

المرفق ١

الأساس المفاهيمي لتحليل عدم التيقن

الرؤساء المشاركون والمحرون والخبراء

الرئيسان المشاركان في اجتماع الخبراء بشأن المنهجيات عبر القطاعية لتقدير مقدار عدم التيقن ومستوى جودة عملية حصر الغازات

تاكا هيريشي (اليابان) و برهاني نيينزي (تنزانيا)

محرر المراجعة

ريتشارد أودينغو (كينيا)

فريق الخبراء: الأساس المفاهيمي لتحليل عدم التيقن

الرئيسان المشاركان

إيان غالباي (أستراليا) و نيوتن باسيورنك (البرازيل)

مؤلفو ورقات الخلفية

إيان غالباي (أستراليا)؛ نيوتن باسيورنك (البرازيل)؛ ميلوس تيشي (الجمهورية التشيكية)

المشاركون

وايلي باربور (الولايات المتحدة الأمريكية)؛ لياندر بويديا (وحدة الدعم الفني لبرنامج الهيئة بشأن القوائم الوطنية لحصر

انبعاثات غازات الاحتباس الحراري)؛ فرانك جاكوبس (أنتيغوا)؛ ناوكي متسوا (اليابان)؛ ريتشارد أودينغو (كينيا)؛ دانييلا

رومانو (إيطاليا)؛ ميلوس تيشي (الجمهورية التشيكية)

المحتويات

المرفق ١: الأساس المفاهيمي لتحليل عدم التيقن

٤	١ مقدمة
٤	٢ المفاهيم الإحصائية
٥	١-٢ التعبير عن التيقن
٥	٢-٢ العينة الواحدة والقيمة المتوسطة وفترة الثقة
٦	٣-٢ اختيار المقياس الملائم لعدم التيقن
٧	٤-٢ دوال الاحتمال
٩	٥-٢ إرشادات الممارسة السليمة لاختيار دالة كثافة الاحتمال
٩	٦-٢ تمييز دوال كثافة الاحتمال المستعملة في تحليلات عدم التيقن
١٠	٣ مصادر عدم التيقن في قوائم الحصر
١١	٤ تقييم مستويات عدم التيقن وتسجيلها وانتشارها في قوائم الحصر
١١	٤-١ تحديد مستويات عدم التيقن وتسجيلها في مدخلات البيانات
١٣	٤-٢ العينات التمثيلية والخوارزميات والتغايرات
١٨	٤-٣ انتشار عدم التيقن
٢١	٤-٤ انتشار عدم التيقن في مجمل الحصر
٢١	٤-٥ التغاير والارتباط الذاتي
٢٣	٤-٦ التجميع المنظم لعدم التيقن في مكونات الحصر
٢٣	٥ التطبيقات
٢٣	٥-١ أهمية الفروق والاتجاهات من سنة إلى أخرى في قوائم الحصر
٢٤	٥-٢ الوصل المجدول بين الطرق
٢٦	٥-٣ تحليلات الحساسية وتحديد أولويات البحوث في قوائم الحصر الوطنية
٢٧	٦ متطلبات البحوث
٢٨	المراجع

الشكل التوضيحي

الشكل ١: مخطط انسيابي وشجرة قرارات للإجراءات المتعلقة بالشمول التمثيلي للبيانات

الجدول

الجدول ١: القيم التقديرية الوطنية لكتلة النفايات الملقاة في مواقع دفن القمامة في عام ١٩٩٠

٧

المرفق ١ الأساس المفاهيمي لتحليل عدم التيقن

١ مقدمة

تحتاج عملية وضع منهجية لتقدير عدم التيقن في قوائم حصر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري إلى نهج منظم. وتشمل متطلبات ذلك ما يلي:

- طريقة لتحديد عدم التيقن في كل من مكونات قائمة الحصر.
- طريقة لتجميع مقادير عدم التيقن المقترنة بكل من المكونات في مجموع الحصر.
- طريقة لتحديد أهمية الفروق السنوية والاتجاهات الطويلة الأجل في قوائم الحصر مع مراعاة المعلومات عن مقادير عدم التيقن.
- فهم الاستعمالات المرجحة لهذه المعلومات التي تشمل تحديد المجالات التي تتطلب مزيداً من البحوث ومن المشاهدة ومن القياس الكمي للتغيرات السنوية والطويلة الأجل في القوائم الوطنية لحصر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.
- إدراك احتمال وجود أوجه عدم تيقن أخرى، مثل أوجه عدم التيقن الناشئة عن عدم دقة التعريفات التي لا يمكن معالجتها بالوسائل الإحصائية.

ويتناول هذا المرفق الأساس الذي تستند إليه المفاهيم المستعملة في مواضع أخرى من هذا التقرير لمناقشة مقادير عدم التيقن المقترنة بقوائم حصر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. ونتناول في نهاية هذا المرفق بعض المسائل المتعلقة بعدم التيقن في قوائم الحصر التي ما زالت تحتاج إلى مزيد من البحوث.

٢ المفاهيم الإحصائية

هناك عدد من المفاهيم والمصطلحات الإحصائية الأساسية لفهم عدم التيقن المقترن بقوائم حصر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. وتتطوي هذه المصطلحات على معانٍ مشتركة ودلالات محددة في الأدبيات الإحصائية بالإضافة إلى معانٍ أخرى محددة ذات صلة بعدم التيقن في قوائم الحصر. وللاطلاع على التعريفات فإننا نحيل القارئ إلى المصطلحات الواردة في المرفق ٣، والتعريفات الواردة في تقرير الهيئة الفرعية للمشورة العلمية والتكنولوجية التابعة لاتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ لعام ١٩٩٩، ودليل المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (الإيزو) عن عدم التيقن لعام ١٩٩٣.

وتستند عملية تقدير عدم التيقن في قوائم حصر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري إلى سمات معينة للمتغيرات موضوع الاهتمام (الكميات المدخلة) تم تقديرها من مجموعة البيانات المناظرة. وتشمل المعلومات المثالية ما يلي:

- المتوسط الحسابي (المتوسط) لمجموعة البيانات.
- الانحراف المعياري لمجموعة البيانات (الجذر التربيعي للتباين).
- الانحراف المعياري للمتوسط (الخطأ المعياري للمتوسط).

- توزيع احتمالات البيانات.
- تغيرات الكمية المدخلة مع الكميات المدخلة الأخرى المستعملة في عمليات حساب الحصر.

١-٢ التعبير عن عدم التيقن

يتسم تحليل عدم التيقن بصفة هامة تتعلق بطرق التعبير عن مقادير عدم التيقن المقترنة بكل واحدة من التقديرات أو بمجموع الحصر. وتنص *الخطوط التوجيهية للهيئة المعدلة لعام ١٩٩٦ بشأن القوائم الوطنية لحصر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري (الخطوط التوجيهية للهيئة)* على ما يلي: "حيثما تتوفر معلومات كافية لتحديد توزيع الاحتمالات على أساس التحليل الإحصائي التقليدي فإنه ينبغي حساب ثقة نسبتها ٩٥ في المائة كتعريف للنطاق. ويمكن تقدير نطاقات عدم التيقن باستعمال التحليل التقليدي (روبنسون، ١٩٨٩) أو تقنية مونت كارلو (إيغلسون، ١٩٩٣). وفيما عدا ذلك فسوف يتعين تقييم نطاق عدم التيقن من الخبراء الوطنيين."

وتشير هذه الإفادة إلى أن تعيين فترة الثقة بنهايات الثقة المحددة بالمئويين ٢,٥ و ٩٧,٥ من دالة التوزيع التراكمي للكمية المقدر. وبعبارة أخرى فإن نطاق عدم التيقن في كمية ما في قائمة الحصر ينبغي التعبير عنه بحيث: '١' يكون هناك احتمال نسبته ٩٥ في المائة بعدم تجاوز القيمة الفعلية للكمية المقدر للفترة المحددة بنهايات الثقة و '٢' يرجح بنفس الدرجة أن تزيد القيمة الفعلية أو أن تقل عن النطاق المحدد، في حال خروج هذه القيمة الفعلية عن النطاق المعرف.

٢-٢ العينة الواحدة والقيمة المتوسطة وفترة الثقة

هناك مسألة رئيسية في تجميع مقادير عدم التيقن في قوائم الحصر، وهو التمييز بين الانحراف المعياري لمجموعة البيانات والانحراف المعياري لمتوسط العينة. ويمكن أن يمثل عدم التيقن المقترن بالمعلومات المطروحة للتحليل (معدل الانبعاثات أو بيانات الأنشطة أو معامل الانبعاث) الانحراف المعياري لمجتمع العينة أو الانحراف المعياري لمتوسط العينة تبعاً للسياق (المنظمة الدولية للتوحيد القياسي، ١٩٩٣).

والانحراف المعياري للمتوسط، وهو ما يعرف أيضاً باسم الخطأ المعياري للمتوسط، هو الانحراف المعياري لمجموعة بيانات العينة مقسوماً على الجذر التربيعي لعدد نقاط البيانات. ولا يتغير الانحراف المعياري وتباين مجموعة البيانات تغيراً منتظماً مع تغير عدد عمليات المشاهدة، ولكن الانحراف المعياري للمتوسط يتناقص بتزايد عدد عمليات المشاهدة. ويُعرف الانحراف المعياري للمتوسط في كثير من أدبيات الإحصاء والفيزياء بأنه الخطأ المعياري للمتوسط، ولكن دليل المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (١٩٩٣) يوصي باستعمال مصطلح الانحراف المعياري للمتوسط لوصف هذه الكمية.

واستعمال الانحراف المعياري لتقدير نهايات فترة الثقة (وهي في هذه الحالة فترة الثقة التي تبلغ نسبتها ٩٥ في المائة) يعتمد مباشرة على توزيع احتمالات مجموعة البيانات أو دالة الاحتمال المختارة لتمثيل مجموعة البيانات. وتوجد علاقات تحليلية تربط بين الانحراف المعياري وبين فترات الثقة المطلوبة في بعض توزيعات الاحتمالات، بما فيها التوزيعات التي نتناولها لاحقاً. وترد بعض أمثلة ذلك في المرفق ٣ (المصطلحات) و في دليل المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (١٩٩٣). ويُفترض عادةً أن توزيع المتغير موضوع النظر هو توزيع طبيعي. وتتماثل في هذه الحالة نهايات الثقة حول المتوسط. وتبلغ نهايات الثقة لفترة ثقة نسبها ٩٥ في المائة ما يقرب من انحرافين معياريين للمتغير فوق ودون المتوسط.

وفي كثير من الظروف قد ينطوي قياس مقدار عدم التيقن في المتغيرات المدخلة في الحصر على تحليلات لمقادير صغيرة من البيانات جنباً إلى جنب مع أحكام الخبراء. ولذلك فمن المهم مراجعة محتوى المعلومات في مجموعات البيانات القليلة. وهناك دراسات مفيدة بشأن مقدار المعلومات المتعلقة بأوجه عدم التيقن التي تتضمنها مجموعات البيانات التي تنتم بعدد

صغير من عمليات المشاهدة (مانلي، ١٩٩٧؛ كالن و فراي، ١٩٩٩). والمكون موضوع البحث هو فترة الثقة التي تبلغ نسبتها ٩٥ في المائة في تقدير الانحراف المعياري. هذا هو مقدار عدم التيقن في تقدير الانحراف المعياري، أي أنه يرتبط أساسا بكيفية تغير الانحراف المعياري من مجموعة مشاهدات إلى مجموعة أخرى عندما تقوم كلتا المجموعتين على نفس الكمية من المشاهدات. وقدم كالن وفراي (١٩٩٩) بيانات اشتقت منها نهايات فترة الثقة البالغة ٩٥ في المائة للانحراف المعياري لمتغير ذي توزيع طبيعي حيث أجري عدد معين من المشاهدات للعينة المستعملة في حساب الانحراف المعياري. وفيما يلي نهايات فترة الثقة البالغة ٩٥ في المائة لعمليات التحديد المتكررة للانحراف المعياري:

- ٧ مشاهدات : ٠,٦٤ و ٢,٢ مضرورية للانحراف المعياري المقدر من عدد كبير جدا من المشاهدات.
- ٢٠ مشاهدة: ٠,٧٦ و ١,٥ مضرورية للانحراف المعياري المقدر من عدد كبير جدا من المشاهدات.
- ١٠٠ مشاهدة: ٠,٨٨ و ١,٢ مضرورية للانحراف المعياري المقدر من عدد كبير جدا من المشاهدات.

وأجريت دراسة تحليلية مشابهة لعدم التيقن في تقديرات فترات الثقة على عينات من البيانات المؤلفة حسابيا ذات توزيعات غير طبيعية باستعمال تقنية إنهاض (مانلي، ١٩٩٧) وكانت النتائج التي تمخض عنها التحليل مشابهة للنتائج المشار إليها أعلاه. وما تؤكد عليه هذه الحسابات هو الحاجة إلى عدد كبير من المشاهدات من أجل تقدير التباين والانحراف المعياري والخطأ المعياري لمتوسط أي كمية بشكل دقيق. وهناك بشكل أساسي أوجه عدم تيقن مقترنة بفترة الثقة المقدر من أعداد صغيرة من المشاهدات عن طريق حساب تباين (وتوزيع مفترض للاحتتمالات) حيث يحتمل في هذه الحالات أن تؤدي المشاهدات الأخرى إلى زيادة أو نقص في حدود عدم التيقن المحسوبة. وفي نهاية المطاف ستقلل الأعداد الكبيرة للمشاهدات من حدود عدم التيقن في الانحراف المعياري.

٢-٣ اختيار المقياس الملائم لعدم التيقن

فيما يلي مثالان افتراضيان لتوضيح الخيار بين الخطأ المعياري للمتوسط والانحراف المعياري لمجموعة البيانات كمقدار ملائم لعدم التيقن:

في الحالة الأولى تم قياس معامل انبعاث غاز الاحتباس الحراري المنبعث من الكتلة الأحيائية المحترقة في منطقة حشائش السافانا في ٩ مناسبات كل على حدة ويتراوح معامل الانبعاث بين صفر و ٦-١٠٠ كغ كغ^{-١} (الكتلة المنبعثة لكل وحدة من الكتلة الأحيائية المحترقة) مع متوسط حسابي وانحراف معياري لمجموعة البيانات مقدارهما ٢-١٠٠ كغ كغ^{-١} و ١-١٠٠ كغ كغ^{-١} على التوالي يعبر عنها في بعض الأحيان بالصيغة التالية: $2 \pm 100 \text{ كغ كغ}^{-1}$. ومعامل الانبعاث الذي تستعمله الهيئة في خوارزمية الحصر لهذه السنة هو المتوسط الحسابي، ويجب أن يكون عدم التيقن الملائم للحصر قائما على أساس الخطأ المعياري للمتوسط، وهو: $10^{-3} / \sqrt{9}$ كغ كغ^{-١} أو ٣,٣-١٠٠ كغ كغ^{-١}، ليكون بذلك أصغر من الانحراف المعياري بمقدار ٣ أضعاف. ويمكن حينئذ التعبير عن المتوسط وفترة الثقة البالغة ٩٥ في المائة بالصيغة التالية: $2 \pm 100,7 \text{ كغ كغ}^{-1}$.

وتشمل الحالة الثانية أحد مكونات الحصر التي يوجد لها سوى تقدير واحد لسنة معينة تم حسابها في أكثر من مناسبة. وقد تم إعادة إجراء هذه الحسابات نتيجة للتغيرات التي طرأت على المنهجية المتفق عليها أثناء عمليات مراجعة الحصر أو نتيجة لظهور بيانات جديدة. وفي هذه الحالة يكون الانحراف المعياري لمجموعة العينة هو الملائم وليس الانحراف المعياري للمتوسط.

ويمكن توضيح هذه النقطة باستخدام مجموعة من التقديرات الوطنية للنفايات الملقاة في مواقع دفن القمامة الواردة في الجدول ١ من المرفق ١. وهذه هي بيانات الأنشطة المطلوبة لحساب انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناتجة عن النفايات.

الجدول ١	
التقديرات الوطنية لكتلة النفايات الملقاة في مواقع دفن القمامة في عام ١٩٩٠	
الكتلة (كيلو طن متري)	مصدر وسنة التقدير
١٢ ٢٧٤	لجنة التكنولوجيا، ١٩٩١
١١ ٥٢٤	خبير استشاري، ١٩٩٤
١٤ ٦٦٣	قائمة الحصر الوطنية، ١٩٩٤
١٦ ٤٤٨	قائمة الحصر الوطنية المنقحة، ١٩٩٥
١٢ ٨٤٠	قائمة الحصر الوطنية المنقحة، ١٩٩٦
٢٢ ٠٠٠	المراجعة الأكاديمية، ١٩٩٥
١٤ ٩٥٨	المتوسط
٣ ٨٨٣	الانحراف المعياري

ونلاحظ أن المتوسط وفترة الثقة البالغة ٩٥ في المائة على أساس الخطأ المعياري لمتوسط التقديرات الستة هو ± ١٤٩٥٨ ± ٣١٠٧ . على أنه في حالة استعمال تقدير الحصر لعام ١٩٩٦، لا يستعمل إلا تقدير واحد ويحسب عدم التيقن الملائم للحصر من خلال الانحراف المعياري لمجموعة البيانات.

واستناداً فقط إلى الشواهد الواردة في الجدول ١، فإن فترة الثقة البالغة ٩٥ في المائة والمقترنة بعملية التقدير التي أجريت في عام ١٩٩٦ ينبغي أن تساوي انحرافين معياريين، أي ± ١٢٨٤٠ ± ٧٦١٠ . ويلزم إعادة تقييم البيانات نظراً لعدم إجراء سوى تقدير واحد. وسبب ذلك هو أن تقدير عام ١٩٩٦ لا يمثل القيمة المتوسطة لكثير من عمليات التحديد المستقلة.

ويعتمد اختيار مقياس عدم التيقن المناسب على سياق التحليل. وإذا لم تتوافر إلا نقطة من نقاط البيانات لكل فترة حصر فينبغي أن يستند نطاق عدم التيقن إلى دالة كثافة الاحتمال لمجتمع البيانات إذا كانت معروفة أو يمكن اشتقاقها من مصادر أخرى. وينبغي مراجعة الخيارات المقترحة كجزء من عملية مراجعة الخبراء للحصر.

٢-٤ دوال الاحتمالات

عند إجراء عمليات تحديد متعددة للكمية المدخلة في الحصر، يتم الحصول على مجموعة من البيانات تتسم بالتغيرية. وما يهمنا في هذا الصدد هو كيفية تمثيل هذه التغيرية بطريقة محكمة. وأحد النهج التي يمكن اتباعها هو تحديد الإحصاءات الموجزة التالية (دليل المنظمة الدولية للتوحيد القياسي، ١٩٩٣؛ كالن وفراي، ١٩٩٩):

- المتوسط الحسابي

- التباين

- الالتواء (عدم تماثل التوزيع)

- درجة انفراج منحني التوزيع (ذروية التوزيع)

ومع ذلك يلزم الحصول على معلومات إضافية عن مجموعة البيانات فضلاً عن الإحصاءات الموجزة عند التركيز على

عملية تحديد نهايات عدم التيقن المقترنة بالبيانات المدخلة من حيث التواتر (نهايات الثقة البالغة ٩٥ في المائة). ويمكن الحصول على هذه المعلومات الإضافية عن طريق تمثيل البيانات كتوزيع احتمالي سواء أكان تراكمياً أم توزيعاً للكثافة (دليل المنظمة الدولية للتوحيد القياسي، ١٩٩٣؛ كالن وفراي، ١٩٩٩). وهذا هو النهج المتبع في الفصل السادس المعنون "التطبيق العملي لقياس مقدار عدم التيقن." ويوفر التوزيع التراكمي التجريبي علاقة بين المؤيات والبيانات^١ والمؤوي هو النسبة المئوية للقيم التي تساوي أو تقل عن قيمة معينة للكمية في مجموعة البيانات.

ويصعب التحكم في توزيعات الاحتمالات التجريبية عند القيام بعد ذلك بمهمة حساب انتشار الأخطاء في نظام معقد (باستعمال النهج التحليلية أو الحاسوبية). والنهج الشائع هو الاستعاضة عن التوزيع التجريبي بدالة تحليلية سواء أكانت دالة التوزيع التراكمي أو دالة كثافة الاحتمال التي تعتبر الاشتقاق الأول لدالة التوزيع التراكمي. وهذه الدوال هي في واقع الأمر المكون الأول لنموذج عملية تقدير مستوى عدم التيقن. كما أنها ليست سوى تقريباً للبيانات الحقيقية. وتعد دوال الاحتمال أساسية لجانبين من جوانب عملية تقدير مستوى عدم التيقن. فالدوال المطلوبة لما يلي: '١' انتشار مقادير عدم التيقن؛ '٢' تحديد فترة الثقة للكمية لموضوع النظر.

وهناك كثير من دوال الاحتمالات في الأدبيات الإحصائية وهي تمثل في كثير من الأحيان حالات معينة للعالم المادي. وفيما يلي أمثلة لتلك الدوال والحالات التي تمثلها:

- التوزيع الطبيعي- أطوال قامات البشر.
 - التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي- تركيزات المواد الكيميائية في البيئة.
- كما يمكن التعبير عن تلك الدوال بصيغة مقطوعة لتمثيل حالة وجود حدود معلومة في النطاق الممكن للبيانات. وهناك توزيعات أخرى مستعملة لتمثيل الحالات التي لا تتوفر فيها معلومات عن العمليات. ومن أمثلة ذلك:

- التوزيع المتساوي- تساوي احتمالات كل القيم في نطاق معين.
- التوزيع المثلي- تعيين حدود عليا ودنيا وقيمة تفضيلية في هذا النطاق.

وقد يصعب تحديد الدالة الأنسب لمجموعة من البيانات. وأحد النهج المتبعة هو استعمال تربيعة الالتواء ودرجة انفرج منحني التوزيع لتحديد الأشكال الدالية التي يمكن أن تلائم البيانات (كالن وفراي، ١٩٩٩). وتتم بعد ذلك مطابقة الدالة مع البيانات عن طريق أقل التربيعات مطابقة أو غير ذلك من الوسائل. وهناك اختبارات متاحة لتقييم حسن المطابقة، بما في ذلك اختبار كا-تربيع وغيره من الاختبارات (كالن وفراي، ١٩٩٩). وفي كثير من الحالات تتطابق عدة دوال بصورة مرضية مع البيانات في حدود احتمالات معينة. ويمكن لهذه الدوال المختلفة أن تتطوي على توزيعات متباينة جذريا عند الحدود المتطرفة حيث تقل أو تنعدم البيانات المقيدة لهذه التوزيعات. وتفضيل دالة على أخرى يمكن أن يغير من نتائج تحليل عدم التيقن بشكل منتظم. ويكرر كالن وفراي (١٩٩٩) ما نصح به الكتاب السابقون في هذه الحالات من أن اختيار دالة الاحتمالات منوط بمعرفة العمليات الفيزيائية الأساسية. وأما ما

^١ هناك نقطة رئيسية تتعلق بمجموعات البيانات ويتمثل هذه المجموعات باعتبارها توزيعات احتمالية تجريبية، وهي عدم توافر أي معلومات عن القيم المحتملة للكمية المستخدمة في الاحتمالات المئوية سواء أكانت أصغر من $50/n$ أو أكبر من $(100-50)/n$ حيث تمثل n عدد المشاهدات. والواقع أن معلومات الاحتمالات في النفايات غير مؤكدة بدرجة كبيرة.

توفره الاختبارات على ضوء هذه المعرفة الفيزيائية فليس سوى توجيه بشأن ما إن كانت تلك الدالة تناسب البيانات أو لا تناسبها بصورة مرضية.

٥-٢ إرشادات الممارسة السليمة لاختيار دالة كثافة الاحتمال

يتم الوفاء على أفضل وجه بمعايير المقارنة والاتساق والشفافية في قوائم حصر الانبعاثات على النحو الذي حددناه من قبل في الحالات التالية:

• عندما يستعمل أقل عدد ممكن من دوال الاحتمالات.

• عندما تكون هذه الدوال معروفة ومستندة إلى أسس سليمة.

وستكون هذه الدوال هي دوال الاحتمال الافتراضية.

ويتم الوفاء بمعايير الدقة في الحالات التالية:

• عندما يتحقق حسن التطابق بين دوال الاحتمال الافتراضية وبين البيانات

• أو عندما تستخدم دالة احتمال أكثر ملائمة في حالة عدم حسن مطابقة أي من دوال الاحتمال الافتراضية للبيانات أو في حالة وجود أدلة علمية قاطعة على ضرورة استعمال دالة احتمال أخرى.

وتبين إرشادات الممارسة السليمة التالية الطريقة التي يمكن بها لوكالات حصر الغازات أن تفي بهذه المعايير:

١٠ في الحالات التي تتوافر فيها البيانات التجريبية ينبغي أن يتمثل الاختيار الأول في افتراض توزيع طبيعي للبيانات (سواء بشكل كامل أو مقطوع لتقادي القيم السلبية إذا كانت تلك القيم غير واقعية) ما لم يشر مخطط الانتشار إلى حسن المطابقة مع توزيع آخر.

١٢ عند الاستعانة بأحكام الخبراء، ينبغي أن تكون دالة التوزيع المستخدمة طبيعية أو لوغاريتمية طبيعية مثلما في ١٠، مع استكمالها بالتوزيعات المتساوية أو المثلثية المبينة في المرفق ٣.

١٣ لا تستعمل التوزيعات الأخرى ما لم تكن هناك دواع قوية سواء من المشاهدات التجريبية أو من أحكام الخبراء المدعومة ببراهين نظرية.

٦-٢ تمييز دوال كثافة الاحتمال المستعملة في تحليلات عدم التيقن

فيما يلي سمات دوال كثافة الاحتمال المناسبة للقياس الكمي ولجميع مقادير عدم التيقن المقترنة بالكميات المدرجة في القوائم الوطنية لحصر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري:

• الشكل الرياضي لدالة كثافة الاحتمال.

• المعالم المطلوبة كمدخلات لتعيين دالة كثافة الاحتمال.

• العلاقات بين هذه المعالم التي تحدد دالة كثافة الاحتمال والبيانات المتاحة عن الكمية التي يجري وصفها.

• المتوسط والتباين والخطأ المعياري للمتوسط الذين تم احتسابهم من مجموعة البيانات المستعملة لتحديد معالم دالة كثافة الاحتمال.

وعند اختيار قيم المدخلات ودالة كثافة الاحتمال، لا بد للمسؤول عن عملية الحصر من أن يميز بين المناسبات التي يكون فيها عدم التيقن الملائم انحرافا معياريا أو فترات ثقة لمجموعة البيانات، أو التي يكون فيها عدم التيقن الملائم هو الخطأ المعياري لمتوسط القيمة.

وكما أشرنا من قبل فإن الخطأ في اختيار المقياس المستعمل في تقدير قيمة عدم التيقن من شأنه أن يفضي إلى نتائج غير منطقية.

٣ مصادر عدم التيقن في قوائم الحصر

هناك بعض مصادر عدم التيقن التي تعالجها الوسائل الإحصائية وهناك مصادر أخرى تقع خارج مجال علم الإحصاء (المنظمة الدولية للتوحيد القياسي، ١٩٩٣).

وينشأ عدم التيقن في قوائم الحصر من ثلاثة عمليات مختلفة على الأقل:

• أوجه عدم التيقن الناشئة عن التعريفات (مثل عدم استيفاء الدلالة أو عدم الوضوح أو الخطأ في تعريف أحد الانبعاثات أو الامتصاصات).

• أوجه عدم التيقن الناجمة عن التغييرية الطبيعية للعملية التي تنتج الانبعاثات أو الامتصاصات.

• أوجه عدم التيقن الناتجة عن تقييم العملية أو الكمية، وهي تشمل ما يلي تبعا للطريقة المستعملة: '١' أوجه عدم التيقن الناشئة عن القياس؛ '٢' أوجه عدم التيقن الناشئة عن المعاينة؛ '٣' أوجه عدم التيقن الناشئة عن البيانات المرجعية التي قد لا تكون مبينة على النحو الأكمل؛ '٤' أوجه عدم التيقن الناشئة عن أحكام الخبراء.

وأوجه عدم التيقن الناجمة عن عدم دقة التعريفات تتصل بالاستيفاء والعزو إلى فئات مصادر وينبغي استبعادها أكثر ما يمكن قبل الشروع في عملية تحليل عدم التيقن.

وأما أوجه عدم التيقن الناشئة عن التغييرية الطبيعية فإنها متأصلة في عملية الانبعاث ويمكن تقييمها بالتحليل الإحصائي للبيانات التمثيلية.

وتشمل أوجه عدم التيقن الناشئة عن عيوب القياس ما يلي:

- التحيز الشخصي في القياس والتسجيل ونقل المعلومات.
- عدم وضوح أو محدودية عتبة تمييز آلة القياس.
- عدم دقة قيم معايير القياس والمواد المرجعية.
- عدم دقة الثابت وغيرها من المعالم المأخوذة من مصادر خارجية والمستعملة في خوارزمية اختزال البيانات (مثل القيم الافتراضية المأخوذة عن الخطوط التوجيهية للهئية).
- عمليات التقريب والفرضيات المتضمنة في طريقة القياس وإجراءات التقدير.

• في عمليات المشاهدة المتكررة وفي الظروف المتشابهة ظاهرياً، التفاوت في الانبعاث أو في الامتصاص أوفي الكمية المقترنة.

وفي حين يمكن للقياسات المستمرة للانبعاثات أن تقلل من إجمالي عدم التيقن ليس لها سوى تطبيقات محدودة على تقييم انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. وتستخدم المعاينة الدورية والعشوائية في أكثر الأحيان وهو ما يفضي إلى مزيد من أوجه عدم التيقن، مثل:

خطأ المعاينة العشوائية. هذا المصدر من مصادر عدم التيقن مرتبط بالبيانات التي هي عينة عشوائية ذات حجم محدود ويعتمد عادة على تباين المجتمع الإحصائي التي تأخذ منه العينة وعلى حجم العينة ذاتها (مثل عدد نقاط البيانات).

الافتقار إلى الشمول التمثيلي. يقترن هذا المصدر بعدم التناظر الكامل بين الظروف المقترنة بالبيانات المتاحة وبين الظروف المقترنة بالانبعاثات أو الأنشطة في العالم الحقيقي. ومثال ذلك أن بيانات الانبعاثات قد تتوافر في الحالات التي يعمل فيها أحد المصانع بكامل طاقته ولكنها قد لا تتوافر في حالات بداية التشغيل أو التغيير في طاقة التشغيل. وفي هذه الحالة، لا تناسب البيانات تقديرات الانبعاثات المرغوبة إلا جزئياً.

وانطلاقاً من تعريفها، لا يمكن تقييم أوجه عدم التيقن الناتجة عن أحكام الخبراء بالوسائل الإحصائية حيث لا تستخدم هذه الأحكام إلا في الحالات التي تندر أو لا تتوافر فيها البيانات التجريبية. على أنه يمكن جمع أحكام الخبراء مع البيانات التجريبية لإجراء التحليل بالاستعانة بالإجراءات الإحصائية شريطة معالجة أحكام الخبراء وفقاً للإجراءات العملية الموجزة في هذا المرفق وفي الفصل السادس المعنون "التطبيق العملي لقياس مقدار عدم التيقن".

ويلزم مراعاة كل مصادر أوجه عدم التيقن عند إجراء تقييم لأوجه عدم التيقن في قوائم الحصر.

وتشدد المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (١٩٩٣) على أنه مع استعمال "المواد الطبيعية" وانطلاقاً من أنه ينبغي الحصول على عينة تمثيلية، فإن عدم التيقن الناتج عن المعاينة يمكنه أن يفوق عدم التيقن الناتج عن تقنية القياس. وتطبق مسائل المعاينة على تقييم مستويات عدم التيقن في عملية الحصر. ويتأثر مقدار عدم التيقن في الحصر مباشرة بإمكانية أو عدم إمكانية الحصول على عينات تمثيلية. والمشكلة العامة المتمثلة في تحديد مقدار عدم التيقن في قوائم الحصر هي مزيج من مشكلة إحصائية في تحليل الخطأ ومن مشكلة مطابقة مفاهيم الإحصاء ومفاهيم الحصر مع الوقائع في العالم الحقيقي.

٤ تقييم مستويات عدم التيقن وتسجيلها وانتشارها في قوائم الحصر

٤-١ تحديد وتسجيل مستويات عدم التيقن المقترنة بالبيانات المدخلة

يقترن بعملية قياس كل كم مادي مستعمل في تغذية خوارزميات الحصر نوع ما من عدم التيقن. وعدم التيقن في بعض الحالات المختارة، مثل نسبة الأوزان الجزئية، يمكن إهماله في عمليات الحصر ولكنه يحتاج إلى تقييم في معظم الحالات الأخرى.

وهناك عدة مبادئ أساسية تحكم الممارسات السليمة في تقدير عدم التيقن في مدخلات البيانات المستعملة في الحصر. وتتحقق الحالة المثالية عند وجود مئات القياسات للكمية المدخلة وإمكانية تقدير فترات الثقة بالاستعانة بالطرق الإحصائية التقليدية. ولكن في معظم الحالات نقل البيانات أو لا تتوافر. وفيما يلي أربعة أنواع من المعلومات التي يمكن استعمالها بدرجات متفاوتة للتعامل مع حالات محددة:

- قياسات متاحة للكمية
- معرفة القيم القصوى للكمية
- معرفة العمليات الأساسية التي تنظم الكمية وتباينها
- أحكام الخبراء

ويعد تجميع وتسجيل المعلومات عن عدم التيقن في مدخلات البيانات حاسماً لنجاح وشفافية تحليل عدم التيقن. ويتضمن الإطار ١ قائمة بالمعلومات المطلوبة لإجراء تحليل لعدم التيقن يتسم بالشمول والشفافية ولا يتعارض مع الممارسة السليمة. وقد لا تتوافر من الناحية العملية المعلومات الكاملة وقد يلزم الحصول على أحكام الخبراء.

الإطار ١

المعلومات المرغوبة لكل كمية مدخلة في القوائم الوطنية لحصر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري لتحقيق الشفافية في تحليل عدم التيقن

١٠٠	اسم الكمية
١٠١	الوحدات
١٠٢	وصف النطاق المكاني والزمني والنظامي الذي تمثله هذه الكمية.
١٠٣	القيمة المدخلة للكمية.
١٠٤	تحديد ما إن كان ذلك متوسط القيمة أم مشاهدة مفردة.
١٠٥	تحديد ما إن كان عدم التيقن المطلوب هو الانحراف المعياري لمتوسط العينة أو الانحراف المعياري لمجتمع البيانات
١٠٦	حجم العينة أو عدد التقديرات المتاحة للكمية.
١٠٧	تقدير الانحراف المعياري لمتوسط العينة أو تقدير الانحراف المعياري لمجتمع البيانات.
١٠٨	تقديرات تباين الكمية استناداً إلى المعرفة المتاحة عن العوامل الضابطة وعن العمليات التي تؤثر على الكمية.
١٠٩	الحدود العليا والدنيا لقيم الكمية استناداً إلى التحليلات العلمية وأحكام الخبراء.
١١٠	دالة كثافة الاحتمال المفضلة.
١١١	المعالم المدخلة لتعيين دالة كثافة الاحتمال.
١١٢	الأسس أو الأسباب المنطقية لعدم التيقن.
١١٣	الإشارات إلى مصدر أحكام الخبراء والبيانات المستعملة في هذه الجدولة.
١١٤	توثيق مراجعة النظراء للتحليل.

٤-١-١ أحكام الخبراء

في الحالات التي يكون فيها من غير العملي الحصول على بيانات موثوقة أو التي تفتقر فيها بيانات الحصر إلى معلومات إحصائية كافية، قد يلزم الحصول على أحكام الخبراء بشأن طبيعة وخصائص بيانات المدخلات. وقد

يتمتع الخبراء عن تقديم معلومات كمية عن جودة البيانات وما يكتنفها من عدم التيقن ويؤثرون بدلا من ذلك توفير مستويات نسبية عن عدم التيقن أو غير ذلك من المدخلات الكيفية. وقد تفيد بروتوكولات طلب الحصول على هذه الأحكام التي سنتناولها في الفصل السادس المعنون " التطبيق العملي لقياس مقدار عدم التيقن " في التغلب على هذه الشواغل وينبغي عند اللزوم توعية الخبراء بأن **الهينة** قد حددت نطاقات افتراضية لعدم التيقن لاستعمالها في حال عدم الحصول على أحكامهم.

ومن المقبول الاستعانة بأحكام الخبراء لإجراء هذه التقديرات الكمية لعدم التيقن، بشرط مراعاة كل البيانات المتاحة وقيام شخص ذي دراية أو خبرة خاصة بالكمية المعينة التي يجري فحصها بإعطاء آراء مبنية على حجج منطقية، وبشرط توثيق هذا الحكم وشرحه بقدر كاف من الوضوح لتلبية شروط الفحص الخارجي (كالن وفراي، ١٩٩٩). والمطلب الرئيسي عند إجراء تقديرات عدم التيقن بالاستعانة بأحكام الخبراء أو بغير ذلك من الوسائل هو النظر في كل مصادر عدم التيقن الممكنة.

ولا يتوافر في كثير من الأحيان سوى بضع مشاهدات لتحديد البيانات المدخلة إلى قوائم الحصر مما يستتبع الاعتماد كثيرا على أحكام الخبراء. فينبغي التسليم بأن نتائج تحليلات عدم التيقن الكمية التي يتم إجراؤها لأغراض قوائم الحصر ستوفر في أحسن الحالات تقديرات لمقدار عدم التيقن فيها فما زال هناك أيضا الكثير من أوجه عدم التيقن المتعلقة بفترة الثقة.

٤-٢ العينات التمثيلية والخوارزميات والتغيرات

هناك ارتباط وثيق بين مسائل المعاينة التمثيلية وبين عملية تحديد خوارزميات ملائمة لتمثيل الانبعاثات. وتنشأ مسألة المعاينة التمثيلية لأن قائمة الحصر يجب أن تشمل كل الانبعاثات (أو الامتصاصات) داخل الحدود الوطنية وعلى مدى فترة الحصر. على أن الزمان والمكان يضعان قيودا على القياسات. وتحسب انبعاثات مختلف الأنشطة باعتبارها نتيجة لبيانات الأنشطة مضروبة بعامل الانبعاث المرتبط بها. ولا بد أن تمثل بيانات هذين المتغيرين واقع المجال المكاني والزمني موضوع النظر. ويتسم معامل الانبعاث بالشمول التمثيلي إذا تم حسابه على أنه المتوسط المرجح لكل معاملات الانبعاث المتصلة بكل أصناف العمليات أو النواتج، حيث تمثل فيها الأوزان النسب المئوية لمختلف أنواع الإنتاج/النواتج من المجموع. وتتسم بيانات الأنشطة بالشمول التمثيلي إذا كانت تشمل كل الأنشطة أثناء الفترة موضوع الدراسة. وهناك حالات كثيرة لا تتوافر فيها بيانات الأنشطة ومعاملات الانبعاث المتعلقة بمنطقة أو بفترة محددة من العمليات، ومن هنا تأتي الحاجة إلى تقدير الانبعاثات باستعمال معاملات الانبعاث في منطقة مختلفة أو في فئة مختلفة من العمليات. وهذه هي عملية التقدير الاستقرائي. وإذا كان الأمر على خلاف ذلك فقد يكون من الممكن حساب القيم باستعمال المتغيرات غير المباشرة. ويلزم إجراء تقييم للشمول التمثيلي للقيم المختارة عند استعمال التقدير الاستقرائي أو المتغيرات غير المباشرة. ويزداد الشمول التمثيلي، ومن ثم، دقة البيانات إذا استخدمت ظروف أو عمليات مشابهة.

وهناك طرق إحصائية لتقدير عدم التيقن المقترن بالتقدير الاستقرائي شريطة أن تكون البيانات المتاحة ناشئة عن معاينة عشوائية. على أن البيانات قلما تأتي من المعاينة العشوائية في حالة قوائم الحصر الوطنية. وعليه فبالنظر إلى عدم تجانس طبيعة انبعاثات وامتصاصات غازات الاحتباس الحراري فإن المسألة الرئيسية المتعلقة بالتقدير الاستقرائي هي مسألة عدم التيقن المقترن بالمعاينة التمثيلية أو غير التمثيلية. ومثال ذلك أن التقدير الاستقرائي لمعدل انبعاثات في منطقة ريفية يزرع فيها الأرز البعلبي استنادا إلى معدل انبعاثات معلوم للأرز المروي سيزيد

كثيراً من مقدار عدم التيقن. ومن الممكن في المقابل تقسيم بيانات الأنشطة في الريف إلى طبقتين، هما الأرز المروي والأرز البعلّي، لإجراء تحليل يتسم بدرجة أكبر من الموثوقية. ولما يوجد عدم تجانس في الغلاف الحيوي، ويعد التقسيم إلى طبقات تقنية فعالة في تقدير عدم التيقن والحد منه في تقديرات الحصر.

وإذا توافرت الموارد بصورة كافية فقد يكون من الممكن إجراء حملة للرصد وتصميم عينة طبقية للقياسات باختيار المتغيرات الملائمة لتقسيم العينة إلى طبقات (المنتجات والعمليات والنباتات والأقاليم والسكان). ويمكن استعمال كل هذه المجموعة من البيانات لتقدير دالة كثافة الاحتمال والإحصاءات الموجزة. ويمكن بعد ذلك استعمال الأدوات الإحصائية في حساب تحيز المتوسط والتباين، وفترات الثقة وتوزيع الأخطاء. ومن الممكن في حالة عدم توافر البيانات على المستوى الإقليمي استقراء المعلومات من الأدبيات القائمة بشرط مراعاة اختيار البيانات الواردة من مصادر لها سمات مشابهة لسمات المصادر التي يجري تقديرها. ويلزم في هذه الحالة الاستعانة بأحكام الخبراء.

ويشمل هذا النشاط/العملية مجموعة من إجراءات الحد الأدنى مبيّنة في شجرة القرارات في الشكل ١.

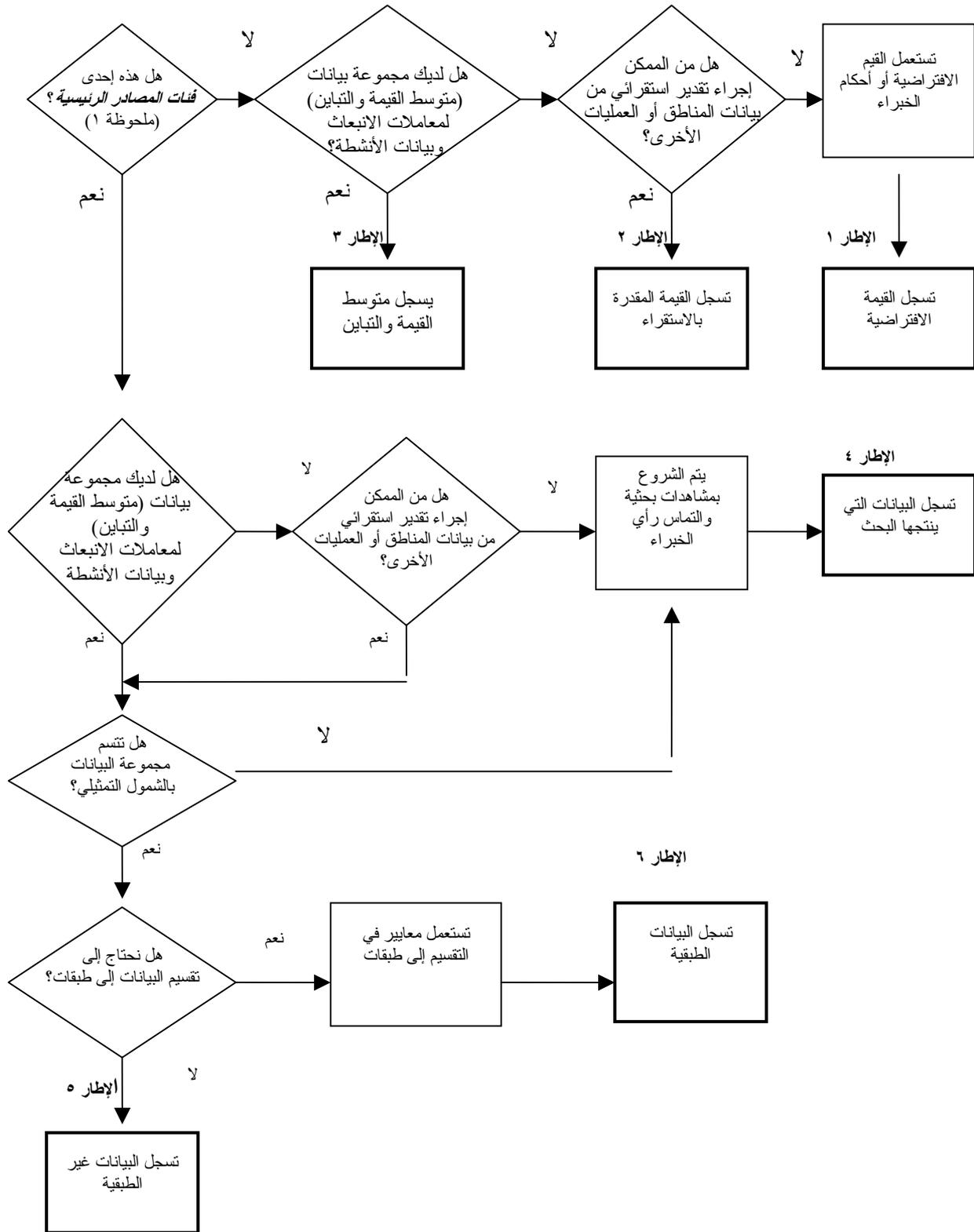
أولاً، نحتاج إلى التأكد ما إن كانت البيانات تخص إحدى **فئات المصادر الرئيسية** (كما هو مبين في الفصل السابع المعنون "الاختيار المنهجي وإعادة الحساب"). وإذا لم يكن المصدر **رئيسياً** فسيكون من الملائم حينئذ استعمال مجموعة البيانات القائمة أو القيم المستقراة أو القيم الافتراضية أو أحكام الخبراء ويمكن تسجيل هذه البيانات. أما إن كان المصدر **رئيسياً** فسيكون لدينا إما مجموعة كاملة من البيانات القائمة أو سيكون من الممكن استقراء مجموعة بيانات أو سنحتاج إلى إجراء مشاهدات أو جمع بيانات. بعد ذلك سنحتاج إلى اختبار مجموعة البيانات للتأكد من شموليتها التمثيلية التي قد تتطلب تقسيمها إلى طبقات (لزيادة/تحسين دقتها). ويتعين أخيراً تسجيل جميع البيانات. ويبين الشكل ١ هذه المسارات. ومن الضروري النظر في متوسط مدة البيانات في مقابل متوسط مدة الحصر ومدى انطباق البيانات جغرافياً. ومثال ذلك أن البيانات المتعلقة بمعامل معين من معاملات الانبعاث قد تستند إلى قياسات قصيرة الأجل (بالساعات أو بالأيام) يتم إجراؤها في بلد ما في ظل ظروف خاصة بهذا الموقع، وقد يلزم استعمال هذه البيانات لتقدير الانبعاثات السنوية ومقدار عدم التيقن فيها على السواء في بلد مختلف. ويُشجع القائم بالتحليل على الاستعانة بأحكام وطرق معقولة لوضع تقدير يتسم بقدر ملائم من الشمول التمثيلي لعدم التيقن كأحد مدخلات قائمة حصر الانبعاثات. وعلى الرغم من أن هذه التعديلات لا تتسم بالكمال في كل الأحوال فإنها تظل مفضلة على استعمال مجموعة بيانات غير التمثيلية. ويقع على الباحث نتيجة ذلك عبء تبرير الفرضيات المستعملة في تقييم معين وتوخي الحذر في استعمال "القيم الافتراضية" التي هي في واقع الأمر قد لا تنطبق مباشرة على حالة معينة.

ومن غير الممكن في معظم الحالات إجراء قياس مباشر لجزء كبير من الانبعاثات الناتجة عن فئة من فئات المصادر على مدى جزء كبير من السنة في بلد ما. والمطلوب لإجراء الحصر هو مجموع الانبعاثات والامتصاصات في كافة أنحاء البلد وعلى مدى سنة الحصر بأسرها. في حين أن ما يقاس مباشرة هو الانبعاثات والامتصاصات على مدى فترة زمنية تقل كثيراً عن سنة وفي منطقة أصغر كثيراً من المجال الوطني. والانبعاث الملحوظ هو مجموعة ثانوية من الحصر المطلوب فيلزم إذن انتهاج طريقة للتقدير الاستقرائي.

وتستند طريقة التقدير الاستقرائي إلى الخوارزميات الواردة في **الخطوط التوجيهية للهيئة** وإلى معرفة الكميات المدخلة في شتى أنحاء البلد وعلى مدار سنة الحصر. وبالنظر إلى عدم بروز الاهتمام بالانبعاثات غازات الاحتباس الحراري إلا في الأونة الأخيرة فإن القياسات اللازمة لتحديد الانبعاثات كمياً لم يتم إجراؤها إلا في عدد محدود من المواقع وفي مجموعة محدودة من الظروف.

والخوارزمية المتبعة في تقدير الانبعاثات هي عملية تقريب تشمل فقط المتغيرات الرئيسية الواضحة من القياسات المتاحة وهي لا تمثل بشكل عام سوى مقدار محدود من التباين في البيانات المتاحة. وفي الوقت نفسه فإن كثيرا من مصادر التغيرات المهمة للانبعاثات الفعلية قد لا تدرج في حسابات الحصر نظرا لعدم استيفاء المعرفة بعملية الانبعاث.

الشكل ١ : مخطط انسيابي وشجرة قرارات للإجراءات المتعلقة بالشمول التمثيلي للبيانات



ملحوظة ١: فئة المصادر الرئيسية هي تلك الفئة التي تحظى بالأولوية في نظام الجرد الوطني لأن تقديرها يؤثر بشدة على الجرد الإجمالي لغازات الدفينة المباشرة في البلد من حيث المستوى المطلق للانبعاث واتجاه الانبعاثات أو كليهما. (أنظر القسم ٧-٢، "تحديد فئات المصادر الوطنية الرئيسية"، من الفصل السابع المعنون "الاختيار المنهجي وإعادة الحساب").

ومن الطرق التي تتسم بالكفاءة في جمع مزيد من البيانات التمثيلية وفي تحسين جودة الخوارزميات في نفس الوقت هو إجراء برنامج للمعاينة التطبيقية للانبعثات وما يتصل بها من بيانات مساندة. وهذه المعاينة التطبيقية هي إحدى التقنيات الإحصائية الشائعة (كوشران، ١٩٦٣).

وهناك خطوات مختلفة عند إجراء عملية المعاينة التطبيقية. وتشمل الخطوة الأولى تحديد المتغيرات (البيئية والتكنولوجية وما إلى ذلك) المعروفة بتأثيرها الكبير على الانبعثات موضوع الدراسة. ويمكن الحصول على المعرفة بتأثير هذه المتغيرات من الدراسات العملية والنماذج النظرية والمشاهدات الميدانية وغير ذلك من المصادر. وبعد تحديد المتغيرات الرئيسية لابد من تقدير التوزيعات التراكمية لهذه المتغيرات على نطاق الحصر. ولا بد أخيراً من التحقق مما إن كانت المشاهدات المتاحة تؤلف عينة تمثيلية من تلك التوزيعات. فإن لم تكن كذلك فيمكن تقسيم التوزيعات إلى طبقات ويمكن تصميم وإجراء برنامج للمعاينة للحصول على بيانات تتسم بالشمول التمثيلي. ويمكن استعمال هذه البيانات التي تتسم بالشمول التمثيلي في استنباط خوارزمية الانبعثات. وتعد خوارزمية الانبعثات التي تستند إلى البيانات التمثيلية شرطاً أساسياً لازماً لتحقيق درجة عالية من جودة الحصر.

ونسوق فيما يلي مثالاً لتوضيح هذه المسائل بشأن البيانات التمثيلية. ويتعلق هذا المثال بانبعثات أكسيد النيتروز الناجمة عن استعمال الأسمدة في زراعة محاصيل الأراضي الجافة. فمعظم البيانات المستعملة في *الهيئة* لوضع خوارزمية الحصر الحالية ومعامل الانبعثات العالمي الافتراضي مصدرها نظم زراعة المحاصيل المعتدلة في نصف الكرة الشمالي. وقد بومان (١٩٩٦) تحليلاً منهجياً رائعاً للبيانات (المتاحة آنذاك) لانبعثات أكسيد النيتروز الناتجة عن استعمال الأسمدة واشتق خوارزمية تستند فقط إلى مقدار الأسمدة النيتروجينية المستعملة وإلى معامل الانبعثات. ومع ذلك، كما يعترف بومان، فإن علم التربة يشير إلى وجود عوامل رئيسية أخرى يمكنها أن تسهم في تباين الانبعثات، بما في ذلك درجة حرارة التربة وخصوبتها وتواتر الأمطار وكميتها وتشبع التربة بالماء وتركيب الأسمدة المستعملة. وترتب على ذلك أن معامل الانبعثات المشتق أساساً من البيانات المتعلقة بنظم زراعة المحاصيل المعتدلة في نصف الكرة الشمالي قد لا يلائم المناخ في المناطق الاستوائية الحارة التي تختلف فيها المتغيرات البيئية ذات الصلة، مثل درجة حرارة التربة وتواتر الأمطار، اختلافاً كلياً عن المتغيرات البيئية في مناطق خطوط العرض المعتدلة. وعند تطبيق خوارزمية ومعامل الانبعثات المحددين من *الهيئة* (الذين يستندان إلى أفضل البيانات المتاحة) في المناطق الاستوائية فإن تقديرات الانبعثات المترتبة على ذلك قد تتسم بتحيز غير مقصود. وينشأ هذا التحيز المحتمل جراء الافتقار إلى بيانات كافية عن الانبعثات في المناطق الاستوائية. وهكذا تظل هناك مشكلة الشمول التمثيلي للبيانات الأساسية المتعلقة بانبعثات أكسيد النيتروز الناتجة عن استعمال الأسمدة. وما نحتاجه في الحالات التي نفقر فيها إلى البيانات التمثيلية عن أحد الانبعثات أو الامتصاصات الرئيسية هو وضع قياس ملائم في هذه الحالة الخاصة بانبعثات أكسيد النيتروز الناتجة عن استعمال الأسمدة في المناطق الاستوائية، والقيام بعد ذلك بمراجعة الخوارزمية ومعامل الانبعثات. وفي بعض الحالات كذلك الحالة التي نحن بصددنا ينبغي الاستعاضة عن معاملات الانبعثات الافتراضية العالمية بمعاملات إقليمية إن كانت ملائمة بدرجة أكبر. وقد يرتفع مستوى الثقة في تقدير الحصر بفضل مراجعة الشمول التمثيلي للبيانات ومعالجة الثغرات الرئيسية في البيانات. وتلك مسألة رئيسية تتعلق بتقليل مستوى عدم التيقن في قوائم الحصر وتمثل *ممارسة سليمة* ينبغي اتباعها في هذا الصدد. وهذا ليس إلا مثلاً واحداً من بين حالات كثيرة يمكن فيها تحسين الشمول التمثيلي للبيانات الرئيسية.

وهناك مسألة أخرى تقترن بعدم التيقن ومراجعة الخوارزميات، وهي احتمال وجود قدر كبير من التباين غير المفسر في أي خوارزمية مشتقة من أي مجموعة بيانات. وينبغي تمثيل هذا التباين غير المفسر في تقديرات عدم التيقن المقترن بكل معلم في الخوارزمية، بما في ذلك أدلة القوة الجبرية. ويجب مراعاة أوجه عدم التيقن تلك في تحليلات عدم التيقن اللاحقة.

وتعد المعاينة التطبيقية تقنية مفيدة في الحالات التي تتغير فيها بيانات الأنشطة ومعاملات الانبعاث. ويتم تقليل التغير عن طريق تقسيم بيانات الأنشطة ومعاملات الانبعاث إلى مجموعات مختارة بعناية. وقد طبق بالفعل هذا النهج على نطاق واسع في إطار منهجية الهيئة المتبعة في عملية حصر غازات الاحتباس الحراري.

وبعض المجموعات الرقمية في طريقة مونت كارلو لانتشار الأخطاء تتضمن تغيرات في حساباتها وتتطلب كمدخل مصفوفة الترابط بين كل الكميات المدخلة. ولذلك فمن المهم أن تكون لدينا طرق لتقدير هذه الارتباطات أو لتقادي الحاجة إليها.

والمسألة التي تطرح نفسها في تجميع الحصر، ولاسيما في هذه المرحلة من عملية حساب مقدار عدم التيقن في تقديرات الانبعاثات، هو تحديد القيمة المحتملة للتغير أو ما يتصل بها من معاملات الارتباط بين مختلف الكميات المدخلة، وفي هذه الحالة، بين مختلف الأنشطة وكذلك بين الأنشطة ومعاملات الانبعاث المقترنة بها. ويلزم تقييم معاملات الارتباط تلك في مجموعة كبيرة من فئات الحصر، وهي: الاحتراق الثابت والمصادر المتنقلة والانبعاثات المتسربة والعمليات الصناعية والزراعة والتغيرات في استخدام الأراضي والحراجه. ومن المطلوب معرفة الارتباط بغض النظر عن الطريقة المنتهجة في حساب عدم التيقن سواء أكانت معادلة انتشار الأخطاء أم طريقة مونت كارلو.

وهناك مثال للارتباط بين النشاط ومعاملات الانبعاث في فئة واحدة من فئات المصادر في حال ارتفاع مستوى الانبعاثات عند بدء تشغيل المعدات. وفي هذه الحالة يقترن انخفاض معدل النشاط المحلي أو تواتر النشاط لفترات قصيرة (زمانا أو مكانا) بارتفاع معدلات الانبعاثات، ويقترن انخفاض عدد الفترات الأطول التي يستغرقها النشاط المحلي بانخفاض الانبعاثات، وهذا ما يعد ارتباطا سلبيا.

وبالمثل، في حالة غاز الميثان المنبعث من الحيوانات، يوجد ارتباط بين مجموع عدد الحيوانات ومتوسط وزن الجسم على مدار العام، وهو ما يمكن أن يسفر عن تغير يؤثر على انبعاثات غاز الميثان من الحيوانات. ويمكن تقليل تأثير هذا التغير على الانبعاثات إلى الحد الأدنى عن طريق تجزئة عمليات الحساب بحسب أعمار الحيوانات وفصول السنة.

٤-٣ انتشار عدم التيقن

هناك طرق كثيرة يمكن استعمالها لانتشار أوجه عدم التيقن، بما في ذلك الطرق التي توصف عموما بالطرق التحليلية وطرق التقريب والطرق الرقمية. ولأغراض انتشار أوجه عدم التيقن في القوائم الوطنية لحصر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري فإننا نتناول طريقتين عامتين، هما طريقة التقريب على أساس مفكوك متسلسلة تيلور من الدرجة الأولى التي يشار إليها في كثير من الأحيان باسم معادلة نشر الأخطاء، وطريقة مونت كارلو الرقمية.

٤-٣-١ معادلة انتشار الأخطاء

يمكن في النهج الأول نشر عدم التيقن في انبعاث ما من أوجه عدم التيقن في النشاط وفي عامل الانبعاث من خلال معادلة انتشار الأخطاء (ماندل، ١٩٨٤، بيفنغتون وروبسون، ١٩٩٢). وترد هذه الطريقة في الخطوط التوجيهية للهيئة حيث تتمثل الشروط المفروضة على استعمال هذه الطريقة بما يلي:

- أن يكون مقدار عدم التيقن صغيرا نسبيا وأن يكون الانحراف المعياري المقسوم على متوسط القيمة أقل من

٠,٣

- أن تكون توزيعات أوجه عدم التيقن غاوصية (طبيعية).^٢
- ألا تتطوي أوجه عدم التيقن على أي تغاير كبير.

وفي ظل هذه الشروط فإن عدم التيقن الذي يحسب لمعدل الانبعاث يكون ملائماً. ويمكن توسيع هذه العملية لمراعاة التغيرات.

ومعادلة انتشار الأخطاء هي طريقة تجمع بين التباينات والتغايرات في مجموعة من الدوال، بما في ذلك المستعمل منها في قوائم الحصر. ويمكن في هذا النهج توسيع المعادلات غير الخطية باستعمال مفكوك متسلسلة تيلور. ويوفر هذا النهج حلاً صحيحاً للدوال الخطية الجمعية وحلاً تقريبياً لنواتج ضرب حددين. ومعظم قوائم حصر الانبعاثات هي جمع لانبعاثات E ناتجة عن بيانات الأنشطة A مضروبة بمعاملات الانبعاث F. وبافتراض أن كلتا الكميتين تتطويان على قدر ما من عدم التيقن فإن معادلات هذا الحصر تكون غير خطية من حيث حسابات عدم التيقن. ولذلك فإن معادلة انتشار الأخطاء لا توفر سوى تقدير تقريبي لعدم التيقن المشترك الذي تقل دقته باطراد في حال الانحرافات الكبرى. وهذا الخطأ المنتظم الناجم عن إغفال اللاخطية في قوائم الحصر يمكن تقييمه في كل حالة على حدة. وتفنقر هذه الطريقة إلى كثير من الدقة فيما يتعلق بالدوال التي تحتوي على حدود مقلوبة أو على قوة أسية أعلى أو على حدود أسية (كالن وفراي، ١٩٩٣). ويمكن إدراج حدود أخرى لمراعاة تأثيرات التباين.

وعندما يكون النشاط ومعامل الانبعاث مستقلين عن بعضهما البعض، يمكن جمع تبايناتهما في فئة مفردة من فئات المصادر وفقاً للمعادلة ١.

المعادلة ١

$$\sigma_E^2 = \sigma_A^2 F^2 + \sigma_F^2 A^2$$

حيث σ_E^2 تمثل تباين الانبعاث و σ_A^2 هي تباين بيانات النشاط و σ_F^2 هي تباين معاملات الانبعاث. و A هي القيمة المتوقعة لبيانات الأنشطة و F هي القيمة المتوقعة لمعامل الانبعاث.

وفي حالة وجود ارتباط بين المتغيرات ولكن مقادير عدم التيقن صغيرة فيكون حينئذ النهج التالي هو الصحيح. فيمكن اشتقاق التباين بين متغيرين $\text{cov}(x,y)$ من معامل الارتباط بينهما r_{xy} ومن الانحرافات المعيارية على النحو التالي:

المعادلة ٢

$$\text{cov}(x,y) = r_{xy} \sigma_x \sigma_y$$

وئوسّع المعادلة ١ لتشمل ذلك:

المعادلة ٣

$$\sigma_E^2 = \sigma_A^2 F^2 + \sigma_F^2 A^2 + 2r_{AF} \sigma_A \sigma_F AF$$

^٢ الواقع أن هذا الشرط بأن يكون التوزيع غاوصياً أو طبيعياً ليس لازماً للطريقة التي سيتم تطبيقها.

وبفحص المعادلة ٣ يتضح أن تباين الناتج يمكن أن يتضاعف أو يبلغ صفراً في الحالات المتطرفة التي يقترب فيها الارتباط بين المكونين من القيم المتطرفة +١ و -١ وعندما تتساوى قيم معاملات التباين. وينبغي من الناحية العملية التعامل مع الارتباط بين معاملات الانبعاث وبيانات الأنشطة من خلال تقسيم البيانات أو الجمع بين الفئات في الحالات التي يحدث فيها التغاير، وهذه هي النهج المتبعة في النصائح حول *الممارسات السليمة* الواردة في الفصل السادس المعنون " التطبيق العملي لقياس مقدار عدم التيقن."

ولتقدير مقدار عدم التيقن الناتج عن مجموع المصادر المستقلة E_1 و E_2 حيث $E = E_1 + E_2$ ، يمكننا تطبيق المعادلة ٤ المعروفة باسم معادلة انتشار الأخطاء:

المعادلة ٤

$$\sigma_E^2 = \sigma_{E_1}^2 + \sigma_{E_2}^2$$

وإذا كان هناك ارتباط بين فئات المصادر (أو بين حفر امتصاص الغازات) فلن تنطبق المعادلة ٤ وينبغي تطبيق المعادلة ٥.

المعادلة ٥

$$\sigma_E^2 = \sigma_{E_1}^2 + \sigma_{E_2}^2 + 2r_{E_1E_2} \sigma_{E_1} \sigma_{E_2} E_1 E_2$$

وحالما يتجاوز المجموع حدين وعند وجود تغاير بين الحدود، يُفضل استعمال نهج مونت كارلو في الحالات التي تتوافر فيها الموارد.

٤-٣-٢ نهج مونت كارلو

تناسب أساليب الإحصاء الرقمي، وبخاصة أسلوب مونت كارلو، تقدير عدم التيقن في معدلات الانبعاثات (من أوجه عدم التيقن في قياس الأنشطة ومعاملات الانبعاث) في الحالات التالية:

- عندما تكون مقادير عدم التيقن كبيرة.
- عندما تكون توزيعاتها غير غاوصية.
- عندما تكون الخوارزميات دوال معقدة.
- عندما تظهر ارتباطات بين بعض مجموعات بيانات الأنشطة أو معاملات الانبعاث أو بين الاثنين معا.

وفي كثير من الأحيان تكون مقادير عدم التيقن في معاملات الانبعاث أو في بيانات الأنشطة أو كليهما كبيرة وقد لا تتسم بتوزيعات طبيعية. وقد يصعب أو يكون من غير الممكن في هذه الحالات الجمع بين أوجه عدم التيقن باستعمال القواعد الإحصائية التقليدية. ويمكن التعامل مع هذه الحالة باستعمال تحليل مونت كارلو. ويقوم هذا التحليل على مبدأ إجراء حساب للحصر مرات كثيرة بالاستعانة بحاسوب إلكتروني وتستعمل في كل مرة معاملات الانبعاث غير المتيقن منها أو معالم النماذج وبيانات الأنشطة المختارة عشوائياً (عن طريق الحاسوب) في إطار توزيعات عدم التيقن محددة من المستعمل في أول الأمر. وتولد هذه العملية توزيعاً لعدم التيقن في تقدير الحصر يتسق مع توزيعات عدم التيقن المدخلة على معاملات

الانبعاث ومعالج النماذج وبيانات الأنشطة. وتتسم هذه الطريقة بكثافة استعمال البيانات واستهلاك القدر الكبير من الوقت في إجراء عمليات الحساب، بيد أنها تناسب مشكلة انتشار وتجميع أوجه عدم التيقن في النظم الواسعة، مثل القوائم الوطنية لحصر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. وترد شروح وتطبيقات تفصيلية لهذه الطريقة في المرفق ٣ المعنون "المصطلحات" وفي بيفنغتون وروبسون (١٩٩٢) ومالنلي (١٩٩٧) وكالين وفراي (١٩٩٣).

٤-٤ انتشار عدم التيقن في مجمل الحصر

بعد تقدير عدم التيقن في كل فئة من فئات الانبعاثات كل على حدة ، يعد انتشار عدم التيقن في الحصر مهمة أبسط من انتشار عدم التيقن في الخوارزميات حيث لا يستخدم إلا الجمع والطرح في تجميع الانبعاثات والامتصاصات.

وتحدث عمليتان مختلفتان عند تجميع مقادير عدم التيقن. فهناك أولاً عملية تجميع انبعاثات غاز واحد يتبع قواعد لانتشار عدم التيقن تناولناها من قبل. وأما العملية الأخرى فهي تجميع مقادير عدم التيقن من عدة غازات. ولا بد في هذه الحالة من اختزال الانبعاثات والامتصاصات إلى مقياس واحد وتمثل العملية المتبعة في هذه الحالة في استعمال إمكانات الاحترار العالمي. على أن الهيئة لم تحدد أي إمكانات للاحترار العالمي تكون مقبولة في صدد غازات أكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون والمركبات العضوية المتطايرة. وعليه فلا يمكن إدراج انبعاثات وامتصاصات تلك الغازات في عدم التيقن الإجمالي المقترن بإحدى قوائم حصر الانبعاثات. إضافة إلى ذلك ينبغي مراعاة أن قيم معاملات الاحترار العالمي تتطوي على مستويات مهمة من عدم تيقن كما ينبغي مراعاة أن تقييماً علمياً شاملاً لمجموع الانبعاث المكافئ يجب أن يأخذ هذا بعين الاعتبار.

وبالنظر إلى أن بعض المتغيرات التي يتعين تجميعها ليست غاوصية وأنها تتطوي على تباينات كبيرة وترتبط بمتغيرات أخرى فإن استعمال نهج مونت كارلو في تجميع عدم التيقن هو النهج المفضل. ويتناول الفصل السادس المعنون "التطبيق العملي لقياس مقدار عدم التيقن" تطبيق هذه الطريقة على عمليات حساب مقدار عدم التيقن في قوائم الحصر.

ويمكن اختيار تقدير عدم التيقن الشامل في قائمة الحصر باستعمال نظرية النهاية المركزية (كالين وفراي، ١٩٩٣) باعتبار ذلك طريقة عملية للتقريب. وفيما يلي الافتراضات ذات الصلة بنظرية النهاية المركزية:

- وجود عدد كبير من حدود الانبعاثات والامتصاصات.
- عدم هيمنة حد واحد على المجموع.
- استقلال الانبعاثات عن الامتصاصات.

وفي هذه الحالة يكون مجموع تباينات كل الحدود مساوياً لتباين مجموع الحصر ويكون توزيع مجموع الانبعاثات طبيعياً. وهكذا فإن الفترة المحددة تقريباً بانحرافين معياريين في كل جانب من جانبي المتوسط هي فترة ثقة بنسبة ٩٥ في المائة من الحصر. وكما لاحظنا من قبل فإن هذا النهج هو عملية تقريب إجمالية. واستعمال هذا النهج في تجميع أوجه عدم التيقن هو أحد الخيارات المستعملة في المستوى ١ لنظام عدم التيقن في الحصر. وتستعمل هذه الطريقة في نهج الجداول المبسطة لتحليل عدم التيقن المبين في الفصل السادس.

٤-٥ التباين والارتباط الذاتي

تفترض المناقشات التالية أن حسابات انتشار عدم التيقن تجرى باستعمال أحد إجراءات مونت كارلو.

وانبعاثات (أو امتصاصات) مكونين من مكونات الحصر تمثلها الدالتين $E_1(t)$ و $E_2(t)$ حيث t هي السنة التي يتم فيها

إجراء تقدير الحصر. وتتطوي هذه التقديرات على أوجه عدم تيقن تمثلها $\delta_1(t)$ و $\delta_2(t)$ على التوالي.

وتوجد على الأقل أربعة مصادر مهمة للتغيرات في الحصر الشامل. وتتشأ هذه المصادر مما يلي:

- استعمال بيانات أنشطة مشتركة في إجراء العديد من تقديرات الانبعاثات (مثلما يحدث في مجموعة الغازات المنبعثة من الاحتراق).
- القيود المتبادلة المفروضة على مجموعة من تقديرات الانبعاثات (مثل تحديد مجموع الوقود المستخدم أو مجموع إنتاج الروث الذي يوفر مدخلات في عدد من العمليات).
- تطور الأنشطة ومعاملات الانبعاث المقترنة بالعمليات والتكنولوجيات الجديدة وما إلى ذلك من العمليات التي تفصل بين أوجه عدم التيقن من فترة زمنية إلى الفترة التي تليها.
- الحوافز الخارجية (الاقتصادية أو المناخية أو القائمة على الموارد) التي تؤثر على مجموعة من الانبعاثات أو الامتصاصات.

ولأغراض حساب مقادير عدم التيقن فإننا لا نهتم إلا بما ينشأ بينها من تغيرات تمثلها $\delta_1(t)$ و $\delta_2(t)$. وفي حين أن التغيرات يظهر بين $E_1(t)$ و $E_2(t)$ وأن هذا التغيرات متصل بمسائل فهم وتقدير الانبعاثات والامتصاصات فإنه غير ذي صلة رئيسية بمسألة تجميع مقادير عدم التيقن وما إلى ذلك. وعليه فمن بين هذه المصادر الأربعة التي ينجم عنها التغيرات تتسم المصادر الثلاثة الأولى بأهمية أساسية في تحديد مقادير عدم التيقن. وينشأ المصدر الأول من التغيرات، وهو استعمال الأنشطة المشتركة في مجموعة من مكونات الحصر، بصفة خاصة عند انبعاث عدة غازات من نفس العملية، مثلما يحدث في عملية احتراق الوقود الأحفوري أو إحراق الكتلة الحيوية. وسوف يفضي استعمال نفس النشاط في إجراء تقديرين مختلفين للانبعاثات إلى حدوث تغيرات إيجابي بين اثنين من تقديرات الانبعاثات. وهناك طريقة فعالة لإزالة مصدر التغيرات من خلال دمج المعادلات في صيغة واحدة مؤلفة من نشاط وحيد ومجموع العديد من معاملات الانبعاث (يعبر عنها بمكافئ ثاني أكسيد الكربون).

ويحدث النوع الثاني من التغيرات في حالة وجود قيد متبادل على مجموعة من الأنشطة أو معاملات الانبعاث حيث يتم إدخال نشاط كلي وتعيين نسب كل مسار من مسارات المعالجة لتقسيم هذا النشاط فيما بين العديد من عمليات وخوارزميات الانبعاثات. ومثال ذلك تحديد نسب روث الحيوانات بين مختلف نظم معالجة روث الحيوانات. وتكون المنظومة مبالغة التحديد إذا تم حل جميع النسب ومقادير عدم التيقن في آن واحد. والطريقة الملائمة لإزالة التغيرات هو عدم تعيين إحدى النسب ثم تحديدها من خلال الفرق بين النسب الأخرى والمقدار الإجمالي. ولا يلزم في هذه الحالة تعيين الارتباط بين الحدود الأخرى وبين المكون المتبقي. على أنه في حال وجود ارتباطات فيما بين النسب المعينة أو بين النسب المعينة وإجمالي النشاط فسوف يتعين قياسها كميًا واستعمالها في حسابات انتشار الأخطاء.

وينشأ النوع الثالث من التغيرات عندما يفضي استعمال أساليب القياس الجديدة أو الطرق الجديدة لتسجيل البيانات أو التكنولوجيات الجديدة، إلى إزالة أوجه عدم التيقن القائمة وتوليد أوجه عدم تيقن جديدة، مما يقلل من درجة الارتباط الذاتي للمتسلسلة بمرور الوقت. وترتفع معدلات الارتباطات الذاتية عندما لا تتغير التكنولوجيا وأساليب القياس وتجميع الإحصاءات وتتنخفض في حال تغيرها. ويوجد في علوم الهندسة والعلوم الاجتماعية ثروة من المعلومات التي تسهم في معدلات التغير. (غروبلر وآخرون، ١٩٩٩). والآن وقد اقتربت سجلات قوائم الحصر الوطنية في طولها من عقد كامل فقد باتت هناك حاجة إلى إجراء تحليل لهذه التغيرات.

٤-٦ التجميع المنتظم لعدم التيقن في مكونات الحصر

تناولنا في الأقسام السابقة السمات الرئيسية التي تميز الممارسة السليمة لتحديد مقدار عدم التيقن في حصر انبعاثات أو امتصاصات غازات الاحتباس الحراري كل على حدة. وترد هذه السمات في الإطار ٢.

ويلزم تعديل جداول الإبلاغ القياسية *للهيئة* حتى تشمل معلومات عن مقادير عدم التيقن. ويمكن في الجداول التلخيصية أن تقتصر المعلومات المسجلة على فترات ثقة تبلغ حدودها ٢,٥ في المائة و ٩٧,٥ في المائة على التوالي. وينبغي تسجيل كل المعلومات الواردة في الإطارين ١ و ٢. و نتناول بالتفصيل في الفصل السادس المعنون "التطبيق العملي لقياس مقدار عدم التيقن" الممارسات المتعلقة بتحليل عدم التيقن في قوائم الحصر.

٥ التطبيقات

٥-١ أهمية الفروق والاتجاهات السنوية في قوائم الحصر

هناك مكون رئيسي لتحليل عدم التيقن في قوائم الحصر، وهو تحديد الفروق السنوية والأطول أجلا في الانبعاثات الوطنية. وعند دراسة سنتين، t_1 و t_2 ، في متسلسلة زمنية فإن الفرق في مجموع الانبعاثات بين هاتين السنتين يمكن تمثيله باستعمال الرموز المعرفة في القسم ٤-٥ أعلاه، وذلك بالشكل التالي:

المعادلة ٦

$$\Delta E(t_1 - t_2) = E(t_1) - E(t_2)$$

ويعرّف تباين الفرق بما يلي:

المعادلة ٧

$$\sigma_{\Delta E}^2 = \sigma_{E_1}^2 + \sigma_{E_2}^2 - 2 \text{cov}(\delta E_1, \delta E_2)$$

أو

المعادلة ٨

$$\sigma_{\Delta E}^2 = \sigma_{E_1}^2 + \sigma_{E_2}^2 - 2r_{\delta E_1 \delta E_2} \sigma_{E_1} \sigma_{E_2}$$

حيث

$$E(t_1) = E_1$$

$$E(t_2) = E_2$$

وهكذا إذا عرفت دالة التغيرات الذاتي أو الارتباط الذاتي لتقديرات عدم التيقن في قائمة الحصر، يمكن إذاً تحديد أهمية الفروق من سنة إلى سنة. (يلاحظ أن مصطلح التغيرات الذاتي بالنسبة للارتباط الذاتي هو مثل التغيرات بالنسبة للارتباط). ولتقدير ارتباط عدم التيقن فيما بين السنوات في الحصر الشامل فإننا قد ننظر في إضافة متسلسلتين مرتبطتين ذاتياً تمثلان اثنتين من مكونات عدم التيقن الكثيرة في الحصر. ويشمل التغيرات الذاتي للمتسلسلات المتضامة التغيرات الذاتية للحدود الفردية مضافاً إليها مكون آخر لمراعاة التأخر الزمني للتغيرات بين مكوني الحصر. ويوصى باستعمال تحليل مونت كارلو في أي

تقييم يزيد عن حدين.

الإطار ٢

١٠	استعمال المشاهدات المتاحة وأحكام الخبراء لتحديد عدم التيقن في تقديرات الانبعاثات والامتصاصات
١١	تسجيل بيانات التغذية بصورة منتظمة وعلى نحو يتسم بالشفافية.
١٢	فحص بيانات الانبعاثات المتاحة لتحديد ما إن كان قد تم إجراء معاينة تمثيلية.
١٣	تصميم مزيد من العينات وتنقيح المعالم والقيم الافتراضية والخوارزميات المستعملة في فئات المصادر في حال عدم إجراء معاينة تمثيلية.
١٤	استعمال الخطوط التوجيهية القطاعية بشأن الممارسة السليمة لاختيار دالة كثافة الاحتمال التي تمثل البيانات.
١٥	تقييم أي ارتباطات (تغيرات) هامة بين الكميات المدخلة.
١٦	نشر أوجه عدم التيقن بالاستعانة بطريقة التقريب إذا كانت أوجه عدم التيقن صغيرة وتتسم بتوزيعات غاوصية. وإن كان الأمر على خلاف ذلك فيتم ما يلي:
١٧	نشر أوجه عدم التيقن بالاستعانة بطريقة مونت كارلو متى توافرت الموارد.
١٨	تسجيل عدم التيقن.

وشبيه بما سبق التحليل الذي قدمه إنتنغ (١٩٩٩) لعدم التيقن المقترن باتجاه الكمية على مدى فترة زمنية محددة. ويمكن على سبيل المثال النظر في الانبعاثات $E(t)$, $E(t + \Delta t)$ خلال سنتين مختلفتين في متسلسلة زمنية مفصولة بالسنوات Δt . ويعبر عن تباين الاتجاه خلال هذه الفترة الزمنية بالمعادلة التالية:

المعادلة ٩

$$\text{var}(\Delta E) = 2\sigma_E^2(1 - r_{\delta E}(\Delta t))$$

وبين ذلك أن عدم التيقن في اتجاه الانبعاثات يكون أصغر عندما يكون الارتباط الذاتي لمقادير عدم التيقن التقديرية موجبا، عنه في حالة مقادير عدم التيقن عشوائية متساوية في الحجم. وثمة حاجة إلى إجراء دراسات عن الارتباطات الذاتية بين مقادير عدم التيقن التقديرية في قوائم الحصر وكذلك عن الارتباطات المتقاطعة في مقادير عدم التيقن خلال سنة واحدة للحصر وفيما بين السنوات المتتالية لحصر الانبعاثات والامتصاصات ذات الصلة.

٢-٥ الوصل المجدول بين الطرق

مع استمرار تجميع قوائم الحصر الوطنية سيلزم في بعض الحالات تغيير الخوارزمية المستعملة في حساب انبعاث أو امتصاص معين. وقد يحدث ذلك نتيجة لتزايد المعرفة بشكل الخوارزمية أو نتيجة لبعض التغيير الذي يطراً على توافر بيانات الأنشطة. وأفضل نهج يتم اتباعه في هذه الحالات هو إعادة حساب قوائم الحصر للسنوات السابقة باستعمال الطرق الجديدة. ومن غير الممكن تحقيق ذلك في بعض الحالات وستكون هناك حاجة إلى بعض تقنيات "الوصل المجدول" أو

الجمع بين التقديرات المعدة باستعمال نهج مختلفة في متسلسلة زمنية متسقة. ونبين فيما يلي أدناه النظرية الإحصائية التي تشكل أساس الممارسة السليمة. وأما الإرشادات العملية بشأن كيفية تطبيق ذلك في قوائم الحصر فتُرد في الفصل السابع المعنون "الاختيار المنهجي وإعادة الحساب". وتمثل تقديرات الانبعاثات (أو الامتصاصات) التي يتم إجراؤها باستعمال هاتين الدالتين $P(t)$ و $Q(t)$ حيث t هي سنة تقدير الحصر. وسيكون هناك فرق عندما يتاح هذان التقديران في أي سنة معينة وسيكون الهدف من مهمة الوصل الجدول هو فحص هذا الفرق. ويرجح وجود ثلاث إمكانات، هي: قد يتفاوت تقديرا الانبعاثات بمقدار ثابت، أو قد يتناسب التقديران مع بعضهما البعض، أو قد يتصلا عبر فارق ثابت وحد تناسبي. وفي الحالة التي نحن بصدد تحليلها، يُنظر إلى وضع الفرق الثابت التقريبي. (يمكن إجراء تحليل مشابه في الحالتين الأخريين. والواقع أن الحالة الثالثة يلائمها أحد أشكال تحليل التراجع الخطي).

ويمكن التعبير عن الفرق بين تقديري الانبعاثات في الوقت t على النحو التالي:

$$\begin{aligned} & \text{المعادلة ١٠} \\ & \text{عدم التيقن} \quad \delta \Delta_{P-Q}(t) \\ & \text{حيث} \quad \Delta_{P-Q}(t) = P(t) - Q(t) \end{aligned}$$

ومن المثالي تحديد هذا الفرق على مدى سنوات كثيرة جنباً إلى جنب مع عدم التيقن في متوسط الفرق انطلاقاً من مقادير عدم التيقن في P و Q . ويشير التسطير العلوي إلى المتوسط عبر عدة سنوات للفرق على مدى السنوات t_1-t_2 ، و تشير δ إلى عدم التيقن في متوسط هذا الفرق. وفي هذه الحالة يمكن تكوين متسلسلة مقبولة عن طريق الوصل الجدول بين المتسلسلتين $P(t)$ و $Q(t)$ وذلك بتصحيح $Q(t)$ لإعادتها إلى $P(t)$ بإضافة $\overline{\Delta_{P-Q}}(t)$ كمعوسط خلال الفترة من t_1 إلى t_2 . ويمكن أن يسفر أي تغيير في أسلوب التقدير عن تحسن أو تدهور جودة التقدير. وإذا تبين أن $Q(t)$ تمثل تحسناً فينبغي حينئذ استعمال $Q(t)$ بعد تصحيحها إلى $P(t)$ لأطول فترة ممكنة. أي ينبغي استنفاد $P(t)$ حتى السنة t_1 و $\overline{\Delta_{P-Q}}(t) + Q(t)$ بعد ذلك. وفي المقابل إذا وقع التفضيل على $P(t)$ فينبغي استنفادها حتى t_2 وهكذا.

من الناحية العملية في قائمة الحصر الوطنية، قد تنشأ ثلاث حالات. فقد لا يحدث تشابك في السنوات بين $P(t)$ و $Q(t)$. وقد يحدث تشابك في عدد محدود من السنوات مما لا يكفي لعملية تحسين الفرق بين المتسلسلتين كما ورد من قبل. وقد يحدث تشابك لعدد كافٍ من السنوات.

ويلزم الحصول على معلومات إضافية في الحالتين الأولى لتحديد فعالية الوصل الجدول. وهناك العديد من النهج الممكنة، وهي:

- تحديد المواقع (البلدان) الأخرى التي تستعمل فيها متسلسلات زمنية مشابهة واستعمال هذه البيانات لوضع تقدير عالمي أو إقليمي لمتوسط الفرق $\overline{\Delta_{P-Q}}(t)$ عن طريق جمع كل البيانات المتاحة إلى أن تتناقص $\delta \overline{\Delta_{P-Q}}(t)$ إلى قدر صغير مقبول من عدم التيقن أو إلى أن يتم استنفاد كل مصادر البيانات.
- عندما تستنفد كل مصادر البيانات وتظل $\delta \overline{\Delta_{P-Q}}(t)$ فوق معيار القطع، تقبل المتسلسلات الزمنية مع ملاحظة أن هذه المتسلسلات تنسم من بدايتها إلى نهايتها بقدر إضافي من عدم التيقن الناتج عن عدم التيقن في الفرق بين المتسلسلتين.
- يلزم انتهاز تقنيات الوصل الجدول الأخرى في الحالات التي لا تتشابه فيها البيانات أو التي لا تتوافر فيها أي بيانات من أي مصدر آخر. وهناك إمكانية لاستعمال أساليب المتسلسلات الزمنية (بوكس وجكينز، ١٩٧٠) لترحيل التنبؤ $P(t)$ إلى الأمام وترحيل التنبؤ $Q(t)$ إلى الخلف والنظر فيما إن كانت هذه التنبؤات تتفق مع مجموعة البيانات الأخرى

في إطار فترة الثقة البالغة ٩٥ في المائة أثناء السنوات القريبة مباشرة من الوصل المجدول. وإذا كان الأمر كذلك فيمكن قبول الوصل المجدول، وإذا لم يكن كذلك فيتعين حينئذ تسجيل انقطاع في تقديرات الانبعاثات (الامتصاصات). وفي كلتا الحالتين سيكون عدم التيقن المطبق طيلة المتسلسلين الزمنيين هو على أقل تقدير عدم التيقن المشترك الناشئ عن كل واحد من التقديرين $P(t)$ و $Q(t)$.

ويتناول الفصل السابع المعنون "الاختيار المنهجي وإعادة الحساب" النهج العملية المتبعة في الوصل المجدول.

٣-٥ تحليلات الحساسية وتحديد أولويات البحوث في قوائم الحصر الوطنية

بالنظر إلى هدف تقليل أوجه عدم التيقن في قوائم حصر الغازات فإنه ينبغي وضع أولويات لإجراء مزيد من البحوث استناداً إلى ثلاث سمات رئيسية:

- أهمية فئة المصادر أو ثغر امتصاص الغازات.
- حجم عدم التيقن الذي يكتنف الانبعاث أو الامتصاص.
- تكلفة البحوث والفائدة المرجوة مقيسة كتخفيض عام في عدم التيقن المقترن بقائمة الحصر.

وينبغي تحديد أهمية فئة المصادر باستعمال المعايير المبينة في الفصل السابع المعنون "الاختيار المنهجي وإعادة الحساب". وينبغي إيلاء الأولوية إلى فئات المصادر التي تنطوي على قدر أكبر من عدم التيقن أو على التأثير الأشد على الاتجاه من بين فئات المصادر المتساوية الحجم.

وستتبع خيارات البحوث في كل واحدة من فئات المصادر لمنشأ عدم التيقن. ويوجد في معظم الحالات عدد من المتغيرات التي تحدد النشاط ومعاملات الانبعاث. وينبغي إيلاء الأولوية إلى الكميات التي تؤثر أشد التأثير على إجمالي عدم التيقن. ومن بين خيارات البحوث يمكن أن يفرض تقسيم الانبعاثات والامتصاصات إلى فائدة عظيمة. والواقع أن كثيراً من القيم الافتراضية الجارية قد حددت لتتناسب طائفة عريضة من الظروف التي تفضي بالضرورة إلى فترات كبيرة من الثقة.

وتشمل تكلفة البحوث في هذا السياق التكلفة المالية والوقت المستغرق في البحوث وغير ذلك من المكونات التي لا يمكن قياسها كميًا في كل الحالات.

وهناك تقنيات حاسوبية متقدمة لتحديد حساسية الكميات المخرجة بالنسبة للكميات المدخلة في النموذج (مثل قائمة الحصر). وتعتمد هذه الطرق على تحديد معامل الحساسية λ الذي يربط بين إجمالي الانبعاثات E_T وبين الكمية المدخلة (أو المعلم) الذي تمثله في هذه الحالة a . وتحدد هذه الطرق المعامل على النحو التالي:

المعادلة ١١

$$\lambda = \partial E_T / \partial a$$

وتتيح بعض مجموعات برامجيات مونت كارلو خيار إجراء هذا التحليل. وجرى اتباع هذا النهج في النظم الكيميائية الجوية التي تنطوي على تفاعلات كيميائية تتراوح بين العشرات والمئات (شعبة الحساب الإلكتروني المتقدم الفائق القدرة التابعة للإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء، ١٩٧٩؛ ساينفيلد وبانديس، ١٩٩٨). على أن هناك فرقا واحداً بين هذه النماذج الكيميائية وبين قوائم حصر غازات انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، وهو

التقدم المعرفي. فالنماذج الكيميائية تمثل بشكل عام نظاما مغلقا يتسم بالحفاظ على الكتلة وبوجود علاقات محددة ومجموعة من المعدلات الثابتة التي تم قياس معظمها قياسا كيميا دقيقا. وأما المعرفة بمدى التفاعلات وقيم الكميات والمعالم فإنها أقل كثيرا في قوائم حصر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.

وهناك نهج أخرى يمكن أن تفي بالحاجة إلى توفير مدخلات بشأن القياس وأولويات البحوث في تطوير قوائم الحصر. ومن الممكن وضع طرق أبسط باستعمال فرضيات عامة لاستبيان الاتجاهات في أولويات البحوث. والميزة التي تتسم بها هذه المخططات البسيطة هي أنه يمكن لكل واضعي قوائم الحصر استعمالها. وهذه المعلومات عن أولويات البحوث والقياس تنشأ عن عمليات تقييم العينات التمثيلية كما جاء في القسم ٤-٢ من هذا المرفق تحت عنوان "المعاينة التمثيلية والخوارزميات والتغيرات"، وفي تحليل عدم التيقن في الفصل السادس المعنون "التطبيق العملي لقياس مقدار عدم التيقن"، وفي الفصل السابع المعنون "الاختيار المنهجي وإعادة الحساب"، وفي دليل الممارسة السليمة في كل قطاع (انظر الفصول من الثاني إلى الخامس). وتوفر مختلف هذه المدخلات، إضافة إلى أحكام الخبراء المتخصصين في تجميع قوائم الحصر، أفضل دليل لتحديد أولويات عملية تطوير حصر غازات الاحتباس الحراري.

٦ متطلبات البحوث

لئن كانت بعض الفرضيات التي تشكل أساس قوائم الهيئة لحصر الغازات تتسم بالوضوح الذاتي وتم فحصها بالفعل فإن البحث المنظم في مجموعة الفرضيات التي تشكل أساس هذه القوائم سيتيح نهجا منظما لتحديد أوجه عدم التيقن وتصميم تجارب لاختبار هذه الفرضيات وتحسينها. ويشمل هذا العمل مسائل تعريف خوارزميات الانبعاثات ووضع أساسها النظري. وسوف يعزز هذا العمل تقرين الفهم وتبادل المعلومات بين قوائم الحصر ودراسات الهيئة عن الدورة العالمية للغازات النزره الداخلة في أعمال الفريق العامل الأول التابع للهيئة لصالح كلا النشاطين.

وأحد الجوانب التي لم تحسم في عملية إعداد تقارير الانبعاثات والامتصاصات هو عدد الأرقام المسجلة الجديدة بالاهتمام (الدقة العددية). والنهج المتبع في دليل المنظمة الدولية للتوحيد القياسي هو أنه ينبغي عدم تقديم القيم العددية للتقديرات وانحرافات المعيارية في عدد مفرط من الأرقام. وأما القائمة الوطنية الكندية لحصر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري فقد انتهجت طريقة اقتصرت فيها على الإبلاغ مع عدد من الأرقام تناظر مقادير عدم التيقن في تقديرات الحصر. وإذا روعي هذا الاقتران في الحصر فمن الممكن وضع تصور واضح لعدم التيقن في القيم وللفرق بين مقادير عدم التيقن المقترنة بالانبعاثات الناتجة عن كل مصدر. ويتمثل النهج الآخر في تعريف الوحدة الدنيا للإبلاغ باعتبارها كمية ثابتة، ويتم الإبلاغ بعد ذلك عن قوائم الحصر المقدمة من كل البلدان وعن كل مكونات هذه القوائم باستعمال نفس الوحدة العددية. ويُحتمل من الناحية العملية أن ينطوي هذا النهج على مزايا تتمثل في تيسير مراجعة الجداول ولكنها مسألة تتطلب مزيدا من النقاش.

المراجع

Bevington, P. R. and Robinson, D. K. (1992). *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*. WCB/McGraw-Hill Boston USA, p. 328.

- Bouwman, A.F. (1996). 'Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils'. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 46, pp. 53-70.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1970). *Time Series Analysis forecasting and control*. Holden-Day, San Francisco, USA, p. 553.
- Cochran, W.G. (1963). *Sampling Techniques*. 2nd edition, John Wiley & Sons Inc., New York, p. 411.
- Cullen, A.C. and H.C. Frey, H.C. (1999). *Probabilistic Techniques in Exposure Assessment*, Plenum Publishing Corp., New York, USA, p. 335.
- Eggleston, S. (1993). Cited in IPCC (1996) *Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, op. cit.
- Enting, I.G. (1999). *Characterising the Temporal Variability of the Global Carbon Cycle*. CSIRO Technical Paper No 40, CSIRO Aspendale, Australia, p. 60.
- Grübler, A., N. Nakićenović, N. and Victor D.G. (1999). 'Dynamics of energy technologies and global change', *Energy Policy*, 27, pp. 247-280.
- IPCC (1996). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volumes 1, 2 and 3*. J.T. Houghton et al., IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- ISO (1993). *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. International Organisation for Standardization, ISBN 92-67-10188-9, ISO, Geneva, Switzerland, p.101.
- Mandel, J. (1984). *The Statistical Analysis of Experimental Data*. Dover Publications New York, USA, p. 410.
- Manly, B.F.J. (1997). *Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology*. 2nd edition, Chapman & Hall, p. 399.
- NAS (1979). *Stratospheric Ozone Depletion by Halocarbons: Chemistry and Transport*. Panel on Stratospheric Chemistry and Transport, National Academy of Sciences, Washington D.C., USA, p.238.
- Robinson, J.R. (1989). 'On Uncertainty in the Computation of Global Emissions for Biomass Burning'. *Climatic Change*, 14, pp. 243-262.
- Seinfeld, J.H. and Pandis, S.N. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics*. John Wiley and Sons, New York, USA, p. 1326.
- Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice (SBSTA), United Nations Framework Convention on Climate Change (1999). *National Communications from Parties included in Annex 1 to the Convention, Guidelines for the Preparation of National Communications, Draft conclusions by the Chairman*. FCCC/SBSTA/1999/L.5, p. 17.