

الفصل 2

المنهجيات العامة القابلة للتطبيق على فئات عديدة من استخدامات الأراضي

المؤلفون

هيرالد آلد (النرويج)، باتريك جونزالز (الولايات المتحدة الأمريكية، مايكل غيتارسكي (الاتحاد الروسي)، ثلما كروغ (البرازيل)، فيرنر إيه كيرز (كندا)، روديل دي. لاسكو (الفلبين)، دانيال إل. مارتينو (أوروجواي)، براين جيز مكونكي (كندا)، ستيفن أوغل (الولايات المتحدة الأمريكية)، كيث بوستيان (الولايات المتحدة الأمريكية)، جون ريزون (أستراليا)، إن إتش رافيندرانات (الهند)، ديتير شون (الفاو)، بيت سميث (المملكة المتحدة)، زولتان سوموغي (المفوضية الأوروبية/المجر)، أندريه فان أمستيل (سويسرا)، ولويس فرشو (المركز الدولي لأبحاث الزراعة والحراجه/الولايات المتحدة الأمريكية).

المحتويات

2-6	المنهجيات العامة القابلة للتطبيق على فئات عديدة من استعمالات الأرض	2-6
2-6	مقدمة	1-2
2-6	إطار عمل الحصر	2-2
2-6	نظرة عامة على تقدير التغير في مخزون الكربون	1-2-2
2-10	نظرة عامة على تقدير انبعاثات الغازات غير ثاني أكسيد الكربون	2-2-2
11-2	تحويل التغيرات في مخزون الكربون إلى انبعاثات لثاني أكسيد الكربون	3-2-2
2-11	طرق عامة لعمليات انبعاث وإزالة ثاني أكسيد الكربون	3-2
2-11	التغير في مخزونات كربون الكتلة الحيوية (الكتلة الحيوية فوق الأرض والكتلة الحيوية تحت الأرض)	1-3-2
2-12	الأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام	1-1-3-2
2-19	الأراضي المحولة إلى فئة استخدام جديدة	2-1-3-2
2-21	التغير في مخزون الكربون بالمادة العضوية الميتة	2-3-2
2-21	الأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام	1-2-3-2
25-2	تحويل الأراضي إلى فئة استخدام جديدة	2-2-3-2
2-28	التغيير في مخزون الكربون بأنواع التربة	3-3-2
2-29	طرق تقدير كربون التربة (الأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام والأراضي المحولة إلى فئة جديدة)	1-3-3-2
2-40	انبعاثات الغازات غير ثاني أكسيد الكربون	4-2
2-50	توجيهات إضافية عامة لطرق المستوى 3	5-2
2-50	طرق الحصر القائمة على القياسات بالمستوى 3	1-5-2
2-52	عمليات الحصر القائمة على النماذج بالمستوى 3	2-5-2
2-54	المراجع	2-54

المعادلات

2-6	التغيرات السنوية في مخزون الكربون لقطاع الزراعة والحراجة واستعمالات الأرض الأخرى كحاصل جمع التغيرات بكافة فئات الاستخدام	1-2
2-7	التغيرات السنوية في مخزون الكربون لفئة استخدام الأراضي كحاصل جمع التغيرات في كل طبقة داخل الفئة	2-2
2-7	التغيرات السنوية في مخزون الكربون للطبقة داخل فئة استخدام الأراضي كحاصل جمع التغيرات في جميع الأحواض	2-2
2-9	التغير السنوي في مخزون الكربون في أحد الأحواض كدالة لعمليات الاكتساب والفقد (طريقة الاكتساب-الفقد)	4-2
2-10	تغير مخزون الكربون في أحد الأحواض كمتوسط سنوي للفرق بين التقديرات عند نقطتين زمنيتين (طريقة الفرق في المخزون)	5-2
2-10	انبعاثات الغازات غير ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي	6-2
2-12	التغير السنوي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية بالنسبة للأراضي التي تظل في فئة استخدام معينة (طريقة الاكتساب-الفقد)	7-2

المعادلة 2-8	التغير السنوي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية بالنسبة للأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام (طريقة الفرق في المخزون).....	2-12
المعادلة 2-9	الزيادة السنوية في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية والنتيجة عن نمو الكتلة الحيوية بالأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام.....	2-15
المعادلة 2-10	متوسط الزيادة السنوية في الكتلة الحيوية.....	2-15
المعادلة 2-11	الانخفاض السنوي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية نتيجة عمليات الفقد في الكتلة الحيوية في الأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام.....	2-16
المعادلة 2-12	الفقد السنوي من الكربون بالكتلة الحيوية في عمليات إزالة الخشب.....	2-16
المعادلة 2-13	الفقد السنوي من الكربون نتيجة إزالة خشب الوقود.....	2-17
المعادلة 2-14	عمليات الفقد السنوية في الكتلة الحيوية نتيجة الاضطرابات.....	2-18
المعادلة 2-15	التغير السنوي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية بالأراضي المحولة إلى فئة استخدام أخرى (المستوى 2).....	2-20
المعادلة 2-16	التغير الأولي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية بالأراضي المحولة إلى فئة استخدام أخرى.....	2-20
المعادلة 2-17	التغير السنوي في مخزون الكربون بالمادة العضوية الميتة.....	2-21
المعادلة 2-18	التغير السنوي في مخزون الكربون بالخشب الميت أو الفرش الحرجي (طريقة الاكتساب-الفقد).....	2-23
المعادلة 2-19	التغير السنوي في مخزون الكربون بالخشب الميت أو الفرش الحرجي (طريقة الفرق في المخزون).....	2-23
المعادلة 2-20	الكربون السنوي في الكتلة الحيوية المحولة إلى مادة عضوية ميتة.....	2-24
المعادلة 2-21	الفقد السنوي في كربون الكتلة الحيوية نتيجة الموت.....	2-24
المعادلة 2-22	التحويل السنوي للكربون إلى نثار.....	2-25
المعادلة 2-23	التغير السنوي في مخزون الكربون بالخشب الميت والفرش الحرجي نتيجة تحويل الأراضي.....	2-26
المعادلة 2-24	التغير السنوي في مخزون الكربون بأنواع التربة.....	2-29
المعادلة 2-25	التغير السنوي في مخزون الكربون العضوي بأنواع التربة المعدنية.....	2-30
المعادلة 2-26	الفقد السنوي في الكربون من أنواع التربة العضوية المصرفة (ثاني أكسيد الكربون).....	2-35
المعادلة 2-27	تقدير انبعاثات غازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن الحرائق.....	2-42

الأشكال التوضيحية

الشكل 2-1	دورة الكربون المعممة للأنظمة الحيوية الأرضية بقطاع الزراعة والحراجة واستعمالات الأرض الأخرى وهي توضح تدفقات الكربون إلى ومن النظام وكذلك التدفقات بين أحواض الكربون الخمسة داخل النظام.....	2-8
الشكل 2-2	شجرة قرار عامة لتحديد المستوى المناسب لتقدير التغيرات في مخزون الكربون في الكتلة الحيوية بفئة استخدام الأراضي.....	2-14
الشكل 2-3	شجرة قرار عامة لتحديد المستوى المناسب لتقدير التغيرات في مخزون الكربون بالمادة العضوية الميتة فئة استخدام الأراضي.....	2-22
الشكل 2-4	شجرة قرار عامة لتحديد المستوى المناسب لتقدير التغيرات في مخزون الكربون بأنواع التربة المعدنية حسب فئة استخدام الأراضي.....	2-32
الشكل 2-5	شجرة قرار عامة لتحديد المستوى المناسب لتقدير التغيرات في مخزون الكربون بأنواع التربة العضوية حسب فئة استخدام الأراضي.....	2-33
الشكل 2-6	شجرة قرار عامة لتحديد المستوى المناسب لتقدير انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناجمة عن الحرائق في فئة من فئات استخدام الأراضي.....	2-44
الشكل 2-7	خطوات لوضع حصر قائم على النماذج بالمستوى 3.....	2-52

الجدول

الجدول 1-2	نموذج لمصفوفة بسيطة (المستوى 2) لتأثيرات الاضطرابات على أحواض الكربون.....2-19
الجدول 2-2	القيم الافتراضية بالمستوى 1 لمخزون الكربون بحوضي الخشب الميت والفرش الحرجي.....2-27
الجدول 3-2	المرجع الافتراضي (في ضوء النبات الأصلي) المتمثل في مخزون الكربون العضوي بالتربة (SOC _{REF}) لأنواع التربة المعدنية (طن كربون هكتار ⁻¹ 0-30 in سم عمق).....2-31
الجدول 4-2	قيم استهلاك الكتلة الحيوية للوقود (المادة العضوية الميتة والكتلة الحيوية الحية) (طن مادة جافة هكتار ⁻¹) للحرائق في مجموعة من أنواع النباتات.....2-45
الجدول 5-2	عوامل الانبعاث (جرام كيلو جرام ⁻¹ مادة جافة محترقة) لأنواع الحرق المختلفة. تعد القيم متوسطات \pm SD وهي مبنية على المراجعة الشاملة من قبل أندريا وميرلت (2001).....2-47
الجدول 6-2	قيم معامل الاحتراق (نسبة كتلة الوقود الحيوية المستهلكة قبل الحريق) للحرائق في مجموعة من أنواع النباتات.....2-48

الإطارات

الإطار 1-2	الصيغ البديلة للمعادلة 2-25 بالنسبة لبيانات الأنشطة المجمع بالمقرب 1 مقابل بيانات الأنشطة المجمع بالمقرب 2 أو 3 مع مصوفة التحويل.....34-2
الإطار 2-2	مقارنة بين استخدام الإحصائيات الكلية للمقرب 1 وبيانات الأنشطة للمقرب 2 أو 3 مع مصفوفات التحويل.....36-2

2 المنهجيات العامة القابلة للتطبيق على فئات عديدة من استعمالات الأرض

1-2 مقدمة

يمكن تقسيم الطرق المستخدمة في تقدير انبعاثات وعمليات إزالة غازات الاحتباس الحراري في قطاع الزراعة والحراة واستعمالات الأرض الأخرى في فئتين عريضتين: (1) الطرق التي يمكن تطبيقها بطريقة مماثلة مع كافة أنواع استخدام الأراضي (أي الطرق العامة للأراضي الحرجية والأراضي الزراعية والمروج الطبيعية والأراضي الرطبة وأراضي الاستيطان والأراضي الأخرى)؛ و(2) الطرق التي تطبق على نوع معين فقط من أنواع الاستخدام أو التي تطبق على البيانات الإجمالية على المستوى الوطني، دون تحديد لنوع الاستخدام. ويقدم الفصل 2 بصفة رئيسية وصفا للمنهجيات العامة المدرجة تحت الفئة (1) لتقدير التغيرات في مخزون الكربون بالنظام الحيوي وتقدير تدفقات الغازات غير ثاني أكسيد الكربون والناتجة عن الحرائق. وهذه الطرق يمكن تطبيقها على أي من فئات استخدام الأراضي الستة. وتشمل المعلومات العامة المقدمة حول هذه الطرق:

- إطار عمل عام لتطبيق الطرق في فئات محددة من استخدام الأراضي؛
- اختيار الطرق، بما في ذلك معادلات وقيم افتراضية لطرق المستوى 1 من أجل تقدير التغيرات في مخزون الكربون وانبعاثات الغازات غير ثاني أكسيد الكربون؛
- توجيهات عامة حول استخدام طرق المستوى الأعلى؛
- استخدام قاعدة بيانات معاملات الانبعاث (EFDB) الخاصة بالهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ؛ و
- تقدير عدم التيقن.

وتعرض الفصول المعنية بفئات استخدام الأراضي (راجع الفصول من 4 إلى 9) تفاصيل وتوجيهات محددة حول كيفية تطبيق الطرق مع كل فئة من فئات استخدام وتحويل استخدام الأراضي، بما في ذلك اختيار معاملات الانبعاث وتجميع بيانات الأنشطة وتقييم عدم التيقن. وتحليل التوجيهات المعنية بحسابات الحصر لكل فئة من فئات الاستخدام بالعودة إلى هذا الفصل للحصول على وصف للطرق العامة.

2-2 إطار عمل الحصر

يحدد هذا القسم مقتربا منظماً لتقدير التغيرات في مخزون الكربون (وعمليات الانبعاث والإزالة لثاني أكسيد الكربون المرتبطة) من الكتلة الحيوية وأنواع التربة، وأيضاً لتقدير انبعاثات غازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون الناتجة من الحرائق. وبلي المعادلات العامة التي تمثل مستوى فئات استخدام الأراضي وطبقاتها وصف مختصر للعمليات يشتمل على معادلات أكثر تفصيلاً لتغيرات مخزون الكربون في أحواض معينة حسب فئة الاستخدام. بعد ذلك يتم إيراد المبادئ المتعلقة بتقدير انبعاثات الغازات غير ثاني أكسيد الكربون والمعادلات المشتركة. ويشتمل القسمان 2-3 و 2-4 على معادلات محددة وتشغيلية لتقدير عمليات الانبعاث والإزالة من العمليات داخل الأحواض حسب الفئة وهو ما يتوافق مباشرة مع حسابات أوراق العمل.

1-2.2 نظرة عامة على تقدير التغير في مخزون الكربون

تُقدر انبعاثات وعمليات إزالة ثاني أكسيد الكربون من قطاع الزراعة والحراة واستعمالات الأرض الأخرى بحساب التغيرات في مخزون الكربون بالنظام الحيوي لكل فئة من فئات استخدام الأراضي (بما في ذلك الأراضي التي تظل في فئة استخدام معينة والأراضي المحولة إلى فئة استخدام أخرى). وتلخص المعادلة 1-2 التغيرات في مخزون الكربون.

المعادلة 1-2

التغيرات السنوية في مخزون الكربون لقطاع الزراعة والحراة واستعمالات الأرض الأخرى ككل كحاصل جمع التغيرات بكافة فئات الاستخدام

$$\Delta C_{AFOLU} = \Delta C_{FL} + \Delta C_{CL} + \Delta C_{GL} + \Delta C_{WL} + \Delta C_{SL} + \Delta C_{OL}$$

حيث:

ΔC = التغير في مخزون الكربون

تدل الأسس على فئات الاستخدام التالية:

AFOLU = الزراعة والحراة واستعمالات الأرض الأخرى

FL = الأراضي الحرجية

CL = الأراضي الزراعية

GL = المروج الطبيعية

WL = الأراضي الرطبة

SL = أراضي الاستيطان

OL = الأراضي الأخرى

وتقدر التغيرات في مخزون الكربون لكل فئة من فئات استخدام الأراضي على مستوى كافة الطبقات أو التقسيمات الفرعية لمساحة الأرض (مثل المنطقة المناخية والنوع البيئي ونوع التربة ونظام الإدارة وغير ذلك، راجع الفصل 3) والتي تم اختيارها لفئة معينة من فئات الاستخدام (المعادلة 2-2). وتقدر التغيرات في مخزون الكربون داخل الطبقة بدراسة عمليات دورة الكربون بين أحواض الكربون الخمسة، كما هو محدد في الجدول 1-1 بالفصل 1. ويوضح المخطط المعمم لدورة الكربون (الشكل 2-1) الأحواض الخمسة والتدفقات المرتبطة بما في ذلك مدخلات ومخرجات النظام، وكافة عمليات التحويل الممكنة بين الأحواض. وبصفة عامة، يتم تقدير التغيرات في مخزون الكربون بإحدى الطبقات بجمع التغيرات في كافة الأحواض كما هو مبين في المعادلة 2-3. وعلاوة على ذلك، يمكن تجزئة التغيرات في مخزون الكربون بالتربة إلى تغيرات في مخزون الكربون بأنواع التربة المعدنية والانبعثات من أنواع التربة العضوية. وتجدر الإشارة إلى أنه تم تضمين منتجات الخشب المحصود (HWP) كحوض إضافي.

المعادلة 2-2
التغيرات السنوية في مخزون الكربون لفئة استخدام الأراضي كحاصل جمع التغيرات في كل طبقة داخل الفئة

$$\Delta C_{LU} = \sum_i \Delta C_{LU_i}$$

حيث:

ΔC_{LU} = تغيرات مخزون الكربون لفئة استخدام الأراضي (LU) كما هي محددة في المعادلة 1-2.
 i = يدل على طبقة محددة أو قسم فرعي داخل الفئة (حسب أي مجموعة من الأنواع، المنطقة المناخية، النوع البيئي، نظام الإدارة وغير ذلك، راجع الفصل 3)، $i = 1$ إلى n .

المعادلة 2-2
التغيرات السنوية في مخزون الكربون للطبقة داخل فئة استخدام الأراضي كحاصل جمع التغيرات في جميع الأحواض

$$\Delta C_{LU_i} = \Delta C_{AB} + \Delta C_{BB} + \Delta C_{DW} + \Delta C_{LI} + \Delta C_{SO} + \Delta C_{HWP}$$

حيث:

ΔC_{LU_i} = التغيرات في مخزون الكربون للطبقة داخل فئة استخدام الأراضي

تشير الحروف المكتوبة على نحو منخفض إلى أحواض الكربون التالية:

AB = الكتلة الحيوية فوق الأرض

BB = الكتلة الحيوية تحت الأرض

DW = الخشب الميت

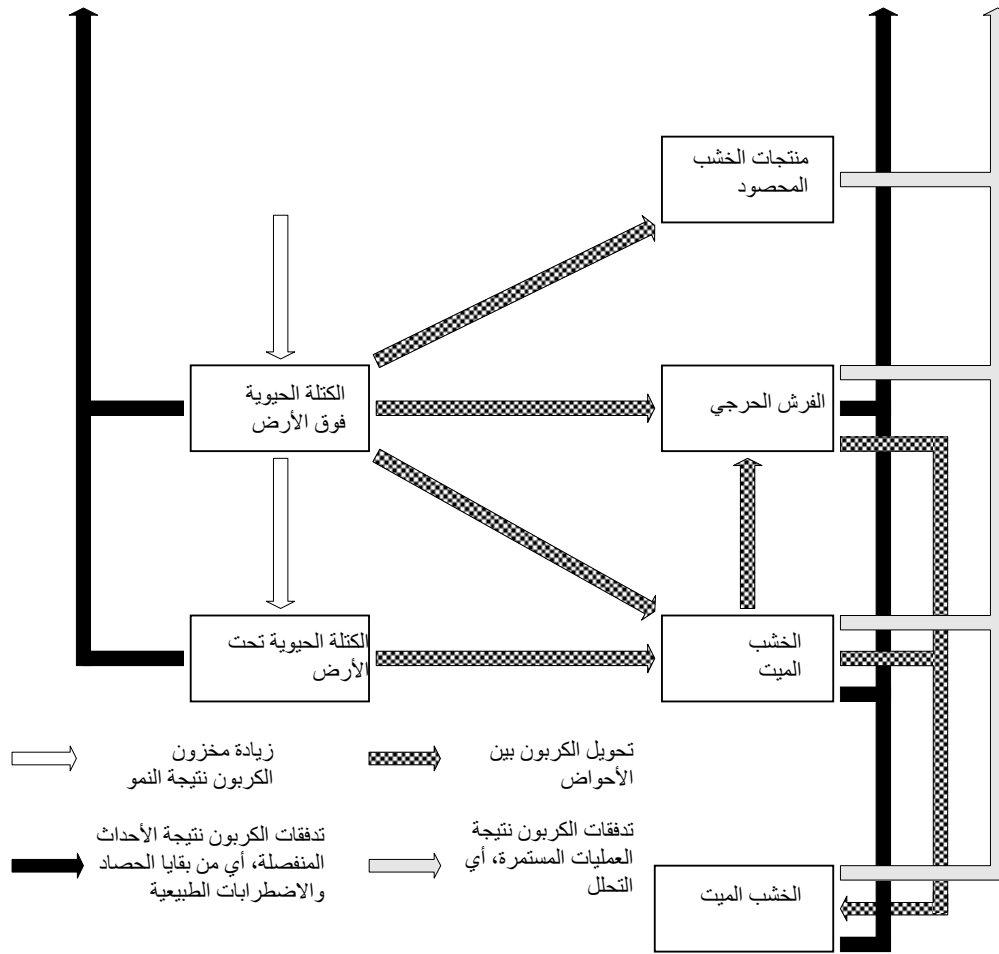
LI = الفرش الحرجي

SO = أنواع التربة

HWP = منتجات الخشب المحصود

يعتمد تقدير التغيرات في أحواض وتدفقات الكربون على مدى توافر البيانات والنماذج، إضافة إلى الموارد والكفاءة فيما يخص جمع وتحليل المعلومات الإضافية (راجع الفصل 1، القسم 1.3.3 حول تحليل الفئة الرئيسية). ويحدد الجدول 1-1 في الفصل 1 الأحواض ذات الأهمية لكل فئة من فئات استخدام أراضي بالنسبة لطرق المستوى 1، بما في ذلك إحالات مرجعية إلى جداول الإبلاغ. وقد لا يتم تقدير التغيرات في مخزون الكربون لكافة الأحواض المبينة في المعادلة 2-3، إذ يتوقف ذلك على ظروف البلد والمستويات التي تم اختيارها. ونظرا للقيود المرتبطة باشتقاق مجموعات البيانات الافتراضية لدعم تقدير بعض تغيرات المخزون، فإن طرق المستوى 1 تشمل على العديد من الفرضيات المبسطة.

الشكل 1-2 دورة الكربون المعممة للأنظمة الحيوية الأرضية بقطاع الزراعة والحراجة واستعمالات الأرض الأخرى وهي توضح تدفقات الكربون إلى ومن النظام وكذلك التدفقات بين أحواض الكربون الخمسة داخل النظام.



- يتم افتراض أن التغيير في مخزون كربون الكتلة الحيوية تحت الأرض يساوي صفرًا في المستوى 1 (وفي المستوى 2، يمكن استخدام بيانات البلد المعني حول نسب الكتلة الحيوية تحت الأرض إلى فوق الأرض لتقدير التغييرات في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية تحت الأرض)؛
- عند استخدام طرق المستوى 1، غالبًا ما يتم إجمال حوضي الخشب الميت والفرش الحرجي في حوض واحد "المادة العضوية الميتة" (راجع المناقشة فيما يلي)؛ و
- يتم افتراض أن مخزونات الكتلة الحيوية تساوي صفرًا بالنسبة لفئات استخدام الأراضي غير الحرجية باستخدام المستوى 1. وبالنسبة للأراضي الحرجية المحولة إلى فئة أخرى من فئات استخدام الأراضي، فإن القيم الافتراضية لتقدير مخزون الكربون بالمادة العضوية الميتة يتم تقديمها في المستوى 1.

تتضمن دورة الكربون تغييرات في مخزون الكربون نتيجة لكل من العمليات المستمرة (كالنمو والتحلل) والأحداث المنفصلة (كالاضطرابات من قبيل الحصاد والحرائق وموجات انتشار الحشرات والتغير في استخدام الأراضي والأحداث الأخرى). ويمكن للعمليات المستمرة أن تؤثر على مخزون الكربون في كافة المناطق وفي كل عام، بينما تتسبب الأحداث المنفصلة (أي الاضطرابات) في الانبعاثات وإعادة توزيع كربون النظام الحيوي في مناطق معينة (تلك التي يقع بها الحدث) وفي عام الحدث.

وقد يكون للاضطرابات تأثيرات تستمر لفترات طويلة، مثل تحلل الأشجار التي تقتلعها الرياح أو تطولها الحرائق. ولأغراض عملية، تفترض طرق المستوى 1 أن كافة الانبعاثات التي تعقب الاضطرابات (إزالة أقل لمنتجات الخشب المحصود) يتم تقديرها كجزء من حدث الاضطراب، أي في عام الحدث. على سبيل المثال، بدلًا من تقدير تحلل المواد العضوية الميتة المتبقية بعد حدث الاضطراب على امتداد فترة تغطي عدة أعوام، فإن كافة الانبعاثات التالية للحدث يتم تقديرها في عام وقوعه.

وتفترض طرق المستوى 1 أن متوسط معدل التحويل إلى حوض المادة العضوية الميتة (الخشب الميت والفرش الحرجي) يساوي متوسط معدل التحويل من الحوض نفسه، وبالتالي فإن صافي التغيير في المخزون يساوي صفرًا. وهذا الافتراض يعني أن مخزون الكربون في المادة العضوية الميتة (الخشب الميت والفرش الحرجي) لا يحتاج إلى تقدير كميته في طرق المستوى 1 بالنسبة للأراضي التي تبقى في نفس فئة الاستخدام¹. والأساس المنطقي لهذا المقرب هو أن مخزون المادة العضوية الميتة، وبالأخص الخشب الميت، يتسم بالتغيرية والتأثر بالموقع إلى حد بعيد، ويتوقف على نوع وعمر الحرج وتاريخ الاضطراب والإدارة. وعلاوة على ذلك، تتسم البيانات فيما يخص معدلات تحلل البقايا الخشبية الغليظة بالندرة وبالتالي يعتبر وضع معاملات افتراضية وتقديرات لعدم التيقن قابلة للتطبيق على المستوى العالمي أمر غير ممكن. ويجدر بالبلدان التي تشهد تغييرات كبيرة في أنواع الأحراج أو اضطرابات أو أنظمة الإدارة بالأحراج التي على أراضيها وضع بيانات وطنية لتقدير تأثير هذه التغييرات باستخدام منهجيات المستوى 2 أو 3 والإبلاغ عن قيم التغييرات التي تم تحديدها في مخزون الكربون وكذا عمليات الانبعاث والإزالة للغازات غير ثاني أكسيد الكربون.

ويتم التعبير عن كافة تقديرات التغيير في مخزون الكربون، أي النمو وعمليات التحويل الداخلي والانبعاثات بوحدة الكربون بما يحقق الاتساق بين كافة الحسابات. ويمكن أن تكون بيانات المخزون والزيادة والحصاد المرتبطة وغير ذلك المتعلقة بالكتلة الحيوية بوحدة المادة الجافة وذلك بصورة مبدئية ثم تحول بعد ذلك إلى طن كربون بالنسبة لكافة العمليات الحسابية التالية. وهناك مقتربان مختلفان على نحو جوهري لكنهما يصلحان على نحو متساوٍ لتقدير التغييرات في مخزون الكربون. (1) المقرب القائم على العملية، ويقوم بتقدير الرصيد الصافي لعمليات الإضافة إلى مخزون الكربون وعمليات الإزالة منه؛ و(2) المقرب القائم على المخزون، ويقوم بتقدير الفرق في مخزون الكربون عند نقطتين زمنيتين.

ويمكن تقدير التغييرات السنوية في مخزون الكربون في أي من الأحواض باستخدام المقرب القائم على العملية من خلال المعادلة 2-4 التي تحدد طريقة الاكتساب/الفقد التي يمكن تطبيقها على كافة عمليات اكتساب وفقد الكربون. وترجع عمليات الاكتساب إلى النمو (زيادة الكتلة الحيوية) وتحويل الكربون من حوض إلى آخر (مثل تحويل الكربون من حوض الكتلة الحيوية الحية إلى حوض المادة العضوية الميتة نتيجة الحصاد أو الاضطرابات الطبيعية). وتميز عمليات الاكتساب بعلامة الموجب (+). وترجع عمليات الفقد إلى عمليات تحويل الكربون من حوض إلى آخر (على سبيل المثال، يعتبر الكربون بالأجزاء المتناثرة أثناء عملية الحصاد جزءاً مفقوداً من حوض الكتلة الحيوية فوق الأرض)، أو الانبعاثات الناتجة عن التحلل أو الحصاد أو الحرق وغير ذلك. ودائمًا ما تميز عمليات الفقد بعلامة السالب (-).

المعادلة 2-4 التغيير السنوي في مخزون الكربون في أحد الأحواض كدالة لعمليات الاكتساب والفقد (طريقة الاكتساب-الفقد)

$$\Delta C = \Delta C_G - \Delta C_L$$

حيث:

ΔC = التغيير السنوي في مخزون الكربون بالحوض، طن كربون عام

ΔC_G = الاكتساب السنوي من الكربون، طن كربون عام

ΔC_L = الفقد السنوي من الكربون، طن كربون عام

¹ يتم حساب الانبعاثات من مخزون الكربون بطبقة الفرش الحرجي في طرق المستوى 1 بالنسبة لتحويل الغابات إلى استخدامات أراضي أخرى.

لاحظ أن عمليات إزالة ثاني أكسيد الكربون هي عمليات تحويل لثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي إلى أحد الأحواض، بينما الانبعاثات هي عمليات تحويل من الحوض إلى الغلاف الجوي. وتجدر الإشارة إلى أنه ليست جميع عمليات التحويل تتضمن انبعاثات أو عمليات إزالة، نظراً لأن أي عملية تحويل للكربون من حوض لآخر هي في الواقع فقد بالنسبة للحوض المُعطى واكتساب بنفس القدر بالنسبة للحوض المستقبل. على سبيل المثال، تعتبر عملية التحويل من حوض الكتلة الحيوية فوق الأرض إلى حوض الخشب الميت هي فقد من حوض الكتلة الحيوية فوق الأرض واكتساب بنفس القدر لحوض الخشب الميت، ولا يؤدي ذلك بالضرورة إلى انبعاث فوري لثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي (وفقاً للمستوى المستخدم).

ويطلق على الطريقة المستخدمة في المعادلة 2-4 طريقة *الاكتساب - الفقد*، نظراً لأنها تتضمن كافة العمليات المؤدية للتغير في بأحد الأحواض. وهناك مقترح بديل يقوم على المخزون يطلق عليه *طريقة الفرق في المخزون* والتي يمكن استخدامها في حالة قياس مخزون الكربون في الأحواض المعنية عند نقطتين زمنيتين لتقدير التغيرات في مخزون الكربون، كما هو ممثل بالمعادلة 2-5.

المعادلة 2-5
تغير مخزون الكربون في أحد الأحواض كمتوسط سنوي للفرق بين التقديرات عند نقطتين زمنيتين (طريقة الفرق في المخزون)

$$\Delta C = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)}$$

حيث:

ΔC = التغير السنوي في مخزون الكربون بالحوض، طن كربون عام

C_{t_1} = مخزون الكربون بالحوض عند النقطة الزمنية t_1 ، طن كربون

C_{t_2} = مخزون الكربون بالحوض عند النقطة الزمنية t_2 ، طن كربون

وفي حالة تقدير التغيرات في مخزون الكربون لكل هكتار، فإنه يتم ضرب القيمة في المساحة الكلية داخل كل طبقة للحصول على تقدير التغير الكلي في المخزون بالنسبة للحوض. وفي بعض الحالات، قد تكون بيانات الأنشطة في صورة قيم إجمالية خاصة بالبلد المعني (على سبيل المثال الخشب المحصود) وهنا يتم تقدير التغير في المخزون بالحوض مباشرة من بيانات الأنشطة بعد تطبيق المعاملات الملائمة للتحويل إلى وحدات من كتلة الكربون. وعند استخدام طريقة الفرق في المخزون بالنسبة لفئة معينة من فئات استخدام الأراضي، فمن الأهمية ضمان تماثل مساحة الأراضي في الفئة عند النقطة الزمنية t_1 والنقطة الزمنية t_2 لتجنب خلط تقديرات التغير في المخزون مع التغير في المساحة.

وتستخدم طريقة التقدير القائمة على العملية مع مقتربات النماذج من خلال معاملات مشتقة من بيانات البحث التجريبي. ويعمل ذلك على الحد من التغيرية بين السنوات إلى حد بعيد مقارنة بطريقة الفرق في المخزون والتي تعتمد على تقديرات الفرق في المخزون عند نقطتين زمنيتين. وتعتبر كلتا الطريقتين مناسبة للاستخدام طالما كانت قادرة على تمثيل حوادث الاضطراب الفعلية وكذلك الاتجاهات المتغيرة بصفة مستمرة ويمكن التحقق منهما من خلال المقارنة بالقياسات الفعلية.

2-2-2 نظرة عامة على تقدير انبعاثات الغازات غير ثاني أكسيد الكربون

تنشأ انبعاثات الغازات غير ثاني أكسيد الكربون من مجموعة متنوعة من المصادر، تشمل الانبعاثات من أنواع التربة والماشية والسماد الطبيعي واحتراق الكتلة الحيوية والخشب الميت والفرش الحرجي. وعلى العكس من طريقة تقدير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون على أساس التغير في مخزون الكتلة الحيوية، تقدر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون في صورة معدلات انبعاث من المصدر مباشرة إلى الغلاف الجوي. ويحدد المعدل (المعادلة 2-6) بصورة عامة بواسطة معامل انبعاث لغاز معين (وليكن الميثان أو أكسيد النتروز على سبيل المثال) وفئة المصدر، وبواسطة مساحة (التربة أو المنطقة المحترقة) أو مجموعة (بالنسبة للماشية) أو كتلة (بالنسبة للكتلة الحية أو السماد الطبيعي) تحدد مصدر الانبعاث.

المعادلة 2-6
انبعاثات الغازات غير ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي

$$Emission = A \cdot EF$$

حيث:

Emission = انبعاثات الغازات غير ثاني أكسيد الكربون، طن من الغاز غير ثاني أكسيد الكربون

A = بيانات الأنشطة المتعلقة بمصدر الانبعاث (قد تكون مساحة أو عدد حيوانات أو وحدة كتلة، وفقاً لنوع المصدر)

EF = معامل الانبعاث لغاز معين وفئة مصدر محددة، طن لكل وحدة من A

ويكون الكثير من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون إما مرتبطاً باستخدام معين للأراضي (مثل انبعاثات الميثان من حقول الأرز) أو يتم تقديره عادة من البيانات الإجمالية على المستوى الوطني (على سبيل المثال انبعاثات الميثان من الماشية وانبعاثات أكسيد النيتروز من التربة المدارة). وبالنسبة لمصادر الانبعاث المرتبطة بفئة استخدام واحدة للأراضي، فقد تم وصف المنهجيات الخاصة بها في الفصل المخصص لفئة الاستخدام (على سبيل المثال انبعاث الميثان من مساحات الأرز في الفصل 5 الخاص بالأراضي الزراعية). أما الانبعاثات التي تقوم عادة على البيانات الإجمالية فيتم التعامل معها في فصول منفصلة (على سبيل المثال الفصل 10 للانبعاثات المرتبطة بالماشية، والفصل 11 لانبعاثات أكسيد النيتروز من التربة المدارة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون من إضافات الجير واليورية). ويقدم هذا الفصل الطرق المستخدمة في تقدير الانبعاثات غير ثاني أكسيد الكربون (وثاني أكسيد الكربون) الناتجة من احتراق الكتلة الحيوية، وهو ما قد يحدث في فئات مختلفة متعددة من استخدامات الأراضي.

3-2-2 تحويل التغيرات في مخزون الكربون إلى انبعاثات لثاني أكسيد الكربون

لأغراض الإبلاغ، يمكن تحويل التغيرات في فئات مخزون الكربون (والتي تشمل على عمليات نقل إلى الغلاف الجوي) إلى وحدات من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وذلك بضرب التغير في المخزون في -12/44. وفي الحالات التي يكون فيها جزء كبير من التغير في مخزون الكربون ناتج عن انبعاثات أول أكسيد الكربون والميثان، فإن هذه الانبعاثات غير ثاني أكسيد الكربون ينبغي طرحها من الانبعاثات أو عمليات الإزالة المقدرة لثاني أكسيد الكربون باستخدام الطرق المقدمة لتقدير هذه الغازات. وعند إجراء التقديرات، فإن القائمين بالحصر ينبغي لهم تقدير كل فئة لضمان أن هذا الكربون غير مضمن بالفعل في الافتراضات والتقريبات التي تم إجراؤها في تقدير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

وينبغي ملاحظة أنه ليس كل تغير في الكربون يقابله انبعاث. إن التحول إلى ثاني أكسيد الكربون من الكربون يقوم على نسبة الوزن الجزيئي (12/44). ويرجع تغيير العلامة (-) إلى الاعتقاد بأن الزيادات في مخزون الكربون، أي التغيرات الموجبة في المخزون (+)، تمثل عملية إزالة (أو انبعاث "سليبي") من الغلاف الجوي، بينما تمثل عمليات الانخفاض في مخزون الكربون، أي التغيرات السلبية في المخزون (-)، تمثل انبعاثاً موجباً إلى الغلاف الجوي.

3-2 طرق عامة لعمليات انبعاث وإزالة ثاني أكسيد الكربون

وكما سبق توضيحه في القسم 2-2، فإن انبعاثات وعمليات إزالة ثاني أكسيد الكربون في قطاع الزراعة والحراجة واستعمالات الأرض الأخرى تقدر على أساس التغيرات في مخزون الكربون بالنظام الحيوي. ويتكون ذلك من الكتلة الحيوية فوق الأرض وتحت الأرض والمادة العضوية الميتة (أي الخشب الميت والفرش الحرجي) والمادة العضوية بالترية. ويستخدم صافي عمليات الفقد في المخزونات الإجمالية لكربون النظام الحيوي في تقدير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي، بينما يستخدم صافي عمليات الاكتساب في المخزونات الإجمالية لكربون النظام الحيوي في تقدير إزالة ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي. ويمكن مراعاة عمليات التحويل بين الأحواض إذا كان ذلك مناسباً. ويمكن تقدير التغيرات في مخزون الكربون بواسطة طرق الحصر المباشر أو نماذج العمليات. ويمكن لأي من مخزونات الكربون أو أحواضه أن يحدث في أي فئة من فئات استخدام الأراضي، لذلك نصف فيما يلي الخصائص العامة للطرق المنطبقة على أي فئة من الفئات. وفي حالات معينة، قد تتضمن عمليات الفقد في مخزون أو أحواض الكربون انبعاثات لغازات غير ثاني أكسيد الكربون مثل الميثان وأحادي أكسيد الكربون والغازات المتطايرة غير الميثان وغيرها. ويشتمل القسم 2-4 على الطرق الخاصة بتقدير انبعاثات هذه الغازات. وتقتضي الممارسة السليمة عمل مراجعة للتحقق من التغطية الكاملة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون والغازات غير ثاني أكسيد الكربون نتيجة الفقد في مخزونات أو أحواض الكربون لتفادي الإسقاط أو تكرار الحساب. وتُقدم التفاصيل الخاصة المتعلقة بتطبيق هذه الطرق حسب فئة استخدام الأراضي بالفصول من 4 إلى 9.

1-3-2 التغير في مخزونات كربون الكتلة الحيوية (الكتلة الحيوية فوق الأرض والكتلة الحيوية تحت الأرض)

تمثل الكتلة الحيوية للنبات مخزوناً هاماً للكربون بالكثير من الأنظمة الحيوية. وتوجد الكتلة الحيوية في الأجزاء فوق سطح الأرض والأجزاء تحت سطح الأرض من النباتات السنوية الدائمة. والكتلة الحيوية المرتبطة بالنباتات العشبية (أي غير الخشبية) السنوية الدائمة تعتبر سريعة الزوال نسبياً، أي تضمحل ثم تعاود النمو من جديد سنوياً أو كل عدد قليل من السنوات. ومن هنا فإن الانبعاثات الناتجة عن موت النباتات يتم موزانتها بعمليات الإزالة نتيجة إعادة النمو بما يجعل مخزونات الكربون الصافية في الكتلة الحيوية ثابتة نسبياً على المدى الطويل. وبالتالي، تركز الطرق على التغيرات في المخزون بالكتلة الحيوية المرتبطة بالنباتات الخشبية والأشجار، والتي يمكنها مراكمة مقادير كبيرة من الكربون (تصل إلى مئات الأطنان للهكتار) خلال فترة حياتها. ويرجح أن يمثل تغير مخزون الكربون في الكتلة الحيوية بالأراضي الحرجية فئة فرعية هامة نتيجة التدفقات الكبيرة بسبب ممارسات الإدارة والحصاد والاضطرابات الطبيعية والموت الطبيعي وتجدد الأحرار. وإضافة لذلك، فغالبا ما تؤدي تحويلات الأراضي من أراض حرجية إلى فئات استخدام أخرى إلى فقد الكربون بكميات ملموسة من حوض الكتلة الحيوية. وقد توجد الأشجار والنباتات الخشبية في أي فئة من فئات الاستخدام السنوية، رغم أن مخزون الكتلة الحيوية يكون أكبر بصفة عامة في الأراضي الحرجية. ولأغراض تتعلق بالحصر، تقدر التغيرات في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية بالنسبة لكل من (1) الأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام (2) الأراضي المحولة إلى فئة استخدام جديدة. والمتبع في عملية الإبلاغ هو أن كافة الانبعاثات وعمليات الإزالة المرتبطة بالتغير في استخدام فئة معينة يتم الإبلاغ عنها في فئة الاستخدام الجديدة.

1-1-3-2 الأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام

تتضمن المعادلة 2-3 أحواض الكربون الخمسة التي يلزم تقدير تغير مخزون الكربون بها. ويقدم هذا القسم طرقاً لتقدير عمليات الاكتساب والفقد والتغيرات الصافية في كربون الكتلة الحيوية. وتشمل عمليات الاكتساب نمو الكتلة الحيوية بالمكونات الموجودة فوق الأرض والمكونات الموجودة تحتها. وتُصنف عمليات الفقد في فئات تشمل قطع الأخشاب أو الحصاد، وتجميع خشب الوقود، والفقد بسبب الاضطرابات الطبيعية في الأراضي المدارة مثل الحرائق وموجات نقشي الحشرات، والأحداث المناخية المتطرفة (مثل الأعاصير والفيضانات). وقد تم تقديم طريقتين لتقدير التغيرات في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية.

طريقة الاكتساب-الفقد تحتاج ل طرح مقدار الفقد في كربون الكتلة الحية من مقدار الاكتساب (المعادلة 2-7). وهي تمثل جزءاً أساسياً من طريقة المستوى 1 التي تم تقديم قيمها الافتراضية اللازمة لحساب عمليات الزيادة والفقد بهذا المجلد من أجل تقدير التغيرات في المخزون بالكتلة الحيوية. وتستخدم طرق المستوى الأعلى بيانات البلد المعني لتقدير معدلات الاكتساب والفقد. وتتطلب هذه التقديرات، بالنسبة لكافة المستويات، بيانات أنشطة خاصة بالبلد المعني، رغم أنه يمكن الحصول على هذه البيانات من قواعد البيانات المجمع على المستوى العالمي بالنسبة لطرق المستوى 1 (على سبيل المثال إحصائيات الفاو).

$$\begin{aligned} & \text{المعادلة 2-7} \\ & \text{التغير السنوي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية} \\ & \text{بالنسبة للأراضي التي تظل في فئة استخدام معينة (طريقة الاكتساب-الفقد)} \\ & \Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L \end{aligned}$$

حيث:

ΔC_B = التغير السنوي في مخزون الكتلة الحيوية (حاصل جمع الكتلة الحيوية فوق الأرض والكتلة تحت الأرض في المعادلة 2-3) لكل فئة فرعية من الأراضي، مع اعتبار المساحة الكلية، طن كربون عام

ΔC_G = الزيادة السنوية في مخزون الكربون نتيجة نمو الكتلة الحيوية لكل فئة فرعية من الأراضي، مع اعتبار المساحة الكلية، طن كربون عام

ΔC_L = الانخفاض السنوي في مخزون الكربون نتيجة فقد الكتلة الحيوية لكل فئة فرعية من الأراضي، مع اعتبار المساحة الكلية، طن كربون عام

وتبنى التغيرات في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية بالنسبة للأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام (على سبيل المثال، الأراضي الحرجية التي تظل أراضي حرجية) على تقديرات الاكتساب والفقد السنوي في مخزون الكتلة الحيوية. وهذه الطريقة يمكن اتباعها بالبلدان التي تستخدم أي من المستويات الثلاثة. كما يمكن استخدامها من قبل البلدان التي لا توجد بها أنظمة حصر وطنية لتقدير مخزون الكتلة الحيوية الخشبية. وتتاح البيانات الافتراضية في الفصول الخاصة بفئات استخدام الأراضي لمساعدة القائمين بالحصر ممن لا يتاح لهم الوصول إلى بيانات خاصة بالبلد المعني. علاوة على ذلك، فقد تم وضع ورقات عمل بالاستعانة بالطرق والمعادلات (الملحق 1).

وتتطلب **طريقة الفرق في المخزون** قوائم حصر مخزون الكربون بالكتلة الحيوية لمساحة معينة من الأراضي عند نقطتين زمنيتين. ويكون التغير السنوي في الكتلة الحيوية هو الفرق بين مخزون الكتلة الحيوية عند النقطة الزمنية t_2 والنقطة الزمنية t_1 ، مقسوماً على عدد السنوات الفاصلة بين عمليتي الحصر (المعادلة 2-8). وفي بعض الحالات، قد تكون البيانات الأولية حول الكتلة الحيوية في صورة بيانات لحجم الخشب، على سبيل المثال، البيانات المتاحة من مسوحات الغابات، وفي هذه الحالات يتم تقديم معاملات لتحويل حجم الخشب إلى وحدات كتلة الكربون، كما هو موضح في المعادلة 2-8 ب.

$$\begin{aligned} & \text{المعادلة 2-8} \\ & \text{التغير السنوي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية} \\ & \text{بالنسبة للأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام (طريقة الفرق في المخزون)} \\ & \text{(أ)} \quad \Delta C_B = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)} \end{aligned}$$

حيث

$$\text{(ب)} \quad C = \sum_{i,j} \{A_{i,j} \cdot V_{i,j} \cdot BCEF_{S_{i,j}} \cdot (1 + R_{i,j}) \cdot CF_{i,j}\}$$

حيث:

ΔC_B = التغير السنوي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية (حاصل جمع الكتلة الحيوية فوق الأرض والكتلة الحيوية تحت الأرض في المعادلة 2-3) في الأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام (على سبيل المثال، الأراضي الحرجية التي تظل أراضي حرجية)، طن كربون عام

C_{t_2} = إجمالي الكربون في الكتلة الحيوية لكل فئة فرعية من الأراضي عند النقطة t_2 ، طن كربون

C_{t_1} = إجمالي الكربون في الكتلة الحيوية لكل فئة فرعية من الأراضي عند النقطة t_1 ، طن كربون

- C = إجمالي الكربون في الكتلة الحيوية في الفترة الزمنية من النقطة t_1 إلى t_2
- A = مساحة الأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام، هكتار (راجع الملاحظة أدناه)
- V = مقدار المخزون النامي القابل للتجارة، م³ هكتار
- i = المنطقة الإيكولوجية i (i = 1 إلى n)
- j = النطاق المناخي j (j = 1 إلى m)
- R = نسبة الكتلة الحيوية تحت الأرض إلى الكتلة الحيوية فوق الأرض، طن مادة جافة كتلة حيوية تحت الأرض / طن مادة جافة كتلة حيوية فوق الأرض¹
- CF = جزء الكربون من المادة الجافة، طن كربون (طن مادة جافة)

$BCEF_S$ = معامل تحويل الكتلة الحيوية وتوسيعها لمخزون النامي القابل للتجارة إلى كتلة حيوية فوق الأرض، طن كتلة حيوية نامية فوق الأرض (م³ مخزون نام)¹ (راجع الجدول 4-5 الأراضي الحرجية). ويقوم المعامل $BCEF_S$ بتحويل الحجم القابل للتجارة من المخزون النامي مباشرة إلى كتلة حيوية فوق الأرض. وتتسم قيم $BCEF_S$ بأنها أكثر سهولة لإمكانية تطبيقها مباشرة على بيانات الحصر والسجلات التشغيلية الخاصة بالأراضي الحرجية والقائمة على الحجم، دون الحاجة إلى اللجوء إلى كثافات الخشب الأساسية (D). وتمكن هذه القيم من الحصول على أفضل النتائج، عند اشتقاقها على نحو محلي وبنائها مباشرة على الحجم القابل للتجارة. ومع ذلك، ففي حالة عدم توافر قيم $BCEF_S$ وتقدير كل من معامل توسيع الكتلة الحيوية (BEF_S) وقيم (D) على نحو منفصل، يمكن استخدام صيغة التحويل التالية:

$$BCEF_S = BEF_S \bullet D$$

وفي تطبيق طريقة الاكتساب-الفقد أو الفرق في المخزون فإن المساحة المعنية هي تلك المنطقة من الأرض التي تبقى في الفئة المعنية في نهاية عام إجراء الحصر. وأية أراض أخرى تكون في فئة الأراضي المحولة (راجع القسم 2.3.1.2). وتقدر الفترة الزمنية التي تمكثها الأراضي التي تظل في فئة الأراضي المحولة بعد التغيير افتراضياً بـ 20 عاماً (الفترة المفترضة لوصول مخزون الكربون إلى التوازن لأغراض حساب المعاملات الافتراضية في الخطوط التوجيهية للهيئة لعام 1996 وتم الاحتفاظ بها في إرشادات الممارسة السليمة المتصلة باستخدام الأراضي وتغيير استخدام الأراضي والحراجة كما تم استخدامها في هذه الخطوط التوجيهية كذلك، رغم أنه يمكن استخدام فترات أخرى في المستويات الأعلى وفقاً للظروف الوطنية). وبالتالي فإن في ضوء هذه الافتراضات تُنقل الأراضي من فئة الأراضي المحولة إلى فئة ثابتة بعد أن تظل في استخدام معين لمدة 20 عاماً. وتحدث بعض التغييرات في المخزون في عام التحويل، ومع ذلك فمن الأهمية أن يكون هناك اتساق فيما يخص الفترة التي تمكثها الأراضي في فئة الأراضي المحولة وإلا لن تعمل مقتربات تقدير مساحة الأراضي المشروحة في الفصل التالي. ويتم ربط تغييرات المخزون التي تم استكمالها في غضون عام واحد بعد التحويل بالمساحة المحولة سنوياً وقد يلزم معاملة مساحات الأراضي ذات الصلة كفئة فرعية داخل فئة أراضي التحويل ولكنها في الوقت نفسه يجب أن تبقى في فئة الأراضي المحولة حتى استكمال الفترة الافتراضية المقدرة بنحو 20 عاماً أو أي فترة أخرى يتم تحديدها.

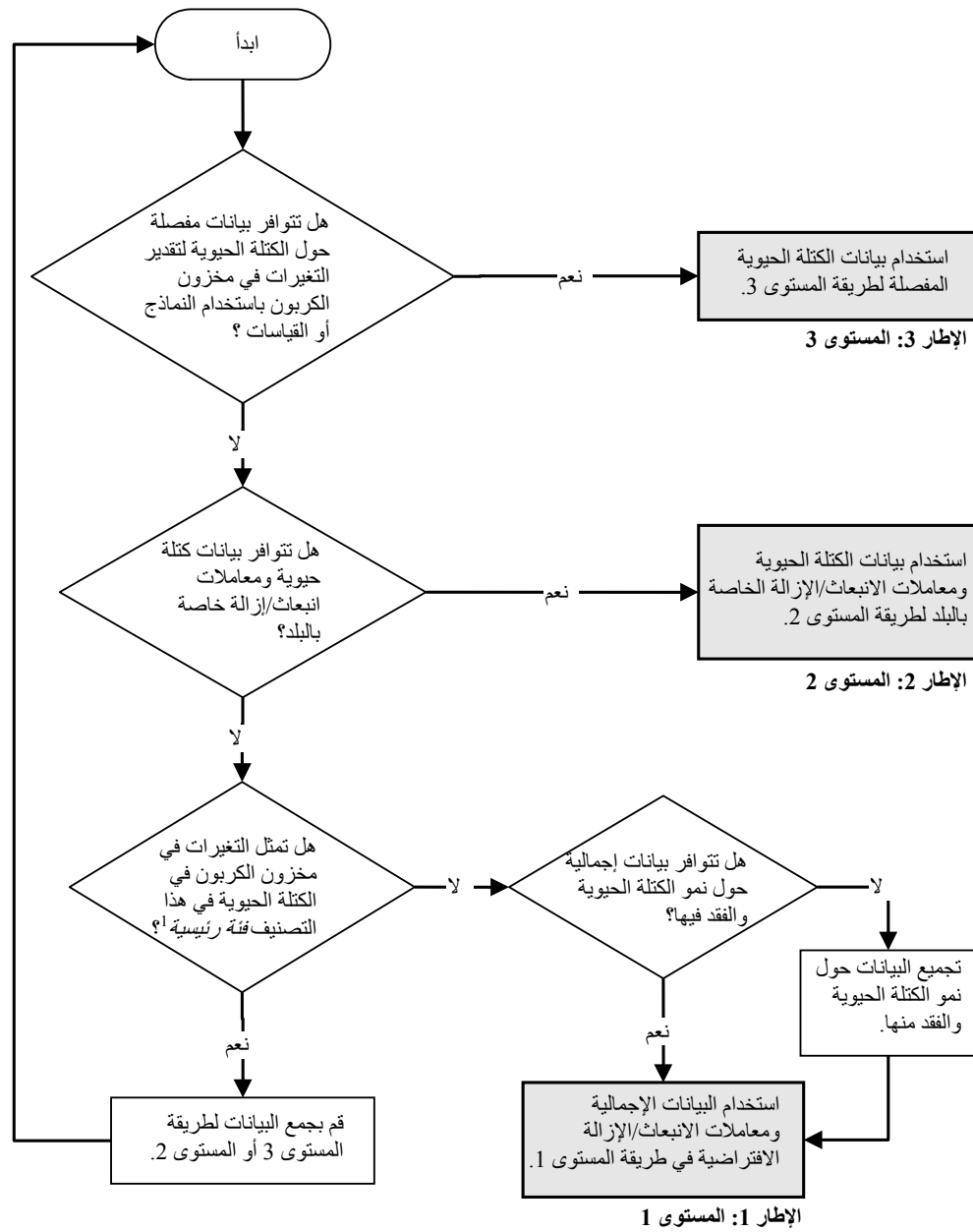
وتطبق طريقة الفرق في المخزون بالبلدان التي تملك أنظمة حصر محلية للأراضي الحرجية وفئات استخدام الأراضي الأخرى، حيث يتم قياس مخزون أحواض الكتلة الحيوية المختلفة على فترات زمنية منتظمة. وتتطلب طريقة الفرق في المخزون موارد أكبر وقد لا يكون لدى الكثير من البلدان أنظمة حصر للأراضي الحرجية وفئات استخدام الأراضي الأخرى. وتلائم هذه الطريقة البلدان التي تتبنى مقترباتاً من المستوى 3 وفي بعض الحالات من المستوى 2، غير أنها قد لا تكون ملائمة للبلدان التي تستخدم مقترباتاً من المستوى 1 نظراً للقيود المتعلقة بالبيانات. ومن الأهمية أن يتم التأكد من أن نظام الحصر يعطي بيانات لعمليات الاكتساب والفقد في أحواض كربون الكتلة الحيوية.

ويمكن استخدام أي من الطريقتين الموضحتين أعلاه في تقدير التغييرات بمخزون الكربون في الكتلة الحية بالنسبة لكافة فئات استخدام الأراضي (على سبيل المثال، الأراضي الحرجية التي تظل أراضي حرجية والمروج الطبيعية التي تظل مروج طبيعية، والأراضي الزراعية التي تظل أراضي زراعية) في حالات وجود كتلة حيوية خشبية دائمة. ويساعد الشكل 2-2 هيئات الحصر في تحديد المستوى المناسب للاستخدام في تقدير التغييرات بمخزون الكربون في الكتلة الحيوية.

وينبغي ملاحظة أن بعض عمليات الفقد في الكتلة الحيوية قد تؤدي إلى انبعاثات للكربون في صورة أخرى غير ثاني أكسيد الكربون، مثل استهلاك وانبعاث الكتلة الحيوية في صورة ميثان (CH_4) بواسطة النمل الأبيض والتدبيبات البرية². ولم يتم وضع طرق افتراضية بالمستوى 1 لتقدير هذه المصادر، وعلى البلدان التي ترغب في تقدير هذه الانبعاثات والإبلاغ عنها تطوير واستخدام مقتربات من المستوى 3.

² يتم تقدير عمليات الفقد في الكربون في صورة ثاني أكسيد الكربون وغازات غير ثاني أكسيد الكربون والمرتبطة بحرق الكتلة الحيوية على نحو لا يؤدي إلى الحساب المزدوج للانبعاثات.

الشكل 2-2 شجرة قرار عامة لتحديد المستوى المناسب لتقدير التغيرات في مخزون الكربون في الكتلة الحيوية بفئة استخدام الأراضي



ملاحظة:

1: انظر الفصل 4 من المجلد 1، "اختيار المنهجيات وتحيد الفئات الرئيسية" (مع ملاحظة القسم 4-1-2 بشأن المصادر المحدودة) للاطلاع على مناقشة/فئات الرئيسية واستخدام شجرات القرار.

أ- طرق لتقدير التغير في أرصدة الكربون بالكتلة الحيوية (ΔC_G)

1- تقدير الزيادة السنوية في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية (طريقة الاكتساب-الفقد)، ΔC_G

هذه هي طريقة المستوى 1 التي، عند اقترانها بمعدلات النمو الافتراضية للكتلة الحيوية، تسمح لأي بلد بحساب الزيادة السنوية في الكتلة الحيوية، باستخدام تقديرات المساحة ومتوسط الزيادة السنوية في الكتلة الحيوية، لأنواع وطبقات استخدام الأراضي (على سبيل المثال، المنطقة المناخية، المنطقة الإيكولوجية، نوع النبات) (المعادلة 2-9).

المعادلة 2-9

الزيادة السنوية في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية والنتيجة عن نمو الكتلة الحيوية بالأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام

$$\Delta C_G = \sum_{i,j} (A_{i,j} \cdot G_{TOTAL_{i,j}} \cdot CF_{i,j})$$

حيث:

ΔC_G = الزيادة السنوية في مخزون الكربون نتيجة نمو الكتلة الحيوية في الأراضي التي تبقى بنفس فئة الاستخدام حسب نوع النبات والمنطقة المناخية، طن كربون عام

A = مساحة الأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام، هكتار

G_{TOTAL} = متوسط النمو السنوي للكتلة الحيوية، طن مادة جافة هكتار عام

i = المنطقة الإيكولوجية ($i = 1$ إلى n)

j = النطاق المناخي ($j = 1$ إلى m)

CF = جزء الكربون من المادة الجافة، طن كربون (طن مادة جافة)

يشير G_{TOTAL} إلى إجمالي نمو الكتلة الحيوية الموسع من نمو الكتلة الحيوية فوق الأرض (G_W) ليشمل نمو الكتلة الحيوية تحت الأرض. وباتباع طرق المستوى 1، يمكن تحقيق ذلك مباشرة عبر استخدام قيم افتراضية لـ G_W للأشجار التي تجدد طبيعياً أو لفئات عريضة من النباتات إلى جانب R ، نسبة الكتلة الحيوية تحت الأرض إلى الكتلة الحيوية فوق الأرض حيث يتم تمييزها بواسطة نوع النبات الخشبي. في المستويين 2 و3، يمكن استخدام الزيادة السنوية الصافية (I_V) إما مع كثافة الخشب الأساسية (D) ومعامل توسيع الكتلة الحيوية (BEF_I) أو مباشرة مع معامل تحويل وتوسيع الكتلة الحيوية ($BCEF_I$) لتحويل الزيادة السنوية الصافية إلى زيادة في الكتلة الحيوية فوق الأرض لكل نوع من أنواع النبات. وتوضح المعادلة 2-10 هذه العلاقات.

المعادلة 2-10

متوسط الزيادة السنوية في الكتلة الحيوية

المستوى 1

$$G_{TOTAL} = \sum \{G_W \cdot (1 + R)\}$$

المستويان 2 و3

$$G_{TOTAL} = \sum \{I_V \cdot BCEF_I \cdot (1 + R)\}$$

تستخدم بيانات الزيادة السنوية الصافية لتقدير G_W عن طريق معامل تحويل وتوسيع الكتلة الحيوية

حيث:

G_{TOTAL} = متوسط النمو السنوي للكتلة الحيوية فوق وتحت الأرض، طن مادة جافة هكتار عام

G_W = متوسط النمو السنوي في الكتلة الحيوية فوق الأرض لنوع معين من النباتات الخشبية، طن مادة جافة هكتار عام

R = نسبة الكتلة الحيوية تحت الأرض إلى الكتلة الحيوية فوق الأرض لنوع معين من النباتات، طن مادة جافة كتلة حيوية تحت الأرض (طن مادة جافة كتلة حيوية فوق الأرض)⁻¹. يجب أن تكون قيمة R مساوية للصفر في حالة افتراض عدم وجود تغيرات في أنماط تخصيص الكتلة الحيوية تحت الأرض.

I_V = متوسط الزيادة السنوية الصافية لنوع معين من النباتات، متر مكعب هكتار عام.

$BCEF_I$ = معامل تحويل وتوسيع الكتلة الحية لتحويل الزيادة السنوية الصافية في الحجم (بما في ذلك اللحاء) إلى نمو في الكتلة الحيوية فوق الأرض لأنواع معينة من النباتات، طن كتلة حيوية نامية فوق الأرض (متر مكعب زيادة سنوية صافية)، (راجع الجدول 4-5 الخاص بالأراضي الحرجية). وفي حالة عدم توافر قيم $BCEF_S$ وتقدير كل من معامل توسيع الكتلة الحيوية (BEF_S) وقيم كثافة الخشب الأساسية (D) على نحو منفصل، يمكن استخدام صيغة التحويل التالية:

$$BCEF_I = BEF_I \cdot D$$

تقوم معاملات توسيع الكتلة الحيوية³ (BEF_i) بمد الحجم القابل للتجارة إلى حجم كلي للكتلة الحيوية فوق سطح الأرض بما يمكن من حساب المكونات غير القابلة للتجارة بالزيادة. ويعتبر المعامل BEF_R بلا أبعاد.

قد لا تتوفر تقديرات $BCEF_i$ للكتلة الحيوية الخشبية (الدائمة) في الأراضي غير الحرجية مثل المروج الطبيعية (السافانا) والأراضي الزراعية (الأحراج المزروعة) والبساتين وحقول الفهوة والشاي والمطاط. وفي هذه الحالة، يمكن استخدام القيم الافتراضية $BCEF_i$ من نوع الأحراج الأقرب إلى الغطاء النباتي غير الحرجي لتحويل الكتلة الحيوية القابلة للتجارة إلى كتلة حيوية إجمالية. ويعتبر $BCEF_i$ ذا أهمية للكتلة الحيوية بالأشجار الخشبية الدائمة فقط حيث تتوفر بيانات الكتلة الحيوية القابلة للتجارة. وفيما يخص الشجيرات والأعشاب والمحاصيل الدائمة، فإن بيانات الزيادة في الكتلة الحيوية والتي يعبر عنها بالطن من المادة الجافة للهكتار قد تُتاح على نحو مباشر وفي هذه الحالة لن تكون هناك حاجة لاستخدام المعادلة 2-10.

أ-2 تقدير الانخفاض السنوي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية نتيجة عمليات الفقد (طريقة الاكتساب-الفقد، ΔC_L)

يلزم توافر تقديرات الفقد لحساب تغير مخزون الكربون بالكتلة الحيوية باستخدام طريقة *الاكتساب-الفقد*. وينبغي ملاحظة أن تقدير الفقد يكون مطلوباً كذلك عند استخدام طريقة *الفرق في المخزون* لتقدير تحول الكتلة الحيوية إلى مادة عضوية ميتة عند استخدام الطرق التقدير ذات المستويات الأعلى (راجع فيما يلي). والفقد السنوي في الكتلة الحيوية هو حاصل جمع عمليات الفقد من إزالة الخشب (الحصاد)، وإزالة خشب الوقود (لا يتم حساب خشب الوقود المجمع من البقايا الخشبية)، وعمليات الفقد الأخرى الناتجة عن الاضطرابات مثل الحرائق والعواصف وموجات تفشي الحشرات والأمراض. وتوضح المعادلة 2-11 هذه العلاقة.

$$\Delta C_L = L_{wood-removals} + L_{fuelwood} + L_{disturbance}$$

المعادلة 2-11
الانخفاض السنوي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية نتيجة عمليات الفقد في الكتلة الحيوية في الأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام

حيث:

ΔC_L = الانخفاض السنوي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية نتيجة الفقد بالأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام، طن كربون عام

$L_{wood-removals}$ = الفقد السنوي في الكربون نتيجة عمليات إزالة الخشب، طن كربون عام (راجع المعادلة 2-12)

$L_{fuelwood}$ = الفقد السنوي في الكربون نتيجة عمليات إزالة خشب الوقود، طن كربون عام (راجع المعادلة 2-13)

$L_{disturbance}$ = الفقد السنوي في الكربون نتيجة الاضطرابات، طن كربون عام (راجع المعادلة 2-14)

تتنطبق المعادلة 2-11 والمعادلات التالية من 2-12 إلى 2-14 على نحو مباشر على الأراضي الحرجية. وتجدر الإشارة إلى أنه يمكن كذلك استخدام هذه المعادلات (من 2-11 إلى 2-14) في تقدير عمليات الفقد من الأراضي الزراعية والمروج الطبيعية، في حالة توافر كميات إزالة الخشب (الحصاد) وإزالة خشب الوقود والفقد نتيجة الاضطرابات بالنسبة للكتلة الحيوية الخشبية الدائمة. وفي الأراضي المدارية بشكل مكثف وكذلك الأراضي الزراعية والمروج الطبيعية التي تتعرض لتدهور شديد، يرجح أن يكون مقدار الفقد في الكتلة الحيوية الخشبية ضئيلاً. وقد تم تقديم القيم الافتراضية الخاصة بالفقد في الكربون بالكتلة الحية لأنواع المحاصيل الخشبية بالنسبة للمنهجية الخاصة بالأراضي الزراعية في المستوى 1 (راجع الجدول 5-1). ومن الأهمية ملاحظة أن قيمة إزالة الخشب المستخدمة في المعادلة 2-11 يجب مقارنتها بمدخلات منتجات الخشب المحصود في الفصل 12 لضمان الاتساق.

يتم الحصول على الأطراف الثلاثة بالجانب الأيمن من المعادلة 2-11 على النحو التالي:

فقد الكتلة الحيوية والكربون من إزالة الخشب (الحصاد)، $L_{wood-removals}$
تتضمن المعادلة 2-12 الطريقة المستخدمة في تقدير الفقد السنوي في الكتلة الحيوية نتيجة عمليات إزالة الخشب.

$$L_{wood-removals} = \{H \cdot BCEF_R \cdot (1 + R) \cdot CF\}$$

المعادلة 2-12
الفقد السنوي من الكربون بالكتلة الحيوية في عمليات إزالة الخشب

حيث:

$L_{wood-removals}$ = الفقد السنوي في الكربون نتيجة عمليات إزالة الخشب، طن كربون عام

H = عمليات إزالة الخشب السنوية، الخشب المستدير، متر مكعب عام

R = نسبة الكتلة الحيوية تحت الأرض إلى الكتلة الحيوية فوق الأرض، طن مادة جافة كتلة حيوية تحت الأرض¹. يجب أن تكون قيمة R تساوي صفراً في حالة افتراض عدم وجود تغييرات في أنماط تخصيص الكتلة الحيوية تحت الأرض (المستوى 1).

CF = جزء الكربون من المادة الجافة، طن كربون (طن مادة جافة)

³ في بعض التطبيقات، تستخدم معاملات توسيع الكتلة الحيوية لتوسيع الوزن الجاف للمكونات القابلة للتجارة أو كتلة الساق إلى كتلة حيوية إجمالية، مع استبعاد أو تضمين الجذور، أو تحويل وتوسيع الحجم القابل للتجارة أو حجم الساق إلى كتلة حيوية فوق الأرض أو إجمالية (Somogyi et al., 2006). وكما هو مستخدم في هذه الوثيقة، تعمل عوامل توسيع الكتلة على تحويل الوزن الجاف للمكونات القابلة للتجارة بما في ذلك اللحاء إلى كتلة حيوية فوق الأرض، مع استبعاد الجذور.

$BCEFR =$ معامل تحويل وتوسيع الكتلة الحيوية لتحويل عمليات الإزالة في الحجم القابل للتجارة إلى عمليات إزالة للكتلة الحيوية الإجمالية (بما في ذلك اللحاء)، طن كتلة حيوية مزاله (متر مكعب من الإزالة)، (راجع الجدول 4-5 الخاص بالأراضي الحرجية). ومع ذلك، ففي حالة عدم توافر قيم $BCEFR$ وتقدير كل من معامل توسيع الكتلة الحيوية لإزالة الخشب ($BEFR$) وقيم كثافة الخشب الأساسية (D) على نحو منفصل، يمكن استخدام صيغة التحويل التالية:

$$BCEFR = BEFR \cdot D$$

وإذا كانت البيانات الخاصة بالبلد المعني حول عمليات إزالة الخشب المستدير غير متوفرة، فإن على خبراء الحصر استخدام إحصائيات الفاو المتعلقة بالخشب المحصود. مع العلم بأن بيانات الفاو الإحصائية المتعلقة بالخشب المحصود تستبعد اللحاء. ولتحويل البيانات الإحصائية للفاو حول الخشب المحصود والتي لا تتضمن اللحاء إلى عمليات إزالة للخشب القابل للتجارة بما في ذلك اللحاء، ينبغي الضرب في معامل توسيع افتراضي يبلغ 1.15.

الفقد في الكتلة الحيوية والكربون نتيجة إزالة خشب الوقود، $L_{fuelwood}$

تتألف عملية إزالة خشب الوقود في الغالب من مكونين اثنين. المكون الأول، الإزالة بغرض الحصول على خشب الوقود من الأشجار الحية وأجزاء من الأشجار مثل القمم والفروع، حيث تبقى الشجرة نفسها في الحرج، ويؤدي ذلك إلى خفض الكربون في الكتلة الحيوية للمخزون الحي ويجب معاملته على أنه فقد في كربون الكتلة الحيوية. والمكون الثاني هو تجميع الخشب الميت ونثر عملية القطع. وهو ما يؤدي إلى خفض حوض الكربون بالمادة العضوية الميتة. ويعد تقدير المكونين كل على حدة، إذا أمكن، من الممارسة السليمة. وتستخدم المعادلة 2-13 لتقدير الفقد في كربون الكتلة الحيوية نتيجة إزالة خشب الوقود من الأشجار.

المعادلة 2-13

الفقد السنوي من الكربون نتيجة إزالة خشب الوقود

$$L_{fuelwood} = [FG_{trees} \cdot BCEFR \cdot (1 + R)] + FG_{part} \cdot D \cdot CF$$

حيث:

$L_{fuelwood}$ = الفقد السنوي في الكربون نتيجة عمليات إزالة خشب الوقود، طن كربون عام

FG_{trees} = الحجم السنوي لإزالة خشب الوقود كأشجار كاملة، متر مكعب عام

FG_{part} = الحجم السنوي لإزالة خشب الوقود كأجزاء من الأشجار، متر مكعب عام

R = نسبة الكتلة الحيوية تحت الأرض إلى الكتلة الحيوية فوق الأرض، طن مادة جافة كتلة حيوية تحت الأرض (طن مادة جافة كتلة حيوية فوق الأرض)¹، يجب أن تكون قيمة R تساوي صفراً في حالة افتراض عدم وجود تغييرات في أنماط تخصيص الكتلة الحيوية تحت الأرض. (المستوى 1)

CF = جزء الكربون من المادة الجافة، طن كربون (طن مادة جافة)

D = كثافة الخشب الأساسية، طن مادة جافة متر³

$BCEFR =$ معامل تحويل وتوسيع الكتلة الحيوية لتحويل عمليات الإزالة في الحجم القابل للتجارة إلى عمليات إزالة للكتلة الحيوية (بما في ذلك اللحاء)، طن كتلة حيوية مزاله (متر مكعب من الإزالة)¹، (راجع الجدول 4-5 الخاص بالأراضي الحرجية). وفي حالة عدم توافر قيم $BCEFR$ وتقدير معامل توسيع الكتلة الحيوية لإزالة الخشب ($BEFR$) وقيم كثافة الخشب الأساسية (D) على نحو منفصل، يمكن استخدام صيغة التحويل التالية:

$$D \cdot BEFR = BCEFR$$

تمكن معاملات توسيع الكتلة الحيوية ($BEFR$) من توسيع عمليات إزالة الخشب القابل للتجارة إلى الحجم الإجمالي للكتلة الحيوية فوق الأرض بما يمكن من حساب المكونات غير القابلة للتجارة من الأشجار والمجموعة الشجرية والحرج. ويعتبر المعامل $BEFR$ بلا أبعاد.

وإذا كانت البيانات الخاصة بالبلد المعني حول عمليات إزالة الخشب المستدير غير متوفرة، فإن على خبراء الحصر استخدام إحصائيات الفاو المتعلقة بعمليات حصاد الخشب. ويجب ملاحظة أن البيانات الإحصائية للفاو حول الخشب المحصود تستبعد اللحاء. ولتحويل البيانات الإحصائية للفاو حول الخشب المحصود والتي لا تتضمن اللحاء إلى عمليات إزالة للخشب القابل للتجارة بما في ذلك اللحاء، ينبغي الضرب في معامل توسيع افتراضي يبلغ 1.15.

ويمكن أن يشمل حصاد الخشب كل من إزالة الخشب وخشب الوقود (أي إزالة الخشب بالمعادلة 2-12 يمكن أن تشمل كل من إزالة الخشب وخشب الوقود)، أو يتم الإبلاغ عن عمليات إزالة خشب الوقود بشكل منفصل باستخدام المعادلتين 2-12 و2-13. ولتفادي تكرار الحساب، تقتضي إجراءات الممارسة السليمة التحقق من كيفية تمثيل بيانات خشب الوقود في البلد واستخدام المعادلة الأكثر ملاءمة للظروف الوطنية. وعلاوة على ذلك، يمثل حصاد الخشب من الغابات إحدى مدخلات منتجات الخشب المحصود (HWP) (الفصل 12). ومن هنا، فإن إجراءات الممارسة السليمة تقتضي التحقق من التمثيل المتسق لبيانات حصاد الخشب بكل من المعادلتين 2-12 و2-13 والمعادلات الواردة في الفصل 12.

الفقد في الكتلة الحيوية والكربون نتيجة الاضطرابات، $L_{disturbance}$

تقدم المعادلة 2-14 مقترناً عاماً لتقدير كمية الكربون المفقودة نتيجة الاضطرابات. ويجب استخدام هذه الطريقة في حالات الفقد نتيجة الحرائق بالأراضي المدارة، بما في ذلك الحرائق الطبيعية والحرائق الخاضعة للسيطرة، لتوفير مدخلات إلى المنهجية المستخدمة لتقدير الانبعاثات من ثاني أكسيد الكربون والغازات غير ثاني أكسيد الكربون من الحرائق.

المعادلة 2-14

عمليات الفقد السنوية في الكتلة الحيوية نتيجة الاضطرابات

$$L_{disturbance} = \{A_{disturbance} \cdot B_W \cdot (1 + R) \cdot CF \cdot fd\}$$

حيث:

$L_{disturbances}$ = عمليات فقد الكربون السنوية الأخرى، طن كربون عام (لاحظ أن هذا هو مقدار الكتلة الحيوية التي تفقد من الكتلة الحيوية الإجمالية. وتشرح المعادلتان 2-15 و 2-16 تجزيء الكتلة الحيوية المحولة إلى مادة عضوية ميتة والكتلة الحيوية التي يتم أكسبتها وتنطلق إلى الغلاف الجوي).

$A_{disturbance}$ = المساحة المتأثرة بالاضطرابات، هكتار عام

B_W = متوسط الكتلة الحيوية فوق الأرض لمساحة الأراضي المتأثرة بالاضطرابات، طن مادة جافة هكتار

R = نسبة الكتلة الحيوية تحت الأرض إلى الكتلة الحيوية فوق الأرض، طن مادة جافة كتلة حيوية تحت الأرض (طن مادة جافة كتلة حيوية فوق الأرض)¹. يجب أن تكون نسبة R تساوي صفراً في حالة افتراض عدم وجود تغييرات في أنماط تخصيص الكتلة الحيوية تحت الأرض (المستوى 1).

CF = جزء الكربون من المادة الجافة، طن كربون (طن مادة جافة)

fd = جزء الكتلة الحيوية المفقودة في الاضطراب (راجع الملاحظة الواردة فيما يلي)

ملاحظة: تحدد البارامتر fd نسبة الكتلة الحيوية المفقودة من حوض الكتلة الحيوية: وتؤدي الاضطرابات التي تستبدل المجموعات الشجرية إلى إزالة جميع مكونات الكتلة الحيوية ($fd = 1$) فيما تؤدي الاضطرابات التي تسببها الموجات الحشرية إلى إزالة جزء فقط (على سبيل المثال $fd = 0.3$) من متوسط كثافة الكربون بالكتلة الحيوية. ولا تحدد المعادلة 2-14 مصير الكربون المزال من مخزون الكتلة الحيوية. ويفترض المستوى 1 أن جميع كربون $L_{disturbances}$ ينبعث في عام الاضطراب. وتفترض طرق المستوى الأعلى أن بعض هذا الكربون ينبعث على الفور بينما يضاف البعض الآخر إلى أحواض المادة العضوية الميتة (الخشب الميت والفرش الحرجي) أو منتجات الخشب المحصود.

ويمكن تحديد كميات كربون الكتلة الحيوية التي تؤول إلى مصائر مختلفة عبر مصفوفة اضطراب يتم وضع بارامترات لها لتحديد تأثيرات أنواع الاضطرابات المختلفة (Kurz et al., 1992). وتقتضي الممارسة السليمة، ما أمكن، أن يتم وضع واستخدام مصفوفة اضطراب (الجدول 2-1) تحدد لكل كتلة حيوية ومادة عضوية ميتة وحوض كربون بالتربة، كمية الكربون المتبقية في الحوض والكميات المنقولة إلى الأحواض الأخرى وإلى منتجات الخشب المحصود وإلى الغلاف الجوي، أثناء حدث الاضطراب. ويكون حاصل جمع النسب في كل صف دائماً 1 لضمان حفظ الكربون. وتمثل القيمة المدخلة في الخلية "أ" نسبة الكتلة الحيوية فوق الأرض المتبقية بعد حدث الاضطراب (أو $1 - fd$ حيث fd يتم تحديدها في المعادلة 2-14). ويفترض المستوى 1 أن كافة الكتلة الحيوية المفقودة في حدث الاضطراب (fd) تنبعث في عام وقوع الاضطراب. وبالتالي تكون القيمة المدخلة في الخلية "و" هي fd . وبالنسبة للمستويات الأعلى، يتم إدخال نسبة الانبعاث في عام الاضطراب فقط بالخلية "و" بينما يضاف الباقي إلى الخليتين "ب" و"ج" في حالة الحرائق، والخلاليا "ب" و"ج" و"هـ" في حالة الحصاد. ومن الممارسة السليمة أن يتم وضع مصفوفة اضطراب حتى في حالة استخدام المستوى 1 لضمان حساب كافة عمليات التحويل بأحواض الكربون، وذلك على الرغم من افتراض أن مقدار كربون الكتلة الحيوية بالكامل ينبعث في عام تحويل الأراضي. ومن الأهمية ملاحظة أن بعض عمليات التحويل قد تكون صغيرة أو غير مؤثرة.

الجدول 1-2 نموذج لمصفوفة بسيطة (المستوى 2) لتأثيرات الاضطرابات على أحواض الكربون									
من:	إلى:	الكتلة الحيوية فوق الأرض	الكتلة الحيوية تحت الأرض	الخشب الميت	الفرش الحرجي	المادة العضوية بالتربة	منتجات الخشب المحصود	الغلاف الجوي	مجموع الصف (يجب أن يساوي 1)
	الكتلة الحيوية فوق الأرض	أ		ب	ج	د	هـ	و	1
	الكتلة الحيوية تحت الأرض								1
	الخشب الميت								1
	الفرش الحرجي								1
	المادة العضوية بالتربة								1

أدخل النسبة الخاصة بكل حوض بالجانب الأيمن من المصفوفة أي التحويل إلى الحوض في أعلى كل عمود. كافة الأحواض الموجودة بالجانب الأيمن من المصفوفة يجب ملؤها على أن يكون حاصل جمع الصف هو 1. حالات التحويل غير الممكنة تم تظليلها تماما باللون الأسود. ملاحظة: الأحرف من "أ" إلى "و" هي تسميات للخلايا يتم الإشارة إليها في النص.

2-1-3-2 الأراضي المحولة إلى فئة استخدام جديدة

يشتمل هذا القسم على الطرق المستخدمة في تقدير الانبعاثات وعمليات الإزالة في الكربون نتيجة تحويل استخدام الأراضي من فئة إلى أخرى. وتشمل التحويلات الممكنة التحويل من الأراضي غير الحرجية إلى أراض حرجية، والتحويل من الأراضي الزراعية والحرجية إلى مروج طبيعية، وكذلك تحويل المروج الطبيعية والأراضي الحرجية إلى أرض زراعية.

وتتضمن انبعاثات وعمليات إزالة ثاني أكسيد الكربون بالأراضي المحولة إلى فئة استخدام جديدة التغيرات السنوية في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية فوق الأرض وتحت الأرض. ويمكن تقدير التغيرات السنوية في مخزون الكربون لكل من هذه الأحواض باستخدام المعادلة 4-2 (ΔC_B) على النحو منفصل لكل فئة من فئات استخدام الأراضي (مثل الأراضي الحرجية والأراضي الزراعية والمروج الطبيعية) وفئات الإدارة (مثل الأحراج الطبيعية والأحراج المزروعة)، حسب طبقات معينة (مثل المناخ أو نوع الحرج).

طرق تقدير التغير في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية (ΔC_B)

(1) الزيادة السنوية في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية، ΔC_G

المستوى 1: يمكن تقدير الزيادة السنوية في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية نتيجة تحويل الأراضي إلى فئة استخدام أخرى من خلال المعادلة 2-9 الواردة فيما سبق للأراضي التي تبقى في نفس فئة الاستخدام. ويفترض المستوى 1 عدم وجود تغير في مخزونات الكربون الأولية بالكتلة الحيوية نتيجة التحويل. ويمكن تطبيق هذا الافتراض إذا لم تتوفر بيانات حول استخدامات الأراضي السابقة، وهو ما قد يكون عليه الحال عند تقدير إجماليات مساحة الأراضي باستخدام المقرب 1 أو 2 اللذين يتم وصفهما في الفصل 3 (بيانات مساحة الأراضي غير الواضحة مكانياً). ويتضمن هذا المقرب استخدام بارامترات افتراضية في القسم 4-5 (الفصل 4). ويمكن تصنيف مساحة الأراضي المحولة على أساس ممارسات الإدارة، على سبيل المثال، المروج الطبيعية والأحراج المزروعة المدارة على نحو مكثف، أو المروج الطبيعية والأحراج المزروعة المدارة على نحو انتشاري (مدخلات منخفضة)، أو الأراضي الزراعية المهملة التي تعود مرة أخرى إلى أحراج ويجب أن تظل في فئة الأراضي المحولة لمدة 20 عاماً أو لمدة زمنية أخرى يتم تحديدها. وإذا كانت هناك بيانات متوافرة حول الاستخدام السابق للمساحة المحولة، فإنه يمكن استخدام طريقة المستوى 2 والتي يتم التعرض لها بالوصف فيما يلي.

(2) الانخفاض السنوي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية نتيجة عمليات الفقد، ΔC_L

المستوى 1: يمكن تقدير الانخفاض السنوي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية نتيجة عمليات الفقد بالأراضي المحولة (عمليات قطع أو إزالة الخشب، جمع خشب الوقود، الاضطرابات) باستخدام المعادلات من 2-11 إلى 2-14. ومثلما هو الحال في تقدير الزيادة بمخزون الكربون، يقوم المستوى 1 على الافتراض بعدم وجود تغيير في مخزونات الكربون الأولية بالكتلة الحيوية، ويمكن تطبيقه للمساحات التي تم تقديرها باستخدام المقرب 1 أو 2 بالفصل 3، وقد تم إيراد البارامترات الافتراضية في القسم 4-5.

(3) المستويات الأعلى لتقدير التغير في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية، (ΔC_B)

المستويان 2 و3: يستخدم المستوى 2 (و3) البيانات المشتقة على المستوى المحلي والمقتربات الأكثر تجزئاً (أو) نماذج العمليات بما يسمح بالحصول على تقديرات أكثر دقة للتغيرات في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية. وفي المستوى 2، يتم استخدام المعادلة 2-15 بدلاً من 2-4 عند حساب التغيرات في مخزون الكربون كحاصل للزيادة في مخزون الكربون نتيجة نمو الكتلة الحيوية، والتغيرات الناتجة عن التحويل الفعلي (الفرق بين مخزون الكتلة الحيوية قبل وبعد التحويل)، والانخفاض في مخزون الكربون نتيجة عمليات الفقد.

المعادلة 2-15

التغير السنوي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية بالأراضي المحولة إلى فئة استخدام أخرى (المستوى 2)

$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_{CONVERSION} - \Delta C_L$$

حيث:

ΔC_B = التغير السنوي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية في الأراضي المحولة إلى فئة استخدام أخرى، طن كربون عام

ΔC_G = الزيادة السنوية في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية نتيجة النمو بالأراضي المحولة إلى فئة استخدام أخرى، طن كربون عام

$\Delta C_{CONVERSION}$ = التغير الأولي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية في الأراضي المحولة إلى فئة استخدام أخرى، طن كربون عام

ΔC_L = الانخفاض السنوي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية نتيجة عمليات الفقد من الحصاد وتجميع خشب الوقود وأحداث الاضطراب في الأراضي المحولة إلى فئة استخدام أخرى، طن كربون عام

قد يرتبط التحويل إلى فئة استخدام أخرى بتغير في مخزون الكتلة الحيوية، على سبيل المثال، قد يتم فقد جزء من الكتلة الحيوية عبر أنشطة تهيئة الأراضي وإعادة بناء المخزون، أو غير ذلك من الأنشطة بشرية المنشأ. وتُحسب هذه التغيرات الأولية في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية ($\Delta C_{CONVERSION}$) باستخدام المعادلة 2-16، على النحو المبين فيما يلي:

المعادلة 2-16

التغير الأولي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية بالأراضي المحولة إلى فئة استخدام أخرى

$$\Delta C_{CONVERSION} = \sum_i \{ (B_{AFTER_i} - B_{BEFORE_i}) \cdot \Delta A_{TO_OTHERS_i} \} \cdot CF$$

حيث:

$\Delta C_{CONVERSION}$ = التغير الأولي في مخزون الكربون بالكتلة الحيوية في الأراضي المحولة إلى فئة استخدام أخرى، طن كربون عام

B_{AFTER_i} = مخزون الكتلة الحيوية في نوع الأراضي i مباشرة بعد التحويل، طن مادة جافة هكتار

B_{BEFORE_i} = مخزون الكتلة الحيوية في نوع الأراضي i مباشرة قبل التحويل، طن مادة جافة هكتار

$\Delta A_{TO_OTHERS_i}$ = مساحة فئة الاستخدام i المحولة إلى فئة أخرى في عام معين، هكتار عام

CF = جزء الكربون من المادة الجافة، طن كربون (طن مادة جافة)

i = نوع فئة استخدام الأراضي المحولة إلى فئة استخدام أخرى

يمكن تطبيق حساب $\Delta C_{CONVERSION}$ على نحو منفصل لتقدير مخزونات الكربون في أنواع معينة من الأراضي (الأنظمة الحيوية، أنواع المواقع، وغير ذلك) قبل التحويل. يشير $\Delta A_{TO_OTHERS_i}$ إلى عام حصر معين تم عمل الحسابات له، غير أن الأراضي المتأثرة بالتحويل يجب أن تظل في فئة الأراضي المحولة لمدة 20 عاماً أو لمدة أخرى يتم استخدامها. يمكن أن تحدد عمليات الحصر التي تستخدم طرق مستويات أعلى مصفوفة اضطراب (الجدول 1-2) لتحويل استخدام الأراضي تقوم بالتحديد الكمي لنسبة كل حوض من أحواض الكربون قبل التحويل والتي حولت إلى الأحواض الأخرى أو انبعثت إلى الغلاف الجوي (مثل حرق النشارة) أو تم إزالتها أثناء الحصاد أو تهيئة الأرض.

ونظراً لاستخدام بيانات خاصة بالبلد المعني ومقتربات أكثر تجزئاً، فإن المعادلتين 2-15 و 2-16 تمكنان من الحصول على تقديرات أكثر دقة على نحو يفوق طرق المستوى 1 التي تعتمد على البيانات الافتراضية. ويمكن تحقيق مزيد من التحسن والدقة عن طريق استخدام البيانات الوطنية

2-3-2 التغير في مخزون الكربون بالمادة العضوية الميتة

تتألف المادة العضوية الميتة (DOM) من الخشب الميت والفرش الحرجي (راجع الجدول 1-1). ويتيح تقدير ديناميكيات الكربون لأحواض المادة العضوية الميتة تحقيق دقة متزايدة في الإبلاغ عن أماكن وأوقات انبعاثات وعمليات إزالة الكربون. على سبيل المثال، ينبعث جزء فقط من الكربون الموجود بالكتلة الحيوية التي تُقتل أثناء حرق الكتلة الحيوية إلى الغلاف الجوي في العام الذي يقع به الحريق. بينما يضاف معظم الكتلة الحيوية إلى حوضي الخشب الميت والفرش الحرجي (الجنود الرفيعة الميتة يتم تضمينها في التربة) حيث تحدث عمليات انبعاث الكربون على امتداد عدة أعوام تصل إلى عقود يحتاجها تحلل المادة العضوية الميتة. وتختلف معدلات التحلل على نحو كبير بين المناطق، وتتنوع من مرتفعة في البيئات الدافئة والرطبة إلى منخفضة في البيئات الباردة والجافة. ورغم أن ديناميكيات الكربون بأحواض المادة العضوية الميتة مفهومة جيدا من الناحية الكيفية، فقد يكون من الصعب على البلدان الحصول على بيانات فعلية ذات تغطية وطنية حول مخزون المادة العضوية الميتة وديناميكيات هذا المخزون.

وفي الأنظمة الحيوية بالأحراج، تصل أحواض المادة العضوية الميتة لأكثر حجم لها في أعقاب الاضطرابات التي تؤدي إلى استبدال المجموعات الشجرية نتيجة إضافة الكتلة الحيوية من البقايا فوق سطح الأرض وتحت سطح الأرض (الجنود). وفي الأعوام التي تعقب الاضطراب، تتناقص أحواض المادة العضوية الميتة مع تجاوز الفقد في الكربون نتيجة عملية التحلل لمعدل الانخفاض نتيجة سقوط الفرش الحرجي وموت النباتات ودوران الكتلة الحيوية. غير أن هذه الأحواض تعود الزيادة لاحقا أثناء تنمية المجموعات الشجرية. ويتطلب تمثيل هذه الديناميكيات تقدير منفصل للمدخلات والمخرجات القائمة على العمر والمرتبطة بديناميكيات المجموعات الشجرية وعمليات الفقد والإدخال المتعلقة بالاضطراب. وهذه الإجراءات التقديرية التي تنتم بمزيد من التعقيد تتطلب طرقاً من مستوى أعلى.

1-2-3-2 الأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام

تذهب فرضية المستوى 1 لكل من حوضي المادة العضوية الميتة والفرش الحرجي بكافة فئات استخدام الأراضي إلى أن مخزون هذه الفئات لا يتغير بمرور الوقت طالما ظلت الأراضي في نفس فئة الاستخدام. وبالتالي، فإن كربون الكتلة الحيوية التي تموت أثناء حدث اضطراب أو إدارة (إزالة أقل لمنتجات الخشب المحصود) يُفترض انبعاثه كلية إلى الغلاف الجوي في عام الحدث. وهو ما يعادل الافتراض بأن الكربون في المكونات غير القابلة للتجارة وغير التجارية التي تتحول إلى مادة عضوية ميتة يساوي مقدار الكربون المنبعث من المادة العضوية الميتة إلى الغلاف الجوي عبر عمليتي التحلل والأكسدة. ويمكن للبلدان استخدام طرق مستوى أعلى لتقدير ديناميكيات الكربون الخاصة بالمادة العضوية الميتة. ويصف هذا القسم طرق التقدير في حالة استخدام طرق المستوى 2 (أو 3).

ويبغى للبلدان التي تستخدم طرق المستوى 1 لتقدير أحواض المادة العضوية الميتة في الأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام أن تفترض أن التغير في مخزون الكربون أو انبعاثات الكربون من هذه الأحواض يساوي صفراً. وباتباع هذه القاعدة، لا يتم الإبلاغ عن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون نتيجة احتراق المادة العضوية الميتة أثناء الحريق وكذلك عن الزيادة في مخزون الكربون بالمادة العضوية الميتة في الأعوام التي تعقب الحريق. ورغم ذلك، يتم الإبلاغ عن انبعاثات الغازات غير ثاني أكسيد الكربون والناجمة من إحراق أحواض المادة العضوية الميتة. وتقوم طرق المستوى 2 المعنية بتقدير التغيرات في مخزون الكربون بأحواض المادة العضوية الميتة بحساب التغير في حوضي الخشب الميت والفرش الحرجي. ويمكن استخدام طريقتين لذلك: إما تعقب المدخلات والمخرجات (طريقة *الانكساف-الفقد*، المعادلة 2-18) أو تقدير الفرق في أحواض المادة العضوية الميتة عند نقطتين زمنييتين (طريقة *الفرق في المخزون*، المعادلة 2-19). وتتطلب هذه التقديرات إما قوائم حصر مفصلة تشمل على قياسات متكررة لحوضي الخشب الميت والفرش الحرجي، أو نماذج تحاكي ديناميكيات الخشب الميت والفرش الحرجي. ومن *الممارسة السليمة* أن يتم التحقق من هذه النماذج في وجود قياسات ميدانية وأن يتم توثيقها. ويمثل الشكل 2-3 شجرة قرار لتحديد المستوى المناسب لتقدير التغيرات في مخزون الكربون بالمادة العضوية الميتة.

وتلخص المعادلة 2-17 العملية الحسابية لتقدير التغيرات السنوية في مخزون الكربون بأحواض المادة العضوية الميتة:

$$\Delta C_{DOM} = \Delta C_{DW} + \Delta C_{LT}$$

المعادلة 2-17
التغير السنوي في مخزون الكربون بالمادة العضوية الميتة

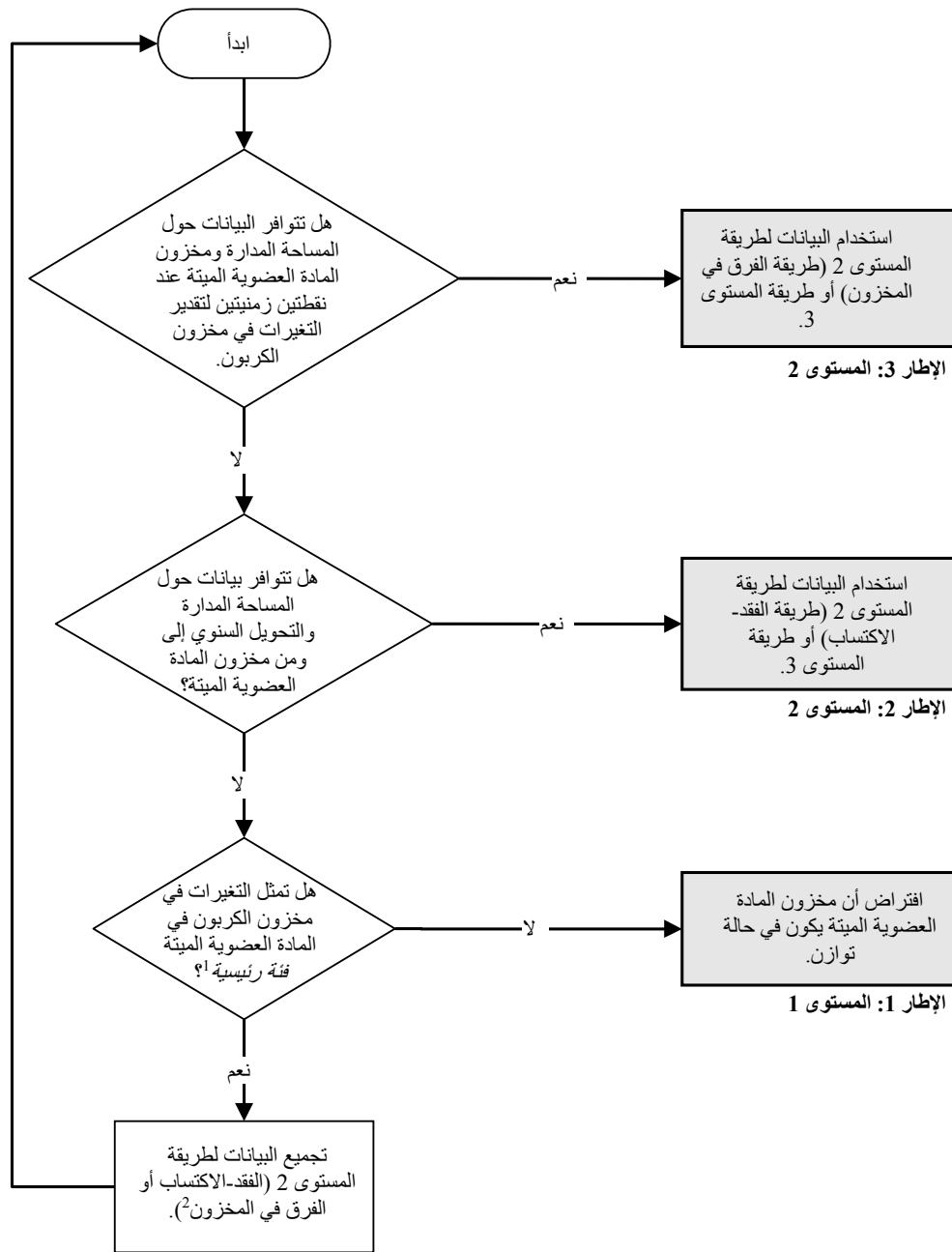
حيث:

ΔC_{DOM} = التغير السنوي في مخزون الكربون بالمادة العضوية الميتة (يشمل ذلك الخشب الميت والفرش الحرجي)، طن كربون عام

ΔC_{DW} = التغير في مخزون الكربون بالخشب الميت، طن كربون عام

ΔC_{LT} = التغير في مخزون الكربون بالفرش الحرجي، طن كربون عام

الشكل 2-3 شجرة قرار عامة لتحديد المستوى المناسب لتقدير التغيرات في مخزون الكربون بالمادة العضوية الميتة لفئة استخدام الأراضي



ملاحظة:

- 1: انظر الفصل 4 من المجلد 1، "اختيار المنهجيات وتحديد الفئات الرئيسية" (مع ملاحظة القسم 4-1-2 بشأن المصادر المحدودة) للاطلاع على مناقشة الفئات الرئيسية واستخدام شجرات القرار.
- 2: الطريقتان معرفتان في المعادلتين 18-2 و 19-2، على التوالي.

يمكن تقدير التغيرات في مخزون الكربون بحوضي الخشب الميت والفرش الحرجي لمساحة من الأراضي تظل في فئة استخدام معينة بين عمليتي حصر باستخدام طريقتين توضحهما المعادلتان 18-2 و 19-2. وتستخدم نفس المعادلة مع حوضي الخشب الميت والفرش الحرجي لكن مع حساب القيم على نحو منفصل.

$$\Delta C_{DOM} = A \cdot \{(DOM_{in} - DOM_{out}) \cdot CF\}$$

المعادلة 18-2
التغير السنوي في مخزون الكربون بالخشب الميت أو الفرش الحرجي (طريقة الاكتساب-الفقد)

حيث:

ΔC_{DOM} = التغير في مخزون الكربون بالخشب الميت/الفرش الحرجي، طن كربون عام

A مساحة الأراضي المدارة، هكتار

DOM_{in} = متوسط التحويل السنوي للكتلة الحيوية إلى حوض الخشب الميت/الفرش الحرجي نتيجة العمليات السنوية والاضطرابات، طن مادة جافة هكتار عام (راجع القسم التالي لمزيد من التفاصيل).

DOM_{out} = متوسط فقد الكربون السنوي نتيجة التحلل والاضطرابات من حوض الخشب الميت أو الفرش الحرجي، طن مادة جافة هكتار عام

CF = جزء الكربون من المادة الجافة، طن كربون (طن مادة جافة)

يتطلب الحصول على التوازن الصافي لحوضي المادة العضوية الميتة بالمعادلة 18-2 تقدير كل من المدخلات والمخرجات من العمليات السنوية (سقوط الفرش الحرجي والتحلل) وكذلك المدخلات والمخرجات المرتبطة بالاضطرابات. وعملياً، تتطلب مقتربات المستوى 2 و 3 تقدير معدلي التحويل والتحلل وكذلك بيانات الأنشطة حول الحصاد والاضطرابات وتأثيرهما على ديناميكيات حوض المادة العضوية. وينبغي ملاحظة أن مدخلات الكتلة الحيوية إلى أحواض المادة العضوية الميتة المستخدمة بالمعادلة 18-2 تمثل مجموعة فرعية من عمليات فقد الكتلة الحيوية المقدر في المعادلة 7-2. وتشتمل عمليات الفقد في الكتلة الحيوية بالمعادلة 7-2 على كتلة حيوية إضافية يتم إزالتها من الموقع عبر الحصاد أو تُفقد في الغلاف الجوي، في حالة الحرائق.

وتعتمد الطريقة التي يتم اختيارها على البيانات المتاحة ويرجح أن يتم تنسيقها مع طريقة المختارة لتقدير مخزون الكربون بالكتلة الحيوية. وقد تكون عمليات التحويل إلى ومن حوض الخشب الميت أو الفرش الحرجي للمعادلة 18-2 صعبة التقدير. ويمكن استخدام طريقة الفرق في المخزون الموضحة بالمعادلة 19-2 من قبل البلدان التي تتوافر بها بيانات حصر حول الغابات تشمل معلومات حوض المادة العضوية الميتة وبيانات المسح الأخرى التي يتم تجميعها وفقاً للمبادئ المحددة في الملحق 3-3 (الاستيعان) الفصل 3، و/أو نماذج محاكاة ديناميكيات الخشب الميت والفرش الحرجي.

$$\Delta C_{DOM} = \left[A \cdot \frac{(DOM_{t_2} - DOM_{t_1})}{T} \right] \cdot CF$$

المعادلة 19-2
التغير السنوي في مخزون الكربون بالخشب الميت أو الفرش الحرجي (طريقة الفرق في المخزون)

حيث:

ΔC_{DOM} = التغير السنوي في مخزون الكربون بالخشب الميت أو الفرش الحرجي، طن كربون عام

A مساحة الأراضي المدارة، هكتار

DOM_{t_1} = مخزون الخشب الميت/الفرش الحرجي عند النقطة الزمنية t_1 للأراضي المدارة، طن مادة جافة هكتار

DOM_{t_2} = مخزون الخشب الميت/الفرش الحرجي عند النقطة الزمنية t_2 للأراضي المدارة، طن مادة جافة هكتار

T = الفترة الزمنية بين وقت التقدير الثاني للمخزون ووقت التقدير الأول، عام

CF = جزء الكربون من المادة الجافة (الافتراضي = 0.37 للفرش الحرجي)، طن كربون (طن مادة جافة)

يرجى ملاحظة أنه حال استخدام طريقة الفرق في المخزون (على سبيل المثال، في المعادلة 19-2)، يجب التطابق في المساحة المستخدمة في حساب مخزون الكربون عند النقطة الزمنية t_1 والمساحة المستخدمة عند النقطة الزمنية t_2 . وفي حالة عدم التطابق فإن التغيرات في المساحة ستؤدي إلى الخلط بين تقديرات مخزون الكربون والتغير في المساحة. وتقتضي الممارسة السليمة استخدام المساحة في نهاية فترة الحصر (t_2) لتحديد مساحة الأراضي التي تظل في نفس الفئة. وتقدر التغيرات في المخزون بكافة المساحات التي يتم بها تغيير فئة استخدام الأراضي بين النقطتين الزميتين t_1 و t_2 في فئة الاستخدام الجديدة، على النحو المبين في الأقسام المتعلقة بالأراضي المحولة إلى فئة استخدام جديدة.

مدخلات الكتلة الحيوية إلى المادة العضوية الميتة

عند قطع الأشجار، تبقى المكونات غير القابلة للتجارة وغير التجارية (مثل القمم والفروع والأوراق والجذور والأشجار غير التجارية) على الأرض وتتحول إلى أحواض المادة العضوية الميتة. وإضافة لذلك، فإن معدلات الموت السنوية للأشجار يمكنها أن تضيف كميات ملموسة من الخشب الميت إلى هذا الحوض. وتفترض طرق المستوى 1 انبعاث الكربون الذي تشتمل عليه مكونات الكتلة الحيوية والذي يتم نقله إلى أحواض المادة العضوية الميتة في عام التحويل، سواء كان ذلك عبر العمليات السنوية (كتساقط الفرش الحرجي وموت الأشجار) أو أنشطة إدارة الأراضي

المعادلة 20-2
الكربون السنوي في الكتلة الحيوية المحولة إلى مادة عضوية ميتة

$$DOM_{in} = \{L_{mortality} + L_{slash} + (L_{disturbance} \cdot f_{BLol})\}$$

حيث:

DOM_{in} = إجمالي الكربون بالكتلة الحيوية المحولة إلى مادة عضوية ميتة، طن كربون عام
 $L_{mortality}$ = كمية الكربون بالكتلة الحيوية المحولة سنويا إلى مادة عضوية ميتة نتيجة موت الأشجار، طن كربون عام (راجع المعادلة 2-21)

L_{slash} = كمية الكربون بالكتلة الحيوية المحولة سنويا إلى مادة عضوية ميتة في صورة نثار، طن كربون عام (راجع المعادلة 2-22)

$L_{disturbances}$ = الفقد السنوي في الكربون نتيجة الاضطرابات، طن كربون عام (راجع المعادلة 2-14)

f_{BLol} = جزء الكتلة الحيوية الذي يُترك على الأرض من الفقد نتيجة الاضطراب حيث يتحلل (ينقل إلى مادة عضوية ميتة) كما هو موضح بالجدول 2-1، تُجرأ عمليات الفقد من حوض الكتلة الحيوية نتيجة الاضطرابات إلى الأجزاء التي تضاف إلى الخشب الميت (الخلية "ب" في الجدول 2-1) وإلى فرش حرجي (الخلية "ج")، والتي تنبعث في الغلاف الجوي في حالة الحريق (الخلية "و")، والتي تنقل إلى منتجات خشب مقطوع (الخلية هـ)، إذا أعقب الاضطراب تعويض.

ملاحظة: في حالة حساب الزيادات في الكتلة الحيوية للجذور بالمعادلة 2-10، يجب كذلك حساب عمليات الفقد في الكتلة الحيوية للجذور بالمعادلتين 20-2 و 22-2.

يتم الحصول على أمثلة للأطراف الموجودة في الجانب الأيمن من المعادلة 20-2 على النحو التالي:

عمليات التحويل إلى مادة عضوية ميتة نتيجة موت الأشجار، $L_{mortality}$

تموت الأشجار بسبب المنافسة أثناء تنمية المجموعات الشجرية، والتقدم في العمر، والإصابة بالأمراض، وعمليات أخرى لا تندرج ضمن الاضطرابات. ولا يمكن إغفال موت الأشجار في طرق التقدير بالمستويات الأعلى. وفي المجموعات الشجرية المدارة على نحو انشائي دون القيام بعمليات قطع جزئية على فترات دورية، فإن الموت نتيجة المنافسة أثناء مرحلة استبعاد الساق، قد يمثل 30-50% من الإنتاجية الإجمالية لمجموعة شجرية خلال فترة حياتها. أما في المجموعات التي يتم رعايتها بانتظام، فقد تكون الإضافة التي يمثلها موت الأشجار إلى حوض المادة العضوية الميتة غير مؤثرة نظرا لأن عمليات القطع الجزئية تؤدي إلى اقتلاع الكتلة الحيوية الحرجية التي كانت لولا ذلك ستفقد بسبب الموت وتنقل إلى أحواض المادة العضوية الميتة. وتشتمل البيانات المتاحة للزيادة عادة على صافي الزيادة السنوية، والتي يتم تحديدها كصافي للفقد نتيجة الموت. ولأنه يتم في هذا النص استخدام صافي النمو السنوي كأساس لتقدير عمليات الاكتساب من الكتلة الحيوية، لا يجب طرح حالات الموت مرة أخرى كفقدها من أحواض الكتلة الحيوية. ورغم ذلك، يجب حساب حالات الموت، كإضافة إلى حوض الخشب الميت بالنسبة لطرق المستويين 2 و 3.

وتبين المعادلة 2-21 كيفية تقدير تأثير حالات الموت:

المعادلة 21-2
الفقد السنوي في كربون الكتلة الحيوية نتيجة الموت

$$L_{mortality} = \sum (A \cdot G_w \cdot CF \cdot m)$$

حيث:

$L_{mortality}$ = الفقد السنوي في الكربون بالكتلة الحيوية نتيجة الموت، طن كربون عام

A = مساحة الأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام، هكتار

G_w = نمو الكتلة الحيوية فوق الأرض، طن مادة جافة هكتار عام (راجع المعادلة 2-10)

CF = جزء الكربون من المادة الجافة، طن كربون (طن مادة جافة)

m = معدل موت الأشجار معبر عنه كجزء من نمو الكتلة الحيوية فوق الأرض

وعند التعبير عن بيانات معدلات الموت كجزء من حجم المخزون النامي، فإن الطرف G_w بالمعادلة 2-21 يجب استبداله بحجم المخزون النامي لتقدير معدل التحويل السنوي إلى أحواض المادة العضوية الميتة من حالات موت الأشجار.

وتختلف معدلات موت الأشجار بين مراحل تنمية المجموعات الشجرية وتصل إلى أعلاها أثناء مرحلة الاستبعاد. كما تختلف كذلك مع مستوى التخزين ونوع الخرج وكثافة الإدارة وتاريخ الاضطراب. وبالتالي، فإن تقديم قيم افتراضية لمنطقة مناخية كاملة لا يعد أمرا مبرراً لأن التباين داخل المنطقة الواحدة سيكون أكبر إلى حد بعيد من التباين بين منطقة وأخرى.

التحويل السنوي للكربون إلى نثار، L_{slash}

يشتمل ذلك على تقدير كمية النثار المتبقية بعد إزالة الخشب أو خشب الوقود وتحويل الكتلة الحيوية من الفقد الإجمالي السنوي للكربون نتيجة حصاد الخشب (المعادلة 2-12). وتعرض المعادلة 2-22 طريقة التقدير بالنسبة لثمار القطع وهي مشتقة من المعادلة 2-12 كما هو موضح فيما يلي:

$$L_{slash} = \left[\{H \cdot BCEF_R \cdot (1 + R)\} - \{H \cdot D\} \right] \cdot CF$$

حيث:

L_{slash} = كربون الكتلة الحيوية المحول سنويا إلى نثار، بما في ذلك الجذور الميتة، طن كربون عام

H = الحصاد السنوي للخشب (إزالة الخشب أو خشب الوقود)، متر مكعب عام

$BCEF_R$ = معاملات تحويل وتوسيع الكتلة الحيوية المطبقة على عمليات إزالة الخشب، التي تقوم بتحويل الحجم القابل للتجارة بإزالة الخشب إلى عمليات إزالة للكتلة الحيوية فوق الأرض، طن كتلة حيوية مزاله (متر مكعب من الإزالة). إذا لم تكن قيم $BCEF_R$ متاحة وتقدير BEF وقيم الكثافة على نحو منفصل يمكن استخدام صيغة التحويل التالية:

$$D \cdot R \cdot BEF = R \cdot BCEF$$

○ D هي كثافة الخشب الأساسية، طن مادة جافة متر³

○ يمكن معاملات توسيع الكتلة الحيوية (BEF_R) من توسيع عمليات إزالة الخشب القابل للتجارة إلى حجم إجمالي للكتلة الحيوية فوق الأرض لحساب المكونات غير القابلة للتجارة بالشجرة والمجموعة الشجرية والحرث. ويعتبر المعامل BEF_R بلا أبعاد.

R = نسبة الكتلة الحيوية تحت الأرض إلى الكتلة الحيوية فوق الأرض، طن مادة جافة كتلة حيوية تحت الأرض¹ يجب أن تكون R صفراً إذا لم يتم تضمين الزيادة بالكتلة الحيوية للجذور في المعادلة 2-10 (المستوى 1).

CF = جزء الكربون من المادة الجافة، طن كربون (طن مادة جافة)

لا يترتب على عملية تجميع خشب الوقود التي تتضمن إزالة أجزاء من الأشجار الحية أية مدخلات إضافية من الكتلة الحية إلى أحواض المادة العضوية الميتة ولم يتم التوسع في مناقشتها هنا.

ويمكن كذلك لعمليات الحصر التي تستخدم طرق مستويات أعلى تقدير كمية نثار القطع المتبقية بعد الحصاد من خلال تحديد نسبة الكتلة الحيوية فوق الأرض التي تترك بعد الحصاد (تدخل هذه النسب في الخليتين "ب" و"ج" من الجدول 2-1 بالنسبة للاضطراب المتمثل في الحصاد وباستخدام المقرب المحدد في المعادلة 2-14. وتجدر الإشارة إلى أن هذا المقرب يحتاج لتوفير بيانات الأنشطة المتعلقة بالمساحة المحصودة.

2-2-3-2 تحويل الأراضي إلى فئة استخدام جديدة

النهج المتبع في عملية الإبلاغ هو أن كافة التغيرات في مخزون الكربون وانبعثات غازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالتغيير في استخدام الأراضي يتم الإبلاغ عنها في فئة استخدام الأراضي الجديدة. على سبيل المثال، في حالة تحويل الأراضي الحرجية إلى أراض زراعية، فإن تغيرات مخزون الكربون المرتبطة بتمهيد الأحرار وكذلك أي تغيرات تالية في مخزون الكربون تنشأ عن التحويل يتم الإبلاغ عنها تحت فئة الأراضي الزراعية.

ويفترض المستوى 1 أن أحواض المادة العضوية الميتة في فئات الأراضي غير الحرجية بعد التحويل تساوي صفراً، أي لا تشتمل على أية كربون. وبالنسبة للأراضي المحولة من أراض حرجية إلى فئة استخدام أخرى، فإن المستوى 1 يفترض أن كافة عمليات الفقد في كربون المادة العضوية الميتة تتم في عام التحويل. وعلى العكس، يؤدي تحويل الأراضي الحرجية إلى تزايد حوضي كربون الخشب الميت والفرش الحرجي بدءاً من صفر كربون بهذه الأحواض. وتحدث عمليات اكتساب كربون المادة العضوية الميتة في الأراضي المحولة إلى أراض حرجية بطريقة خطية، بدءاً من الصفر، طوال فترة انتقالية (الفترة الافتراضية 20 عاماً). وقد تكون هذه الفترة الافتراضية ملائمة لمخزون الكربون بالفرش الحرجي، غير أنها في المناطق المعتدلة والشمالية ربما تكون قصيرة للغاية بالنسبة لمخزون الكربون بالخشب الميت. ويمكن للبلدان التي تستخدم طرق مستويات أعلى استيعاب فترات انتقالية أطول عن طريق مزيد من التقسيم للفئة الباقية على نحو يمكن من استيعاب الطبقات التي تكون في المراحل المتأخرة من الانتقال.

ويطلب تقدير التغيرات في مخزون الكربون خلال الفترات الانتقالية التي تعقب تحويل استخدام الأراضي تعقب المجموعات السنوية بالمساحة التي وقع بها التغيير لمعرفة استمرار الفترة الانتقالية. على سبيل المثال، يفترض زيادة مخزون المادة العضوية الميتة لمدة 20 عاماً بعد التحويل إلى أراض حرجية. وبعد مرور 20 عاماً، تدخل المساحة المحولة إلى فئة الأراضي الحرجية التي تظل أراضي حرجية، ولا يفترض حدوث أية تغيرات أخرى في المادة العضوية الميتة، في حالة تطبيق مقرب من المستوى 1. وعند استخدام المستويين 2 و3، قد تختلف فترة التحويل حسب نوع النبات والعوامل الأخرى التي تتحكم في الوقت المطلوب للوصول لحوضي الخشب الميت والفرش الحرجي إلى حالة ثابتة.

ويمكن لطرق التقدير بالمستويات الأعلى أن تستخدم تقديرات غير الصفر لحوضي الخشب الميت والفرش الحرجي في الفئات أو الفئات الفرعية المناسبة لاستخدام الأراضي. على سبيل المثال، يمكن أن تحتوي أنظمة الاستيطان والحراثة الزراعية على بعض أحواض الخشب الميت والفرش الحرجي، ولكن نتيجة عوامل الإدارة وظروف الموقع وغير ذلك من العوامل التي تؤثر على أحجام الأحواض، لا يمكن تقديم أية قيم افتراضية عالمية في هذا الخصوص. وقد تعمل طرق المستويات الأعلى على تقدير تفاصيل مخرجات ومدخلات المادة العضوية الميتة المرتبطة بتغيير استخدام الأراضي.

ويذهب المقرب المفاهيمي لتقدير التغيرات في مخزون الكربون بحوضي الخشب الميت والفرش الحرجي إلى تقدير الفرق في مخزون الكربون بين فئة الاستخدام القديمة والجديدة وتطبيق هذا التغيير في عام التحويل (عمليات الفقد في الكربون)، أو إلى توزيع هذا الفرق بشكل متنسق على امتداد الفترة الانتقالية (عمليات اكتساب الكربون) المعادلة 2-23:

المعادلة 2-23

التغير السنوي في مخزون الكربون بالخشب الميت والفرش الحرجي نتيجة تحويل الأراضي

$$\Delta C_{DOM} = \frac{(C_n - C_o) \cdot A_{on}}{T_{on}}$$

حيث:

ΔC_{DOM} = التغير في مخزون الكربون بالخشب الميت أو الفرش الحرجي، طن كربون عام

C_o = مخزون الخشب الميت/الفرش الحرجي في فئة الاستخدام القديمة، طن كربون هكتار

C_n = مخزون الخشب الميت/الفرش الحرجي في فئة الاستخدام الجديدة، طن كربون هكتار

A_{on} = المساحة التي تتم بها عملية التحويل من فئة الاستخدام القديمة إلى الجديدة، هكتار

T_{on} = الفترة الزمنية الانتقالية من فئة الاستخدام القديمة إلى الجديدة، عام. الفترة الافتراضية في المستوى 1 هي 20 عاما لتقدير الزيادات في مخزون الكربون وعام واحد (1) لعمليات الفقد.

وتفترض عمليات الحصر التي تستخدم طرق المستوى 1 أن كافة الكربون الذي تشتمل عليه الكتلة الحية التي تُقتل خلال حدث تحويل استخدام الأراضي (إزالة منتجات محصودة أقل) ينبعث مباشرة إلى الغلاف الجوي ولا تحدث أية إضافة إلى حوضي الفرش الحرجي والخشب الميت. وتفترض طرق المستوى 1 أن عمليات فقد الكربون من حوض الخشب الميت والفرش الحرجي تحدث كلها في عام التحويل.

ويمكن للبلدان التي تستخدم طرق مستويات أعلى تعديل قيمة C_o في المعادلة 2-23 عن طريق حساب التأثيرات المباشرة لتحويل الأراضي في عام الحدث أولاً. وفي هذه الحالة، تقوم هذه البلدان بإضافة الكربون من الكتلة الحية التي قتلت وتحوّلت إلى أحواض الخشب الميت والفرش الحرجي إلى C_o وخصم الكربون المنبعث من حوضي الخشب الميت والفرش الحرجي من C_o ، على سبيل المثال أثناء حرق النثار. وفي هذه الحالة فإن C_o في المعادلة 2-23 يمثل مخزونات كربون الخشب الميت أو الفرش الحرجي على الفور بعد تحويل استخدام الأراضي. وينتقل C_o إلى C_n خلال الفترة الانتقالية باستخدام ديناميكيات خطية أو أكثر تعقيداً. ويمكن تحديد مصفوفة اضطراب (الجدول 1-2) لحساب عمليات التحويل إلى الحوض والانبعاث منه خلال فترة تحويل الاستخدام، بما في ذلك عمليات الإضافة إلى C_o والإزالة منه.

ويمكن للبلدان التي تستخدم مقرباً من المستوى 1 تطبيق التقديرات الافتراضية لهذا المستوى فيما يخص مخزون الكربون بالفرش الحرجي، وإذا أمكن أحواض الخشب الميت، الواردة في الجدول 2-2، لكنها يجب أن تترك أن هذه التقديرات واسعة النطاق وتتطوي على قدر كبير من عدم التقين عند تطبيقها على المستوى الوطني. وتجدر الإشارة إلى أن الجدول 2-2 غير مكتمل نظراً لندرة البيانات المنشورة. وقد كشفت عملية مراجعة للمؤلفات المنشورة عن مشكلات عديدة. يشمل تعريف مخزون الكربون بالمادة العضوية الميتة الخاص بالهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ كلاً من الفرش الحرجي والخشب الميت. ويحتوي حوض الفرش الحرجي كافة أشكال الفرش الحرجي إضافة إلى البقايا الخشبية الرفيعة التي لا يتعدى قطرها 10 سم (راجع الفصل 1 الجدول 1-1). ولا تشتمل بيانات الفرش الحرجي المنشورة بصفة عامة على مكون بقايا الخشب الرفيعة، لذلك تعتبر قيم الفرش الحرجي الواردة في الجدول 2-2 غير مكتملة.

وهناك العديد من الدراسات المنشورة حول بقايا الخشب السميكة (Harmon and Hua, 1991; Karjalainen and Kuuluvainen, 2002) وعدد قليل من أوراق المراجعة (على سبيل المثال، Harmon et al., 1986)، لكن حتى هذا التاريخ لا يوجد سوى اثنتين من الدراسات التي تقدم تقديرات لحوض الكربون بالخشب الميت على مستوى المناطق تقوم على بيانات مخططات رسومية للعينات. وقد ضمن *Krankina et al.* (2002) العديد من المناطق في روسيا وقدر بقايا الخشب السميكة (قطر < 10 سم) بين 2 إلى 7 طن متري من الكربون للهكتار. وفي ورقة المراجعة المقدمة من *Cooms et al.* (2002) تم الإبلاغ عن أحواض الكربون بالمناطق على أساس تصميم إحصائي للعينات لمنطقة صغيرة في نيوزيلندا. وتقدم عمليات الجمع الخاصة بالمناطق في كندا (*Shaw et al.*, 2005) تقديرات لأحواض كربون الفرش الحرجي بناءً على تجميع للرسوم البيانية لعينات غير تمثيلية من الناحية الإحصائية، لكنها لم تشتمل على تقديرات لأحواض الخشب الميت. وتعمل ورقات المراجعة مثل *Harmon et al.* (1986) على تجميع عدد من التقديرات من المؤلفات الصادرة. على سبيل المثال، يُدرج الجدول 5 بهذه الورقات مجموعة من القيم المتعلقة ببقايا الخشب السميكة للأحراج المعتدلة النفضية بين 11-38 طن متري مادة جافة هكتار، وبالنسبة للغابات المعتدلة الصنوبرية بين 10-511 طن متري مادة جافة هكتار. غير أنه لا يصلح من الناحية الإحصائية أن يتم استخراج متوسط حسابي من هذه القيم المجمعة لأنها لا تعتبر عينات تمثيلية لأحواض الخشب الميت بالمنطقة.

ورغم أن هذه الخطوط التوجيهية للهيئة الدولية المعنية بتغير المناخ تهدف إلى تقديم قيم افتراضية لكافة المتغيرات المستخدمة في منهجيات المستوى 1، إلا أنه ليس من الجدي في الوقت الحالي تقديم قيم افتراضية للمناطق فيما يخص مخزون الكربون بالفرش الحرجي (بما في ذلك البقايا الخشبية الرفيعة ذات قطر > 10 سم) والخشب الميت (قطر < 10 سم). ويشتمل الجدول (2-2) على تقديرات حوض الفرش الحرجي (مع استبعاد البقايا الخشبية الرفيعة). وتحتاج منهجيات المستوى 1 تقديرات الجدول 2-2 فقط للأراضي المحولة من أراض حرجية إلى فئة استخدام أخرى (عمليات الفقد في الكربون) وكذلك للأراضي المحولة إلى أراض حرجية (عمليات اكتساب الكربون). وتفترض طرق المستوى 1 أن أحواض الخشب الميت والفرش الحرجي تساوي الصفر في كافة فئات الاستخدام غير الحرجية وبالتالي فإن عمليات التحويل بين الفئات غير الحرجية لا تشتمل على تغييرات في مخزون الكربون بهذين الحوضين.

الجدول 2-2 القيم الافتراضية بالمستوى 1 لمخزون الكربون بحوضي الخشب الميت والفرش الحرجي				
نوع الغابة				المناخ
إبرية الأوراق دائمة الخضرة	عريضة الأوراق نفضية	إبرية الأوراق دائمة الخضرة	عريضة الأوراق نفضية	
مخزون كربون الخشب الميت بالغايات الناضجة		مخزون كربون الفرش الحرجي بالغايات الناضجة		
(طن كربون هكتار)		(طن كربون هكتار)		
n.a	n.a. ^b	31 (86 - 6)	25 (58 - 10)	شمالية، جافة
n.a	a.n	55 (123 - 7)	39 (117 - 11)	شمالية، رطبة
n.a	n.a	27 ^a (42 - 17)	28 ^a (33 - 23)	معتدلة باردة، جافة
n.a	n.a	26 ^a (48 - 10)	16 ^a (31 - 5)	معتدلة باردة، رطبة
n.a	n.a	20.3 ^a (21.1 - 17.3)	28.2 ^a (33.0 - 23.4)	معتدلة دافئة، جافة
n.a	n.a	22 ^a (42 - 6)	13 ^a (31 - 2)	معتدلة دافئة، رطبة
n.a	a.n	4.1	2.8 (3 - 2)	شبه استوائية
n.a	n.a	5.2	2.1 (3 - 1)	استوائية

المصدر:

الفرش الحرجي: لاحظ أن هذه القيم لا تتضمن البقايا الخشبية الرفيعة. Siltanen *et al.*, 1997; and Smith and Heath, 2001; Tremblay *et al.*, 2002; and Vogt *et al.*, 1996, 0.37 (Smith and Heath, 2001).

الخشب الميت: لا تتوافر تقديرات خاصة بالمناطق لأحواض الخشب الميت في الوقت الحالي – راجع النص لمزيد من التعليقات

^a القيم الواردة بين قوسين والمميزة بالحرف المرتفع "a" هي النقاط المنوية الخامسة والخامسة والتسعين من محاكاة الرسوم البيانية للحصر، بينما تلك الواردة بدون الحرف المرتفع "a" تشير إلى كامل النطاق.

^b n.a. تعني "غير متاح"

3-3-2 التغيير في مخزون الكربون بأنواع التربة

رغم أن أنواع التربة تشتمل على الكربون العضوي وغير العضوي، غير أن استخدام الأراضي وإدارتها يؤثر بشكل أكبر على مخزون الكربون العضوي. ومن هنا فإن الطرق المقدمة في هذه الخطوط التوجيهية تركز في الغالب على الكربون العضوي بالتربة. وإجمالاً، يختلف تأثير استخدام الأراضي وإدارتها على مخزون الكربون العضوي بأنواع التربة اختلافاً كبيراً بين التربة المعدنية والتربة العضوية. فأنواع التربة العضوية (على سبيل المثال، الخث والتربة المسمدة طبيعياً) تشتمل على 12 إلى 20 بالمائة على الأقل من المادة العضوية ككل (راجع الفصل 3 الملحق 3-5، للحصول على المعايير المحددة في تصنيف التربة العضوية) وتتكون في ظل ظروف التصريف السيئ بالأراضي الرطبة (Brady and Weil, 1999). وتصنف أنواع التربة الأخرى ضمن التربة المعدنية، وتشتمل بشكل نموذجي على كميات قليلة من المادة العضوية، وتتكون في ظل ظروف الصرف الجيد والمعتدل، وتسود في معظم الأنظمة الحيوية باستثناء الأراضي الرطبة. ويتناول القسمان التاليان على نحو أكثر تفصيلاً تأثيرات استخدام الأراضي وإدارتها على هذين النوعين المتقابلين من التربة.

أنواع التربة المعدنية

تعتبر أنواع التربة المعدنية حوض كربون يتأثر بأنشطة استخدام الأراضي وإدارتها. وقد يؤثر استخدام الأراضي بشكل كبير على حجم هذا الحوض من خلال أنشطة مثل تحويل المروج والأحراج الطبيعية إلى أرض زراعية، حيث يتم فقد 20-40% من المخزون الأصلي للكربون بالتربة (Mann, 1986; Davidson and Ackerman, 1993; Ogle et al., 2005). وهناك مجموعة متنوعة من ممارسات الإدارة يمكنها أن تؤثر بشكل ملموس على مخزون الكربون العضوي بالتربة داخل أنواع استخدام الأراضي، وبالأخص الأراضي الزراعية والمروج الطبيعية (على سبيل المثال، Ogle et al., 2004 and 2005; Conant et al., 2001; Paustian et al., 1997). وبصفة أساسية، تتغير مخزونات الكربون العضوي بالتربة نتيجة ممارسات الإدارة أو أحداث الاضطراب إذا تغير التوازن الصافي بين مدخلات الكربون ومخرجاته من التربة. وتؤثر أنشطة الإدارة على مدخلات الكربون العضوي من خلال التغييرات في إنتاج النبات (مثل عمليات التخصيب والري الهادفة لتحسين نمو المحصول)، والإضافة المباشرة من الكربون في صورة مسنات عضوية، وكمية الكربون التي تتخلف عن أنشطة إزالة الكتلة الحيوية، مثل الحصاد أو قطع الأشجار أو الحرائق أو الرعي. وتتحكم عملية التحلل بصورة كبيرة في مخرجات الكربون ويمكن أن تتأثر بالتغيرات في أنظمة الرطوبة والحرارة وكذلك بمستوى الاضطراب الذي يلحق بالتربة نتيجة أنشطة الإدارة. ولا يمكن إغفال الدور الذي تلعبه عوامل أخرى مثل المناخ وخصائص التربة في التأثير على عملية التحلل. ويتم مناقشة تأثيرات محددة لعمليات تحويل استخدام الأراضي وأنظمة الإدارة المختلفة في الفصول الخاصة بفئات استخدام الأراضي (الفصول من 4 إلى 9).

ويمكن أن يؤثر تغيير استخدام الأراضي وأنشطة الإدارة على مخزون الكربون العضوي بالتربة لما يترتب عليه من تغيير في معدلات التعرية وما يتبعه من فقد الكربون بالموقع؛ حيث يتحلل بعض الكربون الناتج من التعرية أثناء عملية النقل مؤدياً إلى عودة ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي، بينما يُودع الباقي في موقع آخر. ومع ذلك فإن التأثير الصافي لتغير معدلات التعرية بالتربة نتيجة ممارسات الإدارة يظل غير يقيني إلى حد بعيد، نظراً لأن جزء غير معروف من الكربون المزال بالتعرية يخزن في الرواسب المدفونة بالأراضي الرطبة والبحيرات والأنهار وأراضي الدلتا والمناطق الساحلية (Smith et al., 2001).

أنواع التربة العضوية

قد تتجاوز المدخلات من المادة العضوية الفقد من عملية التحلل في ظل الظروف اللاهوائية، وهو أمر شائع في أنواع التربة العضوية غير المصرفة، ويشأ عن ذلك تراكم كميات كبيرة من المادة العضوية بمرور الوقت. وترتبط ديناميكيات الكربون بأنواع التربة هذه ارتباطاً وثيقاً بالظروف الهيدرولوجية، ويشمل ذلك الرطوبة المتاحة وعمق النطاق المائي وظروف الأوكسدة-الاختزال (Clymo, 1984; Thormann et al., 1999). ويمكن أن يؤثر تكوين الأنواع وكيمياء الفرش الحرجي على هذه الديناميكيات (Yavitt et al., 1997).

ويتحلل الكربون المخزن في أنواع التربة العضوية بشكل سريع عندما يتوافر الأوكسجين عقب تصريف التربة (Armentano and Menges, 1986; Kasimir-Klemetsson et al., 1997). ويستخدم التصريف كأحدى ممارسات الزراعة والحراجه الرامية لتحسين ظروف الموقع بما يساعد على نمو النبات. وتتباين معدلات الفقد وفقاً للمناخ، حيث يؤدي التصريف في ظروف أكثر دفئاً إلى معدلات تحلل أسرع. وتتأثر عمليات الفقد في ثاني أكسيد الكربون بعمق التصريف وإضافة الجير وخصوبة واتساق الطبقة التحتية العضوية ودرجة الحرارة (Martikainen et al., 1995). وتعمل عمليات حصر غازات الاحتباس الحراري على تسجيل هذا الأثر للإدارة.

وبينما يؤدي تصريف أنواع التربة العضوية عادة إلى انبعاث ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي (Armentano and Menges, 1986)، قد يكون هناك انخفاض في انبعاثات الميثان التي تحدث بأنواع التربة العضوية غير المصرفة (Nykänen et al., 1995). ورغم ذلك، لا يتم تناول انبعاثات الميثان من أنواع التربة العضوية غير المصرفة في توجيهات الحصر باستثناء حالات قليلة تتم فيها إدارة الأراضي الرطبة (راجع الفصل 7، الأراضي الرطبة). وبالمثل، لا تعمل قوائم الحصر الوطنية عادة على تقدير زيادة الكربون في حوض التربة نتيجة تراكم فئات النباتات بأنواع التربة العضوية غير المصرفة. وبصفة عامة يمكن القول بأن معدلات اكتساب الكربون تكون بطيئة نسبياً في نباتات الأراضي الرطبة ذات التربة العضوية (Gorham, 1991)، وأن أي محاولة لتقدير عمليات اكتساب الكربون، حتى تلك التي تنشأ نتيجة تجديد الأراضي الرطبة، تحتاج لتتناول الزيادة في انبعاثات الميثان. راجع التوجيهات الإضافية الواردة في الفصل 7 الخاص بالأراضي الرطبة.

1-3-3-2 طرق تقدير كربون التربة (الأراضي التي تظل في نفس فئة الاستخدام والأراضي المحولة إلى فئة جديدة)

تشتمل طرق حصر الكربون بالتربة على تقدير التغيرات في مخزون الكربون العضوي لأنواع التربة المعدنية وانبعثات ثاني أكسيد الكربون من أنواع التربة العضوية نتيجة التحلل الميكروبي المحسن الناشئ عن الصرف ونشاط الإدارة. وعلاوة على ذلك، يمكن أن تتناول طرق الحصر التغير في مخزون الكربون بأحواض الكربون غير العضوي بالتربة (على سبيل المثال، المروج الطبيعية الجيرية التي يتم تحميضها بمرور الوقت) وذلك في حالة توافر معلومات كافية لاستخدام مقرب قائم على المستوى 3. وتشتمل المعادلة 2-24 على طريقة تقييم التغير الكلي في مخزون الكربون بالتربة.

المعادلة 2-24

التغير السنوي في مخزون الكربون بأنواع التربة

$$\Delta C_{Soils} = \Delta C_{Mineral} - L_{Organic} + \Delta C_{Inorganic}$$

حيث:

$$\Delta C_{Soils} = \text{التغير في مخزون الكربون بأنواع التربة، طن كربون عام}$$

$$\Delta C_{Mineral} = \text{التغير في مخزون الكربون بأنواع التربة المعدنية، طن كربون عام}$$

$$L_{Organic} = \text{الفقد السنوي من الكربون بالتربة العضوية المصروفة، طن كربون عام}$$

$$\Delta C_{Inorganic} = \text{التغير السنوي في مخزون الكربون غير العضوي بأنواع التربة، طن كربون عام (يفترض أنه يساوي صفرا ما لم يُستخدم مقرب من المستوى 3)}$$

بالنسبة لطرق المستويين 1 و2، يتم حساب مخزون الكربون العضوي لأنواع التربة المعدنية إلى عمق افتراضي يبلغ 30 سم. ويمكن اختيار استخدام أعماق أكبر بالمستوى 2 في حالة توافر البيانات، غير أن المعاملات المستخدمة في المستوى 1 مبنية على عمق 30 سم. ولا يتم تضمين مخزون الكربون بالبقايا/الفرش الحرجي نظرا لتناولهما ضمن تقدير مخزون المادة العضوية الميتة. وتعتمد تغيرات المخزون بأنواع التربة العضوية على معاملات الانبعثات التي تمثل الفقد السنوي في الكربون العضوي عبر تشكيل التربة نتيجة الصرف. ولم تُقدم طرق تقوم على المستويين 1 و2 لتقدير التغير في مخزون الكربون غير العضوي بالتربة نظرا لمحدودية المعلومات العلمية المتاحة لاشتاق معاملات تغير المخزون، وبالتالي يتم وضع افتراضات لاصفي تدفق مخزون الكربون غير العضوي. ويمكن استخدام طرق المستوى 3 للحصول على تقديرات أكثر دقة للتغير في مخزون الكربون بكل من أنواع التربة المعدنية والعضوية وكذلك أحواض الكربون غير العضوي بالتربة.

ويمكن للبلدان استخدام مستويات مختلفة في تقدير المخزون بأنواع التربة المعدنية والعضوية والكربون غير العضوي بالتربة وفقا للموارد المتاحة لديها. ولذلك تم مناقشة تغير المخزون بالنسبة لأنواع التربة المعدنية والعضوية وأحواض الكربون غير العضوي بالتربة (المستوى 3 فقط) على نحو منفصل. ويمكن استخدام شجرة القرار المعممة في الشكلين 2-4 و2-5 لمساعدة القائمين بجمع الحصر في تحديد المستوى المناسب لتقدير التغيرات في المخزون بالنسبة لكربون التربة المعدنية والعضوية على التوالي.

مقرب المستوى 1: الطريقة الافتراضية

أنواع التربة المعدنية

تعمل الطريقة الافتراضية لأنواع التربة المعدنية على تقدير التغيرات في مخزون كربون التربة خلال فترة زمنية محدودة. وبحسب التغير على أساس مخزون الكربون بعد تحويل ممارسات الإدارة مقارنة بمخزون الكربون في حالة مرجعية (على سبيل المثال النباتات الأصلية التي لم تتعرض للتدهور أو التحسين). ويتم اتخاذ الفرضيات التالية:

(i) يصل الكربون العضوي بالتربة بمرور الوقت إلى قيمة متساوية مكانيا وثابتة تتحدد في إطار التربة والمناخ وممارسات استخدام وإدارة الأراضي

(ii) تحدث التغيرات في مخزون الكربون العضوي بالتربة على نحو خطي عند التحول إلى توازن جديد للكربون العضوي بالتربة.

وتحظى الفرضية (1)، والتي تقول بأنه في ظل ظروف مجموعة محددة من ظروف المناخ والإدارة تميل أنواع التربة إلى نوع من التوازن فيما يتعلق بمحتوى الكربون بقبول واسع. ورغم أن التغير في كربون التربة استجابة للتغير في أنماط إدارة الأراضي يمكن في الغالب وصفها على نحو أفضل من خلال دالة منحنية خطية، فإن الفرضية (2) تُبسّط بشكل كبير منهجية المستوى 1 وتقدم تقريبا جيدا يغطي فترة حصر متعددة الأعوام، حيث تقع التحويلات الناشئة عن التغير في الاستخدام وممارسات الإدارة بامتداد فترة الحصر.

وباستخدام الطريقة الافتراضية يتم حساب التغيرات في مخزون كربون التربة خلال فترة معينة للحصر. وتحدد فترات الحصر في الغالب على أساس الأعوام التي تم خلالها تجميع بيانات الأنشطة مثل 1990 و1995 و2000 و2005 و2010، وهو ما يتوافق مع فترات حصر 1990-1995، و2000-1995، و2005-2000، و2010-2005. ويتم لكل فترة من فترات الحصر تقدير مخزون الكربون العضوي بالتربة للعام الأول (SOC_{0-T}) للعام الأخير (SOC₀) على أساس ضرب مخزون الكربون المرجعي في معاملات التغير في المخزون. وتقدر المعدلات السنوية لتغير مخزون الكربون كفرق في المخزون بين النقطتين الزمنيةتين مقسوما على التبعية الزمنية لمعاملات التغير في المخزون.

المعادلة 2-25

التغير السنوي في مخزون الكربون العضوي بأنواع التربة المعدنية

$$\Delta C_{Mineral} = \frac{(SOC_0 - SOC_{(0-T)})}{D}$$

$$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF,c,s,i} \cdot F_{LU,c,s,i} \cdot F_{MG,c,s,i} \cdot F_{I,c,s,i} \cdot A_{c,s,i})$$

(ملاحظة: تحل T محل D بهذه المعادلة إذا كانت $20 \leq T$ عاماً، انظر الملاحظة الواردة فيما يلي)

حيث:

$$\Delta C_{Mineral} = \text{التغير السنوي في مخزون الكربون بأنواع التربة المعدنية، طن كربون عام}$$

$$SOC_0 = \text{مخزون الكربون العضوي بالتربة في العام الأخير من فترة الحصر، طن كربون}$$

$$SOC_{(0-T)} = \text{مخزون الكربون العضوي بالتربة في بداية فترة الحصر، طن كربون}$$

وتُحسب قيمة SOC_0 أو $SOC_{(0-T)}$ باستخدام معادلة الكربون العضوي بالتربة الواردة بالإطار حيث يتم تعيين مخزون الكربون المرجعي ومعاملات التغير في المخزون وفقاً لأنشطة استخدام الأراضي وإدارتها والمساحات المتوافقة عند كل نقطة زمنية (نقطة زمنية = صفر، والنقطة الأخرى = صفر-T)

$$T = \text{عدد الأعوام في فترة حصر واحدة، عام}$$

$D =$ التبعية الزمنية لمعاملات التغير في المخزون، وهي الفترة الافتراضية للانتقال بين قيم التوازن للكربون العضوي بالتربة، عام. وهي في الأغلب الأعم 20 عاماً، غير أنها تعتمد على الفرضيات المستخدمة في حساب المعاملات F_{LU} و F_{MG} و F_I . وفي حالة زيادة T عن D، يتم استخدام فترة T للحصول على المعدل السنوي للتغير خلال فترة الحصر (صفر-T عام).

$$c = \text{تمثل المناطق المناخية، s، أنواع التربة، i مجموعة أنظمة الإدارة بأحد البلدان.}$$

$$SOC_{REF} = \text{مخزون الكربون المرجعي، طن كربون هكتار (الجدول 2-3)}$$

$$F_{LU} = \text{معامل تغير المخزون لأنظمة استخدام الأراضي أو النظام الفرعي لاستخدام معين، بلا أبعاد}$$

[ملاحظة: يُستخدم المعامل F_{ND} بدلاً من F_{LU} في حساب كربون تربة الأراضي الحرجية لتقدير تأثير الاضطرابات الطبيعية.

$$F_{MG} = \text{معامل تغير المخزون لنظام الإدارة، بلا أبعاد}$$

$$F_I = \text{معامل تغير المخزون لمدخلات المادة العضوية، بلا أبعاد}$$

A = مساحة الأراضي بالطبقة التي يجري تقديرها، هكتار. يجب أن تكون كافة الأراضي في الطبقة ذات ظروف فيزيائية حيوية مشتركة (أي تشترك في نوع المناخ والتربة) وكذلك تاريخ إدارة واحد بامتداد فترة الحصر حتى يمكن معاملتها معاً للأغراض التحليلية.

تقوم حسابات الحصر على مساحات أراضي يتم تصنيفها في طبقات حسب الأقاليم المناخية (راجع الفصل 3 الملحق 3-5، للحصول على التصنيف الافتراضي للمناخ)، وعلى أنواع التربة الافتراضية كما هي مبينة في الجدول 2-3 (راجع الفصل 3 الملحق 3-5، للحصول على التصنيف الافتراضي لأنواع التربة). وتُحدد معاملات تغير المخزون على نطاق واسع وتشمل: (1) معامل استخدام الأراضي (F_{LU}) والذي يعكس تغيرات مخزون الكربون المرتبطة بنوع استخدام الأراضي، (2) معامل الإدارة ويمثل طريقة الممارسة الرئيسية في الإدارة بقطاع استخدام الأراضي (على سبيل المثال، ممارسات الفلاحة المختلفة في الأراضي الزراعية)، (3) معامل المدخلات (F_I) يمثل مستويات المدخلات المختلفة من الكربون إلى التربة. وكما هو وارد أعلاه، يُستخدم المعامل F_{ND} بدلاً من F_{LU} في الأراضي الحرجية لحساب تأثير الاضطرابات الطبيعية (راجع الفصل 4، القسم 4.2.3 لمزيد من التفاصيل). وقد تم إيراد معاملات التغير في المخزون بالأقسام المعنية بتقدير الكربون بأنواع التربة في الفصول الخاصة باستخدامات الأراضي. يمثل كل معامل من هذه المعاملات التغير عبر عدد محدد من الأعوام (D)، هذا العدد قد يختلف من قطاع لآخر، لكنه يكون ثابتاً داخل القطاع الواحد (على سبيل المثال 20 عاماً لأنظمة الأراضي الزراعية). وفي بعض عمليات الحصر، قد تتجاوز فترة الحصر (T عام) عدد أعوام D، وفي هذه الحالة، يمكن الحصول على معدل التغير السنوي في مخزون بقسمة حاصل $(SOC_0 - A)$ على T، بدلاً من D. راجع أقسام الكربون بالتربة في فصول استخدام الأراضي للحصول على توجيهات مفصلة حول تطبيق هذه الطريقة.

الجدول 3-2 المرجع الافتراضي (في ضوء النبات الأصلي) المتمثل في مخزون الكربون العضوي بالتربة (SOC _{REF}) لأنواع التربة المعدنية (طن كربون هكتار 0-30 IN سم عمق)						
أنواع تربة الأراضي الرطبة ⁶	التربة البركانية ⁵	التربة الحرجية الحمضية ⁴	التربة الرملية ³	أنواع التربة LAC ²	أنواع التربة HAC ¹	المنطقة المناخية
146	#20	117	#10	NA	68	الشمالية
87	#20	NA	34	33	50	معتدلة باردة، جافة
	130	115	71	85	95	معتدلة باردة، رطبة
88	#70	NA	19	24	38	معتدلة دافئة، جافة
	80	NA	34	63	88	معتدلة دافئة، رطبة
86	#50	NA	31	35	38	استوائية، جافة
	#70	NA	39	47	65	الاستوائية، الرطبة
	#130	NA	66	60	44	الاستوائية، المطيرة
	*80	NA	*34	*63	*88	الاستوائية الجبلية

ملاحظة: البيانات مشتقة من قواعد بيانات التربة الموصوفة من قبل جوباجي وجاكسون (2000) وبيرونو وآخرين (2002). القيم المعروضة في الجدول هي متوسط المخزون. تم افتراض تقدير خطأ اسمي يبلغ $\pm 90\%$ (يعبر عنه في صورة انحرافات قياسية 2x كنسبة مئوية من المتوسط) لأنواع التربة والمناخ. تعني NA "غير مطبق" حيث إن أنواع التربة هذه لا توجد عادة في بعض المناطق المناخية.

تشير إلى الحالات التي لا تتوفر بها بيانات ويتم استخدام القيم الافتراضية من الخطوط التوجيهية للهيئة لعام 1996.

* تشير إلى عدم توفر البيانات التي تمكن من التقييم المباشر لمخزونات الكربون المرجعية لأنواع التربة هذه في المناخ الاستوائي الجبلي لذلك فإن المخزونات مبنية على التقديرات المشتقة للمنطقة المناخية المعتدلة الدافئة، الرطبة، والتي لها نفس المتوسط السنوي لدرجات الحرارة والتبطل.

¹ أنواع التربة ذات الأملاح الطينية عالية النشاط (HAC) تعتبر من أنواع التربة التي تتأثر بالأحوال الجوية بنسبة خفيفة إلى معتدلة، وهي تتشكل بصفة غالبية من أملاح السيلكات الطينية 2:1 (تشمل هذه الأنواع في تصنيف القاعدة المرجعية الدولية لموارد التربة (WRB) أنواع: ليبتوسولز (Leptosols)، فيرتيسولز (Vertisols)، كاستانوزيمس (Kastanozems)، تشيرنوزيمس (Chernozems)، فيوزيمس (Phaeozems)، لافيسولز (Luvisols)، ألبيسولز (Alisols)، ألبيلفيسولز (Albeluvisols)، سولونيتز (Solonetz)، كالسيسولز (Calcisols)، جيبسولز (Gypsisols)، أمبريسولز (Umbrisols)، كامبيسولز (Cambisols)، ريجوسولز (Regosols)، وفي تصنيف وزارة الزراعة الأمريكية تشمل موليسولز (Mollisols)، فيرتيسولز (Vertisols)، ألبيسولز عالية القاعدة (Alfisols)، أريدبوسولز (Aridisols)، وإنسبيبتيسولز "Inceptisols")

² التربة ذات الأملاح الطينية منخفضة النشاط (LAC) تعتبر من أنواع التربة التي تتأثر بالأحوال الجوية بنسبة عالية، وهي تتشكل بصفة غالبية من الأملاح الطينية 1:1 والحديد اللامتبلر وأكاسيد الألومنيوم (تشمل هذه الأنواع في تصنيف القاعدة المرجعية الدولية لموارد التربة (WRB): الأكريسولز (Acrisols)، ليكسيسولز (Lixisols)، نيتيسولز (Nitisols)، فيراسولز (Ferralsols)، ديوبسولز (Durisols)، بينما تشمل في تصنيف وزارة الزراعة الأمريكية: ألتيسولز (Ultisols)، أوكسيسولز (Oxisols)، ألبيسولز الحمضية "Alfisols").

³ يتألف ذلك من كافة أنواع التربة (بصرف النظر عن التصنيف) والتي تشمل <70% رمال و >8% طين، على أساس التحليل التركيبي القياسي (تشمل في تصنيف القاعدة المرجعية الدولية لموارد التربة أرينوسولز (Arenosols)، بينما تشمل في تصنيف وزارة الزراعة الأمريكية سامنتس ("Psamments")

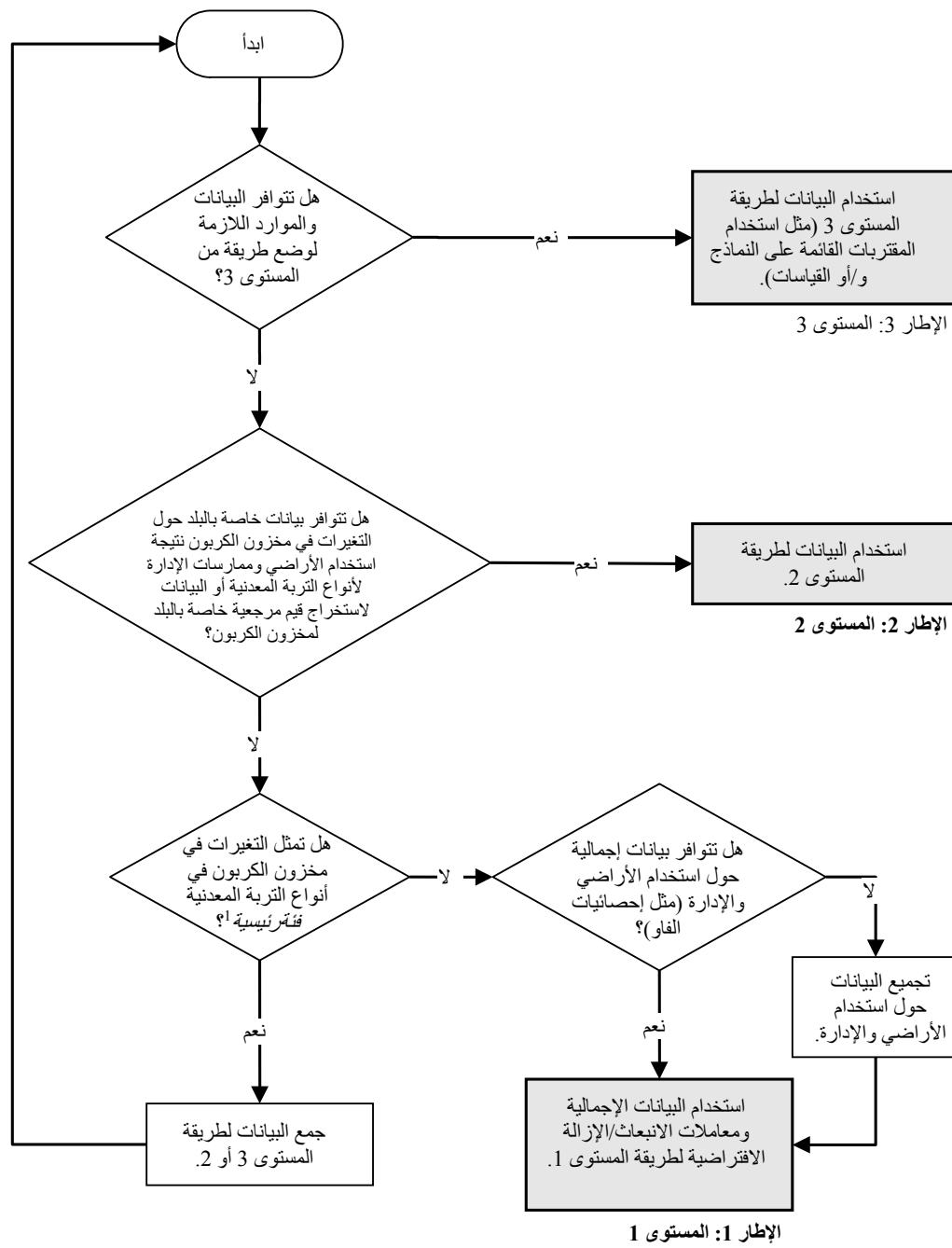
⁴ أنواع التربة التي تُظهر ميل كبير نحو التحول إلى الحمضية (في تصنيف القاعدة المرجعية العالمية لموارد التربة تشمل بودزولز (Podzols)، بينما تشمل في تصنيف وزارة الزراعة الأمريكية سبودوسولز "Spodosols")

⁵ أنواع التربة المنشأة من الرماد البركاني وذات المعادن الألوفونية (في تصنيف القاعدة العالمية لموارد التربة تشمل الأندوسولز (Andosols)، بينما تشمل الأنديسولز (Andisols) في تصنيف وزارة الزراعة الأمريكية)

⁶ أنواع التربة ذات التصريف السيئ الذي يؤدي إلى فترات فيضان دورية وظروف لاهوائية (في تصنيف القاعدة العالمية لموارد التربة تشمل الجليسولز (Gleysols)، بينما تشمل الأنواع الفرعية Aquic في تصنيف وزارة الزراعة الأمريكية)

شجرة قرار عامة لتحديد المستوى المناسب لتقدير التغيرات في مخزون الكربون بأنواع التربة المعدنية حسب فئة استخدام الأراضي

الشكل 4-2

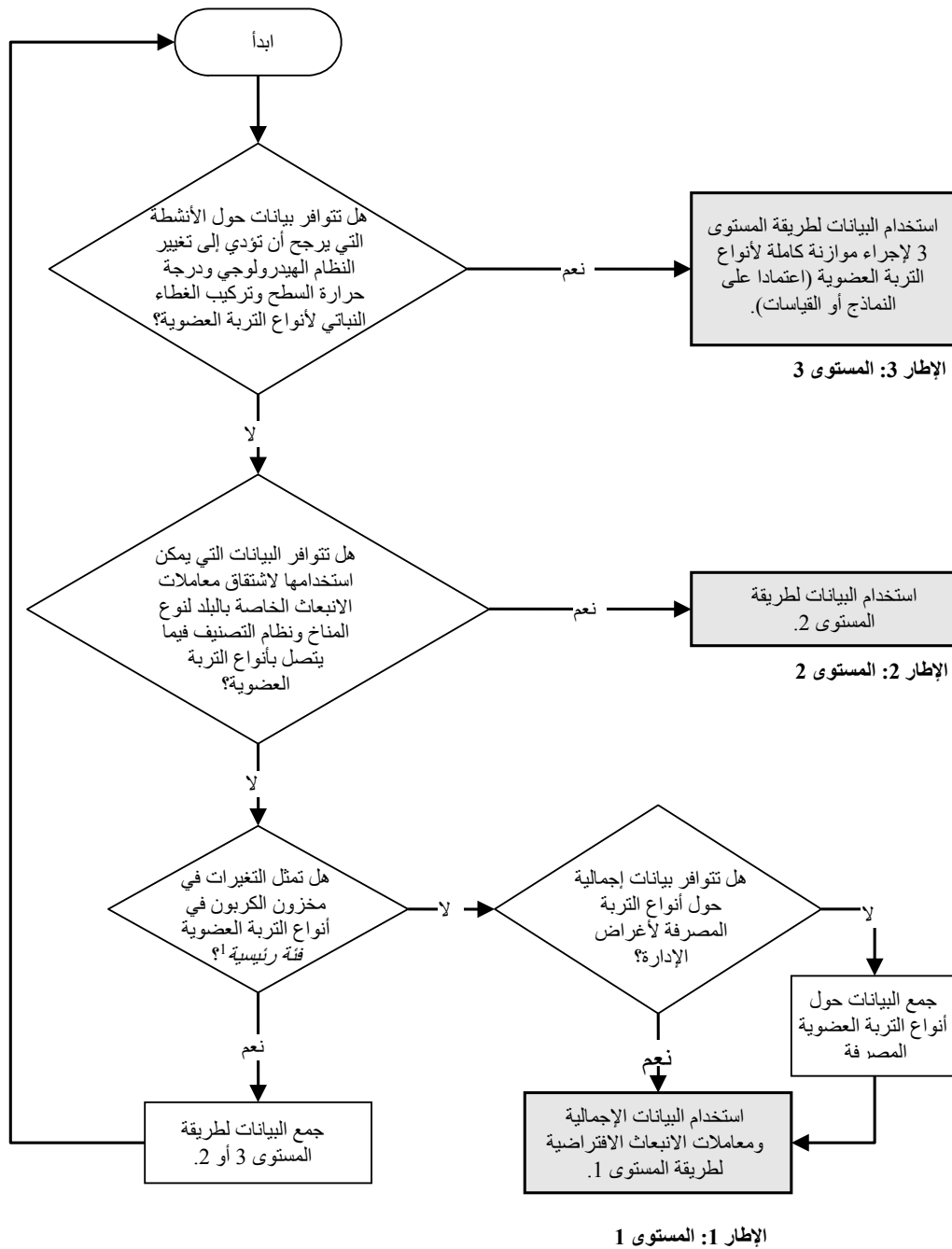


ملاحظة:

1: انظر الفصل 4 من المجلد 1، "اختيار المنهجيات وتحديد الفئات الرئيسية" (مع ملاحظة القسم 4-1-2 بشأن المصادر المحدودة) للاطلاع على مناقشة الفئات الرئيسية واستخدام شجرات القرار.

الشكل 2-5

شجرة قرار عامة لتحديد المستوى المناسب لتقدير التغيرات في مخزون الكربون بأنواع التربة العضوية حسب فئة استخدام الأراضي



ملاحظة:

1: انظر الفصل 4 من المجلد 1، "اختيار المنهجيات وتحديد الفئات الرئيسية" (مع ملاحظة القسم 4-1-2 بشأن المصادر المحدودة) للاطلاع على مناقشة الفئات الرئيسية واستخدام شجرات القرار.

عند تطبيق طريقة المستوى 1 أو حتى المستوى 2 باستخدام المعادلة 2-25، يكون لبيانات نوع استخدام الأراضي وأنشطة الإدارة تأثير مباشر في صياغة المعادلة (راجع الإطار 1-2). فبيانات الأنشطة المجمعة باستخدام المقرب 1 تتناسب الصيغة أ، بينما تتناسب بيانات الأنشطة المجمعة باستخدام المقرب 2 أو 3 الصيغة ب (راجع الفصل 3 لمزيد من التفاصيل حول مقتربات جميع بيانات الأنشطة).

الإطار 1-2

الصيغ البديلة للمعادلة 2-25 بالنسبة لبيانات الأنشطة المجمعة بالمقرب 1 في مقابل بيانات الأنشطة المجمعة بالمقرب 2 أو 3 مع مصفوفات انتقال

هناك صيغتان بديلتان يمكن استخدامهما للمعادلة وفقاً للمقرب المستخدم في جمع بيانات الأنشطة، وهما

الصيغة أ (استخدام المقرب 1 في تجميع بيانات الأنشطة)

$$\Delta C_{Mineral} = \frac{\left[\sum_{c,s,i} \left(SOC_{REF,c,s,i} \cdot F_{LU,c,s,i} \cdot F_{MG,c,s,i} \cdot F_{I,c,s,i} \cdot A_{c,s,i} \right) \right]_0 - \left[\sum_{c,s,i} \left(SOC_{REF,c,s,i} \cdot F_{LU,c,s,i} \cdot F_{MG,c,s,i} \cdot F_{I,c,s,i} \cdot A_{c,s,i} \right) \right]_{(0-T)}}{D}$$

الصيغة ب (استخدام المقرب 2 و3 في تجميع بيانات الأنشطة)

$$\Delta C_{Mineral} = \frac{\sum_{c,s,p} \left[\left\{ \left(SOC_{REF,c,s,p} \cdot F_{LU,c,s,p} \cdot F_{MG,c,s,p} \cdot F_{I,c,s,p} \right) \right\}_0 - \left\{ \left(SOC_{REF,c,s,p} \cdot F_{LU,c,s,p} \cdot F_{MG,c,s,p} \cdot F_{I,c,s,p} \right) \right\}_{(0-T)} \right] \cdot A_{c,s,p}}{D}$$

حيث:

p = مجموعة الأراضي

راجع وصف بقية الأطراف في التعريفات الخاصة بالمعادلة 2-25.

يمكن أن توفير بيانات الأنشطة باستخدام المقرب 1 (الفصل 3). وتبين هذه البيانات المساحة الكلية عند نقطتين زمنييتين لأنظمة المناخ والتربة واستخدام/إدارة الأراضي، دون التحديد الكمي لعمليات التحويل المحددة التي تمت في استخدام الأراضي وإدارتها خلال فترة الحصر (أي يمكن تحديد التغيير الكلي أو الصافي، وليس التغييرات الإجمالية في أحد الأنشطة). وتحسب التغييرات في مخزون الكربون المعدني مع بيانات أنشطة المقرب 1 باستخدام الصيغة أ من المعادلة 2-25. وعلى النقيض، يمكن جمع بيانات الأنشطة على أساس المسوحات أو عمليات التصوير بالاستشعار عن بعد أو غير ذلك من البيانات التي توفر ليس فقط المساحات الإجمالية لكل نظام من أنظمة إدارة الأراضي، بل أيضاً عمليات التحويل المحددة في استخدام الأراضي وإدارتها بمرور الزمن بالنسبة لقطع الأراضي الفردية. وتعتبر هذه البيانات خاصة بالمقربين 2 و3 بالفصل 3، ويتم حساب التغييرات في مخزون الكربون بالتربة باستخدام الصيغة ب من المعادلة 2-25. تشمل الصيغة ب على المجموع حسب مجموعة الأراضي (أي أن "p" تمثل قطع الأراضي في الصيغة ب وليس مجموعة أنظمة الإدارة "p") التي تسمح للقائمين بالحصر بحساب التغييرات في مخزون الكربون بالأراضي على أساس مجموعة الأراضي.

ويبغى إيلاء اهتمام خاص عند استخدام بيانات أنشطة المقرب 1 (راجع الفصل 3) كأساس لتقدير تأثيرات استخدام الأراضي وإدارتها على مخزون الكربون بالتربة، باستخدام المعادلة 2-25. فبيانات المقرب 1 لا تعمل على تعقب التحويلات الفردية في استخدام الأراضي، ومن هنا يتم حساب التغييرات في مخزون الكربون العضوي بالتربة لفترة الحصر D، أو أقرب فترة لها، وهي 20 عاماً في طريقة المستوى 1. على سبيل المثال، يمكن تحويل الأراضي الزراعية من الفلاحة الكاملة إلى الإدارة بلا فلاحه بين عامي 1990 و1995، وتقوم الصيغة أ (راجع الإطار 2-1) بتقدير الاكتساب في كربون التربة لفترة الحصر. ورغم ذلك، فإن افتراض أن نفس مجموعة قطع الأراضي تظل بلا فلاحه في الفترة من 1995 و2000، يعني عدم حساب عمليات اكتساب إضافية من الكربون (أي أن المخزون لعام 1995 يكون قائماً على الإدارة بدون فلاحه وبالتالي لن يختلف عن المخزون في عام 2000 (SOC₀))، والذي يقوم كذلك على الإدارة بلا فلاحه. وفي حالة استخدام المقرب الافتراضي، يكون هناك خطأ في هذا التقدير نظراً لأن التغيير في مخزون كربون التربة يحدث على فترة 20 عاماً (أي أن D = 20 عاماً). وبالتالي، يُقدر SOC_(0-T) بالنسبة لأبعد وقت مستخدم في حسابات الحصر حتى D من الأعوام قبل العام الأخير في فترات الحصر (SOC₀). على سبيل المثال، عند افتراض D تساوي 20 عاماً وقيام الحصر على بيانات الأنشطة من 1990، 1995، 2000، 2005 و2010، يتم حساب SOC_(0-T) لعام 1990 لتقدير التغيير في الكربون العضوي بالتربة لكل عام من الأعوام الأخرى (أي 1995، 2000، 2005 و2010). ولن

وفي حالة توافر مصفوفات الانتقال (أي بيانات الأنشطة للمقرب 2 أو 3)، يمكن تقدير التغيرات بين أعوام الحصر المتعاقبة. ومن المثال السابق، يتضح أن بعض الأراضي المدارة بدون فلاحه قد تعود إلى نظام إدارة يقوم بفلاحتها بشكل كامل بين 1995 و 2000. وفي هذه الحالة، فإن مقدار الاكتساب في مخزون الكربون في الفترة بين 1990 و 1995 بالنسبة لقاعدة الأراضي التي عادت إلى نظام الفلاحة الكاملة يجب خصمه في الفترة بين 1995 و 2000. علاوة على ذلك، لن يكون هناك تغير إضافي ضروري في مخزونات الكربون للأراضي التي عادت إلى الفلاحة الكاملة بعد 2000 (على فرض أن بقاء نظام الفلاحة دون تغير). وتعتبر الأراضي التي تظل بدون فلاحه فقط هي التي تستمر في اكتساب الكربون حتى 2010 (على فرض أن D تساوي 20 عاماً). ومن هنا فإن طرق الحصر التي تستخدم مصفوفات الانتقال من بيانات أنشطة المقربين 2 و 3 تحتاج لمزيد من الحذر في التعامل مع الفترات الزمنية التي يتم خلالها احتساب عمليات الاكتساب أو الفقد في الكربون العضوي بالتربة. راجع الإطار 2-2 لمزيد من المعلومات. ويعتبر تطبيق مقرب تقدير الكربون بالتربة أسهل كثيراً في حالة استخدام الإحصائيات الإجمالية فقط مع بيانات أنشطة المقرب 1. ورغم ذلك، فإن من الممارسة السليمة بالنسبة للبلدان استخدام مصفوفات الانتقال من بيانات الأنشطة بالمقربين 2 و 3 حال إتاحتها، إذ من شأن الإحصائيات الأكثر تفصيلاً أن توفر تقديراً أفضل للتغيرات السنوية في مخزون الكربون العضوي بالتربة.

وقد تكون هناك بعض الحالات التي يتم فيها تجميع بيانات الأنشطة على فترات زمنية تستمر أكثر من التبعية الزمنية لمعاملات التغير في المخزون (D)، على سبيل المثال كل 30 عاماً في حين تكون D 20 عاماً. وفي هذه الحالات، يمكن تقدير التغيرات السنوية في مخزون الكربون مباشرة بين الأعوام المتعاقبة لجمع بيانات الأنشطة (على سبيل المثال 1990 و 2020 و 2050) دون تقدير معدل التغير السنوي بالزيادة أو النقصان، طالما أن T تستخدم بدلاً من D في المعادلة 2-25.

أنواع التربة العضوية

تتمثل المنهجية الأساسية لتقدير انبعاثات الكربون من أنواع التربة العضوية (على سبيل المثال، التربة المنشأة من الخث) في تخصيص معامل انبعاث سنوي يقوم بتقدير عمليات الفقد في الكربون نتيجة الصرف. ويؤدي الصرف بشكل كبير إلى تحفيز أكسدة المادة العضوية التي تكونت في السابق في بيئة تعاني من نقص الأكسجين. وعلى وجه التحديد، يتم ضرب مساحة التربة العضوية المصرفة والمدارة المندرجة تحت كل نوع مناخي في معامل الانبعاث المرتبط من أجل اشتقاق تقدير لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون السنوية (المصدر)، كما هو موضح في المعادلة 2-26:

المعادلة 2-26
الفقد السنوي في الكربون من أنواع التربة العضوية المصرفة (ثاني أكسيد الكربون)

$$L_{Organic} = \sum_c (A \cdot EF)_c$$

حيث:

$L_{Organic}$ = الفقد السنوي من الكربون بالتربة العضوية المصرفة، طن كربون عام

A = مساحة الأراضي في أنواع التربة العضوية المصرفة المندرجة تحت نوع المناخ c، هكتار

ملاحظة: تعتبر A هي نفس مساحة (F_{OS}) المستخدمة في تقدير انبعاثات أكسيد النيتروز بالفصل 11، المعادلتين 1-11 و 2-11.

EF = معامل الانبعاث لنوع المناخ c، طن كربون هكتار عام

راجع الأقسام المعنية بتقدير الكربون في التربة بالفصول الخاصة بفئات استخدام الأراضي للحصول على توجيهات مفصلة خطوة بخطوة فيما يخص تطبيق هذه الطريقة.

الإطار 2-2

مقارنة بين استخدام الإحصائيات الإجمالية للمقرب 1 وبيانات الأنشطة للمقرب 2 أو 3 مع مصفوفات الانتقال

افترض بلدا تم تعريف جزء من الأرض به للتغيرات في استخدام الأراضي، كما هو موضح بالجدول التالي، حيث يمثل كل خط وحدة أراضي واحدة ذات مساحة تساوي 1 مليون هكتار (F = الأراضي الحرجية، C = الأراضي الزراعية، G = المروج الطبيعية):

معرف وحدة الأرض	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
1	F	C	C	C	C	C	C
2	F	C	C	C	G	G	G
3	G	C	C	C	C	G	G
4	G	G	F	F	F	F	F
5	C	C	C	C	G	G	G
6	C	C	G	G	C	C	C

للتبسيط، يفترض أن البلد به نوع تربة واحد، وأن قيمة SOC_{Ref} (30-0 سم) تبلغ 77 طن كربون هكتار، تتوافق مع النوع النباتي في الأراضي الحرجية. وقيم معامل F_{LU} هي 1.00 و 1.05 و 0.92 لكل من F و G و C على التوالي. ويفترض أن كلا من F_{MG} و F_1 يساوي 1. وفترة التبعية لمعاملات التغير في المخزون (D) تساوي 20 عاماً. وأخيراً، يفترض أن استخدام الأراضي يكون في حالة توازن في عام 1990 (أي أنه لم يحدث أية تغيرات في استخدام الأراضي خلال العشريين عاماً السابقة لعام 1990). وعند استخدام بيانات الأنشطة الخاصة بالمقرب 1 (أي البيانات الإحصائية الإجمالية)، يتم حساب التغيرات السنوية في مخزونات الكربون لكل عام حصر باتباع المعادلة 2-25 الواردة أعلاه. يوضح الجدول التالي نتائج الحسابات:

2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	
1	1	1	1	1	0	2	F(مليون هكتار)
3	3	3	1	1	1	2	G(مليون هكتار)
2	2	2	4	4	5	2	C(مليون هكتار)
462	462	462	442	442	436	458	SOC_0 (ميجابطن كربون)
442	436	458	458	458	458	458	$SOC_{(0-T)}$ (ميجابطن كربون)
1.0	1.3	0.2	0.8-	0.8-	1.1-	0	$\Delta C_{Mineral}$ (ميجابطن كربون عام)

في حالة استخدام بيانات المقرب 2 أو 3 التي تحدد التغيرات في استخدام الأراضي بشكل واضح، يمكن حساب مخزونات الكربون من خلال حساب التغيرات السابقة لكل وحدة فريدة من الأراضي. ويقارن إجمالي مخزونات الكربون لمجموع كافة الوحدات مع أقرب عام سابق، بدلاً من الحصر الذي تم في 20 عاماً سابقة- لتقدير التغيرات السنوية في مخزونات الكربون:

2020	2015	2010	2005	2000	1995	1990	
71.0	71.0	71.0	72.5	74.0	75.5	77.0	SOC_0 (ميجابطن كربون) للوحدة 1
80.0	77.5	75.0	72.5	74.0	75.5	77.0	SOC_0 (ميجابطن كربون) للوحدة 2
76.0	73.5	71.0	73.5	76.0	78.5	81.0	SOC_0 (ميجابطن كربون) للوحدة 3
77.0	77.0	78.0	79.0	80.0	81.0	81.0	SOC_0 (ميجابطن كربون) للوحدة 4
78.5	76.0	73.5	71.0	71.0	71.0	71.0	SOC_0 (ميجابطن كربون) للوحدة 5
73.5	76.0	78.5	76.0	73.5	71.0	71.0	SOC_0 (ميجابطن كربون) للوحدة 6
456	451	447	445	449	453	458	SOC_0 (ميجابطن كربون)
451	447	445	449	453	458	458	$SOC_{(0-T)}$ (ميجابطن كربون)
1.0	0.8	0.5	0.8-	0.8-	1.1-	0	$\Delta C_{CC}^{Mineral}$ (ميجابطن كربون عام)

كلتا الطريقتين تؤدي إلى تقديرات مختلفة لمخزونات الكربون، ويعد استخدام بيانات المقرب 2 أو 3 مع مصفوفات تحويل الاستخدام أكثر دقة من استخدام الإحصائيات الإجمالية الخاصة بالمقرب 1. رغم ذلك، لن تكون تقديرات التغير الكلي في مخزون الكربون بصفة عامة مختلفة إلى حد بعيد، كما هو موضح بالمثال التالي. يختلف تأثير مقتربات البيانات الرئيسية على التقديرات بشكل أكبر عندما وجود تغييرات متعددة في استخدام الأراضي بالنسبة لنفس المجموعة من الأراضي (كما هو الحال في وحدات الأراضي 2 و 3 و 6 في المثال السابق). وجدير بالذكر أن بيانات الأنشطة الخاصة بالمقتربات 1 و 2 و 3 تؤدي إلى الحصول على نفس التغيرات في مخزونات الكربون في حالة وصول الأنظمة إلى توازن جديد، وهو ما يحدث في حالة عدم وجود تغيرات في استخدام الأراضي وإدارتها لفترة مدتها 20 عاماً باستخدام طريقة المستوى 1. وبالتالي، لا توجد أية عمليات زيادة أو انخفاض في مخزون الكربون يتم فقدها نتيجة الخطأ عند تطبيق الطرق باستخدام بيانات أنشطة المقرب 1 أو 2 أو 3، غير أن الديناميكيات المؤقتة تتباين بعض الشيء كما موضح أعلاه.

الكربون غير العضوي بالتربة

ترتبط تأثيرات أنشطة استخدام الأراضي وإدارتها على مخزون وتدفقات الكربون غير العضوي بالتربة بهيدرولوجية الموقع وتعتمد على بعض الخصائص المعدنية للتربة. علاوة على ذلك، يتطلب التقدير الدقيق لهذه التأثيرات تتبع مصير الكربون غير العضوي المذاب الذي يتم صرفه والكاتيونات القاعدية من الأراضي المدارة، على الأقل حتى يتم استيعابها بشكل كامل في دائرة الكربون غير العضوي المحيطية. وبالتالي، يلزم إجراء تحليل جيوكيميائي مائي يُعقب مصير ثاني أكسيد الكربون المذاب وأنواع الكربونات والبيكربونات والكاتيونات القاعدية (مثل الكالسيوم والمغنيسيوم) المضافة أو الموجودة أو المصروفة بالأراضي المدارة على المدى الطويل من أجل تقدير التغيرات الصافية في المخزون على نحو دقيق. ويتطلب هذا التحليل مقترباً من المستوى 3.

مقترب المستوى 2: دمج البيانات الخاصة بالبلد المعني

يعد مقترب المستوى 2 امتداداً طبيعياً لطريقة المستوى 1 التي تسمح بإدماج البيانات الخاصة بالبلد المعني في عملية الحصر، وفي الوقت نفسه استخدام المعادلات الافتراضية لأنواع التربة العضوية والمعدنية. ومن *الممارسة السليمة* بالنسبة للبلدان أن تستخدم مقترباً من المستوى 2، ما أمكن، حتى وإن كانت قادرة فقط بشكل أفضل على تحديد بعض مكونات المقترب الافتراضي للمستوى 1. على سبيل المثال، قد يملك أحد البلدان فقط البيانات اللازمة لاشتقاق بيانات مخزون الكربون المرجعي الخاصة بالبلد المعني، والتي تستخدم بعدئذ مع معاملات تغير المخزون الافتراضية لتقدير التغير في مخزون الكربون العضوي بالتربة بالنسبة لأنواع التربة المعدنية.

أنواع التربة المعدنية

يمكن استخدام البيانات الخاصة بالبلد المعني في تحسين أربعة من مكونات مقترب المستوى 1 المعني بتقدير التغيرات في مخزون الكربون بأنواع التربة المعدنية، بما في ذلك اشتقاق معاملات تغير المخزون الخاصة بالبلد أو المنطقة و/أو مخزونات الكربون المرجعية، إضافة إلى تحسين تحديد أنظمة الإدارة أو المناطق المناخية أو فئات التربة (على سبيل المثال، Ogle et al., 2003; Vanden Bygaart et al., 2004; Tate et al., 2005) ويمكن للفائزين بتجميع بيانات الحصر اختيار اشتقاق قيم خاصة لجميع هذه المكونات، أو أي مجموعة فرعية، والتي يتم استخدامها إلى جانب القيم الافتراضية المقدمة في طريقة المستوى 1 لاستيفاء حسابات الحصر باستخدام المعادلة 2-25. ويستخدم المستوى 2 كذلك نفس الخطوات الإجرائية المقدمة في المستوى 1 للقيام بهذه الحسابات.

1) تحديد أنظمة الإدارة. رغم أنه يمكن استخدام أنظمة الإدارة نفسها الموجودة بطريقة المستوى 1 مع الحصر بالمستوى 2، إلا أنه يمكن تجزيء الأنظمة الافتراضية إلى فئات أصغر تمثل على نحو أفضل تأثيرات الإدارة على مخزونات الكربون العضوي بالتربة في بلد معين على أساس البيانات التجريبية (أي أن معاملات تغير المخزون تتباين بشكل ملموس لأنظمة الإدارة المطروحة). لكن هذا المآخذ، يكون ممكناً فقط في حالة توافر تفاصيل كافية بالبيانات الرئيسية لتصنيف مساحة الأراضي إلى مجموعة من أنظمة الإدارة الأصغر والأكثر تفصيلاً.

2) المناطق المناخية وأنواع التربة. تملك الدول التي لديها بيانات مفصلة فيما يخص المناخ وتصنيفات التربة خيار وضع تصنيفات خاصة بالبلد. وعلاوة على ذلك، فإن من *الممارسة السليمة* أن يتم تحديد المناطق المناخية وأنواع التربة على نحو أفضل في عمليات الحصر من المستوى 2 إذا كان التصنيف الجديد يحسن من تحديد مخزونات الكربون المرجعية و/أو معاملات تغير المخزون. ومن الناحية العملية، يجب أن تختلف مخزونات الكربون المرجعية و/أو معاملات تغير المخزون إلى حد كبير بين المناطق المناخية وأنواع التربة المقدمة على أساس التحليل التجريبي. وينبغي ملاحظة أن تحديد مناطق مناخية جديدة و/أو أنواع تربة يتطلب اشتقاق مخزونات كربون مرجعية ومعاملات لتغير المخزون خاصة بالبلد المعني. وتكون مخزونات الكربون المرجعية ومعاملات تغير المخزون الافتراضية ملائمة فقط لطرق الحصر التي تستخدم أنواع التربة والمناخ الافتراضية.

3) مخزونات الكربون المرجعية. يعتبر اشتقاق مخزونات كربون مرجعية (SOC_{Ref}) خاصة بالبلد المعني احتمالية أخرى لتحسين طرق الحصر القائمة على مقترب المستوى 2 (Bernoux et al., 2002). ومن المرجح أن يؤدي استخدام البيانات الخاصة بالبلد المعني في تقدير المخزونات المرجعية إلى الحصول على قيم أكثر دقة وتمثيلاً. ويمكن اشتقاق هذه المخزونات المرجعية من قياسات التربة، على سبيل المثال، كجزء من مسح للتربة على مستوى البلد. ومن الأهمية في هذا السياق أن يتم استخدام عمليات وصف تصنيفية يمكن الوثوق بها لتجميع التربة في فئات. وهناك ثلاثة اعتبارات إضافية في اشتقاق القيم الخاصة بالبلد المعني، تشمل إمكانية تحديد فئات تربة ومناطق مناخية خاصة بالبلد المعني (بدلاً من استخدام التصنيف الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ)، واختيار الحالات المرجعية، وتحديد زيادات العمق التي يتم على أساسها تقدير المخزون. ويُستخرج المخزون بضرب نسبة الكربون العضوي (أي % كربون مقسوماً على 100) في زيادة العمق (الزيادة الافتراضية هي 30 سم)، وكثافة الكتلة، ونسبة التربة الخالية من الفئات السميكة (أي فئات > 2 مم) (Ogle et al., 2003). وتحدد نسبة التربة الخالية من الفئات السميكة على وجه الإجمال (أي التربة الخالية من الفئات السميكة/الإجمالي التربة).

وتمثل فئة استخدام الأراضي/الغطاء الحالة المرجعية في هذا الخصوص لتقييم التأثير النسبي لتغير استخدام الأراضي على مخزون الكربون بالتربة (على سبيل المثال الفرق النسبي في مخزون الكربون بين الحالة المرجعية، مثل الأراضي الأصلية، وفئة استخدام أخرى، مثل الأراضي الزراعية، تشكل الأساس للمعامل F_{LU} بالمعادلة 2-25). وفي طريقة المستوى 1، فإن الحالة المرجعية هي الأراضي الأصلية (أي الأراضي التي لم تتعرض للتدهور أو ممارسات التحسين وتحفظ نباتاتها الأصلي)، ومن المرجح أن تستخدم الكثير من البلدان المرجع نفسه في مقترب المستوى 2. ورغم ذلك، يمكن اختيار فئة استخدام أخرى لتمثل الحالة المرجعية، وهو ما قد يعد ضمن *الممارسة السليمة* إذا كان يسمح بعملية تقييم أكثر دقة لقيم مخزون مرجعية خاصة بالبلد المعني. ويجب أن تتسم قيم المخزون المرجعية بالاتساق عبر كافة فئات استخدام الأراضي (الأراضي الحرجية والأراضي الزراعية والمروج الطبيعية وأراضي الاستيطان والأراضي الأخرى)، وهو ما يتطلب التنسيق بين الفرق المختلفة التي تقوم بعمليات حصر الكربون بأنواع التربة في قطاع الزراعة والحراجة واستعمالات الأرض الأخرى.

وهناك اعتبار آخر في اشتقاق قيم مخزون الكربون المرجعية الخاصة بالبلد المعني يتمثل في إمكانية تقدير مخزون الكربون على أعماق أكبر (أكثر انخفاضاً بتشكيل التربة). وتأخذ قيم المخزون الافتراضية المبينة في الجدول 2-3، تأخذ في الاعتبار الكربون العضوي في أعلى 30 سم من تشكيل التربة. وتقتضي *الممارسة السليمة* اشتقاق قيم المخزون المرجعية على أعماق أكبر في حالة توافر بيانات كافية، وإذا كان من الواضح وجود تأثير ملموس للتغير في استخدام الأراضي وإدارتها على الزيادة المقترحة في العمق. ويتطلب أي تغيير في عمق قيم المخزون المرجعية اشتقاق معاملات تغير جديدة، على اعتبار أن المعاملات الافتراضية قائمة على التأثيرات إلى عمق 30 سم.

(4) معاملات تغير المخزون. هناك تقدم هام بالنسبة لمقترَب المستوى 2 يتمثل في تقدير معاملات تغير للمخزون خاصة بالبلد المعني (F_{LU} و F_{MG} و F_i). ويمكن تنفيذ عملية اشتقاق المعاملات الخاصة بالبلد المعني باستخدام بيانات القياس/التجريب ونماذج المحاكاة المصممة بالكمبيوتر. وعملياً، يتضمن اشتقاق معاملات تغير تقدير نسبة استجابة لكل دراسة أو ملاحظة (أي تُقسم مخزونات الكربون في فئات الإدارة أو المدخلات المختلفة على قيمة الممارسة الاسمية، على التوالي).

وُثِنِي معاملات تغير المخزون نموذجياً على بيانات القياس/التجريب في البلد أو المنطقة المحيطة، من خلال تقدير نسب الاستجابة لكل دراسة ثم تحليل هذه القيم باستخدام الأسلوب الإحصائي المناسب (e.g., Ogle et al., 2003 and 2004; VandenBygaert et al., 2004). ويمكن الحصول على الدراسات في المؤلفات والتقارير والمصادر الأخرى المنشورة، أو يمكن للقاتمين بالحصر اختيار إجراء تجارب جديدة. وبصرف النظر عن مصدر البيانات، تقتضي الممارسة السليمة تماثل الرسوم البيانية التي يجري مقارنتها في التاريخ ونظام الإدارة علاوة على التماثل في الموضع الطبوغرافي والخصائص الفيزيائية للتربة وأن تقع على مقربة شديدة. ويجب أن توفر الدراسات قيم مخزون الكربون (أي في صورة كتلة لكل وحدة مساحة إلى العمق المحدد) أو المعلومات المطلوبة لتقدير مخزون الكربون العضوي بالتربة (أي النسبة المئوية للمادة العضوية إلى جانب الكثافة الكلية ونسبة الصخر في التربة، والتي يتم قياسها بمقدار الفتات أكبر من 2 مم ولا تحتوي على كربون عضوي بالتربة). وفي حالة توافر نسبة المادة العضوية بدلاً من نسبة الكربون العضوي، يمكن استخدام معامل تحويل 0.58 لتقدير محتوى الكربون. إضافة إلى ما سبق، تقتضي الممارسة السليمة أن يتم أخذ قياسات مخزون الكربون بالتربة على أساس كتلي متساو (على سبيل المثال Ellert et al., 2003; Gifford and Roderick, 2003). ولاستخدام هذه الطريقة، يحتاج القائم بالحصر إلى تحديد عمق لقياس مخزون الكربون لفئة الاستخدام أو الممارسة الاسمية، مثل الأراضي الأصلية أو الفلاحة التقليدية. وينبغي أن يتسق هذه العمق مع عمق مخزونات الكربون المرجعية. بعد ذلك يتم قياس مخزون الكربون بالنسبة للتغير في استخدام الأراضي أو الإدارة إلى عمق معين مع الكتلة المعادلة من التربة.

وهناك خيار آخر لاشتقاق القيم الخاصة بالبلد المعني يتمثل في محاكاة معاملات تغير المخزون من النماذج المتقدمة (Bhatti et al., 2001). ولتحديد استخدام النماذج المتقدمة، يمكن مقارنة معاملات تغير المخزون التي تم محاكاتها مع التغيرات المقاسة في مخزونات الكربون التي تم الحصول عليها من التجارب. ومن الممارسة السليمة أن يتم تقديم نتائج التقييم النماذجي والإشارة إلى الأوراق المنشورة و/أو وضع النتائج في تقرير الحصر. وتعتبر هذه الطريقة مقترَباً من المستوى 2 نظراً لاعتمادها على مفهوم معامل التغير في المخزون وطريقة تقدير الكربون المفصلة في مقترَب المستوى 1.

ويحتاج اشتقاق معاملات الإدارة (F_{MG}) ومعاملات المدخلات (F_i) الخاصة بالبلد المعني، سواء كان ذلك عبر البيانات التجريبية أو النماذج المتقدمة، إلى الاتساق مع تصنيف نظام الإدارة. وفي حالة تحديد أنظمة أكثر لعملية الحصر، يجب اشتقاق معاملات فريدة تمثل الفئات الأصغر داخل فئة الاستخدام.

وهناك اعتبار آخر يرتبط باشتقاق معاملات التغير في المخزون الخاصة بالبلد المعني وهو التبعية الزمنية المرتبطة بهذه المعاملات (D) في المعادلة 2-25) والتي تحدد عدد السنوات التي يقع خلالها الجزء الأكبر من التغير في مخزون الكربون العضوي بالتربة في أعقاب التغير في الإدارة. ويمكن استخدام تبعية الوقت الافتراضية (D) لقطاع استخدام الأراضي (على سبيل المثال 20 عاماً للأراضي الزراعية)، غير أنه يمكن تغييرها في حالة توافر البيانات التي تبرر استخدام فترة زمنية مغايرة. وإضافة إلى ما سبق، فإن الطريقة مصممة لاستخدام نفس الفترة الزمنية (D) لكافة معاملات التغير في المخزون كما هو موضح في المعادلة 2-25. وفي حالة اختيار فترات زمنية مختلفة للمعاملات F_{LU} و F_{MG} و F_i يكون من الضروري حساب تأثير استخدام الأراضي والإدارة والمدخلات على نحو منفصل وتقسيم تبعية تغير المخزون المرتبطة. ويمكن القيام بذلك عبر تعديل المعادلة 2-25 وبالتالي يتم حساب الكربون العضوي بالتربة عند الفترة الزمنية T و 0-T على نحو منفصل لكل معامل من معاملات تغير المخزون (أي أن الكربون العضوي يُحسب مع F_{LU} فقط، ثم مع F_{MG} ، وأخيراً مع F_i). ويتم حساب الفوارق للمخزونات المرتبطة باستخدام الأراضي والإدارة والمدخلات بالقسمة على قيم D الخاصة بكل منها، ثم يتم جمع التغيرات.

تحدث التغيرات في مخزون الكربون عادة في صورة خطية، ويمكن تطویر فترة التبعية الزمنية لمعاملات تغير المخزون بما يعكس هذا النمط. وبالنسبة للتغيرات التي تطرأ على استخدام الأراضي أو الإدارة والتي تؤدي إلى حدوث انخفاض في محتوى الكربون بالتربة، فإن معدل التغير يكون في أعلى مستوى له خلال الأعوام القليلة الأولى ثم ينخفض بشكل مستمر بمرور الوقت. وعلى العكس، عند زيادة مخزون الكربون بالتربة نتيجة لتغير استخدام الأراضي أو ممارسات الإدارة، فإن معدل التراكم يميل إلى اتباع منحني أسّي، حيث تكون معدلات التغير بطيئة في البداية، ثم تزداد وأخيراً تنخفض بمرور الوقت. وفي حالة تعقب التغيرات السابقة في استخدام الأراضي وممارسات الإدارة بشكل واضح عن طريق إعادة مسح المواقع نفسها (أي بيانات أنشطة المقترَب 2 أو 3، راجع الفصل 3)، فقد يكون بالإمكان تطبيق طريقة من المستوى 2 تعمل على إدماج اللاخطية في التغيرات بمخزون الكربون بالتربة.

ومثلما هو الحال مع التبعية الزمنية، فإن العمق الذي يتم على أساسه قياس التأثيرات يمكن أن يختلف عن ذلك المستخدم في المقترَب الافتراضي. ورغم ذلك، فإنه من الأهمية تحديد قيم المخزون المرجعية (SOC_{Ref}) وكذلك معاملات التغير في المخزون (F_{LU} ، F_{MG} ، F_i) على عمق مشترك، وأن تكون هذه القيم والمعاملات متسقة عبر كل فئة من فئات قطاع استخدام الأراضي بما يضمن التعامل مع التحويلات بين فئات الاستخدام دون تضخيم أو مضاعفة لتقديرات التغير في المخزون على نحو غير طبيعي. وتقتضي الممارسة السليمة توثيق مصدر المعلومات وتحديد أساس المعاملات الجديدة في عملية الإبلاغ.

أنواع التربة العضوية

يعمل مقرب المستوى 2 المعني بانبعثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالتصريف في أنواع التربة العضوية على دمج المعلومات الخاصة بالبلد المعني في عملية الحصر لتقدير الانبعثات باستخدام المعادلة 2-26 (راجع القسم السابق المعني بالمستوى 1 لمزيد من التفاصيل حول المعادلات العامة وتطبيق هذه الطريقة). كذلك، يستخدم المستوى 2 نفس الخطوات الإجرائية المستخدمة في المستوى 1 في العمليات الحسابية وتشمل التحسينات المحتملة التي يمكن إدخالها على مقرب المستوى 1 ما يلي: (1) اشتقاق معاملات انبعثات خاصة بالبلد المعني، (2) تحديد مناطق مناخية أكثر ملائمة للبلد، (3) تصنيف أصغر وأكثر تفصيلاً لأنظمة الإدارة المتصلة بفترة استخدام معينة.

ويعتبر اشتقاق معاملات انبعثات خاصة بالبلد المعني من إجراءات الممارسة السليمة في حالة توافر البيانات التجريبية. وعلاوة على ذلك، فإن استخدام تصنيف أصغر لأنظمة المناخ والإدارة في حالة وجود اختلافات ملموسة في معدلات فقد الكربون المقاسة بين الطبقات المقترحة يعد من الممارسات السليمة. وينبغي ملاحظة أن أي اشتقاق يجب أن يكون مصحوباً ببيانات الأنشطة والبيانات البيئية المتعلقة باستخدام/إدارة الأراضي لتمثيل المناطق المناخية وأنظمة الإدارة المقدمة على المستوى الوطني. وتطبق الاعتبارات نفسها المستخدمة في القسم السابق المعني بأنواع التربة المعدنية فيما يتعلق بطريقة حصر المستوى 2 لأنواع التربة العضوية.

ويمكن أن تقوم معاملات الانبعثات بالبلد المعني للتربة العضوية على قياسات الانخفاض السنوي في مخزونات الكربون للتشكيل الكامل للتربة. وهناك بديل آخر يتمثل في استخدام معدل الترسيب بالأراضي كقياس بديل للفقد في الكربون نتيجة الصرف (على سبيل المثال Armentano and Menges, 1986). ويتم حساب الفقد في صورة جزء من معدل الترسيب السنوي الذي يمكن عزوه إلى أكسدة المادة العضوية ومحتوى كربون المادة العضوية المعدنية وكثافة كتلة التربة (Ogle et al., 2003).

الكربون غير العضوي بالتربة

راجع المناقشة المتعلقة بهذه الفئة الفرعية تحت المستوى 1.

المستوى 3: أنظمة التقدير المتقدمة

تتضمن مقتربات المستوى 3 لتقدير كربون التربة تطوير نظام متقدم يعمل بشكل نموذجي على تسجيل التغييرية السنوية في التدفقات، على عكس ما هو متبع في مقتربات المستويين 1 و2 والتي تفترض في الغالب معدل تغير سنوي ثابت في مخزون الكربون خلال فترة الحصر على أساس معامل تغير في المخزون. ويمثل المستويين 1 و2 تأثيرات استخدام الأراضي وممارسات الإدارة على مخزونات الكربون بالتربة كتغير خطي من حالة توازن إلى أخرى. ولفهم الجوانب المتضمنة على نحو أفضل، فإن من الأهمية ملاحظة أن مخزونات الكربون بالتربة لا توجد بشكل نموذجي في حالة توازن مطلق أو تتغير بطريقة خطية عبر الفترة الانتقالية، باعتبار أن العديد من المتغيرات المؤثرة في المخزونات هي متغيرات ديناميكية، تتغير بصفة دورية على فترات قصيرة قبل الوصول إلى وضع جديد "أقرب" للتوازن. ويمكن لمقتربات المستوى 3 أن تتعامل مع هذا الأسلوب اللاخطي باستخدام نماذج أكثر تقدماً من طرق المستويين 1 و2، وأو تطوير حصر قائم على القياس في وجود شبكة مراقبة. إضافة إلى ذلك، تعتبر طرق الحصر في المستوى 3 قادرة على تسجيل التأثيرات المتبقية طويلة المدى لاستخدام الأراضي وممارسات الإدارة. وفي المقابل، تعمل مقتربات المستويين 1 و2 على أن تتناول بشكل نموذجي التأثير الأحدث فقط لاستخدام الأراضي وممارسات الإدارة، على سبيل المثال العشرين سنة الماضية في مخزونات الكربون المعدنية. راجع القسم 2-5 (توجيهات عامة لطرق المستوى 3) لمزيد من التفاصيل حول طرق المستوى 3 بعد النص التالي.

أنواع التربة المعدنية

يمكن للمقتربات القائمة على النماذج استخدام نماذج محاكاة ميكانيكية تقوم بتسجيل العمليات الأساسية التي تقف وراء اكتساب وفقد الكربون من التربة في إطار عمل كمي، مثل تأثير استخدام الأراضي وممارسات الإدارة على العمليات الضابطة لمخزونات الكربون من إنتاج النبات وسقوط الفرش الحرجي وكذلك التحلل الميكروبي (على سبيل المثال، Smith et al., 1997b; Smith et al., 2000; Falloon and Smith, 2002; and Tate et al., 2005). وتمثل طرق المستوى 3 الفرصة الحالية الوحيدة للتقدير الصريح لتأثير تعرية التربة على تدفقات الكربون. وإضافة لما سبق، قد تمثل المقتربات القائمة على النماذج بالمستوى 3 تحويلات الكربون بين الكتلة الحيوية والكتلة الحيوية الميتة وأنواع التربة والتي تساعد في ضمان الحفاظ على الكتلة في تنبؤات تغيير مخزون الكربون بهذه الأحواض فيما يتصل بعمليات إزالة وانبعثات ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي.

وتمكن المقتربات القائمة على النماذج بالمستوى 3 من تناول تأثير استخدام الأراضي وممارسات الإدارة من خلال تمثيل ديناميكي للظروف البيئية التي تؤثر في العمليات الضابطة لمخزونات الكربون بالتربة مثل الطقس وخصائص التربة والمتغيرات الأخرى. وقد يتباين تأثير استخدام الأراضي وممارسات الإدارة على مخزونات الكربون بالتربة تبعاً لتغير الظروف البيئية، وهذه التغيرات لا يمكن التقاطها باستخدام المستويات الأدنى، وهو ما قد يؤدي إلى افتقاد النتائج للدقة. وبالتالي، تعد مقتربات المستوى 3 قادرة على تقديم تقدير أكثر دقة للتغيرات في مخزون الكربون المصاحبة لنشاط استخدام الأراضي وإدارتها.

وتحتاج مقتربات المستوى 3 لتحديد مجموعة من المواقع المعيارية بهدف تقييم نتائج النماذج. وعلى نحو نموذجي، ينبغي تأسيس مجموعة من مواقع المراقبة الدائمة المعيارية وأن تكون ذات تصميم إحصائي تكراري، لعرض المناطق المناخية الكبرى وأنواع التربة وأنظمة الإدارة وكذلك التغيرات في الأنظمة، وكذلك لإجراء عمليات قياس متكررة لمخزونات الكربون العضوي بالتربة بمرور الوقت (Smith, 2004a). وتقوم المراقبة على إعادة تحديد عينات الرسوم البيانية كل ثلاث إلى خمس سنوات أو كل عقد، ولا يرجح أن تؤدي عمليات الاستيعان المتكررة على فترات قصيرة إلى الحصول على اختلافات ذات أهمية نظراً للتغيرات السنوية الضئيلة في مخزونات الكربون مقارنة بالمقادير الإجمالية الكبيرة للكربون في التربة (IPCC, 2000; Smith, 2004b).

وإضافة إلى المقتربات القائمة على النموذج، توفر طرق المستوى 3 الفرصة لتطوير عمليات حصر تقوم على القياسات وتستخدم شبكة مراقبة مشابهة كما هو الحال في التقدير باستخدام النموذج. ورغم ذلك، فإن شبكات القياس، والتي تمثل الأساس للحصر الكامل، ستكون ذات كثافة استيعاب كبيرة لحد من مستوى عدم التيقن، وكذلك لتمثيل كافة أنظمة الإدارة وتغييرات استخدام الأراضي المصاحبة، عبر كافة المناطق المناخية وأنواع التربة الأساسية (Sleutel et al., 2003; Lettens et al., 2004). ويمكن أن تقوم شبكات القياس على أخذ عينات التربة بالمواقع المعيارية أو الشبكات البرجية للتدفق. وتمثل أبراج التدفق، مثل الأبراج التي تستخدم أنظمة التباين المشترك الدائري (Baldocchi et al., 2001) حالة فريدة حيث تقوم بقياس التبادل الصافي من ثاني أكسيد الكربون بين الغلاف الجوي وسطح الأرض. وبالتالي، وفيما يتعلق بالتغير في مخزون الكربون لحوض التربة، فإن شبكات القياس البرجية تخضع للتوضيحات التالية: (1) ينبغي أن تتم الأبراج عند كثافة كافية لتمثيل التدفقات بالنسبة للبلد بالكامل؛ (2) يجب عزو تقديرات التدفق إلى قطاعات استخدام فردية وأنشطة معينة لاستخدام وإدارة الأراضي، و(3) يجب عزو تدفقات ثاني أكسيد الكربون بشكل أبعد إلى الأحواض الفردية بما في ذلك التغيرات في المخزون بأنواع التربة (وكذلك الكتلة الحيوية والمادة العضوية الميتة). وهناك اعتبارات إضافية فيما يخص قياسات التربة تم إيرادها في القسم السابق بطرق المستوى 2 لأنواع التربة المعدنية (راجع المناقشة الخاصة بمعامل تغير المخزون).

ومن الأهمية ملاحظة أن طرق الحصر القائمة على القياسات تمثل مقتربات للتقدير الكامل لمخزون الكربون، حيث تتناول كافة التأثيرات على مخزونات الكربون بالتربة. وقد يكون التقدير الجزئي لتأثير استخدام الأراضي وممارسات الإدارة فقط أمراً صعباً.

أنواع التربة العضوية

ويمكن تقدير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن استخدام وإدارة أنواع التربة العضوية، مثلما هو الحال مع التربة المعدنية، عن طريق مقرب قائم على القياس أو النماذج. وتستخدم النماذج الديناميكية بشكل نموذجي لمحاكاة العمليات الأساسية، في الوقت الذي يتم فيه تسجيل تأثير استخدام وإدارة الأراضي، خاصة تأثير المستويات المتباينة من الصرف على عمليات التحلل. وتنطبق الاعتبارات نفسها التي ذكرت فيما يخص أنواع التربة المعدنية على المقتربات القائمة على النماذج والقياسات التي تتناول التغيرات في مخزون الكربون نتيجة إدارة أنواع التربة العضوية.

الكربون غير العضوي بالتربة

يمكن إدخال مزيد من التطوير على مقرب المستوى 3 بما يمكن من تقدير التدفقات المرتبطة بإدارة الأراضي على أحواض الكربون غير العضوي بالتربة. على سبيل المثال قد يكون للري تأثير على تدفقات ومخزون الكربون غير العضوي بالتربة، غير أن الاتجاه والمقدار يتوقفان على مصدر وطبيعة مياه الري، ومصدر ومقدار ومصير الكربون غير العضوي المذاب الذي يتم صرفه. وفي المناطق الجافة وشبه الجافة، قد تؤدي المحسنات الجبسية ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) إلى زيادة مخزون الكربون غير العضوي بالتربة اعتماداً على مقدار أيونات الكالسيوم (Ca^{2+}) التي تحل محل أيونات الصوديوم الموجبة (Na^+) في المادة الغروانية بالتربة، فيما يتصل بالتفاعل مع البيكربونات وترسيب الكالسيوم (CaCO_3). وقد تؤثر أنشطة الإدارة واستخدام الأراضي الأخرى مثل إزالة/استزراع الغابات وممارسات تحميم التربة على مخزون الكربون غير العضوي بالتربة. ورغم ذلك، فإن هذه التغيرات يمكن أن تتسبب في عمليات اكتساب وفقد للكربون في هذا الحوض وفقاً للظروف الخاصة بالموقع وقد يكون مقدار التغير الناجم عن النشاط غير مؤثر.

وفي الوقت الحالي، يوجد عدد قليل من النماذج لتقدير التغيرات في الكربون غير العضوي بالتربة والناجمة عن استخدام الأراضي وممارسات الإدارة، ولذا فقد يتطلب مقرب المستوى 3 وقتاً طويلاً وموارد ملموسة حتى يتسنى تطبيقه. وفي حالة توافر البيانات والمعرفة الكافية وشيوع الأنشطة التي تؤدي بشكل ملموس إلى تغير مخزون الكربون غير العضوي بالتربة، فإن من الممارسة السليمة أن تقوم البلدان بعمل تحليل جيوكيميائي مائي يشتمل على كافة أنشطة استخدام الأراضي وإدارتها ذات الأهمية لتقدير تأثير هذه الأنشطة على مخزون الكربون غير العضوي بالتربة. وينبغي للمقرب القائم على النماذج أن يعمل على فصل أنشطة استخدام وإدارة الأراضي عن التأثيرات غير بشرية المنشأ. وعلى نحو بديل، يمكن استخدام مقرب قائم على القياس من قبل مواقع الاستيعاب المعيارية على فترات دورية في الأراضي المدارة لتحديد مخزون الكربون غير العضوي في الموقع، أو تدفقات ثاني أكسيد الكربون المحتملة، بالاستعانة بشبكة مراقبة للكربون العضوي بالتربة كما تمت مناقشته فيما سبق بالنسبة للتربة المعدنية. رغم من ذلك، فإن مقدار ومصير الكربون غير العضوي المذاب يتطلب عمليات قياس أو نمذجة إضافية أو فرضيات تبسيط، كافتراض أن كافة عمليات الفقد للكربون غير العضوي نتيجة الترسيب تنبعث في صورة ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي.

4-2 انبعاثات الغازات غير ثاني أكسيد الكربون

تنبعث كميات كبيرة من غازات الاحتباس الحراري عن حرق الكتلة الحيوية أو إدارة الماشية والسماد الطبيعي أو أنواع التربة. وقد تم تناول انبعاثات أكسيد النتروز في الفصل 11، حيث قدمت التوجيهات حول الطرق التي يمكن تطبيقها على المستوى الوطني (أي بصرف النظر عن فئات استخدام الأراضي) في حالة اختيار إحدى البلدان لاستخدام بيانات أنشطة على المستوى الوطني. بينما تم تناول التوجيهات المتعلقة بانبعاثات الميثان وأكسيد النتروز الصادرة عن الماشية والسماد الطبيعي فقط، في الفصل 10 نظراً لأن الانبعاثات لا تعتمد على خصائص الأراضي. ويُقدم فيما يلي مقرب عام لتقدير انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناجمة عن الحرائق (كل من ثاني أكسيد الكربون والغازات غير ثاني أكسيد الكربون)، إلى جانب بعض التحسينات الخاصة باستخدام الأراضي في فصول الأراضي الحرجية والمروج الطبيعية والأراضي الزراعية. وتعتبر المراجعة للتحقق من التغطية الكاملة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون والغازات غير ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن عمليات الفقد في مخزونات وأحواض الكربون من الممارسات السليمة التي تهدف إلى تفادي عمليات الإسقاط أو تكرار الحساب.

ولا تحتوي الانبعاثات الصادرة من الحرائق على ثاني أكسيد الكربون فحسب، بل أيضاً على غازات الاحتباس الحراري الأخرى أو سلائف غازات الاحتباس الحراري التي تنشأ نتيجة للاحتراق غير الكامل للوقود. ويشتمل ذلك على أحادي أكسيد الكربون والميثان والمركبات العضوية المتطايرة غير الميثان والنتروجين (مثل أكسيد النتروز وأكاسيد النتروجين) (Levine, 1994). وقد تناولت كل من الخطوط التوجيهية للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ لعام 1996 ودليل الممارسات السليمة لعام 2000 انبعاثات غازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون الصادرة عن الحرائق نتيجة حرق السافانا وبقايا المحاصيل إلى جانب الانبعاثات الصادرة عن تحول الأراضي الحرجية والمروج الطبيعية. وقد اختلفت المنهجية بعض الشيء تبعاً لنوع الحياة النباتية، ولم تشتمل على الحرائق بالأراضي الحرجية. وفي إرشادات الممارسات السليمة المتصلة باستخدام الأراضي وتغيير استخدام الأراضي والحراة، تم تناول الانبعاثات الناجمة عن الحرائق (انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والغازات غير ثاني أكسيد الكربون وبصفة خاصة في الفصل المعني بالأراضي الحرجية (الفقد في الكربون نتيجة الاضطرابات). وفي فصلي الأراضي الزراعية والمروج الطبيعية، تم التطرق إلى انبعاثات الغازات غير ثاني أكسيد الكربون فقط، مع افتراض أن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون سيتم موازنتها عن طريق عمليات إزالة ثاني أكسيد الكربون مع تجدد نمو النباتات لاحقاً في غضون عام واحد. ويتضمن هذا الافتراض

تقدم هذه الخطوط التوجيهية مقترباً أعم وأشمل لتقدير الانبعاثات الناجمة عن الحرائق. وقد تم التعامل مع الحرائق باعتبارها أحد الاضطرابات التي تؤثر ليس فقط على الكتلة الحيوية (وبصفة خاصة، فوق الأرض)، بل وفي المادة العضوية الميتة. وبصفة عامة، يُستخدم مصطلح "حرق الكتلة الحيوية" بكثرة وفي هذه الخطوط التوجيهية كذلك، لكن مع الاعتراف بأن مكونات الوقود غير الكتلة الحيوية الحية تمثل أهمية بالغة في الغالب، لا سيما في أنظمة الغابات. وبالنسبة للأراضي الزراعية والمروج الطبيعية التي تشتمل على نسبة ضئيلة من النباتات الخشبية، فتتم الإشارة في الغالب إلى حرق الكتلة الحيوية حيث إنها الحوض الرئيسي الذي يتأثر بالحرائق.

ولا بد لجميع الدول من تطبيق المبادئ التالية عند القيام بتقدير انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من الأراضي الحرجية والأراضي الزراعية والمروج الطبيعية:

- تغطية الإبلاغ: يجب الإبلاغ عن الانبعاثات (ثاني أكسيد الكربون والغازات غير ثاني أكسيد الكربون) الناجمة عن الحرائق (الحرائق المقصودة والحرائق الطبيعية) بالأراضي المدارة (عدا انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من المروج الطبيعية، كما هو موضح أدناه). وأينما وجد تغير في استخدام الأراضي، ينبغي الإبلاغ عن انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من الحرائق تحت فئة استخدام الأراضي الجديدة (الفئة الانتقالية). ولا توجد حاجة للإبلاغ عن الانبعاثات الناجمة عن الحرائق الطبيعية (والحرائق المقصودة التي تخرج عن السيطرة) في الأراضي غير المدارة، ما لم تكن هذه الأراضي متبوعة بتغيير في استخدام الأراضي (كان تصير أرضاً مدارة).
 - استخدام الحرائق كأداة إدارة (الحرائق المقصودة): يتم الإبلاغ عن انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناجمة عن المنطقة التي يتم حرقها، وفي حالة ما إذا كان للحرائق تأثير على الأراضي غير المدارة، فيتعين الإبلاغ عن انبعاثات غازات الاحتباس الحراري إذا ما كانت الحرائق متبوعة بتغيير في استخدام الأراضي.
 - تكافؤ (تزامن) انبعاثات وعمليات إزالة ثاني أكسيد الكربون: يتعين الإبلاغ عن صافي انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون إذا لم تكن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وعمليات إزالته بحوض الكتلة الحيوية متكافئة في عام الحصر. وبالنسبة لحرق الكتلة الحيوية في المروج الطبيعية وحرق المخلفات الزراعية، بعد افتراض التكافؤ معقولا بوجه عام. ومع ذلك، قد تتعرض النباتات الخشبية أيضاً للحرق بهذه الفئات من الأراضي، ويجب الإبلاغ عن انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من هذه المصادر باستخدام طريقة ذات مستوى أعلى. وعلاوة على ذلك، يعد الرعي في أنحاء عديدة من العالم العملية السائدة لاستخدام الأراضي في الأراضي الحرجية التي يتم حرقها بصفة منتظمة (مثل الغابات والسافانا)، ومن ثم يجب توخي الحذر قبل افتراض التزامن في هذه الأنظمة. وبالنسبة للأراضي الحرجية، يعد التزامن أمراً غير وارد في حالة قتل مقدار كبير من الكتلة الحيوية الخشبية (تمثل الخسائر أوعاماً عديدة من النمو وتراكم الكربون)، ولا بد من الإبلاغ عن صافي الانبعاثات. وتشتمل الأمثلة على: تمهيد الأحراج الأصلية والتحول إلى الزراعة وأ/و الغابات المزروعة والحرائق الطبيعية في الأراضي الحرجية.
 - الوقود المتوافر للاحتراق: يجب مراعاة العوامل التي تعمل على خفض كميات الوقود المتاح للاحتراق (مثل الرعي والاضمحلال وإزالة الوقود الحيوي وتغذية الماشية ونحوه) ولا بد من وضع مقرب للتوازن الكتلتي لحساب البقايا من أجل تقادي سوء التقدير أو تكرار الحساب (راجع القسم 2.3.2)
 - الإبلاغ السنوي: على الرغم من التقلبية المكانية والزمنية للحرائق (لا سيما الحرائق الطبيعية)، يتعين على جميع الدول القيام بتقدير انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناجمة عن الحرائق والإبلاغ عنها بصفة سنوية.
- وتعطي هذه الخطوط التوجيهية مقترباً شاملاً لتقدير التغيرات في مخزون الكربون وانبعاثات الغازات غير ثاني أكسيد الكربون التي تنتج عن الحرائق بالأراضي الحرجية (بما في ذلك الانبعاثات الناتجة عن تحويل الأحراج) إلى جانب انبعاثات الغازات غير ثاني أكسيد الكربون في الأراضي الزراعية والمروج الطبيعية. وقد تم تناول انبعاثات الغازات غير ثاني أكسيد الكربون فيما يتعلق بأنواع الحرق الخمسة التالية: (1) حرق المروج الطبيعية (والذي يشمل حرق أراضي الشجيرات الخشبية الدائمة والسافانا)؛ (2) حرق المخلفات الزراعية؛ (3) حرق الفرش الحرجي والطبقات السفلية ومخلفات الحصاد بالأراضي الحرجية؛ (4) الحرق بعد تمهيد الأحراج والتحول إلى الزراعة (5) أنواع الحرق الأخرى (بما فيها الأنواع الناتجة عن الحرائق الطبيعية). هذا وقد تم تناول الانبعاثات المباشرة لغاز ثاني أكسيد الكربون بالنسبة للعناصر (3) و(4) و(5). ونظراً لأن تقدير الانبعاثات لهذه الفئات المختلفة يشتمل على العديد من العناصر المشتركة، يعطينا هذا القسم مقترباً عاماً يمكن من خلاله تقدير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والانبعاثات من غير ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن الحرائق بهدف تجنب التكرار في الأقسام المعنية باستخدام الأراضي والتي تتناول الانبعاثات الناجمة عن الحرائق في هذه الخطوط التوجيهية.

وق تم إدراج عمليات الحرق المقصودة للسافانا ضمن القسم المعني بحرق الكتلة الحيوية في المروج الطبيعية (الفصل 6، المروج الطبيعية، القسم 6.3.4). ولا بد من تجنب الحسابات المزدوجة عند تقدير انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناجمة عن السافانا والتي تتمتع بالملاح النباتية الخاصة بالأراضي الحرجية. ومن أمثلة ذلك أراضي *cerradão* (السافانا الخشبية الكثيفة) التي تتكون في البرازيل والتي تندرج، رغم كونها أحد أنواع السافانا، ضمن الغابات نظراً لصفاتها الفيزيائية الأحيائية.

وبالإضافة إلى ذلك، قد تؤدي انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناجمة عن عملية الاحتراق إلى تكون مخزون حامل من الكربون (الفحم النباتي أو الفحم). علماً بأن المخلفات المتبقية بعد الحرائق تشتمل على مكونات غير محترقة ومكونات محترقة جزئياً إلى جانب كميات صغيرة من الفحم الذي يتسم بمقاومة التحلل نظراً لطبيعته الكيميائية. وفي الوقت الحالي، تعد المعرفة بمعدلات تكوين الفحم تحت ظروف الحرق المتباينة ومعدلات الدوران اللاحقة محدودة للغاية (Preston and Schmidt-Forbes *et al.* 2006; 2006) بشكل لا يسمح بوضع منهجية موثوقة لأغراض الحصر، ومن ثم لم يتم تضمينها في هذه الخطوط التوجيهية. هذا ويحتوي الملحق 1 على أساس فني لإجراء التطورات المنهجية.

وعلى الرغم من أن انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة غير الميثان تنجم أيضاً عن الحرائق، فلم تتناولها الخطوط التوجيهية الحالية نظراً لندرة البيانات وأوجه عدم التيقن في العديد من البارامترات الرئيسية اللازمة لإجراء عملية التقدير، مما يحول دون وضع تقديرات موثوقة للانبعاثات.

وصف الطريقة

يحتوي كل قسم من أقسام هذه الخطوط التوجيهية على مقترَب ثلاثي المستويات لتناول انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (متى أمكن) وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن الحرائق. ويتم اختيار المستوى باتباع الخطوات التي تشتمل عليها شجرة القرار كما هو موضح بالشكل 2-6. ووفقاً لمقترَب المستوى 1، يمكن تطبيق الصيغة الموضحة بالمعادلة 2-27 من أجل تقدير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والانبعاثات من غير ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن الحرائق، عبر استخدام البيانات الافتراضية الواردة في هذا الفصل والأقسام المتعلقة باستخدام الأراضي في هذه الخطوط التوجيهية. مع العلم بأن المستويات الأعلى تنطوي على تطبيق أكثر دقة للمعادلة 2-27. ونظراً لأن المنهجية الخاصة بالمستوى 1 تحدد مقترَباً مبسطاً لتقدير حوض المادة العضوية الميتة (انظر القسم 2.3.2)، فلا بد من اتخاذ افتراضات معينة أثناء تقييم صافي انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناجمة عن الحرائق في هذه الأنظمة (مثل الأراضي الحرجية والأراضي الحرجية المحولة إلى استخدام آخر)، وذلك متى كانت المادة العضوية الميتة تمثل مكوناً رئيسياً من الوقود المحترق. ويفترض أن نسبة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون عن المواد العضوية تساوي صفراً في الأراضي الحرجية التي تتعرض للاحتراق، لا الموت، بفعل الحرائق. وإذا كانت كثافة الحرائق كافية لموت جزء من الشجرات الحرجية وفقاً لمنهجية المستوى 1، فمن المفترض أن يتم إطلاق الكربون الذي تحتوي عليه الكتلة الحيوية الميتة إلى الغلاف الجوي على الفور. وقد يتسبب هذا التبسيط الذي ينطوي عليه المستوى 1 في الإفراط في تقدير الانبعاثات الفعلية خلال عام اندلاع الحرائق، وذلك إذا كان مقدار كربون الكتلة الحيوية أكبر من مقدار الأخشاب الميتة وكربون الفرش الحرجي الذي يتم استهلاكه أثناء الحرائق.

وتقدر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون بالنسبة لجميع حالات الحرائق. ووفقاً للمستوى 1، تتمثل أفضل طرق تقدير الانبعاثات من غير ثاني أكسيد الكربون في استخدام معدلات الاستهلاك الفعلي للوقود التي وردت في الجدول 2-4، وعوامل الحصر الملائمة (الجدول 2-5) (ولا يشتمل ذلك على الكتلة الحيوية الميتة حديثاً مكون من مكونات الوقود المستهلك). ومن الواضح أنه إذا كانت الحرائق التي تندلع في الغابات تسهم بشكل ملحوظ في زيادة صافي انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، فلا بد أن تقوم جميع الدول بوضع منهجية أكثر تكاملاً (مستويات أعلى) تشتمل على ديناميكيات المادة العضوية الميتة وتساعد في تحسين التقديرات الخاصة بالانبعاثات المباشرة التي تصدر بعد الحرائق.

وبالنسبة للأراضي الحرجية المحولة إلى استخدامات أخرى، يتم اشتقاق المواد العضوية المحترقة من النباتات التي تم قطعها حديثاً والمادة العضوية الميتة الموجودة، مع مراعاة أهمية الإبلاغ عن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وفي هذه الحالة، يمكن استخدام تقديرات إجمالي الوقود المستهلك (الجدول 2-4) لتقدير انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون والغازات الأخرى غير غازات الاحتباس الحراري باستخدام المعادلة 2-27. ومع ذلك، يجب توخي الحذر للتأكد من أن فقد الكربون في المادة العضوية الميتة أثناء تحويل استخدام الأراضي لا يتم تكرار حسابه في المعادلة 2-27 (كالفقد الناتج عن الحرق) والمعادلة 2-23 (كالفقد الناتج عن اضمحلال النبات).

وقد تم وضع ملخص بالمنهجية العامة لتقدير انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الفردية لجميع أنواع الحرائق في المعادلة 2-27.

المعادلة 27-2

تقدير انبعاثات غازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن الحرائق

$$L_{fire} = A \cdot M_B \cdot C_f \cdot G_{ef} \cdot 10^{-3}$$

حيث:

L_{fire} = مقدار انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناجمة عن الحرائق، طن لكل غاز احتباس حراري على سبيل المثال، الميثان، أكسيد النيتروز وخلافه.

A = المساحة المحترقة، هكتار

M_B = كتلة الوقود المتاحة للاحتراق، طن هكتار¹. يشير هذا إلى الكتلة الحيوية والفرش الحرجي والأخشاب الميتة. عند استخدام طرق المستوى 1، يفترض أن حوضي الفرش الحرجي والخشب الميت يساويان الصفر، إلا عندما يكون هناك تغير في استخدام الأرض (انظر القسم 2.3.2.2).

C_f = معامل الاحتراق، بلا أبعاد (القيم الافتراضية في الجدول 2-6)

G_{ef} = معامل الانبعاث، جم كيلوجرام¹ الجافة محترقة (القيم الافتراضية في الجدول 2-5)

ملاحظة: حيث إن بيانات M_B و C_f غير متاحة، يمكن استخدام القيمة الافتراضية لمقدار الوقود المحترق بالفعل (نتائج M_B و C_f) (الجدول 2-4) من خلال منهجية المستوى 1.

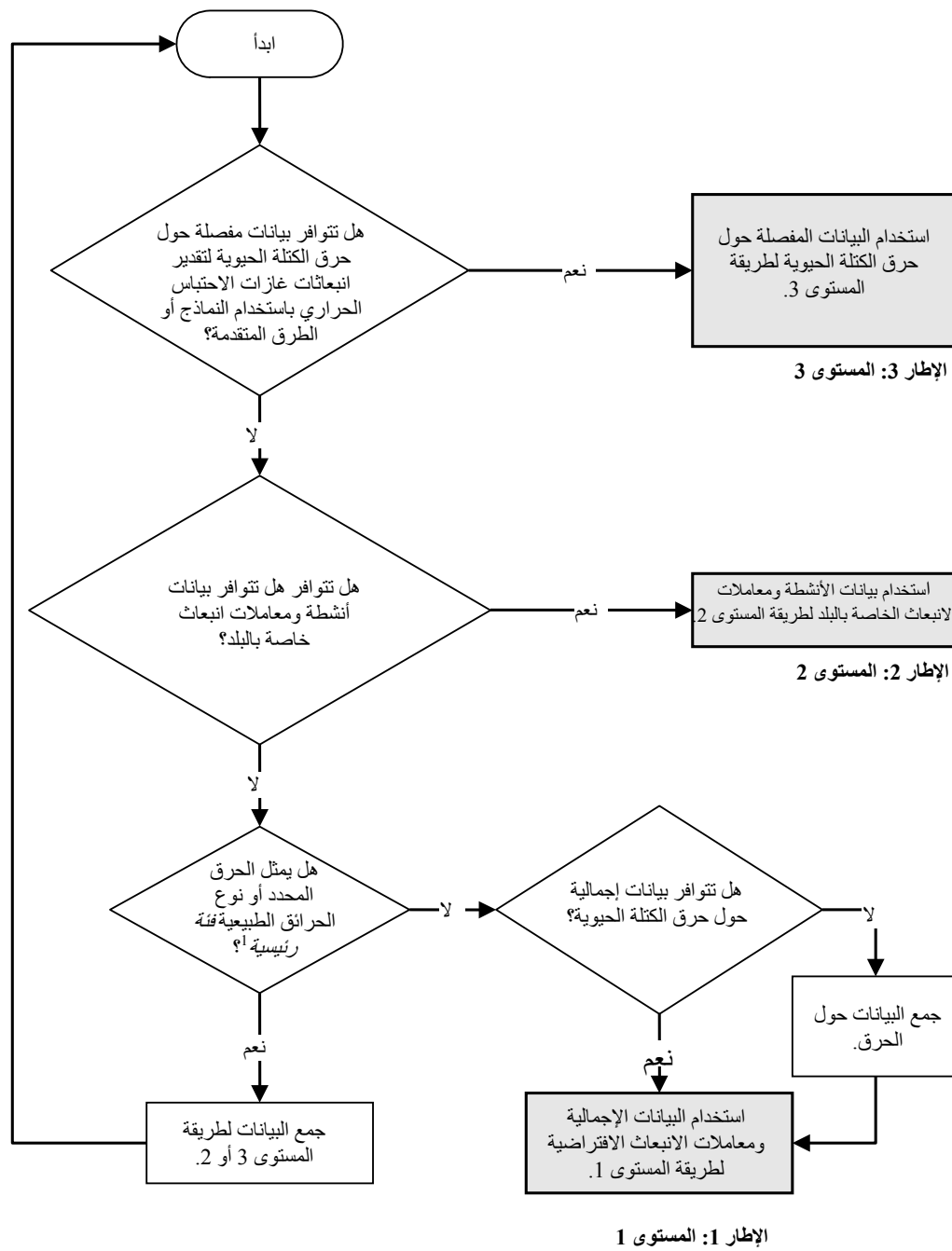
بالنسبة لانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، تنتمي المعادلة 2-27 إلى المعادلة 2-14 التي تقدر المقدار السنوي لفقد الكتلة الحيوية الحية من أنواع الاضطرابات.

يمكن الحصول على مقدار الوقود الذي يمكن حرقه من خلال المساحة المحترقة وكثافة الوقود الموجود بهذه المساحة. وقد تشتمل كثافة الوقود على الكتلة الحيوية والخشب الميت والفرش الحرجي، والذي يختلف باعتبار وظيفة النوع وعمر وحالة النباتات. كما يؤثر نوع الحرائق على مقدار الوقود المتاح للاحتراق، على سبيل المثال، يقتصر الوقود المتاح لحرائق الأراضي ذات الكثافة المنخفضة في الغابات على الفرش الحرجي والأخشاب الميتة السطحية، في حين يمكن أيضاً "للحرائق التاجية" ذات الكثافة المرتفعة استهلاك كميات كبيرة من الكتلة الحيوية للأشجار.

يعد معامل الاحتراق مقياساً لنسبة الوقود التي تم حرقها بالفعل، ويختلف كدالة لحجم وتركيب حمل الوقود (على سبيل المثال، يتم حرق نسبة أصغر من الوقود الكبير الغليظ مثل سيقان الأشجار، مقارنة بالوقود الرفيع مثل أوراق العشب)، ومحتوى رطوبة الوقود ونوع الحرائق (مثل الكثافة ومعدل الانتشار الذي يتأثر بشكل ملموس بالتغيرات المناخية والاختلافات بين المناطق كما هو موضح في الجدول 2-6). وأخيراً، يقوم معامل الانبعاث بإعطاء مقدار غاز الاحتباس الحراري المنبعث لكل وحدة من وحدات المادة الجافة المحترقة، والتي يمكن أن تتباين كدالة لمحتوى كربون الكتلة الحرارية واكتمال الاحتراق. وبالنسبة للأنواع التي تحتوي على تركيزات نتروجين مرتفعة، قد تختلف انبعاثات أكاسيد النتروجين وأكسيد النتروز من الحرائق كدالة لمحتوى النتروجين بالوقود. وقد قام كل من أندريا وميرلت (2001) بإجراء مراجعة شاملة لعوامل الانبعاث وتم تلخيصها في الجدول 2-5.

توظف طرق المستوى 2 نفس المقترَب العام الخاص بالمستوى 1 غير أنها تستعين بعوامل انبعاث و/أو تقديرات لكثافة الوقود ومعدلات احتراق مشتقة على المستوى الوطني وأكثر دقة من تلك الواردة في الجداول الافتراضية. وتتسم طرق المستوى 3 بأنها أكثر شمولية وتتضمن اعتبارات لديناميكيات الوقود (الكتلة الحيوية والمادة العضوية الميتة).

الشكل 2-6 شجرة قرار عامة لتحديد المستوى المناسب لتقدير انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناجمة عن الحرائق في فئة من فئات استخدام الأراضي



ملاحظة:

1: انظر الفصل 4 من المجلد 1، "اختيار المنهجيات وتحديد الفئات الرئيسية" (مع ملاحظة القسم 4-1-2 بشأن المصادر المحدودة) للاطلاع على مناقشة *الفئات الرئيسية* واستخدام شجرات القرار.

الجدول 4-2 قيم استهلاك الكتلة الحيوية للوقود (المادة العضوية الميتة والكتلة الحيوية الحية) (طن مادة جافة هكتار) للحرائق في مجموعة من أنواع النباتات (للاستخدام في المعادلة 2-27، لتقدير ناتج كميات M_B ، C_f كمقدار مطلق)				
نوع النبات	الفئة الفرعية	المتوسط	الخطأ القياسي	المراجع
الغابات الاستوائية الأولية (القطع والحرق)	الغابات الاستوائية الأولية	83.9	25.8	7، 15، 66، 3، 16، 45، 17
	الغابات الاستوائية الأولية المفتوحة	163.6	52.1	21
	الغابات الاستوائية الأولية الرطبة	160.4	11.8	73، 37
	الغابات الاستوائية الأولية الجافة	-	-	66
كافة الغابات الاستوائية الأولية		119.6	50.7	
الغابات الاستوائية الثانوية (القطع والحرق)	الغابات الاستوائية الثانوية الصغيرة (3-5 أعوام)	8.1	-	61
	الغابات الاستوائية الثانوية المتوسطة (6-10 أعوام)	41.1	27.4	35، 61
	الغابات الاستوائية الثانوية الكبيرة (14-17 عام)	46.4	8.0	73، 61
كافة الغابات الاستوائية الثانوية		42.2	23.6	30، 66
كافة الغابات الاستوائية الثالثية		54.1	-	30، 66
الغابات الشمالية	الغابات الطبيعية (عامة)	52.8	48.4	66، 33، 2
	الحرائق الناجية	25.1	7.9	41، 66، 43، 11، 64، 63
	الحرائق السطحية	21.6	25.1	63، 66، 69، 43، 1، 64
	حرق نثار القطع	69.6	44.8	18، 66، 40، 49
	حرائق تهيئة الأراضي	87.5	35.0	67، 10
	حرائق تهيئة الأراضي	41.0	36.5	47، 69، 45، 43
كافة الغابات الشمالية		53.0	53.6	9، 32، 66
غابات الأوكالبتوس	الحرائق الطبيعية	16.0	13.7	9، 60، 54، 72، 66
	الحرائق الموصى بها - (السطحية)	168.4	168.8	46، 58، 25
	حرق نثار القطع المقطوعة والخالية من الأخشاب والمحروقة (حرائق تهيئة الأرض)	132.6	-	9، 62
كافة غابات الأوكالبتوس		69.4	100.8	
الغابات المعتدلة الأخرى	الحرائق الطبيعية	19.8	6.3	66، 32
	حرق نثار القطع	77.5	65.0	27، 14، 19، 55، 66
	المقطوعة والمحروقة (حرائق تهيئة الأرض)	48.4	62.7	71، 24، 53
كافة الغابات المعتدلة "الأخرى"		50.4	53.7	56، 43

الجدول 4-2 (تابع) قيم استهلاك الكتلة الحيوية للوقود (المادة العضوية الميتة والكتلة الحيوية الحية) (طن مادة جافة هكتار) للحرائق في مجموعة من أنواع النباتات (للاستخدام في المعادلة 2-27، لتقدير ناتج كميات M_B ، C_f مقدار مطلق)				
نوع النبات	الفئة الفرعية	المتوسط	الخطأ القياسي	المراجع
الشجيرات	الشجيرات (عامة)	26.7	4.2	43
	مرج كالونا	11.5	4.3	39 ، 26
	شجيرات الشجيرة	5.7	3.8	66
	نبات الفتيوس	12.9	0.1	66 ، 70
جميع أراضي الشجيرات				
غابات السافانا الخشبية	غابات السافانا الخشبية	2.5	-	28
(حرائق الموسم الجاف المبكرة)	متنزه السافانا	2.7	-	57
جميع غابات السافانا الخشبية (حرائق الموسم الجاف المبكرة)		2.6	0.1	
غابات السافانا الخشبية (حرائق الموسم الجاف المتوسطة/المتأخرة)	غابات السافانا الخشبية	3.3	-	57
	متنزه السافانا	4.0	1.1	51 ، 6 ، 57
	السافانا الاستوائية	6	1.8	73 ، 52
	غابات السافانا الخشبية الأخرى	5.3	1.7	31 ، 57 ، 59
جميع غابات السافانا الخشبية (حرائق الموسم الجاف المتوسطة/المتأخرة)*		4.6	1.5	
غابات السافانا (حرائق الموسم الجاف المبكرة)*	المراعي المدارية/شبه المدارية	2.1	-	28
	المراعي	-	-	48
جميع غابات السافانا (حرائق الموسم الجاف المبكرة)*				
غابات السافانا (حرائق الموسم الجاف المتوسطة/المتأخرة)*	المراعي المدارية/شبه المدارية	5.2	1.7	57 ، 12 ، 73 ، 9
	المراعي	4.1	3.1	9 ، 43
	المراعي المدارية~	23.7	11.8	66 ، 38 ، 23 ، 4
	السافانا	7.0	2.7	، 13 ، 45 ، 6 ، 50 ، 42 ، 65
جميع غابات السافانا (حرائق الموسم الجاف المتوسطة/المتأخرة)*				
أنواع النباتات الأخرى	الأراضي الخث	41	1.4	33 ، 68
	التندرا	10	-	33
مخلفات الزراعة (حرق الحقول بعد الحصاد)	مخلفات القمح	4.0		انظر الملاحظة ب
	مخلفات الذرة	10.0		انظر الملاحظة ب
	مخلفات الأرز	5.5		انظر الملاحظة ب
	قصب السكر ^a	6.5		انظر الملاحظة ب
* احتراق الطبقة السطحية فقط ~ مأخوذة من الغابات المدارية المقطوعة (بما في ذلك المواد الخشبية غير المحروقة) ^a بالنسبة لقصب السكر، تشير البيانات إلى الحرق قبل حصاد المحصول. ^b تقييم خبير من قبل المؤلفين.				

الجدول 5-2 عوامل الانبعاث (جرام كيلو جرام ¹ مادة جافة محترقة) لأنواع الحرق المختلفة. تعد القيم متوسطات \pm SD وهي مبنية على المراجعة الشاملة من قبل أندريا وميرلت (2001) (للاستخدام ككمية 'G _{eff} ' في المعادلة 27-2)					
الفئة	ثاني أكسيد الكربون	أحادي أكسيد الكربون	الميثان	أكسيد النتروز	أكاسيد النتروجين
السافانا والمروج الطبيعية	1613 95 \pm	65 20 \pm	2.3 0.9 \pm	0.21 0.10 \pm	3.9 2.4 \pm
مخلفات الزراعة	1515 177 \pm	92 84 \pm	2.7	0.07	2.5 1.0 \pm
الغابات الاستوائية	1580 90 \pm	104 20 \pm	6.8 2.0 \pm	0.20	1.6 0.7 \pm
الغابات الاستوائية الإضافية	1569 131 \pm	107 37 \pm	4.7 1.9 \pm	0.26 0.07 \pm	3.0 1.4 \pm
حرق الوقود الحيوي	1550 95 \pm	78 31 \pm	6.1 2.2 \pm	0.06	1.1 0.6 \pm

ملاحظة: تشمل فئة "الغابات الاستوائية الإضافية" على كافة أنواع الغابات الأخرى.
ملاحظة: بالنسبة لاحتراق الكتلة الحيوية غير الخشبية في المروج الطبيعية والأراضي الزراعية، لا تحتاج انبعاثات غازات ثاني أكسيد الكربون إلى تقديرها والإبلاغ عنها لافتراض وجود توازن بين إزالة ثاني أكسيد الكربون السنوية (من خلال النمو) والانبعاثات (إما من خلال الاضمحلال أو الحرائق) عن طريق الكتلة الحيوية (انظر المناقشة السابقة بشأن التزامن في القسم 2.4).

الجدول 6-2				
قيم معامل الاحتراق (نسبة كتلة الوقود الحيوية المستهلكة قبل الحريق) للحرائق في مجموعة من أنواع النباتات (تستخدم القيم الموجودة في العمود "المتوسط" للكمية C _f بالمعادلة 2-27)				
نوع النبات	الفئة الفرعية	المتوسط	SD	المراجع
الغابات الاستوائية الأولية (القطع والحرق)	الغابات الاستوائية الأولية	0.32	0.12	7، 8، 15، 56، 66، 3، 16، 53، 17، 45
	الغابات الاستوائية الأولية المفتوحة	0.45	0.09	21
	الغابات الاستوائية الأولية الرطبة	0.50	0.03	73، 37
	الغابات الاستوائية الأولية الجافة	-	-	66
كافة الغابات الاستوائية الأولية				
الغابات الاستوائية الثانوية (القطع والحرق)	الغابات الاستوائية الثانوية الصغيرة (3-5 أعوام)	0.46	-	61
	الغابات الاستوائية الثانوية المتوسطة (6-10 أعوام)	0.67	0.21	35، 61
	الغابات الاستوائية الثانوية الكبيرة (14-17 عام)	0.50	0.10	73، 61
كافة الغابات الاستوائية الثانوية				
كافة الغابات الاستوائية الثالثة				
الغابات الشمالية	الحرائق الطبيعية (عامة)	0.40	0.06	33
	الحرائق التاجية	0.43	21..0	63، 64، 41، 66
	الحرائق السطحية	0.15	0.08	63، 64
	حرق نثار القطع	0.33	0.13	18، 40، 49
	حرائق تهيئة الأراضي	0.59	-	67
كافة الغابات الشمالية				
غابات الأوكالبتوس	الحرائق الطبيعية	-	-	-
	الحرائق الموصى بها - (السطحية)	0.61	0.11	9، 60، 54، 72
	حرق نثار القطع	0.68	0.14	46، 58، 25
	المقطوعة والمحروقة (حرائق تهيئة الأرض)	0.49	-	62
جميع غابات الأوكالبتوس				
الغابات المعتدلة الأخرى	حرق نثار القطع	0.62	0.12	14، 27، 19، 55
	المقطوعة والمحروقة (حرائق تهيئة الأرض)	0.51	-	71، 24، 53
كافة الغابات المعتدلة "الأخرى"				
		0.45	0.16	56، 53

الجدول 6-2 (تابع) قيم معامل الاحتراق (نسبة كتلة الوقود الحيوية المستهلكة قبل الحريق) للحرائق في مجموعة من أنواع النباتات (تستخدم القيم الموجودة في العمود "المتوسط" للكمية C بالمعادلة 27-2)			
نوع النبات	الفئة الفرعية	المتوسط	SD
الشجيرات	أرض الشجيرات (عامة)	0.95	-
	مرج كالونا	0.71	0.30
	نبات الفنبوس	0.61	0.16
جميع أراضي الشجيرات			
غابات السافانا الخشبية (حرائق الموسم الجاف المبكرة)	غابات السافانا الخشبية	0.22	-
	متنزه السافانا	0.73	-
	غابات السافانا الخشبية الأخرى	0.37	0.19
جميع غابات السافانا الخشبية (حرائق الموسم الجاف المبكرة)			
غابات السافانا الخشبية (حرائق الموسم الجاف المتوسطة/المتأخرة)	غابات السافانا الخشبية	0.72	-
	متنزه السافانا	0.82	0.07
	السافانا الاستوائية	0.73	0.04
جميع غابات السافانا الخشبية (حرائق الموسم الجاف المتوسطة/المتأخرة)*	غابات السافانا الخشبية الأخرى	0.68	0.19
	غابات السافانا الخشبية	0.74	0.14
	المراعي المدارية/شبه المدارية	0.74	-
غابات السافانا (حرائق الموسم الجاف المبكرة)*	المراعي	-	-
	جميع غابات السافانا (حرائق الموسم الجاف المبكرة)*	0.74	-
	المراعي المدارية/شبه المدارية	0.92	0.11
غابات السافانا (حرائق الموسم الجاف المتوسطة/المتأخرة)*	المراعي المدارية	0.35	0.21
	السافانا	0.86	0.12
	جميع غابات السافانا (حرائق الموسم الجاف المتوسطة/المتأخرة)*	0.77	0.26
أنواع النباتات الأخرى	الأراضي الخث	0.50	-
	الأراضي الرطبة المدارية	0.70	-
مخلفات الزراعة (حرق الحقول بعد الحصاد)	مخلفات القمح	0.90	-
	مخلفات الذرة	0.80	-
	مخلفات الأرز	0.80	-
	قصب السكر ^a	0.80	-

* احتراق الطبقة السطحية فقط
 ~ مأخوذة من الغابات المدارية المقطوعة (بما في ذلك المواد الخشبية غير المحروقة)
^a بالنسبة لقصب السكر، تشير البيانات إلى الحرق قبل حصاد المحصول.
^b تقييم خبير من قبل المؤلفين.

5-2 توجيهات إضافية عامة لطرق المستوى 3

تركز الخطوط التوجيهية الواردة في هذا المجلد بصفة رئيسية على طرق المستوى 1 إلى جانب تقديم توجيهات عامة تهدف إلى المساعدة في تطوير حصر من المستوى 2. وقد كان الاهتمام بطرق المستوى 3 أقل، إلا أن هذا القسم يقدم مجموعة من التوجيهات العامة. وتعد عمليات الحصر الخاصة بالمستوى 3 بمثابة أنظمة متقدمة تعتمد على استخدام القياسات و/أو النماذج بهدف تحسين تقدير انبعاثات وعمليات إزالة غازات الاحتباس الحراري، بشكل يفوق ما هو متاح بمقتربات المستويين 1 و 2. وفي هذا القسم، يتم عرض التوجيهات بمزيد من التوضيح والتوسع من أجل وضع أساس علمي واضح لتطوير عمليات الحصر من المستوى 3. وهذه التوجيهات لا تضع حدوداً على اختيار مخططات الاستيعان أو مقتربات النمذجة بالمستوى 3، إنما تمثل إرشادات عامة ترمي إلى مساعدة مطوري عمليات الحصر في التطبيق. وقد يتم لاحقاً في هذا المجلد تقديم بعض القضايا المحددة ذات الصلة بمقتربات المستوى 3 لفئات المصدر الفردية إلى جانب استكمال التوجيهات العامة بهذا القسم.

1-5-2 طرق الحصر القائمة على القياسات بالمستوى 3

يمكن أن تقوم عمليات الحصر على القياسات المباشرة للتغيرات في مخزون الكربون والتي يتم في ضوئها تقدير انبعاثات وعمليات إزالة الكربون. وعلى الرغم من إمكانية قياس بعض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون، إلا أنه نظراً للتغيرية المكانية والزمنية العالية للانبعاثات من غير ثاني أكسيد الكربون، يُرجح أن تسعى طرق المستوى 3 على الجمع بين نماذج العمليات والقياسات لتقدير الانبعاثات من غير ثاني أكسيد الكربون. ومن الممكن أن تستخرج عمليات الحصر التي تعتمد بشكل كلي على القياسات، والتي تقوم على القياس المتكرر باستخدام الحصر الوطني للأحراج، التغير في مخزون الكربون دون الاعتماد على نماذج العمليات، غير أنها تتطلب وجود النماذج الإحصائية الملائمة من أجل التوسع الزمني والمكاني لقياسات الرسوم البيانية للحصر الوطني. وسوف يتم مناقشة المقتربات القائمة على النماذج الديناميكية (مثل النماذج القائمة على العمليات) لتقدير الانبعاثات الوطنية في القسم 2.5.2. وبوجه عام، يتم تنفيذ عمليات حصر المستوى 3 القائمة على القياسات من خلال ست خطوات.

الخطوة 1. وضع مخطط استيعان. يمكن وضع مخطط استيعان باستخدام مجموعة من المقتربات، إلا أن هذه المخططات تشتمل على مستوى من العشوائية لمواقع أخذ العينات داخل الطبقات. (وحتى عمليات الحصر التي تبنى على شبكة منتظمة فعادة ما تقوم بتحديد نقطة البدء الخاصة بالشبكة بطريقة عشوائية). ويحدد القائمون بالحصر مقتربا ملائما في ضوء حجم بلدهم والمتغيرات البيئية الرئيسية السائدة بها (مثل المناخ)، إلى جانب أنظمة الإدارة المتبعة بمنطقتهم. ويمكن استخدام العنصرين الأخيرين كمتغيرات تقسيم طبقي، بفرض أن مخطط الاستيعان ليس عشوائيا تماما. وإلى جانب ذلك، يعد توفير التغطية المكانية الشاملة للانبعاثات و/أو عمليات الإزالة المتعلقة بفتة مصدر رئيسية من الممارسات السليمة لعملية الاستيعان.

ويتعين على الأشخاص القائمين بتجميع الحصر تحديد فترة زمنية مناسبة يتم خلالها إعادة أخذ العينات من المواقع في حالة استخدام المقاييس المتكررة، علماً بأن توقيت إعادة القياس يعتمد على معدل تغيرات المخزون أو انبعاثات غازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تستمر فترات إعادة القياسات في المناطق الشمالية وبعض المناطق المعتدلة، التي تشهد نمواً بطيئاً للأشجار وتغيراً طفيفاً في أحواض المادة العضوية الميتة في الأعوام المفردة، يمكن أن تستمر لفترة أطول من البيئات التي تكون فيها ديناميكيات الكربون أكثر سرعة وانتشاراً. وفي حالة قياس التدفقات بشكل مباشر، فإن التغيرية المكانية والزمانية المرتفعة تتطلب أخذ العينات بشكل متكرر ومكثف من أجل النقاط التدفقات التي قد تُفقد بصورة أو بأخرى من سجل القياس.

وبعض المقتربات لا تتضمن إعادة أخذ العينات من نفس الموقع، وهو أمر مقبول، إلا أنه قد يؤثر على الدقة الإحصائية للتحليل، ومن ثم يؤدي إلى درجة أكبر من عدم التيقن. ومن المرجح أن يعمل تصميم المقاييس المتكررة على تقديم أساس أفضل لتقدير التغيرات في مخزون الكربون أو الانبعاثات في معظم البلدان.

ومن الممارسات الجيدة التي يمكن القيام بها وضع كتيب للمنهجية يقوم بشرح مخطط الاستيعان، كجزء من الخطوة 1. ومن الممكن أن يفيد من هذا الكتيب الأشخاص المعنيون بإجراء القياسات والتحليلات المعملية وجوانب العمليات الأخرى، هذا إلى جانب ما يقدمه من مادة داعمة يتم الإفادة منها في أغراض التوثيق.

الخطوة 2. اختيار مواقع أخذ العينات. يتم اختيار مواقع أخذ العينات بناءً على تصميم الاستيعان. وتقتضي الممارسة الجيدة تعيين مواقع بديلة لأخذ العينات في حالة تعذر القيام بأخذ العينات من الأماكن الأصلية. وفي تصميم المقاييس المتكررة، تصبح المواقع بمثابة شبكة مراقبة يتم إعادة أخذ العينات منها بطريقة دورية.

ويرجح أن تستعين عملية تحديد مواقع أخذ العينات بنظام المعلومات الجغرافية. وقد تشتمل قاعدة البيانات الجغرافية على مجموعة من البيانات البيئية والإدارية مثل الطقس وأنواع التربة واستخدام الأراضي والعمليات الخاصة بالماشية، على أساس فئة المصدر والتقسيم الطبقي. وفي حالة عدم توافر البيانات الأساسية على المستوى الوطني، فيتعين على مطور الحصر القيام بإعادة تقييم التصميم والتقسيم الطبقي (إذا كان مستخدماً) في الخطوة 1، وقد يتعين عليه القيام بتعديل تصميم الاستيعان.

تجدر الإشارة إلى أن عملية الاستيعان قد تتطلب التنسيق بين مختلف الوزارات الوطنية وحكومات المقاطعات أو الولايات ومالكي الشركات والأراضي الخاصة. كما أن إقامة العلاقات مع هذه الجهات المعنية يمكن أن يتم قبل القيام بجمع العينات الأولية. وقد يسهم إبلاغ الجهات المعنية بعمليات المراقبة المستمرة في تحقيق فوائد جيدة ويؤدي لإنجاح تنفيذ برامج المراقبة.

الخطوة 3. جمع العينات الأولية. بمجرد الانتهاء من تحديد مجموعة المواقع النهائية، يمكن لفريق أخذ العينات الشروع في زيارة هذه الأماكن ووضع المخططات والبدء في جمع العينات الأولية، والتي تقوم بتوفير مخزونات الكربون الأولية أو العمل كقياس أولي للانبعاثات. ويعد وضع القياسات الميدانية والبروتوكولات المعملية قبل جمع العينات من الممارسات السليمة. ومن الأمور ذات الفائدة في هذا الخصوص استخدام نظام عالمي لتحديد المواقع في أخذ الإحداثيات الجغرافية لأماكن المخطط أو نقاط العينات وتحديد أماكن دائمة، في حالة التخطيط لإجراء المقاييس المتكررة، من أجل تيسير عملية العثور على المواقع وإعادة أخذ العينات منها في المستقبل.

ومن الممارسات السليمة كذلك أخذ القياسات والملاحظات ذات الصلة بالأحوال البيئية وإدارة الموقع. حيث يؤكد ذلك على أن الأحوال كانت متسقة مع تصميم مخطط الاستيعان، فضلاً عن إمكانية استخدام هذه القياسات والملاحظات في تحليل البيانات (الخطوة 5). وإذا ما تم استخدام مقتربات استيعان مقسم طبقياً، وأصبح واضحاً أن العديد من المواقع أو معظمها غير متنسق مع الأحوال البيئية المتوقعة وأنظمة الإدارة، فمن الممارسات الجيدة التي يمكن القيام بها في هذه الحالة تكرار الخطوة 1 المتمثلة في إعادة تقييم مخطط الاستيعان، وقد يستلزم الأمر تعديله، اعتماداً على المعلومات الجديدة.

الخطوة 4. إعادة أخذ العينات من شبكة المراقبة على أساس دوري. بالنسبة لتصميمات القياسات المتكررة، يتم أخذ العينات من المواقع المحددة بشكل دوري من أجل تقييم اتجاهات مخزونات الكربون وانبعاثات الغازات غير ثاني أكسيد الكربون في فترة الحصر. وتعتمد الفترة الفاصلة بين عمليات إعادة القياسات على معدل التغيير في المخزون أو تغيرية الانبعاثات، كما تعتمد على الموارد المتاحة لبرنامج المراقبة إلى جانب تصميم مخطط الاستيعان.

وفي حالة الاستيعان المُتلف، مثل إزالة لب التربة وعينة الكتلة الحيوية، فمن الممارسات الجيدة إعادة أخذ العينات من نفس الموقع لكن ليس من نفس المكان التي تم أخذ العينة منه قبل ذلك. تجدر الإشارة إلى أن الاستيعان المتلف قد يتسبب في تحيز القياسات مما قد يؤثر على دقة عملية المراقبة ويؤدي إلى الحصول على نتائج لا تمثل الاتجاهات الوطنية بأي حال.

الخطوة 5. تحليل البيانات وتحديد تغيير مخزون الكربون/الانبعاثات من غير ثاني أكسيد الكربون والاستدلال على الانبعاثات الوطنية وتقديرات الإزالة وقياسات عدم التيقن. يعد تحديد الطريقة الإحصائية المناسبة لتحليل البيانات اعتماداً على تصميم الاستيعان من الممارسات الجيدة. وتتمثل النتيجة الإجمالية للتحليل الإحصائي في تقديرات تغيرات مخزون الكربون أو قياسات الانبعاثات، والتي يمكن أن يستخرج منها تقدير الانبعاثات وعمليات الإزالة على المستوى الوطني. وتشتمل الممارسات الجيدة أيضاً على تقدير عدم التيقن، ويشمل ذلك أخطاء القياسات في عملية جمع العينات والمعالجة المعملية (مثل ذلك المعالجة المعملية والتي يمكن تناولها باستخدام المعايير ومن خلال نتائج التحقق باستخدام مختلف المصادر بالمعامل المستقلة)، وتباين عمليات جمع العينات المرتبطة بتصميم المراقبة ومصادر أخرى وثيقة الصلة بعدم التيقن (انظر المناقشة الخاصة بكل فئة مصدر في الأجزاء التالية من هذا المجلد إلى جانب الفصل الخاص بعدم التيقن في المجلد 1). وإلى جانب ذلك، قد يشتمل التحليل على توسيع القياسات على نطاق مكاني أو زمني أكبر، وهو ما يعتمد مرة أخرى على تصميم مخطط الاستيعان، علماً بأن عملية التوسيع قد تختلف من الحساب البسيط للمتوسط أو المتوسط المرجح إلى تقنيات الاستيفاء/الاستقراء الأكثر تفصيلاً.

للحصول على التقديرات المتعلقة بتغيرات المخزون أو انبعاثات غازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون، فلا بد من إجراء التقدير الاستقرائي للقياسات من حين لآخر عن طريق استخدام النماذج التي تأخذ بعين الاعتبار الأحوال البيئية والإدارة وبيانات الأنشطة الأخرى. وعلى الرغم من أن التغيرات الصافية لغازات الاحتباس الحراري القائمة على الكربون يمكن تقديرها بشكل كبير (على الأقل نظرياً) من خلال القياسات المتكررة لمخزونات الكربون، إلا أن النماذج الإحصائية والنماذج الأخرى يمكن استخدامها للمساعدة في توسيع القياسات البيئية إلى تقديرات وطنية. ولا يحتمل أن يتم اشتقاق تقديرات الانبعاثات الوطنية لغازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون من القياسات بمفردها، وذلك نظراً للصعوبة والنفقات التي يتم تكبدها في الحصول على القياس. ومن أمثلة ذلك انبعاثات أكسيد النترور الناجمة عن الحرائق بالأحراج، والتي لا يمكن قياسها على نحو تجريبي، إلا أنه يمكن الاستدلال عليها من خلال العينات وبيانات الأنشطة المتعلقة بالمناطق المحروقة إلى جانب تقديرات استهلاك الوقود. وعلى العكس من ذلك، يمكن تقدير انبعاثات أكسيد النترور الموجودة بالتربة بكل سهولة من خلال استخدام الغرف، إلا أن إنشاء شبكة لكثافة أخذ العينات اللازمة لتقديم تقديرات الانبعاثات الوطنية من خلال الاعتماد على القياسات وحدها ودون استخدام نماذج الاستقراء يعد مكلفاً للغاية.

ويعد تحليل الانبعاثات ذات الصلة بالأحوال البيئية ومساهمة ممارسات الإدارة المتعددة في هذه الاتجاهات من الممارسات السليمة. هذا إلى جانب الدور الهام الذي يلعبه تفسير النماذج في تقييم الاحتمالات الممكنة في المستقبل.

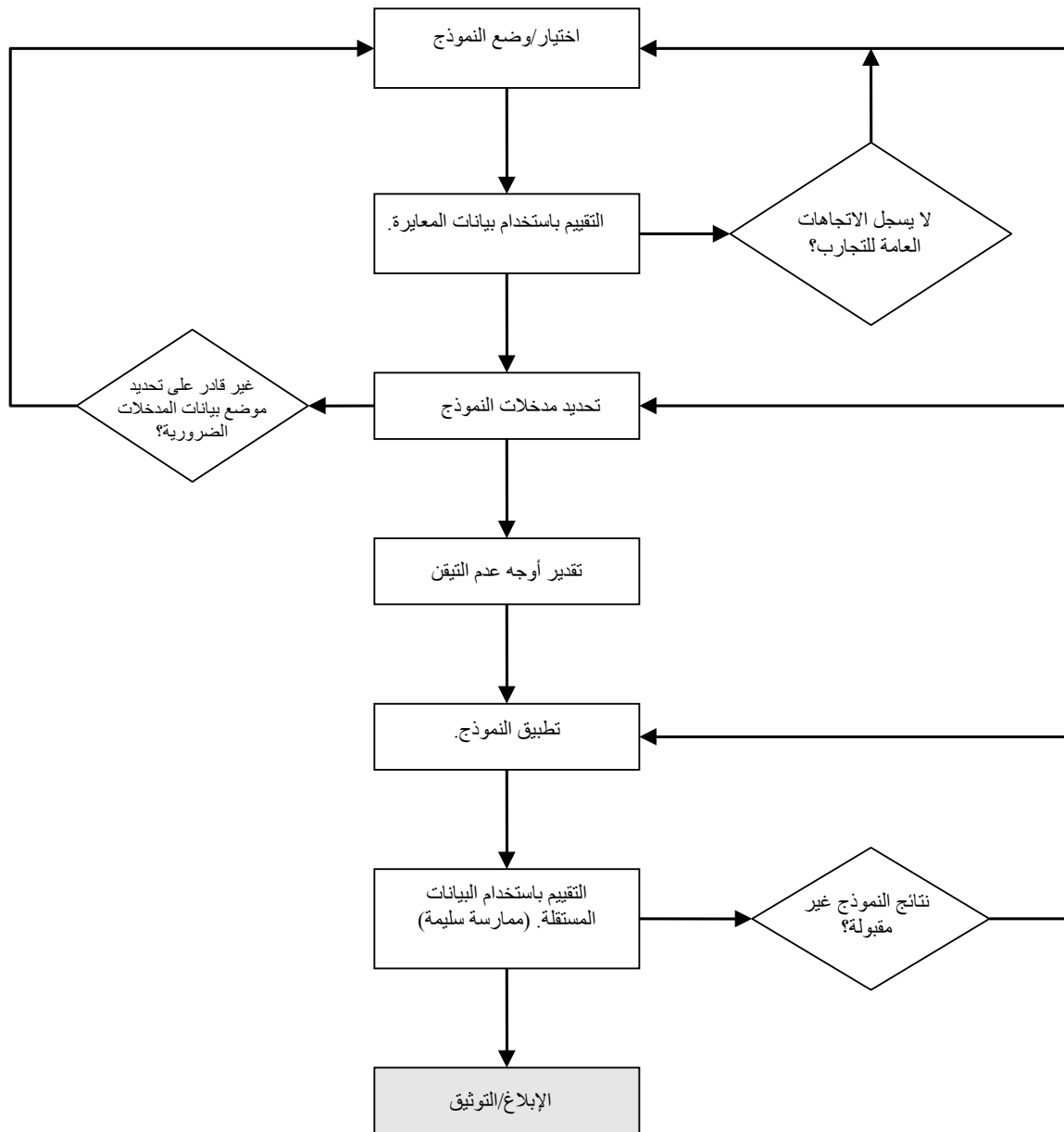
الخطوة 6. الإبلاغ والتوثيق. تقتضي الممارسة السليمة تجميع نتائج الحصر بطريقة منتظمة وواضحة لأغراض الإبلاغ. وقد يشتمل التوثيق على إعطاء وصف لمخطط الاستيعان والطرق الإحصائية والجدول الزمني لأخذ العينات (بما في ذلك إعادة أخذ العينات) وتغيير المخزون وتقدير الانبعاثات إلى جانب تفسير اتجاهات الانبعاثات (مثل مساهمات أنشطة الإدارة). وعلاوة على ذلك، ينبغي الانتهاء من ضمان الجودة/مراقبة الجودة وتوثيقها في التقرير، بما في ذلك الإجراءات الخاصة بضمان الجودة والتي يقوم من خلالها المراجعون النظراء غير المشاركين بالتحليل بتقييم المنهجية. للحصول على تفاصيل حول ضمان الجودة/مراقبة الجودة والإبلاغ والتوثيق، يرجى الرجوع إلى القسم المعني بفئة المصدر المحددة في الأجزاء التالية من هذا المجلد إلى جانب المعلومات الواردة في المجلد 1، الفصل 6.

2-5-2 عمليات الحصر القائمة على النماذج بالمستوى 3

يتم تطوير عمليات الحصر القائمة على النماذج باستخدام النماذج التجريبية أو القائمة على العمليات أو نماذج أخرى. ومن الممارسات السليمة التي يمكن القيام بها وضع القياسات المستقلة للتحقق من قدرة النموذج على تقدير الانبعاثات والإزالة في فئات المصدر المعنية (Prisley and Mortimer، 2004). وبوجه عام، يتم تنفيذ عمليات حصر المستوى 3 القائمة على النماذج من خلال سبع خطوات (الشكل 7-2).

الخطوة 1. تحديد/وضع نموذج لحساب تغييرات المخزون و/أو انبعاثات غاز الاحتباس الحراري. يجب تحديد أو وضع نموذج يتم من خلاله تقديم تغييرات المخزون أو انبعاثات غازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون بطريقة أكثر دقة من الطريقة المتاحة من خلال مقتربات المستوى 1 و2. وكجزء من هذا الإجراء، يعد النظر في مدى توافر بيانات المدخلات (الخطوة 3) وحساب الموارد اللازمة لتنفيذ النموذج (الخطوة 5) من الممارسات السليمة التي يمكن القيام بها.

الشكل 7-2 خطوات لوضع حصر قائم على النماذج بالمستوى 3



الخطوة 2. التقييم باستخدام بيانات المعايرة. تشكل هذه الخطوة أهمية كبرى في عملية تطوير الحصر والتي يتم خلالها مقارنة نتائج النماذج مباشرة بالقياسات التي تم استخدامها لمعايرة النماذج (مثل، Falloon and Smith، 2002). ويمكن عقد المقارنات باستخدام الاختبارات الإحصائية و/أو من خلال الرسوم، بهدف توضيح أن النموذج يحاكي الاتجاهات القياسية على نحو فعال لمجموعة من الحالات بفئة المصدر ذات الصلة. ومن الممارسات الجيدة التأكيد على أن النموذج يستجيب على نحو ملائم للتغيرات التي تطرأ على بيانات الأنشطة، وأن لديه القدرة على وضع تقرير بالنتائج حسب فئة استخدام الأراضي وفقاً لما هو متبع في الفصل 3. وقد يكون من الضروري القيام بإعادة معايرة النماذج أو إجراء تعديلات على البنية ذاتها (مثل الخوارزميات) إذا لم يكن بإمكان النموذج حصر الاتجاهات العامة أو إذا كانت هناك انحرافات منتظمة واسعة النطاق. تجدر الإشارة إلى أنه من الممكن في بعض الأحيان القيام بتحديد أو وضع نموذج جديد بناءً على هذا التقييم، ومن ثم، تعد نتائج التقييم أحد المكونات في عملية توثيق الإبلاغ وتبرير استخدام نموذج معين لتحديد الانبعاثات من فئة بعينها.

الخطوة 3. جمع بيانات مكانية مؤقتة حول الأنشطة والأحوال البيئية ذات الصلة اللازمة كمدخلات إلى النماذج. تتطلب جميع النماذج، حتى النماذج المستخدمة في مقتربات المستوى 1 و2، وجود معلومات مدخلات معينة من أجل تقدير انبعاثات وإزالة غازات الاحتباس الحراري المرتبطة بفئة مصدر معينة. وقد تتنوع هذه المدخلات من الطقس والتربة إلى أعداد الماشية أو أنواع الأجراس أو الاضطرابات الطبيعية أو الممارسات الخاصة بإدارة المحاصيل. ومن الممارسات السليمة بالنسبة لبيانات المدخلات المحافظة اتساقها عبر النطاق المكاني والزمني للنموذج (مثل الخوارزميات). على سبيل المثال، إذا كان النموذج يعمل من خلال خطوة زمنية يومية، فلا بد أن تقوم بيانات المدخلات بتوفير المعلومات المتعلقة بالتغيرات اليومية التي تطرأ على الخصائص البيئية أو بيانات الأنشطة. وفي بعض الأحيان، قد تكون بيانات المدخلات بمثابة معامل تقييم في عملية اختيار النموذج، حيث يتم استبعاد بعض النماذج باعتبارها غير ملائمة في ضوء مدى توافر بيانات الأنشطة و/أو البيانات البيئية.

الخطوة 4. التحديد الكمي لعدم التيقن. تحدث حالات عدم التيقن نتيجة لعدم المعرفة غير المكتملة حول الأنشطة أو العمليات المسببة لتدفقات غازات الاحتباس الحراري، وتظهر هذه الحالات بوضوح في بنية النموذج والمدخلات. وبناءً عليه، يتم إجراء التحليلات الخاصة بعدم التيقن من أجل توفير مقياس دقيق حول مدى الثقة التي يمكنه نسبتها إلى أحد النماذج اعتماداً على مستوى عدم التيقن في البنية والمدخلات، مما يعمل على خلق مقياس للتلقائية في تغيرات مخزون الكربون أو تدفقات انبعاثات غازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون. يذكر أن الفصل 3 من المجلد 1 يشتمل على بعض التوجيهات المتعلقة بالطرق الملائمة التي يمكن الاستعانة بها لإجراء هذه التحليلات. كما يمكن الحصول على المعلومات الإضافية المتعلقة بفئات مصدر معينة في الأجزاء التالية من هذا المجلد.

الخطوة 5. تطبيق النموذج. يتمثل الاعتبار الأهم في هذه الخطوة في توافر الموارد الكافية لإجراء الحسابات والوقت اللازم الذي يسمح لأفراد العمل بإعداد بيانات المدخلات وإجراء عمليات محاكاة النماذج إلى جانب تحليل النتائج. ويعتمد ذلك على فعالية نص البرمجة ودرجة تعقيد النموذج إلى جانب النطاق المكاني والزمني ودقة عمليات المحاكاة. وفي بعض الأحيان، قد تعمل القيود المتعلقة بالموارد المتاحة لإجراء الحسابات على تحديد درجة التعقيد ونطاق الدقة المكانية أو الزمانية في التطبيق على المستوى الوطني (مثل عملية المحاكاة في نطاق مكاني وزماني أصغر والتي تتطلب موارد أكبر).

الخطوة 6. التقييم باستخدام البيانات المستقلة. يجب ملاحظة الاختلاف بين الخطوتين 2 و6. الخطوة 2 تنطوي على اختبار مخرجات النموذج من خلال بيانات الحقل التي تم استخدامها كأساس للمعايرة (مثل تحديد البارامترات). وعلى الناحية الأخرى، يتم التقييم باستخدام البيانات المستقلة من خلال مجموعة بيانات مستقلة تماماً عن نموذج المعايرة، مما يوفر تقييماً أكثر دقة لمكونات ونتائج النموذج. ولا بد أن يقوم التقييم المستقل على القياسات المأخوذة من شبكة المراقبة أو من مواقع البحث التي لم يتم استخدامها لتقييم بارامترات النموذج، إذا تعد هذه الطريقة المثلى في إجراء التقييم. يذكر أن هذه الشبكة ستكون مشابهة بصفة مبدئية لمجموعة من المواقع التي تستخدم في عمليات الحصر القائمة على القياسات. ومع ذلك، ليست هناك حاجة لأخذ العينات بشكل مكثف، ذلك أن الشبكة لا تشكل أساساً يتم بناءً عليه تقييم تغيرات مخزون الكربون أو تدفقات غازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون، كما هو الحال في عمليات الحصر التي تقوم بشكل تام على القياسات، بل إنها تستخدم في فحص نتائج النماذج.

وفي بعض الأحيان، قد يُظهر التقييم المستقل عدم ملاءمة نظام التقدير القائم على النماذج نظراً للاختلافات الواضحة والتي لا يمكن التنبؤ بها بين نتائج النموذج والاتجاهات المقاسة الخاصة بشبكة المراقبة. وقد تنشأ المشكلات من أحد الاحتمالات الثلاثة التالية: حدوث خطأ في خطوات التطبيق أو قلة بيانات الدخل أو عدم ملاءمة النموذج. وتنتج مشكلات التطبيق عادة عن أخطاء في البرمجة بأجهزة الكمبيوتر، وقد تؤدي مدخلات النموذج إلى نتائج خاطئة إذا لم تمثل هذه البيانات أنشطة الإدارة أو الأحوال الجوية. ومن الممارسات السليمة التي يمكن لمطور الحصر القيام بها في هاتين الحالتين العودة إلى الخطوة 3 أو الخطوة 6 اعتماداً على نوع المشكلة التي تنشأ. وفي حالة قبول الخطوة 2، نقل احتمالية عدم ملاءمة النموذج. وفي هذه الحالة، فإن من الممارسة السليمة أن يتم العودة إلى مرحلة تحديد/وضع النموذج (الخطوة 1).

وفي الخطوة 2 التي تلي اختبار/وضع النموذج، تقتضي الممارسة السليمة في تجنب استخدام بيانات التقييم المستقل في إعادة معايرة أو تدقيق الخوارزميات. وفي حالة حدوث ذلك، لن تصبح هذه البيانات ملائمة لعملية التقييم المستقل، ومن ثم فإنها لن تفي بغرض الخطوة 6 في مقرب الحصر هذا.

الخطوة 7. الإبلاغ والتوثيق. تقتضي الممارسة السليمة جمع نتائج الحصر بطريقة منتظمة وواضحة لأغراض الإبلاغ. وقد يشتمل التوثيق على إعطاء وصف للنماذج وملخص بمصادر بيانات المدخلات ونتائج تقييم النماذج بما في ذلك مصدر الاختبارات و/أو بيانات القياسات الصادرة عن شبكة المراقبة وتغيير المخزون وتقديرات الانبعاثات وتفسير اتجاهاتها (مثل مساهمات أنشطة الإدارة). وإلى جانب ذلك، ينبغي الانتهاء من ضمان الجودة/مراقبة الجودة وتوثيقها في التقرير. للحصول على تفاصيل حول ضمان الجودة/مراقبة الجودة والإبلاغ والتوثيق، يرجى الرجوع إلى القسم المعني بفئة المصدر المحددة في الأجزاء التالية من هذا المجلد إلى جانب المعلومات الواردة في المجلد 1، الفصل 6.

المراجع

- Andrea, M.O. and Merlet, P. (2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles* **15**:955-966.
- Armentano, T.V. and Menges, E.S. (1986). Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. *Journal of Ecology* **74**: 755-774.
- Baldocchi, D., Falge, E., Gu, L.H., Olson, R., Hollinger, D., Running, S., Anthoni, P., Bernhofer, C., Davis, K., Evans, R., Fuentes, J., Goldstein, A., Katul, G., Law, B., Lee, X.H., Malhi, Y., Meyers, T., Munger, W., Oechel, W., Pilegaard, K., Schmid, H.P., Valentini, R., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K. and Wofsy, S. (2001). FLUXNET: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor, and energy flux densities. *Bulletin of the American Meteorological Society* **82**: pp. 2415-2434.
- Bernoux, M., Carvalho, M.D.S., Volkoff, B. and Cerri, C.C. (2002). Brazil's soil carbon stocks. *Soil Science Society of America Journal* **66**:888-896.
- Bhatti, J.S., Apps, M.J. and Jiang, H. (2001). Examining the carbon stocks of boreal forest ecosystems at stand and regional scales. In: Lal R. *et al.* (eds.) *Assessment Methods for Soil Carbon*, Lewis Publishers, Boca Raton FL, pp. 513-532.
- Brady, N.C. and Weil, R.R. (1999). *The Nature and Properties of Soils*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 881 pp.
- Clymo, R.S. (1984). The limits to peat bog growth. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* **303**:605-654.
- Conant, R.T., Paustian, K. and Elliott, E.T. (2001). Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. *Ecological Application* **11**:343-355.
- Coomes, D.A., Allen, R.B., Scott, N.A., Gouling, C. and Beets, P. (2002). Designing systems to monitor carbon stocks in forests and shrublands. *Forest Ecology and Management* **164**, pp. 89 - 108.
- Davidson, E. A. and Ackerman, I.L. (1993). Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry* **20**:161-164.
- Ellert, B.H., Janzen, H.H. and McConkey, B.G. (2001). Measuring and comparing soil carbon storage. In: R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett and B.A. Stewart (eds.). *Soil Management for Enhancing Carbon Sequestration*. CRC Press, Boca Raton, FL.: pp. 593-610.
- Falloon, P. and Smith, P. (2002). Simulating SOC changes in long-term experiments with the RothC and Century; model evaluation for a regional application. *Soil Use and Management* **18**:101-111.
- Falloon, P. and Smith, P. (2003). Accounting for changes in soil carbon under the Kyoto Protocol: need for improved long-term data sets to reduce uncertainty in model projections. *Soil Use and Management* **19**:265-269.
- Forbes, M.S., Raison, R.J. and Skjemstad, J.O. (2006). Formation, transformation and transport of black carbon (charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems. *Journal of the Science of the Total Environment* (in press).
- Gifford, R.M. and Roderick, M.L. (2003). Soil carbon stocks and bulk density: spatial and cumulative mass coordinates as a basis for expression? *Global Change Biology* **9**:1507-1513.
- Gorham, E. (1991). Northern peatlands: role in the carbon cycle and probably responses to climatic warming. *Ecological Applications* **1**:182-195.
- Harmon, M.E. and Hua, C. (1991). Coarse woody debris dynamics in two old-growth ecosystems. *BioScience* **41**: 604-610.
- Harmon, M.E., Franklin, J.F., Swanson, F.J., Sollins, P., Gregory, S.V., Lattin, J.D., Anderson, N.H., Cline, S.P., Aumen, N.G., Sedell, J.R., Lienkaemper, G.W., Cromack, J.R. and Cummins, K.W. (1986). Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research* **15**: 133-302.
- 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. 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., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- IPCC (2000). Watson R., Noble I.R., Bolin B., Ravindranath, N.H., Verardo D.J. and Dokken D.J. (Eds). *Land use, Land-use Change, and Forestry: A Special Report*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.
- Jobbagy, E.G. and Jackson, R.B. (2000). The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications* **19**(2): 423-436.
- Karjalainen, L. and Kuuluvainen, T. (2002). Amount and diversity of coarse woody debris within a boreal forest landscape dominated by *Pinus sylvestris* in Vienansalo wilderness, eastern Fennoscandia. *Silva Fennica* **36**(1): 147-167.
- Kasimir-Klemedtsson, A, Klemedtsson, L., Berglund, K., Martikainen, P., Silvola, J. and Oenema, O. (1997). Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review. *Soil Use and Management* **13**:245-250.
- Krankina, O.N., Harmon, M.E., Kukuev, Y.A., Treyfeld, R.E., Kashpor, N.N., Kresnov, V.G., Skudin, V.M., Protasov, N.A., Yatskov, M., Spycher, G. and Povarov, E.D. (2002). Coarse woody debris in forest regions of Russia, *Can.J. For. Res.* **32**: 768-778.
- Kurz, W.A.**, Apps, M.J., Webb, T.M. and McNamee, P.J. (1992). The carbon budget of the Canadian forest sector: phase I. Forestry Canada, Northwest Region. Information Report NOR-X-326, 93 pp.
- Lettens, S., van Orshoven, J., van Wesemael, B. and Muys, B. (2004). Soil organic and inorganic carbon contents of landscape units in Belgium derived using data from 1950 to 1970. *Soil Use and Management* **20**: 40-47.
- Mann, L.K. (1986). Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Science* **142**:279-288.
- Martikainen, P.J., Nykanen, H., Alm, J. and Silvola, J. (1995). Change in fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide due to forest drainage of mire sites of different trophic. *Plant & Soil* **169**: 571-577.
- McGill, W. B. (1996). Review and classification of ten soil organic matter models. In: Powlson D.S., Smith P., and Smith J.U. (eds.). *Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long-Term Datasets*. Springer-Verlag, Heidelberg: pp. 111-132.
- Nykänen, H., Alm, J., Lang, K., Silvola, J. and Martikainen, P.J. (1995). Emissions of CH₄, N₂O, and CO₂ from a virgin fen and a fen drained for grassland in Finland. *Journal of Biogeography* **22**:351-357.
- Ogle, S.M., Breidt, F.J., Eve, M.D. and Paustian, K. (2003). Uncertainty in estimating land-use and management impacts on soil organic carbon storage for U.S. agricultural lands between 1982 and 1997. *Global Change Biology* **9**:1521-1542.
- Ogle, S.M., Breidt, F.J. and Paustian, K (2005). Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochemistry* **72**:87-121.
- Ogle, S.M., Conant, R.T. and Paustian, K. (2004). Deriving grassland management factors for a carbon accounting approach developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Environmental Management* **33**:474-484.
- Paustian, K, Andren, O., Janzen, H.H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., van Noordwijk, M. and Woome, P.L. (1997). Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use and Management* **13**:230-244.

- Preston, C.M. and Schmidt, M.W.I. (2006). Black (pyrogenic) carbon in the boreal forests: a synthesis of current knowledge and uncertainties. *Biogeosciences Discussions* **3**, 211-271.
- Prisley, S.P. and Mortimer, M.J. (2004). A synthesis of literature on evaluation of models for policy applications, with implications for forest carbon accounting. *Forest Ecology and Management* **198**: 89-103.
- Shaw, C.H., Bhatti, J.S. and Sabourin, K.J. (2005). An ecosystem carbon database for Canadian forests. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta, Information Report NOR-X-403.
- Siltanen *et al.* (1997). A soil profile and organic carbon data base for Canadian forest and tundra mineral soils. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta.
- Sleutel, S., de Neve, S., Hofman, G., Boeckx, P., Beheydt, D., van Cleemput, O., Mestdagh, I., Lootens, P., Carlier, L., van Camp, N., Verbeeck, H., Vand Walle, I., Sampson, R., Lust, N. and Lemeur, R. (2003). Carbon stock changes and carbon sequestration potential of Flemish cropland soils. *Global Change Biology* **9**: 1193-1203.
- Smith, J. E. and Heath, L.S. (2001). Identifying influences on model uncertainty: an application using a forest carbon budget model. *Environmental Management* **27**: 253-267.
- Smith, P., Powlson, D.S., Smith, J.U. and Elliott, E.T. (eds) (1997b). Evaluation and comparison of soil organic matter models. Special Issue, *Geoderma* **81**: 1-225.
- Smith, P. (2004a). Monitoring and verification of soil carbon changes under Article 3.4 of the Kyoto Protocol. *Soil Use and Management* **20**: 264-270.
- Smith, P. (2004b). How long before a change in soil organic carbon can be detected? *Global Change Biology* **10**: 1878-1883.
- Smith, S.V., Renwick, W.H., Buddemeier, R.W. and Crossland, C.J. (2001). Budgets of soil erosion and deposition for sediments and sedimentary organic carbon across the conterminous United States. *Global Biogeochemical Cycles* **15**: 697-707.
- Smith, W.N., Desjardins, R.L. and Pattey, E. (2000). The net flux of carbon from agricultural soils in Canada 1970-2010. *Global Change Biology* **6**: 557-568.
- Somogyi, Z., Cienciala, E., Mäkipää, R., Muukkonen, P., Lehtonen, A. and Weiss, P. (2006). Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. *European Journal of Forest Research*. DOI: 10.1007/s10342006-0125-7.
- Tate, K.R., Wilde, R.H., Giltrap, D.J., Baisden, W.T., Saggar, S., Trustrum, N.A., Scott, N.A. and Barton, J.P. (2005). Soil organic carbon stocks and flows in New Zealand: measurement and modelling. *Canadian Journal of Soil Science*, in press.
- Thormann M.N., Szumigalski A.R. and Bayley S.E. (1999). Above-ground peat and carbon accumulation potentials along a bog-fen-marsh wetland gradient in southern boreal Alberta, Canada. *Wetlands* **19** (2): 305-317.
- Tremblay, S., Ouimet, R. and Houle, D. (2002). Prediction of organic carbon content in upland forest soils of Quebec, Canada. *Can. J. For. Res.* **32**: pp. 903-914.
- VandenBygaart, A.J., Gregorich, E.G., Angers, D.A., *et al.* (2004). Uncertainty analysis of soil organic carbon stock change in Canadian cropland from 1991 to 2001. *Global Change Biology* **10**: 983-994.
- Vogt, K.A., Vogt, D.J., Pamiotto, P.A., Boon, P., O'Hara, J. and Asbjornsen, H. (1996). Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type, and species. *Plant and Soil* **187**: pp. 159-219.
- Yavitt, J. B., Fahey, T.J. and Simmons, J.A. (1997). Methane and carbon dioxide dynamics in a northern hardwood ecosystem. *Soil Science Society of America Journal* **59**: 796-804.

REFERENCES TO TABLES 2.4 AND 2.6

1. Alexander, M. (1978). *Calculating and interpreting forest fire intensities. Canadian Journal of Botany* **60**: p. 349-357.
2. Amiro, B., Todd, J. and Wotton, B. (2001). *Direct carbon emissions from Canadian forest fires, 1959-1999. Canadian Journal of Forest Research*, **31**: p. 512-525.
3. Araújo, T., Carvalho, J., Higuchi, N., Brasil, A. and Mesquita, A. (1999). *A tropical rainforest clearing experiment by biomass burning in the state of Pará, Brazil. Atmospheric Environment*. **33**: p. 1991-1998.
4. Barbosa, R. and Fearnside, P. (1996). *Pasture burning in Amazonia: Dynamics of residual biomass and the storage and release of above-ground carbon. Journal of Geophysical Research*, **101**(D20): p. 25847-25857.
5. Bilbao, B. and Medina, E. (1996). *Types of grassland fires and nitrogen volatilization in tropical savannas of calabozo, in Biomass Burning and Global Change: Volume 2. Biomass burning in South America, Southeast Asia, and temperate and boreal ecosystems, and the oil fires of Kuwait*, J. Levine, Editor. MIT Press: Cambridge. p. 569-574.
6. Cachier, H., Liousse, C., Pertusiot, M., Gaudichet, A., Echalar, F. and Lacaux, J. (1996). African fire Particulate emissions and atmospheric influence, in *Biomass Burning and Global Change: Volume 1. Remote Sensing, Modeling and Inventory Development, and Biomass Burning in Africa*, J. Levine, Editor. MIT Press: Cambridge. p. 428-440.
7. Carvalho, J., Higuchi, N., Araujo, T. and Santos, J. (1998). *Combustion completeness in a rainforest clearing experiment in Manaus, Brazil. Journal of Geophysical Research*. **103**(D11): p. 13195.
8. Carvalho, J., Costa, F., Veras, C., et al. (2001). *Biomass fire consumption and carbon release rates of rainforest-clearing experiments conducted in northern Mato Grosso, Brazil. Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **106**(D16): p. 17877-17887.
9. Cheyney, N., Raison, R. and Khana, P. (1980). *Release of carbon to the atmosphere in Australian vegetation fires, in Carbon Dioxide and Climate: Australian Research*, G. Pearman, Editor. Australian Academy of Science: Canberra. p. 153-158.
10. Cofer, W., Levine, J., Winstead, E. and Stocks, B. (1990). *Gaseous emissions from Canadian boreal forest fires. Atmospheric Environment*, **24A**(7): p. 1653-1659.
11. Cofer, W., Winstead, E., Stocks, B., Goldammer, J. and Cahoon, D. (1998). *Crown fire emissions of CO₂, CO, H₂, CH₄, and TNMHC from a dense jack pine boreal forest fire. Geophysical Research Letters*, **25**(21): p. 3919-3922.
12. De Castro, E.A. and Kauffman, J.B. (1998). *Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of above-ground biomass, root mass and consumption by fire. Journal of Tropical Ecology*, **14**(3): p. 263-283.
13. Delmas, R. (1982). On the emission of carbon, nitrogen and sulfur in the atmosphere during bushfires in intertropical savannah zones. *Geophysical Research Letters*, **9**(7): p. 761-764.
14. Einfeld, W., Ward, D. and Hardy, C. (1991). Effects of fire behaviour on prescribed fire smoke characteristics: A case study, in *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*, J. Levine, Editor, MIT Press: Massachusetts. p. 412-419.
15. Fearnside, P., Filho, N. and Fernandes, F. (1993). Rainforest burning and the global carbon budget: biomass, combustion efficiency and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **98**(D9): p. 16733-16743.
16. Fearnside, P., Graca, P., Filho, N., Rodrigues, J. and Robinson, J. (1999). Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Para. *Forest Ecology and Management*, **123**: p. 65-79.
17. Fearnside, P., Graca, P. and Rodrigues, J. (2001). Burning of Amazonian rainforests: burning efficiency and charcoal formation in forest cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil. *Forest Ecology and Management*, **146**: p. 115-128.
18. Feller, M. (1998). The influence of fire severity, not fire intensity, on understory vegetation biomass in British Columbia. in *13th Fire and Forest Meteorology Conference*. Lorne, Australia: IAWF.
19. Flinn, D., Hopmans, P., Farrell, P. and James, J. (1979). Nutrient loss from the burning of Pinus radiata logging residue. *Australian Forest Research*, **9**: p. 17-23.
20. Garnett, M., Ineson, P. and Stevenson, A. (2000). Effects of burning and grazing on carbon sequestration in a Pennine blanket bog, UK. *Holocene*, **10**(6): p. 729-736.
21. Graca, P., Fearnside, P. and Cerri, C. (1999). Burning of Amazonian forest in Ariquemes, Rondonia, Brazil: biomass, charcoal formation and burning efficiency. *Forest Ecology and Management*, **120**: p. 179-191.
22. Griffin, G. and Friedel, M. (1984). Effects of fire on central Australian rangelands. I Fire and fuel characteristics and changes in herbage and nutrients. *Australian Journal of Ecology*, **9**: p. 381-393.
23. Guild, L., Kauffman, J., Ellingson, L. and Cummings, D. (1998). Dynamics associated with total above-ground biomass, C, nutrient pools, and biomass burning of primary forest and pasture in Rondonia, Brazil during SCAR-B. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **103**(D24): p. 32091-32100.
24. Gupta, P., Prasad, V., Sharma, C., Sarkar, A., Kant, Y., Badarinath, K. and Mitra, A. (2001). CH₄ emissions from biomass burning of shifting cultivation areas of tropical deciduous forests - experimental results from ground - based measurements. *Chemosphere - Global Change Science*, **3**: p. 133-143.
25. Harwood, C. and Jackson, W. (1975). Atmospheric losses of four plant nutrients during a forest fire. *Australian Forestry*, **38**(2): p. 92-99.
26. Hobbs, P. and Gimingham, C. (1984). Studies on fire in Scottish heathland communities. *Journal of Ecology*, **72**: p. 223-240.
27. Hobbs, P., Reid, J., Herring, J., et al. (1996). Particle and trace-gas measurements from prescribed burns of forest products in the Pacific Northwest, in *Biomass Burning and Global Change: Volume 2. Biomass burning in South America, Southeast Asia, and temperate and boreal ecosystems, and the oil fires of Kuwait*, J. Levine, Editor. MIT Press: Cambridge. p. 697-715.
28. Hoffa, E., Ward, D., Hao, W., Susott, R. and Wakimoto, R. (1999). Seasonality of carbon emissions from biomass burning in a Zambian savanna. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **104**(D11): p. 13841-13853.
29. Hopkins, B. (1965). Observations on savanna burning in the Olokemeji forest reserve, Nigeria. *Journal of Applied Ecology*, **2**(2): p. 367-381.
30. Hughes, R., Kauffman, J. and Cummings, D. (2000). Fire in the Brazilian Amazon 3. Dynamics of biomass, C, and nutrient pools in regenerating forests. *Oecologia*, **124**(4): p. 574-588.
31. Hurst, D., Griffith, W. and Cook, G. (1994). Trace gas emissions from biomass burning in tropical Australian savannas. *Journal of Geophysical Research*, **99**(D8): p. 16441-16456.
32. Jackson, W. (2000). Nutrient stocks in Tasmanian vegetation and approximate losses due to fire. Papers and proceedings of the Royal Society of Tasmania, 134: p. 1-18.
33. Kasischke, E., French, N., Bourgeau-Chavez, L. and Christensen, N. (1995). Estimating release of carbon from 1990 and 1991 forest fires in Alaska. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **100**(D2): p. 2941-2951.

34. Kauffman, J. and Uhl, C. (1990). 8 interactions of anthropogenic activities, fire, and rain forests in the Amazon Basin, in *Fire in the Tropical Biota: Ecosystem Processes and Global Changes*, J. Goldammer, Editor. Springer-Verlag: Berlin. p. 117-134.
35. Kauffman, J., Sanford, R., Cummings, D., Salcedo, I. and Sampaio, E. (1993). Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. *Ecology*, **74**(1): p. 140-151.
36. Kauffman, J., Cummings, D. and Ward, D. (1994). Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian cerrado. *Journal of Ecology*, **82**: p. 519-531.
37. Kauffman, J., Cummings, D., Ward, D. and Babbitt, R. (1995). Fire in the Brazilian Amazon: 1. Biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forests. *Oecologia*, **104**: p. 397-408.
38. Kauffman, J., Cummings, D. and Ward, D. (1998). Fire in the Brazilian Amazon: 2. Biomass, nutrient pools and losses in cattle pastures. *Oecologia*, **113**: p. 415-427.
39. Kayll, A. (1966). Some characteristics of heath fires in north-east Scotland. *Journal of Applied Ecology*, **3**(1): p. 29-40.
40. Kiil, A. (1969). Fuel consumption by a prescribed burn in spruce-fir logging slash in Alberta. *The Forestry Chronicle*, : p. 100-102.
41. Kiil, A. (1975). Fire spread in a black spruce stand. Canadian Forestry Service Bi-Monthly Research Notes, **31**(1): p. 2-3.
42. Lacaux, J., Cachier, H. and Delmas, R. (1993). Biomass burning in Africa: an overview of its impact on atmospheric chemistry, in *Fire in the Environment: The Ecological, Atmospheric, and Climatic Importance of Vegetation Fires*, P. Crutzen and J. Goldammer, Editors. John Wiley & Sons: Chichester. p. 159-191.
43. Lavoue, D., Liousse, C., Cachier, H., Stocks, B. and Goldammer, J. (2000). Modeling of carbonaceous particles emitted by boreal and temperate wildfires at northern latitudes. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **105**(D22): p. 26871-26890.
44. Levine, J. (2000). Global biomass burning: a case study of the gaseous and particulate emissions released to the atmosphere during the 1997 fires in Kalimantan and Sumatra, Indonesia, in *Biomass Burning and its Inter-relationships with the Climate System*, J. Innes, M. Beniston, and M. Verstraete, Editors. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht. p. 15-31.
45. Levine, J. and Cofer, W. (2000). Boreal forest fire emissions and the chemistry of the atmosphere, in *Fire, Climate Change and Carbon Cycling in the Boreal Forest*, E. Kasischke and B. Stocks, Editors. Springer-Verlag: New York. p. 31-48.
46. Marsdon-Smedley, J. and Slijepcevic, A. (2001). Fuel characteristics and low intensity burning in Eucalyptus obliqua wet forest at the Warra LTER site. *Tasforests*, **13**(2): p. 261-279.
47. Mazurek, M., Cofer, W. and Levine, J. (1991). Carbonaceous aerosols from prescribed burning of a boreal forest ecosystem, in *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*, J. Levine, Editor, MIT Press: Massachusetts. p. 258-263.
48. McNaughton, S., Stronach, N. and Georgiadis, N. (1998). Combustion in natural fires and global emissions budgets. *Ecological Applications*, **8**(2): p. 464-468.
49. McRae, D. and Stocks, B. (1987). Large-scale convection burning in Ontario. in *Ninth Conference on Fire and Forest Meteorology*. San Diego, California: American Meteorological Society.
50. Moula, M., Brustet, J., Eva, H., Lacaux, J., Gregoire, J. and Fontan, J. (1996). Contribution of the Spread-Fire Model in the study of savanna fires, in *Biomass Burning and Global Change: Volume 1. Remote Sensing, Modeling and Inventory Development, and Biomass Burning in Africa*, J. Levine, Editor. MIT Press: Cambridge. p. 270-277.
51. Neil, R., Stronach, N. and McNaughton, S. (1989). Grassland fire dynamics in the Serengeti ecosystem, and a potential method of retrospectively estimating fire energy. *Journal of Applied Ecology*, **26**: p. 1025-1033.
52. Pivello, V. and Coutinho, L. (1992). Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an open cerrado (Brazilian savanna). *Journal of Tropical Ecology*, **8**: p. 487-497.
53. Prasad, V., Kant, Y., Gupta, P., Sharma, C., Mitra, A. and Badarinath, K. (2001). Biomass and combustion characteristics of secondary mixed deciduous forests in Eastern Ghats of India. *Atmospheric Environment*, **35**(18): p. 3085-3095.
54. Raison, R., Khana, P. and Woods, P. (1985). Transfer of elements to the atmosphere during low intensity prescribed fires in three Australian subalpine eucalypt forests. *Canadian Journal of Forest Research*, **15**: p. 657-664.
55. Robertson, K. (1998). Loss of organic matter and carbon during slash burns in New Zealand exotic forests. *New Zealand Journal of Forestry Science*, **28**(2): p. 221-241.
56. Robinson, J. (1989). On uncertainty in the computation of global emissions from biomass burning. *Climatic Change*, **14**: p. 243-262.
57. Shea, R., Shea, B., Kauffman, J., Ward, D., Haskins, C. and Scholes, M. (1996). Fuel biomass and combustion factors associated with fires in savanna ecosystems of South Africa and Zambia. *Journal of Geophysical Research*, **101**(D19): p. 23551-23568.
58. Slijepcevic, A. (2001). Loss of carbon during controlled regeneration burns in Eucalyptus obliqua forest. *Tasforests*, **13**(2): p. 281-289.
59. Smith, D. and James, T. (1978). Characteristics of prescribed burns and resultant short-term environmental changes in Populus tremuloides woodland in southern Ontario. *Canadian Journal of Botany*, **56**: p. 1782-1791.
60. Soares, R. and Ribeiro, G. (1998). Fire behaviour and tree stumps sprouting in Eucalyptus prescribed burnings in southern Brazil. in *III International Conference on Forest Fire Research / 14th Conference on Fire and Forest Meteorology*. Luso.
61. Sorrensen, C. (2000). Linking smallholder land use and fire activity: examining biomass burning in the Brazilian Lower Amazon. *Forest Ecology and Management*, **128**(1-2): p. 11-25.
62. Stewart, H. and Flinn, D. (1985). Nutrient losses from broadcast burning of Eucalyptus debris in north-east Victoria. *Australian Forest Research*, **15**: p. 321-332.
63. Stocks, B. (1987). Fire behaviour in immature jack pine. *Canadian Journal of Forest Research*, **17**: p. 80-86.
64. Stocks, B. (1989). Fire behaviour in mature jack pine. *Canadian Journal of Forest Research*, **19**: p. 783-790.
65. Stocks, B., van Wilgen B., Trollope W., McRae D., Mason J., Weirich F. and Potgieter A. (1996). Fuels and fire behaviour dynamics on large-scale savanna fires in Kruger National Park, South Africa. *Journal of Geophysical Research*, **101**(D19): p. 23541-23550.
66. Stocks, B. and Kauffman, J. (1997). Biomass consumption and behaviour of wildland fires in boreal, temperate, and tropical ecosystems: parameters necessary to interpret historic fire regimes and future fire scenarios, in *Sediment Records of Biomass Burning and Global Change*, J. Clark, et al., Editors. Springer-Verlag: Berlin. p. 169-188.
67. Susott, R., Ward D., Babbitt R. and Latham D. (1991). The measurement of trace emissions and combustion characteristics for a mass fire, in *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*, J. Levine, Editor. MIT Press: Massachusetts. p. 245-257.
68. Turetsky, M. and Wieder, R. (2001). A direct approach to quantifying organic matter lost as a result of peatland wildfire. *Canadian Journal of Forest Research*, **31**(2): p. 363-366.

69. Van Wagner, C. (1972). Duff consumption by fire in eastern pine stands. *Canadian Journal of Forest Research*, **2**: p. 34-39.
70. van Wilgen, B., Le Maitre, D. and Kruger, F. (1985). Fire behaviour in South African fynbos (macchia) vegetation and predictions from Rothermel's fire model. *Journal of Applied Ecology*, **22**: p. 207-216.
71. Vose, J. and Swank, W. (1993). Site preparation burning to improve southern Appalachian pine-hardwood stands: above-ground biomass, forest floor mass, and nitrogen and carbon pools. *Canadian Journal of Forest Research*, **23**: p. 2255-2262.
72. Walker, J. (1981). Fuel dynamics in Australian vegetation, in *Fire and the Australian Biota*, A. Gill, R. Groves, and I. Noble, Editors. Australian Academy of Science: Canberra. p. 101-127.
73. Ward, D., Susott, R., Kauffman, J., *et al.* (1992). Smoke and fire characteristics for Cerrado and deforestation burns in Brazil: BASE-B Experiment. *Journal of Geophysical Research*, **97**(D13): p. 14601-14619.