

Distr.: General
4 December 2007

Arabic
Original: English

برنامج الأمم المتحدة للبيئة



لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة التابعة
لاتفاقية استكهولم بشأن الملوثات العضوية الثابتة
الاجتماع الثالث
جنيف، ١٩ - ٢٣ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٧

تقرير لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة عن أعمال اجتماعها الثالث

إضافة

موجز بيانات مخاطر سداسي كلور حلقي الهكسان بيتا

اعتمدت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة في اجتماعها الثالث موجز بيانات مخاطر
لسداسي كلور حلقي الهكسان بيتا وذلك على أساس مشروع موجز بيانات المخاطر الوارد في الوثيقة
UNEP/POPS/POPRC.3/18. ويرد أدناه نص موجز بيانات المخاطر، بصيغته المعدلة، ودون تحرير
رسمي.

سداسي كلور حلقي الهكسان بيتا

موجز بيانات المخاطر

اعتمده لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة
في اجتماعها الثالث

تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٧

جدول المحتويات

الصفحة	
٤	موجز تنفيذي
٦	١- المقدمة
٦	١-١ الهوية الكيميائية
٧	١-١-١ الخواص الفيزيائية - الكيميائية
٨	٢-١ استنتاج لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة من المعلومات الواردة في المرفق دال
٨	٣-١ مصادر البيانات
٩	٤-١ وضعية المادة الكيميائية في الاتفاقيات الدولية
١٠	٢- ملخص المعلومات المهمة لموجز بيانات المخاطر
١٠	١-٢ المصادر
١٠	١-١-٢ الإنتاج
١٠	٢-١-٢ التجارة والمخزونات
١٠	٣-١-٢ الاستخدامات
١٠	٤-١-٢ الإطلاقات في البيئة
١١	٢-٢ المصير البيئي
١١	١-٢-٢ الثبات
١٣	٢-٢-٢ التراكم الأحيائي
١٤	٣-٢-٢ الانتقال البيئي البعيد المدى
١٥	٣-٢ التعرض
١٦	١-٣-٢ بيانات الرصد البيئي المستمدة من المناطق المحلية
١٧	٢-٣-٢ التعرض نتيجة للانتقال البيئي البعيد المدى
١٩	٣-٣-٢ الغذاء
٢٠	٤-٣-٢ التركيزات في الجسم
٢١	٥-٣-٢ تعرض الأطفال
٢٣	٦-٣-٢ معلومات عن التوافر الأحيائي
٢٣	٤-٢ تقييم المخاطر بالنسبة للنتائج النهائية المثيرة للقلق
٢٣	١-٤-٢ صحة الإنسان
٢٨	٢-٤-٢ البيئة
٢٨	٣ توليف المعلومات
٣٠	٤ بيان ختامي
٣١	المراجع

موجز تنفيذي

اقترحت المكسيك، بصفتها عضواً في اتفاقية استكهولم إدراج اللدئين وكذلك سداسي كلور حلقي الهكسان ألفا وبيتا في المرفقات ألف أو باء أو جيم لاتفاقية استكهولم. فبعد الموافقة على موجز بيانات المخاطر الخاص باللدئين أثناء الاجتماع الأخير للجنة استعراض المواد الكيميائية المنعقد في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٦، خلصت اللجنة إلى أن سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا يمثل هو الآخر لمعايير الفرز التي يشترطها المرفق دال من الاتفاقية، وضرورة القيام بمواصلة صياغة المقترح وإعداد مشروع موجز بيانات المخاطر للمادة.

وبعد مرور ما يقرب من الأربعين عاماً من الاستخدام الموسع في جميع أنحاء العالم، حدث إحلال لمادة اللدئين (سداسي كلور حلقي الهكسان - غاما) (gamma-CHC) محل سداسي كلور حلقي الهكسان التقني (HCH) بصورة تدريجية. ولم يُبلِّغ بعد عام ٢٠٠٠ عن استخدامات تذكر لسداسي كلور حلقي الهكسان التقني. ومع ذلك فإن الاطلاقات في البيئة قد تحدث من إنتاج اللدئين، وكذلك من مواقع النفايات الخطرة، ومواقع طمر النفايات، والمواقع الملوثة. وبالنظر إلى خاصيته الخطرة وتوافره بصورة واسعة، فإن سداسي كلور حلقي الهكسان التقني (بما في ذلك سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا beta-CHC) يخضع لأنظمة وطنية ودولية ولتنظيمات دولية وللحظر.

ولا تلعب عمليات التفسخ اللاهوائية دوراً مهماً في مصير سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في البيئة. ومن ثم فإن التحلل الضوئي والتحلل المائي ليسا مهمين. ففي الظروف المناسبة تكون مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا حساسة للتفسخ الإحيائي. ومع ذلك فإذا قورنت بسداسي كلور حلقي الهكسان - غاما وسداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا تكون هي المتجاذب (الأيزومر) الأكثر مقاومة. وتشير البيانات المخبرية والميدانية بما في ذلك دراسة التربة في الأجل الطويل إلى أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا من خواصها أنها تبقى في التربة، وبخاصة في درجات الحرارة المنخفضة. وهي ترتبط بصورة رئيسية بالجزيئات ولها قوة ترشيح منخفضة.

وتسمح الخواص الكيميائية الفيزيائية لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا بتشتت المادة من مصادرها إلى القطب الشمالي وذلك عن طريق الانتقال البيئي البعيد المدى بصورة رئيسية عن طريق التيارات البحرية. وقد اكتشفت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في بحر القطب الشمالي وهي موجودة في أجسام الأنواع البحرية الأرضية وفي أجسام بني البشر.

انخفضت مستويات التعرض لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في المناطق المحلية عقب تطبيق أنواع الحظر والقيود على المستوى العالمي. ومع ذلك فإن المناطق ذات التعرض الحديث و/أو التلوث المرتفع لا تزال توجد فيها مستويات مرتفعة من هذه المادة. وثمة قلق خاص من التعرض لمواقع النفايات الخطرة وأماكن إلقاء النفايات من أثر بقايا سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا المتخلص منها الناتجة عن إنتاج اللدئين. ونتيجة لثبات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا لا يزال من الممكن اكتشاف مستويات طبيعية منخفضة منه في جميع الوسائط البيئية باستثناء الأقاليم التي استعملته مؤخراً، أو التي يوجد بها تلوث مرتفع. والبيانات من البيئة غير الإحيائية في القطب الشمالي شحيحة لأسباب من بينها انخفاض المستويات بالمقارنة بالأيزومرات الأخرى لسداسي كلور حلقي الهكسان. وعلى النقيض من هذه الحقيقة، اكتشفت تراكيزات عالية إلى حد كبير في حيويات القطب الشمالي بما فيها الثدييات والطيور البحرية وذلك بمستويات متزايدة.

وتوجد مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في سلسلتي الغذاء البرية والمائية. ويمكن أن تتراكم مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا بيولوجياً وأن تتزايد بيولوجياً في الحيوانات وفي شبكات الغذاء في القطب الشمالي وبخاصة عند

المستويات التغذوية العليا. أما في الإنسان فيحدث التراكم في الأنسجة الدهنية، وتحدث كذلك تركيزات مرتفعة في الدم وفي لبن الأم. وتنقل مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا من الأمهات إلى الأجنة وإلى الأطفال الرضع.

وسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا شديد السميّة للكائنات المائية ويُظهر تأثيرات على الهرمونات المؤدّة للذكورة لدى الأسماك. ويرتبط انخفاض لياقة النسل لدى الطيور وكذلك انخفاض تركيزات الريتينول (فيتامين أ) لدى الدببة القطبية بمستويات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا، وأيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني.

أظهرت الدراسات على الخواص السميّة لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا تأثيرات سميّة على الأعصاب والكبد. ولوحظت على حيوانات المختبرات كذلك تأثيرات على قوة الإنجاب والعناصر الكابطة للنظام المناعي، كما أظهرت تأثيرات على الخصوبة. وقد تم تصنيف مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في مجموعة ٢ باء على أساس احتمال تسببها في السرطان للإنسان. وقد تم هذا التصنيف على يد الوكالة الدولية للبحوث والسرطان، وتشير العديد من الدراسات الوبائية إلى أن سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا قد يلعب دوراً في سرطان الثدي لدى المرأة.

ويتعرض الإنسان لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في معظم الحالات نتيجة لاستهلاك نباتات وحيوانات ومنتجات حيوانية ملوثة. ومن المتوقع وجود التعرض المرتفع في المناطق الملوثة نتيجة للاستخدام الواسع لهذه المادة وإنتاجها السابق ولمواقع التخلص منها ومواقع تخزينها.

ونظراً إلى بيان المخاطر ومستويات التعرض في البيئة بما في ذلك سلسلة الغذاء، يمكن استنتاج أن سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا قد يُحدث تأثيرات ضارة على الحياة البرية وعلى صحة الإنسان في المناطق الملوثة والمناطق النائية بما في ذلك المنطقة القطبية الشمالية. وتعتقد سلطات الصحة العامة في القطب الشمالي أن المنافع الاجتماعية والثقافية والاقتصادية الكبيرة للأغذية التقليدية تفوق مخاطر الملوثات مثل سداسي كلور حلقي الهكسان في الوقت الحالي ولكنها تعطي سبباً آخر للرقابة السريعة والتخلص من جميع أيزومرات من الأغذية التقليدية.

وبناء على موجز بيانات المخاطر، وتقديرات الجرعات التي يتناولها السكان الأصليون في منطقة القطب الشمالي يومياً من مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا والتي تتجاوز القيمة المرجعية للجرعة المأمونة، ونظراً لوجود المادة على نطاق واسع في المجموعات الحيوية، بما في ذلك مناطق بعيدة عن المصادر المحتملة للمادة، تم التوصل إلى استنتاج بأن المادة غالباً ما تؤدي، نتيجة لانتقالها البيئي بعيد المدى، إلى أضرار بالغة على صحة البشر والبيئة، بما يبرر اتخاذ إجراءات عالمية بشأنها.

١ - المقدمة

حدث أثناء إجراء إضافة اللندين إلى المرفق ألف في اتفاقية استكهولم أن قامت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة بمناقشة المقترح الخاص باللندين، واستنتجت أن "أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان الأخرى ينبغي أن ينظر فيها" (UNEP/POPS/POPRC.2/10) وهكذا قدمت المكسيك مقترحاً لإدراج سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في المرفق ألف، أو باء أو جيم من اتفاقية استكهولم بتاريخ ٢٦ تموز/يوليه ٢٠٠٦ (UNEP/POPS/POPRC.2/INF/8). وأعدت النمسا نيابة عن ألمانيا مسودة العمل الأولى بشأن سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا.

إن سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا هو أحد الأيزومرات الخمسة المستقرة لسداسي كلور حلقي الهكسان التقني. وهو مبيد مصنوع من الكلور العضوي كان يستخدم في السابق في الزراعة. أما طرق عمل أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان فهي تختلف كميّاً ونوعياً من حيث النشاط البيولوجي في الجهاز العصبي المركزي بصفته العضو المستهدف الرئيسي. وسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا مادة قابضة وأما التأثير النهائي للأيزومرات الممتزجة فتعتمد على التركيبة (البرنامج الدولي للسلامة الكيميائية، ٢٠٠١). وسداسي كلور حلقي الهكسان بأنواعه يوجد بصفة عامة من بين مبيدات الآفات التي قتلت بحثاً ودرساً من حيث مصيرها البيئي وتأثيراتها (بريفك وغيره، ١٩٩٩).

١-١ الهوية الكيميائية

الاسم الكيميائي: سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا (beta-CHC)

الاسم لدى الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية: (١ - ألفا، ٢ - بيتا، ٣ - ألفا، ٤ - بيتا، ٥ - ألفا، ٦ - بيتا) - سداسي كلور حلقي الهكسان

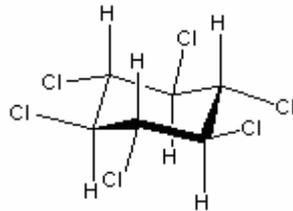
الترادفات الشائعة: بيتا - ١، ٢، ٣، ٤، ٥، ٦ - سداسي كلور حلقي الهكسان، بيتا - سداسي كلوريد البترين، بيتا - سداسي كلور البترين، بترين - مقترن - سداسي الكلوريد - بيتا - سداسي كلورو حلقي الهكسان، بيتا - سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا - بيتا - سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا - ألفا - سداسي كلور حلقي الهكسان، بيتا - أيزومر، بيتا - ليندان، سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا، ترانس - ألفا - سداسي كلوريد بترين، بيتا - سداسي كلوريد البترين، (مؤسسة كيميافيندر، ٢٠٠٧)

الرقم في دائرة المستخلصات الكيميائية: ٧ - ٨٥ - ٣١٩

الصيغة الكيميائية: $C_6H_6Cl_6$

الوزن الجزيئي: ٢٩٠,٨٣

الشكل ١: شكل سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا (معدل من بوزر وآخرون، ١٩٩٥)



سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا

١-١-١ الخواص الفيزيائية - الكيميائية

يوضح الجدول ١ خواصاً منتقاة فيزيائية كيميائية لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا. فهذه المادة أكثر ذوباناً في الماء والأوكتانول إذا قورنت بمبيدات الآفات الاورغانوكلورية الأخرى. ويبدو أن تركيبها الكيميائية تُسبغُ عليها أكثر قدر من الثبات الفيزيائي والأبيض (فمثلاً تتمتع مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا بضغط بخار أكثر انخفاضاً، ونقطة انصهار أكثر ارتفاعاً مما لألفا أيزومر). وتسمح هذه الخواص الفيزيائية الكيميائية (التي توجد مجموعة منتقاة منها في الجدول ١) لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا "بالتكثف البارد" أي أن هذه المادة تثري في المناخات الباردة مقارنة بالتركيزات التي تحدث بالقرب من المصادر، على نطاقات خطوط الارتفاع وخطوط العرض التي يسردها وصفيها وانيا وماكاي (١٩٩٦).

إن ثابت قانون هنري "هو عامل يقل بمقدار ٢٠ من ثابت سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا وينخفض كثيراً تبعاً لدرجة حرارة الماء التي تحفز التفريق من الهواء إلى الماء. كذلك فإن معامل تفريق الأوكتانول - هواء المرتفع نسبياً لهذه المادة يحفز التفريق من الهواء إلى المراحل العضوية البيئية، وربما كان هذا هو أحد الأسباب في أن مساري انتقال سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا وسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا يتباعدان في البيئة (لي وماكدونالد، ٢٠٠٥). واستناداً إلى تحليل موسع لبيانات الخواص الفيزيائية - الكيميائية لسداسي الكلور حلقي الهكسان HCH، لألفا، وبيتا وغاما استنتج زياو وغيره (٢٠٠٤) إن اختلاف سلوكها في البيئة يعود إلى ارتفاع درجة ذوبانها في الماء والأكتانول وليس لانخفاض درجة تطايرها مقارنة بايزومرات ألفا وبيتا وغاما.

الجدول ١: خواص فيزيائية كيميائية منتقاة لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا (beta-HCH)

١ ٣١٥ - ٣١٤	نقطة الانصهار
١ ٣٣٣ عند ٦٧ باسكال	نقطة الغليان
١ ١٠٤٤٢	القابلية للذوبان في الماء (جزئ* دقيقة ^{٣-} عند ٢٥ درجة مئوية)
١ ٠٠٥٣٢	ضغط البخار (باسكال عند درجة حرارة ٢٥)
١ ٠٠٠٣٧٢	ثابت قانون هنري (باسكال عند م ^٢ جزئ ^{-١})
١ ٣٠٩٢	معامل تفريق الماء (٢٥ درجة مئوية)
١ ٨٠٧٢	معامل التفريق في الهواء (٢٥ درجة مئوية)
١ كريستال صلب	الحالة الفيزيائية

١ الوكالة المعنية بسجلات المواد السمية والأمراض (٢٠٠٥)

٢ زياو وآخرون (٢٠٠٤)

٢-١ استنتاج لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة من المعلومات الواردة في المرفق دال

قامت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة بتقييم المقترح المتعلق بمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا (beta-HCH) الذي تقدمت به المكسيك (UNEP/POPS/POPRC.2/INF/8) على النحو الذي أوجزته الأمانة في الوثيقة (UNEP/POPS/POPRC.2/16) طبقاً لمتطلبات المرفق دال لاتفاقية استكهولم، واجتماعها الثاني المنعقد في جنيف. ففي المقرر لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة - ١٠/٢ خلصت اللجنة إلى نتيجة مؤداها أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا تفي معايير الفرز التي يحددها المرفق دال. وقررت اللجنة كذلك إنشاء فريق عامل مخصص لمواصلة استعراض هذا المقترح وإعداد مشروع موجز بيانات مخاطر، وذلك طبقاً للمرفق هاء من الاتفاقية.

٣-١ مصادر البيانات

استند مشروع بيان المخاطر إلى مصادر البيانات التالية:

- المقترح المقدم من المكسيك لإدراج سداسي كلور حلقي الهكسان ألفا - بيتا في المرفقات ألف وباء و/أو جيم للاتفاقية (UNEP/POPS/POPRC.2/INF/8)، ٢٠٠٦.
- المقرر لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة - ١٠/٢، لعام ٢٠٠٦.
- المعلومات المقدمة من جانب الأطراف والمراقبين وفقاً للمرفق هاء للاتفاقية: معلومات محددة و/أو علمية: الجمهورية التشيكية، فرنسا، ألمانيا، الشبكة الدولية للقضاء على الملوثات العضوية الثابتة (IPEN)، اليابان النرويج، سويسرا والولايات المتحدة الأمريكية، والمعلومات العامة من: الجزائر مؤسسة حياة المحاصيل الدولية، مملكة البحرين، موريشيوس، المكسيك، قطر، جمهورية ليتوانيا وتركيا. وتوجد هذه المعلومات على الموقع الشبكي للاتفاقية: <http://www.pops.int/documents/meetings/poprc/prepdocs/annexEsubmissions/submissions.htm>
- تقييم اللندين والأيزومرات الأخرى لسداسي كلور حلقي الهكسان، وكالة حماية البيئة الأمريكية (USEPA) ٢٠٠٦. http://www.epa.gov/oppsrd1/REDS/factsheets/lindane_isomers_fs.htm
- البرنامج الدولي للسلامة الكيميائية، سداسي كلور حلقي الهكسان، ألفا وبيتا معايير الصحة البيئية ١٢٣، منظمة الصحة العالمية، جنيف ١٩٩٢. <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc123.htm>
- نبذة عن الخواص السمية لسداسي كلور حلقي الهكسان، وزارة الصحة والخدمات البشرية للولايات المتحدة الأمريكية، خدمة الصحة العامة، وكالة سجل المواد السمية والأمراض، ٢٠٠٥. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp43.html>
- خطة العمل الإقليمية للولايات المتحدة المعنية بالندين والأيزومرات الأخرى لسداسي كلور حلقي الهكسان ٢٠٠٦. لجنة أمريكا الشمالية للتعاون البيئي. http://www.cec.org/pubs_docs/documents/index.cfm?varlan=english&ID=2053

وبالإضافة إلى مصادر المعلومات هذه، أُجرى بحث موسع على قواعد البيانات العامة. وقد استخدمت البيانات التالية: قاعدة بيانات السمية الإيكولوجية (Ecotox, <http://www.epa.gov/ecotox/>) بنك بيانات المواد الخطرة

(HSDB, <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB>), Pubmed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>) (http://www.syrres.com/esc/efdb_info.htm. EFDB) قاعدة بيانات المصير البيئي (/entrez/query.fcgi?DB=pubmed) وبصفة عامة، تشمل بنود البحث الاسم الكيميائي أو الرقم في دائرة المستخلصات الكيميائية و/أو مجموعة من المصطلحات التقنية بسبب تعدد المدخلات. ولنفس السبب تم البحث في مقالات موضوعية ومستكملة محددة. وتشمل التقارير المدرجة أعلاه المراجع الإفرادية، التي لم تدرج مرة أخرى في مشروع بيان المخاطر هذا. أما المراجع المشار إليها في هذه الوثيقة فترد في UNEP/POPS/POPRC.3/INF/28.

١ - ٤ وضع المادة الكيميائية في الاتفاقيات الدولية

إن مادة سداسي الكلور حلقي الهكسان - بيتا (beta-HCH) هي مكون من مكونات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني (HCH)، التي ينظمها ما لا يقل عن اتفاقيتين دوليتين. الاتفاق الأول هو بروتوكول آرهوس لعام ١٩٩٨ بشأن الملوثات العضوية الثابتة. بموجب اتفاقية تلوث الهواء طويل المدى عبر الحدود. وسداسي كلور حلقي الهكسان مدرج في المرفق الثاني للبروتوكول الذي حصر استخدام هذه المادة كمادة وسيطة في التصنيع الكيميائي.

أما الاتفاق الثاني فهو اتفاقية روتردام بشأن تطبيق إجراء الموافقة المسبقة عن علم على مواد كيميائية ومبيدات آفات خطيرة معينة متداولة في التجارة الدولية. (وتخضع الأيزومرات المختلطة) لسداسي كلور حلقي الهكسان لإجراء الموافقة المسبقة عن علم، وهي مدرجة في المرفق الثالث للاتفاقية.

وقد وقعت كندا والمكسيك والولايات المتحدة الأمريكية على خطة العمل الإقليمية لأمريكا الشمالية (NARAP) بشأن اللدنين والأيزومرات الأخرى لسداسي كلور حلقي الهكسان في عام ٢٠٠٦. والهدف من خطة العمل (NARAP) هذه هو قيام هذه البلدان الأعضاء الثلاثة بالتعاون في اتخاذ تدابير لتخفيض المخاطر المرتبطة بتعرض البشر والبيئة لللدنين والأيزومرات الأخرى لسداسي الكلور حلقي الهكسان.

وسوف يقوم الاتحاد الأوروبي في نهاية عام ٢٠٠٧ على الأكثر بالتخلص التدريجي من استخدام سداسي كلور حلقي الهكسان التقني كمادة وسيطة في الصناعات الكيميائية (القاعدة التنظيمية رقم 2004/850) (للاتحاد الأوروبي) وإيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان هي إحدى المواد ذات الأولوية (المقرر رقم 2455/2001/EC للاتحاد الأوروبي) في التوجيه الإطاري بشأن المياه الذي اعتمده الاتحاد الأوروبي رقم 2000/60/EC

وتوجد أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان، بما في ذلك بيتا - أيزومر، في قائمة المواد الكيميائية المرشحة للتدابير ذات الأولوية بموجب لجنة أوسلو وباريس لمنع تلوث البحار لحماية البيئة البحرية لشمال شرق المحيط الأطلسي. والهدف من ذلك هو منع تلوث المنطقة البحرية وذلك عن طريقة المواظبة على تقليل التصريفات والانبعاثات وتقليل الخسائر الناجمة عن المواد الخطرة.

٢ - ملخص المعلومات المهمة لموجز بيانات المخاطر

١-٢ المصادر

١-١-٢ الإنتاج

إن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا (beta-HCH) لا تُنتج عمداً ولا تُطرح في الأسواق، وإنما تُنتج كأحد مكونات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني (HCH) الذي يستخدم كمبيد آفات عضوي كلوري أو كوسيط كيميائي لتصنيع سداسي كلور حلقي الهكسان المخصب (الليندين). ولا توجد حالياً تقارير بشأن إنتاج سداسي كلور حلقي الهكسان التقني، بينما لا يزال تصنيع الليندين مستمراً، IHPA (٢٠٠٦).

وقد ذكرت البلدان التالية التي قدمت معلومات بموجب المرفق هاء بأنه لا يوجد لديها حالياً إنتاج أو استخدام لسداسي كلور حلقي الهكسان بيتا: الجمهورية التشيكية، ألمانيا، موريشيوس، المكسيك، النرويج، قطر، جمهورية ليتوانيا، تركيا، سويسرا، والولايات المتحدة الأمريكية.

٢-١-٢ التجارة والمخزونات

برجاء الرجوع إلى القسم ٢ - ١ - ٢ من مشروع موجز بيانات المخاطر لسداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا.

٣-١-٢ الاستخدامات

برجاء الرجوع إلى القسم ٣-١-٢ من مشروع موجز بيانات المخاطر لسداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا.

٤-١-٢ الإطلاقات في البيئة

هناك العديد من المسارات التي تسلكها مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا لدخول البيئة. وتشير المعلومات الخاصة بتاريخ هذه المادة أنها كانت تُطلق في البيئة أثناء تصنيع سداسي كلور حلقي الهكسان التقني (HCH) واستخدامها كمبيد آفات. لي وآخرون (٢٠٠٣) بأن الانبعاثات الإجمالية لسداسي الكلور حلقي الهكسان - بيتا (beta-HCH) الناتجة عن استخدام الشكل التقني لهذه المادة فيما بين ١٩٤٥ و ٢٠٠٠ بلغت ٨٥٠ ٠٠٠ طن، منها ٢٣٠ ٠٠٠ طن انبعثت في الغلاف الجوي خلال نفس الفترة. وفي عام ١٩٨٠ بلغ استخدام سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا نحو ٣٦ ٠٠٠ كيلوغرام طن، وكانت الانبعاثات الأولية المحسوبة هي ٩ ٨٠٠ كغ طن (٨٣٪ منها يعزى إلى الاستخدام و١٧٪ يعزى إلى البقايا في التربة من استخدامات سابقة). وفي عام ١٩٩٠ انخفضت هذه الأرقام إلى ٧ ٤٠٠ طن (استخدام) و ٢ ٤٠٠ طن (انبعاثات) وفي عام ٢٠٠٠ وصلت البقايا في التربة من سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا إلى ٦٦ طناً في غياب الاستخدام المباشر لسداسي كلور حلقي الهكسان التقني HCH ونتيجة لذلك الحظر على سداسي كلور حلقي الهكسان التقني في بلدان الشمال انحدرت الانبعاثات العالمية من سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا نحو الجنوب (لي وآخرون، ٢٠٠٣).

إن إطلاقات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في البيئة هو أمر ممكن كذلك من مواقع النفايات الخطرة (الوكالة الأمريكية لحماية البيئة USEPA، ٢٠٠٦) ومن مخزونات ومخلفات إنتاج الليندين التي لا تكون دائماً خاضعة للرقابة أو محفوظة حفظاً آمناً (الوكالة الدولية للوقاية من المواد الخطرة IHPA، ٢٠٠٦) ويمكن للمواقع الملوثة (كمصانع الإنتاج السابقة مثلاً) أن تضيف إلى تركيزات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في البيئة (كونكا - غرانا وآخرون، ٢٠٠٦).

وقد أبلغت ألمانيا (التي قدمت معلومات للمرفق هاء، ٢٠٠٧) أنه لا يزال هناك القليل من المصادر المحلية المنزلة، أي أماكن الطمر والإلقاء في جمهورية ألمانيا الديمقراطية السابقة (ألمانيا الشرقية) ناتجة عن استخدامات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني. ونتيجة لذلك تم اكتشاف تركيزات أعلى من سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في أسماك نهر إيلبي ELBE على مقربة من موقع إنتاج سابق عقب هطول أمطار غزيرة وفيضانات في عام ٢٠٠٣. غير أنه لا تتوافر تقديرات كمية للإطلاقات الصادرة عن مواقع النفايات الخطرة ومواقع طمر النفايات.

٢-٢ المصير البيئي

١-٢-٢ الثبات

تجري فحوص التحلل المائي والتحلل الضوئي لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا (beta-HCH) في أضييق نطاق ممكن. ولم تتوافر حتى الآن سوى دراسة لما كتب عن الخسف الضوئي لهذه المادة. وقد أشارت التقارير إلى نصف عمر خسف ضوئي لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا يساوي ١٥٢ ساعة (الوكالة المعنية بسجلات المواد السمية والأمراض (ATSDR، ٢٠٠٥). وأهمية هذه النتيجة مشكوك فيها من حيث التصميم المختار للاختبار، والذي لا يمثل للمبادئ التوجيهية الدولية المقبولة بشأن التحلل الضوئي، على نحو ما أشارت ATSDR (٢٠٠٥) لم تلاحظ أشرطة امتصاص في المنطقة الطيفية التي أجريت عليها الدراسة وليس من المتوقع، بصفة عامة، للتحلل الضوئي، أن يُشكل عملية مآل بيئي مهمة بالنسبة لسداسي الكلور حلقي الهكسان - بيتا حيث يحدث امتصاص للضوء بما يزيد على ٢٩٠ متراً مرجعياً.

واستناداً إلى ثابت معدل شق الهيدروكسيل المحسوب في الغلاف الجوي ومقداره 1.0×10^{-13} سم^٣/جزئي - ثانية (HSDB، ٢٠٠٦) يكون نصف العمر التقديري هو ٥٦ يوماً (باستخدام متوسط تركيز شق الهيدروكسيل وقدره 1.0×10^{-5} جزئي/سم^٣ وذلك طبقاً لـ TGD (٢٠٠٣).

وقد خلصت الوكالة الأمريكية لحماية البيئة (٢٠٠٦) إلى أن أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان مقاومة للعمليات اللاأحيائية مثل التحلل الضوئي والتحلل المائي (إلا عند الأس الهيدروجيني القاعدي).

وسداسي الكلور حلقي الهكسان - بيتا هو من حيث الأساس قابل للخسف الأحيائي تحت ظروف وصول الأكسجين إلى أنسجة الجسم وعدم وصوله إليها. غير أن العديد من الدراسات ذكرت أن ثمة خسفاً كبيراً يحدث بصفة رئيسية في الظروف اللاهوائية (ميدلدروب وآخرون، ١٩٩٦). وقد لوحظ الخسف في المزرعات الخالصة وفي حمأة التربة وفي الوسط الكلي للتربة، وفي الدراسات الميدانية وعبر تقنيات الإصلاح الأحيائي في أنواع تربة الأماكن الملوثة (فيليس وآخرون، ٢٠٠٥) وقد تفاوتت فعالية إزالة هذه المادة بتفاوت تصميم الاختبار والعوامل البيئية.

والمسار الأيضي بصفة عامة لسداسي الكلور حلقي الهكسان - بيتا يحدث لاهوائياً عبر إزالة الكلور إلى رباعي الكلور حلقي الهكسان وثنائي الكلور حلقي الهكسادين، وهو مُستقلب غير مستقر. وقد يكون كلور البترين، والبترين كنواتج نهائية مستقرة في ظروف مواتية لنشوء المتان. ويمكن لهذه المستقلبات metabolites أن تزداد تمعدناً هوائياً أو لاهوائياً (فيليس وآخرون، ٢٠٠٥). وبالمقارنة بالبيانات المختبرية لأيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان الأخرى فإن استخدام مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا الموسومة إشعاعياً قد دلت على حدوث قدر أدنى أو غير كامل من التمعدن (ساهو وآخرون، ١٩٩٥).

ويعتبر سداسي الكلور حلقي الهكسان - بيتا (beta-HCH) أكثر الأيزومرات شُموساً بسبب تركيبته الكيميائية (مقرر لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة - ١٠/٢) ففي وجود الظروف المختبرية المواتية تم تحديد التأثير الحسفي الذي تحدثه مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا على سلالات من البكتريا مثل باسيلس بريفييس، وباسيليس سيركيولانز، ونوع ديهالوباكتري sp، وذلك بالاقتران مع نوع سيديمانتيباكتري التي أبعدت عن مواقع التلوث بسداسي كلور حلقي الهكسان (غوبتا وآخرون، ٢٠٠٠ فان دوسبرغ وآخرون، ٢٠٠٥). ولكن لم يتمكن سوى القلة مثل نوع سفينقوييوم من تحويل سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في ظروف هوائية (شارما وآخرون، ٢٠٠٦).

وتجري حالياً بحوث بشأن التحفيز الذاتي، والمضافات، لعلاج التربة من المواقع الملوثة بسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا (مثلاً كومار وآخرون، ٢٠٠٥، وماكراي وآخرون، ١٩٨٤) غير أن إزالة هذا الأيزومر لا يزال يمثل تحدياً صعباً (فيليب وآخرون، ٢٠٠٥). وفيما يتعلق بالتأثيرات التي تقع على مجموع الميكروبات الموجودة أصلاً في التربة داخل تربة غير ملوثة (بات وآخرون، ٢٠٠٦). فقد ظهر أن استخدام مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقني تحدث أضراراً بالتربة غير قابلة للعلاج.

وفي الظروف المناخية العامة وكذلك قوام التربة والمادة العضوية وتغيير امتصاص المواد، والمحتوى المائي ومعدلات الخسف التي تؤثر على النمو البكتيري (IPCS ١٩٩٢). ذكر فيليبس وغيره (٢٠٠٥) أنه لم ترد أي تقارير عن وجود بكتريا قادرة على خسف أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان عند درجات الحرارة القصوى (أقل من ٥ درجات مئوية، وأكثر من ٤٠ درجة مئوية). والبيانات الخاصة بالدراسات المختبرية للتربة، أو الفحوص الميدانية محدودة للغاية.

وقد أبلغ سينغ وغيره (١٩٩١) عن أنصاف أعمار مدتها ١٠٠ و ١٨٤ يوماً في قطع الأرض التي جمعت محصولاتها أو التي لم تجمع محصولاتها بعد على التوالي في مساحات الطفال الرملي في الهند في ظروف شبه مدارية. فقد وُجد أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان المستخدمة قد تغلغت فوراً في الطبقة العليا من التربة. وأخذت عينات عشوائية من التربة من قطع أراضي على أعماق من صفر - ١٥ سنتيمتراً. ولا تتوفر معلومات كمية عن حالات فقد سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا بواسطة التبخير أو الترشيح أثناء التجربة التي أجريت في الدراسة المذكورة. لاحظ دولمان وآخرون (١٩٩٠) في دراسة شبه ميدانية على تربة ملوثة، في مناخ معتدل، أنه لم يحدث خَسْفٌ في سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في الظروف اللاهوائية. تابع ستيفوارت وتشيزهولم (١٩٧١) في دراسة ميدانية طويلة الأمد بعد استخدام سداسي كلور حلقي الهكسان التقني، أن ٤٤٪ من بيتا - أيزومر تبقت بعد مرور ١٥ سنة في أرض طفلية رملية في كندا. وأن نحو ٣٠٪ من سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا (من الشكل التقني لهذه المادة المستخدمة) لوحظ وجودها بعد مرور ٥٧٠ يوماً من اختبار ميداني أجري في اليابان على قطع أراضي زراعية (سزوكي وغيره، ١٩٧٥) ودل تشيسيل وغيره (١٩٨٨) على أنه بعد مرور ٢٠ عاماً من استخدام مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقني على قصب السكر في كوينزلاند، استراليا، شوهدت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في تركيزات تزيد في مجملها بأكثر من رتبة واحدة إذا قورنت بالأيزومرات الأخرى. ويعتبر التطاير من سطح الأرض عملية مصير مهمة (HSDP، ٢٠٠٦، سينغ وغيره، ١٩٩١).

وكانت مادة سداسي الكلور حلقي الهكسان - بيتا مستقرة في دراسة للرسوبيات/المياه أجريت في الظروف المختبرية. يضاف إلى ذلك، أن تحول أيزومر سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا إلى أيزومر سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا قد لوحظ حدوثه (وو وغيره، ١٩٩٧). ويمكن الإطلاع على معلومات تفصيلية تتعلق بتحول الأيزومرات في موجز

بيانات المخاطر للنددين (UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.4). أما مستويات أيزومر سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا حينما قورنت بسداسي كلور حلقي الهكسان ألفا- وغاما، ودلتا فكانت في أعلى حالاتها في مياه المسام (١٤٢٣) نانوغرام/١) وذلك بمقارنتها بالمياه السطحية (٩٢,٥ نانوغرام/١) وبالرسوبيات (٣,٩ نانوغرام/غرام) في مصب نهر مينغيانغ بالصين (جانغ وغيره ٢٠٠٣) ولم تتوافر أنصاف أعمار خسفية في المياه أو الرسوبيات، ومع ذلك، واستناداً إلى الدراسات الرصدية يمكن افتراض أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا ثابتة ولا ينتابها الخسف بسهولة.

٢-٢-٢ التراكم الأحيائي

يشير معامل تفريق الأوكتانول - ماء ($\log K_{ow} = 3,78$) بالنسبة لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا إلى أن لديه القدرة على التراكم الأحيائي ولا سيما إذا كان مقترناً بثباته الذي تم التذليل عليه في أنسجة الحيوان (ووكر وغيره، ١٩٩٩). وكان معامل التركيز الأحيائي BCF طبقاً للمبادئ التوجيهية الإختبارية لدى منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي (OECD) E₃₀₅ في الأسماك المخططة يساوي ٤٦٠، ١، وكان ذلك أعلى عامل تركيز أصلي (الجسم كاملاً) مقارنة بالقيم المحددة لألفا - (١٠٠) وسداسي كلور حلقي الهكسان - غاما (٨٥٠) (بوت وآخرون، ١٩٩١). وكان ذلك هو أعلى عامل تركيز أحيائي مُبلَّغ عنه طبقاً لقاعدة بيانات السمية الإيكولوجية ECOTOX. ومع ذلك، فإن لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة تعتبر أن معايير الفحص كما هي مبينة في التقييم الوارد في المرفق لمقررها لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة - ١٠/٢ استوفيت لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا.

وتشير العديد من الدراسات أن نسب أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان تتفاوت تفاوتاً شديداً عبر الأنواع في شبكة الأغذية البحرية في المنطقة القطبية الشمالية (USEPA، ٢٠٠٦). وقد ازدادت تركيزات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا مع ازدياد مستوى التغذية عند مستويات التغذية العليا (الثدييات البحرية) (USEPA، ٢٠٠٦، هوكسترا وغيره، ٢٠٠٣). فبينما يفترض أن مستويات التلوث بالكلور العضوي (OC) لدى الثدييات تأثرت بصورة رئيسية بفعل قدرتها على التحول الأحيائي أو إخراج الكلور العضوي من أجسامها، فإن ارتفاع مستويات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا لدى مختلف أنواع الثدييات هو مؤشر آخر على الطبيعة العصبية لهذه المادة وبطء التخلص منها. وقد دلت (هوب وآخرون، ٢٠٠٢) على أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا تتزايد إحيائياً بأسلوب مختلف لدى الحيوانات ذات الحرارة المتغيرة والحيوانات ذات الحرارة المتماثلة. وقد ازدادت أكثر بين متماثلات الحرارة (الطيور والثدييات) مع ازدياد المستوى التغذوي. وقد أبلغ فيسك وغيره (٢٠٠١) عن أعلى عامل تزايد أحيائي (BMF) لدى الطيور بالمقارنة مع مستويات التغذية الأخرى، غير أن الهجرة وبنود الافتراض يعتبر أنها هي الأخرى تؤثر في تفاوت عامل التزايد الأحيائي. وتتمشى هذه البيانات مع النتائج التي توصل إليها مويسي وغيره (٢٠٠١) وبصفة عامة، تدل الدراسات التي أجريت على شبكات الغذاء البحري في القطب الشمالي على أن عوامل التزايد الأحيائي لدى جميع الأنواع التي تم فحصها تقريباً، والتي تم الحصول عليها، وكذلك عوامل التزايد في شبكة الأغذية التي تمثل المعدل المتوسط للزيادة في مستوى التغذية في الشبكة الغذائية تزيد على ١. فعلى سبيل المثال أورد إي جي فيك وآخرون (٢٠٠١) مثلاً عن عامل تزايد في شبكة الأغذية قدره ٧,٢ وهو عامل يضاهي ثنائيات الفينيل متعددة الكلور PCBS. وقد توصل HOEKSTRA وغيره إلى ٢,٩ كحساب عامل لتزايد في شبكة الأغذية (٢٠٠٣) بالنسبة لشبكة الأغذية البحرية في بحر بيغفورت - تشوكش. ومع ذلك، ففي المسطحات المائية الموجودة في شبكة منطقة القطب الشمالي، مثال البحر الأبيض، جاءت قيم

سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا أقل مقارنة بالدراسات الأخرى لشبكة الأغذية. وقد أُلحِح إلى أن الاختلافات في عادات التغذية مسؤولة عن هذا الانخفاض موير وآخرون (٢٠٠٣).

ويمكن في سلسلة الغذاء الأرضية أن تتزايد مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا والبيانات التي يتم الحصول عليها من فحص أجري في جنوب الهند تدل على أن أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان كانت هي أشكال الكلور العضوي السائدة في الحيوانات. وقيست تركيزات مرتفعة في الحلزونات وبالتالي في مفترساتها (مثل طائر البلشون الأبيض الصغير egret) ودلت على وجود تلك المادة بما يزيد على ١ (سيتيكومار وغيره، ٢٠٠١). ووجد وانغ أيضاً (٢٠٠٦) مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا مركباً رئيسياً في الرخويات (المعلومات التي قدمها IPEN وفقاً للمرفق هاء، ٢٠٠٧).

أظهر الباحث كيلي وآخرون (٢٠٠٧) في الآونة الأخيرة أنه بالنسبة للمواد التي يكون لوغارثم معالم التجزؤ من الأوكتانول والهواء فيها أكثر من ٦ لوغارثم معالم التجزؤ من الأوكتانول والماء فيها أكثر من ٢، فإن معامل التركيز الأحيائي في الأسماك لا يكون مؤشراً جيداً للتضخم 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 تقل إلى ٣٠٠٠ ضعف في حالة التدييات البحرية و٤٠٠ ضعف في حالة الثانية.

والسمك والتدييات البحرية والبرية وكذلك الطيور هي مصادر الغذاء الرئيسية للعديد من المجموعات السكانية، ومن ثم فإن التعرض عن طريق النظام الغذائي يرحح أن يحدث بأكثر بكثير مما لدى معظم السكان في العالم المتقدم. أما مستويات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في لبن الأم لدى نساء الشعوب الأصلية في شبه جزيرة شوكتوتا، روسيا (شوكتوتسكي رايون، فيبلغ متوسط القيمة ٣٧٠ نانوغرام/غرام في الدهون). وكذلك فإن التركيزات في العينات التي أخذت من دم الولادة ١٩٩٤ و١٩٩٧ فكانت هي الأعلى لدى الأمهات الروسيات (ويبلغ تركيز المصل لدى السكان غير الأصليين في القطب الشمالي ٢٢٣ ميكروغرام/غرام في الدهون). ولكن وجدت المستويات العليا كذلك في آيسلندا (٢٣ ميكروغرام/كغ) وفي منطقة القطب الشمالي الهندي (AMAP، ٢٠٠٣).

٢-٢-٣ الانتقال البيئي البعيد المدى

أُكتشف في العديد من الدراسات وبيانات الرصد وجود سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا بصورة منتظمة في بيئة القطب الشمالي وكذلك في الحيوانات (مثل AMAP ٢٠٠٤، AMAP ٢٠٠٣) وذلك لأن سداسي كلور حلقي الهكسان التقني لم يسبق استعماله قط على نطاق واسع في تلك المنطقة النائية، وهذا دليل على انتقاله طويل المدى (UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.4).

واستناداً إلى بيانات الرصد لهواء منطقة القطب الشمالي، يبدو أن سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا أقل عرضة للتركيز في الغلاف الجوي في المناطق العليا من القطب الشمالي. ويمكن تفسير ذلك بالاختلافات التي تعترى ثابت قانون هنري، ومعامل تفريق الهواء/الأوكتانول الذي يزيد من شدة التجاذب إلى المادة العضوية (لي وآخرون، ٢٠٠٢). وهكذا فإن عملية التنظيف بفعل المطر تكون أكثر كفاءة في حالة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا من سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا، وبالإضافة إلى ذلك يكون تواتر التساقط أعلى بكثير في شمال المحيط الهادئ مقارنة بمنطقة القطب الشمالي. وهذا يوحي بأن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا تدخل القطب الشمالي ربما بآليات من بينها الترسيب

الرطب، أو التفريق في المياه السطحية لشمال المحيط الهادئ، ثم تدخل القطب الشمالي بعد ذلك في تيارات المحيط التي تمر عبر مضيق بيرينغ Bering Strait (لي وآخرون، ٢٠٠٣). وبحرا بيرينغ وشوكشي هما أكثر موضعين معرضين لتركيزات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا (لي وآخرون، ٢٠٠٢). إن تركيزات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا حول مضيق بيرينغ في التسعينات بلغت نحو ١,٢ نانوغرام/ل (لي وماكدونالد، ٢٠٠٥). وهكذا فإن "التكثيف البارد" حدث أيضاً لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا، وإن كان ذلك بصفة رئيسية في المحيط الهادئ والجزء الأعلى من بحر بيرينغ في محيط القطب الشمالي في وقت لاحق مقارنة بسداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا وتفاوتت في توزيعها المكاني (لي وآخرون، ٢٠٠٢). إن هذا التوزيع المكاني والزمني يُظهر أيضاً في مستويات البقايا في الثدييات البحرية والأرضية وكذلك في السكان المحليين (لي وماكدونالد، ٢٠٠٥).

وقياس سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في الجبال العليا في الجمهورية التشيكية هو برهان آخر على قدرتها على الانتقال بعيد المدى (قدمت الجمهورية التشيكية هذه المعلومات وفقاً للمرفق هاء في عام ٢٠٠٧).

وتشير حسابات النمذجة لدى منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي بأدوات فرز انتقال الملوثات بعيد المدى L RTP إلى أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا لها صفات ثبات وانتقال بعيد المدى مماثل للملوثات العضوية الثابتة التي تم تحديدها مثل ثنائي الفينيل متعدد الكلور والكلور العضوي (ويغمان وآخرون، ٢٠٠٧). والخصائص النموذجية لمفعول المواد الكيميائية تشمل معاملات التفريق في الهواء-الماء وفي الأوكتانول - ماء وكذلك فترات التنصيف في الهواء، والماء، والتربة وثابت قانون هنري (وهي تستند إلى الأرقام الواردة في الوثيقة (UNEP/POPS/POPRC.2/INF/8)). ويبحث هذا النموذج جميع الأقسام البيئية، ولا تشير نتائج هذا النموذج إلى مستويات مطلقة في البيئة ولكنها تساعد على مقارنة ملوثات عضوية ثابتة محتملة مع ملوثات عضوية ثابتة محددة. (المواد الكيميائية المرجعية: متجانسات ثنائي الفينيل متعدد الكلور ٢٨، ١٠١، ١٨٠، سداسي كلور البترين، ورابع كلوريد الكربون وسداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا) تبعاً لثباتها في البيئة وقدرتها على الانتقال بعيد المدى. وقد قام تحليل مونت كارلو لعدم التيقن بالكشف عن جوانب عدم التيقن بشأن الخصائص الكيميائية.

٢ - ٣ التعرض

ينتج التعرض المباشر لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا من الإنتاج (كما في ذلك تصنيع اللدنين) ومن استخدام سداسي كلور حلقي الهكسان التقني. ونظراً لثبات هذه المادة، يكون من المتوقع حدوث التعرض الشديد في المناطق الملوثة بسبب الاستخدام الموسع، والإنتاج السابق، ومواقع التخلص والمخزونات. وعلى الرغم من التوقف الفعلي عن استخدام سداسي كلور حلقي الهكسان التقني في أنحاء العالم فإن بيانات الرصد المبنية على نسبة ألفا - غاما أيزومر لا تزال تشير إلى احتمالات إطلاقات من سداسي كلور حلقي الهكسان التقني في مناطق معينة (زانغ وآخرون، ٢٠٠٣، قيان وآخرون، ٢٠٠٦، وجوليدوف وآخرون، ٢٠٠٠).

وينتج تعرض الجمهور العام في معظم الحالات عن أكل النباتات والحيوانات والمنتجات الحيوانية الملوثة. وثمة مصادر أخرى للتعرض مثل استنشاق الهواء المحيط، واستهلاك مياه الشرب وإن كان ذلك بدرجة أقل. إن المتحصل من الملوثات عن طريق الهواء داخل الدور قد يكون كبيراً للناس الذين يعيشون في منازل معالجة لأغراض مكافحة الآفات. وقد يكون الرُضَع معرضين أثناء تكون الجنين والرضاعة من الثدي.

٢-٣-١ بيانات الرصد البيئي المستمدة من المناطق المحلية

لقد انخفضت المستويات المحلية بصفة عامة عقب تطبيق القيود والحظر على استخدام سداسي كلور حلقي الهكسان التقني (IPCS, 1992) ومع ذلك، تدل بيانات الرصد على توزيعها الشامل والعام في جميع الوسائط البيئية، فمثلاً تم اكتشاف سداسي الكلور حلقي الهكسان - بيتا (حتى ١٥ ميكروغرام/كغ كمادة جافة). وذلك باستخدام الرصد السليبي في الأشنات في العديد من المواضع (مثل المدن، والصناعة، والريف) في سويسرا (المعلومات التي قدمتها سويسرا وفقاً للمرفق هاء، ٢٠٠٧). كذلك كشف برنامج رصد أجري مؤخراً (٢٠٠٤) في اليابان عن وجود سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في جميع العينات. أما القيم التي أبلغ عنها فكانت داخل النطاق التالي: الماء ٠,٣١ - ٣,٤ نغ/ل، الرسوبيات ٠,٠٠٤ - ٥٣ نغ/غ بالوزن الجاف، الأسماك الصدفية ٠,٢٢ - ١,٨ نغ/غ بالوزن غير الجاف، بقايا أسماك - ١,١ نغ/غ وزن غير جاف، الطيور ١,١ - ٤,٨ وزن غير جاف الموسم الدفئ والموسم البارد) ٠,٥٣ - ١١٠ نغ/م^٣، ٠,٣٢ - ٧٨ نغ/م^٣ (المعلومات التي قدمتها اليابان للمرفق هاء في ٢٠٠٧). وقد أبلغت الجمهورية التشيكية (معلومات المرفق هاء ٢٠٠٧) أنه فيما يتعلق بأيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني، فإن أشد الأوضاع صعوبة هو في وسط وجنوب مورافيا حيث توجد جزيئات الرسوبيات بكميات عشرات نغ/غ وحتى بالمئات في بعض الحالات من نغ/غ (لم تقدم أي معلومات يعبر على أساسها عن ذلك).

ومع ذلك، فإن أنواع التربة شديدة التلوث قد وجدت على مقربة من المصادر. وعثر على تركيزات من سداسي كلور حلقي الهكسان التقني مقدارها ٤٠ - ٢٢٥ مغ/كغ في الطبقة العليا للتربة حول مصنع كيماويات في ألبانيا. وأبلغ عن مستويات متوسطة قدرها ٠,٠٢ مغ/كغ لأنواع التربة من دلنا نهر بيرل في الصين على حين أن التربة الروسية القريبة من نهر لينا اشتملت على مستويات تلوث قدرها ٠,٠٠١ - ٠,٠١٧ مغ/كغ من سداسي كلور حلقي الهكسان التقني (اليونيب ٢٠٠٣).

ومقارنة بأيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني الأخرى، فإن تركيزات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في الهواء تكون منخفضة. واكتشفت تركيزات أعلى منها في الجبال الأكثر ارتفاعاً (منطقة جبل إيفرست) قدرها ١١,٢ نغ/م^٣ مقارنة بما يصل إلى ١ نغ/م^٣ في منطقة القطب الشمالي (لي وآخرون، ٢٠٠٦). وربما نتجت التغيرات الموسمية التي اعترت تركيزات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني في اليابان (متوسط ٢٣ نغ/م^٣) في عام ٢٠٠٠ التي نتجت عن انبعاثات مستأنفة من مصدر بري (مورايا وما وآخرون، ٢٠٠٣). وبخلاف التركيزات الملاحظة لسداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا وسداسي كلور حلقي الهكسان - غاما لوحظت تركيزات من سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في الهواء في معظم المواقع بالقرب من البحيرات الكبرى في أمريكا الشمالية فإن تركيزات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا لم تظهر أي اتجاهات ذات بال فيما بين ١٩٩٠ و ٢٠٠٣. وقد لوحظ أعلى تركيز لها في شيكاغو حيث بلغ الحد الأقصى ٧٣ نغ/م^٣ (المتوسط ١٢ نغ/م^٣، ١٩٩٩-٢٠٠٣، المرحلة الغازية، صن وآخرون، ٢٠٠٦). وفيما يتعلق بوجود سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في عينات التساقط من نفس المنطقة (التركيز المتوسط ٠,١٦-٠,٦٤ نغ/ل) فقد لوحظت خلال العقد الأخير في محطات البحيرات الكبرى الثلاث زيادة كبيرة في تركيزات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا (صن وآخرون، ٢٠٠٦ ب).

وتفاوتت المستويات في الحيوانات تبعاً للموقع (الاستخدام الأخير و/أو التلوث المرتفع) وفي الأنواع. فمثلاً وصلت تركيزات أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني (وبخاصة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا - أيزومر) في

أحد أنواع الأسماك هو (جافا تيلابيا) من الهند إلى ٢٠٠٠ نغ/غ بالوزن غير الجاف (سنشيكومار وآخرون، ٢٠٠١). وأظهرت عينات الأسماك التي جمعت من نهر النيل بالقرب من مدينة القاهرة في عام ١٩٩٣ تركيز لمادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا قدرها ١,٥ نغ/غ بالوزن غير الجاف (اليونيب، ٢٠٠٣). ومادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا هي في معظم الحالات الأيزومر الأكثر انتشاراً في الأسماك (ويليت وآخرون، ١٩٩٨).

توصلت دراسة لعينات عالمية لبيض الدجاج من كافة أماكن التربية أن ٣٠ عينة من البيض مأخوذة من ١٧ موقعاً جغرافياً مختلفاً، بما مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في جميع العينات. وكانت مستويات هذه المادة مرتفعة بدرجة خاصة في العينات المأخوذة من السنغال والهند (بليك، ٢٠٠٥).

ويمكن للطيور والخفافيش أن تُراكم تركيزات أعلى من سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا. وطبقاً للمعلومات التي قدمت إلى المرفق هاء من النرويج (٢٠٠٧) خلص بستنيز وآخرون (٢٠٠٦) إلى أن مستويات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في الدم والبيض كانت أعلى من الأنواع الفرعية المعرضة للخطر مقارنة بالأنواع الفرعية من النوارس سوداء ريش الظهر في النرويج. ومن بين التفاسير ما يعزى ذلك إلى طريق الهجرة عبر البحر الأسود حيث مستويات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني مرتفعة بصورة كبيرة.

وفي دراسة على الطيور القاطنة والمهاجرة جمعت من جنوب الهند، تفاوتت نمط التلوث بالكلور العضوي تبعاً لسلوك الهجرة. فالطيور القاطنة في نفس المنطقة طيلة حياتها اشتملت على تركيزات أكبر نسبياً من أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني (١٤ - ٨٠٠ نغ/غ بالوزن غير الجاف). أما الطيور التي تقطع مسافة طويلة وهي مهاجرة والتي توجد أماكن تكاثرها في أوروبا، وروسيا والشرق الأوسط، وباروا غينيا الجديدة، واستراليا فقد اشتملت على مستويات من أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني تراوحت بين ١٩ - ٥٥٠٠ نغ/كغ. وأنه من بين مختلف أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني، كانت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا هي الملوثة الغالب في جميع أنواع الطيور (اليونيب، ٢٠٠٣). وقد أبلغ عن مستويات مشابهة في فحص أجري مؤخراً (سينثيل كومار وآخرون، ٢٠٠١) واشتملت مستويات بقايا من سداسي كلور حلقي الهكسان التقني في صفار البيض (يتراوح ما بين ٣٥٠ - ٤٩٠٠ نغ/غ وزن دهون) وهناك أيضاً كانت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا هي الأيزومر السائد في الطيور ولم تورد قيم مفصلة لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا). وبالإضافة إلى ذلك بحثت تركيزات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني (بصفة رئيسية بيتا أيزومر، يصل إلى ٣٣٠ نغ/كغ بالوزن غير الجاف) في الخفافيش الهندية وكانت أعلى في ١٩٩٨ مما كانت عليه في ١٩٩٥ وكانت الأعلى على الإطلاق مقارنة بالأجزاء الأخرى من العالم.

والمصدر المحلي لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا هو استعمال سداسي كلور حلقي الهكسان التقني في الشمال الروسي ضد الحشرات المزعجة على غزلان الرنة المستأنسة من جانب السكان الأصليين (لي وآخرون، ٢٠٠٤). ومع ذلك لا توجد تقديرات كمية لمستوى التعرض هذا.

٢-٣-٢ التعرض نتيجة للانتقال البيئي البعيد المدى

ويفترض أن مسار الانتقال الرئيسي لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا إلى منطقة القطب الشمالي هو التيارات البحرية (لي وآخرون، ٢٠٠٢). ومقارنة بمستويات سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا في مياه البحر، وجد أن مستويات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا أكثر انخفاضاً - لأسباب من بينها انخفاض الانبعاثات والتوزيعات المكانية والزمانية

المختلفة. فمثلاً وصلت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا إلى ذروتها (نحو ٠,٣ نغ/١) في المحيط المتجمد الشمالي بأمريكا الشمالية في ١٩٩٤، أي نحو ١٠ سنوات بعد بلوغ مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا ذروتها. كما أن وجود تركيزات في مياه القطع الأعلى من شمال المحيط الهادئ وبحر بيرينغ (نحو ١,٣ نغ/١ - ١٩٨٨ - ١٩٩٩) قد تسبب في ارتفاع التركيزات في بحر تشوكشي وفي انخفاضها بعد ذلك نحو المحيط الداخلي القطبي (لي وماكدونالد، ٢٠٠٥). وقد أظهرت البيانات بشأن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا التي أخذت من المياه السطحية للأرخبيل الكندي في ١٩٩٩ تركيزات مقدارها ٠,١ نغ/١ (بيد يلمان وآخرون، ٢٠٠٧).

وينعكس هذا التوزيع الخاص في مستويات الحيوانات. فقد وجد هوكستر وآخرون (٢٠٠٢) أن الحيتان قوسية الرأس (البوهيد) يحدث لها انعكاس في نسب سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا/سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا الموجودة في شحومها أثناء هجرتها بين بيرينغ وبحر بيوفورت كما وجد احتمال وجود بقايا مرتفعة من أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني في الثدييات البحرية في الأرخبيل الكندي بسبب التركيزات العالية من أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني في المياه لأن أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني هي مركبات الكلور العضوي الأكثر وفرة في المحيط المتجمد الشمالي (خطة العمل الإقليمية لأمريكا الشمالية NARAP، ٢٠٠٦).

ولا توجد مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا بوفرة في بيئة القطب الشمالي اللاهوائية، ومن ثم لم تخضع للدراسة لا هي ولا الأيزومرات الأخرى، ويرجع ذلك لأسباب منها تركيزاتها المنخفضة وكانت المستويات المقاسة في هواء القطب الشمالي (مثلاً أقل من ١ نغ/م^٣ من ستة مواقع محطة بالقطب الشمالي في الفترة ٢٠٠٠ - ٢٠٠٣، سو وآخرون، ٢٠٠٦) وفي النظم الإيكولوجية للمياه العذبة كانت منخفضة (برنامج الرصد والتقييم لمنطقة القطب الشمالي AMAP، ٢٠٠٤).

المستويات الموجودة في البيئة البرية للقطب الشمالي (كما في ذلك الحيوانات اللاحمة) أكثر انخفاضاً مما هي في القسم البحري ومفترساته. ومع ذلك، فقد اكتشفت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في دهون ذكور الثعالب القطبية الشمالية (نحو ٨١٠ نغ/غ بوزن الجسم غير الجاف) في الاسكا (AMAP، ٢٠٠٤) واكتشفت أعلى مستويات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني في الدببة القطبية في مجموعات الدببة ببحر بيوفورت (نحو ٧٧٠ نغ/غ بوزن الجسم غير الجاف في الدهون). واستأثرت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا بـ ٩٣٪ من بقايا سداسي كلور حلقي الهكسان التقني.

واستقلاب سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا محدود للغاية في الطيور البحرية بالقطب الشمالي، ومن ثم فإن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا تُكتشف بسهولة أكثر مما تكتشف مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا - وسداسي كلور حلقي الهكسان - غاما. غير أن التركيزات تتفاوت بصورة ملحوظة فيما بين الأنواع تبعاً للوضع التغذوي والهجرة. وقد لوحظت مستويات أكثر ارتفاعاً من سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في المنطقة القطبية لأمريكا الشمالية على مقربة أكثر من آسيا حيث استخدمت مؤخراً هناك مادة سداسي كلور حلقي الهكسان التقني. وكانت مستوياتها تقل عن ١ نغ/غ في أنسجة الطيور و ٣٠ نغ/غ بالوزن غير الجاف في البيض (AMAP، ٢٠٠٤).

وفيما يتعلق بالاتجاهات الزمانية، فقد ظهر أن مستويات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في الطيور البحرية، والفقمات الحلقيه والدببة القطبية قد ارتفعت، بينما لم تظهر فروق على البلوغاس من ١٩٨٢ إلى ١٩٩٧ (AMAP، ٢٠٠٤).

أشارت التقارير إلى أن المتحصل اليومي من قيم سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا لعامة السكان في وجبات البالغين في الفترة من ١٩٨٦-١٩٩١ في الولايات المتحدة الأمريكية قد قل عن ٠,٠٠١ ميكروغرام/كغ/يومياً. وكان متوسط تركيز سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في ٢٣٤ غذاءً من الأغذية الجاهزة للأكل هو ٠,٠٠٢٧ ميكروغرام/كغ (ولم تتوفر معلومات حول أساس حساب هذه التركيزات، الوكالة المعنية بسجلات المواد السمية والأمراض (ATSDR)، ٢٠٠٥). وفي الدراسة الكلية على نظام التغذية التي أجرتها فدا USFDA في ٢٠٠٣ على ١٠٠ بند غذائي، اكتشفت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في ١٢ بنداً منها (مقدمة إلى معلومات المرفق هاء من جانب الشبكة الدولية للقضاء على الملوثات العضوية الثابتة IPEN، ٢٠٠٧). وفي الولايات المتحدة الأمريكية كان متوسط المتحصل اليومي من سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا أقل من ٠,١-٠,٤ نغ/كغ من وزن الجسم تبعاً للفئة العمرية) أثناء السنوات ١٩٨٢-١٩٨٤، وكان يقل عامة عن ٠,١ نغ/كغ بوزن الجسم أثناء السنوات من ١٩٨٦ - ١٩٩١ (الوكالة المعنية بسجلات المواد السمية والأمراض، ٢٠٠٥). وفي دراسة إجمالية على النظام الغذائي وردت من كندا (١٩٩٣ - ١٩٩٦)، تم الإبلاغ عن متوسط متحصل يومي في الغذاء قدره ٠,٣٩ نغ/كغ بوزن الجسم - سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا (EFSA، ٢٠٠٥) وفي المنتجات الغذائية المحتوية على دهون، وصلت هذه المستويات إلى ٠,٠٣ مغ/كغ (دهن) ولكن اكتشفت مستويات في منتجات الألبان وصلت إلى ٤ مغ/كغ (منظمة الصحة العالمية، ٢٠٠٣). أما هذه المستويات في الأغذية في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا فأخذت في التناقص. ودراسات المتحصل النموذجي من الأغذية هي دراسات شحيحة. فقد أجريت دراسة في الجمهورية التشيكية. وانخفضت قيم المتحصل المتوسطة بالنسبة لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا من ٨,٤ نغ/كغ وزن الجسم في ١٩٩٤ إلى ٢,١ نغ/كغ بوزن الجسم في ٢٠٠٢ (EFSA، ٢٠٠٥) وأظهرت دراسة تغذوية من أسبانيا متحصلات مرتفعة يومية قدرها ٠,١ مغ سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا (يوريتا وآخرون ١٩٩٦). واشتملت عينة محلية من السمك والقواقع من الهند على ٠,٠٠١ و ٠,٠٢ مغ سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا/كغ بالوزن غير الجاف على التوالي (نير وبيلاي، ١٩٩٢). ونظراً للتجارة العالمية في المواد الغذائية، فإن مكونات العلف والمنتجات الغذائية من المناطق التي لا زالت تستخدم فيها أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني أو استخدمت فيها حتى وقت قريب، والتي يفترض أن تكون أكثر تلوثاً، يمكن أن تستوردها البلدان التي تم التخلص التدريجي فيها من سداسي كلور حلقي الهكسان التقني.

وتوجد وثائق عن وجود مستويات عالية من سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا لمنطقة القطب الشمالي (AMAP، ٢٠٠٤) وقد تم تحليل أغذية الكفاف الموجودة لدى مجموعات السكان المحلية من السنوات ١٩٩٠-٢٠٠١ للكشف عن مجموع سداسي كلور حلقي الهكسان التقني لأجل تقدير المتحصلات من الأغذية من جانب السكان الأصليين. وقد وجدت أعلى التركيزات في الثدييات البحرية من الحيتان (٣٩١ نغ/غ). والفقمات (٢١٥ نغ/غ). وقد تم توثيق تركيزات عالية للفظّ (Walrus) (٢٠ نغ/غ) والسمك الأبيض (٢٠ نغ/غ) والسلمون (٢٦ نغ/غ). واشتمل التوت البري على ١٠ نغ/غ والبط على ٧ نغ/غ لم يحدد إذا كانت القيم الواردة مبنية على أساس الجسم بأكمله أو على أساس الدهون (وكالة حماية البيئة الأمريكية (USEPA، ٢٠٠٦).

٢-٣-٤ التركيزات في الجسم

١-٤-٣-٢ السكان بصفة عامة

إن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا هي أكثر أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان التقني انتشاراً في الأنسجة الدهنية للإنسان. ونصف عمر سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا عقب التعرض لها بالاستنشاق في الجسم هو ٧,٢ - ٧,٦ سنوات (ATSDR، ٢٠٠٥). وقد دلت دراسات الرصد الأحيائي للإنسان في الولايات المتحدة الأمريكية على أن المستويات المتوسطة لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في عينات الأنسجة الدهنية انخفضت مع الوقت (٠,٤٥ جزء في المليون في ١٩٧٠ إلى ٠,١٦ جزء في المليون منذ ١٩٨١) (ATSDR، ٢٠٠٥).

وكشفت مقارنة بين أقسام الجسم عن مستويات متوسطة قدرها ٠,١٣ نغ/غ في الدم ككل و ١٨ نغ/غ في الأنسجة الدهنية (ATSDR، ٢٠٠٥). وطبقاً لنتائج التقارير الوطنية عن التعرض للمواد الكيميائية البيئية، فإن تركيزات مصلى سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا لدى السكان في الولايات المتحدة الأمريكية آخذة في التناقص منذ ١٩٧٠. وبالنسبة لجميع الفئات العمرية التي أجري عليها الاختبار (١٢ سنة فأكثر)، انخفضت نسبة الـ ٩٥ في المائة من تركيزات مصلى سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا على أساس الدهن - الوزن من ٦٨,٩ خلال السنوات ١٩٩٩-٢٠٠٠ إلى ٤٣,٣ نغ/غ في السنوات ٢٠٠١-٢٠٠٢. أما مستويات التركيز (٢٠٠١/٢٠٠٢) في الإناث فكانت أعلى (٥٤,٥ نغ/غ) عن الذكور (٢٩,٢ نغ/غ). ووجدت أعلى مستويات التركيز في الأمريكيين المكسيكيين (٨٤,٤ نغ/غ). ووجدت مستويات منخفضة متقاربة من ذلك في الفئة العمرية ١٢-١٩ سنة (٨,٤٤ نغ/غ) (CDC، ٢٠٠٥) ولوحظت زيادات مرتبطة بالعمر في مستويات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في العديد من الدراسات، ووثقت بواسطة اللجنة الألمانية للرصد البيولوجي (إيوارز وآخرون، ١٩٩٩).

وبالمثل، اكتشفت تركيزات مرتفعة في عينات من مصلى دم الإنسان من رومانيا. واكتشفت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في جميع العينات (n=142) مع وجود تركيز متوسط قدره ٩٢٣ نغ/غ في الدهون (يتراوح بين ٣٨-١١٦٩٠ نغ/غ) (ديرتو وآخرون، ٢٠٠٦). وجاء في التقارير وجود تركيزات في الهند نتيجة للاستخدام الزراعي وأنشطة مكافحة الماريا. وقد اشتملت عينات مصلى الدم من الهند على ما يصل إلى ٠,٠٢ مغ من سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا/١، بينما اشتملت الأنسجة الدهنية على قدر يصل إلى ٠,١٨ مغ/كغ (نير وبيلاي، ١٩٩٢).

٢-٣-٤-٢ السكان الأصليون

بلغت تركيزات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في عينات مصلى الدم من مختلف المناطق والمجموعات العرقية من الأمهات الأصليين في منطقة القطب الشمالي ٠,٠٤ - ٠,١١ ميكروغرام/١ (كندا)، ٠,٠٧ - ٠,٥٦ ميكروغرام/١ (غرينلاند)، ٠,١٢ - ٠,٥٣ ميكروغرام/١ (الاسكا)، ٠,٣١ - ٣,١ ميكروغرام/١ المنطقة الروسية بالقطب الشمالي (أقصى مستوى: ١١,٦ ميكروغرام/١)، ٠,١٦ - ٠,٢١ ميكروغرام/١ (آيسلندا)، ٠,٠٥ - ٠,٠٩ ميكروغرام/١ (النرويج، فنلندا والسويد)، ٠,١١ ميكروغرام/١ من جزر فارو (AMAP، ٢٠٠٤)، والقيم مقدمة كمتوسطات هندسية، باستثناء ألاسكا التي أعطيت متوسطاً حسابياً). وقد وردت تقارير بشأن أعلى التركيزات في عينات الدم لدى السكان الأصليين في المنطقة الروسية القطبية.

أما الفحوصات المقارنة لدم الولادة ودم المشيمة من الأمهات الأصليّات للكشف عن سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في المنطقة القطبية الروسية فقد اعتمدت بدرجة كبيرة على المنطقة السكنية. ووجد أن الأمهات ذوات أعلى درجة من التعرض (في منطقة شوكتسكي) بلغت تركيزات هذه المادة في دمهن (ميكروغرام/مصل، متوسط هندسي ونطاق) قدره ٢,٠ (٦,٦-٠,٦) ميكروغرام/١ بينما احتوى دم المشيمة على ٠,٨ (لاشيء - ٨,٠) ميكروغرام/١ (AMAP، ٢:٢٠٠٤). ويمكن أن يعزى التفاوت في تركيز هذه المادة في جسم السكان الأصليين إلى المصادر المحلية إلى جانب الأشكال المتنوعة من استهلاك الأغذية البحرية المحلية (AMAP، ٢:٢٠٠٤).

٢-٣-٥ تعرض الأطفال

يكون الأطفال في مراحل نمو محددة أكثر تعرضاً للمواد الكيميائية من اليافعين. وليس من المعروف إذا كان الأطفال أكثر حساسية من اليافعين للتأثيرات الصحية التي تنجم عن التعرض لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا. إن انتقال سداسي كلور حلقي الهكسان التقني عن طريق المشيمة لدى الإنسان موثق توثيقاً جيداً (ATSDR، ٢٠٠٥؛ فالكون وآخرون، ٢٠٠٤؛ شين وآخرون، ٢٠٠٦). ومادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا مُحبة للدهون وتتراكم في الأنسجة الدهنية وفي لبن الأمهات. وهذا مصدر آخر مُهم للتعرض بالنسبة للأطفال (USEPA، ٢٠٠٠). قد أدرجت دراسات عديدة تتعلق بسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في لبن الأمهات في الجدول ٢. ويمكن التذليل على أنه بسبب القيود على الاستخدام تأخذ التركيزات في الانخفاض.

ويمكن استخلاص نتيجة مفادها أن تركيزات مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في لبن الأم ترتبط بدرجة كبيرة بالتعرض. فبينما تكون التركيزات في بعض المناطق منخفضة جداً، أي ١٣ نغ/غ في بولندا، فإنها تكون مرتفعة جداً في مناطق أخرى مثل روسيا، وأوكرانيا، ورومانيا (تصل إلى أكثر من ٨٠٠ نغ/غ). ويمكن أن نتوقع بصفة عامة أن تكون التركيزات في أوروبا الشرقية والبلدان النامية لا تزال شديدة الارتفاع. وقد أبلغ عن تركيزات مرتفعة، بصفة خاصة، في الهند والصين (وونغ وآخرون، ٢٠٠٢). وأبلغ عن مستويات بالغة الارتفاع في أجساد جامعي القطن في باكستان (اليونيب، ٢٠٠٣).

ونتيجة للتراكم الأحيائي في شبكة الأغذية بالمنطقة القطبية الشمالية، فقد وجدت تركيزات عالية في لبن أئداء الأمهات الأصليّات في أقاليم القطب الشمالي.

الجدول ٢ تركيزات سداسي كلور حلقي الهكسان بيتا في لبن الأم

السنة	مراجع	تعليقات	المستويات (على أساس وزن الدهن)	البلد/المنطقة
١٩٨٤	فيرست وآخرون في EFSA ٢٠٠٥	بداية برنامج الرصد ١٩٨٤	٠,١٢ مغ/كغ	ألمانيا
٢٠٠١	فيرست وآخرون في EFSA ٢٠٠٥	رصد متواصل منذ ١٩٨٤	٠,٠٢ مغ/كغ	ألمانيا
١٩٩١	هيرنانديز وآخرون في وونغ ٢٠٠٢	عينة ٥١	٠,٢٤ ميكروغرام/غرام	أسبانيا
١٩٩٢	ميس ومالكولم ATDSR، ٢٠٠٥	تركيز أقل: السكان بالقرب من البحيرات الكبرى	٠,٦ - ٠,٨ نغ/غ	كندا
١٩٩٢	نيوسوم وريان في وونغ، ٢٠٠٢	عينة ٤٩٧	٠,٠٢ ميكروغرام/غرام	كندا
١٩٩٢	بومغارتن وآخرون، في وونغ ٢٠٠٢	عينة ٤٠	٠,٢٧ ميكروغرام/غرام	البرازيل

السنة	مراجع	تعليقات	المستويات (على أساس وزن الدهن)	البلد/المنطقة
١٩٩٣	بولدر وآخرون في ديرتو، ٢٠٠٦	١٥ عينة	٨٥٣ نغ/غ	مورمانسك روسيا
١٩٩٣	بولدر وآخرون في ديرتو، ٢٠٠٦	١٥ عينة	٧٤٠ نغ/غ	نونشيغروسك روسيا
١٩٩٤-١٩٩٣	غلادين وآخرون في ديرتو، ٢٠٠٦	٢٠٠ عينة	٧٣١ نغ/غ	أوكرانيا
١٩٩٤-١٩٩٣	سكولا وآخرون، في ديرتو، ٢٠٠٦	١٧ عينة	٧١ نغ/غ	الجمهورية التشيكية
١٩٩٤	هوبر وآخرون، في وون، ٢٠٠٢	٣٣ - ٧٦ عينة	٢,٢١ ميكروغرام/غرام	كازاخستان
١٩٩٥-١٩٩٤	كلوبوف وآخرون ١٩٨٠، ٢٠٠٠ في AMAP ٢٠٠٤	برنامج تقييم الرصد للقطب الشمالي	١٤٢-٤٠ ميكروغرام/ كيلوغرام (وسائل هندسية)	روسيا السيبيرية
١٩٩٥-١٩٩٤	بولدر وآخرون في AMAP ٢٠٠٤	برنامج تقييم رصد للقطب الشمالي	٤٠١-١٢٠ ميكروغرام /كيلوغرام (متوسطات هندسية)	شمال روسيا
١٩٩٥	كينساي وآخرون في وونغ، ٢٠٠٢	٦٠ عينة	٠,٣٥ مغ/كغ	أستراليا
١٩٩٦	إيجوري وغيرهم في ATDSR ٢٠٠٥	-	٠,٢٥ - ٠,٠٠٥ مغ/كغ	أفريكا، أوغندا
١٩٩٧	بانرجي وآخرون في وونغ، ٢٠٠٢	دهي، الفئة العمرية عينات ٦١، ٣٠-٢٠	٨,٨٣ مغ/كغ	الهند
١٩٩٧	دوا وآخرون في ATDSR، ٢٠٠٥	منطقة خاضعة لمكافحة الملاريا	٠,٠٧٨ - ٠,٠٢٢ مغ/كغ	الهند
١٩٩٨	ماسود وبارفين، ١٩٩٨ لدى برنامج الأمم المتحدة للبيئة، ٢٠٠٣	جامعو القطن	صفر - ٠,٩٠ مغ/كغ	باكستان
١٩٩٨	كينيامو وآخرون	سكان الحضر	٠,٠٨٣٠ - ٠,٠٢٦ مغ/كغ	نيروبي، كينيا
١٩٧٢	كونشي وآخرون ٢٠٠١	الاستخدام التقديري في اليابان ٤٠٠ ٠٠٠ طن	٥,٤٣ ميكروغرام/غرام	اليابان، أوساكا
١٩٩٨	كونشي وآخرون، ٢٠٠١	حظر مركبات الكلور العضوي في السبعينات	٠,٢١ ميكروغرام/غرام	اليابان، أوساكا
٢٠٠٠	كوفاتشي وآخرون، في ديرتو، ٢٠٠٦	١٩ عينة	٦٤٠ نغ/غ	رومانيا، آساي
٢٠٠٠	كاجكا وهاجسلوفا في ديرتو، ٢٠٠٦	٤٣ عينة	٥٦ نغ/غ	الجمهورية التشيكية
١٩٨٥	وونغ وآخرون، ٢٠٠٢	استخدام زراعي غير مراقب	١٥,٩٦ ميكروغرام/غرام	الصين هونج كونج
١٩٩٩	وونغ وآخرون، ٢٠٠٢	١١٥ عينة	٠,٩٥ ميكروغرام/غرام	الصين هونج كونج
٢٠٠٠	وونغ وآخرون، ٢٠٠٢	٥٤ عينة	١,١١ ميكروغرام/غرام	الصين غوانغزو
٢٠٠٣	أردورال وآخرون، في ديرتو، ٢٠٠٦	٣٧ عينة	١٤٩ نغ/غ	تركيا
٢٠٠٤	جاراكزويسكا وآخرون، في ديرتو ٢٠٠٦	٢٢ عينة	١٣ نغ/غ	بولندا
٢٠٠٦	دامغارد وآخرون	حالات/ضوابط دراسة عن اختفاء الحصيتين	١٢,٢٩/١٣,٦٤ نغ/غ	السويد كوبنهاغن

٢-٣-٦ معلومات عن التوافر الأحيائي

ترتبط مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا بصورة معتدلة بالمادة العضوية في البيئة. وقد تم توثيق امتصاص النباتات لهذه المادة، وبقاياها في الكتلة النباتية الحية، وكذلك الأعذية والأعلاف (ويليت وآخرون، ١٩٩٨؛ ATSDR، ٢٠٠٥؛ EFSA، ٢٠٠٥). وعلى الرغم من أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا لا يفترض فيها الحركة العالية في التربة، فقد حدثت حالات تلوث المياه الجوفية بها في الماضي (HSDB، ٢٠٠٦).

أما في الحيوانات، فتتراكم مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا انتقائياً في أنسجة معينة (مثل الكبد، والعضلات، والشحم) ثم تضر بالعديد من الأعضاء (ويليت وآخرون، ١٩٩٨). ويمكن استنتاج أن سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا متوافرة أحياناً في البيئة وفي الحيوانات (biota).

٢ - ٤ تقييم المخاطر بالنسبة للنتائج النهائية المثيرة للقلق

٢-٤-١ صحة الإنسان

أُخذت معظم المعلومات المتعلقة بسمية سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا من الدراسات التجريبية. ومع مقارنتها باللندين تكون البيانات عنها متوافرة ولا سيما فيما يتعلق بالبيانات البشرية، وذلك لأن التعرض المهني يحدث بالدرجة الأولى مع سداسي كلور حلقي الهكسان التقني ومع اللندين.

وتتوافر دراسات عن السمية الحادة/وقصيرة الأجل عن طريق الفم، ودراسات السمية المزمنة ودون المزمنة عبر الفم مع وجود عدد محدود من الدراسات عن التأثيرات الخاصة بالتكاثر. ولا تُجرى دراسات عن سمية سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا عن طريق الاستنشاق والاستعمال الجلدي. وهناك نقص في البيانات المتعلقة بالجرعة - والاستجابة عقب التعرض لهذه المادة عن طريق الفم في جميع الأنواع ذات الصلة. وبالنسبة لبيان المخاطر هذا فإن أهم النتائج المتعلقة بتقييم المخاطر قد تم استعراضها. وإجراء المزيد من الدراسات والتفاصيل ينبغي الرجوع إلى البيانات الأكثر شمولاً عن السمية (IPCS، ١٩٩٢؛ ATSDR، ٢٠٠٥؛ USEPA، ٢٠٠٦).

السمية الحادة/السمية العصبية: ونطاق التركيز للتأثيرات السمية الحادة المميتة - طبقاً لـ IPCS (١٩٩٢) - ١٥٠ مغ/كغ إلى أكثر من ١٦ ٠٠٠ مغ/كغ لدى الفئران الصغيرة ٦٠٠ مغ/كغ إلى أكثر من ٨٠٠ مغ/كغ في الفئران الكبيرة. وتؤثر أعراض السمية الحادة بصورة رئيسية في الجهاز العصبي: التهيج، والتقوس في الجلوس، والفرو الحشن، وصعوبة التنفس، وفقدان الشهية، والتشنجات والتقلصات والعُقَال.

السمية شبه المزمنة: في دراسة مدتها ١٣ أسبوعاً أجريت على الفئران، تم بحث تأثيرات التعرض الفمي لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في غذاء منظم بمقدار صفر، ٢، ١٠، ٥٠، ٢٥٠ مغ/كغ). وقد لوحظت تأثيرات كبدية لدى جميع مجموعات الجرعات. وفي أعلى جرعة تعرضت للاختبار (٢٥٠ مغ/كغ في النظام الغذائي) نفق نصف الحيوانات عقب حدوث الترتُّخُ والخمول المتزايد والإغماء. واشتملت التأثيرات الملحوظة على إعاقة النمو، وانخفاض عدد كريات الدم الحمراء والبيضاء وتزايد أنزيمات الكبد والتأثيرات الكبدية (ازدياد حجم العضو، وتضخم كيس الفصيص المركزي للكبد). وتناقص وزن الغدة الصعترية thymus (٥٠-٢٥٠ مغ/كغ) كما لوحظ ضمور الخصيتين. أما الإناث فظهرت عليها أعراض ضمور البويضات مع اختلال تكون البويضات والتكثير النسيجي البؤري وكذلك التغيرات في تَبْدُل الجِلْبَلَة لظاهرة الغشاء المبطن للرحم التي فسرت كفعل استروجيني محتمل لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا (فان فيلسون

وآخرون ١٩٨٦). وتم تحديد مستوى تأثير ضار غير ملاحظ NOAEL يعادل (صفر - ١ مغ/كغ وزن الجسم/يومياً) (٢٠٠٥، EFSA؛ ١٩٩٢، IPCS).

السُّمِّيَّة المزمَنة: أُجريت دراسة على المدى الطويل (٥٢ أسبوعاً) على الفئران الكبيرة التي وضع في غذائها جرعات من سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا مقدارها صفر، ١٠، ١٠٠، ٨٠٠ مغ/كغ (أي ٥، ٥، ٤٠ مغ/كغ بوزن الجسم/يومياً) فأدى ذلك إلى تضخم الكبد وتغيرات في الأنسجة. وقد نفقت جميع هذه الحيوانات تقريباً. وكان أدنى مستوى تأثير - ملاحظ لها هو ١٠ مغ/كغ في وجبات الغذاء. (فيتزهو وآخرون، ١٩٥٠).

وقد أُجريت دراسة على تكاثر الفئران الكبيرة طوال جيلين بتعريضها لوجبات غذائية تشتمل على ١٠ مغ/كغ إلى ازدياد معدل النفوق وعدم الخصوبة. ووصل مستوى التأثير الضار غير الملاحظ (NOAEL) إلى ٢ مغ من سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا/كغ في الوجبة (ما يعادل ١، ٠ مغ/كغ بوزن الجسم/يوم) (فان فيلسين في IPCS، ١٩٩٢).

السمية الجينية: لم تُحدث مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا تأثيرات طفوية على البكتريا (سلالات سالمونيلا تيفيموريوم TA 1537، TA1535، TA100، TA98) مع حدوث أو عدم حدوث تنشيط أبيض، ولم تُحدث تلفاً في الحامض النووي DNA للبكتريا. وقد شوهدت نتائج إيجابية في دراسة على الزيغ الصبغي في نخاع عظام الفئران الكبيرة (EFSA، ٢٠٠٥).

السرطنة: محدودة تلك الدراسات التي تناولت القابلية للسرطن بفعل سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا. وقد أُجري العديد من الدراسات على الفئران، بيد أنها محدودة القيمة. فمن ناحية كانت الفترة التي استغرقتها جُداً قصيرة بسبب ارتفاع نفوق هذه الفئران، ومن ناحية أخرى لم توجد تقييمات لأمراض أنسجة الجسم، وكانت الدراسات على الفئران الكبيرة غير كافية نتيجة لارتفاع معدل نفوقها وانخفاض أعدادها.

إن إجراء دراسة واحدة عن الفئران تكفي لإجراء تقييم القابلية للسرطن من جراء سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا. فكان وضع ٢٠٠ مغ/كغ من سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في الوجبات (ما يعادل ٤٠ مغ/كغ بوزن الجسم/يوم) لمدة ١١٠ أسابيع قد أدى إلى تضخم الكبد، وإلى تغيرات تتمثل في فرط النمو الجَزَعِي (hyperplastic) وإلى زيادة في الأورام الحميدة وغير الحميدة في الجُرْدُ المعرضة.

وفي دراسة استمرت ٣٢ أسبوعاً حيث قدمت جرعات مقدارها صفر، ١٠٠، ٣٠٠، ٦٠٠ مغ/كغ في الوجبة للجُرْدُ، لوحظت السمية الكبدية، والتكاثر اللانمطي في جميع مجموعات الجرعات (١٩٩٢، IPCS). وفي دراسة استمرت ٢٤ أسبوعاً حيث قدمت جرعات مقدارها صفر، ٥٠، ١٠٠، ٢٠٠، ٥٠٠ مغ سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا كغ/وجبة، لوحظ حدوث أورام كبدية، ونمو جزعي حبيبي في المجموعة التي تناولت الوجبة ذات الجرعة الأعلى (١٩٩٢، IPCS). وفي دراسة مدتها ٢٦ شهراً لوحظ ظهور سرطان الكبد مع الجرعة اليومية ومقدارها ٣٤ مغ/كغ (ATSDR، ٢٠٠٥). واستناداً إلى هذه البيانات تم تصنيف النظام المتكامل للمعلومات عن المخاطر IRIS لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا كمسرطن محتمل للإنسان.

أما الدراسات التي أُجريت عن طريقة عمل القابلية للإصابة بالسرطان فلم تكشف عن دالة بدء واضحة لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا. ففي إحدى الدراسات ظهر الفعل المسرطن للكبد لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا مع نثائيات الفينيل متعددة الكلور كعامل حفاز (ATSDR، ٢٠٠٥). وقد أُقترح أن الاستجابة الورمية التي لوحظت مع

سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا تحدث على أرجح الاحتمالات نتيجة لآلية غير جينية سُمِّية (IPCS، ١٩٩٢). وقد ظهر أن لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا نشاط مخفز للأورام.

صنفت الوكالة الدولية لبحوث السرطان (IARC) سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في المجموعة ٢ باء: قرائن محدودة على قابلية الإصابة بالسرطان. وقد لوحظ ارتباط إيجابي بين التعرض لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا والسرطان/ الذي يقوم الفريق العامل ببحث تفسير غير رسمي له لكي يضيف عليه مصداقية، إلا أن الصدفة والتحيز أو الخلط لا يمكن استبعادها بدرجة معقولة من الثقة. وقد صنفت الوكالة الأمريكية لحماية البيئة USEPA سداسي كلور حلقي الهكسان التقني وسداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا التقنيين كمسرطنين محتملين للإنسان، وصنفت سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا كمسرطن محتمل للبشر (ATSDR، ٢٠٠٥). وقد قررت إدارة الصحة والخدمات البشرية في الولايات المتحدة (DHHS) أن (جميع أيزومرات) سداسي كلور حلقي الهكسان التقني يتوقع لها منطقياً أن تسبب في السرطان لدى البشر (ATSDR، ٢٠٠٥).

السُمِّية عن طريق الغدد الصماء: ورد وصف للتغيرات الخسفية في أنسجة الأجهزة التناسلية وشذوذ الحيوانات المنوية للفئران الكبيرة والصغيرة (ATSDR، ٢٠٠٥). وفي دراسة مدتها ١٣ أسبوعاً قدمت وجبات تحتوي على جرعات قدرها صفر، و٥٠، و١٥٠ مغ من سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا/كغ إلى فئران ويستار. وعند تناول وجبات بها ١٥٠ مغ/كغ، حدث ضمور للخصيتين لدى الذكور كما أبلغ عن زيادة في وزن الرحم لدى الإناث ونقص كبير في الزيادات الوزنية (IPCS، ١٩٩٢). وأظهرت العديد من الدراسات الأخرى تأثيرات مثل انخفاض أعداد الحيوانات المنوية وحدوث حالات شاذة في الحيوانات المنوية وكذلك تأثيرات في أنسجة الخصيتين والمهبل عند التعرض لجرعات عالية من سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا (USEPA، ٢٠٠٦).

وقد أظهرت دراسات أجريت على الحيوانات، ودراسة على خلايا MCF-7 تأثيرات استروجينية ضعيفة ناتجة عن التعرض لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا.

السُمِّية التناسلية: لوحظت تأثيرات تناسلية ضارة عقب المعالجة بسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا وذلك في قوارض المختبرات والمينك (ضمور البويضات، وطول فترة الدورة الشبقية، واختلال دورات التبويض، وانخفاض معدل التبويض لدى الإناث، وانخفاض عدد الحيوانات المنوية وضمور الخصى لدى ذكور الحيوانات). ولوحظ كذلك حدوث تأثيرات سُمِّية على الأجنة (ATSDR، ٢٠٠٥). وقد وجد أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا تزيد من حالات الهلاك خلال ٥ أيام من الولادة عند جرعة قدرها ٢٠ مغ/كغ/يوم أعطيت إلى إناث الفئران (USEPA، ٢٠٠٦).

السُمِّية لجهاز المناعة: أظهرت الفئران الصغيرة التي عوملت بسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا (٦٠ مغ/كغ/يوم) عن طريق الفم لمدة ٣٠ يوماً استجابات ليمفاوية تكاثرية منخفضة على محرضات الانشطار الفتيلي للخلايا - تاء T-cell وانخفاضاً في النشاط القاتل الطبيعي لحل الخلايا. وكان مستوى التأثير الضار غير الملاحظ هو ٢٠ مغ/كغ/يوم (USEPA، ٢٠٠٦). ولوحظ حدوث ضمور قشرة الغدة الصعترية عند الجرعة ٢٢،٥-٢٥ مغ/كغ/يوم (فان فيلسين وآخرون، ١٩٨٦).

التأثيرات على الإنسان: تم الإبلاغ عن تأثيرات سلبية مثل الاختلالات العصبية الفسيولوجية والعصبية النفسية والاضطرابات المعوية لدى العمال المعرضين لسداسي كلور حلقي الهكسان التقني أثناء عمل تركيبات مبيدات الآفات والأسمدة. وعلى الرغم من أن سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا هي مجرد مكون ضئيل لسداسي كلور حلقي الهكسان

من الدرجة التقنية، فإنه وصل إلى مستويات أعلى واستمر وقتاً في المصل أطول من استمرار سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا أو سداسي كلور حلقي الهكسان - غاما. وكانت نسبة ٦٠-١٠٠٪ من مجموع سداسي كلور حلقي الهكسان المقاسة في المصل لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا (٠,٠٧-٠,٧٢ جزء من المليون). وقد عانى العمال من تَنَمُّلُ الوجه والأطراف، والصداع والدوران، وانحراف الصحة، القيء، والارتعاش، والخوف، والاضطراب، وفقدان النوم، وقصر الذاكرة وفقدان الرغبة الجنسية. وارتفعت مستويات أنزيمات المصل وكذلك (ATSDR، ٢٠٠٥). إن استنشاق سداسي كلور حلقي الهكسان (الأيزومرات المترجحة قد تؤدي إلى تهيج الأنف والحجرة (IPCS، ٢٠٠٦). كما أن ملاحظة تأثيرات كبدية خطيرة في الحيوانات (مثل التدهور الدهني والنخر necrosis) توحى بأن نفس هذه النتائج يجتمل أن تحدث للعمال عقب تعرضهم المهني الطويل لهذه المادة.

وكانت مستويات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا أعلى في دم النساء اللواتي أُجهضنَ مقارنة بمجموعة المقارنة وكان العديد من المبيدات الكلورية العضوية مرتفعة هي الأخرى لدى هاتييك النسوة، ومن ثم لم يكن في الإمكان تحديد علاقة غير رسمية. (غير هارد، ١٩٩٩).

وقد أُجري العديد من الدراسات على الصلة المحتملة بين تعرض الإنسان لسداسي كلور حلقي الهكسان وسرطان الثدي. وقد دلت معظم الدراسات على وجود ترابط ضعيف - ليس له أهمية كبيرة. ومن الناحية الإحصائية لوحظ اتجاه غير ذي بال بين سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في المصل وبين خطر السرطان من خلال متابعة لمدة ١٧ عاماً لدراسة على جماعة/جماعات في كوبنهاجن (هوير وآخرون، ١٩٩٨). وكانت مستويات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا أعلى في دم النساء المصابات بسرطان الثدي (في مجموعة الفئة العمرية من ٣١-٥٠ عاماً) وذلك مقارنة بالنساء غير المصابات بسرطان الثدي (ماتور وآخرون، ٢٠٠٢). وفي إحدى الدراسات الصينية (مقالة باللغة الصينية) لوحظ ارتباط مهم بين تركيزات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في الدم، وسرطان الثدي لدى النساء قبل انقطاع الطمث لديهن. وفي دراسة أخرى، تم فحص الارتباط بين تركيزات العديد من مبيدات الآفات الكلورية العضوية ومن بينها سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا لبن الثدي، واختفاء الخصيتين، وكانت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا قابلة للقياس، ولكن غير مرتفعة بصورة مهمة من الناحية الإحصائية في لبن الحالات المعنية عنها في لبن القياس. وقد دل تحليل إحصائي تجميعي لثمانية مبيدات آفات ثابتة متوافرة من بينها سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا على أن مستويات مبيد الآفات هذا في لبن الثدي أعلى لدى الصبية الذين رضعوه وأنهم يعانون من اختفاء الخصيتين (دامغارد وآخرون، ٢٠٠٦).

٢-٤-١-١ توصيف المخاطر

أجرت وكالة حماية البيئة لدى الولايات المتحدة الأمريكية (USEPA) في عام ٢٠٠٦ تقييماً للمخاطر أشار إلى احتمال حدوث المخاطر من جراء التعرض لأيزومري سداسي كلور حلقي الهكسان - ألفا وسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا للمجتمعات المحلية في ألاسكا ولآخرين في المنطقة المدارية المحيطة، التي تعتمد على أغذية الكفاف مثل الكاريبو وعجل البحر والحوت. ويعتمد البرنامج الغذائي (المعدلات المتحصل عليها من الغذاء) على مقادير أغذية الكفاف لنحو ١٨٠ مجتمعاً محلياً من نسخة قاعدة بيانات شكل المجتمعات المحلية ٣ - ١١ بتاريخ ٢٧/٣/٢٠٠١ المأخوذة من إدارة ألاسكا، شعبة الأسماك ولحوم الصيد التي يتقوت عليها السكان هناك (بيانات من ١٩٩٠-٢٠٠١، USEPA، ٢٠٠٦).

وقدرت وكالة حماية البيئة الأمريكية USEPA حالات تعرض المجتمعات المحلية في ألاسكا لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا بأنه يتراوح بين ٠,٠٠٠٤٣ - ٠,٠٠٠٣٢ مغ/كغ وزن الجسم/اليوم للإناث البالغات ومن ٠,٠٠١٤ - ٠,٠١٠ مغ/كغ وزن الجسم/اليوم للأطفال (عمر ١ - ٦) يتراوح بين ٠,٠٠٠٤٨ و ٠,٠٠٣٦ مغ/كغ وزن الجسم/اليوم لدي الأطفال الذين (تتراوح أعمارهم بين ٧ - ١٢). ويُعبّر عن المخاطر بنسبة مئوية للجرعة القصوى المقبولة أو الجرعة المرجعية، ويثور مستوى معين من القلق إذا تجاوزت المخاطر التغذوية ١٠٠٪ من الجرعة المرجعية. والجرعة المرجعية للسّمية الحادة عن طريق الفم هي ٠,٠٥ مغ/كغ/يوم. أما قيمة الجرعة المرجعية للفترة الوسيطة فتعتمد على أدنى مستوى تأثير ملاحظ (LOAEL) وقدره ٠,١٨ مغ/كغ/يوم تم تحديده في دراسة على الحالات شبه المزمنة لدى الفئران مع تطبيق عامل عدم يقين قدره ٣٠٠ (ATSDR, ٢٠٠٥). وقد حددت USEPA على هذا الأساس جرعة مرجعية مزمنة قدرها ٠,٠٠٠٠٦ مغ/كغ/يوم وذلك عن طريق تقييم عامل عدم يقين آخر قدره ١٠ للتعرض المزمّن. وحسب المعهد الوطني للصحة العامة والبيئة (RIVM) وتدل الجرعة المرجعية المزمنة بالفم بأنها تساوي ٠,٠٠٠٠٢ مغ/كغ/يوم بالنسبة لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا استناداً إلى مستوى عدم وجود تأثير سلبي ملحوظ قدره ٠,٠٢ مغ/كغ/يوم لملاحظات عن عدم الخصوبة في دراستين عن أثر الجرعة شبه المزمنة بالفم على التكاثر في الفئران مع تطبيق عامل عدم يقين قدره ١٠٠٠ (المعهد الوطني للصحة العامة والبيئة، هولندا RIVM، ٢٠٠١ لدى USEPA، ٢٠٠٦).

ويتم الوصول إلى المستويات المقلقة إذا زادت خطورة التغذية على ١٠٠٪ من الجرعة المرجعية. ولا تثير تقديرات التعرض الغذائي الحاد قلقاً، وذلك طبقاً لوكالة حماية البيئة الأمريكية (٢٠٠٦). ويشير تقييم المخاطر الغذائية الذي أجرته وكالة USEPA إلى أن تقديرات التعرض الغذائي المزمّن بالنسبة لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا تفوق المستويات المثيرة للقلق لكل من تقديرات المتحصل المنخفضة والمرفوعة. وطبقاً لوكالة حماية البيئة الأمريكية USEPA، فإن قيم المخاطر (نسبة مئوية من الجرعة المرجعية) هي ٦٢٠-٤٧٠٠ للذكور البالغة، ٧٢٠ - ٥٣٠٠ للإناث البالغة، ٢٣٠٠ - ١٧٠٠٠ للأطفال (١ - ٦ سنوات) ٨٠٠٠ - ٦٠٠٠ (٧ - ١٢ سنة). والخطر التقديري لإصابة الذكور البالغة بالسرطان هو $١٠ \times ٦,٧^{-٤}$ إلى $١٠ \times ٥,٠^{-٣}$ إلى $١٠ \times ٥,٨^{-٣}$ للإناث البالغة على التوالي. ويجب ملاحظة أن خطر السرطان المقبول العام هو ١٠×١^{-٦} . ومع كون هذا التقدير للمخاطر متحفظاً جداً بسبب المستويات الأساسية القصوى التي اكتشفت، فيمكن استنتاج أن المخاطر المرتبطة بنظم التغذية تثير القلق. يضاف إلى ذلك أنه يجب الإشارة إلى أن عضو التسّم المزمن المستهدف هو الكبد، ومن ثم يمكن توقع أن تكون التأثيرات الناجمة عن أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان إضافية. وينبغي أيضاً مراعاة أن الجرعة المرجعية المبنية على التأثيرات التي تلحق بالخصوبة (RIVM، ٢٠٠١ لدى USEPA، ٢٠٠٦) أكثر انخفاضاً بصورة ملحوظة ويمكن تجاوزها حتى مستوى أكبر.

ونظراً لأن سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا موجود في دم الحبل السري (المشيمة) وفي لبن الأم، فإن الأطفال الرضع قد يتعرضون لتأثيرات تناسلية مُتلفة ناتجة عن سداسي كلور حلقي الهكسان داخل الرحم وخارجه (USEPA، ٢٠٠٠).

واستناداً أيضاً إلى دراسة أجراها ناير وآخرون (١٩٩٦) فإن مستويات قدرها ٠,١٩٨ مغ/سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في لبن الأم قد يؤدي إلى متحصل قدره ٠,١٣٨٦ مغ/١ (متحصل قدره ٧٠٠ ملغم) أي ما يزيد مائة مرة عن المتحصل الآمن الذي يقدر بـ ٠,٠٠١٥ مغ/طفل (٥ كغ) و فقط ثلاث مرات أقل من أدنى مستوى تأثير ضار ملاحظ شوهد في الدراسات الحيوانية (Pohl and Tylenda، ٢٠٠٠). إن تحديد قيمة الجرعة المرجعية المزمنة لدى الوكالة الأمريكية USEPA، يجعل المتحصل الآمن لطفل ذي خمسة كيلو غرامات أقل من ذلك (٠,٠٠٠٣ مغ/كغ) وأن يزيد على الجرعة

المرجعية بـ ٤٦٢ مرة. كذلك فإن مستويات المتحصلات من الأغذية وبخاصة لبن الثدي في المناطق الأخرى تثير الكثير من القلق.

وعلى أي حال ينبغي مراعاة القيم الاجتماعية، والثقافية والروحية والاقتصادية الفريدة للأغذية التقليدية، وينبغي بذل جهود قوية لتدنية مستويات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا فيها (كاكار CACAR، ٢٠٠٣).

٢-٤-٢ البيئة

إن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا ذات سُمِّية حادة للكائنات المائية. ومقارنة بالتركيزات المؤثرة لدى الطحالب وبرغيث الماء الغار - (IPCS، ١٩٩٢) تعد الأسماك هي الصنف الأكثر حساسية. فقد حدد تركيز مميث LC، ٥٠ بنحو ١,٧ مغ/١ في اختبار للتأثيرات الحادة (لمدة ٢٤ ساعة) على السمك المخطط وأسماك نيون الملونة (Oliveira - Filho paumgarten، ١٩٩٧). وقد أبلغ البرنامج الدولي للسلامة الكيميائية IPCS (١٩٩٢) عن تركيز فعال - ٥٠ استناداً إلى التغيرات في سلوك الأسماك قدرها ٤٧ ملغم/١ (٩٦ ساعة) وتركيز مميث - ٥٠ في أسماك الغابي Guppy قدره ٩,٠ مغ/١ (٤٨ ساعة). وفي دراسة على السُمِّية الممتدة (مدتها ٤ أسابيع إلى ١٢ أسبوعاً) بما في ذلك التغيرات المرضية في الأنسجة، كان مستوى التركيز غير الملاحظ في أجسام أسماك الغابي الصغيرة ٣٢ ميكروغرام/١ (ويستر وكانتون) (١٩٩١). أما النشاط الأستروجيني لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا فقد حدث في شكل تغيرات في إنتاج المُح (في بلازما الخلية البيضية)، وضمور الخصيتين، والخنوثة في الذكر والتغيرات في الغدة النخامية.

وقد بدا أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا ليست سُمِّية جداً بالنسبة للطيور (IPCS، ١٩٩٢) إلا أنها قد تُضِرُّ بالتكاثر. ففي إناث الطير التي بأجسامها تركيزات عالية من مختلف مركبات الكلور العضوية بما في ذلك سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا، كانت حالة الجسم للفروج الأول والثاني في الحضنة أسوأ (AMAP، ٢٠٠٤).

وقد كشفت بيانات الرصد على التأثيرات في دبية سفالبارد القطبية عن وجود ترابط سلبى مهم بين الريتينول وبوليمرات سداسي كلور حلقي الهكسان (AMAP، ٢٠٠٤). والريتينول ضروري حيث أنه لازم للتكاثر، ولنمو الأجنة غير المُخلَّقة والمُخلَّقة وكذلك من حيث الإبصار والنمو وتنوع الأنسجة والمحافظة عليها.

٣ - توليف المعلومات

إن سداسي كلور حلقي الهكسان التقني، الذي هو مزيج من خمسة أيزومرات لسداسي كلور حلقي الهكسان مستقرة تحتوي على ٥-١٤٪ من سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا، وقد استخدم على نطاق واسع في أنحاء العالم كمبيد آفات مكون من الكلور العضوي.

وعلى الرغم من أن استخدام سداسي كلور حلقي الهكسان التقني ضئيل بدرجة تكاد لا تذكر، فإن اطلاقاته في البيئة قد تستمر في الحدوث. وتشمل المصادر المحلية مواقع النفايات الخطرة، والمواقع الملوثة، والمخزونات، ومواقع طمر النفايات أو أماكن إلقائها. وعلى الرغم من عدم وجود تقديرات كمية لهذه الإطلاقات، فإن مقادير بقايا سداسي كلور حلقي الهكسان في شكل منتجات ثانوية من إنتاج اللدنيين قدرت بما يتراوح بين ١,٦-١,٩ إلى ٤,٨ مليون طن. يضاف إلى ذلك أن الكثير من المصادر المحلية يتوقع لها أن تسبب في إحداث تلوث بيئي ولا يتم صيانتها أو مراقبتها بصورة مناسبة.

إن الخواص الفيزيائية - الكيميائية لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا تسمح على نطاق شامل "بالتكثيف البارد" غير أن مسارات ألفا - وسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا تفرق في البيئة. وربما كان السبب هو وجود قدر أكبر من الاستقرار الجسيمي والاستقلابي، وارتفاع قابلية هذه المادة للذوبان في الماء/الأوكتانول، وانخفاض ثابت قانون هنري، وارتفاع نسبي في مكافئ تفرق الأوكتانول/الهواء، الذي يساعد على التفرق على مراحل عضوية.

وطبقاً للبيانات المتوافرة، يمكن أن تعتبر مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا مادة ثابتة في البيئة على الرغم من أن سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا قابلة للتدهور الأحيائي بفعل عدة سلالات ميكروبية في ظروف معدلات التدهور المواتية في التجارب الحقلية، فهي منخفضة مما يشير إلى البطء الشديد في الظروف البيئية. فقد ظلت بقايا سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا لسنوات في قطع أرض معالجة في العديد من الدراسات. وكانت القيم الوحيدة المحددة للوقت اللازم لتحلل ٥٠٪ من مادة كيميائية هي ١٠٠ و ١٨٤ يوماً في التربة التي قُطِعَتْ محاصيلها، والتربة التي لم تُقَطَّع محاصيلها في الظروف شبه الاستوائية. فبالإضافة إلى الحسف يمكن للتطاير من المواد التي يمتصها النبات والترشيح (Leaching) أن تسهم في اختفاء سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في هذا البحث.

إن رصد البيانات من الأقاليم النائية البعيدة عن المصادر تشير بوضوح إلى أن سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا قد مرت بانتقال بعيد المدى داخل البيئة. ويقال إن سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا تدخل إلى منطقة القطب الشمالي محمولة على تيارات المحيط عبر مضيق بيرينغ بعد ترسب رطب وتفرق في شمال المحيط الهادئ.

ومادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا لها عامل تركيز أحيائي BCF (في الجسم بأكمله) قدره ١٤٦٠ وذلك استناداً إلى دراسة مختبرية على الأسماك. ومع ذلك، فإن هناك العديد من البحوث الميدانية على شبكات الأغذية البحرية في القطب الشمالي متوافرة وتشير إلى أن سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا قد تتراكم وتصل إلى تراكيز عالية عند المستويات الغذائية العليا (أي الثدييات والطيور البحرية). وهكذا كانت عوامل التزايد الأحيائي، وكذلك عوامل التزايد في الشبكة الغذائية تزيد على ١. وقد بُتَّ أيضاً أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا موجودة في لبن أنداء الأمهات من بين السكان الأصليين شديداً التعرض واللائى يقتتن على وجبات كفاية، ولذا فإن دالة التراكم الأحيائي لها موثقة توثيقاً جيداً.

وقد تم التذليل على أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا ذات سمية عصبية، وسمية كبدية، وتُجَدُّد تأثيرات على التكاثر، ومثبطة لنشاط الجهاز المناعي في الجسم، ولها تأثيرات على خصوبة وتكاثر حيوانات الاختبار.

وقد كشفت بيانات الرصد على الدببة القطبية الشمالية عن وجود ترابط سلبي مع وجود تراكيز الريتينول وأيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان، التي قد تؤثر على طائفة واسعة من الوظائف البيولوجية.

قامت الوكالة الدولية لبحوث السرطان (IARC) بتصنيف سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في المجموعة ٢ بء، وهي محتملة التسبب في السرطان لدى البشر. ويشير العديد من الدراسات الوبائية إلى أن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا قد تلعب دوراً في سرطان الثدي لدى السيدات، والمعروف عن سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا على الأقل أنها عامل مشجع على نشوء الأورام. وقد تحدثت مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا تأثيرات ضارة على صحة الإنسان في المناطق الملوثة وكذلك في مناطق القطب الشمالي. واستناداً إلى بيانات السمية المتوافرة بشأن سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا، يمكن استنتاج إلى أن التراكيز الحالية لسداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا في الغذاء وفي لبن الرضاعة

في هذه المناطق مثيرة للقلق، وكذلك خطر السرطان المحسوب طبقاً لحسابات وكالة حماية البيئة EPA وإن كانت شديدة التحفظ، لتبدوا مرتفعة جداً ($10^{-3} \times 5,0$ إلى $10^{-4} \times 7,7$).

وينبغي مراعاة أن سكان القطب الشمالي والحيوانات البرية معرضون هم الآخرون لطائفة واسعة من المواد السمية الثابتة الأخرى التي يمكن أن تعمل بصورة إضافية أو بصورة تآزرية. ومع ذلك ينبغي التأكيد على أن الأغذية التقليدية لها قيمة فريدة من النواحي الاجتماعية والثقافية والروحية والاقتصادية ومن ثم يوصى بقوة تفادي الأغذية أن تكون مستويات سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا فيها مثيرة للقلق.

٤ - بيان ختامي

على الرغم من أن معظم البلدان حَظرت أو قيدت استخدام سداسي كلور حلقي الهكسان التقني كمبيد آفات، يتم استبدالها في معظم الحالات باستخدام اللندين، فعملية الإنتاج تخلق مقادير ضخمة من بقايا أيزومرات سداسي كلور حلقي الهكسان. كما أن استمرار الإنتاج وكذلك المخزونات الحالية من أيزومرات هذه النفايات تشكل مشكلة عالمية وتسهم في الإطلاقات في البيئة.

إن مادة سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا ثابتة وموجودة في جميع المناحي البيئية، وبخاصة المستويات في سلسلة الغذاء البرية وسلسلة الغذاء المائية، ومن ثم فهي تثير القلق من حيث التسبب في التأثيرات السلبية على صحة الإنسان. ومن المتوقع أن يحدث التعرض الشديد في المناطق الملوثة وهي كثيرة في أرجاء العالم. ومن المتوقع أيضاً حدوث تعرض بدرجة عالية، نتيجة لانتقال هذه المادة بعيد المدى في البيئة.

واستناداً إلى خواص هذه المادة، وإلى أن الجرعات اليومية التي يتناولها السكان الأصليون في منطقة القطب الشمالي من سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا، تتجاوز القيم المرجعية للجرعات المأمونة، وبالنظر إلى وجود سداسي كلور حلقي الهكسان - بيتا على نطاق واسع في المجموعات الحيوية، بما في ذلك في المناطق النائية البعيدة عن المصادر المحتملة، تم التوصل إلى الاستنتاج أن هذه المادة تؤدي، نتيجة لانتقالها البيئي البعيد المدى، إلى تأثيرات كبيرة ضارة بالبشر والبيئة، بالقدر الذي يبرر اتخاذ تدابير عالمية إزاءها.

- AMAP: Arctic Monitoring and Assessment Programme 2002: Human Health in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway 2003.
- AMAP: Persistent Toxic Substances, Food Security and Indigenous Peoples of the Russian North Final Report. Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo, Norway, AMAP Report 2004:2 2004.
- AMAP: Arctic Monitoring and Assessment Programme 2002: Persistent Organic Pollutants in the Arctic. Oslo, Norway, 2004.
- 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].
- Bakore N., John PJ., 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.
- 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.
- Bidleman TF., Kylin H., Januntunen LM., Helm PA., Macdonald RW.: 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.
- Bhatt P., Kumar MS, Chakrabarti T.: Assessment of bioremediation possibilities of technical grade hexachlorocyclohexane (tech-HCH) contaminated soils. *J Hazard Mater.* 137, 2006.
- Breivik K., Pacyna J. M., Münch J.: Use of a-, b- and y-hexachlorocyclohexane in Europe, 1970-1996. *Sci. Total Environ.* 239 (1-3), 1996, 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.
- Bustnes JO., Helberg M., Strann KB., Skaare JU.: Environmental pollutants in endangered vs. increasing subspecies of the lesser black-backed gull on the Norwegian coast. *Environmental Pollution* 144, 2006, p. 893-901.
- Butte W., Fox K., Zauke GP.: 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]
- CDC: National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals. Third National Report. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention, 2005.
- Chessells MJ., Hawker DW., Connell DW. and Papajcsik IA.: 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.
- Czech Republic: Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex E of the Convention. February 2007.
- Damgaard IN., Skakkebaek NE., Toppari J., Virtanen HE., Shen H., Schramm KW., Petersen JH., Jensen TK., Main KM.: Persistent pesticides in human breast milk and cryptorchidism. *Environ Health Perspect.* 114, 2006, p. 1133-1138.
- 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]
- Ewers U., Krause C., Schulz C., Wilhelm M.: Reference values and human biological monitoring values for environmental toxins. Report on the work and recommendations of the Commission on Human Biological Monitoring of the German Federal Environmental Agency. *Int. Arch Occup Environ Health*, 72 (4), 1999, p. 255-260.
- 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. *Reproductive Toxicology* 1993, p. 167-83.
- Germany: Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex E of the Convention. February 2007.
- Gupta A., Kaushik C.P., Kaushik A.: Degradation of hexachlorocyclohexane (HCH; α , β , γ and δ) by *Bacillus circulans* and *Bacillus brevis* isolated from soil contaminated with HCH. *Soil Biology & Biochemistry* 32 (11), 2000, pp. 1803-1805(3).
- 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), 2003, 509-22.
- Hoekstra PF., O'Hara TM., Pallant SJ. and 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.
- Hoyer AP., Grandjean P., Jorgensen T., Brock JW., Hartvig H.B.: Organochlorine exposure and risk of breast cancer. *Lancet.* 352 (9143), 1998, p.1816-20.
- 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.
- Japan: Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex E of the Convention. February 2007.
- Kinyamu JK., Kanja LW., Skaare JU., Maitho TE.. Levels of organochlorine pesticides residues in milk of urban mothers in Kenya. *Bull Environ Contam Toxicol.* 60(5):1998, 732-8.

- Konishi Y., Kuwabara K., Hori S.: Continuous surveillance of organochlorine compounds in human breast milk from 1972 to 1998 in Osaka, Japan. *Arch Environ Contam Toxicol.* 40 (4), 2001, p. 571-8.
- Li J., Zhu T., Wang F., Qiu XH., Lin WL.: Observation of organochlorine pesticides in the air of the Mt. Everest region. *Ecotoxicol Environ Saf.* 63 (1), 2006, p. 33-41.
- 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., Scholtz MT., and van Heyst BJ.: Global Gridded Emission Inventories of Beta-Hexachlorocyclohexane. *Environmental Science & Technology* 37 (16), 2003, p. 3493-3498.
- 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.
- 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, JY, Li H, Tao P, Lei FM.: Serum organochlorines pesticides level of non-occupational exposure women and risk of breast cancer: a case-control study. *Wei Sheng Yan Jiu.* 35 (4), 2006, p. 391-4.
- Mathur V., Bhatnagar P., Sharma RG., Acharya V., Sexana R.: Breast cancer incidence and exposure to pesticides among women originating from Jaipur. *Environ Int.* 28(5), 2002, p. 331-6.
- Middeldorp PJM., Jaspers M., Zehnder AJB. and Schraa G.: Biotransformation of alpha-, beta-, gamma-, and delta - hexachlorocyclohexane under methanogenic conditions. *Environmental Science and Technology* 30 (7), 1996, pp. 2345-2349.
- 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.
- Muir D., Savinova T., Savinov V., Alexeeva L., Potelov V., Svetochev V.: Bioaccumulation of PCBs and chlorinated pesticides in seals, fishes and invertebrates from the White Sea, Russia. *Sci Total Environ.* 306 (1-3), 2003, p. 111-31.
- 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.
- 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 (NARAP) 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.
- Phillips TM., Seech AG., Lee H., and Trevors JT.: Biodegradation of hexachlorocyclohexane (HCH) by microorganisms. *Biodegradation* 16, 2005, p. 363-392.
- Pohl HR., Tylenda C.A.: Breast-feeding exposure of infants to selected pesticides: a public health viewpoint. *Toxicol Ind. Health* 16, 2000, p. 65-77.
- 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.
- Senthilkumar K., Kannan K., Subramanian A. and Tanabe S: Accumulation of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in sediments, aquatic organisms, birds, bird eggs and bat collected from south India. *Environ Sci Pollut Res Int.* 8 (1), : 2001, p. 35-47.

- Sharma P., Raina V., Kumari R., Malhotra S., Dogra C., Kumari H., Kohler HP., Buser HR., Holliger C., Lal, R.: Haloalkane Dehalogenase LinB Is Responsible for β - and δ -Hexachlorocyclohexane Transformation in *Sphingobium indicum* B90A. *Applied and Environmental Microbiology* 72 (9), 2006, p. 5720-5727.
- 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. and Dhankar JS.: Dissipation of some organochlorine insecticides in cropped and uncropped soil. *Environ Pollut.* 70 (3), 1991, p. 1219-39.
- Stewart DKR., Chisholm D.: Long-term persistence of BHC, DDT and Chlordane in a sandy loam soil. *Can.J.Soil Sci.* 51, 1971, p. 379-383.
- 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]
- U.S. National Library of Medicine: Hazardous Substance Database (HSDB) 2006, [<http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB>; 2007-02-27]
- 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.
- USEPA, Assessment of lindane and other hexachlorocyclohexane isomers, [http://www.epa.gov/oppsrrd1/REDS/factsheets/lindane_isomers_fs.htm; 2007-02-27].
- USEPA Memorandum: Lindane—Report of the FQPA Safety Factor Committee. August 2000: p 3.
- Van Velsen F.L., Danse L.H., Van Leeuwen F.X., Dormans J.A., Van Logten M.J. The subchronic oral toxicity of the beta-isomer of hexachlorocyclohexane in rats. *Fundam Appl Toxicol.* 6, 4, 1986, 697-712.
- Walker K., Vallero DA. and Lewsi RG.: Factors influencing the distribution of Lindane and other hexachlorocyclohexanes in the environment. *Environmental Science and Technology*. 33 (24), 1999, pp. 4373-78.
- Wang Y. et.al. 2006. Investigation of organochlorine pesticides (OCPs) in mollusks collected from coastal sites along the Chinese Bohai Sea from 2002 to 2004. *Environ Pollut.* 146(1), 2007, p. 100-6.
- Wania F., Mackay D.: Tracking the distribution of persistent organic pollutants *Environmental Science and Technology* 30 (9), 1996, p. 390A-396A.
- Wester PW., Canton JH.: The usefulness of histopathology in aquatic toxicity studies. *Comp Biochem Physiol C.* 100 (1-2), 1991, p. 115-7.
- 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]

Willett K.L., Ulrich E.M., Hites R.A.: Differential Toxicity and Environmental Fates of Hexachlorocyclohexane Isomers. *Environmental Science and Technology* 32, 1998, p. 2197-2207.

van Doesburg W., van Eekert M.H.A., Middeldorp P.J.M., Balk M., Schraa G, Stams A.J.M.: Reductive dechlorination of β -hexachlorocyclohexane (β -HCH) by a *Dehalobacter* species in coculture with a *Sedimentibacter* sp. *FEMS Microbiology Ecology* 54 (1), 2005, p. 87-95.

Wong C.K., Leung K.M., Poon B.H., Lan C.Y., Wong M.H. Organochlorine hydrocarbons in human breast milk collected in Hong Kong and Guangzhou. *Arch Environ Contam Toxicol.* 43 (3), 2002, p. 364-72.

Wu W.Z., Xu Y., Schramm K.W. and Kettrup A.: Study of sorption, biodegradation and isomerization of HCH in stimulated sediment/water system. *Chemosphere* 35 (9), 1997, p. 1887-1894.

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 Z.L., Hongb H.S., Zhouc J.L., 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, A.V., Headley J.V., Pavlov D.F., Robarts, D.R., Korotova G.L., Vinnikov Y.Y., Zhulidova O.V.: Riverine fluxes of the persistent Organochlorine pesticides hexachlorocyclohexanes and DDT in the Russian Federation. *Chemosphere* 41, 2000, p. 829-841.