية اللابلورية مع معادن.

هدرجة المركبات المؤكسجة

تتم في هذه العملية هدرجة المركبات المؤكسجة لتحويلها إلى مزيج كحولي.

إنتاج الأمونيا

تكون وحدات إنتاج الأمونيا إما وحدات مستقلة بذاتها أو متكاملة مع وحدات أخرى، ويكون ذلك في المعتاد مع إنتاج اليوريا والميثانول. كما يمكن كذلك دمج مصانع إنتاج الهيدروجين و/ أو أول أكسيد الكربون مع مصانع الأمونيا. ويتم إنتاج الأمونيا بتفاعل مطلِق للحرارة بين الهيدروجين والنيتروجين في وجود محفزات الأكاسيد الفلزية تحت ضغط مرتفع. أما مصدر المادة الخام للنيتروجين فهو هواء الغلاف الجوي وقد يُستخدم في حالته الطبيعية كهواء مضغوط أو كنيتروجين نقي منتج في وحدة لفصل الهواء. ويتوفر الهيدروجين من مصادر متنوعة مثل الغاز الطبيعي، والزيت الخام، والنافثا، أو الغازات المنبعثة من معالجة الفحم الحجري.

ويتضمن إنتاج الأمونيا من الغاز الصناعي خطوات المعالجة التالية: إزالة كميات الكبريت التي يمكن تتبع آثارها في مادة التغذية، وإعادة التشكيل (التكسير) الأولي والثانوي؛ وتحويل أول أكسيد الكربون بتغيير الاتجاه، وإزالة ثاني أكسيد الكربون، والتفاعل بالتشبع بغاز الميثان، والضغط، وتصنيع الأمونيا، وتبريد منتج الأمونيا. وتتم إزالة الكربون في صورة ثاني أكسيد كربون مركز، والذي يمكن استخدامه في تصنيع اليوريا أو لأغراض صناعية أخرى لتجنب انبعاثه في الجو. ويمكن أن تحتوي المحفزات المستخدمة في العملية الكوبالت، والموليبدينوم، والنيكل، وأكسيد الحديد/ أكسيد الكروم، وأكسيد النحاس/ أكسيد الزنك، والحديد.

وهناك طريقتان غير تقليديتين للمعالجة تتضمنان: إضافة هواء معالجة إضافي إلى وحدة إعادة التشكيل الثانوي مع إزالة النيتروجين الزائد بالتبريد العالي؛ وإعادة التشكيل ذاتي الحرارة بالتبادل الحراري. وتتسم طريقة المعالجة الثانية ببعض الميزات البيئية بالنظر إلى انخفاض الحاجة للإشعال في وحدة إعادة التشكيل الأولي وإمكانية خفض استهلاك الطاقة.

إنتاج الميثانول

تتضمن وحدة تصنيع الميثانول في العادة التفاعل، وإعادة تدوير الغاز، والتنقية. وأثناء التفاعل، يتفاعل أول أكسيد الكربون والهيدروجين عند 250 درجة مئوية تقريباً و50-80 بار في وجود محفز نحاسي لإنتاج الميثانول. وتشمل المفاعلات المتوفرة تجارياً الأنواع الأنبوبية ذات القاعدة الثابتة أو الأنواع الشعاعية متعددة القواعد الكاظمة للحرارة. وفي الجزء السفلي من المفاعل، يتم تكثيف الميثانول ويعاد تدوير الغاز غير المحول إلى وحدة إنتاج الغاز الصناعي. أما قسم التنقية فيتضمن برجي تقطير تجزيئي حيث تتم إزالة كل من القطارات (النهايات) الخفيفة والثقيلة (الكحولات عالية الوزن الجزيئي) من الميثانول المنتج. وتتم استعادة القطارات الخفيفة في العادة كغاز وقود. أما القطارات الثقيلة فيتم حرقها عادة في غلاية بخارية بواسطة موقد متخصص.

التسييل المباشر للفحم الحجري

أجرت عدة بلدان أعمال بحث وتطوير في مجال التسييل المباشر للفحم الحجري. وتستند معظم العمليات الجاري تطويرها إلى الهدرجة الحفزية للفحم المنثور والمذاب جزئياً في مذيب عضوي. ويعتمد التفاعل اعتماداً كبيراً على رتبة الفحم الحجري، ودرجته، وعمره. فبالنسبة للفحوم الحجرية منخفضة الرتبة، تعد خلائط المياه، والهيدروجين وأول أكسيد الكربون (الغاز الصناعي) عوامل هدرجة ذات فاعلية أكبر. ويمثل تسمم المحفز بشوائب الفحم الحجري مشكلة، بالإضافة إلى معالجة المياه المستعملة. وقد تم بنجاح تشغيل مصانع تجريبية ونموذجية كبيرة.

الشكل ألف-1: تخطيط تدفق كتلي لتغويز الفحم الحجري