

Distr.: General
25 November 2014

Arabic
Original: English

اتفاقية استكهولم
بشأن
الملوثات العضوية الثابتة



لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة
الاجتماع العاشر
روما، 27-30 تشرين الأول/أكتوبر 2014

تقرير لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة عن أعمال اجتماعها العاشر

إضافة

موجز مخاطر بشأن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم (المزيغ التجاري، الإيثر الثنائي
الفينيل العشاري البروم التجاري)

اعتمدت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة، في اجتماعها العاشر، بموجب مقررها ل م - 2/10، موجز مخاطر بشأن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم (المزيغ التجاري، الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم التجاري) وذلك على أساس مشروع موجز المخاطر الوارد في مذكرة الأمانة (UNEP/POPS/POPRC.10/3). ويرد نص موجز المخاطر، بصورته المعدلة، في مرفق هذه الإضافة. ولم يخضع النص للتحضير رسمياً.

الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم
(المزيج التجاري للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم)

مشروع موجز مخاطر

المشروع من إعداد الفريق العامل المخصص المعني بالإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم
لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة

تشرين الأول/أكتوبر 2014

جدول المحتويات

| | | |
|----|---|-------|
| 4 | موجز تنفيذي | |
| 7 | المقدمة | 1 - |
| 7 | الهوية الكيميائية للمادة المقترحة | 1-1 |
| 9 | النتيجة التي خلصت إليها لجنة الاستعراض المتعلقة بمعلومات المرفق دال | 2-1 |
| 9 | مصادر البيانات | 3-1 |
| 10 | حالة هذه المادة الكيميائية في الاتفاقيات الدولية والمنتديات الأخرى | 4-1 |
| 11 | معلومات موجزة ذات صلة بموجز المخاطر | 2- |
| 11 | المصادر | 1-2 |
| 11 | الإنتاج، التجارة والمخزونات | 1-1-2 |
| 13 | الاستخدامات | 2-1-2 |
| 14 | الإطلاقات في البيئة | 3-1-2 |
| 17 | المصير البيئي | 2-2 |
| 17 | مقاومة التحلل | 1-2-2 |
| 19 | التحلل ونزع البروم | 2-2-2 |
| 23 | التوفر البيولوجي والتوزع داخل الأنسجة | 3-2-2 |
| 24 | التراكم البيولوجي | 4-2-2 |
| 30 | احتمالات الانتقال البيئي بعيد المدى | 5-2-2 |
| 32 | التعرض | 3-2 |
| 32 | المستويات والاتجاهات البيئية | 1-3-2 |
| 36 | التعرض البشري | 2-3-2 |
| 39 | تقييم المخاطر لنقاط النهاية المثيرة للقلق | 4-2 |
| 40 | السُممية للكائنات المائية | 1-4-2 |
| 43 | السُممية في النباتات وكائنات التربة | 2-4-2 |
| 44 | السُممية في الطيور | 3-4-2 |
| 46 | السُممية في الثدييات البرية | 4-4-2 |
| 50 | السُممية للإنسان | 5-4-2 |
| 51 | سُممية المزارع والآثار المجمعة لعوامل الكرب المتعددة | 6-4-2 |
| 54 | تجميع المعلومات | 3 - |
| 59 | بيان ختامي | 4 - |
| 60 | المراجع | |

موجز تنفيذي

1- إن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم المتوفر تجارياً (الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم - التجاري) هو صيغة إيثر ثنائي الفينيل متعدد البرومة، ويتألف من إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم (الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209)، مع مقادير صغيرة من الإيثر ثنائي الفينيل تُساعي البروم والإيثر ثنائي الفينيل ثنائي البروم. وقد خضع الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري للبحث بشأن تأثيراته المحتملة على الصحة والبيئة لمدة تزيد على العقد من الزمان وفُرضت عليه قيود وتدابير إدارة مخاطر طوعية في بعض البلدان والأقاليم.

2- بلغ استهلاك الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري ذروته في أوائل الألفية الثانية، ولكنه لا يزال يُستخدم في جميع أنحاء العالم. فالإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري يُستخدم كإضافة لتثبيط اللهب، وله طائفة متنوعة من التطبيقات بما في ذلك - اللدائن/البوليمرات، والمركبات والأنسجة، والمواد اللاصقة، والمواد المانعة للتسرب، وطبقات الطلاء والأحبار. ويُستخدم الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري الذي يشتمل على اللدائن في أماكن حفظ الحواسيب وأجهزة التلفاز، والأسلاك والكابلات، والمواسير والسجاد. وهو يُستخدم في المنسوجات التجارية، وبصورة رئيسية في المباني العامة والنقل، وفي المنسوجات الخاصة بأثاث المنازل. وتنطلق انبعاثات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري في البيئة في جميع مراحل دورة حياتها، وإن كان يُفترض أنها تبلغ أوجها أثناء عمر الخدمة وفي مرحلة النفايات. ويمكن للانبعاثات من المصادر الصناعية أن تكون كبيرة هي الأخرى. كما أن استخدام الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم في إنتاج المنسوجات والإلكترونيات يؤدي إلى إطلاق انبعاثات في البيئة، وتلوث في الهواء العابر للحدود إما مباشرة من الأدوات أو أثناء الإنتاج والتخلص منه.

3- ويتصف الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بانخفاض ذوبانه في الماء (أقل من 0.1 ميكروغرام/لتر عند درجة الحرارة 24 مئوية) وفي البيئة له أدمصاص قوي للمادة العضوية ويمحدث له تفرق سريع في الرسوبيات والتربة. وهذه المادة شديدة المقاومة للتحلل وتتجاوز أنصاف العمر البيئي المبلغ عنها في هذه الوسائط عادة والتي تتجاوز 180 يوماً.

4- إن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 واسع الانتشار، ويمثل أكثر الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم انتشاراً في البيئة العالمية. فعندما يُكتشف الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في البيئة والحيويات، فإنه يوجد عادة في معية إيثرات أخرى ثنائية الفينيل متعددة البروم. وتُشير بيانات الرصد إلى تراكيز عالية من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الرسوبيات والتربة، وإن كانت توجد كذلك في الحيوانات في العالم أجمع، مع وجود مستويات مرتفعة من هذه التراكيز في بعض الأنواع. وتكون المستويات في قمة ارتفاعها بصفة عامة في المناطق الحضرية، بالقرب من تصريفات مياه النفايات وفي المناطق المحيطة بمصانع النفايات الإلكترونية وإعادة التدوير. وفي الهواء، يرتبط الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بالجسيمات التي تحمي هذه المادة الكيميائية من التفكك الناتج عن التحلل الضوئي، ويمكن أن تنتقل عبر مسافات طويلة. إن نصف العمر التقديري في الغلاف الجوي لهذه المادة هو 94 يوماً، وقد يتجاوز 200 يوم، ويُكتشف الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 أيضاً في العينات البيئية والبيولوجية المأخوذة من المناطق النائية، وهو أحد الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الغالبة في هواء القطب الشمالي، وفي عينات الترسيب. وقد دلت بيانات الاتجاه الزمني للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في هواء القطب الشمالي وفي بعض الكائنات التي

وجدت في القطب الشمالي أثناء الفترة 2002-2005 على وجود مستويات متزايدة، وإن كانت المستويات آخذة في الاستقرار الآن.

5- إن للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 توفر بيولوجي محدود بسبب كبر حجمه الذي يعوق قدرته على المرور عبر الأغشية الخلوية عن طريق الانتشار السليبي. ومع ذلك، تُشير بيانات الرصد البيولوجي إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 متوفر بيولوجياً ويمتصه البشر والكائنات الأخرى. والإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 قد كُشف عن وجوده في طائفة متنوعة من الكائنات المختلفة وفي المصفوفات البيولوجية التي تشمل مصل الدم البشري، ودم الحبل السري، والمشيمة، والجنين، ولبن الرضاعة، وفي لبن الأبقار المرضعة. أما المستويات التي أبلغ عنها عند بعض الأنواع فهي قريبة من تراكيزات الأثر الضار المبلغ عنه. ففي القوارض والطيور، وُجد أن مقادير صغيرة من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 تمر من خلال حواجز دم المخ وتدخل إلى المخ. وهناك دلائل أيضاً على انتقال الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 من المراحل البالغة إلى البيض في الأسماك والطيور، وعلى الانتقال الفعلي عن طريق المشيمة إلى الجنين في الثدييات. أما بالنسبة للإنسان، فتقديرات المتحصل المتاحة من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 تُشير أيضاً إلى أهمية التعرض للغبار، وبخاصة بالنسبة للأطفال الصغار. فقد أبلغ عن مستويات أعلى من الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم، والإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الأطفال الدارجين، والأطفال الصغار أعلى منه في البالغين. وفي الكائنات المائية يبدو أن المتحصل عن طريق الغذاء هو أهم مسار للتعرض.

6- وتظهر العديد من القرائن أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 هو مادة متراكمة بيولوجياً، على الأقل في بعض الأنواع. كما أن الالتباس في بيانات التراكم البيولوجي المتاحة تعكس إلى حد كبير الفروق بين الأنواع والأنسجة في الامتصاص، والاستقلاب والتخلص، وكذلك الفروق في التعرض وفي التحديات التحليلية أيضاً عند قياس الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209.

7- إن نزع البروم من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في المصفوفات البيئية والحيويات إلى إيثرات ثنائية الفينيل المتعددة البروم السمية والتراكمية بيولوجياً تكون أكثر مقاومة للتحلل بما في ذلك تلك المواد المدرجة بالفعل في اتفاقية استكهولم، وتعتبر (الملوثات العضوية الثابتة-الإيثرات الثنائية الفينيل العشارية البروم) مثاراً للقلق في عدد من عمليات التقييم. فهناك العديد من متجانسات إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم لا تمثل جزءاً من أي مزيج تجاري قد تم تحديده بصورة رئيسية في الحيوانات ولكن في البيئة أيضاً، وتعتبر أنها تعطي دلائل على نزع البروم من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209. ونتيجة لنزع البروم من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-التجاري والإطلاقات الماضية من كائنات الإيثر ثنائي الفينيل خماسي البروم والإيثر ثنائي الفينيل ثنائي البروم-التجارية تتعرض غالباً للعديد من الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم.

8- إن دراسات سُمية الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 تقدم دلائل على التأثيرات الضارة المحتملة على الصحة الإنجابية والإنتاج في عدد من الأنواع، وكذلك التأثيرات النموية والسمية العصبية. كما أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 و/أو نواتج تحلله قد تعمل كعوامل اختلال للغدد الصماء، وتضر بالاستقرار المتجانس لهرمون الغدة الدرقية. وعلى أساس أساليب العمل الشائعة (لم تحدد بشكل كامل) والنتائج الضارة الشائعة، يثور قلق من أن يعمل الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 والإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم معاً بصورة مجتمعة، أو بصورة إضافية أو تآزرية فتحدث سُمية للنمو والأعصاب في كل من البشر والحياة البرية وفي التراكيزات البيئية المناسبة. إن تراكيزات الآثار الملاحظة من زيادة في نفوق الطيور والتأثيرات في

نمو الضفادع المأخوذة من الدراسات المخبرية المتحكم فيها تُشير مخاوف من أن تحدث تأثيرات ضارة على التركيزات البيئية الواقعية.

9- إن مقاومة التحلل المرتفعة للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 مضافاً إليه التعرض المتزامن من جانب الكائنات لطائفة واسعة من الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم، وإلى حقيقة أن عوامل اختلال الغدد الصماء مثل الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 و/أو نواتج تحلله قد تُحدث تأثيرات ضارة حتى علي المستويات البيئية المنخفضة مما يزيد من احتمالات التأثيرات الضارة الطويلة الأجل.

10- واستناداً إلى البراهين المتوفرة يمكن الخلوص إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري مع مكونه الرئيسي الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 من المحتمل، نتيجة لانتقاله البيئي البعيد المدى أن يؤدي إلى تأثيرات ضارة على صحة الإنسان والبيئة، بحيث يجعل اتخاذ إجراء عالمي بشأنه له ما يبرره.

11- قدمت النرويج في 13 أيار/مايو 2013 بصفتها طرفاً في اتفاقية استكهولم، مقترحاً لإدراج الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم (المزيج التجاري، الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري) في المرفقات ألف، باء و/أو جيم من للاتفاقية. وقد قُدم هذا المقترح (UNEP/POPS/POPRC.9/2) بموجب المادة 8 من الاتفاقية واستعرضته لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة أثناء اجتماعها التاسع في تشرين الأول/أكتوبر 2013.

12- ويُستخدم المختصر c-decaBDE في هذه الوثيقة ليعني منتجات ثنائي الفينيل عشاري البروم التقنية أو التجارية. ويُشير الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم (BDE-209) إلى إيثر ثنائي الفينيل المتعدد البروم الوحيد الكامل البرومة، والذي يُشار إليه في بعض الأحيان في مواضع أخرى بـ decaBDE الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم.

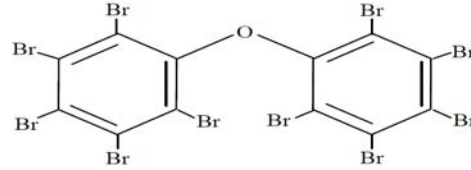
1-1 الهوية الكيميائية للمادة المقترحة

13- يُعنى موجز المخاطر بالإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري ونواتج تحلله، طبقاً للمرفق هاء من الاتفاقية. والإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري هو صيغة تجارية للإيثر ثنائي الفينيل متعدد البروم الذي يُستخدم على نطاق واسع كمضاف لتثبيط اللهب في المنسوجات واللدائن، وله استعمالات إضافية كمواد لاصقة وفي طبقات الطلاء والأحبار (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2013ب)، ويتألف الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري بصورة غالبية من متجانس الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (أكبر من أو يساوي 97%)، إلى جانب مستويات منخفضة من متجانسات الإيثر ثنائي الفينيل المبرومة الأخرى مثل الإيثر ثنائي الفينيل تُساعي البروم (0.3-3%) ومن الإيثر ثنائي الفينيل ثماني البروم (صفر-0.04%). وقد أفاد تشين (2007) بأن محتوى الإيثر ثنائي الفينيل ثماني البروم والإيثر ثنائي الفينيل تُساعي البروم لمنتجات من نواتج الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري من الصين هو في حدود 8.2 إلى 10.4% مُشيراً بذلك إلى أن درجة أعلى من الشوائب قد توجد في بعض المزائج التجارية. ومن الناحية التاريخية وردت إفادات بأن نطاق 77.4-98% من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم، ومقادير أصغر من متجانسات الإيثر ثنائي الفينيل تُساعي البروم (0.3-21.8%)، والإيثر ثنائي الفينيل ثماني البروم (صفر-0.85%) (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012، ووكالة حماية البيئة الأمريكية 2008، محللو المخاطر والسياسات 2014). إن مجموع الإيثرات الثنائية الفينيل الثلاثية البروم، والرابعة البروم، والخماسية البروم، والسداسية البروم، والسباعية البروم موجودة بصورة عادية في التركيزات التي تقل عن 0.0039% بالوزن غير الجاف (المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية 2002، والوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012أ). ويمكن وجود مقادير نزرة من المركبات الأخرى، التي يُظن أنها مركبات ثنائية الفينيل هيدروكسية مُبرومة موجودة كشوائب. وبالإضافة إلى ذلك، ذكرت بعض التقارير أن ديوكسينات ثنائي البنزين-ب- متعددة البروم والفورانات ثنائية البنزين توجد كشوائب في بعض منتجات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري (رين 2011).

14- وتُفيد المعلومات المتوفرة بأن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري يتوفر حالياً من عدد من الموردين والمنتجين عالمياً (رين 2013أ، محللو المخاطر والسياسات 2014) ويجري تسويقه تحت أسماء تجارية مختلفة (الجدول 1).

15- وترد في الشكل 1 وفي الجدولين 1 و2 أدناه بيانات كيميائية بشأن المكون الرئيسي في الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-التجاري، ألا وهو ثنائي الفينيل عشاري البروم-209، (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012). إن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، مثله مثل إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم الأخرى، يشترك في صفات هيكلية متشابهة مع ثنائي الفينيل متعدد الكلور. كما أن البيانات الكيميائية الخاصة بثنائي الفينيل ثنائي البروم وتساعي البروم التي هي مكونات أقل في الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-التجاري، تُقدم إلى جانب معلومات تكميلية أخرى في وثيقة داعمة لموجز المخاطر (UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5). وترد المعلومات بشأن نواتج التحلل للإيثرات ثنائية الفينيل عشارية البروم-التجارية ترد في الفصل 2-2-2 وفي الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5.

Figure 1. Structural formula



الجدول 1- الهوية الكيميائية للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم ومكونه الرئيسي وهو الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209

| | |
|--|--|
| 1163-19-5 ⁽¹⁾ | الرقم في دائرة المستخلصات الكيميائية: |
| بنزين، 1، 1، -، هيدروزيد سلفونيل البنزين [2، 3، 4، 5، 6- خماسي البروم-] | الاسم في دائرة المستخلصات الكيميائية: |
| 2، 3، 4، 5، 6، - خماسي البروم-1- (2، 3، 4، 5، 6- خماسي برومو فينوكسي) بنزين | الاسم لدى الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية: |
| 214-604-9 | الرقم لدى المفوضية الأوروبية: |
| Bis(pentabromophenyl) ether (ثنائي الإيثر (خماسي برومو الفينيل)) | الاسم لدى المفوضية الأوروبية: |
| C ₁₂ Br ₁₀ O | الصيغة الجزيئية: |
| 959.2 غ/مول | الوزن الجزيئي |
| إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم، أو أكسيد ثنائي الفينيل عشاري البروم، أو أكسيد ثنائي الفينيل خماسي البروم، أو أكسيد ثنائي الفينيل عشاري البروم، فينوكسي بنزين عشاري البروم، بنزين 1،1، هيدروزيد سلفونيل البنزين، مشتق عشاري البروم، إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم، إيثان ثنائي الفينيل عشاري البروم ⁽²⁾ ، إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم، أو أكسيد ثنائي الفينيل عشاري البروم، أو أكسيد ثنائي الفينيل عشاري البروم | المترادفات |
| DE-83R, DE-83, Bromkal 82-ODE, Bromkal 70-5, Saytex 102 E, FR1210, Flamecut 110R. FR-300-BA, (وكالة البيئة الكندية، 2010) | الأسماء التجارية |

(1) كانت الأرقام في دائرة المستخلصات الكيميائية 109945-70-2، 145538-74-5 و 1201677-32-8 تُستخدم أيضاً. وقد أُغيت أرقام هذه المواد في دائرة مستخلصات المواد الكيميائية رسمياً وإن كانت قد بقيت في مجال الاستخدام العملي من جانب بعض الموردين والمصنعين.

(2) ويستخدم أيضاً إيثان ثنائي الفينيل عشاري البروم DBDPE كمختصر لرقم الإيثان ثنائي الفينيل عشاري البروم في دائرة المستخلصات الكيميائية 84852-53-9.

الجدول 2- نظرة عامة على الخصائص المادية الكيميائية ذات الصلة للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري ومكونه الرئيسي الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- 209

| المرجع | القيمة | الخاصية |
|---|--|---|
| المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية (2002) | مسحوق مُتبلر، ناعم، أبيض إلى ضارب للبياض | الحالة المادية عند درجة حرارة 20 مئوية و101.3 كيلو باسكال |
| فريق البحر الميت المعني بالبروم (1993)، مقتبسه من المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية (2002) | 300 - 310 درجة مئوية | نقطة الانصهار/التجمد |
| فريق البحر الميت المعني بالبروم (1993)، مقتبسه من المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية (2002) | تتحلل عند درجة تزيد على 320 درجة مئوية | نقطة الغليان |
| المنظمة الدولية للحياة البرية المحدودة (1997)، مقتبسه من المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية (2002) | 10×4.63 باسكال عند درجة الحرارة 21 مئوية | ضغط البخار |
| ستينزل وماركلي (1997)، أُشير إليها في المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية (2002) | أقل من 0.1 ميكروغرام/لتر عند درجة حرارة 25 مئوية (طريقة عمود الشطف) | الذوبانية في الماء |
| ماكجربور ونيكسون (1997)، وتاناوي وتاتسوكاوا (1990)، وقد أُشير إليهم على التوالي في المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية (2002) | 6.27 مقاسه بطريقة العمود المولّد (9.97) فُدرت باستخدام طريقة الاستشراب السائل العالي الأداء) | ن-مكافئ التفرق في الأوكتانول/الماء (القيمة اللوغارتمية) |
| كيلبي (2007) | 13.1 | مكافئ التفرق في الأوكتانول/الهواء (القيمة اللوغارتمية) |

2-1 النتيجة التي خلصت إليها لجنة الاستعراض المتعلقة بمعلومات المرفق دال

16- فحصت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة المقترح الذي تقدمت به الترويج بإدراج الإشارات الثنائية الفينيل العشارية البروم- التجارية في اتفاقية استكهولم بشأن الملوثات العضوية الثابتة وكذلك معلومات علمية إضافية قدمها الأعضاء والمراقبون أثناء اجتماعها التاسع، وخلصت إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم يفي بجميع معايير الفرز المحددة في المرفق دال (مقرر ل ا م - 4/9).

3-1 مصادر البيانات

17- إن موجز المخاطر ليس استعراضاً جامعاً مانعاً لجميع البيانات المتوفرة، وإنما، يقدم أكثر الدراسات وخطوط البرهان أهمية فيما يتعلق بالمعايير الواردة في المرفق هاء والمرفق دال من الاتفاقية. وهو يركز على المكون الرئيسي في الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم، ألا وهو إيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم -209، ونواتج تحلله، وبخاصة الإشارات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الأقل برومة والتي تتكون عن طريق التحلل غير البيولوجي والبيولوجي (الوارد وصفها في 2-2-2). ونظراً لأن العديد من نواتج التحلل لإيثرات الفينيل عشاري البروم الأقل برومة متعارف عليها على نطاق واسع أنها مواد ثابتة ومتراكمة بيولوجياً وسمية/ومواد شديدة المقاومة

للتحلل، وشديدة التراكم البيولوجي و/أو ملوثات عضوية ثابتة، فإن إعادة تقييم خصائص هذه المركبات قد اعتبرت زائدة عن الحاجة (لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 2006، لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 2007، الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2013 أ، ب، ووكالة البيئة الكندية 2010، والجدولان 3-2 و 3-4، من الوثيقة (UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5). ومع ذلك تجرى مناقشة إمكانيات عمل سمية مزجية فيما بين الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 والإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الأخرى في الفصل 2-4-6.

18- وقد تم وضع موجز المخاطر هذا باستخدام معلومات المرفق دال التي قدمتها النرويج في 2013 ومعلومات المرفق هاء التي قدمتها الأطراف وأصحاب المصلحة الآخرون ومن بينها المنظمات غير الحكومية، وكذلك دوائر الصناعة. وقدم الأطراف والمراقبون التالون معلومات في إطار عملية المرفق هاء وهي: الأرجنتين، النمسا، بلغاريا، كندا، الصين، كرواتيا، الدنمرك، ألمانيا، اليابان، المكسيك، المغرب، نيبال، هولندا، نيوزلندا، صربيا، السويد، الولايات المتحدة الأمريكية، منتدى علوم البروم والبيئة، والشبكة الدولية للتخلص من الملوثات العضوية الثابتة، جنباً إلى جنب مع مجلس الإنويت القطبي. وجميع التقارير الخاصة بالمرفق هاء متوفرة على موقع الويب للاتفاقية على العنوان: (www.pops.int).

19- قُيِّمَت الأدبيات العلمية المحدثة المأخوذة من قواعد البيانات العلمية مثل الموقع الشبكي لمعهد الدراسات الدولي للعلوم والشؤون الطبية، وكذلك الأدبيات "الرمادية" مثل التقارير الحكومية، وتقييمات المخاطر والمخاطر الافتراضية، وصحائف وقائع دوائر الصناعة الخ. ولتقديم أفضل نظرة عامة ممكنة على البيانات الموجودة حالياً/الأدبيات والتي تغطي أكثر من 984 تقريراً ومطبوعاً علمياً؛ أُجريت عليه عمليات الاستعراض النظير (كورتناكب 2014)، وقد تم التأكيد على تقديم مقتطفات من تقييمات وتقارير المخاطر الحالية عندما كانت مثل هذه المعلومات متوفرة، وكذلك الأوصاف الأكثر تفصيلاً للأدبيات الأحدث عهداً.

20- كانت تقييمات الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم- التجاري ومكونه الرئيسي إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-209 قد أُجريت ونُشرت من جانب الاتحاد الأوربي، وكندا، والمملكة المتحدة، والولايات المتحدة الأمريكية (المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية 2002، 2004، الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012)، وهيئة البيئة الكندية 2006، 2010، التقييم البيئي البريطاني 2009، وكالة حماية البيئة الأمريكية (2008).

4-1 حالة هذه المادة الكيميائية في الاتفاقيات الدولية والمنتديات الأخرى

21- خضع إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم- التجاري للفحص بحثاً عن إمكانيات تأثيراته على الصحة والبيئة لفترة تجاوزت عقداً من الزمن. وقد أُتخذت خطوات لتقييد استخدام الإيثرات الثنائية الفينيل العشرية البروم- التجارية لدى العديد من البلدان والأقاليم، وكذلك من جانب بعض شركات الإلكترونيات الكبرى، وللحصول على نظرة عامة (انظر: UNEP/POPS/POPRC.9/2، رين 2011).

22- في 1992، أُعطيت الأولوية في خطة عمل اتفاقية حماية البيئة البحرية شمال شرق المحيط الأطلس للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم- التجاري ولمشطات اللهب المبرومة الأخرى. وفي 1998 أُدرج إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-209 جنباً إلى جنب مع الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الأخرى في قائمة "المواد الكيميائية المؤهلة لأولوية التدابير" وكذلك في التقييم المشترك وبرنامج الرصد لدى اتفاقية حماية البيئة البحرية شمال شرق المحيط الأطلسي. وكانت اتفاقية حماية البيئة البحرية شمال شرق المحيط الأطلس قد شجعت على

اتخاذ الإجراءات لدى الاتحاد الأوروبي بشأن استراتيجيات تخفيض المخاطر بالنسبة للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري وتشريعات النفايات الإلكترونية.

23- وفي 1995، اتفقت الدول الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي على الإشراف على التزام الصناعات الطوعي من جانب بعض المصنعين العاملين لمثبطات اللهب المبرومة، ومن بين هذه المواد إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم- التجاري، وذلك من أجل اتخاذ تدابير إدارة مخاطر معينة. وقد نُفذ التزام الصناعات الطوعي في الولايات المتحدة الأمريكية، وأوروبا، واليابان. وتوقف منذ ذلك الحين في أوروبا إنتاج الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري، واستمر التخلص التدريجي منه في الولايات المتحدة (انظر القسم 1-1-2 أدناه). وفي اليابان لا يزال الامتثال للالتزام الصناعات الطوعي جارياً. وبالتوازي مع هذا العمل، أجرت منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي تحقيقاً في ممارسات إدارة النفايات لدى البلدان الأعضاء من حيث ما يتعلق بالمنتجات التي تشتمل على مثبطات اللهب المبرومة. وتوجد نتائج هذا التحقيق موثقة في التقرير المعني بترديد النواتج المحتوية على مثبطات اللهب المبرومة (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي 1998). وقد أُعد بيان التقييم المبدي للدول الجزرية النامية الصغيرة بشأن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- 209 بموجب برنامج البيئة والصحة والسلامة التابع لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي الذي اعتمده الاجتماع الـ 16 لجمعية الرياضيات الصناعية والتطبيقية، وصادق عليه فيما بعد الاجتماع المشترك لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي في 2003. وتم تحديث صحائف المعلومات بشأن المخاطر الافتراضية، والمخاطر الحقيقية بالنسبة للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري وأربعة مواد مثبطة للهب أخرى مبرومة حدثت في 2005، 2008 و 2009 (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي 2014). إن الإثبات ثنائية الفينيل المتعددة البروم بما فيها الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- 209 مدرجة كمواد كيميائية مثيرة للقلق في "حالة علوم المواد الكيميائية المسببة لاحتلالات الغدد الصماء" المشتركة بين منظمة الصحة العالمية وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (منظمة الصحة العالمية/برنامج الأمم المتحدة للبيئة 2013). ويُدرج الاتحاد الأوروبي الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري في قائمة المواد المرشحة المثيرة لأكبر قدر من القلق لإصدار إذن بموجب القاعدة التنظيمية للتسجيل، والتقييم، والترخيص، وتقييد المواد الكيميائية (المفوضية الأوروبية) 2006/1907 وذلك استناداً إلى خصائص مقاومة التحلل والتراكم البيولوجي والسُممية/وخصائص مقاومة التحلل الشديدة والتراكم البيولوجي الشديد، وإلى الأحجام الكبيرة والاستخدامات المنتشرة على نطاق واسع.

2- معلومات موجزة ذات صلة بموجز المخاطر

1-2 المصادر

1-1-2 الإنتاج، التجارة والمخزونات

24- إن الاستهلاك الصناعي العالمي للإيثرات الثنائية الفينيل العشارية البروم- التجارية، قد بلغ أوجه في أوائل الألف الثانية (إرنشو 2013). ومع ذلك، ونظراً للقيود التنظيمية المحدودة، فإن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري لا يزال يُستخدم في جميع أنحاء العالم (الجدول 1-2 و 2-3، UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5). وتُشير بيانات الإنتاج السابق إلى أن نحو 75% من جميع الإنتاج العالمي من الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم كانت إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم- التجاري. (محللو المخاطر والسياسات 2014). كما أن إجمالي الإنتاج للفترة 1970-2005 من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري

البروم-التجاري كان يتراوح بين 1.1 - 1.25 مليون طن، أى ما يماثل نطاق إنتاج ثنائيات الفينيل متعددة الكلور (لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 2010 ج، بريفك 2002). ويختلف إجمالي الطلب العالمي في السوق على الإيثرات الثنائية الفينيل العشارية البروم-التجارية اختلافاً كبيراً فيما بين البلدان والقارات (الجدول 2-2 و 2-3، UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5).

25- إن النطاق الكلي لإنتاج الإيثرات الثنائية الفينيل العشارية البروم - التجارية غير معلوم الآن، وأن البيانات الخاصة بالإنتاج والتجارة والمخزونات متوفرة فقط لدى بعض البلدان. وهناك قدر قليل جداً من المعلومات أيضاً بشأن الكميات التي يجوز استيرادها في مزائج (صينغ وتركيبات كيميائية، وراتنجات أيضاً وبوليمرات ومواد قاعدية أخرى) وأصناف (إما نصف نخبية، أو مكونات، أو نواتج جاهزة). وتوجد في جميع أقاليم العالم مرافق إنتاج لمثبطات اللهب المبرومة (مثلاً برنامج الملوثات في القطب الشمالي 2007، محللو المخاطر والسياسات 2014، المرفق هاء الشبكة الدولية للقضاء على الملوثات العضوية الثابتة). ومن غير المعروف في الوقت الحاضر عدد الجهات المنتجة للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم - التجاري. ومن بين البلدان المنتجة الرئيسية لمثبطات اللهب المبرومة الصين والهند المعروفتان بإنتاج وتصدير الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري (زيانغ 2007، تشن 2007 ب، زيا 2005، زو 2007 والمرفق هاء الشبكة الدولية للقضاء على الملوثات العضوية الثابتة والصين). وتنتج اليابان الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري ولكنها تستهلكه كله محلياً (المرفق هاء اليابان). إن إنتاج الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري لم يعد يحدث لدى الاتحاد الأوروبي أو كندا، بينما يستمر التخلص التدريجي منه في الولايات المتحدة (المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية 2002، الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012 أ، ب، وكالة البيئة الكندية 2008، ووكالة حماية البيئة الأمريكية 2012).

26- والصين، في الوقت الحالي هي أكبر مُنتج ومورد للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري. حيث يبلغ إنتاجها السنوي نحو 21 000 طن (بي 2013). وتدعى نحو 20 شركة صينية مختلفة أنها تورد الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري (المرفق هاء الشبكة الدولية للقضاء على الملوثات العضوية الثابتة). وتنتج اليابان ما يقدر بـ 600 طن متري من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري سنوياً (المرفق هاء اليابان)، ويوجد الآن منتجان يابانيان (المرفق هاء الشبكة الدولية للقضاء على الملوثات العضوية الثابتة). وفي 2002، وصل الطلب على الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري في اليابان إلى 2200 طن/سنوياً وكان مستوى المخزون نحو 60 000 طن (ساكاي 2006). وفي 2013، بلغت واردات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري إلى اليابان 1000 طن بالإضافة إلى استهلاك إجمالي قدره 1 600 طن مع افتراض عدم حدوث أى صادرات. وتوجد لدى الهند ست جهات تصنيع أو موردين (المرفق هاء الشبكة الدولية للقضاء على الملوثات العضوية الثابتة)، غير أن الإنتاج الإجمالي غير معروف. وفي أوروبا، توقف إنتاج الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري، في 1999، غير أن مادة الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري لا تزال تستورد بكميات كبيرة (المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية 2002، الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012 أ، ج، ومحللو المخاطر والسياسات 2014 (تحت الطبع)). أما في الولايات المتحدة الأمريكية فقد التزم المنتجون الرئيسيون والمستوردون بإنهاء جميع استخداماته بحلول نهاية عام 2013. وفي عام 2012، وصل حجم الإنتاج الوطني الذي يشمل كلاً من الإنتاج المحلي والواردات إلى 8215 طن/سنوياً. وفي كندا حُظر تصنيع الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم، وثمانى البروم، وتساعي البروم في 2008 والتزم

المصنعون الرئيسيون الثلاثة بالتخلص التدريجي الطوعي من جميع الصادرات إلى كندا بحلول 2013 (وكالة البيئة الكندية 2008، 2013).

27- وبالإضافة إلى أى مخزونات من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري النقي، توجد مخزونات كبيرة من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري أيضاً في صورة أصناف معالجة في المجال التقني (وكالة البيئة البريطانية 2009، ساكاي 2006).

2-1-2 الاستخدامات

28- إن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري هو مضاف لتثبيت اللهب ذو أغراض عامة، وهو يتحد مادياً مع المادة التي يستخدم فيها لمنع الاشتعال ولإبطاء معدل انتشار اللهب. وهو متوافق مع مجموعة متنوعة من المواد. وتشمل تطبيقاته اللدائن، والبوليمرات، والمواد المركبة، والمنسوجات، والمواد اللاصقة، والمواد العازلة وطبقات الطلاء والأحبار (مثال الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012 ج، و2013 أ، ومحللو المخاطر والسياسات 2014 (تحت الطبع)، ساكاي 2006، (الجدول 2-4، UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5).

29- وتشمل الاستخدامات النهائية في اللدائن/البوليمرات وأماكن إيواء أجهزة الحاسوب، وأجهزة التلفاز، والأسلاك والكابلات والمواسير والسجاد (منتدى علوم البروم والبيئة 2013، وكالة حماية البيئة الأمريكية 2014، الجدول 2-5، UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5). ويستخدم الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري عادة في اللدائن/البوليمرات بتحميلات 10-15% من حيث الوزن، على الرغم من أن التحميلات في بعض الحالات تصل إلى نسبة مرتفعة هي 20% طبقاً لبعض التقارير (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012). وفي دراسة يابانية أفادت التقارير بأن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري يستأثر بنحو 98% من محتوى البروم الموجود في الأجزاء اللدائنية داخل أجهزة التلفاز الأقدم (تاساكي 2004). ويوجد الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- 209 في المنتجات المصنوعة من اللدائن المعاد تدويرها، بما في ذلك المواد الملامسة للأغذية (سامسونيك وبويب 2013).

30- وفي قطاع المنسوجات، يمكن استخدام الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري لمعالجة طائفة واسعة من الألياف الاصطناعية، الممزوجة والطبيعية (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2013 أ). أما الاستخدامات النهائية الرئيسية فهي التنجيد، وستائر النوافذ، والستائر الكبيرة، وأقمشة المراتب، وأقمشة الخيام (مثال الخيام والأقمشة العسكرية، المظلات التجارية أيضاً، والخيام والخيش). والنقل (مثال المنسوجات الداخلية في السيارات وكبائن الركاب في القطارات والطائرات). والطريقة الأكثر شيوعاً لاستخدام مثبتات اللهب في الأنسجة هي تظهير السجاد وحلافه. أما المقدار الذي يُستخدم فيكون عادة في حدود 7.5-20%. أما عمليات الحشو وعمليات الطباعة فقد تستخدم أيضاً مثبتات اللهب (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012 أ، ج).

31- وتفيد المعلومات من المشاورات العامة التي أُجريت في أوروبا بأن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري يمكن استخدامه في المواد اللاصقة في قطاع الملاحة الجوية وفي الاستخدامات المدنية والدفاعية (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012 د). وقد حددت السلطات النرويجية أيضاً استخدامات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري في الطبقة اللاصقة في الشرائط العاكسة للضوء في أزياء العمال التي تُستخدم كأزياء موحدة لمكافحة الحريق، ويرتديها الموظفون فوق منصات استخراج النفط، في قطاع الطاقة، (الخ) (الوكالة النرويجية للمناخ والتلوث 2012 أ). إن الشرائط العاكسة للضوء تحتوي على الإيثر الثنائي الفينيل العشاري

البروم- التجاري في حدود 1-5% (بوزن المادة العاكسة). ويمكن للاستخدامات الأخرى أن تُكوّن طبقات الطلاء المستخدمة في تطبيقات قطاع البناء والتشييد وفي الأحبار (محللو المخاطر والسياسات 2014) تحت الطبع)).

32- وتُشير بيانات برنامج الأعمال الطوعية لمكافحة الانبعاثات، إلى إن المنسوجات واللدائن تستأثر بنسبة 52% و48% من حجم الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري الذي يُباع في أوروبا، على التوالي (برنامج الأعمال الطوعية لمكافحة الانبعاثات 2012). وفي اليابان تستخدم نسبة 60% من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري في صناعة مقاعد المركبات، و19% في مواد التشييد و15% في المنسوجات. أما نسبة الـ 6% المتبقية فتستخدم في أغراض أخرى. وفي سويسرا كانت نسبة 45% من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري تستهلك في المنتجات الكهربائية والإلكترونية، و30% في شكل مركبات بمحركات مستوردة و25% في شكل مواد تشييد (بوسر 2007). ويمكن تصنف استهلاك الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري في الولايات المتحدة الأمريكية على النحو التالي (باستثناء الأصناف المستوردة): السيارات والنقل 26%، البناء والتشييد 26%، المنسوجات 26%، المعدات الكهربائية والإلكترونية 13%، وأغراض أخرى 9% (ليفيتشك 2010).

3-1-2 الإطلاقات في البيئة

33- إن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري كمضاف لتثبيط اللهب لا يرتبط كيميائياً بالمنتج أو بالمادة التي يستخدم فيها. ومن ثم فلديه القدرة على الارتشاح في البيئة المحيطة. إن انبعاثات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري في البيئة قد يحدث أثناء مراحل دورة حياته، مثال ذلك أثناء الإنتاج، والصياغة واستخدامات الخط الأول واستخدامات الخط الثاني في المواقع الصناعية/المهنية، وكذلك أثناء عمر خدمة الأصناف، والتخلص منها كنفائات، وأثناء عمليات إعادة التدوير (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012 ج، رين 2014، غاو 2013، وبرنامج الأعمال الطوعية لمكافحة الانبعاثات 2010 أ، ب، 2014). وقد تأكد انطلاق وتوزع الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري في البيئة عن طريق هذه المسارات عن طريق بيانات الرصد (انظر القسم 2-3-1 و 2-3-4)، ومن المحتمل أن تحدث داخل إطار فترة زمنية ممتدة.

34- إن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري بصفته مثبطاً للهب له أغراض عامة يُستخدم ويُطلق في البيئة المحيطة في الكثير من المواقع الصناعية والمهنية (مثال، برنامج الأعمال الطوعية لمكافحة الانبعاثات 2012، 2014، ولي 2013، وغاو 2011، وأوداباسي 2009). ويوجد في الاتحاد الأوروبي وحده أكثر من 100 موقع لاستخدامات الخط الثاني (صُناع المرائج العلفية أو الطبية أو الأخرى/صُناع التركيبات الدوائية أو العلفية، والمشرفون على تقسيم لوطات المنتجات، والقائمون على قوالب الحُقن والمُشطبون) (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012 أ). ويوجد عالمياً مصادر إضافية (المرفق هاء الشبكة الدولية للقضاء على الملوثات العضوية الثابتة) التي تُسهم في انبعاثات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري بما في ذلك مواقع الإنتاج الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري والمصادر الصناعية الأخرى كذلك مثل مستخدمي الخط الثاني، ومرافق إعادة التدوير ومصانع إنتاج الصلب، ومرافق الصناعات المعدنية الأخرى (مثال أوداباسي 2009، وانغ 2010، لين 2012، رين 2014، غاو 2011، تانغ 2014). إن المستويات المرتفعة من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- 209 قد قيست على مقربة من مرافق صناعية (مثال زانج 2013 د، وانغ 2011 د)، وعلى الرغم من أن تقديرات برنامج الأعمال الطوعية لمكافحة الانبعاثات تُشير إلى

غير ذلك (برنامج الأعمال الطوعية لمكافحة الانبعاثات 2010 أ، ب، 2012، 2014)، فإن الإطلاقات من المصادر الصناعية في البيئة المحيطة يمكن أن تكون كبيرة (برنامج الملوثات في القطب الشمالي 2007). فمثلاً أطلق في عام 2003 من إنتاج الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري في الولايات المتحدة الأمريكية ما يصل إلى 31 طنناً من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري في الغلاف الجوي وحده (برنامج عمل ملوثات القطب الشمالي 2007).

35- إن انبعاثات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري أثناء عمر خدمته وعند التخلص من النواتج تعتبر انبعاثات كبيرة. وفي التقييم الأخير الذي أجراه الاتحاد الأوروبي وُجد أن عمر الخدمة هو المصدر الرئيسي للتسربات، يليه إنتاج الأشياء ومرحلة النفايات (RPA 2014). وقد أشار تقييم سابق أجرته وكالة البيئة البريطانية إلى أن المصدر الرئيسي للانبعاثات يأتي من الطمر في الأرض وترميد النفايات، تتلوه تدفقات مياه النفايات، والإطلاقات في الهواء من الأصناف أثناء عمر خدمتها. وأن البوليمرات والمنسوجات في الأصناف والنفايات كانت هي المساهمة في ذلك (وكالة البيئة البريطانية 2009). وقد أفاد آخرون عن نتائج مماثلة (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012 ج، برنامج عمل ملوثات القطب الشمالي 2007، ساكاي 2006، واتفاقية حماية البيئة البحرية شمال شرق المحيط الأطلسي 2009). وبالإضافة إلى ذلك، يمكن لإعادة التدوير أن تمثل مصدراً مهماً للإطلاقات البيئية من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- 209 (يو 2008، غاو 2011، تانج 2014، والمراجع ذات الصلة).

36- إن اختبار المنتج في ضوء عينة مرجعية قد أشار إلى صدور انبعاثات منخفضة، أو عدم صدور أي انبعاثات من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- 209 من منتجات الكاوتشوك الاصطناعية أو المفلكنة (كيميلين 2003). ومع ذلك، فقد أشارت الدلائل إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- 209 يمكن أن تصدر انبعاثاته إلى البيئة المحيطة من المنسوجات ومن صناديق التلفاز (كيميلين 2006، كاجوارا 2013 أ). وبالإضافة إلى ذلك، يتم الإبلاغ عادة عن مستويات أعلى من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- 209 في البيئات داخل الدور، وتكون هذه الانبعاثات مشتملة على العديد من المنتجات المحتوية على الإيثر ثنائية الفينيل عشاري البروم- التجارية مثل بيئات المكاتب، والأجزاء الداخلية من الطائرات، إلخ. (بوجوركلوند 2012، ألن 2013). وتفيد التقارير أيضاً بأن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- 209 هو أكثر متجانسات ثنائي الفينيل متعدد البروم وجوداً في الغبار المنزلي وفي الهواء الموجود داخل الدور (مثال هاراد 2010، فريدركيسن 2009 أ، بيسس وسمارا 2012، فروم 2009، كواكلي 2013، الهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية 2011) كما أن وجود الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- 209 في البيئات الداخلية يمثل مصدراً مهماً للتلوث بالإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- 209 في الهواء الحضري خارج الدور، (بوجوركلوند 2012، كوزنز 2014)، وللتعرض البشري كذلك (انظر القسم 2-3-4). واستناداً إلى القياسات في حمأة المجرير تبلغ الإطلاقات التقديرية للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- 209 من المجال التقني، في أوروبا، 16 ± 8.6 أطنان سنوياً و 41 ± 22 مغ لكل شخص سنوياً أو 0.2% من الاستخدام السنوي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري في أوروبا (ريكولوند 2008). ومن ثم، فإن استخدام الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري في إنتاج المنسوجات والأدوات الإلكترونية تسفر عن إطلاقات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- 209 والإيثرات الثنائية الفينيل العشارية البروم الأخرى في البيئة، إما أثناء الإنتاج أو مباشرة من الأصناف المصنوعة، أو في مرحلة التخلص منها (مخلو المخاطر والسياسات 2014 (تحت الطبع)، برنامج الأعمال الطوعية لمكافحة الانبعاثات 2010) وهكذا تُسهم في الإطلاقات في البيئة، وفي تلوث الهواء العابر للحدود. إن التناجات المادي،

والتحلل والتجوية وكذلك التحلل الضوئي، تزيد من درجات الحرارة ومن الإجهاد الحراري، وكلها عوامل تُسهّم في إطلاق الإيثرات الثنائية الفينيل العشارية البروم- التجاري، وإيثرات ثنائي الفينيل المتعدد البروم الأقل برومة من المنتجات (إيرنشو 2013، تشن 2013، كاجيوارا 2008، 2013 أ، ب).

37- لا تتم إزالة الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم أثناء معالجة مياه النفايات (دانون-سكافر 2007، كيم 2013 ب) وينبعث مقدار كبير من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري من المنتجات أثناء عمرها في الخدمة، وكنفايات في النهاية في مصانع معالجة مياه النفايات أثناء التخلص من مياه الغسل الناتجة عن الغبار الملوث داخل الدور، والنض من المنتجات المظمورة في الأرض والمحتوية على إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم- والإخراجات من المواقع الصناعية التي تقوم بتجهيز المواد المحتوية على إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم، وفي النهاية من الجوامد البيولوجية (كيم 2013 أ، ب). وتمشياً مع ذلك، فقد أفادت التقارير عن وجود مستويات مرتفعة من إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم- 209 في الرسوبيات بالقرب من منافذ تدفق حمأة مصانع معالجة مياه النفايات إلى الخارج (التربة البيولوجية) وقد وجد أن التربة البيولوجية مساراً مهماً لانبعاثات إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم- 209 إلى التربة عند استخدامه كسماد زراعي (سليستروم 2005، دي ويت 2005).

38- وتوجد لدى بعض البلدان تقديرات الانبعاثات (مثال المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية 2002، مورف 2003، 2007، 2008، بالم 2002، ساكاي 2006، كما يُشار إليه لدى إيرنشو 2013، ويوسر 2007 أ). إن إجراء مقارنة للتقديرات الأوروبية المتاحة تكشف عن اختلافات عن الانبعاثات البيئية المتنبأ بها من إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم- 209 إلى جميع أركان البيئة، وبالنسبة للهواء بصفة خاصة يكون حجمه (ثلاثة أمثال الحجم العادي، إيرنشو 2013). ومن المحتمل لأوجه عدم التماثل أن تعكس الاختلافات النوعية الفطرية في الإنتاج والاستخدام، وفي التخلص من النفايات، وكذلك أوجه عدم اليقين/الاختلافات في تقديرات الانبعاثات. وتُشير بصفة كلية إلى أن تقديرات الإطلاق يجب أن يُنظر إليها في ضوء بيانات الرصد البيئي.

39- وفيما يتعلق بالاتجاهات الزمنية، فإن تقديرات الانبعاثات لفترة 1970 إلى 2020 التي حسبها إيرنشو (2013) باستخدام نموذج تحليل تدفق المواد وباستخدام بيانات الاستهلاك المتاحة تُشير إلى أن الانبعاثات في الغلاف الجوي من إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم- 209 في أوروبا قد شهد زيادة حثيثة منذ السبعينات وبلغ أقصى ارتفاعه في 2004 حيث وصل إلى 10 أطنان/سنة. إن الانبعاثات في التربة وفي الغلاف المائي هي أقل، وإن كانت تتبع اتجاهات مماثلاً للزيادة من السبعينات، وبلغت القمة في أواخر الألفية الثانية ثم الانخفاض بعد ذلك. لقد بلغت الانبعاثات في التربة أقصى ارتفاعها عندما وصلت إلى 4 أطنان/سنة في عام 2000 بينما الانبعاثات في الغلاف المائي بلغت ذروتها في 2010 حيث وصلت إلى 3.5 طن/سنة. وتقدر ذروة الانبعاثات في سويسرا بأنها حدثت في تسعينات القرن الماضي (بيوزر 2007 ب، مورف 2007). وقد أُطلق 31 طناً من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- 209 في الهواء في 2003 وحده وذلك طبقاً لقائمة الإطلاقات السمية الصادرة عن وكالة حماية البيئة الأمريكية، وطبقاً للبيانات العامة المرفج عنها (برنامج الملوثات في القطب الشمالي 2007)، وفي 2011 انخفضت الإطلاقات في الهواء إلى 3.1 طن (http://www.epa.gov/tri).

40- يشتمل القسم 2-3-1 على المزيد من المعلومات بشأن مصادر الانبعاثات المحتملة والمستويات البيئية الناتجة عن إطلاقات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري في البيئة. فبصفة عامة، كما تُشير إلى

ذلك المستويات البيئية المقيسة، تكون الإطلاقات في البيئة أكثر ارتفاعاً في المناطق الصناعية والحضرية عنها في المناطق الريفية والزراعية التي تحتوي على مصادر إطلاقات أقل (انظر القسم 2-3-1). إن المستويات البيئية تكون في أدنى مستوياتها عادة في الأقاليم النائية، مثل القطب الشمالي.

2-2 المصير البيئي

41- تم تقييم خصائص المآل البيئي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في العديد من التقارير التي نشرها الاتحاد الأوروبي، وكندا، والمملكة المتحدة (المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية 2002، 2004، والوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012)، ووكالة البيئة الكندية 2006، 2010، التقييم البيئي في المملكة المتحدة (2009). وتتنبأ نمذجة النشاط الكيميائي للغازات بأن معظم الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (أكبر من 96%) في مكافئات التفرق البيئي إلى رسوبيات وتربة (وكالة البيئة الكندية 2010، الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2013). ومن المتوقع لمقدار يقل عن 3.4% من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 أن تكون مرتبطة بمرحلي حجم الهواء أو حجم الماء. ونظراً لخصائصها الذاتية بمعنى مكافئ التفرق العضوي في الكربون-الماء في حدود 150 900 إلى 149 000 000 لتر/كغ، ومن المعروف أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يقوم بالادمصاص القوي للمادة العضوية في الجسيمات المعلقة، وفي حمأة المجاري، وفي الرسوبيات والتربة (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2013). ونظراً لانخفاض ذوبانه في الماء، والتماثل القوي لجزيئاته، فإن حركيته داخل التربة يتحمل أن تكون بطيئة (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2013)، ونتيجة لذلك، فإن الانتقال إلى أقسام بيئية أخرى عن طريق تحات التربة وماء السيح، سوف تعتمد على النقل للجزيئات المترابطة. والإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 هو مادة ثابتة في البيئة، وتوجد مستويات مرتفعة منه في التربة وفي الرسوبيات.

42- يوجد الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 أيضاً كمتجانس إيثرات ثنائية الفينيل متعدد البروم رئيسي في الجليد والثلج في القطب الشمالي (هيرمانسون 2010، مير 2012)، وهذا يدل على أن مستويات الهواء المكتشفة عند خطوط العرض المنخفضة تُسهّم في الانتقال البعيد المدى وفي التلوث في المناطق النائية. ويوجد الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الحيوانات، وبمستويات مرتفعة في بعض الأحيان، حيث يتراكم مع إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم بيولوجياً ويتضخم بيولوجياً عبر سلسلة الأغذية (انظر الأقسام 2-2-4، 2-3-1، 2-3-2). وكما نوقش أيضاً في الفصلين 2-2-2 و 2-4-6 فإن لنزع البروم من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 إلى إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم والمبرومة في المصفوفات البيئية والحيويات له تداعيات مهمة من حيث المخاطر الناشئة من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-التجاري التي تفرض على البيئة، نتيجة لمقاومة التحلل والتركيز البيولوجي والسُمية، وزيادة مقاومة التحلل وزيادة التراكم البيولوجي وخواص الملوثات العضوية الثابتة ونواتج الاستقلاب.

1-2-2 مقاومة التحلل

43- إن التحلل الضوئي والتحلل البيولوجي هما الآليتان الرئيسيتان لتحويل الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في البيئة (وكالة البيئة الكندية 2006، 2010) ونظراً لعدم وجود أي مجموعات وظيفية لديها حساسية جاهزة للتحلل المائي والانخفاض الشديد لذوبان الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الماء، أقل من 0.1 ميكروغرام/لتر عند درجة حرارة 25 مئوية (ستزل وماركلي 1997)، فإن من غير المحتمل للتحلل المائي أن يكون عملية التحلل ذات صلة في البيئة (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012). ومع ذلك فإنه

يجوز للتحلل الضوئي أن يكون عاملاً مساعداً على تحلل الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الهواء وفي السطح العلوي للتربة (انظر القسم 2-2-2). ومع ذلك فإنه في جزء الغلاف الجوي يتم ادمصاص الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بصورة حصرية تقريباً من جانب جزئيات الهواء. وحيث أن جزئيات الهواء تحمي جزئياً الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، فإن تحلله في الهواء عن طريق التحلل الضوئي لا يكون كبيراً (انظر القسم 2-2-2).

44- ويظهر مقاومة التحلل العالي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في التربة، والرسوبيات والهواء في العديد من الدراسات، ويبدو أنه يعتمد على عمليات التحلل البيولوجي البطيئة، وعلى درجة التعرض للضوء (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012، ووكالة البيئة الكندية 2010). إن نوع الجزئ الذي يرتبط به الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 قد أثر أيضاً في معدل التحلل. فمثلاً كشفت الدراسات بشأن التحلل الناتج عن التحلل الضوئي في العديد من المصفوفات الصلبة عن أن فترات نصف العمر البالغة 36 و44 يوماً بالنسبة للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يتم ادمصاصها في طينة المونتومورينيليت أو طينة الكاولينيت، على التوالي، مع حدوث تحلل أبطأ عند امتصاصه في رسوبيات طبيعية غنية بالكربون العضوي (فترة نصف العمر = 150 يوماً) (أهن 2006). وقد وجد أن نصف العمر في الرمل لا يتجاوز 35-37 ساعة بينما أنصاف العمر النظرية في الرسوبيات والتربة تقدر بـ 100 و200 ساعة على التوالي (سودر ستروم 2004، تاي سكليند 2001، على حسب الإشارة إليهما في الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012). ويمكن لوجود مواد عضوية أخرى مثل المواد الدوبالية في المياه الطبيعية أن تَحْد من التحلل الضوئي عن طريق امتصاص الضوء، أو بواسطة التفاعلات المقاومة للمياه مع جزئ الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (ليل 2013). وبالمثل فقد تم التأكيد على أن جزئيات الرمل المغلفة بحامض الدوبال قد تقلل من معدلات تحلل الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 عندما تقصفها أشعة الضوء تحت البنفسجي (هوا 2003). وبالإضافة إلى طبيعة المادة العضوية المتحللة، فإن مقدار الجسيمات المعلقة، وادمصاص الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الأسطح الصلبة، إلى جانب العمق هي عوامل ذات أهمية (ليل 2013). كما أن زيادة ادمصاص في التربة، أو في مصفوفة الترسبات، إلى جانب تقادم العمر هو عامل إضافي يمكن أن يُسهم في أنصاف أعمار بيئية أطول في الظروف الطبيعية (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2013).

45- وفي الظروف التي قد يؤثر فيها توهين الضوء وتدرج المصفوفة في التعرض الكلي لضوء الشمس وإمكانات حدوث التحلل الضوئي، ويبدو فيها مقاومة تحلل الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012، والمراجع الموجودة لديها). أما تقديرات أنصاف الأعمار في المياه فهي تُصبح معقدة بصفة عامة بسبب رداءة ذوبان الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الماء. وتعتمد هذه الظروف اعتماداً كبيراً على الظروف التجريبية. ومع ذلك، فعند تصحيح الأوضاع من أجل استخدام المذبيات مع مراعاة ظروف الضوء الطبيعية، فإن أنصاف الأعمار التي تتراوح من سويعات قليلة إلى 660 يوماً في الماء كان قد اقترحها (كوفيفكو 2007، في ليل 2013). وقد افاد توكارز (2008) عن أطول نصف عمر بيئي، وهو الذي اكتشف بعد إجراء تجربة العالم الصغير في مختبره خلال فترة 3.5 سنوات عند درجة حرارة 22 في ظروف الظلام، وجد أن نصف عمر الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الرسوبيات يتراوح بين 6 سنوات و50 سنة، مع متوسط يبلغ نحو 14 سنة، وتدعم الرصدات الميدانية أنصاف الأعمار التي توصل إليها توكارز. وقد بحث كوهلر (2008) اتجاهات التركيزات والتركيزات الزمنية للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في رسوبيات البحيرات الصغيرة الموجودة في منطقة حضرية في سويسرا. وكان الإيثر

الثنائي الفينيل العشري البروم-209 قد ظهر لأول مرة في طبقات الرسوبيات المزمنة لمنتصف السبعينات، وما لبثت مستوياته أن شهدت زيادات حثيثة حتى وصلت إلى 7.4 نانوغرام/غرام بالوزن الجاف في 2001 مع المضاعفة مرة واحدة بنحو 9 سنوات. ولم يتم العثور على أدلة على حدوث عمليات تحول طويلة الأجل ذات صلة بالرسوبيات في هذه الدراسة التي غطت نحو 30 سنة.

46- وتُقدم دراسات أُجريت على الحمأة والتربة المزيد من الأدلة على مقاومة تحلل الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209. ولاحظ ليو (2011) عدم حدوث تحلل في الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 بعد 180 يوماً من وجود هذه المادة في عينات تربة مُطعممة بالإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في ظروف الظلام. وفي دراسة أخرى بشأن التربة المكونة من الحمأة المعالجة تعديلياً، فقد وجد أن نصف العمر الأولي المستكمل للتحلل في الظروف الهوائية واللاهوائية يزيد على 360 يوماً بافتراض حدوث تلاشي أُسي (نايهولم 2010 طبقاً لإشارة الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012). وفي تجربة مختبرية متحكم فيها عند درجة حرارة 37 مئوية في ظروف الظلام غير الهوائية باستخدام حمأة المجاري المهضومة المضاف إليها الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209، وُجد أن تركيز الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 قد انخفض بما لا يزيد على 30% أثناء فترة الحضنة البالغة 238 يوماً (جيرك 2005). وقد تدعمت هذه النتائج بدرجة أكبر بالدراسات الميدانية. فقام الجارات (2008) بفحص مآل الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم في حمأة المجاري من خمسة مصانع بلدية لمعالجة مياه النفايات عقب وضع الحمأة على التربة العلوية في ستة مواقع تُعالج بالحمأة، وفي موقع مرجعي واحد. وطبقاً لوضعي هذا التقرير، فإن تركيزات الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في التربة ظلت مرتفعة 71.7 نانوغرام/غ بالوزن الجاف حتى في موقع واحد لم يكن قد تلقى أى عمليات معالجة بالحمأة لمدة 4 سنوات، وبالمثل، قام سلستروم (2005) بقياس المستويات المتعددة في التربة الزراعية من مواقع تلقت فيما سبق معالجات تعديلية لحمأة المجاري، ووجد أن المستويات في تربة المزرعة تتراوح بين 0.015 إلى 22.000 نانوغرام/غ بالوزن الجاف حتى على الرغم من أن حمأة المجاري الملوثة لم تكن قد وضعت في التربة منذ سنوات كثيرة، وقد اكتشفت أعلى المستويات في موقع زراعي لم يتلقى معالجات تعديلية خلال 20 سنة.

2-2-2 التحلل ونزع البروم

47- على الرغم من مقاومة تحلل الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 وطول نصف عمره البيئي في الرسوبيات، والتربة والهواء، توجد دلائل لا بأس بها على أن الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 تتم نزع برومته إلى إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم أقل برومته في البيئة غير البيولوجية، وكذلك في الحيوانات (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012، ج، 2013، أ، ب، وكالة البيئة البريطانية 2009، وكالة البيئة الكندية 2010، لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 2010، ج، 2013، برنامج الملوثات الشمالي القطبي 2013). وتتراوح نواتج نزع البروم المكتشفة من اثريبات الفينيل وحميدة البروم- إلى تساعية البروم، وتشمل الملوثات العضوية الثابتة المدرجة مثل إيثرات ثنائية الفينيل رباعية- إلى سباعية البروم، وفينولات البروم، وكذلك مواد مُتعرف عليها كثابتة ومترابطة بيولوجياً وشمية/شديدة مقاومة التحلل وشديدة التراكم البيولوجي مثل الديوكسينات المبرومة، والفورانات، وسداسي برومو البنزين (كريستيانسن 2009، وكالة البيئة البريطانية 2009، الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012، ج، والوكالة البيئية الكندية 2010، انظر الجداول 3-1 إلى 3-4، UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5). وقد اعتبر التحول البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في الحيوانات، بصفة خاصة، مثاراً للقلق في العديد من التقارير التي صدرت مؤخراً

وكذلك في الدراسات المنشورة (اللجنة الاستشارية للمواد الخطرة 2010، الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012، أ، ج، فريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية 2011، وكالة البيئة الكندية 2010، لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 2010، أ، ب، ج، روس 2009، ماكيني 2011).

48- ودلت الدراسات التي أجريت على التحلل غير البيولوجي على تكوّن الإيثر الثنائي الفينيل التساعي إلى الثلاثي البروم (تم استعراضه لدى الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012 ج). ويأتي أسطح دليل على أن نزع البروم الضوئي يحدث في التربة، والرسوبيات والهواء والمصفوفات الأخرى من واقع دراسات مختبرية متحكم فيها باستخدام ضوء الشمس الطبيعي. بينما هوية نواتج التحلل غير شاملة وتكون غير باطة في بعض الدراسات (أورن 1997، بالم 2003، جيريك 2006)، وتقدم دراسات أخرى بعض الأدلة الجيدة على تكون متجانسات إيثرات ثنائية الفينيل سباعية - سداسية البروم في الرسوبيات المطعمة بالإيثرات منذ وقت قريب وفي التربة وفي الرمل بعد تعرضها للضوء في ظروف مختبرية (سلستروم 1998، تايسكلند 2001، وسودستروم 2003، 2004، والوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2013، جافيرت، وهواه 2001، إيريكسون 2004). وقد توصل آهن (2006) إلى أن نزع البروم من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 المدمّص في المعادن كان تفاعلاً متدرجاً، حيث شكل في البداية متجانسات إيثر ثنائي الفينيل تساعي البروم، ثم ثنائي وسباعي البروم بعد مرور 14 يوماً من التعرض لضوء الشمس، ولكن مع زيادة زمن التعرض، تكونت إيثرات ثنائي الفينيل سداسي- إلى ثلاثي البروم. إن عدداً من الدراسات، وإن كان لا يمثل بالضرورة الظروف البيئية، قد دلت على أن الكائنات المجهرية يمكن أن تؤثر في تحلل الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في التربة والرسوبيات، حيث تكون هذه الكائنات قادرة على تحويل الإيثرات الثنائية الفينيل العشارية- والتساعية والثمانية البروم إلى إيثرات ثنائية الفينيل سباعية وسداسية البروم على الأقل (روبروك 2008، لي وهي 2010، دينغ 2011، كيو 2012). وقد خضع التحلل الضوئي ونزع البرومة من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 إلى الدراسة في مادة غير بيولوجية كالغبار والبلاستيك والمنسوجات المعرضة للضوء، وتم التعرف على نواتج التحلل من الإيثرات الثنائية الفينيل السداسية إلى التساعية البروم (ستابلتون ودودر 2008، وكاجيوارا 2008، 2013، أ، ب). ويمكن لنواتج التحلل أخرى مثل الديوكسينات المبرومة والفورانات، وخماسي برومو الفينول وسداسي برومو البنزين أن تتكوّن فضلاً عن ذلك من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 أثناء التحضير (إعادة التدوير)، وإنتاج اللدائن، والتحلل الضوئي، وإعداد الأغذية (طهو السمك) والتخلص من النفايات (فيتز 2012، كاجيوارا 2008، 2013، أ، ب، هام 2001، إيرد وبهادير 2003، وير وكوش 2003، ولجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 2010، ب، توما وهدينجر 1987، كريستيانسون 2009). ويعتمد هذا التكوّن بقوة على ظروف مثل درجة الحرارة ونقاء مشط اللهب.

49- تقدم بيانات الرصد دلائل داعمة على أن تحلل الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يحدث في ظروف بيئية، (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012 ج، هيرمانسون 2010، زياو 2012). وتوفر النتائج براهين على تكون مقادير صغيرة من الإيثرات الثنائية الفينيل التساعية والثمانية البروم خلال فترة قدرها 30 يوماً في رسوبيات البحيرات (أوريهيل 2014، تحت الطبع، انظر أيضاً الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012 ج). وهناك دراسات قليلة تبين تحلل الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (وبصورة رئيسية إيثرات ثنائية الفينيل تساعية وعشارية البروم في حمأة المجاري (استيبورفا 2008، جيرك 2006، والوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012 ج) وكذلك في التساقط (ارينايتوي 2014). وقد لوحظ أيضاً تغير معدل المتجانسات في الحمأة مقارنة به في الصيغات التجارية (نوثر 2007). وعلى الرغم من الإبلاغ عن حدوث

قدر أدنى من نزع البروم أثناء معالجة نفايات المياه في الماضي (كيم 2013، زينج 2013) فإن النتائج تدعم الجدل القائم بأن الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في حمأة المحار يمكن أن يصبح متجانسات منزوعة الهلجنة، إلى أقل برومة (هيل 2012). وفي التربة، يساعد وجود النباتات في نزع برومة الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 (دو 2013، هوانغ 2010، 2013، لو 2013، وانغ 2011، 2014). وكان نمط توزيع الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الأقل برومة في أنسجة النباتات مختلفاً عن التربة المضاف إليها الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 الأمر الذي يُشير إلى أن نزع برومة الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في التربة قد حدث، وأن المزيد من نزع البرومة داخل النباتات قد يحدث (دو 2013، وانغ 2011، 2014). ويقدم الجدولان 3-3 و 4-3 في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5 نظرة شاملة على نواتج التحلل في المصفوفات غير البيولوجية.

50- يظهر نزع البرومة أيضاً في الدراسات التي أُجريت أيضاً على الفقاريات العليا، بما فيها الطيور، والأسماك والقوارض (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012، ج، وكالة البيئة البريطانية 2009، وكالة البيئة الكندية 2010، ولجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 2013). وعلى الرغم من أن معظم الفقاريات تبدو قادرة على دهورة الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 إلى إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم ومبرومة بدرجة أقل، فإنه قد يكون لمختلف الأنواع قدرة مختلفة على نزع بروم الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209، مع حدوث نزع البروم بصورة أسرع، وعلى نطاق أوسع في بعض الأنواع أكثر من الأنواع الأخرى (ماكيني 2011). بيد أن الكمية المستقبلية مقيدة بالكمية الممتصة والقدرة الاستقلابية.

51- دلت العديد من التجارب المخبرية والدراسات الميدانية بشأن الأسماك على حدوث نزع البروم من الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 بعد التعرض للغذاء - أو الماء أو بعد الحقن بالإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 (كيركجار 1999، وستابلتون 2004، 2006، وكوه 2010، ومونسكي 2011، وفيجانو 2011، ونويس 2011، 2013، وزينج 2012، ووان 2013، وفينج 2010، 2012، ولو 2013، وبهافسار 2008، وأوريهيل 2014 (تحت الطبع) أو على نحو ما تم استعراضه في الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012 ج). وقد اكتُشف عدد من نواتج التحلل الظاهري في صورة إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم منخفضة البرومة تتفاوت من إيثر ثنائي الفينيل أحادي البروم إلى ثنائي الفينيل ثنائي البروم. وفي العديد من الدراسات (إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-49، إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-126، إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-179، إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-188، إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-202) غير موجودة في أي نواتج تقنية للإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم وقد اكتُشفت وأُبلغ عنها كدليل على حدوث التحول البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 (مونسكي 2011، وان 2013، فيجانو 2011). وقد تفاوتت تركيزات الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 ونواتج تحلله بين مختلف أنواع الأسماك، وهو ما يمكن تفسيره بالاختلافات النوعية بين أنواع السمك من حيث القدرة على التراكم البيولوجي والاستقلاب (ستابلتون 2006، لو 2013، روبرتس 2011). وقد أُبلغ كذلك عن تكون نواتج ناتجة عن تحلل هيدروكسي إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم وميسوكسي إيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم (فينج 2010، 2012، وزينج 2012).

52- وقد كشف عدد من الدراسات أيضاً عن نزع البروم في الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في الطيور أو بيض الطيور (وتم استعراضها على يد تشن وهيل 2010، وبارك 2009، وفاندينستين 2007، وليتشر 2014، وهولدن 2009، ومانوز-أرنانز 2011، ومونز 2012، وكروس 2012). وفي طيور

العاسوق الأمريكية التي تعرضت للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 عن طريق الغذاء، فقد قُدر نصف عمر الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بـ 14 يوماً على أساس تركيزات البلازما التي قيست أثناء فترتي تناول الغذاء والتخلص منه (إحراجة) (ليتشر 2014). وبالإضافة إلى ذلك لوحظت نواتج نزع البروم من إيثرات ثنائي الفينيل أحادي البروم إلى تُساعي البروم. وكما لوحظ في الأسماك، فإن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-202 إلى جانب متجانسات أخرى غير محددة وغير موجودة في الإيثرات الثنائية الفينيل العشارية البروم-التجارية قد اكتُشفت في بيوض الطيور، واعتبرت كبرهان على نزع البروم (بارك 2009، وهولدن 2009، ومو 2012). وبالإضافة إلى ذلك، فإن النسبة بين متجانسات الإيثر ثنائي الفينيل تُساعي البروم/الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في البيوض أو في أسماك الافتراض كانت أعلى من النسبة الملاحظة في المزيج التجاري مما يُشير إلى التحول البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الطيور/وبيوض الطيور (هولدن 2009، مو 2013). إن نُبذات متجانسات بيوض الطيور تختلف اختلافاً ملحوظاً عما كان قد أُبلغ عنها من قبل في الأحياء البحرية والمائية، حيث تسود المتجانسات الأقل برومة (إيثرات ثنائي الفينيل رباعي البروم وخماسي البروم). إن هذه الفروق في نُبذ المتجانسات قد ترجع إلى انخفاض التوفر البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 مقارنةً بالمتجانسات الأقل برومة، ونزع برومة - واستنفاد الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في أجسام الحيوانات البحرية والمائية (ماكيني 2011، هوي 2008). وقد دلت مقادير كبيرة من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-208 في ديدان الأرض بعد تعرضها للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 وهذا دليل على التحول البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في البيئة الأرضية (سليستروم 2005، كولستراوس وبيكر 2010) ويرد الجدولان 3-1 و3-2 في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5 نظرة شاملة على نواتج التحلل في الحيوانات.

53- تُشير بيانات الثدييات إلى أن حدوث البرومة في (إيثرات ثنائي الفينيل تُساعي البروم- سباعي البروم هي الخطوة الأولى في التحول البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، يتلوها تكوّن الهيدروكسيل في الفينولات والكاتيكولات (ريو 2008، ووانغ 2010، وهوي 2007)، وأن نزع البرومة إما أن يحدث في الأمعاء عن طريق الاستقلاب، أو عن طريق الحيوانات المجهرية داخل المعدة، أو بواسطة المرور الأول للاستقلاب بفضل انزيمات السيتوكروم P450 في جدار الأمعاء بعد التناول (مورك 2003، وساندهولم 2003).

54- إن سُمية المتجانسات الأقل برومة معروفة جيداً، ولذلك فإن نزع برومة الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 ليصبح متجانسات أقل برومة تُسهّم في النتيجة السُمية للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-التجاري (كودافانتي 2011) وقد أُبلغ عن حدوث تحلل بيئي و/أو تحول بيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 مما يدل على حدوث التحلل/التحول إلى إيثرات ثنائية الفينيل عشارية البروم-ملوثات عضوية ثابتة (الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-47، و99، و153، و154، و183) (وان 2013، وليتشر 2014، وشي 2013، وجانج 2014، ومونسكي 2011، وستابلتون 2004، وفنج 2010، ولوو 2013، ولو 2013، هوانغ 2013، انظر الجدولين 3-1 و3-4 في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5. ونظراً للتوزع الكبير ومقاومة التحلل المرتفع تتعرض الكائنات على الدوام، طوال فترة عمرها لمزيج مركب من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، ومن الإيثرات الثنائية الفينيل العشارية البروم الأقل برومة، ونواتج تحلل الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012)، مما يزيد من احتمالات حدوث تأثيرات ضارة (روس 2009، ومكيني 2011، وكورتنيكامب 2014). وقد بينت دراسة أجراها هي (2011) على أن التعرض المزمّن الطويل الأجل لجرعات

منخفضة من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 لا يؤثر فقط في نمو الأجنة والتناسل وإنما يُحدث تغيرات سلوكية عصبية في الجيل الأول من الذرية. إن التراكم البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 والتحول البيولوجي إلى تركيزات منخفضة لإيثرات ثنائي الفينيل تساعي البروم وسداسي البروم في المتجانسات قد لوحظوا وازدادت سُمية المزيج بواسطة متلقي الجرعات، ومن ثم فإن تناول الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 وتحوله بيولوجياً إلى عوامل استقلاب متراكمة بيولوجياً وُسُمية بدرجة أكبر داخل الكائنات له القدرة على إحداث تأثيرات ضارة كبيرة نتيجة لحالات التعرض الجمعة (انظر القسم 2-4-6). وقد أُبلغ عن نتائج مماثلة من جانب نوبس (2011) وتشن (2012).

3-2-2 التوفر البيولوجي والتوزع داخل الأنسجة

55- يكون إن التوفر البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 منخفضاً بسبب وزنه الجزيئي الكبير الذي يؤثر في توزيعه السليبي عبر الأغشية البيولوجية (فروين 2013، وميزوكاوا 2009). وانحذابه الشديد إلى الجزيئات، أى إلى الرسوبيات والترية (تيان وزو 2011، انظر أيضاً القسم 2-2-1). وعلى الرغم من ذلك، وكما أكدته بيانات الرصد من جميع أنحاء العالم (انظر القسم 2-3 والجدولين 1-5 و 2-5 في الوثيقة (UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5) وكذلك الدراسات المخبرية المتوفرة، فقد تم قياس المستويات التي تم اكتشافها وتكون عالية في بعض الأحيان في الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 وذلك في طائفة واسعة من الأنسجة، والأنواع وشبكات الأغذية والمفترسات الكبرى.

56- وكما سبق مناقشته في القسم 1-1 تتسم ذوبانية الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الماء بالانخفاض والتوفر البيولوجي عبر التعرض المباشر من خلال الوسائط المائية بالمحدودية الشديدة (سيارس وهيل 2005، كلوستراوس وبيكر 2010). ومع ذلك، فإن هناك دلائل تُشير إلى التوفر البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في أسماك الميداكا عقب التعرض المباشر للماء (لو 2013) ونظراً لميول الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 للارتباط بالجزئيات، فإنه يعتبر متوفرًا بيولوجياً عن طريق الغذاء، وعن طريق هضم الجزئيات، مثل الغبار، والرسوبيات، والترية أو الرمل (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012 ج). وقد تم تقييم المتحصل من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 عن طريق الغذاء في الأسماك (كيرك جارد 1999، ستابلتون 2004، 2006) وتم التأكيد على أنه يتراوح بين 0.02% و 3.2% تبعاً للنوع وتبعاً لما إذا كانت نواتج نزع البروم من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 قد أُخذت في الحسبان عند تقدير المتحصل الإجمالي. وهناك دلائل أظهرتها الكثير من الدراسات على توفر الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الأنواع الأرضية حيث تبين أن المتحصل من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في أجسام الطيور (لتشر 2014، وسيجرب 2009 والتي راجعها تشن وهيل 2010، تساند بيانات رصد بيولوجي تسوق الدلائل على المتحصل أيضاً في أنواع برية أخرى، وكذلك في الإنسان (القسم 2-3). وقد أُفيد بأن الامتصاص الفموي لدى الفئران يتراوح بين 1-26%، وأن الامتصاص بالاستنشاق يُقدر بمقادير ضئيلة جداً (ألدابير 1987، ومورك 2003، وساند هولم 2003، ريو 2008). وفي تجربة مخبرية كان الامتصاص عن طريق الجلد أقل من 20% (هيوز 2001). وبالإضافة إلى ذلك، بين تقييم في المختبر يستخدم نموذج الأمعاء والجهاز الهضمي للإنسان أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يمكن الوصول إليه بيولوجياً (14%) بعد التعرض لعينات من غبار الأماكن المغلقة (عبد الله 2012). لدى أغلبية الفئران والبقر التي حُقنت بالإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 فقد تم استرجاع هذه المادة من برازها بتركيباتها الأصلية (كريكجارد 2007، هوي 2008، ريو 2008، بيسمير 2010).

57- دلت الدراسات أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يفضل الانزواء في الأنسجة الغنية بالدم مثل العضلات، والكبد، والأمعاء، والخياشيم (في السمك)، وبدرجة أقل في الأنسجة الدهنية (مثال شو 2012، وان 2013، فريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية 2011، المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية 2002، 2004). إن الانزواء في الأنسجة الغنية بالدم يمكن أن يُفسر بارتباط الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بالبروتينات (هاك 2002، ومورك 2003). وفي أسماك الحفش الصينية، لم تلعب الدهون دوراً مهماً في توزيع الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (وان 2013). وقد اكتشف الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في التركيزات العالية نسبياً في الأعضاء المشاركة في الامتصاص، والتناول والاستقلاب كالكبد، والخياشيم، والأمعاء مع استئثار الكبد بأعلى تركيز ممكن من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 تتلوه الخياشيم. وبالإضافة إلى ذلك، فإن مكافئ التفرق المقدر بين الأنسجة والدم كانت أعلى من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم الأقل برومة، مما يُشير إلى أن انخفاض معدلات التفرق من الدم إلى الأنسجة يمكن أن يؤدي إلى تراكم بيولوجي أعلى من جانب الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، وبخاصة في أعضاء الامتصاص (وان 2013). وحيث أن هذا الكائن يتوقف تقريباً عن التغذية أثناء فترة الهجرة في نهر يانغتسي، فيمكن افتراض أن الحفش موجود في فترة التطهر. وقد لوحظ وجود نمط مماثل في دراسة عن التراكم البيولوجي أُجريت على فقعات المرفأ (شو 2012). إن متوسط تركيزات (الإيثرات الثنائية الفينيل الثلاثية إلى الثمانية البروم) في الكبد شبيه بتلك الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الموجودة في دهن الفقمة (الإيثر ثنائي الفينيل أحادي البروم إلى سداسي البروم) كما أفاد بذلك شو (2008) وعلى النقيض من ذلك، وصلت تركيزات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الكبد إلى خمسة أضعاف التركيز في الدهن، وهو ما يتماشى مع الملاحظات التي تفيد بأن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يهاجر إلى الأنسجة المشبعة مثل الكبد في الحيوانات. ففي الفئران، وعلى أساس الأوزان الحديثة للأعضاء، وجدت أعلى التركيزات في الغدد الإدرينالية، وفي الكلي، والقلب، والكبد، والمبايض (فريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية 2011، سبير 2010، وريو 2008). وفي الأبقار المرضعة التي تتغذى على سبلاج ملوث بطبيعته، وجد أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 هو المتجانس المهيمن في الأعلاف، والأعضاء، والأنسجة الدهنية والبراز، وليس في اللبن (كيركجارد 2007). وفي التعرض التغذوي لطيور العاسوق الأمريكية، لوحظت مستويات أعلى في الدهون من المستويات الموجودة في الكبد على أساس الوزن غير الجاف في نهاية فترة التطهر (لتشر 2014).

58- وتبين البيانات البشرية بأن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يمتص ويتوزع على الدهن، والدم ودم الحبل الشري، والمشيمة، والأجنة، ولبن الثدي (فريدريكسن 2009أ، زاو 2013؛ والجدول 1-4 في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5). وقد أبلغ عن انتقال الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 من الأم إلى البيض والذرية في الأسماك، والضفادع، والطيور، والفئران، وغزلان الرنة (فوركامب 2005، لندبرج 2004، جوهانسون 2009، جارسيا-ريو 2014، نيهولم 2008، ريوي 2008، بيسمير 2010، كاي 2011، هولما-سوتاري 2014، ليو 2011ج).

4-2-2 التراكم البيولوجي

59- كان يُفترض في التراكم البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الحيوانات فيما مضى أنه مُنخفض، وكان ذلك يُعزى بالدرجة الأكبر إلى الحجم الجزئي الكبير وشدة النفور من المياه وانخفاض التوفر البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (هيل 2003). ومع ذلك، يمكن للتراكم

البيولوجي أن يُفسر بواسطة عوامل مثل انخفاض الامتصاص و/أو ارتفاع القدرة على التخلص من، أو استقلاب الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 وذلك عن طريق الإخراج أو نزع البرومة للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (هيل 2003، وأرنوت 2010). يضاف إلى ذلك، أنه يمكن تفسير النتائج المتنوعة للتراكم البيولوجي بشدة صعوبة إجراء التحليلات لقياس الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (روس 2009، وديوير وويلز 2006، وكوفاشي 2003، وكورتناكامب 2014) و/أو نزع البروم والتحوّل إلى إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم ذات درجة برومة أقل. وطبقاً لما لاحظته وكالة البيئة الكندية (2010) أنه ينبغي لأي تقييم كامل لإمكانات التراكم البيولوجي لمادة ما، حساب إمكانات التراكم البيولوجي لكل من المادة الأيونية ونواتجها (نواتجها) الاستقلابية. وتُبين دراسات الرصد البيئي أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 قد ظهر أنه موجود في طائفة متنوعة من الأنواع، وكذلك في الإنسان في جميع أنحاء العالم، وهذا يقدم دليلاً داعماً للتراكم البيولوجي (انظر القسم 2-3-1 والجدول 5-2 من الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5). إن قيم مكافئ التفرق في الأوكتانول-الماء بالنسبة للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 الوارد ذكره في الأدبيات، يتسم بالتفاوت الشديد إذ يتراوح بين 6.27 إلى 12.11 تبعاً للقياس أو لطريقة التقدير المستخدمة (فريق الخبراء التابع لرابطة مصنعي المواد الكيميائية المبرومة المثبطة للهب 1997، دين 2012، وكالة البيئة الكندية 2010، كيلي 2007، تيان 2012، وكالة حماية البيئة الأمريكية 2010، وتاناوي وتاتسوكاوا 1990). وعلى الرغم من اعتبار المركبات ذات مكافئ التفرق في الأوكتانول والماء يزيد على 5 من حيث التراكم البيولوجي، فإن مواد كيميائية (مثل الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209) ذات مكافئ التفرق في الأوكتانول والماء يزيد على 7.5. فيعتقد أن هذه المركبات تكون متراكمة بيولوجياً بسبب الانخفاضات المتنبأ بها في القدرة على امتصاص الغذاء (أرنت وجوباس 2003). ومع ذلك، فإن النتائج الواردة من دراسات شبكة الأغذية تدل على أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يتراكم بيولوجياً (معامل التضخم البيولوجي يزيد على 1) في كل من الأنواع المائية والأنواع البرية (يو 2011، 2013، ووو 2009)، والمفوضية الأوروبية 2010، والمراجع الموجودة في هذه الدراسات).

60- إن عامل التركيز البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الأسماك قد تم تقديره بأقل من 5000 مع عدم وجود امتصاص مائي يُذكر نتيجة لحجمه الكبير وانخفاض ذوبانه في الماء (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012)، ووكالة البيئة الكندية (2010). ومع ذلك، لا يعتبر عامل التركيز البيولوجي واصفاً جيداً لقدرة التراكم البيولوجي للمواد شديدة النفور من الماء، مثل الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209. ويمثل عامل التركيز البيولوجي عمليات الامتصاص الكيميائي من جانب كائن مائي من البيئة المائية المحيطة عن طريق جهاز الاستنشاق والأجزاء السطحية من جلده مع عدم وجود اعتبارات تغذوية (أرنوت وغوباس 2006). وطبقاً للمبادئ التوجيهية المنقحة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي المتعلقة بدراسات التراكم البيولوجي، فإن الاختبار عن طريق التعرض المائي قد يصبح شديد الصعوبة مع تزايد النفور من الماء. ومن ثم، فإن المواد شديدة النفور من (مكافئ التفرق في الأوكتانول والماء أعلى من 5 والذوبان في المياه أقل من 0.01-0.1 مغ/لتر، لذلك يوصى باتباع الاختبار الغذائي (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي 2012، 305).

61- وبالنسبة للكائنات البرية لا يُعد مكافئ التفرق في الأوكتانول/الماء وعامل التراكم البيولوجي عوامل تنبؤ للتضخم البيولوجي بالنسبة للمواد الكيميائية ذات مكافئ التفرق في الأوكتانول والهواء يساوي أو يزيد على 6 ومكافئ التفرق في الأوكتانول/الماء أكبر من أو يساوي 2 (كيلي 2007، 2009). وفي المواد الكيميائية

للسلسلة الغذائية البرية لمكافئ التفرق في الأوكتانول/الماء أكبر من 5، وعوامل التركيز البيولوجي أقل من 5000 وجد أن هذه المكافئات تتضخم بيولوجياً. وكما تقدم ذكره، فإن القناة الأكثر أهمية للتعرض بالنسبة للإيشر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في شبكات الأغذية المائية والبرية هي عن طريق الغذاء (شو 2009، كيلى 2007). إن المستويات المتراكمة من الإيشر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الكائنات المرتبطة بالرسوبيات والكائنات المتغذية بالترشيح (بلح البحر، والعوالق الحيوانية والقشريات، والأسماك المفلطحة، ولافقاريات الأعماق والديدان المائية) قد تم تفسيرها على أنها تأتي نتيجة لامتنصاص جزئيات تحتوي على الإيشر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بعد إدمصاصه، وهي ليست دليلاً على التراكم البيولوجي، ومع ذلك، فإن امتصاص الجزئيات يعتبر طريق تعرض لمستويات غذائية أعلى في شبكات الأغذية المائية (شو 2009، والمراجع الواردة فيه). وفي النظم البرية، يجري إدمصاص الإيشر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بقوة في جزئيات الغلاف الجوي (أى الأيروسولات) وذلك بسبب ارتفاع مكافئها للتفرق في الأوكتانول/الهواء، ويتم ترسيبها في الغطاء الخضري البري وفي التربة، عن طريق الترسيب الرطب والجاف (كريستنسن 2005، وكالة البيئة الكندية 2010، وميزوكاوا 2013، ويو 2011). وهذا يوفر طريقاً للتعرض بالنسبة للكائنات الأرضية التي تبتلع التربة والنباتات كمصدر للغذاء. ولذلك، فعند النظر في سلوك التراكم البيولوجي للإيشر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، ومعامل التركيز البيولوجي المحسوب أو المقيس، وعوامل التضخم البيولوجي، والتضخم الغذائي يُعتقد أنها تعطي من المعلومات ذات الصلة أكثر مما تعطيه العوامل المحسوبة أو المقيسة للتركز البيولوجي (شو 2009، كيلى 2007، بول 2013).

62- إن عامل التراكم البيولوجي يمثل تراكم المواد الكيميائية في كائن ما بجميع طرق التعرض ومن بينها المصدر الغذائي والبيئة المحيطة. فمن الناحية التاريخية، توفرت بيانات محدودة لا تسمح بإجراء تقديرات لعامل التراكم البيولوجي للإيشر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 حيث أن العديد من الدراسات قام بقياس تركيز الإيشر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 ولكنها لم تقارن هذه القيم بمستويات البيئة المحيطة. ونتيجة لذلك، توصلت التقديرات الماضية إلى دلائل ملتبسة تتعلق بما إذا كان الإيشر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يتراكم بيولوجياً (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012، ج، والوكالة الكندية للبيئة 2010، ووكالة حماية البيئة الأمريكية 2010). وقد أُجريت، منذ ذلك الوقت، دراسات إضافية قامت بقياس عامل التركيز البيولوجي للإيشر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الحيوانات من المناطق التي وصلت إليها التقديرات السابقة وكذلك من مناطق أخرى. وفي دراسة أجراها فروين (2013) كانت قيم لوغاريتم عامل التراكم البيولوجي القائمة على وزن الدهون أكبر من 6 للأحياء المائية واللافقاريات، وبذلك فإنها تتجاوز قيمة لوغاريتم عامل التراكم البيولوجي التي تزيد عن 3.7، أى ما يناظر عامل تراكم بيولوجي يزيد على 5000 (هي 2012، والوكالة الكندية للبيئة 2010)، وبذلك تستوفي معايير التراكم البيولوجي الواردة في المرفق دال (باف أكثر من 5000). وفي الدراسات آفة الذكر، قيس المتحصل الممتص من الإيشر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بواسطة الكائنات المائية، وتمت مقارنته بتراكيز المياه وتم تقدير عوامل التراكم البيولوجي اللوغاريتمية.

63- وتكشف البيانات الميدانية بشأن عوامل التضخم البيولوجي وعوامل التراكم الغذائي أن الإيشر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يمكن أن يتضخم بيولوجياً داخل العديد من الكائنات المائية والبرية وشبكات الأغذية ($BMFs > 1$, $TMF > 1$) وللحصول على التفاصيل انظر الجدول 3-5 (UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5) ويتراوح نطاق عوامل التضخم البيولوجي بين 1-7 في الكائنات البرية وشبكات الأغذية على نحو ما يرد في الأدبيات العلمية (يو 2011، ووو 2009). وقد تم تقديرها من النمذج (كيلى 2007). وفي دراسة بشأن

شبكة الأغذية البرية شملت العديد من المستويات الغذائية لعوامل التضخم البيولوجي التي تتراوح بين 1.4 و4.7، كما دلت التقارير على ذلك (يو 2011، 2013). وفي دراسة ميدانية أخرى على الضفادع (تأثرت بكل من البيئات المائية والبرية)، وركزت على التضخم البيولوجي من الحشرات حتى الضفادع، وجد أن عوامل التضخم البيولوجي تراوحت بين 0.8 - 13.0 تبعاً للنوع الجنساني (وو 2009). وفي الكائنات المائية، تراوحت عوامل التضخم البيولوجي بين 0.02 و0.34. وقد وجد أن عوامل التضخم البيولوجي في دهن الفقمات البحرية، والدم في حدود 0.03 - 0.06 و8.3 - 20.8، على التوالي (توماس 2005 على نحو ما أفادت به وكالة البيئة الكندية 2010). وتُفيد دراسات أخرى أن عوامل التضخم البيولوجي تراوحت بين 0.2 و2.2 بالنسبة لفقمات المرافئ (جينسن 2007)، و1.5 للحيويات البحرية (بارون 2013)، و1.28 وسمك تروت قوس قزح (ستابلتون 2006 على نحو ما ذكرت وكالة البيئة الكندية 2010). ويضاف إلى ذلك، أن قيماً لعوامل التضخم البيولوجي تراوحت بين 0.1 و34 قد وردت في دراسة بشأن شبكة الأغذية المائية من جانب لاو (2006). وفي عدد من الدراسات الأخرى المائية أشارت التقارير إلى عوامل تضخم بيولوجي تراوحت بين 1.2 و5.1 (مو 2012)، و0.67 إلى 1.3 (شو 2009)، و0.4 إلى 1.3 (بوما 2014)، و4.8 إلى 12.7 وإن كان عدم اليقين يكتنف الأمور فيما يتعلق بشبكة الأغذية (تومي 2009)، ويُن 0.02 و5 (بيرو 2004، 2006، وروجعت على يد وكالة البيئة الكندية 2010). وفي شبكات الأغذية المائية أشارت التقارير إلى قيَم لعامل التضخم الغذائي يتراوح بين 3.6 (لاو 2006)، و0.26 (وو 2009)، و0.78 (يو 2012 على نحو ما راجعته وكالة البيئة الكندية 2010) و0.3 (تومي 2008). وكانت عوامل التضخم البيولوجي وعوامل التضخم الغذائي للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 التي أُبلغ عن معظمها قد حُسبت باستخدام العضلات (في الأسماك والثدييات والطيور)، والجسم بأكمله (في ثنائيات المصراعين، والعوالق الحيوانية، والأسماك) أو الأنسجة الدهنية (الأسماك والثدييات). إن الفرق بين عوامل التضخم البيولوجي وعوامل التضخم الغذائي التي أُبلغ عنها قد استندت إلى الأنواع وتأثرت بالحالة العامة للكائن، وللغذاء، وللتعرضات، وللأنسجة التي خضعت للتحليل، وللاستقلاب، والجنس، وهيكل شبكة الأغذية.

64- إن التخفيف الغذائي (عامل تضخم غذائي أقل من 1) الذي لوحظ في بعض الدراسات قد يرجع إلى التحول البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 من خلال شبكات الأغذية نظراً لأنه أُبلغ عن عوامل تضخم غذائي أكبر من 1 بالنسبة لنواتج التحول البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 (وو 2009ب، بوما 2014). علاوةً على ذلك فإن عوامل التضخم البيولوجي لنواتج تحول بيولوجي معروفة مثل الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-202، غير موجودة في تركيبات تجارية متوفرة للإيثر الثنائي الفينيل المتعدد البروم، قد أُبلغ عنها (يو 2011، مو 2012، بوما 2014). ومن ثم، فإنه في بعض الدراسات، فإن التراكم البيولوجي لنواتج التحلل، مثل الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-202، قد لوحظت بدلاً من التراكم البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في حد ذاته.

65- ويمثل عامل التراكم في الحيوانات- الرسوبيات الحالة الثابتة لمعدل التركيز ملوث ما، بين كائن ورسوبيات، ويمكن أن يعطي المزيد من النظرات الفاحصة في إمكانات التراكم البيولوجي والتضخم البيولوجي. وتُشير قيَم عامل التراكم في الحيوانات- الرسوبيات المحسوبة بالنسبة للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 إلى انخفاض قدرات التضخم البيولوجي إلى أقل من 1 ($BSAF < 1$) وذلك في عدد من الدراسات (كلوسترهاوس وبيكر 2010، وهي 2012، ولاغوارديا 2012، وسيلستروم 2005، وتيان وذو 2011، وزيانج 2007

على حسب استعراضها من جانب المفوضية الأوروبية. غير أن بعض الدراسات تكشف عن ترسبات أعلى لعوامل التراكم في الحيويات والرسوبيات أكثر من 3 بما يوحي بقدرات التراكم البيولوجي لدى بعض أنواع المحاريات (ديبريون 2009، ووانغ 2009). ففي دراسة أجراها ديبريون (2009) كانت تركيزات الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 إما منخفضة (تساوي أو تقل عن 1.48) أو أقل من حدود تحديد الكمية لمعظم العينات باستثناء موقع واحد مرجعي حيث حسبت فيه عوامل التراكم في الحيويات والرسوبيات بـ 3.53 (ديبريون 2009). ومع ذلك، ففي دراسة أُجريت مؤخراً على عوامل التراكم في الحيويات والرسوبيات داخل شبكة أغذية لافقاريات تعيش في التربة، وجد أن الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 قد تراوح بين 0.07 إلى 10.5 بعد معالجة الأرض بمواد بيولوجية. وتراوحت عوامل التضخم البيولوجي، في نفس الدراسة بين 0.07 إلى 4.0، ومع ذلك، فقد ساد بعض عدم اليقين بشأن تحليل النظير المشع ($\Delta\delta N$) وتوصل مُعدو الدراسة أيضاً إلى أن ملامسة التربة يُحتمل أن تكون أكثر أهمية بالنسبة للحالة الغذائية في تحديد تراكم إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في لافقاريات التربة التي تسكن المواقع المعاملة بالحماة (جيلور 2014) (للحصول على التفاصيل انظر الجدول 3-5 الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5). إن تفسير عامل التراكم في الحيويات والرسوبيات بالنسبة للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 هو عمل معقد نظراً لحقيقة أن الاستقلاب في الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 يتم بتفاوتات واسعة فيما بين الأنواع، ما بين مستويات رسوبيات مرتفعة بصورة شديدة جداً في بعض الدراسات الميدانية، ومشاكل الحصول على عينات نظيفة وخالية من الرسوبيات بالنسبة للكائنات التي تعيش في الرسوبيات، (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012 ج، لاجوارديا 2012).

66- لاحظت بعض الدراسات وجود تضخم بيولوجي أعلى، أو قدرات تراكم زائدة للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في الكائنات الأرضية مقارنة بالكائنات المائية (كريستنسن 2005، تشين وهيل 2010 ب، جاسبرز 2006، كيلبي 2007، فورسبويلز 2006 أ). وهذا أمرٌ متوقع نظراً للخصائص الفيزيائية - الكيميائية للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 والفروق في السمية الحركية فيما بين الكائنات الأرضية والمائية على النحو الذي يُعرّفه كيلبي (2007). وقد حسب كيلبي (2007) عوامل تضخم بيولوجي أعلى بالنسبة للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 بين اللاحمات البرية والبشر (عامل التضخم البيولوجي = 8) أكثر من وجوده في الثدييات البحرية (عامل التضخم البيولوجي = 3) مع وجود أكثر القيم انخفاضاً لعامل التضخم البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في العاشبات البرية والكائنات المائية (عامل التضخم البيولوجي = 1). وقد خلصت هذه الدراسة إلى أن عوامل التضخم البيولوجي بالنسبة للمواد الكيميائية الشديدة النفور من الماء مثل الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 كان مستواها أعلى في الحيوانات التي تتنفس الهواء منها في الحيوانات التي تتنفس الماء نتيجة للتخلص الاستنشاقي الأبطأ، والإخراج البطيء عن طريق البول الأمر الذي يعكس القيم المركّبة لارتفاع مكافئ التفرق في الأوكتانول-الهواء والأوكتانول-الماء، على التوالي. وعلى العكس من ذلك، تكشف دراسات أخرى عن امتصاص الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في بعض الأسماك المكملة العظام يتم بمعدل أبطأ، الأمر الذي قد يسمح بإمكانات تراكم بيولوجي أقل، وبأبيض أكثر (أو بنزع البروم) والتخلص من الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 عن المشاهد في الأنواع البرية (مورك 2003، استابلتون 2004، كيركجارد 1999). وتُشير البيانات المتوفرة إلى وجود متغيرات إضافية تؤثر في التراكم البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209. فمثلاً تحدث عمليات التفرق في الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 بقوة إلى رسوبيات وإلى تربة، وهو مادة عالية المقاومة التحلل والمسيطرة

أو إحدى أكثر الإشارات الثنائية الفينيل المتعددة البروم انتشارا وقد اكتشفت في الأجزاء غير البيولوجية من البيئة العالمية (انظر القسم 2-3-1). إن هذا التلوث غير البيولوجي الكامل والشامل يحقق في بعض الأحيان مستويات مرتفعة قد تسمح للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 بأن يدخل شبكات الأغذية، وأن يصل إلى مستويات ثابتة في الحيوانات على الرغم من حجمه الجزيئي الكبير (الوزن الجزيئي = 959) وكذلك إلى مكافئ مرتفع التفرق في الأوكتانول-الماء (ستابلتون 2004).

67- لا يُعرف الكثير عن التراكم البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 (أو إيثرات ثنائية الفينيل متعدد البروم) في النباتات وفي العاشبات. وقد فُحص الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في سلسلة أغذية العاشبات الصغيرة (وتريبات زراعة الشعير، ونباتات الأرز وحلزونات التفاح) من موقع لإعادة تدوير النفايات الإلكترونية في جنوب الصين، ويتفاوت عامل التضخم البيولوجي بالنسبة للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 ابتداءً من نباتات الأرز إلى الحلزونات بين 1.2 و6.3، وقد دلت ذلك بوضوح على أن الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 يمكن أن يتراكم بيولوجياً في شبكة أغذية النباتات/والعاشبات (شي 2013). ومن ناحية أخرى، لم يُلاحظ التراكم البيولوجي في تجربة مختبرية أُجريت حديثاً، حيث تم تعريض حلزونات التفاح للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 (وكان عامل التراكم البيولوجي الذي أُبلغ عنه هو أقل من 1) (كوش 2014). وهكذا لا يمكن الخروج بخلاصة واضحة بشأن التراكم البيولوجي في الحلزونات من هاتين الدراستين. إن الكثير من التركيزات المبلغ عنها للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في الحيوانات حسبت على أساس مستوى الدهن العادي. وعلى الرغم من أن هذه ممارسة شائعة عند الإبلاغ عن مستويات التراكم البيولوجي للمواد، فإن هذه الطريقة إذا استرجعناها في الذاكرة لوجدنا أنها ليست النهج التحليلي الأفضل لتلك المواد التي لا يحدث لها تفرق كبير في الدهون (منظمة التنمية والتعاون في الميدان الاقتصادي 2012)، كما يمكن أن يكون ذلك هو الحال بالنسبة للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 (انظر القسم 2-2-3). وقد استندت الدراسات التي تدل على عدم وجود تضخم بيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في الأسماك والثدييات إلى المستويات التي اكتشفت في العضلات أو الأنسجة الدهنية و/أو حُسبت على أساس الدهن العادي. وكما سبق مناقشته في القسم 2-2-3 فإن الدلائل تُشير إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 يُفضل أن يقبع في الأنسجة الغنية بالدهن، مثل الكبد، والأمعاء والعضلات والحياشيم، وهكذا تكون بعض الدراسات السابقة قد أحطت باستهداف أنسجة خاطئة وقللت من تقديرات إمكانات التراكم البيولوجي والتضخم البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 (استابلتون 2004، فورثبولز 2006، وان 2013). وأظهر التقدم الحديث في مجال التجارب في إيكلوجيا النظائر أن استخدام قيمة ثابتة لدلتا النيتروجين المرفوعة للقوة 15 غير مناسب وأن القيمة الزائدة لهذه الدلتا هي ذات أهمية أكبر (هسي 2014). وعليه فإن تصحيح المستويات الغذائية يؤدي إلى المزيد من عدم اليقين، خصوصاً بالنسبة للشبكات الغذائية المحددة جيداً.

68- إن نزع البروم من الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 وتحويله إلى إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم أقل برومة، وأكثر تراكماً بيولوجياً عقب امتصاص الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في الكائنات (انظر القسم 2-2-2) إنما يزيد القلق بشأن استخدام الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 وإطلاقاته، نظراً لأن بعض الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم مُدرجة الآن بالفعل في المرفق ألف من اتفاقية استكهولم للتخلص العالمي منها، و/أو أنها مواد شديدة المقاومة للتحلل وشديدة التراكم البيولوجي، وشمية لدى الاتحاد الأوروبي (لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 2006، 2007، والوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية

2012، ووكالة البيئة الكندية (2010). إن دراسات التأثير الشمسي ونزع البرومة تحولوه إلى إثارات أقل ثنائية الفينيل متعددة البروم الأقل برومة قد رافقها بالتوازي ملاحظات بشأن التركز البيولوجي والتراكم البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (جارسيا-ريرو 2014، ونويس 2011، 2013، وكو 2010). يُضاف إلى ذلك، أن وجود إثارات ثنائية الفينيل متعددة البروم أقل برومة في دراسات ميدانية، يمكن أن يُعزى إلى كل من نزع بروم الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، ونتيجة للتعرض المباشر من الإيثر ثنائي الفينيل خماسي البروم-التجاري أو إيثر ثنائي الفينيل ثنائي البروم-التجاري.

5-2-2 احتمالات الانتقال البيئي بعيد المدى

69- يوجد الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، جنباً إلى جنب مع إثارات ثنائية الفينيل متعددة البرومة الأقل برومة، في أجزاء متعددة من البيئة في القطب الشمالي والقطب الجنوبي، ويشمل ذلك الهواء، والرسوبيات، والجليد، والثلج، والتربة، والرسوبيات والحيويات (انظر الجدولين 1-5 و 2-5 في الوثيقة (UNEP/POPS/POPRC.10/INF

70- وقد أفاد العديد من الدراسات بأن للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 هو أحد إثارات ثنائية الفينيل متعددة البروم السائدة والمهيمنة في هواء القطب الشمالي (وانج 2005، سو 2007، وهيرمانسون 2010، وهنغ 2010، ومولر 2011، مير 2012، وكالة البيئة النرويجية 2014، وسلاموفا 2014). كما أن مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الغلاف الجوي للقطب الشمالي جنباً إلى جنب مع الدراسات التي تدل على وجود ترسب كبير في ثلج القطب الشمالي (هيرمانسون 2010، وسنو 2012) تؤكد على إمكانات مرور الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في انتقال بيئي بعيد المدى إلى مناطق نائية. فمثلاً في دراسة تقييم ما مجموعه 19 ميثب لهب مبروم مختلفاً في العينات المأخوذة من الثلج من القطب الشمالي النرويجي، وجد أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يغطي بثاني نصيب أوفر من ترسبات ميثبات اللهب المبرومة بدءاً من الهواء إلى ثلج القطب الشمالي. ووجد أن معدل ترسب الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 وصل إلى 320 بيكوغرام سم² سنة⁻¹ خلال الفترة 1995-2005، ولا يفوقه إلا الدوديكان الحلقي السداسي البروم، ويزيد بدرجة كبيرة عن إثارات ثنائية الفينيل متعددة البروم الأخرى (هيرمانسون 2010). إن اكتشاف الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في هواء القطب الجنوبي وعينات الترسيب ليقدم قرائن على الانتقال البعيد المدى لهذا المركب عبر مسافات طويلة بدرجة ملحوظة (ديكتهت 2012).

71- إن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 الذي يترسب في بيئة القطب الشمالي يتسم بالتراكم البيولوجي في الكائنات التي تعيش هناك، كما أنه منتشر على نطاق واسع في شبكة أغذية القطب الشمالي (ديوت 2006، 2010، وكالة البيئة الكندية 2010، برنامج ملوثات القطب الشمالي 2013). وتشمل عينات الحيوانات القطبية الملوثة بالإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 مثلاً الغطاء الخضري، والطيور الجارحة، وطيور البحر، وبيض طيور البحر، والأسماك البحرية وأسماك المياه العذبة ومزدوجات الأرجل على اختلاف أنواعها، والعوالم الحيوانية، والجمبري، والمحار، والثدييات البرية والبحرية (ديوت 2006، 2010، وليتشر 2010، وتومي 2008). وتشترك حيويات القطب الشمالي عادة في التعرض للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، ولعدد كبير من الإثارات الثنائية الفينيل المتعددة البروم، والملوثات العضوية الثابتة (ديوت 2006، 2010، ليتشر 2010) وقد أظهرت بيانات الرصد البيولوجي أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يُسهم بدرجة كبيرة في التركيزات الكلية في الجسم من الإثارات الثنائية الفينيل المتعددة

البروم في بعض الأنواع القطبية الشمالية، بما يستأثر بأكثر من 50% من إجمالي تركيز الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم في مزدوجات الأرجل التي تتغذى على فتات الثلج (صومو 2006)، وفي 60% من السمك الأحمر و75% من القُد الشمالي القطبي (تومي 2008). والإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 هو أيضاً المتجانس الأكثر انتشاراً في عينات نباتات الحزاز المجلوبة من مواقع نائية في النرويج (ماريوسن 2008).

72- ويوجد الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في هواء المناطق النائية من آسيا على هضبة التبت (زياو 2012، وزو 2011). وقد كشفت عينات الغطاء الجليدي في جبال تارترا في سلوفاكيا عن مستويات مرتفعة بدرجة ملحوظة من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (اريلانو 2011). وبرهنت الرصدات المنتظمة في البحر المفتوح من السفن توفر الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في عينات الهواء من القطب الشمالي، والمحيط الأطلسي، والمحيط الهندي، والمحيط الهادئ (مولر 2012، ومولر 2011، ب، ولوهمان 2013). وتُسهم العمليات المحيطية وعمليات الغلاف الجوي في الانتقال البيئي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (سو 2007، مولر 2011، ب، وبريفيك 2006). وحيث أن للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 ضغط بخار منخفضاً جداً فمن غير المحتمل للتطاير أن يُسهم بقدر كبير في الانتقال البيئي البعيد المدى، وبدلاً من ذلك، فإن الانتقال البعيد المدى في الغلاف الجوي يبدو أنه يخضع لحركية الجسيمات الموجودة في الغلاف الجوي التي يلتصق بها ذلك المركب (بريفيك 2006، وانيا ودوجاني 2003). إن الجزيئات الأقل حجماً، (التي يبلغ نصف قطرها عدداً قليلاً من الميكرومتر) قد تظل معلقة في الهواء لساعات أو لأيام، شريطة ألا تزال بواسطة الترسب الرطب (ويلفورد 2008، ميار 2012). يُضاف إلى ذلك، أن الجزيئات يمكن أن تحمي جزئياً الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 من التحلل الضوئي، وأن تزيد من فترة عمره في الهواء إلى ما يزيد على 200 يوم (بريفيك 2006، راف وهايتس 2007، كما أُشير إليه عند دي ويت 2010). وقد وُجد أن ترسب الجزيئات العالقة بالهواء في القطب الشمالي تكون أعلى أثناء موسم الضباب في القطب الشمالي (سو 2007، برنامج الرصد والتقييم في القطب الشمالي 2009). وفي آسيا المدارية، تساعد الرياح والأمطار الموسمية على الانتقال البعيد المدى لإيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم بما فيها الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 المرتبطة بالغاز و/أو بالجزيئات (أكسيو 2011).

73- واستناداً إلى تفاعل شق الهيدروكسيل، فإن عمر النصف للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الغلاف للجوي هو 94 يوماً في الهواء وذلك طبقاً لحسابات التركيب الكيميائي باستخدام برنامج مؤسسة بحوث سيراكيزوم ومع افتراض تركيز شق الهيدروكسيل بما يبلغ 105×5 جزئ سم³، ومعدل تفاعل يقدر بـ 1.7×10^{-13} سم³ جزئ⁻¹ ت⁻¹ (المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية 2002). وتطبيقات أخرى مثل واجهة مجموعة برامج التقدير، الإصدار 4.1 (وحدة نموذجية AOPwin) ومُعَرِّف المواد الكيميائية المتراكمة بيولوجياً والسُممية يُقدر معدل تفاعل مختلف قدره $(3.37 \times 10^{-14} - 14 \text{ سم}^3 \text{ جزئ}^{-1} \text{ ت}^{-1})$ ومن ثم يتنبأ بأنصاف أعمار أطول قدرها 317 يوماً (12 ساعة يومياً، 1.5×106 شقائق الهيدروكسيل سم³) و470 يوماً (24 ساعة يومياً، 5×105 جزيئات سم³) على التوالي.

74- وعلى الرغم من أن المصادر المحلية للإطلاقات قد تكون حاضرة (هيل 2008، دانونشافر 2007، لي 2012 ج) فإن البيانات المتوفرة من المناطق النائية تبين بصورة كلية أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 موجود في تلك المناطق نتيجة للانتقال البيئي البعيد المدى.

3-2 العرض

1-3-2 المستويات والاتجاهات البيئية

75- يوجد الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 منتشرًا على نطاق واسع في البيئة العالمية، وهو موجود في المصفوفات البيولوجية وغير البيولوجية في جميع أنحاء العالم. وترد نظرة شاملة على المستويات البيئية في العديد من الاستعراضات (دي ويت 2006، 2010، وكالة البيئة الكندية 2010، وليتشر 2010، ولو 2014) وفي الجدولين 1-5 و 2-5 من الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5. ويتعايش الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في معظم المصفوفات البيئية مع الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم وهو المركب الرئيسي أو الغالب بين تلك الملوثات الذي يتم اكتشافه.

76- ويُكتشف الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في هواء المناطق الحضرية والريفية والنائية (الجدول 1-5 الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5)، كما يُكتشف في التساقط (ما 2013، وروبسون 2013، وأرينايتوي 2014 والمراجع ذات الصلة) وتتراوح المستويات المكتشفة من هذا المركب في البيئات الحضرية والريفية بين 4.1 و 60 بيكوغرام م-3 (على نحو ما راجعة سييد 2013) بينما تتراوح تراكيزه في هواء القطب الشمالي من مقدار لا يكاد يبين إلى 41 بيكوغرام م-3 (راجع دي ويت 2010). وقد أفادت التقارير بأن مستويات هذا المركب في المواقع الخلفية البعيدة خارج القطب الشمالي تتراوح من مقدار لا يكاد يبين إلى 29 بيكوغرام م-3 أى أعلى من المستويات الموجودة في القطب الشمالي، وأقل من المستويات الموجودة في البيئات الحضرية والريفية (زياو 2012، مولر 2011، ب، 2012). ومع ذلك، فقد أبلغ لوهمن (2013) مؤخراً عن وجود تراكيز الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 مرتبطة بالجسيمات أو في المرحلة الغازية في الهواء المداري للمحيط الأطلسي تصل إلى 43.89 و 260 بيكوغرام م-3، على التوالي. واستناداً إلى هذه القياسات حسب لوهمن (2013) الترسب الإجمالي من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في المحيط الأطلسي من الهواء بأنه يصل إلى نحو 27.5 طن سنوياً، و 20 و 7.5 طن لكل من المرحلة الغازية ومرحلة الجسيمات، على التوالي. وتُشير هذه النتائج إلى أن مستويات الهواء والترسب فوق المحيطات العالمية قد تكون أعلى مما كان مظنوناً من قبل. وكما تقدم وصفه، ففي كل من القطب الشمالي والمناطق المدارية يتأثر انتقال الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الهواء بظواهر الطقس الموسمية (ذو 2011، وسو 2007، وبرنامج الرصد والتقييم في القطب الشمالي 2009). إن تحليل مسار كتلة الهواء الراجعة تُشير إلى مناطق كبرى محتملة لانطلاق الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، وهو موزع توزيعاً واسعاً في المناطق الصناعية والحضرية في آسيا المدارية (ذو 2011).

77- إن الإبلاغ عن معظم البيانات المتوفرة بشأن مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في التربة يأتي من المناطق المتضررة. وتتراوح المستويات المبلغ عنها في التربة في جميع أنحاء العالم ما بين مقادير لا تكاد تبين وحتى 8600 بيكوغرام/غرام-1 في الوزن الجاف للتربة في المناطق الملوثة، ولكن قد تكون أعلى من ذلك (مراجعة وانج 2010 ب). وقد اكتُشف الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في التربة، ومواقع الطمر الأرضية في أجزاء كندا بالقطب الشمالي (دانون-سكايفر 2007، لي 2012 ج)، غير أن مستويات إيثرات ثنائية الفينيل المتعددة البروم خارج مواقع الطمر الأرضية تتشابه مع المستويات المقاسة في تربة المواقع الخلفية البعيدة وفي أماكن أخرى من القطب الشمالي (دي ويت 2006، 2010) مما يُشير إلى أن الانبعاثات من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 وغيره من الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم من هذه المصادر في بيئة القطب الشمالي صغيرة الحجم حالياً. ومقارنة بالمواقع النائية؛ تُعد مستويات الإيثر الثنائي

الفينيل العشاري البروم-209 في المناطق الحضرية والريفية أكثر ارتفاعاً بدرجة ملحوظة. وبصفة خاصة مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 ومواقع النفايات الإلكترونية كمصانع إعادة التدوير ومواقع تفرغ النفايات والمواقع الصناعية في الصين تكون مستويات مرتفعة للغاية (وانج 2011ب) مراجعة وانج 2010ب، وحاو 2011، ولي 2012أ). وتُشير التقارير إلى إن حمأة المجاري المأخوذة من العديد من البلدان تشتمل على الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، وعندما يتم تخصيب التربة بالحمأة ينتقل الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 إلى التربة وإلى الحيوانات (دي ويت 2005، الوكالة البيئية النرويجية، والتقارير التقني 2003، والمرفق هاء، الدانمرك، ري كلونت 2008أ، ب، وإيرنشو 2013). وكما دلت سيلستروم (2005) ودي ويت (2005) ارتفعت مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، 100-1000 مرة في المواقع المخصصة بحمأة المجاري مقارنة بالمواقع المرجعية. وفي هذه الدراسة، كان الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 هو المتجانس الغالب في التربة وفي ديدان الأرض، مع مستويات أعلى ذُكرت أنها موجودة في الديدان أكثر من وجودها في التربة (سيلستروم 2005).

78- تتراوح مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 المبلغ عنها في الرسوبيات في جميع أنحاء العالم من مقادير لا تكاد تبين إلى 16000 نانوغرام/غرام بالوزن الجاف أي ما يزيد قليلاً عن مستوياته في التربة (انظر وانج 2010ب، وألجارات 2007، وسيلستروم 1998ب، والجدول 5-1 UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5). وتوجد التركيزات العالية في الترسبات عادة على مقربة من المواقع الصناعية (وانج 2010ب، وألجارات 2004، 2005، 2007، وسيلستروم 1998ب). وعلى شاكلة النتائج التي تم التوصل إليها في التربة فإن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 هو المتجانس الغالب المبلغ عنه في الرسوبيات، والذي يُسهم بنحو نسبة 100% في إجمالي الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم المقيسة في بعض الدراسات (وانج 2010ب، وألجارات 2005، ومارفن 2013). إن مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في التربة والرسوبيات في المناطق النائية هي مستويات منخفضة (دي ويت 2006، 2010، وكالة المناخ والتلوث النرويجية 2010، 2012ب، وبويتسوف وكولوجسوير 2013، والهيئة النرويجية لمكافحة التلوث 2008أ، ب)، ولكنه وجد بمستويات مرتفعة في مواقع قليلة مصابة بالتلوث المحلي مثل مناطق الطمر على مقربة من مصبات مياه النفايات (هيل 2008، دانون-سكافر 2007، لي 2012ج) إن مضاعفة الزمن بالنسبة للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في هذه الرسوبيات تتراوح بين 5.3 و8.4 سنة (تشن 2007ب، كيوان 2014، وذو وهائتس 2005، وزيفارز 2003، والجدول 5-1 من الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5)

79- يوجد الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 أيضاً في أنواع برية ومائية متنوعة على مستوى العالم (دي ويت 2006، 2010، وليتشر 2010، ووكالة البيئة الكندية 2010، تشين وهيل 2010، وبرنامج الملوثات الشمالي القطبي 2013؛ انظر الجدول 5-2 الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5). وتشمل القياسات النباتات، وطيور البحر، والعيذر، والغلموت، والغلاكوس ونوارس الرنجة، وطيور جارحة مختلفة، والأسماك واللافقاريات البحرية، والقشريات البحرية، والحشرات والضفادع، وكذلك الثدييات البحرية والبرية. ويوجد الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في طائفة متنوعة من الأنسجة في الكائنات البالغة وكذلك في بيوض الكائنات البيضاء.

80- تُشير التقارير إلى أن مستويات الحيوانات في القطب الشمالي تتراوح من مستويات غير قابلة للكشف إلى 250 نانوغرام/غرام بالوزن الحي (الجدول 5-2 الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5). إن

استنباط بيانات للآثار قائمة على الدراسات المخبرية للقياسات الميدانية يشير إلى أن صحة الأسماك في المنطقة القطبية الشمالية الكندية تتأثر بشكل ضار على الأرجح بمستويات التعرض الحالية للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم (Noyes 2013, Tomy 2008, 2009). وينطبق نفس الشيء على الأسماك في جنوب الصين التي تتجاوز تركيزات هذا المركب المقيسة في المستويات التي لوحظ عندها حدوث الآثار (Noyes 2013, Mo 2012). وفي المناطق الأكثر تأثراً بمستويات الأنشطة الاصطناعية، وصلت تلك المستويات إلى ما يساوي أو يزيد على 12000 نانوغرام/غرام بالوزن الحي، وقد أُشير غالباً إلى مستويات مرتفعة من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في البيئات البرية، وهي من المحتمل أن تعكس التطاير المنخفض للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 وميله الشديد إلى المادة العضوية في الغبار والتربات (تشين وهيل 2010، وتشين 2010). وتخضع مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بصفة خاصة في الطيور وبيض الطيور للدراسة الموسعة، وقد أُفيد في بعض الحالات عن ارتفاعها الشديد. إن طيور العاسوق الشائعة من الصين تحتوي على مستويات مرتفعة جداً من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بتركيزات تصل إلى 2150 و 2870 نغ/غ بالوزن الحي، في العضلات والكبد، على التوالي (تشين 2007). وقد اشتملت إحدى العينات على مقدار يصل إلى 6220 نغ/غ بالوزن الحي في العضلات وعلى 12200 نغ/غ بالوزن الحي في الكبد. وهذه المستويات هي من بين أعلى المستويات للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 المبلغ عنها في الحياة البرية (تشين 2007). وأعلى بكثير مما أُبلغ عنه في مواضع أخرى (باستنيز 2007، وفلايندر 2012، وجوناسن 2011، وسورمو 2011، وفورسبويلز 2006، وغينيتيس 2012، وشابوت-غيجوير 2013، ومو 2013، وتشين 2010، وتشين وهيل 2010). وقد أُبلغ أيضاً عن مستويات مرتفعة في طيور القيرلي الرفراف، وعصافير الدوري، التي تعيش في الأشجار في أوراسيا، وطيور العاسوق الشائعة في الصين (تشين 2007، يو 2011، مو 2012) وصقور الشاهين الرحالة في السويد (جوهانسون 2011). ويتم اكتشاف الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 أيضاً في العديد من أنواع طيور القطب الشمالي (دي ويت 2006، 2010). وبلغت مستويات هذا المركب في أكباد الثعالب الحمراء في المناطق الحضرية والمناطق الريفية في بلجيكا إلى نحو 760 نغ/غ بالوزن الحي، حيث يُسهم الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 عادة في نحو 70% من إجمالي تركيز الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم (فوربويلز 2006). ووجدت تركيزات عالية في كلاب الماء الأوراسية في المملكة المتحدة، حيث بلغت التركيزات 6800 نانوغم/غم في الكبد (Pountney 2014).

81- تتوفر بيانات محدودة بشأن التغيرات الزمنية في المستويات البيئية للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209. ففي عدد قليل من الدراسات بشأن بيانات الاتجاهات الزمنية من اللاحيويات في القطب الشمالي، وُجد أن مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في هواء مناطق القطب الشمالي من كندا تتزايد من 2002 إلى 2005 (سو 2007، وهنج 2010)، وذلك على الرغم من أنه لم يُلاحظ نفس الشيء من فترة 2007 إلى 2009، برنامج الملوثات الشمالي القطبي، 2013). فإن مضاعفة المرات في حدود 3.5 - 6.2 سنة قد أُبلغ عنه (سو 2007، هانج 2010). ولا يمكن ملاحظة أى اتجاهات زمنية للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الهواء للفترة 2007 - 2013 في المواقع القطبية الشمالية من النرويج (مرصد زيلن وأندويا) (الوكالة النرويجية للبيئة 2014). وبدلاً من ذلك تتأرجح التركيزات من عام إلى عام. وعلى النقيض من ذلك تفيد التقارير بأن المستويات في ثلوج القطب الجنوبي مستقرة ولم تتغير خلال الفترة 2001-2007 (ديك هات 2012). أما في الهواء والتساقط الحضري والريفي حيث المستويات تتأثر

بالمصادر المنتشرة والمصادر الثابتة، فإن النمط يصبح أكثر تعقيداً ويُشير إما لعدم وجود تغير كبير (ما 2013) أو زيادة (أريناتوي 2014) أو انخفاض (روبسون 2012) في مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 مع مرور الوقت. وينبغي ملاحظة أنه لم تصدر إفادات في معظم الدراسات التي أُجريت على الهواء والتساقط، ولم تتضح الاتجاهات مكانية أو زمنية أيضاً على الرغم من تحول الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 إلى الاستقرار عن طريق الارتباط بالجليسيمات في الهواء (دى ويت 2010)، أما عدم وجود أى اتجاهات زمنية ملاحظة فإن ذلك يمكن أن يحدث في بعض الحالات نتيجة للتحلل الضوئي-ونوع برومات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 ليصبح إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم أقل برومات (وانغ 2005، وزياو 2012، انظر أيضاً مبير 2012، وروبسون 2013، وأرنتوي 2014). وفيما يتعلق بالاتجاهات الجغرافية، فإن حقيقة أن معظم الدراسات تفيد ببيانات رصد متفرقة فإن عقد مقارنات جغرافية لبيانات الرصد يواجه معوقات بصفة عامة.

82- وأفادت التقارير كذلك بشأن التركيز/والاتجاهات الزمنية الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الرسوبيات. في عينات الرسوبيات المأخوذة من بحيرة نائية في سويسرا، ازدادت مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 خلال الفترة من التسعينات إلى 2001 مع المضاعفة مرة واحدة بنحو 9 سنوات (كوهلر 2008). إن عينات الرسوبيات المأخوذة من مناطق ملوثة حضرية تُشير إلى مضاعفة المرات بالنسبة للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بين 5.3 و 8.4 سنوات (تشين 2007، كوان 2014، وجو وهايتس 2005، وزيجارز 2003، والجدول 5-1 من الوثيقة UNEP/POPS/POP/PRC.10/INF/5). واستناداً إلى دراسة أُجريت في جنوب الصين، فإن الزمن الذي بدأ فيه الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بالتزايد في الرسوبيات في الصين يبدو أنه قد تتأخر 10-20 سنة، عن تلك المرات في شمال أمريكا وأوروبا، الأمر الذي قد يعكس وجود خلافات في الأنماط التاريخية لإنتاج واستخدام الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في هاتين القارتين. (تشيب 2007 ب). وفي عينات مؤرخة مأخوذة من الرسوبيات من بحيرات في أونتاريو، وكيبك، وشمال ولاية نيويورك على امتداد تقاطع عرضي في شمال أمريكا، لم يُكتشف الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بصفة عامة إلا في آفاق متأخرة من الرسوبيات، وأن تدفقات الرسوبيات قد وُجد أنها تنخفض بصورة أسية مع خط العرض (بريفيك 2006).

83- وبالتوازي مع ملاحظة تزايد مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في هواء القطب الشمالي، فقد لاحظ فوركامب (2005) تزايداً كبيراً في الاتجاه الزمني في تراكيزات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في بيض الصقر الشاهين الرحال من جنوب غرب جرين لاند والجمعة من 1986 إلى 2003. وقد تراوحت التراكيزات المقيسة في هذه الدراسة بين 3.8 إلى 250 نغ/غ بالوزن الحي، مع متوسط قدره 11 نغ/غ بالوزن الحي. ولوحظت زيادة في الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في بيض صقر الشاهين الرحال من السويد التي جُمعت من 1974 حتى 2007 حيث وصل إلى أقل من 4 إلى 190 نغ/غ بالوزن الحي (جوهانسون 2011). ووجد أن مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في بيض صقر الشاهين الرحال من بريطانيا قد ازدادت من 1975-1995، وانخفضت بعد ذلك في الفترة من 1995 إلى 2001 (ليزي 2011). وقد أُبلغ عن تزايد الاتجاهات الزمنية في تراكيزات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 أيضاً في بيض نوارس الرنجة من البحيرات العظمى في لورنشيا في أمريكا الشمالية (جوتير 2008). وخلال الفترة 1982 إلى 2006، تراوحت الفترات الزمنية اللازمة لتضاعف الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 من 2.1 إلى 3 سنوات. وعلى النقيض من ذلك، أُبلغ عن مستويات مستقرة في بيوض

نورس الرنجة الساحلية في ألمانيا (فلايندر 2012). وفي نفس الدراسة، لم يُلاحظ أى اتجاه زمني ذو بال بين 1973 و 2001 بالنسبة لتركيزات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في أنسجة عضلات صقر الدوري، على الرغم من أن بعض العينات ذات التركيزات الأعلى قد شوهدت في سنوات لاحقة. وفي النرويج، لوحظ وجود اتجاهات جغرافية في مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في نبات الحزاز (ماريوسن 2008)، وقد لوحظ في جزء متقاطع من الجنوب إلى الشمال أن مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في نبات الحزاز أخذ في الانخفاض، مما يُشير إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 القادم من مناطق مصدرية جنوب النرويج ينتقل نحو القطب الشمالي عبر عمليات تتم في الغلاف الجوي، وترسب على طول الطريق، مما يسفر عن تناقص الممال الجغرافي الملاحظ. ويبدو أن مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الحزاز في النرويج قد ازداد مع مرور الوقت مما يعكس احتمالاً تغييرات ماثلة في مستويات الهواء (الهيئة النرويجية لمكافحة التلوث 2002، ماريسون 2008، والوكالة النرويجية للمناخ والتلوث 2012 ب).

2-3-2 التعرض البشري

84- إن الغبار، وهواء الأماكن المغلقة وبدرجة أقل الأغذية، تعتبر أهم مصادر ومسارات التعرض البشري للملوثات ثنائية الفينيل ومتعددة البروم (وكالة حماية البيئة الأمريكية 2010) وقد تم في هذا التقييم التعرف على نواتج الاستهلاك المنزلي على أنها المصدر الرئيسي للإيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في غبار المنازل. وعلى العكس من ذلك حدد تقييم أجري في كندا الغذاء والغبار على أنهما المصدران الرئيسيان للتعرض لدى البالغين (هيئة صحة الإنسان الكندية 2012) إن تركيزات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 المكتشفة في الهواء داخل الدور تتراوح بين حد التكمية الأدنى وهو 651 بيكوغرام/م³ (هاراد 2010) ومن 63 إلى 10.000 نغ/غ في الغبار من ألمانيا والسويد والمملكة المتحدة (فروم 2009). وقد تجاوزت تركيزات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بفارق كبير مجموع الإيثرات الثنائية الفينيل متعددة البروم ذات البرومة الأقل التي اكتشفت (فريدركسون 2009)، فريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية 2011، بيسيس وسمارا 2012). وبالإضافة إلى ذلك، فإن الوجود داخل السيارات والطائرات قد يكون مصدراً مهماً للتعرض للإيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم على حسب ما استعرضه بيسيس وسمارا (2012)، ذلك أن المستويات المتوسطة للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 للغبار من السيارات قد زاد بنحو 20 مرة عن الغبار المنزلي، على الرغم من أن المستويات قد تفاوتت تفاوتاً كبيراً فيما بين الدراسات. وهذا يتماشى مع دراسة ألمانية أجريت مؤخراً حيث كانت التركيزات المتوسطة من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 داخل السيارات والمنزل، وعينات غبار المكاتب 940.45 و 120 نغ/غ التوالي (برومير 2012). وقد أُفيد عن علاقة ارتباط بين الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في غبار المنازل ولبن الأم، كما أشار إلى أن مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في البيئات الداخلية لها تأثير على تعرض الأطفال الرضع للبن الأم (كواكلي 2013).

85- يوجد الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بصورة واسعة في الأغذية، وقد أُبلغ عن وجوده في تركيزات تتراوح من نحو 2 إلى أكثر من 50.000 بيكوغرام/غ بالوزن الرطب على نحو ما راجعة فريدركسن (2009) وقد قيست أعلى التركيزات لإيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم الأقل برومة بصفة عامة في الأسماك، والخبز، وإن كان الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 قد وجد في السجق ومنتجات الألبان، ولكن يمكن لتغليف الأغذية أن يسهم في ذلك (اسكيت 2011)، وفريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية

2011، وريفير (2014). إن ما تُسهم به مياه الشرب والهواء الخارجي في التعرض غير المباشر للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 هي مساهمات منخفضة إذا قورنت بالمتحصلات من الأغذية بل وتعتبر غالباً قيماً لا تُذكر.

86- إن الجرعة الداخلية، على سبيل المثال التي يتم تقديرها باستخدام الرصد البيولوجي للإنسان، تعكس تعرضاً متكاملًا مع مرور الوقت يشتمل على مختلف المصادر والمسارات. وقد قيس الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في عينات مشيمية في تركيزات تتراوح من 0.05 إلى 8.4 نغ/غ بالوزن الحي في دراسة دامركية وأسبانية، وكان المتوسط هو 1.14 و1.0 نغ/غ بالوزن الحي، على التوالي (فريدريكسون 2009، وغومار 2007). فكلتا الدراستين أبلغتا عن الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 بأنه الإيثر ثنائي الفينيل متعدد البروم المسيطر، حيث يمثل نحو 50% من إجمالي الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم. وقد لوحظ وجود نمط مماثل للمتجانسات في دراسة أُجريت أخيراً من الصين، حيث التركيزات المشيمية قبل الولادة تراوحت بين 1.33 إلى 8.84 نغ/غ بالوزن الحي (متوسط 2.64 نغ/غ بالوزن الحي) (جاو 2013). وقد أظهرت دراسات للرصد البيولوجي على دم الحبل السري تركيزات متوسطة للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في حدود تقل عن 1.2 إلى 27.1 نغ/غ بالوزن الحي (الجدول 4-1 في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5)، وكان الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 هو بصفة عامة المساهم الأكبر في مجموع الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم. وتستمر حالات التعرض للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في الفترة المبكرة بعد الولادة نظراً لوجوده في لبن الأم. وقد شمل الاستعراض الموسع الذي أجراه فريدريكسون (2009) دراسات نُشرت حتى 2007 ودلت على أن الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 قد أُبلغ عنه بتكيز يتراوح بين 0.1 إلى 2.9 نغ/غ بالوزن الحي. وتفيد الدراسات الأكثر حداثة إلى تركيزات متوسطة مشابهة لذلك (الجدول 4-1 الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5)، بينما القيم العليا تفاوتت بدرجة كبيرة داخل الأقاليم الجغرافية وفيما بينها. وقد وجد أن تركيزات الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في مصل أو في بلازما السكان اليافعين الذين من غير المعروف أنهم تعرضوا له مهنيًا أنه يتراوح بين 1 إلى 13.5 نغ/غ بالوزن الحي (فريدريكسون 2009). وقد أظهرت الدراسات الأكثر حداثة مستويات مماثلة (الجدول 4-1 UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5) باستثناء المستويات بصورة بارزة (المتوسط 220 نغ/غ بالوزن الحي) التي أُبلغ عنها من لايجو في الصين، وهي منطقة إنتاج سابقة لمثبطات اللهب المهلجنة (هي 2013). وقامت دراسة من السويد بتقييم تركيز الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في مصل الأمهات اللائي وضعن لأول مرة، واللائي يعشن في أيسلا حيث أخذت العينات من 1996 إلى 2010 (ليجنل 2011). وكان المتوسط لـ 36 مجموعة أمصال هو 1.3 نغ/غ بالوزن الحي، وعدم وجود اتجاه زمني ذي بال. وهذا يتفق مع عدم وجود اتجاه زمني مُشاهدٌ بالنسبة للبن الثدي الذي جُمع من جزر فارو في 1987، 1994-1995 و1999 (فانجستروم 2005). وبإيجاز؛ تُشير بيانات الرصد البيولوجي إلى حالات تعرض واسعة الانتشار وجارية للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في جميع أنحاء العالم، وتؤكد تعرض الأجنة، والامتصاص في اليافعين.

87- تأتي معظم الدراسات بشأن التعرض المهني من اسكندينايفيا وآسيا حيث مجموعات التعرض المهني المرتفع مثل عمال تفكيك الأجهزة الإلكترونية كانوا هم مناط التركيز الرئيسي. ففي السويد، أفادت التقارير بأن متوسط الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في دم في عمال تفكيك الأجهزة الإلكترونية وفنيي الكمبيوتر يبلغ 4.8 و1.53 نغ/غ بالوزن الحي، عتاتلى التوالي (سيجودن 1999، وجاكوبسون 2002).

بينما أُبلغ عن متوسط قدره 35 نغ/غ بالوزن الحي من بين عمال المطاط (توريسن 2005). إن إعادة التدوير الواسع النطاق، وتفكيك النفايات الإلكترونية في ظروف بدائية في الصين قد حظي باهتمام متزايد. وقد بلغ متوسط تركيزات الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 من غويو (باي 2007) بمقدار أعلى مما كان يُبلغ من قبل، ويزيد من 50-200 مرة بين السكان المعرضين مهنيًا في السويد. وقد لوحظ أعلى درجات تركيز من الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في المصل البشري بصورة ليس لها سابقة، في دراسة أجراها كوو (2007) وهي 3.436 نغ/غ بالوزن الحي أي ما يزيد بنحو 3000 مرة عن الملاحظ عادة في السكان بصفة عامة. وعلى النقيض من ذلك، لم تجد دراسة أُجريت مؤخراً (يانغ 2013) أي فرق ذا بال بين المقيمين في منطقة إعادة تدوير النفايات الإلكترونية وبين المجموعة المرجعية.

88- إن متوسط المتحصل الغذائي المقدر للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 لمتوسطي المستهلكين في أوروبا قد تراوح من 0.35 (أدنى الحد الأقل إلى 2.82 نغ/كغ بوزن الجسم (أقصى الحد الأعلى) يومياً (فريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية 2011). وتأسيساً على المتحصل اليومي البالغ 50 مغ من الغبار ووزن الجسم البالغ 70 كغ، قدر فريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية تعرض البالغين بـ 0.045 إلى 7 نغ/كغ بوزن الجسم يومياً. وقد استعرض لوربر (2008) التعرض للإيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في الولايات المتحدة، وبيّن أن الابتلاع من التربة/الغبار الملوث بالإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 هو 104.8 نغ/يوم قد قدم أكبر مساهمة للتعرض، تلاه التعرض للتربة/الغبار من خلال الجلد (25.2 نغ/يوم). وقد قُدّر إجمالي التعرض بـ 147.9 نغ/يوم أسهم الغذاء وشرب الماء فيها بنحو 16.3 و 0.09 نغ/يوم، على التوالي. ويُناظر التعرض الكلي 2.11 نغ/كغ بوزن الجسم يومياً على اعتبار أن وزن الجسم هو 70 كيلو غراماً على نحو ما استخدمه فريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية. وقد قدرت هيئة الصحة الكندية الحد الأعلى لإجمالي المتحصل اليومي من الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 بـ 9.3 نغ/كغ بوزن الجسم بالنسبة للبالغين الكنديين (من 20-59 سنة) (هيئة الصحة البشرية في كندا 2012). وكان الغذاء والغبار داخل الدور هما المصدرين الرئيسيين للتعرض إذ أسهما بـ 51 و 45% في إجمالي المتحصل، على التوالي.

89- استُخدمت التركيزات في لبن الأم التي قيست في أوروبا، والصين/تايوان وغانا والهند مؤخراً لتقدير متوسط المتحصلات اليومية للأطفال الرضع من لبن الثدي الذين في عمر ثلاثة أشهر أو أقل من ذلك. وكانت المتحصلات متماثلة وتتراوح من 1.0 أدنى الحد الأقل إلى 13.8 كحد أقصى نغ/كغ بوزن الجسم/يوم (كورتنيكامب 2013). وقدرت هيئة صحة الإنسان الكندية 2012 إجمالي المتحصل في الأطفال الرضع من الثدي حتى ستة أشهر بـ 50-187 نغ/كغ بوزن الجسم في اليوم، مع مساهمة الغبار بـ 40 نغ/كغ بوزن الجسم/يوم. وقدرت دراسة من نيوزيلندا أن المتحصلات من الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 بالنسبة للأطفال الذين تتراوح أعمارهم بين 3 إلى 6 أشهر بلغت 17.7 نغ/كغ بوزن الجسم/يوم، أما في الأطفال من 6 إلى 12 شهراً فكان يُقدر بـ 8.2 نغ/كغ بوزن الجسم/يوم (كوكلي، 2013). ووجد عند الأطفال من عمر 1 إلى 2 سنة أعلى متحصلات مقدرة من الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 إذ بلغت 13.2 نغ/كغ بوزن الجسم/يوم، الأمر الذي من المحتمل أن يعكس المعدل العالي لابتلاع الغبار (60 مغ/يوم) بالنسبة لهذه الفئة. وكان المتحصل اليومي من إيثرات ثنائية الفينيل عشارية البروم، والإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الأخرى من الغبار ولبن الثدي التي قيست في هذه الدراسة يقل عن قيم الجرعة المرجعية لدى وكالة حماية البيئة الأمريكية (7 ميكروغرام/كغ بوزن الجسم) (وكالة حماية البيئة الأمريكية).

90- يَكشِف العديد من الدراسات عن أن الأطفال الدارجين والأطفال الصغار لديهم مستويات من الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم أعلى من المستويات التي لدى البالغين (فريدركسون 2009أ)، وهو ما شوهد أيضاً بالنسبة للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (فيشر 2006، لوند 2010، وسهلستروم 2014). لأن الأطفال الصغار، نتيجة لسلوكهم، يتلقون جرعات كبيرة من إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم من غبار المنزل. وبافتراض أن المقدار اليومي الذي يتلعه هؤلاء الأطفال هو 100 ملليغرام، المقدر للغبار بالنسبة للأطفال في عمر 1-3 سنة في أوروبا أن تتراوح من 0.53 إلى 83 نغ/كغ بوزن الجسم/يوم، وهو ما يزيد عن متوسط المتحصل النظير المحسوب من الأغذية، والذي يتراوح بين 2.59 و6.4 نغ/كغ بوزن الجسم (فريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية 2011). وقد قَدَّرَت صحة كندا أن المتحصل اليومي من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 للفئة العمرية 0.5 إلى 4 سنوات بـ 89 نغ/كغ بوزن الجسم الذي ساهم الغذاء والغبار فيها بنسبة 24 و64 نغ/كغ بوزن الجسم على التوالي. إن لَعَب الأطفال، وتحديدًا اللعب المصنوعة من البلاستيك القاسي، قد تم تحديدها كمصدر محتمل لتعرض الأطفال الصغار للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-التجاري (تشين 2009). وتمت نمذجة هذا التعرض في تقييم المتحصل الفموي من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 لدى الأطفال الكنديين للفئة العمرية 0.5 - 4 سنة (هيئة صحة الإنسان الكندية 2012). وكان تقدير الحد الأعلى هو 120 نغ/كغ بوزن الجسم/يوم، أى ضعف تقدير التعرض من التربة (الغبار) لهذه الفئة العمرية. وتُشير الارتباطات من متجانس - إلى - متجانس في مجموعات الأتراب للأم والدارجين في دراسة سويدية إلى التغذية كمسار للتعرض لإيثرات ثنائي الفينيل رباعي إلى تساعي البروم بالنسبة للأمهات (سهلستروم 2014). وكانت الرضاعة الثديية بالنسبة للأطفال هي قناة التعرض الغالبة بالنسبة للإيثر الثنائي الفينيل الرباعي-السداسي البروم وكان الغبار هو مسار التعرض الأكثر أهمية بالنسبة لإيثرات ثنائي الفينيل ثنائي إلى عشاري البروم بالنسبة للدارجين. وعلى الرغم من وجود اختلافات جغرافية، فإن جميع تقديرات المتحصل المتوفرة من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 تُشير إلى أهمية التعرض للغبار، وبخاصة بالنسبة للأطفال الصغار.

4-2 تقييم المخاطر لنقاط النهاية المشيرة للقلق

91- قُيِّمَت عمليات التقدير الوطنية والإقليمية التي أجراها الاتحاد الأوروبي، والمملكة المتحدة، وكندا والولايات المتحدة إمكانات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209/الإيثرات الثنائية الفينيل العشارية البروم على أنها مُحدِّثُ تأثيرات معاكسة للحياة البرية ولبي الإنسان (مثال ذلك المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية 2002، 2004، 2007، الوكالة البيئية البريطانية 2009، الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012أ، وهيئة صحة الإنسان الكندية 2006، 2012، ووكالة حماية البيئة الأمريكية 2008، وفريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية 2011). وبالإضافة إلى ذلك، كانت سُمية الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 وغيره من الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم هي موضوع العديد من الأوراق والاستعراضات العلمية (انظر مثلاً دينجمانز 2011، تشين وهيل 2010، وكوستا وجوردانو 2011، وكورتناكامب 2014). أما الآثار السمية الواردة في الأدبيات فقد أُبلغت بالنسبة لكائنات التربة، والنباتات، والطيور، والأسماك، والضفادع، والفئران الكبيرة، والفئران الصغيرة وبي الإنسان. وتتراوح التأثيرات المبلغ عنها للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 من التغيرات على المستوى الكيميائي البيولوجي - والخلوي، وبين التأثيرات التي قد يكون لها تداعيات أكثر مباشرة على المستويات الأعلى من التنظيم البيولوجي، بما في ذلك البقاء، والنمو، والسلوك، ووظيفة المناعة، والإنسال، والنمو، والجهاز العصبي والتأثيرات التعديلية للغدة الدرقية. أما في الفقاريات، فيبدوا

أن محور الكبد وهرمون الغدة الدرقية والجهاز العصبي هما المستهدفان الرئيسيان لسمية الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (وللاطلاع انظر كوستا وجوردانو 2011). وفي كل من الحياة البرية والبشر، تبدو مراحل النمو الأولى هي الأكثر تعرضاً لدى اليافعين للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209. وبالإضافة إلى ذلك، فإن نزع برومات الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم لتصبح إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم أكثر سمية هو مثار القلق في العديد من عمليات التقييم (الوكالة البيئية البريطانية 2009، الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012، ج، ووكالة البيئة لكندية 2010، كورتنكامب 2014). وعلى الرغم من أن بعض الدراسات إما لا تُبلغ عن تأثيرات أو أنها تُبلغ عن تأثيرات فقط بجرعات عالية، فإن دراسات أخرى تُشير إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 قد يؤدي إلى حدوث تأثيرات معاكسة عند التركيزات المنخفضة و/أو ذات العلاقة بالبيئة.

1-4-2 السمية للكائنات المائية

92- إن الإيثر ثنائي الفينيل عشارية البروم-التجاري ومكونه الرئيسي الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 له ذوبانية محدودة في الماء، وقد أشارت تقييمات المخاطر الميكروية إلى أن تأثيرات سمية حادة أو مُزمنة كبيرة ليس من المحتمل أن تحدث في الكائنات المائية بتركيزات تقل عن الذوبانية في الماء (مثال المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية 2002، 2004، 2007، وكالة البيئة البريطانية 2009). ومع ذلك، أثارت أحدث التقييمات للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 لدى الاتحاد الأوروبي القلق من حدوث تأثيرات معاكسة أيضاً على الكائنات المائية، وذلك استناداً إلى دراسات جديدة وثقت التأثيرات الواقعة على النهايات الطرفية البيولوجية المهمة التي تشمل التكاثر، والنمو، والجهاز العصبي، وجهاز الغدة الدرقية، والنمو، واللياقة البدنية (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012).

93- وكشفت دراسات السمية المائية عن عدد من التأثيرات التي تقع على الكائنات المائية وهي غالباً من الأسماك والبرمائيات. وقد تبين من خلال تأثير الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم على جهاز الغدة الدرقية، بأن هذه الإيثرات بما فيها الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 والإيثر الثنائي الفينيل التساعي البروم قد وجد أن لهما قدرة على التأثير على النمو والتحول في البرمائيات (سكريكس 2006، 2007، وبالش 2006، وكين 2010). وطبقاً للدراسات المتوفرة، فإن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 والإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-206 الذي هو أحد المتجانسات الموجودة في الإيثرات الثنائية الفينيل العشارية البروم والنتائج المحتملة لتحلل الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، يمكن أن يؤثر التحول في شراغيف الضفادع. وفي دراسة أجراها شريكس (2006) لوحظ انحسار أقل في قمة الذيل في أعقاب التعرض للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-206 بالنسبة للذبول في التشريح على الجسم الحي. وفي دراسة أكثر حداثة على الجسم الحي أُبلغ عن أن الإيثرات الثنائية الفينيل العشارية البروم- التجارية (الإيثرات الثنائية الفينيل -R 83) التي تتألف من 98.5% بالوزن/الجاف أُبلغ عن أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يؤثر في التحول الجسمي في شراغيف الضفادع الأفريقية ذات الأظافر وذلك عن طريق تأخير ظهور القدم الأمامية (كيم 2010). وقد صاحب تأخر ظهور القدم الأمامية تغيرات في أنسجة الغدة الدرقية وانخفاض التعبير عن متلبقيات الغدة الدرقية في أنسجة الذيل. واستناداً إلى هذه الدراسة تمت الإشارة إلى إجراء دراسة على مستوى انعدام التركيز الفعال المائي الذي يبلغ نحو 0.001 ملغ/لتر (1 ميكروغرام/لتر) على أنه السبب في تأخير التحول الجسمي في شراغيف الضفادع ذات الأظافر الأفريقية (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012). وقد أظهرت الدراسات أيضاً أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، عقب التدفق عبر التعرض ل صفر جزء

من البليون، و0.1 جزء من البليون، و10 جزء من البليون، و100 جزء من البليون لمدة 12 أسبوعاً يمكن أن يغير تشريحية وظيفية النظام الصوتي للضفدعة الأفريقية ذات الأظافر وذلك عن طريق التأثير في الأعصاب الحركية للحنجرة عند تعريض هذه الحيوانات أثناء الفترة الحرجة الحساسة للأندروجين خلال فترة نمو الجهاز الصوتي، وأثناء مرحلة اليقوع عندما تستخدم الأنسجة الأندروجين لكي تتمكن من إصدار الصوت (غانسر 2009). وقد أعاق الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، في هذه الدراسة جهاز التصويت العادي لدى الذكر، وهذا من الأمور ذات الأهمية الحرجة في السلوك التزاوجي عن طريق تقليل عدد مرات دعوة الإناث وكذلك سعة متوسط الدعوة. وتُشير هذه البيانات إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يمكن أن يُغير التشريح والوظيفة، عن طريق المسارات الوسيطة التي تشمل وقف الاندروجينات الضرورية لنظام الصوت السليم. إن هذه النتائج قد تُثير القلق نظراً لأن الضفادع البرية تتعرض للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بالفعل الآن في مرحلة البيض وأن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الضفادع ينتقل أيضاً إلى المخ والخصيتين (ليو 2011 ج، وو 2009 أ).

94- وفي الأسماك، بينت دراسات التغذية في ضوء عينات مرجعية لأسماك المنوة الكبيرة الرأس والتي أُجريت بتركيزات مناسبة بيئياً على أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 سواء وحده و/أو داخل خليط مع نواتج برومته المنزوعه قد يتدخل في جهاز الغدة الدرقية في أسماك المنوة كبيرة الرأس البالغة والياقة (نويس 2011، 2013). وفي دراسة لاحقة، تعرض السمك البالغ في تغذيته لابتلاع جرعة منخفضة تقارب 3 نغ/غ من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بوزن الجسم يوم لمدة 28 يوماً، فأظهرت انخفاضاً قدره 53% و46% في جريان إجمالي الثيروكسين 4 في الدم (TT4) و3,5,3- ثلاثي يود الثيرونين (TT3)، على التوالي، مقارنة بالعينات المرجعية (نويس 2013). وفي الأسماك التي تتعرض لجرعة عالية تبلغ 300 نغ من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209/غ بوزن الجسم، فقد تم تخفيض مستويات TT4 و TT3 إلى 62 و59%، على التوالي. وسواء في الأسماك المعرضة لجرعة عالية أو لجرعة منخفضة، فقد ظلت مستويات الغدة الدرقية مكبوتة بعد 14 يوماً من فترة التطهر. كما أن كلتي الجرعتين خَفَضَتَا أيضاً نشاط نازعة اليود في المخ (الديوديناز)

(T4-ORD) بنسبة 65% مقارنة بعينة التحديد المرجعية. وبالمثل، أشارت الدراسة التي أجراها تشين (2012) إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 لديه القدرة على إحداث تأثيرات ضارة في السمك المخطط في المراحل الأولى من حياته وذلك عن طريق تأثيرات على تركيزات اختبار مصل الغدة الدرقية (T3, T4). وقد لاحظ لي (2011) حدوث تغييرات في تعبيرات الجينات المرتبطة بالغدة الدرقية في يرقات نادرة لأسماك المنوة وأسماك المنوة البالغة عقب تعرضها لـ 0.01-10 ميكروغرام/لتر من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 عن طريق الماء لمدة 21 يوماً. وعلى النقيض من هذه النتائج، أبلغ سين بونت (2011) وجارسيا-رييرو (2014) عدم ظهور تأثيرات على وظيفة الغدة الدرقية في أجنة الأسماك التي تعرضت لهذا المركب. ومع ذلك، ينبغي ملاحظة أن سينبونت (2011) الذي قام بتعريض الأجنة بعد التخصيب لمدة 48 ساعة لـ 960 ميكروغرام/لتر من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 لمدة ثلاثة أيام قد خَلَصَ إلى أن هذا الرزن المستخدم وهو اختبار الاختلال الكمي للفلورة المناعية لاختبار مصل الغدة الدرقية T4 لم يكن هو الرزن المناسب لاكتشاف تأثيرات الملوثات الكيميائية مثل الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 الذي يُحدث اختلالاً غير مباشر في وظيفة الغدة الدرقية. وقد تكهن، جارسيا-رييرو (2014) بأن غياب التأثيرات على نظام الغدة الدرقية في الدراسة التي أجريها قد يُفسره التعرض لفترة أقصر و/أو لجرعات أقل من تلك الجرعات

التي استخدمها نويس (2011) وتشين (2012). وقد تم التحقيق في الاختلال المحتمل للغدة الدرقية في الأسماك بواسطة العديد من الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم في أنابيب الاختبار بواسطة مورجادو (2007) الذي توصل إلى نتائج سلبية. وفي هذه الدراسة لم يُظهر الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 ولا الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-206 أي ارتباط في الترانسثيراتين لدى أبراميس البحر. وهو هرمون درقي يرتبط بالبروتين في الدم. وتُشير النتيجة إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 من المحتمل ألا يتدخل في ارتباط الهرمون الدرقي بالتانسثيراتين (السائل المخي النخاعي الحامل لهرمون ثيروكسين الغدة الدرقية).

95- وقد لوحظت أيضاً تأثيرات أخرى سواء مزمنة وحادة في الأسماك عقب تعرضها للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، وفي الدراسة التغذوية الواردة أعلاه من عام 2013 لاحظ نويس زيادة كبيرة في النسبة المئوية للنفوق التراكمي وأيضاً انخفاضاً في مؤشر العدد التناسلية- الجسدية. ولاحظ تشين (2012) انخفاضات كبيرة في وزن الجسم ومعدل البقاء على قيد الحياة ليرقات السمك المخطط التي تعرضت لـ 1.92 مغ/لتر من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 عن طريق الماء لمدة 14 يوماً. ولم تُلاحظ تغييرات ذات بال في أي من الجرعات الأقل للتعرض محل الاختبار (0، 0.08، 0.38 مغ/لتر).

96- واستناداً إلى قياسات عروض الزيادة في حُصَيَات الأذن في الأسماك اليافعة من السمك الأبيض الذي يعيش في البحيرات (الذي يبلغ عمره حوالي 5 أشهر) والذي يتغذى على أطعمة مُطعمعة بالإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (الجرعة المرجعية 0.1، 1، 2 ميكروغرام/غرام/طعام)، وقد توفرت إشارات على أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 قد يؤثر في معدلات النمو في الأسماك عند مستويات مناسبة بيئياً من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 الموجود في الرسوبيات (كوكو 2010، دي ويت 2002).

97- وقام هي (2011) بتوثيق التأثيرات الواقعة على اللياقة الجسمية الكلية، وعلى المؤشرات القياسية للتكاثر والسلوك، وكذلك الأعصاب الحركية، وتطور البناء العضلي للهيكل العظمي وذلك في دراسة سمية مزمنة ذات جرعات منخفضة على الأسماك المخططة. وكان العديد من التأثيرات التي أُبلغ عنها هي (2011) عابرة للأجيال بمعنى أنها لوحظت في ذرية الآباء المعرضين لهذا المركب، وهذا في رأي معد التقرير من شأنه أن يفسر الانتقال الأموي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209. وفي ذكور الأسماك، تأثرت مؤشرات نوعية الحيوانات المنوية بدرجة كبيرة حتى عند أقل جرعة للتعرض (0.001 ميكرومتر أو 0.96 ميكروغرام/لتر).

98- وقد ظهرت سُمية تكاثريّة محتملة للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 أيضاً في أسماك المنوة النادرة (لي 2011) وفي هذه الدراسة، ظهر تناقص خلايا الحيوانات المنوية وإعاققة تكون الحيوانات المنوية في أسماك المنوة النادرة اليافعة المعرضة لـ 10 ميكروغرام من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209/لتر عن طريق الماء. وقد لوحظت التغييرات في التعبير عن هرمونات الغدة الدرقية وتكون الحيوانات المنوية المرتبطة بالجينات في يرقات المنوة النادرة وأفرادها اليافعة عقب التعرض لـ 0.1-10 ميكروغرام من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209/لتر. وبالإضافة إلى ذلك، لوحظت تأثيرات على طول الجسم وعلى مؤشر الجسم والنضج الجنسي لدى الإناث البالغات عند 10 ميكروغرام/لتر، ولكن دون حدوث تغييرات كبيرة في خلايا المبايض عند أي تركيز من التركيزات التي خضعت للاختبار. يضاف إلى ذلك، عدم حدوث أي تغير في النفوق أو في طول جسم اليرقات أو الذكور البالغة.

99- وفي الدراسة الآنفة الذكر، (جارسيا-رييرو 2014) أثر الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 على تعبير المسارات العصبية، وغير من سلوك يرقات السمك المخطط، وإن كان لم يظهر لذلك أثر على وظيفة هرمونات الغدة الدرقية، أو على الأعصاب الحركية وتطور مجموعة الخلايا الحسية المرتبطة بالألياف العصبية. وفي هذه الدراسة تم تعريض الأسماك لرسوبيات مُطعممة بالإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بتركيز قدره 12.5 مغ/كغ. وكانت التركيزات داخل اليرقات المعرضة، والعينة المرجعية من المديبات التي قيست بعد 8 أيام هي 69.6 ± 9.8 نغ/غ بالوزن الرطب و 6.7 ± 0.5 نغ/غ بالوزن الرطب على التوالي.

100- وبالإضافة إلى التأثيرات الأخرى المبلغ عنها عاليه، فقد وجد أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يسبب إجهاداً تأكسدياً في أكباد الأسماك الذهبية. ولوحظ حدوث انخفاض في مستوى مضادات الأكسدة، وفي نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة (الجلوتاثيون بيروكسيداز، والأكسيد الفائق والكاتالاز) من 7-30 يوماً عقب حقنة واحدة داخل الغشاء البريتوني قدرها 10 مغ/كغ (فينغ 2013).

101- وفي العديد من الدراسات الآنفة الذكر التي أُجريت على الأسماك، أُبلغ على أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 تُنزع برومته ليصبح إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم ذات برومة أقل (نويس 2011، 2013، وتشين 2012 ج، وكو 2010، وهي 2011)، وهكذا فإن من الممكن أن تكون المتجانسات من إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم إلى جانب الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 قد أسهمت في التأثيرات المبلغ عنها في هذه الدراسات. واشتملت نواتج نزع البرومة الواردة بالتقارير على إيثرات ثنائي الفينيل خماسي البروم، وسداسي البروم، وسباعي البروم، وثمانى البروم، و تساعي البروم.

102- وموجز القول، إن التركيز الفعال غير الملاحظ للتعرض عبر الماء المبلغ عنه، يبدو أنه أقل من 0.001 مغ/لتر (1 ميكروغرام/لتر) وقد لوحظ في تأخر التحول في البرمائيات. وطبقاً لنويس (2013) فإن المستوى الفعال الأقل ملاحظة هو نحو 3 نغ/غ من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بوزن الجسم/يوم أو 0.41 نغ/غ بالوزن الرطب، ويمكن استخلاص أن الغذاء هو المسبب للتأثيرات الاختلافية لهرمونات الغدة الدرقية والنفوق في الأسماك. وبصفة عامة، فإن بيانات السمية المائية تُشير إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يمكن أن تترتب عليه تأثيرات معاكسة على الأهداف النهائية الحرجة مثل البقاء، والنمو، واللياقة البدنية، والتكاثر، والتطور، والحفاظ على الجسم، وتوازن هرمون الغدة الدرقية والوظيفة العصبية. والأكثر من ذلك، أن البيانات تُضيف إلى القلق بشأن احتمالات التراكم البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 ونزع البرومة في الكائنات داخل البيئة، حيث أنها تُشير إلى أن تراكم الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يمكن أن يؤدي إلى تأثيرات ضارة في مراحل الحياة المعرضة لدى الثدييات، والأسماك والبرمائيات (تشين 2012 أ، هي 2011، ونويس 2011). إن المستويات التي استخدمت في التجارب كانت مماثلة تقريباً للمستويات في المناطق الأكثر تلوثاً (جانغ 2010 أ، ووانغ 2011 ب).

2-4-2 السمية في النباتات وكائنات التربة

103- تتوفر بيانات السمية بالنسبة لكائنات التربة المجهرية، والنباتات وديدان الأرض. إن معظم البيانات المنشورة جديدة ولم تتم مراجعتها في أي من تقييمات وتقديرات المخاطر السابقة (مثل ذلك الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012 أ، ووكالة حماية البيئة البريطانية 2009، ووكالة البيئة الكندية 2006). واستناداً إلى دراسة بشأن سُمية النباتات أجراها (مورش وكروجر، 2001) ودراستين على ديدان الأرض بشأن السمية لمدة 28 و 56 يوماً، أفاد المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية (2002) بأنه لم تُشاهد أى تأثيرات على النباتات

عند تركيزات بلغت 5.349 مغ/كغ بالوزن الجاف. وأنه يمكن أن يُشتق من ذلك تأثير فعال غير ملاحظ يساوي أو يزيد على 4.910 في ديدان الأرض. وتأسيساً على هذه النتائج، وباستخدام عامل تقييم قدره 50 بقيم التركيز البيئي المتوقع بالنسبة لتربة قُدِّرت بـ 98 مغ/كغ بالوزن الجاف و 87 مغ/كغ بالوزن غير الجاف حسب التقديرات.

104- لاحظ زيه (2011) زيادة كبيرة في مستويات شق الهيدروكسيل في ديدان الأرض بمقدار 0.01-10 مغ/كغ من الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 وهو المستوى الداخِل في نطاق المستويات البيئية المبلغ عنها بشأن التربة (سييد 2013). وقد توازى مع هذا التأثير إضرار أوكسيدي بالبروتينات والدهون، ونقص في قدرة مضادات الأكسدة. وفي هذه الدراسة لوحظ الإجهاد الأوكسيدي والإضرار بالدهون المؤكسدة بتركيزات بلغت من الانخفاض 0.01 مغ/كغ (زيه 2011). وفي دراسة صارمة أكثر حداثة بشأن ديدان الأرض أجراها نفس المؤلفين، تم التحقيق في التأثيرات للمؤشرات القياسية على السلوك، والبقاء، والنمو، والتكاثر عقب التعرض للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 بمقدار 0.1 - 100 مغ/كغ لمدة 48 ساعة و 28 يوماً. وباستثناء انخفاض كبير في عدد الديدان اليافعة لكل شرنقة فقست، وتغيرات غير مهمة في رد الفعل التنجني عند 1000 مغ/كغ من الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209، لم يُبلغ عن أي تأثيرات أخرى، مما يُشير إلى أن ديدان الأرض البالغة لديها قدرة على تحمل الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في أنواع التربة ولكن هناك سُمية محتملة بالنسبة لأجنة ديدان الأرض والديدان اليافعة (زيه 2013 ب).

105- وفي شتلات حشائش الشعير المعرضة لـ 100 مغ/كغ من الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 لاحظ زيه (2013 أ) عائقاً قدره 35% لنمو البذور وانخفاض بنسبة 30% في الكلوروفيل ب ومحتويات الكاروتينيد في الأوراق. ولم تلاحظ أي علامات بصرية أخرى، غير أن التعرض للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 أدى إلى كَرْبٍ مؤكسدٍ وتلفٍ، وغيرٍ من نشاط العديد من الإنزيمات المضادة للأكسدة، وقلل من قدرة مضادات الأكسدة غير الإنزيمية عند تركيزات تبدأ من 1 مغ/كغ. ولم يُلاحظ سفيردُزُب (2006) أي تأثيرات على البكتيريا المثبتة للنيتروجين، أو ظهور شتلات البرسيم الأحمر أو بقاء وتكاثر اللافقاريات في تربة مُطعممة بـ 1000 مغ من الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209/كغ وتكهن بأن غياب السمية يمكن أن يكون مرجعه إلى انخفاض الذوبان في الماء للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209.

106- وموجز القول، إن الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209، يبدو أنه غير حاد السمية بالنسبة للنباتات وكائنات التربة، وتُلاحظ تأثيرات عكسية بصفة عامة عند جرعاته المرتفعة (المكتب الأوروبي للمواد الكيميائية 2002، سفردروب 2006، وزيه 2013 أ، ب). ومع ذلك، تُشير البيانات الجديدة إلى أن التأثيرات السمية للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 قد تحدث في بعض الحالات عند جرعات أقل تبلغ (0.01 - 1 مغ من الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209/كغ) عما ظهر من قبل (زوو 2010، وليو 2011، وجانغ 2012، 2013 ج، وزى 2011، 2013 أ)

3-4-2 السمية في الطيور

107- وعلى عكس الحقائق التي أبرزها تشين وهيل (2010)، فإن الطيور تُظهر بعض التركيزات الأعلى من الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 التي أبلغ عنها في الحياة البرية، وقد تُمثل خطر إحداث تأثيرات ضارة (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012 أ)، انظر أيضاً الجدول 5-2 الوثيقة

UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5. ومع ذلك، لم يتوفر إلا عدد محدود من الدراسات التي تتفحص التأثيرات الضارة الناتجة عن التعرض للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 على الطيور.

108- وفي دراسة أجريت على الدردار الذي يبني أعشاشه على مصنع لمعالجة مياه النفايات، وجد أن هناك علاقة إيجابية بين حجم البيض ومستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209، ومع ذلك، لم يتم اكتشاف ارتباط كبير بالنسبة للمؤشرات القياسية للتكاثر مع تركيزات الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 المبلغ عنها (جيلكريست 2014).

109- لاحظ سيفليت (2009) نسبة نفوق تصل إلى 98% في أجنة الدجاج الذي يربى في الأسر الذي يُحقن بجرعة واحدة قدرها 80 ميكروغرام من الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209/للبيضة والمعرضة لمدة 20 يوماً عن طريق كيس المح. وكان نصف الجرعة المميتة المبلغ عنها من هذه الدراسة هو 44 ميكروغرام/بيضة (740 ميكروغرام/للكيلو بالوزن غير الجاف). وقد كشف تقييم أجراه الاتحاد الأوروبي عن أن تركيزات الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 التي توجد عادة في بيوض الطيور غير المستأنسة هي أقل من 2-10 مرات من التركيزات التي تسبب النفوق في رأي ستفليت (2009) (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012). إن التركيزات المبلغ عنها في بيوض الطيور تتراوح عادة بين 1-100 ميكروغرام/كيلوغرام بالوزن غير الجاف، ولكن تصل إلى 420 ميكروغرام/كيلو غرام بالوزن غير الجاف (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012). وعلى الرغم من القيود المهمة على الدراسة، فقد أشار تقييم المخاطر لدى الاتحاد الأوروبي بأن الهامش بين مستويات التعرض في الطيور البرية ومستويات التأثير الملاحظ ليس مرتفعاً، وبخاصة إذا أخذنا في الاعتبار أن ستفليت (2009) لم يراعي التأثيرات شبه المميتة المحتملة، وأن قدرأ إضافياً من الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 يحتمل أن يكون قد تم تمثيله غذائياً في أعقاب الفقس وادمصاص ما تبقى من المح مما أدى إلى زيادة التعرض.

110- وقد لوحظ انخفاض كتلة الجسم في طيور الزرزور الأوروبية بعد تعرضها للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 عن طريق زرع كبسولات سيليكات تحت الجلد (فاندينستين 2007).

111- وتُشير التقارير إلى أن الطيور تستقلب الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 فتحوله إلى إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم أقل برومة، تشمل بعض الملوثات العضوية الثابتة - وإيثرات ثنائية الفينيل عشرية البروم (الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-183) (ليتشر 2014) وكذلك التعرض لإيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم أقل برومة التي ارتبطت بتغيرات مُعدلة للمناعة، وبسُمية في النمو، وغيرت من السلوك التكاثري، وقللت الخصوبة كما قللت من نجاح عمليات التزاوج (وللحصول على نظرة شاملة انظر تشين وهيل 2010، وجليكريست 2014، ولجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 2007). وفي دراسة أُجريت على طيور العاسوق الأمريكية التي تعرضت لإيثرات ثنائية الفينيل-71، وهو مزيج من إيثر ثنائي الفينيل خماسي البروم عند مستويات مناسبة بيئياً في البيض، وكانت مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 الموجودة (أقل من 2.5%) ووجد أنها مرتبطة بزيادة في سلوك ذكور طيور العاسوق في الطيران سواء في فترة المغازلة وكذلك أثناء فترة تربية الصغار في وقت لاحق من حياتها (مارتينسون 2010)، ولم يُبلغ عن تركيزات الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 التي تم قياسها في هذه الدراسة. وتُشير هذه النتائج إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 مثله مثل الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم قد تؤثر في سلوك الطيور وتتماشى مع البحوث بشأن قوارض المختبرات التي تفيد بعض الدراسات فيها بأن الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-

209 يسبب تغييرات في السلوك التلقائي. وللإطلاع على مناقشة شاملة بشأن التأثيرات السلوكية لدى القوارض انظر الفصل 2-4-4 أدناه.

4-4-2 السمية في الثدييات البرية

112- تعرضت الفحوصات بصورة رئيسية لسمية الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم- التجاري بالنسبة للثدييات الأرضية، وبصورة رئيسية في القوارض. وعلى الرغم من الإبلاغ عن العديد من التأثيرات بما في ذلك السمية التكاثرية، فإن البيانات تُشير بصفة خاصة إلى سُمية النمو العصبي، والتأثيرات على نظام هرمونات الغدة الدرقية. وبالإضافة إلى ذلك، تُشير القرائن العلمية المتوفرة إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 وحده أو مع إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم أخرى يمكن أن يعمل كعامل سُمية للنمو العصبي لدى الثدييات البرية والبشر (دينجمانز 2011، وميسير 2010، وكيسينسكي 2012 وكوستا وجوردانو 2011، وهيئة الصحة الكندية 2006، 2012، وجاسكون 2012، وتشاو 2011، وكورتناكامب 2014).

113- إن السمية العصبية في مرحلة النمو هي النقطة الطرفية المحرجة المبلغ عنها بشأن الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم (بلانكو 2013، برانكي 2002، إيركسن 2001، كورياما 2005، رايس 2007، 2009، سوفروف 2009، فيبيرج 2003، 2004، 2007، زينج 2009، زانج 2013، الجدول 6-1 الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5). واقترحت آليات عديدة لآثار السمية العصبية، ومن ذلك إعاقَة توازن الغدة الدرقية، والسمية المباشرة للخلايا العصبية والحذعية، وإعاقَة أنظمة النواقل العصبية (Costa 2014). وقد أفادت التقارير أيضاً بأن السمية العصبية في مرحلة النمو قد أبلغ عنها بالنسبة للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في بعض الدراسات (جوهانسون 2008، وفيبرج 2003، 2007، ورايس 2007، 2009، وفوجيموتو 2011، وهيريديا 2012، وتشن 2014، وريفيرتي 2013، و2014، وبوراتوفيك 2014، ومارياني 2014)، ولا آخرين غيره (بيزيمير 2011). وأبلغ مارياني (2014) عن آثار تطورية عصبية للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في الفئران عند جرعات ذات صلة بالنساء الحوامل. وأبلغ أيضاً عن تأثيرات عصبية سلوكية للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في القوارض أثناء النمو إلى مرحلة البلوغ (بوراتفوك 2014، وهيريديا 2012، وتشين 2014، وريفيرتي 2013، 2014). فمثلاً، لوحظت تأثيرات طويلة الأجل في تعلم الأماكن وتذكرها في الفئران الصغيرة المتحولة جينياً عقب التعرض للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 بعد ولادتها، وانخفاض مستويات القلق وتأخر التعلم في مهام الذاكرة المكانية وذلك في الأنواع الوحشية من الفئران (ريفيرت 2013، وهيريديا 2012). وفي دراسة أخرى تم إعطاء جرعة وحيدة من الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 فموياً في اليوم العاشر بعد الولادة ولوحظ أنه يسبب تأثيرات طويلة الأجل على التعلم العاطفي وعلى مستويات هرمونات الغدة الدرقية في الفئران الصغيرة التي تحمل نسختين من صميم البروتين الشحمي هاء هاء 2 هاء 3 (apoE2, E3) (ريفيرت 2014). يُضاف إلى ذلك، أن تشين (2014) ابلغ عن أن التعرض للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 قبل الولادة في الفئران الكبيرة أعاق تحصيل التعلم بصورة تتناسب مع الجرعة، وأشارت بيانات أنابيب الاختبار إلى أن هذا العائق في تحصيل التعلم لدى الفئران الكبيرة هو قد يكون مرتبطاً بالتأثيرات على التكون العصبي للمخ.

114- استخدمت أغلبية دراسات النمو التي تَسْتَعِدَم الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 بالتناول الفموي، ولكن لم يتم تصميم إلا القليل منها طبقاً للخط الإرشادي 426 لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي "دراسات السمية العصبية للنمو" (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي 2007). وفي الفئران الصغيرة والكبيرة التي أُعطيت جرعة وحيدة من الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 أثناء "فترة

نمو المخ“ وهي فترة لاحظ فيها فيبيرج (2003، 2007) وجوهانسون (2008) حدوث تغييرات متسقة وثابتة في السلوك، والتعود والذاكرة. وقد لاحظ باحثون آخرون (أمثال هاردي 2008، 2009، وجودمان 2009، ووليم وديسيسو 2010) وجود قيود تتعلق بالدراسات السابقة، خصوصاً لعدم استخدام مواليد البطن الواحدة كأساس للتقييم الإحصائي. وعلى الرغم من ذلك، استخدمت وكالة حماية البيئة الأمريكية دراسات من إيركسون وفيرج عند اشتقاقها لجرعات مرجعية فموية من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (على نحو ما استعرضته وكالة حماية البيئة الأمريكية 2008). وفي دراسة أجراها راييس (2007) لم تُظهر أي انخفاض مطرد في النشاط الحركي مع مرور الوقت في الفئران الصغيرة، ومع ذلك أظهرت الدراسة التنبؤية حالات عجز سلوكية عصبية طويلة الأمد، وذلك عند اختبارها عند بلوغها 16 شهراً من العمر (رايس 2009). وبصورة مماثلة للنتائج التي توصل إليها فيبيرج (2003، 2007) وجوهانسون (2008)، بدا أن التأثيرات السلوكية الناتجة عن التعرض النموي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يزداد سوءاً مع التقدم في السن، أما البراهين الإضافية على التأثيرات الخاصة بالنمو العصبي الناتجة عن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 فيتم الحصول عليها من العديد من المطبوعات التي تُشير إلى أن الإثارات الثنائية الفينيل المتعددة البروم تؤثر في الجهاز المنبه أو المنشط بالكولين في كل من أمخاخ الفئران الصغيرة والكبيرة، الأمر الذي يؤدي إلى تشويش الإدراك المعرفي (التعليم والذاكرة) (فيشر 2008أ، فيبيرج 2003، 2007، ليانج 2010، وبورتوفيك 2014). وفي دعم آخر للنتائج التي تُشير إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يمكن أن يسبب سُمية عصبية للشذيات، دلت فوجيموتو (2011) على أن التعرض للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 أسفر عن انخفاض في الترابطات العصبية بين الجزء الأيسر والجزء الأيمن من المخ (منطقة الجسم الثفني) وأنه أحدث نقصاً في النمو التنسجي لا يمكن إصلاحه في المادة البيضاء بالمخ وهو يستهدف الخلايا قليلة التغصن في الفئران الكبيرة. وقد صاحب هذا التأثير نقص في نمو الغدة الدرقية. وعلى النقيض من ذلك، لم يُبلغ عن أي علامات سريرية أو تغييرات في السلوك العصبي كرد الفعل الانزعاجي، أو السلوك التعليمي عند أي مستوى من الجرعات، بيزمير (2011)، حيث تم تقييم النشاط والسلوك الحركيين بعد تعريض الفئران الكبيرة للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 على فترات متباعدة قدرها شهران، وأربعة أشهر، وستة أشهر من العمر. ومع ذلك، فإن دراسة بيزمير، قد تم تقييمها منذ ذلك الحين تقييماً نقدياً من جانب شيبوتاني (2011) الذي لاحظ نحو قياس التأثيرات ذات الصلة بالغدة الدرقية، والمؤشرات القياسية الخلوية المرضية على الهجرة العصبية وعلى نمو الخلايا قليلة التغصن، وكذلك المناقشات المتعلقة بحالات الانخفاض الكبير في ارتفاع نصف المخ والانخفاض في الكثافة الرأسية للحجر المخي والقشرة المخية. وقد نوقشت دراسة بيزمير أيضاً في تقرير هيئة الصحة الكندية (2012)، حيث أُقترح تخفيض قيم أدنى تأثير ضار ملحوظ، ومستوى انعدام الأثر الملحوظ، بدلاً من القيمة المبلغ عنها في الدراسة الأصلية.

115- وتمشياً مع النتائج التي توصل إليها تشين (2014)، تُبين دراسات أخرى أن الإيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-209 يمكن أن يُحدث تأثيرات سمية مباشرة على الخلايا العصبية (راجع دنجمانز 2011، الجدول 6-2 في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5، ولجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة) كما أنه يتدخل في الإشارات العصبية والتطور العصبي ويسبب كرباً مُؤكسداً وموتاً تدريجياً للخلايا (تشين 2010ب، وهوانج 2010ب، ليانج 2010، الموسى ميشيلانجلي 2012، وهيندريكس 2012. ليانج 2010، وزينج 2010، ومارياني 2014). وهي تأثيرات قد تؤدي إلى السمية العصبية وتتداخل مع التعليم والذاكرة عن طريق التأثير على تعاضد القدرات المجمعة في الأمد الطويل، كما أثبت ذلك فيبيرج (2008) وزينج (2009).

وهناك دلائل أخرى تُشير إلى أن الإيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-209 يسبب تغييرات في تعبير الجينات، ومستويات البروتين الخلوي البيئي، وتشوش تكون مشابك النواقل العصبية والتميز بين الخلايا (باكنيك) 2007، وفيبيرغ 2008، 2009، وجانج 2010، وسونغ 2013، ومارياني 2014).

116- وبالإضافة إلى التأثيرات السمية العصبية فإن البيانات المتوفرة تُشير إلى الإيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-209 وإلى الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الأقل برومة كعوامل اختلال محتملة للغدد الصماء. وتشابه الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم من الناحية البنوية مع هرمونات الغدة الدرقية، كما أنها، كما أُشير من قبل، تؤثر على نظام الهرمونات الدرقية (TH: T4, T3) إلى جانب التأثيرات السمية الأكثر مباشرة التي سبق ذكرها على الغدد العصبية والتي يُنظر إليها كآليات كامنة للسمية العصبية الناتجة عن الإيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-209 وعن الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم (أحمد 2008، وجلبارت 2012، ودينجمانز 2011). في المختبر (هامرز 2006، وإبهازيو 2011، ورن 2013) وفي الدراسات على الكائنات الحية التي تقيّم تأثيرات هرمون الغدة الدرقية/الهرمون المنشط للغدة الدرقية نتيجة لاستعمال الإيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-209 (انظر الجدول 6-3، والوثيقة UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5) وتبين هذه الدراسات أن الإيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-209 والإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الأخرى تتداخل مع جهاز هرمونات الغدة الدرقية غير أن النتائج التي تحدث على مزاج الإيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-209 أو الإيثرات الثنائية الفينيل العشارية البروم- التجارية غير متساوقة، من حيث أن التأثيرات هي التي تُلاحظ. فمثلاً بينما تفيد معظم الدراسات الحيوانية بانخفاض تركيزات مستويات مصلى الدرقية بعد مرات التعرض المرتفع للإيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-209 (لي 2010، وتشى 2011، وفوجيموتو 2011). ولا تُفيد بحدوث أى تغيرات (وانج 2010، وجو 2001)، وزيادة في مستويات تركيزات مصلى الدرقية T3 (فاندرن 2008، وانغ 2011 ج). وبالنسبة لتركيزات مصلى الدرقية T4، تُفيد الدراسات الحيوانية بحدوث انخفاضات في مستويات تركيزات مصلى الدرقية T4 عند تناول الجرعات العليا (رايس 2007، وكيم 2009، وتشى 2011، وفوجيموتو 2011) وكذلك عدم حدوث أى تغير في مستوى تركيزات مصلى الدرقية T4 (تسينج 2008، وفانديرفن 2008، ووانغ 2010، ووانج 2011 ج، ولي 2010، وجو 2001) وبالنسبة لهرمون تحفيز الغدة الدرقية (TSH) فتتفيد دراسات على الحيوان أجريتا على استخدام الإيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-209 (كيم 2009، ولي 2010) بزيادة مستويات الهرمون المحفز للغدة الدرقية عند أعلى حالات التعرض للإيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-209، بينما لم تفد الدراسة بحدوث أى تأثيرات على الفئران البالغة التي قُدِّمت لها جرعات من الإيثرات الثنائية الفينيل العشارية البروم- التجارية المزيج DE83 بجرعات تصل إلى 0.3 - 300 مغ/كغ/يوم لمدة 4 أيام. وقد أحدثت تقديم جرعات تغذية متكررة من الإيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-209 (بجرعات كبيرة) نقصاً في التنسج في الخلايا الجرابية للغدة الدرقية في الفئران الصغيرة، وليست في إناتها أو في أى من ذكور أو إناث الفئران الكبيرة (دراسات السمية والتسرطن بأوكسيد ثنائي الفينيل متعدد البروم (1986)). وقد استعملت الدراسات التي تُبلغ عن حدوث تغيرات كبيرة في مستويات هرمونات الغدة الدرقية/الهرمونات المحفزة لدى الفئران الكبيرة والصغيرة غالباً الإيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-209 بجرعات تزيد عن جرعات حالات التعرض البشرية. ومع ذلك، أشارت الدراسات التي أُجريت على ذريات القوارض إلى أن انخفاض جرعات الإيثر ثنائي الفينيل عشاري البروم-209 قد تُضر بنمو العضو الدرقي (كيم 2009، لي 2010، وفوجيموتو 2011). وقد خلص التقرير الأخير المشترك بين منظمة الصحة العلمية - وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة إلى أن عوامل اختلال الغدد الصماء يمكن أن يسبب

تأثيرات ضارة عند المستويات البيئية المنخفضة وقد تُظهر استجابات غير متماثلة للجرعات، وأن الحد من التعرض يمكن أن يكون، أكثر حرجية من مستوى التعرض. وهكذا فإن عدم الاتساق الملاحظ في التأثيرات المبلغ عنها بشأن هرمون الغدة الدرقية والهرمونات المحفزة للغدة الدرقية ربما قد تفسر على الأقل جزئياً بأنها نتيجة للاختلافات في ظروف إجراء التجارب المستخدمة في هذه الدراسات.

117- وتُشير الدراسات إلى أن التعرض داخل الرحم للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 بجرعات أبوية مرتفعة قد تسبب سمية تناسلية، وتؤدي إلى شذوذ في النمو مثل انكماش المسافة بين فتحة الشرج والأعضاء التناسلية وتغييرات مرضية في خلايا الخصيتين، وشذوذ رؤوس الحيوانات المنوية، وإتلاف دنا كروماتين الحيوانات المنوية (تسينغ 2006، 2013، وفانديرفن 2008). وقد أُبلغ أيضاً عن تأثيرات متعلقة بنمو الخصيتين بعد التعرض خلال 1-5 أيام التالية للولادة بكميات منخفضة (ميازو 2012) وإن انخفاض الجرعات المبلغ عنها (0.025 مغ/كغ تحت الجلد) اشتملت على انخفاض في وزن الخصيتين، وفي عدد الحيوانات المنوية وفي استئطالة جسم الأرومة النطفية، وأعداد خلايا السيرتولي، وكذلك تغييرات في تعبير البروتين وحالة الأسترة الفسفورية. كذلك لا يمكن الاستبعاد تماماً لإمكانات تضمين الاستروتيدات الجنسية لدى الذكر (فانديرفن 2008) والأنثى (هامرز 2006، جريجورازوك 2008). إن الجهاز التناسلي لا يمكن استبعاده كلية. وعلى النقيض من ذلك، لم تُلاحظ أي سمية تكاثرية لدى إناث فئران سبراغ-دولي الحوامل التي تعرضت للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 منذ يوم الحمل 0-19 يوماً (هاردي 2002). وبالمثل، أفاد إيرنست (2012) بأن مزيجاً يتألف من ثلاثة إيثرات ثنائية الفينيل عشارية البروم-تجارية (52.1% وثنائية الفينيل-71، 0.4% ثنائية الفينيل-79، و44.2% للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209) قد أثرت على الكبد وفسولوجية الغدة الدرقية ولكن لم تؤثر على المؤشرات القياسية التناسلية لدى الذكر من بين الفئران التي تعرضت لهذه المواد. ومع ذلك، ففي إناث الفئران الصغيرة انخفض نشاط الغدد الكظرية في رزن تجميع منقوص هيدروابي الأندروستروم وقد لوحظ ذلك مما يُشير إلى انخفاض نشاط إنزيم السيستوكروم P450c17 والتأثيرات المحتملة على إنتاج هرمون الاسترويد (فانديرفن 2008). يضاف إلى ذلك، أن الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 يمكن أن يعوق الإنزيم الأثوي الاسترايول-سالفوترانسفراز في أنابيب الاختبار (همرز 2006)، الأمر الذي يمكن أن ينطوي على زيادة (موضعية) داخلية المنشأ في الاسترايول في الحيوانات الحية. وفي دراسة أخرى في أنابيب الاختبار، وجد جريجورازوك (2008) أن التعرض للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 قد أدى إلى زيادة إفراز التوستيستيرون والبروجيستيرون والاسترايول في مبايض الفئران البري، وهي نتيجة تُشير إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 يمكن أن يُحدث انبثاق البيضة من جريبات غراف قبل موعدها (اللوتينية السابقة لموعدها) ويتلوها اختلال التبييض.

118- وقد أُبلغ عن كربٍ مؤكسدٍ، واختلال في توازن الغلوكوز لدى الفئران التي تعرضت للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209. فقد لوحظ زيادة السكر أثناء الصيام المتعلق بالجرعة في الفئران البالغة بعد تعرضها للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 (0.05 مغ/كغ) لمدة ثمانية أسابيع (جانغ 2013هـ) ولوحظ انخفاض مستويات الأنسولين وارتفاع مستويات عامل النخر التورمي- في البلازما، وتلاها انخفاض في كواشف الكرب التاكسدي وهي الغلوتاتيون وديسموتاز الأوكسيد الفائق. ولوحظت تغييرات مرفولوجية تعتمد على الجرعة مثل عدم وضوح الحدود بين خلايا العنقود الخلوي البنكرياسي (جانغ 2013هـ). ومع ذلك، لاحظ فانديرفن (2008) التهاب خلايا الأنسولين لدى ذكور الفئران وذلك في دراسة تُعرضُ دامت 28 يوماً، ومع ذلك فلم تُلاحظ أي اختلافات بين المجموعات التي تعرضت لهذا التركيب الكيميائي. وتُشير

التأثيرات التي لوحظت على توازن الغلوكوز/ومستويات الأنسولين، الشبيهه بالآثار التي أبلغت عن تأثيرات تُظم الاستروئيد وهرمونات الغدة الدرقية، إلى القدرة على إحداث الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 للخلل في الغدد الصماء.

119- وقد أبلغت بعض الدراسات عن وجود آثار سمية لجهاز المناعة ناتجة عن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (تيشيما 2008، وتناي 2008، 2010، وزينغ 2014)، وعلى الرغم من أن السمية المناعية لا يُنظر إليها على أنها النتيجة النهائية السمية الحرجة لإيثرات ثنائي الفينيل متعددة البروم بصفة عامة. ودلت معظم الدراسات التي أجريت أخيراً على أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يمكن أن يحدث السمية المناعية، فقد لوحظ انخفاض الاستجابة النوعية والكمية للغليكوبروتين المميز بين الخلايا (CD8-T cells) في الفئران الصغيرة عقب فترة تعرض طويلة الأجل للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (زينغ 2014). وعلى النقيض من هذه الدراسات، لم يُبلغ ديرفين (2008) عن أى تأثيرات سمية لجهاز المناعة للخلايا المحفزة في الفئران الكبيرة.

120- ويُشار إلى أن الطفرات الجينية لا تحدث عقب التعرض للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 أو للإيثرات ثنائي الفينيل متعددة البروم الأخرى (اندرسون 1990، وفريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية 2011، وهيئة الصحة الكندية 2012، والمركز الياباني للصناعات الكيميائية والإيكولوجية والسمية 2000، كيركلاند 2005، برنامج السمية الوطني 1986)، وعلى الرغم من أن الدراسات الأخيرة قد أشارت إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 قد يسبب تلفاً للدنا عن طريق استحثاث كرب مؤكسد داخل أنابيب الاختبار (جي 2011، وتسينغ 2011). فإن هناك دلائل محدودة على الآثار المسرطنة للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في حيوانات التجارب (فريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية 2011، وهيئة الصحة الكندية 2012). وطبقاً لتقرير برنامج السموم الوطني (1986) تتوفر بعض الأدلة على أن ارتفاع مستويات الجرعة يسبب زيادة في سرطان الكبد لدى الفئران الكبيرة والسرطان في الفئران الصغيرة، ولكن هذا يمكن أن يكون ذا علاقة بطريقة العمل الثانوية (فريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية 2011).

5-4-2 السمية للإنسان

121- قام عدد من الدراسات بتقييم مخاطر الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 وإيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم الأخرى على الإنسان. وكان مناط التركيز الأولي على تقييم مخاطر السمية العصبية النموية، والتي تعتبر بصفة عامة أكثر التأثيرات حرجة لدى الثدييات.

122- إن الملاحظة التي تفيد، على نحو ما اتضح في القسم 2-3-4 بأن التعرض يحدث أثناء مراحل التطور الأولى من نمو الإنسان أى داخل الرحم عن طريق الانتقال عبر المشيمة، وبعد الولادة عن طريق لبن الأم (غومارا 2007، وكواشيرو 2008، ووو 2010، وميلر 2012، ومانتج 2013، وكواكلي 2013)، وهو ما يدعم الفكرة القائلة بأن السمية العصبية النموية التي لوحظت في نماذج الثدييات لها تداعيات أيضاً على بني البشر. وثمة بيانات وبائية تدعم خطر التداعيات على صحة الإنسان. وعلى الرغم من وجود عدد محدود من الأفراد والدراسات، فقد ظهر ارتباط بين مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في اللبأ وانخفاض درجات النمو العقلي لدى الأطفال من 12-18 شهراً من العمر (غاسكون 2012)، كما أن التعرض الأبوي أو اللاحق على الولادة للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يؤخر القدرات الإدراكية،

وربما يؤثر على التطور العصبي (تشاو 2011). يضاف إلى ذلك، أن العديد من الدراسات الوبائية تدعم حقيقة أن التعرض للإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم قد تسفر عن سمية النمو العصبي لدى الإنسان (هارلي 2011، وهوفمان 2012، وهيربستمان 2008، وشيفرير 2010، 2011 وغاسكون 2011، وروز 2009، واسكينازي 2013، وشريبر 2010). وقد لاحظت بعض الدراسات التي أُجريت على الإنسان وجود ارتباطات بين مستويات هرمون الغدة الدرقية - والهرمون المحفز للغدة الدرقية، كما لاحظت التعرض للإثير الثنائي الفينيل العشري البروم-209 أو لمتجانسات عليها أخرى مثل ثنائي الفينيل عشري البروم ≤ 183 (هوانغ 2014، ذوتا 2011، وانج 2010ج، انظر الجدول 4-6 UNEP/POPS/POPRC.10/INF/5).

123- أشار وصف المخاطر وتقييم المخاطر المفترضة، والجرعة- الاستجابة للإثير الثنائي الفينيل العشري البروم-209 إلى أن المتحصل اليومي من الإثير الثنائي الفينيل العشري البروم-209 في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا ليس من المحتمل أن يؤدي إلى سمية عصبية أثناء النمو للأطفال الصغار (هيئة صحة كندا 2012، وكالة حماية البيئة الأمريكية 2008، 2010). وقد خلص فريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية أيضاً إلى أن التعرض الغذائي الحالي أو المتحصل من الإثير الثنائي الفينيل العشري البروم-209 بالنسبة للرضع من الثدي لا يمثل قلقاً لدى الاتحاد الأوروبي (فريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية 2011). ومن بين الإثيرات الأربعة من الإثيرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم (إثير ثنائي الفينيل -47، إثير ثنائي الفينيل -99، إثير ثنائي الفينيل -153 وإثير ثنائي الفينيل -209) التي فحصها فريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية، ولم يتم تحديد إلا هواجس صحية محتملة تتعلق بالتعرض الغذائي الحالي للإثير الثنائي الفينيل -99 (فريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية 2011). وثمة تقييم مخاطر أُجري أخيراً للإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم استند إلى التعرض الفموي، والجلدي، والاستنشاق لدى الأطفال من 0-5 سنوات من العمر، وهو يُشير إلى عدم وجود مخاطر صحية ضارة لدى الأطفال الصغار المبتئين في مقاعد السيارات (فاولز ومارغوت 2013). ومع ذلك، لا تبحث عمليات التقييم هذه مسألة أن تقوم الإثيرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم بالعمل المتوافق مع بعضها البعض، مما يؤدي إلى حدوث تأثيرات إضافية أو تآزرية كما تُشير إلى ذلك البيانات المتوفرة من أنابيب الاختبار، أو أنه قد يكون هناك مصادر متعددة للتعرض (مثل بلاكاني 2012، تجليافي 2010، لاجباني 2010، كارييتا وجريجزوزنوك 2010، وهالكجرين ودارنبرود 2002، وهي 2009).

6-4-2 سُمية المزائج والآثار المُجمعة لعوامل الكرب المتعددة

124- يتأثر، في داخل البيئة، التعرض والاستجابة للمركبات السمية، وكذلك احتمالات حدوث تأثيرات ضارة، بعدد من العوامل بالإضافة إلى الخصائص الذاتية للمركب. وتشمل مثل هذه التأثيرات درجة الحرارة البيئية، والملوحة، ودرجة الحموضة، والحالة الفسيولوجية للكائنات، والعمليات السمية الحركية، وشبكة الأغذية أو البناء التغذوي، والانتقال البيئي، والتفرق، وآليات الانتقال والترسيب (وللحصول على نظرة عامة انظر ليتشر 2010، وسكيدك 2007، وبرنامج رصد وتقييم المنطقة القطبية الشمالية 2011، ولجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 2013ب). وقد يترتب على تأثير تغير المناخ على النظم الإيكولوجية تأثير ينعكس على العديد من هذه العوامل والمواد الكيميائية الخطرة، وأن يؤثر في قدرة الكائنات على التكيف مع تغييرات المناخ وتحمل بيئاتها المادية (وبرنامج رصد وتقييم المنطقة القطبية الشمالية 2003، ولجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 2013ب، واليونيب/برنامج رصد وتقييم المنطقة القطبية الشمالية 2011، وبرنامج الملوثات الشامل 2013). وبالإضافة إلى ذلك، فإن الحياة البرية وبني الإنسان لا يتعرضون فقط عادة للإثير الثنائي الفينيل

العشاري البروم-209 وحده وإنما إلى مزيج من العديد من إثارات ثنائي الفينيل متعددة البروم وكذلك الملوثات العضوية الثابتة الأخرى (دي ويت 2006، 2010، كورتنكامب 2014، فريق الخبراء التابع للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية 2011، وبرنامج الملوثات الشمالي 2013). وهكذا فعند بحث احتمالات حدوث تأثيرات ضارة على البشر والحياة البرية ينبغي أخذ جميع هذه العوامل في الحسبان، ويمكن تقسيم أسباب إضافية للقلق.

125- على الرغم من أن سمية مزيج الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 والإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الأخرى لم تُدرس دراسة تجريبية على نطاق واسع، فقد لوحظ أن اجتماع (إيثر ثنائي الفينيل -47، وإيثر ثنائي الفينيل -99) يحدث على حدوث تأثيرات متآزرة لتسمم الخلايا العصبية (تجريفري 2010). وبالإضافة إلى ذلك، فإن مزيجاً من متجانسات الإيثر ثنائي الفينيل متعددة البروم (إيثر ثنائي الفينيل -47، -99، -100، -209) على مستويات مكتشفة في دم الإنسان لها تأثيرات لا يمكن إصلاحها على إفراز الخلايا في جرابات المبايض (كربتا 2010). وتُشير النتائج المأخوذة من هذه النتائج إلى أن الآثار التجميعية للإيثرات ثنائي الفينيل متعددة البروم قد تكون أكبر بكثير مما يُشير إليها مجموع تأثيرات المتجانسات لكل واحد منها على حدة. إن وجود ملوثات عضوية ثابتة أخرى قد تؤثر أيضاً في سمية الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم. وفي دراسة على مزائج ثنائية من ثنائيات الفينيل متعدد الكلور وإيثرات ثنائي الفينيل متعدد البروم (الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-47، الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-153، الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-183، أو 209)، داخل أنابيب الاختبار، اكتشف لوجابلاجاني (2010) أن ثنائي الفينيل متعدد الكلور -126 وإيثرات ثنائي الفينيل متعددة البروم يمكن بصورة متبادلة أن تعوق بعضها البعض، بينما ثنائي الفينيل متعدد الكلور -153 والإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم يمكنها معاً أن تزيد من حدة التغييرات الكيميائية البيولوجية الملاحظة. وتُعتبر الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم من العوامل المحتملة المخجلة بالغدد الصماء، والتي يمكن أن تعمل بصورة إضافية بتركيزات منخفضة يوينب/منظمة الصحة العالمية (2013).

126- قدم كورتنكامب (2014) مؤشرات أخرى لسمية المزائج المحتملة بين إيثرات ثنائي الفينيل المتعدد البروم وقيم احتمال ونوع التأثيرات المجمع بين الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 والإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم على بني البشر وعلى الحياة البرية وذلك استناداً إلى استخدام نهج مؤشر المخاطر. إن الأساليب العامة للعمل لم تحدد بعد بشكل كامل، إلا أن النتائج الضارة المشتركة حُددت. وتوصلت الدراسة إلى أنه يمكن توقع أن يُنتج الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 والإيثرات الأخرى الثنائية الفينيل المتعددة البروم سُمية عصبية للنمو بصورة مُجمعة لدى كل من الإنسان والحياة البرية (كورتنكامب 2014). وبالنسبة للإنسان، تبين الدراسة أنه مع الأخذ في الاعتبار التعرض المجمع للإيثرات ثنائية الفينيل المتعددة البروم، فإن التعرضات المجمع المحتملة تكون قد تم تجاوزها بالنسبة لجميع الفئات العمرية، وبصفة خاصة بالنسبة للأطفال الصغار. وعلى الرغم من أن مُعدي هذه الدراسات يُشيرون إلى أن من الضروري إجراء المزيد من البحوث، فإن تقييم مزيج المخاطر يُشير إلى عملية التعرض المجمع للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 ولإيثرات ثنائية الفينيل المتعددة البروم الأخرى التي تمثل هواجس على الصحة لا يُستهان بها، وبخاصة بالنسبة للأطفال الصغار عمر 6 أشهر إلى ثلاث سنوات، الذين يحملون أعلى تعرض للإيثرات ثنائية الفينيل المتعددة البروم من بين جميع الفئات العمرية. وتُشير الدراسة كذلك إلى مخاطر التعرض المجمع للإيثرات ثنائية الفينيل المتعددة البروم على الحياة البرية، بما في ذلك المفترسات الرئيسية في القطب الشمالي مثل الدب القطبي. وبالنسبة للإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الأخرى، وُجدَ أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 لا يُسهم مساهمة كبيرة في المخاطر الكلية التي تقع على الحياة البرية. وبصفة عامة، تكشف الدراسة عن أن بحث الإيثر الثنائي

الفينيل العشاري البروم-209 وحده بمعزل ودون مراعاة للتعرض المشترك للإثيرات ثنائية الفينيل المتعددة البروم الأخرى، من شأنه أن يقلل من قيمة الخطر. وقد أُشير إلى قلق مماثل بواسطة فيلانجر (2011أ، ب، 2013) الذي بين أن مزائج الملوثات الهالوجينية العضوية بما في ذلك العديد من الإثيرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم مثل (ثنائي الفينيل عشاري البروم-28، -47، -99، -100 و-153) قد تؤثر على توازن الغدة الدرقية لدى الثدييات البحرية في القطب الشمالي. وعلى الرغم من أنه لم يتم تقييم تأثير الإثير الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في هذه الدراسات، ولم يُبلغ إلا عن ارتباطات فقط، فإن دراسة شبيهه بنتائج كورتكمب (2014) تُشير المواجه من أن الإثيرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم نتيجة لطريقة عمل مماثلة قد تعمل معاً وتُثير تأثيرات سمية ضارة، ومن ثم تمثل تهديداً للمفترسات العليا البحرية في القطب الشمالي والحياة البرية الأخرى.

127- وتُشير الدراسات المتاحة الأخرى أيضاً، إلى وجود خطر على الطيور ينتج من التعرض لمجموعة من الإثيرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم المختلفة والملوثات البيئية الأخرى. وفي دراسة ميدانية أجراها بلورد (2013) لاحظ أن تراكيزات متجانسات الإثير الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 وسداسية البروم، وسباعية البروم، وثمانية البروم أيضاً (إثير الثنائي الفينيل العشاري البروم-154، -183، -201، -209) في الكبد والإثير الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في بلازما ذكور النوارس ذات المناقير الحمراء التي تعيش في منطقة مونتريال الحضرية وجد أن لديها ترابطاً سلبياً مع كثافة العناصر المعدنية في الأسطح الداخلية والخارجية للعظام في المجموعة المفصليّة للأرجل. وتُشير هذه النتيجة إلى أن الإثيرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم بالمستويات المبلغ عنها في هذه الطيور (أي الإثير الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الكبد = 2.74-283 نغ/غ بالوزن الرطب والإثيرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم 26.2-680 نغ/غ بالوزن الرطب، والإثير الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في البلازما = 0.70-19.1 نغ/غ بالوزن الرطب والإثيرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم 3.55 - 89.2 نغ/غ بالوزن الرطب) يمكن أن تؤثر سلبياً في شكل أنسجة العظام وفي الأيض في الطيور. وفي دراسة أخرى، تم افتراض أن التأثيرات المجمعّة للعديد من مبيدات الآفات الكلورية العضوية، وثنائية الفينيل متعددة الكلور، والإثيرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم بما في ذلك الإثير الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 والعديد من الإثيرات الثنائية الفينيل التساعية البروم قد أسهمت في نفوق أو إضعاف أفراد من نوارس الغلوكوس في مواسم التكاثر 2003-2005 في بجرنويا في بحر بارينتس (ساحر 2009). ومع ذلك، كان الإثير الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 هو المركب الوحيد الذي اكتُشف بتركيزات منخفضة جداً في الكبد والمخ (أقل من الحد الأدنى للاكتشاف -2.6 وأقل من الحد الأدنى للاكتشاف -0.01 ميكروغرام/غرام دهون، في الكبد والمخ على التوالي)، إلى جانب الإثيرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم والملوثات العضوية الثابتة والرثيق، وفيما يتعلق بالدراسة التي أجراها بلورد (2013) والتي أظهرت وجود تأثيرات على أنسجة العظام، فإنه مما يجدر ملاحظته أن طيور العاسوق الشائعة في المناطق الحضرية بالصين قد أُفيد بأن لديها تراكيزات متوسطة بالكبد قدرها 2870 ± 1040 نغ/غ بالوزن الحي من الإثير الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (تشرين 2007) ومستويات تتراوح من 4.46 إلى 1710 نغ/غ بالوزن الحي حيث أُبلغ عنها في طيور الزرزور المنزلية من هيلجلاند، وهي موقع نائي/ريف في النرويج (سيزيلسكي 2008). ومع ذلك، وحيث أن هذه الدراسات تُبّغ عن تركيز الإثير الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 على أساس نغ/غ بالوزن الحي فلا يمكن مقارنتها مباشرة بالنتائج التي توصل إليها بلورد (2013) الذي أُبلغ عن تركيزات الإثير الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 ب نغ/غ بالوزن الرطب.

128 - وثمة هواجس إضافية تتعلق بتأثيرات عوامل الكرب المتعددة، أى التأثيرات الممكنة المجمعّة بين المواد الكيميائية السمية والعوامل الأخرى. إذ يمكن لنقص اليود، وهى حالة شائعة في العالم بأجمع (راجع ووك 2007)، يمكن أن تزيد من الحساسية للتأثيرات الضارة التي تنتج عن المواد الكيميائية المخلة بالغدة الدرقية مثل الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (انظر دينجمانز 2011). ثانياً أن حالات التعرض للمواد الكيميائية التي تؤدي إلى اختلال الغدة الدرقية، بما في ذلك الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 والإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الأخرى قد تضر أيضاً بقدرة الفقاريات على الاستجابة المناسبة لتأثيرات التغير المناخي في بيئتها (هوبر 2013، لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 2013 ب). ثالثاً، أن تغير المناخ وارتفاع درجات الحرارة قد تزيد من التحلل، ومن الانتقال البيئي البعيد المدى للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 2013 ب، والفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ 2007، برنامج الملوثات الشمالي 2013، وذو 2011، وكريستنسن 2014).

3 - تجميع المعلومات

129 - مافتى الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري يُنتج ويُستخدم كمثبط للهلب لدى الكثير من البلدان. والإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 هو العنصر الرئيسي في الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري الواسع الانتشار في البيئة العالمية بما في ذلك الحيوانات. وتقدم بيانات الرصد دلائل على الانبعاثات البيئية من طائفة واسعة من المصادر، وكذلك انتقاله البعيد المدى البيئي عبر مسافات طويلة.

130 - كشف العديد من الدراسات عن مقاومة التحلل المرتفع للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في التربة والرسوبيات. كما أن أنصاف العمر المبلغ عنها في الرسوبيات والتربة مرتفعة وتراوح بين أكثر من 180 يوماً إلى خمسين سنة، تبعاً للأحوال البيئية.

131 - وعلى الرغم من مقاومة تحلل الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في التربة، والرسوبيات والهواء، فإنه من المعروف أن تُنتزع برومته ليتحول إلى إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم أقل برومة في البيئة وفي الحيوانات. وقد أُشير إلى نزع البروم على أنها مثار قدر أكبر من القلق في عدد من التقييمات لأن بعض الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الأكثر برومة تتكون، بل ومعروف عنها أنها أكثر تراكمياً بيولوجياً، وسمية ومقاومة للتحلل وتميل بدرجة كبيرة إلى الانتقال البعيد المدى داخل البيئة بدرجة أعلى من الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الكاملة البرومة. كما أن بعض الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم مُدرجة أيضاً في قائمة الملوثات العضوية الثابتة. وقد دلت الدراسات على حدوث نزع البروم في الحيوانات وفي المصفوفات البيئية. وقد تم تحديد العديد من متجانسات الإيثر ثنائي الفينيل المتعددة البروم التي لا تشكل جزءاً من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم، وتعتبر أنها تقوم دليلاً على حدوث نزع البرومة. إن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري والإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 هما أيضاً مصدرًا للديوكسينات ثنائية البنزين-ب متعددة البروم والفورانات ثنائية البنزين متعددة البروم وسداسي برومو البنزين. وتوجد الديوكسينات ثنائية البنزين-ب متعددة البروم، والفورانات ثنائية البنزين متعددة البروم، وسداسي برومو البنزين، كشوائب في الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري. ويمكن أن تتكون عن غير قصد أثناء التعرض للأشعة فوق البنفسجية مثلاً، والعمليات الصناعية، والنفايات، وعمليات إعادة التدوير.

132 - إن كلاً من العمليات المحيطية وعمليات الغلاف الجوي تُسهم في الانتقال البعيد المدى داخل البيئة للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 غير أنه يُعتقد أن انتقال الجسيمات عبر الغلاف الجوي هو الآلية

الرئيسية لذلك. إن نصف العمر التقديري في الهواء لهذا المركب هو 94 يوماً، غير أن العمر الكامل يمكن أن يتجاوز 200 يوم، ففي القطب الشمالي والأقاليم النائية الأخرى، يوجد الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في أجزاء متعددة من البيئة من بينها الهواء، والرسوبيات، والجليد والثلج والحيويات.

133- إن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 عندما ينطلق في البيئة يتراكم بيولوجياً وتمتصه الكائنات، بما في ذلك الإنسان. والإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يتوزع على نطاق واسع في البيئة العالمية، وقد ظهرت تركيزات مرتفعة منه في أجسام بعض الأنواع. فاشتملت أجساد طيور الغاسوق الشائع في الصين على بعض أعلى مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 بصورة لم يسبق الإبلاغ عنها في الحياة البرية، بينما لوحظ أن هذه المستويات تتزايد في صقور الشاهين الرحالة من جرينلاند، وأمريكا الشمالية والسويد. وتُشير الاتجاهات الزمنية إلى أن مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 أخذت في التزايد في الغلاف الجوي للقطب الشمالي من 2002-2005 مع تضاعف المدى البالغ 3.5-6.2 سنة، وخلال الفترة 2009-2013 لم تُلاحظ اتجاهات زمنية للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الهواء.

134- ويمكن للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 أن ينتقل من الأم إلى الذرية، ويحدث التعرض أثناء مراحل النمو الأولى. إن انتقاله من الأم إلى البيض أو الذرية قد أُفيد عنه في الأسماك، والبرمائيات، والطيور وغزال الرنة. أما في الإنسان فيحدث التعرض للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في المراحل الأولى من نموه في الرحم وذلك عن طريق الانتقال عبر المشيمة، وبعد الولادة عبر لبن الأم. وبالإضافة إلى ذلك، تفيد التقارير بأن الأطفال الصغار والدارجين لديهم تركيزات أعلى في أجسامهم من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 ومن الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الأخرى أكبر مما لدى البالغين وذلك بسبب التعرض بدرجة أكبر للغبار. وقد أُفيد عن وجود مستويات مرتفعة لدى العاملين الذين يقومون بتفكيك الأجهزة الالكترونية وفنيي الحاسوب، وعمال الحقن في مصانع الاستخدامات الكهربائية، ولدى الأشخاص الذين يُقيمون على مقربة من مرافق الإنتاج وإعادة التدوير.

135- إن الالتباس في بيانات التراكم البيولوجي المتوفرة يعكس بدرجة كبيرة الاختلافات بين الأنواع في الامتصاص، وفي الاستقلاب والتخلص، وكذلك الاختلافات في نُظم التعرض والتحديات التحليلية في طريق قياس الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، وقد قُدِّر عامل التراكم البيولوجي من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في الأسماك بأقل من 5000 مع عدم التنبؤ بامتصاص قابل للتقدير نتيجة لكبير الحجم الجزيئي لهذا المركب، ولا انخفاض ذوبانه في الماء (أقل من 0.1 ميكروغرام/لتر عند درجة حرارة 24 مئوية)، ومع ذلك، فإن أهم طريق للتعرض للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 في شبكات الأغذية المائية والبرية هو عن طريق الطعام، وعند النظر في سلوك التراكم البيولوجي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، فإنه يعتقد بأن عوامل التراكم البيولوجي، وعوامل التضخم البيولوجي وعوامل التضخم الغذائي المحسوبة أو المقيسة تقدم معلومات أكثر أهمية عن عوامل التركيز البيولوجي. وعلى الرغم من أن بعض الدراسات لا تُظهر الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، فقد لوحظ التراكم البيولوجي والتوهين الغذائي (عامل التضخم الغذائي أقل من 1)، وقد أُفيد عن أن التراكم البيولوجي قد أُبلغ عنه بالنسبة لعدد من الكائنات المائية والبرية (عوامل تراكم بيولوجي أكبر من 500 وعوامل التضخم البيولوجي أكبر من 1 وعوامل التضخم الغذائي أكبر من 1).

136- وهناك دليل على أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 يمكن أن يُسفر عن تأثيرات ضارة على الصحة الإنجابية وعلى التكاثر في الأسماك، وديدان الأرض والفئران الصغيرة والكبيرة، وكذلك التأثيرات

على النمو والتأثيرات السمية العصبية في البرمائيات، والقوارض والإنسان. أما بالنسبة لبعض الكائنات مثل الضفادع والثدييات والأسماك والطيور فقد أُبلغ عن حدوث مستويات تأثيرات ضارة من الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 قريبة من، أو داخل النطاق المبلغ عنه للمستويات البيئية. وقد وُجد أن مستويات المادة المقيسة في الجسم عند الثدييات وأسماك القطبي الشمالي تماثل آثار الجرعات المنخفضة المحددة في المختبر أو تكون أكبر منها، ومن ذلك الآثار العصبية التطورية في الأسماك والثدييات والآثار الإنجابية في الأسماك في المراحل العمرية الضعيفة. ونتيجة لنزع البرومة، فإن الكائنات بالإضافة إلى ذلك تكون معرضة معاً لمزيج مُعقد من الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم، بما في ذلك الملوثات العضوية الثابتة الإيثرات الثنائية الفينيل العشارية البروم المدرجة بالفعل في القائمة. وعلى أساس النتائج الضارة الشائعة المحددة، فإنه يثور قلق من أن يؤدي اجتماع الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 والإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الأخرى إلى التسبب في سمية عصبية أثناء النمو لدى كل من الإنسان والحياة البرية وذلك عند تركيزات بيئية مناسبة.

137- وهناك قلق متزايد بشأن المواد الكيميائية التي تؤدي إلى احتلال الغدد الصماء حيث أن بإمكانها إحداث تأثيرات ضارة عند المستويات البيئية المنخفضة، وأن توقيت التعرض يمكن أن يكون أكثر أهمية من مستوى التعرض (اليونيب/منظمة الصحة العالمية 2013). وتُشير بيانات السمية المتوفرة إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 مثله مثل الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الأخرى قد يتسبب في اختلال الغدد الصماء، ويتدخل في استقرار هرمونات الغدة الدرقية في الأسماك والبرمائيات، وفي الفئران الكبيرة والصغيرة وبني الإنسان، وربما في توازن استقرار هرمون الاسترويد. وهذه الحقيقة، إلى جانب نزع البروم والتعرض المشترك للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 والإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الأخرى التي تقوم بعمل مماثل، يوجد بعضها مُدرجاً كملوثات عضوية ثابتة وكإيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم عالي المقاومة للتحلل في الرسوبيات وأنواع التربة الأمر الذي يزيد من احتمالات حدوث تأثيرات ضارة مزمنة وطويلة الأجل.

الجدول 3- خصائص الملوثات العضوية الثابتة في الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209، المكون الرئيسي في إيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري

| المعيار | يفي بالمعيار (نعم/لا) | ملاحظات |
|---------------|-----------------------|---|
| مقاومة التحلل | نعم | تُشير العينات اللبنة المؤرخة المأخوذة من الرسوبيات إلى عدم حدوث تحلل خلال فترة ما من يقرب 30 سنة (كوهلر 2008). يتراوح نصف العمر المبلغ عنه في الرسوبيات بين 6 سنوات و50 سنة، ويبلغ المتوسط نحو 14 سنة عند درجة حرارة 22 مئوية وفي ظروف الظلام (توكارز 2008). ويبلغ نصف عمر التحلل في التربة المعدلة بالحماة في الظروف الهوائية واللاهوائية أكثر من 360 يوماً (نيهوم 2010، 2011، على النحو المذكور لدى الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012). لم يحدث تحلل للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم بعد 180 يوماً في عينات التربة المطعمة بالإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (ليو 2011). وقد لوحظت تركيزات متزايدة زمنياً في بعض الكائنات تدعم صورة الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 كمادة ثابتة (مثل فوركامب 2005). |

| ملاحظات | يفي بالمعيار (نعم/لا) | المعيار |
|--|-----------------------|---|
| <p>تُنزع برومته إلى إثارات ثنائية الفينيل متعددة البروم أقل برومة مع الاحتفاظ بخصائص مقاومة التحلل والتراكم البيولوجي والسمية/مقاومة التحلل العالية والتراكم البيولوجي الشديد والملوثات العضوية الثابتة المعروفة بمقاومة التحلل (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012أ، لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 2013أ).</p> | | |
| <p>يوجد بتركيزات مرتفعة في المفترسات الكبرى (شاو 2008، 2009، 2012، وفورسبوليس 2006أ، جينسين 2007، سورمو 2006، فيربوليت 2005، بونتي 2014).</p> <p>ويتراوح مكافئ التفرق في الأكتانول والماء بين 6.27 إلى 12.11 (رابطة مصنعي المواد الكيميائية 1977، ودين 2012، وكالة البيئة الكندية 2010، وكيلي 2007، تيان 2012، وكالة حماية البيئة الأمريكية 2010، وتانايا وتانسوكاوا 1990).</p> <p>عامل التراكم البيولوجي أكبر من 5000، عوامل التضخم البيولوجي أكبر من 1 في الكائنات المائية (بارون 2013، ولو 2006، وجينسين 2007، ومو 2012، وشو 2009، وتومي 2009، فروين 2013).</p> <p>عوامل التضخم البيولوجي أكبر من 1 في الكائنات البرية (يو 2011، 2013، وشي 2013، ووو 2009أ).</p> <p>عوامل التضخم الغذائي أكبر من 1 في الكائنات المائية في القطب الشمالي (لو 2006).</p> <p>تنزع برومته إلى الإثارات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الأقل برومة مع الاحتفاظ بخصائص مقاومة التحلل والتراكم البيولوجي والسمية/مقاومة التحلل العالية والتراكم البيولوجي الشديد والملوثات العضوية الثابتة المعروفة بالتراكم البيولوجي (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012أ، لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 2013ألف)</p> <p>تُلاحظ التأثيرات السمية عند التركيزات المنخفضة و/أو المناسبة بيئياً في الطيور، والأسماك والضفادع (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012أ، وبلورد 2013، وكوو 2010، وكين 2010، ووو 2009أ، وليو 2011ج).</p> | نعم | التراكم البيولوجي |
| <p>واسع الانتشار في البيئة القطبية الشمالية وفي الحيوانات (دى ويت 2006، 2010، هيئة البيئة الكندية 2010، وبرنامج الملوثات الشمالي 2013)</p> <p>تبين بيانات الرصد بشأن مستويات الإيثر الشنائي الفينيل العشري البروم-209 في الحزاز المأخوذ من الترويج أن مستوياته تنخفض من جنوب الترويج إلى شماله (ماريوسن 2008)</p> <p>ويمكن للإيثر الشنائي الفينيل العشري البروم-209 عند ارتباطه بجسيمات الهواء الدقيقة أن يظل معلقاً في الهواء لساعات أو لأيام، شريطة ألا يُزال بواسطة الترسيب الرطب (ويلفورد 2008، وميير 2012).</p> <p>ويبلغ نصف العمر التقديري في الغلاف الجوي 94 يوماً في الهواء ولكن العمر الكامل يمكن أن يزيد على 200 يوم (بريفيك 2006، وراف وهائتس 2007).</p> <p>تُنزع برومة إثريبات الشنائي الفينيل العشري البروم-209 إلى إثارات ثنائية الفينيل متعددة البروم أقل برومة مع الاحتفاظ بخصائص مقاومة التحلل والتراكم البيولوجي والسمية/مقاومة التحلل العالية والتراكم البيولوجي الشديد والملوثات العضوية الثابتة المعروفة بأنه تمر بالانتقال</p> | نعم | إمكانات الانتقال البعيد المدى داخل البيئة |

| ملاحظات | يفي بالمعيار (نعم/لا) | المعيار |
|--|-----------------------|------------------|
| البعيد المدى داخل البيئة (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012، لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 2013). | | |
| <p>تصدر عن الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 تأثيرات تكاثرية، وتأثيرات على الغدد الصماء والسمية العصبية في الكائنات المائية والثدييات، والطيور. وقد أُبلغ عن تأثيرات على النمو والبقاء والنفوق أيضاً. وتشمل البيانات الرئيسية:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ التحول الجسدي المتأخر في شراغيف الضفادع مع تركيز فعال غير ملاحظ تقريبي أقل من 1 ميكروغرام/لتر (كوين 2010 لدى الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012). ▪ تأثيرات مخرجة بمرمون الغدة الدرقية ونفوق المنوة كبيرة الرأس-28-المستوى الفعال الأقل ملاحظة البالغ نحو 3 نغ/غ الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 وزن الجسم/يوم أو 0.41 نغ/غ بوزن الغذاء الرطب (نويس 2013) ▪ تصل نسبة النفوق إلى 98% في أجنة الدجاج بعد 20 يوماً عقب حقن البيض بحقنة واحدة بالإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 (تبلغ نصف الجرعة المميتة 44 ميكروغرام/بيضة أو 740 ميكروغرام/كغ بالوزن الرطب، سيفليت 2009 لدى الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012). ▪ شمية عصبية في مرحلة النمو في القوارض، (مثال جوهانسون 2008، فيبيرج 2003، 2007، راييس 2009، فوجيموتو 2011، هيريديا 2012، ريفيرتي 2013، 2014، بوراتفيك 2014). وجود ارتباط وبائي على التأثيرات على النمو الإدراكي لدى الإنسان المعرض لهذه المادة (جاسكون 2012، تشاو 2011). ▪ ويُشير العديد من الدراسات إلى أن التأثيرات الضارة قد تحدث عند تركيزات الإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 تساوي أو تقترب من المستويات المناسبة بيئياً في الأسماك، والضفادع، والطيور، والثدييات (كوو 2010، ووو 2009، وليو 2011، ج، وكين 2010، ونويس 2013، وسيفليت 2009، والوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012، وبونتي 2014، وتومي 2008، 2009). ▪ انتزاع البرومة إلى الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم الأقل برومة مع الاحتفاظ بخصائص مقاومة التحلل والتراكم البيولوجي والسمية/مقاومة التحلل العالية والتراكم البيولوجي الشديد والملوثات العضوية الثابتة المعروفة بتأثيراتها الكبيرة الضارة (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية 2012، لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 2013، لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 6 ولجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة 7) ▪ يمثل خطورة محتملة على الإنسان والحياة البرية نتيجة للآثار المجمعّة للإيثر الثنائي الفينيل العشري البروم-209 وإيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم الأخرى بتركيزات مناسبة بيئياً (كورتن كامب 2014، وبلورد 2013). ▪ حدوث مخاطر محتملة بالنسبة لتأثيرات الجرعة المنخفضة أثناء فترات النمو الحساسة نتيجة لاحتلال الغدد الصماء (UNEP/WHO 2012, Johansson 2008, Viberg 2003,) | نعم | التأثيرات الضارة |

| المعيار | يفي بالمعيار (نعم/لا) | ملاحظات |
|---------|-----------------------|---|
| | | 2007, Rice 2009, Fujimoto 2011, Heredia 2012, Reverte 2013, 2014, Buratovic (2014, Noyes 2013). |

4 - بيان ختامي

138- إن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-التجاري هو مادة تركيبية غير معروف عنها أنها توجد في الطبيعة أي أنها تُستخدَم كمثبط للهب في العديد من الاستخدامات في جميع أنحاء العالم. ولا تزال إطلاقات الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري مستمرة في البيئة في جميع المناطق التي خضعت للبحث. والإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 (أو الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم)، هو المكون الرئيسي للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-التجاري وهو يتسم بمقاومة التحلل في البيئة ويتراكم بيولوجياً ويتضخم بيولوجياً في العديد من أنواع الأسماك، والطيور والثدييات وفي الشبكات الغذائية. وهناك قرائن على وجود تأثيرات ضارة في النهايات الطرفية الحرجة التي تشمل التكاثر، والبقاء، والنظم العصبية/والغدد الصماء. والإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم- التجاري يتحلل إلى إيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم أقل برومة، مع الاحتفاظ بخصائص مقاومة التحلل والتراكم البيولوجي والسمية/مقاومة التحلل العالية والتراكم البيولوجي الشديد والملوثات العضوية الثابتة. وتُسهم المتجانسات الأقل برومة في النتيجة النهائية لسمية الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209. فنتيجة لنزع البروم والمستودعات التاريخية لمتجانسات الإيثرات الثنائية الفينيل الخماسية البروم- والتجارية، وثمانية البروم التجارية في البيئة، فإن الكائنات تتعرض لمزيج مركب من الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم التي عندما تشترك مع مركبات أخرى تمثل مخاطر أعلى مما يمثله الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 وحده. إن مستويات الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 المقيسه لدى بعض أنواع الحيوانات بما في ذلك المستويات الغذائية الأعلى كالطيور والثدييات في المناطق المصدرية والمناطق النائية تقترب من تراكيز التأثيرات المبلغ عنها وتُشير إلى أن الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 جنباً إلى جنب مع الإيثرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم تمثل قلقاً كبيراً بالنسبة لصحة الإنسان والبيئة. ومن المحتمل للإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-التجاري مع مكونه الرئيسي الإيثر الثنائي الفينيل العشاري البروم-209 أن يُسفر عن انتقال بيئي بعيد المدى، وأن يؤدي إلى أضرار كبيرة بصحة الإنسان والبيئة بما يبرر اتخاذ إجراء علمي بشأنه.

- Abdallah MA, Tilston E, Harrad S, Collins C (2012). In vitro assessment of the bioaccessibility of brominated flame retardants in indoor dust using a colon extended model of the human gastrointestinal tract. *J Environ Monit.* 14(12):3276-83.
- ACAP, Arctic Contaminants Action Programme (2007). Final Report of Phase I of the ACAP Project on Brominated Flame Retardants (BFRs) Phase I: Inventory of sources and identification of BFR alternatives and management strategies. AMAP Report 2007:6, SFT Report TA-2440/2008.
- ACHS, Advisory Committee on Hazardous Substances 2010. ACHS opinion on decabrominated diphenyl ether (decaBDE). Final Version (23rd September 2010). Department for Environment, Food and Rural Affairs, United Kingdom, p.1-63.
- Ahn MY, Filley TR, Jafvert CT, Nies L, Hua I, Bezares-Cruz J (2006). Photodegradation of decabromodiphenyl ether adsorbed onto clay minerals, metal oxides, and sediment. *Environ Sci Technol.* 40(1):215-20.
- Ahmed, O. M., A. W. El-Gareib, A. M. El-Bakry, S. M. Abd El-Tawab and R. G. Ahmed (2008). "Thyroid hormones states and brain development interactions." *Int J Dev Neurosci* 26(2): 147-209.
- Allan, I., Aas, W., Langford, K., Christensen, G., Green, N. W., Breivik, K., Bæk, K., and Ranneklev, S. (2012). Passive air and water sampling at Andøya, Bjørnøya og Jan Mayen. Klima og forurensningsdirektoratet (Klif).
http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/Statlig_miljoovervakning/Overvakning_av_miljogifte_r_og_beregning_av_tilforsler_til_norske_kyst_og_havomrader_Tilforselsprogrammet/Rapporter/Tilforselsprogrammet_2011_Passive_air_and_water_sampling_at_Andoya_Bjornoya_and_Jan_Mayen/
- Allen JG, Sumner AL, Nishioka MG, Vallarino J, Turner DJ, Saltman HK, Spengler JD (2013). Air concentrations of PBDEs on in-flight airplanes and assessment of flight crew inhalation exposure. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 23(4):337-42.
- Al-Mousa, F. and F. Michelangeli (2012). "Some commonly used brominated flame retardants cause Ca²⁺-ATPase inhibition, beta-amyloid peptide release and apoptosis in SH-SY5Y neuronal cells." *PloS one* 7: e33059.
- AMAP. Arctic Monitoring and Assessment Programme (2009). Arctic Pollution 2009, Oslo. 83 pp.
- Anderson, B. E., E. Zeiger, M. D. Shelby, M. A. Resnick, D. K. Gulati, J. L. Ivett and K. S. Loveday (1990). Chromosome aberration and sister chromatid exchange test results with 42 chemicals." *Environmental and molecular mutagenesis* 16 Suppl 1: 55-137.
- Arinaitwe K, Muir DCG, Kiremire BT, Fellin P, Li H, Teixeira C (2014). Polybrominated diphenyl ethers and alternative flame retardants in air and precipitation samples from the northern Lake Victoria region, East Africa. *Environ Sci Technol.* 48: 1458-16-44.
- Arellano L, Fernández P, Tatosova J, Stuchlik E, Grimalt JO (2011). Long-range transported atmospheric pollutants in snowpacks accumulated at different altitudes in the Tatra Mountains (Slovakia). *Environ Sci Technol.* 45(21): 9268-75.
- Arnot JA, MacKay D, Parkerton TF, Zaleski RT, Warren CS (2010). Multimedia modeling of human exposure to chemical substances; The roles of food web biomagnification and biotransformation. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 29, No. 1, pp. 45–55
- Arnot JA, Gobas F (2006). A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms. *Environ Rev* 14(4):257-297.
- Arnot JA, Gobas F (2003). A generic QSAR for assessing the bioaccumulation potential of organic chemicals in aquatic food webs. *Qsar Comb Sci* 22(3):337-345.
- Balch, G. C., L. A. Velez-Espino (2006). "Inhibition of metamorphosis in tadpoles of *Xenopus laevis* exposed to polybrominated diphenyl ethers (PBDEs)." *Chemosphere* 64(2): 328-338.
- Baron E, Rudolph I, Chiang G, Barra R, Eljarrat E, Barcelo D (2013). Occurrence and behavior of natural and anthropogenic (emerging and historical) halogenated compounds in marine biota from the Coast of Concepcion (Chile). *Sci Total Environ* 461:258-264.
- Besis A, Samara C (2012). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in the indoor and outdoor environments - A review on occurrence and human exposure. *Environ Pollut* 169:217-229.

- Bhavsar SP, Gandhi N, Gewurtz SB, Tomy GT (2008). Fate of PBDEs in juvenile lake trout estimated using a dynamic multichemical fish model. *Environ Sci Technol* 42:3724–31.
- Bi XH, Thomas GO, Jones KC, Qu WY, Sheng GY, Martin FL, (2007). Exposure of electronics dismantling workers to polybrominated diphenyl ethers, polychlorinated biphenyls, and organochlorine pesticides in South China. *Environ Sci Technol* 41(16):5647-5653.
- Bieseimer, J. a., M. J. Beck, H. Silberberg, N. R. Myers, J. M. Ariano, A. Radovsky, L. Freshwater, D. W. Sved, S. Jacobi, D. G. Stump, M. L. Hardy and T. Stedeford (2011). "An oral developmental neurotoxicity study of decabromodiphenyl ether (DecaBDE) in rats." *Birth defects research. Part B, Developmental and reproductive toxicology* 92: 17-35.
- Bieseimer, J. A., M. J. Beck, H. Silberberg, N. R. Myers, J. M. Ariano, E. S. Bodle, D. W. Sved, S. Jacobi, D. G. Stump, M. Hardy and T. Stedeford (2010). "Effects of dose, administration route, and/or vehicle on decabromodiphenyl ether concentrations in plasma of maternal, fetal, and neonatal rats and in milk of maternal rats." *Drug Metabolism and Disposition* 38: 1648-1654.
- Björklund, J. A., K. Thuresson, (2012). "Indoor Air Is a Significant Source of Tri-decabrominated Diphenyl Ethers to Outdoor Air via Ventilation Systems." *Environmental Science & Technology* 46(11): 5876-5884.
- Blanco, J., M. Mulero, L. Heredia, A. Pujol, J. L. Domingo and D. J. Sánchez (2013). "Perinatal exposure to BDE-99 causes learning disorders and decreases serum thyroid hormone levels and BDNF gene expression in hippocampus in rat offspring." *Toxicology* 308: 122-128.
- Boitsov, S. and Klungsoyr, J. (2013). Undersøkelser av organiske miljøgifter i sedimenter fra MAREANO-området 2011. Bergen Havforskningsinstituttet. p. 1-40.
http://www.imr.no/filarkiv/2013/04/rapport_1_13.pdf/nb-no
- Borgå K, Kidd KA, Muir DC, Berglund O, Conder JM, Gobas FA, Kucklick J, Malm O, Powell DE (2012). Trophic magnification factors: considerations of ecology, ecosystems, and study design. *Integr Environ Assess Manag.* 8(1): 64-84.
- Branchi, I., E. Alleva and L. G. Costa (2002). "Effects of perinatal exposure to a polybrominated diphenyl ether (PBDE 99) on mouse neurobehavioural development." *Neurotoxicology* 23: 375-384
- Breivik K, Wania F, Muir DC, Alaee M, Backus S (2006). Pacepavicius G. Empirical and modeling evidence of the long-range atmospheric transport of decabromodiphenyl ether. *Environ Sci Technol.* 40(15):4612-8.
- Breivik K, Sweetman A, Pacyna J, Jones K (2002). Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners – a mass balance approach: 1. Global production and consumption. *Sci Total Environ* 290:181-198
- BSEF, Bromine Science and Environmental Forum (2013). About decabromo diphenyl ether (decaBDE), <http://www.bsef.com/our-substances/deca-bde/about-deca-bde> (accessed in April 2013)
- BSEF, Bromine Science and Environmental Forum (2012). Brominated flame retardant: decabromodiphenyl ether fact sheet. 2012; 2010.
- Brommer S, Harrad S, van den Eede N, Covaci A (2012). Concentrations of organophosphate esters and brominated flame retardants in German indoor dust samples. *J Environ Monit*;14:2482-2487.
- Bureau S, Zebühr Y, Broman D, Ishaq R. (2006). Biomagnification of PBDEs and PCBs in food webs from the Baltic Sea and northern Atlantic Ocean. *Sci Total Environ* 366:659-672.
- Bureau S, Zebühr Y, Broman D, Ishaq R. (2004). Biomagnification of polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) studied in pike (*Esox lucius*), perch (*perca fluviatilis*) and roach (*Rutilus rutilus*) from the Baltic Sea. *Chemosphere* 55:1043-1052.
- Buratovic S, Viberg H, Fredriksson A, Eriksson P. (2014). Developmental exposure to the polybrominated diphenyl ether PBDE 209: Neurobehavioural and neuroprotein analysis in adult male and female mice. *Environ Toxicol Pharmacol.* 38, 570-85.
- Buser AM, Morf LS, Taverna R, Bader HP, Scheidegger R (2007a). Temporal behaviour of the anthropogenic metabolism of selected brominated flame retardants: Emissions to the environment. BFR 2007, 4th International Workshop on Brominated Flame Retardants, Amsterdam, The Netherlands, 24-27 April, 2007.

- Buser AM, Morf LS, Taverna R, Bader HP, Scheidegger R (2007b). Comparison of BDE-209 concentrations modelled in a dynamic substance flow analysis for Switzerland and field data B. *Organohalogen Compounds*, 69, 2748-2751.
- Byun GH, Moon HB, Choi JH, Hwang J, Kang CK. (2013). Biomagnification of persistent chlorinated and brominated contaminants in food web components of the Yellow Sea. *Mar Pollut Bull* 73(1):210-219.
- Cai, Y., W. Zhang, J. Hu, G. Sheng, D. Chen and J. Fu (2011). "Characterization of maternal transfer of decabromodiphenyl ether (BDE-209) administered to pregnant Sprague-Dawley rats." *Reprod Toxicol* 31: 106-110.
- Chabot-Giguere, B., R. J. Letcher, and J. Verreault. (2013). In vitro biotransformation of decabromodiphenyl ether (BDE-209) and Dechlorane Plus flame retardants: a case study of ring-billed gull breeding in a pollution hotspot in the St. Lawrence River, Canada. *Environ Int* 55:101-108.
- Chao, H.-R., T.-C. Tsou, H.-L. Huang and G.-P. Chang-Chien (2011). Levels of breast milk PBDEs from southern Taiwan and their potential impact on neurodevelopment. *Pediatric research* 70: 596-600.
- Chao HR, Shy CG, Wang SL, Chen SCC, Koh TW, Chen FA et al (2010). Impact of non-occupational exposure to polybrominated diphenyl ethers on menstruation characteristics of reproductive-age females. *Environ Int*;36:728–735.
- Chen YH, Li ZH, Tan Y, Zhang CF, Chen JS, He F, Yu YH, Chen DJ (2014). Prenatal exposure to decabrominated diphenyl ether impairs learning ability by altering neural stem cell viability, apoptosis, and differentiation in rat hippocampus. *Hum Exp Toxicol* Feb 24 [Epub ahead of print] PubMed PMID: 24567298 .
- Chen J, Chen LL, Liu DY, Zhang GS (2013a). Polybrominated Diphenyl Ethers Contamination in Marine Organisms of Yantai Coast, Northern Yellow Sea of China. *B Environ Contam Tox* 90(6):679-683.
- Chen D, Martin P, Burgess NM, Champoux L, Elliott JE, Forsyth DJ, (2013b). European Starlings (*Sturnus vulgaris*) Suggest That Landfills Are an Important Source of Bioaccumulative Flame Retardants to Canadian Terrestrial Ecosystems. *Environ Sci Technol* 47(21):12238-12247.
- Chen Q, Yu LQ, Yang LH, Zhou BS (2012a). Bioconcentration and metabolism of decabromodiphenyl ether (BDE-209) result in thyroid endocrine disruption in zebrafish larvae. *Aquat Toxicol* 110(141-148).
- Chen D, Letcher RJ, Martin P (2012b). Flame retardants in eggs of American kestrels and European starlings from southern Lake Ontario region (North America). *J Environ Monitor* 14(11):2870-2876.
- Chen D, Letcher RJ, Burgess NM, Champoux L, Elliott JE, Hebert CE, Martin P, Wayland M, Chip Weseloh DV, Wilson L (2012d). Flame retardants in eggs of four gull species (*Laridae*) from breeding sites spanning Atlantic to Pacific Canada. *Environ Pollut*. 168: 1-9.
- Chen, D. and Hale, R. C (2010). A global review of polybrominated diphenyl ether flame retardant contamination in birds. *Environment International*, 36, 800–811.
- Chen D, Hale RC, Watts BD, La Guardia MJ, Harvey E, Mojica EK (2010a). Species-specific accumulation of polybrominated diphenyl ether flame retardants in birds of prey from the Chesapeake Bay region, USA. *Environ Pollut* 158(5):1883-1889.
- Chen, J., C. Liufu, W. Sun, X. Sun and D. Chen (2010b). Assessment of the neurotoxic mechanisms of decabrominated diphenyl ether (PBDE-209) in primary cultured neonatal rat hippocampal neurons includes alterations in second messenger signaling and oxidative stress. *Toxicology Letters* 192: 431-439.
- Chen S, Ma YJ, Wang J, Chen D, Luo XJ, Mai BX (2009). Brominated flame retardants in children's toys: Concentration, composition, and children's exposure and risk assessment. *Environ Sci Technol*; 43:4200–4206.
- Chen D, La Guardia MJ, Harvey E, Amaral M, Wohlfort K, Hale RC (2008). Polybrominated Diphenyl Ethers in Peregrine Falcon (*Falco peregrinus*) Eggs from the Northeastern US. *Environ Sci Technol* 42(20):7594-7600.
- Chen D, Mai B, Song J, Sun Q, Luo Y, Luo X, (2007a). Polybrominated Diphenyl Ethers in Birds of Prey from Northern China. *Environ Sci Technol* 41(6):1828-1833.

- Chen SJ, Luo XJ, Lin Z, Luo Y, Li KC, Peng XZ, Mai BX, Ran Y, Zeng EY (2007b). Time trends of polybrominated diphenyl ethers in sediment cores from the Pearl River Estuary, South China. *Environ Sci Technol* 41(16): 5595-5600.
- Chevrier, J., K. G. Harley, A. Bradman, A. Sjödin and B. Eskenazi (2011). "Prenatal exposure to polybrominated diphenyl ether flame retardants and neonatal thyroid-stimulating hormone levels in the CHAMACOS study." *American journal of epidemiology* 174: 1166-1174.
- Chevrier, J., K. G. Harley, A. Bradman, M. Gharbi, A. Sjödin and B. Eskenazi (2010). "Polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants and thyroid hormone during pregnancy." *Environmental health perspectives* 118: 1444-1449.
- Chi, Y., H. Xia, M. Su, P. Song, X. Qi, Y. Cui, Y. Cao, T. Chen, Y. Qiu, A. Zhao, X. Ma, X. Zheng and W. Jia (2011). "Metabonomic phenotyping reveals an embryotoxicity of deca-brominated diphenyl ether in mice." *Chemical research in toxicology* 24: 1976-1983.
- Christiansson A, Eriksson J, Teclechiel D, Bergman A. (2009). Identification and quantification of products formed via photolysis of decabromodiphenyl ether. *Environ Sci Pollut Res Int* 16(3):312-21.
- Christensen JH, et al. (2014) Climate phenomena and their relevance for future regional climate change. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, eds Stocker TF, et al. (Cambridge University Press, Cambridge, UK)
- Christensen JR, Macduffee M, Macdonald RW, Whiticar M, Ross PS (2005). Persistent organic pollutants in British Columbia grizzly bears: Consequence of divergent diets. *Environ Sci Technol* 39(18):6952-6960.
- Christensen JH, Groth BS, Vikelsøe J., Vorkamp K. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in sewage sludge and wastewater. NERI Technical Report No. 481, (2003). 28 pp. (Annex E submission by Denmark).
- Ciesielski T, Jenssen BM, Pedersen HC, Bæk K, Skaare JU, Ringsby TH (2008). Decabrominated diphenyl ether in ptarmigans and sparrows in Norway. *Organohalogen Compounds*, 70;001181-001184.
- Ciparis S and Hale, R.C., (2005). Bioavailability of polybrominated diphenyl ether flame retardants in biosolids and spiked sediment to the aquatic oligochaete, *lumbriculus variegatus* *Environ. Tox. Chem.*, 24 (4): 916-925.
- CPAN, Climate and Pollution Agency, Norway (2012a). Forbidden brominated flame retardant in work wear. Information and update from the Climate and Pollution Agency TA-2971/2012 (in Norwegian only). <http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2971/ta2971.pdf>
- CPAN, Climate and Pollution Agency, Norway (2012b). Tilførselsprogrammet 2011. Overvåking av tilførsler og miljøtilstand i Norskehavet. p. 1-227. http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/Statlig_miljoovervakning/Overvaking_av_miljogifter_og_beregning_av_tilforsler_til_norske_kyst_og_havomrader_Tilforselsprogrammet/Rapporter/Tilforselsprogrammet_2011_Overvaking_av_tilforsler_og_miljotilstand_i_Norskehavet/ Authors: Green, Normann W., Heldal, H. E., Måge, Amund, Aas, Wenche, Gafvert, T., Schrum, C., Boitsov, S., Breivik Knut, Iosjpe, M., Yakushev, E., Skogen, M., Høgåsen, T., Eckhardt, S., Christiansen, A. B., Daae, K. L., Durand, D., Ledang, A. B., and Jaccard, P. F.
- CPAN, Climate and Pollution Agency, Norway (2010). Overvåking av tilførsler og miljøtilstand i Barentshavet og Lofotenområdet. Oslo Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif). p. 1-246. http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/Statlig_miljoovervakning/Overvaking_av_miljogifter_og_beregning_av_tilforsler_til_norske_kyst_og_havomrader_Tilforselsprogrammet/Rapporter/Tilforselsprogrammet_2009_Overvaking_av_tilforsler_og/ Authors: Green, Norman W., Molvær, J., Kaste, Ø., Schrum, C., Yakushev, E., Sørensen, K., Allan, I., Høgåsen, T., Christiansen, A. B., Heldal, H. E., Klungsoyr, Jarle, Boitsov, Stepa, Børsheim, K. Y., Måge, Amund, Julshamn, Kaare, Aas, Wenche, Braathen, Ole-Anders, Breivik, Knut, Eckhardt, S., Rudjord, A. L., Iosjpe, M., and Brungot, A. L. 2010. Tilførselsprogrammet 2009.
- CMABFRIP, Chemical Manufacturers Association Brominated Flame Retardant Industry Panel (1997). Decabromodiphenyl oxide (DBDPO): determination of n-octanol/water partition coefficient. Chemical Manufacturers Association Brominated Flame Retardant Panel. Wildlife International Ltd. Project Number 439C-101.

- Coakley JD, Harrad SJ, Goosey E, Ali N, Dirtu AC, Van den Eede N, Covaci A, Douwes J, Mannetje A' (2013). Concentrations of polybrominated diphenyl ethers in matched samples of indoor dust and breast milk in New Zealand. *Environ Int.*;59:255-61.
- Costa LG, Giordano G (2011). Is decabromodiphenyl ether (BDE-209) a developmental neurotoxicant? *Neurotoxicology*; 32:9–24.
- [Costa LG, de Laat R, Tagliaferri S, Pellacani C](#) (2014). A mechanistic view of polybrominated diphenyl ether (PBDE) developmental neurotoxicity. *Toxicol Lett.* Oct 15;230(2):282-94.
- Cousins AP, Holmgren T, Remberger M.(2014) Emissions of two phthalate esters and BDE 209 to indoor air and their impact on urban air quality. *Sci Total Environ.* 470-471:527-35.
- Covaci, A.; Voorspoels, S.; de Boer, J (2003). Determination of brominated flame retardants, with emphasis on polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in environmental and human samples: A review. *Environ. Int.*, 29, 735–756
- Crosse, JD, Shore RF, Wadsworth RA, Jones KC, and Pereira MGR. (2012). Long-term trends in PBDEs in sparrowhawk (*Accipiter nisus*) eggs indicate sustained contamination of UK terrestrial ecosystems. *Environ Sci. Technol.* 46:13504-13511.
- Danon-Schaffer MN, Gorgy T, Li L, Grace JR. Determination of PBDEs in Canadian North landfill leachate and soils. Final Report – September 2007. Vancouver, BC, Canada: Environmental Damages Fund, Environment Canada, University of British Columbia; 2007. 139 pp.
- de Boer, J.; Wells, D. E (2006). Pitfalls in the analysis of brominated flame retardants in environmental, human and food samples, including results of three international interlaboratory studies. *Trends Anal. Chem.*, 25, 364–372.
- De Bruyn AMH, Meloche LM, Lowe CJ (2009). Patterns of Bioaccumulation of Polybrominated Diphenyl Ether and Polychlorinated Biphenyl Congeners in Marine Mussels. *Environmental Science & Technology* 43(10):3700-3704.
- Deng, D., J. Guo, G. Sun, X. Chen, M. Qiu, and M. Xu. 2011. Aerobic debromination of deca-BDE: Isolation and characterization of an indigenous isolate from a PBDE contaminated sediment. *International Biodeterioration & Biodegradation* 65:465-469.
- De Wit CA, Herzke D, Vorkamp K. (2010). Brominated flame retardants in the Arctic environment — trends and new candidates. *Sci Total Environ* 408(15):2885-2918.
- De Wit, C. A., M. Alae (2006). "Levels and trends of brominated flame retardants in the Arctic." *Chemosphere* 64(2): 209-233.
- de Wit CA (2002) An overview of brominated flame retardants in the environment. *Chemosphere* 46:583–624
- De Wit C, Ulla Sellström U, Nadja Lundgren N, Mats Tysklind M (2005). Higher brominated diphenyl ethers in earthworms and reference and sewage-sludge amended soils. *Organohalogen Compounds - Volume 67*
- Dickhut RM, Cincinelli A, Cochran M, Kylin H (2012). Aerosol-mediated transport and deposition of brominated diphenyl ethers to Antarctica. *Environ Sci Technol.* 46(6):3135-40.
- Dingemans, M. M., M. van den Berg, et. al. (2011). "Neurotoxicity of brominated flame retardants: (in) direct effects of parent and hydroxylated polybrominated diphenyl ethers on the (developing) nervous system." *Environ Health Perspect* 119(7): 900-907.
- Dinn PM, Johannessen SC, Ross PS, Macdonald RW, Whitticar MJ, Lowe CJ, van Roodselaar A (2012). PBDE and PCB accumulation in benthos near marine wastewater outfalls: The role of sediment organic carbon. *Environ Pollut* 171: 241-248.
- Du W, Ji R, Sun Y, et. al. (2013). Fate and Ecological Effects of Decabromodiphenyl Ether in a Field Lysimeter. *Environmental Science & Technology* 47:9167-9174.
- Earnshaw, M. R., K. C. Jones, (2013). Estimating European historical production, consumption and atmospheric emissions of decabromodiphenyl ether. *Sci Total Environ* 447: 133-142.
- ECA, Environment Canada (2013). Risk Management of DecaBDE: Commitment to Voluntary Phase-Out Exports to Canada. <http://www.ec.gc.ca/toxiques-toxics/default.asp?lang=En&n=F64D6E3B-1&xml=F64D6E3B-0328-4C11-A9E4-790D053E42A1>

- ECA, Environment Canada (2011). Environmental Monitoring and Surveillance in Support of the Chemicals Management Plan. PBDEs in the Canadian Environment. Fact sheet.p. 1-10.
- ECA, Environment Canada (2010). Ecological State of the Science Report on Decabromodiphenyl Ether (decaBDE). Bioaccumulation and Transformation. Available at: http://www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/documents/substances/decabde/ess_report_decabde-eng.pdf
- ECA, Environment Canada (2008). The Polybrominated Diphenyl Ethers Regulations (SOR/2008-218) under the Canadian Environmental Protection Act, 1999.
- ECA, Environment Canada (2006). Canadian Environmental Protection Act, 1999. Ecological Screening Assessment Report on polybrominated diphenyl ethers (PBDEs).
- ECA, Environment Canada. (2003). Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Brominated Flame Retardant (BFR) Report of Section 71 (CEPA, 1999) Notice with Respect to Certain Substances on the Domestic Substances List (DSL).
- Ebert, J. and M. Bahadir (2003). "Formation of PBDD/F from flame-retarded plastic materials under thermal stress." *Environment International* 29(6): 711-716.
- European Commission (2007). Update of the risk assessment of bis(pentabromophenyl) ether. Final Draft of October 2007. European Chemicals Bureau.
- ECB, European Chemicals Bureau (2004). Update of the Risk assessment of bis(pentabromophenyl ether (decabromodiphenyl ether) CAS Number. 1163-19-5, EINECS Number. 214-604-9, Final Environmental Draft of May 2004, 294 pp.
- ECB, European Chemicals Bureau (2002). European Union Risk Assessment Report: Bis(pentabromophenyl) ether. 1st priority list, Volume 17, Luxemburg: European Communities.
- ECHA, European Chemicals Agency, (2013a). Draft background document for Bis(pentabromophenyl)ether (decabromodiphenyl ether; decaBDE). Document developed in the context of ECHA's fifth Recommendation for the inclusion of substances in Annex XIV. 24 June 2013
- ECHA, European Chemicals Agency (2013b). ECHA dissemination portal. [Online] Available at: <http://echa.europa.eu/web/guest/information-on-chemicals/registered-substances> [Accessed 12 November 2013].
- ECHA European Chemicals Agency (2012a). Support Document Bis(pentabromophenyl) ether [decabromodiphenyl ether] (Member State Committee, 29 November 2012).
- ECHA, European Chemicals Agency (2012b). Agreement of the member state committee On the identification of bis(pentabromophenyl) ether [decabromodiphenyl ether], (Member State Committee, 29 November 2012).
- ECHA, European Chemicals Agency (2012c). Annex XV dossier. Proposal for Identification of a PBT/vPvB Substance. Bis(pentabromophenyl)ether (decabromodiphenyl ether; decaBDE). July 2012-final. Submitted by the United Kingdom, August 2012. http://echa.europa.eu/documents/10162/13638/SVHC_AXVREP_pub_EC_214_604_9_decabromodiphenylether_en.pdf
- ECHA (2012d) – “Responses to comments” documents. Document compiled by UK from the commenting period 03/09/2012 - 18/10/2012 on the proposal to identify the substance Bis(pentabromophenyl)ether [decabromodiphenyl ether; decaBDE] as a Substance of Very High Concern. http://echa.europa.eu/identification-of-svhc/-/substance/2403/search/+/del/20/col/ADOPTIONDATEMSCA_A/type/desc/pre/2/view
- EFSA, European Food Safety Authority Panel(2011). European Food Safety Authority Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Food. *EFSA Journal*, 9 (5), 2156. doi.10.2903/j.efsa.2011.2156. Available online: <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/2156.pdf>
- El Dareer, S. M., J. R. Kalin, K. F. Tillery and D. L. Hill (1987). Disposition of decabromobiphenyl ether in rats dosed intravenously or by feeding. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. 22: 405-415.
- Eljarrat E, Marsh G, Labandeira A, Barcelo D, (2008). Effect of sewage sludges contaminated with polybrominated diphenylethers on agricultural soils. *Chemosphere* 71: 1079–1086
- Eljarrat E, Labandeira A, Marsh G, Raldua D, Barcelo D (2007). Decabrominated diphenyl ether in river fish and sediment samples collected downstream an industrial park. *Chemosphere* 69: 1278–1286

- Eljarrat, E., de la Cal, A., Lazzazabal, D., Fabrellas, B., Fernandez-Alba, A. R., Borrull, F., Marce, R. M. and Barcelo, D. (2005). "Occurrence of polybrominated diphenyl ethers, polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and biphenyls in coastal sediments from Spain." *Environmental Pollution*, 136, 493-501.
- Eljarrat, E., de la Cal, A., Raldua, D., Duran, C. and Barcelo, D. (2004). "Occurrence and bioavailability of polybrominated diphenyl ethers and hexabromocyclododecane in sediment and fish from the Cinca River, a Tributary of the Ebro River (Spain)." *Environmental Science and Technology*, 38, 2603-2608.
- Eriksson J, Green N, Marsh G, Bergman A (2004). Photochemical decomposition of 15 polybrominated diphenyl ether congeners in methanol/water. *Environ Sci Technol.*38(11):3119-25
- Eriksson, P., E. Jakobsson and A. Fredriksson (2001). Brominated flame retardants: A novel class of developmental neurotoxicants in our environment? *Environmental Health Perspectives*. 109: 903-908.
- Ernest, S. R., M. G. Wade, C. Lalancette, Y. Q. Ma, R. G. Berger, B. Robaire and B. F. Hales (2012). "Effects of chronic exposure to an environmentally relevant mixture of brominated flame retardants on the reproductive and thyroid system in adult male rats." *Toxicol Sci* 127(2): 496-507.
- Eskenazi, B., J. Chevrier, S. A. Rauch, K. Kogut, K. G. Harley, C. Johnson, C. Trujillo, A. Sjödin and A. Bradman (2013). "In utero and childhood polybrominated diphenyl ether (PBDE) exposures and neurodevelopment in the CHAMACOS study." *Environmental health perspectives* 121: 257-262.
- Feng M, Li Y, Qu R, Wang L, Wang Z (2013a). Oxidative stress biomarkers in freshwater fish *Carassius auratus* exposed to decabromodiphenyl ether and ethane, or their mixture. *Ecotoxicology*; 22(7):1101–10. <http://dx.doi.org/10.1007/s10646-013-1097-2>.
- Feng M, Qu R, Wang C, Wang L, Wang Z (2013b). Comparative antioxidant status in freshwater fish *Carassius auratus* exposed to six current-use brominated flame retardants: a combined experimental and theoretical study. *Aquat Toxicol*; 140–141: 314–23.
- Feng C, Xu Y, Zhao G, Zha J, Wu F, Wang Z. (2012). Relationship between BDE 209 metabolites and thyroid hormone levels in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Toxicology* 122–123:28-35.
- Feng C, Xu Y, He Y, Luo Q, Zha J, Wang Z (2010). Debrominated and methoxylated polybrominated diphenyl ether metabolites in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) after exposure to decabromodiphenyl ether. *J Environ Sci (China)*. 22(9):1425-34.
- Fischer, C., A. Fredriksson and P. Eriksson (2008a). "Coexposure of neonatal mice to a flame retardant PBDE 99 (2,2',4,4',5-pentabromodiphenyl ether) and methyl mercury enhances developmental neurotoxic defects." *Toxicological sciences : an official journal of the Society of Toxicology* 101: 275-285.
- Fischer, C., A. Fredriksson and P. Eriksson (2008b). "Neonatal co-exposure to low doses of an ortho-PCB (PCB 153) and methyl mercury exacerbate defective developmental neurobehavior in mice." *Toxicology* 244: 157-165.
- Fischer D, Hooper K, Athanasiadou M, Athanassiadis I, Bergman A. (2006). Children show highest levels of polybrominated diphenyl ethers in a California family of four: A case study. *Environ Health Perspect* 114(10):1581-1584.
- Flidner A, Heinz Rüdell, Heinrich Jüring, Josef Müller, Frank Neugebauer and Christa Schröter-Kermani (2012). Levels and trends of industrial chemicals (PCBs, PFCs, PBDEs) in archived herring gull eggs from German coastal regions. *Environmental Sciences Europe*, 24:7
- Fowles, J. and D. Morgott (2013). Infant/toddler health risks from exposure to polybrominated diphenyl ethers (pbdes) in car seats and automotive upholstery. Christchurch, New Zealand, Institute of Environmental Science and Research, Ltd. Report FW13051: 78pp
- Frederiksen M, Vorkamp K, Thomsen M, Knudsen LE (2009a). Human internal and external exposure to PBDEs - a review of levels and sources. *Int J Hyg Environ Health*; 212:109-134.
- Frederiksen M, Thomsen M, Vorkamp K, Knudsen LE (2009b). Patterns and concentration levels of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in placental tissue of women in Denmark. *Chemosphere*;76:1464–1469.
- Fromme H, Korner W, Shahin N, Wanner A, Albrecht M, Boehmer S, Parlar H, Mayer R, Liebl B and Bolte G (2009). Human exposure to polybrominated diphenyl ethers (PBDE), as evidenced by data from a duplicate diet study, indoor air, house dust, and biomonitoring in Germany. *Environ Int*; 35:1125-1135.

- Frouin H, Dangerfield N, Macdonald RW, Galbraith M, Crewe N, Shaw P, (2013). Partitioning and bioaccumulation of PCBs and PBDEs in marine plankton from the Strait of Georgia, British Columbia, Canada. *Prog Oceanogr* 115(SI):65-75.
- Fujimoto, H., G. H. Woo, K. Inoue, M. Takahashi, M. Hirose, A. Nishikawa and M. Shibutani (2011). "Impaired oligodendroglial development by decabromodiphenyl ether in rat offspring after maternal exposure from mid-gestation through lactation." *Reprod Toxicol* 31(1): 86-94.
- Fängström B, Hovander L, Bignert A, Athanassiadis I, Linderholm L, Grandjean P, Weihe P, Bergman A (2005a). Concentrations of polybrominated diphenyl ethers, polychlorinated biphenyls, and polychlorobiphenyls in serum from pregnant Faroese women and their children 7 years later. *Environ Sci Technol.*;39:9457-9463.
- Fängstrom B, Athanasiadou M, Athanassiadis I, Bignert A, Grandjean P, Weihe P, (2005b). Polybrominated diphenyl ethers and traditional organochlorine pollutants in fulmars (*Fulmarus glacialis*) from the Faroe Islands. *Chemosphere*; 60:836-43.
- Ganser, Lisa Rania, "Anatomy and Function of the African Clawed Frog Vocal System is Altered by the Brominated Flame Retardant, PBDE-209" (2009). Open Access Dissertations. Paper 245. http://scholarlyrepository.miami.edu/oa_dissertations
- Gao S, Hong J, Yu Z, Wang J, Yang G, Sheng G, Fu J (2011). Polybrominated diphenyl ethers in surface soils from e-waste recycling areas and industrial areas in South China: concentration levels, congener profile, and inventory. *Environ Toxicol Chem.* 30(12):2688-96
- Gao F, Luo XJ, Yang ZF, Wang XM, Mai BX. (2009). Brominated Flame Retardants, Polychlorinated Biphenyls, and Organochlorine Pesticides in Bird Eggs from the Yellow River Delta, North China. *Environ Sci Technol* 43(18):6956-6962.
- Garcia-Reyero N , Escalon BL, Prats E, Stanley JK, Thienpont B, Melby NL, Barón E, Eljarrat E, Barceló D, Jordi Mestres e, Patrick J. Babin, Perkins E J, Raldúa D (2014). "Effects of BDE-209 contaminated sediments on zebrafish development and potential implications to human health." *Environ Int* 5: 216-223.
- Gascon, M., M. Fort, D. Martinez, A. E. Carsin, J. Forns, J. O. Grimalt, L. Santa Marina, N. Lertxundi, J. Sunyer and M. Vrijheid (2012). "Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in breast milk and neuropsychological development in infants." *Environ Health Perspect* 120(12): 1760-1765.
- Gascon, M., M. Vrijheid, D. Martinez, J. Forns, J. O. Grimalt, M. Torrent and J. Sunyer (2011). "Effects of pre and postnatal exposure to low levels of polybromodiphenyl ethers on neurodevelopment and thyroid hormone levels at 4 years of age." *Environ Int* 37: 605-611.
- Gauthier LT, Hebert CE, Weseloh DVC, Letcher RJ. (2008). Dramatic changes in the temporal trends of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in herring gull eggs from the Laurentian Great Lakes: 1982-2006. *Environ Sci Technol* 42(5):1524-1530.
- Gaylor MO, Mears GL, Harvey E, La Guardia MJ, Hale RC (2014). Polybrominated diphenyl ether accumulation in an agricultural soil ecosystem receiving wastewater sludge amendments. *Environ Sci Technol.* 48(12):7034-43.
- Gentes ML, Robert J. Letcher RJ, Caron-Beaudoin E, Jonathan Verreault J (2012). Novel Flame Retardants in Urban-Feeding Ring-Billed Gulls from the St. Lawrence River, Canada. *Environ. Sci. Technol.*, 46, 9735-9744
- Gerecke AC, Giger W, Hartmann PC, Heeb NV, Kohler H-P E, Schmid P, Zennegg M, Kohler M (2006). Anaerobic degradation of brominated flame retardants in sewage sludge. *Chemosphere*, 64, 311-317.
- Gerecke AC, Hartmann PC, Heeb NV, Kohler H-P E , Giger W, Schmid P, Zennegg M, Kohler M (2005). Anaerobic degradation of decabromodiphenyl ether. *Environmental Science and Technology*, 39, 1078-1083.
- Gilbert, M. E., J. Rovet, Z. Chen and N. Koibuchi (2012). "Developmental thyroid hormone disruption: prevalence, environmental contaminants and neurodevelopmental consequences." *Neurotoxicology* 33: 842-852.
- Gilchrist TT, Letcher RJ, Thomas P, Fernie KJ (2014). Polybrominated diphenyl ethers and multiple stressors influence the reproduction of free-ranging tree swallows (*Tachycineta bicolor*) nesting at wastewater treatment plants. *Sci Total Environ.* 472:63-71.

- Gómara B, Herrero L, Pacepavicius G, Ohta S, Alaee M, González MJ (2011). Occurrence of co-planar polybrominated/chlorinated biphenyls (PXBs), polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in breast milk of women from Spain. *Chemosphere*;83:799–805.
- Gómara, B., L. Herrero, J. J. Ramos, J. R. Mateo, M. A. Fernández, J. F. García and M. J. González (2007). Distribution of polybrominated diphenyl ethers in human umbilical cord serum, paternal serum, maternal serum, placentas, and breast milk from Madrid population, Spain. *Environmental Science and Technology* 41: 6961-6968.
- Goodman, J. E. (2009). "Neurodevelopmental effects of decabromodiphenyl ether (BDE-209) and implications for the reference dose." *Regul Toxicol Pharmacol* 54(1): 91-104.
- Goutte A, Chevreuil M, Alliot F, Chastel O, Cherel Y, Eléaume M, 2013. Persistent organic pollutants in benthic and pelagic organisms off Adélie Land, Antarctica. *Mar Pollut Bull* 77(1–2):82-89.
- Gregoraszczyk EL, Rak A, Kawalec K, Ropstad E (2008). Steroid secretion following exposure of ovarian follicular cells to single congeners and defined mixture of polybrominated dibenzoethers (PBDEs), p,p'-DDT and its metabolite p,p'-DDE. *Toxicol Lett* 178(2): 103-9. doi: 10.1016/j.toxlet.2008.02.011.
- Hakk, H., Larsen G, Bergman Å, Örn U (2002). "Binding of brominated diphenyl ethers to male rat carrier proteins." *Xenobiotica* 32(12): 1079-1091.
- Hale, R. C., M. J. La Guardia, E. Harvey, D. Chen, T. M. Mainor, D. R. Luellen, and L. S. Hundal. (2012). Polybrominated Diphenyl Ethers in U.S. Sewage Sludges and Biosolids: Temporal and Geographical Trends and Uptake by Corn Following Land Application. *Environmental Science & Technology* 46:2055-2063.
- Hale RC, Kim SL (2008). "Antarctic research bases: local sources of polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants." *Environ Sci Technol* 42(5): 1452-1457.
- Hale RC, Alace M, Manchester-Neesvig JB, Stapleton HM, Ikonomou MG (2003). Polybrominated diphenyl ether flame retardants in the North American environment. *Environ. Int.* 29: 771–779.
- Hallgren, S. and P. O. Darnerud (2002). "Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), polychlorinated biphenyls (PCBs) and chlorinated paraffins (CPs) in rats-testing interactions and mechanisms for thyroid hormone effects." *Toxicology* 177: 227-243.
- Hamers, T., J. H. Kamstra, E. Sonneveld, A. J. Murk, M. H. a. Kester, P. L. Andersson, J. Legler and A. Brouwer (2006). "In vitro profiling of the endocrine-disrupting potency of brominated flame retardants." *Toxicological sciences : an official journal of the Society of Toxicology* 92: 157-173.
- Hamm S, Strikkeling M, Ranken PF, Rothenbacher KP (2001). Determination of polybrominated diphenyl ethers and PBDD/Fs during the recycling of high impact polystyrene containing decabromodiphenyl ether and antimony oxide. *Chemosphere* 44(6):1353-60
- Hardy, M. L., M. Banasik and T. Stedeford (2009). "Toxicology and human health assessment of decabromodiphenyl ether BDE-209 human health assessment " *Critical Reviews in Toxicology* 39: 1-44.
- Hardy, M. and T. Stedeford (2008). "Developmental neurotoxicity: when research succeeds through inappropriate statistics." *Neurotoxicology* 29(3): 476.
- Hardy, M. L., R. Schroeder, J. Biesemeier and O. Manor (2002). "Prenatal oral (gavage) developmental toxicity study of decabromodiphenyl ether in rats." *Int J Toxicol* 21(2): 83-91.
- Harley, K. G., J. Chevrier, R. Aguilar Schall, A. Sjödin, A. Bradman and B. Eskenazi (2011). "Association of prenatal exposure to polybrominated diphenyl ethers and infant birth weight." *American journal of epidemiology* 174: 885-892.
- Harrad S, de Wit CA, Abdallah MA, Bergh C, Bjorklund JA, Covaci A, et al (2010). Indoor contamination with hexabromocyclododecanes, polybrominated diphenyl ethers, and perfluoroalkyl compounds: an important exposure pathway for people? *Environ Sci Technol* 44:3221-3231.
- He S, Li M, Jin J, Wang Y, Bu Y, Xu M et al (2013). Concentrations and trends of halogenated flame retardants in the pooled serum of residents of Laizhou bay, China. *Environ Toxicol Chem* 32:1242-1247.
- He MJ, Luo XJ, Chen MY, Sun YX, Chen SJ, Mai BX. (2012). Bioaccumulation of polybrominated diphenyl ethers and decabromodiphenyl ether in fish from a river system in a highly industrialized area, South China. *Sci Total Environ* 419: 109-115.

- He J, Yang D, (2011). Chronic zebrafish low dose decabrominated diphenyl ether (BDE-209) exposure affected parental gonad development and locomotion in F1 offspring. *Ecotoxicology* 20(8): 1813-1822.
- He P, Wang AG, Xia T, Gao P, Niu Q, Guo LJ, Xu BY, Chen XM (2009). "Mechanism of the neurotoxic effect of PBDE-47 and interaction of PBDE-47 and PCB153 in enhancing toxicity in SH-SY5Y cells." *Neurotoxicology* 30: 10-15.
- Hendriks HS, van Kleef RG, Westerink RH (2012). Modulation of human $\alpha\beta 2$ nicotinic acetylcholine receptors by brominated and halogen-free flame retardants as a measure for in vitro neurotoxicity. *Toxicol Lett.* 213(2):266-74.
- HCA, Health Canada. Human (2012). Health - State of the science report on decabromodiphenyl ether (decaBDE). Ottawa, Canada.
- HCA, Health Canada (2006). State of the Science Report for a Screening Health Assessment Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs)[Tetra-, Penta-, Hexa-, Hepta-, Octa-, Nona- and Deca-Congeners][CAS Nos. 40088-47-9, 32534-81-9, 36483-60-0, 68928-80-3, 32536-52-0, 63936-56-1, 1163-19-5]. 39.
- Herbstman, J. B., A. Sjödin, B. J. Apelberg, F. R. Witter, R. U. Haiden, D. G. Patterson Jr., S. R. Panny, L. L. Needham and L. R. Goldman (2008). Birth delivery mode modifies the associations between prenatal polychlorinated biphenyl (PCB) and polybrominated diphenyl ether (PBDE) and neonatal thyroid hormone levels. *Environmental Health Perspectives.* 116: 1376-1382.
- Heredia, L., M. Torrente, M. T. Colomina and J. L. Domingo (2012). "Behavioral effects of oral subacute exposure to BDE-209 in young adult mice: a preliminary study." *Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association* 50: 707-712.
- Hermanson, M. H., E. Isaksson, (2010). "Deposition history of brominated flame retardant compounds in an ice core from Holtedahlfonna, Svalbard, Norway." *Environ Sci Technol* 44(19): 7405-7410.
- Hoffman, K., M. Adgent, B. D. Goldman, A. Sjödin and J. L. Daniels (2012). "Lactational Exposure to Polybrominated Diphenyl Ethers and Its Relation to Social and Emotional Development among Toddlers." 1438: 1438-1442.
- Holden A, Park JS, Chu V, Kim M, Choi G, Shi Y, Chin, T, Chun C, Linthicum J, Walton BJ, Hooper K, (2009). Unusual hepta- and octa-brominated diphenyl ethers and nona-brominated diphenyl ether profile in California, USA, peregrine falcons (*Falco peregrinus*): More evidence for brominated diphenyl ether-209 debromination. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28 (9), 1906-11.
- Holma-Suutari, P. Ruokojärvi, S. Laaksonen, H. Kiviranta, M. Nieminen, M. Viluksela, A (2014). Hallikainen. Persistent organic pollutant levels in semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus* L.), feed, lichen, blood, milk, placenta, foetus and calf. *Science of the Total Environment* 476-477: 125-135
- Hong SK, Sohn KH, Kim IY, Lee JK, Ju JH, Kim JH, Lim CH, Han BS, Jung HC, Lee JY, Park KL (2010). Polybrominated Diphenyl Ethers Orally Administration to Mice Were Transferred to Offspring during Gestation and Lactation with Disruptions on the Immune System. *Immune Netw.* 2010 10(2):64-74.
- Hooper MJ, Ankley GT, Cristol DA, Maryoung LA, Noyes PD, Pinkerton KE. Interactions between chemical and climate stressors: a role for mechanistic toxicology in assessing climate change risks. *Environ Toxicol Chem.* 2013 Jan (1):32-48.
- Hu XZ, Xu Y, Hu DC, Hui Y, Yang FX. (2007). Apoptosis induction on human hepatoma cells Hep G2 of decabrominated diphenyl ether (PBDE-209). *Toxicol Lett* 171:19-28.
- Hua, I., Kang, N., Jafvert, C.T. and Fabrega-Duque, J.R., (2003). Heterogeneous photochemical reactions of decabromodiphenyl ether. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 22 (4), 798-804.
- Huang, F., S. Wen, J. Li, Y. Zhong, Y. Zhao and Y. Wu (2014). "The human body burden of polybrominated diphenyl ethers and their relationships with thyroid hormones in the general population in Northern China." *The Science of the total environment* 466-467: 609-615.
- Huang, H., Zhang, S., Wang, S. & Lv, J., (2013). In vitro biotransformation of PBDEs by root crude enzyme extracts: Potential role of nitrate reductase (NaR) and glutathione S-transferase (GST) in their debromination. *Chemosphere*, 90(6), pp.1885-1892.

- Huang, H., S. Zhang, P. Christie, S. Wang, and M. Xie. (2010a). Behavior of decabromodiphenyl ether (BDE-209) in the soil-plant system: uptake, translocation, and metabolism in plants and dissipation in soil. *Environmental Science & Technology* 44:663.
- Huang SC, Giordano G, Costa LG (2010b). "Comparative cytotoxicity and intracellular accumulation of five polybrominated diphenyl ether congeners in mouse cerebellar granule neurons." *Toxicological sciences : an official journal of the Society of Toxicology* 114: 124-132.
- Hughes, M. F., B. C. Edwards, C. T. Mitchell and B. Bhooshan (2001). "In vitro dermal absorption of flame retardant chemicals." *Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association* 39: 1263-1270.
- Hung H, Kallenborn R, Breivik K, Su Y, Brorström-Lundén E, Olafsdóttir K, Thorlacius JM, Leppänen S, Bossi R, Skov H, Manø S, Patton GW, Stern G, Sverko E, Fellin P (2010). Atmospheric monitoring of organic pollutants in the Arctic under the Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP): 1993-2006. *Sci Total Environ.* 408(15): 2854-73.
- Hussey NE, Macneil MA, McMeans BC, Olin JA, Dudley SF, Cliff G, Wintner SP, Fennessy ST, Fisk AT. Rescaling the trophic structure of marine food webs. *Ecol Lett.* 2014 Feb;17(2):239-50. doi: 10.1111/ele.12226.
- Huwe JK, Hakk H, Smith DJ, Diliberto JJ, Richardson V, Stapleton HM, Birnbaum LS (2008). Comparative absorption and bioaccumulation of polybrominated diphenyl ethers following ingestion via dust and oil in male rats. *Environ Sci Technol.* 42(7):2694-700.
- Huwe, J. K. and D. J. Smith. 2007. Accumulation, whole-body depletion, and debromination of decabromodiphenyl ether in male sprague-dawley rats following dietary exposure. *Environmental Science & Technology* 41:2371-2377.
- Ibhazehiebo, K., T. Iwasaki, J. Kimura-Kuroda, W. Miyazaki, N. Shimokawa and N. Koibuchi (2011). "Disruption of thyroid hormone receptor-mediated transcription and thyroid hormone-induced Purkinje cell dendrite arborization by polybrominated diphenyl ethers." *Environmental health perspectives* 119: 168-175.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). IPCC Fourth Assessment Report (AR4): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. Available at: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>. ISO, 2005. Soil quality-avoidance test for testing the quality of soils and toxicity of chemicals-test with earthworms (*Eisenia andrei*). International Organization for Standardization, Geneva.
- Jafvert C, Hua I. (2001a). Photochemical Reactions of Decabromodiphenyl Oxide and 2,2',4,4'-Tetrabromodiphenyl Oxide. Final Report. School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana, U.S.A
- Jafvert, C. and Hua, I., 2001b. Letter to Wendy Sherman, American Chemical Council Brominated Flame Retardant Industry Panel, 20 October 2001.
- Jakobsson K, Fang J, Athanasiadou M, Rignell-Hydbom A, Bergman Å (2012). Polybrominated diphenyl ethers in maternal serum, umbilical cord serum, colostrum and mature breast milk. Insights from a pilot study and the literature. *Environ Int* 47:121-130.
- Jakobsson, K., Thuresson, K., Höglund, P., Sjödin, A., & Hagmar, L. (2003). A summary of exposures to polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in Swedish workers , and determination of half-lives of PBDEs. 61, 17-20.
- Jakobsson K, Thuresson K, Rylander L, Sjödin A, Hagmar L, Bergman Å, (2002). Exposure to polybrominated diphenyl ethers and tetrabromobisphenol A among computer technicians. *Chemosphere* 46:709–716.
- Jaspers VLB, Covaci A, Voorspoels S, Dauwe T, Eens M, Schepens P (2006). Brominated flame retardants and organochlorine pollutants in aquatic and terrestrial predatory birds of Belgium. Levels, patterns, tissue distribution and condition factors. *Environ Pollut* 139:340–52.
- Jenssen BM, Sørmo E, Bæk K, Bytingsvik J, Gaustad H, Ruus A, Skaare JU (2007). Brominated flame retardants in north-east Atlantic marine ecosystems. *Environmental Health Perspectives* vol 115, Sup 1.

- JETOC (2000). Mutagenicity Test Data Of Existing Chemical Substances Based On The Toxicity Investigation Of The Industrial Safety And Health Law; (Suppl. 2), Japan Chemical Industry Ecology-Toxicology & Information Center.
- Ji, K., K. Choi, J. P. Giesy, J. Musarrat and S. Takeda (2011). "Genotoxicity of several polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and hydroxylated PBDEs, and their mechanisms of toxicity." *Environmental science & technology* 45: 5003-5008.
- Johansson A-K, Sellström U, Lindberg P, Bignert A, de Wit C (2011). Temporal trends of polybrominated diphenyl ethers and hexabromocyclododecane in Swedish Peregrine Falcon (*Falco peregrinus peregrinus*) eggs. *Environment International* 37: 678–686.
- Johannsson AK, Sellström U, Lindberg P, Bignert A, de Wit C (2009). Polybrominated diphenyl ethers congener patterns, hexabromocyclododecane, and brominated biphenyl 153 in eggs of peregrine falcons (*Falco peregrinus*) breeding in Sweden. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 28, No. 1, pp. 9–17.
- Johansson, N., H. Viberg, a. Fredriksson and P. Eriksson (2008). "Neonatal exposure to deca-brominated diphenyl ether (PBDE 209) causes dose-response changes in spontaneous behaviour and cholinergic susceptibility in adult mice." *Neurotoxicology* 29: 911-919.
- Kajiwara, N., J. Desborough, S. Harrad, and H. Takigami. (2013a). Photolysis of brominated flame retardants in textiles exposed to natural sunlight *ENVIRONMENTAL SCIENCE-PROCESSES & IMPACT* 15:653-660.
- Kajiwara N, Takigami H (2013b). Emission behavior of hexabromocyclododecanes and polybrominated diphenyl ethers from flame-retardant-treated textiles. *Environ Sci Process Impacts*.15(10):1957-63.
- Kajiwara, N., Y. Noma, and H. Takigami. (2008). Photolysis studies of technical decabromodiphenyl ether (DecaBDE) and ethane (DeBDethane) in plastics under natural sunlight. *Environmental Science & Technology* 42:4404-4409.
- Kagaku Kogyo Nenkan, Flame Retardants, Kagaku Kogyo Nippo, Tokyo, Japan, (2001), pp. 367–369.
- Karpeta, A. and E. Gregoraszczyk (2010). "Mixture of dominant PBDE congeners (BDE-47, -99, -100 and -209) at levels noted in human blood dramatically enhances progesterone secretion by ovarian follicles." *Endocrine regulations* 44: 49-55.
- Kawashiro, Y., H. Fukata, M. Omori-Inoue, K. Kubonoya, T. Jotaki, H. Takigami, S.-i. Sakai and C. Mori (2008). "Perinatal exposure to brominated flame retardants and polychlorinated biphenyls in Japan." *Endocrine journal* 55: 1071-1084.
- Kelly, B. C., M. G. Ikonomou, (2009). "Perfluoroalkyl contaminants in an Arctic marine food web: trophic magnification and wildlife exposure." *Environ Sci Technol* 43(11): 4037-4043.
- Kelly BC, Ikonomou MG, Blair JD, Morin AE, Gobas F. (2007). Food web-specific biomagnification of persistent organic pollutants. *Science* 317(5835):236-239.
- KemI (1994). Risk Assessment of Polybrominated Diphenyl Ethers, Solna: The Swedish National Chemicals Inspectorate.
- Kemmlin (2006). Emission test chamber study: Specific emission rates of PBDE from selected materials under various conditions. DIOXIN 2006, Oslo, Norway, August 21-24, 2006.
- Kemmlin, (2003). "Emission of Flame Retardants from Consumer Products and Building Materials", Federal Environment Agency publication
- Kicinski, M., M. K. Viaene, E. Den Hond, G. Schoeters, A. Covaci, A. C. Dirtu, V. Nelen, L. Bruckers, K. Croes, I. Sioen, W. Baeyens, N. Van Larebeke and T. S. Nawrot (2012). "Neurobehavioral function and low-level exposure to brominated flame retardants in adolescents: a cross-sectional study." *Environ Health* 11: 86.
- Kim M, Guerra P, Theocharides M, Barclay K, Smyth SA, Alae M (2013a). Polybrominated diphenyl ethers in sewage sludge and treated biosolids: effect factors and mass balance. *Water Res. Nov* 1;47(17):6496-505.
- Kim, M., et al. (2013b). "Parameters affecting the occurrence and removal of polybrominated diphenyl ethers in twenty Canadian wastewater treatment plants." *Water Res* 47(7): 2213-2221.
- Kim, TH., Lee YJ, Lee E, Kim MS, Kwack S J, Kim KB, Chung KK, Kang TS, Han SY, Lee J, Lee BM and Kim HS (2009). "Effects of gestational exposure to decabromodiphenyl ether on reproductive

- parameters, thyroid hormone levels, and neuronal development in Sprague-Dawley rats offspring." *J Toxicol Environ Health A* 72(21-22): 1296-1303.
- Kierkegaard, A., L. Asplund, (2007). "Fate of higher brominated PBDEs in lactating cows." *Environ Sci Technol* 41(2): 417-423.
- Kierkegaard A, Balk L, Tjarnlund U, De Wit CA, Jansson, B. (1999). Dietary uptake and biological effects of decabromodiphenyl ether in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Environ. Sci. Technol.* 1999, 33 (10), 1612–1617.
- Kirkland, D., M. Aardema, L. Henderson and L. Müller (2005). "Evaluation of the ability of a battery of three in vitro genotoxicity tests to discriminate rodent carcinogens and non-carcinogens I. Sensitivity, specificity and relative predictivity." *Mutation research* 584: 1-256.
- Klif, Klima- og forurensningsdirektoratet (2011). Tilførselsprogrammet 2011. Overvåking av tilførsler og miljøtilstand i Norskehavet. Oslo TA-2935/ 2011. Oslo. p. 1-227.
http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/Statlig_miljoovervakning/Overvaking_av_miljogifter_og_beregning_av_tilforsler_til_norske_kyst_og_havomrader_Tilforselsprogrammet/Rapporter/Tilfoerselsprogrammet_2011_Overvaking_av_tilforsler_og_miljotilstand_i_Norskehavet/
- Klif, Klima- og forurensningsdirektoratet (2010). Tilførselsprogrammet 2009. Overvåking av tilførsler og miljøtilstand i Barentshavet og Lofotenområdet. TA-2660/ 2010. Oslo p. 1-246.
http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/Statlig_miljoovervakning/Overvaking_av_miljogifter_og_beregning_av_tilforsler_til_norske_kyst_og_havomrader_Tilforselsprogrammet/Rapporter/Tilfoerselsprogrammet_2009_Overvaking_av_tilforsler_og/
- Klosterhaus, S. L. and J. E. Baker (2010). "Bioavailability of decabromodiphenyl ether to the marine polychaete *Nereis virens*." *Environ Toxicol Chem* 29(4): 860-868.
- Knoth W, Winfried Mann W, Meyer R, Nebhuth J (2007). Polybrominated diphenyl ether in sewage sludge in Germany. *Chemosphere* 67: 1831–1837
- Koch E & J C Altamirano & A Covaci & N B Lana & N F Ciocco (2014). Should apple snail *Pomacea canaliculata* (Caenogastropoda, Ampullariidae) be used as bioindicator for BDE-209? *Environ Sci Pollut Res* 21:761–765
- Kodavanti, P.R.S., Szabo, D.T., Stoker, T.E., and Fenton, S.E. (2011). Brominated flame retardants. In: *Reproductive and Developmental Toxicology*, ed by Ramesh C. Gupta, Elsevier Inc., pp523-541.
- Kohler, M., M. Zennegg, (2008). "Temporal trends, congener patterns, and sources of octa-, nona-, and decabromodiphenyl ethers (PBDE) and hexabromocyclododecanes (HBCD) in Swiss lake sediments." *Environ Sci Technol* 42(17): 6378-6384.
- Kortenkamp, A., O. Martin, R. Evans, M. Faust and T. Backhaus (2014). Risk of combination effects between decabromodiphenyl ether and other polybrominated diphenyl ethers, Norwegian Environmental Protection Agency, Oslo, Norway.: 152pp. Available at:
<http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/2014/Juli-2014/Risk-of-Combination-Effects-Between-Decabromodiphenyl-Ether-and-Other-Polybrominated-Diphenyl-Ethers/>
- Kuivikko M, Kotiaho T, Hartonen K, Tanskanen A, Vahatalo AV (2007). Modeled direct photolytic decomposition of Polybrominated diphenyl ethers in the Baltic sea and the Atlantic ocean. *Environ. Sci. Technol.* 41 (20), 7016–7021.
- Kuo YM, Sepulveda MS (2010). Bioaccumulation and biotransformation of decabromodiphenyl ether and effects on daily growth in juvenile lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*). *Ecotoxicology* 19(4). 751-760
- Kuriyama, S. N., C. E. Talsness, K. Grote and I. Chahoud (2005). "Developmental exposure to low dose PBDE 99: effects on male fertility and neurobehavior in rat offspring." *Environmental health perspectives* 113: 149-154.
- Kwan C, Hideshige Takada, Ruchaya Boonyatumanond, Yoshihisa Kato, Kaoruko Mizukawa, Maki Ito, Le Quang Dung, Mohamad Pauzi Zakaria, Evangeline C. Santiago (2014). Historical occurrences of polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated biphenyls in Manila Bay, Philippines, and in the upper Gulf of Thailand. *Science of the Total Environment* 470–471: 427–437
- Kwan C, & Hideshige Takada & Kaoruko Mizukawa & Maiko Torii & Tatsuya Koike & Rei Yamashita & Rinawati & Mahua Saha & Evangeline C (2013). Santiago. PBDEs in leachates from municipal solid waste dumping sites in tropical Asian countries: phase distribution and debromination. *Environ Sci Pollut Res* 20:4188–4204

- La Guardia MJ, Hale RC, Harvey E, Mainor TM, Ciparis S. (2012). In Situ Accumulation of HBCD, PBDEs, and Several Alternative Flame-Retardants in the Bivalve (*Corbicula fluminea*) and Gastropod (*Elimia proxima*). *Environ Sci Technol* 46(11):5798-5805.
- Law RJ, Covaci A, Harrad S, Herzke D, Abdallah MA, Fernie K, Toms LM, Takigami H (2014). Levels and trends of PBDEs and HBCDs in the global environment: status at the end of 2012. *Environ Int.* 65:147-58.
- Law K, Halldorson T, Danell R, Stern G, Gewurtz S, Alaei M, (2006). Bioaccumulation and trophic transfer of some brominated flame retardants in a Lake Winnipeg (Canada) food web. *Environ Toxicol Chem* 25(8):2177-2186.
- Leal, J.F., Esteves, V.I. and Santos, E.B.H. (2013) BDE-209: Kinetic Studies and Effect of Humic Substances on Photodegradation in Water. *Environmental Science & Technology*, 47, 14010-14017
- Lee LK, He J (2010a). Reductive debromination of polybrominated diphenyl ethers by anaerobic bacteria from soils and sediments. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(3), 794-802.
- Lee ETHK, Jae Seok Choi, Patra Nabanata, Na Young Kim, Mee Young Ahn, Ki Kyung Jung, Il Hyun Kang, Tae Sung Kim, Seung Jun Kwack, Kui Lea Park, Seung Hee Kim, Tae Seok Kang, Jaewon Lee, Byung Mu Lee and Hyung Sik Kim (2010b). "Evaluation of liver and thyroid toxicity in Sprague-Dawley rats after exposure to polybrominated diphenyl ether BDE-209." *The Journal of Toxicological Sciences* 35(4): 535-545.
- Leslie, H. A., et al. (2011). "Decabromodiphenylether and hexabromocyclododecane in wild birds from the United Kingdom, Sweden and The Netherlands: Screening and time trends." *Chemosphere* 82(1): 88-95.
- Letcher, R. J., S. C. Martenson, (2014). "Dietary exposure of American kestrels (*Falco sparverius*) to decabromodiphenyl ether (BDE-209) flame retardant: Uptake, distribution, debromination and cytochrome P450 enzyme induction." *Environ Int* 63: 182-190.
- Letcher, R. J., J. O. Bustnes (2010). "Exposure and effects assessment of persistent organohalogen contaminants in arctic wildlife and fish." *Sci Total Environ* 408(15): 2995-3043.
- Li Y, Duan YP, Huang F, Yang J, Xiang N, Meng XZ, Chen L (2013). Polybrominated diphenyl ethers in e-waste: Level and transfer in a typical e-waste recycling site in Shanghai, Eastern China. *Waste Manag.* S0956-053X(13)00409-1
- Li Y, Lin T, Chen Y, Hu L, Guo Z, Zhang G (2012a). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in sediments of the coastal East China Sea: occurrence, distribution and mass inventory. *Environ Pollut.* 171:155-61.
- Li ZH, Liu XY, Wang N, Chen JS, Chen YH, Huang JT (2012b). Effects of Decabrominated Diphenyl Ether (PBDE-209) in Regulation of Growth and Apoptosis of Breast, Ovarian, and Cervical Cancer Cells. *Environ Health Perspect* 120(4):541-546.
- Li, B., et al. (2012c). "Occurrence of PFCs and PBDEs in Landfill Leachates from Across Canada." *Water, Air, & Soil Pollution* 223(6): 3365-3372.
- Li W, Zhu L (2011). "Effects of decabromodiphenyl ether (BDE-209) on mRNA transcription of thyroid hormone pathway and spermatogenesis associated genes in Chinese rare minnow (*Gobiocypris rarus*)." *Environ Toxicol.*
- Li QZ, Yan CZ, Luo ZX, Zhang X. (2010). Occurrence and levels of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in recent sediments and marine organisms from Xiamen offshore areas, China. *Mar Pollut Bull* 60(3):464-469.
- Li, Y.F., Bidleman, T.F., (2003). Correlation between global emission of α -hexachlorocyclohexane and its concentrations in the Arctic air. *Journal of Environmental Informatics* 1, 52–57.
- Liang, S.-X. X., H.-X. X. Gao, Y.-Y. Y. Zhao, X.-M. M. Ma and H.-W. W. Sun (2010). "Effects of repeated exposure to decabrominated diphenyl ether (BDE-209) on mice nervous system and its self repair." *Environmental toxicology and pharmacology* 29: 297-301.
- Lignell S, Aune M, Isaksson M, Redeby J, Darnerud PO, Glynn A (2011). BDE-209 in blood serum from first-time mothers in Uppsala – temporal trend 1996-2010. National Food Agency, Uppsala, Sweden,
- Lin, Y.-M., et al. (2012). "Emissions of Polybrominated Diphenyl Ethers during the Thermal Treatment for Electric Arc Furnace Fly Ash." *Aerosol and Air Quality Research* 12: 237-250.

- Lindberg, P., Sellstrom, U., Haggberg, L. and De Wit, C. A., (2004). Higher brominated PBDEs and hexabromocyclododecane found in eggs of peregrine falcon (*Falco peregrinus*) breeding in Sweden. *Environmental Science & Technology*, 38(1), 93-96.
- Liu X, Zhan H, (2012). The PBDE-209 exposure during pregnancy and lactation impairs immune function in rats. *Mediators Inflamm* 692467(10). 15.
- Liu L, Zhu W, (2011a). Effect of decabromodiphenyl ether (BDE 209) and dibromodiphenyl ether (BDE 15) on soil microbial activity and bacterial community composition. *J Hazard Mater* 186(1). 883-890.
- Liu Y, Li J, Zhao Y, Wen S, Huang F, Wu Y. (2011b). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and indicator polychlorinated biphenyls (PCBs) in marine fish from four areas of China. *Chemosphere* 83(2):168-174.
- Liu PY, Du GD, Zhao YX, Mu YS, Zhang AQ, Qin ZF, Zhang XY, Yan SS, Li Y, Wei RG, Qin XF, Yang YJ (2011c). Bioaccumulation, maternal transfer and elimination of polybrominated diphenyl ethers in wild frogs. *Chemosphere*. 2011;84(7):972-8.
- Llabjani, V., J. Trevisan, K. C. Jones, R. F. Shore and F. L. Martin (2010). "Binary mixture effects by PBDE congeners (47, 153, 183, or 209) and PCB congeners (126 or 153) in MCF-7 cells: biochemical alterations assessed by IR spectroscopy and multivariate analysis." *Environmental science & technology* 44: 3992-3998.
- Lohmann, R., J. Klanova (2013). "Concentrations, Fluxes, and Residence Time of PBDEs Across the Tropical Atlantic Ocean." *Environ Sci Technol* 27: 27.
- Lorber M (2008). Exposure of Americans to polybrominated diphenyl ethers. *J Exp Sci Environ Epidemiol* 18:2-19.
- Lu, M., Zhang, Z.-Z., Su, X.-L., Xu, Y.-X., Wu, X.-J. & Zhang, M., 2013. Effect of copper on in vivo fate of BDE-209 in pumpkin. *Journal of hazardous materials*, 262, pp.311-7.
- Lunder S, Hovander L, Athanassiadis I, Bergman A. (2010). Significantly Higher Polybrominated Diphenyl Ether Levels in Young US Children than in Their Mothers. *Environ Sci Technol* 44(13):5256-5262.
- Luo Q, Zha JM, Wang ZJ, Wong MH, Cai ZW. (2013). Bioaccumulation and debromination of BDE-209 in Japanese medaka (*Oryzias Latipes*) when continuously exposed to environmental relevant concentrations. *J Environ Sci Heal A* 48(11):1349-1355.
- Ma Y, Salamova A, Venier M, Hites RA (2013). Has the Phase-Out of PBDEs Affected Their Atmospheric Levels? Trends of PBDEs and Their Replacements in the Great Lakes Atmosphere. *Environmental Science & Technology* 47 (20), 11457-11464
- MacGregor JA and Nixon WB (1997). Decabromodiphenyl oxide (DBDPO): Determination of n-octanol/water partition coefficient. *Wildlife International Ltd*, 1997.
- Mannetje A, Coakley J, Bridgen P, Brooks C, Harrad S, Smith AH, Pearce N, Douwes J (2013). Current concentrations, temporal trends and determinants of persistent organic pollutants in breast milk of New Zealand women. *Sci Total Environ* 458-460:399-407.
- Mansouri K, Consonni V, Durjava MK, Kolar B, Oberg T, Todeschini R. (2012). Assessing bioaccumulation of polybrominated diphenyl ethers for aquatic species by QSAR modeling. *Chemosphere* 89(4):433-444.
- Mariani A, Fanelli R, Re Depaolini A, De Paola M. (2014) Decabrominated diphenyl ether and methylmercury impair fetal nervous system development in mice at documented human exposure levels. *Dev Neurobiol*. 2014 Jul 9. doi: 10.1002/dneu.22208.
- Mariussen E, Steinnes E, Breivik K, Nygaard T, Schlabach M, Kalas JA (2008). Spatial patterns of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in mosses, herbivores and a carnivore from the Norwegian terrestrial biota. *Sci Total Environ* 404:162-70.
- Marteinson SC, Bird DM, Shutt JL, Letcher RJ, Ritchie IJ, Fernie K (2010). Multi-generational effects of polybrominated diphenylethers exposure: Embryonic exposure of male American kestrels (*Falco sparverius*) to DE-71 alters reproductive success and behaviors. *Environ Toxicol Chem* 28:1740-7.
- Marvin C, Jasmine Waltho, Julia Jia, Debbie Burniston (2013). Spatial distributions and temporal trends in polybrominated diphenyl ethers in Detroit River suspended sediments. *Chemosphere* 91: 778-783

- McKinney, M. A., Dietz, R., Sonne, C., de Guise, S., Skirnisson, K., Karlsson, K., Steingrímsson, E., & Letcher, R. J. (2011a). Comparative Hepatic Microsomal Biotransformation of Selected PBDEs, Including Decabromodiphenyl Ether, and Decabromodiphenyl Ethane Flame Retardants in Arctic Marine-Feeding Mammals, *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 30, no. 7, pp. 1506-1514.
- Messer A (2010). Mini-review: polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants as potential autism risk factors. *Physiol Behav.* 100(3):245-9.
- Meyer, T., D. C. Muir, (2012). "Deposition of brominated flame retardants to the Devon Ice Cap, Nunavut, Canada." *Environ Sci Technol* 46(2): 826-833.
- Miyaso, H., et al. (2012). "Postnatal exposure to low-dose decabromodiphenyl ether adversely affects mouse testes by increasing tyrosine phosphorylation level of cortactin." *J Toxicol Sci* 37(5): 987-999.
- Miller, M. F., S. M. Chernyak, S. E. Domino, S. a. Batterman and R. Loch-Caruso (2012). "Concentrations and speciation of polybrominated diphenyl ethers in human amniotic fluid." *The Science of the total environment* 417-418: 294-298.
- Mizukawa H, Nomiya K, Nakatsu S, Yachimori S, Hayashi T, Tashiro Y, (2013). Species-specific differences in the accumulation features of organohalogen contaminants and their metabolites in the blood of Japanese terrestrial mammals. *Environ Pollut* 174(28-37).
- Mizukawa K, Takada H, Takeuchi I, Ikemoto T, Omori K, Tsuchiya K. (2009). Bioconcentration and biomagnification of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) through lower-trophic-level coastal marine food web. *Marine Pollution Bulletin* 58(8):1217-1224.
- Mo L, Wu JP, Luo XJ, Li KL, Peng Y, Feng AH, (2013). Using the kingfisher (*Alcedo atthis*) as a bioindicator of PCBs and PBDEs in the dinghushan biosphere reserve, China. *Environ Toxicol Chem* 32(7):1655-1662.
- Mo L, Wu JP, Luo XJ, Zou FS, Mai BX. (2012). Bioaccumulation of polybrominated diphenyl ethers, decabromodiphenyl ethane, and 1,2-bis(2,4,6-tribromophenoxy) ethane flame retardants in kingfishers (*Alcedo atthis*) from an electronic waste-recycling site in South China. *Environ Toxicol Chem.* 31(9).2153-8.
- 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 Int J Chem*62:424–31.
- Morf, LS, Buser AM, Taverna R, Bader HP, Scheidegger R. (2007). Efficient measures in waste management as a key factor to reduce emissions of BFRs: Case study results for DecaBDE in Switzerland and global implications. *Organohalogen Compounds*, 69, 916-919.
- Morf L, Smutny R, Taverna R, Daxbeck H. Selected polybrominated flame retardants, PBDEs and TBBPA—substance flow analysis. Berne: Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape; 2003.
- Morgado I, Hamers T, Van der Ven L, Power DM (2007). Disruption of thyroid hormone binding to sea bream recombinant transthyretin by ioxinyl and polybrominated diphenyl ethers. *Chemosphere.* 69(1): 155-63
- Muñoz-Arnanz J, Sáez M, Aguirre JI, Hiraldo F, Baos R, Pacepavicius G, (2011). Predominance of BDE-209 and other higher brominated diphenyl ethers in eggs of white stork (*Ciconia ciconia*) colonies from Spain. *Environ Int* 37(3):572-576.
- Munsch C, K. Héas-Moisán, C. Tixier, N. Olivier, O. Gastineau, N. Le Bayon, V. Buchet (2011). Dietary exposure of juvenile common sole (*Solea solea* L.) to polybrominated diphenyl ethers (PBDEs): Part 1. Bioaccumulation and elimination kinetics of individual congeners and their debrominated metabolites. *Environmental Pollution* 159: 229-237
- Möller, A., Z. Y. Xie, (2012). "Occurrence and air-seawater exchange of brominated flame retardants and Dechlorane Plus in the North Sea." *Atmospheric Environment* 46: 346-353.
- Möller, A., Z. Xie, (2011a). "Polybrominated diphenyl ethers vs alternate brominated flame retardants and Dechloranes from East Asia to the Arctic." *Environ Sci Technol* 45(16): 6793-6799.
- Möller, A., Z. Xie, (2011b). "Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and alternative brominated flame retardants in air and seawater of the European Arctic." *Environ Pollut* 159(6): 1577-1583.

- Mörck, A., H. Hakk, U. Örn, E. K. Wehler, A. Morck, U. Orn and E. Klasson Wehler (2003). "Decabromodiphenyl Ether In The Rat : Absorption , Distribution , Metabolism , And Excretion." *Drug metabolism and disposition: the biological fate of chemicals* 31:7: 900-907.
- NCP, Northern Contaminants Program 2013. Canadian Arctic Contaminants Assessment Report On Persistent Organic Pollutants – 2013.
- NERI Technical Report No. 481 2003. Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Sewage Sludge and Wastewater
- Method Development and Validation. National Environmental Research Institute Ministry of the Environment. Denmark. p-1-34.
- Ni K, Lu Y(2013). "Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in China: Policies and recommendations for sound management of plastics from electronic wastes." *J Environ Manage* 115(0): 114-123.
- Norway 2013. Proposal to list decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-decaBDE) in Annexes A, B and/or C to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. UNEP/POPS/POPRC.9/2
- NEA, Norwegian Environment Agency (2014). Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation, annual report 2013. Report M-202/2014. p. 1-70. Authors: Nizzetto PB, Aas W, Krogseth IS.
- Noyes PD, Lema SC, Macaulay LJ, Douglas NK, Stapleton HM. (2013). Low Level Exposure to the Flame Retardant BDE-209 Reduces Thyroid Hormone Levels and Disrupts Thyroid Signaling in Fathead Minnows. *Environ Sci Technol* 47(17):10012-10021.
- Noyes PD, Hinton DE (2011). Accumulation and debromination of decabromodiphenyl ether (BDE-209) in juvenile fathead minnows (*Pimephales promelas*) induces thyroid disruption and liver alterations. *Toxicol Sci* 122(2). 265-274.
- NTP (1986). Toxicology and carcinogenesis studies of decabromodiphenyl oxide (CAS no. 1163-19-5) in F344/N and B 6c3F1 mice (fed studies). National Toxicology Program, National Institute of Environmental Health and Safety. Available on-line at: ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/lt_rpts/tr309.pdf. NTP:National Toxicology Program. NTP TR 309.
- Nyholm JR (2011). Email from Jenny Nyholm to Stephen Dungey, Environment Agency, 21 August 2011.
- Nyholm JR, Lundberg C and Andersson PL (2010). Biodegradation kinetics of selected brominated flame retardants in aerobic and anaerobic soil. *Environmental Pollution*, 158 (6), 2235-2240.
- Nyholm JR, Norman A, Norrgren L, Haglund P, Andersson PL (2008). Maternal transfer of brominated flame retardants in zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere*.73(2):203-8.
- Odabasi M, Bayram A, Elbir T, Seyfioglu R, Dumanoglu Y, Bozlaker A, Demircioglu H, Altioek H, Yatkin S, Cetin B. Electric arc furnaces for steel-making: hot spots for persistent organic pollutants. *Environ Sci Technol*. 2009 Jul 15;43(14):5205-11.
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development (2014): Risk management of installations and chemicals. Brominated Flame Retardants. <http://www.oecd.org/env/ehs/risk-management/brominatedflameretardants.htm> (Accessed: 27.02.2014).
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development (2012). OECD Guidelines for testing of chemicals; Bioaccumulation in Fish: Aqueous and Dietary Exposure. 305 Adopted: 2 October 2012.
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development (2008). Brominated Flame Retardants (BFRs). Hazard/Risk Information Sheets, October 2008. <http://www.oecd.org/dataoecd/3/6/42073463.pdf>
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development (2007). OECD Guideline For The Testing Of Chemicals. Developmental Neurotoxicity Study. 426.
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development (1998). Waste Management Policy Group 1998. Report on incineration of products containing brominated flame retardants. p. 1-11
- Orihel DM., Bisbicos T, Dupuis AP., Paterson MJ., and Muir DCG. (2014). Debromination of the flame retardant decabromodiphenyl ether in lake sediments. Paper submitted to Environmental Science and Technology.

- Orihel D, Bisbicos T, Dupuis A, Paterson M, Tomy G, and Muir D. (2011) Debromination of ¹³C-labelled Decabromodiphenyl Ether in Lake Sediments. Poster. ATW.
- OSPAR, The Convention for the Protection of the marine Environment of the North-East Atlantic (2009). OSPAR Background Document on certain brominated flame retardants – Polybrominated Diphenylethers, Polybrominated Biphenyls, Hexabromo Cyclododecane, Update 2009. Hazardous Substances Series. OSPAR Commission.
- Pacyniak, E. K., X. Cheng, M. L. Cunningham, K. Crofton, C. D. Klaassen and G. L. Guo (2007). "The flame retardants, polybrominated diphenyl ethers, are pregnane X receptor activators." *Toxicological sciences : an official journal of the Society of Toxicology* 97: 94-102.
- Palm W-U, Kopetzky R, Sossinka W, Kruger H-U, Lin Q, Barcellos da Rosa ST, Zetzsch C. 2003. Environmental photochemistry of decabromodiphenyl ethers in organic solvents and adsorbed on particles in air and in aqueous suspension (including a feasibility study on OH reactivities in an aerosol smog chamber facility). Report for the Bromine Science and Environmental Forum [cited in United Kingdom 2004].
- Palm A, Cousins IT, Mackay D, Tysklind M, Metcalfe C, Alaee M (2002). Assessing the environmental fate of chemicals of emerging concern: a case study of the polybrominated diphenyl ethers. *Environ Pollut* 117:195–213.
- Park JS, Holden A, Chu V, Kim M, Rhee A, Patel P, (2009). Time-Trends and Congener Profiles of PBDEs and PCBs in California Peregrine Falcons (*Falco peregrinus*). *Environ Sci Technol* 43(23):8744-8751.
- Pellacani, C., S. Tagliaferri, A. Caglieri, M. Goldoni, G. Giordano, A. Mutti and L. G. Costa (2012). "Synergistic interactions between PBDEs and PCBs in human neuroblastoma cells." *Environ Toxicol*.
- Plourde, S. P., R. Moreau, (2013). "Is the bone tissue of ring-billed gulls breeding in a pollution hotspot in the St. Lawrence River, Canada, impacted by halogenated flame retardant exposure?" *Chemosphere* 93(10): 2333-2340.
- Poma G., Pietro Volta, Claudio Roscioli. (2014) Novel brominated flameand fish from LakeBettinetti c, Licia GuzzellaConcentrations and trophic interactions ofretardants, HBCD, and PBDEs in zooplanktMaggiore (Northern Italy). *Science of the Total Environment* 481 (2014) 401–408.
- Pountney Angela a, Amy L. Filby a, Gareth O. Thomas b, Vic R. Simpson c, Elizabeth A. Chadwick d, Jamie R. Stevens a, Charles R. Tyler. High liver content of polybrominated dip(Lutra lutra) from England and Walesenyl ether (PBDE) in otters. *Chemosphere* 118 (2014) 81–86.
- POPRC, Persistent Organic Review Committee (2013a). Debromination of decabromodiphenyl ether (BDE-209) in the environment; Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, Ninth Meeting, Rome 14-18 October, 2013. UNEP/POPS/POPRC.9/INF/19.
- POPRC, Persistent Organic Review Committee (2013b), Revised draft guidance on how to assess the possible impact of climate change on the work of the Persistent Organic Pollutants Review Committee. UNEP/POPS/POPRC.9/INF/15.
- POPRC, Persistent Organic Review Committee (2010a). Work programmes on new persistent organic pollutants as adopted by the Conference of the Parties. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants: Persistent Organic Pollutants Review Committee, Sixth Meeting, Geneva 11-15 October, 2010. UNEP/POPS/POPRC.6/2/Rev.1. United Nations Environment Programme.
- POPRC, Persistent Organic Review Committee (2010b) Supporting Document for Technical review of the implications of recycling commercial penta and octabromodiphenyl ethers. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants: Persistent Organic Pollutants Review Committee, Sixth Meeting, Geneva 11-15 October, 2010. (UNEP/POPS/POPRC.6/INF/6).
- POPRC Persistent Organic Review Committee (2010c) Debromination of brominated flame retardants. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants: Persistent Organic Pollutants Review Committee, Sixth Meeting, Geneva 11-15 October, 2010.(UNEP/POPS/POPRC.6/INF/20/Rev.1).
- POPRC, Persistent Organic Review Committee (2006). Risk profile on commercial pentabromodiphenyl ether. UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.1
- POPRC, Persistent Organic Review Committee 2007. Risk profile on commercial octabromodiphenyl ether. UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.6

- Porch JR and Krueger HO (2001). Decabromodiphenyl oxide (DBDPO): a toxicity test to determine the effects of the substance on seedling emergence of six species of plants. Wildlife International Ltd Project Number: 439-101. Wildlife International Ltd, Maryland, United States.
- Powell DE, Sesten RM, Woodburn KE, Gerhards R. (2013). Trophic magnification factors (TMF). Interrelationship with other measures used to interpret bioaccumulation in aquatic environments. Scientific advancements in bioaccumulation assessment. Helsinki Workshop, 11 mars 2013.
- Qiu, M., X. Chen, D. Deng, J. Guo, G. Sun, B. Mai, and M. Xu. (2012). Effects of electron donors on anaerobic microbial debromination of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs). *Biodegradation* 23:351-361.
- Qin, X., X. Xia, (2010). Thyroid disruption by technical decabromodiphenyl ether (DE-83R) at low concentrations in *Xenopus laevis*. *J Environ Sci* 22(5): 744-751.
- Qu WY, Bi XH, Sheng GY, Lu SY, Fu H, Yuan J, (2007). Exposure to polybrominated diphenyl ethers among workers at an electronic waste dismantling region in Guangdong, China. *Environ Int* 33(8):1029-1034.
- Raff JD, Hites RA (2007). Deposition versus photochemical removal of PBDEs from Lake Superior air. *Environ Sci Technol* 41:6725-31.
- Ren, G., Z. Wang, Z. Yu, Y. Wang, S. Ma, M. Wu, G. Sheng, and J. Fu. (2013a). Primary investigation on contamination pattern of legacy and emerging halogenated organic pollutants in freshwater fish from Liaohe River, Northeast China. *Environmental Pollution* 172:94-99.
- Ren, X. M., L. H. Guo, Y. Gao, B. T. Zhang and B. Wan (2013b). "Hydroxylated polybrominated diphenyl ethers exhibit different activities on thyroid hormone receptors depending on their degree of bromination." *Toxicol Appl Pharmacol* 268(3): 256-263.
- Ren Z, Xiao X, Chen D, Bi X, Huang B, Liu M, Hu J, Peng P, Sheng G, Fu J. (2014). Halogenated organic pollutants in particulate matters emitted during recycling of waste printed circuit boards in a typical e-waste workshop of Southern China. *Chemosphere*. 2014;94:143-150.
- Ren, M., P. a. Peng, (2011). "PBDD/F impurities in some commercial deca-BDE." *Environmental Pollution* 159(5): 1375-1380.
- Reverte, I., et al. (2014). "Thyroid hormones and fear learning but not anxiety are affected in adult apoE transgenic mice exposed postnatally to decabromodiphenyl ether (BDE-209)." *Physiol Behav* 133C: 81-91.
- Reverte, I., A. B. Klein, J. L. Domingo and M. T. Colomina (2013). "Long term effects of murine postnatal exposure to decabromodiphenyl ether (BDE-209) on learning and memory are dependent upon APOE polymorphism and age." *Neurotoxicol Teratol* 40C: 17-27.
- Rice, D. C., W. D. Thompson, E. A. Reeve, K. D. Onos, M. Assadollahzadeh and V. P. Markowski (2009). "Behavioral changes in aging but not young mice after neonatal exposure to the polybrominated flame retardant decaBDE." *Environ Health Perspect* 117(12): 1903-1911.
- Rice, D. C., E. a. Reeve, A. Herlihy, R. T. Zoeller, W. D. Thompson and V. P. Markowski (2007). "Developmental delays and locomotor activity in the C57BL6/J mouse following neonatal exposure to the fully-brominated PBDE, decabromodiphenyl ether." *Neurotoxicol Teratol* 29: 511-520.
- Ricklund N, Kierkegaard A, McLachlan MS, Wahlberg C (2008a). Mass balance of decabromodiphenyl ethane and decabromodiphenyl ether in a WWTP. *Chemosphere* 74: 389-394
- Ricklund, N., A. Kierkegaard, (2008b). "An international survey of decabromodiphenyl ethane (deBDethane) and decabromodiphenyl ether (decaBDE) in sewage sludge samples." *Chemosphere* 73(11): 1799-1804.
- Riu, A., J.-p. Cravedi, L. Debrauwer, A. Garcia, C. Canlet, I. Jouanin and D. Zalko (2008). "Disposition and metabolic profiling of [¹⁴C]-decabromodiphenyl ether in pregnant Wistar rats." *Environment international* 34: 318-329.
- Rivière G, Sirot V, Tard A, Jean J, Marchand P, Veyrand B, Le Bizec B, Leblanc JC (2014). Food risk assessment for perfluoroalkyl acids and brominated flame retardants in the French population: Results from the second French total diet study. *Sci Total Environ*. Feb 12. pii: S0048-9697(14)00133-8. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.01.104

- Roberts SC, Noyes PD, Gallagher EP, Stapleton HM (2011). Species-specific differences and structure-activity relationships in the debromination of PBDE congeners in three fish species. *Environ Sci Technol.* ;45(5):1999-2005.
- Robrock KR, Korytár P, Alvarez-Cohen L(2008). Pathways for the anaerobic microbial debromination of polybrominated diphenyl ethers. *Environ Sci Technol.* 42(8):2845-52.
- Robson, M., et al. (2013). "Wet deposition of brominated flame retardants to the Great Lakes basin--status and trends." *Environ Pollut* 182: 299-306
- Ross PS 2009. Large and growing environmental reservoirs of Deca-BDE present an emerging health risk for fish and marine mammals. *Marine Pollution Bulletin* 58:7-10.
- Roze, E., L. Meijer, A. Bakker, K. N. J. A. Van Braeckel, P. J. J. Sauer and A. F. Bos (2009). "Prenatal exposure to organohalogenes, including brominated flame retardants, influences motor, cognitive, and behavioral performance at school age." *Environmental health perspectives* 117: 1953-1958.
- RPA, Risk&Policy Analysts .Georgalas B, Sanchez A, Zarogiannis P (2014). Multiple Framework Contract with Re-opening of competition for Scientific Services for ECHA. Reference: ECHA/2011/01 Service Request SR 14:Support to an Annex XV Dossier on Bis-(pentabromophenyl) ether (DecaBDE) (manuscript in press).
- Sagerup, K., L. B. Helgason, (2009). "Persistent organic pollutants and mercury in dead and dying glaucous gulls (*Larus hyperboreus*) at Bjornoya (Svalbard)." *Sci Total Environ* 407(23): 6009-6016.
- Sandholm, A., B.-M. Emanuelsson and E. K. Wehler (2003). "Bioavailability and half-life of decabromodiphenyl ether (BDE-209) in rat." *Xenobiotica; the fate of foreign compounds in biological systems* 33: 1149-1158.
- Samsonek J, Puype F (2013). Occurrence of brominated flame retardants in black thermo cups and selected kitchen utensils purchased on the European market. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess* 30:1976-86. doi: 10.1080/19440049.2013.829246
- Sakai S-i, Hirai Y, Aizawa H, Ota S, Muroishi Y (2006). Emission inventory of deca-brominated diphenyl ether (DBDE) in Japan. *J. Mater. Cycles Waste Manage.* 8:56–62.
- Salamova A, Hermanson MH, Hites RA (2014). Organophosphate and halogenated flame retardants in atmospheric particles from a European arctic site. *Environ Sci Technol.* 48(11):6133-40.
- Schechter A, Smith S, Colacino J, Malik N, Opel M, Paepke O, Birnbaum L (2011). Contamination of U.S. butter with polybrominated diphenyl ethers from wrapping paper. *Environ Health Perspect.* 119(2):151-4.
- Schiedek D, Sundelin B, Readman JW, Macdonald RW (2007). Interactions between climate change and contaminants. *Mar Pollut Bull.* 54(12):1845-56.
- Schlabach, M., Mariussen, E., Borgen, A., Dye, C., Enge, E.-K., Steinnes, E., Green, N., Mohn, H., (2002). Kartlegging av bromerte flammehemmere og klorerte parafiner. Norsk institutt for luftforskning (NILU), Kjeller, Norway, Rapport 62/2002, p. 71 (in Norwegian). Available from: http://www.nilu.no/index.cfm?ac=publications&folder_id=4309&publication_id=3221&view=rep
- Schriks, M., J. M. Roessig, (2007). "Thyroid hormone receptor isoform selectivity of thyroid hormone disrupting compounds quantified with an in vitro reporter gene assay." *Environ Toxicol Pharmacol* 23(3): 302-307.
- Schriks M, Zvinavashe E, Furlow JD, Murk AJ (2006). Disruption of thyroid hormone-mediated *Xenopus laevis* tadpole tail tip regression by hexabromocyclododecane (HBCD) and 2,2',3,3',4,4',5,5',6-nona brominated diphenyl ether (BDE206). *Chemosphere* 65(10):1904-8.
- Schreiber, T., K. Gassmann, C. Götz, U. Hübenthal, M. Moors, G. Krause, H. F. Merk, N.-H. Nguyen, T. S. Scanlan, J. Abel, C. R. Rose and E. Fritsche (2010). "Polybrominated diphenyl ethers induce developmental neurotoxicity in a human in vitro model: evidence for endocrine disruption." *Environmental health perspectives* 118: 572-578.
- Sahlström LM, Sellström U, de Wit CA, Lignell S, Darnerud PO (2014). Brominated Flame Retardants in Matched Serum Samples from Swedish First-Time Mothers and Their Toddlers. *Environ Sci Technol.* Jun 19. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 24927135.
- Sellström, U., G. Söderström, C. De Wit, and M. Tysklind. (1998a). Photolytic debromination of decabromodiphenyl ether (DeBDE). *Organohalogen Compounds* 35:447-450.

- Sellström U, Kierkegaard A, de Wit C, and Jansson B (1998b). Polybrominated diphenyl ethers and hexabromocyclododecane in sediment and fish from a Swedish river. *Environ. Toxicol. Chem.*, 17, 1065-1072.
- Sellstrom U, C. De Wit, N. Lundgren, and M. Tysklind (2005). Effect of Sewage-Sludge Application on Concentrations of Higher-Brominated Diphenyl Ethers in Soils and Earthworms. *Environ. Sci. Technol.*, 39: 9064-9070
- Seyer A, Riu A, Debrauwer L, Bourgès-Abella N, Brunelle A, Laprèvote O, Zalko D (2010). Time-of-flight secondary ion mass spectrometry imaging demonstrates the specific localization of deca-bromo-diphenyl-ether residues in the ovaries and adrenal glands of exposed rats. *J Am Soc Mass Spectrom.* 11:1836-45.
- SFT, Norwegian Pollution Control Authority (2008a). Mapping selected organic contaminants in the Barents Sea 2007. Report 1021/2008. Oslo, Norway. p.1-137. Available at; http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/Statlig_miljoovervakning/Kartlegging_av_nye_miljogifter/Rapporter/Mapping_selected_organic_contaminants_in_the_Barents_Sea_2007/Authors: Bakke T, Boiisov S, Green N, Brevik EM.
- SFT, Norwegian Pollution Control Authority (2008b). National Lake Survey 2004–2006, Part III. AMAP. Status of metals and environmental pollutants in lakes and fish from the Norwegian part of the AMAP region. Report TA-2363/2008. p.1-170 pp. <http://www.sft.no/publikasjoner/2363/ta2363.pdf>.
- SFT, Norwegian Pollution Control Authority (2004). New and established organohalogen contaminants and their metabolites in plasma and eggs of glaucous gulls from Bear Island. TA-2057/2004. Oslo, Norway, p. 1-26. Available from: <http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/overvaking/2057/ta2057.pdf>
- SFT, Norwegian Pollution Control Authority (2004). (2004). Kartlegging av utvalgte nye organiske miljøgifter – bromerte flammehemmere, klorerte parafiner, bisfenol A og triclosan. SFT rapport TA-2006/2004 (Niva rapport nr. 4809-2004), 117p. Available from: http://www.nilu.no/index.cfm?ac=publications & folder_id=4309&publication_id=5203&view=rep . Authors: Fjeld E, Schlabach M, Berge JA, Eggen T, Snilsberg P, Källberg G, Rognerud S, Enge EK, Borgen A and Gundersen H,
- Shaw SD, Berger ML, Weijs L, Covaci A. (2012). Tissue-specific accumulation of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) including Deca-BDE and hexabromocyclododecanes (HBCDs) in harbor seals from the northwest Atlantic. *Environ Int* 44(1-6).
- Shaw SD, Berger ML, (2009). Bioaccumulation of polybrominated diphenyl ethers and hexabromocyclododecane in the northwest Atlantic marine food web. *Sci Total Environ* 407(10). 3323-3329.
- Shaw SD, Brenner D, Berger ML, Fang F, Hong CS, Addink R, Hilker D (2008). Bioaccumulation of polybrominated diphenyl ethers in harbor seals from the northwest Atlantic. *Chemosphere* 73(11):1773-80.
- She Y-Z, Wu J-P, Zhang Y, Peng Y, Mo L, Luo X-J (2013). Bioaccumulation of polybrominated diphenyl ethers and several alternative halogenated flame retardants in a small herbivorous food chain. *Environ Pollut* 174(0):164-170.
- Shibutani, M., H. Fujimoto, G.-H. Woo, K. Inoue, M. Takahashi and A. Nishikawa (2011). "Reply to Comment on "Impaired oligodendroglial development by decabromodiphenyl ether in rat offspring after maternal exposure from mid-gestation through lactation" [Reprod. Toxicol. 31(1) (2011) 86–94]." *Reproductive Toxicology* 32: 375-378.
- Shi S & Yeru Huang & Li Zhou & Wenlong Yang & Liang Dong & Lifei Zhang & Xiulan Zhang (2013a). A preliminary investigation of BDE-209, OCPs, and PAHs in urban road dust from Yangtze River Delta, China. *Environ Monit Assess* 185:4887–4896
- Shi Z, Jiao Y, Hu Y, Sun Z, Zhou X, Feng J et al (2013b). Levels of tetrabromobisphenol A, Hexabromocyclododecanes and polybrominated diphenyl ethers in human milk from the general population in Beijing, China. *Sci Tot Environ* 452–453:10–18.
- Sifleet SD. (2009). Toxicology of Decabromodiphenyl Ether in Avian Embryos: Disposition of the Flame Retardant BDE-209 in Yolk-injected Chicken Embryos (*Gallus gallus*). Thesis presented to the Faculty of the School of Marine Science, The College of William and Mary in Virginia, USA.

- Sjödin A, Hagmar L, Klasson-Wehler E, Kronholm-Diab K, Jakobsson E and Bergman A (1999). Flame retardant exposure: polybrominated diphenyl ethers in blood from Swedish workers. *Environmental Health Perspectives*, 107,8, 643-648.
- Song, J., Z.-H. Li, Y.-T. He, C.-X. Liu, B. Sun, C.-F. Zhang, J. Zeng, P.-L. Du, H.-L. Zhang, Y.-H. Yu and D.-J. Chen (2013). "Decabrominated diphenyl ether (BDE-209) and/or BDE-47 exposure alters protein expression in purified neural stem/progenitor cells determined by proteomics analysis." *International journal of developmental neuroscience : the official journal of the International Society for Developmental Neuroscience* 33C: 8-14.
- Solaris Chemtech 2008. <http://www.solarischemtech.com/products-flame.asp?links=flame>
- Stapleton, H. M. and N. G. Dodder. (2008). Photodegradation of decabromodiphenyl ether in house dust by natural sunlight. *Environmental Toxicology and Chemistry* 27:306-312.
- Stapleton HM, Brazil B, Holbrook RD, Mitchelmore CL, Benedict R, Konstantinov A, Potter D. (2006). *In vivo* and *in vitro* debromination of decabromodiphenyl ether (BDE 209) by juvenile rainbow trout and common carp. *Environ Sci Technol* 40:4653-4658.
- Stapleton HM, Alae M, Letcher RJ, Baker JE. (2004). Debromination of the flame retardant decabromodiphenyl ether by juvenile carp (*Cyprinus carpio*) following dietary exposure. *Environ Sci Technol* 38(1):112-119.
- Stenzel JI and Markley BJ (1997). Decabromodiphenyl oxide (DBDPO): Determination of the Water Solubility. Wildlife International Ltd., 1997.
- Stiborova, H., Zlamalikova, J., Pulkrabova, J., Hradkova, P., Napravnikova, M., Hajšlova, J., Mackova, M. and Demnerova, K., (2008). Aerobic and anaerobic degradation of polybrominated diphenyl ethers in sewage sludge. *Organohalogen Compounds*, 70, 197- 200.
- Su, Y., Hung, H., Sverko, E., Fellin, P., Li, H (2007). Multi-year measurements of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in the Arctic atmosphere. *Atmos. Environ.*, 41, 8725–8735.
- Suvorov, A., Girard, S., Lachapelle, S., Abdelouahab, N., Sebire, G., and Takser, L. (2009). "Perinatal exposure to low-dose BDE-47, an emergent environmental contaminant, causes hyperactivity in rat offspring." *Neonatology* 95: 203-209.
- Sverdrup LE, Hartnik T, Mariussen E, Jensen J (2006). Toxicity of three halogenated flame retardants to nitrifying bacteria, red clover (*Trifolium pratense*), and a soil invertebrate (*Enchytraeus crypticus*). *Chemosphere* 64(1):96-103.
- Syed JH, Malik RN, Li J, Wang Y, Xu Y, Zhang G, Jones KC (2013). Levels, profile and distribution of Dechloran Plus (DP) and Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in the environment of Pakistan. *Chemosphere* 93(8):1646-53.
- Söderström, G., Sellström, U., De Wit, C.A., Tysklind, M., (2004). Photolytic debromination of decabromodiphenyl ether (BDE-209). *Environmental Science & Technology* 38, 127–132.
- Söderström G (2003). On the combustion and photolytic degradation products of some brominated flame retardants. Department of Chemistry, Environmental Chemistry, University of Umea, Sweden.
- Sørmo G, Lie E, Ruus A, Gaustad H, Skaare JU, Jenssen BM (2011). Trophic level determines levels of brominated flame-retardants in coastal herring gulls. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74: 2091-2098
- Sørmo EG, Salmer MP, Jenssen BM, Hop H, Baek K, Kovacs KM, et al (2006). Biomagnification of polybrominated diphenyl ether and hexabromocyclododecane flame retardants in the polar bear food chain in Svalbard, Norway. *Environ Toxicol Chem* 25: 2502–11.
- Tagliaferri, S., A. Caglieri, M. Goldoni, S. Pinelli, R. Alinovi, D. Poli, C. Pellacani, G. Giordano, A. Mutti and L. G. Costa (2010). "Low concentrations of the brominated flame retardants BDE-47 and BDE-99 induce synergistic oxidative stress-mediated neurotoxicity in human neuroblastoma cells." *Toxicology in vitro : an international journal published in association with BIBRA* 24: 116-122.
- Tang, Z., et al. (2014). "Polybrominated Diphenyl Ethers in Soils, Sediments, and Human Hair in a Plastic Waste Recycling Area: A Neglected Heavily Polluted Area." *Environmental Science & Technology* 48(3): 1508-1516.
- Tasaki, T., T. Takasuga, (2004). "Substance flow analysis of brominated flame retardants and related compounds in waste TV sets in Japan." *Waste Manag* 24(6): 571-580.

- Teshima, R., R. R. Nakamura, A. Hachisuka, J.-i. Sawada and M. Shibutani (2008). "Effects of Exposure to Decabromodiphenyl Ether on the Development of the Immune System in Rats." *Journal of Health Science* 54: 382-389.
- Thienpont, B., A. Tingaud-Sequeira, (2011). "Zebrafish Eleutheroembryos Provide a Suitable Vertebrate Model for Screening Chemicals that Impair Thyroid Hormone Synthesis." *Environmental Science & Technology* 45(17): 7525-7532.
- Thomas, G. O., Moss, S. E. W., Asplund, L. and Hall, A. J., (2005). Absorption of decabromodiphenyl ether and other organohalogen chemicals by grey seals (*Halichoerus grypus*). *Environmental Pollution*, 133, 581-586.
- Thoma H, Hutzinger O, 1987. Pyrolysis and GC/MS-analysis of brominated flame 602 retardants in on-line operation. *Chemosphere* 16, 1353–1360.
- Thuresson K, Bergman Å, Jakobsson K. (2005) Occupational exposure to commercial decabromodiphenyl ether in workers manufacturing or handling flame-retarded rubber. *Environ Sci Technol*. 39:1980-1986.
- Tian SY, Zhu LY, Bian JN, Fang SH. (2012). Bioaccumulation and Metabolism of Polybrominated Diphenyl Ethers in Carp (*Cyprinus carpio*) in a Water/Sediment Microcosm: Important Role of Particulate Matter Exposure. *Environ Sci Technol* 46(5):2951-2958.
- Tian SY, Zhu LY. (2011). Bioaccumulation kinetics of sediment-associated DE-83 in benthic invertebrates (*Nereis succinea*, polychaete). *Chemosphere* 84(1):160-165.
- Tian SY, Zhu LY, Liu M. (2010). Bioaccumulation and distribution of polybrominated diphenyl ethers in marine species from Bohai, Bay, China. *Environ Toxicol Chem* 29(10):2278-2285.
- Tokarz III JA, Ahn M-Y, Leng J, Filley T.R., Nies L, (2008). Reductive debromination of polybrominated diphenyl ethers in anaerobic sediment and a biomimetic system. *Environmental Science and Technology*, 42 (4), 1157-1164.
- Tomy GT, Pleskach K, Ferguson SH, Hare J, Stern G, MacInnis G, Marvin CH, Loseto L. (2009). Trophodynamics of some PFCs and BFRs in a western Canadian Arctic marine food web. *Environ Sci Technol* 43:4076-4081.
- Tomy GT, Pleskach K, Oswald T, Halldorson T, Helm PA, MacInnis G, et al (2008b). Enantioselective bioaccumulation of hexabromocyclododecane and congener specific accumulation of brominated diphenyl ethers in an eastern Canadian Arctic marine food web. *Environ Sci Technol* 42:3634–9.
- Tosoh Japan 2013. <http://www.tosoh.com/our-products/organic-chemicals/flame-retardants>
- Tseng, L. H., P. C. Hsu, C. W. Lee, S. S. Tsai, M. H. Pan and M. H. Li (2013). "Developmental exposure to decabrominated diphenyl ether (BDE-209): effects on sperm oxidative stress and chromatin DNA damage in mouse offspring." *Environ Toxicol* 28(7): 380-389.
- Tseng, L. (2011). Developmental Exposure to Decabrominated Diphenyl Ether (BDE-209): Effects on Sperm Oxidative Stress and Chromatin DNA Damage in Mouse Offspring. *Environmental Toxicology*, (May), pp.380–389.
- Tseng, L.-H. H., M.-H. H. Li, S.-S. S. Tsai, C.-W. W. Lee, M.-H. H. Pan, W.-J. J. Yao and P.-C. C. Hsu (2008). "Developmental exposure to decabromodiphenyl ether (PBDE 209): effects on thyroid hormone and hepatic enzyme activity in male mouse offspring." *Chemosphere* 70: 640-647.
- Tseng, L. H., C. W. Lee, (2006). Postnatal exposure of the male mouse to 2,2',3,3',4,4',5,5',6,6' decabrominated diphenyl ether decreased epididymal sperm functions without alterations in DNA content and histology in testis. *Toxicology* 224(1-2). 33-43.
- Tysklind M, Sellström U, Söderström G and de Wit C (2001). Abiotic transformation of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs): Photolytic debromination of decabromo diphenyl ether. The Second International Workshop on Brominated Flame Retardants, BFR 2001, May 14-16, Stockholm
- Ungherese G, Cincinelli A, Martellini T, Ugolini A. (2012). PBDEs in the supralittoral environment: The sandhopper *Talitrus saltator* (Montagu) as biomonitor? *Chemosphere* 86(3):223-227
- UK EA, United Kingdom Environment Agency (2009). Environmental risk evaluation report. Decabromodiphenyl ether (CAS no. 1163-19-5). Authors Brooke, D.N., Burns, J., Crookes, M.J. and Dungey, S.M Report to the. 290 pp.

- US EPA, U.S. Environmental Protection Agency (2014). An Alternatives Assessment for the Flame Retardant Decabromodiphenyl Ether (DecaBDE) Executive Summary. Final Report. January 2014. Final Report January 2014. p. 1-901. US EPA, U.S. Environmental Protection Agency (2012). DecaBDE Phase-out Initiative
<http://www.epa.gov/oppt/existingchemicals/pubs/actionplans/deccadbe.html>. Accessed in January 2014.
- US EPA, U.S. Environmental Protection Agency (2010). An Exposure Assessment of Polybrominated Diphenyl Ethers. National Center for Environmental Assessment, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC; EPA/600/R-08/086F. Available from the National Technical Information Service, Springfield, VA and on-line at: <http://www.epa.gov/ncea>.
- US EPA, U.S. Environmental Protection Agency (2008). Toxicological Review Of Decabromodiphenyl Ether (BDE-209) (CAS No. 1163-19-5). In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). pp. 126. U.S. Environmental Protection Agency (EPA National Center for Environmental Assessment, Washington, DC; EPA/600/R-08/086F. Available from the National Technical Information Service, Spring).
- Van den Steen E, Covaci A, Jaspers VLB, Dauwe T, Voorspoels S, Eens M, (2007). Accumulation, tissue-specific distribution and debromination of decabromodiphenyl ether (BDE 209) in European starlings (*Sturnus vulgaris*). *Environ Pollut* 148(2):648-653.
- Van der Ven LTM, van de Kuil T, Leonards PEG, Slob W, Cantón RF, Germer S, et al., (2008). "A 28-day oral dose toxicity study in Wistar rats enhanced to detect endocrine effects of decabromodiphenyl ether (decaBDE)." *Toxicology letters* 179: 6-14.
- VECAP, The Voluntary Emissions Control Action Programme (2014). Sound results from a proactive industry. European annual progress report 2013.
- VECAP, The Voluntary Emissions Control Action Programme (2012). Maintaining Momentum - European Annual Progress Report 2012, Brussels: VECAP.
- VECAP, The Voluntary Emissions Control Action Programme (2010a). The Voluntary Emissions Control Action Programme. Annual progress report 2010a.
- VECAP, The Voluntary Emissions Control Action Programme (2010b). Benchmarking for success. North American annual progress report 2010.
- Verreault J, Gabrielsen GW, Chu S, Muir DC, Andersen M, Hamaed A, Letcher RJ. (2005). Flame retardants and methoxylated and hydroxylated polybrominated diphenyl ethers in two Norwegian Arctic top predators: glaucous gulls and polar bears. *Environ Sci Technol.* 15;39(16):6021-8.
- Vetter W, Bendig P, Blumenstein M, Hägele F (2012). Cooking processes with food; The heating of the flame retardant BDE-209 in fish generated toxic polybrominated dibenzofurans. *Organohalogen Compounds* 74, 620-623 (2012)
- Viberg H. (2009). Neonatal ontogeny and neurotoxic effect of decabrominated diphenyl ether (PBDE 209) on levels of synaptophysin and tau. *Int J Dev Neurosci.* 27, 423-9.
- Viberg, H., W. Mundy and P. Eriksson (2008). "Neonatal exposure to decabrominated diphenyl ether (PBDE 209) results in changes in BDNF, CaMKII and GAP-43, biochemical substrates of neuronal survival, growth, and synaptogenesis." *Neurotoxicology* 29: 152-159.
- Viberg, H., A. Fredriksson and P. Eriksson (2007). "Changes in spontaneous behaviour and altered response to nicotine in the adult rat, after neonatal exposure to the brominated flame retardant, decabrominated diphenyl ether (PBDE 209)." *Neurotoxicology* 28(1): 136-142.
- Viberg, H., A. Fredriksson and P. Eriksson (2004). "Investigations of strain and/or gender differences in developmental neurotoxic effects of polybrominated diphenyl ethers in mice." *Toxicological sciences : an official journal of the Society of Toxicology* 81: 344-353.
- Viberg, H., A. Fredriksson, E. Jakobsson, U. Orn and P. Eriksson (2003). "Neurobehavioral derangements in adult mice receiving decabrominated diphenyl ether (PBDE 209) during a defined period of neonatal brain development." *Toxicol Sci* 76(1): 112-120.
- Vigano L, Roscioli C, Guzzella L. (2011). Decabromodiphenyl ether (BDE-209) enters the food web of the River Po and is metabolically debrominated in resident cyprinid fishes. *Sci Total Environ* 409(23):4966-4972.

- Villanger, G. D., K. M. Gabrielsen, (2013). "Effects of complex organohalogen contaminant mixtures on thyroid homeostasis in hooded seal (*Cystophora cristata*) mother-pup pairs." *Chemosphere* 92(7): 828-842.
- Villanger GD, Jenssen BM (2011a). "Exposure to mixtures of organohalogen contaminants and associative interactions with thyroid hormones in East Greenland polar bears (*Ursus maritimus*)."
Environment International 37(4): 694-708.
- Villanger, G. D., C. Lydersen, (2011b). "Disruptive effects of persistent organohalogen contaminants on thyroid function in white whales (*Delphinapterus leucas*) from Svalbard." *Sci Total Environ* 409(13): 2511-2524.
- Voorspoels S, Covaci A, Lepom P, Escutenaire S, Schepens P. (2006a). Remarkable findings concerning PBDEs in the terrestrial top-predator red fox (*Vulpes vulpes*). *Environ Sci Technol* 40(9):2937-2943.
- Voorspoels S, Covaci A, Lepom P, Jaspers VLB, Schepens P. (2006b). Levels and distribution of polybrominated diphenyl ethers in various tissues of birds of prey. *Environ Pollut* 144(1):218-227.
- Vorkamp K, Thomsen M, Falk K, Ie H, Møller S, Sørensen PB. (2005). Temporal development of brominated flame retardants in peregrine falcon (*Falco peregrinus*) eggs from South Greenland (1986-2003). *Environ Sci Technol* 39:8199-8206
- Walker SP, Wachs TD, Gardner JM, Lozoff B, Wasserman GA, Pollitt E, Carter JA (2007); International Child Development Steering Group. Child development: risk factors for adverse outcomes in developing countries. *Lancet*. 369 (9556): 145-57.
- Wan Y, Zhang K, Dong ZM, Hu JY. (2013). Distribution is a Major Factor Affecting Bioaccumulation of Decabrominated Diphenyl Ether: Chinese Sturgeon (*Acipenser sinensis*) as an Example. *Environ Sci Technol* 47(5): 2279-2286.
- Wang S, Zhang, S., Huang, H., Niu, Z. & Han, W., 2014. Characterization of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and hydroxylated and methoxylated PBDEs in soils and plants from an e-waste area, China. *Environmental Pollution*, 184, pp.405–413.
- Wang S, Zhang S, Huang H, Christie P (2011a). Behaviour of decabromodiphenyl ether (BDE-209) in soil. Effects of rhizosphere and mycorrhizal colonization of ryegrass roots. *Environmental Pollution*, 159, 749-753.
- Wang Y, Luo C, Li J, Yin H, Li X, Zhang G (2011b). Characterization of PBDEs in soils and vegetations near an e-waste recycling site in South China. *Environ Pollut.* Oct;159(10):2443-8
- Wang F, Wang J, Hu G, Luo X, Mai B, Dail J. (2011c). Tissue distribution and associated toxicological effects of decabrominated diphenyl ether in subchronically exposed male rats. *International Scholarly Research Network ISRN Toxicology*, Volume 2011, Article ID 989251, 8 pages.
- Wang, J., et al. (2011d). "Polybrominated diphenyl ethers in water, sediment, soil, and biological samples from different industrial areas in Zhejiang, China." *J Hazard Mater* 197: 211-219.
- Wang F, Wang J, Dai J, Hu G, Wang J, Luo X & Mai B (2010a). Comparative Tissue Distribution, Biotransformation and Associated Biological Effects by Decabromodiphenyl Ethane and Decabrominated Diphenyl Ether in Male Rats after a 90-Day Oral Exposure Study. *Environ. Sci. Technol.* 44: 5655–5660.
- Wang Bin, Fukuya Iino, Gang Yu, Jun Huang, and Masatoshi Morita (2010b). The Pollution Status of Emerging Persistent Organic Pollutants in China. *ENVIRONMENTAL ENGINEERING SCIENCE* Volume 27, Number 3,
- Wang, H., Y. Zhang, Q. Liu, F. Wang, J. Nie and Y. Qian (2010c). "Examining the relationship between brominated flame retardants (BFR) exposure and changes of thyroid hormone levels around e-waste dismantling sites." *International journal of hygiene and environmental health* 213: 369-380.
- Wang, L.-C., et al. (2010d). "Characterizing the Emissions of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) and Polybrominated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans (PBDD/Fs) from Metallurgical Processes." *Environmental Science & Technology* 44(4): 1240-1246.
- Wang Z, Ma X, Lin Z, Na G, Yao Z. (2009). Congener specific distributions of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in sediment and mussel (*Mytilus edulis*) of the Bo Sea, China. *Chemosphere* 74(7):896-901.

- Wang, X. M., X. Ding. (2005). Polybrominated diphenyl ethers in airborne particulates collected during a research expedition from the Bohai Sea to the Arctic. *Environmental Science & Technology* 39(20): 7803-7809.
- Wania F, Dugani CB (2003). Assessing the long-range transport potential of polybrominated diphenyl ethers: a comparison of four multimedia models. *Environ Toxicol Chem.* 22(6):1252-61
- Watanabe, W., T. Shimizu, R. Sawamura, A. Hino and K. Konno (2010). "Functional Disorder of Primary Immunity Responding to Respiratory Syncytial Virus Infection in Offspring Mice Exposed to a Flame Retardant, Decabrominated Diphenyl Ether, Perinatally." *J Med Virol.* 82(6):1075-82. doi: 10.1002/jmv.21770.
- Watanabe, W., T. Shimizu, A. Hino and M. Kurokawa (2008). "Effects of decabrominated diphenyl ether (DBDE) on developmental immunotoxicity in offspring mice." *Environmental toxicology and pharmacology* 26: 315-319.
- Watanabe I, Tatsukawa R. (1990). Anthropogenic brominated aromatics in the Japanese environment. In: *Proceedings of Workshop on Brominated Aromatic Flame Retardants*, Skokloster, Sweden, 24-26 October 1989. Swedish National Chemicals Inspectorate, KEMI, Solna, Sweden, 1990, p. 63-71
- Weber R and Kuch B (2003) Relevance of BFRs and thermal conditions on the formation pathways of brominated and brominated-chlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans. *Environment International*, 29:699-710
- WHO/UNEP, World Health Organization and the United Nations Environment Programme (2013). *State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals-2012. An assessment of the state of the science of endocrine disruptors prepared by a group of experts for the United Nations Environment Programme and World Health Organization.* p1- 296. Eds: Bergman Å, Heindel JJ, Jobling S, Kidd KA and Zoeller T. IOMC (Inter-organizational program for the sound management of chemicals). Available at: <http://www.who.int/ceh/publications/endocrine/en/>
- Wilford BH, Thomas GO, Jones KC, Davison B, Hurst DK (2008). Decabromodiphenyl ether (deca-BDE) commercial mixture components, and other PBDEs, in airborne particles at a UK site. *Environ Int.* 34(3):412-9.
- Williams, A. L. and J. M. DeSesso (2010). "The potential of selected brominated flame retardants to affect neurological development." *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 13(5): 411-448.
- Wu, K., X. Xu, J. Liu, Y. Guo, Y. Li and X. Huo (2010). Polybrominated diphenyl ethers in umbilical cord blood and relevant factors in neonates from Guiyu, China. *Environmental science & technology* 44: 813-819.
- Wu J, Luo X, Zhang Y, Chen S, Mai B, Guan Y, Yang, Z (2009a). Residues of polybrominated diphenyl ethers in Frogs (*Rana limnocharis*) from a contaminated site, South China. *Tissue distribution, biomagnification, and maternal transfer.* *Environ. Sci. Technol.* 2009, 43, 5212–5217.
- Wu JP, Luo XJ, (2009b). Biomagnification of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls in a highly contaminated freshwater food web from South China. *Environmental Pollution* 157(3). 904-909.
- Xia J, Wang L. & Luo H (2005). Present status and developing tendency of flame retardant. *Applied Chemical Industry*, Volume 34, pp. 1-4.
- Xiao, H., L. Shen (2012). Atmospheric concentrations of halogenated flame retardants at two remote locations: the Canadian High Arctic and the Tibetan Plateau. *Environ Pollut* 161: 154-161.
- Xiang CH, Luo XJ, Chen SJ, Yu M, Mai BX, Zeng EY. (2007). Polybrominated diphenyl ethers in biota and sediments of the Pearl River Estuary, South China. *Environmental Toxicology and Chemistry* 26(4):616-62
- Xie X, Qian Y, Xue Y, He H, Wei D. (2013a). Plant uptake and phytotoxicity of decabromodiphenyl ether (BDE-209) in ryegrass (*Lolium perenne* L). *Environ Sci Process Impacts.* 15(10):1904-12. doi: 10.1039/c3em00252g.
- Xie, X., Y. Qian, (2013b). "Effects of decabromodiphenyl ether (BDE-209) on the avoidance response, survival, growth and reproduction of earthworms (*Eisenia fetida*)." *Ecotoxicol Environ Saf* 8(12): 00462-00469.
- Xie X, Wu Y, (2011). Hydroxyl radical generation and oxidative stress in earthworms (*Eisenia fetida*) exposed to decabromodiphenyl ether (BDE-209). *Ecotoxicology* 20(5). 993-999.

- Xing, T. R., W. Yong, L. Chen, M. L. Tang, M. Wang, J. T. Chen and D. Y. Ruan (2010). Effects of decabrominated diphenyl ether (PBDE 209) on voltage-gated sodium channels in primary cultured rat hippocampal neurons. *Environ Toxicol* 25(4): 400-408.
- Xing, T., L. Chen, Y. Tao, M. Wang, J. Chen and D.-Y. Y. Ruan (2009). "Effects of decabrominated diphenyl ether (PBDE 209) exposure at different developmental periods on synaptic plasticity in the dentate gyrus of adult rats *In vivo*." *Toxicological sciences : an official journal of the Society of Toxicology* 110: 401-410.
- Xu Y, Zhang G, Li J, Liu X, Li X. (2011) Atmospheric polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and Pb isotopes at a remote site in Southwestern China: Implications for monsoon-associated transport. *Science of total environment* Vol 409, 2011, Pages 4564-4571
- Yu L, Luo X, Zheng X, Zeng Y, Chen D, Wu J, (2013). Occurrence and biomagnification of organohalogen pollutants in two terrestrial predatory food chains. *Chemosphere* 93(3):506-511.
- Yu Y, Zhang S, Huang N, Li J, Pang Y, Zhang X, Yu Z, Xu Z. (2012). Polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated biphenyls in freshwater fish from Taihu Lake, China. Their levels and the factors that influence biomagnification. *Environ Tox Chem*, 31(3):542-.
- Yu L-H, Luo X-J, Wu J-P, Liu L-Y, Song J, Sun Q-H, (2011). Biomagnification of Higher Brominated PBDE Congeners in an Urban Terrestrial Food Web in North China Based on Field Observation of Prey Deliveries. *Environ Sci Technol* 45(12): 5125-5131.
- Yu X, Zennegg M, Engwall M, Rotander A, Larsson M, Ming Hung W, Weber R (2008) E-waste recycling heavily contaminates a Chinese city with chlorinated, brominated and mixed halogenated dioxins. *Organohalogen Compounds* 70:813-816
- Yang Q, Qiu X, Li R, Liu S, Li K, Wang F (2013). Exposure to typical persistent organic pollutants from an electronic waste recycling site in Northern China. *Chemosphere* 91:205-211.
- Zegers BN, Lewis WE, Booi K, Smittenberg RH, Boer W, de Boer J, Boon JP (2003). Levels of polybrominated diphenyl ether flame retardants in sediment cores from Western Europe. *Environ Sci Technol*. Sep 1;37(17):3803-7.
- Zeng W, Wang Y, Liu Z, Khanniche A, Hu Q, Feng Y, Ye W, Yang J, Wang S, Zhou L, Shen H, Wang Y (2014). Long-term exposure to decabrominated diphenyl ether impairs CD8 T-cell function in adult mice. *Cell Mol Immunol*. Apr 7. doi: 10.1038/cmi.2014.16.
- Zeng Y-H, Luo X-J, Chen Y, Yu Y, Chen Y, and Mai B-X (2012). Gastrointestinal absorption, metabolic debromination, and hydroxylation of three commercial polybrominated diphenyl ether mixtures by common carp *Environ Tox and Chem*, 31, (4): 731-738.
- Zennegg M, Munoz M, Schmid P, Gerecke AC (2013). Temporal trends of persistent organic pollutants in digested sewage sludge (1993-2012). *Environ Int*. 60:202-8.
- Zhang, W., Chen, L., Liu, K., Lin, K., Chen, Y. & Yan, Z., 2014. Bioaccumulation of decabromodiphenyl ether (BDE209) in earthworms in the presence of lead (Pb). *Chemosphere*. 106:57-64.
- Zhang, H., X. Li, J. Nie and Q. Niu (2013a). "Lactation exposure to BDE-153 damages learning and memory, disrupts spontaneous behavior and induces hippocampus neuron death in adult rats." *Brain Res* 1517: 44-56.
- Zhang BZ, Li HZ, Wei YL, You J. (2013b). Bioaccumulation kinetics of polybrominated diphenyl ethers and decabromodiphenyl ethane from field-collected sediment in the *Oligochaete*, *Lumbriculus variegatus*. *Environmental Toxicology and Chemistry* 32(12):2711-2718.
- Zhang, W., L. Chen, (2013c). Lead accumulations and toxic effects in earthworms (*Eisenia fetida*) in the presence of decabromodiphenyl ether." *Environmental Science and Pollution Research*: 1-7.
- Zhang, Y., et al. (2013d). "Polybrominated diphenyl ethers in soil from three typical industrial areas in Beijing, China." *J Environ Sci (China)* 25(12): 2443-2450.
- Zhang Z, Sun ZZ, Xiao X, Zhou S, Wang XC, Gu J, Qiu LL, Zhang XH, Xu Q, Zhen B, Wang X, Wang SL (2013e). Mechanism of BDE209-induced impaired glucose homeostasis based on gene microarray analysis of adult rat liver. *Arch Toxicol*. 87(8):1557-67. doi: 10.1007/s00204-013-1059-8.
- Zhang, W., (2012). "The combined effect of decabromodiphenyl ether (BDE-209) and copper (Cu) on soil enzyme activities and microbial community structure." *Environ Toxicol Pharmacol* 34(2): 358-369.

- Zhang W, Cai Y, Sheng G, Chen D, Fu J. (2011 a). Tissue distribution of decabrominated diphenyl ether (BDE-209) and its metabolites in sucking rat pups after prenatal and/or postnatal exposure. *Toxicology*. 28;283(1):49-54.
- Zhang X, Ruan X, Yan M, Zhao Y, Wei W, Qin Z (2011b). Polybrominated diphenyl ether (PBDE) in blood from children (age 9–12) in Taizhou, China. *J Environ Sci*. 23:1199–1204.
- Zhang BZ, Ni HG, Guan YF, Zeng EY. (2010a). Occurrence, bioaccumulation and potential sources of polybrominated diphenyl ethers in typical freshwater cultured fish ponds of South China. *Environ Pollut* 158(5):1876-1882.
- Zhang, C., X. Liu and D. Chen (2010b). "Role of brominated diphenyl ether-209 in the differentiation of neural stem cells in vitro." *International journal of developmental neuroscience : the official journal of the International Society for Developmental Neuroscience* 28: 497-502.
- Zhao Y, Xianli R, Li Y, Yan M, Qin Z (2013). Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Aborted Human Fetuses and Placental Transfer during the First Trimester of Pregnancy. *Environ Sci Technol* 47:5939–5946.
- Zhou, T., Ross, D.G., DeVito, M. J. & Crofton, K. M. (2001). Effects of short-term in vivo exposure to polybrominated diphenyl ethers on thyroid hormones and hepatic enzyme activities in weanling rats. *Toxicol. Sci.*, 61, 76-82.
- Zhu W, Liu L, (2010). Effect of decabromodiphenyl ether (BDE 209) on soil microbial activity and bacterial community composition. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 26(10). 1891-1899.
- Zhu LY, Hites RA (2005). Brominated flame retardants in sediment cores from Lakes Michigan and Erie. *Environ Sci Technol*.39(10):3488-94. (Erratum in: *Environ Sci Technol*. 2005 39(15):5904).
- Zota, A. R., J. S. Park, Y. Wang, M. Petreas, R. T. Zoeller and T. J. Woodruff (2011). "Polybrominated diphenyl ethers, hydroxylated polybrominated diphenyl ethers, and measures of thyroid function in second trimester pregnant women in California." *Environ Sci Technol* 45(18): 7896-7905.
- Zou, M., Ran, Y. & Gong, J., 2007. Polybrominated diphenyl ethers on watershed soils of the Pearl river delta, China, occurrence, inventory, and fate. *Environmental Science and Technology*, Volume 41, pp. 8262-8267.
- Örn U. (1997). Synthesis of polybrominated diphenyl ethers and metabolism of 2,2',4,4'-tetrabromo[14C]diphenyl ether. Licentiate Thesis, Department of Environmental Chemistry, Stockholm University.
-