اتفاقية فيينا

بروتوكول مونتريال

مذكرة توضيحية

التعمّق في إدارة دورة حياة وسائط التبريد

برنامج الأمم المتحدة للبيئة | أمانة الأوزون

ورشة عمل 2024

حول إدارة دورة حياة وسائط التبريد

أولا: مجال المذكرة التوضيحية:

1- تقدم هذه المذكرة التوضيحية معلومات مفصّلة حول عدد من المسائل التقنية ومجموعة محدّدة من الجوانب التقنية المتعلقة بإدارة دورة حياة وسيط التبريد (LRM). كما يُعتبر هذا الكتيّب ملخصاً يستند إلى تقرير فريق التقييم التقني والاقتصادي (TEAP) المتعلّق بإدارة دورة حياة وسيط التبريد (LRM)، والذي أعدّ وفقاً للفقرة الأولى من قرار الاجتماع (XXXV/11) بالإضافة إلى مصادر أخرى للمعلومات[1].

2- يعرّف تقرير فريق التقييم التقني والاقتصادي (TEAP) إدارة دورة حياة وسيط التبريد LRM على أنها منهجيةٌ شاملة لإدارة وسائط التبريد في أنظمة التبريد وتكييف الهواء ومضخات الحرارة (RACHP)، بدءاً من تصميم المُعدّات والتجهيزات وتركيبها، مروراً بمرحلة استخدامها وخدمتها وتحوّلها إلى نفايات عند نهاية عمرها الافتراضي. وصولاً إلى إعادة استخدام أو تدمير وسيط التبريد المسترجع بهدف تقليل الانبعاثات المباشرة الناجمة عن تسرّب وسائط التبريد وزيادة إمداداتها وإعادة الاستخدام (سواءً من خلال إعادة التدوير أو الاستصلاح) والتدمير. كما يتناول هذا الكتيّب أيضاً الجوانب المتعلقة بالتعامل مع المُعدّات والتجهيزات المستعملة أو المعطّلة والتي تحتوي على وسائط تبريد. ولمزيد من المعلومات حول إدارة دورة حياة وسيط التبريد LRM يرجى العودة إلى المذكرة التوضيحية بعنوان " مدخل إلى إدارة دورة حياة وسيط التبريد".

ثانياً: منع التسرّب

3- تهدف إدارة دورة حياة وسيط التبريد LRM إلى تقليل الانبعاثات من البنوك المُركّبة التي تحتوي مواد مقيّدة بموجب بروتوكول مونتريال مثل المواد المستنفدة للأوزون (ODS) ومركبات الكربون الهيدرو فلورية (HFCs) طوال مراحل دورة حياتها. يمكن تطبيق ممارسات منع التسرّب في أي مرحلة من المراحل التالية:

أ. تقليل ومنع تسرّب وسيط التبريد أثناء عمليات التصميم والتصنيع والتركيب والصيانة والتشغيل.
ب. استرجاع وسيط التبريد أثناء الصيانة وعند نهاية دورة حياته بشكلٍ عام بهدف إعادة استخدامه.
ت. إعادة استخدام وسيط التبريد (سواءً من خلال إعادة التدوير أو الاستصلاح).
ث. تدمير وسيط التبريد المسترجع.

---

* الآراء الموضحة داخل هذا الكتيبّ لا تعكس بالضرورة آراء الدول الأطراف في بروتوكول مونتريال، ولا تعكس أيضاً آراء كل من أمانة البروتوكول، أو أمانة الأمم المتحدة.

[1] المنظمة الدولية للتقييس ISO " ISO 5149-1:2014 Refrigerating system and heat pumps -Safety and environmental requirements - Part 1: Definitions, classification and selection criteria"، التي تمت مراجعتها آخر مرة والمصادقة عليها في عام 2020 وذلك مع إدخال تعديلين. يبقى هذا الإصدار ساري المفعول ومن المتوقع أن يتم استبداله بالمواصفة ISO/DIS 5149-1 خلال الأشهر القادمة، والمواصفة "ISO 14903:2017, Refrigerating systems and heat pumps- Qualification of tightness of components and joints"، التي تمت مراجعتها آخر مرة والمصادقة عليها في عام 2022، ويبقى هذا الإصدار ساري المفعول ومن المتوقع أن يتم استبداله بالمواصفة ISO/FDIS 14903 خلال الأشهر القادمة، والمواصفة "ISO 2248:1985, Packaging-complete, filled transport packages- Vertical impact test by dropping" واللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC) المواصفة "IEC 60068-2-27:2008, Environmental testing-Part 2-27: Test Ea and guidance: Shock"، والمواصفة IEC 60068-2-64:2008 " Environmental testing-Part 2-64: Tests-Test Fh: Vibration, broadband random and guidance"، فريق التقييم التقني والاقتصادي TEAP " Decision XXXV/11 Task Force Report on Life-cycle Refrigerant Management"، (برنامج الأمم المتحدة للبيئة: 2024)، برنامج الأمم المتحدة للبيئة UNEP " Project Results: HCFC Phaseout Management Plan"، ومعهد تكييف الهواء والتدفئة والتبريد (AHRI) " AHRI Standard 740: Standard for Performance Rating of Refrigerant Recovery Equipment and Recovery/Recycling Equipment" (AHRI, 2016)، و "AHRI 700, 700C and 700D: Specifications for Refrigerants"، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) "Montreal Protocol, Annex III: Code of good housekeeping"، و " Partnership for Action on Challenges relating to E-waste"، و(القرار BC-15/22 الفقرة ا للدول الأطراف في اتفاقية بازل بشأن التحكم في نقل النفايات الخطرة عبر الحدود والتخلص منها).

أ. تصميم الأجهزة والتصنيع

4- يُعدّ منع التسرّب أمراً بالغ الأهمية خلال مرحلة تصميم أنظمة التبريد وتكييف الهواء لضمان كفاءة النظام على المدى الطويل والتقليل من احتمالية تسرّب وسيط التبريد خلال دورة حياة النظام. يتضمّن ذلك اختيار مواد عالية الجودة وبالتالي أقل عرضة للتلف. وتطبيق تقنيات إغلاق أو ختم مُحكمة وقوية، وتصميم وصلات ومفاصل تُقلّل من نقاط الضعف المحتملة. بالإضافة إلى ذلك يُساعد دمج عناصر احتياطية في المكونات الحرجة واستخدام أدوات محاكاة متقدّمة في تحديد مصادر التسرّب المحتملة والحدّ منها قبل التركيب.

5- أثناء عملية تصنيع مُعدّات وتجهيزات البرد وتكييف الهواء ومضخات الحرارة يمكن استخدام تقنيات متنوعة لمنع التسرّبات طوال دورة حياة هذه المُعدّات والتجهيزات. من الضروري التأكد من نظافة دارة التبريد وجفافها وإحكام إغلاقها وذلك قبل القيام بشحن أي وسيط تبريد في النظام. كما يجب أن تكون عملية شحن وسيط التبريد دقيقة مع فحص النظام بعد اكتمال الشحن. تعتبر أنظمة اختبار الضغط وفحص التخلية واختبار التسرّب من أفضل الممارسات عند تشغيل نظام جديد.

6- يتطلّب اللحام بالنحاس والذي هو عبارة عن مهارة تخصّصية للعاملين في خطوط التجميع، عنايةً فائقة بعوامل مثل شعلة اللحام، ومادة الصهر، والتسخين المسبق والتبريد. يُعدّ التدريب والممارسة أساسيين لضمان الإحكام ومنع التسرّب. إنّ استخدام آلات اللّحام الأوتوماتيكية يعزّز اتساق عملية التصنيع.

7- تقدّم معايير التصميم المحلّية والدولية إرشادات وتوصيات لدعم هذه العمليات. تتوفر العديد من معايير التصميم المحلّية والدولية لتقديم الإرشادات والتوصيات[2].

الشكل رقم 1: تصميم وتصنيع الأجهزة

[2] "ISO 5149-1:2014, - Safety' and environmental requirements - Part 1: Definitions, classification and selection criteria"; ISO, "ISO 14903:2017" - Qualification of tightness of components and joints."

ب. النقل والتخزين

8- قد تتعرض الأجهزة لظروف قاسية أثناء النقل. قد يُؤدي تصميم غير ملائم للتغليف إلى تسرّب وسيط التبريد. لذلك، وكجزء من التحقّق من صحة التصميم، يجب إخضاع المنتج المُغلّف لاختبارات الاهتزاز والصدمات التي تحاكي ظروف الطريق.

9- نظراً لكون التعامل مع الوحدات يتم في مراحل متعددة أثناء عمليات النقل والتسليم، حيث تكون عرضةً لضرر واحتمال التسرّب، يُمكن أن تمثّل مجموعة من معايير الجودة مرجعية لضمان اتباع أفضل الممارسات[3].

الشكل رقم 2: نقل وتخزين الأجهزة

ت. التركيب

10- يمثّل الاختيار الدقيق لموقع تركيب الوحدة الخطوة الحاسمة لضمان منع التسرّب بشكلٍ فعّال. هذا الموقع الذي يجب أن يسمح بدورانٍ كافٍ للهواء بالإضافة إلى سهولة الوصول للصيانة.

11- يُعدّ دور فنيي صيانة التبريد والتكييف المدرّبين والمعتمدين من جهاتٍ مستقلة، بالغ الأهميّة في كل مرحلة من مراحل التعامل مع وسيط التبريد، وخاصّةً في منع التسرّبات أثناء تركيب وتشغيل الأجهزة. يجب أن تتاح للفنيين إمكانية الوصول إلى أدوات متنوعة وعالية الجودة، مثل مفاتيح عزم الدوران ومقاييس الضغط وأجهزة كشف التسرّب. كل هذه المُعدّات ذات أهمية متساوية في منع التسرّبات، كما يجب تدريب الفنيين على مراعاة الآثار البيئية ومخاطر التسرّب، وخاصة الناجمة عن التآكل.

12- يمكن لمصنّعي الأجهزة أن يقدّموا تدريباً للفنيين المسؤولين عن التركيب أو المستخدمين للحدّ من مخاطر التركيب أو الصيانة غير السليمين، والتي قد تُؤدّي إلى انخفاض الكفاءة وتؤثر سلباً على سلامة وجودة

[3] "ISO 2248: 1985, Complete filled transport packages-Vertical impact test by dropping, IEC, "IEC 60068-2-27:2008 - Part 2-27 Tests- Shock". IEC, "IEC 60068-2-64: 2008 - Part 2-64: Tests - "Environmental testing - Part 2-64: Tests - Vibration, broadband random and guidance".

أجهزتهم، كما يعزّز مثل هذا التدريب رضى العملاء ويقلل من مطالبات الضمان.

ث. تشغيل وصيانة الأجهزة

13- يُوصى خلال مرحلة تشغيل الأجهزة ووسيط التبريد بإجراء فحوص دورية لضمان "إحكام" دارة التبريد. تبدأ عملية الفحص بتقييم بصري، يتبعه استخدام الطُرق المباشرة أو غير المباشرة لكشف التسرّب، أو مزيج من كليهما.

14- يركز الفحص البصري على تحديد علامات مثل وجود صقيع على المبادل الحراري، وتسرّب الزيت، والاهتزازات أو الضوضاء غير العادية، والتآكل وأي ضرر مادي. وفي حال أشار الفحص إلى احتمال وجود تسرّب، فيجب تحديد موقعه بدقّة باستخدام طريقة الكشف المباشر، وبعد ذلك يجب إجراء الإصلاحات المناسبة.

إحكام الإغلاق وكشف التسرّب

15- يمكن تصنيف تقنيّات الكشف عن وسائط التبريد بشكلٍ عام إلى طرق مباشرة وطرق غير مباشرة[4]. يمكن إجراء فحوصات إحكام الإغلاق بطرق مباشرة أو غير مباشرة، في حين يحتاج تحديد التسرّب إلى استخدام طريقة مباشرة للكشف عنه.

16- تتضمن الطرق المباشرة استخدام أجهزة كشف وسيط التبريد لفحص أجزاء من دارة التبريد المعرّضة للتسرّب. أو كخيار بديل يمكن استخدام سوائل الكشف أو تقنيات الغمر. تُستخدم هذه الطرق لإجراء فحوصات إحكام الإغلاق وتحديد مواقع التسرّبات بدقة، مما يمكّن من إجراء الإصلاحات اللاحقة بكفاءة.

17- تتضمن الطرق غير المباشرة الكشف عن أي خلل في أداء النظام وذلك من خلال تحليل معايير أساسيّة، مثل الضغط ودرجة الحرارة وقياس تيار الضاغط ومستويات سائل وسيط التبريد على مدى فترة زمنية محددة. تستخدم هذه الطرق خلال مراحل التصنيع والتركيب والتشغيل التجريبي والتشغيل لفحص إحكام النظام، ومع ذلك فهي غير فعالة في التحديد الدقيق لمواقع التسرّبات.

18- في حال الاشتباه بوجود تسرّب، تُستخدم الطرق المباشرة لتحديد مصدر التسرّب بدقة. تُعدّ الطرق غير المباشرة مفيدةٌ بشكلٍ خاصّ في التركيبات المعقّدة أو المُعدّات الخارجية، والتي يصعب معها استخدام أجهزة كشف التسرّب. هي عموماً أكثر ملائمةً من الطرق المباشرة لتحديد التسرّبات التي تتطور ببطء. في أنظمة الشحنة الحرجة، حيث يتم ضبط شحنة وسيط التبريد لتحقيق أعلى أداء، يصبح أي انخفاض في الأداء واضحاً بسرعة، حتى مع وجود تسرّبات صغيرة تتراوح بين 5-10 %.

[4] فريق التقييم التقني والاقتصادي TEAP " Decision XXXV/11 Task Force Report on Life-cycle Refrigerant Management"، (برنامج الأمم المتحدة للبيئة: 2024) صفحة 12.

طريقة الفحص	الوصف	الاستخدام
استشعار الهيليوم أو النيتروجين للكشف عن التسرّب	يكشف التسرّبات أثناء عملية التصنيع عن طريق إدخال غاز الهيليوم أو النيتروجين في النظام، مع وجود حساسات تقوم بتحديد أي تسرّب	الضواغط والمبادلات الحرارية والوحدات الكاملة
أجهزة كشف التسرّب المحمولة واختبارات النقع	تُستخدم للكشف عن التسرّبات في مواقع التصنيع الصغيرة. حيث يتم تحريك أجهزة كشف التسرّب المحمولة على طول المفاصل أو الوصلات للكشف عن التسرّبات، وذلك وفقاً لما توصي به معايير السلامة	أثناء التشغيل الأولي وصيانة الأجهزة في مواقع التصنيع الصغيرة
اختبارات الضغط والتخلية	توصي معايير السلامة الدولية بإجراء اختبارات الضغط والتخلية أثناء عملية التشغيل الأولي لضمان سلامة النظام	التشغيل الأولي للأنظمة الجديدة
أجهزة كشف التسرّب الأوتوماتيكية المُتحكّم بها عن بعد	فحص عينة من الهواء المحيط بالمُعدّات باستخدام حساسات الأشعة تحت الحمراء وإصدار تنبيه عند اكتشاف تسرّب وسيط التبريد	المراقبة المستمرة لتسرّبات وسيط التبريد
اختبارات الماء والصابون واختبارات الهواء المضغوط تحت الماء	يساعد في تحديد مكان التسرّبات لإصلاحها عن طريق وضع الماء والصابون أو غمر الأجزاء وضغطها بالهواء في الماء	القطاع غير الرسمي، وخاصة في دول المادة الخامسة والدول ذات الاستهلاك المنخفض

19- تعتمد فعّالية منع التسرّبات بشكلٍ كبير على توفر الأدوات المناسبة وعلى الفنيين المدربين بشكلٍ جيد. ينبغي أن يشمل هذا التدريب برامج تأهيل أو اعتماد لضمان تطبيق أفضل الممارسات، بما في ذلك الكشف عن التسرّبات.

20- في كلٍ من الدول غير الأطراف في المادة الخامسة من البروتوكول والدول الأطراف فيها على نطاقٍ أوسع، تُجرى اختبارات منع التسرّب عادةً على عدّة مراحل خلال دورة حياة الأجهزة، مع اتخاذ تدابير خاصة بكل مرحلة. يتزايد اعتماد مصنّعي مُعدّات التبريد وتكييف الهواء ومضخات الحرارة على أنظمة الكشف الإلكترونية وأنظمة كشف التسرّب باستخدام غاز الهيليوم. أصبحت ممارسات كشف التسرّب ومنع التسرّب أساسية في إجراءات الصيانة الدورية للمنشآت التجارية الكبيرة.

21- في دول المادة الخامسة الأصغر، وخاصّةً في الدول ذات الاستهلاك المنخفض، تُستخدم تقنيات كشف التسرّب بشكلٍ غير واسع في القطاع السكني بينما تُستخدم بشكلٍ أكثر شيوعاً في القطاع التجاري[5]. تُشير العديد من هذه الدول الصغيرة إلى وجود نقص في أجهزة كشف التسرّب مقارنةً بعدد الفنيين، كما تُواجه تحديات مستمرّة في صيانة ومعايرة وضمان الأداء السليم لتقنيات كشف التسرّب.

[5] فريق التقييم التقني والاقتصادي TEAP " Decision XXXV/11 Task Force Report on Life-cycle Refrigerant Management"، (برنامج الأمم المتحدة للبيئة: 2024) صفحة 34.

ثالثاً: الاسترجاع وإعادة التدوير والاستصلاح (3R)

22- يمكن أن يتم استرجاع وسيط التبريد من الأجهزة لإعادة استخدامه. في حال وجود أية مخاوف تخصّ جودة وسيط التبريد، وخاصّةً وسيط التبريد أحادي المُكوّن، فإنّ البديل الأقل تكلفةً هو استخدام أجهزة استرجاع وإعادة تدوير والشحن الخاصة بأنواع متعدّدة من وسائط التبريد. بالنسبة للملوثات فإنها تُزال من وسيط التبريد ويمكن استخدامه بعدها في موقع العمل أو في موقع آخر.

23- يمكن القيام بإزالة الشوائب عن طريق استخدام آلات الاسترجاع وإعادة التدوير والاستصلاح (3R). يمكن تعديل المزائج (الخلائط) محلياً بإضافة المكونات الناقصة. ويُعدّ هذا الخيار ثاني أقل الخيارات تكلفةً لضمان جودة وسيط التبريد، ويمكن إتمامه أيضاً دون الحاجة إلى شحن وسيط التبريد عبر سلسلة توريد عكسية.

إنشاء سلسلة التوريد العكسية

24- تُعدّ الخدمات اللوجستية لسلسلة التوريد العكسيّة ضرورية لإدارة وسيط التبريد عند انتهاء عمره الافتراضي ولممارسات الاستصلاح الأكثر تعقيداً. والتي تتجاوز مجرد الاسترجاع وإعادة التدوير والاستصلاح عن طريق المزج. تشمل هذه الخدمات القيام بجمع وسائط التبريد المسترجعة بطريقة منظمة إضافةً إلى نقلها ومعالجتها. تُمكّن هذه العملية من إعادة استخدام أو إتلاف وسائط التبريد المسترجعة وإتمام كلتا العمليتين سواء خلال مرحلة تشغيل أجهزة التبريد وتكييف الهواء ومضخات الحرارة وخاصةً عند انتهاء عمرها الافتراضي. كما تتيح إمكانية استصلاح مزائج (خلائط) وسائط التبريد المعقدة لإعادة استخدامها، أو إتلاف جميع وسائط التبريد على بطريقة سليمة بهدف تقليل الأثر البيئي.

الشكل رقم 3: سلسلة التوريد العكسي

25- قد تواجه بعض الشركات صعوبة في تبرير تمويل البنية التحتية اللازمة لسلسة التوريد العكسي وذلك لسببين رئيسيين: عدم اتساق السياسات وآليات إنفاذها، والتقلب في أسعار وسائط التبريد. إضافة إلى ذلك فإن تصنيف وسائط التبريد المسترجعة من قبل بعض الدول الأطراف في اتفاقية بازل على أنّها نفايات خطرة يشكل تحدياً أمام نقل هذه المواد، لاسيما عبر الحدود الوطنية إلى المرافق الإقليمية المخصصة لخدمات التدمير.

أ. الاسترجاع:

26- يُشار إلى عملية الاسترجاع بأنّها جمع وتخزين المواد المقيّدة الخاضعة للرقابة من الآلات والأجهزة وحاويات التخزين وما إلى ذلك، أثناء الصيانة أو قبل التخلص منها. يتطلّب الاسترجاع الفعّال عدداً من العناصر الرئيسية:

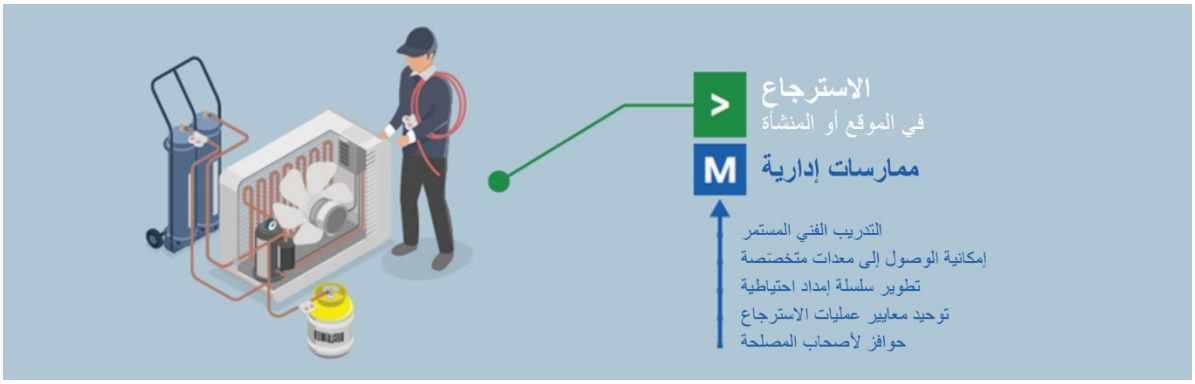
- تدريب فني مستمر وشامل لضمان التعامل السليم في عمليات التداول.
- إمكانية الوصول إلى آلات استرجاع وسائط التبريد.
- توفير إمدادات كافية من الأسطوانات القابلة لإعادة التعبئة وذلك بقصد تخزين وسيط التبريد محلياً لإعادة استخدامه عبر إعادة التدوير أو الاستصلاح عن طريق المزج.
- تطوير البنية التحتية لسلسة التوريد العكسية التي تسهّل استصلاح أو تدمير المزائج (الخلائط) المعقدة أو وسائط التبريد التي لم يعد هنالك حاجة لها.
- تفويضات أو حوافز واضحة لتشجيع أصحاب المصلحة على الانخراط في الممارسات المسؤولة للاسترجاع.

27- تعدّ مُعدّات الاسترجاع ضرورية لاستخراج وسائط التبريد من الأنظمة باستخدام طريقتين رئيسيتين:

أ- استرجاع الغاز من قسم الضغط المنخفض، وهي عملية بسيطة نسبياً ولكنها تستغرق وقتاً أطول.

ب- الاسترجاع من قسم الضغط المرتفع، وتعرف هذه الطريقة عادةً باسم طريقة "الدفع والسحب" وتعتبر أكثر تطوراً وتسمح بعملية استرجاع أسرع بكثير وذلك بفضل معدل تدفقها العالي.

الشكل رقم 4: استرجاع وسيط التبريد



28- يعد استرجاع وسيط التبريد في طور البخار الأكثر استهلاكاً للوقت في كلا النهجين، مما يستلزم استخدام جهاز استرجاع مجهّز بنظام تكثيف. تُسهّل هذه التقنيّات الخاصة بالاسترجاع عمليات الفصل والاستخلاص الفعّال لوسيط التبريد ومواد التشحيم والمواد الملوثة الأخرى. وهو أمر بالغ الأهمية لضمان الإدارة الصحيحة لوسائط التبريد وتقليل الانبعاثات.

29- لقد شهدت إمكانية الوصول إلى مُعدّات الاسترجاع وإعادة التدوير تحسناً ملحوظاً في دول المادة الخامسة وذلك نتيجةً لتوفير الأدوات والتدريب أثناء تنفيذ بروتوكول مونتريال[6]. ومع ذلك، لا تزال القدرات غير كافية، لا سيما في البلدان ذات الاستهلاك المنخفض، مما يؤدي إلى انخفاض معدلات الاسترجاع الحقيقية بشكلٍ مستمر.

30- إن مجرّد زيادة إمكانية الوصول إلى مُعدّات الاسترجاع لا يكفي لتعزيز إدارة دورة حياة وسيط التبريد LRM. عوضاً عن ذلك، فإنّه من الضروري إنشاء بنية تحتيّة متينة تتضمّن مخزوناً مناسباً، ومُدار بكفاءة من أسطوانات الاسترجاع متعددة الاستخدامات. يمكن لمرافق التخزين المركزية المجهزة بإمكانيات تخزين كبيرة أن تدعم تبادل وسائط التبريد لإعادة استخدامها. في غياب مرافق التخزين المركزية وشبكات لوجستية مماثلة، يمكن أن يلجأ الفنيون إلى إطلاق وسائط التبريد أو التخلي التام عن جهود الاسترجاع، عندما لا يطلب المستخدم النهائي الاحتفاظ بوسيط التبريد.

31- يقدم المعيار AHRI 740[7] إرشادات لتقييم أداء مُعدّات استرجاع وسيط التبريد ومُعدّات الاسترجاع وإعادة التدوير بشكلٍ خاص لوسائط التبريد غير القابلة للاشتعال. في بعض الحالات، تُفرض معايير أداء إضافية أو بديلة لعمليات التخلية على مُعدّات إعادة التدوير والاسترجاع.

إعادة الاستخدام وإعادة التدوير أو الاستصلاح؟

32- يقوم الفنيون أثناء عملية الصيانة بإعادة تدوير وسائط التبريد مستخدمين مُعدّات الاسترجاع وإعادة التدوير والاستصلاح (3R). حيث يعاد تدويرها لاستخدامها في المستقبل في أجهزة أخرى وتُستصلح عن طريق مزجها محليّاً. ومع ذلك، وبشكلٍ خاص بالنسبة للتركيبات الأكثر تعقيداً من وسائط التبريد فإنّه من الضروري تحديد تركيبها الكيميائي من خلال تحليلٍ يُجرى في الموقع باستخدام أجهزة تحديد نوع وسيط التبريد المحمولة أو في مختبرات متخصّصة تقدم خدمات تحليل شاملة.
على الرغم من توفر مجموعات التحليل التجارية وأجهزة تحديد نوع وسيط التبريد، إلّا أنّها غالباً ما تفتقر إلى القدرة على الكشف عن كامل نطاق المواد المستنفدة للأوزون (ODS)، ومركبات الكربون الهيدرو فلورية (HFCs) والهيدرو فلورو أوليفينات (HFOs). علاوة على ذلك تُظهر العديد من الأدوات فعاليّةً محدودة في تحديد الملوثات مثل ثاني أوكسيد الكربون (CO2)، والهيدروكربونات والغازات غير القابلة للتكثيف والأحماض أو مواد التشحيم (المزلّقات).

33- يُعتبر التحليل للطيف اللوني (الكروماتوغرافي الغازي) الطريقة الأكثر دقّةً في تحديد تركيب وسيط التبريد، إلّا أنّه يرتبط بتكاليف باهظة وغالباً ما يكون الوصول إليها صعباً. وذلك نظراً للحاجة إلى مُعدّات مقعّدة يقوم بتشغيلها متخصّصون مدرّبون.

---

[6] برنامج الأمم المتحدة الإنمائي، "Project Results: HCFC Phase out Management Plan"
[7] معهد تكييف الهواء والتدفئة والتبريد (AHRI) "AHRI Standard 740: Standard for Performance Rating of Refrigerant" (AHRI, 2016) "Recovery Equipment and Recovery/Recycling Equipment

علاوةً على ذلك قد يكون الحصول على عيناتٍ مرجعيّة بجودة مخبرية لأغراض المعايرة أمراً صعباً في بعض الولايات القضائية.

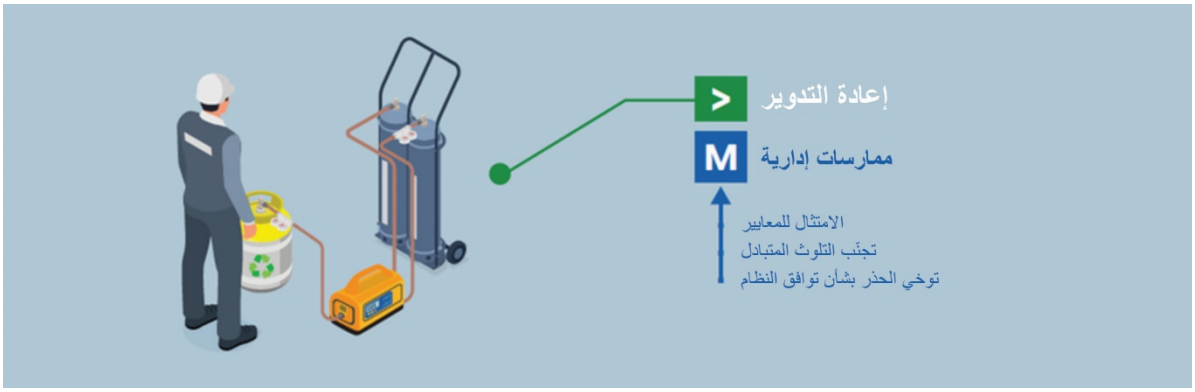
34- قد تمتلك شركات الاستصلاح التجارية الكبيرة وشركات الكيماويات وغيرها إمكانيات إجراء تحاليل داخلية أو تقدّم هذه الخدمات مقابل رسوم معينة. في بعض المناطق، يُشترط على شركات الاستصلاح التي تقوم بتوريد منتجات مطابقة لمعايير AHRI 700[8] تقديم شهادات مخبرية تُثبت أنّ المنتج المُستصلح قد تمّ اعتماده وفقاً لهذه المعايير قبل بيعه أو إعادة توزيعه. تطلب معظم الشركات الصناعية والدولية شهادة تحليل لوسيط التبريد الجديد والمستعمل قبل شرائه (COA).

ب. إعادة التدوير

35- تتضمّن عملية إعادة التدوير عملية ترشيح وتجفيف وسائط التبريد المسترجعة لإزالة الجسيمات والزيوت والرطوبة والحموضة والغازات غير القابلة للتكثيف. تُعد إعادة التدوير فعّالة بشكلٍ خاص لوسائط التبريد أحادية المكوّن. مع ذلك، فإنّ إعادة تدوير خلائط (مزائج) وسائط التبريد متعددة المكونات قد تستلزم إدخال وسيط تبريد جديد أو تطبيق عمليات التقطير وإعادة المزج لاستعادة التركيب الأصلي لوسيط التبريد.

36- تتضمّن عملية إعادة التدوير إعادة شحن وسيط التبريد مجدداً في الأنظمة التي استُرجع منها. وغالباً ما يتم هذا الإجراء في الموقع. يقدّم المعيار ISO 5149-1:2014[9] إرشادات لاستخدام وسائط التبريد المُستصلحة والمُعاد تدويرها، ومع ذلك، قد تختلف السياسات الوطنية، وقد تفرض العقود التجارية متطلّبات مختلفة فيما يتعلق بجودة وسائط التبريد المُستصلحة والمُعاد تدويرها.

الشكل رقم 5: إعادة تدوير وسيط التبريد



[8] معهد تكييف الهواء والتدفئة والتبريد (AHRI)"AHRI 700, 700C, and 700D: Specifications for Refrigerants" تم نشره في 2 أكتوبر/ تشرين الأول 2024.

[9] المنظمة الدولية للتقييس ISO " ISO 5149-1:2014 Refrigerating system and heat pumps -Safety and environmental requirements - Part 1: Definitions, classification and selection criteria"

37- بدلاً من ذلك، يمكن تخزين وسائط التبريد المُعاد تدويرها لاستخدامها لاحقاً في الموقع نفسه أو في مُعدّات ومواقع أخرى. يُعدّ هذا خياراً شائعاً لدى تجار تجزئة سلسلة التبريد وأصحاب المباني الذين يمتلكون مُعدّات وأجهزة متعددة.

38- تحتوي بعض آلات الاسترجاع المتوافرة في السوق على فلاتر وفواصل زيت ومجففات، بينما تتطلب آلات أخرى إضافة نظام خارجي. بحسب نوع المُعدّات المستخدمة أو كمية مواد التشحيم أو الرطوبة الموجودة في النظام، قد لا تتمكن أجهزة إعادة التدوير من إزالة جميع الشوائب الموجودة بشكلٍ كامل.

39- للحيلولة دون التلوث المتبادل لوسائط التبريد، يُنصح باستخدام وسائط التبريد المعاد تدويرها داخل الأجهزة التي استُرجعت منها هذه الوسائط أو في أجهزة تستخدم نفس الخليط (المزيج). إنّ إدخال وسائط تبريد جديدة أو مُسترجعة، أو خليط (مزيج) من وسائط التبريد، داخل أنظمة غير مصممة لها قد يؤثر سلباً على أداء النظام، مما يؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة وربما يتسبّب في تلف النظام.

ت. الاستصلاح

40- يُشير مصطلح الاستصلاح إلى عملية إعادة معالجة وسائط التبريد المسترجعة لإعادتها إلى مستوى أداء قياسي مُحدّد. تشمل هذه العملية تقنيات متنوعة، منها الترشيح والتجفيف والتقطير والمعالجة الكيميائيّة.

41- عادةً، تتمّ عملية الاستصلاح خارج موقع العمل ضمن مرافق مركزيّة مجهزة بالبنية التحتية والتقنيات اللازمة للتعامل الآمن مع كميات كبيرة من وسائط التبريد. صُمّمت هذه المنشآت بشكلٍ يلبي معايير تنظيمية صارمة، مما يضمن امتثال وسائط التبريد المُستصلحة لمواصفات الأداء ذات الصلة، مثل المعايير المحدّدة في معايير الصناعة كمعيار (AHRI 700). يُحدّد هذا المعيار معايير نقاء وسائط التبريد، بما في ذلك المستويات المسموح بها من الملوثات، وهو أمر بالغ الأهمية للحفاظ على كفاءة النظام وموثوقيته.

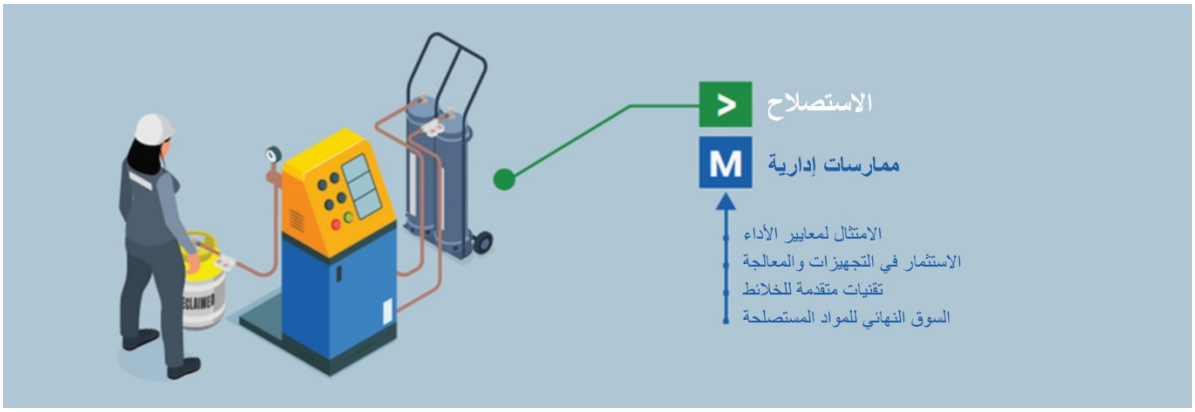
42- قد تتطلب عملية استصلاح خلائط (مزائج) وسائط التبريد إلى استثمارات ضخمة في المُعدّات، والعمليات إضافة إلى قدرات تحليلية معقدة. في حين أنّ ذلك قد يكون ممكناً في غير دول المادة الخامسة، إلّا أنّ الكميات المنخفضة من وسائط التبريد المتاحة في البلدان الأصغر المشمولة بهذه المادة غالباً ما لا تسمح بتحقيق وفورات الحجم اللازمة لتحقيق الجدوى الاقتصادية والتجارية لمعالجة وسائط التبريد المختلطة أو فصلها إلى مكوناتها.

43- تلعب عمليات استصلاح وإعادة تدوير وسائط التبريد دوراً حيوياً في خلق أسواق نهائية لوسائط التبريد المسترجعة، مما يُشجع على استرجاع وسائط التبريد من المُعدّات في نهاية دورة حياتها. في حال وجود كميات كافية، يُمكن أن يدعم بيع وسائط التبريد المسترجعة سياسات خفض استخدام وسائط التبريد عن طريق تثبيت أسعار الغازات النادرة وتمكين عمليات الإصلاح الفعالة من حيث التكلفة للمُعدّات الموجودة.

في الوقت الحالي، يتم إعادة تدوير كمية كبيرة من وسائط التبريد، بينما لا تزال عملية استصلاح وسائط التبريد محدودة بسبب انخفاض الطلب على وسائط التبريد المُستصلحة وارتفاع التكاليف المرتبطة باستصلاح وسائط التبريد المقيّدة.

44- تتطلب الخلائط (المزائج) المعقّدة من وسائط التبريد المسترجعة استخدام تقنيات استصلاح متقدّمة. مثل الفصل والتقطير التجزيئي، لعزل كل مكون على حده لإعادة استخدامه، إلّا إذا كان من المُقرر إتلاف وسيط التبريد. تُشكّل عملية استصلاح الخلائط (المزائج) تحديات إضافية، فقد تطرأ تغييرات على تركيبها وذلك نتيجة لاختلاف درجات تبخر مكوناتها، وهو ما قد يحدث عند مراحل مختلفة أثناء تسرّبات النظام، وعمليات الاسترجاع، وعند مرحلة الاستصلاح نفسها. نتيجة لذلك تتطلب الخلائط (المزائج) المستصلحة في أغلب الأحيان إعادة خلطها (مزجها) مع وسيط تبريد جديد أو وسيط تبريد مستصلح أحادي المكون وذلك في إطار تلبية المواصفات المطلوبة.

الشكل رقم 6: استصلاح وسيط التبريد



45- إنّ السياسات غير المتسقة إلى جانب تقلبات أسعار وسائط التبريد، تُشكل تحدّيات تُصعّب على الشركات تبرير الاستثمارات اللازمة في البنية التحتية لسلسة التوريد العكسي. إذ يتعيّن على وسائط التبريد المستصلحة أن تتنافس مع وسائط التبريد الجديدة من حيث السعر، وذلك لأن الأخيرة غالباً ما تكون كلفة إنتاجها أقلّ. تعتمد جدوى الاستصلاح كحل عملي إلى حد كبير على قدرة الجهات المعنية على جمع كميات كافية من وسيط التبريد في نهاية دورة حياة كلٍّ من وسيط التبريد والأجهزة. تبرز هذه المشكلة بشكلٍ خاص في البلدان النامية الصغيرة، حيث تُعيق الكميات المنخفضة من وسائط التبريد المتاحة الجدوى التجارية لعملية الاستصلاح.

رابعا: تدمير وسائط التبريد

46- تعتبر عملية التدمير الآمن بيئياً من المواد المستنفدة للأوزون (ODS) ومركبات الكربون الهيدرو فلورية (HFCs) خطوة نهائية حاسمة في الحد من انبعاثات وسيط التبريد. تتضمن عملية التدمير القيام بتفكيك وسائط التبريد إلى مكوناتها الكيميائية مع إدارة فعّالة لأيّ منتجات ثانوية سامّة يمكن أن تضر بالبيئة.

47- تم وضع "نظام العناية الجيدة"[10] في عام 1992 للحد من انبعاثات المواد المستنفدة للأوزون (ODS) في البيئة أثناء عملية التدمير. تمّ تحديث النظام وتعديله في عام 2003 لتقديم إرشادات عملية لمشغّلي مرافق التدمير المحلية الذين يتعاملون مع المواد المستنفدة للأوزون (ODS)، حيث لا يوجد محلياً إجراءات مماثلة أو أكثر صرامة. يشمل هذا النظام مجموعة من التدابير، بدءاً من مرحلة ما قبل التسليم وحتى مرحلة ما بعد التدمير، بما في ذلك التغليف السليم، وبروتوكولات النقل والتخزين. تضمن الإجراءات التفصيلية لاختبار شحنات المواد المستنفدة للأوزون والتحقق منها وتفريغها الحد من الانبعاثات البيئية إلى الحد الأدنى. في حين تعزّز الإرشادات المتخصصة للتخزين ومراقبة المخزون والكشف عن التسرّبات، السلامة بشكلٍ أكبر.

48- يتضمّن النظام معايير لتصميم وصيانة المرافق مع التركيز على أنظمة المراقبة المتقدمة لتتبّع عملية التدمير وضمان الامتثال للوائح البيئية. مع التأكيد على أهمية التدريب المنتظم لموظفي المرفق والالتزام بإرشادات النقل الدولية وتوفير التوثيق المناسب طوال العملية.

49- تتركز القدرة على تدمير وسائط التبريد في نهاية دورة حياتها بشكلٍ أساسي لدى الدول غير الخاضعة للمادة الخامسة حيث توجد مرافق متطورة وعالية الجودة للتدمير تعمل إما تجارياً أو كجزءٍ من عمليات الإنتاج الكيميائي. هذه المرافق مجهزة للتعامل مع مجموعة واسعة من النفايات الكيميائية الخطرة، بما في ذلك المواد المستنفدة للأوزون (ODS) ومركبات الكربون الهيدرو فلورية (HFCs).

50- في السنوات الأخيرة، تم تطوير هذه القدرات بشكلٍ مُتزايد في الدول الكبرى المشمولة بالمادة الخامسة. حيث يجري تكييف البيئة التحتية الصناعية الناشئة، مثل أفران الاسمنت، لتدمير وسائط التبريد باستثمارات متواضعة نسبياً. تم تسليط الضوء على أفران الاسمنت كحلٍ فعال من حيث التكلفة، مع إمكانية تطبيقه على نطاق واسع لزيادة إمكانية الوصول إلى خدمات التدمير بالقرب من مصادر التخلص من وسيط التبريد.

51- أثبتت الأفران الدوارة وأفران الاسمنت إمكانية استخدام تقنيات أصغر حجماً لإدارة وسائط التبريد الخطرة بالقرب من المصدر. وهو ما قد يُعدّ مفيداً للدول ذات الاستهلاك المنخفض التي تواجه عوائق لوجستية واقتصادية تقف عائقاً يجعل من الصعب تصدير وسائط التبريد للتخلص منها. يُمكن أن يوفر تمويل هذه التقنيات الأصغر من خلال آليات مثل تعويض انبعاثات الكربون حلاً مستداماً من خلال تغطية التكاليف المرتبطة بتأسيس قدرات التدمير في البلدان ذات الاحتياجات الأصغر.

52- على الرغم من تزايد الدعوات لاستخدام أفران الاسمنت وغيرها من المرافق لزيادة القدرة على التخلص من النفايات، إلّا أن هنالك تحديات تنظيمية كبيرة تعيق استخدامها بكفاءة. إنّ تعقيد وتنوع اللوائح الوطنية والدولية التي تنظم التخلص من النفايات الخطرة، بما في ذلك وسائط التبريد المستعملة، يخلق عوائقاً أمام تبسيط العمليات. تقوم بعض الجهات بتصنيف وساط التبريد المستعملة أو تلك التي انتهت دورة حياتها بشكلٍ مختلف عن وسائط التبريد المنتجة حديثاً، مما قد يعقّد حركة وسائط التبريد عبر الحدود إذا تمّ تصنيفها كنفايات.

[10] بروتوكول مونتريال، Montreal Protocol, Annex III: Code of good housekeeping

قد تتحول هذه العملية إلى عملية مكلفة وتستغرق وقتاً طويلاً بالنسبة للدول ذات القدرة المؤسساتية المحدودة لإدارة مثل هذه المتطلبات الإدارية.

خامساً: التخلص من وسائط التبريد

53- مع وصول أنظمة التبريد وتكييف الهواء القديمة إلى نهاية دورة حياتها، يصبح من الضروري تفكيكها والتخلص منها بطريقة تمنع انبعاثات المواد المستنفدة للأوزون (ODS) والمركبات الكربون الهيدرو فلورية (HFCs). يشمل التخلص المسؤول بيئياً من الأجهزة التي تحتوي على هذه المواد إعادة التدوير والتخلص النهائي. ذلك يتماشى مع مبادئ الاقتصاد الدائري، التي تهدف إلى تقليل الحاجة إلى المواد الخام الجديدة والحدّ من الآثار البيئية إلى أدنى حدّ ممكن.

54- إن التخلص السليم هو عبارة عن عملية منهجية تشمل فصل وسائط التبريد عن النظام، والتعامل الآمن مع أي مواد مرتبطة بها قد تشكّل مخاطر بيئية. بعد عملية الفصل هذه، يتمّ عادةً تفكيك الأجهزة في بيئة خاضعة للرقابة، لضمان إدارة أي وسائط تبريد متبقية أو مواد خطرة بشكلٍ مناسب، ومنع أي تسرّب غير مقصود للغازات أثناء عملية التخلص.

55- بعد إزالة وسائط التبريد وتفكيك الأجهزة، تتضمن المرحلة التالية التخلص المادي من المكونات المتبقية. يمكن أن يشمل ذلك التقطيع أو الحرق أو غيرها من الطرق التي تتوافق مع اللوائح البيئية.

56- تشترط العديد من التشريعات تسجيل عمليات التعامل مع هذه الأجهزة والإبلاغ عنها لضمان الشفافية والالتزام بالمعايير البيئية. لا تقتصر أهمية هذه الوثائق على كونها إجراءً للامتثال فحسب بل تُستخدم أيضاً لتتبع التقدّم المُحقّق في الحد من الأثر البيئي لوسائط التبريد وتعزيز المساءلة داخل هذه الصناعة.

57- تؤكّد الشراكة من أجل العمل على التحديات المتعلقة بالنفايات الإلكترونية (PACE II) المنبثقة عن اتفاقية بازل بشأن التحكّم في نقل النفايات الخطرة عبر الحدود والتخلص منها، على ضرورة دمج إعادة الاستخدام وإعادة التدوير والتجديد في دورة حياة النفايات الإلكترونية، والتي تشمل أيضاً مُعدّات التبريد والتكييف. تعمل الشراكة على تطوير وثيقة إرشادية فنية للإدارة السليمة بيئياً لأجهزة التبريد وتكييف الهواء ومضخات الحرارة المستعملة والمنتهية العمر الافتراضي بهدف توفير نهج شامل وموحد لإدارة هذه الأجهزة في نهاية عمرها الافتراضي[11].

58- تُعدّ إعادة الاستخدام أحد المحاور الرئيسية لدليل (PACEII)، والذي يتضمن تقييم واختبار الأجهزة لتحديد مدى ملاءمتها للاستخدام المستمر.

[11] "Partnership for Action on Challenges relating to E-waste"، و(القرار BC-15/22 الفقرة I للدول الأطراف في اتفاقية بازل بشأن التحكم في نقل النفايات الخطرة عبر الحدود والتخلص منها).

لا تقتصر هذه العملية على إطالة عمر الأجهزة فحسب، بل تدعم أيضاً إنشاء أسواق ثانوية، لا سيما في المناطق التي يكون فيها الوصول للتقنيات ذات الأسعار المقبولة محدوداً. يُحدّد الدليل معايير محدّدة لتقييم أداء وجودة وسلامة الأجهزة المعاد استخدامها. مما يضمن استيفاءها للمتطلبات اللازمة مع الحفاظ على خصوصية البيانات من خلال بروتوكولات مسح البيانات المعترف بها دولياً.

59- في حال عدم استيفاء نتائج الاختبارات الأولية لمعايير الجودة اللازمة لإعادة الاستخدام، يجب فصل الأجهزة وتوجيهها نحو التجديد أو الإصلاح. إذا كان من المتوقع مسبقاً أن يكون التجديد أو الإصلاح غير مناسب، فيجب إرسال الأجهزة والمكونات إلى منشأة لمعالجة النفايات لإدارتها بطريقة سليمة بيئياً.

60- يُسلّط الدليل الضوء أيضاً على إبراز أهمية الإصلاح والتجديد كعنصر أساسي في الإدارة المستدامة للأجهزة. تُساهم عملية التجديد في إطالة عمر الثلاجات وأجهزة التبريد عن طريق استبدال أو ترقية المكونات التي لم تعد صالحة للعمل. يُقدم دليل (PACE II) إجراءات مفصّلة لاختبار واستعادة المكونات الرئيسية كما يقدّم إرشادات حول إنشاء أنظمة لتصنيف الأجهزة المُجدّدة بناءً على حالتها وعمرها الافتراضي المتبقي.

61- بمجرد أن يصبح الجهاز غير قابل لإعادة الاستخدام، ينُصّ الدليل من حيث المبدأ، على أنّه لا ينبغي بأي حال من الأحوال إعادة أي أجهزة إلى السوق تحتوي على مواد خاضعة للرقابة سواءً وسائط تبريد أو عوامل نفخ. يجب فحص لوحة البيانات للتأكّد من نوع الغازات المستخدمة. في حال عدم وجود لوحة بيانات أو عدم وضوحها، يجب رفض إعادة استخدام الجهاز.

62- عندما يتعذّر إعادة استخدام وإصلاح الأجهزة أو تجديدها، يدعو دليل (PACE II) إلى إعادة تدويرها لاستخلاص المواد القيّمة الموجودة ضمنها مثل المعادن والبلاستيك والمكونات الالكترونية. ومن خلال تحديد أفضل الممارسات لاستعادة المواد وإدارة المواد الخطرة، يضمن هذا الدليل التزام عمليات إعادة التدوير بأعلى المعايير البيئية. كما يؤكد على أهمية إدارة المواد الضارة مثل المواد المستنفدة للأوزون (ODS) ومركبات الكربون الهيدرو فلورية (HFCs)، والرصاص والزئبق بما يتماشى مع الاتفاقيات الدولية مثل اتفاقية بازل، وبروتوكول مونتريال واتفاقية ميناماتا. يُوصى باستخدام تقنيات إعادة التدوير المتقدمة، بما في ذلك التقطيع الميكانيكي والترشيح الكيميائي، لتحقيق أقصى قدر من استعادة المواد مع تقليل الأضرار البيئية إلى أدنى حد.

63- في الحالات التي يتعذر فيها إعادة تدوير الأجهزة، يُوفر دليل (PACE II) بروتوكولات صارمة للتخلص النهائي منها. يعطي هذا الدليل الأولوية لإزالة والتخلص من وسائط التبريد الفلوروكربونية ووسائط التبريد الكربون الهيدرو فلورية وعوامل النفخ الموجودة في المُعدّات والأجهزة، من خلال عمليات سليمة بيئياً تمنع التلوث. على الرغم من أن الحرق والدفن يعتبران خيارين أخيرين، إلّا أن الدليل يقدم معايير تفصيلية لهاتين الطريقتين لضمان الامتثال للوائح البيئية الدولية. يُوصى بالاستعانة بمرافق التخلص المعتمدة لمعالجة وإدارة المكونات والمواد الخطرة بأمان وفعالية.

64- تتضمن إرشادات دليل (PACE II) أحكاماً تتعلق بالصحة والسلامة أثناء عمليات التخلص من النفايات. بالإضافة إلى تدابير الوقاية من الحرائق والانفجارات وغيرها من التدابير الوقائية لضمان السلامة التشغيلية للأنظمة التقنية، من الضروري اتخاذ تدابير شاملة لحماية الموظفين المشاركين في هذه العمليات.

65- تعتبر الصحة والسلامة مسألة أساسية في جميع القطاعات التجارية والصناعية. حيث تتم عادةً معالجة الثلاجات وأجهزة التبريد والتدفئة على نطاق صناعي واسع، لذلك، يجب تطبيق جميع قواعد الصحة والسلامة العامة في هذا المجال وفقاً للقوانين الوطنية. تحدّد الإرشادات المخاطر المتعلقة بمرافق التخلص من النفايات، على سبيل المثال التعامل مع الغازات المبردة والمسيّلة كوسائط التبريد وعوامل النفخ وربما النتروجين السائل. يقترح الدليل تدابير وقائية مناسبة للوقاية من المخاطر الميكانيكية التي قد يتعرض لها الأفراد أثناء التشغيل العادي وخاصّةً أثناء أعمال الإصلاح والصيانة واستكشاف الأعطال وإصلاحها.

اتفاقية فيينا

بروتوكول مونتريال

بروتوكول مونتريال (أمانة الأوزون)

برنامج الأمم المتحدة للبيئة

شارع الأمم المتحدة، جيجيري

نيروبي 00100، كينيا

mea-ozoneinfo@un.org

النسخة العربية

برنامج عمل الأوزون في غرب آسيا

تم اتخاذ جميع التدابير المعقولة للتحقق من دقة المعلومات الواردة في هذا المنشور وسلامتها. ومع ذلك، فإن برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) لا يقدّم أي ضمانات، صريحة أو ضمنية، بشأن دقة هذه المعلومات أو اكتمالها، ولا يتحمّل أي مسؤولية عن أي خسارة أو ضرر قد ينجم، بصورة مباشرة أو غير مباشرة، عن استخدام هذا المنشور أو الاعتماد على محتواه، بما في ذلك أي ترجمات له إلى لغات أخرى. وفي حال وجود أي تعارض أو اختلاف في التفسير أو المعنى، يُعتدّ بالنسخة الإنجليزية بوصفها المرجع الرسمي المعتمد.