محارق النفايات الطبية

ا.د. نبيل الحسينى عوض

يعتبر مبدأ التخلص من النفايات الناجمة عن الأنشطة اليومية المختلفة من الأمورالطبيعية منذ ظهور الحضارات الإنسانية، وكنتيجة حتمية لزيادة عدد السكان وما رافقه من تطورفي التقنيات زادت مشكلة النفايات وخاصة النفايات الخطرة التى تشمل المواد المشعة والمواد الكيميائية والنفايات البيولوجية والنفايات القابلة للاشتعال والمتفجرات والتى ستناولها فيما بعد بإيجاز، ومن بين هذه النفايات تبرزأهمية النخلص من النفايات البيولوجية أو ما يطلق عليها النفايات الطبية، حيث منذ القرن الماضي ازداد مستوى الوعي الصحي والبيئي في المجتمعات فأدى ذلك إلى زيادة في أعداد المنشئات والمرافق الصحية (مستشفيات وعيادات ومراكز طبية)، وما نتج عنها من كميات كبيرة من النفايات الكيميائية أو الطبية الخطرة والتي تحتاج إلى طرق آمنة لمعالجتها والتخلص منها.

وكان الشغل الشاغل للمجتمعات خلال العقود الماضية هي البحث عن وسائل للتخلص من هذه النفايات بأقل التكاليف وبدون ظهور مشاكل بيئية تؤثر على جودة الهواء أو المياه (السطحية والجوفية) أوالتربة، وبفضل التقدم التقني الهائل توفرت العديد من التقنيات كبدائل للمعالجة والتخلص من المخلفات الخطرة، الا أن نظام الحرق كان أكثر شيوعاً فى معظم دول العالم، وفي هذه المقالة سوف نستعرض النفايات الطبية الناجمة عن المستشفيات، والعيادات والمختبرات الطبية، ومراكز البحوث البيولوجية، كأحد أهم النفايات الخطرة وأكثرها شيوعا.

أولا: النفايات الخطرة

١- تعريف وتصنيف المواد الخطرة

تم تعريف النفايات الخطرة من قبل وكالة حماية البيئة الأمريكية بأنها عبارة عن نفاية أو خليط من عدة نفايات تشكلخطراً على صحة الإنسان أو الكائنات الحية الأخرى سواء على المدى القريب أو البعيد، كونها؛

أ- غير قابلة للتحلل وتدوم في الطبيعة

ب- أو أنها قد تسبب آثاراً تراكمية ضارة

وهناك تعريف آخر للنفايات الخطرة من قبل الحكومة البريطانية، وهو "أن النفايات الخطرة عبارة عن مواد سامة أو ضارة بالصحة العامة أو أنها مواد ملوثة تؤدي إلى إحداث أضرار بالبيئة مما يشكل خطراً على صحة الإنسان والكائنات الحية نتيجة تلوث عناصر البيئة بهذه المواد وخاصة مصادر المياه السطحية والجوفية".

هناك أنواع كثيرة من النفايات الخطرة، ولسهولة تصنيفها تم وضعها في خمسة مجموعات رئيسية، وهي:

مواد مشعة- مواد كيميائية- نفايات بيولوجية- نفايات قابلة للاشتعال- متفجرات.

أ- المواد المشعة

المواد المشعة هي تلك المواد التي تصدر عنها إشعاعات أيونية تشكل خطراً على الكائنات الحية التي تتعرض لها، وتتصف المواد المشعة بأنها تبقى تشع فترة طويلة من الزمن، وأن الإشعاعات الصادرة عنها تتراكم في جسم

الكائن الحي إلى أن تصل إلى الجرعة الكافية لإحداث الضرر، يتم تخزين النفايات المشعة في مواقع خاصة بها بعيدة عن أية نفايات أخرى، حيث يتم تهيئة هذه المواقع على أعماق بعيدة عن سطح الأرض، وغير قريبة من مصادر المياه الجوفية.

ب- المواد الكيميائية والنفايات قابلة للاشتعال والمتفجرات

تصنف العديد من المواد الكيماوية على أنها مواد خطرة، وقد وضعت وكالة حماية البيئة الأمريكية قائمة بتلك المواد من أجل السيطرة عليها عندما يراد التخلص منها، حيث أن بعض المواد الكيماوية تكون قابلة للاشتعال أو الانفجار، وفي أيٍ من هاتين الخاصيتين فإنه يجب التعامل معها بما يكفل عدم حدوث خطر الانفجار أو الاشتعال، والنفايات القابلة للانفجار غالبا ما تكون من مصادر الصناعات العسكرية، والمتفجرات التي تستخدم من قبل الجيوش، وهناك أيضاً بعض الغازات الصناعية تأتي تحت تصنيف المواد المتفجرة، ويتم التخلص من هذه المواد بتخزينها في عبوات مقاومة للصدمات وفي درجة حرارة مناسبة تحول دون تفجرها.

ج- النفايات البيولوجية

تضم هذه المجموعة النفايات الطبية والنفايات الناتجة عن الأبحاث البيولوجية، وتشمل اللفافات الطبية الناتجة عن أقسام الطوارئ وغرف العمليات في المستشفيات وعن العيادات الطبية، بالإضافة إلى السرنجات والأنسجة الآدمية، ووحدات الدم التالفة، وجثث الحيوانات النافقة، وكذلك العقاقير الطبية التي انتهت صلاحيتها. بعض هذه النفايات قد يكون سام، وبعضها الآخر يشكل خطراً على الصحة نتيجة التلوث الجرثومي، لذلك يجب التعامل معها بعناية كافية لضمان عدم تأثيرها على الصحة العامة، وخاصة لدى الأشخاص الذين يتعاملون معها سواء في جمعها أو نقلها وتصريفها، ويمكن تجميعها داخل أكياس ورقية مبطنة بمادة شمعية، أو في أكياس بلاستيكية، ووضعها داخل أوعية معدنية مبطنة.

٢- طرق المعالجة

معالجة النفايات الخطرة تهدف إلى تحويل المواد الخطرة إلى مواد غير ضارة أو أقل خطورة، أو تحويل خواصها الطبيعية والفيزيائية من أجل تسهيل عملية تصريفها أو التخلص منها باستخدام طرق متعددة منها:

الحرق- التحلل الحراري- المعالجة البيولوجية - المعالجة الكيماوية- المعالجة الفيزيائية.

التخزين: وذلك باستعمال مخازن دائمة تحت سطح الأرض تكون عازلة لمنع التسرب إلى المياه الجوفية.

ثانيا: النفايات الطبية

يمكن تعريف النفايات الطبية على أنها "جميع النفايات الناتجة عن الممارسات الطبية (العمليات التشخيصية والعلاجية) بالمستشفيات ومراكز الرعاية الصحية، وعيادات الأسنان ومراكز البحوث الطبية التي تستخدم فيها مواد ملوثة أو تحتوى على مواد سامة أو خطرة، ومراكز العلاج والبحوث البيطرية، ومخلفات التمريض، والعمليات الصيدلانية (العقاقير والمنتجات الطبية) أو ما شابه ذلك من ممارسات، وتشمل النفايات الطبية كذلك؛ الأنسجة والإفرازات الآدمية والحيوانية والأوساط الحيوية لمزارع البكتيريا والمعدات الملوثة والأدوات الحادة وإبر الحقن، والمساحات والضمادات ودم ومخلفات المرضى **(human blood and blood products)** والأنسجة البشرية والخلايا الناتجة عن العمليات الجراحية وغير ذلك، بالإضافة إلى المواد المشعة المستخدمة في المستشفيات، وتنقسم النفايات الناتجة عن هذه النشاطات الصحية إلى نوعين أساسيين: نفايات معدية، ونفايات غير معدية. وتقدر كمية النفايات المعدية الموجودة فى نفايات المستشفيات والمراكز الطبية بحوالي ١٥ إلى ٢٠% من حجم النفايات الكلى أما النفايات غير المعدية فعادة ما تكون نفايات بلدية تنتج عن النشاطات البشرية الأخرى..

١- تصنيف النفايات الطبية

تصنف النفايات الطبية ضمن خمسة مجموعات، وهي:

المجموعة أ

١- الضمادات الجراحية والممسحات الصلبة، وجميع نفايات المختبرات وغرف التشريح والملوثة الناتجة عن أماكن المعالجة الطبية.

٢- المواد الناتجة عن حالات الأمراض المعدية.

٣- جميع الأنسجة البشرية (سواء كانت مصابة أم لا)، وجيف الحيوانات، والأنسجة والممسحات الناتجة عن المختبرات، وجميع ما يتصل بها من مواد.

المجموعة ب

السرنجات والإبر المستعملة، اللفائف، الزجاج المكسور، أية أدوات حادة أخرى.

المجموعة ج

بعض النفايات الصيدلانية، مثل؛ النفايات الزئبقية والتي يجب معالجتها والتخلص منها بعناية خاصة.

المجموعة د

أغطية الأسرة التي يتم التخلص منها، وأوعية البول والغائط، والأكياس المستخدمة لهذه المواد.

٢- مصادر النفايات الطبية

تتضمن بعض المصادرالرئيسية للنفايات الطبية: المستشفيات والعيادات الطبية بكافة أنواعها (بشرية – اسنان – بيطرى) والمؤسسات التعليمية الطبية وعيادات التحصين والتطعيم ضد الأمراض ومراكز المعالجة والمختبرات الصحية ومؤسسات البحوث الطبية ومراكز نقل الدمومتاجر الحيوانات الأليفة وأماكن إيوائها.أية أماكن أخرى يتم فيها إجراء فحوصات ومعالجة طبية وجمع النفايات الطبية.

٣- ادارة النفايات الطبية

تشمل منظومة إدارة النفايات الخطرة بشكل عام والطبية بشكل خاص عمليات الفرز، الجمع، التخزين والنقل والتخلص من هذه النفايات، وتبدأ الادارة الناجحة بفصل النفايات الطبية من المصدر عن النفايات العامة غير الطبية، حيث أن الاخيرة يتم فصلها وجمعها بسهولة مع النفايات العامة المنزلية، وفق أنظمة الجمع والنقل والتصريف المتبعة فى المحليات، أما النفايات الطبية فإنها تحتاج إلى عناية خاصة في ادارة مراحل هذه العمليات، ويؤدى الفشل في إدارة النفايات الطبية إلى وقوع العديد من الحوادث الكارثية سواء بين العاملين في تصريف النفايات أوبين بعض الأفراد ذى الصلة نتيجة تعرضهم لهذه النفايات، لأثارها الضارة فى احداث أمراض قد تكون مزمنة أو معدية بين الأشخاص الذين يتعرضون لها.

أ- فرز ونقل وتجميع النفايات الطبية

وفي هذه المراحل المختلفة فإن كثيراً من الأخطاء قد تحدث وخاصة في عمليات الفرز مما يؤدي إلى إصابات ضارة للعاملين في جمع ونقل النفايات، كما أن المواد الحادة وخاصة اذا كانت ملوثة تكونمسئولة عن العديد من الإصابات والأمراض بين العاملين في هذه المراحل، لذلك فإنه يجب استخدام نظام ناجح لفرز النفايات الطبية، يعتمد على استخدام أكياس ملونة تحمل أرقام خاصة تحدد نوع النفاية ومستوى خطورتها لمنع اختلاطها بالنفايات العامة، ويتضمن على سبيل المثال النظام التالي:

١- استخدام أكياس سوداء للنفايات المنزلية العادية.

٢- استخدام أكياس صفراء لجميع النفايات الموجهة لعمليات الحرق.

٣- استخدام أكياس صفراء مع عصابة سوداء للنفايات التي يفضل التخلص منها عن طريق الحرق أو بالدفن بعد إجراء عمليات فصل ومعالجة خاصة لها.

٤- استخدام أكياس زرقاء أو شفافة خفيفة مع نقوش زرقاء خفيفة . عليها للنفايات التي يلزم معالجتها بالضغط والتعقيم الحراري.

ب- التخلص من النفايات الطبية

يعتمد نجاح منظومة ادارة النفايات الطبية على قدرة السلطات المعنية بصحة وسلامة البيئة على وضع أنظمة محكمة تستند إلى قوانين صارمة وأساليب تنفيذ رادعة للتحكم فى النفايات الخطرة حتى التخلص منها، وتبدأ هذه الأنظمة بالتسجيل وذلك باستخدام نموذج خاص تدون فيه البيانات المتعلقة بالنفايات الخطرة يملأ من قبل صاحب

العلاقة يبين فيه؛ نوع النفايات، وكميتها، ومعلومات أخرى محددة خاصة بالنفايات، يليه تحديد الطريقة المناسبة للتخلص النهائي منها على ضوء هذه المعلومات.

وللتخلص من النفايات الطبية هناك العديد من التقنيات المختلفة كما أشرنا فى البند (أولا –٢)، الا أن نظام الحرق كان أكثر شيوعاً فى معظم دول العالم، والسبب فى ذلك هو كفاءة نظام الحرق فى تقليل مستوى درجة الخطر الذى يصاحب النفايات الطبية وذلك لإحتوائها على مخلفات معدية، بالإضافة إلى تقليل حجم وكتلة النفايات بما يتراوح بين ٩٠–٩٥ % من الحجم الأساسي وتحويلها إلى رماد، مما يقلل كميات النفايات التي تصل إلى المرادم ومن ثم تخفيض الطلب على المزيد من الأراضي المستخدمة كمرادم خاصة مع ارتفاع أسعار الأراضي والتمدد السكاني في المدن، ويمكن تحقيق ذلك من خلال تعرض النفايات الطبية إلى درجات حرارة عالية داخل أفران الحرق (المحارق) ولفترة زمنية تكفى لإبادة الميكروبات وحرق النفايات القابلة للإحتراق، فالمخلفات الطبية تحتاج لدرجات حرارة عالية للتخلص من أضرارها، ودرجات الحرارة المطلوبة تتفاوت على حسب نوع المخلفات، فالمخلفات المعدية من الأعضاء البشرية المستأصلة تحتاج لدرجات حرارة ٨٠٠– ٩٠٠ درجة مئوية أما في حالة تعاملنا مع المخلفات الطبية الصيدلانية فبعض منها يحتاج لدرجات حرارة لا تقل عن ١٢٠٠ درجة مئوية كما هو موضح بالجدول رقم (١).

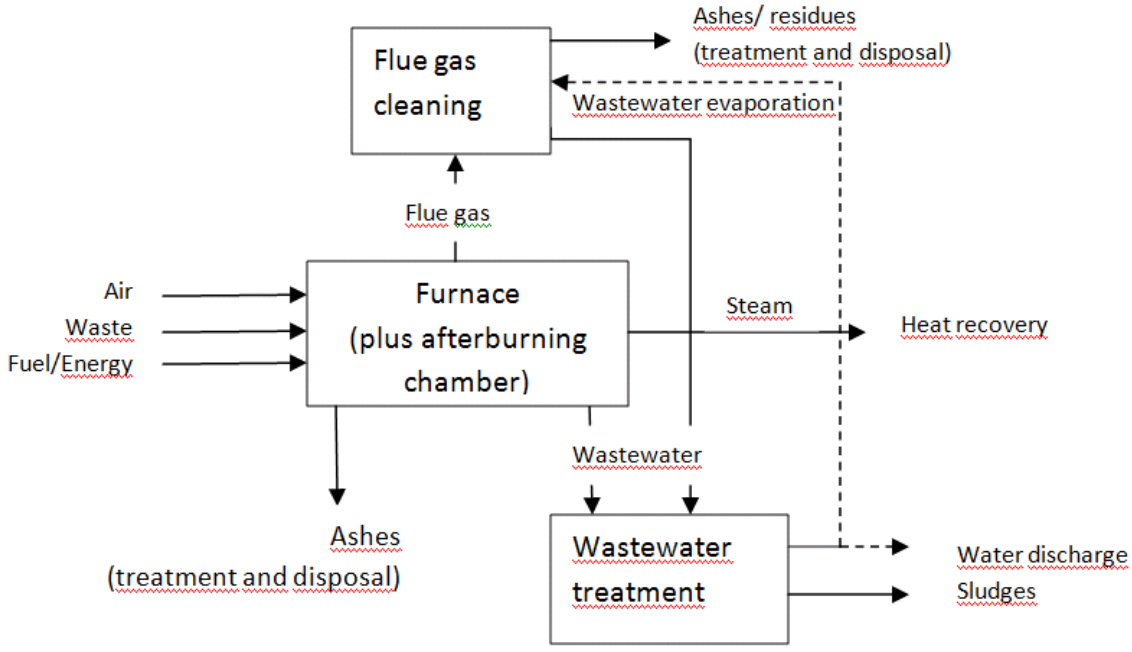
جدولرقم ١– أمثلة لأنواع الأدوية الكيماوية والحد الأدنى لدرجات الحرارة لتكسيرها والتخلص منها

الدواء	درجة الحرارة المئوية	الدواء	درجة الحرارة المئوية
Aclarubicin	1000	Fluorouracil	1200
Amsacrine	260	Idarubicin	700
Chlormethine	800	Cyclophosphamide	900
Dacarbazine	500	Vindesine	1000

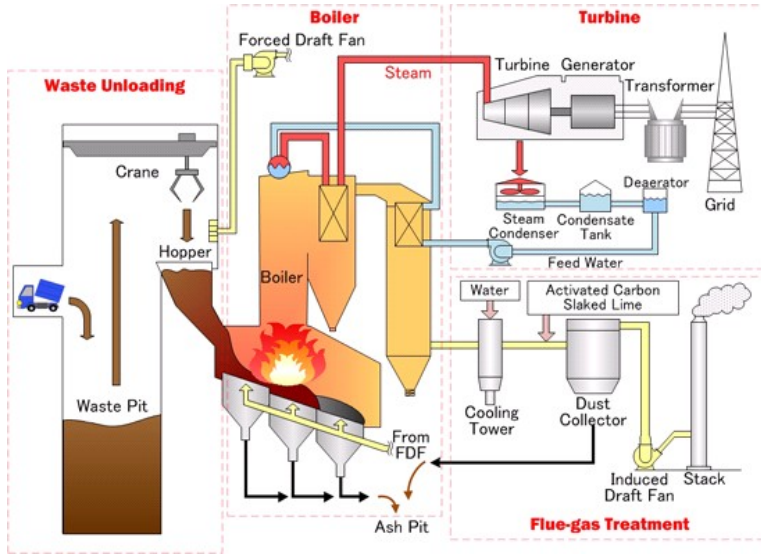
ثالثا: أفران حرق النفايات (المحارق)

١– مفهوم المحرقة

المحارق عبارة عن وسيلة للحرق الجاف للنفايات بوجود الأكسجين بدرجات حرارة مرتفعة، الهدف منها تحويل المركبات العضوية والمواد القابلة للاحتراق إلى مواد غير عضوية وغير قابلة للاحتراق، ويوضح الشكل رقم (١) مخطط تدفق مبسط لفرن حرق النفايات ونموذج تخطيطى للمحرقة.



شكل رقم ١– مخطط تدفق مبسط لفرن حرق النفايات



تابع شكل رقم ١- نموذج تخطيطى لفرن حرق النفايات

وحتى عهدٍ قريب ظلت عملية حرق (ترميد) النفايات هى الطريقة السائدة للتخلص من النفايات الطبية فى العديد من دول العالم المتقدمة وفى مقدمتها **الولايات المتحدة الأمريكية** ودول الإتحاد الأوربي وغيرها، وتكمن مزايا تقنية الحرق فى كونها قادرة على معالجة معظم أنواع النفايات والتخلص منها وتقليل درجة خطورتها لأنها تضمن درجة عالية من التدمير لهذه المخلفات العضوية، بالإضافة كما اسلفنا إلى خفض حجمها وكتلتها بنسبة تزيد عن ٩٠% وتحويلها إلى رماد، غير أن التكلفة المالية لإنشاء وتشغيل محارق النفايات الطبية والتحكم فى إنبعاث ملوثات الهواء الناجمة عنها تظل باهظة مقارنة بالأساليب والطرق والتقنيات الأخرى.

وتستعمل المحارق عادة مع النفايات التى لايمكن الاستفادة منها أو التى يمكن اعادة تصنيعها، حتى بوجود المحارق الجيدة لا يمكن حرق كل أنواع النفايات على سبيل المثال لا يمكن حرق أملاح الفضة والنفايات الفوتوغرافية والنفايات المشعة وبعض النفايات الكيميائية الشديدة التفاعل وبعض المركبات الهالوجينية كالبلاستيك المحتوي على بي في سي والنفايات المختلطة بالمعادن الثقيلة كالزئبق والأسطوانات المضغوطة فهذه كلها تسبب عند حرقها مضار للبيئة.

ويمكن إجراء عملية الإحراق بطريقة تعويضية يتم فيها استرجاع قسم كبير من الحرارة وبخار الماء الناتج عن الحرق والاستفادة منهما في أنتاج الطاقة الكهربائية، حيث تستغل حرارة الاحتراق فى انتاج البخار (Steam) عن طريق غلايات (Boilers) لتشغيل مولدات توربينية لتوليد الكهرباء، وبذلك تنقص تكلفة التشغيل للمحارق.

١- توصيف أنواع أفران حرق النفايات

تختلف المحارق عن بعضها حسب النوعية والحجم والوظيفة المختارة لها فى القضاء على مسببات او عوامل المشكلة، وتقسم المحارق من حيث الحجم (حسب وكالة حماية البيئة الأميركية) إلى محارق صغيرة بسعة أقل من ٩١ كجم/ساعة من النفايات ومحارق متوسطة بسعة ٩١- ٢٢٧ كجم/ساعة والمحارق الكبيرة والتى تتعامل مع كمية نفايات تفوق ٢٢٧ كجم/ساعة.، وتصنف من حيث النوع بأحجام وتصاميم مختلفة ويمكن تلخيص أهمها والمستخدم بشكل عالمياً فيما يلي:

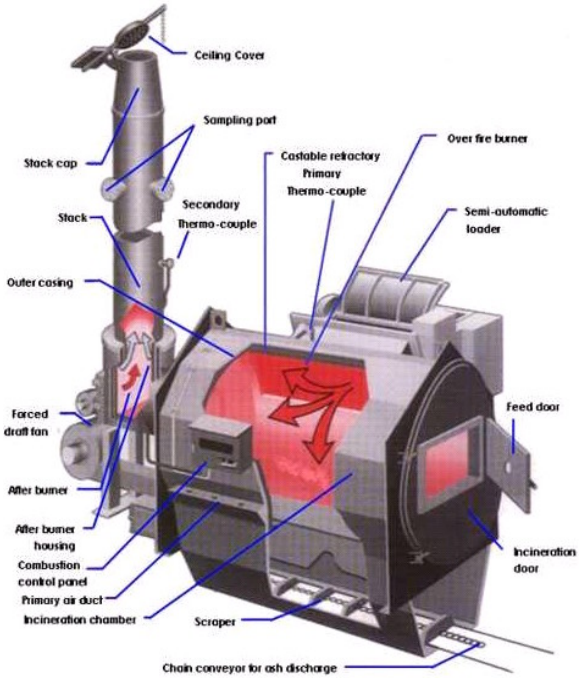
أ- محارق الغرفة الواحدة

أستعمل هذا النوع من المحارق (شكل رقم ٢) لمعالجة النفايات الخطرة الصلبة البلدية أو الطبية وتصل فيها درجة الحرارة بين (٨٥٠ – ١١٠٠ مْ)

شكل رقم ٢– محارق الغرفة الواحدة

وهذه المحارق مختلفة الأنواع والأشكال فمنها أنواع بسيطة وأنواع أكثر تطور لها قدرة عالية في التعقيم والتقليل من حجم ووزن المخلفات والرماد الباقي يمكن ردمه، وهى فعالة في معالجة بعض المخلفات الطبية المعدية بما فيها المخلفات الحادة ولا تحتاج لتقنيات عالية لتشغيلها، وأقل تكلفة في التشغيل، والقدرة الاستيعابية من ١٠٠–٢٠٠ كجم/اليوم فى حين أنها غير صالحة للتخلص من مخلفات الأدوية السامة (Cytotoxic Drugs) والمخلفات الطبية المشعة وغير فعالة مع بعض المركبات الغير عضوية والمقاومة لدرجات الحرارة العالية، ومن عيوبها إنتاجها لكميات كبيرة من انبعاثات ملوثات الهواء والتي قد تحتوي على غازات سامة مثل الديوكسين إلى الهواء الجوي فى درجات حرارة أقل من ٨٠٠ درجة مئوية، ولتلافي مشاكلها البيئية ينبغي تزويدها بمعدات لكبح ملوثات الهواء مثل المحارق ذات الحجرة الواحدة مع أجهزة تقليل الغبار (Single Chamber with Dust (Reduction) (شكل رقم ٣) ولا يفضل استعمال هذا النوع في الدول التي تعاني من مشاكل التلوث الجوي، وحالياً يحرم دولياً استعمال هذا لنوع لحرق النفايات الخطرة.

Incinerator



شكل رقم٣

ب– محارق غرف الاحتراق المزدوجة

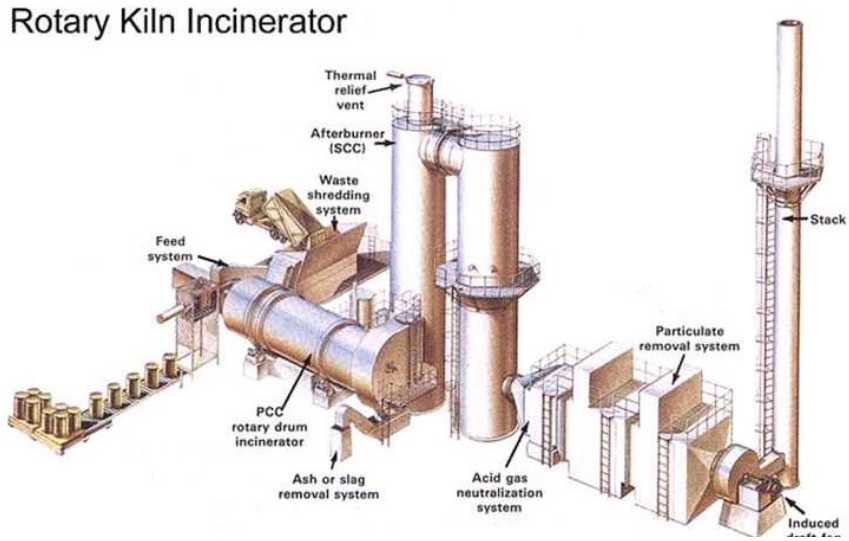
هي عبارة عن غرفة مزدوجة تتعرض اغلب النفايات الطبية فيها للحرق بحرارة عالية ثم تنتقل الغازات المشتعلة والدخان الى الغرفة الثانية لاستكمال معالجتها، وهذا النوع من المحارق مناسب للنفايات الخطرة وغير الخطرة وتتم عملية التفكك على مرحلتين حيث يتم الاحتراق الأولي في الحجرة الأولى والتي تصل حرارتها لحوالي ٨٠٠ درجة مئوية حيث يتم تكسير معظم المخلفات فيما تمر الغازات الساخنة وما تحويه من ملوثات إلى حجرة الاحتراق الثانية لتعزيز حرق ما تبقى من مواد عضوية في تيار الغاز مع التحكم بزمن البقاء للغازات في هذه الحجرة لفترة لا تقل عن ثانيتين وبعد ذلك تتم عملية تبريد الغاز بعد خروجه من الحجرة باستخدام وحدات تبريد للغاز ثم تمريره على وحدات تحكم في ملوثات الهواء المنبعثة إلى البيئة المحيطة لتفادى دخوله في سلسلة من التفاعلات الثانوية قد تؤدي إلى تكون ملوثات جديدة في الهواء يصعب تحديدها وتقدير كمياتها وزمن بقاؤها في الهواء، ويوضح شكل (رقم ٤) نموذج لهذه النوعية من المحارق.

شكل رقم ٤- نموذج محارق غرف الاحتراق المزدوجة

ومن أمثلة هذه المحارق محارق البيرولويتك المزودة بمصفيات للغاز (Pyrolytic incineration with an efficient gas cleaning) وهى محارق ذات غرفة مزدوجة من مزاياها القدرة العالية في التعقيم بالأخص عند التعامل مع المخلفات الطبية المعدية وبعض المخلفات الصيدلانية والكيماوية، درجة حرارتها من ٨٠٠-٩٠٠ مئوية و لها قدرة استيعابية من ٢٠٠ كجم/اليوم إلى ١٠ طن/اليوم وهذا يرجع لحجم المستشفيات وعادة ما تستخدم المحارق بقدرة ١ طن/ اليوم للمستشفيات الكبيرة، رماد هذه المحارق يمكن ردمها بدون ترك أضرار ومن عيوبها التكلفة المالية العالية لإنشائها واحتياجها للتقنيات عالية جدا لتشغيلها والمعالجة لا تقضي على خطورة النفايات الطبية المشعة والتي تتجمع مع الرماد.

ج- محارق (أفران) دوارة ذات درجات حرارة عالية (Rotary Kilns incinerators)

وهي عبارة عن محارق (أفران) دوارة من ٢-٥ مرة في الدقيقة ذات طول وقطر مناسب حيث يتراوح قطر المحرقة بين ٦ إلى ١٤ قدماً، وطولها من ٢٥ إلى ١١٠ قدماً (شكل رقم ٥) وتتكون من هيكل أسطواني الشكلمبطن بمواد حرارية مقاومة للصهروالتآكل الناتج عن تفاعل الغازات الحمضية المتولدة أثناء عملية الاحتراق ومدعمة بدعامتين مثبتتين على أسطوانات، تسمح للفرن بالدوران على محوره الأفقي ويتم فيها دوران المخلفات في حاويات اسطوانية الشكل مما يساعد في عمليات تغلغل الهواء مع المخلفات لإكمال عملية الاحتراق، والأسطوانة لها ميول بزاوية صغيرة متجه للأعلى مما يسمح للفرن الدوار بالعمل في شكل مائل عن المستوى الأفقي لكي يسهل خلط المخلفات، وفي العادة يتم إدخال المخلفات الصلبة والمعلبة عن طريق مكبس أو سير متحرك، بينما يتم حقن المخلفات السائلة والقابلة للضخ من خلال خرطوم، وتخرج المعادن غير القابلة للاشتعال والفضلات الأخرى كرماد في نهاية الفرن.

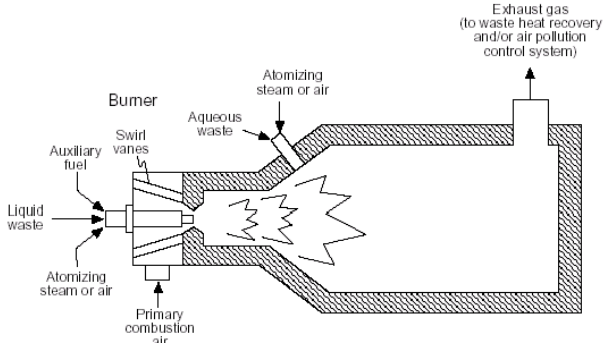


شكل رقم ٥- محارق (أفران) دوارة ذات درجات حرارة عالية

تتراوح درجة الحرارة في هذه المحارق ما بين ٨٠٠-١٦٥٠ درجة مئوية، تتميز هذه المحارق بمقاومتها للحرارة العالية يفضل البطانة الحرارية ومعالجتها لكميات كبيرة من المخلفات الصلبة والسائلة والحمأة والغازات، لذا تستخدم الأفران الدوارة في ترميد النفايات الخطرة، والسائلة والمعلبة، وتحتوى الأفران الدوارة على غرف للاحتراق الثانوي بهدف إجراء احتراق لاحق للتأكد من التخلص التام من النفايات الخطرة، تتراوح درجة حرارة الفرن الدوار داخل غرف الاحتراق الثانوي واللاحق بين ٨٠٠ إلى ١٣٠٠ درجة مئوية، وفي العادة يتم حقن المخلفات السائلة داخل غرفة الاحتراق بالمحرقة وهذا النوع فعال مع المخلفات الطبية المعدية بما فيها المخلفات الحادة والمخلفات الباثولوجية والمخلفات الكيميائية والصيدلانية ومخلفات العلاج الكيماوي، وهى غير فعالة مع المخلفات الطبية المشعة والمخلفات المحتوية على كميات كبيرة من المعادن الثقيلة التي ينتج عنها أبخرة سامة مثل الرصاص والكادميوم والزئبق، وتتراوح القدرة الاستيعابية من ٠.٥ إلى ٣ طن/ساعة، إلا أن عيوبها اقتصادية بالدرجة الأولى إذ تكمن في ارتفاع سعرها والتكلفة العالية لتشغيلها فضلاً عن حاجتها إلى عمالة مدربة وذات كفاءة عالية وفنيين مؤهلين وتتطلب تقنيات عالية ولا ننسى أيضاً ارتفاع مصاريف صيانتها نتيجة عملية التآكل التي تسببها المخلفات منها استبدال الأسطوانة الحرارية الدوارة على فترات، وتعرض أجزاءها المتحركة للتلف نتيجة درجات الحرارة العالية.

د- محارق الحقن السائلة Injection Liquid

تستخدم أفران الحرق بحقن السوائل، كما هو الحال في الأفران الدوراة، لحرق النفايات الخطرة عادةً. وعملياً يمكن أن تستخدم أفران الحرق بحقن السوائل للتخلص من أي نفايات سائلة أو شبه سائلة قابلة للاحتراق (مثل السوائل والملاط والحمأة)، وعادةً ما تشمل نظم الأفران التي تعمل بحقن السوائل، التي قد تكون أبسط أنواع أجهزة الحرق، نظاماً لحرق النفايات ونظاماً للوقود المساعد ونظاماً للإمداد بالهواء، وغرفة احتراق، ونظاماً لضبط تلوث الهواء، كما هو مبين في الشكل رقم (٦).



الشكل رقم ٦- فرن نموذجي يعمل بحقن السوائل

وتلقم النفايات السائلة وتُبخ في غرفة الاحتراق عبر فوهات فرن النفايات. وتبخ هذه الفوهات النفايات وتمزجها مع هواء الاحتراق. ويحدث البخ عادةً بوسائل ميكانيكية مثل كأس دوارة أو نظم بخ تعمل بالضغط، أو من خلال فوهات ثنائية المائع تستخدم الهواء عالي الضغط أو البخار. ومع وجود مساحة سطحية كبيرة نسبياً تتبخر الجسميات المبخوخة بسرعة مشكلةً مزيجاً من أبخرة النفايات شديدة القابلية للاحتراق مع هواء الاحتراق. وعادةً تتراوح فترة المكوث في غرفة الاحتراق من ٠,٥ إلى ٢ ثانية، وتتراوح درجات الحرارة من ٧٠٠مْ إلى ١٦٠٠مْ، وذلك من أجل ضمان الاحتراق الكامل للنفايات السائلة. ويمكن أن تتجاوز معدلات تلقيم النفايات السائلة ٢٠٠٠ ل/الساعة. وإذا كان محتوى الطاقة في النفايات غير كافٍ للحفاظ على احتراق كافي ودرجات حرارة ملائمة للاحتراق يتم استخدام وقود إضافي مثل زيت الوقود أو الغاز الطبيعي. وفي بعض الحالات يتم ترشيح النفايات المحتوية على كميات كبيرة من المواد الصلبة قبل الحرق لتفادي انسداد الفوهات.

هـ- المحارق المتنقلة (Mobile Incinerators)

محارق متكاملة ذات تقنيات عالية موضوعة على عربات خاصة، حيث تنتقل العربة إلى مصادر المخلفات الطبية كالمستشفيات، هذه طريقة حديثة وتستعمل حالياً في بعض الدول ومن مزاياها تجنب نقل المخلفات الطبية خلال

الشوارع وتكون مزودة بمصفيات تعمل على تقليل الغازات السامة والغبار المتطاير من عملية الاحتراق .

١-٣ المحارق الآمنة

هناك عدة أنواع من المحارق الآمنة التي تستخدم في معالجة النفايات الخطرة، مثل:

ا- التعقيم بالاتوكلاف: تستخدم هذه الطريقة في تعقيم الادوات والاجهزة الطبية وفي معالجة كميات محدودة من النفايات الخطرة.

ب- اشعاع الميكروويف: تستخدم هذه الطريقة بتقطيع النفايات الى اجزاء صغيرة ثم ترطيبها وادخالها في غرفة الاشعاع وبعد ذلك يتم التخلص منها مع النفايات المنزلية.

ج- تقنية التغذية المستمرة: تعتبر من احدث التقنيات في المعالجة وفيها تقطع النفايات الى اجزاء صغيرة تمرر في غرفة حرارية يدور بداخلها اسطوانة حلزونية يمر بداخلها تيار من الزيت الساخن تصل درجة الحرارة بها الى ١٤٠ درجة.

د- التطهير باستخدام المواد الكيميائية: من أكثر الطرق المستخدمة للمحافظة على المستوى الصحي داخل المنشآت الصحية وتستخدم في معالجة انواع محددة من النفايات مثلا لنفايات المعدية والادوات الحادة المعاد استخدامها والافرازات شديدة العدوى.

هـ- تقنية التخميل: تستخدم لمعالجة الأدوية المنتهية الصلاحية والنفايات الكيميائية الخطرة وتتطلب هذه التقنية ازالة النفايات من العبوات وطحن النفايات الصلبة لتحويلها الى مسحوق تخلط بعد ذلك بكميات من الماء والجير والاسمنت وتوضع في قلاب لتقليبها وتصب في قوالب وتنقل الى مواقع الدفن.

و- محارق التأين الغازي Plasma Gasification: تقوم بعمليات ترميد حراري تحت درجة حرارة مرتفعة في وسط خال من الأكسجين أو قليل الترسيب، بما يؤدي إلى تحلل المخلفات إلى جزيئات بسيطة، وفي هذه الحالة يؤدي ارتفاع درجة الحرارة ونقص الأكسجين إلى تحلل المخلفات حرارياً، وعادة ما تكون النواتج الثانوية لهذه العملية عبارة عن غازات قابلة للاحتراق وغاز خامل، وتتمتع تقنية الترميد بالعديد من المزايا تجعلها مفضلة وبصفة خاصة عند التعامل مع كميات كبيرة من المخلفات العضوية الخطرة، لأنها تضمن درجة عالية من التدمير لهذه المخلفات العضوية، وفي الوقت نفسه لا ينتج عنها سوى كمية قليلة جداً من الانبعاثات، كما تتميز بقدرتها على التعامل مع العديد من المخلفات، والعمل تحت درجات حرارة مرتفعة، والخلط المستمر للمخلفات الداخلة إليها، كما أن هذه التقنية تتيح تقليل حجم الطلب على عمليات الدفن الصحي للمخلفات الخطرة، والتي تسبب تلوثا شديدا للتربة.

ز- محارق الأشعة تحت الحمراء Infrared-محارق الموائع

٢- الملوثات الناجمة عن المحارق

٢-١- ملوثات الهواء

ا- غازي أول وثانى أكسيد الكربون ($CO - CO_2$)

ب- الجسيمات العالقة (PM)

ج- كلوريد الهيدروجين (HCl)

د- المعادن (Metals) مثل:

(الزئبق، الرصاص، الزرنيخ، الكادميوم، .....إلخ)

هـ- الديوكسين Dioxins

(Polychloro dibenzo-p- (dioxin) (PCDD)

و- الفيوران Furans

(Polychloro dibenzo furan (PCDF)

ز- أكاسيد النيتروجين (Nitrogen Oxides)

ح- المركبات الهيدركربونية الطيارة المتعددة الحلقات

Poly cyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)

ومن مشاكل الحرق عدم التجانس في النسب التي تتكون منها المخلفات فلو زادت مثلاً نسب البلاستيك فتزداد بذلك نسب الغازات شديدة التلوث للهواء الجوي مثل كلوريد الهيدروجين وعلية يجب معالجة الغازات المنبعثة قبل خروجها للهواء الجوي عن طريق مصفيات أو عن طريق غسل لتلك الغازات بواسطة رذاذ الماء فينحل الغاز في الماء وتخرج الغازات نظيفة بعد الغسل.

٢-٢- ملوثات التربة

ينتج عن المحارق نوعين من المخلفات الصلبة تشمل الرماد المترسب في قاع المحرقة ويسمى (Bottom Ash) والنوع الثاني الرماد المتطاير ويسمى (Fly Ash) والذي يتم فصله من تيار الهواء بواسطة وحدات التحكم في ملوثات الهواء قبل انطلاقه من المداخن، وينبغي التعامل مع هذه المواد حيث تصنف غالباً بأنها مواد خطرة يجب التخلص منها في مرادم خاصة تناسب لمدى خطورتها، وهذا يعني أن عمليات الحرق مجرد حل جزئي لمشكلة تلوث الهواء وإيجاد مشكلة جديدة عبارة عن مواد خطرة غالباً تحتوي على المعادن السامة الرصاص والكادميوم والنيكل والكروميوم وغيرها.

وهذه المحارق على الرغم من مميزاتها العالية في التعقيم والتقليل من حجم ووزن المخلفات إلا أنها تتسبب في إنتاجها لكميات كبيرة من الأبخرة والتي قد تطلق ملوثات الهواء خاصة أثناء الحرق عند ودرجة حرارة أقل من ٨٠٠ درجة مئوية الغير مناسبة للتخلص من مخلفات الأدوية السامة (Cytotoxic Drugs) والمخلفات الطبية المشعة وغير فعالة أيضاً مع بعض المركبات الغير عضوية والمقاومة لدرجات الحرارة العالية، وعموماً لا يفضل استعمال المحارق في المدن التي تعاني من مشاكل تلوث الهواء.

٣- أخطارالتلوث من المحارق

نوهت العديد من الدراسات بمخاطر التلوث من المحارق وخاصة للأشخاص القاطنين قرب تلك المحارق من حيث أنهم أكثر عرضة للإصابات الناتجة من استنشاق الغازات الملوثة للهواء الجوي أو بسبب استهلاك المواد الغذائية أو الإصابات الجلدية بسبب الاحتكاك بالتربة الملوثة، وأكثر أخطار المحارق وخاصة ذات الدرجات الحرارة المنخفضة (أقل من ٨٠٠ درجة مئوية) هو انبعاث الأبخرة السامة ومن أهمها وأخطرها الديوكسين والذي ينتج عند حرق النفايات التي بها مركبات الكلور..

أ- أخطار الثلوث بالديوكسين

الديوكسين عبارة عن مجموعة من المركبات لها تأثيرات ضارة على الصحة والبعض منها ربما تكون قاتلة حتى بتراكيز قليلة، وإعراضها المرضية تتفاوت من الالتهابات الجلدية البسيطة إلى اضطرابات في الجهاز المناعي والغدد الصماء والجهاز العصبي وتغييرات جينية وغيرها، والمعروف عن الديوكسين أنه يتراكم بصفة خاصة في الدهون والكبد وأنسجة الجلد، ويمتص الجسم ٩٠-٩٥ % من الديوكسين خلال الشبكة الغذائية والذي يأتي من استهلاك اللحوم ومنتجات الألبان، أما امتصاص الديوكسين عبر الجلد أو عن طريق التنفس فهو قليل جدا.

ففي بريطاني وأسبانيا واليابان لوحظت زيادة في نسبة الديوكسين في أنسجة القاطنين قرب المحارق بمقارنتها بالآخرين، كما أشارت دراسة فنلندية أن هناك زيادة ملحوظة في نسبة الزئبق في شعر السكان القاطنين قرب المحارق، كما وُجدت نسب عالية من مركبات الديوكسين في أنسجة العاملين في المحارق الحديثة والقديمة نتيجة لتعرضهم اليومي خلال العمل للرماد، وزيادة في بعض الأمراض السرطانية مثل سرطان الجلد في السكان المحيطين بالمحارق في فرنسا، ونسب زيادة بستة أضعاف لحالات الوفاة بسرطان الرئة في ايطاليا، ودراسة ألمانية وجدت انخفاض في نسبة هرمون الغدة الدرقية، والعديد من الدراسات الأخرى التي أكدت مسؤولية الغازات المنبعثة من المحارق في أحداث العديد من المشاكل الصحية والمهنية.

ب – أخطار الثلوث بالزئبق

يتواجد الزئبق ومركباته فى انبعاثات المحارق نظراً لانعدام الثبات الحراري والكيميائي لمركباته، فإنه عندما تزيد درجة الحرارة عن ٧٠٠مْ إلى ٨٠٠مْ لا يتبقى سوى الزئبق النقي، وهذا يعني أن الزئبق يوجد داخل غرفة الاحتراق في فرن حرق النفايات بشكله الأولي فقط،، والزئبق هو عنصر شديد التطاير ولذلك فهو يكاد لا يوجد إلا في الطورالغازي ضمن غازات المداخن، وفي ظل

ظروف معينة يمكن للزئبق الأولي أن يتأكسد، وخاصة فى وجود مكونات في الطور الغازي بما في ذلك الكلور أو ثاني أكسيد الكبريت، وحتى مركبات الزئبق المؤكسد تتميز عموماً بعدم الثبات في غازات المداخن ومن المعلوم إن قدرة الضوابط المختلفة على احتجاز الانبعاثات ترتبط بتكون الزئبق في غازات المداخن.

إن عنصر الزئبق ومثيل الزئبق سامّان بالنسبة إلى الجهاز العصبي المركزي والمحيطي، ويمكن أن يخلّف استنشاق بخار الزئبق آثاراً ضارة على الجهازين العصبي والهضمي وجهاز المناعة وعلى الرئتين والكليتين، وقد يكون قاتلاً. وتسبب أملاح الزئبق غير العضوية تآكل الجلد والعينين وقناة الجهاز الهضمي، وقد تتسبب في تسمّم الكليتين في حالة تناولها.

وقد يُلاحظ حدوث اضطرابات عصبية وسلوكية عقب استنشاق مختلف مركبات الزئبق أو ابتلاعها أو تعرّض الجلد لها، ومن أعراضها الإصابة بالارتعاشات والأرق وفقدان الذاكرة وتأثر الأعصاب والعضلات والشعور بالصداع وتعرّض الوظائف المعرفية والحركية للخلل.

ويمكن ملاحظة علامات خفيفة دون سريرية لتسمّم الجهاز العصبي المركزي لدى العمال الذين يتعرضون على مدى عدّة سنوات لمستويات الزئبق في الهواء بمقدار ٢٠ ميكروغرام/ المتر المُكعّب أو أكثر من ذلك. وأُفِيد بتعرض الكليتين لأضرار تتراوح بين زيادة مستوى البروتين في البول والإصابة بفشل كلوي.

لا يسع المجال إلى عرض المزيد من أخطارالتلوث من المحارق ونختتم بالدراسة التى أجراها باحثون بريطانيون حيث ذكرت أن الحوامل اللاتي يعشن بالقرب من محارق القمامة والمخلفات تزيد لديهم فرصة إنجاب مواليد يعانون عيوبا خلقية. وذكر الباحثون في جامعة نيوكاسل البريطانية أنهم اكتشفوا زيادة نسبتها١٧% في العيوب الخلقية للعمود الفقري لمواليد الحوامل اللاتي يعشن بالقرب من المحارق، كما اكتشفوا زيادة بنسبة١٢% في العيوب الخلقية بالقلب، وقال الباحثون: إن ذلك قد يرجع إلى انبعاث مواد كيماوية ضارة من هذه المحارق.

٤- تقنيات التحكم في الانبعاثات

إن نوع عمليات المعالجة المطبقة على غازات المداخن بمجرد خروجها من غرفة الاحتراق وترتيب هذه العمليات هما عاملان مهمان على صعيد التشغيل الأمثل للأجهزة ولفعالية الكلفة العامة للمنشأة، وتشمل العوامل المؤثرة على اختيار تقنيات التحكم في الانبعاثات الناتجة من حرق النفايات: نوع النفايات، وتركيبها، وقابليتها للتغير، ونوع عملية الاحتراق، وتدفق غازات المداخن ودرجات حرارتها، والحاجة إلى معالجة المياه العادمة وتوفر هذه المعالجة. ولتقنيات المعالجة التالية تأثيرات مباشرة أو غير مباشرة على منع الانبعاثات الخطرة أو تخفيضها. وتشمل أفضل التقنيات المتاحة تطبيق أنسب توليفة من نظم تنظيف غازات المداخن.

أ- تقنيات إزالة الغبار (الجسيمات الدقيقة العالقة)

إزالة الغبار من غازات المداخن ضرورية لجميع العمليات في فرن حرق النفايات. وقد أظهرت أجهزة الترسيب الكهروستاتيكية والمرشحات النسيجية فعاليةً كتقنيات احتجاز للجسيمات الدقيقة العالقة في غازات مداخن أفران الحرق.

ب- تقنيات التنظيف الرطب

يمكن احتجاز الزئبق الغازي عن طريق الامتزاز في جهاز تنظيف رطب

ج- حقن الكربون المنشط

تنطوي تقنية الكربون المنشط لتحسين إزالة الزئبق على حقن هذا الكربون أو فحم الكوك في موقد الفرن قبل الدخول إلى مرشح كيسي أو أى جهاز آخر لإزالة الغبار. ونتيجةً لذلك يُمتز معظم الزئبق في طبقة المرشح،

هناك طرق أخرى عديدة للتحكم فى الانبعاثات قد نتناولها فى مقالات قادمة نذكر منها على سبيل المثال

إضافة البروم إلى داخل الفرن الذى من شأنه تحسين تأكسد الزئبق أثناء مروره بمرجل غاز المدخنة.

في العديد من دول العالم وبسبب خطورة وأضرار الأبخرة السامة المنبعثة من المحارق على البيئة وصحة المجتمع وضعت معايير صارمة حدُدت بها كميات الغازات السامة والمسموح بانبعاثها من المحارق، وهذه المعايير إجبارية بالقانون للشركات المتخصصة والمستشفيات عند اختيار نوعية المحرقة،

والجدول رقم (٢) يبين المعايير الموضوعة في الاتحاد الأوروبي لكمية الإنبعاثات المسموح بها لبعض المواد السامة.

جدول رقم ٢- معايير الانبعاثات المسموح بها لبعض المواد السامة

المواد المنبعثة	معدل في أربع ساعات (mg/m^3)
الزئبق	0.05
الكادميوم، التاليوم	0.05
الرصاص، كروم، النحاس	0.5
النيكل والزرنيخ	0.5
الديوكسين وفيوران	0.1

برزت خلال العشر سنوات الأخيرة العديد من المنظمات البيئية على مستوى العالم ونوهت بمخاطر المحارق وما تنتجه من أبخرة سامة وبالذات المحارق التي تتعامل مع المخلفات الطبية حتى الحديثة منها والتي يوجد بها مصفيات الغازات المنبعثة والغبار، والجدول رقم (٣) يبين الملوثات وأثر المصفيات التى خفضت كثيرا درجة تركيز الملوثات وإن لم تصل بها إلى المعايير المطلوبة.

جدول رقم ٣- الملوثات وأثر المصفيات

الملوث	التركيز	التركيز بوجود مصفيات
كلوكلوريد الهيدروجين	430 ppmdv	50 ppmdv
أأول أكسيد الكربون	150 ppmdv	50 ppmdv
الديوكسين	57 mg/m3	0.5 mg/ m3
الغبار	6,300 mg/m3	20 mg/ m3
ثانى أكسد الكبريت	400 mg/m3	260 mg/ m3
هيدروكربون عطري	70 µg/m3	5 µg/ m3
فينولات ثنائية مكلورة	3 µg/ m3	1 µg/ m33
فينولات مكلورة	2.7 µg/ m3	1 µg/ m33
الرصاص	34,000 µg/ m3	50 µg/ m33
الكادميوم	1,500 µg/ m3	100 µg/ m33
الزبئبق	320 µg/ m3	200 µg/ m33
الزرنيخ	130 µg/ m3	1 µg/ m33