

إرشادات عن  
أفضل التقنيات المتاحة / أفضل المعاملات البيئية  
لإعادة تدوير والتخلص من المواد المحتوية على  
الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل  
المدرجة في إطار اتفاقية ستوكهولم بشأن  
الملوثات العضوية الثابتة

مسودة  
يوليو 2012



unitar

United Nations Institute for Training and Research



Stockholm Convention



UNEP

### تنويه

الآراء الواردة في هذه النشرة هي آراء أصحابها ولا تعكس بالضرورة وجهات نظر أمانة اتفاقية ستوكهولم (SSC)، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP)، ومنظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية (UNIDO) والولايات المتحدة معهد الأمم المتحدة للتدريب والبحث (UNITAR)، ومنظمة الأمم المتحدة (UN) أو المنظمات الأخرى المشاركة. كما أن هذه الجهات جميعها غير مسؤولة عن دقة أو اكتمال المحتويات ولن تكون مسؤولة عن أي خسارة أو ضرر قد تنتسب فيه بشكل مباشر أو غير مباشر بالاعتماد على محتويات هذا المنشور.

## المحتويات

14	مقدمة	1.1
14	الأهداف	1.1
15	هيكل الوثيقة الإرشادية	2.1
17	العلاقة باتفاقية بازل	3.1
17	العلاقة بالمخاوف البيئية الأخرى	4.1
18	معلومات أساسية عن الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	2.
18	الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل المدرجة في الاتفاقية	1.2
20	إنتاج الخلائط التجارية من الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	2.2
21	الاستخدامات السابقة للملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	3.2
21	الاستخدامات السابقة للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل	1.3.2
22	الاستخدامات السابقة للإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل	2.3.2
23	المخاطر المرتبطة بالملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	4.2
24	الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في الخامات وتدفق إعادة التدوير عند مرحلة نهاية العمر	5.2
24	الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في إعادة الاستخدام و إعادة التدوير وتدفق النفايات	1.5.2
38	الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل : إعادة الاستخدام، إعادة التدوير وتدفق النفايات	2.5.2
29	فصل المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز إثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	6.2
30	المبادئ العامة والاعتبارات الشاملة لتقطيع وإعادة تدوير والتخلص من المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز إثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	3.
30	الاعتبارات العامة لتطبيق أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية	1.3
30	إدارة النفايات	2.3
32	مسؤولية المنتج	1.2.3
32	إدارة دورة حياة المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	3.3
34	اعتبارات خاصة بدورة حياة بوليمرات المركبات	1.3.3

34	اعتبارات دورة الحياة لإعادة تدوير بلاستيك النفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية	2.3.3
35	اعتبارات دورة الحياة لإدارة القوم المتعدد البيوريثان	3.3.3
35	اعتبارات دورة الحياة لاسترجاع البروم	4.3.3
35	بدائل الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	4.3
39	رصد البروم/الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في البوليمرات	5.3
40	أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية معينة: الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة/مبثبات اللهب البرومينية التي تحتوي على البلاستيك في نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية	4
40	إعادة استخدام الأجهزة الكهربائية والإلكترونية	1.4
40	اعتبارات إعادة تدوير المواد البلاستيكية التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	2.4
42	وضع البطاقات التعريفية على المواد والجزئيات البلاستيكية المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	1.2.4
43	تقنيات معالجة للمواد البلاستيكية للحد من التعرض	2.2.4
43	أنواع وتكوين البلاستيك المحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	3.2.4
46	تكنولوجيا فصل البوليمرات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	3.4
49	دليل منهجية التفكيك	1.3.4
50	تقنيات الفحص الفردية لفصل المواد البلاستيكية المجملية والمقطعة المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	2.3.4
54	مزيج من التقنيات لإنتاج منتجات قابلة للتسويق	3.3.4
56	مقارنة بين التقنيات لفصل تيارات البوليمر	4.3.4
58	المحطات كاملة النطاق لفصل المواد البلاستيكية لنفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية والملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	5.3.4
59	استرجاع الطاقة وإدارة نهاية الحياة للبلاستيك المحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	4.4
59	أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية المحددة: الملوثات العضوية الثابتة من طراز	5

الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل/مبثبات اللهب البرومينية/في قطاع النقل

61	إعادة استخدام المركبات التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة	1.5
61	معالجة وإعادة تدوير المركبات عند نهاية العمر	2.5
62	تفكيك وإزالة التلوث من المركبات	1.2.5
63	مصانع التقطيع	2.2.5
65	إعادة التدوير من خلال إزالة التلوث وتحسين تقنيات ما بعد التقطيع	3.2.5
67	استرجاع الطاقة والتخلص من المخلفات وغيرها من بقايا تقطيع السيارات المركبات عند نهاية العمر	3.5
67	استرجاع الطاقة	1.3.5
68	التخلص من بقايا تقطيع السيارات	2.3.5
69	اعتبارات الدول النامية	4.5
69	أفضل التقنيات المتاحة معينة/أفضل المعاملات البيئية: فوم متعدد اليوريثان المحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	.6
70	إعادة استخدام الأثاث والمراتب الملوثة بالملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	1.6
71	تدوير/استرجاع فوم متعدد اليوريثان	2.6
72	إعادة الربط: تدوير فوم متعدد اليوريثان بالتخلص التدريجي من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل	1.2.6
72	استرجاع المواد من المراتب	2.2.6
73	إعادة الطحن	3.2.6
73	استرجاع الكيمياويات (التحلل)	4.2.6
73	وضع البطاقات التعريفية على المواد المنتجة من فوم متعدد اليوريثان المعاد تدويره	3.6
73	مواد أخرى ربما تتأثر بالملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	4.6
74	استرجاع الطاقة/المواد من المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	7
74	ملاحظات عامة عن المعالجة الحرارية للمواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	1.7
74	محتوى القيمة الحرارية والهالوجين في المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	1.1.7

75	رصد انطلاق ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيران متعدد البروم، وثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور	2.1.7
76	اعتبارات حول التآكل الناجم عن البروم/البروم المهلجن	3.1.7
76	اعتبارات لإزالة البروم المهلجن والبروم في معالجات غاز المداخن	4.1.7
77	استرجاع الطاقة من المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في المحارق	2.7
78	ترميز البلاستيك المشترك من نفايات الأجهزة الكهربائية	1.2.7
79	ترميز بقايا تقطيع السيارات المشترك في محارق النفايات الصلبة البلدية	2.2.7
79	استرجاع المعادن	3.2.7
80	اعتبارات الدول النامية	4.2.7
80	أفران الأسمت	3.7
83	اعتبارات الدول النامية	1.3.7
84	نظم الانصهار	4.7
84	الانحلال الحراري وتحول المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل إلي غاز	5.7
85	اعتبارات الدول النامية	1.5.7
85	الصناعات المعدنية	6.7
86	مصادر النحاس المتكاملة ومصادر التكرير	1.6.7
91	استرجاع المواد واسترجاع الطاقة في أفران القوس الكهربائي	2.6.7
93	إعادة تدوير المواد الوسيطة من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل بوليمرات في صناعة الصلب الأساسي	3.6.7
94	المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في صناعات الألمنيوم الثانوي	4.6.7
95	إعادة تدوير الأنثيمون بمصادر بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية	5.6.7
95	اعتبارات الدول النامية/الانتقالية	6.6.7
96	التخلص من المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في مدافن النفايات	.8

96	عيوب دفن المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل	1.8
97	مدافن النفايات للتخلص الصحي من المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل	2.8
97	اعتبارات الرعاية اللاحقة للمدافن الصحية للمخلفات على المدى الطويل	3.8
98		المراجع:
99		المرفقات:
99	• مرفق 1: الاعتبارات العامة لأفضل التقنيات المتاحة وأفضل المعاملات البيئية	
99	• نظم الإدارة البيئية (EMS)	
101	• إدارة النفايات /المواد في المنشآت والعمليات	
106	• عمليات السحق، والتفتيت والنخل و الغسل	
107	• الاعتبارات المتعلقة بأفضل التقنيات المتاحة وأفضل المعاملات البيئية فيما يخص الهواء والماء	
108	• الوقاية من تلوث التربة	
109	• مرفق 2: أفضل التقنيات والمعاملات البيئية لتقنيات صنيع البلاستيك	
109	• تقنيات الحد من انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة/المركبات العضوية شبة المتطايرة في تصميم العملية	
110	• تقنيات الحد من انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة/المركبات العضوية المتطايرة شبة المتطايرة في تصميم المحطة	
111	• مرفق 3: التخلص من المواد المحتوية على المركبات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل بالدفن	
111	• دفن المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل	
113	• أنواع النفايات التي تحتوي الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل التي يتم دفنها	
114	• فئات مدافن النفايات لاستقبال النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل	
115	• توصيل النفايات في مدافن النفايات .	
118	• تشغيل وصيانة مدافن النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل الصحية	

- 120 انطلاق الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل من مدافن النفايات
- 122 انطلاق الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل من حرائق مدافن النفايات
- 124 مقاييس أفضل التقنيات المتاحة لمنع الانطلاق قصير الأجل وطويل الأجل من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل من مدافن النفايات
- 126 أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية للرعاية اللاحقة لمدفن النفايات
- 127 التنقيب في مدافن النفايات وأثر الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل
- 128 ملخص واستنتاجات وتوقعات حول دفن المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل فيما يتعلق بأفضل التقنيات المتاحة / أفضل المعاملات البيئية
- مرفق 4: 128 استرجاع البروم من المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومثبطات اللهب البرومينية
- 130 الاسترجاع الحراري للبروم
- 131 تقنيات فصل الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل و مثبطات اللهب البرومينية من قالب البوليمر
- مرفق 5: 133 تعريف الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل بتحليل الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل القياسية.
- 134 تقنيات التحليل السريع التحليل الكروماتوجرافي الغازي/مطياف الكتلة GC-MS للملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل
- 135 رصد الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل بجهاز الرامان الطيفي في الموقع
- 135 قياس البروم في الأدوات داخل الموقع.
- 135 مطياف الحرارة المنزلفة
- 136 الأشعة السينية الفلوروميضي (XRF)
- 136 انتقال الأشعة السينية (XRT)



## الأشكال التوضيحية:

- 15 شكل 1-1: هيكل الوثيقة الإرشادية وتدفق الكتلة لإنتاج واستخدامات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل و الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل وإعادة الاستخدام، والتدوير والتخلص من المواد المحتوية على هذه المركبات
- 19 شكل 1-2: تركيب الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل
- 27 شكل 2-2: رسم تخطيطي لدورة حياة الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل
- 29 شكل 3-2: رسم تخطيطي لدورة حياة الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل والإنبعثات والمحتملة له
- 31 شكل 1-3: التسلسل الهرمي لإدارة النفايات
- 39 شكل 2-3: أشجار قرار بشأن المواد المثبطة للهب
- 44 الشكل 1-4: تكوين خليط البوليمر المخصب بعد استرجاع المعادن من تقطيع النفايات الإلكترونية
- 45 الشكل 2-4: أنواع البوليمرات التي تم تحديدها في عينات صغيرة لبوليمر نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية
- 48 الشكل 3-4: خطوات فصل البوليمرات من نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية وتحويلها إلى بلاستيك عالي القيمة عن طريق إعادة التدوير
- 60 شكل 1-5: رسم تخطيطي لتجهيز المركبات عند نهاية العمر
- 64 شكل 2-5: لمحة عامة عن عملية التقطيع
- 65 شكل 3-5: تركيب النفايات المقطعة
- 129 شكل أ-1: الخيارات المحتملة لعملية استرجاع البروم وإغلاق دورة البروم.

		<b>الجدول:</b>
<b>20</b>	توزيع نموذجي للاثرات متعددة البروم ثنائية الفينيل النظيرة في منتجات الاثرات متعددة البروم ثنائية الفينيل التجارية	<b>جدول 1-2:</b>
<b>21</b>	الإنتاج الإجمالي المقدر لخلائط الاثرات متعددة البروم ثنائية الفينيل التجاري 1970 - 2005	<b>جدول 2-2:</b>
<b>33</b>	الإنبعاثات المقارنة وتأثيرات تكنولوجيات جمع وإعادة التدوير	<b>جدول 1-3:</b>
<b>37</b>	الاستعمالات الرئيسية للاثر الخماسي البروم ثنائي الفينيل والاثر ثنائي البروم ثنائي الفينيل وبعض مثبطات اللهب البديلة	<b>جدول 2-3:</b>
<b>57</b>	توليفة تقنيات الفصل، ومواد المدخلات والمنتجات، وحالة التنمية والملاحظات ذات الصلة على الاقتصاد	<b>جدول 1-4:</b>
<b>58</b>	بعض محطات معالجة نفايات الأجهزة الكهربائية والالكترونية وقدرتها على فصل المواد البلاستيكية التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الاثرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	<b>الجدول 2-4:</b>
<b>63</b>	القطع التي يمكن إعادة تدويرها من المركبات عند نهاية العمر	<b>جدول 1-5:</b>
<b>67</b>	نظرة عامة على تقنيات ما بعد التقطيع	<b>جدول 2-5:</b>
<b>77</b>	الأكسدة المحتملة من الهالوجينات ونقطة غليان/ ذوبان الهاليدات البوتاسيوم والصوديوم	<b>جدول 1-7:</b>
<b>90</b>	سعة المصهر الأوروبي	<b>جدول 2-7:</b>
<b>116</b>	أنواع المدافن، محددات كل نوع للتخلص من النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الاثرات متعددة البروم ثنائية الفينيل.	<b>جدول أ-1:</b>

## الاختصارات:

الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين	ABS
بقايا تقطيع السيارات	ASR
أفضل التقنيات المتاحة	BAT
بيزفينول -أ- مكرر (ثنائي فينيل الفوسفات)	BDP
أفضل المعاملات البيئية	BEP
مثبطات اللهب البرومينية	BFR
منتدى علوم البروم والبيئة	BSEF
الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل التجاري	c-DecaBDE
الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل التجاري	c-OctaBDE
الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري	c-PentaBDE
مركبات الكربون الكلورية فلورية	CFC
غبار أفران الأسمنت	CKD
مؤتمر الأطراف المعنية	COP
أنبوب أشعة الكاثود	CRT
أنبوب أشعة الكاثود	CRT
ثنائي هيدرو أكسيد الفوسفات الفينانثرين	DOPO
فرن القوس الكهربائي	EAF
الأجهزة الكهربائية والإلكترونية	EEE
مركبات نهاية العمر	ELV

نظام الإدارة البيئية	EMS
الإدارة البيئية السليمة	ESM
فوم المتعدد البوريثان المرن	FPF
مثبطات اللهب	FR
غازات الصوبة الزجاجية	GHG
سداسي البروم ثنائي الفينيل	HBB
سداسي بروم دوديكان الحلقي	HBCD
الهيدروفلوروكربون	HFC
متعدد الايسترين عالي التحمل	HIPS
النفايات البلدية الصلبة	MSW
قريبة من الأشعة تحت الحمراء	NIR
المواد المستنفدة للأوزون	ODS
متعدد البروم ثنائي الفينيل	PBB
الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل	PBDE
ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيران متعدد البروم	PBDD/PBDF
بيوتيلين تيريفثاللات	PBT
/متعدد الكربونات	PC
ثنائي الفينيل متعدد الكلورة	PCB
ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور	PCDD/PCDF
الإثيلين متعدد الفتاليت	PET
مثبطات اللهب الفسفورية	PFR
لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة	POPRC
متعدد بروبيلين	PP
الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل - متعدد أكسيد الفينيلين	PPE

البوليسترين	PS
متعدد اليوريثين	PUR
متعدد الفينيل الكلور (البلاستيك)	PVC
لوحة الأسلاك المطبوعة	PWB
ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور	PXDD/PXDF
الريسورسنول مكرر (ثنائي فينيل الفوسفات)	RDP
قيود حظر المواد الخطرة في الأجهزة الكهربائية والإلكترونية	RoHS
الغرق والطفو	S/F
مركبات عضوية شبه متطايرة	SVOC
مركبات عضوية متطايرة	VOC
نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية	WEEE
الأشعة السينية الفلوروميضية	XRF
انتقال الأشعة السينية	XRT

## 1. مقدمة

### 1.1 الأهداف:

تم تعديل اتفاقية ستوكهولم بشأن الملوثات العضوية الثابتة (POPs) في مايو 2009 في مؤتمر الدول المعنية (COP) بالاتفاقية لتشمل العديد من الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في مرفق (أ) وهي:

• الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل والإثير سباعي البروم ثنائي الفينيل<sup>1</sup>

• الإثير رباعي البروم ثنائي الفينيل والإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل<sup>2</sup>

وفى هذه الوثيقة، يشار إلى هذه الملوثات العضوية الثابتة المحتوية على الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل بالاسم المختصر POP-PBDEs..... ويتواجد الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل والإثير سباعي البروم ثنائي الفينيل في الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل (التجاري) الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري (أما الإثير رباعي البروم ثنائي الفينيل والإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل فيتواجد في مركب الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل (c-OctaBDE).

الهدف الرئيسي من هذه الوثيقة هو توفير الإرشادات اللازمة للحصول على أفضل التقنيات المتاحة (BAT) وأفضل المعاملات البيئية (BEP) لإعادة التدوير والتخلص النهائي من المنتجات والمواد التي تحتوي على مركبات ثنائي الفينيل متعدد البروم بطريقة سليمة بيئياً وفقاً لتوصيات مؤتمر الدول المعنية للتخلص من هذه الملوثات العضوية من المصارف المائية.

استخدام أفضل التقنيات المتاحة (BAT) يعني الوصول للمرحلة الأكثر فعالية وكفاءة في تطور الأنشطة وطرق إدارتها التي تبين مدى الملائمة العملية والذي بدوره يشير إلى مدى استدامة هذه التقنية.

---

<sup>1</sup> القائمة تضم إثير رباعي البروم ثنائي الفينيل وإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل، وهذا يعني 2،2'، 4،4'-إثير رباعي البروم ثنائي الفينيل (BDE-47)، CAS رقم: 9-47-40088 و 2،2'، 4،4'-إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل الأثير BDE-99، CAS رقم: 9-81-32534 وغيرها من إثير رباعي البروم ثنائي الفينيل وإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل الموجودة في إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري.

<sup>2</sup> إدراج إثير سداسي البروم ثنائي الفينيل وإثير يشمل الأثير سباعي، وهذا يعني 2،2'، 4،4'، 5،5'-إثير سداسي البروم ثنائي الفينيل (BDE-153)، CAS رقم: 2-49-68631، 2،2'، 4،4'، 5،6'-إثير سداسي البروم ثنائي الفينيل (BDE-154)، CAS رقم: 4-15-207122، 2،2'، 3،3'، 4،5'، 6 الأثير سباعي (BDE-175)، CAS رقم: 7-22-446255، 2،2'، 3،4،4'، 5،6'-إثير سباعي البروم ثنائي الفينيل (BDE-183)، CAS رقم: 5-16-207122 إثير سداسي البروم ثنائي الفينيل) وغيرها من وإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل إثير سباعي البروم ثنائي الفينيل التجاري في تقديم الأثير.

أما أفضل المعاملات البيئية (BEP) المتاحة فهي تلك التي تصف استخدام المزيج الأكثر ملائمة من الإستراتيجيات المستخدمة والرقابة البيئية معاً.

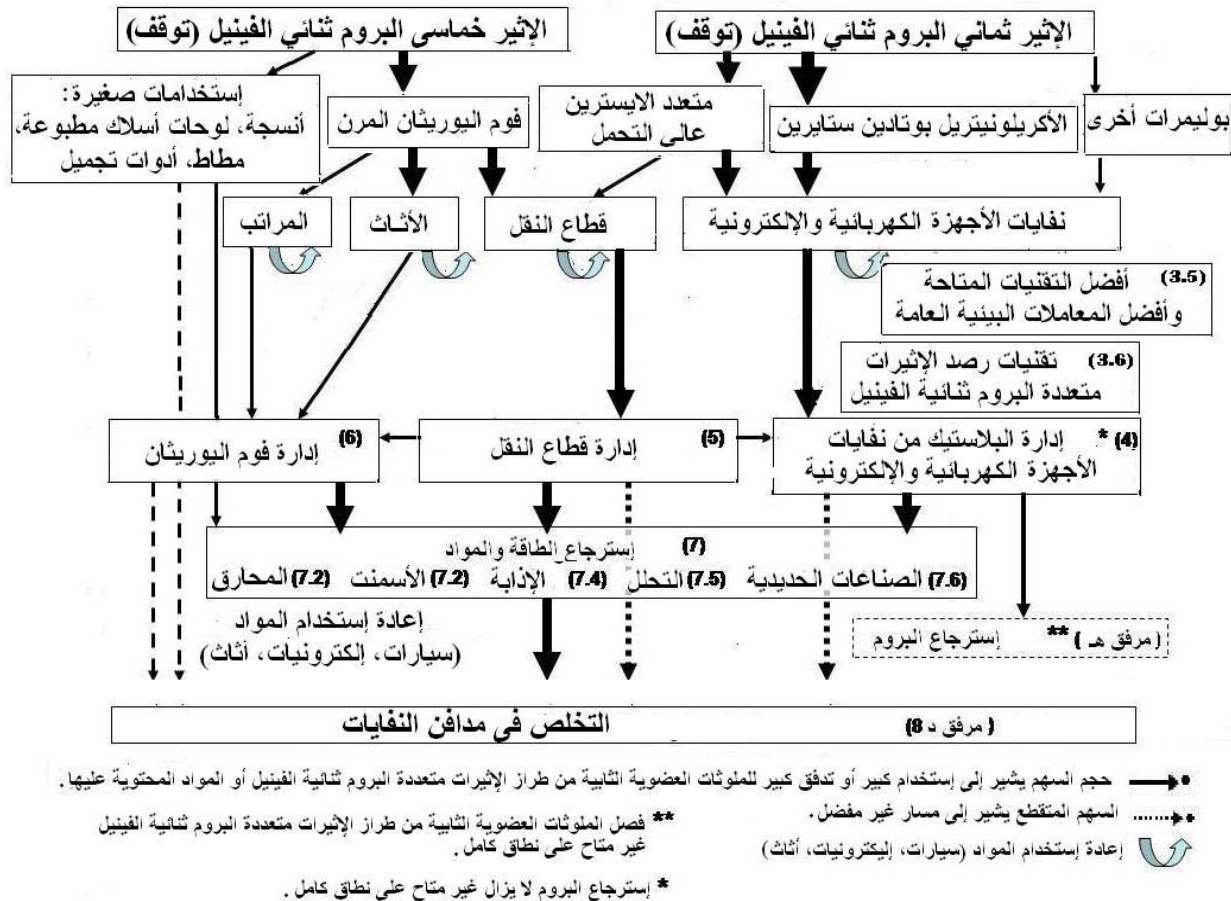
هذه الوثيقة تهدف أيضاً إلى مساعدة الدول المعنية بمراجعة وتحديث خطط التنفيذ الوطنية NIP ومعلومات عن كيفية تلبية الالتزامات المنصوص عليها في الاتفاقية بشأن هذه تدفق المواد المرتبطة وفقاً للتسلسل الموضح في الشكل 1-1. وهي توفر الإرشادات الخاصة بوضع خطط عمل للإدارة السليمة بيئياً (ESM).

وهذه الوثيقة ذات فائدة عديدة لنقاط الاتصال الوطنية لاتفاقية ستوكهولم، ووحدة تنسيق المشروع خطة التنفيذ الوطنية ومستحدثاته وفرق العمل المسؤولة عن البحث عن هذه المواد ووضع خطط عمل ملائمة لإدارة طرق التخلص المناسبة لها. وبالإضافة إلى ذلك، فإن هذه الوثيقة تتناول إعادة تدوير المنتجات والمواد التي تحتوي على الإثارات متعددة البروم ثنائية الفينيل، وإزالتها.

## 2.1 هيكل الوثيقة الإرشادية:

الفصل 1 يحدد غرض وهيكل هذه الوثيقة (أنظر الشكل 1-1). ويوضح علاقته اتفاقية بازل (BC) بشأن التحكم في نقل النفايات الخطرة والتخلص منها.

## تدفق السلع المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل



الشكل 1-1: هيكل الوثيقة الإرشادية وتدفق الكتلة لإنتاج واستخدامات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل والإثير ثماني البروم

ثنائي الفينيل وإعادة الاستخدام، والتدوير والتخلص من المواد المحتوية على هذه المركبات

**الفصل 2:** يستعرض معلومات أساسية عن الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (1.2)، وتقدير كمية الإنتاج الكلي للبروم في خماسي البروم ثنائي الفينيل وثمانى البروم ثنائي الفينيل (2.2)، والاستخدامات الرئيسية لهما (3.2)، والمخاطر المرتبطة بهذه المركبات ومعلومات عن المواد المتواجدة فيها و تدفق إعادة التدوير ونهاية حياتها (4.2)

**الفصل 3:** (المرفقان 1 و 2) يتضمن المبادئ العامة والاعتبارات الشاملة لإعادة التدوير والتخلص من المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل على أساس التسلسل الهرمي لإدارة النفايات (2.3)، إدارة دورة الحياة (3.3)، بدائل الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (4.3)، ورصد البروم/الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في البوليمرات (5.3).



**الفصل 4:** يتناول هذا الفصل أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية التكنولوجيات لإعادة استخدام والإلكترونية الكهربائية الأجهزة (EEE) (4.1)، وإعادة تدوير المواد من البلاستيك من نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية (4.2)، والتكنولوجيات فصل البلاستيك المحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (3.4)، وإدارة ونهاية الحياة للبلاستيك المحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (4.4).

**الفصل 5:** يستعرض هذا الفصل أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية الخيارات المتاحة لإدارة المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في قطاع النقل (السيارات والحافلات والشاحنات والقطارات والسفن، والطائرات) لإعادة الاستخدام (1.5) والمعالجة وإعادة تدوير المركبات عند نهاية العمر (ELV) (2.5)، واسترجاع الطاقة والتخلص من بقايا التقطع السيارات (بقايا تقطع السيارات) وغيرها من نفايات المركبات في مرحلة نهاية العمر (3.5).

**الفصل 6:** يصف هذا الفصل أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لإدارة وتجهيز المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل فوم متعدد اليوريثان بما في ذلك إعادة استخدام الأثاث والمراتب (1.6)، وإعادة التدوير/الاسترجاع من فوم متعدد اليوريثان (PUR) (2.6) ووضع العلامات للمواد المعاد تدويرها المنتجة من فوم متعدد اليوريثان (3.6)، وغيرها من المواد المتأثرة بالملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (4.6).

**الفصل 7:** يحتوي هذا الفصل على معلومات حول خيارات المعالجة الحرارية للمواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (1.7)، بما في ذلك حرق النفايات (2.7)، قمانن الأسمنت (3.7)، ونظم الذوبان (4.7)، وتقنيات الانحلال الحراري (5.7). وأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لمختلف الاعتبارات الثانوية لتجهيز الصناعات المعدنية والمواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (لاسترجاع الطاقة أو المعادن) (6.7).

**الفصل 8:** (والمرفق 3) يناقش هذا الفصل المخاوف بشأن النهج الأقل تفضيلاً للتخلص من المخلفات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في مدافن النفايات، مع الاعتراف بأن إمكانية الوصول إلي التكنولوجيات البديلة المتاحة ليس متوفراً لكل الدول.

### 3.1 العلاقة باتفاقية بازل

في عام 1989 تم اعتماد اتفاقية بازل بشأن التخلص من النفايات الخطرة ونقلها عبر الحدود ودخلت حيز التنفيذ فعلياً في عام 1992 اتفاقية بازل تتعلق بشكل مباشرة بتطبيق أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لإدارة النفايات التي تتكون من أو تحتوي على أو ملوثة بملوثات عضوية ثابتة. ولذا تتضح أهمية التوافق بين اتفاقية ستوكهولم واتفاقية بازل حيث أن بوليمرات نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية هي مصدر رئيسي لتدفق الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل. فاتفاقية

بازل تضع التزامات على الأطراف المعنية في بوتقة واحدة لتقليل إنتاج هذه النفايات الخطرة، والتأكد من إمكانية التخلص منها وكذلك ضمان الإدارة السليمة بيئياً لهذه النفايات.

وأقر المؤتمر في اتفاقية بازل، في اجتماعه الثامن في ديسمبر 2006 تحديث الإرشادات التقنية العامة للإدارة السليمة بيئياً للنفايات التي تتكون من أو تحتوي على أو ملوثة بملوثات عضوية ثابتة. هذه الإرشادات تتناول المسائل المتعلقة بالنقاط الثلاثة الخاصة بالتعريف المدرج في الفقرة 2 من المادة 6 من اتفاقية ستوكهولم. وفي اجتماعه العاشر في أكتوبر 2011، أقر المؤتمر برنامج عمل<sup>3</sup> فيما يخص الملوثات العضوية الثابتة المدرجة في إطار اتفاقية ستوكهولم في عام 2009، لتحديث المبادئ العامة للإرشادات وإعداد خطوط إرشادية تقنية محددة.

#### 4.1 العلاقة بالمخاوف البيئية الأخرى

تتطلب المادة 3 الفقرة 6 من الأطراف المعنية في اتفاقية ستوكهولم والتي لها إعفاءات محددة أو لها أضرار وأسباب مقبولة، أن تُتخذ التدابير اللازمة لضمان أن يتم الإنتاج أو الاستخدام بموجب هذا الإعفاء أو الغرض بطريقة تمنع أو تقلل من التعرض البشري لهذه المواد وزيادة انطلاقها (انبعاثها) في البيئة. وقد تم تطوير هذه الوثيقة لتوجيه الأطراف نحو معالجة مخاطر حامض السلفونيك المشبع بالفلور أوكتين PFOS والمواد المتعلقة به

وعموماً فإن تدفق المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل قد يحتوي على مواد خطيرة أخرى:

الأجهزة الكهربائية والإلكترونية EEE: وتحتوي على مجموعة واسعة من الملوثات على النحو المفصل من وكالة حماية البيئة السويدية (Naturvardsverket, 2011). وأجزاء معينة من الأجهزة الكهربائية والإلكترونية خاصة التي تتواجد في مكيفات الهواء تحتوي على مواد المستنفدة للأوزون (ODS) مثل مركبات الكربون الكلورية فلورية أو غازات الصوبة الزجاجية مثل مركبات الهيدروفلوروكربون.

المركبات في مرحلة نهاية العمر ELV: وتحتوي بالإضافة إلى مجموعة الملوثات العضوية الثابتة على ملوثات أخرى بما فيها المعادن الثقيلة، المواد المستنفدة للأوزون و/أو غازات الدفيئة (الاحتباس الحراري).

الغوم متعدد اليورثين PUR foam: ويحتوي على عناصر نافخة مثل المواد المستنفدة للأوزون كمركبات الكربون الكلورية فلورية أو المحتملة كغازات الصوبة الزجاجية كثنائي كلورو ميثان على سبيل المثال.

<sup>3</sup>القرار BC-10/9.

كما إنه يمكن في عملية إعادة التدوير والتخلص من تدفقات هذه المواد إعادة انطلاق هذه المواد السامة مرة أخرى مما يؤدي إلى تعرض الإنسان والبيئة للتلوث (Wong et al., 2007; UNEP, 2010b). ويعتبر الرصاص والزنك والبروم من المركبات الأكثر ضرراً خلال إعادة تدوير نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية. المرفق (ج) يوضح المواد الكيميائية (تحديداً ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور). وقد تم قياس مستويات عالية (في بعض الحالات أعلى من أي وقت مضى) من هذه المركبات في عينات بيئية وبشرية تم جمعها من المناطق التي لا تتبع ضوابط إعادة تدوير نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية (UNEP 2010a,2010b , Naturvardsverket, 2011). الانطلاقات (انبعاثات) الناتجة عن المواد المستنفدة للأوزون وغازات الدفيئة هو أيضاً مصدر مقلق إذا لم يتم تبني أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية اللازمة للتخلص النهائي من نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية والمركبات عند نهاية العمر..... الخ.

ولذلك، فإن إعادة تدوير والتخلص من تدفقات المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل تتطلب إتباع نهج شامل يأخذ في الاعتبار جميع هذه الملوثات، والانطلاقات/الانبعاثات والمخاطر المرتبطة بذلك. ويعطى وجود المواد المستنفدة للأوزون، الغازات الدفيئة والمعادن الثقيلة (بما في ذلك الرصاص والزنك)، والملوثات العضوية الثابتة الجديدة الملوثات العضوية الثابتة المنتجة بدون قصد الفرصة اللازمة لتضافر جميع الأنشطة المتعلقة بتنفيذ اتفاقيات (ستوكهولم وروتterdam وبازل وبروتوكول مونتريال، واتفاقية الأمم المتحدة للتغيرات المناخية) عن طريق التقليل من الملوثات ذات المخاطر المتعددة. وإتباع منهج تقييم دورة الحياة (موضح في القسم 3.3 كأداة القرار) يضمن أن تؤخذ كل هذه التأثيرات البيئية في الاعتبار على نحو كافٍ للتقييم قائم على معرفة قرارات الضبط في إعادة التدوير وأنسب خطة للتخلص من التدفقات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل. ولذا يتم تشجيع الأطراف المعنية على اتخاذ الاحتياطات المناسبة لضمان التقليل من انطلاق كميات من الملوثات عند تطبيق أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية.

## 2. معلومات أساسية عن الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

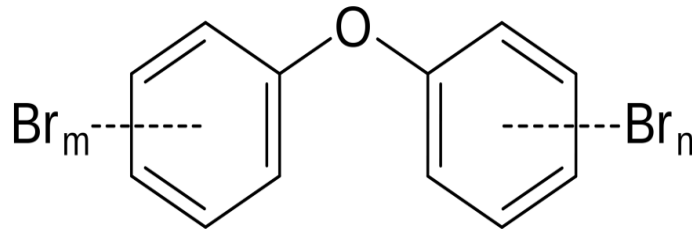
### 1.2 الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل المدرجة في الاتفاقية:

الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (أنظر الشكل 1-2) هي مجموعة من المواد الكيميائية الأروماتية الصناعية المصنعة من البروم العضوي organobromine والتي تم استخدامها منذ 1970 كمثبطات للهب المضافة في العديد من المواد خاصة المنتجات الاستهلاكية. ولقد تم إنتاج المواد متعددة البروم ثنائية الفينيل مع ثلاث درجات مختلفة من البرومة bromination، وتسويقها باسم خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري، ثماني البروم ثنائي الفينيل التجاري وعشاري البروم ثنائي الفينيل التجاري (Alaee, 2003, Prevedouros, 2004a; SFT, 2009)

ويظهر جدول 1-2 عمليات توزيع نموذجية من مشابهاة الخلائط التجارية. وعلى الرغم من عدم احتواء عشاري البروم ثنائي الفينيل<sup>4</sup> على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل إلا انه يمكن أن ينتجها من خلال دورة حياته في البيئة ولهذا فهو يعد مستودع لهذه المواد (UNEP, 2010c; Ross et al., 2009).

ومن هذه الملوثات المدرجة في إطار اتفاقية ستوكهولم الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري والإثير رباعي البروم ثنائي الفينيل والإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل وكذلك ثماني البروم ثنائي الفينيل، والإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل وإثير سباعي البروم ثنائي الفينيل. وذكر في المرفق (أ) من الاتفاقية ضرورة أن يتم التخلص من إنتاج واستخدام الإثير رباعي البروم، خماسي، سداسي، سباعي البروم ثنائي الفينيل في دول الأطراف المعنية بالاتفاقية والخاضعة لإعفاءات خاصة. ويشار إلي هذه الملوثات العضوية الثابتة المدرجة في هذه الوثيقة بالملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل. ولكن لم يتم تعريف الإثير ثماني وتساعي، عشاري البروم ثنائي الفينيل الموجود في خلائط على أنها ملوثات عضوية ثابتة POPs لأنها لا تتبع معايير التصنيف كملوثات عضوية ثابتة رغم أن هذه الإثيرات تتحلل إلي ملوثات عضوية ثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل بنزع البروم (UNEP, 2010b, 2010c).

وتعتبر الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل مواد عالية الثبات في البيئة والتراكم الحيوي ولها قدرة عالية على الانتقال بعيد المدى في البيئة. وقد تم الكشف عن هذه المواد الكيميائية في الإنسان والنباتات والحيوانات في عدة مناطق، وهناك أدلة تظهر الآثار الضارة لهذه المواد على الإنسان والحياة البرية (Shaw et al., 2010).



شكل 1-2: تركيب الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل

**جدول 1-2: توزيع نمذجي للإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل النظرية في منتجات الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل التجارية**

<sup>4</sup> يمكن أن يتحلل الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل بالعمليات الحرارية والعمليات والبيئة في الكائنات الحية إلى إثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل يرومينية أقل بما في ذلك الملوثات العضوية الثابتة (UNEP, 2010c). ويوجد منتجات رئيسية متحللة أخرى هي ثنائي بنزو فيران متعدد البروم، ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم، وثنائي بنزو فيران متعدد الكلور وذلك وفقاً للظروف (Weber and Kuch, 2003; Ebert and Bahadir, 2003; UNEP, 2010b).

نسبة التجانس % وزنا							الإثير التجاري
الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل	الإثير تساعي البروم ثنائي الفينيل	الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل	الإثير سباعي البروم ثنائي الفينيل	الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل	الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل	الإثير رباعي البروم ثنائي الفينيل	
				8 - 4	60-50	38- 24	المنتج
1<	11- 10	35 – 31	44	12-10			خماسي البروم ثنائي الفينيل
98 -97	3<						ثماني البروم ثنائي الفينيل
							عشاري البروم ثنائي الفينيل

(Sellstrom et al., 2005; La Guardia et al., 2006)

## 2.2 إنتاج الخلائط التجارية من الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل

تم إنتاج خماسي البروم ثنائي الفينيل في إسرائيل واليابان والولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي، وربما في الصين أيضاً (UNEP, 2010b, 2006) وتوقف الإنتاج في الاتحاد الأوروبي في عام 1997. ويعتقد أن بداية إنتاج الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل كان منذ أواخر التسعينات في الولايات المتحدة وانتهت إنتاجها في عام 2004<sup>5</sup>. كما تم إنتاج الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل في هولندا وفرنسا والولايات المتحدة واليابان والمملكة المتحدة وإسرائيل في حين توقف الإنتاج في الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة والدول المطلة على المحيط الهادئ في عام 2004، ولا توجد أي معلومات تشير إلى أنه يتم إنتاج هذه المواد في الدول النامية (BSEF, 2007). وفقاً للبيانات التي أعددتها لجنة مراجعة الملوثات العضوية الثابتة لاتفاقية ستوكهولم فإن الإنتاج الكلي من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل منذ 1970 وحتى 2005 يتراوح ما بين 1.3 مليون و1.5 مليون طن (UNEP, 2010a). ويقدر الإنتاج الكلي من ثماني البروم ثنائي الفينيل المستخدم في العالم بحوالي 100.000 طن لكل منهما. ويقدر إنتاج عشاري البروم ثنائي الفينيل، والذي لا يدرج في قائمة الملوثات العضوية الثابتة بأكثر من 1.1 مليون طن حتى عام 2005 (الجدول 2-2). وفي حين أن إنتاج خماسي البروم ثنائي الفينيل وثمانى البروم ثنائي الفينيل قد توقف في عام 2004، فإن إنتاج عشاري البروم ثنائي الفينيل<sup>6</sup> لا يزال مستمرا.

<sup>5</sup> توجد بعض الشكوك حول إنتاج الأثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري في الصين وقت انتهاء هذا الإنتاج (UNEP, 2010a, 2010b)

<sup>6</sup> يتحلل الأثير عشاري البروم ثنائي الفينيل مع مرور الوقت إلى إثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل برومينية أقل، بما في ذلك الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل. (UNEP, 2010b, 2010c)

**جدول 2-2: الإنتاج الإجمالي المقدر لخلائط الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل التجاري 1970 - 2005**

الإنتاج بالطن	الخليط التجاري
91.000 إلى 105.000	الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري
102.700 إلى 118.500	الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل التجاري
1.100.000 إلى 1.250.000	الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل التجاري

(UNEP, 2010a: derived from Schenker et al., 2008 and Li, 2010)

**3.2 الاستخدامات السابقة للملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل:**

القطاعات الصناعية الرئيسية التي تستخدم للملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل هي كما يلي:

- صناعة البروم العضوي
- الصناعات الكهربائية والإلكترونية
- صناعة النقل
- صناعة الأثاث
- صناعة النسيج والسجاد
- المباني
- صناعة إعادة التدوير

**1.3.2 الاستخدامات السابقة للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل:**

هناك ما يقدر ما بين 90% و95% من استخدام الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل كان يستخدم في معالجة الفوم متعدد اليوريثان والذي يستخدم في المركبات والمراتب. إضافة إلى ذلك فإن نسبة ضئيلة كانت تستخدم في المنسوجات، لوحات الأسلاك الكهربائية/الدوائر المطبوعة، وفوم العزل، ورقائق الكابلات، والأحزمة الناقلة، طلاء اللك (اللاكيهات) والزيوت (UNEP, 2007). ويقدر الإنتاج الإجمالي للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل المستخدم لهذه الأغراض بـ 5% أو أقل من مجموع الاستخدامات (SFT, 2009; UNEP, 2010b). وتقدر كمية المستخدمة في الولايات المتحدة فقط بـ 85.000 طن بينما تصل إلى 15.000 طن في أوروبا. وربما كانت هناك عمليات إنتاج واستخدامات أخرى له في آسيا ولكن لا تتوفر بيانات موثقة بذلك حتى الآن. ويصل توزيع استخدام الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل إلى 36% تقريباً في مجال النقل، و60% في الأثاث و4% المتبقية في استخدامات أخرى (UNEP, 2010b).

متوسط محتوى فوم (رغاوي) متعدد اليوريثان من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل حوالي 3-5% تستخدم في مواد التنجيد والوسائد والفرش والسجاد والحشو (ENVIRON, 2003; UNEP, 2010a) وتستخدم بشكل خاص في الدول التي تتبع معايير

القابلة للاشتعال مثل الولايات المتحدة الأمريكية، المملكة المتحدة. وقد استخدم فوم متعدد اليوريثان في قطاع النقل بتركيزات اقل في عمل المقاعد أو مساند الأزرع والرأس للمقاعد بوزن يتراوح ما بين 0.5 - 1%<sup>7</sup> (Luedeka, 2011). يمكن تقدير إنتاج الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل المعالج بما يقرب من 2.5 مليون طن. و بإعادة تدوير فوم متعدد اليوريثان الملوث بخلطه مع فوم غير ملوث فقد ساعد ذلك في زيادة الكميات الإجمالية من فوم متعدد اليوريثان بالملوث بالمواد العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل. (لمزيد من التفاصيل، أنظر الفصل الثاني).

### 2.3.2 الاستخدامات السابقة للإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل:

الاستخدام الرئيسي السابق للإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل كان يتم في بوليمرات الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين (ABS)، وهو ما يمثل حوالي 95% من الكمية الموردة في الإتحاد الأوروبي. ويستخدم أيضا بعد المعالجة في كسوة المنازل وتغليف الأجهزة الالكترونية والكهربية وتحديداً في أنابيب أشعة الكاثود (CRT) والأجهزة المكتبية مثل آلات النسخ وطابعات الأعمال<sup>8</sup>. إضافة إلي ذلك فقد كان يدخل في استخدامات ثانوية أخرى مثل البوليسترين عالي التحمل (HIPS) والبيوتيلين تيريفثاللات (PBT)، وبوليمرات مادة البولي أميد. وعلى الرغم من استخدام غالبية هذه البوليمرات في مجال الإلكترونيات، إلا أن لها بعض الاستخدامات في قطاع النقل أيضاً. وكذلك استخدامات طفيفة تشمل النايلون، والبولي إيثيلين منخفض الكثافة، والبولي كربونات، وراتنجات الفورمالدهيد الفينول، والبوليستر غير المشبع، والمواد اللاصقة والطلاءات (UNEP 2010a, b).

وتتراوح التركيزات الرئيسية له ما بين 12% و 18% وزناً، أي ما يقرب من 100.000 طن من الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل بمعدل 15% وزناً في حين تقدر البوليمرات الأولية المعالجة بحوالي 800.000 طن. وإذا أخذنا في الاعتبار انه يتم إعادة تدوير المنتجات البلاستيكية الملوثة بالإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل (تلوث ثانوي) في تصنيع المنتجات البلاستيكية الجديدة، فان إجمالي كمية البلاستيك الملوث سيصبح أضخم من هذه الأرقام. لمزيد من التفاصيل، أنظر الفصل الثاني.

### 4.2 المخاطر المرتبطة بالملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

قامت لجنة تقييم (مراجعة) الملوثات العضوية (POPRC) بتقييم المخاطر المرتبطة بالملوثات العضوية الثابتة، وبيانات مخاطر الإثيرات خماسي البروم ثنائي الفينيل (UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.1) والإثيرات ثنائي البروم ثنائي الفينيل (UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.4) ووثائق تقييم إدارة المخاطر لخماسي البروم ثنائي الفينيل

<sup>7</sup> يتطلب التزام مقاعد السيارات والفوم المرتب بمعايير سلامة المركبات 302 بمحتوى متفاوت من مثبطات اللهب تبعاً إلى إذا ما كان يتم اختبار المواد الخام أو مقاعد الجلوس المركبة، ومقدمة السيارة لأغطية الأرضيات. أفاد واحداً من الموردين الرئيسيين لمستلزمات المقاعد العالمية بالاحتياج إلى ما بين 0.5% و 1.0% من المواد المضافة من مثبطات اللهب من أجل منتجات الفوم المصبوبة حيث يمكن وجودها في مساند المقاعد والأزرع والرأس. ويمكن العثور على تركيزات من مثبطات اللهب 2-5% في حشوه السجاد المصبوب، وتصل إلى 15% في فوم التغليف ومقدمة السيارة اعتماداً على مقدمة السيارة ودرجة الفوم التحتي (Luedeka, 2011).

<sup>8</sup> في بعض المناطق مثل أوروبا واليابان، يتم معالجة أنبوب أشعة الكاثود للشاشات والادوت السكنية وآلات النسخ بشكل منفصل.

(UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.1) والإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل (UNEP/POPS/POPRC.4/15/Add.1) وكلها يمكن الوصول إليها من الموقع الإلكتروني [www.pops.int](http://www.pops.int).

في بعض المناطق يكون التعرض إلى الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل عالياً بحيث يصل إلى مستويات ذات آثار صحية وبائية خطيرة (Herbstman et al., 2010). وخلص الفحص الفني للآثار المترتبة على إعادة تدوير التجاري لكلاً من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل والثماني البروم ثنائي الفينيل وفحص بيانات الملوثات العضوية الثابتة (UNEP 2010a, b) إلى أن الفئات التالية مهددة بأضرار شديدة الخطورة إذا ما تعرضت إلى الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل خلال عملية إعادة التدوير:

1. العاملون في عمليات مخلفات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية ذات التكنولوجيا المنخفضة الجودة.
2. سكان الدول النامية والدول التي تمر بمرحلة انتقالية حيث يتم التعامل بغزارة مع نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية بطرق تكنولوجية منخفضة الجودة (Wong et al., 2007)
3. العمال المشاركين في تصنيع / إعادة تدوير / تركيب المواد الرغوية (الفوم) (Stapleton et al., 2008)
4. الأطفال الصغار والرضع خاصة في الدول أو الأماكن التي يكون فيها أحمال الجسم من الملوثات عالية. ومن المرجح في هذه السيناريوهات أن تؤدي المنتجات المعاد تدويرها إلى زيادة مستويات التعرض الحالية.
5. العاملين في المصاهر والصناعات التحويلية لنفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية حيث يسهل التعرض للإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل عن طريق النفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية البلاستيكية، وما يتصل بها من ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم PBDD وثنائي بنزو فيران متعدد البروم PBDF
6. السيدات في سن الإنجاب والحوامل حيث يؤثر التعرض على النمو العصبي للأجنة (Herbstman et al., 2010).

هذا وقد خلصت اللجنة أيضاً إلى أن تكوين ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيران متعدد البروم طوال دورة حياة الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل (Shaw et al., 2010) يشكل مخاطر جمة من الضروري أن تؤخذ بعين الاعتبار أثناء تقييم المخاطر المرتبطة بهذه المواد (UNEP, 2010a, b).

## 5.2 الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في الخامات وتدقيق إعادة التدوير عند مرحلة نهاية العمر:

على الرغم من أن الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل لم تعد تنتج الآن، إلا أن التحدي الرئيسي لإزالتها هو تحديد المخزون الموجود فعلياً منها وتحديد المواد التي تحتوي على هذه العناصر الخطرة والتخلص منها في نهاية



استخدامها. كما أن كميات كبيرة من هذه المواد تدخل في عمليات إعادة تدوير التدفقات العالمية مما يجعل استخدامها في المواد الاستهلاكية مازال مستمراً (UNEP, 2010a, b; Shaw et al., 2010). وقد دفع هذا الأمر مؤتمر الأطراف المعنية الرابع إلي وضع ضوابط تحت ظروف معينة لإعادة الاستخدام وإعادة التدوير من هذه النفايات.

كما أن المراجعة الفنية للأثار المترتبة على إعادة التدوير تجارياً لكلاً من الإثير الخماسي و الثماني البروم ثنائي الفينيل (UNEP 2010a,b) أبرزت أنه ليس من المنطقي المخاطرة بزيادة التعرض في الوقت الذي يتم فيه قياس الآثار الصحية الخطيرة من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإيثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل من خلال دراسات وبائية. ولذلك فقد أصبح من الحتمي التحكم في إعادة تدوير هذه المواد بحيث لا يمكن من خلالها التعرض لمزيد من المخاطر وبشكل يتم تحت السيطرة الكاملة (UNEP, 2010 a, b) بحيث لا تصبح هذه النفايات مصدراً في التسبب في زيادة انبعاث هذه الملوثات مرة أخرى (Hale et al., 2006). ولذلك، ينبغي القضاء على أي مخزون متبقي وأن يخضع لإدارة سليمة بيئياً. ومن هذا المنطلق فقد أوصى مؤتمر الدول المعنية الخامس بعد ذلك بأنه ينبغي أن تتم عملية إعادة تدوير هذه المواد والتخلص منها بشكل تدريجي حيثما كان ذلك ممكناً. وسترد بعض التفاصيل التكنولوجية الملائمة لمعالجة هذه التحديات في فصول ومرفقات هذه الوثيقة.

## 1.5.2 الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في إعادة الاستخدام و إعادة التدوير وتدقيق النفايات:

كانت الاستخدامات الرئيسية لهذه المادة في فوم متعدد البوريثان المستخدم في قطاع النقل مثل المركبات على سبيل المثال، والمركبات والقطارات وما إلي ذلك والأثاث مثل الأرائك والمقاعد والوسائد وغيرها. مع استخدام محدود في بعض المفروشات والمنسوجات وغيرها. ولذلك، فإنه يجب مراعاة إعادة استخدام وإعادة تدوير هذه المواد من هذه المخلفات الرئيسية من خلال أفضل التقنيات المتاحة وأفضل المعاملات البيئية (أنظر الفصلين 5 و 6).

كذلك فقد كان للإيثير خماسي البروم ثنائي الفينيل استخدامات أخرى طفيفة في عوازل المباني، المطاط المعالج، والمنسوجات، وراتنجات الأيبوكسي مثل لوحات الأسلاك الكهربائية/الدوائر المطبوعة، والبلستيك (PVC)(كلوريد متعدد الفينيل)، وما إلي ذلك. ويبين شكل 2-2 استخدام وإعادة تدوير هذه المواد.

### النقل:

نهاية العمر للمركبات في الدول الصناعية تتراوح ما بين 10 إلي 12 سنة، في حين قد يكون العمر أطول في المركبات والقطارات. لذا هناك جزء كبير من مركبات النقل وغيرها يتم تصديرها من الدول الصناعية إلي الدول النامية والدول التي تمر اقتصادياً بمراحل انتقالية لإعادة الاستخدام. وتستخدم في كثير من الأحيان المركبات لفترة طويلة قبل وصولها لنهاية العمر واستخدامها أيضاً كقطع غيار.

واليوم جزء كبير من أساطيل النقل منذ 1970 وحتى 2004 (السيارات والحافلات ومن الجائز القطارات أيضاً) المحتوية علي الإيثير خماسي البروم ثنائي الفينيل مازالت تستعمل غالباً في بلاد العالم النامي ومن الضرورة أن يتم تحديدها فيما يتعلق بإعادة الاستعمال وإعادة التدوير عندما تصل هذه المركبات إلي نهاية العمر. ولذلك، سيحتاج قطاع النقل إلي تحديد أفضل التقنيات المتاحة

وأفضل المعاملات البيئية لإدارة ومراقبة المواد التي تحتوي على الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل. وسوف يتم تناول معالجة أفضل التقنيات المتاحة وأفضل المعاملات البيئية لتدقيقات هذه المواد في الفصل الخامس وإعادة تدوير فوم المتعدد اليوريثان بشكل طفيف في الفصلان الرابع والسابع.

### الأثاث والمراتب:

استخدام الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل وغيرها من مثبطات اللهب في الأثاث أو المراتب يعتمد على اختلاف معايير القابلية للاشتعال من بلد لآخر (Shaw et al., 2010) فمثلاً يوجد اختلاف في معايير القابلية للاشتعال للأثاث في الولايات المتحدة والمملكة المتحدة على وجه الخصوص. لذلك، فإن قطع الأثاث والمراتب القديمة (خاصة في السجون، المنشآت العسكرية والمستشفيات أو الفنادق) في هذه المنطقة قد تحتوي على الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل ومثبطات اللهب الأخرى).

فنهاية العمر للأثاث في الدول الصناعية تقدر بنحو 10 أعوام. لذلك، فإنه من المحتمل أيضاً كما تشير التقديرات إلي أنه قد تم التخلص من كمية كبيرة من الأثاث التي تحتوي على الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل بهذه المناطق أو حرقها (ESWI, 2011) والقليل منها قد تم إعادة تدويره على سبيل المثال في الطبقات التي تستخدم أسفل السجاد (أنظر أدناه). ولكن حتى الآن لم يتم تقييم نسبة الأثاث المصدرة من أمريكا الشمالية والمملكة المتحدة لإعادة الاستخدام أو إعادة التدوير في مناطق أخرى والتي قد تعتبر مصدراً محتملاً للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في هذه الدول المصدر إليها.

كما تم استخدام الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل وفوم متعدد اليوريثان الصلب في البناء في نطاق ضيق ولا توجد أنشطه أخرى معروفة لإعادة تدوير فوم المتعدد اليوريثان الصلب.

### المنسوجات والمطاط:

استخدم الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل<sup>9</sup> بكميات محدودة لمعالجة المنسوجات خاصة في إعادة صبغ الستائر (UNEP, 2009). وعلى الرغم من أن مدى استخدام إعادة تدوير الأنسجة المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل على الأنسجة يبقى غير واضح، إلا أنه يفترض أن تكون موجودة لكن بشكل صغير كتلك المستخدمة في النقل. وقد يكون هناك عمليات محدودة من إعادة تدوير المنسوجات التي تحتوي على الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل ولكن من المرجح أنها تتم بكميات صغيرة نسبياً وذلك لأن هذه العملية قد توقفت منذ عقد من الزمان. كذلك تم استخدامه في المطاط المستخدم في السيور الناقله وبعض الاستخدامات الأخرى الثانوية وعموماً فإن تطبيق أفضل التقنيات المتاحة وأفضل المعاملات البيئية مع هذه المواد قد لا يعتبر ذو أهمية.

من ناحية أخرى، أوصت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة إلي مؤتمر الأطراف المعنية بإدراج سداسي البروم دوديكان الحلقي (HBCD) - والذي يعد الاستخدام الرئيسي له هو قطاع الغزل والنسيج - إلي قائمة الملوثات العضوية الثابتة (POPRC-5/6<sup>10</sup>) وبالتالي فقد أصبح لعملية إدارة المنسوجات المعالجة بمثبطات اللهب البرومينية أكثر أهمية في المستقبل القريب.

<sup>9</sup> لا يزال يستخدم الأثير عشاري البروم ثنائي الفينيل و سداسي بروم دوديكان الحلقي في تبييض المنسوجات

<sup>10</sup> [http://informea.org/uploads/decisions/stockholm/3754\\_stockholm-POPRC-5-6-en\\_4df73f5fbb6d5.pdf](http://informea.org/uploads/decisions/stockholm/3754_stockholm-POPRC-5-6-en_4df73f5fbb6d5.pdf)

### الدوائر المطبوعة/لوحات الأسلاك:

توقف استخدام الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في الدوائر المطبوعة/لوحات الأسلاك<sup>11</sup>. وتعتبر الدوائر المطبوعة/لوحات الأسلاك هي مكون من مكونات نفايات الأجهزة الالكترونية والكهربائية التي ينتهي بها المطاف في بعض الدول النامية، حيث يتم استرجاع المعادن منها باستخدام طرق بدائية. وبالفعل فإن ذلك يكون مصدراً هاماً لمستويات عالية من التلوث بالملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل وثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم/ثنائي بنزو فيران متعدد البروم ( Yu et al., 2008)

وعموماً فقد تمت منهجة التخلص من استخدام الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في الدوائر المطبوعة/لوحات الأسلاك (PWBS) تدريجياً. وبالتالي فهناك حاجة ملحة لتحديد وتنفيذ أفضل المعاملات البيئية وأفضل التقنيات المتاحة لهذه المواد (أنظر الفصول 4 و 7 و 8).

### إعادة تدوير فوم متعدد اليوريثان لمواد جديدة:

يتم التدوير جزئياً لفوم متعدد اليوريثان من المركبات والأثاث ووسائل النقل في مواد جديدة بتحويلها إلى الطبقات التي تستخدم أسفل السجاد ومن خلال إعادة الطحن أيضاً.

### [الطبقات التي تستخدم أسفل السجاد]

يستخدم فوم المتعدد اليوريثان حالياً على نطاق واسع بإعادة تدويره في الطبقات التي تستخدم أسفل السجاد في الولايات المتحدة وكندا (Luedeka, 2011)- أنظر الفصل 6. ولكن مدى انتشار هذا النشاط في الدول الأخرى مازال غير معروف ولكن يبدو أنه محدود (DiGangi et al., 2011). ولذلك فإن أول اثر للتعرض لفوم متعدد اليوريثان المعاد تدويره في تركيب السجاد و المركبات ظهر أولاً في الولايات المتحدة (Stapleton et al., 2008)، وظهر أن هناك احتمالية لتزايد عدد المعرضين له من مزيد المستهلكين.

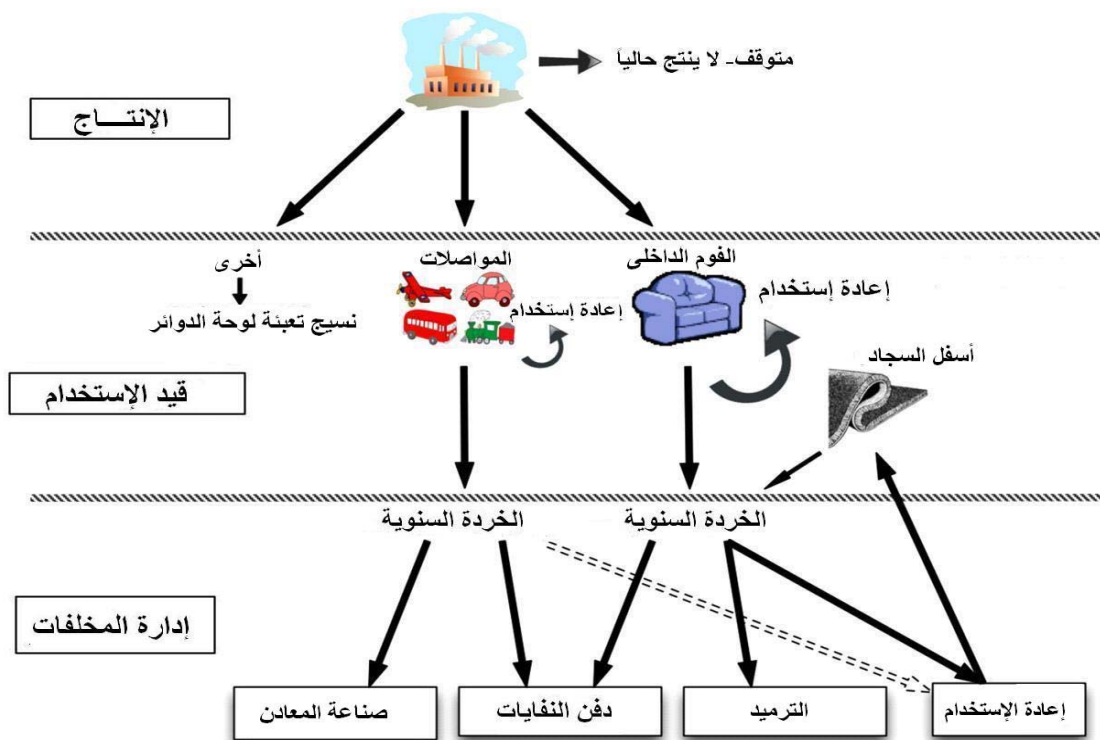
### [استخدامات أخرى]

بينما تتم معالجة معظم قصاصات فوم متعدد اليوريثان في الطبقات التي تستخدم أسفل السجاد في سوق الولايات المتحدة، يمكن أيضاً استخدام البقايا (الخردة) بتقطيعها واستعمالها كحشو للوسائد ولفرش الحيوانات الأليفة، ولعب الأطفال المحشوة. ويمكن أيضاً أن تستخدم في تسييد الأثاث، وكعازل للصوت وفي صالات الجمباز، أو مقاعد المركبات المدرسية (UNEP, 2010b; USEPA, 1996; Zia et al., 2007)

<sup>11</sup> مثبط اللهب الرئيسي المستخدم في لوحة الأسلاك المطبوعة هو رباعي البروم ثنائي الفينيل-أ. ومشتقاته.

## [إعادة الطحن]

عملية إعادة الطحن تسمح بطحن خردة (بقايا) الفوم في مساحيق متناهية الصغر تصل إلى 20٪ من المواد الأصلية لاستخدامها في صناعة فوم جديد. ولذلك يلزم تنفيذ أفضل المعاملات البيئية وأفضل التقنيات المتاحة ووضع تدابير للحد من مخاطر التعرض له عن طريق فصل الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل من المواد التي تحتوي على فوم متعدد اليوريثان (كما هو موضح في الفصل 6).



(Adapted from Alcock et al., 2003; UNEP, 2010a, b)

الشكل 2-2: رسم تخطيطي لدورة حياة الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل

### 2.5.2 الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل : إعادة الاستخدام، إعادة التدوير وتدفق النفايات:

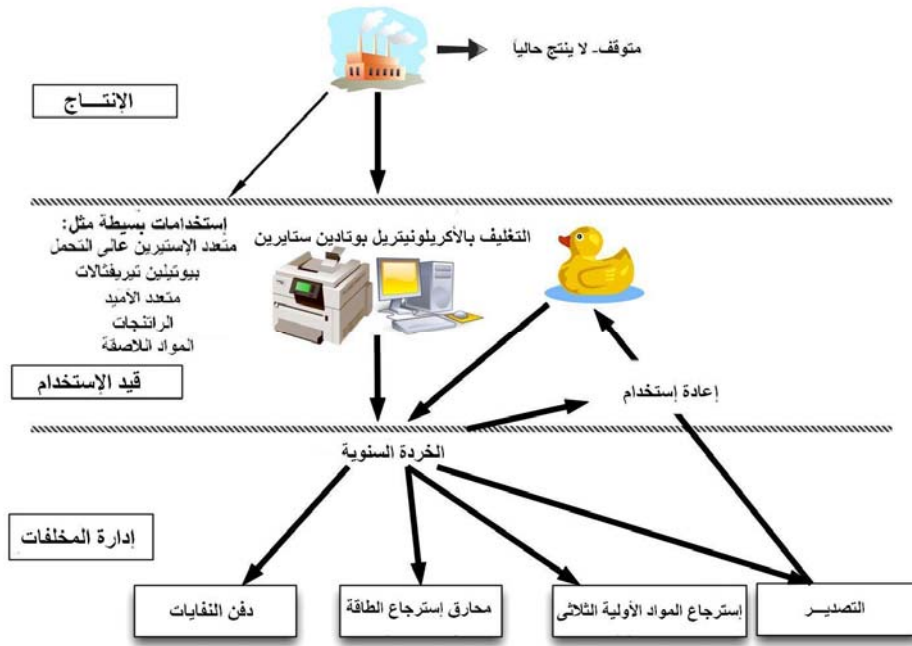
توقف استخدام الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل في أوروبا واليابان في التسعينات. وتوقف إنتاجه في الولايات المتحدة في عام 2004. وبعد المحتوى الأكبر من الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل هو الموجود في البوليمرات وتحديدًا في الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين و البوليسترين عالي التأثير المستخدم في إنتاج الأجهزة الكهربائية والإلكترونية وفي نفاياتها أيضاً. بينما كان استخدام الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل في البوليمرات المستخدمة في قطاع النقل محدوداً.

### الأجهزة الكهربائية والإلكترونية: إعادة الاستخدام والتعامل مع نفاياتها

إنتاج الأجهزة الكهربائية والإلكترونية قبل عام 2005 كان يحتوي على مثبط اللهب من الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل. وكانت الأجهزة الرئيسية المستخدم بها هي التلفزيونات وشاشات الحاسب الآلي ذات أنابيب أشعة الكاثود. كما كانت كميات كبيرة من هذه الأجهزة القديمة ونفاياتها - ولا تزال في بعض المناطق- تصدر من الدول الصناعية (مثل الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا واليابان) إلى الدول النامية لإعادة استخدامها أو إعادة تدويرها. وقد أدت تكنولوجيات إعادة التدوير البدائية لنفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية لزيادة التلوث في الدول النامية وإصابة سكانها عموماً بالملوثات (Wong et al., 2007; UNEP, 2010a, b).

### البلاستيك المصنع من إعادة تدوير نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية والأدوات المنتجة من هذا البلاستيك:

تحظى إعادة التدوير الميكانيكية للبلاستيك واستخدامه مرة أخرى على اهتمام بالغ من منظور التسلسل الهرمي للنفايات وتقييم دورة الحياة. فعندما يكون البلاستيك ملوث بملوثات عضوية ثابتة ومواد خطرة أخرى، فإنه يحتاج إلى عناية خاصة عند إتباع التسلسل الهرمي للنفايات. إعادة تدوير نفايات الأجهزة الكهربائية تؤدي إلى إنتاج جزيئات من البلاستيك المثبط للهب والذي قد تحتوي على الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل. وترسل بعض نفايات البلاستيك من نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية إلى الدول النامية مثل الصين والهند حيث يتم إعادة تدويرها إلى مواد جديدة. وقد أظهرت الدراسات الحديثة أن إعادة تدويرها البلاستيك المحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل والمحتوى على مثبطات اللهب البرومينية الأخرى تدخل فعلياً في إنتاج المواد التي لا تحتاج إلى وجود مواد تثبيط اللهب والتي تشمل لعب الأطفال، والسلع المنزلية وأشرطة الفيديو (Hirai and Sakai, 2007; Chen et al., 2009; Chen et al., 2010). وهذا ما يظهر أن تدفق البلاستيك المحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل و مثبطات اللهب الأخرى لا يتم تحت رقابة جيدة وأن البلاستيك المحتوي على هذه المواد يتم خلطه بالبوليميرات المثبطة للاشتعال لإنتاج بعض الأدوات ذات الاستخدام الحساس. ولذلك، فإنه في بعض الحالات يمكن اعتبار استخدام البلاستيك المعاد تدويره أكثر خطورة من استخدام البلاستيك الأصلي، على سبيل المثال إعادة تدوير الطابعات في لعب الأطفال التي يمكن أن يمضغها الأطفال.



(Adapted from Alcock et al., 2003)

الشكل 2-3: رسم تخطيطي لدورة حياة الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل والإتبعات والمحتمة له

## 6.2 فصل المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز إثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

تؤكد توصيات لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة التي قبلها مؤتمر الأطراف المعنية الخامس مدى أهمية فصل المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز إثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل. وجاء ذلك في أعقاب "الاستعراض الفني للأثار المترتبة على إعادة تدوير اثير خماسي وثمانى البروم ثنائي الفينيل التجاري" الشامل وفقاً للجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة (UNEP 2010a, b). هذا التقرير إلي جانب المرفقات ذات الصلة يجب أي يشار إليها لمعرفة التفاصيل الدقيقة حول الخلفية السليمة إدارة الموثات العضوية الثابتة من طراز الإيثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل (UNEP 2010a, b).

لا تنطبق الالتزامات الناشئة عن اتفاقية ستوكهولم إلا على مثبطات اللهب البرومينية المدرجة في الاتفاقية، مثل الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة والإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل. ومع ذلك، فإن الفصل بين المواد التي تحتوي على مثبطات اللهب البرومينية عن المواد الأخرى غير المدرجة في إطار الاتفاقية حالياً يعد عملية صعبة بسبب القيود التكنولوجية. ولذلك، فإنه من الضروري أولاً من الناحية العملية فصل جميع المواد التي تحتوي على مثبطات اللهب البرومينية والبروم عن مثبطات اللهب الغير برومينية من أجل تحقيق فصل المواد المحتوية على إثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل والملوثات العضوية الثابتة<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> المزايا الأخرى لفصل المواد البلاستيكية التي تحتوي على مثبطات اللهب البرومينية / البروم عن المنتجات التي لا تحتوي على البروم تم تجميعها في الاستعراض التقني للأثار المترتبة على إعادة تدوير خماسي واثير ثماني البروم ثنائي الفينيل التجاري (UNEP 2010a,b).

3. المبادئ العامة والاعتبارات الشاملة لتقطيع وإعادة تدوير والتخلص من المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من

طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

### 1.3 الاعتبارات العامة لتطبيق أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية:

يلخص هذا الفصل إجراءات السلامة العامة أو الاحتياطات اللازمة لإدارة الملوثات العضوية الثابتة والإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل. هذه الاحتياطات تنطبق على جميع أنواع المنتجات والصناعات التي تشارك الملوثات العضوية الثابتة والإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل وعلاقتها بإدارة دورة حياة النفايات. وسيتم في الفصول التالية وصف الإرشادات التي تنطبق فقط على فئات عملية محددة.

تحتوي اتفاقية ستوكهولم في إرشادات أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية بشأن الملوثات العضوية الثابتة غير المقصودة (اتفاقية ستوكهولم، 2007) على شرح مختصر لما يتعلق بالتنمية المستدامة والاستهلاك المستدام، والمنهج الاحترافي، التلوث المتكامل، استيعاب التكاليف البيئية، توسيع نطاق مسؤولية المنتجين، والإنتاج الأنظف، وتقييم دورة الحياة، وإدارة دورة حياة. هذه المبادئ كلها ذات صلة بتأمين أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لإدارة عملية إعادة تدوير والتخلص من الملوثات العضوية الثابتة التي تحتوي على المواد إثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل. نظرا لأهمية تحديد طرق إعادة التدوير المثلى وخيارات التخلص منها، فإن هذه الوثيقة تعرض لاستخدام مفاهيم تقييم دورة الحياة وإدارة دورة حياة الأجهزة التي تحتوي على هذه الملوثات (أنظر الفقرة 4.3).

### 2.3 إدارة النفايات:

تؤثر إدارة النفايات على جميع قطاعات المجتمع والاقتصاد. ويتعلق الأمر بالسلطات المحلية والإقليمية والوطنية ويتطلب الإطار القانوني، والآلية المالية، والتنسيق الفعال بين المواطنين والسلطات على جميع المستويات. وعلاوة على ذلك، فإنه من غير الممكن إدارة النفايات بدون وجود استثمارا كافياً. ولضمان إدارة متسقة للنفايات، فمن المهم لجميع الإجراءات على مختلف المستويات إتباع إستراتيجية متفق عليها. ولذلك فمن الضروري أو على الأقل من المفيد مناقشة والبت في إستراتيجية وطنية لإدارة هذه النفايات. التنفيذ الناجح لنظام إدارة النفايات في الدول النامية قد يتطلب نقل التكنولوجيات الملائمة وبناء القدرات وفقا للمادة 12 من الاتفاقية. لذا فلقد سعى مؤتمر الأطراف المعنية في اتفاقية ستوكهولم لضمان اتباع مبادئ التسلسل الهرمي لإدارة النفايات حيثما كان ذلك ممكنا (اتفاقية ستوكهولم، 2007). واعتمدت التسلسل الهرمي للمبادئ الإرشادية لأفضل المعاملات البيئية وأفضل التقنيات المتاحة المرفق بالاتفاقية كما هو مبين في الشكل 3-1. وعموما فإنه دائما ما تتأثر كل القرارات بالظروف المحلية لكل دولة، مثل توافر منشآت معالجة النفايات، والأسواق البديلة للمواد، والبنية التحتية المتوفرة لجمع وإدارة ونقل النفايات بأمان.

عند النظر في خيارات إدارة المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ، فمن المهم تضمين مبادئ التسلسل الهرمي للنفايات وهي أيضا ما اشتملت عليه الفصول التالية. القضايا الرئيسية التي يجب اعتبارها فيما يتعلق بإعادة استعمال الأدوات التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل قد تم وصفها في الفصول بينما تم وصف اختيارات تكنولوجيا إعادة التدوير وفصل الأدوات والمواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في (الفصل الرابع وحتى السادس). ويعتبر وجود مركبات حمض الكبريتيك المشبع وتدفقات الملوثات العضوية الثابتة تحدياً كبيراً عند إعادة استخدام وإعادة تدوير المواد المحتوية على تلك الملوثات. وهناك

حاجة إلي نهج أكثر احترازا لإعادة استخدام وإعادة تدوير هذه المواد التي تحتوي على العناصر الكيميائية الخطرة في عمليات مغلقة بقدر الإمكان.

سيرد وصف وتقييم لعملية الاسترجاع الحراري لمعالجة النفايات المحتوية على هذه الملوثات، وكذلك وصف أفضل المعاملات البيئية وأفضل التقنيات المتاحة للتخلص من المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل لاحقاً (الفصل الثامن والمرفق 3).

وقد تم اعتبار النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل ونفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية والمركبات في نهاية العمر خلال العقد الأخير على أنها جزء أساسي من الخطط الوطنية لإدارة النفايات. هذا ولا يزال لا يتم التعامل مع السلع الاستهلاكية التي تحتوي على فوم المتعدد اليورثان مثل الأثاث والمراتب، وفوم العزل بطريقة مستدامة في معظم الدول. ولذلك فإن إدراج حصر لهذه المواد وإتباع أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية في إعادة التدوير وإدارة نهاية حياة هذه المواد يجب اعتباره عنصراً هاماً من الخطط الوطنية لإدارة النفايات في الدول مع مراعاة دورة الحياة التالية لهذه المواد.



(Stockholm Convention, 2007)

الشكل 3-1: التسلسل الهرمي لإدارة النفايات



### 1.2.3 مسؤولية المنتج:

المنتجين وغيرهم من أصحاب المصلحة لديهم مسؤوليات تنشأ من خلال مبادرات مثل سياسة المنتج المتكامل للإتحاد الأوروبي<sup>13</sup>؛ وإستراتيجيتها بشأن منع وإعادة تدوير النفايات<sup>14</sup> وإطار العمل المرتبط بهذه الأمور<sup>15</sup>، وبرنامج مسؤولية المنتجين لمنظمة التعاون الاقتصادي والتنمية والمبادئ الإرشادية المتعلقة بها (OECD, 2001) وكذلك مفهوم الرقابة على المنتجات، ومن خلال مبادرات أخرى أيضاً. في بعض الحالات قد يكون من المفيد إلزام المنتجين باسترجاع بعض المنتجات عند نهاية العمر وضمان التعامل معها بطريقة سليمة بيئياً (Stockholm Convention, 2007).

المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل تشمل مواد هامة تجعل من مسؤولية المنتج أن يكون المفتاح الرئيسي لإدارة هذه المواد عالمياً. وتوجد مخططات تنظيمية في بعض المناطق للمركبات والأجهزة الكهربائية والإلكترونية تعطى المنتج مسؤولية إدارة المنتجات في مرحلة نهاية العمر. ويمكن بنفس الطريقة معالجة الملوثات الأخرى مثل فوم العزل والفرش والأثاث باستخدام هذا المنهجية.

### 3.3 إدارة دورة حياة المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

إدارة دورة الحياة (LCM) هي المفهوم المتكامل لإدارة دورة حياة السلع والخدمات من أجل الحصول على إنتاج واستهلاك أكثر استدامة استناداً على الإجراءات الوقائية والتحليلية والتقييم البيئي والجوانب الاقتصادية والاجتماعية والبيئية (Stockholm Convention, 2007).

أما تقييم دورة الحياة (LCA) فهو أسلوب شامل يحدد مقدار الآثار الصحية البيئية والبشرية لمادة ما أو نظام ما أو أكثر، خلال دورة حياته الكاملة (UNEP, 2011; European Commission JRC, 2010). الاستخدامات الرئيسية لتقييم دورة الحياة تشمل تحليل أصول المشاكل المتعلقة بمادة (أداة) معينة، ومقارنة المتغيرات لتحسين مادة معينة، وتصميم مواد جديدة، والاختيار بين المنتجات المماثلة الموجودة. ويمكن أيضاً أن تطبق على مقارنات بين إعادة التدوير وسيناريوهات نهاية العمر.

وقد تم استخدام تقييم دورة الحياة المخصص لأنظمة إعادة التدوير بما في ذلك إجراء تقييم شامل لنظام جمع واسترجاع مخلفات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية السويسري ونظم استرجاع نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية (Hischier et al., 2005; Wäger et al., 2011). ويمكن أن تصبح منهجية تقييم دورة الحياة وإدارة دورة الحياة المستهدفة مفيدة لصياغة إستراتيجيات إدارة الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في الدول ذات التكنولوجيات المنخفضة والمتوسطة الجودة في إعادة التدوير والتي تختلف بشده عنها في الدول المتقدمة. على سبيل المثال، يمكن لهذه المنهجية أن تؤدي إلى أفضل فصل وفرز للمواد المعاد تدويرها في منشآت تفكيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية، وبالتالي تحقيق أعلى القيم وتحسين عملية إعادة التدوير. أمثلة أخرى مختصرة عن تقييم دورة الحياة وإدارة دورة الحياة سيتم تناولها أدناه (أنظر أيضاً الجدول 1-3).

<http://ec.europa.eu/environment/ipp/><sup>13</sup>

<http://ec.europa.eu/environment/waste/strategy.htm><sup>14</sup>

<http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/index.htm><sup>15</sup>

جدول 3-1: الإنبعاثات المقارنة وتأثيرات تكنولوجياي الجمع وإعادة التدوير

سيناريو (المادة)	إستخدام العملي	اتسلسل الهرمي للنفايات	الإقتصاديات**	إزالة وتحطيم مشببات اللهب البرومية	البروم ثنائي بنزو فوسفات ديوكسينات وثنائي بنزو فيرون متعدد البروم	تعرض العاملين	تعرض المستهلكين
إعادة الربط (قوم متعدد اليورثان)	Green	Green	Orange	Red	Yellow	Red	Red
إعادة الطحن (البوليمر)	Green	Green	Orange	Red	Yellow	Red	Red
الصهر (البوليمر)	Green	Green	Orange	Red	Orange	Red	Red
Creasolv (البوليمر)	Yellow	Green	Yellow	Green	Green	Yellow	Green
التحلل المائي	Orange	Yellow	Orange	Orange	Green	Yellow	Green
التحلل	Orange	Yellow	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Green
الانحلال الحراري للتوقود والمغذيات	Yellow	Green	Orange	Orange	Red	Orange	Yellow
الانحلال الحراري والتحويل إلى غاز	Green	Orange	Green	Yellow	Orange	Yellow	Green
فرن الانفجار (البوليمر)	Green	Orange	Green	Green	Yellow	Yellow	Green
مصاهر النحاس (لوحة الأسلاك المطبوعة)	Green	Orange	Green	Green	Red	Orange	Green
مصاهر الأتيمون	Green	Orange	Yellow	Green	Red	Orange	Green
القوس الكهربى *	Orange	Green	Yellow	Green	Red	Orange	Green
الألومنيوم الثانوى	Orange	Green	Yellow	Green	Red	Orange	Green
الأفران الأسمنتية (الكل) *	Green	Orange	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Green
مخارق النفايات الصلبة والنفايات السامة	Green	Orange	Red	Green	Orange	Yellow	Green
دفن النفايات (الكل)	Green	Red	Yellow	Red	Orange	Orange	Orange
الحرق المفتوح **	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red

■ نعم/ النقاط  
■ إيجابى - مثلاً: إنبعاثات منخفضة/ تأثير بيئى منخفض/ تأثير صحى منخفض  
■ غير مؤكد- ربما يكون مقبول  
■ غير مؤكد - ربما يكون سلبى  
■ لا/سلبى: إنبعاث عالية/ تأثير بيئى عالى/ تأثير صحى عالى

(UNEP 2010a)

\*يتم إدخال المواد المحتوية على الإثريارات متعددة البروم ثنائية الفينيل فقط مع جزء معدني.  
 \*\* الاقتصاد يشمل التكلفة الخارجية.

### 1.3.3 اعتبارات خاصة بدورة حياة بوليمرات المركبات:

تعرف عادة الأجزاء الخفيفة لبقايا تقطيع المركبات (بقايا تقطيع السيارات) والتي تحتوي على اغلب جزيئات البوليمرات بأنها الكتلة التي تمثل 15-25% بعد إزالة التلوث، والتفكيك، والتقطيع، وإزالة المعادن بعد وصول السيارة إلي مرحلة نهاية العمر (Vermeulen et al., 2011).

وحتى الآن لا يوجد سوى عدد قليل من الوثائق التي تناولت تقييم دورة الحياة لتدفق هذه النفايات (Vermeulen et al., 2011). ومع وجود أرضية مشتركة هي أن اختيار مدافن النفايات هو المكان الأقل تفضيلاً، فإن المحصلة النهائية هي أن البدائل المختلفة قد تختلف قليلاً اعتماداً علي الافتراضات المطروحة وعلي حدود النظام تحت الدراسة (Boughton and Horvath, 2006; Ciacci et al., 2010; Duval et al., 2007).

وتعتبر المنهجية التي اتبعها كلاً من بوغتون وهورفاث في عام 2006 (Boughton and Horvath, 2006) في تقييم دورة الحياة أن التحلل المائي لزيت الوقود الخفيف (المعالجة الكيميائية الحرارية) والاحتراق في محارق الأسمنت واسترجاع المواد لإعادة التدوير هي بدائل مدافن النفايات لبقايا تقطيع المركبات. وخلصا إلي أن تضمين بقايا تقطيع المركبات في محارق الأسمنت هو الخيار القصير الأجل الأكثر فائدة وعملية، وذلك بافتراض أن إضافة بقايا تقطيع المركبات لن يؤثر على المخرجات النهائية المنبعثة، ونوعية الأسمنت أو عملية الحرق ومع ذلك، فقد لا تكون هذه الافتراضات قوية بالقدر الكافي.

دراسة أخرى مقارنة لتقييم دورة الحياة (LCA) بين خمس إستراتيجيات إدارية (Ciacci et al., 2010) وهي (أ) الدفن، (ب) زيادة استرجاع المعادن قبل الدفن، (ج) زيادة استرجاع المعادن المعالجة الحرارية عن طريق استرجاع الطاقة، (د) الاسترجاع المتقدم للمواد بعد التقطيع بواسطة المعالجة ثم يليها استرجاع الطاقة وأخيراً (هـ) إعادة تدوير المواد الأولية الخام. ووجدت الدراسة أن السيناريوهات (ج) و (هـ) أسفرا عن فوائد بيئية أعلى بالمقارنة مع المعاملة الحالية. وكان سيناريو إعادة تدوير المواد الأولية (هـ) له ميزة طفيفة حيث حقق أعلى معدل إعادة التدوير، مما يجعله الحل الأمثل لإدارة بقايا تقطيع المركبات.

أكدت كلتا الدراستين أنه لا تزال هناك حاجة إلي تحسين ظروف السوق لتحقيق نتيجة مربحة من إعادة تدوير البلاستيك من المركبات (Duval et al., 2007). وهذه الحواجز الاقتصادية تعرقل استخدام الطرق البديلة لمعالجة بقايا تقطيع المركبات بصورة واسعة النطاق (Vermeulen et al., 2011). ومن المرجح ارتفاع سعر البوليمرات مع تناقص الموارد النفطية وارتفاع تكاليف الطاقة وبالتالي سيصبح إعادة التدوير في المستقبل أكثر أهمية من الناحية الاقتصادية، ومن المرجح أن تنطبق أفضل المعاملات البيئية وأفضل التقنيات المتاحة في إدارة بقايا تقطيع المركبات.

### 2.3.3 اعتبارات دورة الحياة لإعادة تدوير بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية:

قام هيشر وآخرون في 2005 (Hischier et al., 2005) بدراسة نظم الاسترجاع السويسري وإعادة التدوير Swiss take-back، وأظهرت الدراسة أن تقييم دورة الحياة للأثر البيئي لإعادة تدوير نفايات أجهزة الكهربائية والإلكترونية كان أقل بكثير من السيناريو البديل المعتمد على حرق نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية والمواد الخام الأولية. أجريت هذه الدراسة في بلد صناعي حيث تتم إعادة التدوير بطريقة سليمة بيئياً على عكس الحال في معظم الدول النامية. ويمكن الاعتماد على اعتبارات دورة حياة كل حالة عند

تصميم عمليات إعادة تدوير نفايات أجهزة الكهربية والإلكترونية لضمان تقليل الآثار البيئية الشاملة أخذاً في الاعتبار الظروف الخاصة بكل بلد.

### 3.3.3 اعتبارات دورة الحياة لإدارة فوم المتعدد اليوريثان:

يتم التعامل مع فوم متعدد اليوريثان في معظم الدول بدفن نفاياته أو حرقها، ولكن دورة حياته يمكن أن تحسن بطريقة أكثر استدامة. وهناك إمكانية للتحسين بزيادة إعادة تدويره الأفقي. في حين يمكن إعادة استخدامه بالطحن في بوليمرات جديدة أو استرجاعه بالتحلل، ولكن إمكانية هذا الاستخدام لازالت محدودة. فمثلاً لا يتم استخدامه في الطبقات التي تستخدم أسفل السجاد على نطاق واسع إلا في أمريكا الشمالية فقط.

### 4.3.3 اعتبارات دورة الحياة لاسترجاع البروم :

وضعت بعض التقنيات لاسترجاع البروم من المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل والمواد المحتوية على مثبطات اللهب البرومينية (أنظر المرفق 4). ولكن لا توجد حتى الآن منشآت تتبع هذه التقنيات على نطاق واسع وليس هناك دليل على احتمال وجود عمليات إعادة تدوير مغلقة من هذا القبيل أيضاً<sup>16</sup>، الأمر الذي يستدعي سد هذه الفجوة للوصول إلي استدامة تدفق العناصر.

وقد يكون سبب زيادة التركيز على فصل البروم من المواد بلاستيكية بسبب القيود المحيطة بالتقنيات الحالية لفصل الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل التي تتبع من الأنشطة التابعة لاتفاقية ستوكهولم والتي قد توفر خيارات أخرى لجمع المزيد من المواد المحتوية على البروم مما يؤدي إلي تحفيز تطوير عمليات استرجاع البروم. يمكن باسترجاع البروم إتاحة فرص زيادة الدخل (أنظر المرفق 4) إذا تم ذلك من خلال السياسات واللوائح الملائمة للمساهمة في الحالات التي لا يمكن إعادة تدوير البلاستيك فيها بصورة مباشرة. ولتشجيع هذا الخيار، فإنه يجب تقييم مجموع التكاليف (بما في ذلك التكاليف الخارجية) من المعالجة الحرارية أو الدفن أو الإغراق. وبالنسبة للمنشآت الحرارية فإن ذلك سيشمل أيضاً التكاليف البيئية لإنبعاثات وتآكل المنشآت المستخدمة والتخلص المناسب من الرماد. محارق النفايات الخطرة تتكلف قرابة الـ 10 يورو لكل 0.1% من البروم (والكلور) من النفايات (Fernwärme Wien GmbH, 2011)، ولكن هذا يعكس التكاليف التشغيلية فقط وليس التكاليف البيئية. في حالة التخلص من المخلفات، فإنه يلزم أن يعبر السعر عن تكلفة مواقع دفن النفايات على المدى الطويل والرعاية اللاحقة للدفن (أنظر الفصل الثامن والمرفق 3).

### 4.3 بدائل الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

<sup>16</sup> أيضاً معدل إعادة تدوير البوليمرات المحتوية على مثبطات اللهب البرومينية منخفض (تقدر للبوليمرات من نفايات الأجهزة الكهربية والإلكترونية بـ 8% بالنسبة للاتحاد الأوروبي (PlasticsEurope, 2010) ويتم إعادة تدوير جزء فقط من هذه المواد في بوليمرات تثبيط اللهب. ولذلك فإنه لا يمكن حالياً اعتبار تدفق مثبطات اللهب البرومينية مستداماً.

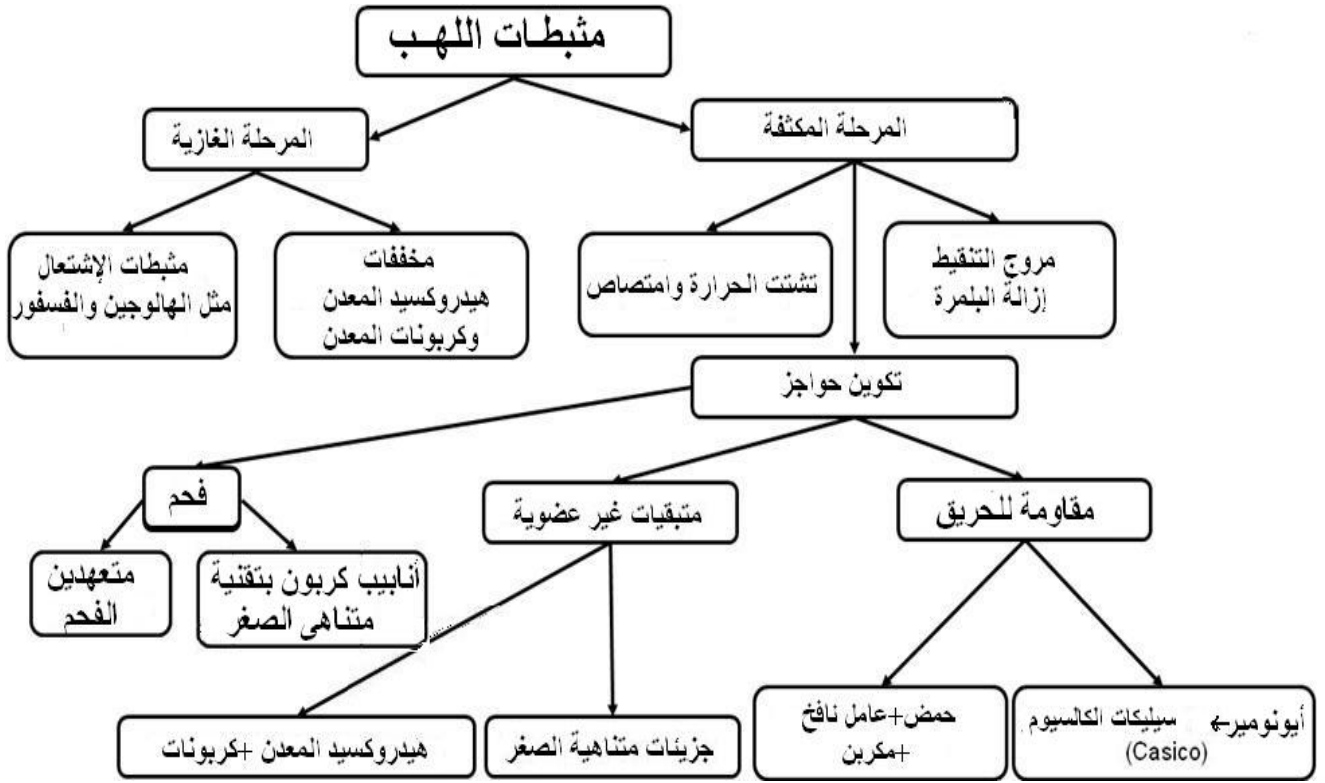
بدأ التخلص تدريجياً من الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل منذ عقد من الزمان، وقد وضعت عدداً من البدائل على مدى السنوات العشر الماضية أو نحو ذلك، أي منذ لم يعد يسمح بإنتاج واستخدام الملوثات العضوية الثابتة وإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في إطار اتفاقية ستوكهولم. يمكن أن يكون الإطلاع على مثبتات اللهب البديلة مفيداً لتحسين الإدارة السليمة للمواد الكيميائية المثبطة للهب. وقد تم تجميع تصور للمعلومات المتعلقة بالبدائل المتاحة للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل (UNEP, 2009) توضح البيانات أن هناك بدائل متوفر تجارياً، كيميائية وغير كيميائية من مثبتات اللهب أقل خطورة من الفينيل ثماني وخماسي البروم ثنائي الفينيل. وقد تم تجميع لمحة عامة عن مثبتات اللهب المستخدمة حالياً في تقرير للمفوضية الأوروبية (ARCADIS EBRC, 2011). والهدف من ذلك هو استبدال المواد الضارة بخيارات أكثر أمناً؛ فمثبتات اللهب البديلة تحتاج إلي تقييم دقيق لتحقيق ذلك. وقد تم مؤخراً استعراض التراكم الحيوي لسمية مثبتات اللهب الخالية من الهالوجين (Waaijers et al, 2012) ومن الضروري تقييم كل حالة على حدة للوصول إلي أفضل بديل مناسب لاستخدامات محددة. ومن المهم النظر في جميع البيانات الصحية المتاحة والبيانات البيئية للحصول على فهم شامل وقوي عن الآثار السامة والسمية البيئية وأداء إعادة تدوير البدائل (أنظر المرفق 5). يتم في جدول 2-3 عرض بعض مثبتات اللهب البديلة للاستخدامات الرئيسية للإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل. وتظهر أشجار القرار بشأن مثبتات اللهب في الشكل 2-3. وقد وضعت وكالة البيئة الألمانية الخيارات الإيكولوجية لمثبتات اللهب (UBA, 2008).

جدول 2-3: الاستعمالات الرئيسية للإثير الخماسي البروم ثنائي الفينيل والإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل وبعض مثبطات اللهب البديلة

البدائل غير المهلجنة	مثبطات اللهب البرومينية أو مركبات الكربون الكلورية فلورية البديلة	الاستخدامات الرئيسية للملوثات عضوية ثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل
<p>مثبطات اللهب الخالية من الهالوجين القائمة على الفسفور: بيزفينول -أ- مكرر (ثنائي فينيل فوسفات)، الريبوسونول مكرر (ثنائي فينيل فوسفات) (لمتعدد الكربونات، الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين ولمتعدد الإيسترين عالي التحمل)، رابع بروم دوديكان الحلقي (ولمتعدد الإيسترين عالي التحمل)، رابع بروم البيسفينول-أ - (TBBPA) (للأكريلونيتريل بوتادين ستايرين) ؛ والبوليمرات البرومينية.</p>	<p>الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل والإيثان عشاري البروم ثنائي الفينيل أو فوسفات ثلاثي (ثلاثي برومو الفينيل) متعدد الفوسفات) للأكريلونيتريل بوتادين ستايرين ولمتعدد الإيسترين عالي التحمل)، سداسي بروم دوديكان الحلقي (ولمتعدد الإيسترين عالي التحمل)، رابع بروم البيسفينول-أ - (TBBPA) (للأكريلونيتريل بوتادين ستايرين) ؛ والبوليمرات البرومينية.</p>	<p>أغلفة الأجهزة الكهربائية والإلكترونية (الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل)</p>
<p>المغلف الفوسفور الأحمر المغلف داخل كبسولات صغيرة، وهيدروكسيد المغنيسيوم، الميلايم، ومعادن الفوسفينات للمتعدد الاميد، ومعادن الفوسفينات (للإثيلين متعدد الفثاليت) ولمتعدد البوتيلين ترفثالات</p>	<p>الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل و الإيثان عشاري البروم ثنائي الفينيل (لمتعدد البوتيلين ترفثالات PBT والإثيلين متعدد الفثاليت ومتعدد الاميد PA) والبوليمرات البرومينية</p>	<p>بعض مكونات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية (الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل)</p>
<p>مثبطات اللهب خالية من الهالوجين القائم على الفوسفور: ثنائي هيدرو أوكسي فوسفا الفينانثرين (للألومونيوم هيدروكسيد (لإزالة الإيبوكسي)؛ الفوسفانيت المعدنية/ثنائي هيدرو أوكسي فوسفا الفينانثرين/ثاني أكسيد السيليكا (لإيبوكسي)؛ بوليمر فسفونات (لإيبوكسي)؛ اللدائن الحرارية الصلبة مقاومة اللهب/اللدائن الحرارية البلاستيكية مقاومة</p>	<p>رابع بروم البيسفينول أ التفاعلي (لراتنج الإيبوكسي)؛ رابع بروم البيسفينول أ المضاف ( لراتنج الفينول).</p>	<p>لوحات الدوائر المطبوعة (الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل)</p>

الذهب (تحت التطوير)		
الألياف الاصطناعية المقاومة للذهب بطبيعتها مع مثبتات الذهب المتكاملة (بروبلين فوم الايثيلين المتعدد)؛ الألياف الصناعية مقاومة للذهب (متعدد الأراميد)؛ الألياف الزجاجية؛ المركبات الفوسفونيوم المتكاملة على المدى الطويل (السليولوز)، ونظم مقاومة الحريق (الألياف المختلفة)	الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل (للألياف المختلفة)؛ سداسي بروم دوديكان الحلقي (للألياف المختلفة)؛ مثبتات الذهب المهلجنة الفوسفور العضوية.	طلاء المنسوجات (الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل)
تكنولوجيات الحواجز المختلفة؛ استبدال فوم متعدد اليوريثان في بعض الاستخدامات	الفاير ماستر 550 و 600 ومثبتات الذهب المهلجنة الفوسفور العضوية.	فوم متعدد اليوريثان (الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل)

(Derived from UBA, 2008)



(Hull, 2010)

الشكل 3-2: أشجار قرار بشأن المواد المثبطة للهب

### 5.3 رصد البروم/الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في البوليمرات:

أوصى مؤتمر الأطراف المعنية الخامس بفصل المواد المحتوية على البروم وعلى الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل والفحص والكشف عن هذه المواد. أحد التحديات، وهو شرط أساسي، هو الكشف السريع والموثوق به عن المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة، والتي من شأنها أن تسمح بفصل المواد التي تحتوي الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في عمليات إعادة التدوير. وتناقش هذه التقنيات بإيجاز في المرفق 5 و في الإرشادات الخاصة بفحص وتحليل الملوثات العضوية الثابتة في الأدوات والمنتجات. وستناقش تطبيقاتها وإمكانية استخدامها في الأجزاء التالية التي تصف أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لمعاملة وإعادة تدوير المواد (أنظر الفصول الرابع والسادس). كما ستناقش تقييم تكنولوجيات أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية بما في ذلك فحص (وفصل) الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم للاستخدام العملي بما في ذلك اعتبارات الدول النامية في الأجزاء التالية.



#### 4. أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية معينة: الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة من

##### طراز مثبتات الذهب البرومينية التي تحتوي على البلاستيك في نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية:

حيث أن الاستخدام الرئيسي للإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل من قبل كان التغليف البلاستيكي للأجهزة الكهربائية والإلكترونية (أنظر الأقسام 2-3-2 و 2-5)، لذلك فهو أكبر مخزون لتدفق الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل يدخل إعادة التدوير. ولذلك أهمية خاصة في إدارة أفضل التقنيات المتاحة/إدارة أفضل المعاملات البيئية.

#### 1.4 إعادة استخدام الأجهزة الكهربائية والإلكترونية

وفقاً للتسلسل الهرمي لإدارة النفايات فإن إصلاح وإعادة استخدام الأجهزة الكهربائية والإلكترونية المعاد استعمالها هو الخيار المفضل لإدارة نهاية العمر (أنظر الشكل 3-1). فإن إعادة استخدام وإعادة تأهيل الأجهزة الكهربائية والإلكترونية يؤدي إلى إطالة عمر المنتجات للمنتجات وتوفير الطاقة وبالتالي تصنيع أجهزة جديدة وتخفيض الآثار البيئية للمواد الخام. وحيث أن معظم استخدامات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل قد بدأ التخلص منها تدريجياً من قبل عام 2000، فما زال من المتوقع وجود عناصر قليلة متبقية من ذلك نظراً لاحتواء الأجهزة الكهربائية والإلكترونية على الملوثات العضوية الثابتة والإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل. ولذلك من المرجح أن لا يتأثر قطاع إعادة استخدام العديد من الأجهزة الكهربائية والإلكترونية بهذه الملوثات بشكل كبير. يستثنى من ذلك التلفزيونات و الشاشات و أنبوب أشعة الكاثود والتي لا تزال تظهر في كميات كبيرة في سوق الأدوات المستعملة خاصة في الدول النامية. ويجب أن يعطى بعض الاهتمام للأجهزة الكهربائية والإلكترونية الواردة من سوق الولايات المتحدة، حيث كان إنتاج الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل مستمراً فيها حتى 2004 (UNEP, 2010b).

#### 2.4 اعتبارات إعادة تدوير المواد البلاستيكية التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية

##### الفينيل:

تعتبر إعادة تدوير البلاستيك عملية منطقية من الناحية البيئية والاقتصادية، وإنتاجها بالكامل تقريباً يعتمد على البتر وكيماويات<sup>17</sup> القائمة على الوقود الأحفوري، ويستهلك إنتاجها كميات مماثلة من الوقود الأحفوري والمواد الخام (Hopewell et al., 2009). وعلى الرغم من كثافة الوقود الأحفوري الناتج من المواد البلاستيكية وانخفاض الكفاءة الحرارية لمعظم عمليات استرجاع الطاقة منها<sup>18</sup>، إلا أن بعض الدول مازالت تقوم بحرق معظم النفايات البلاستيكية (Hopewell et al., 2009). وعلى أي حال، فإذا تم تدوير 50% من نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية البلاستيكية في الأسواق الأوروبية يتم، فإن ذلك سوف يؤدي إلى تخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنحو 2 مليون طن، وسوف يؤدي ذلك إلى توفير أكثر من 10 مليون كيلو واط/ساعة من الطاقة اللازمة

<sup>17</sup> اقترح هوبويل (Hopewell, 2009) أنه يتم تحويل نحو 4% من إنتاج النفط السنوي مباشرة في البوليمرات من المواد الأولية البتر وكيماوية.

<sup>18</sup> نسبة 17-30% دون الجمع بين الحرارة والطاقة لمحرق الحديثة (European Commission, 2006).

لتحويل البتر وكيماويات إلي بلاستيك (Slijkhuis, 2011). وطبقاً لهذا المستوى لإعادة التدوير، فإن إعادة تدوير نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية تصبح أكثر اقتصادية لأنها تتحول إلي موارد اقتصادية. هذا وهناك العديد من الفوائد البيئية والاجتماعية من إعادة التدوير إذا ما اتخذت التدابير اللازمة لمنع تعرض العمال لها، وضمان استخدام البلاستيك المنتج بطريقه مناسبة بما يسمح بحماية المستهلكين كما انه يخلق فرص عمل إضافية حيث أن عملية إعادة التدوير تحتاج إلي عمالة أكثر كثافة من التي تحتاجها عملية إنتاج البوليمرات الأصلية (Slijkhuis, 2011).

من وجهة النظر الاقتصادية، فإنه يمكن أن يؤدي دمج تكنولوجيات الفصل إلي عملية اقتصادية لجزئية البلاستيك من نفايات أجهزة الكهربائية والإلكترونية (أنظر الشكل 4-3؛ القسم 4-4). وقد وضعت اليابان معايير صناعية يابانية (JIS<sup>19</sup>) لتحسين إعادة تدوير المواد البلاستيكية من الأجهزة المنزلية الكهربائية، "تحديد قطع الأجهزة الكهربائية والإلكترونية البلاستيكية" (JIS C9912) هذه المعايير تتطلب وضع علامات على قطع من البلاستيك مثل مثبطات اللهب، والبلاستيك المعاد تدويره وأيضاً إجراءات التفكيك. وهكذا، يرتبط تدفق المعلومات بتدفق الكتلة. ويشمل نظام وضع العلامات على وجه الخصوص المواد البلاستيكية المعاد تدويرها بالفعل "إعادة تدوير في حلقة مغلقة" (أي إعادة تدوير البلاستيك من الأجهزة المنزلية الكهربائية إلي بلاستيك الأجهزة المنزلية الكهربائية مرة أخرى). كما حددت أيضاً معدلات إعادة التدوير المستهدف لفئات إلكترونية مختلفة (Aizawa et al., 2010).

تحتاج إدارة البلاستيك المحتوى على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل إلي تقييم ومعالجة في إطار أكبر أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لإدارة ومعالجة نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية. ولكن يبقى وصف أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لإعادة تدوير نفايات أجهزة الكهربائية والإلكترونية خارج نطاق هذه الوثيقة. تم تأسيس أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية المختارة لإدارة نفايات أجهزة الكهربائية والإلكترونية في إطار اتفاقية بازل وعلى المستوى القومي (على سبيل المثال في ألمانيا 2343VDI، 2007). وتم تأسيس الإرشاد الدولي الأول في هذا الصدد لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات الأجهزة (ICT) في إطار الشراكة من أجل التعامل مع الأجهزة الحاسوبية PACE كما ورد في اتفاقية بازل وفي برنامج الأمم المتحدة للبيئة في 2011.

يمكن الاطلاع على الوثائق التالية بشأن توجيهات خاصة بإدارة الأجهزة الكهربائية والإلكترونية ونفاياتها:

- دراسات الابتكار والتكنولوجيا المستدامة في قطاع نقل الصناعة: إعادة تدوير النفايات الإلكترونية من الموارد الإلكترونية والكهربية إلي مصادرها (UNEP and StEP, 2009)
- المراجعة الفنية للآثار المترتبة على تدوير اثير خماسي وثمانى البروم ثنائى الفينيل التجارى والمرفقات (UNEP 2010a, b)
- إرشادات حول استرجاع المواد بطرق سليمة بيئياً / إعادة تدوير الأجهزة الحاسوبية عند نهاية العمر (Basel Convention) (and UNEP, 2011)

تقلصت عمليات إعادة تدوير المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل بناء على توصيات مؤتمر الأطراف المعنية الخامس والأسباب تم ذكرت بالتفصيل في تقارير استعراض الملوثات العضوية الثابتة

<sup>19</sup> JIS-C9912 (Japan Standard Association 2007)

(UNEP 2010a, b) ودراسات أخرى (Wäger et al., 2010). وقد تم وضع لوائح ومعايير متعلقة بإعادة تدوير البلاستيك والمواد الخطرة ونفاياتها عند نهاية العمر وعشاري البروم ثنائي الفينيل الموجود في الأجهزة الكهربائية والإلكترونية<sup>20</sup> في أوروبا و دول أخرى.

تسمح الإعفاءات الواردة في الاتفاقية بإعادة تدوير المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في الدول إذا ما سجلت مسبقاً لهذا الإعفاء. ولإعادة تدوير البوليمرات التي تحتوي على هذه المواد فإنه يجب الأحد في الاعتبار إتباع أفضل المعاملات البيئية/أفضل التقنيات المتاحة:

- وضع البطاقات التعريفية على نفايات الأجزاء البلاستيكية من أجهزة الكهربائية والإلكترونية التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل لمراعاة مزيد من المعالجة وكذلك وضع العلامات على المواد المنتجة من البلاستيك المعاد تدويره.
- التقليل من التعرض المهني لهذه المواد في مرحلة التجهيز إلى أدنى حد (أنظر المرفق 2؛ المفوضية الأوروبية 2011- أ )
- نوع المواد المنتجة من الجزيئات البلاستيكية لنفايات هذه الأجهزة الكهربائية والإلكترونية

#### 1.2.4 وضع البطاقات التعريفية على المواد والجزيئات البلاستيكية المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

يساعد تطبيق أفضل المعاملات البيئية في وضع بطاقات تعريفية على المواد البلاستيكية أو البلاستيك المعاد تدويره بالخلط مع نفايات الأجهزة الكهربائية بحيث يعرف مصدرها عند تصديرها/استيرادها أو استخدامها في الصناعات لإنتاج مواد جديدة. وتحتاج الأجزاء المختلفة أن تصنف على وجه التحديد أو تعرف بالبطاقات التعريفية لمزيد من إعادة التدوير وذلك لضمان عدم إعادة استخدام البلاستيك المحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل أو نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية<sup>21</sup> في منتجات حساسة مثل:

- اللعب والسلع البلاستيكية التي يتعرض لها للرضع والأطفال
- التعبئة والتغليف الغذائي؛ حاويات المواد الغذائية؛
- صوامع التخزين والأنابيب المستخدمة في علف الحيوان والغذاء؛
- أجهزة المطابخ؛
- أجزاء التلاجات والمجمدات (الفریزر) الداخلية<sup>22</sup>؛
- خزانات المياه وأنابيب المياه، خاصة في خزانات المستخدمة للشرب ؛
- قطع البلاستيك المعرض لها بشكل مباشر مثل الأثاث، ومقابض الأدوات والأبواب.

<sup>20</sup> يمكن إعادة تدوير الأثير عشاري البروم ثنائي الفينيل في استخدامات أخرى غير الأجهزة الكهربائية والإلكترونية.

<sup>21</sup> يمكن أن تحتوي هذه البوليمرات على مواد خطرة أخرى مثل المعادن الثقيلة (بما في ذلك الكاديوم والانتيمون)، وغيرها من مثبطات اللهب البرومينية، أو مثبطات اللهب الفسفورية أو الرقائق.

<sup>22</sup> يتم تشجيع إعادة تدوير البوليمرات من بوليمرات نفايات الأجهزة والإلكترونية الكهربائية التي لا تحتوي على مواد كيميائية حرجة ببدءاً من المهد إلى المهد مثل البوليمرات من التلاجات/المبردات إلى التلاجات/المبردات.

ورغم أن مؤتمر الأطراف المعنية الخامس لم يوصى بهذا من قبل، إلا أنه قد يتم إعادة تدوير المواد التي تحتوي على أجزاء بلاستيكية من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في مواد غير حساسة الاستخدام مثل خشب البناء أو المنصات. يمكن تمييز هذه المنتجات بوضع بطاقات تعريفية (أنظر بطاقات تعريف الملوثات العضوية الثابتة - الاعتبارات) لضمان الإدارة الملائمة عند تهالكها على النحو الذي تطالب به اتفاقية ستوكهولم (أنظر نص اتفاقية ستوكهولم، المرفق ألف، الجزء الرابع والخامس والذي ينص على أنه يجب التأكد من تنفيذ إعادة التدوير والتخلص النهائي لهذه المواد بطريقة سليمة بيئياً في هذا الصدد (أنظر الفصول 7 و 8).

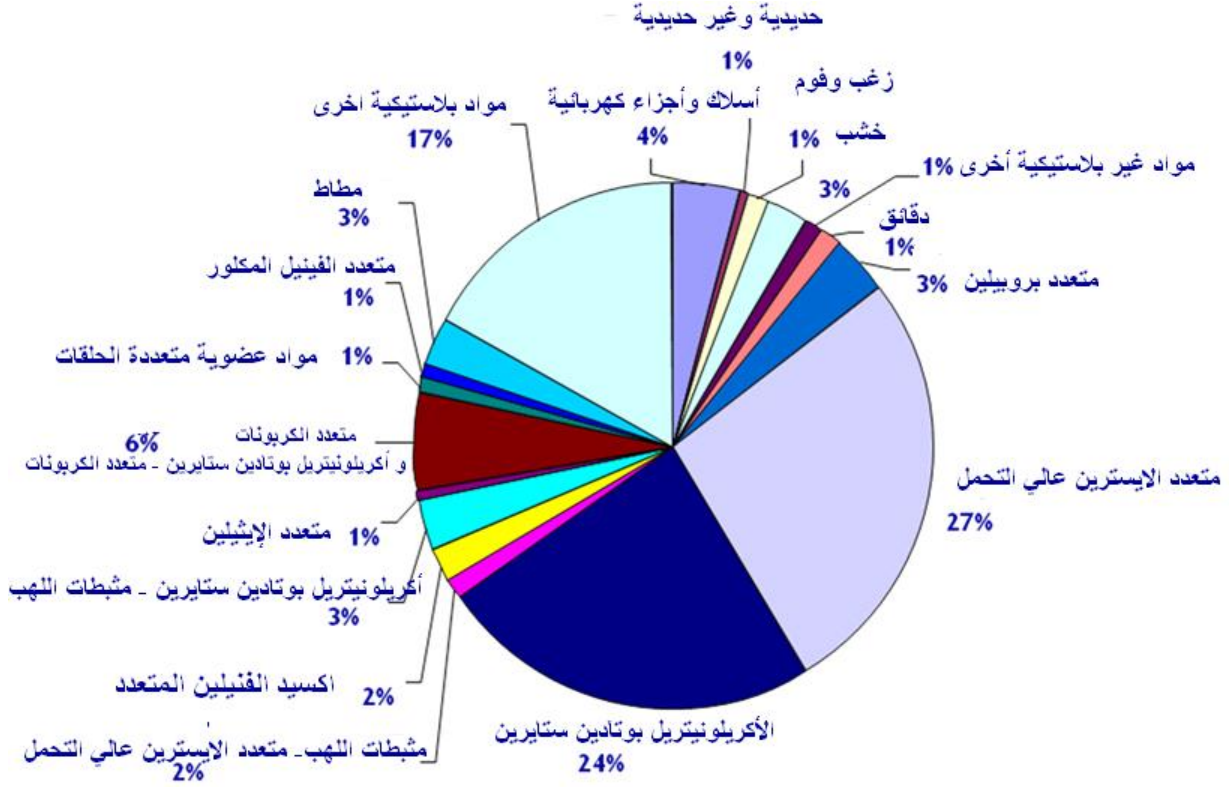
#### 2.2.4 تقنيات معالجة المواد البلاستيكية للحد من التعرض:

تستخدم تقنيات المعالجة لتحويل البوليمرات واللدائن المعاد تدويرها إلى الشكل المطلوب للمنتج النهائي. وتعتبر عملية التجهيز هي خطوة تحول مادي باستخدام تقنيات مختلفة في كثير من الأحيان تحت درجة حرارة مرتفعة. وتنصب المخاوف البيئية والصحية لصب أو لبثق البلاستيك المعاد تدويره على إنبعثات المركبات العضوية المتطايرة وشبه المتطايرة بما في ذلك الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل. وأدرجت أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية الأولية هذه التكنولوجيات في المرفق 2 وتم وصفها إلي حد ما في الوثيقة المرجعية الإتحاد الأوروبي في إشارة لأفضل التقنيات المتاحة (مثبطات اللهب البرومينية) (European Commission, 2011a).

تتولد في بعض المنشآت مياه الصرف ذات أحمال عالية من المركبات العضوية، المذيبات المستهلكة ونفايات غير قابلة للتدوير قد تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل. وتم وصف أفضل التقنيات المتاحة/إدارة أفضل المعاملات البيئية العامة في المرفق 1. وتم وصف اعتبارات إدارة أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية المحددة لمواد الطاقة أو المواد المعاد تدويرها من المحتوية على المواد الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في الفصل 7 والنفايات المحتوية على هذه الملوثات في الفصل 8 والمرفق 3.

#### 3.2.4 أنواع وتكوين البلاستيك المحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

لا تصل تقنية إعادة تدوير نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية وأنشطة إعادة التدوير إلى الحد الأمثل لفصل البلاستيك المحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (UNEP 2010a, b). وتقطع نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية ينتج عنه في معظم المنشآت أجزاء مختلطة من البلاستيك حيث أن صناعة إعادة تدوير تقوم بعمليات من أصناف مختلفة مثل التلفزيونات والشاشات، وأجهزة الحاسب الآلي، والسلع البيضاء، والإلكترونيات الصغيرة، والمصابيح، الخ. ويمكن للبوليمر المخصب النهائي والناتج من نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية أن يكون له تركيب وسطي (أنظر الشكلين 1-4 و 2-4).



(Slijkhuis/MBA polymers, 2011)

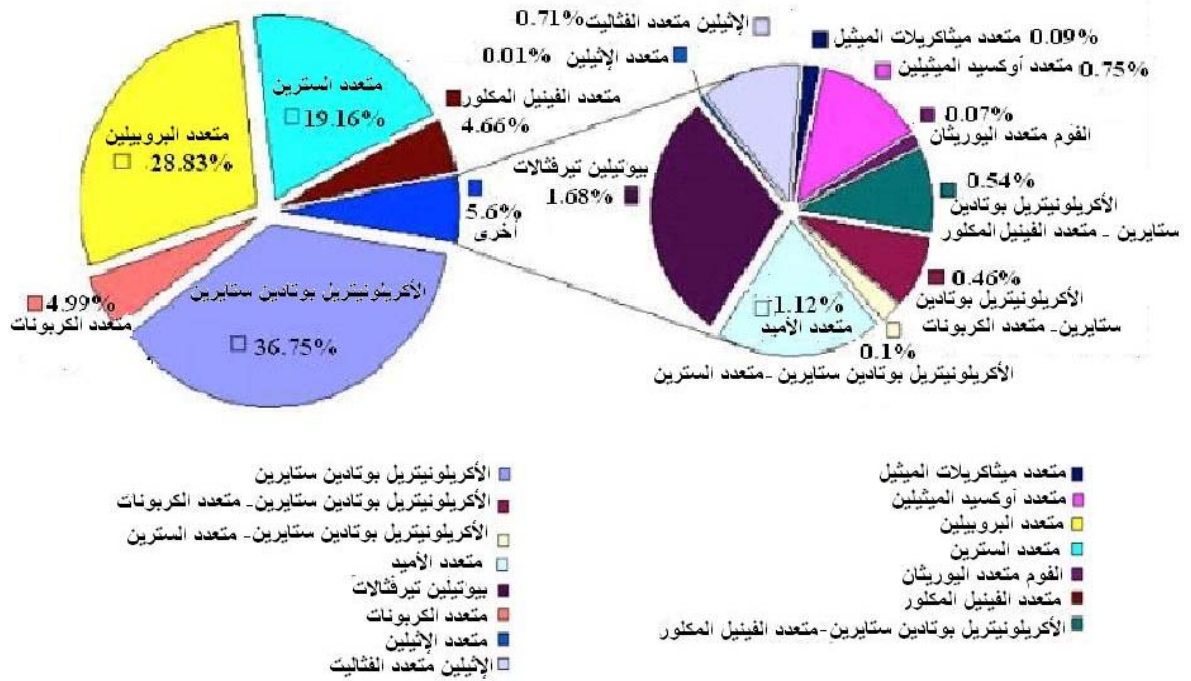
#### الشكل 4-1: تكوين خليط البوليمر المخضب بعد استرجاع المعادن من تقطيع النفايات الإلكترونية

تباع نسبة كبيرة من بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية في صورة بوليمر مختلط للتصدير، وتحديداً إلى الصين أو الهند (UNEP, 2010b). ويتم في أجزاء كثيرة من العالم، إرسال جزء البوليمر وخاصة مخلفات التقطيع إلى مدافن النفايات (أنظر الفصول 6 و 8) أو حرقها (أنظر الفصل 7)، وفي كثير من الأحيان لا تتم هذه العملية في ظل أفضل التقنيات المتاحة / أفضل المعاملات البيئية.

الأسباب الأربعة الرئيسية التي تحد من إعادة تدوير البلاستيك من نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية المختلطة (UNEP 2010b) هي:

- الصناعات التي تستخدم المواد البلاستيكية الثانوية لها المواصفات مشددة فيما يتعلق بنوعية البلاستيك، سواء كيميائياً (بالالتزام قيود حظر المواد الخطرة في الأجهزة الكهربائية والإلكترونية) وفيما يتعلق بخواص المواد.
- أجزاء نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية البلاستيكية غالباً ما يحتوي على 15 نوع أو أكثر من أنواع البلاستيك المختلفة ودرجة من التلوث المتبادل وهو أمر لا مفر منه في الواقع العملي (أنظر الشكل 4-2)

- (Dimitrakakis et al., 2009). في حين أن ثلاثة بوليمرات هي (الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين، البوليسترين، متعدد بروبيلين<sup>23</sup>) تمثل ما بين 70% و 85% من المجموع، ويعتبر الفرز الفعال لهذه المخاليط هو التحدي التقني الصعب.
- يمكن أن تحتوي نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية البلاستيكية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز إثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل وكذلك عشاري البروم ثنائي الفينيل المدرجة في الاتفاقية المذكورة<sup>24</sup>. ولهذا يعتبر العملاء معرضين محتملين للخطر بسبب هذه المواد البلاستيكية المعاد تدويرها من نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية الملوثة.
  - كبرى الشركات المصنعة تتطلب إنتاج كميات أكبر بخصائص وأداء مطابق وهذا مطلب يصعب تحقيقه من البلاستيك غير المتجانس لنفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية.



(Dimitrakakis et al., 2009)

#### الشكل 4-2: أنواع البوليمرات التي تم تحديدها في عينات صغيرة لبوليمر نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية (%، وزن/وزن)

بعض المواد البلاستيكية المستخدمة في أجهزة نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية لها بوليمرات حرارية عالية القيمة من الناحية الهندسية و التي يمكن أن تُرقق (تُنعم) بشكل متكرر بالحرارة ثم تصلب بعد ذلك عن طريق التبريد. ويمكن أن يتم بيعها لجني الأرباح منها إذا أمكن استرجاع هذه اللدائن الحرارية في حالة صالحة للاستعمال.

<sup>23</sup> عادة يكون بدون أو منخفض الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل أو متعدد البروم ثنائي الفينيل.

<sup>24</sup> لكن عادة لا يوجد متعدد البروم ثنائي الفينيل تم سرده أيضا في " قيود حظر المواد الخطرة " في المعدات الكهربائية والإلكترونية واتفاقية ستوكهولم.

تعتبر شاشات الحاسبات الآلية والتلفزيونات أغنى مصادر المواد البلاستيكية: حيث أن البلاستيك بهما يتراوح بين 10 - 40% بالوزن. ويوجد الجزء الأكبر من البلاستيك في الجزء الخلفي من الشاشة؛ ويتم فصله لإعادة التدوير وللوصول إلي أنبوب أشعة الكاثود. يتم عادة إزالة هذه الأجزاء البلاستيكية باليد في المنشآت وهذا يعطي نسبة بوليمر نظيفة تتكون أساسياً من الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين ومتعدد الايسترين عالي التحمل ومن ثم يمكن إعادة تدويرها. ويجب أن يتم الفرز وفقاً لنوع البوليمر لتعظيم قيمة إعادة البيع (مثل بوليمرات الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين ومتعدد الايسترين عالي التحمل الحرارية)، وحسب اللون.

يصبح البلاستيك في حاجة إلي الضغط للتخزين والنقل بعد أن يتم تنظيفه وفرزه (المرفق 1)، أو من أجل مزيد من المعالجة (أنظر المرفق 2). ويمكن أن يتم ذلك عن طريق الأدوات اليدوية مثل المقصات، المجزات، الخ، أو على نحو أفضل عن طريق التقطيع، وتدرج الحجم. وتجمع بعض العمليات المميكنة بين التدفئة والتبريد السريع والتقطيع لدرجة الحبيبات. وتسخن هذه الأجزاء وتثقب في صبغة لتشكيل سلاسل وكريات للبيع النهائي كمواد خام. ويتم تداول هذا البوليمر في حدود أسعار تسمح فقط بعدد محدود من الخطوات المعالجة، وخصوصاً انه من الضروري تغطية تكلفة حرق متبقيات البلاستيك المحتوى على الملوثات العضوية الثابتة. ولذلك يجب أن يكون التخلص من بقايا البلاستيك الملوث شاملاً إيرادات إعادة تدوير نفايات الأجهزة الكهربائية والالكترونية (مثل المعادن النبيلة) أو عن طريق التنفيذ القانوني الموسع لمسؤولية المنتجين (مثل نفايات الأجهزة الكهربائية والالكترونية الأوروبية أو اللوائح الصينية نفايات الأجهزة الكهربائية والالكترونية).

عملية الجمع والتعامل مع أجزاء البلاستيك والأغلفة السليمة غير المتكسرة لا تتضمن التعرض المقلق للمواد الخطرة، غير أن كل عمليات التجهيز التالية تشمل تعرض عال للمخاطر. وعلي سبيل المثال، فقد يحدث انطلاق لجزيئات البلاستيك والمواد المضافة ومثبطات اللهب البرومينية، مما يتسبب في تعرض العمال لها (UNEP 2010a, b). تصغير حجم البلاستيك وعمل المحببات من الممكن أن يعمل أيضاً على توليد الحرارة والدخان واللهب إذا لم تحسن إدارتهما بصورة ملائمة. بعد تحبيب البلاستيك، يتم صبة تحت ضغط مرتفع ودرجة الحرارة العالية، في وجود مخاطره بالتعرض للمواد الموجودة في المواد البلاستيكية والمواد الجديدة مثل مركبات الديوكسين والفيوران المهلجنة (Ota et al., 2009).

### 3.4 تكنولوجيا فصل البوليمرات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

تم تصميم تكنولوجيات الفصل كي تسمح بتمييز البلاستيك الخالي من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل من نفايات الأجهزة الكهربائية الالكترونية بهدف استرجاع منتجات ذات قيمة تسويقية، والتي يؤدي بيعها إلي جلب معظم عوائد العملية. وهكذا، فإن الدافع من التنمية والتشغيل والجمع بين هذه التقنيات بشكل رئيسي هو اقتصاديات السلسلة الشاملة للعملية. وهذا يعني أن فصل هذه المركبات من الملوثات العضوية الثابتة ليست سوى جزء من الإستراتيجية العامة لإنتاج منتجات ذات قيمة عالية مع تحقيق عائد معقول ونوعية مقبولة من المنتجات الجديدة (أنظر الشكل 3-4).

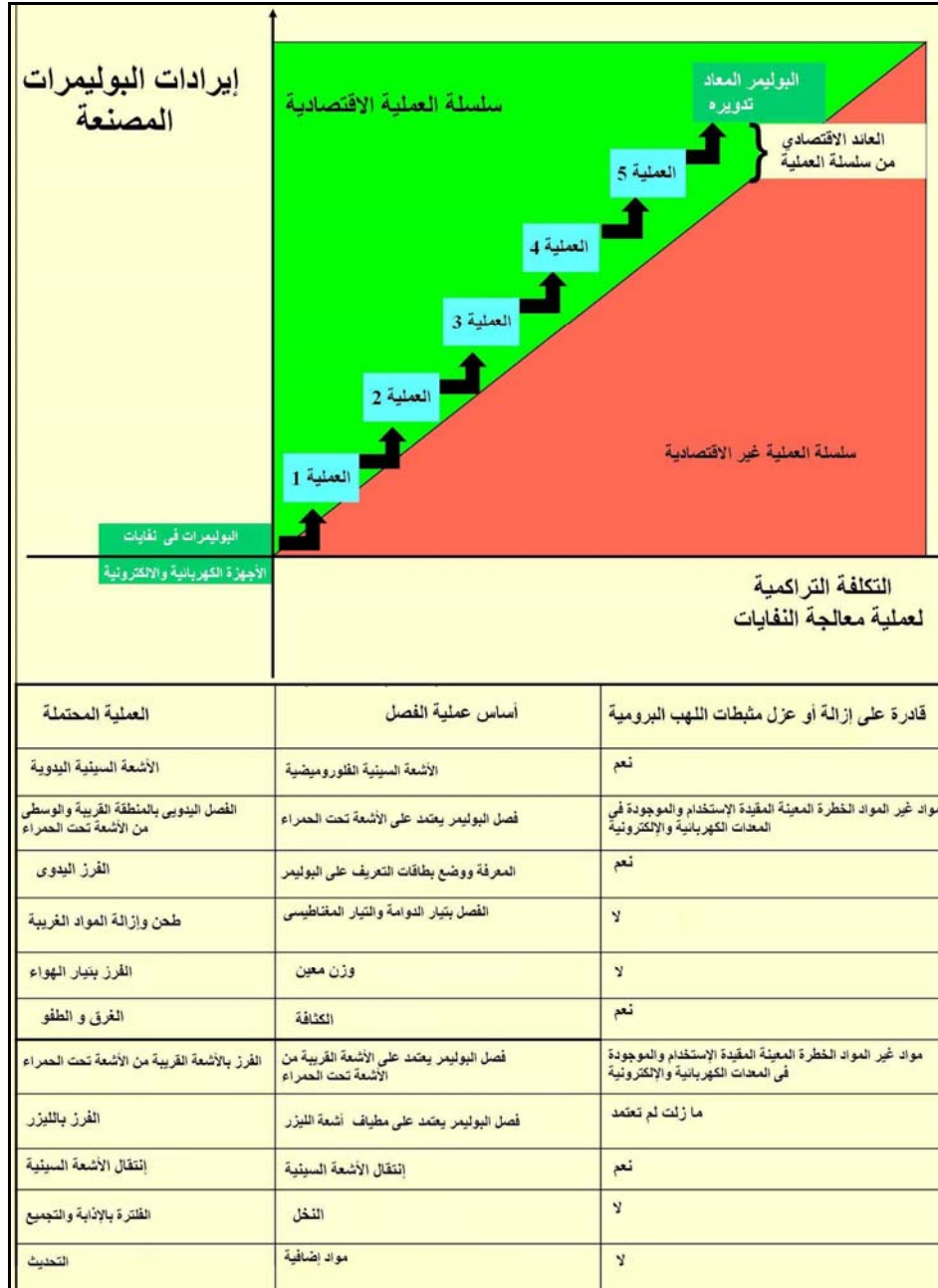
يمكن تحويل بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والالكترونية من خلال إعادة التدوير إلي بلاستيك ذو قيمة عالية من خلال استخدام سلسله من العمليات المثلى والتي من الممكن أن تتم عن طريق أكثر من شركة واحدة. وتصبح العملية مجدبة اقتصاديا فقط إذا ما كانت التكلفة التراكمية للمعالجة أقل من إيرادات للمنتجات المعاد تدويرها (أنظر الشكل 3-4). ولذلك، فإن عملية فصل المواد

المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل تحتاج إلي التكامل بشكل فعال مع القوى الرئيسية الدافعة لإعادة التدوير وهي التقنيات المستخدمة لتقطيع وفصل نفايات الأجهزة الكهربائية والالكترونية من البوليمرات وإعادة تدوير المعادن.

ويمكن استخدام الأساليب التالية في إعادة تدوير بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والالكترونية كأفضل التقنيات المتاحة / أفضل المعاملات البيئية:

- دليل منهجية التفكيك أو تقنيات التقطيع.
- تكنولوجيات الفرز لفصل المواد البلاستيكية ذات الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل والبلاستيك المقطع كما هو موضح في الشكل 3-4.
- مزج التقنيات للوصول للحد الأمثل من عملية الفصل، أنظر الجدول 3-4 و 1-4.
- مصانع كاملة النطاق لفصل المواد البلاستيكية ونفايات الأجهزة الكهربائية والالكترونية المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل (أنظر 5-3-4)





الشكل 4-3: خطوات فصل البوليمرات من نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية وتحويلها إلى بلاستيك عالي القيمة عن طريق إعادة التدوير. (أرقام خطوات العملية/الفصل إرشادية) تختلف تبعاً لمجموعات العملية المستخدمة (أنظر الأمثلة أدناه في الجدول 4-3-3 و 4-3-1). القائمة الموضحة أعلاه تشمل تكنولوجيات وأساليب الفصل الممكنة<sup>25</sup>.

<sup>25</sup> لا توجد قاعدة صارمة لاختيار العمليات، ولكن ينبغي أن تطبق واحد على الأقل من مبدأ إزالة الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل لغرض هذه الإرشادات. وقد يتم تنفيذ العمليات من أكثر من شركة واحدة.

#### 1.3.4 دليل منهجية التفكير:

الشركات التي تتناول إعادة تدوير شاشات أنبوب أشعة الكاثود في كثير من الأحيان ما تتعامل مع هذه المواد البلاستيكية بشكل منفصل بناء على خبرتها في نوع معين من البوليمرات ونوع مثبطات اللهب، ومن ثم الحفاظ على هذه التيارات "أنظف". ويمكن أن تؤثر ألوان البلاستيك على فعالية وكفاءة التقنيات المستخدمة في تكنولوجيا التصنيف المستعملة في عمليات الفرز، وبالتالي فمن المهم فصل البلاستيك في ألوان مختلفة خاصة في وجود صعوبات فصل المواد البلاستيكية السوداء/داكنة.

#### أفضل المعاملات البيئية المطبقة في السويد:

قام ريتجان في 2010 (Retegan et al. 2010) بوصف الطريقة المستخدمة حالياً في صناعة إعادة التدوير السويدية لفصل المواد البلاستيكية من تلفزيونات وشاشات الحاسب الآلي التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل. وتستخدم هذه الطريقة فقط لأجهزة التلفاز والشاشات، وليس من الواضح كمية البلاستيك الغير معرف يمكن أن يحتوي علي هذه الملوثات. تتم إزالة الأدوات المدرجة يدوياً من النفايات، وهناك حاجة للتدريب والخبرة على الفرز يدوياً لقطع البلاستيك التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في نفايات الأجهزة الكهربائية والالكترونية من أجل فرز وإزالة فعاله لتلك البوليمرات. فلا يمكن حتى لذوي الخبرة في الفرز اليدوي تحديد أي نوع من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم هو المتواجد في البوليمرات. وبالتالي، يوصي التقرير بأن يكون الفرز اليدوي تحت إشراف نقاط مراقبة بالأشعة السينية

على الرغم من أن هذا التقرير لا يتضمن معلومات عن فعالية هذا النهج، إلا أن دقة هذه الطريقة في الفرز قد تكون مرضيه بالقدر الكافي للامتثال للتوجيهات الأوروبية/للتشريع فيما يخص شاشات التلفزيون وشاشات الحاسب الآلي، وليس من المستغرب الامتثال لهذه التشريعات حيث انخفض الآن عدد المواد المتبقية التي لا تزال تتضمن إثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل إلي مستويات متدنية في أوروبا (Wäger et al., 2010)

#### استخدام الفصل اليدوي في مناطق أخرى:

تحتاج فعالية الفصل اليدوي إلي تقييم في دول أو مناطق أخرى حيث تختلف فيها نوعية نفايات الأجهزة الكهربائية والالكترونية ذات الملوثات العضوية الثابتة قبل تقديم توصية بأفضل المعاملات البيئية. يمكن استخدام الفصل اليدوي لجزء كبير من الأجهزة المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل على وجه الخصوص بالنسبة للمناطق التي بدأ فيها التخلص من هذه الملوثات في التسعينات مثل اليابان أو أوروبا. فيمكن هنا أن يتم فصل الإلكترونيات الأقدم المنتجة في بداية التسعينات وما قبل ذلك. ومن المحتمل أن تقل فاعلية استخدام هذه الطريقة في المناطق التي استخدم فيها الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري (و الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري) حتى عام 2004، وخاصة في الولايات المتحدة حيث ارتفاع حجم التداول، وفي الأجهزة الجديدة نسبياً والتي يمكن أن تحتوي على هذه الملوثات.

### الفصل اليدوي للبلاستيك المحتوى على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في الدول النامية:

يمكن الأخذ بتقنية الفصل اليدوي للمواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل دون استخدام أي أجهزة أخرى إذا كان البلاستيك الذي يتم فصله ينتمي للفترة التي لم يستخدم فيها الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري في المنطقة، وإذا كان قد تم تخزين عدد قليل من الأجهزة القديمة. غالباً ما يوجد في الدول النامية مخزون كبير من نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية من التسعينات لبداية 2000 وكذلك نسبة عالية من أغلفة التلفزيونات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة وشاشات الحاسب الآلي (Sindik et al., 2011) لذلك، لا يبدو أن الفرز اليدوي قبل التخزين دون فحص البروم هو نهجاً عملياً لإزالة الملوثات العضوية الثابتة في الدول النامية (أو على الأقل المنطقة الأفريقية). ولا توجد اختبارات عملية حول هذا الشأن حتى الآن.

ويبدو الفصل اليدوي تحدياً كبيراً بالنظر إلى تعقيد الإلكترونيات المختلفة (أنواع مختلفة، ومنتجات مختلفين وسلاسل مختلفة من نفس النوع والمنتج) وعدم التيقن من المنتجين ممن استخدموا الملوثات العضوية الثابتة. على الرغم من بساطة هذا النهج وجاذبيته، إلا أنه من الضروري إجراء تحليل أكثر تفصيلاً للعلاقة بين التقييمات البصرية بالأشعة السينية قبل التوصية بها كأفضل التقنيات المتاحة / أفضل المعاملات البيئية.

### 2.3.4 تقنيات الفحص الفردية لفصل المواد البلاستيكية المجملة والمقطعة المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز

#### الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

يجب أن تكون تقنيات الفحص لتحديد المواد البلاستيكية التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومثبطات اللهب البرومينية سهلة الاستخدام وموثوق بها واقتصادية بالنسبة للدول النامية. وتعتبر تكنولوجيا الأشعة السينية والشرر المنزلق المتاحة وسائل بسيطة نسبياً وقوية (WRAP, 2006a) ولذا تبدو مناسبة للاستخدام في الدول النامية في إعادة تدوير نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية والمنشآت المماثلة (UNEP, 2010a, b). كلتا الطريقتين تحتاج إلى عمالة كثيفة، ورغم أن هذا هو وضع غير متوفر في الدول الصناعية نظراً لتكاليف العمالة المرتبطة بها، لكنها ليست عائقاً في الدول النامية والتي تمر بمراحل انتقالية خاصة مع انخفاض الأجور في هذه البلاد.

تتكلف تكنولوجيا الشرر المنزلق للكشف عن الهالوجينات 6000 دولار تقريباً (Seidel et al., 1993; IoSys, 2010; Seidel, 2012). وقد أكد منتج ألماني لتكنولوجيا الشرر المنزلق أنه تم توريد أجهزة إلى الصين وجنوب أفريقيا (Seidel, 2010)، مما يشير إلى أن هذه التكنولوجيا تستخدم بالفعل في الدول النامية والتي تمر بمراحل انتقالية<sup>26</sup>. هذه الأجهزة تتوفر مع أجهزة كشف إضافية (بالقرب من الأشعة تحت الحمراء NIR) لتحديد نوع البوليمر (بتكلفة حوالي 33000 دولار أمريكي)، يمكن استخدامها لإنتاج جزيئات بوليمر نظيفة ذات قيم تسويقية أكبر. ويمكن أن تكون عملية تحديد نوع البوليمر يدوياً لإلغالي. يمرات نظيفة، خياراً جذاباً لاسترجاع عالي الجودة للبوليمرات في الدول النامية والتي تمر بمراحل انتقالية وكما يمكن الجمع بين هذه العملية وبين فصل البلاستيك المحتوى على الملوثات العضوية الثابتة من طراز لإثريات ثنائية الفينيل متعددة/مثبطات اللهب البرومينية. ويحتاج استخدام

<sup>26</sup> لم يتم توثيق المهام التي يتم استخدام الأجهزة من أجلها في جنوب أفريقيا والصين.

هذه التقنيات إلى مزيد من التقييم العملي<sup>27</sup>. وكبديل أيضاً، فإنه يمكن أن تستخدم هذه الأجهزة لتأكيد تقنيات فصل أخرى مثل الغرق والطفو أو الفصل اليدوي على أساس الخبرة (UNEP 2010a, b).

### مطياف الشرر المنزلق Sliding spark spectroscopy:

يصل الحد الأدنى للكشف عن البروم بهذه التكنولوجيا إلى 0.1%. ولأسباب تتعلق بعملية إعادة التدوير يتم ضبط النظام على نسبة 1% بروم للتعرف على البلاستيك المحتوى على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة/مبثبات اللهب البرومينية والتي تحتوي عادة على ما بين 3% - 20% من هذه المواد (Seidel 2010).

تستخدم أجهزة التحليل الطيفي للشرر المنزلق المحمولة في مصانع تفكيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية وغيرها من المجالات لفحص الهالوجينات في البلاستيك. ما يسمح للشركات بالتمييز بين المواد المحتوية على مثببات اللهب البرومينية المحتوية على الهالوجين وبين المواد الخالية من مثببات اللهب البرومينية تقريباً (الهالوجين). يستغرق وقت المسح بضع ثوان فقط و يحتاج الجهاز إلى اتصال مباشر مع سطح المادة، أما المواد المغلفة فتحتاج إلى خدش الطلاء المغلف لها.

يمكن لهذه الطريقة أيضاً التمييز بين أنواع البوليمر المختلفة في الأجهزة مزدوجة الوظيفة بما في ذلك التي تحتوي على أجهزة الكشف بالقرب من الأشعة تحت الحمراء. ولهذا فإنه يمكن بهذه الأجهزة ليس فقط فصل البلاستيك المحتوى على ملوثات عضوية ثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل/ مثببات اللهب البرومينية عن الغير محتوى عليها ولكن أيضاً تفكيك أنواع البوليمر من النفايات الإلكترونية ومنشآت إعادة التدوير في مرحلة التفكيك. كما ذكر أعلاه، ويجدر الإشارة إلى أنه يصعب التعرف على البلاستيك الأسود بواسطة أجهزة الكشف بالقرب من الأشعة تحت الحمراء.

### تكنولوجيا الأشعة السينية XRF:

قد تحتوي نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية التي تنشأ من إعادة التدوير على خليط من مثببات اللهب البرومينية المختلفة، بما في ذلك الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري، بمستويات من البروم تقدر ما بين 100-1000 جزء في المليون (Bantelmann et al., 2011; Chen et al., 2009, 2010; Sindiku et al., 2010). ولذلك فإن تكنولوجيا انتقال الأشعة السينية تعتبر هي الأكثر حساسية بما يكفي لتتبع هذه المواد.

وقد وصفت هذه التكنولوجيا في القسم 2-6. حيث يمكن استخدامها للكشف عن وفصل البلاستيك المحتوى على ملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة الفينيل مع حد اكتشاف البروم من 10 إلى 100 جزء في المليون. والوقت المطلوب للقياس عند الاستخدام هو أقل من دقيقة واحدة. ولكن بسبب ارتفاع التكلفة التي تصل إلى حوالي 30000 دولار أمريكي 50000 دولار أمريكي يصبح استخدامها في المشروعات الصغيرة محدوداً. وبما أن تكنولوجيا انتقال الأشعة السينية تحتاج إلى اتصال مباشر

<sup>27</sup> يمكن أن تحدد المشاريع الدولية بشأن إعادة التدوير نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية في / الدول النامية والتي تمر بمرحلة انتقالية ما إذا كان يتم استخدام هذه الأجهزة بالفعل لاختيار أنواع البوليمر وإذا كان هناك بالفعل أي خبرة في تحديد محتوى البروم في العمليات العملية.

مع سطح المادة، فإنه لا ينطبق استخدامها في أنظمة الفرز الآلي ولكنها تستخدم في مرحلة التفكيك وتحتاج المواد المغلفة لخدش الطلاء حتى يمكن إتمام الكشف.

### تكنولوجيا انتقال الأشعة السينية XRT:

تم وصف انتقال الأشعة السينية في المرفق 5. وقد تم تطويرها لفصل المواد ذات الكثافة البصرية المختلفة. وعلى النقيض من أداة الفحص المحمولة (الأشعة السينية XRF وتحليل مجال الشرر المنزلق SSS) المستخدمة عادة في محطات التفكيك، فإن هذه التقنية تهدف إلى فرز الخردة تلقائياً. الآلات الصناعية تقوم بفرز يصل إلى 1 طن من الخردة في الساعة. وتستخدم هذه التكنولوجيا في سويسرا لفصل البلاستيك المحتوى على الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل / مثبتات اللهب البرومينية عن تلك التي لا تحتوي عليها. وتلعب دوراً هاماً في محطات إعادة تدوير بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والالكترونية خاصة عند ارتباطها بالمنطقة القريبة من الأشعة تحت الحمراء.

تدعي أحد الشركات أن نظامها قادر على تنظيف وفصل جزيئات الألومنيوم، جزيئات زجاج أنبوب أشعة الكاثود (الخصائص مقابل غير الخصائص)، جزيئات الوقود المشتق من العادم (RDF) من المعادن والزجاج والبلاستيك، وإزالة المواد التي تحتوي على الهالوجين (Schlummer, 2011). وتوجد معلومات محدودة، مع ذلك، على نجاح فصل خليط نفايات الأجهزة الكهربائية والالكترونية وخردة البلاستيك.

ولا تعتبر تقنية انتقال الأشعة السينية تقنية قائمة بذاتها حيث أن أجزاء البرومين المختزلة الناتجة تحتاج إلى معالجة إضافية لإنتاج البوليمرات المعاد تدويرها والقابلة للتسويق. وتتوفر آلات الفرز على أساس انتقال الأشعة السينية في نطاق صناعي (على سبيل المثال واحدة من النظم القائمة تكلف حوالي 400.000 يورو).

### جهاز الرامان الطيفي:

تم تطوير جهاز تحليل رامان الطيفي لفرز وفصل البوليمرات المحتوية على متعدد البروم ثنائي الفينيل في اليابان (Tsuchida et al., 2009; Kawazumi et al., 2011). ويمكن للأجهزة التجريبية فرز 400 كجم من البلاستيك المقطع/ ساعة. والأداء العملي لهذه الأجهزة يحتاج إلى مزيد من التحقق قبل إعطاء أي توصيات.

### فصل البوليمرات عن طريق تكنولوجيا الغرق والطفو:

تظهر البوليمرات المختلفة أوزان مختلفة محددة، لذلك تسمح البيئات السائلة ذات الكثافات المناسبة بفصل اللدائن الحرارية إلى مجموعات مختلفة الكثافة. ويمكن تغيير ملوحة وكثافة البيئات عن طريق إضافة أملاح سائله مختلفة. ويمكن رفع الكثافة في حالة استخدام المياه على سبيل المثال إلى 15% عن طريق إضافة كبريتات المغنيسيوم. إضافات مثبتات اللهب البرومينية تزيد كثافة مواد الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين والمواد متعددة الايسترين عالي التحمل بشكل كبير عندما تضاف بتركيزات (< 3%). وإذا تمت المعالجة في بيئة سائله مناسبة فإن البوليسترين الخالية من البروم قد تطفو بينما البوليسترين المحتوي على البروم ستغرق، وبالتالي تنفصل البوليمرات التي تحتوي على البروم من البوليمرات الأخرى (Schlummer and Maeurer, 2006)

تم مؤخراً اختبار عملية الفصل على مرحلتين بنجاح في مشروع تعاوني الألماني (SpectroDense; InnoNet, 2009). وفيه تتم في البداية معالجة الخليط في سائل ذو كثافة حوالي 1100 كجم/متر مكعب فتطفو الجزيئات التي تتكون أساساً من متعدد بروبيلين ومتعدد الإيثيلين والبوليسترين الخالي من مثبطات اللهب البرومينية والأكريلونيتريل بوتادين ستايرين، بينما تغرق جزيئات الستايرين المحتوية على مثبطات اللهب البرومينية، ومتعدد أكسيد فينيلين البوليسترين ومتعدد الكربونات/الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين (كلاهما مثبطات لهب معتمدة على الفوسفات) ومثبطات اللهب الممتلئة بمتعدد بروبيلين. ثم يتم التعامل مع الأجزاء الطافية بالماء (كثافة 1000 كجم/متر مكعب) لفصل متعدد الايسترين عالي التحمل والأكريلونيتريل بوتادين ستايرين من متعدد بروبيلين ومتعدد الإيثيلين<sup>28</sup>. ويمكن فصل البوليمرات القيمة مثل الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين/متعدد الكربونات ومتعدد أكسيد فينيلين/البوليسترين الخالية من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل من الجزيئات الثقيلة بواسطة التقنيات القريبة من الأشعة تحت الحمراء، وهذه المواد تكون رمادية اللون في كثير من الحالات.

بالنسبة لبعض المدخلات المحددة للمواد التي يجري فصلها فإن تكنولوجيا الغرق والطفو تعمل علي فصل المنتجات فصلاً جيداً ونظيفاً جداً فيما يتعلق بالفصل بين المواد التي تحتوي على مثبطات اللهب البرومينية. فعلب التلفزيونات هي أساساً من متعدد الايسترين عالي التحمل. وحيث أن حوالي 30%<sup>29</sup> من الأغلفة في أوروبا تحتوي على مثبطات اللهب البرومينية فإن تقنية الغرق والطفو تعتبر وسيلة جيدة للفصل بينهما، وتعتبر بذلك عملية اقتصادية حيث ينتج منها كمية عالية من المواد الخالية من مثبطات اللهب البرومينية (Schlummer, 2011)، وتكون الكمية أكبر في إفريقيا (Sindik et al., 2009).

فيما يتعلق بمثبطات اللهب البرومينية، والملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل، فقد وجد أن تقنية الغرق والطفو لها كفاءة عالية في فصل لمواد المحتوية على مثبطات اللهب البرومينية عن الأنواع الغير برومينية من الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين ومتعدد الايسترين عالي التحمل (Schlummer and Maeurer, 2006). وتم استخدام نفس التقنية في فصل الأجزاء الغنية بمثبطات اللهب البرومينية، من أجزاء التلفزيونات والشاشات عن الأجزاء الفقيرة في مثبطات اللهب البرومينية المدرج إعادة تدويرها في السويد (Retegan et al., 2010). أحد التحديات لتكنولوجيا الغرق و الطفو هو أن أجزاء من متعدد الايسترين عالي التحمل/متعدد أكسيد فينيلين (1150 كجم/م<sup>3</sup>) والأكريلونيتريل بوتادين ستايرين/متعدد الكربونات (1180 كجم/م<sup>3</sup>) تتواجد في مثبطات اللهب المحتوية على الفوسفور ويجب النظر في الإستراتيجية الشاملة لفصلها (أنظر أدناه).

أما فيما يتعلق بالبلاستيك من الأجهزة الإلكترونية الصغيرة والبلاستيك المختلط من إعادة تدوير نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية المختلفة، فإن تقنية الغرق والطفو يمكن أن تنتج جزيئات بلاستيك خالية من البروم تتكون في معظمها من الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين والبوليسترين وبما في ذلك متعدد الايسترين عالي التحمل ومتعدد الأوليفينات. ويصعب الحصول

<sup>28</sup> يمكن زيادة هذه الخلائط الثنائية واحد عن الآخر بواسطة الكهرباء أو الفصل بمنطقة الأشعة القريبة من الأشعة الحمراء.

<sup>29</sup> محتوى مثبطات اللهب البرومينية سوف يعتمد على المنطقة وتشريعات معايير القابلية للاشتعال - ففي الولايات المتحدة / كندا معظم الأغلفة تحتوي على مثبطات اللهب.

على البوليمرات ذات الجودة العالية المناسبة مع سعر السوق كمنتج جيد بسبب وجود كمية كبيرة من البلاستيك الأسود في الأجزاء المنخفضة البروم، والتي تحول دون الفصل بتقنية المنطقة القريبة من الأشعة تحت الحمراء مما يمثل تحدياً. وحالياً، لا يسمح العائد من هذه التقنيات عادة باسترجاع البوليمرات بصورة اقتصادية. وبالتالي ما لم يمكن تحويل الجزء الخالي من البروم إلى بلاستيك عالي القيمة لإعادة تدويره، فإنه يصبح من غير المرجح أن يتم استخدام تقنية الغرق والطفو على نطاق واسع. ومن المفهوم أن الشركات لن ترغب في استخدام تقنية فصل لإنتاج منتج ما قد ينتج عنه اثنين من النفايات الجديدة دون إضافة قيمة إلى مخرج الإنتاج (Schlummer, 2011).

### 3.3.4 مزيج من التقنيات لإنتاج منتجات قابلة للتسويق:

أي من التقنيات الفردية المذكورة أعلاه ليست لها القدرة على فصل البلاستيك المختلط من نفايات الأجهزة الكهربائية: لضمان أن يتم فصل البلاستيك إلى أجزاء من البوليمر قابلة للتسويق، و في نفس الوقت، يتم فصل المواد البلاستيكية التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل من طراز مثبتات اللهب البرومينية. ولذلك، يجب استخدام مزيج من التقنيات في المعالجة العملية.

وبالإضافة إلى ذلك، لا توجد تقنية تحقق الفصل بنسبة 100٪، مما يؤدي إلى وجود بعض مستويات من متبقيات الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل غير المقصودة المتبقية في الجزء المراد خلوه من البروم. وفي حالة الفرز اليدوي فإن هذا يرجع إلى أخطاء العاملين، أما النظم الآلية فكفاءة الفرز باستخدام القضبان (الأعمدة) النافخة لها حدود ونقاء الجزيئات فيها عادة يكون أقل من 95٪.

يصف هذا القسم سلاسل العملية، التي تشمل خطوات مناسبة (من حيث المبدأ) لفصل الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل من طراز مثبتات اللهب البرومينية تليها التكنولوجيات التي تركز على فصل البوليمر وتطوير الأجزاء (قسم 4-3-5 يوضح المحطات الموجودة). وتستند عملية التركيب فقط على الاعتبارات التقنية ولا تأخذ في الاعتبار الجدوى الاقتصادية، والتي قد تتفاوت تفاوتاً كبيراً في مختلف الدول. ولذلك تحسب التكاليف المحلية والإيرادات لمجموعات مختلفة من التكنولوجيات.

### التفكيك بالمنطقة القريبة من الأشعة تحت الحمراء، الغرق والطفو (فصل الكهرباء الساكنة):

تسترجع مواقع التفكيك عادة زجاج أنبوب أشعة الكاثود من شاشات الحاسب الآلي. لأن هذه المنتجات تحتوي على علب بلاستيكية كبيرة إلى حد ما، وهي في معظم الحالات التي تتكون من البوليسترين والأكريلونيتريل بوتادين ستايرين أو مزيج من هذه البوليمرات مع الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين/متعدد الكربونات أو متعدد أكسيد فينيلين (متعدد أكسيد فينيلين/البوليسترين)، يمكن أن ينتج جزء من البوليمر من تفكيك هذه العناصر بناء على عملية إعادة تدوير الزجاج المعمول بها بسهولة. فبعد عملية التحطيم الخشنة، يمكن فصل نفايات البلاستيك إلى أجزاء البوليمر التالية بالأشعة القريبة من الأشعة تحت الحمراء على الانترنت: خفيف البوليسترين، والأكريلونيتريل بوتادين ستايرين خفيف، متعدد الكربونات خفيف والأكريلونيتريل بوتادين ستايرين/متعدد الكربونات خفيف ومتعدد بروبيلين خفيف، والبوليسترين/متعدد أكسيد فينيلين الخفيف والمواد الداكنة التي لا يمكن التعرف عليها عن طريق الأشعة القريبة من الأشعة تحت الحمراء

يحتوي البوليسترين الخفيف، والأكريلونيتريل بوتادين ستايرين خفيف، والأجزاء الداكنة على الأرجح على كميات أكبر من مثبتات اللهب البرومينية، والتي يمكن فصلها بتقنية الغرق والطفو عند تنفيذ مرحلتين للفصل في بيئات سائلة بكثافة حوالي 1000 وبحجم 1100 كجم/م<sup>3</sup>. وتعتمد تقنية الغرق والطفو على حقيقة أن مادة الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين الغنية بمثبتات اللهب البرومينية الغنية والبوليسترين تظهر كثافة أعلى بكثير بالمقارنة مع مثبتات اللهب غير البرومينية والغير محتوية على الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين و البوليسترين.

وبما أن كثافة الجزء المظلم 1000-1100 كجم/م<sup>3</sup> كان من المخطط له أن يحتوى على الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين والبوليسترين، فإن فصلهما لاحقاً يفضل ويمكن أن يتم عن طريق الفصل الكهربائي. هذه الطريقة متاحة على نطاق صناعي وتعمل بصورة أفضل مع المخاليط الثنائية البلاستيك المجففة أيضاً. يتم في هذه العملية تغذية خليط البلاستيك عن طريق الناقل الهزاز في وحدة تسمى الشحن بالاحتكاك الكهربائي. يتم شحن البلاستيك المتنوع انتقائياً وفقاً للمادة، وتحمل بشحنة موجبة أو سالبة. بعد الشحن يصل خليط البلاستيك حقل توتر شديد حيث يتم فصل مكوناته كهربياً إلى جزئيات نقية مصنفة وفقاً لشحنتها: فتتجذب الجسيمات الموجبة للقطب السالب، والعكس بالعكس.

#### **التفكيك بالغرق والطفو (فصل الكهربائي الساكنة):**

تعمل مواقع التفكيك غالباً لاسترجاع أنبوب أشعة الكاثود من أجهزة التلفزيون. وحيث أن التليفزيونات تشمل أغلفة بلاستيكية كبيرة تتكون في الغالب من البوليسترين ونادراً من الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين أو متعدد بروبيلين، فإن الأفراد المشتغلين بالتفكيك من السهولة لهم إنتاج جزء من البوليمير من هذه الأجزاء لتكملة عملية إعادة تدوير الزجاج. وقد أظهرت الأبحاث الحديثة أنه من الممكن تقليل كمية مثبتات اللهب غير البرومينية/الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين في هذا الجزء إلى أدنى حد ممكن من خلال التدريب المناسب. وهذا هو الهام في الأمر، وبعد عملية الطحن يتم فصل الأجزاء الغنية بالبوليسترين إلى جزء غني من مثبتات اللهب البرومينية، وآخر خال من مثبتات اللهب البرومينية عي طريق تقنية الغرق والطفو. وبما أن الجزء داكن الكثافة 1000-1100 كجم/م<sup>3</sup> يحتوي على الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين والبوليسترين فإنه يفضل فصلهما، ويمكن أن يتم ذلك بالفصل الكهربائي الساكن. هذه الطريقة متاحة على نطاق صناعي وتطبق على نحو أفضل مع المخاليط الثنائية والبلاستيك المجفف جيداً (Hamos, 2012; Wersag, 2012; ) أنظر الجدول 1-4.

#### **الفصل بتقنية غرق وطفو الأجزاء المقطعة بالكهرباء الساكنة:**

يجب أن يمر البلاستيك المقطع لنفايات الأجهزة الكهربائية والالكترونية المختلطة (خاصة نفايات الأجهزة الكهربائية والالكترونية) بخطوات إزالة المعادن الحديدية وغير الحديدية والغبار قبل التعامل معه بتقنية الغرق و الطفو ذات المرحلتين في بيئات سائلة بكثافة 1100 كجم/م<sup>3</sup> و 1000 كجم/م<sup>3</sup>. وتهدف العملية لجعل الجزء الأصغر من 1000 كجم/م<sup>3</sup> مخصب بكميات أقل من متعدد الايثيلين. ويعتبر جزء الكثافة الوسطي خالي من مثبتات اللهب البرومينية والأكريلونيتريل بوتادين ستايرين و البوليسترين وبه أنواع من متعدد بروبيلين أيضاً. وقد تفصل هذه الجزئيات فيما بعد بالفصل الكهربائي (Hamos, 2012; Wersag, 2012) أنظر الجدول 1-4.



### التحليل الطيفي المقطع بانتقال الأشعة السينية:

يتم استرجاع جزء من البلاستيك من نفايات الأجهزة الكهربائية والالكترونية المختلطة في مصانع معالجة نفايات الأجهزة الكهربائية والالكترونية بمجموعة عمليات من التحطيم والطحن وعمليات الفصل الميكانيكي. وبما أن هذا الجزء يكون في حجم أقل من 20 مم، لذا يصبح من المطلوب استخدام آليات شبكة المعلومات (الانترنت) بدلا من عمليات الفصل اللازمة لتطوير المزيد من هذا الجزء لاسترجاع البوليمر.

تتم إزالة البروم والكلور عن طريق تكنولوجيا انتقال الأشعة السينية عبر الانترنت لإنتاج جزء منخفض في محتوى البروم من البلاستيك المختلط والمؤلف من أنواع بوليمرات تصل إلي 16 نوع. ويمكن استرجاع أنواع بوليمرات رئيسيه هي البوليسترين، الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين، ومتعدد بروبيلين باستخدام الأشعة القريبة من الأشعة تحت الحمراء عبر الانترنت، ولكن هذا الأسلوب يقتصر على جزيئات المواد الخفيفة، والتي للأسف لا تمثل جزءا كبيرا من بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والالكترونية.

قام كلا من Fraunhofer IVV من فريزنج وUnisensor من كارلسروخ بالمانيا باختبار تجريبي واختبار تحسين تقنية جديدة للفرز الآلي تعتمد على التحليل الطيفي بالليزر. وتشير النتائج حتى الآن بوضوح إلي أن هذه التقنية قادرة على فصل أنواع بوليمرات عديدة من خليط البلاستيك المقطع تلقائياً بمعدلات إنتاجية عالية (~ 1 طن/الساعة). يمكن لأطياف الليزر (على النقيض من الأشعة القريبة من الأشعة تحت الحمراء تحديد المواد البلاستيكية السوداء والداكنة وبالتالي قد تصبح التكنولوجيا الرئيسية لتحويل البلاستيك الخالي من مثبطات اللهب البرومينية إلي أجزاء تسويقية مصنفة على أساس نوع البوليمر. هناك دراسات أخرى تركز علي تعريف مثبطات اللهب البرومينية بأطياف الليزر عن طريق استخدام معدلات الإنتاجية عالية مقارنة ( Schlummer, 2011; Unisensor, ) (2012).

### 4.3.4 مقارنة بين التقنيات لفصل تيارات البوليمر:

يظهر جدول 4.1. مجموعات عملية من التكنولوجيات المستخدمة لفصل المواد البوليمرات لمواد المدخلات المختلفة وكمية الناتج الممكن، ووضع التنمية والاقتصاد أو الأنظمة التجارية المتاحة في الجدول 4-1.

جدول 4-1: أشكال تقنيات الفصل، ومواد المدخلات والمنتجات، وحالة التنمية والملاحظات ذات الصلة على الاقتصاد

المرجع	الاقتصادية	مدى التطور	المنتجات الخالية من مثبطات اللهب البرومينية	المدخلات المناسبة	التشكيل
Schlummer (2011)	الاقتصاد يعتمد على العائد من المنتجات الخالية من مثبطات اللهب البرومينية	معتمدة	الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين، البوليسترين	البلاستيك من تفكيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية	الفصل بتقنية الغرق والطفو الأجزاء المقطعة (بالكهرباء الساكنة)
Schlummer (2011)	معتمدة	معتمدة	متعدد الايسترين عالي التحمل	أغلفة التلفزيونات	التفكيك بالغرق والطفو (فصل الكهرباء الساكنة)
	غير معتمدة في الدول الصناعية	معتمدة	الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين، البوليسترين، الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين- المتعدد الكربونات	البلاستيك من تفكيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية	التفكيك بالفرز اليدوي (الغرق والطفو )
Hamos (2012) Wersag GmbH (2012)	يعمل النظام بنجاح في wersag AG (Großschirma) ألمانيا	معتمدة	الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين، البوليسترين، متعدد بروبيلين	نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية المختلطة (الأجهزة الصغيرة)	التقطيع بالغرق والطفو (فصل الكهرباء الساكنة)
Schlummer (2011) Unisensor (2012)	لا توجد معلومات	معتمدة	البوليمرات الخالية من مثبطات اللهب البرومينية و متعدد الفينيل الكلور	نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية مختلطة	التحليل الطيفي المقطع باننتقال الأشعة السينية

#### 5.3.4 المحطات (الوحدات) كاملة النطاق لفصل المواد البلاستيكية لنفايات الأجهزة الكهربائية والملوثات العضوية

الثابتة المحتوية على متعدد البروم ثنائي الفينيل:

الجدول 2-4: بعض محطات معالجة نفايات الأجهزة الكهربائية والملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل.

الجدول 2-4: محطات المعالجة كاملة النطاق لفصل المواد البلاستيكية لنفايات الأجهزة الكهربائية والملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل.

المرجع	مرحلة التطور*	إزالة الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل/مثبطات اللهب البرومينية	كفاءة البوليمرات المفصولة	البوليمرات المفصولة	تقنية الفصل	مدخلات النفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية
MBA Polymers (2012)	على نطاق صناعي	نعم جزيئات مرمدة غنية بمثبطات اللهب البرومينية	جيدة (عملاء محددين)	الأنواع المنخفضة مثبطات اللهب البرومينية من الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين، متعدد الايسترين عالي التحمل ومتعدد بروبيلين	لم يكشف عنها	بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية المختلط (النمسا والصين)
RUAG Technology (2012)	على نطاق صناعي	نعم	جيدة	بوليمرات خالية من مثبطات اللهب البرومينية و متعدد الفينيل الكلور	انتقال الأشعة السينية	الأجهزة الكهربائية والإلكترونية الصغيرة، الأدوات البيضاء (سويسرا)
Morton (2007)	على نطاق صناعي	نعم	جيدة	الأنواع المنخفضة مثبطات اللهب البرومينية الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين ومتعدد الايسترين عالي التحمل	لم يكشف عنها	بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية (انجلترا)
Wersag GmbH (2012)	على نطاق صناعي	نعم	جيدة	الأنواع المنخفضة مثبطات اللهب البرومينية ومتعدد بروبيلين، الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين، متعدد الايسترين عالي التحمل	لم يكشف عنها (تشمل الغرق والطفو/الكهرباء السائكة)	بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية (ألمانيا)
Retegan et al. (2010)	على نطاق صناعي	نعم	جيدة	الأنواع المنخفضة مثبطات اللهب البرومينية الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين ومتعدد الايسترين عالي التحمل	يدوى، لم يكشف عنها	أغلفة الحاسبات والتلفزيون (السويد)
Adamec Recycling (2012)	على نطاق صناعي	نعم	لم تعتمد بعد	مثبطات اللهب البرومينية والبوليمرات الخالية من متعدد الفينيل الكلور	طحن متتالي وانتقال الأشعة السينية	نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية مختلطة (ألمانيا)

(UNEP 2010a with modifications)

#### 4.4 استرجاع الطاقة وإدارة نهاية الحياة للبلاستيك المحتوى على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم

##### ثنائية الفينيل:

استرجاع الطاقة في المحارق بأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية المناسبة أو ربما في منشآت حرارية أخرى بأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية<sup>30</sup> يوفر خيارات استرجاع الطاقة ويوفر أيضا خيار استرجاع المواد من البلاستيك المحتوى على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل. وسيتم وصف المعالجة والتقنيات المتطلبات اللازمة في الفصل السابع.

وسيرد وصف اعتبارات أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لدفن المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في الفصل 8 والمرفق 3. وكما تمت الإشارة سابقا في (القسم 3.3)، فإن هذا الخيار هو الأقل حفا في اعتبارات دورة الحياة لان الملوثات العضوية الثابتة لا يتم تحطيمها ولكن فقط تخزن للجبل القادم.

#### 5. أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية المحددة: الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية

##### الفينيل/مبثبات اللهب البرومينية/في قطاع النقل:

يعتبر قطاع النقل (السيارات والحافلات والشاحنات والقطارات والسفن<sup>31</sup> والطائرات) واحد من أكبر تدفقات المواد وتيار النفايات علي المستوي العالمي. ويعد الاستخدام الرئيسي للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل هو فوم المتعدد البوريثان في قطاع النقل. ويتم استخدام الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري في المفروشات والمخدات، والمقاعد والأسقف، واستخدامات أخرى تتعلق بطلاء النسيج الخلفي. كما تم استخدامه في قطع من البلاستيك مثل لوحات أجهزة القياس لعجلة القيادة. ويمكن اعتبار قطاع النقل هو المخزن الأكبر ومصدر إعادة استخدام/إعادة تدوير الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل بسبب طول عمر السيارات نسبياً (وبخاصة في الدول النامية) وإعادة استخدامها وارتفاع معدل التصدير.

تشمل الملوثات العضوية الثابتة في المركبات عند نهاية العمر مركب ثنائي الفينيل متعدد الكلور (PCBs)<sup>32</sup> وثنائي بنزوباراديوكسين متعدد الكلور/ثنائي بنزوفوران متعدد الكلور وفقا للمبادئ الإرشادية لاتفاقية ستوكهولم لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لعام 2007 (Vermeulen et al., 2011). ومن المواد الخطرة الأخرى الموجودة في المركبات عند نهاية العمر هي المعادن الثقيلة، مثل النحاس والكاديوم والنيكل والرصاص والزنك، والتي تحتاج أيضاً للأحد في الاعتبار عند التقييم السليم لإدارة النفايات النهائية لبقايا تقطيع السيارات. وتصنف بقايا تقطيع السيارات في بعض الدول على أنها نفايات خطرة

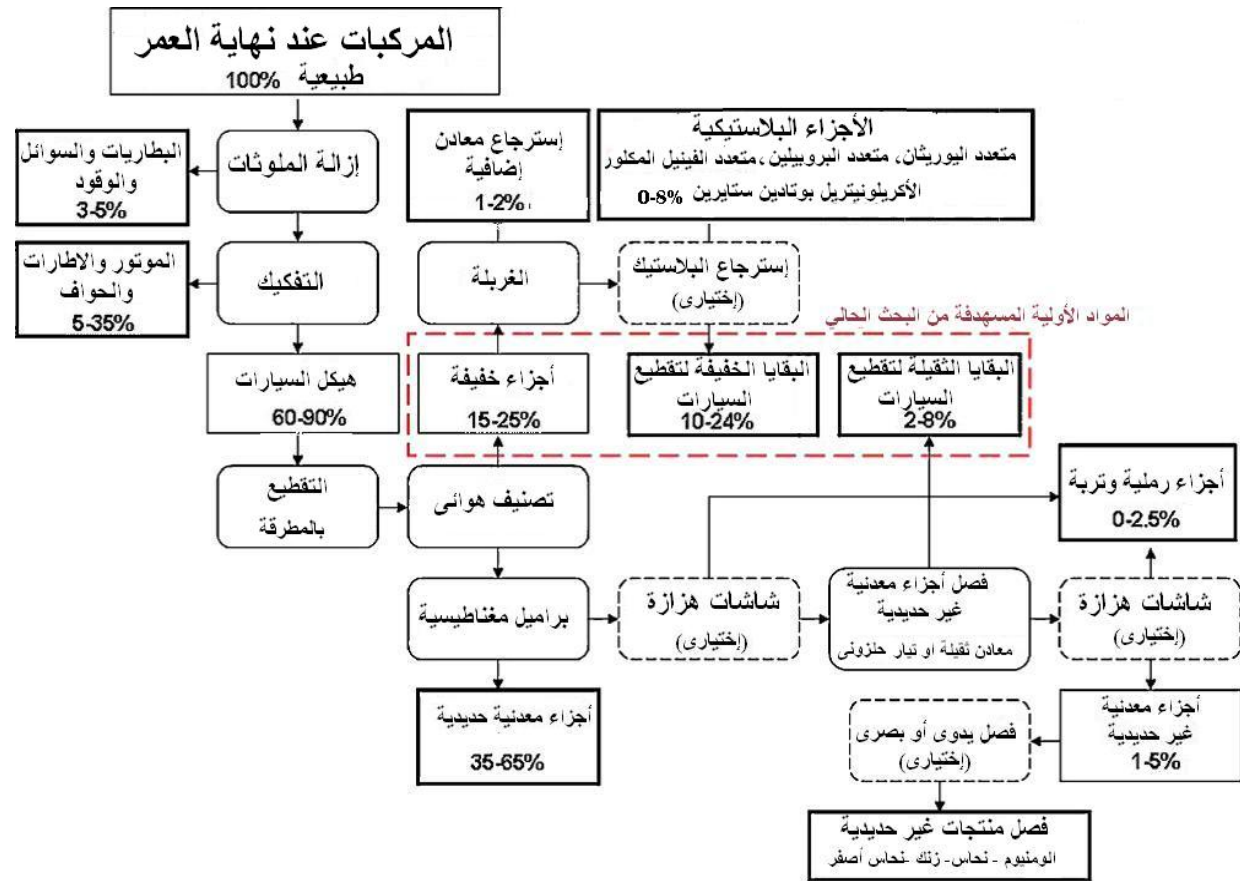
<sup>30</sup> يؤخذ استرداد المواد للمعادن في نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية في الاعتبار بما في ذلك التجهيز المشترك لحصة من جزء البوليمر.

<sup>31</sup> يتم تناول تفكيك السفن في اتفاقية بازل (<http://www.basel.int/ships/index.html>)

<sup>32</sup> البيانات المتاحة تشير إلى أن ثنائي الفينيل متعدد الكلور المنبعث من مصانع التقطيع ينتج من الإنتاج الصناعي / المتعدد لثنائي الفينيل متعدد الكلورة وأدخلت مع الزيوت والسوائل العازلة للكهرباء وغيرها والموجودة في السيارات أو على الأرجح الموجودة أكثر في السلع الاستهلاكية المقطعة، خاصة السلع البيضاء (إرشادات أفضل التقنيات المتاحة / أفضل المعاملات البيئية لاتفاقية ستوكهولم).

بسبب هذه الملوثات، وقد تم وضع ضوابط تشريعية لها. وذكر أن مجموع تركيزات المعادن (الثقيلة) في بقايا تقطيع السيارات يصل إلى 22% (Lanoir et al., 1997; Vermeulen et al., 2011) كما تحتوي أيضاً على مستويات عالية من الكلور - تصل من 1 وزن% إلى 4% وزن - ويرجع ذلك أساساً إلى وجود متعدد كلوريد الفينيل أو مطاط الهالوبنيل (Boughton, 2007; Vermeulen et al., 2011) وتحتوي أيضاً على الزيوت المستعملة، والمواد المستنفدة لطبقة الأوزون (ODS) مثل المبردات ومركبات الكلورو فلوروكربون والمركبات المناخية النشطة مناخياً مثل مركبات الكربون الهيدرو فلورية، والتي تحتاج إلى مرحلة محددة قبل المعالجة قبل الوصول إلى خطوة التقطيع.

وقد بدأت الدول النامية مؤخراً في تنفيذ تدابير أفضل المعاملات البيئية لإدارة المركبات عند نهاية العمر. أحد مناهج أفضل المعاملات البيئية هو مفهوم ميكانيكا القرية صديقة البيئة التي تعالج إدارة النفايات من إصلاح المركبات عند نهاية عمرها (Nwachukwu et al., 2011).



(Vermeulen et al., 2011)

الشكل 1-5: رسم تخطيطي لتجهيز المركبات عند نهاية العمر

## 1.5 إعادة استخدام المركبات التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة:

إصلاح وإعادة استخدام هذه المركبات هو الحل المفضل لإدارة المركبات في نهاية عمرها عند أخذ التسلسل الهرمي لإدارة النفايات في الاعتبار. فإعادة الاستخدام يوفر طاقة تصنيع جديدة ويتلافى الأثر البيئي لإنتاج مواد خام جديدة، وهو أمر هام خاصة بالنسبة لتدفقات المواد المكثفة التي من هذا القبيل.

فمنذ أن انتهى استخدام الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في معظم المناطق قبل عام 2000 (على سبيل المثال أوروبا وآسيا<sup>33</sup>)، وكمية كبيرة من هذه المركبات لا تستخدم في الكثير من الدول الصناعية ولكن وصلت لنهاية العمر أو قد تم تصديرها إلي الدول النامية/الدول التي تمر بمراحل انتقالية. ولذلك لا يتأثر قطاع إعادة استخدام المركبات في الدول الصناعية في هذه المناطق بشكل كبير بالملوثات العضوية الثابتة (Morf et al., 2003). تعطي أمريكا الشمالية رعاية خاصة للمركبات حيث كان يستخدم الإثير ثماني وخماسي البروم ثنائي الفينيل حتى عام 2004 في أكبر حجم لمعدلات الاستخدام للملوثات عضوية ثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (أنظر الفصل 2)

في الدول النامية، حيث تستخدم السيارات لعشرات السنين، مازالت العديد من السيارات قيد الاستخدام منذ فترة السبعينات والثمانينات والتسعينات (دليل الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل)، يمكن أن تكون الملوثات العضوية الثابتة بقطاع النقل في هذه المناطق ذات أهمية خاصة. ويمكن أن يتعرض لها الإنسان وخاصة سائقي سيارات الأجرة أو السائقين المهنيين، وخاصة بالنسبة للمركبات القديمة التي تحتوي على فوم المتعدد يوريثان بالأخذ في الاعتبار نتائج دراسات التعرض الموحدة (Imm et al., 2009; Stapleton et al., 2008, Betts, 2003). ولذلك لا ينصح بإعادة استخدام المركبات التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة.

## 2.5 معالجة وإعادة تدوير المركبات عند نهاية العمر

تحتوي المركبات عند نهاية عمرها على مواد ذات قيمة (المعادن على وجه الخصوص)، وبالتالي فإن معدل إعادة تدويرها دائما ما يكون عالياً (حوالي 70%). وبنبغي إلا يتم التغاضي عن الأثر البيئي للجزء غير المعاد تدويره منها، لأنه غالبا ما يظهر خصائص خطيرة نظراً لوجود الزيوت ومواد التشحيم، والمعادن الثقيلة، والملوثات العضوية الثابتة (Vermeulen, 2011) والكثير منها اليوم قد يحتوي على المواد المستنفدة للأوزون ومكثفات الهواء و/أو غازات دفيئة (غازات الاحتباس الحراري) وبالتالي فإن خطوة تفكيك وإزالة التلوث (أنظر القسم 1.4.5) لها أهمية حاسمة للإدارة السليمة بيئياً للمركبات في نهاية العمر عادة ما ينتهي الأمر بالمواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة في نهاية المطاف في بقايا تقطيع السيارات (أنظر الشكل 5-1). وعادة يتم فصل بقايا تقطيع السيارات إلي "بقايا تقطيع السيارات الخفيفة" و "بقايا تقطيع السيارات الثقيلة" حيث يتواجد فوم متعدد اليوريثان في بقايا تقطيع السيارات الخفيفة ويشكل 4% إلي 20% من هذه النسبة (أنظر الشكل 5-2).

<sup>33</sup> يوجد عدم يقين بشأن إنتاج استخدام الأثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري في الصين

عادة لا تخضع مخلفات التقطيع الخفيفة للمركبات عند نهاية العمر في الدول الصناعية لإعادة تدويرها ولكن إلي التحطيم الحراري أو استرجاع الطاقة (أنظر الفصل 7) أو التخلص منها في مدافن النفايات (أنظر الفصل 8 والمرفق 3).

وقد أدخلت بعض الدول الصناعية تشريعات تتطلب إعادة التدوير لخصص من المركبات عند نهاية العمر وغيرها من المواد، على سبيل المثال قدمت الحكومة اليابانية قانون إعادة تدوير المركبات عند نهاية العمر (قانون تدوير المركبات عند نهاية العمر) في عام 2002، الذي يتطلب مصنعين لاسترجاع مركبات الكربون الكلورية فلورية، الوسائد الهوائية، و بقايا تقطيع السيارات من المركبات عند نهاية العمر وإعادة تدوير المواد المتبقية بشكل صحيح. وقد أدخلت أوروبا التعليمات بوجوب إعادة تدوير ما قيمته 95% من المركبات في نهاية العمر بداية من عام 2015 وصاعدا (المفوضية الأوروبية، 2010). وفي الآونة الأخيرة، تقوم بعض المنشآت بتدوير أجزاء البوليمر كما هو موضح أدناه.

### 1.2.5 تفكيك وإزالة التلوث من المركبات:

من الضرورة إزالة كل الأجزاء الخطرة والسامة من المركبات عند نهاية العمر قبل تفكيكها. ويمكن أيضاً إزالة السوائل، مثل زيت الفرامل السائل والبنزين وسوائل التوجيه، زيت المحركات والمبردات (غازات الدفيئة، غازات الاحتباس الحراري) وكذلك سوائل الانتقال وغيرها من الأجهزة قبل التقطيع. وينبغي إيلاء اهتمام خاص بالمحولات والمكثفات. ويرد وصف أكثر تفصيلاً في تدابير المبادئ الإرشادية لأفضل التقنيات المتاح/أفضل المعاملات البيئية في اتفاقية ستوكهولم، مرفق (ج) للمواد الكيميائية (Stockholm Convention, 2007)

توفر خطوة إزالة الملوثات خياراً لإزالة المواد التي تحتوي الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل إلي أن يتم لها مزيد من المعالجة. ويمكن فصل هذه المواد باستخدام تقنيات فحص البروم (أنظر القسم 6-3) لاسيما إذا ما اخذت البوليمرات غير المتأثرة في الاعتبار في عملية إعادة تدوير المواد.

في خطوة التفكيك، تتم إزالة مكونات قابلة لإعادة الاستخدام وإعادة التدوير، مع التركيز بشكل خاص على مكونات بقيمة السوق الكافية أو التي تحتوي على مواد ذات قيمة (مثل المحولات الحفازة). الجدول 5-1 يوضح أجزاء من المركبات عند نهاية العمر التي يمكن إعادة تدويرها بسهولة، مشيراً أيضاً إلي المنتجات النهائية المحتملة.

بشكل عام، يمكن إزالة 5 - 35% من كتلة المركبات عند نهاية العمر لإعادة استخدامها أو إعادة تدويرها، وهذا يتوقف على عمر هذه المركبات، والقيمة التسويقية للأجزاء المزالة، وتكاليف العمالة اللازمة لإزالة هذه الأجزاء (Vermeulen et al., 2011). وهناك فرق كبير بين الدول الأوروبية حيث يتم فيها إزالة حوالي 5-10% فقط من كتلة المركبات عند نهاية العمر خلال التفكيك، وبين كوريا الجنوبية حيث تتم إزالة تصل إلي 35% من كتلة والمركبات عند نهاية العمر خلال هذه المرحلة (Ferrão et al., 2006; Joung et al., 2007; Forton et al., 2006) وهذا ما يدل على الإمكانيات الكبيرة الممكنة في خطوة التفكيك كإجراء لأفضل المعاملات البيئية.

وينبغي أن يتم الوصول للحد الأدنى من التعرض للملوثات (بما في ذلك الملوثات العضوية الثابتة) بواسطة إجراءات مناسبة (مثل تقليل الغبار المتولد) واستخدام أجهزة الوقاية الشخصية المناسبة.

#### الجدول 5-1: القطع التي يمكن إعادة تدويرها من المركبات عند نهاية العمر

الجزء	المادة	الصورة المعاد تدويره إليها
الشباك	الزجاج	البلاط
المقاعد	الفوم والألياف	مواد مانعة للصوت في المركبات
الجسم والهيكل والأغطية والأبواب	الحديد	أجزاء السيارات ومنتجات حديدية عامة
سرج الأسلاك	النحاس	النحاس ومنتجات هندسية (تعزيز الألمونيوم)
المضخة	راتنجات	المضخات والأجزاء الداخلية وصندوق الأدوات.. الخ
شبكة تبريد الهواء (الريداثير)	نحاس والومنيوم	السبائك المعدنية ومنتجات الالومنيوم
المبرد والمحرك وزيت التروس	الزيت	وقود بديل للغلايات والمحارق
ناقل الحركة	الحديد والالومنيوم	منتجات الحديد والالومنيوم بشكل عام
المحول التحفيزي catalytic converter	معادن معينة	المحولات التحفيزية أو معدن محدد مثل البلاتينيوم
الإطارات	المطاط	المواد الخام واسترجاع الطاقة (محارق الاسمنت)

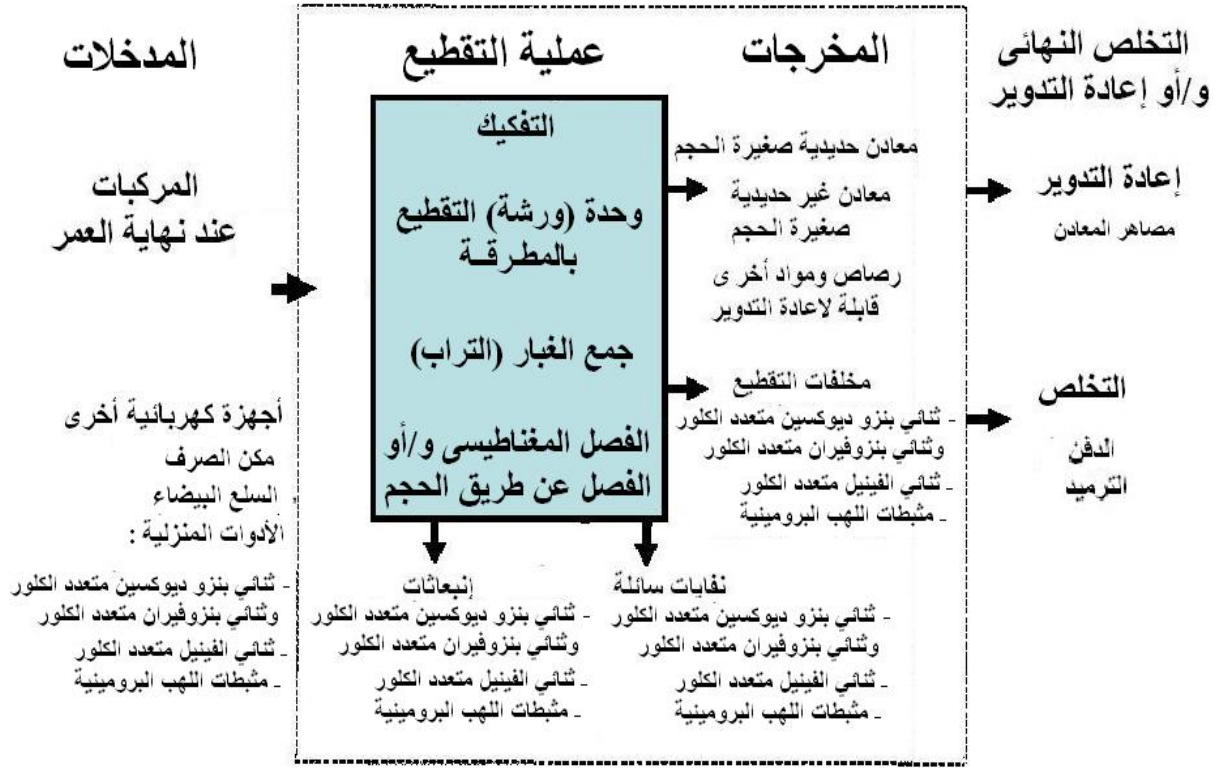
(Zameri and Saman; 2006; Vermeulen et al., 2011)

#### 2.2.5 مصانع التقطيع

مصانع التقطيع لمعالجة المركبات عند نهاية عمرها مرفقة في المرفق (ج) من اتفاقية ستوكهولم كمصادر لديها القدرة على تكون وانطلاق (انبعاث) الملوثات العضوية الثابتة المنتجة بدون قصد ولذلك فقد تم وصفها في المبادئ الإرشادية لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية (ستوكهولم اتفاقية 2007، الفئة ك الجزء المصدر 3) ويظهر لمحة عامة عن العملية في الشكل 5-2.



## محطة التقطيع لمعالجة المركبات عند نهاية العمر

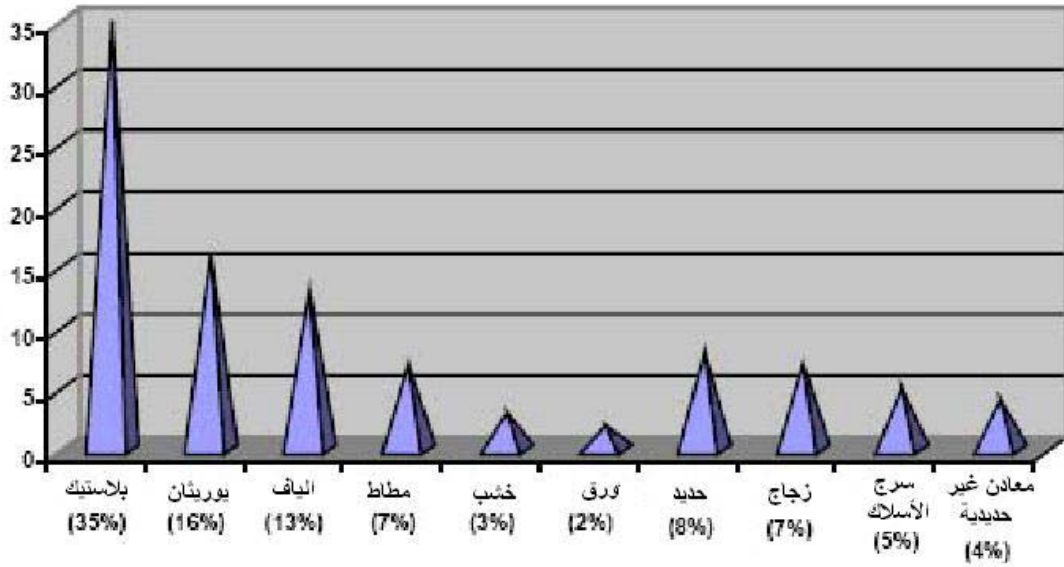


### محطة التقطيع

(Stockholm Convention, 2007)

الشكل 2-5: لمحة عامة عن عملية التقطيع

تصنع العديد من مكونات السيارات من معادن غير حديدية، مثل الألمونيوم والنحاس والزنك. يتم استخدام الفصل المغناطيسي لإزالة جزء من المغناطيسية الحديدية عن المواد الأخرى في عملية التقطيع. وعادة يتم تصنيف المعادن الغير حديدية مثل النحاس والألمونيوم، وفي مرحلة لاحقة يتم الفصل على أساس بصري. وما يتبقى هو بقايا تقطيع السيارات ويقدر بما يتراوح بين 15% و30% من وزن المركبات عند نهاية عمرها (Stockholm Convention, 2007; Vermeulen et al., 2011). تتكون بقايا تقطيع السيارات من ألياف، وزجاج ومطاط وسوائل سيارات وبلاستيك، وفوم متعدد اليوريثان والأوساخ (أنظر الشكل 3-5) عادة ما تفصل فيما يلي "الجزئي الخفيف" (المحتوي على فوم متعدد اليوريثان و معظم المنسوجات والبلاستيك) و"الجزئي الثقيل" (أنظر الشكل 1-5). وبما أن مصانع التقطيع يمكن أن تولد الغبار وأشياء أخرى (بما في ذلك الملوثات المذكورة أعلاه) فإنه يمكن أن تستخدم أجهزة الوقاية الشخصية المناسبة.



(Stockholm Convention, 2007)

الشكل 3-5: تركيب النفايات المقطعة

### 3.2.5 إعادة التدوير من خلال إزالة التلوث تحسين وتقنيات ما بعد التقطيع:

كما ذكر في القسم 5-2-1، فإنه يمكن إعادة تدوير كمية كبيرة من المواد. وعادة لا تدرج المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (متعدد اليوريثان و البلاستيك و/النسيج الداخلي) في قائمة المواد التي يجري إعادة تدويرها (أنظر الجدول 5-1). ونظرا لزيادة الضغط على إعادة تدوير المواد، فسوف تدخل كمية أعلى من نسبة البوليمرات لإعادة تدويرها في المستقبل. وفقا فيراو في عام 2006 (Ferraõ et al. 2006) فإن الهدف الرئيسي هو زيادة إعادة تدوير البوليمرات من بقايا تقطيع السيارات هو والهدف فمثلا فإن الهدف الأوروبي هو إعادة تدوير واستخدام 95% بحلول عام 2015. وحيث يتزايد استخدام البوليمرات في السيارات، فإن الجزء سيصبح أكثر أهمية في المستقبل. وقد وضعت لذلك عدة وسائل لأفضل التقنيات المتاحة / أفضل المعاملات البيئية لمعالجة بقايا تقطيع السيارات في أوروبا (أنظر الجدول 5-2).

يمثل الفوم متعدد اليوريثان (المحتوى على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل)<sup>34</sup> ما يقرب من 5%، وتصل إلي 15%، من نسبة بقايا تقطيع السيارات (تبلغ في المتوسط حوالي 16 كجم من متعدد اليوريثان/سيارة)، ومع ذلك فهو يشكل أكثر من 30% من هذا الحجم (Hoffman, 2008). صناعة الولايات المتحدة تفيد بإمكانية استرجاع فوم متعدد اليوريثان من

<sup>34</sup> في الولايات المتحدة، تم معالجة الفوم متعدد يوريثان المستخدم في مجال النقل (مقعد، الزراع / الرأس/ ساعد) بما يقرب من 1% من الأثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري لتلبية معايير 302 MVSS (Luedeka, 2011) (أنظر الفصل 6).

مخلفات التقطع اعتماداً على عاملين أساسيين هما: (الأول) تطوير عملية اقتصادية لاسترجاع الفوم من بقايا التقطع، و(الثاني) التأكيد على أن تلبية عملية استرجاع الفوم متطلبات الجودة (Hoffman, 2008)، ويمكن أن يصبح المحتوى من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل أيضاً واحداً من متطلبات الجودة.

وضع مختبر أرجون الوطني نظام لفصل البوليمرات على أساس زبد الطفو (Hoffman, 2008). وفيه يستخدم سلسلة من ستة خزانات، لكل منها وظيفة محددة على حسب البوليمر المراد استرجاعه. ويتم اختيار المحاليل الكيميائية في كل خزان لإجراء استخدام معين. وقد استخدم هذا النظام لاسترجاع بوليمرات معينة من بقايا تقطع السيارات وقطع غيار السيارات المفككة وبلاستيك الخردة الصناعية، والأجهزة الإلكترونية الاستهلاكية (Selke, 2006) قد وجد مختبر أرجون أن أعلى درجات الجودة في الفوم هي التي يتحصل عليها من تفكيك، ثم غسل فوم المقاعد. ولكن المختبر يدعي أن هذا الفصل اليدوي لفوم ليس اقتصادياً في الدول الصناعية (Hoffman, 2008; UNEP, 2010b).

في عام 2004 في ابرس، قامت بلجيكا بتكليف مركز NV Salyp للمركبات في نهاية العمر التي تستعمل هذه التكنولوجيا بموجب ترخيص أرجون باسترجاع فوم متعدد اليوريثان والبوليمرات الأخرى من مخلفات التقطع. وتفيد التقارير أن لديها قدرة عملية تنفيذية تصل إلى 6 طن من بقايا تقطع السيارات/ساعة الواحدة. المحطات أيضاً مرخصة من شركة ألمانية هي KUTEC لفصل أنواع من اللدائن الحرارية المختلفة من تيار المخلفات المرفوضة من تكنولوجيا شركة أرجون. فالتكنولوجيا في أرجون تهتم بفصل الوبر إلى ثلاثة تيارات: الدقائق، الفوم، والبلاستيك الحراري المخصب. ويتم تنظيف الفوم وبيعه للأسواق في صورة فوم مستخدم في الطبقات التي توضع أسفل السجاد وحشو السيارات (Selke, 2006; UNEP 2010b).

المنشآت الأخرى تحصل على أجزاء البوليمر المخصبة من عملية تقطع من السيارات. ولكن في وجود شرط مسبق واحد هو توفر خطوة ما قبل المعالجة التي تؤدي إلى إنتاج البوليمر مخصب بـ 70% إلى 80% من البوليمرات بحيث يصبح النقل إلى مرفق إعادة تدوير البلاستيك مجدداً اقتصادياً (Slijkhuis, 2011).

جدول 5-2: نظرة عامة على تقنيات ما بعد التقطيع<sup>35</sup>

تقنية الفصل	ارجون	جالو	بوليمرات إم بي ايه	ساليب بروسيس	ستينا	ار- بلس	في دابلو- سيكون
التصنيف الهوائي	×	×	×	×	×	×	×
الفصل المغناطيسي	×	×	×	×	×	×	×
الفصل بالتيار الدوامي	×	×	×	×	×	×	×
المسح		×	×	×	×	×	×
الغريلة	×	×	×	×	×	×	×
الفرز البصري			×	×	×	×	×
الفصل اليدوي			×				
التجفيف							
الفصل بالطفو والغرق		×	×	×	×		×
طفو الزبد	×						
الفرز الميكانيكي - الحراري			×				
الطحن الرطب			×				
الحلزون المائي			×				
خزانات الفصل الهيدروديناميكية الساكنة		×					
فصل الوسائط الثقيلة					×		
مستوى التطور	محطات تشغيل	محطات تشغيل	محطات تشغيل	محطات تشغيل	محطات تشغيل	محطات تشغيل	محطة تجريبية ومحطتان تحت الإنشاء
معدل الاسترجاع الكلي	90% من البوليمرات ≤6مم و90% من المعادن ≤6مم	90%	غير متاح	86%	80%	92%	95%

(Vermeulen et al., 2011)

3.5 استرجاع الطاقة والتخلص من المخلفات وغيرها من بقايا تقطيع السيارات المركبات عند نهاية العمر:

1.3.5 استرجاع الطاقة:

تحتوي بقايا تقطيع السيارات على قيمة عالية من السرعات الحرارية (14-30 ميجا جول/كيلوجرام)، وهي المفضلة لاسترجاع الطاقة. ويعوق محتواها العالي من الكلور ووجود مثبطات اللهب البرومينية وارتفاع تركيز المعادن الثقيلة والرماد من استخدامها كبديل الوقود (Vermeulen et al., 2011).

تتطلب أفضل التقنيات المتاحة لبقايا تقطيع السيارات وجود محارق نفايات لإجراء المعالجة المناسبة. في سويسرا، يتم حرق بقايا تقطيع السيارات بحد أقصى لمعدل الترميد المشترك 5%. يؤدي الحرق الذي يتم بدون أفضل التقنيات المتاحة أو المعالجة بالانحلال الحراري إلى تكوين الداكسون، والفيوران، ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور وغيرها من الملوثات العضوية الثابتة المنتجة دون قصد (Sakai et al., 2007; Weber and Sakurai, 2002)

<sup>35</sup> مرافق التشغيل الأخرى التي تسترجع البوليمرات من المركبات عند نهاية العمر هي TBS في اينس (النمسا) و SRW في Espenhain (ألمانيا).

الهدف من التقنيات المتقدمة للاسترجاع الثانوي في إنتاج الوقود المشتق من النفايات هو عزل بقايا تقطيع السيارات و فصل المواد القابلة للاحتراق ذات المحتوى المنخفض من الرماد والهالوجين وتركيزات الملوثات. وتحتاج الأجزاء المحتوية علي الهالوجين وأجزاء المعادن الثقيلة ألمخصبه إلي مزيد من المعاملة والإدارة الجيدة، وهو الأمر الذي يشكل تحدياً كبيراً. فأفضل جزء من بقايا تقطيع السيارات هو الذي يحتوي على أعلى كمية من الرماد والزييت المعدني، إلي جانب قيمته الحرارية المنخفضة. ويمكن استخدام تقنيات الشاشات، والجدول الهزازة والبراميل الدوارة أو الغرق/الطفو لإزالة هذا الجزئي الدقيق الحجم، وبالتالي تحسين خصائص الوقود من بقايا تقطيع السيارات (Morselli et al., 2010; Boughton and Horvath, 2006; Hjelmar et al., 2009).

تعتبر مكونات البوليمر المهلجنة مثل المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومثبطات اللهب المعالجة بالبروم ومتعدد الفينيل الكلور ومطاط النيوتايل halobutyl هي المصادر الرئيسية لتركيزات عالية من الهالوجين غالباً ما توجد في بقايا تقطيع السيارات. وتعد إزالة البلاستيك من بقايا تقطيع السيارات طريقة بسيطة لخفض تركيز الكلور بشكل عام. أشارت العديد من الدراسات إلي أن كثافة الفصل باستخدام حمام كثافة من 1100 – 1200 كجم/م<sup>3</sup> يمكن أن تزيل حوالي 68% من البلاستيك المحتوى على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل و مثبطات اللهب المعالجة بالبروم (كثافة حوالي 1400 كجم/م<sup>3</sup> أو أكثر) من المواد القابلة للاحتراق في بقايا تقطيع السيارات (Hwang et al., 2008; Boughton, 2007). يجب في بعض الحالات إزالة المعادن الثقيلة من بقايا تقطيع السيارات قبل إعادة التدوير أو استرجاع الطاقة لتلبية الحدود التنظيمية للاستخدام النهائي (Vermeulen et al., 2011).

وسيرد وصف تقنيات المعالجة الحرارية للطاقة/استرجاع المواد في الفصل 7 .

منهجية أخرى "لإعادة تدوير" بقايا تقطيع السيارات هي الإدماج المباشر لجزئ بقايا تقطيع السيارات الدقيق الحجم في داخل مواد أخرى مثل الخرسانة أو الأسفلت، والتي يمكن اعتبارها مرحلة تخزين مؤقتة.

### 2.3.5 التخلص من بقايا تقطيع السيارات:

يوجد في بقايا تقطيع السيارات تركيزات لبعض العناصر الثقيلة، مثل النحاس، الكاديوم، الرصاص، النيكل، الزنك، والتي تتجاوز الحدود المسموح بها والمعمول بها ولذلك يعتبر دفن هذه النفايات خطراً على البيئة لأن هذه المعادن يمكن أن يحدث لها رشح في الأماكن التي تعزل فيها هذه المواد (Gonzalez Fernandez et al., 2008)، ونفس الاعتبارات تؤخذ عند التعامل مع الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل وثنائي الفينيل متعدد الكلور. ولهذا يعد التخلص من بقايا تقطيع السيارات إشكالية تحتاج إلي قوانين فمثلاً تصنف بقايا تقطيع السيارات في الإتحاد الأوروبي على أنها نفايات خطرة وفقاً لقائمة النفايات الخطرة (2000-532-EEC)<sup>36</sup> على الرغم من هذا فحتى الدول الصناعية حالياً تقوم بإيداع بقايا تقطيع السيارات في مدافن

<sup>36</sup> القسم 1910 مرفق من التوجيه الأوروبي 91-689-EEC بشأن النفايات الخطرة

النفائيات. وهناك وصف لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لعزل المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل يرد في الفصل 8 والمرفق 3.

#### 4.5 اعتبارات الدول النامية

هناك أدلة محدودة عن وجود عمليات إعادة تدوير للمواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل من المركبات عند نهاية العمر في الدول النامية. أول بلد تم فيه تقييم لإعادة التدوير للملوثات العضوية الثابتة الجديدة الأولية في قطاع النقل (البلاستيك وفوم المتعدد يوريثان) هو نيجيريا. وتكاد لا توجد أي قدرة ملائمة للحرق بأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية (أنظر الفصل 7) في الدول النامية لمعالجة بقايا تقطيع السيارات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة. معظم مدافن المخلفات في الدول النامية أيضاً لا تفي بمعايير المدافن الصحية، وبالتالي فهي بعيدة كل البعد عن تلبية معايير دفن النفائيات التي تحتوي الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (أنظر الفصل 8 والمرفق 3). لذا فالدول النامية لا تملك حالياً الخيار المناسب لمعالجة للمركبات عند نهاية العمر وهناك حاجة إلي الدعم الواضح لضمان معاملة هذه النفائيات بطريقة سليمة بيئياً.

#### 6. أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية المتخصصة: فوم متعدد اليوريثان المحتوى على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

فوم متعدد اليوريثان المرن (FPF) هو مادة مصنعة تستخدم في العديد من الاستخدامات (Luedeka, 2011; UNEP, 2010b) والاستخدامات الرئيسية لها هي:

- الأثاث السكني والتجاري المنجد (الارائك، والكراسي)
- المراتب السكنية والمؤسسية ومنتجات ما فوق السرير بما في ذلك الوسائد والمراتب
- المركبات (السيارات والشاحنات والقطارات والسفن والطائرات، وأنظر أيضاً الفصل 5) التصميم الداخلي للمقاعد والقطع المنجدة
- والألواح الصوتية
- الاستخدامات العسكرية والدفاعية للمساعدة في منع حرائق في السفن والمركبات والطائرات

الاستخدامات ذات الكميات الأقل من:

- استخدامات التغليف الواقي
- استخدامات الرعاية الصحية لتقييد، دعم، تخفيف الضغط، وامتصاص السوائل والجروح
- الهواء وتنقيته السوائل
- مختبرات وأجهزة الاختبار وكيبنة امتصاص
- ملابس الحشو والعزل
- الوسائد السفلية للتثبيت السجاد تحديدا في الولايات المتحدة

قد يبدو منتج الفوم متعدد اليوريثان المرن سلعة عامة، ولكنة في الواقع مادة فنية ذات سمات محددة للأداء تم تحقيقها من خلال صور (حقوق) الملكية وعمليات التصنيع. العديد من مصانع فوم متعدد اليوريثان المرن تنتج أكثر من 150 منتج من فوم متعدد اليوريثان المرن المختلفة، ولكل منها خصائص فريدة ملائمة لاستخدامات نهائية محددة (Luedeka, 2011). صناعة فوم متعدد اليوريثان المرن تستخدم أثنين من أساليب الإنتاج الأساسية هما كتلة المخزون (وتتم خارج الولايات المتحدة، ويشار إليها باسم " كتلة الفوم") وأسلوب الصب. وكل طريقة تتطلب صياغات منتج فريد من نوعه باستخدام عدد من المواد الخام على سبيل المثال وليس على سبيل الحصر، الكحول المتعدد الهيدريك (البوليول)، المواد النشطة سطحياً، وثنائي إيزوسيانات والمحفزات، عوامل النفخ المساعدة والعديد من المواد المضافة الاختيارية بما في ذلك مثبطات الحرائق (Luedeka, 2011). التشكيلات اللازمة للمنتجات المصبوبة والشرائح قد تتطلب بعض التعديلات قبل أو أثناء الإنتاج للتعامل مع ظروف الإنتاج المحيطة بما في ذلك درجة الحرارة والرطوبة والضغط الجوي. وقد تشمل اختلافات في تركيز و/أو تغييرات اختيار المواد الخام المختلفة بما في ذلك المواد المضافة مثل مثبطات الحرائق الاختيارية (Luedeka, 2011). الاستخدام المحلي للملوثات العضوية الثابتة (الفصل 2) له أهمية خاصة في اعتبارات إعادة تدوير فوم متعدد اليوريثان للمناطق المحتمل تأثرها بتلك الأسواق بسبب السيارات أو الأثاث المستورد/المصدر.

#### 1.6 إعادة استخدام الأثاث والمراتب الملوثة بالملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

إعادة استخدام الأثاث (مثل الأرائك و أزراع الكراسي) والفرش والمنسوجات المحتوية على فوم متعدد اليوريثان المرن هو بديل الإدارة المفضل عند الوصول لنهاية العمر عند النظر في إدارة التسلسل الهرمي لإدارة النفايات. وإعادة الاستخدام يوفر الطاقة للتصنيع الحديث ويتجنب الآثار البيئية لإنتاج مواد خام جديدة. أسواق الولايات المتحدة والمملكة المتحدة هي الأسواق التي كان لها معايير حول قابلية اشتعال الأثاث في وقت إنتاج الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل قبل عام 2005. ولم يتعرض المستهلكين بشكل كبير للملوثات العضوية الثابتة حيث تم استخدامه أساساً في المؤسسات الحكومية / العامة مثل المنشآت، والسجون العسكرية أو المستشفيات (Luedeka, 2011). لم توضع في الماضي معايير محددة حول قابلية اشتعال الأثاث لمعظم الدول الأخرى. وبالتالي فتلوث هذه الدول بالملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل طفيف. لذا فإن عملية إعادة استخدام الأثاث والمراتب لا يتوقع (بشكل كبير) أن تتأثر بالملوثات العضوية الثابتة في معظم الدول/المناطق. ولا يوصى بإعادة استخدام المواد الملوثة بالملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل إذا كان يؤدي إلى تعرض الإنسان لها بشكل مباشر مثل الأرائك القديمة والوسائد (Betts, 2003; Imm et al., 2009; Stapleton et al., 2008; UNEP, 2010b)

افتراض أن معظم المناطق لا تتأثر بالملوثات العضوية الثابتة في هذه المناطق يتطلب التأكيد أولاً قبل إعادة استخدام هذه المواد دون قيود بأفضل المعاملات البيئية. وهناك حاجة لتقييم وجود الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في هذه المواد قبل استخدامها أو إعادة استخدامها للتأكد إذا ما كانت في حاجة إلى خطوات أخرى ضرورية لحماية صحة الإنسان ضرورية.

## 2.6 تدوير/استرجاع فوم متعدد اليوريثان:

تحتاج إعادة تدوير المواد التي تحتوي على فوم متعدد اليوريثان مثل الأثاث والسيارات والفرش والبناء إلي اعتبارات الإدارة مثل المنشأ الجغرافي وسنة الإنتاج. استخدام مثبطات اللهب ونوع المثبطات يعتمد إلي حد كبير على المنطقة والبلد. فمن المفترض أنه تم إنتاج أكثر من 90% من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في فوم متعدد اليوريثان، وأيضاً معظم الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل المستخدم في الولايات المتحدة وإلي حد كبير فهي إما أودعت بالفعل في مقالب القمامة، أو تم إعادة تدويرها في استخدام الطبقات التي تستخدم أسفل السجاد (UNEP, 2010a, 2010b) وبالتالي، يمكن أيضاً أن يفترض أن معظم المناطق والدول الأخرى (باستثناء الولايات المتحدة الأمريكية/أمريكا الشمالية) لديها محتوى منخفض من الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل في فوم متعدد اليوريثان الموجود حالياً.

كشف رصد الملوثات العضوية الثابتة في منتجات الأطفال في الولايات المتحدة أن هذه المنتجات يمكن أن تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة (Stapleton et al., 2011). يجب أخذ أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية في الاعتبار في جميع منشآت إعادة التدوير أو في التعامل مع فوم متعدد اليوريثان المنتهى الاستخدام (المرفق 1). نظراً لأنه قد وجدت نسب من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في عينات من دم العمال بأحد منشآت إعادة تدوير فوم متعدد اليوريثان في الولايات المتحدة (Stapleton et al., 2011) ولذلك يجب اتخاذ تدابير السلامة المهنية للقضاء على الملوثات قبل بدأ التعامل مع فوم متعدد اليوريثان و تجهيز واستخدام أجهزة الوقاية الشخصية الملائمة، ويمكن أيضاً النظر في المنشآت المعروفة لمعالجة فوم متعدد اليوريثان المحتوي على الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل.

ومن المعروف أن فوم متعدد اليوريثان المرن يحتوي جزئياً على مواد ملوثة بالملوثات العضوية الثابتة، يمكن فحص البرومين في هذه المواد (أنظر القسم 6.2) لفصل المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة. يمكن أن يكون هذا الفصل أما بالتجميع أو بإعادة تدوير فوم البولي يوريثان.

وفي حين تم تطوير فصل البوليمرات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل /مثبطات اللهب البرومينية بواسطة فصل الجزيئات على النطاق الكامل من المواد البلاستيكية من نفايات الأجهزة الكهربائية (أنظر الفصل 4)، فما زالت لا توجد معلومات عن فصل باقي المواد الأخرى المحتوية على هذه المواد، بما في ذلك فوم متعدد يوريثان. السلع الأكبر المحتوية علي فوم متعدد اليوريثان مثل المراتب والأثاث يمكن معها استخدام الأساليب نفسها التي استخدمت لفحص المواد البلاستيكية من نفايات الأجهزة الكهربائية باستخدام الأشعة السينية المحمولة أو مطياف الشرر المنزلق. ويمكن من خلال دراسة يمكن أن تدعمها الحكومة، إن أمكن، الكشف عما إذا كان هناك حاجة لإتباع مثل هذا النهج في بلد ما من عدمه.

وإذا لم يتوافر الاسترجاع الحراري في بعض الدول، فيمكن تخزين المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل (المرفق 1) إلي أن تصبح تقنيات المعالجة المناسبة متاحة أو يتم التخلص منها في مدافن صحية للنفايات، وهو الخيار الأقل تفضيلاً (أنظر الفصل 8 و المرفق 3). وينبغي أن يستند القرار على المعالجة النهائية من فوم متعدد اليوريثان على الظروف المحلية (السوق المتاحة، والخدمات، ونوعية المنشآت الحرارية)، وهنا يمكن أن تصبح إعادة تدوير أو استرجاع الطاقة هي الخيار الأفضل.



## 1.2.6 إعادة الربط: تدوير فوم المتعدد اليوريثان بالتخلص التدريجي من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل:

إعادة الربط Rebonding هي عملية تقطيع خردة (بقايا) فوم متعدد اليوريثان إلى قطع صغيرة وأعادتها بعد ذلك مع رابط يوريثان المتعدد بريبيوريول، الرابط لإنتاج منتج من فوم متعدد اليوريثان المجمع المنتج (USEPA, 1996). الاستخدام الرئيسي لهذا المنتج هو إنتاج وسائد السجاد (Eaves, 2004). ويتم استخدام الغالبية العظمى من السجاد في الدول الناطقة بالانكليزية، وتحديداً الولايات المتحدة والمملكة المتحدة وأستراليا. يستخدم قليل منه في بقية العالم (Luedeka, 2011). وعملية إعادة الربط لها استخدامات أخرى تشمل مقاعد الحافلات المدرسية (USEPA, 1996) وحصير قاعات الألعاب الرياضية (Zia et al., 2007). واستخدامات أخرى لإعادة تدوير الفوم في تجديد الفرش أو فراش الحيوانات الأليفة، والحيوانات المحنطة والعزل (UNEP, 2010b) وقد ظهر وجود تعرض لمولوثات عضوية ثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل بإعادة تدوير الفوم وتركيب السجاد في أول دراسة في الولايات المتحدة (Stapleton et al., 2008) وهناك مخاطر واضحة من تعرض مزيد من المستهلكين لهذه المواد.

## 2.2.6 استرجاع المواد من المراتب:

كما هو مذكور في القسم 6-1، فإن المراتب في مؤسسات معينة (مثل السجون والمستشفيات والمناطق العسكرية) مقاومة للاحتراق حتى في الدول التي لديها معايير محددة لقابلية الاشتعال. ويمكن رصد مصادر البروم والملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل للكشف العام عن وجودها ووجود مثبطات اللهب البرومينية. وإذا تم الكشف عن وجودها في هذه المواد فإنه يمكن استبعادها من إعادة التدوير أو يتم فحصها بالأشعة السينية وفصلها.

استعرضت رابطة منتجات الفوم الدولية بعض النقاط الهامة حول تدوير مراتب النوم التي تلخص بعض القضايا الرئيسية المتعلقة باسترجاع المواد من المراتب (International Sleep Products Association, 2004):

- تعتبر اقتصاديات عملية إعادة التدوير عملية متوازنة، غير أن قيمة ما يتم استرجاعه من المراتب لا يمكن أن يكون بمفرده قادراً على الحفاظ على استمرارية عملية التخلص من المراتب. لذلك فإن العثور على مصدر دخل مستدام لتكملة دخل الخردة هو المفتاح لنجاح العملية (الرسوم من المستهلكين وتجار التجزئة والمصنعين أو البلديات تساوى "رسوم البقشيش" التي لولاها لألقت المراتب في مدافن النفايات).
- موقع المنشأة والأمن هما عنصران حاسمان للحد من تكاليف نقل المنتج إلى المنشأة وعند بيع المواد المستردة إلى العملاء المحتملين.
- إعداد الخردة المستردة (التي تم استردادها) في صورة قابلة للبيع من الممكن أن يكون تحدياً كبيراً. وخاصة بالنسبة لخردة الصلب، والتي تعتبر حتى الآن الأكثر قيمة والأسهل في الاسترجاع من المراتب.
- حجم المنتج الثابت ضروري للحفاظ على كفاءة عمليات التفكيك.
- \* استخدام التقنية اليدوية المنخفضة للتفكيك تبدو أكثر كفاءة من البدائل الآلية على الرغم من أن التكنولوجيات الجديدة قيد التطوير. وإتباع النهج اليدوي باستخدام عمالة من ذوي المهارات المنخفضة نسبياً مجهزة بصناديق تقطيع هو الطريقة المفضلة في الوقت الحالي. ولا تزال هناك حاجة إلى الرأسمال اللازم لتقطيع المنتجات التي لا يمكن تفكيكها يدوياً بسرعة وتشمل الفواصل المغناطيسية، أدوات النزح والرافعات الشوكية للتعامل مع المنتج والخردة، والخ.

### 3.2.6 إعادة الطحن:

أشار إيفانز في عام 2004 (Eaves 2004) إلى انخفاض استخدام الفوم الخردة في وسائد السجاد في شمال أمريكا مما حفز على استيعاب عمليات مبتكرة تسمح للمصنعين بطحن الفوم. ويمكن بعد ذلك أن يستخدم في صورة مسحوق متناهي الصغر ليحل محل ما يقرب من 10٪ من المواد الكيميائية البكر المستخدمة في تصنيع فوم جديد. يجب الأخذ في الاعتبار أهمية الرعاية اللازمة للحفاظ على السلامة المهنية للعمال عند تعرضهم لهذا المسحوق الناعم (تنفس الجسيمات). يقال أن الفوم الناتج له خصائص مماثلة للفوم الأصلي مع تعديلات طفيفة. الفرق بين قيمة الخردة وأسعار المواد الخام الكيميائية هي التي تحرك الاقتصاد إلى حد كبير (Eaves, 2004). لا يوجد استخدام معنوي لإعادة الطحن في الوقت الراهن في صناعة فوم متعدد اليوريثان (Luedeka, 2011).

### 4.2.6 الاسترجاع الكيميائي (التحلل)

إعادة التدوير الكيميائية لفوم متعدد اليوريثان لا يزال في مرحلة مبكرة. وعدد قليل من الشركات هي التي طورت إعادة معالجته، فعلى سبيل المثال، يتم استخدام التحلل الحراري لفوم متعدد اليوريثان في ألمانيا (<http://www.rampf-ecosystems.de/en/home/>).

### 3.6 وضع البطاقات التعريفية على المواد المنتجة من فوم متعدد اليوريثان المعاد تدويره:

إذا تم إعادة تدوير الفوم المحتوى على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل فإنه لا بد من التأكد من أن هذا لا يؤدي إلى تعرض الإنسان لهذه الملوثات، وعلى سبيل المثال الموظفين القائمين على إعادة تدوير والعاملين على إعادة ربط فوم متعدد اليوريثان المركب المستخدم في السجاد (Stapleton et al., 2008). ويجب ضمان عدم تعرض/أو تقليل معدل تعرض المستهلكين. وأخيراً فإنه يجب ضمان الإدارة السليمة بيئياً عند نهاية عمر هذه المواد. ويمكن تمييز هذه المواد كشرط مسبق للإدارة السليمة بيئياً في دورة الحياة التي يمكن تنفيذها (أنظر الإرشادات بشأن وضع البطاقات التعريفية على المنتجات أو المواد التي تحتوي على ملوثات عضوية ثابتة جديدة أو استخدام الملوثات العضوية الثابتة الجديدة خلال التصنيع - الاعتبارات الأولية).

### 4.6 مواد أخرى ربما تتأثر بالملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

طبقت بعض الاستخدامات الأخرى الثانوية الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في الماضي مثل:

- صناعة النسيج (مثل التغليف الخلفي لمنسوجات في السيارات)
- المطاط (مثل الأحزمة الناقلة)
- الطلاء/اللاكيهات

وعلى الرغم من عدم وجود أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية محددة لهذه الاستخدامات البسيطة، فإنه يمكن أخذ النهج نفسه لفوم متعدد اليورثان في الاعتبار:

• مسح البلد/المنطقة عن وجود الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في هذه القطاعات عن طريق:

- تقييم أنشطة إعادة تدوير هذه المواد
  - استبعاد تيارات معينة من إعادة التدوير
  - فحص وفصل البروم في إعادة التدوير
  - إعادة تدوير تدفقات المواد الغير محتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل
  - استرجاع الطاقة من تيارات المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل
- (أنظر الفصل 7)

إذا لم تكن الخيارات المذكورة أعلاه متاحة في بلد ما، فإنه يمكن تخزين المواد (أنظر المرفق 1) حتى تصبح تقنيات المعالجة المناسبة متاحة أو التخلص منها في المدافن الصحية، وهو الخيار الأقل تفضيلاً (أنظر الفصل 8 و المرفق 3).

## 7. استرجاع الطاقة/المواد من المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

لا يمكن للمبادئ الإرشادية لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية في هذه الوثيقة أن تصف كل أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لتقنيات المعالجة الحرارية، كل علي حدي، حيث أن هذا الوصف لكل العمليات يتطلب عدة مئات من الصفحات. مثل هذه الأوصاف تم تجميعها مع أفضل الوثائق المرجعية التقنية المتاحة BREF المتاحة من أجل العمليات الصناعية (<http://eippcb.jrc.es/reference/>) ووصفت في إرشادات اتفاقية ستوكهولم لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية مع التركيز على الحد من الملوثات العضوية الثابتة المنتجة بدون قصد (Stockholm Convention, 2007). أنظر أيضاً الفصل 4.4 و1.3.5.

## 1.7 ملاحظات عامة عن المعالجة الحرارية للمواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

### 1.1.7 محتوى القيمة الحرارية والهالوجين في المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

تستخدم الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل أساساً في المواد ذات القيم الحرارية العالية (البلاستيك، فوم متعدد يورثان، فوم البوليسترين والمنسوجات). إحدى الخيارات المتاحة لاسترجاع هذه المواد هو الاستفادة من

الطاقة الموجودة في المواد والمعادن المرتبطة بالبوليمرات الملوثة العضوية الثابتة. قيمة الطاقة الكامنة للبوليمرات هو ما يقرب من 40 ميغا جول/كيلوجرام، وهو ما يعادل 80 يورو/موتون (2 يورو/ميغا جول) (Tange and Drohmann, 2005).

المبادئ التقنية الإرشادية لتحديد الإدارة السليمة بيئياً للنفايات البلاستيكية والتخلص منها " (Basel Convention, 2002) توصي بإعادة تدوير المواد الأولية واسترجاع الطاقة الحرارية للبوليمرات التي تحتوي على الملوثة العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل. الإرشادات تفيد انه: "ينبغي استبعاد النفايات البلاستيكية التي تحتوي على الملوثة العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل من إعادة تدوير المواد بسبب احتمال انبعاث الديوكسينات والفيوران. وينبغي بدلا من ذلك أن تعالج مثل هذه النفايات البلاستيكية في منشآت إعادة تدوير المواد الأولية أو في محارق استرجاع الطاقة المتحكم فيها".

العلاج الحراري للنفايات المحتوية على الملوثة العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (بقايا تقطيع السيارات أو البلاستيك الناتج من إعادة تدوير نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية) يمثل تحدياً للمنشآت الحرارية بسبب محتواه العالي من الهالوجين. في بعض الدول قد يستلزم الأمر مع النفايات ذات المحتوى الهالوجيني الأعلى من 1٪ في بعض الدول استخدام محارق النفايات الخطرة<sup>37</sup>. قد يتعين أيضا اتخاذ الرعاية الخاصة لاسترجاع الطاقة والمعالجة عند استخدام منشآت أخرى وذلك لتجنب انطلاق الملوثة العضوية الثابتة المنتجة عن غير قصد.

#### **2.1.7 رصد ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيران متعدد البروم وانطلاق ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم - متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور:**

حيث أن المواد التي تحتوي على الملوثة العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل هي مواد مثبطة للهب فإنه يتم تقليل قابليتها للاشتعال، والتي يمكن أن تؤدي إلى زيادة إنتاج المنتجات غير كاملة الاحتراق في المنشآت غير المجهزة بغرف الاحتراق المثلى من حيث الكفاءة، كما هو محدد في أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية (Weber and Kuch, 2003). حيث أن المواد التي تحتوي على الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل هي سلائف ممتازة لثنائي بنزو فيران متعدد البروم، فإن تكوين ثنائي بنزو فيران متعدد البروم الأكثر سمية هو نقطة هامة يجب أخذها في الاعتبار وتقييمها أثناء الاسترجاع الحراري وعمليات التحطيم (Sakai et al., 2001; Weber and Kuch, 2003; WHO, 1998; Vehlow et al., 2002; UNEP, 2010b).

ولأن الكلور يوجد عادة بتركيزات متفاوتة في المواد التي تحتوي على الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (مثل البلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية، بقايا تقطيع السيارات، فوم متعدد البوريثان)، لذا فإن تكون ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم - متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور (PXDD/PXDF) من الممكن أن يضم أيضاً أعلى نسبة من مركبات مشابهات

<sup>37</sup> مزيج الكلور والبروم المعادن المحفزة مثل النحاس تؤدي للمخاطرة بتوليد مستويات عالية من مت ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيران متعدد الكلور، ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم، وثنائي بنزو فيران متعدد البروم وثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم - متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور في منشآت أخرى.

الديوكسين (Hunsinger et al., 2002, Zenneg et al., 2009). ولذلك فإن قياس ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور فقط في هذه العمليات ليس كافياً وقد يكون مضللاً إلى حد ما<sup>38</sup>. والتحليل الآلي لأكثر من 5000 من متجانسات ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور والتي تضم عدة مئات من 8،7،3،2 المتجانسات المستبدلة، أمر معقد ويمكن ألا يعطي حالياً مكافئ السمية (TEQ).

للتغلب على هذه المشكلة المتعلقة بالتحليل الآلي لخلائط ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور المهلجنة، ينصح بدعم هذه القياسات باستخدام القياسات الحيوية لقياس السمية الكلية لأشباه الديوكسين مثل قياسات التعبير الجيني للسيفيراز الكيميائي النشط CALUX، والتعبير الجيني للسيفيراز الكيميائي النشط للقياس السريع للديوكسينات DRCALUX أو نشاط الايثوكسي يورفين اوديثيليز EROD (Stockholm Convention, 2007). وقد ثبتت قدرة هذه القياسات على تقييم معقدات خلائط أشباه الديوكسين مثل تقييم مواقع إعادة تدوير النفايات الإلكترونية (Yu et al., 2008).

### 3.1.7 اعتبارات حول التآكل الناتج عن البروم/البروم المهلجن:

يمتلك البروم/البروم المهلجن قدرة عالية على أن يسبب التآكل، ولاسيما في الأجزاء المعدنية. آثار التآكل بالتالي تحتاج إلى أخذها في الاعتبار عند معاملة كميات أكبر من النفايات المحتوية على البروم حرارياً في المنشآت. هذه العملية لا بد من أخذها في الاعتبار وتقييم فوائدها الاقتصادية وعيوبها. بما في ذلك تكاليف الصيانة والإصلاح. ولاسيما قسم الغلايات الذي يعتبر مصدر قلق من المنظور الاقتصادي. لأن جميع الهالوجينات تعمل على التآكل، ومشغلي منشآت الغلايات يترددون في حرق كميات كبيرة من النفايات المحتوية على البروم (Rademakers et al., 2002)

### 4.1.7 اعتبارات لإزالة البروم المهلجن والبروم في معالجات غاز المداخن:

تحتاج جميع تقنيات المعالجة الحرارية، وسلوك البروم داخل المنشأة وفي غاز المداخن إلى النظر فيها بعين الاعتبار. نظراً لقدرة المتشابه للأكسدة/اختزال لكل من البروم والأكسجين (أنظر الجدول 7-1)، يتواجد البروم في غاز المداخن جزئياً في صورة البروم المهلجن وجزئياً في صورة عنصر البروم. وتتأثر هذه النسبة بمستوى الكبريت الموجود ويمكن إزالة البروم المهلجن وكذلك حمض الهيدروكلوريك والغازات الحمضية الأخرى) من خلال تقنيات الإزالة المعتادة (الغسل الجاف/شبه الجاف، والتنقية بالمتصات الأساسية، الغسل بمحلول هيدروكسيد الصوديوم، وما إلى ذلك). تقنية إزالة عنصر البروم (والبيود) من غاز المداخن هو مرحلة غسيل إختزال إلى رطب بإضافة الكبريتيت سلفيت أو ثاني الكبريتيت سلفيت ثنائي.

<sup>38</sup> إضافة البروم يمكن أن تؤدي إلى انخفاض مستويات ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور، وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور، من خلال البرومينية الجزئية للمركبات العطرية الكلورة

جدول 7-1: الأوكسدة المحتملة من الهالوجينات ونقطة غليان/ ذوبان<sup>39</sup> الهاليدات البوتاسيوم والصوديوم

الفلور	الكلور	البروم	اليود	
1505	1500	1380	1330	نقطة غليان هاليدات البوتاسيوم
1704	1465	1393	1304	نقطة غليان هاليدات الصوديوم
858	790	732	686	نقطة ذوبان هاليدات البوتاسيوم
998	801	755	662	نقطة ذوبان هاليدات الصوديوم
2.78+	1.36+	1.95+	0.54+	الأوكسدة المحتملة (القدرة القياسية +1.23)

2.7 استرجاع الطاقة من المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في المحارق:

تم تحديد أفضل التقنيات المتاحة الأساسية/أفضل المعاملات البيئية لحرق النفايات في القسم 5 لفئة (أ) من المبادئ الإرشادية في ستوكهولم لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية الاتفاقية (Stockholm Convention, 2007). المزيد من التفاصيل تضمنته الوثيقة المرجعية للإتحاد الأوروبي لأفضل التقنيات المتاحة عن ترميد النفايات (European Commission, 2006)<sup>40</sup>.

بشكل عام، لا يناسب الترميد الأحادي النفايات المقطعة من قطاعات النقل أو الإلكترونيات (Moakly et al., 2010) ويمكن إجراء الترميد المشترك لهذه النفايات المقطعة في مختلف أنواع المحارق، مثل الأفران ذات الحاجر الحديدي، محارق القاع المميع والأفران الدوارة<sup>41</sup>. تحتاج المواد ذات المحتوى الهالوجين الأعلى من 1٪ إلى أخذ المزيد من الاعتبارات. حيث يجب التخلص من هذه النفايات من محارق النفايات الخطرة<sup>42</sup> ويمكن أن تستخدم أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لمحارق النفايات الصلبة (MSWI) أو أفران الأسمنت (أنظر أدناه) لمعالجة هذه النفايات. وقد أظهرت الاختبارات التجريبية أن جميع عوامل الإنبعاثات لا تزيد بالمقارنة بإجراءات التشغيل العادية.

لا يمكن استخدام المحارق المصغرة ولا المحارق المتنقلة للتخلص من النفايات المحتوية على ملوثات عضوية ثابتة بسبب قيود استمرارية العملية وجودة الاحتراق الثانوي وتكنولوجيا تنظيف مداخل الغاز. وللتأكد من أنه يتم استيفاء هذه المعايير وانخفاض إنبعاثات الملوثات العضوية الثابتة المنتجة عن غير قصد على المدى الطويل فإنه يجب الرصد المستمر للديوكسينات والملوثات

<sup>39</sup>GESTIS-Substance database of IFA

<sup>40</sup>[http://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/wi\\_bref\\_0806.pdf](http://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/wi_bref_0806.pdf)

العضوية الثابتة وكذلك الملوثات العضوية الثابتة التي تنبعث عن غير قصد لبضعة أشهر على الأقل (Reinmann et al., 2010; Weber, 2007)

كما ذكر أعلاه، يجب أن يؤخذ تآكل الغلايات (وأجزاء أخرى) في الاعتبار عند حرق النفايات المحتوية على هذه الملوثات. وإذا كانت مخرجات البروم أقل بكثير من مخرجات الكلور، فيمكن إرجاع السبب الرئيسي في التآكل إلي الكلور (Rademakers et al., 2002).

### 1.2.7 ترميد البلاستيك المشترك من نفايات الأجهزة الكهربائية:

لا يمكن تشغيل محارق النفايات بأفضل التقنيات المتاحة وفقاً لأفضل المعاملات البيئية بالترميز المشترك للنفايات التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل دون إنبعاثات كبيرة من الديوكسينات الكلورية أو البرومينية عن غير قصد (Sakai et al., 2001; Vehlow et al., 2002; Weber and Kuch, 2003). ويجب تسليط الضوء على أنه أثناء حرق نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية مع خليط من النفايات البلدية (Hunsinger et al., 2002) تتكون مستويات عالية للغاية من ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور. ويعتمد تكوين ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم - متعدد الكلور المختلط، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور بثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور، وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور على نسبة الكلور/البروم في خليط النفايات بدرجة كبيرة (Hunsinger, 2010)<sup>43</sup>. ويؤدي تحطم ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور، ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم - متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور بكفاءة خلال احتراق غاز المداخل تحت السيطرة في منطقة الاحتراق الثانوية في النهاية إلي مستويات معتدلة من ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور، ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم - متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور في الغاز الخام ومستويات منخفضة في الغاز النظيف (Nordic Council of Ministers, 2005: Tange and Drohmann, 2005; Vehlow et al., 2002). وأظهرت هذه الاختبارات أن الحرق بأفضل التقنيات المتاحة يتيح التعامل مع إضافة البوليمرات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل، ويتعامل مع المستويات العالية المنتجة من الديوكسينات الكلورية والبرومينية والمكلورة - البرومينية في منطقة الاحتراق الثانوية التي يمكن

<sup>41</sup> (Mark (1998) قارن بدائل مختلفة (الترميز المشترك مع النفايات الصلبة البلدية، مقارنة مع الترميز المشترك في أفران الأسمنت، مقارنة مع الترميز المشترك مع النفايات الخطرة) وخلص إلى أن الترميز المشترك بين بقايا تقطيع السيارات والنفايات البلدية الصلبة كان الأكثر ملائمة.

<sup>42</sup> فمثلاً يتطلب حرق النفايات بتوجيه الاتحاد الأوروبي، أنه إذا كانت النفايات الخطرة تحتوي على أكثر من 1٪ من المواد العضوية المهلجنة - في صورة الكلور - وتم حرقها بالمشاركة مع مواد أخرى، فإنه لا بد من رفع درجة الحرارة من 850 إلى 1100 مئوية (European Commission, 2000).

<sup>43</sup> في سلسلة تجريبية أخرى في هذه محارق، تم إضافة 0.06٪ بروم في الوقود (يحتوي على حوالي 0.6٪ كلور) فننتج عنه تكوين مستويات عالية من ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم - متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور (تحديداً أحادي البروم وثنائي البروم - ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور، وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور) في منطقة الاحتراق الأولى في مستويات أعلى من ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور، وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور. وهذا يدل على أنه رغم نسبة الكلور/البروم العالية < 10 في مدخلات الوقود، فإن كمية كبيرة نوعاً ما يمكن أن تتكون من ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم - متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور (Hunsinger et al., 2001).

تحطيمها بأفضل التقنيات المتاحة (زمن البقاء المناسب هو 2 ثانية، ودرجة حرارة أعلى من 850 درجة مئوية واضطراب (تقليب) (Stockholm Convention, 2007; European Commission, 2006).

### 2.2.7 ترميد بقايا تقطيع السيارات المشترك في محارق النفايات الصلبة البلدية:

أجريت اختبارات الترميد المشترك في محارق نفايات البلدية الصلبة لتقييم الجدوى الفنية والأثر البيئي للعملية. وفي اختبار تم إجراؤه في سويسرا استخدمت بقايا تقطيع تصل إلى نسبة 10% في الحرق المشترك (Jody et al., 2006; Keller, 1999; Disler and Keller, 1997) وفي اختبار آخر تم في السويد وصلت بقايا التقطيع إلى 20% (Aae Redin et al., 2001). وقد ذكر أن الترميد المشترك يساعد في تلبية الحدود التنظيمية البيئية. يتم حالياً في سويسرا التعامل مع جميع بقايا تقطيع السيارات ( 55.000 طن/السنة) في محارق النفايات الصلبة (بتكلفة 150 يورو/طن). وقد تبين أن انبعاثات غازات المداخن لم تتغير إلى حد كبير مقارنة بترميد النفايات البلدية الصلبة.

وفي دراسة أخرى تم فيها ترميد مشترك لبقايا تقطيع السيارات بنسبة 31%، ارتفع تركيز الزنك، الرصاص، القصدير، الانتيومون، والنحاس والكوبلت في الرماد المغلي والرماد المتطاير بدرجة كبيرة: تركيزات كل من الرصاص والزنك ارتفعت إلى 18 و 16 مرة أعلى من متوسط المستوى الأساسي (Mark et al., 1998). وبعض المحارق في سويسرا تقوم بترشيح الرماد بالغسيل الحمضي لإزالة المعادن الثقيلة.

في حين يتم إجراء ترميد مشترك للنفايات البلدية الصلبة بالاختبار المذكور أعلاه لبقايا تقطيع السيارات في أفران الحرق، فإنه يمكن أيضاً إجراء ترميد مشترك لبقايا تقطيع السيارات في أفران أخرى مثل المحارق المميعة القاع (Vandecasteele, 2011). ويتم استخدام رماد القاع الناتج من محارق النفايات الصلبة كمواد خام ثانوية في البناء في العديد من الدول (Arickx et al., 2007; Vandecasteele et al., 2007). ولذلك، فمن المهم رصد المكونات السامة (المعادن الثقيلة والملوثات العضوية الثابتة) في رماد القاع عند إجراء ترميد مشترك لبقايا تقطيع السيارات (Vermeulen et al., 2011) وتجنب التلوث البيئي في المزيد من الاستخدام والترسيب. وهناك حاجة إلى وضع حدود للتركيز القانوني للعناصر السامة في رماد القاع للحد من كمية بقايا تقطيع السيارات التي يمكن أن تكون فعالة في الترميد المشترك (Moakly et al., 2010).

### 3.2.7 استرجاع المعادن:

تحتوي الأجزاء المقطعة من بقايا تقطيع السيارات ونفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية على كميات كبيرة من المعادن الثقيلة. ويتم استخدام أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لاسترجاع المعادن من الأجزاء الثقيلة في مصاهر المعادن (أنظر أدناه) في حين أنه يلزم ترميد أجزاء بقايا تقطيع السيارات الخفيفة أو إيداعها في مدافن آمنة في حالة عدم توفر المعالجات الحرارية المناسبة (أنظر الفصل 8 والمرفق 3). لا يتم استرجاع المعادن الثقيلة وغيرها من بعض الأجزاء المعدنية من الرماد في كل المحارق تقريباً. وتجري في سويسرا حالياً اختبارات تجريبية وإعادة استرجاع المعادن من رماد القاع بصورة شاملة (ZAR, 2011).



### 4.2.7 اعتبارات الدول النامية:

يجب استخدام أفضل التقنيات المتاحة للمحارق عند حرق المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل، لارتفاع احتمالية تكوين ملوثات عضوية ثابتة غير مقصودة من بلاستيك نفايات أجهزة الكهربية والالكترونية وبقايا تقطيع السيارات، ومع ذلك، لا تكاد توجد أي محارق تعمل بظروف أفضل التقنيات المتاحة في الدول النامية. فبناء المحارق بأفضل التقنيات المتاحة في الدول النامية والدول التي تمر بمراحل انتقالية هو أمراً مشكوك فيه نظراً لارتفاع تكلفة المعالجة النهائية للنفايات (عادة أكثر من 100 دولار أمريكي/ طن) (Brunner and Fellner, 2007; World Bank, 2005). ولذلك فمن غير المحتمل وجود المحارق (حالياً على الأقل) كخياراً مجدياً لمعالجة النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في الدول النامية.

### 3.7 أفران الأسمنت:

ترد اعتبارات أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية الرئيسية لأفران الأسمنت في القسم 5 لفئة 2(ب) من إرشادات اتفاقية ستوكهولم لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية (Stockholm Convention, 2007). ويرد وصف مزيد من التفاصيل بالوثيقة المرجعية للإتحاد الأوروبي لأفضل التقنيات المتاحة حول حرق النفايات (European Commission, 2010)<sup>44</sup>. ويتناول هذا الفصل اعتبارات محددة لمعالجة المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل . يتزايد استخدام أفران الأسمنت في برامج إدارة النفايات في كل من الدول الصناعية والنامية (Holcim and GTZ, 2006; Reijnders, 2007). كما أن المواد (الأدوات) الرئيسية التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل مثل بلاستيك نفايات أجهزة الكهربية والالكترونية وبقايا تقطيع السيارات وغيرها من المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومثبطات اللهب البرومينية يتم معاملتها جزئياً. تشمل إرشادات اتفاقية ستوكهولم لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية (Stockholm Convention, 2007) "النفايات الإلكترونية" على القائمة السلبية الخاصة بـ "نفايات لا ينصح بمعالجتها بصورة مشتركة في مصانع الأسمنت". تستفيض الإرشادات في هذا بقول:

تتكون النفايات الإلكترونية من أجهزة الحاسب الآلي ومرفقاته، والإلكترونيات الترفيهية، والإلكترونيات الاتصال ولعب الأطفال، وكذلك الأدوات البيضاء مثل أجهزة المطبخ أو الأجهزة الطبية. ويدل تكوين متوسط النفايات الإلكترونية على أنها تحتوي على مكونات قد تكون ضارة بالصحة والبيئة مثل الكلورين (الكلور)، والبرومين (البروم)، والفسفور، الكادميوم، النيكل، والزنك، وثنائي

<sup>44</sup>[http://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/clm\\_bref\\_0510.pdf](http://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/clm_bref_0510.pdf)

الفينيل متعدد الكلور مثبتات اللهب البرومينية بتركيزات معينة أعلى كثيراً من الحد الأقصى المقبول. من ناحية أخرى، النفايات الإلكترونية تحتوي على نسبة عالية المعادن الثمينة النادرة ولذا يجب أن تبذل كل الجهود لإعادة تدويرها. التجهيز المشترك للأجزاء البلاستيكية من النفايات الإلكترونية هو خياراً مطروحاً، ولكنه يتطلب التفكيك والفصل أولاً (Holcim and GTZ 2006) (Stockholm Convention, 2007). وهذا يعكس اهتمام الصناعة بأفران الأسمنت كخياراً ممكناً لاسترجاع الطاقة من نفايات البوليمر التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل من الأجهزة الكهربائية والإلكترونية (Tange and Drohmann, 2005).

بقايا تقطيع السيارات (وغيرها من النفايات التي تحتوي على الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل) هي أيضاً وقود بديل محتمل ومادة معدنية خام لإنتاج الأسمنت حيث أن نحو 50٪ (وزن) من بقايا تقطيع السيارات القابلة للاحتراق تتكون من مواد قابلة للاشتعال مثل البلاستيك أو المطاط، و40٪ أخرى (وزن) تتكون من سيليكات الألمونيوم والكالسيوم والحديد (Boughton, 2007; Vermeulen, 2011). ولو حظ انه عندما يحتوي وقود فرن الأسمنت على 50٪ من بقايا تقطيع السيارات، بدلاً من مزيج الوقود الأحفوري العادي، وجود آثار سلبية قوية على جودة مسحوق الأسمنت (clinker) (Gendebien et al., 2003). في هذه الحالة فإن تركيزات الكلور والرصاص، والكاديوم، والنحاس والزنك في مسحوق الأسمنت تزداد بنسبة واحد إلى الحجم (1/الحجم) أو أكثر (Gendebien et al., 2003)؛ ولم يطابق الكلور، والكاديوم، والنحاس، والرصاص، والزنك وغيرهم مواصفات المنتج السويسري لمسحوق الأسمنت. ومن المشاكل المتعلقة بالترميز المشترك لبقايا تقطيع السيارات في أفران الأسمنت هو زيادة تكوين الرماد، وانسداد منطقة حقن الوقود، وتطاير الزئبق، وزيادة تركيزات العناصر الخطرة في غبار فرن الأسمنت (Reijnders, 2007; Fink, 1999). وبشكل عام، فإنه من المطلوب تطوير وتنقية بقايا تقطيع السيارات قبل استخدامها كبديل للوقود بنسب عالية في فرن الإسمنت (Vermeulen, 2011).

لا توجد للأسف أي دراسة منشورة بشأن رصد انطلاق الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيران متعدد البروم عند ترميد الخلائط المحتوية على الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل/مثبتات اللهب النفايات البرومينية. ولذلك فمن غير الممكن الثقة في فعالية أفران الأسمنت بالنسبة للنفايات التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة خاصة وأن نقطة التغذية توجد في الجزء البارد من منطقة الفرن. تعتمد كفاءة تحطيم الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات ثنائية الفينيل في النفايات البروم متعددة إلى حد كبير على وجهة التغذية في الفرن. فالمركبات الثابتة (وبادئات الديوكسين) مثل ثنائي الفينيل متعدد الكلور أو المبيدات التي تنتمي إلى مجموعة الملوثات العضوية الثابتة يجب أن يتم تغذيتها عن طريق "النهاية الساخنة" للفرن بداخل شعلة الموقد عند درجة حرارة تصل إلى 2000 درجة مئوية ومدة البقاء لأكثر من 2 ثانية ودرجة حرارة أعلى من 1100 درجة مئوية لضمان كفاءة تحطيم عالية.

هذا يؤكد أيضاً تحطيم الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في الموقد الثانوي ومنع تكوين ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيران متعدد البروم في هذه المرحلة من التغذية. ويصعب تغذية جزيئات النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (على سبيل المثال بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية، والسيارات/التقطيع والنقل، من فوم متعدد اليوريثان العازلة، والأثاث أو المراتب) في النهاية "الساخنة". فيتم تغذية هذه

الجزيات عادة بالنفايات الصلبة في مدخل الفرن البارد حيث تصل درجة الحرارة بين درجة مئوية 700 و1000 درجة مئوية، ومدة البقاء تعتمد بشدة على تصميم أفران الأسمنت (Waltisberg, 2010).

لذا فإن الوضع الحالي لقبول ومعالجة النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومثبطات اللهب البرومينية في أفران الأسمنت يتطلب تقييماً مفصلاً وموقع محدد، بما في ذلك نقاط التغذية، ودرجة الحرارة، والوقت البقاء، الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل كفاءات التحطيم (وبخاصة إذا كان يتم تغذية الوقود في مدخل الفرن) والإنبعاثات المرتبطة بها. و ينبغي دائماً أن تعد اختبارات الحرق بشكل صحيح، جنباً إلى جنب مع إنشاء كفاءة التحطيم، والتي تتضمن تحليلاً لجميع الإنبعاثات الناتجة عن عملية بما في ذلك من المنتجات والزيادة المكدسة منها وذلك قبل الشروع في التخلص الروتيني من هذه الملوثات العضوية الثابتة.

وهناك اعتبار هام آخر في معالجة النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل و مثبطات اللهب البرومينية في أفران الأسمنت وهو الحساسية لمداخلات (أثر) الهالوجين، وخاصة مع تطبيقات أفضل التقنيات المتاحة مع أنواع أفران الأسمنت ذات سخانات ما قبل إدخال الهالوجين. تعتبر الأفران المسبوقة بسخانات (أفران التسخين المسبق) (مع أو بدون الكلسنة المسبقة Pre-calciner) - نوع الفرن الرئيسي في إرشادات اتفاقية ستوكهولم لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية كخيار لمعالجة النفايات (Stockholm Convention, 2007) - فإن متوسط إجمالي مدخلات الكلور في مزيج المواد الخام والوقود وغيرها من المواد (بما في ذلك النفايات) ينبغي أن تبقى أقل 0.03% (من إجمالي مدخلات مسحوق الأسمنت لتجنب الانسداد (Waltisberg, 2010). فإدخال الكلوريد في أفران الأسمنت يتراكم داخل الفرن (حول منطقة مدخل الفرن)، مما يؤدي إلى وجبة ساخنة (عند مدخل الفرن) تصل فيها مستويات الكلور إلى 2% في هذه المنطقة. وهذا يدور داخل النظام مع الآثار السلبية المحتملة على هذه العملية من خلال انسداد في المناطق الباردة في مدخل الفرن و انخفاض المرشح الحلزوني للأجسام العالقة (Waltisberg, 2010).

بما أن أفران الأسمنت (أفران التسخين المسبق) عادة ما تحتوي على الإنبعاثات أقل بكثير من 0.1 نانوجرام مكافئ سمية/م<sup>3</sup> معياري من ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور (Karstensen et al., 2006) ولكن بمستويات عالية من الكلور، فإن الأفران الجافة والرطبة (طويلة) يمكن أن تصل إلى مستويات أعلى بكثير من إنبعاثات مقدارها 1 نانوجرام مكافئ سمية/م<sup>3</sup> معياري. وقد تم الإبلاغ عن مستويات مرتفعة تصل إلى 136 نانوجرام مكافئ سمية/م<sup>3</sup> معياري (Stockholm Convention, 2007; Karstensen, 2008).

لم يتم التحقق أو وصف سلوك البروم في أفران الأسمنت وإنبعاثات الملوثات العضوية الثابتة أو البروم الأولي ومركبات جانبية أخرى تتطلق عن غير قصد (UNEP, 2010b). وحيث أن البروم لديه خصائص فيزيائية وكيميائية مماثلة لغاز الكلور - مثل نقطة الغليان من ملح اليوتاسيوم (أنظر الجدول 7-1) بروميد اليوتاسيوم/كلوريد اليوتاسيوم - وهي خصائص حاسمة بالنسبة لسلوك تراكم الامتصاص/الإمتزاز وبالتالي فإن سلوك تراكم الهالوجين في أفران الأسمنت ستكون على الأرجح مشابهة لسلوك غاز الكلور واعتماداً على زيادة تأثير البروم من خلال النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومثبطات اللهب، فإنه يوجد احتياج إلى النظر في/وتقييم زيادة خطر انسداد أفران التسخين المسبق واحتمالية تكوين صور

برومينية وصور برومينية - مكلوره من ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور والمواد العضوية البرومينية الأخرى في جميع أنواع الأفران (ولكن تحديداً في الأفران الرطبة والجافة الطويلة).

الخيارات والقيود (المحددات) لتحطيم النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (مثل البلاستيك من نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية، والسيارات/النقل، الفوم المتعددة اليورثين العازل من الأثاث أو المراتب) في أفران الأسمنت في حاجة إلي تقييم مفصل لكل فرن علي حده لاتخاذ قرار بشأن الخيارات وحدود استرجاع الطاقة من المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومثبطات اللهب البرومينية في هذه الأفران. هذا التقييم ينبغي أن يشمل الرصد الشامل لانطلاق الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل وغيرها من المواد السامة البرومينية والبرومينية المكلورة المنتجة عن غير قصد، بما في ذلك ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم، ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور. باعتبار أن تراكم الكلوريد داخل أفران الأسمنت يمكن أن يستغرق أسابيع، فان تقييم مصير إنبعاثات هذه المواد من الأفضل أن يتم عن طريق الرصد طويل الأجل (Reinmann et al., 2010).

### 1.3.7 اعتبارات الدول النامية:

يتزايد استخدام أفران الأسمنت في برامج إدارة النفايات في الدول النامية والتي تمر بمرحلة انتقالية للحصول على الطاقة واسترجاع المواد (Holcim and GTZ, 2006)<sup>45</sup>. وقد اعتادت المنشآت على تحطيم الزيوت الملوثة بثنائي الفينيل متعدد الكلور، وفي بعض الاختبارات التجريبية تم استخدامها لتحطيم مخزون مبيدات الآفات في الدول النامية (Karstensen et al., 2006). وبما أنه لا توجد حتى الآن دراسات منشورة حول فعالية أفران الأسمنت في تحطيم النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومثبطات اللهب البرومينية (الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل و ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم)، فانه لا يمكن حالياً إعطاء أي توصية نهائية لأفضل التقنيات المتاحة للأفران الجافة.

من المعروف منذ فترة طويلة أن الأفران الجافة الطويلة التي لا تشتمل علي أفران التسخين المسبق والكلسنة المسبقة، إلي جانب الأفران الرطبة، هناك احتمال كبير لتكون وانطلاق ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور وثنائي بنزو فيوران متعدد الكلور، خاصة عندما تغذى هذه الأفران بالوقود (البديل) الغني بالكلور. ولذلك لا يمكن أخذ هذين النوعين من الأفران في الاعتبار في أفضل التقنيات المتاحة وغير مستحسن استخدامها في تحطيم/الاسترجاع الحراري للمواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل. وينبغي أخذ أفران الأسمنت ذات أفران التسخين المسبق – ما قبل الكلسنة متعددة المراحل التي تعمل بالفعل وفقاً للمعايير والتصاريح الخاص بإدارة هذه النفايات في اعتبارات أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية (Holcim and GTZ, 2006).

<http://www.coprochem.com/><sup>45</sup>

ينبغي دائماً أن ينفذ اختبار الحرق المعد بشكل صحيح، بما في ذلك تقييم كفاءة تحطيم الفرن، والذي يتضمن تحليلاً للإنبعاثات (بما في ذلك أخذ عينات الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل وثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور) من العملية وزيادة المكسدة منها جنباً إلى جنب مع التركيزات في مسحوق الأسمت وغبار فرن الأسمت، وأن يتم هذا التنفيذ قبل التخلص الروتيني من نفايات الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل. ويمكن أن يتم الإشراف على التخلص الروتيني لهذه المواد برصد طويل الأمد للمنتجات المتكونة من غير قصد من الملوثات العضوية الثابتة وثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم أو الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في إنبعاثات المداخن (Reinmann et al., 2010).

#### 4.7 نظم الانصهار:

وجد في دراسة في اليابان أن نظام الانصهار المباشر (تكنولوجيا التحول إلى غاز عن طريق القانم، والانصهار) مناسباً لمعالجة بقايا تقطيع السيارات، مما يدل على التحلل الفعال لمثبطات اللهب البرومينية والديوكسينات متعددة البروم (Sakai et al., 2001). التشغيل طويل الأجل لهذه التكنولوجيا، ومع ذلك يجب أن يكون موثقاً ويمكن مراعاة أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية في الاعتبار لاسترجاع الطاقة من المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل.

#### 5.7 الانحلال الحراري وتحول المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات ثنائية الفينيل البروم متعددة البروم إلى غاز:

في أبسط تعريف للانحلال الحراري هو تحلل البوليمرات في درجات حرارة عالية إلى متوسطة تحت ظروف غير مؤكسدة لإنتاج منتجات قابلة للتسويق (على سبيل المثال الوقود والزيوت أو الكربون المنشط). الانحلال الحراري قادر على تحويل النفايات البلاستيكية إلى وقود، مونوميرات، أو مواد أخرى قيمة من خلال عمليات التكسير الحراري والتحفيزي (Tange and Drohmann, 2005; Scheirs and Kaminsky, 2006). ويمكن استخدام هذه الطريقة لتحويل كل من اللدائن الحرارية واللدائن الحرارية الصلبة في الوقود وفي المواد الكيميائية. وعلاوة على ذلك فإنها تتيح معالجة النفايات المختلطة، والنفايات البلاستيكية غير المغسولة (Scheirs and Kaminsky, 2006).

في ضوء نتائج مختبر التحلل الحراري، فإن يمكن توقع تركيزات مرتفعة من ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم ناتجة من عمليات الانحلال الحراري عندما تتواجد كميات من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في النفايات (Ebert and Bahadir, 2003; Weber and Kuch, 2003). وبالتالي فإن إعادة تدوير المواد الأولية من هذه النفايات عن طريق الانحلال الحراري/التحول إلى غاز، يمكن أن تصبح مشكلة نظراً لتكوين ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم. كذلك ينبغي مراعاة احتمالية تكوين ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور (Weber and Kuch, 2003; Weber and Sakurai, 2001).

علاوة على ذلك، بما أن الانحلال الحراري والتحول إلى غاز هما عمليتان حراريتان تتمان في وسط مختزل، فإن عملية إزالة الكلور وإزالة البروم من الممكن أن تحدث. وهذا بالتالي من الممكن أن يؤدي، على سبيل المثال، إلى ارتفاع إنبعاثات ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور للانحلال الحراري من نفايات تقطيع السيارات الغنية بالكلور (Weber and Sakurai, 2001). خلال الانحلال الحراري/التحول إلى غاز يحدث نزع جوهري للبروم من الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل إلى إثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل أقل برومينية (أقل في محتوى البروم) بما في ذلك الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل (Hall and Williams, 2008). لذلك، في كافة عمليات الانحلال الحراري والتحول إلى غاز فإن مصير إزالة البروم من عشاري البروم ثنائي الفينيل إلى الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل تحتاج إلى إعادة النظر فيها وتقييمها من حيث إعادة تدوير المادة الأولية للأدوات التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل (الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل، الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل والإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل). ويحتاج التحول إلى ثنائي بنزو فيران متعدد البروم أثناء التحلل الحراري للمواد التي تحتوي الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل و الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل والإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل في عملية إعادة التدوير أيضاً إلى أن يؤخذ في الاعتبار والتقييم.

ثمة مسألة أخرى تؤخذ بالاعتبار وهي محتوى الهالوجين في الزيت الناتج عن ذلك. حيث أنه إذا كان الزيت المنحل حرارياً أقل من 50 جزء في المليون (كلور أو البروم) فإنه في هذه الحالة فقط من الممكن استخدامه كوقود له تأثير مقبول على التآكل. لا يمكن حالياً اعتبار الانحلال الحراري والتحول إلى غاز أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لمعالجة المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل إلى أن تُظهر استخدامات المدى الطويل على نطاق واسع نتائج تؤدي إلى تقديم منتجات وتدفقات منتجات يمكن اعتبارها سليمة بيئياً. الخيار المتعلق بإمكانية استخدام الانحلال الحراري هو معالجة الأجهزة التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومثبطات اللهب في عمليات استرجاع البروم (أنظر مرفق 4).

#### 1.5.7 اعتبارات الدول النامية:

لا يمكن حالياً إعطاء توصية إيجابية لاستخدام تقنيات الانحلال الحراري أو التحول إلى غاز لمعالجة المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في الدول النامية التي تمر بمرحلة انتقالية نظراً لعدم وجود إفادات تشغيل طويلة الأجل واسعة النطاق لهذه التكنولوجيات حتى بالنسبة لنفايات الدول الصناعية. وبما أن معظم مشاريع الانحلال الحراري في الدول الصناعية قد فشلت أو توقفت لأسباب تقنية أو اقتصادية (Gleis, 2011)، فإنه يمكن (حالياً) أن يوصى بالآلا تسعى الدول النامية إلى إنشاء محطات الانحلال الحراري للنفايات واسعة النطاق.

## 6.7 الصناعات المعدنية:

يتم التعامل مع بعض المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في نهاية المطاف في مصاهر المعادن المتكاملة/مصاهر النحاس والصناعات المعدنية الأخرى. وتستخدم هذه المصاهر لاسترجاع المعادن من الدوائر المطبوعة/ألواح الأسلاك (لوحات الأسلاك المطبوعة)، والكابلات وغيرها من مواد بوليمر نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية، والتي يتم دمجها بقوة مع المعادن بغرض استرجاع المعادن. في معظم الحالات يتم خلط هذه المواد مع غيرها من أنود اللزوج – anode slimes، مركبات الخام، وما إلى ذلك) أو المواد الثانوية (المواد الحفازة مثل مخلفات الصناعية). وقد تم الإبلاغ عن انطلاقات للملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل من أفران القوس الكهربائي ومحطات التلييد والألمنيوم والمصاهر مما كشف عن أنه يتم معالجة المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في هذه المنشآت (UNEP, 2010b). المصادر الرئيسية لهذه الانطلاقات هي على الأرجح نتيجة استرجاع المواد من النفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية أو المركبات عند نهاية العمر (UNEP, 2010b).

بالنسبة للمواد التي تحتوي على ثنائي الفينيل متعدد الكلور، فإن خيارات العلاج الحراري تحتاج إلى تقييم لتحقيق كفاءة تحطيم للمواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل. وفي هذا الصدد يصبح من الضروري أخذ تكوين وانطلاق الديوكسينات والفيورانات الكلورة والبرومينية والهالوجينية المختلطة المهلجنة محل الاعتبار (Weber and Kuch, 2003; Weber, 2007; UNEP, 2010b).

وأفادت الدراسات التي أجريت مؤخراً إلى أن انطلاق الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل والديوكسينات والفيوران متعدد البرومينية (ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيران متعدد البروم)<sup>46</sup> والديوكسينات البرومينية الكلورة- والفيوران (البنزين ثنائي البروم الكلور - فوسفو - ديوكسين، و فورانات ثنائي البنزين) من هذه الصناعات المعدنية قد كشف أيضاً عن وجود مواد محتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في هذه الانبعاثات (Du et al., 2010a, 2010b; Odabasi et al., 2009; Wang et al., 2010). وعلى الرغم من عدم وجود

<sup>46</sup> حيث أن العمليات الحرارية تؤدي إلى عملية إزالة البروم من الأثير عشاري البروم ثنائي الفينيل وتحويله إلى إثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل أقل برومينية، فإن أنماط الانبعاثات من الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في هذه الدراسات تسمح فقط باستنتاجات محدودة عن المدخلات الفعلية للإثير خماسي البروم التجاري الفينيل ثنائي والأثير ثماني البروم ثنائي الفينيل التجاري في هذه العمليات دون تفاصيل محددة لمستويات تركيز المركبات البرومينية في المدخلات، ويمكن تقييم كفاءة تحطيم أو مدى ملائمة معالجة النفايات المحتوية على الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (UNEP, 2010b)

بيانات موثقة عن نوع المواد المغذية على وجه التحديد،<sup>47</sup> إلا أن هذه الإنبعاثات تشير إلى أن المواد التي تحتوي على ملوثات عضوية ثابتة من طراز الإيثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل قد تم معاملتها في هذه المنشآت مما أدى إلى هذه الإنبعاثات.

وحالياً يمكن في هذه المرحلة الوصول لاستنتاجات محدودة فقط حول فعالية والتأثير البيئي لهذه العمليات لاسترجاع الطاقة والمواد من المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإيثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل. هذه العمليات تحتاج إلى مزيد من التقييم قبل الوصول ذكر استنتاجات نهائية بشأن أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لمعالجة المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإيثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في هذه المنشآت.

### 1.6.7 مصاهر (مسابك) النحاس المتكاملة ومصاهر التكرير:

تصف الفئة 2د "العمليات الحرارية في الصناعات المعدنية" في الجزء الخامس من اتفاقية ستوكهولم لإرشادات أفضل التقنيات المتاحة /أفضل المعاملات البيئية (Stockholm Convention, 2007) بعض المسائل الرئيسية حول أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لإنتاج النحاس الثانوي. وتعرض بصفة خاصة في هذه الوثيقة لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية المتبعة للحد من الإنبعاثات غير المتعمدة للملوثات العضوية الثابتة. وتصف الوثيقة المرجعية للاتحاد الأوروبي لأفضل التقنيات المتاحة تفاصيل أفضل التقنيات المتاحة / أفضل المعاملات البيئية للتقنيات الخاصة بشأن الصناعات المعدنية غير الحديدية (European Commission, 2001)<sup>48</sup> وكذلك مسودة الوثيقة المحدثة (European Commission, 2009)<sup>49</sup>.

تعالج المصاهر (المسابك) مجموعة واسعة من تدفقات النفايات المختلفة، مثل بقايا التقطع، والتي يمكن أن تحتوي على تركيزات عالية من الإيثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل، وغير ذلك من مثبطات اللهب البرومينية، ومتعدد كلوريد الفينيل، والمعادن المحفزة مثل النحاس (Hwang et al., 2008). تتم معالجة المواد الأخرى المثبطة للهب وخاصة لوحات الأسلاك المطبوعة<sup>50</sup> في كثير من الأحيان في مصاهر النحاس الثانوية لاسترجاع النحاس وغيره من المعادن الثمينة بما في ذلك بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية. لوحة الأسلاك المطبوعة تتكون في المتوسط من 15-20٪ نحاس، 200-250 جزء في المليون الذهب و 1000 جزء في المليون الفضة و 80-100 جزء في المليون البلاديوم (Hagelüken, 2006). ويمكن مقارنة هذا مع خامات الذهب، والتي يمكن حصادها اقتصادياً بتركيزات منخفضة تصل إلى 0.5 جزء في المليون.<sup>51</sup> والحقيقة أن جاذبية إعادة تدوير المعادن الثمينة بما فيها الذهب من لوحات الأسلاك المطبوعة تعتبر أمر بديهي.

تحتوي لوحات الأسلاك المطبوعة أيضاً على مجموعة واسعة من المعادن الخاصة والأساسية الأخرى، والتي يمكن استرجاع الكثير منها في مصاهر التكرير المتكاملة الحديثة (نيكل، الرصاص، القصدير، البزموت، الانتيمون، الخ). وقد وصفت تفاصيل مثل هذه

<sup>47</sup> Du et al. (2010) يقدم دراسة بعض المعلومات المحدودة عن المواد الأولية في المعلومات الداعمة.

<sup>48</sup> [ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/nfm\\_bref\\_1201.pdf](ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/nfm_bref_1201.pdf)

<sup>49</sup> [ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/nfm\\_2d\\_07-2009\\_public.pdf](ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/nfm_2d_07-2009_public.pdf)

<sup>50</sup> (PWB is used as an acronym instead of PCB to avoid confusion with Polychlorinated biphenyls).

<sup>51</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Gold>



العمليات (Hagelüken, 2006). حجم عمليات إعادة التدوير لهذه اللوحات يتضمن عشرات الآلاف من الأطنان في سنة (أنظر الجدول 7-2) وأوصت بها جهات الصناعة المتعلقة بمعالجة البوليمرات المحتوية على مثبطات اللهب البرومينية من الإلكترونيات (Mark and Lehner, 2000; Hagelüken, 2006; Brusselaers et al., 2006). ويمكن أن تعتمد مثل هذه الإنبعاثات من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل، ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيران متعدد البروم ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور على كفاءة التحطيم في المنشآت المعنية. علاوة على ذلك فإن "مسودة الوثيقة المرجعية لأفضل التقنيات المتاحة للصناعات المعادن غير الحديدية" تنص على أنه: "إذا تم استخدام كميات كبيرة من الخردة الإلكترونية مع مثبطات اللهب البرومينية، كمادة أولية، فقد يؤدي هذا إلى تكوين خليط من الديوكسينات المهلجنة" (European Commission, 2009).

تستخدم البوليمرات/الراتنجات في وظيفة مزدوجة فهي تعمل كعامل مختزل وكمصدر للطاقة في عملية الصهر. ويمكن استرجاع كميات أخرى من الأنثيمون في المصاهر المتكاملة. فبينما تكون درجة الحرارة في حمام المعدن المنصهر عالية (فوق 1100 درجة مئوية) ومناسبة لتحطيم الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل، فإن درجة الحرارة تتدرج من نقطة التحميل إلى سطح الحمام في درجات تتراوح من درجة حرارة الظروف المحيطة إلى درجة حرارة الحمام. ويمكن وصف المصاهر بأنها عمليات حرارية تحدث مع احتراق غير كامل عند تحميل المواد. وفي حين أن فحم الكوك يتأكسد بشكل رئيسي في حمام الانصهار، فإن راتنجات لوحات الدوائر المطبوعة وبلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية يتم إشعالها في المسبك وحرقتها/تحليلها حرارياً في قمة عملية الصهر.

أظهرت الدراسات وجود تركيزات عالية من ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور وثنائي بنزو فيران متعدد الكلور، والبرومينية والمكلورة البرومينية- ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور في محارق ترميد النفايات من في الغاز الخارج من منطقة الاحتراق الأولى (تصل إلى 1000 نانوجرام مكافئ سمية/ $\text{Nm}^3$ ) عند إضافة نسبة عالية من نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية. غير أن هذه المركبات تتحطم في منطقة الاحتراق الثانوية (Hunsinger et al., 2002; Hunsinger, 2010). من هذه الأدلة، وبالإضافة إلى تكوين مستويات عالية من الديوكسينات، فإنه يمكن أن تتكون وتطلق مستويات من ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيران متعدد البروم البرومينية، ومن الثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور من أفران الصهر ومعالجة الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل وغيرها من البوليمرات المحتوية على مثبطات اللهب البرومينية. ولذلك فهناك حاجة لوجود مرحلة ما بعد المحارق كإحدى وسائل أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية. وعلاوة على ذلك فالمعلومات الواردة من الصناعة تفيد بأن هناك حاجة إلى وجود معاملة ما بعد الحرق لمعالجة غازات العادم الناتجة من عمليات الصهر التي تعالج فيها لوحات الأسلاك المطبوعة تعامل (Kegels, 2010).

يمكن أن يحل استخدام أحسن التقنيات المتاحة لبعث المحارق (850 درجة مئوية زمن البقاء هو 2 ثواني مع تقليب الكافي) في المصاهر محل غرفة الاحتراق الثانوية. وقد ورد في مسودة الوثيقة المرجعية المحدثة للإتحاد الأوروبي لأفضل التقنيات المتاحة (European Commission, 2009) وجود إنبعاثات تصل إلى  $5 \text{ ng/m}^3$  من ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور وثنائي

بنزوفيران متعدد الكلور حتى بعد الحرق. وفي أوروبا تم توثيق اثنين من الدراسات التجريبية الأكبر في محطات واسعة النطاق حجماً لاسترجاع بلاستيك نفايات الأجهزة والإلكترونية/مبثبات اللهب البرومينية باستخدام المواد المثبطة للهب المكورة - البرومينية في المصاهر كبديل للفحم الكوك/النفط كعامل مختزل (Mark and Lehner, 2000; Hagelüken, 2006; Brusselaers et al., 2006)، واحداً منهما في مصهر متكامل في السويد<sup>52</sup> والثاني في مصهر متكامل في مدينة أنتويرب البلجيكية<sup>53</sup>. ورغم ورود قيم عن ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور، وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور في كلا الحالتين الدراسيتين، لكن هذه القيم ليست مفيدة بشكل كافي وقد تكون مضللة لمداخلات الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل/مبثبات اللهب البرومينية<sup>54</sup>. ولم يتم قياس مستويات الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل من ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور والتي كان من الممكن أن تعطي معلومات أوفر، أو على الأقل لم يتم الإبلاغ عنها في هذه الدراسات.

لا توجد دراسة منشورة عن تقييم انطلاق الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل، وتكوين وانطلاق ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم، ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور من إعادة تدوير المادة الأولية للمواد المحتوية على الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل / مثببات اللهب البرومينية في المصاهر، ويعد هذا إغفالاً كبيراً. وذلك لأنه يتم استخدام هذا النوع من إعادة تدوير المواد الأولية لعشرات آلاف الأطنان من لوحات الدوائر المطبوعة في كل عام، كما أوصى بهذه الطريقة للتعامل مع البوليمرات التي تحتوي على الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل/مبثبات اللهب البرومينية من الإلكترونيات (Mark and Lehner, 2000; Hagelüken, 2006; Brusselaers et al., 2006).

المصاهر الفردية التي تقوم بمعالجة لوحات الأسلاك المطبوعة والاستفادة من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل و البوليمرات التي تحتوي على مثببات اللهب البرومينية كعامل مختزل، من الضروري أن يكون فيها قياس مستويات انطلاق الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل والديوكسينات المهلجنة/الفيوران (ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور، وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور، ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم، ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور) بعناية قبل اتخاذ أي قرار بشأن مدى ملائمة هذه المصاهر أو فعاليتها معالجاً ما بعد المحارق وغازات المداخل.

<http://www.boliden.com><sup>52</sup>

<http://www.unicore.com/en/><sup>53</sup>

<sup>54</sup> وجد في دراسة سويدية في مدخنة محطة إعادة تدوير متعدد الكربونات من الخرقة وجود 0.12-0.08 نانوجرام مكافئ سمية م<sup>3</sup> (في حدود انبعاثات المداخل لمحارق النفايات) (Mark and Lehner, 2000)، ولذلك فهو اعلي من المستوى في مكان العمل الألماني عن 0.05 نانوجرام مكافئ سمية م<sup>3</sup> (TRGS 2000 557) دون حتى النظر في ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم، وثنائي بنزوفيران متعدد البروم أو ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور. وتم أيضاً قياس ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور، وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور فقط في كومة بعد معالجة غاز المداخل في اختبار تجريبي في مصهر في بلجيكا (Hagelüken, 2006; Brusselaers et al., 2006).

المصاهر الحديثة المتكاملة تتطلب استثمارات أعلى بكثير من 1 مليار دولار أمريكي. فحالياً، يوجد فقط من 5 إلى 10 محطات تبرز الأداء التكنولوجي اللازم والمتعلقة بالعمليات المذكورة. وتشمل هذه المحطات، المحطات التي تدار عن طريق أوميكور (بلجيكا)، أوريوبس AG (former Norddeutsche Affinerie AG) (ألمانيا)، Boliden (السويد/فنلندا)، جونسون نوراندا (كندا)، والدوا (اليابان). ويمكن أن يكون لاستخدام أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية في المنشآت الفلزية فوائد كبيرة تتجاوز أدائها البيئي الجيد. ومن الفوائد الرئيسية أنه يمكن استرجاع مجموعة أوسع بكثير من المعادن مع زيادة المنتج واحتياجات طاقة أقل من المنشآت الأقل تطوراً (Hage Hagelüken, 2006; Hagelüken and Meskers, 2008). وبما أن تدفقات النفايات النهائية عادة ما تكون صغيرة، بما أنها مستنفذة- فإنه يمكن استخدام نفايات صهر المعدن الخام الخاملة التي تنتج من عمليات الصهر في مواد البناء (بعد النظر في خصائص الترشيح الخاصة بهم) أو كإضافات لصناعة الأسمنت.

#### جدول 7-2: سعة المصهر الأوروبي

القدرات الحالية	مصانع التدوير (في السنة)
Boliden في السويد	35,000 طن من الخرصة EandE 25٪ (البوليمر)
Umicore في بلجيكا	يمكن معالجة < 10,000 طن في السنة (تحديداً لوحة الدوائر)
Norddeutsche Affinerie AG، في ألمانيا (حالياً Aurubis AG)	يعامل 10,000 طن من لوحات الأسلاك المطبوعة ، بالإضافة إلى < 15,000 طن أخرى من بلاستيك نفايات الأجهزة الإلكترونية والكهربائية

(BSEF, 2000)<sup>55</sup>

BSEF, 2000. <http://www.bsef.com/science/brominated-flame-retardants-and-recycling/technical-recycling-and-wastesolutions/><sup>55</sup>

توجد اعتبارات محددة لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لخفض أو القضاء على انطلاق الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل وثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور من مصاهر النحاس وتشمل التالي:

- **أفضل التقنيات المتاحة للحرق اللاحق لما بعد الإحترق (Post-combustion afterburners):** يأتي في ذكر أفضل التقنيات المتاحة / وأفضل المعاملات البيئية لاتفاقية ستوكهولم أن الحرق اللاحق لما بعد الإحترق هو إحدى وسائل أفضل التقنيات المتاحة للحد من إنبعاثات ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور، وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور من المنشآت المعدنية الثانوية (Stockholm Convention, 2007). تحتاج كفاءة هذه الطريقة إلي التقييم من أجل اتخاذ قرار بشأن مدى ولاءتها للمعاملة الآمنة للمواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومثبطات اللهب البرومينية.

- **معالجة الغاز الخارج:** تشمل أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية أيضاً كمقياس أساسي للتعامل الملائم مع الغاز الخارج ومناسبة ظروف معالجته لمنع الظروف التي تؤدي إلي تكوين تخليق مركبات جديدة (de novo synthesis) من ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور، وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور. نفس الإجراءات تحد من تكوين ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور ما لم تنبعث من الفرن.

- تدابير ثانوية رئيسية للحد من انطلاق الملوثات العضوية الثابتة غير المتعمدة (UPOP) تشمل ما يلي:

- حقن الممتزات (على سبيل المثال، الكربون النشط)

- مستوي عال من إزالة الغبار بمرشحات القماش (تصل >5 ملجم الغبار/ $Nm^3$ )

ويمكن الإطلاع على مزيد من التفاصيل في إرشادات اتفاقية ستوكهولم لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية (Stockholm Convention, 2007) والوثيقة المرجعية للإتحاد الأوروبي لأفضل التقنيات المتاحة (European Commission, 2009).

## 2.6.7 استرجاع المواد واسترجاع الطاقة في أفران القوس الكهربائي:

يتعين النظر في بعض التدابير الأساسية لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لخفض انطلاق الملوثات العضوية الثابتة غير المتعمدة من أفران القوس الكهربائي الموضحة في فئة القسم الثالث الجزء السادس المصدر (ب) "عمليات حرارية في الصناعات الفلزية لم تذكر في المرفق (ج)، الجزء الثاني" من اتفاقية ستوكهولم لإرشادات أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية (Stockholm Convention, 2007). ويرد وصف تفاصيل تقنيات أفضل التقنيات المتاحة المستخدمة في الوثيقة المرجعية للإتحاد الأوروبي لأفضل التقنيات المتاحة لصناعة الحديد والصلب (European Commission, 2011b)<sup>56</sup>.

[http://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/IS\\_11\\_17-06-2011.pdf](http://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/IS_11_17-06-2011.pdf)<sup>56</sup>

لم تكن أفران القوس الكهربائي تعتبر منشآت خاصة باسترجاع النفايات التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومثبطات اللهب البرومينية. وتم إثبات أن أفران القوس الكهربائي التي تعامل معادن الخردة يمكن أن تولد مستويات عالية من ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور، وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور في النفايات الصلبة وتنظيف الغبار من غاز المداخن (ENDS, 1997). في الآونة الأخيرة، تم ذكر وجود إنبعاثات الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل وثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم، وثنائي بنزو فيران متعدد البروم من أفران القوس الكهربائي في الصين وتايوان وتركيا (Du et al., 2010a, b; Odabasi et al., 2009; Wang et al., 2010). وكانت مستويات الإنبعاثات من هذه العمليات الفلزية أعلى من إنبعاثات محارق الترميد (Du et al., 2010a,b). وهذا يدل على أن نفايات المواد الأولية التي تحتوي على المواد الأولية من الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل تدخل أفران القوس الكهربائي وينبغي مداولة هذا الأمر في تطبيق اتفاقية ستوكهولم. وبما أن أفران القوس الكهربائي يمكن أن تسهل من استرجاع المعادن، فإنها قد تندرج في فئة إعادة تدوير واسترجاع المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل.

توجد اعتبارات محددة لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لخفض أو القضاء على انبعاث الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور من مصاهر النحاس وتشمل التالي:

- **فصل المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل من الخردة:** هذه الخطوة لها أهمية خاصة في الفصل في أفران القوس الكهربائي التي يوجد لها أفضل تقنيات متاحة. وبما أن استرجاع المواد/إعادة تدويرها من خلال فرن القوس الكهربائي قد يحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل، فإنه يجب وضع الأنواع التالية من النفايات في الاعتبار:
  1. نفايات السيارات ومكونات مركبات وسائل النقل الأخرى (الأوتوبيسات والقطارات والطائرات) التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في الفوم المتعدد البوريثان في المقاعد/اذرع المقاعد، والأسقف، وكذلك بلاستيك التصميم الداخلي أو الكابلات.
  2. المنتجات البيضاء وغيرها من نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في قطع البلاستيك.
- **أفضل التقنيات المتاحة للحرق اللاحق لما بعد الاحتراق:** تشير إرشادات اتفاقية ستوكهولم لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية الحرق اللاحق لما بعد الاحتراق كأفضل التقنيات المتاحة للحد من انبعاثات ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور، وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور من أفران القوس الكهربائي (Stockholm Convention, 2007). أما بالنسبة للمصاهر، فإن كفاءة ما بعد الاحتراق تحتاج إلي تقييم لاتخاذ قرار بشأن مدى ملائمة أفران القوس الكهربائي التي تستخدم أفضل التقنيات المتاحة (بما في ذلك بعد الاحتراق) لمداخلات المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومثبطات اللهب البرومينية بأمان.

- **معالجة الغاز الخارج:** توصى أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية بالتعامل الملائم مع الغاز الخارج ومناسبة ظروف معالجته لمنع الظروف التي تؤدي إلى تخليق مركبات جديدة (De novo synthesis) من ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور، وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور. نفس الإجراءات يمكن أن تشمل استخدام الحراق اللاحق لما بعد الاحتراق ويليها إخماد سريع للغازات.

تدابير ثانوية رئيسية للحد من الملوثات العضوية الثابتة غير المتعمدة ما يلي:

- حقن الممتزات (على سبيل المثال، الكربون النشط)
  - مستوي عال من إزالة الغبار بمرشحات القماش (تصل >5 ملجم الغبار/ $Nm^3$ )
- ويمكن الاطلاع على مزيد من التفاصيل في إرشادات اتفاقية ستوكهولم لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية (Stockholm Convention, 2007) الوثيقة المرجعية للإتحاد الأوروبي لأفضل التقنيات المتاحة (European Commission, 2009).

### 3.6.7 إعادة تدوير المواد الأولية من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل بوليمرات في صناعة الصلب الأساسي:

لا تشمل إرشادات اتفاقية ستوكهولم لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية (Stockholm Convention, 2007) أفضل التقنيات المتاحة لعمليات الفرن العالي (Blast furnace) بما أنها غير مدرجة كمواد ذات الصلة بالملوثات العضوية الثابتة غير المتعمدة، ولكن يتم تغطية موضوع الأفران العالية بواسطة الوثائق المرجعية للإتحاد الأوروبي لأفضل التقنيات المتاحة للحديد والصلب (European Commission, 2001, 2011).

يستخدم البلاستيك وربما غيره من البوليمرات في صناعة الصلب الأساسي إما (أ) مباشرة في الأفران العالية كبدايل فحم الكوك أو (ب) كبدايل للفحم في إنتاج فحم الكوك (Japan National Institute for Environmental Studies, 2010; European Commission, 2011b). في دراسة لتقييم دورة حياة أغلفة التلفزيونات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل تحتوي على (Hirai et al., 2007). تمت مقارنة أربعة سيناريوهات هي: إعادة تدوير المواد، وإعادة تدوير المواد الأولية، والترميد، والدفن. وقد خلصت المقارنة إلى أن إعادة تدوير المواد الوسيطة المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في صناعة الصلب الأساسي يمكن أن يكون الخيار الأفضل مقارنة مع ثاني أفضل خيار وهو إعادة تدوير المواد ولكن لوحظ أنه محدود القدرة بسبب محتوى البروم في البلاستيك.

وفقاً للوثيقة المرجعية الأوروبية لأفضل التقنيات المتاحة للحديد والصلب، وبقايا التقطيع والمواد الوسيطة في إنتاج الصلب الأساسي (المفوضية الأوروبية، 2011). فإنه لا توجد بيانات منشورة عن الإنبعاثات الناتجة عن تشغيل الفرن العالي في ظل معالجة مشتركة صريحة للمواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل. وتشدد وثيقة أفضل التقنيات المتاحة / أفضل المعاملات البيئية على أن تقييم الخيارات والقيود المفروضة على استخدام المواد الأولية للأجزاء الغنية بالبوليمر (من

الإلكترونيات مختلطة و/أو التقطيع السيارات) ولا بد من التأكد من محتوى المعادن الثقيلة من بوليمر المواد الوسيطة<sup>57</sup> وذلك لتقييم مدى ملائمتها للاستخدام والقيود المفروضة عليها (European Commission, 2011b)<sup>58</sup>. وجد Hirai et al. (2007) أن محتوى البروم/الهالوجين كان أحد عوامل تضيق نطاق استخدامها في صناعة الصلب الأولية<sup>59</sup>، حيث لا تقبل صناعة الصلب في اليابان إلا محتوى من الهالوجين لا يتجاوز 0.5% (البروم أو الكلور). بينما يكون المحتوى المسموح به في أوروبا من الهالوجين أعلى<sup>60</sup> من ذلك.

الظروف في الفرن العالي من المرجح أن تعمل علي تحطم الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل وغيرها من المواد العضوية المهلجنة في أفران ذات كفاءة عالية. ومع ذلك، فإن إنبعاثات الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل وثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيران متعدد البروم تحتاج إلي تقييم بالتفصيل لضمان امتثالها لالتزامات اتفاقية ستوكهولم.

#### 4.6.7 المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في صناعات الألمنيوم الثانوي:

يوضح القسم 5 لفئة المصدر د2 "عمليات حرارية في الصناعات المعدنية" من إرشادات اتفاقية ستوكهولم لأفضل التقنيات المتاحة / أفضل المعاملات البيئية بعض التوصيات الرئيسية لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية المتعلقة بمنشآت إنتاج الألمنيوم الثانوي لخفض انبعاث الملوثات العضوية الثابتة غير المتعمدة (Stockholm Convention, 2007). وتم وصف التفاصيل حول هذه التقنيات في 2001 بالوثيقة المرجعية للإتحاد الأوروبي لأفضل التقنيات المتاحة BREF حول الصناعات المعدنية غير الحديدية (European Commission, 2001)<sup>61</sup>.

تم الكشف عن ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم، وثنائي بنزو فيران متعدد البروم، وثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور في إنبعاثات غازات مداخن مصاهر الألمنيوم الثانوي (Du et al. 2010 a, 2010b). كما تم الكشف أيضا على البروم في مدخلات النفايات في محطة إعادة تدوير الألمنيوم. وتم أخذ عينات من بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية والغبار من مرشح المطحنة الإلكترونية وغبار مرشح أتربة الحلزونات

<sup>57</sup> الزئبق خصوصا، ولكن أيضا من الكوبالت والكروم والزرنيخ والرصاص والنيكل والكاديوم والزنك

<sup>58</sup> الوثائق المرجعية للإتحاد الأوروبي لأفضل التقنيات المتاحة للصلب تحدد حدود الكوبالت والكروم والزرنيخ والرصاص والنيكل، والزرنيق والكاديوم والزنك في إعادة تدوير المواد الأولية البلاستيكية في أفران الصهر (European Commission, 2009).

<sup>59</sup> محتوى البروم في نفايات أغلفة التلفزيون المنتجة في اليابان كل سنة هو 705 طن أو ما يقرب من ضعف 400 طن من الهالوجين الإجمالي الذي يمكن قبوله/إدارته من خلال إعادة تدوير المواد الأولية البلاستيكية في صناعة الصلب الأساسية اليابانية. وبناء على ذلك، يمكن نظريا استرجاع حوالي 50% من البلاستيك التلفزيونات كحد أقصى بهذه الطريقة في اليابان (Hirai et al., 2007).

<sup>60</sup> تفيد التقارير انه في أوروبا يصل المحتوى المقبول من الكلور لصناعة الصلب إلى 1.5% (بريمن/ألمانيا) (Tukker, 2002) و2% (لينز/النمسا) (European Commission, 2009)

<sup>61</sup> [http://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/nfm\\_bref\\_1201.pdf](http://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/nfm_bref_1201.pdf)

من المطحنة الإلكترونية ومتبقيات التقطيع الخفيفة من السيارة. وفي تحليلات الفرز، تم العثور على الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في جميع العينات بكميات من 245 – 67,450 نانوجرام/جرام. وكانت أعلى المستويات في البلاستيك من الإلكترونيات. كما لوحظ وجود مثبتات لهب البرومينية أخرى في جميع العينات. كانت المستويات الكبيرة من متجانسات الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل هي من الإثري خماسي البروم ثنائي الفينيل (150 نانوجرام/جرام)، الإثري سداسي البروم ثنائي الفينيل (20 نانوجرام/جرام) والإثري عشاري البروم ثنائي الفينيل (10 نانوجرام/جرام) (Sinkkonen et al., 2004).

وبالتالي، ينبغي تقييم محطات الألمنيوم الثانوية بشكل صحيح لتقييم مدى انطلاق الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل، ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيران متعدد البروم وثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم- متعدد الكلور، وثنائي بنزو فيوران متعدد البروم - متعدد الكلور في الهواء والمخلفات الصلبة.

#### 5.6.7 إعادة تدوير الأنثيمون بمصاهر بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية:

يمكن استرجاع بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية المثبطة للهب في مصاهر الأنثيمون حيث يتم فيها استرجاع أكسيد الأنثيمون<sup>62</sup> منها في الوقت الذي يعمل فيها البلاستيك بمثابة عامل مختزل (UNEP، 2010b). للأسف لا توجد بيانات عن الكميات المعالجة، أو كفاءة تحطيم الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل، أو كميتها أو كمية انطلاقات ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم، وثنائي بنزو فيران متعدد البروم من هذه العمليات. ولا توجد تقارير منشورة عن رصد انطلاقات الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل أو ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم أو ثنائي بنزو فيران متعدد البروم خلال استرجاع الأنثيمون من بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية.

وتتطلب أفضل التقنيات المتاحة للتعامل مع المواد البلاستيكية التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومثبطات لهب البرومينية في مصاهر الأنثيمون وجود الحراق اللاحق afterburners من أجل الوصول للمعالجة الملائمة لغاز المداخن. ويمكن تحديد القياسات ثم تحديد مدى ملائمة استخدام مصهر الأنثيمون المعني بمعالجة البلاستيك المحتوى على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل.

#### 6.6.7 اعتبارات الدول النامية/الانتقالية:

<sup>62</sup> يستعمل باعتباره موازر مثبتات لهب المهلجنة مع مثبتات لهب



أفادت الدراسات التي أجريت مؤخراً في الصين وتايوان وتركيا وجود إنبعاثات من الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل وثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيران متعدد البروم من الصناعات المعدنية (مصاهر النحاس، أفران القوس الكهربائي ووحدات التصنيع من مسحوق المعادن، صناعة الألمنيوم الثانوي)، وكشفت عن أنه تتم معالجة المواد التي تحتوي على الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل/مثبطات اللهب البرومينية في هذه المنشآت (Du et al., 2010; Odabasi et al., 2009; Wang et al., 2010). وبما أن العديد من الدول النامية/الدول التي تمر بمراحل انتقالية لديها بعض من هذه الصناعات، فهناك احتمالية أن تكون هناك انطلاقات من هذه المنشآت. ولكن قد يكون من الممكن وجود مزايا تتعلق بالحفاظ على الموارد وكفاءة استخدام الطاقة المرتبطة بهذه المنشآت لاسترجاع المعادن والطاقة من تيارات المواد/وهذه النفايات.

تعتبر الصناعات المعدنية في معظم الدول النامية منخفضة في مستوى التكنولوجيا وذات تقنيات متخلفة عموماً. ولذلك فمن غير الواضح ما إذا كانت الصناعات المعدنية حالياً في الدول النامية ملائمة لمعالجة المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل. وبما أنه لا تزال هناك ثغرات كبيرة في معرفة الصناعات المعدنية المختلفة حتى في الدول الصناعية (النحاس المصاهر، أفران القوس الكهربائي، والألمنيوم الثانوي، ومصاهر الأنتيمون)، فإنه لا توجد حالياً أي توصيات عن مثل هذه المعاملات للدول النامية والدول التي تمر بمرحلة انتقالية. ولذلك يعد رصد الانطلاقات من مرافق معالجة المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومثبطات اللهب البرومينية خطوة حيوية أولى.

#### **8. التخلص من المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في مدافن النفايات:**

لا تملك معظم الدول النامية خطط لإعادة التدوير من أجل فصل الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل من تدفقات المواد (الأدوات) الكبيرة عند نهاية عمر المركبات، بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية، والأثاث والمراتب. كما أنها لا تملك القدرة والموارد البشرية<sup>63</sup> أو المالية للمعاملات المتطورة في إدارة النفايات ومعالجتها وخيارات التخلص منها. ولذلك في كثير من الدول النامية لا يزال يتم التخلص من نسبة كبيرة من النفايات من مدافن النفايات والمواقع المفتوحة، وأحياناً مع الحرق في الهواء الطلق، والذي له آثار سلبية شديدة على صحة الإنسان والبيئة. للمزيد من المعلومات، أنظر المرفق 3 عن مدافن النفايات من النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل الموجهة في المقام الأول إلى الدول النامية والدول التي تمر إقتصاداتها بمرحلة انتقالية.

#### **1.8 عيوب دفن المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة الفينيل ثنائية البروم:**

تبين العديد من الدراسات إرتشاح الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل جنباً إلى جنب مع غيرها من الملوثات العضوية الثابتة (ثنائي الفينيل متعدد الكلور، ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور

<sup>63</sup> دراسة إحصائية عن تكاليف إدارة النفايات في مختلف المناطق توضح أن الإنفاق على إدارة كمية النفايات البلدية يصل إلى ما بين 0.2% و 0.4% من الناتج المحلي الإجمالي لمعظم الدول والموارد المالية المتاحة لإدارة النفايات تختلف بمعدل يصل إلى 500 ضعف (Brunner and Fellner, 2007).

وغيرهما من المركبات شبه المتطايرة) بالإضافة إلى المعادن الثقيلة والمواد الأخرى من المدافن غير الصحية إلى التربة والغلاف المائي (Osako et al., 2004; Odusanya et al., 2009; Danon-Schaffer, 2010; Danon-Schaffer and (Mahecha-Botero, 2010; Weber et al., 2011; Zennegg et al., 2010; Götz et al., 2012). كما تم الكشف عن الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في التربة المجاورة لمدافن النفايات في مناطق مختلفة من كندا (Danon-Schaffer, 2010)، مشيراً إلى انطلاق الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل إلى الغلاف الجوي من مدافن النفايات ثم ترسيبها (هبوطها) لاحقاً. وتحتاج الملوثات العضوية الثابتة ومتبقيات المعادن الثقيلة المنطلقة من مخلفات تقطيع السيارات في مرحلة نهاية العمر والنفايات الإلكترونية إلى معالجة مكلفة<sup>64</sup> في نهاية المطاف (Takeda, 2007).

تسلط هذه النتائج الضوء على أن خيار التخلص من المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل إلى مدافن النفايات ما هو إلا خيار يستخدم في حاله ما إذا كانت كل المعالجات بأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية وتلوث الهواء المتقدمة أو المعالجة البديلة (see chapter 7; Stockholm Convention, 2007) سبق استكشافها واستخدامها حيثما أمكن ذلك.

## 2.8 مدافن النفايات للتخلص الصحي من المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل

ينبغي دفن المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في المدافن الصحية للنفايات المصممة تصميمًا جيدًا، وبالتدابير الهندسية الموضحة أدناه على الأقل (أنظر المرفق 3) (BiPRO, 2007; Keet et al., 2010):

- يؤخذ في الاعتبار تحديد مواقع مدافن النفايات المناسبة من حيث القرب من السكان والمستقبلات الحساسة الأخرى، والمياه الجوفية المحلية والمياه السطحية ومخاطر الفيضانات.
- صرامة الأمن في الموقع والسيطرة الكاملة على دخول النفايات إلى موقع مدفن النفايات للتخلص منها.
- إدارة مدافن النفايات للتقليل من مخاطر الحريق عن طريق الضغط المناسب والتغطية الخ (أنظر اتفاقية ستوكهولم، 2007).
- تشغيل مدافن النفايات يومياً في وجود الغطاء.
- استخدام أحدث البطانات للحد من التسرب.
- الشكل الجانبي والتغطية للحد من تسرب.
- جمع ومكافحة ومعالجة الراشح.
- جمع ومكافحة ومعالجة غازات مدافن النفايات.
- نظام الرصد الشامل بالرعاية اللاحقة على المدى الطويل (ربما لقرون).

<sup>64</sup> ارتفاع تكلفة المعالجة أو الحفر في مدافن النفايات التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة (Weber et al., 2011; Götz et al., 2012) هو سبب آخر حتى تجنب الدول دفن هذه النفايات كلما كان ذلك ممكناً.

### 3.8 اعتبارات الرعاية اللاحقة للمدافن الصحية للمخلفات على المدى الطويل:

يتراوح متوسط العمر المتوقع للإجراءات الهندسية لاحتواء المدافن الصحية للنفايات لفترة تتراوح ما بين عقود وقرون. الخبرات العملية الحالية ليست شاملة بما يكفي لتوفير اعتبارات الرعاية اللاحقة للمدافن الصحية للنفايات على المدى الطويل (Buss et al., 1995; Allen, 2001; Simon and Mueller, 2004)، ومع ذلك، قد يكون من المتوقع أن يحدث انطلاق للمواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل المدفونة ومواد أخرى عبر التربة والراشح في النظم البيئية على مر الزمن (Weber et al., 2011).

تمت دراسات حول الفترة الزمنية من حياة الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل وغيرها من المواد الكيميائية السامة الثابتة في مدافن النفايات باستخدام النماذج، على سبيل المثال دراسة دانون شيفر عام 2010 (Danon-Schaffer, 2010). وأشارت الدراسات إلي أن خطر هذه المواد على البيئة سوف يكون أطول عمراً من قدرة التركيب الهندسي للمدافن علي احتواء الملوثات في محتوى والتركيب الهندسي للمدافن الصحية. وما زال هناك حاجة لمعرفة المزيد من سلوك هذه المواد على المدى الطويل وغيرها من المواد الكيميائية السامة الثابتة لتقييم الخطر الناجم عنها في البيئة، بما في ذلك تغير المناخ والظواهر الجوية القاسية (Laner et al., 2009; Weber et al., 2011).

ينبغي أن يراعى في أفضل تصميمات مدافن النفايات المتاحة الهطول الكثيف للأمطار، ومعدلات التآكل والتسرب بإنتاج الراشح المطور، وتعبئة جزء أكبر من النفايات، والتحلل السريع للخطوط، وارتفاع معدلات التطاير. وكذلك وبصفة خاصة السهول الفيضية، والمناطق المنخفضة والساحلية حيث تشكل الفيضانات والتفاعل مع/ومياه النهر أو مياه البحر خطراً على البيئة وصحة الإنسان من خلال التراكم الحيوي (Bebb and Kersey, 2003). وينبغي مراعاة مخاطر الفيضانات (الجوفية والسطحية وخطر التلوث) في الإعداد للمدافن الصحية الجديدة على نطاق طويل الأجل (على سبيل المثال 10.000 سنة) إذا كان سيدفن فيها النفايات التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (وغيرها من الملوثات العضوية الثابتة). وعلاوة على ذلك، فإن جميع مدافن النفايات الحالية والسابقة التي تم التخلص فيها من هذه المواد (وغيرها من الملوثات العضوية الثابتة) يمكن تحديدها وتقييمها من خلال قاعدة بيانات وطنية، بما يشمل تقييم مخاطر الفيضانات (Laner et al., 2009). وسيتم ربط هذه البيانات لحصر المواقع الملوثة بهذه المواد. (أنظر الفصل 7 دليل حصر الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل)، حامض الكبريتيك المشبع بالفلور أوكتين PFOS (أنظر الفصل 7 من دليل حصر حامض الكبريتيك المشبع بالفلور أوكتين) أو غيرها من الملوثات العضوية الثابتة (UNEP UNEP, 2005; UNIDO, 2010; Hatfield Consultants and World Bank, 2009).

المراجع:

## المرفقات:

### مرفق 1: الاعتبارات العامة لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية:

#### نظام الإدارة البيئية (EMS):

وهي التقنيات المتعلقة بمواصلة تحسين الأداء البيئي. فهي توفر الإطار اللازم لضمان تحديد واعتماد أفضل التقنيات المتاحة والالتزام بالخيارات الهامة والتي يمكن أن تلعب دوراً في تحسين الأداء البيئي في المنشآت. والواقع أن هذه المعايير الحيدة من حيث التدبير / وتقنيات الإدارة والأدوات غالباً ما تمنع الإنبعثات. وقد تم تحديد عدد من تقنيات الإدارة البيئية كأفضل التقنيات المتاحة. أن نطاق وطبيعة وجود نظم الإدارة البيئية سيكون عموماً (EMS) ذو صلة بطبيعة وحجم وتعقيد تطبيق هذه النظم، ومجموعة من آثارها البيئية. أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية في هذا الصدد ما يلي:

#### تنفيذ والالتزام ونظام الإدارة البيئية التي تتضمن، حسب الاقتضاء إلي الظروف الفردية، الميزات التالية:

أ. تعريف السياسة البيئية للتركيب من الإدارة العليا (ويعتبر التزام الإدارة العليا كشرط مسبق لاستخدام ناجح من الميزات الأخرى في نظام الإدارة البيئية)

ب. التخطيط ووضع الإجراءات اللازمة

ج. تنفيذ الإجراءات، مع إعطاء اهتمام خاص إلي:

• الهيكل والمسؤولية.

• التدريب والتوعية والكفاءة .

• الاتصالات.

• مشاركة العاملين.

• التوثيق.

• مراقبة كفاءة العمليات.

• برنامج الصيانة.

• الاستعداد للطوارئ والاستجابة.

• ضمان الامتثال للتشريعات البيئية.

د. فحص الأداء واتخاذ إجراءات تصحيحية، مع إيلاء اهتمام خاص للآتي:

• الرصد والقياس.

• الإجراءات التصحيحية والوقائية.

#### • الاحتفاظ بسجلات

• التدقيق الداخلي المستقل (حيثما أمكن) من أجل تحديد ما إذا كان نظام الإدارة البيئية يتفق مع الترتيبات المخطط لها وتم تنفيذه بشكل صحيح والمحافظة عليها.

هـ. التزام بشكل مستمر زيادة كفاءة استخدام الطاقة في المنشأة عن طريق:

أ. وضع خطة كفاءة استخدام الطاقة

ب. استخدام التقنيات التي تقلل من استهلاك الطاقة وبالتالي الحد من الإنبعاثات بصورة مباشرة (الحرارة والإنبعاثات الناجمة من الموقع) وصورة غير مباشرة (الإنبعاثات الناتجة عن محطة الطاقة عن بعد

ج. تحديد وحساب استهلاك الطاقة المحددة للنشاط (أو الأنشطة)، وتحديد مؤشرات الأداء الرئيسية على أساس سنوي (مثلاً ميجاوات/ساعة/طن من المواد/النفائيات المعالجة). ووجود خطة لإدارة الضوضاء والاهتزازات في الأماكن التي تستوجب ذلك. إدارة المواد والمخلفات المتولدة عن العمليات بأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية هو: وجود إدارة للمتبقيات كجزء رئيسي من نظام الإدارة البيئي وتشمل:

أ. تقنيات التدبير المنزلي الأساسية

ب. تقنيات القياس الداخلية

#### إدارة النفائيات/المواد في المنشآت والعمليات:

تتعلق العديد من العمليات الموضحة في هذا المستند بالمنتجات/المواد بعد نهاية عمرها. وبعبارة أخرى، فهي تنطوي على إعادة تدوير، واسترجاع المواد/الطاقة، أو التخلص منها حيث أن هذه هي الأكثر ملائمة للمواد التي تحتوي على تدفقات الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل. وفيما يتعلق بإدارة المواد/النفائيات، فإن أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية العامة لنظم إدارة المواد/النفائيات تسعى لزيادة المعرفة بالمواد الواردة والنفائيات، وكيفية تخزينها بشكل صحيح، والتعامل معها، والتخلص منها وكذلك يتم إدراج تحسين المعرفة بخروج المواد والنفائيات من المنشأة.

#### نظام إدارة النفائيات/المادة:

الهدف من تطبيق أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية هو وضع نظام لضمان تتبع المواد والنفائيات المعالجة التي تحتوي على الملامح التالية:

أ. إجراء توثيق لاستخدام المعالجات والمواد والنفائيات بواسطة الرسوم البيانية والأرصدة المتوازنة.

ب. تنفيذ الإجراءات لتتبع البيانات من خلال العديد من الخطوات التنفيذية (مثل ما قبل القبول/القبول/الموافقة/المعالجة/النقل) ويمكن عمل السجلات وتحديثها على أساس مستمر لتعكس المنجزات، والمعالجة في الموقع، والمرسلات. وعادة ما يحتفظ بالسجلات مدة لا تقل عن ستة أشهر بعد أن يتم إرسال النفائيات.

جـ. وجود مرجعية واضحة ونظام تسجيل لخصائص النفايات ومصدر تيار النفايات المتاحة في جميع الأوقات.

د. قد يتكون هذا من قاعدة بيانات الحاسب الآلي أو سلسلة من قواعد البيانات، والتي يتم حفظها بانتظام. ينبغي وجود نظام تتبع لمراقبة المواد/سرد النفايات/المخزون أن يتضمن تاريخ وصوله في الموقع وتفاصيل منتج النفايات، رمز تعريف مميز، نتائج التحليل قبل القبول ونتائج تحليل القبول، وصف نوع وحجم المجموعة، المعالجة المتبعة، طرق التخلص، سجل دقيق لطبيعة وكمية المواد/النفايات في الموقع بما في ذلك جميع التفاصيل عن السمية وموقع المواد فعلياً، وعند أي مرحلة في مسار معالجة المواد والنفايات توجد النفايات في هذا الوقت.

هـ. يجب أن يتم فيها نقل البراميل والحاويات المحملة الأخرى بين مواقع مختلفة (أو تحميلها خارج الموقع للإزالة) فقط بناءً على تعليمات من المدير المناسب، وضمان أن يتم تعديل نظام تتبع النفايات لتسجيل هذه التغييرات.

ويجب أن يكون هناك استخدام لمزيج من القواعد الموجهة لحظر أنواع النفايات التي يمكن خلطها معاً من أجل تجنب زيادة إنبعثات التلوث من معالجة تيار النفايات. هذه القواعد تحتاج إلى أن تأخذ في الاعتبار نوع المواد/النفايات (على سبيل المثال الخطرة والغير خطيرة) ومعالجة النفايات، فضلاً عن الخطوات التالية التي سيتم تنفيذها على النفايات الخارجة (أنظر أدناه).

#### وينبغي إجراء العزل والتوافق في مكان يشمل ما يلي:

أ. سجلات مفصلة ودقيقة للاختبارات، بما في ذلك أي تفاعل من الممكن أن يؤدي إلى رفع مؤشرات السلامة (الزيادة في درجات الحرارة وتوليد غازات أو ارتفاع الضغط)، وسجل لمعايير التشغيل (تغييرات اللزوجة وفصل المواد الصلبة أو ترسيبها) وأي معايير أخرى ذات صلة مثل تولد الروائح.

ب. تعبئة حاويات المواد الكيميائية في براميل منفصلة على أساس تصنيف الخواص الخطرة الخاصة بها. ولا ينبغي تخزينها مع مواد أخرى لا تتوافق معها (مثل المؤكسدات والسوائل القابلة للاشتعال) في نفس البرميل.

يجب أن يوجد منهجاً لتحسين كفاءة معالجة النفايات. وهذا يشمل عادة وجود مؤشرات توضح كفاءة المعالجة وبرنامج رصد النفايات. ويجب عمل خطة لإدارة الحوادث وأن يتم استخدام مذكرة يومية خاصة بالحوادث بشكل صحيح.

#### المواد (الأدوات) والنفايات الواردة:

ينبغي أن يوجد سجل دقيق للمعلومات الخاصة بالمواد الواردة/النفايات في المنشآت لتحسين معرفة المواد الواردة والنفايات، وأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية. هذه المعرفة تحتاج إلى أن تأخذ في الاعتبار المواد/النفايات الخارجة من المنشأة والمعالجة التي ستنفذ عليها، ونوع المواد/النفايات، وأصل المادة/النفايات، والإجراءات الموصى بها والمخاطر التي تنطوي عليها.

#### تنفيذ إجراء ما قبل القبول يتضمن ما لا يقل عن البنود التالية:

أ. اختبارات للمواد الواردة/النفايات فيما يخص المعالجة المقررة

ب. التأكد من وجود كل ما يلزم من معلومات عن طبيعة العملية (العمليات) إنتاج المواد/النفايات، بما في ذلك تنوع العمليات. وان يكون اختيار الأفراد القائمين بإجراءات ما قبل القبول قائماً على ملائمة مهنتهم/أو خبرتهم في التعامل مع جميع المسائل ذات الصلة اللازمة لعلاج المواد/النفايات في المنشأة.

ج. وجود نظام لتوفير وتحليل عينة ممثلة (عينات) من المادة/النفايات المنتجة من عملية الإنتاج من المالك الحالي. فإذا رغبت منشأة ما - على سبيل المثال- لإعادة تدوير نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية في إرسال بلاستيك لإعادة التدوير، فإنه يمكن أن يطلب منها توفير بيانات عن محتواها من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة الفينيل ثنائية البروم. وتم توضيح طرق أخذ العينات وتحليل هذه الملوثات في بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية في الإرشادات المتعلقة بتحليل الملوثات العضوية الثابتة الجديدة في المواد (الأدوات) <sup>65</sup> (Wäger et al. , 2010).

د. نظام للتحقق بعناية. وإن لم يكن التعامل مباشرة مع منتج النفايات، في وجود معلومات في مرحلة ما قبل القبول. فإنه ينبغي أن تشمل تفاصيل الاتصال بالمنتج ووصفاً مناسباً للمادة/النفايات بشأن تكوينها وخطورتها.

هـ. التأكد من أن التصنيف يتم وفقاً للتشريعات الوطنية.

و. تحديد المعالجة المناسبة لكل النفايات التي يتم استلامها في المنشأة عن طريق تحديد طريقة معالجة المناسبة لكل استفسار عن المواد/النفايات الجديدة وجود طرق واضحة لتقييم معالجة هذه النفايات. وينبغي أيضاً أن تؤخذ الخواص الفيزيائية والكيميائية للمواد الفردية/النفايات ومواصفات المواد المعالجة/النفايات في الاعتبار.

#### تنفيذ إجراءات القبول يجب أن تحتوي على ما لا يقل عن البنود التالية:

أ. نظام واضح ومحدد مما يسمح للمشغل بقبول المواد/النفايات في محطة استقبال فقط إذا كانت طريقة المعالجة و التخلص منها/أو استرجاعها معروفة ومحددة.

أما بشأن التخطيط للقبول، فإنه يجب ضمان أن كفاءة معاملات التخزين وأحوال التخلص (قواعد قبول المنشآت الأخرى للنتائج) سوف تحترم التخزين اللازمة لقدرات وظروف الإرسال.

ب. وجود التدابير المطبقة للتوثيق الكامل والتعامل مع المواد المقبولة/النفايات التي تصل إلي الموقع، مثل نظام الحجز المسبق، لضمان وجود سعة كافية متاحة.

ج. وجود معايير واضحة لا لبس فيها لرفض النفايات والإبلاغ عن جميع الانتهاكات المطابقة.

د. وجود نظام لتحديد الحد الأقصى لعدد المواد/النفايات التي يمكن تخزينها في المنشأة.

---

<sup>65</sup> Wäger P, Schlupe M, Müller E. 2010. RoHS substances in mixed plastics from Waste Electrical and Electronic Equipment. Final Report September 17, 2010.



هـ. الفحص البصري للمواد الواردة/النفايات للتأكد من أنها تتماشى مع الوصف الوارد خلال إجراءات قبل القبول.

**عمل إجراءات أخذ العينات المختلفة لجميع المواد الواردة/النفايات التي يتم تسليمها بالجملة أو في خزانات. قد تتضمن هذه الإجراءات البنود التالية:**

أ. أن تقوم إجراءات أخذ العينات على أساس نهج خطر. من الأمور التي تؤخذ في الاعتبار نوع المواد/النفايات (على سبيل المثال خطرة أو غير خطرة) ومعرفة العميل (على سبيل المثال منتج النفايات).

ب. التحقق من المعايير الفيزيائية - الكيميائية ذات الصلة. وترتبط تلك المعايير ذات الصلة بمعرفة المواد/النفايات اللازمة في كل حالة وذلك لتسجيل جميع النفايات/المواد.

د. إجراءات أخذ العينات بصورة مناسبة لها. فيجب أن تتضمن الإجراءات نظاماً لتسجيل عدد العينات ودرجة التماسك.

هـ. عينة ما قبل القبول.

و. نظام التحديد والتسجيل.

ز. وجود نظام لضمان تحليل العينات المادية/النفايات إذا لزم الأمر. قد يتم تحليل الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في حالة ما إذا كانت معدة لمزيد من عمليات إعادة التدوير. ويمكن استخدام فحص البروم (أنظر الجزء 6.3) كمحدد بديل لمزيد من القرارات.

**ويجب وجود منشأة استقبال تفي على الأقل بالمعايير التالية:**

أ. وجود مختبر لتحليل العينات بالسرعة المطلوبة لتحقيق أفضل التقنيات المتاحة. وعادة ما يتطلب هذا وجود نظام قوي لضمان الجودة، وأساليب مراقبة الجودة والحفاظ على السجلات المناسبة لتخزين نتائج التحليلات. خاصة بالنسبة للنفايات الخطرة، وهذا غالباً ما يعني أن المختبر ينبغي أن يكون في الموقع. بما أن الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل تتطلب تحليلاً متطوراً إلي حد ما (أنظر إرشادات تحليل الملوثات العضوية الثابتة الجديدة في المواد) فإن مثل هذه المراقبة عادة لا تتم في الموقع.

ب. وجود منطقة حجر مخصصة لتخزين المخلفات، فضلاً عن وجود إجراءات كتابية لإدارة النفايات العادمة. وإذا كان التفقيش أو التحليل يشير إلي أن النفايات لا تتلاءم مع معايير القبول (بما في ذلك -على سبيل المثال- التلف أو التي لا تحمل علامات أو تؤدي لتآكل البراميل) فإنه يتم تخزينها مؤقتاً في هذا المكان بأمان. وينبغي تصميم مخازن واتخاذ إجراءات تمكن من توفير الإدارة السريعة (عادة في غضون أيام أو أقل) لإيجاد حل لتلك المواد/النفايات.

ج. وجود إجراء واضح للتعامل مع النفايات من حيث التفقيش و/أو التحليل لإثبات أنها لا تستوفي معايير القبول للمصنع أو لا تتناسب مع وصف المواد/النفايات الواردة أثناء إجراء ما قبل القبول. ويجب أن تشمل الإجراءات جميع التدابير اللازمة وفقاً للتصاريح أو التشريعات الدولية والمحلية لإعلام السلطات المختصة، بتخزينها بأمان لأي فترة انتقالية أو برفضها وإرسالها مرة أخرى إلي منتج النفايات أو أي دولة أو جهة أخرى تسمح بها.

- د. إلا يتم نقل المواد/النفايات إلى منطقة التخزين إلا بعد القبول.
- هـ. تحديد مكان التفتيش والتفريغ وأخذ العينات عند تخطيط الموقع.
- و. وجود نظام صرف محكم الغلق إذا لزم الأمر.
- ز. نظام للتأكد من أن الموظفين المشاركين في أخذ العينات، وفي التحقق من إجراءات التحليل مؤهلين تأهيلاً مناسباً ومدربين تدريباً كافياً، وأنه يتم تحديث التدريب بشكل منتظم.
- ح. استخدام نظام تعريف فريد لتتبع النفايات (التسمية/الرمز) لكل حاوية في هذه المرحلة يشمل المعرف على الأقل من تاريخ وصوله في الموقع ورمز النفايات.

### التخزين والتعامل:

- يتم تخزين المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل (مثل النفايات الإلكترونية ومخلفات التقطع ومواد الفوم) والنفايات في كثير من الأحيان والتعامل معها قبل المعالجة أو التخلص النهائي. وينبغي أن يشمل التخزين بأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية التقنيات التالية:
- أ. تحديد مناطق التخزين بعيداً عن مجاري المياه والمحيط الحساس، من أجل القضاء على أو التقليل من التعامل المزدوج للنفايات داخل المنشأة.
- ب. ضمان أن البنية التحتية للصرف في منطقة التخزين قادراً على أن يحتوي ما يمكن من الصرف الملوث وأن صرف النفايات الغير متوافقة لا يتلامس ولا يختلط مع بعضه البعض.
- ج. استخدام منطقة مخصصة للتخزين مجهزة بكل ما يلزم من تدابير تتعلق بالنفايات من أجل فرز وإعادة تعبئة مخلفات المعمل (المختبر) الصغيرة والمتشابهة. ويتم تصنيف (فرز) هذه النفايات وفقاً لمدى خطورتها، مع مراعاة وجود أي مشاكل تعارض أو عدم توافق محتملة بين النفايات، وإعادة تجميعها عند الحاجة. وبعد ذلك، يتم نقلها إلى منطقة التخزين المناسبة.
- ز. مراعاة اعتبارات الملائمة لتدابير السلامة من الحريق لتخزين النفايات البلاستيكية (أنظر اتفاقية بازل 2002)<sup>66</sup>.
- ح. تخزين النفايات العضوية السائلة ذات نقطة الاشتعال المنخفضة تحت ظروف نيتروجينية لإبقائها خاملة. ويتم وضع كل خزان في منطقة مقاومة للماء. أما نفايات الغاز السائلة فيتم جمعها ومعالجتها.
- كما يجب استخدام التقنيات التالية عند التعامل مع النفايات:
- أ. وجود النظم والإجراءات المعمول بها لضمان أن يتم نقل النفايات إلى مخزن مناسب بأمان.

<sup>66</sup> Basel Convention. 2002. Technical Guidelines for the Identification and Environmentally Sound Management of Plastic Wastes and for their Disposal.

ب. وجود نظام إدارة لتحميل وتفريغ المواد/النفايات في موقع الإنشاء والتي تأخذ في الاعتبار أيضاً أية مخاطر قد تتكبدتها هذه الأنشطة.

ج. ضمان وجود الشخص المؤهل في موقع النفايات ليقوم بالتحقق من النفايات القديمة الأصلية، والنفايات الغير واضحة الأصل أو غير معروفة (خاصة إذا كانت معبأة في براميل)، ولتصنيف المواد وفقاً لذلك، وحزمها في خزانات معينة. في بعض الحالات، قد تحتاج الحزم الفردية إلى الحماية من الأضرار الميكانيكية داخل البرميل فيتم حشوها بما يتلاءم مع خصائص النفايات المعبأة، وكذلك تعظيم استخدام العبوات المعاد استخدامها (البراميل والحاويات والحاويات الوسيطة، اللوحات، الخ).

### المواد والنفايات الصادرة:

لتحسين معرفة وإدارة النفايات/ المواد الصادرة بأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية يجب إتباع الآتي:

- تحليل وضمان جودة وتركيبية المواد/النفايات الخارجة وفقاً للمعايير ذات الصلة والهامة للشركة/المنشأة المستقبلة.
- تقييم كيفية ومكان إعادة استخدام النفايات، بما يتسق مع الإدارة السليمة بيئياً، مثل المواد الأولية لصناعة أخرى.
- تأكيد أن المواد والنفايات تحمل بطاقة تعريفية وفقاً لقائمة إدارة النفايات ومعايير التعريف الأخرى في الدولة.
- تأكيد تسليم المواد الملوثة فقط للشركات التي لها القدرة على المعالجة المناسبة والتي لها إطار إدارية مناسبة. وتأكيد مدى ملائمة تقنيات المعالجة للنفايات (مثل فنة مدافن النفايات، والحرق المشترك في أفران الأسمنت بأفضل التقنيات المتاحة، الترميد بأفضل التقنيات المتاحة).

### عمليات السحق والتقطيع والنخل والغسل:

يعتبر السحق، التقطيع وعمليات الغزبلية من العمليات الشائعة في إدارة ومعالجة المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل.

تتم أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية عن طريق الآتي:

القيام بالسحق، والتقطيع والنخل في المناطق المجهزة وذلك عند الحاجة مع وجود أنظمة تهوية إستخلاصية مرتبطة بأجهزة مكافحة التلوث عند التعامل مع المواد التي يمكن أن تولد إنبعاثات إلى الهواء (مثل الغبار، المركبات العضوية المتطايرة والروائح).

### القيام بعمليات الغسل وفقاً للاعتبارات التالية:

أ. تحديد المكونات المغسولة التي قد تكون موجودة في العناصر التي يجب غسلها (مثل المذيبات والزيوت والمبردات).

ب. نقل عملية الغسيل لمكان مناسب ومن ثم معالجتها بنفس الطريقة التي تم بها معالجة النفايات التي اشتقت منها.

ج. استخدام مياه الصرف المعالجة من محطة معالجة المياه في الغسيل بدلاً من استخدام المياه العذبة. ويمكن بعد ذلك إعادة استخدام مياه الصرف الناتجة من المعالجة في محطة معالجة المياه العادمة أو إعادة استخدامها في المنشأة.

### الاعتبارات العامة لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية فيما يتعلق بإنبعاثات الهواء والماء:

معالجة الإنبعاثات الحوية لمنع أو السيطرة على إنبعاثات الغبار تحديداً، والمركبات العضوية المتطايرة والروائح وبعض المركبات غير العضوية، فإن أفضل التقنيات المتاحة تشمل عدم استخدام خزانات مفتوحة الفوهة والأوعية والتجاويف عن طريق:

أ. منع التنفيس أو التصريف المباشر للهواء من خلال ربط جميع الفتحات عند تخزين المواد التي يمكن أن تولد إنبعاثات في الهواء (مثل المركبات العضوية المتطايرة ثنائية، الغبار، الروائح).

ب. حفظ النفايات أو المواد أو تحت غطاء مقاوم للماء في التعبئة والتغليف.

العمل بشكل صحيح والحفاظ على أجهزة مكافحة التلوث، بما في ذلك تداول ومعالجة/التخلص وسائط التنظيف المستهلكة. فيجب وجود نظام غسيل ذو وحدة تصريف للإنبعاثات وملامئ للانطلاقات الغازية غير العضوية من هذه العمليات. وكذلك يجب وجود نظام لاكتشاف التسريب وإصلاحه بالإجراءات المعمول بها في المنشأة (أ) تداول عدد كبير من مكونات الأنابيب والتخزين، (ب) المركبات التي قد تتسرب بسهولة وتخلق مشكلة بيئية (مثل الإنبعاثات المتسربة وتلوث التربة). ويمكن اعتبار هذا عنصراً من نظام الإدارة البيئية. كما ينبغي تخفيض إنبعاثات الهواء على الأقل إلى المستويات التي تسمح بها التشريعات الوطنية. ويتم تشجع المنشآت على استخدام تكنولوجيا تتبع أفضل التقنيات المتاحة للوصول لمستوى الإنبعاثات المتلائم مع أفضل التقنيات المتاحة. كما يمكن وضع خطط ملائمة للرصد وذلك للإشراف على الأداء والنشرات التوثيقية.

### معالجة مياه الصرف:

أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية هو الحد من استخدام وتلوث المياه عن طريق:

أ. استخدام العزل المائي للموقع وطرق الحفظ التخزيني كلما دعت الحاجة العزل المائي حيث يكون ضرورياً واستخدام نظم الحفاظ على المخزون.

ب. إجراء عمليات تفتيش منتظمة للمستودعات والتجاويف والأقبية، والخزانات.

ج. فصل تصريف المياه عند الاقتضاء وفقاً لمدى حمل التلوث (مياه السطح ومياه الطرق ومياه المعالجة).

د. استخدام حوض تجميع آمن.

هـ. أداء عمليات المراجعة المنتظمة للمياه، وذلك بهدف الحد من استهلاك المياه ومنع تلوث المياه.

و. فصل المياه العمليات (مياه التجهيز) عن مياه الأمطار.

- ويجب وجود إجراءات لضمان أن النفايات السائلة لها مواصفات ملائمة لنظام معالجة النفايات السائلة في الموقع أو تفرغها. كما يجب تجنب النفايات السائلة المتسربة في أنظمة محطة المعالجة. كذلك، فمن الضروري تشغيل نظام تجميع لمياه الأمطار المتساقطة على مناطق التجهيز مع مياه غسيل الخزانات ومياه التسريبات العرضية أو مياه غسيل البراميل وما إلى ذلك، وإعادتها إلى المحطة لتجهيزها أو جمعها في حاويات مشتركة.
- كذلك يجب فصل نظم جمع المياه بحيث تكون المياه المحتمل أنها أكثر تلوثاً منفصلة عن الأقل تلوثاً.

- عمل قاعدة كاملة ملموسة في المناطق الحساسة، والتي تقع في شبكات صرف مياه الصرف الداخلية التي تؤدي إلى موقع صهاريج التخزين أو الحاويات التي يمكن تجمع مياه الأمطار وأي تسرب فيها.
- جمع مياه الأمطار في حوض خاص للفحص والمعالجة إذا تعرضت للتلوث لإعادة استخدامها مرة أخرى.
- تعظيم إعادة استخدام مياه الصرف المعالجة واستخدام مياه الأمطار في المنشأة.
- تحديد مياه الصرف التي قد تحتوي على مركبات خطرة، وعزلها في الموقع وتحديد معالجة لها في الموقع أو خارجه.
- اختيار وتنفيذ تقنية المعالجة المناسبة لكل نوع من مياه الصرف.
- تنفيذ تدابير لزيادة الاعتمادية التي يمكن من خلالها إجراء الرقابة والأداء المطلوب (على سبيل المثال، تحسين ترسيب المعادن).
- تحديد المكونات الكيميائية الرئيسية للصرف المعالج (بما في ذلك مكونات الاحتياج الكيميائي للأكسجين) ومن ثم عمل تقييم واع لمصير هذه المواد الكيميائية في البيئة.
- تصريف مياه الصرف من خزاناتها فقط وذلك بعد انتهاء كل تدابير المعاملة وعملية التفتيش النهائية.
- تحقيق قيم انبعاث المياه التي تتطلبها التشريعات الوطنية و/أو السلطة المختصة قبل التخلص منها. ويتم تشجع المنشآت على استخدام أفضل التقنيات المتاحة لتقليل انطلاقات الملوثات إلى المياه.

#### الوقاية من تلوث التربة:

##### تشمل أفضل التقنيات المتاحة لمنع تلوث التربة:

- توفير والحفاظ على أسطح مناطق التشغيل، بما في ذلك استخدام تدابير منع/أو سرعة إزالة التسريبات والإنسكابات، وضمان صيانة شبكات تصريف مياه الصرف وغيرها من التراكيب تحت السطحية.
- الاستفادة من قاعدة غير منفذة وتصريف مياه داخلي.
- تقليل مساحة موقع الإنشاء والتقليل من استخدام الأوعية والمواسير الجوفية.
- تجنب انطلاق صرف المياه إلى التربة.
- التأكد من إنه يتم إضافة الحمأة الغير ملوثة فقط إلى التربة.

## المرفق 2: أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية العامة لتقنيات معالجة البلاستيك:

تستخدم مجموعة من تقنيات المعالجة لتحويل البلاستيك الناتج من إعادة التدوير (البوليمرات الأولية) إلى الشكل المطلوب للمنتج النهائي. خطوة التجهيز في حد ذاتها هي أساسا خطوة تحويل فيزيائية عبر استخدام تقنيات مختلفة ( European Commission )<sup>67</sup> (2011a) مثل:

- البثق Extrusion (بالنسبة للأنايبب والملفات وصفائح و كابل العزل).
- الحقن (بالنسبة للمنتجات من الأشكال المختلفة والتي غالبا ما تكون معقدة جدا مثل قطع غيار الآلات، والمكابس الكهربائية والأجهزة الطبية مثل الحقن، والدائن الحرارية الصلبة والدائن الحرارية).
- الصهر (للقضبان، والأنايبب، الخ).
- الفيلم النافخ (لدائن الحرارية).
- صب الأفلام (لدائن الحرارية).
- الطلاء (طبقات رقيقة على طبقات مختلفة).
- الضغط (للراتنجات).
- العزل (للألياف).
- التحويل بالصب (لدائن الحرارية الصلبة).
- الصب بالضغط (لدائن الحرارية الصلبة).
- المزج (تقنية قابلة للتطبيق عموماً).

تتمثل المخاوف البيئية والصحية لصب أو بثق البلاستيك المعاد تدويره في إنبعاثات المركبات العضوية المتطايرة/شبه المتطايرة بما في ذلك الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل. وفي بعض الحالات تخرج مياه صرف ذات أحمال عالية محتملة من المركبات العضوية والمذيبات المستخدمة والنفايات الغير قابلة للتدوير.

### تقنيات الحد من إنبعاثات المركبات العضوية المتطايرة/المركبات العضوية شبه المتطايرة:

من الممكن أثناء تصميم العمليات وتصميم المصنع وضع تقنيات تقليل الإنبعاثات في الاعتبار. ويمكن أن تتسبب ظروف عملية التصميم (مثل درجة الحرارة والضغط وضغط البخار، المواد/الكيمواويات) في التأثير على مستويات المركبات العضوية المتطايرة وإنبعاثات المركبات العضوية المتطايرة وشبه المتطايرة.

---

<sup>67</sup> European Commission. 2011a. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector. Draft 2, 20 July 2011.

### تقنيات الحد من المركبات العضوية المتطايرة وإنبعاثاتها من عملية التصميم (European Commission 2011a)<sup>68</sup> تشمل:

- تحسين تصميم المفاعل والمعايير المادية للتقليل من انطلاقات المركبات العضوية المتطايرة (مخاليط متجانسة من البلاستيك المعاد تدويره، ودرجة الحرارة المثلى، وأنظمة الشفط المناسبة).
- التقليل من استخدام المركبات المتطايرة واستخدام مواد ذات ضغط بخار منخفض.
- معالجة تيارات مياه الصرف التي تحتوي على المركبات العضوية المتطايرة عن طريق النزع أو المعالجة أو الاستخلاص. من أجل إزالة المذيبات التي يمكن أن تسهم في إنبعاثات المركبات العضوية المتطايرة في المزيد من عمليات المعالجة.
- تنفيذ الفصل الصلب والسائل من أجل تقليل إنبعاثات المركبات العضوية المتطايرة (على سبيل المثال باستخدام أجهزة الطرد المركزي، والحفاظ على النظام المغلق).

### تقنيات للحد من إنبعاثات المركبات العضوية المتطايرة/المركبات العضوية المتطايرة شبه المتطايرة في تصميم المحطة:

يمكن أن يؤثر اختيار عناصر المحطة والطريقة التي يتم تكوينه بها على مدى الإنبعاثات المتسربة إلي حد كبير. لذا يجب أخذ بعض النقاط في الاعتبار (European Commission 2011a) وهي:

- أ) الحد من عدد النقاط المحتملة للإنبعاثات:
  - بتصميم تخطيط الأنابيب بشكل مناسب من خلال تقليل طول الأنابيب والحد من عدد الوصلات والصمامات. ويمكن أيضاً أن يساعد لحم التركيبات والأنابيب على الحد من الإنبعاثات.
  - التقليل من استخدام المضخات واستخدام تحويل الضغط.
- ب) تعظيم السمات اللازمة لعملية الاحتواء:
  - بإحاطة شبكات الصرف وخزانات مياه الصرف المستخدمة لتخزين / معالجة النفايات السائلة .
- ج) اختيار أجهزة عالية الجودة:
  - استخدام الصمامات المناسبة.
  - تركيب حشوات سلامة عالية للاستخدامات الحرجة .
  - المضخات والمكابس والمقلبات المغلقة ميكانيكياً بإحكام.
- د) اختيار المواد المناسبة للأجهزة:

---

<sup>68</sup> European Commission. 2011a. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector. Draft 2, 20 July 2011

- اختيار الأجهزة المناسبة للعملية.
- تجنب التآكل بواسطة اختيار المواد المناسبة.
- منع تآكل بطانة أو طلاء الأجهزة.

(هـ) تيسير عملية الرصد والصيانة من خلال سهولة الوصول إلى المكونات الأساسية.

(و) جمع ومعالجة الانبعاثات.

الاعتبارات الاقتصادية: على الرغم من أن الحد من الانبعاثات قد يحتاج بعض التكلفة الاستثمارية، إلا أنه أيضاً يوفر فرصاً لتوفير المواد الخام.

### المرفق 3: التخلص من المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل بالدفن:

دفن المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

أهداف إدارة نفايات الملوثات العضوية الثابتة هي ثلاث:

(1) حماية صحة الإنسان والبيئة؛

(2) المحافظة على الموارد؛

(3) التخلص منها وتحقيق الاستقرار الكامل للنفايات مع القضاء على الملوثات العضوية الثابتة و(عدم نقل مشاكل النفايات ذات الصلة إلى الجيل التالي كـ "معياري للاستدامة").

وهكذا، فإن الهدف من إدارة النفايات، يصبح دفن النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة هو الخيار الأقل تفضيلاً ويجب تجنبه عادةً. وهذا لا يتعارض مع نتائج تحليلات العديد من دورات حياة الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل للتخلص منها (؛ Ciacci et al. 2010<sup>71</sup>; Boughton and Horvath 2006<sup>70</sup>; Vermeulen et al. 2011<sup>69</sup>).

<sup>69</sup> Vermeulen I, Van Caneghem J, Block C, Baeyens J, Vandecasteele C. 2011. Automotive shredder residue (ASR): reviewing its production from end-of-life vehicles (ELVs) and its recycling, energy or chemicals' valorisation. J Hazard Mater. 190, 8-27.

<sup>70</sup> Boughton B, Horvath A. 2006. Environmental assessment of shredder residue management. Resources, Conservation and Recycling 47, 1-25.

<sup>71</sup> Ciacci L, Morselli L, Passarini F, Santini A, Vassura I. 2010. A comparison among different automotive shredder residue treatment processes. International Journal Life Cycle Assessment 15, 896-906.



72 (Duval et al. 2007) أو مع إرشادات اتفاقية ستوكهولم لأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية (Stockholm Convention 2007)<sup>73</sup>.

توصي هذه الإرشادات، على سبيل المثال، بأن مخلفات تقطيع السيارات التي تحتوي دائماً على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل يجب التخلص منها في المحارق المناسبة والمجهزة بأجهزة متطورة للتحكم في تلوث الهواء. وبالتالي، وفيما يلي إرشادات مدافن المخلفات والتي تفترض استغلال كل الاحتمالات لإقامة دورات "تنظيفة" للمادة، أو لمعدنة (نزع السمية عن طريق التحول إلى مادة معدنية) الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل عن طريق الترميد في المحارق الحديثة المزودة بإمكانية السيطرة على تلوث الهواء أو المعالجة المكافئة البديلة.

يعتبر كلاً من إعادة التدوير باستخدام أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية، وكذلك الترميد باستخدام أفضل التقنيات/أفضل المعاملات البيئية على حد سواء تقنيات مكلفة اقتصادياً. وعلى الرغم من أن القطاع غير الرسمي لإعادة التدوير في الدول النامية في بعض الحالات يكون على كفاءة عالية وبتكلفة منخفضة إلا أنه عادة لا يفي بالمعايير الصحية البيئية أو المهنية<sup>74</sup>. لذلك تمارس تقنيات أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية بشكل أساسي في الدول الصناعية بسبب ارتفاع التكاليف. وفي دراسة إحصائية عن تكاليف إدارة النفايات في مختلف المناطق اتضح أن الإنفاق على إدارة النفايات البلدية يصل إلى ما بين 0.2% و 0.4% من الإجمالي المحلي الناتج (GDP) لمعظم الدول (Brunner and Fellner, 2007)<sup>75</sup>. ولكن بما أن الناتج المحلي الإجمالي يتراوح عالمياً ما بين 200 دولار أمريكي عالمياً والى 100.000 دولار أمريكي لكل فرد<sup>76</sup> (The World Bank, 2011)، فإن الموارد المالية المتاحة لإدارة النفايات تختلف حسب معدل 500 ضعف. من الواضح أن معاملات إدارة النفايات يجب أن تختلف اختلافاً جوهرياً من منطقة إلى أخرى لأن العديد من الدول لا تستطيع حتى الآن توفير البنية التحتية الحديثة لإدارة النفايات، بما في ذلك الترميد وغيره من الوسائل المتطورة لمعالجة النفايات وإعادة تدويرها والتخلص منها. ولذلك في الدول النامية، لا يزال يتم التخلص من النفايات في مدافن النفايات والمقالب المفتوحة للنفايات بنسبة أعلى بكثير مقارنة بالدول الصناعية.

وبالتالي، فإن إرشادات مدافن النفايات تستهدف في المقام الأول الدول النامية والدول التي تمر بمراحل اقتصادية انتقالية. هذه الدول غالباً ما تعتمد على إلقاء النفايات في مقالب مخلفات مفتوحة - و في بعض الأحيان بالحرق المفتوح - مما يؤدي لتأثيرات سلبية شديدة على صحة الإنسان والبيئة. هذا الفصل والملحق (د) من الإرشاد يتعلق بالدول الصناعية حيث لا يزال التخلص من النفايات المحتوية

<sup>72</sup> Duval D, Maclean HL. 2007. The role of product information in automotive plastics recycling: a financial and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production* 15, 1158–1168.

<sup>73</sup> Stockholm Convention. 2007. Guidelines On Best Available Techniques And Provisional Guidance On Best Environmental Practices Relevant To Article 5 And Annex C Of The Stockholm Convention On POPs.

<sup>74</sup> تحسين الصحة المهنية وأداء قطاع إدارة النفايات غير الرسمية له أهمية حساسة لإدارة أكثر استدامة للنفايات في البلدان النامية

<sup>75</sup> Brunner PH, Fellner J. 2007. Setting priorities for waste management strategies in developing countries. *Waste Management Research* 25, 234-240.

<sup>76</sup> World Bank. 2011. *World Development Indicators*, Green Press Initiative, Washington D.C.

على الملوثات العضوية الثابتة في مدافن النفايات شائعا في المدى القصير - ولكن يجب بذل كل جهد ممكن لضمان أن يتم الانتقال إلي نهج أكثر استدامة.

#### أنواع النفايات التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل التي يتم دفنها:

النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة يمكن تصنيفها على النحو التالي: (أ) النفايات التي تتكون بصورة رئيسية أو حصرية من الملوثات العضوية الثابتة، (ب) النفايات المختلطة التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة والمواد المضافة، (ج) النفايات الملوثة بآثار من الملوثات العضوية الثابتة. ممارسة أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية في مدافن النفايات الجيدة ينبغي أن تكفل إبلاغ مشغلي مدافن النفايات بوجود النوع (أ) مع كل شحنة. وإذا تم اشتقاق نوع (ب) من النفايات بعملية واحدة معلومة مثل تقطيع السيارات، فإنه يمكن تقييم وجود الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل وفقاً لاتفاقية ستوكهولم لإرشاد حصر الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (الفصول 4 و 5 و 6).

في الواقع، وفقاً لإرشادات اتفاقية ستوكهولم، فإن بقايا تقطيع السيارات تحتوي دائماً على بعض الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل. ومع ذلك، غالباً ما يكون من الصعب على المشغلين في مدافن النفايات تحديد نوع (ج) من النفايات، أو النوع (ب) و (ج) عند خلطهم مع النفايات الأخرى. ويجب أيضاً أن يؤخذ في الاعتبار أن النفايات من نوع (ب) و (ج) من المحتمل أن تشمل المواد الخطرة الإضافية، مثل غيرها من الملوثات العضوية الثابتة والمعادن الثقيلة. وبالتالي، فإن القرارات المتعلقة بإدارة دفن للنفايات التي تحتوي على هذه الملوثات لا يمكن أن تؤخذ على أساس المحتوى من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل فقط.

وهناك أربعة مجالات رئيسية لاستخدام الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل- والتي تمثل بالتالي أكثر تدفقات النفايات ذات الصلة – (أنظر أيضاً الفصل 4 و 5 و 6 من هذا الإرشاد) وهي كالتالي:

- الأجهزة الكهربائية والإلكترونية (أجهزة الحاسب الآلي، والهواتف والأجهزة المكتبية، والكابلات وما إلى ذلك)،
- قطاع النقل (البلاستيك والمنسوجات والمفروشات الموجودين في المركبات عند نهاية العمر)،
- الأثاث والمراتب وغيرها (بما في ذلك السجاد، والمنسوجات، وما شابه ذلك)،
- قطاع البناء (العزل، رقائق، وغيرها من مواد البولييمر).

هناك طريقتان لتحديد التدفقات الشاملة وتركيزات النفايات التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل: إما عن طريق التحليل المباشر كما هو موضح في اتفاقية ستوكهولم لإرشادات حصر الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل، أو عن طريق تحليل تدفق الكتلة على سبيل المثال (Morf et al., 2008).<sup>77</sup>

<sup>77</sup> Morf LS, Buser AM, Taverna R, Bader H-P, Scheidegger R. 2008. Dynamic Substance Flow Analysis as a Valuable Risk Evaluation Tool – A Case Study for Brominated Flame Retardants as an Example of Potential Endocrine Disrupters; Chimia 62, 424–431.

الأمثلة الرقمية لتدفقات النفايات المشتركة وما يقابلها من تركيزات الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ستعرض في الفصل 4 و 5 من اتفاقية ستوكهولم لإرشادات حصر الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل وإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل.

بشكل عام، فإن الخصائص الفيزيائية للنفايات التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل هي نفسها لغيرها من النفايات التي تدفن في المدافن الصحية: إذا لم يتم معالجتها قبل ذلك، فإن أحجام الجسيمات تشمل مجموعة واسعة  $10^{-6}$  إلى 2 متر، وكثافات تتراوح بين 0.02 - 2 جم/سم<sup>3</sup>. وهكذا، فإن أخذ العينات، وتحضير العينة وتحليل هذه النفايات يعتبر مهمة صعبة ويمكن أن تكون باهظة التكلفة لمشغلي مدافن النفايات الفردية. فلا توجد إجراءات قياسية لأخذ عينات حتى الآن وتحليل هذه النفايات في انحراف معياري محددة مسبقاً.

وقد تم تقديم الدعم لأخذ العينات من النفايات وتوصيفها في هيئة التوحيد القياسي الأوروبية CEN/TR1-15310 "توصيف النفايات - طرق أخذ العينات من النفايات - الجزء 1: إرشادات بشأن اختيار النهج الأساسي لأخذ العينات الإحصائية، حسب ما هو مطبق في إطار مجموعة من السيناريوهات".

#### **فئات المدافن لاستقبال النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل:**

الفئات المدرجة للمدافن والموضحة على الجانب الأيسر من الجدول أ- 1 هي الشائعة في الدول المتقدمة لإدارة مدافن النفايات (أنظر على سبيل المثال مدافن النفايات النمساوية) (Deponieverordnung, 2008)<sup>78</sup>. ورغم أن بعض الدول المتقدمة قد امتنعت عن تشغيل مدافن النفايات الخطرة مجدداً، إلا أنه لا يزال هناك نفايات خطرة فوق الأرض ومدافن في دول أخرى، وكذلك عدد قليل من المستودعات تحت الأرض مثل مناجم الملح أو ما يعادلها من التكوين الجيولوجي المعزول عن الدورة المائية خلال أطر زمنية طويلة جداً. وبما أن قدرة التخزين تحت الأرض محدودة ومكلفة نوعاً ما، فإنه يسمح فقط بتخزين النفايات عالية التركيز فيها. وتوجد لوائح محددة للموقع تقوم على أساس الموقع والمواسفات، ولكن تخزين النفايات الملوثة بالملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل تحت الأرض هو موضوع محدد ولا يغطيه هذا المرفق.

الفئات المذكورة للمدافن في الجدول أ- 1 لا تنطبق عادة على البلاد ذات الاقتصاديات الناشئة حيث انه من الشائع أن تجد مدافن النفايات التي لا تلبي المواصفات الهندسية الملائمة للمدافن الصحية جنباً إلى جنب مع خطوط أخرى مهندسة لاستقبال مواد أكثر تحدياً مثل النفايات الخطرة ونفايات المستشفيات. الدور الرئيسي لإدارة النفايات في الدول ذات الناتج المحلي الإجمالي المنخفض هو جمع النفايات الاقتصادية لأن ذلك أمر حيوي للصرف الصحي والصحة العامة. وهو ما يستهلك عادة 80 من إجمالي 90% من الميزانية

<sup>78</sup> Deponieverordnung (2008) Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (Deponieverordnung 2008) Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, 30. Januar 2008. <http://www.lebensministerium.at/umwelt/abfall-ressourcen/abfall-altlastenrecht/awg-verordnungen/deponievo.html>

الإدارية للنفايات. وبالتالي، فإن النسبة المتبقية لا تسمح حالياً بالهندسة المتطورة للمرئشح أو نظم جمع الغاز ولا حتى بأمن الموقع والرقابة الفعالة على النفايات الواردة.

### توصيل النفايات إلى مدافن النفايات:

من الضروري تحديد نوع النفايات وضمان التحكم فيها قبل الدفن. وتوصيفها بحيث يتضمن تاريخ النفايات (عملية توليد النفايات)، ونوع وخصائص وتكوين النفايات. يتم تحديد مكونات النفايات وفقاً للوائح الحالية للمدافن الصحية (راجع إرشاد الإتحاد الأوروبي للمدافن الصحية التوجيه (EC 1999)<sup>79</sup> وذلك عن طريق أخذ العينات، عينة ما قبل المعالجة والتحليل. ويحظر خلط النفايات أو تخفيفها بغرض الالتزام بالتركيزات العتبية المسموح بها. اللوائح الحديثة تحد بعض المواد غير العضوية كما تحد بعض مؤشرات جمع بعض المواد العضوية في النفايات لكنها لا تركز حالياً على مركبات عضوية توجد بصورة فردية. في البلاد ذات الاقتصاد الناشئ تعتبر مراقبة المدخلات على مستوى المركب الواحد هي عملية صعبة للغاية - لأسباب مالية - وذلك سواء للمؤشرات غير العضوية والمعايير العضوية.

---

<sup>79</sup> European Commission. 1999. Council Directive 1999/31/EC of 26. April 1999 on the landfill of waste. Amended 21.11.2008.

جدول أ-1: أنواع المدافن، محددات كل نوع للتخلص من النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل.  
الجدول مثلاً على أساس التصنيفات القائمة في أوروبا (المفوضية الأوروبية 1999)<sup>80</sup>، ويمكن أن تختلف في مختلف الدول.

(ج) مدافن النفايات الخطرة (مثل التخزين تحت الأرض)	(ب) مدافن النفايات غير الخطرة		(أ) مدافن النفايات الخاملة	
	(ب2) للنفايات العضوية (محتوى الكربون العضوي > 50 جم/كجم)	(ب1) للنفايات غير العضوية (محتوى الكربون العضوي < 50 جم/كجم)		
معياري النفايات الخطرة: محتوى الكربون العضوي >60/كجم	النفايات البلدية الصلبة الغير المعالجة والقبل معالجة، الجزء العضوي من نفايات البناء، والأجزاء المتبقية من إعادة التدوير.	نفايات البناء والهدم المختلطة (مثل، الخرسانة والطوب والأسفلت)، المتبقية غير العضوية من معالجة المخلفات (مثل رماد القاع الناتج عن ترميد النفايات الصلبة البلدية)	التربة والحصى النظيف والأحجار والبلاط والسيراميك وبازلت الطرقات، وما إلى ذلك؛ ولا تحتوي على مواد عضوية من صنع الإنسان	محتوى النفايات العام (أمثلة)
نفايات مركزة من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل من الإنتاج أو التصنيع	قد تحتوي على بعض النفايات المنزلية الخطرة، نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية، والنفايات من المركبات عند نهاية العمر، والأثاث والأدوات المنزلية، والمولوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل التي تحتوي على متبقية من قطاع البناء (العزل، رقائق، والمواد البلاستيكية الأخرى).	متبقية الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في مواد البولييمر ضعيفة الفصل، مثل ألا يتم فصل كافي لمخلفات البناء. المواد العضوية في متبقية احتراق النفايات الغير كامل (فقط إذا كان محتوى الكربون العضوي >50 جم / كجم، وبقيها الانحلال الحراري أعلى).	لا يوجد	المحتوى فيما يتعلق بنفايات الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل
محتمل وجودها إذا تم احتواء الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل الواردة وتخزينها بأمان في هيئة جافة ومستقرة جيولوجياً	أطر زمنية محدودة فقط	أطر زمنية محدودة فقط	لا يوجد	الحواجز الملائمة للاحتفاظ بالمولوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل
الأمر يعتمد، (فليس من	نعم	نعم	لا	يتك جمع المادة المرشحة

<sup>80</sup> European Commission. 1999. Council Directive 1999/31/EC of 26. April 1999 on the landfill of waste. Amended 21.11.2008.

الضروري التخزين (الجيولوجي)				يتم جمع الغاز ومعالجته
لا ليس بالضرورة	نعم	نعم	لا	
مدافن النفايات الأوروبية الموجهة: لا توجد حدود، لا للمحتويات الكلية ولا للمرتشح.	مدافن النفايات الأوروبية الموجهة: لا توجد حدود، لا للمحتويات الكلية ولا للمرتشح.  قانون مدافن النفايات النمساوية: لا توجد، ولكن توجد حدود للنفايات: (مثل الكلور) مركبات الهالوجين العضوية المتطايرة >1000 مجم / كجم (ديسيمتر). بالنسبة للترشيح : الهاليدات العضوية القابلة للاستخراج >30 مجم/كجم (مثل الكلور)	مدافن النفايات الأوروبية الموجهة: لا توجد حدود، لا للمحتويات الكلية ولا للمرتشح.  قانون مدافن النفايات النمساوية: مدافن النفايات النفايات (ج) و(د): لا توجد، ولكن يوجد حدود لترشيح الهاليدات العضوية القابلة للاستخراج >3 مجم / كجم (مثل الكلور)  بالنسبة لمدافن النفايات للمخلفات من حرق النفايات: لا، ولكن توجد حدود للتريشيح: مثل الهاليدات العضوية القابلة للاستخراج >30 مجم / كجم (مثل الكلور)	مدافن النفايات الأوروبية الموجهة: لا توجد حدود، لا للمحتويات الكلية ولا للمرتشح.  قانون مدافن النفايات النمساوية (2008) <sup>81</sup> : لا، ولكن على أن تكون حدود الترشيح: الهاليدات العضوية القابلة للاستخراج >0.3 مجم / كجم (مثل الكلور)	اللوائح المتعلقة بالملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في النفايات، والراشح والمشتقة من النفايات. (تم سرد الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في قائمة 1 من الإطار التوجيهي للمياه والتي يجب منع وصولها إلي المياه الجوفية)
مدافن النفايات الأوروبية الموجهة: محتوى الكربون العضوي > 60 جم / كجم	مدافن النفايات الأوروبية الموجهة: لا توجد حدود.  قانون مدافن النفايات النمساوية: القيم الحرارية أقل >6600 كيلو جول / كجم	مدافن النفايات الأوروبية الموجهة: لا توجد حدود.  قانون مدافن النفايات النمساوية: محتوى الكربون العضوي >50 جم / كجم لكل من (ج) و (د) نفايات مدافن النفايات >30 جم / كجم	مدافن النفايات الأوروبية الموجهة: محتوى الكربون العضوي > 30 جم / كجم  قانون مدافن النفايات النمساوية: البلاستيك >0.5٪ وزنا (ديسيمتر)	اللوائح المتعلقة بالنفايات التي يحتمل أن تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل

<sup>81</sup> European Commission. 1999. Council Directive 1999/31/EC of 26. April 1999 on the landfill of waste. Amended 21.11.2008.

لا تتطلب التشريعات الجديدة للمدافن فحص الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإيثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في النفايات. ويمكن تبرير ذلك على أساس أن النفايات التي يتعين دفنها تتكون من عدد كبير من المواد، والعديد منها ينتمي إلي مجموعة الملوثات العضوية الثابتة وغيرها من المركبات الخطرة. وبالتالي، تكون تكاليف التحليل لكل هذه المواد مرتفعة. وعلي هذا فمن الأجدر تنظيم مجموعة معايير (جدول أ- 1)، واستخدام نتائج تحليل هذه المجموعات من المعايير من طرف صانعي القرار. وإذا لم يتم استيفاء مواصفات المدافن، فيجب إما معاملة النفايات قبل المعالجة أو التخلص منها في فنة أخرى من المدافن.

يجب عادة أن يستند توصيف ومراقبة النفايات الواردة في الدول النامية إلي الخبرة المحلية والمعاملات الجيدة للحكومة. ويجب فحص النفايات الواردة بصرياً لتلك الفئات الغنية بالملوثات العضوية الثابتة من طراز الإيثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل مثل بقايا تقطيع المركبات عند نهاية العمر والبلاستيك وألواح تفكيك النفايات الإلكترونية، والمواد العازلة من المنشآت، أو النفايات الناتجة من إزالة المواد العازلة من الكابلات. ينبغي خلط النفايات التي تحتوي علي الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإيثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل مثل نفايات إعادة تدوير بقايا المركبات عند نهاية العمر مع غيرها من النفايات الغير قابلة للاحتراق والغير فعالة، وبالتالي تقليل خطر إنتاج كميات كبيرة من المركبات المتطايرة والسامة المهلجنة في حالة احتراق مدافن النفايات (أنظر أدناه).

#### **تشغيل وصيانة مدافن النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإيثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل:**

المدافن الصحية هي أطول المنشآت - التي من صنع الإنسان - عمراً والتي من المتوقع بقاء المواد المدفونة فيها "إلى الأبد". وبالأخذ في الاعتبار العمليات الجيولوجية مثل التعرية والتجوية، فإن مصطلح "إلى الأبد" يعني عشرات الآلاف من السنين، وبعد هذه الفترة، فإن معظم مدافن النفايات ستتم إزالتها من خلال عمليات أرضية. لأن الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإيثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل تتحلل ببطء شديد، وبالتالي فإن مدة بقاء هذه المواد ستكون طويلة أيضاً. قام دانون- شيفر ( Danon-Schaffer and Mahecha-Botero 2010)<sup>82</sup> بنمذجة عملية إزالة البروم من الإيثير عشاري البروم ثنائي الفينيل لخفض الإيثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في مدافن النفايات (بما في ذلك الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإيثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل). وتحدث عملية نزع البروم المعنوية في غضون من 70 إلي عدة مئات من السنين اعتماداً على معدلات التحلل المحددة وبالتالي زيادة مستويات هذه الملوثات بمعدل أكبر. وبالتالي، فإن مدافن النفايات تمثل مصدر للملوثات العضوية الثابتة من طراز الإيثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل على المدى الطويل.

في نهاية المطاف فإن محتوى المدافن الصحية سوف يتحلل ويسمح للمواد المدفونة بالخروج مع مرور الوقت. وقد أعربت وكالة حماية البيئة الأمريكية عن مخاوفها من أن "كميات كبيرة من ثنائي الفينيل متعدد الكلور الواردة في مواقع التخلص الأرضي تمثل

<sup>82</sup> Danon-Schaffer M.N, Mahecha-Botero A. 2010. Influence of chemical degradation kinetic parameters on the total debromination of PBDE in a landfill system. 30th International Symposium on Halogenated Organic Pollutants, 12-17 September 2010. San Antonio, USA.

خطراً وخيماً في المستقبل (USEPA, 1979)<sup>83</sup> وهي مثل تلك المخاطر التي تتسبب فيها الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل.

يقتصر عمر مدافن النفايات في الجداول الزمنية على عقود وقرون - والتجربة الفعلية لا تسمح حتى الآن للتوصل إلي استنتاجات أكثر دقة (Buss et al. 1995<sup>84</sup>, Allen 2001<sup>85</sup>, Simon and Mueller 2004<sup>86</sup>). ومن المتوقع أن هذه الملوثات والمواد الأخرى الموجودة في مدافن النفايات سوف تتبع على مدى فترات زمنية طويلة (عدة قرون) (Weber et al. 2011)<sup>87</sup>.

وبالتالي، يجب أن يكون سلوك مكونات مدافن النفايات معروفاً فضلاً عن محتواها من أجل التنبؤ بمستويات الانبعاثات في البيئة على مدى الحياة. هناك العديد من الدراسات المتاحة لتقييم العقود الأولى لمدافن النفايات المفتوحة وكذلك المدافن الصحية ولكن لا يزال لا يوجد الكثير من الدراسات الحقيقية أو نمذجة دورة الحياة كاملة للملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل وغيرها من المواد الكيميائية ذات السمية الثابتة في مدافن النفايات على مدى فترة طويلة.

قد تحتوي مدافن النفايات في الإقتصادات الناشئة على أكبر عدد ممكن من المركبات لأنه من غير الممكن (تماماً) مراقبة جمع النفايات وإيصالها إلي مدافن النفايات. أما في الإقتصادات الغنية، يتم تخفيف هذه الحالة عن طريق النفايات قبل المعالجة والتنظيم الدقيق للمدخلات. ومع ذلك، حتى في ظل هذه التدابير الرقابية الصارمة، فإنه لا يزال من الممكن أن يتم التخلص من بعض النفايات الغير ملائمة، في مدافن النفايات على وجه الخصوص.

وبالتالي فإنه من الضروري أن يتم عمل بطانات ونظم تغطية للسيطرة على دخول المياه المرشحة بالتسريب من مدافن النفايات. وتكاليف هذا الأمر تعتمد على المحتوى وبالتالي على فئة مدافن النفايات. ومع زيادة تفاعل مدافن النفايات من نوع (أ) إلي (ج) وقابليتها لترشيح النفايات، فإنه يجب أن تحقق البطانات متطلبات أكثر صرامة. وفي ظل ظروف الإقتصادات الناشئة حيث تكون النفايات المختلطة في مدافن النفايات هي السائدة، فإن بطانات مدفن النفايات يجب أن تفي بنفس الشروط اللازمة للنوع (ب). ومع ذلك، فإن هذا يستلزم تكاليف غالباً ما تكون بأسعار غير ميسورة في الإقتصادات الناشئة.

يجب فهم التفاعلات التي تحدث في مدافن النفايات من أجل فهم والسيطرة على سلوك الانبعاثات المتعلقة بمدافن النفايات. تعتبر مدافن النفايات هي في جوهرها مفاعل كيميائي حيوي لا هوائي مدفوعاً بمغذيات الكربون والنيتروجين ويسيطر عليها تدفق المياه. وبصورة مبسطة تكون النواتج النهائية من هذا المفاعل هي الميثان، وثاني أكسيد الكربون والماء. وبسبب العديد من المكونات

<sup>83</sup> USEPA (1979). Polychlorinated Biphenyls 1929-1979 Final Report, US Environmental Protection Agency: 94

<sup>84</sup> Simon F-G, Mueller W. 2004. Standard and alternative landfill capping design in Germany. Environmental Science & Policy 7, 277-290.

<sup>85</sup> Buss SE, Butler AP, Sollars CJ, Perry R, Johnston PM. 1995. Mechanisms of Leakage through Synthetic Landfill Liner Materials. Water and Environment Journal 9, 353-359.

<sup>86</sup> Allen A. 2001. Containment landfills: the myth of sustainability. Engineering Geology 60, 3-19.

<sup>87</sup> Weber R, Watson A, Forter M, Oliaei F. 2011. Persistent Organic Pollutants and Landfills - A Review of Past Experiences and Future Challenges. Waste Management and Research 29, 107-121.



العضوية وغير العضوية، بعضها المقاومة للحرارة، فإن منتجات دفن النفايات تحتوي على كمية كبيرة من المركبات الغازية والسائلة غير الخطرة وكذلك الخطرة. وبالتالي، فإنه من الأهمية القصوى جمع مياه الرشح وغازات مدافن النفايات من أجل تحقيق أهداف إدارة النفايات.

#### انطلاق الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل من مدافن النفايات:

بشكل عام، تمثل الكميات الصغيرة جدا من المواد العضوية مثل الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل أهمية ضئيلة في نشاط مفاعل مدافن النفايات. وقد يختلف هذا في حالات خاصة من منتجات النفايات والمخلفات الصناعية المدفونة صحياً (Takeda 2007)<sup>88</sup>. ومع ذلك، فإن مفاعل مدافن النفايات له دور معنوي في انبعاث بعض المواد الموجودة بكميات ضئيلة. بالإضافة إلي الخصائص الذاتية لهذه المواد (معامل تقسيم الماء  $K_{ow}$ ، معامل هنري، وضغط البخار، الذوبان، والثبات)، وتحدد معايير مدافن النفايات مثل درجة الحرارة والضغط، ودرجة الحموضة، والقوة الأيونية وظروف الأكسدة مصير مكونات النفايات الفردية.

من المهم عند التبليغ بتقييم إنبعاثات الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل من مدافن النفايات، أن يتم التمييز بين مدافن النفايات الحديثة من جهة ومعاملات التخلص الأخرى التي تشمل دفن النفايات بكميات كبيرة من النفايات المحتوية على الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل بدون بطانات أعلى وأسفل المدفن، الإلقاء المفتوح، أو الإلقاء غير القانوني من جهة أخرى. نتائج المعاملة الأولى تؤدي إلي تدفقات منخفضة جدا من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في البيئة (على الأقل في المدى القصير نسبياً)، في حين أن الأخيرة قد تؤدي إلي التلوث البيئي الشديد. قام العديد من المؤلفين بذكر تسرب المركبات شبه المتطايرة مثل الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل وثنائي الفينيل متعدد الكلور مع المعادن الثقيلة ومواد أخرى من مدافن النفايات الغير ملائمة إلي التربة والطبقات المائية (Osako et al. 2004<sup>89</sup>, Odusanya et al. 2009<sup>90</sup>, Danon-Schaffer 2010<sup>91</sup>, Danon-Schaffer and Mahecha-Botero 2010<sup>92</sup>, Weber et al. 2011).

---

<sup>88</sup> Takeda N 2007. Restoration project of Teshima Island stained by illegal dumping. Organohalogen compounds 69, 873-876. <http://www.dioxin20xx.org/pdfs/2007/07-402.pdf>

<sup>89</sup> Osako M, Kim Y-J, Sakai S-I. 2004. Leaching of brominated flame retardants in leachate from landfills in Japan. Chemosphere 57, 1571-1579.

<sup>90</sup> Odusanya DO, Okonkwo JO, Botha B. 2009. Polybrominated diphenyl ethers (PBDE) in leachates from selected landfill sites in South Africa. Waste Management 29, 96-102.

<sup>91</sup> Danon-Schaffer MN. 2010. Polybrominated Diphenyl Ethers in Landfills from Electronic Waste February 2010. PhD thesis. Faculty of Graduate Studies. University of British Columbia. Vancouver, Canada.

<sup>92</sup> Danon-Schaffer M.N, Mahecha-Botero A. 2010. Influence of chemical degradation kinetic parameters on the total debromination of PBDE in a landfill system. 30th International Symposium on Halogenated Organic Pollutants, 12-17 September 2010. San Antonio, USA

تصل تركيزات المادة المرتشحة من الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل من 30 إلى 250 نانوجرام/لتر حيث تم الكشف عنها في دراسة لخمسة مدافن صحية مختلفة في أمريكا الشمالية (Oliaei et al. 2002)<sup>93</sup>. كما تم الكشف عن الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في التربة المجاورة للمدافن الصحية في مناطق مختلفة من كندا (Danon-Schaffer 2010)، مما يدل على انبعاث هذه الملوثات العضوية إلي الغلاف الجوي من مدافن النفايات وترسيبها لاحقاً في منطقة أخرى. وقد سجلت أعلى القيم في مياه الرش من مخلفات التقطيع الملقاة بطريقة غير مشروعة من المركبات عند نهاية العمر ومن النفايات الإلكترونية المعروفة جيداً بأنها مصدر انبعاثات الملوثات العضوية الثابتة، والتي تتطلب إجراءات معالجة مكلفة للغاية (Takeda et al. 2007)<sup>94</sup>.

إذا تم الدفن بطريقة حديثة وبوجود البطانات، فإنه يمكن أن تظل عملية جمع الراشح ومعالجة الغاز وإدارة تلوث الموقع بعناية بالملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل عند مستويات منخفضة ومقبولة بيئياً. وهذا هو الحال بصفة خاصة ما دامت البوليمرات التي تحتوي على الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل غير متحللة ولم تخرج انبعاثات لهذه المادة. تم تقييم خيارات الإدارة للإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل بتكليف من المفوضية الأوروبية وخلص إلي أنه لا يتوقع تسربه بشكل كبير من البوليمرات (BiPRO 2007)<sup>95</sup>. ويرى المؤلفين أن خروج انبعاثات بعد التخلص منها بطريقة مناسبة يكاد لا يذكر، وهو الاستنتاج الذي يبدو منطقياً على منطقة اللجنة الاقتصادية للأمم المتحدة لأوروبا بأسرها (UNECE 2007) (BiPRO 2007).

تم التوصل إلي استنتاج مماثل في التقرير الذي تم إعداده لوزارة نيوزيلندا للبيئة من أجل العرض على لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة (Keet et al. 2010)<sup>96</sup>. بالرجوع إلي ثلاثة مدافن صحية، يدعي المؤلفون أن التخلص من نفايات البلاستيك التي تحتوي على الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في مدافن النفايات المتحكم فيها يكون لها نشاط متطور جداً وآمن ويؤدي إلي مستويات منخفضة جداً من رشح الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في المياه. وبالمقارنة مع كميات من الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل المخزنة، فإن كمية المنتجات المنبعثة من مدافن النفايات تعتبر متناهية الصغر. ومع ذلك، فإن المؤلفين يوصون بالتحقق من صحة النتائج التي توصلوا إليها على نطاق أوسع، وبذلك فمن المهم النظر في جداول زمنية أطول والتي تبقى فيها المخاطر موجودة ولكن ذلك بعد فشل التدابير الهندسية في استخدام نهج النمذجة.

---

<sup>93</sup> Oliaei F, King P, Phillips L. 2002. Occurrence and concentrations of polybrominated diphenyl ethers (PBDE) in Minnesota environment. *Organohalogen Compounds* 58, 185–188.

<sup>94</sup> Takeda N 2007. Restoration project of Teshima Island stained by illegal dumping. *Organohalogen compounds* 69, 873-876. <http://www.dioxin20xx.org/pdfs/2007/07-402.pdf>

<sup>95</sup> BiPRO. 2007. Management Option Dossier for commercial octabromodiphenyl ether (c-OctaBDE) 12 June 2007. Updated version on the basis of the outcome of the Sixth Meeting of the Task Force on POPs, 4-6 June 2007, Vienna, Austria. Service Contract ENV.D.1/SER/2006/0123r DG Environment, European Commission.

<sup>96</sup> Keet B, Giera N, Gillett R, Verschueren K. 2010. Investigation of brominated flame retardants present in articles being used, recycled and disposed of in New Zealand, A technical report prepared for the Ministry for the Environment.

بناء على هذه النتائج، فإن المشكلة البيئية الرئيسية - إلي جانب حرائق مدافن النفايات (أنظر أدناه) - تتألف من دفن النفايات الغير لائق مما يؤدي إلي تلوث الغلاف المائي والذي غالباً ما يلاحظ في الإقتصادات الناشئة والدول التي تمر بمرحلة انتقالية. وهذا قد يؤدي إلي تعرض البشر الموجودون على مقربة من مدافن النفايات لها، فقد ورد وجود هذه الملوثات في حليب الثدي من النساء اللاتي يعشن بالقرب من موقع مدافن النفايات في الهند (Someya et al. 2010)<sup>97</sup> وعمال النظافة صغار السن الذين يعيشون ويعملون حول مدافن النفايات في نيكاراغوا (Athanasidou et al. 2008)<sup>98</sup>. لا بد من إثبات ما إذا كانت عملية نزع البروم/تحويل الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل تتم أسرع من تحلل النظم الحاوية لهذه المواد وذلك بالنسبة للدول الصناعية التي تطبق أفضل التقنيات المتاحة للدفن الصحي الحديثة. وذلك مع مراعاة إزالة البروم من احتياطي البروم عشاري الإثير ثنائي الفينيل الأكبر إلي الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في موقع مدافن النفايات.

يجب مراعاة الاعتبارات طويلة الأجل من تغير المناخ والظواهر الجوية البالغة الشدة (Laner et al. 2009<sup>99</sup>; Weber et al. 2011<sup>100</sup>). فهذه الأسباب هي الآثار العامة، وليست فقط ذات أهمية خاصة للملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل. وهكذا، فإن أفضل التقنيات المتاحة يجب أن تراعى هذه الآثار بالإضافة لمعاملات مدافن النفايات، التي من المرجح أن تشمل تحلل أسرع للبطانات، وتعزيز إنتاج السوائل المرتشحة، وتعبئة أكبر من جزيئات النفايات، وارتفاع معدلات التطاير. يعتبر الوضع مصدر قلق خاصة للمناطق الساحلية حيث تشكل الفيضانات والتفاعل مع مياه البحر خطراً على البيئة وصحة الإنسان من خلال التراكم الحيوي (Bebb and Kersey 2003)<sup>101</sup>.

#### **انطلاق الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل من حرائق مدافن النفايات:**

يعتبر نشوب حرائق مدافن النفايات أمراً لا مفر منه وتلاحظ في كثير من الأحيان - خاصة في الإقتصادات الناشئة. وفي الواقع، إن مدافن النفايات في بعض الأحيان يتم إشعال النيران بها عمداً من أجل توفير مساحات مدافن للنفايات، أو من أجل استرجاع

---

<sup>97</sup> Someya M, Ohtake M, Kunisue T, Subramanian A, Takahashi S, Chakraborty P, Ramesh R, Tanabe S. 2010. Persistent organic pollutants in breast milk of mothers residing around an open dumping site in Kolkata, India: Specific dioxin-like PCB levels and fish as a potential source. *Environmental International* 36, 27–35.

<sup>98</sup> Athanasidou M, Cuadra SN, Marsh G, Bergman A, Jakobsson K. (2008). Polybrominated diphenyl ethers (PBDE) and bioaccumulative hydroxylated PBDE metabolites in young humans from Managua, Nicaragua. *Environ Health Perspect* 116, 400-408.

<sup>99</sup> Laner D, Fellner H and Brunner PH. 2009. Flooding of municipal solid waste landfills — An environmental hazard? *Science of the Total Environment* 407, 3674–3680.

<sup>100</sup> Weber R, Watson A, Forter M, Oliaei F. 2011. Persistent Organic Pollutants and Landfills - A Review of Past Experiences and Future Challenges. *Waste Management and Research* 29, 107-121.

<sup>101</sup> Bebb J, Kersey J. 2003. Potential Impacts of Climate Change on Waste Management R and D Technical report X1-042. Bristol, UK: Environment Agency.

المعادن، أو لتحسين الظروف الصحية (التخلص من القوارض والطيور). حتى في الدول الصناعية الحديثة التي تقوم بدفن النفايات، فإنه قد يحدث أحيانا اندلاع للنيران في مدافن النفايات لأسباب غير معروفة. وأفادت دراسة إحصائية أجريت في فنلندا اندلاع 0.6 من الحرائق في مواقع مدافن النفايات سنويا، و25٪ من الحرائق تكون على عمق أكثر من 2 متر (Ettala et al. 1996)<sup>102</sup> حيث الظروف الحرارية مواتية لإنتاج الديوكسينات والفيوران البرومينية (ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيران متعدد البروم).

ويصعب دائما إطفاء حرائق مدافن النفايات، وهي تطلق كميات كبيرة من المواد الطيارة والخطرة والمولدة للحمى Pyrogenic في الهواء. وهي تعتبر مصدر ذو صلة لثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور خاصة في الدول النامية والدول التي تمر بمرحلة انتقالية (UNEP 2005)<sup>103</sup>. وتعتبر أفضل المعاملات للحد من مخاطر الحرائق بمدافن النفايات هي السيطرة الصارمة على وصول الحرائق للنفايات القابلة للاحتراق والنفايات شديدة الاشتعال، والضغط الفوري للنفايات المودعة حديثا ثم تغطيتها يوميا باستخدام مواد خاملة مثل مخلفات البناء غير العضوية.

مصدر الفلق الرئيسي بالنسبة لحرائق مدافن النفايات والملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل يتصل بتكوين وانطلاق ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزوفيران متعدد البروم المحتمل (UNEP 2010)<sup>104</sup>. وتم قياس كل من الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل، وثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم، وثنائي بنزو فيران متعدد البروم / وثنائي بنزو فيران في حرائق متعددة من مستودع نفايات مفتوح في المكسيك كجزء من دراسة علمية عن عوامل انبعاث الحرق في الهواء الطلق في مواقع مدافن النفايات (Gullett et al. 2009)<sup>105</sup> والتي أثبتت أن الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل تنشأ على الأرجح من مثبطات اللهب البرومينية التجارية ولا تتكون بالعمليات الحرارية. وكانت إنبعاثات ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيران متعدد البروم مشابهة في الحجم لنظرائهم الكلورة (ثنائي بنزو ديوكسين متعدد الكلور وثنائي بنزوفيران متعدد الكلور).

ويؤدي الترميد بالحرق إلى خروج كمية أكبر من الإنبعاثات عن الترميد المشتعل. ولفهم أفضل لتكوين ثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيران متعدد البروم، فإن عملية نزع البروم الحرارية تحتاج إلى دراسة في وجود تركيزات مختلفة من الأوكسجين ودرجات الحرارة، وبخاصة في التحويل الحراري للأثير عشاري البروم ثنائي الفينيل إلى ملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل منخفضة والتي يمكن أن تسهم بشكل كبير في تكوين الملوثات العضوية الثابتة من طراز

---

<sup>102</sup> Ettala M, Rahkonen P, Rossi E, Mangs J, Keski-Rahkonen O. 1996. Landfill fires in Finland. Waste Management and Research 14, 377-384.

<sup>103</sup> UNEP. 2005. Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases. Edition 2.1.

<sup>104</sup> UNEP. 2010. Supporting Document for the Technical review of the implications of recycling commercial penta and octabromodiphenyl ethers. Stockholm Convention document for 6th POP Reviewing Committee meeting (UNEP/POPS/POPRC.6/INF/6) Geneva 11-15. October 2010.

<sup>105</sup> Gullett BK, Wyrzykowska B, Grandesso E, Touati A, Tabor DG, Ochoa GS. 2009. PCDD/F, PBDD/F, and PBDE Emissions from Open Burning of a Residential Waste Dump. Environmental Science Technology 44, 394-399.

الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل وثنائي بنزو ديوكسين متعدد البروم وثنائي بنزو فيران متعدد البروم في العمليات الحرارية (UNEP 2010).

**مقاييس أفضل التقنيات المتاحة لمنع الانطلاق قصير الأجل وطويل الأجل من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل من مدافن النفايات :**

#### **معاملات دفن النفايات:**

يجب أن تكون مدافن النفايات آمنة ومحاطة بسياسات فعال مع بوابة دخول قابلة للقفل من أجل منع التخلص غير المشروع من النفايات، إلي جانب التحكم الكافي بشكل صحيح في مناطق استقبال النفايات مع وجود الميزان. ويجب أيضاً وجود مكتب لتسجيل نوع وكتلة/حجم النفايات إلي جانب الموقع الذي يتم دفنها فيه. ويجب أن تتوفر منطقة تخزين بسيطة للنفايات الواردة المشكوك في أمرها مما يسمح بالاحتفاظ بها، أو رفضها إذا لم تتوافق مع اللوائح إذا لزم الأمر. إذا كانت مدافن النفايات تتكون من فئات مختلفة (أ) إلي (ج) (الجدول أ-1)، فإنه يجب ربط الطرق المنفصلة بمنطقة الدخول مع كل فئة. كما يجب مراعاة منع عجلات وإطارات السيارات التي تحمل مواد النفايات إلى خارج منطقة مدافن النفايات.

وفقاً لأفضل التقنيات المتاحة، فإنه يجب التخلص من النفايات في طبقات مضغوطة مع وجود أغطية من مادة خاملة يومياً (فمثلاً يراعى تجنب التغطية بنفايات البناء والسماذ بشكل يومي). وهذه التدابير تقلل من خطر الحرائق أيضاً. ويجب توخي الحذر ليتمكن عزل الحرائق بسرعة بحيث لا تنتشر في جميع أنحاء مدفن النفايات، وألا تضر بالمباني أو نظم جمع ومعالجة الغاز والمادة المرتشحة. والتدريب الشخصي على احتياطات السلامة في حالة حرائق مدافن النفايات أمر بالغ الأهمية. أيضاً، يجب أن تراعى درجات الحرارة وتركيزات الغاز على سطح مدافن النفايات. ونظراً لعدم وجود استقرار في الظروف الجيولوجية الفنية، فإنه يمكن تقليل هذه المخاطر عن طريق الاختيار الدقيق لمواد النفايات المناسبة لفئة مدفن النفايات وتصميم المنحدر، وبالضغط العادي والمكثف للنفايات بالإضافة إلي التغطية اليومية.

يجب أن تغطي مدافن النفايات قبل إغلاقها عن طريق السد ببطانة وذلك من أجل تحقيق الأهداف التالية: الأول) تقليل المياه التي تدخل هيكل مدافن النفايات وتقليل إنتاج المادة المرتشحة إلي أدنى حد، الثاني) منع تدفق الغاز غير المتحكم فيه من مدافن النفايات، الثالث)؛ الحماية من التآكل؛ الرابع) ضمان إمكانية إعادة الزراعة. وينبغي - من أجل تحقيق الهدف الأول - أن يكون الموقع متدرج وله منحدرات مناسبة/تتدرج جنباً إلي جنب مع البطانة العليا، بما في ذلك نظام لجمع المياه أو الطبقة السطحية لإدارة المياه (توازن الأمطار والتبخر).

#### **جمع ومعالجة الراشح:**

جمع ومعالجة الراشح هو عامل مكلف رئيسي في عملية دفن النفايات ولا سيما إذا أخذ في الاعتبار عنصر الرعاية اللاحقة على فترات زمنية طويلة جداً وضرورة تنقية المادة المرتشحة والرصد. وهكذا، فإن الأولوية القصوى لإدارة المياه في مدافن النفايات هي ضمان أن يتم عزل المياه السطحية والجوفية عن مدافن النفايات من أجل تقليل المادة المرتشحة إلي أقل قدر ممكن. ويعتمد نوع

والبناء ووقت تركيب بطانات العلوية والسفلية على تصنيف مدافن النفايات، والنفايات المودعة والمناخ وانحدار مدافن النفايات، والتضاريس وتسوية هيكل مدافن النفايات.

طبقات النفايات الملخصة في الجدول أ-1 تشكل تحديات مختلفة في طريقة إدارة المياه: في حين أن تركيز الملوثات في المادة المرتشحة من فئة (أ) منخفضة، فإن المادة المرتشحة من فئة (ب1) تعتبر ضئيلة ومن فئة (ب2) - تحديداً في المراحل الأولى- تتركز بشكل كبير جداً في المواد العضوية والنيتروجين وبالتالي تتطلب (ب2) معالجة متطورة لفترات زمنية طويلة (عقود وقرون). وتحتاج فئة (ب1) إلى أقل مجهود ولكنها لا تزال تحتاج إلى أن تخضع للرقابة. وبسبب طابع النفايات الخطرة في الفئة (ج)، فإنه لا ينبغي أن يحدث اتصال مع المياه، وبالتالي يجب أن يكون إنتاج المادة المرتشحة قليلاً نسبياً.

تحتوي مواد النفايات في مدافن النفايات فئة (ب2) على مياه ولها قابلية للتحلل، وبالتالي تعمل (ب2) بمثابة مفاعل حيوي. المتغير الرئيسي للعمليات في هذا المفاعل الحيوي هو الماء. وهكذا، فإن السيطرة على المياه أمر بالغ الأهمية قبل دفن النفايات. ويجب وضع مفهوم وأهداف إستراتيجية واضحة: هل يحتاج هذا المفاعل الحيوي إلى التعزيز من أجل الإسراع من التفاعلات الكيميائية الحيوية وتركيز الإنبعاثات في العقود الزمنية الأولى من عمر مدافن النفايات، أم من الأفضل احتواءها بإستراتيجية "القبر الجاف" حيث لا تتم إدارة المفاعل بهدف تحقيق استقرار بيولوجي يواجه مخاطر مستقبلية من إنبعاثات المدى الطويل إذا دخل الماء إلى كتلة النفايات. التوازن المائي هو المفتاح لإدارة المياه الكمية، وهو شرطاً مسبقاً لتحسين معالجة الراشح. ويجب قياس كمية الأمطار والتبخر، وتسجيل كمية المادة المرتشحة وصافي الأمطار الشهري والسنوي.

نظام بطانة الجزء السفلي (بطانة القاع) من المدافن هو نظام صناعي من صنع الإنسان يمنع نقل الملوثات إلى طبقة تحت السطحية والمياه الجوفية. وتتكون من بطانة سفلية ونظام لجمع المادة المرتشحة. بالنسبة للمدافن للفئة (أ) فإن البطانة السفلية تتكون من طبقة مزدوجة من المواد المعدنية الأرضية باجمالى سمك 50 سم. أما مدافن النفايات فئة (ب) فتتكون من (الأولى) 3 طبقات معدنية أرضية بسمك 75 سم معاً، و(الثانية) طبقة متعدد إثيلين عالي الكثافة بسمك 2.5 ملم. ومن الممكن استخدام بدائل لهذه البطانات. وينبغي أن يكون سطح البطانة السفلية بانحدار طولي من 2٪، وانحدار جانبي من 3٪. وذلك من أجل جمع المادة المرتشحة بفعالية.

تتطلب مدافن للنفايات الخطرة أن يكون ( Please note that this sentence is not completed in the text we received, thanks

جمع المادة المرتشحة يضمن إزالة المياه العادمة من مدافن النفايات. وبسبب الخصائص الكيميائية الفيزيائية للملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل فإن أجزائها في المادة المرتشحة تكون صغيرة بالمقارنة مع المحتوى الكلي من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل النفايات المدفونة صحياً على النحو المشار إليه أعلاه. وتكون التركيزات أقل في المادة المرتشحة عندما يتم تطبيق إجراءات قياسية لمعالجة مياه الصرف.

**جمع ومعالجة غاز المدافن:**

تنتج مدافن النفايات فئة (ب 2) ما بين 100 حتى 300 م<sup>3</sup> من غاز مدافن النفايات لكل طن من النفايات خلال فترة 20 عاماً وذلك بسبب التحلل اللاهوائي للمواد العضوية من النفايات. وهو يتكون بشكل رئيسي من غاز الميثان (40-60% من حيث الحجم)، ثاني أكسيد الكربون (40-60%) (Mackie 2009)<sup>106</sup> ومركبات طيارة أخرى بكميات متفاوتة. قد تنبعث أنواع من الغازات الأخرى أيضاً مدافن النفايات، على الرغم من أنها تكون بكميات أصغر بكثير. وهكذا، فإن فئة (ب 2) تتطلب نظم لجمع للغاز. والغرض الرئيسي من جمع الغاز هو تجنب تغير المناخ من خلال منع انبعاثات غاز الميثان وثاني أكسيد الكربون. وأفضل التقنيات المتاحة هي جمع واستخدام غاز مدافن النفايات لاستخدامه في الطاقة. وإذا كان استرجاع الطاقة غير ممكناً، فلا بد من إشعال الغاز بطريقة يمكن معها السيطرة عليه في درجات الحرارة المرتفعة. وبشكل عام، جزء صغير من الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل تتحول إلى غاز في الغلاف الجوي الصحية المدافن، ويعتبر جمعها ومعالجتها بشكل غير معنوي.

#### أفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية للرعاية اللاحقة في مدافن النفايات:

بما أن المدافن هي الإنشاءات الاصطناعية الدائمة التي تحتاج إلى أطول فترة رعاية لاحقة/فإن هذه الرعاية تعتبر مسألة حاسمة. ويتوقع أن تستمر الرعاية اللاحقة لهذه المدافن من قرن إلى عدة قرون وذلك وفقاً لنوع النفايات في المدافن ونوع المعاملة السابقة (Belevi and Baccini 1989<sup>107</sup>, Laner et al. 2011<sup>108</sup>). ولا تزال هناك مواقع للمدافن الرومانية تنتج المادة المرشحة الملوثة حتى الآن - وإن كانت مختلفة جداً عن تلك الحديثة (Freeze and Cherry 1979)<sup>109</sup>. الهدف من الرعاية اللاحقة هو ضمان حماية البيئة من أجل حياة كاملة من المدافن. وهذا لا يعني أن المدافن يجب أن تخضع للمتابعة مدى الحياة. ولكن الأمر يتطلب التحقق من مصير المدافن، ونمذجتها أو حتى ملاحظتها والتأكد أن الانبعاثات ستبقى أقل من مستويات الحد الأدنى البيئية خلال فترة الحياة المتبقية من عمر المدافن. قد تحتاج الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل وقتاً يصل إلى عدة مئات من السنين قبل أن تتحلل إلى مركبات أبسط. وهناك مواد أخرى أكثر ثباتاً منها في المدافن. وهذا يعني، أنه لا يجب التقيد بالملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل على وجه التحديد في إستراتيجية المدافن للرعاية اللاحقة. ويكفي التحكم في المعايير الواردة في الجدول أ-1.

#### وسائل الرعاية اللاحقة:

<sup>106</sup> Mackie KR, Cooper CD. 2009. Landfill gas emission prediction using Voronoi diagrams and importance sampling. Environmental Modelling & Software 24, 1223-1232.

<sup>107</sup> Belevi H, Baccini P. 1989. Long-Term Behavior of Municipal Solid Waste Landfills. Waste Management Research 7, 43-56.

<sup>108</sup> Laner D, Fellner J, Brunner PH. 2011. Future landfill emissions and the effect of final cover installation - A case study. Waste Management 31, 1522-1531.

<sup>109</sup> Freeze RA, Cherry J A. 1979. Groundwater. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall

أفضل التقنيات المتاحة للرعاية اللاحقة يبدأ فعلاً خلال مرحلة تشغيل المدافن: يتم مراقبة الإنبعاثات مثل المادة المرتشحة وغاز المدافن، وتكوين المياه الجوفية من أجل متابعة تطورها على مر الزمن. ويستمر تقدير الإنبعاثات في المستقبل، وإجراء تقييم للأثر المتوقع على البيئة. وبما أن الظروف في المستقبل وحول المدافن قابلة للتنبؤ بها فقط بدون تأكيد على وجه اليقين، فلا بد من الجمع بين نموذج للإنبعاثات في ظروف التنبؤ المستمر مع نموذج ثاني يأخذ سيناريوهات مختلفة في الاعتبار (Laner et al. 2010)<sup>110</sup>. وعلى أية حال، يعتبر رصد المادة المرتشحة وحجم الغاز وتكوينه، وسلوك التكس، وغيرها هو جزء أساسي من الرعاية اللاحقة للمدافن. ففي الوقت الذي تتمحور فيه المعايير العضوية عادة على الأنبيونات والمعادن، قد تشمل أيضاً على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل.

### التقيب في مدافن النفايات وأثر الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

أهداف تعدين المدافن هي ثلاث:

- استرجاع الأرض
- استرجاع المواد
- حماية البيئة

من الناحية الاقتصادية، "استرجاع الأرض" في كثير من الأحيان عملية جذابة وعادة ما تكون هي القوة الدافعة وراء تعدين مدافن النفايات. هذا هو الحال خاصة في المدن النامية بسرعة والمناطق الحضرية، حيث تكون المدافن القديمة محاطة بالمشاريع السكنية أو المكاتب والأراضي القيمة. ولم يثبت أن استرجاع المواد القيمة من المدافن مجدداً اقتصادياً. ونادراً ما يتم تعدين مدافن النفايات لأغراض حماية البيئة. قد يزداد السعي وراء الأهداف الثلاثة معا فيكون حلاً جذاباً في كثير من الظروف. ومن منظور الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل وغيرها من الملوثات العضوية الثابتة فإن الهدف المتمثل في حماية البيئة هو القوة الدافعة الوحيدة. أما بالنسبة للملوثات العضوية الثابتة الأخرى فإن التقيب في المدافن يسمح بالفصل المادي والعلاج الحراري لمكونات النفايات التي تحمل المواد العضوية الخطرة من أجل تحطيمها. ويجب توخي الحذر لمنع تطاير الملوثات العضوية الثابتة والمواد الكيميائية السامة الأخرى من الرشح أثناء الحفر. واعتماداً على نوع النفايات المدفونة، قد يكون من الضروري تغطية الموقع من أجل منع انطلاق الملوثات العضوية الثابتة والمواد السامة الأخرى (لمثال مفصل، أنظر SMDK 2011)<sup>111</sup>.

وإلى جانب المنتجات الناتجة من التمدن الكامل، فقد ينتج عن تعدين المدافن خلق نواتج أخرى مثل أجزاء التربة والمعادن والبلاستيك. هذه الأجزاء عادة ما تحتوي على مستويات عالية من التلوث التي قد تؤثر على تسويقها. وعلى أية حال، سيكون من

<sup>110</sup> Laner D, Fellner H, Brunner PH. 2010. Environmental compatibility of closed landfills – assessing future pollution hazards. Waste Management Research 29, 89-98.

<sup>111</sup> SMDK. 2011. Sondermülldeponie Kölliken, <http://www.smdk.ch/index.cfm?andcontent=0101andpage=3>, retrieved December 8, 2011.



الصعب على نحو فعال فصل الملوثات العضوية الثابتة ميكانيكياً من أجزاء مثل (التربة والبلاستيك!)، مما يؤدي إلي تلوث المنتجات المعزولة بالملوثات العضوية الثابتة. وهكذا، وفي ضوء إدارة النفايات الموجهة الهدف، فإنه ينبغي أن تكون ممارسة التعدين في مدافن النفايات منتجة لجزء يحتوي على غالبية الملوثات العضوية الثابتة بما في ذلك الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل وغيرها من المواد الكيميائية العضوية الخطرة. ويجب أن يتم معدنة هذا الجزء بأفضل التقنيات المتاحة / أفضل المعاملات البيئية.

#### **ملخص واستنتاجات وتوقعات حول دفن المواد المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل فيما يتعلق بأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية:**

تعتبر إنبعاثات الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل من المدافن مشكلة خاصة ولكنها تعتبر مسألة ثانوية في الدول النامية بالمقارنة مع المسائل الأخرى مثل النظافة والصحة العامة. وينبغي أن تكون إنبعاثات هذه الملوثات في الدول الصناعية صغيرة وبأهمية بيئية طفيفة نسبياً في وجود المدافن الحديثة. باستثناء حرائق المدافن، والإرتشاح على المدى الطويل ونواتج الأيض عندما تفشل مدافن النفايات على الاحتواء بسبب التلف أو تردي البطانات الهندسية. وعلى نطاق عالمي، فإن المدافن المحدثة لا تزال قليلة، وبالتالي يلاحظ التلوث بالملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل وغيرها من الملوثات العضوية الثابتة في محيط مدافن النفايات في جميع أنحاء العالم في كل من الدول الناشئة والصناعية.

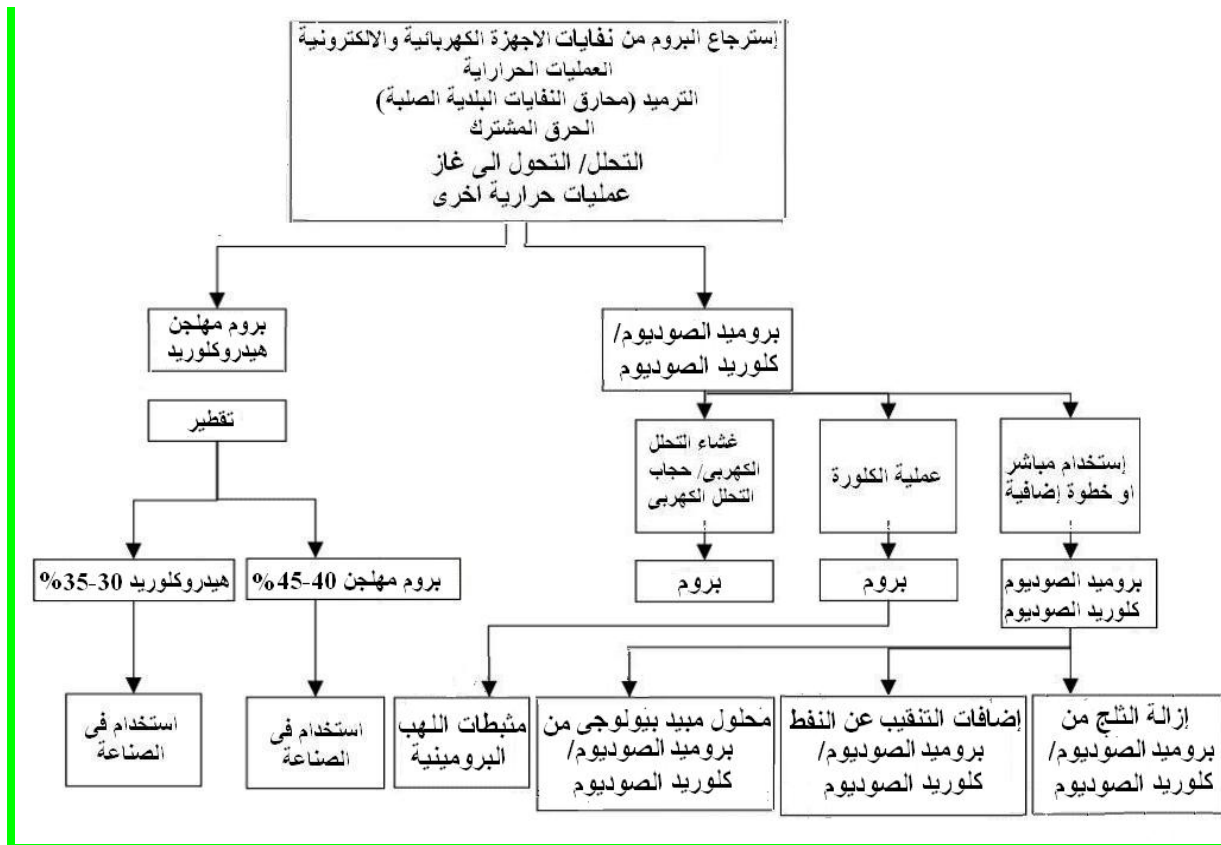
إذا تم استخدام أفضل التقنيات المتاحة، فإنه يجب السيطرة على إنبعاثات الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل. وتشمل أفضل التقنيات المتاحة التخلص من النفايات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في أنواع مدافن ملائمة، ورقابة صارمة على المدخل، وعملية دفن مع التغطية اليومية، واستخدام أحدث البطانات السفلية والتغطية النهائية، ثم جمع ومعالجة الراشح والغاز، والرعاية اللاحقة مع الرصد لفترات زمنية طويلة (قرون). يجب أن يوضع في الاعتبار عند النظر في أفضل التقنيات المتاحة أن أنظمة المدافن لا تشمل في كثير من الأحيان المواد العضوية الفردية مثل الملوثات العضوية الثابتة، ولكنها تشمل معايير مجموعة معينة من المواد الكيميائية مثل الهاليدات العضوية القابلة للاستخراج (EOX) والهاليدات العضوية الممتازة (AOX) للإدارة السليمة للمدافن.

#### **المرفق 4: استرجاع البروم من المواد التي تحتوي على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومثبطات الهب البرومينية:**

هناك عدد من التقنيات الواعدة في مرحلة التطوير أو التجريب والقادرة على استرجاع البروم من البوليمرات وبالتالي السماح بإعادة التدوير الآمن أو استرجاع المواد الأولية. ويشمل استرجاع البروم تقنيات من أجل استرجاع المواد اللازمة لإعادة التدوير، وإعادة تدوير المواد الوسيطة في صورة وقود أو استخدامات التصنيع، والانحلال الحراري للبوليمرات مع استرجاع البروم - استرجاع البروم في المحارق- وفصل الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل/مثبطات الهب البرومينية من البوليمر لاسترجاع البروم في

الاستخدام الصناعي. ومع ذلك، فمن المحتمل أن يكون عدم وجود أي حافز في السوق الحقيقي لإزالة الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل/مثبطات اللهب البرومينية عند نهاية عمر المواد هو أحد الأسباب التي تبقى هذه التقنيات في مرحلة المختبر/المرحلة التجريبية. ولم تتوفر حتى الآن أي معلومات عن عمليات واسعة النطاق في خلال نحو 10 سنوات منذ أن أعلنت الصناعة هذا النهج كهدف لها (BSEF 2000)<sup>112</sup>.

وبما أن خيار استرجاع البروم في تزايد في وجود عدد من المرافق التي تقوم بفصل البوليمرات المحتوية علي البرومين، فإن وضع هذه التقنيات - رغم عدم تواجدها في صورة كاملة- يتم وصفها هنا باختصار من أجل اتخاذ المزيد من الاهتمام بها. هذه التكنولوجيات ستحتاج إلي مزيد من التقييم قبل أن يمكن إعطاء أي توصية فيما يتعلق بأفضل التقنيات المتاحة / أفضل المعاملات البيئية الصارمة في حالة استخدام هذه التقنيات. ويجب أن يناقش أي تقييم مسألة المستوى العملي لفصل مثبطات اللهب البرومينية / البروم من المواد التي تحتوي على مثبطات اللهب البرومينية والنظر في أسعار البروم الحالية المرتفعة (حوالي 2.500 دولار أمريكي / طن في عام 2010، ومبلغ 4000 دولار أمريكي في 2011) جنباً إلى جنب مع الأسواق المستقبلية للبروم ومساهمة ذلك في اقتصاديات هذه العملية .



<sup>112</sup> BSEF Bromine Science and Environment Forum. 2000. An introduction to Brominated Flame Retardants. BSEF 19 October 2000.

الشكل أ 1: الخيارات المحتملة لعملية استرجاع البروم وإغلاق دورة البروم (Tange and Drohmann 2002)<sup>113</sup>

**الاسترجاع الحراري للبروم:**

**استرجاع البروم من محارق النفايات:**

اقترح فيه إمكانية استرجاع البرومين بأفضل التقنيات المتاحة في المحارق التي تقوم بمعالجة كميات كبيرة من المخلفات المحتوية على الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإيثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومثبطات اللهب (Vehlow et al. 2002)<sup>114</sup>. واقترح أيضاً أن خط احتراق النفايات البلدية الصلبة النمطية يعالج 20 طناً من النفايات البلدية الصلبة في الساعة والتي عادة تكون مناسبة لتحقيق اقتصاديات كبيرة الحجم، ويعمل عدة خطوط جنباً إلى جنب مع بعضها البعض. وعلى أساس أن 3% من بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية يحتوي على 2.5% بالوزن من البروم يتم إضافته إلى ثلاثة خطوط، (1800 كجم/ ساعة بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية)، فإن هذا من شأنه أن يمثل 45 كجم / ساعة من البروم. وفي ظروف كفاءة وحدة الغسيل الغاز < 97% وإعادة تدوير العائد من البروم < 90%، فإن مثل هذه قد يسهم بإعادة تدوير 310 طن نظرياً من البروم في السنة، ومن الممكن أن يسترجع البروم المهلجن في صورة محلول 48%، وفي هذه الحالة ستكون إعادة التدوير بنحو 660 طن من البروم المهلجن 48% سنوياً. وقام كينيدي ودونكين بحساب هذه العملية ووجدوا أنه يمكن أن تسهم بنحو 7% من الدخل من أحد أجهزة حرق النفايات البلدية (PB Kennedy and Donkin 1999).

**الاسترجاع من البروم من التحلل الحراري:**

تم تطوير اثنين من العمليات الحرارية باستخدام التحلل الحراري على نطاق تجريبي حيث كان استرجاع البروم من النفايات الإلكترونية والنفايات البلاستيكية هو سمة هذا المشروع. وثمة مسألة رئيسية وهي الحصول على فصل واضح بين الغاز/الوقود السائل والبروم المهلجن. فإذا ما تركت تراكيز عالية جداً من الهالوجينات في الوقود (< 50 جزء في المليون من الكلورين أو البروم) فإنه لا يمكن استخدامه بعد ذلك بسبب ارتفاع احتمالات التآكل.

**عملية التحلل الحراري في درجات الحرارة المنخفضة Haloclean:**

---

<sup>113</sup> Tange L, Drohmann D. 2002. Waste management concept for WEEE plastics containing brominated flame retardants, including bromine recycling and energy recovery. Flame Retardants 2002. Proceedings of a conference held in London, 5th-6th Feb. 2002.

<sup>114</sup> Vehlow J, Bergfeldt B, Hunsinger H, Jay K, Mark FE, Tange L, Drohman D, Fisch H. 2002. Recycling of bromine from plastics containing brominated flame retardants in state-of- the-art combustion facilities

وهي عملية تحلل حراري في درجة حرارة منخفضة تم تطويرها كعملية حرارية وكيميائية لمعالجة نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية (Koch 2007<sup>116</sup>, Hornung and Seiffert 2006<sup>115</sup>). وقد تم تطوير مفاعل *Haloclean*® بفرن دوار محكم الغاز. تحاول هذه العملية تقسيم الخردة الإلكترونية المقطعة إلى تيار من المادة المفيدة والتي تدفق للطاقة. ويتم تحويل مكونات البوليمر في عملية التحلل الحراري على مرحلتين إلى النفط والغاز. وفي خطوة كيميائية أخرى (تسمى "مفاعل متعدد البروبيلين") تهدف لنزع واستعادة البرومين والهالوجينات الأخرى من هذه المنتجات، يمكن فصل المعادن الثمينة والمعادن الأخرى من بقايا التحلل الحراري المتبقية، وحتى الآن لم يتم تطوير سوى محطة واحدة للبيان العملي فقط. وتستخدم حالياً لعملية التحلل الحراري للكتلة الحيوية.

### استرجاع البروم بالتحول إلى غاز بالتحلل الحراري على مرحلتين:

تبين من اختبارات تشغيل تجريبية لصناعة البروم (*EBFRIP*) في مركز بحوث الطاقة (ECN) في هولندا (Boerrigter 2005<sup>118</sup>, Tange and Drohmann 2001<sup>117</sup>) أنه من الممكن استرجاع البروم عن طريق العمليات الحرارية. وتتألف العملية من تحول تدريجي إلى غاز (*Pyromaat*)، وتشمل تحلل حراري عند (550 درجة مئوية) والتحول إلى غاز عند درجة حرارة عالية (> 1230 درجة مئوية). وتم استرجاع البروم المهلجن في اختبارات التشغيل التجريبية بواسطة الغسل بالقلويات الرطبة من الغازات الاصطناعية من جزء بلاستيك معالج من نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية.

### تقنيات فصل الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل/مبثبات اللهب البرومينية من قالب البوليمر:

تقنيات فصل مبثبات اللهب البرومينية (بما يشمل الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل) من قوالب البوليمر هي تقنيات ثابتة على المستوي التجريبي لكل من (أ) الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومبثبات البوليمر التي تحتوي على اللهب البرومينية، و(ب) لوحات الدوائر المطبوعة. فئات المواد التي تحتوي على مبثبات اللهب البرومينية و الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ذات قيمة تجارية تسويقية وهو

<sup>115</sup> Hornung A, Seiffert H (2006) Rotary kiln pyrolysis of polymers containing heteroatoms. In: Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastic. Editors Scheirs J and Kaminsky W. John Wiley & Sons, Ltd. pp. 549-567

<sup>116</sup> Koch W (2007) Entwicklung eines thermisch-chemischen Prozesses zur Verwertung von Abfällen aus Elektro- und Elektronikgeräten - die „Haloclean“-Pyrolyse. Dissertation. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe/Germany

<sup>117</sup> Boerrigter, H. (2001). Implementation of Thermal Processes for Feedstock Recycling of Bromine, with Energy in Recovery, from Plastic Waste of Electrical and Electronic Equipment (WEEE) – Phase 2: Production of Bromine Salt Staged-gasification to Determine Technical Feasibility of Bromine Recovery. ECN-C-01-110 Report (Final version), October 2001.

<sup>118</sup> Tange L, Drohmann D. 2005. Waste electrical and electronic equipment plastics with brominated flame retardants - from legislation to separate treatment - thermal processes. Polymer Degradation and Stability 88, 35-40.

ما يشكل القوة الدافعة الرئيسية لتطوير تكنولوجيا إعادة التدوير المحسنة. ولكن لا تعمل أي من تكنولوجيات الفصل حالياً على نطاق صناعي. وتبدو الآن تكنولوجيا فصل مثبطات اللهب البرومينية والملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل من البوليمرات جاهزة للتطبيق الصناعي. أما بالنسبة للوحات الدوائر المطبوعة، فإن تكنولوجيا فصل هذه المواد ما زالت في طور التطوير في نطاق المختبر فقط (أنظر أدناه).

### فصل مثبطات اللهب البرومينية/البروم واسترجاع البوليمر:

تستند أساليب الفرز الشائعة على "حصاد الكرز" للمكونات الأكثر قيمة من المدخلات الالكترونية/البوليمرات. وعادة ما تكون كميتها منخفضة نسبياً وعادة ما تكون في حدود 20٪ إلى 60٪ اعتماداً على المدخلات، وتصميم الأجهزة والتقنيات المستخدمة. غير أن الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ومثبطات اللهب البرومينية والحمل البروميني يتم زيادتهم (تخصيهم) من خلال جزء النفايات المتبقي. تقوم عملية *CreaSolv*® باستخلاص الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل/مثبطات اللهب البرومينية من البوليمرات المستهدفة من جزء البوليمر المخضب (الذي تم زيادته) وتكون قادرة على إزالة الملوثات الغير ذائبة (مثل البوليمرات غير المستهدفة وغيرها من المواد المتداخلة) والملوثات الذائبة (مثل الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل، متعدد البروم ثنائي الفينيل أو غيرها من مثبطات اللهب البرومينية) من البوليمرات المستهدفة (Schlummer et al. 2006)<sup>119</sup> باستخدام تركيبة من المذيبات الخاصة والمملوكة لشركة *CreaSolv*®. وتحتوى المنتجات الثانوية على مستويات عالية من مثبطات اللهب البرومينية، وحيث أن سعر السوق للبروم يصل لحوالي 4000 دولار امريكي، فانه يمكن استخدام هذه المنتجات الثانوية في استرجاع البروم. وبدلاً من ذلك يمكن معالجتها كيميائياً أو ترميدها عن طريق المحارق. وقد تم تطوير بعض أجزاء بلاستيك نفايات الأجهزة والإلكترونية الكهربائية وأصبحت قادرة على إنتاج نوعيات عالية الجودة من بوليمرات ذات صفات مطابقة لقيود حظر المواد الخطرة (RoHS) حتى من أجزاء مثبطات اللهب البرومينية المخضبة (Schlummer et al. 2006).

يدل تقييم المملكة المتحدة للتطبيق العملي والتجاري لهذه التكنولوجيا (WRAP 2006)<sup>120</sup> على أن عملية *Creasolv*® يمكن أن تكون مجدية تجارياً مع الإنتاجيات في حدود 10.000 طن/سنة. ووفقاً لمعهد فراونهوفر *IVV*، حيث بدأ تطوير هذه العملية، فانه يمكن تشغيل العملية تجارياً بقدرات منخفضة تصل إلى 2000 طن/سنة (Schlummer 2011)<sup>121</sup> وتكون قادرة على المنافسة في الترميد (رسوم البوابة: 100 دولار + رسوم البوابة للطن الواحد) أو التخلص منها في المدافن<sup>122</sup> (تكلفة رسوم بوابة المدفن تعتمد

<sup>119</sup> Schlummer M, Maurer A, Leitner T, Spruzina W. 2006. Report: Recycling of flame-retarded plastics from waste electric and electronic equipment (WEEE). Waste Management Research 24, 573-583.

<sup>120</sup> WRAP. 2006. Develop a process to separate brominated flame retardants from WEEE polymers Final Report Project code: PLA- 037 November 2006. Banbury, Waste Resources Action Program.

<sup>121</sup> Schlummer M. 2011. Contributions to the Stockholm Convention guideline drafts. Vienna, Austria 23.11.2011.

<sup>122</sup> وفقاً للاتفاقية، تحتاج نفايات الملوثات العضوية الثابتة إلى التحطيم أو تحويلها تحويلاً غير منعكس. وينبغي تجنب الدفن إن أمكن لأنها ليست، في معظم الظروف، طريقة آمنة على المدى الطويل. توثق دراسات الملوثات العضوية الثابتة من مناطق مختلفة أن الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل تنطلق من مواقع

بقوة على المنطقة والسياسة العامة للدولة) أو وسائل معالجة تيارات البوليمر المفصولة (WRAP 2006)<sup>123</sup>. وسوف تنافس ® Creasolv في عمليات إزالة مثبتات اللهب البرومينية باستخدام تقنيات الفرز الطيفية، نظراً لما في ذلك من عائدات ومخرجات ذات جودة عالية. وخلص تقييم برنامج عمل النفايات والموارد (WRAP) إلى أن هذه العملية يمكن أن تنافس الصادرات خارج الإتحاد الأوروبي من بلاستيك نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية المختلطة (قيمة المبيعات الحالية حوالي 100 دولار/طن) إذا كانت درجة البلاستيك المركب النهائي المعد لإعادة التدوير عالية، حيث يمكن بيع البلاستيك بحوالي 80٪ من سعر المركب الأولي.

### استرجاع المعادن، والطاقة والبروم من لوحة الأسلاك المطبوعة:

تم تطوير إعادة عملية التدوير الميكانيكية للوحة الأسلاك المطبوعة والتي تستخدم أيضاً لفصل مثبتات اللهب البرومينية من المواد الأخرى في عملية الاسترجاع على نطاق المختبر (Kolbe 2010)<sup>124</sup>. ويعد البروم من المواد التي يتعين استرجاعها ضمن إستراتيجية الاسترجاع الكامل للمواد (Kolbe 2011)<sup>125</sup>. تتم إزالة الأجزاء الرئيسية من المعادن ميكانيكياً من لوحة الأسلاك المطبوعة في الخطوة الأولى، وفي الخطوة الثانية تتم إذابة راتنج لوحة الأسلاك المطبوعة، ويتم استرجاع المعادن المتبقية والألياف الزجاجية. ويتم استرجاع مزيد من المعادن في مصاهر المعدن. ونتم إزالة البروم من الراتنج الذائب واسترجاع البروم منه (مثل بروميد الصوديوم). ويستخدم النفط الناتج والخالي من البروم في محطات الكهرباء. بينما يتم ضغط الألياف الزجاجية، وغسلها وتجفيفها، ويمكن إعادة استخدامها كمادة حشو. وتخطط الشركة أيضاً لإعادة تدوير المخلفات والغبار من إنتاج لوحات الدوائر المطبوعة.

### المرفق 5: تقدير الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في الأدوات:

تعريف الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل بتحليل الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل القياسية:

تم تطوير IEC 62321 القياسي الدولي ED.1 (International Electrotechnical Commission, 2008) لتحديد مستويات ستة مواد خاضعة للوائح (الرصاص، الزئبق، الكاديوم، الكروم سداسي التكافؤ، متعددة البروم ثنائية الفينيل، الإثريات متعددة البروم

---

دفن النفايات وتلوث المياه الجوفية والسطحية والتربة المحيطة. وورد انه في الدول النامية والتي تمر بمرحلة انتقالية يتعرض البشر الذين يعيشون أو يعملون في مواقع دفن النفايات وحولها للتلوث ويتم توثيق ومناقشه هذا في القسم الخاص بالتخلص النهائي منها.

<sup>123</sup> WRAP. 2006. Develop a process to separate brominated flame retardants from WEEE polymers Final Report Project code: PLA- 037 November 2006. Banbury, Waste Resources Action Program.

<sup>124</sup> Kolbe, P. (2010). Innovative Ansätze im Leiterplattenrecycling in "Recycling und Rohstoffe - Band 3 Karl J. Editors Thome-Kozmiensky/Daniel Goldmann Neuruppin : TK Verlag ISBN 978 3 935317 50 4.

<sup>125</sup> Kolbe, P. (2011). Personal Communication with R. Weber (31.10.2011).

ثنائية الفينيل) في المنتجات الكهربائية. تصميم الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (من الإثير أحادي البروم ثنائي الفينيل إلي الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل) في البوليمرات بواسطة الكروماتوجرافي الغازي مع مطياف الكتلة (GC-MS) الموضحة في الملحق (أ) وعن IEC 62321، بما في ذلك الاستخلاص والتحليل، وضمان الجودة. حتى الآن الطريقة التحليلية الموصوفة في IEC 62321 هي طريقة معلوماتية فقط ويبدو أنها تحتاج إلي تحسين<sup>126</sup>، والنسخة الثانية منها مازالت تحت التقييم.

تتطلب تقنيات التحليل الكروماتوجرافي الغازي / مطياف الكتلة الحديثة استخلاص وتنظيف مناسبين للملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل. ويتم استخلاص السائل من المستخلص الصلب بواسطة سوكليت (soxhlet)، واستخلاص السائل المضغوط أو بمساعدة تقنيات الموجات فوق الصوتية) أو عن طريق الإذابة في المذيبات المناسبة (Schlummer et al., 2005). وعادة ما تستخرج المذيبات العضوية البوليمرات/قليله الوحدات (oligomers) معاً، فيكون من الضروري استخدام طريقة تنظيف مناسبة وتوفير الأدوات المناسبة لحساسية جهاز التحليل الكروماتوجرافي الغازي/مطياف الكتلة. يستغرق استخلاص العينة وتنظيفها وقتاً طويلاً - منذ تسليم العينة وحتى تلقي النتائج من المختبر - تصل عادة إلي عدة أيام. ولهذا فإن جهاز التحليل الكروماتوجرافي الغازي/مطياف الكتلة التقليدي ليس طريقة عملية لفصل الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في عمليات إعادة التدوير التجارية.

#### تقنيات التحليل السريع التحليل الكروماتوجرافي الغازي/مطياف الكتلة GC-MS للملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل:

من الضروري استخدام تقنيات استخلاص أسرع وحذف خطوات التنظيف (cleanup) لتحقيق طريقة فحص جيدة. قام بوهلين وآخرون (Poehlein et al. 2008) بتطوير طريقة فحص سريعة لمثبطات اللهب البرومينية بما في ذلك متعدد البروم ثنائي الفينيل والملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في عينات البلاستيك عن طريق الاستخلاص بالموجات فوق الصوتية وتحليل التحليل الكروماتوجرافي الغازي/مطياف الكتلة. وكان وقت التحليل هو 9 دقائق (GC-MS) و 15 دقيقة باستخدام الكروماتوجرافي الغازي/كشاف صيد الإلكترون (GC-ECD)، وقد تم إقرار هذه الطريقة من أجل تحديد متعدد البروم ثنائي الفينيل، والإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل وغيرها من مثبطات اللهب البرومينية في البوليمرات الصناعية والستايرين من نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية.

وقد تم تطوير طريقة بديلة لفحص مثبطات اللهب البرومينية بما في ذلك الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل دون انتقائية للاستخراج والتنظيف (Danzer et al. 1997) باستخدام التحلل الحراري على شبكة الإنترنت من البلاستيك المسحوق وتحليلها بالانحلال الحراري- والتحليل الكروماتوجرافي الغازي/مطياف الكتلة pyrolysis-GC-MS. واستخدمت طريقة الاهتزاز الحراري للمواد البلاستيكية في فحص ما يقرب من 100 تفلزيون و80 جهاز حاسب آلي (Rieß et al., 2000). وقد طور شيمادزو (Shimadzu 2010) طريقة الانحلال الحراري بالتحليل الكروماتوجرافي الغازي / مطياف الكتلة إلي طرق متوفرة تجارياً تصل لعدد 48 عينة عن طريق حاقن عينات اوتوماتيكي (auto-sampler).

<sup>126</sup> The inter-laboratory studies have not given very positive results to date.

قد يكون الحد الأدنى من الوقت اللازم وهو 15 دقيقة (أخذ العينات والإعداد والتحليل) طويل جداً للتطبيق العملي عند فصل نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية أو محطات إعادة التدوير الأخرى (UNEP, 2010a,b) لذا فإنه يمكن أن تستخدم هذه التقنيات في عملية تأكيد تقنية الفصل.

#### رصد الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل بالرامان الطيفي في الموقع:

طورت شركة Saimu أجهزة رامان الطيفي فائق السرعة لفرز البلاستيك في اليابان<sup>127</sup>. ووفقاً للمعلومات التي أوردتها الشركة، فإنه يمكن لهذه التقنية فحص البلاستيك على أساس محتواها من الملوثات العضوية الثابتة من طراز الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل (Tsuchida et al., 2009; Kawazumi et al., 2011). وقد تم تجميع هذه الأجهزة في محطة تجريبية لفصل البلاستيك.

#### • قياس البروم في الأدوات داخل الموقع:

لقد تم تطوير طرق بديلة لرصد المواد البلاستيكية التي تحتوي على البروم. وتوجد ثلاث تقنيات حاله أثبتت قدرة على فرز البروم في تجارب طويلة الأجل (WRAP, 2006a) و/أو تستخدم على نطاق واسع في المنشآت، ويمكن اعتبارها كأفضل التقنيات المتاحة/أفضل المعاملات البيئية لفحص البروم:

• مطياف الحرارة الطيفية المنزلة

• الأشعة السينية (XRF)

• انتقال الأشعة السينية (XRT)

وسيرد وصف استخدام هذه التقنيات في الجزء 4-4.

#### مطياف الحرارة المنزلة:

مطياف الحرارة المنزلة هو طريقة سريعة لفحص السطحي القادرة على اكتشاف البروم والكلور والإضافات غير العضوية وبقدرة علي التقصي تصل إلى حوالي 1000 جزء في المليون. ويسمح مطياف الحرارة المنزلة بطريقة سهلة نسبياً بالتحليل المباشر داخل الموقع لمواد غير موصلة مضغوطة دون إعداد مسبق للعينات. وقد تم وصف التعرف على المواد البلاستيكية التي تحتوي على البروم والكلور (مثبطات اللهب المعالجة بالكلور أو متعدد الفينيل الكلور)، والمواد المضافة غير العضوية (الحشو، والمثبتات، مثبطات اللهب البرومينية والموازرة) (Schlummer and Maeurer, 2006). ثمن هذا الجهاز حوالي 6,000 دولار أمريكياً تقريباً (UNEP, 2010b).

<sup>127</sup> [http://akane.saimu-net.ne.jp/plastic\\_en.html](http://akane.saimu-net.ne.jp/plastic_en.html)



### الأشعة السينية الفلوروميضية (XRF):

يمكن استخدام تكنولوجيا الأشعة السينية الفلوروميضية للكشف والفصل بين البوليمرات المحتوية على البروم بحدود للتقصي تصل من 10 إلى 100 جزء في المليون. يقتصر تحليل الأشعة السينية على الكشف عن البروم في المواد دون القدرة على التعرف على نوع مركبات مثبطات اللهب البرومينية. والوقت اللازم للقياس أقل من دقيقة واحدة عند استخدام الأجهزة المحمولة. وتعتبر دقة قياسات الأشعة السينية محدودة، وبالتالي فإن فحص الانحرافات المعيارية النسبية يمكن أن يصل إلى 30٪ وهو أمر بالغ الأهمية فقط عند قياس مستويات قريبة جداً من حد معين. ولذلك، ينبغي أن يكون الحد الأدنى للقياس لا يقل عن 30٪ دون الحد الأدنى المحدد للفصل. وتقدر تكلفة الأداة القياسية تقريبا من 30,000 دولار أمريكي إلى 50,000 دولار أمريكي. وتتوفر الأشعة السينية الفلوروميضية الأبسط بأسعار أقل.

### انتقال الأشعة السينية (XRT):

تستخدم تكنولوجيا انتقال الأشعة السينية الكهربائية الأشعة السينية كمصدر تخليق إشعاع طاقة واسع النطاق في مدى من 80 كيلو إلى 160 كيلو. يخترق الإشعاع مواد الفصل وعند تخفيفها تضرب الأشعة جهاز استشعار مكون من جهاز تصوير يعتمد على الأشعة السينية باستخدام اثنين من خطوط الاستشعار المستقلة لهما حساسية طيفية مختلفة. ولتعويض هذه المشكلة التقنية، فإنه يتم تعريض المواد المطلوب فرزها إلى الإضاءة من اتجاهين مختلفين. وتجعل مسارات النقل الناتجة المختلفة من الممكن تجاهل سمك المادة عند استخدام الأشعة السينية فائقة السرعة. وعلى النقيض من أدوات الفحص المحمولة باليد (الأشعة السينية ومصدر الليونة العظمى) المستخدمة في وحدات التفكيك، فإن هذا الجهاز من المفترض أن يتولى فرز الخردة أوتوماتيكياً (تلقائياً). ويبلغ سعر هذا الجهاز حوالي 400,000 دولار أمريكي تقريبا (UNEP, 2010b).