

SC

UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.8

الأمم
المتحدة

Distr.: General
18 January 2008

Arabic
Original: English

برنامج الأمم المتحدة للبيئة



لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة التابعة
لاتفاقية استكهولم بشأن الملوثات العضوية الثابتة
الاجتماع الثالث
جنيف، 19 - 23 تشرين الثاني/نوفمبر 2007

تقرير لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة عن أعمال اجتماعها الثالث

إضافة

موجز بيانات مخاطر سُداسي كلور حَلَقِي الهكسان ألفا

اعتمدت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة، في اجتماعها الثالث، موجز بيانات مخاطر
لِسُداسي كلور حَلَقِي الهكسان ألفا، على أساس مشروع موجز بيانات المخاطر الوارد في الوثيقة
UNEP/POPS/POPRC.3/17. ويرد أدناه نص موجز بيانات المخاطر، بصيغته المعدلة، ودون تحرير
رسمي.

سُداسي كلور حَلَقِي الهكسان ألفا

موجز بيانات المخاطر

اعتمده لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة
في اجتماعها الثالث

تشرين الثاني/نوفمبر 2007

جدول المحتويات

4	موجز تنفيذي
6	1- مقدمة
6	1-1 الهوية الكيميائية
7	1-1-1 الخواص الفيزيائية - الكيميائية
8	2-1 استنتاج لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة من المعلومات الواردة في المرفق دال
8	3-1 مصادر البيانات
9	4-1 وضعية المادة الكيميائية في الاتفاقيات الدولية
10	2- ملخص المعلومات المهمة لموجز بيانات المخاطر
10	1-2 المصادر
10	1-1-2 الإنتاج
10	2-1-2 التجارة والمخزونات
11	3-1-2 الاستخدامات
11	4-1-2 الإطلاقات في البيئة
12	2-2 المصير البيئي
12	1-2-2 الثبات
15	2-2-2 التراكم الأحيائي
18	3-2-2 الانتقال البيئي البعيد المدى
19	3-2 التعرض
19	1-3-2 بيانات الرصد البيئي المستمدة من المناطق المحلية
22	2-3-2 التعرض نتيجة للانتقال البيئي البعيد المدى
23	3-3-2 الغذاء
24	4-3-2 التركيزات في الجسم
24	5-3-2 تعرض الأطفال
25	4-2 تقييم المخاطر بالنسبة للنتائج النهائية المثيرة للقلق
29	3- توليف المعلومات
30	4- البيان الختامي
32	المراجع

موجز تنفيذي

اقترحت المكسيك، بصفتها طرفاً في اتفاقية استكهولم، إدراج المواد الليندين وسُداسي كلور حلقي الهكسان ألفا وبيتا أيضاً في المرفق ألف أو باء أو جيم من اتفاقية استكهولم. وبعد أن تمّ الاتفاق على موجز بيانات المخاطر الخاص بمادة الليندين، إبّان الاجتماع الأخير الذي عقدته لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة في تشرين الثاني/نوفمبر 2006، خلصت اللجنة إلى الاستنتاج بأن مادة سُداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا مطابقة أيضاً لمعايير الفرز المبيّنة في المرفق دال من الاتفاقية، وأنه ينبغي القيام بوضع المقترح في صيغة أكثر تفصيلاً، وإعداد مشروع موجز لبيانات المخاطر.

ذلك أنه بعد اتّساع نطاق استعمال مادة سُداسي كلور حلقي الهكسان التقنية طيلة أربعين عاماً تقريباً في العالم قاطبة، تمّت الاستعاضة عنها على نحو تدريجي بمادة الليندين (أي سُداسي كلور حلقي الهكسان - غاما). ولم يُبلّغ عن استعمال مادة سداسي كلور حلقي الهكسان بصيغتها التقنية على نحو ذي دلالة بعد العام 2000. غير أنه قد تحدث أيضاً إطلاقات في البيئة من إنتاج مادة الليندين، وكذلك من مواقع النفايات الخطرة، ومدافن النفايات والمواقع الملوثة. وبسبب سمات الخطورة البيئية في مركبات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية (بما في ذلك مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا باعتبارها الأيزومر (المصاوغ أو المتماكب) الرئيسي)، وكذلك بسبب وفرتها الواسعة الانتشار، فهي تخضع الآن للوائح التنظيمية وتدابير الحظر الوطنية والدولية.

علماً بأن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا قابلة للتعرّض لتحلّل الأحيائي والأحيائي معاً بمعدّلات ودرجات متفاوتة، تبعاً، على سبيل المثال، للوسط البيئي والموقع والمناخ. ومن المتوقّع أن تتحلّل مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا بسرعة في الأحوال المناخية المدارية، في حين أنها تتراكم في المناخات الباردة. كما إن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا تكون ثابتة بدرجة معتدلة في التربة. واستناداً إلى القيم المستمدّة من المستجمعات المائية، أي أوساط المياه العذبة والمياه البحرية في منطقة القطب الشمالي وغيرها، يمكن الاستنتاج بأن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا تظهر درجات ثبات عالية في الماء في المناطق الباردة.

كما أن الخواص الفيزيائية - الكيميائية التي تنطوي عليها مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا تتيح لها الانتشار من مصادرها إلى منطقة المحيط القطبي الشمالي بواسطة مجموعة من عوامل الانتقال البعيد المدى في الغلاف الجوي والتيارات المائية في المحيطات. وقد كُشف عن وجود مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا بنسب عالية المستوى في المحيط القطبي الشمالي، حيث أخذت تتجمّع في مخزونات كبيرة الحجم، كما أخذت تتسرّب إلى الأنواع الأحيائية البحرية وكذلك البرية.

لكن درجات التعرّض للتلوّث بمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في المناطق المحلية أخذت تتدنّى بعد إخضاع هذه المادة لتدابير الحظر والتقييد في جميع أنحاء العالم. غير أن المناطق الحديثة التعرّض لهذه المادة أو المناطق التي توجد فيها درجة عالية من التلوّث لا تزال تتبدّى فيها بمستويات مرتفعة. وينشأ دافع إلى القلق بصفة خاصة أيضاً من التعرّض للتلوّث في جوانب مواقع النفايات الخطرة ومدافن النفايات، مما يتأتّى من مخلفات التخلص من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا من إنتاج مادة الليندين. ومن جرّاء ثبات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا لصعوبة تحللها، ما زال يمكن كشف وجودها بانتظام على مستويات خلفية منخفضة في البيئة. وأبلغ أيضاً عن كشف وجودها على مستويات مرتفعة في منطقة القطب الشمالي (علماً بأن المستويات في المحيط القطبي الشمالي أعلى منها في المحيطات والبحيرات المعتدلة درجة

الحرارة). ومع أن مستويات وجود مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في الهواء انخفضت إلى أكثر من عشرين ضعفاً منذ الثمانينات وحتى الآن، فإنه لم يحدث سوى تعبير ضئيل في كمونها في الضواري البحرية والبرية العليا، مثل عجول البحر (الفقمة) ذات الفراء والدببة القطبية.

وبسبب وجود مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في السلسلة الغذائية البرية والمائية، فإنها قد تراكمت وتتضخم أحياناً في المجموعات الأحيائية النباتية والحيوانية والشبكات الغذائية في المنطقة القطبية الشمالية. ونسبة عوامل التضخم الأحيائي (بالمقارنة بين الضواري والفرائس) بخصوص كثير من الأنواع المفحوصة، أكبر من واحد. كما إن بعض الحيوانات، وبخاصة الطيور، بل الثدييات أيضاً، لديها الإمكانية على استقلاب (تأبيض) مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا. وبما أن هذا يُعتبر عملية تحويل أحيائي بتمائل صوري انتقائي، فقد يحدث تراكم مُميز لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (+) أو (-) في الثدييات (تبعاً للأنواع الأحيائية).

ومادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا هي أشد الأيزومرات إمكانيّة للتسميم العصبي، إلى جانب الأيزومر سداسي كلور حلقي الهكسان - غاما. وقد صنفتها الوكالة الدولية لبحوث السرطان (IARC) كمادة مُسرطنة يمكن أن تسبب السرطان في البشر (الفئة 2 بء)، بالاستناد إلى أدلة إثبات لم تكن كافية عن سرطنتها بالنسبة إلى البشر، لكنها كانت كافية عن سرطنتها بالنسبة إلى الحيوانات. كذلك تسبب مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا فرط تسنج مرضي في الكبد وأوراماً كبدية في القوارض (المختبرية). ومن المعروف من خلال التجارب على الحيوانات أن هذه المادة تؤثر في الجهاز المناعي؛ وقد لوحظت آثار كابته للمناعة في البشر أيضاً، لدى أشخاص تعرّضوا لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية كذلك. وتبيّن الدراسات الوبائية ارتفاع معدّل انتشار الإصابة بسرطان الثدي بعد التعرّض لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا، وكذلك الاضطرابات الهرمونية التي تؤدي إلى العقم والإجهاد. كما يُفترض وجود ارتباط محتمل بين تأثير هذه المادة وتأخر نمو الجنين داخل الرحم وفقر الدم اللاتنسجي.

وبالاستناد إلى موجز بيانات الخطورة ومشاهد التعرّض الافتراضية، يمكن الاستنتاج بأن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا قد تنطوي على تأثير ضار للأحياء البرية والصحة البشرية في المناطق الملوثة بها. وقد أشارت التقديرات الصادرة عن وكالة حماية البيئة، التابعة للولايات المتحدة (USEPA)، بناءً على معدّلات الجرعات اليومية بالنسبة إلى سكان القطب الشمالي، إلى ارتفاع معدّلات الإصابة بالسرطان لديهم، وإن كانت تلك التقديرات متحفظة جداً. ولا بدّ من النظر بعين الاعتبار أيضاً إلى أن الكبد هو العضو الجسمي المستهدف من جميع أيزومرات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان، ممّا يترك المجال لمخاطر احتمال تأثير مواد إضافية معها. علاوة على ذلك، فإن السكان الأصليين في منطقة القطب الشمالي، وكذلك الأحياء البرية، كليهما عُرضة لطائفة واسعة من الملوثات العضوية الثابتة. بما في ذلك أيزومرات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان وغيرها من الملوثات أيضاً، ممّا يؤدي إلى احتمال ازدياد المؤثرات بفعل المواد الإضافية أو إلى إمكانية تآزر أضرار تلك المؤثرات والمواد، وهي احتمالات يصعب التنبؤ بها، ومع ذلك، فإن السلطات المسؤولة عن الصحة العامة في المنطقة القطبية الشمالية تعتقد بأن المنافع الاجتماعية والثقافية والاقتصادية ذات الأهمية، التي تنطوي عليها الأغذية التقليدية، ترجح كفتها على مخاطر ملوثات مثل مادة سداسي كلور حلقي الهكسان في الوقت الحاضر، ممّا يقدّم سبباً آخراً إضافياً يوجب المبادرة بسرعة إلى فرض الرقابة على جميع أيزومرات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان وإزالتها من الأغذية التقليدية.

وهذه هي الأسباب التي تسوّغ اتخاذ إجراء عالمي النطاق بشأن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا.

1 - مقدمة

في المقترح المقدم من المكسيك بإدراج مادة الليندين في المرفق ألف أو باء أو جيم من اتفاقية استكهولم، وكذلك فيما أعقب ذلك من المناقشات، خلص إلى "ضرورة النظر أيضاً إلى أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان الأخرى" (UNEP/POPS/POPRC.2/10). ومن تمّ قدّمت المكسيك، في السادس والعشرين من تموز/يوليه 2006، اقتراحاً بإدراج مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في المرفقات ألف أو باء أو جيم من اتفاقية استكهولم (UNEP/POPS/POPRC.2/INF/7). وقد أعدت النمسا (بالنيابة عن ألمانيا) مشروع خطة العمل الأول بشأن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا.

ومادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا هي واحد من الأيزومرات المستقرّة الخمسة من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية، وهي مبيد آفات كلوري عضوي كان يُستخدم سابقاً في الزراعة. وأمّا أنماط مفعول أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان فتختلف كميّاً ونوعياً فيما يخصّ نشاطها الأحيائي (البيولوجي) في الجهاز العصبي المركزي باعتباره الجهاز المستهدف الرئيسي. كما إن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا منشط بالدرجة الرئيسية للجهاز العصبي المركزي، ولكن التأثير النهائي الناجم عن الأيزومرات الخليطة يتوقف على التركيب (البرنامج الدولي للسلامة الكيميائية (IPCS)، 2001). وبصفة عامة، يمكن القول بأن المواد من سداسي كلور حلقي الهكسان هي من بين أكثر مبيدات الآفات درساً فيما يخصّ مصيرها وآثارها في البيئة، نقلاً عن برايفيك وآخرين في عام 1999 (Breivik et al.).

1-1 الهوية الكيميائية

الاسم الكيميائي: سداسي كلور حلقي الهكسان ألفا (alpha-HCH)

الاسم بحسب قائمة الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية (IUPAC): سداسي كلور حلقي الهكسان (1a,2a,3b,4a,5b,6b)-Hexachlorocyclohexane

الترادفات الشائعة: سداسي كلور حلقي الهكسان-1،2،3،4،5،6، أيزومر ألفا، 1,2,3,4,5,6-hexachlorocyclohexane, alpha isomer, (1alpha,2alpha,3beta,4alpha,5beta,6beta)-1,2,3,4,5,6-hexachlorocyclohexane, alpha-1,2,3,4,5,6-Hexachlorocyclohexane; alpha-benzene hexachloride, alpha-BHC, alpha-HCH, alpha-lindane; benzene-trans-hexachloride, Hexachlorocyclohexane-Alpha (Chemfinder, 2007).

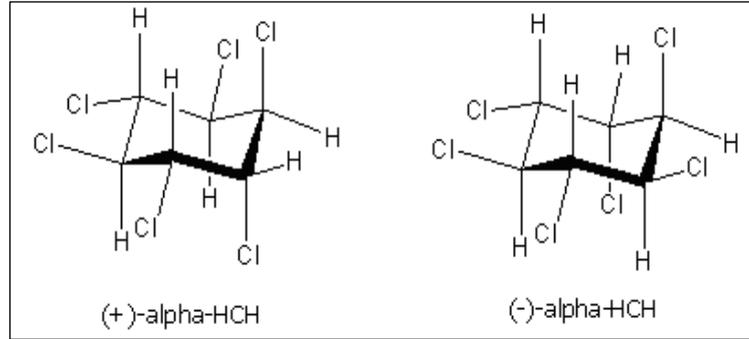
المادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا هي جزيء لا انطباقي؛ وتُبين تماثلاته الصورية في الشكل 1. الرقم في سجل دائرة المستخلصات الكيميائية (CAS):

الرّزيم: 319-84-6, (+) alpha-HCH: 11991169-2, (-) alpha-HCH: 119911-70-5

المعادلة الكيميائية: $C_6H_6Cl_6$

الوزن الجزيئي: 290.83

الشكل 1: تركيب جزيئيات سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا معدلة عن بوزر وآخرين (1995)



وأما استقرار أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان وثباتها فيعزيان إلى توجّه ذرات الكلور في الجزيء. ويُرجّح أن تتيح ذرات الكلور المحورية مواقع حافزة للتحلل الخمائري (الأنزيمي). وتظهر مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا 4 ذرات كلورية محورية التوجّه و2 من الذرات الاستوائية التوجّه. ومن ثم يُعتقد بأن هذا الجزيء أكثر عُرضةً للتحلل من الأيزومر-بيتا؛ نقلاً عن فيليبس وآخرين، في عام 2005.

1-1-1 الخواص الفيزيائية - الكيميائية

الخواص الفيزيائية - الكيميائية لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (انظر الجدول 1 للاطلاع على بعض الخواص المنتقاة) تتيح انتقال المادة البعيد المدى وحدوث "تكثف بارد"، مما يؤدي إلى إثراء المادة في المناخات الباردة مقارنةً بالتركيزات التي توضع بالقرب من المصادر، بحسب نطاقات خطوط الارتفاع والعرض، مما ورد وصفه في دراسة وانيا وماكاي (عام 1996). ويمكن أن تتطاير مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا بضغط بخارها وانخفاض معامل تجزؤ الأوكتانول - الهواء من سطوح التربة. كما أن ثابت "قانون هنري" الخاص بعلاقة الغاز الذائب بالضغط منخفض نسبياً، ويتناقص بحسب درجة الحرارة.

الجدول 1- خواص فيزيائية كيميائية منتقاة

432 ¹	درجة الذوبان (كلفن)
561 ¹	درجة الغليان (كلفن)
0.33 ²	الانحلال في الماء (جزيء* م ⁻³ عند 26° درجة مئوية)
0.25 ²	ضغط البخار-وحدة باسكال (Pa) عند 25° درجة مئوية)
0.74 ²	ثابت قانون "هنري" (Pa م ⁻³ جزيء ⁻¹)
3.9 ²	(لوغاريتم معامل تجزؤ الأوكتان-الماء) "الوغ كوو" (25° درجة مئوية)
7.5 ²	(لوغاريتم معامل تجزؤ الأوكتان-الهواء) "الوغ كوا" (25° درجة مئوية)
جسم صلب متبلور ¹	الحالة الفيزيائية

(1) الوكالة المعنية بسجل المواد السامة والأمراض (ATSDR) (2005).

(2) تشياو وآخرون (2004).

2-1 استنتاج لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة من المعلومات الواردة في المرفق دال

قِيّمت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة المقترح الذي قدّمته المكسيك بخصوص مادة سداسي كلور حلقي الهكسان ألفا (الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.2/INF/7)، بصيغته التي لخصته بما الأمانة في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.2/15)، وفقاً لمقتضيات المرفق دال من اتفاقية استكهولم، خلال اجتماعها الثاني في جنيف. وفي المقرّر 9/2 الصادر عن اللجنة، توصلت اللجنة إلى الاستنتاج بأن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا تفي بمعايير الفرز المحددة في المرفق دال. وقررت اللجنة أيضاً إنشاء فريق عامل مخصّص لاستعراض المقترح على نحو إضافي، ثم إعداد مشروع موجز بيان مخاطر وفقاً للمرفق هاء من الاتفاقية.

3-1 مصادر البيانات

يستند مشروع موجز بيانات المخاطر إلى مصادر البيانات التالية:

- المقترح الذي قدّمته المكسيك بشأن إدراج مادة سداسي كلور حلقي الهكسان ألفا في قوائم مرفقات الاتفاقية، ألف أو باء أو جيم أو فيها جميعاً (الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.2/INF/7)، عام 2006.
- مقرّر لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة - 9/2 الصادر عن لجنة الاستعراض، عام 2006.
- المعلومات التي قدّمها أطراف ومراقبون وفقاً للمرفق هاء من الاتفاقية: معلومات محدّدة أو علمية أو كلاهما معاً: الجمهورية التشيكية، وألمانيا، والشبكة الدولية للقضاء على الملوثات العضوية الثابتة (IPEN)، واليابان وسويسرا والولايات المتحدة الأمريكية؛ ومعلومات عامة من: الجزائر، والاتحاد الدولي لحماية الحياة الزراعية (CropLife International)، ومملكة البحرين، وموريشيوس، والمكسيك، وقطر، وجمهورية ليتوانيا، وتركيا. وهذه المعلومات متاحة على الموقع الشبكي الخاص بالاتفاقية: <http://www.pops.int/documents/meetings/poprc/prepdocs/annexEsubmissions/submissions.htm>
- تقييم مادة الليندين وغيرها من أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان، وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة (USEPA) عام 2006: http://www.epa.gov/oppsrrd1/REDs/factsheets/lindane_isomers_fs.htm
- البرنامج الدولي بشأن السلامة الكيميائية، المادتان سداسي كلور حلقي الهكسان ألف - وبيتا، معايير الصحة البيئية 123، منظمة الصحة العالمية، جنيف، عام 1992: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc123.htm>
- موجز بيانات سُمّية مركّبات سداسي كلور حلقي الهكسان، وزارة الصحة والخدمات البشرية في الولايات المتحدة، دائرة الصحة العامة، الوكالة المعنية بسجل المواد السامة والأمراض، عام 2005: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp43.html>
- خطة العمل الإقليمية لأمريكا الشمالية (NARAP) بشأن مادة الليندين وغيرها من أيزومرات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان، عام 2006. مفوضيّة التعاون البيئي لأمريكا الشمالية: http://www.cec.org/pubs_docs/documents/index.cfm?varlan=english&ID=2053

إضافةً إلى هذه المصادر المعلوماتية، أُجري بحث في منشورات قواعد بيانات عمومية. وقد استُعملت قواعد البيانات التالية المذكورة مواقعها الشبكية: قاعدة بيانات السموم الكيميائية (ECOTOX, (ECOTOXicology) (Ecotox, (<http://www.epa.gov/ecotox/>), مصرف بيانات المواد الخطرة (HSDB, (<http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB>), و Pubmed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?DB=pubmed>) ، وقاعدة بيانات المصير البيئي (EFDB http://www.syrres.com/esc/efdb_info.htm). وعموماً، تشمل المصطلحات البحثية الاسم الكيميائي أو الرقم الصادر عن دائرة المستخلصات الكيميائية (CAS)، أو مجموعة مؤلفة من المصطلحات الكيميائية، وذلك بسبب تعدد البنود المدخلة. وللسبب نفسه، نُظر أيضاً في مقالات محدّدة المواضيع وغيرها من المقالات الحديثة العهد. والتقارير المذكورة أعلاه تحتوي على إحالات مرجعية فردية لم تُذكر على التحديد في مشروع موجز بيانات المخاطر الحالي. وترد إحالات مرجعية إضافية في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.3/INF/27.

4-1 وضعية المادة الكيميائية في الاتفاقيات الدولية

مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا هي أحد مقومات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية، التي يخضع تنظيمها الرقابي لاثنين على الأقل من الاتفاقيات الدولية. أولهما هو بروتوكول آر هوس لعام 1998 بشأن الملوثات العضوية الثابتة (POPs)، التابع لاتفاقية التلوّث الجوّي بعيد المدى عبر الحدود. ومادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية مدرجة في المرفق الثاني من البروتوكول، الذي قيّد استعمالها باعتبارها مادة وسيطة في الصناعة التحويلية الكيميائية فحسب.

والاتفاق الثاني هو اتفاقية روتردام لتطبيق إجراء الموافقة المسبقة عن علم على مواد كيميائية ومبيدات آفات خطرة معيّنة متداولة في التجارة الدولية. ومن ثم فإن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان (وهي خليط أيزومرات) خاضعة لإجراء الموافقة المسبقة، ومدرجة في المرفق الثالث من الاتفاقية.

وقد وقّعت كندا والمكسيك والولايات المتحدة على خطة العمل الإقليمية لأمريكا الشمالية بشأن مادة الليندين وغيرها من أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان (NARAP)، في عام 2006. وهدف خطة العمل المذكورة هو الحدّ من المخاطر المرتبطة بتعرّض البشر والبيئة لأخطار التلوّث بهذه المواد.

وأما في الاتحاد الأوروبي، فإن إنتاج مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية واستخدامها كوسيط في الصناعة التحويلية الكيميائية سوف يُلغيان تدريجياً بحلول نهاية العام 2007 على أبعد تقدير (البند التنظيمي الصادر عن المفوضية الأوروبية (EC) رقم 850/2004). كما إن مركّبات سداسي كلور حلقي الهكسان مدرجة أيضاً في عداد المواد ذات الأولوية (المقرّر رقم 2455/2001 الصادر عن المفوضية الأوروبية) المشمولة في التوجيه الإداري الإطاري بشأن المياه (رقم 2000/60/EC) الصادر عن المفوضية الأوروبية، المعتمد في الاتحاد الأوروبي.

كذلك فإن أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان، بما في ذلك أيزومر ألفا، مدرجة في قائمة المواد الكيميائية التي تتطلّب إجراءات على سبيل الأولوية، التابعة للجنة حماية البيئة البحرية لشمال شرقي المحيط الأطلسي (OSPAR). والهدف المتوخّى هو منع تلوّث المناطق البحرية من خلال مواصلة الحدّ من حالات تصريف المواد الخطرة وانبعاتها وكذلك فقدها من جرّاء تسربها عشوائياً.

2 - ملخص المعلومات المهمة لموجز بيانات المخاطر

1-2 المصادر

1-1-2 الإنتاج

لا يجري إنتاج مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا بحد ذاتها قصداً ولا تُطرح في السوق؛ بل إنها تُنتج باعتبارها المقوم الرئيسي في تركيب مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية، التي تُستخدم مبيداً للحشرات من المركبات العضوية الكلورية، أو مادةً كيميائيةً وسيطة في الصناعة التحويلية لإنتاج مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - غاما (ليندين). وفي الوقت الحالي، لا يُبلغ عن بيانات بشأن إنتاج مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية، في حين أن صنع الليندين لا يزال جارياً (الرابطة الدولية المعنية بمواد سداسي كلور حلقي الهكسان ومبيدات الآفات) (IHPA, 2006).

وتُصنع مادة سداسي كلور حلقي الهكسان بعملية الكلورة الكيميائية الضوئية للبنزين، التي تؤدي إلى تشكل خمسة أيزومرات مستقرة من سداسي كلور حلقي الهكسان في الأكثر. ويتباين إنتاج الأيزومرات المختلفة بحسب الاختلافات التقنية في عملية الإنتاج. ويشمل نطاق المركبات المبلغ عنها: سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (55-80٪)، وسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا (5-14٪)، وسداسي كلور حلقي الهكسان - غاما (8-15٪)، وسداسي كلور حلقي الهكسان - دلتا (6-10٪)، وسداسي كلور حلقي الهكسان - إيسيلون (1-5٪) - نقلاً عن برايفيك، وآخرين (1999). ويمكن الحصول على مزيد من التفاصيل عن إنتاج مخلفات سداسي كلور حلقي الهكسان وإعادة استخدامها، من الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.2/17 والإضافة Add.5 (موجز بيانات مخاطر الليندين)، ومن الرابطة الدولية (IHPA) (2006). وقد ذكرت البلدان التالية التي قدمت معلومات وفقاً للمرفق هاء، أنه لا يجري حالياً إنتاج المادة - ألفا ولا استخدامها: الجمهورية التشيكية وألمانيا وموريشيوس والمكسيك والنرويج وقطر وجمهورية ليتوانيا وتركيا وسويسرا والولايات المتحدة الأمريكية.

2-1-2 التجارة والمخزونات

طُرحت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية في الأسواق في الأربعينات بسرعة وعلى نطاق كبير، وذلك لما تتميز به من خواص مبيدة للحشرات عموماً. وقد ظهرت الفرص الواعدة في الأسواق العالمية من خلال البحث عن بديل رخيص الثمن لمادة دي. دي. تي. (ثنائي كلور وثنائي فينيل ثلاثي كلورو الإتيان)، (الرابطة الدولية (IHPA, 2006)). ولكن من جراء تناقص فعالية الأيزومرات غاما (أكثر من) ألفا (أكثر من) بيتا في مكافحة الحشرات (Baumann et al., 1980)، استُعيض تدريجياً عن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية بمادة الليندين (أكثر من 99٪ سداسي كلور حلقي الهكسان - غاما). غير أن صنع الليندين أدى إلى تجمع مقدار ضخم من مخلفات سداسي كلور حلقي الهكسان، وكان لا بد من التخلص منها أو اللجوء إلى إدارة معالجتها. وقد قدرّت الرابطة الدولية (IHPA) في حساباتها وجود ما يتراوح بين 1.9 و4.8 مليون طن من مخلفات سداسي كلور حلقي الهكسان، استناداً إلى إنتاج الليندين على الصعيد العالمي، وذلك بسبب عدم وجود بيانات دقيقة. وهذه التقديرات تتجاوز إلى حد بعيد القيم التي أبلغ عنها الباحث ووكر وزملاؤه (1999)، فذكر في تقريره وجود مخزونات تبلغ 2 785 مليون طن تقريباً من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية، و45 طناً من مواد غير محددة من مركبات سداسي كلور حلقي الهكسان في أفريقيا وفي الشرق الأدنى.

2-1-3 الاستخدامات

أُطلق ما يُقدَّر بنحو 10 ملايين طن من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية في البيئة بين عامي 1948 و1997 (Li et al., 1999). وقدّر الباحث برايفيك وزملاؤه (1999) استخدام 400 000 طن تقريباً من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية في أوروبا بين عامي 1970 و1996. وهذه البيانات تبين بوضوح وجود قدر كبير من الريبة في هذه التقديرات. ووفقاً لرأي الباحثين لي وماكدونالد (2005)، كان أغلب استخدام مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية على النطاق العالمي يجري في 10 بلدان، تتصدرها الصين، التي استهلكت قرابة نصف إجمالي الكمية العالمية المستخدمة. وكانت بقية البلدان (بحسب ترتيبها من حيث تناقص درجات الاستخدام): الاتحاد السوفياتي سابقاً والهند وفرنسا ومصر واليابان والولايات المتحدة وألمانيا الشرقية سابقاً وإسبانيا والمكسيك. وقد حُظر استخدام مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية في معظم البلدان الغربية واليابان في السبعينات، لكنه استمر في كل من الصين وروسيا حتى عامي 1983 و1990. وفي عام 1990، حظرت الهند أيضاً استخدام مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية لأغراض الزراعة، لكنها استبقت استخدامها لأغراض الصحة العامة (نقلاً عن برنامج الرصد والتقييم القطبي (AMAP, 2004)). ثم أخذ استخدام مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية ينخفض باطراد، ولم تعد تُستخدم حالياً بالفعل في العالم قاطبة. بيد أن هناك مؤشرات تدلّ على أنه لا يمكن استبعاد احتمال استخدام مخزونات موجودة، أو استخدامها بقدر محدود لأغراض الصحة العامة أو استخدامها على نحو غير قانوني (Zhuilidov et al., 2000; Bakore et al., 2004p Qian et al., 2006).

2-1-4 الإطلاقات في البيئة

هناك عدّة مسارات تتسرّب من خلالها مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا إلى البيئة. أما تاريخياً، فكانت هذه المادة تُطلق أثناء عملية الصناعة التحويلية لتركيب مادة سداسي كلور حلقي الهكسان تقنياً، ثم استخدامها كمييد آفات. علماً بأن المركّبين مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا وبيتا يتماثلان في أنماط الانبعاث، ولكنهما يختلفان من حيث النطاق. وقد قدّر الباحثان لي وماكدونالد (2005) حجم استخدام مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا على النطاق العالمي (استناداً إلى بيانات عن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية) بنحو 6 ملايين طن، تنبعث منها 4.3 ملايين طن في الغلاف الجوي. وبعد فترة الأربعينات ازدادت انبعاثات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا، وبلغت ذروتها في مطلع السبعينات. ثم بفضل الحظر الذي فرض على استخدام سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في أمريكا الشمالية وفي البلدان الأوروبية واليابان، أخذت الانبعاثات تتناقص، لكنها بلغت مجدداً ذروة أخرى في الثمانينات بسبب تواتر استخدامها في البلدان الآسيوية. ثم بعد فترة الثمانينات، انخفضت الأرقام بفضل فرض المزيد من تدابير الحظر والتقييد، مثلاً في الصين. غير أن انطلاقات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في البيئة ممكنة الحدوث أيضاً من خلال مواقع النفايات الخطرة (USEPA, 2006)، ومخزونات ومخلفات إنتاج مادة الليندين، والتي لا تخضع دائماً للمراقبة أو الصيانة السليمة (IHPA, 2006). كذلك فإن المواقع الملوثة (مثلاً من أثر معامل إنتاج سابقة) قد تسهم في زيادة وطأة تأثير سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا على البيئة (Concha-Grana et al., 2006). كما أبلغت ألمانيا في تقرير منها (قدّمت معلومات بخصوص المرفق هاء، عام 2007) بأنه لا يزال هناك بضعة مصادر انبعاث محلية معزولة، أي مدفن نفايات ومدافن قمامة في جمهورية ألمانيا الديمقراطية سابقاً (ألمانيا الشرقية) من مخلفات استخدام سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية في أغراض تطبيقية. ونتيجة لذلك، أخذت تُكشف تركّزات عالية الدرجة من سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في أسماك نهر إلبه بالقرب من موقع الإنتاج السابق، وذلك بعد فترات هطول الأمطار الغزيرة والفيضانات التي حدثت في العام 2003. ولكن ليس هناك تقديرات كمية متاحة عن الانطلاقات من مواقع النفايات الخطرة ومدافن النفايات والقمامة.

2-2 المصير البيئي

1-2-2 الثبات

تُعتبر مادة سداسي كلور حلقي الهكسان ألفا، بصفة أساسية، قابلة للتحلل (الحسّف) في أوساط بيئية بفعل سلسلة من العمليات اللاأحيائية، كالتحلل الضوئي أو الانحلال المائي. واستناداً إلى تجارب مختبرية، نقلاً عن الباحث ناجابه وآخرين (عام 1993)، تُبين أن الانحلال المائي لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (في عمر النصف يعتمد اعتماداً شديداً على درجة الحرارة. إذ بدرجة حرارة تبلغ 20 درجة مئوية، بأس هيدروجيني 8 (pH)، كان نصف العمر (DT50) لهذا المركّب 0.8 سنة، في حين أنه تزايد عند درجات حرارة أدنى (5 درجات مئوية، أس هيدروجيني 7.8 (pH)). وبناءً على هذه المعدلات الخاصة بالتحلل، حسّب الباحث هارنر وزملاؤه (عام 1999) نصف عمر (DT50) مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في المحيط المتجمّد الشمالي، الذي بلغ 63 سنة.

كما إن أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان، عموماً، لا تمتصّ الضوء عند (أكثر من) 290 ن م. ومن المتوقع أن يكون للتحلل الضوئي دوراً ضئيلاً في إزالة مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا. وقد أبلغ الباحث ديو وزملاؤه (عام 1994) عن حساب أنصاف عمر هذا المركّب في محلول مائي معرّض لضوء الشمس تراوحت بين 4 و6 أيام. ومع أن آلية هذا التحلل غير مؤكّدة، فقد تبين أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا - وكذلك سداسي كلور حلقي الهكسان - غاما - تتجزأ بالتحلل الضوئي غير المباشر مع وجود عوامل حفّازة ضوئية قد تنقل طاقة الإثارة إلى مادة سداسي كلور حلقي الهكسان (نقلاً عن الوكالة المعنية بالسجل (ATSDR)، عام 2006؛ والوكالة الأمريكية (USEPA)، عام 2006). وأما فيما يتعلق بالتحلل الضوئي على السطوح الصلبة، فقد أُبلغ عن حساب نصف عمر يساوي 91 ساعة على شريحة رقيقة (الوكالة المعنية بالسجل (ATSDR)، عام 2005). غير أن مدى أهمية هذه النتيجة تكون موضوع تساؤل عند النظر بعين الاعتبار إلى الحجج المذكورة أعلاه.

وتنتج عن قياس ثابت معدّل OH في الغلاف الجوي بمقدار $10 \times 1.4 \times 10^{-13}$ سم³/جزء-ثانية، حساب نصف عمر بلغ 115 يوماً (ATSDR, 2005) (باستخدام تركّز جذري هيدروكسيلي متوسط بمقدار 5×10^5 جزء/سم³، نقلاً عن (TGD)، (2003)).

واستنتاجاً، يُلاحظ أن التحلل الأحيائي لهذه المادة بطيء جداً، وبخاصة عند درجات حرارة منخفضة. كما يُعتبر أن للانحلال الضوئي في الوسط المائي والجوي دوراً غير ذي أهمية في تحلل مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا.

وقد تبين أن تحلل مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا الحيوي يجري في عمليات الزرع النقي (الوحيد الخلية)، والترب الطينية الرّخوة، ودراسات التربة (شبه) الميدانية، وفي الرّسوبات والمياه. وكان يُعتقد في البدء بأن تحلل مادة سداسي كلور حلقي الهكسان الأحيائي في التربة يحدث في ظروف مشروطة بوجود عوامل هوائية. غير أن عدّة استقصاءات تبين أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا تتحلل بفعل العوامل الهوائية، وفي بعض الحالات من دون وجود عوامل هوائية. وأُبلغ أيضاً عن حدوث تفكّك في المادة في ظروف خافضة لنشوء الميثان والكبريتات (السلفات)؛ نقلاً عن (فيليس وزملائه، 2005).

وأما مسار استقلاب مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا اللاهوائي فيؤدّي عبر عملية إزالة الكلورة إلى نشوء رباعي كلور حلقي الهكسان. وكذلك يتشكّل ثنائي كلور الفينول وثلاثي كلور الفينول، وكلور البنزين والبنزين أيضاً في ظروف مولّدة للميثان؛ والمادتان الأخيرتان تعتبران من النواتج النهائية المستقرة. وهذه المستقلبات يمكن أن تتمعدّن أيضاً هوائياً أو

لا هوائياً؛ نقلاً عن (باتشمان وزملائه، 2005)؛ (وفيليس وزملائه، 2005). وفي عمليات الزرع النقي، وكذلك في التربة المغمورة بالقيضان، تعتبر مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - غاما أسهل الأيزومرات إمكانيةً لإزالة كلورتها، تليها مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في ظروف لا هوائية (MacRae et al., 1967; Jagnow et al., 1977).

وفي الظروف الهوائية تؤدي عملية الكلورة بإزالة الهيدروجينية إلى تكوّن خماسي كلور حلقي الهكسان في الثرب الطينية الرخوة. وقد يحدث المزيد من التحوّل إلى رباعي كلور البنزين أو ثلاثي كلور البنزين لكي يُنتج ثنائي الكلور البنزين (Deo et al., 1994). وقد دُرِس بتوسّع التحلّل الهوائي لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - غاما مع شينغوبيوم (*Shingobium sp*)، فنتج عن ذلك عدّة مستقبلات. وأشار إلى أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا تتبع المسار نفسه الذي تتبعه مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - غاما. كما تبيّن حدوث التمعدن الكامل لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في دراسات مخبرية أُجريت في ظروف هوائية (Phillips et al., 2005).

وعموماً، يُلاحظ أن الأحوال المناخية، وكذلك تركيب التربة والمادة العضوية المحوّرة لامتصاص المادة والمحتوى المائي والأس الهيدروجيني والنمو البكتيري، كلّها عوامل تؤثر بشدّة في معدّلات التحلّل (IPCS, 1992). كما أن محتوى الرطوبة في التربة يزيد من مقادير فقد مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا، مما يُعزى إلى ارتفاع درجة التطايرية أو التحلّل الميكروبي أو كليهما معاً (Chessells et al., 1988؛ و Phillips et al., 2005). ولكن لم يُبلغ حتى الآن عن وجود بكتيريا قادرة على إحداث التحلّل لأيزومرات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان عند درجات حرارة قصوى (أقل من 5 درجات مئوية أو أكثر من 4 درجات مئوية) (Phillips et al., 2005).

لكن البيانات عن الدراسات المخبرية للتربة أو الاستقصاءات الحقلية محدودة. ويُفترض في مختلف الظروف الحقلية أن معدّل التحلّل يتدرّج في نطاق متزايد من ألفا (أكثر من) غاما (أكثر من) بيتا (Suzuki et al., 1975؛ Stewart and Chisholm, 1971؛ وأنظر أيضاً القسم 1-1). وأبلغ الباحث سينغ وزملائه (Singh et al.) (عام 1991) عن ملاحظته أنصاف عمر في الظروف الحقلية تبلغ (أي عن طريق التبدد بواسطة الفقد بالترشيح والتطاير) 55 يوماً في أراضٍ مختلفة مزروعة وغير مزروعة ذات تربة من الطفال الرملي، في الهند، في ظروف تحت مدارية. وهذه النتيجة متسقة مع استنتاجات الباحث كاوشيك (Kaushik) (في عام 1989)، الذي أبلغ عن نصف عمر حتى أقصر من ذلك بخصوص مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية في ظروف مشابهة. وكذلك لاحظ الباحث دويلمان وزملائه (Doelman et al.) (عام 1990) في دراسة شبه ميدانية على تربة ملوثة حدوث إزالة بنسبة تربو على 50٪، بعد 161 يوماً، مما عزى بدرجة رئيسية إلى انحطاط سريع في غضون الأسابيع القليلة الأولى، في حين أبطأ التحلّل فيما بعد. وألح أيضاً الباحث سوزوكي وآخرون (Suzuki et al.) (عام 1975) إلى أن المحلّفات المنخفضة المستوى (دون 0.1 جزء في المليون) قد تقاوم تأثير مفعول العوامل الفيزيائية - الكيميائية. ومن ثم قد تظلّ التراكّزات المنخفضة الدرجة من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا ثابتة في البيئة لفترة غير محدودة بسبب تآلف الإنزيمات (الخمائر) أو عوامل منظومة الانتقال المسؤولة عن تحلّل مادة سداسي كلور حلقي الهكسان (Phillips et al., 2005). ولاحظ الباحثان ستوارب وشيزهولم (Stewart and Chisholm) (عام 1971) في دراسة ميدانية طويلة الأمد بعد استخدام مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية، بقاء ما نسبته 40٪ من الأيزومر ألف بعد 15 سنة في تربة من الطفال الرملي في كندا. إضافة إلى ذلك، بيّن الباحث تشيسيلز وزملائه (Chessells et al.) (عام 1988) أنه بعد انقضاء 20 سنة على استخدام مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية على قصب السكر في كوينزلاند، أستراليا، قلّ انتشار مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا بتركزاتها العالية الأولية في الحقل، وبلغ ما كُشف من المادة ضعفي مستويات الأيزومر - غاما.

والعمليات اللاأحيائية المؤثرة في هذه المركبات غير انتقائية في التماثل الصوري، لكن تحللها الأحيائي قد يكون كذلك. وإذا ما قيست مخلفات سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا غير الرزيمية في البيئة أو في أحيائها الحيوانية والنباتية، يُلاحظ وجود الإنزيمات. غير أن المخلفات الرزيمية لا تُستبعد فيها إمكانية التحلل الأحيائي (Suar et al., 2005). ولأغراض الرصد أيضاً، حُسبت كمياً الأجزاء التماثلية الصور (أي الأجزاء (EFs) التي تُحسب بالمعادلة الخاصة بالأجزاء التماثلية الصور ونسبة التماثل (ER) وهي $EF = ER/(ER+1)$: (+)/(-) مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا، Kallenborn et al., 2001) من أجل تعيين خصائص المخلفات. واستقصى الباحثان هيجنمان ولانه (Hegenman and Ianne) (عام 2002) توزع التماثل الصوري لمركب مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في أوساط بيئة مختلفة مستخلصة من خلال 618 عملية قياس. وعموماً، بينت المقصورات اللاأحيائية الوسيطة معدّلاً متوسطاً للأجزاء التماثلية الصور يقارب من 0.5. أما في التربة، فقد لوحظ اتجاه غالب نحو التحلل في المركب (-) سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا ($EF > 0.5$)، وأما في الماء، فقد لوحظ اتجاه مضاد. وأبلغ الباحث كورت-كاراكوس وزملاؤه (Kurt-Karakus et al.) عام 2005 عن نسق متنوّع من الأجزاء التماثلية الصور للمركب سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا يتراوح بين 0.4 و0.89 (وسطياً 0.5) في أنواع أساسية شاملة من التربة من مناطق مختلفة من العالم، شملت نسقاً أكبر مما تبدت فيه الأجزاء التماثلية الصور في بيئة جوية محيطة في أمريكا الشمالية (0.47-0.52)، مما ألح إلى حدوث التحلل فيما بعد الترسيب. ولكن بما أن الأجزاء التماثلية الصور تتباين كثيراً بحسب الموقع المعين، فلا بدّ من توخّي الحذر عند استخدام بصمات التماثل الصوري في الجو كعلامة تدل على معاودة الانبعاثات من السطوح (أي من التربة).

واستناداً إلى قيمة معامل التجزؤ في التلوّث العضوي (K_{oc}) بين التربة والماء، وما أكدته البيانات الميدانية أيضاً، يُتوقع أن تنطوي مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا على إمكانات نضّ منخفضة (مصرف بيانات المواد الخطرة (HSDB)، عام 2006)؛ و(Singh et al., 1991). غير أن تلوّث المياه الجوفية قد يحدث في المناطق الشديدة التلوّث (Law et al., 2004). ويمكن الاطلاع على معلومات تفصيلية عن الأهمية الوثيقة التي تتسم بها العملية الأيزومرية (التماثل أو التماكب الصوري) في البيئة في موجز بيانات المخاطر الخاص بمادة الليندين (UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.4).

ومادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا يمكن أن تتحلل أحيائياً في عينات مياه البحر/الرّسوبات (مصرف البيانات (HSDB)، عام 2006)، والمياه العذبة (Padma and Dickut, 2002). وقدّر الباحث هلم وآخرون (Helm et al.) عام 2002 أنصاف عمر سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في بحيرة في أعالي القطب المتجمّد الشمالي بما يتراوح بين 0.6 إلى 1.4 سنة. وأما في المنطقة الشرقية من المحيط القطبي المتجمّد الشمالي فقد لوحظ تحلل بالتماثل الصوري الانتقائي للمركبات (+) ألفا و(-) ألفا سداسي كلور حلقي الهكسان مع أنصاف عمر تتراوح بين 5.9 و23.1 سنة. وإذا ما وُضع في الاعتبار الانحطاط (التفكك) بالانحلال المائي، يُلاحظ أن أنصاف العمر الإجمالية تتراوح بين 5.4 و16.9 سنة للأيزومرين (+) و(-) ألفا، على التوالي، (Harner et al., 1999). ومع أن المعرفة عن معدّلات التحلل الرّسوبي هزيلة، ومن ثم فإنّ التقديرات غير يقينية تماماً، فقد افترض بأن نصف العمر لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في رّسوبات بحيرة في أعالي القطب المتجمّد الشمالي يبلغ سنتين تقريباً (Helm et al., 2002). وهناك بعض البيانات عن مستويات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في عينات رسوبيات عمرها ما بين 30 - 40 سنة، تبين أنصاف عمر طويلة للمادة في رسوبيات من مناطق جغرافية مختلفة (Barra et al., 2001; Rawn et al., 2001; Riching et al., 2005).

2-2-2 التراكم الأحيائي

يبيّن معامل التجزؤ بين الأوكتانول والماء (لوغاريتم المعامل $(Kow) = 3.8$) لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا إمكانية تراكمها الأحيائي؛ نقلاً عن الوكالة المعنية بالسجل (ATSDR, 2005)، مع أنه دون القيمة 5 المذكورة في الفقرة 1 (ج) '1' من المرفق دال من اتفاقية استكهولم. وقد أُبلغ عن طائفة واسعة من قيم مُعامل التركز الأحيائي (BCFs) في عدّة دراسات. وبخصوص الطحالب الخضراء، تباينت قيم معامل التركز الأحيائي من حوالي 200 في كلوريللا بيرينودوساسيلز (*Chlorella pyrenoidosacells*) إلى 2 700 (على أساس الوزن الجاف) و13 000 على أساس شحمي، على التوالي في دوناليلا (*Dunaliella*). وتبيّن الدراسات عن اللاققرات تراوح قيم معامل التركز الأحيائي بين 60 (8 000 على أساس شحمي) في الأرطاميا (*Artemia*) و2700 في أنواع الصّف كثير الشعيرات (*Polychaets*)، تبعاً للمحتوى الشحمي في الحيوانات؛ نقلاً عن البرنامج الدولي للسلامة الكيميائية (IPCS, 1992).

وكان معامل التركز الأحيائي (بكامل الجسم) لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا، وفقاً للمعيار التوجيهي للاختبارات (305E) السابق الصادر عن منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي (OECD) في سمك الزرد، يساوي 1 100 في ظروف حالة الاستقرار بعوامل امتزاز ثابتة ($k1$) بقيمة 50 وعوامل معدّل إزالة ثابتة ($k2$) بقيمة 0.045. وهذه القيم مشابهة لقيم مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - غاما ($BCF = 850$, $k1 = 50.8$, $k2 = 0.055$) (Butte et al., 1991). وأبلغ الباحث أوليفر وزملاؤه (عام 1985) (Oliver et al.) عن قيم معامل تركيز أحيائي (بكامل الجسم) تتراوح بين 1 100 و2 800 في سمك التروته القُرَجِيّ.

وعموماً، تبيّن الدراسات المستمدّة من شبكات التغذية البحرية في محيط القطب المتجمّد الشمالي وجود عوامل تضخّم في شبكات التغذية (FWMFs)، تمثّل معدّلاً وسطيّاً من الزيادة في كل مستوى تغذوي في السلسلة الغذائية، أكبر من القيمة 1. وأما قيم معامل التضخّم الأحيائي (في المقارنة بين الضواري والفرائس) لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في العوالق الحيوانية المجهرية وسمك القدّ القطبي، فهي أكبر من القيمة 1، مما يدلّ على إمكانية التضخّم الأحيائي. وأما قيم معامل التضخّم الأحيائي لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا، في طيور البحور، فكانت أقل من 1، باستثناء اليمامة البحرية والغلموت الأسود البحري الشمالي. وتبيّن من دراسة الفقمة المطوّقة معامل تضخّم أحيائي بقيمة 2.5 (Moisey et al., 2001). ويُشار إلى أن الأيزومر سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا ينطوي على إمكانية للتضخّم الأحيائي في الشبكات الغذائية المائية، وقد تزداد تلك الإمكانية في المستويات التغذوية المنخفضة وكذلك العالية، وبخاصة في الثدييات البحرية (Hoekstra et al., 2003a; USEPA, 2006). ويؤكّد أيضاً التقرير الذي أعدّه الباحث هويكسترا وزملاؤه (Hoekstra et al., 2003b) هذا الافتراض ببلوغ قيمة معامل التضخّم الأحيائي للأيزومر سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا 9.85 في حوت البوهّد القطبي الشمالي.

وأبلغ الباحث فيسك وزملاؤه (Fisk et al.) (عام 2001) عن تأثير العوامل الكيميائية والأحيائية على انتقال الملوثات العضوية الثابتة التي تحتوي على الأيزومر سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في الشبكات التغذوية. وعموماً، ينبغي أن تُرى أعلى قيم معامل التضخّم الأحيائي في الحيوانات الثابتة حرارة الدم (أي الحمار) (الطيور والثدييات) بالمقارنة بينها وبين الحيوانات المتبدّلة حرارة الدم (أي البارد) (الأسماك واللافقريات)، مما يُعزى إلى كونها تحتاج إلى مقدار من الطاقة أكبر. وضمن فئة الحيوانات الثابتة حرارة الدم، فإن قيم معامل التضخّم الأحيائي في طيور البحر هي الأعلى، مما يتّسق مع

كَبَر مقدار الطاقة الذي تتطلبه الطيور. لكن هذا لا ينطبق على مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا. إذ يبدو أن معظم الطيور البحرية قادرة على حث الصَّبغ الخَلَوِيّ (P450) ومنه مثلاً (CYP28)، وهما من الخمائر (الإنزيمات) اللازمة لاستقلاب سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا؛ ومن ثم فإن التدرّج التراتبي النازل من الأعلى إلى الأدنى في القدرة على التحويل الأحيائي (تُبيّن عادة بالنسبة إلى المحيطات بالتزايد؛ الثدييات البحرية ثم طيور البحر ثم الأسماك ثم العوالق الحيوانية) هو تدرّج غير قابل للتطبيق بخصوص هذا المركّب. وأما قيمة معامل التضخّم الأحيائي للمركّب سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في الحيوانات المتبدّلة حرارة الدم فهي 1.3 وهي مساوية لها في الحيوانات ثابتة حرارة الدم (Hop et al., 2002).

وبما أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا مركّب لانبطاعي، فإن تحديد نسبة التماثل الصُوري (ER) أو أجزاء التماثل الصُوري (EF) مهم لفهم عمليتي الاستقلاب (التأيض) والتحوّل الأحيائي الخاصتين بالأنواع الأحيائية المحدّدة. ولم يلاحظ الباحث كونفيك وزملاؤه (عام 2006) (Konvick et al.) أي تحويل أحيائي بالانتقاء التماثلي في أسماك التروته الفُزحية بخصوص مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا، في دراسة غذائية تبيّن أجزاء تماثل صوري متسقة في الأسماك. وفي تجربة أجراها الباحث وونغ وزملاؤه (عام 2002) (Wong et al.)، كانت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا رَزمِيّة طوال مسار التجربة على أسماك التروته الفُزحية، التي أُطعمت غذاءً معالجاً. وهذه النتائج تتناقض مع تقارير عن التحويل الانتقائي التماثلي في أنواع أحيائية أخرى. وكان جزء التماثل الصُوري في اللافقرات والعوالق الحيوانية والأسماك بمقدار 0.45 كحدّ أقصى. وأما عجول البحر المطوّقة فقد أظهرت في الملاحظة جزء تماثل صوري بمقدار 0.51 في حين تراوح في طيور البحر بين 0.65 (بمادة البحر) و0.97 في النوارس الرمادية المشوبة بالخضرة (Moisy et al., 2001). وهذا يشير إلى أن طيور البحر تسقّل تفاضلياً الجزء التماثلي صُورياً (-). ومن خلال ارتباط ذلك بمعامل تضخّم أحيائي بأقل من 1 في طيور البحر، تبيّن أن الجزأين التماثلين صورياً من سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا يُستقلبان في الطيور (في حين يبدو أن يمارة البحر والغلموت الأسود لديهما قدرة استقلابية أدنى).

ويبيّن جزء التماثل الصُوري 0.51، إذا ما وُضع في الاعتبار مع معامل تضخّم أحيائي 2.5 في الفقمة (عجول البحر)، أن الثدييات غير قادرة على التحويل الأحيائي لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا بكميات كبرى (Moisey et al., 2001). ومع ذلك فإن الباحث فيبرغ وزملاؤه (Wiberg et al.) (2000) وجد مخلفات من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا بنسب تماثل صُوري غير رَزمِيّة في عجول البحر وكذلك في الدبّة القطبية. ووفقاً لرأي الباحث هويكسترا وزملاؤه (Hoekstra et al.) (2003b)، فإن تراكم الأجزاء المتماثلة (+) يحدث داخل حوت البوهّد القطبي الشمالي والدلفين الأبيض، ولكن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (-) تزداد ثراءً داخل جسم الفقمة الملتحية. كما أن الفقمة المطوّقة تظهر تراكمًا ضئيلاً للأجزاء المتماثلة (+) (Hoekstra et al.)، ولكن مخلفات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا تكون أحياناً رَزمِيّة (Fisk et al., 2002). وهذا يدلّ على حدوث تحويل أحيائي وتراكم بتماثل صُوري نوعي لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في السلسلة الغذائية. وحين قيام الباحث كورسوليني وزملاؤه (Corsolini et al.) (2006) باستقصاء الأجزاء التماثلية في القشريات وأسماك القُد وبيض طيور البطريق، وجد أيضاً حدوث تحويل أحيائي بتماثل صُوري انتقائي لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (+) بزيادة 14٪ في المستوى التغدوي من الأدنى إلى الأعلى (أي من القشريات إلى طيور البطريق). وهناك اختلافات فيما بين الأنواع في سمات التماثل الصُوري لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في الثدييات البحرية أيضاً. وعلى سبيل المثال، فإن قيمة معامل التضخّم الأحيائي بالنسبة إلى

صنف القنوس صعوداً إلى حوت البوهّد أعلى (قراءة 10 لجزء من سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (+) بمقدار 16 و4.5 مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (-)) (Hoekstra et al., 2003b).

وأظهر الباحث موزي وزملاؤه (Moisey et al.) (2001) قيماً مختلفةً من معامل التضخّم الأحيائي في يمامة البحر، تبعاً لاختلاف فريستها. وتلخيصاً، يمكن القول بأن التضخّم الأحيائي يتأثر بالكثير من البرامترات، كالتلوّث في الأحياء النباتية والحيوانية، وبالتالي الغذاء (الفريسة)، والمستوى التغذوي، والقدرة على تحويل مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا أحياناً.

وأظهر الباحث كيلبي وآخرون (2007) في الآونة الأخيرة أنه بالنسبة للمواد التي يكون لوغاريتم معامل التجزؤ بين الأكتانول والهواء فيها أكثر من 6 لوغاريتم معامل التجزؤ بين الأكتانول والماء فيها أكثر من 2، فإن معامل التركيز الأحيائي في الأسماك لا يكون مؤشراً جيداً للتضخّم الأحيائي في الحيوانات التي تتنفس في الهواء. ويتضح هذا جيداً أيضاً بمادة سداسي كلور حلقي الهكسان بيتا، في السلاسل الغذائية للتدييات البحرية والبرية، حيث تتراكم هذه المركبات أحياناً بقوة تصل إلى 3000 ضعف حالة الأولى و400 ضعف في الثانية. وتستوفي مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا أيضاً هذه المعايير.

ولم يقتصر كشف وجود سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا على الشبكة الغذائية في منطقة القطب الشمالي، بل كُشف أيضاً في أعضاء عجول البحر ذات الفراء من ساحل المحيط الهادئ في اليابان، وفي أعضاء طائر الغاق المزدوج العُرف من منطقة البحيرات الكبرى (بنسبة تماثل صوري لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا تتراوح بين 1 في العضلات و1.58 في الدهون). كما وُجدت نسب تماثل صوري عالية لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في دماغ طائر الغاق (بأكثر من 3.6) (Iwata et al., 1998). واستخلص الباحث ويلت وزملاؤه (Willet et al.) من تركّزات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا العالية الدرجة في دماغ التدييات البحرية أن هذا المركب يمكن أن يخترق حاجز الدم/الدماغ. ووجد أيضاً الباحث أولريش وزملاؤه (Ulrich et al.) (2001) في دراسات على الفئران أن نسبة التماثل الصوري لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في الدماغ، التي تتراوح بين 2.8 و13.5، لا يسببها استقلاب انتقائي التماثل الصوري، بل قد يكون السبب في ذلك هو الإمساك الانتقائي.

وكشف الباحث براونه وزملاؤه (Braune et al.) (1999) مخلفات من سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في دهون أيل الرّثة. ويمكن أيضاً العثور على مخلفات سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في الكبد والنسيج الشحمي في الثعالب القطبية الشمالية. وتبيّن نسبة التماثل الصوري لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا بمقدار 2.2 في الكبد، و1.1 في النسيج الشحمي، تراكم أحياناً فراغي النوعية أيضاً في التدييات الأرضية على اليابسة (Klobes et al., 1997).

واستنتاجاً، يمكن القول بوجود مستويات عالية من هذا المركب العضوي في الأحياء النباتية والحيوانية في المنطقة الشمالية بسبب القدرة على التراكم الأحيائي الكامنة في سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (كنتاج للتركّز الأحيائي والتضخّم الأحيائي) وكذلك عمليات الرسوب الفعّالة بصفة مخصوصة التي تميّزت بها هذه المادة تاريخياً، في مياه القطب المتجمّد الشمالي. والتراكم الفعّال إنما هو مفعول ناتج عن مجموعة الخواص الفيزيائية - الكيميائية في مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا باقترانها بدرجة الحرارة المنخفضة في القطب الشمالي. وبعبارة أخرى، يمكن القول بأن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا تتراكم بفعالية في النظام البيئي الأحيائي في منطقة القطب الشمالي بأسرها.

2-2-3 الانتقال البيئي البعيد المدى

بيانات الرصد عن البيئة، بما في ذلك الأحياء النباتية والحيوانية، المستمدة من مناطق نائية، مثل منطقتي القطبين الشمالي والجنوبي، حيث لم تُستخدم مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - التقنية، تقدّم أدلة تثبت احتمالات انتقال سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا البعيد المدى في البيئة. كما إن الخواص الفيزيائية - الكيميائية إذ تقترن بقابليتها للاستقرار تتيح المجال لانتقال سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا البعيد المدى في الغلاف الجوي. لكن الانبعاثات الأولية من مناطق المصدر (في آسيا بالدرجة الرئيسية)، وكذلك التراكّزات الجوية في القطب الشمالي، تتناقص تزامنياً، مما يُستدل منه على سرعة تبخر مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا من مصادرها وانسيابها إلى مناطق نائية (Li and Bidleman, 2003). وقد أُبلغ عن تراكّزات عالية الدرجة بصفة خاصة، بالمقارنة بتركّزاتها في مناطق المصدر، في المحيط المتجمّد الشمالي (أنظر الجدول 2). ويُفترض أنه بعد انتقال مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا البعيد المدى في البيئة، أخذت تتراكم في المياه الباردة بسبب شرودها التناسي لانخفاض ثابتهما تبعاً لقانون هنري، حيث تجمع مخزون كبير منها (Li and Macdonald, 2005). ومن ثم فإن مركّبات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان ومادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا هي أغزر مبيدات الآفات الموجودة في الهواء والماء في منطقة القطب الشمالي (Walker et al, 1999).

ولفهم مسارات انسياب مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا ومصيرها في بيئة أعالي المحيط المتجمّد الشمالي، استحدث الباحث لي وزملاؤه (Li et al.) (2004) تطبيقية نموذجية لمحاكاة وحساب التوازن الكتلي (Mass Balance Box Model). وقد استنتجوا أن بلوغ أعلى حمل بمقدار 6 670 طنّاً في عام 1982 حدث بصفة رئيسية بالتبادل الغازي والتيارات المحيطية، ثم تناقص منذ حينذاك بمعدّل سنوي متوسط بمقدار 270 طنّاً في السنة تقريباً. وبعد العام 1990، أصبحت التيارات المحيطية المُدخّل الغالب من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا الداخلة إلى الغلاف الجوي في محيط القطب الشمالي. غير أن الجزء الداخلة من سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا إلى الغلاف الجوي في القطب الشمالي عبر الانتقال البعيد المدى من مناطق المصدر كان له دور غالب (وبخاصة في البداية). ثم بعد مطلع التسعينات كانت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا الموجودة في هواء المنطقة القطبية الشمالية تأتي من الانتقال عبر الغلاف الجوي والتطايير من المحيط القطبي الشمالي معاً. وقد أُشير إلى أن الزوال التام لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا بالتحلّل والتيارات المحيطية بصفة رئيسية سوف يتطلّب عقدين آخرين. ويُذكر أن ما مجموعه 27 700 طن من سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا قد انتقل في البيئة بين العامين 1945 و2000 بفعل الانتقال البعيد المدى إلى المحيط القطبي المتجمّد الشمالي.

ووفقاً للحسابات النموذجية باستخدام أداة استقصاء ثبات الملوثات الشامل وانتقالها البعيد المدى، التي استحدثتها منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي (OECD Pov and LRTP Screening Tool)، يُلاحظ أن لمركّبات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا خواص ثبات وانتقال بعيد المدى مماثلة بالمقارنة بالملوثات العضوية الثابتة (POPs) المستبانة من قبل، مثل المركّبات ثنائية الفينيل المتعدّد الكلور (PCBs) ومركّبات مبيدات الآفات العضوية الكلورية (Wegmann et al., 2007). وتشمل خواص المدخلات النموذجية للمواد والمركّبات الكيميائية معاملات تجزؤ أو تفرقة الهواء-الماء والاكتانول-الماء، وكذلك أنصاف العمر في الهواء والماء والتربة، وثابت قانون هنري (بالاستناد إلى الأرقام الواردة في هذه الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.2/INF/7). وهذه الأداة التطبيقية النموذجية تنظر في جميع الأوساط البيئية من الناحية الكميّة. لكن نتائج النموذج لا تبيّن مستويات مطلقة في البيئة، بل تساعد على المقارنة بين الملوثات العضوية الثابتة المحتملة

والملوّثات العضوية الثابتة المستبانة (الكيمائيات المرجعية: مركّبات (PCB). مُتجانساتها 28 و 101 و 180، وسُداسي كلورو البنزين (HCB)، ورباعي كلوريد الكربون، وسُداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا)، ووفقاً لأنماط ثباتها في البيئة واحتمالات انتقالها البعيد المدى. واستُقصيت حالات الرّيبة في تقدير الخواص الكيميائية بواسطة الوسيلة التطبيقية المسماة نموذج مونت كارلو لتحليل حالات الرّيبة (Monte Carlo uncertainty analysis).

2-3 التعرّض

ينتج التعرّض للتلوّث بمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا من استخدام المركّب سداسي كلور حلقي الهكسان التقني، ومن إنتاج وصنع المركّب سداسي كلور حلقي الهكسان التقني ومادة الليندين. وبسبب ثباتها، فإن ارتفاع درجة جرعة التعرّض متوقّع أيضاً في المناطق الملوّثة من جرّاء الإفراط في استخدامها، وإنتاجها السابق، ومواقع التخلّص منها، ومناطق تخزينها. ومع أن استخدام مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقني قد توقّف عملياً في العالم قاطبة، فإن بيانات الرصد المستندة إلى نسبة الأيزومر - ألفا-غاما لا تزال تدل على إمكانية حدوث إطلاقات من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقني في مناطق معيّنة (Zhang et al., 2003؛ Qian et al., 2006؛ Zhulidov et al., 2000).

وفي الأكثر، ينتج تعرّض البشر للتلوّث مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا من جرّاء ابتلاع نباتات ملوّثة أو تناول أطعمة من لحوم حيوانات أو منتجات حيوانات ملوّثة. كذلك فإن تنشّق الهواء المحيط واستهلاك مياه الشرب هما من مصادر التعرّض الأخرى، وإن كان هذا التعرّض ضئيل القدر. وبحسب ما بيّنته دراسة فرنسية تجريبية رائدة، كشف وجود مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في الهواء داخل الأمكنة وعلى أيدي أشخاص من عموم السكان في منطقة مدينة باريس فيما تتراوح نسبته بين 42٪ و 35٪ من العينات. وكانت المستويات منخفضة وبلغت 1.8 ن غ/م³ (أي بالنانوغرام في المتر المكعب) في الهواء، و 8.5 ن غ/اليد (Bouvier et al., 2006).

وتشير بيانات الرصد المستمّدة من طائفة واسعة من أنواع الأحياء، بما في ذلك البشر، إلى حدوث امتزاز بالغ الدلالة من البيئة، مما بيّن بوضوح توافر مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا الأحيائي. وقد يتعرّض أيضاً المواليد أثناء التطوّر الجنيني والرضاعة الثديية.

2-3-1 بيانات الرصد البيئي المستمّدة من المناطق المحلية

يلاحظ عموماً أن مستويات التلوّث البيئي في المناطق المحلية قد انخفضت بعد فرض ضوابط التقييد وتدابير الحظر على استعمال مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا التقنية (IPCS, 1992؛ وأنظر أيضاً الجدول 2-1). غير أن بيانات الرصد تظهر توزّعها الواسع الانتشار في كل الأوساط البيئية، مثلاً في أنشطة الرصد في الجمهورية التشيكية (معلومات عن المرفق هاء مقدّمة من الجمهورية التشيكية، عام 2007)، أو في الأشنات من مختلف المواضع في سويسرا (القيم واردة في الجدول 2)، أو في برنامج رصد منفذ حديثاً في اليابان. وقد كُشفت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في اليابان في جميع الأصناف السمكية، ما عدا 7 منها. والقيم المبلّغ عنها هي كما يلي: المياه 0.013-5.7 ن غ/ع³؛ آثار رسوبية 5.7 ن غ/غ وز (وزن جاف)؛ الأسماك الصديّة (المخاريات) حتى 1.8 ن غ/غ و ر (وزن رطب)؛ الأسماك حتى 2.9 ن غ/غ و ر؛ الطيور 0.1-1.6 ن غ/غ و ر؛ الهواء (في الفصلين الدافئ والبارد) 0.02-3.2 ن غ/م³ و 0.01-0.68 ن غ/م³ (معلومات عن المرفق هاء مقدّمة من اليابان، عام 2007).

الجدول 2 بيانات رصد منتقاة من أوساط لأحيائية ومواقع كساء خضري

السنة	المراجع	التعليقات	المستويات	البلد/ المنطقة	الوسط البيئي
1992-2003	Sun et al., 2006b	(HCH)-ألفا، قيم وسطية، المرحلة الغازية	< 1 - 84 pg/m ³	البحيرات الكبرى، أرياف	الهواء
1996-2003	Sun et al., 2006b	(HCH)-ألفا، قيم وسطية، المرحلة الغازية	52 pg/m ³	البحيرات الكبرى، شيكاغو	
2000-2001	Murayama et al., 2003	معدّل سنوي، وفقاً للمؤلفين نتيجة انتقال طويل المدى	92 pg/m ³	نيبيغاتا، اليابان	
1999-2003	EMEP measurement, data online	الهواء والهباء الجوي، تركّزات وسطية سنوية	38/21/17/22/13 pg/m ³	الجمهورية التشيكية (كوزيتشيه)	
1996-2003	EMEP measurement, data online	الهواء والهباء الجوي، تركّزات وسطية سنوية	24/28/18/15/17/18/9 pg/m ³	فنلندا (بالأس)	
1995-2003	EMEP measurement, data online	الهواء والهباء الجوي، تركّزات وسطية سنوية	17/16/15/15/10/8/10/5/7 pg/m ³	آيسلندا (ستورهوفاي)	
1991-2003	EMEP measurement, data online	الهواء والهباء الجوي، تركّزات وسطية سنوية	94/94/76/69/52/61/50/37/25/19/17/17/12 pg/m ³	النرويج (ليستا)	
1995-2002	EMEP measurement, data online	الهواء والهباء الجوي، تركّزات وسطية سنوية	43/57/61/50/-/67/16 pg/m ³	السويد (آسيفريت)	
1996-1988	AMAP, 2004	مجموع أيزومرات (HCH) Σ ، معظمها (HCH)-ألفا، أعلى قيمة وسطية مبلّغ عنها في 1996	73 pg/m ³	ني-آسلوند (سفالبارد، النرويج)	
1999	Harner et al. (1999)		11 - 68 pg/m ³	بحر بارنتس وشرقي المحيط المتجمّد الشمالي	
2000-2003	Su et al., 2006	توزّع متكافئ، متوسط حسابي، قياسات من 4 مواقع قطبية شمالية	23 +/- 10 pg/m ³	القطب الشمالي	
1996-2003	EMEP measurement data online	تركّزات وسطية سنوية	4.1 - 0.5 ng/l	بلجيكا (كنوكي)	هطول (أمطار)
1999-2003	EMEP measurement data online	تركّزات وسطية سنوية	1 - 0.3 ng/l	ألمانيا (تسنغست)	
1996-2003	EMEP measurement data online	هطول + ترسّب جاف تركّزات وسطية سنوية	< 1 ng/l	فنلندا (بالأس)	
1991-2003	EMEP measurement data online	تركّزات وسطية سنوية	2.7 - 0.4 ng/l	النرويج (ليستا)	
1995-2002	EMEP measurement data online	تركّزات وسطية سنوية	2.7 - 0.4 ng/l	السويد (آسيفريت)	
1976-1977	IPCS, 1992	81 عينة	1 - 40 ng/L	كندا/البحيرات الكبرى	
2000-2001	AMAP, 2004	مجموع أيزومرات (HCH) Σ ، معظمها (HCH)-ألفا، التربة بما فيها حث وفضلات	0.2 - 0.5 ng/g dw	القطب الشمالي - المنطقة الروسية	التربة
1999	Borghini et al., 2005		< 0.01 - 0.026 ng/g dw	القارة المتجمّدة الجنوبية (أنتاركتيكا)	
1996	Harner et al., 1999	فترة العينة: تموز/يوليه - أيلول/سبتمبر	910 (350 - 1630) pg/l	شمالي بحر بارنتس، شرقي المحيط المتجمّد الشمالي	مياه البحر
1983	Li and Macdonald, 2005		~ 7.5 µg/m ³	المحيط المتجمّد الشمالي - أمريكا الشمالية	
1999	Bidleman et al., 2007	المياه السطحية، قياسات في فصل الصيف	3.5 (1.1 - 5.4) ng/L	الأرخبيل الكندي ومنطقة بوفورت الجنوبية	

السنة	المراجع	التعليقات	المستويات	البلد/المنطقة	الوسط البيئي
1990-1996	AMAP, 2004	ترزات وسيطة متقلبة	< 1 - 69 ng/l	أهمار شمالي روسيا	المياه العذبة، الأهمار
1989-1991	Iwata et al., 1994		up to max. 470 ng/l	شرقي آسيا ووسطها وأوقيانيا	نهر ورواسب المصب
2002	AMAP, 2004	مجموع أيزومرات (HCH) Σ بيانات من برنامج الرصد السويدي، عام 2002	9.2 \pm 6.3 ng/g dw	جنوبي السويد	رسوبيات (بحيرة)
1991-1993	AMAP, 2004	أعلى تركيز في الأشنة مقارنة بعينات من آلاسكا والأورال وكولا	7 ng/g dw	تايمير (روسيا)	كساء خضري (أشنة)
2002	Submitted Annex E information by Switzerland, 2007	من مواضع شتى (مثلاً، مدناً ومناطق زراعية، ومناطق ريفية)	0.5 - 4 μ g/kg dw	سويسرا	
1999	Borghini et al., 2005		0.43 - 4 ng/g dw	القارة المتجمدة الجنوبية (أنتاركتيكا)	طحالب

لكن المستويات في البيئة يمكن أن تظل عالية في المناطق القريبة من المصادر. فقد وُجدت تركيزات من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان في التربة الملوثة بمقدار يتراوح بين 40 و225 م غ/ك غ، وذلك في التربة السطحية العليا من حول مصنع كيميائي في ألبانيا (UNEP, 2003). وأبلغ عن كشف مستويات وسطية بمقدار 0.02 م غ/ك غ في عينات تربة روسية من موقع قريب من نهر لينا على مقدار يتراوح بين 0.001 و0.017 م غ/ك غ من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان (UNEP, 2003). وكُشفت مستويات بلغت حتى 12 000 م غ/ك غ في التربة في منطقة عالية درجة التلوث في إسبانيا (Concha-Grana et al., 2006).

وأما المستويات في المجموعات الأحيائية فتتباين، تبعاً للموضع (استعمال حديث و/أو تلوث عالي الدرجة) وكذلك تبعاً لأنواع الأحيائية. ومادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا هي في معظم الحالات الأيزومر الغالب في الأسماك (Willet et al., 1998). وعلى سبيل المثال، تراوحت تركيزات مركبات سداسي كلور حلقي الهكسان (وأكثرها أيزومر-ألفا) في عدّة أنواع من الأسماك من الهند، بين 6 و68 ن غ/غ (وزن رطب). وأظهرت عينات الأسماك المجموعة من نهر النيل قريباً من القاهرة في عام 1993، تركيزاً من سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا بمقدار 0.5 ن غ/غ و (UNEP, 2003).

وحُدّد وجود أيزومر مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في بيض طائر الحوصل الدلماسي (بيليكانوس كريسيبوس)، وكذلك في أسماك الانقليس (*Anguilla anguilla*)، وهي من أنواع فريسة الحوصل الرئيسية المجموعة من الأراضي الرطبة في خليج أمفراكيكوس في اليونان طوال فترة سنتين، في عامي 1992 و1993. وكانت قيمة التركيز في بيض الحوصل 3.2 ± 7.9 ن غ/غ و 2.5 ± 6.5 ن غ/غ و ز في أسماك الانقليس (UNEP, 2003). وبلغ مقدار تركيزات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في سمك الفرخ من ساحل لاتفيا حتى 21 ن غ/غ و ش (وزن شحمي) (متوسط يتراوح بين 50 و60)، مما اعتُبر حملاً خلفياً. وعُزيت المستويات المرتفعة جداً، التي بلغت حتى 126 ن غ/غ و ش، إلى عملية تصريف حديثة لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (Olsson et al., 1999).

وكان من المصادر المحلية لإطلاق سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا استعمال مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية في أوساط السكان الأصليين في الشمال الروسي لدرء الحشرات الطفيلية الضارة عن قطعان أيائل الرثة المدجّنة (Li et al., 2004). غير أنه لا توجد تقديرات كميّة لهذه المستويات من التعرّض.

2-3-2 التعرض نتيجةً للانتقال البيئي البعيد المدى

أعلى المستويات المقاسة من وجود مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا أبلغ عنها في مواضع على خطوط العرض العليا في الجو (مثلاً، سفالبارد، أليرت)، وكذلك في مياه البحر (Harner et al., 1999). وكما هو مبين في الجدول 2، تناقصت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في الجو (مثلاً، من 94 ب غ/م³ في عام 1992 إلى 12 ب غ/م³ في عام 2003 في النرويج). وكذلك ذكر في ملخص بيانات صادر عن برنامج الرصد والتقييم القطبي (AMAP) (في عام 2004)، أن تركيزات مركبات سداسي كلور حلقي الهكسان في جو القطب المتجمد الشمالي أخذت تتدنى منذ منتصف التسعينات بفضل تطبيق تدابير الحظر وضوابط التقييد في جميع أنحاء العالم. وقبل ذلك، في الثمانينات، قيست مستويات عالية بلغت 900 ب غ/م³ تقريباً في الجو في القطب المتجمد الشمالي (Li et al., 2002). أما المستويات في مياه البحر شرقي محيط القطب الشمالي فكانت عموماً أدنى مما هي في الجانب الغربي منه (Haner et al., 1999). وأما التركيزات السطحية، فأعلى مستوياتها في الأرخبيل القطبي الشمالي الكندي الأوسط، ومتوسط مستوياتها في منطقة بوفورت/ تشوكشي البحرية، وفي القطب الشمالي نفسه. وفي التسعينات، كانت المستويات في المنطقة الكندية من المحيط القطبي الشمالي أعلى منها في أي مكان آخر في البيئة البحرية في الكرة الأرضية، نقلاً عن برنامج الرصد (AMAP, 2004a).

وهذا التوزع الحيزي يتبدى أيضاً في المستويات في وسط الأنواع الأحيائية. فقد وجد الباحث هويكسترا وزملاؤه (في عام 2002) (Hoekstra et al.) ظهور تراجع في نسب الأيزومرين سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا وبيتا في شحم حيتان البوهّد على طريق هجرتها في المنطقة البحرية بين بيرينغ وبوفورت. كما تناقصت المستويات في شحم الدلفين الأبيض الضخم من 190 ن غ/غ و ش تقريباً إلى 140 ن غ/غ و ش (وزن شحمي) بين عامي 1982 و 1997 في المنطقة الجنوبية الشرقية من خليج بفين (AMAP, 2004a). وأبلغ عن مستويات وصلت حتى 196 ن غ/غ و ش في رطب في الألسكا (معلومات عن المرفق هاء مقدّمة من الشبكة الدولية للقضاء على الملوثات العضوية الثابتة (IPEN)، في عام 2007) وحتى 344 ن غ/غ و ر في آرفيات (Stern et al., 2005). وكانت نسب التركيز في حيتان ماينكه من غرينلاند من الأيزومر ألفا الغالب في شحمها (المستويات الوسطية تتراوح بين 40 و 55 ن غ/غ و ر) أعلى منها لدى الأفراد من منطقة بحر الشمال (أدنى من 30 ن غ/غ) (AMAP, 2004a). ولم يُلاحظ أي انخفاض في مجموع أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان Σ في شحم الحوت القطبي المرقط من المنطقة القطبية الشمالية الكندية بين عامي 1982 و 1999.

ولم تُبين قيم التركيزات في عجول البحر (الفقمة) المطوّقة في المنطقة الكندية من القطب الشمالي أي تغيير ذي دلالة في مجموع أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان Σ المتركزة منذ السبعينات. والمرجح أن وجود النسب المرتفعة من مخلفات أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان في الثدييات البحرية في الأرخبيل الكندي هو على الأرجح من جراء التركيزات العالية الدرجة من أيزومرات هذه المادة في المياه لأن أيزومراتها هي أغزر الكلورات العضوية وفرةً في محيط القطب الشمالي (NARAP, 2006).

ولكن لم يتبين حدوث أي اتجاه زمني في تغيير القيم الموجودة في أسماك القدّ والداب القطبية الشمالية في المياه الساحلية في آيسلندا خلال الفترة من عام 1991 إلى عام 2000، في حين أن النتائج المستمدة من منطقة النرويج كشفت عن تناقص بالغ الدلالة (من 23 ن غ/غ إلى 4 ن غ/غ و ش) في مخلفات سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في كبد أسماك القدّ القطبية بين عامي 1987 و 1998 (Paasivirta و Sinkkonen، 2000).

وَكشفت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في عضلات وكبد الثعالب القطبية (1.5 و 3 ن غ/غ وزن رطب) في كندا (AMAP, 2004). وعكست المستويات المكتشفة في الدببة القطبية أيضاً توسعاً مكانياً لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا إذ بلغت أعلاها في التجمعات في منطقة الألسكا (في الدببة القطبية من الذكور بلغت حتى 593 ن غ/غ وزن شحمي). ولم يُبلغ عن أي انخفاض في مستويات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا بالنسبة إلى الدببة القطبية من الإناث في المنطقة الغربية من خليج هدسون (حيث بلغت التراكبات حتى 260 ن غ/غ وزن شحمي) من الفترة 1991-2002 (Verreault et al., 2005). ولكن ازدادت مخلفات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في الدببة القطبية في شرقي غرينلاند بنسبة مئوية من 18-25٪ أثناء التسعينات (AMAP, 2004a).

2-3-3 الغذاء

أُبلغ بأن القيم المدخولة في الجرعات من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا فيما يخص النظام الغذائي لعموم السكان من الذكور في الفترة بين عامي 1986 و 1991 في الولايات المتحدة كانت 0.008 غ/ك غ. وفي الولايات المتحدة أيضاً، انخفضت قيمة المدخول اليومي المتوسطة المستندة إلى العمر من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا من 3.3 إلى 16.1 ن غ/ك غ في الوزن الجسمي (وزن جسمي؛ 1982-84) إلى 0.5-2.7 ن غ/ك غ و ج (1986-91) (ATSDR, 2005). وفي دراسة عن النظام الغذائي الكلي قامت بها إدارة الأغذية والعقاقير (FDA) في عام 2003 بشأن المواد الغذائية، كُشف وجود مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في 35 مادة غذائية (معلومات مقدمة عن المرفق هاء من IPEN، 2007). وأما في الدراسة عن النظام الغذائي الكلي التي أُجريت في كندا (1993-1996)، أُبلغ عن نسبة مدخول غذائي يومي متوسطة بمقدار 0.37 ن غ/ك غ و ج من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (نقلاً عن الهيئة الصحية الكندية، عام 2003، في تقرير الهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية، Health Canada, 2006, in EFSA, 2006). وأما ضمن البلدان الأوروبية، فإن الدراسات عن نسب المدخول اليومي ذات الصلة التمثيلية نادرة. وقد أُجريت دراسة واحدة في الجمهورية التشيكية، ولوحظ أن قيم المدخول اليومي المتوسطة من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا انخفضت من 4.3 ن غ/ك غ وزن جسمي في عام 1994 إلى 1.6 ن غ/ك غ وزن جسمي في عام 2002 (هيئة الأغذية EFSA، 2005). كما أُجريت دراسة محلية عن النظام الغذائي في إسبانيا في فترة عامي 1990/1991 فقدّرت أن قيم المدخول اليومي أدنى من 0.1 غ/ك غ من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (Urieta et al., 1996).

كما تبيّن وجود مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في حليب البقر في البلدان التي استُعملت فيها هذه المادة حديثاً. وكانت المستويات الوسيطة من وجود مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في حليب البقر في منطقتين مختلفتين من الهند 0.012 م غ/ك غ في الوزن الشحمي و 0.0045 م غ/ك غ في الوزن الشحمي، على التوالي (ATSDR, 2005). وقد تمّ تحليل 140 عيّنة من الحليب البقري من 14 مقاطعة في هريانا في الهند (أُخذت عيّنتها خلال الفترة 1998-1999) من أجل كشف مخلفات مبيدات الآفات الكلورية العضوية. وقد تجاوز ما نسبته أربع في المائة من العيّنات الحدّ الأقصى للمخلفات (MRL) البالغ 0.05 م غ/ك غ، حسبما أوصت به منظمة الصحة العالمية بخصوص مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (Sharma et al., 2006). وكشفت دراسة رصدية (192 عيّنة) عن حليب البقر من المكسيك وجود نسبة بمقدار 0.001-0.201 م غ/ك غ من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (ATSDR, 2005).

ولوحظ أن العينات من الأسماك والمحار المأخوذة من الهند احتوت على 0.01-0.02 م غ/ك غ و ج، و 0.26 م غ/ك غ و ج من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا، على التوالي (Nair and Pillai, 1992). وأما المستويات العالية من مدخول مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في السلسلة الغذائية فهي موثقة فيما يخص المنطقة القطبية الشمالية (AMAP, 2004b)؛ وترد مستويات مبلّغ عنها في القسم 2-3-2. ويلاحظ أن السكان الأصليين في المنطقة القطبية معرّضون بصفة خصوصية من خلال نظامهم الغذائي لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا وذلك عن طريق أغذية مثل لحوم الرثة والأسماك والعجول البحرية والحيتان.

2-3-4 التركيزات في الجسم

بلغت المستويات المتوسطة من مدخول مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في عينة ضمت 25 مريضاً أمريكياً 0.04 ن غ/ك غ في الدم كلاً، و 1.1 ن غ/ك غ (بحد أقصى قدره 9.6 ن غ/ك غ) في خزعات الدهون (ATSDR, 2005). وأبلغت دراسة إسبانية عن مستويات وسطية من مدخول مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا بمقدار 1.43 غ/ك غ (الحد الأقصى بمقدار 6.75 غ/ك غ) في عينات الدهون في الأطفال الذين يعيشون في مناطق المزارع (Olea et al., 1999). كما كشفت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في ما نسبته 1.7% من 822 عينة من الدم أخذت من أشخاص بالغين ألمان من 120 موضعاً (حد الكشف: 0.1 غ/ك غ) (Becker et al., 1998). كما كشفت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في عينات من مصّل الدم مأخوذة من 186 عينة (=1.6%) من أطفال برازيليين (الوسطى: 1.8 ج ف ب (جزء في البليون)) (ATSDR, 2005). كذلك كشفت قيم تركّز متوسطة بمقدار 31 ن غ/ك غ وزن شحمي (نسبة تتراوح بين 3 و 146 ن غ/ك غ) (Dirtu et al., 2006). كما أبلغ عن قيم تركّزات عالية في الهند من جرّاء استعمال المادة لأغراض زراعية ولأغراض مكافحة الملاريا. وبلغ محتوى مصّل الدم منها حتى 0.45 م غ/ك غ، في حين أن محتوى النسيج الشحمي بلغ 0.30 م غ/ك غ. وأما النسبة التي يحتويها حليب الثدي فكانت 0.16 م غ/ك غ (وسطياً) (Nair and Pillai, 1992). واستقصى الباحث شيله وزملاؤه (في عام 1998) (Scheele et al.) مستويات عدّة مركّبات كلورية عضوية بما في ذلك المركّب سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في نخاع العظام في عينة ضمت 29 شخصاً بالغاً من ألمانيا من عينات جمعت في الفترة بين 1980 و 1991. وبالمقارنة بعينات من النسيج الشحمي، تحتوي عموماً على أعلى مستويات المركّبات الكلورية العضوية، كانت تركّزات سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا أعلى بمقدار 10 أضعاف في نخاع العظام (وسطياً: 0.05 م غ/ك غ) في الوزن الشحمي الجاف؛ والحد الأقصى: 0.476 م غ/ك غ). وكُشف أيضاً وجود سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في السائل المنوي (ATSDR, 2005).

2-3-5 تعرّض الأطفال

الأطفال في بعض مراحل النمو المعينة أكثر عرضةً من البالغين للمخاطر الناجمة عن المواد الكيميائية. ولكن ليس من الواضح إذا ما كان الأطفال أسرع تعرّضاً من البالغين لآثار التعرّض لمركّبات سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا الضارة بالصحة، وإن كان من المعلوم أن الدماغ في حالة نموه يكون حساساً للآثار الضارة الناجمة عن مختلف الملوثات العضوية الثابتة. وقد يكون إثراء مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا النوعي في أدمغة الثدييات خصوصاً واحداً من الأسباب الداعية إلى القلق. علماً بأن انتقال مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا المشيمي في البشر موثّق جيداً (ATSDR,

(2006; Shen et al., 2004; Falcon et al., 2005). كما إن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا تتراكم بمقدار أعلى درجة في المشيمة البشرية منه في حليب الثدي.

وكانت المستويات الوسطية لوجود مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في حليب لبن الأم في فصيلة عيّنات فنلندية (43 من الأمهات، 1997-2001) بمقدار 0.19 ن غ/غ وزن شحمي، في حين كانت التراكيز الوسطية من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في المشيمة بمقدار 3.47 ن غ/غ وزن شحمي. وفي فصيلة عيّنات دائمة (43 من الأمهات، 1997-2001)، كُشفت تراكيز وسطية بمقدار 0.51 ن غ/غ وزن شحمي في حليب الثدي، و1.53 ن غ/غ وزن شحمي في المشيمة. ويُشكّ في وجود نشاط استقلابي نوعي في النُسج المشيمية (Shen et al., 2006). ويمكن أن يتبيّن أنه في حالة فرض القيود على استعمال مركّبات سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا، فإن مستويات تركّزها في حليب الثدي تنخفض باستمرار. وفي ألمانيا، ما يزال يُكشف وجود مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا فيما نسبته 28٪ من عيّنات حليب الثدي، وذلك في العيّنات التي تمّ تحليلها في الفترة 1984/1985، في حين لم يمكن كشفها في الفترة 1990/1991 وعام 1995 في العيّنات المأخوذة (Ott et al., 1999). وقد جُمع أكثر من 2 000 عيّنة فردية من حليب الثدي البشري من نساء يعشن في ألمانيا الغربية، وتمّ تحليلها في الفترة بين عام 1984 و2001، فتبيّن أن تركّز مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا قد انخفض من أكثر من 0.01 م غ/ك غ في الدهون إلى مستويات دون الحدّ الذي يمكن كشفه (حدّ الكشف: 0.001 م غ/ك غ في الدهون) (Fürst, 2004). وفي إطار الدراسة الميدانية الثالثة التي قامت بها منظمة الصحة العالمية عن الحليب البشري، تمّ تحليل 16 مجموعة عيّنات من الحليب البشري من 10 بلدان أوروبية. ففي بلغاريا وروسيا وأوكرانيا، كُشف تراكيز من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا تتراوح بين 0.02 و0.06 م غ/ك غ وزن شحمي، في حين أن العيّنات من الجمهورية التشيكية وألمانيا وأيرلندا وإيطاليا ولكسمبرغ والنرويج وإسبانيا لم تُنح كشف وجود مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (حدّ الكشف: 0.001 م غ/ك غ وزن شحمي). وفي نيروبي في كينيا، تبيّن أن ما نسبته 8.8٪ من 216 عيّنة من الحليب البشري احتوت على قيم قابلة للكشف من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا بمقدار تركّز وسطي بلغ 0.013 م غ/ك غ من دهون الحليب وبما يتراوح بين 0.002 و0.038 م غ/ك غ (Kinyamu et al., 1998). وأما عيّنات حليب الثدي المأخوذة من الهند فقد احتوت على 0.16 م غ/ل (وسطياً) (Nair and Pillai, 1992). وأبلغت دراسة هندية أخرى عن مقدار 0.045 م غ/ل من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في حليب الثدي (Nair and al., 1996). ويمكن أن يُستنتج إذاً أن قيم تركّز مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في حليب الثدي تعتمد بشدّة على التعرّض، وأن قيم التركيز في عدّة بلدان أوروبية شرقية، وكذلك عدّة بلدان نامية، لا تزال عالية جداً.

2-4 تقييم المخاطر بالنسبة للنتائج النهائية المشيرة للقلق

بالمقارنة بالمادتين سداسي كلور حلقي الهكسان والتقنية والليندين، يُلاحظ أن البيانات المتوافرة عن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا محدودة. كما لا يوجد إلاّ عدد محدود من الدراسات عن السميّة الفميّة شبه المزمّنة والمزمّنة أيضاً. ولم يُضطلع بأي دراسات عن سميّة مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في الحيوانات عن طريق التنشّق والتلوّث الجلدي من جرّاء استخدام المادة في التطبيقات. وتُفتقد أيضاً الدراسات عن آثار مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا البيئية والمسحّية والتكاثرية. كما يُفتقر إلى البيانات عن الجرعات وردّ الفعل بعد التعرّض عن طريق الفم فيما يخص

جميع الأنواع الأحيائية المعنية. ولأغراض موجز بيانات المخاطر الحالي، تم استعراض أهم النتائج المستمدة فيما يتعلق بتقدير الأخطار. وللإطلاع على مزيد من التفاصيل، يرجى النظر في التقارير المذكورة تحت العنوان الجانبي رقم 1-2.

السّمية/السّمية العصبية الحادة: تتراوح قيم الجرعة المميّنة للنصف، الفميّة (LD50) بين 1 000 و 4 000 م غ/ك غ وزن جسمي بالنسبة إلى الفئران، وبين 500 و 4 674 م غ/ك غ وزن جسمي بالنسبة إلى الجرذان. وكانت علامات التسمّم تشير إلى تنبيه الجهاز العصبي المركزي: الإثارة والوضع التحديّ وخشونة الفراء وعسر التنفّس والقهم والرُعاش والتقلّصات والتشنّجات (IPCS, 1992).

السّمية شبه المزمنة: في دراسة لمدة تسعين يوماً أُجريت على الجرذان بمستويات جرعات بمقادير صفر أو 2 أو 10 أو 50 أو 250 من سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا/ك غ في النظام الغذائي، لوحظ حدوث تأخّر في النمو وازدياد نسبي في وزن الأعضاء (الكبد والقلب والكلى والغدد الكظرية الأدرينالية) عند مقدار 250 م غ/ك غ في الغذاء (أي ما يُكافئ 12.5 م غ/ك غ وزن جسمي/يوم). وعند بلوغ مقادير مستويات تتراوح بين 50 و 250 م غ/ك غ، حدث تغيير في الأنشطة الإنزيمية في الكبد وتضخّم في خلايا النسيج الحشوي في الكبد أيضاً. وازداد وزن الكبد عند مستويات جرعة بمقدار 10 م غ/ك غ في الغذاء (أي ما يعادل 0.5 م غ/ك غ و ج/يوم)، ولوحظ انخفاض في أعداد خلايا الدم البيضاء. كما لوحظت علامات تدل على كبت مناعي (انخفاض مستويات الغلوبولين المناعي G و M في المصل) عند جرعة بمقدار يتراوح بين 50 و 250 م غ/ك غ في الغذاء. وكان مستوى انعدام أي تأثير ضار مُلاحظ (NOAEL) 2 م غ/ك غ من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في الغذاء (أي ما يعادل 0.1 م غ/ك غ و ج/يوم؛ وأدى مستوى من الآثار الضارة الملحوظة (LOAEL) 10 م غ/ك غ في الغذاء) (IPCS, 1992).

السّمية المزمنة: في تجربة أُجريت على 10 جرذان من نوع ويستار الصغيرة المفطومة من الإناث و 10 منها من الذكور، أُدخلت في تغذيتها اليومية جرعات تحتوي على مقادير صفر و 10 و 50 و 100 وحتى 800 م غ من سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا/كغ (في زيت الذرة) لمدة 107 أسابيع، لوحظ أن أعلى جرعة أدت إلى تأخّر في النمو وازدياد معدّل النفوق وضرر خفيف في الكلى. وبتطبيق جرعة يومية بمقدار يتراوح بين 100 و 800 م غ/ك غ، تبيّن حدوث تضخّم في الكبد وتغيّرات مرضية في وظائف النسيج. ولكن لم تحدث أي تغيّرات في الكبد عند جرعة بمقدار 50 م غ/ك غ في الغذاء (مستوى انعدام الأثر الضار المُلاحظ (NOAEL) 50 م غ/ك غ، وأدى مستوى للأثر الضار المُلاحظ (LOAEL) 100 م غ/ك غ في الغذاء) (Fitzhugh et al., 1950).

السّمية الجينية: مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا ليست مطفّرة بكتيرية (أي السالمونيلا التيفية *Salmonella typhimurium* stains TA 98, TA 100, TA 1535 and TA 1537) في حال وجود تفعيل للنشاط الاستقلابي أو عدم وجوده، كما أنها لا تستحثّ ضرراً في الحامض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين (د ن أ) في البكتيريا. غير أن هذه المادة تثير تشظيًّا في د ن أ الخلايا الكبدية المرارية عند البشر والجرذان. لكن التعرّض لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا بدخولها عن طريق الفم أدّى إلى اضطرابات فتيلية، بما في ذلك ازدياد معدّل الانقسام الفتيلي وازدياد تواتر النشاط في الخلايا الكبدية المتعدّدة الصبغيات لدى الفئران (ATSDR, 2005).

السرطنة: الدراسات عن تسبّب مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا بنشوء الحالات السرطانية محدودة، وقد أُجريت عدّة دراسات على الفئران، ولكن قيمتها محدودة. ومع ذلك يتضح من النتائج المستخلصة أن مادة سداسي كلور

حلقي الهكسان - ألفا تنتج، عند مستويات جرعات عالية، سرطانات عُقيدية تنسّجية وكبدية خلوية لدى الفئران (معدّل الحدوث يتفاوت) ولدى الجرذان أيضاً (معدّل الحدوث منخفض). وتبيّن الدراسات عن العوامل التي تحثّ على بدء الحالات وكميات النشاط أن الاستجابة الورمية الشاذة التي لوحظت بفعل مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا هي على الأرجح من جرّاء آلية غير ذات سمّية جينية. وقد تبيّن أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا تحثّ على تكوّن الأورام في الكبد لدى الفئران والجرذان (IPCS, 1992). وقد صنّفت الوكالة الدولية لبحوث السرطان (IARC) مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في الفئة 2 ألف: أي باعتبارها مُسرّطنة محتملة للبشر. وأما وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة (USEPA) فقد صنّفت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا باعتبارها مُسرّطنة مرجّحة للبشر. وارتأت إدارة الصحة والخدمات الإنسانية (DHHS) أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان (بجميع أيزومراتها) يتوقّع على نحو معقول أنها تسبّب السرطان لدى البشر (ATSDR, 2005).

السمّية المناعية: ظهر لدى الفئران التي جرّبت عليها مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (بمقادير 50 و 250 م ع/ك/يوم - أي 0.5 و 2.5 م غ/ك غ/أو ج/يوم) علامات تدل على حدوث كبت مناعي (انخفاض المستويات المصلّية من الغلوبولينات المناعية G و M في الدم).

الآثار في البشر: أُبلغ عن آثار ضارّة، كالاضطرابات الفسيولوجية العصبية والنفسية العصبية والاضطرابات المعدية المعويّة، فيما يخصّ العمال المعرضين لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية أثناء تركيب مبيدات الآفات أو الأسمدة. فقد عانى العمال من حالات تشوّش الحسّ التّنملي في الوجه والأطراف السفلى، والصداع والدوار، وانحراف الصحة والقيء، والرّعاش المفاجئ، والإحساس بالتوجّس والارتباك، والأرق، وضعف الذاكرة، وفقدان الدافع الجنسي. وارتفعت مستويات فرز الغلوبولين المناعي الإنزيميّ (ATSDR, 2005). وذكر أن تنشّق مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (خليطة أيزومراتها) قد يؤديّ إلى التخرّش في الأنف والحلق (IPCS, 2006). كما إن ملاحظة حدوث أضرار كبدية خطيرة (مثلاً، الحؤول الدهني والتخرّ (نكروز)) تشير إلى أن النتائج نفسها يُحتمل أن تحدث لدى العمال عقب فترات مطوّلة من التعرّض المهنيّ لتأثير أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان.

وكشفت دراسة ألمانية عن وجود المركّبات الكلورية العضوية في الدم المحيطي لدى 486 امرأة من اللواتي يعانين من اضطرابات هرمونية و/أو انعدام الخصوبة، أن تركّزات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا كانت عالية الدرجة لدى النساء المصابات بأورام ليفية رحمية، وأجسام مضادة للنشاط الدّرقي، والقصور الأصفرّي، والنساء ذوات التعرّض الشديد لحالات الحساسية الضديّة. وكان لدى النساء البدينات والنساء ذوات التاريخ الإجهاضي أعلى مستويات تركّز سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في الدم (Gebhard, 1993).

وفي دراسة تجريبية رائدة، وإن كانت محدودة القدرة الإحصائية، تبيّن وجود ارتباط ممكن بين التعرّض للمواد الكلورية العضوية ومخاطر الإصابة المحتملة بفقر الدم اللاتنسّجي (اللانموي) في مرحلة الطفولة. فقد كانت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا أعلى درجة بقدر ذي دلالة لدى الأطفال المصابين بفقر الدم اللاتنسّجي منها لدى أولئك الذين يعيشون في وسط تُراعى فيه تدابير المراقبة (أقل من معدّل 0.05) (Ahamed et al., 2006).

وأجريت دراسة في الهند لفحص الارتباط بين التعرّض لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا وتأخّر النمو داخل الرّحم (معدّل تقييد النمو داخل الرحم (IUGR) أقلّ عُشر مئبي من الوزن عند الولادة بالنسبة إلى العمر الحملّي). وتبيّن

وجود حالات ترابط ذات دلالة ملحوظة (أقل من 0.05) بين مستويات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في دم الولادة وتأخر نمو الجنين داخل الرحم (Siddiqui et al., 2003).

الآثار في الكائنات العضوية غير المستهدفة: البيانات عن الآثار في الأنواع الأحيائية غير المستهدفة محدودة للغاية. علماً بأن سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا ذات سمية حادة بالنسبة إلى الكائنات العضوية المائية. وقد أُبلغ عن تركّزات مؤثرة في الطحالب والعوالق الحيوانية الطافية (رؤيان المياه الشديدة الملوحة (القريدس) وبرغوث الماء) وكذلك السمك، بقيمة قدرها أقل من 1 م غ/ل (توجد قيم تفصيلية في IPCS, 1992؛ وقاعدة بيانات - EXOTOX database, 2007). وحُدّد من خلال التركّزات مقدار الجرعة المميّنة للنصف بنسبة 50 في المائة (LD50) البالغ تقريباً 1.4 م غ/ل في اختبار حاد (لمدة 24 ساعة) على السمك المرقط (Oliverira-Filho and Paumgarten, 1997). وفي دراسة طويلة الأمد (70 يوماً) على القواقع (الخلزون) (*Lymnaea stagnalis*) تبين انخفاض معدّل التكاثر بنسبة 50٪ عند قيمة تركّز 65 غ/ل. وأما في الأسماك، فلم يتسنّ كشف تغييرات مرضية أنسجوية أو تأثير شديد في النمو والسلوك، وذلك في تجارب طويلة الأمد (التركّز الاختباري 800 غ/ل، لفترة 50 يوماً؛ وأنواع غبيّز من الأسماك أو كُريات تحتوي على 10-250 م غ سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا/ك غ) (IPCS, 1992). وكشفت بيانات الرصد عن الدبة القطبية الشمالية ترابطاً سلبياً مع تركّزات الرتينول وأيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان، مما قد يؤثّر في طائفة واسعة من الوظائف الأحيائية (البيولوجية) (AMAP, 2004).

تحديد خصائص المخاطر

أجرت وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة (USEPA) دراسات لتقييم المخاطر الغذائية لدى المجتمعات المحلية في الألسكا بخصوص سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا وبيتا، في عام 2006. وقدّرت الوكالة (USEPA) معدّلات التعرّض لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في المجتمعات المحلية الألاسكية في نطاق 0.00057-0.0039 م غ/ك غ و ج/يوم لدى البالغين، و0.0021-0.0050 م غ/ك غ و ج/يوم لدى الأطفال (بعمر 1-6 سنوات) و0.00073-0.0050 م غ/ك غ و ج/يوم لدى الأطفال أيضاً (بعمر 7-12 سنة). وحُدّد معدّل المخاطر بنسبة مئوية من الحدّ الأقصى من الجرعة المقبولة أو الجرعة المرجعية (RfD). وتبيّن أن من الجائز الوصول إلى درجة من القلق إذا ما تجاوزت المخاطر الغذائية نسبة 100٪ من الجرعة المرجعية (USEPA, 2006). وتستند قيمة الجرعة المرجعية البالغة 0.001 م غ/ك غ/يوم بخصوص التعرّض المزمن، إلى معيار مستوى انعدام الآثار الضارة الملاحظة (NOAEL) المقدّر بنسبة 0.1 م غ/ك غ/يوم (أما معيار أدنى مستوى للآثار الضارة الملاحظة (LOAEL) فهو 0.5 م غ/ك غ/يوم)، والذي حُدّد في دراسة عن السمية شبه المزمّنة لدى الجرذان، مع تطبيق عامل ربيّة بمقدار 100 (USEPA, 2006). وأما بخصوص التنشّق، فإن درجة التركّز المرجعية (الجرعة المرجعية) من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا فهي 0.00025 م غ/م³ بالاستناد إلى معيار مستوى انعدام الآثار الضارة الملاحظة بمقدار 0.025 م غ/م³ بالنسبة إلى ملاحظات السمية في الكبد والكلّي في دراسة عن التنشّق شبه المزمّن لدى الجرذان، مع تطبيق عامل ربيّة بمقدار 100 (المعهد الوطني لأبحاث الصحة العامة والبيئة في هولندا (RIVM)، عام 2001 في USEPA, 2006).

وذكر أن تقديرات التعرّض الغذائي الحادّ لا تدعو إلى القلق، وفقاً للوكالة (USEPA) (عام 2006). ويبيّن تقييم المخاطر الذي قامت به الوكالة (USEPA) أن تقديرات التعرّض الغذائي المزمّن فيما يخصّ مادة سداسي كلور حلقي الهكسان-

ألفا، هي فوق المستويات الداعية إلى القلق بالنسبة إلى تقديرات المدخول الغذائي العليا. كما أن تقديرات المخاطر الغذائية السرطانية فيما يخص مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا هي أيضاً فوق مستويات القلق بالنسبة إلى تقديرات المدخول الغذائي المنخفضة والعليا على حدّ سواء. ووفقاً لرأي الوكالة (EPA)، تبلغ قيم المخاطر (بنسبة مئوية من الجرعات المرجعية) 57-390 لدى الذكور البالغين، و67-460 لدى الإناث البالغات، و100-210 لدى الأطفال (بعمر 1-6 سنوات)، و73-500 لدى الأطفال (بعمر 7-12 سنة). وأما تقدير مخاطر السرطان فهي لدى الذكور البالغين من 3.2×10^{-3} إلى 2.5×10^{-2} ، ولدى الإناث البالغات من 4.2×10^{-3} إلى 2.9×10^{-2} . وينبغي أن يُلاحظ أن هذه التقديرات بشأن معدلات وقوع الإصابة هي أعلى بأربع مراتب على الأقل من الجسامة من معدل قيمة مقبول عام بشأن مخاطر احتمال الإصابة بالسرطان وهو 1×10^{-6} . وحتى مع أن هذا التقدير للمخاطر متحفّظ جداً بسبب المستويات القصوى الأساسية المكشوفة، يمكن أن يُستنتج أن المخاطر الغذائية هي مدعاة إلى القلق. إضافة إلى ذلك، لا بدّ من الإشارة إلى أن العضو الجسمي المستهدف في السميّة المزمنة هو الكبد، ويمكن أن يُتوقع أن تأثيرات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان قد تكون قابلة للإضافة إلى مؤثرات أخرى.

3 - توليف المعلومات

مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية، وهي خليط من خمسة أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان مستقرّة، تحتوي على نسبة تتراوح بين 55 و80٪ من سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا. وقد استُعملت على نحو واسع جداً في جميع أنحاء العالم كمبيد آفات كلوري عضوي. ومع أن استعمال مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية في أيامنا هذه ضئيل لا يُذكر، فإن إطلاقاتها في البيئة ربما لا تزال تجري حتى الآن. ومع أنه لا توجد أي تقديرات كميّة لهذه الإطلاقات، فإن مقادير مخلفات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان على شكل نواتج جانبية، يُفترض أنها تتراوح بين 1.6 و1.9 مليون طن إلى 4.8 ملايين طن. إضافة إلى أن هناك مواقع كثيرة يُتوقع أن تسبّب تلوثاً بيئياً، وليست خاضعة للصيانة أو للضبط الرقابي على النحو المناسب.

تسهّل الخواص الفيزيائية - الكيميائية في مادة سداسي كلور حلقي الهكسان انتقالها البعيد المدى في الغلاف الجوي، وتتيح حدوث "تكتّف بارد" لها على نطاق عالمي. إضافة إلى ذلك، يسهم ثابت قانون هنري المنخفض بخصوص هذه المادة في بلوغ مستويات تركّز عالية في المحيط القطبي الشمالي. علاوة على ذلك أيضاً، تبين أن التركّزات الهوائية القطبية كانت تحاكي البيانات عن الاستعمال على الصعيد العالمي مباشرةً حتى مطلع التسعينات. كما أن بيانات الرصد المستمدّة من مناطق نائية، مثلاً منطقتي القطبين الشمالي والجنوبي، تدلّ على أن مستويات التركّز المكشوفة، والتي كانت في بعض الأحيان أعلى منها في مناطق المصدر، تنشأ أصلاً من الانتقال الطويل المدى.

علماً بأن التحلّل الضوئي يسهم في زوال سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في المحلول المائي بأسّ هيدروجيني قلوي، ولكن أهميته في الظروف البيئية ضئيلة. وقد تخضع مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا للتحلّل الانتقائي التماثلي، تبعاً للمواقع والوسيط. وتشير تحاليل أنصاف العمر والمخلفات في التربة، المبلّغ عنها، إلى درجة ثبات معتدلة. غير أن بعض الظروف البيئية المعيّنة، مثل انخفاض نسبة التركّزات أو انخفاض درجات الحرارة، يؤدّي إلى أنصاف عمر أطول زمنياً. وقد بلغت أنصاف عمر مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في البحيرات القطبية الشمالية حتى 1.4 سنة، في حين أدّى التحلّل الانتقائي التماثلي إلى أنصاف عمر في نطاق يتراوح تقريباً بين 5 سنوات و17 سنة.

وقد تتراكم مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا أحيائياً، وكذلك قد تتضخّم أحيائياً، في البيئات الأحيائية النباتية والحيوانية وشبكاتها الغذائية وفي الشبكات الغذائية القطبية الشمالية أيضاً. وكانت قيمة عوامل التضخّم الأحيائي (BMFs)، وكذلك عوامل التضخّم الأحيائي في الشبكات الغذائية (FWMFs) في اللافقريات والأسماك والتدييات الأرضية والبحرية أكبر من 1. وبسبب إمكانات الاستقلاب الإفرادية في تمثّل مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا، فإن الطيور غير ملائمة لإدراجها في هذا الإطار. ومعظم الطيور تظهر عوامل تضخّم أحيائي بقيمة أقل من 1، على نحو مستقل عن المستوى التغذوي. وأما في التدييات بخاصة، فيحدث تراكم بتمائل صوري نوعي لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا (+) أو (-)، تبعاً لأنواع الأحيائية. وبالاقتران بإمكانات التحويل المنخفضة، فإن سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا تصل إلى عوامل تضخّم أحيائي عالية القيمة في التدييات، مع حدوث أعلى التراكّزات درجة في النسيج الدماغي (وبخاصة الجزء المتماثل سوريا (+)). ولأن جميع أيزومرات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان تفعل فعلها في الجهاز العصبي المركزي، فإنه ينبغي النظر إلى ذلك بحذر. ولكن حتى هذا التاريخ لا تتوافر دراسات عن السميّة النوعية الخاصة بالأجزاء المتماثلة صورياً، ومن ثم فإن أسباب الإثراء والفوارق أيضاً أكثرها غير واضح.

تبيّن أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا سامة للأعصاب وسامة للكبد، وتسبب آثاراً كابتة للمناعة وسرطانات في الحيوانات المخبرية. وقد صنّفت الوكالة الدولية لبحوث السرطان (IARC) مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في الفئة 2، في عداد المواد التي يمكن أن تسبب السرطانات للبشر. كما تبيّن عدّة دراسات وبائية أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا قد يكون لها دور في التسبب بالإصابة بسرطان الثدي. ومادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا معروفة بأنها تحتوي على عوامل مُحرّض على تكوّن الأورام.

قد تؤثر مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا بأضرار في الصحة البشرية في المناطق الملوثة وكذلك في المناطق القطبية الشمالية. وبالاستناد إلى البيانات المتاحة عن سميّة مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا، يمكن أن يُستنتج أن التراكّزات الحالية من هذه المادة في الأغذية وفي الحليب الثديي البشري، تعتبر مسألة تدعو إلى القلق. وإن قيم المدخول اليومي المقدّر من الجرعات من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا لدى السكان الأصليين في منطقة القطب الشمالي تتجاوز قيم المدخول السليم المرجعية، حتى وإن كانت التقديرات متحفّظة جداً. ومن ثم فإن المخاطر الغذائية لدى أولئك السكان مدعاة إلى القلق. ومع ذلك، ينبغي التشديد على أن الأغذية التقليدية تطوي على قيم اجتماعية وثقافية وروحية واقتصادية فريدة بخصوصيتها، ولذا يُوصى بشدّة باجتناّب الأغذية التي تعتبر فيها مستويات وجود مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا داعياً إلى القلق.

4 - البيان الختامي

مع أن أكثر البلدان قد حظرت، أو قيّدت، استعمال مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقنية مبيداً للآفات، مع الاستعاضة عنها في معظم الحالات باستعمال مادة الليندين، فقد نتج عن عمليات إنتاج الليندين مقادير ضخمة من مخلفات أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا. ومن ثم فإن استمرار إنتاج هذه النفايات من الأيزومرات، وتكدّس مخزونها الموجودة حالياً، ظلاً يمثّلان مشكلة عالمية النطاق، ويسهمان في زيادة إطلاقهما في البيئة.

وقد تناقصت الإطلاقات في البيئة بقدر ملحوظ جداً على مدى الثلاثين سنة الماضية، ولكنّ مستوياتها في البيئة تشير إلى أن سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا قد تظلّ ثابتةً في البيئة (بدرجات تركز أدنى). ومحيط القطب الشمالي، الذي تُزال

فيه الآن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا، بات حوض تصريف حفظ هذه المادة الكيميائية من التحلل السريع. والمستويات الكامنة في المجموعات الأحيائية في بيئة القطب الشمالي لا تعكس تماماً صورة الاتجاه التناقصي في الأوساط البيئية اللاأحيائية.

كما أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا موجودة في السلاسل الغذائية البرية منها والمائية، وباتت تركّزاتها فيها مدعاة قلق بشأن الصحة البشرية. ويمكن توقّع حدوث تعرّض عالي الدرجة في المناطق الملوّثة التي لا تزال متواجدة في أنحاء العالم. ويمكن كذلك توقع حدوث تعرّض عالي الدرجة في منطقة القطب الشمالي، نتيجة لانتقال المادة البعيد المدى. إضافة إلى ذلك، يتعرّض البشر والأحياء البرية إلى مختلف الملوّثات التي يمكن أن تحثّ مفعول آثار مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا التسميمية على نحو إضافي. وبالاستناد إلى الخواص الكامنة في مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا، مع اعتبار قيم الجرعات التقديرية من المدخول اليومي منها لدى سكان القطب الشمالي الأصليين، والتي تتجاوز قيم المدخول المرجعية السليمة، وكذلك باعتبار تفشّي مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في الكائنات الأحيائية على نطاق واسع، بما في ذلك مناطق نائية بعيداً عن المصادر المحتملة، يُستنتج أن هذه المادة يُرجّح أن تؤدّي، نتيجةً لانتقالها البيئي البعيد المدى، إلى آثار ضارّة خطيرة الشأن في الصحة البشرية وفي البيئة، مما يسوّغ اتخاذ إجراء بشأنها على الصعيد العالمي.

- AMAP: Arctic Monitoring and Assessment Programme 2002: Persistent Organic Pollutants in the Arctic. Oslo, Norway, 2004a.
- AMAP: Persistent Toxic Substances, Food Security and Indigenous Peoples of the Russian North Final Report. Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo, 2004b.
- Ahamed M., Anand M., Kumar A., Siddiqui M.K.: Childhood aplastic anaemia in Lucknow, India: incidence, organochlorines in the blood and review of case reports following exposure to pesticides. *Clin Biochem.* 39 (7), 2006, p. 762-6.
- ATSDR: Toxicological profile for hexachlorocyclohexanes, United States of America Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, August, 2005. [<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp43.html>; 2007-02-27].
- Bachmann A., Walet P., Wijnen P., de Bruin W., Huntjens J.L., Roelofsen W., Zehnder A.J.: Biodegradation of alpha- and beta-hexachlorocyclohexane in a soil slurry under different redox conditions. *Appl Environ Microbiol.* 54 (1), 1988, p. 143-9.
- Bakore N., John P.J., Bhatnagar P.: Organochlorine pesticide residues in wheat and drinking water samples from Jaipur, Rajasthan, India. *Environ Monit Assess.* 98 (1-3), 2004, p. 381-9.
- Barra, R.; Cisternas, M., Urrutia, R., Pozo, K., Pacheo, P., Parra, O., Focardi, S. First report on chlorinated pesticide deposition in a sediment core from a small lake in central Chile (2001). *Chemosphere*, 45, 749-757
- Baumann K., Angerer J., Heinrich R., Lehnert G: Occupational exposure to hexachlorocyclohexane. Body burden of HCH isomers. *Int Arch Occup Environ Health.* 47 (2), 1980, p. 119-27.
- Becker K.S., Kaus C., Krause P., Lepom C., Schulz M., Seifert B.: Umwelt-Survey 1998, Band III: Human-Biomonitoring. Stoffgehalte in Blut und Urin der Bevölkerung in Deutschland
- Bidleman T.F., Kylin H., Januntunen L.M., Helm P.A., Macdonald R.W.: Hexachlorocyclohexanes in the Canadian Archipelago. 1. Spatial distribution and pathways of alpha-, beta- and gamma-HCHs in surface water. *Environ. Sci Technol.* 41 2007, p. 2688-2695.
- Bouvier G., Blanchard O., Momas I., Seta N.: Pesticide exposure of non-occupationally exposed subjects compared to some occupational exposure: A French pilot study.
- Borghini F, Grimalt JO, Sanchez-Hernandez JC, Bargagli R. Organochlorine pollutants in soils and mosses from Victoria Land (Antarctica). *Chemosphere* 58(3), 2005, p. 271-8.
- Breivik, K., Pacyna, J. M., Münch, J.: Use of a-, b- and gamma-hexachlorocyclohexane in Europe, 1970-1996. *Sci. Total Environ.* 239 (1-3), 1999, p. 151-163.
- Buser, H.F.; Müller M. Isomer and Enantioselective Degradation of Hexachlorocyclohexane Isomers in Sewage Sludge under Anaerobic Conditions. *Environmental Science and Technology.* 29, 1995, p. 664-672.
- Braune B., Miur D., DeMarch B., Gamberg M., Poole K., Currie R., Dodd M., Duschenko W., Eamer J., Elkin B., Evans M., Grundy S., Hebert C., Johnstone R., Kidd K., Koenig B., Lockhart L., Marshall H., Reimer K., Sanderson J., Shutt L.: Spatial and temporal trends of contaminants in Canadian Arctic freshwater and terrestrial ecosystems: a review. *The Science of the Total Environment* 230, 1999, p. 145-207.
- Buckmann A.H., Norstrom R.J., Hobson K.A., Karnovsky N.J., Duffe J., Fisk A.T.: Organochlorine contaminants in seven species of Arctic seabirds from northern Baffin Bay. *Environmental pollution* 128 2004, p. 327-338
- Butte, W., Fox K., Zauke G.P.: Kinetics of bioaccumulation and clearance of isomeric hexachlorocyclohexanes. *Sci Total Environ.* 109-110, 1991, p. 377-82.
- CambridgeSoft Corporation: Chemfinder 2004, [<http://chemfinder.cambridgesoft.com/result.asp>; 2007-02-27]
- CACAR: Canadian Arctic Contaminant Assessment Report II: Toxic Substances in the Arctic and Associated Effects – Human Health, Dept of Indian Affairs and Northern Development, Ottawa, Canada, 2003.
- Chessells M.J., Hawker D.W., Connell D.W., Papajcsik I.A.: Factors influencing the distribution of lindane and isomers in soil of an agricultural environment. *Chemosphere* 17 (9), 1988, p. 1741-1749.

- Concha-Grana E., Turnes-Carou M., Muniategui-Lorenzo S., Lopez-Mahia P., Prada-Rodriguez D., Fernandez-Fernandez E.: Evaluation of HCH isomers and metabolites in soils, leachates, river water and sediments of a highly contaminated area. *Chemosphere* 64 (4), 2006, p. 588-95.
- Corsolini S., Covaci A., Ademollo N., Focardi S., Schepens P.: Occurrence of organochlorine pesticides (OCPs) and their enantiomeric signatures, and concentrations of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in the Adelie penguin food web, Antarctica. *Environ Pollut.* 140 (2) 2006 p. 371-82
- Czech Republic: Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex E of the Convention. February 2007.
- Das AC., Chakravarty A., Sukul P., Mukherjee D.: Insecticides: their effect on microorganisms and persistence in rice soil. *Microbiol Res.* 150 (2), 1995, p. 187-94.
- Deo P.G., Karanth, N.G. , Karanth, N.G.K. : Biodegradation of hexachlorocyclohexane isomers in soil and food environment. *Critical Reviews in Microbiology*, 20, 1994, p. 57-78.
- Dirtu A.C., Cernat R., Dragan D., Mocanu R., Van Grieken R., Neels H., Covaci A.: Organohalogenated pollutants in human serum from Iassy, Romania and their relation with age and gender. *Environ Int.* 32 (6), 2006, p. 797-803.
- Doelman P., Haanstra L., Loonen H. and Vos, A.: Decomposition of alpha - and beta -hexachlorocyclohexane in soil under field conditions in a temperate climate. *Soil Biology and Biochemistry* 22 (5), 1990, p. 629-634.
- European Food Safety Authority (EFSA): Opinion of the Scientific Panel in Contaminants in the Food Chain on a Request from the Commission related to Gamma-HCH and other Hexachlorocyclohexanes as undesirable Substances in Animal Feed. *The EFSA Journal* 250, 2005, p. 1 – 39, [http://www.efsa.europa.eu/etc/medialib/efsa/science/contam/contam_opinions/1039.Par.0001.File.dat/contam_op_ej250_hexachlorocyclohexanes_en2.pdf, 2007-02-28]
- EMEP POP data: Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long range transmission of air pollutants in Europe. [<http://www.nilu.no/projects/ccc/emepdata.html>, 2007-04-2]
- Falcon M., Oliva J., Osuna E., Barba A. Luna A.: HCH and DDT residues in human placentas in Murcia (Spain). Falcon M, Oliva J., *Toxicology.* 195 (2-3), 2004, p. 203-8.
- Fisk AT., Hobson KA., Norstrom RJ.: Influence of Chemical and Biological Factors on Trophic Transfer of Persistent Organic Pollutants in the Northwater Polynya Marine Food Web. *Environ. Sci. Technol.* 35 (4), 2001, p. 732 -738.
- Fitzhugh, O.G., Nelson, A.A., Frawley, J.P. The chronic toxicities of technical benzene hexachloride and its alpha, beta and gamma isomers. *J Pharmacol Exp Ther.* 100 (1) 1950, p 59-66.
- Fürst P. 2004. Chemisches Landes- und Staatliches Vetrinäruntersuchungsamt Münster, Germany in EFSA, 2005.
- Gerhard I.: Reproductive risks of heavy metals and pesticides in women. In Richardson, M.: *Reproductive Toxicology*, VCH, Weinheim, 1993, p. 167-183.
- Germany: Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex E of the Convention. February 2007.
- Harner T., Kylin H., Bidleman TF, Strachan WMJ.: Removal of alpha- and gamma-Hexachlorocyclohexane and Enantiomers of alpha-Hexachlorocyclohexane in the Eastern Arctic Ocean. *Environmental Science & Technology* 33 (88), 1999, p. 1157-1164.
- Hegeman WJ., Laane RW.: Enantiomeric enrichment of chiral pesticides in the environment. *Rev Environ Contam Toxicol.* 173, 2002; p. 85-116.
- Helm PA., Diamond ML., Semkin R., Strachan WM., Teixeira C., Gregor D.: A mass balance model describing multiyear fate of organochlorine compounds in a high Arctic lake. *Environ. Sci Technol.* 36 (5), 2002, p. 996-1003.
- Hoekstra PF., O'Hara TM., Fisk AT., Borga K., Solomon KR., Muir DC.: Trophic transfer of persistent organochlorine contaminants (OCs) within an Arctic marine food web from the southern Beaufort-Chukchi Seas. *Environ Pollut.* 124 (3), 2003a, p. 509-22.

Hoekstra PF, O'Hara TM, Fisk AT, Karlsson H., Solomon KR, Muir DCG.: Enantiomer-specific Biomagnification of alpha-Hexachlorocyclohexane and Selected Chiral Chlordane-related Compounds within an Arctic Marine Food Web. *Environ.Toxicol.Chem.* 22(10), 2003b, p.2482-2491.

Hoekstra PF., O'Hara TM., Pallant SJ., Solomon KR.: Bioaccumulation of Organochlorine Contaminants in Bowhead Whales. (*Balaena mysticetus*) from Barrow, Alaska. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 42, 2002, p. 497-507.

Hop, H., Borga K., Gabrielsen GW., Kleivane L., Skaare JU.: Food web magnification of persistent organic pollutants in poikilotherms and homeotherms. *Environ Sci Technol.* 36 (12), 2002, p. 2589-97.

HSDB (U.S. National Library of Medicine: Hazardous Substance Database), 2006. [<http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/f?./temp/~MgLczu:4; 2007-02-27>]

International HCH & Pesticides Association (IHPA): The Legacy of Lindane HCH Isomer Production, Vijgen J. 2006. [www.iropa.info/library_access.php; 2007-02-27]

IPCS (International Programme on Chemical Safety). ENVIRONMENTAL HEALTH CRITERIA 123. Alpha- und Beta-Hexachlorocyclohexane. World Health Organization. Geneva, 1992. [<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc123.htm 2007-02-27>]

IPCS (International Programme on Chemical Safety): Poisons Information Monograph 257, 2001. [<http://www.inchem.org/documents/pims/chemical/pim257.htm; 2007-02-27>].

IPCS Intergovernmental Programme on Chemical Safety, Hexachlorocyclohexane (Mixed Isomers), 2006. [<http://www.inchem.org/documents/pims/chemical/pim257.htm#2.1%20Main%20risks%20and%20target%20organs; 2007-07-12>].

IPEN: Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex E of the Convention. February 2007.

Iwata H, Tanabe S, Sakai N, Nishimura A, Tatsukawa R. Geographical distribution of persistent organochlorines in air, water and sediments from Asia and Oceania, and their implications for global redistribution from lower latitudes *Environ Pollut.* 85 (1), 1994, p. 15-33.

Iwata H., Tanabe S., Iida T., Baba N., Ludwig JL., Tatsukawa R.: Enantioselective Accumulation of alpha-Hexachlorocyclohexane in Northern Fur Seals and Double-Crested Cormorants: Effects on Biological and Ecological Factors in the Higher Trophic Levels. *Environ. Sci. Technol.* 32 (15), 1998, p. 2244-49.

Jagnow G, Haider K, Ellwardt PC.: Anaerobic dechlorination and degradation of hexachlorocyclohexane isomers by anaerobic and facultative anaerobic bacteria. *Arch Microbiol.* 115 (3), 1977, p. 285-92.

Japan: Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex E of the Convention. February 2007.

Kaushik CP.: Loss of HCH from surface soil layers under subtropical conditions. *Environ Pollut.* 59 (3), 1989, p. 253-64.

Kallenborn R., Hühnerfuss H., Chiral Environmental Pollutants: Trace Analysis and Ecotoxicology. Springer Verlag 2001, Heidelberg, Germany.

Kelly B.C., Ikonomou M.G., Blair J.D., Mori, A.E., Gobas F.A.P.C.: Food Web-Specific Biomagnification of Persistent Organic Pollutants. *Science* 317, 2007, p. 236-238.

Klobes U., Vetter W., Glotz D., Luckas B., Skirnisson K., Hernsteinsson P.: Levels and enantiomeric ratios of chlorinated hydrocarbons in livers of Arctic fox (*Alopex lagopus*) and adipose tissue and liver of a polar bear (*Ursus maritimus*) sampled in Iceland. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 69 (1) 1998, p. 67-81

Konwick BJ., Garrison AW., Black MC., Avants JK., Fisk AT.: Bioaccumulation, Biotransformation, and Metabolite Formation of Fipronil and Chiral Legacy Pesticides in Rainbow Trout. *Environ. Sci. Technol.* 40 (9), 2006, p. 2930-2936.

Kinyamu J.K., Kanja L.W., Skaare J.U., Maitho T.E.. Levels of organochlorine pesticides residues in milk of urban mothers in Kenya. *Bull Environ Contam Toxicol.* 60 (5), 1998, p. 732-8.

- Kurt-Karakus PB., Bidleman TF., Jones C.: Chiral Organochlorine Pesticide Signatures in Global Background Soils. *Environ. Sci. Technol.*, 39 (22), 2005, p. 8671 -8677.
- Law SA, Bidleman TF, Martin MJ, Ruby MV.: Evidence of enantioselective degradation of alpha-hexachlorocyclohexane in groundwater. *Environ Sci Technol.* 38 (6), 2004, p. 1633-8.
- Li, Y.F.: Global technical hexachlorocyclohexane usage and its contamination consequences in the environment: from 1948 to 1997. *The Science of the Total Environment*, 232 (3), 1999, p. 121-158(38)
- Li, YF., Macdonald, RW.: Sources and pathways of selected organochlorine pesticides to the Arctic and the effect to pathway divergence on HCH trends in biota: a review. *The Science of the Total Environment* 342, 2005, p. 87-106.
- Li YF., Zhulidov AV., Robarts DR., Korotova LG.: Hexachlorocyclohexane Use in the Former Soviet Union. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 48, 2004, p. 10-15.
- Li YF., Bidleman TF.: Correlation between Global Emissions of alpha-hexachlorocyclohexane and its Concentrations in the Arctic Air. *Journal of Environmental Informatics*, 1, 2003, p. 52-7.
- Li YF, Macdonald RW, Ma JM, Hung H, Venkatesh S.: Historical alpha-HCH budget in the Arctic Ocean: the Arctic Mass Balance Box Model (AMBBM). *Sci Total Environ.* 324 (1-3), 2004, p. 115-3.
- Li YF., Macdonald, RW., Jantunen LMM., Harner T., Bidleman TF, Strachan WMJ.: The transport of β -hexachlorocyclohexane to the western Arctic Ocean: a contrast to α -HCH. *The Science of the Total Environment* 291, 2002, p. 229-246.
- Moisey J., Fisk AT., Hobson KA., Norstrom RJ.: Hexachlorocyclohexane (HCH) isomers and chiral signatures of alpha-HCH in the Arctic marine food web of the Northwater Polynya. *Environ Sci Technol.* 35 (10), 2001, p. 1920-7.
- MacRae IC., Raghq K., Castro TF.: Persistence and Biodegradation of Four Common Isomers of Benzene Hexachloride in Submerged Soils. *J. Agr. Food Chem.* 15, 1967, p. 911-914.
- Murayama H., Takase Y., Mitobe H., Mukai H., Ohzeki T., Shimizu K., Kitayama Y.: Seasonal change of persistent organic pollutant concentrations in air at Niigata area, Japan. *Chemosphere* 52 (4), 2003, p. 683-94.
- Ngabe B., Bidleman TF., Falconer RL.: Base Hydrolysis of alpha- and gamma-Hexachlorocyclohexanes. *Environ. Sci. Technol.* 27, 1993, p. 1930-1933
- Nair A, Pillai MK. : Trends in ambient levels of DDT and HCH residues in humans and the environment of Delhi, India. *Sci Total Environ.* 30 (121), 1992, p.145-57.
- Nair A., Mandpati R., Dureja P.: DDT and HCH load in mothers and their infants in Delhi, India *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 56 (1), 1996, p. 58 – 64.
- NARAP: The North American Regional Action Plan on Lindane and Other Hexachlorocyclohexane (HCH) Isomers. 2006. North American Commission for Environmental Cooperation [http://www.cec.org/pubs_docs/documents/index.cfm?varlan=english&ID=2053, 2007-03-10]
- Oliveira-Filho EC., Paumgarten FJ.: Comparative study on the acute toxicities of alpha, beta, gamma, and delta isomers of hexachlorocyclohexane to freshwater fishes. *Bull Environ Contam Toxicol.* 59 (6), 1997, p. 984-8.
- Olsson A., Vitinsh M., Plikshs M., Bergman A. : Halogenated environmental contaminants in perch (*Perca fluviatilis*) from the Latvian coastal areas. *The Science of the Total Environment*, 239, 1999, p. 19-30.
- Oliver BG., Niimi AJ.: Bioconcentration Factors of Some Halogenated Organics for Rainbow Trout: Limitations in Their Use for Prediction of Environmental Residues. *Environ. Sci. Technol.*, 19(9), 1985, p. 842-849
- Olea N., Olea-Serrano F., Lardelli-Claret P., Rivas A., Barba-Navarro A.: Inadvertent exposure to xenoestrogens in children. *Toxicol Ind Health.* 15 (1-2), 1999; p. 151-8.
- Ott M., Failing K., Lang U., Schubring C. Gent H.J., Georgii S., Brunn H. Contamination of human milk in Middle Hesse, Germany--a cross-sectional study on the changing levels of chlorinated pesticides, PCB congeners and recent levels of nitro musks. *Chemosphere* 38 (1), 1999, p. 13-32.
- Padma TV., Dickhut R.: Variations in α -HEXACHLOROCYCLOHEXANE enantiomer ratios in relation to microbial activity in a temperate estuary. *Environmental Toxicology and Chemistry* 22, 2002, p. 1421-1427.

- Phillips TM., Seech AG., Lee H., and Trevors JT.: Biodegradation of hexachlo Environmental Toxicology and Chemistry- cyclohexane (HCH) by microorganisms. *Biodegradation* 16, 2005, p. 363-392.
- Pohl,H.R.; Tylenda,C.A.: Breast-feeding exposure of infants to selected pesticides: a public health viewpoint. *Toxicol Ind.Health* 16, 2000, p. 65-77.
- Portig J., Stein K., Vohland HW.: Preferential distribution of alpha-hexachlorocyclohexane into cerebral white matter. *Portig J, Xenobiotica*, 1, 1989, p. 123-30.
- Qian Y., Zheng M., Zhang B., Gao L., Liu W.: Determination and assessment of HCHs and DDTs residues in sediments from Lake Dongting, China. *Environ Monit Assess.* 116 (1-3), 2006, p. 157-67.
- Rawn, F.K., Lockhart, W. L., Wilkinson, P., Savoie, D. A., Rosenberg, G. R., Muir, D. C. G. Historical contamination of Yukon Lake sediments by PCBs and organochlorine pesticides; influence of local sources and watershed characteristics (2001) *Sci. Total Env.* 280, 17-37
- Riching, M., Koch, M., Rotard, W. Organic pollutants in sediment cores of NE- Germany: Comparison of the marine Arkona Basin with freshwater sediments. (2005) *Marine Poll. Bull.* 50, 1699-1705
- Scheele J.S.: A comparison of the concentrations of certain pesticides and polychlorinated hydrocarbons in bone marrow and fat tissue. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* 17 (1), 1998, p. 65-8.
- Sharma HR., Kaushik A., Kaushik CP.: Pesticide Residues in Bovine Milk from a Predominantly Agricultural State of Haryana, India. *Environ Monit. Assess.* 2006.
- Shen H., Virtanen H.E., Main K.M., Kaleva M., Andersson A.M., Skakkebaek N.E., Toppari J., Schramm K.W. Enantiomeric ratios as an indicator of exposure processes for persistent pollutants in human placentas. *Chemosphere.* 62 (3), 2006, p. 390-5.
- Singh G., Kathpal TS., Spencer WF., Dhankar JS.: Dissipation of some organochlorine insecticides in cropped and uncropped soil. *Environ Pollut.* 70 (3), 1991, p. 1219-39.
- Sinkkonen S., Paasivirta, J.: Polychlorinated organic compounds in Arctic cod liver: trends and profiles. *Chemosphere* 40, 2000, p. 619-626.
- Siddiqui MK., Srivastava S., Srivastava SP., Mehrotra PK., Mathur N., Tandon I.: Persistent chlorinated pesticides and intra-uterine foetal growth retardation: a possible association. *Int Arch Occup Environ Health.* 76 (1), 2003, p. 75-80.
- Stewart DKR., Chrisholm D.: Long-term persistence of BHC, DDT and Chlordane in a sandy loam soil. *Can.J.Soil Sci.* 51, 1971, p. 379-383.
- SRC PhysProp Database: The Physical Properties Database of the Syracuse Research Corporation [<http://www.syrres.com/esc/physprop.htm>; 2007-04-2]
- Stern GA, Macdonald CR, Armstrong D, Dunn B, Fuchs C, Harwood L, Muir DC, Rosenberg B. Spatial trends and factors affecting variation of organochlorine contaminants levels in Canadian Arctic beluga (*Delphinapterus leucas*). *Sci Total Environ.* 351-352, 2005, p. 344-68.
- Suar M., Hauser A., Poiger T., Buser R., Müller MD., Dogra C., Raina V., Holliger C., van der Meer R., Lal R., Kohler HPE.: Enantioselective Transformation of α -Hexachlorocyclohexane by the Dehydrochlorinases LinA1 and LinA2 from the Soil Bacterium *Sphingomonas paucimobilis* B90A. *Applied and Environmental Microbiology*, 71, 2005, p. 8514-8518.
- Su Y., Hung H., Blanchard P., Patton GW., Kallenborn R., Konoplev R., Fellin P., Li H., Geen C., Stern G., Rosenberg B., Barrie LA.: Spatial and Seasonal Variations of Hexachlorocyclo-hexanes (HCHs) and Hexachlorobenzene (HCB) in the Arctic Atmosphere. *Environmental Science and Technology* 40, 2006, p. 6601-6607.
- Sun P., Backus S., Blanchard P., Hites RA.: Temporal and spatial trends of Organochlorine pesticides in Great lake precipitation. *Environmental Science and Technology* 40, 2006a, p. 2135-2141.
- Sun P., Blanchard P., Brice K., Hites RA.: Atmospheric organochlorine pesticide concentrations near the Great Lakes: temporal and spatial trends. *Environmental Science and Technology* 40, 2006b, p. 6587-6593.

Suzuki M., Yamato Y., Watanabe, T.: Persistence of BHC (1, 2, 3, 4, 5, 6-Hexachlorocyclohexane) and dieldrin residues in field soils. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 14 (5), 1975, p. 520-529.

Switzerland: Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex E of the Convention. February 2007.

TGD: Technical Guidance Document on Risk Assessment, European Communities, 2003. [<http://europa.eu.int; 2007-29-05>]

Ulrich EM., Willett KL., Capereil-Grant A., Bigsby RM., Hites RA.: Understanding Enantioselective Process: A Laboratory Rat Model for alpha-HCH Accumulation. *Environ. Sci. Technol.*, 35(8), 2001, p. 1604-1609.

Urieta I., Jalon M., Eguilero. I.: Food surveillance in the Basque Country (Spain). II. Estimation of the dietary intake of organochlorine pesticides, heavy metals, arsenic, aflatoxin M1, iron and zinc through the Total Diet Study, 1990/91. *Food Addit Contam.* 13 (1), 1996, p. 29-52.

UNEP Chemicals, Regionally Based Assessment of Persistent Toxic Substances, 2003. [http://www.chem.unep.ch/Pts/gr/Global_Report.pdf; 2007-02-27].

USEPA, Assessment of lindane and other hexachlorocyclohexane isomers, 2006. [http://www.epa.gov/oppsrrd1/REDS/factsheets/lindane_isomers_fs.htm; 2007-02-27].

Verreault J, Muir DC, Norstrom RJ, Stirling I, Fisk AT, Gabrielsen GW, Derocher AE, Evans TJ, Dietz R, Sonne C, Sandala GM, Gebbink W, Riget FF, Born EW, Taylor MK, Nagy J, Letcher RJ. Chlorinated hydrocarbon contaminants and metabolites in polar bears (*Ursus maritimus*) from Alaska, Canada, East Greenland, and Svalbard: 1996-2002-*Sci Total Environ.* 2005 Dec 1;351-352:369-90.

Walker K., Vallero DA., Lewsi RG.: Factors influencing the distribution of Lindane and other hexachlorocyclohexanes in the environment. *Environmental Science and Technology.* 33 (24), 1999, p. 4373-78.

Wania, F., Mackay, D.: Tracking the distribution of persistent organic pollutants *Environmental Science and Technology* 30 (9), 1996, p. 390A-396A.

Wegmann, F., MacLeod, M., Scheringer, M. POP Candidates 2007: Model results on overall persistence and long-range transport potential using the OECD Pov & LRTP Screening Tool. Swiss Federal Institute of Technology,

<http://www.pops.int/documents/meetings/poprc/prepdocs/annexEsubmissions/All%20chemicals%20Switzerland.pdf> (OECD Pov & LRTP Screening Tool available at <http://www.sust-chem.ethz.ch/downloads>)

WHO/Europe. 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution. Joint WHO/convention task force on the health aspects of air pollution. Chapter 3. Hexachlorocyclohexanes [<http://www.euro.who.int/Document/e78963.pdf; 2007-03-10>]

Wiberg K., Letcher RJ., Sandau CD., Norstrom RJ., Tysklind M., Bidleman TF.: The Enantioselective Bioaccumulation of Chiral Chlordane and alpha-HCH Contaminants in the Polar Bear Food Chain. *Environ. Sci. Technol.*, 34(13), 2000, p. 2668-2674.

Willett KL., Ulrich EM., Hites RA.: Differential Toxicity and Environmental Fates of Hexachlorocyclohexane Isomers. *Environmental Science and Technology* 32, 1998, p. 2197-2207.

Wong CS., Lau F., Clarc M., Mabury SA., Miur DCG.: Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Can Eliminate Chiral Organochloride Compounds Enantioselectively. *Environ. Sci. Technol.*, 36(6), 2002, p. 1257-1262.

Xiao H., Li N. and Wania F.: Compilation, Evaluation, and Selection of Physical-Chemical Property Data for α -, β -, and γ -Hexachlorocyclohexane. *J. Chem. Eng. Data* 49 (2), 2004, p. 173 -185.

Zhang ZL., Hongb HS., Zhouc JL., Huang J. and Yua G.: Fate and assessment of persistent organic pollutants in water and sediment from Minjiang River Estuary, Southeast China. *Chemosphere* 52 (9) 2003, p. 1423-1430.

Zhulidov, AV., Headley JV., Pavlov DF., Robarts, DR., Korotova GL., Vinnikov YY., Zhulidova OV.: Riverine fluxes of the persistent Organochlorine pesticides hexachlorocyclohexanes and DDT in the Russian Federation. *Chemosphere* 41, 2000, p. 829-841.