

Distr.: General
28 May 2019

Arabic
Original: English

اتفاقية استكهولم بشأن الملوثات العضوية الثابتة



لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة
الاجتماع الخامس عشر
روما، ١-٤ تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٩
البند ٥ (أ) من جدول الأعمال المؤقت*
العمل التقني: النظر في تقييم إدارة المخاطر بشأن
حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني (PFHxS)
وأملاحه والمركبات المرتبطة به

مشروع تقييم إدارة المخاطر: حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة
به

مذكرة من الأمانة

أولاً - مقدمة

١ - في الاجتماع الرابع عشر للجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة اعتمدت اللجنة المقرر ل.١.٤-١/١ بشأن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به (انظر UNEP/POPS/POPRC.14/6، المرفق الأول). وفي الفقرة ٣ من ذلك المقرر، قررت اللجنة إنشاء فريق عامل فيما بين الدورات لإعداد تقييم إدارة مخاطر يشتمل على تحليل تدابير الرقابة الممكنة للحمض وأملاحه والمركبات المرتبطة به، طبقاً للمرفق واو من الاتفاقية.

٢ - ووفقاً للمقرر ل.١.٤-١/١ وخطة العمل لإعداد مشروع تقييم إدارة المخاطر التي اعتمدها اللجنة (UNEP/POPS/POPRC.14/6، المرفق الثالث)، أعد الفريق العامل فيما بين الدورات مشروع تقييم إدارة مخاطر بشأن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به، يرد في مرفق هذه المذكرة ويُعرض بدون تحرير رسمي. ويرد تجميع التعليقات والردود المتعلقة بمشروع تقييم إدارة المخاطر في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.15/INF/5.

ثانياً- الإجراء المقترح

٣ - قد ترغب اللجنة في أن تقوم بما يلي:

(أ) أن تعتمد مشروع تقييم إدارة المخاطر الوارد في مرفق هذه المذكرة، مع أي تعديلات عليه؛

(ب) أن تقرر، وفقاً للفقرة ٩ من المادة ٨ من الاتفاقية، وعلى أساس موجز المخاطر الذي اعتمده

اللجنة في اجتماعها الرابع عشر (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1)، وتقييم إدارة المخاطر، ما إذا كان ينبغي توصية مؤتمر الأطراف بالنظر في إدراج حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به، في المرفق ألف و/أو باء و/أو جيم بالاتفاقية.

حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه
والمركبات المرتبطة به

مشروع تقييم إدارة المخاطر

حزيران/يونيه ٢٠١٩

جدول المحتويات

٥	موجز تنفيذي
٧	١ - مقدمة
٧-١	الهوية الكيميائية لحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به ..
٩-١	استنتاجات لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة، المعلومات الواردة في المرفق هاء .
٩-٣	٣-١ مصادر البيانات
٩-٤	٤-١ حالة المادة الكيميائية في إطار الاتفاقيات والمنظمات الدولية
٩-٥	٥-١ إدارة المخاطر على الصعيد الوطني والإقليمي
١٢	٢ معلومات موجزة تتعلق بتقييم إدارة المخاطر
١٧-١	١-٢ تحديد تدابير الرقابة الممكنة
١٩-٢	٢-٢ فعالية ونجاعة تدابير الرقابة الممكنة في تحقيق أهداف خفض المخاطر
٢١-٢-١	١-٢-٢ الجدوى التقنية
٢١-٢-٢	٢-٢-٢ تكاليف تنفيذ تدابير الرقابة وفوائدها
٢٢-٣	٣-٢ معلومات عن البدائل (المنتجات والعمليات) حسب الاقتضاء
٢٢-٣-١	١-٣-٢ المواد البديلة ذات التطبيقات المحددة
٢٤-١-٣-٢	١-٣-٢-١ الرغوة التي تكون طبقة مائية رقيقة
٢٨-١-٣-٢	٢-٣-٢-١ الطلاء المعدني
٣٠-١-٣-٢	٣-٣-٢-١ المنسوجات بما في ذلك الجلود والمنجّادات
٣١-٤-١-٣-٢	٤-٣-٢-١ عوامل التلميع وعوامل التنظيف/الغسل بما في ذلك الطلاءات والتشريب/التصميد (للحماية من الرطوبة، الفطريات، الخ) ...
٣٢-١-٣-٢	٥-٣-٢-١ تصنيع الإلكترونيات وأشياء الموصلات
٣٣-٢-٣-٢	٢-٣-٢-٢ الاستخدامات الأخرى
٣٣-٤-٢	٤-٢ موجز المعلومات عن آثار تنفيذ تدابير الرقابة الممكنة على المجتمع
٣٤-١-٤-٢	١-٤-٢ الصحة، بما ذلك الصحة العامة والبيئية والمهنية
٣٦-٢-٤-٢	٢-٤-٢ الزراعة بما في ذلك تربية الأحياء المائية والغابات
٣٧-٣-٤-٢	٣-٤-٢ الجوانب الاقتصادية والتكاليف الاجتماعية
٤١-٤-٤-٢	٤-٤-٢ التحرك صوب التنمية المستدامة
٤١-٥-٢	٥-٢ الاعتبارات الأخرى
٤١-٥-٢	١-٥-٢ إمكانية الوصول إلى المعلومات وتثقيف الجمهور
٤٢-٥-٢	٢-٥-٢ حالة الرقابة والقدرة على الرصد
٤٣	٣- جميع المعلومات
٤٣-١	١-٣ تلخيص معلومات موجز المخاطر
٤٤-٢	٢-٣ موجز معلومات تقييم إدارة المخاطر
٤٥-٣	٣-٣ التدابير المقترحة لإدارة المخاطر
٤٦	٤ - البيان الختامي
٤٧	المراجع

موجز تنفيذي

١- قدمت النرويج في أيار/مايو ٢٠١٧ مقترحاً لإدراج حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به في المرفق ألف و/أو باء و/أو جيم لاتفاقية استكهولم. واستعرضت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة المقترح (UNEP/POPS/POPRC.13/4) واعتمدت المقرر ل.١.ث-٣/١٣ في اجتماعها الثالث عشر في تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٧. وقررت اللجنة إنشاء فريق عامل فيما بين الدورات لإعداد مشروع موجز مخاطر بشأن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به لكي ينظر فيه في اجتماعه الرابع عشر الذي عقد في أيلول/سبتمبر ٢٠١٨. واعتمدت اللجنة موجز المخاطر (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) وأنشأت فريقاً عاملاً فيما بين الدورات لكي يعد تقييماً لإدارة المخاطر يتضمن تحليلاً لتدابير الرقابة الممكنة لهذا الحمض وفقاً للمرفق واو من الاتفاقية، لكي تنظر فيه في اجتماعها الخامس عشر.

٢- وتشمل المواد التي يتناولها تقييم إدارة المخاطر هذا حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني (الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية: ٤-٤٦-٣٥٥) وأملاحه والمركبات المرتبطة به، وتُعرّف بأنها أية مادة تحتوي على الشق الكيميائي $C_6F_{13}SO_2$ كأحد عناصرها التركيبية والتي من المحتمل أن تتحلل مكونة الحمض.

٣- وفي الماضي كان المنتج الرئيسي لهذه المادة هو شركة ثري إم (3M)، التي تخلصت تدريجياً من إنتاج حموض السلفونيك البيرفلوروألكيلية السداسية والثمانية والعشارية الكربون في عام ٢٠٠٢. ولا تتوفر سوى معلومات محدودة عن تصنيع حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به على الصعيد العالمي في الوقت الحالي. وقد جرى تحديد بعض المنتجين الموجودين في الصين إلا أن البيانات عن كمية الإنتاج غير متاحة للعموم. وقد أُدرج حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه وكثير من المركبات المرتبطة به في قوائم الجرد الوطنية للمواد الكيميائية مما يدل على إنتاج منتجات تحتوي على هذه المواد في تلك البلدان و/أو استيرادها إليها و/أو استخدامها فيها في السابق أو في الوقت الحالي.

٤- واستخدم حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به عن عمد في التطبيقات التالية على الأقل: (١) الرغاوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة والتي تستخدم في مكافحة الحرائق؛ (٢) الطلاء المعدني؛ (٣) المنسوجات والجلود والمنجّات؛ (٤) عوامل الصقل وعوامل التنظيف/الغسل؛ (٥) الطلاءات والتشريب/التصميد (للحماية من الرطوبة والفطريات وما إلى ذلك)؛ (٦) في صناعة الإلكترونيات وأشبه الموصلات. إضافةً إلى ذلك فإن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به استُخدمت في بعض المنتجات الاستهلاكية القائمة على مواد ألكيلية بيرفلورية ومتعددة الفلور (PFASs). وقد أُنتج ولا يزال يُنتج حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني بصورة عرضية خلال عمليات الفلورة الكهروكيميائية لبعض حموض السلفونيك البيرفلوروألكيلية الأخرى. وفي العديد من التطبيقات استخدم الحمض كبديل لحمض السلفونيك البيرفلوروكتاني (PFOS). وتتوفر بدائل لجميع فئات الاستخدام المحتملة.

٥- وتشير المعلومات المحدودة المتوفرة عن الاستخدام المتعمد للحمض والمركبات المرتبطة به إلى أن هذه الاستخدامات مشابهة لاستخدامات حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني وحمض البيرفلوروكتانويك. ويشير تقييم بدائل حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني وأملاحه وفلوريد السلفونيل البيرفلوروكتاني وكذلك حمض البيرفلوروكتانويك إلى توفر بدائل مجدية تقنياً ومستخدمة بالفعل في جميع التطبيقات. علاوةً على ذلك، لم يقدم أي طلب للحصول على إعفاءات بسبب استخدام حرج لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني أو أملاحه أو المركبات المرتبطة به خلال عملية التقييم التي تجريها لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة مما يدل على أن الانتقال نحو استخدام البدائل الكيميائية والحلول التقنية غير الكيميائية هو أمر ممكن.

٦- وتركز أنشطة النهج الاستراتيجي للإدارة الدولية للمواد الكيميائية على الصعيد العالمي على جمع وتبادل المعلومات بشأن المواد الكيميائية البيرفلورية ودعم الانتقال إلى بدائل أكثر أماناً. وفي الولايات المتحدة بُذلت جهود طوعية للتخلص التدريجي من المواد البيرفلوروألكيلية الطويلة السلسلة والمركبات ذات الصلة (بما في ذلك حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني). وفي عام ٢٠١٧

جرى تحديد حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه في الاتحاد الأوروبي على أنها مواد مثيرة للقلق البالغ الشدة ومن ثم أضيفت إلى قائمة المواد المرشحة للإدراج في لائحة تسجيل المواد الكيميائية وتقييمها والترخيص لها وفرض قيود عليها في الاتحاد الأوروبي. وفي عام ٢٠١٨ سُرع في عملية تقييد للحمض وأملاحه في الاتحاد الأوروبي.

٧- وينتشر حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني على نطاق واسع جداً في المكونات البيئية مثل المياه السطحية ومياه الأعماق في البحار ومياه الشرب ومحطات معالجة المياه المستعملة ورشاحة مدافن القمامة والرواسب والمياه الجوفية والتربة والغلاف الجوي والغبار وكذلك الكائنات الحية (بما فيها الكائنات الحية البرية)، والبشر على الصعيد العالمي. وتحدث انبعاثات الحمض إلى البيئة أثناء جميع مراحل دورته، ولكن يُعتقد أنها تبلغ أوجها أثناء استخدامه وفي مرحلة النفايات. بيد أنه اتضح أن إطلاقات كبيرة من الحمض تحدث من محطات التصنيع.

٨- وتشير تقديرات عمليات جرد الانبعاثات العالمية إلى أن التركيزات البيئية لفلوريد السلفونيل البيرفلوروهكساني الخام ومشتقاته من المتوقع أن تستمر لعقود من الزمن، وأن المناطق البعيدة عن مناطق المصدر لم تصل بعد إلى ذروة التركيزات المقدرة لها. وسيكون من الضروري اتخاذ تدابير رقابة فعالة للتعامل مع النفايات للحد من مستويات هذه المواد في البيئة.

٩- واستناداً إلى المعارف الحالية يمكن توقع استعاضة الصناعة عن استخدام حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به دون تكبد أي تكاليف اقتصادية واجتماعية كبيرة. إضافةً إلى ذلك، وبما أن الفوائد فيما يتعلق على سبيل المثال بانخفاض تكاليف التخفيف والتنظيف من المتوقع أن تكون فوائد كبيرة فإن من المنتظر أن تفوق الفوائد العامة لحظر أو تقييد استخدام حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني التكاليف المتوقعة. وتشير التقديرات إلى ارتفاع تكاليف إصلاح مواقع التدريب على استخدام رغاوى مكافحة الحرائق والمطارات ومدافن القمامة المخصصة للنفايات (وخاصةً تلك التي تُدفن فيها نفايات صناعية ونفايات خطرة)، وكذلك ارتفاع تكاليف إزالة المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور (بما في ذلك حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني) من مياه الشرب ومصادر المياه بالقرب من هذه المواقع.

١٠- يمكن توقع آثار إيجابية على صحة الإنسان والبيئة نتيجة للقضاء على حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به. ولذلك فإن أكثر تدابير الرقابة فعالية يتمثل في إدراج هذه المواد في المرفق ألف للاتفاقية دون منح إعفاءات للإنتاج والاستخدام.

١-١ الهوية الكيميائية لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني

١١- جرى بيان الهوية الكيميائية لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني في موجز المخاطر (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) وهي تتماشى مع المقرر الذي اتخذ في الاجتماع الثالث عشر للجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة (المقرر ل.١.ث-٣/١٣). وتشمل الهوية الكيميائية ما يلي:

(أ) حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني (الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية: ٤-٤٦-٣٥٥)؛

(ب) أية مادة تحتوي على الشق الكيميائي $C_6F_{13}SO_2$ كأحد عناصرها التركيبية، المحتمل أن تتحلل إلى حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني.

١٢- وتضم مجموعة حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به عدداً من المركبات الكيميائية بما فيها الأيسومرات. وقد وضعت منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي قائمة جديدة بالمواد الكيميائية البيرفلورية والمتعددة الفلور التي تحتوي على ٤٧٣٠ مادة، وتشتمل هذه القائمة على مواد وسلاتف وبوليمرات مرتبطة بحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني (http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV-JM-MONO(2018)7&doclanguage=en) علاوةً على ذلك فإن مقترح تقييد استخدام هذه المواد الذي وُضع في إطار لائحة تسجيل المواد الكيميائية وتقييمها والترخيص لها وفرض قيود عليها في الاتحاد الأوروبي يتضمن ١٤٧ مركباً من مركبات هذا الحمض (EHCA 2019b). وقُدمت القائمة غير الحصرية المشتملة على ١٤٧ مركباً من مركبات الحمض مع الرسالة التي يطلب فيها تقديم معلومات المرفق واو والتي أرسلتها الأمانة إلى الأطراف والمراقبين في أيلول/سبتمبر ٢٠١٨. وجمعت هذه القائمة المشتملة على حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به، وكذلك البوليمرات والمزائج، من قاعدة بيانات المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور التي حدتها منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي وأدرجت في التذييل الثاني (القوائم غير الحصرية لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني والمواد المرتبطة به المحددة في تقرير وكالة البيئة النرويجية "M-792") بمرفق الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4.

١٣- ويتضمن الجدول ١ أدناه معلومات عن الهوية الكيميائية لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني، بينما يتضمن الجدول ٢ قائمة بخصائصه الفيزيائية والكيميائية المنمذجة والتجريبية.

الجدول ١ - الهوية الكيميائية لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني

الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية:	٤-٤٦-٣٥٥
الاسم لدى الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية:	1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,6-tridecafluorohexane-1-sulfonic acid
الرقم لدى المفوضية الأوروبية:	١-٥٨٧-٢٠٦
الاسم لدى المفوضية الأوروبية:	حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني
الصيغة الجزيئية:	$C_6F_{13}SO_3H$
الوزن الجزيئي:	٤٠٠,١١
المرادفات:	PFHxS PFHS حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,6-Tridecafluorohexane-1-sulfonic acid; Tridecafluorohexane-1-sulfonic acid; 1-Hexanesulfonic acid, 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,6-tridecafluoro-; 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,6-Tridecafluoro-1-hexanesulfonic acid; Tridecafluorohexanesulfonic acid;
الأسماء التجارية لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به	RM70 (الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية: ٧-٥٠-٤٢٣)، و RM75 (الرقم: ٦-٩٩-٣٨٧١) و RM570 (الرقم: ١-١٣-٤١٩٩٧) (مركبات مرتبطة بحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني كانت تنتجها سابقاً شركة ميتيني سبا (Miteni SpA) بإيطاليا). العامل الكيميائي الفلوري الخافض للتوتر السطحي FC-95 تحت علامة فلوراد (Fluorad) (الرقم في سجل دائرة المستخلصات: ٦-٩٩-٣٨٧١) الذي يحتوي على سلفونات بيرفلوروهكسان بوتاسيوم (PFHxSK) وكانت تنتجها سابقاً شركة مينيسوتا للتعبدين والتصنيع.

الجدول ٢ - عرض عام لخواص فيزيائية وكيميائية ذات صلة لحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني

الخاصية	القيمة	المراجع
الحالة الفيزيائية عند درجة حرارة ٢٠م وضغط ١٠١,٣ كيلو باسكال	مسحوق صلب أبيض بالنسبة لسلفونات بيرفلوروهكسان بوتاسيوم	على النحو المشار إليه في ECHA, 2017a (قدمتها الشركة)
نقطة الانصهار	٣٢٠ ك (٤١ س)	Kim et al., 2015
نقطة الغليان	٢٣٨-٢٣٩ س	Kosswig, 2000 (بيانات مقيسة)
ثابت التفكك	٣,٤٥- ٠,٥±٣,٣- ١,٣±٥,٨-	Wang et al., 2011a (COSMOtherm) ACD/Percepta 14.2.0 (Classic) ACD/Percepta 14.2.0 (GALAS)
ضغط البخار	٥٨,٩ باسكال (٠,٠٠٤٦ ملم زئبق)	Wang et al., 2011a (COSMOtherm)*
قابلية الذوبان في الماء	٤,١ غ/ل (سلفونات بيرفلوروهكسان بوتاسيوم؛ عند درجة ٢٠-٢٥ مئوية) ٢,٣ غ/ل (غير متأين)	Campbell et al., 2009 (بيانات مقيسة) Wang et al., 2011a (COSMOtherm)*
معامل التفرق في الهواء/الماء (القيمة اللوغارتمية)	٢,٣٨-	Wang et al., 2011a (COSMOtherm)*
معامل التفرق في الأوكتانول/الماء (القيمة اللوغارتمية)	٥,١٧	Wang et al., 2011a (COSMOtherm)*
معامل التفرق في الأوكتانول/الهواء (القيمة اللوغارتمية)	٧,٥٥	Wang et al., 2011a (COSMOtherm)*
معامل التفرق في الكربون العضوي/الماء (القيمة اللوغارتمية)	٢,٠٥ ٢,٤٠ ٢,٣١ (النطاق ١,٨ - ٢,٧٦)	Guelfo and Higgins, 2013 (بيانات مقيسة) D'Agostino & Mabury, 2017 (مقيسة) Chen et al., 2018 (بيانات ميدانية)

* تشير التقديرات الواردة في تقرير Wang et al. (2011a) إلى الصيغة المتعادلة لحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني فقط. وتجدر الإشارة إلى أن حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني يوجد بالصيغة الأيونية في الظروف البيئية بسبب انخفاض ثابت تفككه. ولذلك فلوصف توزيع كل من النوعين المتعادل والأيوني للحمض في البيئة يتعين تحويل معامل التوزيع المقدر للصيغة المتعادلة إلى مختلف نسب التوزيع (Wang et al. (2011a) و Schwarzenbach et al. (2002).

١٤ - وأبلغ عن طرق تحليلية للكشف عن حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني في الأدبيات، وهي طرق يمكن استخدامها عموماً لقياس الحمض والمواد الألكيلية البيروفلورية والمتعددة الفلور في جل الوسائط البيئية (للاطلاع على التفاصيل انظر UNEP/POPS/POP/RC.14/INF/4). وعلى الرغم من عدم وجود طرق تحليل موحدة في الوقت الحالي فإنه يمكن استخدام طريقة (CEN/TS 15968) الخاصة بحمض السلفونيك البيروفلوروكثاني في المواد الصلبة المطلية والمشربّة، والسوائل، ورساوى مكافحة الحرائق لتحديد مستويات الأشكال الأيونية لحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به. ويبين الجزء الأول من المعيار (ISO 23702-1: 2018 09 15) -- الجلود -- الفلور العضوي كشف وتحديد كميات المواد البيروفلورية والمتعددة الفلور القابلة للاستخلاص المتعادلة والأيونية ذات السلسلة الطويلة والمتوسطة والقصيرة في الجلود والجلود المطلية. أما المعيار (ISO 25101) فيبين الطريقة التحليلية لحمض البيروفلوروكثاني وحمض السلفونيك البيروفلوروكثاني في الماء. كذلك شُرِع في عمل يتعلق بتوحيد هذه الطرق على الصعيد العالمي ويشمل ٢٧ مادةً من المواد الألكيلية البيروفلورية والمتعددة الفلور في الماء (https://www.anses.fr/en/system/files/EAUX2018SA0027EN.pdf). وفيما يخص المركبات المتعادلة المتطايرة المرتبطة بحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني أبلغ هيرك وآخرون (٢٠١٢) عن الكشف عن هذا الحمض والمركبات المرتبطة به باستخدام أدوات تحليلية مختلفة (GC/PCI-MS). ويعيق الافتقار إلى طرق موحدة للكشف عن حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وعدم توفر معايير تحليلية معتمدة للمركبات المرتبطة بهذا الحمض الرقابة على هذا المنتج في السوق. كذلك لا توجد طرق موحدة للكشف عن فرادى المواد المرتبطة بحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني. بيد أنه تتوفر تجارياً طرق غير موحدة للكشف عن السلائف الكلية لهذا الحمض منها الفلور العضوي الكلي القابل للاستخلاص (EOF) أو السلائف الكلية القابلة للأكسدة (TOP) (مثلاً: (https://www.eurofins.se/media/1568225/top_precursor_short_facts_170613.pdf).

٢-١ استنتاجات لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة، المعلومات الواردة في المرفق هاء

١٥- قدمت النرويج في أيار/مايو ٢٠١٧ اقتراحاً بإدراج حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به في المرفق ألف و/أو باء و/أو جيم بالاتفاقية. واستعرضت اللجنة في اجتماعها الثالث عشر الاقتراح (UNEP/POPS/POPRC.13/4) وقررت إنشاء فريق عامل فيما بين الدورات لإعداد مشروع موجز مخاطر بشأن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به (المقرر ل.١.٣-ث.٣/١٣). وقد اعتمدت اللجنة في اجتماعها الرابع عشر موجز المخاطر (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) وخلصت إلى أن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به من المرجح أن تُحدث، نتيجة لانتقالها البيئي البعيد المدى، آثاراً شديدة الضرر بصحة البشر والبيئة، مما يستلزم اتخاذ إجراء عالمي بشأنها (المقرر ل.١.٤-ث.١/١٤). وأنشأت اللجنة أيضاً فريقاً عاملاً فيما بين الدورات لإعداد تقييم لإدارة المخاطر يشتمل على تحليل لتدابير الرقابة الممكنة على حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وفقاً للمرفق واو للاتفاقية، لكي تنظر فيه في اجتماعها الخامس عشر.

٣-١ مصادر البيانات

١٦- وُضِع تقييم إدارة المخاطر باستخدام المعلومات الواردة في موجز المخاطر (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) ومعلومات المرفق واو التي قدمتها الأطراف والمراقبون. ووردت المعلومات من الأطراف والمراقبين التاليين: ألمانيا، وجمهورية كوريا، والسويد، وكندا، والمملكة المتحدة، والهند، واليابان، ورابطة التصوير والصناعة في أوروبا، والشبكة الدولية للتخلص من الملوثات العضوية الثابتة، ومنظمة العمل المجتمعي المعنية بالمواد السامة في ألاسكا. ويمكن الاطلاع على جميع هذه المعلومات في المرفق واو المقدمة على موقع الاتفاقية على الإنترنت^(١).

١٧- وقد أدرجت الكتابات العلمية التي استخلصت من قواعد البيانات العلمية مثل الموقع الشبكي لمعهد الدراسات الدولي للعلوم والشؤون الطبية، وكذلك المعلومات الأخرى المتاحة للعامة مثل التقارير الحكومية، وتقييمات المخاطر والأخطار، وصحائف وقائع دوائر الصناعة، إلخ.

٤-١ حالة المادة الكيميائية في إطار الاتفاقيات والمنظمات الدولية

١٨- حُدِدت المواد الكيميائية البيرفلورية في إطار النهج الاستراتيجي للإدارة الدولية للمواد الكيميائية على أنها مسألة مثيرة للقلق. وتتركز الجهود على جمع وتبادل المعلومات بشأن المواد الكيميائية البيرفلورية ودعم الانتقال إلى بدائل أكثر أماناً (<http://www.saicm.org/tabid/5478/Default.aspx>). وقدمت منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي مؤخراً لمحة عامة عن نُهج الحد من المخاطر بالنسبة للمواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور في مختلف البلدان (OECD, 2015). وبينت الردود الواردة من البلدان المشاركة أن نُهج الحد من مخاطر المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور مشمولة أساساً ضمن الأطر التنظيمية الوطنية و/أو الإقليمية القائمة، وتغطّي بصورة رئيسية المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور الطويلة السلاسل وسلائفها وأملاحها. وتختلف النهج المتبعة للحد من المخاطر من بلد لآخر، إلا أنها تتضمن عادة الجمع بين النهج الطوعية والتنظيمية.

٥-١ إدارة المخاطر على الصعيد الوطني والإقليمي

١٩- وفي عام ٢٠١٧، اعتُبر حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه مواداً مثيرة للقلق البالغ الشدة في الاتحاد الأوروبي، وأضيفت كمواضع مرشحة للإدراج في لائحة تسجيل المواد الكيميائية وتقييمها والترخيص لها وفرض قيود عليها في الاتحاد الأوروبي، بسبب خواص مقاومة التحلل والتراكم البيولوجي التي تتميز بها (ECHA, 2017a). واستوفي حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني

(١) <http://chm.pops.int/TheConvention/POPsReviewCommittee/Meetings/POPRC14/POPRC14Followup/>

[.PFHxSInfoSubmission/tabid/7826/Default.aspx](http://chm.pops.int/TheConvention/POPsReviewCommittee/Meetings/POPRC14/POPRC14Followup/PFHxSInfoSubmission/tabid/7826/Default.aspx)

معايير المواد الشديدة المقاومة للتحلل والشديدة التراكم البيولوجي. ولم تخضع للتقييم سمية هذا الحمض وسميته الإيكولوجية. إن الإدراج في هذه القائمة يعني أن المصنعين والمستوردين وسلسلة الإمداد يتعين عليهم التقليل إلى أدنى حد ممكن من انبعاثات هذه المواد وتعرض البيئة والبشر لها خلال كامل دوراتها بغض النظر عن أية تدابير تنظيمية أخرى لإدارة مخاطرها. وعند تحديد المواد المرشحة للإدراج يبدأ واجب المورد المتمثل في الإفصاح عن المعلومات عن حمض السلفونيك بيرفلوروهكساني عند تركيز يزيد عن ٠,١ في المائة في الأشياء وفقاً للمادة ٣٣ من لائحة تسجيل المواد الكيميائية وتقييمها والترخيص لها وفرض قيود عليها في الاتحاد الأوروبي (معلومات المرفق واو الواردة من ألمانيا). وعلى سبيل المتابعة، قدمت النرويج اقتراحاً بتعديل المرفق السابع عشر من لائحة تسجيل المواد الكيميائية وتقييمها والترخيص لها وفرض قيود عليها في الاتحاد الأوروبي لتقييد تصنيع واستخدام وتسويق حمض السلفونيك بيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به، وذلك بتاريخ ١٢ نيسان/أبريل ٢٠١٩ (ECHA, 2019 a,b).

٢٠- وقد أدرجت بعض المركبات المرتبطة بحمض السلفونيك بيرفلوروهكساني (وليس الحمض نفسه) في القائمة المحلية الكندية للمواد (Environment Canada, 2013)، وهي قائمة بالمواد التي تصنع أو صنعت في كندا أو المستوردة إليها أو المستخدمة فيها على نطاق تجاري. ويتعين على أي شخص يعتزم استيراد أو صنع مادة في كندا غير مدرجة في القائمة المحلية (مثل حمض السلفونيك بيرفلوروهكساني أو المركبات المرتبطة بفلوريد السلفونيل بيرفلوروهكساني التي لم تدرج بعد في القائمة المحلية الكندية للمواد) تقديم إخطار بموجب النظام الجديد للإخطار بالمواد. وتهدف هذه القواعد إلى كفالة عدم طرح مواد جديدة في السوق الكندية قبل خضوعها للتقييم الإيكولوجي والمتعلق بصحة الإنسان. وقد تُفرض تدابير إدارية بموجب هذه العملية للتخفيف من أي مخاطر على البيئة أو صحة الإنسان. وفي الولايات المتحدة تُحظر الاستخدامات الجديدة لهذه المجموعة من المواد الكيميائية دون الحصول على موافقة مسبقة من وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة (وكالة حماية البيئة) (حكومة الولايات المتحدة، ٢٠٠٢؛ ٢٠٠٧). وقد نشرت وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة خطة عمل بشأن المواد الألكيلية بيرفلورية والمتعددة الفلور الطويلة السلسلة (التي تعرّف على أنها حموض سلفونيك بيرفلوروألكيلية تحتوي على أكثر من خمس ذرات كربون وحموض كربوكسيلية بيرفلورية تحتوي على أكثر من سبع ذرات كربون)، بما في ذلك حمض السلفونيك بيرفلوروهكساني، وأملاحها وسلائفها في عام ٢٠٠٩. ووجد أن جميع هذه المواد الألكيلية الطويلة السلسلة مقاومة للتحلل وتتراكم بيولوجياً وسامة (U.S. EPA, 2009). وقد اعتمدت ولاية واشنطن مؤخراً مشروع قانون يحظر استخدام المواد الكيميائية بيرفلورية في تغليف الأغذية (https://www.foodpackagingforum.org/news/washington-state-bans-pfas-in-food-packaging) as well as restricting their use in fire-fighting foam and personal protective equipment (https://ecology.wa.gov/Waste-Toxics/Reducing-toxic-chemicals/Addressing-priority-toxic-chemicals/PFAS/Toxics-in-firefighting).

٢١- وفي أستراليا وُضعت خطة عمل في إطار الخطة الوطنية الأسترالية للإخطار عن المواد الكيميائية الصناعية وتقييمها، من أجل تقييم وإدارة المواد الكيميائية التي يمكن أن تتحلل إلى حموض كربوكسيلية بيرفلورية أو حموض سلفونيك بيرفلوروألكيلية وما شابهها من المواد الكيميائية. والافتراض الرئيسي في هذه الخطة أن المواد الكيميائية التي تحتوي على سلسلة بيرفلورية تنتهي بمجموعة سلفونيل تتحلل إلى سلفونات بيرفلوروألكيل (بنفس طول السلسلة) (NICNAS 2017, a, b, c and d). وفي النرويج، أُضيف حمض السلفونيك بيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به مؤخراً إلى القائمة الوطنية للمواد ذات الأولوية (Prioritetslista) (http://www.miljostatus.no/prioritetslisten) مع تحديد هدف وطني يتمثل في القضاء على استخدامها بحلول عام ٢٠٢٠.

٢٢- ولا يوجد في الاتحاد الأوروبي أو على الصعيد العالمي نظام منسق لتصنيف حمض السلفونيك بيرفلوروهكساني أو تمييزه بالبطاقات التعريفية. غير أنه في أستراليا أدرجت المركبات المرتبطة بحمض السلفونيك بيرفلوروهكساني في الإطار المتعدد المستويات للتقييم وتحديد الأولويات (IMAP) الذي يشمل تقييمات متعلقة بصحة الإنسان والبيئة (NICNAS 2017c). وبناءً على خطة العمل التابعة للخطة الوطنية الأسترالية للإخطار عن المواد الكيميائية الصناعية من أجل تقييم وإدارة المواد الكيميائية التي قد تتفكك إلى أحماض كربوكسيلية بيرفلورية وسلفونات بيرفلوروألكيلية ومركبات مشابهة، ففي الحالات التي لم تتح فيها معلومات

محددة خاصة بمادة من المواد الكيميائية استخدمت معلومات الأخطار المتعلقة بحمض السلفونيك البيروفلوروكثاني لتقدير الأخطار المنتظمة المترتبة على الصحة من ملح البوتاسيوم المنتج من حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وملح الأمونيوم المنتج من حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وفلوريد السلفونيل البيروفلوروهكساني. وفيما يتعلق بصحة الإنسان، صُنفت هذه الأملاح على أنها: سامة في حالة الابتلاع - الفئة ٣ (H301)، تسبب تهيجاً خطيراً في العين - الفئة ٢ ألف (H319)، تسبب تلفاً في الأعضاء من خلال التعرض الطويل الأمد أو المتكرر عند الابتلاع - الفئة ١ (H372)، قد تسبب السرطان - الفئة ٢ (H351)، وذلك باستخدام النظام المنسق عالمياً لتصنيف المواد الكيميائية ووسمها التابع للأمم المتحدة. وفيما يتعلق بالمخاطر البيئية، اعتبرت هذه المواد الكيميائية ذات سمية مزمنة للأحياء المائية - الفئة ٤ (H413) (NICNAS2017a). وفي الاتحاد الأوروبي قدمت الصناعة تصنيفات ذاتية مشفوعة بإخطارات إلى قوائم جرد تصنيف المواد ووسمها (C&L inventory) بموجب تشريعات الاتحاد الأوروبي، لحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني والعديد من المركبات المرتبطة به فيما يخص السمية الحادة ٤ (H302)، ضار في حالة الابتلاع؛ و H312، ضار عند ملامسة الجلد؛ و H332، ضار في حالة الاستنشاق) أو فيما يخص التسبب في تآكل البشرة من الفئة ١ باء (H314)، تسبب حروقاً بالغة في البشرة وتلفاً في العينين) (<https://echa.europa.eu/sv/information-on-chemicals/cl-inventory-database/-/discli/notification-details/10265/1400492>).

٢٣- وستعين الإبلاغ في سجل المنتجات لدى الوكالة السويدية للمواد الكيميائية عن المعلومات بشأن المواد الألكيلية البيروفلورية والمتعددة الفلور لأول مرة في شباط/فبراير ٢٠٢٠. ويسري هذا الأمر بصرف النظر عن تركيز المواد، على الرغم من أنه لا يتعين تحديد التركيز نفسه (KemI, 2018).

٢٤- وفي عام ٢٠١٤ نشرت وكالة حماية البيئة الدانماركية دراسةً عن تلوث المياه الجوفية المرتبط بمصادر ثابتة للمواد البيروفلوروألكيلية، بما في ذلك حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني والمركبات المرتبطة به. واستناداً إلى نتائج تلوث المياه الجوفية طُلب إجراء دراسة لتقييم واقتراح معايير نوعية قائمة على الصحة. وقادت هذه الدراسة إلى تحديد قيمة حدية معيارية إجمالية لمياه الشرب لعدد ١٢ مادة من المواد الألكيلية البيروفلورية والمتعددة الفلور (حمض السلفونيك البيروفلورويوتاني (PFBS)، وحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني، وحمض السلفونيك البيروفلوروكثاني، وسلفوناميد البيروفلوروكثان (PFOSA)، و٢:٦-حمض السلفونيك الفلوروتيلومري (FTS 6:2)، وحمض البيروفلورويوتانويك (PFBA)، وحمض البيروفلوروبنتانويك (PFPeA)، وحمض البيروفلوروهكسانويك (PFHxA)، وحمض البيروفلوروهبتانويك (PFHpA)، وحمض البيروفلوروكثانويك، وحمض البيروفلورونونانويك (PFNA)، وحمض البيروفلوروديكانويك (PFDA)). والقيمة الحدية هي ٠,١ ميكروغرام/ل مياه الشرب وهي معيار إجمالي لوجود جميع المواد الألكيلية الاثنتي عشرة المشار إليها (Denmark, 2018). وتنطبق نفس القيمة الحدية المعيارية الكمية على المياه الجوفية. وقد أوصت وكالة الأغذية الوطنية السويدية بقيم حدية قدرها ٠,٠٩ ميكروغرام/ل مياه الشرب استناداً إلى وجود عدد ١١ مادة ألكيلية بيروفلورية ومتعددة الفلور (حمض السلفونيك البيروفلورويوتاني، وحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني، وحمض السلفونيك البيروفلوروكثاني، و٢:٦-حمض السلفونيك الفلوروتيلومري، وحمض البيروفلورويوتانويك، وحمض البيروفلوروبنتانويك، وحمض البيروفلوروهكسانويك، وحمض البيروفلوروهبتانويك، وحمض البيروفلوروكثانويك، وحمض البيروفلورونونانويك، وحمض البيروفلوروديكانويك) (Sweden, 2018). وفي المقترح الداعي إلى وضع أمر توجيهي أوروبي جديد بشأن مياه الشرب، وهو مقترح قيد المناقشة، دُعي إلى تعيين قيمة حدية لمجموعة المواد الألكيلية البيروفلورية والمتعددة الفلور. واقترحت قيمة قدرها ٠,١ ميكروغرام/ل لفرادى هذه المواد الألكيلية وقيمة قدرها ٠,٥ ميكروغرام/ل لإجمالي المواد الألكيلية البيروفلورية والمتعددة الفلور (الصيغة الكيميائية: $C_nF_{2n+1}-R$) (Europe, 2018). وقد جمّع اتحادا المياه والتربة الحكوميان في ألمانيا 'العتبات المهمة' لتقييم تلوث المياه الجوفية بالمواد الألكيلية البيروفلورية والمتعددة الفلور (van der Trenck et al. 2018). وتمثل هذه العتبات معايير لاتخاذ قرار بشأن الإجراءات الضرورية لمعالجة المياه الجوفية الملوثة. وفيما يخص حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني اشتقت عتبة قدرها ٠,١ ميكروغرام/ل. وفي عام ٢٠١٧ اقترحت هيئة مياه الشرب في ألمانيا قيمة توجيهية لحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني في مياه الشرب قدرها ٠,١ ميكروغرام/ل (Trinkwasserkommission, 2017).

٢٥- وقد اعتمدت عدة ولايات في الولايات المتحدة حدوداً قصوى لمواد من بينها حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني في مياه الشرب. وحددت ولاية ماساتشوستس في الولايات المتحدة قيمة حدية قدرها ٠,٠٧ ميكروغم/ل لحمض البيرفلوروكتانويك، وحمض السلفونيك البيرفلوروكتاني، وحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني، وحمض البيرفلورونونانويك، وحمض البيرفلوروهبتانويك مجتمعاً في مياه الشرب (حكومة الولاية)، وتوصي إدارة الصحة في ولاية مينيسوتا بقيمة توجيهية قدرها ٠,٠٢٧ ميكروغم/ل لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني، بينما حددت ولاية فيرمونت قيمة حدية لمياه الشرب قدرها ٠,٠٢ ميكروغم/ل لحمض البيرفلوروكتانويك، وحمض السلفونيك البيرفلوروكتاني، وحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني، وحمض البيرفلورونونانويك، وحمض البيرفلوروهبتانويك مجتمعاً (إدارة الصحة بالولاية). إضافةً إلى ذلك، تحدد وزارة الصحة في كندا قيمة فرز لمياه الشرب قدرها ٠,٦ ميكروغم/ل لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني (حكومة كندا، ٢٠١٨).

٢٦- علاوةً على ذلك أدرجت جمهورية كوريا حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني إلى جانب حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني وحمض البيرفلوروكتانويك بوصفها بارامترات رصد أولية لمياه الشرب في عام ٢٠١٨. والقيم الحدية الأولية لمياه الشرب هي ٠,٤٨ ميكروغم/ل لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني، و٠,٠٧ ميكروغم/ل لحمض السلفونيك البيرفلوروكتاني وحمض البيرفلوروكتانويك معاً (جمهورية كوريا، معلومات المرفق واو). أما في أستراليا فإن القيم التوجيهية الصحية لمياه الشرب هي ٠,٠٧ ميكروغم/ل لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وحمض السلفونيك البيرفلوروكتاني معاً و٠,٧ ميكروغم/ل لمياه الترفيه (الحكومة الأسترالية، ٢٠١٧)، واعتمدت نفس هذه القيم في نيوزيلندا (<http://www.mfe.govt.nz/node/24415>). وفي روسيا تخضع العديد من المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور القصيرة والمتوسطة السلسلة للتنظيم في الهواء والماء بأماكن العمل وعادةً ما يشار إليها على أنها مواد منخفضة الخطورة (OECD, 2013).

٢٧- وتوصي الحكومة الدانماركية بعدم استخدام المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور والمركبات الفلورية العضوية في الورق وحددت قيمةً حدية استشارية للمواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور في الأغذية ومواد التغليف قدرها ٠,٣٥ ميكروغم/ديسمتر^٢ من الفلور العضوي (الدانمرك، ٢٠١٥).

٢٨- وفي الآونة الأخيرة توجه الاهتمام نحو العمل المستقبلي بشأن المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور. ووقع ٢٠٠ عالم على "بيان مدريد" الذي يدعو إلى التخلص التدريجي على مستوى العالم من جميع المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور (Blum et al., 2015)، وإضافةً إلى ذلك صدر "بيان زيورخ بشأن العمل المستقبلي المتعلق بالمواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور" (Ritscher et al., 2018). وكانت ورقة بيان زيورخ ثمرة حلقة عمل عقدت في عام ٢٠١٧، وهي تحتوي على عدد من التوصيات بشأن تقييم وإدارة المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور في المستقبل وتُحظى بدعم مجموعة من أكثر من ٥٠ عالماً وجهة تنظيمية دولية (Ritscher et al., 2018).

٢- معلومات موجزة تتعلق بتقييم إدارة المخاطر

٢٩- وينتج حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به عن أنشطة التصنيع والاستخدام والتخلص التي يقوم بها البشر، حيث إنها ليست من المواد التي تتكون بصورة طبيعية. وعلى النحو المبين في موجز المخاطر والمراجع المدرجة فيه فإن الرصد البيئي يظهر أن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني ينتشر على نطاق واسع جداً في البيئة (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). وقد أفادت دراسات عديدة بالكشف عن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني في مكونات البيئة مثل المياه السطحية ومياه البحار العميقة ومياه الشرب ومحطات معالجة المياه المستعملة والرواسب والمياه الجوفية والتربة والجو والغبار وكذلك في الكائنات الحية والبشر على الصعيد العالمي (UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). إن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني هو أحد أكثر المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور التي تكتشف بشكل متكرر إلى جانب حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني وحمض البيرفلوروكتانويك وحمض البيرفلورونونانويك (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1).

والمراجع الواردة فيها)، ولكن على الرغم من ذلك فإن المعلومات عن الإنتاج والاستخدام في الوقت الحالي تكاد تكون معدومة. وحتى الآن، أجريت بحوث محدودة لدراسة إطلاقات حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به، على وجه التحديد، في البيئة، مما أدى إلى انعدام المعلومات الكمية عن الإطلاقات.

٣٠- وتاريخياً كانت شركة مينيسوتا للتعددين والتصنيع أكبر جهة مصنعة لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به على الصعيد العالمي، حيث بلغ إنتاجها السنوي زهاء ٢٢٧ طناً من فلوريد السلفونيل البيرفلوروهكساني في الولايات المتحدة في عام ١٩٩٧ (3M, 2000a). وفي الفترة من عام ٢٠٠٠ إلى عام ٢٠٠٢ توقفت شركة مينيسوتا للتعددين والتصنيع عن إنتاج حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به (3M, 2000a). وأفيد بأن بعض المصنعين في الصين وإيطاليا (بعد إفلاس الشركة توقف التصنيع في إيطاليا في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٨) أنتجوا حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وسلائفه (استعرض ذلك في دراسة (Boucher et al., 2019) ربما كبديل لحمض السلفونيك البيرفلوروكتاني وسلائفه (Löffstedt et al., 2016; Huang et al., 2015; Ma et al., 2018; Zhou et al., 2019). وتتوافق المعلومات المتعلقة بالإنتاج في الصين تماماً مع البيانات البيئية، مثل ارتفاع مستويات حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني في البحيرات والأنهار في آسيا (Ma et al., 2018; Pan et al., 2018; Cui et al., 2018). وعلى سبيل المثال وجدت دراسة أجراها ما وآخرون (٢٠١٨) أن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني هو المادة الألكيلية البيرفلورية السائدة في بحيرة تايهو ومياه الأنهار الواردة. وقد فاقت مستويات حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني (٤٥,٩-٣٥١ نانوغم/ل) مستويات حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني في بحيرة تايهو، وترتبط هذه الزيادة بإنتاج واستخدام حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني كبديل بعد أن أخضع مؤخراً إنتاج حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني للتنظيم في الصين (Ma et al., 2018). ويبلغ معدل تدفق المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور الكلية إلى البحيرة ١٢٥٥ كغم/السنة والمساهم الرئيسي في هذا التدفق هو حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني (٦١١ كغم/السنة)، وحمض السلفونيك البيرفلوروكتاني (٢٢٧ كغم/السنة)، وحمض البيرفلوروكتانويك (١٨٢ كغم/السنة)، وحمض البيرفلوروهكسانويك (٨٤,٤ كغم/السنة). وأبلغت دراسة مختلفة عن ازدياد التركيزات في الأنهار والبحيرات القريبة (بحيرتا تاي وتشاو) في الصين. وقدرت كمية حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني الواردة لتلك الأنهار بمقدار ٢١,٦ طناً في العام ٢٠١٦ بعد أن كانت ٠,٠٩ طن في عام ٢٠١٣ (Pan et al., 2018). وفي الآونة الأخيرة. وأبلغ مؤخراً عن أن متوسط مساهمة حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني في تحريك (هما فين ووأي) في الصين أعلى بصورة واضحة من مساهمة حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني، ويمكن أن يعزى ذلك إلى تزايد إنتاج واستخدام حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني كبديل لحمض حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني (Zhou et al., 2019). ومن بين المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور تميز حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني بأعلى معدل تصريف تراكمي يبلغ ١١٦ و ٣٧ كغم/السنة في كلا النهرين. علاوةً على ذلك أشير إلى أن النسبة العالية نسبياً لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني مقارنةً بجمض السلفونيك البيرفلوروكتاني يمكن أن تعزى إلى استخدام الأول كبديل للثاني في صناعة المنسوجات والطلاءات الواقية للسجاد والبوليمرات الفلورية (Zhou et al., 2019).

٣١- وقد أُدرج حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني و/أو أملاحه و/أو كثير من المركبات المرتبطة به في قوائم جرد المواد الكيميائية (أستراليا، والولايات المتحدة، والصين، وكندا، ونيوزيلندا، واليابان، وبلدان الشمال الأوروبي^(٢)) مما يدل على إنتاج منتجات تحتوي على هذه المواد في تلك البلدان و/أو استيرادها إليها و/أو استخدامها فيها في السابق أو بصورة مستمرة (انظر موجز المخاطر UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). واستخدم حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به عن عمد على الأقل في التطبيقات التالية: (١) الرغاوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة والتي تستخدم في مكافحة الحرائق؛ (٢) الطلاء المعدني؛ (٣) المنسوجات والجلود والمنجّجات؛ (٤) عوامل الصقل وعوامل التنظيف/الغسل؛ (٥) الطلاءات والتشريب/التصميد (للحماية من الرطوبة والفطريات وما إلى ذلك)؛ (٦) في صناعة الإلكترونيات وأشباه الموصلات. إضافةً إلى

(٢) الدانمرك، وجزيرة فارو، والسويد، وفنلندا، والنرويج، وغرينلاند.

ذلك، قد تشمل فئات الاستخدام المحتملة الأخرى مبيدات الآفات ومثبطات اللهب والورق وصناعة الزيت (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1).

٣٢- وفيما يخص الاستخدامات ضمن الفئتين (٤) و(٥) هناك نقص في المعلومات، ولكن هناك أدلة تشير إلى أن هذه الاستخدامات يمكن أن تكون ذات صلة بالتنظيف والصقل، والسدادات، والطلاء الواقية، وما إلى ذلك، في قطاعي البناء وصيانة السيارات. وكشفت المعلومات الواردة مؤخراً من جمهورية كوريا إضافةً إلى المزيد من الدراسات عن استخدام بوليمر يحتوي على حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني (على الأرجح عن غير عمد في شكل مكون من مكونات بوليمر حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني، الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية: ٨-٦٦-١٢٧١٣٣) في منتج رذاذي لطلاء السيارات ينتج في الاتحاد الأوروبي وتستورده جمهورية كوريا (RPA 2019). علاوةً على ذلك اتضح أثناء العمل في موجز المخاطر بشأن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به أن وكباً مرتبطاً بهذا الحمض يدخل في تركيب منتج يستخدم كمانع للتسرب في الأرضيات وكمادة تشطيب تنتجها شركة في أمريكا الشمالية. غير أن هذا المنتج لم يعد متاحاً (انظر موجز المخاطر للتلوث UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). وهناك أدلة تشير إلى أن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني أو أملاحه أو المركبات المرتبطة به (الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية غير معروف) تستخدم في المواد المضافة لمحول يضيف هيكلًا نسيجيًا على الخلايا الشمسية في جمهورية كوريا. وتستورد المنتجات المحتوية على حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني ولا ينتج هذا البلد هذا الحمض والمركبات المرتبطة به (جمهورية كوريا، معلومات المرفق واو). وأبلغ في عام ٢٠١٦ عن طريق النظام الإحصائي لرصد المواد الكيميائية بموجب قانون مراقبة المواد الكيميائية عن أن ٢٠ طنًا من بوليمرات الميثاكريلات المحتوية على سلاسل جانبية من المركبات المرتبطة بالحمض قد استوردت إلى جمهورية كوريا. ومن بين البوليمرات التي استوردت تلك البوليمرات الداخلة في تركيب رذاذ طلاء السيارات التي استوردت إلى البلد في الفترة من عام ٢٠١٣ إلى عام ٢٠١٥ (جمهورية كوريا، معلومات المرفق واو). علاوةً على ذلك، رصدت جمهورية كوريا مواداً ألكيلية بيرفلورية ومتعددة الفلور في ٧٠ محطة لمعالجة المياه وتنقيتها في جميع أنحاء البلاد منذ عام ٢٠١٢. وتراوحت تراكيز حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني بين ٠,٠٠٢ غم/ل إلى ٠,٠١٣ غم/ل في عام ٢٠١٦، إلا أن تركيز هذا الحمض ارتفع فجأةً ليلعب ٠,٤٥٤ غم/ل في مجاري نهر ناكدونغ المجاور لمحطة تصنيع في عام ٢٠١٧ (جمهورية كوريا، معلومات المرفق واو). وهذا يتوافق مع الكشف عن الحمض في عينات من مياه الصنبور مصدرها نفس النهر في دراسة كشفت عن أن الحمض يتميز بأعلى التراكيز التي تراوحت من تراكيز غير قابلة للكشف إلى ١٩٠ نانوغم/ل (Park et al., 2018). والسبب في الكشف عن الحمض يعود لاستخدام محاليل إضفاء الهيكل النسيجي على الخلايا الشمسية المحتوية على مركبات مرتبطة بالحمض، وهي محاليل استوردتها جمهورية كوريا. وبعد اتخاذ إجراءات تصحيحية انخفضت تراكيز الحمض لتصل إلى مستويات السنوات السابقة.

٣٣- علاوةً على ذلك اكتشفت تراكيز عالية لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني في عدة عينات من المنتجات الصينية البديلة لحمض السلفونيك البيرفلوروكتاني. وعلى النحو الوارد في هذا التقرير https://www.switchmed.eu/en/documents/huang_pfos-substtution-in-china.pdf (Huang et al., 2015) فإن ”هذه المنتجات تستخدم أساساً في المواد الخافضة للتوتر السطحي في الرغوات التي تشكل طبقة مائية رقيقة مثل الرغوة (VF-230) (٥,٠٨٢ ملغم/ل)، والرغوة (VF-9126) (١٧٧١ ملغم/ل)، والرغوة (VF-9128) (٥٨٣ ملغم/ل). وفي الواقع فإن الجهة المنتجة لمنتجات الرغوة التي تشكل طبقة مائية رقيقة المشار إليها أعلاه اشترت المواد الكربونية الفلورية الخافضة للتوتر السطحي ”بمخلاف حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني“، واستخدمتها لإنتاج الرغوة التي تشكل طبقة مائية رقيقة، من بائعين آخرين بضمن إنتاج منتج لا يحتوي على حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني. ورغم ذلك فإن محتوى حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني في هذه المنتجات لم يلاحظ، كما أنه لم تقدم أي من هذه المعلومات عند بيع هذا المنتج الذي استخدم لاحقاً في الرغوات التي تشكل طبقة مائية رقيقة (VF-230، VF-9126، VF-9128) (https://www.switchmed.eu/en/documents/huang_pfos-substtution-in-china.pdf; Huang et al., 2015).

٣٤- ولم يسجل حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به في إطار لائحة تسجيل المواد الكيميائية وتقييمها والترخيص لها وفرض قيود عليها في الاتحاد الأوروبي. بيد أنه نظراً لوجود زهاء ٦٨ إخطاراً/تصنيفاً ذاتياً مسجلاً بشأن تصنيف ووسم وتعبئة مجموعة مواد حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به في قائمة الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية^(٣) فإن هذه المعلومات تشير إلى أن استخدام أي مركب ورد بشأنه إخطار من المركبات ذات الصلة بحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به في أوروبا يتم بكميات تقل عن ١٠٠٠ كغم/سنة. غير أن تسجيل وتقييم البوليمرات التي يبلغ طول سلسلتها ٣ ذرات كربون (المونومرات) مستثنيان بموجب تلك اللائحة مما قد يعني أن هناك مصدراً إضافياً مهماً لإطلاقات الحمض من استخدام البوليمرات التي تحتوي على مركبات مرتبطة به (في شكل سلاسل جانبية أو مركبات موجودة بشكل عرضي) في شتى التطبيقات. أما المونومرات أو المركبات الأخرى الموجودة بشكل عرضي في البوليمر بنسبة تتجاوز ٢ في المائة وزن/وزن أو أكثر، وتبلغ كميتها الإجمالية ١ طن أو أكثر في السنة فإنه يتعين أن تسجل بموجب لائحة تسجيل المواد الكيميائية وتقييمها والترخيص لها وفرض قيود عليها (المادة ٦ (٣)). بيد أن الضوابط المستقبلية المتعلقة بالبوليمرات في السوق تخضع للاستعراض على النحو المبين في اللائحة (المادة ١٣٨ (٢)). هذه الاستخدامات للبوليمرات أبلغ عنها في إفادة جمهورية كوريا (معلومات المرفق واو) بوصفها بوليمرات تحتوي على مركبات مرتبطة بحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وتستخدم في مواد رش طلاءات السيارات.

٣٥- وأفادت معلومات المرفق واو التي قدمتها المملكة المتحدة بأن شركة نفايات ردت على طلب معلومات حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به تستخدم في المنسوجات، ومواد حماية السجاد والجلود وصناعة الورق والطلاء بالكهرباء، ومبيدات الآفات، ورجاوى مكافحة الحرائق، والمواد الحساسة للضوء، وبعض المواد الاصطناعية. ووجدت هذه المركبات أيضاً في أحبار الطباعة، والمواد المانعة للتسرب، وأدوات الطهو المقاومة للالتصاق. ووفقاً لمعلومات المرفق واو التي قدمتها المملكة المتحدة فإنه على الرغم من أن هذه المادة الكيميائية لا تستخدم أو تنتج في شكل منتج خام في المملكة المتحدة إلا أنه يعتقد أن بعضها يدخل في تركيب المواد التي تستخدم بشكل يومي (معلومات المرفق واو التي قدمتها المملكة المتحدة).

٣٦- علاوةً على ذلك تجدر الإشارة إلى أن المعلومات عن كميات حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به واستخداماتها قُدمت إلى الجهات المختصة في الدانمرك والسويد والنرويج، غير أن معظمها ادّعى أنها معلومات تجارية سرية (SPIN, 2018; Norwegian Environment Agency M-961/2018). وأظهر تحليل أجرى مؤخراً للمصادر في المناطق الساحلية في خليج بوهاي في الصين أن حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني يرتبط بتراكيبات السوائل الهيدروكربونية، ومصانع الرغاوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة، والطلاء المعدني، وصناعة وتجهيز البوليمرات الفلورية والمواد التي تلامس الأغذية (Liu et al., 2019). إضافةً إلى ذلك، اكتشف وجود حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني في العديد من المنتجات الاستهلاكية، مثل أشكال النسيج المختلفة بما فيها المنجذات، والسجاد، والمواد الكهربائية، ومواد البناء (Becanova et al., 2016).

٣٧- ويوفر العديد من الموردين فلوريد السلفونيل البيروفلوروهكساني (الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية: ٥٠-٧-٤٢٣)، وهو المادة الخام التي تستخدم في إنتاج حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به (https://www.lookchem.com/product_High-quality-Perfluorohexane-Sulphonyl-Fluoride/14315526.html)، ويُعلن عنه للاستخدامات التالية؛ ”هذا المنتج هو أحد أهم المواد الخام لتحضير المواد الحافظة للتوتر السطحي المحتوية على الفلور. ويمكن على نطاق واسع استخدام المادة الحافظة للتوتر السطحي المحتوية على الفلور في المنسوجات، والجلود، وصناعة الورق، ومبيدات الآفات، والطلاء بالكهرباء، وحقول الزيت، ومكافحة الحرائق، والمواد الحساسة للضوء، والمواد الاصطناعية وفي مجالات أخرى.“ علاوةً على ذلك يوجد زهاء ستة مصنعين في الصين (<https://www.lookchem.com/newsell/search.aspx?key=423-50>)

(٣) <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/cl-inventory-database>

(7&countryId=1&businessType=Manufacturers) لهم القدرة فيما يبدو على إنتاج فلوريد السلفونيل البيرفلوروهكساني، وهناك أيضاً عدد من المصنعين و/أو الموردين لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني (الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية: ٤-٣٥٥) مسجلون على هذه الصفحة الشبكية -355-46 (https://www.lookchem.com/newseil/search.aspx?p=1&key=355-46) مما يدل على احتمال استخدام هذه المواد وتوفرها.

٣٨- وقد يُنتج فلوريد السلفونيل البيرفلوروهكساني بطريقة عرضية كمنتج ثانوي أثناء عملية الفلورة الكهربائية الكيميائية لإنتاج فلوريد السلفونيل البيرفلوروكثاني (Gramstad and Haszeldine, 1957; Jiang et al., 2015; 3M 2000b). وما لم تزيل الجهات المصنعة فلوريد السلفونيل البيرفلوروهكساني من فلوريد السلفونيل البيرفلوروكثاني فإن الأول سيبقى في شكل مادة ملوثة وربما يتفاعل منتجاً حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وفق ما أظهرته دراسات شركة تري إم، ٢٠١٥، وهيرزك وآخرين، ٢٠١٢، وهوانغ وآخرين، ٢٠١٥. وتتراوح على الأرجح نسب كميات فلوريد السلفونيل البيرفلوروهكساني إلى كميات فلوريد السلفونيل البيرفلوروكثاني عند إنتاج فلوريد السلفونيل البيرفلوروكثاني بين ٤ في المائة (Gramstad and Haszeldine, 1957) و ١٤,٢ في المائة (إفادة جهة مصنعة صينية؛ رين، ٢٠١٦). ويدعم ذلك نسب فلوريد السلفونيل البيرفلوروهكساني إلى فلوريد السلفونيل البيرفلوروكثاني المقيسة في منتج حمض السلفونيك البيرفلوروكثاني التجاري، وهي من ٣,٥ في المائة - ٩,٨ في المائة في المادة FC-95 الخافضة للتوتر السطحي التي تنتجها شركة تري إم (3M, 2015) ومن ١١,٢ في المائة - ١٤,٢ في المائة في ثلاثة منتجات من الصين (Jiang et al., 2015). ومن بين شوائب حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني ضمن عملية المعالجة الكهروكيميائية لحمض السلفونيك البيرفلوروكثاني في شركة تري إم لإنتاج حمض السلفونيك البيرفلوروكثاني، كُشف أيضاً عن وجود آيسومرات متفرعة لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني، مثلاً وجد ما نسبته ١٨ في المائة من الآيسومرات المتفرعة في نسبة قدرها ٤,٧ في المائة من شوائب حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني في إحدى دفعات الإنتاج (Benskin et al., 2010). وعلى حد علمنا فإنه ليس من الواضح ما إذا كان فلوريد السلفونيك البيرفلوروهكساني منتجاً ثانوياً في عملية التصنيع المستمرة لفلوريد السلفونيل البيرفلوروكثاني.

٣٩- وقد نُشر مؤخراً مجرد علمي لانبعاثات المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور التي تحتوي على ٤-١٠ ذرات كربون وما يتصل بها من سلائف (Boucher et al., 2019). ويستعرض الجرد ويجمع المعلومات المتاحة حالياً عن دورة المادة الخام، فلوريد السلفونيل البيرفلوروهكساني ومشتقاته. وباستخدام نفس منهجية وضع واعتماد قائمة جرد الانبعاثات التي استخدمت في دراسة سابقة بشأن فلوريد السلفونيل البيرفلوروهكساني (Wang et al., 2017) وُضعت قائمة جرد لهذا الفلوريد واستخدمت كمدخلات في نموذج المصير البيئي العالمي للتوازن الكتلي "كليموكيم CliMoChem"، لتقدير التركيزات البيئية، التي تقارن بعد ذلك بالقياسات الميدانية. ولم تقاس كميات الإنتاج المتعمد للفلوريد ومشتقاته في الماضي والحاضر ولم تُدرج هنا نظراً لأنه لم يتسن العثور على معلومات عامة عن حجم الإنتاج.

٤٠- وتشتمل قوائم جرد الانبعاثات التقديرية على مجموعة من الانبعاثات الكلية العالمية من دورة المنتجات القائمة على فلوريد السلفونيل البيرفلوروهكساني. وأبلغ عن الانبعاثات العالمية من فئات المصادر الفردية لفترات زمنية مختلفة. وفي الفترة الزمنية ٢٠١٦-٢٠٣٠ قُدر بأن هناك انبعاثات عالمية كلية قدرها ٢-٨٩ طنناً من حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني ناتجة عن إنتاج واستخدام المركبات المرتبطة بالحمض وعن التخلص منها وعن تحليل فلوريد السلفونيل البيرفلوروهكساني. وتشير التقديرات إلى أن أكبر انبعاثات الحمض خلال هذه الفترة تحدث من الاستخدام والتخلص (١-٢١ طنناً) ومن تحليل المركبات المرتبطة بالحمض (١-٦٦ طنناً). واستدعى الافتقار إلى بيانات كمية عن المواد في حسابات الجرد تقديم تقديرات وافتراضات، وهذه بدورها نتج عنها جوانب عدم يقين في النتائج (Boucher et al., 2019).

٤١- وتتوافق التركيزات الميدانية المبلغ عنها تماماً مع نماذج تركيزات حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني. وتشير النتائج إلى أن من المتوقع أن يستمر ارتفاع التركيزات البيئية لفلوريد السلفونيل البيرفلوروهكساني ومشتقاته (مثل الحمض والمركبات المرتبطة به) على مدى عقود من الزمن، وأن المناطق البعيدة عن مناطق المصدر لم تصل بعد إلى ذروة التركيزات المقدرة لها. إن هذه الاتجاهات

التقديرية هي على الأرجح ستكون ممثلة على نطاق واسع وعلى نطاق جغرافي كبير؛ ومع ذلك فإن الانبعاثات غير القابلة للقياس حالياً والناجمة عن الإنتاج المتعمد للمنتجات القائمة على فلوريد السلفونيك البيروفلوروهكساني في الصين (وربما بلدان أخرى) قد تزيد مستويات التعرض محلياً في بعض المناطق وهي غير مضمنة في الدراسة الحالية (Boucher et al., 2019).

٤٢- وخلاصة القول أن المعلومات الواردة في هذا الفرع تبين أن حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني ينتشر على نطاق واسع جداً في البيئة على الصعيد العالمي (انظر أيضاً UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1 و UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4 للاطلاع على التفاصيل). ومن الناحية التاريخية فإن الانبعاثات الرئيسية لحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني والمركبات المرتبطة به تحدث على الأرجح بسبب وجوده غير العرضي في حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني الذي ينتج عن طريق عملية الفلورة الكهروكيميائية. وقد تكون هناك انبعاثات وإطلاقات لا تزال مستمرة من حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني كما يظهر من معلومات المرفق واو التي قدمتها جمهورية كوريا. إضافة إلى ذلك، قد يكون حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني موجوداً أيضاً في مخزونات حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني أو المنتجات/المزائج الكيميائية المحتوية على حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني التي لا لم يجري التخلص منها بعد. غير أن المعلومات الواردة مؤخراً ولا سيما من آسيا تشير إلى أن حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني قد حل محل حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني في العديد من التطبيقات. ويتضح هذا في العديد من المنشورات الجديدة التي تفيد باكتشاف حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني بوصفه المادة الألكيلية البيروفلورية الرئيسية التي يجري تصريفها إلى الأنهار والبحيرات، ولا سيما في المناطق الحضرية وبالقرب من المرافق الصناعية في آسيا. وتفيد التقارير بأن الأنشطة من قبيل معالجة المنسوجات (Park et al., 2018; Ma et al., 2018; Zhou et al., 2019)، والصناعات الإلكترونية والكيميائية (Park et al., 2018)، وصناعة أشباه الموصلات (Lin et al., 2010)، ومصانع إنتاج الأفلام الفوتوغرافية (Cui et al., 2018)، والطلاءات الواقية للسجاد (Zhou et al., 2019)، وتصنيع البوليمرات الفلورية (Zhou et al., 2019) قد تكون لها صلة بإطلاقات الحمض هذه. وتشير هذه الدراسات إلى أن حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني يستخدم عن قصد في هذه التطبيقات والعمليات الصناعية وأنه لا يوجد في شكل ملوث عرضي عند تصنع حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني. علاوةً على ذلك، استخدم حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني في الرغوات التي تشكل طبقة مائية رقيقة، ومؤخراً جرى تسويقه على أنه منتج بديل لحمض السلفونيك البيروفلوروكثاني في آسيا. ولا تتوفر بشكل عام بيانات كمية عن الإنتاج المتعمد لفلوريد السلفونيك البيروفلوروهكساني، المادة الخام لإنتاج حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به، ولذلك لا يمكن تقدير الانبعاثات من الإنتاج والاستخدام المتعمد لهذا الحمض وأملاحه والمركبات المرتبطة به ومن التخلص منها. ولا تغطي قوائم جرد الانبعاثات المعروضة حالياً في دراسة بوشيه وآخرين، (٢٠١٩) سوى الإنتاج والاستخدام غير المتعمدين لحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به والتخلص غير المتعمد منها.

٢-١ تحديد تدابير الرقابة الممكنة

٤٣- تحديد تدابير الرقابة المحتملة طوال دورة حياتها أهم طرق التطبيقات الممكنة ينبغي النظر في الانبعاثات. ويمكن لانبعاثات حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني أن تظهر من خلال ثلاث طرق ممكنة:

(أ) إنتاج حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به واستخدامها والتخلص منها؛

(ب) وجودها في شكل شوائب في حموض السلفونيك البيروفلوروألكيلية (مثل حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني)؛

(ج) كنواتج لتحلل المركبات المرتبطة بحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني بما في ذلك من البوليمرات التي بها سلاسل

جانبية تحتوي على الشق $C_6F_{13}SO_2$.

٤٤- ووفق ما هو مبين في الفقرة ٣١ فقد حُددت التطبيقات التالية: (١) الرغوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة والتي تستخدم في مكافحة الحرائق؛ (٢) الطلاء المعدني؛ (٣) المنسوجات والجلود والمنجّادات؛ (٤) عوامل الصقل وعوامل التنظيف/الغسل؛ (٥) الطلاءات والتشريب/التصميد (للحماية من الرطوبة والفطريات وما إلى ذلك)؛ (٦) في صناعة الإلكترونيات وأشباه الموصلات.

ويرجح، من واقع المعلومات المتاحة، أن تطبيقات الرغوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة، ومعالجة المنسوجات والجلود والمنجذات، وتصنيع الإلكترونيات وأشباه الموصلات تشكل التطبيقات الرئيسية التي تنتج منها إطلاقات حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به. هذا الاستنتاج يؤيده العمل الذي قدمته الصين في إطار اتفاقية بازل (٢٠١٣) حيث أفادت بأن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني حُدد واكتُشف كبديل لحمض السلفونيك البيرفلوروكتاني في التطبيقات التالية (١) الرغوى التي تشكل طبقة مائية؛ (٢) عوامل منع تسرب الماء؛ (٣) عوامل صقل المنسوجات (Huang et al., 2015). بيد أنه لا يمكن استبعاد الإطلاقات من الاستخدامات الأخرى مثل الاستخدام المنزلي والمهني للعوامل مثل عوامل الصقل وعوامل التنظيف/الغسل. ٤٥ - وفي إطار الاتفاقية هناك نهج مختلفة يمكن تطبيقها لتحقيق "حظر أو تقييد الإنتاج والاستخدام والاستيراد والتصدير" حسبما تقتضيه المادة ٣:

(أ) يمكن إدراج حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به في المرفق ألف، مع إعفاءات محددة أو بدونها ويصحب هذه الإعفاءات جزء محدد من المرفق ألف يتضمن تفاصيل بشأن إجراءات محددة؛ أو
 (ب) يمكن إدراج حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه ولواكبات المرتبطة به في المرفق باء، مع أغراض مقبولة/إعفاءات محددة يصحبها جزء محدد من المرفق باء يتضمن تفاصيل بشأن إجراءات محددة؛ و/أو
 (ج) يمكن إدراج حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به في المرفق جيم بوصفه ملوثاً عضوياً ثابتاً ينتج عن غير قصد بغرض تمثيل التكون المحتمل والإطلاق غير المتعمد من المصادر البشرية، مثلاً بسبب التكون المحتمل للحمض عن غير قصد نتيجة للحرق.

٤٦ - لم يقدم أي طرف أو مراقب طلبات إعفاء أثناء إعداد تقييم إدارة المخاطر هذا. ولم تُحدد استخدامات حرجة كما أن البدائل المجدية تقنياً تبدو متاحة ومستخدمة في جميع التطبيقات. ولذلك لا توجد أسباب محددة لإدراج حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به في المرفق باء للاتفاقية. علاوةً على ذلك لم تقدم معلومات تفيد بأن الحمض ينتج بصورة عرضية من عمليات الحرق ولا تتوفر أيضاً معلومات من هذا القبيل في الوقت الحالي تشير إلى أن الإدراج في المرفق جيم غير ضروري. هذا يشير إلى أن التخلص التدريجي الكامل من حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني من جميع الاستخدامات ممكن وأن الإعفاءات المتعلقة بالإنتاج والاستخدام ليست ضرورية. لذلك فإن تدبير الرقابة الممكن يتمثل في إدراج حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به في المرفق ألف بالاتفاقية دون منح إعفاءات للإنتاج والاستخدام.

٤٧ - ويمكن تنفيذ تدابير الرقابة المتعلقة بالإدراج في المرفق ألف دون منح إعفاءات للحمض وأملاحه والمركبات المرتبطة به من خلال (١) حظر الإنتاج والاستخدام، والاستيراد، والتصدير (٢) إصلاح المواقع الملوثة، (٣) الإدارة السليمة بيئياً للنفايات والمخزونات المتقدمة، (٤) حظر إعادة استخدام النفايات أو المخزونات وإعادة تدويرها.

٤٨ - ولاحقاً إطلاقات حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني أثناء تصنيع منتجات المواد الألكيلية البيرفلورية الأخرى يمكن النظر في تحديد قيمة حدية للحمض في منتجات المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور الأخرى وفقاً لمبدأ أدنى مستوى يمكن تحقيقه بشكل معقول.

٤٩ - ويتمثل أحد مصادر أعلى انبعاثات حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني، وفق التقديرات، في استخدام الحمض والتخلص منه (Boucher et al., 2019). ويرد عرض عام للطرق الممكنة ضمن مسارات النفايات، التي يمكن أن تؤدي إلى انبعاثات الحمض في البيئة، في المعلومات التكميلية الواردة في دراسة بوشيه وآخرين (الشكل S6). وإضافةً إلى الانبعاثات المباشرة من الاستخدام تبين أن المياه المستعملة (الغازات والنفايات السائلة والحماة) والنفايات الصلبة (مدافن القمامة، معالجة الأمراض)، هي مسارات رئيسية لانبعاثات الحمض إلى البيئة. يضاف إلى ذلك أنه عندما يتحول المستخدمون إلى مادة كيميائية بديلة فإنه يتعين عليهم

غسل معدات التصنيع والتخزين لديهم وستكون هناك حاجة إلى التخلص من هذه النفايات السائلة. واكتشفت العديد من الدراسات وجود الحمض في النفايات السائلة من محطات معالجة مياه الصرف الصحي ومن الصناعة (Eriksson و Lin et al., 2010 و Eriksson et al., 2017، والوثيقة UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4، الجدول ١-٥). إضافةً إلى ذلك أُبلغ عن تحلل المركبات المرتبطة بالحمض منتجةً الحمض في محطات معالجة مياه الصرف الصحي (Eriksson et al., 2017) وكذلك عن انبعاثات محتوى الحمض من النفايات السائلة لهذه المحطات (الوكالة البيئية النرويجية، M-806/2017). ومن ثم، لتجنب الانبعاثات من خلال النفايات السائلة فإنه يتعين النظر في اتخاذ تدابير رقابة في محطات معالجة مياه الصرف الصحي.

٥٠- وعقب إدراج حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به في الاتفاقية فإنه يتوجب الوفاء بأحكام الفقرة ١ (د) '٢' من المادة ٦. ومعنى هذا أن النفايات سيتم التخلص منها بطريقة تدمر محتوى الملوثات العضوية الثابتة أو تحوله تحويلاً نهائياً لا رجعة فيه، بحيث لا يُظهر خصائص الملوثات العضوية الثابتة، أو يتم التخلص منها بطريقة سليمة بيئياً عندما لا يمثل التدمير أو التحويل النهائي الذي لا رجعة فيه الخيار المفضل بيئياً، أو عندما يكون محتوى الملوثات العضوية الثابتة منخفضاً. وينبغي للأطراف أيضاً أن تبحث في تدابير تخفيض الانبعاثات، واستخدام أفضل التقنيات المتاحة وأفضل الممارسات البيئية في مرحلة إدارة النفايات. إضافةً إلى ذلك، يتعين على الأطراف أن تسعى جاهدة لوضع استراتيجيات مناسبة لتحديد المواقع الملوثة بحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني. وإذا أمكن تحديد المواقع الملوثة وأخذت أساليب العلاج اللازمة، فإنها يجب أن تُنفذ بصورة سليمة بيئياً.

٢-٢ فعالية ونجاعة تدابير الرقابة الممكنة في تحقيق أهداف خفض المخاطر

٥١- من أجل تخفيض انبعاثات حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني ينبغي أن تكون هناك تدابير للرقابة أثناء جميع مراحل دورة هذا الحمض. وتحدث انبعاثات الحمض إلى البيئة أثناء جميع مراحل دورته، ولكن يعتقد أنها تبلغ أوجها أثناء عمره في الخدمة وفي مرحلة النفايات. بيد أنه تبين أن هناك إطلاقات كبيرة من الحمض تحدث من محطات تصنيع خصوصاً في الصين (انظر مثلاً Cui et al., 2018 و Ma et al., 2018). ومن ثم، فإن التدبير الأكثر فعالية للتحكم في هذا الحمض وأملاحه والمركبات المرتبطة به هو حظر جميع أشكال الإنتاج والاستخدام والاستيراد والتصدير. وأفضل طريقة لإنجاز ذلك تتمثل في إدراج الحمض وأملاحه والمركبات المرتبطة به في المرفق ألف باتفاقية استكهولم بدون أي إعفاءات. وستتناول التدابير التي تتخذ بموجب المادة ٦ الإدارة السليمة بيئياً للمخزونات والنفايات وتنظيف المواقع الملوثة (إذا نفذ ذلك) مثلاً عند أو بالقرب من مرافق التصنيع والمطارات والقواعد العسكرية والمصادر الأخرى.

٥٢- ووفقاً لمعلومات المرفق واو التي قدمتها الأطراف والمراقبون فإنه لم تُحدد أي استخدامات حرجة للحمض وأملاحه والمركبات المرتبطة به ولم تُقدم أي طلبات للحصول على إعفاءات. ولذلك سيكون من الممكن وقف الإنتاج والاستخدام، وبالتالي وقف الانبعاثات والإطلاقات من مرافق التصنيع ومن مرافق الحمض وأملاحه والمركبات المرتبطة به في منتجاتها (مثل معالجة المنسوجات والجلود، وتصنيع أشباه الموصلات، وما إلى ذلك).

٥٣- ووفقاً لدراسة استقصائية أجراها الفريق العالمي المعني بالمواد الكيميائية البيروفلورية التابع لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي/برنامج الأمم المتحدة للبيئة فإن هناك محركين مهمين لخفض مخاطر المواد الألكيلية البيروفلورية والمتعددة الفلور يتمثلان في زيادة المعارف العلمية والعدد المتزايد من المبادرات الدولية الداعمة للانتقال إلى بدائل أكثر أماناً (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، ٢٠١٥). ويمكن أن يظهر عدد من التحديات أثناء وضع وتنفيذ تدابير الحد من مخاطر المواد الألكيلية البيروفلورية والمتعددة الفلور (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، ٢٠١٥). بعض هذه التحديات قد ينطبق على تدابير الرقابة التي ينبغي تنفيذها لتحقيق هدف الحد من المخاطر المتعلقة بحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به. وهناك نقص في المعلومات عن مصادر (إنتاج واستخدام) الحمض وخصوصاً المركبات المرتبطة به. هذا بدوره يجعل من الصعب

تحديد العمليات الصناعية (أي معالجة المنسوجات والجلود ومعالجات السطوح الأخرى، وصناعة الإلكترونيات وأشباه الموصلات) والمنتجات التي تستخدم فيها هذه المواد الكيميائية. ولم توفر الصناعة المستهدفة معلومات كافية عن المصادر (الإنتاج والاستخدام)، والعمليات الصناعية والمنتجات التي تستخدم الحمض. علاوةً على ذلك فإنه لا تتوفر في الوقت الراهن أساليب تحليل موحدة لكشف وتحديد فرادى المركبات المرتبطة بالحمض، وهذا يجعل من الصعب تحديد المركبات في المزائج الكيميائية والمنتجات (يرد وصف لطرق التحليل المتعلقة بحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمواد المرتبطة به في الفرع ١-١). ومن شأن عدم وجود معلومات عن محتوى المواد الكيميائية في المنتجات أن يجعل من الصعب، بوجه عام، فصل هذه المنتجات في مسار النفايات وأثناء معالجة النفايات. ولتحسين تبادل المعلومات بشأن المواد الكيميائية الداخلة في تركيب المنتجات وُضع برنامج في إطار النهج الاستراتيجي للإدارة الدولية للمواد الكيميائية <http://www.saicm.org/Implementation/EmergingPolicyIssues/ChemicalsinProducts/tabid/5473/language/en-US/Default.aspx>

٥٤ - إضافة إلى ذلك فإن المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور غالباً ما تضاف إلى المنتجات بتركيزات منخفضة وبالتالي قد لا تخضع لالتزام الإبلاغ عن محتوى المادة. ومن الأمثلة على ذلك تسجيل المواد في إطار لائحة تسجيل المواد الكيميائية وتقييمها والترخيص لها وفرض قيود عليها في الاتحاد الأوروبي، حيث يُلزم الموردون بالإبلاغ عن المعلومات عن المواد في حال زاد التركيز عن ٠,١ في المائة في الأشياء (انظر الفرع ١-٥)، وكذلك العتبة البالغة ١٠٠٠ كغم/السنة لتسجيل المواد بموجب تلك اللائحة، وهي عتبة قد لا يتسنى بلوغها في حال كان تركيز المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور في المنتج المعني منخفضاً جداً (انظر الفرع ٢، الفقرة ٣٤)، كما أن تسجيل البوليمرات خاضع لإعفاء. وأبلغ كوتوف وآخرون (٢٠١٥) عن أن بعض المنتجات الاستهلاكية (عوامل التنظيف، والمواد الملامسة للأغذية) ذات محتوى منخفض من الحموض الألكيلية البيرفلورية بينما تتميز منتجات أخرى مثل شمع التزلج وعينات الجلد والمنسوجات المخصصة لاستخدام خارج المباني بمستويات أعلى.

٥٥ - ووفق ما نوقش سابقاً وفي الفرع التالي فإن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به تستخدم في الكثير من التطبيقات نفسها التي يستخدم فيها حمض السلفونيك البيرفلوروكثاني (انظر الفرع ٢ للاطلاع على التفاصيل). ومن شأن الخبرات والمبادئ التوجيهية وقوائم الجرد التي وضعت في إطار برنامج العمل المتعلق بحمض السلفونيك البيرفلوروكثاني أن تكون مفيدة للغاية في تنفيذ تدابير الرقابة فيما يخص حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به.

٥٦ - ووفق ما جرى استعراضه في الفرع ١-٥ فإن العديد من البلدان نفذت تدابير للحد من التعرض ومن إطلاقات المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور. وتستخدم وكالة البيئة في الولايات المتحدة مزيجاً من النهج التنظيمية والطوعية، بما في ذلك قواعد الاستخدامات الجديدة الهامة وبرنامج الإشراف الطوعي على حمض البيرفلوروكثاني (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، ٢٠١٥). وحددت الوكالة مستويات استشارية صحية لحمض البيرفلوروكثاني وحمض السلفونيك البيرفلوروكثاني في مياه الشرب، كما أتاحت للعامّة معلومات محدثة عن مستويات المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور في المياه الجوفية والسطحية (<https://www.epa.gov/dwucmr/third-unregulated-contaminant-monitoring-rule>). وحددت أستراليا أيضاً ٢٦ موقعاً دفاعياً عالي الأولوية توجد فيها مياه جوفية ملوثة بالمواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور بما فيها حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني (<http://www.defence.gov.au/Environment/PFAS/Publications/Default.asp>). وفيما يخص حمض السلفونيك البيرفلوروكثاني وحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني نفذت أستراليا قيماً توجيهية صحية تتمثل في الجرعة اليومية الممكن تحملها والبالغة ٠,٠٢ ميكروغم/كغم من وزن الجسم/اليوم (لكلا الحمضين)، أما فيما يخص حمض البيرفلوروكثاني فإن الجرعة اليومية الممكن تحملها هي ٠,١٦ ميكروغم/كغم من وزن الجسم/اليوم. هذه القيم مفيدة عند دراسة المواقع الملوثة وعند إجراء تقييمات المخاطر الصحية على الإنسان (حكومة أستراليا، ٢٠١٦).

٥٧- ونشرت الوكالة السويدية للمواد الكيميائية استراتيجيةً لخفض استخدام المواد الألكيلية البيروفلورية والمتعددة الفلور (KemI, 2016, 2018b). ويتعين التقليل إلى أدنى حد ممكن من استخدامات هذه المواد التي يمكن أن تؤدي إلى تلوث بيئي، ووقفها في نهاية المطاف. وتشمل الإجراءات الرامية إلى تحقيق هذا الهدف تحديد أولويات تنفيذ تدابير بخصوص الاستخدامات التي يمكن أن ينتج عنها إطلاقات كبيرة مباشرة إلى البيئة. واقترحت الاستراتيجية معايير بشأن كيفية مكافحة استخدام رغوات مكافحة الحرائق المحتوية على هذه المواد في السويد وخلصت إلى أن ثمة حاجة إلى تشريعات وطنية تنظم استخدام رغوات مكافحة الحرائق التي تحتوي على مواد عالية الفلورة.

٥٨- ويتعين النظر في إنشاء نشاط للرصد البيئي بغية رصد فعالية تدابير الرقابة المنفذة.

١-٢-٢ الجدوى التقنية

٥٩- على الرغم من عدم وجود صورة عامة واضحة عن استخدام حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به إلا أن من المتوقع أن تكون العديد من الاستخدامات المتعمدة ماثلة لاستخدامات حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني (انظر موجز مخاطر حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني للمزيد من المعلومات التفصيلية؛ UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) وفي بعض الحالات ماثلة لاستخدامات حمض البيروفلوروكثاني. وترد أيضاً تفاصيل عن هذا الموضوع في موجز الفرع ٢. ولذلك فإن "التقرير عن تقييم بدائل حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني وأملاحه وفلوريد السلفونيل البيروفلوروكثاني" (UNEP/POPS/POPRC.14/4 و UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8) يمكن أن يوفر معلومات مفيدة عن البدائل/التقنيات البديلة المحتملة أيضاً لحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به. ويشير تقرير التقييم إلى أن هناك بدائل مجدية تقنياً متاحة لكل تطبيقات حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني، مما يشير إلى أن التحول إلى بدائل كيميائية وغير كيميائية ممكن. إن العديد من البدائل المقترحة قد تنطبق أيضاً على حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني. ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أنه جرى في السابق استخدام حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني في بعض التطبيقات (رغوى مكافحة الحرائق ومعالجة المنسوجات والجلود)، كما جرى إدراج هذا الحمض كبديل لحمض السلفونيك البيروفلوروكثاني (UNEP/POPS/POPRC.12/INF/15/Rev.1).

٦٠- ومن واقع العملية التي اضطلعت بها لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة لحمض السلفونيك البيروفلوروكثاني وأملاحه وفلوريد السلفونيل البيروفلوروكثاني، تشير المعلومات الواردة من الصناعة إلى أن ثمة عملية استبدال مستمرة وأن عدداً قليلاً فقط من الاستخدامات الحرجة قد تبين أنها لا تزال في حاجة لاستخدام حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني. وترتبط هذه الاستخدامات باستخدام حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني (أو المركبات المرتبطة به) ككابت للرداذ في الطلاء المعدني الصلد ضمن نظم ذات دارة مغلقة، وفي طعوم الحشرات لمكافحة النمل القاطع للأوراق. وقد قرر الاجتماع التاسع لمؤتمر الأطراف نقل كبت الرداذ في الطلاء المعدني الصلد إلى إعفاء خاص محدد المدة والإبقاء على طعوم الحشرات لمكافحة النمل القاطع للأوراق في شكل استخدام لغرض مقبول لكن مع قصر نطاق استخدامه على الاستخدامات الزراعية (المقرر ١ س-٤/٩). أما فيما يخص حمض البيروفلوروكثاني فإن هناك عدة إعفاءات محدودة زمنياً تمت الموافقة عليها (المقرر ١ س-١٢/٩)، ولكن هنا أيضاً تجري عملية انتقال إلى بدائل كيميائية وغير كيميائية أخرى.

٦١- ووفق ما هو مبين في الفرع ٢-٣ فإن هناك عدداً كبيراً من البدائل الكيميائية غير المفلورة لجميع الاستخدامات الممكنة لحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به بما في ذلك بعض الحلول التقنية.

٢-٢-٢ تكاليف تنفيذ تدابير الرقابة وفوائدها

٦٢- نظراً لعدم تحديد أي استخدامات حرجة عدم تقديم طلبات للحصول على إعفاءات فإن من المتوقع أن تكون التكاليف المرتبطة بتنفيذ تدابير المراقبة على الإنتاج والاستخدام محدودة. علاوةً على ذلك فإن الحجم المتوقع للمخزونات سيكون ضئيلاً

كما أنه سيتسنى القضاء على حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني الموجود في شكل ناتج عرضي غير مقصود في منتجات حمض السلفونيك البيرفلوروكثاني نتيجةً للتخلص التدريجي من هذا الحمض. ونظراً لأنه من المعروف أن تكاليف معالجة المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور في مياه الشرب والمواقع الملوثة عالية جداً فإن تدابير الرقابة على حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني من شأنها أن تسهم في تجنب مثل هذه التكاليف في المستقبل (انظر الفرع ٢-٤-٣ للمزيد من المعلومات عن التكاليف).

٢-٣ معلومات عن البدائل (المنتجات والعمليات) حسب الاقتضاء

٦٣- بصفة عامة هناك نقص في البيانات المنشورة عن هوية وخواص وكفاءة بدائل المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور في معظم التطبيقات نظراً لأن البيانات عادة ما اخضع للحماية لكونها معلومات تجارية سرية. ورغم محاولات عديدة فإن الصناعات ذات الصلة لم تقدم معلومات عن إنتاج واستخدام حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني (وكالة البيئة النرويجية، M-961/2018، ECHA, 2019b). ومع ذلك فإن البدائل موجودة وتستخدم في الكثير من التطبيقات مما يشير إلى أنها معتمدة من جانب الصناعة وبالتالي فهي بدائل قابلة للاستخدام (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). ولذلك فإن هذا التقييم لبدائل حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني يستند إلى الاستخدامات العامة المشار إليها في موجز المخاطر (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) وإلى افتراض أن وظائف هذا الحمض في تلك الاستخدامات هي نفس وظائف حمض السلفونيك البيرفلوروكثاني وفي بعض الحالات هي نفس وظائف حمض البيرفلوروكثاني أو مشابهة للغاية لوظائف هذين الحمضين.

٦٤- وكما ذكر أعلاه، فإن الاستخدامات المتعددة لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به توجد على الأرجح في التطبيقات التالية؛ (١) الرغاوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة التي تستخدم في مكافحة الحرائق؛ (٢) الطلاء المعدني؛ (٣) المنسوجات والجلود والمنجذات؛ (٤) عوامل الصقل وعوامل التنظيف/الغسل؛ (٥) الطلاءات والتشريب/التصميم (للحماية من الرطوبة والفطريات وما إلى ذلك)؛ (٦) في صناعة الإلكترونيات وأشباه الموصلات.

٢-٣-١ المواد البديلة ذات التطبيقات المحددة

٦٥- تشمل بدائل حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه ولواكبات المرتبطة به مواداً كيميائية وتقنيات بديلة بما في ذلك البدائل غير الكيميائية مثل التصميم أو التغييرات في المنتج. وينبغي بذل جهود مستمرة لضمان تفادي استبدال هذه المركبات بمواد كيميائية أخرى مقاومة للتحلل و/أو سامة.

٦٦- يحدث الاستبدال غير المرغوب فيه "عندما تُستبدل مادة كيميائية سامة بأخرى يتضح فيما بعد أنها غير ملائمة لكونها وُجدت أيضاً مقاومةً للتحلل وتتراكم بيولوجياً وسامة، أو بسبب شواغل أخرى" (مجلس البحوث الوطني في الولايات المتحدة، ٢٠١٤). إن من الصعوبة بمكان الحد من احتمال حدوث الاستبدال غير المرغوب لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني والمركبات المرتبطة به بمحوض ألكيلية بيرفلورية ومركبات ذات صلة مماثلة نظراً لأن هذه الفئة من المواد الكيميائية كبيرة (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، ٢٠١٨) كما أن المعلومات المتوفرة عن خواص غالبية هذه المواد محدودة جداً. بيد أن الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية (ECHA; 2017b) وكذلك مقرري السياسات الوطنيين (Ritscher et al., 2018; Cordner et al., 2016) في عدة بلدان اقترحوا نهجاً تجميعياً كوسيلة مهمة للحد من احتمال حدوث الاستبدال غير المرغوب فيه. وفي الكثير من الحالات يمكن استبدال الحموض الألكيلية البيرفلورية الطويلة السلسلة وأملاحها والمركبات المرتبطة بها بمحوض ألكيلية بيرفلورية قصيرة السلسلة وأملاحها ومركبات مرتبطة بها (تُعرف الحموض الألكيلية البيرفلورية القصيرة السلسلة بأنها حموض كربوكسيلية بيرفلورية بها ذرتان إلى سبع ذرات كربون وحموض سلفونية ألكيلية بيرفلورية بها ثلاث إلى خمس ذرات كربون) وبدائل فلورية أخرى تعتبر آمنة لاستخداماتها المقصودة في الصناعة (Fluorocouncil, 2015). وعلى الرغم من أن الحموض الألكيلية البيرفلورية الأقصر سلسلةً هي بشكل عام أقل تراكمياً بيولوجياً إلا أنها مقاومة للتحلل وتتميز بدوبانية أعلى في الماء وقدرة أكبر على الانتقال مما يجعل احتجاز هذه المواد والتحكم في انتشارها أكثر صعوبةً مقارنةً بالحموض الألكيلية البيرفلورية الأطول سلسلةً (Arp et al., 2017; Neumann et al., 2017; Kotthoff and Bücking, 2018).

٦٧- وتميز بعض الحموض الألكيلية البيرفلورية القصيرة السلسلة والبدائل الفلورية الأخرى بفعالية سمية مماثلة لسمية حمض البيرفلوروكتانويك وحمض السلفونيك البيرفلوروكتاني عند تقييم توفرها البيولوجي (Gomis et al., 2018). وتمثل الحموض الألكيلية البيرفلورية القصيرة السلسلة (الحموض الكربوكسيلية البيرفلورية التي بها ذرتان إلى سبع ذرات كربون والحموض السلفونية الألكيلية البيرفلورية التي بها أربع ذرات كربون) ما نسبته أكثر من ٨٠ في المائة من المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور التي يمكن الكشف عنها في عينات مياه الأمطار بينما تمثل هذه المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور التي بها ذرتان إلى ثلاث ذرات كربون وحدها ما يزيد عن ٤٠ في المائة من المجموع الكلي للمواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور في عينات مياه الأمطار وعينات المياه في تورنتو (Yeung et al., 2017). وظهرت مركبات فلورية جديدة في السوق لتحل محل الحموض الألكيلية البيرفلورية الطويلة السلسلة وأملاحها والمركبات المرتبطة بها. ولوحظ وجود كميات من العديد من الحموض الكربوكسيلية والسلفونية البيرفلورية الإيثيرية الجديدة (PFESAs و PFECAs)، بما في ذلك حموض أكسيد البروبيلين السداسي الفلور الثنائية الوحدات والثلاثية الوحدات (HFPO-TA و HFPO-DA)، و٨،٤-ديوكسا-٣-هـ-بيرفلورونونونات الأمونيوم (المعروف أيضاً باسمه التجاري مادة أدونا)، وحمض سلفونيك الإيثر الكلوري المتعدد الفلور (6:2 CI-PFESA)، وشبيهه الذي حدث فيه إحلال بالنيتروجين (6:2 H-PFESA) في المياه السطحية في جميع أنحاء العالم (Pan et al., 2018). واكتشف وجود مادة أدونا أيضاً في دم الإنسان بالمجموعات السكانية التي تتناول مياه الصنبور الملوثة بهذه المادة (Fromme et al., 2017). وقد لوحظ تلوث مصادر المياه بالحموض الألكيلية البيرفلورية القصيرة السلسلة (Gebink et al., 2017; Braunig et al., 2019). وفي دراسة مغايرة اكتُشف، إضافةً إلى الحموض الكربوكسيلية البيرفلورية القصيرة السلسلة، مواداً ألكيلية بيرفلورية أخرى مثل الحموض الكربوكسيلية والسلفونية البيرفلورية الإيثيرية الجديدة في المياه الطبيعية المجموعة من مواقع تلوث في الماضي بالمركبات البيرفلورية (Strynar et al., 2015).

٦٨- وتخضع العديد من المواد البديلة القصيرة السلسلة حالياً للتقييم في إطار لائحة تسجيل المواد الكيميائية وتقييمها والترخيص لها وفرض قيود عليها في الاتحاد الأوروبي للاشتباه في كونها مقاومةً للتحلل وتتراكم بيولوجياً وسامة أو في كونها شديدة المقاومة للتحلل أو شديدة التراكم البيولوجي (مثل مادة أدونا والمركبات المرتبطة بحمض البيرفلوروهبتانويك (خطة العمل المتجددة الجماعية التابعة للائحة)) و/أو في إطار التحضير لإدارة المخاطر التنظيمية (حمض البيرفلوروهبتانويك، حمض السلفونيك البيرفلوروبيوتاني، حموض أكسيد البروبيلين السداسي الفلور الثنائية الوحدات، حمض البيرفلوروهكسانويك (أداة تنسيق الأهداف والأنشطة العامة في سجل لائحة تسجيل المواد الكيميائية وتقييمها والترخيص لها وفرض قيود عليها في الاتحاد الأوروبي)). ولذلك فإن من الممكن أن تنفذ في المستقبل قيود على استخدام بعض هذه المواد. علاوةً على ذلك فإن هذه المركبات كثيراً ما تكون أقل كفاءة عند الاستخدام وينتج عن ذلك استخدام كميات أكبر وحدوث انبعاثات أكثر من المستخدم وفي مرحلة التخلص من المنتج.

٦٩- وقد سبق أن تناولت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة مسألة البدائل غير المرغوب فيها للمواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور فيما يخص كلاً من حمض البيرفلوروكتانويك وحمض السلفونيك البيرفلوروكتاني في التوصيات بشأن بدائل حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني (المقرر ل.١٠-ث-٣/١٤) والتوصيات بشأن التنظيم العالمي لحمض البيرفلوروكتانويك (المقرر ل.١٠-ث-٢/١٤) في إطار اتفاقية استكهولم. وفي الاجتماع التاسع لمؤتمر الأطراف تقرر أنه نظراً لأن المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور القصيرة السلسلة هي فئة كبيرة من المواد الكيميائية التي تتميز بخواص كيميائية وفيزيائية متباينة، ولأن لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة لم تستعرض البيانات المستقاة من هذه الفئة الكبيرة فإنه لن تقدم إشارة محددة بتفادي استخدام المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور القصيرة السلسلة (في رغاوى مكافحة الحرائق). وبدلاً من ذلك اعتمدت الصيغة التالية: "يشجع الأطراف والجهات الأخرى على استخدام البدائل لحمض البيرفلوروكتانويك وأملاحه والمركبات المرتبطة، عندما تكون تلك البدائل متاحة ومجدية وتتسم بالكفاءة، مع مراعاة أن رغاوى مكافحة الحرائق القائمة على الفلور قد تكون لها آثار ضارة بالبيئة وصحة الإنسان وآثار ضارة من النواحي الاجتماعية-الاقتصادية نتيجة لانتقالها ومقاومتها للتحلل (المقرر ل.١٠-ث-٥/٩)

(حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني) والمقرر ١ س-١٢/٩ (حمض البيرفلوروكتانويك). وتظهر المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور القصيرة السلسلة البديلة ذوبانية أكبر في الماء وقدرة أكبر على الانتقال في البيئة مقارنةً بالمواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور الطويلة السلسلة (Baduel et al., 2017; Barzen-Hanson and Field, 2015). ولتفادي الاستبدال غير المرغوب فيه بالحموض الألكيلية البيرفلورية الأخرى فإن الفروع التالية تركز بشكل أساسي على البدائل الكيميائية غير الفلورية والتقنيات البديلة غير الكيميائية.

٧٠- ويقدم الجدول ٣ لمحة عامة عن فئات الاستخدام المحددة والبدائل المتاحة لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني يلي ذلك فروع مستقلة تتضمن معلومات عن كل تطبيق وبدائله حيث ينصب التركيز الرئيسي على الحلول الكيميائية غير الفلورية والحلول التقنية. (يشار فقط إلى البدائل الفلورية في التطبيقات التي لا تتوفر لها بدائل كيميائية غير فلورية أو تقنيات بديلة مجدية لجميع التطبيقات في فئة الاستخدام).

الجدول ٣- لمحة عامة عن البدائل

التطبيق	البديل المتاح	نوع البديل
رغوات مكافحة الحرائق	نعم	المواد الكيميائية الفلورية وغير الفلورية
الطلاء المعدني	نعم	البدائل الكيميائية (غير الفلورية والفلورية)، والحلول التقنية
المنسوجات	نعم	المواد الكيميائية غير الفلورية والفلورية والحلول التقنية
عوامل الصقل والتنظيف والغسل	نعم	البدائل الكيميائية غير الفلورية
الطلاء والتشريب/التصميد	نعم	البدائل الكيميائية غير الفلورية
الإلكترونيات وأشباه الموصلات	نعم	البدائل الكيميائية الفلورية وغير الفلورية
الورق والتعبئة والتغليف	نعم	البدائل الكيميائية غير الفلورية (والتقنيات البديلة مثل الورق العالي الكثافة)

٢-٣-١-١-١ الرغوة التي تشكل طبقة مائية رقيقة

٧١- الرغاوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة هي رغاوى شديدة الفعالية مخصصة لمكافحة حرائق السوائل القابلة للاشتعال العالية الخطورة. تنتج هذه الرغاوى طبقة رقيقة تفصل السائل الشديد الاشتعال أو المواد الصلبة القابلة للاحتراق من الهواء الغني بالأكسجين. وتعمل الطبقة المائية التي تقع بين الوقود والرغوة على تبريد سطح الوقود، وتعمل بمثابة حاجز بخاري وتعزز انتشار الرغوة على الوقود. ويجري تصنيع هذه الرغاوى عادةً من خلال الجمع بين المواد الهيدروكربونية الصناعية الخافضة للتوتر السطحي والمواد الفلورية الخافضة للتوتر السطحي وتستخدم كرهاى لمكافحة الحرائق من الفئة باء التي تصنع لإخماد حرائق الوقود الهيدروكربوني السائل. وتسمى الرغاوى الفلورية في هذه الفئة بالرغاوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة أو الرغاوى الفلورية البروتينية أو الرغاوى الفلورية البروتينية التي تشكل طبقة رقيقة. وتقوم رغاوى مكافحة الحرائق الخالية من الفلور من الفئة باء على مزائج مسجلة الملكية من مواد هيدروكربونية خافضة للتوتر السطحي.

٧٢- وقد أنتجت المواد البيرفلورية (مثل حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني وحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني) في الرغاوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة عن عمد باستخدام الفلورة الكهروكيميائية، حيث استخدم فلوريد الهيدروجين كمادة وسيطة إلى جانب مادة عضوية (Buck et al., 2011). ويمكن من خلال إنتاج المواد المفلورة عن طريق الفلورة الكهروكيميائية إنتاج نواتج متفرعة أو خطية وكذلك نواتج ذات سلاسل مختلفة الأطوال (Buck et al., 2011). ويمكن أن تحتوي منتجات حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني على ما نسبته ١ إلى ١٠ في المائة من حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني (Wang et al., 2017) (الملحق)؛ وفق ما جرى استعراضه في موجز المخاطر؛ (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1)، ما لم تخضع للتنقية وإزالة حمض السلفونيك

البيروفلوروهكساني الموجود بشكل عرضي. وسيسهام التخلص التدريجي الكامل من الرغوات التي تشكل طبقة مائية رقيقة المحتوية على حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني أيضاً في خفض انبعاثات حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني والمركبات المرتبطة به إلى البيئة. ٧٣- وقد اكتشف وجود حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني والمركبات المرتبطة به في الرغوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة (D'Agostino and Mabury 2014; KemI, 2015; Favreau et al., 2017) كما اكتشف وجوده في التربة والمياه الجوفية التي تأثرت بالنشاط التدريجي على هذه الرغوى ويحدث ذلك في معظم الأحيان نتيجةً لاستخدام الرغوة المحتوية على حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني التي بها كميات عرضية من حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني (Barzen-Hanson et al., 2017; Gobelius et al., 2018; Banzhaf et al., 2017). بيد أن الرغوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة المحتوية على حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني بوصفه المركب البيروفلوري النشط كانت أيضاً معروضة في الأسواق في الماضي (الجدول ٨، ECHA, 2019b). ونظراً لطول العمر التخزيني البالغ ١٠ - ٢٠ عاماً لمركبات هذه الرغوى فإن مخزوناتها المركبة بالفعل قد لا تزال تحتوي على حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني. إضافةً إلى ذلك فإن بعض أنواع هذه الرغوى الجديدة المنتجة في الصين تحتوي على حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني كبديل لحمض السلفونيك البيروفلوروكثاني (https://www.switchmed.eu/en/documents/huang_pfos-substitution-in-china.pdf). ووفقاً للجنة الأوروبية لمصنعي معدات الحماية من الحرائق ومركبات مكافحة الحرائق فإن صناعة رغوى مكافحة الحرائق في أوروبا وأمريكا الشمالية نفذت بالكامل برنامج الإشراف الذي طورته وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة حيث جرى التخلص التدريجي الكامل من إنتاج الرغوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة القائمة على حموض ثمانية الكربون على الرغم من أن هناك مخزونات لا تزال موجودة (http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-POPRC13FU-SUBM-PFOA-FFFC-3-20180112.En.pdf). وهذا يشير إلى أن الرغوى الفلورية المصنعة حتى عام ٢٠١٥ قد تحتوي على مواد بيروفلورية ثمانية الكربون، وبعد ذلك جرى إنتاج رغوى تحتوي على مواد نقية سداسية الكربون (Eurofeu, 2018). وتحتوي الرغوة التي بها مواد نقية سداسية الكربون على مواد فلورية خافضة للتوتر السطحي تنتج بطريقة التلمرة وبالتالي فهي تخلو من حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني (FFFC, 2017).

٧٤- وفي الاجتماع التاسع لمؤتمر الأطراف جرى تحويل الغرض المقبول لإنتاج واستخدام حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني وأملاحه وفلوريد السلفونيل البيروفلوروكثاني في رغوى مكافحة الحرائق إلى إعفاء محدد لفترة زمنية محدودة (المقرر ١ س-٤/٩) خاص باستخدام رغوى مكافحة الحرائق في إخماد أبحرة الوقود السائل وحرائق الوقود السائل (حرائق الفئة باء) الموجودة بالفعل في النظم المركبة، بما في ذلك النظم المتنقلة والثابتة. واعتمد المقرر نفسه فيما يخص حمض البيروفلوروكثانويك وأملاحه والمركبات المرتبطة به المستخدمة في الرغوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة (المقرر ١ س-١٢/٩).

بدائل حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني في رغوة مكافحة الحرائق من الفئة باء

٧٥- هناك فئتان رئيسيتان من البدائل التي سيُنظر فيها في هذا الفرع، أ) البدائل الخالية من الفلور ب) البدائل الفلورية القصيرة السلسلة.

أ) البدائل الخالية من الفلور:

٧٦- يوفر العديد من مصنعي رغوات مكافحة الحرائق رغوات خالية من الفلور من شأنها الوفاء بمتطلبات اعتماد الأداء المعياري لمكافحة الحرائق من الفئة (انظر الجدول ٦ في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). والاستثناء الوحيد هو المواصفات العسكرية في الولايات المتحدة (MIL-F-24385) التي لا تتعلق بمعايير الأداء فحسب وإنما تحدد أيضاً محتوى المواد الكيميائية الفلورية. بيد أن إدارة القوات البحرية في الولايات المتحدة، وهي الجهة المشرفة على المواصفات العسكرية، ظلت منذ بضعة سنوات تنظر في تغيير معيار المواصفات العسكرية لكي يستند إلى الأداء بدلاً من الإشارة إلى محتوى كيميائي محدد وخواص كيميائية محددة (IPEN, 2018). وفي تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٨، وافق مجلس الشيوخ في الولايات المتحدة على منح تفويض جديد مدته خمس سنوات لإدارة الطيران الاتحادية فتغيرت معايير الأداء لرغوى مكافحة الحرائق لتسمح باستخدام الرغوى الخالية من الفلور في المطارات المدنية (كونغرس الولايات المتحدة، ٢٠١٨).

٧٧- وقد أُدخلت بالتدرج الرغوى الخالية من الفلور في المطارات المدنية في أستراليا، والدانمرك، والنرويج، والسويد، وفي مطارات رئيسية مثل هيثرو وغاتويك بلندن، ودبي، وشوتوغارت، وإدنبره، وأوكلاندا (الشبكة الدولية للتخلص من الملوثات العضوية الثابتة، ٢٠١٨). وفي المطارات المدنية في النرويج يشمل هذا الاستبدال النظم الثابتة والمتنقلة معاً. النرويج أدخلت عدة مباني عسكرية بالتدرج رغوى خالية من الفلور. إضافةً إلى ذلك فإن قطاع النفط والغاز يعكف على استخدام رغوة خالية من الفلور بالتدرج (في المنشآت البحرية والبرية معاً) في النرويج، والقطاع على قناعة وثقة بفعالية أدائها (اتصالات شخصية مع شركة إيكوبور ورابطة النفط والغاز النرويجية، وكالة البيئة النرويجية، ٢٠١٩).

٧٨- وقد أجرى معهد مكافحة الحرائق والكوارث في هيروسبيرغ بألمانيا اختبارات على ستة أنواع من رغوى مكافحة الحرائق الخالية من الفلور والمقاومة للكحول ورغوة واحدة تحتوي على مادة ألكيلية بيرفلورية لمعرفة قدرتها على إخماد حرائق خمسة سوائل مستقطبة مختلفة يمكن أن تدخل في تركيبة الديزل الحيوي (Keutel and Koch, 2016). وخلص المؤلفون إلى أن هناك رغوى خالية من الفلور تظهر أداءً مماثلاً لأداء الرغوى المحتوية على مواد ألكيلية بيرفلورية. وكما ذكر أيضاً في تقييم إدارة مخاطر حمض البيرفلوروكثانويك فقد أبلغت ولاية كوينزلاند (٢٠١٦) في أستراليا عن أن هناك إقرار بأن العديد من الرغوى الخالية من الفلور تستوفي أقسى معايير مكافحة الحرائق وتتفوق في الأداء على الرغوى المفلورة التي تشكل طبقة رقيقة في ظروف مختلفة، كما أن الرغوى الخالية من الفلور تستخدم على نطاق واسع في المطارات والمرافق الأخرى بما في ذلك منصات النفط والغاز.

٧٩- وبدأ اتحاد لاستفاير (LASTFIRE)، وهو اتحاد من ١٦ شركة نفط، مشروعاً في أواخر تسعينات القرن الماضي لاستعراض المخاطر المرتبطة بصهايرج تخزين الوقود ذات القطر الكبير (أكثر من ٤٠ متراً) والسقف العائم المفتوح من أعلى. وفي عام ٢٠١٨، اختبر مشروع لاستفاير ستة أنواع جديدة من الرغوات التي تكون طبقة مائية رقيقة المحتوية على مادة نقيه سداسية الكربون ونوعين من الرغوى الخالية من الفلور على الصهايرج الكبيرة الحجم، ومن واقع تجاربهم (استناداً إلى مجموعة مختارة من الرغوى المدرجة في الاختبار)، خلص إلى أنه لا يوجد جيل جديد من الرغوة (سواء كانت فلورية أو خالية من الفلور) يمكن اعتباره بديلاً سهلاً للإحلال، لأي تركيبة كانت تستخدم في السابق. ويتعين عند دراسة جدوى البدائل النظر في الأداء على صعيد مكافحة الحرائق وكذلك التوافق مع أساليب المكافحة والاستخدام في النظام القائم. وقد أشير إلى أن قدرة أداء الرغوات البديلة خاصة تتحدد حسب تركيبة الرغوة ونوع المعدات المستخدمة. ومن ثم لا يمكن القول بأن أداء جميع البدائل الفلورية السداسية الكربون أفضل من أداء جميع البدائل الخالية من الفلور والعكس بالعكس (Ramsden, 2018).

٨٠- وتتوفر معلومات عامة محدودة نسبياً عن التركيب أو الخواص الكيميائية للبدائل الخالية من الفلور. وقد حُدد عدد من الجهات المصنعة والمنتجات التجارية من الرغوات الخالية من الفلور المعتمدة من حيث السلامة، إلا أنه لم يُكشف عن تفاصيل التركيبات المحددة لكونها تمثل معلومات تجارية سرية (انظر الجدول ٦ في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). ومع ذلك فإن براءات الاختراع الخاصة بالرغوى الخالية من الفلور تقدم المزيد من المعلومات، فعلى سبيل المثال في براءة اختراع سولبيرغ أدرجت العناصر التالية: إيثر بيوتيل الغليكول الثنائي الإيثيلين، وصمغ الكزانثان، والنشاء، والسكر المكرن، وكبريتات اللوريل الثنائية الإيثانول أمين، وكبريتات ايثوكسي ديسيل الصوديوم، وبيتائين الكوكاميدوبرويل، وهيدروكسي سلثائين الكوكاميدوبرويل، وكبريتات ديسيل الصوديوم، وبولي غلوكوسيد الألكيل (Patent-US20080196908). (بصورة مبسطة: تركيب سكريدي مكرن، وعامل ربط تصالبي أو ملح غير عضوي، ومادة خافضة للتوتر السطحي، وماء).

٨١- وترتبط الفوائد المتأتمية من استخدام الرغوات الخالية من الفلور بالحد من التأثير الطويل الأجل على البيئة، إلا أن الآثار القصيرة الأجل المتعلقة بالسمية الحادة بسبب الطلب البيولوجي الكيميائي على الأوكسجين والطلب الكيميائي على الأوكسجين لا تختلف كثيراً عنها في الرغوات المحتوية على الفلور (IPEN, 2018). إن الرغوات الخالية من الفلور قابلة للتحلل البيولوجي بينما تحتوي الرغوات التي تكون طبقة مائية رقيقة على مواد فلورية مقاومة للتحلل (<https://echa.europa.eu/fluorine-free-foams>).

(ب) البدائل المفلورة القصيرة السلسلة:

٨٢- وفقاً لائتلاف رغوة مكافحة الحرائق (FFFC, 2017) فإن جميع عوامل الرغوة الحديثة التي تكون طبقة مائية رقيقة تحتوي على مواد فلورية خافضة للتوتر السطحي قائمة على تيلومرات فلورية، كما أن المواد الفلورية الخافضة للتوتر السطحي القصيرة السلسلة (السداسية الكربون) (أي المواد الألكيلية البيرفلورية القصيرة السلسلة المحتوية على حموض كربوكسيلية بيرفلورية بها أقل من ٧ ذرات كربون أو حموض سلفونيك ألكيلية بيرفلورية بها أقل من ٦ ذرات كربون) ظلت هي المواد الكيميائية الفلورية السائدة الاستخدام في الرغوات التي تكون طبقة مائية رقيقة القائمة على التيلومرات الفلورية خلال السنوات الخمس والعشرين الأخيرة. وتنتج التلمرة، التي تشكل إلى جانب الفلورة الكهروكيميائية عملية هامة لصنع المواد البيرفلورية، ناتجاً عادةً ما يحتوي على ذرتي كربون غير مفلورتين بين الزمرة الوظيفية والسلسلة الألكيلية البيرفلورية (Buck et al., 2011). وتشير الدراسات إلى أن التيلومرات الفلورية تتحلل في نهاية المطاف إلى حموض بيرفلورية بطبيعتها، ولذلك فإن من المعروف أن ٦:٢ حمض السلفونيك الفلوروتيلومري يتحلل إلى حمض البيرفلوروهبتانويك وحمض البيرفلوروهكسانويك ولكن ليس إلى حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني (Wang et al., 2011b). وهناك العديد من الرغوى المعتمدة التي تكون طبقة مائية رقيقة لمكافحة الحرائق من الفئة باء المطروحة في السوق قائمة على مواد فلورية خافضة للتوتر السطحي منتجة عن طريق التلمرة (انظر الجدول ٥ في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). (يرجى ملاحظة أن العديد من المواد البيرفلورية ضمن الفئة القصيرة السلسلة هي قيد الدراسة الدقيقة لكي تخضع للتنظيم في الاتحاد الأوروبي (استعرضت في الفصل ٢-٣، الفقرة ٦٨)). ومقارنةً بالرغوات الثمانية الكربون فإنه يتعين استخدام تركيبات زائدة من المواد الفلورية الخافضة للتوتر السطحي السداسية الكربون، أو المواد الأوليغومرية الخافضة للتوتر السطحي، من أجل مكافحة الفعالة للحرائق (براءة اختراع تايكو ٢٠١٤).

٨٣- إن البيئة المائية، سواء كانت سطحية أو مياه جوفية، ملوثة في العديد من المناطق بالمواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور (بما في ذلك حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني) وبالتالي تشكل خطراً على صحة الإنسان والبيئة. ومن المعروف أن مواقع التدريب على مكافحة الحرائق التي استخدمت فيها رغوى تشكل طبقة مائية رقيقة محتوية على هذه المواد (كثيراً ما توجد في المطارات ومناطق التدريب العسكري) هي أحد أهم مصادر التلوث بهذه المواد (Gobelius et al., 2018; Banzhaf et al., 2017; Hu et al., 2016; IPEN 2018). وهناك تأثير كبير على البيئة وتكاليف إصلاح عالية في هذه المواقع الساخنة. علاوةً على ذلك فإن المواد الألكيلية البيرفلورية القصيرة السلسلة البديلة المحتوية على حموض كربوكسيلية بيرفلورية بها أقل من ٧ ذرات كربون أو حموض سلفونيك ألكيلية بيرفلورية بها أقل من ٦ ذرات كربون (بما في ذلك سلائفها) تُظهر قدرة أعلى نسبياً على في الذوبان في الماء وزيادة في الانتقال في البيئة (Baduel et al., 2017; Barzen-Hanson and Field, 2015). وهناك أيضاً تركيز أكبر على "نُجج الإدارة من المهد إلى اللحد" (Ramsden, 2017). وفي بعض البلدان تخضع أيضاً مواد الرغوة المحتوية على مواد نقية سداسية الكربون (المواد التي بها ٦ ذرات كربون أو أكثر تعادل ما نسبته ٩٩,٩٩٥ في المائة من المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور) للتنظيم بشكل متزايد (حكومة كوينز لاند، أستراليا ٢٠١٦). وعلى سبيل المثال، في كوينزلاند، أستراليا، لا يسمح بإطلاق هذه المواد مباشرة إلى البيئة، بل ينبغي احتواؤها بشكل كامل في الموقع، كما يجب التخلص منها بوصفها نفايات خاضعة للتنظيم (حكومة كوينز لاند، أستراليا ٢٠١٨). إن معرفة هذه الحقائق أفضت إلى إصدار الاجتماع التاسع لمؤتمر الأطراف للمقرر التالي الذي ينص على ما يلي: "يشجع أيضاً الأطراف والجهات الأخرى على استخدام البدائل لحمض السلفونيك البيرفلوروكثاني وأملاحه وفلوريد السلفونيل البيرفلوروكثاني، عندما تكون هذه البدائل متاحة ومجدية وتتسم بالكفاءة، مع مراعاة أن رغوي مكافحة الحرائق القائمة على الفلور قد تكون لها آثار ضارة بالبيئة وصحة الإنسان وآثار ضارة من النواحي الاجتماعية والاقتصادية نتيجة لانتقالها ومقاومتها للتحلل" (المقرر ١ س-٥/٩). واعتمدت نفس التوصية فيما يخص حمض البيرفلوروكثاني (المقرر ١ س-١٢/٩).

٨٤- وقد وضعت صناعة الرغوة مبادئ توجيهية لأفضل الممارسات (FFFC, 2016) لاستخدام الرغوة المحتوية على الفلور بسبب دواعي قلق بشأن تلوث البيئة، وتشمل هذه المبادئ، على سبيل المثال، النصائح التالية:

- (أ) عدم استخدام الرغوات الفلورية من الفئة باء إلا في حالات حرائق السوائل القابلة للاشتعال التي تنطوي على خطورة كبيرة؛
- (ب) قبل البت في استخدام الرغوة الفلورية من الفئة باء في حال حريق وقود سائل خطر محدد يجب التحقق مما إذا كانت التقنيات غير الفلورية الأخرى قادرة على إنجاز الإخماد المطلوب للحريق ومقاومة الاحتراق مجدداً؛
- (ج) يتعين تقييم التقنيات والعوامل البديلة قبل فترة كافية من حالة الطوارئ التي تتطلب استجابة عاجلة؛
- (د) استخدام رغاوى التدريب التي لا تحتوي على مواد فلورية خافضة للتوتر السطحي لأغراض التدريب؛
- (هـ) استخدام طرائق اختبار بديلة للسوائل لا تحتوي على مواد فلورية خافضة للتوتر السطحي لاختبار النظم الثابتة ونظم تحديد نسب المواد في رغوة المركبات؛
- (و) كفاءة احتواء محلول الرغوة ومعالجته والتخلص الجيد منه - لا تسكب هذا المحلول مباشرةً في البيئة. وضع خطط لجمع مياه الجريان السطحي لمياه الإطفاء خاصة باستخدام الرغوة الفلورية من الفئة باء.

٨٥- وإضافةً إلى ذلك قدم الائتلاف هذه المعلومات: لا يوصى باستخدام الرغوة من الفئة باء للمخاطر من الفئة ألف (الأخشاب) أو من الفئة جيم (الكهرباء) في حال وجود خطر ضئيل أو معدوم لنشوب حريق من سائل قابل للاشتعال. وفي حال وجود هذا الخطر فإن تطبيقات الفئة جيم يجب تثبيطها نظراً لأن الرغوة تحتوي على مياه وهي موصلة للكهرباء. وتشمل الأمثلة على الحالات التي لا تتطلب استخدام الرغاوى من الفئة باء، على سبيل المثال لا الحصر، حرائق الغابات، وحرائق المساكن والإنشاءات، غرف الحاسوب ومرافق الاتصالات السلكية واللاسلكية، المطاعم والمطابخ التجارية، وحماية المرافق العامة. إضافةً إلى ذلك فإن الرغوات من الفئة باء قد تكون ضرورية لحرائق السوائل القابلة للاشتعال الصغيرة مثل حرائق السيارات التي لا تنطوي على انسكاب كبير للوقود حيث يمكن استخدام كمية كبيرة من المياه أو مطفأة بها مادة كيميائية جافة.

٢-٣-١-٢ الطلاء المعدني

٨٦- أثناء تقييم بدائل حمض السلفونيك البيروفلوركتاني نوقشت العديد من البدائل، بما في ذلك البدائل الكيميائية غير الفلورية والحلول التقنية (انظر الجدول ٣ في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8).

٨٧- إن الطلاء المعدني (الطلاء المعدني الصلب) المستخدم حصراً في نظم ذات دائرة مغلقة مدرج في الوقت الراهن كغرض مقبول لإنتاج واستخدام حمض السلفونيك البيروفلوركتاني وأملاحه وفلوريد السلفونيل البيروفلوركتاني في المرفق باء بموجب اتفاقية استكهولم، وتوجد بعض الأطراف المسجلة لهذا الاستثناء. بيد أنه تقرر في الاجتماع التاسع لمؤتمر الأطراف تحويل الاستثناء الخاص بالاستخدام المقبول لحمض السلفونيك البيروفلوركتاني وأملاحه وفلوريد السلفونيل البيروفلوركتاني إلى إعفاء محدد لفترة زمنية محدودة (المقرر ١س-٤/٩). ويستخدم الطلاء المعدني الصلب لحماية المكونات المعدنية من البلى والتآكل. ومن الأمثلة على التطبيقات الصناعية على الطلاء الكهربائي بالكروم الصلب البكرات الصناعية والأسطوانات الهيدروليكية وعمود الكرنك. ومن خلال عملية الطلاء بالكهرباء توضع طبقة رقيقة من الكروم على المعدن الأساسي أو سطح السبيكة المعدنية لقطعة تصنيع تكتسب فيها صفات المقاومة والصلابة أهمية. وفي هذه التطبيقات تُغمر قطعة التصنيع في مغطس حمض الكروميك (الكروم السداسي التكافؤ). إن العوامل القامعة للأبخرة هي عوامل كيميائية تضاف إلى مغطس الكروم لتخفيض كمية الكروم التي تفقد على السطح، كما أن الكروم السداسي التكافؤ مسبب للسرطان عند الإنسان ولهذا تستخدم العوامل القامعة للبخار (الرذاذ) للحد من التعرض المهني مما يقلل من خطر سرطانات الجهاز التنفسي. والعوامل القامعة للبخار (الرذاذ) الكيميائي هي مواد خافضة للتوتر السطحي تعمل

على خفض التوتر السطحي لمحلول الطلاء، ومن خلال التحكم في التوتر السطحي تصبح فقاعات غاز المعالجة أصغر حجماً وتتصاعد بوتيرة أبطأ مقارنةً بالفقاعات الأكبر حجماً ويقل احتمال وصول انبعاثات الرذاذ إلى الهواء حيث أن القطرات تسقط مجدداً في مغس الطلاء.

٨٨- ولا يتضح من المعلومات العامة المتاحة عن حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني حجم استخدام هذه المادة في الطلاء المعدني. بيد أنه تُحددت بعض براءات الاختراع (Dainippon, 1979, 1988; 3M, 1981; Hengxin, 2015) لاستخدام حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه وعدة مركبات مرتبطة به في الطلاء المعدني كموانع لانتشار الرذاذ، مما يشير إلى احتمال حدوث مثل هذا الاستخدام (استعرض ذلك في تقرير وكالة البيئة النرويجية (M-961/2018)). ومن المرجح أن تكون على الأقل هوي هينغسين في الصين قد طرحت في السوق ملح البوتاسيوم لهذا الحمض لاستخدامه في الطلاء المعدني وكذلك فلوريد السلفونيل البيروفلوروهكساني كمادة خام لمختلف أنواع الطلاء بالكهرباء (للزينة، وما إلى ذلك) (Hengxin, 2019). وينبغي الإشارة إلى أن تصنيع (بما في ذلك استيراد) أو معالجة ملحخين من أملاح حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني (حمض سلفونيك الهكسان الثلاثي عشر الفلور، المركب مع ٢،٢-ثاني إيثانول الإمين (١:١)؛ الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية ٧٠٢٢٥ - ١٦ - ٠ وجليسينات ن-إيثيل ن-[(هكسيل ثلاثي عشر الفلور) سلفونيل] بوتاسيوم؛ الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية: ٦٧٥٨٤-٥٣-٦) لاستخدامهما كمكون مادة مُنَمَّشَّة، بما في ذلك مادة خافضة للتوتر السطحي أو كابنة للأبخرة، تستخدم في عملية الطلاء لإنتاج الأجهزة الإلكترونية، لن يُعتبر استخداماً جديداً هاماً يخضع للإبلاغ بموجب قاعدة الاستخدام الجديد الهام التي وضعتها وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة بشأن سلفونات البيروفلوروألكيل ومواد كربوكسيلات البيروفلوروألكيل الطويلة السلسلة (U.S. EPA, 2013). علاوةً على ذلك فإنه نتيجةً للإنتاج غير المقصود لحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني أثناء عملية الفلورة الكهروكيميائية (Wang et al., 2017) فإن من المرجح أن تحتوي المواد الكابحة للرذاذ/الأبخرة المحتوية على حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني والمستخدم في الطلاء المعدني على كميات عرضية من حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني و/أو أملاحه و/أو المركبات المرتبطة به.

التقنيات البديلة غير الكيميائية

٨٩- تتوفر بعض التكنولوجيات البديلة التي تغني عن استخدام المواد الكيميائية وتمنع إطلاقات الكروم السداسي التكافؤ أثناء عمليات الطلاء (الجدول ٣ في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). وتشمل هذه التقنيات ذلك استخدام كرات مطلية بمادة الإيثيلين الرباعي الفلور المتبلر على سطح المغس أو شبكة أو أغطية بطانية لمغاس الطلاء. بيد أن فعالية هذا النهج مقارنةً بالمواد الكابحة للرذاذ كانت موضع تساؤل (انظر الفرع ٢-٥-٣ في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). وهناك أيضاً استخدام أجهزة التحكم، من قبيل الحشوات الشبكية المركبة أو جهاز تنقية أبخرة حمض الكروميك (<https://www.monroenvironmental.com/air-pollution-control/packed-bed-wet-scrubbers/>) لاحتجاز الهباء الجوي الناتج من الطلاء بالكروم. ووفقاً للتوجيهات المتعلقة بأفضل التكنولوجيات المتاحة/أفضل الممارسات البيئية لاستخدام حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني (UNEP2017b) فإن هذه التقنيات تعتبر بدائل لاستخدام أجهزة التحكم القائمة على هذا الحمض، وقد أشير إلى أنه لا توجد أية عوامل تحد من إمكانية الحصول على أجهزة التحكم هذه، وهي متاحة تجارياً في كندا (UNEP/POPS/POPRC.12/INF/15/Rev.1). وتجمع الحشوات الشبكية المركبة انبعاثات الكروم وتنقلها من خلال حشوة شبكية تشبه البطانية حيث تتكثف جسيمات الكروم وتجمع، ويتم ذلك بصورة رئيسية من خلال وسائل فيزيائية. وتتكون الحشوة الشبكية المركبة عادةً من عدة أطوار من حشوات شبكية. وتزيل الأطوار الأولى الجسيمات الكبيرة بينما تزيل الأطوار المتوسطة الجسيمات الأصغر حجماً وتزيل الأطوار النهائية الجسيمات المجهرية. إن هذا النظام فعال في إزالة القطرات ووقف انتشار رذاذ حمض الكروميك. وفي حدود معرفتنا فإنه من غير المعلوم ما إذا كان استخدام هذا النظام يمكن أن يؤدي إلى زيادة نفايات حمض الكروميك، والتكاليف/المخاطر الناشئة عن ذلك. وتشمل التقنيات البديلة الإضافية المتاحة للطلاء بالكروم القائم على

التكنولوجيا النانوية (<http://www.greencoat.it>)، وهو نظام من طبقتين طورته شركة هاويز للطلاء التقني (<https://www.hauzertechnocoating.com/en/>) ونظام هكساغون المبنى على المستودعات الذكية التي يمكن أن تحتجز المواد الكيميائية المضادة للتآكل التي كانت في السابق غير متوافقة مع الطلاءات (<https://www.hexigone.com/>). غير أنه ليس من الواضح ما إذا كانت هذه التقنيات يمكن أن تستخدم في الطلاء المعدني الصلب وكذلك في الطلاء المعدني لأغراض الزينة.

البدائل الكيميائية

٩٠- بين بولسين وآخرون (٢٠١١) أن من الممكن استخدام مواد كإضافة للرداذ خالية من حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني في الطلاء بالكروم الصلب السداسي التكافؤ لغير أغراض الزينة في نظم الدائرة المغلقة. ويخفض البديل الفلوري فيوميتروك (Fumetrol® 21) من شركة اتوتيك، وهو بديل قائم على ١، ١، ١، ٢، ٢-بيروفلوروكثان حمض السلفونيك (حمض سلفونيك فلوروتيلومري بنسبة ٦:٢؛ الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية ٢-٩٧-٢٧٦١٩) انبعاثات الكروم السداسي التكافؤ. ويتحلل البديل الكيميائي الألكيلي المتعدد الفلور في نهاية المطاف إلى مزيج من الحموض الكربوكسيلية البيروفلورية المحتوية على سلاسل ألكيلية بها ما لا يزيد عن ست ذرات كربون بيروفلورية. وهناك محاولات جارية ترمي إلى استخدام الكروم الثلاثي التكافؤ أيضاً في الطلاء بالكروم الصلب لتطوير بديل للكروم السداسي التكافؤ مراعاة للبيئة لاستخدامه في مجال الطلاء بالكروم (<https://www.pfonline.com/blog/post/nucor-invests-in-environmentally-friendly-chrome-plating>).

٣-١-٣-٢ المنسوجات بما في ذلك الجلود والمنسجات

٩١- تستخدم عوامل التشطيب القائمة على المواد الألكيلية البيروفلورية والمتعددة الفلور على نطاق واسع في المنسوجات لصد الماء والزيت والأوساخ من المواد، مع الحفاظ في الوقت نفسه على تهوية النسيج. ووفقاً لشركة هوبي هينغسين فإن المركب المرتبط بـ حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني، أكريلات [ن-ميثيل-بيروفلوروهكسان-١-سلفوناميد] الإيثيل (الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية: ٠-٥٧-٦٧٥٨٤) يستخدم في نواتج صادة للزيت والماء في الجلود والمنسوجات (Hengxin, 2019). ويشكل استخدام المواد الألكيلية البيروفلورية والمتعددة الفلور في إنتاج المنسوجات زهاء ٥٠ في المائة من الاستخدام العالمي لهذه المواد (Danish EPA, 2015). ووفقاً لدراسة أجرتها الحكومة الدانمركية (وكالة حماية البيئة الدانمركية، ٢٠١٥) فإن خمس مجموعات كيميائية بديلة غير فلورية قد ذكرت في التقرير؛ (١) البرافينات، (٢) ميلامين حمض الستياريك، (٣) السيليكون، (٤) الدندرايمرات (٥) المواد النانوية. وخلص التقرير إلى أن البدائل غير الفلورية، التي توفر صدأ دائماً للمياه متاحة، إلا أن البدائل الكيميائية غير الفلورية لصد الزيت والأوساخ محدودة (Danish EPA, 2015). وتوجد مجموعة من عوامل تشطيب المنسوجات الخالية من مركبات الكربون الفلورية والصادة للماء من بينها منتجات تجارية مثل بيونيك فينيش (BIONIC-FINISH®ECO) وروكو دراي (RUCO-DRY® ECO) التي تسوقها شركة رودولف المحدودة، غيريتسريد/ألمانيا؛ ومنتجات بيورتيكس (Purtex® WR) و (Purtex® WA) التي تسوقها مجموعة فرودنبيرغ، واينهايم، ألمانيا؛ وإيكوربيبل (ecorepel®) الذي تسوقه شركة شويلر للتكنولوجيا، سيفلين/سويسرا. كذلك تتوفر تطبيقات معالجة سطوح المنسوجات والسجاد القائمة على الأكريلات والميثاكريلات والأديبات (UNEP/POPS/POPRC.13/7/Add.2).

٩٢- وهناك دراسة للمواد الاستهلاكية تبحث في تباين الأداء الوظيفي بين كيميائ صد الماء والزيت في المواد الألكيلية البيروفلورية والمتعددة الفلور الطويلة السلسلة (ثمانية الكربون)، وكيميائ صد الماء والزيت في المركبات الأقصر سلسلةً من هذه المواد (سداسية الذرات)، وكيميائ صد الماء والزيت في المواد غير الفلورية في الملابس التي تستخدم خارج المباني بهدف تقديم مقارنة جديدة بين الأقمشة الصادة للماء والزيت المتوفرة تجارياً في الوقت الحالي والمخصصة للملبوسات التي تستخدم خارج المباني، فضلاً عن تقييم وظيفتها في صد الماء والزيت على حد سواء (Hill et al., 2017). وفيما يخص المستهلكين للملابس التي تستخدم خارج المباني فإن المواد الكيميائية غير الفلورية يمكن أن تلبى حالياً متطلبات صد الماء. ويشير المؤلفون إلى أن استخدام المواد الألكيلية البيروفلورية

والمتعددة الفلور في الملابس التي تستخدم خارج المباني ينطوي بالتالي على تعقيد لا داعي له نظراً لأنه يوفر صدأً للزيت بمستوى أعلى من المستوى الذي يحتاج إليه المستهلك. وفي دراسة مختلفة أظهرت بوليمرات مفلورة ذات سلاسل جانبية وعوامل غير مفلورة صادة للماء قائمة على سيلوكسانات ثنائية الميثيل متبلرة أو هيدروكربونات قدرة متميزة على صد الماء وممانعة ممتازة في بعض الحالات، إلا أن البوليمرات المفلورة ذات السلاسل الجانبية القصيرة السلسلة كانت هي أكثر البدائل فعالية مقارنةً بنفس البوليمرات الطويلة السلسلة من حيث صد الماء (Schellenberger et al., 2018). ولوحظ انخفاض شديد في صد الزيت والممانعة عند زيادة طول سلسلة المادة الألكيلية البيروفلورية فيما يخص البوليمرات المفلورة ذات السلاسل الجانبية. وكانت البدائل غير المفلورة غير قادرة على صد الزيت، مما قد يحد من إمكانية استخدامها كبديل في تطبيقات المنسوجات التي تتطلب قدرةً على صد السوائل غير القطبية، مثل المنسوجات الطبية التي تستخدم في الأروحية الجراحية والأجواخ، في غرف العمليات، وملابس الأطباء والمرضى والموظفي المختبرات الذي يتعين حمايتهم من الدم وسوائل الجسم الناقلة للعدوى والفيروسات. (Schellenberger et al., 2018). ويتمشى ذلك مع المعلومات المقدمة عند تقييم بدائل حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني الذي جرى تحديثه في عام ٢٠١٨ (UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). غير أنه في نفس الدراسة تبين بالتجربة أن بعض المواد الخالية من الفلور وحتى المواد المتينة القابلة للتحلل البيولوجي التي تصد الماء يمكن أن توفر درجة معينة من صد الأوساخ (Schellenberger et al., 2018).

٩٣- وفي الاجتماع التاسع لمؤتمر الأطراف مُنح إعفاء محدد لاستخدام حمض البيروفلوروكثاني مركبات وأملاحه والمركبات المرتبطة به في المنسوجات لصد الزيت والماء بهدف حماية العمال من السوائل الخطرة التي تهدد صحتهم وسلامتهم (المقرر ١ س-١٢/٩).

٢-٣-١-٤ عوامل التلميع وعوامل التنظيف/الغسل بما في ذلك الطلاءات والتشريب/التصميم (للحماية من الرطوبة، الفطريات، الخ.)

٩٤- يتوفر عدد من المنتجات عن طريق البحث في الإنترنت، غير أنه لا يتوفر سوى القليل من المعلومات عن محتوى وهوية المواد الكيميائية في هذه المنتجات. فعلى سبيل المثال، مادة التشريب الحجرية 'أمبريغنو' هي مادة مسيكة/صادة للأوساخ خالية من الفلور (<https://impregno.de/>).

٩٥- ولا تتوفر الكثير من المعلومات العامة عن استخدام حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني في منتجات التنظيف و/أو الغسل و/أو الصقل. وأفيد باستخدام مركب مرتبط بحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني (الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية: ٦٧٥٨٤-٦٥٣-٦، [N-Ethyl-N-(tridecafluorohexyl) sulfonyl]glycine، وهو ملح بوتاسيوم) في عوامل الصقل وعوامل التنظيف/الغسل على الأقل خلال الفترة بين عامي ٢٠٠٠ و ٢٠١٥ في الدانمرك والنرويج والسويد (SPIN, 2018).

٩٦- وأفيد باستخدام مركب مرتبط بحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني (الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية: ٦٧٥٨٤-٦١-٦، [Methyl[(Tridecafluorohexyl) Sulfonyl]Amino]Ethyl Methacrylate) في التشريب والتصميم للحماية من الرطوبة والفطريات وما إلى ذلك، في أربع منتجات على الأقل في الدانمرك في الفترة من عام ٢٠٠٣ إلى عام ٢٠٠٩ (SPIN, 2018). علاوةً على ذلك فقد وجد أن نفس المركب المرتبط بحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني (الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية: ٦٧٥٨٤-٦١-٦) مسجلٌ في نفس فئة الاستخدام في النرويج في عام ٢٠١١.

٩٧- وأفاد مجلس التكنولوجيا الفلورية (انظر UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8) بأن عدداً كبيراً من الموردين العالميين يعرضون بدائل "غير مفلورة"، منها ما يلي:

(أ) مواد صادة هيدروكربونية قائمة على الشمع تتكون من تركيبات برفين وملح معدني؛

(ب) بوليورثانات معدلة كارهة للماء (بوليورثانات معدلة شديدة التفرع كارهة للماء تسمى الديندرامرات)؛

(ج) منتجات قائمة على البولي سيلوكسان؛

(د) مواد صادة قائمة على الراتنجات تتكون من حموض دهنية وراتنجات ميلامين معدلة.

٢-٣-١-٥ تصنيع الإلكترونيات وأشباه الموصلات

٩٨- استخدم حمض السلفونيك البيروككتاني في صناعة أشباه الموصلات لتطبيقات من بينها المواد الحساسة للضوء والطلاءات غير الانعكاسية وكعامل نقش لأشباه الموصلات المركبة والمرشحات الخزفية. هذه الاستخدامات مدرجة في الوقت الراهن على أنها أغراض مقبولة لإنتاج واستخدام حمض السلفونيك البيروككتاني وأملاحه وفلوريد السلفونيل البيروككتاني، في المرفق بء من الاتفاقية. بيد أن الاجتماع التاسع لمؤتمر الأطراف قرر أنه لا توجد حاجة مستمرة لاستخدام حمض السلفونيك البيروككتاني وأملاحه وفلوريد السلفونيل البيروككتاني في صناعة أشباه الموصلات، ولذلك قرر حذف الغرضين المقبولين لهذه التطبيقات (المواد الحساسة للضوء والطلاءات غير الانعكاسية لأشباه الموصلات وعامل النقش لأشباه الموصلات المركبة والمرشحات الخزفية) من قائمة حمض السلفونيك البيروككتاني (المقرر ١٥-٩/٤).

٩٩- وقد أبلغت عدة دراسات عن إطلاقات وانبعاثات لحمض السلفونيك البيروككتاني من صناعة أشباه الموصلات (استعرضت في موجز مخاطر حمض السلفونيك البيروككتاني؛ UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) مما يشير إلى أنه استعيب عن حمض السلفونيك البيروككتاني بحمض السلفونيك البيروككتاني في هذا التطبيق. وقد أظهرت الدراسات أن حمض السلفونيك البيروككتاني هو المادة الألكيلية البيروككتانية الرئيسية في النفايات السائلة النهائية من مصنع لإنتاج أشباه الموصلات في مقاطعة تايوان الصينية (Lin et al., 2009). تلك المعلومات تعززها أيضاً المعلومات المنشورة التي تبين أن حمض السلفونيك البيروككتاني يُستخدم في صناعة أشباه الموصلات. وقد كان حمض السلفونيك البيروككتاني (١٣٣,٣ نانوغم/ل)، إلى جانب حمض السلفونيك البيروككتاني (١٢٨,٧ نانوغم/ل) أحد الملوثات الرئيسية في موقع المياه المستعملة لمنشأة لتصنيع أشباه الموصلات. ويوجد كلا حمضي السلفونيك الألكيليين البيروككتانيين بكميات مماثلة في تلك النفايات السائلة، مما يدل على أن حمض السلفونيك البيروككتاني هو أحد المواد الرئيسية في هذه العملية (Lin et al., 2010). ولا تبقى المادة الألكيلية البيروككتانية (مثل حمض السلفونيك البيروككتاني أو حمض السلفونيك البيروككتاني) في أشباه الموصلات لكن في حالة عدم إزالة هذه المواد من المياه المستعملة قبل تصريفها فإنها ستصرف مع المياه المستعملة وتصل إلى البيئة.

١٠٠- ولا توجد معلومات أخرى متاحة عن عمليات محددة في صناعة الإلكترونيات وأشباه الموصلات يستخدم فيها حمض السلفونيك البيروككتاني، ولذلك فإن من الضروري استعراض كل المعلومات المتاحة بشأن بدائل حمض السلفونيك البيروككتاني ضمن صناعة الإلكترونيات وأشباه الموصلات. ووفقاً للتوجهات بشأن بدائل حمض السلفونيك البيروككتاني (UNEP/POPS/POPRC.9/INF/11/Rev.1) فإن هناك حاجة لكميات صغيرة من المركبات المرتبطة بحمض السلفونيك البيروككتاني أثناء تطبيقات الليثوغرافية الضوئية الحاسمة التالية عند صناعة رقائق أشباه الموصلات:

(أ) عوامل الزخرفة/المواد الحساسة للضوء الفائقة الدقة بوصفها مولدات لأحماس التصوير ومواد خافضة للتوتر

السطحي؛

(ب) الطلاءات غير الانعكاسية بوصفها مواد خافضة للتوتر السطحي فريدة الأداء.

١٠١- ويمكن أن يستخدم حمض السلفونيك البيروككتاني، مثله مثل حمض السلفونيك البيروككتاني، كمادة خافضة للتوتر السطحي في صناعة أشباه الموصلات المركبة وغسله أثناء معالجة الغسل اللاحقة. علاوةً على ذلك، قرر الاجتماع التاسع لمؤتمر الأطراف أنه فيما يخص إدراج حمض البيروككتاني وأملاحه والمركبات المرتبطة به منح إعفاء محدد لاستخدامها في صناعة أشباه الموصلات والأجهزة الإلكترونية مدته خمس سنوات بعد بدء نفاذ التعديل (المقرر ١٥-٩/١٢).

١٠٢ - وحددت العديد من البدائل الكيميائية غير المفلورة أثناء تقييم بدائل حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني (UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8/Add.1). وصنفت البدائل التالية على أنها من غير المحتمل أن تُظهر خصائص الملوثات العضوية الثابتة؛ خلالت الأميل، وخلالت الأسيئات البوتيل، ولاكتات الإيثيل، وميثيل-٣-الميثوكسي بروبيونات، وخلات إيثر ميثيل غليكول البروبيلين. وتبين المؤلفات العلمية أن من الممكن تطوير نظام لمواد حساسة للضوء خالية من حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني (Ayothi et al., 2006). وهناك أيضاً بعض براءات الاختراع التي تصف تركيبات لمواد حساسة للضوء خالية من الفلور بوصفها بدائل لحمض السلفونيك البيروفلوروكثاني/المواد الألكيلية البيروفلورية (انظر UNEP/POPS/POPRC.12/INF/15/Rev.1). وفي عام ٢٠١٠ أعلنت شركة آي بي إم عن مولىد لأحمض التصوير خالي من الفلور في إطار تخلصها التدريجي من المواد الألكيلية البيروفلورية والمتعددة الفلور، وتشير الشركة إلى أن هذه العملية الخالية من الفلور تستوفي متطلبات الأداء للتعرض الجاف والتعرض بالغمس (<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/7639/1/Design-synthesis-and-characterization-of-fluorine-free-PAGs-for-193/10.1117/12.846600.short>)، كما تصف شركة فوجي مواداً حساسة للضوء خالية من حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني ومن المواد الألكيلية البيروفلورية والمتعددة الفلور لاستخدامها في صناعة أشباه الموصلات (https://www.fujifilmusa.com/products/semiconductor_materials/photoresists/krf/index.html#features).

٢-٣-٢ الاستخدامات الأخرى

١٠٣ - إضافةً إلى التطبيقات المذكورة أعلاه، يمكن أن تشمل فئات الاستخدام المحتملة الأخرى مبيدات الآفات ومثبطات اللهب والورق، وفي صناعة النفط فضلاً عن ملابس الطباخين. علاوةً على ذلك فإن المعلومات الواردة من مختلف المصادر تشير إلى أن حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني اكتشف في المواد الملامسة للأغذية، والمواد المانعة للتسرب، والمواد اللاصقة، والرغوة المعمارية، والطلاءات، وكذلك في بعض التطبيقات في المباني والإنشاءات (انظر الجدول ١-٩ في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4).

١٠٤ - وأفادت رابطة التصوير والطباعة في أوروبا التي تشمل كل الشركات المصنعة الرئيسية للمنتجات الفوتوغرافية (صناعة التصوير الضوئي وصناعة التصوير الفوتوغرافي) داخل الاتحاد الأوروبي، بأن أعضاءها لا يستخدمون حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني أو أملاحه أو المركبات المرتبطة به (رابطة التصوير والطباعة في أوروبا، معلومات المرفق (او)).

٢-٤ موجز المعلومات عن آثار تنفيذ تدابير الرقابة الممكنة على المجتمع

١٠٥ - يمكن توقع حدوث تأثير إيجابي على صحة الإنسان والبيئة نتيجةً للحد من استخدام حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به أو القضاء على هذا الاستخدام على المستوى العالمي. ومن المهم جداً أن تؤخذ في الاعتبار الخصائص المحددة لحمض السلفونيك البيروفلوروهكساني عند تقييم آثار فرض قيود على صحة الإنسان والبيئة. هذه المواد تعتبر ملوثات عضوية ثابتة ولذلك فهي تتميز بخواص محددة. وتتعلق هذه الخواص على وجه الخصوص بقدرة الحمض على مقاومة التحلل في البيئة، الأمر الذي يعني أنه لا يزول من البيئة. لذلك فإن حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني يتميز، نتيجةً لانتقاله البعيد المدى، بمقاومة التحلل في البيئة على الصعيد العالمي، وكذلك في المناطق النائية حيث تكون الانبعاثات ضئيلة. إضافةً إلى ذلك فإن لهذا الحمض القدرة على التراكم في الكائنات الحية كما أنه له خواص سامة مما قد يؤدي إلى حدوث آثار ضارة بصحة الإنسان والبيئة نتيجةً للتعرض الطويل الأجل. كذلك يتميز الحمض بأطول عمر نصف مبالغ عنه في مصل الدم البشري مقارنةً بأي مادة ألكيلية بيروفلورية أخرى. ولذلك فإن إدارة مخاطر هذه المواد تعتمد على البيانات العلمية والإجراءات الاحترازية بما يتماشى مع هدف اتفاقية استكهولم المتمثل في تفادي الآثار الحادة والدائمة المحتملة الناجمة عن الانبعاثات المستمرة.

٢-٤-١ الصحة، بما ذلك الصحة العامة والبيئية والمهنية

١٠٦- إن من شأن القضاء على إنتاج واستخدام وتصدير واستيراد حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني والمركبات المرتبطة به من خلال الإدراج في المرفق ألف بدون إعفاءات أن يكون له أثر إيجابي على الصحة البشرية والبيئة من خلال خفض الانبعاثات والقضاء عليها في نهاية المطاف. وكما هو مبين في موجز المخاطر فإن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني لوث على نطاق واسع البيئة بما في ذلك البشر والأحياء البرية (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). وقد لوحظت طائفة واسعة من الآثار في الإنسان والحيوان نتيجةً للتعرض لهذا الحمض. ويمكن أن تشمل هذه الآثار التأثيرات السلبية على وظيفة الكبد، واستقلاب الليبيدات والبروتين الشحمي، وإعاقة عمل الغدد الصماء، والتغيرات في كولسترول مصلى الدم، والبروتينات الشحمية، والغلوسريدات الثلاثية، وإنزيم الفوسفاتيز القلوي، وآثار على الإنجاب، كما يمكن أن يؤثر على تطور الدماغ وجهاز المناعة. وأظهرت دراسات في علم الأوبئة تأثيرات على استجابة الأجسام المضادة للقاحات. كذلك وجد الحمض في الدم، ودم الحبل السري، وحليب الأم (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). ويتميز الحمض بعمر نصف طويل جداً في البشر (Olsen et al., 2007) وينتقل من جيل إلى جيل عن طريق المشيمة وحليب الأم (Winkens et al., 2017).

١٠٧- وقد ثبت أن مياه الشرب تمثل مصدراً هاماً لتعرض الإنسان، وفي المناطق التي توجد بها مياه شرب ملوثة لوحظ وجود اتجاه تصاعدي في مستويات الحمض في دم الإنسان (Li et al., 2018). ونتيجةً للاستخدام الواسع النطاق للمواد الألكيلية البيرفلورية في الرغوات التي تشكل طبقة مائية رقيقة واستخدام هذه المواد في الماضي، واستخدامها في بعض البلدان، واستمرار الممارسة المتمثلة في التدريب في الميادين المفتوحة، يضاف إلى ذلك مقاومة هذه المواد للتحلل، فإن مصادر مياه الشرب أصبحت ملوثة في العديد من البلدان في جميع القارات (Gobelius et al., 2018; Banzhaf et al., 2017; Mak et al., 2009; Kabore et al., 2009; Ericson et al., 2009; Zafeiraki et al., 2015; Boiteux et al., 2012). وفي دراسة أجريت في عام ٢٠١٤، قُدِّر أن مياه شرب ٣,٦ مليون شخص قد تأثرت بالمواد الألكيلية البيرفلورية، بما في ذلك حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني، من بين ما يقرب من ١٠ ملايين نسمة في السويد (Banzhaf et al., 2017). وفي الفترة من عام ٢٠١٠ إلى عام ٢٠١٥ اكتُشف حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني في ماء الشرب في ٢٣ ولاية بالولايات المتحدة، في ١٣٤ مرفقاً من مرافق التزود بالماء تخدم ٥,٥ ملايين شخص (قاعدة بيانات صنابير المياه التابعة للفريق البيئي العامل). واكتشفت وجود الحمض في ٥٥ مصدراً عاماً من مصادر المياه من بين ٩٢٠ ٤ مصدراً بمستويات تزيد عن أدنى مستوى يمكن الإبلاغ عنه (يساوي ٠,٠٣ ميكروغم/ل)، واحتوت ٢٠٧ عينات من بين ٩٧١ ٣٦ عينة على الحمض (USEPA, 2017).

١٠٨- وقد حددت الكثير من البلدان، بهدف حماية سكانها، قيماً حدية لبعض المواد الألكيلية البيرفلورية في مياه الشرب (انظر الفرع ١-٥). وفي عام ٢٠١٤، شرعت الوكالة السويدية للمواد الكيميائية وإدارة الأغذية والعقاقير السويدية في إنشاء شبكة وطنية معنية بالمواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور للسلطات والباحثين والمجالس الإدارية للمقاطعات، والبلديات، ومنتجي المياه. وتركز الشبكة على التصدي لمشكلة هذه المواد في مياه الشرب، وتناقش الحلول لإزالة تلك المواد من التربة ومياه الشرب، ولكن تعمل أيضاً على المزيد من المبادرات بما في ذلك البحوث في مجال المواد البيرفلورية. وتمثل الشبكة منبراً لتعزيز التواصل ودعم مختلف الجهات الفاعلة في البلد (KemI, 2014).

١٠٩- إن التقنيات التقليدية لمعالجة المياه مثل التبخير بشب الحديد، والترشيح الحبيبي/الدقيق/الفائق الدقة، والتهوية، والأكسدة (أي باستخدام البيرومغنات، والأشعة فوق البنفسجية/فوق أكسيد الهيدروجين)، والتطهير (أي عن طريق المعالجة بالأوزون، ثاني أكسيد الكلور، الكلورة، والمعالجة بالكلورامين) هي في معظمها غير فعالة في إزالة المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور (Boone et al., 2019). لقد تبين أن طرائق معالجة المياه لتطهيرها مثل الكلورة والمعالجة بالأوزون تؤدي إلى تحلل السلائف من مجموعة من أربعة أميدات وسلفوناميدات ألكيلية متعددة الفلور زويتريونية/كاتيونية مكونة حمض البيرفلوروكتانويك وحمض

السلفونيك البيرفلوروكثاني (Xiao et al., 2018). وقد لوحظ أيضاً زيادة مستويات فرادى المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور في السوائل المتدفقة إلى خارج محطات معالجة المياه المستعملة مقارنةً بالسوائل المتدفقة إلى داخلها. وهناك زيادة صافية في كتلة حمض البيرفلوروهكسانويك وحمض البيرفلوروكثانويك وحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وحمض السلفونيك البيرفلوروكثاني في السوائل المتدفقة إلى خارج جميع محطات معالجة المياه المستعملة مقارنةً بالسوائل المتدفقة إلى داخلها، ويبلغ متوسط هذه الزيادات ٨٣ في المائة و٢٨ في المائة و٣٧ في المائة و٥٨ في المائة، على التوالي (Eriksson et al., 2017). إن كمية السلائف والمواد الوسيطة في المياه الداخلة والحماة، يضاف إلى ذلك صافي الزيادة في كتلة الحموض الكربوكسيلية البيرفلورية وحموض السلفونيك الألكيلية البيرفلورية المقاومة للتحلل من محطات معالجة مياه الصرف الصحي المضمنة في الدراسة تدعم الفرضية القائلة بأن تحلل مركبات السلائف يساهم بشكل كبير في تلوث البيئة بالمواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور (Eriksson et al., 2017).

١١٠- وقد اتضح أن بعض التقنيات فعالة في إزالة المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور من المياه (بالرغم من ارتفاع تكاليفها، انظر الفرع ٢-٤-٤). ويمكن أيضاً استخدام هذه التقنيات على السوائل الخارجة من محطات معالجة مياه الصرف الصحي بهدف خفض الانبعاثات إلى البيئة. ويزال حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني بنسبة تزيد عن ٩٥ في المائة عن طريق الترشيح النانوي في الماء المُرَّال الأيوني عندما وجود طبقة اصطناعية من المياه الجوفية والأوساخ المترسبة على غشاء الترشيح، وهو سيناريو يمثل بشكل أدق السيناريو الواقعي. وقد تبين أن الترشيح الدقيق أو الترشيح الفائق الدقة بالاقتران مع التناضح العكسي يؤدي لإزالة المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور المستهدفة، بما في ذلك حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني. وعلى الرغم من أن راتنج التبادل الأيوني أقل فعالية في إزالة العديد من مركبات المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور القصيرة السلسلة الأخرى إلا أنه يزيل بشكل فعال ما يزيد عن ٩٧ في المائة من حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني (استعرض في دراسة ارفانتي وستاسيناكس، ٢٠١٥). وقد أزال التبادل الأيوني والمعالجة بالفحم الحبيبي المنشط بشكل تفضيلي المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور وحموض السلفونيك الألكيلية البيرفلورية الأطول سلسلَةً مقارنةً بالحموض الكربوكسيلية البيرفلورية، وكان التناضح العكسي فعالاً في إزالة جميع المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور، بما في ذلك المركبات الأصغر من هذه المواد. مثل حمض البيرفلورويوتانويك (Appleman et al., 2014). علاوةً على ذلك فقد تبين أن التبادل الأيوني والفحم الحبيبي المنشط أعلى كفاءةً في إزالة حموض السلفونيك الألكيلية البيرفلورية الخطية مقارنةً بالمتفرعة، مما يشير إلى أن مصممي ومشغلي عمليات المعالجة بالتبادل الأيوني والفحم الحبيبي المنشط يجب أن يأخذوا في الاعتبار الطبيعة الانتقائية لإزالة المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور وعمليات انتزاع الحموض الكربوكسيلية البيرفلورية القصيرة السلسلة المرتبطة بها أثناء الإزالة المشتركة للعديد من المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور (McCleaf et al., 2017).

١١١- وقد وجد أن الغبار يشكل مصدراً هاماً للتعرض، وبخاصةً للتعرض المهني، ولكن أيضاً تعرض الأطفال الذين يتعرضون بشكل أكبر للغبار بسبب سلوك استخدام أيديهم وأفواههم. وفي مصنع صيني للكيمياويات الفلورية يُنتج المركبات المرتبطة بحمض السلفونيك البيرفلوروكثاني، وُجد أن أهم مصدرين للتعرض البشري لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني هما غبار الأماكن المغلقة (٦٧,٣ في المائة) والنظام الغذائي (٣١,٦ في المائة) (Gao et al., 2015). وكانت تركيزات الحمض في مصل الدم تتراوح بين ١٢,٨ و١٠٥٤٦ نانوغرام/مل، بينما تراوحت المستويات في غبار الأماكن المغلقة بين مستويات غير قابلة للكشف و٢٥٧٢٠١ نانوغرام/غم (المتوسط = ١٥٧٢٦) (Gao et al., 2015). وفي دراسة أخرى أُجريت في مصنع للكيمياويات الفلورية يقع في نفس المقاطعة، تراوحت تركيزات حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني في أمصال أفراد أسر العمال بين ٤,٣٣ و٣١٦٤ نانوغرام/مل، وفي غبار المساكن المرتبطة بالمصنع بين ٠,٤٤ و٧٠٨ نانوغرام/غم، وكلتا النسبتين أعلى بكثير مما يوجد في المساكن العادية في منطقة المصنع، أما تركيز الحمض في الأغذية فكان يتراوح بين ٠,٠٦٧ و٠,٤٤٨ نانوغرام/غم من الوزن الرطب، وفي ماء الشرب بين صفر و٣,٢ نانوغرام/ل (Fu et al., 2015). ومن شأن التهوية واستخدام معدات الحماية الشخصية والإجراءات الصارمة لتغيير الملابس الواقية في مختلف المناطق أن تقلل من التعرض.

١١٢- وسيستفيد رجال الإطفاء من فرض حظر على حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به. وفي رجال الإطفاء تراوحت مستويات حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني في مصل الدم من ٤٩-٣٢٦ نانوغم/مل من المصل، بينما تراوحت في المجموعة المرجعية بين ٠,٢-٢٢ نانوغم/مل (Rotander et al., 2015a). وكان هناك ترابط قوي بين مستويات حمض السلفونيك البيرفلوروكثاني وحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وكانت أعلى مستويات الحمضين أعلى بمقدار قيمة أسية واحدة مقارنة بعامة السكان في أستراليا وكندا. وكانت مستويات حمض السلفونيك البيرفلوروكثاني (وكذلك حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني) عند المشاركين في الدراسة ممن عملوا لمدة عشر سنوات أو أقل مماثلة للمستويات عند عامة السكان أو أعلى قليلاً. وهذا يتوافق مع التخلص التدريجي من الرغوات التي تشكل طبقة مائية رقيقة التي تنتجها شركة ثري إم، من جميع مرافق التدريب في عام ٢٠٠٣ واستخدام رغوة خالية من الفلور بدايةً من عام ٢٠١٠، كما يدل على أن مستوى التعرض للحمضين من تلك الرغوات انخفض في السنوات الأخيرة (Rotander et al., 2015b).

٢-٤-٢ الزراعة بما في ذلك تربية الأحياء المائية والغابات

١١٣- سيعود التخلص التدريجي من حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به بالفائدة على الزراعة وسيحد من مخاطر التعرض المباشر وغير المباشر على البشر والبيئة. وتشير البحوث إلى أن انتشار المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور في التربة الزراعية ناتج أساساً عن الري بالمياه الملوثة، أو استخدام حمأة المجاري الملوثة، أو استخدام النفايات الصناعية لتكييف التربة (Ghisi et al., 2019). وتمتص النباتات هذه المواد الألكيلية (بما في ذلك حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني) بدرجات متفاوتة حسب تركيزاتها، وأطوال سلاسلها، والزمر الوظيفية فيها، وأنواع النباتات وأصنافها، ووسائط النمو (الزراعة المائية مقابل التربة)، وخصائص التربة والحمأة المعالجة (استعرض في دراسة غيسي وآخرين، ٢٠١٩). إن استخدام أنواع الحمأة المعالجة من محطات معالجة مياه الصرف الصحي لتخصيب التربة من شأنه أن يزيد مستويات المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور في المحاصيل. وقد اكتشف وجود حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني والمركبات المرتبطة به في حمأة المجاري والنفايات السائلة الخارجة من محطات معالجة مياه الصرف الصحي (الجدول ١-٥، UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). ولوحظ أن النباتات تمتص حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني من التربة الملوثة بتلك المواد الألكيلية (Wen et al., 2014). علاوةً على ذلك، تبين أن النباتات تحول السلائف بيولوجياً، فمثلاً ثبت أن القمح يحول بيولوجياً سلفوناميد البيرفلوروكثان (PFOSA) إلى حمض السلفونيك البيرفلوروكثاني وحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وحمض السلفونيك البيرفلورويوتاني (Zhao et al., 2018).

١١٤- ووفق ما جرى استعراضه في موجز المخاطر فقد أفاد عدد من الدراسات بوجود حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني في المواد الغذائية (EFSA, 2012; Gebbink et al., 2015; Noorlander et al., 2011, Food Standards Australia New Zealand, 2016). والجدول ١-٧ من الوثيقة (UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). واكتشفت وجود حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وغيره من المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور في الفواكه والخضراوات من أوروبا (Herzke et al., 2013 و D'Hollander et al., 2015). وفي أستراليا، فُحصت عينات بيئية مأخوذة بشكل أساسي من مواقع ملوثة فوجد أن أعلى متوسط للحد الأعلى من هذا الحمض في لحوم الماشية والأرانب والبيض (المعايير الغذائية في أستراليا ونيوزيلندا، ٢٠١٦). ومن ضمن الأغذية الأخرى التي تحوي تركيزات عالية القشريات وكبد السمك ولحوم الأغنام (المعايير الغذائية في أستراليا ونيوزيلندا، ٢٠١٦). وأظهرت الدراسات على عشبة القمح (wheatgrass) المزروعة في تربة ملوثة بالرغوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة أن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني متاح بيولوجياً ويتراكم بيولوجياً (Bräunig et al., 2019).

١١٥- وبسبب استخدام حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وغيره من المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور في العديد من التطبيقات الصناعية والمنزلية فقد اكتشف وجود هذه المواد بانتظام في النفايات السائلة الخارجة من محطات معالجة مياه الصرف الصحي ورشيع مدافن القمامة (Hamid et al., 2018; Arvaniti and Stasinakis, 2015). انظر الجدول ١-٥ في الوثيقة (UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). وفي دراسة أجراها أريد (وآخرون في عام ٢٠١٤)، كُشفت عدة سلائف لحمض السلفونيك

البيرفلوروهكساني (حمض بيرفلوروهكسان سلفوناميد الأستيتيك، وحمض ن-ميثيل بيرفلوروهكسان سلفوناميد الأستيتيك وحمض ن-إيثيل بيرفلوروهكسان سلفوناميد الأستيتيك) في نضاض مدافن القمامة، مما يشير إلى احتمال كون تلك السلائف و/أو مركباتها الأصلية مستخدمة في مجموعة متنوعة من التطبيقات، حيث تلقت المدافن نفايات سكنية وتجارية، ونفايات بناء وهدم، وحمآت معالجة من محطات معالجة المياه المستعملة، إلى جانب نفايات صناعية غير خطيرة. كذلك أبلغ عن انبعاثات جوية لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني من مدافن القمامة ومحطات معالجة مياه الصرف الصحي فضلاً عن تراكمه في الأوراق حول مدافن القمامة (Ahrens et al., 2011; Tian et al., 2018).

١١٦- واكتشف حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني في العديد من الأنواع المائية (انظر الجدول ١ في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). ومن شأن التخلص التدريجي من الحمض وأملاحه والمركبات المرتبطة به أن يكون مفيداً أيضاً لتربية الأحياء المائية، ولا سيما في المناطق التي تشكل فيها الأنواع المائية مصدراً غذائياً هاماً، كما اتضح أن استهلاك منتجات الأسماك يشكل مساراً لتعرض السكان للحمض. ولوحظ ارتفاع مستويات المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور وحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني في مصل دم العاملين في مصائد الأسماك الواقعة في بحيرة تانغسان وفي الأغذية المائية المصدر لسكان بحيرة بايانغديان القريبة من مصانع المواد الكيميائية الفلورية (Zhou et al., 2014; Cui et al., 2018).

٢-٤-٣ الجوانب الاقتصادية والتكاليف الاجتماعية

حظر الاستخدام

١١٧- استناداً إلى المعارف الحالية فإن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به استخدمت أو قد تكون استخدمت في الكثير من فئات الاستخدام نفسها الخاصة بحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به. ولم تُحدد استخدامات حرجة لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به ولم تقدم أي طلبات للحصول على أي إعفاء. علاوةً على ذلك فإن الحجم المتوقع للمخزونات الحالية سيكون ضئيلاً كما أنه سيتسنى القضاء على حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني الموجود في شكل ناتج عرضي غير مقصود في منتجات حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني نتيجةً للتخلص التدريجي من الأخير. واستناداً إلى المعارف الحالية يمكن توقع أن تتمكن الصناعة من الاستعاضة عن أي استخدامات حالية للحمض وأملاحه والمركبات المرتبطة به بدون تكبد تكاليف اجتماعية واقتصادية كبيرة (RPA, 2019). وقد أخضعت عدة بلدان بالفعل المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور الطويلة السلسلة، ومن ضمنها حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني، لنوع من التنظيم (انظر الفرع ١-٥).

١١٨- ويمكن تقاسم تكاليف الإنفاذ مع تكاليف إنفاذ القيود الأخرى على المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور، مثلاً يمكن استهداف وجود حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وحمض البيرفلوروهكسانويك والحموض الكربوكسيلية البيرفلورية المحتوية على ٩-١٤ ذرة كربون وحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني والمركبات المرتبطة به في الأشياء في نفس الوقت. ويمكن استخدام الطرائق المحددة من قبل اللجنة الأوروبية لتوحيد المقاييس بخصوص حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني للكشف عن الأشكال الأيونية لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه (انظر الفرع ١-١ للحصول على المزيد من المعلومات عن طرق التحليل والتحديات). ومن ثم فإن تكاليف الإنفاذ الخاصة بحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني ستكون ضئيلة. بيد أن من المنتظر تكبد بعض التكاليف المتعلقة ببناء القدرات. وستكون هناك أيضاً بعض الصعوبات في التنفيذ بسبب انخفاض مستويات حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني (مقارنةً بالمواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور الأخرى) في المنتجات. وسيكون من المهم تطوير طرق تحليل يمكنها أن تميز بوضوح بين المواد التي يشملها التقييد والمواد الخاضعة لإعفاء (وفق ما نوقش في تقرير لجنة تقييم المخاطر/لجنة تحليل الأبعاد الاجتماعية والاقتصادية عن الأحماض الكربوكسيلية البيرفلورية المحتوية على ٩-١٤ ذرة كربون، ومقترح تقييد حمض البيرفلوروهكسانويك في إطار لائحة تسجيل وتقييم المواد الكيميائية وإصدار التراخيص لها (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية ٢٠١٨، ٢٠١٥)).

١١٩- وقد نظرت دراسة أجراها أوسترهويس وآخرون (٢٠١٧) بهدف تقديم معلومات يمكن استخدامها لوضع نقاط مرجعية لتقييم ملاءمة تدابير الرقابة على حمض البيرفلوروكثانويك وحمض السلفونيك البيرفلوروكثاني والمواد الأخرى الشبيهة بالملوثات العضوية الثابتة، في تقديرات فعالية كلفة التدابير التنظيمية التي طبقت أو نُظِر في تطبيقها. وتشير الأدلة المتاحة إلى أنه في الماضي لم تُرفض عادةً التدابير التنظيمية التي تكلف أقل من ١٠٠٠ يورو/كغم من المادة المستخدمة أو من الانبعاثات المخفضة، أما فيما يخص التدابير التي تكلف أكثر من ٥٠٠٠٠ يورو/كغم من المادة فإن الرفض وارد. ومع ذلك، لم يكن من الممكن ربط قرار رفض التدابير أو عدم رفضها بأي نقطة مرجعية تتعلق بالتناسب نظراً لأنه نادراً ما تقدم إفادات صريحة بشأن التكاليف غير المتناسبة.

١٢٠- وتشير دراسة استخدمت فيها البيانات المحدودة المتاحة عن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمواد المرتبطة به إلى أن التكاليف المتصلة بالتخلص من الرغاوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة المحتوية على الحمض بوصفه المكون الفلوري الفعال ستكون متناسبة على الأرجح، وفي حين أن التكاليف المرتبطة بالتخلص من الحمض الموجود بشكل عرضي في رغووة حمض السلفونيك البيرفلوروكثاني ستكون على الأرجح غير متناسبة نظراً لحجم الرغووة الكبير الذي يتبعن اختباره والحجم المتوقع المنخفض المستهدف من حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني. غير أن هذه الدراسة لم تأخذ في الاعتبار فائدة الإزالة المتزامنة لحمض البيرفلوروكثانويك وحمض السلفونيك البيرفلوروكثاني في الرغووة المحتوية على حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني بشكل عرضي (RPA, 2019).

التحكم في التصريف والانبعاثات

١٢١- إن التكاليف الاجتماعية وكذلك التكاليف الصحية المرتبطة بالقلق، وتكاليف التنظيف الممولة من الضرائب، والخسارة الاقتصادية الناجمة عن انخفاض قيمة الممتلكات وفقدان الدخل بسبب تلوث الأراضي الزراعية والثروة الحيوانية، على سبيل المثال، هي تكاليف مرتفعة في المناطق التي تحصل على مياه ملوثة بالمواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور أو التي بها أراضي ملوثة (NCM, 2019). وثمة أدلة متزايدة تشير إلى أن تلوث المياه الجوفية بالمواد الكيميائية الفلورية يشكل قضية خطيرة مستمرة تؤثر على الزراعة ومصائد الأسماك وأسعار الممتلكات، مع وجود دواعي قلق كبيرة على الصعيدين السياسي والعام مما يؤدي إلى تحديات قانونية باهظة الكلفة وضارة. وتنفق تكاليف استخدام الرغاوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة خلال فترة عمرها بكثير تكاليف استخدام الرغاوى الخالية من الفلور فقط بسبب الالتزامات القانونية والمالية القائمة على استخدام الرغووة القائمة على المواد الكيميائية الفلورية (IPEN, 2018). ومن أمثلة التكاليف القابلة للقياس الكمي الواردة في تحليل اجتماعي اقتصادي أجري في الآونة الأخيرة للآثار البيئية والصحية المرتبطة بالتعرض للمواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور صادر عن مجلس بلدان الشمال الأوروبي، الإضرار بسمعة الشركات الملوثة، والتعويضات الملزمة بموجب أمر من المحكمة، والتسويات المالية (NCM, 2019). وعلى سبيل المثال، أعلنت الحكومة الأسترالية عن إدراج مبلغ قدره ٧٣,١ مليون دولار أسترالي (٥٠,٧ مليون من دولارات الولايات المتحدة) في الميزانية لدعم المتضررين من التلوث بالمواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور، منها مبلغ ٥٥,٢ مليون دولار أسترالي (٣٨,٣ مليون دولار من دولارات الولايات المتحدة) ستنفق في خمس سنوات لكي تتيح للناس إمكانية الحصول على مياه الشرب المأمونة. وقد أنفقت الحكومة بالفعل ما يزيد عن ١٠٠ مليون دولار أسترالي (٦٩,٤ مليون دولار من دولارات الولايات المتحدة) على المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور ولم تبدأ بعد في أي أعمال استصلاح (NCM, 2019). وعالجت بعض التدابير المتخذة آثار التلوث البشرية، مثل التوعية العامة، ومركز للمساعدة الحاسوبية، وخدمات تقديم المشورة إلى المجتمعات المحلية المتضررة (على النحو المبين في تقرير مجلس وزراء بلدان الشمال الأوروبي، ٢٠١٩).

١٢٢- ويتميز حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني بأطول عمر نصف في البشر من بين المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور المعروفة وقد وجد في معظم العينات البيئية والعينات من الكائنات الحية التي خضعت للتحليل (انظر الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). ولا يتوفر تقييم نقدي للآثار على الصحة البشرية والبيئة الناجمة عن حمض السلفونيك

البيرفلوروهكساني نظراً لأنه لم تُحدد بعد علاقة كمية بين السبب والتأثير بين مستويات الحمض ونقاط النهاية الصحية المختلفة، ومن ثم يكون من الصعب فصل تأثير الحمض عن تأثير المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور الأخرى مثل حمض السلفونيك البيرفلوروكثاني التي لها آثار مشابهة. ومع ذلك فإن التحليل الاجتماعي والاقتصادي في دراسة مجلس بلدان الشمال الأوروبي وجد أن تكاليف التعاقس كبيرة، حيث تبلغ التكاليف السنوية المقدرة المتصلة بالصحة ٢,٨-٤,٦ بليون يورو لبلدان الشمال الأوروبي^(٣) و٥٢-٨٤ بليون يورو لجميع البلدان في المنطقة الاقتصادية الأوروبية. وتقدر التكاليف الإجمالية غير الصحية بمبلغ ٤٦ مليون -١١ بليون يورو لبلدان الشمال الأوروبي (NCM, 2019). ويستند التقرير إلى تنقيد بضعة نقاط نهاية صحية مختارة مرتبطة بالتعرض للمواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور تشمل سرطان الكلى، وكلها تسبب الوفاة وارتفاع ضغط الدم. كذلك لم يجري تنقيد الآثار المترتبة على الأطفال من قبيل الوزن المنخفض عند الولادة والالتهاب (الإصابة بالحمى لعدة أيام بسبب الآثار على نظام المناعة). كذلك نُقد التقرير التكاليف غير الصحية التي تغطي معالجة موارد مياه الشرب واستصلاح التربة الملوثة. وقُدرت التكاليف المرتبطة بتلوث مياه الشرب بالمواد الألكيلية البيرفلورية لمثلين على حالتين بما يصل إلى ١ مليون يورو في السنة لترشيح المياه باستخدام الفحم في أوبسالا وبـ ٣ مليون يورو لإمدادات المياه الجديدة في روني، وهي مدينة صغيرة تأثرت فيها ٥٠٠٠ أسرة تقريباً بشكل فوري عندما اكتشفت مستويات عالية من الواد الألكيلية البيرفلورية في عام ٢٠١٣ (KemI, 2016). إضافةً إلى ذلك فإن هناك تكلفة اجتماعية لكون التعرض لهذه المواد بما في ذلك حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني عن طريق مياه الشرب يسبب زيادة المشاكل الصحية فضلاً عن القلق بين السكان المتضررين.

١٢٣- وبسبب الاستخدام الواسع النطاق للرغاوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة فإن أحد أكبر مصادر المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور (وخاصة حمض السلفونيك البيرفلوروكثاني) في البيئة هو التشتت من التربة الملوثة. ونظراً لأن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني كثيراً ما يوجد في الرغاوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة قائمة على حمض السلفونيك البيرفلوروكثاني فقد انتشر في البيئات حول مواقع التدريب على مكافحة الحرائق. وفي النرويج والعديد من البلدان الأخرى تكون المطارات والمناطق المجاورة لها ملوثة بشكل كبير على نحو خاص بالمواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور نظراً للالتزامات باختبار وتطبيق إجراءات مكافحة الحريق. وقد أخضع ٥٠ مطاراً في النرويج للدراسة فاكشفت وجود حمض السلفونيك البيرفلوروكثاني وكذلك حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وغيرهما من المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور في أغلبية المواقع، وتفاوتت الكميات من تركيزات منخفضة وكميات قليلة مختلفة في التربة إلى مواقع شديدة التلوث تشتت منها هذه الملوثات إلى البحيرات والفيوردات القريبة. ورغم أن عملية الاستصلاح مستمرة في عدة مطارات إلا أن تكاليف هذا الاستصلاح لا تزال غير معروفة على وجه الدقة. ومن المعروف أن مرشحات الفحم النشط المقترح استخدامها تنسد بسهولة عندما تكون المياه محتوية على مواد مثل المواد الدبالية. وحسب تواتر استبدال المرشحات فإن تكاليف هذا الاستصلاح يمكن أن تصل إلى ٥٠ مليون كرونة نرويجية (٦,٥ مليون دولار من دولارات الولايات المتحدة) في موقع واحد (مطار ايفنز) لأكثر من ثلاثين عاماً. أما تكلفة تركيب نظام لضخ المياه ومعالجتها فتقدر بـ ١٤ مليون كرونة نرويجية (١,٨ مليون دولار من دولارات الولايات المتحدة). ويتمثل أحد أكبر أوجه عدم اليقين فيما يخص تقديرات التكاليف في الإطار الزمني لغسل حمض السلفونيك البيرفلوروكثاني من التربة إلى مدى لا تؤثر بعده المياه الجارية في الجدول سلبياً على البحيرة أو الفيورد المستقبل لتلك المياه (Alling et al., 2017). وفي حال أُجري الاستصلاح على النحو الواجب فإن هذا من شأنه أن يؤمن موارد مياه الشرب والأحياء البرية والموارد السمكية في الأجسام المائية السطحية مثل البحيرات والمياه الداخلية. غير أنه يتعين رصد المياه والرواسب والكائنات الحية لتقييم التحسن الذي طرأ بعد عملية الاستصلاح التي نُفذت.

إدارة النفايات والمخزونات

١٢٤- كما ذكر آنفاً فإنه بحسب دراسة بوشيه وآخرين (٢٠١٩) فإن أكبر مصادر الانبعاثات المقدرة من حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني تأتي من استخدام هذا الحمض والتخلص منه. ويرد في ملحق هذا المنشور عرض عام تخطيطي لمصير المنتجات القائمة على الحمض أثناء استخدامه والتخلص منه (Boucher et al., 2019 S2.1.3). ويبين العرض العام الطرق الممكنة في مسارات

النفايات التي يمكن أن تنتج عنها انبعاثات من الحمض إلى البيئة (الشكل S6). وتشمل هذه الطرق الانبعاثات عن طريق المياه المستعملة (الغازات والنفايات السائلة والحماة)، وعن طريق النفايات الصلبة (المحارق ومدافن القمامة ومعالجة الأراضي). إضافةً إلى ذلك، يمكن أن تظهر انبعاثات مباشرة من الاستخدام.

١٢٥- ووفقاً للفقرة ١ (د) '٢' من المادة ٦ فإنه يتعين التخلص من المنتجات المحتوية على حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني بطريقة تؤدي إلى تدمير محتواها من الملوثات العضوية الثابتة أو إلى تحويله بصورة نهائية بحيث لا تُظهر هذه المنتجات خصائص الملوثات العضوية الثابتة أو أن يتم التخلص منها بطريقة سليمة من الناحية البيئية. أما إدارة النفايات والتخلص منها بشكل يخص الحمض تحديداً فيمكن أن تكون باهظة التكلفة. وبسبب الاستخدام الموروث في شكل مواد لتشريب المنسوجات فإن مسار النفايات هذا يمكن أن يتضرر. علاوةً على ذلك فإن الاستخدام الواسع النطاق في العديد من فئات المنتجات يؤثر على النفايات المنزلية ونفايات المعدات الإلكترونية والكهربائية والمركبات المنتهية الصلاحية أيضاً. ويمكن أن تمثل قدرات الترميد بالحرارة العالية مشكلة. وفيما يخص البلدان النامية أوصت منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية بمجموعة متنوعة من التقنيات الفعالة التي لا تنطوي على الإحراق، بما في ذلك طرق مناسبة لتدمير المواد الألكيلية البيروفلورية منها الاختزال الكيميائي للطور الغازي وطحن الكريات (اليونيدو، ٢٠٠٧). وفي المبادئ التوجيهية التقنية العامة المنقحة بشأن الإدارة السليمة بيئياً للنفايات المكونة من ملوثات عضوية ثابتة أو المحتوية عليها أو الملوثة بها في إطار اتفاقية بازل، أُدرج الاختزال الكيميائي للطور الغازي بوصفه قادراً على تدمير كل الملوثات العضوية الثابتة (UNEP/CHW.14/7 الجدول ٤) وقد تبين أن الأكسدة الكهروكيميائية تدمر الحموض الألكيلية البيروفلورية المحتوية على ٤-٨ ذرات كربون (AECOM, 2018). إضافةً إلى ذلك يمكن استخدام الحرق المشترك في أفران الإسمنت في الترميد بالحرارة العالية وهذا موجود في أغلب الأحيان في معظم البلدان. بيد أن خصائص نواتج التحلل الحراري أو الاحتراق ودرجات الحرارة التي تتكون فيها هذه النواتج وكذلك حجم التدمير، لم تُحدد بشكل جيد (القوات الجوية للولايات المتحدة، ٢٠١٧). إن التكاليف المتصلة بإدارة النفايات غير معروفة. وتطبق بشكل كبير المبادئ التوجيهية التقنية بشأن حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني (الاستخدام والمخزونات والنفايات) على النفايات المحتوية على حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني أيضاً (UNEP 2017 a,b; 2015).

١٢٦- وسبق أن وضعت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة مجموعة من التوصيات من أجل إدارة مسار نفايات حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني. ويحدد المقرر ل ١ ث-٢/٦ سلسلةً من تدابير خفض المخاطر على المدى القصير والمتوسط والطويل. وبما أن أنماط استخدام حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به تماثل أنماط استخدام حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني فإن هذه التوصيات تنطبق إلى حد كبير على حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني أيضاً، بما في ذلك؛ "استخدام أفضل التقنيات المتاحة وأفضل الممارسات البيئية لتكنولوجيا تدمير النفايات المحتوية على حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني في استخدامات الإنتاج والاستخدامات الصناعية الحالية لحمض السلفونيك البيروفلوروكثاني. وينبغي عدم السماح بدفن هذه النفايات ما لم يُعالج على النحو الواجب الرشيق المحتوي على حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني. وضمان التخزين الآمن عندما لا تكون تكنولوجيا التدمير متوفرة بسهولة. والشروع في إجراء دراسات عاجلة ومدافن القمامة التي ترمى فيها النفايات من منتجي حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني أو من المستخدمين الصناعيين للحمض (الورق والسجاد والمنسوجات والطلاء بالكروم والصناعات الأخرى التي تستخدم الحمض). وينبغي تحليل مياه الشرب المأخوذة من المستودعات والآبار الواقعة بالقرب من هذه المدافن وكذلك حول مناطق إنتاج واستخدام حمض السلفونيك البيروفلوروكثاني".

١٢٧- ووضعت أيضاً توصيات تفصيلية للحد من المخاطر الناجمة عن الاستخدام، والمخزونات الحالية، وإعادة تدوير المواد، والمنتجات الاستهلاكية التي تلقى في مدافن النفايات البلدية، والإطلاقات من المواقع الملوثة (المقرر ل.١ ث-٢/٦).

٢-٤-٤ التحرك صوب التنمية المستدامة

١٢٨- يتسق القضاء على حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني مع خطط التنمية المستدامة التي تسعى إلى الحد من انبعاثات المواد الكيميائية السامة، والتي تربط السلامة الكيميائية بالتنمية المستدامة والحد من وطأة الفقر. وتشكل الإدارة السليمة بيئياً للنفايات لـ "لمواد الكيميائية السامة" بما في ذلك النفايات جزءاً من جدول أعمال القرن ٢١ وإعلان ريو بشأن البيئة والتنمية. وهي أيضاً جزء من النهج الاستراتيجي للإدارة الدولية للمواد الكيميائية حيث تركز الجهود على جمع وتبادل المعلومات بشأن المواد الكيميائية البيروفلورية ودعم الانتقال إلى بدائل أكثر أماناً. وتشمل الاستراتيجية الجامعة للسياسات في النهج الاستراتيجي للإدارة الدولية للمواد الكيميائية المواد الألكيلية البيروفلورية بوصفها فئة من المواد الكيميائية التي يتعين إعطاؤها أولوية لوقف إنتاجها واستخدامها والاستعاضة عنها ببدائل أكثر أماناً.

٢-٥-٥ الاعتبارات الأخرى

١٢٩- سوف ينطوي إدراج حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني في المرفق ألف دون إعفاءات، على تدابير رقابية سهلة الإبلاغ وينبغي أن تكون بالتالي فعالة ومناسبة، وكذلك الحال في البلدان التي تكون فيها البنية التحتية التنظيمية للمواد كيميائية محدودة. إن المعلومات عن البدائل متوفرة بسهولة ويمكن إيصالها حسب الحاجة. وفيما يتعلق بالرصد البيئي والرصد البيولوجي فإنه يمكن إضافة للحمض إلى البرامج القائمة لرصد الملوثات العضوية الأخرى، خصوصاً حمض السلفونيك البيروفلوركتاني وحمض البيروفلوروكتانويك.

٢-٥-١ إمكانية الوصول إلى المعلومات وتثقيف الجمهور

١٣٠- تقدم العديد من الأطراف والمراقبين والمنظمات غير الحكومية معلومات وتثقيفاً عاماً فيما يتعلق بالمواد الألكيلية البيروفلورية والمتعددة الفلور على صفحات مواقعها الشبكية. وأدناه أمثلة على ذلك:

- (أ) منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي؛ بوابة إلكترونية عن المواد الكيميائية البيروفلورية والمتعددة الفلور. <http://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/>
- (ب) الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية. <https://echa.europa.eu/> (البحث باستخدام الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية)؛
- (ج) وكالة تسجيل المواد السامة والأمراض <https://www.atsdr.cdc.gov/pfas/index.html>؛
- (د) أستراليا: <https://www.pfas.gov.au/>
- <http://www.defence.gov.au/Environment/PFAS/Publications/Default.asp>؛
- <http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/ohp-pfas-hbgv.htm>؛
- (هـ) وزارة البيئة والغذاء في الدانمرك: <https://mst.dk/>؛
- (و) الوكالة السويدية لحماية البيئة: <http://www.swedishpea.se/Global-links/Search/?query PFAS>؛
- (ز) وكالة البيئة النرويجية؛ <http://www.environment.no/>؛
- (ح) المعلومات المتعلقة بالمبادرات في إطار القانون الكندي لحماية البيئة، ١٩٩٩: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/canadian-environmental-protection-act-registry/general-information/fact-sheets.html> خطأ! الوصلة الرابطة غير صحيحة؛
- (ط) معلومات عن تقييم المواد وإدارتها في كندا: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/canadian-environmental-protection-act-registry/general-information/fact-sheets/management-process.html>

- (ي) ولاية ألاسكا: شعبة منع الانسكابات والاستجابة لها. المواقع الملوثة: <https://dec.alaska.gov/spar/csp/pfas-> contaminants
- (ك) الاطلاع على البيانات التي يقدمها الأعضاء في مجلس التكنولوجيا الفلورية: <https://fluorocouncil.com/Resources/Research>
- (ل) وكالة البيئة الألمانية: <https://www.umweltbundesamt.de>
- (م) الوكالة السويدية للمواد الكيميائية: <https://www.kemi.se/en/chemical-substances-and-materials/highly-fluorinated-substances>
- (ن) الوكالة الوطنية للأغذية، السويد: <https://www.livsmedelsverket.se/en/food-and-content/oonskade-amnen/miljogifter/pfas-in-drinking-water-fish-risk-management>
- (س) حكومة كوينزلاند، أستراليا: الإدارة البيئية لرغاوى مكافحة الحرائق - سياسة العمل: <https://www.qld.gov.au/environment/pollution/management/disasters/investigation-pfas/operational-policy>

٢-٥-٢ حالة الرقابة والقدرة على الرصد

- ١٣١- حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني مدرج في العديد من برامج الرصد المستمرة.
- ١٣٢- وتعكف كندا على رصد حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني في الهواء و/أو التهطال بوصفه أحد المواد الخاضعة للرصد في إطار الشبكة العالمية لأخذ العينات السالبة من الغلاف الجوي (يُرصد في الهواء منذ عام ٢٠٠٩)، وبرنامج الملوثات الشمالي في منطقة القطب الشمالي (يُرصد في الهواء منذ عام ٢٠٠٦) وبرنامج الرصد والرقابة في حوض البحيرات الكبرى في إطار خطة إدارة المواد الكيميائية (يُرصد في التهطال منذ عام ٢٠٠٦، وفي الهواء منذ عام ٢٠١٩).
- ١٣٣- ويجري الرصد في دم الإنسان، خصوصاً في بلازما الدم، في إطار الدراسات الاستقصائية البيئية الألمانية والمصرف الألماني للعينات البيئية. وتتوفر بيانات عن الاتجاهات الزمانية المتعلقة بحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني فيما يخص السنوات ١٩٨٢-٢٠١٠ (Schröter-Kermani, 2013). ويجري العمل في مشروع سيضيف الأعوام ٢٠١٣-٢٠١٩ إلى تحليل الاتجاهات الزمانية (ألمانيا، معلومات المرفق واو). وأدرجت المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور، بما في ذلك حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني، في برنامج مراقبة البيئة السويدي وبرنامج الرصد السويدي المتصل بالصحة (معهد كارولينسكا). وجرى أيضاً رصد حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني ولوكبات البيرفلورية الأخرى لدى البشر في كندا، مثلاً في إطار برنامج الملوثات في المناطق الشمالية، والدراسة الاستقصائية لقياسات الصحة في كندا، وبرنامج البحوث المعني بآثار المواد الكيميائية في البيئة على الأمهات والأطفال. وفي إطار الدراسة الاستقصائية لقياسات الصحة في كندا رُصد الحمض في عامة السكان في كندا في الفترة ٢٠٠٧-٢٠٠٩ والفترة ٢٠٠٩-٢٠١١ (حكومة كندا، ٢٠١٣). وشرعت الدراسة الاستقصائية الصحية البيئية الوطنية الكورية في رصد خمسة أنواع من المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور بما في ذلك هذا الحمض بدايةً من عام ٢٠١٨ (جمهورية كوريا، معلومات المرفق واو).
- ١٣٤- وحدد البرنامج الأوروبي المشترك (HBM4EU)، الذي تتولى تنسيقه الوكالة الألمانية للبيئة، مواد بيرفلورية ومتعددة الفلور بوصفها مواد ذات أولوية وسيجمع بيانات من كل مناطق الاتحاد الأوروبي عن التعرض والتأثير حتى عام ٢٠٢١. وفي إطار المبادرة الأوروبية للرصد البيولوجي في الإنسان (HBM4EU) سيقاس حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني في مصل دم المراهقين الأوروبيين الذين تتراوح أعمارهم بين ١٢ و ١٩ عاماً من جميع أنحاء أوروبا (Schoeters et al., 2018).
- ١٣٥- وتجري النرويج رصداً سنوياً للهواء والماء العذب والكائنات الحية البحرية والبرية يشمل حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني (<http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Miljoovervakning/Naturovervakning/Giftfritt-miljo/>).

١٣٦- وتتوفر معلومات رصد المواد الألكيلية البيرفلوروية والمتعددة الفلور بما فيها حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني من أوروبا وأمريكا الشمالية وآسيا. ولتابعة فعالية الإجراءات المحتملة يتعين إضافة هذا الحمض إلى أنشطة البرامج العالمية القائمة لرصد الملوثات العضوية الثابتة.

٣- تجميع للمعلومات

١-٣ تلخيص لمعلومات موجز المخاطر

١٣٧- اعتمدت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة في اجتماعها الرابع عشر في عام ٢٠١٨ موجز المخاطر وخلصت إلى أن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به من المرجح أن تُحدث، نتيجة لانتقالها البيئي البعيد المدى، آثاراً شديدة الضرر بصحة البشر والبيئة، مما يستلزم اتخاذ إجراء عالمي بشأنها.

١٣٨- وقد استُخدم حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به كمواد خافضة للتوتر السطحي، وكطلاء لحماية السجاد والورق والجلود والمنسوجات من الماء والبُقع، وفي رغاوى مكافحة الحرائق، وغير ذلك من التطبيقات، كبدائل لحمض السلفونيك البيرفلوروكتاني في أحيان كثيرة. وظل الحمض ينتج عن غير قصد خلال عمليات الفلورة الكهروكيميائية المستخدمة في إنتاج مواد من بينها حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني. ولا تتوافر سوى معلومات محدودة عن تصنيع حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به حالياً على الصعيد العالمي. وقد كانت شركة مينيسوتا للتعددين والتصنيع تاريخياً هي المنتجة الرئيسية لهذه المركبات. وحدد بعض المنتجين الموجودين في الصين إلا أن البيانات الكمية عن الإنتاج غير متاحة للعموم.

١٣٩- إن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني شديد المقاومة للتحلل في البيئة. وقد أفادت دراسات عديدة بوجود مستويات عالية من الحمض في التربة والماء وفي مجموعة متنوعة من الكائنات الحية. واستناداً إلى نهج الاستنباط من النتائج المطبقة على مقاومة التحلل التي يتميز بها حمض السلفونيك البيرفلوروبيوتاني وحمض السلفونيك البيرفلوروكتاني وحمض البيرفلوروكتانويك يمكن استنتاج أن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني غير قابل للتحلل في الظروف الطبيعية، وأنه شديد المقاومة للتحلل في الماء والتربة والرواسب. علاوةً على ذلك فإن أيون الحمض قابل للذوبان في الماء نسبياً، ويرتبط بالبروتينات في الكائنات الحية المستهدفة. واستناداً إلى التراكم البيولوجي المرتبط بالبروتيني المحدد فإن معاملات التراكم البيولوجي/التركز البيولوجي في الكائنات الحية المائية أقل قدرة على وصف التراكم البيولوجي للمواد الألكيلية البيرفلوروية والمتعددة الفلور بما فيها حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني. بيد أنه يحدث تضخم بيولوجي، حيث لوحظت عوامل تضخم بيولوجي وعوامل تضخم غذائي قدرها ١ (يتراوح عامل التضخم البيولوجي بين ١,٤ و ٤٨ وعامل التضخم الغذائي بين ٠,١ و ٤,٣) فيما يخص حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني. إن عمر النصف التقديري للتخلص من هذا الحمض من مصل دم الإنسان أعلى مقارنةً بالمواد الألكيلية البيرفلوروية والمتعددة الفلور الأخرى، حيث يبلغ المتوسط ٨,٥ سنوات (المدى من ٢,٢ إلى ٢٧ سنة).

١٤٠- وينتشر حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني على نطاق واسع في جميع أركان البيئة وفي أجسام الكائنات الحية على الصعيد العالمي. وقد أفاد عدد من الدراسات بحالات تعرض في المناطق النائية يمكن عزوها إلى الانتقال البيئي البعيد المدى. وكُشف عن الحمض في المياه والثلج والهواء والكائنات الحية (بما فيها الإنسان) في مواقع نائية. وفي الوقت الحاضر تمثل الآلية الرئيسية لنقل الحمض إلى المناطق النائية مثل المنطقة القطبية الشمالية على الأرجح في التيارات البحرية. بيد أنه لا يمكن استبعاد نقل حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به عن طريق الجو، إذ قيس وجوده في الثلج وماء المطر والهواء، فضلاً عن الأشنة. ومن المرجح أن الحمض والمركبات المرتبطة به تُنقل عن طريق الهواء إلى المناطق النائية، ثم تتحلل تلك المركبات موضعياً مكونةً الحمض.

١٤١- ويتعرض البشر للحمض أساساً من خلال تناول الطعام وماء الشرب، وكذلك من خلال البيئة الداخلية عن طريق الغبار أو المنتجات الاستهلاكية التي تحتوي على الحمض أو سلائفه. ويشكل حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني، بعد حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني وحمض البيرفلوروكتانويك، أكثر المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور التي يكشف عنها بشكل متكرر في عينات الدم المأخوذة من عامة السكان في جميع أنحاء العالم. ويوجد الحمض في دم الحبل السري وحليب الأم. وقد يشكل حليب الأم مصدراً هاماً لتعرض الرضع، حيث ثبت أنه يُخرج عن طريق إدرار الحليب. ويمكن أن يؤدي تلوث ماء الشرب إلى ارتفاع كبير في مستويات الحمض في مصل الدم، نتيجة لطول زمن التخلص منه لدى الإنسان.

١٤٢- وفي الجرذان لوحظت العديد من الآثار على الكبد من التعرض لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني. ولوحظت في كل من القوارض والإنسان آثار على أيض البروتينات الشحمية في الكبد، وتغيرات في الكوليسترول والغليسيريدات الثلاثية والبروتينات الشحمية في مصل الدم. ولوحظت آثار سمية عصبية وانعكاسات على النمو العصبي في التجارب المخبرية الخاضعة للتحكم لدى الفئران والجرذان، وتشير بعض الدراسات إلى وجود صلة بين التثبيط السلوكي عند الأطفال والتعرض لبعض المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور (بما في ذلك حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني) قبل الولادة وفي فترة الطفولة. وأبلغ عن آثار على نظام هرمونات الغدة الدرقية في الجرذان، ولكن هناك دراسات تشير إلى أن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني أيضاً قد يؤثر أيضاً على نظام هرمونات الغدة الدرقية عند الطيور والدببة القطبية والبشر كذلك. علاوةً على ذلك فإن العديد من الدراسات الوبائية تشير إلى أن الجهاز المناعي الناشئ للتو والآخذ في النمو سريع التأثير بالتعرض لمواد معينة ألكيلية بيرفلورية ومتعددة الفلور وحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني.

١٤٣- وقد أظهرت دراسات أجريت مؤخراً على الدببة القطبية في سفالبارد (النرويج) تزايد مستويات الحمض في البلازما. وتساهم المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور، ومنها حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني، في تأثيرات عوامل الضغط المتعددة الملاحظة لدى الدببة القطبية من سفالبارد مما يشير إلى مخاطر إحداث الحمض آثاراً ضارة بالأحياء البرية. وتترتب على التعرض المركب للمواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور وملوثات عضوية ثابتة أخرى عواقب معروفة، وقد يسبب ذلك تزايد التسمم لدى الأنواع المعرضة للإجهاد الشديد.

٢-٣ موجز معلومات تقييم إدارة المخاطر

١٤٤- سيؤثر تقييد أو حظر حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به بشكل إيجابي على صحة الإنسان والبيئة من خلال خفض الانبعاثات، ومن ثم خفض مستوى تعرض البشر والبيئة.

١٤٥- إن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به هي مواد اصطناعية لا يعرف لها وجود طبيعي. والمنتج الرئيسي لحموض السلفونيك الألكانية البيرفلورية التي بها ٦ و ٨ و ١٠ ذرات كربون هي شركة ثري إم منذ عام ١٩٥٨ في الولايات المتحدة ومنذ عام ١٩٧١ في بلجيكا حتى عام ٢٠٠٢. ويبلغ إنتاج شركة ثري إم من حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني المبلغ عنه في الولايات المتحدة في الفترة من عام ١٩٥٨ إلى عام ١٩٩٧ زهاء ٢٢٨ طناً مترياً. وبعد التخلص التدريجي من الإنتاج في شركة ثري إم، استمر الإنتاج في مصنع في إيطاليا ظل يعلن عن الحمض وسلائفه حتى أعلن إفلاسه في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٨. ومع ذلك، انتقل الإنتاج والاستخدام الرئيسيين إلى آسيا حيث زاد من عام ٢٠٠٢، على الأقل في ظل وجود بعض المصنعين في الصين. وقد أنتج حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني ولا يزال يُنتج بصورة عرضية خلال عمليات الفلورة الكهروكيميائية لإنتاج حوض سلفونيك ألكيلية بيرفلورية أخرى. ويمكن أن تحتوي المنتجات القائمة على فلوريد السلفونيل البيرفلوروكتاني على ما يصل إلى ١٠ في المائة من الحمض في شكل شوائب عرضية في حال عدم إزالتها لزيادة النقاء.

١٤٦- وحسب علمنا فإن استخدام حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به يتداخل مع فئات استخدام مركبات حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني وأحياناً مع فئات استخدام مركبات حمض البيرفلوروكتانويك، وفي كثير من

التطبيقات قد يستخدم حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني أو مركباته بدلاً من حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني وأحياناً بدلاً من حمض البيرفلوروكتانويك. ووجد أن هناك استخدام متعدد على الأقل في التطبيقات التالية: (١) الرغوى التي تشكل طبقة مائية رقيقة التي تستخدم في مكافحة الحرائق؛ (٢) الطلاء المعدني؛ (٣) المنسوجات والجلود والمنجذات؛ (٤) عوامل الصقل وعوامل التنظيف/الغسل؛ (٥) الطلاءات والتشريب/التصميد (للحماية من الرطوبة والفطريات وما إلى ذلك)؛ (٦) في صناعة الإلكترونيات وأشبهه الموصلات. وإضافةً إلى ذلك يمكن أن تشمل فئات الاستخدام المحتملة الأخرى مبيدات الآفات ومثبطات اللهب والورق، وفي صناعة النفط فضلاً عن ملابس الطباخين. علاوةً على ذلك فإن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به استخدمت في منتجات استهلاكية معينة محتوية على مواد ألكيلية بيرفلورية ومتعددة الفلور.

١٤٧- وكشف التقييم المنتظم لبدائل حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني في إطار اتفاقية استكهولم عن أن البدائل متاحة لجميع التطبيقات المحتملة، وهي بدائل يمكن أن تكون أيضاً ملائمة لحمض السلفونيك البيرفلوروكتاني وأملاحه والمركبات ذات المرتبطة به. وتشمل البدائل مواداً مفلورة وغير مفلورة وكذلك حلولاً تقنية بديلة (غير كيميائية). وكشفت المعلومات عن توفر البدائل وسهولة الحصول عليها وأسعارها وكذلك المعلومات المتعلقة بالتدابير التنظيمية والاستخدام في مختلف البلدان، عن أن التكاليف الاجتماعية والاقتصادية لتنفيذ حظر و/أو تقييد على استخدام حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني تعتبر ضئيلة وتتفوق عليها الفوائد المترتبة على وقف هذا الاستخدام أو تنظيمه. وتشير التقديرات إلى ارتفاع تكاليف استصلاح المواقع الملوثة، مثل المواقع القديمة والحالية للتدريب على استخدام رغاوى مكافحة الحرائق، والمطارات، ومدافن القمامة للنفايات الصناعية، والنفايات الخطرة، فضلاً عن إزالة المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور، بما في ذلك حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني من مياه الشرب ومصادر المياه المتضررة من التلوث بالحمض (وغيره من المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور).

١٤٨- وتحدث انبعاثات حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني إلى البيئة أثناء جميع مراحل دورته ولكن يعتقد أنها تبلغ أوجها أثناء عمره في الخدمة، وفي مرحلة النفايات. وينتشر حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني على نطاق واسع جداً في المكونات البيئية مثل المياه السطحية ومياه الأعماق في البحار ومياه الشرب ومحطات معالجة مياه الصرف الصحي ونضاض مدافن القمامة والرواسب والمياه الجوفية والتربة والغلاف الجوي والغبار وكذلك الكائنات الحية (بما فيها الكائنات البرية)، والبشر على الصعيد العالمي. ومن الضروري اتخاذ تدابير رقابة فعالة للتعامل مع النفايات للحد من مستويات الحمض في البيئة. وتقضى المادة ٦ من الاتفاقية بالتخلص من النفايات بطريقة تجعل محتواها من الملوثات العضوية الثابتة يتدمر أو يتحول تحولاً نهائياً بحيث لا تظهر خصائص الملوثات العضوية الثابتة، أو التخلص منها بصورة سليمة بيئياً إذا كان التدمير أو التحويل النهائي لا يمثل الخيار المفضل بيئياً، أو إذا كان محتوى النفايات من الملوثات العضوية الثابتة منخفضاً. إن محدودية المعرفة بالاستخدام الحالي لحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به، وعدم وجود طرق تحليل موحدة في الوقت الحالي للكشف عن فرادى المركبات المرتبطة بالحمض وتحديد كمياتها، يجعل من الصعب تحديد المركبات الموجودة في المنتجات الكيميائية والمزائج الكيميائية. كما أن عدم توفر معلومات عن محتوى هذه المركبات في المواد/المنتجات الاستهلاكية سيجعل من الصعب فصل هذه المنتجات في مسار النفايات وأثناء معالجة النفايات. وفيما يخص المنتجات الأحدث التي ستعرض في السوق سيكون بوسع الجهة المستوردة أن تطلب هذه المعلومات، ولكن فيما يخص المنتجات المعروضة في السوق بالفعل فإن هذه المهمة أكثر صعوبة. بيد أن هذه الحالة لا تتعلق حصراً بحمض السلفونيك البيرفلوروهكساني وأملاحه والمركبات المرتبطة به بل تنطبق أيضاً على المواد الألكيلية البيرفلورية والمتعددة الفلور الأخرى أيضاً الخاضعة للتنظيم.

٣-٣ التدابير المقترحة لإدارة المخاطر

١٤٩- لم تحدد استخدامات حرجة ولم تقدم طلبات للحصول على إعفاءات. ولا تتوفر في الوقت الراهن معلومات تشير إلى أن حمض السلفونيك البيرفلوروهكساني ينتج عن غير قصد من الإحراق، مما يشير إلى أن الإدراج في المرفق جيم غير ضروري. وبناءً على ذلك فإن تدبير الرقابة المقترح لتحقيق "حظر أو تقييد للإنتاج والاستخدام والاستيراد والتصدير" هو إدراج الحمض وأملاحه والمركبات المرتبطة به في المرفق ألف من الاتفاقية، دون إعفاءات.

٤ - البيان الختامي

١٥٠ - إن لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة، وقد قررت أن حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني (الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية ٤-٤٦-٣٣٥) وأملاحه والمركبات المرتبطة به من المرجح أن تؤدي، نتيجة لانتقالها البعيد المدى في البيئة، إلى آثار شديدة الضرر بصحة البشر و/أو البيئة، مما يستلزم اتخاذ إجراء عالمي بشأنها؛ وقد أعدت تقييماً لإدارة المخاطر ونظرت في خيارات الإدارة وأحاطت علماً بالمعلومات عن مدى توفر البدائل؛ [فإن اللجنة توصي، وفقاً للفقرة ٩ من المادة ٨ من الاتفاقية، بأن ينظر مؤتمر الأطراف في اتفاقية استكهولم في إدراج حمض السلفونيك البيروفلوروهكساني (الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية ٤-٤٦-٣٣٥) وأملاحه والمركبات المرتبطة به في المرفق ألف بدون إعفاءات، وأن يحدد تدابير الرقابة ذات الصلة على هذه المواد].

- 3M (3M Canada Company) (2015). Material Safety Data Sheet – FC-95 Fluorad Brand fluorochemical surfactant (inactive).
http://multimedia.3m.com/mws/mediawebsserver?mwsId=SSSSSuUn_zu8lZNU4xtxoY_BPv70kDVFNvu9lxtD7SSSSSS-- (last accessed: 4 February 2019).
- 3M (Minnesota Mining and Manufacturing Co. USA) (2000a). Letter to Charles Auer. Re: Phase-out Plan for PFOSF-based Products. US EPA Administrative Record 226, No. 600 (AR226-0600).
- 3M (Minnesota Mining and Manufacturing Co. USA) (2000b). Sulfonated Perfluorochemicals in the Environment: Sources, Dispersion, Fate and Effects. USEPA Administrative Record 226, No. 545 (AR226-0545).
- 3M (Minnesota Mining and Manufacturing Co. USA) (1981). Patent: Mist suppressant. Patent No. GB 2077765.
- AECOM, (2018). AECOM's Promising New PFAS Treatment Technology DE-FLUOROTM Shows Complete Destruction of PFAS. <https://www.aecom.com/wp-content/uploads/2018/10/PFAS-Info-Sheet.pdf>
- Ahrens L, Shoeib M, Harner T, Lee SC, Guo R, Reiner EJ (2011). Wastewater treatment plant and landfills as sources of polyfluoroalkyl compounds to the atmosphere. *Environ. Sci. Technol.* 45: 8098-8105.
- Appleman TD, Higgins CP, Quiñones O, Vanderford BJ, Kolstad C, Zeigler-Holady JC, Dickenson ER (2014). Treatment of poly- and perfluoroalkyl substances in U.S. full-scale water treatment systems. *Water Res.* 51:246-55. doi: 10.1016/j.watres.2013.10.067.
- Allred BM, Lang JR, Barlaz MA, Field JA (2014). Orthogonal zirconium diol/C18 liquid chromatography-tandem mass spectrometry analysis of poly and perfluoroalkyl substances in landfill leachate. *J Chromatogr A.* 1359:202-11.
- Alling V, Hartnik T, Bjærtnes O (2017). Two case studies for remediation of PFAS contaminated fire-fighting sites in Norway. Proceedings from the Cleanup Conference 2017. <http://www.cleanupconference.com/wp-content/uploads/2017/10/CleanUp-2017-presentations-for-downloading.pdf>
- Arp HPH, Brown TN, Berger U, Hale SE (2017). Ranking REACH registered neutral, ionizable and ionic organic chemicals based on their aquatic persistency and mobility. *Environ. Sci. Process. Impacts* 19, 939–955.
- Arvaniti OS and Stasinaki AS (2015). Review on the occurrence, fate and removal of perfluorinated compounds during wastewater treatment. *Sci Tot Environ.* 524-525; 81-92.
- Australian Government, department of health (2016). Health Based Guidance Values for PFAS FOR USE IN SITE INVESTIGATIONS IN AUSTRALIA.
[http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/2200FE086D480353CA2580C900817CDC/\\$File/fs-Health-Based-Guidance-Values.pdf](http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/2200FE086D480353CA2580C900817CDC/$File/fs-Health-Based-Guidance-Values.pdf)
- Ayothi R, Chang SW, Felix N, Cao HB, Deng H, Yueh W, Ober CK (2006) New PFOS free photoresist systems for EUV lithography, *Jour Photopolymer Science and Technol* 19:515-520.
- Baduel C, Mueller JF, Rotander A, Corfield J, Gomez-Ramos M-J (2017). Discovery of novel per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) at a fire fighting training ground and preliminary investigation of their fate and mobility. *Chemosphere.* 185: 1030-1038.
- Banzhaf S, Filipovic M, Lewis J, Sparrenbom CJ, Barthel R (2017). A review of contamination of surface-, ground-, and drinking water in Sweden by perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs). *Ambio.* 46(3):335-346.
- Barzen-Hanson KA, Roberts SC, Choyke S, Oetjen K, McAlees A, Riddell N, McCrindle R, Ferguson PL, Higgins CP, Field JA (2017). Discovery of 40 Classes of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Historical Aqueous Film-Forming Foams (AFFFs) and AFFF-Impacted Groundwater. *Environ Sci Technol.* 51(4):2047-2057.
- Barzen-Hanson KA, Field JA (2015). Discovery and Implications of C 2 and C 3 perfluoroalkyl sulfonates in aqueous film-forming foams and groundwater. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2, 95-99.
<http://dx.doi.org/10.1021/acs.estlett.5b00049>.
- Bečanová J, Melymuk L, Vojta Š, Komprdová K, Klánová J (2016). Screening for perfluoroalkyl acids in consumer products, building materials and wastes. *Chemosphere.* 164:322-329.
- Benskin JP, De Silva AO, Martin JW (2010). Isomer profiling of perfluorinated substances as a tool for source tracking: a review of early findings and future applications. *Rev Environ Contam Toxicol.* 208:111-60.
- Blum A, Balan SA, Scheringer M, Trier X, Goldenman G, Cousins IT, Diamond M, Fletcher T, Higgins C, Lindeman AE, Peaslee G, de Voogt P, Wang Z, Weber R. The Madrid Statement on poly and perfluoroalkyl substances (PFASs). *Environ Health Perspect* 2015, 123(5), A107–A111.

- Boiteux V, Dauchy X, Rosin C, Munoz JF (2012). National screening study on 10 perfluorinated compounds in raw and treated tap water in France. *Arch Environ Contam Toxicol* 63(1):1-12.
- Boone JS, Vigo C, Boone T, Byrne C, Ferrario J, Benson R, Donohue J, Simmons JE, Kolpin DW, Furlong ET, Glassmeyer ST (2019). Per- and polyfluoroalkyl substances in source and treated drinking waters of the United States. *Sci Total Environ.* 653:359-369. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.245
- Boucher JM, Cousins IT, Scheringer M, Hungerbühler K, Wang Z (2019). Toward a Comprehensive Global Emission Inventory of C₄–C₁₀ Perfluoroalkanesulfonic Acids (PFSA)s and Related Precursors: Focus on the Life Cycle of C₆- and C₁₀-Based Products. *Environmental Science & Technology Letters* 2019 6 (1), 1-7
- Bräuning J, Baduel C, Barnes CM, Mueller JF (2019). Leaching and bioavailability of selected perfluoroalkyl acids (PFAAs) from soil contaminated by firefighting activities. *Sci Total Environ.* 646:471-479. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.231
- Buck RC, Franklin J, Berger U, Conder JM, Cousins IT, de Voogt P, Jensen AA, Kannan K, Mabury SA, van Leeuwen SP (2011). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins. *Integr Environ Assess Manag.* 7(4):513-41.
- Campbell TY, Vecitis CD, Mader BT, Hoffmann MR (2009). Perfluorinated surfactant chain-length effects on sonochemical kinetics. *J Phys Chem A.* 10;113 (36):9834-42.
- Chen M, Wang Q, Shan G, Zhu L, Yang L, Liu M (2018). Occurrence, partitioning and bioaccumulation of emerging and legacy per- and polyfluoroalkyl substances in Taihu Lake, China. *Sci Total Environ.* 5;634: 251-259.
- Cordner A, Richter L, Brown P (2016) Can chemical class approaches replace chemical-by-chemical strategies? Lessons from *Environ Sci Technol* 50:12584-12591
- Cordner A, Richter L, Brown P (2016). Can Chemical Class Approaches Replace Chemical-by-Chemical Strategies? Lessons from Recent U.S. FDA Regulatory Action on Per- And Polyfluoroalkyl Substances. *Environ Sci Technol.* 50 (23):12584-12591.
- Cui Q, Pan Y, Zhang H, Sheng N, Dai J (2018). Elevated concentrations of perfluorohexanesulfonate and other per- and polyfluoroalkyl substances in Baiyangdian Lake (China): Source characterization and exposure assessment. *Environ Pollut.* 241:684-691.
- D'Agostino LA, Mabury SA (2017). Certain Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances Associated with Aqueous Film Forming Foam Are Widespread in Canadian Surface Waters. *Environ Sci Technol.* 5; 51 (23):13603-13613.
- D'Agostino LA and Mabury SA (2014). Identification of novel fluorinated surfactants in aqueous film forming foams and commercial surfactant concentrates. *Environ. Sci. Tech.* 48, 121-129.
- Dainippon (Dainippon Ink and Chemicals, Inc., Japan) (1988). Patent: N-(dihydroxypropyl) perfluoroalkanecarbonamide and -sulfonamide derivatives as antifogging agents. Patent No. JP63208561.
- Dainippon (Dainippon Ink and Chemicals, Inc., Japan) (1979). Patent: Prevention of mist formation over plating baths. Patent No. JP54076443.
- Danish Environmental Protection Agency (2015). Alternatives to perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in textiles. Available from: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2015/05/978-87-93352-16-2.pdf>
- Denmark Lovtidene A. (20 June 2018). Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. PFAS12 = (PFBS, PFHxS, PFOS, 6:2 FTS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA and PFDA, PFOSA). Lovtidene A 30 of June 2018: https://www.foedevarestyrelsen.dk/SiteCollectionDocuments/Vejledninger/Fodervejledningen/Lovgivning/Drikkevandsbekendtg%C3%B8relsen_975_2018.pdf
- Denmark (2015). Miljø og fødevareministeriet, Fødevarestyrelsen. Fluorerede stoffer i fødevarekontaktmaterialer (FKM) af pap og papir. April 2018. (In Danish only). <https://www.foedevarestyrelsen.dk/SiteCollectionDocuments/Kemi%20og%20foedevarekvalitet/FKM/Notat-graensevaerdiforslag-for-fluorstoffer-i-papir-og-pap-emballage-FINAL.pdf> <https://www.foedevarestyrelsen.dk/SiteCollectionDocuments/Kemi%20og%20foedevarekvalitet/FKM/Fakta%20ark%20fluorerede%20stoffer.pdf>
- Denmark, 2014. Miljøministeriet, Miljøstyrelsen. Miljøprojekt nr. 1600. Screeningsundersøgelse af udvalgte PFAS-forbindelser som jord- og grundvandsforurening i forbindelse med punktkilder. (In Danish only). Available at: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2014/10/978-87-93178-96-0.pdf>
- D' Hollander W, Herzke D, Huber S, Hajslova J, Pulkrabova J, Brambilla G, De Filippis SP, Bervoets L, de Voogt P (2015). Occurrence of perfluorinated alkylated substances in cereals, salt, sweets and fruit items collected in four European countries. *Chemosphere* 129: 179–185.

- ECHA (2019a). Registry of restriction intentions until outcome. Perfluorohexane-1-sulphonic acid, its salts and related substances. <https://echa.europa.eu/sv/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e1827f87da>
- ECHA (2019b). Annex XV report. Proposal for restriction of perfluorohexane-1-sulphonic acid, its salts and related substances. <https://echa.europa.eu/documents/10162/7722f470-1f29-8caa-c270-5149ad0df076>
- ECHA (2018). Registry of restriction intentions until outcome, RAC and SEAC opinion for C9-C14 PFCAs. Available at: <https://echa.europa.eu/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18195edb3>
- ECHA (2017a). Member state committee support document for the identification of perfluorohexane-1-sulphonic acid and its salts as substances of very high concern because of their vPvB (Article 57 E) properties. (<https://echa.europa.eu/documents/10162/40a82ea7-dcd2-5e6f-9bff-6504c7a226c5>). Last accessed 04 October 2017.
- ECHA (2017b) Strategy to promote substitution to safer chemicals through innovation. https://echa.europa.eu/documents/10162/2792271/mb_58_2017_2_annex_strategy_substitution_safer_alternatives_en.pdf/d1c31c63-4047-e7be-75d1-12320a4a8489
- ECHA (2015). Committee for Risk Assessment (RAC) Committee for Socio-economic Analysis (SEAC) Opinion on an Annex XV dossier proposing restrictions on Perfluorooctanoic acid (PFOA), its salts and PFOA-related substances. Available at: <https://echa.europa.eu/documents/10162/d5edcc90-ac86-64ed-11c1-3daeb14fad89>
- ECHA. <https://echa.europa.eu/data-to-prevent-regrettable-substitution>
- ECHA CoRAP list. <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/evaluation/community-rolling-action-plan/corap-table>
- EFSA 2012. European Food Safety Authority; Perfluoroalkylated substances in food: occurrence and dietary exposure. EFSA Journal 2012; 10(6):2743. (55 pp.) doi:10.2903/j.efsa.2012.2743. Available online: www.efsa.europa.eu/efsajournal
- Environment Canada (2013). Search Engine for the Results of DSL Categorization. Environment Canada, Gatineau, Quebec, Canada. (<http://www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/default.asp?lang=En&n=5F213FA8-1&wsdoc=D031CB30-B31B-D54C-0E46-37E32D526A1F>). Last accessed 16 May 2017.
- Eriksson U, Haglund P, Kärrman A (2017). Contribution of precursor compounds to the release of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) from waste water treatment plants (WWTPs). J. Environ Sciences 61: 80-90.
- Ericson I, Domingo JL, Nadal M, Bigas E, Llebaria X, van Bavel B, Lindström G (2009). Levels of Perfluorinated Chemicals in Municipal Drinking Water from Catalonia, Spain: Public Health Implications. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 57(4):631-638.
- Eurofeu, (2018). Presentation during POPRC-14: "Fire fighting Foam is needed to fight Flammable Liquid Fires in High Risk Applications.
- Europe (2018). (http://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/pdf/revised_drinking_water_directive_annex.pdf). RECAST (01.02.18): "The proposal is to regulate the group of PFASs, as defined by the OECD, and to suggest values of 0.1 µg/L for individual PFAS and 0.5 µg/L for PFASs in total, as is done for pesticides. As these values are higher than those referred to in Sweden or the United States, it should be feasible to meet them https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8c5065b2-074f-11e8-b8f5-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF http://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/review_en.html
- EWG's Tap Water Database. <https://www.ewg.org/research/update-mapping-expanding-pfas-crisis>
- Favreau P, Poncioni-Rothlisberger C, Place BJ, Bouchex-Bellomie H, Weber A, Tremp J, Field JA, Kohler M (2017). Multianalyte profiling of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in liquid commercial products. Chemosphere 171: 491-501.
- Food Standards Australia New Zealand 2016. Occurrence of perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorohexane sulfonate (PFHxS) in foods and water sampled from contaminated sites. [https://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/2200FE086D480353CA2580C900817CDC/\\$File/Occurrence-data-report.pdf](https://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/2200FE086D480353CA2580C900817CDC/$File/Occurrence-data-report.pdf)
- FFFC (2017). Fact sheet on AFFF fire-fighting foam. https://docs.wixstatic.com/ugd/331cad_fa5766eb867b4a5080330ce96db195fa.pdf
- FFFC (2016). Fire Fighting Foam Coalition. Best Practice Guidance for Use of Class B Fire Fighting Foams. Available at: <https://fluorocouncil.com/wp-content/uploads/2017/06/bestpracticeguidance.pdf>
- Fluorocouncil (2015). Fluorotechnology Is Critical to Modern Life: The FluoroCouncil Counterpoint to the Madrid Statement. Environmental Health Perspectives. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1509910>.

- Fromme H, Wöckner M, Roscher E, Völkel W (2017). ADONA and perfluoroalkylated substances in plasma samples of German blood donors living in South Germany. *Int J Hyg Environ Health*. 220(2 Pt B):455-460. doi: 10.1016/j.ijheh.2016.12.014.
- Fu J, Gao Y, Wang T, Liang Y, Zhang A, Wang Y, Jiang G (2015). Elevated levels of perfluoroalkyl acids in family members of occupational workers: the implication of dust transfer. *Sci. Rep.* 5, 9313.
- Gebbink WA, van Asseldonk L, van Leeuwen SPJ (2017). Presence of Emerging Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in River and Drinking Water near a Fluorochemical Production Plant in the Netherlands. *Environ Sci Technol*. 51(19):11057-11065.
- Gebbink WA, Glynn A, Darnerud PO, Berger U (2015). Perfluoroalkyl acids and their precursors in Swedish food: The relative importance of direct and indirect dietary exposure. *Environ Pollut*. 198:108-15
- Ghisi R, Vameralia T, Manzetti S (2019). Accumulation of perfluorinated alkyl substances (PFAS) in agricultural plants: A review. *Environmental Research* 169 (2019) 326–341
- Gao Y, Fu J, Cao H, Wang Y, Zhang A, Liang Y, Wang T, Zhao C, Jiang G (2015). Differential accumulation and elimination behavior of perfluoroalkyl Acid isomers in occupational workers in a manufactory in China. *Environ Sci Technol*. 49(11):6953-62.
- Gobelius L, Hedlund J, Dürig W, Tröger R, Lilja K, Wiberg K, Ahrens L (2018). Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Swedish Groundwater and Surface Water: Implications for Environmental Quality Standards and Drinking Water Guidelines. *Environ. Sci. Technol*. 2018, 52, 4340–4349.
- Gomis MI, Vestergren R, Borg D, Cousins IT (2018). Comparing the toxic potency in vivo of long-chain perfluoroalkyl acids and fluorinated alternatives. *Environ Int*. 113: 1–9.
- Government of Canada, (2018). Drinking Water Screening Values: Perfluoroalkylated Substances. <https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/documents/services/publications/healthy-living/water-talk-drinking-water-screening-values-perfluoroalkylated-substances/water-talk-drinking-water-screening-values-perfluoroalkylated-substances-eng.pdf>
- Government of Canada. (2013). Second Report on Human Biomonitoring of Environmental Chemicals in Canada: Results of the Canadian Health Measures Survey Cycle 2 (2009-2011). <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/environmental-contaminants/second-report-human-biomonitoring-environmental-chemicals-canada-health-canada-2013.html>
- Gramstad T, Haszeldine RN (1957). 512. Perfluoroalkyl Derivatives of Sulphur. Part VI. Perfluoroalkanesulfonic Acids $CF_3-[CF_2]_n-SO_3H$ ($n = 1-7$). *Journal of the Chemical Society*, 2640–2645. <https://doi.org/10.1039/JR9570002640>
- Guelfo JL, Higgins CP (2013). Subsurface transport potential of perfluoroalkyl acids at aqueous film-forming foam (AFFF)-impacted sites. *Environ Sci Technol*. 7;47(9):4164-71.
- Hamid H, Li LY, Grace JR (2018). Review of the fate and transformation of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in landfills. *Environ Poll*. 235: 74-84.
- Herzke D, Huber S, Bervoets L, D' Hollander W, Hajslova J., Pulkrabova J, Brambilla G, De Filippis SP, Klenow S, Heinemeyer G (2013). Perfluorinated alkylated substances in vegetables collected in four European countries; occurrence and human exposure estimations. *Environ. Sci. Pollut. Res*. 20: 7930–7939.
- Herzke D, Olsson E, Posner S (2012). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in consumer products in Norway - a pilot study. *Chemosphere*. 88: 980-987.
- Hengxin (Hubei Hengxin Chemical Co., Ltd) (2019). Products (HX-601, HX-168). http://www.fluoride-cn.com/product_en.html (last accessed: 2 January 2019).
- Hengxin (Hubei Hengxin Chemical Co., Ltd) (2015). Patent: Chromium fog inhibitor tetraethyl ammonium perfluorohexanesulfonate and its preparation method. Patent No. CN 104611733.
- Hill PJ, Taylor M, Goswami P, Blackburn RS (2017). Substitution of PFAS chemistry in outdoor apparel and the impact on repellency performance. *Chemosphere* 181:500-507.
- Hu XC, Andrews DQ, Lindstrom AB, Bruton TA, Schaidler LA, Grandjean P, Lohmann R, Carignan CC, Blum A, Balan SA, Higgins CP, Sunderland EM (2016). Detection of Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFASs) in U.S. Drinking Water Linked to Industrial Sites, Military Fire Training Areas, and Wastewater Treatment Plants. *Environ Sci Technol Lett*. 3(10):344-350.
- Huang, J, Gang Y, Mei S (2015). PFOS in China: production, application & alternatives. <http://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW-SUBM-GUID-TGsPOPsWastes-PFOS->

- UNEPChemicals-RefJunHuangChina-201310.English.pdf&usg=AOvVaw19j7yN3fLiroc5gNmrnaKn (last accessed: 4 February 2019)
- H. Vermont (Health Vermont). <http://www.healthvermont.gov/environment/drinking-water/perfluoroalkyl-and-polyfluoroalkyl-substances-pfas-drinking-water>
- IPEN, 2018. Fluorine-free firefighting foams (3F) viable alternatives to fluorinated aqueous film-forming foams (AFFF). <https://ipen.org/documents/fluorine-free-firefighting-foams>
- IPEN Annex F information concerning Washington ban on PFAS in food-contact materials. <http://apps2.leg.wa.gov/billsummary?BillNumber=2658&Year=2017&BillNumber=2658&Year=2017>
- Jiang, W, Zhang Y, Yang L, Chu X, Zhu L (2015). Perfluoroalkyl acids (PFAAs) with isomer analysis in the commercial PFOS and PFOA products in China. *Chemosphere*, 127, 180–187. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.01.049>
- Kaboré HA, Vo Duy S, Munoz G, Méité L, Desrosiers M, Liu J, Sory TK, Sauvé S (2018). Worldwide drinking water occurrence and levels of newly-identified perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances. *Sci Total Environ*. 616-617: 1089-1100
- Karolinska Institutet, Sweden. <http://ki.se/en/imm/health-related-environmental-monitoring-hami>.
- KemI (2018). <https://www.kemi.se/en/news-from-the-swedish-chemicals-agency/2018/the-swedish-chemicals-agency-is-introducing-a-requirement-to-report-pfass-to-the-products-register/>
- KemI (2018b). PFASs in the action plan for a toxic-free everyday environment Report 7/18. Selected parts of report 6/17. <https://www.kemi.se/global/rappporter/2018/report-7-18-pfass-in-the-action-plan-for-a-toxic-free-everyday-environment.pdf>
- KemI (2016). Förslag till nationella regler för högfluorerade ämnen i brandsläckningsskum (in Swedish). Rapport 1/16. ISSN 0284-1185.
- KemI (2015). Chemical analysis of selected fire-fighting foams on the Swedish market 2014. PM 6/15.
- KemI (2014). <https://www.kemi.se/kemiska-amnen-och-material/hogfluorerade-amnen-pfas/pfas-natverk> (in Swedish)
- Keutel K, Koch M (2016) Untersuchung fluortensidfreier Löschmittel und geeigneter Lösungsverfahren zur Bekämpfung von Bränden häufig verwendeter polarer (d. h. schaumzerstörender) Flüssigkeiten. 187, date: February 2016. Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge, Abteilung Forschung - Institut der Feuerwehr -. Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer A.V.A.F., Katastrophenschutz und zivile Verteidigung. Available (in German only) at: <https://ibk-heyrothsberge.sachsen-anhalt.de/forschung-idf/publikationen/>
- Kim M, Li LY, Grace JR, Yue C (2015). Selecting reliable physicochemical properties of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) based on molecular descriptors. *Environ Pollut*. 196:462-72.
- Kosswig K (2000). Sulfonic Acids, Aliphatic. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 7th ed. (1999-2015). New York, NY: John Wiley & Sons. Online Posting Date: Jun 15, 2000.
- Kotthoff M and Bücking M (2018). Four chemical trends will shape the next decade's direction in perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substance research. *Front. Chem* 05 April. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00103>
- Kotthoff M, Müller J, Jürling H, Schlummer M, Fiedler D (2015). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in consumer products. *Environ Sci Pollut Res Int*. 22(19):14546-59.
- LASTFIRE (2018). New foam testing. Hemmingfire, *Industrial Fire Journal* 2018 Q3. Available at: https://issuu.com/hemminggroup/docs/ifj_q3_2018?e=29780894/64572047
- Li Y, Fletcher T, Mucs D, Scott K, Lindh CH, Tallving P, Jakobsson K (2018). Half-lives of PFOS, PFHxS and PFOA after end of exposure to contaminated drinking water. *Occup Environ Med*. 75(1):46-51
- Lin A Y-C, Panchangam SC, Ciou P-S (2010). High levels of perfluorochemicals in Taiwan's wastewater treatment plants and downstream rivers pose great risk to local aquatic ecosystems. *Chemosphere*, 80, 1167–1174
- Lin A Y-C, Panchangam SC, Lo C-C (2009). The impact of semiconductor, electronics and optoelectronic industries on downstream perfluorinated chemical contamination in Taiwanese rivers. *Environmental Pollution* 157: 1365–1372.
- Liu Y, Zhang Y, Li J, Wu N, Li W, Niu Z. (2019). Distribution, partitioning behavior and positive matrix factorization-based source analysis of legacy and emerging polyfluorinated alkyl substances in the dissolved phase, surface sediment and suspended particulate matter around coastal areas of Bohai Bay, China. *Environ Pollut*. 246:34-44.

- Lofstedt Gilljam J, Leonel J, Cousins IT, Benskin JP (2016). Is Ongoing Sulfluramid Use in South America a Significant Source of Perfluorooctanesulfonate (PFOS)? Production Inventories, Environmental Fate, and Local Occurrence. *Environ. Sci. Technol.* 50, 653–659.
- Ma X, Shan G, Chen M, Zhao J, Zhu L (2018). Riverine inputs and source tracing of perfluoroalkyl substances (PFASs) in Taihu Lake, China. *Sci Total Environ.* 15; 612:18-25.
- Mass. Gov. <https://www.mass.gov/service-details/per-and-polyfluoroalkyl-substances-pfas-in-drinking-water>
- McCleaf P, Englund S, Ostlund A, Lindegren K, Wiberg K, Ahrenz L (2017). Removal efficiency of multiple poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) in drinking water using granular activated carbon (GAC) and anion exchange (AE) column tests. *Water Research* 120: 77-87.
- MDH (Minnesota Department of Health). <http://www.health.state.mn.us/divs/eh/hazardous/topics/pfcshealth.pdf>
- MIL-F-24385 is a US Military Test Specification that critically tests AFFFs for both extinguishment and burnback in sea and potable (fresh) water: Available at: <https://www.firefightingfoam.com/knowledge-base/international-standards/mil-f-24385/>
- Mak Y L, Taniyasu S, Yeung LWY, Lu G, Jin L, Lam PKS, Kannan K, Yamashita N (2009). Perfluorinated compounds in tap water in China and several other countries. *Environ. Sci. Technol.* 2009, 43, 4824–4829
- Naturvardsverket, Sweden: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Miljogiftssamordning/>.
- NCM, Nordic Council of Ministers (2019). The cost of inaction: A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS. *TemaNord*, ISSN 0908-6692; 2019:516. Available at: <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1295959/FULLTEXT01.pdf>
- Neumann M, Sättler D, Vierlke L, Schliebner I (2017). A proposal for criteria and an assessment procedure to identify Persistent, Mobile and Toxic (PM or PMT) substances registered under REACH, in Oral Presentation at the 16th EuChemS International Conference on Chemistry and the Environment (ICCE) (Oslo).
- NICNAS (2017a). NICNAS IMAP Environment Tier II Assessment for Direct Precursors to Perfluoroheptanesulfonate (PFHpS), Perfluorohexanesulfonate (PFHxS) and Perfluoropentanesulfonate (PFPeS) <https://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-assessments/tier-ii-environment-assessments/direct-precursors-to-perfluoroheptanesulfonate-pfhps,-perfluorohexanesulfonate-pfhxs-and-perfluoropentanesulfonate-pfpes>
- NICNAS (2017b). NICNAS IMAP HUMAN HEALTH TIER II ASSESSMENT FOR Perfluoroalkane sulfonates (PFSA) (C₅-C₇) and their direct precursors https://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-group-assessment-report?assessment_id=444
- NICNAS (2017c). HUMAN HEALTH TIER II ASSESSMENT FOR Indirect precursors of perfluoroalkane sulfonic acids (PFSA) (C₅-C₇). https://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-group-assessment-report?assessment_id=1809
- NICNAS (2017d). Environment Tier II Assessment for Indirect Precursors to Perfluoroalkyl Sulfonates <https://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-assessments/tier-ii-environment-assessments/indirect-precursors-to-perfluoroalkyl-sulfonates>
- Noorlander CW, J. van Leeuwen SP, Dirk te Biesebeek J, Mengelers MJB, Zeilmaker MJ (2011). Levels of Perfluorinated Compounds in Food and Dietary Intake of PFOS and PFOA in The Netherlands. *J. Agric. Food Chem.* 2011, 59, 7496–7505
- Norwegian Environment Agency (2017). Screening program 2017. Selected PBT compounds. Report M-806/2017 <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M806/M806.pdf>
- Norwegian Environment Agency (2018). Investigation of sources to PFHxS in the environment. Report M-961/2018 <http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/2018/Februar-2018/Investigation-of-sources-to-PFHxS-in-the-environment/>
- OECD (2018). TOWARD A NEW COMPREHENSIVE GLOBAL DATABASE OF PER- AND POLYFLUOROALKYL SUBSTANCES (PFASs): SUMMARY REPORT ON UPDATING THE OECD 2007 LIST OF PER- AND POLYFLUOROALKYL SUBSTANCES (PFASs). ENV/JM/MONO(2018)7. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV-JM-MONO\(2018\)7&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV-JM-MONO(2018)7&doclanguage=en)
- OECD (2015). Risk reduction approaches for PFASs a cross-country analysis. https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/Risk_Reduction_Approaches%20for%20PFASS.pdf

OECD (2013). OECD/UNEP Global PFC Group, Synthesis paper on per- and polyfluorinated chemicals (PFCs), Environment, Health and Safety, Environment Directorate, OECD. Available at: https://www.oecd.org/env/ehs/risk-management/PFC_FINAL-Web.pdf

Oosterhuis F, Brouwer R., Janssen M., Verhoeven J, Luttikhuisen C. (2017). Towards a proportionality assessment of risk reduction measures aimed at restricting the use of persistent and bioaccumulative substances, Integrated Environmental Assessment and Management banner, 13 (6) 1100-1112.

Olsen GW, Burris JM, Ehresman DJ, Froehlich JW, Seacat AM, Butenhoff JL, Zobel LR (2007). Half-life of serum elimination of perfluorooctanesulfonate, perfluorohexanesulfonate, and perfluorooctanoate in retired fluorochemical production workers. *Environ Health Perspect.* 115(9):1298-305.

Pan Y, Zhang H, Cui Q, Sheng N, Yeung LWY, Sun Y, Guo Y, Dai J (2018). Worldwide Distribution of Novel Perfluoroether Carboxylic and Sulfonic Acids in Surface Water. *Environ Sci Technol.* 52(14):7621-7629.

Park H, Choo G, Kim H, Oh JE (2018). Evaluation of the current contamination status of PFASs and OPFRs in South Korean tap water associated with its origin. *Sci Total Environ.* 1; 634:1505-1512.

Patent US20080196908: <https://patents.google.com/patent/US20080196908>

Poulsen PB, Gram LK, AA Jenssen (2011). Substitution of PFOS for use in nondecorative hard chrome plating. Environmental Project No. 1371, Danish Ministry of Environment.

Queensland Government, Australia (2018). Environmental Management of Firefighting Foam-Operational Policy. Updated 2 May 2018. <https://www.qld.gov.au/environment/pollution/management/disasters/investigation-pfas/operational-policy>

Queensland Gov., Australia (2016). Operational Policy 07 July 2016. Department of Environmental & Science www.DES.qld.gov.au ABN 46 640 294 485. Environmental Management of Firefighting Foam https://www.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0025/68470/firefighting-foam-policy.pdf

Ramsden N, (2018). Large scale foam testing. Hemmingfire, Industrial Fire Journal 2018 Q3. Available at: https://issuu.com/hemminggroup/docs/ifj_q1_2018?e=29780894/59376615

Ramsden N, LASTFIRE (2017). The evolution of fire fighting foams. How did we get where we are today? Available at: <http://www.lastfire.co.uk/uploads/Foam%20Summit/1.%20Foam%20development.pdf>

REACH regulation. <https://echa.europa.eu/da/regulations/reach/legislation>

Ren, Xin. (2016). China - Reduction and Phase-out of Perfluorooctane Sulfonic Acid (PFOS) in Priority Sectors Project: environmental assessment: Environmental auditing report for Hubei Hengxin Chemical Co., Ltd (English). China: s.n. <http://documents.worldbank.org/curated/en/779711473149049019/Environmental-auditing-report-for-Hubei-Hengxin-Chemical-Co-Ltd>

Ritscher A, Wang Z, Scheringer M, Boucher JM, Ahrens L, Berger U, Bintein S, Bopp SK, Borg D, Buser AM, Cousins I, DeWitt J, Fletcher T, Green C, Herzke D, Higgins C, Huang J, Hung H, Thomas Knepper, Lau CS, Leinala E, Lindstrom AB, Liu J, Miller M, Ohno K, Perkola N, Shi Y, Haug LS, Trier X, Valsecchi S, van der Jagt K, Vierke L (2018). Zurich statement on future actions on per- and perfluoroalkyl substances (PFASs), *Environ Health Perspect* 126, <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/full/10.1289/EHP4158>

Rotander A, Karrman A, Toms L-ML, Aylward L, Kay M, Mueller JF, Ramos MJG. (2015a). Novel fluorinated surfactants tentatively identified in firefighters using liquid chromatography quadrupole time-of-flight tandem mass spectrometry and case-control approach. *Environ. Sci. Technol.* 49, 2434-2442.

Rotander A, Toms L-ML, Aylward L, Kay M, Mueller JF. (2015b). Elevated levels of PFOS and PFHxS in firefighters exposed to aqueous film forming foam (AFFF). *Environment International* 82, 28–34.

RPA, (2019). Risk & Policy Analysts (RPA) and Arche Consulting. Socio-Economic assessment of PFHxS and PFHxS-related substances. Norwegian Environment Agency, M-1388/2019. Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2019/mai/socio-economic-assessment-of-pfhxs-and-pfhxs-related-substances/>

Schellenberger S, Gillgard P, Stare A, Hanning A, Levenstam O, Roos S, Cousins IT (2018). Facing the rain after the phase out: Performance evaluation of alternative fluorinated and non-fluorinated durable water repellents for outdoor fabrics. *Chemosphere* 193:675-684.

Schröter-Kermani C, Müller J, Jürling H, Schulte CCA (2013). Retrospective monitoring of perfluorocarboxylates and perfluorosulfonates in human plasma archived by the German Environmental Specimen Bank, *International journal of hygiene and environmental health.* 216: Nr.6, 633-640. DOI: 10.1016/j.ijheh.2012.08.004

UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018). Draft report on the assessment of alternatives to perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride. Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.14/INF/8/Add.1

UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018) Draft risk profile for Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS), its salts and PFHxS-related compounds, Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.14/6/Add.1.

UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018). Addendum to the risk management evaluation on perfluorooctanoic acid (PFOA), its salts and PFOA-related compounds. Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.14/6/Add.2.

UN Environment (2017a). Draft revised guidance for the inventory of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) and related chemicals listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.
<http://chm.pops.int/Implementation/NationalImplementationPlans/GuidanceArchive/GuidancefortheinventoryofPFOS/tabid/3169/Default.aspx>

UN Environment (United Nations Environment Programme) (2017b). Guidance on best available techniques and best environmental practices for the use of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) and related chemicals listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.

UN Environment (United Nations Environment Programme) (2017c). Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride.
<http://www.basel.int/Implementation/POPsWastes/TechnicalGuidelines/tabid/5052/Default.aspx>

UNIDO (2007). Non-combustion technologies for POPs destruction: Review and evaluation. United Nations Industrial Development Organization, eds Sergey Zinoviev, Paolo Fornasiero, Andrea Lodolo, Stanislav Miertus.

US Air Force (2017). AFFF disposals STTR. Available at: <https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/1254657>.

US National Research Council (2014) A framework to guide selection of chemical alternatives, Committee on the Design and Evaluation of Safer Chemical Substitutions: A framework to inform government and industry decision; Board on Chemical Sciences and Technology; Board on Environmental Studies and Toxicology; Division on Earth and Life Studies, National Academies Press, 2014 Oct 29 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK253970/>

US Congress (2018) An Act to provide protections for certain sports medicine professionals, to reauthorize Federal aviation programs, to improve aircraft safety certification processes, and for other purposes, HR302.
<https://www.congress.gov/115/bills/hr302/BILLS-115hr302enr.pdf>

United States Government (2007). Perfluoroalkyl Sulfonates; Significant New Use Rule. *Federal Register*, 72(194), pp 57222-57235.

United States Government (2002). Perfluoroalkyl Sulfonates; Significant New Use Rule. *Federal Register*, 67(236), pp 72854-72867.

USEPA (2017). The Third Unregulated Contaminant Monitoring Rule (UCMR 3): Data Summary, January 2017
<https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-02/documents/ucmr3-data-summary-january-2017.pdf>

USEPA (2013). Perfluoroalkyl Sulfonates and Long-Chain Perfluoroalkyl Carboxylate Chemical Substances; Final Significant New Use Rule. Published on 22 October 2013.
<https://www.federalregister.gov/documents/2013/10/22/2013-24651/perfluoroalkyl-sulfonates-and-long-chain-perfluoroalkyl-carboxylate-chemical-substances-final>

USEPA (2009). Long-Chain Perfluorinated Chemicals (PFCs) Action Plan. United States Environmental Protection Agency, Washington DC, USA. Accessed 10 December 2014 at <http://www.epa.gov>

von der Trenck KT, Konietzka R, Biegel-Engler A, Brodsky J, Hädicke A, Quadflieg A, Stockerl R, and Stahl T (2018). Significance thresholds for the assessment of contaminated groundwater: perfluorinated and polyfluorinated chemicals. *Environmental Sciences Europe* 30(1):19.

Wang Z, Boucher JM, Scheringer M, Cousins IT, Hungerbühler K (2017). Toward a Comprehensive Global Emission Inventory of C(4)-C(10) Perfluoroalkanesulfonic Acids (PFASs) and Related Precursors: Focus on the Life Cycle of C(8)-Based Products and Ongoing Industrial Transition. *Environ Sci Technol*. 51(8):4482-4493.

Wang Z, MacLeod M, Cousins IT, Scheringer M, Hungerbühler K (2011a). Using COSMOtherm to predict physicochemical properties of poly- and perfluorinated alkyl substances (PFASs). *Environ Chem* 8(4):389-98.

Wang N, Liu J, Buck RC, Korzeniowski SH, Wolstenholme BW, Folsom PW, Sulecki LM (2011b). 6:2 fluorotelomer sulfonate aerobic biotransformation in activated sludge of waste water treatment plants. *Chemosphere*.82(6):853-8.

- Wen B, Li L, Zhang H, Mab Y, Shan X-Q, Zhang S (2014). Field study on the uptake and translocation of perfluoroalkyl acids (PFAAs) by wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in biosolids-amended soils. *Environmental Pollution*. 184: 547-554.
- Winkens K, Vestergren R, Berger U, Cousins IT (2017). Early life exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs): A critical review. *Emerging Contaminants* 3; 55-68.
- Xiao F, Hanson RA, Golovko SA, Golovko MY, Arnold WA (2018). PFOA and PFOS are generated from zwitterionic and cationic precursor compounds during water disinfection with chlorine or ozone. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 5, 382–388.
- Yeung LWY, Stacey C, Mabury SA (2017). Simultaneous analysis of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances including ultrashort-chain C₂ and C₃ compounds in rain and river water samples by ultra performance convergence chromatography. *J Chromatogr A*. 1522:78-85.
- Zafeiraki E, Costopoulou D, Vassiliadou I, Leondiadis L, Dassenakis E, Traag W, Hoogenboom RL, van Leeuwen SP (2015). Determination of perfluoroalkylated substances (PFASs) in drinking water from the Netherlands and Greece. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess* 32(12):2048-57
- Zhao S, Zhou T, Wang B, Zhub L, Chen M, Li D, Yang L (2018). Different biotransformation behaviors of perfluorooctane sulfonamide in wheat (*Triticum aestivum* L.) from earthworms (*Eisenia fetida*). *Journal of Hazardous Materials*. 346: 191–198.
- Zhou J, Li Z, Guo X, Li Y, Wu Z, Zhu L (2019). Evidences for replacing legacy per- and polyfluoroalkyl substances with emerging ones in Fen and Wei River basins in central and western China. *J Hazard Mater.* 22;377: 78-87.
- Zhou Z, Shi Y, Vestergren R, Wang T, Liang Y, Cai Y (2014). Highly elevated serum concentrations of perfluoroalkyl substances in fishery employees from Tangxun lake, china. *Environ Sci Technol.* 48(7):3864-74.
-