

الفصل 3

التخلص من النفايات الصلبة

المؤلفون

ريتا بيباتي (فنلندا) وبيير سفردال (النرويج)

جواو فانجر سيلفا ألفيس (البرازيل) وكينجسيان جاو (الصين) وكارلوس كابريرا (كوبا) وكاترينا ماريكوف (سلوفاكيا) وهانز أونك (هولندا) واليزابيث شيهل (الولايات المتحدة الأمريكية) وتشيمندرا شارما (الهند) وأليسون سميث (المملكة المتحدة) وماساتو يامادا (اليابان)

المؤلفون المساهمون

جيفري ب. كوبرين (الولايات المتحدة الأمريكية) وكيم بينجود (فنلندا) وجونار ثورسون (النرويج) وفابيان فاجنر (ألمانيا)

المحتويات

3 مكبات النفايات الصلبة

1-3	مقدمة	6-3
2-3	موضوعات منهجية	6-3
1-2-3	اختيار الأسلوب	6-3
1-1-2-3	التضاؤل من المستوى الأول (fod)	8-3
2-2-3	اختيار بيانات الأنشطة	12-3
3-2-3	اختيار معاملات الانبعاث والبارامترات	13-3
3-3	القياس في تقدير انبعاثات الميثان الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة	20-3
4-3	الكربون المخزن في مواقع التخلص من النفايات الصلبة	23-3
5-3	الاستيفاء	23-3
6-3	إعداد متسلسلة زمنية متسقة	24-3
7-3	تقدير أوجه عدم التيقن	24-3
1-7-3	عدم التيقن المرتبط بالأسلوب	24-3
2-7-3	عدم التيقن المرتبط بالبيانات	25-3
1-2-7-3	أوجه عدم التيقن المقترنة ببيانات الأنشطة	25-3
2-2-7-3	أوجه عدم التيقن المرتبطة بالبارامترات	26-3
8-3	ضمان الجودة/مراقبة الجودة والإبلاغ والتوثيق	28-3
	المراجع	29-3
الملحق 1-3	نموذج التضاؤل من المستوى الأول	32-3
	المراجع	40-3

المعادلات

المعادلة 1-3	انبعاثات الميثان الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة	8-3
المعادلة 2-3	الكربون العضوي القابل للتحلل والانحلال من بيانات التخلص من النفايات	9-3
المعادلة 3-3	التحول من DDOCm إلى L_0	9-3
المعادلة 4-3	DDOCm المتراكم في موقع التخلص من النفايات الصلبة في نهاية سنة t	9-3
المعادلة 5-3	DDOCm المتحلل في نهاية سنة t	9-3
المعادلة 6-3	الميثان المولد من DDOCm المتضائل	10-3
المعادلة 7-3	تقدير الكربون القابل للتحلل باستخدام قيم محتوى الكربون الافتراضية	13-3
المعادلة 1-1أ	المعادلة التفاضلية للتضاول من المستوى الأول	32-3
المعادلة 2-1أ	معادلة التضاول من المستوى الأول	3-32
المعادلة 3-1أ	كتلة DDOCm الباقية بعد سنة واحدة من التضاول	3-32
المعادلة 4-1أ	كتلة DDOCm المنحلة بعد سنة واحدة من التضاول	3-33
المعادلة 5-1أ	كتلة DDOCm المنحلة في السنة T	3-33
المعادلة 6-1أ	العلاقة بين فترة عمر النصف وثابت معدل التفاعل	3-33
المعادلة 7-1أ	معادلة التضاول من المستوى الأول لبدية التضاول بعد 3 أشهر	3-33
المعادلة 8-1أ	كتلة DDOCm المنحلة في سنة التخلص من النفايات (تأخير 3 أشهر)	3-33
المعادلة 9-1أ	كتلة DDOCm المتخلفة في سنة (t) (تأخير 3 أشهر)	3-33
المعادلة 10-1أ	كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل المتراكمة في نهاية السنة t	3-34
المعادلة 11-1أ	كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل المنحلة في نهاية السنة t	3-34
المعادلة 12-1أ	كتلة DDOCm المتبقية في نهاية سنة التخلص من النفايات	3-35
المعادلة 13-1أ	كتلة DDOCm المنحلة خلال سنة التخلص من النفايات	3-35
المعادلة 14-1أ	كتلة DDOCm المتراكمة في نهاية سنة t	3-36
المعادلة 15-1أ	كتلة DDOCm المنحلة في السنة T	3-36
المعادلة 16-1أ	حساب كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل والانحلال من بيانات التخلص من النفايات الصلبة	3-36
المعادلة 17-1أ	الميثان المولد من كتلة DDOCm المنحلة	3-36
المعادلة 18-1أ	الميثان المنبعث من مواقع التخلص من النفايات الصلبة	3-37
المعادلة 19-1أ	حساب كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل المخزنة لمدة طويلة من بيانات التخلص من النفايات الصلبة	3-37
المعادلة 20-1أ	معدل المستوى الأول لمعادلة التفاعل	3-38
المعادلة 21-1أ	معادلة الخطوط التوجيهية لعام 1996 للهيئة لتفاعل الكربون العضوي القابل للتحلل في سنة t	3-38
المعادلة 22-1أ	معادلة التضاول من المستوى الأول في دليل الممارسة السليمة لعام 2000 للهيئة لتفاعل كتلة DDOCm في سنة t	3-39
المعادلة 23-1أ	التضاول من المستوى الأول مع معدل التخلص من النفايات $D(t)$	3-39
المعادلة 24-1أ	الكربون العضوي القابل للتحلل المتراكم خلال السنة	3-40
المعادلة 25-1أ	الميثان المولد خلال السنة أ	3-40

الأشكال

7-3	شجرة قرارات انبعاثات الميثان الناجمة عن موقع التخلص من النفايات الصلبة	الشكل 1-3
38-3	خطاً ناتج عن عدم إدماج منحني معدل التفاعل بالكامل	الشكل 1-13
39-3	تأثير الخطأ في معادلة دليل الممارسة السليمة لعام 2000	الشكل 2-13

الجداول

14-3	تصنيف مواقع التخلص من النفايات الصلبة ومعاملات تصحيح الميثان (mcf)	الجدول 1-3
15-3	معامل الأكسدة (ox) من مواقع التخلص من النفايات الصلبة	الجدول 2-3
17-3	قيم معدل توليد الميثان الموصى به (k) ضمن المستوى 1	الجدول 3-3
18-3	قيم (سنة) فترة نصف العمر الموصى بها ($t_{1/2}$) ضمن المستوى 1	الجدول 4-3
27-3	تقديرات عدم التيقن المرتبطة بالبارامترات وبيانات الأنشطة الافتراضية في نموذج التضاؤل من المستوى الأول لانبعاثات الميثان من مواقع التخلص من النفايات الصلبة	الجدول 5-3
35-3	أسلوب حساب جديد للتضاؤل من المستوى الأول	الجدول 1-13

المربعات

20-3	القياسات المباشرة من أنظمة جمع الغاز لتقدير بارامترات نموذج التضاؤل من المستوى الأول	المربع 1-3
22-3	القياسات المباشرة لانبعاثات الميثان من سطح مواقع التخلص من النفايات الصلبة	المربع 2-3

3 مكبات النفايات الصلبة

1-3 مقدمة

تؤدي معالجة والتخلص من النفايات المحلية والصناعية والنفايات الصلبة الأخرى إلى إنتاج كميات كبيرة من الميثان (CH_4). وبالإضافة إلى الميثان، فإن مواقع التخلص من النفايات الصلبة (SWDS) أيضاً تؤدي إلى إنتاج ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الحيوي والمركبات العضوية المتطايرة غير الميثانية (NMVOCs)، فضلاً عن كميات أصغر من أكسيد النيتروز (N_2O) وأكاسيد النيتروجين (NO_x) وأحادي أكسيد الكربون (CO). ويساهم الميثان المنتج في مواقع التخلص من النفايات الصلبة في حوالي 3 إلى 4 في المائة من الانبعاثات السنوية العالمية لغازات الاحتباس الحراري البشرية (الهيئة، 2001). وقد تغيرت معالم إدارة النفايات خلال العقد الأخير في العديد من البلدان الصناعية. حيث تم طرح سياسات لإعادة استخدام/تدوير وتقليل النفايات لخفض كمية النفايات المولدة، وتزايد تنفيذ الممارسات البديلة لإدارة النفايات للتخلص من النفايات الصلبة في الأرض بغرض تقليل التأثيرات البيئية لإدارة النفايات. أيضاً، فقد أصبحت استعادة الغاز الموجود في المكبات الأرضية تدبيراً شائعاً لتقليل انبعاثات الميثان الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة.

يعتبر تحلل المادة العضوية المشتقة من مصادر الكتلة الحيوية (على سبيل المثال، المحاصيل والأخشاب) هو المصدر الأساسي لثاني أكسيد الكربون المنطلق من النفايات. ولذلك، لا يتم تضمين انبعاثات ثاني أكسيد النيتروز في الإجمالي الوطني، لأن الكربون من الأصل الحيوي وصافي الانبعاثات يتم حسابها في قطاع الزراعة والحراجة واستعمالات الأرض الأخرى. وقد وردت المنهجيات الخاصة بالمركبات العضوية المتطايرة غير الميثانية وأكاسيد النيتروجين وأحادي أكسيد الكربون في الخطوط التوجيهية بموجب اتفاقيات أخرى، على سبيل المثال اتفاقية التلوث الجوي بعيد المدى عبر الحدود (PICLRT) للجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا (UNECE). ورد في الفصل 1 من هذا المجلد ارتباطات بهذه المنهجيات، كما وردت معلومات إضافية في الفصل 7 من المجلد 1. لم ترد أي منهجيات معنية بانبعاثات أكسيد النيتروز الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة حيث إنها ليست كبيرة.

ورد في الخطوط التوجيهية للهيئة المنقحة لعام 1996 المتعلقة بالقوائم الوطنية لحصر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري (الخطوط التوجيهية لعام 1996، الهيئة 1997) ودليل الممارسة السلمية وإدارة عدم التيقن المقترن بقوائم حصر غازات الاحتباس الحراري (دليل الممارسات لعام 2000، الهيئة، 2000) أسلوبان لتقدير انبعاثات الميثان الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة. أسلوب توازن الكتلة (المستوى 1) وأسلوب التضاؤل من المستوى الأول (المستوى 2). ولا يشجع هذا المجلد استخدام أسلوب توازن الكتلة حيث يؤدي إلى نتائج لا يمكن مقارنتها مع أسلوب التضاؤل من المستوى الأول والذي يؤدي إلى نتائج أكثر دقة للانبعاثات السنوية. وبدلاً من أسلوب توازن الكتلة، يوفر هذا الفصل نسخة المستوى 1 لأسلوب التضاؤل من المستوى الأول، بما في ذلك نموذج لجداول بيانات يحتوي على خطوط توجيهية سهلة وبيانات اقتراضية محسنة. باستخدام هذه الخطوط التوجيهية، يجب أن تكون كافة البلدان قادرة على تنفيذ أسلوب التضاؤل من المستوى الأول.

2-3 موضوعات منهجية

1-2-3 اختيار الأسلوب

تعتمد منهجية الهيئة الخاصة بتقدير انبعاثات الميثان الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة على أسلوب التضاؤل من المستوى الأول. ويفترض هذا الأسلوب أن المكون العضوي القابل للتحلل (الكربون العضوي القابل للتحلل (DOC) في النفايات يتضامل ببطء خلال بضعة عقود، والتي يتكون خلالها الميثان وثنائي أكسيد الكربون. في حالة ثبات الظروف، فإن معدل إنتاج الميثان يعتمد فقط على كمية الكربون المتبقية في النفايات. نتيجة لذلك تكون انبعاثات الميثان الناجمة عن النفايات المترسبة في موقع التخلص من النفايات عالية في السنوات القليلة الأولى بعد الترسيب، ثم تتخفف تدريجياً حيث يتم استهلاك الكربون القابل للتحلل في النفايات بواسطة البكتيريا المسؤولة عن التضاؤل.

ويحدث تحول المادة القابلة للتحلل في مواقع التخلص من النفايات الصلبة إلى الميثان وثنائي أكسيد الكربون عبر سلسلة من التفاعلات المتوازية. ومن المتوقع أن يتسم النموذج الكامل بالتعقد الشديد والتنوع لكي يلاءم ظروف موقع التخلص من النفايات الصلبة. ومع ذلك، فإن الملاحظات الميدانية والمعملية المعنية ببيانات توليد الميثان تقترح أن عملية التحلل الكلية يمكن أن يتم تقريبها بواسطة حركات المستوى الأول (على سبيل المثال، هويكس، 1983) وقد تم قبول ذلك على نطاق واسع. لذلك فقد تبنت الهيئة نموذج التضاؤل من المستوى الأول البسيط نسبياً كأساس لتقدير انبعاثات الميثان الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة.

كما تتنوع فترة نصف العمر للأشكال المختلفة من بضع سنوات إلى عدة عقود أو مدة أطول. يتطلب أسلوب التضاؤل من المستوى الأول تجميع البيانات أو تقديرها عبر تاريخ عمليات التخلص من النفايات خلال فترة من الزمن تتراوح بين 3 إلى 5 أنصاف أعمار للحصول على نتيجة دقيقة مقبولة. لذا فمن الممارسة السلمية بيانات التخلص من النفايات لمدة لا تقل عن 50 سنة حيث يتيح ذلك الإطار الزمني نتيجة دقيقة مقبولة لمعظم الظروف والممارسات النموذجية للتخلص من النفايات. في حالة اختيار إطار زمني أقل، يجب أن يؤكد القائمون على الحصر أنه لن تكون هناك أي تهيؤ للانبعاثات. وتوفر تلك الخطوط الإرشادية خطوطاً توجيهية حول كيفية تقدير البيانات التاريخية للتخلص من النفايات (القسم 2-3-2، اختيار بيانات الأنشطة) والقيم الافتراضية لكل البارامترات لنموذج التضاؤل من المستوى الأول (القسم 2-3-3، اختيار معاملات الانبعاث والبارامترات) ونموذج جدول بيانات بسيط لمساعدة البلدان على استخدام أسلوب التضاؤل من المستوى الأول.

فيما يلي وصف للمستويات الثلاثة المستخدمة لتقدير انبعاثات الميثان الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة:

المستوى 1: تعتمد تقديرات أساليب المستوى 1 على أسلوب التضاؤل من المستوى الأول للهيئة، أساساً باستخدام بيانات الأنشطة الافتراضية والبارامترات الافتراضية.

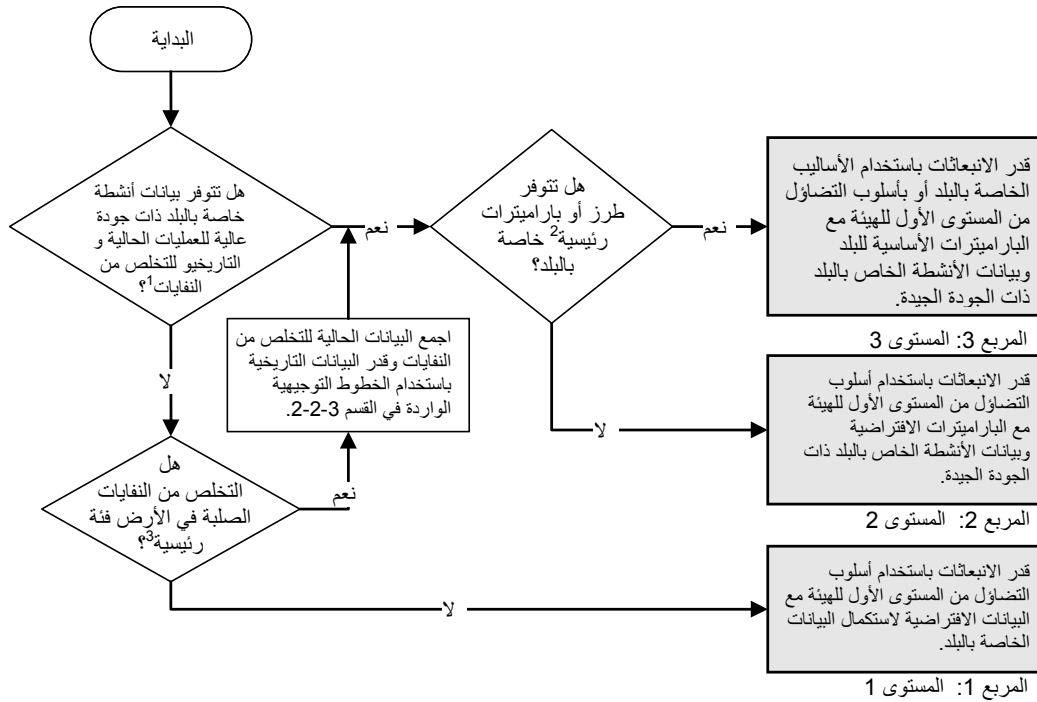
المستوى 2: تستخدم أساليب المستوى 2 أسلوب التضاؤل من المستوى الأول للهيئة وبعض البارامترات الافتراضية، لكنه يتطلب بيانات أنشطة تخص البلد تنسم بالجودة العالية حول العمليات التاريخية والحالية للتخلص من النفايات في مواقع التخلص من النفايات الصلبة. ويجب أن تعتمد البيانات التاريخية للتخلص من النفايات الصلبة لمدة 10 سنوات أو أكثر على الإحصائيات الخاصة بالبلد أو عمليات المسح أو مصادر مشابهة. ويتطلب الأمر الحصول على البيانات المعنية بالكميات التي تم التخلص منها في مواقع التخلص من النفايات الصلبة.

المستوى 3: تعتمد أساليب المستوى 3 على استخدام بيانات أنشطة خاصة بالبلد تنسم بالجودة العالية (انظر المستوى 2) واستخدام أسلوب التضاؤل من المستوى 1 مع (1) البارامترات الرئيسية التي تم إعدادها على المستوى الوطني أو (2) القياسات التي تم الحصول عليها من البارامترات الخاصة بالبلد. ويمكن للقائمين على الحصر استخدام الأساليب الخاصة بالبلد التي تنسم بجودة معادلة أو أعلى لأسلوب المستوى 3 الذي يعتمد على أسلوب التضاؤل من المستوى الأول. يجب أن تشمل البارامترات الرئيسية على فترة نصف العمر، واحتمالية توليد الميثان (L_0) أو محتوى المادة القابلة للتحلل في النفايات وكسر المادة القابلة للتحلل التي تتحلل (DOC_f). ويمكن أن تعتمد هذه البارامترات على القياسات كما ورد في المربع 3-1.

ويعرض الشكل 3-1 شجرة قرارات اختيار أكثر الأساليب ملاءمة من الممارسة السليمة لكل البلدان استخدام أسلوب التضاؤل من المستوى الأول أو أسلوب معتمد خاص بالبلد لحساب الفترة الوقتية للانبعثات.

يصف القسم 3-2-1-1 بإيجاز أسلوب التضاؤل من المستوى الأول ويمكن الحصول على تفاصيل أكثر في الملحق 3-1. كما وضعت الهيئة نموذج جدول بيانات لمساعدة البلدان على تنفيذ أسلوب التضاؤل من المستوى الأول: جدول بيانات الهيئة لتقدير انبعاثات الميثان الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة (نموذج نفايات الهيئة)¹. يرد فيما يلي وصف أكثر تفصيلاً لنموذج النفايات للهيئة ويمكن تعديله واستخدامه مع كل المستويات.

الشكل 3-1 شجرة قرارات انبعاثات الميثان الناجمة عن موقع التخلص من النفايات الصلبة



ملاحظات:

1. بيانات الأنشطة الخاصة بالبلد التي تنسم بالجودة تعني البيانات الخاصة بالبلد حول النفايات التي تم التخلص منها في مواقع التخلص من النفايات الصلبة طوال 10 سنوات أو أكثر.

2. البارامترات الأساسية تعني $DOC/Lo, DOC_f$ وفترة عمر النصف.

3. انظر المجلد 1، الفصل 4 "اختيار المنهجيات وتعريف الفئات الرئيسية" (مع ملاحظة القسم 2-1-4 الخاص بالموارد المحدودة)، لمناقشة الفئات الرئيسية واستخدام شجرات القرارات.

¹ انظر جداول البيانات الملحق في تنسيق Excel. <IPCC_Waste_Model.xls>

1-1-2-3 التضاؤل من المستوى الأول (FOD)

انبعاثات الميثان

يمكن تقدير انبعاثات الميثان الناجمة عن التخلص من النفايات الصلبة لسنة واحدة باستخدام المعادلة 1-3. ويتولد الميثان نتيجة لتحلل المادة العضوية في ظروف لاهوائية. وتحدث عملية أكسدة لجزء من الميثان المولد في غطاء موقع التخلص من النفايات الصلبة أو يمكن استعادته لتوليد الطاقة أو الإشعاع. ولذلك فإن نسبة الميثان المنبعثة بالفعل من موقع التخلص من النفايات الصلبة ستكون أصغر من الكمية المتولدة.

$$\text{المعادلة 1-3}$$

$$\text{انبعاثات الميثان الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة}$$

$$CH_4 \text{ Emissions} = \left[\sum_x CH_4 \text{ generated}_{x,T} - R_T \right] \cdot (1 - OX_T)$$

حيث:

$$\begin{aligned} \text{الميثان المنبعث في سنة } T, \text{ جيجا جول} &= CH_4 \text{ Emissions} \\ \text{سنة الحصر} &= T \\ \text{نوع/مادة أو فئة النفايات} &= x \\ \text{الميثان المستعاد في سنة } T, \text{ جيجا جول} &= R_T \\ \text{معامل الأكسدة في سنة } T, \text{ (كسر)} &= OX_T \end{aligned}$$

يجب طرح الميثان المستعادة من كمية الميثان المولدة. ويتعرض كسر الميثان غير المستعاد فقط للأكسدة في طبقة غطاء موقع التخلص من النفايات الصلبة.

توليد الميثان

ونقل تدريجيًا خلال العقود التالية احتمالية توليد الميثان بالنفايات التي يتم التخلص منها في سنة معينة. خلال هذه العملية، يقل تدريجيًا إطلاق الميثان من هذه الكمية المعينة للنفايات. ويعتمد نموذج التضاؤل من المستوى الأول على معامل أسي يصف كسر المادة القابلة للتحلل والتي تتحلل كل سنة إلى ميثان أو ثاني أكسيد الكربون.

وأحد الإدخالات الرئيسية للنموذج هو كمية المادة العضوية القابلة للتحلل (DOCm) في النفايات التي يتم التخلص منها في موقع التخلص من النفايات الصلبة. ويتم تقدير ذلك اعتمادًا على المعلومات الخاصة بالتخلص من فئات نفايات مختلفة (النفايات الصلبة المحلية (MSW) والخبث والنفايات الصناعية وأنواع النفايات الأخرى) ومادة/أنواع النفايات المختلفة (الأغذية والورق والأخشاب والمنسوجات وما إلى ذلك) التي تشتمل عليها هذه الفئات أو بدلًا من ذلك نسبة المادة العضوية القابلة للتحلل في النفايات المتنوعة التي يتم التخلص منها. كما يتطلب الأمر الحصول على المعلومات الخاصة بأنواع مواقع التخلص من النفايات الصلبة في البلد والبارامترات الموصوفة في القسم 2-3. بالنسبة للمستوى 1، يمكن استخدام بيانات الأنشطة الإقليمية الافتراضية وبارامترات الهيئة الافتراضية وقد وردت تلك في نموذج جدول البيانات. ويتطلب المستوى 2 والمستوى 3 بيانات أنشطة خاصة بالبلد و/أو البارامترات الخاصة بالبلد.

فيما يلي معادلات تقدير توليد الميثان. وبما أن الأسلوب الرياضي هو نفسه لتقدير انبعاثات الميثان الناجمة عن كل مواد/أنواع الفئات/النفايات، لذا لا تستخدم المعادلات أدناه مؤشرات تشير إلى أنواع/مواد النفايات/الفئات.

ويمكن تقدير احتمالية الميثان المولد خلال السنوات على أساس كميات وتكوين النفايات التي يتم التخلص منها في مواقع التخلص من النفايات الصلبة وممارسات معالجة النفايات في مواقع التخلص من النفايات. وأساس الحساب هو كمية الكربون العضوي القابل للتحلل والانحلال (DDOCm) كما هو معرف في المعادلة 3.2. والكربون العضوي القابل للتحلل والانحلال هو الكربون العضوي الذي سيتحلل في ظل الظروف اللاهوائية في مواقع التخلص من النفايات الصلبة. وتتم الإشارة إليه في المعادلات ونماذج جدول البيانات باستخدام الرمز DDOCm. ويتم استخدام المؤشر m للكتلة. ويعادل DDOCm منتج كمية النفايات (W) وكسر الكربون العضوي القابل للتحلل في النفايات وكسر الكربون العضوي القابل للتحلل الذي يتحلل في ظل الظروف اللاهوائية (DOC_f) وجزء النفايات التي ستتحلل في ظل الظروف الهوائية (قبل أن تصبح الظروف لاهوائية) في مواقع التخلص من النفايات الصلبة، والذي تم تفسيره على أنه معامل تصحيح الميثان (MCF).

المعادلة 2-3
الكربون العضوي القابل للتحلل والانحلال من بيانات التخلص من النفايات

$$DDOCm = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF$$

حيث:

$$DDOCm = \text{كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل والانحلال المترسب، جيجا جول}$$

$$W = \text{كمية النفايات المترسبة، جيجا جول}$$

$$DOC = \text{الكربون العضوي القابل للتحلل في سنة الترسيب، كسر، جيجا جول كربون/جيجا جول نفايات}$$

$$DOC_f = \text{كسر الكربون العضوي القابل للتحلل الذي يمكن أن ينحل (كسر)}$$

$$MCF = \text{معامل تصحيح الميثان للانحلال اللاهوائي في سنة الترسيب (كسر)}$$

على الرغم من أن هذه *الخطوط الإرشادية* لا تستخدم صراحة احتمالية توليد الميثان $(L_0)^2$ إلا إنها تعادل منتج الكربون العضوي القابل للتحلل و الانحلال وتركيز الميثان في الغاز (F) ونسبة الوزن الجزيئي للميثان والكربون (12/16).

المعادلة 3-3

التحول من DDOCm إلى L_0

$$L_0 = DDOCm \cdot F \cdot 16/12$$

حيث:

$$L_0 = \text{احتمالية توليد الميثان، جيجا جول ميثان}$$

$$DDOCm = \text{كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل والانحلال، جيجا جول}$$

$$F = \text{كسر الميثان في غاز المكبات المتولد (كسر الحجم)}$$

$$16/12 = \text{نسبة الوزن الجزيئي الميثان/كربون (نسبة)}$$

باستخدام DDOCm (DDOCm المتراكمة في مواقع التخلص من النفايات) من جداول البيانات، يمكن استخدام المعادلة السابقة لحساب إجمالي احتمالية توليد الميثان للنفايات المتبقية في مواقع التخلص من النفايات الصلبة.

أساسيات أسلوب التضاؤل من المستوى الأول

مع التفاعل من المستوى الأول، دائمًا ما تكون كمية المنتج متناسبة لكمية المادة المتفاعلة. ويعني ذلك أن السنة التي تترسب فيها مادة النفايات في موقع التخلص من النفايات الصلبة غير مرتبطة بكمية الميثان المتولدة في كل سنة. وما يهم هو إجمالي كتلة المادة المتحللة الموجودة حاليًا في الموقع.

ويعني ذلك أنه عندما نعرف كمية المادة المتحللة في موقع التخلص من النفايات الصلبة في بداية السنة، يمكن اعتبار كل سنة على أنه رقم 1 في أسلوب التقدير، ويمكن القيام بالحسابات الأساسية للمستوى الأول باستخدام هاتين المعادلتين السهلتين، مع بداية تفاعل التضاؤل في 1 يناير/تشرين الثاني من كل سنة بعد الترسيب.

المعادلة 4-3

DDOCm المتراكم في موقع التخلص من النفايات الصلبة في نهاية سنة T

$$DDOCma_T = DDOCmd_T + (DDOCma_{T-1} \cdot e^{-k})$$

المعادلة 5-3

DDOCm المتحلل في نهاية سنة T

$$DDOCm_{decomp_T} = DDOCma_{T-1} \cdot (1 - e^{-k})$$

² في *الخطوط التوجيهية لعام 2006* تم تقدير L_0 (جيجا جول الميثان المولد) من كمية الكربون العضوي القابل للتحلل والانحلال في موقع التخلص من النفايات الصلبة. والمعادلة الموجودة في *دليل ممارسات عام 2000* مختلفة حيث يتم تقدير L_0 جيجا جول الميثان لكل جيجا جول نفايات يتم التخلص منها، ويتم تقدير الانبعاثات بالمضاعفة مع الكتلة التي يتم التخلص منها.

حيث:

$$\begin{aligned}
T &= \text{سنة الحصر} \\
\text{كتلة DDOCm المتراكمة في موقع التخلص من النفايات الصلبة في نهاية سنة } T, & \text{ جيجا جول} \\
\text{كتلة DDOCm المتراكم في موقع التخلص من النفايات الصلبة في نهاية سنة } (T-1), & \text{ جيجا جول} \\
\text{كتلة DDOCm المترسبة في مواقع التخلص من النفايات الصلبة في نهاية سنة } T, & \text{ جيجا جول} \\
\text{كتلة DDOCm المتحللة في مواقع التخلص من النفايات الصلبة في نهاية سنة } T, & \text{ جيجا جول} \\
k &= \text{ثابت التفاعل, } \ln(2)/t_{1/2} (y^{-1}) \\
t_{1/2} &= \text{فترة نصف العمر (y)}
\end{aligned}$$

يمكن ضبط الأسلوب لتواريخ التفاعل التي تبدأ قبل 1 يناير في السنة التالية للترسيب. يمكن العثور على المعادلات والشروح في الملحق 1-أ3.

الميثان المولد من DDOCm القابل للتحلل

يمكن تحديد كمية الميثان المتكونة من المادة القابلة للتحلل بمضاعفة كسر الميثان في غاز المكبات الأرضية المتولد ونسبة الوزن الجزيئي للكربون/الميثان.

المعادلة 6-3 الميثان المولد من DDOCm المتضائل

$$CH_4 \text{ generated}_T = DDOCm \text{ decomp}_T \cdot F \cdot 16/12$$

حيث:

$$\begin{aligned}
\text{كمية الميثان المولد من المادة القابلة للتحلل} &= \text{ted}_T \text{ } ^A CH_4 \text{ gener} \\
\text{كتلة DDOCm المنحلة في سنة } T, & \text{ جيجا جول} \\
\text{كسر الميثان، حسب الحجم، في غاز المكبات المتولد (كسر)} &= F \\
\text{نسبة الوزن الجزيئي الميثان/كربون (نسبة)} &= 16/12
\end{aligned}$$

ورد في الملحق 1-أ3 المزيد من المعلومات الأساسية حول أسلوب التضاؤل من المستوى الأول وشرح للاختلافات مع المقتربات الواردة في الإصدارات السابقة للخطوط التوجيهية (الهيئة، 1997؛ الهيئة، 2000).

نموذج بسيط لجدول بيانات أسلوب التضاؤل من المستوى الأول

تم إعداد النموذج البسيط لجدول بيانات أسلوب التضاؤل من المستوى الأول (نموذج نفايات الهيئة) على أساس المعادلتين 3-4 و 3-5 الواردتين أعلاه. ويحتفظ جدول البيانات بإجمالي دائم لكمية الكربون القابل للتحلل والانحلال في موقع التخلص من النفايات، مع الوضع في الاعتبار الكمية المترسبة كل سنة والكمية المتبقية من السنوات السابقة. ويتم استخدام هذا النموذج لحساب كمية انحلال الكربون القابل للتحلل إلى ميثان وثاني أكسيد الكربون كل سنة.

كما أن جدول البيانات يتيح للمستخدمين تحديد فترة التأخر الزمني بين ترسيب النفايات وبداية توليد الميثان. ويمثل ذلك الوقت المستغرق لتوليد كمية الميثان الكبيرة من النفايات المترسبة (انظر القسم 3-3 و 3-2 والملحق 1-أ3).

ثم يحسب النموذج كمية الميثان المتولدة عن DDOCm ويطرح الميثان المستعاد والميثان المؤكسد في مادة الغطاء (انظر الملحق 1-أ3 للاطلاع على المعادلات) حتى يمكن الحصول على كمية الميثان المنبعثة.

يوفر نموذج نفايات الهيئة خيارين لتقدير الانبعاثات الناجمة عن النفايات الصلبة المحلية الذي يمكن اختياره اعتماداً على بيانات الأنشطة المتوفرة. والخيار الأول عبارة عن نموذج متعدد المراحل يعتمد على بيانات تكوين النفايات. ويتم بشكل منفصل في النفايات الصناعية المحلية إدخال كميات كل نوع من المادة القابلة للتحلل (نفايات الطعام والحدائق والمنتزهات³ والورق والورق المقوى والأخشاب والمنسوجات وما إلى ذلك). والخيار الثاني هو نموذج يعتمد على مرحلة واحدة يعتمد على النفايات المتنوعة (النفايات الصلبة المحلية). يتم تقدير الانبعاثات الناجمة عن النفايات الصناعية والخبث بنفس الطريقة لإجمالي النفايات الصلبة المحلية. يمكن للبلدان التي تختار استخدام نموذج جدول البيانات استخدام استهلاك النفايات أو خيار النفايات المتنوعة، حسب مستوى البيانات المتوفرة. وعندما يكون تكوين النفايات ثابتاً إلى حد ما، يجب أن يؤدي كلا الخيارين إلى نتائج متشابهة. ومع ذلك فعند إحداث تغييرات سريعة في تكوين النفايات، ربما يؤدي الخياران إلى نتائج مختلفة. على سبيل المثال، التغييرات التي تطرأ على إدارة النفايات، على سبيل المثال حظر التخلص من نفايات الأغذية أو المواد العضوية القابلة للتحلل، يمكن أن تؤدي إلى إحداث تغييرات سريعة في تكوين النفايات التي يتم التخلص منها في مواقع التخلص من النفايات السريعة.

³ "يشار إلى "نفايات الحدائق" أيضاً باسم "نفايات الغناء" باللغة الإنجليزية الأمريكية.

يمكن استخدام كلا الخيارين لتقدير الكربون الموجود في منتجات الخشب المقطوع (HWP) والتي يتم تخزينها لفترة طويلة في مواقع التخلص من النفايات الصلبة (انظر المجلد 4، الفصل 12، منتجات الخشب المقطوع). في حالة توافر البيانات الوطنية حول النفايات المتنوعة، فمن الممارسة السليمة استخدام خيار تكوين النفايات في جداول البيانات، باستخدام بيانات الهيئة الافتراضية لتكوين النفايات.

في نموذج جدول البيانات، يمكن إدخال قيم منفصلة للكربون العضوي القابل للتحلل لفترة نصف العمر للتضاول لكل فئة نفايات وفي خيار تكوين النفايات أيضاً لكل نوع/مادة نفايات. أيضاً يمكن افتراض أن فترة نصف عمر التضاول هي نفسها لكل فئات النفايات و/أو أنواع النفايات. وتفترض المقترَب الأول أن انحلال مواد/أنواع نفايات مختلفة في مواقع التخلص من النفايات يتم بشكل مستقل تماماً عن بعضها؛ في حين يفترض المقترَب الثاني أن انحلال كل أنواع النفايات يعتمد على بعضها البعض تماماً. وأثناء كتابة هذه الخطوط التوجيهية، لا توجد أية نصائح تشير إلى أفضلية أحد المقترَبات على الأخرى (انظر القسم 3-2-3، فترة نصف العمر).

يحسب جدول البيانات كمية الميثان المولدة من كل مكون من مكونات النفايات في ورقة عمل منفصلة. يتم إدخال معامل تصحيح الميثان (MCF) - انظر القسم 3-2-3 على أنه متوسط موزون لكل مواقع التخلص من النفايات في البلد. يتنوع معامل تصحيح النفايات حسب الوقت المستغرق لحساب التغييرات التي تطرأ على ممارسات إدارة النفايات (على سبيل المثال، الاتجاه نحو مواقع التخلص من النفايات الصلبة أكثر إدارة أو مواقع أكثر عمقاً). أخيراً، يتم جمع كمية الميثان المولدة من كل فئة نفايات ونوع/مادة، ويتم طرح (إن أمكن) كميات الميثان المستعادة والمؤكسدة في مادة الطء، وذلك للحصول على تقدير لإجمالي انبعاثات الميثان. بالنسبة لخيار النفايات المتنوعة، يمكن أن يكون الكربون العضوي القابل للتحلل كمتوسط موزون لموقع التخلص من النفايات الصلبة.

يعتبر جدول البيانات هو أكثر أساليب المستوى الأول، لكن يمكن استخدامه مع كل المستويات. بالنسبة للمستوى 1، يمكن أن تُقدَّر جداول البيانات بيانات الأنشطة من بيانات التعداد السكاني وبيانات التخلص من النفايات لكل فرد (بالنسبة للنفايات الصلبة المحلية) أو إجمال الناتج القومي (للنفايات الصناعية)، انظر القسم 2-2-3 للحصول على المزيد من الخطوط التوجيهية. عند استخدام مقترَبات المستوى 2 والمستوى 3، يمكن أن توسع البلدان نموذج جدول البيانات لكي يفي بمتطلباتها أو إنشاء النماذج التي تخصها. ويمكن توسيع نموذج جدول البيانات بالمزيد من الأوراق لحساب انبعاثات الميثان، إذا لزم الأمر. ويمكن تحديد معاملات تصحيح الميثان والأكسدة والكربون العضوي القابل للتحلل للنفايات المتنوعة بحيث تتغير مع مرور الوقت. ويمكن القيام بنفس الشيء مع البارامترات الأخرى مثل DOC. وتتطلب فترات نصف العمر الجديدة أوراق جديدة لحساب الميثان. يمكن للبلدان التي يتوفر لديها بيانات جيدة حول النفايات الصلبة إضافة أوراق جديدة لحساب الميثان وحساب انبعاثات الميثان بشكل منفصل لأنواع مختلفة من النفايات الصناعية. عند تعديل نموذج جدول البيانات أو استخدام نماذج خاصة بالبلدان، يجب توثيق البارامترات والافتراضات الرئيسية بشكل شفاف. يمكن الحصول على التفاصيل الخاصة بكيفية استخدام نموذج جدول البيانات في جدول بيانات الإرشادات.

يمكن نسخ النموذج من القرص المضغوط/الخطوط التوجيهية لعام 2006 أو تنزيلها من موقع الويب الخاص ببرنامَج حصر غازات الاحتباس الحراري الوطنية بالهيئة < <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/> >.

صياغة نماذج المناطق المناخية والجغرافية المختلفة

يمكن تقدير توليد الميثان في مناطق جغرافية مختلفة في البلد. على سبيل المثال، إذا كانت في البلد مناطق تنسم بالرطوبة والسخونة والجفاف، فإن معدلات التضاول تختلف من منطقة لأخرى.

التعامل مع فئات نفايات مختلفة.

ربما يجد بعض المستخدمين أن إحصائيات النفايات الوطنية الخاصة بهم لا تتطابق مع الفئات المستخدمة في النموذج (الأغذية ونفايات الحدائق والمنتزهات والورق والورق المقوى والمنسوجات والنفايات الأخرى من النفايات الصناعية). عندما تكون هذه هي الحالة، سيطلب الأمر تعديل جدول البيانات لكل يتلاءم مع التصنيف الذي تستخدمه البلد أو سيطلب الأمر إعادة تصنيف أنواع النفايات الخاصة بالبلد إلى فئات الهيئة. على سبيل المثال، يتم تضمين الملابس والستائر والسجاد في المنسوجات، وتشبه نفايات المطبخ نفايات الأغذية، ويشبه القش والخيزران الخشب. يمكن أن تحتوي الإحصائيات الوطنية على فئة تسمى نفايات الشوارع. وعلى المستخدم تقدير تكوين هذه النفايات. على سبيل المثال، يمكن أن تكون 50 في المائة مادة خاملة، 10 في المائة أغذية و30 في المائة أوراقا و10 في المائة نفايات حدائق ومنتزهات. ثم يمكن تقسيم فئة نفايات الشوارع إلى فئات الهيئة هذه وإضافتها إلى النفايات الموجودة بالفعل في هذه الفئات. بنفس الطريقة، يمكن تقسيم الأثاث إلى نفايات خشب أو بلاستيك أو معادن، والأجهزة الإلكترونية إلى نفايات معادن وبلاستيك وزجاج. ويمكن القيام بذلك كله في ورقة عمل منفصلة يتم إعدادها بواسطة القائمون على الحصر.

تعديل تكوين النفايات عند التوليد إلى تكوين نفايات في مواقع التخلص من النفايات الصلبة

يجب أن يحدد المستخدم ما إذا كانت إحصائيات تكوين النفايات الوطنية تشير إلى تكوين النفايات المولدة من النفايات المتلقاة في مواقع التخلص من النفايات الصلبة المحلية من عدمه. وإحصائيات تكوين النفايات الافتراضية الواردة هنا هي تكوين النفايات المولدة، وليست النفايات المرسلَة إلى مواقع التخلص من النفايات الصلبة. لذلك يجب ضبط التكوين عند الضرورة لحساب تأثير أنشطة إعادة التدوير أو التسميد على تكوين النفايات المرسلَة إلى مواقع التخلص من النفايات الصلبة. ويمكن القيام بذلك بأفضل شكل في جدول بيانات منفصل بواسطة القائمين على الحصر، وذلك بغرض تقدير كميات كل مادة نفايات يتم توليدها، ثم طرح تقديرات كمية كل مادة نفايات تم إعادة تدويرها أو ترميدها أو تسميدها، وتحديد التكوين الجديد للنفايات المتبقية التي يتم إرسالها إلى مواقع التخلص من النفايات الصلبة.

المحارق المفتوحة للنفايات في مواقع التخلص من النفايات الصلبة

تنتشر في العديد من البلدان النامية المحارق المفتوحة في مواقع التخلص من النفايات الصلبة. ويجب تعديل كمية النفايات (DDOCm) المتوفرة للتضاول في موقع التخلص من النفايات الصلبة لكي تتلاءم مع الكمية المحرقة. يوفر الفصل 5 الأساليب الخاصة بكيفية تقدير كمية النفايات المحرقة. كما يجب أن يكون تقدير الانبعاثات الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة متسقاً مع تقديرات المحارق المفتوحة في مواقع التخلص من النفايات.

2-2-3 اختيار بيانات الأنشطة

تتكون بيانات الأنشطة من توليد النفايات بالنسبة للنفايات المتنوعة أو حسب مكون النفايات وكسر النفايات التي يتم التخلص منها في مواقع التخلص من النفايات الصلبة. توليد النفايات هو منتج معدل توليد النفايات للفرد (الأطنان/الفرد/السنة) لكل مكون والتعداد السكاني (الفرد). يوفر الفصل 2 الخطوط التوجيهية الخاصة بجمع البيانات المعنية بتوليد النفايات وتكوينات النفايات بالإضافة إلى ممارسات إدارة النفايات. توجد القيم الافتراضية الإقليمية للنفايات الصلبة المحلية في الجدول 2-1 بالنسبة لمعدل التوليد والكسر الذي تم التخلص منه في مواقع التخلص من النفايات الصلبة، ويوفر الجدول 3-2 البيانات الخاصة بتكون النفايات. في حين يوفر الجدول 2-2 البيانات الافتراضية للنفايات الصناعية للحصول على تقديرات دقيقة للانبعاثات في قوائم الحصر الوطنية عادة ما يكون من الضروري تضمين بيانات تخص التخلص من النفايات الصلبة (الكمية والتكوين) لـ 3 إلى 5 فترات عمر النصف (انظر القسم 3-2-3) للنفايات المترسبة في مواقع التخلص من النفايات الصلبة المحلية، وتضمن المواصفات الخاصة بفترات عمر النصف للمكونات المختلفة لتيارات النفايات أو النفايات المتنوعة حسب نوع موقع التخلص من النفايات الصلبة (الهيئة، 2000). عند تدوين البيانات التاريخية يجب أن يوضع في الاعتبار أيضاً التغييرات التي تطرأ على ممارسات إدارة النفايات (على سبيل المثال، غطاء الموقع تحسين ترشيح التصريف والكبس ومنع التخلص من النفايات الخطرة مع النفايات الصلبة المحلية).

تتطلب أساليب التضاؤل من المستوى الأول توفير البيانات الخاصة بالتخلص من النفايات الصلبة المحلية (الكميات والتكوين) التي تم جمعها افتراضياً لمدة 50 سنة. بالنسبة للبلدان التي لا تتوفر لديها بيانات إحصائية تاريخية أو بيانات معادلة حول التخلص من النفايات الصلبة والتي ترجع إلى فترة 50 سنة أو تزيد، ستحتاج هذه البلدان تقدير هذه البيانات باستخدام الأساليب البديلة (استقراء التعداد السكاني أو الحالات الاقتصادية أو باستخدام محددات أخرى). سيعتمد اختيار الأسلوب على توفر البيانات في البلد.

بالنسبة للبلدان التي تستخدم البيانات الافتراضية الخاصة بالتخلص من النفايات الصلبة المحلية في الأرض، أو البلدان التي لا تغطي البيانات المتوفرة لديها فترة الـ 50 سنة الماضية، يمكن تقدير البيانات التاريخية المفقودة بأنها متناسبة مع تعداد سكان الحضر⁴ (أو إجمالي السكان في حالة عدم توفر بيانات تاريخية حول تعداد سكان الحضر أو في الحالات التي يغطي فيها جمع البيانات كل السكان). بالنسبة للبلدان التي تتوفر لديها بيانات وطنية حول توليد النفايات الصلبة المحلية وممارسات الإدارة والتكوين خلال فترة من السنوات (أسلوب التضاؤل من المستوى الأول للمستوى 2)، يوصى بتحليل محددات التخلص من النفايات الصلبة. جدير بالذكر أن البيانات التاريخية يمكن أن تكون متناسبة مع المؤشرات الاقتصادية أو الجمع بين المؤشرات السكانية والاقتصادية. كما يمكن أن يؤدي استقراء النظام إلى الحصول على نتائج جيدة. أيضاً عند القيام بالتحليلات يجب أن يوضع في الاعتبار ممارسات إدارة النفايات لتقليل توليد النفايات ولإيجاد بدائل للتخلص من النفايات الصلبة. يوصى باستخدام البيانات الخاصة بالإنتاج الصناعي (كمية أو قيمة الإنتاج، يفضل حسب نوع الصناعة، اعتماداً على توفر البيانات) كبديل لتقدير التخلص من البيانات الصناعية (المستوى 2). في حالة عدم توفر بيانات الإنتاج، يمكن تقدير البيانات التاريخية للتخلص من النفايات الصلبة بالنسبة إلى إجمالي الناتج القومي أو المؤشرات الصناعية الأخرى. ويتم استخدام الناتج القومي كمحدد لأسلوب المستوى 1.

ويمكن من الإحصائيات الوطنية الحصول على البيانات التاريخية الخاصة بتعداد السكان الحضر (أو إجمالي عدد السكان) وإجمالي الناتج القومي (أو مؤشرات اقتصادية أخرى) وإحصائيات الإنتاج الصناعي. يمكن أن تساعد قواعد البيانات الدولية في حالة عدم توفر البيانات الوطنية، على سبيل المثال:

- يمكن العثور على البيانات السكانية (1950 وما بعدها بفواصل زمني يبلغ خمس سنوات) في إحصائيات منظمة الأمم المتحدة (انظر <http://esa.un.org/unpp>).

- يمكن الحصول على بيانات إجمالي الناتج القومي (1970 وما بعدها، البيانات السنوية في الأسعار الحالية بالعملة المحلية) (انظر <http://unstats.un.org/unsd/snaama/selectionbasicFast.asp>).

بالنسبة للسنوات التي لا تتوفر البيانات الخاصة بها، يمكن استخدام أسلوب الاستقراء أو الاستنتاج.

وتتضمن الأدبيات أساليب بديلة ويمكن استخدامها عندما يتضح أنها ستؤدي إلى تقديرات أفضل من الأساليب الافتراضية المذكورة أعلاه.

يجب توثيق اختيار الأسلوب والأسلوب البديل والسبب وراء الاختيار بشكل شفاف في تقرير قائمة الحصر. وقد وردت في الفصل 6، اتساق المتسلسلة الوقتية، في المجلد 1، تفاصيل استخدام الأساليب البديلة والاستقراء والاستنتاج كوسائل لتحديد البيانات المفقودة.

⁴ إن الاختيار بين سكان الحضر وإجمالي السكان يجب أن يتم وفقاً لتغطية جمع النفايات. في حالة عدم توفر البيانات الخاصة بتغطية جمع البيانات، يوصى باستخدام تعداد سكان الحضر على أنه المحدد.

3-2-3 اختيار معاملات الانبعاث والبارامترات

الكربون العضوي القابل للتحلل (DOC)

إن الكربون العضوي القابل للتحلل هو الكربون العضوي الموجود في البيانات التي يمكن الوصول إليها بواسطة الانحلال الكيميائي - الحيوي، ويجب التعبير عنه كجيجا جول كربون لكل جيجا جول من النفايات. ويمكن تقدير الكربون العضوي الموجود في النفايات المتنوعة اعتمادًا على تكوين النفايات ويمكن حسابه من المتوسط الموزون لمحتوى الكربون القابل للتحلل للعديد من مكونات (مادة/أنواع النفايات) تيار النفايات. يتم استخدام المعادلة التالية في تقدير الكربون القابل للتحلل باستخدام قيم محتوى الكربون الافتراضية.

$$\text{المعادلة 7-3} \\ \text{تقدير الكربون القابل للتحلل باستخدام قيم محتوى الكربون الافتراضية} \\ \text{DOC} = \sum_i (\text{DOC}_i \cdot W_i)$$

حيث:

DOC = كسر الكربون القابل للتحلل في النفايات المتنوعة، جيجا جول كربون/جيجا جول نفايات

DOC_i = كسر الكربون العضوي القابل للتحلل في نوع النفايات i

على سبيل المثال، القيمة الافتراضية للورق تبلغ 0.4 (على أساس الوزن الرطب)

W_i = كسر نوع النفايات i حسب فئة النفايات

على سبيل المثال، القيمة الافتراضية للورق في النفايات الصناعية الصلبة في غرب آسيا تبلغ 0.188 (على أساس الوزن الرطب)

يوضح الجدول 2-4 القيم الافتراضية للكربون العضوي القابل للتحلل لهذه الكسور بالنسبة للنفايات الصلبة المحلية، ويوضح الجدول 2-5 في الفصل 2 بهذا المجال القيم الافتراضية للكربون القابل للتحلل للنفايات الصناعية حسب الصناعة. يمكن استخدام مقترَب مشابه لتقدير محتوى الكربون العضوي القابل للتحلل في إجمالي النفايات التي يتم التخلص منها في البلد. في نموذج جدول البيانات، يجب الحصول على تقدير الكربون العضوي القابل للتحلل في النفايات الصلبة المحلية فقط في خيار *النفايات المتنوعة*، بالإضافة إلى متوسط الكربون العضوي القابل للتحلل في النفايات الصلبة المحلية التي تم التخلص منها في مواقع التخلص من النفايات الصلبة، بما في ذلك المواد الخاملة.

ويعتبر الجزء الخامل للنفايات (الزجاج والبلاستيك والمعادن والنفايات غير القابلة للتحلل الأخرى، انظر الجدول 2-3 في الفصل 2) بالغ الأهمية عند تقدير إجمالي كمية الكربون القابل للتحلل في النفايات الصلبة المحلية. لذا يوصى بعدم استخدام بيانات تكوين النفايات الافتراضية للهيئة مع بيانات التخلص من النفايات الصلبة المحلية الخاصة بالبلد، دون التأكد من أن هذا الجزء الخامل قريب من الجزء الخامل في البيانات الافتراضية للهيئة.

يوصى باستخدام القيم الخاصة بالبلد في حالة توفر البيانات. يمكن الحصول على القيم الخاصة بالبلد بإجراء دراسات تخص توليد النفايات وجمع العينات في مواقع التخلص من النفايات الصلبة، بالإضافة إلى تحليل محتوى الكربون القابل للتحلل في البلد. في حالة استخدام القيم الوطنية، يجب الإبلاغ عن بيانات المسح ونتائج جمع العينات (انظر أيضاً القسم 2-3-2-2 لبيانات الأنشطة والقسم 3-8 للإبلاغ).

كسر الكربون العضوي القابل للتحلل المنحل (DOC_f)

إن كسر الكربون العضوي القابل للتحلل المنحل (DOC_f) هو تقدير لكسر الكربون المتحلل في النهاية والمنبعث من مواقع التخلص من النفايات الصلبة، ويعكس حقيقة أن بعض الكربون العضوي القابل للتحلل لا يتحلل أو يتحلل بشكل بطيء للغاية، في ظل الظروف اللاهوائية في مواقع التخلص من النفايات الصلبة. يوصى بأن تكون قيمة DOC_f الافتراضية هي 0.5 (على افتراض أن بيئة مواقع التخلص من النفايات الصلبة بيئة لاهوائية وأن قيم الكربون العضوي القابل للتحلل تشتمل على اللجنين، انظر الجدول 2-4 في الفصل 2 للقيم الافتراضية للكربون العضوي القابل للتحلل) (أونك وبووم، 1995؛ بوجنر وماتيس، 2003). تعتمد قيمة DOC_f على العديد من العوامل، مثل درجة الحرارة والرطوبة واحتمالية الهيدروجين وتكوين النفايات وما إلى ذلك. يمكن استخدام قيم DOC_f الوطنية أو قيم DOC_f من بلدان متشابهة، لكن يجب أن تكون معتمدة على البحث جيد التوثيق.

لا يتضمن تقدير DOC_f، كمية الكربون العضوي القابل للتحلل المرشح من مواقع التخلص من النفايات الصلبة. عامة فإن كميات الكربون العضوي القابل للتحلل المفقودة أثناء الترشيح تكون أقل من 1 في المائة ويمكن التغاضي عنها في الحسابات⁵.

⁵ في البلدان التي تتسم بنسبة ترسب عالية، ربما تكون كمية الكربون العضوي القابل للتحلل أثناء الإزالة عالية. في اليابان، حيث ترتفع نسبة الترسيب، ثبت أن مواقع التخلص من النفايات الصلبة التي ترتفع بها نسبة الترسيب تقوم بترشيح كميات كبيرة من الكربون العضوي القابل للتحلل (في بعض الأحيان أكبر من 10 في المائة من الكربون في مواقع التخلص من النفايات الصلبة المحلية) (ماتسو فوجي وآخرون، 1996).

أيضاً يمكن أن تستخدم منهجيات المستوى الأعلى (المستوى 2 أو المستوى) قيم DOC_F منفصلة معرفة لأنواع نفايات معينة. وتوجد بعض الأدبيات التي توفر معلومات حول القدرة على التطل اللاهوائية (DOC) لأنواع المواد (بارلاز، 2004؛ ميكاليس وسكوج، 1997، وكالة حماية البيئة الأمريكية، 2002؛ جاردينز وآخرون، 2002). وتتنوع القدرات على التحلل التي تم الإبلاغ عنها، لاسيما بالنسبة للخشب، في نطاق واسع ولا تزال غير محسومة تماماً. كما قد تتنوع مع ثلاثة أنواع. تتضمن قيم DOC_F منفصلة لأنواع نفايات معينة الافتراض القائل بأن تحلل أنواع مختلفة من النفايات مستقلة عن بعضها البعض. وكما ورد في المناقشات فيما بعد، ضمن فترات نصف العمر، فإن المعرفة العلمية لحظتها كتابة هذه الخطوط التوجيهية غير حاسمة فيما يخص هذا الجانب.

لذا فإن استخدام قيم خاصة بنوع النفايات لـ DOC_F يمكن أن يؤدي إلى درجة عدم تيقن إضافية للتقديرات في الحالات التي تعتمد فيها بيانات تكوين النفايات على القيم الافتراضية أو صياغة النماذج أو تقديرات تعتمد على آراء الخبراء. لذا فمن الممارسة السليمة استخدام قيم DOC_F الخاصة بأنواع النفايات فقط عند اعتماد بيانات التكوين على تحليلات وعينات تمثيلية.

معامل تصحيح الميثان⁶ (MCF)

تختلف ممارسات التخلص من النفايات؛ التحكم ووضع النفايات وإدارة الموقع. ويضع معامل تصحيح الميثان في اعتباره حقيقة أن مواقع التخلص من النفايات الصلبة غير المدارة تنتج كمية ميثان من كمية نفايات محددة أقل من مواقع التخلص من النفايات الصلبة المدارة اللاهوائية. في مواقع التخلص من النفايات الصلبة المدارة، يتحلل كسر كبير من النفايات لاهوائياً في الطبقة العليا. في مواقع التخلص من النفايات الصلبة ذات أماكن التخلص العميقة و/أو مستوى المياه العالي، يجب أن يكون كسر النفايات المتحللة أصغر في مواقع التخلص من النفايات الصلبة المسطحة. ويتم إزالة مواقع التخلص من النفايات الصلبة المدارة نصف الهوائية بشكل سلبي لتقديم الهواء إلى طبقة النفايات لإنشاء بيئة نصف هوائية في مواقع التخلص من النفايات الصلبة. ومعامل تحسين الميثان فيما يتعلق بإدارة النفايات الصلبة يخص هذه المنطقة ويجب تفسيره على أنه معامل تصحيح إدارة النفايات الذي يعكس جانب إدارة النفايات التي تتحلل.

وتم تعيين معامل تصحيح ميثان لكل فئة من الفئات الأربع، كما ورد في الجدول 1-3. وقد وردت قيمة افتراضية للبلدان التي لا يُعرف بها كمية النفايات التي تم التخلص منها في كل موقع من مواقع التخلص من النفايات الصلبة. ربما يتغير تصنيف البلد الخاص بمواقع النفايات إلى مواقع مدارة أو مواقع غير مدارة بمرور عدد من السنوات حيث يتم تنفيذ ممارسات وطنية لإدارة النفايات.

يعكس كسر النفايات الصلبة التي تم التخلص منها في مواقع التخلص من النفايات الصلبة (SWF) ومعامل تصحيح الميثان طريقة إدارة النفايات وتأثير هيكل الموقع وممارسة الإدارة على توليد الميثان. وتفرض المنهجية على البلدان توفير بيانات أو تقديرات لكمية النفايات التي يتم التخلص منها في كل فئة من الفئات الأربع لمواقع التخلص من النفايات الصلبة (الجدول 1-3). فقط إذا كانت البلدان غير قادرة على تصنيف مواقع التخلص من النفايات الصلبة بها إلى الفئات الأربع لمواقع التخلص من النفايات الصلبة المدارة وغير المدارة، يمكن استخدام معامل تصحيح الميثان "مواقع التخلص من النفايات الصلبة غير المصنفة".

الجدول 1-3 تصنيف مواقع التخلص من النفايات الصلبة ومعاملات تصحيح الميثان (MCF)	
نوع الموقع	القيم الافتراضية لمعامل تصحيح الميثان
مدار - لاهوائي ¹	1.0
مدار - نصف هوائي ²	0.5
غير مدار ³ - عميق (>5م نفايات) و/أو مستوى مياه عال	0.8
غير مدار ⁴ - مسطح (>5م نفايات)	0.4
مواقع للتخلص من النفايات الصلبة غير مصنفة ⁵	0.6
<p>¹ مواقع التخلص من النفايات الصلبة الهوائية المدارة: يجب أن تتسم هذه المواقع بألية تخضع للتحكم لوضع النفايات (أي يتم توجيه النفايات إلى مواقع ترسب معينة ودرجة للتحكم في التنقية ودرجة من التحكم في الحرائق) وستحتوي على واحد من العناصر التالية على الأقل: (1) مادة الغطاء أو (2) الكبس الميكانيكي أو (3) تسوية النفايات.</p> <p>² مواقع التخلص من النفايات الصلبة نصف الهوائية المدارة: يجب أن تتسم هذه المواقع بألية تخضع للتحكم لوضع النفايات وأن تشمل على كل الهياكل التالية لتقديم الهواء إلى طبقة النفايات: (1) مادة غطاء قابلة للنفاذ و(2) تحسين غسل التصريف و(3) تنظيم البركة (4) نظام لتهدئة الغاز.</p> <p>³ مواقع التخلص من النفايات الصلبة غير المدارة - ذات مستوى مياه عميق و/أو عالي: تشكل كل مواقع التخلص من النفايات الصلبة التي تفي بمعايير مواقع التخلص من النفايات الصلبة والتي تتسم بأعماق تزيد عن أو تعادل 5 أمتار و/أو مستوى مياه عالي على مستوى الأرض. ويشير الموقف الأخير إلى ملء المياه الأرضية، على سبيل المثال البركة أو النهر أو المنطقة المائية، بواسطة النفايات.</p> <p>⁴ مواقع التخلص من النفايات الصلبة المسطحة غير المدارة: تشمل على كل مواقع التخلص من النفايات الصلبة التي تفي بمعايير مواقع التخلص من النفايات الصلبة المدارة والتي تتسم بأعماق تقل عن 5 أمتار.</p> <p>⁵ مواقع التخلص من النفايات الصلبة غير المصنفة: فقط إذا كانت البلدان غير قادرة على تصنيف مواقع التخلص من النفايات الصلبة بها إلى الفئات الأربع لمواقع التخلص من النفايات الصلبة المدارة وغير المدارة، يمكن استخدام معامل تصحيح الميثان لهذه الفئة.</p>	
المصادر: الهيئة (2000)؛ ماسوفوجي وآخرون (1996)	

⁶ يجب ألا يختلط مصطلح تصحيح الميثان (MCF) في هذا السياق مع معامل تحويل الميثان (MCF) المشار إليه في قطاع الزراعة والحراجة واستعمالات الأرض الأخرى للانبعاثات الناجمة عن إدارة روث الماشية.

كسر الميثان في الغاز المولد من المكبات الأرضية (F)

تولد معظم النفايات في مواقع التخلص من النفايات الصلبة غازًا يحتوي تقريبًا على 50 في المائة ميثان. فقط المواد التي تحتوي على كميات كبيرة من الدهون أو الزيوت يمكن أن تولد غاز بكميات كبيرة تزيد فيه نسبة الغاز عن 50 في المائة. لذا يوصى باستخدام قيمة الهيئة الافتراضية لكسر الميثان في المكبات الأرضية للغاز (0.5).

يجب عدم الخلط بين كسر الميثان في الغاز المولد من المكبات الأرضية مع الغاز الذي تم قياسه والمنبعث من مواقع التخلص من النفايات الصلبة. في مواقع التخلص من النفايات الصلبة، يتم امتصاص ثاني أكسيد الكربون في مياه الترشيح، وتحول الظروف المحايدة لمواقع التخلص من النفايات الصلبة كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون الممتص إلى ثاني الكربونات. لذا فمن الممارسة السليمة الانتباه لحساب امتصاص ثاني أكسيد الكربون في مياه الترشيح، وذلك في حالة اعتماد كسر الميثان في غاز المكبات الأرضية على قياسات تركيزات الميثان الذي تم قياسها في غاز المكبات الأرضية المنبعث من مواقع التخلص من النفايات الصلبة (بيرجمان، 1995؛ كاميفر وفايسنغليس، 2001؛ الهيئة 1997).

معامل الأكسدة (OX)

يعكس معامل الأكسدة (OX) كمية الميثان الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة التي تتم أكسدتها في التربة والمواد الأخرى التي تغطي النفايات.

تتم أكسدة الميثان بواسطة كائنات دقيقة ميثانية الغذاء في تربة الغطاء ويمكن أن تتراوح الأكسدة ما بين الكميات الصغيرة إلى الأكسدة التامة 100 في المائة للميثان الذي يتم إنتاجه داخليًا. ويؤثر السمك والخصائص الفيزيائية ومحتوى الرطوبة لتربة الغطاء مباشرة على أكسدة الميثان (بوجنر وماتيويس، 2003).

وقد أظهرت الدراسات أن الأماكن الصحية ومواقع التخلص من النفايات الصلبة تميل إلى معدلات أكسدة أعلى من مواقع الدفن غير المدارة. ربما يختلف معامل الأكسدة بشكل كبير في المواقع المغطاة بمادة سميكة وجيدة التهوية عن المواقع التي لا تحتوي على غطاء أو المواقع التي تهرب منها كميات كبيرة من الميثان عبر الشقوق/التصدعات الموجودة في الغطاء.

يجب عدم الاستخدام المباشرة للتركيزات الميدانية والمعملية لانبعث الميثان وثاني أكسيد الكربون وقياسات المادة المساعدة على الصهر التي تحدد أكسدة الميثان من طبقات التربة المتجانسة والموحدة بغرض تحديد معامل الأكسدة، لأنه في الواقع فإن كسرًا صغيرًا من الميثان المولد سينتشر عبر هذه الطبقة المتجانسة وسيهرب كسر آخر عبر التشققات/التصدعات أو عبر الانتشار الجانبي دون التأكد. لذا فإن النتائج الناجمة عن الدراسات الميدانية والمعملية يمكن أن تؤدي إلى الإفراط في تقدير الأكسدة في تربة الغطاء لمواقع التخلص من النفايات الصلبة، إلا إذا كان المدى المكاني للقياسات واسعًا بدرجة كافية وتم تضمين التشققات/التصدعات بشكل واضح.

تبلغ القيمة الافتراضية لمعامل الأكسدة صفرًا. انظر الجدول 2-3. إن استخدام قيمة الأكسدة التي تبلغ 0.1 له ما يبرره لمواقع التخلص من النفايات الصلبة المغطاة وذات الإدارة الجيدة لتقدير كل من الانتشار عبر الغطاء والهرب من خلال التشققات/التصدعات. يجب توثيق استخدام قيمة أكسدة تزيد عن 0.1 وتحديد مراجعه وتدعيمه بواسطة بيانات ترتبط بالظروف الوطنية. من الأهمية بمكان عدم نسيان أن أي ميثان تتم استعادته يجب طرحه من الكمية المولدة قبل استخدام معامل الأكسدة.

الجدول 2-3 معامل الأكسدة (OX) من مواقع التخلص من النفايات الصلبة	
نوع الموقع	القيم الافتراضية لمعامل الأكسدة
مواقع التخلص من النفايات الصلبة المدارة ¹ وغير المدارة وغير المصنفة	0
المدارة ذات مادة أكسدة الميثان ²	0.1
¹ المدارة لكن غير المغطاة بواسطة مادة هوائية	
² أمثلة: التربة والسماد	

فترة نصف العمر

فترة نصف العمر، $t_{1/2}$ هي الفترة الزمنية التي يستغرقها DOCm لكي يتضاعف إلى نصف كتلته الأولية. في نموذج التضاؤل من المستوى الأول وفي المعادلات الواردة في هذا النموذج، يتم استخدام ثابت التفاعل k . والعلاقة بين k و $t_{1/2}$ هي: $k = \ln(2)/t_{1/2}$. وتتأثر فترة عمر النصف بمجموعة متنوعة من العوامل المرتبطة بتكوين النفايات والظروف البيئية في مكان مواقع التخلص من النفايات الصلبة وخصائص مواقع التخلص من النفايات الصلبة وممارسات التخلص من النفايات الصلبة وعوامل أخرى (بيبلت وآخرون، 1998؛ وزارة البيئة الكندية، 2003).

ويتم تحديد فترة عمر النصف المعمول بها في أي موقع مفرد للتخلص من النفايات الصلبة من خلال عدد من العوامل المرتبطة بتكوين النفايات والظروف المحيطة بالموقع. وقد وفرت الدراسات الحديثة المزيد من البيانات حول فترات عمر النصف (بالتجربة أو عبر النماذج)، لكن النتائج التي تم العثور عليها تعتمد على خصائص البلدان النامية في ظل الظروف المناخية المعتدلة. تعكس النتائج القليلة المتاحة خصائص البلدان النامية والظروف الاستوائية. إن النتائج التي تم الحصول عليها من مواقع التخلص من النفايات الصلبة في الأرجنتين ونيوزيلندا والولايات المتحدة

وترتبط أسرع المعدلات ($k = 0.2$ أو فترة نصف العمر تبلغ حوالي 3 سنوات) بالظروف عالية الرطوبة والمادة سريعة التحلل، مثل نفايات الأغذية. وترتبط معدلات التضاؤل المنخفضة ($k = 0.02$ أو فترة نصف العمر تبلغ حوالي 35 سنة) بالظروف الجافة بالموقع والمادة بطيئة التحلل، مثل نفايات الخشب أو الورق. ويمكن تحديد أسباب فترة عمر النصف التي تصل إلى 70 سنة أو أكثر بالنسبة لمواقع التخلص من النفايات الصلبة الجافة المسطحة في المناخ المعتدل أو نفايات الخشب في المناخ المعتدل والجاف. ربما تكون فترة عمر النصف التي تقل عن 3 سنوات ملائمة لمواقع التخلص من النفايات الصلبة المدارة في المناخ المعتدل والرطب أو النفايات سريعة التحلل في المناخ الاستوائي الرطب. يوصى بأن يحدد القائمون على الحصر قيم خاصة بالبلد لفترة عمر النصف. وتعيين القيود الحالية على البيانات والمعلومات إعداد منهجية افتراضية لتقدير فترات نصف العمر من البيانات الميدانية في مواقع التخلص من النفايات الصلبة.

توجد مقاربتين بديلتين لتحديد فترة عمل النص (أو قيمة k) للحساب: (أ) حساب المتوسط الموزون لقيمة $t_{1/2}$ بالنسبة للنفايات الصلبة المحلية المختلفة (جينسين وببباتي، 2002) أو (ب) تقسيم تيار النفايات إلى فئات نفايات وفقاً لسرعة التحلل (برون وآخرون، 1999). ويفترض المقرب الأول تحلل أنواع مختلفة من النفايات بحيث يعتمد على كل منها على الآخر تماماً. لذا فإن تضاؤل الخشب معزز نتيجة لوجود نفايات الأغذية وتضاؤل الأغذية يكون بطيئاً نتيجة للخشب. يفترض المقرب الثاني تحلل أنواع النفايات المختلف بشكل مستقل عن بعضها البعض. حيث يتحلل الخشب كخشب، بغض النظر عما إذا كان في موقع خامل تقريباً للتخلص من النفايات الصلبة أو في موقع للتخلص من النفايات الصلبة يحتوي على كميات كبيرة من النفايات المتحللة بسرعة. في الواقع، فإن الحقيقة ستكون في منطقة وسطى بين هذا المقرب وذلك. ومع ذلك فقد كانت هناك بعض الأبحاث القليلة التي تم إجراؤها للتعرف على أفضل المقاربتين (أونك وبووم، 1995؛ تشارف وآخرون، 2003) ولم تكون هذه الأبحاث حاسمة. ويطبق خياران من نموذج جدول بيانات الهيئة أيًا من المقاربتين المذكورتين عاليه لتحديد فترة نصف العمر كما يلي:

خيار النفايات المتنوعة: يتطلب خيار النفايات المتنوعة البديل (أ) عاليه، ويناسب البلدان التي لا تتوفر لديها بيانات أو لديها بيانات محدودة عن تكوين النفايات، لكن تتوفر لديها معلومات جيدة حول النفايات المتنوعة التي تم التخلص منها في مواقع التخلص من النفايات الصلبة. ويتم تقدير القيم الافتراضية كدالة على المنطقة المناخية.

خيار تكوين البيانات: يتطلب خيار تكوين البيانات البديل (ب) وينطبق على البلدان التي تتوفر لديها بيانات حول تكوين النفايات. يجب توفر مواصفة فترة نصف العمر ($t_{1/2}$) لكل مكون من مكونات تيار النفايات (الهيئة، 2000) لتحقيق نتائج دقيقة مقبولة.

لكل من الخيارين، يتم تقدير قيم فترة نصف العمر كدالة للمنطقة المناخية. فيما يلي الاعتبارات والافتراضات الأساسية:

- تكوين النفايات (لاسيما المكون العضوي من أهم العوامل التي تؤثر على كمية وتوقيت إنتاج الميثان.
- محتوى رطوبة موقع التخلص من النفايات الصلبة عنصر هام للتحلل اللاهوائي وتوليد الميثان. ويفترض الأسلوب المبسط أن محتوى رطوبة موقع التخلص من النفايات الصلبة يتناسب مع أقل نسبة ترسب سنوية (PIM) في مكان موقع التخلص من النفايات الصلبة (بيلت وآخرون، 1998؛ وكالة حماية البيئة الأمريكية، 1998؛ وزارة البيئة الأمريكية، 2003) أو يتناسب مع أقل نسبة ترسب سنوية واحتمالية إنتاج بخار (PET).
- يعتمد مدى تأثير درجات حرارة الهواء المحيط على درجة حرارة موقع التخلص من النفايات الصلبة ومعدلات توليد الغازات على درجة إدارة النفايات وعمق موقع التخلص من النفايات الصلبة.
- تتحلل النفايات الموجودة في أماكن الدفن المفتوحة هوائياً بشكل عام وتنتج كمية قليلة من الميثان، وتقل الانبعاثات في فترة أقصر مما يحدث في الظروف اللاهوائية. تنتج مواقع التخلص من النفايات الصلبة المدارة (وأيضاً غير المدارة العميقة) ظروفاً لاهوائية.
- ربما تضع البلدان قيماً لفترة عمر النصف (أو قيم k) معينة تتلاءم بشكل أكبر مع الظروف والخصائص التي تتسم بها. ومن الممارسة السليمة أن تقوم هذه البلدان التي تعد قيم فترات نصف العمر الخاص بها بتوثيق الإجراءات التجريبية المستخدمة لتحديد هذه القيم.

وردت في الجدولين 3-3 و 3-4 التاليين قيم k الافتراضية و فترات نصف العمر المناظرة.

الجدول 3-3 قيم معدل توليد الميثان الموصى به (k) ضمن المستوى 1 (مشتقة من قيم k التي تم الحصول عليها في قياسات تجريبية، محسوبة بواسطة النماذج أو مستخدمة في قوائم حصر غازات الاحتباس الحراري والدراسات الأخرى)									
منطقة المناخ*								نوع النفايات	
استوائي ¹ (م. الحرارة < 20 درجة مئوية)				شمالي معتدل (م. الحرارة ≥ 20 درجة مئوية)					
رطب (م. الترسيب ≤ 1000 ملم)		جاف (م. الترسيب > 1000 ملم)		مبلل (م. الترسيب < 1000 ملم)		جاف (م. الترسيب > 1000 ملم)			
النطاق ²		النطاق ²		النطاق ²		النطاق ²			
0.085 – 0.06	0.07	0.06 – 0.04	0.045	- 0.05 0.07 ^{3,5}	0.06	- 0.03 ^{3,5} 0.05 ^{3,4}	0.04	نفايات الورق/المنسوجات	النفايات المتحللة ببطء
0.05 – 0.03	0.035	0.04 – 0.02	0.025	0.04 – 0.02	0.03	- 0.01 ^{3,4} 0.03 ^{6,7}	0.02	نفايات القش/الخشب	
0.2 – 0.15	0.17	0.08 – 0.05	0.065	0.1 ⁸ – 0.06	0.1	0.06 – 0.04	0.05	نفايات منتزهات/حدائق أخرى (غير الأغذية) عضوية/قابلة للتحلل	النفايات المتحللة بشكل معتدل
0.7 ¹⁰ – 0.17	0.4	0.1 – 0.07	0.085	- 0.1 ^{3,4} 0.2 ⁹	0.185 ⁴	0.08 – 0.05	0.06	نفايات الأغذية/خبث الصرف	النفايات المتحللة بسرعة
0.2 – 0.15 ¹¹	0.17	0.08 – 0.05	0.065	0.1 – 0.08 ⁸	0.09	0.06 – 0.04	0.05	النفايات المتنوعة	

¹ توجد معلومات محدودة متوفرة حول تحديد قيم k وفترات نصف العمر في الظروف الاستوائية. القيم الواردة في الجدول، الخاصة بهذه الظروف، مجرد مؤشرات وقد تم اشتقاق معظمها من الافتراضات الموصوفة في النص والقيم التي تم الحصول عليها من الظروف المعتدلة.

² ينسب النطاق إلى بيانات الحد الأدنى والحد الأقصى التي تم الإبلاغ عنها أو تقديرها بواسطة مؤلفي الفصل. وقد تم إدماجها بشكل أساسي لوصف درجة عدم اليقين المرتبطة بالقيمة الافتراضية.

³ أونك وبوم (1995).

⁴ (الهيئة، 2000).

⁵ براون وآخرون. (1999). تم استخدام قيمة قريبة (16 سنة) للتحلل البيئي، في التحقق من نموذج جازسيم (أنتينور و/آخرون، 2002).

⁶ هيئة البيئة الكندية (2003)

⁷ في هذا النطاق، تم الإبلاغ عن فترات نصف عمر أطول (حتى 231 سنة) لم يتم تضمينها في الجدول حيث تم اشتقاقها من قيم k منخفضة للغاية تم استخدامها في مواقع مع متوسط الحرارة اليومي > 0 درجة مئوية (ليفنون، 1991).

⁸ مقدر من المعهد القومي للصحة العامة والبيئة (RIVM) (2004).

⁹ القيمة المستخدمة للتحلل السريع، في التحقق من نموذج جازسيم (أنتينور و/آخرون، 2002)؛

¹⁰ مقدر من جينسين وبيباتي (2003)

¹¹ مع اعتبار $t1/2 = 7-4$ على أنها قيمة خاصة لمعظم البلدان النامية في المناخ الاستوائي. الظروف مرتفع الرطوبة والنفايات عالية التحلل.

*مقتبسة من: الفصل 3 في الخطوط التوجيهية للممارسات السليمة لاستخدام الأراضي وتغيير استخدام الأراضي والحراجة (الهيئة، 2003).

م. الحرارة هو متوسط الحرارة السنوي؛ م. الترسيب هو متوسط الترسيب السنوي؛ التبخر هو النتج والبخر المحتمل.

م. الترسيب/التبخر هو نسبة متوسط الترسيب إلى التبخر. يجب تحديد المتوسط السنوي لكل من الحرارة والترسيب والتبخر خلال المتسلسلة الزمنية لتقدير الانبعاثات أن تتم الإشارة إليه بواسطة محطة جوية ممثلة.

الجدول 3-4 قيم (سنة) فترة نصف العمر الموصى بها ($t_{1/2}$) ضمن المستوى 1 (مشتقة من قيم k التي تم الحصول عليها في قياسات تجريبية، محسوبة بواسطة النماذج أو مستخدمة في قوائم حصر غازات الاحتباس الحراري والدراسات الأخرى)									
منطقة المناخ*									
شمالي معتدل (م.الحرارة ≥ 20 درجة مئوية)				استوائي ¹ (م.الحرارة < 20 درجة مئوية)					
جاف (م. الترسيب < 1000 ملم)		مبل (م. الترسيب > 1000 ملم)		جاف (م. الترسيب < 1000 ملم)		رطب (م. الترسيب ≤ 1000 ملم)			
الافتراضي النطاق ²		الافتراضي النطاق ²		الافتراضي النطاق ²		الافتراضي النطاق ²			
12-8	10	17-12	15	14 ^{3.5} -10	12	-14 ^{3.5} 23 ^{3.4}	17	نفايات الورق/المنسوجات	النفايات المتحللة ببطء
23-14	20	35-17	28	35-17	23	-23 ^{3.4} 69 ^{6.7}	35	نفايات القش/الخشب	
5-3	4	14-9	11	9 ⁸ -6	7	17-12	14	نفايات منتزهات/حدائق أخرى (غير الأغذية) عضوية/قابلة للتحلل	النفايات المتحللة بشكل معتدل
4-1 ¹⁰	2	10-6	8	6 ⁹ -3 ^{3.4}	4 ⁴	14-9	12	نفايات الأغذية/خبث الصرف	النفايات سريعة التحلل
5 ¹¹ -3	4	14-9	11	9 ⁸ -6	7	17-12	14		النفايات المتنوعة

¹ توجد معلومات محدودة متوفرة حول تحديد قيم k وفترات نصف العمر في الظروف الاستوائية. القيم الواردة في الجدول، الخاصة بهذه الظروف، مجرد مؤشرات وقد تم اشتقاق معظمها من الافتراضات الموصوفة في النص والقيم التي تم الحصول عليها من الظروف المعتدلة.

² يشير النطاق إلى بيانات الحد الأدنى والحد الأقصى التي تم الإبلاغ عنها أو تقديرها بواسطة مؤلفي الفصل. وقد تم إدماجها بشكل أساسي لوصف درجة عدم التيقن المرتبطة بالقيمة الافتراضية.

³ أونك وبيوم (1995).

⁴ (الهيئة، 2000).

⁵ Brown *et al.* (1999). تم استخدام قيمة قريبة (16 سنة) للتحلل البطيء، في التحقق من نموذج جازسيم (أنتينورو وآخرون، 2002).

⁶ هيئة البيئة الكندية (2003)

⁷ في هذا النطاق، تم الإبلاغ عن فترات نصف عمر أطول (حتى 231 سنة) لم يتم تضمينها في الجدول حيث تم اشتقاقها من قيم k منخفضة للغاية تم استخدامها في مواقع مع متوسط الحرارة اليومي > 0 درجة مئوية (ليفنتون، 1991).

⁸ مقدره من المعهد القومي للصحة العامة والبيئة (RIVM) (2004).

⁹ القيمة المستخدمة للتحلل السريع، في التحقق من نموذج جازسيم (أنتينورو وآخرون، 2002).

¹⁰ مقدره من جنسين وبياتي (2003)

¹¹ مع اعتبار $t_{1/2} = 4-7$ على أنها قيمة خاصة لمعظم البلدان النامية في المناخ الاستوائي. الظروف مرتفع الرطوبة والنفايات عالية التحلل.

*مقتبسة من: الفصل 3 في الخطوط التوجيهية للممارسات السليمة لاستخدام الأراضي وتغيير استخدام الأراضي والحراجة (الهيئة، 2003).

م. الحرارة هو متوسط الحرارة السنوي؛ م. الترسيب هو متوسط الترسيب السنوي؛ التبخر هو النتج والبخر المحتمل.

م. الترسيب/التبخر هو نسبة متوسط الترسيب إلى التبخر. يجب تحديد المتوسط السنوي لكل من PIM و TIM و PET خلال المتسلسلة الزمنية لتقدير الانبعاثات أن تتم الإشارة إليه بواسطة محطة جوية ممثلة.

استعادة الميثان (R)

ويمكن استعادة الميثان المولد في مواقع التخلص من النفايات الصلبة وإحراقه في جهاز طاقة أو أنبوب إشعال. ويتم التعبير عن كمية الميثان التي تمت استعادتها برمز R في المعادلة 3-1. في حالة استخدام الغاز المستعاد لتوليد الطاقة، يجب أيضاً الإبلاغ عن انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناتجة ضمن قطاع الطاقة. ومع ذلك لا تكون الانبعاثات الناجمة عن الإشعال كبيرة، حيث تكون انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من أصل حيوي، وتكون انبعاثات الميثان وأكسيد النيتروز صغيرة للغاية، لذا فإن الممارسة السليمة في قطاع النفايات لا تتطلب تقديرها. ومع ذلك فعند الرغبة

والقيمة الافتراضية لاستعادة الميثان هي صفر. ويجب الإبلاغ عن استعادة الميثان فقط عند توفر المراجع التي تؤكد كمية استعادة الميثان. ويتسق مع الممارسة السليمة الإبلاغ اعتمادًا على قياس كل الغاز المستعاد لتوليد الطاقة والإشعال أو الإبلاغ عن الغاز اعتمادًا على مراقبة الكمية المنتجة للكهرباء من الغاز (بالنظر إلى توفر معاملات الحمل وقيمة التسخين ومعدل الحرارة المناظر والمعاملات الأخرى التي تؤثر على كمية الغاز المستخدم لإنتاج الكمية المراقبة من الكهرباء).

يجب الانتباه جيدًا عند تقدير كمية الميثان المستعادة باستخدام طرق غير مباشرة بشكل أكبر، باستخدام الافتراضات الأساسية. وربما الأساليب غير المباشرة على عدد مواقع التخلص من النفايات الصلبة في البلد مع جمع الميثان أو إجمالي سعة معدات الاستخدام أو سعة الإشعال المباشرة.

وعند تقدير استعادة الميثان على أساس عدد مواقع التخلص من النفايات الصلبة مع استعادة غاز المكبات الأرضية، قد يصل التقدير الافتراضي لكفاءة الاستعادة إلى 20 في المائة. وهذه القيمة مقترحة نتيجة لدرجات عدم اليقين العديدة في استخدام هذه المنهجية. وقد كانت هناك بعض القياسات للكفاءة في مشروعات استعادة الغاز وتراوحت الغازات المستعادة بين 10 و85 في المائة، وقد قام أونك وبووم (1995) بقياس الكفاءات في مواقع التخلص من النفايات المغلقة وغير المبطنة ووجد أنها تتراوح بين 10 و80 في المائة، وبلغ المتوسط في أكثر من 11 موقعًا للتخلص من النفايات الصلبة 37 في المائة. وخلال الفترة الأخيرة، قام تشارف وآخرون (2003) بقياس الكفاءات في أربعة مواقع للتخلص من النفايات الصلبة ووجد أنها 9 في المائة و50 في المائة و55 في المائة و33 في المائة. كما قاس في الفترة الأخيرة سيوكاس وآخرون (2006)؛ ديوت وآخرون (2001) الكفاءات التي تزيد عن 90 في المائة. عمومًا، يمكن أن ترتبط كفاءات الاستعادة العالية بمواقع التخلص من النفايات الصلبة، ذات مواد الصهر التي تحتوي على غاز قليل والتصميم الجيد والاستعادة المشغلة، والتي تتسم بالأغطية الأكثر سماكة والأقل نفاذة. ويمكن أن ترتبط الكفاءات المنخفضة بمواقع التخلص من النفايات ذات الأجزاء الكبيرة التي لا تزال قيد الاستخدام ومع، على سبيل المثال، الأغطية الرملية المؤقتة.

يمكن استخدام القيم الخاصة بالبلد، لكن سيطلب ذلك القيام بأبحاث كثيرة لفهم تأثير البارامترات التالية على الاستعادة: نوع الغطاء والنسبة المئوية لموقع التخلص من النفايات الصلبة المغطى بواسطة مشروع التغطية ووجود البطانة والحالة المفتوحة والمغلقة ومعاملات أخرى.

عندما تعتمد كمية الميثان المستعادة على إجمالي سعة أجهزة الاستخدام أو أنابيب الإشعال المباشرة، ويجب بذل المزيد من الجهود للتعرف على قطعة الأجهزة التي لا تزال قيد التشغيل. ويمكن أن يعتمد تقدير متحفظ لكمية الميثان المستعادة على قائمة حصر السعات الدنيا لأجهزة الاستخدام قيد التشغيل وأنابيب الإشعال. ويوجد مقرب متحفظ آخر لتقدير إجمالي الاستعادة إلى 35 في المائة من السعات المركبة. واعتمادًا على دراسات ألمانية وأمريكية (أونك، 1993؛ تشيبل، 2006)، تنوعت الكميات المستعادة من 35 إلى 70 في المائة من معدلات السعة. وقد تضمنت أسباب النطاق (1) ساعات التشغيل من 95 في المائة إلى 80 في المائة، نتيجة لمشكلات الصيانة أو المشكلات الفنية؛ (2) إنتاج الغاز مفرط التقدير ونتيجة لتلك الأجهزة زائدة الحجم؛ (3) عدم نشاط أنابيب الإشعال الاحتياطية. كلما ارتفعت المعدلات، يجب أن توضع هذه الاعتبارات في الحسبان عند تقدير السعة. إذا استخدمت إحدى البلدان هذا الأسلوب للإشعال، يجب الانتباه لضمان أن أنبوب الإشعال ليس أنبوب إشعال احتياطيًا لمشروع تحويل الغاز إلى طاقة. ويجب تطابق أنابيب الإشعال مع مواقع التخلص من النفايات الصلبة إن أمكن لضمان عدم حدوث ازدواجية في الحساب.

في كل الحالات، يجب الإبلاغ عن الكميات المستعادة على أنها ميثان، وليست غاز للمكبات الأرضية، حيث إن غاز المكبات الأرضية لا يحتوي إلا على كسر صغير من الميثان. ويجب توثيق أسس الإبلاغ بشكل واضح. عند اعتماد الإبلاغ على عدد من مواقع التخلص من النفايات الصلبة تتسم باستعادة الغاز من المكبات الأرضية أو إجمالي سعة أجهزة الاستخدام، من الضروري الوصف الكامل لكل الافتراضات المستخدمة في تقدير الاستعادة وأن يتم تبريرها في المراجع والبيانات الخاصة بالبلد.

وقت التأخير

في معظم مواقع التخلص من النفايات الصلبة، تترسب النفايات باستمرار طوال السنة، عادة يوميًا. ومع ذلك، فهناك أدلة تشير إلى أن إنتاج الميثان لا يبدأ على الفور بعد ترسب النفايات.

أولاً، يكون الانحلال لاهوائياً، وهو ما قد يستمر لعدة أسابيع، حتى يتم إعداد كل الأكسجين المتاح. ويتبع ذلك مرحلة تحميص، مع إنتاج الهيدروجين. غالبًا ما تستمر مرحلة التحميص لأشهر عديدة. بعد ذلك، تكون هناك فترة انتقالية من الظروف الحمضية إلى الظروف المحايدة، عند بداية إنتاج الميثان.

الفترة بين ترسب النفايات والإنتاج الكامل للميثان تتسم بالتعقد من الناحية الكيميائية وتشتمل على تفاعلات ميكروبية متتابعة. وتتسم التقديرات الوقتية لوقت التأخر بعدم اليقين، ومن المحتمل أنها تتنوع حسب التكوين والظروف المناخية. وقد وردت تقديرات تصل إلى سنة واحدة في الأدبيات (جريجوري وآخرون، 2003؛ بيرجمان، 1995؛ امبفر وفايسنفيلس، 2001؛ بارلاز، 2004). وتوفر الهيئة قيمة افتراضية تبلغ ستة أشهر لوقت التأخر (الهيئة، 1997). ويعادل ذلك وقت البداية في 1 أبريل في السنة التي تعقب الترسيب، عندما يكون متوسط وقت البقاء للنفايات في مواقع التخلص من النفايات الصلبة ستة أشهر. ومع ذلك، فإن درجة عدم اليقين لهذا الافتراض تبلغ 12 شهرًا على الأقل.

يتيح نموذج نفايات الهيئة للمستخدم تغيير وقت التأخير الافتراضي الذي يبلغ ستة أشهر إلى قيمة مختلفة. ومن الممارسة السليمة اختيار وقت تأخير بين صفر وستة أشهر. ويجب أن تكون القيم التي تجاوز هذا النطاق مدعومة بأدلة دامغة.

3-3 القياس في تقدير انبعاثات الميثان الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة

تم بناء نموذج التضاؤل من المستوى الأول والأساليب الأخرى لتقدير توليد الميثان في مواقع التخلص من النفايات لصلبة باستخدام المعارف العلمية بالإضافة إلى الافتراضات الخاصة بالأبيض الميكروبي في ظل الظروف اللاهوائية في مواقع التخلص من النفايات الصلبة. كما هو الحال مع كل الأساليب، فإن التحقق الذي يشتمل على بعض أشكال القياس المباشر لمقارنة توقعات النموذج بالقياسات الفعلية يزيد من ثقة المستخدم في النموذج ويمكن استخدامه لتتقيق وتحسين توقعات النموذج. أيضاً يمكن استخدام تلك القياسات للتحقق من النموذج بمقارنة توقعات النموذج بمعدلات توليد الميثان التي تم إعدادها من القياسات وتوثيق اختيار القيم الخاصة بالبلاد للبارامترات المستخدمة في النموذج في إعداد قوائم الحصر الوطنية.

والقياسات يمكن أن تكون كميات الغاز المستعاد التي تم قياسها في نظام تجميع الغاز (بالتآلف مع تقدير كفاءة الاستعادة) والكميات التي تم قياسها لانبعثات الميثان المنتشرة في الهواء والتآلفات المكونة منهما معاً.

استعان العديد من الدراسات ببيانات القياس من أنظمة جمع الغاز لإعداد تقديرات للبارامترات المطلوبة لنموذج التضاؤل من المستوى الأول (على سبيل المثال ثابت معدل التضاؤل واحتمالية توليد الميثان) لمواقع معينة للتخلص من النفايات الصلبة، ولفئات مواقع التخلص من النفايات الصلبة في مناطق معينة وللتطبيق في مواقع التخلص من النفايات الصلبة على أساس وطني (أونك ويوم، 1995؛ هويتريك وآخرون، 1997؛ اتحاد النفايات الصلبة في أمريكا الشمالية (N¹SW)، 1998، مهندسو خدمة الحفاظ على التربة (SCS)، 2003؛ وكالة حماية البيئة الأمريكية، 1998، وكالة حماية البيئة الأمريكية، 2005). تستعين الأساليب بإجراءات إحصائية لإعداد أفضل القيم للبارامترات النموذج، على سبيل المثال التنازل غير الخطي الذي يقيم بارامترات النموذج بطريقة تكرارية للوصول إلى أفضل تقدير للبارامترات النموذج، اعتماداً على أقل عدد من الأخطاء. مع وجود تفاصيل كافية عن الموقع وقواعد بيانات ضخمة بدرجة كافية لمواقع التخلص من النفايات الصلبة، يستطيع التحليل الإحصائي التعرف على تأثيرات تكوينات النفايات والموقع الجغرافي وهطول الأمطار والمعاملات الأخرى على القيم الملائمة للبارامترات النموذج. على سبيل المثال، توصلت العديد من الدراسات إلى أن ثابت معدل التضاؤل يزيد مع الترسب (وكالة حماية البيئة الأمريكية، 2005). إن استخدام القياسات المباشرة للكميات المستخلصة للغاز لتقدير بارامترات أسلوب التضاؤل من المستوى الأول هو أحد خيارات الممارسة السليمة لإعداد قيم خاصة بالبلاد. وقد تم استخدام هذا الأسلوب لإعداد بعض من القيم الافتراضية لفترة عمر النصف الواردة في الجدول 3-4. وهو ملائم للبلدان التي تتوفر لديها بيانات قياسات دقيقة من أنظمة جمع غاز المكبات الأرضية لمجموعة تمثيلية لمواقع التخلص من النفايات الصلبة ذات كميات وتوزيع غاز معروف للنفايات المترسبة. في حالة استخدام بيانات تجميع الميثان الخاصة بالموقع لتقدير بارامترات نموذج التضاؤل من المستوى الأول لقائمة الحصر الوطنية، فمن الممارسة السليمة ضمان أن مواقع التخلص من النفايات المستخدمة في التحليلات ممثلة لكافة مواقع التخلص من النفايات الصلبة في البلد، وذلك فيما يتعلق بالمعاملات الأساسية التي تؤثر على قيم البارامترات وانبعثات الميثان. ورد في المربع 3-1 تفاصيل إضافية لهذا الأسلوب.

المربع 3-1

القياسات المباشرة من أنظمة جمع الغاز لتقدير بارامترات نموذج التضاؤل من المستوى الأول

إن العنصر الأساسي في إعداد تقديرات للبارامترات نموذج التضاؤل من المستوى الأول هي قاعدة بيانات تمثيلية للمكبات الأرضية التي تتسم بالخصائص التالية:

- (1) تحتوي على أنواع نفايات تمثل المكبات الأرضية على المستوى الوطني،
- (2) تتضمن مجموعة من الأحجام وأعمار النفايات والمناطق الجغرافية (لاسيما في حالة تقييم تأثير الترسب)،
- (3) تشتمل على قياسات خاصة بالموقع لمعدل جمع غاز المكبات الأرضية (LFG) والنسبة المئوية للميثان التي تشتمل على التغييرات الموسمية بمرور الزمن (والتي تغطي سنة واحدة على الأقل ويفضل أن تكون أطول من ذلك)،
- (4) تشتمل على قياسات خاصة بالموقع لمعدلات قبول النفايات السنوية أو إجمالي النفايات في مكان وسنة فتح المكبات الأرضية (أي النفايات في المكان أو متوسط معدل القبول السنوي لمنطقة المكبة الأرضية الجاري دراستها بنظام الجمع)،
- (5) تشتمل على تقديرات خاصة بالموقع للنسبة المئوية التي تمت استعادتها (اعتماداً على التصميم والخصائص التشغيلية أو معلومات أخرى) و
- (6) تشتمل على متوسط الترسب السنوي (في حالة اعتراف تقييم هذا التأثير).

يمكن أن تكون درجة دقة القياسات المباشرة لمعدل تدفق غاز المكبات الأرضية والنسبة المئوية للميثان والمعدلات السنوية للتخلص من النفايات أفضل من $10 \pm$ في المائة ويعتبر تحديد كفاءة تجميع غاز المكبات الأرضية هو أهم مصدر للخطأ في استخدام القياسات المباشرة لمعدات جمع الميثان لتقدير معدلات توليد الميثان. ومع ذلك، يمكن الحد من هذا الخطأ والتحكم فيه في حالة استخدام بيانات معدل الجمع فقط للمكبات الأرضية المعروفة عنها أو التي ثبت أن لديها مواد غطاء وأنظمة جمع تتسم بالكفاءة والصيانة الجيدة.

المربع 3-1 (تابع)

سيطلب الأمر بحث وتبرير كفاءة الجمع حتى يمكن استخدامها بثقة. ويجب أن توضع العديد من البارامترات في الاعتبار، على سبيل المثال نوع الغطاء النهائي ومراقبة السطح التي يتم إجراؤها على أساس دوري وتُظهر مستويات منخفضة أو لا تظهر كميات يمكن استشعارها من الميثان وبرنامج للإجراء التقويمي في حالة اكتشاف ميثان (على سبيل المثال، إجراء الصيانة لتحسين تكامل الغطاء أو زيادة فراغ أبار الجمع). يمكن أن تعتمد كفاءة الجمع على الاعتبارات الخاصة بالبلد وأن يتم تعديلها على الطرف العلوي أو السفلي للنطاق بعد وضع هذه المعاملات في الاعتبار. سيبدو أن الخطأ الكلي والتأثير على النتائج النهائية منخفض عند موازنته مقابل قاعدة بيانات كبيرة من المكبات الأرضية نظراً لأن الأخطاء ستحمى عند استخدام تقدير متوسط المدى غير متحيز.

على الرغم من إمكانية استخدام قياسات السطح للبحث عن الميثان كما ورد أعلاه، فإن استخدام قياسات السطح في المكبات الأرضية لتقدير كفاءة الجمع مباشرة يوصى بها فقط عند وضع كافة قيود الأساليب في الاعتبار، وهو الأمر الذي تمت مناقشته بشكل أكثر تفصيلاً في القسم التالي الذي يصف الصعوبات ودرجات عدم الدقة التي تكثف مثل هذه القياسات. أما التأثيرات التي يجب أن توضع في الاعتبار عند قياس كفاءات الجمع فهي (1) أكسدة الميثان، التي تقلل نسب كمية الميثان المنبعثة و(2) تحلل ثاني أكسيد الكربون في مرحلة الماء في النفايات أو في الطبقة العلوية، عند مقارنة نسبة انبعاثات الميثان وثاني أكسيد الكربون واستعادة الميثان وثاني أكسيد الكربون.

بمجرد إعداد قاعدة بيانات تمثيلية، يتم تقدير القياسات وكفاءات التجميع، ويمكن تحليل بيانات القياس لتحديد البارامترات الخاصة بالبلد والمنطقة. إذا توفر لدى البلد بيانات جيدة لتكوين النفايات حسب كل مكبة من المكبات الأرضية، عندئذٍ يمكن استخدام هذه المعلومات مع القياسات والنماذج لاستنتاج بارامترات مثل DDOC. بالنسبة للبلدان التي تتوفر لديها بيانات حول تكوين النفايات أقل موثوقية، ربما يتطلب الأمر تقدير البارامترات على مستوى أوسع، بالنظر إلى I_0 و k بدلاً من المزيد من البارامترات الخاصة بنوع النفايات. لا يوصى بأن تقوم إحدى البلدان مباشرة بتقدير الانبعاثات الوطنية من القياسات. واستخدام القياسات لاستنتاج بارامترات وطنية اعتماداً على خصائص المكبات الأرضية الخاضعة للتحليل هو المقرب الأفضل لتضمين بيانات قياس من أنظمة الجمع.

يمكن أن تكون القياسات المباشرة للميثان في سطح مواقع التخلص من النفايات الصلبة (بدلاً من توليد أو جمع الميثان) في موقع معين للتخلص من النفايات الصلبة في الأساس ذات قيمة مشابهة لتقدير بارامترات نموذج التضال من المستوى الأول وإعداد تقديرات لقوائم الحصر الوطنية. ومع ذلك، فعند الممارسة تظهر عدة قيود لأسباب عديدة:

- (1) مراقبة وقياس انبعاثات الميثان على سطح موقع التخلص من النفايات الصلبة مهمة شاقة، ولا توجد أساليب قياسية أو مقبولة متوفرة للقيام بمراقبة روتينية أو على المدى الطويل لأن الانبعاثات تنجم من منطقة كبيرة وتنتج طوال السنة.
- (2) توجد بيانات تمثيلية قليلة متوفرة من القياسات المباشرة لانبعاثات الميثان لمواقع التخلص من النفايات الصلبة الفردية، والقليل منها يوفر تقديرات جيدة لقوائم حصر الانبعاثات الوطنية. لذا فالآن يبدو من الممارسة السليمة استخدام تقديرات الانبعاثات من المواقع الفردية اعتماداً على المراقبة والقياسات فقط في حالة إمكانية تبرير درجة تمثيل المراقبة. في حالة استخدام بيانات انبعاثات خاصة بالموقع لتقدير الانبعاثات الوطنية، فمن الممارسة السليمة تحديد مجموعات لكل مواقع التخلص من النفايات الصلبة في البلد وفقاً للخصائص التي تتسم بها وأن يعتمد التقدير الوطني على أسلوب انبعاث تمثيلي في كل مجموعة.

ورد في المربع 3-2 مناقشة أكثر تفصيلاً لأساليب قياس الانبعاثات الجوية والصعوبات التي تكتنفها واعتبارات أخرى.

المربع 2-3

القياسات المباشرة لانبعاثات الميثان من سطح مواقع التخلص من النفايات الصلبة

تتنوع انبعاثات غاز المكبات الأرضية السطحي بشكل كبير من الناحية المكانية والزمنية. حيث تتنوع الانبعاثات بشكل يومي نتيجة للتغيرات التي تطرأ على ضغط الهواء ونتيجة لهطول الأمطار الأمر الذي يؤثر على نفاذية الطبقة العلوية. فوق كل هذا وذلك، توجد تغيرات موسمية في الانبعاثات نتيجة للأكسدة المنخفضة في فصل الشتاء. علاوة على ذلك، فإن الانبعاثات تتنوع في أقسام مواقع التخلص من النفايات الصلبة، وذلك نتيجة لوجود اختلافات في كميات النفايات وأعمارها وتكوينها. نتيجة للنفاذية الأفقية العالية، مقارنة بالنفاذية الرأسية، فإن منحدرات مواقع التخلص من النفايات الصلبة عامة ما تتسم بارتفاع نسبة الانبعاثات عن السطح العلوي. على المستوى المحلي، تتنوع الانبعاثات بدرجة كبيرة نتيجة للمناطق التي تتسم بانخفاض النفاذية في السطح السفلي ونتيجة لتصدعات السطح. نتيجة لذلك، فإن الانبعاثات في مواقع تبعد بضعة أمتار عن بعضها البعض يمكن أن تتنوع بمعامل يبلغ 1000.

ينبغي أن يشير قياس انبعاثات الميثان المنتشرة في هذا السياق إلى متوسط الانبعاثات السنوية من كل مواقع التخلص من النفايات الصلبة. لذلك، فإن التذبذب الموسمي والزمني لانبعاثات الغاز (موريس ولأجر كفيست، 1997؛ بارك وشين، 2001) يجب وضعه في الاعتبار كتقييم للبيانات الخاصة بالبلد. فضلاً عن ذلك، يجب أن تكون فترة جمع البيانات كافية لتغطية كل التغيرات الزمنية في الموقع. وربما تكون التغيرات الموسمية من السهل وضعها في الاعتبار عند المقارنة.

عند إجراء قياسات انبعاثات المنتشرة، يجب إدراك أنه يتم قياس التدفق بعد الأكسدة، وهو ما قد يعد جزءاً هاماً من النسبة المئوية للميثان المولدة ولم تتم استعادتها.

وقد تم اقتراح العديد من الأساليب للقياس المباشر على السطح و/أو أسفل وأعلى الأرض. فيما يلي أهم هذه الأساليب:

- (1) قياسات غرفة التدفق الثابت أو الإجمالي،
- (2) أساليب توازن الكتلة،
- (3) القياسات الجوية الدقيقة،
- (4) القياسات العمودية.

تم استخدام أسلوب غرفة التدفق بشكل واسع النطاق لقياس تدفق الميثان في سطح مواقع التخلص من النفايات الصلبة (على سبيل المثال، بارك وشين، 2001؛ موشر وآخرون، 1999؛ وكالة البيئة البريطانية، 2004). أحد عوائق هذا الأسلوب هو ضرورة توفر عدد كبير من نقاط القياس للحصول على تقديرات معتمدة لإجمالي الانبعاثات، الأمر الذي يجعل الأسلوب بحاجة إلى الاستعانة بعدد كبير من الأيدي العاملة وبذلك تتسم بارتفاع التكلفة. يوجد عدد من الطرق لتحسين دقة أو تقليل عدد القياسات المطلوبة، على سبيل المثال توسيع التقديرات من أقسام صغيرة إلى كامل موقع التخلص من النفايات الصلبة عبر أساليب إحصائية – جغرافية (بورجيسون وآخرون، 2000، سيوكاس وآخرون، 2003) أو تحديد مناطق الانبعاث الرئيسية بمراقبة التصدعات والمناطق النباتية المضغوطة والتداخل بين المنطقة المغطاة والحواف وحالة المنحدر وما إلى ذلك (وكالة البيئة البريطانية، 2004) أو استخدام جهاز محمول لقياس الغاز أو الرائحة أو درجة حرارة السطح على أنها مؤشر أولي (يامادا وآخرون، 2005).

في أسلوب توازن الكتلة يتم الحصول على قياسات الانبعاثات بقياس التدفق عبر سطح مستو رأسي وهي في موقع التخلص من النفايات الصلبة بتفسير سرعة الرياح وتركيزات الميثان في ارتفاعات مختلفة على سطح موقع التخلص من النفايات الصلبة. ويمكن أن يكون هذا السطح المستوي أحادي البعد (أونك ويوم، 1995؛ تشارف وآخرون، 2003) أو ثنائي الأبعاد. ميزة هذا الأسلوب سهولة التحكم فيه التباين ويمكن أن يقيس الانبعاثات على سطح كبير (في العديد من الحالات موقع التخلص من النفايات الصلبة بالكامل) لفترة أطول من الوقت (تتراوح بين أسابيع إلى شهور). وميزة أخرى لهذا الأسلوب هي إمكانية الحصول على قياسات الميثان وثاني أكسيد الكربون، الأمر الذي يوفر معلومات حول أكسدة الميثان وكفاءات الجمع. لكن عيب هذا الأسلوب هو نطاقه المحدود (250 متراً)، الأمر الذي يؤدي إلى صعوبة استخدامه في مواقع التخلص من النفايات التي تزيد عن هذا الحجم.

في الأسلوب القياسات الجوية الدقيقة يتم قياس الانبعاثات على أنها تدفق عبر سطح مستو أفقي وهي وإعادة حساب التدفقات الرأسية. ويتم استخدام تركيزات الميثان فوق موقع التخلص من النفايات الصلبة مع المعلومات الخاصة بالنقل عبر الهواء والخلط في نطاق أمتار مكعبة قليلة (ومن هنا تمت تسمية هذا الأسلوب بأسلوب القياسات الجوية الدقيقة، فولر ودويرز، 1989). يقترح لوريل وآخرون (2005) أن أسلوب التغيرات الدائمة الجوية الدقيقة يناسب تقدير انبعاثات غاز المكبات الأرضية، علاوة على ميزة الاستخدام الآلي السهل الأمر الذي يتيح إجراءات قياسات في فترات زمنية أطول والمراقبة الآتية لانبعاثات الميثان وثاني أكسيد الكربون. ولكن يبدو أن عيب هذا الأسلوب هو نطاقه المحدود (حوالي 25 متراً)، الأمر الذي لا يتيح له تقدير انبعاثات تمثيلية من موقع التخلص من النفايات الصلبة بالكامل.

المربع 2-3 (تابع)

تم إعداد القياسات العمودية لقياس الانبعاثات الناجمة عن موقع التخلص من النفايات الصلبة بالكامل، ويتم ذلك بقياس الاختلاف في تدفق الميثان في شاشة مستعرضة للقطاع السفلي والعلوي لموقع التخلص من النفايات الصلبة. ويمكن تقدير الانبعاثات بمقارنة زيادة تركيزات الميثان مع تركيزات الميثان (على سبيل المثال، من كمية معروفة من أكسيد النيتروز أو سداسي فلوريد الكبريت المنبعثة من موقع التخلص من النفايات الصلبة أو استخدام نموذج انتشار. ويتم استخدام تنوعات هذا الأسلوب في كافة أرجاء العالم بواسطة زوبيل وآخرون (1996) وسافان وآخرون (1997) وجالي وآخرون، (1999) وهانسن تشارف (2001). والميزة التي يتسم بها هذا الأسلوب هي دقته وإمكانية استخدامه لقياس الانبعاثات الناجمة عن موقع التخلص من النفايات الصلبة بالكامل، ويعتبر ذلك فعالاً للتكيف مع التغيرات المكانية. ومع ذلك فإن هذا الأسلوب يتسم بارتفاع التكلفة وعادة ما يتم تطبيقه ليوم واحد أو لبضعة أيام محددة فقط. لذا فإن نتيجة هذا الأسلوب لا يبدو أنها تمثل متوسط الانبعاثات السنوية من الموقع (تشارف وآخرون، 2003). لهذا السبب فقط أعد تشارف وآخرون (2003) نسخة ثابتة من القياسات العمودية المتحركة (SPM) للقياسات العمودية حول موقع التخلص من النفايات الصلبة لفترات طويلة.

حتى هذه اللحظة لا يوجد اتفاق علمي حول المنهجية المفضلة للحصول على متوسط للانبعاثات السنوية الناجم عن موقع التخلص من النفايات الصلبة بالكامل. وقد قام كل من سافان وآخرون (1995) وتشارف وآخرون (2003) بإجراء مقارنات داخلية بين الأساليب وكانت النتيجة التي تم التوصل إليها هي أنه لا يمكن لأسلوب واحد التعامل مع التنوع الزمني والمكاني وأن يكون موفرًا من الناحية الاقتصادية. ووفقًا لتشارف وآخرون (2003) فإن أسلوب توازن الكتلة والأسلوب العمود الثابت هما أفضل المرشحين لإجراء المزيد من الإعداد والتحقق. ومع ذلك فلم تلق هذه النتيجة مناقشات كافية حتى لحظة كتابة هذه الخطوط التوجيهية.

4-3 الكربون المخزن في مواقع التخلص من النفايات الصلبة

يتم تخزين بعض الكربون لفترات طويلة في مواقع التخلص من النفايات الصلبة. ويتضاءل الخشب والورق ببطء ويتراكم في مواقع التخلص من النفايات الصلبة (تخزين طويل الأمد). وتتضاءل كسور الكربون في أنواع النفايات الأخرى طوال فترات زمنية مختلفة (انظر فترة عمر النصف ضمن القسم 3-3).

يمكن تقدير كمية الكربون المخزنة في موقع التخلص من النفايات الصلبة باستخدام أسلوب التضاؤل من المستوى الأول (انظر الملحق 1-3). إن التخزين طويل الأمد للكربون في نفايات الورق والورق المقوى والخشب والمنتجات الثانوية يعتبر ذا أهمية خاصة حيث إن التغييرات التي تطرأ على مخزون الكربون في النفايات التي يرجع أصلها إلى منتجات الخشب المقطوع التي تم الإبلاغ عنها في مجلد الزراعة والحراجة واستعمالات الأرض الأخرى (انظر الفصل 12 منتجات الخشب المقطوع). يوفر نموذج التضاؤل من المستوى الأول في هذا المجلد تقديرات حسب المنتج الثانوي. يحسب خيار تكوين النفايات الكربون المخزن لفترة طويلة من نفايات الخشب والورق والورق المقوى والمنتجات الثانوية والحدائق في مواقع التخلص من النفايات الصلبة، حيث يعتبر ذلك جزءًا من الكربون العضوي القابل للتحلل غير المفقود خلال التضاؤل (وردت في الملحق 1-3 معادلات تقدير الكمية). عند استخدام خيار النفايات المتنوعة تقتضي الضرورة تقدير الكمية الملائمة من الكربون العضوي القابل للتحلل الناتج عن منتجات الخشب المقطوع في إجمالي كمية الكربون العضوي القابل للتحلل بالنفايات، قبل تحديد كميات الكربون المخزن لفترات طويلة. في حالة عدم توفر تقديرات خاصة بالبلد، يمكن استخدام الكسور الافتراضية التي توفرها الهيئة لنفايات الورق والورق المقوى والخشب والمنتجات الثانوية والحدائق.

يتم الإبلاغ عن الكربون المخزن لفترة طويلة في موقع التخلص من النفايات الصلبة على أنه أحد عناصر المعلومات في قطاع النفايات. وتعاادل القيمة المبلغ عنها لنفايات منتجات الخشب المقطوع (نفايات الورق والورق المقوى والمنتجات الثانوية والحدائق) المتغير $IB, \Delta C_{HWP} SWDS_{DC}$ ، أي تغير مخزون الكربون لمنتجات الخشب المقطوع من الاستهلاك المنزلي الذي تم التخلص منه في موقع التخلص من النفايات للبلد المبلغ المستخدم في الفصل 12، منتجات الخشب المقطوع، في مجلد الزراعة والحراجة واستعمالات الأرض الأخرى. يمكن استخدام نموذج التضاؤل من المستوى الأول لتقدير هذا البارامتر بالإضافة إلى انبعاثات الميثان السنوية الناجمة عن التخلص من منتجات الخشب المقطوع في البلد.

5-3 الاستيفاء

ركز الخطوط التوجيهية السابقة للهيئة على الانبعاثات الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة المحلية، على الرغم من أن القائمين على الحصر قد تم تشجيعهم على وضع الانبعاثات الناجمة عن أنواع النفايات الأخرى في الاعتبار. ومع ذلك، فمن المعروف الآن أنه غالبًا ما تكون هناك مساهمات كبيرة في الانبعاثات من أنواع النفايات الأخرى. لذلك فإن الخطوط التوجيهية لعام 2006 منهجية وبيانات افتراضية لتقدير توليد ومحتوى الكربون العضوي القابل للتحلل لأنواع النفايات التالية:

- النفايات الصلبة المحلية – ورد التعريف الافتراضي وتكوينها في الفصل 2،
- خبث الصرف (من معالجة الصرف المحلي والصناعي)،
- النفايات الصلبة الصناعية (بما في ذلك النفايات الناجمة عن صناعات الورق والورق المقوى ونفايات التشبيد والهدم، والتي ربما تكون نفايات حاملة على نطاق واسع، لكنها تتضمن الخشب على أنه أحد مصادر (DDOCm)،
- متبقيات مصانع المعالجة الميكانيكية البيولوجية (انظر الفصل 4، المعالجة البيولوجية للنفايات الصلبة).

يجب أن تقدم البلدان تقديراتها الخاصة لكسور هذه الأنواع من النفايات التي يتم التخلص منها في مواقع التخلص من النفايات أو التي يتم ترميدها أو إعادة تدويرها.

أنواع النفايات الأخرى التي تم تناولها في أماكن أخرى في الخطوط التوجيهية لعام 2006 تشمل على:

- الانبعاثات الناجمة عن معالجة الروث (المضمنة في قطاع الزراعة والحراثة واستعمالات الأرض الأخرى).
تشتمل أنواع معالجة النفايات على ما يلي:
- مواقع التخلص من النفايات الصلبة المدارة،
- مواقع التخلص من النفايات الصلبة غير المدارة (المدافن المفتوحة، بما في ذلك الأكوام الموجودة على الأرض والفتحات الموجودة في الأرض والدفن في الأماكن الطبيعية مثل الوديان).
- أنواع معالجة النفايات الأخرى التي تم تناولها في أماكن أخرى في الخطوط التوجيهية لعام 2006 تشتمل على:
- الانبعاثات الناجمة عن الترميد (الفصل 5 من هذا المجلد)،
- الانبعاثات الناجمة عن المحارق المفتوحة في مواقع التخلص من النفايات الصلبة (الفصل 5 من هذا المجلد)،
- الانبعاثات الناجمة عن المعالجة البيولوجية للنفايات الصلبة، بما في ذلك منشآت التسميد المركزية والتسميد في المنازل (الفصل 4 من هذا المجلد).
- تستمر مواقع التخلص من النفايات الصلبة المغلقة في إطلاق الميثان. ويتم حساب ذلك تلقائيًا في نموذج التضاؤل من المستوى الأول نظرًا لاستخدام البيانات التاريخية للتخلص من النفايات الصلبة.
- يجب أن يتضمن هذا القطاع كافة أنواع المعالجة السابقة عندما تحدث على نطاق واسع.

6-3 إعداد متسلسلة زمنية متسقة

حدث تغييران رئيسيان من الخطوط التوجيهية لعام 1996 في الخطوط التوجيهية لعام 2006، وهما:

- استبدال الأسلوب القديم (توازن الكتلة) بأسلوب التضاؤل من المستوى الأول،
 - تضمين النفايات الصلبة والفئات الأخرى غير النفايات الصلبة المحلية لكل البلدان.
- ربما تضطر البلدان نتيجة لهذين التغييرين إلى إعادة حساب النتائج التي توصلوا إليها للسنوات السابقة حتى تكون المتسلسلة الزمنية متسقة. ويقوم جدول البيانات الوارد في أسلوب التضاؤل من المستوى الأول للهيئة بحساب انبعاثات كل السنوات الماضية. ومع ذلك فمن الأهمية بمكان ضمان أن إدخال البيانات في النموذج يشكل متسلسلة زمنية متسقة. ويتطلب نموذج التضاؤل من المستوى الأول الحصول على بيانات تاريخية بداية من سنة 1950، وتعتبر هذه مهمة بالغة الأهمية.
- وردت خطوط توجيهية في القسم 2-3-2 لتمكين البلدان من تقدير النفايات الصلبة المحلية الماضية والتخلص من النفايات الصلبة اعتمادًا على تعداد سكان الحضر وإجمالي الناتج القومي والمحددات الأخرى.
- عمومًا تتحسن إحصائيات النفايات بمرور الوقت، وربما تجد البلدان بيانات خاصة بها متوفرة للسنوات الأخيرة لكن ليس لكل سنوات المتسلسلة الزمنية. من الممارسة السليمة استخدام البيانات الخاصة بالبلد إن أمكن. عند المزج بين البيانات الافتراضية والبيانات الخاصة بالبلد في المتسلسلة الزمنية، من الأهمية بمكان التأكد من الاتساق. كما قد يتطلب الأمر استخدام استقراء السنوات السابقة أو أساليب التراكب للتوفيق بين مجموعتي البيانات. ورد في الفصل 6 من المجلد 1 (اتساق المتسلسلة الزمنية) الخطوط التوجيهية العامة الخاصة بهذه الأساليب.

7-3 تقدير أوجه عدم التيقن

يوجد مستويان لعدم التيقن في تقدير انبعاثات الميثان الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة: (1) عدم التيقن المرتبط بالأسلوب و(2) عدم التيقن المرتبط بالبيانات (بيانات الأنشطة والبارامترات).

1-7-3 عدم التيقن المرتبط بالأسلوب

يتضمن نموذج التضاؤل من المستوى الأول مصطلحًا مسبقًا بأس، يصف كمية الميثان المولدة طوال العمر الافتراضي لموقع التخلص من النفايات الصلبة، والمصطلح الأسّي الذي يصف كيفية توليد الميثان بمرور الزمن. لذلك فإن درجات عدم التيقن عند استخدام نموذج التضاؤل من المستوى الأول يمكن تقسيمها إلى درجات عدم تيقن في إجمالي كمية الميثان المشكلة طوال العمر الافتراضي لموقع التخلص من النفايات الصناعية ودرجات عدم التيقن المرتبطة بتوزيع هذه الكمية خلال سنوات.

إن عدم التيقن في إجمالي كمية الميثان المشكلة طوال العمر الافتراضي لموقع التخلص من النفايات الصناعية تنبع من عدم التيقن في كمية وتكوين النفايات التي تم التخلص منها في موقع التخلص من النفايات الصلبة (DOC و W) والانحلال (DOC_p) ومعامل تصحيح الميثان. فيما يلي مناقشة لهذه الجوانب من عدم التيقن.

إن عدم التيقن في توزيع توليد الميثان خلال السنوات يعتمد إلى درجة كبيرة على موقف معين. عند تطور كميات النفايات التي يتم التخلص منها وممارسات معالجة النفايات خلال السنوات، ستكون درجة عدم التيقن المرتبطة بهذا النموذج منخفضة. على سبيل المثال، عندما يكون الانحلال بطيئاً مع مرور السنوات على غير المتوقع، فإن التهوين من تقدير تكوين الميثان في 2005 الناجم عن النفايات التي تم التخلص منها في 1990 سيقابله إفراط في تقدير الكميات المتكونة من النفايات التي تم التخلص منها، على سبيل المثال عام 2000. ومع ذلك، فعند تغيير الكميات السنوية للنفايات أو تغيير تكوين النفايات بشكل كبير، فإن الأخطاء التي تحدث في النموذج تعتبر بالغة الأهمية.

يمكن الحصول على أفضل طريقة لتقييم الخطأ الناتج عن النموذج في حالة معينة من النموذج بإجراء تحليل حساسية، وتغيير ثابت التفاعل في نقاط الخطأ المفترضة (انظر الجدول 3-5 للاطلاع على قيم عدم التيقن الافتراضية) أو في تحليل مونت كارلو باستخدام النموذج وتنوع كل المتغيرات ذات الصلة.

إن استخدام أسلوب توازن الكتلة، وهو الأسلوب الافتراضي (المستوى 1) المستخدم في الإصدارات السابقة للخطوط التوجيهية للهيئة، يمكن أن يؤدي إلى زيادة تقدير الانبعاثات في الحالات التي يكون الاتجاه فيها نحو زيادة التخلص من النفايات في مواقع التخلص من النفايات الصلبة بمرور الوقت. من المفترض أن كل الميثان سينبعث في نفس سنة ترسيب النفايات. إن استخدام أسلوب التضاؤل من المستوى الأول يؤدي إلى إزالة هذا الخطأ ويقال من درجة عدم التيقن المرتبطة بهذا الأسلوب. ومع ذلك فمن الضروري تذكر أن أسلوب التضاؤل من المستوى الأول يعتبر نموذجاً بسيطاً لنظام شديد التعقيد وغير مفهوم على النحو الصحيح. وينشأ عدم التيقن من المصادر التالية:

- يشمل تضاؤل مركبات الكربون إلى ميثان على متسلسلة من التفاعلات الكيميائية المعقدة وربما لا يتبع دائماً تفاعل التضاؤل من المستوى الأول. ربما توجد تفاعلات عالية الترتيب، وستتنوع معدلات التفاعل وفقاً للظروف الخاصة بموقع التخلص من النفايات الصلبة. وربما تكون التفاعلات محدودة نتيجة للوصول المقيد إلى المياه والتغيرات الإقليمية في تجمعات البكتريا.
 - ولا تتسم مواقع التخلص من النفايات الصلبة بالثبات. حيث تختلف بشكل كبير ظروف مثل درجة الحرارة والرطوبة وتكوين النفايات والتنميج بشكل كبير حتى في الموقع الواحد، وبين المواقع المختلفة في البلد. من الصعب تحديد قيم البارامترات "المتوسطة" النموذجية لبلد بالكامل.
 - إن استخدام أسلوب التضاؤل من المستوى الأول يطرح درجة من عدم التيقن الإضافية المرتبطة بمعدلات التضاؤل (فترات نصف العمر) والكميات التاريخية للتخلص من النفايات. ولا يوجد فهم جيد لأي منها أو لم تلتق أي منها بالبحث الكامل.
- ومع ذلك فمن المحتمل أن المصدر الرئيسي لعدم التيقن يكمن في تحديد قيم البارامترات النموذج، بدلاً من منهجية الأسلوب نفسه.

2-7-3 عدم التيقن المرتبط بالبيانات

إن مصدر عدم التيقن هذا هو ببساطة عدم التيقن المرتبط بكل من إندالات البارامترات. ويمكن تصنيف عدم التيقن المرتبط بالبيانات إلى بيانات أنشطة وبارامترات.

1-2-7-3 أوجه عدم التيقن المقترنة ببيانات الأنشطة

إن جودة تقديرات انبعاثات الميثان ترتبط مباشرة بجودة وتوفر بيانات توليد النفايات وتكوينها ومعالجتها المستخدمة في تحديد هذه التقديرات. تشمل بيانات الأنشطة في قطاع النفايات على إجمالي النفايات الصلبة المحلية وإجمالي النفايات الصناعية وكسر النفايات الصلبة المرسل إلى مواقع التخلص من النفايات الصلبة.

تعتمد درجة عدم التيقن المرتبطة ببيانات التخلص من النفايات الصلبة على طريقة الحصول على البيانات. يمكن تقليل درجة عدم التيقن عند وزن كميات النفايات في مواقع التخلص من النفايات الصلبة. إذا كانت البيانات تعتمد على سعة مركبة تحميل النفايات أو تقدير افتراضي، ستكون درجة عدم التيقن أعلى. وتتسم التقديرات التي تعتمد على بيانات الأنشطة الافتراضية بأعلى درجات عدم التيقن.

في حالة القيام بعمليات تنقية النفايات في مواقع التخلص من النفايات، يجب أن يوضع ذلك في الاعتبار مع بيانات التخلص من النفايات، وإلا فإن درجة عدم التيقن من بيانات التخلص من النفايات ستزيد. كما تزيد عمليات تنقية النفايات من درجات عدم التيقن من تكوين النفايات التي تم التخلص منها في موقع التخلص من النفايات الصلبة، ومن ثم أيضاً إجمالي الكربون العضوي القابل للتحلل في النفايات. وردت في الجدول 3-5 درجات عدم التيقن من البارامترات الافتراضية للنموذج. وتعتمد التقديرات على آراء الخبراء.

يمكن تقدير توليد النفايات من معدلات توليد النفايات للسكان (أو سكان الحضر) ونصيب الفرد. يمكن أن يكون هناك عدم تيقن إذا كان عدد السكان لا يطابق إجمالي السكان الذين تم جمع النفايات الخاصة بهم. نموذجياً في العديد من البلدان، يتم جمع النفايات فقط من سكان الحضر. ويمكن أن يتذبذب عدد سكان الحضر يومياً أو موسميًا نتيجة لهجرة قوة العمل.

2-2-7-3 أوجه عدم التيقن المرتبطة بالبارامترات

معامل تصحيح الميثان (MCF)

يوجد مصدران لعدم التيقن في معامل تصحيح الميثان.

- عدم التيقن من قيمة معامل تصحيح الميثان لكل نوع من أنواع المواقع (مدار-لا هوائي ومدار-نصف هوائي وغير مدار-عميق و/أو مستوى مياه عالٍ أو غير مدارية مسطحة): تعتمد قيم معامل تصحيح الميثان هذه على دراسة تجريبية وآراء الخبراء وليس على البيانات التي تم قياسها.
- عدم التيقن في تصنيف المواقع على أنواع مواقع مختلفة: على سبيل المثال، فإن التمييز بين المواقع المسطحة والعميقة (عمق النفايات 5 أمتار) يعتمد على آراء الخبراء. حتمًا فإن بضع بلدان، إن وجدت، ستكون قادرة على تصنيف مواقع التخلص من النفايات غير المدارية إلى مواقع عميقة ومسطحة اعتمادًا على البيانات التي تم قياسها. كما قد يكون من الصعب تحديد المواقع التي تفي بمعايير الهيئة للمواقع المدارية.

الكربون العضوي القابل للتحلل (DOC)

يوجد مصدران لعدم التيقن في قيم الكربون العضوي القابل للتحلل.

- عدم التيقن في ضبط الكربون العضوي القابل للتحلل لأنواع المختلفة لمواد/أنواع النفايات (الورق والأغذية وما إلى ذلك): توجد دراسات قليلة للكربون العضوي القابل للتحلل، ويمكن أن تختلف قيم الكربون العضوي القابل للتحلل بدرجة كبيرة لأنواع المختلفة للورق والأغذية والخشب والمنسوجات كما يؤثر محتوى المياه في النفايات. ولا توجد معلومات كثيرة حول الكربون العضوي القابل للتحلل في النفايات الصناعية.
- يؤثر عدم التيقن في تكوين النفايات على تقديرات إجمالي الكربون العضوي القابل للتحلل في مواقع النفايات التخلص من النفايات الصلبة. يتنوع تكوين النفايات بشكل كبير داخل البلدان (على سبيل المثال، بين السكان الحضر والسكان الريف، وبين المنازل التي تتسم باختلاف الدخل، وبين الفصول)، علاوة على الاختلاف بين البلدان.

كسر الكربون العضوي القابل للتحلل المنحل (DOC_f)

تتسم درجة عدم التيقن في DOC_f بأنها مرتفعة. لقد تم إجراء بعض الدراسات، ومن الصعب تكرار ظروف موقع التخلص من النفايات الصلبة الحقيقي في الدراسات التجريبية.

كسر الميثان في غاز المكبات الأرضية (F)

إن كسر الميثان لغاز المكبات الأرضية المولد، F، عادة ما يكون 0.5، ولكنه يتنوع بين 0.5 و0.55، حسب العديد من العوامل (انظر القسم 3-2-3). وتتسم درجة عدم التيقن في هذا الرقم بأنها منخفضة، ويعتمد F بدرجة كبيرة على الرياضيات الكيميائية للتفاعل الكيميائي الذي ينتج الميثان. وربما يكون تركيز الميثان في غاز المكبات الأرضية المسترد منخفضًا أكثر من القيم الفعلية نظرًا لاحتمالية التخفيف بواسطة الهواء، لذا فإن قيم F المقدرة بهذه الطريقة لن تكون بالضرورة ممثلة.

استعادة الميثان (R)

إن استعادة الميثان هي كمية الميثان المولدة في موقع التخلص من النفايات الصلبة التي تتم استعادتها وإحراقها في أنبوب الإشعال أو جهاز لاستعادة الطاقة. تعتمد درجة عدم التيقن على الأسلوب المستخدم لتقدير الميثان المستعاد. ومن المحتمل أن تكون درجة عدم التيقن صغيرة مقارنة بدرجات عدم التيقن الأخرى في حالة استخدام القياس. في حالة استخدام أساليب أخرى، على سبيل المثال بتقدير كفاءة جهاز استعادة الميثان، ستكون درجة عدم التيقن أكبر. (انظر القسم 3-2-3)

معامل الأكسدة (OX)

يتسم معامل الأكسدة بارتفاع درجة عدم التيقن، نظرًا لصعوبة قياسه، ويتنوع بشكل كبير مع سمك وطبيعة مادة الغطاء والظروف الجوية والمناخية وتدفق الميثان وهروب الميثان عبر التشققات/التصدعات في مادة الغطاء. ربما تؤدي الدراسات العملية والميدانية التي تحدد أكسدة الميثان فقط عبر طبقات التربة الموحدة والثابتة إلى الإفراط في تقدير الأكسدة في تربة غطاء المكبات الأرضية.

فترة نصف العمر

توجد درجة مرتفعة من عدم التيقن في تقديرات فترة نصف العمر نظرًا لصعوبة قياس معدلات التضاؤل في ظل ظروف معادلة للظروف في المواقع الحقيقية للتخلص من النفايات الصلبة. أيضًا يوجد تنوع كبير في فترة نصف العمر فيما يتعلق بتكوين النفايات والمناخ ونوع التركيب، ومن الصعب تحديد القيم التي تمثل البلد بالكامل.

ورد في الجدول 3-5 تقديرات عدم التيقن الخاصة بقيمة MSW_T (إجمالي النفايات الصلبة المولدة) و MSW_F (كسر إجمالي النفايات الصلبة المولدة التي تم التخلص منها في مواقع التخلص من النفايات الصلبة والبارامترات الافتراضية للنموذج. وتعتمد التقديرات على آراء الخبراء.

الجدول 3-5 تقديرات عدم التيقن المرتبطة بالبارامترات وبيانات الأنشطة الافتراضية في نموذج التفاوض من المستوى الأول لانبعاثات الميثان من مواقع التخلص من النفايات الصلبة	
بيانات الأنشطة ومعاملات الانبعاث	نطاق عدم التيقن
إجمالي النفايات الصلبة المحلية (MSW_T)	خاص بالبلد: 30% هي القيمة النموذجية للبلدان التي تجمع بيانات توليد النفايات على أساس دوري. ±10% هي قيمة البلدان التي تتوفر بها بيانات عالية الجودة (على سبيل المثال، الوزن في كل مواقع التخلص من النفايات الصلبة ومشتات المعالجة الأخرى). للبلدان التي تتسم ببيانات ضعيفة الجودة: معامل يزيد عن 2.
كسر MSW_T المرسل إلى موقع التخلص من النفايات الصلبة (MSW_F)	±10% هي قيمة البلدان التي تتوفر بها بيانات عالية الجودة (على سبيل المثال، الوزن في كل مواقع التخلص من النفايات الصلبة). ±30% للبلدان التي تجمع البيانات الخاصة بالتخلص من النفايات في مواقع التخلص من النفايات الصلبة. للبلدان التي تتسم ببيانات ضعيفة الجودة: معامل يزيد عن 2.
إجمالي درجة عدم التيقن لتكوين النفايات	±10% هي قيمة البلدان التي تتوفر بها بيانات عالية الجودة (على سبيل المثال، جمع العينات في مواقع التخلص من النفايات الصلبة التمثيلية). ±30% للبلدان التي تعتمد البيانات الخاصة بها على دراسات تشمل على جمع عينات دورية. للبلدان التي تتسم ببيانات ضعيفة الجودة: معامل يزيد عن 2.
الكربون العضوي القابل للتحلل (DOC) ⁷	لقيم الهيئة الافتراضية: ±20% للقيم الخاصة بالبلدان: اعتمادًا على تحليلات وعينات تمثيلية: ±10%
كسر الكربون العضوي القابل للتحلل المنحل (DOC_f)	لقيمة الهيئة الافتراضية: ±0.5: ±20% للقيم الخاصة بالبلدان: ±10% للبلدان التي تعتمد على البيانات التجريبية طوال فترات زمنية طويلة.
معامل تصحيح الميثان (MCF)	لقيمة الهيئة الافتراضية : 1.0 = 0+ , -10% 0.8 = ±20% 0.5 = ±20% 0.4 = ±30% 0.6 = -50% , +60%
كسر الميثان في غاز المكبات الأرضية (F) = 0.5	قيمة الهيئة الافتراضية : ±5%
استعادة الميثان (R)	سيتمتع نطاق عدم التيقن على كيفية تقدير كميات الميثان المستعادة والمشتعلة أو المستخدمة: ±10% في حالة استخدام القياس. ± ±50% في حالة عدم استخدام القياس.
معامل الأكسدة (OX)	يجب تضمين معامل الأكسدة في تحليل عدم التيقن في حالة استخدام قيمة تزيد عن الصفر لمعامل الأكسدة نفسه. في هذه الحالة فإن تبرير القيمة غير الصفرية يجب أن يشمل على اعتبارات عدم التيقن.
فترة نصف العمر ($t_{1/2}$)	تظهر نطاقات عدم التيقن من القيم الافتراضية للهيئة في الجدول 3-4. يجب أن تشمل القيم الخاصة بالبلد اعتبارات درجة عدم التيقن.
المصدر: رأي خبراء بواسطة المؤلفين الرئيسيين للفصل.	

⁷ نطاق عدم التردد الورد ينطبق على محتوى الكربون القابل للتحلل في النفايات المتنوعة. يمكن استخدام نطاقات الكربون العضوي القابل للتحلل لمكونات النفايات المختلفة في النفايات المحلية الواردة في الجدول 2-4 في تقدير درجات عدم التيقن لهذه المكونات.

8-3 ضمان الجودة/مراقبة الجودة والإبلاغ والتوثيق

من الممارسة السليمة توثيق وأرشفة كل المعلومات المطلوبة لإنشاء تقديرات وطنية لحصر الانبعاثات كما ورد في المجلد 1 في الفصل 6، ضمان الجودة ومراقبة الجودة والتحقق، الخطوط التوجيهية العامة والإبلاغ. فيما يلي بعض الأمثلة على وثائق وتقارير معينة تخص فئة المصدر هذه.

- على البلدان التي تستخدم نموذج التفاضل من المستوى الأول للهيئة تضمنين هذا النموذج في الإبلاغ. يجب على البلدان التي تستخدم نماذج أو أساليب أخرى أن توفر بيانات مشابهة (وصف الأسلوب والافتراضات الأساسية والبارامترات).
- في حالة استخدام البيانات الخاصة بالبلد كجزء من المتسلسلة الزمنية، فيجب توثيق ذلك.
- كما يجب توثيق، بالمعلومات الداعمة، توزيع النفايات إلى مواقع مدارة ومواقع غير مدارة بغرض تقدير معامل تصحيح الميثان.
- في حالة الإبلاغ عن استعادة الميثان، يُفضل استخدام قائمة حصر لمنشآت استعادة معروفة. ويجب توثيق الإشعال والاستخدام لتوليد الطاقة بشكل منفصل عن بعضهما البعض.
- يجب بوضوح شرح وتحديد مراجع التغييرات التي تطرأ على البارامترات من سنة لأخرى.

ومن غير العملي أن يشتمل تقرير الحصر الوطني على كافة الوثائق. ومع ذلك، ينبغي أن يشتمل الحصر على ملخصات للأساليب المستخدمة ومراجع لبيانات المصدر، وبذلك تكون الانبعاثات التي تم الإبلاغ عنها شفافة ويمكن تتبع خطوات حسابها.

من الممارسة السليمة إجراء اختيارات مراقبة الجودة وقيام خبراء بمراجعة تقديرات الانبعاثات كما هو موضح في الفصل 6 بالمجلد 1، ضمان الجودة ومراقبة الجودة والتحقق.

يجب أن يقارن القائمون على الحصر القيم الخاصة بالبلد للنفايات الصلبة المحلية المولدة والنفايات الصلبة المولدة وتكوين النفايات مقابل قيم الهيئة، وذلك لتحديد ما إذا كانت البارامترات الوطنية المستخدمة معقولة بالنسبة إلى قيم الهيئة الافتراضية.

عند استخدام بيانات المسح وبيانات جمع العينات لتحديد القيم الوطنية لبيانات الأنشطة الخاصة بالنفايات، تتضمن إجراءات مراقبة الجودة ما يلي:

(1) مراجعة أساليب جمع بيانات المسح وفحص البيانات للتأكد من جمعها بطريقة صحيحة. يجب أن يقارن القائمون على الحصر البيانات مع بيانات السنوات السابقة لضمان معقولية البيانات.

(2) تقدير مصادر البيانات الثانوية وتحديد مراجع أنشطة ضمان الجودة/مراقبة الجودة المرتبطة بإعداد البيانات الثانوية. ويعتبر ذلك ذا أهمية خاصة بالنسبة لبيانات النفايات الصلبة، حيث إن معظم هذه البيانات تم إعدادها في الأساس لأغراض غير إعداد قوائم حصر غازات الاحتباس الحراري.

يجب على القائمين على الحصر توفير فرصة للخبراء لكي يراجعوا بارامترات الإدخال.

بالإضافة إلى ذلك، على القائمين على الحصر مقارنة معدلات الانبعاث الوطنية مع معدلات البلدان المشابهة التي تتسم بخصائص اقتصادية وسكانية متشابهة. يجب أن يدرس القائمون على الحصر الاختلافات الكبيرة لتحديد ما إذا كانت تمثل أخطاء في الحساب أو اختلافات حقيقية.

المراجع

- Facultad de Ingenieria de la Universidad Nacional Del Centro De La Provincia De Buenos Aires (2004). Olavarria Landfill Gas Recovery Project, Buenos Aires, Argentina. August 2004. http://www.dnv.is/certification/climatechange/Upload/PDD_Olavarria_2004-05-21.pdf#search=%22olavarria%20landfill%20gas%20recovery%20project%22
- Attenborough, G. M., Hall, D. H., Gregory, R. G. and McGoochan, L. (2002). GasSim: Landfill Gas Risk Assessment Model. In: Conference Proceedings SITA Environmental Trust-Sponsored by SITA Environmental Trust and Organics Limited. ISBN 0-9539301.
- Barlaz, M. (2004). Critical Review of Forest Products Decomposition in Municipal Solid Waste Landfills. *NCASI Technical Bulletin*, no 872, March 2004.
- Bergman, H. (1995). Metanoxidation i täcksikt på avfallsupplag. (Methane oxidation in waste deposition covers). Licentiate thesis 1995:14L, Tekniska Högskolan i Luleå, ISSN 0280-8242. (In Swedish)
- Bogner, J. and Matthews, E. (2003). 'Global methane emissions from landfills: New methodology and annual estimates 1980 – 1996', *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 17, No. 2.
- Brown, K. A., Smith, A., Burnley, S. J., Campbell, D.J.V., King, K. and Milton, M.J.T. (1999). Methane Emissions from UK Landfills, AEA Technology, AEAT-5217, Culham.
- Börjesson, G., Danielsson, A. and Svensson, B.H. (2000). 'Methane fluxes from a Swedish landfill determined by geostatistical treatment of static chamber measurements', *Environ Sci Technol* 34: 4044-4050.
- Czepiel, P.M., Mosher, B., Harriss, R., Shorter, J.H., McManus, J.B., Kolb, C.E., Allwine, E. and Lamb, B. (1996). 'Landfill methane emissions measured by enclosure and atmospheric tracer methods', *J Geophys Res D101*: 16711-16719.
- Diot M., Bogner, J., Chanton, J., Guerbois, M., Hébé, I., Moreau le Golvan, Y., Spokas, K. and Tregourès, A. (2001). LFG mass balance: a key to optimize LFG recovery, in Proceedings of the Eighth International Waste Management and Landfill Symposium Sardinia 2001, S. Margherita di Pula (Cagliari, Italia), October 1-5, 2001.
- Environment Canada (2003). Canada's Greenhouse Gas Inventory 1990-2001. 8. Waste. Greenhouse Gas Division August 2003. The Green line Environment Canada's Worldwide Web Site.
- Environment Canada (2004). Landfill Gas Capture and Combustion Quantification Protocol. Available at: www.ec.gc.ca/pdb/ghg/lfg_protocol_e.cfm.
- Fowler, D. and Duyzer, J.H. (1989). Micrometeorological techniques for the measurement of trace gas exchange, *Exchange between terrestrial ecosystems and the atmosphere*, Andreae, M.O., Schimel, D.S. Eds., John Wiley & Sons, pp. 189-207.
- Galle B., Samuelsson, J., Börjesson, G. and Svensson, H. (1999). Measurement of methane emissions from landfills using FTIR spectroscopy. Sardinia 1999, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium. Vol. IV, 47-54.
- Gardner, W.D., Ximenes, F., Cowie, A., Marchant, J.F., Mann, S. and Dods, K. (2002). Decomposition of wood products in the Lucas Heights landfill facility. Presented at the Third Australian Conference on 'Life Cycle Assessment – "Life Cycle Decision-making for Sustainability"'. Queensland, Australia, 17 – 19 July, 2002. State Forests of New South Wales, Sydney, Australia. URL:<http://www.greenhouse.crc.org.au/crc/ecarbon/eneews/gardner.pdf>
- Gregory, R.G., Gillet, A.G. and Bradley, D. (2003). 'Methane emissions from landfill sites in the UK', *LQM Report* 443/1, January 2003.
- Hensen, A. and Scharff, H. (2001). Methane emission estimates from landfills obtained with dynamic plume measurements, *Water, Air and Soil Pollution, Focus*, 1(5-6): 455-464.
- Hoeks, J. (1983). Significance of biogas reduction in waste tips, *Waste management and research*, 1, pp. 323-325
- Huitric, R. and Soni, R. (1997). Making the most of LFG projection models, Proceedings from SWANA's 20th annual LFG symposium, Monterey California, USA
- IPCC (1997). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories*. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Tréanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

- IPCC (2000). *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Enmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K. and Tanabe K. (Eds), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- IPCC (2001). Summary for Policymakers and Technical Summary of *Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Bert Metz *et al.* eds. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom
- IPCC (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, land-Use Change and Forestry*. Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. and Wagner, F. (Eds), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.
- Jensen, J. E. and Pipatti, R. (2002). 'CH₄ Emissions from Solid Waste Disposal', *Background Papers. IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)-National Greenhouse Gas Inventories Programme (NGGIP), IGES, Hayama, Japan, pp 419-465.
- Kämpfer, P. and Weissenfels, W. (2001). *Biologische Behandlung organischer Abfälle*, Springer, Berlin.
- Laurila, T., Tuovinen, J.P., Lohila, A., Hatakka, J., Aurela, M., Thum, T., Pihlatie, M., Rinne, J. and Vesala, T. (2005). 'Measuring methane emissions from a landfill using a cost-effective micrometeorological method', *Geoph. Res. Let.*, Vol. 32, L19808,
- Levelton, B.H. (1991). *Inventory of Methane Emissions from Landfills in Canada*. Levelton & Associates. Prepared for Environment Canada, June 1991.
- Matsufuji, Y., Kobayashi, H., Tanaka, A., Ando, S., Kawabata, T. and Hanashima, M. (1996). 'Generation of greenhouse gas effect gases by different landfill types and methane gas control', Proceedings of 7th ISWA International Congress and Exhibition, 1996:10, No. 1, p. 253-254.
- Maurice, C. and Lagerkvist, A. (1997). 'Seasonal variation of landfill gas emissions', *Sardinia 1997 Sixth International Waste Management and Landfill Symposium*, Vol IV, pp. 87-93.
- Micales, J.A. and Skog, K.E. (1997). 'The decomposition of forest products in landfills', *International Biodeterioration and Biodegradation* 39(2-3): pp. 145-158
- Mosher, B., Czepiel, P., Harriss, R., Shorter, J.H., Kolb, C.E., McManus, J.B., Allwine, E. and Lamb, B. (1999). 'Methane emission at nine landfill sites in the northeastern United States', *Environ Sci Technol* 33: 2088-2094.
- Oonk, H. (1993). Overzicht van stortgasprojecten in Nederland (Overview of Dutch Landfill gas projects), March 1993. TNO, Apeldoorn, The Netherlands.
- Oonk, H. and Boom, T. (1995). 'Landfill gas formation, recovery and emissions', *TNO-report R95-203*, TNO. Apeldoorn, The Netherlands.
- Park J.W. and Shin H.C. (2001). 'Surface methane emission of landfill gas from solid waste landfill', *Atmospheric Environment* 35, 3445-3451
- Pelt, R., Bass, R.L., Heaton, R. E., White, Ch., Blackard, A., Burklin, C. and Reisdorph, A. (1998). User's Manual Landfill Gas Emissions Model Version 2.0. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. February 1998, 94 pp.
- RIVM. (2004). Netherlands's National GHG Inventory Report. 8. Waste. *RIVM Report 773201008*, 8 pp.
- Savanne, D., Arnaud, A., Beneito, A., Berne, P., Burkhalter, R., Cellier, P., Gonze, M.A., Laville, P., Levy, F., Milward, R., Pokryszka, Z., Sabroux, J.C., Tauziede, C. and Tregoures, A. (1997). 'Comparison of different methods for measuring landfill methane emissions', *Sardinia 1997 Sixth International Waste Management and Landfill Symposium*, Vol IV, pp. 81-86.
- Scheehle, E. (2006). Personal Communication.
- SCS Wetherill Environmental (2003). New Zealand's Greenhouse Gas Inventory 1990-2002. Chapter 8: Waste. New Zealand Climate Change Office.
- Scharff, H., Martha, A., van Rijn, D.M.M., Hensen, A., v.d. Bulk, W.C.M., Flechard, C., Oonk H., Vroon, R., de Visscher, A. and Boeckx, P. (2003). *A comparison of measurement methods to determine landfill methane emissions*, report by Afvalzorg Deponie B.V., Haarlem, the Netherlands.
- Spokas, K., Graff, C., Morcet, M. and Aran, C. (2003). Implications of the spatial variability of landfill emission rates on geospatial analyses. *Waste Management*. 23: 599-607.

- Spokas, K., Bogner, J., Chanton, J., Morcet, M., Aran, C., Graff, C., Moreau-le-Golvan, Y. and Hebe, I. (2006). 'Methane mass balance at three landfill sites: What is the efficiency of capture by gas collection systems?' *Waste Management*, 26: 516-525.
- SWANA (1998). Comparison of Models for Predicting Landfill Methane Recovery, Publication No. GR-LG0075, March, Solid Waste Association of North America (SWANA).
- UK Environment Agency (2004). *Guidance on monitoring landfill gas surface emissions*. URL: http://www.environment-agency.gov.uk/subjects/waste/?lang=_e
- U.S. EPA (2005). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2004. Annex 3.14. Methodology for Estimating CH₄ Emissions from Landfills. April 2005, U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA).
- U.S. EPA (2002). *Solid Waste Management and Greenhouse Gases*, 2nd Ed, EPA530-R-02-006, U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA).
- U.S. EPA (1998). Compilation of Air Pollutant Emission Factors AP-42, Fifth Edition, Volume 1: Stationary Point and Area Sources. Chapter 2: Solid waste Disposol. Section 2.4.4.1. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), November 1998.
- U.S. EPA (1995). Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, AP-42, Edition 5. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). URL: <http://www.epa.gov/ttn/chieff/ap42/>
- Yamada, M., Ishigaki, T., Endo, K., Inoue, Y., Nagamori, M., Ono Y. and Ono Y. (2005). Distribution of temperature and methane flux on landfill surface. *Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*, Cagliari, Italy

الملحق 1-13 نموذج التضاؤل من المستوى الأول

1-13 مقدمة

نموذج التضاؤل من المستوى الأول (FOD) الوارد في الفصل 3 هو الأسلوب الافتراضي لحساب انبعاثات الميثان (CH_4) الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة (SWDS). يوفر الملحق معلومات إضافية حول هذا النموذج:

- الأساس الرياضي لنموذج التضاؤل من المستوى الأول (انظر القسم 1-13-2)،
- الموضوعات الرئيسية الخاصة بهذا النموذج، على سبيل المثال تقدير كتلة متغير الكربون العضوي القابل للتحلل للانحلال اللاهوائي في مواقع التخلص من النفايات الصلبة (DDOCm) (القسم 1-13-2) ووقت التأخير من التخلص من النفايات في موقع التخلص من النفايات الصلبة حتى يبدأ الانحلال (القسم 1-13-3)،
- تقديم نموذج جدول البيانات الذي تم إعداده لتسهيل استخدام أسلوب التضاؤل من المستوى الأول (1-13-4)،
- كيفية تقدير التخزين طويل الأمد للكربون في مواقع التخلص من النفايات (القسم 1-13-5)،
- مقترحات مختلفة لنموذج التضاؤل من المستوى الأول، بما في ذلك توضيح الاختلافات بين أساليب الهيئة الحالية والسابقة (انظر القسم 1-13-6).

2-13 نموذج التضاؤل من المستوى الأول – النظرية الأساسية

إن أساس تفاعل التضاؤل من المستوى الأول هو أن معدل التفاعل يتناسب مع كمية مادة المتفاعلة الباقية (بارو وجوردون، 1996)، في هذه الحالة تكون كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل المنحل في ظل الظروف اللاهوائية (DDOCm). ويتم التعبير عن كتلة DDOCm التي تفاعلت خلال الفترة dt بواسطة المعادلة التفاضلية 1-13:

$$\begin{aligned} & \text{المعادلة 1-13} \\ & \text{المعادلة التفاضلية للتضاؤل من المستوى الأول} \\ & d(\text{DDOCm}) = -k \cdot \text{DDOCm} \cdot dt \end{aligned}$$

حيث:

$$\begin{aligned} \text{DDOCm} &= \text{كمية الكربون العضوي القابل للتحلل (DOC) في موقع التخلص من النفايات في الوقت } t \\ k &= \text{ثابت معدل التضاؤل في } y^{-1} \end{aligned}$$

وحل هذه المعادلة هو معادلة التضاؤل من المستوى الأول الأساسية.

$$\begin{aligned} & \text{المعادلة 2-13} \\ & \text{معادلة التضاؤل من المستوى الأول} \\ & \text{DDOCm} = \text{DDOCm}_0 \cdot e^{-kt} \end{aligned}$$

حيث:

$$\begin{aligned} \text{DDOCm} &= \text{كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل الذي انحل في ظل الظروف اللاهوائية في موقع التخلص من النفايات في الوقت } t \\ \text{DDOCm}_0 &= \text{كتلة DDOC في موقع التخلص من النفايات في الوقت } 0، \text{ عند بداية التفاعل} \\ k &= \text{ثابت معدل التضاؤل في } y^{-1} \\ t &= \text{الوقت بالسنوات} \end{aligned}$$

استبدال t بالقيمة 1 في المعادلة 2-13 يوضح أنه في نهاية السنة 1 (السنة التي تعقب التخلص من النفايات)، تكون كمية DDOCm الباقية في موقع التخلص من النفايات هي:

$$\begin{aligned} & \text{المعادلة 3-13} \\ & \text{كتلة DDOCm الباقية بعد سنة واحدة من التضاؤل} \\ & \text{عندما تكون قيمة } t \text{ هي } 1، \text{ } \text{DDOCm} = \text{DDOCm}_0 \cdot e^{-k} \end{aligned}$$

كتلة DDOCm المنحلة إلى ميثان وثنائي أكسيد الكربون في نهاية السنة 1 (DDOCm decomp) ستكون:

المعادلة 4-13

كتلة DDOC المنحلة بعد سنة واحدة من التضاؤل

$$DDOCm_{decomp} = DDOCm_0 \cdot (1 - e^{-k})$$

عندما تكون قيمة t هي 1، $DDOCm$ المنحل في الفترة T^8 بين $(1 - t)$ و t :

المعادلة 5-13

كتلة DDOC المنحلة في السنة T

$$DDOCm_{decomp_T} = DDOCm_0 \cdot [e^{-k(t-1)} - e^{-kt}]$$

تعتمد المعادلتين 4-13 و 5-13 على توازن الكتلة طوال السنة:

تمت مناقشة باراميتر وقت فترة عمر النصف للتضاؤل في القسم 3-2-3. وفترة عمر النصف التي تستغرقها كمية التفاعل حتى تنخفض إلى 50 في المائة. ويتم تحديد العلاقة بين فترة عمر النصف وثابت معدل التفاعل k باستبدال $DDOCm$ في المعادلة 2-13 برمز $1/2DDOCm_0$ و t برمز $t_{1/2}$.

المعادلة 6-13

العلاقة بين فترة عمر النصف وثابت معدل التفاعل

$$k = \ln(2) / t_{1/2}$$

3-13 تغيير وقت التأخير في معادلة التضاؤل من المستوى الأول

في معظم مواقع التخلص من النفايات الصلبة، يتم التخلص من النفايات باستمرار طوال السنة، عادة يوميًا. ومع ذلك، فهناك أدلة تشير إلى أن إنتاج الميثان لا يبدأ على الفور بعد التخلص من النفايات (انظر القسم 3-2-3 في الفصل 3).

تفترض المعادلتان 3-13 و 4-13 أن تفاعل التضاؤل يبدأ في 2 يناير في السنة التي تلي التخلص من النفايات، بمتوسط تأخير يصل إلى 6 أشهر قبل بداية التفاعل.

يمكن تحويل المعادلة بسهولة إلى نموذج قبل بداية تفاعل التضاؤل، أي بداية تفاعل التضاؤل في سنة التخلص من النفايات. ويحدث ذلك بتحريك منحني e^{-kt} للخلف بطول المحور الزمني. على سبيل المثال، لصياغة بداية تفاعل في الأول من أكتوبر في سنة التخلص من النفايات (أي متوسط وقت التأخير لثلاثة أشهر قبل بداية تفاعل التضاؤل، بدلا من ستة أشهر)، يتم تحويل المعادلة 2-13 إلى المعادلة التالية:

المعادلة 7-13

معادلة التضاؤل من المستوى الأول لبداية التضاؤل بعد 3 أشهر

$$DDOCm = DDOCm_0 \cdot e^{-k(t+0.25)}$$

ثم سيكون هناك حلان، أحدهما لسنة التخلص من النفايات والآخر لبقية السنوات:

المعادلة 8-13

كتلة DDOC المنحلة في سنة التخلص من النفايات (تأخير 3 أشهر)

$$DDOCm_{decomp_Y} = DDOCm_0 \cdot (1 - e^{-0.25k})$$

المعادلة 9-13

كتلة DDOC المتخلفة في سنة (T) (تأخير 3 أشهر)

$$DDOCm_{decomp_T} = DDOCm_0 \cdot [e^{-k(T-0.75)} - e^{-k(T+0.25)}]$$

⁸يشير الرمز T إلى سنة القيام بالتقدير بالنسبة إلى سنة الترسب.

حيث:

$$\begin{aligned} \text{DDOCm} &= \text{DDOCm decomp}_Y \quad \text{كتلة DDOCm المنحلة في سنة التخلص من النفايات الصلبة} \\ \text{DDOCm} &= \text{DDOCm decomp}_T \quad \text{كتلة DDOCm المنحلة في سنة } T \text{ (من النقطة } t-1 \text{ إلى النقطة } t \text{ المحور الزمني)} \\ T &= \text{سنة من النقطة } t-1 \text{ إلى } t \text{ في المحور الزمني، حيث السنة } 1 \text{ هي السنة التي تسبق التخلص من النفايات.} \\ Y &= \text{سنة التخلص من النفايات} \end{aligned}$$

يمكن القيام بهذا أيضاً للعثور على المعدلات الخاصة ببداية التفاعل خلال السنة التي تلي التخلص من النفايات.

1-3-13 مخطط التخلص من النفايات

يفترض الأسلوب الوارد هنا أن إنتاج الميثان من كل النفايات التي تم التخلص منها خلال السنة الأولى (السنة Y) يبدأ في الأول من يناير في السنة التي تلي التخلص من النفايات. ويتم تعريف السنة 1 على أنها السنة التي تلي التخلص من النفايات.

تظهر بعض درجات عدم التيقن نتيجة لحقيقة أن على أرض الواقع فإن النفايات التي يتم التخلص منها في بداية السنة تبدأ في إنتاج الميثان مبكراً، وأن النفايات التي تم التخلص منها في نهاية السنة تبدأ في إنتاج الميثان في وقت لاحق. ولتقييم هذا الخطأ فقد تم استخدام مقارنة النتائج المحسوبة باستخدام أسلوب التضاؤل من المستوى الأول الذي يتسم بالبساطة الواردة هنا وأسلوب اليوم وراء اليوم الدقيق الوارد في القسم 6-13-3. مع فترة عمر النصف تمتد لعشر سنوات، فإن تقييم انبعاثات الميثان باستخدام الأسلوب الدقيق ينتج عن مخطط للتضاؤل يختلف يوماً واحداً فقط عن الإصدار المبسط للأسلوب. مع فترة عمر النصف تمتد لثلاث سنوات، فإن الأسلوب المبسط ينتج عنه اختلاف لمدة 3.5 أيام فقط من الأسلوب الدقيق. حتى مع امتداد فترة عمر النصف لمدة سنة واحدة، فإن الاختلاف بين الأسلوب الدقيق والأسلوب المبسط يكون 10 أيام فقط. إن الخطأ الناتج عن الافتراض الوارد في هذا الأسلوب المبسط يكون صغيراً للغاية مقارنة بدرجات عدم التيقن الأخرى في البارامترات، خاصة عندما يكون عدم التيقن في وقت التأخير لا تقل عن شهرين.

4-13 نموذج جدول بيانات التضاؤل من المستوى الأول

لتقدير انبعاثات الميثان في كل مواقع التخلص من النفايات الصلبة في البلد، أحد الأساليب هي صياغة نموذج للانبعثات الناجمة عن التخلص من النفايات في كل سنة على أنها صف منفصل في جدول بيانات. في نموذج نفايات الهيئة، يتم حساب تكوين الميثان بشكل منفصل لكل سنة من سنوات التخلص من النفايات، ويتم تحديد إجمالي كمية الميثان المولدة بالجمع في النهاية. ورد في الجدول التالي مثالاً نموذجي، لست سنوات من التخلص من 100 وحدة من DDOCm كل سنة، بمعدل تضاؤل ثابت يبلغ 0.1 (فترة نصف العمر تبلغ 6.9 سنوات) وبدء توليد الميثان في السنة التالية للتخلص من النفايات. الأشكال الواردة في الجدول هي كتلة DDOCm المنحلة من هذه النفايات كل سنة، والتي يتم منها حساب انبعاثات الميثان.

عند النظر لمدة تزيد عن 50 سنة، وهو الأمر الضروري لأسلوب التضاؤل من المستوى الأول، يؤدي ذلك إلى مصفوفة حسابية أكبر إلى حد ما. يستخدم جدول البيانات مقرب أصغر حجماً وأكثر دقة للحسابات. ويتم القيام بذلك بإضافة كتلة DDOCm المنحلة في موقع التخلص من النفايات في سنة واحدة إلى كتلة DDOCm المتبقية من السنوات السابقة. ثم يتم حساب انبعاثات الميثان للسنة التالية من "الإجمالي الحالي" لكتلة DDOCm المتبقية في الموقع. بهذه الطريقة، يمكن القيام بالحساب الكامل لسنة واحدة في ثلاثة أعمدة، بدلاً من استخدام عمود واحد لكل سنة (انظر الجدول 1-13).

ويكمن أساس هذا المقرب في التفاعل من المستوى الأول. مع التفاعل من المستوى الأول، دائماً ما تكون كمية المنتج (هنا كتلة DDOCm المنحلة) متناسبة لكمية المادة المتفاعلة (هنا كتلة DDOCm). يعني ذلك أن وقت التخلص من كتلة DDOCm غير مرتبط بكمية الميثان المولدة كل سنة – فإن المهم هو إجمالي كتلة DDOCm المتبقية في الموقع.

كما أن ذلك يعني أيضاً أننا عندما نعرف كمية DDOCm في مواقع التخلص من النفايات الصلبة في بداية السنة، يمكن النظر إلى كل سنة على أنها السنة رقم 1 في أسلوب التقدير، ويمكن القيام بكل الحساب بواسطة هاتين المعادلتين البسيطتين:

المعادلة 10-13

$$\begin{aligned} &\text{كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل المتراكمة في نهاية السنة } T \\ &DDOCma_T = DDOCmd_T + (DDOCma_{T-1} \cdot e^{-k}) \end{aligned}$$

المعادلة 11-13

$$\begin{aligned} &\text{كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل المنحلة في نهاية السنة } T \\ &DDOCmdecomp_T = DDOCma_{T-1} \cdot (1 - e^{-k}) \end{aligned}$$

حيث:

$$\begin{aligned} \text{يبدأ تفاعل التضاؤل في الأول من يناير في السنة التي تلي التخلص من النفايات.} \\ \text{كتلة DDOCm المتراكم في موقع التخلص من النفايات الصلبة في نهاية سنة } T = \text{DDOCm}_T \\ \text{كتلة DDOC التي تم التخلص منها في موقع التخلص من النفايات الصلبة في السنة } T = \text{DDOCmd}_T \\ \text{كتلة DDOCm المتراكمة في موقع التخلص من النفايات الصلبة في نهاية سنة } (T-1) = \text{DDOCm}_{T-1} \\ \text{كتلة DDOCm المنحلة في سنة } T = \text{DDOCm decomp}_T \end{aligned}$$

الجدول 1-13 أسلوب حساب جديد للتضاؤل من المستوى الأول			
السنة	كتلة DDOCm التي تم التخلص منها	كتلة DDOCm المتراكمة	كتلة DDOCm المنحلة
0	100	100	0
1	100	190.5	9.5
2	100	272.4	18.1
3	100	346.4	25.9
4	100	413.5	33.0
5	100	474.1	39.3
6	100	529.0	45.1

1-4-13 تقديم وقت تأخر مختلف في نموذج جدول البيانات

يفترض الجدول والمعادلات السابقة أن الانحلال اللاهوائي لكتلة DDOCm إلى ميثان يبدأ في الأول من يناير في السنة التي تلي التخلص من النفايات (متوسط التأخير يبلغ 6 أشهر قبل بداية تفاعل التضاؤل).

في حالة إعداد الانحلال اللاهوائي لكي يبدأ قبل ذلك، أي في سنة التخلص من النفايات، سيتعين القيام بحسابات منفصلة لسنة التخلص من النفايات. وحيث إن رياضيات كل فئة من فئات النفايات أو كسر/نوع النفايات متشابهة، فإن البارامترات فقط هي المختلفة، ويتم مسح تقسيم كسور/أنواع وفئات النفايات المختلفة في المعادلات من 12-13 حتى 17-13 و19-13.

<p>المعادلة 12-13 كتلة DDOCm المتبقية في نهاية سنة التخلص من النفايات</p> $\text{DDOCm rem}_T = \text{DDOCmd}_T \cdot e^{-k \cdot (13-M)/12}$ <p>(العمود F في أوراق حساب الميثان في نموذج جدول البيانات)</p>

<p>المعادلة 13-13 كتلة DDOCm المنحلة خلال سنة التخلص من النفايات</p> $\text{DDOCm dec}_T = \text{DDOCmd}_T \cdot \left[1 - e^{-k \cdot (13-M)/12} \right]$ <p>(العمود G في أوراق حساب الميثان في نموذج جدول البيانات)</p>

حيث:

$$\begin{aligned} \text{كتلة DDOCm التي تم التخلص منها في سنة } T \text{ التي لا تزال باقية في نهاية السنة } T \text{ (جيجا جول)} &= \text{DDOCm rem}_T \\ \text{كتلة DDOCm التي تم التخلص منها في سنة } T \text{ (جيجا جول)} &= \text{DDOCmd}_T \\ \text{كتلة DDOCm التي تم التخلص منها في سنة } T \text{ التي تعرضت للانحلال في نهاية السنة } T \text{ (جيجا جول)} &= \text{DDOCm dec}_T \\ \text{سنة } T \text{ (سنة قائمة الحصر)} &= T \\ \text{شهر بداية التفاعل، ويعادل متوسط وقت التأخير + 7 (شهر)} &= M \\ \text{معدل ثابت التفاعل (y}^{-1}\text{)} &= k \\ \text{تصبح المعادلتان 10-13 و 11-13 كما يلي:} & \end{aligned}$$

المعادلة 14-13

كتلة DDOCM المتراكمة في نهاية سنة T

$$DDOCma_T = DDOCm_{rem_T} + (DDOCma_{T-1} \cdot e^{-k})$$

(العمود H في أوراق حساب الميثان في نموذج جدول البيانات)

المعادلة 15-13

كتلة DDOCM المنحلة في السنة T

$$DDOCm_{decomp_T} = DDOCm_{dec_T} + DDOCma_{T-1} \cdot (1 - e^{-k})$$

(العمود I في أوراق حساب الميثان في نموذج جدول البيانات)

حيث:

$$كتلة DDOCM المتراكمة في موقع التخلص من النفايات الصلبة في نهاية سنة T، جيجا جول = {}_T DDCCm$$

$$كتلة DDOCM المتراكمة في موقع التخلص من النفايات الصلبة في نهاية سنة (T-1)، جيجا جول = {}_{T-1} DDCCm$$

$$كتلة DDOCM المنحلة في سنة T، جيجا جول = DDOCM_{decomp_T}$$

تعتمد جداول البيانات على المعادلات من 12-13 إلى 15-13. في حالة إعداد التفاعل على البدء في الأول من يناير في السنة التي تلي التخلص من النفايات، فإن ذلك يعادل متوسط وقت تأخير يبلغ 6 أشهر (الشهر 13). ستكون المعادلتان 14-13 و 15-13 مشابھتان للمعادلتين 10-13 و 11-13.

2-4-13 حساب كتلة DDOCM من كمية النفايات التي تم التخلص منها

يتم إدخال بيانات التخلص من النفايات في جدول البيانات. ويمكن إدخال البيانات حسب نوع النفايات (خيار تكوين النفايات) أو حسب النفايات المتنوعة. في خيار تكوين النفايات، يتم تقسيم النفايات حسب مادة/نوع النفايات (نفايات الورق والورق المقوى والمنزعات والحدائق والأغذية ونفايات الأخشاب والمنسوجات وأنواع النفايات الأخرى). في خيار النفايات المتنوعة، يتم تقسيم النفايات فقط حسب فئة النفايات (النفايات الصلبة المحلية والنفايات الصناعية). لا تتعرض كل كمية الكربون العضوي القابل للتحلل الداخلة إلى الموقع للانحلال في ظل الظروف اللاهوائية في موقع التخلص من النفايات الصلبة المحلية. إن البارامتر DOC_f هو كسر كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل والتي ستتحلل بالفعل في موقع التخلص من النفايات الصلبة (انظر القسم 3-2-3 في الفصل 3). يتم حساب كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل والانحلال (DDOCm) الداخل إلى موقع التخلص من النفايات الصلبة كما يلي:

المعادلة 16-13

حساب كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل والانحلال من بيانات التخلص من النفايات الصلبة

$$DDOCmd_T = W_T \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF$$

(العمود D في أوراق حساب الميثان في نموذج جدول البيانات)

حيث:

$$كتلة DDOCM التي تم التخلص منها في سنة T، جيجا جول = DDOCmd_T$$

$$كتلة النفايات التي تم التخلص منها في السن T، جيجا جول = W_T$$

$$الكربون العضوي القابل للتحلل في سنة التخلص من النفايات (كسر)، جيجا جول كربون/جيجا جول نفايات = DOC$$

$$كسر الكربون العضوي القابل للتحلل الذي سينحلل في الظروف اللاهوائية في موقع التخلص من النفايات الصلبة (كسر) = DOC_f$$

$$معامل تصحيح الميثان لسنة التخلص من النفايات (كسر) (انظر القسم 3-2-3) = MCF$$

3-4-13 حساب توليد الميثان من كتلة DDOCM المنحلة

يتم استخدام المعادلة التالية في حساب كمية الميثان المولدة من كتلة DDOCM المنحلة:

المعادلة 17-13

الميثان المولد من كتلة DDOCM المنحلة

$$CH_4 \text{ generated}_T = DDOCM_{decomp_T} \cdot F \cdot 16/12$$

(العمود J في أوراق حساب الميثان في نموذج جدول البيانات)

حيث:

$$CH_4 \text{ generated}_T = \text{كمية الميثان المولدة من كتلة DDOCM التي تعرضت للانحلال}$$

DDOCm decomp_T = كتلة DDOCm التي تعرضت للانحلال في سنة T، جيجا جول

F = كسر الميثان، حسب الحجم، في غاز المكبات المولد

16/12 = نسبة الوزن الجزيئي الميثان/كربون (نسبة).

تتم إضافة الميثان المولد حسب كل فئة من فئات النفايات التي تم التخلص منها للحصول على إجمالي الميثان المولد في كل سنة. أخيراً، يتم حساب انبعاثات الميثان بطرح غاز الميثان المستعاد من موقع التخلص من النفايات، ثم طرح الميثان المؤكسد إلى ثاني أكسيد الكربون في طبقة الغطاء.

المعادلة 18-13

الميثان المنبعث من مواقع التخلص من النفايات الصلبة

$$CH_4 \text{ emitted}_T = \left(\sum_x CH_4 \text{ generated}_{x,T} - R_T \right) \cdot (1 - OX_T)$$

(عمود حساب النتيجة النهائية في ورقة النتائج)

حيث:

CH₄ emitted_T = الميثان المنبعث في سنة T، جيجا جول

x = نوع/مادة أو فئة النفايات

R_T = الميثان المستعاد في سنة T، جيجا جول

OX_T = معامل الأكسدة في سنة T، (كسر)

5-113 الكربون المخزن في مواقع التخلص من النفايات الصلبة

يتضام إلى الميثان أو ثاني أكسيد الكربون جزء فقط من كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل في النفايات في مواقع التخلص من النفايات الصلبة. تعني قيمة معامل تصحيح الميثان التي نقلت عن 1 أن جزءاً من كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل ينحل لاهوائياً إلى ثاني أكسيد الكربون، وليس ميثان. لن تتحلل كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل المتوفرة بشكل تام أيضاً. توضح المعادلة 16-113 الجزء المنحل من كتل الكربون العضوي القابل للتحلل (DDOCmd). وجزء كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل الذي لن ينحل سيتم تخزينه لفترة طويلة في موقع التخلص من النفايات الصلبة، والتي ستكون كما يلي:

المعادلة 19-13

حساب كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل المخزنة لمدة طويلة من بيانات التخلص من النفايات الصلبة

$$DOCm \text{ long-term stored}_T = W_T \cdot DOC \cdot (1 - DOC_f) \cdot MCF$$

استخدام القيمة الافتراضي ل-DOC_f=5.0، 50 في المائة من كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل الذي تم التخلص منها ستبقى هناك لفترة طويلة. تصف المعادلة 19 الزيادة السنوية في مخزون الكربون المخزن لفترة طويل في مواقع التخلص من النفايات الصلبة. يمكن باستخدام هذه المعادلة تقدير الكربون المخزن لفترة طويلة في منتجات الأخشاب المقطوعة التي تم التخلص منها في موقع التخلص من النفايات الصلبة (انظر الفصل 12 في مجلد الزراعة والحراثة واستعمالات الأرض الأخرى). بالنسبة لخيار تكوين النفايات، كمية كتلة الكربون العضوي القابل للتحلل التي تم تخزينها لفترة طويلة في نفايات منتجات الخشب المقطوعة التي تم التخلص منها في مواقع التخلص من النفايات الصلبة يمكن حسابها مباشرة من معلومات المادة في ورقة الأنشطة. عند استخدام خيار النفايات المتنوعة، يجب أولاً تقدير كسر النفايات التي يرجع أصلها إلى منتجات الأخشاب المقطوعة. في حالة عدم معرفة ذلك، يمكن استخدام الكسور الافتراضية الإقليمية أو الخاصة بالبلد لنفايات الورق والورق المقوى والمنزعات والحدائق والأخشاب (انظر القسم 2-3). يتم القيام بالحسابات في نموذج جدول البيانات في الورقة المعنونة "الكربون المخزن" و"منتجات الخشب المقطوعة".

6-113 مقتربات مختلفة لأسلوب التضاؤل من المستوى الأول

لقد تم استخدام مقتربات مختلفة لأسلوب التضاؤل لتقدير انبعاثات الميثان من مواقع التخلص من النفايات الصلبة. فيما يلي الاختلافات الموجودة بين المقتربات المستخدمة في الخطوط التوجيهية الحالية ومقتربات الهيئة السابقة وأساليب التضاؤل من المستوى الأول الدقيق. لقد تم استخدام المقرب في هذا المجال بشكل أساسي للأسباب التالية:

- يصف الأسلوب تفاعل التضاؤل من المستوى الأول رياضياً بشكل أكثر دقة من مقتربات الهيئة السابقة،
- يسهل فهمه،
- يسهل استخدامه في نموذج جدول البيانات،
- كمنتج ثانوي، فإنه يوفر تقديراً للتغيرات التي تطرأ على الكربون المخزن في مواقع التخلص من النفايات (التغيرات السنوية في مخزون الكربون، لكل من التخزين لفترات طويلة وفترات قصيرة حيث يحافظ المقرب على توازن كتلة تغييرات الكربون من ميثان إلى ثاني أكسيد الكربون في مواقع التخلص من النفايات الصلبة.

1-6-13 الخطوط التوجيهية لعام 1996 – معدل مقرب التفاعل

في الخطوط التوجيهية للهيئة لعام 1996 (الخطوط التوجيهية لعام 1996، الهيئة 1997)، اعتمد تقدير انبعاثات الميثان في مواقع التخلص من النفايات الصلبة على معادلة معدل التفاعل. وهذه طريقة شائعة للنظر إلى تحويل الكتلة في التفاعل الكيميائي. ويمكن الحصول على ذلك باختلاف المعادلة 2-13 فيما يتعلق بالوقت.

المعادلة 20-13
معدل المستوى الأول لمعادلة التفاعل

$$DDOCm \text{ reaction rate} = -d(DDOCm)/dt = k \cdot DDOCm_0 \cdot e^{-kt}$$

يوضح معدل تفاعل المعدلة معدل التفاعل في أي وقت، ويتحرك معدل التفاعل بطول المنحنى. لذا فيجب تكامله للعثور على كمية كتلة DDOCm المتفاعلة خلال فترة من الوقت.

نحن نسعى لمعرفة كتلة DDOCm المنحلة إلى ميثان وثاني أكسيد الكربون لكل سنة تقويمية. والبداية تكون السنة رقم 1 من النقطة 0 إلى النقطة 1 في محور الوقت. وترتبط النقطة رقم 0 بالنقطة رقم 1 في محور الوقت. لذا فإن التكامل يجب أن يحدث من $t-1$ إلى t ، الأمر الذي يؤدي إلى معادلة تشبه تمامًا المعادلة 5-13.

ومع ذلك فإن المعادلة الواردة في الخطوط التوجيهية لعام 1996 (المعادل 4، الفصل 6) هي:

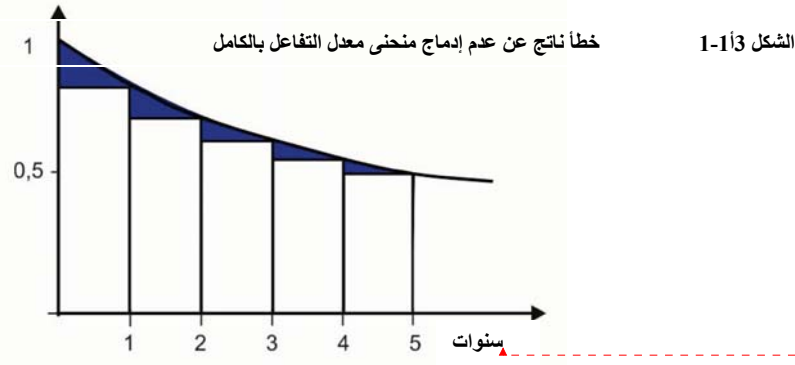
المعادلة 21-13

معادلة الخطوط التوجيهية لعام 1996 للهيئة لتفاعل الكربون العضوي القابل للتحلل في سنة T

$$DDOCm \text{ decomp}_T = k \cdot DDOCm_0 \cdot e^{-kt}$$

في حقيقة الأمر، إن هذا هو معدل معادلة التفاعل. ويعني ذلك من الناحية الفعلية أن الإنتاج السنوي للميثان يتم حسابه من معدل التفاعل في نهاية كل سنة. وهذا مجرد ت قريب يشتمل على جمع مجموعة من المستطيلات ضمن منحنى معدل التفاعل، بدلاً من وضع كل المنطقة ضمن المنحنى. ويحدث خطأ نتيجة للتقريب؛ حيث يتم إهمال المثلثات الصغيرة المعروضة في أعلى الأعمدة في الشكل 1-13، ولا يتم الحصول على توازن الكتلة طوال السنة. والأسلوب المعتمد على المعادلة في الخطوط التوجيهية لعام 1996 باستخدام فترة نصف عمر تبلغ 10 سنوات سيؤدي إلى نتائج تقل 3.5 في المائة عن كامل حسابات توازن الكتلة المستخدمة في هذه الخطوط التوجيهية (انظر المعادلتين 4-13 و 5-13).

ومع ذلك، فعند استخدام الأسلوب الوارد في الخطوط التوجيهية لعام 1996 مع فترات نصف عمر تم إعدادها خصيصاً لهذا الأسلوب، ستكون الحسابات صحيحة.



Mis en forme : Police :Gras

2-6-1-13 الخطوط التوجيهية للممارسات السليمة لعام 2000 للهيئة

في دليل الممارسة السليمة وإدارة عدم التيقن المقترن بقوائم حصر غازات الاحتباس الحراري الوطنية (دليل الممارسات السليمة لعام 2000، الهيئة، 2000)، المعادلة 1-5، تم طرح معامل التوحيد أ في معادلة معدل التفاعل. عند مضاعفة "معامل التوحيد" في المعادلة 1-5، تكون النتيجة عددًا صحيحًا:

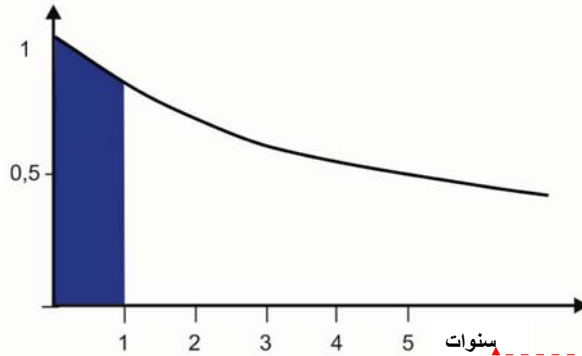
$$\text{المعادلة 22-1-13}$$

معادلة التضاؤل من المستوى الأول في دليل الممارسة السليمة لعام 2000 للهيئة لتفاعل كتلة DDOCm في سنة T

$$DDOCm_{decomp_T} = DDOCm_0 \cdot \left[e^{-kt} - e^{-k(t+1)} \right]$$

يعادل ذلك المعادلة الصحيحة (المعادلة 13-5) حيث يتضمن منحني التضاؤل. ومع ذلك، فإن النسبة للسنة 1 فهي تشمل على النقطة من 1 إلى النقطة 2 في محور الزمن، لذلك فإن الميثان المكون في السنة الأولى للتفاعل لا يتم حسابه (انظر الشكل 13-2). ويعني ذلك أن مع وجود فترة عمر النصف تبلغ 10 سنوات، فإن معادلة دليل الممارسة السليمة لعام 2000 يحسب النتائج التي تقل 7 في المائة عن النتائج المحسوبة باستخدام مقترن يأخذ في اعتباره توازن الكتلة بالكامل.

الشكل 13-2 تأثير الخطأ في معادلة دليل الممارسة السليمة لعام 2000



كان من الواضح أن غرض معامل التوحيد هو استكمال المثلثات الصغيرة الموجودة أعلى الأعمدة في الشكل 13-1. ولم يحدث ذلك نتيجة لأن معامل التوحيد يعادل التكمال من النقطة t إلى (t + 1) على محور الوقت. وبما أن التكمال باستخدام رقم السنة كأساس يجب أنت ينتقل من t-1 إلى 1، فإن معامل التوحيد الذي يملء كل المنطقة الموجودة أسفل منحني التفاعل سيكون $a = (1/e^{-k}) - 1/k$.

3-6-1-13 النموذج الرياضي للتضاؤل من المستوى الأول الدقيق

ونموذج التضاؤل من المستوى الأول كما تم وصفه من قبل يمكن أن يكون من الناحية الرياضية معادلاً لنموذج يكون إجمالي الكربون العضوي القابل للتحلل به من المفترض أن يتم التخلص منه في فترة واحدة في وقت في كل سنة من سنوات التخلص من النفايات، أي في تاريخ واحد. في حالة عدم وجود تأخير في بداية عملية التضاؤل، يمكن أن يكون هذا التاريخ في منتصف السنة، أي الأول من يوليو، مع تأخير 6 أشهر عن الموعد المفترض لبداية التفاعل مع كل كمية المادة في 31 ديسمبر/يناير. على الرغم من أنه يخالف الطبيعية، إلا أن هذا الافتراض يؤدي إلى أخطاء رقمية تعتبر صغيرة مقارنة بعدم التيقن في فهم العمليات الكيميائية وبيانات الأنشطة ومعاملات الانبعاث والبارامترات الأخرى لحساب الانبعاث.

وقد وردت صياغة بديلة لأسلوب التضاؤل من المستوى الأول هنا لغرض الاستيفاء. ويمكن تمثيل التأخير الذي حدث في بداية عملية التضاؤل، ويمكن توفير صيغ متكررة بسيطة.

تمثل المعادلة 13-23 صياغة أسلوب التضاؤل من المستوى الأول بمعدل التخلص من النفايات D(t). ويمثل المصطلح الأول بين القوسين التدفق الداخل إلى حوض الكربون في مواقع التخلص من النفايات الصلبة (التخلص من النفايات)، ويمثل المصطلح الثاني التدفق الخارج من الموقع (كربون في شكل ميثان)؛ ويمثل مجموع المصطلحين التغيير الكلي في مخزون الكربون في مواقع التخلص من النفايات الصلبة.

$$\text{المعادلة 23-1-13}$$

التضاؤل من المستوى الأول مع معدل التخلص من النفايات D(t)

$$dDOCm(t) = [D(t) - k \cdot DDOCm(t)] dt$$

حيث:

$$\begin{aligned} dDOCm(t) &= \text{تغيير في كتلة DDOCm في الوقت } t \\ D(t) &= \text{معدل التخلص من النفايات لكتلة DDOCm في الوقت } t \\ DDOCm(t) &= \text{كتلة DDOCm المتوفرة في الوقت } t \text{ للتضاؤل} \end{aligned}$$

في حالة وجود تضاؤل لعدد Δ سنة في بداية عملية التضاؤل بعد التخلص من كتلة DDOCm، سيكون من الضروري تمييز جزء المخزون المتوفر للتضاؤل، والذي تنطبق عليه المعادلة 23-13، والجزء الخامل للمخزون. بالنسبة لمعدل التخلص $D(i)$ الثابت خلال كل سنة من سنوات التخلص (ويعادل كمية الكربون العضوي القابل للتحلل والانحلال خلال السنة المقسمة بسنة واحدة)، يمكن إثبات أن مخزون الكربون في نهاية السنة i يمكن التعبير عنه فيما يتعلق بمخزون الكربون في نهاية السنة $i-1$ وكميات التخلص من السنة i والسنة $i-1$ (بينجود وفاجنر، 2006):

$$\text{المعادلة 24-13}$$

$$\text{الكربون العضوي القابل للتحلل المتراكم خلال السنة}$$

$$DDOCma(i+1) = a \cdot DDOCma(i) + b \cdot DDOCmd(i-1) + c \cdot DDOCmd(i)$$

حيث:

$$\begin{aligned} \text{مخزون كتلة DDOCm في مواقع التخلص من النفايات الصلبة في بداية سنة } i, \text{ جيجا جول كربون} &= DDOCma(i) \\ \text{كتلة DDOCm التي تم التخلص منها في سنة } i, \text{ جيجا جول كربون} &= DDOCmd(i) \\ e^{-k} &= a \text{ (ثابت)} \\ e^{-k} \cdot (e^{-k(1-\Delta)} - e^{-k}) \cdot 1/k &= b \text{ (ثابت)} \\ \Delta + (1 - e^{-k(1-\Delta)}) \cdot 1/k &= c \text{ (ثابت)} \\ \Delta &= \text{ثابت التأخير، بالسنوات (بين السنة 0 و 1)} \end{aligned}$$

لبداء التضاؤل على الفور ($\Delta=0$)، يجب أن يكون الثابت b مساوياً لصفر، بحيث نقل المعادلة 24-13 إلى معادلة تربط حوض الكربون في سنة معينة i بحوض الكربون في السنة السابقة $i-1$ وكمية الكربون العضوي القابل للتحلل المترسب خلال السنة i .

ويمكن أيضاً إثبات (بينجود وفاجنر، 2006) أن هذا النموذج يمكن استخدامه لحساب كمية الميثان المناظرة المنتجة بشكل متكرر في سنة معينة.

$$\text{المعادلة 25-13}$$

$$\text{الميثان المولد خلال السنة } i$$

$$CH_4 \text{ gen}(i) = q \cdot [a' \cdot DDOCma(i) - b' \cdot DDOCmd(i-1) + c' \cdot DDOCmd(i)]$$

حيث:

$$\begin{aligned} \text{الميثان المولد خلال السنة } i, \text{ جيجا جول كربون} &= CH_4 \text{ gen}(i) \\ \text{مخزون DDOC في مواقع التخلص من النفايات الصلبة في بداية سنة } i, \text{ جيجا جول كربون} &= DDOCma(i) \\ \text{DDOC الذي تم التخلص منه في سنة } i, \text{ جيجا جول كربون} &= DDOCmd(i) \\ MCF \cdot F \cdot 16/12 &= q \\ 1 - a &= 1 - e^{-k} = a' \text{ (ثابت)} \\ b \cdot e^{-k} - (e^{-k(1-\Delta)} - e^{-k}) \cdot 1/k &= b' \text{ (ثابت)} \\ 1 - c = (1 - e^{-k(1-\Delta)}) \cdot 1/k &= c' \text{ (ثابت)} \end{aligned}$$

المراجع

- Pingoud, K. and Wagner, F. (2006). Methane emissions from landfills and decay of harvested wood products: the first order decay revisited. IIASA Interim Report IR-06-004.
- Barrow, Gordon M. (1996). *Physical Chemistry*, Mc Graw Hill, New York, 6th ed.
- IPCC (2000). *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Penman, J., Kruger D., Galbally, I., Hiraishi, T., Nyenzi, B., Enmanuel, S., Buendia, L., Hoppaus, R., Martinsen, T., Meijer, J., Miwa, K. and Tanabe, K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- IPCC (1997). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories*. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Tréanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.